第11回日本LCA学会研究発表会

講演要旨集

2016年3月2日(水)－4日(金)

柏

東京大学 柏キャンパス

第 11 回日本 LCA 学会研究発表会開催案内

http://ilcaj.sntt.or.jp/meeting/11th/

主　　催：日本ＬＣＡ学会

日　　時：2016 年 3 月 2 日（水）～ 3 月 4 日（金）

会　　場：東京大学柏キャンパス新領域環境棟（千葉県柏市柏の葉 5-1-5）

最新の情報は上記ホームページでご確認ください

発表形式：口頭発表およびポスター発表

口頭発表の発表時間は、1 件あたり 20 分（発表 12 分、質疑 7 分、発表者交代 1 分）です。口頭発表は、登壇者の PC を会場のプロジェクターに接続しての発表となります。発表者は各自 PC をご準備ください。詳細は、研究発表会ウェブサイトの「口頭発表」をご覧ください。

ポスターセッションは、P 会場（新領域環境棟 1 階ギャラリー＋ラウンジ＋ FS ホール）で行います。ポスターの掲示は、ポスターセッション当日の 3 月 3 日（木）12:00 からポスターセッション開始時刻（16:00）までにお願いします。A0 サイズ（84 cm × 119 cm）のポスターが掲示できる十分なスペースを用意しています。詳細は、研究発表会ウェブサイトの「ポスター発表」をご覧ください。なお、ポスターは、ポスターセッション当日の 18:30 までに、発表者が撤去・回収してください。

口頭発表における注意事項：

- 次の発表者は，前の講演が終わる前に講演者席に移り，PC をプロジェクターに接続して待機してください。
- 発表関係者および実行委員以外の方は、講演スライドの撮影をご遠慮ください。
- 会場内静粛維持のため、CD-ROM 版要旨集は、あらかじめパソコンにコピーしてからお使いください。

ポスター発表のコアタイム制について：

2 時間のポスターセッション中、1 時間ずつのコアタイム（発表者が待機する時間帯）を設けています。発表する・聴講するポスターのコアタイムをご確認ください。コアタイムの振り分け方は下記の通りです。

・ポスター番号が奇数のポスターは、コアタイム A（16:00 ～ 17:00）です。

・ポスター番号が偶数のポスターは、コアタイム B（17:00 ～ 18:00）です。

それぞれのポスター番号は、プログラムおよびポスターボード上部の札でご確認ください。

発表者は、指定されたコアタイム中は必ずご自身のパネルの前で待機してください。学生優秀ポスター発表審査にエントリーしている方は、指定されたコアタイムに自分のポスター前で待機していない場合、表彰の対象外となりますのでご注意ください。また、自分のコアタイムには必ず目立つ所に名札を付けてください。

要旨集：研究発表会ウェブサイト上にて Web 版要旨集を公開しています。会場内では無線 LAN が使用できますので、Web 版要旨集も閲覧することができます。また、2 月 3 日（水）までに有料の CD-ROM 版および印刷版要旨集を申し込まれた方には、研究発表会期間中に受付で印刷版要旨集もお渡しします。

交 流 会：研究発表会 2 日目のポスターセッション終了後の 3 月 3 日（木）18:20 から、プラザ憩いにて交流会を開催します。本研究発表会に参加登録いただいた方については、交流会参加費は無料です。

学生優秀発表の表彰：学生による研究発表の中から、審査により優秀な発表を表彰します。表彰式は 3 月 4 日（金）14:40 から、クロージングの中で実施します。会場は、M 会場（新領域環境棟 FS ホール）です。なお、演題登録時に表彰審査にエントリーし、登録した登壇者が学生会員であり、各締切期日を守り、参加登録した学生が実際に登壇した発表（口頭・ポスター両方）を審査対象とします。詳細は、研究発表会ウェブサイトの「学生優秀発表」をご覧ください。

交通案内

●つくばエクスプレス 柏の葉キャンパス駅（西口）より

・東武バス「西柏 03」流山おおたかの森駅東口行（一部「東大西」止まり）→「東大西」下車

・東武バス「西柏 04」又は「西柏 10」江戸川台駅東口行→「東大西」下車
「西柏 03」「西柏 04」約 8 分、「西柏 10」約 5 分、170 円

・徒歩 約 25 分

● JR 常磐線 柏駅（西口）より

・東武バス「西柏 01」国立がん研究センター行→「東大西」下車 約 17 分、290 円

●東武野田線 江戸川台駅（東口）より

・東武バス「西柏 04」又は「西柏 10」柏の葉キャンパス駅西口行→「東大西」下車
「西柏 04」約 4 分、190 円、「西柏 10」約 10 分、200 円

乗車時間は目安です。詳細は、以下のウェブサイトを参照してください。

東京大学　柏キャンパス
http://www.kashiwa.u-tokyo.ac.jp/tpp40.html



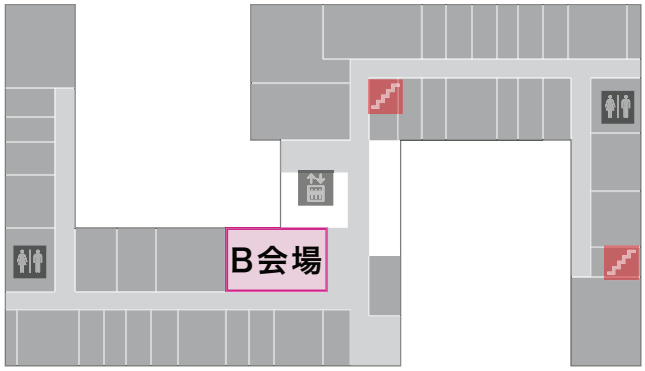
キャンパスマップ

東京大学柏キャンパス（柏キャンパス）
〒 277-8563 千葉県柏市柏の葉 5-1-5 新領域環境棟



会場案内図

新領域環境棟　1～6階



3階



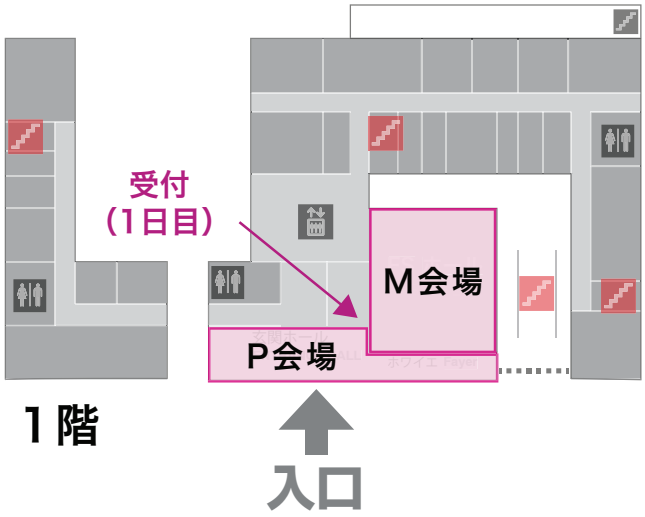
6階



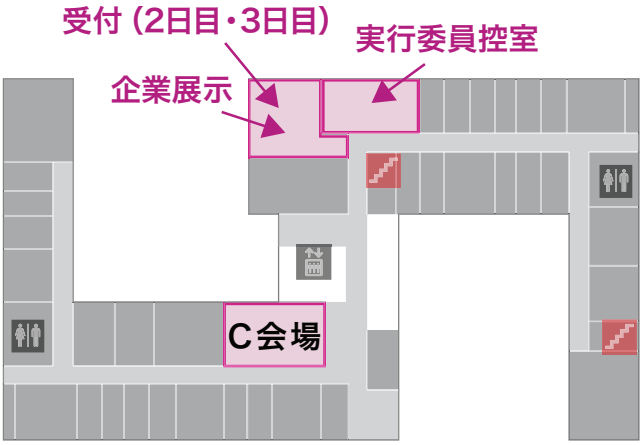
2階



5階



1階



4階

第 11 回日本ＬＣＡ学会研究発表会　実行委員会名簿

実行委員長	東京大学	吉田 好邦
副委員長	東京大学	井原 智彦
副委員長	産業技術総合研究所	河尻 耕太郎
実行委員	農業・食品産業技術総合研究機構	荻野 暁史
	神戸大学	尾下 優子
	ライオン	加藤 久仁子
	九州大学	金本 圭一朗
	国立環境研究所	河井 紘輔
	東京大学	菊池 康紀
	プリプレス・センター /elsa	北村 祐介
	芝浦工業大学	栗島 英明
	県立広島大学	小林 謙介
	東京理科大学	小井土 賢二
	神戸大学	田畑 智博
	e.s.feed	田中 浩二
	産業技術総合研究所	田原 聖隆
	産業環境管理協会	仲井 俊文
	富士通研究所	中澤 克仁
	東京大学	中谷 隼
	産業技術総合研究所	畑山 博樹
	立命館大学	吉川 直樹
事務局	未踏科学技術協会	津田 祥子
	未踏科学技術協会	清水 祐子

第11回日本LCA学会研究発表会
プログラム タイムテーブル

1日目　3月2日(水)

<table>
<tr><th></th><th>A会場</th><th>B会場</th><th>C会場</th><th>D会場</th><th>E会場</th></tr>
<tr><td>9:00-9:20</td><td rowspan="4">農水産・食品(1)</td><td rowspan="4">エネルギー (1)</td><td rowspan="4">消費者・消費行動(1)</td><td rowspan="4">木質・バイオマス(1)</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>9:20-9:40</td></tr>
<tr><td>9:40-10:00</td></tr>
<tr><td>10:00-10:20</td></tr>
<tr><td>10:20-10:40</td><td colspan="5">休憩</td></tr>
<tr><td>10:40-11:00</td><td rowspan="4">農水産・食品(2)</td><td rowspan="4">エネルギー (2)</td><td rowspan="4">消費者・消費行動(2)</td><td rowspan="4">木質・バイオマス(2)</td><td rowspan="4">都市・地域(1)</td></tr>
<tr><td>11:00-11:20</td></tr>
<tr><td>11:20-11:40</td></tr>
<tr><td>11:40-12:00</td></tr>
<tr><td>12:00-13:10</td><td colspan="5">昼休み</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="5">M会場</td></tr>
<tr><td>13:10-13:20</td><td colspan="5">主催者挨拶</td></tr>
<tr><td>13:20-14:20</td><td colspan="5">K-1 [基調講演]</td></tr>
<tr><td>14:20-15:20</td><td colspan="5">K-2 [基調講演]</td></tr>
<tr><td>15:20-15:40</td><td colspan="5">休憩</td></tr>
<tr><td>15:40-16:00</td><td rowspan="3">特別セッション：
鉛フリーはんだ搭載
製品のライフサイクル
評価と今後の展望(1)</td><td rowspan="3">自動車(1)</td><td rowspan="3">物質循環</td><td rowspan="3">土地・水</td><td rowspan="3">ケーススタディ (1)</td></tr>
<tr><td>16:00-16:20</td></tr>
<tr><td>16:20-16:40</td></tr>
<tr><td>16:40-17:00</td><td colspan="5">休憩</td></tr>
<tr><td>17:00-17:20</td><td rowspan="3">特別セッション：
鉛フリーはんだ搭載
製品のライフサイクル
評価と今後の展望(2)</td><td rowspan="3">自動車(2)</td><td rowspan="3">金属二次資源の活用</td><td rowspan="3">ウォーター
フットプリント/
エコロジカル
フットプリント</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>17:20-17:40</td></tr>
<tr><td>17:40-18:00</td></tr>
</table>

2日目　3月3日(木)

	A会場	B会場	C会場	D会場	E会場
9:00-9:20	バイオ・廃棄物(1)	社会経済性アプローチ	特別セッション：環境教育(1)	資源消費の長期的傾向	特別セッション：企業LCA/LCM
9:20-9:40					
9:40-10:00					
10:00-10:20					
10:20-10:40	休憩				
10:40-11:00	バイオ・廃棄物(2)	特別セッション：災害廃棄物(1)	特別セッション：環境教育(2)	鉄鋼と随伴元素	データベース
11:00-11:20					
11:20-11:40					
11:40-12:00					
12:00-13:00	昼休み				
13:00-13:20	特別セッション：社会システムのエコデザイン(1)エネルギーシステム	特別セッション：災害廃棄物(2)	評価手法	フロー構造と資源リスク	都市・地域(2)
13:20-13:40					
13:40-14:00					
14:00-14:20					
14:20-14:40	休憩				
14:40-15:00	住宅エネルギーシステム	災害	ケーススタディ (2)	資源消費のインパクト	
15:00-15:20					
15:20-15:40					
15:40-16:00	休憩				
	P会場				
16:00-17:00	ポスターセッション1　*コアタイムA:奇数番号				
17:00-18:00	ポスターセッション2　*コアタイムB:偶数番号				
18:00-18:20	移動				
18:20-	交流会(食堂　プラザ憩い)				

3日目　3月4日(金)

	A会場	B会場	C会場	D会場
9:00-9:20	特別セッション：社会システムのエコデザイン(2)製品ライフサイクルとライフスタイル	温室効果ガス	環境ホットスポット	特別セッション：温室効果ガスの削減貢献量評価(1)素材・部品・プロセスの貢献
9:20-9:40				
9:40-10:00				
10:00-10:20				
10:20-10:40	休憩			
10:40-11:00	容器包装	気候変動	水管理	特別セッション：温室効果ガスの削減貢献量評価(2)製品・サービスの貢献
11:00-11:20				
11:20-11:40				
11:40-12:00				
12:00-13:00	昼休み			
	M会場			
13:00-14:20	学会各賞受賞記念講演			
14:20-14:40	休憩			
14:40-15:40	クロージング			

全体セッション プログラム

1日目(3月2日(水))

M 会 場

13:20-14:20 **K-1**	**【基調講演】** **スマートウェルネス住宅・都市へのLCA活用最前線** 伊香賀俊治氏(慶應義塾大学)	ii
14:20-15:20 **K-2**	**【基調講演】** **柏の葉スマートシティ** **課題解決型まちづくりへの挑戦** 加藤晃一氏(三井不動産)	iv

3日目(3月4日(金))

M 会 場

13:00-13:20 **奨励賞**	**ライフサイクル的思考の畜産環境分野への適用に関する研究** 菱沼竜男(宇都宮大学)	428
13:20-13:40 **奨励賞**	**LCA実施基盤の開発と産業界における実践** 中野勝行(産業環境管理協会)	430
13:40-14:00 **論文賞**	**ライフサイクル影響評価における様々な手法による重み付け係数の算定と比較** 横井峻佑(東京大学), 中谷隼(東京大学), 本下晶晴(産業技術総合研究所), 森口祐一(東京大学)	432
14:00-14:20 **功績賞**	**LCAの実施を支えるインベントリデータベースの構築** 田原聖隆(産業技術総合研究所)	
14:40-15:40	**クロージング**	

パラレルセッション プログラム

1日目（3月2日(水)）

◎は登壇者

A 会 場

◆農水産・食品 (1)

座長：**荻野暁史（農業・食品産業技術総合研究機構）**

9:00-9:20 **A1-01** *(P2-90)*	**食品ロス低減のための野菜の利用状況に関する考察** ◎西本圭佑(東京理科大学)，堂脇清志(東京理科大学)，小井土賢二(東京理科大学)	2
9:20-9:40 **A1-02** *(P2-80)*	**低炭素農法を目的とした野菜生産における機能性と環境性による複合指標の提案** ◎大井隆史(東京理科大学)，堂脇清志(東京理科大学)，小井土賢二(東京理科大学)	4
9:40-10:00 **A1-03** *(P2-92)*	**野菜の貯蔵効果を反映させた調理メニューの環境影響評価** ◎井手啓介(東京理科大学)，堂脇清志(東京理科大学)，小井土賢二(東京理科大学)，北畑信隆(東京理科大学)，大野彰之(東京理科大学)	6
10:00-10:20 **A1-04** *(P2-87)*	**有機栽培茶における健康成分を考慮した環境及び購買影響に関する統合指標の提案** ◎小林涼(東京理科大学)，神代紘希(東京理科大学, Institut Teknologi Bandung)，小井土賢二(東京理科大学)，堂脇清志(東京理科大学)	8

◆農水産・食品 (2)

座長：**菱沼竜男（宇都宮大学）**

10:40-11:00 **A1-06** *(P2-45)*	**提供するサービスにもとづくリン資源利用の環境効率** ◎野木茜 (立命館大学)，村上進亮 (東京大学)，粟生木千佳 (European Commission Joint Research Centre, Technische Universitaet Berlin)，橋本征二(立命館大学)	10
11:00-11:20 **A1-07** *(P2-47)*	**リン資源利用に関連するサプライチェーンリスクを加味したライフサイクル分析** ◎山本高史(東北大学)，松八重一代(東北大学)，長坂徹也(東北大学)	12
11:20-11:40 **A1-08**	**植物工場におけるエネルギーマネジメント** ◎菊池康紀(東京大学，千葉大学)，兼松祐一郎(東京大学)，大久保達也(東京大学)，高垣美智子(千葉大学)	14
11:40-12:00 **A1-09** *(P2-72)*	**食料・エネルギー相乗生産技術の評価に向けた課題** ◎中村遼太郎 (東北大学)，小原聡 (アサヒグループホールディングス)，大野肇 (東北大学)，福島康裕 (東北大学)	16

◆特別セッション：鉛フリーはんだ搭載製品のライフサイクル評価と今後の展望 (1)

座長：**井上雅博（群馬大学）**

15:40-16:00 **A1-21**	**COP21をふまえた世界の環境活動動向と期待される日本の鉛フリーはんだ技術** ◎坂口智(朝日新聞社)	18
16:00-16:20 **A1-22**	**鉛フリーはんだの世界展開と高融点化への推進** ◎末次憲一郎 (神戸大学)，松木一弘 (広島大学)，許哲峰 (広島大学)，小西琢磨 (広島大学)，寺田圭吾 (広島大学)	20
16:20-16:40 **A1-23**	**鉛フリーはんだ実装設備の省エネ化への進展と今後の展望** ◎中村喜一(千住金属工業株式会社)	22

◆特別セッション：鉛フリーはんだ搭載製品のライフサイクル評価と今後の展望 (2)

座長：**末次憲一郎（神戸大学）**

17:00-17:20 **A1-25**	**世界の鉛フリーはんだ先端研究と科学技術新分野開拓の今後** ◎井上雅博(群馬大学)	24
17:20-17:40 **A1-26**	**企業における鉛フリーはんだを用いた環境活動と水資源への貢献** ◎西浦正孝(パナソニック株式会社，エコソリューションズ社)	26
17:40-18:00 **A1-27**	**総合討論**	

B 会 場

◆エネルギー (1)

座長：**玄地裕（産業技術総合研究所）**

9:00-9:20 **B1-01** — **太陽電池ルーバーを用いた統合ファサード改修のLCA** …… 28
◎藤下和浩（東京工業大学）

9:20-9:40 **B1-02** *(P2-21)* — **レアメタルの消費を考慮した太陽光発電の環境影響評価** …… 30
◎大内凌太（東京都市大学），伊坪徳宏（東京都市大学）

9:40-10:00 **B1-03** — **水素エネルギーキャリアのライフサイクルインベントリ分析（第2報）** …… 32
◎井上麻衣（産業技術総合研究所），北川直美（産業技術総合研究所），田原聖隆（産業技術総合研究所），工藤祐揮（産業技術総合研究所）

10:00-10:20 **B1-04** *(P2-42)* — **太陽電池に用いられる元素の2050年までのグローバルな需給バランス** …… 34
◎高柳達（立命館大学），中島謙一（国立環境研究所），村上進亮（東京大学），橋本征二（立命館大学）

◆エネルギー (2)

座長：**井伊亮太（パシフィックコンサルタンツ）**

10:40-11:00 **B1-06** — **地域特性を考慮したエネルギーキャリアの導入効果分析** …… 36
筑紫洋平（東京大学），大久保達也（東京大学），◎菊池康紀（東京大学）

11:00-11:20 **B1-07** — **問題構造化手法が地方公共団体の地域エネルギー戦略策定に果たす役割** …… 38
◎林清忠（農業・食品産業技術総合研究機），本藤祐樹（横浜国立大学），森泉由恵（横浜国立大学）

11:20-11:40 **B1-08** — **社会経済的価値に着目した小水力発電事業の実施に伴う影響分析** …… 40
◎山下達也（横浜国立大学），本藤祐樹（横浜国立大学），森泉由恵（横浜国立大学），工藤祐揮（横浜国立大学，産業技術総合研究所）

11:40-12:00 **B1-09** — **再生可能エネルギー部門拡張産業連関表を用いた地熱発電のライフサイクルCO_2排出分析** …… 42
特殊な活動と財が与える影響
◎乗松義弥（横浜国立大学），本藤祐樹（横浜国立大学），森泉由恵（横浜国立大学）

◆自動車 (1)

座長：**工藤祐揮（産業技術総合研究所）**

15:40-16:00 **B1-21** — **中古車を考慮した乗用車寿命推計と環境影響評価手法の開発** …… 44
◎中本裕哉（九州大学），西嶋大輔（九州大学），加河茂美（九州大学）

16:00-16:20 **B1-22** *(P2-04)* — **自動車市場需要の変化を考慮したサステナビリティ評価分析** …… 46
◎松永典子（現代文化研究所），伊坪徳宏（東京都市大学）

16:20-16:40 **B1-23** — **自動車を対象としたLCAのメタ分析** …… 48
◎八坂慶仁（TCO2株式会社），伊坪徳宏（東京都市大学），正畠宏一（TCO2株式会社）

◆自動車 (2)

座長：**原卓也（豊田中央研究所）**

17:00-17:20 **B1-25** — **自動車ライフサイクルCO_2削減に向けた取り組み** …… 50
◎河村哲雄（トヨタ自動車株式会社），小笠原満（トヨタ自動車株式会社），山戸昌子（トヨタ自動車株式会社）

17:20-17:40 **B1-26** — **走行実態と環境制約を考慮した自動車の保有構成の最適化** …… 52
◎永尾修一（東京大学），吉田好邦（東京大学）

17:40-18:00 **B1-27** — **産業連関分析を用いた自動車の緩和策評価** …… 54
◎小野雄也（東京大学），伊坪徳宏（東京都市大学），沖大幹（東京大学）

C 会 場

◆消費者・消費行動 (1)

座長：**加藤久仁子（ライオン）**

9:00-9:20 **C1-01** ライフサイクル思考に基づく環境コミュニケーションについての一考察 青果物の購買行動を例に …… 56
◎藤原なつみ(立命館大学)，永田潤子(大阪市立大学)

9:20-9:40 **C1-02** ディスポーザ使用によるCO_2排出量削減効果の算定及び消費者受容性調査 …… 58
◎竹内孝曜(未踏科学技術協会)，田中浩二(未踏科学技術協会)，菱沼竜男(宇都宮大学)，山本恵幸(横浜市)，井伊亮太(パシフィックコンサルタンツ)，坪田潤(大阪ガス)，稲葉敦(工学院大学)

9:40-10:00 **C1-03** 消費行動に伴う環境負荷量算定のためのデータベース整備 …… 60
◎田原聖隆(産業技術総合研究所)，藤井千陽(産業技術総合研究所)，高田亜佐子(産業技術総合研究所)

10:00-10:20 **C1-04** 消費者のライフスタイル変化によるGHG排出量削減効果の推定 …… 62
◎中島寛則(名古屋市環境科学調査センター)

◆消費者・消費行動 (2)

座長：**田崎智宏（国立環境研究所）**

10:40-11:00 **C1-06** 世帯属性が家計の消費行動と環境フットプリントに及ぼす影響の分析 …… 64
◎吉川直樹(立命館大学)，天野耕二(立命館大学)，島田幸司(立命館大学)

11:00-11:20 **C1-07** *(P2-99)* 一般消費者の環境配慮行動と関心・知識の関係　その2 環境配慮行動の目標意図形成過程における逐次モデルの検証 …… 66
◎木村大(千葉工業大学)，柴田清(千葉工業大学)

11:20-11:40 **C1-08** *(P2-101)* デジタルサイネージと紙広告の環境影響評価 …… 68
◎宮岡誠(東京都市大学)，伊坪徳宏(東京都市大学)

11:40-12:00 **C1-09** *(P2-102)* 消費者にとっての性能を考慮した電子書籍端末の環境効率 …… 70
◎天沢逸里(東京大学)，井原智彦(東京大学)，花木啓祐(東京大学)

◆物質循環

座長：**森口祐一（東京大学）**

15:40-16:00 **C1-21** 欧州のCircular Economyと循環型社会に関する考察 …… 72
◎原田幸明(物材機構)

16:00-16:20 **C1-22** ポリ塩化ビニルのケミカルリサイクルによる塩素循環プロセスの評価 …… 74
◎熊谷将吾(東北大学)，福島康裕(東北大学)，大野肇(東北大学)，吉岡敏明(東北大学)

16:20-16:40 **C1-23** 貿易に伴うアメリカ国内での毒性化学物質排出量の分析 …… 76
◎岡本隼輔(尾道市立大学)，藤井秀道(長崎大学)，加河茂美(九州大学)

◆金属二次資源の活用

座長：**大野肇（東北大学）**

17:00-17:20 **C1-25** *(P2-29)* 小型家電の回収可能性の検討 大津市のケーススタディー …… 78
◎丸橋拓矢(立命館大学)，橋本征二(立命館大学)

17:20-17:40 **C1-26** 主要国における二次アルミニウム資源の類型 …… 80
◎ KyawNyunt Maung (Ritsumeikan University)， YoshidaTomoharu (Ritsumeikan University)， CherryMyo Lwin (Ritsumeikan University)， HashimotoSeiji (Ritsumeikan University)

17:40-18:00 **C1-27** タイにおける鉄と鉄鋼に付随する亜鉛のマテリアルフロー分析: 資源有効利用に向けたシナリオ分析… 82
◎ 藤本-ChairaksaRomchat (Tohoku University)， 松八重一代 (Tohoku University)， 長坂徹也 (Tohoku University)

D 会 場

◆木質・バイオマス (1)

座長：**福島康裕（東北大学）**

9:00-9:20 **D1-01** *(P2-43)*
建築物を対象とした蓄積物質使用効率の評価 …… 84
◎八柳有紗(立命館大学大学院), LwinCherry Myo(立命館大学), 谷川寛樹(名古屋大学大学院), 橋本征二(立命館大学)

9:20-9:40 **D1-02** *(P2-71)*
資源・物質利用の環境影響 バイオマスを対象として …… 86
◎DenteSebastien Michael Rene(立命館大学), 加用千裕(東京農工大学), 粟生木千佳(立命館大学大学院), 橋本征二(立命館大学)

9:40-10:00 **D1-03**
木質バイオマスを用いた地域熱電併給における出力容量の設計 …… 88
◎兼松祐一郎(東京大学), 大澤一岳(東京大学, 和歌山県), 大久保達也(東京大学), 菊池康紀(東京大学)

10:00-10:20 **D1-04**
100年後に目標とする森林構成に向けた資源管理と木材供給シナリオ …… 90
◎大澤一岳(東京大学, 和歌山県), 兼松祐一郎(東京大学), 大久保達也(東京大学), 菊池康紀(東京大学)

◆木質・バイオマス (2)

座長：**小林謙介（県立広島大学）**

10:40-11:00 **D1-06**
持続的なバイオマス利用のための社会影響評価指標に関する検討 …… 92
◎塚原建一郎(産業技術総合研究所), 文多美(産業技術総合研究所), 匂坂正幸(産業技術総合研究所), 淵上智子(エフプロ), 田原聖隆(産業技術総合研究所)

11:00-11:20 **D1-07**
国産丸太生産までの地域性を反映したインベントリ分析 …… 94
◎中野勝行(産業環境管理協会), 新谷圭右(三菱総合研究所), 古俣寛隆(北海道総合研究機構), 岩岡正博(東京農工大学), 服部順昭(東京農工大学)

11:20-11:40 **D1-08** *(P2-74)*
木質ペレット利用推進による環境保全・地域活性化の効果検証 …… 96
◎長井翔太朗(立命館大学), 橋本征二(立命館大学)

11:40-12:00 **D1-09**
総合討論

◆土地・水

座長：**大橋憲司（資生堂）**

15:40-16:00 **D1-21** *(P2-70)*
Planetary boundariesの整合性:土地利用の変化と生物多様性の減少について …… 98
◎田村賢人(立命館大学), 橋本征二(立命館大学)

16:00-16:20 **D1-22** *(P2-48)*
国際貿易を考慮した食料消費に関わる淡水資源必要量の将来シナリオ評価 …… 100
◎山口陽平(立命館大学), 田村賢人(立命館大学), 吉川直樹(立命館大学), 橋本征二(立命館大学), 天野耕二(立命館大学)

16:20-16:40 **D1-23**
WULCAからの新たな水消費影響評価指標の提案 水利用による潜在的影響評価に向けた合意形成 …… 102
BoulayAnne-Marie(CIRAIG), BareJane(US EPA), BeniniLorenzo(European Commission, Joint Research Centre), BergerMarkus(Technische Universitaet Berlin), BulleCecile(CIRAIG), LathuilliereMichael(University of British Columbia), ManzardoAlessandro(University of Padova), MargniManuele(CIRAIG), ◎本下晶晴(AIST), NunezMontserrat(Irstea), RidouttBradley(CSIRO), WorbeSebastien(Veolia), PfisterStephan(ETH Zurich)

◆ウォーターフットプリント / エコロジカルフットプリント

座長：**林清忠（農業・食品産業技術総合研究機構）**

17:00-17:20 **D1-25** *(P2-28)*
感熱紙ラベルを対象とした環境フットプリント …… 104
◎古川恭子(東京都市大学), 坪根遼一(サトーグリーンエンジニアリング株式会社), 伊坪徳宏(東京都市大学)

17:20-17:40 **D1-26** *(P2-105)*
市民フェスティバルを対象としたウォーターフットプリント …… 106
◎峯山瑠偉(東京都市大学), 伊坪徳宏(東京都市大学), 松橋聖恵(世田谷区)

17:40-18:00 **D1-27** *(P2-81)*
エビ養殖業を対象としたウォーターフットプリント …… 108
◎太田海輔(東京都市大学), 伊坪徳宏(東京都市大学)

E 会場

◆都市・地域 (1)

座長：**栗島英明（芝浦工業大学）**

10:40-11:00 **E1-06** *(P2-112)*
国内外都市の総合評価手法の開発 その4 国際的な開発目標の理念に基づく評価体系の構築 …… 110
◎山崎潤也(慶應義塾大学)，伊香賀俊治(慶應義塾大学)，村上周三(建築環境・省エネルギー機構)，川久保俊(法政大学)

11:00-11:20 **E1-07**
産業連関分析による東京都のCO_2排出構造分析 …… 112
◎福馬智生(東京大学)，吉田好邦(東京大学)

11:20-11:40 **E1-08** *(P2-05)*
全国1,300市区町村の健康余命を規定する住環境要因の多変量解析 …… 114
◎鈴木健太郎(慶應義塾大学)，伊香賀俊治(慶應義塾大学)，村上周三(建築環境・省エネルギー機構)，川久保俊(法政大学)

11:40-12:00 **E1-09** *(P2-06)*
コンジョイント分析手法による住居環境における環境健康影響低減策の検討 …… 116
◎塩川健太(東京理科大学)，堂脇清志(東京理科大学)，小井土賢二(東京理科大学)

◆ケーススタディ (1)

座長：**平尾雅彦（東京大学）**

15:40-16:00 **E1-21** *(P2-104)*
品種と年齢の特徴を考慮したペットのライフサイクル評価 …… 118
◎薄美咲(東京都市大学)，伊坪徳宏(東京都市大学)

16:00-16:20 **E1-22** *(P2-27)*
新聞インキを対象とした環境影響の変遷 …… 120
◎樫木麻紀子(東京都市大学)，内田弘美(東洋インキSCホールディングス)，富川恵子(東洋インキSCホールディングス)，伊坪徳宏(東京都市大学)

16:20-16:40 **E1-23** *(P2-79)*
ストーンペーパーの環境影響評価 …… 122
◎阪西達矢(工学院大学)，本下晶晴(産業技術総合研究所)，田原聖隆(産業技術総合研究所)，稲葉敦(工学院大学)

2日目（3月3日(木)）

◎は登壇者

A 会 場

◆バイオ・廃棄物 (1)

座長：**寺園淳（国立環境研究所）**

9:00-9:20 **A2-01**
地域的資源循環システム形成のヒストリー分析 …… 126
◎稲葉陸太 (国立環境研究所)，田崎智宏 (国立環境研究所)，小島英子 (国立環境研究所)，河井紘輔 (国立環境研究所)

9:20-9:40 **A2-02**
人口減少とごみ排出量の減少を見据えた一般廃棄物焼却施設の統合による環境・経済面の効果推計 … 128
◎田崎智宏 (国立環境研究所)，稲葉陸太 (国立環境研究所)，藤井実 (国立環境研究所)，山口直久 ((株) エックス都市研究所)

9:40-10:00 **A2-03**
インドネシア・マカッサル市における廃棄物管理システムの評価 …… 130
◎ AzizDarmawan (Ritsumeikan University)，MarsoyoAgam (Gadjah Mada University)，HashimotoSeiji (Ritsumeikan University)

10:00-10:20 **A2-04** *(P2-65)*
下水処理場における微細藻類による有価物製造プロセスの評価 …… 132
◎鈴木征史 (東北大学)，大野肇 (東北大学)，福島康裕 (東北大学)

◆バイオ・廃棄物 (2)

座長：**矢野順也（京都大学）**

10:40-11:00 **A2-06** *(P2-68)*
タイ・ナコーンナーヨック県における食品残渣由来のバイオメタンのWell-to-wheel分析 …… 134
◎小井土賢二 (東京理科大学)，竹内一佐枝 (名古屋大学)，長谷川達也 (名古屋大学)，堂脇清志 (東京理科大学)

11:00-11:20 **A2-07** *(P2-67)*
遊離脂肪酸含有量に着目した廃食用油を用いた地域密着型バイオディーゼル燃料製造手法の設計 …… 136
◎彭勁琳 (東北大学)，北川尚美 (東北大学)，大野肇 (東北大学)，福島康裕 (東北大学)

11:20-11:40 **A2-08**
効果的なバイオガス事業の選択に向けた環境特性評価ツールの作成 …… 138
◎兵法彩 (横浜国立大学)，本藤祐樹 (横浜国立大学)，森泉由恵 (横浜国立大学)

11:40-12:00 **A2-09**
水産業におけるLCA研究の現況 …… 140
◎渡邊一仁 (宮城県気仙沼地方振興事務所)，田原聖隆 (産業技術総合研究所)

◆特別セッション：社会システムのエコデザイン (1) エネルギーシステム

座長：**木下裕介（産業技術総合研究所）**

13:00-13:20 **A2-13**
廃棄物からのエネルギー回収の高度化に関する検討 …… 142
◎藤井実 (国立環境研究所)，大西悟 (国立環境研究所)，稲葉陸太 (国立環境研究所)，田崎智宏 (国立環境研究所)，藤田壮 (国立環境研究所)

13:20-13:40 **A2-14** *(P2-13)*
太陽エネルギーを用いた効果的な熱供給に関する分析 CO_2削減の観点から …… 144
◎清水恭亮 (横浜国立大学)，本藤祐樹 (横浜国立大学)，森泉由恵 (横浜国立大学)

13:40-14:00 **A2-15** *(P2-16)*
日本における地中熱ヒートポンプのCO_2削減ポテンシャル評価 …… 146
◎末永亮太 (横浜国立大学)，本藤祐樹 (横浜国立大学)，森泉由恵 (横浜国立大学)

14:00-14:20 **A2-16**
木質バイオマスを用いたエネルギービジネスのシナリオ分析 岡山県真庭市を対象としたケーススタディ …… 148
◎木下裕介 (産業技術総合研究所)，中塚記章 (大阪大学)，藏渕竜也 (大阪大学)，赤松史光 (大阪大学)

◆住宅エネルギーシステム

座長：**菊池康紀（東京大学）**

14:40-15:00 **A2-18**
住宅の空調負荷の簡易推定モデル …… 150
◎岩崎航平 (東京大学)，吉田好邦 (東京大学)

15:00-15:20 **A2-19**
家庭のライフステージ別エネルギー需要の推計 燃料電池コジェネレーションシステムの環境影響評価への適用 …… 152
◎小澤暁人 (東京大学)，吉田好邦 (東京大学)

15:20-15:40 **A2-20** *(P2-15)*
事務所・住宅街区における再生可能・未利用エネルギー連携のポテンシャル評価 …… 154
◎望月勇伽 (芝浦工業大学)，栗島英明 (芝浦工業大学)

B 会 場

◆社会経済性アプローチ

座長：金本圭一朗（九州大学）

9:00-9:20 **B2-01**	**機能量のインベントリ、ミッドポイント、エンドポイント** ◎醍醐市朗（東京大学），中谷隼（東京大学），中島謙一（国立環境研究所），山末英嗣（京都大学），村上進亮（東京大学）	156
9:20-9:40 **B2-02** *(P2-31)*	**物質のライフサイクルを通した機能と機能量の評価手法の構築** ◎松井大輔（東京大学），醍醐市朗（東京大学），後藤芳一（東京大学）	158
9:40-10:00 **B2-03**	**環境負荷を考慮した日本の各都道府県における社会基盤蓄積に伴う生産効率性分析** ◎江口昌伍（九州大学），加河茂美（九州大学）	160
10:00-10:20 **B2-04**	**DEAを用いた国別・業種別の環境効率性分析** ◎高藪広隆（九州大学）	162

◆特別セッション：災害廃棄物（1）

座長：田畑智博（神戸大学）

10:40-11:00 **B2-06**	**GISを活用した地域資材ストック量推計にもとづく災害廃棄物量の予測について** ◎鶴巻峰夫（和歌山工業高等専門学校），山本祐吾（和歌山大学），吉田登（和歌山大学）	164
11:00-11:20 **B2-07**	**災害廃棄物の発生量推計のための地域別物質ストック分析** ◎鶴房佑樹（東京大学），中谷隼（東京大学），森口祐一（東京大学）	166
11:20-11:40 **B2-08**	**産業廃棄物処理施設を活用した災害廃棄物処理に関する研究** ◎佐伯孝（富山県立大学），今井晃一（富山県立大学）	168
11:40-12:00 **B2-09** *(P2-58)*	**処理施設の被災を想定した南海トラフ大地震の災害廃棄物処理計画** ◎水谷一平（立命館大学），加用千裕（東京農工大学），立尾浩一（日本環境衛生センター），橋本征二（立命館大学）	170

◆特別セッション：災害廃棄物（2）

座長：佐伯孝（富山県立大学）

13:00-13:20 **B2-13**	**津波による住宅の災害廃棄物発生量の把握と住宅移転による軽減効果** **-南海トラフ巨大地震のケース-** 前田真佐樹（東京都市大学），◎大西暁生（東京都市大学）	172
13:20-13:40 **B2-14**	**一般廃棄物処理の広域化計画に伴う災害廃棄物処理の費用便益分析** ◎丹治三則（慶應義塾大学）	174
13:40-14:00 **B2-15**	**災害廃棄物（可燃物等）処理のコスト解析** **近畿圏における広域連携を対象として** ◎中久保豊彦（お茶の水女子大学），伊川純慶（大阪大学），東海明宏（大阪大学）	176
14:00-14:20 **B2-16**	**災害廃棄物処理システムの構築に関する考察** ◎田畑智博（神戸大学），若林陽平（神戸大学），蔡佩宜（神戸大学）	178

◆災害

座長：稲葉陸太（国立環境研究所）

14:40-15:00 **B2-18** *(P2-61)*	**震災予測データを用いた経済・環境影響分析用産業連関モデルの構築** **南海トラフ巨大地震の被害想定を用いて** ◎畑獎（京都大学），南齋規介（国立環境研究所），加河茂美（九州大学），東野達（京都大学）	180
15:00-15:20 **B2-19** *(P2-63)*	**QOL充足度を踏まえた災害時における水需給バランス推計モデルの開発** ◎佐野早希（お茶の水女子大学），中久保豊彦（お茶の水女子大学）	182
15:20-15:40 **B2-20**	**ジャカルタにおける気候変動に伴う健康影響の定量評価** ◎草間蓮（東京大学），井原智彦（東京大学）	184

C 会 場

◆特別セッション：環境教育 (1)

座長：平山世志衣（横浜 LCA 環境教育研究会）

9:00-9:20 **C2-01**	**太陽光発電システムへの心理的近接性の向上が環境配慮行動に及ぼす影響** **保育園を対象とした介入実験** ◎弘中雄介（横浜国立大学），本藤祐樹（横浜国立大学）	186
9:20-9:40 **C2-02**	**幼稚園・保育園から小学校低学年に至るまでの環境学習効果** **-愛媛県内子町におけるヒューマンソーシャルライフサイクル分析（その1）-** ◎中口毅博（芝浦工業大学），高杉悠那（芝浦工業大学）	188
9:40-10:00 **C2-03**	**小学生を対象としたライフサイクル思考を取り入れた調理体験型食育プログラムの開発** ◎菱沼竜男（宇都宮大学），大森玲子（宇都宮大学）	190
10:00-10:20 **C2-04** *(P2-95)*	**小学校におけるライフサイクル思考に基づく環境教育の実践と評価** **実践内容と評価尺度の検討** ◎笠井利浩（福井工業大学），荒木史代（福井工業大学）	192

◆特別セッション：環境教育 (2)

座長：笠井利浩（福井工業大学）

10:40-11:00 **C2-06** *(P2-96)*	**家庭科授業としてのLCA教材開発と評価** **「タオルの洗濯」と「カレーづくり」の教材化** ◎水野建樹（未踏科学技術協会），田原聖隆（産業技術総合研究所），高田亜佐子（産業技術総合研究所），妹尾理子（香川大学），上野正恵（香川大学），平山世志衣（YLCA.Lab），竹内孝曜（未踏科学技術協会）	194
11:00-11:20 **C2-07** *(P2-98)*	**ライフサイクル思考の学びが環境配慮行動の意思決定過程に与える影響** ◎田髙初奈（横浜国立大学），平山世志衣（特定非営利活動法人横浜LCA環境教育研究会），高岡由紀子（グリーン購入ネットワーク），津田祥子（未踏科学技術協会），水野建樹（未踏科学技術協会），松本安生（神奈川大学），松本真哉（横浜国立大学）	196
11:20-11:40 **C2-08**	**ライフサイクル思考型環境教育のeラーニングプログラムの有効性の検討** ◎平山世志衣（特定非営利活動法人横浜LCA環境教育研究会），大内康弘（法政大学第二高等学校）	198
11:40-12:00 **C2-09**	**エコツーリズムをブランド革新する鍵としてのLCA評価手法の提案** ◎澤田恵梨子（北海道大学）	200

◆評価手法

座長：堂脇清志（東京理科大学）

13:00-13:20 **C2-13**	**研究開発段階の将来技術を評価するためのスケール効果を考慮したLCA評価手法の提案** ◎河尻耕太郎（産業技術総合研究所），後藤利彦（産業技術総合研究所），今喜裕（産業技術総合研究所），桜井俊介（産業技術総合研究所），畠賢治（産業技術総合研究所），田原聖隆（産業技術総合研究所）	202
13:20-13:40 **C2-14** *(P2-26)*	**プロセスモデルに基づく工業塗装プロセスの改善支援** ◎山岸達矢（東京大学大学院），上原恵美（東京大学大学院），平尾雅彦（東京大学大学院）	204
13:40-14:00 **C2-15** *(P2-20)*	**二酸化炭素回収貯留を対象としたLCAと費用対便益分析** ◎枝廣あかり（東京都市大学），小関康雄（東京都市大学），湯龍龍（農業環境技術研究所），伊坪徳宏（東京都市大学）	206
14:00-14:20 **C2-16** *(P2-23)*	**構造体の持つ機能に着目した資源効率の評価手法の構築** ◎太田暁（東京大学）	208

◆ケーススタディ (2)

座長：**天野耕二（立命館大学）**

14:40-15:00 **C2-18** *(P2-02)*
地域内における宅配輸送のCO_2排出量原単位の作成 …… 210
◎岡村和季(東京都市大学)，伊坪徳宏(東京都市大学)

15:00-15:20 **C2-19** *(P2-106)*
野外音楽フェスを対象とした環境・経済・社会影響評価 …… 212
◎西川翔多(東京都市大学)，三尾泰一郎((株)中央物産)，伊坪徳宏(東京都市大学)

15:20-15:40 **C2-20** *(P2-93)*
ライフサイクル・TMR・生活・文化を通じた環境プログラムと、意識・行動変容 …… 214
発達段階に応じたプログラム構成と、子どもの意識
◎海老原誠治 (資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」，三信化工)，高岡由紀子 (資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」，グリーン購入ネットワーク)，北村祐介 (資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」, elsa, プリプレス・センター)，杉原綾子 (資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」，三信化工)，阿部祐爾 (資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」，岡村製作所)，伊藤一夫 (資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」，シヤチハタ)，中村尚弘 (資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」，チクマ)，吉川大貴 (資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」，チクマ)，望月規弘 (資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」)，大西亮真 (資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」，こどもエコクラブ，日本環境協会)，林育生 (資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」，朝日化工)，新木浩之 (資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」，トーソー)，平野ゆうき (資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」，久栄社)，堀川悦夫 (資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」，佐賀大学)，西尾チヅル (資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」，筑波大学)，伊藤聖子 (資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」，産業環境管理協会)，古久保彰 (三信化工)

D 会 場

◆資源消費の長期的傾向

座長：**原田幸明（物質・材料研究機構）**

9:00-9:20 **D2-01**
建築物の鋼材・コンクリート投入原単位の歴史的変遷とその要因の分析 …… 216
◎河村千秋 (宇都宮大学)，藤本郷史 (宇都宮大学)，松野泰也 (東京大学)

9:20-9:40 **D2-02**
建設産業における金属消費量変化の要因分析 …… 218
◎畑山博樹 (産業技術総合研究所)，田原聖隆 (産業技術総合研究所)

9:40-10:00 **D2-03**
ICT機器における実装技術トレンドのTMR指標を用いた評価 …… 220
◎境志野 (富士通研究所)，胡勝治 (富士通研究所)，山田真理子 (富士通)，醍醐市朗 (東京大学)

10:00-10:20 **D2-04**
TMRとCO_2の観点から見たデカップリングの優先度分析 …… 222
◎山末英嗣 (京都大学)，松八重一代 (東北大学)，中島謙一 (国立環境研究所)，村上進亮 (東京大学)，醍醐市朗 (東京大学)，石原慶一 (京都大学)

◆鉄鋼と随伴元素

座長：**畑山博樹（産業技術総合研究所）**

10:40-11:00 **D2-06** *(P2-37)*
MaTraceを用いた鉄鋼材に随伴するCr，Niのフロー分析 …… 224
◎武山健太郎 (東北大学)，松八重一代 (東北大学)，中島謙一 (国立環境研究所)，長坂徹也 (東北大学)

11:00-11:20 **D2-07** *(P2-35)*
鉄鋼材料中不純物元素の物質フロー分析 …… 226
◎佐藤有一郎 (東京大学)

11:20-11:40 **D2-08** *(P2-38)*
使用済み製品からの素材回収時に混在する他素材由来の鉄鋼リサイクル材中の不純物濃度の国間比較 228
◎藤村怜央 (東京大学大学院)，林英男 (東京都立産業技術研究センター)，醍醐市朗 (東京大学大学院)，後藤芳一 (東京大学大学院)

11:40-12:00 **D2-09** *(P2-41)*
主成分分析による用途別鉄鋼材需要量の時系列変化の分析 …… 230
◎大木慧 (東京大学)

◆フロー構造と資源リスク

座長：**橋本征二（立命館大学）**

13:00-13:20 **D2-13** — **プラチナの国際貿易におけるクラスター分析と資源確保リスクの評価** …… 232
◎時任翔平（九州大学），加河茂美（九州大学），南斉規介（独立行政法人国立環境研究所）

13:20-13:40 **D2-14** *(P2-34)* — **クリティカルメタルに着目した国際フロー構造の将来シナリオ分析** …… 234
◎重富陽介（京都大学，国立環境研究所，日本学術振興会），南齋規介（国立環境研究所），加河茂美（九州大学），近藤康之（早稲田大学），東野達（京都大学）

13:40-14:00 **D2-15** *(P2-36)* — **ニッケルの国際サプライチェーンの背後にあるリスク要因抽出** …… 236
◎佐々木翔（東北大学），松八重一代（東北大学），中島謙一（国立環境研究所），長坂徹也（東北大学）

14:00-14:20 **D2-16** — **産業連関マテリアルフロー解析によるIn-use固定炭素定量化** …… 238
◎大野肇（東北大学），福島康裕（東北大学）

◆資源消費のインパクト

座長：**醍醐市朗（東京大学）**

14:40-15:00 **D2-18** *(P2-33)* — **希少金属資源の需要の増大と社会的持続可能性との関係** …… 240
◎塚本尚（京都大学大学院）

15:00-15:20 **D2-19** *(P2-39)* — **将来の需給変化を考慮した鉱物資源消費の特性化係数の算定** …… 242
鉄と銅の比較分析
◎横井崚佑（東京大学），中谷隼（東京大学），森口祐一（東京大学）

15:20-15:40 **D2-20** *(P2-44)* — **資源・物質利用の環境影響** …… 244
建設用非金属鉱物を対象として
◎田中大介（立命館大学），粟生木千佳（立命館大学大学院，地球環境研究戦略機関），SebastienDente（立命館大学），橋本征二（立命館大学）

E 会 場

◆特別セッション：企業 LCA/LCM

座長：**中澤克仁（富士通研究所）**

9:00-9:20 **E2-01** — **持続可能な調達のためのO-LCA分析** …… 246
◎大橋憲司（株式会社資生堂）

9:20-9:40 **E2-02** *(P2-110)* — **ライフサイクルを思考した組織の自然資本評価** …… 248
◎村主さとみ（東京都市大学），伊坪徳宏（東京都市大学）

9:40-10:00 **E2-03** — **電線の温室効果ガス排出量算定ガイドラインの策定に向けた検討** …… 250
◎柴原尚希（産業環境管理協会），橋本大（電線総合技術センター），小坂裕（電線総合技術センター），齋藤学（電線総合技術センター），田原聖隆（産業技術総合研究所）

10:00-10:20 **E2-04** — **江戸切子のライフサイクルアセスメント調査** …… 252
◎田村賢祐（NTTアドバンステクノロジ），佐々木重邦（武蔵野大学），十村勝（NTTアドバンステクノロジ），北原康雄（NTTアドバンステクノロジ）

◆データベース

座長：**中野勝行（産業環境管理協会）**

10:40-11:00 **E2-06** *(P2-49)* — **地域差を考慮したウォーターフットプリント用データベースの開発** …… 254
◎丸田隆之（東京都市大学），小野雄也（東京大学），伊坪徳宏（東京都市大学）

11:00-11:20 **E2-07** — **拡張データセット検索エンジンの提案** …… 256
◎正畠宏一（TCO2株式会社），田原聖隆（産業技術総合研究所）

11:20-11:40 **E2-08** — **2011年版産業連関表を用いた建築実務者向け原単位データベースの構築** …… 258
開発の方針とデータベース構築状況
◎小林謙介（県立広島大学），外岡豊（埼玉大学），前田拓生（早稲田大学）

11:40-12:00 **E2-09** *(P2-22)* — **インベントリ分析における評価精度向上に関する検討** …… 260
IDEAver2を用いた建築物の資材製造時・改修時における評価誤差の試算
◎河上慎太郎（東京理科大学），恒川智美（県立広島大学），小林謙介（県立広島大学），田原聖隆（産業技術総合研究所），井上隆（東京理科大学）

◆都市・地域 (2)

座長：**中谷隼（東京大学）**

13:00-13:20 **E2-13** *(P2-113)*	**国内外都市の総合評価手法の開発** **その5　新興国都市を対象とした環境効率の観点からの過去・現在の時系列評価** ◎藤田省一郎(慶應義塾大学)，伊香賀俊治(慶應義塾大学)，村上周三(建築環境・省エネルギー機構)，川久保俊(法政大学)，山崎潤也(慶應義塾大学)，鈴木健太郎(慶應義塾大学)	262
13:20-13:40 **E2-14** *(P2-111)*	**共分散構造分析を利用したライフサイクル社会影響手法の開発** ◎一杉佑貴(東京都市大学)，伊坪徳宏(東京都市大学)	264
13:40-14:00 **E2-15**	**産業共生によるライフサイクル効果の蒸気価格への影響分析** ◎大西悟 (国立環境研究所)，KimHyeong-woo (国立環境研究所)，藤井実 (国立環境研究所)，藤田壮 (国立環境研究所)	266
14:00-14:20 **E2-16**	**複数年物質フローによる北九州エコタウン事業の構造変化分析** ◎本田雄暉(北九州市立大学)，松本亨(北九州市立大学)	268

3日目（3月4日(金)）

◎は登壇者

A 会 場

◆特別セッション：社会システムのエコデザイン (2) 製品ライフサイクルとライフスタイル　座長：梅田靖（東京大学）

9:00-9:20 **A3-01**	LCAに基づく屋上緑化の費用便益分析 ◎井原智彦(東京大学)，山口和貴(東京電力)，岡和孝(みずほ情報総研)，大橋唯太(岡山理科大学)，亀卦川幸浩(明星大学)，玄地裕(産業技術総合研究所)	272
9:20-9:40 **A3-02**	Consequential Life Cycle Simulation手法の提案 ◎松本拓也(大阪大学大学院)，森田大智(大阪大学)，松山祐樹(大阪大学大学院)，福重真一(大阪大学大学院)，小林英樹(大阪大学大学院)	274
9:40-10:00 **A3-03**	気候変動社会におけるミレニアルズ消費の研究 ◎九里徳泰(相模女子大学)	276
10:00-10:20 **A3-04**	将来世代の視点を取り込んだフューチャーデザイン手法の可能性と応用展開 ◎原圭史郎(大阪大学)，西條辰義(一橋大学)，栗本修滋(大阪大学)，吉岡律司(岩手県矢巾町)，上須道徳(大阪大学)，黒田真史(大阪大学)	278

◆容器包装　座長：田原聖隆（産業技術総合研究所）

10:40-11:00 **A3-06**	容器包装の環境効率における機能の定量化 ◎吉村祐美(東洋製罐)	280
11:00-11:20 **A3-07**	環境効率の算定を目指した容器包装の機能評価の事例分析 ◎吉村祐美(東洋製罐)，小松郁夫(東洋製罐)，家木敏秀(東洋製罐)	282
11:20-11:40 **A3-08** *(P2-91)*	ライフサイクルステージ間で相互に影響しあう容器包装と内容物の分析 ◎横川直毅(東京大学)，上原恵美(東京大学)，杉山弘和(東京大学)，平尾雅彦(東京大学)	284
11:40-12:00 **A3-09** *(P2-08)*	うちエコ診断を通じたHEMS(Home Energy Management System)のデータ利用の検討 ◎小野光司(日本生活協同組合連合会)	286

B 会 場

◆温室効果ガス　座長：尾下優子（神戸大学）

9:00-9:20 **B3-01**	全上場企業を対象とした温室効果ガス排出量の算定と公開 ◎本田智則(産業技術総合研究所)，西野成昭(東京大学)，稲葉敦(工学院大学)	288
9:20-9:40 **B3-02** *(P2-108)*	学生を主体とする工学院大学のScope3 ◎井上夏美(工学院大学)，中野龍司(工学院大学)，村田翔(工学院大学)，田中浩二(e.s.feed株式会社)，稲葉敦(工学院大学)	290
9:40-10:00 **B3-03**	テキストマイニングに基づいたカーボンフットプリントの計算方法の提案 ◎趙培江(室蘭工業大学)，永野宏治(室蘭工業大学)	292
10:00-10:20 **B3-04**	スーパーマーケットにおけるカーボンフットプリント公開の取組についての認知度調査 ◎永野宏治(室蘭工業大学)，趙培江(室蘭工業大学)，鈴木昭徳(生活協同組合コープさっぽろ)，横滝智也(生活協同組合コープさっぽろ)	294

◆気候変動

座長：**南斉規介（国立環境研究所）**

10:40-11:00 **B3-06**	**LCAを活用した気候変動緩和策の限界削減費用分析評価の一試行** ◎小関康雄(東京都市大学)，伊坪徳宏(東京都市大学)	296
11:00-11:20 **B3-07**	**LCAを活用した気候変動適応策の検討** **輸入品のスクリーニング評価** ◎中野勝行(産業環境管理協会)	298
11:20-11:40 **B3-08**	**気候変動適応策の評価を志向した影響評価手法の開発** ◎湯龍龍(農業環境技術研究所)，伊坪徳宏(東京都市大学)	300
11:40-12:00 **B3-09**	**気候変動の緩和策と適応策を対象としたライフサイクル評価** ◎伊坪徳宏(東京都市大学)，湯龍龍(農業環境技術研究所)，小野雄也(東京大学)，小関康雄(東京都市大学)，正畠浩一(TCO2)，沖大幹(東京大学)	302

C 会 場

◆環境ホットスポット

座長：**近藤康之（早稲田大学）**

9:00-9:20 **C3-01**	**製品ライフサイクルに立脚したホットスポット分析手法の開発と活用** ◎伊坪徳宏(東京都市大学)，田原聖隆(産業技術総合研究所)，近藤康之(早稲田大学)，佐野裕隆(日本環境協会)	304
9:20-9:40 **C3-02**	**環境ホットスポット分析のためのインベントリデータの作成** ◎高田亜佐子(産業技術総合研究所)，藤井千陽(産業技術総合研究所)，田原聖隆(産業技術総合研究所)	306
9:40-10:00 **C3-03** *(P2-30)*	**日本の評価基盤に基づく製品の環境ホットスポット分析** ◎鈴木春生(東京都市大学)，有間俊彦(東京都市大学)，一杉祐貴(東京都市大学)，村主さとみ(東京都市大学)，近藤康之(早稲田大学)，田原聖隆(産業技術総合研究所)，高田亜佐子(産業技術総合研究所)，伊坪徳宏(東京都市大学)	308
10:00-10:20 **C3-04**	**総合討論**	

◆水管理

座長：**中久保豊彦（お茶の水女子大学）**

10:40-11:00 **C3-06**	**蓄積物質使用効率の推計:日本における下水道管路のケーススタディ** ◎ Cherry Myo Lwin (Ritsumeikan University)，DenteSebastien (Ritsumeikan University)，ShimizuToshiyuki (Ritsumeikan University)，WangTao (Ritsumeikan University)，HashimotoSeiji (Ritsumeikan University)	310
11:00-11:20 **C3-07**	**世界の下水道構造物に蓄積された鋼材量推計とその飽和量予測** ◎藤本郷史(宇都宮大学)，河村千秋(宇都宮大学)，松野泰也(東京大学)	312
11:20-11:40 **C3-08** *(P2-10)*	**ユーザ層に配慮した雨水活用装置稼働シミュレーションソフトの開発** ◎前川翔太(福井工業大学)，笠井利浩(福井工業大学)	314
11:40-12:00 **C3-09** *(P2-24)*	**フェロセメント工法による雨水貯留槽の製作時における環境負荷量** ◎早崎敬寛(福井工業大学)，笠井利浩(福井工業大学)	316

D 会 場

◆特別セッション：温室効果ガスの削減貢献量評価 (1) 素材・部品・プロセスの貢献　座長：本下晶晴（産業技術総合研究所）

9:00-9:20 **D3-01**	**温室効果ガス排出削減量の算定および公開事例** **自動車リユース主要50部品** ◎高橋颯太（明治大学大学院），岩崎誠和（明治大学大学院），藤田光伸（NGP日本自動車リサイクル事業協同組合，明治大学），森孝男（富山県立大学），鈴木廉（富山県立大学），鈴木雄大（明治大学），玉木基裕（NGP日本自動車リサイクル事業協同組合），杉本淳二（NGP日本自動車リサイクル事業協同組合），石塚克美（NGP日本自動車リサイクル事業協同組合），乙幡勝三（NGP日本自動車リサイクル事業協同組合），鈴木成幸（NGP日本自動車リサイクル事業協同組合），小林謙六（NGP日本自動車リサイクル事業協同組合），谷洋紀（NGP日本自動車リサイクル事業協同組合），早川明宏（NGP日本自動車リサイクル事業協同組合），井上全人（明治大学）	318
9:20-9:40 **D3-02**	**電子部品の温室効果ガス削減貢献量算定の取り組み** ◎横山亮（TDK），桑島哲哉（TDK），藤岡泰行（TDK），廣瀬勝（TDK）	320
9:40-10:00 **D3-03** *(P2-86)*	**飼料用アミノ酸L-リジンのR&D寄与分を考慮した川崎市域外環境貢献量の推計** ◎高橋英二（味の素株式会社），吉田剛（味の素株式会社），吉田知夏（味の素アニマルニュートリショングループ株式会社），高木智（味の素アニマルニュートリショングループ株式会社）	322
10:00-10:20 **D3-04**	**製糖工場への「逆転プロセス」導入による砂糖・エタノール生産体系変更のLCA** ◎福島康裕（東北大学），小原聡（アサヒグループホールディングス），菊池康紀（東京大学）	324

◆特別セッション：温室効果ガスの削減貢献量評価 (2) 製品・サービスの貢献　座長：稲葉敦（工学院大学）

10:40-11:00 **D3-06**	**ICTによる温室効果ガス削減貢献について** ◎井岡紘子（富士通），端谷隆文（富士通）	326
11:00-11:20 **D3-07**	**エコマーク認定商品の環境負荷低減効果（CO_2換算）の推計** ◎藤崎隆志（公益財団法人日本環境協会），大澤亮（公益財団法人日本環境協会），永村知之（株式会社三菱総合研究所）	328
11:20-11:40 **D3-08**	**削減貢献量評価ガイドラインと実践上の論点** ◎本下晶晴（産業技術総合研究所），醍醐市朗（東京大学），鶴田祥一郎（（一社）産業環境管理協会），稲葉敦（工学院大学）	330
11:40-12:00 **D3-09**	**総合討論**	

ポスターセッション プログラム

2日目（3月3日(木)）16:00-18:00（コアタイムA：16:00-17:00、コアタイムB：17:00-18:00）

P会場

A	P2-01	旅行商品のタイプⅠラベル認定基準の提案及びCO_2排出量の算定 ◎吉田知史(工学院大学)，竹内孝曜(未踏科学技術協会)，稲葉敦(工学院大学)	334
B	P2-02 *(C2-18)*	地域内における宅配輸送のCO_2排出量原単位の作成 ◎岡村和季(東京都市大学)，伊坪徳宏(東京都市大学)	210
A	P2-03	日独における路面電車利用の要因分析 ◎嶋田幸文(芝浦工業大学)，遠藤俊太郎(カッセル大学)，中口毅博(芝浦工業大学)	336
B	P2-04 *(B1-22)*	自動車市場需要の変化を考慮したサステナビリティ評価分析 ◎松永典子(現代文化研究所)，伊坪徳宏(東京都市大学)	46
A	P2-05 *(E1-08)*	全国1,300市区町村の健康余命を規定する住環境要因の多変量解析 ◎鈴木健太郎(慶應義塾大学)，伊香賀俊治(慶應義塾大学)，村上周三(建築環境・省エネルギー機構)，川久保俊(法政大学)	114
B	P2-06 *(E1-09)*	コンジョイント分析手法による住居環境における環境健康影響低減策の検討 ◎塩川健太(東京理科大学)，堂脇清志(東京理科大学)，小井土賢二(東京理科大学)	116
A	P2-07	家庭生活に伴うCO_2排出量の都市・地域分布に関する分析 ◎平野勇二郎(国立環境研究所)，井原智彦(東京大学)，吉田友紀子(大阪大学)	338
B	P2-08 *(A3-09)*	うちエコ診断を通じたHEMS(Home Energy Management System)のデータ利用の検討 ◎小野光司(日本生活協同組合連合会)	286
A	P2-09	家庭における電力消費実態データを用いた省エネ推進手法に関する研究 ◎秋山悠大(工学院大学)，本田智則(産業技術総合研究所)，稲葉敦(工学院大学)	340
B	P2-10 *(C3-08)*	ユーザ層に配慮した雨水活用装置稼働シミュレーションソフトの開発 ◎前川翔太(福井工業大学)，笠井利浩(福井工業大学)	314
A	P2-11	住宅用太陽光発電システムの導入と環境行動 ◎相沢健道(工学院大学大学院)	342
B	P2-12	分散型エネルギーを導入した大学キャンパスにおける余剰電力の有効利用方法の検討 ◎関谷知治(立命館大学)，福原大祐(立命館大学)，吉川直樹(立命館大学)，天野耕二(立命館大学)	344
A	P2-13 *(A2-14)*	太陽エネルギーを用いた効果的な熱供給に関する分析 CO_2削減の観点から ◎清水恭亮(横浜国立大学)，本藤祐樹(横浜国立大学)，森泉由恵(横浜国立大学)	144
B	P2-14	エネルギー共同組合における再生可能エネルギー導入の成立要因に関する研究 - ドイツ・フライブルク市を事例として - ◎黒須由利江(芝浦工業大学)，芝井彰(環境自治体会議)，中口毅博(芝浦工業大学)	346
A	P2-15 *(A2-20)*	事務所・住宅街区における再生可能・未利用エネルギー連携のポテンシャル評価 ◎望月勇伽(芝浦工業大学)，栗島英明(芝浦工業大学)	154
B	P2-16 *(A2-15)*	日本における地中熱ヒートポンプのCO_2削減ポテンシャル評価 ◎末永亮太(横浜国立大学)，本藤祐樹(横浜国立大学)，森泉由恵(横浜国立大学)	146
A	P2-17	温泉バイナリー発電のライフサイクル評価 ◎北川慧(立命館大学)，吉川直樹(立命館大学)，天野耕二(立命館大学)	348
B	P2-18	PEFC-CGSにおけるCO_2排出量及び資源枯渇を考慮した統合化指標の提案 ◎神野裕亮(東京理科大学)，小井土賢二(東京理科大学)，堂脇清志(東京理科大学)	350
A	P2-19	宇宙太陽光発電の実現によるCO_2排出削減効果の算定 ◎南部隆寛(工学院大学)，竹内孝曜(未踏科学技術協会)，稲葉敦(工学院大学)	352
B	P2-20 *(C2-15)*	二酸化炭素回収貯留を対象としたLCAと費用対便益分析 ◎枝廣あかり（東京都市大学），小関康雄（東京都市大学），湯龍龍（農業環境技術研究所），伊坪徳宏（東京都市大学）	206
A	P2-21 *(B1-02)*	レアメタルの消費を考慮した太陽光発電の環境影響評価 ◎大内凌太(東京都市大学)，伊坪徳宏(東京都市大学)	30

B	P2-22 *(E2-09)*	**インベントリ分析における評価精度向上に関する検討** **IDEAver2を用いた建築物の資材製造時・改修時における評価誤差の試算** ◎河上慎太郎（東京理科大学），恒川智美（県立広島大学），小林謙介（県立広島大学），田原聖隆（産業技術総合研究所），井上隆（東京理科大学）	260
A	P2-23 *(C2-16)*	**構造体の持つ機能に着目した資源効率の評価手法の構築** ◎太田暁（東京大学）	208
B	P2-24 *(C3-09)*	**フェロセメント工法による雨水貯留槽の製作時における環境負荷量** ◎早崎敬寛（福井工業大学），笠井利浩（福井工業大学）	316
A	P2-25	**CO_2排出削減貢献量の算定方法の開発** ◎山田要（工学院大学），稲葉敦（工学院大学）	354
B	P2-26 *(C2-14)*	**プロセスモデルに基づく工業塗装プロセスの改善支援** ◎山岸達矢（東京大学大学院），上原恵美（東京大学大学院），平尾雅彦（東京大学大学院）	204
A	P2-27 *(E1-22)*	**新聞インキを対象とした環境影響の変遷** ◎樫木麻紀子（東京都市大学），内田弘美（東洋インキSCホールディングス），富川恵子（東洋インキSCホールディングス），伊坪徳宏（東京都市大学）	120
B	P2-28 *(D1-25)*	**感熱紙ラベルを対象とした環境フットプリント** ◎古川恭子（東京都市大学），坪根遼一（サトーグリーンエンジニアリング株式会社），伊坪徳宏（東京都市大学）	104
A	P2-29 *(C1-25)*	**小型家電の回収可能性の検討** **大津市のケーススタディー** ◎丸橋拓矢（立命館大学），橋本征二（立命館大学）	78
B	P2-30 *(C3-03)*	**日本の評価基盤に基づく製品の環境ホットスポット分析** ◎鈴木春生（東京都市大学），有間俊彦（東京都市大学），一杉祐貴（東京都市大学），村主さとみ（東京都市大学），近藤康之（早稲田大学），田原聖隆（産業技術総合研究所），高田亜佐子（産業技術総合研究所），伊坪徳宏（東京都市大学）	308
A	P2-31 *(B2-02)*	**物質のライフサイクルを通した機能と機能量の評価手法の構築** ◎松井大輔（東京大学），醍醐市朗（東京大学），後藤芳一（東京大学）	158
B	P2-32	**素材の社会的価値評価のための枠組みの検討** ◎醍醐市朗（東京大学），畑山博樹（産業技術総合研究所），中島謙一（国立環境研究所），山末英嗣（京都大学），松八重一代（東北大学），小林能直（東京工業大学）	356
A	P2-33 *(D2-18)*	**希少金属資源の需要の増大と社会的持続可能性との関係** ◎塚本尚（京都大学大学院）	240
B	P2-34 *(D2-14)*	**クリティカルメタルに着目した国際フロー構造の将来シナリオ分析** ◎重富陽介（京都大学，国立環境研究所，日本学術振興会），南齋規介（国立環境研究所），加河茂美（九州大学），近藤康之（早稲田大学），東野達（京都大学）	234
A	P2-35 *(D2-07)*	**鉄鋼材料中不純物元素の物質フロー分析** ◎佐藤有一郎（東京大学）	226
B	P2-36 *(D2-15)*	**ニッケルの国際サプライチェーンの背後にあるリスク要因抽出** ◎佐々木翔（東北大学），松八重一代（東北大学），中島謙一（国立環境研究所），長坂徹也（東北大学）	236
A	P2-37 *(D2-06)*	**MaTraceを用いた鉄鋼材に随伴するCr，Niのフロー分析** ◎武山健太郎（東北大学），松八重一代（東北大学），中島謙一（国立環境研究所），長坂徹也（東北大学）	224
B	P2-38 *(D2-08)*	**使用済み製品からの素材回収時に混在する他素材由来の鉄鋼リサイクル材中の不純物濃度の国間比較** ◎藤村怜央（東京大学大学院），林英男（東京都立産業技術研究センター），醍醐市朗（東京大学大学院），後藤芳一（東京大学大学院）	228
A	P2-39 *(D2-19)*	**将来の需給変化を考慮した鉱物資源消費の特性化係数の算定** **鉄と銅の比較分析** ◎横井崚佑（東京大学），中谷隼（東京大学），森口祐一（東京大学）	242
B	P2-40	**世界における二次アルミニウム埋蔵量の推計** ◎吉田友晴（立命館大学），KyawNyunt Maung（立命館大学大学院），橋本征二（立命館大学）	358
A	P2-41 *(D2-09)*	**主成分分析による用途別鉄鋼材需要量の時系列変化の分析** ◎大木慧（東京大学）	230
B	P2-42 *(B1-04)*	**太陽電池に用いられる元素の2050年までのグローバルな需給バランス** ◎高柳達（立命館大学），中島謙一（国立環境研究所），村上進亮（東京大学），橋本征二（立命館大学）	34

A	P2-43 *(D1-01)*	**建築物を対象とした蓄積物質使用効率の評価** ◎八柳有紗（立命館大学大学院），LwinCherry Myo（立命館大学），谷川寛樹（名古屋大学大学院），橋本征二（立命館大学）	84
B	P2-44 *(D2-20)*	**資源・物質利用の環境影響** **建設用非金属鉱物を対象として** ◎田中大介（立命館大学），粟生木千佳（立命館大学大学院，地球環境研究戦略機関），SebastienDente（立命館大学），橋本征二（立命館大学）	244
A	P2-45 *(A1-06)*	**提供するサービスにもとづくリン資源利用の環境効率** ◎野木茜（立命館大学），村上進亮（東京大学），粟生木千佳（European Commission Joint Research Centre, Technische Universitaet Berlin），橋本征二（立命館大学）	10
B	P2-46	**グローバルな農業由来・生活排水由来リンフローのシナリオ分析** ◎村上真理（立命館大学），LwinCherry Myo（立命館大学），橋本征二（立命館大学）	360
A	P2-47 *(A1-07)*	**リン資源利用に関連するサプライチェーンリスクを加味したライフサイクル分析** ◎山本高史（東北大学），松八重一代（東北大学），長坂徹也（東北大学）	12
B	P2-48 *(D1-22)*	**国際貿易を考慮した食料消費に関わる淡水資源必要量の将来シナリオ評価** ◎山口陽平（立命館大学），田村賢人（立命館大学），吉川直樹（立命館大学），橋本征二（立命館大学），天野耕二（立命館大学）	100
A	P2-49 *(E2-06)*	**地域差を考慮したウォーターフットプリント用データベースの開発** ◎丸田隆之（東京都市大学），小野雄也（東京大学），伊坪徳宏（東京都市大学）	254
B	P2-50	**一般廃棄物のリサイクル率の再定義** **滋賀県のケーススタディー** ◎長野朝子（立命館大学），橋本征二（立命館大学）	362
A	P2-51	**年齢階級・生活様式を考慮した住民のごみ分別実施状況に関する考察** ◎田畑智博（神戸大学），宮本一毅（神戸大学），蔡佩宜（神戸大学）	364
B	P2-52	**大学におけるごみの分別率向上に向けたごみ箱デザインの検討** ◎佐々木雄哉（立命館大学），橋本征二（立命館大学）	366
A	P2-53	**廃棄携帯電話を活用した環境教育** ◎高橋和枝（NTT先端集積デバイス研究所），澤田孝（NTT先端集積デバイス研究所），佐々木重邦（武蔵野大学）	368
B	P2-54	**ベトナム国ホーチミン市における一般廃棄物処理システム改善に伴う温室効果ガス排出量削減効果** ◎河井紘輔（国立環境研究所），佐野翔一（みずほ情報総研），高木重定（みずほ情報総研）	370
A	P2-55	**天津市における廃プラスチックリサイクルシステムの改善による環境負荷削減効果** ◎叢日超（北九州市立大学），松本亨（北九州市立大学）	372
B	P2-56	**建設発生土の発生・処理実態に関する研究** ◎小池護（富山県立大学），佐伯孝（富山県立大学）	374
A	P2-57	**津波における災害廃棄物の発生量への影響に関する研究** ◎今井晃一（富山県立大学），佐伯孝（富山県立大学）	376
B	P2-58 *(B2-09)*	**処理施設の被災を想定した南海トラフ大地震の災害廃棄物処理計画** ◎水谷一平（立命館大学），加用千裕（東京農工大学），立尾浩一（日本環境衛生センター），橋本征二（立命館大学）	170
A	P2-59	**産業廃棄物の処理単価の地域特性に関する研究** ◎北恭兵（富山県立大学），佐伯孝（富山県立大学），佐々木基了（公益財団法人 日本産業廃棄物処理振興センター），谷川昇（公益財団法人 日本産業廃棄物処理振興センター）	378
B	P2-60	**地域間産業連関表を用いた産業廃棄物の地域依存的評価** ◎中谷隼（東京大学），野田匠一郎（東京大学），馬場史織（東京大学），森口祐一（東京大学）	380
A	P2-61 *(B2-18)*	**震災予測データを用いた経済・環境影響分析用産業連関モデルの構築** **南海トラフ巨大地震の被害想定を用いて** ◎畑獎（京都大学），南齋規介（国立環境研究所），加河茂美（九州大学），東野達（京都大学）	180
B	P2-62	**害廃棄物の広域処理に対する住民の受け入れ意思と選好の評価** ◎蔡佩宜（神戸大学），田畑智博（神戸大学），白川博章（名古屋大学）	382
A	P2-63 *(B2-19)*	**QOL充足度を踏まえた災害時における水需給バランス推計モデルの開発** ◎佐野早希（お茶の水女子大学），中久保豊彦（お茶の水女子大学）	182

B	P2-64	下水処理システムのCO_2排出量の評価 …… 384 ◎内野弘之(工学院大学)，竹内孝曜(未踏科学技術協会)，稲葉敦(工学院大学)
A	P2-65 *(A2-04)*	下水処理場における微細藻類による有価物製造プロセスの評価 …… 132 ◎鈴木征史(東北大学)，大野肇(東北大学)，福島康裕(東北大学)
B	P2-66	LCA手法による下水処理場消化ガスプラントからの余剰ガスの精製・貯蔵に関する評価 …… 386 ◎甲斐穂高(鈴鹿工業高等専門学校)，本田智之(熊本県立大学)，平山聡(熊本県立大学)，中道隆広(長崎総合科学大学)，蒲原新一(長崎総合科学大学)，石橋康弘(熊本県立大学)
A	P2-67 *(A2-07)*	遊離脂肪酸含有量に着目した廃食用油を用いた地域密着型バイオディーゼル燃料製造手法の設計 … 136 ◎彭劭琳(東北大学)，北川尚美(東北大学)，大野肇(東北大学)，福島康裕(東北大学)
B	P2-68 *(A2-06)*	タイ・ナコーンナーヨック県における食品残渣由来のバイオメタンのWell-to-wheel分析 …… 134 ◎小井土賢二(東京理科大学)，竹内一佐枝(名古屋大学)，長谷川達也(名古屋大学)，堂脇清志(東京理科大学)
A	P2-69	排出実態調査に基づくバイオマス残渣利用のライフサイクルシナリオ分析 …… 388 大学キャンパスを対象として ◎細川裕(立命館大学)，吉川直樹(立命館大学)，天野耕二(立命館大学)
B	P2-70 *(D1-21)*	Planetary boundariesの整合性:土地利用の変化と生物多様性の減少について …… 98 ◎田村賢人(立命館大学)，橋本征二(立命館大学)
A	P2-71 *(D1-02)*	資源・物質利用の環境影響 …… 86 バイオマスを対象として ◎DenteSebastien Michael Rene(立命館大学)，加用千裕(東京農工大学)，粟生木千佳(立命館大学大学院)，橋本征二(立命館大学)
B	P2-72 *(A1-09)*	食料・エネルギー相乗生産技術の評価に向けた課題 …… 16 ◎中村遼太郎(東北大学)，小原聡(アサヒグループホールディングス)，大野肇(東北大学)，福島康裕(東北大学)
A	P2-73	DNPバイオマスプラスチック包材「バイオマテックPET」のLCAと容器包装への適用 …… 390 ◎柴田あゆみ(大日本印刷)
B	P2-74 *(D1-08)*	木質ペレット利用推進による環境保全・地域活性化の効果検証 …… 96 ◎長井翔太朗(立命館大学)，橋本征二(立命館大学)
A	P2-75	木質バイオマス利活用事業の社会影響評価に関する考察 …… 392 ◎文多美(産業技術総合研究所)，塚原建一郎(産業技術総合研究所)，匂坂正幸(産業技術総合研究所)，渕上智子(合同会社 エフプロ)，田原聖隆(産業技術総合研究所)
B	P2-76	広島県における森林資源のマテリアルフローと環境負荷分析 …… 394 ◎山本綾香(県立広島大学)，若林國久(県立広島大学)，小林謙介(県立広島大学)，原田浩幸(県立広島大学)，川村晃(広島県木材組合連合会)
A	P2-77	木材の発電利用における環境負荷と木材供給可能量分析 …… 396 広島県神石高原町におけるケーススタディ ◎若林國久(県立広島大学)，山本綾香(県立広島大学)，徳田好朗(神石高原町地域おこし協力隊)，豊田達哉(神石高原町)，小林謙介(県立広島大学)
B	P2-78	日本の木材利用効率の推計 …… 398 ◎肖瀚(立命大学大学院)，橋本征二(立命館大学)
A	P2-79 *(E1-23)*	ストーンペーパーの環境影響評価 …… 122 ◎阪西達矢(工学院大学)，本下晶晴(産業技術総合研究所)，田原聖隆(産業技術総合研究所)，稲葉敦(工学院大学)
B	P2-80 *(A1-02)*	低炭素農法を目的とした野菜生産における機能性と環境性による複合指標の提案 …… 4 ◎大井隆史(東京理科大学)，堂脇清志(東京理科大学)，小井土賢二(東京理科大学)
A	P2-81 *(D1-27)*	エビ養殖業を対象としたウォーターフットプリント …… 108 ◎太田海輔(東京都市大学)，伊坪徳宏(東京都市大学)
B	P2-82	放牧による砂漠化危険度マップの作成 …… 400 ◎中島聡子(立命館大学)，橋本征二(立命館大学)
A	P2-83	農業のLCAにおける土地利用の影響評価方法の調査研究 …… 402 ◎湯龍龍(農業環境技術研究所)，神山和則(農業環境技術研究所)，レオン愛(農業環境技術研究所)，伊坪徳宏(東京都市大学)

B	P2-84	**点滴灌水を導入した露地野菜栽培(ナス・ピーマン)の環境影響評価** …… 404 ◎志村もと子(農研機構近畿中国四国農業研究センター), 渡邊修一(農研機構近畿中国四国農業研究センター), 高橋英博(農研機構近畿中国四国農業研究センター), 松森堅治(農研機構近畿中国四国農業研究センター)
A	P2-85	**施肥設計を考慮した有機農作物栽培のLCA** …… 406 ◎松田朋也(立命館大学), 吉川直樹(立命館大学), 天野耕二(立命館大学)
B	P2-86 *(D3-03)*	**飼料用アミノ酸L-リジンのR&D寄与分を考慮した川崎市域外環境貢献量の推計** …… 318 ◎高橋英二(味の素株式会社), 吉田剛(味の素株式会社), 吉田知夏(味の素アニマルニュートリショングループ株式会社), 高木智(味の素アニマルニュートリショングループ株式会社)
A	P2-87 *(A1-04)*	**有機栽培茶における健康成分を考慮した環境及び購買影響に関する統合指標の提案** …… 8 ◎小林涼(東京理科大学), 神代紘希(東京理科大学, Institut Teknologi Bandung), 小井土賢二(東京理科大学), 堂脇清志(東京理科大学)
B	P2-88	**紙容器緑茶飲料を対象としたウォーターフットプリント** …… 408 ◎下里直子(長野県工業技術総合センター), 伊坪徳宏(東京都市大学)
A	P2-89	**食品廃棄物の発生抑制および再生利用のためのシナリオ分析** …… 410 ◎川口和希(東京大学), 上原恵美(東京大学), 平尾雅彦(東京大学)
B	P2-90 *(A1-01)*	**食品ロス低減のための野菜の利用状況に関する考察** …… 2 ◎西本圭佑(東京理科大学), 堂脇清志(東京理科大学), 小井土賢二(東京理科大学)
A	P2-91 *(A3-08)*	**ライフサイクルステージ間で相互に影響しあう容器包装と内容物の分析** …… 284 ◎横川直毅(東京大学), 上原恵美(東京大学), 杉山弘和(東京大学), 平尾雅彦(東京大学)
B	P2-92 *(A1-03)*	**野菜の貯蔵効果を反映させた調理メニューの環境影響評価** …… 6 ◎井手啓介(東京理科大学), 堂脇清志(東京理科大学), 小井土賢二(東京理科大学), 北畑信隆(東京理科大学), 大野彰之(東京理科大学)
A	P2-93 *(C2-20)*	**ライフサイクル・TMR・生活・文化を通じた環境プログラムと、意識・行動変容発達段階に応じたプログラム構成と、子どもの意識** …… 200 ◎海老原誠治(資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」, 三信化工), 高岡由紀子(資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」, グリーン購入ネットワーク), 北村祐介(資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」, elsa, プリプレス・センター), 杉原綾子(資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」, 三信化工), 阿部祐爾(資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」, 岡村製作所), 伊藤一夫(資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」, シヤチハタ), 中村尚弘(資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」, チクマ), 吉川大貴(資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」, チクマ), 望月規弘(資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」), 大西亮真(資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」, こどもエコクラブ, 日本環境協会), 林育生(資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」, 朝日化工), 新木浩之(資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」, トーソー), 平野ゆうき(資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」, 久栄社), 堀川悦夫(資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」, 佐賀大学), 西尾チヅル(資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」, 筑波大学), 伊藤聖子(資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」, 産業環境管理協会), 古久保彰(三信化工)
B	P2-94	**幼少期の環境教育が学齢期の学習成果物に及ぼす影響に関する研究愛媛県内子町を事例に** …… 412 ◎高杉悠那(芝浦工業大学), 中口毅博(芝浦工業大学)
A	P2-95 *(C2-04)*	**小学校におけるライフサイクル思考に基づく環境教育の実践と評価実践内容と評価尺度の検討** …… 192 ◎笠井利浩(福井工業大学), 荒木史代(福井工業大学)
B	P2-96 *(C2-06)*	**家庭科授業としてのLCA教材開発と評価「タオルの洗濯」と「カレーづくり」の教材化** …… 194 ◎水野建樹(未踏科学技術協会), 田原聖隆(産業技術総合研究所), 高田亜佐子(産業技術総合研究所), 妹尾理子(香川大学), 上野正恵(香川大学), 平山世志衣(YLCA.Lab), 竹内孝曜(未踏科学技術協会)
A	P2-97	**高校生を対象とした地域連携型学習プログラムの日独比較評価Staudinger Gesamtschuleと愛媛県内子高等学校を事例に** …… 414 ◎森元公彦(芝浦工業大学), 新田純奈(上智大学), 中口毅博(芝浦工業大学)
B	P2-98 *(C2-07)*	**ライフサイクル思考の学びが環境配慮行動の意思決定過程に与える影響** …… 196 ◎田髙初奈(横浜国立大学), 平山世志衣(特定非営利活動法人横浜LCA環境教育研究会), 高岡由紀子(グリーン購入ネットワーク), 津田祥子(未踏科学技術協会), 水野建樹(未踏科学技術協会), 松本安生(神奈川大学), 松本真哉(横浜国立大学)

A	P2-99 *(C1-07)*	一般消費者の環境配慮行動と関心・知識の関係　その2 環境配慮行動の目標意図形成過程における逐次モデルの検証 ◎木村大(千葉工業大学)，柴田清(千葉工業大学)	66
B	P2-100	生産・消費間コミュニケーションの強化による環境配慮型製品普及に向けた消費者選好分析 ◎環野真紀(東京大学)，上原恵美(東京大学)，平尾雅彦(東京大学)	416
A	P2-101 *(C1-08)*	デジタルサイネージと紙広告の環境影響評価 ◎宮岡誠(東京都市大学)，伊坪徳宏(東京都市大学)	68
B	P2-102 *(C1-09)*	消費者にとっての性能を考慮した電子書籍端末の環境効率 ◎天沢逸里(東京大学)，井原智彦(東京大学)，花木啓祐(東京大学)	70
A	P2-103	ICTの社会的価値の評価方法の検討 ◎池田圭甫(工学院大学)，並河治(日立製作所　情報・通信システム社)，前川均(日立製作所　情報・通信システム社)，細渕良之(日立製作所　情報・通信システム社)，稲葉敦(工学院大学)	108
B	P2-104 *(E1-21)*	品種と年齢の特徴を考慮したペットのライフサイクル評価 ◎薄美咲(東京都市大学)，伊坪徳宏(東京都市大学)	118
A	P2-105 *(D1-26)*	市民フェスティバルを対象としたウォーターフットプリント ◎峯山瑠偉(東京都市大学)，伊坪徳宏(東京都市大学)，松橋聖恵(世田谷区)	106
B	P2-106 *(C2-19)*	野外音楽フェスを対象とした環境・経済・社会影響評価 ◎西川翔多(東京都市大学)，三尾泰一郎(中央物産)，伊坪徳宏(東京都市大学)	212
A	P2-107	工学院大学のSCOPE3 ◎中野龍司(工学院大学)，村田翔(工学院大学)，井上夏美(工学院大学)，田中浩二(e.s.feed株式会社)，稲葉敦(工学院大学)	420
B	P2-108 *(B3-02)*	学生を主体とする工学院大学のScope3 ◎井上夏美(工学院大学)，中野龍司(工学院大学)，村田翔(工学院大学)，田中浩二(e.s.feed株式会社)，稲葉敦(工学院大学)	290
A	P2-109	工学院大学生協のSCOPE3 ◎村田翔(工学院大学)，中野龍司(工学院大学)，井上夏美(工学院大学)，田中浩二(e.s.feed株式会社)，稲葉敦(工学院大学)	422
B	P2-110 *(E2-02)*	ライフサイクルを思考した組織の自然資本評価 ◎村主さとみ(東京都市大学)，伊坪徳宏(東京都市大学)	248
A	P2-111 *(E2-14)*	共分散構造分析を利用したライフサイクル社会影響手法の開発 ◎一杉佑貴(東京都市大学)，伊坪徳宏(東京都市大学)	264
B	P2-112 *(E1-06)*	国内外都市の総合評価手法の開発 その4　国際的な開発目標の理念に基づく評価体系の構築 ◎山崎潤也(慶應義塾大学)，伊香賀俊治(慶應義塾大学)，村上周三(建築環境・省エネルギー機構)，川久保俊(法政大学)	110
A	P2-113 *(E2-13)*	国内外都市の総合評価手法の開発 その5　新興国都市を対象とした環境効率の観点からの過去・現在の時系列評価 ◎藤田省一郎(慶應義塾大学)，伊香賀俊治(慶應義塾大学)，村上周三(建築環境・省エネルギー機構)，川久保俊(法政大学)，山崎潤也(慶應義塾大学)，鈴木健太郎(慶應義塾大学)	262
AB	P2-SCN	日本LCA学会学生交流ネットワーク2015年度活動報告 ◎江口昌伍(九州大学)，重富陽介(京都大学)，田髙初奈(横浜国立大学)，田村賢人(立命館大学)，横井崚佑(東京大学)，伊藤亮太(横浜国立大学)	424

1日目
(3/9)

1日目　3月2日（水）　M 会場

13:20 – 14:20　**K-1 スマートウェルネス住宅・都市への LCA 活用最前線**
伊香賀俊治氏（慶應義塾大学）

14:20 – 15:20　**K-2 柏の葉スマートシティ　課題解決型まちづくりへの挑戦**
加藤晃一氏（三井不動産）

スマートウェルネス住宅・都市へのＬＣＡ活用最前線

Front of LCA Use to Smart Wellness Housing and City

伊香賀俊治
Toshiharu Ikaga
慶應義塾大学
ikaga@sd.keio.ac.jp

1. はじめに

政府の「日本再興戦略（2013 年 6 月 14 日閣議決定）」に盛り込まれた「国民の健康寿命の延伸」の具体策として、スマートウェルネス（健康・省エネ）住宅・都市が全国各地で推進されている。一方、建築分野では 1990 年から LCA 的な手法の研究がスタートし、後に日本建築学会の建物の LCA 指針となった。その手法を応用した庁舎の温暖化対策の投資効果評価ツールが 1998 年に開発され、国土交通省の「グリーン庁舎計画指針」の運用ツールとして利用されてきた。自治体でも地域の気候風土に即した同様の評価ツールが開発・運用され、一部の民間企業でも利用され始めている。

また、LCA と並んで、国土交通省の支援のもとに、建築・街区・都市を環境効率で評価し、格付けするための総合環境性能評価システム（CASBEE）が開発され、低炭素建築・街区・都市の認定・認証などに、活用されてきた。本稿では、健康への影響までを概念的に含むスマートウェルネス住宅・都市への活用を中心に最新動向を概説する。

2. 建築物の LCA

2.1 日本建築学会 LCA 指針

建築物は一部の工業化住宅を除けば基本的に一品生産であり、ごく一部の大手の設計事務所と建設会社を除けば、ほとんどが中小・零細企業であるため、他の産業界が取り組んでいるような詳細な LCA を実務に適用することは不可能であった。そのような背景から、日本建築学会では 1990 年から建築物の LCA 的な研究が実施され、1992 年 6 月に、断熱材、空調機器等のフロンガス、排水・廃棄物処理に伴うメタンガスの温暖化影響も加味したライフサイクル CO_2 排出量（以下、略して $LCCO_2$）計算手法を提案した。建築物の新築、運用（居住、使用）、改修に関わる CO_2 排出量は日本の全 CO_2 排出量の 40%を占めており、建築分野が気候変動対策に果たすべき責任は重い。そのような背景から、1997 年 12 月に気候変動枠組条約京都会議(COP3)に呼応して、気候温暖化に関わる日本建築学会声明「新築建物で $LCCO_2$ 30%削減、耐用年数 3 倍延伸を目指すべき」を公表した。これくらい大胆な対策を 1998 年度からすべての建物で実行に移さない限り COP3 の国際公約（2008～2012 年の第一約束期間において 1990 年比 6%削減）が達成できず、IPCC が警告する 2050 年、2100 年までの大幅削減にもつながらないというものであった。1998 年度における本会の政策課題として詳細検討を行った。それらの成果として、1998 年 11 月に「建物の LCA 指針案、～地球温暖化防止のための LCCO2 を中心として～」と題する報告書を公表し、1999 年 3 月には「地球温暖化防止に向けての我が国の建築分野における当面の対策」を公表した。1999 年 11 月には、建物の LCA 指針（案）出版し、2003 年 2 月には、（案）が取れて正式な学会指針となった。

2.2 国・自治体の LCA ツール

国土交通省大臣官房官庁営繕部では、LCCO2 以外に、LCR（資源消費）、LCW（廃棄物）を加え、費用対効果の評価に加えて CASBEE も活用する評価システムが「グリーン庁舎基準及び同解説」と「グリーン診断・改修計画基準及び同解説」として 2006 年に公表された。

また、地方公共団体における類似の評価システムとしては、青森県県土整備部（2003 年 12 月）東京都、福島県などで、LCA、LCC、CASBEE（次章参照）を利用した公共建築物の環境・コスト評価システムが開発・公表されるなど地方公共団体の公共施設の企画・設計段階における LCA、LCC が徐々に普及してきた。環境配慮契約法（2007 年 11 月施行）は、地方公共団体に対しては努力義務を課しているので、国、独立行政法人に加えて自治体、民間での LCA 活用が推進されている。

2.3 建築環境総合性能評価システムへの LCA 導入

建築環境総合性能評価システム（CASBEE: Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency）は、国土交通省住宅局の支援のもとに、産官学共同プロジェクトとして建築物の総合的な環境性能評価手法研究委員会によって開発された建築物の環境品質を環境負荷で除すことで定義された環境効率の大きさに応じて建築物を格付けする手法である。

国土交通省環境行動計画（2005 年 6 月）には CASBEE の開発・普及、第三者認証制度の創設、CASBEE 専門技術者の育成、地方公共団体への普及などが明記され、官庁営繕グリーンプログラム（2004 年 7 月）にもグリーン庁舎計画指針の改定にあたっての CASBEE 活用

が盛り込まれた。さらに、京都議定書目標達成計画（2005 年 4 月閣議決定）にも温暖化対策推進にも資するものとして CASBEE の活用が明記された。現在までに開発・利用されている CASBEE ツール群は、下記のものがあり、戸建住宅から大規模建築物、街区、都市の評価までをカバーしている。

3. LCA への健康影響の組み込み

3.1 住宅の室内空気汚染による健康影響

室内空気汚染が深刻化し人間健康への被害が憂慮されている。しかし、室内空気汚染の影響を定量的に評価する手法はこれまで存在しなかった。そのため、本研究では LCA 国家プロジェクト（経済産業省ほか : 1998-2005）において、(独)産業技術総合研究所が開発した日本版被害算定型影響評価手法 LIME（Life-cycle Impact Assessment Method based on Endpoint modeling）に倣い、室内空気汚染が人間の健康に及ぼす被害を包括的かつ定量的に評価する手法を開発してきた。中でも室内化学物質（ホルムアルデヒドやトルエン）によるシックハウス症候群は感受性の個人差が大きく、評価が大変難しい。これまで両者の関係を定量的に表すデータは世界的に見ても例がなかった。そこで本研究では建築環境工学、医学、LCA 工学の専門家による横断的な共同研究を行い、医学的知見を交えながら実際の患者データを用いることで、室内化学物質とシックハウス症候群の関係を解明し、室内空気汚染の影響を定量的に評価する手法の開発を行った。この研究成果は、LIME Ⅱに反映された。

3.2 健康影響の LCA への適用

住宅部門では温室効果ガスの排出要因であるエネルギー消費を抑制するために、住宅の断熱・気密性能の向上が求められている。しかし、断熱・気密性能の向上には初期投資として高額な工事費用が必要であり、省エネルギーによる光熱費削減という直接的便益（Energy Benefits : 以下、EB）のみでは新築でも投資回収に長期間を要する。そのため、平均耐用年数が短い日本の住宅において、EB だけでは断熱・気密性能向上への投資を促すインセンティブとして不十分なのが現状である。その一方、住宅の断熱・気密性能の向上は室内の温熱環境の改善にもつながるため、寒さに起因する疾病等を予防し居住者の健康を維持するという省エネルギー以外の間接的便益（Non-Energy Benefits : 以下、NEB）を期待することができる。住宅の高断熱・高気密化を、単なる省エネルギーや光熱費削減のためだけでなく、健康維持がもたらす NEB を得るための投資として捉えることは、大きなインセンティブになると考えられる。このため、NEB を明確化することは極めて重要といえる。そこで著者らは、高断熱・高気密住宅の居住者へのアンケート調査に基づき、居住者のさまざまな疾病における改善率を定量化した上、健康維持がもたらす NEB について金額換算することを試みてきた。これらを基に、NEB を評価した。さらに、EB だけでなく健康維持がもたらす NEB を鑑みた場合の投資回収年数を評価し、高断熱・高気密住宅へ投資することの経済効果について新しい知見を明示して考察した。

4. おわりに

本稿では、健康への影響までを概念的に含むスマートウェルネス住宅・都市への活用を中心に最新動向を概説した。

引用文献

1）伊香賀、外岡 : 建築設備の建物用途別ライフサイクル環境負荷原単位、日本建築学会計画系論文集 No.533、pp.51-58、2000.7

2）伊香賀、村上ほか : 我が国の建築関連 CO_2 排出量の 2050 年までの予測、日本建築学会計画系論文集 No.535、(2000), pp.53-58

3) 日本建築学会, ”建物の LCA 指針(案) 地球温暖化防止のための $LCCO_2$ を中心として”, 日本建築学会, 東京（1999）

4) 日本建築学会, ”建物の LCA 指針”, 日本建築学会, 東京（2013）

5）建築環境総合性能評価システム CASBEE-戸建／建築／街区／都市評価ソフト・マニュアル”, 建築環境・省エネルギー機構（オンライン）, 入手先＜http://www.ibec.or.jp/CASBEE/index.htm 2016 年 2 月 1 日＞

6）成田、村上、伊香賀ほか : 室内空気汚染による健康被害のライフサイクル影響評価手法の開発、室内空気汚染による健康被害に関する研究(その 3)、日本建築学会環境系論文集、Vol.73, No.627、pp.695-700、2008.5

7）伊香賀, 江口ほか : 健康維持がもたらす間接的便益（NEB）を考慮した住宅断熱の投資評価, 日本建築学会環境系論文集 Vol.76, No.666, pp.735-740, 2011.8

8）工月, 伊香賀ほか : エネルギーの面的利用がもたらす間接的便益（NEB）に関する研究, ステークホルダーの多面的便益の抽出とその配分に関する研究, 日本建築学会環境系論文集 Vol.75, No.653, pp.645-652, 2010.7

9）川久保, 伊香賀ほか : CASBEE 都市による全国市区町村の環境性能評価, 日本建築学会環境系論文集 Vol.78, No.683, pp.63-73, 2013.1

柏の葉スマートシティ ～課題解決型まちづくりへの挑戦～

The challenge of Kashiwa-no-ha Smart City ~ as a pioneer to solve social issues ~

○加藤晃一*1)
Koichi Kato
1）三井不動産株式会社　柏の葉街づくり推進部
*k-katou@ mitsuifudosan.co.jp

1. はじめに

柏の葉スマートシティは、人口 40 万人の中核都市である柏市の北部に位置し、東京都心部から約 25 km、2005 年に開業したつくばエクスプレスで秋葉原から約 30 分にある柏の葉キャンパス駅を中心とした土地区画整理事業地内で進行中の街づくりである。周辺のエリアにはいまだ里山の残る自然公園もありながら、東京大学柏キャンパス・千葉大学柏の葉キャンパス・国立がん研究センター東病院等、我が国を代表する大学や研究機関のほか、産業支援施設等も点在しており、この様な立地環境の下で公・民・学の連携によるユニークで先進的な街づくりが国内外から注目されている。

なお、柏の葉における「スマートシティ」とは、先進国が直面する社会課題を解決する「課題解決型のまちづくり」を意味し、「環境共生」「健康長寿」「新産業創造」の 3 つのテーマを掲げ、世界に先駆けて実装化されたスマートシティモデルの構築を推進している。

今回は「民」の一員として街づくりに関わる三井不動産グループの立場から郊外型スマートシティの代表プロジェクトである柏の葉の取り組みを紹介したい。

2. まちづくりの変遷

当社と柏の葉との関係は明治時代における三井家による開墾入植まで遡る。その後 1960 年代からゴルフ場を営業していたが、つくばエクスプレスの新線計画を契機にゼロからスタートするまちづくりが始まった。

2006 年以降、柏の葉キャンパスの駅前街区を中心に商業施設や大規模マンションを相次ぎ開発していたが、2014 年夏、多用途複合施設である「ゲートスクエア」の開業により、柏の葉スマートシティは第 1 ステージの開発を終えて実証段階から実装段階へ移行している。

3. 公･民･学の連携と住民参加型のまちづくり

「柏の葉キャンパス」という駅名からも分かる様に柏の葉スマートシティを特徴づける大きな要素として大学の存在がある。従来型のまちづくりが行政主導や民間主体で行われてきたのに対し、大学という地域資源を活かして国際的なレベルの次世代型まちづくりを目指し、新しいまちづくりの方法や仕組みを導入しているのも柏の葉の大きな特徴であり、そのキーワードとなるのが、「公･民･学連携によるまちづくり」である。そして、その推進主体となるのが「柏の葉アーバンデザインセンター（UDCK）」という街づくり組織である。

行政（公）・民間企業及び市民（民）・大学（学）がまちづくりビジョン（国際キャンパスタウン構想）を策定、さらに各構成団体からヒトやカネなどの資源を出し合うことで推進主体となる UDCK を設立し、連携しながらまちづくりを進める、というスキームである。

現在、ゲートスクエア内にある UDCK は、地域に根差した拠点としても機能しており、大学や市民の日常的な活動の場として活用されている。

さらに、柏の葉では UDCK が地域のハブとなり、多彩な活動が展開されている。代表的な活動例として、市民参加型の「マルシェコロール」、新しい住民同士の交流を促す「まちのクラブ活動」、疑似就労体験を通した子供の教育的イベント「ピノキオ・プロジェクト」などが挙げられる。このような住民活動以外にも、様々な交通手段を住民同士がシェアするという発想から、省 CO_2 社会の実現に向けた実証的な取り組み（「マルチ交通シェアリング」）も行われている。

4. まちづくりのコンセプト（課題解決モデル都市）

我が国をはじめとした先進国を取り巻く社会課題は山積しており、すでに待ったなしの状況にある。

例えば、「少子高齢化社会の到来」、「（市場成熟化による）経済成長の限界」、「資源・エネルギー問題」、「地球環境問題」などが挙げられる。

柏の葉スマートシティおよび当社では、これらの社会課題を解決するためのまちづくりモデルを具現化し、他に先駆けて「課題先進国・日本」の姿を実現することを目指している。

冒頭に示した 3 つのテーマ「環境共生」「健康長寿」「新産業創造」が上述した社会課題に対応しており、これらを解決するための街づくり＝スマートシティ、というコンセプトがまちづくりの中心を成している。

少し大袈裟かもしれないが、柏の葉を “世界の未来像をつくる街” とすることは、我々の使命でもある。

5. スマートシティの中心街区（ゲートスクエア）

2014 年 7 月、この 3 つのテーマを具現化した施設で

ある「ゲートスクエア」がグランドオープンし、スマートシティにおける地域一体の運営が本格化した。

ゲートスクエアは、柏の葉スマートシティの駅前中核街区に立地する多用途複合施設であり、まちづくりテーに関わる実装モデルがここに集約されている。

まず、「環境共生」については、省エネルギー・省 CO_2、安全・安心、サステイナブル、需要者主導型のエネルギーマネジメント等、を実現している。

ゲートスクエアでは、化石燃料に頼らないエネルギー使用モデルを実現するため、パッシブデザイン・自然光利用・最新環境施策を採用した「省エネ」、自然エネルギー・未利用エネルギーを利用した「創エネ」を導入している（図 1)。これにより、基準 CO_2 排出量（「2005 年度東京都の排出状況報告書」基準 CO_2 排出量原単位）に対し、約 43％の CO_2 量を削減している。

また、ゲートスクエア施設単体の省 CO_2 対策にとどまらず、周辺 4 街区を含めたエリアエネルギーマネジメントシステム（AEMS）や電力融通システムを構築するために自営線型の電力ネットワークや情報ネットワークを整備し、「創エネ・省エネ・蓄エネ」を地域全体で総合的に取り組み、省エネルギーや省 CO_2 のほか電力平準化を図っている。この「柏の葉 AEMS」では各施設の HEMS、BEMS、中央監視システムと連携し電力・ガス・水などのエネルギー使用量や CO_2 排出量を「見える化」し、ゲートスクエアの施設内にある「柏の葉スマートセンター」で地域全体のエネルギー情報を把握・分析している（図 2、3)。

前述の通り、柏の葉スマートシティでは、「環境共生」以外のテーマにも取り組んでいる。

「健康長寿」においては、疾病予防型の健康サービスを提供するテナントで構成された「街のすこやかステーション」を商業施設内の 1 フロアに設けている。とりわけ特徴的な施設として、東京大学と民間企業による産学共同研究プロジェクト（Healthcare Innovation Project＝HIP）から生まれた「まちの健康研究所　あした」が挙げられる。この施設では、「あるく（運動)、しゃべる（交流)、たべる（食事)」という健康に欠かせない基本的な要素が生活へ自然に根付かせるために健康に関する知識の啓蒙活動やイベントを行いながら住民参加型の街の健康づくり拠点として機能している。

「新産業創造」テーマにおいては、「柏の葉オープンイノベーションラボ（Kashiwa-no-ha Open Innovation Lab = KOIL)」という、イノベーションを誘発するためのオフィス環境とベンチャー企業育成のプラットフォームを整備している。この「KOIL」では、多様な人材の交流からイノベーションを誘発する為の様々な空間やプログラムが設けられている。1 人からの起業にも対応する 170 席のコワーキングスペース「KOIL パーク」、アイデアをプロトタイプ化するために 3D プリンターやレーザーカッターを始めとした工作ツールを完備した「KOIL ファクトリー」等の施設のほか、「メンター」と呼ばれる専門家によるアドバイスや「エンジェル」と呼ばれる出資者による支援機会の獲得などの実践型創業支援プログラムも提供し、ハード・ソフト両面でベンチャー起業家をバックアップしている。

これら 3 つのまちづくりテーマにとどまらず、ゲートスクエアには海外からの研究者や留学生を中心に国際交流を促進するシェアハウス型賃貸住宅（柏の葉インターナショナルビレッジ）等の施設もあり、2030 年に向けたまちづくりの第 1 ステージの集大成として、国内外から大いに注目を集めており、開業以来、年間 4000 名以上の視察者が訪れている。

6. 2030 年ビジョン（「世界の未来像」実現へ）

現在、柏の葉スマートシティの開発は第 2 ステージへ移行し、駅前中核街区からエリア全体へ拡大したマスタープランづくりに着手している。

なかでも、約 60 ha の地域を重点エリアとして定め、これを 3 つのゾーン（①イノベーションキャンパス、②駅前中核、③大学共生）に分けているが、特に①を重点新規開発ゾーンと位置付け、計画推進中である。

イノベーションキャンパスゾーンのキーワードは、「ミクストユースの街づくり」と「水と緑にあふれたアーバンデザイン」である。「ミクストユース」とは、職・住・遊・学といった多種多様な用途が街に融合し域内の昼夜間人口が適切なバランスを保つ事によって賑わいと活力に溢れた街づくりが実現した状態である。これに自然豊かで快適な水辺空間等の環境が整備されることにより、住民・企業・研究者・大学関係者などの多様なコミュニティの交流を促し、新たな産業を共創するオープンイノベーションの土壌づくりを目指す。

7. 最後に（今後のまちづくりの方向性）

このように、柏の葉では、推進方法や施設計画等において、従来のまちづくりとは大きく異なっている。公・民・学の連携によって多様な関係者が街づくりに関わり、将来に渡ってサステイナブルなビジネスモデルとコミュニティの実現を目指している。

また、中核的な存在として大学が街づくりに参加している意義は大きく、他の関係者（行政・企業・市民）に対し中立的かつ助言者の役割を果たしている点は、円滑に事業を推進する大きな要因ともなっている。

第 1 ステージで達成した成果を更に発展させるべく、3 つのテーマを軸に意欲的な課題を設定し、世界の未来像の実現を目指しており、今後もご期待を頂きたい。

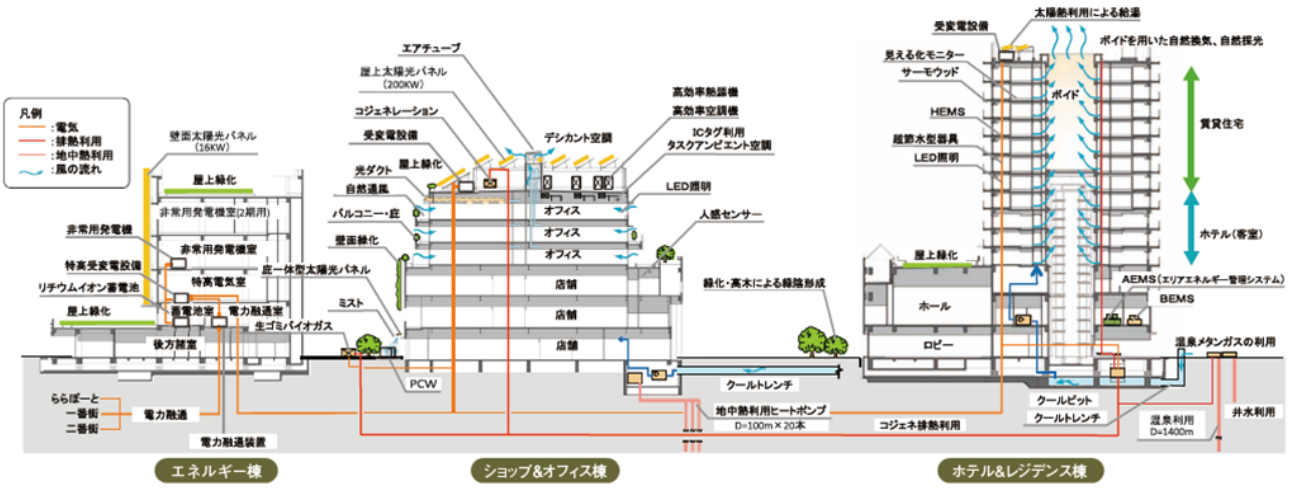


図 1　ゲートスクエアにおける省 CO_2 対策



図 2　柏の葉スマートセンター



図 3　街区間電力融通

タイムテーブル

1日目　3月2日(水)

	A会場	B会場	C会場	D会場	E会場
9:00-9:20	農水産・食品(1)	エネルギー (1)	消費者・消費行動(1)	木質・バイオマス(1)	
9:20-9:40					
9:40-10:00					
10:00-10:20					
10:20-10:40	休憩				
10:40-11:00	農水産・食品(2)	エネルギー (2)	消費者・消費行動(2)	木質・バイオマス(2)	都市・地域(1)
11:00-11:20					
11:20-11:40					
11:40-12:00					
12:00-13:10	昼休み				
	M会場				
13:10-13:20	主催者挨拶				
13:20-14:20	K-1 [基調講演]				
14:20-15:20	K-2 [基調講演]				
15:20-15:40	休憩				
15:40-16:00	特別セッション：鉛フリーはんだ搭載製品のライフサイクル評価と今後の展望(1)	自動車(1)	物質循環	土地・水	ケーススタディ (1)
16:00-16:20					
16:20-16:40					
16:40-17:00	休憩				
17:00-17:20	特別セッション：鉛フリーはんだ搭載製品のライフサイクル評価と今後の展望(2)	自動車(2)	金属二次資源の活用	ウォーターフットプリント/エコロジカルフットプリント	
17:20-17:40					
17:40-18:00					

食品ロス低減のための野菜の利用状況に関する考察

An inquiry on the vegetable consumption situation for mitigation of food loss

○西本圭佑*[1)]、堂脇清志[1)]、小井土賢二[1)]
Keisuke Nishimoto, Kiyoshi Dowaki, Kenji Koido
1）東京理科大学
* 7414619@ed.tus.ac.jp

1. 背景・目的

我が国では、年間約 1,700 万トン食品廃棄物が出されているが、そのうち、食品ロスは約 500～800 万トンと試算されており、事業系廃棄物量に比べ、家庭系の廃棄物の方が大きいことがわかっている。このような家庭からの食品ロスは、過剰除去、直接廃棄、食べ残しが主な原因であり、消費者一人一人が、毎日の生活を見直し、今後、食品ロスの削減のための行動を開始していく必要があるとされている。また、食品別の食品ロス率をみると、野菜類が 8.8%と最も高く[1)]、家庭内での食事、特に野菜を用いた料理を考慮する必要がある。

以上の背景より、本研究では、野菜料理に関して、家庭内における食品ロス削減策について、LCA 手法を用いて評価することを目的とする。すなわち、実際に被験者の行動による CO_2 排出量を算出し、食品ロスが生じたときの環境影響(環境効率)を検討する。なお、本研究で対象とする各料理のカロリーについては、カロリーメーター計測器(図 S1 参照)を用いて測定した。として求める。また、環境効率(kcal/g-CO_2)を求めることにより、各料理の環境効率の指標化を行うこととした。

2. 条件設定及び手法

2.2 調査範囲の設定

本研究では、被験者を千葉県在住の 50 代主婦(3 人世帯)を対象とし、調査内容については、キャベツ(１玉)、トマト(１パック)及びニンジン(１袋)を購入し、食材を使い切るまでのメニューの CO_2 排出量を算出する（図 1、S2、S3 参照)。

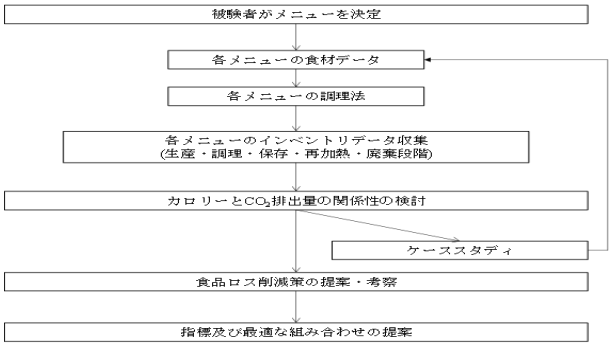


図 1 本研究の分析フロー

2.2 本研究のシステムバウンダリー

次に、これまで述べてきた背景や条件を考慮し、本研究におけるシステムバウンダリーを図 2 に示す。各メニューを作る上での CO_2 排出量は、食材の生産段階、調理段階、消費段階、廃棄段階での CO_2 排出量を合計して算出する。

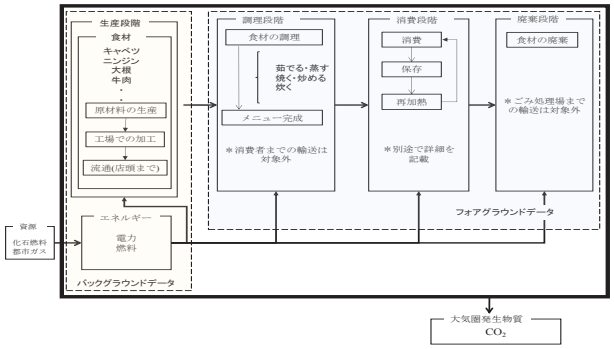


図 2 本研究におけるシステムバウンダリー

2.3 機能単位

LCA で製品を比較する場合には、機能を同一にして比較することが基本となっている。機能はその製品が提供する価値であり、機能が同一であれば、環境影響が小さいほど好ましいものと判断できる。本研究では、機能単位を 1kcal 摂取する当たりの CO_2 排出量[g-CO_2/kcal]とした。

3. 各メニューの CO_2 排出量の算出

3.1 各食材の生産段階における CO_2 排出量

まず、各食材の生産段階における CO_2 排出量については、味の素株式会社の食品関連材料 CO_2 排出量排出係数データベースあるデータを用いて、本研究で対象とする食材の使用量に CO_2 排出原単位を乗じることで、各メニューの CO_2 排出量を求めた（式(1)参照）[2)]。

$$\text{生産段階の}CO_2\text{排出量}[\text{g-}CO_2] = \text{食材使用量}m_i[\text{g}] \times \text{各食材の}CO_2\text{原単位}m\_CO_{2_i}[\text{g-}CO_2/\text{g}] \quad (1)$$

3.2 各食材の調理段階における CO_2 排出量

次に、調理段階における CO_2 排出量については、ガスコンロ使用におけるエネルギー消費量より算出する。ここでのエネルギー消費量は、調理時間がわかっているため、調理時間とガスコンロの各火加減による出力を乗じたものとする（式(2)、表 S1 参照）[3)]。

$$\text{調理段階の}CO_2\text{排出量}[\text{g-}CO_2] = T[s] \times W_i[\text{W}] \times \text{都市ガス}CO_2\text{原単位}[\text{g-}CO_2/\text{J}] \quad (2)$$

ここで、T、*Wi*は、ガスコンロ使用時間[s]、各火加減による出力[W]である(表 S1、S2 参照)。

3.3 消費段階における CO_2 排出量

ここでは、収集したフォアグラウンドデータをもとに保存と再加熱における CO_2 排出量を算出した(式(S1)～(S4)参照)。

3.4 各食材の廃棄段階における CO_2 排出量

最後に、廃棄段階における CO_2 排出量を算出した。まず、本研究で扱う廃棄とは、食材の不可食部分の廃棄おける CO_2 排出量と可食部分の食品ロス量における CO_2 排出量の合計のことであり、式(3)より算出した。

廃棄段階におけるCO_2排出量[g-CO_2] (3)
=(調理くず量＋食べ残し量＋直接廃棄量)[g]×食品廃棄CO_2原単位[g-CO_2/g]

4. 分析結果・考察

4.1 各メニューの CO_2 排出量

3.1～3.4 の条件から、各メニューの CO_2 排出量を求めた。図 3 に、キャベツ 1 玉(900g)を使い切ったときの各メニューの CO_2 排出量の結果を示す。

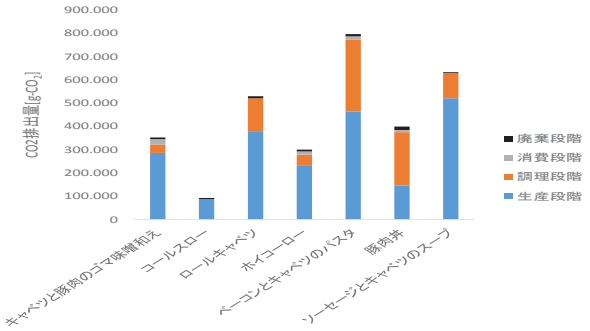


図 3 各メニューの CO_2 排出量(キャベツ)

図 3 の結果から、各メニューの CO_2 排出量は生産段階での CO_2 排出量が大きいことがわかる。また、廃棄段階での CO_2 排出量は全体的には小さいが、廃棄した分のカロリー分を他の食事で補うと仮定すると、他の食事を作る際に生じる、生産段階、調理段階での CO_2 排出量が間接的に廃棄段階に考慮する必要があるため、無視することができない。図 4 は、各メニューを 1kcal 当たりの CO_2 排出量として算出した結果である。

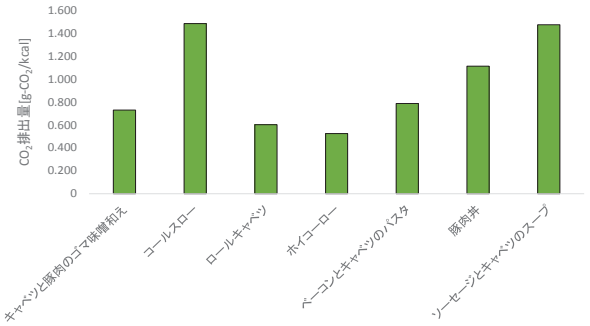


図 4 各メニュー1kcal 摂取する当たりの CO_2 排出量

図 4 より、1kcal 当たりの CO_2 排出量はホイコーローが最も小さく、0.525g-CO_2/kcal であり、一方、コールスローが 1.484g-CO_2/kcal と最も大きくなった。このことをわかりやすくするために、指標作りの観点からも環境効率という考え方を用いる。

4.2 環境効率

製品が環境へ与える負荷を製品が提供する価値と比較する考え方が環境効率である。価値が同じ製品の環境負荷を少なくするだけではなく、同じ環境負荷でより多くの価値を提供する製品を開発するという積極的な考え方が含まれる。本研究における製品とは、メニューであり、価値とは摂取 kcal であるため、環境効率を摂取 kcal/ CO_2 排出量 g-CO_2 とする。以後、これを環境ポイントと呼ぶ。環境ポイントが大きいということは、同じ CO_2 排出量を排出する上で、パフォーマンス能力が高いメニューだということがわかる。ここで、表 2 に環境ポイントの結果を示す。

表 2 各メニューの環境ポイント(キャベツ)

	環境ポイント
キャベツと豚肉のゴマ味噌和え	1.4
コールスロー	0.7
ロールキャベツ	1.7
ホイコーロー	1.9
ベーコンとキャベツのパスタ	1.3
豚肉丼	0.9
ソーセージとキャベツのスープ	0.8

本研究の分析結果から、ホイコーローの環境ポイントが高く、コールスローの環境ポイントが低いという結果が得られた。また、本研究で調査したフードロスの主な原因としては、一度保存を行い、見た目で品質が劣化したと感じたために、そのまま廃棄するケースが目立った。さらには、カロリーによって食する頻度がかわり、保存期間が延びる、あるいは食の好みによって、多く消費する、保存するという行動があったためだと考えられる。今後の課題としては、これらの行動を考慮したケーススタディを行う必要がある。

引用文献

1) 農林水産省：”食品ロス統計調査(世帯調査・外食産業調査)の概要”,農林水産省ホームページ,(オンライン), 入手先 <http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/syokuhin_loss/gaiyou/index.html#1>(参照 2015-8-31)
2) 味の素株式会社:”味の素グループ版（食品関連材料 CO_2 排出係数データベース”,味の素株式会社ホームページ,(オンライン), 入手先 <http://www.ajinomoto.co.jp/activity/kankyo/pdf/2010/lcco2.pdf>(参照 2015-12-15)
3) 東京ガス株式会社:”都市ガスの CO2 排出係数”,東京ガスホームページ,(オンライン), 入手先 <http://www.tokyogas.co.jp/env/gas/category10.html>(参照 2015-8-31

Supporting Information



図 S1 カロリー計測器



図 S2 使用材料(キャベツと豚肉のゴマ味噌和え)



S3 完成したメニュー
(キャベツと豚肉のゴマ味噌和え)

表 S1 ガスコンロの詳細

品名	RN-463D-MCHR
型式名	RBG-35BT
種類	グリル付ドロップインコンロ
外形寸法	高さ255mm×幅596mm×奥行545mm
重量	21.5kg
火加減による出力	
強火	4.2KW
中火	2.45KW
弱火	2.0KW
グリル	2.0KW

表 S2 本研究におけるバックグラウンドデータ [1)]
(CO_2 原単位)

食材の生産段階CO_2原単位[g-CO_2/g]	
キャベツ	0.189
トマト	0.710
ニンジン	0.278
・	
・	
一般電力のCO_2原単位[g-CO_2/Wh]	0.559
都市ガスのCO_2原単位[g-CO_2/J]	4.9.E-05
食品廃棄CO_2原単位[g-CO_2/g]	0.162

1. 消費段階における CO_2 排出量

ここでは、収集したフォアグラウンドデータをもとに保存と再加熱における CO_2 排出量を算出する。

①保存における CO_2 排出量

ここでは、食べ残しをした際に、冷蔵庫保存を仮定し、冷蔵庫使用における CO_2 排出量を算出する。

まず、容積 1L あたりの年間消費電力を CFP-PCR 策定のための分野別ガイド“生鮮食品”の研究法 [2)]を用いて算出する。冷蔵庫の年間消費電力量(カタログ値)を定格内容積で除算し、負荷量を定格内容積の 70 % として算出し、得られた値である 0.40 KWh/年 を容積 1 L あたりの年間消費電力量とする。この値と保存容積、保存時間により、保存における消費電力量を求めることができる(式(S1)、(S2)参照)。使用する冷蔵庫は東芝の GR-NF425CK であり、定格内容積が 415L、年間消費電力量が 240KWh である。

消費電力量[kWh]＝保存容積[L]×保存時間[h]×0.40[KWh]/365[日]/24[h] (S1)

保存におけるCO_2排出量[g- CO_2]
＝消費電力量[Wh]×一般電力のCO_2原単位[g- CO_2/Wh] (S2)

②再加熱における CO_2 排出量

ここでは、再加熱の際の電子レンジ使用で発生する CO_2 排出量を算出する(式(S3)、(S4)参照)。使用する電子レンジは Sharp 社の AX-CX3 であり、出力は 500W である。

消費電力量[Wh]=使用時間[h]×出力[W] (S3)

再加熱におけるCO_2排出量[g- CO_2]
=消費電力量[Wh]×一般電力のCO_2原単位[g- CO_2/Wh] (S4)

表 S3　本研究におけるフォアグラウンドデータ(キャベツと豚肉のゴマ味噌和え)

使用食材名	使用量[g]	カロリー[kcal]	食材の除去量[g]	総食べ残し量[g]	保存時間[h]	保存容積[L]	電子レンジ使用時間[min]	ガスコンロ使用時間[s]	火加減
ピーマン	70	14	8	0	8	0.68	5	300	中火
キャベツ	158	38	15			皿の半径[cm]			
ごま	12	72				15			
しめじ	61	10	19			高さ[cm]			
豚肉	80	309				3			
みそ	10	19							
砂糖	5	20							
醤油	5	1							

引用文献

1)環境省: “平成 22 年度の電気事業者ごとの実排出係数・調整後排出係数等の公表”(オンライン),環境省ホームページ入手先,<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=14702>(2015-8-31)

2)CFP-PCR 策定のための分野別ガイド “生鮮食品”CFP プログラムホームページ,(オンライン),入手先,<https://www.cfp-japan.jp/common/data_news/000497/1339497169.pdf>

低炭素農法を目的とした野菜生産における機能性と環境性による複合指標の提案

A proposal of the combined index of functionality and environmental aspects on the low-carbon agricultural harvest system

○大井隆史*1)、北畑信隆 1)、小井土賢二 1)、堂脇清志 1)
Takashi Oi, Nobutaka Kitahata, Kenji Koido, Kiyoshi Dowaki
1) 東京理科大学
7414604@ed.tus.ac.jp

1. はじめに

近年のグローバル化の進展により、さまざまな国のメニューにアクセスすることができるようになり、日本人の食生活が変化している。また、外食や中食の消費量が増加したため、いわゆる厚生労働省等が推奨している健康に配慮した食事からの適切な栄養摂取が困難となっており、そのため、近年ではカロリーや塩分を重視した食事が多く、ビタミンなどの機能性栄養素を無視した食生活による生活習慣病患者が増加している。そのため、食を通じた疾病予防を促進する動きがでている 1)。

一方、地球規模での温暖化が深刻化しており、農業においても環境対応が必要となってきており、欧州等においては、食品の LCA 指標の導入が検討されている。我が国においては、古在 2)は、各種資源・エネルギー利用効率について、LCA を用いて検討することが今後の課題であると述べ、椎名ら 3)は完全閉鎖型と半閉鎖型植物工場の LCA を行っている事例がある。また、小綿 4)は施設園芸の LCA の取り組みを報告しているが、建設段階の LCA に注目しており、生産段階についてはあまり詳細に述べていない。このように、施設園芸では、植物の生長を向上させるため、ガスボンベや軽油ボイラーによる熱及び CO_2 供給を行っているが、植物の CO_2 吸収量を LCA に反映させるような考察事例は少ない。

従って、本研究では、環境と健康による複合指標を定義し、施設園芸においてカーボンフリーCO_2 を施肥した場合と無施肥のホウレンソウの収量の関係と栄養素を植物実験により把握し、将来の健康面と環境面を考慮した農業生産の方策について検討する。

2. 実験手法

2.1. 生長実験

本実験は、本研究で対象としている農産物のホウレンソウと直接比較ができるシロイヌナズナを用いて行った。生長実験では、発芽のタイミングを調整し、CO_2 施用と無施用の 2 つのインキュベーター内で、それぞれ短日条件下で一定期間生長させた。

2.2. 栄養測定

本研究では、CO_2 施肥による生産量増加による植物中の成分変化について、確認することとした。ここでの内容成分は、機能性成分とし、ビタミン A の前駆体であるβカロテン、ビタミン C の前駆体であるアスコルビン酸、ビタミン E の前駆体であるトコフェロールである。β カロテンとトコフェロールについては島津社製 HPLC(高速液体クロマトグラフィー)で、アスコルビン酸については、コスモバイオ社製の定量キットを用いて定量分析を行った。

3. 評価手法

3.1. 生長解析

CO_2 施肥による光合成促進によって、生長が促進されるため、実験で得られたデータから生長解析を行う。生長解析では、生長が福利的で固体サイズに依存するという植物の特徴を踏まえ、生長を相対成長速度(relative growth rate, RGR)で表す((1)式参照)。

$$RGR = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

ここで、W は固体全体の乾燥重量[g]、t は時間[h]である。RGR は SGR(specific growth rate)とよばれることもあり、農学的・生態学的に非常に有用な生長指標である 5)。

3.2. 環境負荷の算出

本研究の機能単位は、栄養成分と環境負荷を考慮することから、摂取量 1kg あたりとする。また、LCA を算定する際のモデル施設園芸は、山形県でホウレンソウを施設園芸で栽培しているN農家の産物とし、当該農家のデータを用いることとする。算定範囲は施設園芸での生産段階と出荷センターへの輸送、及び貯蔵と梱包などの出荷準備までとした。なお、施肥用の CO_2 は、バイオマス原料によるカーボンフリーの CO_2 とする。この CO_2 の供給方法等については、別途、報告することとしたい。

3.3. 複合指標としての環境効率の算出

まず、環境効率を次式のように定義した。

環境効率 = Score/CO_2排出量 (2)

ここで、Score は機能性栄養指標を表し、次式のように定義した。

$$Score = \left\{\sum_{i=1}^{3}\left(\text{重み係数 i} \times \frac{\text{栄養含有量 i}}{\text{推奨量 i}}\right)\right\} \Big/ \left\{\sum_{i=1}^{3}\text{重み係数 i}\right\} \quad (3)$$

なお、(3)式の推奨量は厚生労働省の栄養摂取基準であり、重み係数は平均栄養摂取量を推奨量から除したものである。これにより、栄養バランスを考慮した指標となる。

4. 結果

4.1. 生長測定結果

次に、図 1 に RGR の結果を示す。CO_2 施肥のケースの方が、生長速度が速いことが分かる。この場合、無施肥の場合に比して収量は約 1.49 倍増加した。

4.2. LCA 推定結果

基準とする N 農家の CO_2 排出量はホウレンソウ 1kg あたり 0.462 kg-CO_2eq./kg となった。これに、カーボンフリーCO_2 を供給した場合、0.262 kg-CO_2 eq./kg となった。

4.3. 栄養測定結果

HPLC で β カロテン及びトコフェロールを測定した結果、トコフェロールはシロイヌナズナに含有していなかったため、測定できなかった。そのため、ここでは β カロテンの測定結果を図 2 に示す。この結果から、CO_2 施肥栽培と CO_2 無施肥栽培での 1kg あたりの栄養含有率は変わらないと判断された。

4.4. 環境効率算定結果

以上の結果から、まず(3)式による Score は、従来ケースのホウレンソウのスコアは 44.7 点となった。これに、生長実験と栄養測定結果を考慮した場合について、カーボンフリーCO_2 に施肥及び無施肥の栽培を比較した場合、環境効率は 95.3 点/kg-CO_2eq.、及び無施用の栽培では 66.8 点/kg-CO_2eq.という結果が得られた。

5. まとめ

以上より、従来から施設園芸で実施されている、但し、コスト面で制約が大きいとされる CO_2 施肥について、本研究の結果から明らかなように栄養含有率変化させずに生長速度を早め、収量を約 1.49 倍増加させることができ、環境負荷に対する栄養摂取率を向上させることができる。この結果は、バイオマスのような地産地消の再生可能エネルギーシステムと施設園芸との複合化により、欧州で導入されつつある環境制約にも十分対処できる可能性があり、今後、TPP 等による農産物のグローバル化にも視野に入れつつ、その実施方法について検討していきたい。

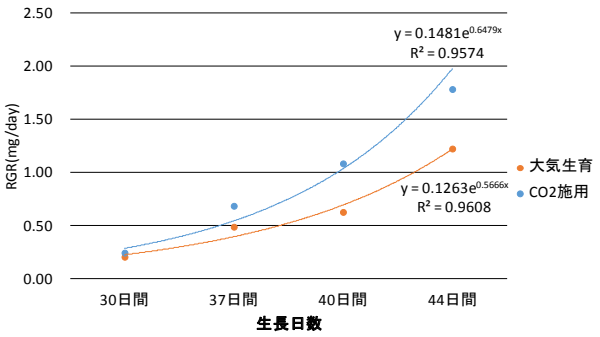


図 1 生長速度

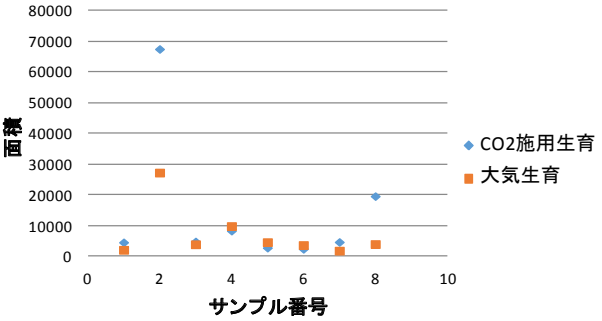


図 2 β カロテンの含有率

引用文献

1) 農林水産省, 12 年 5 月号, 特集 1 食の未来を支える, 食糧自給率 (3) <http://www.maff.go.jp/j/pr/aff/1205/spe1_03.html>(参照 2016-1-6)
2) 古在豊樹, 太陽光型植物工場, オーム社
3) 椎名武夫、他, 植物工場生産野菜のライフサイクルインベントリー分析, 第 6 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集(2011 年 3 月)
4) 小綿寿志, LCA 手法を用いた施設園芸の環境影響評価の取り組み, 農林水産技術研究ジャーナル 31(8), 2008. pp.36-40
5) 北海道大学, 長嶋寿江, 植物のサイズと成長:成長解析

野菜の貯蔵効果を反映させた調理メニューの環境影響効果

An impact assessment of food menu in consideration of the storage effect for vegetables

○井手啓介*1)、大野彰之 1) 、北畑信隆 1) 、小井土賢二 1) 、堂脇清志 1)

Keisuke Ide, Akiyuki Ohno, Kitahata Nobutaka, Kenji Koido, Kiyoshi Dowaki

1）東京理科大学

*7415603@ed.tus.ac.jp

1. 背景・目的

近年、人々の健康意識の高まりから、食品に関する安全性や健康に留意した野菜の機能性に対する注目が集まっている。一方、野菜が市場に流通する際には、環境への配慮がなされたエコラベルやカーボンフットプリントなどのLCAベースによる環境表示も重要視されつつある。

そこで、本研究では、野菜に多く含まれる栄養素である抗酸化ビタミンを栄養スコアと野菜を用いたメニューを生産・調理するのに排出されるCO_2排出量との関係を表した新たな指標(環境効率指標)を提案することとした。この環境効率とは、生産・調理されたメニューがいかに環境に負荷を与えるかに対して、栄養を摂取できるのかを表す指標であり、メニュー間の比較を可能とし、どのような具材を用いたメニューであれば、環境効率が良くなるのかを示す指標となる。本研究では、さらに、具材の品質劣化に着目し(ここでは、野菜に注目することとし、ホウレン草による貯蔵実験を実施した)、貯蔵による品質劣化(栄養素の欠損)の影響と貯蔵に必要なCO_2排出量との関係についても考慮することで、貯蔵方法、具材の摂取方法との関係性を調査することを目的とする。

$$\text{環境効率} = \frac{\text{栄養スコア}}{CO_2\text{排出量}} \quad (1)$$

2. システムの仕様と機能単位及びシステム境界

2.1 対象とする調理メニュー

本研究では、栄養素が豊富な野菜であるホウレン草を対象とし、このホウレン草を使用したメニューを食事レシピサイトの Bob & Angie[1]により主菜としてホウレン草を用いたメニューを調査した。これにより、LCA 視点に基づいたホウレン草の栽培から消費者の摂取までの一連のシステムの評価を行うことが可能となる。なお、メニューサイトの Bob & Angie は、大阪ガスクッキングスクールの運営で蓄積されたメニューが公開されており、栄養価、調理方法及び食材の使用量等のデータが示されている。

2.2 栄養スコア

厚生労働省の日本人の食事摂取基準[2]及び平成 25 年国民健康・栄養調査結果の概要[3]では、現在、日本人の栄養摂取推奨量及びその現状が示されている。これをもとに、本研究では、栄養スコアの対象として、体の老化をくいとめる力である抗酸化力(ビタミン A、ビタミン C 及びビタミン E)に注目し、各メニューにおける栄養素の不足率から栄養スコアを算出した。

2.3 機能単位及びシステム境界

次に、機能単位については、ホウレン草を具材とする調理メニュー1人分あたりとし、生産段階から消費段階を対象にしたシステム境界とした(図S1参照)。なお、消費者によるスーパーから自宅までの運搬や野菜の保存については境界に含んでいないことに注意されたい。

3. 算出方法

3.1 栄養スコアの算出

関連文献 [1),2),3)]より各メニューに含まれる抗酸化力と栄養摂取推奨量から不足率を算出し、その割合を 100 点換算にして栄養スコアを求めた(式(2)参照)。なお、各栄養素及び朝食、昼食、夕食の各食事による摂取に関するウエイトは均等であるとし、栄養摂取推奨量を上回っていた場合には 0 として計算した。

$$\text{栄養スコア} = 100 - \left(\sum_{i=1}^{3} \frac{\text{推奨量} - \text{メニューの栄養価}}{\text{推奨量}} \times 100 \right) \times \frac{1}{3} \quad (2)$$

3.2 生産段階

各食材の生産段階における CO_2 排出量については、味の素株式会社が作成した取引計量単位を基本とした食品関連材料 CO_2 排出係数データベース [4]及び味の素パークの食材の目安[5]にあるデータを用いた。これらのデータにより次式のように各メニューの CO_2 排出量を求めた(式(3)参照)。

$$\text{生産段階の}CO_2\text{排出量}[\mathrm{kg}-CO_2] = \text{食材使用量}[\mathrm{kg}] \times \text{各食材の}CO_2\text{排出係数}[\mathrm{kg}-CO_2/kg] \quad (3)$$

3.3 調理段階

次に、調理段階における CO_2 排出量については、一般家庭で使用されているガスコンロ(リンナイ RN-463D-MCHR)のエネルギー消費量より、表 1 に示す火加減を考慮し、これに調理時間を乗じることにより評価した(式(4)参照)。

$$\text{調理段階の}CO_2\text{排出量}[\mathrm{kg}-CO_2] = \text{調理時間}[\mathrm{s}] \times \text{火加減による出力}[\mathrm{W}] \times \text{都市ガス}CO_2\text{排出係数}[\mathrm{kg}-CO_2/\mathrm{J}] \quad (4)$$

表 1 火加減による出力

強火	4.20KW
中火	2.45KW
弱火	2.00KW

なお、ガスコンロは、都市ガス(13A)[5]を使用することとし、本研究においてはホウレン草を対象にしているためホウレン草を調理するのにかかった CO_2 排出量のみを考慮した。複数の食材を同時に調理する際には、重量比によって按分した値とした。

3.4 貯蔵実験

次に、本研究では、貯蔵期間による品質劣化を考慮した分析を試みた。この理由としては、食材の購入量や消費量の関係もあるが、通常、購入当日に必要な消費量よりも多く購入することが一般的であり、余剰分は冷蔵庫等で貯蔵することとなる。この場合、冷蔵庫のエネルギー消費量による CO_2 排出量も考慮する必要があるが、同時に、食材の含まれる各栄養素は、冷蔵庫の中に数日間貯蔵されることにより変化するため、ここでは、冷蔵条件によりホウレン草に含まれるビタミン C がどのように変化するのかを観測した(装置概要等は表 S1、S2 及び図 S2 参照)。

4. 結果

図 1 に各メニューを生産・調理するのに排出した CO_2 排出量及び栄養スコアを加味した環境効率の結果を示す。すべてのメニューにおいて調理段階よりも生産段階の CO_2 排出量が多く、全体における大きな割合を占める結果となった。次に、貯蔵実験におけるホウレン草のビタミン C の推移を測定した結果を図 2 に示す。なお、貯蔵前の測定値 41.6mg/100g 可食部を 100%とした。グラフから貯蔵温度が低ければ低いほど残存率が高く、3 日後から 6 日後に対して初日から 3 日後に大きく残存率が下がることが分かった。

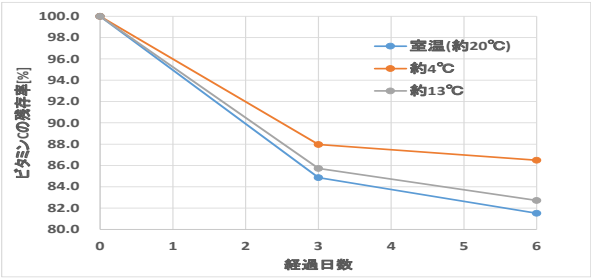


図２ ビタミンＣの推移

この測定結果から各メニューにおけるホウレン草使用量を考慮した場合のビタミン C 変化量の 3 例を図 3 に示す。ホウレン草入りドライカレーのように一人分の使用量が少ないメニューでは 0.9mg ほどの減少であり、ホウレン草とベーコンのリゾーニの使用量が大きいメニューでは 3.7mg ほど減少した。また、メニュー全体としては 3、6 日後いずれも約 90%ほどに落ちることが分かった。

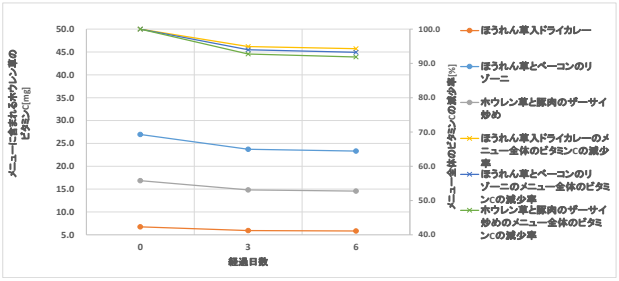


図３ホウレン草中のビタミンＣ含有量の経過日数変化量及びメニュー全体のビタミンＣの変化量
(貯蔵条件：4℃、3 メニューを例として)

今後は、残りの抗酸化力における測定及びに調理方法による栄養素の変化に注目していく予定である。

5. 謝辞

本研究では冷蔵実験を行うにあたり実験装置の提供等、丸八空調工業株式会社様及びジャペックスエネルギー様に多大なるご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

1)Bob&Angie(オンライン),入手先<http://www.bob-an.com/>,(2016-01-03)
2)厚生労働省”「日本人の食事摂取基準2015 年版策定検討会」報告書(オンライン),入手先<http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/0000041824.html>,(2016-01-03)
3)厚生労働省,”国民健康・栄養調査結果の概要(平成25 年)”,(オンライン),入<http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/kenkou_eiyou_chousa.html>,(2016-01-03)
4)味の素株式会社,”味の素グループ版「食品関連資料CO2排出係数データベース」”,(オンライン)入手先<http://www.ajinomoto.co.jp/activity/kankyo/pdf/2010/lcco2.pdf>,(2016-01-03)
5)東京ガス,”都市ガスの CO_2 排出係数”,(オンライン)”<http://home.tokyo-gas.co.jp/userguide/netsuryou.html>,(2016-01-03)

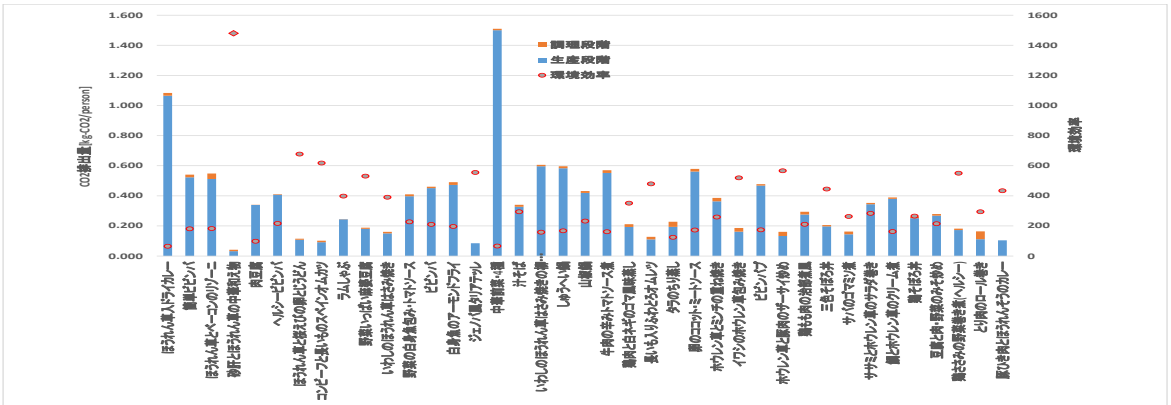


図１　各メニューにおける CO_2 排出量及び環境効率

Supporting　Information(SI)

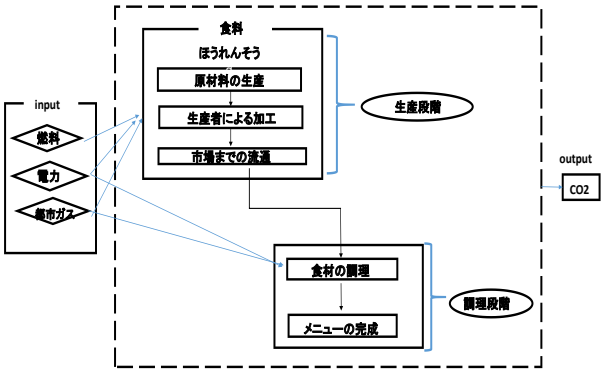


図 S1　本研究のシステム境界

表 S1　ビタミン C 定量キットの概要

品名	Vitamin C, Array kit
メーカー	SML 株式会社シマ研究所
品番	R01K02

表 S2　実験条件

冷蔵庫規格	品番	SMR-V1241NB
	容量	0.2237m^3
	性能	5～15℃(温度は温度計により実測) (ツマミによる調節：弱・強)
	消費電力	166W
実験条件	実験期間	2015 年 12 月 15 日～2016 年 1 月 3 日
	対象野菜	ホウレン草
	サンプル量	200g/回



図 S2　冷蔵装置の概要

表 S3　対象メニューの CO_2 排出量、環境効率及び各メニューでの
貯蔵日数によるビタミン C の変化

No.	メニュー名	生産段階	調理段階	合計[kg-CO_2]	栄養スコア	環境効率	各メニューに含まれるほうれんそうのみのビタミンC[mg]	室温_3日後	室温_6日後	4℃_3日後	4℃_6日後	13℃_3日後	13℃_6日後
1	ほうれん草入ドライカレー	1.066	0.018	1.084	71	65	6.7	5.7	5.5	5.9	5.8	5.8	5.6
2	簡単ビビンバ	0.523	0.018	0.541	98	181	11.2	9.5	9.2	9.9	9.7	9.6	9.3
3	ほうれん草とベーコンのリゾーニ	0.512	0.036	0.548	100	182	27.0	22.9	22.0	23.7	23.3	23.1	22.3
4	砂肝とほうれん草の中華和え物	0.033	0.009	0.042	62	1480	5.6	4.8	4.6	4.9	4.9	4.8	4.6
5	肉豆腐	0.339	0.001	0.340	33	98	5.6	4.8	4.6	4.9	4.9	4.8	4.6
6	ヘルシービビンバ	0.407	0.004	0.411	89	217	13.5	11.4	11.0	11.9	11.7	11.6	11.1
7	ほうれん草と桜えびの卵とじうどん	0.108	0.006	0.115	78	677	11.2	9.5	9.2	9.9	9.7	9.6	9.3
8	コンビーフと長いものスペインオムカツ	0.092	0.010	0.102	63	617	13.5	11.4	11.0	11.9	11.7	11.6	11.1
9	ラムしゃぶ	0.244	0.001	0.245	98	398	5.6	4.8	4.6	4.9	4.9	4.8	4.6
10	野菜いっぱい麻婆豆腐	0.181	0.008	0.188	100	531	22.5	19.1	18.3	19.8	19.4	19.3	18.6
11	いわしのほうれん草はさみ焼き	0.151	0.010	0.161	63	390	5.6	4.8	4.6	4.9	4.9	4.8	4.6
12	野菜の白身魚包み・トマトソース	0.397	0.013	0.410	93	227	5.6	4.8	4.6	4.9	4.9	4.8	4.6
13	ビビンバ	0.451	0.009	0.460	97	210	11.2	9.5	9.2	9.9	9.7	9.6	9.3
14	白身魚のアーモンドフライ	0.473	0.018	0.491	96	197	11.2	9.5	9.2	9.9	9.7	9.6	9.3
15	ジェノバ風タリアテッレ	0.085	0.000	0.085	47	555	1.3	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.1
16	中華前菜・4種	1.501	0.009	1.510	100	66	11.2	9.5	9.2	9.9	9.7	9.6	9.3
17	汁そば	0.327	0.013	0.340	100	294	22.5	19.1	18.3	19.8	19.4	19.3	18.6
18	いわしのほうれん草はさみ焼きの柳川風	0.596	0.009	0.606	96	158	5.6	4.8	4.6	4.9	4.9	4.8	4.6
19	しゅうへい鍋	0.583	0.013	0.596	100	168	5.6	4.8	4.6	4.9	4.9	4.8	4.6
20	山椒鍋	0.419	0.012	0.431	100	232	5.6	4.8	4.6	4.9	4.9	4.8	4.6
21	牛肉の辛みトマトソース煮	0.552	0.018	0.570	92	161	11.2	9.5	9.2	9.9	9.7	9.6	9.3
22	鶏肉と白ネギのゴマ風味蒸し	0.193	0.018	0.211	74	351	11.2	9.5	9.2	9.9	9.7	9.6	9.3
23	長いも入りふわとろオムレツ	0.111	0.017	0.127	61	480	5.6	4.8	4.6	4.9	4.9	4.8	4.6
24	タラのちり蒸し	0.194	0.034	0.228	28	125	5.6	4.8	4.6	4.9	4.9	4.8	4.6
25	卵のコットミートソース	0.561	0.018	0.579	100	173	22.5	19.1	18.3	19.8	19.4	19.3	18.6
26	ホウレン草とミンチの重ね焼き	0.363	0.023	0.386	100	259	11.2	9.5	9.2	9.9	9.7	9.6	9.3
27	イワシのホウレン草包み焼き	0.162	0.024	0.186	97	519	11.2	9.5	9.2	9.9	9.7	9.6	9.3
28	ビビンバ	0.468	0.009	0.477	83	174	11.2	9.5	9.2	9.9	9.7	9.6	9.3
29	ホウレン草と豚肉のザーサイ炒め	0.133	0.028	0.161	91	566	16.8	14.3	13.7	14.8	14.6	14.4	13.9
30	鶏もも肉の治部煮風	0.276	0.018	0.294	62	211	5.6	4.8	4.6	4.9	4.9	4.8	4.6
31	三色そぼろ丼	0.197	0.009	0.206	92	445	11.2	9.5	9.2	9.9	9.7	9.6	9.3
32	サバのゴマミソ煮	0.145	0.018	0.163	43	262	5.6	4.8	4.6	4.9	4.9	4.8	4.6
33	ササミとホウレン草のサラダ巻き	0.344	0.009	0.353	100	283	44.9	38.1	36.6	39.5	38.9	38.5	37.2
34	鯛とホウレン草のクリーム煮	0.380	0.009	0.389	63	163	5.6	4.8	4.6	4.9	4.9	4.8	4.6
35	鶏そぼろ丼	0.252	0.009	0.261	69	265	5.6	4.8	4.6	4.9	4.9	4.8	4.6
36	豆腐と肉・野菜のみそ炒め	0.268	0.011	0.279	60	214	11.2	9.5	9.2	9.9	9.7	9.6	9.3
37	鶏ささみの野菜巻き煮(ヘルシー)	0.173	0.009	0.182	100	550	22.5	19.1	18.3	19.8	19.4	19.3	18.6
38	とり肉のロール巻き	0.112	0.052	0.164	48	294	9.0	7.6	7.3	7.9	7.8	7.7	7.4
39	豚ひき肉とほうれんそうのカレー	0.104	0.000	0.104	45	433	6.7	5.7	5.5	5.9	5.8	5.8	5.6

有機栽培茶における健康成分を考慮した環境及び購買影響に関する統合指標の提案

A proposal of the integrated indicator of eco-burden and purchasing influence in consideration of health ingredients.

○小林涼*[1)]、神代紘希[1) 2)]、小井土賢二[1)]、堂脇清志[1)]
Ryo Kobayashi, Hiroki Kumashiro, Kenji Koido, Kiyoshi Dowaki
1) 東京理科大学, 2) Institut Teknologi Bandung
*7412053@ed.tus.ac.jp

1. 背景及び目的

地球温暖化は地球全体に深刻な影響を与える重要な問題とされており、早急な対策を講じる必要がある。国内の部門別 CO_2 排出量では産業部門が全体の約 3 割と最も多く、また産業部門の中でも国民の環境意識の低い食品部門の改善が必要である[1,2)]。今後、環境負荷の低い食品を普及させるべく、低環境負荷の要素と消費者の購買意欲が高い要素を兼ね備えた商品の推進が必要であると言えよう。そのため、近年消費者の食の健康志向が向上していることから、商品の環境負荷と健康影響を複合的に評価できる新たな指標が必要であろう[3)]。また、健康影響においてガン予防に効果的とされるカテキン[4)]を含有している緑茶に着目し、低環境負荷の要素を持つ食品として有機栽培農産物が挙げられることから、有機栽培茶を消費者の購買意欲が高い低環境負荷商品であると考えた。

以上より、健康成分を考慮した環境及び購買影響に関する新たな統合指標を提案し、有機栽培茶と従来の栽培方法で作られた慣行栽培茶に対して複合的な評価を行い、結果を比較することを本研究の目的とする。

2. 評価方法

本研究における研究概要図を図 1 に示す。以下、図 1 における本研究の各評価方法の説明を行う。

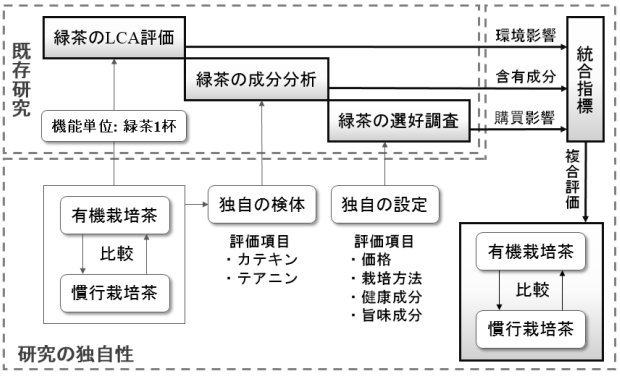


図 1 研究概要図

2.1 LCA（ライフサイクルアセスメント）

本研究では静岡県静岡市の山間地で茶の有機栽培を行っている A 農家及び慣行栽培を行っている B 農家を対象とし、ヒアリングデータを基に積み上げ法による環境負荷の算定を行った。Supporting Information (SI) に CO_2 排出原単位、各農家の詳細情報及びインベントリデータを示す。システム境界は図 2 の通りであり、機能単位は緑茶 1 杯の消費（90ml、製品 3g）とした。

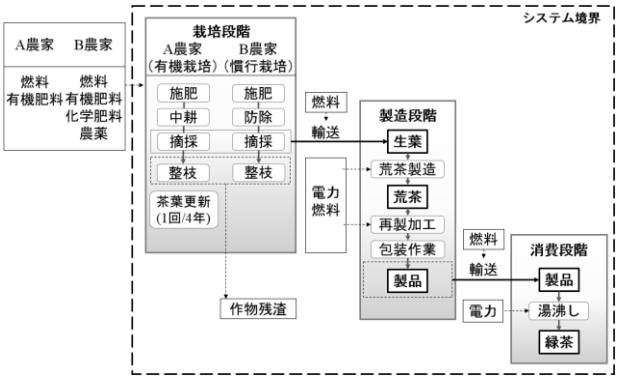


図 2 システム境界

2.2 成分分析

本研究ではデザイナーズフーズ株式会社に調査を依頼することで各農家の製品 100g 中のエピガロカテキンガレート（健康成分）及びテアニン（旨味成分）の定量分析を行った。

2.3 消費者選好調査

本研究ではオンライン上でアンケートを実施し、選択型コンジョイント分析を用いて緑茶の各要素 1%増加当たりの支払意思額を算出した(SI 参照)。また、調査対象は日本に居住する 40 歳以上かつ緑茶を 2 日に 1 杯以上飲んでいる 200 人とし、評価項目を価格、栽培方法、カテキン含有量及びテアニン含有量とした。

2.4 統合指標の提案

本研究で提案する統合指標では、CO_2 排出量の逆数 [杯/kg-CO_2eq]、カテキン含有量及びテアニン含有量 [mg/100g]を要素とし、各要素の 1%増加当たりの支払意思額を加重平均した値を評価値とした。また、統合指標における各要素の影響カテゴリがそれぞれ異なり、各要素の影響を異なる水準で評価する必要があるため、影響カテゴリに対する重み付けを行った[5)](SI 参照)。

有機栽培における統合指標の評価値 W_o 及び慣行栽培における統合指標の評価値 W_c の算出方法をそれぞれ式(1)、式(2)に示す。各式において、O_i、C_i はそれぞれ有機栽培茶、慣行栽培茶における各要素の値を示しており、S_i は各要素における支払意思額 [円]、T_i は各要素の影響カテゴリに対する重み付けを示している。

$$W_o = \sum \left(\frac{O_i}{C_i} \times S_i \times T_i \right) \quad (1)$$

$$W_c = \sum \left(1 \times S_i \times T_i \right) \quad (2)$$

3. 結果及び考察

3.1 LCA 結果

LCA 結果は図 3 の通りとなり、有機栽培茶は慣行栽培茶に対して緑茶 1 杯当たりの CO_2 排出量を約 40%削減していることが明らかになった。また、削減した CO_2 排出量において肥料製造、農薬及び窒素が約 85%を占めており、有機栽培の特徴である無農薬・無化学肥料によって環境負荷が低減されたと考えられる。

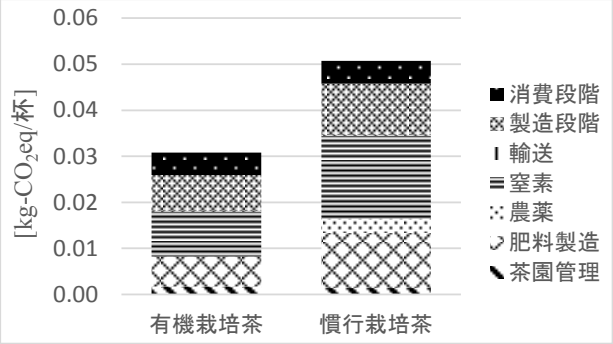


図 3 LCA 結果

3.2 コンジョイント分析結果

コンジョイント分析による緑茶の各要素 1%増加当たりの支払意思額は表 1 の通りとなった。

表 1 緑茶の各要素 1%増加当たりの支払意思額

有機栽培	0.87 円
カテキン	0.69 円
テアニン	0.16 円

3.3 統合指標による複合評価

統合指標による評価結果を図 4 に示す。図 4 では環境影響における差が要因となり、評価値では有機栽培茶が慣行栽培茶の約 1.4 倍の値となった。しかし、有機栽培緑茶は販売価格が高く比較的高価な嗜好品であるため、販売推進のターゲット層を絞る上で年齢差及び収入差を考慮する必要がある。そこで、年代及び世帯収入を考慮した有機栽培茶における評価結果を図 5 に示す。図 5 では有機栽培茶の評価値は年齢及び世帯収入と正の相関関係にあることが明らかになった。

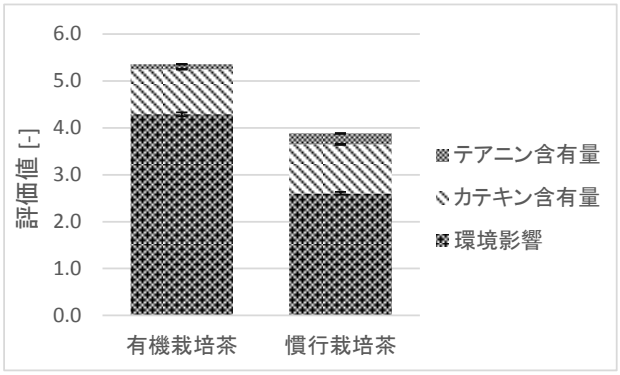


図 4 統合指標による評価結果

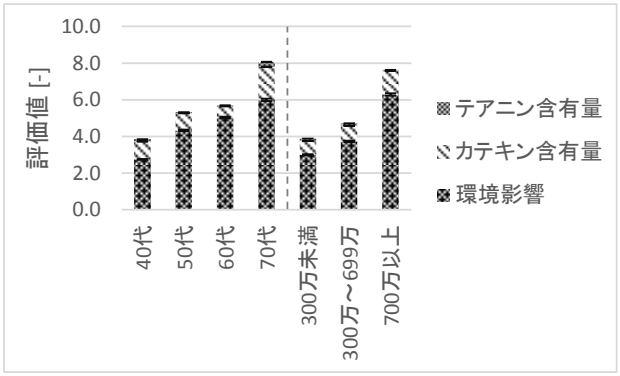


図 5 有機栽培茶の年代及び世帯収入別評価結果

4. 結論及び今後の課題

健康成分を考慮した環境及び購買影響に関する複合評価において、有機栽培茶の評価値は慣行栽培茶の約 1.4 倍となり、販売を推進する上では高年齢かつ高世帯収入である層をターゲットとするべきであることが明らかになった。

今後の課題として、統合指標の要素が持つ効用の細分化、より詳細な重み付けを行うこと等が挙げられる。

引用文献

1) 環境省：“2013 年度（平成 25 年度）温室効果ガス排出量（確報値）について”，(2015)，pp.4
2) 株式会社インテージ：“環境、経済、エネルギーに関する調査～消費者の環境意識と購買行動～”，調査レポート ライブラリ，（オンライン），入手先 <http://www.intage.co.jp/library/20100517/>，（参照 2015-12-21）
3) 株式会社日本政策金融金庫：“平成 27 年度上半期消費者動向調査（食の志向）”，(2015)
4) Saverio Bettuzzi，Maurizio Brausi，Federica Rizzi，Giovanni Castagnetti，Giancarlo Peracchia，Arnaldo Corti：Cancer research，66 (2)，(2006)，pp.1234-1240
5) Corinthias P. M. Sianipar，Gatot Yudoko，Kiyoshi Dowaki，Akbar Adhiutama：Sustainability，5 (8)，(2013)，pp.3382-3425

Supporting Information

2.1 LCA（ライフサイクルアセスメント）

表 S1 に各農家の詳細情報、表 S2 に各農家の栽培段階及び製造段階におけるインベントリデータ、表 S3 に CO_2 排出原単位を示す。

表 S1 各農家の詳細情報

項目	A 農家	B 農家
場所	静岡県静岡市清水区	
栽培面積	5.0ha	1.2ha
栽培条件	傾斜度 10 度以下、標高約 300m	
品種	やぶきた（中生）	
栽培方法	有機栽培	慣行栽培
年間摘採回数	3 回	1 回
年間生葉収量	約 27.1t	約 4.8t
製茶加工	自工場	自工場

表 S2 各農家の栽培・製造段階のインベントリデータ

作業	投入物	A農家	B農家	単位
茶園作業	ガソリン	12.0	8.3	L/10a
	軽油	24.8	-	L/10a
	混合油	1.0	8.3	L/10a
肥料	化学肥料	-	80.0	kg/10a
	有機肥料	400.0	320.0	kg/10a
農薬	液体	-	0.6	L/10a
N_2O直接排出	化学肥料	-	0.8	kgN/10a
	有機肥料	1.1	0.9	kgN/10a
	作物残渣	0.3	0.3	kgN/10a
輸送	トラック	3.9	2.9	t・km/10a
製品製造	電力	155.8	114.9	kWh/10a
	A重油	80.0	97.5	L/10a
	プロパンガス	7.0	6.7	kg/10a
	LPガス	1.0	-	kg/10a

表 S3 CO_2 排出原単位

項目	投入物	排出量	単位	出典
エネルギー	ガソリン	2.66	kg-CO_2eq/L	[S1]
	軽油	2.74	kg-CO_2eq/L	
	A重油	2.92	kg-CO_2eq/L	
	混合油	2.67	kg-CO_2eq/L	
	プロパンガス	3.57	kg-CO_2eq/kg	
	LPガス	3.57	kg-CO_2eq/kg	
	電力	0.48	kg-CO_2eq/kWh	
肥料	有機肥料(N成分)	1.15	kg-CO_2eq/kg	[S2]
	有機肥料(P成分)	0.86	kg-CO_2eq/kg	
	有機肥料(K成分)	0.15	kg-CO_2eq/kg	
	化成肥料(N成分)	3.27	kg-CO_2eq/kg	
	化成肥料(P成分)	2.44	kg-CO_2eq/kg	
	化成肥料(K成分)	0.44	kg-CO_2eq/kg	
農薬	液体	13.10	kg-CO_2eq/L	[S2]
窒素	N_2O直接排出	298.00	kg-CO_2eq/kg	[S3]
輸送	自家用小型車	3.44	kg-CO_2/t・km	[S4]
	営業用普通車	0.17	kg-CO_2/t・km	

図 2 のシステム境界において、再製加工の際に出る廃棄物、包装作業の際に使用する資材の生産及び包装資材の輸送重量、緑茶の消費に伴う廃棄物（茶殻）については、データの収集が困難であることから本研究では考慮しなかった。

輸送段階における環境影響評価について、本研究では製品の消費地を静岡市によって中心市街と認定されている葵区呉服町と想定した[S5]。そのため、各農家の工場から呉服町までの距離を Google マップで測定し、A 農家の製品輸送距離を D_1 [km]、B 農家の製品輸送距離を D_2 [km]とし、製品は営業用普通車により輸送されることを想定した。

以上の条件設定より、有機栽培茶の機能単位当たりの製品輸送における CO_2 排出量 X_1 [kg-CO_2/杯]及び慣行栽培茶の機能単位当たりの製品輸送における CO_2 排出量 X_2 [kg-CO_2/杯]の算出方法は以下の式(S1)の通りとなる。

$$X_i = 3 \times D_i \times 0.173 \times 10^{-6} \qquad \text{(S1)}$$

消費段階における環境影響評価について、本研究では電子ポットを用い、緑茶 1 杯に必要な湯の量を 90ml と想定した。また、沸騰時の消費電力が 1kW であるポットにおいて、2.2L の水を沸騰させるために必要な時間を 15 分とした[S6]。

2.3 消費者選好調査

アンケート調査では、属性と水準を表 S4 の通りに設定した。

表 S4 属性と水準

属性	水準			単位
価格	500	800	1000	円/100g
栽培方法	有機栽培	慣行栽培	-	
カテキン	60	80	115	mg/杯
テアニン	10	20	40	mg/杯

本研究では、EXCEL でできるコンジョイント(Version1.1)[S7]を用いて各属性が 1 単位増加したときの支払意思額である限界支払意思額を算出し、属性間の比較を可能にするため、各属性が 1%増加したときの支払意思額を算出した。その際、カテキンの 1%増加量を 0.6mg、テアニンの 1%増加量を 0.1mg とし、有機栽培については限界支払意思額に 0.01 を掛け合わせた

値を 1%増加当たりの支払意思額とした。また、分析結果の妥当性について、通常算出された支払意思額は実際の支払意思額よりも高い値となることが報告されているため、妥当な値に換算するために 3.05 を係数として割ることで限界支払意思額を算出した [S8]。

2.4 統合指標の提案

表 S5 に影響カテゴリに対する重み付けを示す。表 S5 において、CO_2排出量の逆数の影響カテゴリを環境、カテキン含有量及びテアニン含有量の影響カテゴリを技術とした。

表 S5 影響カテゴリに対する重み付け

影響カテゴリに対する重み付け（技術）	1.5
影響カテゴリに対する重み付け（経済）	1.5
影響カテゴリに対する重み付け（環境）	3.0
影響カテゴリに対する重み付け（社会）	4.0

3.2 コンジョイント分析結果

表 S6 にコンジョイント分析の推定結果を示す。表 S6 において、結果はすべて 1%水準で有意であり、統合指標による評価値は 99%の信頼区間であることが分かった。

表 S6 推定結果

	係数	t 値	p 値
価格	-0.003	-14.253	0.000
有機栽培	0.885	12.374	0.000
カテキン	0.012	5.727	0.000
テアニン	0.016	3.874	0.000
N	1200		
対数尤度	-1460.633		

引用文献

S1) 一般社団法人 産業環境管理協会：“CFP 算定用二次データ”，CFP プログラム，（オンライン），入手先 <https://www.cfp-japan.jp/>，（参照 2015-12-21）

S2) 農林水産省：“農林水産分野における地球環境対策推進手法開発事業のうち「CO2 の見える化」データベース整備事業報告書”，(2012)

S3) 環境省，経済産業省：“温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル Ver4.0”，(2015)

S4) 経済産業省，国土交通省：“物流分野の CO2 排出量に関する算定方法ガイドライン”，(2006)

S5) 静岡市：“中心市街地活性化基本計画：静岡市”，静岡市ホームページ，（オンライン），入手先 <http://www.city.shizuoka.jp/000_004059.html>，（参照 2015-12-21）

S6) 関東電気保安協会：“電気ポットの省エネ”，電気保安管理 省エネ対策 関東電気保安協会，（オンライン），入手先 <https://www.kdh.or.jp/safe/energy_saving/estimation/pot.html>，（参照 2015-12-21）

S7) 栗山浩一：“早稲田大学政治経済学部 環境経済学ワーキングペーパー”，(2003)，#0302

S8) JOHN A. LIST，CRAIG A. GALLET : Environmental and Resource Economics, 20 (3) , (2001), pp.241-254

提供するサービスに着目したリン資源利用の環境効率

Eco-efficiency of phosphorus resource use based on the provided service

○野木茜*[1)]、村上進亮[2)]、粟生木千佳[3)4)]、橋本征二[1)]
Akane Nogi, Shinsuke Murakami, Chika Aoki-Suzuki, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学、2) 東京大学、3) 地球環境戦略研究機関、4) 立命館大学大学院
* rv0031re@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

持続可能な社会の構築のためには、ライフサイクルの視点に基づいて、より資源の消費量が少なく環境への負荷が低い、効率的な生産・消費のシステムを構築することが重要である。そうした効率性を評価するため、主に先進的企業において、「環境効率」指標を用いた評価が行われている。これは、企業が提供する製品やサービスをそのための環境影響と対比させて評価するものであるが、資源の枯渇が叫ばれる中、様々な資源がそのライフサイクルを通じてどのような効率で利用されているか、すなわち、資源に着目した環境効率の評価も合わせて重要になると考えられる。

本研究は、資源(物質)が提供するサービスがそのライフサイクルを通じてどの程度環境に影響を与えるかについて検討し、その資源の環境効率を評価することを試みたものである。具体的には、リン資源を対象として、①それが提供するサービス(付加価値)の定量化を行うとともに、②そのライフサイクルでの環境影響を算定し、③リン資源利用の環境効率を評価した。ここで、リンは植物の 3 大栄養素であるため、主に化学肥料の原料として使用されている。今後、世界の人口増加や経済発展に伴う食糧需要の増加が予想されていることから、食糧調達に直接関わるリンは、世界各国で戦略物資として位置づけられている。このような状況から、リンの全量を輸入に頼っている我が国は、リン資源の効率的利用を進める必要に迫られていると言える。

2. 方法

2.1 環境効率指標の設定

リンがそのライフサイクルで提供するサービス(付加価値)を分子に、その環境影響を分母にとり、本研究の環境効率指標とする。具体的には、リン製品 1 単位あたりのサービス及び環境影響を推計し、これに各製品の使用量を乗じ合計することで、リン資源全体の環境効率を評価する。

2.2 リン資源のフローの把握

リン資源のサービスや環境影響を評価する前提として、我が国におけるリン資源のフローを把握した。我が国に投入されたリンがどのような形態で使用されて、どこへ廃棄されているか、既存研究[1)2)]の手法と統計データ[3)]等を用いて 2000 年および 2010 年を対象に推計を行った。リン資源のほとんどは肥料に用いられることから、以下では肥料を対象に環境効率の定量化を行った。

2.3 分子のサービス(付加価値)の定量化

肥料中のリンが提供するサービス(付加価値)の定量化については、以下のようないくつかの案が考えられる。

案 1：肥料に含まれるリン成分の価格
案 2：肥料の価格×肥料の重量に対するリン成分の重量の比
案 3：肥料の価格×肥料に含まれる三大栄養素成分の合計価格に対するリン成分の価格の比
案 4：肥料に含まれるリン成分 1 単位の重量が増加させる肥料価格×リン成分の重量
案 5：肥料に含まれるリン成分による成長増進効果

本研究では、データが利用可能な案 1～4 について試算を行った。

2.4 分母の環境影響の算定

(1) 生産段階まで

肥料の生産段階までの環境影響は、MiLCA[4)]を用いて算定した。なお、リン鉱石の輸送距離については、輸入相手国のうち取引量が 90%を占める上位 4 カ国を選定し、その港と日本の税関との直線距離を取引量の割合で重み付けした値を用いた。

(2) 使用後の段階

土壌からのリン流出に関するデータベース[5)]より入手可能な文献の中から、①化学肥料の施肥量、②化学肥料由来の土壌からのリン流出量(表面流出＋浸透流出)の 2 点が記載されている文献を対象に、水田の灌漑期において、「慣行施肥量 - 無施肥量(or 減肥量)」より得られる値をリン施肥量(kg-P/ha)、「慣行施肥区の排出量 - 無施肥区(or 減肥区)の排出量」から得られる値を、リン流出量(kg-P/ha)と設定して、施肥量に対する流出量の比率の平均値を算定した。また、そうして得られる流出量を MiLCA に与え、その環境影響を算出した。

3. 結果と考察

3.1 サービス(付加価値)の定量化の結果

統計資料等[6)7)8)]を用いて、2.4 に示した案 1、2、4 の方法で、各肥料に含まれるリンが提供するサービス(付加価値)を定量化した結果が表 1 である。

当然のことながら、全ての案において肥料中のリン成分（P_2O_5）含有量が大きいものほど、リンの提供するサ

ービスが高くなった。 また、年度を比較すると、リン資源の価格が上昇したことにより、2010 肥料年度の方がリンのサービスは高く推計される結果となった。

3.2 環境影響の算定の結果

各肥料の環境影響を算定した結果が図 1 である。図からも分かるように、肥料のライフサイクルにおける主な環境影響は富栄養化であり、富栄養化への影響をライフサイクルの段階別にみると、肥料散布後のリン成分の流出段階の影響がほとんどであった。

3.3 リン資源の環境効率の算定の結果

3.2 及び 3.3 で示した結果より、2000 肥料年度及び 2010 肥料年度における化学肥料の環境効率を算定した結果が図 2 である。リン資源利用の環境影響のほとんどが肥料散布後のリン成分の流出となっており、これが 2000 肥料年度と 2010 肥料年度で変わらない条件のもとでは、リン資源の価格が結果に大きく影響することとなり、リン資源の価格が上昇したことにより、2010 肥料年度の方がより環境効率が高く評価される結果となった。

今回のリン資源を対象とした環境効率の推計は未だ試算の域を超えていないが、資源を対象とした環境効率の算定方法について、今後更なる検討を行っていく予定である。

謝辞：本研究は、第Ⅲ期環境経済の政策研究による成果である。ここに記して深謝する次第である。

参考文献

1) 鶴巻峰夫、吉田綾子、星山英一：リン資源循環を実現するシステム構築のための基礎的条件に関する検討、環境システム研究論文集、36、pp.217-225、2008
2) 松八重一代、久保裕也、大竹久夫、長坂徹也：廃棄物からの人工リン資源回収、社会技術研究論文集、5、pp.106-113、2008
3) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構：鉱物資源マテリアルフロー リン（P）、 http://mric.jogmec.go.jp/periodical/index.html、2015 年 7 月アクセス
4) 産業環境管理協会：MiLCA ガイドブック(2014 年 10 月 9 日版)、2014、http://www.milca-milca.net/index.php、2015 年 7 月アクセス
5) 日本水環境学会：非特定汚染源からの流出負荷量の推計手法に関する研究、 http://jswe-nonpoint.com/h23suishin/link.html、2015 年 11 月アクセス
6) 農林水産省生産局生産資材課監修：ポケット肥料要覧 2002/2003、農林統計協会、2003
7) 農林統計協会編著：ポケット肥料要覧 2011/2012、農林統計協会、2013
8) 財務省：財務省貿易統計、 http://www.customs.go.jp/toukei/info/index.htm、2016 年 1 月アクセス

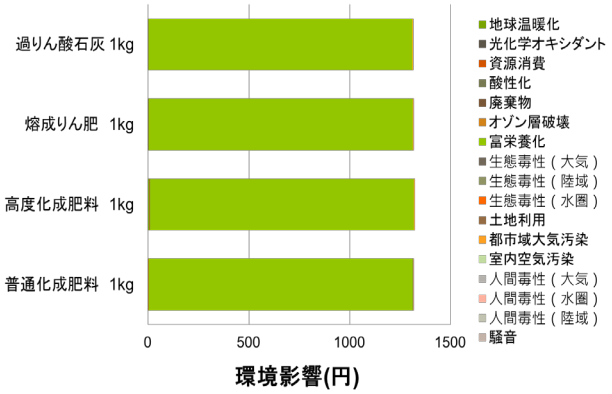


図１　肥料１単位当たりの環境影響

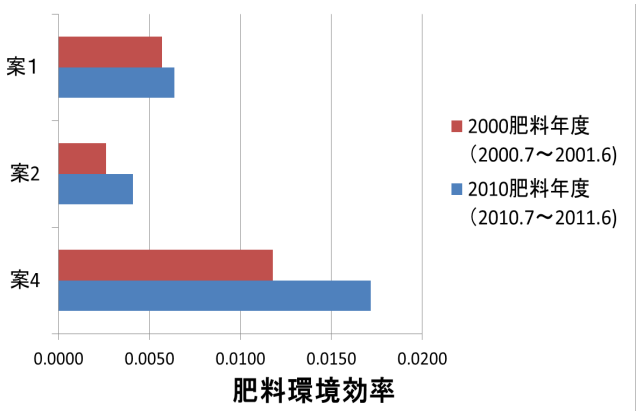


図２　肥料に用いられるリンの環境効率

表１　肥料に含まれるリンが提供するサービス(付加価値)

類別品目名		成分	2010 肥料年度 (2010.7～2011.6)				2010 肥料年度 (2010.7～2011.6)			
			小売価格	案１	案２	案４	小売価格	案１	案２	案４
			円/kg	円/kg	円/kg	円/kg	円/kg	円/kg	円/kg	円/kg
リン単肥	過りん酸石灰	$P_2O_5$17%	45.9	22.9	7.8	47.5	74.1	25.8	12.6	69.6
	よう成りん肥	$P_2O_5$20%	57.8	27.0	11.6	55.8	76.6	30.4	15.3	81.9
複合肥料	高度化成肥料	N15%･$P_2O_5$15%･K_2O15%	80.1	20.2	12.0	41.9	146.4	22.8	22.0	61.4
	普通化成肥料	N8%･$P_2O_5$8%･K_2O5%	60.6	10.8	4.8	22.3	83.3	12.1	6.7	32.7

リン資源利用に関連するサプライチェーンリスクを加味したライフサイクル分析

Life Cycle Analysis Considering to Supply Chain Risk Focusing Phosphorus Resource

○山本高史 [1)]、松八重一代 [1)] 、長坂徹也 [1)]
Takashi Yamamoto, Kazuyo Matsubae, Tetsuya Nagasaka
1）東北大学
takashi.yamamoto.r3@dc.tohoku.ac.jp

1.　はじめに

リンは、食物・飼料作物の成長に必須である肥料や、自動車製造に用いられるリン酸メッキなど、種々の産業において必要不可欠な元素である。経済資源としてのリン埋蔵量はおよそ 65,000Mt であり [1)]、資源枯渇の可能性は低いとされているが、中国、モロッコ、アメリカの三カ国で世界の鉱石生産の七割を占める高い偏在性や、世界人口増加、バイオエタノール需要増大に伴うリン需要の高まりの観点から [2), 3)]、近年、国内外において、持続的なリン資源利用に向けた様々な取り組みが行われている [4)]。

一方で、鉱石に随伴する有害元素による環境汚染、鉱山開発に伴う土地改変や生物多様性損失、自然災害や紛争等による供給ルート寸断など、その資源供給には様々なリスクが潜在している。リン含有製品は、一般的にリン鉱石を原料として生産されるが、我が国では、リン資源の多くを輸入に頼っているため、これらのリスクを無視して持続的な資源利用について議論することは出来ない。

このような背景から本研究では、GLIO モデル [6)]によって推計された、我が国の最終需要が引き起こす、直接間接のリンフローに、その背景にあるリスクを加味することで、ライフサイクルで需要されるリン資源利用についてリスク解析という側面から評価することを目的とする。(i)リン鉱石に随伴する有害元素が引き起こす環境汚染リスク解析、黄リン調達に伴うカントリーリスク解析、(ii)ArcGIS を用いた世界全体で発生する様々なリスクの可視化と、日本の最終需要が牽引するリン資源需要に関わるリスク解析を行った。(i)に関しては、第 10 回日本 LCA 学会研究発表会で既発表であるため、本発表では(ii)について論じる。

2.　リン資源データベースの構築

本研究では、我が国で需要されるリン資源量や、その背後にある鉱石生産量と、その鉱山にまつわる地政学的リスク情報を結びつけ、リン資源調達に関わるリスク解析を可能にするために、リン資源データベースの作成を行った。USGS のリン鉱山に関するデータ [5)]を基に、地理情報ソフトウェア ArcGIS をツールとして用いて作成した。

また、Figure 1 に ArcGIS を用いて作成した、世界で稼働しているリン鉱山と年間生産量､採掘可採年数(埋蔵量/年間生産量）を示した。円の大きさが鉱山ごとの年間生産量を表しており、国に塗られている色が可採年数をあらわしている。色が赤い国ほど可採年数が少なく、青い国ほど可採年数は長い。現在のリン主要生産国であるアメリカ、中国では 35~40 年、一方でモロッコや南アフリカなどのアフリカ諸国や、ヨルダン、シリアといった中東諸国では 500 年~1500 年の可採埋蔵量があるため、近い将来、これらの国々を中心として、より一層寡占が進行することが予測される。

Table1　リンデータベースの項目

主項目[5)]
位置情報（経度、緯度）
生産量、埋蔵量（鉱山別、国別）
採掘方法（坑内掘り、地表掘り）
鉱床タイプ（海成、火成、グアノ）
鉱山稼働状況
随伴元素、P_2O_5濃度
鉱山会社

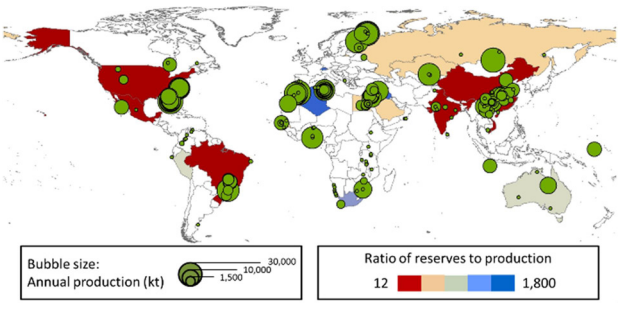


Figure1　世界のリン鉱山と可採年数

3.　リン資源調達に関わるリスク解析

3.1　経路による供給寸断リスク

災害や疫病、紛争は鉱山近隣で発生しなくても、そこから供給される資源を輸送する経路上で発生した場合、資源供給が寸断される可能性がある。これらの要因による資源供給寸断の事例は、様々な資源において報告されており [7)]、リン資源に関しては、実際に、2008 年に発生した四川大地震によりリン鉱石の供給が絶たれ

た事例がある。[8]そのため、今回は地震をその対象として選び、日本の直接間接のリン需要の背後にある地震リスク推計を行った。

3.2 解析方法

USGS の過去 20 年間の震源地とマグニチュードのデータ [9]から、供給寸断の可能性が考えられるマグニチュード 5 以上の震源を抽出し、以下のように地震リスクファクターを定義した。また、Figure2 にその概略を示す。

1. 世界地図を 50km 四方のグリッドに分け、その中の震源の数を抽出し、その値を地震リスクファクターとし、10 段階で分類。一つのグリッド中に 10 個以上震源がある場合、一律にリスクファクター10 とした。
2. Figure 2 のように、震源から一つ隣のグリッドに移ると、リスクファクターを 1 下げる。
3. 震源が近くにあり、リスクファクターが重なる場合は足し合わせる。

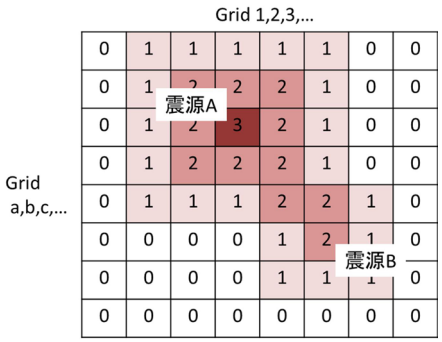


Figure2 地震リスク推計概略

上のようにして設定したリスクファクターを、以下の方法により、リン資源に随伴する地震リスクとして推計した。

1. リン資源は、港から輸送されるものと仮定し、各鉱山から最も近くにある港までを直線で結び、これをリン資源の輸送経路と仮定する。
2. 経路上に、地震リスクファクターが存在した場合、その鉱山から供給されるリン鉱石は地震リスクを負うものとする。
3. 上のように分類した鉱山ごとの供給資源に関わる地震リスクを以下の式①を用いて、定義する。

$$R_{Earthquake} = \frac{\Sigma M_{Content}}{\Sigma M} \times 10 \quad \cdots ①$$

$R_{Earthquake}$: 地震リスク

$M_{Content}$: 地震リスクを負う鉱山の年間鉱石生産量

M: 各鉱山の年間鉱石生産量

3.3 結果

以上のように解析した地震リスクと GLIO モデル [6]によって推計された日本が牽引する直接、間接のリン移動量との関係を Figure3 に示した。

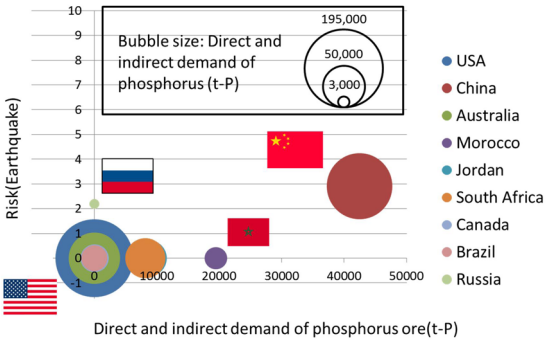


Figure3 地震リスクと日本が牽引するリンフロー量の関係

解析の結果から、各国のリン鉱山の中で地震リスクが比較的大きいのは中国とロシアであることがわかった。中でも中国は、日本がリン鉱石を最も依存している国であり、地震によってリン鉱石輸送の経路が寸断され、リン鉱石の供給に障害が生じる可能性がある。また、最大のリン資源埋蔵量を誇り、日本も多くのリン鉱石を依存しているモロッコでは、地震のリスクが少なく、地震による供給寸断の可能性が低いため、今後より重要な国となってくることが予測される。

4. 終わりに

今回のリスク解析によって、日本が引き起こす直接間接のリン需要背後にある地震リスクの解析をおこなうことが出来た。日本における資源セキュリティやリサイクルの有用性を訴える上では、様々なリスクを解析することは重要である。また今後の課題として、他資源においても適用させることや、今回対象とした地震以外の地政学的リスク解析を行うことが必要である。

5. 参考文献

1) http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate_rock/
2) 国立社会保障・人口問題研究所: 人口統計資料集 <http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/Popular/Popular2013.asp?chap=0>, (2014-12-25)
3) F.O.Licht: “World Ethanol Markets The Outlook to 2015”, (2006)
4) Matsubae K., Kajiyama J., Hiraki T., Nagasaka T.: Chemosphere, 84, (2011), pp.767-772
5) http://mrdata.usgs.gov/mineral-resources/phosphate.html
6) http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/
7) Chishitsu News no. 623, p21-41, 2006
8) 創立 90 週年特別企画特集 No.90 ,p483-484, 2012
9) http://earthquake.usgs.gov/

植物工場におけるエネルギーマネジメント

Energy management in plant factories

○菊池康紀*[1,2]、兼松祐一郎[1]、大久保達也[1]、高垣美智子[2]
Yasunori KIKUCHI, Yuichiro KANEMATSU, Tatsuya OKUBO, Michiko TAKAGAKI
1) 東京大学, 2) 千葉大学
* kikuchi@platinum.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

農業を初めとする食料・食糧の生産に関する研究は持続可能性に関する研究トピックスの中心と位置付けられている[1]が、同時に環境への負荷の大きな排出源と認識され[2]ており、窒素・リン・カリウムなどの栄養素の循環[3,4]といった対策が必要とされている。植物工場[5]は、従来の露地栽培やハウス栽培といった園芸栽培に比べ、土地、栄養素、水などの資源に対する生産性が高いとされ、農業における環境負荷低減の可能性が期待されている[6]。一方で、生産性を高める栽培施設であるため、室内の温度・湿度管理、二酸化炭素濃度管理、養液管理などのための測定器や制御装置、調整器にエネルギーが必要となる。人工光型植物工場においては照明も必要である。ここで、土地や栄養素、水といった資源は植物の栽培において代替ができない資源であるが、エネルギーは同じ需要を満たす多岐にわたる選択肢がある。

本研究では、エネルギーマネジメントによる植物工場の効率化を検討し、持続可能な食料生産について議論する。

2. ライフサイクルモデリング

2.1 食料生産における意思決定とバウンダリ

図１に植物工場と従来型園芸栽培のライフサイクルの概要を示す。縦の流れが栽培を行う設備のライフサイクルであり、横の流れが栽培される作物のライフサイクルとなっている。いずれの場合においても、新たに食料生産を開始する前には市場調査が不可欠であり、それに基づいて規模の設計などを行う必要がある。植物工場を用いる場合、その生産性などを考慮しながらプロセス設計を行い、工場を建設する。従来型の園芸農業においても、圃場管理や肥培管理などを行い、農地を整備しなければならない。栽培に用いる植物工場および圃場（施設を含む）が準備できたら、栽培のステージに進む。栽培のステージにおいては、種子から育苗を行った苗を用いて栽培を行う。得られた生産物は輸送・消費され、包装容器などと非可食部については廃棄物として処理される。

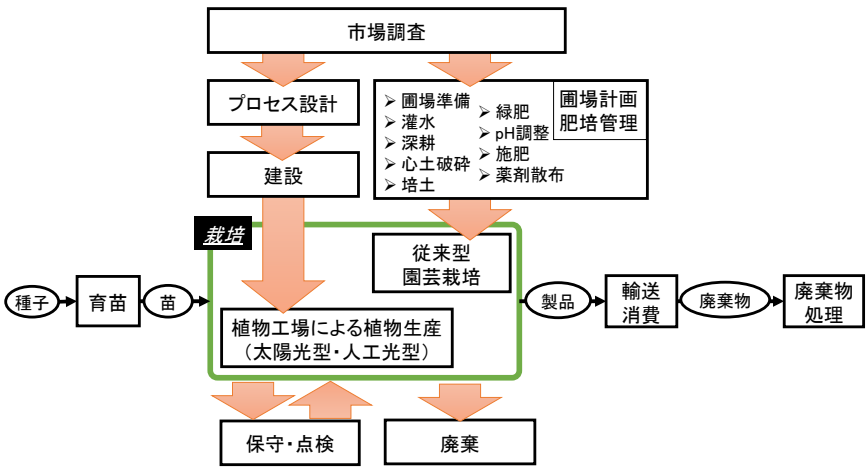


図１　植物工場と従来型園芸栽培のライフサイクル概要

2.2 機能単位の設定

図１に示すバウンダリにおいて、機能単位としては製品の製造量だけでなく、生産性についても考慮すべきといえる。特に、従来型園芸栽培と大きく異なる点として設備を設置する場所の制約が大きく取り除かれることが挙げられる。そのため、土地生産性について機能単位として含めることが植物工場の分析においては検討すべきといえる。具体的な参照フローとしては、製品重量[kg-product]と製品生産効率[kg-product/m^2]といったものが挙げられる。

2.3 インベントリ分析及び影響評価

本研究では、図１のバウンダリに従い、上述の機能単位に基づいて、インベントリデータを実際に稼働している植物工場より収集した。対象としたのは、トマトを栽培する太陽光型植物工場と葉菜類を栽培する人工光型植物工場である。インベントリデータとして、建設にかかる資材量、栄養成分の消費量、水消費量、電力消費量、製品出荷量を月毎に複数年分収集した。エネルギーマネジメントについて代替案を検討するため、稼働中の植物工場における、特に電力需要を詳細に解析した。具体的には、約 1000 日電力需

要カーブに対して、IBM SPSS™ を用いた Two Step クラスター分析を行い、電力需要の傾向の把握を試みる。影響評価としては、地球温暖化、肥料に関する関与物質総量（TMR）[7]、水消費量[8]を用いる。

3. 結果

図２に結果の一部として、電力需要パターンの例を示す。太陽光型植物工場においては空調が、人工光型植物工場においては照明が支配的であることがわかる。空調に必要なエネルギーは年々減少しており[9]、排熱[10]や未利用の再生可能エネルギー[11]の利用等によりさらに減少させることが可能といえる。照明についても、葉の受光態勢に合わせた器具の配置[12]や LED による植物生理に合わせた波長の選択による低減が期待できる[13]。将来にわたっては、公共電力の原単位の低下も見込めている[14]。このように、エネルギーには選択肢が多岐にわたり存在している。ここに栄養素や水といった代替不能な資源を合わせて議論することが必要である。

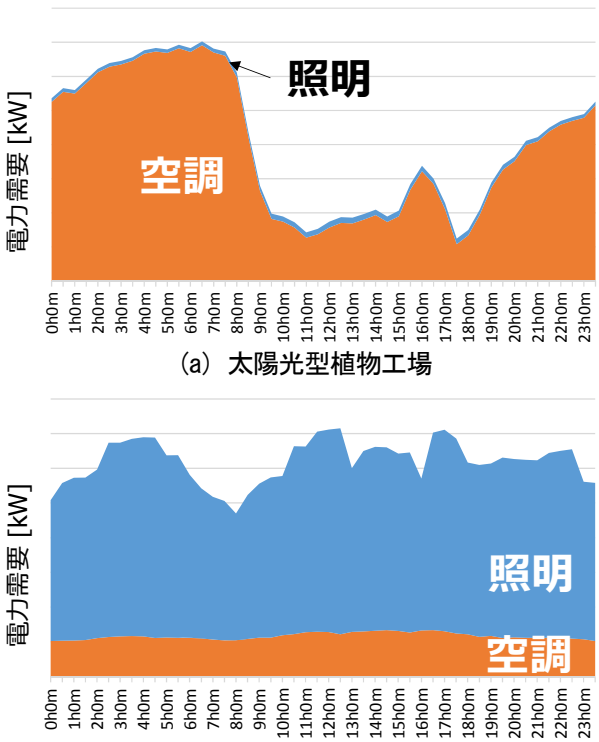


図２　電力需要日負荷曲線の例

4. まとめ

植物工場の実稼働記録に基づいて、枯渇性エネルギー資源の消費、地球温暖化、栄養素の消費、水の消費、土地利用などの観点から分析を行うことが重要である。従来型の露地栽培、施設栽培と比較しながら、植物工場が将来の食料生産の持続可能性に資する可能性を多面的に評価する必要がある。

謝辞

本研究における情報やデータの収集については、NPO 植物工場研究会、特に同研究会の古在豊樹 名誉教授、市野澤利二 氏の協力を得た。松八重一代 准教授および本下晶晴博士より、環境影響評価に関する知見を得た。本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金（若手研究(B) 25870163、基盤研究(A) 15H01750）、環境研究総合推進費(1RF-1503)における成果を含んでいる。東京大学「プラチナ社会」総括寄付講座は、（株）地球快適化インスティテュート、日本電信電話（株）、富士フイルムホールディングス（株）、三井不動産（株）、（株）LIXIL、信越化学工業（株）からの寄付で活動している。

引用文献

1) Kajikawa, Y.; Ohno, J.; Takeda, Y.; Matsushima, K.; Komiyama, H. *Sustain. Sci.*, **2007**, *2*, 221–231.
2) Schnoor, J. L. *Environ. Sci. Technol.* **2014**, *48*, 4635–4636.
3) Cui, Z.; Wang, G.; Yue, S.; Wu, L.; Zhang, W.; Zhang, F.; Chen, X. *Environ. Sci. Technol.* **2014**, *48*, 5780−5787.
4) Matsubae, K.; Kajiyama, J.; Hiraki, T.; Nagasaka, T. *Chemosphere*, **2011**, *84*(6), 767-72
5) Kozai, T.; Niu, G.; Takagaki, M. Eds, *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production*, Elsevier: Tokyo, 2015
6) Kikuchi, Y.; Kanematsu, Y.; Okubo, T.; Takagaki, M.; submitted, **2015**
7) Yamasue, E.; Matsubae, K.; Ishihara, K.N. *Glob. Environ. Res.*, **2015**, *19*, 97-104.
8) Ono, Y.; Horiguchi, K.; Itsubo, N. *J. Life Cycle Assess. Jpn.* **2013**, *9*, 108-115
9) Koyama, M.; Kimura, S.; Kikuchi, Y.; Nakagaki, T.; Itaoka, K. *J. Chem. Eng. Jpn.*, **2014**, *47*(7), 499-513
10) Togawa, T.; Fujita, T.; Dong, L.; Fujii, M.; Ooba, M. *J. Clean. Prod.* **2014**, *81*, 60-69
11) Kikuchi, Y.; Kanematsu, Y.; Ugo, M.; Hamada, Y.; Okubo, T. *J. Ind. Ecol.*, DOI: 10.1111/jiec.12347
12) Kozai, T. *Proc. Jpn. Acad. Ser. B Phys. Biol. Sci.* **2013**, *89*(10), 447-61.
13) Mitchell, C.A.; Both, A.J.; Bourget, C.M.; Burr, J.F.; Kubota, C.; Lopez, R.G.; Morrow, R.C.; Runkle, E.S. *Chron. Horticult.* **2012**, *52*(1), 6-11.
14) Kikuchi, Y.; Kimura, S.; Okamoto, Y.; Koyama, M. *Appl. Energ.*, **2014**, *132* 586-601

食料・エネルギー相乗生産技術の評価に向けた課題の整理

Challenges and approaches in assesment of technologies enabling synergistic coproduction of food and energy

○中村遼太郎*[1)]、小原聡 [2)]、大野肇 [1)]、福島康裕 [1)]
Ryotaro Nakamura, Satoshi Ohara, Hajime Ohno, Yasuhiro Fukushima
1) 東北大学, 2) アサヒグループホールディングス
* naka@ sis.che.tohoku.ac.jp

1. 諸言

将来の高度な植物資源利用システムは製品価値を最大化する併産系として設計されていくと考えられる。特に農地等で栽培される生物資源については、その量と成分もシステムの一部として設計可能である点が重要である。例えばサトウキビでは、糖の含有率が製糖用品種よりも低いが単収が大きい高バイオマス品種があり、製糖用品種からこれに変更にすることで、農地を増やすことなく砂糖の生産量を増やすことができる[1)]。さらに、エタノールの併産による食料・エネルギー相乗生産技術 [2)]を利用すると、一方の製品の供給過剰時にもう一方の製品生産割合を増やすことで製糖工場と農家の利益を確保することができる。

このようなシステムを持続的に成立可能とするためには、生産性向上の他に環境影響や経済性も考慮して設計する必要がある。そこで、本報告ではサトウキビ栽培および砂糖・エタノール生産世界第一位で [3)]あるブラジルの製糖工場の製造インベントリを参考に、製糖用品種と高バイオマス品種における食料・エネルギー相乗生産のGHG排出評価を試みて課題を整理する。

2. 方法

2.1 モデリング

Macedo らは2008年のブラジルの166の製糖工場からサトウキビの構成成分、収量、砂糖・エタノールの生産量の平均値およびサトウキビ栽培から砂糖・エタノールを生産する際のそれぞれの GHG 排出量を算出している [4)]。これらのデータを用いて、砂糖・エタノール併産における製品量の関係、電力生産と消費量、GHG排出量をモデリングした。このモデルでは砂糖・エタノールを主製品、余剰電力を副製品とし、主製品は以下の 2 工程によって生産するものとした。

製糖工程：搾汁から不純物を取り除いた糖蜜から濃縮、結晶化、遠心分離により砂糖と糖蜜を得る。この糖蜜中の糖分（残留スクロース、還元糖）を発酵させることでエタノールを得る。

搾汁発酵工程：搾汁に酵母を投入し、スクロースと還元糖を反応物とするエタノール発酵を行い、エタノールのみを生産物として得る。

両工程が並列に存在するシステムにおいて、エタノールは還元糖とスクロースから、砂糖はスクロースから生産され、各工程での消費電力は製品の生産量に比例するものとした。また、GHG 排出量は両工程からの排出量の合計値から、余剰電力の売電による GHG 排出の回避分を差し引いたものとした。

2.2 計算

サトウキビの栽培について、肥料、ディーゼル燃料使用量、収穫方法は 2.1 と同じ方法を仮定し、農場における GHG 排出は品種によらず等しいと仮定した。このモデル工場でサトウキビの収量と成分を変更し、高バイオマス品種を製品原料とした場合の両製品量と GHG 排出を算出した。また、製糖用品種はブラジルの標準的なもの、高バイオマス品種は日本の高バイオマス品種 KY01-2044 を基に、表 1 に示すように単収および構成成分を想定した。

表 1 品種別の単収および構成成分

パラメータ	製糖用品種	高バイオマス品種
単収 (t/ha)	86.7	100.0
スクロース (%)	14.0	13.0
還元糖 (%)	0.55	0.70
繊維 (%)	12.8	14.7
水+その他 (%)	72.7	71.7

原料を製糖用品種と高バイオマス品種の 2 種類とし、搾汁のうち α が砂糖晶析工程、残りが搾汁発酵工程へ投入される際のサトウキビ 1 t 投入当たりの砂糖・エタノールの生産量および売電量、GHG 排出量はそれぞれ (1), (2), (3), (4) のように算出した。

$$R_B = \frac{su_B}{su_U} \times R_U \quad (1)$$

$$E_{B,T} = \frac{b_B}{b_U} \times E_{U,J} \times (1-\alpha) + \frac{b_B - R_B}{b_S - R_U} \times E_{U.M} \times \alpha \quad (2)$$

$$D_B = \frac{f_B}{f_U} \times D_U \quad (3)$$

$$C_{B,V} = C_{B,S} + C_{B,E} + C_{B,A} - C_{B,P} \quad (4)$$

記号 R_i:砂糖生産量(品種 i を用いた場合，α 固定)，$E_{i,k}$:エタノール生産量(工程 k で品種 i を用いた場合)，D_i:売電量(品種 i を用いた場合，α 固定)，$C_{i,n}$: GHG 排出量，(栽培または製品生産工程 n で品種 i を用いた場合，α 固定)，su_k: 工程 k におけるサトウキビ中のスクロース重量成分比，b_i: 品種 i の可用性固形(スクロースと還元糖)成分比，α: 搾汁が製糖工程へ向かう割合 ($0 \leqq \alpha \leqq 1$)，f: 品種 i の繊維分，$i = \{U,B\}$，U: 製糖用品種，B: 高バイオマス品種，$k = \{J, M, T\}$，J: 搾汁発酵工程，M: 製糖工程，T: 全工程，$n = \{S, E, A, P, V\}$，S: 砂糖，E: エタノール，A: サトウキビ栽培，P: 電力，V: サトウキビの栽培から製品製造まで

3. 結果と考察

3.1 サトウキビ 1 t 投入当たりの製品評価

サトウキビ 1 t 投入した時の砂糖・エタノールの生産量の関係および GHG 排出量を図 1 に示した。

高バイオマス品種は糖成分が少なく、サトウキビ 1t 当たりの製品量は製糖用品種より減ってしまう。GHG 排出量については、高バイオマス品種を原料とする方が排出量は少ない。これは製品量が少ないことによる排出量の減少の他に、燃料となる繊維分が多いことで電力の生産量が増加した事と、製品量の減少に伴い消費電力も減少したことで余剰電力が増加し、排出回避量が増加したことによる結果である。

3.2 サトウキビ 1 ha 投入当たりの製品評価

サトウキビ 1 ha 投入時の砂糖・エタノールの生産量の関係および GHG 排出量を図 2 に示した。

高バイオマス品種は単収が多いため、両製品は製糖用品種由来の物より増加する。この影響により製糖用品種より、製品生産の消費電力は増えるが、電力生産量も増加し GHG 排出は高バイオマス品種の方が削減されている。

3.3 課題

サトウキビ製品の製造方法には製糖工程および搾汁発酵工程の前に還元糖のエタノール発酵を行う逆転プロセスがあり [2]、今後の研究にこのプロセスも導入した推計プログラムの作成を目指したい。

本報告では工場における製品生産の推計を行った。しかし、高バイオマス品種として用いた KY01-2044 は日本の品種であり、今回はサトウキビ栽培における肥料や収穫方法はブラジルのモデルのままであるため、実際に同様の構成成分かつ単収のサトウキビを得る場合、肥料や耕起方法の再検討が必要である。また、単収が増えることで収穫期のディーゼル使用量の増加も今後考慮する必要がある。

ブラジルの余剰電力は化石燃料による発電回避を行い、その排出原単位は 0.668 kg-CO_2/kWh である。日本の電力の 90%を占める火力発電の排出原単位は 0.600-0.943 kg-CO_2/kWh である [5]ため、日本に売電設備を導入した GHG 排出の削減効果も検討したい。

4. 引用文献

1) 小原聡, 福島康裕, 杉本明, 寺島義文, 石田哲也, 迫田章義: 日本 LCA 学会誌, Vol.5 (4), (2010), pp. 439-445

2) Ohara S., Fukushima Y., Sugimoto A., Terajima Y., Ishida T., Sakoda A.: Biomass Bioenerg., 42, (2012), pp. 78-85

3) FAOSTAT: “Search Data”, FAOSTAT, (オンライン), 入手先 < http://faostat3.fao.org/search/*/E>, (2015-06-16)

4) J. E. A. Seabra, I. C. Macedo, H. L. Chum.: Biofuels, Bioprod. Bioref., 5, (2011), pp 519-532

5) 経済産業省資源エネルギー庁:“平成 25 年度 (2013 年度) におけるエネルギー需給実績(確報)”, (2015)

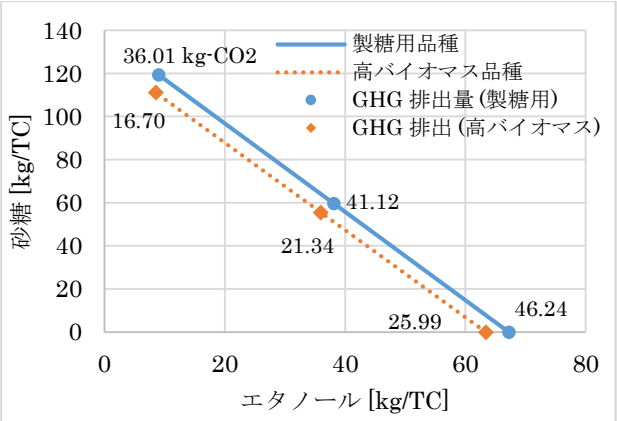


図 1 製品量と GHG 排出(サトウキビ 1 t 投入)

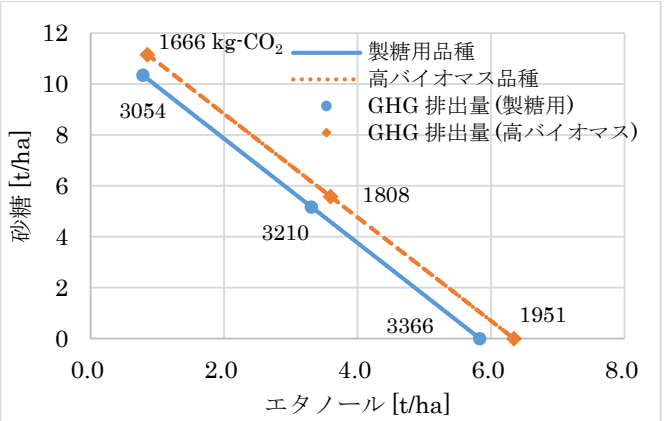


図 2 製品量と GHG 排出(サトウキビ 1 ha 投入)

ＣＯＰ２１をふまえた世界の環境活動動向と期待される日本の環境技術

Global Efforts to Address Environmental Issues in the post-COP21 Era and Relevance of Japan's Environmental Technologies

○坂口　智*[1)]
Satoru Sakaguchi
1)　朝日新聞社
* sakaguchi-s@asahi.com

1. はじめに

2015 年 11 月 30 日から 12 月 13 日までパリで開催された COP21（第 21 回国連気候変動枠組み条約締約国会合）において、締約国は、世界の平均気温上昇を産業革命前に比べて 2℃以下に抑制するという目標で合意した。この目標を達成するために締約国は「パリ協定」を採択、京都議定書の後継となる温室効果ガス抑制の枠組みができた。

一方、パリ協定にも盛り込まれた途上国への支援は、環境問題への対処において大きな課題である。指針となるのは、2015 年 9 月に国連サミットで採択した「持続可能な開発のための 2030 年アジェンダ」である。同アジェンダの中で、特に「水」に関する目標の達成に大きく貢献することができる環境技術に触れたい。

2. パリ協定

2.1. 気温上昇抑制目標と各国の排出削減目標（INDCs）

第 4 条第 2 項は、世界の平均気温上昇を「2℃を相当下回る」ことを目標とするとともに、「1.5℃に抑制する努力を追求する」とした。[1)]

この実現を目指して、主要排出国を含むすべての国が国別排出削減目標（Intended Natinally Determined Contributions）を 5 年ごとに提出・更新することが義務付けられた。つまり、京都議定書とは異なり、目標の達成は義務となっていない。何を義務とするか、そして義務を負う国の範囲はどこまでか、というのは、先進国と途上国の意見が対立する最大の論点だったが、結局、「すべての国が参加すべきである」という先進国側の主張と、「削減の義務は、これまでの温室効果ガス排出に大きな責任を持つ先進国が負うべきだ」とする途上国側の主張の折り合いをつけた形となった。

2009 年の COP15（コペンハーゲン）は、同様の意見対立で物別れに終わったが、今回は何とか合意にこぎつけた。この背景には、この 6 年間に、科学的知見が強化され、温暖化への危機感が各国にさらに広く共有されるようになったこと、中国をはじめとする新興国の一層の経済発展により、途上国も相応の責任を分担すべきだという議論がますます説得力を増したこと、再生可能エネルギー利用における大きな技術的進歩があったこと等が挙げられる。

一方、これまでに各国が提出した INDCs がすべて達成されたとしても、気温上昇を 2℃以下に抑制することはできないと指摘されている。[2)] 推定を行った機関によって、予想される気温上昇は 2.7℃から 5.2℃まで幅があるが、いずれにしてもさらに削減努力を積み増していくことが今後の大きな課題である。

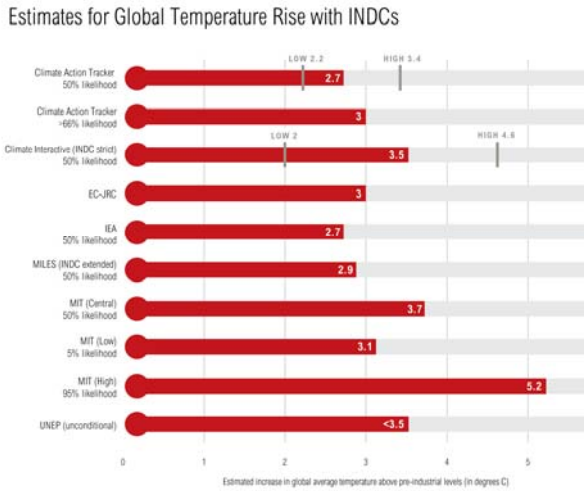


図 1　INDCs が達成された場合の気温上昇予測

2.2　途上国への支援

もうひとつの大きな論点は、気候変動対策を実施する上での途上国への資金支援だった。米国など先進国側は、「途上国」に分類されながらも大きな経済力を有する中国や、裕福な産油国を念頭に、途上国側からの応分の負担を求め、これに途上国が「先進国責任論」で反発するという構図が繰り返されたが、結局、先進国が引き続き資金を提供することと並んで、「その他の国」については、「自主的に資金を提供することを奨励する」ことで決着した。（第 9 条第 2 項）

一方、資金支援の金額については、途上国側が強く求めていた「年 1 千億ドル以上」の数字について、パリ協定採択の決議で「年 1 千億ドルを最低額とする新たな数値目標」を設定することが盛り込まれた。

3.　持続可能な開発のための 2030 年アジェンダ

3.1. 17 の目標

オバマ米大統領、安倍首相など各国の首脳・閣僚が出席した 2015 年 9 月の国連サミットで、「持続可能な開発のための 2030 アジェンダ」をコンセンサス採択した。同アジェンダは、2001 年に策定されたミレニアム開発目標（Millennium Development Goals: MDGs）の後継として定めた、2016 年から 2030 年までの国際目標である。MDGs の残された課題（例:保健、教育）や新たに顕在化した課題（例:環境、格差拡大）に対応すべく、新たに 17 目標・169 ターゲットからなる持続可能な開発目標（Sustainable Development Goals: SDGs）を策定した。[3)]

3.2. 目標 6　水と衛生

17 の目標の 6 番目には「すべての人が水と衛生を手に入れることができ、それらを持続可能な形で管理できることを確保する」が掲げられている。人間は 3 日間水を摂取できなければ生存できず、「水が入手できること」は、基本的人権の最たるものということもできる。

国連によると、世界で、清潔な水を手にいれることができない人口は 7 億 6800 万人にのぼるとされる。途上国において、清潔な水を国民にもたらすための投資、施策は当然行われているが、人口増、都市化などに加え、気候変動がもたらす悪影響も懸念される。

具体的な達成目標としては、2030 年までにすべての人に安全で経済的にも入手可能な水をもたらすこと、有害物質の廃棄や放出を最小化して水質を改善することなどが挙げられている。

4. 日本が世界に貢献する環境技術

上記を踏まえて、日本が大きな貢献ができる分野が膜技術と鉛フリーはんだ技術等と考えている。

本特別セッションで取り扱う鉛フリーはんだは 1998 年日本が世界で初めて実用化を行い、ＮＥＤＯや国内大学、企業が一体となって世界に展開した技術である。現在世界のはんだの約 80%が鉛フリー化されている[4,5)]。

現在廃棄電子機器は年間 5 千万トンにも及ぶ。従来のまま鉛入りはんだを使用したならば、河川域への鉛溶出により、年間琵琶湖 7 個分、10 年間ではアフリカビクトリア湖分の水量が鉛汚染される可能性があるが、鉛フリーはんだの普及により、状況は大きく改善されている[4,5)]。

また電子電気機器が廃棄され資源回収される場合、鉛フリーはんだであるために解体現場での鉛汚染の心配がなく特殊な作業環境も必要としなくなっている。

今後の課題としては、半導体やパワーエレクトロニクスで依然使用されている高温鉛はんだの鉛フリー化であるが、これについても、日本で先駆的研究がなされている[4,5)]。

これら環境技術に関する詳細な内容については、本特別セッション他発表者の要旨等参照願いたい。

5. おわりに

COP21 で採択されたパリ協定は、地球上のすべての国が、運命共同体として協力して課題解決を目指そうという歴史的合意である。しかし、それを実施し、さらに強化していくためには、「持続可能な開発」の概念に沿った途上国への支援が不可欠である。

日本はとくに水に関係した環境技術で貢献すべきであり、その世界をリードする環境技術を有している。特に、廃棄電気電子機器の量が世界第 2 であることからも、日本の責任として鉛フリーはんだ技術による世界への貢献を確実に推進すべきと考える。

引用文献

1) United Nations: “Paris Agreement”, FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1　（オンライン）、入手先 <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>（参照 2015-12-25）
2) Kelly Levin and Taryn Fransen: “INSIDER: Why Are INDC Studies Reaching Different Temperature Estimates?”, World Resources Institute （オンライン）、入手先 <http://www.wri.org/blog/2015/11/insider-why-are-indc-studies-reaching-different-temperature-estimates>（参照 2015-12-25）
3) United Nations:　“Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development”, SUSTAINABLE DEVELOPMENT KNOWLEDGE PLATFORM（オンライン）, 入手先 <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>, （参照 2015-12-08）
4) K.Suetsugu, A.Furusawa, M.Tanaka, H.Takano, H.Takehara, T.Horiuchi and K.Matsusige: Mater. Trans. **47**, No4, (2006), pp1082-1089
5) 松木一弘　小西琢磨、許哲峰、崔龍範、末次憲一郎、“高温対応鉛フリーはんだ合金の設計と特性評価”、新技術説明会(2014)、東京

鉛フリーはんだの世界展開と高融点化への推進

World development of lead free solder and promoting to create High melting point solder

○ 末次　憲一郎*[1)]、松木一弘[2)]、許哲峰[2)]、小西琢磨[2)]、八木裕樹[2)] 、寺田圭吾[2)]

Kenichiro Suetsugu, Kazuhiro Matsugi, Teppo Kyo, Takuma Konishi, Hiroki Yagi, Keigo Terada

1) 神戸大学,　2) 広島大学

*ksuetsugu@port.kobe-u.ac.jp

1. 緒　　言

１９９５年の阪神淡路大震災を契機として、鉛フリーはんだ研究開発が本格化し、1998 年には SnAgBiIn 系鉛フリーはんだ材料で、世界で初めてポータブル MD プレーヤーを量産実用化した[1,2)]。

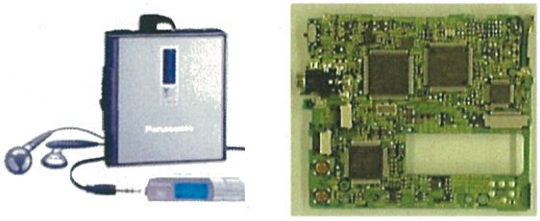


図1．世界初のポータブル MD プレーヤと電子回路基板

しかしながら鉛はんだから鉛フリーはんだへの代替化は、８０％は達成できたものの、融点が高い２５０℃以上の高温系の鉛はんだについては、未だに置き換えられていない[3)]。今回地球環境への負荷を考慮して、２５０℃以上の高温系鉛はんだの鉛フリー化調査実験を行い、その実用化を考えた特性発現について検討を行った。

2. 方法

2. 1. 共晶はんだ材料を用いた材料融点設計の調査

高温化を図る予測のための調査として、２種の共晶材料をそれぞれ重量分率で配合した場合、混合した共晶材料設計温度と実測した混合共晶温度の関係を調べ、その結果を図２に示した。

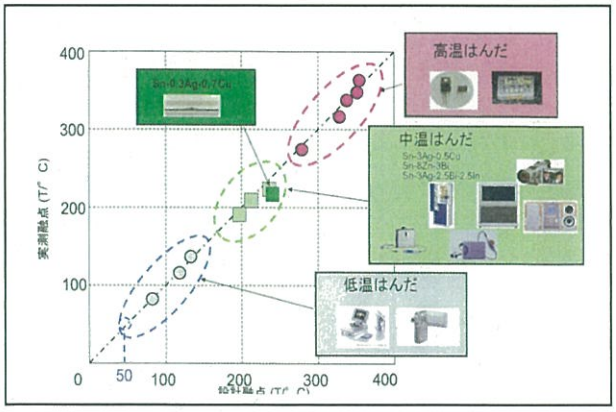


図２．高温鉛フリーはんだの設計温度と実測温度

２種の共晶材料を重量分率で混合して得られる合金の設計温度と実測温度は、約３％以内の精度で対応していることがわかった[3)]。これは共晶はんだ材料が極めてエネルギー的に安定であり、２種類を混合してもそれぞれの材料特性を保有しているからだと考える。

図２において高温系の材料組成として、大きくＢｉ系材料とＺｎ系材料の２種類にわけられることがわかった。

2. 2. ビスマス系はんだ材料の伸びの調査

Ｚｎ系材料は金属として活性度が高く、材料の化学的安定性に課題があると判断し、ビスマス系材料をベース材料として選択をおこなった。

ビスマス系材料をベースとして、図２の結果から添加原素として、Ｚｎ、Ａｇ、Ｃｕなどを添加してその伸びについて調べた。その結果、ＢｉにＣｕを添加することにより伸びが数十％程度大きくなることが明らかになった。またＢｉにＡｇを添加することにより、弾性率が高くなることがわかった[4)]。

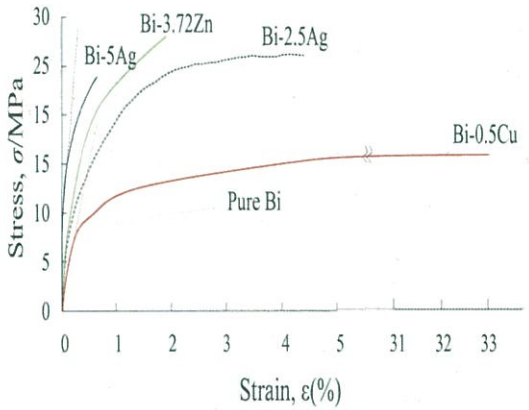


図３．Ｂｉ系材料の引張り試験結果

2. 2. ビスマス系はんだ材料の弾性率の調査

30％程度の伸びを確保するために、ビスマスにＣｕを 0. 5ｗｔ％混合させたものをベースマトリックスとし、この材料系においてさらに弾性率を向上させるために、ビスマスに銀を２％から５％程度混合する材料系を作製して、これらの引張り特性を評価した。その応力ーひずみ

試験結果を図４に示した。

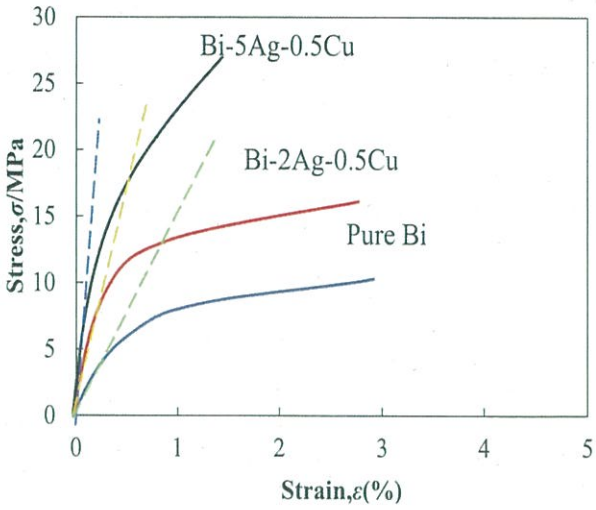


図４．Ｂｉに0.5Ｃｕ混合したものをベース材料として、Ａｇを混合した場合の引張り試験結果

ビスマスにＡｇを２ｗｔ％から５％程度混合する材料系において、弾性率が顕著に向上することがわかった[4]。一方、ビスマスにＣｕを0.5ｗｔ％混合した材料系に、Ａｇを混合させた材料系では伸びの向上が得られなかった。

またそれぞれの断面写真を撮って観察すると、Ａｇを添加したものはＡｇの針状結晶が見られた。弾性率の向上はこのＡｇの針状結晶によるものと考えられ、検討を継続している[4]。

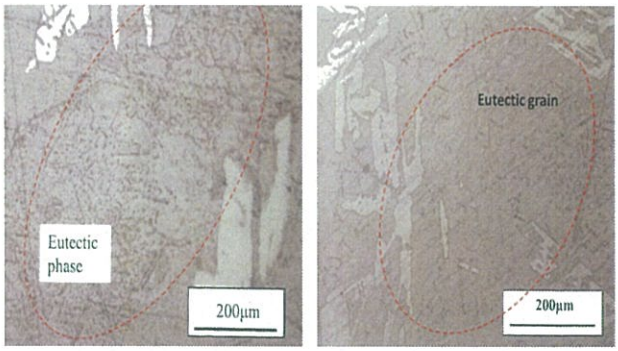


図５．Ｂｉ0.5Ｃｕ（左）とＢｉＡｇＣｕ（右）の断面写真

３．ＬＥＤ基板による接合耐熱特性と実機での評価

ＬＥＤ基板はＬＥＤ素子の発熱のために、はんだ付け部にクラックやオープンが生じることが報告されている[5]。このために、今回開発したビスマス系高温でかつ伸びが良好なはんだ材料を用い、従来鉛はんだとの差異についてテスト基板によるヒートサイクル試験を実施して調べた。その結果テスト基板での比較試験では、ビスマス系高温鉛フリーはんだ材料は、従来の汎用鉛はんだや現行ＳｎＡｇＣｕに比べて同等以上のはんだ接合特性が得られることがわかった。

あわせてＬＥＤ実機実装基板でのはんだ付け特性の評価を行い、ヒートサイクル（－５０～＋１５０℃）試験において現行ＳｎＡｇＣｕはんだより良好な顕著な結果を得た。このため、高信頼性が必要な分野への展開の可能性を検討している。

４．結　言

阪神大震災を契機として生まれた鉛フリーはんだは、水圏生態系への毒性等環境負荷を大きく低減することから、従来の鉛はんだからの置き換えが推進されてきた。世界の電子機器接合用はんだ材料の８０％が、鉛フリーはんだ材料への置き換えが達成されている。これにより現在激増している電子機器廃棄物５０００万トンからの鉛溶出による河川汚染（約琵琶湖７個分/年）の可能性をゼロにすることができた。

しかしながら残り２０％の鉛はんだに相当する２５０℃以上の高温系はんだについては、実用に適したはんだ材料は定まっておらず、世界的に検討が行われている。今回ビスマス系はんだ材料を用いて、各種調査実験を行った結果、テスト基板を用いた特性試験では、従来の鉛はんだ同等以上の特性が見られた。またＬＥＤ照明機器用電子回路基板では、現行ＳｎＡｇＣｕ材料より良好な熱サイクル特性評価結果が得られた。

今後、このビスマス系鉛フリーはんだ材料のさらなる開発を進め、車載やパワーエレクトロニクス、風力発電等々の電子回路機器への展開を図り、高温鉛はんだ分野の鉛フリー化を進め鉛はんだ全廃を達成して行く。

参　考　文　献

1) 末次憲一郎, “鉛フリーはんだ接合技術の開発と実用化”, まてりあ, 38, No. 12 (1999) pp. 964-967
2) 末次憲一郎, 松下電器の受賞技術、 PP. 64-69 (2007)
3) K. Suetsugu, A. Furusawa, M. Tanaka, H. Takano. H. Takehara, T. Horiuchi and K. Matsusige, Mater. Trans. 47, No4 (2006) pp1082-1089
4) 松木一弘　小西琢磨、許哲峰、崔龍範、末次憲一郎、“高温対応鉛フリーはんだ合金の設計と特性評価”、新技術説明会 (2014)、東京
5) ＬＥＤ照明推進協議会編、“ＬＥＤ照明信頼性ハンドブック　第２版”、第１部基礎編、pp39-42

鉛フリーはんだ実装設備の省エネ化への進展と今後の展望

Outlook for Pb-Free Soldering Equipment in Advanced Low-Energy Usage

○中村喜一
Kiichi Nakamura
千住金属工業（株）
kinakamura@senju.com

1, はじめに

1990 年ごろ、地下水を飲料とする米国幼児の血中鉛濃度と知能指数の関係を調査した結果「鉛濃度が高いほど知能指数が低い」と鉛が中枢神経に悪影響を及ぼすと報告された。当時、鉛を主成分とするはんだは、電気電子機器製造の為に、プリント基板などに接合材料として多く使われており、機器の廃棄とともに廃棄物として野外に積み上げられ、酸性雨によって鉛が溶解して地下水となったためと解説された。また、ベートーベンの死因が鉛を封止材とするワインの飲み過ぎによる鉛中毒死とのうわさが広がった時期でもあった。

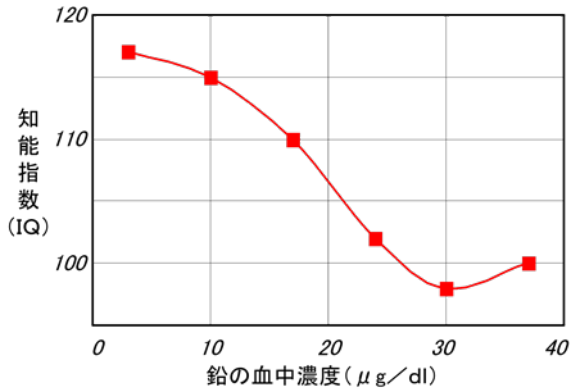


図１、鉛の血中濃度と知能指数の関係

すでに、日本や米国では自動車用の有鉛ガソリンの販売を中止していたが、こうした背景や EU の RoHS 指令や ELV 指令の立法化が引き金となり、工程での不使用ではなく鉛など地球環境に有害な物質を製品に含めないという新しい環境保護政策が世界中に広がり、企業は環境配慮型製品の開発に一段と加速をかけた。

2, はんだ材料の鉛フリー化

5000 年以上の実績と信頼性を確保している Sn - Pb 共晶はんだから、鉛を一切使わない未知の世界への移行には、各企業及び接合技術者にとって大変不安な事件となった。こうした状況を打破すべく当時の経済産業省は NEDO 事業として「鉛フリーはんだ国家プロジェクト」を立ち上げ、大手電機電子機器及び部品メーカの専門家を招集して、鉛フリーはんだの標準化を図り、皆同じはんだ材料を使うことで中堅及び中小企業の不安を払拭させた。ここで、接合信頼性、作業性、生産性、特許取得状況などを加味して千住金属工業が特許を取得する Sn－3Ag－0.5Cu（M705）を標準材料に決定、同社が特許を公開したことで日本だけでなく世界標準材料となった。しかし、M705 は環境課題の一つである健康への配慮を目指す「化学物質の管理」は改善されたが、Ag を使用するために「希少金属の使用による資源の有効利用」や、融点が上昇する材料となる「気候変動（省エネ化）問題」には課題を残し、LCA 的に「本当に鉛フリー化は環境政策であるか」疑問視された。

3、鉛フリーはんだ化の課題と解決

融点が 220℃の M705 は、Sn - Pb 共晶はんだの 183℃と比べ溶融温度が 37℃高く、ピーク温度を約 250℃以上に上昇させた温度プロファイルが必要となった。また、一般的な部品の耐熱温度が約 250℃とピーク温度と近接しているために、部品に大きな負荷を与えず良好なはんだ付け性を確保する方法として、温度上昇勾配を低く抑えたり、ピーク温度よりも低い温度での予備加熱ゾーンを新たに設けるなど、電気エネルギーを消費する長時間高温プロファイルでの実装で鉛フリー化をスタートした。

千住金属工業は、同じ温度プロファイルをエネルギー消費の少ない方法で実現できるリフロー炉 SNR - GT シリーズを開発し課題を解決した。現在のリフロー炉は、熱風による熱伝達法による加熱が主流であり、熱風の直進性を向上させ熱伝達損失を抑制させることが省エネにつながると考え、クロスノズルを開発した。

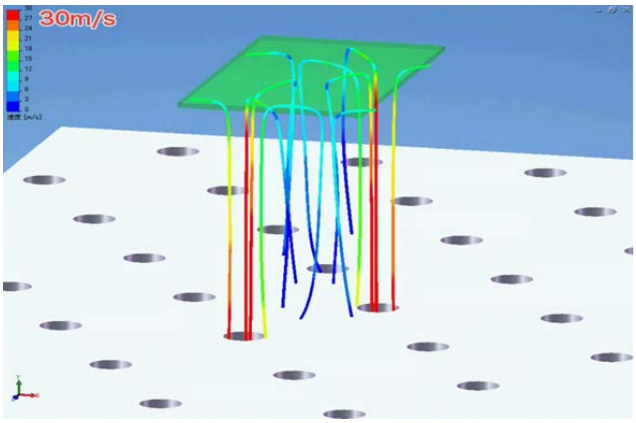


図 2、クロスノズルによる熱風の直進性向上

直進性に優れるクロスノズルは、ターボファンを小型化できモータの消費電力を約６０％削減できる。
また、マッフルとフレームが熱的に接触している断熱材 1 層構造から、独自設計によるマッフルとフレームを熱的に分離する断熱 2 層構造で放熱を抑制し、二つの効果でリフロー炉の消費電力量を最大 48%削減することができた。
リフロー炉によるはんだ付けは、実装基板をベルト上に載せて移動させ、通路させることで所定の温度を得る方法であり、窒素雰囲気による低酸素濃度状態が一般的である。したがって、出入口は常温との境目がなく、暖かくなった窒素ガスが排出され冷たい窒素ガスが入り込む、エネルギー効率を損なう方法でもある。
SNR - GT シリーズは、リフロー炉の出口と入口に酸素濃度を制御した熱風が流れ出ないようにラビリンスゾーンと呼称するエアカーテンゾーンを設け、熱風が炉内を循環させる方法で約３４％の窒素使用量の削減と、省エネ化が行える装置である。この熱風にはフラックスフュームが混ざっており、フラックスを除去して循環せねば、品質に悪影響を与える。SNR - GT は、回収率の高い回収循環機構が設計されており、冷却機能改善により更に１５％の省エネを達成した。
一方、高価な希少金属であるＡｇの不使用と、融点の低いはんだ材料の開発も進めていた。鉛フリー化導入期でも、Bi を添加すれば融点が下がりリフロー温度を上昇しなくても良いことはわかっていたが、部品の端子に 10%の鉛を含むメッキが残っていたために Bi の添加は見送られていた。Bi、Sn、Pb が共存すると低融点化合物が生成され信頼性を損なうからだ。しかし、最近では部品の端子に鉛を含むメッキは存在しなくなった事から、Bi をはんだ成分に加えることが可能となった。Sn－Bi 系はんだの開発もその一つで融点が 141℃と Sn - Pb 共晶はんだと比べても融点が低い合金であり、ピーク温度が 180℃でもはんだ付けできる。

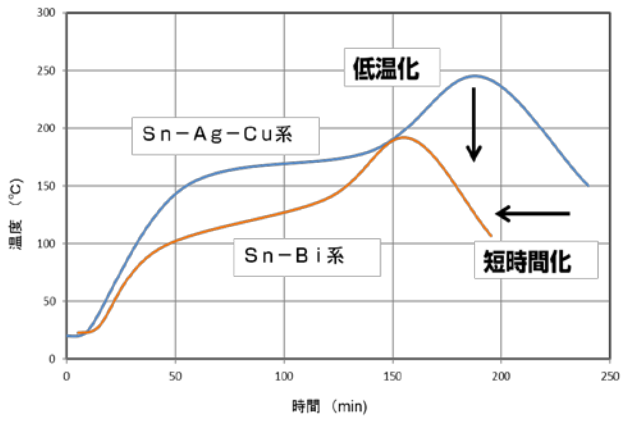


図 3 短時間低温実装が可能な Sn - Bi 系はんだ

更に、融点とピーク温度に温度差が大きいことから、長時間予熱の必要がなく短時間温度プロファイルを可能とし、この短時間低温プロファイルで約 30%の省エネを実現した。
この材料を、SNR-GT シリーズではんだ付けを行うと導入期の約 63%の省エネを達成したことになる。

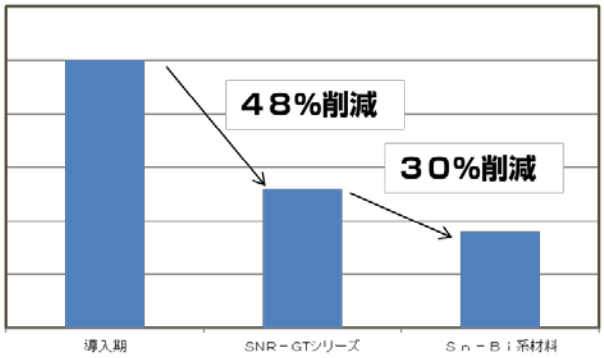


図 4、導入期と比べ 63%の省エネを達成

4、最後に
Sn-Bi 系はんだは、低融点材料で省エネに貢献できるが固くて脆い合金であり接合材料としては使用範囲が限定されている。はんだの機能は、基板と部品とを電気と機械的に接合する 2 つの役割を同時に果たしているが、千住金属工業は、フラックス残渣が接着剤となる Sn-Bi 系ソルダペースト L20－JPP を開発して、使用範囲を拡大した。L20 - JPP は、従来通り合金で基板と部品をオーミックな電気的な接合で、フラックス残渣が接着剤となる有機材料で機械的な接合を果たす、機能を分担した今までの概念にはないはんだ製品である。この製品によって使用範囲が広がり、例えば耐熱性は低いが、安価で資源的に豊富なフレキシブルな PET や PEN フィルムが基板材料として使用でき、新しい世界が見えはじめてきた。図 5 は、フレキシブルな PEN フィルムに LED を 180℃で実装したものである。



図 5、PEN フィルムに LED を低温ではんだ付け

世界の鉛フリーはんだ先端研究と科学技術新分野開拓の今後

Research Progress in Lead-free Solders and Prospects for Developing Advanced Technologies

○井上雅博*[1)]
Masahiro Inoue
1) 群馬大学
* masa-inoue@gunma-u.ac.jp

1. はじめに

はんだの鉛フリー化に関する研究は 1990 年代後半から活発化し，現在では鉛フリーはんだはエレクトロニクス実装の分野では欠くことができない接合材料となった．学術研究の観点から鉛フリーはんだの研究の進展を見てみると，単なる実用材料の開発研究という意味合いに留まらず，多くの新規研究分野の開拓につながったことに気づかされる．例えば，金属工学の分野においては鉛フリーはんだの研究を通じて合金設計の研究が進展した．また，溶接・接合工学の分野ではマイクロ接合技術という研究分野が勃興することとなった．さらに，金属工学，機械工学，電気工学などの分野にまたがる学際領域としてのエレクトロニクス実装工学を学術研究とアカデミアに認知させたことも大きな功績と言って良いと思われる．

さらに鉛フリーはんだという材料に限定するのではなく鉛フリー接合技術という観点に立つと，導電性接着剤や金属ナノ粒子ペーストなどの接着・接合材料や被着体の表面活性化による直接接合技術などの周辺技術も包含する異種材料接合という学際領域を生み出すトリガーとなったことは疑いがない．

本発表では，1990 年代からの鉛フリーはんだ研究の進展を学術論文数や公開特許件数などの客観的なデータから振り返り，学術研究に与えたインパクトについて述べるとともに，今後の展開について考えてみたい．

2. これまでの科学技術への貢献

図 1 に独立行政法人 工業所有権情報･研修館が運営する特許情報サイト J-Plat Pat に収録されている日本の公開特許について「鉛フリーはんだ」または「無鉛はんだ」のキーワードで検索を行い，公開特許件数の推移を調べた結果を示す．1990 年代後半から件数が増加を始め，2000 年頃から急激に増加していることがわかる．公開特許件数は 2004 年頃ピークを迎えているが，これは 2006 年 7 月 1 日の RoHS 指令施行に向けて鉛フリーはんだ技術の開発研究が活発化していた時期に対応している．Rohs 指令施行後は公開特許件数が減少する傾向が見られる．

一方，図 2 には Thomson Reuters が提供するデータベース WEB OF SCIENCE に収録されている学術論文を「lead-free solders」をキーワードとして検索し，学術論文数の推移を調べた結果を示す．この結果には IEEE CPMT や iMAPS 等の学会が主催する国際会議のプロシーディングスに収録されている論文やピアレビューを行わない雑誌の論文や解説記事などは含めておらず，国際的に認知されている学術雑誌に掲載された論文のみを対象とした検索結果である．

この図には 1990 年以前の情報を含めていないが，今回の調査で見つかった中では，1988 年 10 月に Welding Journal に掲載された「Lead-free solder to meet new safe

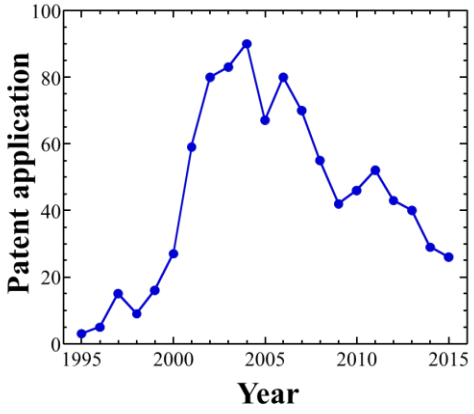


図 1 日本の「鉛フリーはんだ（無鉛はんだ）」に関する公開特許件数の推移

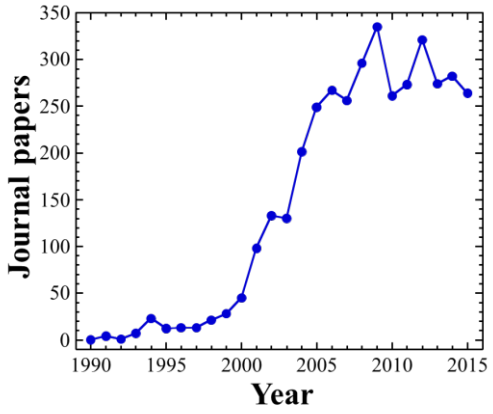


図 2 国際的学術雑誌（ピアレビューあり）に掲載された「lead-free solders」に関する論文数の推移

drinking-water regulations」と題する論文が最も古い論文であった．この論文よりも古い文献も存在する可能性もあるが，ピアレビューの国際的学術雑誌に鉛フリーはんだに関する論文が掲載された始めた時期は概ねこの頃であると考えてよいと考えられる．

1990～2000 年にかけて論文数は増加する傾向が見られるがこの時期には年間数十報程度であり，アカデミアにおいては鉛フリーはんだが主要な研究テーマとはみなされていなかったことがうかがえる．

2000 年以降，論文数は急増しており，2005 年には年間 250 報もの論文が発表されている．この時期には鉛フリーはんだの実用化も始まり，Rohs 指令施行に向けて産業界での研究開発が活発化したため，その社会的な流れの中で国内外のアカデミアも鉛フリーはんだに注目し始めたと言える．

Rohs 指令施行後には，年間論文数は 250～350 報の間を安定的に推移していることがわかる．図 1 には国内公開特許数が減少する傾向があることが示されていたこととは対照的である．また，エレクトロニクス実装技術やマイクロ接合技術の国内学会や国際会議では発表される鉛フリーはんだ関連の論文数は減少傾向にあり，鉛フリーはんだのセッション自体が消滅した学会もある．このような情勢の中で国際的学術誌に掲載された論文数が減少しないのはなぜなのだろうか．

鉛フリーはんだは基本的に多元系の合金であるため，金属工学の学術研究としては興味深い研究対象である．2000～2005 年の時期に鉛フリーはんだがアカデミアに与えたインパクトが一過性のものではなく，重要な研究対象として定着したと言えるのではないだろうか．そのように考えると，少なくともしばらくの間は年間論文数が 250 報程度のレベルを維持していくことが予測される．

3. その他のフリー化技術の動向

3.1 導電性接着剤および関連材料

有機高分子から成るバインダ中に Ag などの金属フィラーを分散させた接着剤を一般に導電性接着剤と呼んでいる．はんだの鉛フリー化の研究が活発化した際に，Sn-Pb 共晶はんだを新しいはんだ合金ではなく，導電性接着剤で置き換えることで鉛フリー化を達成しようとする主張もなされたことがあった．実際にははんだをすべて接着剤で置き換えることは困難であり，用途に応じて適切に使い分けていくべきものである．

近年，導電性接着剤の材料技術も鉛フリーはんだ研究の急速な進展の影響を受けて大きく進歩した．金属フィラーとしてはんだ粒子を用いることもできるようになり，鉛フリーはんだと接着剤を融合したような新しい材料も登場した．さらに金属フィラーをバインダ中で焼結させることも可能となり，導電性接着剤の学術的基礎の見直しが必要となってきた．これも鉛フリーはんだ研究が科学技術研究にもたらしたインパクトのひとつと言っても過言ではない．

3.2 焼結型接合材料

はんだ合金では溶融－凝固プロセスを経て接合が行われるが，接合材粒子の焼結により接合を行う技術についても研究が進められている． 1990 年代に Ag や Cu などの独立分散型金属ナノ粒子の大量合成が可能となったことを契機として，鉛フリー接合技術への応用展開を目指して焼結型接合材料の研究が活発化した．現在では，金属ナノ粒子とミクロ粒子のハイブリッドペーストや，金属ナノ粒子を直接的に用いない焼結型ペーストなど様々な材料が開発されている．

金属ナノ粒子の低温焼結性に基づいて焼結型ペースト材料が開発されてきたが，近年ではナノ粒子を用いなくても低温焼結が可能なペースト材料を実現できることが明らかになってきた．例えば，著者らは界面化学因子の制御だけでエポキシ樹脂中で Ag ミクロ粒子の低温焼結する現象を見出した．このことから，ナノ粒子の特殊性のみを強調してきた学術研究の不備が指摘されるようになり，新たな研究分野が開拓されようとしている．

3.3 表面活性化による直接接合技術

はんだを用いない非はんだ接合により鉛フリー化を達成しようとする研究も行われてきた．須賀らの超高真空チャンバー中でのイオンエッチングによる表面活性化接合はパイオニア的研究と言える．現在ではそのほかにも様々な表面活性化手法が提案されており，低温直接接合という大きな研究分野を形成するに至っている．表面活性化による直接接合技術は，半導体デバイスの高集積化を目指したウェハ接合への応用が期待されている．

4. 鉛フリーはんだ研究の今後の展開

中低温はんだの鉛フリー化は進展しているが，高温はんだの鉛フリー化は未だ達成されていない．Ag ナノおよびミクロ粒子ペーストのような焼結型接合材で高温はんだの鉛フリー化を達成しようとする考え方もあるが，様々な用途を考えた場合，はんだ合金が優位性をもつ場合も少なくないので，高温鉛フリーはんだ合金の開発研究の推進は必要であると思われる．現在，Bi 系や Zn 系合金の高温はんだ応用に関する研究が進められているが，今後の展開に期待したい．

企業における鉛フリーはんだ導入と環境貢献活動

Lead-free solder introduction and environmental contribution activities in companies

○西浦正孝*1)
Masataka Nishiura
1）パナソニック株式会社　エコソリューションズ社
* nishiura.masataka@jp.panasonic.com

１．はじめに

鉛フリーはんだの実用化から１６年が経過し、この鉛フリーはんだが企業でどのように使用されているのか、また企業における環境貢献活動について、昨今の状況を報告する。

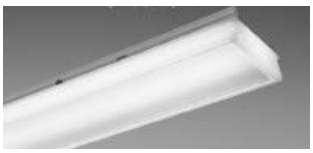
２．パナソニックにおける鉛フリーはんだ導入

１９９０年代前半、はんだ材料の合金組成は６３％Ｓｎ－３７％Ｐｂであった。パナソニックグループは、１９９０年代後半、接合信頼性を確保しつつ、ＲｏＨＳ指令を３年前倒しして鉛含有はんだの全廃を目指し、はんだ材料、実装設備、実装プロセスの観点から、鉛フリー技術を開発、導入を進め、９６．５％Ｓｎ－３．０％Ａｇ－０．５％Ｃｕ[1)] を基本組成に、低融点組成として、８８％Ｓｎ－３．５％Ａｇ－０．５％Ｂｉ－８％Ｉｎ[2)] を開発した。２００３年当時に世界１７カ国３９社に鉛フリー技術を定着させ、ＲｏＨＳ対象全製品（約１２０００製品）の鉛フリー化を実現した。

下記にエコソリューションズ社における鉛フリーはんだ導入の状況について示す。

2.1　ライティング事業

ライティング事業は、住宅、店舗、施設、屋外向け照明器具、および演出照明機器を製造･販売している。現在、１００％ＬＥＤ化を推進しており、ＬＥＤ周辺のはんだ付けは１００％鉛フリー化を実現している。

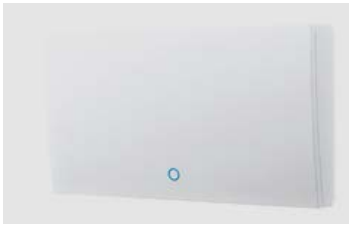


一体型ＬＥＤベースライト（ｉＤシリーズ）

図１　ライティング事業製品（鉛フリー製品）

2.2　エナジー事業

エナジー事業は、スマートＨＥＭＳ、スイッチ・コンセント、マンションインターフォン、住宅用・産業用太陽光発電、および蓄電システムを製造・販売している。これらの製品の電子回路周辺のはんだ付けは１００％鉛フリー化を実現している。



スマート分電盤



蓄電システム

図２　エナジー事業製品（鉛フリー製品）

2.3　環境エンジニアリング事業

環境エンジニアリング事業では、空気清浄機、換気機器、熱交換気ユニット、送風機などの製造・販売をしている。これらの電子回路周辺のはんだ付けについても１００％鉛フリー化を実現している。



空気清浄機



熱交換気ニット

図３　環境エンジニアリング事業製品（鉛フリー製品）

３．エコソリューションズ社の環境活動

エコソリューションズ社では、「環境リスクの低減と環境パフォーマンス向上により事業貢献する環境活動をグローバルに展開し、パナソニックの環境経営を牽引します。」を環境活動方針として推進している[3)]。また、ＣＯ２削減、資源循環、水、化学物質、生物多様性について目標を掲げ、目標達成に向けて環境活動を推進している。

下記にエコソリューションズ社における環境活動の一例について示す。

3.1　戦略ＧＰの拡大

環境負荷低減につながる商品・サービスの更なる拡大のため、新たに戦略ＧＰを定義し、その創出を進め

ている。業界トップクラスの環境性能を持つ、タンクレス新型アラウーノ、普及促進で環境負荷を大いに抑制できる、太陽電池モジュールＨＩＴがスーパーＧＰとして認定されている。



タンクレス新型アラウーノ



太陽電池モジュールＨＩＴ

図４　戦略ＧＰ（Green　Product）商品

3.2　再生資源の利用拡大

使い終わった商品から資源を取り出した資源を活用する取り組みの拡大を進めている。使用済み家電製品から取り出した樹脂の自社製品への再利用や、使用済み家電製品から取り出した鉄スクラップの自社製品への再利用を進めている。



再生樹脂



軽量天井材（再生品）

図５　再生資源の事例

3.3　水資源の保全

工場からの排水を回収し、再利用することで新規補給水および排水放水量を削減し、生産活動の取水・排水による水資源への負荷を削減している。太陽光パネルを製造する二色浜工場では、純水製造時に排出される排水を別の純水製造装置で不純物を除去することでもう一度きれいにな水に戻して再利用している。そのことで水使用量原単位を２３．６％と改善した。



図６　二色浜工場（太陽電池モジュール製造）

3.4　生物多様性保全活動

事業活動が生物多様性に与える影響を適切に把握し、その保全に貢献する活動を自治体や環境ＮＧＯ、専門機関と連携して取り組んでいる。

エコソリューションズ社のビオトープはその活動を評価され、２０１５年に、おおさか環境賞　奨励賞・協働賞を受賞した。



図７　ビオトープの取組み（エコソリューションズ社）

４．今後の課題

パナソニックグループでは、鉛フリーはんだ導入において、環境負荷物質の低減、家電製品の長期使用可能な材料として、貢献してきた。

将来は、世界の動向にあわせ、半導体や部品の内部接合用高温鉛はんだについても、鉛フリーに置き換えていきたい。

５．まとめ

パナソニックグループは２０１８年に創業１００周年を迎える。社会責務を果たすとともに、持続可能な企業として、業界トップクラスの環境貢献を目指して取り組んでいく。

６．引用文献

１）西浦　正孝：エレクトロニクス実装学会誌，vol.3 No.6（2000）pp.509-514
２）山下　裕平，山口　敦史，古澤　彰男，西田　一人：第 17 回エレクトロニクス実装学術講演大会予稿集　（2003）
３）パナソニック　環境活動報告　サスティナビリティーレポート　２０１５

太陽電池ルーバーを用いた統合ファサード改修の LCA

Life Cycle Assessment of Integrated façade Retrofit with PV Modules Louvers

○藤下和浩*[1)]、竹内徹[2)]
Kazuhiro Fujishita, Toru Takeuchi
1, 2) 東京工業大学
* fujishita.k.aa@m.titech.ac.jp

1. 序論

近年，既存建物の外皮に制振部材とルーバーを取り付けることによる構造，環境性能の向上を目的とする統合ファサード [1)]（図 2）が提唱されている。本論では通常のルーバーに加え，太陽電池ルーバーを統合ファサードに用いた場合の LCA を実施し，複数の統合ファサード設計案の LCCO2 を比較分析する。

2. 対象モデル

1971 年の建築基準法改定以前の水準で設計された図 1 に示す 5 層の RC 造校舎（東京）[1)]を想定し，改修または新築のシナリオとして表1に示す19ケースを検討する。ルーバー及び耐震改修における構造要素は建築外壁面に対する連続的な配置とし，階高 3700mm，開口幅 4000mm の 1 スパン分を考慮することでルーバー間隔をパラメータとした図 3 に示す 4 つの解析モデルを考える。ルーバーの設置面は南面，角度は 15.1 度とする。ルーバーは木材で構成される通常のルーバー [1)]と太陽電池で構成される太陽電池ルーバーを検討する。太陽電池ルーバーは既往文献 [2)]に倣い，図 4 に示すように 2 つのバイパスダイオードが並列に取り付けられたモジュール（定格出力 128W，電位差 16V）が建物 1 スパンの幅に 3 つ並んでいると想定する。

3. 太陽電池ルーバーの発電電力量の評価

既往文献 [2)]に倣い，図 3 に示す 1 スパン分の太陽電池ルーバー（間隔 4 パターン）の発電電力量を算出する。1～12 月初旬の日中各正時の日影及び水平面直達日射量 [4)]から分離した傾斜面直達・散乱日射を考慮する。日射中の直達成分は影による電圧降下の影響を，散乱成分はモジュール中央部における天空率をそれぞれ考慮する。温度やモジュールの経年劣化に伴う発電電力の損失は考慮しない。得られた各モデルの年間発電電力量（全日晴天と仮定）を図 5 に各月の発電電力量を図 6 に示す。図 5 より日影を考慮した場合設置ルーバー枚数 6 枚のとき，発電電力量が最大値をとることが分かる。また図 6 よりルーバー間隔の狭いモデルは太陽高度の高い夏期に日影による発電電力量の低下が顕著で発電効率が大きく低下していることが分かる。

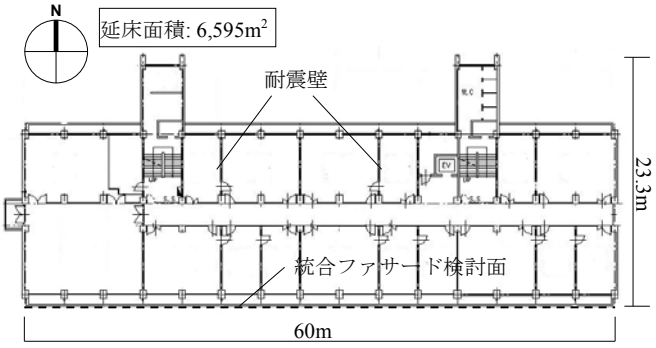


図 1　学校校舎（1967 年築，地上 5 階，地下 1 階）

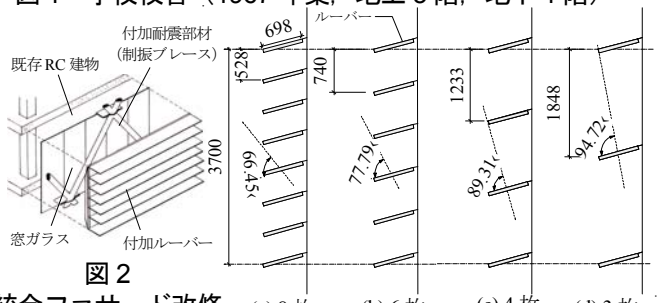


図 2
統合ファサード改修

図 3　検討ルーバー断面（幅 4000mm）

表 1　検討ケース

	ルーバーなし	ルーバー有				太陽電池ルーバー有			
		8枚	6枚	4枚	3枚	8枚	6枚	4枚	3枚
未改修	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
通常ブレースによる強度型補強	⑩								
制振ブレースによる制振補強	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲

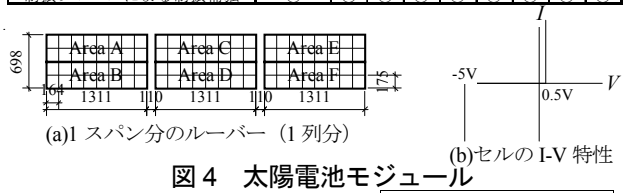


図 4　太陽電池モジュール

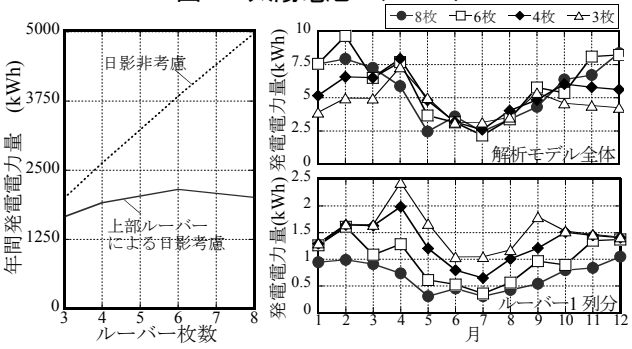


図 5　年間発電電力量　図 6　各月発電電力量（1 日分）

4. 室内冷暖房負荷の評価

ルーバーの付加が室内冷暖房負荷に及ぼす影響をオープンソースの環境シミュレーションソフト ESP-r を用いて検討する。対象モデルは図 7 に示す床以外の全

壁面が外部に面している水平ルーバーを有した 1 室空間のモデルを用いる。室内発生熱は表 2 に示すように考慮し，換気回数は建築基準法に基づき 0.7 回/h とする。冷房が 27℃，暖房が 20℃を設定温度とし，10～17 時を空調機器の運転時間とする。外部気象条件は東京（茨城県百里, 1983 年, ASHEAE）のデータを用いる。

図 8 に一部のモデルの室内冷暖房負荷と室内への流入日射量の推移を示す。ルーバーを設置した場合，入射日射量が大きく減少し，夏期の冷房負荷が低減される一方，冬期の暖房負荷が増加することがわかる。

次に各モデルの年間室内空調負荷を比較する。現在（2014 年），解析に用いた外部気象条件と比較して年平均 3.6 度の気温上昇が見られることから両データにおける年平均気温の上昇割合（22%）に基づき，暖房負荷を解析値の 122%，冷房負荷を解析値の 78%とした年間室内空調負荷を図 9 に黒線で示す。図より，ルーバー4，3 枚のモデルの年間空調負荷はルーバーがない場合に比べ小さいが，ルーバー8，6 枚のモデルは冬期の暖房負荷増加分に比べ夏期の冷房負荷減少分が小さいため, 年間空調負荷が増加していることがわかる。また年間空調負荷はルーバー3 枚のとき最小となる。

5. 各ケースにおける LCCO2 の評価

評価対象期間を改修検討時から 50 年間とし, レベル 2 相当の地震が 1 度生じる際の LCCO2 を評価する。検討に際しルーバーの設置による冷暖房負荷軽減と太陽光発電を考慮する。構造躯体及び内外装材，設備工事による排出 CO2 は，文献 3)における複合原単位（修繕周期，修繕率を含む）を用いて算出する。算出に用いる各部材の物量は躯体，内外装材，建築設備とも同延床規模の事務所または学校における参考値を参照する。制振改修は制振ブレース（BRB）を，通常の強度型改修は BRB の座屈耐力と同程度の H 型断面ブレースを表 3 に示すように [1]建物ファサードに配置することを想定し物量を計算する。また文献 1)の解析における応答値より地震後の復旧工事は表 5 を想定する。

各ケースにおける LCCO2 を図 10 に示す。図より太陽電池ルーバー4 枚と BRB を用いた統合ファサード改修時(18)の LCCO2 が未改修時(1)に比べ 25%低減しており，全ケース中最小となっている。全体の LCCO2 に占める運用時エネルギーの割合は全てのケースにおいて 50%以上と高い。制振改修に伴う地震後の躯体工事費の低減と太陽電池ルーバーによる発電電力が LCCO2 の低減に大きく寄与している。

6. 結論

1)目標とする環境指標（発電電力または空調負荷）により，最適なルーバー間隔が異なることがわかった。

2)本 LCA では BRB と太陽電池ルーバー4 枚を用いた統合ファサード改修において発電電力と空調負荷をともに考慮した LCCO2 が最小となった。

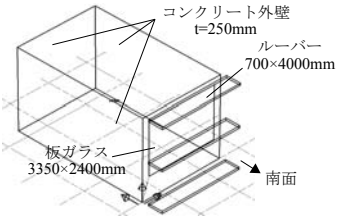


図 7　熱負荷解析モデル

表 2　室内発生熱

W/m²	平日		休日	
	顕熱	潜熱	顕熱	潜熱
人体	0.2人/m²		0.1人/m²	
	11.63	9.3	5.815	4.65
照明	20		20	
OA機器	30		30	

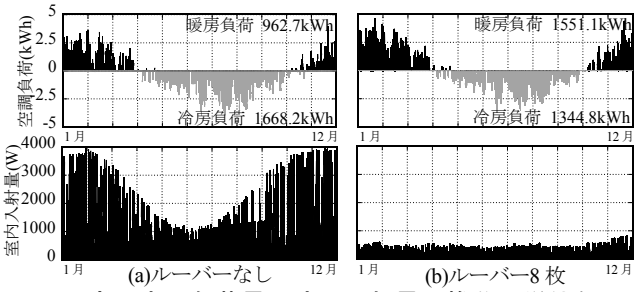


図 8　室内空調負荷量と流入日射量の推移（単位年）

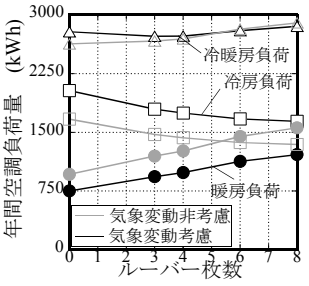


図 9　年間室内空調負荷

表 3　改修に用いる部材

制振改修				
階	BRB芯材	南面	BRB芯材	北面
5				
4	PL-19×152	15	PL-32×153	3
3	PL-40×159	15	PL-32×153	10
2	PL-40×159	15	PL-40×159	13
1	PL-40×159	15	PL-40×159	6
B1	PL-40×159	13	PL-40×159	6
強度型改修				
階	ブレース材	南面	ブレース材	北面
5				
4	H-200×200×8×12	15	H-250×250×9×14	3
3	H-250×250×9×14	15	H-250×250×9×14	10
2	H-250×250×9×14	15	H-250×250×9×14	13
1	H-250×250×9×14	15	H-250×250×9×14	6
B1	H-250×250×9×14	13	H-250×250×9×14	6

表 5　地震後の復旧工事

シナリオ	レベル2地震後	備考
未改修	建替え（既存建物と同性能）	解体時排出CO2:新築時の10%
ブレースによる強度型改修	主架構ひび割れ修復+ブレース交換	
BRBによる制振補強	制振ブレース交換	BRB取替時排出CO2:改修時の40%

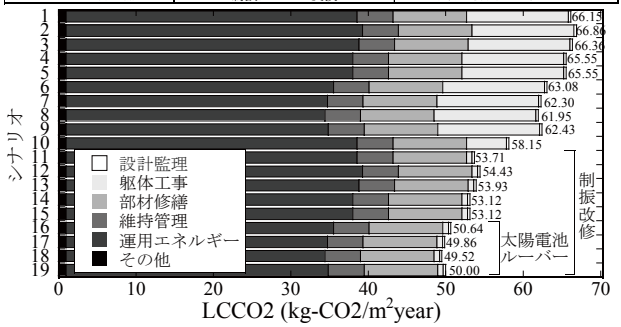


図 10　各ケースにおける LCCO2（kg-CO2/年 m²）

引用文献

1) 竹内徹，安田幸一，湯浅和博，岡山俊介，宮崎健太郎，岩田衛:日本建築学会技術報告集，24，(2006)，pp 161-166

2) 藤下和浩，竹内徹，山田明，植田譲:電気学会全国大会講演論文集，7，(2014) ，pp 59-60

3) 日本建築学会:建物の LCA 指針改定版，(2013)

Supporting Information
LCCO2 算出における計算諸元及び計算結果

表 S1　既存 RC 造校舎の新築躯体工事における LCCO2 の算出条件
（文献 3）の複合原単位（国内消費支出），物量は延床面積 6000m^2 規模の事務所の値を参照した。）

部位	名目	更新周期(年)	修繕率(年)	延床面積あたり物量	
直接仮設	直接仮設	50	0	9	kg￥/m^2
土工事	残土	50	0	0.81	m^3/m^2
	汚泥（泥水）	50	0	0.16	m^3/m^2
	現場打RC杭(ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞ)　Fc24N/mm2	50	0	0.16	m^3/m^2
コンクリート	ｺﾝｸﾘｰﾄ(ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞ)　Fc24N/mm2	50	0	0.8	m^3/m^2
型枠	型枠	50	0	1	m^2/m^2
鉄筋	鉄筋	50	0	100	kg/m^2
屋根	屋根 歩行防水　(断熱材を除く)	30	0	0.16	m^2/m^2
外壁	外壁仕上　塗装	40	0.01	0.42	m^2/m^2
外部開口部	ｱﾙﾐｻｯｼ+ｶﾞﾗｽ10mm（単層-FIX）	40	0.01	0.09	m^2/m^2
断熱（屋根）	断熱材　ｽﾀｲﾛﾌｫｰﾑ 25t	40	0	0.16	m^2/m^2
断熱（外壁）	断熱材　ｽﾀｲﾛﾌｫｰﾑ 25t	40	0	0.42	m^2/m^2
内部床	床仕上　塗装(ｴﾎﾟｷｼ系)	20	0.02	0.25	m^2/m^2
内壁	壁下地　PB (GL工法)	20	0.02	0.95	m^2/m^2
	壁仕上　塗装	20	0.02	0.65	m^2/m^2
	木製扉	30	0.02	0.04	m^2/m^2
天井	天井　吊材+PB+岩綿吸音板	30	0.02	0.69	m^2/m^2
	天井下地　吊材+PB	30	0.02	0.06	m^2/m^2
	天井仕上　塗装	20	0.02	0.06	m^2/m^2
断熱・吸音	断熱材　ｽﾀｲﾛﾌｫｰﾑ 25t	30	0.02	0.16	m^2/m^2

表 S2　改修時における躯体工事分の LCCO2

制振改修						耐震改修					
	名目	体積(m^3)	数量	全体積	質量(kg)		名目	体積(m^3)	数量	全体積	質量(kg)
BRB (PL40-159)	鉄	0.0319	108	3.45	27120	ブレース	H-200×200×8×12	0.3100	15	4.65	36596
	コンクリート	0.0719		7.77			H-250×250×9×14	0.4572	96	43.89	345386
躯体接続部	H-300×300×10×15	0.0073	75	0.54	4281	躯体接続部	H-300×300×10×15	0.0073	75	0.54	4281
	PL-25	0.0059		0.44	3474		PL25	0.0059		0.44	3474
鋼梁	H-488×300×11×18	8.5860		8.59	67572	鋼梁	H-488×300×11×18	8.5860		8.59	67572
鋼柱	φ267.4×15.1			0.31	2440	鋼柱	φ267.4×15.1			0.31	2440
	250×200×19×19			0.50	3935		250×200×19×19			0.50	3935
コンクリート (m^3/m^2)	0.0012	鉄 (kg/m^2)	16.5005	LCCO2 (kg-CO2/年m^2)	0.5	コンクリート (m^3/m^2)	0.0000	鉄 (kg/m^2)	70.3081	LCCO2 (kg-CO2/年m^2)	2.3
						ひび割れ補修(単価4000円×3.748kg-CO2/m^2×6595m^2)					0.27
										LCCO2 (kg-CO2/年m^2)	2.57

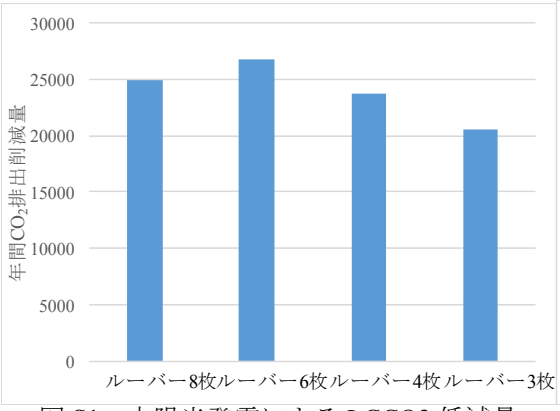


図 S1　太陽光発電による LCCO2 低減量
（石油火力発電所:200g-C/kWh，太陽光発電:34.3g-C/kWh と仮定）

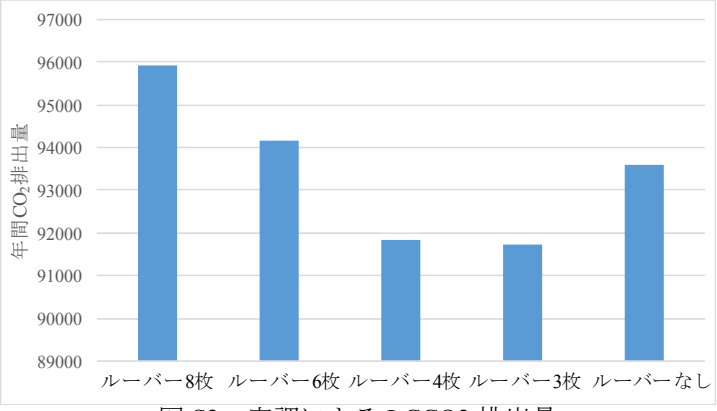


図 S2　空調による LCCO2 排出量

希少金属の消費を考慮した太陽光発電の環境影響評価

大内凌太 1)、伊坪徳宏 1)
1) 東京都市大学
*g1231033@tcu.ac.jp

1. 背景

世界的なエネルギー需要増大と気候変動の深刻化を受け、再生可能エネルギーの大量普及は国際的に必須とされている。なかでも太陽光発電は利用可能な資源量が多く、ヨーロッパを中心に急速に拡大している。太陽光発電により温室効果ガスの排出抑制が期待される一方で、レアメタルを消費することによる資源消費とのトレードオフが生じる。国連環境計画（UNEP）や環境省は太陽光発電普及による資源枯渇問題に懸念を示し、太陽光発電のリユース・リサイクルの推進に向けた取り組みを実施している現状である。

LCA 手法を用いた太陽光発電の評価では、GHG・EPT(Energy Payback Time)の評価は多数検討されているが、資源枯渇の観点からレアメタルの消費に着目した評価事例は少ない。また、再生による金属回収の効果について定量的に分析された事例はない。

2. 目的

本研究では、太陽光発電パネル（シリコン系・CdTe 型・CIGS 型）の地球温暖化への影響を GHG 排出量で評価し、ベースメタル・レアメタルの使用による影響について、資源消費の観点から評価を実施するとともに銀の回収による環境負荷削減効果を評価することを目的とする。リサイクル工程は国内企業が導入開始していることから、一時データを入手する。

3. 研究方法

本研究では以下 3 点の算定を行うこととする。

① 各種太陽光発電の GHG 排出量の評価を行う。
② 太陽光発電の資源枯渇性評価を 4 つの異なる手法を用いて評価する。
③ シリコン系太陽光発電の銀の回収による環境負荷削減効果を地球温暖化・資源消費・廃棄物の観点から評価する。

3.1 評価対象

算定①・②の評価対象は 4 種の太陽光発電モジュール（単結晶 Si 型、多結晶 Si 型、CIGS 型、CdTe 型）とし、算定③では多結晶 Si 型のみ評価対象とする。

3.2 機能単位

算定①・②では太陽光モジュールにおける出力 1kW を機能単位とし、算定③では多結晶 Si 型太陽光モジュール 1 枚(1.6m²)を機能単位とする。

3.3 調査範囲

算定①・②では各種太陽光発電パネルの環境影響比較を行うため、太陽光発電モジュールの原材料調達段階・製造段階のみを調査範囲とし使用・輸送・廃棄リサイクル段階は調査範囲外とした。

算定③では、太陽光発電モジュールの原材料調達段階・製造段階・廃棄リサイクル段階を調査範囲とした。システム境界を以下の図 1 に示す。

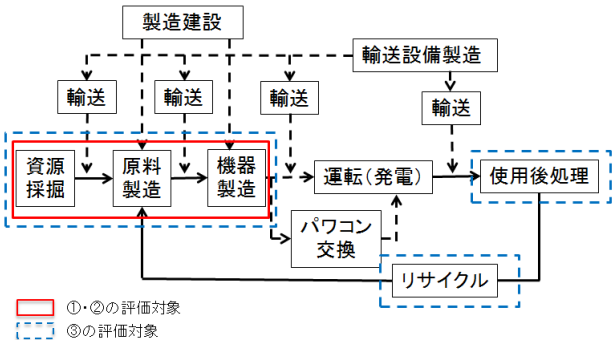


図 1 本研究のシステム境界

3.4 算定方法

本研究での GHG 排出量、資源枯渇評価の算定には原単位法を使用した(算定式は以下の式 1,2 に示す。

GHG 排出量＝Σ（活動量×GHG 排出量原単位）（式 1）
資源枯渇評価＝Σ（活動量×資源枯渇評価係数）（式 2）

活動量は、生産までは IEA 報告書「Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems」(2015)[1]の文献値、再生リサイクルは企業へのヒアリングによって得た一次データを用いた。(式 1)の GHG 排出量原単位には、一般社団法人産業環境管理協会が公開している IDEA を使用した。(式 2)の資源枯渇評価ではレアメタルの消費に着目するため、化石燃料由来の負荷を除いた金属資源による影響のみでの算定を行った。資源枯渇評価係数には、TMR(Total Materials Requirement)、資源枯渇特性化係数、特性化(LIME2)、被害評価(LIME2)の 4 種類を用い資源枯渇性評価を行った。

4. 結果

4.1　各種太陽光発電の GHG 排出量比較

各種太陽光発電の製造工程別 GHG 排出量の算定結果を図 2 に示す。シリコン系太陽光モジュールは化合物系太陽光モジュールより GHG 排出量が大きい結果となった。特に単結晶シリコンはウェハの生産時のエネルギー投入量が多く、多結晶はウェハ分のエネルギー投入量が少なく、CIGS とほぼ同程度であった。光吸収係数が高く薄膜かが可能な CdTe は材料使用量の低減による GHG 排出量は相対的に低かった。

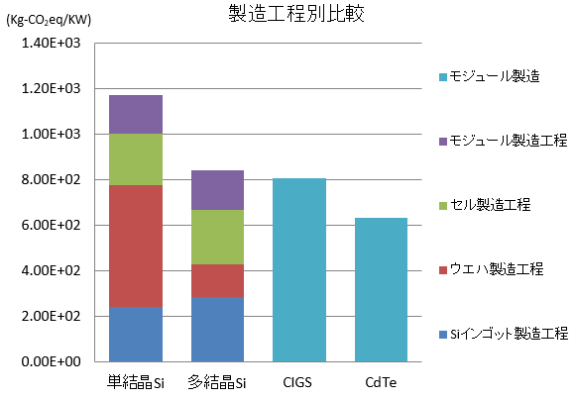


図 2 各種太陽光モジュールの GHG 排出量算定結果

4.2　資源枯渇性評価

金属に着目した各資源枯渇評価の算定結果を図 3 に示す。採用した評価方法によって、評価結果は大きく異なった。資源枯渇性評価では、In による影響が大きく、CIGS 型が最も大きな結果となった。TMR を用いた場合は多結晶型で使用される銀の影響が大きな値となった。特性化(LIME2)では、Se の可採埋蔵量が小さいことを受けて CIGS 型の結果が大きくなった。LIME2（被害評価）では貴金属である銀が大きく寄与し多結晶 Si 型が大きな結果となったがレアメタルの係数がないため、Te や In の影響についてはここで見ることができない。

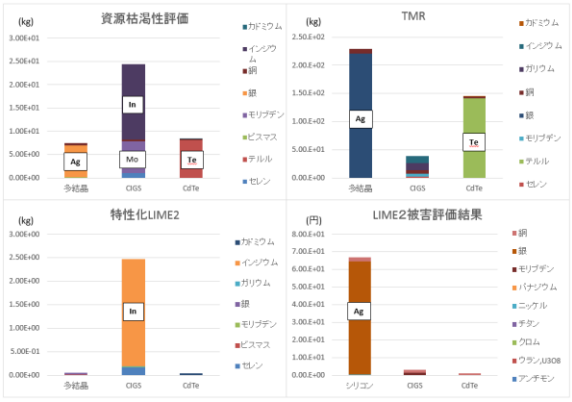


図 3 各種太陽光モジュールの資源枯渇評価

4.3　銀の回収における環境影響削減効果

太陽光モジュールに含まれる金属のリサイクルによる環境負荷削減効果を地球温暖化・資源消費・廃棄物の観点から統合化を行った結果を図 4 に示す。金属のリサイクルを実施することで資源消費・廃棄物の影響が抑制される結果となった。特に資源消費は銀の回収により約 7 割削減され、統合化結果で約 5 割削減される結果となった。

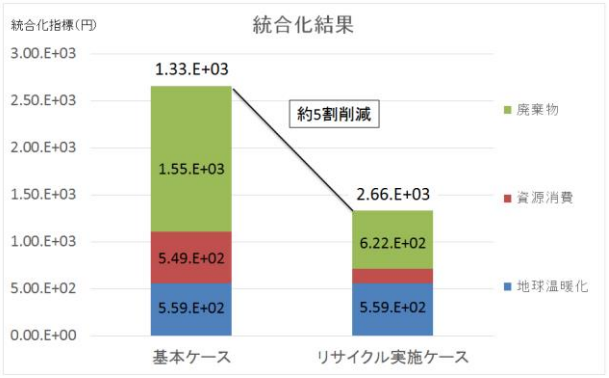


図 4 シリコン系太陽光発電を対象とした金属の回収による環境影響削減効果

5.　結論と課題

本研究は各種太陽光発電（単結晶 Si 型・多結晶 Si 型・CIGS 型・CdTe 型）に対して地球温暖化（GHG 排出量）と資源枯渇評価を行った上で、シリコン系太陽光発電のリサイクルによる環境負荷削減効果を評価した。

資源枯渇評価は評価手法によって定義やレアメタルの係数の有無が異なるため、手法により結果が大きく異なった。しかしながら、どの評価手法を用いても太陽光発電製造時に消費する貴金属・レアメタルによる資源枯渇の影響が大きいことがわかった。その中でもシリコン型は銀、CIGS 型はインジウム、CdTe 型はテルルが資源枯渇に最も大きく寄与することが明確となった。太陽光発電の製造による資源枯渇の影響を抑制するためには、高効率での金属の回収が重要となる。日本ではすでにシリコン系太陽光電池の回収、リサイクル事業が開始している。一次データを用いて算定した結果、環境影響の総量を 5 割程度削減する効果が見込まれた。

今後は、太陽光発電のリサイクル評価をより実用性のある評価にするため、環境面とコストの両面を考慮した費用対効果分析を行う必要がある。

6.　参考文献

1) Report IEA-PVPs：Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems(2015)
2) 森林植生の違いを考慮した太陽光発電システムの土地利用影響評価（2015）
3) First Solar：Life Cycle Assessment Of Silver Replacement With Copper Based Metallization In Tetrasun PV Modules(2015)
4) みずほ情報総研：太陽光発電システムのライフサイクル評価(2012)

水素エネルギーキャリアのライフサイクルインベントリ分析（第 2 報）

Life Cycle Inventory Analysis of Hydrogen Energy Carriers (Part 2)

○井上麻衣*1)、北川直美 1)、田原聖隆 1)、工藤祐揮 1)
Mai Inoue, Naomi Kitagawa, Kiyotaka Tahara, Yuki Kudoh
1) 産業技術総合研究所
* mai.murayama@aist.go.jp

1. はじめに

内閣府の総合科学技術･イノベーション会議で、2020 年オリンピック・パラリンピック東京大会を水素社会の見本市とすべく、大会までにインフラを整備し、水素エネルギーシステムを実現することで水素社会の価値を世界に発信していく方針が示された。また 2015 年 11 月 30 日に開催された気候変動枠組条約第 21 回締約国会議（COP21）の首脳会合で、安倍総理は CO2 フリー社会に向けた水素の製造・貯蔵・輸送技術を含めた気候変動対策と経済成長を両立させるための革新的技術の研究開発に注力する「エネルギー・環境イノベーション戦略」を策定することを表明した。

このように近未来の有力なエネルギー源として期待されている水素のうち、水素製造時に CO2 の排出がないものは「CO2 フリー水素」と呼ばれており、再生可能エネルギー由来の水素や、褐炭と CO2 回収・貯留技術を組み合わせて製造した水素などが含まれている。しかしこの「CO2 フリー水素」という概念は、水素サプライチェーンの中で特に水素製造段階のエネルギー投入と CO2 排出だけに着目したものであり、再エネ発電装置やプラント、タンクなどの製造・建設に伴う CO2 や、CCS 実施に伴う CO2 はシステム境界の外に置かれている。また「CO2 フリー水素」の液化に石炭火力発電が使われ、タンカーに重油が使われても、「CO2 フリー水素」となる。すなわち、「CO2 フリー水素」が真に CO2 フリー社会の実現に貢献するためには、想定する水素サプライチェーン全体での GHG 排出量に基づいて検討する必要がある。

筆者らは、各種文献から得られたプロセスデータと、産総研安全科学研究部門で開発しているライフサイクルインベントリ分析用データベース IDEA（Inventory Database for Environmental Analysis）を用いて GHG 排出量算出を行っており、その成果の一部は本学会でも報告してきた [1)]。その後の研究で収集した文献データに基づいて計算方法や条件設定の見直しを行ってきており、本稿では現時点までに得られた結果を報告する。

2. インベントリ分析の前提条件

海外で再生可能エネルギー起源の水素を製造し、水素エネルギーキャリア化して日本に輸入・貯蔵し、再変換によって水素を年間 100 億 Nm3 取り出すことを想定した場合の低位発熱量あたりの GHG 排出量を算出した（図 1）。評価対象とした水素エネルギーキャリアシステムは、液化水素（LH）、メチルシクロヘキサン（MCH）、アンモニア（NH3）の 3 つである。水素は、エンジンやボイラー、燃料電池など様々なエンドユース技術で利用可能であるが、それぞれの技術で要求される水素の純度が異なるため、本分析では特定のエンドユース技術と水素純度は想定していない。

水素製造は、オーストラリア（風力発電・太陽光発電）とノルウェー（風力発電）で水電解（固体高分子膜、アルカリ水電解）によって得るものとした。日本までの片道海上輸送距離を前者は 10,000km、後者は 20,000km とした。水素サプライチェーンに含まれる海外プロセスで、水素製造は再生可能エネルギー発電で行うが、その他のプロセスで必要となる電力は系統電力を用いるものとした。オーストラリアの系統電力は 882g-CO2eq./kWh、ノルウェーは 12g-CO2eq./kWh（いずれも IDEA 収録の 2011 年値）である。海外での風力・太陽光発電設備は、新規に建設するものとした。文

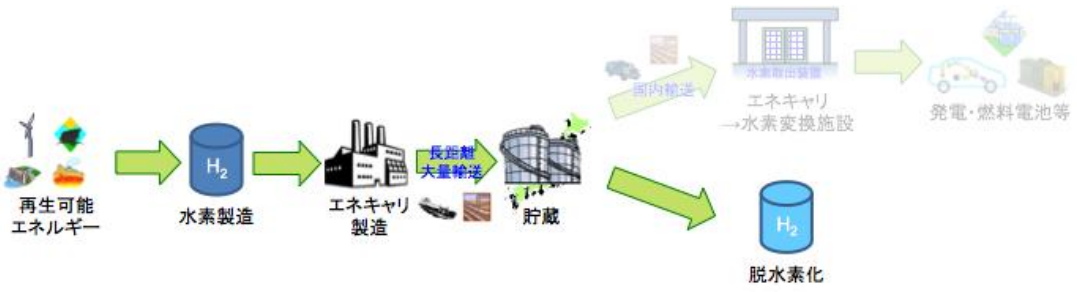


図 1 本稿のシステム境界と機能単位

献[2)3)4)]の構成素材製造、建設、輸送等へのインベントリに IDEA を適用することによって算出した排出量を、耐用年間中の発電量で除することによって算出した GHG 原単位は、風力発電（40MW 規模）：24.5g-CO2eq./kWh、洋上風力着床型（40MW 規模）：22.3 g-CO2eq./kWh、洋上風力浮体式（40MW 規模）：122.9 g-CO2eq./kWh、太陽光発電（10MW 規模）：54.2g-CO2eq./kWh である。これらの数値は厳密には建設を想定する国の電源構成などによって異なってくるが、ここでは日本で建設・運用した場合の原単位と同じとしている。また水素サプライチェーンの国内プロセスに電力が投入される場合、GHG 原単位は 592g-CO2eq./kWh（IDEA 収録の 2012 年値）とした。その他の投入エネルギー・物質の原単位には、IDEA に収録されている値を用いた。また MCH と NH3 の脱水素時に必要となる熱は、C 重油で賄うものとした。

本分析を行うにあたり SI に掲載した文献を参照したが、これらに掲載されているプロセスデータは、前提条件（装置の規模や能力など）によって異なる。そこで、選択する装置による GHG 排出量の不確実性を幅（最大値と最小値）で示すこととした。

3. 分析結果

図 2 に分析対象とした水素エネルギーキャリアのライフサイクル GHG 排出量を示す。前述の通り、水素製造以外の海外プロセスでは系統電力、また MCH と NH3 の脱水素反応熱源は C 重油を想定しているが、これらのエネルギー代替によって低炭素化が図れる可能性がある。そこで、初期条件による排出量を「ベースケース」とし、全海外プロセスへの再エネ電力投入・脱水素反応熱源の LNG 利用による低炭素化の可能性を「低炭素ケース」として計算した。ただし、系統電力原単位が再エネ電力よりも低いノルウェーでは、「低炭素ケース」でも再エネ電力は水素製造のみに投入し、その他は系統電力を使うものとしている。

LH は想定する水素サプライチェーンによって GHG 排出量の違いが最も大きく、ベースケースの最大値と低炭素ケースの最小値では、オーストラリアの風力発電の場合は 6.0 倍、太陽光発電の場合は 3.3 倍もの違いがあった。これは、海外プロセスに用いる再エネ発電装置の違い（前述の通り、同じ 40MW 規模の風力発電でも、洋上着床式と洋上浮体式とで GHG 原単位が 6 倍程度違う）と、想定する液化装置の性能による電力消費量の違いに起因する。

MCH はベースケースに対する低炭素ケースの差が小さく、どの場合も 0.93～0.95 倍の間であった。エネルギー代替による GHG 排出削減の余地が小さいため、より低炭素化を図るためには、例えば脱水素反応時の熱を近隣のプラントからカスケード利用することなどのプロセス設計の変更などが有効であると考えられる。

図 2 に示した結果の中で、オーストラリアで風力発電によって水素製造を製造し、NH3 をキャリアとして日本で水素を取り出す場合の GHG 排出量が最も大きくなった（ベースケースの最大値）。これは主に、ハーバー･ボッシュ法によるアンモニア合成段階の電力と、脱水素反応時に必要な熱量が大きいことに起因する。

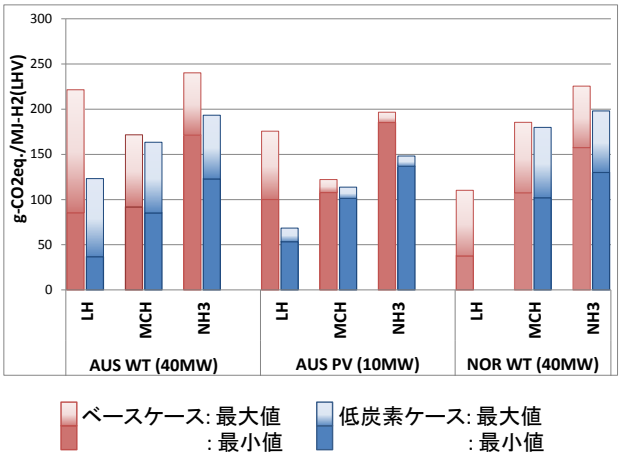


図 2　分析対象水素エネルギーキャリアのライフサイクル GHG 排出量

4. おわりに

本稿では、海外で再生可能エネルギーによって製造した水素をキャリア化して日本へ輸送し、再度水素を取り出すまでの水素サプライチェーン全体の GHG 排出量を、ライフサイクルインベントリ分析によって推計した。現在も各プロセスの入力インベントリの収集と条件設定の精査を行っており、発表時にはアップデートした結果を示す予定である。

なお、本研究は NEDO「水素利用等技術開発事業／トータルシステム導入シナリオ調査」の支援により実施している。

引用文献

1)　工藤ほか：第 10 回日本 LCA 学会研究発表会，神戸，(2015)，pp.258 -259
2)　電力中央研究所：研究報告：Y09027，(2010)
3)　電力中央研究所：研究報告：Y14018，(2014)
4)　電力中央研究所：研究報告：Y12031，(2013)

Supporting Information

引用文献（続き）

- エネルギー工学総合研究所：海外再生可能エネルギーの大陸間輸送技術の調査，NEDO，(2010)
- 朝岡善幸ほか：水素エネルギー導入期における水素ステーションモデルの構築とその経済性評価，電力中央研究所研究報告書 T03070，(2004)
- 神鋼環境ソリューション：水電解式高純度水素酸素発生装置カタログ No.UC001-R05
- W. Donitz et al.: International Journal of Hydrogen Energy, 13(5), (1988) , pp.283-287
- 川崎重工業株式会社 : 国際連携クリーンコール技術開発プロジェクト クリーンコール技術に関する基盤的国際共同研究 低品位炭起源の炭素フリー燃料による将来エネルギーシステム（水素チェーンモデル）の実現可能性に関する調査研究，NEDO，(2012)
- 田島正喜：バイオマスからの水素ステーション構築について，福岡水素エネルギー戦略会議　高効率水素製造研究分科会，(2014)
- 石油産業活性化センター：将来型燃料高度利用研究開発報告書，(2006)
- 本藤祐樹ほか：エネルギー学会誌 Vol.87 pp.753-762，(2008)
- 大陽日酸株式会社：最新の省電力窒素製造装置，大陽日酸技報 No.29，(2010)
- 大陽日酸株式会社：原単位 0.195kWh/Nm3 を達成した高純度窒素製造装置，大陽日酸技報 No.25，(2006)
- Pieter Zegers: Journal of Power Sources, 154(2), (2006), pp. 497–502
- N. Olson , J. Holbrook: NH3 – “THE OTHER HYDROGEN”, (2009)
- アイ’エムセップ株式会社：常圧アンモニア電解合成とアンモニアエコノミー，NEDO，(2010)

太陽電池に用いられる元素の 2050 年までのグローバルな需給バランス

Global supply and demand balance of elements used for solar power until 2050

○髙栁達*[1)]、中島謙一[2)]、村上進亮[3)]、橋本征二[1)]

Satoru Takayanagi, Kenichi Nakajima, Shinsuke Murakami, Seiji Hashimoto

1) 立命館大学、2) 国立環境研究所、3) 東京大学

rv0020ki@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

環境負荷の小さな自然エネルギーの開発及び利用が年々増加している。特に、太陽光を電気エネルギーに変換する太陽電池は、固定価格買い取り制度によって、企業のみならず多くの一般住宅で導入されるようになった。こうした太陽電池の普及は、太陽電池パネルに必要なレアメタルの需要の増加及び近未来における使用済み太陽電池パネルの排出の増加を意味する。既存研究[1)ほか]では、廃棄されたシリコン系（Si 系）太陽電池パネルから Si を取り出し、新パネルの製造に使用するクローズドループ・リサイクルの評価などが行われているが、今後も Si 系太陽電池が大きなシェアを維持する可能性は低い。また、化合物系や有機物系太陽電池パネルでは様々なレアメタルが使用されていることから、使用済みパネルに含まれる金属を有効利用できれば、資源安定供給の一翼を担うことにもなる。

筆者らは既報[2)]において、日本国内の太陽電池に注目して関連元素の需給バランスの検討を行ったが、関連元素は世界各地で利用及び廃棄がなされているため、より広範囲での需給バランスを検討することも必要である。本研究では、太陽電池に用いられる元素の 2050 年までの需給バランスを世界規模で検討した。

2. 方法

2.1 対象とする太陽電池及び周辺機器と使用元素

表 1 に示す太陽電池とその周辺機器に使用される元素を対象とした。

2.2 シナリオの設定

太陽電池の今後の導入量については、IEA の ETP2015[3)]をもとに、2050 年までの太陽電池導入量のシナリオ（図 1）を設定した。世界の平均気温の上昇を 2 度に抑えるシナリオ（2DS）と 6 度に抑えるシナリオ（6DS）の 2 つである。また、表 1 に示す各太陽電池のシェア率については、NEEDS[4)]のシナリオなど（図 2）を使用した。過去の出荷実績については、2002 年からの太陽電池導入量データ[5)]を用いた。

2.3 使用元素の需要量・廃棄量の推計

以上のシナリオをもとに、太陽電池及び周辺機器に使用される元素の 2050 年までの需要量・廃棄量を下式により推計した。

$$DEi(t) = \sum_j Pj(t) * \varepsilon ij(t) \quad \cdots (1)$$

表 1　太陽電池及びその周辺機器と使用元素

太陽電池	使用元素
Si 系（単結晶、多結晶、薄膜）	Si
化合物系（CIGS 系、CdTe）	Cu、In、Ga 、Se、Cd、Te
有機系（色素増感）	Sn、Ti、Ru、Zr
フレーム	Al
電極材料	Cu
周辺機器	**使用元素**
パワーコンディショナー	Al、Cu、Fe
接続箱	Al、Fe
アレイ架台	Fe
配線材料	Cu
制御装置	Al、Cu、Fe

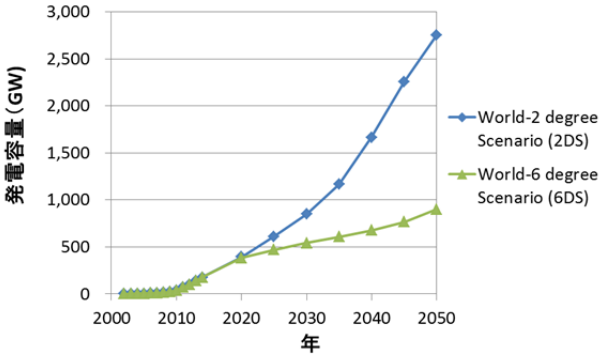


図 1　ETP2015[6)]における太陽電池導入量のシナリオ

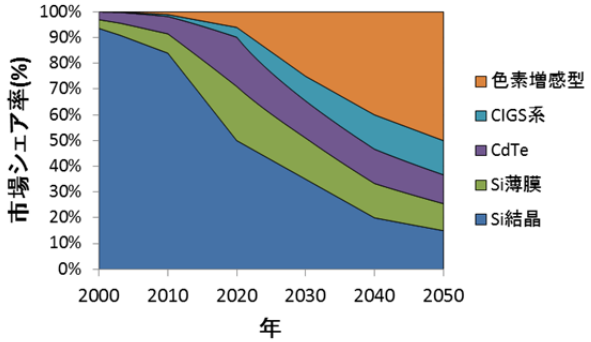


図 2　太陽電池シェア率のシナリオ[4)ほか]

$$DIi(t) = \sum_{n,j} Pj(n) * \varepsilon ij(n) * Dj(t-n) \quad \cdots (2)$$

ここで、DEi(t)は t 年における元素 i の需要量(t)、DIi(t)は t 年における元素 i の廃棄量(t)、Pj(t)は t 年における太陽電池 j の出荷量(kW)、εij(t)は t 年に出荷された太陽電池 j とその周辺機器における元素 i の含有率(g/kW)、Dj(t-n)は太陽電池 j とその周辺機器の t-n 年後の廃棄率である。また、

εij(t)については文献[6]を参考に設定した。

2.4　使用元素の全需要量の推計

2.3 で推計した元素の太陽電池以外の用途も含めた全体の需要量の推計を行った。本研究では、過去の生産量データ[7][8]をもとに、元素の需要量が生産量と等しいとし、太陽電池及び周辺機器以外の需要量が経済成長率[9]とともに増加すると仮定した。

2.5　使用元素の需給バランスの検討

2.3 及び 2.4 の結果から、太陽電池及び周辺機器に使用される元素の全体の需要量および太陽電池を完全にリサイクルするとした場合のこれら元素の供給量のバランスを検討した。

3.　結果と考察

ここでは、Si 系太陽電池及び化合物系太陽電池における高純度 Si および In を例として 2.3、2.4 の推計結果を示す。

図 3 は、太陽電池に使用される高純度 Si の需要量と廃棄量を推計した結果である。太陽電池の導入シナリオによって高純度 Si 廃棄量が高純度 Si 需要量を上回る時期に違いが現れるが、特に 6DS シナリオに関しては、2030 年代に高純度 Si 廃棄量が高純度 Si 需要量を大きく上回る可能性がある。これは、太陽電池の導入量が大きく増加しない中で（図 1）、Si 系太陽電池のシェア率が減少していくためであり（図 2）、こうしたシナリオのもとでのリサイクルシステムの構築には留意する必要がある。一方、2DS シナリオに関しては、Si 系太陽電池の需要量が今後も一定量見込まれることから、高純度 Si 廃棄量が高純度 Si 需要量を大きく上回る可能性は低いと考えられる。

また、図 4 は、太陽電池以外の In 新地金需要（PV 以外需要）量と太陽電池を含む全需要（PV+PV 以外需要）量および太陽電池からの廃棄量を推計した結果である。太陽電池に使用される In の需要（全需要−PV 以外需要）量は 2DS シナリオにおいて 2020 年頃から大きく増加し、In の全需要（PV+PV 以外新地金需要）量に占める比率は 2050 年に向けて大きくなるものと考えられる。一方、太陽電池からの In 廃棄量は In の全需要（PV＋PV 以外新地金需要）量と比較すると最大でも 2DS シナリオにおいて 11%程度である。また、その廃棄は 2040 年頃から本格化することから、リサイクルシステムを検討するとしても、その時期を踏まえる必要がある。また、In は Zn 等生産時の副産物として生産されているが、Zn の耐用年数が 20 年前後と短い。さらに、2050 年までに Zn の累積需要量が埋蔵量を上回ると推計[10]もなされている。将来、安定した In の供給を行うことが困難になることも考えられることから、廃棄 In のリサイクルの重要性が示唆される。

なお、太陽電池のリサイクルにおいては、Al、Cu、Fe などの汎用元素の回収が貴重な収入源になることから、周辺機器も含めてこれらの元素のリサイクルをレアメタル

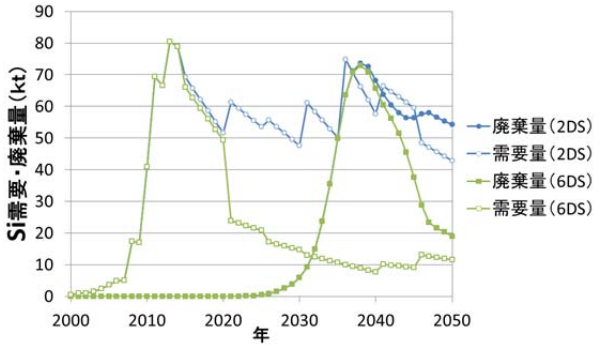


図３　高純度 Si に関する推計結果

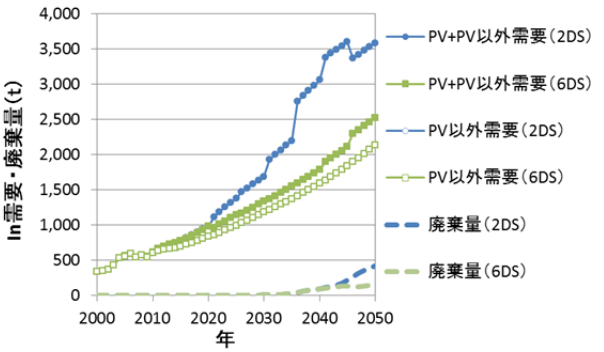


図４　In に関する推計結果

のリサイクルと合わせて行う必要がある。

謝辞：本研究は、環境省環境研究総合推進費（1-1402）による成果である。ここに記して深謝する次第である。

参考文献

1) 岡島敬一、内山洋司: 日本LCA 学会誌、5(4)、521-528、2009
2) 高柳達、中島謙一、村上進亮、橋本征二： 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集、252-253、2015
3) IEA(International Energy Agency): Energy Technology Perspectives, OECD/IEA, 2015
4) NEEDS(New Energy Externalities Developments for Sustainability): Final report on technical data, costs and life cycle inventories of PV applications, Deliverable n° 11.2 - RS Ia, 2005
5) REN21: Renewables 2015 Global Status Report, 2014
6) 馬場洋三：金属資源レポート、734-743、2009
7) USGS: Commodity Statistics and Information, http://minerals.usgs. gov/minerals/pubs/commodity/, 2015/12/28 アクセス
8) JOGMEC: 鉱物資源マテリアルフロー
9) IEA(International Energy Agency): World Energy Outlook, 2014
10) 物質材料研究機構: 2050 年までに世界的な資源制約の壁、2007

地域特性を考慮したエネルギーキャリアの導入効果分析

Site-specific analysis of technology implementation on energy carrier

筑紫洋平、大久保達也、○菊池康紀*1)
Yohei TSUKUSHI, Tatsuya OKUBO, Yasunori KIKUCHI
1) 東京大学
* kikuchi@platinum.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

未利用エネルギー（未利用エネ）や再生可能エネルギー（再エネ）は、その発生条件が化石資源等に比べ薄く、広く、遅く、非制御的であることが多く、供給と需要の間に時空間的なギャップがあることが多い。何らかの仕組みによるギャップの調整ができることが、資源の有効利用性を高め得るといえる。エネルギーキャリア（エネキャリ）関連技術は、蓄エネ・輸送・利用を行うものを含み、上述のギャップを調整・克服できる可能性がある [1]。ただし、導入シナリオにおいては障壁も少なくない [2]。そもそも、大規模な水素蓄エネ [3]、国単位の燃料電池車導入予測 [4]、特定の水素サプライチェーンの評価 [5]などが行われているが、導入による効果を複数の技術、シナリオに対して総合的な分析を実施している事例は少ない。本研究では、実際のエネルギーキャリアの導入を任意の地域に対して行うことを想定しながら、導入効果を多面的に分析するための枠組みを探索する。

2. ライフサイクルモデリング

2.1 エネキャリ技術の導入シナリオ

現在のエネルギーシステムにエネキャリ技術を導入していくためには、確かなビジョンに向かった、導入障壁を考慮したシナリオ分析が有効といえる。図１に本研究で対象とするエネキャリ関連技術を用いたライフサイクルのスーパーストラクチャを示す。このような、考えられる全ての技術とプロセスを包含するプロセス構造としてスーパーストラクチャを構築することで、総合的な評価における代替案生成を実現する。

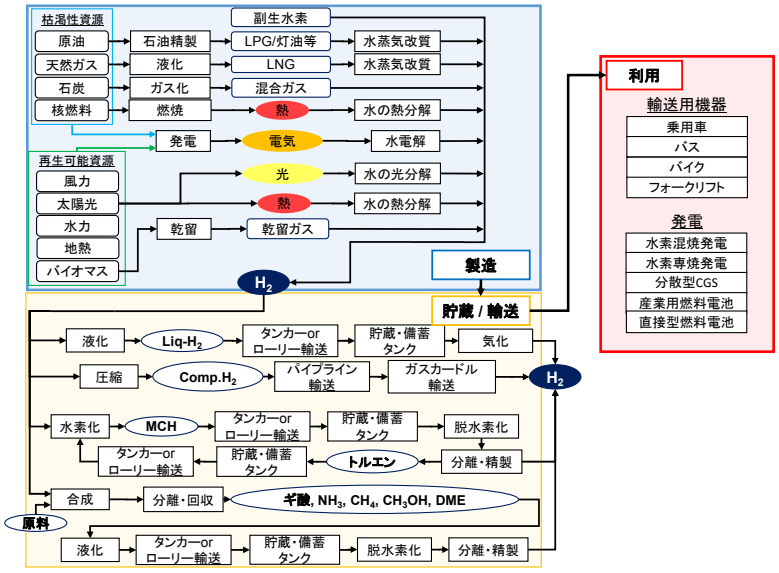


図１　エネルギーキャリア関連技術を用いたライフサイクルのスーパーストラクチャ

2.2 地域特性

エネキャリの導入においては、蓄エネ・輸送すべき未利用エネや再エネの賦存量があるかどうか、それらの需要があるかどうか、といった地域の特性が影響すると考えられる。未利用エネとしては、製油所副生水素 [6]や発電所排熱 [7]、産業低温排熱 [8]などがありうる。再エネとしては太陽光、風力、バイオマスなどが対象といえる。これらのエネルギー供給側だけでなく、将来の推計人口・人口密度、産業活動量などといった、需要側もエネキャリ技術の導入効果に影響する地域特性といえる。

2.3 分析方針

地域特性によって、エネルギーシステム由来の環境負荷がどのように変化するかを可視化する。地域特性に関する情報は各種統計データ [9]から収集し、環境負荷はライフサイクル評価によって定量化する。本稿では例として温室効果ガス削減量を指標として可視化する。

3. 結果

図２に本研究で得られるエネキャリ関連技術の導入効果の分析例を示す。図２(a)の図中の破線の傾きは、日本の年間一人当たり CO_2 排出量である。この破線上では CO_2 排出が見かけ上ゼロになることを示している。そのため破線とプロットの距離が近いほど、エネキャリ関連技術導入による CO_2 削減効果が高いことを表す。人口密度を横軸に取ることにより、絶対量としての削減効果ではなく、各地域毎に目標となりうる排出削減率を可視化し、技術の導入による効果が高い地域

とそうでない地域を探索することができる。さらに、地域特性と導入効果によってクラスタリングを行うことにより、技術の導入効果に基づいた地域の分類が可能となる。例えば、図２(b) に示すように人口密度が過密になるだけでなく、1 台あたり平均走行距離が多い地域に大きな削減ポテンシャルがあることがわかる。この情報を使うと、例えば４つの地域に分類して技術の導入を議論できるようになる。

4. まとめ

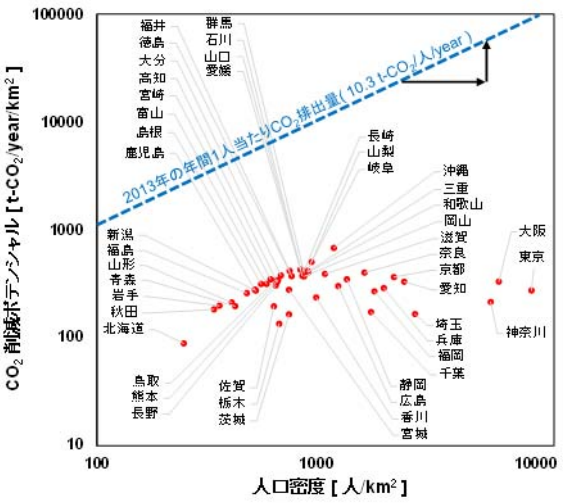
エネキャリ関連技術の導入効果を分析においては、エネルギーの発生と消費に関する地域特性を合わせて考慮することで、地域の特徴に合わせた具体的な導入シナリオの検討につながることが期待できる。エネキャリ関連技術については、将来の社会システムにおける人口規模などを考慮しながら、技術の成熟度 [10]に基づいた各種開発段階の技術の実装可能性 [11]とともにシナリオの設計･分析を行っていくことが必要といえる。

謝辞

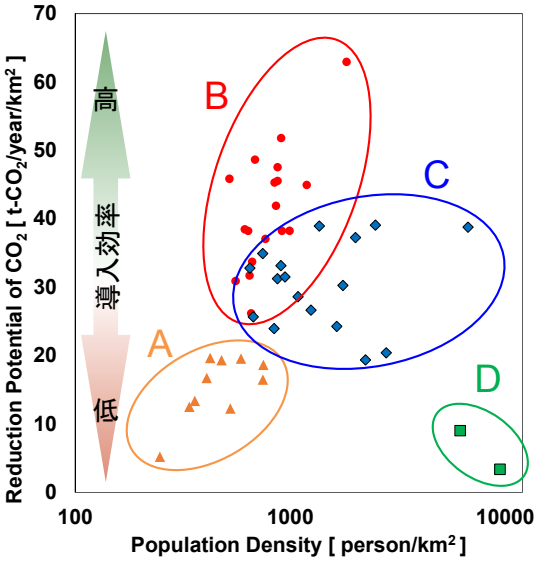
本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金（若手研究(B) 25870163、基盤研究(B) 26285080、基盤研究(A) 15H01750）、環境研究総合推進費(1RF-1503)における成果を含んでいる。東京大学「プラチナ社会」総括寄付講座は、(株) 地球快適化インスティテュート、日本電信電話（株)、富士フイルムホールディングス（株)、三井不動産（株)、(株) LIXIL、信越化学工業（株）からの寄付で活動している。

引用文献

1) 江口浩一、触媒、57（1）2-7（2015）
2) McDowall W.; Eames M.; Energy Policy, 34, 1236–50 (2006)
3) Michaelis, J.; Genoese, F.; Wietschel, M.; Fuel Cells, 14, 517–524 (2014)
4) Agnolicci, P.; McDowall, W.; Int. J. Hydrogen Energy, 38, 5181-5191 (2013)
5) 山下誠二、吉野泰、吉村健二、新道憲二郎、原田英一、エネルギー・資源学会論文誌、35, 33-38 (2014)
6) 田嶋良一、山上浩司、山崎雄二、茂木章、田中咲雄、製油所からの水素供給能力評価（調査）http://www.pecj.or.jp/japanese/report/reserch/H25guide/h25data/07.pdf
7) Togawa, T.; Fujita, T.; Dong, L.; Fujii, M.; Ooba, M. J. Clean. Prod. S1, 60-69 (2014)
8) Kikuchi, Y.; Kanematsu, Y.; Ugo, M.; Hamada, Y.; Okubo, T. J. Ind. Ecol., DOI: 10.1111/jiec.12347



(a) 系統電力/都市ガス (LPG) を燃料電池コージェネに（導入率：10%(2010 年世帯ベース)）、ガソリン自動車を燃料電池車（導入率：5%(2010 年保有台数ベース)）に代替した場合



(b) ガソリン自動車を燃料電池車（導入率：50%(2010 年保有台数ベース)）に代替した場合をウォード法によりクラスタリング

図２　エネルギーキャリアの都道府県別導入効果分析の例

9) 東洋経済、地域経済総覧 2015、(2014)
10) 環境省、TRL 計算ツール利用マニュアル、http://www.env.go.jp/earth/ondanka/biz_local/26_07/trl_manual.pdf
11) Kato, Y., Koyama, M., Fukushima, Y., Nakagaki, T. (Eds.), 2016. Future Energy Systems Based on Feasible Technologies Beyond 2030, Springer, Tokyo, in press.

問題構造化手法が地方公共団体の地域エネルギー戦略策定に果たす役割

Functions of Problem Structuring Methods in
Generating Regional Energy Strategies of Local Governments

○林清忠*[1)]、本藤祐樹 [2)]、森泉由恵 [2)]
Kiyotada Hayashi, Hiroki Hondo, Yue Moriizumi
1) 農業・食品産業技術総合研究機構, 2) 横浜国立大学
* hayashi@affrc.go.jp

1. はじめに

ライフサイクルアセスメント（LCA）においては、評価の対象となる製品、生産システム等（意思決定分析における代替案）、ならびに影響領域（同評価基準）は、目標と評価範囲を設定する際に明確化する必要はあっても、それら（代替案と評価基準）をそもそもどのように作成するかが問題になる場合は少ないと考えられる。ところが、再生可能エネルギーの利用を含む地域エネルギー戦略策定においては、比較検討される代替案（戦略、シナリオ）ならびに分析に用いられる評価基準は、所与のものとして事前には存在せず、それらをどのように作成するか、さらには問題をいかに構造化するかが分析の鍵となる。ライフサイクル持続可能性評価や社会 LCA が一般化した今日、このことはライフサイクルアプローチを適用する際にも該当すると考えられる。その際、重要な役割を果たすのが、問題構造化手法（problem structuring methods）である。

しかしながら、これまでの問題構造化手法に関する研究においては、その有効性は前提とされ、その役割ならびに使用法を経験的に説明する場合が多い。したがって、メタ評価として手法の有効性を検討する機会は限られており、このことが手法を利用する意味を理解する上での制約となっていると考えられる。

そこでこの研究では、地方公共団体における地域エネルギー戦略策定を想定したワークショップを開催し、問題構造化手法が戦略策定に果たす役割を解明するため、そのメタ評価を実施する。

2. 方法

2.1 ２つの手法の対比

本研究では、グループ意思決定における２つの手法を対比させることにより、問題構造化手法を用いることの効果を明らかにする。第１は、単純なグルーピングである。すなわち、参加者から提案された複数の代替案（戦略、シナリオ、オプション、プロジェクト）を、直接グルーピングすることにより、選択の候補となる代替案を探索しようとする方法である。第２は、視覚化に基づく問題構造化手法である。意思決定に関わる複数の要因間の因果関係等を視覚化することにより、目的（価値、評価基準、目標）を明確化し、それを実現するための代替案を作成するという手順をとる。この両者は Keeney[1)]の用語法を用いることにより、対の概念として理解できる。すなわち、前者は、Alternative-Focused Thinking、後者は、Value-Focused Thinking に相当する。

2.2 用いた問題構造化手法

本研究では、次の２つの視覚化手法を融合させた上で用いた。第１は、意思決定者の様々な要素（issue）間の関係の全体像を図示する認知地図（cognitive map）である [2)]。第２は、決定ノード（四角形）、確率ノード（楕円）、価値（目的）ノード（六角形等）間の影響を数量的に分析するための影響図（influence diagram）である [3)]。本研究で用いた問題構造化手法は、認知地図に決定ノードと価値ノードを加えた図示法に基づいており、質的な影響図でもある。

2.3 問題構造化手法の評価手法（メタ評価）

問題構造化手法の有効性を評価するため、Midgley ら [4)]のフレームワークを用いた。具体的には、彼らの開発した以下の項目を含むアンケート票（評価シート）を作成した。第１は、手法の有用性に関する問い（５段階リッカート尺度）およびその判断の理由の記述依頼である。第２は、目標達成度に関する 12 項目の問い（５段階リッカート尺度）である。倫理的な問いに関しては、対象外とした。以下、質問文を短く要約した表現を変数名として用いる（図１、表１）。

2.4 ワークショップの概要

参加者は、山梨県都留市職員（課長補佐クラスのシニア職員）10 名である。ワークショップは、職員研修の一環として３日間をかけて実施した。

第１日（2015 年 11 月 6 日）には、エネルギーをめぐる最近の動向、および都留市の新エネルギービジョン [5)]に関する説明を行った。その後、各自に新エネルギービジョンの新しいバージョンを作成するよう依頼した。

第２日（11 月 12 日）には、まず、前半で各自が作

成した新エネルギービジョンのリストアップを行い、グルーピングを用いてグループとしての新たな案を作成する方法を適用した。後半では、問題構造化手法を適用し、提案された新エネルギービジョンからの上向（評価基準の作成）、次いで、そこからの下向（代替案の作成）を実践した。その後、評価シートへの記入を行った。

第３日（11 月 13 日）には、フォローアップを実施した。問題構造化手法に関する理論的側面の補足等を行った。

2.5 解析手法

リッカート尺度で表された変数は、順序カテゴリカル変数であるため、「有用性」とその他の変数の相関を示す指標として、ポリコリック相関係数を適用した。計算には、R パッケージ polycor を用いた。

3. 結果

3.1 全体の概要

評価シートの集計結果は、図１の通りである。「あまり同意できない」および「同意できない」を選択したケースは見られなかった。「同意できる」および「やや同意できる」を合わせた回答数が９割であったのは、「有用性」、「アイデア創出」、「観点多様性の理解」、「代替案考案」、「創造性向上」の５つであった。

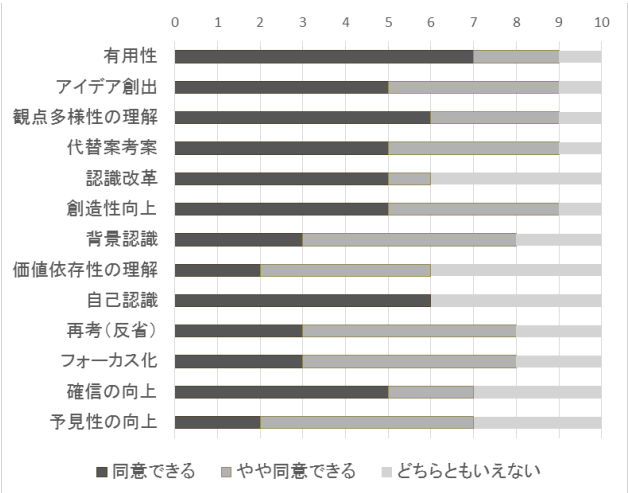


図１　評価シートの集計結果

3.2 有用性の中身

「有用性」と問題構造化手法を利用する目的の主観的達成度を示す変数との相関係数は、表１の通りである。相関係数が 0.8 以上であったのは、「背景認識」、「再考（反省）」、「予見性の向上」であり、0.5 以上であったのは、その他に、「認識改革」、「価値依存性の理解」、「確信の向上」であった。また、「有用性」との相関係数が 0.9 を超える変数については、標準誤差が極めて小さいことが示された。

表１　「有用性」と各変数の相関係数

	相関係数 [1)]	標準誤差 [2)]
アイデア創出	–0.093	0.658
観点多様性の理解	0.387	0.582
代替案考案	–0.093	0.656
認識改革	0.539	0.586
創造性向上	–0.093	0.660
背景認識	0.991	0.007
価値依存性の理解	0.684	0.368
自己認識	0.286	0.611
再考（反省）	0.991	0.008
フォーカス化	–0.102	0.645
確信の向上	0.624	0.570
予見性の向上	0.811	0.314

[1)] ポリコリック相関係数

[2)] ブートストラップ標準誤差（1000 回反復）

4. 考察とむすび

分析結果から、以下のことが示された。①回答を直接検討した場合には、有用性、評価基準、代替案、創造性に関わる変数の評価値が高い。このことは、意思決定分析の重要な要素である評価基準と代替案を作成する上で、問題構造化手法は有用であるという主観的評価を示していると考えられる。②有用性という判断の中身は、「背景認識」および「再考（反省）」と大きく関わる。有用性の中身は、創造性よりは内省に深く関わることが示された。

問題構造化手法には、地域エネルギー戦略を策定する上で、問題解決に対する態度を変える方法としての意義があり、本研究で実施したメタ評価はそれを明確化する上で有効であると考えられる。

謝辞

本研究は環境省の環境研究総合推進費（課題番号: 2-1302）の支援により実施された。

引用文献

1) Keeney R.L., “Value-Focused Thinking: A Path to Creative Decisionmaking”, Harvard University Press, Cambridge, MA, (1992)
2) Ackermann F., Eden C., “The Practice of Making Strategy: A Step-by-Step Guide”, SAGE Publications, London, (2005)
3) Howard R.A., Matheson J.E.: Decis. Anal., 2(3), (2005), pp 127–143
4) Midgley G. et al.: Eur. J. Oper. Res., 229, (2013), pp 143–154
5) 都留市 : “都留市地域新エネルギービジョン策定等事業報告書　概要版”, (2003)

社会経済的価値に着目した小水力発電事業の実施に伴う影響分析

Impact Analysis of Small Hydropower Generation Projects focusing on Socio-economic Values

○山下達也*[1)]、本藤祐樹[1)]、森泉由恵[1)]、工藤祐揮[1)2)]
Tatsuya Yamashita, Hiroki Hondo, Yue Moriizumi, Yuki Kudoh
1) 横浜国立大学, 2) 産業技術総合研究所
* Yamashita-tatsuya-wj@ynu.jp

1. はじめに

再生可能エネルギー技術の導入は、温室効果ガス削減など環境価値だけでなく、地域活性化や新産業の創出など社会経済的価値の観点からも期待されている。その中でも 1,000kW 未満を対象とした小水力発電事業は、固定価格買取制度（以下、FIT 制度）や河川法の改正など法制度の規制緩和により、多様な主体者が事業を実施しやすい環境が整備され、普及拡大が推進されている。この小水力発電事業の社会経済的価値については、例えば特定地域での事例分析[1-2)]や産業連関表を用いた評価事例[3)]があるが、対象事業や評価指標が限定的である。

そこで本研究では、日本国内における小水力発電事業の実施に伴って期待される様々な社会経済的価値を明らかにし、今後の普及に向けた示唆を得ることを目的としている。

2. 方法

小水力発電事業の実施に伴う社会経済効果を明らかにするため、本研究では、全国の 31 件の小水力発電事業者に対して郵送による質問紙調査を実施し、22 件の事業者から回答を得た（表 1）。ここで FIT 制度認定による効果の違いを分析するため、発電規模が 1,000kW 未満の事業に加え、事業開始年も考慮した上で調査対象事業者を選定した。内訳としては、行政 12 件、企業 5 件、土地改良区 3 件、一般社団法人 2 件の計 4 種類の事業主体を対象とし、そのうち FIT 認定ありの事業が 14 件、FIT 認定なしの事業が 8 件となった。

調査項目は、主に全国小水力発電利用推進協議会が発行する 2007 年から 2015 年までの小水力発電事例集を参考とし、(1) 回答者の属性、(2) 小水力発電事業を実施前に期待していた効果、(3) 小水力発電事業の実施後に得られた効果、(4) 導入効果に関する情報と評価ツールの活用の 4 種類から構成した。また、それぞれの調査項目に対して、5 段階評定尺度で単一解答を求めた。

なお、本稿では紙面の都合上、一部の調査結果についてのみ報告する。

表 1　調査概要

実施期間	2015年12月8日～12月25日
調査対象	回収数/調査対象数 ： 22件/31件 行政：12/18件，企業：5/6件，土地改良区：3/4件， 一般社団法人：2/3件 （FIT認定あり：14/17件、FIT認定なし：8/14件）
実施方法	郵送による配布／回収
調査項目	(1)回答者の属性 (2)小水力発電事業の実施前に期待していた効果 (3)小水力発電事業の実施後に得られた効果 (4)導入効果に関する情報と評価ツールの活用 など
回答方法	多項選択回答形式（5段階） 自由記述
回収率	71.0%

（注）調査対象における件数は「回答数/調査対象数」を表している。

3. 結果と考察

3.1 小水力発電事業の実施に伴う社会経済効果

図 1 に、調査項目に含めた社会経済効果を事業実施前に期待していたか、また実際に事業実施後に効果があったと回答した事業者の割合を示す。

80%以上の事業者が事業実施前に「事業者のイメージアップ」、「地域のイメージアップ」、「環境教育、啓発の場」、「安定して発電できる電源」を期待していたことが分かる。また半数以上の事業者が、「所属組織の環境配慮活動」、「売電による収入増加」、「経済効果（お金がおちること）」など、事業者としての社会経済価値や、収入増加や経済効果といった金銭的に把握できる効果に期待していたことが分かった。また事業実施後の効果としては、80%以上の事業者が「事業者のイメージアップ」、「地域のイメージアップ」、「環境教育、啓発の場」の効果を認識していることが分かった。

その他の社会経済効果のうち、「売電による収入増加」（68%→82）%、「施設の維持管理費削減」（32%→55%）、「経済効果」（59%→64%）、「雇用の創出」（36%→45%）の 4 項目については、事業実施によって期待以上の効果があったと認識する事業者が多かった。この一因として、2012 年に FIT 制度が始まる以前から実施していた事業者が、従来は小水力発電に対して多大な金銭的効果に期待していなかったものの、FIT 制度によってその効果を実感できたことが挙げられる。

3.2　FIT 制度認定の有無による期待する効果の違い

3.1 で示した、事業実施により期待以上の効果があったと認識する事業者が多かった 4 項目について、事業実施前における事業者の FIT 認定の有無[1]による効果への認識の違いを図 2 に示す。

「施設の維持管理費削減」では、FIT 認定なしの場合 63%の事業者が効果に期待していたと回答していたのに対し、FIT 認定ありの場合は 7%が期待していたと回答したことから、認識に大きな差があることが分かった。一方で、「売電による収入増加」では、FIT 認定なしの場合では 50%の事業者が効果に期待していたのに対し、FIT 認定ありの場合は 78%であった。小水力で発電された電気の供給先は、発電所や近隣施設で自家消費する、もしくは電力会社等に売電するかのいずれかである。そのため、FIT 認定なしの場合は自家消費を最初から目的としている事例が多く、施設の維持管理費の削減に対する期待が大きかったと考えられる。また、FIT 認定ありの場合と同様に、FIT 認定なしの場合であっても RPS 制度[2]による売電を通じて収入増加が見込むことができるため、半数以上の事業者が「売電による収入増加」に対する期待が大きかったことが考えられる。

次に「経済効果」については、FIT 認定なしでは 50%の事業者が期待をしていたものの、38%は期待していなかったと回答していた。一方で、FIT 認定を受けている事業者では 65%が経済効果に期待し、期待していないと回答した事業者はほとんどいなかった。「雇用の創出」においても、FIT 認定ありでは 43%の事業者が期待していたと回答していたのに対し、FIT 認定なしでは 63%の事業者が思わないと回答していたことから、FIT 認定ありに比べて期待が低かったことが示唆される。

以上 4 項目について、FIT 認定の有無による効果への認識の違いを示した。いずれも実施前の期待に関しては FIT 認定の有無により認識に差異が認められる。特に、施設の維持管理費削減と売電による収入増加に関しては、その効果をある程度、事業者自身で事前に把握することが可能であるため、FIT 認定の有無により違いが生じていると考えられる。

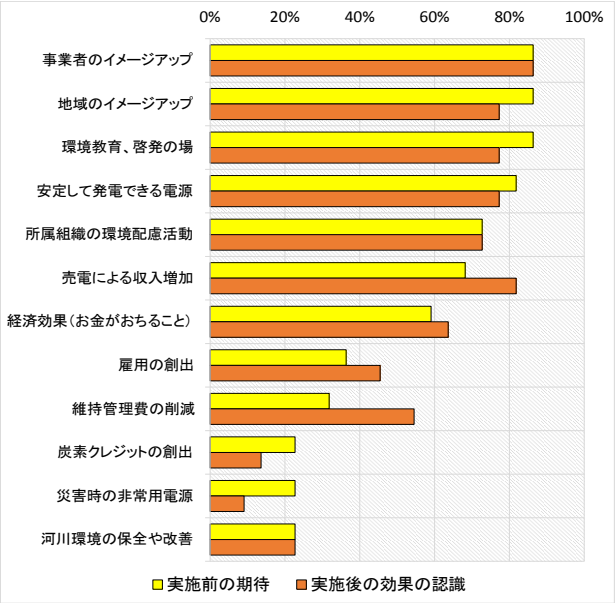


図 1　事業実施前後における事業者の社会経済効果への認識の違い

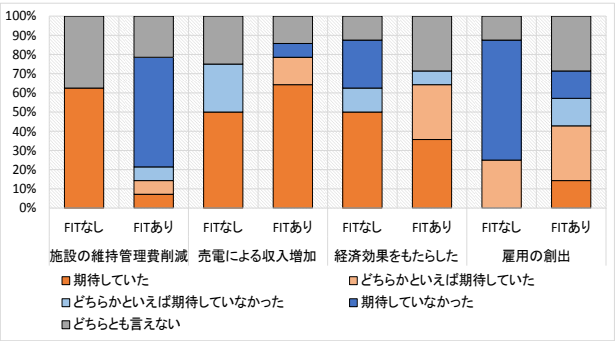


図 2　事業実施前における事業者の FIT 認定の有無による社会経済効果への認識の違い

4. おわりに

国内の小水力発電事業者を対象に、社会経済効果の認識について質問紙調査を行い、実施前後や FIT 制度の認定別に分析した。「事業者のイメージアップ」や「地域のイメージアップ」、「地域住民の環境教育、啓発の場」は、FIT 制度の認定状況や事業主体の違いに関わらず事業実施前後で効果が高いことが示唆された。

謝辞

ヒアリング調査および質問紙調査に協力して頂いた事業者の皆様に謝意を表する。

引用文献

1)　中山琢夫：京都大学ディスカッションペーパーシリーズ, No.13-B-1 , (2013) , pp 1-13
2)　太田隆之.: 京都大学ディスカッションペーパーシリーズ, No.14-B-2 , (2014) , pp 1-39
3)　大久保天, 本村由紀央, 中村和正 : 寒地土木研究所月報, No.739, (2014), pp.21-27

[1] FIT 認定を受けていない発電設備のほとんどは、2012 年における FIT 制度の施行前から既に運転されているものである。

[2] 2003 年から施行された、電気事業者に対して一定割合以上の新エネルギー等から発電される電気の利用を義務付けるもの。

再生可能エネルギー部門拡張産業連関表を用いた地熱発電のライフサイクル CO_2 排出分析 －特殊な活動と財が与える影響－

Life Cycle CO_2 Emission Analysis of Geothermal Power Generation using a Renewable Energy-Focused Input-Output Table: Focusing on Special Activities and Commodities

○乗松義弥*[1)]、本藤祐樹[1)]、森泉由恵[1)]
Yoshimi Norimatsu, Hiroki Hondo, Yue Moriizumi
1) 横浜国立大学
* norimatsu-yoshimi-rp@ynu.jp

1. はじめに

地球温暖化対策の一つとして、地熱発電が期待されており、その効果的な導入のため環境への影響の把握が重要である。しかしこれまでの分析では、ライフサイクル全体の影響を網羅的に推計しているものは少なく、また国内の分析に用いられている基礎情報の多くが 1973 年のものであり見直しが望まれる。そこで本研究の目的は、現状を反映したコストデータを用いて産業連関分析より日本における地熱発電のライフサイクル CO_2 排出量を明らかにすることである。

2. 研究方法

2.1 前提条件

設備容量 50 MW シングルフラッシュ方式の地熱発電プラントを想定する。システム境界は建設(資源調査、井戸掘削、輸送管建設、施設建設)、運用(地熱発電、追加掘削)とし、機能単位は 1 kWh、評価期間は 30 年間とする。

2.2 産業連関分析による CO_2 排出量の推計

本研究では第 1 に、現状を反映したコストデータに基づき、産業連関分析を用いて地熱発電のライフサイクル CO_2 排出量を推計した。推計には式(1)を用いた[1)]。

$$\boldsymbol{E} = \hat{\boldsymbol{e}}(\boldsymbol{I} - \boldsymbol{A} \otimes \boldsymbol{P})^{-1}\boldsymbol{F} \quad \cdots\cdots\cdots \quad 式(1)$$

ただし、$\boldsymbol{E}$:ライフサイクル CO_2 排出量[g-CO_2/kWh]、$\hat{\boldsymbol{e}}$:部門別直接 CO_2 排出係数の対角行列[t-CO_2/百万円]、$\boldsymbol{I}$: 単位行列[-]、$\boldsymbol{A}$: 再生可能エネルギー部門拡張産業連関表の投入係数行列[-]、$\boldsymbol{P}$：単価調整行列[-]、$\boldsymbol{F}$: 最終需要ベクトル[百万円/kWh]である。なお⊗は行列の要素同士の掛け算を表す。

2.2.1 再生可能エネルギー部門拡張産業連関表

産業連関表は、同一部門に複数の財が含まれているため、特定技術を対象とした場合、技術特性を反映した詳細な分析が困難である。

よって詳細な分析を実施するため、森泉ら[2)]による再生可能エネルギー部門拡張産業連関表の作成方法に従い、地開協[3)]や事業者から提供いただいたコストデータなどを用いて、地熱関連部門を新設した産業連関表(2005 年)を作成した。
(新設した部門については表 SI1 に記載する)

新設した各部門の直接 CO_2 排出係数は、直接燃料消費に伴う CO_2 排出量を国内生産額で除して推計した。既存部門の直接 CO_2 排出係数は、3EID[4)]の値を用いた。

2.2.2 特殊な財による影響の考慮

産業連関分析では、各財の量を円価値単位で測っているために、同じ財であっても産出先の単価差に伴って、CO_2 排出量が過大もしくは過小に推計される可能性、つまり価格の歪みが生じる可能性がある[1)]。

従って本研究では、財としてはそれほど大きく変わらないが、単価が顕著に異なる財を「特殊財」として区別し、単価調整行列を用いて単価の違いを反映させて、価格の歪みの解消を試みた。本研究で特殊財として考慮した財は、地熱発電に用いられる財の中でも結果に与える影響が大きく、かつ平均財との価格差が大きい「地熱井セメント」と「輸送管鋼管」である。

単価調整行列は、“産業連関表における各部門の平均単価”と“関連事業者へのヒアリングや文献調査から得た特殊な財の実際の単価”を用いて作成した。

2.3 蒸気中 CO_2 排出量の推計

本研究では第 2 に、地熱発電の運用時に井戸から排出される CO_2(以下：蒸気中 CO_2)も、地熱発電の運用に伴う CO_2 排出量として計上した。

蒸気中 CO_2 は、日本国温室効果ガスインベントリオフィス[5)]及び関連事業者へのヒアリングに基づき、全量大気に排出されるとみなした。また蒸気中 CO_2 は、発電所停止時にもサイレンサーから大気に放出されているため、停止時間における CO_2 排出量も評価に含める。推計には、国内における実際の地熱発電の調査データ[6)]を用いた。

3. 分析結果

3.1 プロセス別のライフサイクル CO_2 排出量

地熱発電のライフサイクル全体の CO_2 排出量は、20.2 g-CO_2/kWh となった。

図 1 に地熱発電のライフサイクル CO_2 排出量を、プロセス別で示す。地熱発電のライフサイクル CO_2 排出量は建設、運用の影響が、それぞれ 62%、38%となり、建設に伴う CO_2 排出量が大きい。

建設に伴う CO_2 排出量は、施設建設の影響がライフサイクル全体の 42%と大きく、これは主に、施設建設の基礎工事に使用する鉄筋や生コンクリート、発電施設内の蒸気用配管に起因する。それらに次いで、過去の推計では考慮されていなかった、土地造成、送電設備による影響も大きい。

運用における追加掘削に伴う CO_2 排出量は、ライフサイクル全体の 19%を占める。これは建設の初期掘削に伴う影響(16%)よりも大きく、蒸気の衰退に伴う追加的な井戸掘削による影響は重要であることを示している。井戸掘削における CO_2 排出量の主な要因は、井戸のケーシングに用いる地熱井セメントやケーシングパイプの素材製造時に伴う影響である。

3.2 部門別のライフサイクル CO_2 排出量

図 2.に、地熱発電のライフサイクル CO_2 排出量を部門別に示す。

「銑鉄」「セメント」部門から誘発される CO_2 排出量が大きく、それぞれライフサイクル全体の 24%、13%を占める。「銑鉄」「セメント」部門における CO_2 排出量は主に、施設建設、井戸掘削に使用される鉄筋、蒸気用配管、生コンクリートなどに起因する。

「自家輸送(旅客自動車)」、「自家輸送(旅客自動車)」、「道路貨物輸送(除自家輸送)」などのサービス部門からの CO_2 排出量も上位に位置する。これらも含めたサービス部門からの CO_2 排出量は、ライフサイクル全体の 11%を占めており無視することができない。サービス業からの排出の一部は、コストデータに基づく推計だからこそ把握できるということは重要な点である。

3.3 蒸気中 CO_2 を含めた推計結果

蒸気中 CO_2 は、1.0~486.0 g-CO_2/kWh と推計された。これは3.1節の結果と比較しても大きな値であるため、蒸気中 CO_2 は、地熱発電のライフサイクル CO_2 排出量を考える際に重要である。

一方で関連事業者へのヒアリングによると、蒸気中 CO_2 は、立地場所や時期によって、大きく値が異なる。そのため、今後の地熱発電のライフサイクル CO_2 排出量の推計においては、これらの不確実性を十分に留意する必要がある。(各発電所のデータは SI2 に記載する)

4. おわりに

本研究では、産業連関分析を用いて、これまで把握されていなかった土地造成やサービス業などを考慮し、より網羅的に地熱発電のライフサイクル CO_2 排出量を明らかにした。また、地熱発電のライフサイクル CO_2 排出量は、建設における影響が大きく、主に土木基礎工事や蒸気用配管に使用される鉄筋、生コンクリート、鋼管の製造に起因することが明らかとなった。

本研究を実施するにあたり、関連事業者の方々にはデータ提供等のご協力を戴いた。ここに記して謝意を表す。また本研究は環境省環境研究総合推進費(課題番号:2-1302)による支援により実施された。

引用文献

1) 本藤祐樹, 内山洋司:日本エネルギー学会誌, 78(10), (1999), pp861-868
2) 森泉由恵, 本藤祐樹, 中野諭: 日本エネルギー学会誌, 94(12), (2015), pp.1397-1413
3) 安達正畝, 平成 24 年度調達価格及び調達期間に関する意見, 日本地熱開発協議会,(2012)
4) 南斉規介, 森口祐一, 産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID): 国立環境研究所
5) 国立環境研究所, "日本国温室効果ガスインベントリ報告書", (2015)
6) 日本地熱調査会, わが国の地熱発電所要覧, (2000)

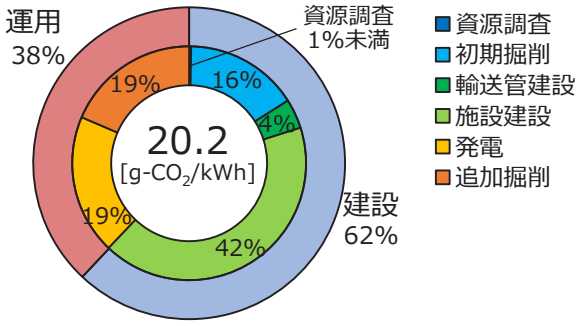


図1. プロセス別のライフサイクルCO_2排出量

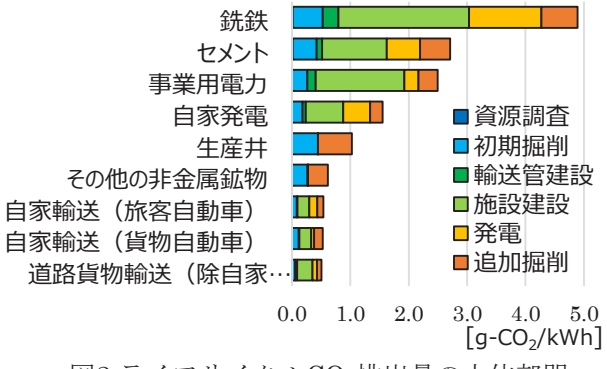


図2.ライフサイクルCO_2排出量の上位部門

表 SI1.新設した地熱関連部門

段階	新設部門	内容
資源調査	重力探査	地下の地層構造を探査する調査
	電磁探査	地下の物質構造と状態を探査する調査
	環境影響評価	環境アセスメントの実施
	蒸気試験	地下から生産される蒸気量の調査
初期掘削	調査井	資源調査段階における井戸掘削
/追加掘削	生産井	蒸気生産に用いる初期掘削,または追加掘削
	還元井	熱水の還元に用いる初期掘削,または追加掘削
輸送管建設	蒸気輸送管	生産井から発電施設までの蒸気輸送管
	熱水輸送管	発電施設から還元井までの熱水輸送管
施設建設	発電施設	発電を行う施設、送電施設までを含める
発電	地熱発電	地熱発電の運用・保守・メンテナンス

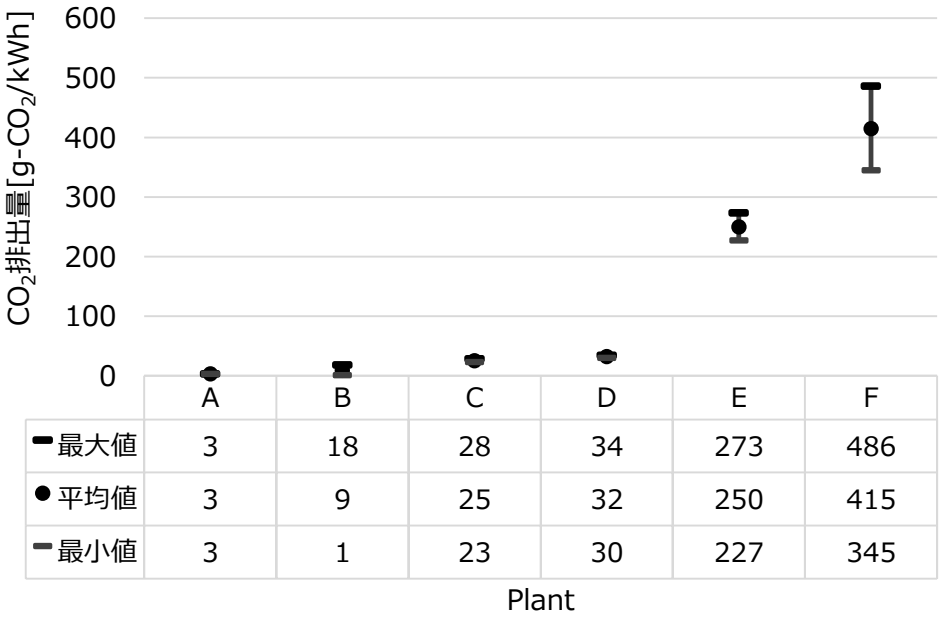


図 SI2. 国内の各発電所における蒸気中 CO_2

中古車を考慮した乗用車寿命推計と環境影響評価手法の開発

○中本裕哉*1)、西嶋大輔 1)、加河茂美 1)

1)九州大学

*y.nakamoto0527@gmail.com

1. はじめに

地球温暖化が深刻化しており、CO_2 排出量の削減について日本でもさまざまな試みがなされている。日本の CO_2 排出量の内訳をみてみると、運輸部門が占める割合は、全体の 17.1%を占め、自動車全体ではそのうちの 86.4%（日本全体の 14.8%）にもなる。1990 年から 2012 年にかけて輸送量の増加により、運輸部門の二酸化炭素排出量は増加している。

自動車の寿命とライフサイクル CO_2 排出量の関係に関する研究については Kagawa *et al.* (2013)がある。この研究では、寿命関数に従う自動車の製造、走行、廃棄の 3 部門からのライフサイクル CO_2 排出量が、エコカー補助金によってどのような影響を与えるか、分析した研究である。しかしながら、Kagawa *et al.* (2013)の研究で提案されているフレームワークでは中古車の動態が考慮されておらず、分析の範囲は乗用車とハイブリットカーにとどまる。

自動車検査登録情報協議会のデータから、2014 年の中古車の登録台数は 328 万台であり、これは、新車販売台数 470 万台と比較しても見逃すことが出来ないほどに大きな割合を示している。中古車の登録台数は年々増加してきており、中古車の割合はさらに今後も増加する見込みである。中古車が増えることは、自動車由来の CO_2 排出量にどのような影響を与えているのか未だに明らかにされていない。特に、製造、走行、廃棄の自動車のライフサイクル全体における環境影響を見ることが決定的に重要である。そこで本研究では、新車と中古車の寿命関数の両方を考慮したライフサイクル分析フレームワークを提案し、寿命変化を通した新車と中古車の台数変化が自動車の累積ライフサイクル CO_2 排出量に与える影響を分析することを目的とする。

2. 研究手法

本研究における対象は 1993 年から 2014 年に製造され新規登録された普通車と当該期間にその普通車が抹消登録された後再登録される中古車である。本研究では、寿命分布の一つである Weibull 分布に従い、自動車の残存台数が年々減少していく一方で、その減少分を補うように新車と中古車がそれぞれ購入されていく様子をモデル化する。さらに、新車の製造・走行・廃棄に付随するライフサイクル CO_2 排出量と現行車ならびに中古車の走行・廃棄に付随する CO_2 排出量の推計を行った。

今、0 年に新規登録された車が t 年後に廃棄される確率は下式(1)のような Weibull 密度関数として定式化できる。

$$f(t)=\frac{m}{\eta}\left(\frac{t}{\eta}\right)^{m-1}\exp\left\{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{m}\right\}\quad(t\geq 0)\qquad(1)$$

ここで、m は形状パラメータ、η が形スケールパラメータを示している。(1)式によって新車の廃棄動向を分析することが可能であるが、中古車の動向を分析することはできない。

今、0 年に新規登録されて t 年後に抹消登録されその年に中古車として再登録された車について考える。この中古車が再登録された年から y 年後までに残存している割合は下式(2)のように定式化することができる。

$$g(t,y)=\frac{\int_{t+y}^{\infty}f(s)ds}{\int_{t}^{\infty}f(s)ds}\qquad(2)$$

0 年に新規登録された車の台数を Q とすると、(1)式の寿命関数に従うと、t 年後の抹消登録台数は $Qf(t)$、t 年後の残存台数は $Q(1-f(t))$ となる。

このとき、抹消登録された年に抹消登録された車の台数分の新車と中古車を購入すると想定すると、その新車と中古車の台数は中古車のリバイバル率（抹消登録台数に占める中古車の割合）を τ とするとそれぞれ下式(3)、(4)のように定式化できる。

$$D_1(t)=(1-\tau)Qf(t)\qquad(3)$$

$$E(t)=\tau Qf(t)\qquad(4)$$

(4)式によって示される中古車は時間の経過とともに(2)式で示される寿命関数に従って廃棄処分される

ことになる。その中古車の廃棄台数は(5)式のように得られる。

$$H(t,y)=g(t,y)E(t)=g(t,y)\tau Qf(t) \quad (5)$$

(5)式より、t 年前に抹消登録されて後に購入された中古車が t 年に廃棄処分される台数と t 年までの残存台数はそれぞれ下式(6)、(7)のように定式化することができる。

$$D_2(t)=\sum_{s=1}^{t-1}E(s)(1-g(s,t-s)) \quad (6)$$

$$G(t)=\sum_{s=1}^{t-1}E(s)g(s,t-s) \quad (7)$$

本研究では、中古車を廃棄した分新車を購入すると想定する。このとき、0 年に新規登録された車に付随する t 年後の累積ライフサイクル排出量は以下のようになる。

$$\begin{aligned}L(T)=&\sum_{t=1}^{T}f_m(D_1(t)+D_2(t))+\sum_{t=1}^{T}f_w(D_1(t)+D_2(t))\\&+\sum_{t=1}^{T}f_r(D_1(t)+D_2(t))\\&+\sum_{t=1}^{T}f_vQ(1-f(t))+\sum_{t=1}^{T}\sum_{s=1}^{t-1}f_u(s)E(s)g(s,t-s)\end{aligned} \quad (8)$$

ここで、f_m は自動車一台あたり製造時の CO_2 排出量、f_w は自動車一台あたり廃棄時の CO_2 排出量、f_r は新車一台当たりの走行時の年間 CO_2 排出量、f_v は現行車一台当たりの走行時の年間 CO_2 排出量、$f_u(s)$ は s 年製の中古車一台当たりの走行時の年間 CO_2 排出量を示している。(8)式の右辺第一項は新車製造時のライフサイクル CO_2 排出量、第二項は廃棄時のライフサイクル CO_2 排出量、第三項は新車走行時のライフサイクル CO_2 排出量、第四項は現行車走行時のライフサイクル CO_2 排出量、第五項は中古車走行時のライフサイクル CO_2 排出量を表している。

3. データ

本研究における自動車の新規登録台数は自動車販売連合会のデータを用いる。Weibull 分布のパラメータ、排出原単位については、Kagawa *et al.* (2013)で推計された値を使用している。

4. 結果

推計の結果、τ=0（抹消登録台数に占める中古車の割合は０）のときと比べて、中古車のリバイバル率を変化させることによって図 1 が得られた。数値が正の値をとるときは、累積ライフサイクル CO_2 排出量が削減されていることを示し、反対に負の値をとるときには、累積ライフサイクル CO_2 排出量が増加していることを表している。これによると、τ=0.2 の時に最も累積ライフサイクル CO_2 排出量は削減されている。それぞれのシナリオと τ=0 のケースと比べて削減幅は、寿命関数に従って抹消登録される車の台数が増えるにつれ削減幅は増加していくが、ピークをむかえると一貫して減少する傾向にある。これらを踏まえると、中古車を自動車市場に効率よく投入することは、自動車由来の CO_2 排出量の削減に大きく寄与する可能性があるといえる。

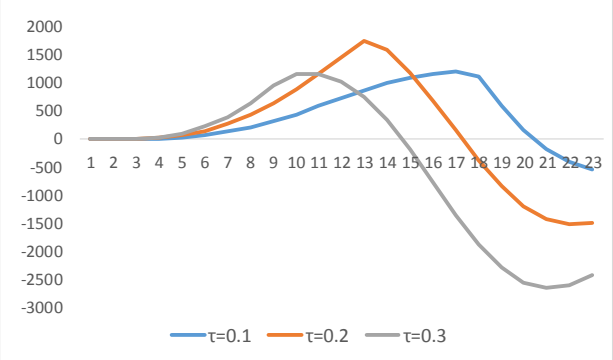


図 1 累積ライフサイクル CO_2 排出量（τ =0 と比較した削減幅　単位：トン）

5. 参考文献

Kagawa *et al.*, Global Environmental Change, 23 (2013),pp.1807-1818

自動車市場需要の変化を考慮したサステナビリティ評価分析

Effective of changes in the Car demand on the Sustainability Analysis

○松永 典子*[1)]、伊坪徳宏 [2)]
Noriko Matsunaga, Norihiro Itsubo
1) 現代文化研究所, 2) 東京都市大学
* n-matsunaga@gendai.co.jp

この発表は投稿されませんでした。

自動車を対象としたLCAのメタ分析

LCA Meta Analysis of Automobiles

○八坂慶仁*[1)] 、正畠宏一[1)]、伊坪徳宏[2)]
Yoshihito Yasaka, Koichi Shobatake, Norihiro Itsubo
1) TCO2 株式会社, 2)東京都市大学
* yasaka@tco2.com

1. 緒言

気候変動枠組み条約第 21 回締約国会議を通じて長期目標が採択された。1.5℃目標まで言及したことで、今後世界はさらなる緩和策を推進することが求められる。LCA 研究は様々な分野で実施されており、現在その数は年間 3000 件に上る。それらの一部はデータベースに搭載されることがあるが、他の研究等に有効に活用されていないことが多い。LCA の実施においては、データ収集時に多大な時間と労力がかかることが課題であるが、これまでの研究論文を有効に活用することで、短期に代表性のある結果を得ることが期待される。本研究では、既に幅広く行われている自動車分野における LCA の研究成果に対してメタ分析（メタ分析は複数の研究結果を統計処理する等、統合して分析結果を得る手法で、特に医療分野で多く用いられている）を実施して、自動車の緩和策の導入効果に関する定量的な分析の実施可能性について検討する。

2. 調査方法

2.1 調査対象

調査対象となる論文の収集には Google Scholar を用い、関連すると考えられる検索キーワードを作成し、完全一致検索を行った。以下に検索キーワードと対象数を示す。

表 1　検索キーワードと対象数

検索キーワード	対象数
"automobile" "LCA" "Review"	4
"automobile" "LCA" "Review" -"case studies"	0
"car" "LCA" "Review"	0
"automobile" "life cycle" "review"	0
"automobile" "comparison" "life cycle" "review"	0
"motor vehicle" "LCA" "review"	7
"vehicle" "GHG emission" "review"	4
"electric vehicle" "LCA" "review"	13
"EV" "PHEV" "LCA" "review"	17
"EV" "PHEV" "life cycle" "review"	0
"plug-in hybrid" "LCA" "review"	3
"Internal Combustion Engine" "EV" "LCA" "review"	5
"fuel engine" "EV" "LCA" "review"	0

検索対象を海外の論文に限定し、自動車の LCA を行った論文を抽出し、抽出した論文に記載されている表から標本となるデータを作成した。また、標本となるデータがグラフとして与えられている場合には画面上で棒グラフ等の長さを定規で測り、数値化を行った。

2.2 調査項目と標本の分類

本調査では GHG 排出量を対象とし、その排出が自動車のどのライフサイクル段階における排出であるかを含めて記録した。ライフサイクル段階は以下の 3 つに分類し、論文で使用されていた英名の例も合わせて示す。

表 2　分類名　英名対応例

段階名	英名例
バッテリー製造	Li-ion battery, Battery Production, Battery assembly, etc.
その他製造	Vehicle assembly, Power electronics, FC system, etc.
使用	Fuel supply, Electricity production, Use phase, etc.

論文で設定されている走行距離、使用年数、排気量、車両重量、使用国、バッテリーを使用する自動車の場合にはそのバッテリーの種類、電力を外部から充電して走る自動車ではその電源の発電方法についても収集した。以下に電源の分類を示す。

表 3　電源分類

分類 1	分類 2
化石燃料由来	石炭
	石油
	ガス
	その他
非化石エネルギー	再生エネルギー
	原子力
電力ミックス	最良シナリオ
	中間シナリオ
	最低シナリオ
	その他

車種は次の表に示す 7 つの種類に分類した。プラグインハイブリッド車、電気自動車に関しては使用時の電源の発電方法別に更に 3 つへ分類した。

表 4　自動車分類及び論文数、標本数一覧

英名	分類名	電源	論文数	標本数
GICEV	ガソリン車	−	13	70
DICEV	ディーゼル車	−	3	8
GICEHEV	ハイブリッド車	−	7	36
DICEHEV				
GICEPHEV	プラグインハイブリッド車	化石燃料由来	3	19
		電力ミックス	5	53
DICEPHEV		非化石エネルギー	2	8
EV	電気自動車	化石燃料由来	5	15
		電力ミックス	9	37
		非化石エネルギー	3	11
HFCV	燃料電池車	−	2	17
CNGV	その他	−	3	11
LPGV				
Others				

2.3 補正と集計

外れ値はあらかじめ取り除き、単位は kg-CO_2e/km へ統一した。また、ライフサイクルの特定段階が含まれない標本は、同じ分類の自動車の平均値を使用し、その段階の補正を行った。

3. 結果

自動車の分類別の結果を箱ヒゲ図として次に示す。中央値では、ガソリン車の GHG 排出量が最も多い結果となり、ガソリン車を基準とした時に、ハイブリッド車や、非化石エネルギーを電源とする電気自動車やプラグインハイブリッド車では明確な差が見られた。一方、電源が化石燃料由来である場合には、ガソリン車､ディーゼル車と同程度の結果となる事が分かった。また、燃料電池車、電源が電力ミックスの電気自動車は数値に大きな幅が現れた。

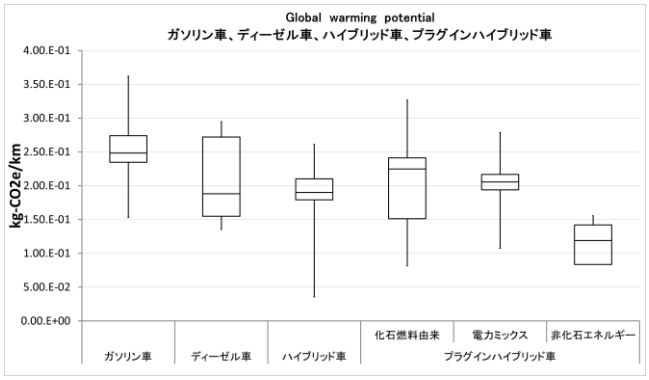


図 1　GHG 排出量　箱ヒゲ図-1

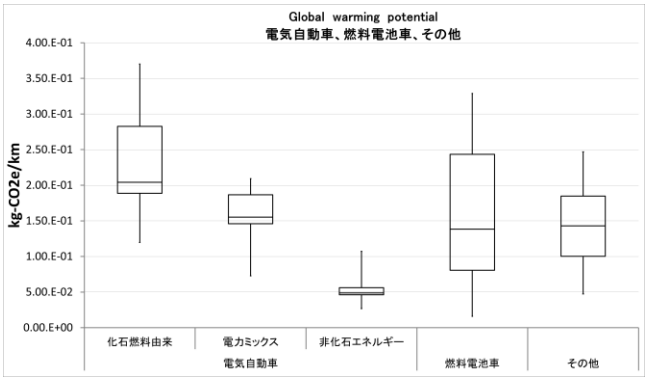


図 2　GHG 排出量　箱ヒゲ図-2

燃料電池車の数値の幅は近年になって開発が進められている為技術的な差から幅が生じていると考えられる。ガソリン車は技術が収束しているため幅が小さい結果となった。

4. 課題

今回のメタ分析を実施した際の課題の一部を以下に示す。

(1)　補正の妥当性

単位の統一、及び、特定のライフサイクル段階の値が存在しない場合に補正を行ったが、各論文で走行距離や自動車のサイズ、二次データ等の前提条件が異なっており、これらの補正が妥当であるかに関しては検討が必要である。

(2)　標本の分類の精度

電源の発電方法が論文に明確に示されていない場合は電力ミックスへ分類した。より正確に分類するには、参考文献を孫引きして調査する必要があるが、今回はそこまでの調査は行えていない。

(3)　数値の精度

元データがグラフの場合、数値への変換はアナログな方法を適用したため、数値の精度には限界がある。

5. まとめ

自動車分野においての既に実施された LCA 結果に対してメタ分析を行い、車種や電源等、標本の属性で分類した時に、自動車のライフサイクル GHG 排出量に明確な違いが見られた。一方で、元データとなる LCA 論文においては、その前提条件や結果の表記方法は統一されておらず、その補正過程において課題があることがわかった。今後は、標本数を更に増やすとともに、他の影響領域についても同様の解析を行い、影響領域間でトレードオフの関係がみられるか等の検討を進めたい。

自動車ライフサイクル CO_2 削減に向けた取り組み

Approaches to Reduce Life Cycle CO_2 emissions from Automobiles

○河村哲雄*、小笠原満、小澤環、山戸昌子
Tetsuo Kawamura, Mitsuru Ogasawara, Tamaki Ozawa, Masako Yamato
トヨタ自動車株式会社
* tetsuo_kawamura@mail.toyota.co.jp

1. 背景

近年深刻化している地球温暖化、大気環境の悪化、水不足、及び資源枯渇など環境問題への対応として、事業活動での更なる環境負荷低減が期待されている。当社ではこれらの問題の取り組みとして、2015 年 10 月に以下 6 項目から成る環境チャレンジ 2050(図 1)を発表した[1)]。

①新車(走行時)CO_2ゼロチャレンジ
②ライフサイクル CO_2ゼロチャレンジ
③工場 CO_2ゼロチャレンジ
④水環境インパクト最小化チャレンジ
⑤循環型社会・システム構築チャレンジ
⑥自然と人が共生できる未来づくりへのチャレンジ

本稿では特に、自動車製品に直接起因する CO_2 削減の取り組みとして、①②を紹介する。



図 1　環境チャレンジ 2050

2. 自動車 CO_2 削減の取り組み

2.1 走行時 CO_2 削減

新車の走行時CO_2排出削減に繋がる燃費向上に向け、軽量化、空力、及び熱効率の改善が有効であり、エンジン、トランスミッション、シャシー、ボディーなど全技術領域で開発推進している。　更に、図 2 のように、従来のガソリン車やハイブリッド車(HV)から、プラグイン・ハイブリッド車(PHV)、電気自動車(EV)、及び燃料電池自動車(FCV)など次世代車への置換を進めることで大幅な削減を図る。①では、2050 年に 2010 年と比較して 90%削減をチャレンジする。

一方、次世代車は燃料多様化へ対応しながら新規部品を多く使用するため、走行時だけでなくライフサイクルでの CO_2 排出を考慮すべきである。ここには燃料製造時の CO_2 排出も含まれるので、将来的に再生エネルギーや CO_2 フリー水素の拡大に向けた対応が必要となる。

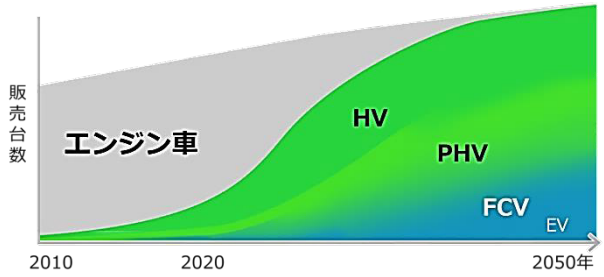


図 2　新車(走行時)CO_2 削減に向けた
パワートレーンの方向性

2.2 ライフサイクル CO_2 削減

当社では 2005 年から Eco-Vehicle Assesment System(Eco-VAS)を導入し、新車のライフサイクルでの CO_2, NOx, SOx, PM, 及び NMHC(非メタン炭化水素)の排出量を評価してきた(図 3)。

特に CO_2 は現行モデルを上回らないという目標に対し、現在まで全車種で目標達成、更にリサイクル可能率や環境負荷物質も評価し、改善を進めてきた。



図 3　トヨタ Eco-VAS

3. 次世代車のライフサイクル評価

3.1 評価前提と方法

次世代車の代表として FCV 車、比較として車両サイズや重量が同等のガソリン車、及び HV 車に関し、以下

の条件でライフサイクル CO_2 排出量を評価した。

また、FCV の将来ポテンシャルも同様に評価した。

・評価領域）図 4 に示す

・CO_2 原単位データベース）LCA 日本フォーラム

・走行条件）10 万 km(10 年相当)，JC08 モード

・水素製造）現状は苛性ソーダ製造過程の副生水素

・将来 FCV 条件）FCV ユニット材用構成、及び、電源・水素原単位は、2030 年予測値を使用

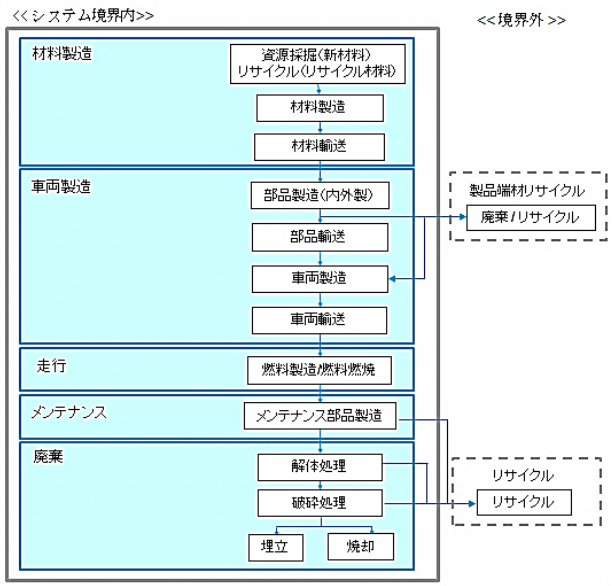


図 4　ライフサイクル排出 CO_2 の評価領域 [2)]

3.2 次世代車ライフサイクル CO_2 排出の課題

各パワートレーンの代表車におけるライフサイクル CO_2 排出結果を図 5 に示す。

ガソリン車から HV 車、FCV 車へと移行するにつれ、燃料製造時を含む走行時 CO_2 は大幅に削減できた。

逆に、素材と車両を製造する際に排出する CO_2 は、HV 車、FCV 車で増加した。これは、双方に搭載される二次電池の構成部材であるアルミや、FCV 車の水素タンク中 CFRP、スタック中の白金などが主要因である。

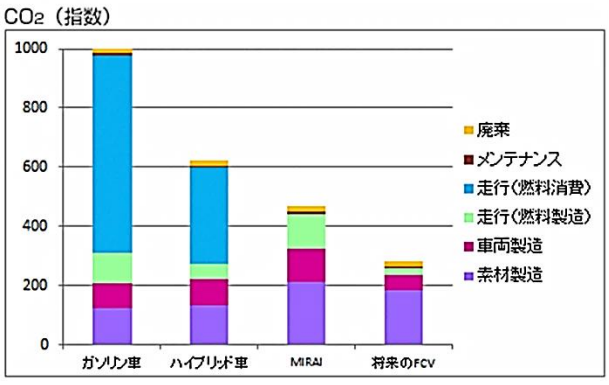


図 5 ライフサイクル CO_2 排出量の比較

3.3 製造時 CO_2 削減に向けたアプローチ

FCV, PHV, EV など次世代車のライフサイクル CO_2 削減に向け、製造時 CO_2 削減が課題だが、以下のアプローチが考えられる。

・低 CO_2 材料の開発、使用拡大

・材料使用量削減（CFRP，白金など）

・部品点数削減

・リサイクル材(アルミ，鉄, 樹脂などの水平リサイクル)採用拡大

・バイオ材

・解体性容易設計

現在、各取り組みの効果と背反を検証中である。

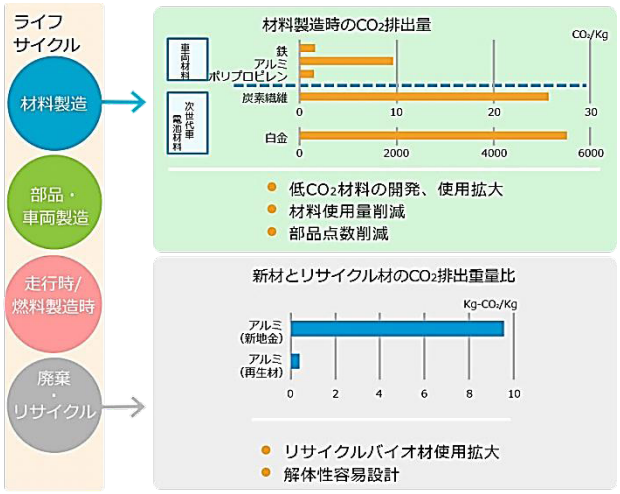


図 6　製造時 CO_2 削減の方策

4. 最後に

将来的な自動車 CO_2 削減に向けて FCV, PHV, EV など次世代車の普及拡大が不可欠であるが、走行時だけでなくライフサイクル全体での CO_2 削減が重要となる。

これらの次世代車は製造時 CO_2 排出が多い傾向があり対策を要する。例えば、アルミや鉄などの水平リサイクル推進やバイオ材など可能性があるが、効果の大きさと背反を含めた検証が必要であろう。

このような製造時 CO_2 削減の取り組みに加え、再生可能エネルギーや CO_2 フリー水素の拡大に向けては、サプライチェーンとの協業が不可欠となる。

参考文献

1) トヨタ自動車(株)：“環境チャレンジ 2050”，<http://www.toyota.co.jp/jpn/sustainability/environment/challenge2050/>，（参照 2015-10-30）

2) トヨタ自動車(株)：“次世代車のライフサイクル環境取り組み”，<http://www.toyota.co.jp/jpn/sustainability/environment/low_carbon/lca_and_eco_actions/>,（参照 2015-10-30）

走行実態と環境制約を考慮した自動車の保有構成の最適化

Optimizing the composition of the number of passenger cars taking actual driving situations and environmental constraints into account

○永尾修一*、吉田好邦
Shuichi Nagao, Yoshikuni Yoshida
東京大学
* ngo38114@gmail.com

1. はじめに

1.1 背景

日本の二酸化炭素の総排出量のうち、自動車による排出量は 14.8%を占めている。日本が保有している自動車のうちおよそ 4 分の 3 が乗用車にあたる。したがって、乗用車の排出している二酸化炭素の量を減らすことで、国内の二酸化炭素の排出量を大きく減少させることができる。

近年では、エコカーが盛んに開発され、ハイブリッド自動車（以下 HV; Hybrid Vehicle）や電気自動車（以下 EV; Electric Vehicle）、プラグインハイブリッド自動車（以下 PHV; Plug-in Hybrid Vehicle）が注目を浴びている。しかし、まだまだ流通しておらず従来のガソリン車を利用している人が多いという現状がある。

1.2 本研究の目的

各世帯の保有する自動車のタイプ（ガソリン車、EV、HV、PHV など）は何が最適なのかという計算を行っている研究は多く、たとえば、原ら[1)]や中上[2)]は EV と PHV の導入評価に関して最適化計算を用いて考察している。PHV は充電後使用開始の数十 km は電力を使って EV モードで走行し、その電力が減るとガスを使用した HV モードで走行するため、PHV を考慮する際は、家庭の持ちうる変数としてその家庭の年間走行距離、1 日あたりの走行距離（以下日走行距離）が必要となる。日走行距離に関する詳細なデータはないので、原らや中上は国土交通省のデータ等を利用して設定しているが、より自動車利用の実態に基づいた設定が望ましい。

また、自動車の選択について消費者選好を考慮した研究に関しては北里[3)]や住田[4)]のものがある。両者ともに自動車の消費者選好に関するアンケートを行い、自動車の選択における経済性・環境性以外のファクターについて調査していた。

本研究では、アンケートを用いて各世帯の自動車利用の実態を調査し、経済的環境的観点から最適な車種構成の計算を行う。北里や住田の研究にあるように、経済性や環境性の観点のみが合理的な車種選択の基準ではなく、選好には様々な要因が絡んでくるのは確かである。しかしながら、本研究では、政策立案、メーカーの車両研究に資することを念頭に、経済性や環境性の観点で最適な車種構成を求める。

2. アンケートの利用

2.1 アンケート概要

本調査のアンケートの実施概要は以下の通りである。

- 調査実施期間：2015/11/18~2015/11/19
- 調査方法：インターネット調査
- 対象者：全国の自動車を保有する男女 1000 人
- 実施機関：楽天リサーチ株式会社

2.2 アンケート内容

アンケートは、以下の 2 段階の調査から構成される。

(1) スクリーニング調査
(2) 本調査

- A：保有する車両に関する調査
- B：車両利用に関する調査
- C：買い替え予定に関する調査
- D：回答者の個人属性

スクリーニング調査の目的は、自身が保有している車両の走行距離に関して具体的に把握できている人を抽出し、本調査に回答してもらう回答者を選別することである。このアンケートでは、スクリーニング調査を経て本調査に進んだ回答者が 1000 人である。

本調査は大きく、「A：保有する車両に関する調査」、「B：車両利用に関する調査」、「C：買い替え予定に関する調査」、「D：回答者の個人属性」と A~D の 4 つに分類される。A~C の問いでは各車両に関して答えてもらうため、2 台保有しているならば A~C の問いを 2 周することになる。一方で D は回答者に関する問いである。各回答者最大 3 台まで回答してもらう形式にした。これらをもとに各車両について年間走行距離や日走行距離を算出した。

2.3 アンケート結果

年間走行距離を直接尋ねて得た値と、日走行距離と長距離走行に関する質問から算出される年間走行距離

との相対誤差が 0.8 以上となる回答は除外した（図 SI-1 の境目の右半分を除外）。このアンケートの有効性の確認後のデータは 638 人、1080 台分が対象となった。

3. 最適化モデル

3.1 モデル作成

本研究では静学､動学の 2 つのモデルを想定できる。これらのモデルでは、回答者のすべての自動車 1080 台を対象にする。静学モデルは一斉にモデル内のすべての自動車を新車に買い替える場合を考察する（動学モデルは回答者の買い替え予定に応じたタイミングで買い換える場合）。簡易に特徴を把握するため、買い替え先の車種は kei（軽ガソリン車）、EV、HV、PHV の 4 つでモデルを作成した。各自動車の CO_2 排出量の総和（*gas* とおく）に制約をかけ、各自動車の年間ランニングコストの総和（*u* とおく）が最小となるような仕組みで、各自動車が kei、EV、HV、PHV のどれに買い替えるのが最適なのか求めた。この際、0-1 混合整数計画法に基づき、数理最適化ソフトウェア GAMS を用いて最適化計算を行った。

まず、*i* と *j* の集合を準備する。*i* は 1080 台分の車両の集合で、*j* は kei、EV、HV、PHV の 4 車種の集合である。*i* に関するパラメーターと *j* に関するパラメーターをそれぞれ設定する。各 *i* がどの車種 *j* であるかは 0-1 変数 $X(i,j)$によって区別する。すなわち、

$$\sum_j X(i,j) = 1$$

となる。kei、EV、HV、PHV のうち、*i* を固定して $X(i,j)$ に 1 がついた *j* が車種の最適解を示す。（たとえば、$X(i, EV) = 1$ のとき、*i* 番目の車両は EV が最適解ということになる。）

CO_2 の制約式は以下のような不等式になる。

$$gas \geq \sum_{i=1}^{1080} \sum_j co2(j) \times d(i) \times X(i,j)$$

gas：設定した CO_2 排出量の総和の上限値（kg/年）
co2：CO_2 の排出量（kg/km）、*j* に関するパラメーター
d：各車両の年間走行距離（km/年）、*i* に関するパラメーター
X：車種構成を表すベクトル、*i* と *j* に関する 0-1 変数

目的関数 *u*（円）は以下のような式になる。

$$u = \sum_{i=1}^{1080} \sum_j \{nempi(j) \times d(i) + price(j) \div span(i)\} \times X(i,j)$$

nempi：燃費（円/km）、*j* に関するパラメーター
price：車両価格（円）、*j* に関するパラメーター
span：買い替えた車両の使用年数（年）、*i* に関するパラメーター

CO_2 の制約式を課しながら、*u* を最小化するように GAMS で最適化計算を行うと $X(i,j)$ と *u* が得られる。日走行距離や充電設備の有無、EV の航続可能距離についてもモデルで考慮した。

3.2 静学モデルのシミュレーション結果

シミュレーション結果の一例として､*gas* の値を 750 万 t にして実行すると、図 SI-2 のような車種構成になる。1 人あたりの年間コストは 34.2 万である。日走行距離が大きい場合は PHV が優位で、日走行距離が小さい場合は､充電設備が導入可能な時に EV が優位で、充電設備が導入できない時は HV が優位である。全体としてあまり自動車を利用しない場合は kei が優位である。2、3 台目は kei が多くなるという傾向も見られた。

4. 結論

静学モデルの作成を通じて、自動車の利用実態に基づいた、最適な車種構成を分析した。この結果をもとに PHV の今後の位置付けを考えていけるだろう。さらには、動学モデルを分析することで将来的な普及可能性をより詳細に考察できる。動学モデルを完成させることが課題である。

動学モデルは、アンケートで質問した買い替え予定を元にモデル作成をする。買い替えするまでの年数を各車両によって与え、時間軸を考慮する。車両サイズは継承するとし、サイズは軽、小型、普通の 3 つ設定する。車種については、ガソリン車（以下 GV; Gasoline Vehicle）、EV、HV、PHV の 4 種類を考える。制約式や目的関数の考え方は同じである。サイズの継承や予算制約や EV、PHV の性能向上も考慮する。

動学モデルも参考にして今後の PHV の位置付けを考えていきたい。

引用文献

[1]原卓也, 志賀孝広: 車種構成最適化モデルの挙動解析, journal of japan society of energy and resources Vol.33, No.2 61-70, (2012 年)
[2] 中上聡: 最適電源構成を考慮したプラグインハイブリッド車と電気自動車の導入評価, 東京大学大学院電気系工学専攻修士論文, (2010 年)
[3] 北里雅史: 消費者選好調査に基づいた次世代自動車の普及促進に関する研究, 東京大学院 新領域創成科学研究 環境システム学専攻, (2014 年)
[4]住田智紀: 東京大学工学部システム創成学科 知能社会システムコース, (2015 年)

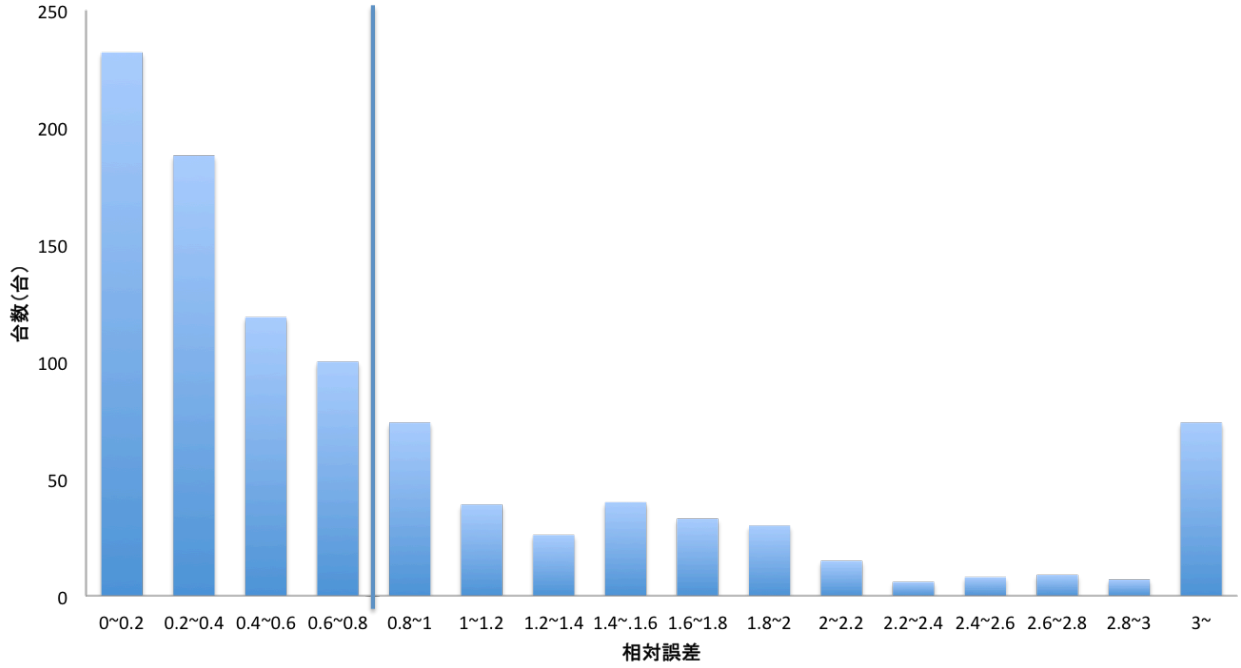


図 SI-1　年間総距離の相対誤差

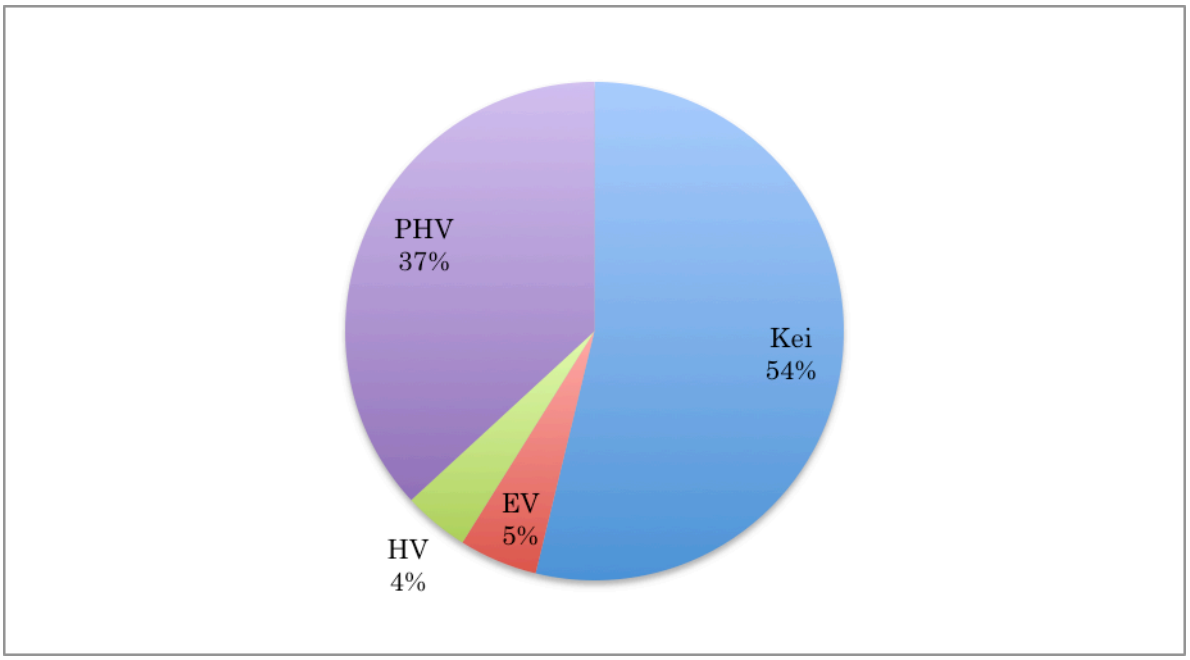


図 SI-2　静学モデルの結果　車種構成

産業連関分析を用いた自動車の緩和策評価

Mitigation assessment of vehicle by using input-output analysis

○小野雄也*[1)]、伊坪徳宏 [2)]、沖大幹 [1)]
Yuya Ono, Norihiro Itsubo, Taikan Oki
1) 東京大学, 2)東京都市大学
* onoyuya@rainbow.iis.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

IPCC 第 5 次報告書によれば、地球の気候システムの温暖化は疑う余地がなく、人間活動が 20 世紀半ば以降に観測された温暖化の主な要因であった可能性が極めて高い（95%以上の可能性）と記載されている [1)]。その対策として日本でも近年、環境に配慮した様々な自動車が開発されており、これらの自動車の活用は気候変動の緩和策アプローチとしても有効であると考えられる。

しかし、国土交通省によれば、日本における CO2 排出量の 17.1%が運輸部門由来であり、その中でも自動車由来の負荷は 86.4%であることが報告されており [2)]、依然として全体への影響が大きいことが分かる。このような背景から既存の自動車の評価及び将来の自動車の環境負荷を測り、政策に活かすことで社会貢献していくことが求められる。

既存の自動車評価は多数存在するが、車種や対象となる環境負荷物質、評価範囲が限定的であることが多い。また、サプライチェーン全体を網羅した素材や技術、燃料費を将来に渡って違いを反映することは現状として困難である。

そこで、本研究では産業連関表及び各種自動車のコスト情報を用いて Hybrid-IO を作成し、環境負荷の推計及び将来予測を試みた。これにより産業連関法の代表性、算定範囲の網羅性の高さと積み上げ法による正確性・品目の詳細度と各年の違いを示すことができる更新性の高さを確保することができ、かつ一貫した手法で自動車の評価結果を比較することが可能となる。これらを考察することで企業の更なるサステナビリティ向上や社会への実装が進められ、一般消費者を巻き込んだ議論に発展すると期待される。

2. Hybrid-IO を用いた自動車の評価方法

2.1 評価対象及び機能単位

本研究の評価対象はガソリン自動車、ディーゼル自動車、ハイブリッドカー、プラグインハイブリッドカー及び電気自動車である。ガソリン自動車及びディーゼル自動車のみ 2005 年と 2011 年のデータをその他の自動車は 2005 年に広く普及していないことから 2011 年のデータを適用して評価した。

次に機能単位は各自動車 1 台あたりとし、10 年間走行すると仮定した。なお、今回の研究では原料調達、生産、使用（走行）までとし、廃棄・リサイクル段階は評価対象外としており、各段階の CO_2 排出量を評価した。

2.2 Hybrid-IO 作成と自動車の評価方法

ここでは各自動車の環境負荷量の推計を記述していく。式 1 及び 2 は環境負荷の推計式である。

$$E = e \times F \quad (式1)$$

$$e = d \times (I-A)^{-1} \quad (式2)$$

ただし、E は環境負荷、e は環境負荷原単位、F は消費額、d は直接負荷係数、I は単位行列、A は投入係数である。なお、各要素は 2005 年、2011 年に分かれており、技術水準や産業構造が年度により異なった値となっているためである。

以下に原単位算出手順を下記に示す（図 1）。

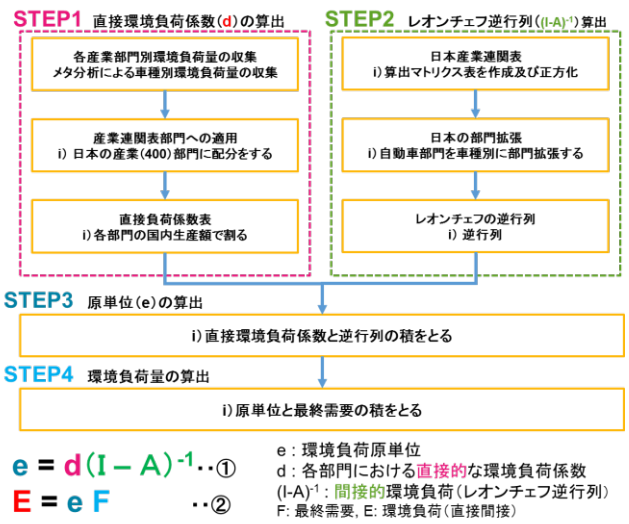


図 1　環境負荷推計方法

まず、各産業部門の環境負荷と自動車部門別に環境負荷を収集した。自動車部門は既存研究をメタ分析し、車種別に環境負荷を平均値化し、適応した。その他の

産業部門に関しては Eora database[3]より環境負荷データを各部門に適応した。最後に推計した環境負荷量を該当する各産業部門の生産額で除することにより、直接負荷係数を作成した(STEP1)。

次に 2005 年版及び 2011 年版日本産業連関表[4,5]を用いて、レオンチェフ逆行列を作成する。それぞれ約 400 の産業部門を有しており、そのうち自動車部門は金成ら[6]が開発した CEMAT model を用いて、車種別（ガソリン自動車、ディーゼル自動車、ハイブリッドカー、プラグインハイブリッドカー及び電気自動車）に部門拡張を行った。CEMAT model は世界人口や GDP,各部門のエネルギー消費量や価格、自動車の需要動向予測や新車販売・保有台数などの情報を外装することで現在だけでなく、将来的な技術別燃費・台数予測や自動車燃料需要量､価格情報などを予測することができる。上記モデルで対応できない部分については産業連関表取引額を各自動車の台数で案分することとした(STEP2)。

更に上記の積をとることで各産業における環境負荷原単位を算出した (STEP3)。最後に各自動車及び燃料価格と得られた原単位を乗じることで各自動車 1 台当たりの環境負荷が得られる(STEP4)。

3. 結果

2005 年及び 2011 年を対象に Hybrid-IO を用いて各自動車（2005 年版ガソリン自動車、2011 年版ガソリン自動車、2005 年版ディーゼル自動車、2011 年版ディーゼル自動車、2011 年版ハイブリッドカー、2011 年版プラグインハイブリッドカー及び 2011 年版電気自動車）の環境負荷の結果を図 2 に示した。

まず、2005 年版ディーゼル自動車は 27.9 t-CO2 と対象車の中では最も負荷が高い結果となった。内訳として製造段階が約 6 割、走行段階は約 4 割となり、やや製造段階の環境負荷内訳が大きい結果となった。次いで 2005 年版ガソリン自動車が 25.4 t-CO2 となった。

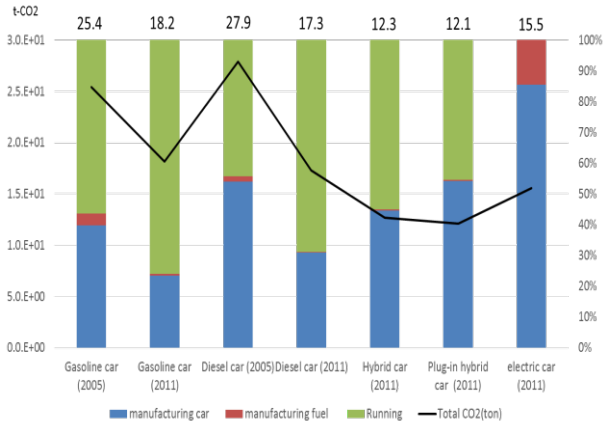


図 2　各自動車の環境負荷結果

環境負荷の内訳に着目すると、2005 年版ディーゼル自動車とは異なり、製造段階が 4 割、走行段階が 6 割とやや走行段階の内訳が大きい結果となった。2005 年と 2011 年の自動車をそれぞれ比較すると 25%から 30%程度の改善がみられる。

最も環境負荷が低い結果となったのが、12.1 t-CO2 のプラグインハイブリッドカーであり、ハイブリッドカーが 12.3 t-CO2 とそれに次いで環境負荷が低い結果となった。最後に電気自動車の環境負荷は 15.5 t-CO2 となった。環境負荷の内訳に着目すると、車体製造が約 8 割、燃料製造が約 2 割となった。ガソリンなどとは異なり、走行段階の燃焼による CO2 の排出がないため、製造段階のみの表示となる。

4. まとめ

2005 年及び 2011 年の産業連関表を用いて Hybrid-IO を作成し、各自動車の環境負荷の推計を行った。

今後は既存研究との比較し、精度の向上を行うと共に SSP シナリオごとに一般均衡モデルのシミュレーションを行い、その結果を用いた産業連関表を将来予測する。

5. 引用文献

1) 環境省, 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第 5 次評価報告書(AR5)について, 環境省ホームページ, 入手先 <http://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th/#WG1>, (参照 2015-12-20)

2) 国土交通省, 運輸部門における二酸化炭素排出量, 国土交通省ホームページ, 入手先< http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html>, (参照 2015-12-21)

3) Lenzen M, Kanemoto K; Moran D, and Geschke A (2012): Environmental Science & Technology 46(15) 8374-8381.

4) 総務省, 平成 17 年（2005 年）産業連関表（確報）, 総務省ホームページ, 入手先< http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001019588&cycode=0>, (参照 2015-12-01)

5) 総務省, 平成 23 年 (2011 年産業連関表 (確報), 総務省ホームページ, 入手先 < http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001060671&cycode=0>, (参照 2015-12-02)

6) 自動車研究所, 自動車部門における将来技術および統合対策を考慮した CO2 排出量推計, 自動車研究所ホームページ, 入手先 < http://www.jari.or.jp/Portals/0/resource/pdf/H23WS/WS_120329_04jp.pdf>, (参照 2015-12-03)

ライフサイクル思考に基づく環境コミュニケーションについての一考察

A study of environmental communication based on life cycle thinking

○藤原なつみ[*1)]、永田潤子[2)]
Natsumi Fujiwara, Junko Nagata
1）立命館大学，2）大阪市立大学
fuji-n@fc.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

青果物のライフサイクルに伴う温室効果ガス排出量を減少させるために、地産地消や旬産旬消といった消費行動が有効であることが、既往研究で指摘されている[1,2)]。こうした環境配慮型の購買行動を促すための方策として、カーボンフットプリントやフードマイレージなどの環境表示の取り組みが推進されているが、実際の食料品販売において、導入・普及が十分に進んでいるとは言い難い。その理由の一つとして、小売店では限られた空間の中で商品の価格や産地、特売情報など多数の情報を表示する必要があるため、一般的に売上増に直結しにくいと考えられている環境配慮情報の優先順位が低くなっていることが考えられる。

そこで、本研究においては、地元産や露地栽培された旬の野菜など、ライフサイクル全体の環境負荷が比較的低いと考えられる青果物を対象として、環境配慮型であることを示すだけでなく、消費者の購買意欲に訴え購買促進にもつながるような内容の POP 表示を行い、消費者がそれらの情報表示をどのように受け止めるかアンケートによる調査を行うこととした。POP 表示の内容を検討するにあたっては、消費者と流通販売者が対等な立場で学びあうことを目的とした「リサーチャーズクラブ」において意見交換を行い、そこで出された消費者の声を反映させることとした。「リサーチャーズクラブ」とは、名古屋市千種区にあるアピタ千代田橋店において、2010 年に筆者らの研究グループとユニー株式会社とが協働で立ち上げた消費者と流通販売者の相互学習型のプラットホームであり、本研究の他にも、より良い買いものをめざして様々な取り組みを行っている[3)4)]。

2. 方法

2.1 対象とする青果物

ライフサイクル全体の環境負荷が低い青果物として、本研究では、①名古屋市近郊で栽培された五種の旬の野菜（ネギ、ハクサイ、キャベツ、ホウレンソウ、ブロッコリー）、②愛知県内で栽培されたイチゴ、③食品リサイクル堆肥を用いて栽培されたエコ野菜を対象とした。

2.2 POP 表示による情報提供

①五種の旬の野菜については、地元産でかつ旬の野菜であることを簡潔に示したうえで、消費段階においても無駄なく美味しく消費できるように、一般に廃棄されてしまうことも多い調理しづらい部分（ブロッコリーの茎、ハクサイの中心部など）を使ったレシピや、保存方法について紹介した POP 表示を作成した（図 1 左）。

②イチゴについては、一般に輸送距離が短いことによる環境負荷低減については、「フードマイレージ」や「地産地消」といった表現を用いることが多いのに対し、本研究では、愛知県産のイチゴは畑から食卓までの距離が短く、新鮮であることに着目して、「畑から食卓へ 愛地産だから早く届く！」という、より伝わりやすさを意識した内容の POP 表示を作成した（図 1 右）。

③食品リサイクル堆肥を用いた野菜については、その旨を明示しつつ、「やさしいお野菜」という消費者にとってより親しみやすい表現を用いた。

これらの POP 表示は、2013 年 2 月 18 日（月）より一ヶ月間、アピタ千代田橋店の青果物売り場に掲示した。



図 1 購買促進をめざし消費者の声を反映させた POP

2.3 アンケート調査の概要

アンケート調査の対象は、POP 表示期間中に対象とする青果物を購入しようとしている（買い物かごに入れている）消費者として、インタビュー形式で実施した。

アンケート実施日時については、曜日や時間帯によって来店する消費者層が異なることから、平日、土日祝、特売日（毎週火曜日）のそれぞれのデータを得るために、

2 月 28 日（木）、3 月 5 日（火）、3 月 9 日（日）の三日間にわたって実施した。時間帯は、朝（10:00～12:00）・昼（13:00～16:00）・夕方（17:00～19:00）とし、様々な消費者層から回答を得られるようにした。

3. 結果と考察

3.1 アンケート調査結果の概要

アンケート調査では、三日間で計 649 名（男性 46 名・女性 601 名・未回答 2 名）から回答を得ることができた。

購入理由（複数回答）について、①五種の野菜では、「献立に必要（176 名）」という回答が最も多く、「安い（144 名）」、「愛知県産（83 名）」が続いた。②イチゴでは、「美味しそう（50 名）」という回答が最も多く、以下、「旬（26 名）」、「愛知県産（24 名）」、「安い（22 名）」が続いた。③エコ野菜では、「愛知県産（34 名）」という回答が最も多く、以下「美味しそう（25 名）」「エコ野菜は安心（24 名）」が続いた（図 2）。

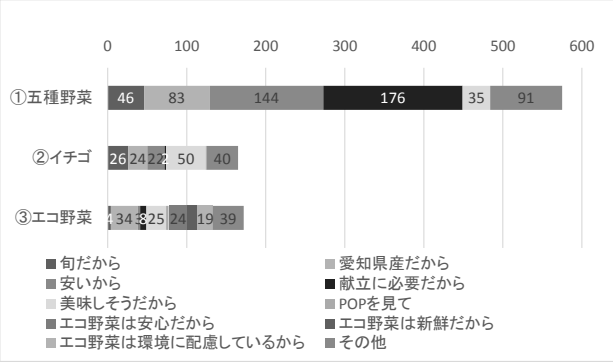


図 2　購入理由（複数回答・エコ野菜に関する選択肢は③エコ野菜購入者のみに提示）

対象となっている青果物を選ぶと環境配慮につながる可能性があること（①愛知県産・旬、②愛知県産、③食品リサイクル堆肥）を知っていたかどうかという質問に対しては、①五種の野菜は「知らなかった」が 216 名と、「知っていた」の 185 名をやや上回った。②イチゴでは「知っていた」「知らなかった」とも 52 名と同数、③エコ野菜では名称がわかりやすいためか「知っている」が 67 名と「知らなかった」の 33 名を上回った（図 3）。

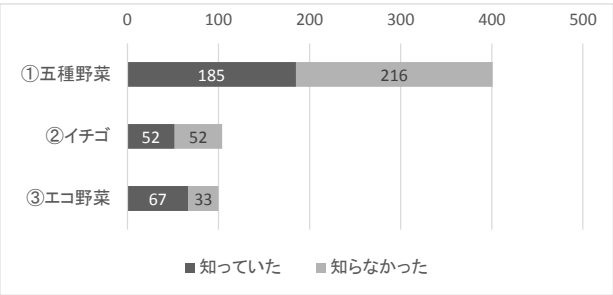


図 3　環境配慮につながる可能性についての知識

3.2 アンケート調査結果の考察

購入理由については、POP 表示をみて購入したという回答は少なかったものの、POP が伝えたいと意図していた「愛知県産」や「旬」を理由に購入したという回答は多かった。環境配慮を前面に出したエコ野菜においても、「環境配慮」よりも「愛知県産」を理由に購入する消費者が多く、「地元産」をアピールする表示はライフサイクルの環境負荷提言を伝えうるだけでなく、購買促進にもつながる可能性があると考えられる。

また、地元産野菜や旬の野菜を購入することが環境配慮につながる可能性があることについては「知らなかった」という声が大きいことから、購買促進と消費者教育の点から、店頭で伝えていく意義があるといえる。

4. おわりに

ライフサイクルの環境負荷低減を考慮して栽培された青果物を普及させていくためには、生産者・流通販売者側の努力だけでなく、消費者の購買行動を変えていくことが必要である。消費者に対しては、正確な情報提供を行っていくことが理想的であるが、小売店の現場の制約条件などを考慮したうえで、流通販売者と消費者の双方にとって受け入れやすい情報を提示していくことにも一定の効果があると考えられる。

5. 謝辞

本研究は、国立研究開発法人科学技術振興機構 社会技術研究開発センター「地域に根ざした脱温暖化・環境共生社会研究開発領域」（領域総括 堀尾正靱）に採択された「名古屋発！低炭素型買い物・販売・生産システムの実現」の一環として実施しました。関係各位には、記して謝意を表します。

6. 参考文献

[1] 中島寛則・大野隆史・池盛文数・高木恭子・久恒邦裕：“日本 LCA 学会”，東北大学，(2010)，pp195-195

[2] 吉川直樹・天野耕二・島田幸司：環境システム研究論文集，Vol．35，（2007），pp499-509

[3] おかいもの革命プロジェクト，“おかいもの革命！消費者と流通販売者の相互学習型プラットホームによる低炭素方社会の創出”，公人の友社，東京，(2014)，pp14

[4] 東珠実：消費者教育，33 巻，(2013)，pp19-29

ディスポーザ使用による CO_2 排出量削減効果の算定及び消費者受容性調査

Calculation of CO2 emissions reduction effect by the disposer use and consumer acceptability survey

○竹内 孝曜[1)] ,田中 浩二[1)] ,菱沼 竜男[2)],山本 恵幸[3)],井伊 亮太[4)],坪田 潤[5)],稲葉 敦*[6)]
Takaaki Takeuchi,Koji Tanaka,Tatsuo Hishinuma,Yoshiyuki Yamamoto,Ryota Ii,Jun Tsubota,Atsushi Inaba
1) 未踏科学技術協会, 2)宇都宮大学,3)横浜市,4) パシフィックコンサルタンツ,5)大阪ガス,6)工学院大学
* a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

１．はじめに

「食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律（食品リサイクル法)」は、食品廃棄物の減少と食品関連事業者（製造、流通、外食等）の再生利用を促進することを目的として制定されている。この法律の下、食品関連事業者によって食品廃棄物の飼料化（エコフィード）や堆肥化が促進されて来たが、食品廃棄物の多様性と生産物(飼料や堆肥)の需要家の限定により、そのさらなる促進が困難だと言われている。

現在、再生されない食品廃棄物はごみ焼却場で処理されているが、水分が多い為、ごみの発熱量を低下させ、助燃剤使用量増加（＝＞CO_2排出量の増加）の原因になっている。一方、最近は食品廃棄物の処理方法として、メタン発酵によるエネルギー利用が着目されている。一般家庭から出る食費廃棄物の場合、収集に関しては、各家庭でディスポーザを使用し、下水処理場でメタン発酵を行う方がさらに効率的であり、CO_2削減に寄与すると考えられる。しかし、下水道の負荷を増大させるとして、ディスポーザを使用する場合には浄化槽設置を義務づけている自治体が多いこともあり、ディスポーザ自体の普及はあまり進んでいない。

本調査では、食品廃棄物のメタン発酵によるエネルギー利用について、収集方法として各家庭でのディスポーザの使用も含め、ディスポーザの使用による CO_2 排出削減効果を LCA の手法を用いて算定すると共に、自治体でのディスポーザの使用実態を調査し、その普及が困難になっている要因も考察した。

２．研究手順

2.1 ディスポーザの使用による CO_2 排出削減効果

家庭（150 戸の集合住宅）から出る可燃ごみ（紙類、プラスチック類、厨芥類（食品廃棄物等））と、排水を処理する方法を 5 ケース取り上げ、それぞれについてCO_2排出量を算定し、どのケースが最も有効利用ができるか（CO_2排出量が少ないか）の検討を行った。

＜５つのケース＞

①ディスポーザを導入しないケース（ごみ収集・ごみ焼却・下水処理）※基準ケース

②ディスポーザを使用し浄化槽を設けて処理水を下水道に放流するケース

③②のケースの浄化槽にメタン発酵機能を持たせたケース

④③のケースの下水処理場においてメタン発酵を行うケース

⑤ディスポーザを使用して処理水を直接下水処理場に流し、下水処理場でメタン発酵を行うケース

なお、算定条件として、ごみ焼却ではごみ発電を伴うこととし、ディスポーザの使用は、食品廃棄物のメタン発酵によるエネルギー利用を可能にするだけでなく、食品廃棄物が取り除かれることによって、ごみの発熱量が上がり、助燃剤使用量を減少させる効果も考慮した。

2.2 ディスポーザの使用に関する消費者受容性調査

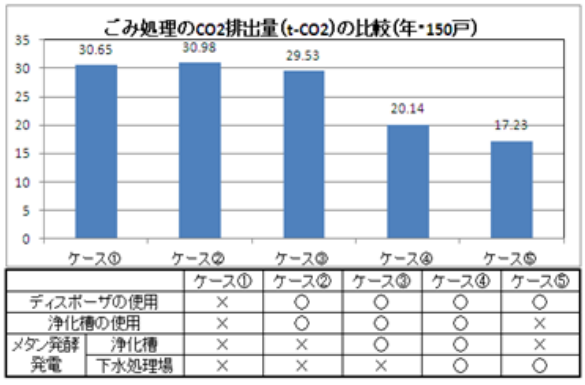
ディスポーザの普及阻害要因を明らかにするため、ディスポーザ使用者と非使用者を対象に web 調査を実施した。調査対象は 20 代～70 代の主婦とし、調査人数は事前にスクリーニング調査を実施し、2 つの属性毎に各 100 名とした。属性は①（使用者）:「ディスポーザを住宅に設置」かつ「日常的に台所に立って家事を行う者、もしくは、たまに台所に立って家事を行う者」、②（非使用者）:「ディスポーザは住宅に設置していないが、ディスポーザ知っている者」とした。

３．結果

3.1 ディスポーザの使用による CO_2 排出削減効果

ディスポーザの使用による CO_2 排出削減効果の算定では、図 1 より、ケース①～⑤の CO_2 排出量の比較において、家庭にディスポーザを導入し、排水は直接下水に流し、下水処理場においてメタン発酵による発電を行うとしたケース⑤が、CO_2 排出量が最も少なかった。

一方、ディスポーザを導入しても、処理槽（浄化槽）や下水処理場等でメタン発酵を行わない場合（ケース②）は、従来のごみ処理（ケース①）よりも、CO_2 排出量が若干多くなっていた。



		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④	ケース⑤
ディスポーザの使用		×	○	○	○	○
浄化槽の使用		×	○	○	○	×
メタン発酵発電	浄化槽	×	×	○	○	×
	下水処理場	×	×	×	○	○

図 1　ごみ処理の CO_2 排出量の比較果

3. 2　ディスポーザの使用に関する消費者受容性調査

図 2 より、ディスポーザ未設置者の約 7 割が今後の導入に否定的であることが分かった。設問において「あまり思わない」、「全く思わない」と回答した理由については（複数回答可）、「コストがかかる」との回答が 38.4%と最も多く、次いで、「住宅が設置不可」の 35.6%、「水が汚れる」の 28.8%、「環境に悪い」の 23.3%などとなっている。また、「情報が少ない」との回答も 20.5%あった。

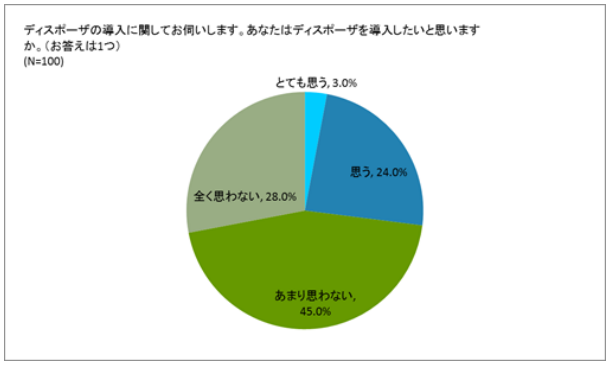


図 2. ディスポーザの導入の意思について（非使用者）

また、属性②（未設置者）を対象に「ディスポーザ導入のデメリット」について調査したところ（図 3）、一番デメリットに思うことは、「入れてはいけない生ごみの処理が面倒」との回答が 43.0%と最も多く、次いで、「水道代・電気代の増加が気になる」の 30.0%、「使用時の音が気になる」の 11.0%などとなっている。

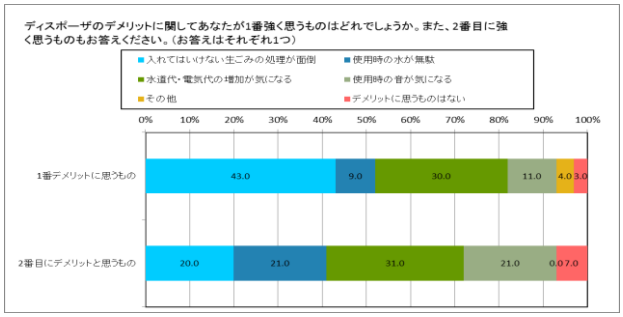


図 3. ディスポーザの導入デメリット：属性②（未使用者）

４．ディスポーザの普及阻害要因

主なディスポーザの普及阻害要因として、(1)コスト、(2)住宅の制約、(3)地域の制約、(4)イメージ、(5)情報不足、などが挙げられる。特に、(3)地域の制約については、国土交通省の調査によると、調査に回答した 1,249 市町村中、「単体（直投型）ディスポーザの導入」している市町村は、わずか 29 団体（2.3%）となっていることから、現在の下水道システムが単体（直投型）ディスポーザの使用を想定していない為、その導入には禁止や制限をかけるといった市町村の対応が、ディスポーザ（特に単体（直投型）ディスポーザ）の普及の大きな阻害要因となっていると言える。

５．まとめ

今後の食品廃棄物の処理には、CO_2 排出量削減のために、ディスポーザを導入し、発生する汚泥のメタン発酵発電よるエネルギー回収を行う必要があると考えられる。

しかし、現在の下水道システムが、単体ディスポーザの使用を想定しておらず、また、導入事例が少ない為、下水道システムへの影響に関するデータが十分でないことが、ディスポーザの普及阻害要因だと考えられる。

現状では、単体ディスポーザの導入が難しいことから、導入許可が広がるまで、集合住宅については、浄化槽にメタン発酵機能を持たせたディスポーザを導入することが、食品廃棄物の処理における CO_2 排出量の低減に繋がると考えられる。また、それに併せて、下水道処理施設で発生する汚泥の処理についても、メタン発酵によるエネルギー回収を行うことが望まれる。

６．今後の課題

本調査の「ディスポーザの使用による CO_2 排出削減効果の算定」においては、ディスポーザの処理水を下水処理システムに流すことによる影響（下水用ポンプや下水処理場において発生する CO_2 排出量の増加分）が、データ不足によって含まれていない為、今後、その影響について検討していきたい。

謝辞：

本調査は一般財団法人新技術振興渡辺記念会　科学技術調査研究助成によって行われたものである。

消費行動に伴う環境負荷量算定のためのデータベース整備

Development of database for the environmental load calculation of the consumer behavior

○田原 聖隆*[1)]、藤井 千陽[1)]、高田 亜佐子[1)]
Kiyotaka Tahara, Chiharu Fujii, Asako Takada
1) 産業技術総合研究所
*k.tahara@aist.go.jp

1. はじめに

様々な環境問題の対策が、産業部門では企業努力や技術革新で進む中、家庭部門での改善が停滞している。特に温暖化ガスは、産業部門では排出量が減少しているのに対して、家庭部門では増加傾向になる。家庭部門での環境意識向上及び行動促進が課題とされる。継続的に環境配慮行動を行うためには、行動に対する環境負荷量を消費者が把握し、環境負荷の低い行動を選択することが出来るようになることが必要である。そのためには、環境適合した製品・サービスの選択を可能とする環境評価(製品 LCA)のみではなく、消費者の行動に起因する環境影響の定量が必要である。そこで、本研究では行動の分類を行い、系統立てた情報提供が可能な行動用インベントリデータベースの整備を行い、持続可能な消費と生産に資することを目的とする。

2. 行動用 LCI データベースの作成

消費者の行動は多種多様で、すべての行動を網羅することは困難と考え、身近でかつライフサイクル思考(LCT)育成に適切だと考えられる行動として家事行動を優先したデータベースを作成することとした。

行動用 LCI データベース(行動用 LCI DB)整備方法としては、行動をリスト化して行動に対する分類表を作成し、その行動に対するインベントリ分析を実施するのに必要と考えられる情報を整備した。LCT 育成としては、環境負荷項目を多種提供するのが望ましいと考えられるが、多種の提供は解釈が複雑になり受容性が低くなると考え、まずは温暖化ガスを対象とした。

2.1 分類表について

多種多様な行動を対象としたインベントリ分析を実施するために、系統立てた行動の分類表を作成した。そこで、行動の分類の基礎として社会生活基本調査[1)]を適用した。社会生活基本調査は、基幹統計で全国の世帯員約 200 万人が対象となっている。調査票 B では、一日の行動別の平均時間と時間帯について調査を実施しているため、行動は網羅的にリスト化されている。この調査票 B の行動分類を本研究で参考にすることによって、網羅的な行動分類表を作成することが可能であり、消費者が自分の行動に近い行動分類を選択でき、かつベンチマーキング（日本平均値）の作成が可能となる。ただし社会生活基本調査の行動分類は、大分類(6 分類)、中分類(21 分類)、小分類(80 分類)と大まかなものであり、多様な行動に対応することができない。そこで、中分類の「家事」と「身体的ケア」及び「食事」を、より詳細な分類として情報を提供するために、細分類、細々分類、詳細分類と詳細化し約 200 分類のデータを格納できるよう分類した。

2.2 データベースの構造

図 1 に示すように、作成するデータベースは効率的な管理を行うために、製品・サービス DB(I)、使用製品 DB(U)及び、調理 DB(C)を連動させることにより、行動用 LCI DB(B)を整備した。データベースを作成する際の注意点としては、対象とする行動の選択と対象行動に伴う条件設定である。製品・サービスのインベントリ分析と比較して、行動を対象とした場合、対象行動によっては製品・サービスの使用条件に個人差があり、環境負荷が使い方によって異なる。例えば、「洗濯をする」ということ行動に対しても、1 回で少しの洗濯物を洗濯するのか、最大容量の洗濯物を洗濯するのかで結果が異なる。そこで、こうした違いの情報提供が必要だと思われる行動に対しては、分類表に追加した。対象行動に対する代表的な条件は、可能な限り既存の調査などの客観的なデータから得たが、その情報が得られない場合は作成者の主観で条件を決定した。

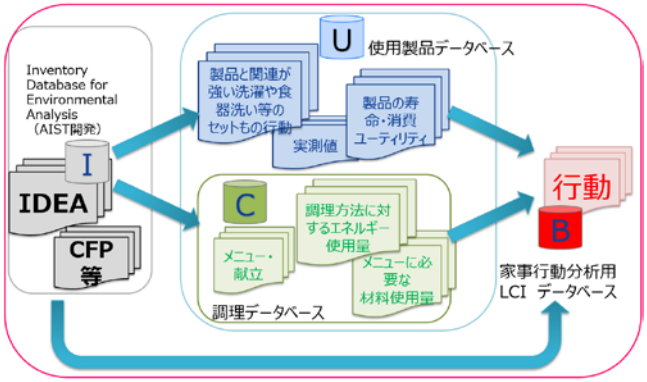


図 1 データベースの構造

製品・サービス DB(I)には、当研究所が開発している製品・サービスのインベントリデータベースである IDEA(Inventory Database for Environmental Analysis)[2]を適用した。IDEA は、日本における日本標準産業分類をベースに階層構造を持ち、網羅性を有したデータベースである。日本で製造される製品・サービスがどこかに所属するように作成されていて、データセット数は、約 3,800 となる。行動を対象とした場合、より詳細な製品のインベントリが適当な場合は、CFP 等のデータもバックグランドデータとして使用した。

使用製品 DB(U)には、行動に伴う製品の使用に関する情報を格納している。格納している関連情報は 4 種類に大別でき、1 つめは製品の寿命である。これは製品の製造及び廃棄由来の環境負荷量を行動に割り当てる時の係数に用いる。2 つめは製品の使用時に消費される燃料や電力等である。3 つめは対象としている行動に必要な製品に関連性が高い行動である。例えばタオルは通常洗濯済のものを洗顔や入浴行動のために用意するので、タオルに「タオルを洗濯する」行動を考慮できるように設計した。4 つめは製品の重量である。これは製品の廃棄由来の環境負荷量を行動に追加するのに用いる。

調理 DB(C)にはメニューに対する食材の種類と用意する量、廃棄率、カロリー、使用する調理器具及びエネルギー消費量等の情報を格納している。メニューは、日本の食卓に供されている代表的なメニューについて環境負荷量を算出できるように、体系的に整理した。代表的なメニューの抽出には、食卓における各メニュー出現頻度調査[3]を参考にし、加えて教育現場で活用できるように小中高教科書[4]から調理実習メニューに掲載されているメニューも対象とした。また調理行動に由来する環境負荷量は、食材（野菜、牛、豚、鶏、魚介類）の影響が大きいため、それぞれの食材をメインで用いた場合のメニューも加え、約 150 メニューを用意した。メニューに対する使用する食材の種類と用意する量と廃棄率及びカロリーは、栄養 Pro[5] を引用した。

最終的に行動用 LCI DB(B)は、製品・サービス DB(I)、使用製品 DB(U)及び調理 DB(C)と連動して、行動に必要な項目と入力量の情報を格納し、行動に関するインベントリ分析が実施できるよう整備した。

3. 結果一例

構築したデータベースを用いて行動分類表に従った行動に対するインベントリ分析結果一例を図 2 に示す。社会生活基本調査の大分類「無償労働」/ 中分類「家事」/ 小分類「衣類等の手入れ・作成」の中に、本研究ではさらに細分類「洗濯をする」/ 細々分類「縦型電気洗濯機（最大洗濯物量 8kg)。すすぎ 2 回上水道。」/ 詳細分類「洗濯物 8kg を洗濯機に入れる」と細分化しているため、LCT 育成により適した消費者行動における環境負荷量の提供が可能である。また、調理 DB を格納していることから、食事に関する行動も多種のレシピに対する環境負荷を算出することが可能である。

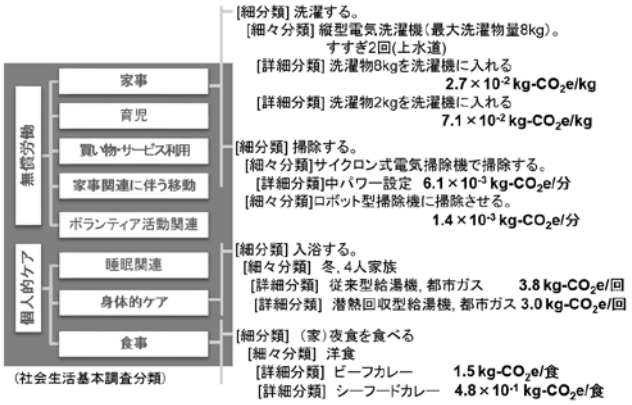


図 2 行動のインベントリ分析結果一例

4. おわりに

行動におけるインベントリ分析を可能とするデータベースを整備した。体系的に行動分類表を作成し、主に IDEA をバックグランドデータとして、使用製品 DB、調理 DB を連動させることにより行動用 LCI DB が作成され、行動に対する GHG 排出量の算出が可能となった。今後、LCT 育成を支援できるよう、教育現場等への行動のインベントリ分析結果の提供と、行動用 LCI DB の充実を図りたい。

謝辞: 本研究は環境省平成 25 年度環境研究総合推進費(5-006)の支援を受け実施したものである。

5. 引用文献

1) 総務省: “平成 23 年社会生活基本調査”, 総務省統計局, 入手先<http://www.stat.go.jp/data/shakai/2011>, (参照 2016-01-04)
2) (国)産業技術総合研究所/ (一般)産業環境管理協会: “IDEA”, 入手先 <http://www.idea-lca.jp/ >, (参照 2016-01-04)
3) (株)マーケティング・リサーチ・サービス, “食卓メニュートレンドデータブック 2012”, (株)日本能率協会総合研究所, (2012), p.670
4) 東京書籍, 家庭科教科書, 東京書籍(株), (2014)
5) 女子栄養大学, “栄養 Pro Ver.2.00”, 女子栄養大学出版部, 東京, (2011), p.198

消費者のライフスタイル変化による GHG 排出量削減効果の推定

Estimation of Reduction Effect of GHG Emission by Lifestyle Changes in Consumers

○中島寛則[*1)]、大野隆史 [1)]
Hironori Nakashima、Takashi Ohno
1) 名古屋市環境科学調査センター
* nakashima@nagoyakankaken.net

1. はじめに

生鮮食品のライフサイクルに伴う温室効果ガスの排出を減少させるため、地産地消、旬産旬消といった買物行動が推奨されており、生鮮食品の LCA についても多くの研究が行われてきている。

これまでの研究では、名古屋市内の家計部門が購入する青果物や水産物等の生鮮食品について、5 年間の平均取扱量より、1 年当たりの生産・輸送に伴う GHG 排出量を算出し、経年変動について考察を加えた [1)]。また、地産地消や旬産旬消等の削減効果についてシナリオを設定し検討を行ってきた [2)]。

しかしこれまで設定したシナリオは、生産方法や輸送方法の低炭素化であり、消費者のライフスタイルの変化による低炭素化については設定してこなかった。しかし、将来目標とする低炭素社会の実現のためには生産・流通・消費の三位一体の改革が重要であると考えられる。

そこで本研究では、これまでの生産・輸送段階に加えて、消費及び廃棄までを含めた GHG 排出量を一定条件のもとで算出した。さらに、消費者のライフスタイルに着目し、買い物時の交通手段の低炭素化、食品リサイクルの推進などのシナリオを設定し、現状の GHG 排出量と比較してどの程度削減効果があるのかについて検討を行ったので、その結果について報告する。

2. 評価方法

2.1 温室効果ガス排出量の算出方法

今回は 1 人の消費者がある生鮮食品 1 品目を 1kg 購入し消費したと仮定して GHG 排出量を求めた。

生鮮食品の現状における生産・輸送段階における GHG 排出量はこれまでと同様に算出した。対象とした生鮮食品は表 1 に示す 37 品目である。

消費段階の排出量については、中央市場から小売店へ輸送され、消費者が購入するまでの段階とした。まず名古屋市中央卸売市場から消費者が実際に購入する小売店までの距離を、市場から名古屋市内各区役所までの道路距離をもとめて平均し、7.42km とした。また 4 トントラックにより積載率 58%で小売店へ輸送することとした。

消費者の小売店への移動は以前のアンケート調査結果 [3)]を参考に、自家用車が 70%、鉄道が 5%、徒歩または自転車が 25%とし、各交通手段における原単位の加重平均を、消費者移動による GHG 排出量原単位とした。移動距離は片道 5km とした。

小売店内での保管等による GHG 排出および家庭での調理時の GHG 排出は計算から除外した。

廃棄段階での排出量については、品目ごとの歩留まり率 [4)]から廃棄される量を求め、廃棄された分は焼却工場で焼却されるものとした。各家庭から焼却工場までの距離は各区役所から最寄りの焼却工場までの距離を平均し 5.61km とした。また収集車は 4 トンとし、走行に伴う GHG 排出量は、名古屋市での実走行調査より得られた燃費より求めた。

表１　対象とした生鮮食品

野菜		果物		水産物		生肉類
★キャベツ	★大根	りんご	☆★ハウスみかん	★いわし類	★まぐろ類	牛肉
★ほうれん草	★人参	梨	☆★イチゴ	★さけ・ます類	★かじき類	豚肉
★白菜	玉ねぎ	柿	☆★メロン	★たい類	★かつお類	
★ねぎ	☆★きゅうり	桃		★たら類	★さんま	
★レタス	☆★なす	★ぶどう		★あじ類	★さば類	
ばれいしょ	☆★トマト	すいか		★ぶり類		
里芋	☆★ピーマン	露地みかん		☆:加温型栽培をしているとした品目 ★:冷蔵又は冷凍輸送しているとした品目		

2.2 削減シナリオの設定

今回の算出範囲において、消費者のライフスタイル変化による GHG 排出量削減の可能性としては、これまでに検討した地産地消・旬産旬消の推進による削減、購買時交通手段の低炭素化による削減および廃棄処分量の削減による歩留まり率の上昇が想定される。そこで以下の 3 通りのシナリオを設定し、それぞれ GHG 排出量を算出し、現状排出量との比較を行った。

シナリオ①：旬産旬消やエネルギー転換が進むと予測し、加温栽培の品目について加温する月の光熱動力使用に伴う CO_2 排出量を 5 割削減したと仮定

シナリオ②：生活圏の集約化が進むと予測し、購買時交通手段のうち、自動車利用の 50%が徒歩または自転車に変化したと仮定

シナリオ③：フードバンクなどの食品リサイクル利用推進により、歩留まり率が 5 割改善したと仮定

3. 結果と考察

3.1 現状における温室効果ガス排出量

図 1 に生鮮食品 37 品目の現状における 1kg 当たり GHG 排出量の算出結果を示す。

この結果、青果物ではいちごやハウスみかん、ピーマンなど加温栽培で生産している品目で GHG 排出量が大きくなった。

水産物ではまぐろ類やかじき類など遠洋漁業で生産する品目で GHG 排出量が大きくなった。肉類では牛肉の方が、飼育時の反すうに伴うメタン排出が多きいことなどにより、GHG 排出量が大きくなった。

輸送および消費段階の排出量はいずれの品目も小さく、水産物や肉類では総排出量に占める割合も低いが、総排出量の小さいキャベツや白菜などの青果物では相対的に寄与率が大きくなった。

廃棄段階の排出量は歩留まり率の低い野菜で小さく、歩留率の高い水産物では大きくなった。

3.2 将来予測シナリオに基づく削減率

次にシナリオ別に排出量を算出し、すべてのシナリオを組み合わせた GHG 排出量の削減率を図 2 に示す。

シナリオ①では、加温栽培による光熱動力の影響が大きいことから、ハウス栽培の品目で、6%～42%の削減率となった。

シナリオ②では、自動車利用の抑制により、消費段階の排出量が約 49%減少し、特に青果物で、総排出量に対する削減率が最大約 28%と大きくなった。

シナリオ③では、食品リサイクルの利用促進により廃棄される量が半減したため、廃棄段階の GHG 排出量も 50%減少した。特に歩留まり率が低く、さらに廃棄段階の排出量の寄与率が高いすいかにおいて、総排出量に対する削減率が約 41%と最も大きくなった。

すべてのシナリオを組み合わせることにより、消費者の購買行動の変化によって、ライフサイクル全体における GHG 排出量が、いずれの品目においても大幅に削減可能であるということが示唆された。今後はさらに GHG 排出削減を可能とする施策について検討を重ねていきたい。

4. 参考文献

1) 中島寛則，大野隆史(2015)：日本 LCA 学会誌，Vol.11，No.3，292-299

2) 中島寛則，大野隆史(2015)：第 10 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集，神戸，190-191

3) 久恒邦裕，中島寛則，古谷伸比固(2010)：名古屋市環境科学研究所報，No.39，45-48

4) 農林水産省(2013)：平成 25 年度食料需給表，<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001131797>

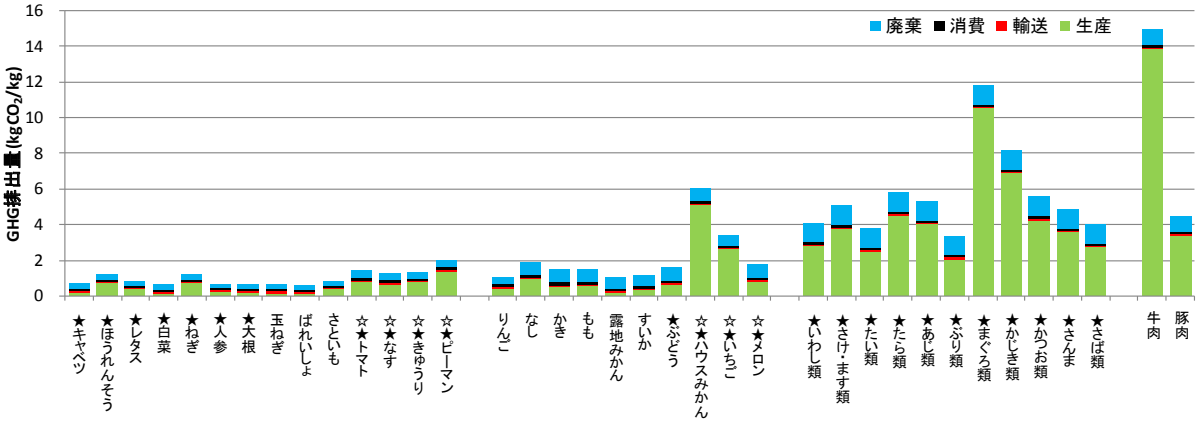


図 1　生鮮食品の GHG 排出量算出結果

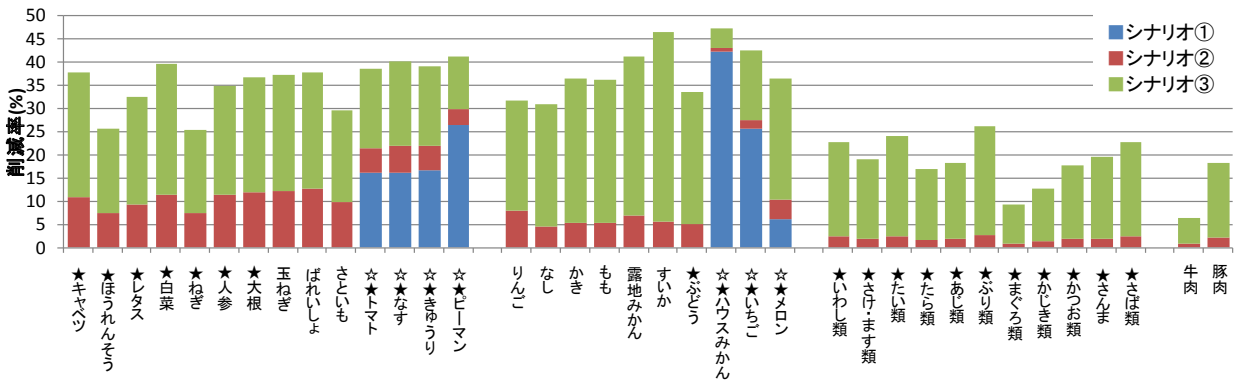


図 2　将来予測シナリオに基づく GHG 排出量の削減率

世帯属性が家計の消費行動と環境フットプリントに及ぼす影響の分析

Effect of Household Characteristics on Household Consumption Behavior and its Environmental Footprint

○吉川直樹*[1)]、天野耕二[1)]、島田幸司[1)]
Naoki Yoshikawa, Koji Amano, Koji Shimada
1) 立命館大学
* n-yoshik@fc.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

消費やライフスタイルと環境負荷の関係に関する研究では、これまで世帯属性別環境負荷の評価やリバウンド効果の推計等が行われてきた。前者は、消費行動の結果である消費金額・消費量データから世帯属性と環境負荷の関係を分析するもの、後者は消費行動の変化が環境負荷に与える影響を明らかにするものである。しかしながら、世帯の消費行動の変化による環境負荷への影響を世帯属性別に分析した例は多くない[1)2)]。これは、わが国の場合一般に公開されている家計消費統計は集計データであり、多数のサンプルを必要とするデータ解析が難しいことが一因である。

そこで本研究では、個票データに類する家計消費統計データを用いて、家計消費に伴う環境フットプリントを世帯属性別に推計する。その所得変化などの消費行動の変化が環境フットプリントにもたらす影響をパネル分析により属性別に検討する。

2. 研究方法

2.1 使用データ

分析用データとして、5 年ごとの 10・11 月に全国約 5 万世帯を対象に実施されている家計消費統計である、全国消費実態調査データのミクロ統計データを用いた。ミクロ統計データは、個票データをもとに（独）統計センターがリサンプリング等の処理を行ったのち提供するデータである。今回は 1989 年～2004 年の 4 回分について各約 4 万世帯分の 1 ヶ月あたり家計支出品目別支出金額データを用いて分析を行った。

環境負荷の推計には産業連関分析に基づく CO_2 排出原単位および水消費原単位を使用した[3)4)]。

2.2 擬似パネルデータの作成

ミクロ統計データを用いて、世帯を属性の組み合わせにより分類したうえで、世帯ごとの品目別消費金額データを分類ごとに集計した。これにより世帯分類別・5 年おきの擬似パネルデータを作成した。用いた世帯属性は世帯主年齢 6 通り、世帯人員 4 通り、住宅の種類 2 通り、居住地域 2 通り、自動車保有の有無 2 通り、世帯主職業 6 通りであり、これらを組み合わせると 502 分類となる。個票データをプールして直接用いず擬似パネルデータを用いるのは、調査年または調査世帯固有の効果を定量可能であり、世帯属性による効果をより適切に把握可能であるためである。

2.3 環境フットプリントと所得弾力性の推計

本稿では、2.2 節で作成した擬似パネルデータをもとに、環境フットプリントを推計し、世帯所得の変化による環境負荷変化の指標として、環境フットプリントの所得弾力性を推定した。

環境フットプリントは、2.2 節で推計された各品目の消費金額に、品目に対応する環境負荷原単位[3)4)]を乗じて算出した。なお、今回の推計においては、土地・住宅や耐久消費財に関わる環境負荷は推計対象外とした。

所得弾力性は下式により推計した。

$$\log(e) = a\log(income) + b\log(area) + c * car + d * age \quad (1)$$

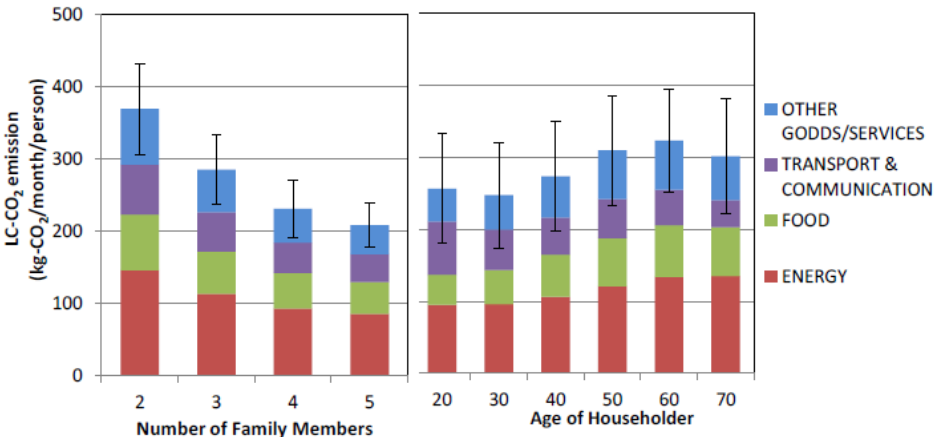


図 1　世帯属性別 LC-CO_2 排出量推計結果

ここで、*e* は環境フットプリント、*income* は世帯の等価所得（世帯所得を世帯人員の平方根で除した値）、*area* は住宅面積、*car* は乗用車保有の有無（ダミー）、*age* は世帯主年齢が 40 歳以下か否か（ダミー）である。

3. 結果

図 1 に LC-CO_2 排出量推計結果を世帯属性別に示す。エラーバーはそれぞれ 25%および 75%値を表している。世帯人数が多いほど一人あたり LC-CO_2 が少ない傾向、また 5 年齢が上がるほど 1 人あたり LC-CO_2 が上昇し 70 歳代では減少となる傾向にあることがわかる。これは、既往研究[5]ともおおむね類似している。なお、本研究は、統計の調査時期から冷暖房を使わない中間期の推計となっており、年間を通じた調査データ（家計調査）に基づく中村ら[5]に比べ推計値は小さい傾向にある。

図 2 は等価所得と LC-CO_2 の関係を示している。両者の相関は高いと同時に同じ所得でも LC-CO_2 にばらつきがあることが見て取れる。

世帯人員別に支出費目（4 分類）ごとの支出および LC-CO_2 の所得弾力性を推計した結果が図 3 である。LC-CO_2 の所得弾力性は支出の弾力性に比べ低い傾向にあることがわかる。これは費目内の品目構成が所得の変化により変わることを示唆している。支出全体での LC-CO_2 の所得弾力性は 0.3 前後であり、支出では弾力性が 0.5～0.7 に比べて低い水準にある。これは、LC-CO_2 排出量への寄与が大きく、金額あたりの排出原単位の高いエネルギーおよび交通において支出弾力性が低いことと、エネルギーにおける電力の占める比率の増加など、費目内での支出内容の変化が要因であると考えられる。また、世帯人員の拡大により LC-CO_2 の所得弾力性は大きくなる傾向にある。このことは支出の所得弾力性における傾向と一致している。全費目での LC-CO_2 の所得弾力性は、最小の 2 人世帯と最大の 5 人以上世帯の間で約 20%程度の開きがあることがわかった。

4. まとめ

本研究では、世帯属性が消費行動とそこからの環境負荷に与える影響を分析するため、全国消費実態調査データのミクロ統計データを用いて、パネル分析により環境フットプリントの所得弾力性を推定した。今後は分析を発展させ、消費の環境配慮やそれを促進する政策の効果を評価していく必要がある。

引用文献

1) Chitnis M., Sorrell S., Druckman A., Firth S. K., Jackson T.: Ecol. Econ., 86 , (2013) , pp199–210
2) Murray C. K.: Energy Policy, 54, (2013), pp240–256
3) 吉川直樹・天野耕二・島田幸司：日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, （20011）, 54～55.
4) 小野雄也・伊坪徳宏・本下晶晴 ：日本 LCA 学会誌, 11 (1), (2015), pp22-31
5) 中村昌広・乙間末廣：環境科学会誌 17(5), (2004), pp389-401

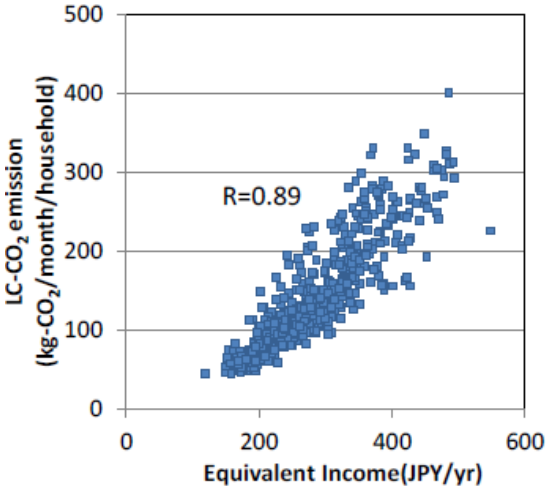


図 2　等価所得と LC-CO_2 の関係

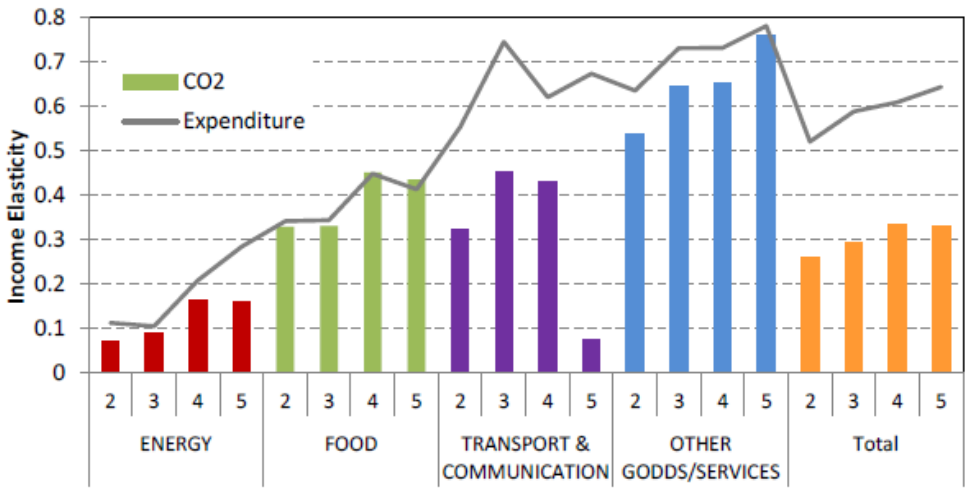


図 3　世帯人員別 LC-CO_2 の所得弾力性推計結果

一般消費者の環境配慮行動と関心・知識の関係 その２

環境配慮行動の目標意図形成過程における逐次モデルの検証

How do public interest and knowledge affect environmental conscious consumption? Part2

○木村大*[1)]、柴田清[1)]
Dai Kimura, Kiyoshi Shibata
1) 千葉工業大学
*s1291005GV@s.chibakoudai.jp

1. 研究背景と目的

持続可能な社会を形成する為には、一般消費者の行動は欠かせない。例えば温室効果ガスでは、2013 年度において部門別の排出量[1)]は、産業部門が最も多い 33%を占めているが、2005 年と比較すれば 6%減少している一方で、家庭部門からの排出量は 11.9%増加している。一般消費者の行動に起因する温室効果ガス排出量は未だに多く、生産・販売部門での排出量も一般消費者の行動に誘発されるため、一般消費者の消費行動は重要である。一般消費者の環境配慮行動については、広瀬[2)]の要因関連モデルに基づいた研究が数多くある。広瀬の要因関連モデルとは、環境問題に対して貢献したいという態度(目標意図)の形成段階と、環境保全のための実行意図(行動意図)の形成段階という 2 段階のプロセスを経て、環境に配慮した行動をとるというものである。一般消費者がどのように環境配慮行動に至るか、また効果的に環境配慮行動を促す為の検討が必要である。

本研究では、木村ら[3)]が行ったアンケート調査の結果を利用し、一般消費者の生活態度と環境配慮への態度との関係性を明らかにし、つづいて態度のなかの行動に結びつく要素間の関係を明らかにする。

2. 研究方法

一般消費者の生活態度と環境配慮への関心や、配慮行動に結びつく環境問題の意識や関心について解析する。解析には、木村ら[3)]が 2014 年 12 月に行ったアンケート結果を使用した。アンケートの内容は、一般消費者の生活態度、環境配慮への関心や環境問題への知識、科学に関する知識について調査したものである。本研究の解析では、生活態度と環境配慮に関する関心についての設問に対する回答結果を使用する。生活態度と環境配慮行動についての回答方法は「非常にあてはまる」から「全く当てはまらない」の 7 件法である。

3. 結果と考察

3.1　生活態度と環境配慮態度

解析にあたり、環境配慮に関する関心を問う設問群の回答結果をダミー変数・点数化したものを「環境配慮態度」とする。点数化にあたり環境配慮とは逆の態度を表す Q8.5、Q8.12、Q8.13 を除外した。生活態度を問う設問群の回答結果を、「安全意識」、「経済意識」、「社会参加及び倫理観」、「トレンド追従」の４つ項目でグルーピングし、ダミー変数・点数化した。それぞれの生活態度と環境配慮態度の相関係数を算出した。結果を表１に示す。

表１　各生活態度と環境配慮態度の相関関係

	環境配慮態度
安全意識	0.458
経済意識	0.445
社会参加及び倫理観	0.572
トレンド追従	0.378

環境配慮態度と特に強い関係を示した生活態度は「社会参加及び倫理観」であった。生活態度をあらわす４つのグループと環境配慮態度に関するパスモデルを作成し共分散構造分析を行った。その結果、採用されたモデルを図１に示す。　モデルの適合度を判断する指標は、GFI ＝ .999、AGFI ＝ .980、RMSEA＝.049 であった。「トレンド追従」は他の生活態度との関係はあるが、直接的に環境配慮態度に影響を及ぼす要因ではない。

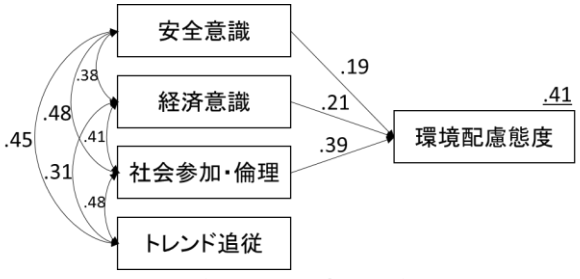


図１　生活態度・環境配慮態度パス図

「社会参加及び倫理観」から「環境配慮態度」に向かう直接効果のパス係数が、他の生活態度と比較して高い結果となった。自分は社会の一員であり、「何もしない場合、人からどのように見られてしまうのか」との点を指摘した栗島らの研究[4]と同様に、他者からの評価を考慮して環境配慮に向かう可能性が示唆された。トレンドを考慮して、「周囲の人が行動しているから自分も行動しよう」という理由から環境配慮に関心を示しているのではない。従って、社会参加意識や倫理観を高めることが、環境配慮への意識や関心を高める可能性がある。

3.2　環境配慮行動

環境に配慮した行動をとるにはどのような認識や意識が関係しているのかを分析した。環境配慮に関する設問群を、「環境配慮行動」、「環境配慮意識」、「環境倫理観」、「環境認知」、「環境誤認知」、「環境二の次」としてグルーピングし、ダミー変数・点数化した。環境配慮行動と、他のグループとの相関係数を算出した。結果を表 2 に示す

表 2　環境配慮行動と各グループの相関関係

	環境配慮行動
環境配慮意識	0.742
環境倫理観	0.473
環境認知	0.350
環境誤認知	0.379
環境二の次	0.247

「環境配慮行動」に影響すると思われるグループとのパスモデルを作成し共分散構造分析を行った。

図 2 に示すように「環境配慮意識」を広瀬のモデルにおける「目標意図の形成段階」とみなし、それが「環境認知」にはじまる逐次的な過程で形成されるとした場合、モデルの適合度は、GFI = .967、AGFI = .924、RMSEA = .099 であった。

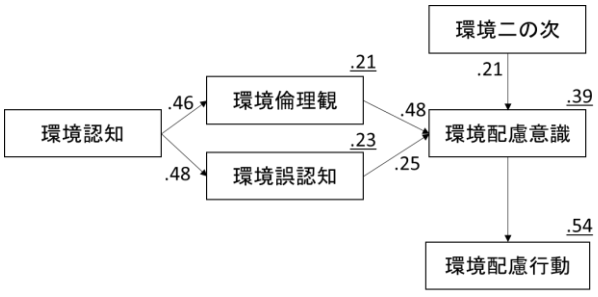


図2　環境配慮行動に至る逐次モデル

同様に複数のモデルを作成し共分散構造分析をした結果、最も適合度の高いパスモデルは図 3 に示すものであった。モデルの適合度は、GFI = .996、AGFI = .980、RMSEA = .044 である。パス係数では「環境配慮行動」に最も影響を及ぼしているのは配慮意識であり、わずかであるが倫理観や誤認も影響している。

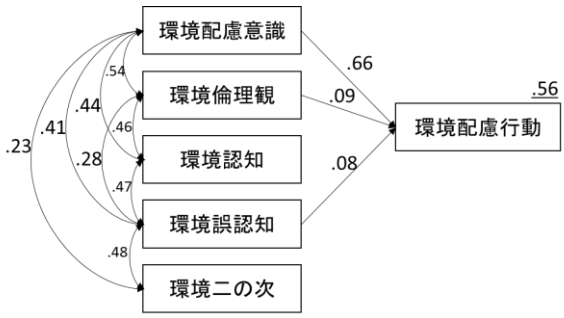


図3　環境配慮行動と各グループのパス図

「環境配慮意識」については、「倫理観」、「認知」、「誤認知」、「二の次」の４つの項目との関係があり、環境配慮意識の形成は、この 4 つから影響をうけると見なせる。「環境二の次」に関しては、直接的に「環境配慮行動」には影響を及ぼすことはないが、配慮意識の形成に何らかの影響を及ぼす可能性がある。

4. まとめ

本研究では、一般消費者の生活態度と環境配慮への関心、環境配慮行動と環境配慮への意識や認識との関係、逐次モデルの妥当性を解析した。結果は生活態度においては社会参加意識や倫理観が環境配慮への関心を高めるにあたり有効であるとの可能性が示唆された。環境配慮行動では、配慮意識が行動に影響を及ぼすが、逐次モデルの妥当性については、明確な適合を示す結果が得られなかった。しかし、今回の解析では使用したアンケート結果における設問のグルーピングの判断について十分とは言えない。今後の課題として今回の解析結果を基にした調査を実施し、一般消費者の環境配慮への関心を高め、配慮行動に結びつける要因や手段を検討する必要があると考える。

引用文献

1)　環境省：平成 27 年度版「環境白書」（https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/）(参照 2016-1-5)
2)　広瀬幸雄：社会心理学研究,10　(1994)　P44-55
3)　木村大、柴田清：第 10 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集（2015）P228-229
4)　栗島英明、井原智彦、工藤祐輝：環境科学会誌,25(1)　(2012)　P15-25

デジタルサイネージの環境影響評価

An assessment of impact of digital signage

○宮岡誠*1)、伊坪徳宏 1)
Makoto Miyaoka, Norihiro Itsubo
1) 東京都市大学
*g1231197@tcu.ac.jp

1. はじめに

現在、日本では 2020 年に開催される東京オリンピック・パラリンピック（以下東京オリンピック）の開催に向け、多額の消費と投資がなされる。また、東京オリンピックのような国際イベントは経済波及効果が期待され、これをより促すのに広告の寄与が期待される。近年、広告媒体として急速に導入が増えているものがデジタルサイネージである。デジタルサイネージは従来の紙広告をはじめとしたアナログの広告に比べ、より多くの情報をアニメーションや音声で発信することで高い広告効果が期待できる反面、設備費は高価かつ、稼働中は常に電力消費を伴うデメリットがある。そこで、本研究ではデジタルサイネージの環境評価を実施するとともにその結果を従来の紙広告と対比し、その特徴について考察する。両者の比較については広告媒体の機能単位について注目し、情報を提供される側が認識した情報量を考慮した分析を行う。

2. 評価対象

本研究ではデジタルサイネージを対象とした環境評価を実施した。対象物は東京都市大学横浜キャンパスで使用されている90V型ディスプレイとし、1628KBのコンテンツを消費電力46Wのサーバーを使用して表示するものとする。また、比較対象物として、このコンテンツと同じ内容を表示したA1サイズの上質光沢紙を用意する。これをディスプレイと同時に閲覧することが可能な位置に設置し、後述の実験を行う。

3. 方法

3.1 デジタルサイネージの評価方法

実際に東京都市大学横浜キャンパスで使用されている90V型ディスプレイの製造時のGHG排出量を求めるにあたり、32型のディスプレイに関する先行研究[1)]の結果に対して、対角の長さの比を適用することで算定した。使用段階のGHG排出量についてはディスプレイの耐用年数を10年とし、本学で10年間使用した場合の総消費電力をヒヤリングから得た年間の消費電力から求め、電力のCO_2排出原単位を乗じることで算定した。サーバーの使用段階についてもディスプレイと同様に大学からのヒヤリングから活動量を得たが、製造、廃棄[3)]は以下のように求めた。

サーバーの製造段階のGHG排出量=Σ(部材の使用料×部材ごとの重量ベースの製造原単位)
サーバーの廃棄段階の GHG 排出量(kg)= Σ(サーバー重量(kg)×台数×単位量廃棄処分の原単位)

3.2 紙広告の評価方法

紙広告としては、パネルとして多用される A1 サイズの上質コート紙を広告媒体として採用した。A1 用紙の製造・調達の段階の原単位は日本製紙連合会の論文値[2)]より、A1 サイズの重量で按分することで求めた。
印刷段階の GHG 排出量＝インクカートリッジの 1 枚あたりのインク消費量×インクの単位消費量当たり GHG 原単位＋印刷機器生産時の GHG 排出量/ライフタイムあたりの印刷量
紙広告の廃棄段階は設置場所から最寄りのごみ処理場まで 2 トン車で 17.9km 運び、その後焼却処分するものとする。また、2 トン車には 1.5t の可燃ごみを詰め込んだのとする。コート紙は１㎡あたり２０g のプラスチックがラミネートされるものとし、算出式は以下のようになる。紙パネル廃棄時の GHG 排出量＝2 トン車原単位×17.9km×A4 用紙 1 枚の重量/1.5t＋A1 用紙 1 枚あたりの焼却処理原単位＋A 1 用紙 1 枚の重量分のプラスチック焼却原単位

3.3 ウォーターフットプリントの評価方法

各投入物について東京都市大学 小野らが開発した水使用原単位[4)]をあてはめることで算出した。

3.4 視覚情報の実験について

デジタルサイネージと A1 サイズの紙パネルが設置された環境で、眼鏡型のウェアラブルカメラを装着した被験者 17 人に対し、75 秒の動画広告を表示したデジタルサイネージと、同じ内容を表示した A1 サイズの紙パネルを閲覧し、被験者の装着するウェアラブルカメラから被験者の見ている内容を録画した。なお、被験者にはデジタルサイネージと紙パネルの少なくともどちらか片方は閲覧するよう依頼した。視聴時間は定めず、被験者が広告の内容を概ねつかめた時点で広告の閲覧を終了した。次に被験者に対し、閲覧した広告より質問を 5 題示した。この質問は広告の内容全体から偏りなく抽出したものであり、被験者全員に対して同じ質問を行った。5 題の質問からは 11 個の回答が得られ、その延べ正答数を広告から得られた情報量と定義した。

4. 結果

視覚情報の実験より、各被験者の回答を全 11 個のうち何個回答できたのかを調べ、その回答数をデジタルサイネージと紙パネルの閲覧時間の比で按分したうえでその結果を積分したところ、デジタルサイネージが 48.8 点、紙パネルが 12.1 点という結果になった。この点数をデジタルサイネージと紙パネルが被験者に与えた情報量と定義する。デジタルサイネージと紙パネルによる広告表示について、それぞれの CO_2排出量を算出した結果をそれぞれの情報量で割ったものを図 1 に示した。デジタルサイネージの CO_2排出量が相対的に大きい結果となった。特にディスプレイの使用に関わる負荷が大きいことによる。さらに、図 2 にウォーターフットプリントの分析結果をそれぞれの情報量で割ったものを示す。水資源の面では紙広告の方が水資源の消費を多く伴う投入物が多いことより、紙広告がより多くの水資源を消費する結果となった。

5. 考察

デジタルサイネージの CO_2排出量評価より CO_2排出量に関しては使用時の電力に伴う排出が大きいことがわかった。紙広告は電力を使わないことによってライフサイクル全体で少ない CO_2排出で宣伝を行うことができるが、水資源の消費は電力消費を伴う広告より多いものとなった。また、実験結果より動画によって得られる情報量は静止画より大きかったため、情報の理解量を基礎とした機能単位の設定により、デジタルサイネージの機能を反映した環境評価の実施可能性について見出すことができた。被験者の閲覧時間についても被験者 17 人の合計時間がデジタルサイネージは 1390 秒に対し、紙パネルは 407 秒となった。この結果よりデジタルサイネージのアニメーション効果と画面の大きさによってより多くの人目を引いていると考えられる。しかし、この実験は複数のコンテンツを表示しているデジタルサイネージに対し、対象となるコンテンツが表示されるのと同時に実験を開始しているため、デジタルサイネージの結果が過大評価になっているというようにも解釈できる。

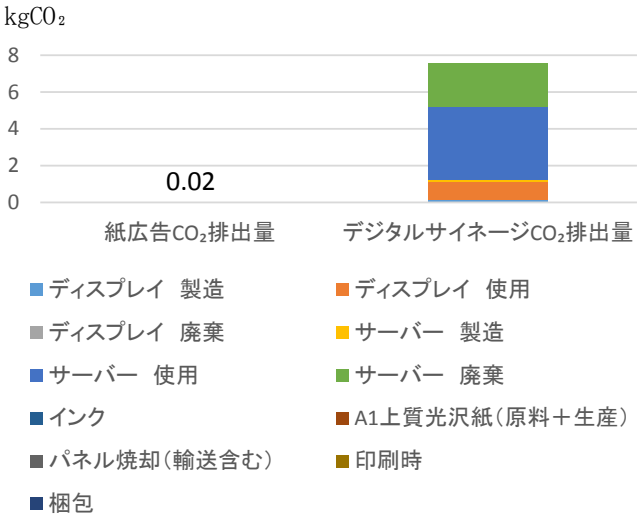


図 1 デジタルサイネージと紙広告の CO_2排出量

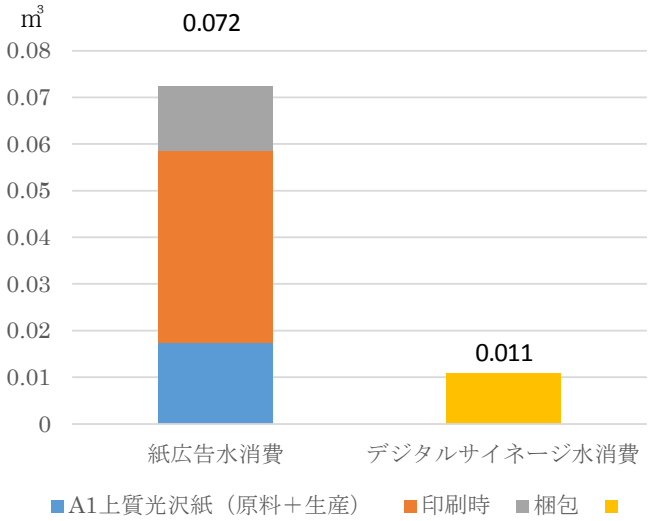


図 2 デジタルサイネージと紙広告の WFP 結果

6. 参考文献

1）宇郷良介：LCAによる環境負荷評価のミクロ/マクロギャップの考察～テレビ受像機市場を対象にして～（2013）

2）日本製紙連合会：紙・板紙のライフサイクルにおけるCO2排出量（2011）

3）平野潤・伊坪徳宏：仮想化技術を利用したサーバ統合による環境負荷削減効果（2011）

4）小野雄也ら：産業連関分析を用いた日本におけるウォーターフットプリント原単位データベースの開発（2013）

消費者にとっての性能を考慮した電子書籍端末の環境効率

Environmental efficiency based on consumer-defined quality of a product: case with e-book reader

○天沢逸里*[1)]、井原智彦 [1)]、花木啓祐 [1)]
Eri Amasawa, Tomohiko Ihara, and Keisuke Hanaki
1) 東京大学
* aamasawa@s.k.u-tokyo.ac.jp

1. 背景と目的

環境効率とは、「環境影響を最小化しつつ価値・性能を最大化する」という考えのもとに作成された環境評価指標のひとつである。一般的に環境効率は「製品・サービスの価値 / 製品・サービスを生み出すための環境負荷」と定義され、環境負荷の定量化にはライフサイクル評価手法が活用されている。しかし、価値は評価者によって定義が異なる上に算出方法が具体化されていないため、環境効率が本来有用性を発揮する、完全に同じではない機能の製品の比較は困難である。環境効率の立案者である World Business Council for Sustainable Development は、価値の指標は販売量や生産量、売上高が適切 [1)]としており、多くの事例がこのような経済価値が用いられてきた。しかし、これらの指標は会社全体の価値に基づく場合が多く、個別の製品やサービスを利用する消費者にとっての価値を表現できない [2)]。また、ICT の価値を Quality Function Deployment（QFD）によって算出する方法 [3)]も提案されたが、この方法は製品やサービスの品質は一元的であるという前提の上で算出が行われているため、品質特性間の関連が見えにくく実状との乖離が懸念される。

本発表では、マーケティングで使用される品質の分類方法である「狩野モデル」[4)]を応用し、分類・定量化した価値の値を用い、書籍と電子書籍端末の環境効率を推算した結果について議論する。なお、本稿は予備調査について論議をし、本調査の結果は学会当日に発表する。

2. 理論：狩野モデルにおける品質・性能の考え方

従来、製品やサービスの品質（または性能）は 2 側面あり、生産者側の定義と使用者側の定義として産業界に受け入れられてきた。2 側面の品質は長らく一元的に対応していると考えられ、生産者の品質の向上は消費者の品質の向上に直接つながると考えられていた。そこに、品質の二元的な認識を提案し、4 種類の品質要素（一元的品質、魅力的品質、当たり前品質、無関心品質）に分類する方法を編み出したのが狩野モデルである。魅力的品質は、あると魅力的だが、なくてもよい性能であり、当たり前品質はあって当たり前と受け取られる基本的な性能である。そして無関心品質はあってもなくても消費者の性能に影響しないと考えられる性能である。[4)]

3. 方法

3.1. 調査目的と調査対象

この調査の目的は、紙の書籍と電子書籍端末（タブレットを含まず、用途を読書に限定した電子ペーパーのディスプレイ端末）の 2 製品に対する、消費者にとっての性能を、アンケート調査によって捉えることである。世界で電子書籍端末が一番利用されている国がアメリカであり、流通している電子書籍の多くが英書であることから、回答者の対象は英書を購読する人とした。書籍は辞書、雑誌、新聞を除く、文字が大半を占める書物とした。アンケートの実施はインターネットを用い、2015 年 12 月 21 日～31 日の実施期間に計 50 名（うち 28 名が電子書籍端末の利用者）から回答を得た。

3.2. 質問票の内容

質問票を作成するにあたり、まず、電子書籍端末の利用者計 22 名に対して Voice of Customer Interview [5)]を参考にしたヒアリングを行い、顧客要求と製品の品質特性を抽出した。解析結果から得られた顧客要求と品質特性を組み合わせた項目を「性能項目」とし、それらに基づいて構造的な質問票を作成した。

質問票は①基本情報と読書習慣、②狩野モデル質問票、③性能に対する満足度、④性能に対する重要度、の 4 部から構成された。②では、基本の狩野モデル質問同様、各製品が有する性能項目について、5 択の単一選択型の質問 [6)]を用いた。調査した性能項目の数は電子書籍において 11 項目、紙の書籍において 6 項目あった。そのうち 4 項目は 2 製品共通とすることにより、異なる製品の同じ性能を消費者がどう捉えるのか、解析を試みた。

③と④では性能に対する満足度と重要度を 9 段階で回答を得た(9 = Extremely satisfied / important; 1 = Not at all satisfied / important)。③の満足度では質問されている性能がどの製品の性能であるのか限定するのに対し、④の重要度の質問では紙の書籍か電子書籍かを限定せず、「一般的に本を読むときの性能」として記述した（図 1）。

3.3. 製品価値の定量化方法

製品の価値を算出するにあたり、まずは狩野モデル質問票の結果をもとに、満足度指数(Satisfaction index, SI) [6)]を算出した。SI は、品質特性と顧客満足度の関連性を示した指数であり、数値が大きいほど顧客満足度を増加させる特性であると考えられている。SI は、狩野モデル分析の結果から魅力的品質と当たり前品質を合算させた値の割合である。本稿ではこの SI に加え、④の 9 段階尺度を用いた満足度の両方を算出し、SI の有用性を検証した。④満足度と⑤重要度は回答値を算術平均し、さらに重要度を重み係数として使用するために Z スコアから

正規化した。項目別満足度を重要度によって加重平均した値を、製品の消費者にとっての性能とした。

3.4. 書籍媒体の環境影響

紙の書籍と電子書籍の環境影響の値は中村 [7]の本 1 冊 (224 ページ、2.4 MB) を機能単位として計算された温室効果ガス排出量 (kg-CO_2eq) の結果を参考にした。

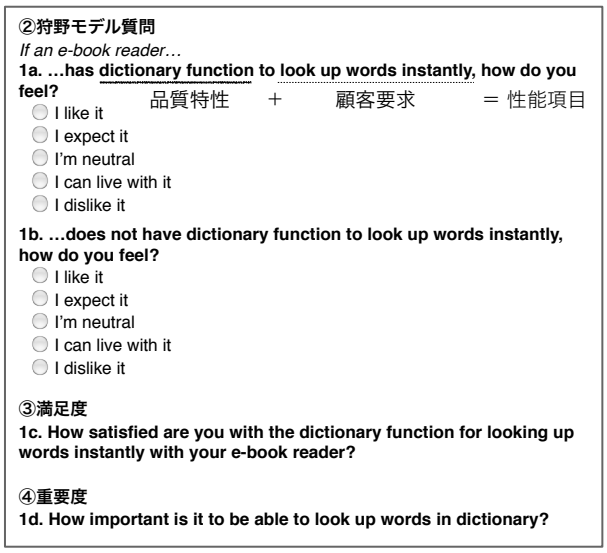


図 1 質問票の例

4. 結果と考察

4.1. 狩野モデル

紙の書籍と電子書籍端末の両製品に含まれるとして調査した 4 つの性能項目を狩野モデルに基づいて分類し、消費者が製品の特性をどのような品質として認識しているのかを捉えた。例えば、Durability (耐久性) は電子書籍端末では「一元的品質」と認識されるが、紙では「当たり前品質」と認識された結果は、電子書籍端末に期待する耐久性の性能が違うということを物語っている。両製品において同じ品質分類と見なされた性能は「探しやすさ」のみであり、この性能は一元的であることを把握した。

4.2. 製品価値と環境効率

紙の書籍と電子書籍端末の製品価値を算出した結果、SI では 1.6 倍、9 段階尺度では 0.87 倍、電子書籍端末が紙の書籍よりも大きい結果となった。書籍の環境負荷は、紙媒体は一冊あたり 1.11 kgCO_2-eq なのに対し、電子書籍端末は一冊あたり 0.585 kgCO_2-eq であることから、電子書籍端末で本を読んだほうが環境効率は SI にて 2.9 倍、9 段階指標にて 1.7 倍高い結果になる。電子書籍端末から読書を行う方が環境負荷も低く、消費者が捉える価値も高い。しかし、電子書籍のみを購読すると答えた回答数は 2 件に留まる。電子書籍を購読する残りの回答者 30 名は紙の書籍も購読しており、どのような動機で紙と電子書籍端末での購読を使い分けるのか、さらなる追求が必要である。

5. まとめと今後の課題

本稿では、狩野モデルを応用し、紙の書籍と電子書籍端末の環境効率を算出した。結果、狩野モデルの SI においても 9 段階指標においても、電子書籍端末の方が高い環境効率が得られた。今後は大規模な調査から、読書媒体の変化が環境効率にもたらす効果を明らかにしたいと考えている。

6. 引用文献

1) World Business Council for Sustainable Development: “Eco-efficiency: Learning module”, (2005)
2) Park P, Tahara K: J Clean Prod, 16 (2008) pp.95-104
3) 村田尚彦, 清水歩, 本池洋子, 前川均, 浜塚康宏, 斉田直樹: “ICT の環境効率評価のための「価値」算出事例”, (2011)
4) Kano N, Seraku N, Takahashi F, Tsuji S: J Jpn Soc Qual Control, 14 (2) (1984) pp.39-48
5) Griffin A, Hauser R. H.: Market Sci, 12 (1), (1993)
6) Berger C, Blauth R, Boger D, Bolster C, Burchill G., DuMouchel W, Pouliot F, Richter R, Rubinoff A, Shen D, Timko M, Walden D: Cent Qual Manage J 2(4) (1993) pp. 2-36
7) 中村洋之: “LCA 日本フォーラム・日本 LCA 学会共催セミナー” 東京, (2015)

表 1 質問票の解析結果。影がかかっている性能項目は２製品に共通する項目。

製品	性能項目	評価分類	満足度		重要度 (重み係数)	重み付け満足度		消費者にとっての性能
			A. 指数[5]	B. 9段階		A. 指数[5]	B. 9段階	
電子書籍端末	**Book price**	A: 魅力的	0.500	5.70	1.49	0.75	8.51	A. 2.35 B. 26.9
	Portability	A, M: 当たり前	0.347	7.19	0.28	0.10	2.04	
	Durability	O: 一元的	0.531	6.92	0.82	0.43	5.64	
	Find books you own fast	M	0.469	6.42	0.69	0.33	4.46	
	Carry many books at once	O	0.694	7.52	-0.78	-0.54	-5.85	
	Acquire book you want to buy quickly	O	0.500	7.00	-0.01	-0.00	-0.04	
	Look up words instantly by dictionary	A	0.714	7.13	-0.25	-0.18	-1.76	
	Read without stress on eyes in different brightness of the environment	A	0.688	7.08	1.52	1.04	10.73	
	Enhance readability	O	0.531	7.69	0.57	0.30	4.41	
	Read in one arm comfortably	A	0.612	6.52	-0.30	-0.18	-1.92	
	Store books with less space	I: 無関心	0.490	7.04	0.09	0.04	0.64	
紙の書籍	**Book price**	I	0.362	5.12	1.49	0.54	7.64	A. 1.50 B. 23.3
	Portability	A	0.563	5.63	0.28	0.16	1.60	
	Durability	M	0.250	7.10	0.82	0.20	5.79	
	Find books you own fast	M	0.43	7.02	0.69	0.30	4.88	
	Provision of context within a book	A	0.596	6.83	0.43	0.26	2.93	
	Navigate through the book quickly	O	0.60	6.76	0.07	0.04	0.45	

欧州の Circular Economy と循環型社会に関する考察

Discussion on the Circular Economy of EU and the Sound Circulation Society

○原田幸明
Kohmei Halada
物質・材料研究機構
halada@mcn.ne.jp

1. 不可避的な循環型社会

日米欧の三極経済に発展途上国が参入することで起こった資源価格の高騰はいったんひと段落が過ぎたが、この 10 年間に世界は新たなレベルに突入した。それは、世界の一人当たりの平均 GDP が 1 万ドルを超したのである。この一人当たり 1 万ドルというのは経験的に一つのターニングポイントであり、鉄鋼をはじめとする金属の一人当たりの消費がいわゆる欧米並みのレベルに達するポイントである。さらに、今後の平均 GDP は確実に増えつづれることが予想され、人口の多いインドやパキスタンも今世紀の中盤には一人当たり 1 万人を超すことが予想されている。すなわち、今世紀の末には世界中の国の約 100 億の人々が現在の欧米並みの金属需要を持つことが予想される。図 1 は、それに基づき、それまでに直線的な変化と単純化して、今世紀末までの各金属の需要予測と、それを天然資源で賄える分(上部の赤)とリサイクルで賄う必要が出てくる量(下部の緑)を表したものである。

Al,REE,Li,Mg 以外の金属では現有埋蔵量は今世紀中にそ

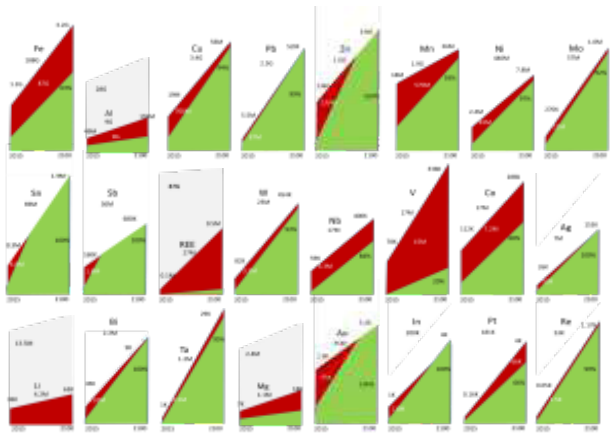


図 1 今世紀末を見越したリサイクル必要量の概算

のほとんどを消費し、多くの部分がリサイクルにより供給される必要がある。まさに循環型社会の構築が世界的にも求められる。

このような状況の中で EU で資源効率の取り組みの重要な柱として打ち出されたのが Circular Economy である。まず、その内容をみてみよう。

2. An EU action plan for the Circular Economy の特長

2.1 改正の施策

2015 年 12 月 2 日に EU は” An EU action plan for the Circular Economy”を発表し、それに合わせて廃棄物の減量の目標の明確化と、長期的な廃棄物処理とリサイクリングへの道の確立のためとして、法律改定を各国に提案した。その内容は、

-2030 年までに一般廃棄物の 65%をリサイクルする。
-2030 年までに包装廃棄物の 75%をリサイクルする。
-2030 年までに総ての廃棄物の埋立を 10%以下にする
-分別収集廃棄物の埋立禁止
-埋立を抑制させる経済措置の推進
-リサイクル率の全 EU を通じる単純で改善された定義とそれと合致する算定方法
-リユースを促進する具体的施策と、ある産業のバイプロダクツを他の産業の原材料にする industrial symbiosis の促進
-製造者が green products を市場に出し、回収とリサイクルのスキームをサポートするインセンティブ
である。

数値目標が記されているためにそちらのほうに議論が行くが、本質的に重要なものは An EU action plan そのものである。

2.2 アクションプランの導入部分

アクションプランは、introduction のあと 1.Production, 2 Consumption、3.Waste Management、4.From Waste to Resource とライフサイクルに沿っての対策が整理された後、5.Priority area に焦点が当てられ、そこでは 5.1　Plastics, 5.2. Food Waste, 5.3. Critical raw materials, 5.4 Construction and demolition, 5.5 Biomass and bio-based products が取り上げられている。さらに、6.Innovation, investiment, and other horizontal measure, 7. Monitoring と続いている。

まず重要な部分は introduction であり、その冒頭から「より circular な経済への transition」という「創生・構築」の課題ではなく「transition=移行」課題としての記述があり、「製品、素材、資源の価値が経済面でできるだけ長く維持され、かつ、廃棄物の発生が極小化される」と circular economy を定義づけている。そしてそれは、ヨーロッパの経済を転換させ、新たな持続可能で競争力のある優位性を欧州にもたらすとしている。

2.3 それぞれのライフステージでの重点

Production に於いては、より良いデザインがもたらすものとして、長寿命、易修理性、アップグレード性、リマニュファクチャ性、リサイクル性が取り上げられている。また製造プロセスでは原材料のサステイナブルな調達を促進する視点で、BAT 参照文書（Best Available Techniques Reference Documents, BREF）の作成公開を行い mining waste の best practice の促進をすすめるとしている。また副産物の利用による industrial symbiosys の促進を謳っている。

Consumption では reuse のアクティビティを高める施策や、易修理性や durability を重視するとしているとともに、偽環境主張に立ち向かうことやグリーン調達の促進を掲げている。また price はキーファクターであるとして税制のような手段でインセンティブを与えることも求めている。

Waste management では、先に触れた目標に合わせた法制度の改定が支持されているとともに、国ごとの廃棄物処理に対する投資ギャップや EU の内外の非正規の廃棄物輸送をなくす結束力ある政策を要求している。

From waste to resource では、リサイクルによって人間経済圏に引き戻された材料を新たな材料として「secondary raw material」として重視し、その活用のバリア克服として、品質の問題を解決する high-grade recycling とその品質保証の標準化を謳っている。また水、堆肥のリサイクルを項目として取り上げているのも特徴である。また、化学物質管理、製品、廃棄物を結び付けたり国境移動の情報を共有できる電子データ交換システムやそれらをサポートするマテリアルフローなどの原材料情報の展開を掲げている。

重点領域では、plastic が取り上げられ、そのリサイクルが強調されている。Food waste ではサプライチェーンでの管理が強調されている。Critical raw material においても回収が重視されており、ベストプラクティスのレポートを準備するとしている。Construction and demolition および Biomass and bio-based product でも有用物のリサイクルに重点が置かれているが、特に後者ではバイオマスのカスケード利用等での bioeconomy のイノベーションのサポートが謳われている、

3　考察

Circular Economy を「再度欧州は循環型社会の構築に力を入れだした」とみる見方もあるが、それは間違いである。アクションプランのイントロダクションの中でも強調されているように、欧州に経済活性をもたらすことが主目的である。これはそもそも資源効率自体が horizon2020 という経済活性施策の一翼に過ぎないことからも明らかである。

また、日本の循環型社会は、生産者、消費者、リサイクラーが一体となり責任を分担して循環型社会を作り上げる構造であるが、国際資源フォーラム等での欧州の議論では生産者が欠落した議論が多くみられる。図 2 はその時欧州のキーパーソンに示した両者の対比であり、欧州は生産者を含めた循環型システムそのものを構築するよりも、消費ベースでの循環システムのビジネス化を目指しているのではないかと問いかけ、基本的な合意を得ている。

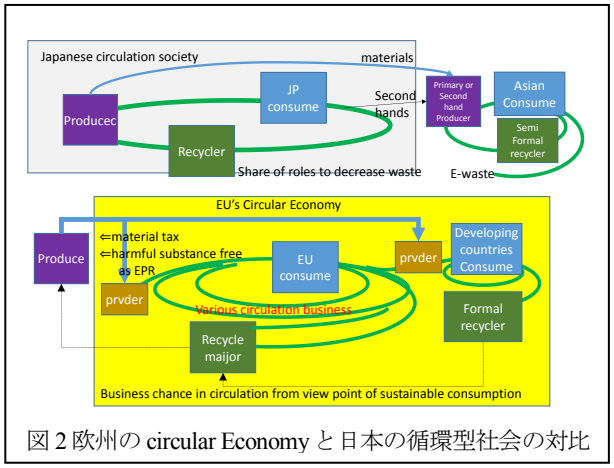


図 2 欧州の circular Economy と日本の循環型社会の対比

このことは E-waste 問題などでのアフリカへの対応にも表れ、国際標準化・認証の動向に置いても問題解決型ではなく、equivalent partner 探しの要素が強い。それは二次資源の国際認証に置いても廃棄物処理やトレーサビリティよりも法の順守や社会的責任が中心になって議論される傾向になっている。

特に注意すべき部分は producer が相対的にシステム外に置かれる傾向が強いことである。Producer へのインセンティブは殆ど議論されず、エコデザインにしろプラスチックにしろシステム外にいる producer へのリクワイアメントとみられる議論が多い。これは、ダボス経済会議の報告の中でも国際的マテリアルフローの変化に関して議論されており、製造という従来型の価値の創生部門が相対的に希薄になった欧州において、どこに価値の創生を見出すのかという観点で、資源効率や Circular Economy が語られている。

結論的に、EU の Circular Economy は「循環型社会の構築をめざすもの」ではなく「**循環型のシステムに付加価値をつける**ための施策」である。そしてその付加価値の由来はサステイナビリティである。

その意図は同意できるとして、従来型の価値の創生基盤である「ものづくり」が希薄になりつつある欧州においてサステイナビリティの付加価値かが先行することは、ある意味では跛行的にグローバル化される危険性も有している。我が国が積極的に健全で責任ある Circular Society を提示していくことが必要であり、LCA 学会も設立の原点に立ち返って、環境影響定量評価学としてその先頭に立っていく必要があるであろう。

なお、本発表は、文部科学省「東北発素材技術先導プロジェクト・希少元素高効率抽出技術領域」の支援のもとに行われています。

ポリ塩化ビニルのケミカルリサイクルによる塩素循環プロセスの評価

Evaluation of circulation of Cl derived from waste poly(vinyl chloride)

○熊谷将吾*[1)]、福島康裕[2)]、大野肇[2)]、吉岡敏明[1)]
Shogo Kumagai, Yasuhiro Fukushima, Hajime Ohno, Toshiaki Yoshioka
1) 東北大学大学院環境科学研究科, 2) 東北大学大学院工学研究科
* kumagai@env.che.tohoku.ac.jp

1. はじめに

ポリ塩化ビニル（PVC）の原料となる塩素は電解ソーダ工業の”副産物”であり、その約 40%が PVC 原料として消費されている。しかし、1965 年を境に国内塩素需要が苛性ソーダ（NaOH）需要を上回り、2013 年度の塩素需要は NaOH 需要の 1.23 倍と報告されている[1)]。このインバランスを解消するため、供給過剰となった約 72 万トンの NaOH を海外輸出、不足する塩素を塩素誘導品として輸入することでバランスを取っている。なお、原料となる塩は全てメキシコ・オーストラリア・インド・中国からの輸入塩である。

PVC 需要に反し、PVC はリサイクル段階において忌避されるケースが多い。PVC は熱処理により設備腐食の原因となる塩化水素ガスを発生[2)]する他、塩素系有機化合物の発生源となるためである[3)]。よって、リサイクルの前処理として乾式の脱塩化水素処理が施される場合が多い。熱処理で生じる塩化水素は、一部塩酸として再利用される場合を除き、中和または希釈による自然放流、または、塩化カルシウムとして捕捉され埋立処分されている。つまり、塩輸入→食塩電解→PVC 樹脂製造→製品製造→脱塩化水素処理、と製造から廃棄まで多大なエネルギーを投じられている塩素の多くは、最終的に自然系に放出されているのが現状である。

2. 本研究の目的

本現状を踏まえ、著者らは、PVC 廃棄物中の塩素を再び塩素原料として供給する塩素循環プロセスを構築することで、塩素を取り巻くプロセス全体のエネルギー削減が可能であると考えた。そのため、著者らはこれまで、化学プロセスを基盤とする PVC リサイクル手法を開発してきた。本研究の最終目的は、著者らの提案する PVC リサイクル手法により、PVC 中の塩素を塩素原料として循環した際のプロセス評価を行い、その有効性を明らかにすることである。本発表では、これまで報告した手法の中から、PVC の湿式脱塩素処理および塩素回収手法を紹介する。さらに、それらの手法を適用可能な PVC 廃棄物量および PVC 廃棄物からの塩素回収量を推定するため、PVC のマテリアルフロー解析を実施した。

3. PVC の脱塩素および塩素回収プロセス

3.1 湿式脱塩素[4,5)]

著者らはこれまで、エチレングリコール（EG）中で、ソーダ工業の主生成物である NaOH を塩基として、軟質 PVC 中の塩素をほぼ完璧に、硬質 PVC からは 80%以上を脱塩素可能であることを報告している（図 1）。脱塩素反応は主に S_N2 反応で進行し、PVC 中の Cl 基が OH 基に置換される。塩素は Cl^- として EG 中に残留させることが可能である。

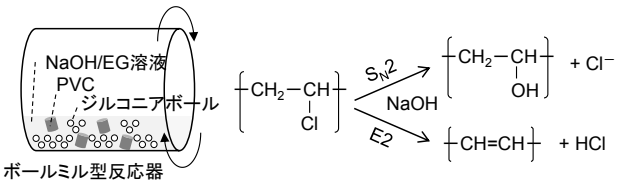


図 1　湿式脱塩素処理のイメージ

3.2 EG 廃液からの塩素回収[6,7)]

湿式脱塩素処理により EG 中に Cl^-が蓄積する。著者らは、ゼオライト膜やイオン交換膜を用いた電気透析法により、Cl^-が蓄積した EG から 90%以上の Cl^-を水相に移行可能であることを報告している（図 2）。EG から回収した塩素を再び塩素製造プロセスに供給することで塩素循環が可能となる。

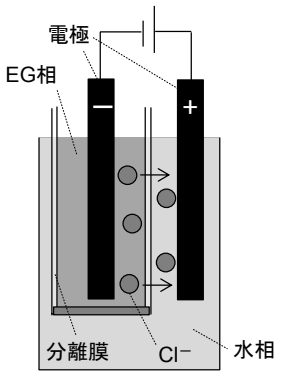


図 2　電気透析法による塩素回収のイメージ

4. PVC のマテリアルフロー解析

PVC 中塩素の塩素循環プロセスを評価する上で、先述の手法を適用可能な PVC 廃棄物量および塩素回収量の推定が必要である。よって、2012 年度の各種統計

値を基に PVC のマテリアルフロー解析を実施し、図 3 にまとめた。図中の数値の単位は全て kt であり、黒字は統計値、青字は関連する統計データを基に算出した推算値である。2012 年度の PVC 樹脂生産量は 1294 kt であり、その内訳は硬質 PVC 用途として 570 kt、軟質 PVC 用途として 255 kt、電線被覆材用途として 205 kt、273 kt が海外輸出であった [8]。これらの樹脂は更に、建材、車輌、工場設備、雑貨類、農林水産、および容器包装等、様々な分野の製品に加工される。硬質 PVC は主にパイプや継手等の建材となり、その耐用年数は数十年と非常に長い。一方、軟質 PVC はフィルム、壁紙、床材、電線被覆材等様々な用途に用いられ、その耐用年数は製品により多種多様である。例えば、車輌や機械設備用途等耐用年数が数年のものもあれば、容器包装用途等は大部分が一年以内に廃棄される。従って、2012 年度の PVC 廃棄量は 820 kt と報告されているが、その内訳は現在調査中である。このうち、230 kt は材料リサイクルによりリサイクルされている [9]。残りの 590 kt の処理手法内訳を、「2012 年プラスチック製品の生産・廃棄・再資源化・処理処分の状況（プラスチック循環利用協会）」 [9]の統計データから推算した結果、大部分がエネルギー回収、単純焼却、および埋立処分に留まっている可能性が示唆された。

これら PVC 廃棄物の性状は現在調査中であるが、仮に、590 kt の PVC 廃棄物を著者らの報告した湿式脱塩素処理および塩素回収プロセスを適用し、プロセス全体の塩素回収率を 80%と仮定すると、約 270 kt の塩素を回収できる可能性が示唆された。これは、国内塩素製造量の約 8%、PVC の塩素需要の約 36%に相当し、塩素循環プロセスを今後議論するに相応しい量であることが確認された。

5. おわりに

次のステップとして、PVC 廃棄物性状および各処理手法における塩素フローの調査、著者らの塩素回収プロセスのマテリアルフローへの導入、廃棄物性状に応じた脱塩素率を設定することで、マテリアルフローを改善し、塩素循環プロセスの評価を進める。

6. 参考文献

1) 日本ソーダ工業会, “カセイソーダ・塩素のインバランスと塩素の輸出入”, http://www.jsia.gr.jp/data/guide2013_8.pdf (参照:2015-12-28).

2) Fukushima M. et al., J. Mater. Cycles Waste Manag., 12, (2010), pp.108-122.

3) Bhaskar T. et al., J. Anal. Appl. Pyrolysis, 72, (2004), pp.27-33.

4) Kameda T. et al., Ind. Eng. Chem. Res., 47, (2008), pp.8619-8624.

5) Yoshioka T. et al., Polym. Degrad. Stab., 93, (2008), pp.1822-1825.

6) Kameda T. et al., J. Mater. Cycles Waste Manag., 15, (2013), pp.111-114.

7) Kameda T. et al., J. Mater. Cycles Waste Manag., **15**, (2013), pp.404-408.

8) 塩ビ工業・環境協会, “2012 年度塩ビ樹脂・出荷実績”, http://www.vec.gr.jp/lib/lib2_1.html (参照:2016-1-4).

9) (一社)プラスチック循環利用協会, “2012 年プラスチック製品の生産・廃棄・再資源化・処理処分の状況”, http://www.pwmi.or.jp/flow_backnumber.php (参照:2016-1-4).

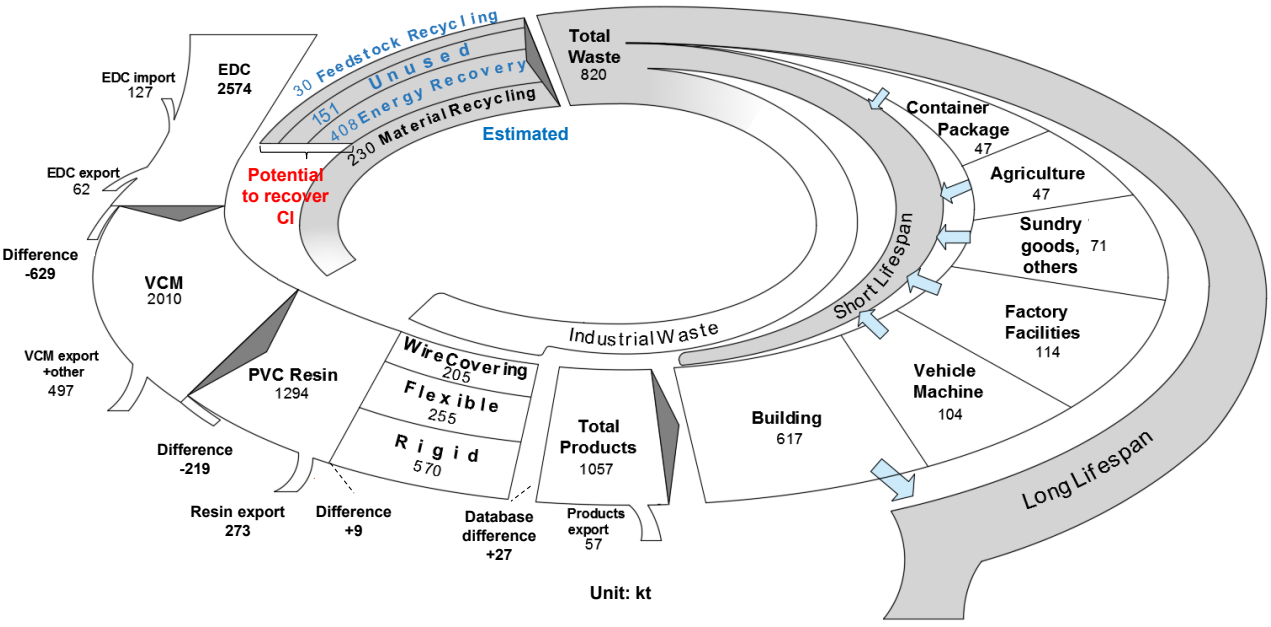


図 3　PVC のマテリアルフロー（2012 年度の各種統計値および日本鉄源協会の図案を基に作成 [8, 9, 他]）

貿易に伴うアメリカ国内での毒性化学物質排出量の分析

Toxic Chemical Substances Emissions in America Induced by the World Trades

○岡本隼輔*[1)]、藤井秀道[2)]、加河茂美[3)]、馬奈木俊介[3)]、Sangwon Suh[4)]
Shunsuke Okamoto, Hidemichi Fujii, Shigemi Kagawa, Shunsuke Managi, Sangwon Suh
1) 尾道市立大学, 2) 長崎大学, 3) 九州大学, 4) University of California
* s-okamoto@onomichi-u.ac.jp

1. 研究背景

近年、毒性化学物質管理が世界的に求められている。1992 年に発表されたアジェンダ 21 の 19 章で有害化学物質の適正管理の具体的な方針が明示的に示され、化学物質の国際的な管理の基礎となった。毒性化学物質の情報管理として、米国が TRI 制度を 1986 年からスタートしており、日本では PRTR 制度が 1999 年からスタートしている。加えて、2006 年には EU で REACH を開始し、製品サプライチェーンにおける化学物質利用について情報の公開を求めている。これらの制度は、一定規模以上の事業所において対象となる毒性化学物質の排出量を政府に報告し、それら情報が一般に公開される制度である。

また、直接規制のアプローチとしては、欧州では 2003 年に ELV 指令、2006 年に RoHS 指令といった製品に含有される毒性化学物質に関する規制を開始した。RoHS や ELV は指令を遵守しない製品は欧州域内で販売することが出来ないことから、企業の製造部門に強い影響を与えた。

こうした中で、製造業を中心として製造過程で排出される化学物質の毒性影響を低減させるために、グリーンケミストリーやグリーンサプライチェーンなど様々な取り組みが進められている。

これまでの研究で、欧州の規制が他国の製造部門にどのような影響をもたらしたのかに着目した研究が多く存在する。しかしながら、それらの多くは貿易量の変化のみに着目したものや、生産過程で排出される毒性化学物質の変化のみを対象とした研究がほとんどである（Fujii and Managi, 2013）。一方で、規制の影響は生産活動及び貿易活動の双方に同時に影響を与える。従って、規制の影響を正確に評価するためには、貿易量の変化と製造過程での毒性化学物質排出量の両方を同時に着目する必要がある。

そこで、本研究では生産活動に着目した構造分解法と貿易活動に着目した多地域産業連関表を適用し、貿易によって誘発される毒性化学物質排出量の経年変化を考察することで、消費地における輸出入に関連する環境規制が、生産地の製造工程に与える影響を明らかにすることを目的とする。

2. 研究手法

2.1 毒性化学物質排出量の算定

本研究では、t 年における特定の k 国の国内最終需要に起因するアメリカ国内の毒性化学物質排出量を Q_t^{US} とし、下式(1)より算出する。

$$Q_t^{US} = \mathbf{c}_t \cdot \mathbf{L}_t \cdot \mathbf{f}_{t,k} \quad (1)$$

ここで、$\mathbf{c}_t$ はアメリカ国内の産業別毒性化学物質排出係数行ベクトル（すなわち、アメリカにおける産業の 1 単位の産出あたりの直接的な毒性化学物質排出量）$\mathbf{c}_t^{US}$ を要素に持つベクトル、$\mathbf{L}_t$ は $\mathbf{L}_t = \left(\mathbf{I} - \mathbf{A}_t\right)^{-1}$ で表されるレオンチェフ逆行列、$\mathbf{f}_{t,k}$ は t 年における k 国の国内最終需要ベクトル、$\mathbf{I}$ は単位行列である。今、M 個の産業、N 個の国からなる経済を想定すると、産業別毒性化学物質排出係数行ベクトル　、投入係数行列 $\mathbf{A}_t$、k 国の国内最終需要ベクトル　はそれぞれ以下のように定義される。

$$\mathbf{c}_t = \underbrace{\begin{vmatrix} \mathbf{0} & \cdots & & \cdots \end{vmatrix}}_{M\times N}$$

$$\mathbf{A}_t = \underbrace{M \times N \begin{Vmatrix} \mathbf{A}_t^{11} & \mathbf{A}_t^{12} & \cdots & \\ \mathbf{A}_t^{21} & \mathbf{A}_t^{22} & \cdots & \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{A}^{K1} & \mathbf{A}^{K2} & \cdots & \end{Vmatrix}}_{M\times N}$$

$$\mathbf{f}_{t,k} = M \times N \begin{Vmatrix} \mathbf{f}_t^{1k} \\ \mathbf{f}_t^{2k} \\ \vdots \\ \mathbf{f}_t^{Nk} \end{Vmatrix}$$

ここで、　は M 次元の零ベクトル $\mathbf{0}$ と M 次元のアメリカの排出係数ベクトル $\mathbf{c}_t^{US}$ を含む $M \times N$ 次元の行ベクトルを示し、　は $\left(M \times N, M \times N\right)$ の次元を持つ投入係数行列、$\mathbf{f}_{t,k}$ は $M \times N$ 次元の国内最終需要列ベクトルを示す。

(1)式により、各国の最終需要に起因して世界各国で構築されるサプライチェーンを通じて生産された財・サービスののうち、アメリカ国内産業の生産活動によってアメリカ国内で排出される毒性化学物質の量がいくらになるのかを算出することができる。また算出される排出量は、最終需要国ごとに計算できるため、当該最終需要国における輸出入に関連する環境規制の効果を比較することも可能となる。

2.2 毒性化学物質排出変化量の構造分解分析

排出される毒性化学物質の規制の影響をより正確に評価するために、(1)式で算出される排出量の t 年から t+1 年にかけての変化量を(2)式のように分解する（Ang *et al*., 2003）。

$$\begin{aligned}\Delta Q^{US} &= Q_{t+1}^{US} - Q_t^{US} = \mathbf{c}_{t+1}\mathbf{L}_{t+1}\mathbf{f}_{t+1,k} - \mathbf{c}_t\mathbf{L}_t\mathbf{f}_{t,k} \\ &= \underbrace{\Delta\mathbf{c}\mathbf{L}_t\mathbf{f}_{t,k} + \frac{1}{2}\Delta\mathbf{c}\mathbf{L}_t\Delta\mathbf{f}_k + \frac{1}{2}\Delta\mathbf{c}\Delta\mathbf{L}\mathbf{f}_k + \frac{1}{2}\Delta\mathbf{c}\Delta\mathbf{L}\Delta\mathbf{f}_k}_{Intensity\ effect} \\ &\quad + \underbrace{\mathbf{c}_t\Delta\mathbf{L}\mathbf{f}_k + \frac{1}{2}\mathbf{c}_t\Delta\mathbf{L}\Delta\mathbf{f}_k + \frac{1}{2}\Delta\mathbf{c}\Delta\mathbf{L}\mathbf{f}_k + \frac{1}{2}\Delta\mathbf{c}\Delta\mathbf{L}\Delta\mathbf{f}_k}_{Structural\ effect} \\ &\quad + \underbrace{\mathbf{c}_t\mathbf{L}_t\Delta\mathbf{f}_k + \frac{1}{2}\mathbf{c}_t\Delta\mathbf{L}\Delta\mathbf{f}_k + \frac{1}{2}\Delta\mathbf{c}\mathbf{L}_t\Delta\mathbf{f}_k + \frac{1}{2}\Delta\mathbf{c}\Delta\mathbf{L}\Delta\mathbf{f}_k}_{Final\ demand\ effect}\end{aligned} \quad (2)$$

ここで、$\Delta\mathbf{c} = \mathbf{c}_{t+1} - \mathbf{c}_t$、$\Delta\mathbf{L} = \mathbf{L}_{t+1} - \mathbf{L}_t$、$\Delta\mathbf{f}_k = \mathbf{f}_{t+1,k} - \mathbf{f}_{t,k}$ である。(2)式の右辺第一項の *Intensity effect* はアメリカ国内産業の毒性化学物質排出係数の変化に依存する変化量であり、各産業における生産工程での毒性化学物質管理の取り組み効果を反映する部分である。第二項の *Structural effect* はレオンチェフ逆行列の変化に依存する変化量であるが、$\mathbf{L}$ には投入係数に関する財・サービスの需要先および供給元となる国や産業の情報が含まれているため、世界の技術構造・貿易構造の変化が影響として現れる部分である。第三項の *Final demand effect* は各国の最終需要の変化に依存する変化量であり、消費地における財・サービスの輸入段階での環境規制の影響が現れる部分である。

3. データ

本研究では、(1)式における $\mathbf{c}_t$ の推計方法として、米国製造業 16 業種を対象に 1998 年から 2011 年にかけて米国環境保護庁が公表する Toxic Release Inventory (TRI)データベースから毒性化学物質排出量を取得した。また、各化学物質の毒性重み付け係数として米国環境保護庁から公開されている Toxicity Weighting データベースを排出量に乗じることにより $\mathbf{c}_t$ を推計した。また、$\mathbf{A}_t$ および $\mathbf{f}_{t,k}$ のデータは 1998 年から 2011 年にかけての世界多地域産業連関表（Timmer *et al*., 2015）から利用可能な 40 カ国のデータを用いている。

4. 分析結果

図 1 は　1998 年と 2011 年におけるアメリカ国内に滞留する毒性化学物質排出量を示したものである。地理的に近く貿易が盛んであるカナダの最終需要に起因する排出量が非常に大きかったが、時間と共に新興国である中国の最終需要に起因する排出量が大きくなった様子が明白にわかる。なお、これらの変化に起因する様々な要因を含めたより詳細な分析結果は、研究発表会にて示す。

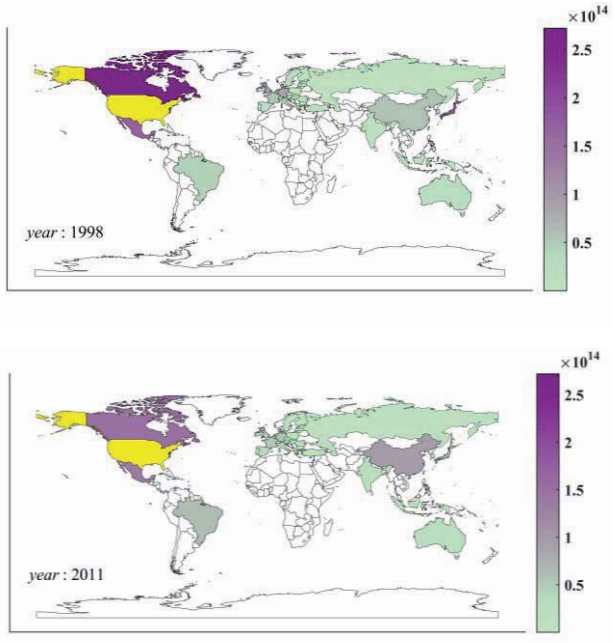


図 1　1998 年および 2011 年におけるアメリカ国内に滞留する最終需要起因国別の毒性化学物質排出量（単位: 毒性換算ポンド）

引用文献

Ang, B.W., Liu, F.F., Chew, E.P.: *Energy Policy*, 31, 2003, pp.1561-1566.

Timmer, M.P., Diezenbacher, E., Los, B., Stehrer, R. De Vries, G.J.: *Review of International Economics*, 23, 2015, pp.575-605.

Fujii, H., Managi, S.: *Journal of Industrial Ecology*, 17 (13), 2013, pp. 461-471.

小型家電の回収可能性の検討：大津市のケーススタディー

Collection potential of small home appliances: a case study for Otsu City

○丸橋拓矢*[1)]、橋本征二 [1)]
Takuya Maruhashi, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学
*rv0032ke @ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

レアメタルは製品の高機能化や小型化の観点から欠かせないものとなっているが、日本はその供給を輸入に頼っている。このため、その価格の高騰や供給の停止は関連する経済活動に大きな影響を与える可能性がある。また、レアメタル自体、将来的に枯渇するリスクがあることから、その安定確保が求められている。

レアメタルは幅広い小型家電に利用されていることから、これらを適切に回収することができれば、廃棄された製品に含まれるレアメタルを経済的に再生利用することも可能となる。この回収を促進するために 2013 年 4 月に施行されたのが使用済小型電子機器等の再資源化の促進に関する法律(以下、小型家電リサイクル法)である。小型家電リサイクル法は、これまで法律の対象とされていなかった小型家電を対象にリサイクルを促進する法律であり、資源性と分別のしやすさから特にリサイクルするべき品目として特定対象品目を指定している。

小型家電の回収については、秋田県大館市 [1)]を皮切りに、全国各地で実証実験が行われてきている [2)3)]。しかしながら、それぞれ地域特有の課題があり、地域の状況を踏まえた回収システムの検討を行っていく必要がある。

本研究では、滋賀県大津市を対象に、使用済み小型家電の回収可能性について検討することを目的として、①不燃ごみとしての小型家電排出量の実測調査を行うとともに、②小型家電の出荷量、寿命関数等を利用して潜在廃棄量を推計し、③これを実測調査と比較することで、今後の小型家電の回収可能性について検討した。

2. 方法

2.1 小型家電排出量の実測調査

大津クリーンセンターの回収対象地域(大津市南部)を対象に小型家電排出量の実測調査を行った。回収された不燃ごみからごみ収集車1台分のサンプルを取得し、これを手作業で分別して、特定対象品目96品目の小型家電をピックアップし、その数と重量を計測した。回収地域(都市部、住宅地、農村地)によって排出される品目や量に偏りがあることも考えられたため、それぞれ2サンプルずつ調査を行った。調査は、2015年7月3日(市街地)、10月3日(住宅地)、10月12日(市街地)、11月7日(住宅地)、11月12日(田園地)、12月10日(田園地)の計6回実施した。また、このデータに基づき、大津市において不燃ごみとして捨てられている特定対象品目の量を推計した。

2.2 潜在廃棄量の推計

各小型家電の潜在廃棄量は次式により推計した。

$$G(t)=\Sigma_i\{P(i)\times F(t-i)\}$$

$$F(y)=R(y-1)-R(y)$$

$$R(y)=\exp[-\{y/\bar{y}\}\times\{\Gamma(1+1/b)\}^b]$$

ただし、G(t)は t 年における廃棄量(台/年)、P(i)は i 年における出荷台数(台/年)、F(y)は使用年数 y 年の製品の廃棄率、R(y)は使用年数 y 年の製品の残存率、$\bar{y}$ は平均使用年数(年)、b は分布の幅を示すパラメータである。

実測調査における廃棄量が多く、推計に必要なデータが利用可能な製品について推計を行った。出荷台数については、電球類年間生産・出荷（販売）統計 [4)]、家庭用電気機器出荷・在庫暦年別推移表 [5)]等のデータを用いた。また、$\bar{y}$ は中央環境審議会廃棄物・リサイクル部会の資料 [6)]、b は小口ら [7)]の値を用いたが、b の推計結果がない製品については平均値 2.5 を用いた。

2.3 今後の回収可能性の検討

実測調査の結果と潜在廃棄量の推計結果、不燃ごみ以外の回収ルートや家庭での保管状況などの情報をもとに、現状の評価や今後の回収可能性の検討を行った。

3. 結果と考察

3.1 小型家電排出量の実測調査結果

実測調査の結果を図 1 に示す。

回収地域(市街地、住宅地、田園地)による有意な差は見られなかった。廃棄個数としては、AC アダプタやリモコンなどの周辺機器、照明器具や時計などが多かった。また、収集時に壊れてしまい数量の計測が困難であったが、電球も多く排出されていた。廃棄重量としては、照明器具、炊飯器、扇風機、電気カーペットなどの単位重量の大きいものが多かった。レアメタルが多く含まれる携帯電話やパソコンは少なく、あっても型も古いものばかりであった。これらは不燃ごみとは異なるルートで廃棄されていると考えられる。

実測調査 6 回の平均より、重量ベースで不燃ごみの 5.2%が特定対象品目であった。例えば、大津市の 2014 年度の不燃ゴミの排出量 1991 t [8)]にこの値を乗じると、年間約 100 t 程度の特定対象品目が廃棄されていることに

なる。自治体のピックアップ回収により、不燃ごみから一定量の特定対象品目の回収が可能になるものと考えられる。

3.2　潜在廃棄量の推計結果

潜在廃棄量の推計は実測調査において廃棄個数、廃棄重量の多いものうち、出荷量のデータがある各 4 品目を対象に行った。推計の結果を図 2 に示す。

潜在廃棄量の推計結果と実測調査の結果を比較すると、ドライヤー以外の項目は潜在廃棄量が多い結果となった。ドライヤーについては、推計に用いた出荷量データが 1990 年～2004 年までしかなかったため、過小な推計となっていることが原因である。ポットや炊飯器などでは、潜在廃棄量と実測調査に大きな差があり、これらの行方について検討を行っていく必要がある。

3.3　今後の回収可能性

3.2 より実測調査の結果と潜在廃棄量の推計結果には、大きな差があることがわかった。これらの差異の原因としては、潜在廃棄量が不燃ゴミ以外の形で廃棄されている、または家庭などに埋蔵している等の可能性がある。不燃ゴミ以外の廃棄については、リサイクル業者や店舗等での回収も含まれるため、差分のすべてが今後の回収可能量とはならないが、今後こうした状況について明らかにしていく必要がある。

4.　おわりに

本研究では以下の結論を得た。

1) 6 回行った小型家電排出量の実測調査では、不燃ごみの重量ベースで平均 5.2%が特定対象品目であった。自治体のピックアップ回収により、不燃ごみから一定量の特定対象品目の回収が可能になるものと考えられる。
2) 潜在廃棄量の推計と実測調査の結果には差異があり、これらの差異について、今後明らかにしていく必要がある。

謝辞：本研究の実測調査には、大津市役所および大津クリーンセンターの各位にご協力いただいた。また、本研究は、環境省環境研究総合推進費（1-1402）による成果である。ここに記して深謝する次第である。

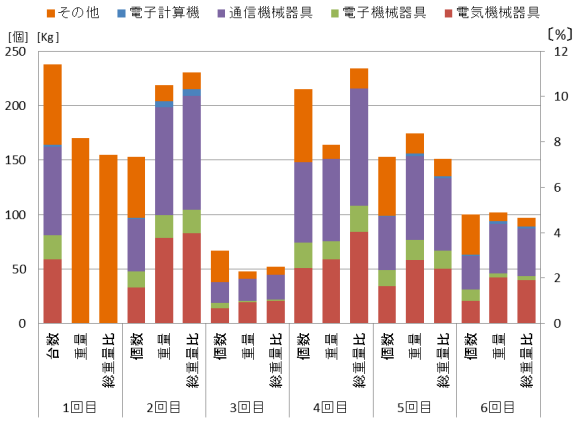


図１　小型家電排出量の実測調査結果

※1 回目の重量は分類ごとに計測していないため全て「その他」とした。

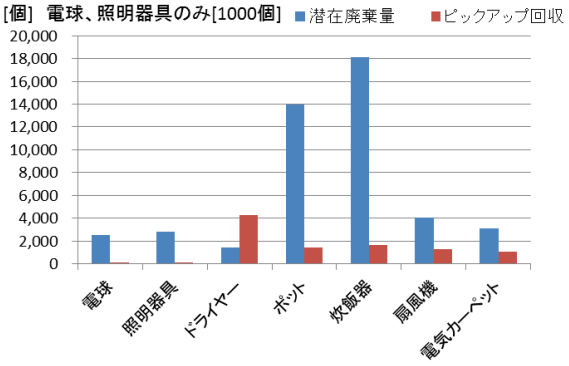


図２　潜在廃棄量の推計結果と実測調査の結果との比較

参考文献

1) 狩野真吾、白鳥寿一：使用済み小型電気・電子機器の回収試験と回収量評価、Journal of MMIJ、125、pp.547-554、2009
2) 森下哲：レアメタルの回収リサイクルモデル事業の成果と考察、廃棄物資源循環学会誌、22(1)、pp.3-10、2011
3) 環境省：小型電子機器等リサイクルシステム構築実証事業、http://www.env.go.jp/recycle/recycling/raremetals/verification.html、2015 年 7 月アクセス
4) 一般社団法人日本照明工業会：電球類年間生産・出荷（販売）統計、http://www.jlma.or.jp/tokei/pdf/lamp_statistics01.pdf、2015 年 12 月アクセス
5) 一般社団法人日本電機工業会：家庭用電気機器出荷・在庫暦年別推移表、http://www.jema-net.or.jp/Japanese/data/ka02.html、2015 年 12 月アクセス
6) 環境省 中央環境審議会廃棄物・リサイクル部会 小型電気電子機器リサイクル制度及び使用済み製品中の有用金属の再生に関する小委員会：第 5 回資料 2、参考資料別紙、2011、http://www.env.go.jp/council/former2013/03haiki/y0324-03/mat02-a.pdf、2015 年 12 月アクセス
7) 小口正弘、亀谷隆志、田崎智宏、玉井伸明、谷川昇：電気・電子製品 23 品目の使用年数分布と使用済み台数の推計、廃棄物学会論文誌、17(1)、pp.50-60、2006
8) 大津市：大津市のごみ処理の流れ（ごみ量・コスト・減量効果・売却益）、http://www.city.otsu.lg.jp/soshiki/030/1703/g/kokai/1408323536518.html　、2015 年 12 月アクセス

Classification of Secondary Aluminum Resources in Major Countries

○Kyaw Nyunt Maung*, Tomoharu Yoshida, Cherry Myo Lwin, Seiji Hashimoto

Ritsumeikan University

*gr220vf@ed.ritsumei.ac.jp

1. Introduction

From the perspective of sustainable use of metals, secondary metallic resources are expected to play an important role in meeting the growing demands of industrialization and urbanization. Hashimoto et al. proposed a framework for the classification of such secondary resources accumulated in our society[1], based on a classification of natural resources: the McKelvey diagram. We applied this framework to secondary aluminum resources: aluminum stock in our society[2]. We estimated the amount of aluminum included in end-of-life (EoL) products, the amount that will be economically and technologically recyclable, and the amount that will be dissipated during the use and waste management phases, considering the final destinations of non-recyclable aluminum, including those disposed in landfill sites and those lost in mixed metals. Target countries include Argentina, Australia, Austria, Belgium, Brazil, China, France, Germany, India, Italy, Japan, Netherlands, Norway, Russia, South Africa, Spain, Switzerland, the United Kingdom, and the United States. As an example, we specifically present results for Japan.

2. Methodology

Table 1 presents the classification framework of secondary aluminum resources. The horizontal arrow indicates the level of knowledge such as the form of existence and timing of emergence as recyclable or non-recyclable materials. The vertical arrow indicates the possibility of reutilization as a secondary resource based on different degrees of profitability.

The following equation was used to estimate the aluminum stocks of products in use, shown in Table 1.

$$AS(t,c,i) = \Sigma_{t'} AC(t',c,i) \times SR(t\text{-}t',c,i) \quad (1)$$

Therein, $AS(t,c,i)$ represents the aluminum stocks of product i in country c in year t; $AC(t',c,i)$ denotes aluminum consumption for product i in country c in year t'; and $SR(t\text{-}t',c,i)$ is the survival ratio of product i in country c after $t\text{-}t'$ years (stocked in the society). Product i has seven categories: building and construction, transportation, containers and packaging, machinery and equipment, electrical engineering, consumer durables and other uses.

Table 1. Classification of secondary resources

Profitability \ Knowledge	Products in Use: Emerging in a year	Products in Use: Not emerging in a year	Wastes in managed landfill sites	Dissipated materials
Economic	Secondary reserves in a year	Secondary reserves in future		
Marginally economic	Marginal secondary reserves in a year	Marginal secondary reserves in future		
Sub-economic	Sub-economic secondary resources in a year	Sub-economic secondary resources in future	Sub-economic secondary resources	Sub-economic secondary resources
Others	Unrecoverable materials (others)	Unrecoverable materials (others)	Unrecoverable materials (others)	Unrecoverable materials (others)
	Unrecoverable materials (mixed metal losses)			

The following ratio was used to estimate secondary reserves and marginally secondary reserves in Table 1.

$$SRR(t,c) = RS(t,c)/\Sigma_i GS(t,c,i) \quad (2)$$

In that equation, $SRR(t,c)$ stands for the secondary reserve ratio in country c in year t (–); $RS(t,c)$ signifies recovered scrap in country c in year t; and $GS(t,c,i)$ denotes the generated scrap of product i in country c in year t. Secondary reserves were estimated as shown below.

$$SR(t,c)=\Sigma_i AS(t,c,i) \times SRR(t_{low},c) \quad (3a)$$

$$MSR(t,c)=\Sigma_i AS(t,c,i) \times (SRR(t_{high},c)\text{-}SRR(t_{low},c)) \quad (3b)$$

$$SRe(t,c)=\Sigma_i GS(t,c,i) \times SRR(t_{low},c) \quad (4a)$$

$$MSRe(t,c)=\Sigma_i GS(t,c,i) \times (SRR(t_{high},c)\text{-}SRR(t_{low},c)) \quad (4b)$$

$$SRn(t,c)=SR(t,c)\text{-}SRe(t,c) \quad (5a)$$

$$MSRn(t,c)=MSR(t,c)\text{-}MSRe(t,c) \quad (5b)$$

In those equations, $SR(t,c)$ and $MSR(t,c)$ respectively denote secondary reserves and marginal secondary reserves of country c in year t; t_{low} and t_{high} respectively represent the years in which SRR were lowest and

highest. *e* and *n* respectively denote emergence in a year and not emerging in a year. The sub-economic secondary resource and unrecoverable materials (others) in products in use were estimated using the following equations.

$$SSRe(t,c)=\Sigma_i GS(t,c,i)-RSe(c)-MSRe(c) \quad (6a)$$

$$SSRn(t,c)=\Sigma_i AS(t,c,i)-RSn(c)-MSRn(c) \quad (6b)$$

In those equations, $SSR(t,c)$ represents sub-economic secondary resources and unrecoverable materials (others) in products in use in country *c* in year *t*.

The sub-economic secondary resource and unrecoverable materials (others) in the column of managed landfill sites was estimated as

$$SSRw(t,c)=\Sigma_{t'} SSRe(t',c) \times LFR(t',c), \quad (7)$$

where *w* denotes waste in managed landfill sites; $LFR(t',c)$ is the landfill ratio in country *c* in year *t'*.

The sub-economic secondary resource and unrecoverable materials (other) in the column of the dissipated materials was estimated as

$$SSRd(t,c)=\Sigma_{t'}\Sigma_i AS(t',c,i) \times DR(t',c,i), \quad (8)$$

where *d* denotes dissipated materials; $DR(t',c,i)$ is the dissipation ratio of product *i* in country *c* in year *t'*.

In the row of others in Table 1, unrecoverable materials (mixed metal losses) were estimated as

$$MML(t,c) = \Sigma_{t'} SSRe(t',c) \times MMLR(t',c), \quad (9)$$

where $MML(t,c)$ represents mixed metal losses in country *c* in year *t; MMLR*(t',c) is the mixed metal losses ratio in country *c* in year *t*'. We used data for 1962–2013.

3. Results and Discussion

As an example, Table 2 shows the estimated results of classified secondary aluminum resource for Japan. Japan has 592 thousand tons of aluminum secondary reserves that are expected to be available in a year and 8,849 thousand tons of reserves available in the future in 2013, based on the lowest reserve ratio between 2009 and 2013. Based on the highest reserve ratio in the most recent five years, Japan has a further 160 thousand tons of marginal secondary reserves that are useful in the coming year and 2,391 thousand tons in the future. During 1962–2013, 25,719 thousand tons of aluminum have accumulated in waste in managed landfill sites,

Table 2. Secondary aluminum resources in Japan

(thousand tonnes)	Products in Use		Wastes in managed landfill sites	Dissipated materials
	Emerging in a year	Not emerging in a year		
Economic	592	8,849		
Marginally economic	160	2,391		
Sub-economic	1,308	19,545	25,719	15,482
Others	2,858			

15,482 thousand tons have been dissipated, and 2,858 thousand tons have been lost in mixed metals.

In actuality, aluminum consumption in Japan has been about 2,000 thousand tons: the available secondary aluminum reserves (592+160) cannot meet all of domestic demand, but Japan has a considerable amount of secondary reserves in the future (8,849+2,391). Moreover, the results show that Japan has a large amount of aluminum stocks in managed landfill sites (25,719). One must consider how to recover aluminum resources from the landfill sites. The amount of dissipated materials cannot be overlooked as well. Other countries' results shall be discussed at the conference. As presented above, classified estimation of secondary resources can inform us about potential implications for short-term and long-term availability of secondary resources and measures to be taken for more sustainable resource use.

Acknowledgements: This research was supported by the Environmental Research and Technology Development Fund (1-1402) of the Ministry of Environment, Japan and by a Grant-in-Aid for Scientific Research (26281056) of the Japan Society for the Promotion of Science.

References

1) Hashimoto, S.: Material stock accounting for secondary resource management. Proceedings of the 9th International Conference on EcoMaterials, D8, 2009.
2) Liu, G. and Muller, D.B.: Centennial evolution of aluminum in-use stocks on our aluminized planet. Envir. Science & Technology 47, 48882-4888, 2012.

Material Flow Analysis of Zinc Associated with Iron and Steel Flow in Thailand : Future Trends and Scenarios for Resource Efficiency

Romchat Fujimoto-Chairaksa *, Kazuyo Matsubae, Tetsuya Nagasaka
Department of Metallurgy, Graduate School of Engineering, Tohoku University
*chairaksaromchat@material.tohoku.ac.jp

1. Introduction

Zinc is primarily consumed in the galvanized steel production and it accounts for approximately 50% of its global consumption (1, 2). The others are consumed as zinc compounds mainly by the rubber, chemical, paint, and agricultural industries (1). Zinc has been identified as one of the elements that have potentially limited supplies in nature with a depletion time of no longer than 20–30 years (1). Recently, the demand for steel, and therefore for the materials involved in its production, such as zinc and rare metals, has been increasing because of economic growth (3).

In Thailand, the quantitative information on the consumption structure, recycling path, stocks, and waste management for zinc has not been obtained and the domestic mine will be approaching depletion over the next few years. In contrast, the zinc demand for the galvanized steel industry is expected to increase mainly for automotive production and infrastructure. Therefore, the extraction of zinc from zinc-containing waste has become an important issue for the conservation of zinc resources. In this study, the Material Flow Analysis (MFA) analysis of zinc associated with iron and steel production in Thailand was conducted in order to to track the pathway of zinc leaving the economy as discarded waste. The lastest statistic data of 2014 was employed in the present work. Since, the electric arc furnace dust or EAF dust plays a significant role as a major renewable zinc resource, however it was classified as hazadous waste. In this study, the future trend and scenarios of EAF dust management for zinc recovery in Thailand was also discussed.

2. Data and methods

The zinc flow in Thailand was analyzed within the frame work of four life stages as (1) Production, (2) Fabrication and Manufacturing, (2) Use and (4) Waste Management, adapted from Spatari et al (4).

The linkage flow between zinc and steel production has been considered in this study. The amount of zinc ore in production can be obtained from the static data published by the Bureau of Primary Industries, the Department of Primary Industries and Mines (DPIM) (5) and the monopoly zinc smelter in Thailand, while other information with regard to tailing and the slag amounts were estimated from data available in publications (6). The trade statistics of each commodity of zinc containing materials were obtained from the Customs Department, Thailand (7) and United Nation Comtrade (8).

The major manufacturing processes are galvanization, brass, alloys, chemicals, zinc sheets and die casting. At the use stage, the proportion of zinc in use in Thailand is not available. However, the global end use made available by the International Zinc Association (IZA) is assumed as the usage for Thailand. The main application areas are as follows: construction (45%), transport (25%), consumer goods & electrical appliances (23%) and general engineering (7%) (1).

The waste management system considers the new steel scrap from manufacturing and the old steel scrap from end-of-life product that entered the electric arc furnace (EAF) as a raw material. The EAF dust generation ratio in the EAF steelmaking process, which is defined as (the amount of EAF dust generation)/ (crude steel production) = (20kg)/ (1ton) were obtained from the publication (3, 9). During iron scrap melting in the EAF at temperatures above 1600 °C, the volatile components, including zinc are collected as EAF dust in the bag filter (10). The EAF dust composition in Thailand was determined by a study carried out by Iron and Steel Institute of Thailand (ISIT) (11), in which the chemical composition of samples of EAF dust from 14 steelmaking mills in Thailand were individually analyzed and the average zinc content in EAF dust in Thailand was about 27%wt-Zn as presented in Table 1.

Table 1 Average chemical composition of EAF dust generated in Thailand's EAF mills

Element	Fe	Zn	Pb	Cl	F
%wt	28	27	15	4.5	0.47

The EAF dust composition strongly depends on the operating conditions such as the characteristics of the steel scrap charged in the EAF furnace, operating period, and specifications of the steel produced. Typically, the EAF dust

consists of zinc, iron, lead, cadmium and halogens. In general, the zinc content in the dust is around 10–30%wt.

3. Results

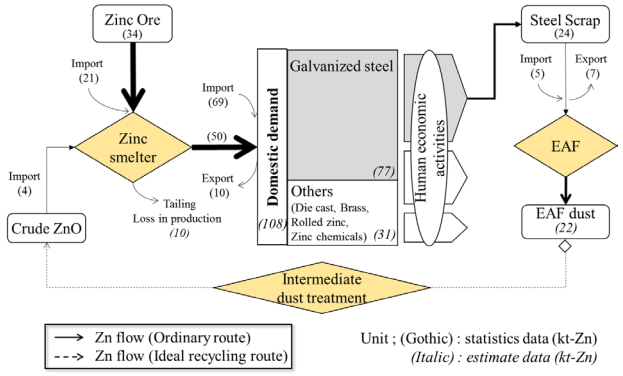


Fig 1 Zinc flow associated with steel cycle in Thailand (2014)

The zinc flow associated with iron and steel flow has been investigated because of its essential role in zinc recycling. Fig. 1 shows that Approximately 70% of the zinc consumed in Thailand is used for galvanized steel. Due to new galvanizing plant investment for automotive production and, the consumption of zinc metal in Thailand has shaply increased since 2013 as presented in Fig. 2.

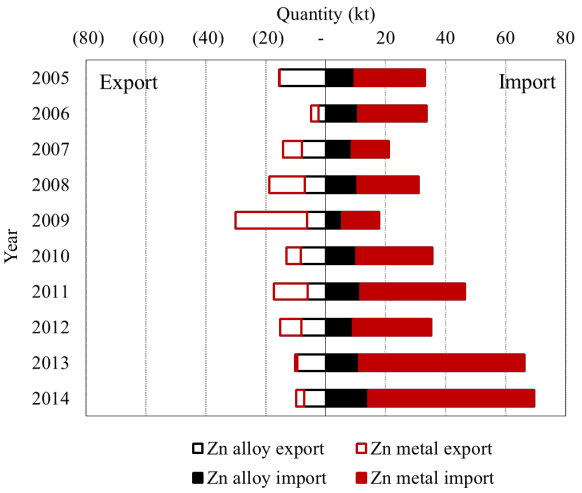


Fig 2 Zinc metal/alloy import and export in Thailand

In 2014, aproximately EAF dust contains 22 kt-Zn generated from EAF production and it is a major potential secondary source of zinc. However, EAF dust has been categorized as hazardous waste and cannot be imported or exported between nations under Basel Convention. The intermediate dust treatments is a key not only to prevent the waste of potentially valuable materials and reduce the consumption of ore from rapidly depleting natural deposits but also minimize the environmental impacts, illegal export, illigal dumping and improper storage from large treatment costs.

4. Discussion

In this study, we applied the substance flow analysis (SFA) to examine the flow of zinc cycle in Thailand in 2014. Thailand is developing into an important automotive steel production base in ASEAN and demand of zinc for galvanize steel industry is growing. In Thailand, domestic mine production is insufficient to supply the zinc demand and natural resources might be depleted in the near future. However, the steel mills in Thailand are producing steel via only EAF which generates zinc-containing EAF dust as a waste product. EAF steel making acts as the only route for collecting zinc recyclable material. Annually EAF dust generation in Thailand was about 82 kt containing about 22 kt-Zn. Consequently, EAF dust generation in Thailand has a great potential as a valuable zinc secondary resource and the domestic supply of zinc can be enhanced with more efficiency by proper intermediate dust treatment and recycling systems.

5. References

1) Harper E.M., Bertram M., Graedel T.E.: Resouv Conserv Recy, 37, (2003), pp 82-100
2) Ma H.W., Matsubae K., Nakajima K., Tsai M.S., Shao K.H., Chen P.C., Lee C.H., Nagasaka T.: Resouv Conserv Recy, 56, (2011), pp 134-140
3) Nakajima K., Matsubae-Yokoyama K., Nakamura S., Itoh S., Nagasaka T.: ISIJ Int, 48, (2008), pp 1478-1483
4) Spatari S., Bertram M., Fuse K., Graedel T. E., and Eric S.: Resouv Conserv Recy, 39, (2003), pp. 137-160
5) Department of Primary Industries and Mines (DPIM), <http://www.dpim.go.th/articles?catid=129 >, (Access 2015-08-15)
6) Jolly J.H: Resouv Conserv Recy, 9 (1993), pp. 1-30
7) The Customs Department of the Kingdom of Thailand, <http://search.customs.go.th:8090/Customs-Eng/Statistic/StatisticIndex2550.jsp>, (Access 2015-08-15)
8) United Nations Comtrade, <http://comtrade.un.org/data/>, (Access 2015-08-15)
9) Chairaksa-Fujimoto R. , Inoue Y., Umeda N., Itoh S., Nagasaka T.: Int J Min Met Mater, 22, (2015), pp. 788-797
10) Miki T., Chairaksa-Fujimoto R., Maruyama K., Nagasaka T.: J Hazard Mater, 302, (2016), pp. 90-96
11) EAF dust in Thailand report (2014), pp. 4

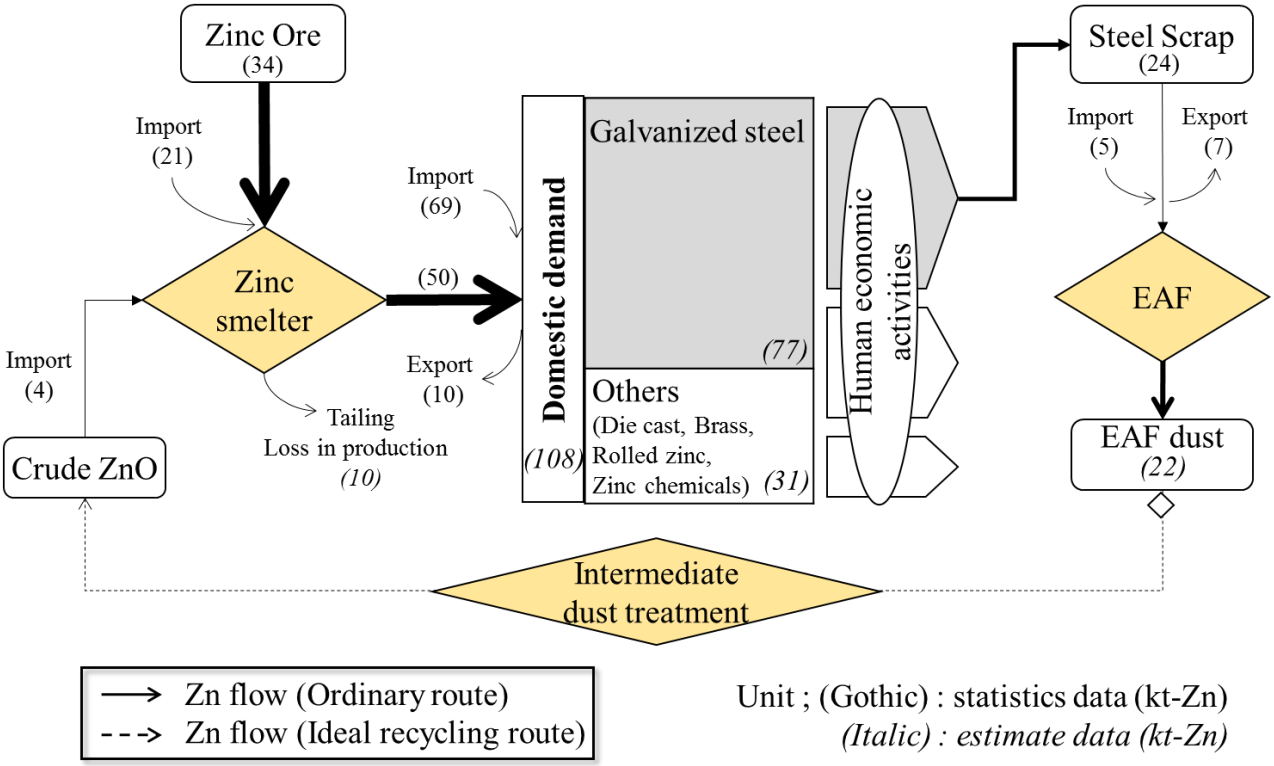


Fig. S1 Zinc flow associated with steel cycle in Thailand (2014)

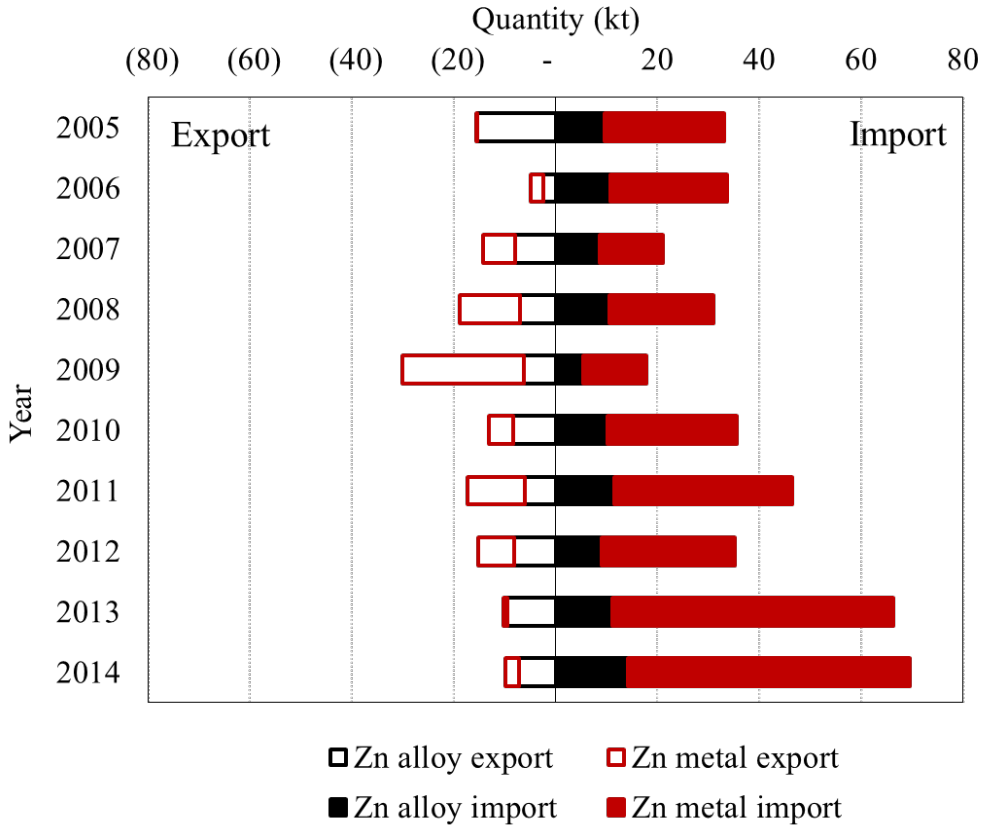


Fig. S2 Zinc metal/alloy import and export in Thailand

建築物を対象とした蓄積物質使用効率の評価

Evaluation of stocked material use efficiency for buildings

○八柳有紗*[1)]、Cherry Myo Lwin[2)]、谷川寛樹[3)]、橋本征二[2)]
Arisa Yatsuyanagi, Cherry Myo Lwin, Hiroki Tanikawa, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学大学院、2)立命館大学、3)名古屋大学大学院
* rv0023xk@ed.ritsumei.ac.jp

1.　はじめに

循環型社会の形成に向け、ストック型社会という概念が注目を集めている。この概念は、使用価値や使用効率が高いストックを生産、長期間活用し、一方で使用価値や使用効率が低いストックを再使用、再生利用、または適正処理していくことで、限りある資源を有効に活用する社会のことである。このような社会に向かうためには、社会に蓄積されている資材量（蓄積物質量）を把握するとともに、その使用価値や使用効率を計測する指標を作成し、適切にストックの使用状況を把握していく必要がある。筆者らはこれまでに、道路・鉄道・下水道を対象として蓄積物質使用効率（stocked material use efficiency: SMUE）の試算を行ってきているが[1)]、本研究では住宅を対象とした評価を行った。具体的には、①住宅のSMUEを計測する指標を提案するとともに、②蓄積物質量を定量化し、③SMUEの推移とその要因を明らかにした。

2.　方法

2.1.　蓄積物質使用効率（SMUE）指標の定義

SMUEは以下で計測する[1)]。

$$\frac{\text{ストックの発揮している機能}}{\text{蓄積物質量(ton)}} \tag{1}$$

$$=\frac{\text{ストックの潜在的な機能}}{\text{蓄積物質量(ton)}}\times\frac{\text{ストックの発揮している機能}}{\text{ストックの潜在的な機能}} \tag{2}$$

ここで、ストックの発揮している機能とは、そのストックが実際にどのくらいの機能を発揮しているかという値であり、ストックの潜在的な機能とは、そのストックが潜在的にどのくらいの機能を持っているかという値である。SMUEが高いほど、蓄積物質を高効率で使用していることを意味する。

住宅における発揮している機能は、居住人口（人）[2)]、潜在的な機能は、潜在的に居住できる人口（人）とした。潜在的に居住できる人口とは、存在する住宅を最大限に利用した際に住める最大人口を示すが、これは計測が困難であるため、総床面積で代用した。

ここで、(2)式の第1因子は、1単位の蓄積物質量に対してどれだけの潜在的な機能を持ったストックが整備されているかを表しており、主に住宅の構造が反映される。第2因子はストックの潜在的な機能に対してどれだけの機能が実際に発揮されているかを表しており、主に住宅の使われ方が反映される。住宅の使われ方に関しては、様々な要因によって変化することが予想されるため、以下のように第2因子を分解した。

$$\frac{\text{ストックの発揮している機能}}{\text{ストックの潜在的な機能}}=\frac{\text{総住宅数(戸)}}{\text{総床面積(㎡)}}\times\frac{\text{使用されている住宅数(戸)}}{\text{総住宅数(戸)}}\times\frac{\text{居住人口(人)}}{\text{使用されている住宅数(戸)}} \tag{3}$$

ここで、(3)式右辺の第1因子の逆数は平均的な住宅の規模、第2因子は住宅の稼働率、第3因子は住宅の共有状況を表している。使用されている住宅数は計測が困難であるため、本研究では世帯数[3)]で代用する。この場合、第3因子は世帯構造を表すことになる。

2.2.　蓄積物質量の推計方法

推計対象とする物質は、セメント、鋼材、骨材・石材、瀝青材、木材とし、骨材・石材はコンクリート二次製品用、アスファルトコンクリート用、その他用と分類して推計する。対象とする構造は木造、SRC造、RC造、S造とする。蓄積物質量はHashimoto et al.[4)]の方法を参考にし、以下の式で推計する。

$$MS_{ai}(t)=\sum_{\tau}\left(S_a(t-1,\tau)\times\alpha_{ai}(\tau)\times\frac{R_a(t-\tau)}{R_a(t-\tau-1)}\right) \tag{4}$$

ここで、$MS_{ai}(t)$はt年度に構造aの住宅に蓄積されている資材iの量（ton）、$S_a(t,\tau)$はτ年に着工された構造aの住宅のうち、t年に残存している床面積（㎡）、$\alpha_{ia}(t)$は構造aの住宅の着工床面積あたりの資材iの投入原単位[5)]（ton/㎡）、$R_a(t-\tau)$はτ年（<t年）に着工された構造aの住宅の$(t-\tau)$年後における残存確率である。$S_a(\tau,\tau)$については、基準年である1987年（SRC造以外）もしくは1990年（SRC造）以降は着工床面積[6)]を使用し、それ以前は1987年または1990年時点で存在している総床面積[7)]をHashimoto et al.[4)]の手法を用いて、築年別に振り分けることで対応した。残存確率の比について、その他用の骨材・石材に関しては1とし、それ以外の物質に関しては、既往研究[8)9)]を元に作成した値を用いた。これは、その他用の骨材・石材は主に整地用に用いられ、上部構造物が撤去された後も、多くはそのまま土地として半永久的に使用されることが多いと考えられるためである。

2.3.　各因子の影響度の推計

蓄積物質使用効率の変化の要因を明らかにするため、

(2)(3)式の各因子が SMUE の変化に与える影響度を算出した。影響度の算出は、Sun[10]の complete decomposition model に基づいて行った。

3. 結果と考察

3.1. 蓄積物質量推計結果

図 1 に住宅における蓄積物質量の推計結果を示す。2012 年の蓄積物質量は約 47 億トンと推計された。コンクリート二次製品用の骨材とその他用の骨材・石材がそれぞれ全体の 46%、28%を占め、蓄積物質量の大半が骨材・石材であると推計された。また、1990 年の蓄積物質量は 32 億トンであり、2012 年にかけて 15 億トン増加していると推計された。このうち、約 1/3 が RC 造の増加によるものであった。

3.2. 蓄積物質使用効率（SMUE）推計結果

図 1 に住宅における SMUE の推計結果を示す。1990 年には、蓄積物質量千トン当たりに 38 人、2012 年には 27 人居住しており、29%使用効率が低下していると推計された。次に、SMUE が低下した要因を考察するため、各因子の SMUE への影響度を推計した結果を図 2 に示す。今回はデータ上の制約のため、1998 年、または 2003 年を基準とした場合の、2003 年または 2008 年の SMUE への各因子の影響度を推計した。2003 年を測定年とした際の 1998 年からの SMUE の変化量は–2.3 人、2008 年を測定年とした際の 2003 年、1998 年からの SMUE の変化量はそれぞれ–1.7 人、–4.0 人と、いずれのケースにおいても蓄積物質使用効率は減少している。図 2 において、各因子の影響度の値が正であると、基準年に比べて SMUE を増加させる方向に、負であると減少させる方向に働いていることを示す。いずれのケースにおいても、住宅の規模の変化が SMUE を増加させる方向に働いていると推計された。これは、近年マンションやアパートが増加しており、平均的な住宅の規模が縮小傾向にあるためだと考えられる。世帯構造の変化が与える影響はいずれのケースにおいても負であり、全影響のうち 4～6 割程度と最も大きい。一人暮らし等による世帯数の増加が SMUE の減少の主な要因であることが示唆される。住宅の構造の変化に関しては、2003 年を基準年、2008 年を測定年としたケースのみ正の値を示しており、他のケースは負の値であった。この因子は、重量が重い資材が蓄積される（SRC 造や RC 造が増える）ほど負の値になる。

謝辞：本研究は、環境省環境研究総合推進費（1-1402）及び文部科学省科学研究費補助金（26281056）による成果である。ここに記して深謝する次第である。

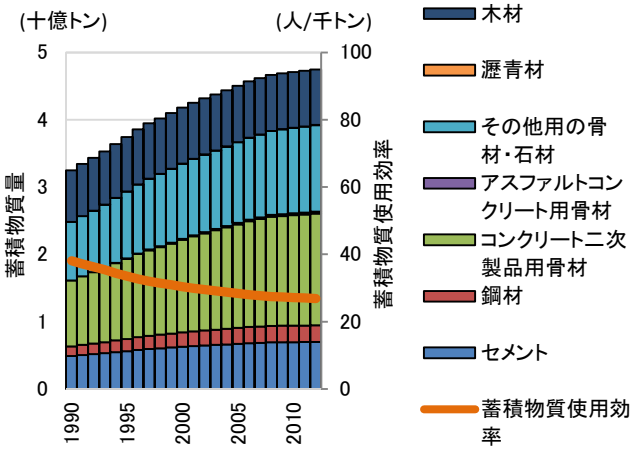


図 1 蓄積物質量および蓄積物質使用効率推計結果

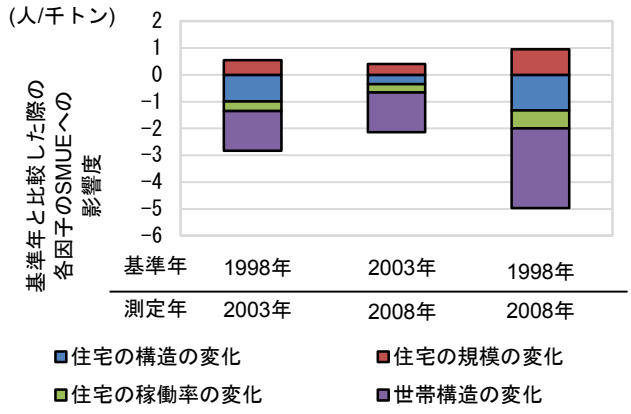


図 2 住宅の蓄積物質使用効率の変化に対する各因子の影響度

参考文献

1) 八柳有紗、谷川寛樹、橋本征二：ストック型社会に向けたストック使用効率の評価～建設物を対象としたケーススタディ、第 43 回環境システム研究論文発表会講演集、217-222、2015
2) 総務省統計局：日本統計年鑑
3) 総務省統計局：国勢調査
4) Hashimoto, S., Tanikawa, H., Moriguchi, Y.: Where will large amounts of materials accumulated within the economy go? – A material flow analysis of construction minerals for Japan, Waste Management, 27(12), 1725-1738, 2007
5) 建設省/国土交通省：建設資材・労働力需要実態調査報告書、1982-2012
6) 建設省/国土交通省：建築統計年報、1956-2012
7) 小松幸夫、加藤裕久、吉田卓郎、野城智也：わが国における各種住宅の寿命分布に関する調査報告～1987 年固定資産台帳に基づく推計、日本建築学会計画系論文報告集、第 439 号、101-110、1992
8) 小松幸夫、加藤裕久、三橋博巳：東京 4 区における事務所建築のストック調査と寿命推計、日本建築学会計画系論文報告集、第 465 号、123-132、1994
9) 総務省：固定資産の価格等概要調書
10) Sun. J.W.: Changes in energy consumption and energy intensity: A complete decomposition model, Energy Economics, 20, 85-100, 1998

Environmental impacts of resources and materials use: A Case Study of biomass

○Sébastien M.R. Dente [*1)], Chihiro Kayo [2)], Chika Aoki-Suzuki [1)], Seiji Hashimoto [1)]

1) Ritsumeikan University, 2) Tokyo University of Agriculture and Technology

*15v01062@gst.ritsumei.ac.jp

1. Introduction

Resource productivity is an indicator used in environmental management policy and defined, in case of national level, as the ratio between the value of Gross Domestic Production (GDP) and the total resource consumption. However, as underlined in Van der Voet et.al [1)], resource consumption, the denominator of resource productivity indicator, by focusing on the weight of resources rather than their environmental impacts or economic values, underestimates the impacts of harmful materials and values of precious metals. In this study, we determine the environmental impacts of biomass resources/materials use, using life-cycle assessment (LCA) and production and trade statistics, in order to identify which biomass resources/materials should be managed carefully from the environmental point of view.

2. Methodology

2.1 Selection of target biomass resources/materials

Target biomass resources/materials were selected from the upstream side of resource life-cycle to the extent possible. We compared the list of target biomass resources/material of Voet et.al[1)] and the list of materials in the LCA database[2)], checked availability of production and trade data, and selected target biomass resources/materials presented in Figure 1.

2.2 Estimation of environmental impacts of target biomass resources/materials

The environmental impact of each target biomass resource/material was estimated by multiplying unitary environmental impact of the biomass resource/material, described in the following section, with the amount of its production or shipment. Then, those impacts were summed up to get total impacts of biomass resources/materials use.

2.3 Estimation of unitary environmental impact of target biomass resources/materials

For each of target biomass resource/material, we used the Milca LCA software and its database[2)] to determine their unitary impact per kilogram expressed in JPY/kg (LIME was used for environmental impact assessment methodology). In this study, we only considered environmental impacts of upstream side of target biomass resources/materials. The downstream side including manufacturing, use, and disposal of biomass resources/materials need to be considered in the future study.

2.4 Elimination of double count of environmental impacts

The upstream processes of target biomass resources/materials can include other target biomass resources/materials, e.g., beef cattle use feed crops in its production process. In that case, we calculated the environmental impacts of those resources/materials, e.g., feed crops, by subtracting environmental impacts of the resources/materials used for other resources/materials, e.g., feed crops used for beef cattle.

3. Results and Discussion

3.1 Unitary environmental impact of target resources/materials

Figure 1 shows the estimated results of unitary environmental impact of target biomass resources/materials and the production or shipment amount in the corresponding unit available in Milca database (U.P.), i.e. kg except for “flower and ornamental tree” for which U.P. is JPY. In terms of unitary environmental impact, the top 5 are pearl oyster, beef cattle, freshwater fishes, miscellaneous marine animals and pig farming. The high unitary impacts

of freshwater fishes and miscellaneous marine animals are notably due to a high level of energy consumption resulting in high impacts related to global warming and air pollution.

3.2 Total environmental impacts of target biomass resources/materials

Figure 1 also illustrates the total environmental impact of target biomass resources/materials. The top 5 are dairy products, brown rice, beef cattle, pig farming, and wheat and barley. The reasons behind the high total environmental impact of these biomass resources/materials nevertheless differ. Brown rice, wheat and barley and dairy products are indeed characterized by a high level of production thus resulting in an overall high environmental impact even if their unitary impact is relatively low. On the opposite, beef cattle and pig farming productions are relatively low but their unitary environmental impacts are high. Common products, i.e. those with a high amount produced, have thus relatively low total environmental impacts at the condition their unitary impacts are low. This is notably the case of forest logs and potatoes. Similarly, products with high unitary impact can have an overall low environmental impact if their production amount is low. This is notably the case of pearl oyster, freshwater fishes and miscellaneous marine animals.

4. Conclusion

This study estimated environmental impacts of biomass resources/materials. The relative importance of resources/materials differs a lot between using environmental impacts and using product weight. From the environmental management point of view, dairy products brown rice, beef cattle, pig farming, and wheat and barley are important targets to manage.

Acknowledgements: This research was supported by the Policy Studies of Environmental Economics of Ministry of the Environment, Japan and Grant-in-Aid for Scientific Research (15H02863) of Japan Society for the Promotion of Science.

References

1) Van der Voet, E., Van Oers, L., Nikolic, N.: Dematerialisation: not just a matter of weight. Center of Environmental science, report 160, 179pp, Leiden University.

2) Japan Environmental Management Association for Industry: Multiple Interface Life Cycle Assessment (Milca), software (version 1.1.6.0). Database: IDEA (version 1.1.0). http://www.milca-milca.net/english/index.php. Accessed on 17 December, 2015.

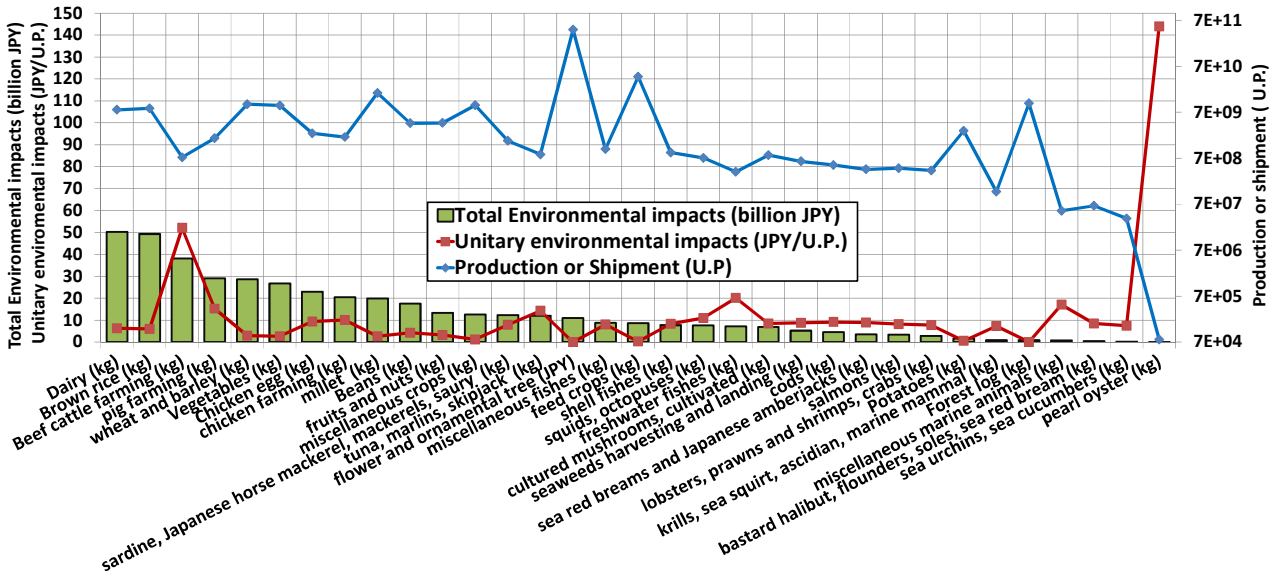


Figure 1 Unitary environmental impacts, production or shipment, and total environmental impacts of target biomass resources/materials

木質バイオマスを用いた地域熱電併給における出力容量の設計

Designing Capacity of District Heat and Power Generation Based on Woody Biomass

○兼松祐一郎*[1)]、大澤一岳[1,2)]、大久保達也[1)]、菊池康紀[1)]
Yuichiro Kanematsu, Kazutake Oosawa, Tatsuya Okubo, Yasunori Kikuchi
1) 東京大学, 2) 和歌山県
* kanematsu@platinum.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

近年の日本では、2012 年に開始された「再生可能エネルギー固定価格買取制度」（FIT：Feed-In Tariff）をきっかけとして、各種の再生可能資源を利用した発電施設の申請および建設が急増している。太陽光・風力発電とは異なり、バイオマス発電では地域の資源供給力を考慮した計画が重要だが、既に建設または申請された設備は必ずしも地域の資源量を考慮した計画には基づいていない。一方で、適切に計画を行えば、放置されてきた山林の更新を促し、森林の健全化に寄与しうる。

また、現時点では日本国内のバイオマス発電設備は発電のみの施設が多いが、化石資源よりもエネルギー密度が低いバイオマスを、上述のような資源量の制約下で持続的かつ効率的に利用していくためには、熱電併給による資源の有効利用が重要といえる。その際、需要と供給のバランスが取れていないと多くの熱を捨てることとなり、ここでも出力設計は重要となる。

本研究では木質バイオマスを用いた熱電併給設備について、特に地域温冷熱供給システムを対象として、地域で供給可能な資源量および需要家とのバランスを考慮した出力設計および需要構成の検討が可能なシミュレーションモデルを構築する。

2. シミュレーションモデルの構築

2.1 対象システムおよびモデルの概要

図 2 に本研究でモデル化した地域温冷熱供給（DHC：District Heating and Cooling）のシステムフローを示す。また、図 2 に本研究で構築するシミュレーションモデルと計算上のデータの流れを示す。前節で述べた通り、地域に存在する森林から供給可能な資源量に基づいた計画が必要である。次節の「森林資源モジュール」によって持続可能な森林管理に基づくバイオマス利用可能量を推算し、木質チップ量計算の根拠とした。熱電併給（CHP: Combined Heating and Power）プラントは本研究では木質チップを利用するタイプを対象とした。生産した電力は既存の電力グリッドに連系してから供給し、熱は温水を介して供給する。熱の利用方法は給湯・暖房・冷房とする。給湯または暖房は温水との熱交換によって行う。冷房は冷水との熱交換によって行うが、CHP から供給された温水を熱源とした吸収式冷凍機によって生産された冷水を用いる。これらの需給バランスを計算可能なモデルを構築する。

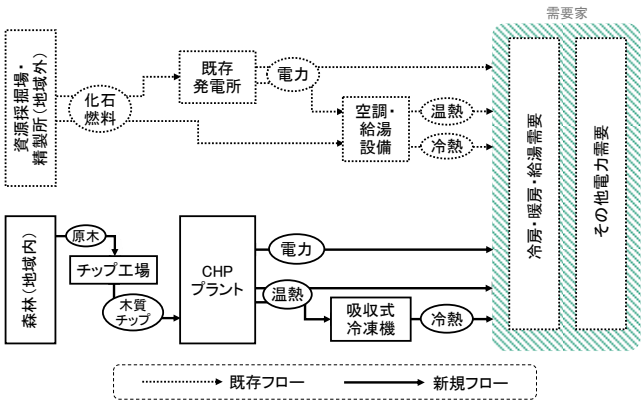


図 2　地域温冷熱供給（DHC）システムのフローと評価バウンダリ

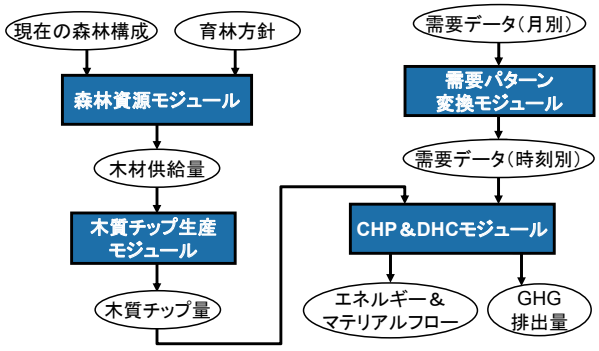


図 2　シミュレーションモデルとデータフロー

2.2 森林資源および木質チップ生産

森林資源量の推算には大澤らのモデル[1)]を使用した。このモデルでは、100 年後に理想的な森林構成と齢級分布に誘導することを目標として設定する。現在アンバランスな構成となっている森林の状態を初期条件として、上記の目標に向けて主伐・間伐を行った場合の伐採面積および木材供給量とその変化を推算する。これにより、持続可能な森林管理に基づいた木質バイオマスの利用量を算出し、木質チップ投入量の範囲を設定した。

木質チップ生産量の推算には著者らが過去に構築したモデル [2]を用い、チップ生産設備の電力使用量および、原木投入量とチップ生産量の関係を求めた。

2.3 CHP&DHC と需要パターン

CHP プラントによる木質チップからの熱電生産と、DHC システムによる需要家へのエネルギー供給に伴うエネルギーおよびマテリアルのフローを計算するためのモデルを構築した。各需要家への温冷熱の供給は、供給対象とする全エネルギー負荷に対する各需要家の負荷の割合とした。なお、各需要家における需要と負荷の関係と定義は下記の通りとする。

$$負荷[J] = 需要[J] \times COP[-]$$

ここで、COP は各需要家に設置された、または導入する、エネルギー変換設備（ヒートポンプ、吸収式冷凍機、ボイラーなど）の性能係数である。負荷は需要家の冷暖房・給湯の要求を満たすために必要となるエネルギーであり、需要はエネルギー変換設備に投入されるエネルギー量である。

各需要家における需要データは季節別・時刻別に実データを入手できるのが理想であるが、そのようなモニタリング環境が整備されていることは、工場や先端的なスマートシティを除いて現時点ではほとんどない。そこで、一般的に入手しやすい月別の電気・ガス料金の請求の情報から季節別・時刻別データを生成する変換モジュールを用意した。国土技術政策総合研究所によって整理された施設タイプ別需要パターンのデータ [3]を基礎データとして上記変換モジュールを構築した。

CHP については、任意の出力容量における熱電生産量と必要となる木質チップ量を算出可能なモデルとした。上記の需要家データを用いて需給バランスを計算することで、出力容量の設計を行う。

3. ケーススタディ

本研究ではケーススタディとして、鹿児島県西之表市（種子島）の市街地における地域熱供給の計画を対象として、構築したモデルの適用を行った。CHP&DHC モデルに対する木質チップ投入量（＝出力容量）と需要家構成を変化させ、条件ごとにエネルギーフロー・マテリアルフローを計算する。本ケースではこのフローの計算結果に基づき GHG 排出量と化石資源消費量を指標として比較を行った。

CHP プラントとしてはガス化＋ガスエンジンのタイプを用いた。各需要家にヒアリングを行い、月別の電気・燃料消費量の情報を得た。前章に示す需要パターン変換モジュールにより、月別データから季節別・時刻別データを生成し、計算に用いた。

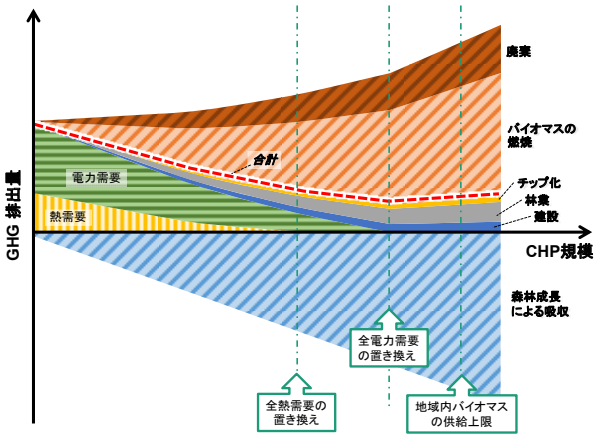


図 3　GHG 排出量評価結果の例

4. まとめ

地域の森林資源と需要に基づいた地域熱供給システムの設計のためのシミュレーションモデルを構築した。ケーススタディを通して、地域で実際に入手可能な情報に基づいて、任意の木質チップ投入量と需要家構成に対してシステムのライフサイクルに関するエネルギーフロー・マテリアルフローの定量化および GHG 排出量・化石資源消費量による評価を行った。CHP 規模の変化に対する GHG 排出量変化の計算結果の一例を図 3 に示す。今後、地域における意思決定により役立てるためには、コスト構造の変化などを含めた多面的な評価も必要となる。

謝辞

本研究は NEDO プロジェクト「非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発／電子・材料・ナノテクノロジー部実施事業の周辺技術・関連課題における小規模研究開発の実施／非可食性バイオマスを活用するスマート化学生産システムに関する調査」（平成 27 年度）の下で実施している。

東京大学「プラチナ社会」総括寄付講座は、（株）地球快適化インスティテュート、日本電信電話（株）、富士フイルムホールディングス（株）、三井不動産（株）、（株）LIXIL、信越化学工業（株） からの寄付で活動している。

引用文献

1) 大澤一岳、兼松祐一郎、大久保達也、菊池康紀：第 11 回日本 LCA 学会講演要旨集, 柏, (2016), In Press
2) Y. Kikuchi, Y. Kanematsu, M. Ugo, Y. Hamada, T. Okubo, J. Ind. Ecol., (2015), DOI: 10.1111/jiec.12347
3) 国土技術政策総合研究所: “国総研プロジェクト報告 第 45 号”, (2014)

100 年後を目標とする森林構成へ向けた資源管理と木材供給シナリオ

The scenario of forest resource management and wood supply to specified target in the next 100 years

○大澤一岳*[1,2]、兼松祐一郎 [1]、大久保達也 [1]、菊池康紀 [1]
Kazutake Oosawa, Yuichiro Kanematsu, Tatsuya Ookubo, Yasunori Kikuchi
1) 東京大学, 2) 和歌山県
*oosawa_k0002@platinm.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

日本は国土面積の 68.5%を森林が占める世界でも有数の森林国である。その森林の中でも、戦後に造林された育成単層林、所謂人工林は本格的な利用時期を迎えつつある。一方で、その豊富な森林資源の持続可能な利用と管理を進めて行くには、将来目指すべき森林構成と齢級分布を見据えた計画的な伐採・更新による資源管理と木材利用が重要である。2011 年に閣議決定された「森林・林業基本計画」においては、指向する森林の状態として 2110 年の森林構成が国有林を含めて表 1 のとおり描かれている。これまで林業活動の対象として間伐等を実施して育成を行ってきた育成単層林のうち、生産力不足や自然公園等の伐採制限のある森林については多面的機能を増強するため育成複層林や天然生林へ誘導し、また木材生産を持続的に行う森林については適切な伐採・更新を行い、積極的に利用することで齢級分布の平準化（図１）と森林の若返りによる持続可能な森林資源を構築することが求められている。

表 1 森林の有する多面的機能の発揮に関する目標 [1]

	現状	目標とする森林状態			指向する森林状態
（万 ha）	2010	2015	2020	2030	
育成単層林	1,030	1,030	1,020	1,000	660
育成複層林	100	120	140	200	680
天然生林	1,380	1,360	1,350	1,310	1,170
合計	2,510	2,510	2,510	2,510	2,510

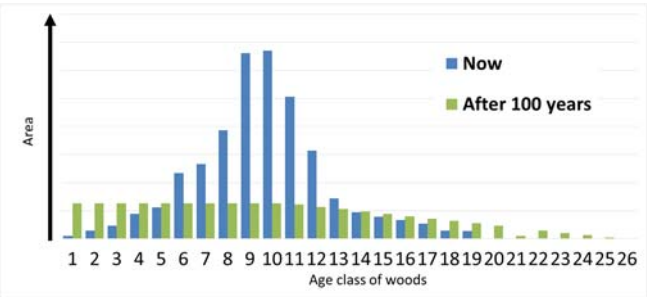


図 2 100 年後における齢級分布

本研究では、100 年後に目指す森林の構成を任意に設定し、育成単層林をその状態へ誘導するのに必要な伐採・更新面積と木材供給量の推算に併せて、必要な育林施業量、施業経費、労務量なども時系列的に推算可能なモデルを構築し、今後 100 年間に求められる資源管理とそれに伴う木材供給について、都道府県毎にシナリオ分析を行ったので報告する。

2. 推計手法

2.1 推計の対象森林と使用統計

今回の推計にあたっては森林法第 5 条に基づく地域森林計画対象森林のうち、木材生産の主なフィールドとなっている民有林の育成単層林を対象とした。森林資源のデータとして林野庁が公表する森林資源の現況の中から、森林資源現況総括表、樹種別齢級別面積、樹種別齢級別材積を使用し、施業経費、労務量の算出については「森林環境保全整備事業における標準単価の設定等について」、各都道府県の策定する「地域森林計画」、「素材生産費等調査報告書」及び「公共工事設計労務単価」を用いてそれぞれ算出した。

2.2 森林構成、齢級分布の誘導

今回の推計では表 1 および図 1 の森林構成へ誘導するモデルでシナリオ分析を行った。まず、都道府県毎に表 1 に示す指向する森林形態それぞれの面積比率となるよう育成単層林から育成複層林、および天然生林への移行面積をそれぞれ目標設定した。同時に、齢級分布については 100 年後の育成単層林の齢級分布目標を森林の育成期間である 1~10 齢級については等量の面積構成、また、その後は資源として利用され 11~25 齢級までの間で直線的に面積が減少するよう平準化の事例として設定した。本研究における推計モデルのフローを図 2 に示す。

2.3 齢級毎の面積推移と伐採・更新面積推計

資源誘導を行う 100 年間を 5 年毎に 20 期に分割し、1 期から 20 期までそれぞれの齢級毎の面積推移を図 3 のチャートを用い、$A_{i,j}$ を現在 i 齢級の森林の

j 期後の面積とし、j 期の i 齢級の伐採・更新面積を $\dot{A}_{i,j}$ として算定した。

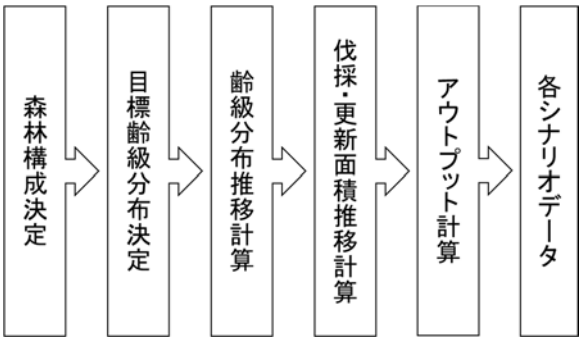


図 2 森林資源誘導の推計フロー

	j			
i	$A_{1,0}$	$A_{0,1}$	…	$A_{-19,20}$
	$A_{2,0}$	$A_{1,1}$		$A_{-18,20}$
	⋮		…	⋮
	$A_{n,0}$	$A_{n,1}$	…	$A_{n,20}$

図 3 齢級分布の推移計算

2.4 資源管理と木材供給量等の推計

得られた伐採・更新面積$\dot{A}_{i,j}$のうち、育成複層林へ移行する森林は材積伐採率を 50%、天然生林へ移行、および主伐のうえ更新する森林は伐採率を 100%として、都道府県毎の j 齢級の単位面積当たりの蓄積量(m^3/ha)、立木換算係数 [2]0.86 を$\dot{A}_{i,j}$に乗じて、j 期の木材供給量を推計した。間伐材の供給量については 5,7,9,11 齢級の林分に材積間伐率 26%で間伐を行うものとし、林内路網の整備状況を考慮して推計を行った。これら誘導に係る供給量と間伐材供給量を合計して木材供給量の総量を時系列的に推計した。また、資源管理に必要な施業量、施業経費、労務量等についても同様に$\dot{A}_{i,j}$に、それぞれに統計等から算出した都道府県毎の単位数量を乗じて時系列的に推計を行った。

3. 結果と考察

推計は 2012 年度から 2112 年度の 100 年間で行った。この期間の平均的な地域の木材供給量を図 4 に示す。期間当初は木材供給の約 1/3 を間伐材が占め、伐採・更新は現在の齢級分布のピークである 10～11 齢級の森林を中心に行われ、小～中径木による木材供給が中心である。しかし、時間の経過に伴う森林の成長と共に伐採・更新の中心齢級が高齢級へシフトし、かつ齢級分布の推移とともに間伐対象森林が急速に減少する。50 年後には 20 齢級、100 年後には 30 齢級を中心とした林分で大径木に偏った木材供給が行われることになる。また、2012 年の針葉樹の全国の木材供給実績 16,062 千 m^3/年に対し、100 年後には 2 倍近い 29,733 千 m^3/年の木材供給が見込まれる。特に単位面積当たりの材積量が大きい中部～西日本の地域ではその傾向が顕著である。

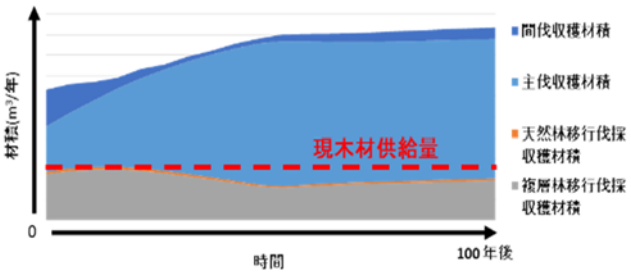


図 4 木材供給量の推移（例：西日本 A 県）

森林施業においては、地域差はあるものの、特に更新に伴う下刈り作業を植栽後約 10 年間継続して実施することから、50 年後以降、その面積的な施業量は施業全体に対して 70%と大きな割合を占めている。下刈りは作業が 6～8 月に集中するため、山村地域の雇用において大きな季節変動が懸念される。

4. 今後について

今後は各地域の路網整備の進捗や林業機械の導入予測などを新たに加えたシナリオの最適化、それに連動した育成複層林および天然生林のモデル追加による森林全体のモデル構築が必要である。また、木材需要の指標である住宅着工戸数の推移や木質バイオマス発電所の稼働による需要予測と併せたシナリオ分析が必要である。

謝辞

本研究は、環境研究総合推進費(1RF-1503)における研究成果を含んでいる。

東京大学「プラチナ社会」総括寄付講座は（株）地球快適化インスティテュート、日本電信電話（株）、富士フイルムホールディングス（株）、三井不動産（株）、（株）LIXIL、（株）信越化学工業からの寄付で活動している。

引用文献

1) 林野庁編，森林・林業白書，平成 27 年,(2015)，p.50
2) NEDO：“バイオマスの賦存量・利用可能量の推計 GIS データベース”，NEDO,（オンライン）,入手先 http://app1.infoc.nedo.go.jp/biomass/about/COutRZ.pdf,（参照 2015-11-1）

持続的なバイオマス利用のための社会影響評価指標に関する検討

Application of social life cycle assessment for sustainable utilization of biomass

○塚原建一郎*[1)]、文多美 [1)]、匂坂正幸 [1)]、淵上智子 [2),3)]、田原聖隆 [1)]
Kenichiro Tsukahara, Dami Moon, Masayuki Sagisaka, Kiyotaka Tahara
1) 産業技術総合研究所, 2) 東京大学, 3) 合同会社エフプロ
* k-tsukahara@aist.go.jp

1. はじめに

バイオマスは再生可能資源として注目され、エネルギー及びマテリアル利用が進められているが、利用拡大に伴う、プランテーション栽培による土地収奪・大規模な原料作物生産による熱帯雨林破壊・食料との競合などの問題も指摘されている。持続可能性の評価には、環境面・経済面・社会面の「トリプルボトムライン」による評価が必要とされているが、環境面・経済面への影響とは異なり、社会面への影響評価手法は、数値化が困難なことから定性的なものが多い。バイオマス利活用による、事業実施地域への様々な影響(効果・リスク)を定量的にとらえ、統合的に持続可能性指標として評価できれば、事業実施(継続)の可否について、分かりやすい判断基準を提示することが可能になる。今回、バイオマス利活用に関する社会影響評価指標に関する先行研究を調査し、必要な指標の方向性を検討する。

2. バイオリファイナリーの持続可能性評価に関する先行研究

バイオマス利用に関する持続可能性に関して、国際機関等で基準・指針が策定されている。表 1 にこれらの基準・指針の社会面における評価項目を示す。
バイオエネルギーの生産・利用が引き起こす様々な問題を解決するため、GBEP (Global Bioenegy Partnership) は、バイオエネルギーの持続可能性指標を 2011 年に発表した [1)]。24 項目の持続可能性指標のうち、社会分野に関する指標は、8 項目(新たなバイオエネルギー生産のための土地分配と土地所有権、国内の食料価格と食料供給、所得の変化、バイオエネルギー部門の雇用、バイオマス収集のための女性・児童の不払い労働時間、近代的エネルギーサービスへのアクセス拡大のためのバイオエネルギー、屋内煤煙による死亡・疾病の変化、労働災害・死傷事故件数)である。国や地域での評価を目的としているため、個別の事業にそのまま適用すると指標の目的に合わない部分が生じること、及び、日本特有な事柄(社会性指標でいえば地域社会振興など)反映されないなどの課題もあるが、これらの指標は網羅的に策定されており、なおかつ数量化されている特徴を持つ。ただし、指標間のウエイトは置かれていないため統合化指標の算出はできず、直接的に判断の材料とすることはできない。したがって、バイオエネルギー導入前後における持続可能性の方向(持続可能 or 持続不可能)、及び、持続可能性の達成状況を把握するために、閾値及び最大・最小値を設定の上、指標の標準化や重み付けによる統合化を行うなどの評価手法の開発が期待される。

その他のバイオエネルギーに関する持続可能性基準としては、WBA (World Bioenergy Association) による Sustainable Biomass Verification Scheme において示された基準 [2)]、及び、ISO 13065:2015 (Sustainability criteria for bioenergy) で示された基準 [3)]があるが、これらの基準における社会面での指標(表 1)は網羅的ではなく、定性的である。

3. 定量的な持続可能性指標に関する先行研究

UNDP (国連開発計画)が Sen の開発論を反映して策定した HDI（Human Development Index）は、「長寿で健康的な生活」を出生時平均余命、「知識(教育)」を成人識字率・総就学率、「人間らしい生活水準」を一人あたり GDP でそれぞれ定量化し、1/3 ずつの重み付けで加えることにより計算される [4)]。統合型指標として、少数の指標に集約することにより、解釈が容易となる利点がある。HDI は国レベルでの統計を利用して、各国の人間開発の度合いを測る指標であるため、個別の事業へ適用することが難しいが、既にバイオマスのエネルギー利用における社会性評価指標としての活用が検討され、ケーススタディーも報告されている。また、健康・知識(教育)・生活水準以外の側面を考慮するため、Human Development Report 2013 において、不平等調整済み人間開発指数、ジェンダー不平等指数、多次元貧困指数などの複合指数を開発している [5)]。土地利用などの指標を開発することによる、本指数を利用した、バイオマス利活用の評価により適した統合型指標を目指す方向性が考えられる。

4. ソーシャル LCA に関する先行研究

UNEP/SETAC は、2009 年に ISO14040 及び 14044 に基づいて作成した Social LCA のガイドラインにおいて、5 つのステークホルダー (Worker, Consumer, Local

表 1 バイオエネルギーの社会面での持続可能性評価指標

カテゴリー	GBEP	WBA	ISO 13065:2015
土地利用	○	○	○
水利用			○
食料競合	○		
エネルギーアクセス	○		
適正な賃金	○		
雇用	○		
不法労働	○		○
児童労働	○	○	
人権			○
健康	○		
安全	○		
先住民の権利		○	○
ジェンダー	○		
地域社会開発			

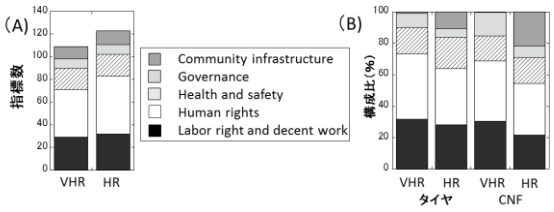


図 1　カテゴリ別社会リスク指標

communitiy, Society, Value chain actors) と対応するサブカテゴリー・指標を策定し、Social LCA の重要性を指摘している [6]。

New Earth により開発された SHDB (Social Hotspots Database) [7]は、産業連関モデル（113 の国・地域、57 セクター）を使用した社会影響に関するフットプリント解析で、UNEP/SETAC ガイドラインを参考に、エンドポイントの 5 ソーシャルカテゴリー (Labor Rights and Decent Work, Health and Safety, Human Rights, Governance, Community Infrastructure)、ミッドポイントの 22 ソーシャルテーマ、134 社会リスク指標を設定し、対象とするプロセスのリスクを 5 段階 (undefined risk level (URL), low risk (LR), medium risk (MR), high risk (HR), very high risk (VHR)) で評価する。国レベルのデータを元にしているため、プロジェクトレベルの評価に必ずしも適していないという問題はあるが、数値化及び価値判断が含まれており、バイオマス利活用の導入に対する判断材料として活用できると考えられる。

同様の手法として、Green Delta によって Eora MRIO Database を基にして開発された PSILCA[9]があり、5 ステークホルダー・23 サブカテゴリー・88 指標が設定され、6 段階でリスクを評価する。リスク(負)の面だけでなく、「先住民の権利保護」や「適正な賃金」等の指標について、正の側面も考慮できるようになっている。

5. SHDB によるケーススタディ

自動車用タイヤへ CNF を強化材として利用することにより、軽量化に伴う燃費向上のみならず、CNF 含有タイヤの製造プロセスにおいても GHG 排出量の削減が可能であることが試算されている [8]。今回、自動車用タイヤへの CNF 利用に伴って生じる社会的リスクについて、SHDB のデータをもとに検討を行った。タイヤ及び CNF(国内の林地残材を原料)を日本で製造するプロセスで、VHR 及び HR の社会リスク指標数には差が見られなかった(図 1 A)が、労働時間を重み付けとしたリスク指標別の構成比を求めると、CNF 製造ではタイヤ製造プロセスに比べ、Govenance に関するリスクが大きくなるなどの差が見られた(図 1B)。CNF の利用により生じる定性的なリスク把握だけではなく、タイヤ原料への混合比を考慮して、CNF 含有タイヤの社会影響を定量的に評価できる可能性が示唆された。

6. おわりに

バイオマス利活用による社会面への影響としては、地域社会振興など、価値の創出も期待できるため、持続可能性指標に幸福や福祉の視点(幸福度指標)を持ち込むことなどで、正(価値)と負(リスク)の両面を評価することが必要である。また、影響を定量的に捉えた上で、最終的には一つの価値単位に換算された統合指標で全体像を把握することが望まれるが、それにあたっては、LIME などの既存指標の活用が考えられる。

なお、本研究の一部は、「植物 C O_2 資源化研究拠点ネットワーク(NC-CARP)」の一環として行われた。

7. 引用文献

1) Global Bioenergy Partnership: Sustainability Indicators for Bioenergy, (2011).
2) World Bioenergy Association: Sustainable Biomass and Verification Scheme, <http://www.worldbioenergy.org/sites/default/files/WBA_Biomass%20SUSTAINABILITY%20VERIFICATION%20SCHEME.pdf>, (2016-1-5).
3) ISO 13065:2015-Sustainability criteria for bioenergy, <http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=52528>, (2016-1-5).
4) UNDP: Human Developpment Report 2010, <http://hdr.undp.org/en/global-reports >, (2016-1-5).
5) UNDP: Human Development Report 2013, <http://hdr.undp.org/en/global-reports >, (2016-1-5).
6) Benoît C, Mazijn B (eds): Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products, UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, Sustainable Product and Consumption Branch, (2009).
7) Benoit-Norris, C., Cavan, D.A., Norris, G.: Sustainability, 4(9), pp.1946-1965 (2012).
8) 塚原建一郎，文多美，匂坂正幸，田原聖隆: セルロースナノファイバー・ゴム複合材料の自動車への利用に伴う環境影響分析、第 11 回バイオマス科学会議 (2016.1).
9) A new, comprehensive database for social LCA: PSILCA,<http://www.greendelta.com/fileadmin/user_upload/GD/PSILCA_ILCM2015-finalfinal.pdf>, (2016-1-5).

国産丸太生産までの地域性を反映したインベントリ分析

Inventory analysis of domestic log production based on regional characteristics across Japan

○中野勝行*[1)]、新谷圭右 [2)]、古俣寛隆 [3)]、岩岡正博 [4)]、服部順昭 [4)]
Katsuyuki Nakano, Keisuke Shintani, Hirotaka Komata, Msahiro Iwaoka, Nobuaki Hattori
1）産業環境管理協会, 2）三菱総合研究所, 3）北海道総合研究機構, 4）東京農工大学
* nakano@jemai.or.jp

1. 背景と目的

木材は建材や工業材料、燃料として古くから幅広く利用されてきた。そのため、様々な LCA 実施事例がある。例えば、一重 [1)]は愛媛等における森林施業時の詳細な LCA データを収集した。しかし、これら日本のケーススタディは特定樹種の特定地域のケーススタディである。日本は気候が南北、また太平洋側と日本海側によって大きく異なっており、同じ樹種でも生長量や施業方法が異なる。さらに、ハーベスタ等の重機が利用しやすい平坦な地形が多い地域から、それら重機の利用が困難な急斜面の多い地域まである。そこで、本研究では日本として地理的代表性のある主要樹種の育苗から丸太生産までの LCA データ構築を目的とした。対象樹種はスギ（*Cryptomeria japonica*）、ヒノキ（*Chamaecyparis obtusa*）、カラマツ（*Larix kaempferi*）、トドマツ（*Abies sachalinensis*）とした。我が国では、当該樹種で丸太生産量の 80%以上を占める。気候変動への影響を評価対象影響領域とした。

2. 手法

2.1 調査範囲

本研究におけるシステム境界を図 1 に示した。育苗から植栽、主伐、土場までの搬出を含めた。間接的な影響として、作業員の土場から現場までの林内移動、作業路開設の影響を含めた。また、参考として作業員の家から土場までの通勤による影響を試算した。機能単位は玉切り後の丸太 1 m^3 とした。

気候変動への影響は、IPCC の 100 年指数で CO_2 換算量にした。2013 年における生産技術等を前提条件に設定した。地理的有効範囲は日本とした。技術的有効範囲は日本の一般的な施業技術とした。

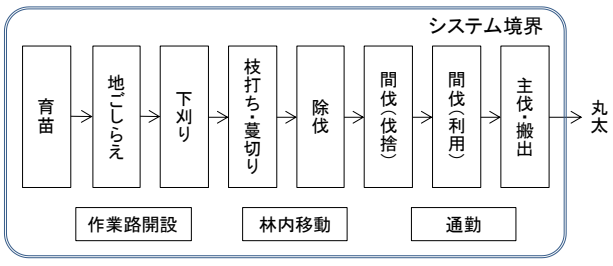


図 1　システム境界

2.2 インベントリ分析および特性化

インベントリ分析の手順を図 2 に示した。面積あたりの収穫量や、施業方法によって機能単位あたりの GHG 排出量は大きく異なる。そこで、都道府県毎にモデル化した。単位面積あたりの初期立木本数、間伐量、伐期齢などは市町村が策定している森林整備計画書から引用した。それらデータから収穫表作成システム LYCS[2)]を用いて単位面積あたりの収穫量を算定した。ただし北海道のトドマツに関しては北海道版トドマツ人工林収穫予測ソフト ver1.30[3)]を用いた。算定にあたり、地位は一律に中位とした。形状比（樹高／胸高直径）が 80 程度、また収量比数が 0.8 前後になるよう各パラメータを調整した。各都道府県の路網整備距離は林内路網統計、各作業における作業工数は標準歩掛から設定した。

また、現場における作業システムは多様であるが、重機を多用した車両系作業システムと、架線を用いて搬出する架線系作業システムの２つに大別した。車両系では、チェーンソーで伐倒し、プロセッサで造材した後、フォワーダとグラップルで集材・積込するものとした。架線系は、チェーンソーで伐倒・造材し、ヤーダにて集材した後、グラップルにて積込するものとした。都道府県別の高性能林業機械保有台数の統計と、機械の稼働率、および作業量（20m^3/日と設定）から、高性能機械による生産量を推定し、これを車両系作業システムのシェアとした。

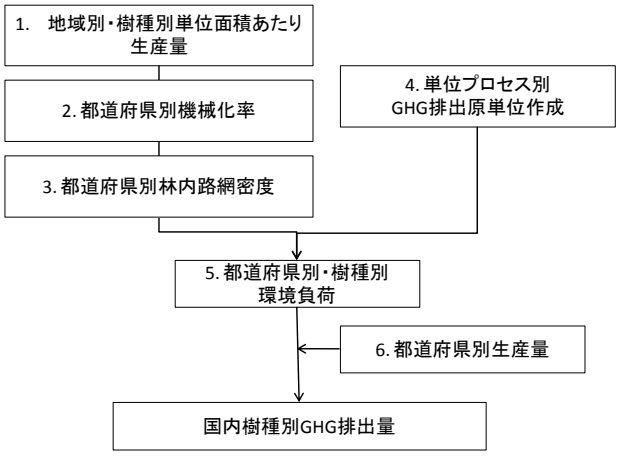


図 2　インベントリ分析の手順

各単位プロセスにおける燃料消費量等は、森林組合等へのヒアリングや、一重 [1]および古俣ら [4]による調査データを用いた。なお、林内移動は 1 往復 10 km、4 人乗車、燃費 5 km/L とした。通勤は往復 30 km、1 人乗車、燃費 10 km/L とした。軽油燃焼時の GHG 排出量等、バックグラウンドデータは IDEA v.1.1 を用いた。

以上のデータを組み合わせることで、都道府県別の GHG 排出量を算定し、最後に各都道府県の生産量で加重平均した。

3. 結果

各樹種の単位材積あたりの GHG 排出量を図 3 に示した。なお、間伐材の搬出基準は胸高直径 14 cm 以上とした。その結果、各樹種とも GHG 排出量は 20～30 kg-CO_2e/m^3 であった。内訳をみると、主伐の影響が最も大きく、次いで通勤の影響が大きかった。ただし、通勤・林内移動の前提条件はサンプル数の少ないヒアリングに基づく推計であるため、今後精査が必要である。

感度分析として、間伐材の搬出基準を直径 8 cm 以上、18 cm 以上としたケースを図 4 に示した。その結果、基準を 8 cm 以上と下げることで材積あたりの GHG 排出量を削減することができることが示された。

また、参考までに、樹種別の直接土地利用面積を図 5 に示した。おおよそ 1000 (m^2year)/m^3 の値となったが、一部地域では 2000 (m^2year)/m^3 以上の値となった。樹種別では、スギが最も少ない値となった。

4. 結論

各都道府県の特徴を加味し、日本の代表樹種について丸太生産までの GHG 排出量を算定した。GHG 排出量は 20～30 kg-CO_2e/m^3 であった。主伐、間伐、通勤、林内移動の GHG 排出量が多いため、これらプロセスにおけるデータの信頼性向上が今後望まれる。

*本調査は平成 25 年度～平成 27 年度木材利用推進・省エネ省 CO_2 実証業務（林野庁・環境省）の一環として実施された。

引用文献

1) 一重喬一郎：“国産の丸太・製材および製材残材のエネルギー利用を対象としたライフサイクルアセスメントに関する研究”，（2014），pp.1-89
2) 森林総合研究所：“収穫表作成システム LYCS 3.3”，（2011）
3) 北海道立総合研究機構：“北海道版トドマツ人工林収穫予測ソフト ver1.30”，（2012）
4) 古俣寛隆 ，由田茂一，加藤幸浩，高山光子: 日本 LCA 学会誌, 5(1), (2009), pp 131-137

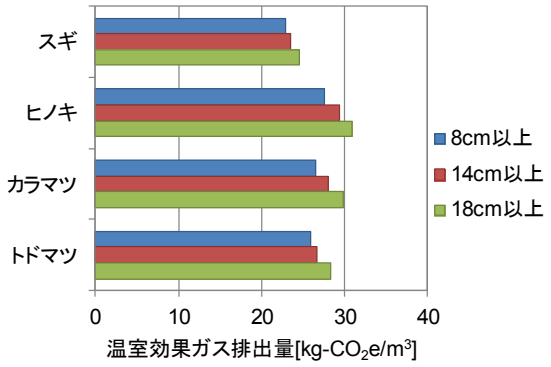


図 4　感度分析：間伐材の搬出基準の影響

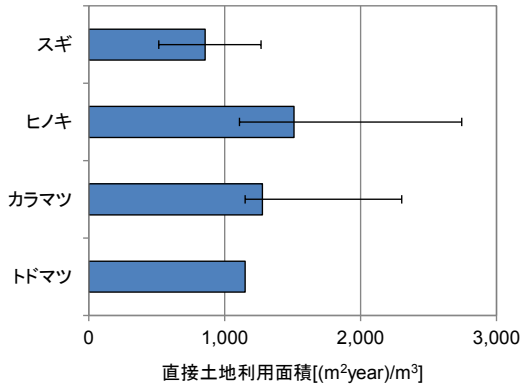


図 5　参考：直接土地利用面積

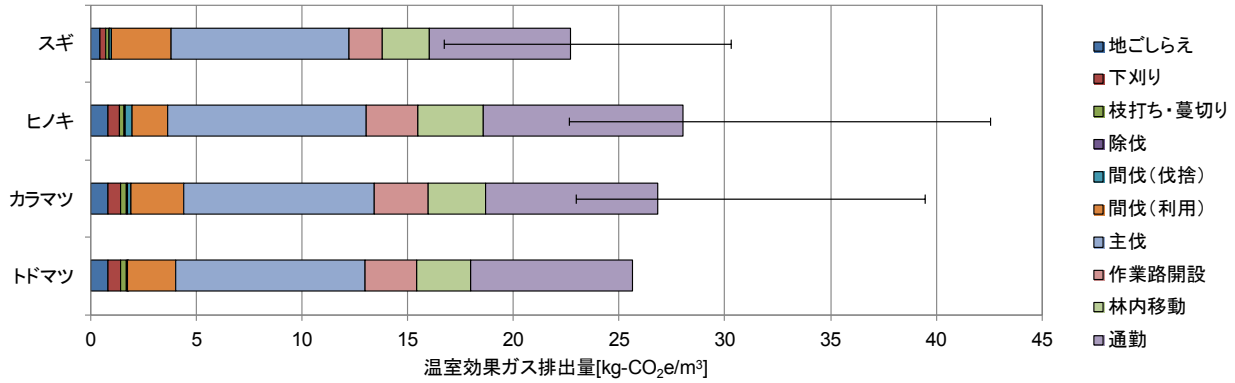


図 3 丸太材積あたりの GHG 排出量

*エラーバーは都道府県別の最大値・最小値を示す。トドマツは北海道のデータのみであるためエラーバーがない。

木質ペレット利用推進による環境保全・地域活性化の効果検証

Effectiveness of promotion of wood pellet usage from the viewpoint of environmental conservation and community activation

○長井翔太朗*[1)]、橋本征二[1)]
Shotaro Nagai, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学
* rv0021hr@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

地球温暖化防止、循環型社会形成、戦略的産業育成、農村漁村活性化等の観点から、2002 年に「バイオマス・ニッポン総合戦略」が閣議決定され、日本各地でバイオマスの利活用が進められてきた。しかしながら、バイオマス利活用に関する事業評価、政策評価は進んでおらず、バイオマス利活用が地域の産業育成や活性化に与えた影響については、必ずしも十分な検証がなされていない。これを受けて稲葉ら[1)]は、持続可能な社会を達成するためには「環境」「経済」「社会」のバランスを取ることが必要との考えに基づき、バイオマス利活用と環境保全・地域活性化の関係性を明らかにすることを目的とした研究を行っている。しかしながら、バイオマス利活用と環境保全・地域活性化の関係性に関する評価事例は未だ少なく、更なる事例の蓄積が求められている。

本研究は、バイオマスの一つとして近年利用が推進されている木質ペレットに着目し、木質ペレット利用推進と環境保全・地域活性化の関係性を総合的に評価し、その効果検証を試みようとするものである。具体的には、稲葉ら[1)]にならい、木質ペレット利用推進が与える影響を「環境」「経済」「社会」の 3 つの側面から評価することを目的としているが、本稿では「環境」「経済」について報告する。

2. 方法

2.1 評価対象

森の力京都株式会社が生産する京都ペレット及び、森の力京都株式会社の位置する京都府京都市を評価対象地域とする。

2.2 環境面の評価手法

環境面は、LCA を用いて以下の手順で評価を行った。

① 川勝ら[2)]が京都ペレットを対象に行った LCA（$LCCO_2$ の評価）を踏まえ、直近のデータ（2014 年度）を収集した。

② 各種の暖房・給湯方法（エアコン、灯油ストーブ、ガスストーブ、ペレットストーブ、灯油ボイラー、ガスボイラー、ペレットボイラー）を対象に LCA を行った。暖房については室内への 1 MJ の熱量の供給、給湯については 1 MJ の温水の供給を機能単位として、MiLCA[3)]を用いて $LCCO_2$ を分析した。比較する各種暖房器具は古俣ら[4)]が使用しているデータを参考に最大出力 7～8 kW のものを設定し、それぞれの熱効率を考慮した。また、輸送プロセスは配達記録等から輸送距離、輸送重量を調査し、改良トンキロ法を用いて算出した。復路に関しては積載率 10%として考慮した。ただし、燃焼灰の輸送プロセスは輸送重量が小さいため考慮していない。また、ペレット製造工場や送電線などのインフラ設備、暖房・給湯器具そのものの製造プロセスはシステム境界外とした。

③ 年間ペレット利用量を元に年間室内熱供給量・年間温水供給量を算出し、木質ペレット導入前後での CO_2 排出量の差を算出することで、CO_2 排出削減の観点から評価を行った。

2.3 経済面の評価手法

経済面の評価は、①京都市外へのお金の「流出」、②京都市内へのお金の「流入」の 2 点に着目し、木質ペレットを利用することで生じる地域内経済効果を検討する。例えば、電気や灯油、ガスを利用することは地域外へのお金の「流出」に、木質ペレットを地域外に販売することは地域内へのお金の「流入」にあたる。また地域内での木質ペレットの利用は、エネルギーの地産地消となり、「流出」していたお金が地域内に留まることになる。ここで、電気や灯油、ガスの利用量は環境面同様、ペレット利用量から年間室内熱供給量・年間温水供給量を算出し、それを他の暖房器具・給湯器具で賄うのに必要な電気、灯油、ガスの利用量として求める。

3. 結果と考察

3.1 環境面の評価結果

図 1 に示すように京都ペレット 1MJ 熱量あたりの CO_2 排出量は約 16 g-CO_2 となった。ペレット製造が全体の 53%を占めるほか、チップ製造を含めた製造プロセス全体では 79%を占めた。なお、本研究ではカーボンニュートラルの考えに基づき、ペレット燃焼時の CO_2 排出はカウントしていない。

川勝ら[2)]が 2011 年 9 月から 2012 年 8 月のデータを収集し行った $LCCO_2$ と比較すると、ペレット製造における

CO_2 排出量は約 10 g-CO_2 から約 8 g-CO_2 に減少した。これは京都ペレットの生産量増加に伴う電力消費の効率化によるものと考えられる。また、本研究の $LCCO_2$ が川勝 [2] らより高い値を示したが、これは川勝ら [2] の $LCCO_2$ ではチップ製造における軽油の燃焼が考慮されていなかったためである。

次に各種の暖房・給湯器具別の室内・温水への 1MJ 熱量供給あたりの CO_2 排出量の算出結果を図 2 に示す。ペレットストーブ・ボイラーと比べると、エアコン、灯油ストーブ、ガスストーブ、灯油ボイラー、ガスボイラーの CO_2 排出量はそれぞれ 1.8 倍、4.2 倍、3.2 倍、3.8 倍、3.3 倍となり、木質ペレットの環境優位性を示す結果となった。

また、年間京都ペレット販売量（2014 年度）がストーブ用 177t、ボイラー用 604t であるが、これにより、各暖房・給湯器具からペレットストーブに転換することによる年間 CO_2 削減量は、それぞれ 41 t-CO_2、163 t-CO_2、112 t-CO_2、482 t-CO_2、397 t-CO_2 と算出された。灯油ストーブ・ボイラーから転換されたとすると、合計 645 t-CO_2 の削減効果となる。

3.2 経済面の評価結果

京都市における 2014 年度の燃料費の流入、流出、滞留を、A：灯油ストーブ・ボイラーを使用した場合と、B：ペレットストーブ・ボイラーを使用した場合について推計した結果を表 1 に示す。A の流出は使用した灯油の費用が京都市外へ流出したことを表し、B の流出はペレット製造において使用した電気、灯油、ガソリンの費用が京都市外へ流出したことを表している。また、B の流入は京都市外への木質ペレットの販売額が京都市内へ流入したことを表し、滞留は地域内への木質ペレットの販売額が京都市内に留まったことを表している。なお、ここで推計した流出の一部は、市内のガソリンスタンドにおける雇用費として市内に留まることになる点には留意する必要がある。

暖房・給湯エネルギーとして灯油を使用した場合には年間で 4840 万円が京都市外に流出していたのに対して、ペレットを使用した場合には流出額が 1220 万円に大きく減少したのに加え、ペレットの販売により 200 万円が京都市内へ流入し、2650 万円が京都市内に留まることとなった。

4. おわりに

本研究では、木質ペレット利用推進による環境保全・地域活性化への効果を「環境」「経済」の 2 つの側面から評価した。灯油から木質ペレットに転換した場合、年間 CO_2 削減効果は 645 t-CO_2 であり、流出額が 4840 万円から 1220 万円に大きく減少した。社会面の評価については、現在ペレット利用と地域愛着の関係に関する仮説を検討中であり、その評価結果については学会当日に報告する。

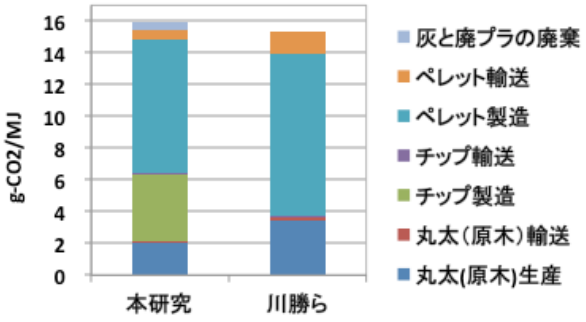


図 1　京都ペレットの $LCCO_2$

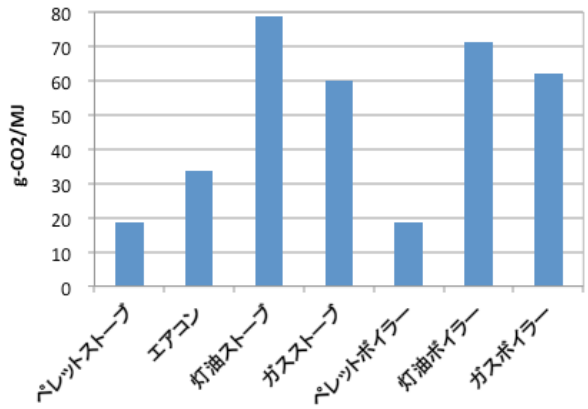


図 2　暖房・給湯器具 1MJ 熱供給あたりの CO_2 排出量

表 1　京都市における燃料費の流入、流出、滞留（2014 年度）

単位：万円	A：灯油ストーブ・ボイラー使用	B：ペレットストーブ・ボイラー使用
流出	4840	1220
流入	0	200
滞留	0	2650

参考文献

1) 稲葉陸太ほか：地域活性化をめざしたバイオマス利用技術戦略の立案手法の構築、平成２４年度 環境研究総合推進費補助金 研究事業 総合研究報告書、2013
2) 川勝康右、橋本征二：京都ペレットのライフサイクル評価、第 8 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集、pp.378-379、2013
3) 産業環境管理協会：http://www.milca-milca.net
4) 古俣寛隆ほか：北海道木質ペレットのライフサイクルアセスメントによる環境影響評価、木材学会誌、Vol.56、No.3、pp.139-148、2010

Planetary boundaries の整合性：土地利用の変化と生物多様性の減少について

Consistency of Planetary boundaries: land use change and biodiversity loss

○田村賢人*[1)]、橋本征二[1)]
Kento Tamura, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学
* rv0013ir@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

世界の生物資源需要量の増加は、農地や林地の需要を増大させ、それが土地利用の変化をもたらし、生物多様性の減少、窒素・リンの循環、淡水の利用、気候変動等の様々なプラネタリーバウンダリー[1)]に影響を与える。生物資源需要がもたらすこれらの影響を明らかにすることは、将来の持続可能な生物資源の利用を検討する上で重要である。

筆者らはこれまでの研究[2)]で、IPCCの作成した社会経済シナリオ(SSPs)[3)]にもとづき、2100年までの長期にわたって、食料・飼料・バイオ燃料に関わる作物と牧草、5用途における木材需要の推計を行い、それらの生産に必要な農地・林地面積需要量の推計を行った。その結果、将来の農地面積需要量は最大で4.5Ghaとなり、2010年の実際の収穫面積のおよそ1.9倍となった。また、将来の林地面積需要量は4.63 Ghaとなり、2010年の実際の林地面積を上回る結果となった。

さらに筆者らは、哺乳類、爬虫類、両生類を対象に、2050年までに農地が400Mha拡大された場合の生物多様性への影響を推計した[4)]。この400Mhaは、森林減少（土地利用の変化）のプラネタリーバウンダリー[1)]として示されているものである。推計の結果、最も生物多様性の減少を小さくする土地利用のシナリオでも、プラネタリーバウンダリー内に収めることができるのは哺乳類のみで、爬虫類・両生類は限界値を超えると推計された。したがって、土地利用の変化と生物多様性の減少に関わるプラネタリーバウンダリーは整合していないと考えられる。

以上の結果から、生物多様性の減少をプラネタリーバウンダリー内に収めるための土地利用の変化の限界を再検討するとともに、土地利用の変化をその限界内に収めるための対策が必要であるといえる。

本研究では、生物多様性の減少をプラネタリーバウンダリー内に収めるための土地利用の変化の限界を再検討するとともに、土地利用の変化をその限界内に収めるための対策シナリオを検討することを目的とする。このため、世界各国の将来の土地利用の変化を推計し、土地利用の変化と生物多様性の減少との関係を明らかにするモデルを構築する。

2. 方法

2.1. 土地利用の変化の推計

本研究において「土地利用の変化」とは、「農地面積拡大による林地面積の減少」と定義した。世界各国の土地利用の変化について下記の 3 つのシナリオを設定し、田村ら[2)]で推計した要農地拡大面積を各国に分配した。農地面積には、耕作地面積と牧草地面積が含まれるが、将来にわたり牧草地面積の拡大は必要ない[2)]とされているので、本研究では耕作地の拡大のみを対象とした。

Ⅰ．各国の作物収穫面積の増加に応じて配分するシナリオ
Ⅱ．各国の作物自給率を一定として配分するシナリオ
Ⅲ．各国の作物収穫面積に応じて配分するシナリオ

シナリオⅠでは、各作物の過去 10 年間(2000～2010 年)の収穫面積増加量の各国の割合が将来も一定であると仮定して、その割合に応じて要拡大耕作地面積を配分した。現在収穫面積が減少している地域については、耕作地の拡大は行わず、耕作地面積需要量が減少する期間にのみ減少するものとした。シナリオⅡでは、各国の各作物の自給率が将来も 2010 年の値で一定であると仮定して、作物需要の増加分の一定割合を自国で生産するものとした。また、輸出される作物分に関しては各国の輸出量に応じて配分した。シナリオⅢでは、各作物の収穫面積の各国の割合が 2010 年における値で一定であると仮定して、その割合に応じて要拡大耕作地面積を配分した。すべてのシナリオにおいて、配分を行った際に各国の林地面積または各作物の耕作地面積が負となった国については、その面積を 0 とし、不足した面積分は面積が 0 となった国を除いて、同様にして再配分を行った。

2.2. 生物多様性への影響の推計

林地面積の減少による生物多様性への影響を矢野ら[5)]にもとづき推計した。矢野らは生物多様性の減少を各動物種の絶滅確率の合計、すなわち生物種の絶滅数の期待値(*SEEV*)として、下記の式を用いて推計している。

$$SEEV = \sum_i EAAL \times \frac{HALR_i}{EAAL} \times \frac{SEP_i}{HALR_i} \qquad (1)$$

ここで、*EAAL*は農地拡大面積(ha)、$HALR_i$は*EAAL*の条件下での生物種*i*の生息地減少率 (-)、SEP_iは$HALR_i$の条件下での生物種*i*の絶滅確率(-)を表している。$HALR_i$、SEP_iの算出方法は矢野らに従った。

2.3. 土地利用の変化の限界と土地利用の変化をその限界内に収めるための対策シナリオの検討

生物多様性の減少すなわち生物種の絶滅数の期待値をプラネタリーバウンダリー内に収めるための土地利用の変化の限界、および土地利用の変化をその限界内に収めるための対策シナリオについては、下記の2つの視点から検討した。1つ目は後者に対応し、式(1)の第1項にあたる農地拡大面積を削減する方法である。具体的な対策としては、食品廃棄物の削減や、肉食の削減などにより作物需要量を減らす方法が考えられる。2つ目は前者および後者に対応し、式(1)の第2項の生息地の減少が最小となるように計画的に森林の開発を行う方法である。具体的には、生物多様性が少ない地域を優先的に農地に変換する方法が考えられる。

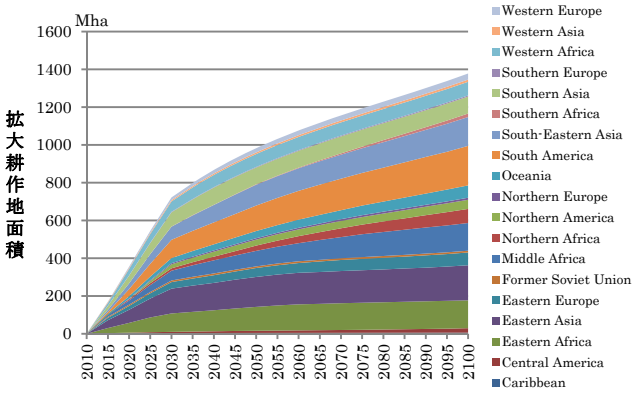
3. 結果と考察

拡大農地面積が最大となる社会経済シナリオ（SSP3）[3)]における、各耕作地拡大シナリオの推計結果を図 1 に示す。シナリオⅠにおいては、南アメリカで最も拡大耕作地面積が大きくなり、2010 年から 2100 年までに 208Mha と推計された。これに続き、東アジア、東南アジアの順に大きくなった。シナリオⅡでは、北アメリカの値が最も大きくなり 367Mha の耕作地拡大が必要であるとされ、東アジア、南アメリカと続いた。シナリオⅢでは、東アジア、南アメリカ、東南アジアの順に大きくなり、東アジアは 219Mha の耕作地拡大となった。各シナリオの結果を比較すると、南アフリカや南ヨーロッパではシナリオⅠに比べて、シナリオⅢの拡大耕作地面積が、最大 8 倍から 11 倍となった。シナリオⅡの北アメリカでは、2100 年にシナリオⅠの 7.5 倍という結果となった。さらにシナリオⅡでは、期間によっては拡大耕作地面積の値が負となる地域が存在し、耕作地の拡大シナリオによって各国の土地利用の変化が大きく異なることが示唆された。

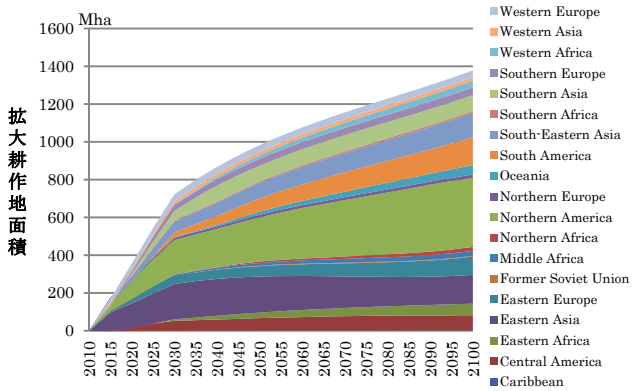
現在、これら 3 つの土地利用の変化のシナリオをもとに、生物多様性への影響の推計、土地利用の変化の限界と土地利用の変化をその限界内に収めるための対策シナリオの検討を行っているところである。その結果については学会当日に報告する。

謝辞：本研究は、環境省環境研究総合推進費（S-11-2）による成果である。ここに記して深謝する次第である。

シナリオⅠ



シナリオⅡ



シナリオⅢ

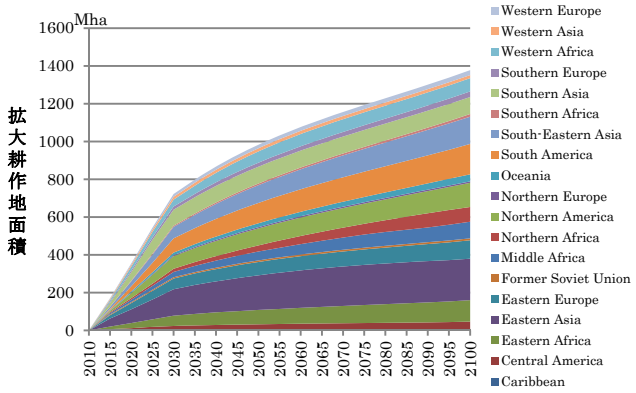


図 1 地域別拡大耕作地面積(SSP3)

参考文献

1) Rockström, J. et al.: Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity, Ecology and Society, 14(2), art.32, 2009
2) 田村賢人ら：世界の農地・林地需要とその抑制ポテンシャル、第 43 回環境システム研究論文発表会講演集、pp.9-14、2015
3) IIASA: SSP Database, https://secure.iiasa.ac.at/web-apps/ene/SspDb/dds?Action=htmlpage&page=about, 2014 年 7 月アクセス
4) 矢野夏美ら：農産物需要拡大による今後の土地利用の変化が生物多様性に与える影響、第 10 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集、P2-01、2015
5) FAO: FAOSTAT, http://faostat.fao.org/, accessed in Jun 2014
6) IUCN: Guidelines for Protected Area Management Categories. IUCN and World Conservation Monitoring Centre (WCMC), Gland, Switzerland and Cambridge, UK. , 1994

国際貿易を考慮した食料消費に関わる淡水資源必要量の将来シナリオ評価

Future scenario assessment of water resource requirement related to food consumption considering international trade scenario

○山口陽平*[1)]、田村賢人 [1)]、吉川直樹 [1)]、橋本征二 [1)]、天野耕二 [1)]
Yohei Yamaguchi, Kento Tamura, Naoki Yoshikawa, Seiji Hashimoto, Koji Amano
1) 立命館大学
* rv0023hs@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

近年、途上国を中心に急速な人口増加と経済発展が進行している。これらの社会変化は、食料需要の増加と食料生産の拡大を引き起こし、地域ごとの気候・地理的特性と相まって、土地資源と淡水資源の需給不均衡による過不足を発生させる恐れがある。これら 2 種類の資源問題の進行により、人類の社会活動に不可欠な食料と淡水資源の安定供給を阻害する恐れがあるため、持続可能な社会の達成が危ぶまれつつある。

既往の研究では、田村ら [1)]によって各国の食料需要量に基づく農地必要量の将来シナリオ評価が行われている。しかし同研究では、各国間の国際貿易や各国の淡水資源必要量に関する考慮が行われていない。実際には、地域ごとに土地資源と淡水資源は偏在しているため、自国の食料需要量を賄えるだけの淡水資源を得られない地域では、国際貿易による食料輸入が必要となる。そこで本研究では、国際貿易を考慮した上で、各国の食料消費内訳と食料消費に関わる淡水資源必要量の将来シナリオ別評価を行う。

2. 研究方法

2.1 使用データと対象設定

本研究では、対象品目を田村ら [1)]と同じ 96 品目、対象国を FAO 食料需給表 [2)]に掲載の 170 カ国に統合させる。各国間の国際貿易の内訳は、上記対象国のうち FAO 貿易収支表 [3)]に記載の 134 カ国に限定して反映させた。また、各国の品目別の淡水資源必要量は、Water Footprint Network (WFN) の淡水資源消費原単位 [4)] を用いて推計した。なお、FAO 貿易収支表と WFN 淡水資源消費原単位に関しては、各々の記載品目を田村ら [1)]の対象品目の分類と対応させて分析を行った。

2.2 食料消費内訳の推計

本研究では、田村ら [1)]による 5 種類の SSP 社会経済シナリオ別の食料需要推計値（以下、SSP 食料需要推計値）より食料消費内訳を推計する。同推計値では、5 年ごとに 2010-2100 年の国別・品目別の食料需要量が推計されているが、各々の国産・輸入食料の需要内訳は不明確である。しかし、各国間の国際貿易を考慮するには、これら 2 種類の食料消費内訳を SSP 食料需要推計値に反映させる必要がある。

そこで、次式(1)により食料消費内訳係数を定義し、SSP 食料需要推計値の食料消費内訳の配分を試みた。

$$(r_{i,j})_{FA} \equiv \frac{Elem_{i,j}(2010)}{Prod_{i,j}(2010) - Exp_{i,j}(2010) + Imp_{i,j}(2010) + Stock_{i,j}(2010)} \quad (1)$$

ここで、添え字 i は対象国、j は対象品目を表す。また(1)式の分母は、FAO 食料需給表 [2)]に記載された各統計値（国産量、輸出量、輸入量、在庫変動量）の合計値[ton]であり、各国の総国内食料消費量を表す。同式の分子には、国産量[ton]、輸入量[ton]、在庫変動量[ton]の 3 項目のいずれかを適用させるが、国産量のみ輸出量を差し引いた値[ton]を分子に用いた。すなわち、各国の輸出量はすべて国産量で賄われるものと仮定した。なお、FAO 食料需給表に関しては、2009-2011 年の 3 年平均値を基準年値（2010 年）として用いた。

最初に、上記(1)式により国別・品目別に国産内訳係数、輸入内訳係数、在庫内訳係数を設定した。さらに、同式の分母・分子から在庫変動量を除いた式より再度同様の推計を行って得られた国産内訳係数と輸入内訳係数を在庫内訳係数に乗じて、国別・品目別に国産分在庫内訳係数と輸入分在庫内訳係数を設定した。

次に、これら 4 種類の食料内訳係数を各々SSP 食料需要推計値[ton]に乗じて、SSP 食料需要推計値を国産分・輸入分・国産在庫分・輸入在庫分の 4 種類に配分した。このうち、国産在庫分と輸入在庫分に関しては各々を国産分と輸入分に加え、これを SSP 国産食料需要量[ton]および SSP 輸入食料需要量[ton]とした。なお、本研究では、これら 4 種類の食料消費内訳の比率が 2100 年までの将来にわたって一定であると仮定した。

2.3 輸入相手国別の輸入食料消費内訳の推計

各国間の国際貿易を考慮するために、SSP 輸入食料需要量に関しては、可能な範囲で各国の国際貿易の反映を試みた。本研究では、輸入食料とのダブルカウントを避けるために、輸出は考慮しないものとした。また、国際貿易の形態としては、対象国と輸入相手国との 2 国間でのみ食料輸入が行われる状況を想定し、輸入食料はすべて輸入先で生産されるものと仮定した。

上記の想定の下で、輸入相手国が明確な国に関しては次式(2)により輸入相手国別配分係数を定義し、SSP 輸入食料需要量の輸入相手国別配分を試みた。

$$(\pi_{i,k,l})_{TA} \equiv \{C_l \cdot Imp_{i,k,l}(2010)\} / \sum_{l}\sum_{k}\{C_l \cdot Imp_{i,k,l}(2010)\} \quad (2)$$

ここで添え字 i は対象国、k は対象国 i の輸入相手国、l は FAO 貿易収支表 [3]に記載の対象品目を表す。式(2)の分子は k 国からの輸入品目 l の国内消費量[ton]、分母は輸入相手国別の輸入食料消費量の合計値[ton]を表す。いずれも FAO 貿易収支表に記載の統計値を使用した。また、同式中の C_l は、輸入品目 l の原料換算係数[-]を表す。なお、FAO 貿易収支表に関しては、2009-2011 年の 3 年平均値を基準年値（2010 年）として使用した。

上記(2)式により設定した輸入相手国別係数を SSP 輸入食料需要量[ton]に乗じて、SSP 輸入食料需要量に関する輸入相手国別配分を行い、これを輸入相手国別の SSP 輸入食料需要量[ton]と定めた。なお、本研究では、輸入相手国別配分の比率が 2100 年までの将来にわたって一定であると仮定した。

2.4 淡水資源必要量の推計

各国の食料消費に関わる淡水資源必要量は、SSP 国産食料需要に関わる淡水資源必要量と SSP 輸入食料需要に関わる淡水資源必要量に分けて、ウォーター・フットプリントにより評価した。本研究では、原料作物の栽培時における淡水資源消費のみをウォーター・フットプリントの対象範囲とし、上流および下流の間接消費は考慮しないものとした。また、輸入食料を扱う場合には、輸入相手国から輸入した食料の生産に使用された淡水資源を間接的に消費したものと考える。

国別・品目別の SSP 国産食料需要に関わる淡水資源必要量[m^3]は、SSP 国産食料需要量[ton]に淡水資源消費原単位[m^3/ton]を乗じて推計した。SSP 輸入食料需要量に関わる淡水資源必要量に関しては、輸入先が明確な国の場合、輸入相手国別の SSP 輸入食料需要量[ton]に輸入相手国の淡水資源消費原単位[m^3/ton]を乗じて推計した。一方、輸入先が不明確な場合は、SSP 輸入食料需要量[ton]に対して、FAO 食料需給表 [2]に記載された各国の生産量の 3 年平均値（2009-2011 年）により品目別に重み付けした世界平均の淡水資源消費原単位[m^3/ton]を乗じて推計した。

3. 結果と考察

基準年における SSP 国産食料需要に関わる淡水資源必要量と輸入食料需要に関わる淡水資源必要量の推計結果をそれぞれ、図 1 と図 2 に示す。各図は、縦軸に 6 地域分類（Africa, Europe, South America, North America, Oceania, Asia）、横軸に淡水資源必要量[m^3/cap/yr]をとり、ウォーター・フットプリントの 3 分類（Green, Blue, Grey）別に積み上げ式の棒グラフで表した図である。

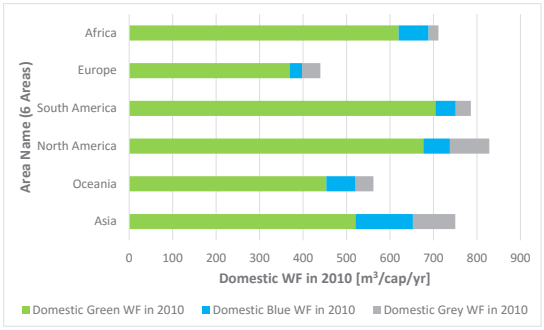


図 1　SSP 国産食料需要に関わる淡水資源必要量

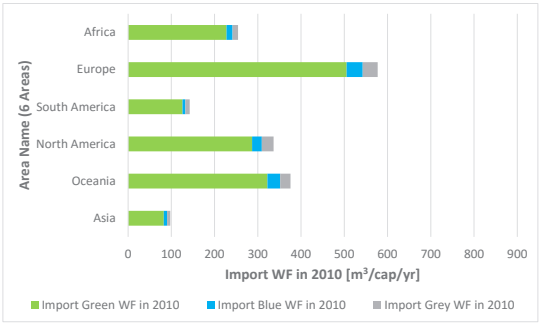


図 2　SSP 輸入食料需要に関わる淡水資源必要量

図 1 と図 2 より、双方とも基準年の淡水資源必要量に占めるグリーン・ウォーター・フットプリントの割合、すなわち雨水由来の農耕地からの蒸発散量が突出して大きい。地域別に見ると、アジア・北米・南米・アフリカでは淡水資源必要量の国産比率が高い。一方、欧州とオセアニアでは国産比率は低いが、輸入比率は高い傾向にあり、双方を合わせると淡水資源必要量は高くなる。以上から、世界全体で消費される食料の生産は、降水量に大きく依存していると考えられる。

4. おわりに

学会当日は SSP シナリオ別に 2100 年までの淡水資源必要量の経年変化について報告する予定である。

5. 謝辞

本研究の一部は、環境省環境研究総合推進費(S-11)の支援により実施された。ここに記して謝意を表する。

6. 参考文献

1) 田村賢人, 吉川直樹, 天野耕二, 橋本征二: 第 42 回環境システム研究論文発表会公演集, 2014, pp.33-38
2) FAOSTAT: Food Balance - Commodity Balances, < http://faostat3.fao.org/download/FB/*/E>
3) FAOSTAT: Trade - Detailed Trade Matrix, <http://faostat3.fao.org/download/T/*/E>
4) M. M. Mekonnen, A.Y. Hoekstra: “National Water Footprint Accounts: The Green, Blue and Grey Water Footprint of Production and Consumption - Volume 2: Appendices”, 2011, pp.23-49

WULCA からの新たな水消費影響評価指標の提案

：水利用による潜在的影響評価に向けた合意

New scarcity indicator from WULCA: consensus to assess potential user deprivation

Boulay Anne-Marie[1)]、Bare Jane[2)]、Benini Lorenzo[3)]、Bulle Cecile[1)]、Berger Markus[4)]、Lathuilliere Michael[5)]、Manzardo Alessandro[6)]、Margni Manuele[1)]、○本下晶晴*[7)]、Nunez Montserrat[8)]、Ridoutt Bradley[9)]、Worbe Sebastien[10)]、Pfister Stephan[11)]
Anne-Marie Boulay, Jane Bare, Lorenzo Benini, Cecile Bulle, Michael Lathuilliere, Alessandro Manzardo, Manuele Margni, Masaharu Motoshita, Montserrat Nunez, Bradley Ridoutt, Sebastien Worbe, Stephan Pfister
1) CIRAIG, 2) US EPA, 3) EC JRC, 4) TU Berlin, 5) University of British Columbia, 6) University of Padova, 7) 産業技術総合研究所, 8) Irstea, 9) CSIRO, 10) Veolia, 11) ETH Zurich
*m-motoshita@aist.go.jp

1. はじめに

人口増加、経済成長や生活様式の変化に伴う水需要の増加は利用可能な水資源量との不均衡が懸念されている。特に新興・途上国を中心として生産活動の活発化に伴う水需給の逼迫は深刻な問題であり、バリューチェーンが多地域へと広がる昨今の状況から生産・消費活動に起因する水利用リスクをライフサイクルで評価する重要性が高まっている。こうしたことを背景に、LCA によるライフサイクルでの水利用に関わる影響評価が注目されるようになり、水利用の影響評価に特化した LCA としてウォーターフットプリントが国際規格化された（ISO14046）。

ウォーターフットプリントでは水利用に関わるあらゆる潜在的な影響を評価することとなっており、水利用の分類に対応したインベントリデータ [1)]とインパクト評価係数を用いて潜在的影響を定量化する。他の環境影響領域と同様に、インパクト評価のステップは大きくミッドポイントとエンドポイントに分けることができ、それぞれ様々なインパクト評価手法が存在する [2),3)]。既に様々なインパクト評価手法が開発されている反面、それぞれの評価手法が対象とする影響の種類の違いや同一の対象であっても影響のモデル化のアプローチが異なるなど既存のインパクト評価手法は多様なものとなっており [3)]、それ故に評価に利用する手法によって影響評価の結果を左右することなどが懸念されている [4),5),6)]。

こうした評価手法の違いも含めてLCAの中で水利用に関わる潜在的な影響をどのように評価するべきかについて世界中の専門家を含むステークホルダーが協働して議論するグループ（Water Use in LCA：WULCA）が UNEP-SETAC Life Cycle Initiative のプロジェクトとして 2007 年に設立された [7)]。WULCA には LCA において水利用に関わる潜在的影響評価を促進するための様々な活動があり、その中の 1 つとして先に述べた既存のインパクト評価手法が乱立することを解決すべく、ステークホルダーの合意に基づいたインパクト評価手法の開発を目指している。

2. 潜在的影響に関する評価手法の合意形成に向けて

2.1 対象とする潜在的影響の種類

インパクト評価手法について議論する上で、その評価の対象となる潜在的影響の種類により、影響評価のアプローチは異なる。WULCA ではミッドポイント、エンドポイント共に合意形成に向けた議論を進めているが、特にミッドポイント評価手法の開発を最優先課題として進めている。その理由としては、ミッドポイント評価では物理的な水資源の不足の程度を評価するなど、特定のエンドポイントの被害に限らず水利用に関わる影響を受ける潜在的な対象への影響も含む広範な評価が可能になると考えられるためである。したがって、本発表ではミッドポイントの評価として、水資源の物理的希少性に着目し、人為的な水資源の利用によって生じる希少性への影響を指標化することによって、人間社会、生態系や資源へ及ぼす潜在的影響を表現する評価手法についての合意形成とその成果について報告する。

2.2 評価指標の候補の選定

人為的な水利用に伴う水資源の希少性への影響を評価する指標は、これまで利用可能水量に対する取水量の割合（Withdrawal-To-Availability: WTA）や利用可能水量に対する消費水量の割合（Consumption-To-Availability: CTA）が用いられてきた [3)]。これらの指標の限界は需要として人間社会の需要のみを考慮していることから、生態系を含む環境全体の需要に対する逼迫度を表現できていないことにある。こうしたことからステークホルダーによる議論の結果、環境用水量（Environmental Water Requirement: EWR）を含む需要量を考慮した利用可能水量に対する需要量の割合（Demand-To-Availability）とするべきであると産学官の LCA 専門家により合意がなされた。

$$\mathrm{DTA} = \frac{Demand}{Availability}$$

一方、DTA についてもあくまで需要と資源量の比を表

現しているものであり、同じ数値であっても他の水需要のために残されている水資源の絶対量が異なっている場合であっても評価指標として同じ結果を提示することの問題が指摘されるようになった。

この問題の解決するための案として、新たに 2 つの指標が提案された。1 つの指標は、DTA が利用可能な水の絶対量を考慮していないことを補うため、DTA に面積当たりの利用可能水量の逆数を乗じた DTAx である。DTAx では 2 つの項の絶対値の大きさに全体の指標が左右されるため、面積当たりの利用可能水量の逆数の項は 0.34 乗することで両項の影響が同程度となるよう調整されている。もう 1 つの指標は DTA のような比ではなく、需要を満たした上で残されている面積当たりの水量（Availability-Minus-Demand: AMD）の逆数を指標とすることで他の需要に利用可能な水量の絶対量を表現するものである。

$$\mathrm{DTAx} = \left(\frac{Demand}{Availability}\right) \times \left(\frac{Area}{Availability}\right)^{0.34}$$

$$1/AMD = \frac{Area}{Availability - Demand}$$

上記 2 つの指標について、LCA 以外の分野の専門家も招いたエキスパートワークショップを 3 回開催して議論を行い、さらに WULCA のメンバーにより以下の 4 つの観点から推奨すべき指標の選定を行った。

1. ステークホルダーが受け入れやすいこと
2. 閉塞流域や砂漠など既知の問題に対応する頑健性
3. 規範的判断を可能な限り回避
4. 指標の物理的な意味

3. 合意により推奨される評価指標

WULCA のメンバーによる議論の結果、先の 4 つの観点に関する検討結果は以下の通りとなった。

＜ステークホルダーが受け入れやすいこと＞

100 名を超えるステークホルダーに調査を行い有効回答が 33 名から得られ、26 名が 1/AMD を選択した。

＜閉塞流域や砂漠など既知の問題に対応する頑健性＞

特に閉塞流域では DTAx は 1 つの流域のみ高い値（希少性が高い）を示し、1/AMD は 9 流域が高い値を示していた。

＜規範的判断を可能な限り回避＞

DTAx では面積当たりの利用可能水量の項を 0.34 乗に設定する一方、1/AMD では需要量が利用可能水量を超えてしまう地域は正規化した場合の最大値に設定している点が大きな規範的判断となっている。

＜指標の物理的な意味＞

DTAx では 2 つの指標（DTA と面積当たりの利用可能水量の逆数）を乗じていることで明確な物理的意味が見られない。1/AMD は需要量が利用可能水量を超えてしまう地域を除いて面積当たりに残されている水資源量として理解できる。

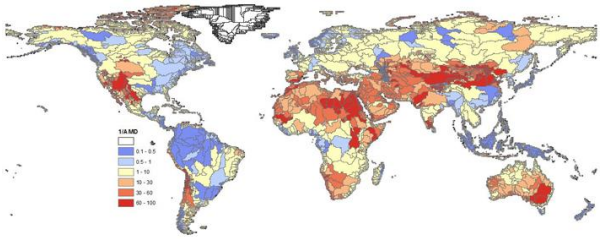


図 1　1/AMD に基づいた流域ごとのインパクト評価係数[8)]

以上の議論から、1/AMD に基づいた特性化指標が WULCA での最初の推奨指標として提案された。特性化係数の算定にあたり、先に述べたように 1/AMD では計算上需要が利用可能量を超えてしまう地域では 1/AMD が算定できないため、世界平均の 1/AMD を規格値として正規化を行った以下の指標をミッドポイントのインパクト評価係数として提案している。このインパクト評価係数を流域レベルで示したものが図 1 である。

$$CF_i = \frac{1/AMD_i}{1/AMD_{world\ avg}}$$

4. おわりに

以上のような議論により、まず最初の推奨指標として 1/AMD に基づいた評価指標が合意に基づいた成果として提案された。現状で合意し得る最良の指標となっているが、計算上で需要が利用可能水量を上回ってしまうケースがあることなどは環境用水量の算定における不確実性に起因しており、こうした課題への対策が今後必要である。また、ケーススタディーへの利用を通じてインパクト評価単体ではなくインベントリとの関係から見えてくる課題もあることが考えられる。評価指標は WULCA ウェブサイト[8)]より入手可能であり、今後は適用事例を通じた課題抽出と必要に応じた指標の更新が重要となる。

参考文献

1）Ono et al. (2015): Int. J. LCA, 20(10), 1456-1467
2）Kounina et al. (2013): Int. J. LCA, 18(3), 707-721
3）本下ら(2015)：日本 LCA 学会誌, 11(3), 246-256
4）Berger et al. (2012): Env. Sci. Technol., 46(7), 4091-4099
5）Boulay et al. (2015a): Int. J. LCA, 20(1), 139-160
6）Boulay et al. (2015b): Int. J. LCA, 20(6), 865-879
7）WULCA: WULCA, http://www.wulca-waterlca.org/
8）WULCA: Consensual method development, http://www.wulca-waterlca.org/project.html

感熱紙ラベルを対象とした環境フットプリント

Environment footprint of thermal label

○古川恭子*1)、坪根遼一*2)、伊坪徳宏*1)
Kyoko Furukawa,Ryoichi Tsubone,Norihiro Itsubo
1) 東京都市大学,2) サトーグリーンエンジニアリング株式会社
*g1231178@tcu.ac.jp

1. はじめに

近年 ISO26000（社会的責任に関するガイドライン）に代表されるように、持続可能な社会の発展に向けて「企業の社会的責任(以下 CSR)」が国際的に広まるとともに、CSR 活動の一環として環境配慮型製品の開発が取り組まれている。文具等もグリーン購入法に対応した商品開発が活発である。物流ラベルや食品の成分表示等で使用される感熱紙ラベルは生産・消費・焼却のライフサイクル（以下、LC）を通じた環境負荷と関係するが、焼却時に材料中の炭素を固定することで CO_2 の放出を約 80%削減する感熱紙ラベル(以下、CO_2削減感熱紙）が開発され業界の注目を集めた。

感熱紙には印字ヘッドを直接感熱紙にあてるタイプ（サーマルラベル）とインクを用紙に転写するタイプ(熱転写ラベル)があり、印刷性能のみでなく環境性能も異なることが想定される。しかし、GHG、水、土地といった複数の環境影響を網羅した形で環境性能を比較した研究例はない。

2. 研究目的

本研究では環境配慮型感熱紙ラベルを対象とした LCA を実施する。GHG 排出量、水使用・水消費量、土地利用面積を比較・評価することで、より包括的な視点に立った環境影響評価を行う。また、CO_2削減ラベルの効果を LC の観点から明らかにする。

3. 評価対象および研究方法

3.1 評価対象

評価対象は 4 種の感熱紙ラベル(サーマルラベル、CO_2削減サーマルラベル、熱転写ラベル、CO_2削減熱転写ラベル)とする（表 1）。CO_2削減ラベルはナノサイズの多孔体を材料中に分散させ、燃焼時に CO_2 を化学吸着し炭化反応を通じて灰中に炭素を固定するものを指す。機能単位は「シールラベル 1 ㎡」とし、評価項目は GHG、水、土地の 3 種とする。

表 1　評価対象

ケース 1	サーマルラベル
ケース 2	CO_2削減サーマルラベル
ケース 3	熱転写ラベル
ケース 4	CO_2削減熱転写ラベル

3.2 調査範囲

感熱紙ラベルのシステム境界を図 2(サーマルラベル)・図 3(熱転写ラベル)に示す。原材料調達から製造、輸送、使用、廃棄までのライフサイクル全体をシステム境界とした。ただし水、土地については原単位が得られなかった一部原材料はシステム境界外とした。

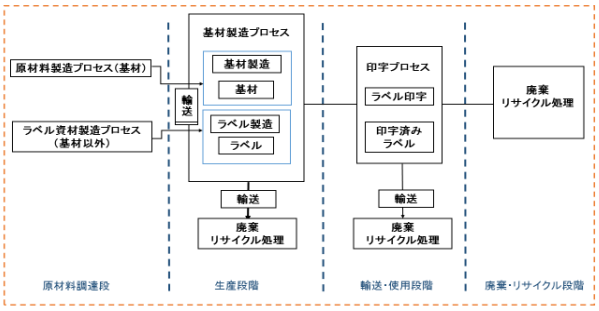


図 2 システム境界（サーマルラベル）

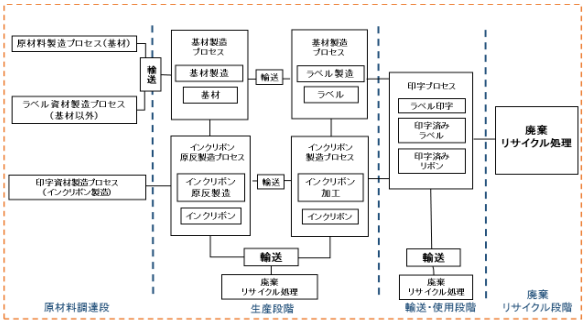


図 3 システム境界（熱転写ラベル）

3.3 データの収集

本研究では、「サトーグリーンエンジニアリング株式会社」と「株式会社リコー」から一次データを取得した。

一次データには、主要製品(1,185 ㎡)に投入される原材料、生産、輸送・使用、廃棄・リサイクルの活動量と CO_2削減剤に関わるデータが含まれる。原単位は主に二次データを使用した。（GHG は IDEA、水は小野ら、土地は乗松ら）

3.4 算定方法

GHG、水、土地の算定には原単位法(式①)を使用した。投入量にはヒアリングで入手したデータを使用した。

原単位法＝Σ（投入量×原単位）・・・・・・・式①

GHG の原単位には CFP 基本データベース ver1.01、CFP 利用可能データ ver1.03 および実測データを使用した。廃棄時の紙の焼却原単位には MiLCA の IDEA を使用した。水の原単位には東京都市大学小野らが開発した水使用・水消費データベース ver.2[1,2]を、土地の原単位には東京都市大学乗松らが開発した土地利用データベース [3]を使用してインベントリ分析を行った。廃棄段階の CO_2排出削減量は、JIS 規格「燃焼ガス分析：JIS K 7217：1983」に基づく TG/DTA 試験の結果から得た。

4. 結果

4.1 サーマルラベルの LCA 算定結果

水使用量の算定結果は、1.43.E-01 となった。その中で原材料調達が全体の約 90%以上を占めた。原材料調達の内訳の算定結果を図 4 に示す。紙が全体の約 80%以上示す結果となった。なお、水使用量の算定結果は学会にて公表する予定である。

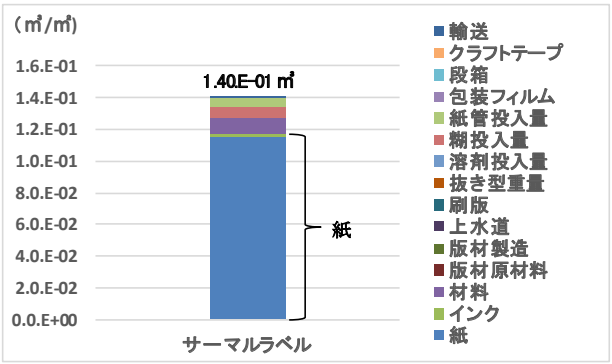


図 4　水使用量　原材料調達の内訳

土地利用面積の算定結果は 5.66.E-06 となった。その中で原材料調達が全体の約 90%以上を占めた。原材料調達の内訳を図 5 に示す。紙が全体の約 90%を示す結果となった。

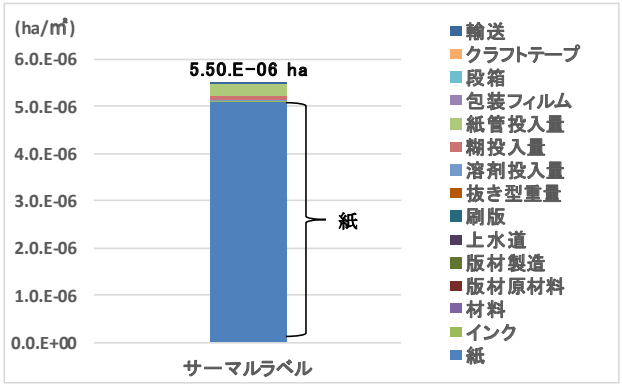


図 5　土地利用面積　原材料調達の内訳

4.2 サーマルラベルと熱転写ラベルの比較

サーマルラベルと熱転写ラベルの GHG 排出量の算定結果を図 6 に示す。ケース 2、4 はヒヤリング情報より、焼却時の CO_2 の 8 割削減として計算した。原材料調達、廃棄・リサイクルが相対的に大きかった。ケース 1 とケース 2 の比較より、CO_2削減剤の使用により廃棄・リサイクルの CO_2排出量は LC で約 90%削減された。ケース 3 とケース 4 の比較も CO_2削減剤により約 90%削減された。

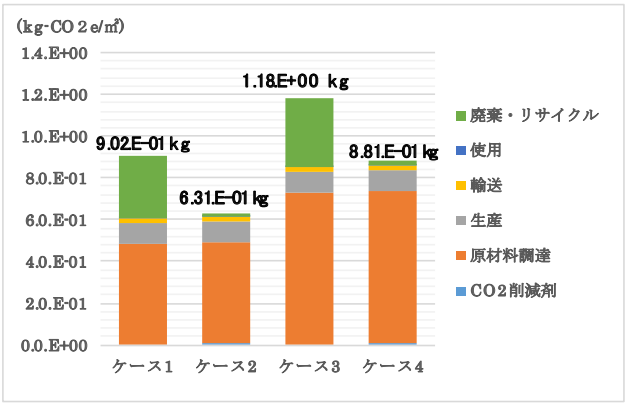


図 6　GHG 排出量比較

5. おわりに

本研究では、LCA を用いて感熱紙ラベルにおける環境負荷を GHG、水、土地の観点から算定した。感熱紙ラベルの環境負荷は基材の原材料の使用量に大きく依存することがわかった。CO_2削減感熱紙ラベルに関しては通常感熱紙ラベルに比べ GHG で有利だが、水、土地では増加が見込まれた。再生紙や間伐材等の積極的な活用が、水や土地の負荷低減に有効であると考えられる。

参考文献

1) 小野雄也，本下昌晴，李一石，伊坪徳宏：“ウォーターフットプリントへの応用を指向した水インベントリデータベースの開発”（2010）

2) 小野雄也，堀口健，伊坪徳宏：“産業連関分析を用いた日本におけるウォーターフットプリント原単位データベースの開発”　（2013）

3) 乗松義弥，伊坪徳宏：“日本を対象にした土地利用インベントリデータベースの開発”(2014)

市民フェスティバルを対象としたウォーターフットプリント

Water footprint intended for the citizens festival

○峯山瑠偉*1)　松橋聖恵 2)　伊坪徳宏 1)
1)　東京都市大学　2)世田谷区
*g1231194@tcu.ac.jp

1.　はじめに

産業革命以降の社会の発展、世界人口の急激な増加を受けて、多くの国で水不足が発生している。水は環境や生命の維持に不可欠であることはもちろんであるが、食糧生産、産業、エネルギー、衛生といった多様な領域に関係しており、持続可能な発展社会を構築する上で不可欠な要素である。

我が国では国内及び海外から調達された食用品は年間約 9,000 万トンに及ぶが、食品関連事業者（食品製造業者、食品流通業者、食品小売業者）から約 800 万トン、一般家庭から約 1,100 万トン、あわせて年間約 1,900 万トンの食品廃棄物が排出されている。1)（国連 WFP　HP より）

2.　研究目的

近年、イベントを対象にした LCA 研究は多く存在する。イベントにおいても露店などの飲食料の販売があるため、間接的な水消費は多いものと考えられるが、イベントを水の観点から評価した事例は存在しない。本研究では、世田谷区で開催されたふるさと区民祭りを対象にウォーターフットプリントを行う。世田谷区ではリユース・リデュース（２R）の推進を目的とした啓発活動を進めており、活動の一環として食品ロスの可視化をウォーターフットプリント活用している。ふるさと区民祭りにおいても食品ロス削減のための活動として、参加者から不要な食品を回収し有効に活用することを促すフードドライブを実施した。本研究では世田谷ふるさと区民祭りの食品回収イベントの効果について検証し、その有用性について考察した。

2.　評価対象及び研究方法

研究対象は、世田谷区ふるさと区民祭りとし、概要を下記の表１示す。

評価対象名	第 38 回世田谷ふるさと区民祭り
総来場者数	319500 人
開催時間	10 時～21 時
開催日程	2015 年 8 月 1 日（土）8 月 2 日（日）
場所	JRA 馬事公苑
主催者	世田谷区民まつり実行委員会
出店数（食品販売店）	97 店（65 店）

表１世田谷区民祭り概要

イベント内で行われているフードドライブによる削減効果を含めて、ウォーターフットプリントを算定する。機能単位はイベント開催期間の二日間とする。

本研究の評価範囲を下記図１に示す。

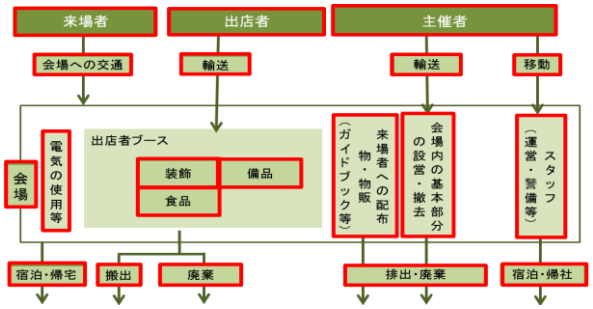


図１本研究のシステム境界

主催者と出店者に関する基礎情報は主催者からのヒヤリングを通じて得た。出店者の販売物や配布物に関する情報はイベント当日の目視調査の結果も参考にした。来場者の環境負荷を算定するに当たり、イベント開催期間中にアンケート調査を行った。アンケート内容として、出発地点と移動手段、参加日数について、来場者 500 人に対して行った。得られた結果を拡大推計することで来場者の環境負荷を推計した。

本研究ではイベントのライフサイクルをウォーターフットプリント及び CO_2 排出量で算定する。下記に算定式を示す。

$$水使用量(m^3) = \sum\left(活動量(百万円) \times 水使用原単位(m^3 / 百万円)\right)$$

$$水消費量(m^3) = \sum\left(活動量(百万円) \times 水消費原単位(m^3 / 百万円)\right)$$

レンタル備品については、備品の製造や使用回数を考慮した原単位を作成し計算を行った。式は下記に示す。

$$Ci = ei\ capital * d\ rental / x\ rental + e\ rental$$

c_i：レンタル物品 i のレンタルに係る排出原単位

e_{rental}：「物品賃貸業（除貸自動車）」の排出原単位
$e_{icapital}$：レンタル物品 i の製造部門からの「国内総固定資産形成（民間）」部門を対象とした購入 者価格ベース排出原単位
d_{rental}：「物品賃貸業（除貸自動車）」の資本減耗引当
X_{rental}：「物品賃貸業（除貸自動車）」の国内生産額

3. 結果

イベント全体の水使用・水消費量の算定結果を図 2 に示す。

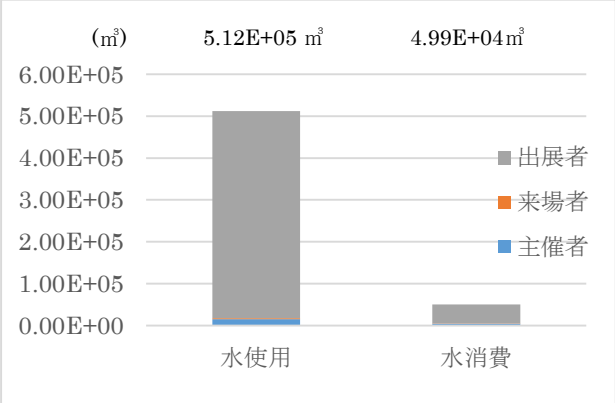


図 2　水使用量・水消費量の算定結果

全体水使用量は約 50 万m³、水消費量は約 5 万m³という結果になった。これは 10,000 人・日分の WF に相当する(およそ 5m³/人/日としたとき)。内訳でみると、水使用総量、水消費量のいずれも出店者の寄与が大きく全体の 9 割を占めた。

次に特性化した結果を下記の図 3 に示す。ここでは、矢野らの特性化係数を利用した。

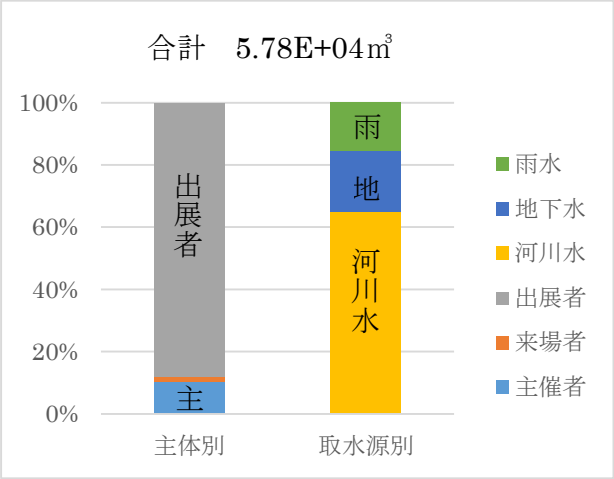


図 3 特性化結果　主体別・取水源別割合

インベントリ分析結果と同様、出展者による寄与が最大で合計の約 9 割程度を占めた。取水源別の内訳をみると、河川水の割合が 6 割以上を占めた。

イベント全体の日本における水消費量は 5.78E+04 m³となった。

取水源別の内訳では日本における河川水への影響が 6 割を占める結果となり、地下水と雨水への影響をほぼ同程度であった。出展者の水使用・水消費が大きくなった要因としては、飲食の原単位の値と飲食の活動量が共に大きい事が要因として挙げられる。

イベント全体のWF とＣＦＰとの比較を行った結果を図 4 に示した。

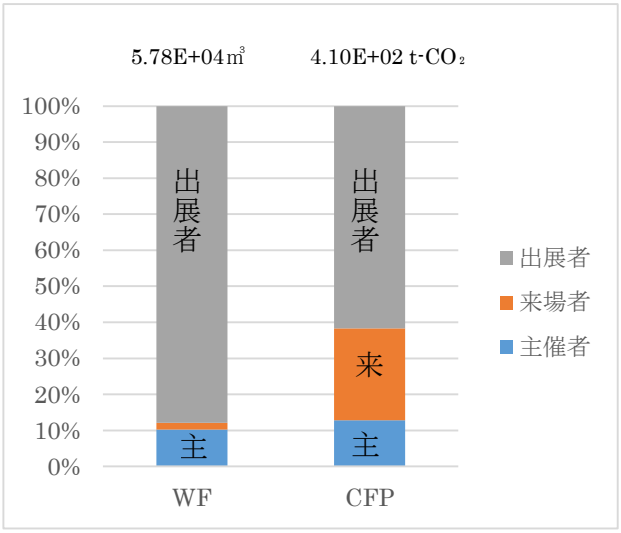


図 4　WF とＣＦＰの割合比較

WF と CFP のいずれもイベント全体に対する出店者の割合が最大であったが、CFP に対して WF の方がその寄与は大きかった。一方、来場者の場合で見ると WF は 1 割未満であったのに対し、CFP では 3 割程度を占めた。CFP はより来場者の移動による寄与が大きく見積もられたことによる。

4. まとめ

本研究では、世田谷ふるさと区民祭りを対象とした WF を算定した。水消費総量は約 5 万 m³ で 10000 人が 1 日で消費する水量に相当した。出展者由来の水使用・水消費が相対的に大きかった。WF と CFP を対比すると、主体間の構成に差が見られた。特に WF は飲食料の寄与が大きく、当該情報をイベント内で共有することで、食と水の意識高揚とともに、来場者の参加意欲を高めることで食品の回収・再活用の促進につながることが期待される。

参考文献

1）国連ＷＦＰ
http://ja.wfp.org/news/news-release/131001
2）世田谷区ＨＰ
http://www.city.setagaya.lg.jp/index.html
3)矢野伸二郎ら:全休水資源モデルを用いて水資源の違いを考慮した水資源への影響に関する特性化係数の開発(2014)

エビ養殖を対象としたウォーターフットプリント

water footprint of shrimp in aquaculture

○太田海輔*[1)]、伊坪徳宏 [1)]
Kaisuke Ota, Norihiro Itsubo
1) 東京都市大学,
*g1231035@tcu.ac.jp

1. はじめに

世界の総人口は国連人口推計2015年改訂によると、2050 年までに 97 億人、2100 年までに 112 億人を突破すると推測されている。人口増加に伴い、食糧危機や食生活の変化など様々な問題が発生すると予想されている。漁業と比べ養殖業は年々増加傾向にあり、エビの養殖生産量も年々増加している。日本はアメリカに次ぐエビ輸入大国でありエビ養殖のほとんどを海外に頼っている。一方で、は森林伐採や水資源消費に多大な負荷があることが指摘されている。

水産物の LCA の研究では、サンマやマアナゴ、ギンザケを対象とした漁業の研究とギンザケやアユを対象とした養殖の研究が行われている。これらのことから、漁業では燃料関連、養殖業では飼料の環境負荷が大きいことが指摘されている。エビは海面の給餌養殖が一般であるが、集約、半集約な方法があるのと、室内で水循環しながら育成する方法もある。育成の方法が異なることで、飼料の量が変化するが、室内で水循環すると高密度で育成できるが条件を制御するための電力が必要になる。これらの違いはウォーターフットプリントに対して大きな影響を与えるものと考えられるが、現時点でこのような検討が行われていない。

2. 研究目的

本研究ではエビ養殖を対象としたウォーターフットプリントを実施する。従来の海面築堤式養殖（集約的、半集約的）、近年注目される室内水循環式養殖を取り上げ、これらの方法の違いを考慮した環境評価を行う。WF は地域性と水源の違いが結果に強く影響を与えるため、取水源ごと、地域ごとに水消費量を算定する。さらに、地域の水ストレスの違いを考慮できる特性化係数にインベントリ結果を乗じて水の潜在的な影響評価を行う。得られた結果は GHG 排出量とも対比して、WF の結果の特徴についても合わせて確認する。

3. 評価対象および研究方法

3.1 評価対象

評価対象は中国、アメリカの二地域で行われているエビ養殖とする。中国の集約型と半集約型、アメリカの室内循環型の三種類のエビ養殖とした。評価対象の特徴を表に示した。本研究では、加工エビ一トンの生産を機能単位と定めた。エビの可食部を 83%として算定した。また、評価項目は GHG（CO_2,CH_4,N_2O）、水（使用量・消費量）の 2 種とした。

表 1　養殖方法の特徴

養殖方法	室内型	半集約型	集約型
池面積（ha）	0.5ha	2～30ha	0.1～1.5ha
水質管理	ポンプ	潮汐+ポンプ	ポンプ
酸素補給	強制補給	臨時補給程度	強制補給
餌	人工飼料	天然有機物や人工飼料	人工飼料
生産高（kg/ha）	6 千～7 千	5 百～5 千	5 千～2 万

3.2 調査範囲

エビ養殖のシステム境界を図 1 に示す。魚粉や小麦粉といった飼料製造段階から稚魚輸送、養殖、加工までをシステム境界とする。養殖の段階は孵化場と養殖場の 2 種類とした。卸売、小売、消費、廃棄物の処分の影響は含めないものとした。また、加工エビの輸送は距離が定まらないためシステム境界外とした。

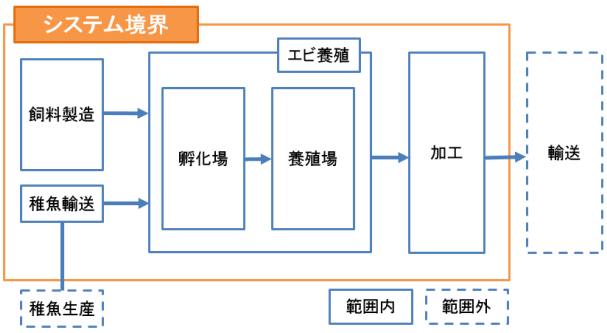


図 1 本研究のシステム境界

3.3 算定方法

海外の一次データを入手することは困難であるため、本研究では文献収集の二次データから活動量を得た。GHG の原単位には、主に SimaPro(ecoinvent, LCA food database)、MilCA(IDEA)を使用した。ウォーターフットプリントインベントリ分析では、小野らが開発したデータベースで算出された原単位を使用して、水使用量・水消費量を評価した。

GHG 排出量(CO2eq)=Σ(活動量(kg)×GHG 原単位(kg))

水使用量(m³)=
Σ(活動量(百万円)×水使用原単位(m³/百万円))

水消費量(m³)=
Σ(活動量(百万円)×水消費原単位(m³/百万円))

4. 結果

4.1 GHG 排出量

養殖方法別の GHG 排出量を算定した結果を図 2 に示した。GHG 排出量の最大は半集約で 1.4.E+04（kg-CO_2eq という結果となった。室内循環は飼料の投入量を抑えることが出来るが、排水処理における電力消費が結果に大きく起因している。その理由として、アメリカは中国よりも排出基準が高いことが予想される。半集約の値が大きいのは投入量が大きいためである。

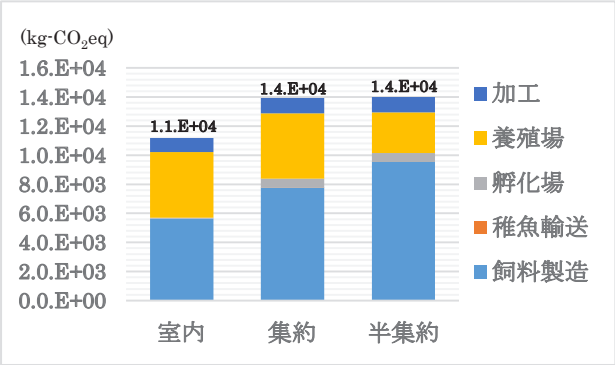


図 2　養殖方法・段階別にみた GHG 排出量

4.2 WF インベントリ分析

WF インベントリ分析の算定結果を図 3 に示す。こちらも飼料製造が多くの割合を占める結果となり、全体の 9 割近くを占めた。水使用量・消費量が最も大きくなったのは半集約であった。また、水使用消費に電力はあまり起因せず、魚粉と小麦粉が大きく起因していることがわかった。魚粉と小麦粉は共に投入量が大きいが、小麦粉はより原単位が大きな値となっている。

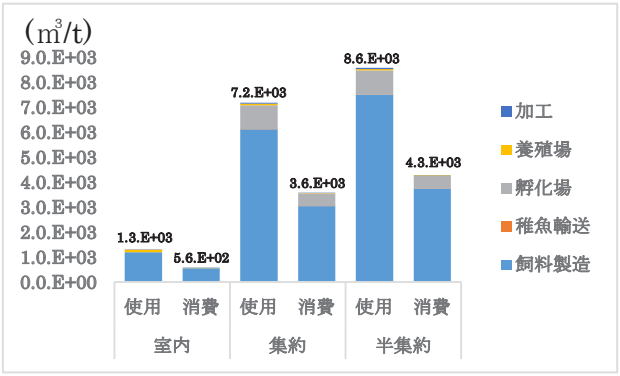


図 3　養殖方法ごとの WF インベントリ分析

4.3 段階別のウォーターフットプリント

ライフサイクルステージ別のウォーターフットプリントの結果を図 4 に示す。室内が 1.8.E+03 ㎥、集約が 1.7.E+04 ㎥、半集約が 2.0.E+04 ㎥という結果となった。特性化係数を乗じた結果全ての養殖方法で大きな結果となった。

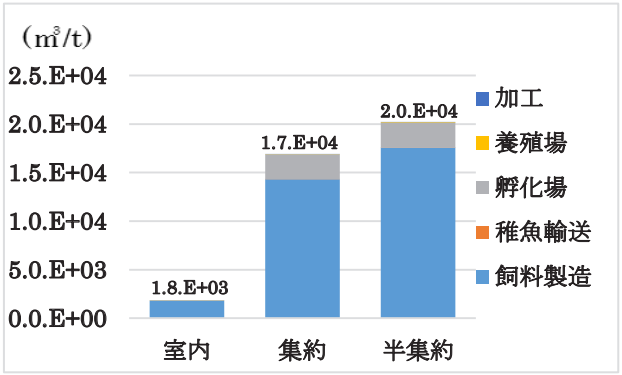


図 4　段階別ウォーターフットプリント

5. おわりに

本研究では、中国、アメリカの異なるエビ養殖方法の環境負荷を GHG、水の観点から算定した。GHG 算定結果ではアメリカの室内養殖が大きかったが、WF の観点から見ると集約・半集約といった中国の値が大きかった。室内養殖では常に水を循環させる必要があり、電力消費を抑えることができれば GHG 排出量削減に繋がると考えられる。また、水消費では餌の投入が最も起因しており、室内水循環のように密度と生産性を上げることで魚粉や小麦粉の投入量を削減し代替することができれば、水消費量削減に繋がると考えられる。

参考文献

1) FAO：世界漁業・養殖業白書(2014)
2) 小野雄也,伊坪徳宏：“ウォーターフットプリントへの応用を指向した水インベントリデータベースの開発”(2010)
3) 小野雄也,伊坪徳宏：“水消費と汚染に着目したウォーターフットプリント用データベースの開発”(2011)
4) 矢野伸二郎ら：“全球水資源モデルを用いて水資源の違いを考慮した水資源への影響に関する特性化係数の開発”(2014)
5) Wenting Sun “LIFE CYCLE ASSESSMENT OF INDOOR RECIRCULATING SHRIMP AQUACULTURE SYSTEM”
6) Ling Cao ら“Life Cycle Assessment of Chinese Shrimp Farming Systems Targeted for Export and Domestic Sales”

国内外都市の総合評価手法の開発
その 4　国際的な開発目標の理念に基づく評価体系の構築

Development of Comprehensive Assessment Tool for Cities around the World
Part 4 Proposal of a City Assessment System based on Principle of UN's Sustainable Development Goals

○山崎潤也*1)、伊香賀俊治 1)、村上周三 2)、川久保俊 3)
Junya Yamasaki, Toshiharu Ikaga, Shuzo Murakami, Shun Kawakubo
1）慶應義塾大学, 2）建築環境・省エネルギー機構, 3）法政大学
* woodenbat@a6.keio.jp

1. はじめに

近年の世界各地域の急速な都市化に伴い、持続可能な都市開発を推進する気運が高まっている。またそれに際し、各都市の行政担当者が都市性能を的確に把握することは重要なプロセスと位置付けられる。そこでその 1[文1)] では日本の自治体評価手法「CASBEE-都市[文2)]」の評価体系を改め、世界各都市へ適用可能な新たな都市評価手法を開発した。さらにその 2[文3)] その 3[文4)] では同手法を用いた試行評価を行うことでその実用性を検証した。しかしその 1 で提案された手法はあくまで日本の自治体評価に適用される項目を踏襲したものであり、世界各都市の社会情勢や文化的背景を考慮できていない点が課題として挙げられる。そこで本報では国際的な都市開発の潮流を踏まえた評価体系を新たに構築し[文5)]、世界各都市の開発指針を決定する上での一助に資する評価手法を提案することを目的とする。

2. 評価概要

「CASBEE-都市」は都市の品質（Quality、以下 Q）と環境負荷（Load、以下 L）を 100 点満点でスコア化し、環境効率 BEE（=Q/L）を算出することで都市の総合性能を定量化する。また Q の評価はトリプルボトムライン（環境・社会・経済）の概念に立脚している。本報で提案する手法（以下、本手法）はこの基本的な評価構造を踏襲し、Q と L のそれぞれの評価において世界各都市への適用に向けた新たな体系を構築した。

3. 評価指標

3.1 Q の評価指標

都市の Q を評価するには世界の発展途上国から先進国までの各都市を一律に評価し得る指標群の提案が求められる。そこで本手法では、国際連合で検討が進められている「持続可能な開発目標（Sustainable Development Goals、以下 SDG）[文6)]」と国際標準化機構で提案された都市評価のための指標群（以下、ISO37120）[文7)]の両者を参照して評価指標を決定した。SDG とは 2016 年から 2030 年まで世界各国が達成すべき 17 の国際目標であり、2015 年 9 月の「国連持続可能な開発サミット」にて策定された。17 の目標には 169 のターゲットが定められており、それぞれの指標によってその達成度が図られる。ISO37120 とは 2014 年 5 月に国際標準化された「都市サービスと生活の質の評価のための指標群」であり、Core Indicators（46 指標）と Supporting Indicators（54 指標）の計 100 指標によって構成される。本手法はこの両者の指標群から Q の評価指標を選定した（図 1）。なお選定の条件を以下のように定め、選定された評価項目の例を表 1 に示す。

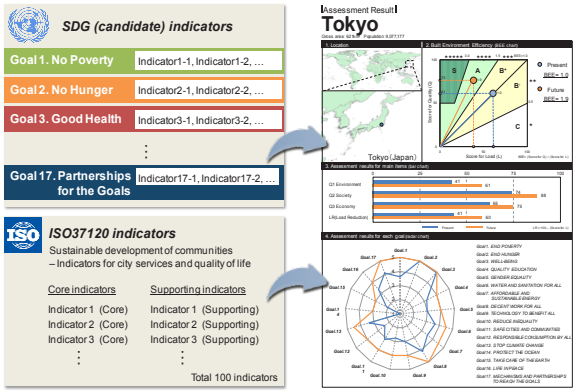


図 1　評価指標の選定

表 1　品質 Q の評価項目例

Q1.環境（13指標）	Q2.社会（30指標）	Q3.経済（15指標）
水・衛生インフラ	健康・保健	貧困率
大気質	教育環境	雇用
廃棄物処理	男女平等	通信インフラ
森林保護	交通インフラ	居住形態
生物多様性	治安	債務

①データの収集容易性：国際機関や各国統計局の公開統計情報の参照により広域的に入手可能な指標を採用。
②定義の客観性：指標の定義が対象地域の文化・政治体制・気候・人種・宗教に依存せず、あらゆる地域で定義が一意に定まる指標を採用。
③評価の一方向：一般的にスコアが高いほど良好・不良の傾向が一方向に定まり、スコアの高低と評価の良し悪しが単純推移の関係にある指標を採用。
④代表性：採用し得る複数の指標が類似する場合、最も代表性の高い指標を採用。

⑤バランス：トリプルボトムラインに分類する際の項目間のバランスの考慮。

3.2 L の評価指標

IPCC や COP-FCCC をはじめとして、近年は国際的な協議の場において温室効果ガス排出量の削減に向けた議論が活発に行われている。そこで本手法では都市の低炭素化の推進を理念に掲げ、L の評価指標に「年間一人当たり CO_2 排出量」を採用した。

4. スコアリング方法

4.1 Q のスコアリング方法

「CASBEE-都市」の Q の評価は各評価指標における日本の全市区町村のデータをベースとし、評価対象都市の相対順位からスコアを導出する。これにより全自治体の情報に基づいた相対評価が可能となるが、しかし本手法においては世界に存在する全自治体を比較対象とした同様の相対評価理論の採用は難しい。そこで本手法では国家単位の指標値をその国家に属する全都市の指標値の平均と捉え、国連加盟国 193 カ国のデータに基づいた相対評価の理論を採用した。その方法を図 2 に示す。Q の評価指標において、国家単位の 2010 年の指標値による累積相対度数曲線を作成する。それに基づいた評価対象都市の指標値の累積度数から各指標における相対評価を行い、その値に重み係数を乗じることで Q のスコアを導出する[注1)]。

4.2 L のスコアリング方法

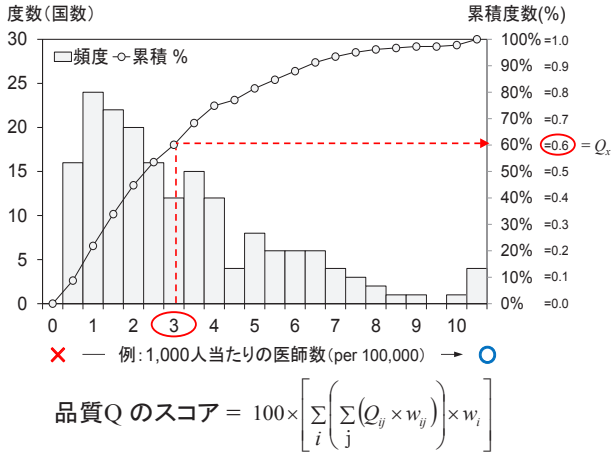
「CASBEE-都市」の L の評価にはロジスティック曲線によるスコアリング方法が用いられる。この評価理論を踏襲し、本手法では国連加盟国 193 カ国の「年間一人当たり CO_2 排出量」のデータに基づいた図 3 の評価関数を採用した。図 3 のグラフの横軸について、「CASBEE-都市」は線形であるのに対して本手法では対数を採用している。日本の全市区町村の指標値は概ね正規分布に則っているのに対して世界各国ではその分布が両極端であるため、指標値を対数化することでその偏りを軽減させた。

5. まとめ

本報では「CASBEE-都市」の基本的な評価構造を踏襲し、かつ世界各都市へ適用可能な再構築を施した新たな評価体系を提案した。続報では本手法を適用させた世界各都市の試行評価を行い、実用性を検証すると共に各都市の環境性能を明確化する。

謝辞

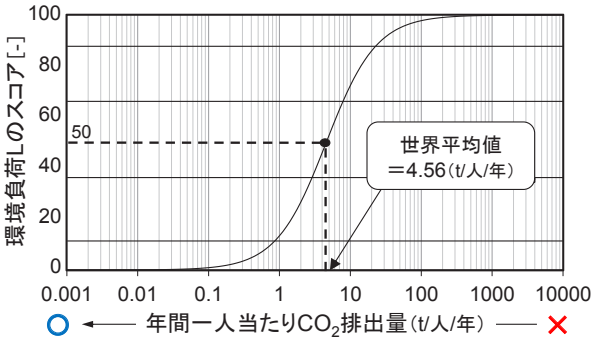
本研究は一般社団法人日本サステナブル建築協会の下に設置された「CASBEE 都市（世界版）検討小委員会」（委員長：村上周三）並びに同委員会作業部会のメンバーの皆さまの多大なるご助言によって実現した。ここに記して深甚の謝意を表す。



$$\text{品質Q のスコア} = 100 \times \left[\sum_i \left(\sum_j \left(Q_{ij} \times w_{ij} \right) \right) \times w_i \right]$$

Q_x: 項目xの素点 [-]　w_x: 項目xの重み係数 [-]　i, j : 大、小項目番号 [-]

図２　Q のスコアリング関数



$$\text{環境負荷 L のスコア} = 100 \times \frac{1}{1+\exp(-a(\log_{10} X - \log_{10} m))}$$

a: ゲイン [-]　X: 評価対象都市の年間一人当たりCO_2排出量 [t/人/年]
m: 年間一人当たりCO_2排出量の世界平均値 [t/人/年]

図３　L のスコアリング関数

注釈

1）重み係数は各段階の項目毎に乗じる。項目は Q1・Q2・Q3 に分類される大項目と、その下に属する小項目（Q1.1、Q1.2、…）によって構成される。重み係数は項目数に応じて均等配分される。

引用文献

1）瀧上柾ほか：第 9 回日本 LCA 学会研究発表会, (2014), pp.64-65　2）都市の環境性能評価ツール開発委員会：“CASBEE-都市 評価マニュアル（2013 年版）”, (2014) 3）田中良篤ほか：第 9 回日本 LCA 学会研究発表会, (2014), pp.66-67　4）山崎潤也ほか：第 10 回日本 LCA 学会研究発表会, (2015), pp.226-227　5）一般財団法人建築環境・省エネルギー機構：“CASBEE for Cities - Pilot version for worldwide use”, (2015)　6）外務省：”「持続可能な開発のための 2030 アジェンダ」を採択する国連サミット”,<http://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/gic/page3_001387.html>,(参照 2015-12-15)　7）ISO：” Sustainable development of communities -- Indicators for city services and quality of life”,<http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=62436＞,(参照 2015-12-15)

産業連関分析による東京都の CO_2 排出構造分析

Analyzing CO_2 emission structure in Tokyo based on input-output analysis

○福馬智生*、吉田好邦
Fukuma Tomoki, Yoshikuni Yosida
東京大学
* bardic0926@gmail.com

1. はじめに

1.1 背景

近年、地球温暖化問題の解決が人類にとって重要な課題となっている。フランス、パリで行われた国連気候変動枠組条約第 21 回締約国会議(COP21)でみられたように国ごとの目標 CO_2 排出量を決めるのも各国の思惑が交錯して一筋縄で収めることがとても難しい状況にある。それだけでなく CO_2 の国ごとの排出量のカウント方法について一定のフレームワークが確立されていない。実際には国内における化石燃料の消費量、セメントの生産量等の数値から計算される国内での CO_2 発生量が自国の排出量となっているが、加工貿易の割合が大きい国では輸出品の製造時の CO_2 排出量を自国の排出量に含めるかによって大きく違いが生じる可能性がある。輸出需要をまかなう為の排出を除外し、逆に国内需要の輸入需要に起因する排出をカウントすることにより最終需要に起因する CO_2 の排出量をカウントするというこの考え方の方が、むしろ最終的なユーティリティーの大きさに応じて排出量を分配するという意味で、最終製品利用、消費に起因するライフサイクル環境負荷 (CO_2 負荷) を評価するという LCA(Life-Cycle Assessment)の趣旨に則っていると言える。これは世界の CO_2 排出量削減の問題を議論する上で重要な概念である。

1.2 本研究の目的

以上の事柄より、本研究では 2005 年の東京都産業連関表を用い CO_2 排出量を、製品・サービスとしての最終需要に帰属させるケースについても排出量を推計し、都内と国内他地域について CO_2 の排出構造を分析した。最終需要に起因する排出を算出することにより、各最終需要財の消費段階における CO_2 の削減努力を定量的に評価することができ、従来の地域単位での CO_2 の排出構造分析産業分野の削減対策とは異なる CO_2 削減の指針が得られる。その上で排出量を整合的にカウントするために、東京都における地域の最終需要に誘導される排出を用いて、東京都を例にとって内包的 CO_2 (Embodied CO_2)の排出構造を検討した。

2. 手法

2.1 国内最終需要に起因する各産業の生産量

本研究では東京都が公開している最新の 2005 年度版産業連関基本表 S を使用した。基本表 S は東京都地域 482×597、その他地域 471×586 の行列であるが、行と列の業種名が一致しない項目を統合して計 781×781 の正方行列にまとめた。この統合後の産業連関表を元に投入係数行列 A を作り波及を含む国内生産額を算出した。

$Xp=(I-A)^{-1}Fp \quad Xq=(I-A)^{-1}Fq$ ・・・・(1)

Xp：都内の最終需要に誘発される各産業の生産量
Xq:その他地域の最終需要に誘発される各産業の生産量
$(I-A)^{-1}$：レオンチェフ逆行列
Fp：都内地域の最終需要額
Fq：その他地域の最終需要額

(1)式の計算ではレオンチェフ逆行列を計算し、国内最終需要額 F を与えて波及を含む国内生産額を算出する。

これにより石炭、原油、天然ガス、発電電力に伴う CO_2 排出量を求めた。これにそれぞれの百万円あたりの CO_2 排出量を乗ずることで最終需要を満たす直接的な生産だけでなく波及効果も含めた直接間接の生産に伴う石炭、原油、天然ガス、都内の発電電力、その他地域の発電電力それぞれによる内包的 CO_2 が求まる。また電力由来の CO_2 を石炭・原油・天然ガスから引いておくことで発電に伴うエネルギーの消費のダブルカウントを避けた。

3. 結果

781 部門からより大きな分類 26 部門に統合したものについて結果を載せる。

図１に示す日本の最終需要による内包的 CO_2 のうち上位５分野の全体に占める割合は「石油製品」部門からの排出量が最も大きく 18.9%を占める。「石油製品」部門の排出量のうち約 86.3%は原油に由来する。２番目に排出量が大きいのが「電力・ガス熱供給・水道・廃棄物処理」部門で全体の 10.2%を占め、そのうち 44%がその他地域の発電電力によるものである。３番目が「建設」部門で全体の 8.7%、そのうち 46.5%が原油によるものである。ついで「サービス」部門が全体の 7.1%、

「商業」部門が 6.3%となった。

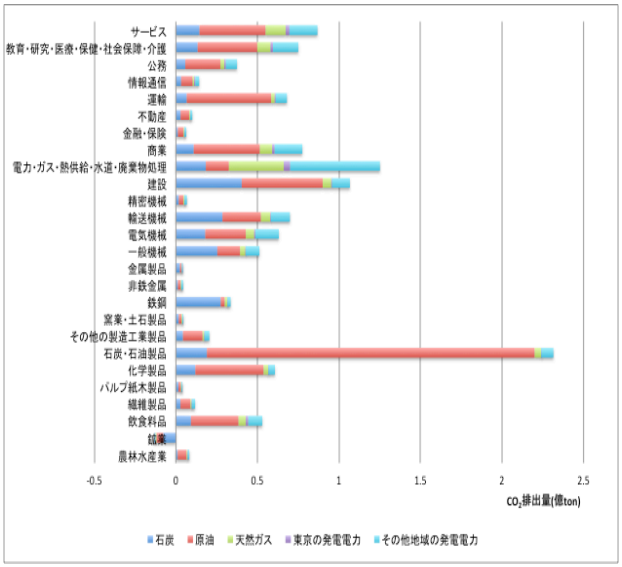


図 1 日本の最終需要による内包的 CO_2 排出量

図 2 に示す東京都の最終需要による内包的 CO_2 のうち上位５分野の、全体に占める割合は「サービス」部門からの排出量が最も大きく 15.7%を占める。「サービス」部門の排出量のうち約 51.3%は原油に由来する。２番目に排出量が大きいのが「電力・ガス熱供給・水道・廃棄物処理」部門で全体の 12.0%を占め、そのうち 49.6%が天然ガスによるものである。３番目が「飲食料品」部門で全体の 10.5%、そのうち 62.4%が原油によるものである。ついで「商業」部門が全体の 9.6%、「教育・研究・医療・保健・社会保障・介護」部門が 9.0%となった。

なお東京都の最終需要による CO_2 は日本全体の CO_2 の 10.0%となった。

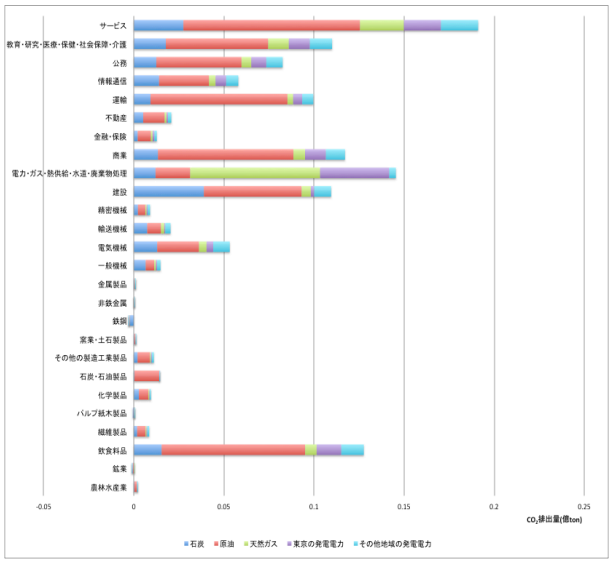


図 2 都内の最終需要による内包的 CO_2 排出量

４.結論

本研究では CO_2 の排出量を整合的にカウントする為に最終需要に起因する内包的 CO_2 という観点から 2005 年東京都の産業連関表を分析し、東京都の排出構造を検討した。

この内包的排出という考えは LCA に即した考え方であり、地域ごとに実排出量と並行して今後考慮されていくべきである。

産業連関表から 781 部門まで細かく最終需要による排出を辿ることによりこれらの排出のうちどの部門による影響が大きいのかをより細かな視点で考えていきたい。

引用文献

1) 吉田好邦,石谷久,松橋隆治:LCA 的な概念による地域活動に伴う CO_2 総排出量の構造分析,
2)芦村昌士,沼田博美,横山計三,竹林芳久,横尾昇剛,岡建雄:2005 年産業連関表による建設を伴う CO_2 排出量原単位の作成と流通マージンの分析に関する研究,
3)東京都総務局統計部平成１７年（2005 年）産業連関表,

全国 1,300 市区町村の健康余命を規定する住環境要因の多変量解析

Multivariate Analysis on Determinants of Healthy Life Expectancy Resulting from Residential Environment in 1,300 Japanese Municipalities

○鈴木健太郎*[1)]、伊香賀俊治[1)]、村上周三[2)]、川久保俊[3)]
Kentaro Suzuki, Toshiharu Ikaga, Shuzo Murakami, Shun Kawakubo
1）慶應義塾大学, 2）建築環境・省エネルギー機構, 3）法政大学
* kentaro.suzuki@a8.keio.jp

1. はじめに

平均寿命について我が国は世界で高い水準を維持してきた一方で、医療・介護費削減の観点から今後は「健康寿命[注 1)]」を延伸させることが課題と言われている[文 1)]。それと共に、「健康格差[注 2)]」の縮小も目標の一つに挙げられており、国内では健康寿命の都道府県格差について算定結果が既に公表されている。都道府県単位のみならず全国の基礎自治体を対象として健康格差を明確化することは、地域保健医療福祉の計画立案に向けて重要な基礎資料となり得るが、そのような報告は僅かである。そこで、本研究では 2 時点における全国市区町村の 65 歳時健康余命を算定し、健康格差及びその進行度を明らかにする。また、WHO の報告[文 2)]によると居住の物的環境が健康の社会的決定要因の一つであると言及されているため、健康余命を規定する住環境要因について分析を試みる。

2. 研究方法・結果

2.1 健康余命の算定方法[文 3)]

本研究では、健康状態を「日常動作が自立していること」として定義する。これに則り、日常生活に介護を要しない期間の集団の平均値を意味する「平均自立期間」を健康寿命算定の指標とする。各人の介護状態に関しては介護保険の「要支援 1、2、要介護 1～5」を採用する。本研究では介護保険の第一号被保険者である 65 歳以上の男女に焦点を当て、65 歳時における健康余命（以下、健康余命）を分析の対象とする。

健康余命算定のための基礎資料一覧を表 SI.1 に示す。基礎資料の情報を基に、Chiang の生命表法[文 4)]及び Sullivan 法[文 5)]を用いて不健康な期間の平均（要介護期間）を算出し、65 歳時の平均余命からその期間を差し引くことにより健康余命を計算する。

2.2 健康余命の計算結果

全国市区町村における 2010 年の健康余命の男女別算出結果を図 SI.1 に、2005 年の結果を図 SI.2 に示す。これらを見ると、男性の健康余命に関しては両年共に北信越地方では比較的長い傾向が見受けられる。星[文 6)]によると、標高が高い地域ほど平均寿命については統計学的に有意に長くなることが示されている。この

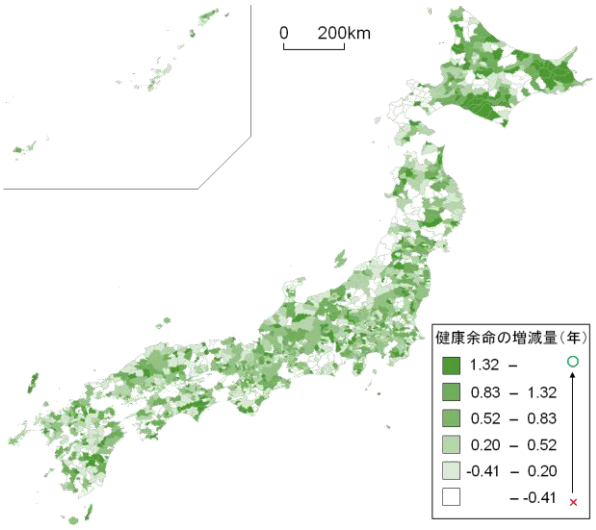


図 1　2005～2010 年の健康余命の増減（男性）

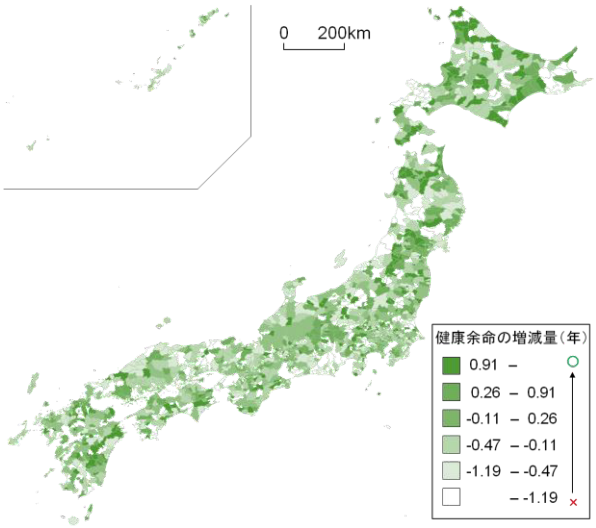


図 2　2005～2010 年の健康余命の増減（女性）

ことから水や空気がきれいな環境は人間の生活の質向上に結び付いている可能性が考えられ、健康水準は様々な要因で規定されることが推察される。

2005 年から 2010 年にかけて、健康余命は全国の基礎自治体を平均すると男性は 0.38 年延伸し、女性は 0.20 年の短縮となった。男性は北海道の中東部や全国各地の中山間地域で健康余命の増減幅が相対的に大きい（図 1）。女性についても山間部や北海道の沿岸地域で健康余命の延伸は確認できるが、中国・四国地方における多くの市町村で健康余命は短縮した（図 2）。

表 1　重回帰分析の結果　（n=1,277, *:p<0.05 **:p<0.01 ***:p<0.001）

目的変数	2005 年の健康余命（男）		2005 年の健康余命（女）		2010 年の健康余命（男）		2010 年の健康余命（女）	
説明変数	2003 年の住環境指標他		2003 年の住環境指標他		2008 年の住環境指標他		2008 年の住環境指標他	
	R^2=0.148		R^2=0.142		R^2=0.271		R^2=0.329	
	偏回帰係数	標準化偏回帰係数	偏回帰係数	標準化偏回帰係数	偏回帰係数	標準化偏回帰係数	偏回帰係数	標準化偏回帰係数
野菜摂取量の平均値	1.55×10^{-2}	0.313***	1.80×10^{-2}	0.254***	1.00×10^{-2}	0.278***	1.28×10^{-2}	0.306***
食塩摂取量の平均値	-0.317	-0.137***	-0.314	-0.094*	-0.210	-0.124***	-0.239	-0.122***
飲酒習慣者の割合	-2.11×10^{-2}	-0.070*	-3.18×10^{-2}	-0.074*	-2.99×10^{-2}	-0.136***	-4.54×10^{-2}	-0.179***
最終学歴が短大・高専卒以上の者の割合	-	-	-	-	2.095	0.179***	1.135	0.084*
高齢化率	-	-	4.57	0.179***	-	-	-	-
築 30 年以上の住宅割合	-	-	-	-	-1.02	-0.086*	-1.56	-0.114**
築 2 年以内の住宅割合	6.23	0.094**	7.15	0.075*	-	-	-	-
高齢者のための設備のある住宅割合	-	-	-	-	2.16	0.143***	1.29	0.073*
水洗トイレを有する住宅割合	1.75	0.180***	1.96	0.140***	1.26	0.146***	-	-
居住面積水準以上の住宅割合	-	-	-	-	-	-	2.21	0.099*
空き家割合	-3.17	-0.068*	-6.29	-0.094*	-2.20	-0.090**	-1.99	-0.071*
最寄りの交通機関まで 500m 以内の住宅割合	-1.14	-0.118***	-	-	-	-	-2.02	-0.213***
最寄りの交通機関まで 1km 以内の住宅割合	-	-	-1.84	-0.192***	-2.00	-0.244***	-	-
医療機関まで 500m 以内の住宅割合	-	-	-	-	-0.828	-0.190***	-	-
医療機関まで 1km 以内の住宅割合	-1.19	-0.183***	-0.969	-0.103**	-	-	-1.82	-0.345***

2.3 健康余命を規定する住環境要因分析結果

前節で算定した健康余命の向上に寄与する住環境要因を特定するために、2005 年、2010 年の男女別健康余命を目的変数とする重回帰分析[注3)]を実施した（表 1）。説明変数に投入を検討した指標一覧は表 SI.2 に示す。

標準化偏回帰係数の大きさに着目すると、「野菜摂取量の平均値」は各重回帰式の他の説明変数と比較して最上位の影響を与えている。また、「食塩摂取量の平均値」や「飲酒習慣者の割合」も全ての重回帰式の説明変数に選択され且つ負の影響を与えていることから、生活習慣の悪化は健康余命を短縮させることが定量的に確認できる。

各自治体の住民の生活習慣や学歴、高齢化率の影響も考慮した上で、住環境を表す指標も選択された。2010 年の健康余命は男女共に、「築 30 年以上の住宅割合」が高い自治体ほど短くなる傾向にある。高齢化率の高い地域ほど老朽化した住宅の割合は高いため、古い室内環境に長年曝露され続けることが健康余命を短縮している可能性が考えられる。また、「高齢者のための設備のある住宅割合」が高い自治体は全国平均と比べて健康余命が長い傾向となった。このことから、転倒・転落の予防に対する意識の強さは、健康長寿の長期化に寄与していることが示された。さらに、「水洗トイレを有する住宅割合」が高い地域ほど、健康余命は長い傾向も得られた。我が国のトイレの水洗化状況は、東北地方で依然として普及の余地がある。非居室であるトイレが劣悪な環境であると、冬季における室間温度差の拡大によるヒートショックを招くと推察される。

表 1 において特筆すべき点は、最寄りの交通機関や医療機関まで比較的近い距離に住宅の多い自治体は健康余命が長くない点である。医療整備の優れている都市部は地方に比べて年齢調整死亡率が高いという報告もあることから[文4)]、施設へのアクセスが良い地域は住民の活動量を抑制させ、不健康者割合を増やしている可能性が考えられる。

3. まとめ

公開統計情報を参照して全国市区町村の 65 歳時健康余命を 2005 年、2010 年の 2 時点で算出した。また、それらを規定する住環境要因を特定する重回帰分析を実施し、住環境の改善が健康寿命延伸に寄与する可能性について検討した。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金・基盤研究（A）（研究代表者：伊香賀俊治、課題番号：26249083）を受け、実施したものである。

注釈

注 1) 健康上の問題で日常生活が制限される事なく生活できる期間。
注 2) 地域や社会経済状況の違いによる集団間の健康状態の差。
注 3) 変数選択法はステップワイズ法とした。

引用文献

文 1) 厚生労働省：健康日本 21（第 2 次）の推進に関する参考資料, 入手先<http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenk ou/dl/kenkounippon21_02.pdf >,（参照 2015-12-10） 文 2) WHO : A conceptual framework for action on the social determinants of health, (2010) 文 3) 橋本修二：「健康寿命の評価」の進め方, 入手先< http://www.pbhealth.med.tohoku. ac.jp/japan21/manual -pdf/4.pdf>,（参照 2015-12-24） 文 4) 福永和夫他：ヘルスサイエンスのための基本統計学, (1992) 文 5) Sullivan DF : A Single index of mortality and morbidity, HSMHA Health Reports, 86, (1971), pp.347-354 文 6) 星旦二：ひとり一人の “夢と想い” を重視する住民の健康維持増進, 日健教誌, (2012)

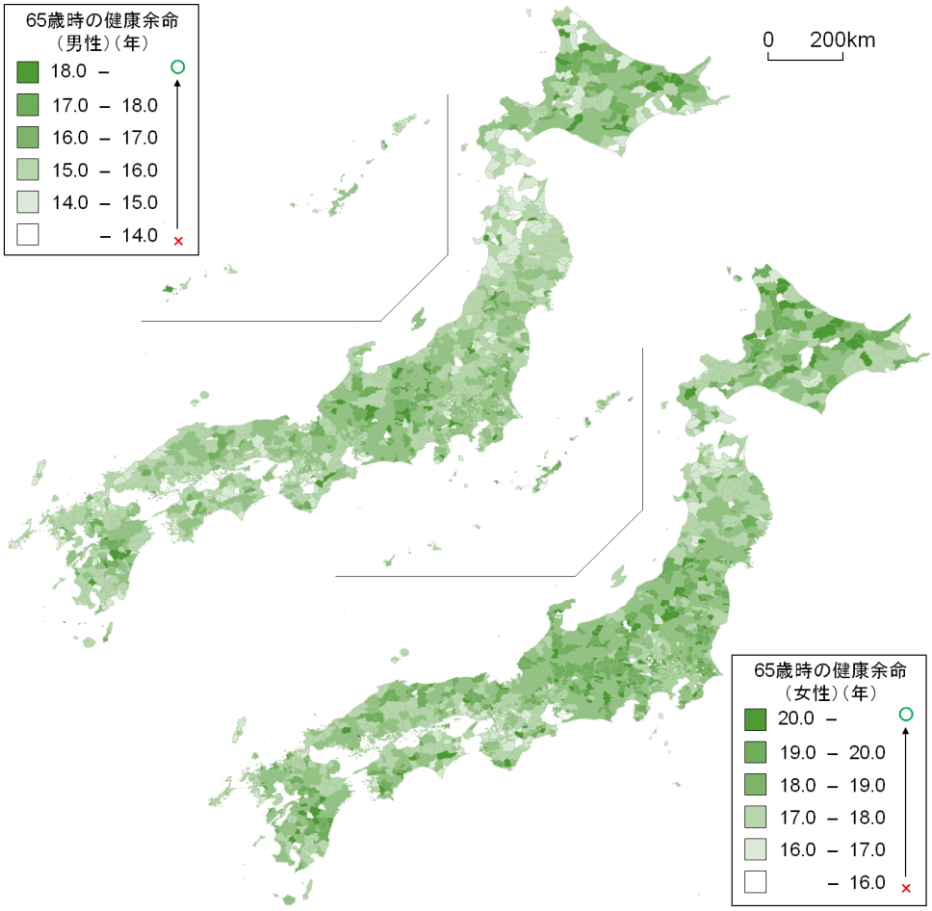


図 SI.1　2010 年における全国市区町村の健康余命算出結果（左上：男性、右下：女性）

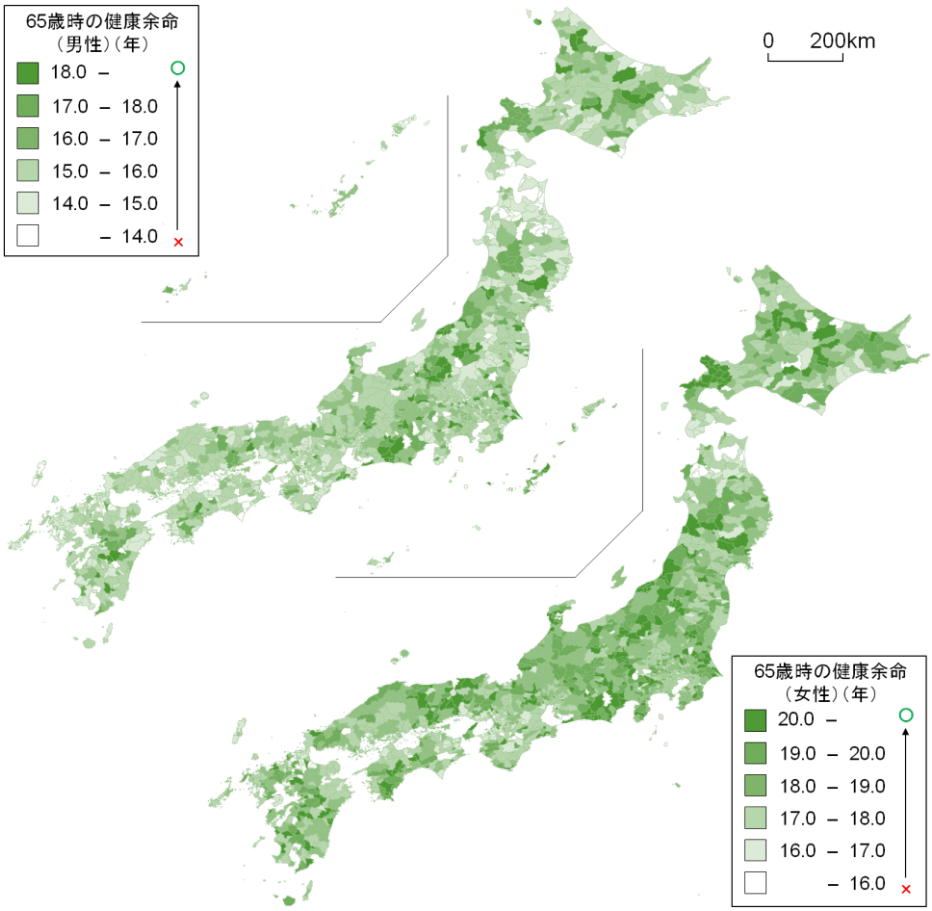


図 SI.2　2005 年における全国市区町村の健康余命算出結果（左上：男性、右下：女性）

表 SI.1　2005 年、2010 年の男女別健康余命算出のための基礎資料一覧

基礎資料	データ単位	出典
65 歳以上人口（性別・5 歳階級年齢別）	全国、市区町村	総務省統計局「国勢調査」
65 歳以上死亡者数（性別・5 歳階級年齢別）	市区町村	厚生労働省「人口動態統計（確定数）」
要支援・要介護者割合（65 歳～74 歳、75 歳～別） 要支援・要介護者割合（性別・5 歳階級年齢別）	市区町村 全国	厚生労働省「介護保険事業状況報告」 厚生労働省「国民生活基礎調査（介護表）」
65 歳～85 歳生存数、定常人口（5 歳毎）	全国	厚生労働省「完全生命表」

表 SI.2　重回帰分析で説明変数に投入を検討した指標[注 1)]

指標名	分類	年次	データ単位	出典
納税義務者一人当たりの課税対象所得 [円/人]	-	2003 年 2008 年	市区町村	総務省 「市町村税課税状況等の調」
一日当たりの野菜摂取量の平均値 [g/日]	20 歳以上の男女の平均	2006 年～2010 年の平均値	都道府県[注 2)]	厚生労働省 「国民健康栄養調査」
一日当たりの食塩摂取量の平均値 [g/日]	20 歳以上の男女の平均	〃	〃	〃
飲酒習慣者の割合 [%]	20 歳以上の男性の平均	〃	〃	〃
習慣的に喫煙している者の割合 [%]	20 歳以上の男性の平均	〃	〃	〃
一日・一人当たりの平均歩数 [歩/日]	20 歳以上の男女の平均	〃	〃	〃
一人当たりの乗用車保有台数 [台/人]	-	2008 年	〃	国土交通省自動車交通局 「自動車保有車両数」
教育過程修了者総数に占める 最終学歴別の卒業者数 [%]	大卒以上 短大・高専以上	2010 年	市区町村	総務省統計局 「国勢調査」
高齢化率 [%] （総人口に占める 65 歳以上人口の割合）	男女別	2005 年 2010 年	〃	〃
築年数別の住宅割合 [%]	築 30 年以上 築 2 年以内	2003 年 2008 年	〃	総務省統計局 「住宅・土地統計調査」
二重サッシ又は複層ガラスの窓のある 住宅割合 [%]	-	〃	〃	〃
手すり等の高齢者のための設備のある 住宅割合 [%]	-	〃	〃	〃
水洗トイレを有する住宅割合 [%]	-	〃	〃	〃
最低居住面積水準[注 3)]を満たす住宅割合 [%]	-	〃	〃	〃
空き家割合 [%]	-	〃	〃	〃
幅員 6m 以上の道路まで の距離別住宅割合 [%]	100m 以内	〃	〃	〃
最寄りの交通機関まで の距離別住宅割合 [%]	500m 以内 1km 以内	〃	〃	〃
最寄りの医療機関まで の距離別住宅割合 [%]	〃	〃	〃	〃
最寄りの公園まで の距離別住宅割合 [%]	〃	〃	〃	〃
最寄りの公民館・集会所まで の距離別住宅割合 [%]	〃	〃	〃	〃
最寄りの老人デイケアサービスセンターまで の距離別住宅割合 [%]	〃	〃	〃	〃
最寄りの銀行・郵便局まで の距離別住宅割合 [%]	〃	〃	〃	〃
最寄りの緊急避難所まで の距離別住宅割合 [%]	〃	〃	〃	〃
最寄りの小学校まで の距離別住宅割合 [%]	〃	〃	〃	〃

注 1)：重回帰分析におけるステップワイズ法の基準は、投入する F の確率<=.050、除去する F の確率>=.100 として実施した。また、説明変数同士で強い相関があるもの（R≧0.7）については多重共線性を考慮して、片方の説明変数を除外した。

注 2)：都道府県単位のデータは、各市区町村内で指標値を一律に与えた。

注 3)：最低居住面積水準とは、世帯人数に応じて健康で文化的な住生活の基礎として必要不可欠な住宅の面積に関する水準を示す。

住居環境の環境影響・健康被害低減を目標とした
コンジョイント分析手法による環境・健康被害評価

An impact analysis of environment damage in use of the conjoint analysis on mitigation of health damage in residential sector

○塩川健太[*1)]、小井土賢二[1)]、堂脇清志[1)]
Kenta Shiokawa, Kenji Koido, Kiyoshi Dowaki
1）東京理科大学,
*7414613@ed.tus.ac.jp

1. 背景・目的

近年、地球温暖化の解決及び東日本大震災後の新たなエネルギーの安定的な供給に関する対策が議論されつつある中、特に、家庭部門では、居室内の気密化断熱化を測ることや室内においてエアコンの使用を控えることが推奨されている。本研究では、この住宅用のエアコンに焦点を充てることとするが、これらの省エネ・節エネ策を実行することで、エネルギー消費量を削減できる一方、過度な省エネ行動は、健康被害リスクを増加させる可能性がある。すなわち、このケースにおける健康被害リスクの対策は、適切に空調(冷房)を使用することであるが、高齢化が進む我が国においては、高齢者には、「冷房が体に障る」という潜在意識が存在し、この様な背景も熱中症などの健康被害リスクを高めていると言われている。

厚生労働省の調査では、健康に対して気をつけていると答えた人が全体の 87%であったが[1)]、その一方で室内健康被害は増加しており、特に 2015 年 7 月の熱中症緊急搬送者数は史上最多の 2 万 4567 人であった[2)]。また、近年の夏場の気温が 35℃以上となる猛暑日の増加により(群馬県館林における猛暑日日数29日(2015年)、23日(2014年))、今後急速に高齢社会が進む我が国においては、前述したような理由により、適切に冷房を使用しない高齢者の熱中症等に伴う生命に危険を及ぼす事態となってきている。一方で、冷房の過度の使用は、近年の住宅の高断熱や高機密性により、すなわち、省エネあるいは節エネには、十分な効果が期待されている反面、喚起回数の減少により、住宅の気密性を原因とするシックハウス症候群の症状を引き起こすことが懸念されており、環境への貢献を図る一方で、健康リスクを高める一種のトレードオフの関係を呈している。

このような背景から、本研究では、健康意識が高いにもかかわらず、健康被害が増えていることを勘案し、すなわち、一般社会(健康被害者)側と注意喚起を行う側の意識にズレがあることが想定されるため、健康性の評価を考慮し、かつ省エネルギー効果と合わせた判断基準の見える化(医療費による金額ベースでの指標)を提案することしたい。本研究のような家庭における室内の健康被害リスクを示す既往研究を少なく、実際に支払う医療費で表した研究は存在しない。また、評価結果からアンケート調査及びコンジョイント分析により意識調査を行うことで、最終的に健康被害低減を目標とする。

2. 本研究の流れ

本研究のフロー図を示す(図 1 参照)。主な流れとしては、各健康被害リスク算定、環境影響評価及び対策費用算定の 3 つである。まず、対策費用は選定した家庭に電力計測器を設置し、空調費用から算出する。本研究における対象の疾患は、シックハウス症候群(SHS)及び熱中症である。SHS の対策は、換気の頻度を上げることで対応する。

そこで本研究では、換気を行うことによる空調負荷の

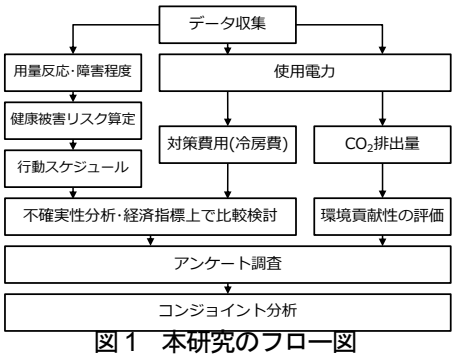


図１　本研究のフロー図

増加を冷房費として計上する。また、熱中症においても冷房代を健康リスクの対策費とする。次に、環境影響評価は、電力消費量から評価を行い、最後に、健康被害リスクに関しては、計測データ及び LIME2 の用量反応係数を用いて算出する。ここではさらに、省エネ行動を行う居住者が支払う可能性がある医療費を健康リスクの金額として使用することとした。また、最終的にアンケート調査及びコンジョイント分析によって実際の省エネ実行者である高齢者の意識調査及び改善を行う方針を明示することとした。

3. 条件設定及び評価方法

3.1 室内空気質汚染

各影響評価を行なう際に用いるデータを選定した家庭から測定した。対象とした住宅は、延べ床面積 89.7m2、居住者数 1 人、築年数 15 年である。シックハウス症候群の原因物質は、建材や家具、生活用品から発生する揮発性有機化合物である。トルエン及びホルムアルデヒドが

他の原因物質に比べて室内の存在率が高いため、本研究ではトルエン、ホルムアルデヒドのみを研究対象とし、濃度の測定を行った。また、SHS 対策である換気との関係性を調べるために、4 ケース(換気回数を 0.1 回/h , 0.5 回/h , 1.0 回/h , 2.0 回/h)測定を行うものとする。

SHS リスクの算出は、主に用量反応段階と障害の程度の段階の 2 つである。用量反応とは、どれだけの汚染濃度で発症するのかを表し、障害の程度とは、どのくらいの疾病の程度なのかを表す。従って、用量反応では、対象汚染物質の濃度から症状の程度(QEESI 値)を算出し、その後、症状の程度で通院期間を算出した。また、通院期間の決定では、LIME2 の 1 疾患当たりの平均持続期間(年/1case)に注目して算出した[3]。これを、1 疾病当たりの平均の障害の程度(QEESI/1case) で除することによって、ある QEESI 値における持続期間(通院期間)を表した(式 1 参照)。なお、QEESI(quick environmental sensitivity inventory)とは、SHS の重症度を表す指標である。式(1)での AveSHS_Year : SHS は平均持続期間,LevSHS_QEESI : SHS は平均障害の程度,RateSHS_Duration:は単位 QEESI あたりの SHS 持続期間である。なお、医療費及び点数計算は、1 件当たりの医療費用から医療機関の方に協力を得て作成した。

$$\frac{AveSHS_{Year}(year/case)}{LevSHS_{QEESI}(QEESI/case)} = RateSHS_{Duration}(\mathrm{year/QEESI}) \quad (1)$$

3.2 熱中症

飛田らは、熱中症患者数と気象条件との間に有意な相関関係を示していることから[4]、本研究では、藤沢の手法を参考に[5]、気象条件と熱中症搬送者数の関係から健康被害リスクを算定することとした。その際、気象条件を表す指標として WBGT(湿球黒球温度)を用いた。熱中症リスク算定で使用したデータは、気象庁及び消防庁のホームページを参考にした[6)7)]。なお、熱中症医療費は、総務省消防庁の分類方法を参考にし、重症度ごとに、軽症、中等症、重症、死亡分類し計算することした[8]。

3.3 アンケート調査及びコンジョイント分析

最後に、健康リスクの結果及びアンケート調査を用いて選択型コンジョイント分析を行った。対象は、適切な節エネの推進とし、熱中症のリスクの上昇、SHS のリスクの上昇、CO_2 排出量の削減、冷房代(対策費)の削減をコンジョイント分析における属性として分析した。

4. 結果

SHS において、換気回数が 0.1 回/h の場合、医療費による健康被害リスクは約 4.3 万円となり、換気回数を増やしていくと順にリスク額は、3.3 万円、1.8 万円、0.7 万円となる (図 2 参照)。また、換気回数を 2.0 回/h と増やすことでリスクをさげることができるが、CO_2 排出量は換気回数ごとに増加する。

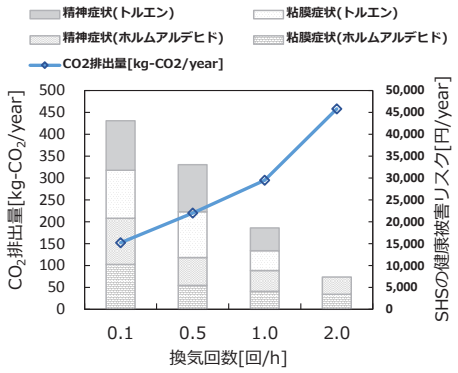


図２　換気回数･CO_2 排出量及び SHS リスク

次に、熱中症リスクを推定した。熱中症のリスクに比べて対策費が非常に低い金額である。従って、過度に省エネを行いエアコンの使用を制限するべきではない。以上の SHS の結果に加えて、WBGT が 30 以上のとき急激に熱中症リスクが高くなることから、状況に応じて最適なケースがあるとわかる。これらの結果にコンジョイント分析で得た対象者の趣向を取り入れることで、現実的な適切ケースを提示することが可能となる。

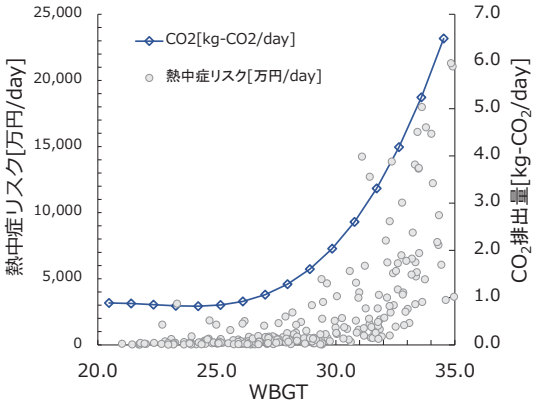


図３　WBGT と熱中症リスク･CO_2 排出量

参考文献

1) 厚生労働所政策統括官付政策評価官室,"「健康意識に関する調査」の結果を公表",(2015),pp.1-18
2) 消防庁,総務省,"7 月の熱中症による緊急搬送数の状況,入手先 <http://www.fdmago.jp/neuter/topics/fieldList9_2.html>,(参照 2015-12-21)
3) 伊坪徳宏･稲葉敦,"LIME2 意思決定を支援する環境影響評価手法",産業環境管理協会,東京,(2010),p.666
4) 飛田国人,蔵澄美仁,大和義昭,深川健太,佐賀亮介,オンラインコミュニティへの質問投稿者が有する熱中症への関心,日生気誌 52(2),2015,105-117
5) 藤沢祐介,小井土賢二, 堂脇清志(2013),"夏季における高齢者の熱中症による健康被害リスクと暑熱対策費用の比較"
6) 過去の気象庁データ検索,気象庁国土交通省,入手先 <http://www.data.jmago.jp/obd/stats/etm/>,(参照 2016-1-5)
7) 熱中症情報,総務省消防庁 HP,入手先 <http://www.fdmago.jp/neuter/topics/fieldList9_2.html>,(参照 2016-1-5)
8) 熱中症に関する研究･報告について,日本救急医学会 HP,入手先 <http://www.jaam.jp/html/nettyu/nettyusyou.html>,(参照 2016-1-5)

Supporting Information(SI)

- **コンジョイント分析における属性及び水準**

本研究のコンジョイント分析の属性及び水準は、夏のエアコン代を 6000,9000,12000,19000 円とし、CO_2削減量を 150 kg,220 kg,300 kg,460 kg、SHS になる可能性を、なし,1 週間の通院の可能性,1 ヶ月の通院の可能性,3 ヶ月の通院の可能性、熱中症になる可能性を、なし,軽症の可能性,中等症で入院の可能性,重症で入院の可能性とした。

- **WBGT について**

WBGT の算出には、以下の式 S1 を用いる。なお、Ta：乾球温度(℃),RH ：相対湿度(%),SR ：全天日射量(kW/m2),WS：風速(m/s)とした。

$$\mathrm{WBGT} = 0.727 \times T_a + 0.0371 \times RH + 0.00295 \times T_a \times RH + 4.933 \times SR - 1.853 \times SR^2 - 0.0511 \times WS - 3.877 \quad (式\ S1)$$

- **測定について**

ホルムアルデヒド及びトルエン濃度の測定に用いる測定装置は、自動ガス採取装置 GSP-300FT-2 を用いて検知管式測定法で行う。検知管は、ホルムアルデヒド検知管 91PL、トルエン検知管 122P を用いる。室内濃度の増加分は、対象とするモデルの室内及び室外の 2 箇所から求める。電力消費量を計測する際に、機器は中国計器工業株式会社省エネナビ CK-5 を用い、集計期間は 2014 年 7 月 1 日から 10 月 31 日を対象とした。

- **SHS リスク算出の補足**

SHS の用量反応については LIME2 を参考に式 S2 及び表 S1 を用いて算出した。この結果をもとに、通院期間を算定し、医療費換算をするものとする。なお、DF：室内空気質汚染のダメージ関数[year],ΔC：室内汚染物質の室内濃度の増加分[ppm],DR：用量-反応関係[(QEESI/人)/ppm],P：対象者数[人],Ds ：疾病の被害の程度[year/QEESI]とする。

$$DF = \Delta C \times DR \times P \times D_S \qquad (式\ S2)$$

また、各ケースの医療費換算による健康被害リスクの算定は式 S3 を用いることとする。

各ケースの健康被害リスク

$$= 初診料 + (再診料 \times 再診回数) \quad (式\ S3)$$

表 S1　用量反応係数(LIME2 参照)

用量反応	ホルムアルデヒド	トルエン
精神症状 [QEESI/ppm]	3.78.E-01	3.00.E-01
粘膜症状 [QEESI/ppm]	4.06.E-01	3.27.E-01

- **SHS 及び熱中症の医療費点数表**

SHS 及び熱中症の医療費点数表は、医療機関及び既往研究である藤沢らの研究を参考に算定した。

表 S2　シックハウス症候群の医療費

		点数
初診（1回目受診時）	基本	285
	投薬等(院外処方)	115
	レントゲン	268
	検査	2,767
	処置・手術	0
	計[点]	3,434
	負担額[円]	10,301
		点数
再診（2回目以降受診時）	基本	85
	投薬等(院外処方)	68
	レントゲン	0
	検査	448
	処置・手術	0
	計[点]	601
	負担額[円]	1,802

表 S3　熱中症軽症の医療費

軽症		点数 A	点数 B
処置	初診料	270	270
	再診料	70	
	点滴注射		95
	ラフテック注１袋		15
合計		340	380
平均		360	
経済負担(円)		1,080	

表 S4　熱中症中等症の医療費

中等症		点数 A
処置	1～2日	2,920
	3～4日	2,158
	5～10日	1,834
	救急医療管理加算	800
合計		221,819
平均		22,182
経済負担(円)		66,546

表 S5　熱中症重症の医療費

重症		点数 A
処置	1～5日	4,687
	6～17日	2,193
	18～52日	1,864
	ICU特定入院料(1～7日)	7,450
	ICU特定入院料(8～14日)	5,950
合計		6,477,012
平均		202,407
経済負担(円)		607,220

- **使用した CO_2 排出原単位**

表 S6　使用した原単位

material	specific comsumption	unit
electricity	4.79.E-01	CO_2 / kWh

品種と年齢の特徴を考慮したペットのライフサイクル評価

Life Cycle Assessment of Pets Considering the Differences of Types and Age

○薄美咲*[1)]、伊坪徳宏[1)]
Misaki Usuki, Norihiro Itsubo
1) 東京都市大学
*g1231026@tcu.ac.jp

1. はじめに

気候変動による影響が深刻化する中、日本では家庭部門における CO_2 排出量の公表や、エコマークをはじめとした環境ラベルの普及によって人々の地球環境や社会問題に対しての意識が高まりつつある。少子高齢化社会に突入した日本ではペット分野の市場規模が年々拡大している。その一方で、当該分野における環境配慮商材は少なく、ペットの飼育に伴う環境負荷に関する情報も明らかになっていない。そこで本研究ではペットの中でも最も飼育頭数が多い犬と猫を対象に、1 年間飼育する上で発生する環境負荷を評価する。環境負荷量はサイズや年齢、品種により異なることが考えられる。ここでは、なるべく多くのサンプルを対象に分析することで評価の代表性を向上するだけでなく、環境負荷量に影響を与える要素を抽出することで環境負荷削減のための要点を抽出することを目指す。

2. 研究方法

本研究では、アニコム損害保険株式会社のペット保険に契約している 0 歳から 18 歳までの犬 1815 匹及び猫 409 匹を評価対象とした。品種は犬を 21 種に分類し、MIX 犬については体重 10kg 未満、体重 10kg 以上 20kg 未満、体重 20kg 以上の 3 つに分類し、合計 23 種として分類した。また、これらの品種に属さない品種の犬はその他として分類した。猫は 11 種に分類し、犬同様これらの品種に属さない猫はその他として分類した。評価範囲は 2014 年 1 月 1 日から 12 月 31 日までの 1 年間に家計からペットを飼育するうえで支出する金額を対象としている。表 1 に本研究の評価項目を示す。

表 1　評価項目

大項目	項目	設定内容
医療	治療費	病気やケガの治療費用
	予防費	予防接種のワクチン費用
	ペット保険料	アニコム損害保険株式会社のペット保険の年間の料金
食料	ペットフード	ペットに与える食品の費用
家庭用品	日用品	トイレ用品の費用（犬はペットシーツ、猫は猫砂）
	洋服	ペットに着せる洋服の費用
	首輪・リード	革製の首輪の費用
	防災用品	移動用バッグの費用
サービス	トリミング料	ペットのトリミング料金
	しつけ料	ペットのしつけ教室の料金
	ペットホテル料	ペットの預かりサービス料金
	ドッグラン	ドッグランの入園料金

本研究ではアニコム損害保険株式会社へヒアリング調査を行い、ペット保険に加入している飼い主が 1 年間にペット 1 匹に対して消費支出する金額データを基に算定を行った。データを得られない水道や電気などの光熱費は評価対象外とした。

原単位は国立研究開発法人国立環境研究所の環境負荷原単位(3EID)[1)] を用いた。それぞれ最も項目に近い原単位を用いて算定を行った。計算方法は以下の通りである。

$$CO_2 排出量=\Sigma(活動量\times原単位)$$

3. 結果

3.1 1 年間の CO_2 排出量（全体平均）

ペットの 1 年間の CO_2 排出量の全体平均を図 1 に示す。犬 1 匹当たりの CO_2 排出量は 0.83t-CO_2、猫 1 匹当たりの CO_2 排出量は 0.42t-CO_2 となり、犬の方が 2 倍近く大きい結果となった。また、CO_2 排出量の内訳をみると、いずれも日用品が最大で全体の 40%近くを占めた。犬は洋服やトリミングなどが 5%程度を占めるなど、日用品として利用される品目数が多いことが当該項目の増大につながった。その一方で猫は治療費、ペットフード、日用品の 3 項目でほぼ全体を占める結果となった。

また、全データの 10%から 90%の誤差範囲を図 1 に合わせて示した。平均の 1/3 から平均の倍まで大きな幅が見られた。

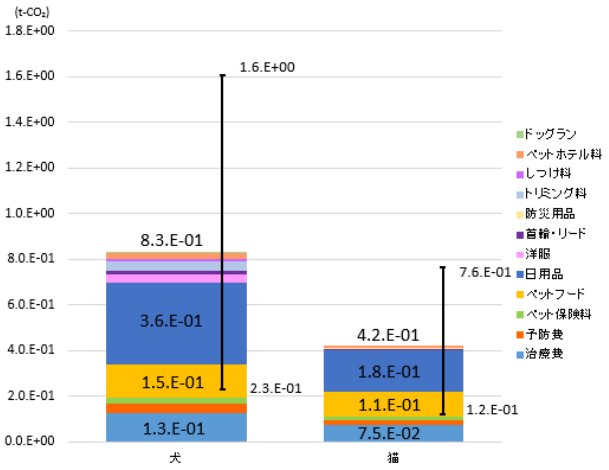


図 1　ペットの 1 年間の CO_2 排出量（全体平均）

3.2 1 年間の CO_2 排出量（年齢別）

ペットの 1 年間の CO_2 排出量を年齢別に比較したグラ

フを図 2 に示す。

年齢別に比較をすると、犬も猫もおおよそ年齢が高齢になるほど CO_2 排出量が大きくなる傾向が見られた。高齢になるとペットフードの負荷が低減する一方で、疾患にかかるリスクが高まり、医療に関わる負荷が増大する傾向が見られた。一方で年齢が若いほど、特に 0～1 歳時における日用品の割合が高かった。

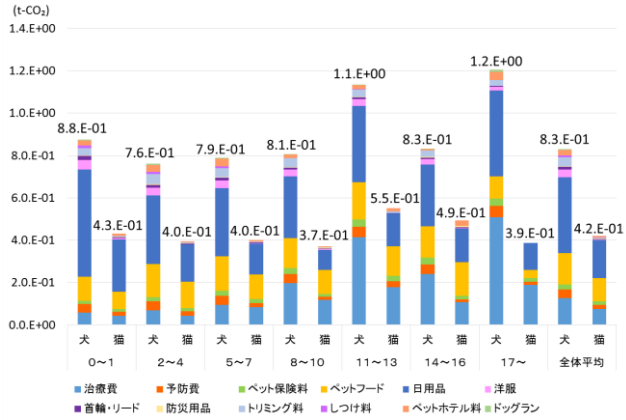


図２　１年間の CO_2 排出量（年齢別）

3.3　１年間の CO_2 排出量（品種別）

ペットの 1 年間の CO_2 排出量を品種別に比較したグラフを図 3、4 に示す。横軸を平均体重(kg/個体)、縦軸を CO_2 排出量(t/年/個体)とした。

犬の品種を小型犬、中型犬、大型犬に分類し、さらに品種別に比較した結果、全体の傾向として体重が重い品種ほど CO_2 排出量が大きい結果となった。これは体重が重く体が大きい犬ほどペットフードの消費支出額が増えたためと考えられる。小型犬で突出して CO_2 排出量が多いイタリアン・グレーハウンドは防寒能力が低く室内飼育であることから日用品の消費支出が増え、全体の CO_2 排出量が大きくなった。また、イタリアン・グレーハウンドと同程度の CO_2 排出量であった体重 20kg 以上の MIX 犬の場合は、ペットフードやペットホテル料の寄与が大きい。このように品種によって環境負荷の主な要因が異なり得ることが確認された。

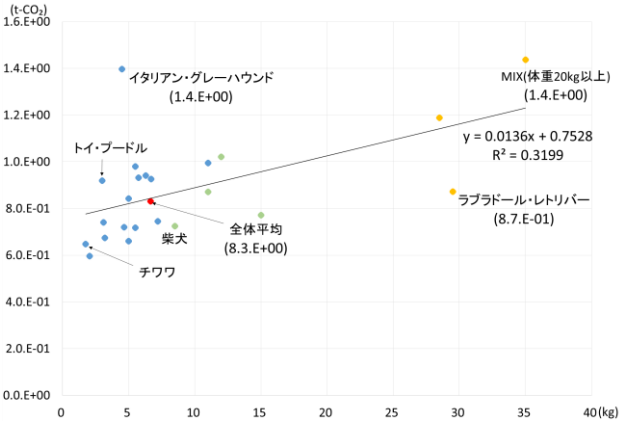


図３　犬の品種別に見た CO_2 排出量（横軸は平均体重）

猫を品種別に比較した結果、犬同様体重が重い品種ほど CO_2 排出量が多くなるものの、大きな差は見られない結果となった。猫は最も体重が軽い品種と重い品種の体重差が 4kg 程度であるため、CO_2 排出量に大きな差が出なかったと考えられる。最も CO_2 排出量が多かったラグドールは猫の品種の中で最大クラスであるためにペットフードや日用品の消費支出が多くなったことが起因していると考えられる。

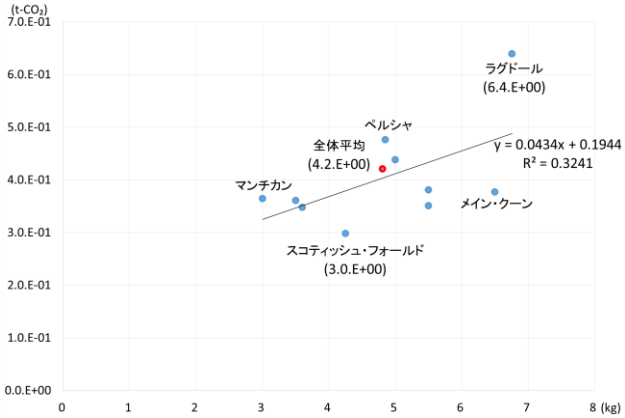


図４　猫の品種別の CO_2 排出量

4.　まとめ

本研究ではペットを対象に 1 年間の CO_2 排出量の算定を行い評価した。1 個体あたりの排出量平均(0.4～0.8ton)は家庭からの排出量(2ton/年/人)の 1/5～半分程度に相当した。年齢が高齢で、かつ、体重が重い品種であることや病気にかかりやすい品種は CO_2 排出量が大きくなる傾向がみられた。ペットフードや日用品、医療が大きな影響を与えることから、CO_2 排出量を削減するためにはこれらの製品の素材や製造工程、サービスについて継続的に見直し、ライフサイクルを考慮した環境対策を行うことが望まれる。

また、本研究はペットの飼育と環境負荷の定量的な関係を見出すことを目的としており、ペットを飼育しないことを提案するものではない。

5.　参考文献

1)　国立環境研究所：産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)，(オンライン)，入手先 <http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/jpn/page/data_file.htm>，(参照 2015-4)

新聞インキを対象とした環境影響の変遷

Transition of environmental impact of printing inks for newspaper

○樫木麻紀子*[1)]、富川恵子[2)]、伊坪徳宏[1)]
Makiko Kashiki, Keiko Tomikawa, Norihiro Itsubo
1) 東京都市大学, 2) 東洋インキ SC ホールディングス株式会社,
* g1231173@tcu.ac.jp

1. はじめに

印刷に不可欠なインキは環境・社会の動きと合わせて様々な変遷を経てきた。1980 年代の凸版印刷が普及した当初は、生産性の高さが優先され、石油から生産した溶剤が使用されてきた。その後、1990 年代から環境問題に対する意識が向上し、従来インキの代替として植物油を主原料とする植物油インキが注目されてきた。90 年代後期に入ってからは芳香族系炭化水素の利用回避と米国産の大豆油利用のニーズが高まったことを受けて、鉱物油と作物の代替が進んだ。現在は再生油の利用システムが整備されたことを受けて、作物の使用量の低減が進みつつある。

このように、インク業界は、石油代替、VOC 削減、植物系原料使用など様々な対策を進められてきたが、これらの変化によって環境影響も大きく変化しているものと考えられる。気候変動のほか、水、化学物質、資源枯渇など複数の環境影響に関わることが想定されるため、これらの影響を包括した解析が求められる。

2. 研究目的

本研究では、新聞インキを対象に環境影響の変遷を振り返ることを目的にした LCA を行う。1980 年代の鉱物油利用モデルをベースラインとして、鉱物油部分代替ケース、大豆油利用ケース、再生大豆油利用ケースの四ケースを対象にして分析し、これらの設計変更が環境パフォーマンスの変化にどのような影響を与えたのかについて考察する。鉱物油代替、作物変更、再生油利用促進により、特に影響を受ける領域として、気候変動、水、VOC、資源枯渇を取り上げ、これらの影響間の関係ついて統合化を通じて総合的な環境影響変化についても求めた。

3. 方法

3.1. 評価対象と評価範囲の設定

本研究では、ヒアリングデータ及び既存研究[1-3)]を基に、原材料が異なるインキのモデルを設定し、印刷インキの評価を行った。評価範囲については既存研究[4)]を基に設定した。表 1 に機能単位とシナリオ設定、図 1 にシステム境界を示す。

表 1 機能単位とシナリオ設定

機 能 単 位	インキを生産し、新聞紙 1 枚に印刷すること
基 準 フ ロ ー	1kg 当たり

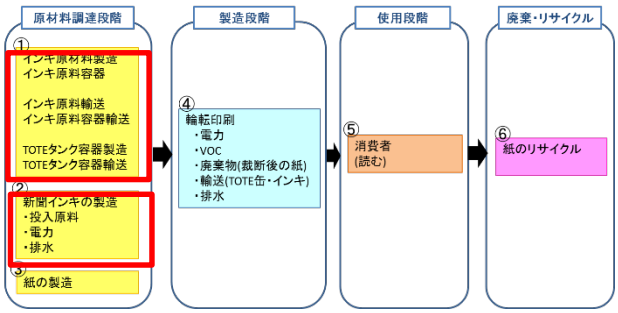


図 1　システム境界

3.2. モデルの設定

本研究で評価を実施するために、ヒアリング調査結果を基に 4 種類のモデルを設定した。これらの特徴を表 2 に示す。

印刷はすべて黒で印刷をした場合を想定した。

表 2　年代別・インキ中に含まれる油の主原料

①鉱物油使用モデル (1980 年代以前)	鉱物油・ギルソナイト
②鉱物油一部代替モデル (1980 年代中期)	鉱物油、亜麻仁油
③大豆油使用モデル (1990 年代中期)	大豆油、鉱物油(3 員環以下)
④再生植物油モデル (1995 年代以降)	再生大豆油使用、鉱物油(3 員環以下)

3.3. 環境影響評価

CO_2 と資源消費の投入量には、一次データを用いた。環境負荷量の算定には、LCA ソフトウェア「MiLCA」及びデータベース「IDEA」を用いて評価を行った。また、WF の算定については、投入量にはヒアリングで入手した数

値を、原単位に関しては東京都市大学小野らが開発した水使用量・消費量データベースを使用した。廃棄に関しては、シナリオ及び二次データにて対応した。

4. 結果

本研究では、紙とインキの双方を含めた分析を行ったが、ここではインキのみに注目して、CO2, 水、資源それぞれの影響の変遷に関する評価結果を示す。

4.1. CO2 算定結果

CO2 の算定結果を図 3 に示す。モデル①は全体の負荷は 3.28E+03【kg-CO_2】で、鉱物油が全体の約８割を占めた。一方で、モデル④では全体の負荷は 3.09E+03【kg-CO_2】で、再生大豆油が約４割を占めた。４種類を比較すると、再生大豆油による負荷の削減ができていることを確認した。

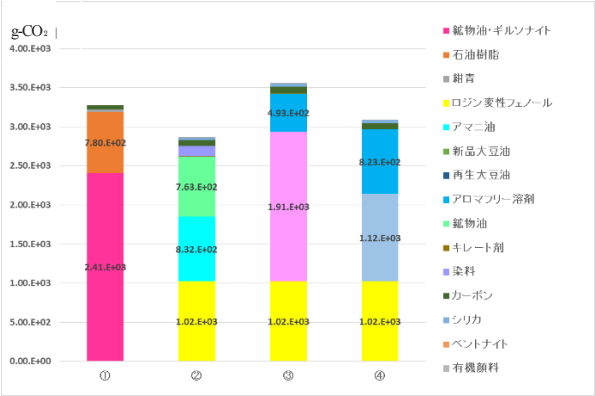


図３　新聞インキの LC-CO_2 評価結果

4.2. 水消費量の算定結果

水消費量結果を図 4 に示す。①の鉱物油と比べ、②から④の植物油を含む原材料が大きく出る結果となった。これは、原油を地中から抽出する際の水消費量に比べ、植物油を栽培する際の水消費量が多くなることによると考えられる。また、大豆への移行によって水消費量は 2 割程度削減した。これは亜麻仁油から大豆に変更することによる生産性の向上が寄与したものと考えられる。さらに、再生大豆油の利用により、水消費量の削減を確認することができた。②のケースに比べて、再生油の利用によりおよそ半減することができた。

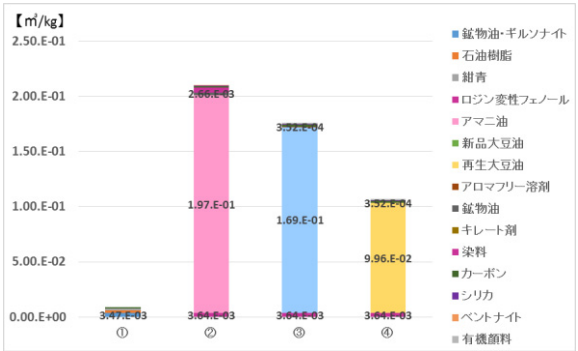


図４　新聞インキの水消費量結果

4.3.資源消費評価結果

資源消費の評価結果を図5に示す。鉱物油から植物油への一部代替(①→②)により、原油消費量削減により一割程度の低減効果が確認できたが、大豆への転換(②→③)により、むしろ栽培と精製への化石燃料消費が増大した。しかし、再生利用の促進(③→④)により、大きく原油の消費量削減効果が見られ、全体として(①→④)およそ半減できたことを確認した。

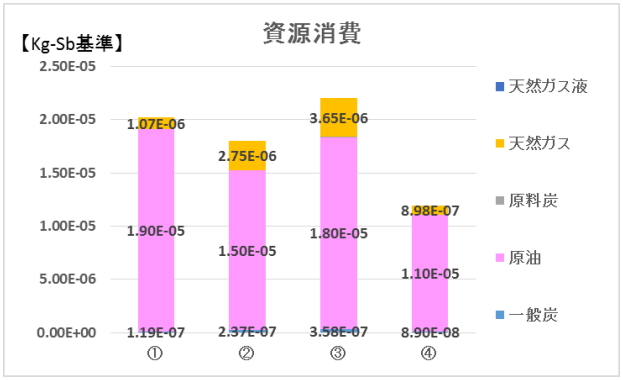


図５　新聞紙及び新聞インキの資源消費評価結果

5. おわりに

４種類のインキを対象に LCA を行い、これらの比較を通じて環境影響の変遷について考察した。CO2 と資源消費については、植物油への代替と再生油の積極的な利用によって、大きな削減効果が得られていることを確認した。一方で、水消費量は植物油への代替により一旦増加したものの、作物の変更と再生促進により着実に削減していることを確認した。

本研究では、VOC の変化、複数の影響領域について統合化した結果についても合わせて算定した。口頭発表では、これらの関係について考察した結果についてもあわせて報告する。

参考文献

1) 秋山翔太：「地域性を考慮した植物油インキを用いた印刷物の環境影響評価」
2) 荒井翔平：「植物油インキを用いた印刷物の環境影響評価」
3) 小野雄也：「水使用・水消費データベース」
4) 飯野久：「大豆油インキとオフセットインキの環境対応」

ストーンペーパーの環境影響評価

Environmental Impact assessment of stone paper

○阪西達矢*[1)]、本下晶晴[2)]、田原聖隆[2)]、稲葉敦[1)]
Tatsuya Sakanishi,Masaharu Motoshita,Kiyotaka Tahara,Atsushi Inaba
1)工学院大学,2)産業技術総合研究所
*a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

1.はじめに

著者らは既に[1)]、表 1 に示すように、ストーンペーパーはパルプ紙に比べライフサイクルでの CO_2 排出量は多いが、水消費量は少ないことを示した。

表 1 ストーンペーパーと上質紙のインベントリ分析

	単位	上質紙	ストーンペーパー
森林の育成のための蒸発散量	m^3	4.23E-01	-
工業用水	m^3	1.33E-02	2.40E-05
CO_2	kg	2.34E-01	4.66E-01
木材	kg	2.46E-01	-

しかし、パルプ紙の製造に必要な森林育成のための水消費量については、育林期間、国内の立木伐採面積以外の森林特性（樹高、樹冠面積など）が考慮されていなかった。本研究では特に広葉樹の森林特性を表す作物係数を検討し、森林育成のための水消費量の評価を行う。

2.研究手順

2.1.水消費量の算定条件

森林範囲は国有林と民有林とした。林業では、畑作物と異なり灌漑用水を使用しないと考えられるため、灌漑用水はゼロとする。また、水の収支のうち蒸発散量を水消費量とした。

2.2.水消費量の評価対象

上質紙の原料樹種を針葉樹 5 種（すぎ、ひのき、あかまつ・くろまつ、からまつ、えぞまつ・とどまつ）、広葉樹 2 種（クヌギ、ナラ類（コナラとする））の 7 項目として、上質紙 1m²の製紙に必要な水消費量を算定する。また、上質紙 $1m^2$ 製造するにあたり木材チップ量を 0.246kg[1)] 使用する。この木材チップ量の内訳を表 2 に示す。

表 2 製紙 $1m^2$ に必要な木材チップ 0.246kg の内訳

樹種		①製紙1m2に必要な木材チップ量[kg]	②製紙用木材チップの割合[-]
針葉樹	すぎ	6.07E-02	24.70%
	ひのき	1.33E-02	5.40%
	あかまつ・くろまつ	2.06E-02	8.40%
	からまつ	2.07E-02	8.40%
	えぞまつ・とどまつ	7.44E-03	3.00%
広葉樹	クヌギ	4.29E-02	17.40%
	ナラ類	8.03E-02	32.60%
合計		2.46E-01	100%

3.作物係数の解析方法

作物係数の開発対象樹種は、日本の「広葉樹林」である。作物蒸発散量の算定式には FAO Penman Monteith 式の作物特性パラメータである作物係数（Kc）が使われることが多いが、針葉樹の作物係数は 1.0 であるとされ、広葉樹の作物係数は示されていない。本研究では、これも作物蒸発散量の推定式である Priestley-Taylor 式の作物特性パラメータを表す、Priestley-Taylor 係数（α）が FAO Penman Monteith 式に適用可能であると仮定して作物係数（Kc）の算定を行った。また、どちらの式も作物蒸発散量を推測する Penman Monteith 式を改良した式である。これら 3 つの蒸発散量推算式について 3.1～3.3 で述べる。

3.1. Penman Monteith 式[2)]

Penman Monteith 式による蒸発散量の算定を(1)式に示す。

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho a cp \frac{(e_s - e_a)}{ra}}{\Delta + \gamma\left(1 + \frac{rs}{ra}\right)} \quad (1)$$

E：蒸発量（蒸発散量）[mm]　Rn：純放射量[MJ/m²]　G：地中貯熱量[W /m²]　es：飽和水蒸気圧[hPa]　T：気温[℃]　ρa：空気密度[kg/m³]　λ：蒸発潜熱[J/(m³・s)]　⊿：温度-飽和水蒸気圧曲線の傾き[h/℃]　rs：群落抵抗[s/cm]　γ：乾湿計定数[J /（cm³・K）]　ra：空気力学的抵抗[s/cm]　ea：大気中の水蒸気圧[hPa]　cp：熱容量（空気の定圧比熱）[J /（cm³・K）]

ra と rs は植物特性を表すパラメータである。

蒸発量（E）は「湿った面から水蒸気が遊離して，相対的に乾いた大気側へ拡散する」ことを意味する。ra と rs の植物特性パラメータが（1）式に適応されていることで蒸発量（E）は蒸発散量を表現している。空気力学的抵抗(ra)は、樹冠の形状、大気の状態、風速などで決定され、樹冠の表面から大気への空気塊の交換速度を表現する。群落抵抗(rs)は、気孔開閉のような蒸散に対する植物生理学的な反応を表現する。

3.2.FAO Penman Monteith 式[3)]

3.2.1 基準面の設定

Penman Monteith 式との違いは、仮想基準作物面の設定があることである。この基準面は、蒸発パラメータを作物ごと、また、生育段階毎で各基準を定義することを避けるために開発された。

基準面の設定は「架空の作物（芝生）で、水ストレスがなく（完全湿面）、気象観測高さ:2[m]、作物の丈の長さ(h)：0.12[m]、群落抵抗(rs)：70[s/m]、アルベド(α)：0.23、空気力学的抵抗(ra)：$208/u_2$ [s/m](u_2：風速[m/s])」となっている。この基準面データを（1）式に代入することで基準蒸発散量(Et_0)が以下の(2)式で得られる。

$$Et_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \times \frac{900}{T+273} \times u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (2)$$

(2)式から得られた基準蒸発散量に作物係数(Kc)を乗じることで、作物固有の実蒸発散量を得ることが出来る。これを(3)式で示す。ここで、Etc：実蒸発散量[mm]を示す。

$$Etc = Et_0 \times Kc \quad (3)$$

3.2.2 作物係数 [3)]

作物係数には仮想的な芝生と対象とする作物を区別する主要な 4 つの作物特性の影響の統合がされている。主な 4 つの作物特性を表 3 に示す。

表 3 作物係数に統合される作物特性

番号	作物特性	詳細
1	作物の（丈の）高さ	作物の高さは、大気中で作物からの蒸気の乱流輸送の項目である空気力学的抵抗（ra）に影響を与える。
2	作物土壌表面の反射率（アルベド）	アルベドは被覆植物や土壌の湿潤表面に影響される。作物土壌表面のアルベドは蒸発プロセスでのエネルギー交換の主な供給源である純放射（Rn）に影響を与える。
3	樹冠抵抗	作物の蒸気輸送の抵抗は葉面積(気孔の総数)、葉年齢や条件など気孔制御の程度によって影響される。樹冠抵抗は群落抵抗(rs)に影響を与える。
4	土壌からの蒸発	土壌の湿潤表面や植生で覆われている土壌は群落抵抗(rs)に影響する。

また、作物係数は生育ステージ（初期、発育期、終期）によって変化する。生育ステージによる変化を図 1 に示す。

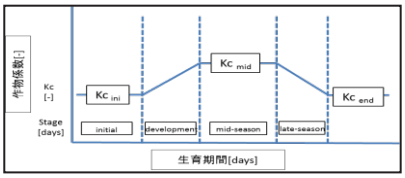


図 1 生育ステージによる作物係数（Kc）の変化

3.3.Priestley-Taylor 式 [2) 4)]

蒸発散量（E’）は【文献 4)】より(4)式で表すことが出来る。

$$E' = Et + Ei \quad \left(\beta = \frac{Ei}{P}\right) \quad (4)$$

Et：蒸散量[mm]　Ei：遮断蒸発量[mm] P：降水量　β：月遮断発生率[-]

作物特性を表す蒸散量(Et)は Priestley-Taylor 式で表す。それを(5)式に示す。

$$Et = \alpha Eeq = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{Rn - G}{\lambda} \quad \left(\alpha = \frac{Et}{Eeq}\right) \quad (5)$$

α ：Priestley-Taylor 係数　Eeq：平衡蒸発量

平衡蒸発量(Eeq)は、「ra→∞の時、樹冠表面付近の大気は飽和し蒸発はもはや植物生理学的な制限を受けなくなる。」ことを意味する。α は、作物特性を表す数値であり、完全湿面と比較した森林の蒸散抑制の程度を意味する。

4.広葉樹林の作物係数の算定

広葉樹林の作物係数（Kc）は「3.作物係数の解析方法」に算定方法を記してある。α のデータは【文献 4)】の文献のデータを使用し、その数値を表 4 に示す。

表 4 広葉樹林の気候帯毎の α 値

番号	❶		❷		
気候帯	針葉樹林		広葉樹林		
	α 値	サンプル数（n）	α 値	α 値【❷ /❶ 】	サンプル数（n）
熱帯	－	0	0.83	0.830	7
温帯	0.65	35	0.82	1.26	14
亜寒帯	0.55	10	1.09	1.98	1
平均	0.63	45	0.83	1.28	22

針葉樹林の作物係数（Kc）は【文献 3)】より全生育ステージで 1.0 とされている。作物係数（Kc）が 1.0 とは、気象条件のみで水消費量が決定することを意味する。本研究では、作物係数の開発対象樹種が「広葉樹林」なので、表 4 の広葉樹林の α 値を針葉樹林の α 値で割ることで、針葉樹林の α 値が 1.0 の時の広葉樹林の FAO Penman Monteith 式における作物係数（Kc）（発育ステージ段階）の数値を求め、針葉樹林の作物係数 1.0 に対し、広葉樹林の作物係数は 1.28 とした。

5.作物係数（Kc）を考慮した水消費量の算定

以上より、広葉樹林の作物係数（Kc）を考慮した上質紙 1m²の製紙に必要な蒸発散量の算定結果を表 5 に示す。

表 5 作物係数を考慮した製紙 1m²に必要な蒸発散量

番号	項目	針葉樹					広葉樹	
		すぎ	ひのき	あかまつ・くろまつ	からまつ	えぞまつ・とどまつ	クヌギ	ナラ類
③	作物係数[-]	1					1.28	
④	丸太1kgあたりの蒸発散量[m^3]	3.39	3.44	1.97	1.68	1.98	0.443	0.325
⑤	③×④	3.39	3.44	1.97	1.68	1.98	0.565	0.415
⑥	合計[m^3/kg-樹種]	12.5					0.980	
⑦	【①×⑤】上質紙1m^2に必要な蒸発散量[m^3]	0.206	0.0459	0.0406	0.0347	0.0147	0.0242	0.0333
⑧	合計[m^3/m^2]	0.341					0.0575	
⑨	製紙1m^2に必要な工業用水[m^3]	0.399						
⑩	【⑧+⑨】製紙1m^2に必要な水消費量[m^3]	0.0133						
		0.412						

6.結論

作物係数を考慮していないパルプ紙 1m²に必要な水消費量は 0.408[m³]であり、本研究による作物係数を考慮しても、製紙 1m²に必要な水消費量は 1.03％（0.012[m³]）増加するにすぎない。これは、主として針葉樹の育林期間が広葉樹の育林期間の 3.5～4.5 倍と長く製紙 1m²に必要な蒸発散量は針葉樹の育成で決定されているためである。今後、針葉樹の作物係数 1.0 の妥当性を検討する必要がある。

7.参考文献

1）阪西達矢、本下晶晴、田原聖隆、稲葉敦：“ストーンペーパーの環境影響評価”,第 10 回日本 LCA 学会研究発表会,(2014), p302-303

2)森林水文学編集委員会 編（2007）森林水文学 p124-145　森北出版株式会社

3)Richard G. Allen, Luis S. Pereira, Dirk Raes, Martin Smith (1998)：Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements ,FAO Irrigation and drainage paper 56, Rome

4)小松光・澤野真治・久米朋宣・橋本昌司（2005）森林の特性と蒸発散量の関係　森林学会誌 87：170-185

2日目
(3/3)

タイムテーブル

2日目　3月3日(木)

<table>
<tr><th></th><th>A会場</th><th>B会場</th><th>C会場</th><th>D会場</th><th>E会場</th></tr>
<tr><td>9:00-9:20</td><td rowspan="4">バイオ・廃棄物(1)</td><td rowspan="4">社会経済性
アプローチ</td><td rowspan="4">特別セッション：
環境教育(1)</td><td rowspan="4">資源消費の
長期的傾向</td><td rowspan="4">特別セッション：
企業LCA/LCM</td></tr>
<tr><td>9:20-9:40</td></tr>
<tr><td>9:40-10:00</td></tr>
<tr><td>10:00-10:20</td></tr>
<tr><td>10:20-10:40</td><td colspan="5">休憩</td></tr>
<tr><td>10:40-11:00</td><td rowspan="4">バイオ・廃棄物(2)</td><td rowspan="4">特別セッション：
災害廃棄物(1)</td><td rowspan="4">特別セッション：
環境教育(2)</td><td rowspan="4">鉄鋼と随伴元素</td><td rowspan="4">データベース</td></tr>
<tr><td>11:00-11:20</td></tr>
<tr><td>11:20-11:40</td></tr>
<tr><td>11:40-12:00</td></tr>
<tr><td>12:00-13:00</td><td colspan="5">昼休み</td></tr>
<tr><td>13:00-13:20</td><td rowspan="4">特別セッション：
社会システムの
エコデザイン(1)
エネルギーシステム</td><td rowspan="4">特別セッション：
災害廃棄物(2)</td><td rowspan="4">評価手法</td><td rowspan="4">フロー構造と
資源リスク</td><td rowspan="4">都市・地域(2)</td></tr>
<tr><td>13:20-13:40</td></tr>
<tr><td>13:40-14:00</td></tr>
<tr><td>14:00-14:20</td></tr>
<tr><td>14:20-14:40</td><td colspan="5">休憩</td></tr>
<tr><td>14:40-15:00</td><td rowspan="3">住宅エネルギー
システム</td><td rowspan="3">災害</td><td rowspan="3">ケーススタディ (2)</td><td rowspan="3">資源消費の
インパクト</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>15:00-15:20</td></tr>
<tr><td>15:20-15:40</td></tr>
<tr><td>15:40-16:00</td><td colspan="5">休憩</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="5">P会場</td></tr>
<tr><td>16:00-17:00</td><td colspan="5">ポスターセッション1　*コアタイムA:奇数番号</td></tr>
<tr><td>17:00-18:00</td><td colspan="5">ポスターセッション2　*コアタイムB:偶数番号</td></tr>
<tr><td>18:00-18:20</td><td colspan="5">移動</td></tr>
<tr><td>18:20-</td><td colspan="5">交流会(食堂　プラザ憩い)</td></tr>
</table>

地域的資源循環システム形成のヒストリー分析

History Analysis of Construction of Regional Material Cycle System

○稲葉陸太*[1)]、田崎智宏 [1)]、小島英子 [1)]、河井紘輔 [1)]
Rokuta Inaba, Tomohiro Tasaki, Eiko Kojima, Kosuke Kawai
1) 国立環境研究所
* inaba.rokuta@nies.go.jp

1. はじめに

地域的な資源循環システムを形成するためには、事業計画の作成・修正、中心となる組織の創設・補強、関係主体との交渉・連携、技術の試験・改善などの活動を適切な時機に配置・実行する必要がある。

著者らはこれまで、生ごみの地域循環の事例を調査し、どのような活動がどのような時機に実行されたかというヒストリーを分析してきた [1)]。具体的には、生ごみの地域循環に関する３つの事例（事業者主導の C 町、行政主導の O 町、および協議会主導の N 市）を抽出し、関係主体に対してヒアリング調査を実施し、事業の計画から運用、現在にいたるまでの経緯（ヒストリー）の図を作成し、重要な要因を分析した。

本研究では、関係主体に再度ヒアリングして前述のヒストリー分析の図の確認・修正を依頼し、それに基づいてより現実に則した図を作成し、事業の確実な開始と持続的な運用のために重要な要因を考察した。

2. 手法

前述の３事例の関係主体に再度ヒアリング調査を行い、これまで作成したヒストリーの図の確認と修正を依頼し、より事実に即した図を作成した。作図にあたっては、１回目と同様、１名が主担当となり、著者グループ内での確認・修正も行った。そのうえで改めて３事例の特徴や共通する重要課題などを考察した。また、これまでの研究と同様、ミンツバーグら [2)]の議論も参考にしたステージを考慮した。同じく、これまでの研究につづき、活動を「計画・構想」「実践・認識」「交渉・調整」「人材・組織」の４つに分類した。本研究で対象とした３つの事例における自治体の概要と調査時期を表１に示す。

表１　対象事例の自治体概要と調査時期

	面積	人口	調査時期	
			第1回	第2回
C町	約230km^2	約8千人	2013年11月	2015年6月
O町	約20km^2	約1万5千人	2012年12月、2013年7月、同年8月	2015年5月
N市	約220km^2	約3万人	2014年8月	2015年6月

3. 結果

事業者主導の C 町の事例については、まず、ステージ１（導入）において、同町の焼却施設老朽化を背景に、事業者 I が行政支援としての生ごみ液肥化・農業利用の方向性を示し、C 町との意見交換をふまえて連携が確定した。液肥の効果を懸念する住民には丁寧に説明して協力を得た。また、リサイクルの出口として協力農家も確保できたため、事業の確実な開始につながった。つづいて、ステージ２（定着）では、大学との共同研究によって科学的データの提示が可能となり、協力農家が増加したことが特徴的である。ステージ３ａ（地域の拡大）では、隣接の Y 町や T 市への事業拡大が試みられた。Y 町とも意見交換を経て連携がなされた。T 市は施設の増強に協力的であった。県とも連携できており、補助など費用面の支援を受けてた。住民に対しては婦人会を活用しつつ説明会を実施した。ステージ３ｂ（堆肥化追加、食品ループ強化）では堆肥化施設の稼働が重要である。液肥は需要に季節変化がある一方、原料の生ごみは年間通じて発生する。この需給ギャップを堆肥化が吸収できるようになった。この他、液肥栽培野菜の利用拡大など、食品ループが強化された。

行政主導の O 町の事例については、まず、ステージ１．１（導入）において、町長が環境をスローガンにした地域振興のビジョンを提示し、トップダウンで資源循環の取り組みが始動した。当初、首長が専門部局を設置し、能力・意欲・知識を有した担当者を配置して、事業を推進する体制を確立した。さらに、主要な関係主体を巻き込み、前述のビジョンを策定させた。ステージ１．２（成長）からステージ２に至る期間では、モデル地区での分別実験、液肥の試験利用、および大学との共同研究が行われ、取り組みの説得力が増した。液肥利用の協議会が設置され、農家の協力拡大にもつながった。ステージ２（成熟）では、本事業の中核となるメタン発酵施設の完成から始まり、リサイクル事業が本格実施された。100 回以上の説明会開催で住民の協力が確保され、また、堆肥利用作物の買い取り、給食での利用、農作物のブランド化などで農業側の協力も確保された。さらに、資源循環政策を進めた担当課長が町長に就任して強力な体制が敷かれた。

ステージ３．１（成長）からは、メタン発酵施設に隣接するレストランが運営されはじめた。ステージ２において、能力ある運営者を民間から確保したことが重要と考えられた。ステージ３．２（成熟）では、安定したメタン発酵やレストラン経営がなされるも、様々な限界が認識されるようになった。

協議会主導のＮ市の事例では、ステージ１（立ち上げ）の前半において、まず、市長がまちづくりのグランドデザインを市民会議に委ねた。その後、生ごみの地域循環のプランの答申、同プランの推進委員会の設立、行政での推進係の設置につながった。同ステージ後半では、住民説明会を経て、生ごみ分別のモデル地区事業が実施された。また、有機農産物栽培研究事業も実施された。また、同プランの推進委員会は協議会となり統括機能を得た。行政も同プランの推進係が推進室に格上げされた。これらがつながり、堆肥化施設の運用が開始された。ステージ２では、高い分別実践度の維持や野菜直売所の設立など正の要因があったが、反対派の首長への交代や、安価な畜ふん堆肥の流通による堆肥販売の不振などの負の要因もみられた。ステージ３では、事業費の赤字や連携の齟齬などの負の要因がさらに目立った。

ヒストリー分析の図は、３つの事例毎に４点作成されたが、本稿では、代表としてＣ町のステージ１（導入ステージ）の分析結果を掲載する（図１）。

4. まとめ

有効な活動として、Ｃ町の事例では、事業者による積極的な行政への働きかけ、市民の説得、大学との共同研究による農家の信頼獲得、および複数のリサイクル技術併用による処理安定化が挙げられる。Ｏ町の事例では、初期の人材・組織固め、丁寧な住民説明、農業側の協力取り付け、および適切な民間人材の登用が挙げられる。Ｎ市の事例では、まちづくりでの大胆な市民の参画、行政での専門部署設置、首長交代による事業減速、他のリサイクル製品との価格競争が挙げられる。総じて、市民への丁寧な説明、大学との共同研究、実践による農家の信頼・協力獲得、および将来の社会変化への準備が重要と考えられる。

引用文献

1) 稲葉陸太, 田崎智宏, 小島英子, 河井紘輔, 多島良, 栃尾圭亮:第10回日本LCA学会研究発表会要旨集, (2015), pp.150-151
2) ヘンリー・ミンツバーグら著, 齋藤嘉則監訳, “戦略サファリ　第２版　戦略マネジメント・コンプリートガイドブック”, 東洋経済新報社, 東京, (2013), p.5-16

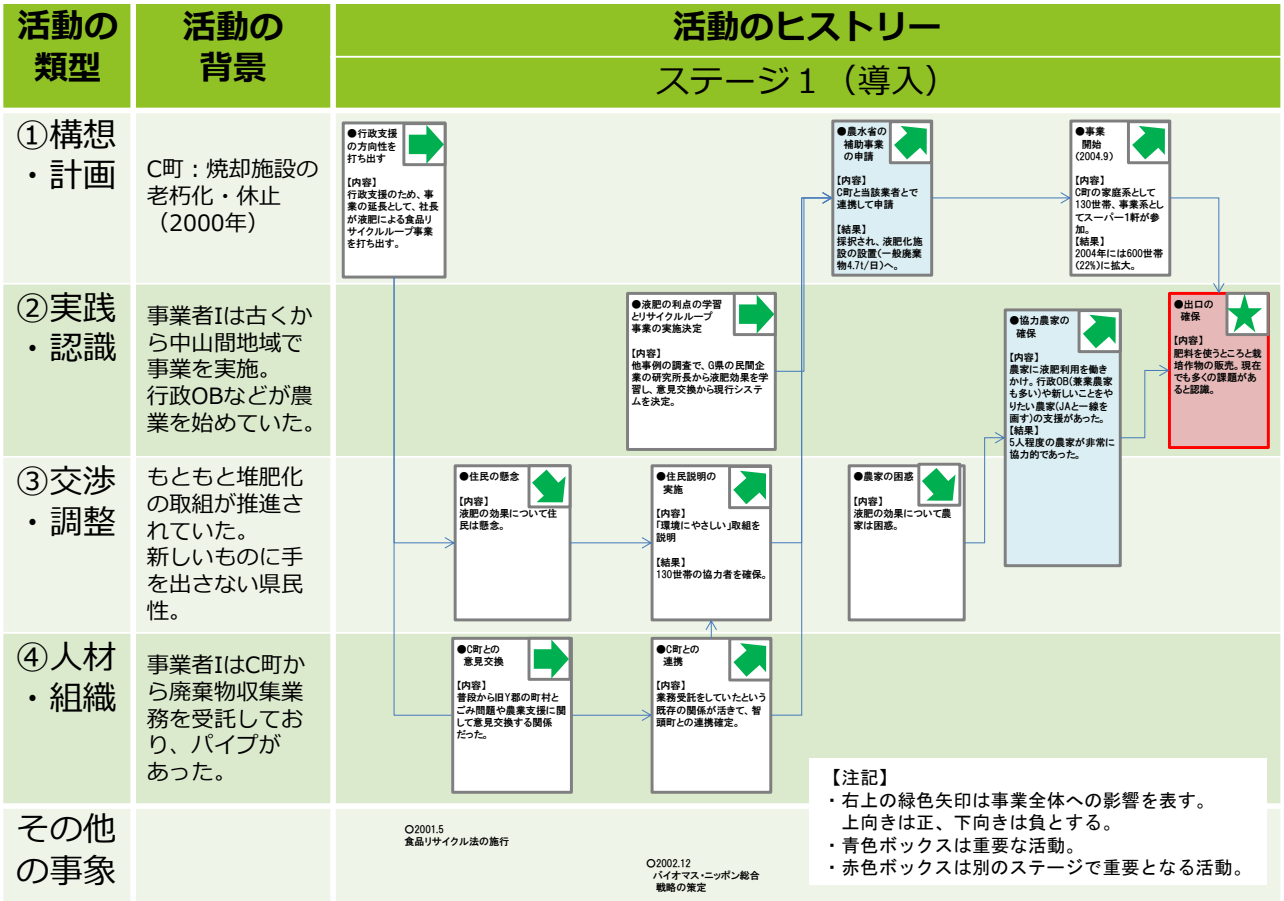


図１　ヒストリー分析結果の例（Ｃ町、ステージ１（導入））

人口減少とごみ排出量の減少を見据えた一般廃棄物焼却施設の統合による環境・経済面の効果推計

Environmental and Economic Benefits of Integrating Municipal Solid Waste Incinerators as a Precaution against Progress in Population Decrease

○田崎智宏*[1)]、稲葉陸太[1)]、藤井実[1)]、山口直久[2)]
Tomohiro Tasaki, Rokuta Inaba, Minoru Fujii, Naohisa Yamaguchi
1) 国立環境研究所, 2) (株)エックス都市研究所
* tasaki.tomohiro@nies.go.jp

1. はじめに

一般廃棄物焼却施設の稼働率は、人口規模の区分（1 万人未満、1～5 万人、5～50 万人、50 万人以上の 4 区分）によらず、平成 10 年から平成 21 年の間に 10%程度低下している[1)]。今後の人口減少によりごみ発生量が減少するだけでなく、リサイクルの進展によって可燃ごみが減少する傾向は続くと見込まれ、適正な規模・配置での焼却施設整備が求められている。本研究では、前報[1)]での仮想的な地域における焼却施設統合の検討をさらに進めるため、具体的な地域を対象に複数の隣接自治体との施設共同利用をシナリオとして設定し、環境面と経済面の効果を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

実在する市(A ; 1～5 万人規模)を選定し、隣接する 3 つの市町村（あるいは一部事務組合 ; B～D）のいずれかと焼却施設を統合する場合を想定した。これらの 4 地域における焼却施設の概要を表 1 に示す。

表 1　検討対象地域における焼却施設の概要

	A(2011)	B(2011)	C(2011)	D(2011)
施設規模(t/日)	50	100	3施設計 330	183
施設稼働率	71%	59%	60%	96%
炉形式	バッチ	准連	全連,准連,バッチ	全連※
発電	なし	なし	一部あり	あり
灰溶融	なし	なし	一部あり	なし

※現状はRDF施設だが、比較のために全連の焼却施設と設定。

これら各 4 地域の現状ケースとともに、2030 年の人口を想定した現状トレンドのケース（施設統合していないケース）ならびに 2030 年の施設統合ケースを設定し、それぞれのケースで CO2 排出量（収集運搬、廃棄物焼却、施設稼働、売電）と費用（収集運搬、施設稼働、施設建設（既存と新設）、最終処分）を推計した。その上で、A 市との統合ケース（AB、AC、AD）と統合しないケース（A+B、A+C、A+D：現状トレンド・ケースで 2 つの地域の和）を比較した。

表 2　想定した廃棄物処理システムのシナリオ

（現状トレンドのケース）

	A(2030)	B(2030)	C(2030)	D(2030)
焼却施設及び集約の考え方	既存A	既存B	既存C1	新設D
施設規模の比	100%	100%	67%	75%
施設稼働率の増減	−18%	−13%	+6%	+0%

（施設統合ケース）

	AB(2030)	AC(2030)	AD(2030)
焼却施設及び集約の考え方	既存B（集約）	既存C1（集約）	新設D（集約）
施設規模の比	67%	58%	71%
施設稼働率の増減	+10%	+17%	+5%

計算は H-IWM[2)]をベースにしたが、焼却施設の計算パラメータは全連続炉のパラメータ値が示されているのみで、バッチ炉、准連続炉のパラメータが与えられていないため独自に設定を行った。具体的には、重油使用量については文献値[3)]を参考にバッチ炉 4.91L/t、准連続炉 4.88L/t とした（全連続炉は 0.323L/t）。また、推計モデルが実績値を一定程度再現できるように、必要人員数はバッチ炉 5 人×1 交代、准連続炉 6 人×3 交代＋日勤 3 人、全連続炉 6 人×4 交代＋日勤 3 人とし、強熱減量はバッチ炉 0.07、バッチ炉以外の 200t/d 未満の施設 0.05、バッチ炉以外の 200t/d 以上の施設 0.03 とした。焼却施設の建設費に対する整備補修費の割合は H-IWM の考え方を参考に、施設稼働から 20 年未満の比較的新しい施設は 1.5%、施設稼働から 20 年以上が経過している施設については 0.02 とした。ボイラでの熱回収率は、C の施設は発電量の実績から 0.52 とし、他の施設は H-IWM デフォルトの 0.70 とした。不燃ごみや資源ごみ、粗大ごみは検討の対象外とし、人口あたりの可燃ごみの収集量原単位は 2030 年も 2011 年と同じとした。購入電力の CO2 排出係数は、当該地区を管轄する電力会社の CO2 排出係数（2012 年度実績）を用い、売電電力の CO2 排出係数は石炭火力の CO2 排出係数を用いた。

収集運搬については、市町村内におけるごみ収集距離と運搬距離はグリッドシティモデル[4)]に基づいて算

出した（図 1）。施設統合された場合にはさらに市町村間の運搬距離を加算した。この算出における考え方を図 2 に示す。施設のある市町村 M1 における運搬距離は L1 で表され、施設がない市町村 M2 から施設までの運搬距離 L2 は、2 つのグリッドシティ（正方型市町村）が接する一通りの場合を想定してそれらの平均値とし、次式で算出した。

$$T_2 = \frac{3}{4}(L_1 + L_2) + \frac{1}{4}\frac{L_1^2}{L_1 + L_2}$$

なお、ステーション間の積込移動速度ならびに運搬速度は、可住地面積あたりの人口密度を考慮して H-IWM の選択肢である 5, 10, 15km/h、ならびに 30, 40km/h から選定して用いた。

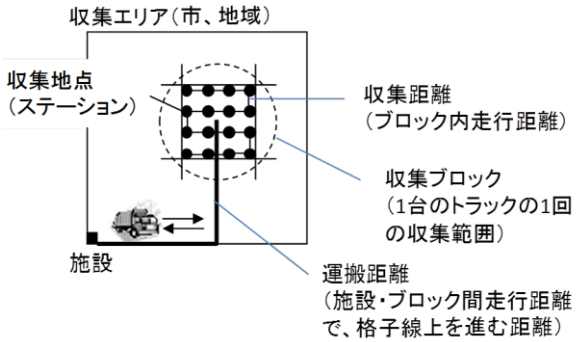


図 1　市町村内におけるごみ収集距離の算出の考え方

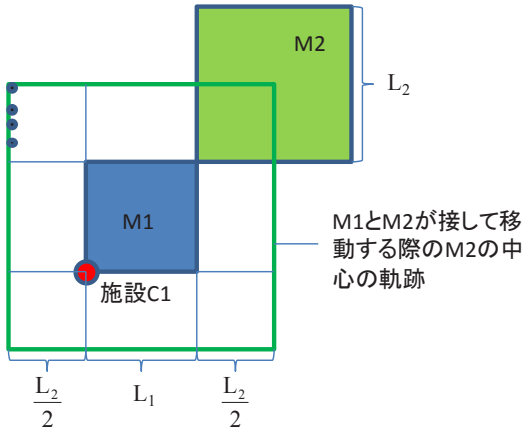


図 2　市町村間の運搬距離の算出の考え方

3. 結果

結果を図 3 と 4 に示す。A－B 地域の場合、施設統合しない場合に比べると、統合によって費用が 93 百万円/年減少（-14%）する一方で CO2 排出量が 92 トン/年増大（+1%）した。これは収集距離が伸びるだけで、統合によって施設からの CO2 削減効果が生じないケースであるためである。他方、A－C 地域と A－D 地域の場合、費用はそれぞれ 112 百万円/年減少（-11%）、63 百万円/年減少（-5%）するとともに、CO2 排出量もそれぞれ 2,206 トン/年減少（-10%）、2,681 トン/年減少（-29%）した。CO2 排出量削減は、売電による効果を除くとそれぞれ-2.2%、-2.7%であり、収集距離が増大しても施設統合による運転効率化の効果が得られる結果となっている。これに売電による削減効果が大きく加わり、上記の削減効果が得られた。効率的な発電設備の導入が効果を大きく左右させることが示された。

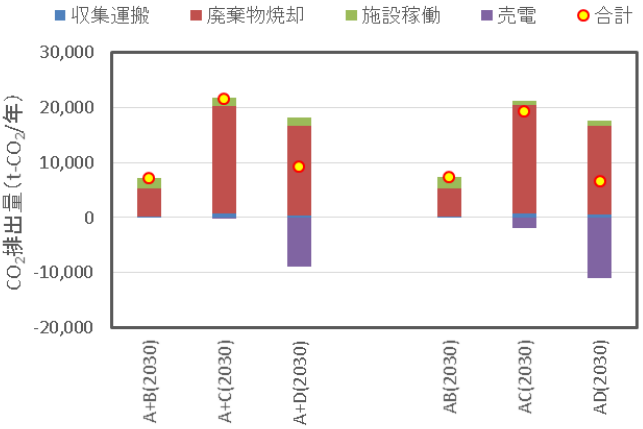


図 3　施設統合による CO2 排出量の推計結果
（A+B：統合しない場合、AB：統合する場合）

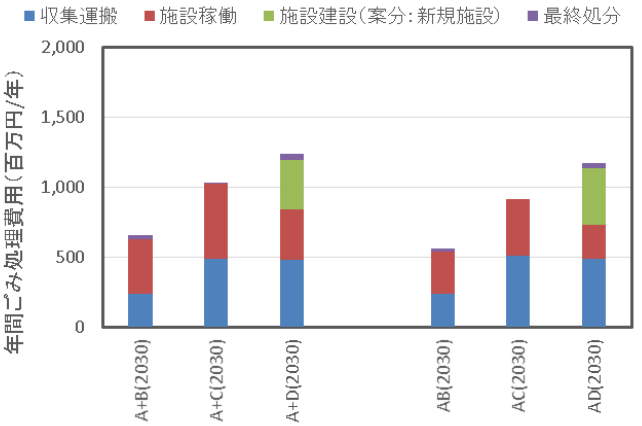


図 4　施設統合によるごみ処理費用の推計結果
（A+B：統合しない場合、AB：統合する場合）

引用文献

1) 田崎智宏、藤井実、佐野彰、稲葉陸太、山口直久、千葉俊彦：人口減少下における廃棄物処理システムの戦略的転換. 第 24 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, (2013), pp. 61-62
2) 松藤敏彦：都市ごみ処理システムの分析・計画・評価 ～マテリアルフロー・LCA 計画プログラム～, 技報堂出版,（2005）, p. 106
3) 松村博久：ローカルエネルギーとしての廃棄物利用（第 2 報）, 鹿児島大学工学部研究報告, 28（1986）, pp.29-37
4) Ishikawa M.: J. of Packaging Science & Technology, 5(2) (1996), pp.119-130.

Evaluation of Municipal Solid Waste Management System in Makassar City, Indonesia

○Darmawan Aziz *[1)], Agam Marsoyo [2)], Seiji Hashimoto [1)]

1) Ritsumeikan University, 2) Gadjah Mada University

*wawan_ugm01@yahoo.co.id

1. Introduction

The term "municipal solid waste" (MSW) refers to the waste in a solid state generated by human activities in municipal centers. It includes both organic (biodegradable) and inorganic (non-biodegradable) wastes.

Actually, MSW management is receiving increasing attention, particularly in developing countries, where it poses a daunting challenge in urban areas. In the case of Indonesia, the large population and diversity of activities of metropolitan cities have led to emergent problems in urban infrastructure services, such as solid waste management. Only about 60% of waste in big cities in Indonesia can be transported to final processing locations, where the main operation is land-filling.

Makassar City is a bridge between eastern and western Indonesia. This strategic city has played important roles as a growth, educational, industrial, trade, and tourism center. All those roles contribute to the rapid increase of the Makassar City population. According to Central Bureau of Statistics of Makassar, the city population rose from 1.2 million in 2006 to 1.4 million 2013[1)]. The increasing population will certainly affect MSW generation. From landfill site information, Makassar City has produced about 700–750 tons/day of solid waste, although the landfill capacity is only 672 tons/day. The excess capacity causes transportation problems in and out of the landfill site. This fact drives the necessity for improvement of the MSW management system through appropriate evaluation.

This study evaluates the efficiency of operations and the effectiveness of performance of the MSW management system in Makassar City, Indonesia, and discusses strategies for system improvement.

2. Methodology

The theory used for this research is the evaluation model of the American Society Civil Engineering (ASCE)[2)]. This model reveals variables associated with efficiency and effectiveness. Efficiency is related to system operation. Effectiveness of system performance is related to personal satisfaction and community cleanliness.

The efficiency of MSW management systems was evaluated in terms of labor, fuel, and costs as inputs and amount of MSW (tons) processed as output. Analysis is done by comparison with experiences in other countries.

The MSW management system effectiveness was evaluated using the quantitative indicators shown below. Based on questionnaires administered to people, the indicator values are estimated using the following steps for each district in Makassar City,

a. Calculating the user satisfaction index (U.S.I.) for each respondent and district with the following equation.

$$\text{U.S.I. (Respondent)} = \sum_i^q R_i$$

in which Ri denotes the value of question i and q stands for the total number of questions. The maximum value of U.S.I. (Respondent) is 100.

$$\text{U.S.I. (District)} = \sum_i^n Q_i / n$$

in which Qi denotes the total value of respondent i and n stands for the total respondents in a district. The maximum value of U.S.I. (Respondent) is 100.

b. Calculating the community effect index (C.E.I.) for each district with the following equation.

$$\text{C.E.I (District)} = \sum_i^q (R_i \times w)$$

in which Ri denotes the value of question i; q stands for the total number of questions; and w signifies weighing factor (=2). The maximum value of C.E.I is 100.

c. Measuring the level of services of each district by combining the value of U.S.I. and C.E.I. in a graph.

3. Results and Discussion

Table 1 presents system operation efficiency parameters for Makassar City in 2014. The MSW management system spent 7.66 dollars to manage 1 ton of MSW in 2014. This cost is quite low in comparison to World Bank data[3], perhaps because the system operation in Makassar City remains conventional: merely dealing with collection, transport, and disposal (open dumping landfill) with no solid waste processing such as composting, incineration, landfill gas collection, or leachate treatment, which require more funds. The local government launched many recycling programs, but the contribution in reducing MSW to the landfill is approximately 0.002% of total MSW in 2014. Fuel is over-consumed because it is provided to drivers according to the number of collection trips without considering the distance of each collection trip.

Figure 1 presents the Makassar City system performance effectiveness in 2015. Two districts showed good performance (14% of all districts): Wajo and Ujung Pandang. The MSW management system is effective not only in terms of personal satisfaction of districts people but also in terms of cleanliness of surrounding areas. For fair performance, nine districts (64%) were reported: Mamajang, Panakukang, Makassar, Manggala, Mariso, Rappocini, Tallo, Bontoala, and Ujung Tanah. The poor (14%) and unacceptable (7%) performance areas were Tamalate, Biringkanaya, and Tamalanrea. These districts are within the city boundary, which is in process of economic development. Many new settlements, infrastructure, and public services are being built, including the MSW management system. For that reason, some respondents assigned a lower value to system operation: storage, collection, and transport of MSW. The cleanliness of districts, especially of main roads, is also lower. It demands improvement.

The strategy used to address inefficiency of fuel use is to assign additional trips to vehicles that get excess fuel

Table 1. Efficiency of MSW management system performance in Makassar City in 2014

Efficiency	Value
Cost	7.66 $/ton
Labor	5.10 labor hours/ton
Fuel	6.11 liter/ton

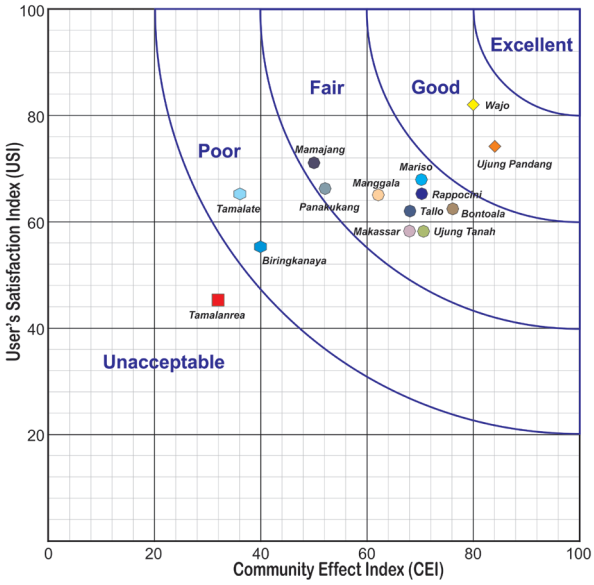


Figure 1. Effectiveness of MSW management system performance in Makassar City in 2015

while assigning priority to poor and unacceptable districts. Furthermore, introduction of extra vehicles and recruitment of new officers is expected to be necessary to enhance performance in poor and unacceptable performance districts. The last one is that participation of stakeholders in reduction, reuse, and recycling programs should be enhanced to reduce land-filling of solid waste.

Acknowledgments: This research was supported by the National Planning Board of Indonesia (BAPPENAS RI) and the Double Degree Program of Gadjah Mada University and the Ritsumeikan University.

References

1) Central Bureau of Statistic of Makassar: *Makassar in Figure 2014*, 2014.
2) ASCE: *Urban Planning Guide*, ASCE, New York, 1986.
3) World Bank: *Urban Development Series Knowledge Paper; What a waste: A Global Review of Solid Waste Management,* World Bank & Urban Development & Local Governement, 2012

下水処理場における微細藻類による有価物製造プロセスの評価

Assessment of microalgae-derived chemicals produced in wastewater treatment plant

○鈴木征史*[1)]、大野肇[1)]、福島康裕[1)]
Tadashi Suzuki, Hajime Ohno, Yasuhiro Fukushima
1) 東北大学
* suzuki@sis.che.tohoku.ac.jp

1. はじめに

下水処理場（以下 WWTP）では下水中の BOD（生物学的酸素要求）で表される汚染物質などを除去し、河川や海に放流している。曝気により下水中の微生物が炭素分や窒素分及びリン分などの栄養塩を摂取することで増殖し、それらが死滅することで汚泥となる。この過程で窒素やリンが下水から除去される。下水処理にかかるコストの主たる部分が曝気と汚泥処理の 2 つである。

WWTP の流入排水を用いて微細藻類を培養することができる。下水中の栄養分を用いることができるので、新たに栄養分を加えることなく微細藻類を培養できる。またこれにより、WWTP の曝気処理水量が減少し、汚泥発生量も減少するので（図 1）、WWTP の負担を軽減することができる。さらに、微細藻類から有価物を抽出精製することで、収益を上げることも可能になる。このようなプロセスの要素技術の開発が東日本大震災で被災した下水処理場（南蒲生浄化センター）と協力して行われている[1)]。

そこで本報告では、実験データを基に WWTP の一次処理水を用いて 2 種類の微細藻類を培養し、それらから抽出される油脂を形質変換しガソリン代替燃料を製造するプロセスのモデル化を行った。さらに、実際に宮城県の WWTP の 1 つである南蒲生浄化センターに藻類プロセスを導入したと仮定した場合の効果について、包絡分析法（以下 DEA）による考察を試みた。

2. 研究内容

主に 3 つの事項: ①藻類プロセスの消費電力のモデル化と現状の実験データによる計算、②包絡分析法を用いた全国の WWTP と南蒲生浄化センターとの比較、③藻類プロセスを導入したと仮定した南蒲生浄化センターと全国の WWTP との比較、に分けて研究を行った。

2.1藻類プロセス

本プロジェクト[1)]では、微細藻類を用いたガソリン代替燃料製造を想定している。用いる藻類は 2 種類で、1 つは独立栄養藻類である *Botryococcus braunii (B.braunii)*、もう 1 つが、従属栄養藻類である *Aurantiochytrium* sp. 18W-13a である。

プロセスの概要を以下に示す。*B. braunii* は独立栄養藻類であるため、培養はどの個体も十分に光合成を行えるように、レースウェイポンドで行う。培養に必要な栄養は下水の一次処理水を用いることで得られる。増殖後の培養液は濾過後充分に BOD が低下し、海に排出可能となるため、WWTP の下水処理が回避される。*B. braunii* から得られる油脂はボトリオコッセンと呼ばれる。*B. braunii* は微細藻類の中でも、炭化水素含有率が高くなっており、多いものだと 75%にも達すると報告されている[2)]。*Aurantiochytrium* は従属栄養藻類であり、光合成を行わないので光を照射する必要がない。よって、回分式のジャーファーメンターで培養する。今回用いた品種はスクワレンを生産する。*Aurantiochytrium* に投与する栄養は、下水処理場で発生する汚泥や *B.braunii* および *Aurantiochytrium* の脂質抽出残渣から得る。これらの物質を水熱処理や酸糖化などの処理を施すことにより、アミノ酸やグルコースなどの栄養塩へと変化させ、これをジャーファメンタに投与する。ボトリオコッセン及びスクワレンを改質することでガソリン代替燃料が得られる。

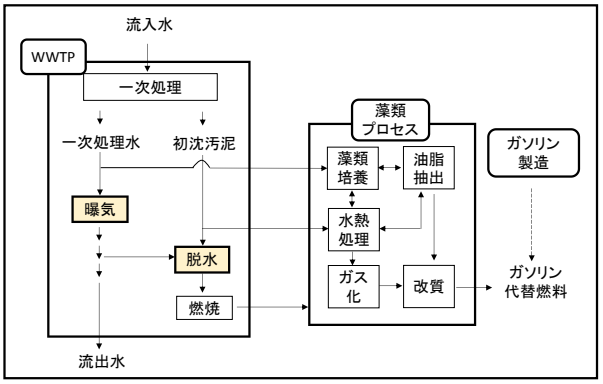


図 1　藻類プロセスの概要

本報告では、1) 培養規模はパイロットプラント程度を想定、*B. braunii* は 2.5 t レースウェイポンドを、*Aurantiochytrium* は 90 L ジャーファメンタで 60 L 培養とする、2) 水熱処理や蒸留などに用いる熱は WWTP での汚泥焼却時に発生する廃熱で全てまかなうことができる、3) 抽出に用いたヘキサン及びヘプタンは蒸留で 100%回収されるため損失はない、 4)生成したガソリン代替燃料はガソリンと同等に使用できガソリン製造が回避される、と仮定した。下水処理場での処理水量の低下による薬品使用量の変化は起きないものとした。曝気の回避は曝気負荷 1.2 kWh/kg-BOD[3)]を用い、汚泥処理の回避は濃縮汚泥脱水負荷 5.8 kWh/t-wet[4)]を用い、BOD 汚泥転換率を 0.4 g/g-BOD、脱水汚泥含水率を 0.8 [-]と仮定して回避電力消費 を求めた。

2.2包絡分析法

WWTP に関する評価の指標として、本報告では包絡分析法（Data Envelopment Analysis, DEA）を用いた。Hernandez et al. (2009)は、スペインのバレンシア地方の WWTP にコストと汚泥除去量の面から DEA を適用し、下水処理量が多いほど効率が良いことを示した[5]。DEA は Charnes らが提案した分析法であり、現在では多くのモデルが存在する。本報告では基本的モデルである CCR（Charnes-Cooper-Rhodes）モデルを用いて、汚染物質を除去するにあたり投入する電力に関する効率を求める。CCR モデルは(1)式で示す線形計画法（Linear Programming, LP）を解くことで求められる。DEA は対象とする事業体の数だけ LP を解くことで結果が得られる。

<*LP*>

$$\begin{aligned} &\min\ \theta \\ &\text{s.t. } \theta \boldsymbol{x}_o - \boldsymbol{X\lambda} - \boldsymbol{s}_x = \boldsymbol{0} \\ &\quad -\boldsymbol{y}_o + \boldsymbol{Y\lambda} - \boldsymbol{s}_y = \boldsymbol{0} \\ &\quad \boldsymbol{s}_x \geq \boldsymbol{0} \\ &\quad \boldsymbol{s}_y \geq \boldsymbol{0} \\ &\quad \boldsymbol{\lambda} \geq \boldsymbol{0} \end{aligned} \qquad (1)$$

θが効率値であり、$\theta = 1$の WWTP が効率的とされ、それ以外（$0 \leq \theta < 1$）の WWTP は非効率とされる。$\boldsymbol{x}_o$、$\boldsymbol{y}_o$は対象の WWTP における投入および出力ベクトルである。$\boldsymbol{X}$、$\boldsymbol{Y}$は WWTP 全体における投入および出力ベクトルである。$\boldsymbol{\lambda}$は変数ベクトルであり、非効率とされる WWTP を効率的な WWTP に変化させるために用いる。$\boldsymbol{s}_x$、$\boldsymbol{s}_y$は WWTP における投入と出力のスラックである。

データは平成 25 年度版下水道統計[6]から 総電力使用量[千 kWh] 、流入及び流出の BOD、T-N および T-P 濃度[mg/L]、年間処理水量を得た。DEA は 1 投入 3 出力とし、投入は総電力使用量、出力は BOD、T-N および T-P の除去量とした。除去量は流入水濃度から排出水濃度を引いた値に処理下水量をかけることで求めた。全国の下水処理場のなかから、データが揃っている 438 か所の下水処理場を分析対象とした。

2.3藻類プロセスを導入した WWTP の評価

WWTP に藻類プロセスを導入すると、微細藻類の培養により一次処理水が使われ、消費電力量が減少する。藻類プロセスで消費電力の収支によって、WWTP と藻類プロセスを合わせたプロセスの電力消費量が増加もしくは減少する。

導入効果の評価には 2.2 項と同様の DEA モデルとサンプルを使用し、南蒲生浄化センターのみへの藻類プロセスの導入を仮定し、電力使用の回避により、効率がどのように変化するかを考察した。

3. 結果

現状の実験結果にもとづいて計算した現状の藻類プロセスの消費電力は回避ではなく消費という結果であった。

分析対象の WWTP における効率値（図 2） の平均値は 0.262[-]であり、効率的な WWTP（効率値が 1）は 4 つのみであった。既往の研究のように処理水量と効率に相関があるか調べたところ、処理水量と効率には相関はなく、相関があったのは処理水量当たりの消費電力量であった。

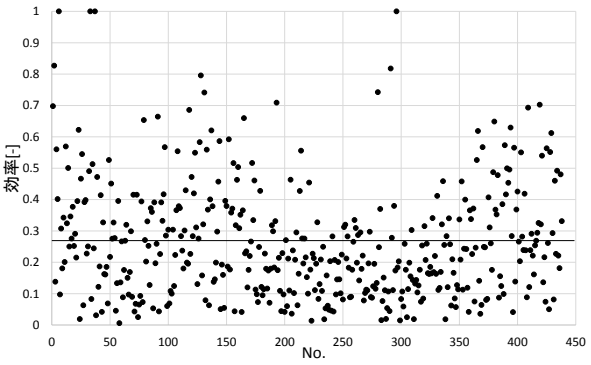


図 2　WWTP に対する DEA の結果

4. おわりに

藻類プロセスにおける消費電力の計算結果、および、導入した WWTP の評価に関しては学会当日に報告する。本報告では WWTP に関して検討したが、日本には WWTP のほかに合併浄化槽での処理も行われているので、今後検討していきたい。また、下水道統計には、データに関する詳細な説明が記載されていないため、抽出された入出力データの妥当性の検証が必要である。また、下水処理プロセスのシミュレーターを用いて回避電力量や薬品使用量の変化の計算をより精緻化し、このプロセスを様々な WWTP に導入した場合の効果についても検討することが可能となる。

謝辞

本研究は文部科学省「東北復興のためのクリーンエネルギー研究開発推進事業」の支援を受けている。筑波大、東北大の各研究グループメンバー並びに仙台市、南蒲生浄化センターの方々にデータや知見の提供をいただいた。

引用文献

1) 東北復興次世代エネルギー研究開発機構：“東北復興次世代エネルギー研究開発プロジェクト“,（オンライン）, 入手先< http://net-tohoku.sakura.ne.jp/wp/task2 >,（参照 2016-01-06）
2) Chisti Y: Biotechnology Advances, 25, (2007), pp 294-306
3) Weidema B.:”Municipal wastewater treatment”, (online),http://www.lcafood.dk/processes/wastetreatment/wastewatertreatment.htm, (2016-01-06)
4) 内田賢治：下水汚泥のガス化、燃料化等についての必要エネルギー等に関する研究，下水道機構情報機構 Vol.3(9)
5) Hernández-Sancho F., Sala-Garrido R.: Desalination, 249, (2009), pp 230-234.
6) 日本下水道協会：“平成 25 年度版下水道統計第 70 号”, (2015)

タイ・ナコーンナーヨック県における食品残渣由来のバイオメタンの Well-to-wheel 分析

Well-to-wheel greenhouse gas emissions of biomethane from food wastes in Nakhon Nayok province, Thailand

○小井土賢二*[1)]、竹内一佐枝[2)]、長谷川達也[2)]、堂脇清志*[1)]
Kenji Koido, Hisae Takeuchi, Tatsuya Hasegawa, Kiyoshi Dowaki
1）東京理科大学, 2）名古屋大学
* koido@rs.tus.ac.jp

1. はじめに

タイでは、これまで国内のエネルギー需要の不足分を輸入により賄ってきた[1)]。代替エネルギー利用とバイオエネルギー開発の促進のために、タイ政府は「新・代替エネルギー開発計画 2012-2021（new Alternative Energy Development Plan 2012-2021, (AEDP)）」を 2011 年に立案し、2021 年までに最終国内消費の代替エネルギー分を 25%まで引き上げる計画を打ち出した[1,2)]。この AEDP の一環として、食品残渣を原料とする小規模バイオメタン製造が可能な、処理能力 600 kg-wet/day のバイオガスプラントが、タイ・ナコーンナーヨック県のシーナカリンウィロート大学で稼働している。

本研究では、現地での視察およびヒアリング調査により得られたインベントリ・データに基づいて、この高速高効率バイオガスプラントの Well-to-Tank 分析および Well-to-Wheel 分析を行うことにより、バイオガスプラントのエネルギー収支比およびCO_2排出量のホットスポットを明らかにして、効率的かつ低環境負荷の運用のための示唆を与える。

2. 目的と範囲

シーナカリンウィロート大学で稼働する高速高効率バイオガスプラントの効率的かつ低環境負荷の運用のための示唆を与えるために、エネルギー収支比およびCO_2排出量のホットスポットを明らかにする。このため、原料である食品残渣の生産段階はシステムの範囲外とした（図 1）。機能単位は Whell-to-Tank 分析では 1 MJ-CH_4 とし、Whell-to-Wheel 分析では 1 km とした。

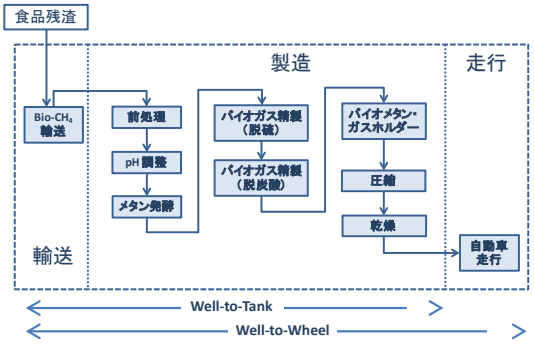


図 1　システム境界.

3. インベントリ分析

3.1 収集・輸送段階

タイのシーナカリンウィロート大学ではディーゼルトラックを用いて輸送している。このときの燃費はヒアリングに基づいて 16.5 km/L-diesel を用い、カフェテリアからバイオガスプラントまでの距離は 1.75 km とした。1 日あたり 100 kg の原料を運ぶための輸送は、1 回/day だけの往復とした。軽油のCO_2排出量の計算には燃費法：

$$CO_2\ \text{emission} = d \div FC_{\text{diesel}} \times 2.62 \qquad (1)$$

を用いた。ただし d [km]、FC_{diesel} [km/L]とし、CO_2排出係数として 2.62 kg-CO_2/L を用いる[3)]。

3.2 製造段階

1 日あたりのメタン生成量は、バイオガス生成量 70 m^3-biogas/day に組成 60%を乗じることにより、42 m^3-CH_4 /day とした。メタン密度は文献値である 0.717 g-CH_4/L-CH_4 を用い[4)]、低位発熱量は同じく 50.01 MJ/kg-CH_4 であるとした[5)]。また、エネルギー収支比の計算において、電力量はタイにおける発電効率 42.5%（2009 年時の発電量 12.8×10^6 ton-petroleum を燃料投入量 30.1×10^6 ton-petroleum で除すことで得られた）で割り戻して一次エネルギー換算した[6)]。

タイの電力のCO_2原単位 684 g-CO_2e/kWh[7)]を用いる。ヒアリングにより食品廃棄物投入量は 100 kg-wet/day とし、水投入量は 900 kg-water/day とした。NaOH 製造時の GHG ガスの直接排出原単位は、LCA ソフトウェア MiLCA により 1.324 [kg-CO_2e/kg-NaOH]を用いた。3%-NaOH 投入量はヒアリングにより 12.5 L-NaOHaq/day とした。

3.3 走行段階

メタン自動車の燃費については、名古屋大学長谷川達也研究室所有の ANG 自動車の燃費 FC_{ANG} = 15～16.65 km/Nm^3-CH_4 を用いた。また、Well-to-Wheel の GHG 排出量[g-CO_2e/km]については、Well-to-Tank の GHG 排出原単位[g-CO_2e/Nm^3-CH_4]を上記の燃費 FC [km/Nm^3-CH_4]で除することにより算出した。

$$GHG_{Well\text{-}to\text{-}Wheel} = GHG_{Well\text{-}to\text{-}Tank} / FC_{ANG} \quad (3)$$

後述するが、得られた GHG 排出量は文献値との比較を行うこととした。

4. Well-to-Tank 分析結果と考察

4.1 エネルギー収支比

一日当たりのメタン生産量が 1506 MJ-CH_4/day であるため、収集・輸送段階におけるエネルギー収支比は、0.00269 MJ/MJ-CH_4 となる。収集・輸送段階および、製造段階（Well-to-Tank）における、所内動力のエネルギー収支比[MJ/MJ-CH_4]の結果を図 2 に示す。粉砕機(0.0053)、可溶化槽(0.16)、pH 調整(0.0034)、第一発酵槽(0.10)、第二発酵槽(0.10)、制御(0.14)、加圧ポンプ(0.06)、輸送ポンプ(0.13)であった。図 2 から、可溶化槽、発酵槽、制御、ポンプにおいて、所内動力が大きい。可溶化槽や発酵槽はヒーターによる電力消費が高い割合を占めるため、これらの断熱により熱損失を防ぐことが更なるエネルギー低減につながるだろう。また、バイオメタンの生産段階（Well-to-Tank）のエネルギー収支比が 0.68 であり、エネルギー自立性の目安である 1 よりも小さく、高持続可能性だとわかった。

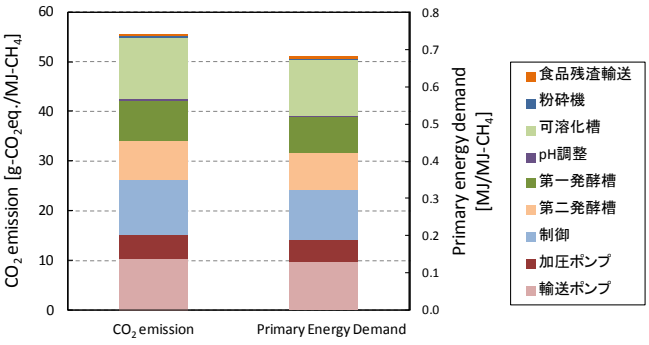


図 2　エネルギー収支比と CO_2 排出量.

4.2 CO_2 排出量

収集・輸送段階における CO_2 排出量は 0.000185 g-CO_2/MJ-CH_4 となった。収集・輸送段階および製造段階における CO_2 排出量の結果を図 3 に示す。排出量は、粉砕機 (0.43 g-CO_2eq/MJ-CH_4)、可溶化槽 (12.54 g-CO_2eq/MJ-CH_4)、pH 調整(0.60 g-CO_2eq/MJ-CH_4)、第一発酵槽 (8.18 g-CO_2eq/MJ-CH_4)、第二発酵槽 (8.18 g-CO_2eq/MJ-CH_4)、制御(11.45 g-CO_2eq/MJ-CH_4)、加圧ポンプ (4.91 g-CO_2eq/MJ-CH_4)、輸送ポンプ (10.68 g-CO_2eq/MJ-CH_4)である。ホットスポットとして極端な結果はなかったが、可溶化槽、発酵槽、制御、輸送ポンプにおいて、比較的 CO_2 排出負荷が高い。

5. Well-to-Wheel 分析結果と考察

前節で計算した CO_2 原単位[g-CO_2eq/MJ-CH_4]を用いて、式(3)に基づいて燃料の使用段階を含めた Well-to-Wheel 分析を行った結果を図 3 に示す。図中には他にバイオ燃料として水素、メタノール、ジメチルエーテル（DME）、FT 軽油の Well-to-Wheel 分析結果と比較している [8]。本研究結果は 129.5 kg-CO_2eq/km であった。この結果は他の燃料の CO_2 排出量（水素(453.9 kg-CO_2eq/km)、メタノール(602.1 kg-CO_2eq/km)、DME (421.4 kg-CO_2eq/km)、FT 軽油(446.0 kg-CO_2eq/km)）に比べ3分の1以下の水準であることがわかる。従って、バイオメタン自動車の CO_2 排出負荷が低いことがわかった。他の燃料製造ではエネルギー収支比が 1 を超えるのに対し、バイオメタン製造では 0.68 であることが原因であると考えられる。

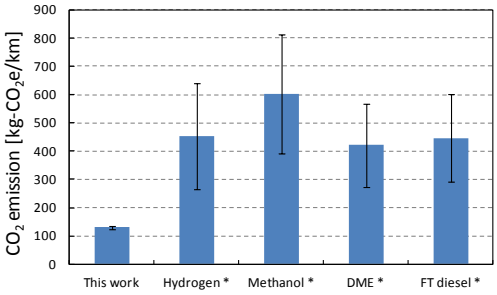


図 3　バイオガスの使用段階における CO_2 排出量 [7].

6. まとめ

タイの再生可能エネルギー開発の一環としてのバイオメタンプラントの評価を Well-to-Tank 分析と Well-to-Wheel 分析にわけて行い、実測およびヒアリングにもとづいたインベントリによりエネルギー収支比および CO_2 排出量を明らかにした。バイオメタン製造の生産段階のエネルギー収支比が 0.68 MJ/MJ-CH_4 であり、エネルギー的自立の目安である 1 よりも小さく、持続可能性が高いことがわかったほか、CO_2 排出量は 57.3 g-CO_2eq/MJ-CH_4 であった。

また、生産から走行段階までの CO_2 排出量が 132.0 kg-CO_2eq/km であり、文献よりえられる他のバイオ燃料による CO_2 排出量に比べ 3 分の 1 以下であった。

引用文献

1) Wattana S.: Energy Procedia, 52, (2014), pp. 506–515.
2) Sutabutr, T.: Int J. Renew. Energ., 7, (2012), pp. 1–10.
3) 経済産業省, 国土交通省: “物流分野の CO_2 排出量に関する算定法ガイドライン”, p. 5.
4) Younglove B.A., ELY J.F.: J. Phys. Chem. Ref. Data, 16(4), (1987), pp. 577–798.
5) 水谷幸夫: “燃焼工学”, 森北出版, 東京, (2002), p. 41.
6) 日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット編: エネルギー・経済統計要覧, (2012), p. 237.
7) 産業環境管理協会: “カーボンフットプリント制度試行事業 CO_2 換算量共通原単位データベース ver. 4.0 (海外データ)”, 入手先 <http://www.cms-cfp-japan.jp/calculate/verify/pdf/CO2kansanryo_db_ver4_wld_20120406.pdf>, (2016-01-07).
8) Watanabe Y., Sato Y., Kawano D., Koido K., Dowaki K.: J. LCA. Jpn. 9, (2013), pp. 20–36.

遊離脂肪酸含有量に着目した廃食用油を用いた地域密着型バイオディーゼル燃料製造手法の設計

Design Tool for Localized Biodiesel Production Systems using Waste Cooking Oil with Various Free Fatty Acid Compositions

○彭劭琳*1)、北川尚美 1)、大野肇 1)、福島康裕 1)
Shaolin Peng, Naomi Shibasaki-Kitakawa, Hajime Ohno, Yasuhiro Fukushima
1)東北大学大学院工学研究科
* shaolin@sis.che.tohoku.ac.jp

1. Introduction

Biodiesel fuel (BDF) from waste cooking oil (WCO) is often regarded as an option to reduce waste and generate locally available liquid fuel. The major commercialized BDF production process from WCO is the homogenous alkali-catalyzed (HAC) process. However, the yield and quality of BDF from HAC process is sensitive to contents of free fatty acid (FFA) and water. To reduce these contents, the crude WCO is sometimes pretreated with acid catalyst before HAC process, which requires additional inputs and energy consumption. An alternative process, which uses ion-exchange (anion and cation) resins as catalyst is capable of converting WCO into high quality BDF regardless of FFA content without pretreatment[1].

The objective of this research is to develop a design tool for localized BDF production systems using WCO. The design of the system should reflect the local needs and conditions, so that the product better meets the local needs while it minimizes associated environmental and economic impacts. In this article, we first analyze life cycle greenhouse gas (GHGs) emissions of both HAC and ion-exchange resins catalyzed (IERC) processes. The process inventory of HAC process is based on literature reviews, and data for IERC process is based on the pilot scale facility capable of producing 2 L/h biodiesel operated in Tohoku University. Next, we discuss parameters for design tool for localized BDF production systems according to the assessment results.

2. Reviews on Life Cycle GHGs Emissions of Homogeneous Alkali-catalyzed Process

Functional units in the literatures[2-7] that studied life cycle GHGs emissions associated with the BDF from HAC process using WCO are not consistente with each other. To make comparison, data were converted to present the inventories on a per liter BDF basis. Except for Kamahara et al.[2], all the other studies include acid-catalyzed pretreatment of WCO to reduce FFA and water content. FFA has to be under 0.5 wt. %[8], and water should be less than 0.06 wt. %[8]. Otherwise, the excess FFA will react with alkali catalyst and form unwanted soap which is difficult to remove from BDF. After pretreatment, remaining triglycerol is converted into BDF through transesterification with alkali catalyst.

The life cycle GHGs emissions are shown in Table 1. The total emissions are from 0.264 to 3.647 kg CO_2 per L-BDF. Only Ecoinvent[7] indicated specifically 6.7 wt. % of FFA in WCO before pretreatment. The others did not provide information on FFA. The GHGs contributions of WCO pretreatment range from 1.3% to 35.3% of its total emissions, which are quite diverse. This may due to different quality of WCO, scale of pretreatment, or assumptions and calculations in the literatures.

Table 1 Life cycle GHGs emissions associated with BDF produced with HAC processes

(kg-CO2/ L-BDF)	Dufour & Iribarren (2012)	Kamahara et al. (2008)	Ripa et al. (2014)	Singhabhandhu et al. (2006)	Talens Peiró et al. (2010)	Ecoinvent 2.2
FFA wt.%	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	6.70%
Trans-portation	**0.127** 22.2%	**3.160** 86.6%	**0.083** 29.0%	**0.001** 0.2%	**0.000** 0.0%	**0.271**
Pre-treatment	**0.202** 35.3%	**N/A** -	**0.014** 4.7%	**0.005** 1.3%	**0.066** 25.0%	
Trans-esterification	**0.130** 22.7%	**0.487** 13.4%	**0.189** 66.3%	**0.318** 82.6%	**0.198** 75.0%	
Others	**0.114** 19.9%		**N/A** -	**0.061** 15.9%	**0.000** 0.0%	
Total	**0.574**	**3.647**	**0.286**	**0.385**	**0.264**	**0.271**

3. Preliminary Life Cycle GHGs Assessment on Ion-exchange Resins Catalyzed Process

The process inventory data (Table 2) is based on the pilot scale equipment (2 L-BDF h^{-1}) in Tohoku University. This IERC process consists of four parts: esterification, transesterification, regeneration, and recycling. FFA is first converted into BDF through esterification with a cation-exchange resin catalyst. Then, triglyceride is converted into BDF through transesterification with an anion-exchange resin catalyst. Methanol separated from BDF is recycled. The anion exchange resin needs to be

regenerated after producing 12 L BDF. The NaOH, deionized water, and methanol recovered from the regeneration process are recycled, while the solid waste and glycerol is produced. The purity of glycerol is ~85-90 %. Solid waste goes further into waste treatment for incineration.

Table 2 Life cycle inventory data of IERC process

Item	Value	
Input		
WCO	0.958	L/L-BDF
Methanol	0.283	kg/ L-BDF
CH_3COOH	0.043	kg/ L-BDF
Deionized water	0.014	kg/ L-BDF
NaOH 100%	0.013	kg/ L-BDF
Electricity	0.967	kWh/ L-BDF
Output		
BDF	1	L/L-BDF
Glycerol	0.072	L/L-BDF
Solid waste	0.092	kg/ L-BDF

Table 3 Life cycle GHGs emissions of IERC process

Item	Value (kg-CO_2/L-BDF)	Distribution (%)
Methanol	0.196	17.2
CH_3COOH	0.063	5.5
Deionized water	0.000	0.0
NaOH 100%	0.017	1.5
Electricity	0.553	48.3
Solid waste	0.314	27.4
Total	**1.144**	

The life cycle GHGs emissions are presented in Table 3. The allocation between BDF and glycerol is based on the volume. To produce 1 liter BDF from WCO through ion-exchange resins emits 1.144 kg-CO_2. The consumption of electricity contributes nearly 50 % of the total emissions. The second largest emissions are from solid waste treatment, and the rests are methanol, acetic acid, NaOH, and water, respectively.

4. The Comparison between Homogeneous Alkali and Ion-exchange Resins Catalyzed Processes

Figure 1 is the life cycle GHGs emissions comparison between HAC and ion-exchange resins processes. The comparison does not include emissions from transportation and construction and maintenance of infrastructures. In terms of emission from methanol, it covers about 20 % in both types of processes, except for in Kamahara et al.[2]. Emissions from electricity and heat are quite diverse in both types of processes. In Singhabhandhu et al.[6], other emissions are mainly from burning glycerol in the incinerator which covers about 60 % of its total emissions.

5. Discussion: developing design tool for Localized BDF Production Systems using WCO

Local conditions vary from places to places, and so are the needs for BDF production systems. In this research, we first focus on the quality of WCO, especially the FFA content. We presented life cycle GHGs emissions associated with BDF derived from WCO with HAC and IERC processes. Although the influence of FFA content on

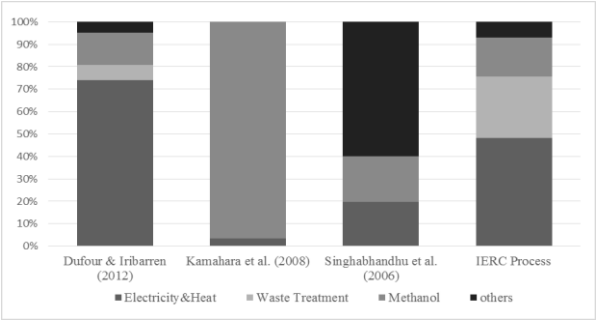


Figure 1 The life cycle GHGs emissions from HAC and IERC process (excl. transportation and infrastruction)

GHGs emissions are not exactly specified, it was shown that the emissions from pretreatment and transesterification are significantly influenced. The more FFA in WCO, it is very likely that the more GHGs emissions from the HAC process due to additional material and energy demand for pretreatment and post-treatment processes, as well as the lower BDF yield. In addition to the quality of WCO, other conditions, such as collection and transportation of WCO, distribution and application of BDF, also highly depends on the local conditions. Those parts will be elaborated on in the next steps of our future work.

Acknowledgment: This research was supported by the Environment Research and Technology Development Fund (3K153014) of the Ministry of the Environment, Japan.

References

1) Shibasaki-kitakawa, N., Tsuji, T.: Bioenerg. Res., 4, (2011), pp.287–293.
2) Kamahara, H., Yamaguchi, S., Tachibana, R., Goto, N., Fujie, K.: J. LCA Japan, 4(4), (2008), pp.318–323.
3) Talens Peiró, L., Lombardi, L., Villalba Méndez, G., Gabarrell i Durany, X: Energy, 35(2), (2010), pp.889–893.
4) Dufour, J., Iribarren, D.: Renewable Energy, 38(1), (2012), pp.155–162.
5) Ripa, M., Buonaurio, C., Mellino, S., Fiorentino, G., Ulgiati, S.: Int. J. Performability Engineering, 10(4), (2014), pp.347–356.
6) Singhabhandhu, A., Kurosawa, M., Tezuka, T.: The 2nd Joint Int. Conf. Sustainable Energy and Environment (SEE2006), Bangkok, (2006).
7) Jungbluth, N., Chudacoff, M., Dauriat, M., Dinkel, F., Doka, G., Faist Emmenegger, M., Gnansounou, M., Kljun, N., Schleiss, K., Spielmann, M., Sttettler, L., Sutter, J.: "Life cycle inventories of bioenergy. ecoinvent report No. 17", (2007).
8) Morais, S., Mata, T. M., Martins, A. A., Pinto, G. A., Costa, C. A.V. V.: J. Cleaner Production, 18(13), (2010), pp.1251–1259.

効果的なバイオガス事業の選択に向けた環境特性評価ツールの作成

Development of a Environmental Characteristics Evaluation Tool for Selection of Effective Biogas Power Generation Projects

○兵法彩*[1)]、本藤祐樹[1)]、森泉由恵[1)]
Aya HEIHO, Hiroki HONDO, Yue MORIIZUMI
1） 横浜国立大学
* heiho-aya-gm@ynu.jp

1. はじめに

廃棄物系バイオマスを用いたメタン発酵ガス化発電事業（バイオガス発電事業）の合理的な導入を進めるには、温室効果ガス（Greenhouse gas、GHG）排出量などの各種影響をライフサイクル思考に基づいて評価（LCA）することが重要である。バイオガス発電事業の LCA ガイドラインの整備[1)]や実用的な LCA 手法の提案[2)]は進んでいるが、非専門家である自治体等の事業主体者が、導入検討段階でインベントリ分析に必要となる詳細な情報を収集・作成することは難しい。

本研究は、廃棄物量などの限られた情報で、LCA を実施できる環境特性評価ツールを作成する。本稿では、厨芥類を用いたバイオガス発電事業の GHG 排出量推計を例に、環境特性評価ツールの推計フローおよび得られる結果（出力イメージ）を紹介する。

2. 環境特性評価ツールの推計フロー

2.1 環境特性評価ツールのフレームワーク

環境特性評価ツールは、分析者が表計算ソフト（Microsoft Excel 2013）に廃棄物量を入力することで、導入検討事業の各種パラメータと建設・運用費が決定し、産業連関表から得られる環境負荷量を活用して、事業導入に伴うライフサイクル GHG 排出量を推計する。評価範囲は、原料収集からメタン発酵ガス化発電、発酵残渣処理までとする（図 1）。発酵残渣は排水として処理を行う。

GHG 排出量の推計は、以下の 4 つのステップで行われる（図 2）。(1)パラメータの入力と推計、(2)最終需要ベクトルの推計、(3)直接燃料消費量の推計、(4)ライフサイクル GHG 排出量の推計である。

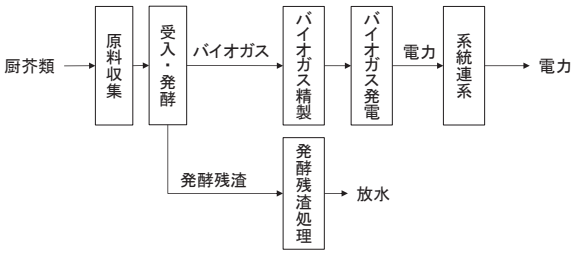


図 1　バイオガス発電事業の評価範囲

2.2 パラメータの入力と推計

後述する最終需要ベクトルの推計に用いているバイオガス発電事業のパラメータは、廃棄物量（厨芥類処理量）、バイオガス量、定格出力、排水処理量、系統連系距離、耐用年数である。

廃棄物量p_w[t/年]が入力必須項目となっており、その他のパラメータp_i[unit]（$i = 1,2,\dots,n$）は、順次自動的に計算される。なお、系統連系距離は 1km、耐用年数は 20 年、設備利用率は 72%に設定している。また、分析者が各種パラメータに関する具体的な情報を有する場合には、その値を直接入力することが可能である。

2.3 最終需要ベクトルの推計

導入検討事業の建設・運用費（最終需要ベクトル）$\boldsymbol{F}_x$[円]を、単位コストベクトル$\boldsymbol{U}_{x,i}$[円/unit]とパラメータp_i[unit]（i = w または $1,2,\dots,n$）から推計する（式 1）。

$$\boldsymbol{F}_x = g(p_i, \boldsymbol{U}_{x,i}) \qquad \text{（式 1）}$$

$\boldsymbol{U}_{x,i}$[円/unit]は、特徴的なプロセス毎に産業連関表の部門分類[3)]に合わせて作成しており、本稿では 6 つの建設プロセス（受入・発酵設備、バイオガス精製設備、バイオガス発電設備、発酵残渣処理設備、系統連系設



図 2　環境特性評価ツールの推計フロー

備、その他の建設）、および 3 つの運用プロセス（原料収集、バイオガス発電、発酵残渣処理）に対応する計 9 本のベクトルを用意している。これら 9 本の$\boldsymbol{U}_{x,i}$[円/unit]は、国内の現状を反映して想定したモデルプラントの詳細なコストデータ（総数 1,054 項目）と、各プロセスを特徴付けるパラメータ（例えば廃棄物処理量）とから作成されている。

2.4 直接燃料消費量の推計

求めた最終需要ベクトルのうち、石油製品、都市ガスの最終需要額$f_{k,x}$[円]と各種燃料単価c_k[円/unit]から、燃料消費量$m_{k,x}$[unit]を推計する（式 2）。

$$m_{k,x} = \frac{f_{k,x}}{c_k} \qquad \text{（式 2）}$$

2.5 ライフサイクル GHG 排出量の推計

バイオガス発電事業の導入に伴う GHG 排出量E[t-CO_2eq./年]は、燃料消費に伴う GHG 排出量E_x^{PA}[t-CO_2eq./年]と財・サービスの生産活動に伴う GHG 排出量E_x^{IO}[t-CO_2eq./年]の合計となる（式 3）。

$$E = \sum_{x=1}^{n}(E_x^{PA} + E_x^{IO}) \qquad \text{（式 3）}$$

E_x^{PA}[t-CO_2eq./年]は、燃料消費量$m_{k,x}$[unit]に CO_2 排出係数EF_k[t-CO_2/unit][4] を乗じて推計する。（式 4）

$$E_x^{PA} = \sum_{k=1}^{m}\left(m_{k,x} \times E_k\right) \qquad \text{（式 4）}$$

E_x^{IO}[t-CO_2eq./年]は、3EID[5]で公表されている GHG 排出原単位（$\boldsymbol{\varepsilon} = \boldsymbol{e}^T(\boldsymbol{I}-\boldsymbol{A})^{-1}$）[t-$CO_2$eq./百万円]と最終需要ベクトル$\boldsymbol{F}_x$[百万円]から推計する（式 5）。

$$E_x^{IO} = \boldsymbol{e}^{\mathrm{T}}(\boldsymbol{I}-\boldsymbol{A})^{-1}\boldsymbol{F}_x \qquad \text{（式 5）}$$

3. 試算結果（出力）イメージ

廃棄物処理量（計画値）を 20,000t/年としたときの試算結果を図 3 に示す。結果は、1 年あたりの GHG 排出量で示しており、設備機器の製造や建屋建設に伴う GHG 排出量は耐用年数で按分している。

環境特性評価ツールに、廃棄物量 20,000t/年を与えると、バイオガス量、定格出力、発電量、排水処理量が得られ、建設費、運用費が決定してライフサイクル GHG 排出量 1,586t-CO_2eq./年が求まる。また、プロセスを分割して推計を行っているため、図 3 に示したようにプロセス別の内訳を把握することも可能となっており、初期的なホットスポット分析に活用ができる。

このように、自治体が基礎データとして有している廃棄物量を入力すれば、その地域でどの程度の規模の

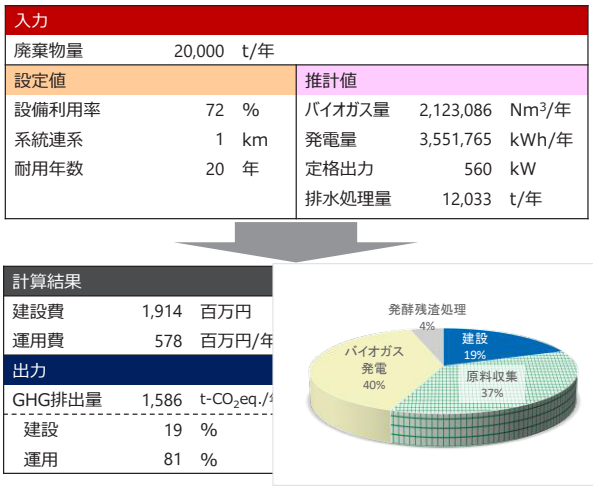


図 3　計算結果（出力）のイメージ

バイオガス発電事業が導入できるのか、建設費、運用費、GHG 排出量がどの程度の大きさになるのかを容易に推計できるツールとなっている。得られた結果を従来の廃棄物処理技術や、他の地域のバイオガス発電事業と比較することで、より効果的な事業の計画・導入が進むことが期待される。

4. おわりに

廃棄物量からバイオガス発電事業の各種パラメータおよび建設・運用費を推計し、産業連関表から得られる環境負荷量を活用して、ライフサイクル GHG 排出量が推計可能なツールを作成した。今後、他の廃棄物（下水汚泥や家畜排せつ物など）との混合処理事業の環境特性評価に向けてツールを拡充していく。

謝辞

ヒアリング・資料提供にご協力いただいた関係者の方々に謝意を表する。なお本研究は、環境省の環境研究総合推進費（課題番号 2-1302）および JSPS 科研費（課題番号 15J11714）の支援により実施された。

引用文献

1) 環境省：“バイオガス関連事業の LCA に関する補足ガイドライン Ver.1.0”,（2012）, 21pp.
2) 鶴谷昌洋, 兵法彩, 工藤祐揮, 本藤祐樹：日本エネルギー学会誌, 92(10), (2013), p.994-1005
3) 総務省編：“平成 17 年産業連関表総合解説”,（2009）, 495pp.
4) 温室効果ガスインベントリオフィス：“日本国温室効果ガスインベントリ報告書”,（2015）, 655pp
5) 南斉規介, 森口祐一：“産業連関表による環境負荷原単位データブック（3EID）”, 国立環境研究所, http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/jpn/index_j.htm>,（参照 2015-12-18）

水産業における LCA 研究の現況

Current Status of LCA Study for Fsheries Sciences

○渡邊一仁*[1)]、田原聖隆 [2)]
Kazuhito Watanabe, Kiyotaka Tahara
1) 気仙沼地方振興事務所, 2) 産業技術総合研究所
* watanabe-ka825@pref.miyagi.jp

1. はじめに

環境意識の高まりとともに、水産分野における LCA 研究は 2000 年頃から報告が始まる。現在は世界各地で調査、研究が進められ、成果も少しずつ蓄積されてきているところであるが、これまでに得られた成果の整理は十分になされていない。そこで、本報告では、2000 年以降に発表された水産分野における LCA および関係する分野の報告をレビューし、これまでに明らかになったことや課題を総括し、今後の LCA 研究に資することを目的とした。

2. 方法

調査資料は学術論文、各種報告書、学会発表要旨集等を対象とした。水産関係用語（漁業、養殖業、魚種名、水産加工品名等）と LCA、環境負荷、エネルギー、環境影響などをキーワードにオンライン検索や引用文献からの孫引きにより資料を収集した。収集した資料は①漁業、②養殖業、③流通・水産加工品その他、の 3 つに分類して発表年代順に並べ替えて、その内容を整理した。

3. 結果

漁業に関するものとして 19 件（表 1）、養殖業に関するものとして 9 件(表 2)、流通・水産加工その他に関するものとして 14 件（表 3）の合計 42 件の文献を収集した。各分類から LCA 研究の現況を次に述べる。

漁業　現場データを活用したものと統計的手法を活用したものが報告されている。これまで現場データを活用して LCA が実施された漁業種類では刺網、底曳網（沖底、小底）、延縄、まき網、イカ釣り、サンマ棒受網、定置網、筒・籠漁業、貝桁網などが挙げられる。また、漁獲魚種では、マグロ、イワシ、サバ類、サンマ、スケトウダラ、サケ、ホッケ、ヒラメ、カレイ類、ニシン、マアナゴ、イカなどが報告されている。一方、統計的手法によるものでは、産業連関表と漁業統計を活用して日本全体の漁業種類別、漁獲魚種別の燃料消費量や環境負荷が示されている。漁業ではいずれも燃料消費に伴う CO_2 排出がホットスポットになっており、漁業経営の安定化とともに、省エネ技術の開発が進められている。

養殖業　養殖業は大きく給餌養殖業と無給餌養殖業に分けられる。給餌養殖業ではサケやエビを対象とした事例が報告されている。給餌養殖業は、餌の使用に伴う環境影響がホットスポットになっており、環境負荷低減の課題となっている。また、無給餌養殖業では、ホタテ、イガイ、ワカメ、コンブ等が報告されている。給餌養殖は比較的環境負荷が低く見積もられており、業態により主たる環境負荷の排出要因も異なる。

流通・水産加工その他　漁業生産の後の段階として、流通に着目したものでは、マグロを題材とした比較事例があり、船冷輸送が航空輸送に対して優れていることが報告されている。水産加工品では、冷凍品、缶詰、蒲鉾などの商材がカーボンフットプリントとして示されており、品目により漁業段階や加工段階の環境負荷が高いことが示されている。その他として、漁村を対象とした分析、水産残渣由来アシドロコンポスト利用に対する評価、エコラベルによる消費者への示し方の議論も報告されている。

4. 今後の展望と課題

演者が水産 LCA の研究を始めた 2000 年頃には、水産業に LCA を適用した事例は皆無であったが、最近 15 年間で事例も蓄積されてきた。当然、その中では手法に関する議論もなされており、システム境界の枠組み、機能単位、配分問題などの検討も進んできている。

今後の展望としては、水産業が自然を相手としており、地域性や季節変動を受けることから、それらを踏まえた分析により、産業や地域の持続性へ寄与していくことが望まれる。特に漁業との関わりで述べると、資源管理と環境負荷の関係では、資源管理がうまくいっているところは、環境負荷が低くなるという事例も出てきており、漁業経営と併せて持続性を体現した推進すべきモデルとなっている。このような事例を増やして行く必要がある。当然、事例を増やすためには方法論としての醸成と水産業のためのインベントリデータの充実、環境以外の要因との繋がりの中でのトレードオフを考慮した形での産業の在り方が問われており、LCA がこの中でいかに関わりを持ち、その価値を示せるかが重要で今後の課題と考える。

表 1　漁業に関する文献

番号	筆者	題目	機関紙/出版社	巻	発表年	ページ
1	Ziegler, F; Hansson, P. A.	Emissions from fuel combustion in Swedish cod fishery	Journal of Cleaner Production	11	2003	303-314
2	南亘, 安井邦洋, 中野勝行, 金熙濬	まぐろ消費に伴う大気汚染物質LCI	日本水産学会誌	70	2004	548-554
3	Thrane, M.	Energy Consumption in the Danish fishery	Journal of industrial Ecology	8	2004	223-239
4	PETER TYEDMERS	Fisheries and Energy Use	Encyclopedia of Energy	2	2004	683-693
5	Hospido, A.; Tyedmers, P	Life cycle environmental impacts of Spanish tuna fisheries	Fisheries Research	76	2005	174-186
6	渡邊一仁, 田原聖隆, 藤森康澄, 清水晋, 三浦汀介	イカ漁業のLCIと環境負荷	環境科学会誌	19(1)	2006	15-24
7	Kazuhito WATANABE, Kiyotaka TAHARA, Teisuke MIURA	Environmental Burden Imposed on Fisheries-Evaluation Using Fishery Statiatics and I-O Analysis	International Conference on Eco-Balance, Proc	7	2006	575-576
8	渡邊一仁	LCA法による漁業の環境影響評価に関する研究	博士論文	—	2006	1-113
9	渡邊一仁, 田原聖隆	宮城県産水産物のライフサイクルインベントリ-まき網、マグロ、サバ類	日本LCA学会研究発表会講演要旨集	2	2007	116-117
10	渡邊一仁, 田原聖隆	宮城県産水産物のライフサイクルインベントリ -マアナゴの事例-	日本LCA学会研究発表会講演要旨集	3	2008	34-35
11	Erwin, M.S.; Schau, Harald, E.; Anderson, E; Svein A. A.	Energy consumption in the Norwegian fisheries	Fisheries Research	17(3)	2009	325-334
12	渡邊一仁、田原聖隆	水産におけるライフサイクルアセスメント研究	日本LCA学会研究発表会講演要旨集	4	2009	2-3
13	長谷川勝男	わが国における漁船の燃油使用量とCO2排出量の試算	水産技術	2(2)	2010	111-121
14	Ian V.; M. T. Moreira; Gumersindo, F.	Life Cycle assessment of horse mackerel fisheries in Galicia (NW Spain) - Comparative analysis of two major fishing methods	Fisheries Research	106(3)	2010	517-527
15	John Driscoll and Peter Tyedmers	Fuel use and greenhouse gas emission implications of fisheries management: the case study of the new england atlantic herring fishery	Journal of Marine Policy	34	2010	353-359
16	渡邊一仁、藤田薫、溝口弘泰、前川文人、浅野勝志、長谷川誠三	小型底曳網漁業のライフサイクルアセスメント-宮城県亘理地区の事例-	日本LCA学会研究発表会講演要旨集	6	2011	274-275
17	渡邊一仁	漁業のライフサイクルアセスメント-理論と実践-	宮城水産研報	10	2012	23-29
18	水産総合研究センター（水産工学研究所、開発調査センター）	漁船漁業の省エネルギーに向けて	報告書		2013	1-48
19	渡邊一仁、田原聖隆	閖上産アカガイのライフサイクルアセスメント	日本LCA学会研究発表会講演要旨集	9	2014	114-115

表 2　養殖業に関する文献

番号	筆者	題目	機関紙/出版社	巻	発表年	ページ
1	沖本憲吾, 渡邊一仁, 田原聖隆, 清水晋, 三浦汀介	宮城県女川湾におけるギンザケ養殖の環境影響評価	日本LCA学会研究発表会講演要旨集	3	2008	32-33
2	H. Ellingsen; J.O. Olaussen; I.B. Utne	Environmental Analysis of the Norwegian fishery and aquaculture industry—A preliminary study focusing on farmed salmon.	Marine Policy	33(3)	2009	479-488
3	Nathan, W. A.; Peter H. T.	Assessing alternative aquaculture technologies: life cycle assessment of salmonid culture systems in Canada	Journal of Cleaner Production	17(3)	2009	362-373
4	Deigo, I.; Maria T. M.; Gumersindo, F.	Revisiting the Life Cycle Assessment of mussels from a sectorial perspective.	Journal of Cleaner Production	18(2)	2010	101-111
5	渡邊一仁	無給餌養殖業のライフサイクルインベントリ分析-ホタテガイ, コンブ, ワカメの事例として-	環境情報科学論文集	25	2011	1-6
6	Ling, G.; James, S. D.; Gregory, A. K; Qiuming, L.	Life Cycle Assessment of Chinese Shrimp Farming Systems Targeted for Export and Domestic Sales.	Environmental Science & Technology	45(15)	2011	6531-6538
7	Liag Cao	FARMING SHRIMP FOR THE FUTURE: A SUSTAINABILITY ANALYSIS OF SHRIMP FARMING IN CHINA	PhD thesis（The University of Michigan）	—	2012	1-159
8	Robert Parker	Review of life cycle assessment research on products derived from fisheries and aquaculture: A report for Seafish as part of the collective action to address greenhouse	報告書（Sea Fish Industry Authority）	—	2012	1-24
9	Keegan, P.M.; Nathan, L. P.; Peter, H.T.	Life Cycle Assessment of a Novel Closed-Containment Salmon Aquaculture Technology.	Environmental Science & Technology	49(9)	2015	5628-5636

表 3　流通・水産加工品、その他の文献

番号	筆者	題目	機関紙/出版社	巻	発表年	ページ
1	Ziegler, F.; Nilsson, P.; Mattson, B.; Walther, Y.	Life Cycle Assessment of Frozen Cod Fillets Including Fishery-Specific Environmental Impacts	Int J LCA	8(1)	2003	39-47
2	Trane Mikkel	Environmental impacts from Danish fish products	PhD thesis（Aalborg University）	—	2004	1-536
3	Mikkel Thrane	LCA of Danish Fish Products	Int J LCA	11(1)	2006	66-74
4	Hospido, A.; M.E. Vazquez; A. Cuevas; G. Feijoo; M.T. Moreira.	Environmental assessment of canned tuna manufacture with a life –cycle perspective.	Resources Conservation and Recycling	47（1）	2006	56-72
5	酒井梨鈴、渡辺学、鈴木徹	畜養マグロ流通における環境負荷-冷凍マグロ（海上輸送）と冷蔵マグロ（航空輸送）の比較-	日本冷凍空調学会論文集	24（3）	2007	167-172
6	渡邊一仁、田原聖隆、三浦汀介	水産物のLCA研究	日本LCA学会誌	4（2）	2008	124-128
7	長野章, 古屋温美, 横山真吾	漁村など小地域の産業連関分析 ～分析事例と応用～	（社）全国漁港漁場協会	—	2008	53-78
8	渡邊一仁、石田理、矢野歳和、田原聖隆	宮城県産サンマ缶詰のカーボンフットプリント	宮城水産研報	10	2010	25-32
9	Ian V.; M. T. Moreira; Gumersindo, F.	Life Cycle Assessment of fresh hake fillets captured by the Galician fleet in the Northern Stock	Fisheries Research	110（1）	2011	517-527
10	安藤生大、長谷川勝男	サバ缶詰のライフサイクルCO2（LC-CO2）の試算および環境教育教材への利用可能性-千葉県銚子市（2008）におけるケーススタディー-	水産技術	3（2）	2011	99-105
11	飯田惣也、加藤暢、新村萌子、劉源、伊平徳宏、渡邊一仁	宮城県産笹かまぼこのカーボンフットプリント	宮城水産研報	10	2012	7-11
12	田島亮介、山本岳彦、大村道明、中井裕、伊藤豊彰、齋藤雅典	水産加工廃棄物由来アシドロコンポストの製造・利用段階における温室効果ガス排出量の評価	日本LCA学会誌	9	2013	340-348
13	Andy Grinnall and Simon Burnett	First Catch Your Fish: Designing a "Low Energy Fish"Label	Journal of Sustainability	7	2015	6086-6101
14	中島寛則、大野隆史	名古屋市での生鮮食品取扱量に基づいた温室効果ガス排出量の算出とその経年変動	日本LCA学会誌	11	2015	292-299

廃棄物からのエネルギー回収の高度化に関する検討

Study on efficient energy recovery from wastes

○藤井実[*1)]、大西悟 [1)]、稲葉陸太 [1)]、田崎智宏 [1)]、藤田壮 [1)]
Minoru Fujii, Satoshi Ohnishi, Rokuta Inaba, Tomohiro Tasaki, Tsuyoshi Fujita
1) 国立環境研究所
* m-fujii@nies.go.jp

1. はじめに

地球温暖化、資源枯渇、廃棄物問題への対応として、廃棄物の有効活用が重要である。また、国内では少子高齢化が進むと予想され、今後廃棄物処理施設の構成をよりいっそう効率的なものとする必要がある。本研究では、主として可燃性の一般廃棄物を対象に、産業への原燃料供給、火力発電所を含む産業への焼却炉からの蒸気供給、焼却とメタン発酵の複合発電などの方法について、エネルギー効率や費用の観点からその有効性を評価する。

2. 廃棄物のアップグレード利用

2.1 廃棄物の産業利用によるアップグレード利用

エネルギー回収の高度化には、エネルギーの量的な利用効率の向上だけでなく、質的な効率向上も重要である。エクセルギー効率の高い利用がその指標となり、なるべく多くの電力を発電することや、なるべく高温で利用することが、エクセルギー効率の向上に寄与する。

しかし、例えば廃棄物発電においては、燃焼ガスが腐食性に富むことから、過熱器の保護の観点から蒸気温度を高温にすることができず、結果的に発電効率が最大で 20%程度（国内のケース）であり、同様に固体の燃料を利用する石炭火力発電所（発電 40%程度）の半分ほどの効率に留まる。

一方産業施設の側でも、必ずしも高いエクセルギー効率で化石燃料を利用できている訳ではない。火力発電の場合、タービンを回す燃焼ガスや蒸気を高温化するほど発電効率が向上するが、機械的な制約から温度を抑制して運転されている。化石燃料の側からは余力を残した利用がなされていることになる。廃棄物を何らかの形で産業において利用する際、この余力を活用することで、廃棄物の側からは本来のポテンシャルよりもより高いエクセルギー効率での利用が可能になり、アップグレードされた形での利用ができる（図 1）。

一例として低温領域の加熱は廃棄物、高温領域の加熱は化石燃料によるといった分担により、化石燃料のみで加熱するケースと同等の温度にすることができる。

筆者らは、廃棄物のエクセルギー効率の高い利用方法として、可燃性の一般廃棄物の中から、発熱量が比較的高い混合プラスチックや雑紙類を分別回収し、産業で原燃料利用するケースについて報告してきた [1)]。本報告では、主に熱利用の高度化に関する検討状況を報告する。

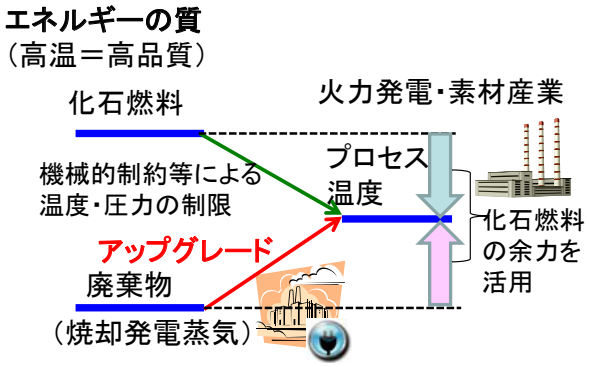


図 1 廃棄物のアップグレード利用概念図

2.2 事例 1：焼却炉から工場・発電所への熱供給

既に高温の蒸気を利用している工場（化学工場など）に焼却炉から蒸気を供給し、工場での化石燃料消費を削減できれば効率的である。数百℃の蒸気として熱利用することは、エクセルギー効率の観点からは必ずしも効率的な訳ではないが、環境温度との温度差が大きいと、空気の熱を利用するヒートポンプの適用も難しいため、結果的に燃料の直接燃焼による質的に非効率的な熱供給を行うことになる。非効率な熱供給を代替するため、燃料消費の削減効果が高くなる。他の改善方法としては、発電と熱供給を組み合わせるコジェネレーションも有効である。

ここでは焼却炉で製造した蒸気を、火力発電所の給水の予備加熱に利用するケースについて、小川ら [2)]の評価方法を参考に、発電効率（火力発電所での発電量の増分／ごみの低位発熱量）を算定し、焼却炉単独で発電を行うケースにおける発電効率との比較を行った。焼却炉から発電所までの蒸気の搬送距離は 1km とし、その他の条件設定を表 1 に示す。また、算定結果を図 2 に示す。

表１　焼却炉から発電所への蒸気供給条件

	ケース1	ケース2	ケース3
焼却炉規模(t/日)	500	900	1200
供給蒸気条件	300℃, 3MPa		
火力発電所規模(MW)	350	700	1000
火力発電所運転条件	566℃, 17.0MPa	566℃, 31.6MPa	566℃, 24.7MPa

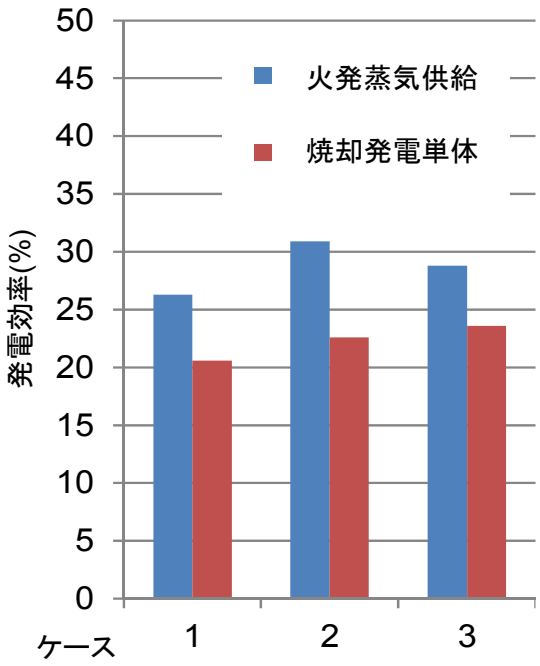


図２ 発電効率の算定結果

焼却炉で供給する蒸気は 300 度とそれほど高温ではないが、火力発電所において蒸気は 500 度を超える温度にまで高められて利用されるため、結果的に発電効率が向上することになり、焼却炉単独で発電を行うケースに比べて、高い発電効率を実現することができる。廃棄物の側から見た際に、アップグレード利用が可能となる。

清掃工場からの熱供給に関する費用と便益については、定性的には焼却炉の蒸気温度をそれほど高温にする必要がないため、過熱器の配管の設置費用なメンテナンス費用を削減できることや、発電機を自前で持たなくてよい利点が存在する一方、焼却炉と発電所が遠距離であるほど、蒸気配管の設置コストが高額となる。費用対効果の定量的な分析を進める予定である。韓国・蔚山の産業団地では、清掃工場から化学工場や製紙工場に蒸気を供給している例が存在し、経済的にも大きな効果が得られている実例も存在する。

2.3 事例２：焼却・メタン発酵の複合発電

前述のように焼却炉では蒸気温度を上げることができないが、厨芥等を分別し、メタン発酵で得られるメタンガスを用いて蒸気の過熱を更に進めて温度を高めることで、高い発電効率を得ることができる。山口県防府市でこのようなシステムが稼働している。廃棄物を混合焼却し、発電するケースと比較して、発電効率が向上し得ることについては、本学会においても既に報告している[3)]。厨芥の相対的な割合が高い（メタンガスによる過熱が有意である）ほど、発電効率の向上にとって有効であり、前述のように、発熱量の高い廃棄物を分別して産業で原燃料利用するようなケースにおいて、残りの廃棄物から高効率にエネルギー回収する方法としても有効である。

定性的には、焼却炉ボイラーでの蒸気温度を限界まで高める必要性がなくなるため、先の事例と同様に過熱器の設置やメンテナンス費用を低減できる効果が期待される。一方で発酵槽や独立過熱器の設置が必要となるため、現在費用と便益に関する評価を進めており、結果の一部を報告する予定である。

3. おわりに

廃棄物の産業利用を進め、高度に利用することは、国内では既に省エネルギー化が進み、更なるエネルギー消費の削減が難しい産業からの二酸化炭素排出を低減する観点からも重要である。また、既存の産業施設を廃棄物処理に有効利用することで、化石燃料の代替が進み、廃棄物処理専用の施設や設備を一部削減することができれば、廃棄物処理費用を削減する観点からも有効である。廃棄物の発生量、発生密度、廃棄物組成、近隣の産業施設や既存の廃棄物処理施設の立地状況など、様々な地域特性を踏まえて、適切な廃棄物の利用・処理の仕組みを構築することが重要である。

謝辞

本研究の一部は、環境省環境研究総合推進費（3K143016、2-1404）により実施された。関係者に謝意を表する。

4. 引用文献

1) Fujii M., Fujita T., Dong L., Lu C., Geng Y., Behera SK., Park H., Chiu ASF: J. Cleaner Production, in press
2) 小川紀一郎, 石田敬一, 蓮池宏, 保田静生, 遠藤雄樹・山田勝重: 火力原子力発電, 65 (6), (2014), pp 46-55
3) 藤井実, 藤田壮, 大西悟, 戸川卓哉, Dong, L, Dong H: 第 9 回日本 LCA 学会研究発表会, 東京, (2014), pp. 58-59

太陽エネルギーを用いた効果的な熱供給に関する分析

—CO_2 削減の観点から—

Analysis of effective heat supply using solar energy: Focusing on CO_2 reduction

○清水恭亮*1)、本藤祐樹 1)、森泉由恵 1)
Kyousuke SHIMIZU, Hiroki HONDO, Yue MORIIZUMI
1) 横浜国立大学
* simizu-kyousuke-dy@ynu.jp

1. はじめに

家庭のエネルギー需要の過半は熱需要であり、CO_2 削減のために化石燃料ではなく再生可能エネルギーによる熱供給が期待されている。特に太陽エネルギーは、立地の制限が比較的緩く、住宅の屋根に機器を設置できるため普及が期待されている。

そこで、CO_2 削減の観点から、住宅における太陽エネルギーを用いた効果的な熱供給技術を明らかにすることを研究の目的とし、住宅の給湯需要を満たす、太陽光発電とヒートポンプ給湯機を組み合わせた給湯システムと太陽熱利用システムを事例として比較を行う。

本稿では、その第一段階として、太陽熱利用システムのライフサイクル CO_2 排出量の推計結果について報告する。

2. 研究方法

2.1　評価対象

太陽熱利用機器は、集熱部と貯湯部の 2 つのユニットから構成されており、本稿では両ユニットが一体となっている太陽熱温水器を評価対象とする。給湯対象は東京の戸建住宅で、世帯人数は 4 人とした。太陽熱温水器の仕様は、4 人世帯としては一般的なものを仮定し、補助熱源機器にはガス給湯器を設定した。太陽熱温水器およびガス給湯器の仕様を表 1,2 に示す。

2.2　システム境界および機能単位

評価範囲は、製造、設置、運用とした。ここで、製造とは給湯機器本体およびそれに付属するリモコンの製造のことで、架台や接続管などの部材は設置段階で投入されるものと想定した。

機能単位は、平均的な 4 人世帯の 15 年分の熱需要とした。熱需要は、4 人世帯の一般的な給湯量（445[L/日・40℃]）と給湯パターン、および文献 1)に掲載されている月平均水温から計算し、15 年分の熱需要は 249[GJ]となった。

表 1 太陽熱温水器の仕様

集熱面積[m^2]	4
貯湯容量[L]	200
耐用年数	15 年

表 2 ガス給湯器の仕様

号数	24 号
燃焼効率	90%
耐用年数	10 年

2.3　CO_2 排出量の推計

給湯システムのライフサイクル CO_2 排出量は、産業連関表と国立環境研究所が公表している 3EID[2)]などを使用し、以下に示す式に従い推計した。

$$LCCO_2 = \frac{e^{\mathrm{T}}(\boldsymbol{I}-\boldsymbol{A})^{-1}\boldsymbol{f} + \mathrm{G}\times \mathrm{e}_1 + \mathrm{E}\times \mathrm{e}_2}{\mathrm{D}_{\mathrm{heat}}}$$

$LCCO_2$：ライフサイクル CO_2 排出量[g-CO_2/MJ]
e：CO_2 排出原単位（3EID），T：転置
$(\boldsymbol{I}-\boldsymbol{A})^{-1}$：レオンチェフ逆行列
$\boldsymbol{f}$：各段階の投入額ベクトル
G：ガス消費量，e_1：ガスの CO_2 排出係数
E：電力消費量，e_2：系統電源の CO_2 排出係数
$\mathrm{D}_{\mathrm{heat}}$：熱需要（249[GJ]）

機器の製造、設置およびメンテナンスに伴う CO_2 排出量は、事業者から得た各段階の素材、部材、労務費、一般管理費などの金額データより $\boldsymbol{f}$ を作成し、$e^{\mathrm{T}}(\boldsymbol{I}-\boldsymbol{A})^{-1}$ を乗じて求めた。ただし、ガス給湯器の製造による CO_2 排出量は、産業連関表におけるガス湯沸器の平均単価を $\boldsymbol{f}$ として、同様に算出した。なお、ガス給湯器の耐用年数は 10 年であるため、算出した CO_2 排出量に 1.5 を乗じた。

ガス給湯器における都市ガスの消費量（G）は、一般社団法人ソーラーシステム振興協会が保有する「CO_2 削減効果計算証書発行制度プログラム」のソフトウェアを用いて計算した。算出されたGに 3EID より計算した CO_2 排出係数およびソフトウェアで設定されている CO_2 排出係数（e_1）[3)]を乗ずることで、都市ガスの製造・供給および燃焼に伴う CO_2 排出量を算出した。

ガス給湯器の電力消費量（E）は建築研究所が公表している計算式 [4)]を用いて計算し、算出した電力消費量に 2014 年度の東京電力の CO_2 排出係数（e_2）[5)]を乗ずることで、系統電力起因の CO_2 排出量を推計した。

3. 結果と考察

図 1 に太陽熱利用システムのライフサイクル CO_2 排出量の推計結果を示す。

ガス給湯器における都市ガスの燃焼に起因する CO_2 排出が最も大きく、全体の 70%に達している。次いで、都市ガスの製造・供給に伴う CO_2 排出が全体の 17%を占めている。また、機器の製造、設置、メンテナンスおよび電力消費に起因する CO_2 排出も合わせて全体の 10%以上となっている。

以上の結果より、太陽熱利用システムの CO_2 排出量を推計する際には、都市ガスの燃焼による CO_2 排出のみではなく、都市ガスの製造・供給や機器の製造や設置などに起因する CO_2 排出も含め、ライフサイクル全体を考慮することが不可欠であることがわかる。

また、本稿で示す結果を、積み上げ法によって太陽熱利用システムの CO_2 排出量を推計した門倉らの値 [6] と比較すると、著者らの推計値が 44.1[g-CO_2/MJ]であったのに対し、門倉らの推計値は 35.5[g-CO_2/MJ]であった。門倉らが評価対象としている太陽熱温水器は、集熱面積 3.34[m^2]、貯湯容量 207[L]と著者らが対象としているものよりも小さい仕様で、太陽熱による給湯率も著者らのものより 5%程度低いが、それを考慮しても著者らが推計した CO_2 排出量の方が大きい。

門倉らの推計値より大きくなった要因として 2 つ挙げられる。

1 つ目は、著者らの推計では、門倉らが考慮していない都市ガスの製造・供給に起因する CO_2 排出を含んでいるためであると考えられる。都市ガスの製造・供給に起因する CO_2 排出を考慮することで、都市ガスによる排出量は約 24%大きくなる。

2 つ目は、門倉らは積み上げ法で推計したのに対し、著者らは理論的には全ての上流工程を含めることができる産業連関表を用いて推計しているため、門倉らの推計よりも多くの上流工程を考慮できているためであると考えられる。

したがって、著者らの推計値と門倉らの推計値の差は、設定しているシステム境界の範囲の差に起因していると考えられる。

4. おわりに

本稿では、コストデータに基づき産業連関表を用いて、太陽熱温水器を用いた給湯システムのライフサイクル CO_2 排出量を推計した。

今後は、同じ太陽熱利用機器で集熱部と貯湯部が分離されているソーラーシステムを主とする給湯システムおよび太陽光発電とヒートポンプ給湯機を組み合わせた給湯システムについても同様の推計を行い、太陽エネルギーを用いた給湯システムの CO_2 削減効果を比較検討する予定である。

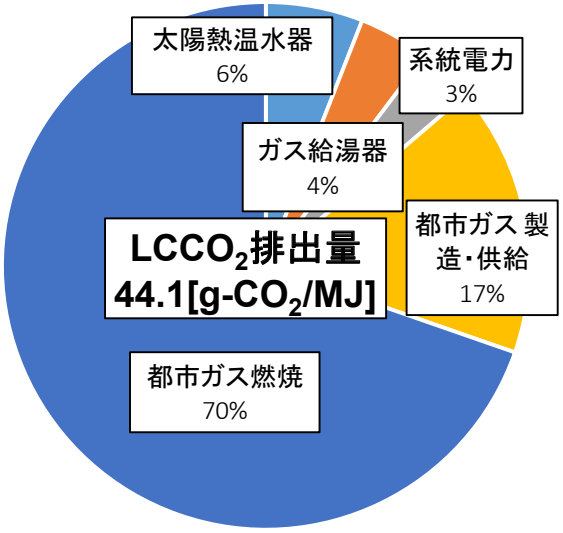


図 1　太陽熱利用システムの LCCO$_2$ 排出量

謝辞

データ提供にご協力いただいた事業者の皆様、(一社)ソーラーシステム振興協会の皆様に謝意を表する。なお本研究の一部は環境省研究総合推進費（課題番号 2-1302）の支援により実施された。

引用文献

1) ソーラーシステム振興協会発行,“ソーラーシステム標準気象データ及び給水温度 SSS-1001-1984”,ソーラーシステム振興協会,東京,(1984),pp.89

2) 南斉ら：“産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)”，国立環境研究所,（オンライン）入手先 <http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/jpn/index_j.htm >,（参照 2016-1-4）

3) 住環境計画研究所:“「CO_2 削減効果計算証書（仮称）発行制度プログラムユーザーインターフェースガイド」”,(2008),pp.8

4) 建築研究所:“住宅・建築物の省エネルギー基準及び低炭素建築物の認定基準に関する技術情報”,建築研究所,（オンライン）,入手先 <http://www.kenken.go.jp/becc/house.html>,（参照 2016-1-4）

5) 東京電力：“2014 年度の CO_2 排出原単位の実績等について”，東京電力，（オンライン），入手先 <http://www.tepco.co.jp/cc/press/2015/1256423_6818.html >,（参照 2016-1-4）

6) 門倉ら：日本 LCA 学会誌,12(2),(2016),（印刷中）

日本における地中熱ヒートポンプの CO_2 削減ポテンシャル評価

Evaluation of CO_2 Reduction Potential of Ground Source Heat Pump systems in Japan

○末永亮太*[1)]、本藤祐樹[1)]、森泉由恵[1)]
Ryota SUENAGA, Hiroki HONDO, Yue MORIIZUMI
1) 横浜国立大学
* suenaga-ryota-zp@ynu.jp

1. はじめに

日本では、業務部門の CO_2 排出量が他部門に比べ、著しく増加傾向にある。それ故に、当該部門において最も大きな排出源である、空調及び給湯の熱供給を効率化させることのできる熱利用技術の導入が、CO_2 削減の観点から不可欠である。そのような技術のひとつとして、地中熱ヒートポンプシステム（Ground Source Heat Pump system : GSHPs）が期待されている。GSHPs は、年中一定の温度を保っている地中の熱を用いてヒートポンプを運転する技術であり、従来の空気熱源ヒートポンプ（ASHPs）よりも Coefficient Of Performance（COP）を安定・向上させ、消費電力量を大幅に削減できる。

一方で、GSHPs はその導入に際して、大掛かりな地中熱交換井掘削工事を行う必要があり、ASHPs などの従来技術に比べて、導入に伴う CO_2 排出量が増加することが考えられる。よって、そのことを踏まえて、GSHPs の CO_2 削減効果を評価する必要がある。その上で、日本全体における GSHPs による CO_2 削減ポテンシャルを定量化し、その普及に向けた政策や制度を検討することが重要である。

本研究では、建設から廃棄までのライフサイクル全体を考え、GSHPs を日本の業務部門に係る建物に、一定の割合で導入した際の CO_2 排出量削減効果を定量化することを目的とする。本要旨では、その第一段階として、単体の GSHPs のライフサイクル CO_2 排出量（LC-CO_2 排出量）の推計結果を示す。

2. 手法

2.1 対象システム

今回推計の対象とするシステムの概要を表 1 に示す。GSHPs は、石油ストーブ等を代替することから、特に寒冷地において効果が大きいため、札幌市におけるオフィスを対象建物とした。地中熱交換井は、現在日本において最も普及しているボアホール型を対象とした。ボアホールに挿入する採熱管は、シングル U チューブとした。ヒートポンプシステムは様々なタイプがあるが、施工業者へのヒアリング調査に基づき、業務用 GSHPs で現在主流であるビル用マルチシステムを採用した。

表 1 対象システム概要

建物	札幌市のオフィス
対象延床面積	878 m^2
負荷	暖房：110kW、冷房：100kW
地中熱交換器	100 m/本 × 20 本（計 2,000 m）
採放熱量	暖房：170kW、冷房：180kW
COP	暖房：4.3、冷房：4.8
消費電力量	暖房：41.6 MWh/年 冷房：15.1 MWh/年
評価期間	15 年

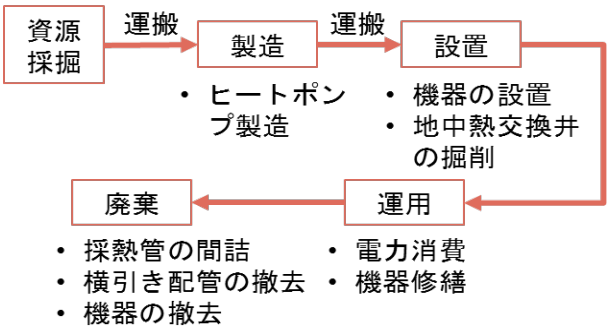


図 1 対象システムのライフサイクル

本研究で推計の範囲とする対象システムのライフサイクルを図 1 に示す。本要旨では、図 1 における資源採掘から設置までを「建設」として表す。評価期間については、機器の法定耐用年数に合わせて 15 年とし、建設、運用、廃棄の各段階における CO_2 排出量を推計した。

2.2 LC-CO_2 排出量の推計方法

本研究では、日本の 2011 年産業連関表（I/O 表）を用いて、GSHPs の LC-CO_2 排出量を推計する。

$$E = \boldsymbol{e}^{T}(\boldsymbol{I} - \boldsymbol{A})^{-1}\boldsymbol{f} + D \quad (1)$$

上記(1)式において、E : GSHPs の LC-CO_2 排出量 [t-CO_2]、$\boldsymbol{e}$: 直接 CO_2 排出係数ベクトル [t-CO_2/百万円]、T : 転置、$\boldsymbol{I}$: 単位行列、$\boldsymbol{A}$: 投入係数行列、$\boldsymbol{f}$: GSHPs の建設、運用、廃棄における最終需要額ベクトル [百万円]、D :

工事現場での化石燃料消費に因る CO_2 排出量 [t-CO_2] である。上記(1)式の推計式により、経済活動に伴う国内総生産（経済波及効果）を求めることで、経済波及に起因する間接的な CO_2 排出量も推計に含めることができる。

推計に用いた費用データの内、建設費及び機器修繕費は施工業者から提供を受け、それをヒアリング調査に基づいて、実態に合わせて詳細に労務費、燃料費、材料費等に按分し、I/O 表の各産業部門に対応させた。ヒートポンプの運転に掛かる電力料金は、想定される地中との熱交換量（採放熱量）、建物の熱負荷及び機器の性能等から推計した。廃棄に掛かる費用は、未だ GSHPs の廃棄事例がほとんどないことから、ヒアリング調査によって、工事内容を想定し、それを基に費用を推計した。具体的には、機器及び埋設した横引き配管の撤去、採熱管の間詰めとした。

3. 結果

図 2 に示されるように、GSHPs の LC-CO_2 排出量は 944 t-CO_2 と推計された。運用時の排出のうち、ヒートポンプ運転に伴う電力消費に起因する排出は全体の 65 %を占めている。よって、ヒートポンプ運転時の電力消費のみの分析では、LC-CO_2 排出量のうち 35 %が含まれておらず、不十分であることがわかる。

建設の排出源別の内訳を図 3 に示す。建設は、多数の部門に波及が及んでいるが、事業用電力、セメント、銑鉄、工事現場燃料消費からの排出量が比較的多い。このうち、セメント及び工事現場燃料消費からの排出に関しては、そのほとんどが、地中熱交換井の掘削で消費したセメント及び軽油に起因しており、GSHPs に固有の排出源であるといえる。

廃棄の排出源別の内訳を図 4 に示す。機器の撤去から誘発される道路貨物輸送、採熱管の間詰材に用いたセメント、現場での燃料消費に因る排出が比較的多い。

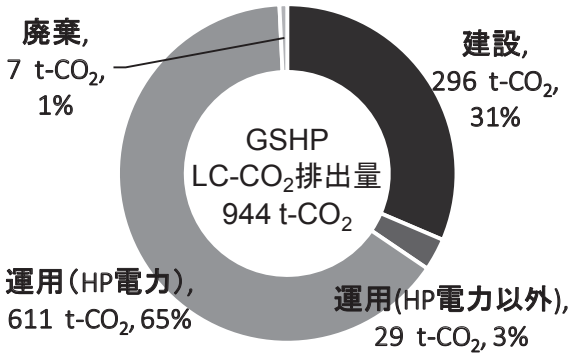


図 2 CO_2 排出量推計結果

建設、廃棄の双方でセメントからの排出の割合が大きいが、セメントは、CO_2 排出原単位が大きいだけではなく、地中熱交換井の総延長や施工方法及び地下水位によって投入量の変動可能性が大きく、マクロな削減ポテンシャルの推計時には慎重な検討が必要である。

4. おわりに

本研究では GSHPs の LC-CO_2 排出量を推計し、その総量と内訳を明らかにした。また、地中熱交換井掘削工事において、無視できない量の CO_2 排出が誘発されることも判明した。今後は、この結果に基づき、ASHPs や石油ストーブなどの従来技術と比較した時の CO_2 削減量を推計し、日本全体に GSHPs を一定の割合で導入した際の CO_2 削減ポテンシャルを明らかにすることで、マクロな観点から GSHPs の導入効果を定量化する。

謝辞

本研究において、各関連事業者には情報提供をはじめ、多大なご協力をいただいた。ここに謝意を表する。なお、本研究は環境省環境研究総合推進費（課題番号 2-1302）により実施された。

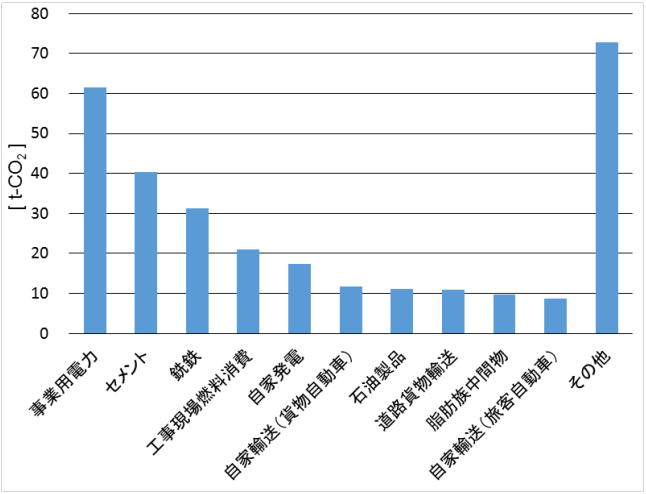


図 3 建設に伴う排出源別 CO_2 排出量

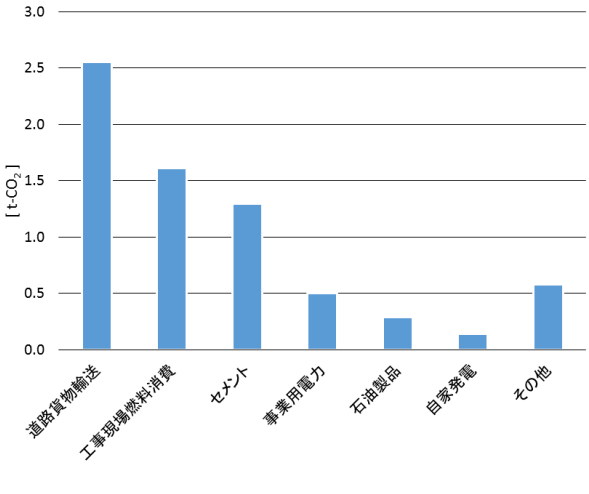


図 4 廃棄に伴う排出源別 CO_2 排出量

木質バイオマスを用いたエネルギービジネスのシナリオ分析:
岡山県真庭市を対象としたケーススタディ

Scenario Analysis of Energy Businesses Using Woody Biomass:
A Case Study of Maniwa, Okayama, Japan

○木下裕介*[1)]、中塚記章[2)]、藏渕竜也[2)]、赤松史光[2)]
Yusuke Kishita, Noriaki Nakatsuka, Tatsuya Kurafuchi, Fumiteru Akamatsu
1) 産業技術総合研究所、2) 大阪大学
* yusuke.kishita@aist.go.jp

1. はじめに

2012 年 7 月に再生可能エネルギーの固定価格買取制度(FIT)が施行されて以降、日本各地で再生可能エネルギーを用いた発電ビジネスが行われている。木質バイオマスの利用は低炭素化やエネルギー自給等の観点から有望であると同時に、日本は森林資源に恵まれていることから木質バイオマスを用いたエネルギー利用のポテンシャルが大きい。木質バイオマスを対象としたエネルギー変換技術として、直接燃焼、ガス化、メタン発酵など様々な方法が開発されている[1)]。しかしながら、中長期的に持続可能な木質バイオマスのエネルギー利用を考えた場合には、年間を通じたバイオマス供給量の不安定さ、バイオマス技術を利用した設備コストの高さなどが問題となる。

この問題に対して、著者らは持続可能な木質バイオマスのエネルギー利用を普及させるために必要な制度設計、技術開発などの条件の明確化を目的として、木質バイオマスを用いたエネルギービジネスに対するシナリオ分析手法を提案してきた[2)]。そこでは、エネルギービジネスの外部要因(例えば、FIT による電力の買取価格や木材調達価格など)の変化が及ぼす影響を分析可能とした。本稿では、日本の典型的な中山間地域である岡山県真庭市を対象として、先行研究[2)]で提案した手法を用いた事例分析を実施し、異なるエネルギー変換技術を導入したシナリオを比較分析する。

2. 木質バイオマスを用いたエネルギービジネスのシナリオ分析手法[2)]

木質バイオマスを用いたエネルギービジネスは、エネルギー政策や経済情勢など様々な外部要因の影響を受ける。本研究では、これらの外部要因ならびにエネルギー変換技術などの前提条件の変化がエネルギービジネスに及ぼす影響を分析するためのシナリオ分析手法を開発した。この手法では、シナリオを一単位としてエネルギービジネスをモデル化することとした。各シナリオにおいて、エネルギービジネスはライフサイクルシミュレーション[3)]の考え方に基づいてプロセスの連鎖として表現し、構成する個々のプロセスの積み上げに基づいてシナリオ全体の経済性と環境性を評価する。すなわち、図 1 に示すように、各プロセスに対して入出力関係を表す計算式を定義することによって、プロセスごとに経済性(特に、コスト・売上)と環境性(特に、CO_2 排出量)を計算可能とした。本手法では、木質バイオマスを対象としたエネルギービジネスを表現するために、14 種類のプロセス(木材調達、間伐、間伐材の残置、陸上輸送、海上輸送、輸出、輸入、回収・集積、木材加工、チップ化、ペレット化、エネルギー変換、販売、埋立)を定義した。

3. 岡山県真庭市を対象とした事例分析

3.1 問題設定とシナリオの想定

岡山県真庭市(人口: 47,096、面積: 828.4 km^2)における木質バイオマスを用いたエネルギービジネスの事例を分析した。真庭市は古くから木材集積地として栄え、約 30 の製材所が操業している。本事例では、製材所端材と未利用木材の両方を燃料として用いた場合の、エネルギービジネスの持続可能性を分析した。具体的には、現在日本で導入されつつある代表的な 2 種類のエネルギー変換技術(汽力発電、ガス化発電)を用いたシナリオを含めて、以下のシナリオ A～C を想定した。

- シナリオ A (参照シナリオ): 製材所端材(5.8 万 t/年、含水率 10.7 wet%)を埋め立て処分する。

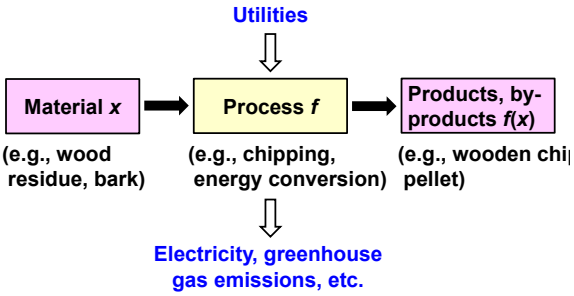


図 1 プロセスのモデル化[2)]

- シナリオ B (汽力発電シナリオ): 製材所端材(5.8 万 t/年、含水率 10.7 wet%)を発電用燃料として利用する。エネルギー変換技術として汽力発電(定格発電出力: 10,000 kW、変換効率: 25%)を導入する。定格発電出力を満足させるため、製材所端材に加えて真庭地域の山林から 3.4 万 t/年(含水率 50 wet%)の未利用木材を発電用燃料として調達し、チップ化して利用する。
- シナリオ C (ガス化発電シナリオ): 製材所端材(5.8 万 t/年、含水率 10.7 wet%)を発電用燃料として利用する。エネルギー変換技術として、ドイツ・Burkhardt 社製のガス化発電設備(発電出力: 180 kW、熱出力: 270 kW、発電効率 30%、総合熱効率 75%)を複数台導入する。シナリオ B と同様、製材所端材に加えて未利用木材 3.4 万 t/年(含水率 50 wet%)を調達し、ペレット化して利用する。

各シナリオの評価のために必要な情報は、真庭市におけるヒアリング調査、専門家への聞き取り調査、文献調査等により収集した。シナリオ C のガス化発電設備に関するデータは、2014 年、2015 年の 2 回にわたる欧州視察によって収集した [4]。また、シナリオ A～C の評価結果が比較可能となるようにするため、シナリオ A では 3.4 万 t/年の間伐材が林地残材として森林に残置されることを仮定した。

3.2 評価結果

図 2 にエネルギービジネス事業者の年間コストと売上を示す。シナリオ A では製材所端材の埋め立てにともない年間 3.5 億円の赤字が発生するが、シナリオ B、C ではそれぞれ年間 12.0 億円、7.8 億円の黒字となる。シナリオ B、C を比較すると、売電売上は 21.4 億円(B)、26.1 億円(C)であるものの、シナリオ C のコストがより高い。シナリオ C のコストで特に比率の高いものは、メンテナンスコスト 6.5 億円(35%)、イニシャルコスト 4.5 億円(25%)、電気代 3.4 億円(18%)である。

図 3 に CO_2 排出量の評価結果を示す。それぞれ、124

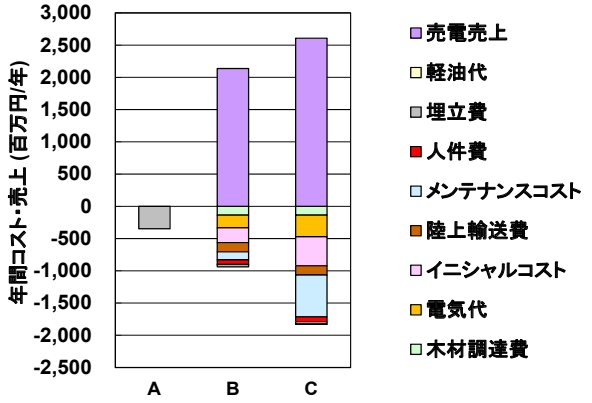


図 2 各シナリオの年間コスト・売上

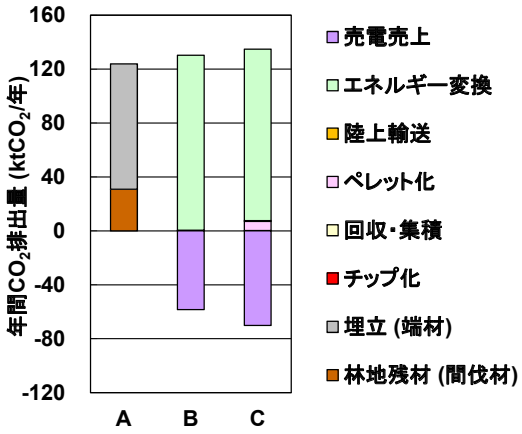


図 3 各シナリオの年間 CO_2 排出量

$ktCO_2$(A)、71.8 $ktCO_2$(B)、64.6 $ktCO_2$(C)であり、シナリオ C の CO_2 排出量が最も少ない。シナリオ A では、製材所端材の焼却・埋め立て処理と林地残材の腐朽に伴う CO_2 排出量がそれぞれ 75%、25%である。シナリオ B、C では木質バイオマスによる発電分だけ化石燃料を用いて発電される系統電力の消費量を削減できるため、58 $ktCO_2$(B)、70 $ktCO_2$(C)の CO_2 削減効果が見込める。この計算では、系統電力の CO_2 排出係数(0.738$kgCO_2$/kWh、2012 年度中国電力)[5]を用いた。

4. まとめ

本研究では、持続可能な木質バイオマスエネルギービジネスの構築に向けたシナリオ分析手法を提案した。岡山県真庭市を対象とした事例分析の結果、バイオマスエネルギービジネスは経済的利益とともに CO_2 排出量の削減効果を見込めることが明らかとなった。特に、ガス化発電の普及には、メンテナンスとイニシャルのコストを下げる必要がある。今後の課題として、持続可能な条件のさらなる明確化に向けて、様々な将来状況を想定したシナリオの作成が挙げられる。

なお、本研究の成果の一部は、文部科学省科学研究費補助金(No. 26701015)の支援を受けたものである。

引用文献

1) Fiorese G., Catenacci M., Bosetti V., Verdolini E. Energy Policy, 65(February 2014), (2014), pp.94-114.
2) Kishita Y., Nakatsuka N., Fuchigami Y., Akamatsu F.: Proc. of DESIGN 2014, Dubrovnik, (2014), pp.679-688.
3) Umeda Y., Nonomura A., Tomiyama T.: Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 14(2), (2000), pp.149-161.
4) 中塚記章: 生産と技術, 68(1), pp. 31-35.
5) 環境省: “平成 24 年度中国電力排出係数”, http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=17532, (参照 2016-01-05)

住宅の空調負荷の簡易推定モデル

Siimplified model for estimating residential air-conditioning load

○岩﨑航平*、吉田好邦
Kohei Iwasaki, Yoshikuni Yosida
東京大学
* k5296kouei5@gmail.com

1. はじめに

ここ 50 年ほどで最大の環境問題である地球温暖化によって、地球上の気温は上昇傾向にあり、それが要因となる環境への悪影響も拡大している。日本は京都議定書での温室効果ガス排出量の削減目標を達成したが、実質的な排出量は増加しており、地球温暖化を抑止、緩和するにはより一層の取り組みが必要である。

日本における二酸化炭素排出量は産業部門などで抑えることができている一方、大幅に増加している部門も多い。特に家庭部門では大きく増加しており、一層の排出量削減努力が求められている。

2. 研究の目的

家庭部門におけるエネルギー消費の中で空調による排出は大きな割合を占めている。その対策のために、住宅における空調熱負荷計算プログラムは The BEST Program(以下、BEST)など多くのものが開発されている。しかし、これらの利用は住宅の設計者などの専門的な知識を持った者のみに限られている。三枝らの SMASH for Windows Ver.2-住宅用熱負荷計算プログラム-を用いた住宅熱負荷簡易計算モデルの研究[1][2]では、簡易的なスケール調整によってパラメータ推定が行われたが、物理法則に則ったものではないため、再現性に難があるものであった。

そこで、本研究では、最新の住宅空調負荷計算プログラムである BEST を用いて、より物理法則に則った簡易的な空調負荷推定モデルを開発し、住宅の居住者の空調負荷への意識向上及び付随する二酸化炭素排出量の削減に寄与することを目的とする。

3. 方法

3.1 The BEST Program

今回の研究では、財団法人 建築環境・省エネルギー機構が開発した熱負荷計算プログラム「The BEST Program(BEST)」を用いる。BEST は、気象などの共通条件、計算時間間隔などの建築基本条件、建築物の構造などの一括仕様設定、室ごとの相互影響を関連付ける室グループ及び室・ゾーンの登録、そして、空調条件や熱負荷の条件などの各ゾーンの熱負荷要素等の設定によって建築物の条件を与えることで熱負荷を行うツールである。

3.2 モデル構築の考え方と諸条件

今回の研究では、BEST で行われる非定常計算の結果を定常の計算のみを用いた簡易モデルで表現することを目標とする。モデル構築のフローを以下に示す。

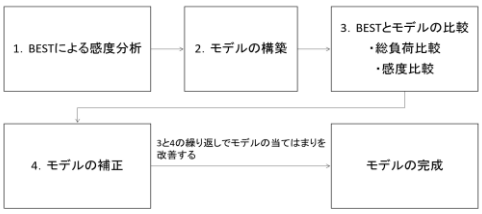


図 1 モデル構築手順のフロー

熱負荷の算出の期間としては、1 月 1 日～3 月 31 日及び 12 月 1 日～12 月 31 日を冬期(暖房期間)、6 月 1 日～9 月 30 日を夏期(冷房期間)とし、それぞれの期間のみ空調を利用するとしてこの 4 か月ずつ 2 期間を空調負荷計算の対象とした。住宅の条件としては、宇田川によって 1985 年に発表された標準住宅とし、世帯の構成としては夫婦＋子ども 2 人の 4 人家族であることを想定したモデルを構築する。さらに、一般化のために、24 時間全館空調の条件でのモデルとした。

4. 住宅空調負荷簡易推計モデル

4.1 モデルの概要

モデルは三枝ら[2]を参考に、熱取得の原理などを考慮して構築した。暖房期間の空調熱負荷をW_h、冷房期間の空調熱負荷をW_cとして、以下に示す。

$$W_h = \{h_n \times (\theta_h - \theta_1) + h_m \times (\theta_h - \theta_2) + h_l \times (\theta_h - \theta_g) + C_a \times V_a \times (\theta_h - \theta_0) + S_h\} \times t - G \quad (1)$$

$$W_c = \{h_n \times (\theta_c - \theta_1) + h_m \times (\theta_c - \theta_2) + h_l \times (\theta_c - \theta_g) - C_a \times V_a \times (\theta_c - \theta_0) + S_c\} \times t + G \quad (2)$$

h_n, h_m, h_l:外壁、窓、一階床の総合熱貫流率[W/K]
θ_h, θ_c:暖房、冷房の設定温度[℃]
θ_1, θ_2:外壁、窓の相当外気温度[℃]
θ_g:地中温度[℃]
$C_a \times V_a$:空気比熱×換気気積[W/K]

S_h, S_c:窓からの日射熱取得[W]

t:時間[s]

G:内部発熱[J]

4.2 モデルの計算方法

モデルでの熱負荷計算には BEST 内蔵の 2006 年の実在気象データを用いた。その手順は以下のとおり。

①各月の時刻ごとのデータを 1 時間ごとに平均し、その月の平均的な 1 日の気象を求める。

②1 時間毎に式(1)､式(2)を用いて熱負荷を計算する。

③求められた熱負荷の値が負の値となる時間は熱負荷が 0 であるとして、24 時間の総和を求め、さらにひと月の合計熱負荷を算出した。

以上の手順で、暖房期間の 4 か月分と冷房期間の 4 か月分､計 8 か月分の空調熱負荷を簡易的に推計した。

5. モデルの補正

5.1 BEST とモデルの比較

8 か月平均の誤差は 19.77%であり、最大では 28.36%(12 月)の誤差があった。また、各パラメータに対する感度の比較でも、多くのもので総負荷に対する誤差の割合が 5~10%程度と大きな誤差があるといえる。

5.2 熱容量による補正

BEST の計算法[1]と井原[2]より、室内温度θ[℃]と時間t[h]には次のような関係があるといえる。

$$C_v\left(\frac{d\theta}{dt}\right) = h_m(\theta_1 - \theta) + h_l\left(\theta_g - \theta\right) + h_n(\theta_2 - \theta) + F(\theta_0 - \theta) \quad (3)$$

ただし、C_v:住宅の熱容量、$F = C_a \times V_a$である。

この微分方程式を解くと解は次の式で表される。

$$\theta = (\theta_h - M)e^{-\frac{K}{C_v}t} + M \quad (4)$$

ただし、

$$K = h_m + h_l + h_n + F$$

$$M = \frac{h_m\theta_1 + h_l\theta_g + h_n\theta_2 + F\theta_0}{K}$$

とした。式(1)、式(2)によるモデルの計算では空調の設定温度θ_h、θ_cとMとの差を時間積分した四角形 ABCD の面積を熱負荷としている。この時に生じる誤差を補正する係数Rを以下のように導入する。

$$R = {S_2}/{S_1} = \frac{C_v}{24K}\left(e^{-\frac{24K}{C_v}} - 1\right) + 1 \quad (5)$$

$S_1 =$ *四角形ABCDの面積*

$S_2 =$ *２直線AB、BC曲線ACに囲まれた部分の面積*

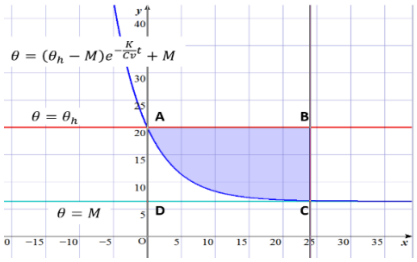


図 2 熱容量を用いた補正方法

5.3 係数の補正

5.2 の熱貫流率による補正を施した上で再び BEST とモデルの感度の比較を行った。外壁、窓、床の熱貫流率や暖房期間の自然換気の回数の変化に対する感度はおおむね一致したが、日射熱の取得率や暖冷房の設定温度、そして冷房期間の自然換気の回数の変化に対する感度にはそれぞれ誤差が生じていた。

この誤差の補正のために、各パラメータの基準となる値a_0と計算条件a_1の差に係数kを乗じることで補正後のパラメータa_cとする以下の式の補正を行った。

$$a_c = a_0 + k(a_1 - a_0) \quad (6)$$

この係数は BEST と 5.2 の補正の後のモデルでの感度の比較より各月ごとに計算し、基準となるパラメータの定数は、暖房設定温度:20℃、冷房設定温度:26℃、自然換気回数は 0.5 回/h とした。日射熱取得率に関しては、日射熱取得の総和と BEST とモデルの誤差の関係を基にひと月分の熱負荷を補正する方法をとった。

6. まとめ

補正後のモデルでは、基準となる条件での総負荷の誤差が 10%以下となり、また、各パラメータの感度の誤差は総負荷との比較で暖房期間は 0.9%程度、冷房期間は 0.5%程度となり、BEST での計算を少ないパラメータで簡易的に再現するモデルになったといえる。

7. 引用文献

[1] Akito Ozawa, Ryo Saegusa, Yoshikuni Yoshida, Tomohiko Ihara,"Simplified model for heating and cooling load in detached houses", Grand Renewable Energy 2014 InternationalConference, July 27-August 1, Tokyo, Japan, 2014

[2] 三枝遼，吉田好邦，小澤暁人，「戸建住宅における空調熱負荷簡易推計モデルの構築」，第 30 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集（2014）

[3] 財団法人 建築環境・省エネルギー機構 : “BEST-P 建築操作マニュアル”，(2014)

[4] 井原智彦：”光高反射熱高放射塗料導入による建築-都市連星環境の環境改善効果の総合評価”，(2004)

家庭のライフステージ別エネルギー需要の推計

Estimating Residential Energy Demand by Life Stages

○小澤暁人*[1)]、吉田好邦[1)]
Akito Ozawa, Yoshikuni Yoshida
1) 東京大学
* ozawa@globalenv.k.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

日本の家庭部門における最終エネルギー消費量は 40 年間で 2 倍程度に増加（1973 年 : 0.99 EJ/年→2013 年 : 2.01 EJ/年）しており、家庭における省エネルギー・低炭素技術の普及が求められている。その中でも、太陽光発電や燃料電池といった家庭用分散型エネルギー技術は、2011 年の東日本大震災によって集中型エネルギーシステムの脆弱性が顕在化したことも相まって関心が高まっている。一般的に分散型エネルギー技術の導入コストは高く、10 年以上の長期にわたって利用される場合が多い。

家庭用分散型エネルギー技術の利用による環境影響を評価する際には、モデルで推計した家庭エネルギー需要を入力値として、技術の運転をシミュレーションする。モデルによる需要推計は「家庭の属性（居住地・家族構成）を任意に設定できる」という利点があり、様々な条件を想定した技術評価が可能となる。

これまで開発された家庭エネルギー需要推計モデル[1),2)]では、まず国民生活時間調査[3)]に基づいて居住者の生活行動を仮想的に再現して、その行動から各時間の家電・給湯の使用状況を推定する、という手順が取られるが、この手法には課題がある。家庭での生活行動はライフステージの進行によって変容することが知られており、例えば子持ち世帯の夫婦の行動はその子供の成長に応じて変容していく。この長期的な行動変容は家庭のエネルギー需要構造に影響し、分散型エネルギー技術の利用による環境影響も変化させる。しかし、国民生活時間調査ではライフステージの詳細な情報は不明で、家族の人数やその年齢と関係なく一括で集計されている。

そこで筆者らは、家庭エネルギー需要をライフステージ別に推計する手法を提案する。家庭における生活行動と家電・給湯の使用状況に関するアンケート調査を独自に実施した。そして、国民生活時間調査の代わりにアンケートの回答結果を入力値として家庭の電力・給湯需要を推計するモデルを開発した。さらに手法の応用事例として、家庭用分散型エネルギー技術のなかでも燃料電池に着目して、異なるライフステージ進行シナリオでの家庭のエネルギー利用による環境影響（CO_2 排出量）を評価した。

2. 研究方法

2.1 アンケート調査の実施

2014 年の冬・夏 2 回にわたって、家庭における生活行動と家電・給湯の使用状況に関するアンケート調査をウェブアンケートの形式で実施した．調査対象者は 20 歳以上の学生以外の男性と 30 歳以上の専業主婦で、冬と夏で別々に対象者を募った。調査内容として個人属性・世帯属性と対象日（直近の平日または休日 1 日）における 15 分ごとの居場所、行動、家電・給湯の使用状況を質問した。さらに主婦には、夫・子供の年齢・職業と対象日の大まかな行動も回答してもらった。冬・夏のアンケートで計 1227 件の回答を回収し、うち 973 件の有効回答を得た。

2.2 家庭エネルギー需要推計モデルの開発

アンケート調査の回答結果を入力値として、家庭における 15 分ごとの電力･給湯需要を推計するモデルを開発した。モデルの推計手順を図 1 に示す。

アンケート調査では、生活行動データ（15 分ごとの居場所、行動、家電・給湯の使用状況）を個人別に収集した。この個人別のデータを統合して、家族の生活行動データを生成した。次に家族での家電の使用状況を家電による電力需要に変換した。例えば 7 時～9 時にテレビを使用したとすると、同時間帯の電力需要にテレビによる消費電力を加算した。同様の手法で、居場所を照明による電力需要、給湯の使用状況を給湯需要に変換した。空調による電力需要は、各時間の居場所と家電・照明の内部発熱を入力値とする住宅熱負荷計算によって求めた。熱負荷計算ソフトは、建築環境・省エネルギー機構の「BEST 専門版」を使用した。

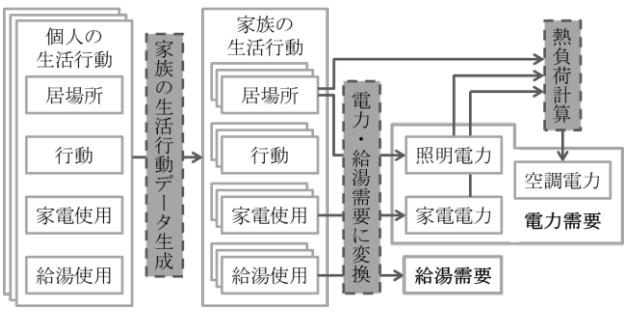


図 1 モデルの推計手順

2.3 需要推計のバリエーション

開発したモデルを使用して、様々な季節・ライフステージ・ライススタイルの家庭における 1 日の電力・給湯需要を 15 分間隔で推計した。季節のバリエーションは、冬・夏・中間期(冬寄り)・中間期(夏寄り)の 4 通りとした。ライフステージのバリエーションはアンケートの世帯属性を参考に、表 1 に示す 2〜4 人世帯の 10 通りとした。さらにそれぞれのライフステージに対して、平日 10 通り・休日 4 通りの計 14 通りのライフスタイルのバリエーションを用意した。以上、4（季節）×10（ライフステージ）×14（ライフスタイル）＝560 パターンの家庭電力・給湯需要を推計した。

表 1 ライフステージのバリエーション

	人数	構成
若年夫婦	2	50 代以下の夫婦
老年夫婦	2	60 代以上の夫婦
子未就学 1	3	夫婦＋未就学児の子供 1 人
子小中学 1	3	夫婦＋小中学生の子供 1 人
子高大生 1	3	夫婦＋高大学生の子供 1 人
子社会人 1	3	夫婦＋社会人の子供 1 人
子未就学 2	4	夫婦＋未就学児の子供 2 人
子小中学 2	4	夫婦＋小中学生の子供 2 人
子高大生 2	4	夫婦＋高大学生の子供 2 人
子社会人 2	4	夫婦＋社会人の子供 2 人

2.4 燃料電池の運転シミュレーション

推計した家庭電力・給湯需要を入力値として、燃料電池の運転をシミュレーションした。運転シミュレーションには、著者らが以前開発したモデル [4]を使用した。燃料電池の種類は PEFC・SOFC を想定し、性能を表 2 に示す。

表 3 燃料電池の性能

	PEFC	SOFC
発電効率（HHV）	35.2 %	42.0 %
熱回収効率（HHV）	50.6 %	39.2 %
定格発電出力 [W]	700	700
最小発電出力 [W]	200	50
定格給湯出力 [W]	1006.3	646.7

2.5 燃料電池の環境影響評価

燃料電池を 20 年間利用するとして、20 年間における家庭のエネルギー利用による CO_2 排出量を算出した。燃料電池導入初年度の家族構成は夫婦 2 人＋子供 2 人の 4 人世帯（夫 45 歳・妻 43 歳・長子 15 歳・次子 13 歳）とし、その後のライフステージ進行は 3 つのシナリオを用意した。シナリオ 1 は子供が 18 歳（高卒時）で独立、シナリオ 2 は 22 歳（大卒時）で独立、シナリオ 3 は 26 歳（大卒社会人 5 年目）で独立する。

3. 結果

家庭エネルギー利用による CO_2 排出量の評価結果を図 2 に示す。ベースラインである従来型給湯器（熱回収効率 80%）では 76.5〜88.2 t-CO_2/20 年であるのに対し、PEFC では 47.2〜55.6 t-CO_2/20 年、PEFC で 40.5〜48.5 t-CO_2/20 年となり、燃料電池の導入によって家庭のエネルギー利用による CO_2 排出量は約 4〜5 割削減される。シナリオ別に見ると、CO_2 排出削減効果はシナリオ 3 で最大・シナリオ 1 で最小となり、その差は PEFC で 3.3 t-CO_2/20 年、SOFC で 3.7 t-CO_2/20 年である。同居期間が長いシナリオ 3 は家庭エネルギー需要が多いので、その分燃料電池の導入効果も大きくなる。

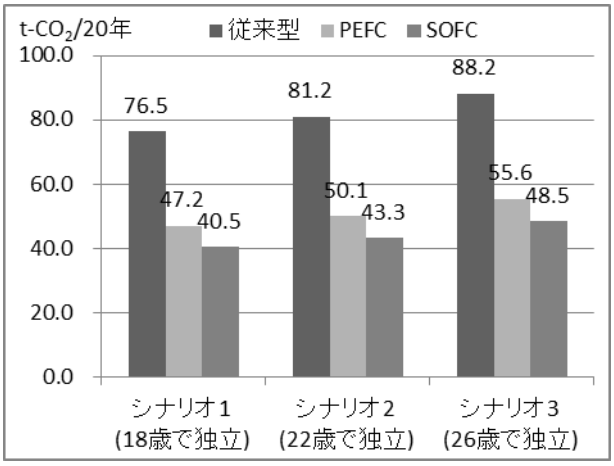


図 2 家庭エネルギー利用による CO_2 排出量評価結果

4. おわりに

本稿では、家庭エネルギー需要をライフステージ別に推計する手法について述べた。推計した需要を家庭用分散型エネルギー技術の運転シミュレーションに適用することで、生活行動変容を考慮した現実に近い形での環境影響評価が可能となる。今後は燃料電池以外の技術評価に加え、生活行動や家電・給湯の使用状況が与えられている点を活かして、省エネ行動や家電の買い替えといった多様な省エネ対策の評価も検討する。

引用文献

1) Shimoda Y., Asahi T., Taniguchi A., Mizuno M.: Energy, 32 (9), (2007), pp 1617-1633
2) Tanimoto J., Hagishima A., Sagara H.: J. BPS, 1 (1), (2008), pp 31-42
3) NHK 放送文化研究所, “データブック国民生活時間調査 2010”, NHK 出版, 東京, (2011), p.640
4) 小澤暁人, 吉田好邦: 環境情報科学学術研究論文集, 29, (2015), pp 165-170

事務所・住居街区における再生可能・未利用エネルギー連携のポテンシャル評価

An assessment of energy potential combining renewable and unused energy in offices and residential area

○望月勇伽*[1)]，栗島英明 [1)]
Isaka Mochizuki, Hideaki Kurishima
1) 芝浦工業大学
* ab12116@shibaura-it.ac.jp

1. はじめに

日本における温室効果ガス排出量の約 95%は CO_2 であり，そのうち化石燃料などエネルギー起源の排出が約 90%を占める [1)]．このため気候変動緩和策はエネルギー対策が中心となる.しかしながら 2011 年 3 月の福島第一原発事故の影響により，原子力発電への信頼が低下しており，それまで対策の前提となっていたエネルギー対策の根本的な見直しが求められている．

一方，温暖化対策とエネルギーセキュリティの観点から，世界中で再生可能・未利用エネルギー導入が進んでおり，日本でも 2030 年までに再生可能エネルギーによる一次エネルギー供給を 13～14%程度にするとしている [2)]．

ただし，再生可能・未利用エネルギーに関する議論の多くは電力に偏っている．例えば，WWF(2011)[3)]では，2050 年までに再生可能エネルギー100%で電力を賄うことができると報告しているが，資源エネルギー庁(2014)[4)]によれば，エネルギー消費に占める電力の割合は 25%程度にすぎない．また，電力は二次エネルギーであり，発電時にエネルギーロスが生じている．低炭素で持続可能な社会を実現するためには，電力に偏った議論では不十分であり，電力以外のエネルギー消費も考える必要がある．具体的には，再生可能・未利用資源から得られる熱の利用である．

電力のみならず熱利用も含めた効率の良いエネルギー供給を行うシステムとしてスマートエネルギーネットワーク（SEN）が注目されている．SEN については，平岡(2013)[5)]などガスを利用したコジェネレーションの議論がこれまでに行われてきたが，再生可能エネルギーと未利用熱を組み合わせたシステムの検討事例は少ない．

その理由として，再生可能・未利用エネルギーから得られる熱は，バイオマスや地熱などを除くと低温度（16～70℃）[6)]であり，産業用の熱源にはなり得ないことが挙げられる．しかし，暖房や給湯は熱需要の中でも低い温度帯に属しており，民生用の熱利用であれば再生可能エネルギー熱や未利用熱も利用可能である．また，日本の気候変動に関する約束草案 [6)]では家庭部門の CO_2 排出量を 2030 年までに 2013 年度比で約 40%削減するとしており，民生部門でのエネルギー需給について考える必要がある．

以上を踏まえ，本研究では，都市部の事務所・住居街区における再生可能・未利用エネルギー利用のポテンシャル評価を行う。評価項目は，再生可能・未利用エネルギーの供給ポテンシャル，CO_2 排出量（年間削減量），コスト，ペイバックタイムである．

2. 研究方法

まず，研究対象とする都市部の事務所・住居街区を選定し，モデルを用いた空調負荷やエネルギー消費の時刻ごとの年間推計を行う．

次に都市部において利用可能な再生可能・未利用エネルギーの時刻ごとの供給量を推定し，供給ポテンシャルを検討する．その際，事務所ビル・集合住宅間の再生可能・未利用エネルギーを中心とした連携についても検討する．

最後に，CO_2 排出量，コスト，ペイバックタイムについて既存ケースとの比較で評価を行う．

3. 結果

3.1 対象街区の選定

対象街区は，神奈川県横浜市神奈川区の事務所ビル（18 階建，30,000m2）と集合住宅（10 階建，32400m2，432 戸）とした．

3.2 エネルギー需要・空調負荷の推計

建築物総合エネルギーシミュレーションツール BEST[7)]を利用してエネルギー需要と空調負荷の時刻ごとの年間推計を行った．図 1 に事務所ビル，図 2 に集合住宅の既存ケースの月別一次エネルギー消費量を示す．

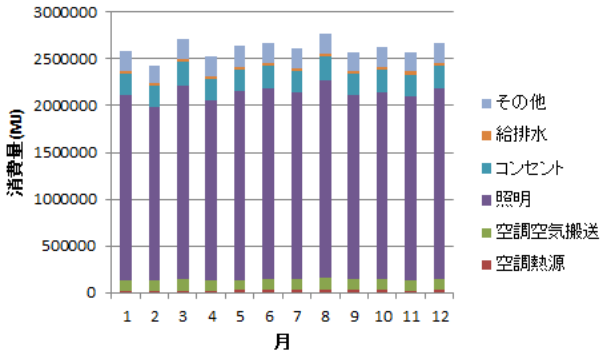


図 1 事務所ビルの一次エネルギー消費量

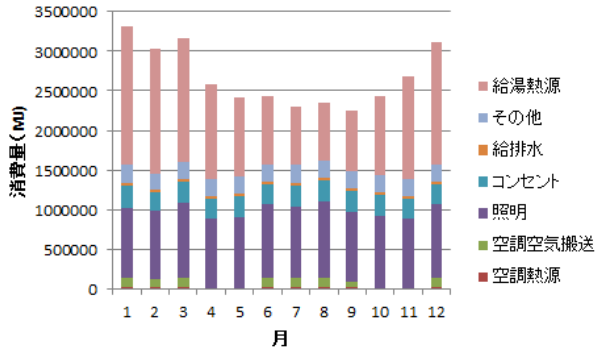


図 2 集合住宅の一次エネルギー消費量

3.3 再生可能・未利用エネルギー供給の推定

再生可能エネルギーとして太陽光発電と風力発電の電力利用を，未利用エネルギーとして地中熱の空調利用を検討した．

図 3 に事務所ビルにおける太陽光発電（670kW，3000m2）と小型風力(最大出力 1.5kW)×10 基の電力供給量を示す。太陽光発電は，建物屋上と敷地内，風力発電は建物屋上(79m)に設置すると仮定した．

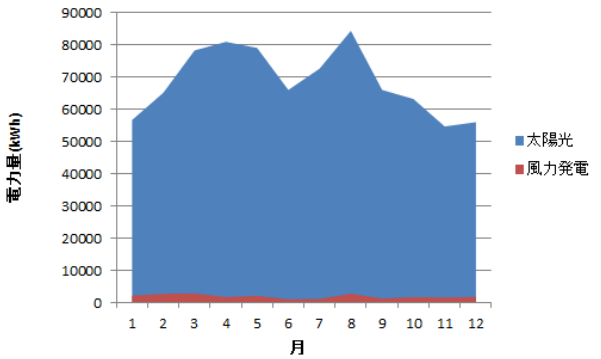


図 3 太陽光と風力発電の供給量

図 4 に集合住宅の空調を個別 PAC（既存ケース）で行った場合と地中熱ヒートポンプで行った場合の電力消費量を示した。なお図 4 では，地中熱ヒートポンプについて一律に冷房 COP=4.5，暖房 COP=4.3 を適用して推計を行っているが，より精度の高い評価を実施するために地中熱ヒートポンプ設計・性能ツール Ground Club[8)]による推計を現在実施中である。

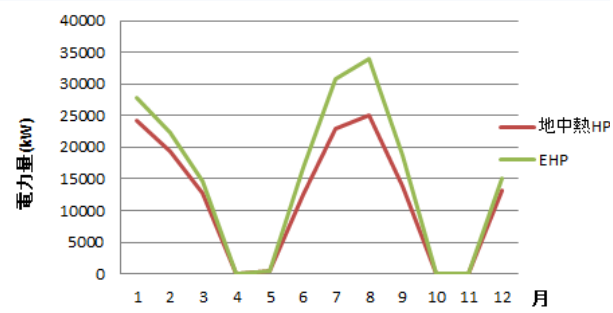


図 4 集合住宅における空調用途の電力消費量の比較

4. 考察

事務所ビルの照明・コンセント用途の電力の約 3 割近くを太陽光発電・風力発電の電力で賄うことができると推定された．太陽光設置による年間の CO_2 削減量は 339t-CO_2 であり，設置時の CO_2 排出量は 1002 t-CO_2，設置コストは 2.4 億円，エネルギーペイバックタイムは 11 年となった．

また，空調を地中熱ヒートポンプに切り替えた場合，年間の空調用途の電力消費は約 26%，CO_2 排出量は約 18t-CO_2 削減されると推定された．ただし，この推定は COP を一律と仮定した場合の結果であり，現在 Ground Club による再推定を行っている．

5. 引用文献

1) 柳下正治ほか：”ECO 検定公式テキスト”, (2014) pp.60-64.
2) 経済産業省：”長期エネルギー見通し”, (2015).
3) WWF：”The Energy Report–100% Renewable Energy By 2050”, (2011).
4) 資源エネルギー庁：”平成 25 年度エネルギー需給実績”, (2014)
5) 平岡雅哉ほか：日本建築学会学術講演梗概集(環境工学Ⅰ), (2013), pp765-766.
6) 経済産業省：”日本の約束草案”, (2015).
7) 村上周三ほか：空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, (2007), pp1969-1972.
8) 柴芳郎ほか：第 42 回空気調和・冷凍連合講演会講演論文集, (2008), pp.151-154.

機能のインベントリ、ミッドポイント、エンドポイント

Inventory, Mid-point and End-point of Function

○醍醐市朗*[1)] 、中谷隼 [1)]、中島謙一 [2)]、山末英嗣 [3)]、村上進亮 [1)]、栗島英明 [4)]、田原聖隆 [5)]、福島康裕 [6)]
Ichiro Daigo, Jun Nakatani, Kenichi Nakajima, Eiji Yamasue, Shinsuke Murakami, Hideaki Kurishima, Kiyotaka Tahara, Yasuhiro Fukushima
1)東京大学、2)国立環境研究所、3)京都大学、4)芝浦工業大学、5)産業技術総合研究所、6)東北大学
* daigo@material.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

環境負荷を環境容量以下に削減することは、持続可能な社会の形成に向けて不可欠であるが、どの環境負荷も望んで排出しているわけではない。何らかの機能（便益）を得ることによる結果として、環境負荷は排出されている。資源の有限性の観点について、UNEP（United Nations Environment Programme）では、経済発展（機能）と資源消費（環境負荷）のディカップリングが望まれるとしている（UNEP 2011）。サービス（機能）あたりの資源消費を資源効率として評価する指標として、MIPS （material intensity per service）が提案されている（Weizsacker 1998）。同様に、環境負荷あたりの機能を環境効率として評価する指標（Ehrenfeld 2005）が提案されている。Park ら（2007）は、Garvin（1984）が提案した品質を評価する 5 つの手法（超越的、製品ベース、ユーザベース、製造者ベース、価値ベース）のうち製品とユーザベースに着目して環境効率のサービスを定量化した。しかし、これら異なる類型の関係は整理されてこなかった。そこで、本研究では、持続可能性を評価する際に、設定される機能を整理する枠組みを構築することを目的とした。

2. 従来の機能の設定

2.1 ISO-LCA における機能の設定

ISO-LCA の実施では、機能単位は、LCA の目的に応じて、対象製品の機能、基準フローとともに定められ、それにより結果の表現が変わるため重要であるとされている（稲葉 2014）。しかし、目的に応じた設定となっているかどうか、客観的にその妥当性を判断する手法はない。さらに、”妥当な”機能単位などを設定するための方法も確立されていない。

2.2 環境効率指標における機能

環境効率において機能は分子の製品価値の指標となりうる。例えば、冷蔵庫では容量が機能と設定できる。他には、冷蔵スピードなども機能の 1 つと考えられる（JEMAI 2003）。環境効率では、分子を 1 つの指標とするため、異なる機能が複数ある場合、様々な工夫により単一指標化されている（Park et al. 2007）。しかしながら、その後、異なる機能を統合する手法が確立されるには至っていない。

3. 機能とライフサイクル段階

3.1 機能を発揮するライフサイクル段階

製品 LCA における機能や、製品を評価対象とした環境効率の機能など、従来の評価においては最終製品を対象とすることが多く、最終製品の使用時の機能に関する議論がほとんどであったと考えられる。材料が果たす強度や電気伝導性なども機能であるし、最終製品の設計が易解体性を有していることも機能であるが、最終製品が使用時に果たす機能との関係はあまり議論されてこなかった。

機能は、提供側の主体だけでなく、その機能を享受する側が特定されてはじめて定義できるものである。例えば、材料の機能には強度や耐食性のほかに、曲げ性、溶接性、快削性といった加工性の機能がある。これら加工性の機能は、材料の加工時に発揮される機能ではあるが、最終製品に部材として材料が組み込まれたのちには発揮されない。機能は、享受する主体が特定されてはじめて定義されることから、ライフサイクルにおける各段階の別に整理することで、機能を享受する異なる主体の別に整理できると考えられる。そこで、次節に説明する整理表を構築した。

3.2 機能帰着構成表

公共プロジェクトでは、そのプロジェクトの実施において便益を享受する主体とともに、負の効果を被る主体もある。それらを整理する枠組みとして、便益帰着構成表が提案されている（森杉ら 1995）。それらの効果量を定量的に表現するのではなく、効果の要素を項目として抽出し（行項目）、それを享受する主体（列項目）別に整理することを目的とした枠組みである。

本研究では、その枠組みを転用し、機能の要素を項目として抽出した行項目と、それを享受する主体として各ライフサイクル段階のステークホルダとした列項目による機能帰着構成表を作成した。理解の一助として、特定の材料は想定せずに様々な材料が提供する機能を例として挙げ、表 1 の機能帰着構成表に整理した。

最終製品の機能は、最終製品が使用される段階にて発揮されることがほとんどであるため、従来の議論ではほかのライフサイクル段階が考慮されることはほとんどなかったと考えられる。表 1 に例示しただけでも、

表１　機能帰着構成表

	採掘	生産･加工	輸送･販売	使用	廃棄･ﾘｻｲｸﾙ
容量				容量	
使用年数				使用年数	
加工性		曲げ性 溶接性			
外観性			目立つ	見た目の良さ	
高強度		加工性×		安全性 耐久性	解体性×
易解体性			耐久性×	耐久性×	易解体性

最終製品に限らなければ、そのライフサイクルにおいては様々な段階において多くの異なる観点の機能を発現していることがわかった。

4. 環境負荷評価の枠組みの適用

2.2 で記したように最終製品の機能は複数あることも多い。さらには、3 章で整理したように、様々なライフサイクル段階において多くの異なる観点の機能を発現している。しかし、それら異なる機能の間の関係を整理したり、統合したりする手法は確立されていない。翻って、環境影響については、負荷因子のインベントリから、特性化や統合化の枠組みや方法論が議論されてきている（伊坪、稲葉 2005)。そこで、異なる機能に対して、環境負荷評価の枠組みを転用する可能性を検討した。

各プロセスにおける環境への負荷量(インベントリ)に対応する機能量として、使用段階では従来から設定されていた機能が当てはまると考えられた。ミッドポイントとして、環境問題への影響に対応して、人への便益作用を機能ミッドポイントと考えた。すると、環境効率で分子に設定されていた売上高などは、生産者側の計測値であるため、ミッドポイントとしては不適であると判断できる。一方で、家電の基本機能に標準使用年数を乗じた値は、機能ミッドポイントとして認識できると考えた。エンドポイントとして、環境が受ける被害に対応して、人が受ける効用を機能エンドポイントと考えた。使用頻度や稼働率などの実績を伴った評価や、受益者の選好などを考慮しなければエンドポイントでの機能量の評価は困難であると考えられた。例えば、実績に基づいた人キロ評価によって旅客輸送の機能量を表す場合、機能エンドポイントであるとも考えられる一方､旅客輸送によって果たされた目的(人に会う、名所に訪れる等）が機能エンドポイントであるとも考えられる。

支払い意思額とも認識できる製品価格を機能とすることは、インベントリやミッドポイント、エンドポイントなどは考慮せずとも、一足飛びに統合化指標として機能量を評価した例であると整理できると考えた。

環境負荷の評価においても、インベントリ、ミッドポイント、エンドポイントは、常にこの順序で評価が進んでいるわけではない（中谷 2015）ように、機能においても、どの階層のデータをもとにどの階層での評価を実施するかは、場合に依ると考えられる。

機能を設定する際の整理においても､インベントリ、ミッドポイント、エンドポイント、統合化指標の階層を適用することが有益であると考えられた。ただ、異なる機能を統合するための方法の提案には至らなかった。

5. まとめ

ライフサイクルにおける機能には、最終製品が使用段階で発揮する機能以外にも、多くの機能が使用以外のライフサイクル段階においても発揮されていることが分かった。それらを整理する枠組みとして機能帰着構成表を提案した。

異なる機能の間の関係について、環境負荷評価の枠組みを適用することで整理できる可能性を見出した。

6. 引用文献

1) Ehrenfeld, J.R. 2005: Eco-efficiency: Philosophy, theory and tools. Journal of Industrial Ecology, 9(4), 6-8.
2) Garvin, D.A., 1984: What does “product quality” really mean? MIT Sloan Management Review 26, 25–43.
3) JEMAI 2003: 製品に関する「環境効率・ファクター」の手引き. 社団法人産業環境管理協会環境経営情報センター, 東京, pp.29
4) Park P.-J., Tahara, K., Inaba, A.: J Environ. Manag. 83, 168-170
5) UNEP 2011: Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth, A Report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel. Fischer-Kowalski, M., et al.
6) Weizsacker E.U. 1998: Factor four: Doupbling Walth, Having Resource Use – A Report to the Club of Rome. Earthscan , London, 320 pp
7) 伊坪徳宏、稲葉敦 2005: ライフサイクル環境影響評価 LIME-LCA, 環境会計, 環境効率のための評価手法・データベース. 産業環境管理協会. pp.384
8) 稲葉敦編著 2014: 演習で学ぶ LCA, 未踏科学技術協会, 東京, pp. 120
9) 中谷隼 2015.　日本 LCA 学会第 21 回講演会「LCA の新たな展開と実践」資料. P.7
10) 森杉壽芳、小池淳司、佐藤博信 1995: 首都機能移転の地域間便益帰着構造, 土木計画学研究・論文集, No.12, pp. 131-140.

物質のライフサイクルを通した機能と機能量の評価手法の構築

Evaluation method of function and functionality-wise quantity performed materials thorough their life cycle

○松井大輔[*1)]、醍醐市朗[1)]、後藤芳一[1)]

Daisuke Matsui, Ichiro Daigo, Yoshikazu Goto

1)　東京大学

＊matsui@ mfa.t.u-tokyo.ac.jp

１．緒言

持続可能な開発の実現のために「持続可能性」や「福祉(well-being)」を客観的に評価できる指標の開発が行われてきた。特に、持続可能性に関しては、気候変動枠組み条約における勘定体系や、Life Cycle Assessment（LCA)、エコロジカル・フットプリントなどの手法や指標が開発されたことにより、現在の社会状況を認識（見える化）し、ターゲットとなる数値を決定することが可能となっている。しかし、既存の多くの評価や指標では、持続可能性のみに焦点をあてているため、福祉の側面を考慮できていない。たとえば、それらの評価や指標により、鉄鋼業は日本全体の CO_2 排出量の 10%以上を占める環境負荷の大きい産業ということが明らかにされるが、その一方、鉄鋼産業が私たちの福祉を大きく支えていることは感覚的にしか認識されていない。そのため、10%以上という環境負荷が他の産業と比較し妥当なものであるのか、また、単純に鉄鋼産業の生産を減らせばいいのかどうかを判断することは難しい。持続可能性指標を分子に、福祉指標を分母にとった、Material Intensity Per Service（MIPS）が、持続可能性と福祉とを同時に議論できる指標ではあるが、他の指標と同じく現状の見える化や目標の設定を可能にはするものの、その目標達成にむけて人間が具体的にどこをどうすればいいのかを導くことは困難である。持続可能な開発を達成するための対策につなげるためには、人間の判断や技術開発により操作できる変数を用いて、持続可能性、福祉を同時に表す指標の開発が必要となる。

本研究では、人間が操作できる変数として人間の生産活動と消費活動を考えた。そのため、生産活動や消費活動により、状態をかえ、最終的に福祉を提供する物質を評価対象とした。この状態変化は、物質のライフサイクル(Life Cycle: LC)と呼ばれる。ただし、図１のように、天然資源、材料、製品、廃棄物という４つの LC 段階を考え、材料から製品に材料機能が、製品から人間へ製品機能が提供され、その製品機能により人間の福祉は増大されるとした。

本研究においては、最終的な福祉指標を構築する第一歩として、材料と製品から提供される機能に着目した。持続可能性の評価に多く使用される LCA の概念を軸に、LC を通じて及ぼされる環境負荷だけでなく、LC を通じて提供される機能を、生産活動や消費活動により評価する指標の構築を目的とする。

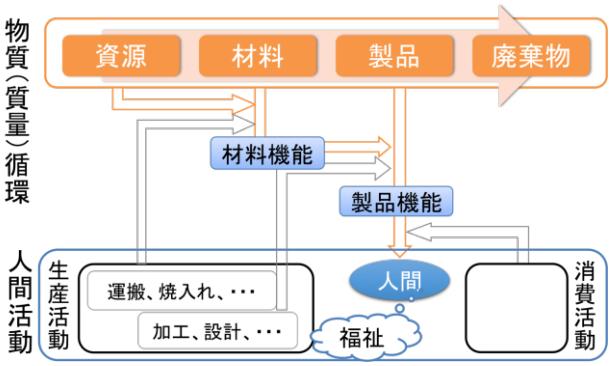


図１　ライフサイクルを通じて物質が人間に機能を提供する概念図

２．物質の状態と物質が提供する機能

本研究では、機能を評価するうえで、評価対象の物質のみを含む、一つの系を考えた。物質の LC を外部軸に、変化する系内の状態を観測した。

機能と機能量の概念図を図 2 で示した。系内の物質が、A という LC 段階(状態量：$\boldsymbol{F_A}$)から B という LC 段階(状態量：$\boldsymbol{F_B}$)へ状態変化したとき（$\boldsymbol{\Delta F}$ =

$F_B - F_A$）、物質が系外へ及ぼす作用が存在する。その作用の大きさを、$f_{out}(= f_{in} - \Delta F)$とした。この作用のうち、人間にとって便益となる作用を機能と考え、その大きさf_{out}^1を機能量とした。系外へ及ぼす全ての作用と、それら作用大きさは客観的に求まるが、そのうち、どの作用を機能とするかは人間の価値判断を含んでいる。

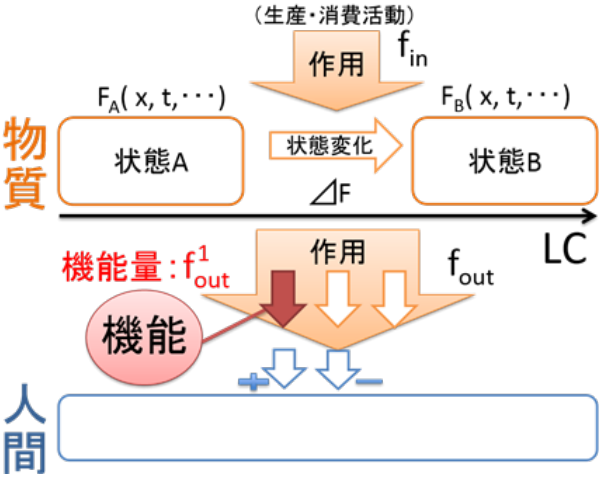


図２ 物質が機能を提供する概念図

３．ライフサイクル機能とストック機能

状態変化の始点（F_B）と終点（F_A）を、LC 中のどこに定めて物質を評価するかは、評価者が決定する。例として、２つの設定が考えられた。一つは、始点を天然資源とし、終点を廃棄物とする設定である。これは､物質のライフサイクル全体を通じた機能（ライフサイクル機能）を評価の目的としている。もう一つが､始点を F(t)終点を F(t+dt)とする設定である。これは、ある時点において物質が人間に与えている機能（ストック機能）を評価目的としている。

４．普通鋼が提供する機能量

本研究では、特に総量として環境負荷の大きいとされる鉄鋼業の供給する物質として普通鋼を評価対象とし、そのストック機能量を定量した。

普通鋼の中にも、様々な品種がある。また、同じ品種の普通鋼も、様々な製品に組み込まれ、使用される。本研究では、統計 [1]による細区分である、44 品種 99 用途ごとの普通鋼を､それぞれ一つの系とした。機能の特定のためには、Japan Industrial Standard (JIS)を用いた。JIS 中には、普通鋼の特性を指定する様々な要求項目があり、汎用的な普通鋼は、JIS に準拠する。論文 [2]のように、JIS での要求事項に関係する作用のみを抽出し、それを普通鋼の機能とした。

特定された機能のうち、引張強さに関するもののみを定量した。材料の機能量は、機能量(N･m)＝質量(kg)÷密度(kg/m³)×引張強さ(N/m²)で、製品の機能量は、材料の機能量に平均使用長さ（引張り軸方向）(m)を除した値(N)で表した。1970 年から 2013 年までの、製品機能の機能量と、機能を提供するもととなる普通鋼の質量ストックの推移を図２で示した。2013 年における機能量は、3.4×10^{16} N であった。これは、普通鋼が、日本の面積に 10 m の高さまで積もったに水の重さを支える機能を提供していることを示す。高機能化により、機能量の伸びが質量ストックの伸びを上回っているが、需要の多くを占める汎用材が提供する機能はそれほど高機能化していないため、その差は小さかった。

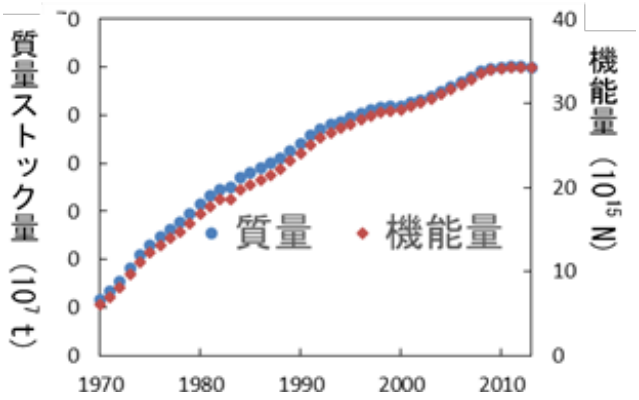


図３ 普通鋼が提供する機能量と質量ストックの推移

５．おわりに

普通鋼が提供する機能に着目し、資源消費量と人間の生産活動により、その機能を表した指標を構築した。

参考文献

1） 日本鉄鋼連盟鉄鋼統計委員会：“鉄鋼用途別受注統計月報（普通鋼）”（2013），pp. 3-14
2） 松井大輔，醍醐市朗，後藤芳一：“環境科学会”，大阪，（2015），128

環境負荷を考慮した日本の各都道府県における社会基盤蓄積に伴う生産効率性分析

Productivity and Environmental Efficiency of Material Stock Accumulation in Japan's Prefectures

○江口昌伍*[1)]、加河茂美 [1)]
Shogo Eguchi, Shigemi Kagawa
九州大学 [1)]
* shogoeguchi43@gmail.com

1. 研究背景

現代社会では、建築物や道路などの蓄積された社会基盤の上に生活を営み、生産活動を行っている。表 1 は Tanikawa *et al*. (2015)によって推計された、1990 年と 2010 年における、日本国内に建築物、道路、鉄道として蓄積された資源量を表している。この表から、これら 3 つの社会基盤の中で、建築物として日本国内に蓄積されている資源量の割合が最も大きいことが分かる。また、1990 年には建築物として日本国内に 74.5 億トンの資源が蓄積されていたが、2010 年時点での蓄積量は 92.4 億トンへと、約 24%増加していることも読み取れる。特に、東京都での建築物の増加量は全都道府県の中で最も多く、この 20 年間で 2.2 億トンの建築物が蓄積されており、日本全体の建築物の増加量の約 13%を占めている。その一方で、日本の実質 GDP は 1990 年から 2010 年にかけて約 20%上昇しており、社会基盤の蓄積による都市化に伴って、生産額が増大していることが分かる。しかしながら、その蓄積された資源投入が生産活動にどの程度効率的に利用されてきたのかは明らかになっていない。

表 1　1990 年と 2010 年における資源蓄積量の比較

	1990年	2010年
建築物（百万トン）	7451	9244
道路（百万トン）	4330	6069
鉄道（百万トン）	78	81

このような研究背景から、江口（2015）は日本の都道府県を分析対象として、蓄積された社会基盤から生み出される生産額の効率性をデータ包絡分析法（Data Envelopment Analysis: DEA）を用いて分析し、1970 年から 1990 年にかけて、多くの都道府県で生産性が上昇している一方で、1990 年以降は生産性の向上が頭打ちになっていることを明らかにした。

しかしながら、江口（2015）の分析は、生産活動に伴って排出される環境負荷を考慮していないという問題点がある。都市化が環境に与える影響を分析した研究は数多く存在しており、都市化によって増大する廃棄物やCO_2排出量の削減が世界的に重要な課題となっている（e.g., Browne *et al*., 2009; Kennedy *et al*., 2010）。環境負荷の低減と経済発展の両立を目標とする「持続可能な発展」を達成するためには、環境負荷を考慮したフレームワークを用いた生産性分析を行うことが非常に重要である。

従って、本研究では、各都道府県に蓄積された建築物と社会基盤を投入要素として、環境負荷物質の排出量を削減しつつ、生産額を増大させるための指標を DEA を用いて提案し、今後の日本の公共事業政策について議論する。

2. データ

本研究では、Tanikawa *et al*. (2015)で推計された 46 都道府県（沖縄県を除く）の 1990 年と 2010 年における建築物、道路、鉄道に関する資源蓄積量データと各都道府県における就業者数（総務省 統計局公表）を投入要素として用いた。また、正の産出（goods）には、各都道府県の県内総生産額（IMF 公表の GDP デフレーターを用いて実質化）を、負の産出（bads）には各都道府県における CO_2 排出量（経済産業省 資源エネルギー庁公表）をそれぞれ用いることで、環境負荷を考慮しつつ、蓄積された建築物と社会基盤から生み出される生産の効率性を分析した。

3. 分析手法

本研究では、複数の投入と産出要素を考慮しながら、評価対象の効率性を分析することが可能である、データ包絡分析法（DEA）を用いて分析を行った。bads を考慮した効率性を評価する DEA のモデルはいくつか存在するが、本研究では Färe *et al*. (2001)で提案されたモデルを用いた。(1) 式がそのモデルである。

$$
\begin{aligned}
& D_z^{1990} = \mathrm{Max}\ \beta \\
s.t.\quad & \sum_{k=1}^{K} \lambda_k x_{ki}^{1990} \le x_{zi}^{1990} \quad (i = 1,\ldots,I) \\
& \sum_{k=1}^{K} \lambda_k y_k^{1990} \ge (1+\beta) y_z^{1990} \\
& \sum_{k=1}^{K} \lambda_k b_k^{1990} = (1-\beta) b_z^{1990} \\
& \lambda_k \ge 0,\ k = 1,\ldots,K \qquad (1)
\end{aligned}
$$

ここで x_{zi}^{1990} は、分析対象となる都道府県 z の 1990 年時における投入量ベクトルであり、y_z^{1990} は goods を、b_z^{1990} は bads を表すスカラーである。一方、x_{ki}^{1990} は、1990 年における分析対象となるすべての都道府県からなる投入量行列、y_k^{1990} は goods に関しての、b_k^{1990} は bads に関しての、それぞれ全都道府県の要素からなるベクトルである。本研究における投入項目は 4 であり、分析対象都道府県は 46 であるため、$I = 4$、$K = 46$ である。また、λ_k は各都道府県を結び、効率的生産フロンティアを形成する変数ベクトルである。（1）式における β は、分析対象の都道府県 z の投入量を変化させることなく、何%の goods の増加と bads の削減を同時に達成可能であるかを表しており、（1）式の制約条件を満たす最大の β が都道府県 z の効率性スコア D_z^{1990} となる。この D_z によって定義される生産性を環境生産性と呼ぶ。従って、$\beta = 0$ の時に z は環境効率的な生産活動を行っている都道府県とみなされる。また、本研究では、各都道府県の規模を考慮に入れた効率性を評価するため、収穫可変モデルを用いた。（2）式の制約条件を（1）式に追加したのがそのモデルである。

$$
\sum_{k=1}^{46} \lambda_k = 1 \qquad (2)
$$

1990 年から 2010 年にかけての各都道府県の環境生産性の変化を分析するために、本研究では（3）式の Malmquist-Luenberger (ML)指数を用いた（Färe *et al.*, 2001）。

$$
ML_{1990}^{2010} = \left\{ \frac{\left[1+D_z^{1990}\left((x,y,b)^{1990}\right)\right]}{\left[1+D_z^{1990}\left((x,y,b)^{2010}\right)\right]} \cdot \frac{\left[1+D_z^{2010}\left((x,y,b)^{1990}\right)\right]}{\left[1+D_z^{2010}\left((x,y,b)^{2010}\right)\right]} \right\}^{\frac{1}{2}} \qquad (3)
$$

（3）式において、$ML_{1990}^{2010} > 1$ であれば、1990 年から 2010 年にかけて都道府県 z の環境生産性は向上しており、$ML_{1990}^{2010} = 1$ であれば環境生産性の変化はなく、$ML_{1990}^{2010} < 1$ の時には環境生産性の低下を示す。また、（3）式の $D_z^{2010}\left((x,y,b)^{1990}\right)$ は 1990 年の技術水準で評価した 2010 年の都道府県 z の環境生産性を表している。

4. 結果と考察

図 1 は（3）式によって求められた都道府県ごとの ML 指数の結果を表している。この結果から、分析対象の 46 都道府県の中で、半数をわずかに超える 24 都道府県における環境生産性は、1990 年から 2010 年にかけて向上しており、一方で、22 の都道府県で環境生産性が低下しているという結果が得られた。

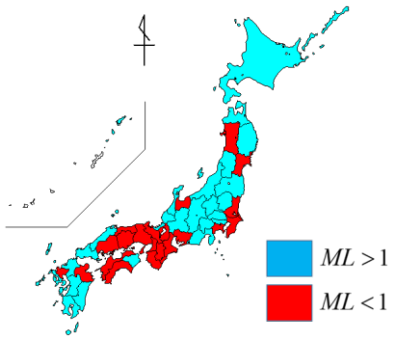


図 1　Malmquist-Luenberger 指数の結果

また、環境生産性を最も向上させた都道府県は長崎県であった。その一方で、最も環境生産性を低下させたのは神奈川県であり、次いで大阪府における環境生産性の低下が大きいという興味深い結果が得られた。

研究発表会では、これらの結果に加えて、環境負荷を考慮しない場合の生産性の変化と比較することで、各都道府県における CO_2 排出量の変化が、環境生産性に対してどの程度の影響を与えているかを分析し、「持続可能な発展」を目指す上での、日本の公共事業の在り方について議論する。

DEA を用いた国別・業種別の環境効率性分析

高藪広隆[*1)]　加河茂美 [1)]
1)九州大学 経済学部
* takayabu0318@gmail.com

1. はじめに

近年、CO_2などの温室効果ガスの排出量増加による、地球温暖化が問題視されている。実際、世界全体でのCO_2排出量は増加の一方である。その原因の一つと考えられるのが、大量生産の経済システムである。より多くの生産を行うためには、より多くの材料が必要となり、結果CO_2排出量の増加に繋がる。しかし、生産時における技術水準や効率性の高い国では、生産量 1 単位あたりに必要な材料や、生産量 1 単位当たりのCO_2排出量をより少なく抑えて生産を行うことが可能である。

CO_2排出量のような好ましくない産出を考慮した DEA による先行研究は例えば、Chung *et al.* (1997)、Fare *et al.*(2001)が挙げられるが、これらの研究では投入要素に資本ストックと労働者数を用いており、どの産業から材料を投入しているのかという投入構造の違いは分析対象になっていない。
そこで本研究では、フローニンゲン大学が公表している World Input Output Table (WIOT)のデータを用いて、41 カ国の産業別の環境効率性(生産効率性)をデータ包絡分析法(DEA)で分析し、各国の排出削減ポテンシャルを評価する。

2. 分析手法

本研究では WIOT より、金額ベースの中間財を投入要素(以下、Input)とし、付加価値などの望ましい産出(以下、Goods)に加えて、CO_2排出量などの望ましくない産出(以下、Bads)を用いて、生産非効率性の評価が可能である Directional Distance Function (DDF)を適用することで効率性評価を行う。

分析の際には、生産規模による収穫の変化が一定であるとする CCR モデルと、生産規模による収穫の変化を考慮する BCC モデルの 2 種類を用いる。

今、Input ($\mathbf{x}$), Goods (y), Bads (b)を用いて生産可能集合 P($\mathbf{x}$)を次のように定義する。

$$P(\mathbf{x})=\{(y,b)\mid \mathbf{x} \text{ can produce } (y,b)\} \quad (1)$$

生産可能集合 $P(\mathbf{x})$内に存在する DMU (Decision Making Unit)の非効率性 $D(\mathbf{x},y,b/\mathbf{g}_x,g_y,g_b)$は、評価対象である DMU と効率的な生産を達成している DMU 群で生成されるフロンティアラインとの距離 β と非負の方向ベクトル$(\mathbf{g}_x,g_y,g_b)$を用いることによって次のように定義する。

$$D(\mathbf{x},y,b/\mathbf{g}_x,g_y,g_b)$$
$$=\mathrm{Sup}\,(\beta\mid(y+\beta g_y,b-\beta g_b)\in P(\mathbf{x}-\beta\mathbf{g}_x) \quad (2)$$

Chung *et al.* (1997)を参考に(2)式を変形すると、価対象である k 番目の DMU については以下のように定式化できる。

$$\vec{D}\left(x_k^l,y_k^m,b_k^r\middle|g_{x^l},g_{y^m},g_{b^r}\right)=Max.\ \beta_k \quad (3)$$
$$s.t.\ \sum_{i=1}^{N}z_i x_i^l\le(1+\beta)x_k^l : l=1,\dots,L \quad (4)$$
$$\sum_{i=1}^{N}z_i y_i^m\le(1+\beta)y_k^m : m=1,\dots,M \quad (5)$$
$$\sum_{i=1}^{N}z_i b_i^r\le(1+\beta)b_k^r : r=1,\dots,R \quad (6)$$
$$z_i\ge 0 : (i=1,\dots,N) \quad (7)$$

ここで、x_i^l は i 国における l 番目の投入物の投入量、y_i^m は i 国における m 番目の財の産出量を、b_i^r は i 国における r 番目のバッズの排出量を表している。また、L、M、Rはそれぞれ投入物、財、バッズの種類の数を表している。

制約式(4)、(5)、(6)の左辺は効率的な DMU で構成されるフロンティアラインを表しており、z_iは非効率的な DMU が参照するフロンティア曲線上の点を一意的に決定するパラメータである。制約式(4)、(5)、(6)の右辺は評価対象となる DMU を用いている。β は各 DMU とフロンティアラインとの距離を表しており、制約条件を満たす中での最大の距離が生産非効率性 $D(\mathbf{x},y,b/\mathbf{g}_x,g_y,g_b)$となる。以上の線形計画問題は、各国で投入物の量は(1-β)倍に削減し、財は(1+β)倍に拡大し、バッズは(1-β)倍に削減できる比率 β を生産可能集合の中で探す最大化問題である。従って β は $0\le\beta\le1$ の範囲をとり、β=0 の時に DMU は効率的生産を達成しているといえる。また、β>0 の時は非効率的であるといえ、β が 0 から離れるにつれて非効率性は大きくなる。

3. データ

本研究では、World Input Output Table(2009)より、41 カ国の 2009 年における生産効率性を分析する。分析に使用するデータは、財として評価対象の産業で生み出された付加価値額、バッズとして CO_2 排出量、投入物として 1 次産業、2 次産業、3 次産業からの中間財投入額を用いて、3 投入 2 産出の DEA モデルを適用した。1 次、2 次、3 次産業からの CO_2 排出量は World Input Output Database の Environmental Account(2009)を用いた。

本研究では、産業別に生産性の分析を行い、各推計結果より効率性改善のための考察を行う。

4. 結果

表 1 は 2009 年における世界 41 カ国での 2 次産業における各国の生産効率値を表している。表 1 から CCR 効率的な国は 13 カ国、BCC 効率的な国は 23 カ国あり、最も非効率的な国は CCR モデルではブルガリア、BCC モデルではインドネシアである。

分析の結果、2009 年において CCR 効率的となった国は、1 次産業で 9 カ国、2 次産業で 13 カ国、3 次産業で 10 カ国、BCC 効率的となった国は、1 次産業で 11 カ国、2 次産業で 23 カ国、3 次産業で 18 カ国であった。

本会では、以上の結果をもとに非効率的な国・産業が効率性を改善するためにどういった方法があるのか検討する。

表 1. ニ次産業における各国の生産効率値

2次産業におけるθ (CCRモデル)		2次産業におけるθ (BCCモデル)	
ルクセンブルグ	0.000	マルタ	0.000
ギリシャ	0.000	ルクセンブルグ	0.000
オーストリア	0.000	エストニア	0.000
インド	0.000	ギリシャ	0.000
ブラジル	0.000	イギリス	0.000
カナダ	0.000	ドイツ	0.000
イギリス	0.000	アイルランド	0.000
デンマーク	0.000	フランス	0.000
ロシア	0.000	インド	0.000
メキシコ	0.000	日本	0.000
アイルランド	0.000	ブラジル	0.000
スウェーデン	0.000	中国	0.000
台湾	0.000	アメリカ	0.000
スロベニア	0.019	その他	0.000
ルーマニア	0.027	カナダ	0.000
アメリカ	0.027	イタリア	0.000
フランス	0.048	デンマーク	0.000
ドイツ	0.050	オーストリア	0.000
オランダ	0.067	ロシア	0.000
韓国	0.068	メキシコ	0.000
キプロス	0.070	スウェーデン	0.000
スロバキア	0.077	台湾	0.000
オーストラリア	0.079	スロベニア	0.000
リトアニア	0.080	キプロス	0.007
エストニア	0.082	スペイン	0.024
イタリア	0.083	ルーマニア	0.025
マルタ	0.083	オランダ	0.043
日本	0.084	リトアニア	0.055
その他	0.090	韓国	0.057
ポルトガル	0.105	オーストラリア	0.063
チェコ	0.122	スロバキア	0.074
スペイン	0.134	ポルトガル	0.101
中国	0.134	ラトビア	0.108
フィンランド	0.149	チェコ	0.122
ベルギー	0.150	ベルギー	0.144
ハンガリー	0.153	フィンランド	0.149
ラトビア	0.169	ハンガリー	0.149
トルコ	0.169	ポーランド	0.163
ポーランド	0.179	トルコ	0.169
ブルガリア	0.192	インドネシア	0.178
インドネシア	0.211	ブルガリア	0.185

5. 引用文献

1) Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E., *European Journal of Operational Research*, 2, (1978), pp.429–444.
2) Chung, Y.H., Fare, R., Grosskopf, S., *Journal of Environmental Management*, 51, (1997), pp.229–240
3) Fare, R., Grosskopf, S., Pasurka, C.A., *Journal of Regional Science*, 41, (2001), pp.381–409.

GIS を活用した地域資材ストック量推計にもとづく災害廃棄物量の予測について

A study on the prediction of disaster waste amount based on the area material stock which utilized GIS

○鷺巻峰夫*[1)]、山本祐吾[2)]、吉田登[2)]
Mineo Tsurumaki, Yugo Yamamoto, Noboru Yoshida
1) 和歌山工業高等専門学校, 2) 和歌山大学
* tsurumaki@ wakayama-nct.ac.jp

1. はじめに

大規模災害における大量の災害廃棄物の処理が災害後の生活環境の回復にとって非常に大きな要素であることが認識されている。発災後迅速に廃棄物処理に対応するためには、可能な限り当該災害に近い形で事前に廃棄物量を予測しておくことが重要であるが、予測されていない場合には発災後早期に予測できるシステムが用意されていることが望ましい。本研究では、市販または公的機関等で公開されている GIS や統計情報と家屋等に保有される資材ストック量の知見を利用して災害廃棄物量を予測するシステムの基本ベースの構築を行った。研究では和歌山県内の和歌山市、御坊市、新宮市で検討を行ったが、本報では御坊市での事例を紹介する。

2. 資材ストック量

2.1建物の資材ストック量の予測

(1)予測式

建物の資材ストック量は GIS と統計等によって個別建物の延べ床面積と構造を想定した後, 建物の構造別・資材別に設定した資材量原単位を用いて下記の式(1)で予測する。なお，発災直後に廃棄物となるのは上棟部分がほとんどであると考えられるので，計算は上棟部分と基礎部分に分けて行う。

$$SA = \sum (us \times Ah) / 1000 \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1)$$

SA ：資材種類別ストック量(t)
us ：資材種類別・構造別に設定した延べ床面積当たりの原単位(kg/m^2)
Ah :検討対象建築物の延べ床面積(m^2)

(2)基本データと計算方法

建物の資材ストック量は延べ床面積で把握する。検討の基礎となる GIS データは(株)ゼンリンが販売している「建物ポイントデータ」（以下、「建物 PT」）[1)]を利用する。建物 PT では建物がポイントデータで入力されており, 属性データとして建物の使用目的、階数（ただし、2 階以下はほとんど記載なし）、建物の投影面積が利用できる。各戸の延べ床面積は市内の建物の総延べ床面積を各戸に割り振ることとする。市内総延べ床面積は民間建築物は登記簿の数値[2)]、市有・県有建築物については総理府の調査データ[3)]、国有建築物は財務省のデータ[4)]を利用する。また，資材ストック量の原単位は，谷川等が設計事例をもとに積算して設定したデータである表 S1 に示す数値[5)]を使用する。

2.2耐久消費材等の建物内の資材量の予測

(1)計算式

住居内で居住者が所有する耐久消費材等の重量を計算する。本研究では工場や事務所で保有する機材及び資材は対象外とした。計算は下式(2)による。

$$SC = \sum (fp \times uc \times Nh) / 1000 \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2)$$

SC ：耐久消費材等によるストック量(t)
fp ：統計数値で設定できる世帯平均保有率
uc :消費材別の単位数量当たりの重量原単位(kg/各材の数量単位)
Nh ：世帯数（ただし，ここでは世帯数＝棟数として検討を行う）

(2)基本データと計算方法

対象とする消費材としては、全国消費実態調査[6)]に掲載されている耐久消費材で自動車を除く 44 品目に畳、衣類・寝具類、書籍・紙類、食器類の 4 項目を加えた。各種の重量は、既往研究や Web による情報を参照して平均的と考えられる数値を入力した。世帯当たりの廃棄物としての区分毎の排出量は表 S2 に示す値で設定でき、その量は世帯当たり 1 t を越える程度である。

3. 建物の被災想定

3.1対象災害想定

本研究では、近い将来に発生すると想定されている南海トラフ地震による被害を対象とする。発災時における震度、液状化指数、津波浸水深の想定は和歌山県が平成 25 年度に公表した数値[7)]を用いた。その概要は図 S1~S3 に示す。

3.2建物被害の想定方法

想定する建物被害の種類は①揺れ、②液状化、③津波、④地震火災、⑤土砂災害の 5 種類とする。建物の被災想定は基本的に内閣府が平成 24 年に公表した資

料 [8]にもとづくが、入手データの種類から液状化被害については平成 19 年公表の資料 [9]、地震火災については神奈川県の報告書 [10]の手法を参考に簡略化した手法を用いた。

(1)揺れによる被害

揺れによる被害は構造別（木造・非木造）・建築年代別（木造 6 区分、非木造 3 区分）での震度～家屋倒壊確率曲線より個別家屋の倒壊確率を設定する。構造についての想定は建物階数、建物使用目的から想定して設定した。建築年代は「建築着工統計」[11]と既往の研究における建築経過年数別の残存率 [12]の数値から構成割合を想定した。これらを掛け合わせて倒壊確率として計算した。

(2)液状化による被害

液状化による被害は液状化指数にもとづく A～E のランク毎に想定された液状化面積率と木造・非木造別の被害率を掛け合わせることで倒壊確率を計算した。

(3)津波による被害

津波による被害は地区別（DID・非 DID）・構造別（木造・非木造）での津波浸水深～全壊・半壊確率曲線により全壊・半壊確率として想定した。

(4)火災による被害

採用した手法では建物圧壊時での出火率と、圧壊以外では建物を 19 種類の用途に区分して 5 弱～7 までの 5 段階震度での出火確率と初期消火確率によって戸別建物の出火確率を計算する。その値から対象地域内での出火確率の平均値を取った後、消火活動が行われない場合に延焼する範囲（延焼クラスター）毎に平均出火率と延焼阻止率から各建物の火災被災確率を計算する。

(5)土砂災害による被害

内閣府の資料 [7]では急傾斜地指定地区内の震度 6 弱以上の建屋の倒壊確率 10%と想定している。指定地区は国交省 GIS データベース「土砂危険区域データ」[13]を用いて把握する。その範囲を図 S4 に示す。

4. 検討結果

被害建物の予測数値は表 1 に示すとおりである。棟数で約 66%、関連人口で約 52%が被災に遭うと予測された。

表 1 及び表 S1~S2 の数値から予測した潜在的な廃棄物量の予測結果は表 2 のとおりである。また、種類別の検討結果を表 S3～S4 に示す。ここで半壊については、ストック量の 0.5 倍を廃棄物として計上している。また、火災廃棄物についてはストック量に対して既存資料 [15]での発生率を乗している。

表 1　対象災害での被災予測結果

	御坊市全体	震動倒壊	津波倒壊	
			全壊	半壊
棟数（棟）	10,452	1,326	1,480	1,755
延べ床面積(m²)	2,288,437	215,894	220,531	402,130
関連人口（人）	26,111	3,665	2,956	1,614
	液状化倒壊	火災消失	土砂災害倒壊	
棟数（棟）	1,666	593	54	
延べ床面積(m²)	369,828	95,414	11,286	
関連人口（人）	3,964	1,345	151	

表 2　資材ストック量及び廃棄物量の予測結果

項目			数値
ストック量		上棟部	875,584
		基礎部	1,257,406
		耐久消費材等	12,566
		計	2,145,556
潜在的廃棄物量	全壊	上棟部	264,801
		基礎部	404,671
		耐久消費材等	5,440
		計	674,912
	半壊	上棟部	82,510
		基礎部	117,098
		耐久消費材等	2,109
		計	201,717
	火災	上棟部	19,310
		基礎部	44,240
		耐久消費材等	307
		計	63,857
	計	上棟部	366,621
		基礎部	566,008
		耐久消費材等	7,857
		計	940,486

表 2 に示した数値は潜在的な廃棄物量として扱う必要がある。水害廃棄物の事例ではあるが別途の検討 [15]では、基礎部分の廃棄物に対しては廃棄物転換率（0.05～0.5 の範囲で想定）と収集率（0.5～0.7）を設定することで収集実績値に近似する廃棄物量が計算できている。コンクリート殻や木質系の廃棄物は放置や流出などで回収されない場合が想定されるため、実際の廃棄物処理計画を立案に適用する場合には、今回予測した潜在的廃棄物量から収集量を予測する換算係数の検討も重要になる。

5. まとめ

本研究では、市販または公開されている GIS 及び統計等の情報にもとづく災害廃棄物量の予測手法を試行した。最終的に和歌山県全体についての災害廃棄物の環境的、経済的に効率的な災害廃棄物処理の検討に拡張する計画である。

引用文献

引用文献は SI に記載する。

謝辞

本研究はコンソーシアム和歌山・平成 26 年度大学等地域貢献促進事業の一部として実施したものです。ここに謹んで謝意を表します。

Supporting Information

【図表】

表 S1　建物での資材ストック原単位 [5)]

(単位:kg/m^2)

建物部分	建物構造区分		砂利・石材	コンクリート	モルタル	木材	ガラス	陶磁器	鉄	アルミニウム	その他
上棟部	木造		0	0	3	88	5	52	2	2	32
	S造	1階	0	0	67	8	0	2	132	0	25
	S造	2階	0	0	109	20	3	1	104	2	20
	S造	3階	0	0	143	4	1	1	165	1	0
	RC造		0	1,451	44	0	1	3	60	2	8
基礎部	木造		78	221	0	0	0	0	5	0	0
	S造	1階	339	584	0	0	0	0	7	0	0
	S造	2階	100	587	0	0	0	0	14	0	0
	S造	3階	214	416	0	0	0	0	13	0	0
	RC造		138	776	0	0	0	0	37	0	0

表 S2　住居における耐久消費材等のストック量の推計結果

(単位:kg/世帯)

項目	木質系	畳	紙・繊維・その他可燃系	冷蔵庫
数値	210	300	150	125
項目	廃家電	混合・その他不燃系	世帯当たり計	
数値	334	83	1,203	

表 S3　建物構造物のストック量と潜在的廃棄物量の予測結果（単位：t）

区分			砂利・石材	コンクリート	モルタル	木材	ガラス	陶磁器	鉄	アルミニウム	その他	合計
ストック量		上棟部	0	393,003	125,738	108,942	8,191	55,436	126,807	4,478	52,988	875,584
		基礎部	227,786	1,000,738	0	0	0	0	28,882	0	0	1,257,406
		計	227,786	1,393,741	125,738	108,942	8,191	55,436	155,689	4,478	52,988	2,132,990
廃棄物	全壊	上棟部	0	94,952	37,142	45,838	3,175	24,454	37,215	1,601	20,424	264,801
		基礎部	78,065	317,838	0	0	0	0	8,767	0	0	404,671
		計	78,065	412,790	37,142	45,838	3,175	24,454	45,982	1,601	20,424	669,472
	半壊	上棟部	0	38,942	12,785	8,313	667	4,065	13,069	386	4,282	82,510
		基礎部	21,284	93,070	0	0	0	0	2,744	0	0	117,098
		計	21,284	132,012	12,785	8,313	667	4,065	15,813	386	4,282	199,607
	火災	上棟部	0	4,980	4,354	22	378	2,871	4,520	186	2,000	19,310
		基礎部	9,032	34,282	0	0	0	0	925	0	0	44,240
		計	9,032	39,262	4,354	22	378	2,871	5,445	186	2,000	63,550
廃棄物　計			108,381	584,065	54,282	54,172	4,220	31,390	67,240	2,173	26,705	932,629

表 S4　耐久消費材等住居内保有物のストック量と潜在的廃棄物量の予測結果（単位：t）

区分		木質系	畳	紙・繊維・その他可燃系	冷蔵庫	廃家電	混合・その他不燃系	合計
ストック量		2,195	3,136	1,568	1,307	3,492	868	12,566
廃棄物	全壊	950	1,358	679	566	1,512	376	5,440
	半壊	369	526	263	219	586	146	2,109
	火災	0	1	0	71	188	47	307
	合計	1,319	1,885	942	856	2,286	568	7,857

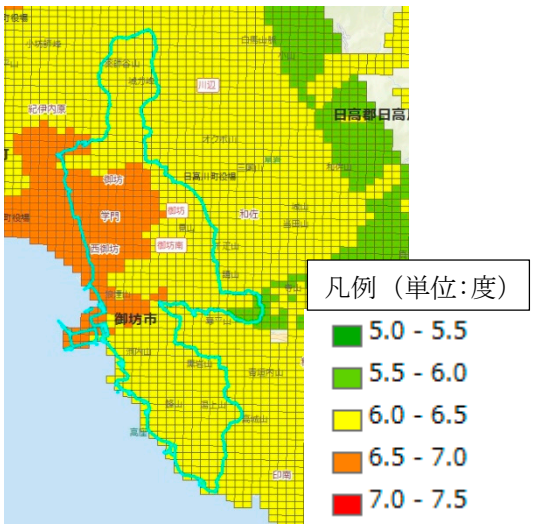


図 S1　御坊市周辺での震度分布 [7)]

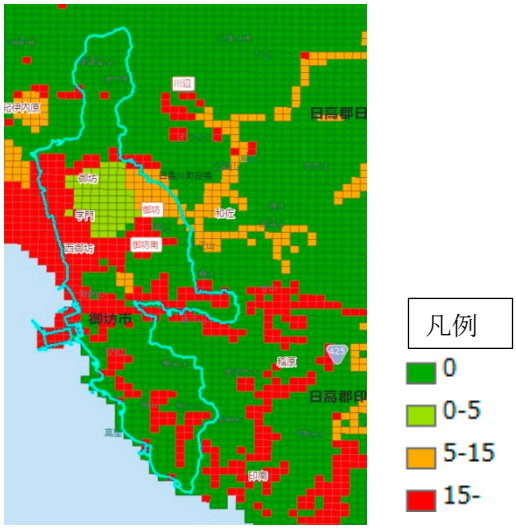


図 S2　御坊市周辺での液状化指数分布 [8)]

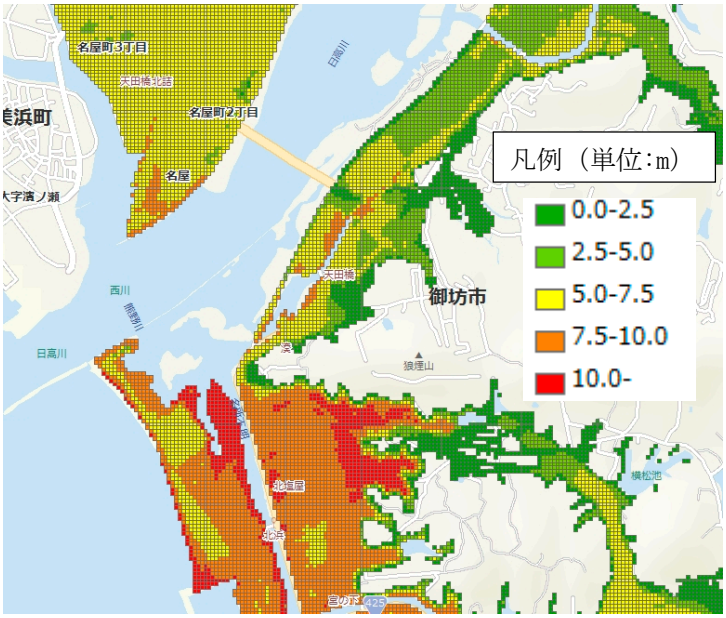


図 S3　御坊市津波浸水深の高い区域での浸水深 [7)]



図 S4　御坊市内の土砂災害危険箇所 [12)]

【引用文献】
1) (株)ゼンリン：建物ポイントデータ（和歌山県日高川町）（2014.9 購入）
2) 和歌山県：平成 25 年度固定資産に関する概要調書等報告書，2014
http://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/010600/04_zeisei/zei/H25gaikyou/H25gaikyou.html（2014.9.閲覧）
3) 総理府：地方財政状況調査関係資料・公共施設状況調経年比較表　http://www.soumu.go.jp/iken/shisetsu/（2014.9.閲覧）
4) 財務省：国有財産情報公開システム，http://www.kokuyuzaisan-info.mof.go.jp/kokuyu/（2014.9.閲覧）
5) 谷川寛樹・平川隆之・韓驥等：東日本大震災の被災地域に存在した建築物・インフラストラクチャーの物質ストックの推計，第 39 回環境システム研究発表会講演集　pp.401-406，2011.10
6) 総務省：平成 21 年度全国消費実態調査，ttp://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001027311&cycode=0（2015.1.閲覧）

7) 和歌山県総合防災課：南海トラフ地震震度、津波、液状化想定（2014.6.提供）
8) 内閣府南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ：南海トラフの巨大地震　建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要（2015.4.閲覧）
9) 中央防災会議「東南海，南海地震等に関する専門調査会」中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定手法(案)について～基本災害～　2007.11
10) 神奈川県：地震被害想定調査・第 5 章　火災による被害（2014.12 閲覧）
11) 建設省・国土交通省：建築着工統計　昭和 25～平成 25 年度版
12) 小見康夫・栗田紀之：長寿命化トレンドを考慮した建物残存率のシミュレーション　建物の長寿命化トレンドにおける建材のストック/排出量の算出手法に関する研究（その 1），日本建築学会計画系論文集第 75 巻第 656 号，pp.2459-2465，2010.10
13) 国土交通省：国土数値情報ダウンロードサービス，http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html（2014.9 閲覧）
14) 環境省：平成 25 年度巨大地震発生時における災害廃棄物対策検討委員会　第 2 回資料・資料-2　災害廃棄物の発生量の推計方法　2014.1
15) 鷲巻峰夫・山本祐吾・吉田登：地域の資材ストック量にもとづく災害廃棄物量の予測に関する基礎的検討，土木学会論文集 G（環境），　pp.Ⅱ_241-251，2015.10

災害廃棄物の発生量推計のための地域別物質ストック分析

Region-specific material stock analysis for the estimation of disaster waste generation

○鶴房佑樹*[1)]、中谷隼 [1)]、森口祐一 [1)]
Yuki Tsurubo, Jun Nakatani, Yuichi Moriguchi
1) 東京大学
*tsurubo@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

東日本大震災では膨大な災害廃棄物が発生したが、災害廃棄物の推計量の大幅な修正が行われ、災害廃棄物の組成内訳の地域による差異が挙げられた [1)]。また、既存の災害廃棄物発生量の予測は住宅由来の廃棄物が中心であるが、災害時には工場や事業所等からの機械や製品などの産業系の災害廃棄物も発生するため、地上の物全てを潜在的な災害廃棄物として認識する必要がある [2)]。これらの地上の物も住宅街や工場地帯などの地域性の違いが挙げられる。本研究では、中西ら(2015) [3)] の蓄積量の結果を基に、統計資料を利用した配分を行うことで、地域性の違いを考慮した全国の市区町村別蓄積量を把握した。加えて、静岡県浜松市の各区別蓄積量を、再度統計資料を用いて町丁単位に配分を行うことで、町丁別蓄積量を求めた。町丁別蓄積量に町丁別被害率を乗じて、災害時に排出される可能性のある災害廃棄物発生量を推計した。

2. 方法

2.1 既存研究の利用

本研究は、中西ら(2015) [3)] による複数年の産業連関表を利用した時系列的物質フロー・ストック分析で 1970 から 2005 年までの固定資本・耐久消費財の投入時点、資本形成部門、資本財、部材別の蓄積量を推計した結果を基に行った。この推計から、設備や建築物の地域性や産業の違いを考慮する観点から資本形成部門(以下、蓄積先部門)×資本財(以下、財部門)の結果を利用した。部材部門については、各蓄積先部門×財部門の蓄積量の部材構成割合を掛け合わせることとした。

2.2 市区町村別蓄積量の推計

各蓄積先部門の地上に存在する物を維持・管理するという観点から、地域配分には従業員数や人口を主に利用した。一部の財部門に対しては、別途市区町村割合を作成し、これらの市区町村割合の作成方法を以下に記した。

まず、蓄積先部門の配分割合について記した。蓄積先部門の産業は、産業中分類別従業員数 [4)] を利用して、従業員数の市区町村割合を作成した。同様に、家計消費は人口 [5)] の市区町村割合を作成した。

次に、一部の財部門の市区町村割合作成について記した。[財部門:住宅建築]については、住宅・土地統計 [6)] を利用して、市区町村の住宅延床面積割合を作成した。[財部門:住宅建築]は、蓄積先部門の不動産と住宅の 2 つの部門として推計されており、不動産は借家、住宅は持家と考えた。また、[財部門:住宅建築]は、2 つの構造別に推計されている。そこで、4 つの所有別構造別住宅延床面積から、例 1 のような所有別構造別住宅延床面積の市区町村割合を作成した。一部市区や町村については、属する県の市区や郡部の平均値を代用した。

例 1：(木造住宅(持家)総床面積)
＝(木造割合)×(持家数)×(１住宅当たり延べ面積(持家))

[財部門:大型機械類]は工場地帯に多く存在する財であり、特に[蓄積先部門:第二次産業]ではオフィスと工場の地域性の違いを考慮すべき財である。そこで、統計対象が工場である工業統計 [7)] を利用した従業員数の市区町村割合を作成した。また、[蓄積先部門:4 分類]には中心区を除いた従業員数の市区町村割合を作成した。表 SI-1 に配分に利用した市区町村割合をまとめた。これらの市区町村割合を、各蓄積先部門×財部門の蓄積量に掛け合わせ、市区町村別蓄積量を推計した。

2.3 災害廃棄物発生量の推計

推計された市区町村別蓄積量を基に災害廃棄物発生量推計を行った。蓄積先部門別の市区町村別蓄積量を産業大分類に統合したうえで、同様に産業大分類別町丁・大字従業員数や人口 [5)]を利用して従業員数・人口の町丁割合を算出した。各区内で町丁単位に配分を再度行い、町丁別蓄積量を推計した。静岡県提供の町丁建物棟数 [8)] 及び町丁内の従業員数 [4)] を利用して、各町丁の非住宅建物棟数を配分することで、蓄積先部門別の建物棟数を推計した。また、各町丁の被害別被害棟数を建物棟数で除すことで町丁・被害別被害率を求め、

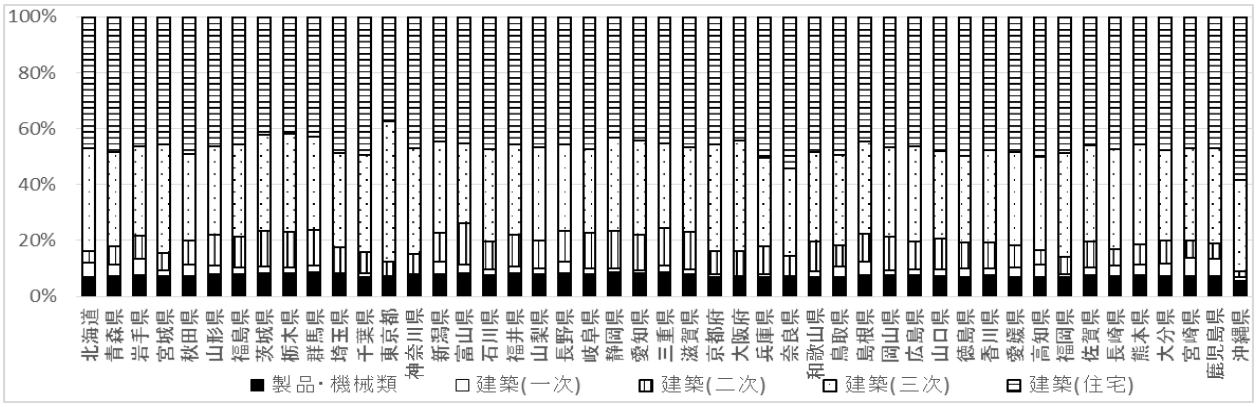


図 1　都道府県別蓄積量の財部門内訳

町丁別蓄積量に被害別被害率を乗ずることで、被害別蓄積量を算出した。全壊蓄積量は全て廃棄物として排出され、半壊蓄積量は 16%排出されると仮定した。被害棟数は静岡県(2014) [8] の被害想定資料を利用した。木造・非木造の被害率の違いや火災時の廃棄物減量率も考慮に含めた。

災害の危険性の観点から、南海トラフを震源とする地震で被害を受けると想定される静岡県浜松市中区・南区・天竜区の 3 区を推計対象とした。

3. 結果

3.1 都道府県別蓄積量

図 SI-2 より都道府県別蓄積量を見ると、東京都が 13.3 億 t と他道府県と比較して非常に多くの物質が蓄積しているという結果になった。また、太平洋ベルト地帯の都府県に多くの物質が蓄積されている推計結果となった。次に、財部門の都道府県別蓄積量内訳を図 1 に示した。全都道府県で建築部門が 90%以上を占める結果となった。建築のうち、第一次産業は北海道や九州地方で割合が高く、第二次産業は北関東や中部地方で割合が高かった。第三次産業では、東京都が唯一 50%以上を占め、他にも大都市を含む道府県で割合が高く、住宅建築では東京・大阪近郊の県や四国・沖縄など地方部の県で割合が高かった。

3.2 災害廃棄物発生量

災害廃棄物発生量は、浜松市中区で 632 万 t、南区で 232 万 t、天竜区で 7.4 万 t という結果になった。図 2 に、浜松市 3 区の災害廃棄物発生量蓄積先・部材部門割合を示した。中区では、蓄積先部門:第三次産業、財部門:コンクリート系の廃棄物割合が高く、南区では蓄積先部門:第二次産業、財部門:金属の割合が他の 2 区と比較して高かった。天竜区では、蓄積先部門:第一次産業及び家計・住宅、財部門:バイオマス系の割合が他の 2 区と比較して高い結果となった。

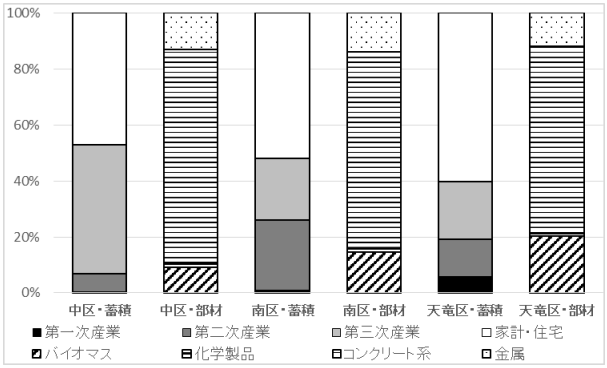


図 2　災害廃棄物発生量蓄積先・部材部門割合

4. 結論

本研究では、地域性を考慮した蓄積先部門・財部門・部材部門別の市区町村別蓄積量を推計した。その上で、静岡県浜松市を対象に災害の想定資料から災害時に排出される可能性のある災害廃棄物発生量を推計した。今後は、他の地域での災害廃棄物発生量推計、土木構造物を含めた蓄積量の地域配分および災害廃棄物発生量推計、この推計結果を活用した災害廃棄物処理方法や処理計画に関する提案を課題として検討したい。

謝辞

本研究は、静岡県危機管理部よりデータ提供を受けた。

参考文献

1) 鶴房佑樹, 森口祐一, 中谷隼: 土木学会論文集 G（環境）, 70(6), (2014), pp. Ⅱ 20-32
2) FEMA, Debris Management guide, FEMA-325 (2007)
3) 中西翔太郎, 中谷隼, 森口祐一: 日本 LCA 学会研究発表会, 神戸, (2015) pp. 30-31
4) 経済産業省, “平成 21 年経済センサス” (2009)
5) 総務省, “平成 22 年国勢調査” (2010)
6) 総務省, “平成 20 年住宅・土地統計調査” (2008)
7) 経済産業省, “平成 22 年工業統計調査” (2010)
8) 静岡県, “静岡県第 4 次地震被害想定資料(関係資料)”

Supporting Information

表 SI-1　配分に利用した市区町村割合の一覧

[蓄積先部門]	**[財部門]**	**利用した市区町村割合**
農林水産業		農林水産業従業員数割合
鉱業、建設業、水道・廃棄物処理業、電力・ガス・熱供給業	[財：大型機械類(*1)]	中心区(*2)を除く各産業従業員数割合
	[財：大型機械類]以外	各産業従業員数割合
14 の製造業	[財：大型機械類(*1)]	工場の各産業従業員数割合
	[財：大型機械類]以外	各産業従業員数割合
不動産業以外の 12 の第三次産業		各産業従業員数割合
不動産業	[財：住宅建築(木造)]	木造住宅(借家)総床面積割合
	[財：住宅建築(非木造)]	非木造住宅(借家)総床面積割合
	[財：住宅建築]以外	不動産業従業員数割合
住宅	[財：住宅建築(木造)]	木造住宅(持家)総床面積割合
	[財：住宅建築(非木造)]	非木造住宅(持家)総床面積割合
家計消費		人口割合

*1：[財：大型機械類]：建設・鉱山機械、化学機械、産業用ロボット、金属工作機械、金属加工機械、農業用機械、繊維機械、食品機械・同装置、その他の特殊産業用機械、金型　10 分類

*2：中心区　：（昼間人口－人口）＞100000 人かつ（昼間人口/人口）＞1.5 の区

札幌市中央区、東京都千代田区、東京都中央区、東京都港区、東京都新宿区、東京都文京区、東京都台東区、東京都渋谷区、名古屋市中区、大阪市北区、大阪市中央区、神戸市中央区、福岡市博多区、福岡市中央区　14 区

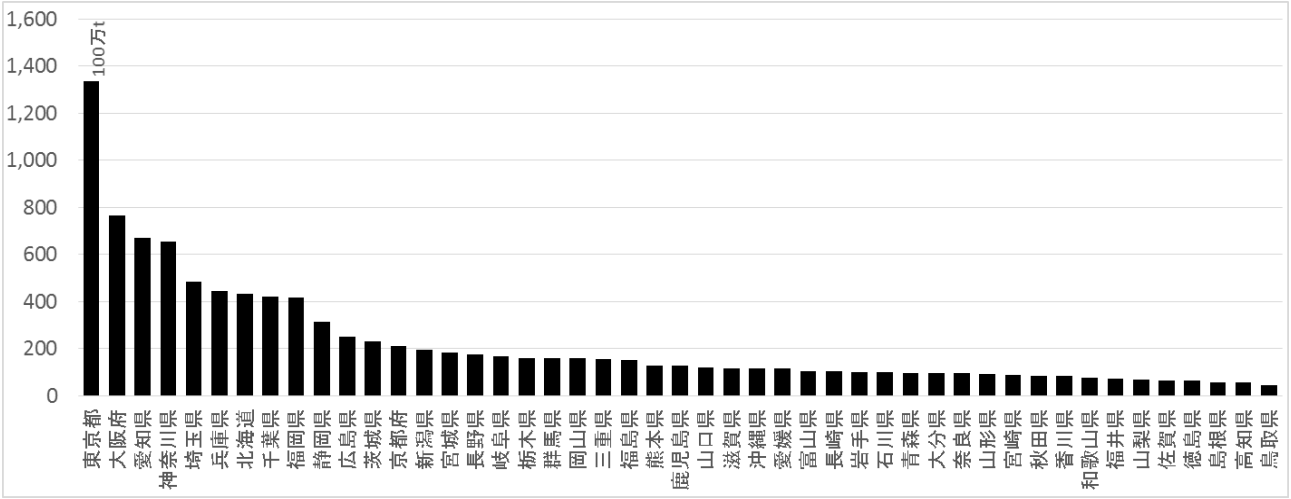


図 SI-2　都道府県別蓄積量

産業廃棄物処理施設を活用した災害廃棄物処理に関する研究

Study on Processing of Disaster Waste Utilizing Industrial Waste Treatment Plants

○佐伯孝*[1)]、今井晃一 [1)]
Takashi Saeki, Kouichi Imai
1) 富山県立大学
* tsaeki@pu-toyama.ac.jp

1. はじめに

地震や土砂災害など災害時には大量の災害廃棄物が発生する。東日本大震災では約 2 千万トン、広島市で豪雨に伴い発生した土砂災害では約 77 万トンの災害廃棄物が発生した。災害廃棄物は、発災直後においては、人命救助の妨げになり、その後、被災地域の復興の妨げになるため、迅速な撤去、処分が必要となる。大量の災害廃棄物を迅速に処理・処分するためには、発生量を予測し、仮置場に必要な面積を算出し仮置場を確保する必要がある。災害廃棄物は、法律上では一般廃棄物に分類されるため、被災自治体が処理する責任を有する必要がある。南海トラフ巨大地震のような大規模災害が発生した際には、自治体が有する焼却炉や不燃物の破砕施設等の処理施設も被災し稼動が困難な期間が発生する。現在、南海トラフ巨大地震や首都直下巨大地震の被害想定地域を中心に災害廃棄物処理計画の策定が進んでいる。その中で「災害廃棄物は一般廃棄物であることから、市町に処理責任がある。しかしながら、被災の状況によって市町単独での処理が困難な場合、県は、情報提供や連絡調整に加え、地方自治法に基づく事務委託を受けて災害廃棄物を処理する場合がある。」[1)]としている。和歌山県では、「大規模災害時には、市町村が災害廃棄物処理を行うことは困難であると想定されるため、県が市町村に代わって主導的な役割を担い、産業廃棄物と性状が類似する廃棄物については産業廃棄物処理業者の協力を得て処理を行う。」[2)]として、積極的に産業廃棄物処理業者の協力を念頭においており、三重県ではそこまでの記載は無いものの、計画の中の資料 [3)]として産業廃棄物処理業者の立地状況等の把握を行っている。全国に立地する産業廃棄物処理業者の処理能力や処理余力を網羅的に把握した報告等が無いことから、災害廃棄物処理にどの程度の能力を期待できるかが把握できない状況である。

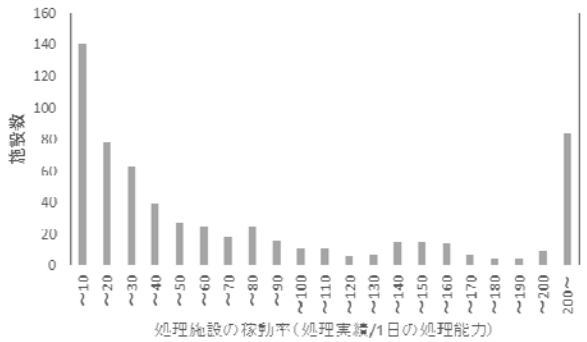


図 1　施設の稼動状況（全施設）

2. 目的

本研究では、全国の産業廃棄物処理事業者が有する処理技術、処理能力、処理余力等を調査し整理することで、大規模災害が発生した際の災害廃棄物の広域処理における産業廃棄物処理施設の活用について検討することを目的とする。

3. 研究方法

全国の産業廃棄物、特別管理産業廃棄物の中間処理業者、最終処分業者を対象にアンケート調査により、以下の項目について情報を提供いただいた。

・処理施設の許可能力
・年間の処理実績
・施設の耐震化状況
・処理量の震災の影響　など

これらの情報を基に、全国の処理業者の処理能力の把握や処理余力の把握、巨大地震発生時における災害廃棄物の処理可能量の推計等を行った。

4. 結果

全国の処理事業者 5000 社を対象にアンケートを郵送方式で発送し、約 1000 社（2016 年 1 月 7 日時点）からの回答が得られた。

各施設の稼働状況を把握するために、1 年間の処理実績量を施設で許可されている 1 日当たりの処理能力で除し、処理施設の稼働率を求めたものを図 1 に示す。稼働率が非常に高い施設がある一方で、稼働率が非常に低い施設があることがわかり、稼働率 30 以下の施設が多くを占めていることがわかる。稼働率が低い施設では、施設は有しているが処理実績がない施設や 1 日の許可処理能力と同程度の年間処理実績である施設が存在していた。いくつかの処理事業者にヒヤリング調

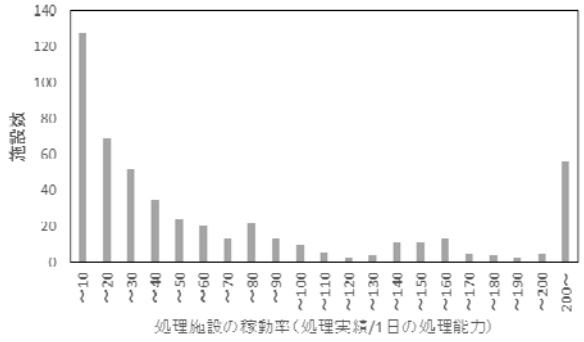


図 2　施設の稼動状況（破砕施設）

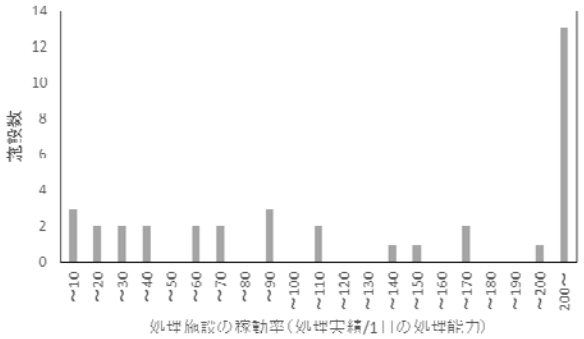


図 3　施設の稼動状況（焼却施設）

査を行ったところ、処理した後の製品を置く場所がない、購入先が決まったら処理を行うため昨年度は実績なしといった回答が得られた。次に、図 2 に破砕施設の稼動状況、図 3 に焼却施設の稼働状況を示す。破砕施設の稼動率はあまり高くなく、焼却施設は稼働率が高い施設が多い傾向が見られることがわかる。破砕施設の稼動率が低い原因は先に述べたように処理能力が大きいため、処理後の製品の置場の確保や販売先の確保が必要であることが考えられる。

次に、耐震化状況について回答のあった 232 施設について図 4 に示す。25%が耐震基準を満たすと回答しており、屋外設置を含めると約半数の施設が地震発生後も使用可能であることがわかる。残りの半数は耐震基準を満たさないや不明と回答していることから地震発生後に復旧作業が必要であることが予想される。

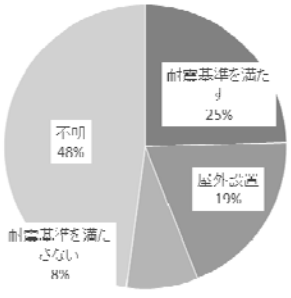


図 4　施設の耐震化状況

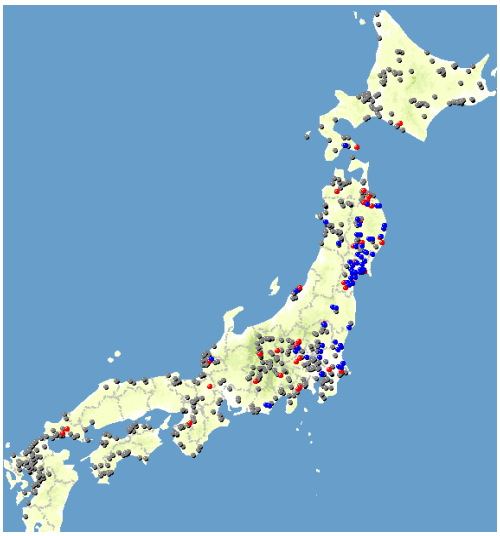


図 5　処理量の震災前後での影響

次に、全国の処理施設の廃棄物処理量が東日本大震災前後でどのように変化したかを地図上にプロットしたものを図 5 に示す。赤色が減少、青色が増加、灰色が変化なしを示している。震災前後で処理量に変化がない施設が多く、災害廃棄物を処理したと考えられる東北､関東地域の施設では増加していることがわかる。以上のことから、震災後も被災地以外では通常通りの産業廃棄物が発生し、処理されていたことがわかる。

5. まとめ

全国の産業廃棄物処理業者を対象にアンケート調査によって処理能力や処理実績、耐震化状況等の調査を行った。その結果、処理施設の稼動率が高い施設がある一方で、破砕施設等では稼働率が低い施設が多く存在していることが明らかとなった。稼働率が低い施設を有効に利用することで災害廃棄物の迅速な処理が可能となる可能性が示唆された。

参考文献

1) 静岡県災害廃棄物処理計画（https://www.pref.shizuoka.jp/kankyou/ka-040/saigaihaikibutsusyorikeikaku.html）
2) 和歌山県災害廃棄物処理計画（http://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/031800/saigaikeikaku/saigaikeikaku.html）
3) 三重県災害廃棄物処理計画（http://www.pref.mie.lg.jp/TOPICS/2015030524.htm）

謝辞

本研究の実施にあたって、ご協力いただいた産業廃棄物中間処理、最終処分業者の方々にこの場を借りてお礼を申し上げたい。なお、本研究は、環境省の環境研究総合推進費 3K143015「震災に伴う人工資本・自然資本ストックの損失と対策の評価」の一部として実施した。

処理施設の被災を想定した南海トラフ大地震の災害廃棄物処理計画

Disaster waste management plan for Nankai Trough Earthquake considering damage to waste treatment facilities

○水谷一平*[1)]、加用千裕[2)]、立尾浩一[3)]、橋本征二[1)]
Ippei Mizutani, Chihiro Kayo, Koichi Tachio, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学、2) 東京農工大学、3) 日本環境衛生センター
*rv0032xx@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

東日本大震災は、主に東北地方に甚大な被害をもたらし、その災害廃棄物の処理に 3 年という時間を要した。しかし、近々発生するとされる南海トラフ大地震においては、最大で東日本大震災の約 11 倍に相当する量の災害廃棄物が発生すると推計されている[1)]。災害廃棄物の堆積の長期化は火災や悪臭、粉じんなどの被害を及ぼす可能性があるため、迅速な処理が求められる。

南海トラフ大地震で発生する災害廃棄物の処理ついては、環境省[1)]が全国規模で処理を行った場合の処理年数を明らかにしている。災害廃棄物の広域処理については、加用ら[2)]が東日本大震災において発生した災害廃棄物を対象に、広域処理に要する費用と処理期間の増減を検討しており、これを踏まえ、梁田ら[3)]が南海トラフ大地震を対象に、広域処理に向いている木くず、混合ごみ、可燃ごみの処理計画を検討している。また、平山ら[4)]は、東海地震における災害廃棄物処理の広域連携方策に関する検討を行っている。しかしながら、梁田ら[3)]の研究では、処理施設が被災して処理能力を失う場合や、震災廃棄物の大半を占めるコンクリートがらの処理などについては検討されていない。

このようなことから、本研究では、①処理施設が被災する可能性を考慮した場合に、梁田ら[3)]が推計した処理年数にどれだけの影響が出るのか、②重量が重く広域処理に向かないコンクリートがらの処理にどれだけの年数が必要かを検討した。

2. 方法

2.1 処理施設の被災を考慮した場合の処理年数

木くず、混合ごみ、可燃ごみの処理年数について、広域処理に関わる 3 つのシナリオ（A：県内処理、B：ブロック内広域処理、C：全国広域処理）のもとで推計を行った。手順は以下の通りである。

(1) 全国の一般廃棄物焼却施設を GIS 上にデータベース化し、これに南海トラフ大地震の最大の震度予想図[5)]を重ね合わせた。焼却施設のデータは平成 25 年度のものである。なお、産業廃棄物焼却施設のほか、破砕施設、再資源化施設、燃料化施設の GIS 上でのデータベース化は今後の課題とする。

表 1　被災地域における一般廃棄物焼却施設への影響[6)]

想定震度	被災率	停止期間
震度 5 強以下	-	-
震度 6 弱	35%	最大で 1 ヶ月
震度 6 強以上	63%	最大で 4 ヶ月

(2) 想定震度 6 以上の地域に位置する一般廃棄物焼却施設については、表 1 に示す被災率、停止期間になるものとして、焼却施設の処理能力の低下を推計した。また、産業廃棄物焼却施設の被災率、停止期間は、想定震度 6 弱以上の被災地域を含む都道府県内の全ての施設において、1 年間、処理可能量が 50%低下するものとして処理能力を推計した。なお、破砕施設、再資源化施設、燃料化施設の被災については今後の課題とする。

(3) この結果をもとに、梁田ら[3)]の推計方法に基づいて、処理施設が被災すると処理年数にどれだけの影響がでるのかを推計した。

2.2 コンクリートがらの処理年数

コンクリートがらは広域処理に向かないため、県内で処理するものとし、既存の破砕処理施設を最大限に利用するシナリオおよび仮設の破砕処理施設を建設するシナリオのもとで推計を行った。手順は以下の通りである。なお、破砕したコンクリートがらは、復旧・復興に再利用するものとした。

(1) 県ごとのコンクリートがらの発生量を、県内の破砕処理能力で除し、処理年数を算出した。

(2) 処理に多大な時間がかかる場合は、仮設の破砕処理施設を導入するものとし、一定の時間内に処理を終えるために必要な破砕処理能力を検討した。

3. 結果と考察

3.1 処理施設の被災を考慮した場合の処理年数

一般廃棄物焼却施設を GIS 上にデータベース化し、南海トラフ大地震の最大の震度予測図を重ね合わせた結果を図 1 に示す。四国はほぼ全域が震度 6 以上であり、多くの焼却施設が被災することになると考えられる。停止期間 1 カ月の施設が全国で 181 施設、停止期間 4 カ月の

施設が 114 施設と推計されたが、これは全国の一般廃棄物焼却施設の約 25%にあたる。

こうした状況を踏まえ、四国と近畿におけるシナリオ A（県内処理）とシナリオ B（ブロック内広域処理）の処理年数を算出した結果を図 2、3 に示す。四国（図 2）においては、シナリオ A のもと、高知県で 37 年の処理年数を要する結果となったが、シナリオ B のもとでは、四国全体として 12 年まで大きく低減された。近畿（図 3）においても、シナリオ A のもと、和歌山県で 23 年の処理年数を要する結果となったが、シナリオ B のもとでは、近畿全体として 7 年まで低減できる可能性が示された。

焼却施設の被災を考慮すると、シナリオ A のもと、最大で宮崎県において 0.4 年処理年数が増加する結果となった。また、シナリオ B の四国内、近畿内広域処理において、処理年数が 0.2 年増加する結果となった。

焼却施設の被災を考慮すると、再資源化量も多くの都道府県で増加する結果となったが、これは、焼却施設が被災し処理できなくなった廃棄物を、その間、再資源化施設で処理することになるためである。例えば、シナリオ A の和歌山県における木くず処理の内訳は、図 4 に示すように、焼却量が 2000 トン減少するのに対し、再資源化量が 2000 トン増加する結果となっている。

3.2 コンクリートがらの処理年数

既存の破砕処理施設を使用した際の都道府県ごとの処理年数と、3 年で処理を終えるために必要な仮設破砕処理施設の導入量については、現在推計作業を行っており、その結果については学会当日に報告する。

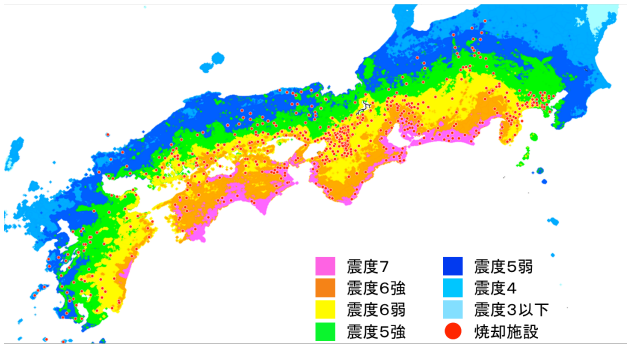


図１　処理施設と震度予測図の重ね合わせ図

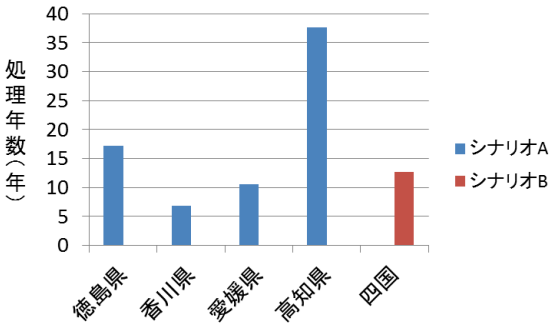


図２　四国におけるシナリオＡとＢの処理年数

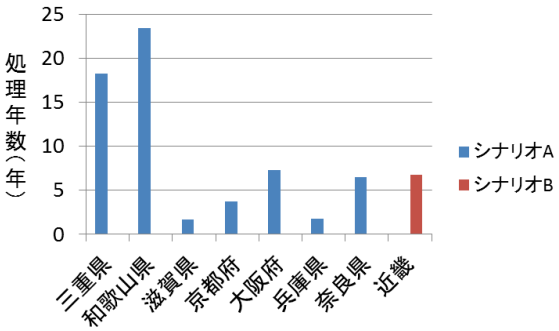


図３　近畿におけるシナリオＡとＢの処理年数

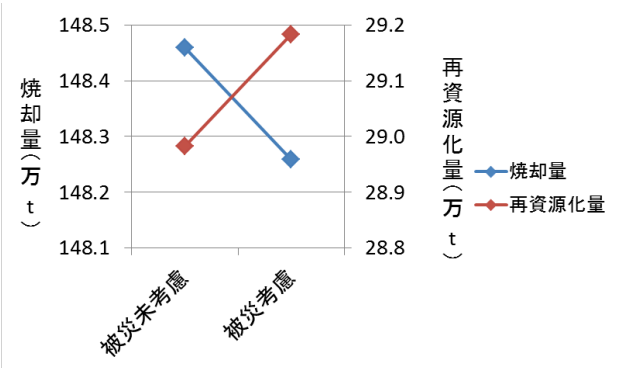


図４　シナリオＡの和歌山県における木くず処理の内訳

参考文献

1) 環境省：巨大災害発生時における災害廃棄物対策のグランドデザインについて～中間とりまとめ https://www.env.go.jp/recycle/waste/disaster/earthquake/conf01.html　2015 年 4 月アクセス

2) 加用千裕、石垣智基、山田正人、大迫政浩、立尾浩一：東日本大震災で発生した災害廃棄物の広域処理に関する一考察（第一報）ー費用と処理期間の低減効果ー、生活と環境、57(1)、36-42、2012

3) 梁田雄太、加用千裕、立尾浩一、山田正人、橋本征二：南海トラフ大地震を想定した災害廃棄物処理計画、第 10 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集、pp.24-25、2015

4) 平山修久、河田惠昭：想定東海地震における災害廃棄物処理の広域連携方策に関する研究、減災、2、134-140、2007

5) 中央防災会議：南海トラフ巨大地震による震度分布・津波高について（第一次報告）、http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough_info.html　2015 年 6 月アクセス

6) 環境省：災害廃棄物の要処理量の試算と処理施設における処理可能量との比較検討 https://www.env.go.jp/recycle/waste/disaster/earthquake/conf01.html　2015 年 6 月アクセス

津波による住宅の災害廃棄物発生量の把握と住宅移転による軽減効果
—南海トラフ巨大地震のケース—

Understanding of amount of disaster waste from housing by tsunami and reduction effect of the waste by housing relocation
-The case of great earthquakes along the Nankai trough-

前田真佐樹 [1)]、○大西暁生*[1)]
Masaki Maeda, Akio Onishi
1) 東京都市大学
* onishi@ tcu.ac.jp

1. はじめに

東日本大震災では、多くの災害廃棄物量が発生したため、被災地では、救助活動や復興の妨げになるなど、迅速な対応が困難であった。地震調査研究推進本部 [1)] によると、2015 年 1 月 1 日時点で、M8～9 クラスの地震が南海トラフで発生する確率は、30 年以内に 70%、50 年以内に 90%と予測されている。これを踏まえ、本研究では南海トラフ巨大地震によって住宅から発生する災害廃棄物量を 2010 年から 2050 年までを 5 年間隔で推計する。さらに、津波による災害廃棄物の発生量を軽減するため、撤退シナリオを作成し、これによる軽減効果を検討した。具体的には、人口、世帯、住宅の需要量及びライフサイクルの変化を考慮した推計モデルを構築し、将来の社会状況を 5 年ごとに表した。それぞれの社会状況下で、南海トラフ巨大地震が発生した場合、地震または、津波による災害廃棄物の発生量を把握する。また、津波の浸水域内に立地する住宅が、老朽化などで建て替えの時期を迎えたときに、比較的安全な地域に住宅を新たに建て替えるように設定する撤退シナリオを設け、対策の有無による効果を検討した。

なお、対象地域は、被害が大きいと予測されている静岡県西部地域（静岡市より西側の地域）とし、それぞれを 3 次メッシュごとに推計した。

2. 推計方法

2.1 人口・世帯数の推計方法

人口の推計は 2010 年を基準に、コーホート要因法を用いて、男女別・5 歳階級別に推計した。

世帯数の推計は、人口の推計によって算出された男女別・5 歳階級別の人口に、世帯主率を乗じて算出した。

2.2 住宅の需要量・ライフサイクルの推計方法

本研究では、住宅を建て方別・構造別・築年数別に推計した。

住宅の需要量は、世帯数の総数に、世帯当たりの住宅の延床面積を乗じて算出した。

住宅のライフサイクルの推計では、住宅の建設（投入）、使用（残存）、解体（廃棄）の一連のフローを推計した。

2.3 地震による災害廃棄物発生量の推計方法

地震による災害廃棄物発生量の推計方法及び、結果については SI に記す。

2.4 津波による災害廃棄物発生量の推計方法

津波の浸水深は、内閣府 [2)] の公表浸水深のデータを用いた。津波の被害率は、国土交通省 [3)] の治水経済調査マニュアルの被害率を用いた。

津波による災害廃棄物発生量の推計は、地震によって被害を受けた住宅が、津波によって再び被害を受けないようにするため、次のように推計した。まず、各年の住宅の残存量及び投入量から、地震の被害延床面積（SI を参照）を差し引いた値に、被害率と浸水率を乗じ、津波の被害延床面積を算出した。そして、長岡ら（2008）の建築物原単位を乗じ、津波による災害廃棄物発生量を算出した。

3. シナリオ別の推計結果

3.1 BAU シナリオ

BAU（business as usual）シナリオは、2010 年時点の社会状態を維持したものであり、本研究では対策を実施しなかった場合のシナリオとして位置付けている。

3.1.1 人口の推計結果

2010 年から 2050 年までの人口の推計結果を図 1 に示す。2010 年から徐々に減少傾向にあり、2050 年までに、約 65.7 万人（29%）減少する。

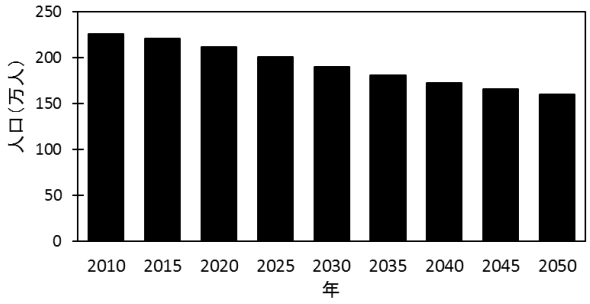


図 1　2010 年から 2050 年までの
人口の推計結果

3.1.2 津波による災害廃棄物発生量の推計結果

BAU シナリオの 2010 年から 2050 年までの津波による災害廃棄物発生量の推計結果を図 2 に示す。津波による発生量は、2050 年にかけて地震と比較して大きな変化がなく、対策を実施しない限り軽減することは難しい。津波の被害は当然、浸水域で発生するため、こうした地域に住宅を構え、生活することは危険である。

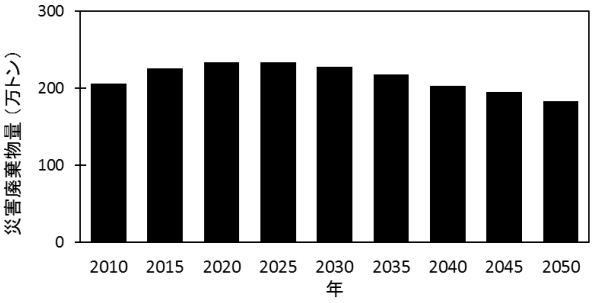


図 2　2010 年から 2050 年までの津波による災害廃棄物発生量の推計結果（BAU シナリオ）

3.2 撤退シナリオ

3.1.2 で述べたように、津波による被害を軽減するためには、浸水域内に住宅を立地しないことが望ましい。本研究では、その対策として住宅移転を実施する撤退シナリオを設定した。このシナリオは、浸水域内に立地し、かつ建て替え時期を迎えた住宅を、比較的安全な地域に移転するシナリオである。本研究では、25%・50%・75%・100%の撤退率を設け、建て替え時期を迎えた住宅のうち、この割合の住宅が移転するように設定し、撤退率の変化による災害廃棄物発生量の変化を把握できるようにした。

撤退先となる地域は、次の①～③の条件のうち、海岸線から最も遠い順に撤退するように設定した。

① 浸水域外であること
② 震度 6 強以下であること
③ 住宅を建てられる用途地域であること

3.2.1 津波による災害廃棄物発生量の推計結果

BAU シナリオと撤退シナリオの 2010 年から 2050 年までの津波による災害廃棄物発生量のシナリオ別推計結果を図 3 に示す。BAU シナリオと比べ、最も災害廃棄物の発生量を軽減できる撤退率 100%シナリオでは、2050 年時点で、約 158.6 万トン（87%）軽減できる。

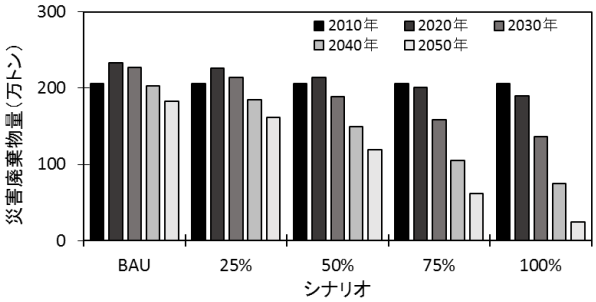


図 3　2010 年から 2050 年までの津波による災害廃棄物発生量のシナリオ別推計結果

4. おわりに

本研究では、対策の有無を考慮した 2 つのシナリオを用いて推計したことで、将来の社会状況下での災害廃棄物の発生量を把握し、対策による軽減効果を検討した。最も効果のある撤退率 100%シナリオでは、災害廃棄物の発生量を最大で 87%軽減することができるが、残りの 13%は、2050 年時点で建て替えの時期を迎えておらず、こうした住宅には、出来るだけ速やかに移転を促す対策を検討していくことが必要である。

5. 引用文献

1) 地震調査研究推進本部：”地震に関する評価”，入手先 <http://www.jishin.go.jp/evaluation/long_term_evaluation/lte_summary/>，（参照 2016-1-8）
2) 長岡耕平，谷川寛樹，橋本征二：第 36 回環境システム研究論文発表会，(2008), pp. 303-308
3) 内閣府 : 南海トラフ巨大地震モデル検討会，ケース① 堤防破堤，CD-ROM
4) 国土交通省：”治水経済調査マニュアル”，（2008）

Supporting Information

地震による災害廃棄物発生量の推計方法・結果

地震の震度データは、内閣府[5]が検討した震度データの最大クラスを使用した。地震の被害率は、内閣府[6]の中央防災会議で使用している全壊率及び全半壊率を使用した。

地震による災害廃棄物発生量は、住宅の残存量及び投入量の合計に地震の被害率を乗じ、地震の被害延床面積を算出したのち、長岡ら[4]の建築物原単位を乗じた。

2010 年から 2050 年までの地震による災害廃棄物量発生量の推計結果を図 SI1 に示す。地震による災害廃棄物の発生量は 2010 年が最も多く、1,856.3 万トンとなった。2050 年にかけて徐々に減少していき、最終的には、695.3 万トンとなった。将来にかけて比較的耐震性のある住宅に更新されるため、具体的な対策を実施しなくても、被害は軽減できる。しかし、近い将来に地震が発生した場合に備えて、比較的短期間で実施できる対策を検討する必要がある。

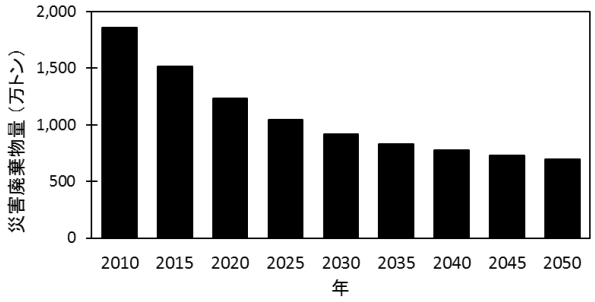


図 SI1　2010 年から 2050 年までの
地震による災害廃棄物発生量の推計結果

津波による災害廃棄物発生量のシナリオ別の空間分布

静岡県西部地域における 2010 年と 2050 年の津波によるシナリオ別災害廃棄物発生量の空間分布を図 SI2 に示す。BAU シナリオでは、西から、浜松市、焼津市、静岡市の都市部などで多くの災害廃棄物が発生する。減少している地域が多いものの、都市部等では、人口が増加している地域もみられ、2010 年よりも災害廃棄物が多く発生する地域がある。なお、撤退率 100%シナリオでは、全ての地域で災害廃棄物の発生量が軽減される。しかし、災害廃棄物の発生量が比較的多い地域では、対策を優先的に進めていく必要がある。

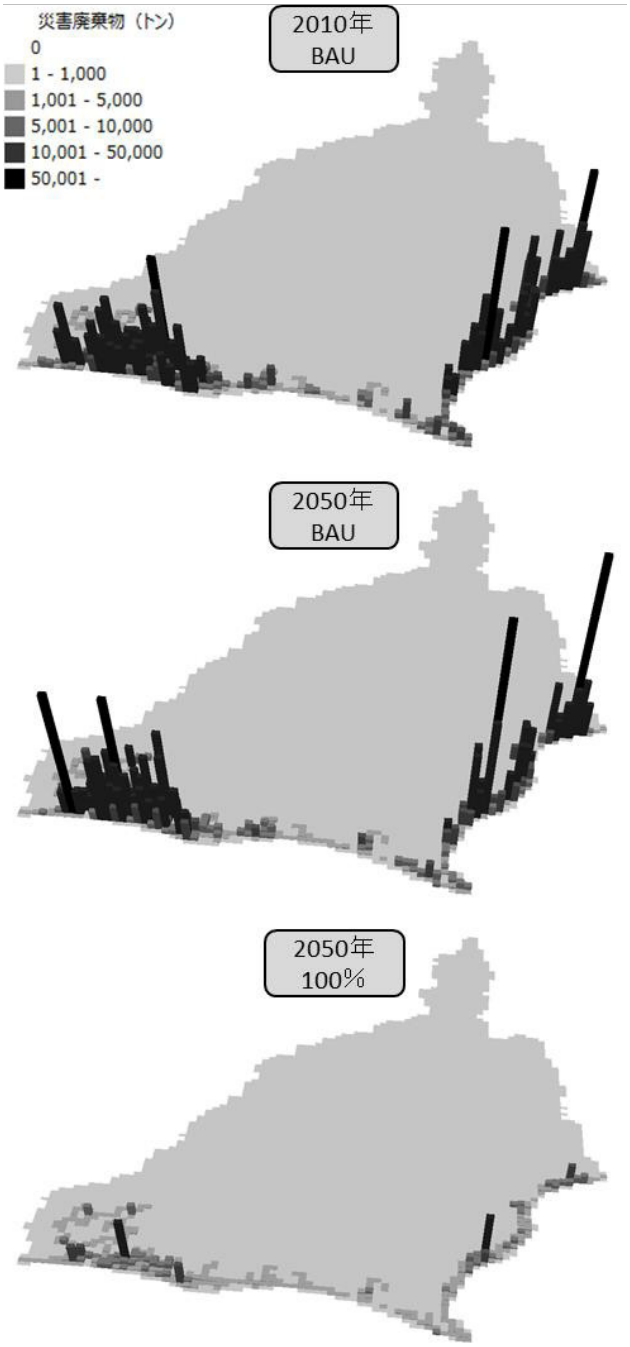


図 SI2　2010 年と 2050 年の津波による
シナリオ別災害廃棄物発生量の空間分布

引用文献

5) 内閣府 : 南海トラフ巨大地震モデル検討会, 地震動について, CD-ROM
6) 内閣府 : 南海トラフ巨大地震の被害想定項目及び手法の概要, 入手先 <http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/pdf/20130318_shiryo4.pdf >,(参照 2016-1-9)

一般廃棄物処理の広域化計画に伴う災害廃棄物処理の費用便益分析

Cost-benefit Analysis of disaster waste management
Under regional general waste management in normal period

○丹治三則*[1)]
Kazunori Tanji
1) 慶應義塾大学環境情報学部
* ktanji@sfc.keio.ac.jp

1. 緒言

神奈川県では、今後 30 年のうちに巨大地震が 70%以上の確率で発生すると発表されており、各種の災害対策が求められる。過去の大震災同様、膨大な災害廃棄物の発生と処理が懸念され、事前の計画策定が必要とされている。本研究では、阪神淡路大震災と東日本大震災を主とした先行研究をもとに、首都直下型地震、断層型地震、海溝型地震が想定されている神奈川県を対象として、事前の災害廃棄物処理計画を策定するために、①11 の地震ケース(都心南部直下地震, 三浦半島断層群地震, 慶長型, 明応型, 大正型関東地震, 神奈川県西部地震, 西相模地震, 元禄型関東地震, 元禄連動型地震, 相模西側, 相模中央)を考慮して廃棄物発生量を推計し、②神奈川県の焼却施設の処理能力から震災発生時の地域別の処理可能量を明らかにし、③処理期間を短縮するために、県内での処理ブロック間を連携させた広域処理に関するマッチングを行った。

2. 方法

2.1 廃棄物処理工程の特定と対象とする廃棄物

まず、東日本大震災および阪神・淡路大震災の災害廃棄物処理記録から、廃棄物の処理フローをレビューし、仮置場、一次集積所、二次集積所、中間処理、最終処分の工程にそって、対象地域内の処理フローを明らかにした。

次に、災害廃棄物は建物倒壊によるがれきや金属類、粗大ごみや家電製品といった不燃物、また、アスベストといった有害物質も含まれてり、単に膨大な廃棄物の処理だけでなく、多種で且つ、複雑な廃棄物をどう分別し、合理的に処理するかが重要である。そこで、本研究では、発生量の観点から主要である、可燃物、不燃物、コンクリートがら、金属、柱角材の 5 種類を推計の対象とした。

2.2 廃棄物の発生量の推計方法

対象とする神奈川県沿岸地域では、地震と津波による両方の災害廃棄物の発生が予測され、両方を考慮して推計を行った。地震による廃棄物の発生量は、過去の災害での知見をレビューして算出した災害廃棄物原単位を用いた 1 棟当たりの原単位を用いて算出した[1)]。

$$Q_1 = S_1 \times N_1 + S_2 \times N_2$$

ここで、Q_1：地震による廃棄物発生量，S_1：全壊棟における 1 棟あたりの発生原単位（t /棟），N_1：全壊棟数（棟），S2 ：半壊 1 棟たりの発生量（原単位）（t /棟），N_2: 半壊棟数である。

津波による廃棄物の発生量の推計においては、山中ら[2)]の先行研究に基づき、津波の発生量、津波堆積物を考慮し以下の用法で推計した。

$$Q_2 = T_1 \times M_1 + T_2 \times M_2$$

ここで、Q_2：津波による廃棄物発生量，T_1：津波による全壊棟における 1 棟あたりの発生原単位（t /棟），M_1：津波による全壊棟数（棟），T_2 ：津波による半壊 1 棟たりの発生量（原単位）（t /棟），M_2: 津波による半壊棟数（棟）である。全壊、半壊の棟数は対象地域において建物別に津波高さを集計し、個々の建物の全壊可能性、半壊可能性を分析した。津波堆積物については、東日本大震災の記録から作成された原単位と浸水面積から算出した。ただし、津波被害が想定されている地域において、地図上でオーバーレイ処理をすることで、地震による廃棄物との重複を考慮している。

2.3 廃棄物の処理能力の評価

本研究では全体の廃棄物のうち一般廃棄物の処理施設を対象とし、その処理能力は年間 365 日から定期点検期間と中間点検期間を除いた日数に、1 日当たりの処理能力を掛け合わせた年間処理能力から、日常生活で排出される可燃物の年間処理量を差し引いて算出した。また、平常時に一般廃棄物の処理が運営されている広域ブロック別(県内の複数の市区町村を統合)に処理能力を推計した。

3. 結果

地震による廃棄物発生量の推計結果は、津波のみ想定の地震を除いた 6 つの想定地震で算出した。結果として、相模西側地震、相模中央地震ケースにおいて、最大で約 9000 万 t 以上の発生量が出ると推定された。「大正型関東地震」は、発生量は 7000 万 t を超えるとされている。首都圏に位置する神奈川県の地域特性を考え、いかに住宅やビル等建物の倒壊数を減らせるかが重要である。発生量の多い順に「相模西側」、「相模中央」、「元禄型関東地震」、「大正型関東地震」、「都心南部直下地震」となった。津波による廃棄物発生量および津波堆積物は震災ケースによって大きく異なり、最も発生量が多い、「相模西側地震」、「相模中央地震」、「元禄連動型地震」、「元禄型関東地震」、「慶長型地震」、「明応型地震」となった。

次に、災害廃棄物を処理するため、各ブロックが持つ焼却施設の処理能力と可燃物発生量を比較して、災害時の処理能力とその余剰を推計した。結果として、厚木愛甲と相模原津久井の 2 ブロックにおいては、すべての震災ケースにおいて処理余剰能力があり、各ブロック内で発生量の処理であれば一年以内に処理可能であることが証明された。また、大和高座ブロックでも、最大クラスの相模トラフ沿い地震以外では、余剰があり処理能力の高いブロックが明らかになった。しかし、横須賀三浦ブロックにおいては、11 の震災ケースの内、7 ケースが処理不可能であり、処理能力の低さが浮き彫りになった。また、他のブロックにおいても、横浜や湘南東、湘南西では、ある一定の処理能力はあっても、巨大震災に当たる相模トラフ沿いの最大クラスの地震や元禄型関東地震、大正型関東地震においては、処理能力が大きく不足していることが明らかになった。

4. 考察

処理能力の余剰に関して、内陸に位置する厚木愛甲と相模原津久井の 2 ブロックにおいては、すべての震災ケースにおいて処理余剰あり、そして大和高座も相模トラフ沿いの最大クラス地震を除き他の地震に対しては余剰があることから焼却処理施設の有効的活用ができると考えられる。土地特性から処理能力が不足してしまう横浜ブロックや津波被害の大きい横浜三浦ブロックの処理能力を補う地域として事前に計画することが有効だと考える。現在神奈川県では小規模施設の集約化を図る計画が実施されており、常時の日常生活で排出されるごみの減量化・資源化が資源循環型社会に向けて取り組みが進められている。災害時の一定の処理能力強化のため容量増強が不可欠である。

5. 引用文献

1) 環境省,『災害廃棄物等の発生量の推計』,巨大地震発生時における災害廃棄物対策検討委員会,参考資料 5,技 1-11-1,2014
2) 山中 稔,豊田 尚也,野々村 敦子,長谷川 修一,『東日本大震災の公表データにより求めた津波災害廃棄物発生量推定手法の四国地域への適用』,自然災害科学,J.JSNDS 33,特別号,P185-196,2014

表 1　神奈川県の一般廃棄物焼却施設における震災瓦礫の処理能力評価結果

単位1000t

	川崎		横浜		横須賀三浦		湘南東		湘南西	
	(a−b)	time(yr)	(a−b)	time(yr)	(a−b)	time(yr)	(a−b)	time(yr)	(a−b)	time(yr)
都心南部直下地震	73	0.9	−49	1.1	94	0.4	287	0.1	330	0.1
三浦半島群	532	0.0	137	0.6	−12	1.1	292	0.0	359	0.0
慶長	99	0.8	−183	1.5	−708	5.7	70	0.8	320	0.1
明応	309	0.4	135	0.6	−437	3.9	166	0.5	361	0.0
大正関東	−151	1.3	−3662	12.0	−1354	10.0	−1147	4.7	−1197	4.3
県西部	538	0.0	320	0.0	100	0.3	288	0.1	341	0.1
西相模	538	0.0	322	0.0	147	0.0	306	0.0	364	0.0
元禄	−903	2.7	−4664	15.0	−2105	15.1	−1361	5.4	−1249	4.4
元禄連動	−316	1.6	−812	3.4	−974	7.5	−32	1.1	237	0.3
相模西側	−1299	3.4	−6439	20.3	−2776	19.5	−1910	7.2	−1774	5.9
相模中央	−1564	3.9	−6715	21.1	−2732	19.2	−1803	6.9	−1681	5.6
	大和高座		厚木愛甲		相模原津久井		県西		全県	
	(a−b)	time(yr)	(a−b)	time(yr)	(a−b)	time(yr)	(a−b)	time(yr)	(a−b)	time(yr)
都心南部直下地震	446	0.1	526	0.1	569	0.2	43	0.3	2318	0.3
三浦半島群	481	0.0	560	0.0	670	0.0	58	0.0	3076	0.1
慶長	493	0.0	564	0.0	674	0.0	48	0.2	1378	0.6
明応	493	0.0	564	0.0	674	0.0	56	0.0	2321	0.3
大正関東	−367	1.7	212	0.6	516	0.2	−1077	19.7	−8227	3.4
県西部	493	0.0	564	0.0	674	0.0	−75	2.3	3243	0.1
西相模	493	0.0	564	0.0	674	0.0	57	0.0	3465	0.0
元禄	−367	1.7	212	0.6	516	0.2	−1083	19.8	−11003	4.2
元禄連動	493	0.0	564	0.0	674	0.0	27	0.5	−139	1.0
相模西側	−795	2.6	560	0.0	317	0.5	−74	2.3	−14191	5.1
相模中央	493	0.0	564	0.0	317	0.5	24	0.6	−13097	4.8

※a：余剰能力（t/年）b：可燃物発生量（t/年）Time：処理に必要な期間としている。

災害廃棄物（可燃物等）処理のコスト解析：
近畿圏における広域連携を対象として

Cost analysis of disaster waste disposal through regional collaboration in Kinki area

○中久保豊彦*[1)]、伊川純慶[2)]、東海明宏[2)]
Toyohiko Nakakubo, Junkei Ikawa, Akihito Tokai
1) お茶の水女子大学, 2) 大阪大学
* nakakubo.toyohiko@ocha.ac.jp

1. はじめに

災害廃棄物の焼却（減容・減量化）に係る所要期間の縮減や費用の低減に向け、ごみ焼却施設間の広域連携、産業廃棄物処理事業体との処理連携が着目されている。本研究では近畿圏（三重県、滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県）を対象とし、①ごみ焼却施設が将来保有する処理能力を踏まえた圏域レベルでの広域連携効果、②災害に備えごみ焼却炉の処理能力に10%の余剰能力を持たせる設計指針改定の効果、を分析対象とした。対策効果は事業コストに基づき費用対効果の観点から評価した。

なお、本稿の詳細は伊川ら[1)]を参照されたい。

2. 解析方法

2.1 諸条件ならびに対象とする地震災害

ごみ焼却施設の更新について、2012 から 2030 年にかけてごみ処理計画人口が2,276万人から2,070万人に減少する条件下で更新させ、2030 年のごみ処理能力を評価対象年次とした。合わせて、地震の発生年も 2030 年と設定した。なお、本研究では災害廃棄物のうち可燃系廃棄物である可燃物等、木くずを対象とした。

想定する地震については、内閣府の「地震被害想定支援ツール Version 1.2」を用い、災害廃棄物の発生規模に影響を及ぼす指標“災害廃棄物発生量に起因する建物全半壊棟数”、ごみ処理能力に影響を及ぼす指標“災害廃棄物処理機能に影響する震度 5.5 以上の地震を受けるごみ焼却施設の処理能力”によりスクリーニングを行った。結果、頓宮（M7.3）、阪神地域直下（M6.9）、琵琶湖西岸（M7.8）、生駒（M7.5）、上町（M7.6）の 5 つの直下型地震を想定地震として選定した。

2.2 対策ケースの設定

2012 から 2030 年にかけて更新されるごみ焼却施設の処理能力の算定式を**式(1)**に示す。

（新設処理能力）＝（計画ごみ受入量）×（365/280）
×（1/0.96＋災害時予備容量） (1)

「循環型社会形成推進交付金の申請に係る設計指針」に従い、人口減少を踏まえて計画年次の計画ごみ受入量を最大値とし、年間実稼働日数 280 日、稼働日調整分稼働率 96%で処理能力が設計される。ここで、本研究では設計指針に冗長性の項を追加し、災害時予備容量 ER を追加した。ER は 0%、10%の 2 ケースを設けた。ただし、10%の余剰能力を持たせる炉は全連続式焼却炉を対象とした。

次に、災害時における広域連携ケースを**表 1** に示す。連携なしでは県内での処理が行われるとし、連携を行うケースでは近畿圏全域で災害廃棄物の処理が行われるとした。連携ケースは、各事業体の受入率を踏まえて 4 つ設けた。連携ケース 1 と 2 がごみ焼却施設間で

表1　災害時における広域連携ケースの設定

	計画変数	受入水準	値	連携ケース				
				連携なし	連携 1	連携 2	連携 3	連携 4
ごみ焼却施設間の広域連携	協力地域の余剰処理能力に対する受入率[a]	実績[c]	40%		○			
		強靭化[d]	80%			○	○	○
産業廃棄物処理事業体との処理連携	協力地域の処理能力に対する受入率[b]	実績[e]	10%				○	
		強靭化[d]	30%					○

[a] 実稼働日数補正を除くごみ焼却炉の処理能力と投入量の差（余剰処理能力）を災害廃棄物処理に活用する割合。
[b] 木くず破砕施設、産廃焼却施設、産廃ガス化溶融施設、セメント工場の有する処理能力に対して活用する割合。
[c] 東日本大震災時の一般廃棄物処理事業による広域連携の実績を踏まえて設定。
[d] 災害廃棄物対策指針を踏まえ、災害支援協定が進み、さらに受入が行われることを踏まえた値。
[e] 東日本大震災時の岩手県における産業廃棄物処理事業による連携の実績を踏まえた値。

広域連携体制がとられるケースである。連携ケース 3 と 4 では、ごみ焼却施設間の強靭化水準での受入に加え、産業廃棄物処理事業体による災害廃棄物の受入も行われるケースとした。

2.3 災害廃棄物の受入量の設定

(i)～(iii)の通り設定した。(i) 地震発生後から 4 か月間については、被災地域のごみ焼却施設での処理が行われる。ただし、震度 6 弱を被る施設の処理能力の総和の 35%が 1 ヶ月間の機能停止、震度 6 強以上では同じく 63%が 4 ヶ月の機能を停止するとした。(ii) 4 ヶ月後より 1 年経過までは、災害廃棄物処理の広域連携が各ケース（**表 1**）の受入条件で行われる。(iii) 1 年を経過すると仮設焼却炉の建設が完了し、広域連携に加え仮設焼却炉による処理も加わる。整備する仮設焼却炉の処理能力は、東日本大震災の際の目標値である、災害廃棄物の処理を 3 年以内に完了させることを制約条件として設定した。

3. 評価結果

上町地震で予備容量 0%を例にとった復旧時における事業コストの内訳を**表 2** に示す。連携なしと連携ケース 4 を比較して，仮設焼却炉整備費の減少が寄与することにより、▲887 億円削減される結果となった。

次に、予備容量を設けることによる費用対効果を分析するため、連携ケース 4 における、復旧時の災害廃棄物処理に係る事業コストの詳細を**図 1** に示す。予備容量 10%を設けることで、冗長性確保のための建設費・補修費の増分 840 億円が計上される。予備容量を設けることで、仮設焼却炉整備費（運用費も含む）は抑えられるが、災害規模が大きい生駒地震や上町地震を対象とした分析においても、仮設焼却炉整備費の削減効果（予備容量 0%と 10%の差）は生駒地震で▲359 億円、上町地震で ▲367 億円と推計され、840 億円の増分を下回る結果となった。よって、予備容量を設けることで費用対効果が低下した。これは、災害廃棄物の焼却を 3 年以内に完了させることを目標に仮設焼却炉が整備されるという制約条件を設けたため、広域連携によるごみ焼却施設の余剰能力の活用期間が限定され、建設費・補修費の増分が仮設焼却炉整備の縮減効果を上回ったことが主たる要因である。

4. 結論

近畿圏の直下型地震を対象とし、ごみ焼却施設間の広域連携、産業廃棄物処理事業体による処理連携の有効性を定量的に示した。なお、ごみ焼却施設の設計指針を改定し、施設更新時の処理能力設計に予備容量 10%を設ける施策については、本研究での解析結果では費用対効果の低い施策であることが指摘される。

謝辞　本研究は環境研究総合推進費（1-1304）、環境研究総合推進費補助金（3K143006）の支援により実施されました。記して謝意を表します。

引用文献

1) 伊川純慶ほか: 土木学会論文集 G (環境), 71 (6), (2015), pp.II_253-II_262.

表 2　上町地震における災害廃棄物処理に係る事業コストの評価結果（予備容量 0%条件下）

		連携なし	連携 1	連携 2	連携 3	連携 4
事業コスト	[億円]	8,699	8,616	8,533	7,853	7,812

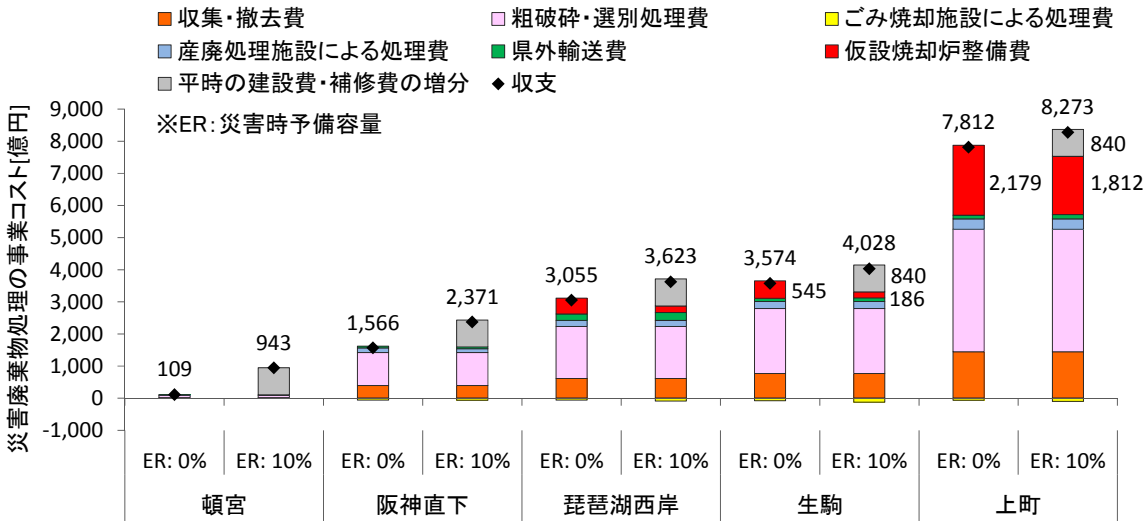


図 1　災害廃棄物処理に係る事業コストの評価結果（連携ケース 4）

災害廃棄物処理システムの構築に関する考察

Discussion on Design of the Disaster Waste Treatment System

○田畑 智博*[1)]、若林 陽平[1)]、蔡 佩宜[1)]
Tomohiro Tabata, Yohei Wakabayashi, Tsai Peii
1) 神戸大学
* tabata@people.kobe-u.ac.jp

1. はじめに

自然災害に伴い発生する災害廃棄物の撤去･処理は、被災地の復旧・復興を進めるための極めて重要な作業である。三重県[1)]等では、南海トラフ巨大地震の発災に伴う災害廃棄物の撤去・処理を遅滞なく進めるための災害廃棄物処理システムの構築方法について検討を行っている。主な研究対象としては、仮置場の設置、自区内処理あるいは広域処理を行う場合の自治体・民間での協力体制の構築、処理コスト等が挙げられる。その一方、災害廃棄物処理システムの構築に伴う環境負荷の排出については検討されていない。

災害廃棄物は通常の廃棄物と異なり、迅速な処理が要求される。しかし、災害廃棄物も一般・産業廃棄物と同じ「廃棄物」という枠組みで考えるならば、循環型社会の理念に則って、環境への負荷をできる限り低減して処理･リサイクルすることが望ましいといえる。

本研究では、可能な限り実態を反映して、循環型社会の構築に資する災害廃棄物処理システムの構築方法を検討することを目的とする。これを実施するため、個別の地域(三重県南伊勢町)と災害廃棄物(特定廃家電：テレビ、冷蔵庫、洗濯機、エアコン)を設定し、災害廃棄物の仮置きからリサイクルまでを考慮した災害廃棄物処理システムの構築を、空間的・時間的側面から検討した。また、災害廃棄物処理システムの災害廃棄物の運用に伴う環境負荷の排出量を、インベントリ分析を用いて試算した。

2. 研究の方法

2.1 目的及び調査範囲の設定

本稿では､南海トラフ巨大地震が発災したと想定し、三重県南伊勢町において発生する特定廃家電の処理に係る環境負荷を算出することを目的とする。機能単位は、特定廃家電 1t とする。図 1 に、システム境界を示す。仮置場について、1 次仮置場では、発生場所から撤去した災害廃棄物を分別せずに保管すると想定する。2 次仮置場では、災害廃棄物を種類毎に分別して保管すると想定する。2 次仮置場で分別された特定廃家電は、家電リサイクル工場まで輸送されて処理される。資源はリサイクルされ、残渣は最終処分されると想定

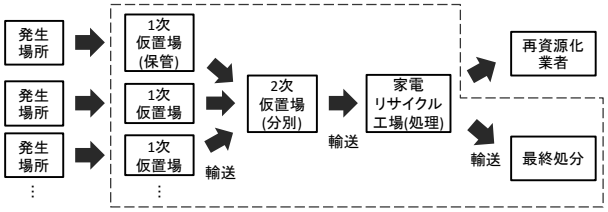


図 1 システム境界(点線内)

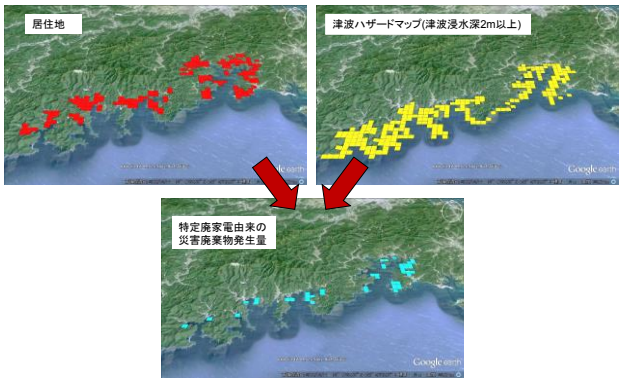


図 2 災害廃棄物発生量の推計(500m メッシュ)

する。発生場所から 1 次仮置場までの災害廃棄物の輸送は、輸送に携わる主体(被災者、ボランティア、民間業者等)が様々であることから、システム境界から外した。対象とする環境負荷は、全域的な影響として CO_2、局所的な影響として SO_x、NO_x、PM とした。

2.2 災害廃棄物発生量及び仮置場必要面積の推計

地震の被害想定でよく挙げられる被害の種類は、地震による揺れ、津波、火災、地すべりである。本稿ではこのうち、津波被害に伴って発生する災害廃棄物を対象とした。三重県庁は、居住人口 500m メッシュデータ、津波ハザードマップのポイントデータを県 HP で公開している。津波浸水深 2m 以上の地区内の建物は全壊すると想定し、上記データを重ね合わせることで、災害廃棄物発生量を推計した(図 2)。全体の災害廃棄物発生量は環境省[2)]等、特定廃家電の発生量は田畑ら[3)]をもとに算出した。

災害廃棄物発生量の推計結果より、仮置場の必要面積を推計した。必要面積は、環境省[2)]等をもとに算出した。なお、2 次仮置場では、某豪雨災害被災地での視察をもとに、特定廃家電は平置きし、その他の災害

廃棄物は積み上げると想定して､必要面積を推計した。

仮置場の候補地は公有地(グラウンド等)と私有地(駐車場等)とし、Google Earth を用いて目視で供給可能な面積を割り出した。私有地を対象とした理由は、本町は公有地が少なく、私有地も使用しなければ仮置場を確保できないと判断したためである。1ha 以上の土地が確保できる場所に 1 次仮置場、10ha 以上の土地が確保できる場所に 2 次仮置場を設置すると想定した。

2.3 インベントリデータの収集

仮置場における重機等の稼働に関するデータは、佐伯ら [4]の調査結果を用いた。1 次仮置場から 2 次仮置場までの輸送は 4t トラック、2 次仮置場から家電リサイクル工場までの輸送は 10t トラックを用いると想定した。特定廃家電の排出量をもとに、トラックの必要台数と輸送距離を算出した。家電リサイクル工場での処理は、筆者らの聞き取り調査結果を用いた。家電リサイクル工場は、三重県(四日市市、伊賀市)と名古屋市にあるグループ A・B の各工場を利用すると想定した。以上の想定を踏まえて収集したデータに、MiLCA に掲載されている環境負荷原単位を乗じることで、各プロセスの単位環境負荷を算出した。

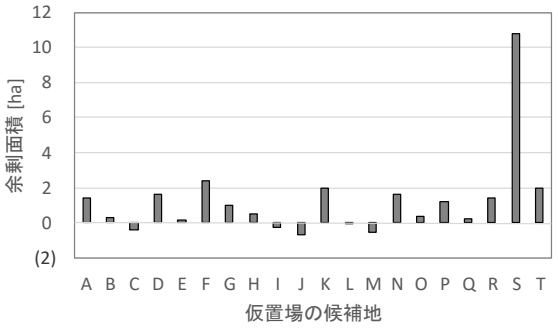


図 3 仮置場の候補地別の余剰面積
(候補地内に、複数の仮置場がある場所もあり)

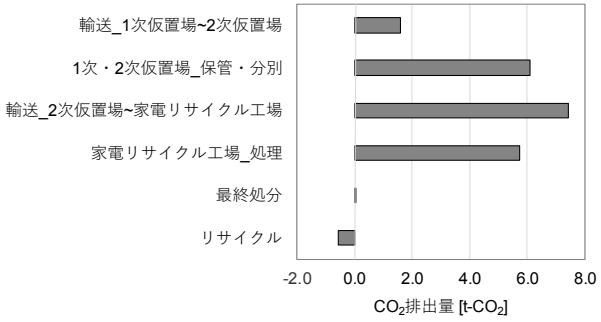


図 4 各プロセスの環境負荷(CO_2 排出量)

3. 結果と考察

3.1 仮置場の必要面積と供給可能面積

津波被害により、南伊勢町での災害廃棄物発生量は約 1,400 千 t(津波堆積物含む)､うち特定廃家電は約 500t と推計された。これをもとに仮置場の必要面積を計算したところ、全 29 ヶ所で約 30ha となった。これに対し、南伊勢町で供給可能な仮置場は 55ha となり、2 次仮置場に用いる 10ha 以上の土地を除いたとしても､十分な 1 次仮置場を供給可能であることがわかった。但し、これは私有地の利用を考慮した場合であり、公有地のみで確保することは極めて厳しい。また、図 3 のように個別の仮置場をみた場合、必要面積が供給可能面積を上回っている場所もあった。この場合は、他の余裕がある仮置場に輸送しなければならない。

3.2 災害廃棄物処理システムのインベントリ分析

結果の一部として、図 4 にプロセス別の CO_2 排出量を示す。CO_2 排出量の合計は約 20t であり、2 次仮置場から家電リサイクル工場までの輸送が、全体の約 37%を占めていた。これは、2 次仮置場から処理地までの距離が遠いこと(約 100~140km)が関係していると考えられる。次いで、1 次・2 次仮置場での保管・分別、家電リサイクル工場での処理に由来する排出が多かった。

4. おわりに

本研究では、可能な限り実態を反映した災害廃棄物処理システムの構築方法を検討するため、具体的な場所と廃棄物を対象としてインベントリ分析を行った。今後は、災害廃棄物の輸送や仮置場での処理にかかる日数等を踏まえた評価についても実施する予定である。

謝辞

本研究の一部は、環境研究総合推進費(3K143015、3K143016)の助成を受けて実施した。ここに記して謝意を表す。

引用文献

1) 三重県: 三重県災害廃棄物処理計画 (2015), http://www.eco.pref.mie.lg.jp/details/index.asp?cd=2015030524, (参照 2015-12-24)
2) 環境省: 災害廃棄物対策指針情報ウェブサイト, http://www.env.go.jp/recycle/waste/disaster/guideline/toc/index.php, (参照 2015-12-24)
3) 田畑智博, 張 欧, 山中優奈, 蔡 佩宜: 統計・ウェブ情報を用いた耐久消費財由来の災害廃棄物発生原単位の推計とその利用, 土木学会論文集 G(環境), 71, (2015), pp.II_441-II_449
4) 佐伯 孝, 佐野隼翼, 蔡 佩宜, 田畑 智博: 災害時に発生する廃棄物の発生・処理に関する研究, 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, (2015), pp.28-29

震災予測データを用いた経済・環境影響分析用産業連関モデルの構築

Compilation of an input-output model integrating disaster-damage forecast data

○畑奨*[1)]、南齋規介 [2)]、加河茂美 [3)]、東野達 [1)]
Sho Hata, Keisuke Nansai, Shigemi Kagawa, Susumu Tohno
1) 京都大学, 2) 国立環境研究所, 3) 九州大学
* hata.sho.52z@st.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

2011 年 3 月に発生した東日本大震災は、日本に対して未曾有の被害をもたらしたが、近年、この地震の規模を超える南海トラフ巨大地震が発生することが予想されている [1)]。このような大規模災害はわが国に対して経済的に大きな被害を与えることが、東日本大震災が日本に与えた経済的影響の定量化を行った研究 [2)]などから明らかになっている。また、このような大規模災害は経済的な影響だけではなく、原子力発電所の稼働停止に伴う火力発電への依存度の増加や復旧工事などにより、温室効果ガスの排出増大を招く懸念もある。そこで、今後の大規模災害への対策を考える際には、震災の直接・間接的な経済・環境影響を予測しておくことが非常に重要となる。

南海トラフ巨大地震の地震・津波などによる被害の規模、またその被害額についてはすでに内閣府が推計結果を報告している [1)]。しかしながら、その被害推計は主に被災地で発生する直接被害のみを対象としており、被災地からサプライチェーンを通じて日本全国へと波及していく影響について分析する手法は確立されていない。そこで本研究では、この巨大地震の被害想定をもとに、この地震が及ぼす経済と環境に関する波及的影響を分析する方法を構築することを目的とする。

2. 方法

本研究では、多地域間産業連関分析を用いて南海トラフ巨大地震が及ぼす影響についての分析を行う。分析に使用するのは日本国 47 都道府県間産業連関表であり、部門解像度は 80 部門である。

2.1 巨大地震発生後の産業連関表の作表

本研究では、南海トラフ巨大地震が発生した後の産業連関表を作成することでこの巨大地震が及ぼす影響の分析を行う。震災後の表は、2005 年の 47 都道府県間産業連関表に対して震災の影響を反映させることで作成する。その際、この巨大地震が被災地に対して直接与える影響として、

- 地震及び津波により生産施設が崩壊することによる各産業の生産額の減少
- 震災による県内人口の変動や収入の変化に伴う県内最終需要の変化

の 2 点を考える。これらの直接被害がサプライチェーンを通じて日本全国に及ぼす影響を、作成した表を用いて分析する。

2.1.1 被災地最終需要部門の変化による波及効果

巨大地震発生後の被災地の最終需要は、地震や津波により死傷者や避難者が発生することで県内人口が変化することや、インフラの崩壊といった様々な要因で変化することが予想される。そのため、本研究では被災地の最終需要の変化については以下のような方法で推計を行う。

- 家計外消費支出、家計消費支出、一般政府支出の 3 部門については変化する要因が多様であることが予想されるため、過去の震災の被災地での変化の傾向をもとに推計を行う。
- 固定資本形成部門はインフラ被害によって変化すると仮定し、被災地のインフラ被害の被害想定をもとに推計を行う。
- 在庫純増部門は震災前の最終需要全体に占める割合を用いて推計を行う。

また、このように推計した最終需要部門における需要額の変化が被災地外の都道府県での生産額に影響を及ぼすことが考えられる。そこで以下の式に基づき、被災地の最終需要額 **F** の変化による各都道府県の生産額 **X** への波及効果を求める。

$$\mathbf{X} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{F} \qquad (1)$$

A は 2005 年産業連関表の投入係数行列で、この計算により、被災地の最終需要額変化の波及効果を反映した各地の生産額を近似的に算出する。

2.1.2 被災地の生産額の推計

(1)式により算出した生産額は震災による被災地の需要の変化を間接的に反映したものであるが、震災による被災地の直接的な生産能力の低下を考慮していない。しかしながら震災被害の大きい都道府県は、事業所などの損壊により産業の生産額は震災前を下回ることが予想される。そこで本研究では、各産業の生産能力の低下に伴う生産額の減少が震災による建物被害によって引き起こされると仮定し、被害を受けた都道府県の生産額を別途算出する。

まず、南海トラフ巨大地震で想定される被害状況 [3] から震災により生産能力が大きく損なわれると予想される府県を、県内の合計建物倒壊棟数が 3 万棟以上である 9 府県（静岡県、高知県、愛知県、三重県、和歌山県、大阪府、徳島県、宮崎県、愛媛県）に絞った。これらの 9 府県について、地震や津波による建物の被害率から各産業の生産額を算出する。

(1) 府県内の事業所の建物損壊率の算出

府県内の事業所の直接損壊率の算出については、阪神淡路大震災の際に神戸市を対象に、市内をメッシュに区切りメッシュごとの各産業の建物損壊率を算出した陳の手法 [4]を参考にする。本研究では府県内の市町村 i ごとに建物の平均損壊率 $\overline{\delta}_i$ を以下のように定義する。

$$\overline{\delta}_i = \sum_{k=1}^{6}\left(Y_{ik} / \sum_{j=1}^{6} Y_{ij} \right)\delta^k \qquad (2)$$

ただし、Y_{ik} は損壊の要因別の建物の被害数、δ^k は要因別の建物損壊率である。また、k、j は損壊の要因を表しており、その要因及び要因別損壊率は以下のように定める。

表 1　要因別損壊率

損壊の要因及び損壊度	損壊率
δ^1（地震により全壊）	0.60
δ^2（津波により全壊）	0.80
δ^3（地震により半壊）	0.30
δ^4（津波により半壊）	0.40
δ^5（全焼）	1.00
δ^6（被害なし）	0.00

このように定義した平均損壊率を各府県の市町村ごとに計算する。ただし、ここで定義した要因別損壊率は仮想の値であり、この値によって最終的に算出する各府県の生産額が大きく変化することも予想される。そこで、生産額を算出した後にはこれら要因別損壊率の感応度を算出する。

(2) 府県内の各産業の生産額の算出

上記の方法で算出した平均損壊率を用いて産業の生産額を算出する。しかし、この平均損壊率を単純に生産額に乗ずるだけでは、産業の規模を反映することが出来ない。そこで、同じ産業であれば企業の規模は従業員数に比例すると仮定を置き、市町村 i の産業 m の被害率 D_{im} を以下のように定義する。

$$D_{im} = \sum \overline{\delta}_i L_{im} \Big/ \sum L_{im} \qquad (3)$$

ただし、L_{im} は市町村 i の産業 m の従業員数、$\overline{\delta}_i$ は市町村 i ごとの平均損壊率を表す。ここで計算した被害率を市町村ごとの産業の生産額に乗じ、それらの和をとることで被災した府県の生産額とする。

2.1.3 RAS 法を用いた投入係数行列の推計

上記の方法で求めた被災地の生産額を震災前の生産額から減じた値を $\Delta\mathbf{X}$ とし、(1)式で求めた値から減じた $\mathbf{X}' = \mathbf{X} - \Delta\mathbf{X}$ を RAS 法の境界条件 $(\mathbf{X}' - \mathbf{F})$ とする。また、付加価値額 $\mathbf{V}$ については震災前後で各部門の付加価値率が変動しないと仮定を置き、震災前の付加価値率ベクトル $\boldsymbol{\alpha}$ を用いて算出することが可能であると仮定すると、もう一つの境界条件は $\mathbf{(I-\hat{\alpha})X'}$ と表すことができる。これらを境界条件として、RAS 法によって、震災後の投入係数行列の推計を行う。

2.2 巨大地震後の環境負荷量の分析

南海トラフ巨大地震発生後、復旧による建設事業の増加や、電力の使用量の変化により環境負荷排出量にも変化がみられることが予想される。そこで本研究では、環境負荷量の中でも二酸化炭素排出量の変化に着目して分析を行う。各産業からの直接排出原単位 d は産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID)[4]を用いる。d と推計した表より得られるレオンチェフ逆行列 $\mathbf{(I-A)^{-1}}$ を用いることで、産業からの直接排出量に加え、サプライチェーンを通じての間接排出量を含めた内包排出量を求めることが可能である。

3. まとめ

今回新たに南海トラフ巨大地震後の産業連関表の作成方法を提示した。本研究により推計される産業連関表を用いることで、その波及効果について詳細な分析を行うことが可能になる。特に、都道府県ごとに被害額を算出することが可能となり、直接被災した府県だけでなく、被災していない都道府県に対して巨大地震が与える経済・環境影響についての分析も可能になる。

4. 引用文献

1) 内閣府政策統括官（防災担当）, “南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ”, 内閣府, （オンライン）, 入手先 <http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/> , （参照　2015-7-27）
2) 宍戸駿太郎,川上彰,黒川基裕:産業連関 - イノベーション&I-O テクニーク - , **19**(3), (2011), pp.40-50
3) 陳光輝：国民経済雑誌, **174**(4), (2012),pp.89-96
4) 南齋規介,森口祐一,東野達:“産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID)”,国立環境研究所,(2012)

QOL 充足度を踏まえた災害時における水需給バランス推計モデルの開発

Development of the QOL based estimation model for water supply-and-demand in disaster

○佐野早希*[1)]、中久保豊彦 [1)]
Saki Sano, Toyohiko Nakakubo
1) お茶の水女子大学
* g1130215@edu.cc.ocha.ac.jp

1. はじめに

東日本大震災では約 257 万戸が断水し，その 9 割の復旧に約 3 週間を要した．このことから，断水下では限られた水源からの効率的な給水が重要であり，その給水能力の改善に向けた課題が指摘されている．自治体の災害時給水対策の指針 [1)] では耐震化と応急対策（復旧の迅速化，応急給水の充実）の 2 つに重点を置き策定されているが，応急給水に焦点を当てた災害時給水計画の策定を支援するための手法は未だ確立していない．

また，災害時給水計画の策定支援に向けた水需給バランスの推計にあたり，被災地の生活者の水需要を推計するためには，生活の質（以下，QOL）を一時的に低下させる行動変容が期待されることから，QOL を因子の一つとして考える必要がある．

以上の背景を踏まえ，断水発生時においても，被災地の生活者の健康・衛生水準を保持する QOL 水準を満たす給水計画立案を支援するための，災害時水需給バランス推計モデルを開発することを目的とした．

本研究では，まず災害時の QOL 水準および構成要素を整理し，各 QOL 水準における用途別水需要原単位を作成する．次に，被災者の生活シーン（基本的ニーズの充足性，救援物資・設備の普及・利用状況）を踏まえ水需要量を定量化する手法を設計し，給水量，水代替資材需要量，水需要量の推計を支援する水需給バランス推計モデルの開発を試みる．

2. 災害時の QOL 水準および構成要素を踏まえた水需要原単位の作成

2.1 災害時の QOL 水準および構成要素

災害時における QOL を扱った既存研究として，本研究では高野ら [2)] を参考とした．QOL の構成要素である，人が生きていく上で充足したいと考える基本的ニーズについて，生命の保持（Level 1），健康・衛生の保持（Level 2），社会的生活の保持（Level 3），文化的生活の保持（Level 4）の 4 階層をなす，という分類が試みられている．

一方，高野ら [2)] が提案した QOL 構成要素は生活全般における要素を整理している．そこで本研究では，水に特化した QOL 水準のレベル分けと項目の整理を行った（**表 1**）．厚生労働省 [1)] により，地震発生から 10 日目までには 1 人 1 日あたり 20 L，21 日目までには 100 L を給水する基準が決められている．そこで，健康・衛生の保持（Level 2）を目標給水量基準の有無によって Level 2-1，2-2，2-3 に段階を分けた．また，Level 3+4 を満たす水量は精神的ストレスの緩和や娯楽につながるものとした．

表1　災害時のQOL水準と構成要素の整理

QOL水準		QOL構成要素	
生命の保持(level 1)		飲料水の確保	
健康・衛生の保持（level 2）	Level 2-1（1人1日あたり20Lとした場合）	食糧（質）の確保	水分を含む食事の充実
		入浴機会	最低限の体の清潔さ
		トイレ環境	トイレの数の確保
		衣類清潔性	衣類の清潔さ
	Level 2-2（1人1日あたり100Lとした場合）	食糧（質）の確保	水分量の多い食事の充実
		入浴機会	定期的なシャワー利用
		トイレ環境	トイレの数と質の確保
		衣類清潔性	衣類の清潔さ
	Level 2-3（Level 2を満たす最低限の水量とした場合）	食糧（質）の確保	栄養バランスの取れた食事の充実
		入浴機会	定期的な入浴機会
		トイレ環境	トイレの数と質の確保
		衣類清潔性	衣類の清潔さ
社会的・文化的生活の保持（Level 3+4）		利便性	水の消費によって満たされる精神的欲求
		快適性	
		安全性	

2.2 水需要原単位の作成

表 1 における QOL Level 2-1, 2-2, 2-3 ならびに 3+4 の各水準までを満たす用途別水需要原単位を整理した（**表 S1**）．

Level 3+4 までを充実させた原単位として，平成 18 年度の東京都一般家庭計 81 家庭の用途別水使用量データの平均値を代表値として採用した．

Level 2-3 までを満たす原単位としてミニマム水量（生命の維持・衛生保持の水準を考慮した限界水量）と定義された値を抽出した．Level 2-2 については，平時に水の消費によって満たしていた欲求・行動を救援物資や設備により可能な限り代替することを前提として提案された値を抽出した．Level 2-1 は水を消費せざるを得ない用途を対象に，Level 2-2 の

値と「災害時備品マニュアル」を参考に独自に値を設定した．

3. 水需給バランス推計モデルの開発と適用

3.1 水需給バランス推計モデルの概要

水需給バランス推計にあたり，水需要量を式 (1)，物資需要量を式 (2)，給水量を式 (3)〜(5) で定量化し，水需要量と給水量のバランスを評価することで，最終的に，被災者の QOL 水準を保持するのに必要な災害用備蓄水量（式 (6)）を推計する．

$$(\text{水需要量})_t=(\text{通水人口})_t\times(\text{水需要原単位})_{i=3+4}+(\text{断水人口})_t\times(\text{水需要原単位})_{t,i} \quad (1)$$

$$(\text{物資需要量})_t=(\text{断水人口})_t\times(\text{水需要原単位})_{t,i} \quad (2)$$

$$(\text{給水量})_t=(\text{水道水配水量})_t+(\text{応急給水量})_t \quad (3)$$

$$(\text{水道水配水量})_t=(\text{通水人口})_t\times(\text{水需要原単位})_{i=3+4} \quad (4)$$

$$(\text{応急給水量})_t=(\text{断水人口})_t\times(\text{応急給水目標量})_{t,j} \quad (5)$$

$$(\text{災害用備蓄水})_t=(\text{水需要量})_t-(\text{給水量})_t \quad (6)$$

t: 経過日数，i: QOL 水準，j: 応急給水目標基準．

本研究では，東日本大震災の被災・断水記録に基づきモデルの検証を行うこととする．そこで，断水人口については厚生労働省 [3] の値を用いることとした．

3.2 被災状況下における水需要原単位の設定

水需要量を推計する際，被災地の生活者の求める QOL 水準の変化に対応して，適用する水需要原単位も変化させる必要がある．

東日本大震災被災地の生活実態やアンケート調査 [4] を踏まえ，被災地の生活者の求める QOL 水準の時間変化を用途別に設定した（**表 2**）．

表2　QOL水準の時間変化（用途別）

			経過日数				
			～3日	4～7日	8～14日	15～21日	22～28日
用途	台所		2-2	2-2	2-3	2-3	2-3
	風呂	春・秋	1	2-1	2-2	2-3	2-3
		夏	2-1	2-2	2-3	3+4	3+4
		冬	1	2-1	2-2	2-2	2-3
	洗面/手洗い		2-1	2-2	2-3	2-3	3+4
	洗濯		2-1	2-1	2-2	2-3	3+4
	トイレ		2-2	2-2	2-3	2-3	3+4

3.3 被災地域への水需給バランス推計モデルの適用

東日本大震災における被災状況は，建物全半壊とライフライン断絶の複合被害，ライフライン断絶が中心的な被害，の 2 つに大きく分類される．本稿では，後者の被害特性がみられる茨城県鹿嶋市にモデルを適用した（**図 1**）．**図 1** は，断水人口に特化し，地震発生から 1 ヵ月目までの応急給水量と水需要量の時間変化を解析した結果である．

震災発生から約 3 週間目までは需要量が給水量を上回っていることから，災害用備蓄水量の充実が必要だと考えられる．4 日目以降は求められる QOL 水準の高まりに伴い，風呂やトイレ等の水需要原単位の大きい用途に対する需要量が高まっている．

4 まとめ

災害時の QOL 水準を踏まえた用途別水需要原単位を作成し，水需給バランス推計モデルを開発した．本モデルを東日本大震災で断水被害を受けた地域に適用することで被災地の生活者の QOL 水準を保持するための災害用備蓄水量の定量化が可能となった．

今後は異なる条件にある他の東日本大震災被災地域にも適用し，モデルの改良を進める予定である．

謝辞：本研究は環境省・環境研究総合推進費（1-1304）」の支援により実施された．記して謝意を表す．

参考文献

1) 厚生労働省: 水道の耐震化計画等策定指針, (2008).
2) 高野ら:土木学会論文集 D3 (土木計画学), 69 (5), (2013), I_125-I_135.
3) 厚生労働省: 東日本大震災水道施設被害状況調査・最終報告書, 水道産業新聞社, (2014).
4) 國井 編: 災害時の公衆衛生 私たちにできること, 南山堂, (2012).

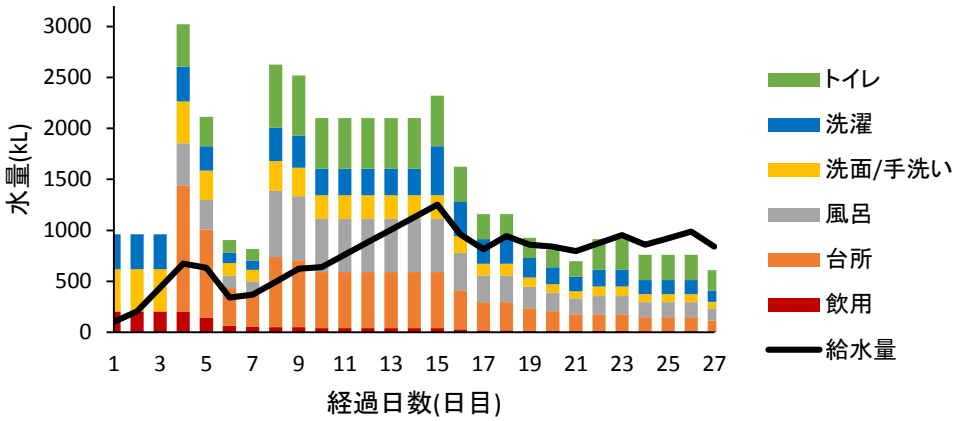


図1　用途別水需要量と給水量の時間変化

表 S1　QOL 水準別水需要原単位 [L/人/日]

QOL水準	Level 2-1 [a]	Level 2-2 [b]	Level 2-3 [c]	Level 3+4 [d]
合計（全用途）	20	90	174	258
飲用	3	3	3	3
台所	0	18	40	60
風呂	6	38	43	59
洗面/手洗い	6	6	17	23
洗濯	5	19	35	40
トイレ	0	6	36	73

[a] 災害備蓄品マニュアル製作委員会: 災害備蓄品マニュアル, (2012).

[b] 空気調和・衛生工学会: 災害時の水利用 飲める水・使える水, (2013).

[c] 紀谷，松井: 日本建築学会大会学術講演梗概集，D，環境工学 1988, (1988), pp.989-990.

[d] 東京都水道局: 月別家庭別使用水量調査（平成 18 年度実態調査）.

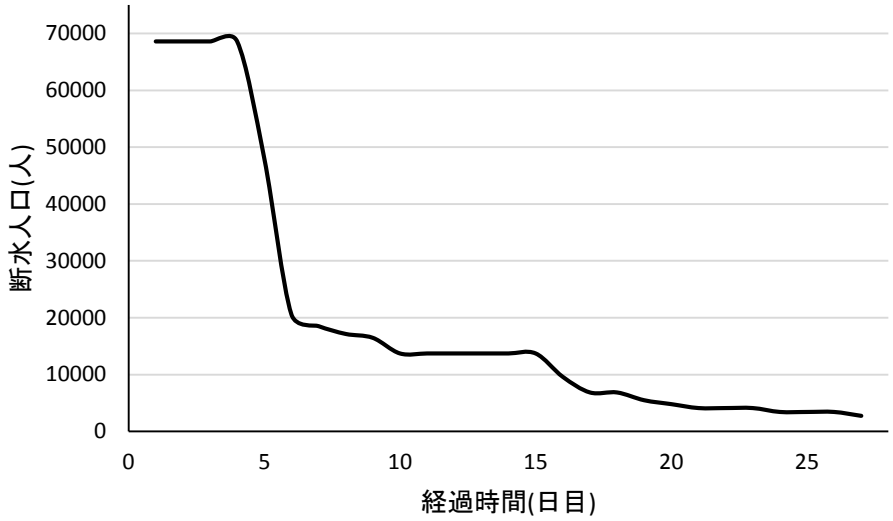


図 S1　茨城県鹿嶋市における断水人口の時間変化

ジャカルタにおける気候変動に伴う健康影響の定量評価

Quantitative evaluation of impact of climate change on human health in Jakarta

○草間蓮*[1)]、井原智彦 [1)]
Ren Kusama　Tomohiko Ihara
1)　東京大学
*5057130409 @ edu.k.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

近年、地球温暖化に伴う気温上昇に加え、ヒートアイランド現象によって都市域の高温化が加速している。さらに、国連（2014）によれば、2014 年時点で、世界人口の 54%が都市域で生活していると報告されており、特にアジア新興国などを中心として今後も都市人口は増加していくことが予測されている[1)]。

このような傾向は、都市人工被覆の拡大によるエネルギー需要の増加など、社会的な問題を数多く引き起こすと考えられる。特に、都市域を中心とした直接の暑熱による健康影響が増大し、住民の健康上重要なリスクとなることが懸念される。将来的な発展を考慮すると、途上国における緩和策や適応策の設計および実施は特に重要であり、その検討には影響の定量化が不可欠である。しかし、温暖化に伴う健康影響の研究は、社会統計などが整備されている高緯度の先進国のみで実施されており、整備が不十分な低緯度の発展途上国ではほぼ実施されていない。

そこで本研究は、低緯度に位置し、都市圏人口が東京に次ぐ世界第 2 位であるインドネシアのジャカルタを対象に、直接の暑熱に伴う健康影響を定量化することを目的とする。定量化には、影響間比較が可能でかつ、伊坪ら[2)]が開発した LIME による統合化も可能な障害調整生存年数(disability adjusted life year, DALY)を用いる。

2. 研究手法

健康影響の定量評価のために DALY を用いた。以下の式[3)]で計算される。

DALY ＝ YLL＋YLD
YLL ＝ N × L
YLD ＝ I × DW × L
YLL: Years of Life Lost（早死により失われた年数）
YLD: Years Lost due to Disability（障害を有することで失われた年数）
N：死亡数、L：余命
I：障害発生数、DW：重篤度、L：罹患期間

2.1 調査項目

本稿では直接の暑熱健康影響として、熱中症による死亡と睡眠困難を調査項目として選定した。低栄養や下痢症、マラリア、デング熱などの気温上昇による間接健康影響は経済成長に伴って減少していくこと、また、発生のメカニズムが社会的な要因を多く含むことから、直接の暑熱影響のみを対象とした。

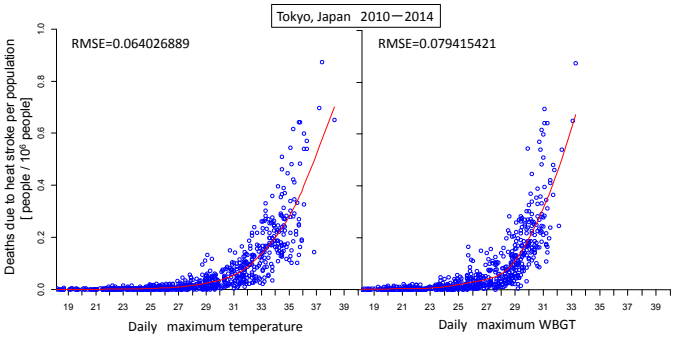


図 1. 日最高気温、日最高 WBGT と死亡率の関係

2.2 被害関数の作成

ジャカルタでは解析に必要な疫学統計が公開されていないため、日本（東京）における被害関数（気象要素と健康影響との相関）がジャカルタにおいても成り立つと仮定して推計した。

2.2.1 熱中症の推計

日最高気温と熱中症死亡数との関係を、平滑化スプライン回帰を用いて求めた。日別の熱中症死亡数は、東京都消防庁の救急搬送データ、厚生労働省の人口動態統計を基に、年間の死亡数/搬送数を求め、算出した。

暑熱障害のリスクを示す指標として利用されることが多い湿球黒球温度(wet-bulb globe temperature, WBGT)と死亡数との関係も考慮した。WBGT は気温に加え、湿度や放射などを取り入れた熱中症予防を目的とし提案された指標である。

しかし、一般には黒球温度を計測していないため、通常の気象要素を用いた以下の近似式[4)]（式（1））で算出する方法が考えられる。

$$WBGT = 0.735 \times Ta + 0.0374 \times RH + 0.00292 \times Ta \times RH + 7.619 \times SR - 4.557 \times SR^2 - 0.0572 \times WS - 4.06 \quad (1)$$

（Ta：乾球温度℃、RH：相対湿度%、SR：時刻別日射量 kW/m^2、WS：風速 m/s ）

ジャカルタにおいて算出に必要な気象データは OGIMET[5)]から日最高気温、3 時間ごとの気温、相対湿度、風速、日別日照時間が入手可能であるが、時刻別日射量は入手できないため、WBGT の近似式

（式（1））を用いた推計は困難である。そこで、まず東京において平均二乗誤差（RMSE）を計算し、両関数の精度を比較した。結果を図 1 に示す。両関数ともに RMSE に大きな差はなかったため、データ欠損による不確実性を考慮し、日最高気温と熱中症死亡数との関係を用いることにした。

YLL の算出に必要な、1 死亡あたりの損失余命は 18.10 年とした。算出には、平成 22 年の国勢調査と都道府県別生命表を用いた。

2.2.2 睡眠困難の推計

本田ら [6]は日本全国を対象として日最高気温と死亡率との関係を見ると、死亡率が最低となる気温、すなわち至適気温(optimum temperature, OT)が存在し、気温がそれより高くても低くても死亡率は高くなる V 字型となることを発見した。そこで、睡眠に関しても同様の V 字関係が存在すると仮定し、東京で 2007 年に実施した睡眠に関する疫学調査 [7]（岡野ほか,2008）をもとに、睡眠困難を罹患しているか否かを決定し、平滑化スプラインを用いて 0 時外気温と睡眠困難罹患率の関数を導出した（図 2 を参照）。この関数の至適温度は、22.68℃であった。今回求めた至適気温は年間 0 時気温の 77 パーセンタイル値であるため、ジャカルタの至適気温も同様だと仮定し、東京との差分 5.12℃を考慮して関数を適用した DALY は YLD ＝ 睡眠困難発生数×重篤度×罹患期間で算出した。重篤度は 0.1（Fukuda et al 2013）、罹患期間は 1/365 とした。

2.3 人口将来推計

インドネシア中央統計庁 [8]が算出している 2035 年までの人口予測データをもとに、年成長率を指数関数の近似式を用いて回帰し、それに基づいて、2050 年度までの人口を予測した。結果を表 1 に示す。

2.4 将来シナリオ

2014、2030、2050 年において、現在気温から 1℃、2℃上昇したシナリオと 2014 年から気温変化がない場合を比較した。結果を表 2, 3 に示す。

3. 結果と考察

DALY による影響量を比較すると、睡眠困難、熱中症の順となった。また、温度上昇に伴う影響の増加量については、熱中症は顕著であるが、睡眠困難は大きく変化していないことが分かった。これは、睡眠困難罹患率の被害関数が緩やかであることが原因と考えられる。問題点としては、東京の被害関数をジャカルタへ適用させているため、暑熱順化などの生理モデルの違いや、エアコンの普及率などの社会的状況を考慮していないことが挙げられる。

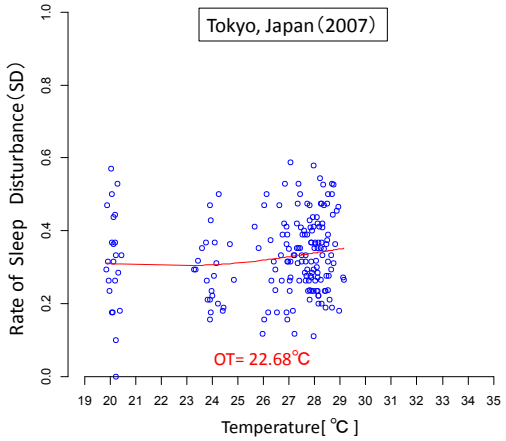


図 2. 睡眠困難罹患率と 0 時外気温との関係

表 1. ジャカルタの人口予測

年	2010	2020	2030	2040	2050
人口（百万人）	9.64	10.65	11.31	11.55	11.66

表 2. ジャカルタの熱中症推計

年	2014	2030		2050	
シナリオ	現在	＋0℃	＋1℃	＋0℃	＋2℃
死亡者（人）	302,023	309,212	309,547	319,262	321,103
DALY（年）	9,409	10,568	15,026	10,892	21,395

表 3. ジャカルタの睡眠困難 DALY 推計

年	2014	2030		2050	
シナリオ	現在	＋0℃	＋1℃	＋0℃	＋2℃
DALY（年）	302,023	309,212	309,547	319,262	321,103

4. おわりに

インドネシアのジャカルタにおける気候変動に伴う直接の暑熱健康影響を将来に渡って定量化した。今後は、気温の違いだけではなく、生理学的、社会的要素も含めた推計精度のさらなる向上を目指しながら、具体的な適応策及び緩和策を評価、検討していく。

・引用文献

1）World Urbanization Prospects 2014（ United Nations Population Division ）

2）伊坪徳宏・稲葉敦編, ライフサイクル環境影響評価手法 (2005), 産業管理協会.

3）World health organization ＜http://www.who.int/healthinfo /global_burden_disease/metrics_daly/en/＞

4）小野雅司・登内 道彦（2014）通常観測気象要素を用いた WBGT（湿球黒球温度）の推定. 日本生気象学会雑誌 50(4), 147-157, 2014

5）OGIMET.com ＜http://www.ogimet.com/home.phtml.en＞

6）本田 靖・小野雅司・佐々木昭彦・内山巌雄（1995） 九州における日最高気温と死亡との関係. 日本公衆衛生雑誌, 42, 260-268.

7） 岡野 泰久・井原 智彦・玄地 裕 インターネット調査を用いた夜間のヒートアイランド現象による睡眠障害の影響評価 日本ヒートアイランド学会論文集 Vol.3 (2008)

8） Statistics Indonesia(BPS)＜http://www.bps.go.id/＞

太陽光発電システムへの心理的近接性の向上が環境配慮行動に及ぼす影響
—保育園を対象とした介入実験—

Effect of An Increase in Psychological Proximity to Photovoltaic Systems on Pro-Environmental Behavior : Intervention Study in Nursery Schools

○弘中雄介*[1)]、本藤祐樹[1)]
Yusuke HIRONAKA, Hiroki HONDO
1) 横浜国立大学
* hironaka-yuusuke-hg@ynu.jp

1. はじめに

近年、地球温暖化対策など様々な理由で再生可能エネルギー技術に注目が集まっている。再生可能エネルギーの特徴の 1 つに小規模分散型設置が可能であることが挙げられる。太陽光発電(PV)技術はこの特徴を代表する技術の 1 つであり、パネル数枚単位での導入が可能である。住宅や公共施設への設置が進み、生活圏への普及が進んでいる。

生活圏へ発電技術が普及することで、人々にエネルギーを使うだけでなく作ることにも意識が向くことが考えられ、人々に何らかの心理的な影響を及ぼすことが考えられる。発電技術による心理面への影響に着目した研究は幾つか行われている。PV 技術を例にすると、住宅や学校に PV システムが設置されることで、居住者や生徒の環境配慮行動を促進する可能性が指摘されている[1-2)]。PV システムが人々の環境配慮行動を促進するメカニズムに着目した研究[3)]では、”PV システムへの心理的近接性(愛着などの好意的な気持ち)”がその促進要因の 1 つであると示唆している。

本研究は生活圏への普及が進んでいる PV システムを対象として、PV システムへの心理的近接性を向上させる介入実験を行い、環境配慮意識や行動への影響を明らかにすることを目的としている。

2. 仮説

本研究では、環境配慮行動を行う心理プロセスとして VBN 理論(Value-Belief-Norm Theory)を想定する。VBN 理論では、一般的な価値観、地球や人間に対する価値観(NEP)、環境問題への認識(重要性認知)、環境問題への責任感(責任帰属)、そして自身が行動をするべきという考え(個人規範)によって、環境配慮行動が説明されるとしている(VBN 理論では環境配慮行動は 4 種類に分類されているが、ここでは割愛する)。より具体的には、価値観が NEP へ、NEP が重要性認知へ、という順で影響を与え、最終的に個人規範が環境配慮行動へ影響を与える一連のプロセスを、環境配慮行動が行われるまでの心理プロセスとして捉えている。

本研究の仮説は、PV システムへの心理的近接性が VBN 理論の 7 つの要素(価値観,NEP,重要性認知,責任帰属,個人規範,環境配慮行動(省エネ行動,環境政策の受容性))のいずれかに影響を与えることで、環境配慮行動を促進させているというものである。そして仮説検証の為に、心理的近接性を向上させる介入実験を行い、VBN 要素がどのように変化するのか、心理的近接性の変化がどの要素に影響を与えているのかを明らかにする。

3. 方法

3.1 介入実験

介入実験は PV システムが設置された保育園の保護者を対象とし、2014 年 12 月 25 日から開始している。介入は、日々の中で自然に働きかけることを重視し以下の 2 つの方法を用いている。

(1) PV 写真カバー連絡帳の利用

日常的に園と保護者の間でやり取りされている連絡帳に、園の PV システムの写真が印刷されたカバーを装着して使っていただく。

(2) PV ライトキーホルダーの利用

PV 機能の付いた LED ライトキーホルダーを親子に配布し使っていただく。

3.2 質問紙調査

介入開始前の調査(1 回目)と、介入開始から約 1 年が経過してからの調査(2 回目)の計 2 回の質問紙調査の概要を Table.1 に示す。

3.3 分析

2 回の調査で照合の取れた回答者(35 名)を対象として分析を行う。分析は、各質問項目の変化量分析(1 回目と 2 回目のデータを用いた対応のある t 検定)と、変化量を用いた相関分析である。本稿では心理的近接性を中心に記述する。

Table.1 質問紙調査概要

	1 回目	2 回目
実施期間	2014 年 11 月 27 日 -12 月 8 日	2015 年 11 月 27 日 -12 月 11 日
調査対象	長野県飯田市の PV 設置保育園に子どもを通園させている保護者	
調査数	92 名	74 名
実施方法	保育園経由での配布/回収	
回答方法	記名式	
調査項目	PV システムへの心理的近接性(3 項目), PV システムの視認行動(1 項目), 価値観(6 項目), NEP(4 項目), 重要性認知(2 項目), 責任帰属(2 項目), 個人規範(2 項目), 環境政策の受容性(3 項目), 省エネ行動の実践頻度(7 項目), 個人属性に関する項目(4 項目)	
回収数	80/92	72/74

4. 結果・考察

4.1 各質問項目の変化

心理的近接性は、3 種の質問項目を用いて、5 段階のリッカート尺度で測定した。各項目の質問文はそれぞれ”シンボル:太陽光発電システムは園のシンボルだと思う”,”愛着:園の太陽光発電システムに愛着を感じる”,”自己所有感:園の太陽光発電システムを自分のもののように思う”である。心理的近接性の質問項目はいずれも正の変化があり、シンボルは有意な正の変化であった。心理的近接性項目の合算も有意に近い正の変化であった(Table.2)。

心理的近接性項目の向上から、介入によって園の PV システムに対する好意的な意識が高まっていると考えられる。特にシンボル意識の変化が大きく、PV 写真カバーの日常的な使用によって PV システムが園を象徴するものであるという意識が高まったのではないかと考えられる。

価値観など他の要素に関しては、「要素」単位では有意な変化は観察されなかったが、「項目」単位では NEP の 1 項目で有意な正の変化が見られた。一方で有意な負の変化も価値観と省エネ行動の各 1 項目で見られた。

Table.2 心理的近接性の変化

		シンボル	愛着	自己所有感	心理的近接性（合算）
平均値	1回目	2.74	2.63	1.69	7.06
	2回目	3.00	2.80	1.74	7.54
変化量(平均値)		0.26	0.17	0.06	0.49
有意確率(両側)		0.018	0.136	0.661	0.058

4.2 心理的近接性と他項目との相関関係

各質問項目の変化量を用いて相関分析を行った。また分析では心理的近接性 3 項目の主成分得点を心理的近接性の値として用いた。心理的近接性と有意な相関あるいは一定の相関がある項目を示す(Table.3)。

Table.3 相関分析結果(心理的近接性)

		心理的近接性
地球尊重 (価値観)	相関係数	0.290
	有意確率(両側)	0.091
情報収集 (省エネ行動)	相関係数	0.330
	有意確率(両側)	0.053
省エネ行動合算	相関係数	0.334
	有意確率(両側)	0.050

変化量を用いた相関分析の結果、心理的近接性は省エネ行動に相関が見られた。また有意ではないものの、価値観項目にも一定の相関が見られた。先行研究 [3)]でも心理的近接性が価値観に影響を与える可能性が指摘されていた。今回の結果はその可能性を支持しうるものであり、心理的近接性を向上させることによって価値観と省エネ行動が高まる傾向を示していることから、心理的近接性の向上が環境配慮行動を直接間接に促進させることができるのではないかと考えられる。

5. 終わりに

今回の分析では 2 回調査の間に有意な差が見られた項目が期待していたほど多くはなかった。考えられる要因の 1 つにサンプルサイズが 35 と小さいことが挙げられる。サンプルサイズが小さいため、変化がある項目であっても有意な差として認められにくくなっている可能性が考えられる。しかし、心理的近接性の向上によって、価値観と省エネ行動を向上させる可能性が変化量を用いた相関分析の結果から示唆されており、心理的近接性の向上が環境配慮行動の促進に一定の効果があることが期待される。

最後に調査にご協力いただいた皆様に御礼申し上げます。また、本調査は JSPS 科研費(課題番号:25340120)の支援により実施されました。

参考文献

1) J.Keirstead:Energy Policy 35(8),(2007),pp.4138-4141
2) 野田肇,本藤祐樹:エネルギー・資源学会論文誌 32(1),(2011),pp.1-7
3) 藤本ひかり,本藤祐樹,弘中雄介:日本エネルギー学会誌 12(1),(2016),pp1-13

幼稚園・保育園から小学校低学年に至るまでの環境学習効果 ー愛媛県内子町におけるヒューマンソーシャルライフサイクル分析(その１)

Environment learning effect from the kindergarten and nursery schools up to the elementary school lower grades

- The Human social life cycle analysis in Uchiko town (Part 1) -

○中口毅博*[1)]，高杉悠那 [1)]

Takahiro Nakaguchi,Haruna Takasugi

1) 芝浦工業大学

* nakaguti@sic.shibaura-it.ac.jp

１．はじめに

近年自治体において環境学習や ESD(持続可能な発展教育)関連の事業が活発に行われているが、政策効果が明確に示されていない。環境学習の効果は即座に効果が現れるものではないことから、人間の一生に着目した長期的な評価が必要となる。一昨年の発表においては、財やサービスを中心に据えた従来の LCA ではなく人間そのものを対象とした LCA、すなわち HLCA(（ヒューマン・ライフサイクルアセスメント）を提唱した。

そこで本研究では、HLCA の予備的検討として、愛媛県内子町の A 小の 2 年生に着目し、幼稚園・保育園時代の環境意識・行動について、追跡調査を行い、園、小学校を通しての環境活動実施の有効性を検証することを目的とする。

２．研究の方法

5 歳から 9 歳の年齢では、環境意識や行動を本人に聞いて把握することは困難である。そこで本研究では環境意識を学校園で行った環境活動のことを園児が家庭に伝えた度合い、すなわち「親への伝達率」で把握する。また、環境行動を、家で環境活動を実施するようになった度合いを「環境配慮実践率」と定義した。また、個人だけでなく地域社会への波及効果の計測ためには大規模な調査が必要になるため、ここでは「親の環境配慮実施率」に絞った。

これをら把握するために、保護者へのアンケート調査を実施した。子どもの幼児時代については2013 年 9 月に内子町のすべての園について、各園を通じてアンケート調査票を配布回収した。A 小については 2 年生 2 クラスの担任を通じて配布回収した。前者の回収数は 337、後者は 54 で回収率は 90%であった。出身園別の回収数を表 1 に示す。A 小 2 年には町外出身者は少数いるが今回回答がなく、結果的内子町内の園出身者のみで占められることになった。幼児時代の調査は園ごとに集計されており個人が特定できないため、現在との比較の際には表 1 の構成割合で結果を重み付けして比較するものとした。

表 1　出身園別の回収数

出身園名		回収数	割合
A幼稚園		23	43%
保育園合計		30	57%
	A保育園	20	38%
	B保育園	7	13%
	C保育園	3	6%
合計		53	100%

３．A 小 2 年の環境意識・行動の変容

3.1　親への環境活動伝達率

図 1 に親への環境活動伝達率を示した。現在の伝達率は高い順に「木工体験」75%、「自然探検や遠足」62%、「川遊び」と「生物採集や飼育」が 60%となっている。

園時代からの変化を項目別にみると、統計的に有意に伝達率が上昇したのは 19 項目中 3 項目のみで、生活科の授業や特別活動として園時代はあまり行われず学校で取り組まれているものが上昇した、逆に 6 項目で下降したが、これはすべての保育園で行われていた「エコ見回り隊」の頻度が減ったことや関連した替え歌を歌わなくなったこと、川遊びや散歩は行わなくなった

ことが影響しているとみられる。また、19 項目の平均実施率は 42%→43%とほとんど変化がないことから、発達段階に応じたコミュニケーション能力の差が要因でないといえる。

3.2　本人の環境配慮実施率

図 2 に本人の家での環境配慮実施率を示した。現在の実施率は高い順に「屋外で遊ぶ」62%、「昆虫採取や動物飼育」「不要品や草花工作」がいずれも 57%、「環境の本やテレビをみる」43%となっている。

園時代からの変化をみると、14 項目の平均実施率は、22%→34%と上昇している(10%危険確率で統計的に有意)。項目別にみると、14 項目中 7 項目で有意に伝達率が上昇しており、逆に 2 項目で下降した。項目別にみると外遊びが増えていることがわかる。小学生になり一人での外出が許されるようになり行動範囲が広がったこと、生活科の授業で生き物観察やまち探検を実施していることが要因として考えられる。

3.3　親の環境配慮実施率

図 3 に親の環境配慮実施率を示した。園時代からの変化をみると 13 項目の平均実施率は、40%→44%と有意差はないもののわずかに上昇している。項目別にみると、有意に上昇しているのは 13 項目中 3 項目にとどまるが 6 項目で 5 ポイント以上上昇しており、逆に下降したものはない。室内での環境配慮に上昇した項目が多い一方、野外活動関連には変化がみられない。

4．考察とまとめ

伝達率に変化はないが本人・親の行動実施率はいずれも上昇していた。伝達率は学校園での活動の影響が大きいが、行動は実践した結果が蓄積され、不可逆的である。したがって園、小学校を通しての環境活動の実施は有効であるという仮説が成り立つ。

しかし内子町の学校園ではいずれも環境活動をしており、この仮説は検証できない。検証のためには、環境活動を実践している園から実践していない小学校に来た場合との比較や、環境活動を実践していない園から実践している小学校に来た場合との比較が必要である。

参 考 文 献

1)　中口毅博,環境科学会年会要旨集, (2014),2pp.
2)　中口毅博,第 9 回日本 LCA 学会講演要旨集, (2014),2pp.

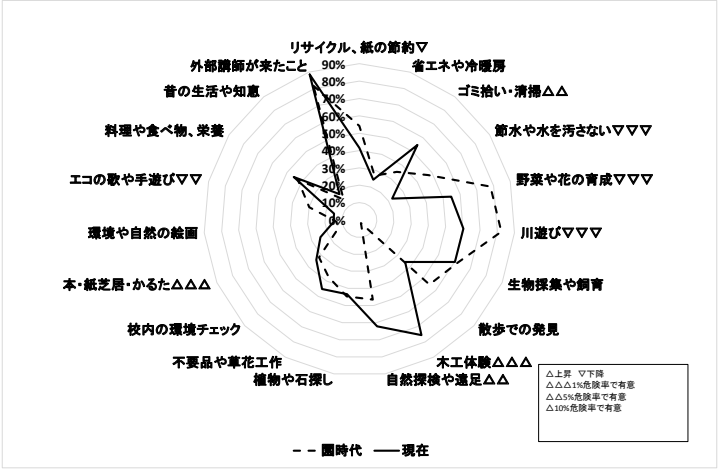


図 1　親への環境活動伝達率

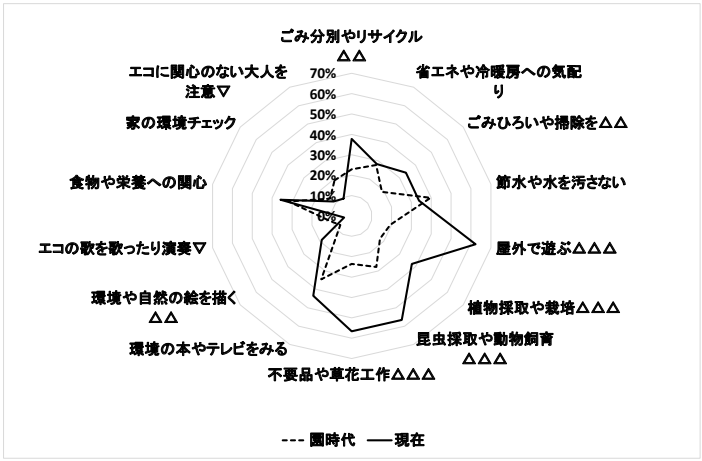


図 2　本人の家での環境配慮実施率

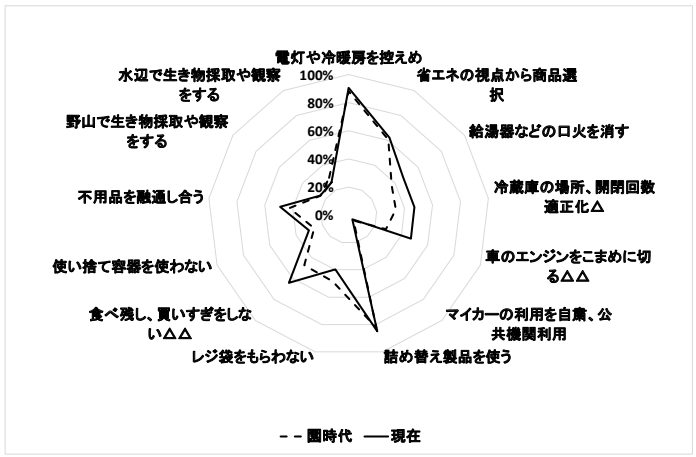


図 3　親の環境配慮実施率

小学生を対象としたライフサイクル思考を取り入れた調理体験型食育プログラムの開発

Experience-based Learning Program of Food and Nutrition Education with Life Cycle Thinking for Primary School Student

○菱沼竜男*[1)]、大森玲子[1)]
Tatsuo Hishinuma Reiko Ohmori
1) 宇都宮大学
* thishinuma@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. はじめに

地球温暖化や資源枯渇など地球規模の環境問題の原因は、企業の生産活動だけでなく消費者を含んだ一連の経済活動にある。私たちは、これからのライフスタイルを持続可能な社会システムの構築に向けて転換していく必要があり、そのための環境教育の充実が求められている[1)]。これまでに、生産や加工、流通、消費、廃棄を包括的に捉えて環境負荷を考えるライフサイクル思考（LCT）を取り入れ、生活に身近な製品や活動を取り上げた環境教育プログラムが開発されている。

他方、私たちに身近な生活場面として「食生活」がある。食生活には、上流に農畜産物の生産や加工（作る）があり、流通、消費（使う）を経て下流の廃棄（捨てる）とつながっている。したがって、食生活や食材を題材として LCT の理解を促す教育プログラムを開発することは、環境問題が私たちの生活の延長線上にあることを比較的容易に意識化でき、ひいては環境影響に配慮した食行動へとライフスタイルを転換する可能性があると考えられる。

本研究では、小学生を対象とした LCT を取り入れた食育プログラムの開発と実施に取り組んだ。

2. LCT を取り入れた調理体験型食育プログラム

2.1 開発する教育プログラムの位置付け

例年、大森は小学校高学年を対象に「食の科学体験教室」を実施している。食の科学体験教室は、食べ物の性質や調理過程で起こる変化の中にある物理化学的な事象を体験的に理解することねらった食育事業である。これまでに、容器の材質による熱伝導の違いとアイスクリームのでき方の差や大豆タンパクの熱変性とにがりによる凝固反応など、日々の食生活に身近な食材や調理法を取り上げて、調理体験を通した食育プログラムを展開してきた。また、食の科学体験教室の特徴として、大学生によって計画立案から、児童への指導や補助、解説が行われており、大学生ら自身が試行錯誤しながら実施する食育プログラムを作り上げていく取組みとなっていた。

本研究で開発する LCT を取り入れた食育プログラムは、食の科学体験教室の中で実施するとした。これにより、児童らは具体的な調理体験とつながった食材で LCT への気付きを与える活動に取り組むことになり、流れを持った教育プログラムが作成できると考えた。

2.2 開発する教育プログラムの概要

平成 26 年度の食の科学体験教室は、ピザ作りを通し

表 1 ライフサイクル思考の気付きのための教育プログラムの概要

活動内容	ねらい	支援
【導入15分】(ワークシートを用いた作業) 1.食材の確認 ・国内産と外国産のどちらを使ったのか整理	児童が選んだ食材を確認し、その選択理由を考えさせる。	●同じ食材で国内産と外国産を用意し、使ったほうの産地をワークシートにチェックさせる。
【講義30分】(ワークシートを用いた作業) 1.食材の生産場所の確認 2.生産場所から日本までの距離の確認 3.食材の輸送手段の確認 4.食材の輸送機関の台数の計算	同じ食材でも生産地と輸送機関(手段)が異なることに気付かせる。	●大判の世界地図を用意し、生産地がどこなのか児童と一緒に探していく。 ●食材の生産地が消費地とどのくらい離れているか、乗り物のイラストと地図を使いながら解説する。
【実験30分】(色水を用いた計量作業) 1.食材の輸送に使われた燃料の量の確認	食材ごとに輸送で使われた燃料の量が異なることに気付かせる。	●容器の異なる三種類のカップで色水をタンクから空の容器に移すという実験を行い、食材の輸送に使用した燃料の量を視覚的に理解する。
【まとめ15分】 1.ライフサイクル思考の説明と確認	食材の裏側に隠れた輸送プロセスに気付かせる。	●食材の選択という行動の裏で使われている燃料に差があることを説明する。 ●講義の感想についてアンケートを行う。



図 1. 講義の様子



図 2. 実験の様子

たイースト菌の発酵特性を理解する内容として構成されていたことから、ピザのトッピング食材(パプリカ、玉ねぎ、鶏肉、ブロッコリー）を対象として本プログラムの実施計画を立案した。

本プログラムは、小学校高学年を対象とした90分(導入 15 分、講義 30 分、実験 30 分、まとめ 15 分）の内容とした。また、本プログラムは、LCT に触れる初期段階と位置付け、直感的に理解しやすい指標と考えられるフードマイレージ[2)]を参考にして立案した。

具体的には、トッピング食材について、国産と外国産のものを準備して同じ食材でも生産地が異なるものが存在することを理解する「導入」、食材の生産地や輸送距離、輸送手段（輸送車両）について理解し、輸送に使用された輸送手段の台数を計算する「講義」、輸送（手段)に伴って消費した燃料の量を計量する「実験」、本活動を振り返り、LCT の解説を行う「まとめ」から構成した（表１)。特に、「講義」では、児童らが説明を聞くだけでなく、手を動かしながら産地や輸送距離、輸送手段の違いを理解できるように大判地図とワークシートを利用した作業を行う方式をとった（図 1)。また、「実験」では、食材の輸送に伴う燃料消費量の計量作業として、ワークシート作業で得られた結果（輸送手段の台数）に基づいて燃料に模した液体を計量ケースに移し替え、その量を確認する作業をグループ単位で行う方式をとった（図 2)。液体を計量ケースに移し替える際に用いる容器は、輸送手段（航空機、船舶、トラック）の燃費の違いを反映した容量とした。ただし、計量作業では輸送手段の違いと燃料消費量の違いの理解を重視するとして、輸送手段毎の容器の容量と各輸送手段で推計される燃料消費量との整合性は無視するとした。「まとめ」では、講義や実験の内容を振り返りながら食材選択の裏側にある生産地、輸送距離、輸送手段、燃料消費量の違いと LCT の説明を行った。また、食材輸送に伴う燃料消費量として実際に推計される量を提示するとともに、実験で行った計量作業の意図を解説した。最後に、本プログラムの評価を行うためにアンケート調査を行った。

2.3 実施状況

平成 26 年 7 月 26 日に宇都宮大学教育学部内で小学校高学年（23 名）を対象として本プログラムを実施した。児童らは、4〜5 名 1 グループで一人 1 枚のピザ作りを体験した。トッピング食材の内容は、グループ内で共通として、各食材について国産と外国産から 1 つを選択させた。グループ毎にワークシートを用いて、説明を加えながら生産地や輸送距離などの確認と輸送手段、燃料消費量の計量などを進めていった。各グループに 1 名の指導役の大学生が児童の作業補助に当たった。また、計量した燃料の量を比較して、その差が生じた理由について児童らに発言させながら理解を促すとともに、食材選択に隠れた輸送部分の存在と LCT を解説した。

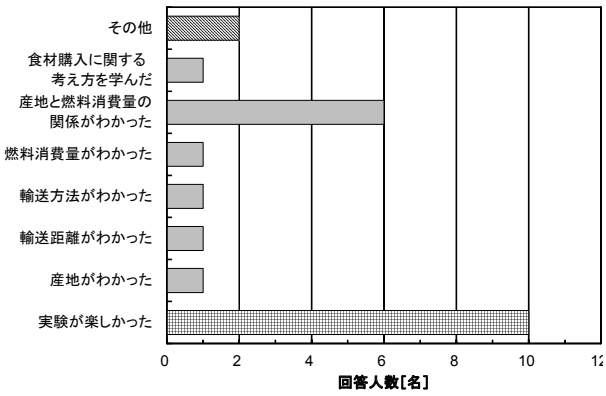


図 3. アンケート票への記載内容（n=20）

3. 結果および考察

今回の本プログラムの実施では時間配分に課題が残った。特に、実験の計量作業ではグループによって進行度合いが異なり、まとめの時間が少なくなった。

アンケート調査結果から、本プログラムに対する興味関心は高く、内容も分かりやすいという回答が多くみられた。その具体的な理由として、実験が楽しかったと回答した児童が半数程度を占めた。また、生産地や輸送距離、輸送手段が理解できたとの回答が 3 件あった。燃料消費量の把握と生産地と燃料消費量の差を理由に挙げた児童が 7 名。さらに、食材購入の際のものの考え方を理由に挙げた児童が 1 名であった(図 3)。また、自由記入欄で「ほかの食べ物がどこから来ているのか」、「ほかの食べ物の燃料消費量を調べたい」、「燃料の節約方法が知りたい」などの意見があった。

本プログラムでは、特に実験を取り入れたことが、児童らの興味を引き出し、理解を促したと考えられた。また、アンケートの回答内容から約半数の児童らが、食材の裏側にある産地の違い、輸送やそこでの燃料消費量の違い意識できたと考えられた。一方で、本プログラムよる LCT の理解度を判断することができず、プログラム実施の効果の評価方法に課題が残った。

謝辞

本研究は2014年度卒論生の柴田裕貴くんの卒業論文をもとに作成した。ここにお礼申し上げる。

引用文献

1) 妹尾理子：環境教育, 19(2), (2009), pp35-42
2) 農林水産省：“フードマイレージについて”, 農林水産省ホームページ, < http://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/kikaku/goudou/06/pdf/data2.pdf>, (参照2014-6-27)

小学校におけるライフサイクル思考に基づく環境教育の実践と評価

Implementation and Evaluation of the Environmental Education Program Based on Life Cycle Thinking in an Elementary School

○笠井利浩*[1)]、荒木史代[1)]
Toshihiro Kasai, Fumiyo Araki
1）福井工業大学
* kasai@fukui-ut.ac.jp

1. はじめに

現在の日本社会では、環境保全に対する一般市民の意識が高まり、様々な環境活動が実践されると共に社会にはハイブリッドカーに代表される環境配慮型商品が増えている。これらは、自然の素晴らしさや環境問題の現状を伝え、自然保護を訴える事に主眼をおいたこれまでの環境教育プログラムの成果であり、環境保全活動への第一ステップとして評価される。しかしながらその一方で、全ての環境活動や環境配慮型商品が必ずしも環境負荷削減に繋がるものではないという問題がある。今後は、この問題を解決するために、環境保全活動の第二ステップとしてライフサイクル思考（以下、LCT）を導入した環境教育を実践してゆかねばならない。

笠井ら[1)]は、2010 年度から初等教育における LCT に基づく環境教育を提案・実践してきた。この環境教育プログラムでは、LCT の要となる環境負荷の定量化を導入するための教材として、雨水活用装置を導入した。これは“水”という人間にとって最も身近な物質を教材に使用することにより、児童の関心を高める効果を狙うものである。また、定量的に捉え易いという特徴を持つため、環境負荷の定量化への話の流れがスムーズなものとなる。また、平成 24 年度からは、新たに巨大な緑のカーテン（幅 18m、高さ 10m）を教材に加え、小学校全学年を対象とした、継続的な環境プログラム（長時間体験型環境教育プログラム）に発展させた。児童による土作り～撤去といった一連の緑のカーテン育成への取り組みと、年数回の筆者らによる環境教育授業を通じて、実際の環境行動に繋がる環境教育に取り組んでいる。

本報では、特にこれまでの実践結果から得られた今年度の実践内容と評価結果について報告する。

2. 実践

2.1 過去の実践（2010～2014）

福井市内の A 小学校において実践してきた、LCT に基づく環境教育の実践記録を、図 1 に示す。2010 年 7 月に、最初の LCT に基づく環境教育用教材（雨水活用装置）を設置し、その後の 2012 年 6 月に二つ目の環境教育用教材（緑のカーテン）を設置して環境教育を行ってきた。

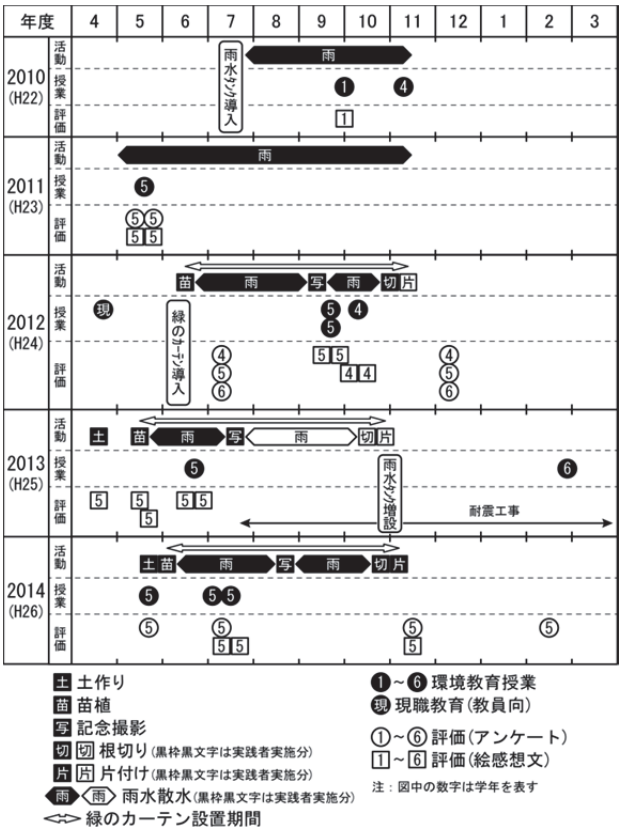


図1　A 小学校で行った LCT に基づく環境教育の実践記録[1)]

2.2 2015 年度の実践

2015 年度に実施した環境教育プログラムは、2014 年度に実施した環境教育プログラムをベースに、若干の修正を加えて実施した（表 1）。これは、2014 年度に実施した環境教育プログラムが、我々が 2010 年度から開発してきた雨水活用装置と緑のカーテンを用いた LCT に基づく環境教育プログラムの概略の完成形と判断したためである。2015 年度は、2014 年度に実施した環境教育プログラムに、筆者による LCT の内容を含む環境教育授業（7 月中旬実施）での、LCT や批判的思考力を強調する教材の使用（スライド追加）や、その際の説明内容を工夫して実践を行った。また、本環境プログラムに関する作業等にできるだけ 5 年生児童に参加してもらい、可能な限り小学校関係者のみで環境教育プログラムが実施できる体制が整えられるようにした。2015 年度に 5 年生児童に参

加してもらった内容として特に大きなものは、10/23 に実施した緑のカーテンの撤去作業である。これまで小学校教員と筆者等の研究室で実施していたが、2015 年度は作業の大半を 5 年生児童と小学校教員で行った。

表１　2015 年度に A 小学校で行った環境教育の詳細

実施日	実施項目・内容
5/中	☆質問紙調査（実践前）
5/22	環境教育授業：緑のカーテンを育てよう！ 【①緑のカーテンの育て方（一年間の流れ）　②緑のカーテンの成長記録動画　◆緑のカーテン土再生作業】
6/01	◆緑のカーテン苗植え、種蒔き
7/09	環境教育授業：肥料でグングン大きくなれ 【①肥料の種類（有機と無機肥料）　②肥料の三大要素とその働き　◆緑のカーテン用液肥作りと散布方法】
7/17	環境教育授業：雨水で育てる緑のカーテンから正しいエコを考えよう！～環境にどれぐらいいいのかな？ 【①緑のカーテンの効果（室温、サーモカメラ）　②緑のカーテンの成長と水使用量 ③LCT の考え方 ④3EID ⑤緑のカーテン設置時の CO_2 排出量 ⑥緑のカーテンの良い面と悪い面 ⑦水道の仕組み ⑧水道水の CO_2 排出量 ⑨水道水 $1m^3$ の CO_2 排出量《実験》 ⑩雨水タンク設置時の CO_2 排出量 ⑪雨水タンク設置時の CO_2 排出量を返すために必要な雨水活用量 ⑫緑のカーテンへの雨水散水方法《ｸﾞﾙｰﾌﾟ ﾃﾞｨｽｶｯｼｮﾝ》】
7/17	☆質問紙調査（実践後）
8/20	緑のカーテンと記念撮影
10/19	◆緑のカーテンお別れ会
10/23	◆緑のカーテン撤去

☆質問紙調査　　【】内、環境教育授業内容　　◆作業

3. 評価

2015 年度の環境教育実践の効果を検証するために、実践を行った A 小学校の 5 年生児童を対象に、LCT に基づく環境教育授業の実践前後に質問紙調査を実施した。本実践は、LCT の学習を通して、多くの情報から正しい情報にアクセスし自ら主体的に行動する「批判的思考」力の育成を目標としている。2014 年度の実践[1)]では、批判的思考を測定したものの効果が見られず、尺度選定が課題として挙げられた。本効果測定では、理科教育における批判的思考の育成を目的に作成された、小学生用批判的思考測定質問紙[2)]を新たに利用した。

3.1 方法

質問紙調査の実施時期等は以下に従って行い、「あてはまる（5 点）」から「あてはまらない（1 点）」の 5 段階評定で回答を得た。

対象者：小学校 5 年生　計 55 名

実施時期：実践前 2015 年 5 月中旬
　　実践後 2015 年 7 月中旬

手続き：以下の項目を含む質問紙調査を実施

・小学生用批判的思考測定質問紙[2)] 20 項目

3.2 結果

先行研究[1)]と同様に、小学生用批判的思考測定質問紙の「反省的な思考」「探究的・合理的な思考」「証拠の重視」「健全な懐疑心」の各因子別に算出した平均得点、標準偏差を、表 2 に示す。各因子別に対応のある t 検定を実施した結果、「反省的な思考（$t(54)=2.40$, $p<.05$）」「探究的・合理的な思考（$t(54)=2.12$, $p<.05$）」「証拠の重視（$t(54)=4.01$, $p<.01$）」の各因子で有意な結果が得られた。すべての因子で、実践後の得点が、実践前の得点より高かった。

表２　各因子別の平均得点・標準偏差･統計結果

尺度（因子）	実践前(5 月)		実践後(7 月)	
	M	SD	M	SD
批判的思考測定質問紙				
反省的な思考	3.54	(.93)	3.81	(.91)*
探究的・合理的な思考	3.64	(.80)	3.86	(.77)*
証拠の重視	3.28	(.85)	3.78	(1.01)**
健全な懐疑心	2.65	(1.08)	2.68	(1.13)

**: $p<.01$, *: $p<.05$

4. 考察

効果測定の結果、批判的思考測定質問紙の「反省的な思考」「探究的・合理的な思考」「証拠の重視」で実践後の得点が高く、環境教育の実践後に、児童の批判的思考が向上しているという成果が得られた。2014 年度に小学校 5 年生を対象に行った実践[1)]では、効果測定において批判的思考では成果が得られなかった。今年度成果が得られたのは、1）先行研究[1)]の結果を受けて、授業実践の中に、LCT や批判的思考力をより強調する教材、発話を組み込んだこと、2）批判的思考を測定する評価尺度を変更したこと、3）授業直後に効果測定を目的とした質問紙調査を実施したことが理由として考えられる。

本実践は、環境教育の研究者が児童に対して実施しているが、学校教育における LCT に基づく環境教育の普及に向けて教師が実施可能な教材開発、実践方法の検討が今後の課題である。

参考文献

1）笠井利浩，荒木史代(2015)：日本 LCA 学会誌，11(4)，pp.337-347

2）木下博義，山中真吾，中山貴司(2013)：理科教育学研究，54(2)，pp.181-188

【謝辞】本報告は、学術研究助成基金助成金「実践分析を取り入れた新しい環境教育プログラム評価手法の開発（課題番号：26350248）」の研究成果報告の一部である。

家庭科授業としての LCT 教材開発と評価 ―「タオルの洗濯」と「カレーづくり」の教材化―

Development and evaluation of LCT education materials for home economics ―through education materials of towel washing and curry making―

○水野建樹*1)、田原聖隆 2)、高田亜佐子 2)　妹尾理子 3)、上野正恵 3)、平山世志衣 4)、竹内孝曜 1)
Tateki Mizuno, Kiyotaka Tahara, Asako Takada, Michiko Seno, Masae Ueno, Yoshie Hirayama, Takaaki Takeuchi,
1）一般社団法人未踏科学技術協会、2）独立行政法人産業技術総合研究所、3）国立大学法人香川大学　4）特定非営利活動法人横浜 LCA 環境教育研究会
*mizuno@sntt.or.jp

１．はじめに

新旧の高等学校家庭科教科書『家庭基礎』における環境に関する語句を収集し分析した結果によると 1)、学習指導要領の改訂を受けて新しくなるにしたがって、家庭科教科書では環境に関する記述が増加している。また、ライフサイクルアセスメント（LCA）という語句そのものの記述も増加しており、家庭科ではライフサイクル思考（LCT）重視の傾向があるといえる。しかし、LCA の解説はあっても、具体的事例や数値で示されることはほとんどなく、今後は自分自身の生活と LCA を関連付けた授業を進める上で有効な教材が求められる。

そこで本発表では、LCA を取り入れて開発した LCT 教材について具体例を紹介すると共に、教材に対する家庭科教師の評価と授業を受けた生徒の感想を示す。それにより、今後の LCT 教育の普及と拡大における可能性と課題を考察する。

２．バスタオルとカレーライスの LCA 分析（CO_2）

LCT 教材のねらいは、①身近な製品による環境負荷（CO_2）について「気づき」を与えること、②その結果を実生活で活用するきっかけを与えることにある。そのため、教材の内容は　①ライフサイクルのほとんど全ての段階で CO_2 が排出されていること、②各段階の CO_2 排出にはそれぞれ特徴があること、それらを知った上で　③日常製品を使うにあたって CO_2 を減らす方法を考えさせることとした。その発展として、④中高生に長期的視点で CO_2 排出削減に向けた心構えを醸成することにある。

図１は、試作したバスタオルのライフサイクルでの LCA 分析結果で、図２はカレーライスに関する LCA 分析結果である。以上を元に開発した教材については次に示す。

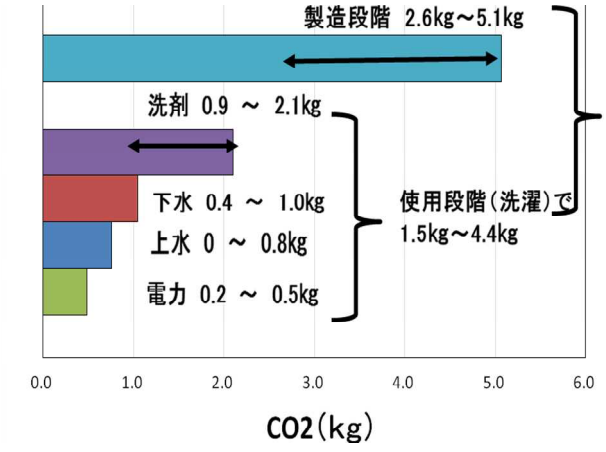


図１　タオルの CO_2

（注；洗濯容量 8kg の洗濯機を使用。一度に洗う洗濯物は 2.5 kg～8 kgの範囲。ここで示している値はおおよその範囲）

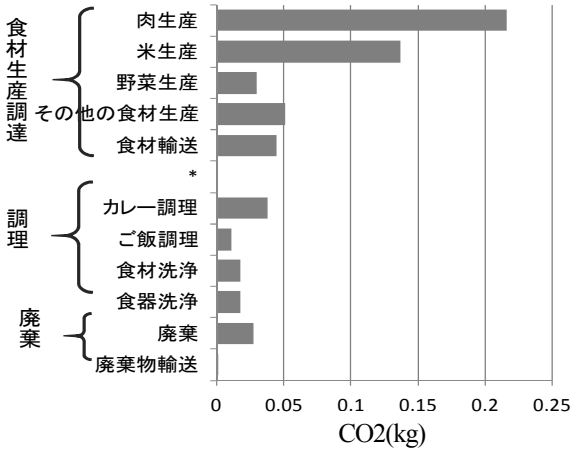


図２　カレーライスの CO_2

（注，豚肉使用、８皿調理の中の１皿分）

３．開発教材

家庭科での被服（着る）分野では比較的素材や構成が単純な「バスタオル」を取り上げて LCA 教材を試作した 2),3)。提示用教材と生徒用ワークシートを示す（図３・４）。

次に、食生活（食べる）分野の教材として、食卓にのぼることの多い「カレーライス」を取り上げ、その一生と CO_2 の関係を教材として試作した（図５）。カレーライスの場合、「食材調達－調理－片付け」のライフサイクルで考えることにより、CO_2 は調理段階だけでなく、「食材

調達段階でより多くの CO_2 が排出されていることに気づきを与えることができる。

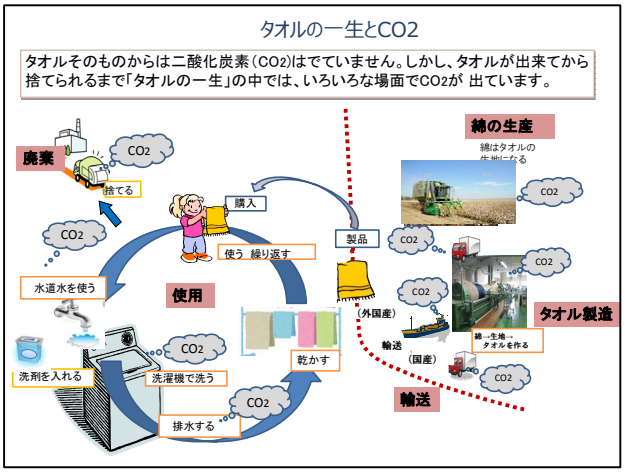


図３　タオルのライフサイクル

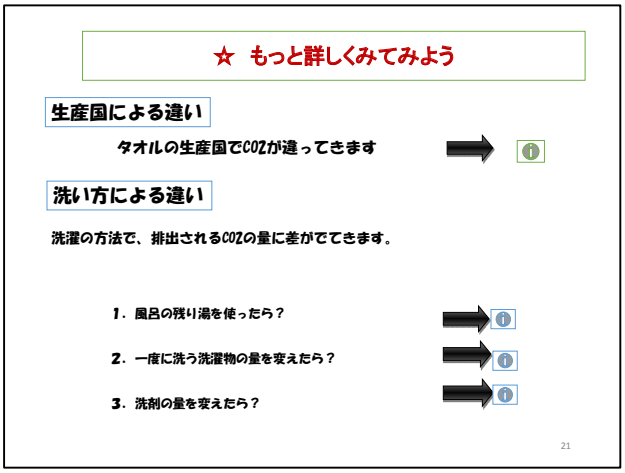


図４　素材の選択と洗濯方法



図５　カレーライスのライフサイクル

4．教材に対する評価

現在、開発した教材について実際に中学・高校の家庭科教諭からの意見や、教材を利用した授業の効果・反応等についての情報を収集している。教員からは、「生徒にとって内容はとても理解しやすかったようである。また、タオルが CO2 と関係があることに驚いていた。」「中学生向きの環境授業には大変分かりやすく説得力もあり、タオルに限らず他の対象物に置き換えて考えさせていくと良いと思った」「なんとなくわかっていたことも、数値で示されると説得力がある」等の高評価を得た。また、「将来の環境問題を身近なことをして捉えグループでディベートをさせたり、アクティブラーニングを取り入れ発表していけるのでないかと思った」「フェアトレードについても、数値的なデータがあると、授業がしやすいように思う」等、今後の教材開発への示唆となる感想や意見も得られた。以下は授業を受けた生徒の記述例である。

東京都港区立 K 中学 3 年生：
この授業で私が気がついたことは・・への回答（抜粋）
- 洗剤が一番 CO_2 が出る
- 洗剤の量を増やしても汚れを落とす効果は変わらない
- 物を捨てるときにあまり CO_2 がでないこと
- 人が（呼吸で）出す CO_2 は温暖化と関係がないこと
- 水道水を使ったり、洗剤を使うのにも CO_2 がでる

札幌市 A 中学校：授業後の感想（抜粋）
- タオル使うときにもＣO2。使わなくなってもＣO2 排出。大変だなと思った。洗濯の話やＣO2 どこから出るかよく分かった。残り湯のメリット、デメリットがあるとわかった。
- ＣO2 大量発生させないために普段の生活から意識が大事と改めて思う。
- タオル完成までたくさんＣO2 発生するんだと思った。日頃の生活を直さないといけない。
- 残り湯は菌が気になるしとても難しいと思った。

4．まとめ

本報で紹介した LCT 教材に対する現場教師からの評価はかなり高く、家庭科における環境教育の拡大に有用であることがわかった。LCA 分析結果を取り入れた説得力のある教材の有効性が確認できたと考える。今後はさらに実践をふまえて改良を加え、現場への普及をはかることが課題であろう。

謝辞
本調査研究は環境省平成 25 年度環境研究総合推進費「プラットフォーム化を目指した日常行動に関わる LCA データの整備と教材開発（研究代表：栗栖聖）」の一環として実施した。

参考文献
1) 妹尾理子、日本LCA学会誌(2015)　11, 5, p330－336
2) 水野建樹、津田祥子、第 9 回日本 LCA 学会研究発表会（2014）p162-163
3) 水野建樹他、第 10 回日本 LCA 学会研究発表会（2015）p38-39

ライフサイクル思考の学びが環境配慮行動の意思決定過程に与える影響

Influence of the learning of life-cycle thinking on decision-making process of pro-environmental behavior

○田髙初奈*[1)]、平山世志衣 [2)]、高岡由紀子 [3)]、津田祥子 [4)]、水野建樹 [4)]、松本安生 [5)]、松本真哉 [1)]

Hatsuna Tadaka, Yoshie Hirayama, Yukiko Takaoka, Shoko Tsuda, Tateki Mizuno, Yasuo Matsumoto, Shinya Matsumoto

1) 横浜国立大学, 2) 特定非営利活動法人横浜 LCA 環境教育研究会, 3) グリーン購入ネットワーク, 4) 未踏科学技術協会, 5) 神奈川大学

* tadaka-hatsuna-dj@ynu.jp

1. はじめに

近年、地球温暖化をはじめとする様々な環境問題の深刻化が懸念されており、環境問題解決に向けた国際的な取り組みが重要課題となっている。国家主体の対策の重要性もさることながら、市民一人一人が日常生活において環境行動を始めることの必要性も指摘されている [1)]。人間が環境に配慮した生活を営むために、環境配慮行動の規範となる価値観の醸成が大切であるが、その際の有効な手段として環境教育によるアプローチが期待されている [2)]。

松本らはライフサイクル的思考(LCT)に着目した環境教育プログラムを開発 [3)]し、平成 19 年より実践に取り組んでいる。本プログラムでは主題材として携帯電話を取り上げ、関連素材の科学的基礎知識とライフサイクルにおける環境への影響に焦点を当て、物質消費と環境問題の密接なつながりを学ぶ。本プログラムの教育効果は中学生や高校生、市民などを対象とした授業直後の質問紙調査により調べられており、LCT を学ぶことで環境配慮意識が向上することが示唆された [4)]。このような LCT 環境教育の教材開発及び実践に伴う環境配慮意識の向上は、多数報告されている [5-7)]。

LCT 環境教育を含む環境教育の目的は、意識変化だけに留まらず、自発的に環境に対し責任ある行動をとることのできる人材を育成することである。これまで環境教育の研究では、受講者の環境問題への意識の高まりが必ずしも日常生活における実際の行動に結び付かないことが報告されている [8)]。LCT 環境教育を進める研究者や教育者は、LCT の学びは、その環境問題に関する意識と行動の乖離を乗り越えることを促し、結果として環境配慮行動の実施に結びつくと想定している。しかしながら現在のところ、環境配慮行動に至る受講者の心理的変化に LCT が与える影響や、講義終了から時間を経た受講者の意識や行動について調査した例は限られている [5,9)]。そこで私たちは、まず LCT 環境教育受講者の環境配慮行動に関する実態調査を 2014 年に一次調査として行った [10)]。この調査では受講から最長で 2 年、最短で 2 カ月が経過した 20 代～70 代以上の男女 96 人を対象とした。調査結果から、向上した環境配慮意識は最長で 2 年後も持続していたことが明らかになり、さらに LCT は環境配慮行動を促す要因のひとつである可能性が示唆された。

本発表では、環境教育の意識変化から行動変化に至る過程で LCT の学びが具体的にどのように働くか調査するため、一次調査の結果を踏まえて設計した二次調査の内容と調査結果の一部を報告する。

2. 二次調査概要

二次調査では、LCT の学びが受講者の意識変化や行動変化に関する心理過程に与える影響と、受講者の環境配慮意識及び行動の経時的変化を調べることを目的とした。以下に質問紙設計や調査対象について述べる。

2.1 質問紙設計

一次調査で用いた質問紙からは、環境配慮行動の規定因になり得る要因を確認できたものの、要因設計に課題があり、規定因の特定には至らなかった。そこで二次調査では、環境配慮行動の意思決定モデルとして広くその有効性が認められている広瀬モデル [11)]を参考に質問紙設計を行った(表 1)。このモデルでは、環境配慮行動に至るまでの意思決定過程は「目標意図」の形成と「行動意図」の形成の二段階から成ると考える。そして各意図の意思決定における主要因として「危機感、責任感、有効感」及び「実行可能性評価、費用便益評価、社会規範評価」のそれぞれ 3 項目を仮定し、環境配慮行動を実施するメカニズムを説明する。

調査対象の環境配慮行動には、一次調査の結果から LCT の寄与が大きいと考えられた「水の利用」と「商品選択」を取り上げた。これらの行動をさらに 2 つずつの行動に分け、合計で 4 つの行動を調査対象とした。それぞれ、①生活排水処理と②節水、③エコ製品選択と④リサイクル商品・リユース商品選択である。これらの 4 行動は水質汚染、地球温暖化、化石燃料枯渇と関連すると考えられている行動であり、講義内容との関わり等を考慮して設定した。

表 1　二次調査用質問紙

環境配慮行動の実施状況
・生活排水の汚れを減らす工夫をしてから流すようにしていますか？
・節水を心がけて水を利用していますか？
・日用品を買うときに環境に配慮した商品を選んでいますか？
・日用品を買うときにリサイクル商品やリユース商品を選んでいますか？
環境問題に対する危機感
・海や川の汚染は深刻な問題だと思いますか？
・二酸化炭素の排出は深刻な問題だと思いますか？
・化石燃料の枯渇は深刻な問題だと思いますか？
環境行動の規定因に対する意識調査　（生活排水）
家庭からの生活排水が海や川の水を汚してしまっていると思いますか？（責任感）
個人が生活排水をきれいにしてから流せば海や川の汚染の解決に効果的だと思いますか？（有効感）
生活排水による海や川の汚染はできるだけ防ぎたいと思いますか？（目標意図）
生活排水中の汚れを減らしてから流すのは面倒だと思いますか？（費用便益評価）
自宅や職場でできる生活排水中の汚れを減らすための取組みはたくさんあると思いますか？（実行可能性評価）
身近な人は生活排水中の汚れを減らしてから流すようにしていると思いますか？（社会規範評価）
自分は生活排水中の汚れは減らしてから流したいと思いますか？（行動意図）

2.2 調査対象

本調査では LCT 環境教育を受講する成人男女を対象とし、講義の直前、直後、3 ヶ月後及び 9 ヶ月後の計 4 回の調査を計画した。対象者の内訳は、製造業に勤務する男性及び主に神奈川県内の教育機関に勤務する男女の計 66 人である。なお、製造業勤務の男性に対しては松本による携帯電話のプログラムのみを実施したが、教育機関勤務の男女に対しては携帯電話のプログラムの他、水野による工業製品のライフサイクルに焦点を当てたプログラム及び平山による鞄に入れて持ち歩く物のライフサイクルにおける二酸化炭素排出に焦点を当てたプログラムの計 3 講義を実施した。調査は留置法及び郵送法により実施した。

3. 単純集計結果と今後の予定

現在、製造業勤務の男性を対象とした調査は 3 ヶ月後の追跡調査までが完了し、次に 9 ヶ月後の追跡調査を実施予定である。教育機関勤務の男女を対象とした調査は 3 ヶ月後調査の質問紙を郵送回収中である。本稿では製造業勤務の男性を対象とした 3 ヶ月後調査までの単純集計結果について報告する。

図 1 に環境配慮行動の実施状況を示す。なお図 1 に示す直前、直後及び 3 ヶ月後の結果はそれぞれ LCT 講義を受講する前に尋ねた実施状況、講義の直後に尋ねた行動意図、そして 3 ヶ月後に尋ねた実施状況を示す。

LCT 講義前の実施状況は、全ての行動で「全くしていない」と「あまりしていない」が 50%以上選択された。特に③エコ製品選択では「全くしていない」が 52%選択された。しかし講義直後、今後は実施していきたいと思うかどうかの行動意図を尋ねたところ、全ての行動で「大いにそう思う」と「そう思う」が 80%以上選択された。②節水に関しては 100%が実施したいと考えていることがわかった。先行研究でも報告されているように、ここでも講義直後には LCT の学びが環境配慮意識の向上に寄与した可能性が示された。講義から 3 ヶ月後、実際に環境配慮行動を実施しているか尋ねたところ、行動意図よりは実施率が下がっているものの、直前の実施状況よりも全ての行動で実施率が向上していることがわかった。特に②節水では直前と比較すると「いつもしている」が 0%から 13%、「できるだけしている」が 39%から 61%まで上昇した。③エコ製品選択では「いつもしている」は 4%のまま変化しなかったが、「できるだけしている」が 4%から 30%まで上昇した。④リユース商品・リサイクル商品選択では実施率は直前と変わらず、「いつもしている」と「できるだけしている」が 26%にとどまったが、LCT 環境教育により環境配慮行動の実施が促された可能性が示唆される結果となった。

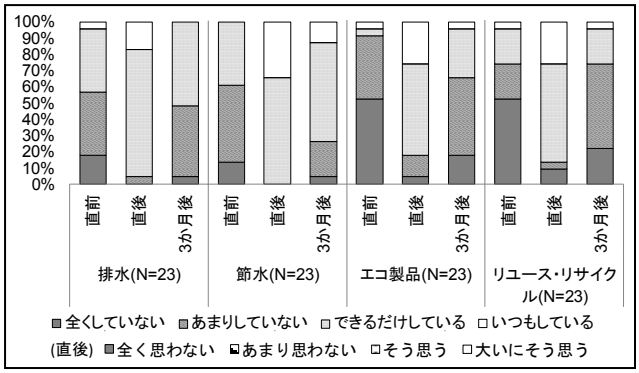


図 1　環境配慮行動の実施状況及び行動意図

受講者の環境配慮行動を実施する心理過程への LCT の学びの影響や、意識及び行動の経時的変化の詳細な分析を現在進めており、研究発表会で報告する予定である。

引用文献

1) 水野建樹: 日本 LCA 学会誌, 5 (3), (2009), pp.1-7
2) 降旗信一: 環境教育, 19 (3), (2010), pp.76-87
3) 松本真哉:日本 LCA 学会誌, 5(3), (2009), pp.338-343
4) 成田明沙美他: 日本LCA学会誌, 5(3), (2009), pp.393-402
5) 平山世志衣他: 日本LCA学会誌, 5(3), (2009), pp.367-381
6) 安藤生大: 日本 LCA 学会誌, 5(3), (2009), pp.382-392
7) 赤坂径高他: 日本 LCA 学会誌, 9(1), (2013), pp.37-44
8) 山田好子他: 日本家政学会誌, 52 (4), (2001), pp.359-365
9) 水野建樹: 日本 LCA 学会要旨集, (2010), pp.174‐175
10) 田髙初奈他: 日本 LCA 学会誌要旨集, (2015), pp.46-47
11) 広瀬幸雄: “環境と消費の社会心理学”, 名古屋大学出版会, (1995)

ライフサイクル思考型環境教育の e ラーニングプログラムの有効性の検討

Analysis of the effectiveness of e-Learning program for LTC-environmental education

○平山世志衣*[1)]、大内康弘[2)]
Yoshie Hirayama, Yasuhiro Ouchi
1) 特定非営利活動法人横浜 LCA 環境教育研究会(YLCA.Lab), 2) 法政大学第二高等学校
* hirayama@ xx.em-net.ne.jp

1. 緒言

地球温暖化といったグローバルな環境問題を取り扱う環境教育の効果的な手法として、ライフサイクル思考（LCT）を取り入れた学習法が開発・実践されてきている。その多くが、LCA に関する一定の知見を有する研究者、学生、環境教育を専門とするボランティア等が講師役を務める形を取っている。この為、LCT 型環境教育の普及の課題の 1 つは、「適切な講師役」の不足ともいえる。一方、昨今様々な分野で e ラーニングによる自主学習法が取り入れらており、学習内容を IT デバイスで活用可能なデザインにすることで、学習の場所、時間を自由に選べるだけでなく、講師不在の形で多数の学習者に提供できる可能性が出てきた[1)]。しかし、学習の成果は学習者の学習意欲に依存するため、特に学校教育として環境教育を行った場合、集団学習環境下であれば必然である他者からの刺激のない状態で、「成績」「進路」といった動機付けのない環境学習への意欲を喚起することは難しい。

本研究では、高校生に対して実施した e ラーニングによる LCT 型環境学習の結果を基に、学習法の有効性を検討した。

2. 調査の方法

2.1 調査手法の概要

2014 年 8 月に神奈川県の私立 H 高校（男子校）3 年生 12 クラス全員が夏季(8 月)の総合化学物理の課題として e ラーニングによる LCT 型環境学習（以下、e ラーニング）を行った。この学習法は、2013 年に著者らが、実施したものである[1)]。この学習後の提出課題の記載ならびに、同じ生徒への質問紙調査の回答結果についてその双方の情報が得られた 445 名を調査対象とした。

2.2 e ラーニングと質問紙調査概要

表 1 に本検討の調査対象が行った e ラーニングと質問紙調査をまとめた。e ラーニングは、LCA 概念学習（以下パート 1）と LC エネルギー算出実習（以下、パート 2）に分類される。各パートでは、学習のまとめとしてワークシート（WS①、WS②）の記載が要求されている。これらは、主に学習内容の理解を確認する穴埋め問題と学習内容への感想で構成されている。WS①では、3 つの学習内容についてそれぞれ計 3 種の穴埋め問題を、WS②については、LCA 概要に関する 1 種の穴埋め問題に加え、実習結果についても記載することとなっている。

e ラーニングの約 3 か月後の 2 学期末の 12 月初旬に、同じ生徒に対して実施された学習成果や進路に関する質問紙調査の中に、本学習に関係するものとして「環境問題へ関心」「LCA への意識」に関して、「非常に高まった」「少し高まった」「あまりない」「全くない」の４つの選択肢による設問が設けられている。

本検討では、提出された WS①、WS②と質問紙調査回答を解析した。

表 1　e ラーニング・質問紙調査実施状況

時期	実施内容		概要	場所
夏季休暇前	学習方法説明		学習法の説明、課題WSの配布（約15分）	学校
夏季休暇中（2014年8月）	eラーニング、パート1	LCA 概念学習	スライド（3種）によるLCA概念学習 学習内容1：リユース食器 学習内容2：レジ袋・マイバッグ 学習内容3：地産地消	自宅
		まとめ	WS①による学習内容のまとめ・感想	自宅
	eラーニング、パート2	LCエネルギー 算出実習	(1)受講者(生徒)のカバンの中の持ち物を対象とした、専用ソフトウェアによるLCA実習（LCエネルギー算出） (2)(1)で算出したLCエネルギーの削減シミュレーション	自宅
		まとめ	WS②による実習内容のまとめ・感想	自宅
2014年12月	質問紙調査		環境問題への関心・LCA意識の調査	学校

3. 結果

3.1 e ラーニングの理解

WS①、WS②の計 4 種の穴埋め問題の回答率は、それぞれ 97%(10 問)、98%(7 問)、99%(7 問)、98%(10 問）であった。

3.2 質問紙調査結果

質問紙調査の結果を表 2 に示す。総合化学物理では、この e ラーニング以外にも環境学習を取り入れており、

89%（「非常に高まった」と「ある程度」を合わせ 398 名）の生徒が環境問題への関心が高まったと回答している。一方、LCA への意識の向上は 53%（同 233 名）にとどまっている。

表 2 質問紙調査回答結果

		LCAへの意識				計
		非常に高まった	ある程度高まった	あまりない	全くない	
環境問題への関心	非常に高まった	18	59	34	15	126
	ある程度高まった	7	137	96	32	272
	あまりない	0	9	17	11	37
	全くない	1	2	1	6	10
計		26	207	148	64	445

3.3 e ラーニングの感想から見た学習効果

質問紙調査による意識変化の度合いから、445 名の回答者を環境・LCA 意識向上群（EL+, 221 名）、環境意識向上群（E+, 177 名）、LCA 意識向上群（L+, 12 名）、変化無群（EL-, 35 名）に分割した。この意識変化の度合い別に WS①、WS②に記載された学習の感想記載量（文字数）の平均値を見ると、EL+群の感想記載量が多い傾向にあり、WS②の感想記載量は EL+群と E+群に有意な差 ($p < 0.01$)がみられた（表 S1）。さらに意識変化と感想内容の対応を見るため、感想記載のテキストマイニングにより抽出した頻出語を同じ概念を表すグループ（以下、コード）に分類し（表 S2,）、4 つの意識変化差別群のコード出現感想数の差を解析した。各パートとも、どの群にも「責任」に関する記載が多くみられた。パート 1 では、「学習内容 1，2」や「行動意図」の記載者が多かったが、E+群では「エネルギー」に関しての感想記載者比率が、EL+群では「つながり」に関しての感想記載者比率が多い傾向が見られた。パート 2 では、「エネルギー」に関する記載が多いが、EL+群で「LC」、「認知」、「つながり」、「リサイクル」についての記載の比率が E+群より多い傾向が見られた（表 S3, S4）。この意識変化の差異と感想におけるコード出現との対応分析結果を図 1, 2 に示す。

3.4 ARCS モデルから見た e ラーニングの学習効果

e ラーニング法の効果・効率・魅力を高めるために用いられるインストラクショナルデザイン（ID）プロセスでは、学習者の動機づけを促すため注意・刺激（Attention）、関連性（Relevance）、自信（Confidence）、満足感（Satisfaction）の 4 つの要素（ARCS モデル）を取り入れること有効であると言われている [3]。これらの要素について、3.3 で解析した感想記載から推察すると、注意・刺激に相当する要素は、「気づき」に当たるものと考えられる。関連性については、LCT 型環境教育の特徴でもある「つながり」の認識があげられる。自信と満足感については、2 つを明確に切り分けられないが、「行動意図」を惹起する要素が上げられる。

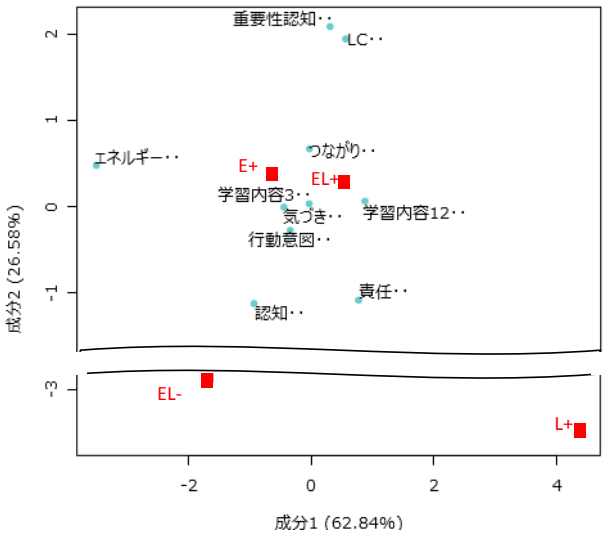


図 1　e ラーニングパート 1 の感想と意識変化の対応分析

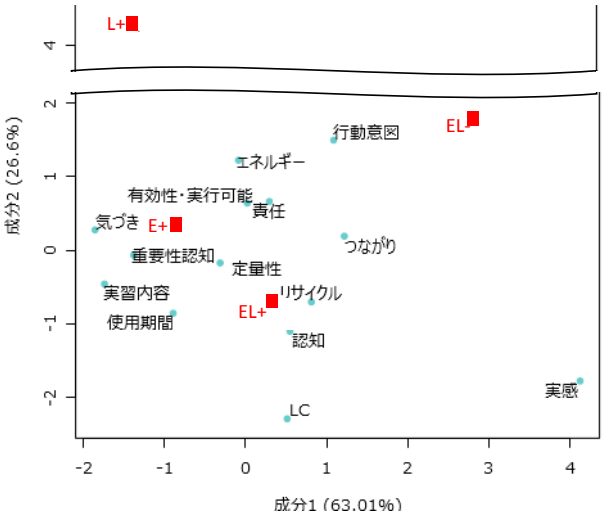


図 2　e ラーニングパート 2 の感想と意識変化の対応分析

4. まとめ

高校 3 年生(男子)を対象に行った e ラーニング LCT 型環境学習の結果から、学習法の有効性を検討したところ、「エネルギー」や「つながり」等の学習内容が環境への関心や LCA への意識変化と関連する可能性が示唆された。また、この e ラーニングの学習効果を高める要素として「気づき」「つながり」の認識、「行動意図」の惹起が考えられた。

参考資料

1) 平山世志衣他(2015): 日本 LCA 学会誌,11(4), 348-358

2) 樋口耕一（2014）：社会調査のための計量テキスト分析，ナカニシヤ出版，京都, 233

3)玉木欽也他(2006)：e ラーニング専門家のためのインストラクショナルデザイン，東京電機大学出版局，東京, 192

Supporting Information

表 S１．環境・LCA 意識別 e ラーニングの感想記載量平均値

環境・LCA への 意識変化	サンプル数	パート1			パート2		
		平均値	標準偏差	標準誤差	平均値	標準偏差	標準誤差
EL+	221	113.81	42.56	2.86	***127.88***	51.19	3.44
E+	177	104.52	38.74	2.91	***110.73***	48.88	3.67
L+	12	91.42	18.17	5.25	112.25	39.14	11.30
EL−	35	101.17	36.07	6.10	111.17	40.20	6.80
合計	445	108.52	40.41	1.92	119.32	49.80	2.36

注：イタリック体は、平均値の差が有意（$p<0.01$）であることを示す

表 S2. 感想記載中の頻出語とコードの対応表　（括弧内の数字は、頻出語が含まれたサンプル数）

パート1	
コード	頻出語
LC	廃棄(49)、製造(47)、ライフサイクル(13)
エネルギー	エネルギー(69)、エネルギー消費(53)
気づき	驚く(60)、変わる(41)、意外(16)、初めて(12)、減る(25)
行動意図	使う(306)、行動(48)、出来るだけ(14)、実践(12)、活かす(11)
責任	思う(426) 、考える(246) 、感じる(74) 、一人一人(17)
つながり	自分(83) 、生活(52) 、日常生活(12) 、自分たち(10)、身近(21)
認知	知る(122) 、分かる(99) 、学ぶ(19)
有効・実行可能	簡単(10)
重要性認知	大きい(36) 、重要(32) 、大切(49)
学習内容1，2	マイバッグ(246)、レジ袋115()、リユース食器(62)、リユースカップ(45)、エコバッグ(35)、洗う(31)、ゴミ(29)、使い捨て(29)、リユース食器(26)、紙コップ16()、紙カップ(11)
学習内容3	地産地消(146)、旬(14)、輸入(14)
パート2	
コード	頻出語
LC	使用(91)、素材(52)、ライフサイクル(49)、輸入(46)、製造(27)、輸送(22)、廃棄(20)、過程(17)、原料(11)
エネルギー	エネルギー消費(283)、エネルギー(20)
気づき	驚く(69)、意外と(13)、意外(9)
行動意図	減らす(108)、出来る(28)、実践(15)、心がける(15)、節約(13)、活かす(10)
実感	実感(22)
実習内容	ペン(28)、携帯電話(27)、変える(25)、ペットボトル(22)、数値(22)、変わる(20)、フロー(17)、ソフトウェア(15)、一番(13)、カバン(12)、シャーペン(12)、ファイル(12)、計算(12)、個数(12)
重要性認知	大切(125)、必要(67)、大事(30)、重要(15)
使用期間	長い(126)、使用期間(22)、年数(21)、期間(11)、長期(10)
責任	思う(405)、考える(167)、一人一人(12)
つながり	自分(192)、普段(73)、生活、身近(28)、何気ない(17)、自分たち(13)、日常(13)、自身(12)、日常生活(11)
定量性	多い(74)、少ない(47)、量(44)、大きい(42)、減る(41)、数字(11)、増やす(11)、大幅(10)
認知	分かる(130)、感じる(89)
有効性・実行可能	少し(102)、簡単(17)
リサイクル	リサイクル(128)

表 S3.　e ラーニング　パート 1 における各コードを含む感想数　（括弧は、全感想数(ケース数)に対する比）

	責任	学習内容1,2	行動意図	認知	LC	つながり	学習内容3	気づき	重要性認知	エネルギー	有効･実行可能	ケース数
EL+	194 (87.78%)	140 (63.35%)	117 (52.94%)	88 (39.82%)	79 (35.75%)	71 (32.13%)	67 (30.32%)	68 (30.77%)	58 (26.24%)	40 (18.10%)	3 (1.36%)	221
E+	138 (77.97%)	106 (59.89%)	94 (53.11%)	76 (42.94%)	60 (33.90%)	50 (28.25%)	53 (29.94%)	50 (28.25%)	45 (25.42%)	42 (23.73%)	5 (2.82%)	177
L+	11 (91.67%)	8 (66.67%)	5 (41.67%)	4 (33.33%)	3 (25.00%)	2 (16.67%)	3 (25.00%)	2 (16.67%)	2 (16.67%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	12
EL−	30 (85.71%)	18 (51.43%)	19 (54.29%)	17 (48.57%)	8 (22.86%)	10 (28.57%)	10 (28.57%)	11 (31.43%)	6 (17.14%)	9 (25.71%)	0 (0.00%)	35
合計	373 (83.82%)	272 (61.12%)	235 (52.81%)	185 (41.57%)	150 (33.71%)	133 (29.89%)	133 (29.89%)	131 (29.44%)	111 (24.94%)	91 (20.45%)	8 (1.80%)	445
カイ2乗値	7.669	2.114	0.636	1.457	2.665	1.786	0.185	1.318	1.798	5.601	2.161	

表 S4.　e ラーニング　パート 2 における各コードを含む感想数（括弧は、全感想数(ケース数)に対する比）

	責任	エネルギー	つながり	LC	定量性	認知	実習内容	重要性認知	使用期間	行動意図	有効性･実行可能	リサイクル	気づき	実感	ケース数
EL+	162 (73.30%)	152 (68.78%)	126 (57.01%)	93 (42.08%)	91 (41.18%)	97 (43.89%)	78 (35.29%)	79 (35.75%)	75 (33.94%)	65 (29.41%)	50 (22.62%)	52 (23.53%)	45 (20.36%)	13 (5.88%)	221
E+	129 (72.88%)	124 (70.06%)	85 (48.02%)	58 (32.77%)	76 (42.94%)	68 (38.42%)	73 (41.24%)	75 (42.37%)	57 (32.20%)	50 (28.25%)	40 (22.60%)	35 (19.77%)	36 (20.34%)	6 (3.39%)	177
L+	9 (75.00%)	11 (91.67%)	6 (50.00%)	2 (16.67%)	4 (33.33%)	3 (25.00%)	4 (33.33%)	4 (33.33%)	4 (33.33%)	4 (33.33%)	3 (25.00%)	2 (16.67%)	4 (33.33%)	0 (0.00%)	12
EL−	28 (80.00%)	25 (71.43%)	23 (65.71%)	11 (31.43%)	13 (37.14%)	14 (40.00%)	7 (20.00%)	9 (25.71%)	7 (20.00%)	14 (40.00%)	8 (22.86%)	8 (22.86%)	3 (8.57%)	3 (8.57%)	35
合計	328 (73.71%)	312 (70.11%)	240 (53.93%)	164 (36.85%)	184 (41.35%)	182 (40.90%)	162 (36.40%)	167 (37.53%)	143 (32.13%)	133 (29.89%)	101 (22.70%)	97 (21.80%)	88 (19.78%)	22 (4.94%)	445
カイ2乗値	0.806	2.877	5.363	6.409	0.76	2.536	6.025	4.245	2.701	2.027	0.038	1.022	4.243	2.928	

エコツーリズムをブランド革新する鍵としての LCA 評価手法の提案

The LCA Estimation Method for Brand Innovation of Eco-tourism

○澤田恵梨子*[1)]、施メイカイ[1)]、猪澤也寸志[2)]、窪田涼[2)]、藤井賢彦[1)]
Eriko Sawada, Minghui Shi, Yasushi Izawa, Ryo Kubota, Masahiko Fujii
1) 北海道大学大学院環境科学院, 2)エコガイドカフェ
* e.sawada0830vsg@ees.hokudai.ac.jp

1. はじめに

沖縄県の代表的な観光資源はサンゴ礁である。同県観光統計 H25 年実態調査によると、同県入域観光客数は 658 万人（H25）であり、うち約 3 割の観光客がこのサンゴ礁海域で遊泳している。実際、観光遊泳行為によるサンゴ損傷は常態化している。（高シュウ他, 2014, 宮古島重要サンゴ群集カヤッファビーチにおける潮汐現象に伴う遊泳者のサンゴ礁損調査報告）。今後、持続可能な観光を確立するためには、サンゴ礁海域でのレジャー負荷の抑制が求められ、カーボンフットプリント(CFP)低減ツアーのような抑制モデルが必要となっている。しかしながら、自然生態系におけるレジャー影響を、宿泊や移動のように CFP 換算することは容易ではない。そこで、CFP 以外の新たな指標をも視野にいれ、自然生態系におけるレジャーを LCA 評価する調査研究を行った。1998 年より下地島カヤッファビーチ（宮古島重要サンゴ礁群集）の保全活動を実施しているエコガイドカフェとの協働で本研究を実施した。現地調査期間は、8 月から 10 月の 3 ヶ月間である。2015 年 1 月以降、伊良部大橋架橋影響で観光客が急増し、遊泳者によるサンゴ損傷被害が最も懸念された時期にあたる。

なお、本研究は、自然生態系の順応管理に整合させるため、PDCA サイクルを回す手順で構成かつ実施した。

2. PLAN：計画(目的・目標・方法)

本研究の目的は、沖縄観光において持続可能なサンゴ礁保全に資するエコツアーを開発検証することである。自然生態系におけるレジャー影響を LCA 評価するため、3 つの目標を設定した。

① 新しい LCA 指標の開発
② 同指標のサンゴ礁保全有効性の検証
③ 同指標の個人旅行市場訴求力の考察

これら 3 目標を達成するため、以下の調査方法を採用した。

2.1 カヤッファ保全活動の調査

調査対象は、カヤッファにて唯一保全活動を継続しているエコガイドカフェとした。大橋架橋前後の保全活動内容を調査した。

2.2 遊泳者の意識および行動の調査

伊良部大橋架橋後に殺到した遊泳者の意識および行動の調査を行った。調査方法は、観察、アンケート、ヒアリング等を採用した。

2.3 遊泳者によるサンゴ損傷調査

遊泳サンゴ損傷が予測される個所を選定し、定期的に調査を行った。台風損傷の判別のため、台風前後に目視、写真撮影、ビデオ撮影による調査を行った。

3. DO：実施(観察・調査・結果)

3.1 カヤッファ保全活動の調査結果

・伊良部大橋架橋前の保全活動(対 ゲスト)
　① サンゴノータッチマナー順守の説明
　② エコシュノーケリング教室
　③ サンゴ等鑑賞ツアー
・伊良部大橋架橋後に追加された保全活動
　④ 看板の設置(図 1, 2)
　⑤ 説明員・監視員の配置



図 1.No Touch マナー看板



図 2.エントリー看板

3.2 遊泳者の意識および行動調査結果

調査期間中のカヤッファビーチの最大ビジター数は約 550 名であった（架橋前 230 名）。各月の主たる客層は、8 月は子供連れの家族、9 月はカップルとグループ、10 月は社員旅行と修学旅行であった。調査期間中を通じてほぼ晴天で海も穏やかであった（台風は 5 回到来）。

大橋架橋前の遊泳者の意識および行動は前述の高シュウ他(2014)の結果と同様であった。

大橋架橋後に関しては、カヤッファビジターの観察（平均 5 名のスタッフで随時啓発）、アンケートを 200 名、ヒアリングを 55 名に対して実施した結果、遊泳者の意識および行動の解明が進んだ。

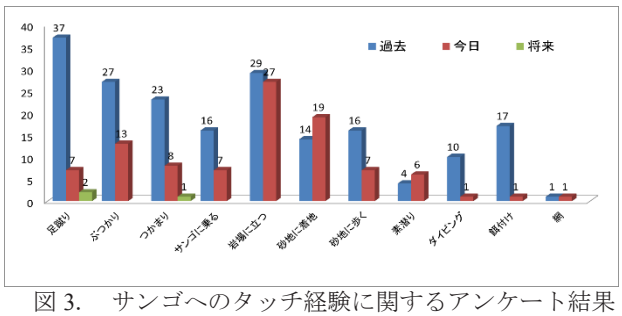


図 3.　サンゴへのタッチ経験に関するアンケート結果

3.3　遊泳者によるサンゴ損傷調査結果

浅いところにもサンゴが多いのがカヤッファビーチの特徴である。浜に近いところのサンゴや手の届く範囲にあるサンゴに損傷が多く見られ、観光客の遊泳を含む行動がサンゴ損傷の直接的な原因と判断した。実際に、目視での観察や写真撮影も行っていたが、台風被害との判別は容易ではなかった。

4. CHECK：評価

4.1　カヤッファビーチ保全活動の評価

個々のビジターに対するコントロールは困難と判断し、自発的抑制を促進するためノータッチマナー看板を設置した。その結果、サンゴに乗らない、蹴らない、魚に餌付けしないことに対しては顕著な効果が認められた。また、看板横に説明員を配置した際には、幼サンゴが生息する浅瀬を歩かない、岩場に立たないことに対しても自発的抑制効果があった。

監視員は、入海直前のノータッチマナー確認を行った。また、マナー違反（浅瀬を歩く、サンゴや岩場に立つなど）に対しては、大きな声で優しくマナー順守をお願いし、遊泳者全体への周知を兼ねた。

看板・説明員・監視員の連携から、ビジターの自覚が啓発され、自発的な遊泳損傷の抑制が図られた。これをスマートコントロールと位置づけた。

4.2　遊泳者の意識および行動調査の評価

アンケート結果により、約 8 割の人が看板を見ており、約 5 割の人が看板内容を理解したにも関わらず、サンゴにタッチする原因の多くは、サンゴを岩と間違えて乗ることや、ライフジャケットを着用しておらず休憩するために乗ること、サンゴがいないと勘違いして海底を歩いたり、岩場に立ったりすることであることが判明した。つまり、看板機能に頼るだけではスマートコントロールが期待できないことがわかる。

ヒアリングを実施することにより、ノータッチマナーに対する理解を深め疑問を解消するという効果も見られた。ノータッチマナーは当たり前という声が多く、他ビーチでの実行や他者への普及に同意してくれる人が大半であった。

4.3　遊泳者によるサンゴ損傷調査の評価

大橋架橋により前年を大幅に上回る観光客が殺到したが、遊泳者によるサンゴ損傷はさほど拡大せず、保全活動の成果が顕著に現れた。

5. ACTION：改善

5.1　カヤッファ保全活動の改善

今後、年々増加すると予想されるカヤッファビーチへのビジターをより高度にスマートコントロールする上では、看板をはじめ説明員、監視員も更なる改善が不可欠と考えられる。また、ビジターの自覚に加えて力量の向上にもつながるスマートコントロールも今後の開発課題となった。詳細については発表時に紹介する。

5.2　遊泳者の意識および行動調査の改善

アンケートやヒアリングに関しても、質・量ともに今後の改善が課題となった。詳細は発表で述べる。

5.3　遊泳者によるサンゴ損傷調査の改善

台風損傷との違いを判別して、遊泳損傷を特定できる調査方法へと改善しなければならない。詳細は発表で述べる。

6.　考察

自然生態系におけるレジャー影響を LCA 評価するため、3 つの目標を設定したが、それぞれに対して簡単に考察する。

①新しい LCA 指標の開発

サンゴ損傷影響を見える化する上で、CFP 換算することは有意義と考えるが、その算定方法は未だ確立されていない。CO_2 吸収源という確定的な科学根拠もなく、未熟な回復技術ゆえ再生コストも試算できない。その点、自覚と力量という新指標は、ビジターの意識変化と行動変化による環境影響（サンゴ損傷）として見える化できるので、有効指標と考える。

②同指標のサンゴ礁保全有効性の検証

サンゴを損傷したくないという想いは誰もが持っている。しかし、浅瀬や岩場で育つ稚サンゴの存在を知らなければ、平気で浅瀬を踏み歩き、岩場で踏み潰してしまう。この自覚（新指標）を高めることで保全有効性も向上する。また、遊泳技術などの力量（新指標）を高めることで保全有効性は更に向上する。沖縄において、監視コントロールできる海域は限られており、ビジター遊泳者の自発的な保全行動なくして、サンゴ礁保全は成り立たない。スマートコントロールによる保全体制の確立が急がれる。

③同指標の個人旅行市場訴求力の考察

エコツアーからエコライフへ。自覚と力量の向上が新指標として見える化され、ツアー後も継続する学習効果を売りにすれば、個人市場への訴求も期待できる。宿泊、食事、移動などにおいても、結果（CFP）とプロセス（自覚と力量）双方を見える化することで、個人市場への訴求力が高まるものと考える。

研究開発段階の将来技術を評価するための スケール効果を考慮した LCA 評価手法の提案

A proposal of LCA considering scale effect to evaluate the environmental impacts of future technology under research and development

○河尻耕太郎、後藤利彦、今喜裕、桜井俊介、畠賢治、田原聖隆
Kotaro Kawajiri, Toshihiko Goto, Yoshihiro Kon, Shunsuke Sakurai, Kenji Hata, Kiyotaka Tahara
産業技術総合研究所
* kotaro-kawajiri@aist.go.jp

1. はじめに

ライフサイクルアセスメント（LCA）は、企業や大学、国立研究所などで、様々な製品やプロセスの環境負荷を評価するために用いられつつある。近年、事後評価から事前評価へと、環境影響評価のステージが早まりつつあるが、大学や国立研究所、企業の研究所などでは、研究開発段階において、将来技術を評価したいというニーズが存在する。

過去我々は、革新的な Si 系太陽電池の製造プロセス[1]、薄膜 SOFC 型燃料電池の製造プロセス[2]など、様々な将来技術の LCA 評価を行ってきた。それら過去の研究から、研究開発段階では、一般的に個々のプロセスのスケールが小さく、既存の大規模な商業化スケールのプロセスと比較して著しく効率が低いため、既存技術と比較して、将来技術の環境負荷が数千倍にもなりうる[1]。そのため、将来技術を評価するにあたっては、スケール効果を考慮する必要がある。

そこで本研究では、将来技術が将来実用化され、大規模プロセスで用いられた時の環境影響を試算するための手法を開発し、体系化することを目的とする。本研究では、ケーススタディとして、産業技術総合研究所で開発中のカーボンナノチューブ（CNT）のスーパーグロース法[3]と、過酸化水素水を用いたα-ピネンの酸化プロセス[4]を取り上げる。また、スケール効果を考慮するために、過去の経験曲線の分析手法を取り入れる[5]。

2. 手法

最初に、研究開発段階（ラボスケール）のシステム境界を明らかにし、インベントリデータを収集する。得られたインベントリデータに基づいて、各技術の環境負荷を推計する。次に、実証スケールのシステム境界、およびインベントリデータについて情報収集し、環境負荷を推計する。最後に、実証スケールにおける各プロセスのスケールファクターを用いて、実証スケールのインベントリデータから商業化スケールのインベントリデータを推計し、環境負荷を推計する。

本研究では、ラボスケールのインベントリデータは、産総研の開発者より提供を受ける。実証スケールのインベントリデータは、特許や論文等の文献情報を元にインベントリを推計する。

特許や論文、装置カタログなどの文献情報、および化学反応や伝熱理論に基づくシミュレーション等により、各プロセスのインベントリのスケールファクターを導出する。スケールファクターの導出にあたっては、過去の経験曲線の研究の枠組みに従い、下記式の係数 b の値を導出し、所定のスケールにおけるインベントリを推計する[5]。

$$q_c = q_p \left(\frac{s_c}{s_p} \right)^{-b} \quad (1)$$

(1)式中の q は、各投入原材料の量を、s はプロセスのスケールを示す。また、c は商業スケールを、p は実証スケールを示す。

各ケースの機能単位は、α-ピネンオキサイド 1kg、カーボンナノチューブ 1kg である。

各プロセスで投入される原材料や電力、排出物の環境負荷については、産業技術総合研究所で開発中の IDEA データベースを用いて、CO2 排出量を推計する[6]。なお、過去の研究において、ラボスケールの技術の CO2 排出量の大部分が電力に起因することが明らかにされているため [1-2]、本研究では、先行研究にならい、各プロセスの電力消費量にのみ（1）式のスケール効果を考慮する。

図 1 に過酸化水素水を用いたα-ピネンの酸化プロセスのシステム境界を示す。ステージ 1 において、過酸化水素水、および触媒を用いてα-ピネンを酸化する。ステージ 2 において、得られたα-ピネンオキサイドを分留する。なお、実証スケール、商業スケールでは、蒸留・脱水過程において、副産物の回収を行うため、得られた副産物による既存製品代替による CO2 削減量を考慮する。

図 2 に、カーボンナノチューブスーパーグロース法のシステム境界を示す。ステージ 1 において、スパッ

タリングによって、シリコン基板上に Fe や Al2O3 の触媒層を蒸着する。ステージ 2 において、水蒸気を混入しつつ、エチレンを炭素源として、基板上にカーボンナノチューブを成長させる。

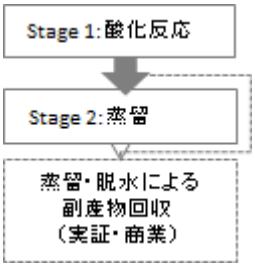


図 1.　α-ピネンの酸化プロセスのシステム境界

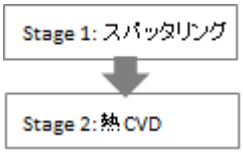


図 2.　CNT スーパーグロース法のシステム境界

3.　結果

図 1 に、ラボスケール、実証スケール、商業スケールにおける α-ピネンオキサイド 1kg を製造した時の CO2 排出量と、その内訳を示す。図より、ラボスケールにおいては、ステージ 1、ステージ 2 における CO2 排出量はほぼ同量であり、そのほとんどが電力による。しかしながら、実証スケール、商業スケールでは、スケール効果によって電力消費量が減少し、CO2 排出量がラブスケールのものの 1/700 以下になる。

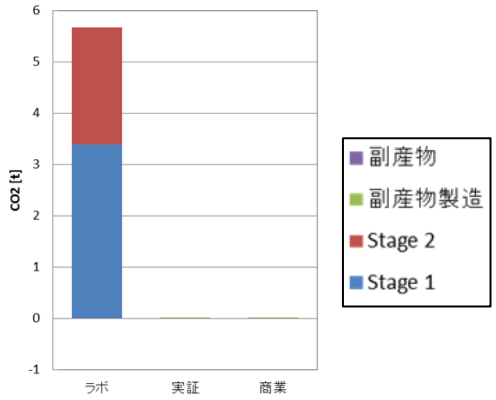


図 3.　1kg の α-ピネンオキサイド製造時の CO2 排出量

図 4 に、ラボスケール、実証スケール、商業スケールにおける CNT　1kg を製造した時の CO2 排出量と、その内訳を示す。図より、全体の CO2 排出量の約 80%がステージ 2 によって排出されている。これは、Stage 1 では、直径 6 インチのシリコン基板上に触媒を蒸着した後、それを 20mm 角上の基板に分割するため、基盤 1 枚あたりの環境負荷が小さくなるためである。

ステージ 1 , ステージ 2 ともに、ラボスケールの CO2 排出量のほとんどが電力によるものである。そのため、実証スケール、商業スケールでは、スケール効果によって電力消費量が減少し、商業スケールの CO2 排出量はラボスケールのものの約 1/3 程度に減少する。

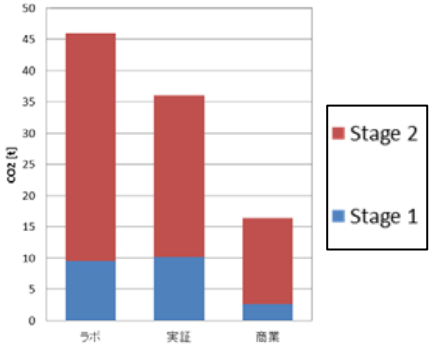


図 4.　1kg の CNT 製造時の CO2 排出量

4.　結論

本研究では、研究開発段階における将来技術の環境負荷を、スケール効果を考慮して推計する手法を開発している。いて検討を行った。　本稿では、現在進行中の研究成果の報告として、2 つのケーススタディにおける、ラボスケール、実証スケール、商業スケールの CO2 排出量を推計した。両技術ともに、CO2 排出量の多くが電力消費によるものであり、スケールの増加とともに CO2 排出量が減少することが確認された。

5.　謝辞

本研究は、平成 26 年度産業技術総合研究所分野イノベーション推進予算「実用化スケールでの利用を想定した将来技術の LCA 評価手法の開発」を得てすすめられた。

6.　引用文献

1)　河田麻悠子, 河尻耕太郎, 田原聖隆, 宮本学, 上宮成之, 第 6 回日本 LCA 学会研究発表会要旨集, (2011), D1-02.
2)　Kawajiri K. , Inoue T., J. Cleaner Production, (2016), pp. 4065-4070 .
3)　Hata K., Futaba D. N., Mizuno K., Namai T., Yumura M., Iijima S., Science, (2004), pp. 1362-1364.
4)　今喜裕, 佐藤一彦, 産総研 TODAY, (2012). pp. 12.
5)　Nemet G. F. Energy Policy, (2006), pp.3218-3232.
6)　田原聖隆, 村松良二, 松林芳輝, 紀平茂雄, 高田亜佐子, 藤井千陽, 横田真輝, 玄地裕, 第 9 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, (2013), pp. 174-175.

プロセスモデルに基づく工業塗装プロセスの改善支援

Improvement support of industrial painting processes based on process modeling

○山岸達矢*[1)]、上原恵美 [1)]、平尾雅彦 [1)]
Tatsuya Yamagishi, Emi Kikuchi-Uehara, Masahiko Hirao
1) 東京大学
* yamagishi@pse.t.u-tokyo.ac.jp

1. 緒言

中小企業で稼働しているプロセスは、省エネルギー化や化学物質の排出抑制のための対策が不十分な場合が多く、環境影響の削減に向けた取り組みが求められている。一方で、経済的制約や品質要求などの制約により、プロセス改善に費やすことのできるリソースは限られている。プロセスの環境影響を定量化し、その改善を効率的に行うために LCA を利用した環境マネジメントの実施が有効であると考えられるが、LCA を行う過程ではデータ収集や分析において専門的な知識が求められ、中小企業で十分活用される段階には至っていない [1)]。

物体の装飾や保護、防錆を目的として幅広い分野で利用されている工業塗装分野は、事業所の多くが中小企業である。塗装は揮発性有機化合物（VOC）の主要な排出源であり、エネルギー消費や廃棄物の観点からも改善の余地が大きい。**図 1** に工業塗装プロセスの流れと溶剤のマスフローを示す。工業塗装は、塗料の吹き付けを行う塗布と、常温乾燥、高温乾燥の、用いる装置やオペレーション方法が異なる三種類の工程から構成されている。各工程において環境対策を検討するためには、LCA を用いて工程別の環境影響への寄与を明らかにし、装置やオペレーション方法の変更に伴う変化を分析する必要がある。

本研究では各工程のパラメタと環境影響との関係をモデル化し、構築したプロセスモデルを用いて LCA による環境影響の分析を行い、改善のための意思決定支援を行うことを目的とする。

2. 環境影響評価のためのプロセスモデル

塗布、常温乾燥、高温乾燥工程からの VOC 排出量はそれぞれ、使用した塗料のうち製品に塗布された塗料の割合を表す塗着効率 α、製品に塗布された塗料に含まれる溶剤のうち常温乾燥工程において蒸発する溶剤の割合を表す溶剤蒸発率 y、高温乾燥工程の排気に含まれる VOC の燃焼処理率を表す排気燃焼処理率 β というパラメタを用いて(1) 式のように定式化できる。

$$E_{\mathrm{total}} = k\{1/\alpha - (1-y)\beta\} \qquad (1)$$

E_{total} ：プロセス全体からの VOC 排出量 [g]
k ：塗装条件に依存する値 [-]

これまでに、塗布工程で使用する塗装機器の性能や、スプレー吹付時の圧力、角度などのオペレーションパラメタと α との関係を表すモデル、及び、高温乾燥工程における排気燃焼処理技術と β との関係を表すモデルを構築した [2)]。

y は使用する溶剤の物性や希釈率、乾燥時間などのパラメタによって変化する。これまで、常温乾燥工程での VOC 排出量は把握されておらず、排出抑制のための工程管理が行われていなかった。本研究では、塗料組成や膜厚を変えて試験片に塗布し、重量を測定する実験において、**図 2** に示すような溶剤蒸発量の経時変化データを収集した。y の増加が緩やかになる時刻から定率乾燥期間終端時刻 t_{end} を決定する。得られたデータを分析することで、y や t_{end} と上記パラメタとの関係を表すモデルを構築した。

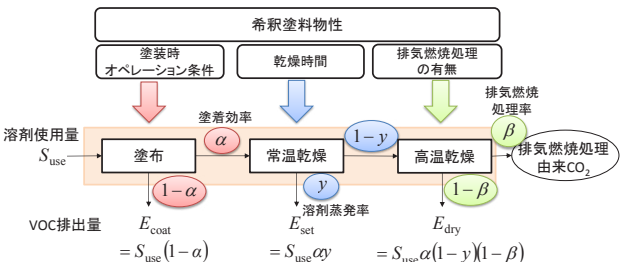


図 1　工業塗装プロセスの流れと溶剤のマスフロー

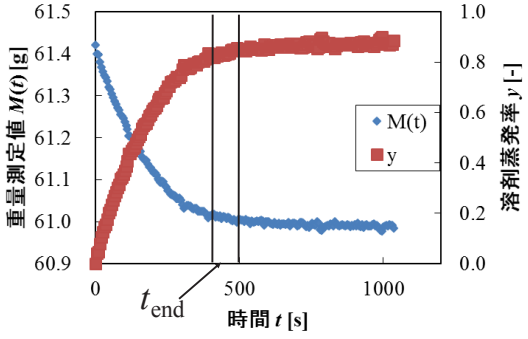


図 2　重量測定値 $M(t)$　溶剤蒸発率 y の経時変化、定率乾燥期間終端時刻 t_{end} の決定方法

3.　環境影響評価のケーススタディ

3.1. 評価シナリオの設定

構築したモデルを用いて、工業塗装における環境配慮のための代替技術の導入効果を LCA により分析した。**表 1** に設定した評価シナリオにおける主なパラメタ条件を示す。工業塗装に広く用いられるメラミン樹脂系塗料を用いた場合をベースケースに、スプレー吹付角度の適正化によって塗着効率を向上させた場合、常温乾燥工程での乾燥時間を短縮し y を小さくした場合、高温乾燥工程に排気燃焼処理を導入した場合、また常温乾燥時間の短縮と高温乾燥工程への排気燃焼処理導入の両方を行った場合を評価する。

表 1　評価するシナリオのパラメタ条件

	α	y	β
ベースケース	0.30	0.91	0
塗着効率向上	0.45	0.91	0
常温乾燥時間短縮	0.30	0.55	0
高温乾燥工程排気燃焼処理	0.30	0.91	0.90
常温乾燥時間短縮 & 高温乾燥工程排気燃焼処理	0.30	0.55	0.90

3.2. 評価結果

図 3 に評価結果を示す。1m^2 の塗布を機能単位とし、評価指標には地球温暖化指数（GWP）とオゾン変換等量係数（OCEF）を用いた。塗着効率の向上を行うと塗料使用量が削減し、塗布工程と塗料製造時の CO_2 排出量と塗布工程の VOC 排出量が削減され、GWP と OCEF が削減される。常温乾燥時間を短縮して y の値を小さくすると、常温乾燥工程で蒸発しなかった塗料中の VOC は高温乾燥工程で排出される。高温乾燥工程に排気燃焼処理の導入を行う場合、わずかに VOC 排出量が削減され CO_2 排出量が増加し、GWP と OCEF との間でトレードオフが発生する。常温乾燥時間の短縮と高温乾燥工程への排気燃焼処理導入の両方を行うと、より多くの VOC を高温乾燥工程で排気燃焼処理できるため、OCEF 排出削減効果が大きくなる。

改善実行の意思決定にはコストや製品の品質への影響も考慮される。塗着効率の向上を行うと塗料使用のランニングコストを削減できる。常温乾燥工程の乾燥時間が短すぎると、高温乾燥工程で残留した溶剤が沸騰して品質不良を引き起こす可能性がある。高温乾燥工程に排気燃焼処理を行う場合、高額な装置導入のためのイニシャルコストや、ガス・電力消費によるランニングコストの増加が考えられる。

4.　結言

塗装プロセスのモデル化を行い、収集が容易なデータから環境負荷物質の排出量を推算することで環境影響評価が可能になり、工程別に寄与を示すことが可能になった。様々な事例が存在する環境配慮のための代替技術の優先度の提言などを通して、中小企業における LCA を用いたプロセス改善支援の方法を示した。

参考文献

1)　E. Kikuchi, Y. Kikuchi, M. Hirao, J Clean Prod, 19(5) (2011), pp.414-423

2)　山岸達矢, 日本 LCA 学会, 東京, (2014), pp.92-93

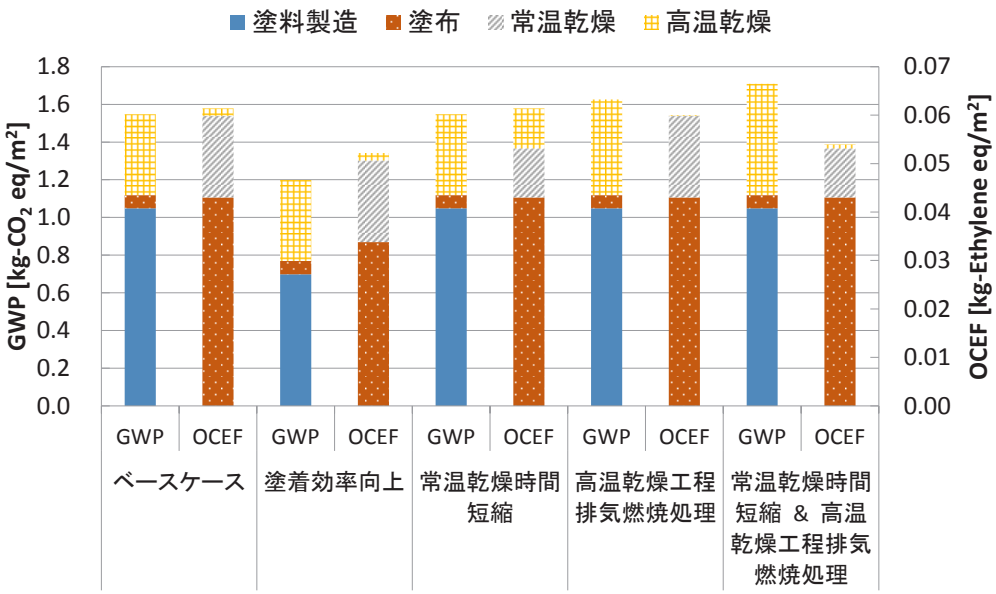


図 3　評価結果

Supproting Information



図 S1　エアスプレーガンを用いた溶剤型塗料の塗装の様子

二酸化炭素回収貯留を対象としたLCAと費用便益分析

枝廣　あかり*[1)]、伊坪徳宏[1)]
1) 東京都市大学
* g1231029@tcu.ac.jp

1.　はじめに

近年、気候変動に関する緩和策及び適応策が国際的に注目されている。これまでは緩和策と適応策はそれぞれ分けて議論されていたが、これらを包括的に政策評価することが求められている。環境省環境研究総合推進費戦略研究プロジェクト（S-14）では、複数の緩和策と適応策を同時に評価して、戦略的な政策対応を行うための検討が進められている。CCS(二酸化炭素回収貯留)は、緩和策のひとつとして注目され、これまでにも複数のLCA研究が行われている。しかし、その多くはCCSが持つGHG削減ポテンシャルに注目したもので、複数の影響領域を対象とした分析や費用面を考慮した分析はなされていない。

2.　目的

本研究では、CCSを対象に、ライフサイクルの観点から費用対便益分析を行う。複数の緩和策や適応策と対比することを想定して、特に網羅性（ライフサイクルと影響領域、コストの算定範囲）について配慮のうえ調査範囲を設定する。また、CCSは開発途上の技術であり、一次データの入手は難しい。一方、CCSのLCA研究事例は国際誌で多く発行されていることから、ここでは代表性の高い結果を得ることを優先して、メタ分析を実施することにした。

3.　評価対象及び研究方法

3.1　評価対象

CCS付き火力発
電所を対象に行った。
メタ分析では特に燃料を特定せず CCS 付きの設備全般を対象とした。

3.2　調査範囲

CCS付き微粉炭火力発電所を例として、システム境界を図1に示す。
石炭採掘から始まる基準シナリオに加え、排ガス処理を行うためのアミン製造などを含んだ CCS シナリオが組まれている。

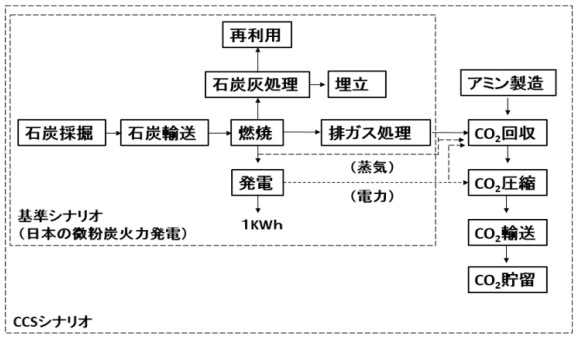


図1　CCS付き微粉炭火力発電所のシステム境界

なお、今回行ったメタ分析におけるシステム範囲は各先行研究の評価対象ごとに異なってくるため、上記のシステム境界が当てはまらない場合もある。

3.3　データの収集及び算定方法

本研究では、複数の先行研究を収集のうえ、これらの計算条件と結果を基礎としたメタ分析を行った。環境側面と経済側面についてそれぞれ検討したうえで、それらの結果を対比することで費用と便益の関係について考察することとした。環境側面については、複数のLCA論文を入手することができたが、経済側面については有用な報告書を入手できたものの複数の文献を収集するまでに至らなかった。そこで、メタ分析は環境側面について検討する一方で、経済側面は特定の報告書を基に算定条件を入力することで個別の費用を計算することとした。

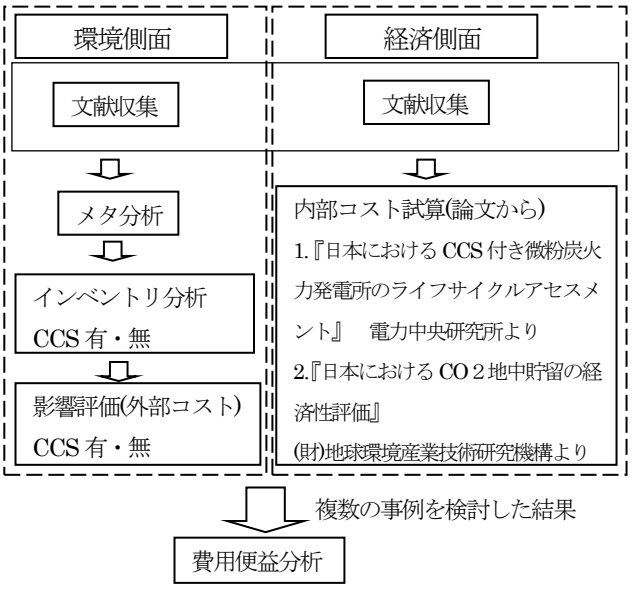


表1本研究の計算方法

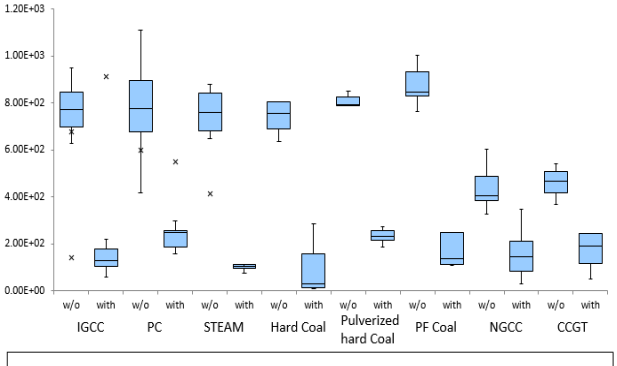
4. 結果

4.1 環境影響評価結果

今回の試算にあたり論文を 130 報収集した。資料内容としては、研究論文の他掲載論文も入っており、発行時期は 1995 年から 2015 年までである。そのうち GHG のみを対象としている論文は約 25 報あり、その他の環境影響として大気汚染や資源消費、酸性化の評価を検討している。

図 2 に地球温暖化を取り上げ、火力発電所を対象としたメタ分析結果を CCS の有無に分けて示した。CCS 無しの場合は石炭利用の場合で 700～900g/kWh、天然ガス利用の場合は 300～500g/kWh であり、両者の違いが確認された。一方、CCS 有の場合は 100～250g/kWh で燃料種の違いによる影響は確認されなかった。その結果、石炭利用の方が CCS を導入する GHG 削減効果が約 8 割程度と大きく、天然ガス利用の場合は 6 割程度であった。このような傾向は発電方式が変わっても大きな差はなく、代表性は高いものと考えられる。

以上のような削減率の幅は、削減目標の設定が重要な影響を与えている。これまでの先行研究の事例の多くは CCS 導入による削減率を 8 割として目標を設定していたことから、目標の設定によっては評価結果の傾向が変わる可能性が高いことに留意する必要がある。



IGCC	w/o N = 11	with N = 11	**Pulverized hard coal**	w/o N = 6	with N = 6
PC	w/o N = 8	with N = 5	**PF Coal**	w/o N = 5	with N = 5
STEAM	w/o N = 4	with N = 4	**NGCC**	w/o N = 23	with N = 16
Hard Coal	w/o N = 12	with N = 22	**CCGT**	w/o N = 4	with N = 4

図 2 火力発電所を対象としたメタ分析の結果と CCS の有無の比較（地球温暖化）

図 3 に火力発電を対象とした環境影響(地球温暖化、都市域大気汚染、酸性化、廃棄物、光化学オキシダント、富栄養化、有害化学物質、生態毒性、資源消費)の統合化を CCS 付と無しについて比較したものを示した。CCS 無しの場合は 2500 円/kWh に対して、CCS 付の場合は 1,000 円/kWh であり、およそ 6 割程度削減することができることがわかった。GHG の場合に比べて削減率が小さいのは、CCS 導入によって酸性化などの他の影響が増加することによる。

内訳としては、二酸化炭素が減少することで人間健康および社会資産が減少し、CCS 導入による酸性化の促進で一次生産および生物多様性が増加した。

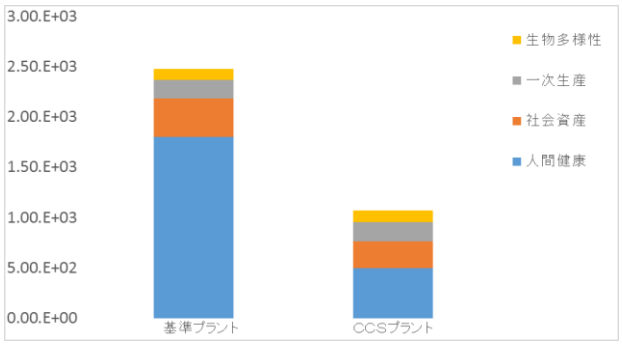


図 3 環境影響コスト

4.2 費用便益分析

CCS の導入費用は 2020 円/year であり、これは「日本における微粉炭火力発電所のライフサイクルアセスメント」の記載情報を基に試算した。

以上の結果を用いることで、費用便益比(B/C)は 0.59 となった。今後の技術進展により費用が削減され、便益が増大することで B/C の改善が期待される。

5. おわりに

本研究では、ライフサイクルの観点から CCS を対象に費用対便益分析を行った。環境側面はメタ分析を通じて CCS による火力発電の GHG 削減ポテンシャルを求めることができた。石炭火力の場合は GHG で 8 割、統合化で 6 割の影響削減が見込まれた。特に GHG は複数の評価結果から一定の代表性があることを確認することができた。一方で、統合化による影響を改善するためには酸性化や大気汚染による影響を削減することが有効と考えられた。

費用便益比に関しては、現段階では CCS を導入することでの便益はなく、設備費や稼動費などにかかるコストの方が上回る結果となったことから、B/C=1 以上にするためには設備・稼動費用の減額および設備に使用される環境影響物質の抑制が今後重要である。

参考文献

1) 日本における CCS 付き微粉炭火力発電のライフサイクルアセスメント,2014,pp.11-14
2) 日本における CO_2 地中貯留の経済性評価,2008,pp.3
3) 革新的環境技術シンポジウム　CCS の現状と課題
4) CCS 技術の分類　地球環境産業技術研究機構
5) CCS 国際標準 ISO/TC265　地球環境産業技術研究機構
6) 日本における CCS 実用化への取組み状況　-苫小牧 CCS 大規模実証試験-　日本 CCS 調査株式会社 技術企画部

構造体の持つ機能に着目した資源効率の評価手法の構築

Evaluation method for a resource efficiency on the basis of a function of frame structures

○太田　暁*[1)]、醍醐市朗 [1)]、後藤芳一 [1)]
Satoshi Ohta, Ichiro Daigo, Yoshikazu Goto
1) 東京大学
*ota@mfa.t.u-tokyo.ac.jp

1.　緒言

UNEP（United Nations Environment Programme）では、資源の有限性から、経済発展と資源消費のディカップリングが望まれるとしている [1)]。他にも資源の criticality に関して近年多くの研究が実施されている [2)]。資源の有限性だけではなく、それらの課題に対応するためにも、資源の利用効率を上げることは技術開発の大きな１つの方向である。資源利用の効率を評価する指標として、MIPS（material intensity per service）[3)]などが提案されている。

一方で、素材として社会で利用される資源は、その素材の機能を使用時に発現するために消費されていると考えられる。つまり、素材の機能性が高まれば、使用する素材量は少なくてよいことになる。しかしながら、今までの資源消費の評価において、資源や素材を質量以外で評価された事例はほとんどない。そこで本研究では、機能を尺度としたサービスに対する物質投入量の評価手法の構築を目的とする。

2.　研究手法

2.1　評価対象

建築物、自動車などの輸送機器、各種家電などの製品の躯体構造を「構造体」と定義した。構造体の構造はいずれも、空間を区分けし、維持している。そこでこの構造体の持つ機能を「空間を提供する機能」とし、主に建築物の持つ躯体構造に着目した。建築物中の材料のストック量に対して、提供される空間量を、建築物の構造ごとに、MIPS を用い評価した。MIPS は以下のように定義される。

$$MIPS = MI / S \qquad (1)$$

MI : 物質投入量,　S : サービス量

ここで、構造体が提供する空間量をサービス量とし、建築物では空間量からは１つ次元が下がるが、一般に建築物の統計等で使用されている床面積を用いた。材料の機能量、MF という量を導入すると、式(1)は、

$$MIPS = MI/MF \times MF/S \qquad (2)$$

と分解できる。従来の MIPS は、質量を基準とした物質投入量をサービス量で除したもの（mass-wise MIPS, mwMIPS）である。一方で、式(2)の第 2 項は、機能量を基準とした MIPS(functionality-wise MIPS, fwMIPS)と考えられる。高機能化が進むと、第 1 項が小さくなり、mwMIPS が小さくなる。一方で、法制度において、安全性を高めるため必要な強度が大きくなった場合、第 2 項の fwMIPS が大きくなり、mwMIPS が大きくなる。材料の機能量の導入により、mwMIPS の変化を、技術革新による変化と法制度による変化に区別することができると考えられる。材料の機能量を定量するためには、すべての材料に適用可能な材料機能の評価尺度ならびに評価手法の構築が求められる。構造体に用いられる構造材としての機能量の評価尺度ならびに手法は次節に詳述した。評価対象とした材料は、鉄鋼材、木材、コンクリート材とした。また、対象とした建築物は、木造、鉄筋コンクリート（RC）造、鉄骨鉄筋コンクリート（SRC）造、鉄骨（S）造、コンクリート（C）造の構造別に評価した。

2.2　材料機能の定量化

木材・鉄鋼材については引張強さに、コンクリート材については圧縮強さに着目した。各材料の持つ強度を定量するために、鉄鋼材、コンクリート材については、透明性があり再現性のある参照元として、日本工業規格(Japanese Industrial Standards: JIS)を用いた。また、木材に関しても同様の理由により、日本農業規格(Japanese Agricultural Standard: JAS)に基づき設定されている、建築基準法施行令の基準強度を用いた。各材料の強度は、示強性の状態量であり、相加性がないため、総量を算出できない。松井ら [4)] は、示量性の新たな状態量である、「機能量」を以下のように定義した。

引張機能量[N・m]

$$=\text{引張強さ}[N/m^2] / \text{密度}[t/m^3] \times \text{質量}[t] \qquad (3)$$

鉄鋼材の引張強さについては、建築用途に用いられる JIS 番号と使われる鋼種を対応させ、それぞれの引張強さを鋼種の受注量を用いて加重平均した。木材の引張強さに関しては、機械等級区分での引張強さの平均、コンクリート材は代表的な呼び強度（圧縮強度）である値を採用した。この値を式(3)に代入し、鉄鋼材と木材については引張機能量を算出した。コンクリート材については、式(3)の引張強さを圧縮強さに置き換えることで、圧縮機能量を定義し、算出した。ここで、受注量とは、同年の着工床面積と資源投入原単位から得られる、投入された各材料の質量とした。

2.3　データ収集

建築物が提供するサービスとして、床面積のデータが必要である。また、建築物に投入された各材料の質量が必要である。床面積については、着工床面積と延床面積の統計値が存在している。Daigo ら [5]の残存率を用いて着工年別の残存床面積を導出した。

各材料の物質投入量は、床面積あたりの使用量を用いて推計した。具体的には、東岸ら [6]の資材投入原単位を用いた。物質ストック量は、先述の残存率を用いた動的分析により推計した。

3. 結果・考察

3.1 建築物中の各材の構造別 mwMIPS

建築物の構造ごとに、木材、鉄鋼材、コンクリート材について、質量基準の投入量の合計を式(1)の MI として、mwMIPS を算出した結果を図 1 に示した。観測した年すべてにおいて、mwMIPS は SRC 造、RC 造、C 造、S 造、木造の順に大きな値を示した。また、S 造を除くすべての構造で、mwMIPS が年々増加している。S 造では資源投入原単位が、どの材料も変化が小さいため、mwMIPS の変化も小さいと考えられた。

式(2)の第 1 項の MI/MF は、一般には比強度とされるものの逆数である。木材や鉄鋼材は、コンクリート材に比べ MI/MF が小さいため、それらを主に用いている木造と S 造の mwMIPS は小さくなると考えられた。鉄鋼材の機能量を基準とした受注量の推移では、MI/MF の変化はほとんど見られなかった。

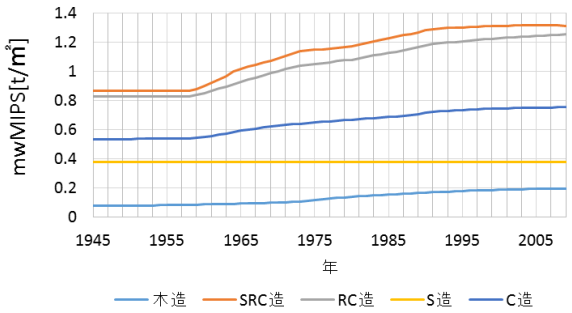


図 1.　構造別 mwMIPS

3.2 機能を評価尺度とした MIPS

2009 年におけるそれぞれの需要量の平均強度は、鉄鋼材:404.5N/mm^2、木材:20.8N/mm^2、コンクリート材:27.0N/mm^2 となった。2009 年の質量基準の投入量を機能量基準のものに換算し、それを着工床面積で除すことで、fwMIPS を推計した。mwMIPS と fwMIPS の結果を図 2 に示す。木材と鉄鋼材は引張機能量を、コンクリート材は圧縮機能量を求めた。引張機能量に着目すると、RC 造と S 造以外で単位床面積あたりに要する引張機能量がどの構造に関しても、3.00～4.00×10^9 N/m の値を示している。RC 造では、SRC 造に比べ、鉄鋼材の投入原単位が小さいため、引張機能量が 2.41×10^9 N/m と先述の値に比べ小さい。S 造は、他の構造に比べ、単位床面積の引張機能量が、約 2 倍の値を示した。また、mwMIPS に対する fwMIPS の比は S 造が 2.66×10^{7}N・m^3/t と、すべての構造の中で最も高い値を示した。S 造は、他の構造に比べ、軽量で、かつ単位床面積あたりの強度の大きい構造を形成できると考えられる。SRC 造、RC 造、C 造の MIPS は、コンクリート材が、質量基準、機能量基準ともに支配的であった。これは、RC 造、SRC 造中のコンクリート材は、圧縮強さ以外に、耐火性や耐震性などを高めるべく他の機能が求められているためと考えられた。これらの結果から、観測した期間においては、式(2)の第 1 項に比べ、第 2 項の影響が、mwMIPS に大きく寄与していると考えられた。

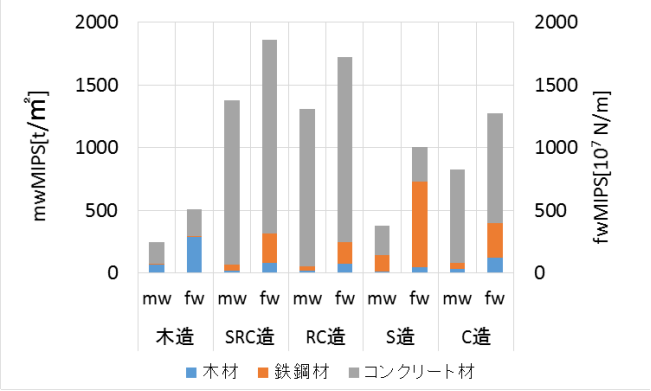


図 2.　2009 年の新規着工建築物の構造別 mwMIPS と fwMIPS

4.まとめ

機能量の導入により、従来の MIPS の式を分解することで、機能を尺度とした、サービスに対する物質投入量の評価指標を構築した。その評価指標を用いて、建築物を対象に評価することができた。今後は、強度に関する機能量だけでなく、他の機能も含めた建築物中の材料の機能の評価方法の構築が望まれる。

参考文献

1) UNEP 2011:Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth, A Report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel. Fischer-Kowalski, et al.

2) Graedel, T. E., et al. 2012. Methodology of Metal Criticality Determination. Environmental Science & Technology 46(2), pp1063-1070.

3) フリードリヒ・シュミット=ブレーク,ファクター10, シュプリンガー・フェアラーク社,東京,1997

4) 松井大輔, 藤村怜央, 醍醐市朗, 後藤芳一: 環境科学会 2015 年会講演要旨集,(2015),pp128-129

5) I. Daigo, K. Iwata, I. Ohkata, and Y. Goto: Environ. Sci. Technol., 2015, 49, pp8691-869

6) 東岸芳浩, 稲津亮, 内藤瑞枝, 谷川寛樹, 橋本征二: 廃棄物学会研究発表会講演論文集,19(2008),p45

地域内における宅配輸送の CO_2 排出原単位の作成

Construction of CO_2 Emissions per Unit of Courier Transport in an Area

○岡村和季*[1)]、伊坪徳宏[1)]
Kazuki Okamura, Norihiro Itsubo
1)東京都市大学
*g1231041@tcu.ac.jp

1.　はじめに

国土交通省の公開資料[1)]によれば2013年度の日本国内におけるCO_2排出量のうち貨物自動車は日本全体の5.9%を占めている。特に宅配便は通販市場の拡大により CO_2 排出量がますます増加すると考えられ、物流の CO_2排出量削減が喫緊の課題となっている。

このような背景で運輸事業者各社はモーダルシフトの取組みを進めてきた。地域間の長距離輸送においては転換が進んでいる一方で、地域内の短距離輸送においてはいまだにトラックが主流である。その中で路面電車や電動自転車など新たな輸送手段を活用する事例が出てきた。（ヤマト運輸ニュースリリース[3)]）

このような取り組みを行うか検討を行うためには、CO_2 排出量をどの程度削減できるのかあらかじめ算定する必要がある。従来、輸送による CO_2排出量の算定にはトンキロ法による輸送手段毎の原単位を用いて算定を行ってきた。しかし現在活用が進んでいる電動自転車とリアカーによる配送や路面電車の併用等、新たな輸送手段の CO_2排出原単位は整備されていないのが現状である。そこで本研究では集配トラックに替わる地域内輸送手段についてトンキロ法に対応する CO_2排出量原単位を作成することで、地域内における宅配輸送のモーダルシフトの効果を定量的に算定する枠組みを作るとともに、その導入拡大を推進することを目的とする。

2.　方法

2.1　評価対象

評価対象は表 1 に示す 4 種とする。評価物質は CO_2 とした。作成する原単位については以下表 2 に示す。

表 1 評価対象

輸送手段	想定車種
①集配トラック	トヨタ・クイックデリバリー200
②路面電車	モボ 631 型
③電気自動車	三菱 MINICAB-MiEV
④電気自転車	ヤマハ PAS GEAR CARGO

表 2 作成する原単位

トンキロ法原単位 ($g\text{-}CO_2/t\cdot km$)	1 トンの宅配便を 1 キロメートル輸送する。
容積キロ法原単位 ($g\text{-}CO_2/m^3\cdot km$)	1 m^3の宅配便を 1 キロメートル輸送する。
個数キロ法原単位 ($g\text{-}CO_2$/個・km)	1 個の宅配便を 1 キロメートル輸送する。

2.2　評価範囲

本研究の評価範囲を図 1 に示す。輸送機器の生産から廃棄、配送設備や道路、渋滞など輸送に関係する項目を評価に含めることも考えられるが、本研究では既存のトンキロ法原単位に合わせ、輸送に利用する燃料の生産と消費に関する分析に限定した。

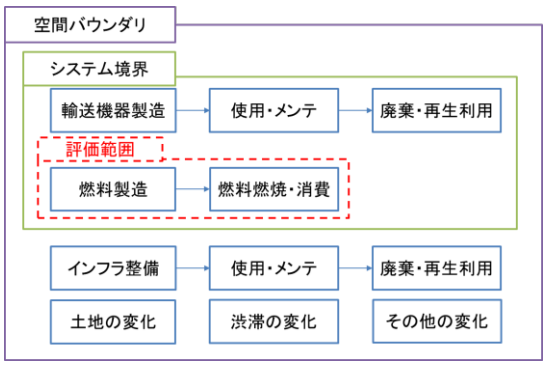


図 1　評価範囲（破線内）

2.3　データの収集

本研究では、想定車種の諸元表等を用いて 1km を走行する際の燃料及び電力消費量を推計した。ただし、集配トラックについてはインベントリデータベース IDEA より原単位を取得し、路面電車については既存文献[5)]より引用した。また、輸送能力については諸元表における最大積載重量と荷室内寸法を用いて設定した。ただし路面電車についてはヤマト運輸へのヒアリング結果から電動自転車 20 台分と仮定した。

2.4　算定方法

1km 走行時の CO_2排出量を推計し、各輸送手段の最大積載重量及び最大積載容積で除算しトンキロ法原単位及び容積キロ原単位を作成した。さらに、宅配便 1 個の重

量及び容積をメール便 10 個分と仮定し、上記の原単位から個数キロ原単位を作成した。ここで得られた結果とヤマト運輸へのヒアリングを基に路面電車、電気自動車、電動自転車を利用した場合の CO_2 排出量を算定し、トラック輸送の場合との違いについて考察した。

3. 結果

3.1 作成した CO_2 排出原単位

本研究で作成した CO_2 排出原単位について、トンキロ法、個数キロ法(重量ベース)で表したものをそれぞれ図2、図 3 に示す。いずれも宅配トラックが一番高く、路面電車及び電気自動車が一番低いという傾向が見られた。電気自動車が比較的高い結果となったのは、本格的な電気トラックがまだ実用化しておらず、積載重量が 350kg の小型車を算定対象としたためである。いずれのタイプの原単位においても、路面電車で 1/2 程度、電動自転車の利用で 1/5 程度まで CO_2 排出量を削減することが可能であることが分かった。

また、個数キロ法原単位についてはヤマト運輸が CSR 報告書にて公表している 253g-CO_2/個という原単位と比較し、重量ベースで作成した原単位については走行距離を 10km 程度と仮定すれば妥当な原単位となった。

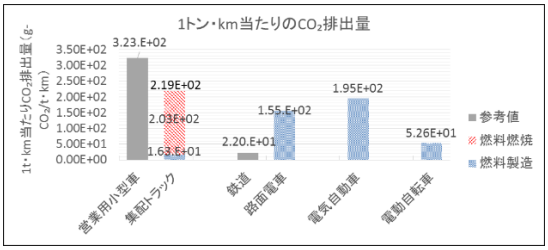


図 2 トンキロ法原単位

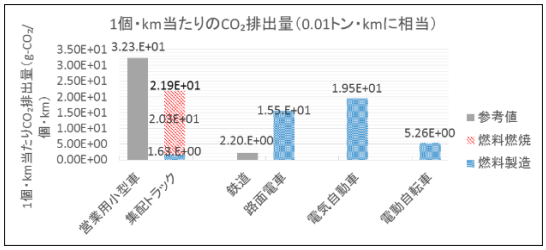


図 3 個数キロ法原単位（重量ベース）

3.2 ケーススタディ

本研究で得た個数キロ法原単位(重量ベース)を用いて、参考文献 3 のモーダルシフトモデルにおける CO_2 排出量削減の評価を行った。算定条件と算定結果をそれぞれ図4、図 5 に示す。地域内いずれもトラックを利用した場合Ⓐに対して、路面電車、電気自動車、電動自転車を利用した場合Ⓓと比較すると約 6%程度の CO_2 排出量の差を確認した。よって短距離輸送の最適化による CO_2 排出量削減効果は相当にあるものと考えられた。

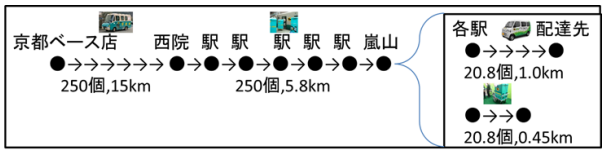


図 4 ケーススタディの算定条件

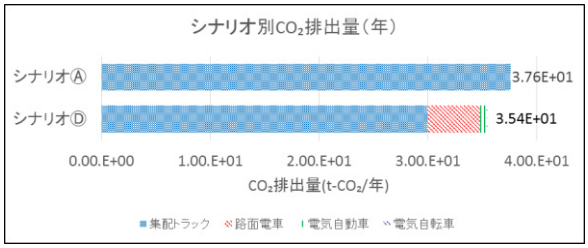


図 5 ケーススタディの結果

4. まとめ

本研究では宅配輸送における CO_2 排出原単位を 4 種類作成した。トンキロ法原単位では集配トラックに対し路面電車、電動自転車を利用するとそれぞれ約 3 割、約 3/4 を削減できる等、モーダルシフトによる CO_2 排出量削減効果を推計するための枠組みを作成できた。さらに、これを用いた路面電車、電気自動車、電動自転車を用いたケーススタディを実施した。地域内の短距離輸送に注目したモーダルシフトを積極的に導入する事の意義について確認することができた。

参考文献

1）国土交通省ホームページ　運輸部門における二酸化炭素排出量
http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html

2）国土交通省ホームページ　平成 25 年度宅配便等取扱実績について
http://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha04_hh_000080.html

3）路面電車を利用した低炭素型集配システム開始について
http://www.yamato-hd.co.jp/news/h23/h23_14_01news.html

4）ロジスティクス分野における CO2 排出量算定方法共同ガイドライン Ver. 3.0
http://www.greenpartnership.jp/pdf/co2/guidelinev3.0.pdf

5）LCA に基づく標準化原単位を用いた鉄軌道システムの環境性能評価手法
http://www.urban.env.nagoya-u.ac.jp/sustain/paper/kankyo/31sibahara.pdf

野外音楽フェスを対象とした環境・経済・社会影響評価

Environmental, economic and social impact assessment for outdoor music festival

○西川翔多*[1)]、三尾泰一郎[2)]、伊坪徳宏[1)]
Shota Nisikawa, Taiichiro mio, Norihiro Itsubo
1)　東京都市大学, 2) (株)中央物産
*g1231147@tcu.ac.jp

1.　はじめに

近年、音楽市場では今まで主流であった CD やダウンロードなどの音楽ソフト市場から音楽ライブ市場に移行するなど、大きな変動期を迎えている。なかでも音楽フェスは、出演者側にとっては数万人規模の客層に対して同時にプロモーションでき、主催者側にとっては地域振興と高い経済波及効果が期待されるため、近年高い注目を集めている。

一方、イベントの持続可能性に関するガイドライン(ISO20120)が発行されてから、2020 年開催の東京オリンピックにおいても、環境・経済・社会への配慮に向けた取り組みが始まっている。現在、イベント業界全体で持続可能性に配慮したマネジメントを戦略的に行うための評価枠組が求められており、LCA の貢献が期待される。

2.　研究目的

本研究では、音楽フェスを対象とした環境、社会、経済影響効果をイベントの準備段階から片付けに至るまでを網羅しつつ、全ての使用物品やサービスを包括的に評価するために LCA を駆使して定量的に分析することを目的とした。また各側面の関係や域内外での移出入を明らかにすることで、持続可能性に配慮した大会運営に活用する。

3.　評価対象および研究方法

3.1　評価対象

本研究では「中津川 THE SOLAR BUDOKAN2014」を評価対象とした。表 1 にその概要を示す。機能単位は「音楽フェス中津川 THE SOLAR BUDOKAN 2014 の開催」とし、評価項目は環境負荷、経済波及効果、社会効果とする。各側面を評価する指標については、環境は CO_2、経済は一次二次波及効果、社会は雇用効果を採用した。

表 1. 本研究の評価対象の概要

イベント名	中津川 THE SOLAR BUDOKAN2014
日程	2014 年 9 月 27 日(土) 9 月 28 日(日)
開催地	岐阜県中津川市茄子川 1683-797
	中津川公園特設ステージィ
来場者	20000 人（推定）
出演バンド	シアターブルック RIZE 10-FEET Dragon ash etc…

3.2　調査範囲

「中津川 THE SOLAR BUDOKAN 2014」のシステム境界を図 1 に示す。

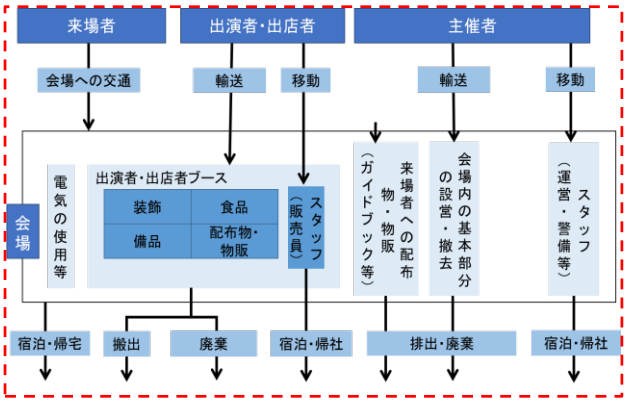


図 1　システム境界

3.3　データの収集

本研究では、主催者と出演者は主催者からのヒヤリング、出展者は主催者からのヒヤリングと当日の目視調査、来場者は会場での無作為調査に基づく拡大推計を通じて基礎データを得た。

3.4　算定方法

環境・経済・社会のいずれの側面も原単位法(式①)を使用した。

原単位法=Σ(投入量×原単位)

環境負荷の原単位は「エコプロダクツ 2008 における CO2 排出量測定調査」調査報告書から「エコプロダクツ展示会 2 レンタル CO_2原単位」と IDEA(産業技術総合研究所)、交通には国土交通省(2012)、食品には味の素「食品関連材料 CO2 排出量係数データベース」を使用し算

定を行った。経済波及効果と雇用効果については東京都市大学、伊坪松永らが開発したデータベースを使用した。

4. 結果

4.1 環境影響評価結果

CO_2 の算定結果を図 2 に示す。総排出量は約 530t-CO_2 となった。その内訳を見てみると、来場者の排出量が最も大きく、全体の約 9 割を占めた。なかでも移動による寄与が大きかった。来場者を対象としたアンケートによれば、多くの来場者が自動車を使用したことによる影響が大きかった。一方、主催者は備品、出展者は配布物の寄与が大きいものの、備品はレンタル品の使用、出展者への意識啓発等を通じて環境負荷の低減がはかられている。

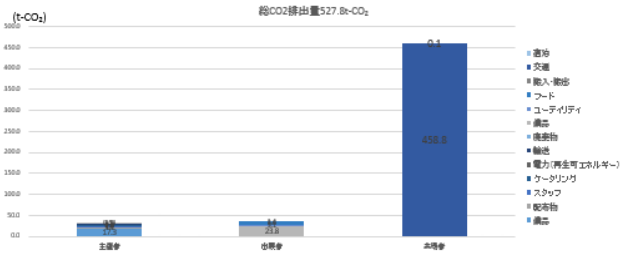


図 2　環境影響評価果比較

4.2 経済影響評価

図 3 に経済影響評価の結果を示す。総額はおよそ 8 億円で、なかでも来場者が約 8 割を占めた。来場者の中でも食品の購入の影響が最大であった。会場内で多くの来場者が食品を購入していたことが要因である。CO_2 は自動車のガソリン消費による排出強度が高い一方で、弁当等の食品加工・およびサービス業は経済波及効果が高いことが影響したものと考えられる。これについては原単位でも示されている。自動車の原単位が約 4.58 円に対して食品の原単位が複数あるが約 6.05 円。以上の条件から出展者と主催者は来場者に比べて一桁程度低い値となった。

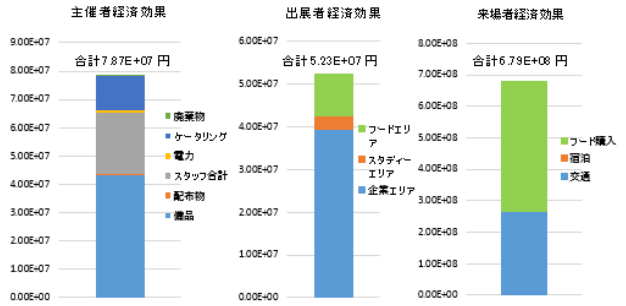


図 3　経済影響評価果比較

4.2 社会影響評価

図 4 に社会影響評価の結果を示す。「中津川 THE SOLAR BUDOKAN 2014」開催において正規雇用では全体で約 100 人の雇用が生まれることが算定結果から分かった。項目ごとに見てみると、主催者、出展者が創出する雇用人数はともに約 2 人であり、来場者が創出する雇用は約 112 人という結果になった。これは来場者の経済活動が高かったことが雇用効果にも反映されたからと言える。

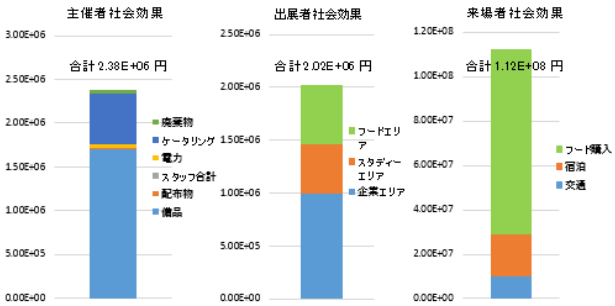


図 4　社会影響評価比較

1. おわりに

本研究では、LCA を用いて「中津川 THE SOLAR BUDOKAN 2014」を対象に環境・経済・社会側面の影響評価を行った。いずれも来場者の寄与が最大であったが、環境側面は自動車移動、経済と社会側面は会場での食品の購入と消費による寄与が最も大きいことがわかった。今後の開催に当たっては、エコカーの利用奨励、パークアンドライドや渋滞緩和策、公共交通機関の整備、地元産の作物利用促進による雇用と経済波及効果の増大、などが持続可能性を向上するうえで有効と考えられる。

参考文献
サステナビリティ日本フォーラム
http://www.sustainability-fj.org/gri/about/g4/
BIS ジャパン
http://www.bsigroup.com/ja-JP/ISO20121/
音楽市場について（KandaNewsNetwork）
http://4knn.tv/japan-music-industry-2015-300-billion-yen/
音楽フェスの問題点
http://www5f.biglobe.ne.jp/~letsrock/fuji_rock6_total.html
http://ch.nicovideo.jp/deulah/blomaga/ar579826

日本LCA学会研究発表会 ライフサイクル・TMR・生活・文化を通じた環境プログラムと、意識・行動変容

発達段階に応じたプログラム構成と、子どもの意識

By environmental content about life cycle thinking · TMR · life and culture, to awareness and behavior change.
And program structure in accordance with the developmental stage, children's consciousness.

○海老原誠治*[1)2)]、高岡由紀子[1)3)]、北村祐介[1)4)5)]、杉原綾子[1)2)]、阿部祐爾[1)6)]、伊藤一夫[1)7)]、中村尚弘[1)8)]、吉川大貴[1)8)]、望月規弘[1)]、大西亮真[1)9)10)]、林育生[1)11)]、新木浩之[1)12)]、平野ゆうき[1)13)]、伊藤聖子[1)14)]、古久保彰[1)2)]、堀川悦夫[1)15)]、西尾チヅル[1)16)]

Ebihara Seiji, Yukiko Takaoka, Yusuke Kitamura, Ayako Sugihara, Yuuji Abe, Kazuo Ito, Naohiro Nakamura, Daiki Yoshikawa, Norihiro Mochizuki, Onishi Akinao, Ikuo Hayashi, Hiroyuki Araki, Yuuki Hirano, Itho Satoko, Akira Furukubo, Etsuo Horikawa, Chizuru Nishio

1）資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」, 2）三信化工株式会社,
3）グリーン購入ネットワーク, 4) elsa, 5）株式会社プリプレス・センター, 6）株式会社岡村製作所,
7）シヤチハタ株式会社, 8）株式会社チクマ, 9）こどもエコクラブ, 10）日本環境協会,
11）朝日化工株式会社, 12）トーソー株式会社, 13）株式会社久栄社, 14）産業環境管理協会,
15）佐賀大学, 16）筑波大学
* s-ebihara@sanshin-kako.co.jp

1. 背景・目的

産学コンソーシアムである「エコが見える学校」では、LCTに取り組むモノづくり企業を中心とし、企業がもつ生活に関わる環境情報の発信と理解とLifeStyleの変容を目的とし2012年発足した。国内2番目となる環境教育等支援団体の指定のもと（環境教育等促進法）、関連企業が持つLCA情報等を元に、複数の環境コンテンツの開発・実施・調査・修正・展開を通じて評価した。2014年度には70回以上・延べ10,00 0人程の方を対象として衣食住を通じた出前授業やワークショップ・セミナーを実施した。

2. プログラムと事例

2.1 LCAシミュレーションプログラム

実際のLCのプロセス・インパクトを体感して貰うべく「ものの一生のすごろく」 を開発した(Figure1, 2)。対象は小学中学年より大人まで広く、学校の授業では小中学校・大学、その他各種イベントでのワークショップ（以後WS）など、多数の事例がある。特に小学校４年の社会科の授業の場合、生活とライフラインの関係・３R等と指導要領との連携により有効な展開が可能である。中学生以上ではキャリア教育との連携、またすごろく結果を重ね合わせ集計し、統計的に環境負荷のシナリオの検証へ拡張できる。基本ルールやマニュアルを共通化し、食器・衣服・マーカーペン・机と、プログラムのフレームを移植し複数製品のLCで展開している。

2.2 TMRシミュレーションプログラム

資源調達にともなう環境負荷において、残渣を中心に原料鉱石切削量・資源抽出工程への気づきを意図した理化学実験プログラムを開発(Figure3)。鉄鉱石の選鉱を模し、砂鉄を混合した乾燥粘土より砂鉄を抽出、純度と残渣・水など消費した資源を計測、鉄１ｇ当たりの環境負荷を算出する。対象は中学生以上を対象とする。文系大学生への環境影響評価の授業事例がある。

2.3 文化・食育と連携した、資源の大切さの気づきを促すプログラム

小学１～６年生を対象とし、10~15minで収まるプログラム「大切のかたち」。文化と給食用食器のLC・繕いを軸に、身の回りの製品・資源を大切にすることへの気づきのプログラム。学校を中心に全校集会の形で複数の事例がある。中学校への展開や、総合学習や道徳・家庭科の授業枠において１～２コマでの事例も多数ある。

3. 結果・考察

各種調査より、受容性や意識変容が確認されている。「大切のかたち」においては、Table1に見られるような発達段階に応じた受容性の変化も確認されている。また実施した内の小学校２校に関しては、給食に使用

する強化磁器食器の年間破損数において、現時点では概数であるが３０～４０％減少する形で、行動変容が確認出来ている。

4. 課題

今後の課題として、行動変容の精確な調査・行動変容に影響を及ぼす要因の整理・被介入者の追跡調査・介入における効果の平年での変位の調査が挙げられる。

参考情報

資源と環境の教育を考える会「エコが見える学校」
HP; http://www.kababon.org



Figure1　ものの一生のすごろく（食器のLCAシミュレーション）

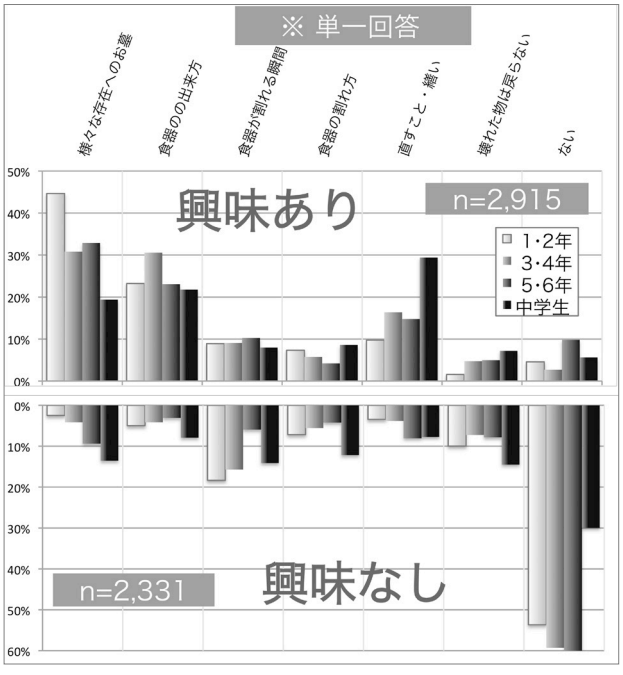


Figure2　シミュレーションされたC02インパクト



Figure3　実験による砂鉄の抽出の様子

Table1



建築物の鋼材・コンクリート投入原単位の歴史的変遷とその要因の分析

Historical changes in the steel and concrete material intensity of RC buildings

○河村千秋*[1)]、藤本郷史[1)]、松野泰也[2)]
Chiaki Kawamura, Satoshi Fujimoto, Yasunari Matsuno
1) 宇都宮大学, 2) 東京大学
* azuki_suki3@yahoo.co.jp

1. はじめに

鋼材やコンクリートは，建築物を構成する基幹材料であり，既存建築物を構成する資源として蓄積されている。廃棄物発生量や資源再生を図るためには，これらの資源量の適切な把握が重要である。一般に，建築物に蓄積された資源量は，単一の延床面積あたり投入原単位に，統計から得られる延床面積を乗じて推計されることが多い。本報は，広範囲な文献調査に基づいてこの投入原単位の経年的な変化を捉え，その要因を分析することを目的とした。

2. 調査の方法と考え方

2.1 既存建築物の分析における課題

資源の投入原単位を知るには，製品の生産時を調査するのが合理的である。しかし，建築物の寿命は長いので，建設時の資料は入手できないことがほとんどである。本報では，この課題を解決するために，表 1 に示す二つの方法で調査をおこなった。

表 1　二つの調査手法の比較

方法	概要および利点・欠点
調査① 解体時の排出量から推定する	利点：文献値でないので，協力さえ得られれば，将来にわたって継続的なデータ入手が可能である。 欠点：解体時の作業によっては，投入量と一致しない可能性がある。
調査② 過去の積算資料から推定する	利点：既存建築物と時代的に同一のデータである。極めて古い建物についても値が入手できる。 欠点：孫引きの値や概算値など信頼性に乏しいデータが多い。

2.2 解体時の排出量調査(表 1-①)の概要

解体時の廃棄物量や回収資源量は，その概算値がマニフェストに記載されているが，建築物や工事の概要（延床や階高，構造種別，解体工法の種別）との対応が難しく，実際には排出原単位として分析するのが手間である。本報では，建設リサイクル法施行前後に建築業協会がゼネコン各社から収集した廃棄物調査報告書[1)]の生データを入手し，分析に供した。

2.3 積算資料調査（表 1-②）の概要

建築物の計画初期では，古くより建築面積，延床面積程度の情報から概算価格を算出して顧客に示すことが求められてきた。1970 年代前半までは，充分な情報の蓄積がなかったために，教科書・資料集の実施事例や概算値を参考にしていた。本報では，この慣習に着目し，国会図書館の所蔵する書籍を網羅的に調査して，投入原単位データを収集した。

2.4 建築物の投入原単位に係わる歴史的事象の抽出

建築物の投入資源を変化させる社会的要因について分析するため，大地震の時期，耐震基準の変遷，戦争等による建設量の変化，資材価格の変動などについて文献調査をおこなった。

3. 調査の結果と考察

3.1 調査データの質と量

表 2 に収集データの年代別の件数を示す。調査②では，第 2 次大戦以前の建物についても相当数の情報が得られた。戦前には，関東大震災による鉄筋コンクリート造建築の普及や法律改正と言った建築物の時流を変えた社会事象が起こっており，これらの事象との相関を検討できるデータは貴重である。

表 3 に特にデータ件数の多かった用途を示す。比較的時流の影響の小さいであろう学校建築，生活の変化に伴って著しく変化した集合住宅のいずれにおいても相当のデータ数を確保することができた。

表 2 収集データの年代別の件数

年代	1940 以前	50s	60s	70s	80 以降
調査①	17	50	147	112	28
調査②	55	161	80	161	1

表 3　データ件数の多かった建物用途

用途	事務所	集合住宅	教育施設	工場
調査①	110	104	66	19
調査②	95	42	49	54

3.2 調査結果からみた原単位変化の傾向と要因

図 1 に調査結果の一例を社会事象の編年表と対応させて示す。ここに示した以外の用途種別においても，おおむね類似した傾向が観察された。以下のようにまとめられる。

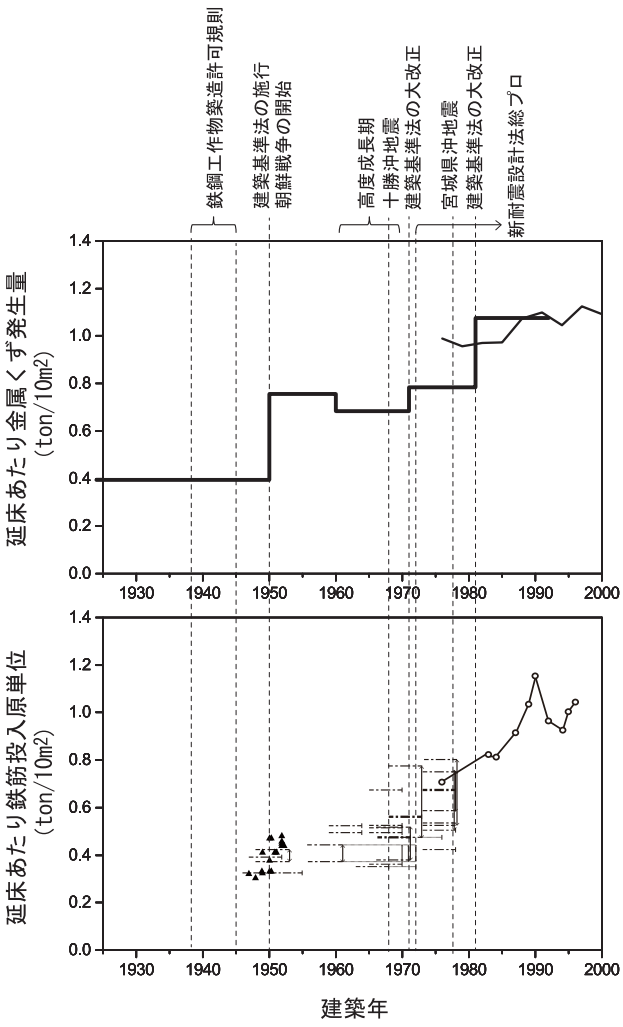
1) 関東大震災以前のデータは 1 件だが，震災後と比べて鋼材量が格段に少ない。
2) 関東大震災後の 1930 年代の建築物には，現代と比べても極めて鋼材量が多い建築物が存在する。それらは都内中心部の重要建築物である。
3) 1945 年～1950 年に建築された公営集合住宅では，ほぼ同一規格にも関わらず，1 年ごとに鋼材量が増加している。これらの戦後復興による資材の調達性が関わっていると推察される。
4) 1950 年～1960 年代までは，どの用途でも鋼材投入原単位の変化が小さい。これは大きな地震が少なく，建築基準法も小さな改正にとどまっていたためと考えられる。
5) 1970 年代前半には，一部の用途で鋼材原単位の減少が観察された。この傾向は維持管理等で報告される建築物の質と整合する。
6) 1970 年代には鋼材原単位が大きく上昇する傾向にあった。これは 2 度にわたる大地震，耐震技術の進歩と基準の大改正が原因と考えられる。
7) コンクリートの投入原単位は，いずれの用途においても経年変化が小さい。
8) 公的な統計が整備された 1980 年代以降にも鋼材原単位が引き続き上昇傾向にある。公的な統計調査では，規模等の比率での重みづけ平均しているので，この上昇傾向は建築物の高層化が原因であると推察される。

3.3 引用文献

1) 建築業協会：建築物の解体に伴う廃棄物の原単位調査報告書 (※H14,H15,H16 年度版の 3 冊を用いた)
2) 400 件以上の参考文献を利用しているため，本梗概には全てを記載できない。各書籍の執筆者各位にお詫びいたします。

謝辞

本報は，日本学術振興会 科学研究費 基盤研究（A）（研究代表者：松野泰也 東京大学准教授，課題番号：25241027）の助成を受けて実施した。調査①にあたっては，日本建設業連合会 山口成佳様に生データを含む報告書を提供いただいた。国土交通省 土地・建設産業局 森田啓司様，国土交通省土地・建設産業局 高森真人様には内部資料を提供いただいた。宇都宮大学工学部付属図書館 白石亮一様には多数の文献資料取り寄せに快く対応いただいた。文献データの打ち込み・分析にあたっては，宇都宮大学大学院生 佐山諒君，学部学生 柴田恭平君ほか多数の協力を得た。以上の関係各位に感謝申し上げる。



凡例（調査②）

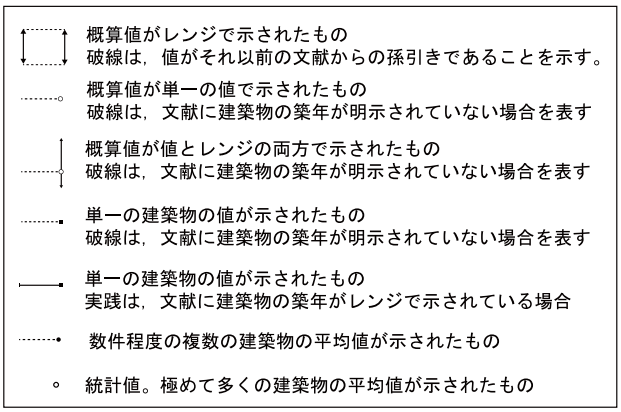


図 1 鉄筋投入原単位の変遷と社会事象の対応
上：調査①　鉄筋コンクリート造建築物，下：調査②
鉄筋コンクリート造建築物（集合住宅）[2)]

建設産業における金属消費量変化の要因分析

Factor Analysis of Metal Consumption in the Building Stock

○畑山博樹*[1)]、田原聖隆 [1)]
Hiroki Hatayama, Kiyotaka Tahara
1) 産業技術総合研究所
*h-hatayama@aist.go.jp

1. はじめに

土木構造物や建築物は大量の金属資源を使用するため、建設産業は我が国における金属需要とその資源循環を検討する中で重要な位置を占めている。日本における建築物の新規着工面積は1960 年の6,000万m^{2}から1990 年代後半には28,000万m^{2}に増加したものの、現在は15,000万m^{2}前後で推移している[1)]。しかし、建設産業における各種金属消費量は必ずしもこの動きに連動していない。例えばアルミニウムの消費量は新規着工面積のような逆U字型の推移を示している一方で、鉄鋼や銅については消費量の大幅な減少は見られない。これは、住宅構造の変化や居住環境形成に用いられる製品の変化、また建築材料の生産技術の向上などによって、着工面積あたりの金属消費量が以前と比べて変化しているためと考えられる。これらそれぞれの因子の過去の時系列変化を分析することで、金属消費量の変化に対する建築物需要の変化の寄与と、建築物への金属使用強度の変化の寄与を明らかにすることができると考えられる。本研究では、鉄鋼、アルミニウム、銅、亜鉛を対象として、これら金属消費量に影響を与える要因を時系列で分析するとともに、2050年までの国内の建設用途向けの消費量の推計を実施した。

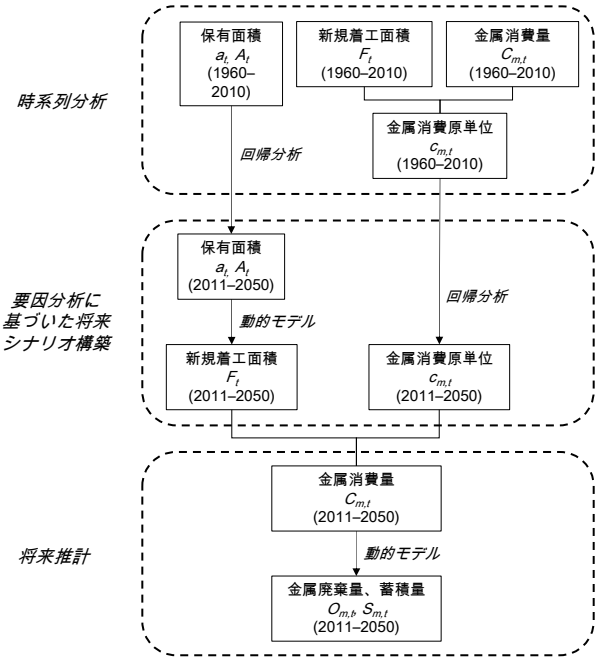


図 1　建設産業における金属消費量の推計フロー

2. 研究方法

将来の金属消費量推計手法における各変数の関係性は図 1 のように示される。本研究では、式 1 に示すように建設用途における金属消費量を決定する要因を分解した。

$$C_{m,t} = F_t \times c_{m,t} \qquad (1)$$

ここで、$C_{m,t}$ は t 年における金属 m の建築用途向け消費量であり、新規着工面積 F_t に単位床面積あたりの金属消費量 $c_{m,t}$ を乗じることで算出されるとする。F_t の推移の分析のためにまず、社会に存在する建築物の延床面積（以下「保有面積」）を GDP の成長からゴンペルツ曲線を用いて予測した。そして保有面積と新規着工面積の関係を記述した動的モデルを用いて、F_t の将来推移を予測した。また、過去の $c_{m,t}$ の推移を分析し、回帰分析によって将来の $c_{m,t}$ を予測した。このように推計された将来の F_t、$c_{m,t}$ を用いて、将来の $C_{m,t}$ を推計すると同時に、建築物としての金属の国内廃棄量と蓄積量を推計した。なお、F_t, $c_{m,t}$ の将来変化については複数のシナリオを設定し、F_tおよび$c_{m,t}$の変動幅が2050年までの各金属の消費量に与える影響を示した。分析において、着工面積および保有面積のデータは関連統計 [1,2)]より、建設用途における金属消費量データは既存研究等 [3-6)]に基づいて得た。

3. 結果

人口 1 人当たりの保有面積 a_t は、1985 年の 44.7m^2 から 2010 年には 65.2m^2 まで増加している。そこで、将来の保有面積について 3 通りの a_t の飽和値(a_{sat})を想定したところ、将来の新規着工面積 F_t は 150-220 km^2 で推移すると計算された（図 2)。本研究では建設物の寿命を 40 年と仮定しているため、1990 年前後の建設物の立て替え需要の増加が今後見込まれる。一方で、いずれのシナリオにおいても、人口減少によって国内の総保有面積は 2050 年までに減少に転じると推計されており、結果として新規着工面積は緩やかな減少傾向を示した。

また、図 3 に見られるように、消費原単位 $c_{m,t}$ の傾向には違いが見られた。例えばアルミニウムについては、1980 年頃までにかけてのアルミサッシの普及率の

増加が結果的に消費原単位を増加させた。一方でアルミサッシが普及した以降は、内外装での新たな用途の開発もあるものの、消費原単位は横ばいで推移する結果となった。亜鉛の消費原単位は、ばらつきが大きいものの、1985 年ごろをピークとした緩やかな逆 U 字のカーブを示した。鉄鋼の消費原単位は増加しており、メッキ処理される鉄鋼量も増加していると考えられる。その一方で、メッキの際の単位鉄鋼量当たりの亜鉛必要量は減少していることが指摘されており、この 2 つの効果の重なりとして逆U字型の消費原単位を示していると考えられる。

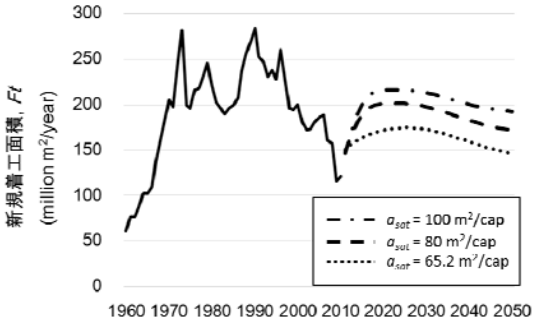


図２　新規着工面積のシナリオ別推移

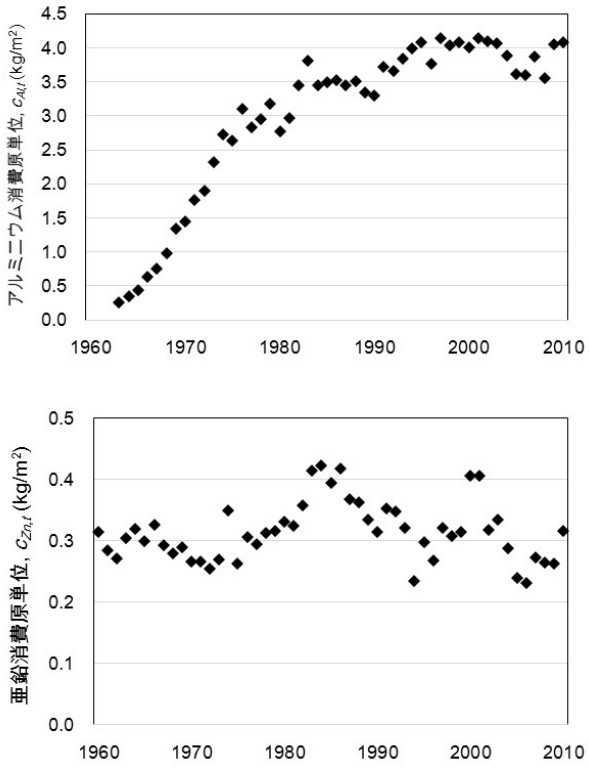


図３　アルミニウムと亜鉛の消費原単位推移

式 1 の F_t 、 $c_{m,t}$ に関するこれら時系列分析から設定した 6 パターンの将来シナリオに基づいた推定の結果、建設産業における鉄鋼の消費量は 2010 年の 2,900 万トンに対して 2050 年で 3,500-8,100 万トン、アルミニウムは 2010 年の 50 万トンに対して 2050 年で 65-85 万トン、銅は 2010 年の 18 万トンに対して 22-55 万トン、亜鉛は 2010 年の 4 万トンに対して 2050 年で 2.6-6.6 万トンと推計された。

4. まとめ

本研究で実施した金属消費量の要因分解は、特に新規着工面積当たりの消費量に関して金属間で推移傾向に違いがあることを明らかにした。消費原単位を消費量予測の中で独立して考慮し、金属ごとのこれまでの推移を明らかにしたことで、建設産業に関連する将来技術の導入の影響をより精緻に評価できると考えられる。例えば、サッシの樹脂化や亜鉛メッキ工程における歩留まりの向上といった技術変化を普及率等の数値によって記述することで、その影響の分析が可能となる。また、時系列の消費原単位を明らかにしたことで、建て替え時の省資源効果等を定量化することができる。また本研究でおこなった要因分析をさらに詳細に進めることで、建設分野における資源効率、ストック効率の変化に対する各要因の寄与度の分析が期待できる。

謝辞

本研究は公益財団法人 LIXIL 住生活財団による調査研究助成（12-28）を受けて実施した。記して謝意を表する。

参照文献

1) 建設調査物価会：建築統計年報（CD-ROM 版），(2012)
2) 総務省：固定資産の価格等の概要調書，（1983-2010）
3) Hatayama, H.; Daigo, I.; Matsuno, Y.; Environ. Sci. Technol. 44 (16), (2010), pp.6457-6463.
4) 日本アルミニウム協会：アルミニウム統計年報（1960-2011）
5) 醍醐市朗，橋本晋，松野泰也，足立芳寛：日本金属学会誌、71 (7), (2007), pp.563-569.
6) Tabayashi, H.; Daigo, I.; Matsuno, Y.; Adachi, Y., ISIJ Int. 49 (8), (2009), pp.1265-1271.

ICT 機器における実装技術トレンドの TMR 指標を用いた評価

Assessment of the packaging technology trend in the ICT equipment using Total Material Requirement index

○境　志野*[1)]、山田　真理子[2)]、醍醐市朗[3)]、胡　勝治[1)]
Shino Sakai, Mariko Yamada, Ichiro Daigo, Katsuji Ebisu
1) 富士通研究所、2) 富士通、3)東京大学
* sino@jp.fujitsu.com

1. はじめに

持続可能な社会を実現するため、資源利用の面からも環境負荷低減が求められている。最近の持続可能な資源利用に関する議論では、資源利用の経済的あるいは社会的観点まで包含した criticality 評価が望まれている[1)]。環境に関する観点では、資源利用に伴う人体影響や生態系への影響を評価することが望まれており、それらを反映した様々な手法が存在している。横井らは、手法により結果は異なるため、評価の目的に応じて十分に注意して手法を選択すべきであるとしている[2)]。企業においては、ステークホルダへのアンケート等により得られた重み係数を用いた評価が望ましいとも考えられるが、その実施には相当の費用と時間を要する。しかし、企業における資源利用による環境影響の評価は、材料選択等の設計段階において複数の選択肢に対して簡易に行えることが望まれる。そこで、本研究では、簡易的な代理指標として TMR（Total Material Requirement）指標を適用し[3)]、資源利用の観点からの ICT 機器の環境影響度を調査・検討することを目的とした。

2. TMR 算出方法

評価対象の ICT 機器として、発売時期が異なるスマートフォン 4 機種とノート PC 1 機種を選択した。それら ICT 機器を解体、分解し、粉砕、酸溶解後、ICP（Inductively Coupled Plasma）分析を行い、金属 16 元素（Rh、Au、Pd、Ge、Ga、Gd、Dy、Ta、Ag、La、Nd、Y、Sn、V、Cu、Ni）の含有量を同定した。得られた素材含有量から各製品の関与物質総量（TMR）を算出し、比較した。スマートフォンについては経年変化を評価するとともに、実装技術トレンドとの関係を考察し、さらに TMR の算出に必須の金属資源含有量の把握に関し、より簡便な手法の適用可能性を検討した。

3. 結果および考察

3.1 スマートフォンの TMR

算出した 4 機種の 1 台あたりの TMR を図 1 に示す。ただし、絶対量が公表できないため、A 機種を 100%とした相対値として示した。スマートフォン 1 台あたりの TMR は Au と Cu で約 90%を占めることと、スマートフォン 1 台あたりの TMR は、発売時期が近年のものほど小さいことがわかった。

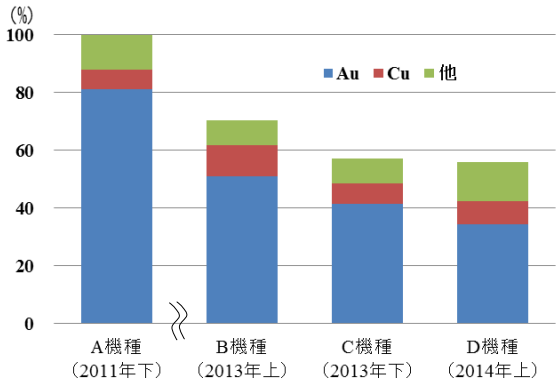


図 1 スマートフォン 1 台あたりの TMR

3.2 スマートフォン経年変化要因の考察

スマートフォンの TMR が発売年とともに減少した主な要因は、Au 含有量の低下と考えられた。そこで、A 機種に関し、Au の部品別の構成比率を調査したところ、92%が IC 部品に含有されていた。そこで、4 機種の IC 部品点数を調査した結果、部品点数は Au の減量に影響していないことがわかった（図 2）。

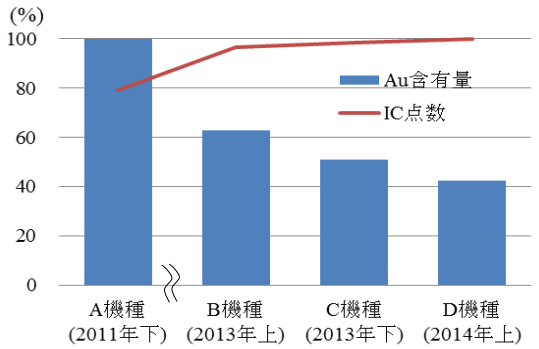


図 2 スマートフォン 4 機種の IC 部品点数と Au 含有量

3.3 IC 実装技術のトレンド調査

上述の結果を考慮し、IC の実装技術の変化を調査した。その結果、Au 減量の要因は以下のような技術トレンドによるものと考えられた。

IC 内部実装に用いられているボンディングワイヤの素材は、図 3 に示すように変化し、Au のシェアが年々減少していることがわかった。[4)]

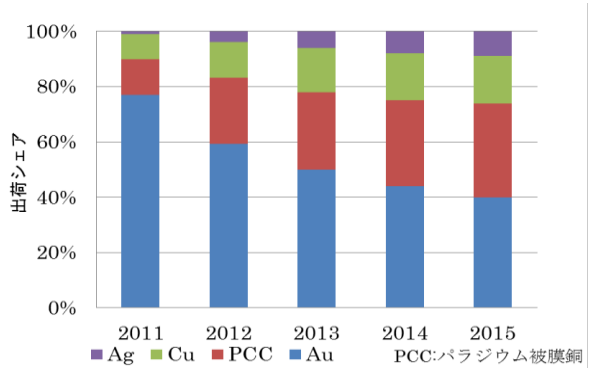


図 3 ボンディングワイヤ素材別シェアの推移

ワイヤボンディングを利用したパッケージから、IC チップの裏面において直接基板に接続するフリップチップパッケージ(FCP)への移行が進んでいる。この傾向は今後も続き、FCP の需要は、2017 年において 2012 年の 3 倍になると予想されている [5]。

FCP においては、バンプの微細化に伴い、図 4 に示すように、Au メッキを使用しない Cu ピラーのシェアが大きくなってきていることがわかった [6]。

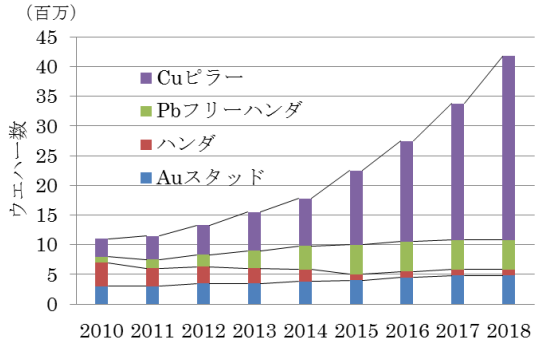


図 4 バンプ形成済みウエハー数の予想

3.4 ノート PC の TMR

ノート PC の TMR を図 5 に、同年代のノート PC とスマートフォンを比較した結果を図 6 に示す。ノート PC の 1 台あたりの TMR は Au と Cu で約 90%を占めること、スマートフォンとは異なりノート PC の Au と Cu の TMR は同等であること、ノート PC の Cu の比率が高いのは配線基板とヒートパイプの影響であることがわかった。今後、スマートフォンの実装技術がノート PC にも導入され、Au の使用量が低下し、TMR も減少するものと予想される。

3.5 TMR 算出システム

これまでの分析結果や AIS（Article Information Sheet）などを基に、部品、ユニットごとに TMR 原単位 DB を作成し、図 7 に示すシステムを構築することにより、簡便な TMR 算出が可能になると考える。

4. まとめ

(1) スマートフォンとノート PC の TMR は Au と Cu で約 90%を占める。

(2) スマートフォンの TMR は、実装技術の変遷による Au 使用量の減少により発売年とともに減少している。

(3) ノート PC の TMR は Au と Cu がほぼ同等で、スマートフォンとの違いは配線基板やヒートパイプである。

(4) 今後、ノート PC にスマートフォンの実装技術が導入されることにより、TMR が減少するものと予想される。

(5) 構築した TMR 原単位 DB を基に、簡便に TMR 算出できる見通しを得た。

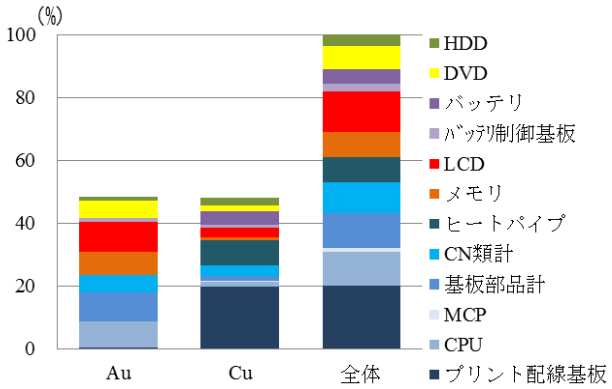


図 5 ノート PC の TMR

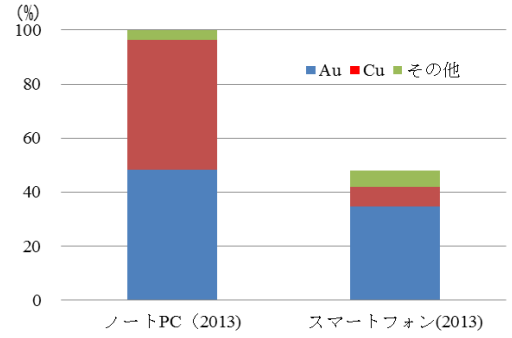


図 6 TMR の比較

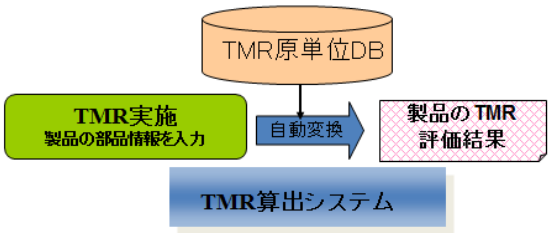


図 7 TMR 算出システム

5. 引用文献

1) G. Sonnemann et al., J. Clean Prod 94 (2015) 20-34.
2) 横井ら，日本 LCA 学会誌 11(3), (2015) 278-291.
3) 物質・材料研究機構　元素戦略クラスター：EMC-No18 概説　資源端重量（2009）
4) http://www.semi.org/jp/node/18716
5) http://www.semi.org/jp/node/17841
6) http://techon.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20130902/301323/

TMR と CO_2 の観点から見たデカップリングの優先度分析

Priority Evaluation between Resource and Impact Decoupling in terms of TMR and CO_2

○山末英嗣*[1)]、松八重一代[2)]、中島謙一[3)]，村上進亮[4)]，醍醐市朗[4)]，石原慶一[1)]
Eiji Yamasue, Kazuyo Matsubae and Keiichi N. Ishihara
1) 京都大学, 2) 東北大学，3) 国立環境研究所，4) 東京大学
* yamasue@energy.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

UNEP の国際資源パネルは，経済活動を資源利用と環境劣化から切り離すデカップリングというプロセスを加速させることが重要であるという見解を示した．デカップリングは二つの側面があり，一つが資源デカップリング，もう一つが影響デカップリングである．

資源デカップリングはマテリアルフロー分析を援用して評価されることが多く，先進国を中心としてトップダウン方式およびボトムアップ方式での計測がなされている．しかしこれらの分析は消費者の手元で扱われる重量を基礎とした解析がほとんどである．多くの財に組み込まれている材料は国内外における大量の採掘活動を伴って生産されているにも関わらず，これらの土地改変に関わる重量についてはほとんど注目されていない．たとえば消費者の手元に金を 1 グラム届けるためには，その採掘現場では 1 トンもの粗鉱やズリといった土地改変が関与している．消費者が直接扱う製品の重量を「消費者端重量」と考えると，土地改変といった資源採取に関わる重量は「資源端重量」と考えることができる．

我々はこれまで種々の物質について関与物質総量(Total Material Requirement, TMR)を推算し，そのボトムアップ解析を進めてきた[1-8)]．TMR は上述の資源端重量，すなわち地球改変量を評価できる統合指標のひとつと考えられるが，単一の指標のみで地球環境問題を論じることは困難であり，他の指標を含めて相当的な解析を進めていく必要がある．

一方，ライフサイクル分析(LCA)によく用いられる二酸化炭素排出量評価(LC-CO_2)は，対象とするプロセスや製品の影響デカップリングの評価に重要な炭素強度について定量的な知見を与えると考えられる．したがって，TMR と LC-CO_2 の両方を総合的に考慮できる評価手法を構築できれば，資源デカップリングと影響デカップリングのどちらを優先して行うべきかについての指針を与えることが可能になると考えられる．

以上より，本研究では種々の物質・材料・製品について TMR と二酸化炭素排出量を総合的に評価できるような手法を提案し，それをもとにデカップリングについて論じることを目的とする．

2. 研究手法

本研究で提案するデカップリング評価手法を示す前に，まず既存の報告値と我々の推算結果を基に，種々の製品の二酸化炭素排出量と TMR の関係をまとめた結果（抜粋）を図 1 に示す．

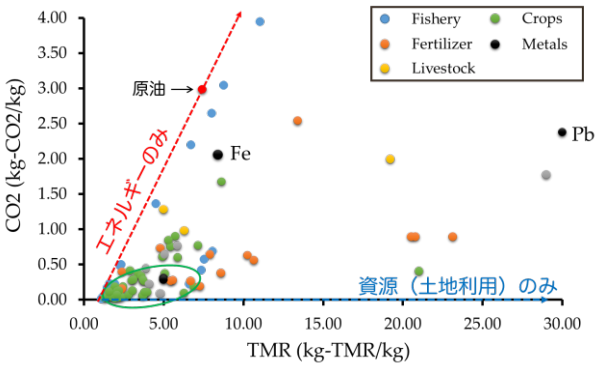


図 1　種々の製品についての二酸化炭素排出量と TMR の関係

図中，青色のマークは水産業関係の製品，橙色は肥料，緑色は作物，黒色は金属，赤色は畜産を意味する．ここで赤色の丸（●）は原油を意味するが，仮に全てのプロセスが原油のみで生産されるような製品があった場合，この製品は図中の赤い点線上に存在することになる（つまりエネルギーしか利用していない）．なお，本推計ではいずれの物質等についても単位重量当たりの TMR の推計を実施している．このため，推計結果には評価対象となる物質等の重量が含まれており，横軸の起点は原点ではなく 1kg-TMR/kg となる．

一方，ある材料が自然界に存在しているままに使用できる場合，図中では横軸上にプロットされる（つまり，材料しか使用していない）．したがって，エネルギー（原油）と資源（材料）の両方を使用している製品は必ず２つのラインの間に位置することが分かる．

この視点から見ると，図中の漁業，鉄やマンガン生産は相対的に炭素強度(Carbon Intensity)が高いことが分かり，影響デカップリングが求めるべき製品

であることが分かる．一方，肥料は資源強度(Resource Intensity)が高く，資源デカップリングが求められる製品と考えられる．作物はそれらの中間である．肉類も中間の存在であるが，原点からの距離が遠く二酸化炭素排出量及び TMR の両方，すなわち影響デカップリングと資源デカップリングの両方を試みる必要がある．

本研究では，上述の炭素強度と資源強度の相対比較をよりわかりやすく行うため，次のような手法を提案する．すなわち，赤線が横軸の負の領域上に来るように反時計回りに回転させ，それに併せて全てのプロットを座標変換する．図 2 はその結果である．

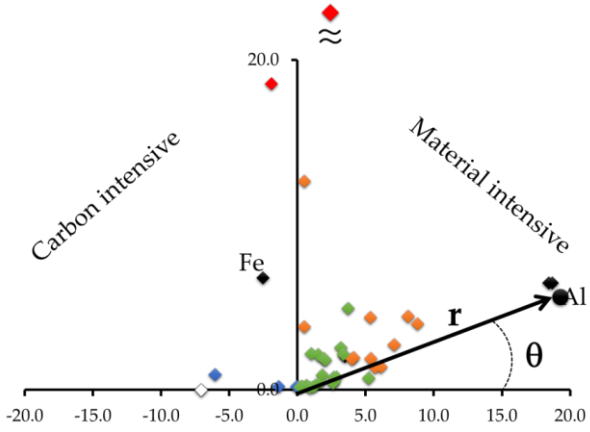


図 2　座標変換後の二酸化炭素排出量と TMR の関係

図中のアルミニウムを例として見ると，原点からの距離は$r = \sqrt{(CO2)^2 + (TMR)^2}$ (kg/kg)と表され，二酸化炭素排出量と TMR の幾何平均を意味する．またθは炭素強度の度合いを示しており，0 から 180 まで変化する．

3. 結果および考察

図 2 は種々の製品について r とθをプロットした結果である．なお横軸(r)は対数プロットである．図は 4 つの領域に分けており，θが 90 より大きい領域は炭素強度が相対的に強く，90 より小さい領域は資源強度が相対的に強いと考えることができる．r の多寡については明確な根拠はないが，鋼材 (r =10~20 kg-TMR/kg)を基準の一つと考えた．

図から水産製品は相対的に炭素強度が高い一方で，肥料は資源強度が高いことが分かる．作物はその中間程度ある．金属製品は種類によって大きくばらつきが大きいが，Ni, Cu, Nb, In は調査した範囲で特に資源強度が高く，r の値も大きい．

なお鉄とアルミニウムで見られる図中の矢印は，リサイクル製品が天然資源から得る場合に比べどのような変化があるかを示したものであるが，資源デカップリングというよりむしろ影響デカップリングに寄与していることが分かる．

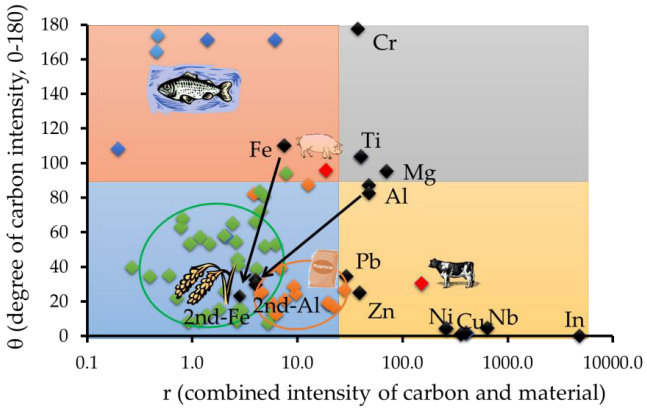


図 3　種々の製品の r - θプロット

4. まとめ

本研究では種々の材料・製品について二酸化炭素排出量と TMR の関係を示し，そこから資源デカップリングと影響デカップリングの相対的な関係について評価する方法を提案した．報告ではより多くの製品についての分析結果について考察を行う予定である．特に本要旨中では素材の結果を中心に示したが，報告ではより加工された製品やその使用段階も含めた場合の結果について説明を行う．

5. 参考文献

1) E. Yamasue, R. Minamino, I. Daigo, H. Okumura and K. N. Ishihara, *Materials Transactions*, 50(9), (2009), 2165-2172,
2) 南埜良太，山末英嗣，中島謙一，村上進亮，奥村英之，石原慶一，日本 LCA 学会誌，第 6 巻，３号，(2010), pp.251-258
3) 山末英嗣，南埜良太，醍醐市朗，奥村英之，石原慶一，日本金属学会誌，第 74 巻，12 号，(2010), pp. 811-819
4) E. Yamasue, R. Minamino, I. Daigo, H. Tanikawa, H. Okumura, K. N. Ishihara and P. H. Brunner, *J. Industrial Ecology*, 17(4), (2013), 555-565
5) E. Yamasue, K. Matsubae, K. Nakajima, S. Hashimoto, T. Nagasaka, *J. Industrial Ecology*, Vol.17, Issue 5, (2013), pp.722-730
6) 山末英嗣，松八重一代，中島謙一，醍醐市朗，石原慶一，鉄と鋼，100(6), (2014), 774-783
7) E. Yamasue, K. Matsubae and K. N. Ishihara, *Global Environmental Research*, 19(1) (2015) 97-104
8) TMR Database (website): http://www.social-system.energy.kyoto-u.ac.jp/new/member/yamasue/tmr/ (最終アクセス 2016.1.4)

MaTrace を用いた鉄鋼材に随伴する Cr, Ni のフロー分析

Flow analysis of Cr and Ni associated with steel materials by using MaTrace

○武山健太郎*[1)]、大野肇[1)]、松八重一代[1)]、中島謙一[2)]、近藤康之[3)]、中村愼一郎[3)]、長坂徹也[1)]
Kentaro Takeyama[1)], Hajime Ohno[1)], Kazuyo Matsubae[1)], Kenichi Nakajima[2)], Yasushi Kondo[3)],
Shinichiro Nakamura[3)], Tetsuya Nagasaka[1)]
1) 東北大学大学院 工学研究科, 2) 国立研究開発法人 国立環境研究所, 3) 早稲田大学 政治経済学術院
* kentaro.takeyama.t2@dc.tohoku.ac.jp

1. はじめに

鉄鋼業にはニッケル(Ni)、クロム(Cr)などのレアメタルが合金原料などとして投入されており、2005 年にはレアメタルの国内消費量の約 95%を占めた。[1)] これらの合金元素は主に特殊鋼の生産に用いられ、近年わが国においてその生産量は増加傾向にある。[2)] 従って、鉄鋼産業において持続可能な生産をしていくためには合金元素の安定供給が必要不可欠であり、今後の戦略的な運用が重要視されている。

一方で鉄スクラップの需要も年々増加している。[3)] 現状における鉄スクラップの利用形態は、ステンレスなどの一部のスクラップに含まれる主要元素を除いては、典型的なトランプエレメントである銅や錫の混入に注意を払っている以外は、鉄源としての利用であり、鉄スクラップ中に微量に含まれる合金元素に関してはほとんど考慮されていない。従って、今後鉄鋼材料の循環利用において、不十分な鉄スクラップの選別が、合金元素の意図しない濃化によるスクラップの質の低下や、レアメタルの散逸を引き起こすことが懸念される。これらの問題に対処するためにはスクラップの組成を考慮した新しいリサイクルシステムを構築する必要がある。

物質の需給構造を把握する上で、マテリアルフロー分析 (MFA; Material Flow Accounting, Material Flow Analysis)[4-5)]は、物質フローや構造上の問題点などの有益な示唆を与える。鉄及び随伴物質を対象とした MFA は多数実施されているが代表的な先行研究としては、中島らが鋼材流通に伴う合金元素のマテリアルフローについて静的分析を、[4)] 中村らが Fe のマテリアルフローについて動的分析を行っている。[5)] しかし、それぞれの合金元素のマテリアルフローの動的分析はなされていない。よって本研究では、動的な分析が可能である MaTrace モデル (Dynamic Waste Input-Output Material Flow Analysis model)[5)] を用いて、複数の元素を対象とした多元系の解析を実施する。具体的には、鉄鋼材料とそれに随伴する Ni, Cr のフローを分析し、鉄鋼業への Ni, Cr の一次資源投入量削減の可能性を検討する。

2. 解析手法

MaTrace モデルは静的分析である WIO-MFA (Waste Input-Output Material Flow Analysis)を「製品の寿命」を考慮することで動的に拡張した手法で、社会に投入された素材がその後どのような製品を通じて社会に蓄積されるかを可視化する事が可能である。

t年後に発生する最終製品のスクラップ量を z(t)、スクラップの回収率をΓ、再生素材へのスクラップの配分率をB、スクラップを再精錬する際の精錬歩留まり率を$\hat{\theta}$、スクラップから製造された再生素材の各産業への分配比率をD、再生素材が製品へ分配される際の製造歩留まりを$\hat{\lambda}$、$\hat{\lambda}$のうち回収されるスクラップの比率をΞとすると、最終的にt年後に製品に再び戻る再生素材の量は以下の式で表せる。

$$x(t) = \hat{\lambda}(I - D\hat{\theta}B\Xi(I - \hat{\lambda}))^{-1}D\hat{\theta}B\Gamma z(t)$$

ここでΓ, B, $\hat{\theta}$, D, $\hat{\lambda}$, Ξの値は任意に与えることが出来るため、スクラップの回収率・精錬歩留まりの向上、スクラップの再生素材への分配率の変化などのスクラップのリサイクル構造が変化した場合の素材の存在形態・用途の遷移について様々なシナリオ分析が可能である。

3. 解析条件

本研究では、2005 年の産業連関表に基づいて作成された WIO-MFA Table を用いて、Ni および Cr の散逸挙動の動的解析を行った。 今回の分析において適用したシナリオパラメータの数値は主に文献値[5-6)]を用いている。また、これに加え、二次精錬の歩留まり$\hat{\theta}$は各元素について拡張する必要がある。Fe については文献値[5)]を用い、Ni, Cr については実験に基づいた値(Ni: 0.99, Cr: 0.71)[6)]を用いる。スクラップの精錬工程への分配率Bについては、Cr 系ステンレス(Fe-Cr, フェライト系)と Ni 系ステンレス(Fe-Cr-Ni, オーステナイト系)がステンレス鋼としてリサイクルされる割合をそれぞれ 30%, 100%と仮定して、[7)] 文献値[5)]を鋼種別の生産量で分配し、適用した。

4. 解析結果

自動車産業に投入された鉄鋼材とそれに随伴する Ni, Cr が鉄スクラップにリサイクルによってどの部門の製品に遷移していくかを推算した結果を Figure 1 に、各元素の蓄積量の推移を Figure 2 に示す。それぞれの図は経過年を

横軸に、初期投入量を 100%としてその内の割合を縦軸にとって作図を行う。

存在形態の遷移に注目すると、3 元素共通して、自動車の平均寿命である 15 年付近でピークを迎え、その後はそれぞれの元素が多くリサイクルされた製品の平均寿命に依存したピークをとっている。Fe (Figure1(a))については、鉄スクラップ中の鉄の多くは機械・土木・建築に再利用されているため、機械の平均寿命である 12 年後に 2 つ目のピーク、建築・土木の平均寿命の 29, 35 年後に 3 つ目のピークをとっている。Ni (Figure1(b))については、機械部門が最大の再利用先になっているため、約 12 年毎にピークを迎えている。Cr (Figure1(c))については、Fe と同様の用途に用いられているが、精錬歩留まりが悪いため、製品に入る量が Fe に比べ少ないため、2 つ目以降のピークが弱くなっている。

また、蓄積量の推移に注目すると、どの元素についても様々な損失によって 100 年後には Fe、Ni は約 35%、Cr は約 10%しか鉄鋼として再利用されていないことがわかる。特に Ni、Cr についてはそれぞれが合金元素として鋼材に含まれているかどうかも考慮する必要がある。普通鋼は通常 Ni や Cr が意図的に添加される事はないため、Ni, Cr の合金元素としての働きは果たしておらず、質的な散逸をしていると考えられる。これを考慮すると、「自動車」「機械」「その他」の部門に用いられている 100 年後を基準にとると Ni は約 15%が、Cr は約 3%が合金元素として鋼材中に含まれているといえる。

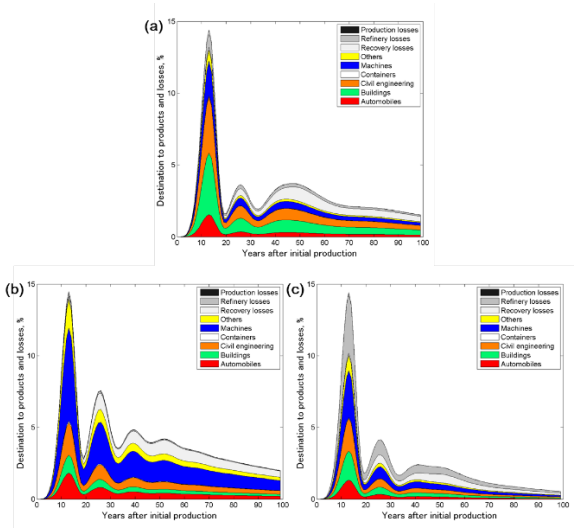


Figure 1 各元素の存在形態の遷移
(a) Fe, (b) Ni, (c) Cr

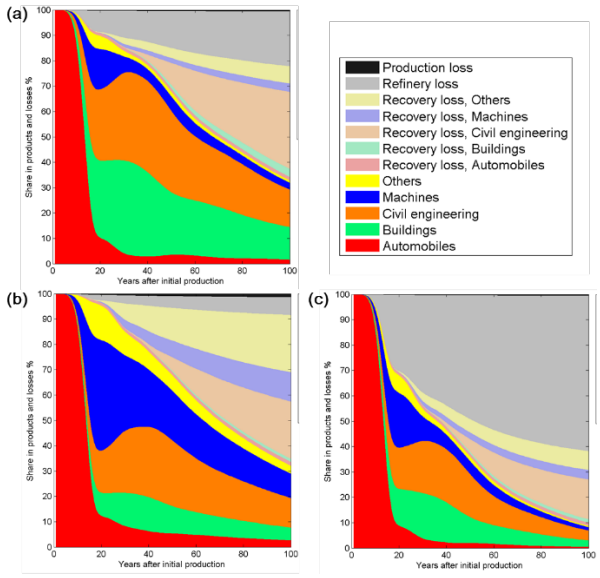


Figure 2 蓄積量の遷移
(a) Fe, (b) Ni, (c) Cr

Ni, Cr の散逸を小さくし鋼材により多く Ni, Cr を残留させることで、同量の特殊鋼を生産する際に投入する必要のある Ni, Cr の一次資源であるフェロアロイや地金の投入量が削減可能であると考えられる。具体的な方策としては、ステンレス鋼をステンレス鋼としてリサイクルを行うこと、Cr については精錬歩留まりを高める方法の適用が考えられる。

5. 今後の課題

鉄鋼材の循環に随伴する Ni, Cr に MaTrace を適用することで、現在の需要構造における各元素の存在形態の遷移、蓄積量の推移を可視化することが出来た。しかし、スクラップへの合金元素の濃化やシナリオパラメータの変化を考慮していないため、より実際に即した分析を行うために、より柔軟なシナリオを検討したい。

6. 参考文献

1) 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (JOGMEC): “鉱物資源マテリアルフロー2006” (2008)
2) 社団法人日本鉄鋼連盟: “鉄鋼需給統計月報 長期時系列集” (2001)
3) 社団法人日本鉄源協会: “銑鉄及び鉄スクラップ需給実績(年度)”, 社団法人日本鉄源協会(オンライン), <http://www.tetsugen.gol.com/kiso/3jyukyu1nendo.htm>, (参照: 2015-12-15)
4) K. Nakajima, H. Ohno, Y, Kondo, K. Matsubae, O, Takeda, T. Miki, S. Nakamura, T. Nagasaka: Environmental Science and Technology, 47 (2013), pp.4653-4660
5) S. Nakamura, Y. Kondo, S. Kagawa, K. Matsubae, K. Nakajima, T. Nagasaka: Environmental Science and Technology, 48 (2014), pp.7207-7214
6) K. Matsubae, Y. Iizuka, H. Ohno, T. Hiraki, T. Miki, K. Nakajima, T. Nagasaka: Tetsu-to-Hagane Vol.100 (2014), No. 6, pp. 788-793
7) I. Daigo, Y. Matsuno, Y. Adachi: Resources, Conservation and Recycling, 54 (2010), pp.851–863

鉄鋼材料中不純物元素の物質フロー分析

Material flow analysis of trump elements in steel

○佐藤　有一郎*[1)]、醍醐 市朗 [1)]、後藤 芳一 [1)]
Yuichiro Sato, Ichiro Daigo, Yoshikazu Goto
1)　東京大学
*sato.y@mfa.t.u-tokyo.ac.jp

1. 背景

鉄鋼材は、何度もリサイクルされる金属素材である。鉄鋼材をリサイクルする際には、使用済み製品から鉄スクラップを回収するため、不可避的に他素材が混入する。そのため、鉄スクラップを原料として生産される鉄鋼材には、意図しない合金成分が不純物として存在する。トランプエレメントと呼ばれる不純物元素の中には、鉄鋼材の熱間圧延時に割れを生じさせる Cu や Sn など、繰り返しリサイクルすることで生産に問題を生じる濃度以上に濃化することが危惧されている [1)]。しかしながら、鉄鋼材中の不純物成分が混入する由来は明らかになっておらず、リサイクルによる不純物濃化を回避するための有効な対策を立てるのも困難である。そこで、本研究では、鉄鋼材中の不純物元素の物質フロー分析により、トランプエレメントの混入起源を明らかにすることを目的とする。

2. 普通鋼中の 4 元素の元素量の推計

鉄鋼材を繰り返しリサイクルしている中で、鉄スクラップ中に混入し、鉄鋼材中に合金元素として濃化し、それに伴い鉄鋼材の加工性や特性に悪影響を与えると考えられている Cr、Ni、Cu、Sn の 4 元素 [1)]を分析対象とした。

1 年間に日本で生産された普通鋼の中に不純物として存在する 4 元素の合金元素量を推計するとともに、それら普通鋼の原料である鉄スクラップ中に混入する他素材としての 4 元素量を次章で記す手法で推計することで、不純物成分の混入起源を特定した。

2011 年に生産された普通鋼（72.8 百万トン）の中に合金元素として存在する 4 元素量は、鋼種別の生産量にそれぞれの 4 元素の各元素濃度を乗じて推計した。鋼種別の生産量は業界統計から得て、鋼種別の 4 元素の各元素濃度は文献 [2)]から得た。転炉鋼と電炉鋼で各元素濃度は大きく異なると考えられるが、文献値はランダムにサンプリングされた転炉鋼及び電炉鋼の平均であるため、炉の別のない生産量に乗じた。なお、元素濃度が得られる鋼種は、形鋼、棒鋼、板鋼、管鋼の 4 鋼種のため Table 1 に示すようにその他の鋼種は類似した鋼種の文献値を参照した。

製鋼原料の中の分析対象の 4 元素は、3 種類あると考えらえた。1 つは意図した添加である。Cu を意図して添加される耐候性鋼や、Cr を意図して添加される耐熱鋼は特殊鋼であり、普通鋼への意図した添加はないものとした。2 つ目は鉄スクラップに混入する他素材を構成する元素である。3 つ目は、鉄スクラップの鉄鋼材中の合金成分としての構成元素である。他素材として混入する 4 元素量を推計するため、鉄スクラップの鉄鋼材合金元素分を差し引いた。

Table 1 推計に利用した鋼種別 4 元素の各元素濃度

	Cr[ppm]	Ni[ppm]	Cu[ppm]	Sn[ppm]
形鋼	738	324	1,030	49.1
軌条	形鋼と同じとした			
線材	形鋼と同じとした			
鋼矢板	形鋼と同じとした			
棒鋼	1,670	617	2,470	148
板鋼	813	118	356	13.1
管鋼	101	102	136	0
外輪	管鋼と同じとした			

Table 2 普通鋼中の不純物元素量のうち鉄スクラップ中の他素材として混入した量

不純物元素	元素量[トン]
Cr	5.98×10^4
Ni	1.43×10^4
Cu	4.81×10^4
Sn	2.36×10^3

実際には、電炉鋼由来のスクラップ中の合金濃度と、生産材としての電炉鋼の合金濃度は等しいと仮定し、電炉鋼由来のスクラップ量を、生産量から差し引いたのちに Table 1 の濃度を乗じた。その結果、鉄スクラップ中の他素材として普通鋼中に混入した 4 元素量の推計結果は、Table 2 に示す通りである。

3. 使用済製品から混入する 4 元素量の推計

3-1 使用済製品中の素材別の構成元素量の推計

使用済製品の構成元素の分析には WIO-MFA（Waste Input-Output - Material Flow Analysis）手法 [3)]を用いた。当手法は、産業連関表を基本とし、約 400 部門の製品に対して組成分析ができる。さらに、WIO-MFA に基づいた UPIOM 手法により、その成分の流入経路（中間部品等）を辿る遡及分析も可能である。本研究では、2000 年の産業連関表に基づいた WIO-MFA と UPIOM を用い、使用済製品の部品や素材別の構成元素を分析した。

2011 年に廃棄される使用済み自動車（ELV: End-of-Life Vehicle）を構成する各元素の総量を、その素材や部品別に分析した。生産年により異なる構成元素を適用することが望まれたが、それを分析することは困難であったため、2000 年に生産された際の産業構造を反映した 2000 年表に基づいた WIO-MFA により得られた 2000 年の素材構成比を代表値として他の生産年にも適用し、動的 MFA により廃棄量を推計した。また、自動車に使われる普通鋼は、全て転炉鋼と仮定して、普通鋼中の合金元素には評価対象 4 元素はないものとした。動的 MFA では、1970 年

からの国内需要量及び製品寿命を用いた。各年の国内需要量は、WIO-MFA 手法より得られる元素量が 100 万円あたりのため、産業連関基本表及び産業連関延長表から得られる国内最終需要額を用いた。自動車の製品寿命は、統計から得られる生産年別の保有台数を用いた残存率分布を使用した。

2011 年に使用済自動車として廃棄される素材や部品別 4 元素量は、Figure 1 のように推計された。なお、素材や部品は加工度が異なるが、WIO-MFA 手法ではダブルカウントが回避されている。

3-2 解体工程を考慮した ELV からの混入量の推計

ELV から回収した鉄スクラップに他素材として混入する 4 元素は、ELV として廃棄された中で、単体分離されずに鉄スクラップが普通鋼原料として使用される際に混入している他素材である。そこで、ELV の中古車や中古部品としての輸出分と、ELV の国内解体時の他素材の単体分離を考慮した。

発生した ELV は一部中古車や中古部品として輸出されて国外に流出するが、特定の年の輸出量を把握することは困難である。そのため、一般に 1 年に発生する約 500 万台の ELV のうち約 150 万台が輸出される [4]ため、国内での解体率は、廃棄量のうち 7 割とした。

国内で解体される ELV は、一部の部品が解体分離された後、残りがシュレッダにかけられ、機械分離されると仮定した。解体分離において単体分離される素材の割合は、Cr ステンレスは 20%[5]、Ni ステンレスは 95%[5]、電線・ケーブルは 80%[6]とした。自動車部品や自動車車体を構成している上記の素材についても、同じ割合で単体分離されるとした。エンジンは、部品として回収された後、鉄鋼材のみ他素材の混入なく鉄スクラップとして回収されるとした。分離された素材以外は、シュレッダにかけられるとした。機械分離では、Cu がシュレッダ投入物の 9%[7]単体分離されるとした。また、シュレッダダストは自動車全体の質量の 20%発生し、4 元素の各元素濃度は Cu 3%、Cr 0.03%、Sn 0.08%、Ni 0.04%[8]とした。残りの 4 元素が、鉄スクラップに混入するとした。2011 年に ELV から普通鋼に混入する 4 元素量の推

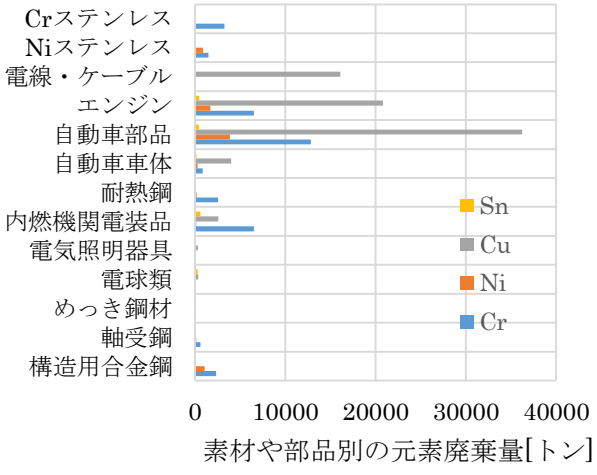


Figure 1　2011 年に廃棄される ELV 中の素材や部品別の 4 元素量

Table 3 ELV から普通鋼に混入する 4 元素量及び普通鋼中の不純物元素量のうち鉄スクラップ中の他素材として混入した量に対する比率

元素	ELV から普通鋼中への混入量[トン]	比率
Cr	1.70×10^4	28%
Ni	3.83×10^3	27%
Cu	3.75×10^3	8%
Sn	6.13×10^2	26%

計結果を、Table 3 に示す。大野 [9]は、合金鋼を分析対象とし、17,811 t の Cr 純分、4,828 t の Ni 純分が ELV から鉄スクラップ中に混入すると推計した。本研究の推計値は、大野の推計値に比べて若干小さかった。この要因は、大野の分析ではステンレス鋼の単体分離が考慮されていないことが考えられた。なお、本研究では合金鋼以外の素材からの Cr や Ni の混入も考慮したが、Cr と Ni の混入要因は主に合金鋼であり他の素材の影響は小さいことが考えられた。

ELV から普通鋼に混入する元素量を、Table 2 に示した普通鋼中の不純物元素量のうち鉄スクラップ中の他素材として混入した量と比較すると、約 10%から 30%程度を占めることがわかった。

4. 結論

普通鋼中の不純物元素量のうち鉄スクラップ中の他素材として混入した量を Cr、Ni、Cu、Sn について推計した。WIO-MFA を用い、ELV 由来の普通鋼に混入する 4 元素量を推計した。普通鋼中に鉄スクラップ中の他素材として混入するそれら 4 元素量のうち、それぞれ 28%、27%、8%、26%の混入起源が ELV であることがわかった。今後、他の製品についても分析し、普通鋼中に鉄スクラップ中の他素材として混入する不純物元素の混入起源を、より多く説明できることが望まれる。

参考文献

1) 秦野正治ら: 鉄と鋼, 88 (3), (2002), pp.142-147
2) N.Fujitsuka et al.: CAMP-ISIJ, 25(2012), 88, CD-ROM.
3) Nakamura, S. and Nakajima, K.: Materials Transactions, 46 (12), (2005), pp.2550-2553
4) 環境省: “環境省_平成27年版　環境・循環型社会・生物多様性白書”, 環境省, (オンライン), 入手先 <http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h27/html/hj15020302.html>, (参照2016-01-05)
5) 醍醐市朗ら: 鉄と鋼, 95 (6), (2009), pp.54-62
6) 財団法人金属系材料研究開発センター: “自動車リサイクルに係る処理技術等の調査”, (2004)
7) 醍醐市朗ら: 廃棄物資源循環学会論文誌, 21 (5), (2010), pp.178-191
8) 松藤敏彦ら: 廃棄物資源循環学会誌, 18 (2), (2007), pp.126-136
9) 大野肇: “マテリアルフロー解析産業連関モデルによる鉄鋼合金元素有効利用に向けた循環利用システムの構築”, 東北大学, (2014), 博士論文

使用済み製品からの素材回収時に混在する他素材由来の鉄鋼リサイクル材中の不純物濃度の国間比較

International comparison of impurities in secondary steel which coming from other materials mixed into scrap at separation process from end-of-life products

○藤村怜央*[1)]、林英男 [2)]、醍醐市朗 [1)]、後藤芳一 [1)]

Leo Fujimura, Hideo Hayashi, Ichiro Daigo, Yoshikazu Goto

1) 東京大学大学院, 2) 東京都立産業技術研究センター

* fujimura@mfa.t.u-tokyo.ac.jp

1. 背景

金属素材は、再溶解による容易なリサイクルが可能であり、循環利用性に優れた素材である。しかし、使用済み製品から特定の金属素材を回収する際に、分離できなかった他素材がスクラップに混入し、精錬してもなお不純物として金属相中に残り、必要とする機能を発現できる素材にリサイクルするのが困難になることがある。例えば鉄鋼材の場合、繰り返しリサイクルすることによってトランプエレメントと呼ばれる不純物元素が濃化し許容値を超えると、鉄鋼材の加工性に悪影響を及ぼすことが知られている。Cu は 0.4%以上の濃度で熱間加工性に悪影響を及ぼすほか、Sn, Ni, Cr の濃化による加工性への悪影響も報告されている。

すなわち、持続可能な金属素材のリサイクルシステムを構築するにあたっては、スクラップへの他素材の混入が少ないシステムを考える必要がある。そのためにはまず、スクラップへの他素材の混入メカニズムを理解する必要がある。高橋ら [1)]は、使用済み製品の解体・分離方法が経済発展につれて、手解体から機械破砕・選別に変わることを示した。一般に、手解体に比べ、機械破砕・選別では、より多くの他素材が金属素材スクラップ中に混入する。したがって、経済発展の度合いによって、金属素材スクラップ中の他素材の割合は異なると考えられる。一方で、他素材の混入に影響する因子は他にも存在すると考えられ、他素材の混入メカニズムは未だ不明瞭である。

経済発展の度合い、使用済み製品の発生量、廃棄物処理に関する法制度の有無などが異なる世界各国に関して、金属素材スクラップを回収する際に混入する他素材を特定することは、他素材の混入メカニズム解明のための重要な知見となる。そこで、世界各国に関して、金属素材スクラップ中の各不純物の濃度分布を分析することは、各国の金属素材スクラップ中の他素材を特定することを可能にする方法の１つと考えられる。

本研究では、金属素材スクラップへの他素材の混入の現状を把握することを目的とする。

2. 分析手法

2.1 鉄スクラップ中のトランプエレメント濃度分布の推計手法

本研究では、金属資源の中で最も広く用いられている鉄鋼材に関して分析を行った。一国の中で発生する鉄スクラップの量は膨大であるため、鉄スクラップ中の各トランプエレメントの濃度を直接観測することは困難である。本研究では、鉄スクラップを原料として生産される電炉鋼材をランダムに採取し、その組成情報を、電炉鋼生産量に占める鉄スクラップの投入量の割合で除したものを鉄スクラップの組成情報とした。

日本、中国、ベトナム、オランダで電炉棒鋼を採取し、スパーク発光分光分析による元素組成分析を行った。電炉棒鋼は、他の鋼種に比べてトランプエレメント濃度の許容が大きく、他素材を比較的多く含むスクラップを原料とすることが多いため、評価対象として適していると考えた。測定対象の元素として、代表的なトランプエレメントである Cu, Cr, Ni, Sn, Mo, As を選定した。

各国の電炉鋼生産量に占める鉄スクラップの投入量の割合は、2004 年から 2013 年の総スクラップ投入量を電炉鋼総生産量で除すことにより求めた。各ヒートで割合は変動しないと仮定し、一定値を設定した。

2.2 各国で採取したサンプルについて

鉄スクラップの輸入比率、棒鋼の輸入比率共に比較的小さい日本、中国の試料は、スクラップヤードから無作為に採取した。日本の試料として、2011 年に中部地方で採取した電炉棒鋼 89 点を、中国の試料 [2)]として、2012 年から 2013 年にかけて華東地方で採取した電炉棒鋼 16 点を用いた。また、ベトナムの試料として、ハノイ近郊の電気炉メーカーが日本、北米から輸入したスクラップを原料として生産した鋼材 153 点の分析データを入手した。日本以外の先進国であるオランダの試料として、2015 年にスクラップヤードで採取した 65 点を用いた。日本において過去 30 年ほどは Cr 以外の元素濃度は時系列で大きな変化を示していないこと [3)]から、先進国である日本、オランダの試料の生産時期は区別せずに扱った。

3. 研究結果

3.1 日本、ベトナム、中国、オランダの比較

Fig.1 に試料採取年の各国の GDPppp/cap と鉄スクラップ中の Cu, Cr, Ni の平均濃度の関係を示す。中国に関しては、試料の生産時期が特定できなかったため、参考値とした。標本平均に加え、母平均の 90%信頼区間も示した。今回の分析結果から、各元素に関して母平均の 90%信頼区間の幅を標本平均の±5%以下にするためには、およそ 100 点の試料数が必要なことが分かった。これら濃度には、鉄スクラップ中の鋼材に合金として含まれる元素と、混入した他素材に含まれている元素があるが、本研究では区別できなかった。GDPppp/cap が増加するにつれ、トランプエレメント濃度も増加する傾向が観察された。

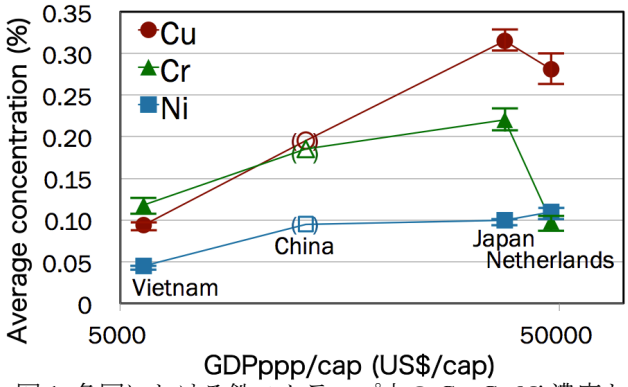


図 1 各国における鉄スクラップ中の Cu, Cr, Ni 濃度と GDPppp/cap の関係

3.2 日本、ベトナムの比較

ベトナムの試料は、日本や北米から輸入したスクラップから他素材を取り除いたものを原料として生産されていた。ベトナムのスクラップ中の Cu, Cr, Ni 濃度は、日本で生産された普通鋼材中の Cu, Cr, Ni 濃度の推計値に近い値を示した。このことから、日本とベトナムの濃度の差は日本のスクラップに混入している他素材分であると考えられた。

3.3 日本、オランダの比較

図 2 に日本とオランダの鉄スクラップ中の Cu, Cr, Ni, Sn, Mo, As の濃度の棒グラフを示す。加えて、表 1 に鉄スクラップ中の各トランプエレメント濃度に関しての日本とオランダの有意水準 5%での有意差の有無を示す。Cr, As に関して、t 検定によって 2 国の母集団の平均の間に有意水準 5%で有意差があると判断された。Cu 以外の 5 元素に関して、F 検定によって 2 国の母集団の分散の間に有意水準 5%で有意差があると判断された。Cu に関しては、平均、分散共に有意差が認められなかったため、銅素材が使われている製品から鉄鋼材を回収するときの他素材の混入度合いが、日本とオランダで余り違いがない可能性が示唆された。加えて、鉄スクラップ中の Cu の濃度は、使用済み製品の解体状況に関するベンチマークになる可能性が示唆された。

表 2 に日本とオランダの鉄スクラップ中の各トランプエレメント濃度の相関行列を示す。黄色背景で示された値は、有意水準 1%において有意に相関があると判断された値である。日本に関して、Cr と Ni、Cu と Ni、As と Cu、Sn と As の間に相関係数 0.4 以上の強い相関が観察された。加えて、Cr と As の間に有意な逆相関が見られた。オランダに関して、Cu と Ni、Mo と Ni、Mo と Cu、Sn と Cu の間に相関係数 0.4 以上の強い相関が観察された。これらのことから、両国の間でトランプエレメントの混入源となる製品種、素材種が異なる可能性が示唆された。

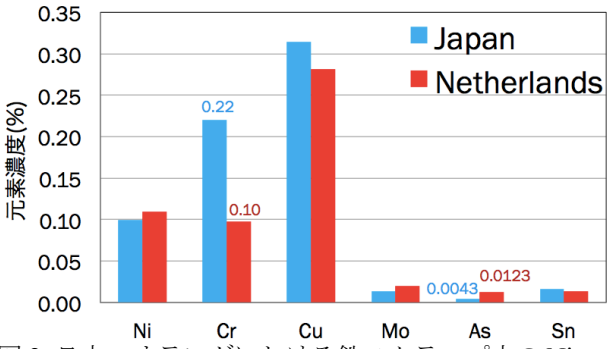


図 2 日本、オランダにおける鉄スクラップ中の Ni, Cr,Cu, Mo, As, Sn の濃度

表 1 鉄スクラップ中の各トランプエレメントの濃度に関しての日本オランダ間の有意差の有無

	Ni	Cr	Cu	Mo	As	Sn
平均	×	○	×	×	○	×
分散	○	○	×	○	○	○

表 2 日本(上)とオランダ(下)における鉄スクラップ中の各トランプエレメント濃度の相関行列

	Ni	Cr	Cu	Mo	As	Sn
Ni	1.00	0.52	0.51	0.31	0.09	0.11
Cr	0.52	1.00	0.27	0.30	-0.36	-0.23
Cu	0.51	0.27	1.00	0.14	0.45	0.34
Mo	0.31	0.30	0.14	1.00	-0.11	-0.14
As	0.09	-0.36	0.45	-0.11	1.00	0.47
Sn	0.11	-0.23	0.34	-0.14	0.47	1.00

	Ni	Cr	Cu	Mo	As	Sn
Ni	1.00	0.27	0.71	0.90	-0.07	0.32
Cr	0.27	1.00	0.39	0.23	-0.06	0.12
Cu	0.71	0.39	1.00	0.54	-0.12	0.58
Mo	0.90	0.23	0.54	1.00	-0.15	0.23
As	-0.07	-0.06	-0.12	-0.15	1.00	0.07
Sn	0.32	0.12	0.58	0.23	0.07	1.00

4. 引用文献

1) Y. Takahashi et al.: CAMP-ISIJ, 25(2012), 91, p91, CD-ROM
2) I. Daigo, Y. Goto: Tetsu-to-Hagane, 100(2014), p756
3) 電炉鉄筋棒鋼品質調査報告書, 普通鋼電炉工業会 (2008), p139

主成分分析による鉄鋼材の用途別需要量の時系列変化の分析

Analysis of time-series change of demand for steel by end use using principal component analysis

○大木慧*[1)]、醍醐市朗 [1)]、後藤芳一 [1)]

Kei Ohki, Ichiro Daigo, Yoshikazu Goto

1)　東京大学マテリアル工学科

* oki@mfa.t.u-tokyo.ac.jp

1. 緒言

鉄鋼業は、日本において最も二酸化炭素を排出する産業であり [1)]、地球温暖化対策において、鉄鋼材の需要量予測は重要な情報となる。素材需要量の時系列変化に関して、１人当たり GDP に対する１人当たり素材需要量の経年変化が逆 U 字型を示すという使用強度（IU: Intensity of Use）仮説 [1)]がある。既存研究 [2)]では、逆 U 字型になる要因の 1 つとして、経済発展に伴う産業構造の変化を挙げている。産業の米とも言われる鉄鋼材は、産業構造の変化とともに、その需要先用途が変化すると考えられる。今までにも、鉄鋼材の統計上の需要先用途を、インフラ整備に必要な鋼材需要(資本材)と消費者向けの鋼材需要(消費材)とに分類することを目的とした分析が行われてきた [3, 4)]。本研究では、既存の分類手法も踏まえた上で、資本材と消費材の分類手法の構築を目的とする。

2.研究手法

2.1３つの手法

本研究では、クラスター分析、主成分分析、鉄鋼材ストック量を説明変数とした単回帰分析の 3 つの手法の特徴を比較した。分析には、鉄鋼受注統計の 99 用途区分のうち、販売業者向けの用途に関して販売先割合を参考に振り分けを行った 93 の用途別需要量の 1958 年から 2012 年のデータを用いた。

2.2 クラスター分析

鉄鋼材の用途別需要量における 1958 年から 2012 年の時系列データに対して、Ward 法を用いて階層型のクラスター分析を行った。結合距離の閾値を 2.0 とすると、７つのクラスターに分類された。各クラスターを構成する用途や、そのクラスターに含まれるすべての用途の総需要量の時系列変化から、それぞれのクラスターの特徴を名称とした。各クラスターに含まれるすべての用途の総需要量が最大となった年を比較したところ、1970 年代にピークを示したクラスターと、1990 年以降に示したクラスターの 2 つに分類された。資本材の需要量は、消費材の需要量に先立って増加するという仮説のもと、1970 年代でピークを示した 3 つのクラスター（公益事業クラスター、物流クラスター、建設クラスター）に含まれた用途を、資本材とすることとした。

2.3 主成分分析

鉄鋼材の用途別需要量における 1958 年から 2012 年の時系列データに対して、主成分分析を行った。得られた主成分のうち、累積寄与率 67%の第二主成分までを分析対象とした。第一主成分では、ほとんどすべての用途で主成分負荷量が 1 に近い正値を持ったことから、第一主成分は、鉄鋼材需要量変化の大勢を表す成分と考えた。第一主成分の経年変化は、日本経済の成長曲線と類似した形状であったことから、用途に関わらず鉄鋼材需要量は、景気に左右されることが示唆された。第二主成分は、1973 年まで単調に増加したのちに減少を続けた。1973 年に最大値を示したため、クラスター分析と同様に、第二主成分は資本材需要を表す成分と考えた。第二主成分の主成分負荷量が 0.4 より大きな用途を資本材と分類することとした。

2.4 鉄鋼材ストック量を用いた単回帰分析

生産設備などの資本材の整備により、消費材の需要量が増加するという仮説のもと、資本材のストック量を説明変数 x に、各用途の需要量を目的変数 y とし、単回帰分析を行った。実際には需要量は様々な要因に影響を受けるが、評価の煩雑化を避けるため、オイルショックなどの外部要因に影響されない 1958 年～1972 年の高度経済成長期のデータを分析の対象とした。得られた直線の y 切片の小さい用途を、資本材が整備される前に需要の飽和が見られる用途、すなわち、資本材性向の強い用途と判別した。本手法では、資本材に分類するのではなく、資本材の性向の強さが定量的に導出される点が、先の 2 つの手法との大きな違いである。

回帰分析を用いているため、決定係数の低い回帰式であっても、y 切片の数値は導出される。しかし、それらの y 切片には意味を見いだせなかったため、決定係数が 0.5 より大きくなるように、説明変数ならびに目的変数とすべき用途を選定して分析した。本稿では、本手法のことを他 2 手法と区別するために、以降、単回帰分析と称した。

3. 結果と考察

主成分分析によって得られた第二主成分の主成分負荷量の大きい用途を表 1 に示した。表 1 には、それらの用途における、単回帰分析により得られた y 切片と、クラスター分析の分類されたクラスター名称も併せて示した。空欄はそれぞれ、説明変数として設定されず資本材として判別されなかった用途、資本材と判別した 3 つのクラスター以外のクラスターに分類された用途を示す。単回帰分析とクラスター分析において資本材と判別された用途は、表 1 に示された用途以外に、それぞれ 17 用途と 10 用途あった。主成分分析で資本材と判別した用途は、単回帰分析による判別結果とは大きく異なっていた。その理由として、分析対象としたデータの時期が異なることが考えられた。資本材の整備に応じて、消費材の需要が増加するという仮定において、資本材の整備が充足していない高度経済成長期のデータのみを用いることが 1 つの問題であったと考えられた。

主成分分析とクラスター分析の結果は類似していた。クラスター分析で資本材に分類された用途は、第二主成分の負荷量がすべて正の値をとっており、第二主成分の負荷量が比較的小さい、一般産業機械・器具用途や、その他輸送用機械用途に関しても、第一主成分の負荷量が 0.9 より大きく、第一主成分で既に説明されていたためと考えられた。このことから、主成分分析では第二主成分以外の主成分負荷量が、資本材の分類に影響を与えるという問題があると考えられた。主成分分析では資本材と判断され、クラスター分析では消費材と判断された用途に切削工具用用途、鉱工業・農林水産建築物用途が挙げられる。切削工具用用途は、1972 年に急激に増加し、その直後、急激に減少しているが、クラスター分析では機械消耗品クラスターに分類されている。これは Ward 法において、1972 年のピーク以外がクラスター内の多用途と類似しており、結合距離が短くなったためだと考えられた。このことから、クラスター分析では、結合距離がピークを示す時期の類似性と一致しない場合があると考えられた。

4. 結言

早期に需要量がピークを示す用途を資本材と仮定した際に、それぞれの手法における資本材抽出の限界と、抽出された用途の相違が示された。主成分分析を用いることで、資本材を特徴づける経年変化を表す成分が、第二主成分として抽出された。

参照文献

1)環境省：“産業部門の現行施策の評価と今後の削減ポテンシャル”， 環境省_審議会・委員会等，（オンライン），入手先 <https://www.env.go.jp/council/06earth/y061-05/mat01-1.pdf>，（2016-1-5）
2)D. P. van Vuuren B. J. Strengeres, H. J. M De Vries: Long-term perspectives of world metal use—a system dynamics model. Resources Policy, 25 (1990), 239-255
3)藤原亮: 東京大学マテリアル工学科卒業論文,2014
4)T. Funada, I. Daigo and Y. Goto :Development Engineering, 21(2015), 1-13

鉄鋼材用途	第二主成分負荷量	単回帰分析y切片	クラスター分析
39. 化学機械（国内向）	0.934	0.003	物流
4. 鉱工業・農林水産業用建築物（その他用）	0.879	−0.451	建設
43. 食料品加工機械・器具	0.858		物流
41. 繊維機械・器具	0.854		物流
24. 鉄道	0.819	−0.636	物流
27. 水道業	0.809	0.031	公益事業
78. 王冠	0.806		公益事業
54. 台所および食卓用品	0.786		公益事業
11. タンク（石油精製業用）	0.772	0.137	物流
32. 建設業者向	0.763		建設
84. みがき形棒鋼用（冷延形棒鋼用を除く）	0.761		建設
18. 造船業	0.758	−0.148	物流
25. 電力業・通信業	0.720	0.09	公益事業
48. 通信機械	0.704		建設
17. 鉄鋼業	0.700	−0.794	物流
83. 線材二次製品用	0.684		建設
38. 農業用機械・器具	0.670		公益事業
64. バス	0.664	−0.184	公益事業
81. その他容器及び使途不明	0.658		公益事業
68. 自動二輪車	0.640		公益事業
73. 部品・機関、車両の改造修理用および使途不明	0.628		物流
37. 金属加工機械及び金属工作機械	0.625		物流
16. 工業（含原油・天然ガス生産業）	0.617		公益事業
59. タンカー	0.604		物流
26. ガス業	0.604	−0.044	公益事業
71. 貨車	0.601	−6.015	物流
15. 鉄塔	0.594	0.101	公益事業
22. 港湾	0.569	−0.268	公益事業
33. 輸出向け鉄鉱物	0.563		公益事業
14. タンク（その他用）	0.525		公益事業
86. ばね用	0.512		公益事業
58. 貨物船	0.507		物流
19. 石油精製業・化学工業	0.500		物流
90. 切削工具用	0.465		
42. パルプ製紙機械・器具	0.465		物流
20. その他民間土木	0.459		公益事業
3. 鉱工業・農林水産業建築物（基礎杭）	0.459	−0.594	

表 1. 資本材と判断された用途の比較

レアメタルの国際貿易クラスター分析

○時任翔平*[1)]、加河茂美 [1)]、南斉規介 [2)]
1) 九州大学、2) 独立行政法人国立環境研究所
*stkyuuni103@gmail.com

1. はじめに

近年、地球温暖化を防ぐために低炭素社会の実現が求められており、特に新エネルギー技術のより一層の開発とその新エネルギー技術にレアメタルは必要不可欠である。そのためレアメタルの安定した調達は、今後の重点的に取り組まなければならない問題のひとつである。資源調達戦略を立てるにあたり、日本が現在どのような国々とレアメタルの貿易を行っており、他の需要国とのどのような競合関係を持っているのか明らかにすることが決定的に重要であるが、各国のレアメタルの貿易構造はそれぞれ異なり、巨大で複雑なネットワークを形成している。国際貿易ネットワークの複雑性を紐解くことは資源調達政策にとって重要である。

本研究では、精密機器の部品や自動車触媒の製造で幅広く利用されているプラチナの国際貿易ネットワークを用いて、クラスタリング分析によりプラチナの国際貿易における相互依存関係を分析する。また、レアメタルの貿易ネットワークデータに基づく資源調達リスクを定式化し、クラスターごとのリスクの特性についても分析する。

2. データ

本研究では、Nansai *et al.* (2014)で推計された 231 カ国を対象とした2005 年のプラチナ一次製品の国際貿易データベースと、リスク指標として Fraser Institute が発表した Economic Freedom of the World の値を用いる。

3. 分析手法

3.1. プラチナ貿易ネットワークのクラスター分析

クラスター分析を行うことによって、各国が複雑に絡み合うレアメタルの貿易ネットワークから密な貿易構造を抽出する。本研究では Nansai et al. (2014)で推計された 231 カ国を対象とした 2005 年のプラチナの国際貿易データベースに、Kagawa et al. (2013)に倣い、非負行列因子分解を用いたクラスター分析を行う。

3.2. プラチナ貿易のリスク評価

本研究では、需要国の資源調達リスクを評価するために、供給国の政治的・経済的な不安定性と資源調達集中度を定式化し、輸入相手国の政治的・経済的リスクが高いほど、また輸入相手国が集中しているほど値が大きくなるようなリスク指標を提案した。需要国 j へ供給している供給国 i の不安定性（あるいは供給国 i のリスク）を R_{ij} と定義すると、需要国 j が直面する供給国全体に関するリスクは式(1)のように定義できる。

$$\alpha_j = \frac{\sum_{i=1,i\neq j}^{N} R_{ij}}{N_j} \tag{1}$$

ここで N_j は j 国の輸入相手国の数を示している。α_j は j 国に供給している国のリスクの平均を示す。(1)式に j 国の輸入総量で重み付けしたリスクは(2)式として定式化できる。

$$\beta_j = \alpha_j Q_j = \alpha_j \sum_{i=1,i\neq j}^{N} q_{ij} \tag{2}$$

ここで $Q_j = \sum_{i=1,i\neq j}^{N} q_{ij}$ は j 国の輸入総量を示している。

しかしながら、(2)式は、貿易フローに大きな差がある異なる輸入相手国（あるいは供給国）のリスクを全て等価なものとして見ていることになる。この問題を解決するためには、供給国ごとの貿易フローで重み付けしたリスク指標を定義する必要がある。本研究では、需要国の資源調達リスクを評価するために、供給国 i から需要国 j に関する資源調達集中度を(3)式のように定式化した。

$$c_{ij} = \left(\frac{q_{ij}}{\sum_{i=1,i\neq j}^{N} q_{ij} + M_j} \right)^2 \tag{3}$$

ここで、q_{ij} は i 国から j 国への貿易フローを示し、M_j は j 国の採掘量を示す。前節の隣接行列の成分 g_{ij} はこの貿易フローから $g_{ij} = q_{ij} + q_{ji}$ のように得ることができることに注意されたい。レアメタルの供給国の集中度が上がるほどリスクが大きくなるようにするため、(3)式で定義した資源調達集中度で重み付けしたリスク指標を定式化した（式(4)）。

$$\gamma_j = \sum_{i=1,i\neq j}^{N} c_{ij} R_{ij} \tag{4}$$

(4)式は、輸入相手国の政治的・経済的リスクが高いほど、また輸入相手国が集中しているほどリスクが大きくなることを表している。また、需要国のリスクに差が出る要因は、輸入相手国の政治的・経済的リスクによるものと輸入集中度によるものに分解できるため、(4)式を(5)式のように分解する。

$$\begin{aligned}\gamma_j &= \sum_{i=1,i\neq j}^{N} c_{ij} R_{ij} \\ &= \sum_{i=1,i\neq j}^{N} \left\{ c_{ij} \left(\overline{R} + \Delta R_{ij} \right) \right\} \\ &= \sum_{i=1,i\neq j}^{N} c_{ij} \overline{R} + \sum_{i=1,i\neq j}^{N} c_{ij} \Delta R_{ij}\end{aligned} \tag{5}$$

ここで、後述するノードリスクの重み付けにおいて正の値で評価するために、$\overline{R}$ は供給国全体のリスク指標の最低値を示し、ΔR_{ij} は最低値との差を示す。(5)式の右辺第1項は輸入集中度によるリスク（エッジリスク）、右辺第2項は供給国全体の政治的・経済的なリスク（ノードリスク）を表している。

4. 結果

(1)プラチナ一次製品のクラスター分析

プラチナ一次製品の貿易ネットワークにクラスタリング分析を適用した結果、合計で 9 個の貿易クラスターを検出した。日本は 2 番のクラスターに属しており、中国（CHN）、香港（HKG）、スイス（SUI）、ロシア（RUS）、南アフリカ（RSA）と同じクラスターである。図 1 は検出された9つのクラスター内の貿易量を示している。また、図 2 は日本が所属する 2 番のクラスターのネットワークを示している。

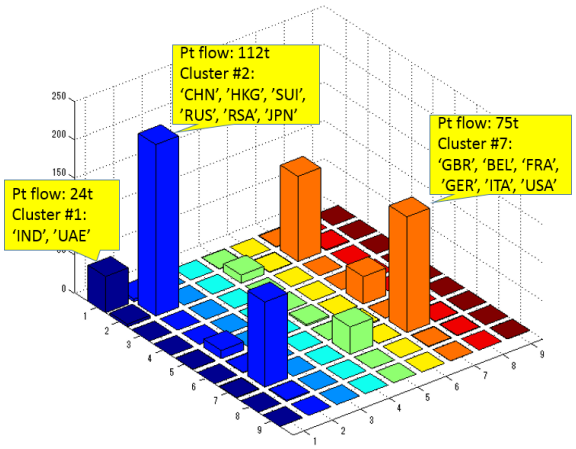


図 1 クラスター内におけるプラチナの国際貿易量（トン）

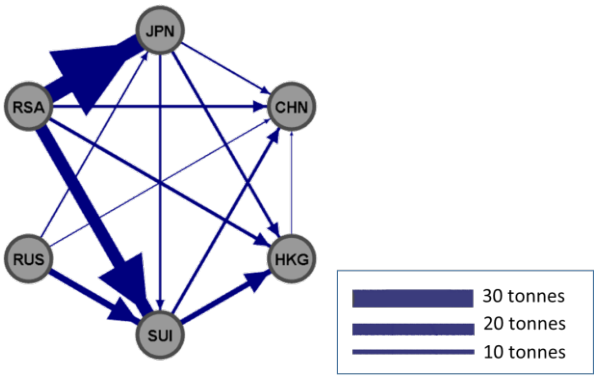


図 2 Cluster #2 のネットワーク図

(2)プラチナ需要国の資源確保リスクの評価

次にリスク評価の結果を示す。本研究で提案した輸入相手国の政治的・経済的リスクに輸入集中度と採掘量を考慮したリスクのランクキングを表 1 に示す。

表 1 今回定義されたリスクのランキング

Rank	Country name	Weghted risk δ_j
1	Japan	1033
2	United Arab Emirates	1013
3	United States of America	774
4	Swiss Confederation	641
5	Federal Republic of Germany	351

また、今回定義されたリスクを輸入相手国の政治的・経済的リスクによるリスク（ノードリスク）と輸入手中度（エッジリスク）に要因分解した結果を表 2 と表 3 に示す。

表 2 ノードリスクにおけるランキング

Rank	Country name	Node risk
1	United Arab Emirates	351
2	Japan	264
3	United States of America	180
4	Swiss Confederation	177
5	Federal Republic of Germany	83

表 3 エッジリスクにおけるランキング

Rank	Country name	Edge risk
1	Japan	769
2	United Arab Emirates	663
3	United States of America	594
4	Swiss Confederation	464
5	Federal Republic of Germany	268

発表会において、これらの結果から複合的に分析し、今後のレアメタルの安定確保について議論していく。

クリティカルメタルに着目した国際フロー構造の将来シナリオ分析

Future scenario analysis of global flow structures with a focus on critical metals

○重富陽介*[1) 2)]，南齋規介 [2)]，加河茂美 [3)]，近藤康之 [4)]，東野達 [1)]
Yosuke Shigetomi, Keisuke Nansai, Susumu Tohno
1) 京都大学, 2) 国立環境研究所, 3) 九州大学, 4) 早稲田大学
* shigetomi.yosuke.46w@st.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

近年レアメタルおよびレアアースメタルは、経済産業的価値の面だけでなく、地球温暖化対策に向けた今後のクリーンエネルギー技術の普及に不可欠として環境的価値の面でも脚光を浴びている。このような金属資源は「クリティカルメタル [1)]」として認知されており、地政学的なリスクの大きさも相まって、その安定供給の重要性がますます高まっている。こうした動きに呼応し、クリティカルメタルについても MFA を通じた利用構造の定量的可視化が進んでいる [2)-4)]が、それらの先行研究は現状のフロー構造を対象としており、その将来構造を推定した例は存在しない。

本発表ではクリティカルメタルの国際フロー構造の将来推定への応用を考えて、仮想水フロー [5)] を対象とした先行研究に倣い、その構造に重要な寄与を示す経済的要因の特定を目的とする。対象とするクリティカルメタルはネオジム、コバルト、プラチナとした。これらの需要は今後さらに拡大することが予想されることから、その経路の将来構造を見通しておくことが重要である。

2. 方法

2.1 重力モデルを用いたクリティカルメタルフローの推定式

貿易の重力モデル [6)] は貿易構造の視点から貿易額フローを説明する手法としてよく利用され、次の式(1)のように国際貿易における二地域間フローをニュートンの重力方程式に倣った形式で記述する。

$$F_{ij} = G\frac{M_i M_j}{D_{ij}^2} \quad (1)$$

ここで F_{ij} は発生地点 i から終着点 j の二地域間フローであり、M_i と M_j は 2 地点におけるそれぞれの（GDP などで測った）経済規模を表す。D_{ij} は二地点間の距離、G は定数である。

本研究では、分析対象とする国・地域における経済規模、貿易障壁、金属利用に関連する需要および供給の 4 つの観点から重力モデルを設定し、最小二乗法 (OLS) を利用してネオジム、コバルト、プラチナの国際フローを決定する要因の推定を試みた。経済規模の表現には、GDP per capita (*GDPpc*) と人口 (*Population*) のセットを利用した。貿易障壁は 2 国間と地域貿易協定の加盟の有無に関するダミー変数 (*RTA*) によって表現した。これらの変数の利用は重力モデルの伝統的な方法に倣うが、例えば仮想水に対する一人あたり食料消費量といった分析対象のフローに関連すると考えられる変数 [5)] が用いられることもある。そこで本研究でも、今回対象とするクリティカルメタルの今後の消費増大に関連することが予想される変数を、需要側と供給側から選出した。需要側に含まれる変数は自動車 (*Motor Vehicles*)、携帯電話 (*Cellular phone*)、インターネットアクセス (*Internet access*) の各普及率、供給側に含まれる変数は二次産業の付加価値の対 GDP 比 (*Industry, value added*)、全エネルギー生産における再生可能エネルギーの割合 (*Renewable energy*)、採掘国の有無に関するダミー変数 (*Mining country*) である。

2.2 重力モデルに用いるデータセット

本研究では、Nansai et al. (2014) [7)] によって同定された 231 の国・地域におけるネオジム、コバルト、プラチナの二国間クリティカルメタルフローを被説明変数として利用した。これらのフローの構成には一次製品、中間財、最終製品、スクラップが全て含まれ、金額ではなく物量で表される。また、*Mining country* におけるダミーの決定についても、Nansai et al. (2014) における結果を用いた。これらの結果はそれぞれ 2005 年値である。対応するクロスセクションデータ用の *GDPpc*、*Population*、*Motor vehicles*、*Cellular phone*、*Internet access*、*Industry, value added*、*Renewable energy* は、World Bank による World Development Indicators Database のそれぞれ 2005 年値ないし直近の年の値を参照した。*Distance* と *RTA* については、CEPII distance database から対象とする 2 地域間の首都間の距離および地域貿易協定の有無を示すダミー変数を用いた。

2.3 被説明変数におけるゼロフローの扱い

分析に用いた被説明変数のクリティカルメタルフローのデータは、二国間のフローが存在しないケースに

起因して 0 となっている箇所が多々存在する。従来の OLS では、対数線形化する過程により、0 のフローを除外している。しかしこのようなデータを用いて分析すると、推定にバイアスがかかることが指摘されている [5]。そこで本研究では、その解法の一つとされるポワソン擬似最尤推定法 (Poisson pseudo-maximum likelihood (PPML) estimator) [8] を利用し、OLS における係数の頑健性とフローの実数の将来推計に対する利用可能性について検証した。

3. 結果

本稿ではスペースの都合上、ネオジムフローに関する重力モデルの推定結果についてのみ述べる。ネオジムフローにおいては、経済規模 (*GDPpc*と*Population*) と距離 (*Distance*)、地域貿易協定 (*RTA*) が1%水準で有意であった。また、経済規模と*RTA*の係数の符号が正であることから、フローを増加させる要因であると理解できる。一方で*Distance*の係数は負であり、フローを減少させる要因である。

次に需要関連の変数に目を向けると、*Motor vehicles* については、輸出側の係数は負で、1%水準で有意であった。このことから、輸出側の地域におけるモータリゼーションの進行度は、ネオジムの国外への流出を抑制する働きを示している。一方で*Cellular phone*の係数は有意でなく、携帯電話の普及とフローの関連性は見られなかった。しかし*Internet access*については輸出側、輸入側の係数がともに正で有意であった。これはネオジムがハードディスクドライブのモーターとしても利用されていることに起因すると考えられる。

需要関連の変数とは対照的に、*Industry, value added* と *Renewable energy*、*Mining country* といった供給関連の変数はいずれも有意でなかった。また、採掘国であるかどうかがフローの有意性に影響がないのは、ネオジムの採掘国が僅か 4 ヶ国しか存在していないことが影響していると考えられる。

PPML による推定では、輸入側の *Cellular phone* 以外の変数が全て 1%水準で有意となった。特に、*GDPpc*、*Population*、*Distance* の係数の符号と有意性は OLS の結果と等しくなり、ネオジムの貿易フローは本研究で検討した重力モデルと整合的であったと言える。

他の金属を含む、より詳細な結果と将来推計に向けた考察は、当日の発表で行なう。

4. 引用文献

1) National Research Council, 2008. Minerals, critical minerals, and the US Economy. The National Academies Press.

2) Du, X., Graedel, T.E., 2011. *Sci. Rep*. 1, 1-4.

3) Guyonnet, D. et al., 2015. *J. Clean. Prod.* 107, 215-228

4) Kavlak, G., Graedel, T.E., 2013. *J. Clean. Prod.* 73, 17-22

5) Fracasso, A., 2014. *Ecol. Econ.* 108, 215-228.

6) Tinbergen, J., 1962. An Analysis of World Trade Flows. In Shaping the World Economy; Twentieth Century Fund: New York.

7) Nansai, K. et al., 2014. *Environ. Sci. Technol.* 48, 1391-1400.

8) Silva, J. and Tenreyro, S., 2006. *Rev. Econ. Stat.* 88 (4), 641-658.

表 1. ネオジムフローに関する重力モデルの OLS および PPML による推定結果

	Nd flow	
Variables	OLS	PPML
GDP per capita i	1.944***	0.731***
	(0.113)	(0.035)
GDP per capita j	0.750***	0.446***
	(0.108)	(0.029)
Population i	2.179***	1.134***
	(0.046)	(0.011)
Population j	1.045***	0.957***
	(0.045)	(0.008)
Distance	-2.189***	-1.001***
	(0.085)	(0.012)
RTA (dummy)	1.491***	-0.261***
	(0.203)	(0.038)
Motor vehicles i	-1.447***	-1.071***
	(0.141)	(0.033)
Motor vehicles j	-0.096	0.374***
	(0.125)	(0.031)
Cellular phone i	0.114	1.018***
	(0.140)	(0.046)
Cellular phone j	0.153	-0.046
	(0.119)	(0.032)
Internet access i	1.565***	0.996***
	(0.123)	(0.038)
Internet access j	0.301***	0.420***
	(0.111)	(0.030)
Industry, value added i	-0.251	1.954***
	(0.238)	(0.067)
Industry, value added j	-0.214	0.328***
	(0.210)	(0.054)
Renewable energy i	0.032	0.044***
	(0.034)	(0.009)
Renewable energy j	-0.025	0.176***
	(0.033)	(0.009)
Mining country i (dummy)	0.343	1.135***
	(0.313)	(0.050)
Mining country j (dummy)	0.261	0.463***
	(0.367)	(0.044)
Constant	-69.46***	-54.34***
	(1.699)	(0.587)
R-squared	0.396	0.878†
Adjusted R-squared	0.395	
S.E. of regression	6.08	
Observations	9317	20592

() の数値は標準誤差を表す
*10% 有意水準
**5% 有意水準
***1% 有意水準
†: 被説明変数と予測値の相関係数の2乗

ニッケルの国際サプライチェーンの背後にあるリスク要因抽出

Risk Factors behind the International Supply Chain of Nickel

○佐々木翔*[1)]、松八重一代[1)]、中島謙一[2)]、長坂徹也[1)]
Sho Sasaki, Kazuyo Matsubae, Kenichi Nakajima, Tetsuya Nagasaka
1) 東北大学, 2) (国研)国立環境研究所
* sho.sasaki.r4@dc.tohoku.ac.jp

1. はじめに

ニッケルは、ステンレス鋼、耐熱・耐食性合金、電気めっき、二次電池等と構造材料から先端材料までその用途は多岐にわたり、今や私達の生活に必要不可欠な金属と言える。また、新興国の経済成長や先進国の技術革新に伴い、需要は毎年増加傾向にある[1)]。一方で、ニッケルのサプライチェーンの背後には、資源の供給制約や供給障害の直接的な原因となり得る地政学的リスクや社会的リスクに加え、直接的あるいは間接的に制約を生じさせる可能性を有する環境リスク等が内在しており、これまでも、鉱石輸出禁止等の貿易政策、鉱山や製錬所におけるストライキや事故による操業停止、自然災害やテロによる輸送ルート寸断などの事例[2)]が確認されている。

これらのサプライチェーンに内在するリスク要因は、多種多様である共に、要因を有するライフステージも多岐に渡るため、多様なリスク要因を管理するためには、広範で俯瞰的な要因の把握および体系的な整理、更には、物質フロー・サプライチェーン情報と接続した解析手法の確立が求められる。

そこで本研究では、鉱物資源のサプライチェーンに内在する多様なリスク要因を対象として、 (1)サプライチェーンに内在する多様なリスク要因をより広範にとらえるための枠組み設計、更には、(2)ニッケルを事例とした事例収集及び、鉱山・製錬所の所在情報と要因別リスク情報の GIS への実装を行った。枠組み設計においては、対象とするリスク要因とその分類の特徴を議論する事を、ニッケルの事例解析においては、事例収集とリスク要因を加味した解析に向けての課題抽出を目的とする。

2. サプライチェーンに内在する多様なリスク要因をより広範にとらえるための枠組み設計

鉱物資源供給に直接的あるいは間接的に制約を生じさせる可能性を有するリスク要因には様々なものがある事が考えられるため、まずはそれらを把握し、整理する必要がある。そこで、サプライチェーンリスクに関する既存の議論[3-8)]を参考に、鉱物資源供給に関する様々なリスク要因を抽出した上で、要因の特徴を考慮して大分類 5 分類・中分類 29 項目での整理を行った。Table 1 に、本研究で提案するリスク要因の分類と先行事例等[3-8)]で扱われている要因との対応関係を示す。

Table 1 本研究で提案するリスク要因の分類と既存研究との関係

No.	大分類	中分類	Ref. 3	Ref. 4	Ref. 5	Ref. 6	Ref. 7	Ref. 8
1	Economic	ストライキ		✔	✔	✔	✔	✔
2		市況の変動	✔	✔	✔		✔	✔
3		インフラ不足	✔	✔				
4		事業所の経営状況の混乱					✔	✔
5		原料調達の障害			✔		✔	✔
6		参入障壁	✔					
7		事業所の生産管理	✔				✔	
8		知的財産権			✔	✔	✔	
9	Environmental	パンデミック	✔	✔				✔
10		自然災害	✔	✔	✔	✔	✔	✔
11		異常気象	✔	✔				✔
12		環境汚染		✔		✔		✔
13		資源の枯渇		✔				
14	Geopolitical	輸送障害	✔		✔	✔	✔	✔
15		大量破壊兵器の所持	✔	✔				
16		テロ	✔	✔	✔	✔	✔	✔
17		政情不安	✔	✔	✔	✔		✔
18		貿易障害	✔		✔	✔		✔
19		二国間の関係	✔	✔	✔	✔		✔
20		法的な操業停止			✔			✔
21	Societal	社会的操業認可		✔	✔	✔		✔
22		食料不足		✔				
23		統制されない移住		✔				
24		都市計画の失敗		✔				
25		外部のストライキに巻き込まれる						✔
26	Technological	テクノロジーの悪用		✔				
27		データ・セキュリティ/ITに関わるインシデント	✔	✔	✔		✔	✔
28		設備の事故/故障/修理			✔			✔
29		報道リスク						

大分類の設定に際しては、WORLD ECONOMIC FORUM[4)]が採用している区分（Economic, Environmental, Geopolitical, Societal, Technological）を参考に設定した上で、中分類については抽出結果をもとに、より広範なリスク要因を範疇とする区分を採用した。Table 1 中のチェックマークは、提案した中分類が既存の各手法[3-8)]において対象とされているリスク要因であることを示している。チェックマークの有無より、本研究で提案した枠組みは、既存のいずれの手法[3-8)]よりも広範なリスク要因を対象にしていることがわかる。また、要因を中分類あるいはより詳細な分類として体系的に整理することで特定の要因についてのみ抽出することを可能にしている点も特徴の 1 つである。

3. ニッケルを事例としたリスク要因の収集及び、鉱山・製錬所の所在情報と要因別リスク情報の GIS への実装

上述のリスク要因の分類情報をもとに、報告書[2)]や Web ニュース[9)]からニッケル資源の供給障害に関する事例を収集した。Table 2 に、現在まで収集したニッケル資源の供給障害に関する事例件数を示す。Table 2 に示すように、現在は 70 件の事例を収集済みである。

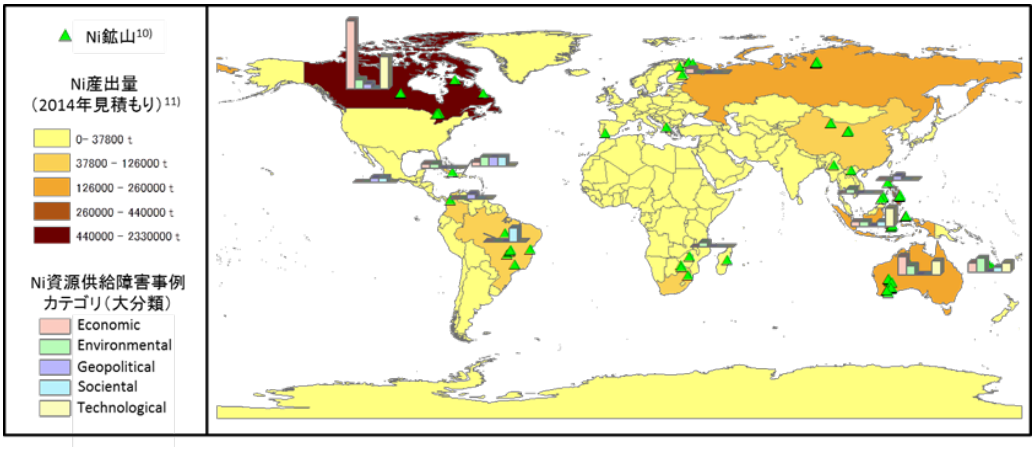


Figure 1 世界のニッケル鉱山とこれまで収集したニッケル資源供給障害に関する事例件数

Table 2 現在まで収集したニッケル資源の供給障害に関する事例件数

	Economic	Environmental	Geopolitical	Societal	Technological
オーストラリア	4	2	0	0	3
ブラジル	0	0	0	3	0
カナダ	15	2	1	0	7
ドミニカ共和国	1	2	2	2	0
フィンランド	1	0	0	0	0
グアテマラ	0	0	1	1	0
ニューカレドニア	2	3	0	1	2
ベネズエラ	0	0	1	0	0
ベトナム	0	1	0	0	0
ザンビア	0	1	0	0	0
インドネシア	1	1	0	1	4
南アフリカ共和国	1	0	0	0	0
ロシア	0	0	0	0	1
キューバ	1	1	0	0	0
フィリピン	0	0	1	0	0
合計	26	13	6	8	17

これらのリスク情報について、鉱山・製錬所の所在情報と共に、GIS への実装を行った。Figure 1 に、世界のニッケル鉱山とこれまで収集したニッケル資源の供給障害に関する事例の件数を示す。Figure 1 中に落とし込んだ事例は、Table 2 に示した 70 件の事例であり、それぞれが発生した国ごとに配置づけた。

現時点では、要因としては Economic に属する要因が 28 件、国・地域としてはカナダに属する要因が 25 件抽出された。ただし、リスク要因情報の活用には注意を要する。事例の収集と解析において、現在明らかになっている課題の 1 つとして、国あるいは要因について、報告されている事例情報の偏りが挙げられる。今後は、広範で俯瞰的な情報把握のために、より多様な情報源からの情報収集を進める。また、リスク要因は、それぞれが独立しているわけではなく、相互に強く結びついているため、事例情報の文字列から読み取れる要因の背後に、さらに他の要因が潜在している可能性があるという課題もあるが、本研究ではテキストマイニング処理による事例収集を実施する。

4. 終わりに

サプライチェーンリスクに関する既存の議論を参考に、鉱物資源供給に関する様々なリスク要因を抽出し、多様なリスクを広範にとらえるための枠組みを設計することができた。また、ニッケルの事例解析においては、事例収集とリスク要因を加味した解析に向けての課題抽出を行うことができた。今後の方針としては、各要因について、事例情報の収集を進めると共に、モデル解析や代理指標の活用の可能性を検討する。

5. 引用文献

1) 尾崎佳智, 岡部徹, 香川豊 : Journal of MMIJ Vol.130, (2014), pp.93-103
2) 掘琢磨：地質ニュース 623 号, (2006), pp.21-41
3) WORLD ECONOMIC FORUM：” New Models for Addressing Supply Chain and Transport Risk”, (2012)
4) WORLD ECONOMIC FORUM : “Global Risks 2015 10th Edition”, (2015)
5) SCM World：“INNOVATIVE APPROACHES TO SUPPLY CHAIN RISK”, (2014)
6) The British Standards Institution 2015 : “Supply Chain Risks | BSI Supply Chain Solutions”, The British Standards Institution 2015, (オンライン), 入手先< http://bsi-supplychainsolutions.com/en-US/supply-chain-risks/>, (参照 2015-12-15)
7) MIT Sloan：“Managing Risk To Avoid Supply-Chain Breakdown”, (2004)
8) Alianz Global Corporate & Specialty：“Managing disruptions Supply chain risk: an insurer’s perspective”, (2012)
9) JOGMEC：“JOGMEC 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 金属資源情報”, JOGMEC 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 金属資源情報, (オンライン), 入手先 <http://mric.jogmec.go.jp/>, (参照 2016-01-04)
10) SNL Metals & Mining : “Raw Materials Data.”, (2014)
11) U.S. Geological Survey：“Mineral Commodity Summaries”, (2015), pp.108-10

産業連関分析マテリアルフロー解析による In-use 固定炭素定量化

Quantification of In-use Captured Carbon
by means of Waste Input-Output-Material Flow Analysis

○大野 肇*[1)]、福島康裕 [1)]
Hajime Ohno, Yasuhiro Fukushima
1) 東北大学大学院工学研究科
* ohno@sis.che.tohoku.ac.jp

1. 緒言

地球温暖化の原因の一つとして排出削減が求められる二酸化炭素(CO_2)について、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)は炭素を吸収する媒体として大気、海洋、土壌及び森林を定義した [1)]。加えて、人間活動に伴う化石燃料の燃焼、及び土地改変により炭素が放出され大気及び海洋の炭素濃度が上昇していることが示されている。多様な人間活動に伴う CO_2 排出はライフサイクル思考に基づき定量化され、カーボンフットプリント表示等の取り組みが進められている [2,3)]。その中で CO_2 の主な発生源として、熱や電力等のエネルギー消費に伴う化石燃料の燃焼が挙げられ、各部門におけるエネルギー効率の改善及び化石燃料に依存しないクリーンエネルギーの開発が求められている [4)]。また、事後処理的な対応策として発電所や工場で排出された CO_2 を回収・貯蔵するカーボンキャプチャストレージの研究も進められている [5)]。

このように、自然界における炭素の循環・吸収、人間活動に伴う CO_2 排出及びその削減貯蔵技術に注目が集まる一方で、我々が日常生活において固定している炭素は明示されていない。私たちの生活に欠かすことができない樹脂製品は化石燃料由来であり、社会基盤金属である鉄鋼にも石炭由来の微量な炭素が含まれ、さらには我が国の住居の多くは木材で造られている。CO_2 排出の主因である化石燃料の内、石油の約 20%が樹脂や繊維といった原料用途で用いられていることから [6)]、燃焼による年間の CO_2 排出に加えて、無視できない量の炭素が年々製品として固定されていることが予測される。これは、IPCC が掲げる炭素循環の中で考慮されていない人為的な炭素の吸収という新たな媒体であると考えることができる。

本報告では、産業連関分析マテリアルフロー解析モデル(WIO-MFA モデル)[7)]を用い、化石燃料由来化学工業製品に含まれる炭素のフロー及び最終製品中の炭素量を定量し、年間の炭素固定量について検討を行う。

2. 手法

2.1 WIO-MFA モデル

WIO-MFA モデルは、国内での産業活動を網羅した産業連関表を基本とし、約 400 部門の製品に対して複数の分析対象マテリアルの含有組成分析、並びにそれらの流入経路の遡及分析が可能である。本報告にて固定炭素源として着目する石油化学基礎製品及び石油化学系芳香族製品の多様な利用形態の把握において、当モデルの網羅的な解析は非常に有効である。

WIO-MFA モデルでは分析対象の素材 M を設定し、式(1)を用いて製品 P 中の M の組成C_{MP}を分析する。

$$C_{\mathrm{MP}} = \tilde{A}_{\mathrm{MP}}\left(I - \tilde{A}_{\mathrm{PP}}\right)^{-1} \quad (1)$$

ここで、$\tilde{A}_{\mathrm{MP}}$及び$\tilde{A}_{\mathrm{PP}}$は歩留まり落ちや非物質投入を排除した投入係数行列であり、それぞれ P の単位生産あたりの M の物量投入、P の単位生産あたりの中間製品の投入を表している。モデルの詳細に関しては既報(文献 7 他)に譲る。

2.2 分析対象

本報告では 2005 年版国内産業連関表を基準とし、素材 M すなわち固定炭素源として石油化学基礎製品及び石油化学系芳香族製品に着目する。基準となる IO 表における当該部門の製品分類とそれらの分子量及び炭素量、単価を表 1 に示す。「その他の～」に関しては IO 表付帯の品目別生産額表記載の細分類に対して分子量及び炭素量を求め、それぞれの生産量との加重平均によって各数値を求めた。$\tilde{A}_{\mathrm{MP}}$の算出に用いる各 M の物質投入は、基準の IO 表における金額ベースの投入量を単価によって物量に変換し、さらに各 M の炭素含有率によって炭素投入量として求め、規格化した。単純に物質投入量を用いて収支計算をしないのは、

表 1 対象素材の分子量、炭素量及び単価

	分子量 g/mol	炭素量 g/mol	単価 ¥/t
エチレン	28	24	103,559
プロピレン	42	36	90,524
その他の石油化学基礎製品	92	78	62,046
純ベンゼン	78	72	70,327
純トルエン	92	84	62,829
キシレン	106	96	51,807
その他の石油化学系芳香族製品	110	101	52,063

石油化学製品の合成においては縮合重合等に伴い投入物と生産物の間で重量が大きく変化するためであり、分子式から求めた炭素量を基準として「炭素歩留まり」を設定することによって物質収支を合わせることを試みる。

3. 結果

3.1 炭素収支

式(1)により求められた直接・間接的に脂肪族中間物及び環式中間物生産に流入した M の炭素量と、両製品の生産量と炭素含有率から求めた炭素量の比較を図 1 に示す。この時点ではまだ炭素歩留まりは$\tilde{A}_{MP}$に適用されていない。結果として、両製品は流入した炭素の約 60-70%程度を固定していることとなる。残りが CO_2 として環境中に放出されていると仮定すると、その量は 25 Mt に上る。この量は化学工業の 2005 年における CO_2 排出量 81 Mt の 31%に相当し [8]、軽視できない数値である。脂肪族中間物及び環式中間物部門にはそれぞれ様々な製品が統合されており、さらに部門内での中間投入が多く存在することから、現在の IO 表の解像度ではどの製品の製造においてこれほどの炭素放出が起こっているのかは不明瞭である。したがって、化学反応及び石油化学工業のプロセスを反映した製品分類と IO 部門の作成が今後の課題である。

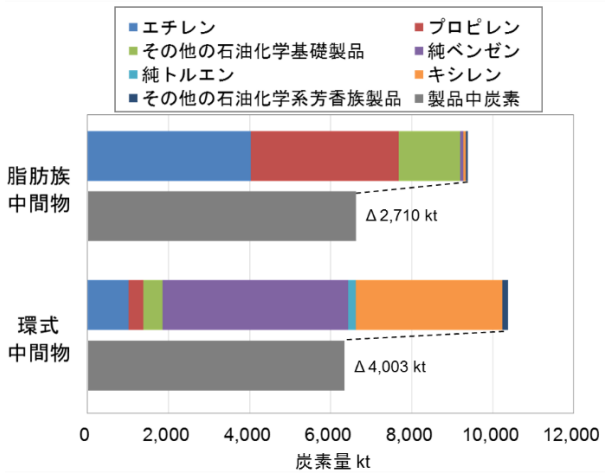


図 1 素材別炭素投入量（上段）と製品中炭素量（下段）

3.2 製品別固定炭素量

3.1 において得られた炭素収支を元に炭素歩留まりを設定し、国内で消費される最終製品に固定炭素として含まれる炭素量を推計した。本推計にて得られた国内消費最終製品中に固定される炭素の総量は 8,172 kt であり、CO_2 換算で 30 Mt-CO_2 に相当する。この量は 2005 年の総 CO_2 排出量の約 2%に過ぎないが [8]、この量が毎年蓄積されるとすると、相当量の炭素が現在国内に製品として固定されていることが考えられる。

固定炭素量上位 10 部門を図 2 に示す。自動車系部

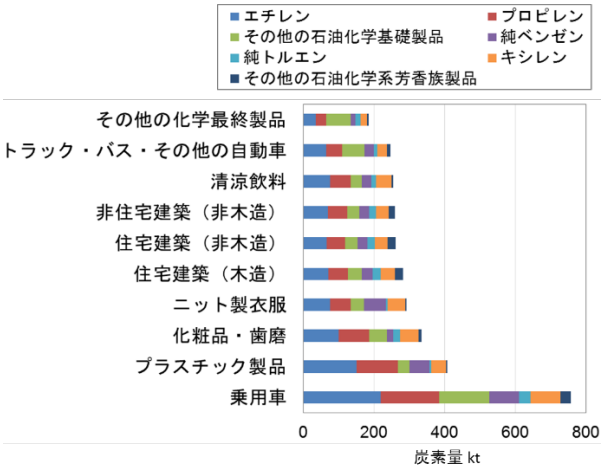


図 2 製品別素材別固定炭素量上位 10 部門

門及び建築部門において固定されている炭素は、それらの製品が長寿命であることから、比較的長期に渡り社会に固定され続けることが予想される。一方で化粧品や清涼飲料水に固定された炭素は製品そのものに含まれるものと包装容器に含まれるものの両者が考えられるが、そのどちらの場合でも寿命が 1 年以内であることが考えられるため、使用後のリサイクル方法によって炭素の固定状況が大きく変化することが考えられる。

4. おわりに

本報告では、石油化学製品に着目して固定炭素の定量を行った。結果として、石油化学中間製品の多様性に対する IO 部門分類の粗さにより不明瞭な部分が残る。今後は、部門の細分化及び化学反応に基づく中間製品間の投入産出構造の整理を通して、より明瞭な分析を試みる。また、石油化学製品以外の炭素源として木材やコークス等も考慮に入れ、より包括的な固定炭素量定量化を目指す。

5. 引用文献

1) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): “*Climate Change 2013: The Physical Science Basis*”, (2013)
2) Hellweg, S. and Milà i Canals, L.: Science, 344, (6188), (2014), pp1109-1113
3) 一般社団法人 産業環境管理協: “CFP プログラム”. http://www.cfp-japan.jp/ (2016.01.06)
4) International Energy Agency: “Energy Technology Perspectives”, (2015)
5) Lacy, R., Molina, M., Vaca, M., Serralde, C., Hernandez, G., Rios, G., Guzman, E., Hernandez, R., Perez, R.: Int. J. Greenh. Gas Control, 42, (2015), pp165-174
6) 石油連盟: “石油製品の用途別国内需要”, (2012)
7) S.NAKAMURA and K.NAKAJIMA, Materials Transactions, 46 (12), (2005), pp.2550-2553
8) 国立環境研究所: “日本の温室効果ガス排出量データ”, (2014)

希少金属資源の需要の増大と社会的持続可能性との関係

Relationship between the social sustainable issues and global demand for rare metals

○塚本尚*[1)]、南齋規介 [2)], 東野達 [1)]

Nao Tsukamoto, Keisuke Nansai, Susumu Tohno

1) 京都大学, 2) 国立環境研究所

* tsukamoto.nao.32s@st.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

近年の発展途上国での急激な経済成長によりエネルギー需要の増大が今後さらに見込まれる中、持続可能な発展を目指す取り組みが世界規模で様々な分野において行われている。持続可能な発展には環境的、経済的、そして社会的課題の克服が求められる。個々の生産・消費活動と個々の課題とのつながりをシステム思考で認識し、考察することは課題克服への一助となると考えられる。

エネルギー分野における持続可能な発展には再生可能エネルギーを始めとする新エネルギー技術の普及が不可欠である [1)]。新エネルギー技術の導入によって温室効果ガスの排出抑制が期待される一方で、燃料電池やモーターなどの核となる技術に投入される希少金属の需要増加が見込まれる。こうした資源需要の拡大は資源採掘量の増加のみならず、採掘現場で生じる汚染物質や土地改変等の環境負荷の増大を招く。資源消費と環境的課題との因果関係を定量的に解明する既存研究は少なくなく、環境的側面から見た資源消費の持続可能性の検証は進展しつつあると言えよう。

一方、資源消費と社会影響との関係に目を向けると、採掘拡大に伴う土地の権利や人権においても負の影響をもたらすことが懸念されている [2)]。また、採掘現場の先住民の文化や価値観に対する影響について配慮する重要性も指摘されている。これらの課題は、資源の採掘活動と直接的に関係する社会影響をボトムアップ的に探索するアプローチによるものであるため、資源消費が誘引する社会的課題の発見は限定的にならざるを得ない。換言すれば、持続可能な発展に求められる多岐に渡る社会的課題と資源消費とのつながりを網羅的に洞察するアプローチの開発と実証研究の必要性は高いと考えらえる。加えて、将来の見通しという点では、希少金属を含め金属の将来需要の推計と起因する環境負荷の変化に着目する研究は存在するが [3)]、社会的課題に対する影響を示唆する研究はない。

そこで本研究では、資源需要と持続可能な発展に向けて克服すべき社会的課題との関連性を網羅的に検討し、その関係性を定性的に明らかにし、資源需要が牽引する社会影響の将来変化を定量的に考察するための方法論の開発を目的とする。なお，とりわけ新エネルギー技術に不可欠な希少金属を対象とする。

2. 方法

2.1 社会的課題とその影響指標の選定

本研究では、考慮すべき社会的影響の枠組みとして、国連が掲げている持続可能な開発目標の 17 項目のうち、表 1 に示す社会問題に対する目標である 9 項目を設定した。

表 1 社会的課題に対する持続可能な開発目標の 9 項目

目標番号	目標内容	指標例
目標1	貧困の改善	児童労働の割合、1日1ドルで生活する人の割合
目標2	飢餓、食糧問題の改善	食料自給率、1日1ドルで生活する人の割合
目標3	健康的な生活の確保	乳幼児死亡率、平均寿命
目標4	質の高い教育の提供	識字率、HIV感染率
目標5	ジェンダー平等及び女子のエンパワーメント	女性の労働率、女性の不安定な雇用の割合
目標6	水と衛生の利用可能性の向上	水資源取水量、改良された水資源の割合
目標8	完全かつ生産的な雇用の推進	不安定な雇用の割合、失業率
目標16	司法へのアクセス提供と効果的な制度の構築	法の支配指数

2.2 資源採掘量と影響指標との関係性

金属の採掘量と社会指標との関係を明らかにするため、重回帰分析を用いて選択した指標と採掘量の関係性を確認し、金属ごとに考察を深めるべき社会影響の優先付けを行った。

説明変数として，一人あたりの GDP 及び、希少金属 6 種（Li, RE, Co, Pd, Ta, Pt）とベースメタル 3 種(Al, Cu, Fe)の年間採掘量を設定し、式(1)の式を用いた。なお、yは回帰式の目的変数で社会的負荷の定量的指標を、x_i は回帰式の説明変数で一人あたりの GDP 及び各金属の採掘量を、a_iは係数を表す。データの年次は金属の採掘量データが最も揃っている 2011 年のものに合わせた。

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^{11} a_i x_i + \varepsilon \qquad (1)$$

重回帰分析の評価方法としては相関性の有無を判断するため、t 値(=係数/標準誤差)≧2 とした。

2.3　システムダイナミクス

本研究では図 1 に示すように、希少金属の採掘を切り口とし社会的負荷を観察する。この相互的な影響を可視化し、動的な関係を観察するためにシステムダイナミクス（以下、SD と記す）を用いる。SD は複雑で非線形なシステム全体を、コンピュータを使ってモデリングする手法の 1 つである [4]。その目的は、システム全体の動的な変化を包括的に捉えてシステムの機能や結果を生む流れを理解することである。また、システムダイナミクスは、複雑なシステムを表現し時間の経過による動的なふるまいを分析することができる。

先述の重回帰分析の結果に基づき、金属と社会影響の因果ループ図の関係性を定義し、その後、希少金属需要の将来推計データをインプットデータとして投入し、SD モデルによる時系列に基づいた社会的負荷の指標の将来推計値を算出する。

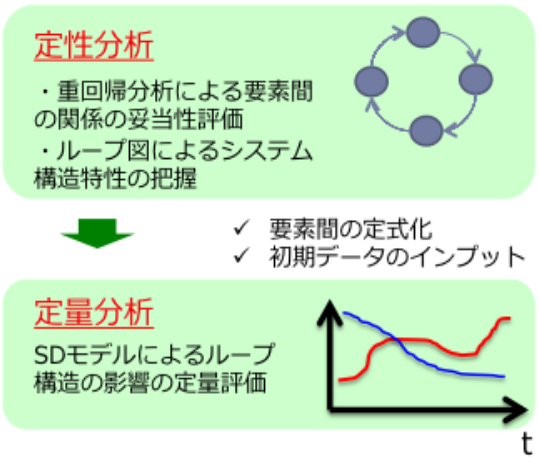


図 1　本研究の方法論の概念図

3. 結果と考察

今回は、乳幼児死亡率、及び女性の労働率を重回帰分析の目的変数としたときの結果を示す。

まず、乳幼児死亡率に関しては、持続可能な開発目標の社会問題に対する目標である 9 項目の中で、健康と福祉という項目にあたる。今回は、この項目を表す指標の一つである乳幼児死亡率と希少金属の採掘量との関係を検討した。

乳幼児死亡率を目的変数、上記すべての金属の採掘量データを説明変数として、乳幼児死亡率のデータが存在する世界 184 か国を対象に重回帰分析を行なった結果である。回帰式の決定係数は 0.248 であった。結果より、一人あたりの GDP との間に負の相関性が、タンタルの採掘量と間に正の相関性があることがわかった。

次に、女性の労働率に関しては、持続可能な開発目標の中ではジェンダー平等・女性および女子のエンパワーメントの項目にあたる。今回は、この項目を表す指標の一つとして 15 歳から 64 歳までの女性の労働率と希少金属との関係を検討した。

15 歳から 64 歳までの女性の労働率を目的変数、上記すべての金属の採掘量データを説明変数として、同様に世界 171 か国を対象に重回帰分析を行なった結果である。回帰式の決定係数は 0.068 であった。こちらは、結果より、一人あたりの GDP とタンタルの採掘量の両方との間に正の相関性があることがわかった。

引用文献

1) 馬場洋三：“金属資源レポート”, (2009)
2) Alonso *et al.*: Environ. Sci. Technol., 46, (2012), pp 3406−3414
3) Golev *et al.*: Environ. Sci. Technol., 46, (2014), pp 52-59
4) Auerhahn: J. Crim. Justice, 36, (2008), pp 293-300

将来の需給変化を考慮した鉱物資源消費の特性化係数の算定 –鉄と銅の比較分析–

Calculation of Characterization Factors of Mineral Resource Consumption Considering the Future Change of Supply and Demand –Comparison of Iron and Copper–

○横井崚佑*[1)]、中谷隼 [1)]、森口祐一 [1)]
Ryosuke Yokoi, Jun Nakatani, Yuichi Moriguchi
1) 東京大学
*yokoi@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

ライフサイクル影響評価（LCIA）の特性化において資源の利用可能性は頻繁に議論される重要な対象の一つであり、例えば日本で開発された LCIA 手法の LIME2[1)] では鉱物資源消費という名前の影響領域として影響評価に含まれている。ただし鉱物資源消費の特性化には課題も多く、様々な特性化モデルが開発されているが広く合意を得ているモデルはまだなく、また需給構造といった将来状況の変化を考慮した特性化モデルもまだ十分に確立されていない。

本研究では将来における資源需要の変化と、使用中ストックとして社会に蓄積している資源（二次資源）の将来における利用の 2 点に起因する、将来の一次資源消費量の変化を考慮に入れた鉱物資源消費の特性化モデルの開発､および特性化係数の算定を目的とする。鉄と銅に関して将来の一次資源消費量の変化を考慮に入れた将来シナリオ別の特性化係数を算定し、資源種間および将来シナリオ間の特性化係数の変化の違いについて比較分析した。また複数の既存の特性化モデルに基づいて 3 種類の特性化係数を算定し、係数の算定結果に関して特性化モデル間の比較分析も行った。

2. 方法

2.1 特性化係数の算定

本研究では既存のモデルに基づいた以下の 3 種類の特性化モデルに従って、特性化係数を算定した。

(1) 消費・埋蔵量比

消費量と埋蔵量の比に基づく特性化モデルは CML 2002[2)] をはじめとして比較的古くから広く用いられており、資源の希少性や物理的枯渇に着目したモデルと言える。本研究では既存の特性化モデルを参考に、枯渇年数を DY、可採埋蔵量を R として次式から特性化係数を算定した。

$$\text{消費・埋蔵量比} = \frac{1}{DY} \times \frac{1}{R} \qquad (1)$$

ここで、DY は可採埋蔵量が枯渇すると見なせる年数を表し、DY の算定にあたって将来の一次資源量の変化を考慮している（2.2 参照）。なお(1)式中に消費量を表す値が含まれていないが、DY が消費量と埋蔵量との関係を含むことから、本研究ではこの特性化係数を消費・埋蔵量比と呼ぶこととする。

(2) ユーザコスト

ユーザコストは LIME2[1)] の被害係数としても用いられている特性化モデルで、資源枯渇後の資源を利用できない将来世代のために他の資産に投資する必要のある金額を表す、資源の希少性や物理的枯渇に着目したモデルと言える。本研究では既存の特性化モデルを参考に、割引率を r （=3%）、市場価格を V として次式から特性化係数を算定した。

$$\text{ユーザーコスト} = \left(\frac{1}{1+r}\right)^{DY} \times V \qquad (2)$$

ここで、DY は消費・埋蔵量比と同様に、将来の一次資源消費量の変化を考慮した枯渇年数を表す（2.2 参照）。

(3) 超過コスト

超過コストは ReCiPe 2008[3)] の特性化係数としても用いられている特性化モデルで、資源採掘による鉱石の品位（対象鉱物の濃度）の低下がもたらす将来の採掘費用の増加分を表す、資源の品位と経済的枯渇に着目したモデルと言える。本研究では既存の特性化モデルを参考に、資源 1kg 採掘による、採掘にかかる限界費用の増加分を MCI_{kg}、時系列一次資源消費量を P_t として、次式から特性化係数を算定した。

$$\text{超過コスト} = \sum_t \left(MCI_{kg} \times P_t \times \frac{1}{(1+r)^t}\right) \qquad (3)$$

ここで、P_t の算定において将来の一次資源消費量の変化を考慮している（2.2 参照）。

2.2 時系列一次資源消費量 P_t・枯渇年数 DY の推計

P_t の推計では寿命分布を設定した動的マテリアルフローストック分析を適用した。最終用途を i、一次および二次資源生産における歩留まり率をそれぞれ y_1、y_2、t 年における需要量を D_t、開始年を t_0 (=1900 年)、t’年に投入されて t 年に使用済みになった製品のリサイクル率を $RR_{t,t'}$、t’年に投入された製品が t 年に使用

済みになる確率（ワイブル分布）を $L_{t,t'}$として、次式から P_t を推計した。

$$P_t = \sum_i \frac{1}{y_1}\left(D_{t,i} - y_2 \int_{t_0}^{t} RR_{t,t',i} \cdot D_{t',i} \cdot L_{t,t',i} dt'\right) \quad (4)$$

次に式(4)から推計した P_t を用いて、次式から枯渇年 t_f および DY を推計した。

$$DY = t_f - t_p \quad \left(\text{ただし、} R = \int_{t_p}^{t_f} P_t dt\right) \quad (5)$$

ここで、t_p は現在年（=2013 年）を表す。

なお、過去の $D_{t,i}$（t≦2012）については統計データを収集し、将来の $D_{t,i}$（t≧2013）については以下のようにして将来シナリオ別の $D_{t,i}$ を推計した。

まず次式から、t 年の年末における最終用途 i の使用中ストック量 $U_{t,i}$ を 10 地域別に現在年まで推計した。

$$U_{t,i} = \int_{t_0}^{t} D_{t',i} \cdot \left(1 - L_{t,t',i}\right) dt' \quad (6)$$

式(6)から得た $U_{t,i}$ と 10 地域別の人口および GDP から 1 人当たり使用中ストック量と 1 人当たり GDP を算出し、ロジスティック回帰分析を行ってそれらの関係式を得た。そして将来の人口と GDP に関する共通社会経済シナリオ SSP（Shared Socioeconomic Pathways）を得た関係式に適用して将来シナリオ別使用中ストック量を推計し、次式から将来シナリオ別 D_t を算出した。

$$D_{t,i} = U_{t,i} - U_{t-1,i} + \int_{t_0}^{t} D_{t',i} \cdot L_{t,t',i} dt' \quad (7)$$

なお本研究では、SSP1 から SSP5 の 5 つの将来シナリオがある SSP に加えて、将来の D_t を現在年（2012 年）での値で一定と仮定する需要固定シナリオにおける特性化係数も算定した。

3. 結果と考察

本稿では鉄に関する結果を示す。

図 1 に SSP3 および SSP5 における時系列一次/二次資源消費量と枯渇年数の推計結果を示す。なお SSP3 は分断社会、SSP5 は技術指向社会とされるシナリオで、前者の将来人口は全シナリオの中で最も大きいが 1 人当たり GDP は最も小さく、後者の将来人口は全シナリオで 2 番目に小さく 1 人当たり GDP は最も大きい。

図 1 より SSP3 の枯渇年数は比較的長く、SSP5 の枯渇年数は比較的短いことがわかる。また SSP3 では枯渇と見なされる枯渇年以降は一次資源消費量が増加しており、SSP5 では枯渇年以降は一次資源消費量が減少している。これは 2 つのシナリオにおける将来人口の違いと、二次資源の消費によって説明できる。

次に 3 つの特性化モデルによる特性化係数の算定結果を図 2 に示す。なお図 2 では、将来の一次資源消費量を現在年（2012 年）での値で一定と仮定する従来の特性化モデルによって算定した係数を 100 とした時の相対的な値を示している。図 2 より、将来の一次資源消費量の変化を考慮することで特性化係数が大きく変わり得ることが示唆された。またシナリオによる係数の序列は全モデルで共通だが、各シナリオによる係数の大きさの差に違いが見られ、シナリオ間の係数の差はユーザコストが最も大きく、超過コストが最も小さかった。この違いは、前者が枯渇年数 DY に、後者が時系列一次資源消費量 P_t に依存している点と関係しており、枯渇と見なした年（枯渇年）以降の一次資源消費量の変化の考慮の有無により、シナリオ間の係数の関係が変化していると考えられる。

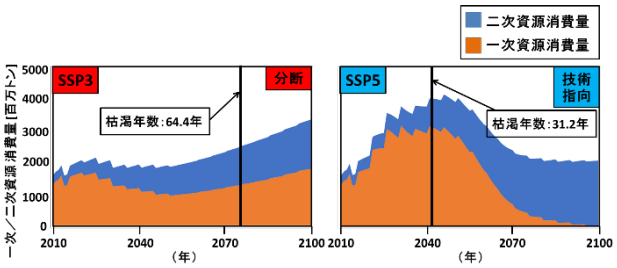


図 1 SSP3 および SSP5 における鉄の時系列一次/二次資源消費量と枯渇年数の推計結果

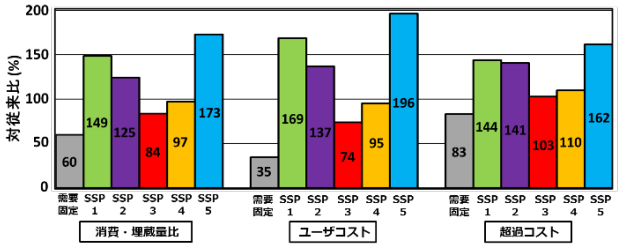


図 2 鉄の特性化係数の算定結果

謝辞

本研究は環境省環境研究総合推進費(1-1402)の支援を受けた。

参考文献

1) 伊坪徳宏, 稲葉敦　編著, “LIME2 - 意思決定を支援する環境影響評価手法”, 産業環境管理協会, 東京, (2010)

2) Guinée, J.B. *et al.*, “Handbook on Life Cycle Assessment. Operational Guide to the ISO Standards”, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, (2002)

3) Goedkoop, M. *et al.*: “ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level First edition (revised), Report I: Characterisation”, (2013)

資源・物質利用の環境影響：建設用非金属鉱物を対象として

Environmental impact of resources and materials use: a case study of non-metallic minerals for construction

○田中大介*[1)]、粟生木千佳 [1)2)]、Sebastien Dente[1)]、橋本征二 [1)]
Daisuke Tanaka, Chika Aoki, Sebastien Dente, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学、2) 地球環境戦略研究機関
* rv0029kx@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

第四次環境基本計画では、「環境と社会経済の関係を端的に表す指標」として「環境効率性を示す指標」や「資源生産性を示す指標」が挙げられている。前者については、当面「二酸化炭素排出量÷GDP」を用いることとしているが、生産量ベースでの指標や他の環境負荷（大気環境、化学物質など）の環境効率性についての検討が課題となっている。また、後者についても、少量だが有害な物質の影響や希少金属の価値が過小評価されるなどの課題が指摘されている。一方、「資源生産性」を重要な指標の 1 つとして採用している第三次循環型社会形成推進基本計画では、今後の検討課題の一つとして、環境負荷と財・サービスの付加価値の間の効率性を測る環境効率指標の検討が挙げられている。

これに関して欧州では、「資源生産性（resource productivity: €/kg）」と「環境効率（eco-efficiency: €/impact）」の両者を「資源 1 単位あたりの環境影響（resource specific impact: impact/kg）」で関連づけて検討する方向にある。資源・物質の環境影響が明確になれば、数多くある資源・物質の中でどれを優先して管理していくべきかがより明確となり、より効果的な政策を推進することができるであろう。

しかしながら、そうした手法の開発は未だ諸に着いたばかりである。数少ない既存研究においても、資源のライフサイクルのどの段階で物質を定義するか、各物質へ環境負荷をどのように配分するか、製品使用時の環境負荷をどう考えるか等の課題があり [1)]、さらなる検討が必要な状況にある。

本研究では、建設用非金属鉱物を対象としてその環境影響を推計し、各資源・物質利用の重要度を比較検討した。具体的には、資源・物質の利用と環境影響を結びつける「資源・物質 1 単位あたりの環境影響」を試算し、建設用非金属鉱物の総環境影響とその内訳を試算した。

2. 方法

2.1 対象資源・物質の選定

資源のライフサイクルのできるかぎり上流側で対象とする資源・物質を選定した。本研究では後述するようにMiLCA[2)]を用いて環境影響の試算を行うため、既存研究[1)]が対象としている資源・物質とMiLCAで試算が行える物質を照合するとともに、生産量・消費量等のデータの入手可能性を調査し、対象資源・物質を選定した。

2.2 対象資源・物質の総環境影響の試算

選定した資源・物質の総環境影響は、後述する対象資源・物質1単位あたりの環境影響に各資源・物質の生産量ないしは出荷量を乗じることで算出した。

2.3 対象資源・物質1単位あたりの環境影響の試算

LCAソフトウェアであるMiLCA[2)]を用いて、対象資源・物質1単位あたりの環境影響を試算した（環境負荷・環境影響の重み付けについては、LIME[3)] による）。なお、現段階では対象資源・物質の上流側の環境影響のみ考慮しており、下流側（最終製品製造時、使用時、廃棄時）の環境影響の考慮については今後の課題とする。

2.4 環境影響のダブルカウントの排除

各対象資源・物質について、その上流側で対象資源・物質が原材料として用いられているかどうかを確認し、用いられている場合は、その原材料分の環境影響を当該資源・物質の環境影響から控除した。具体的には、MiLCAでの波及計算を2段階まで遡った範囲内で対象資源・物質が原材料として用いられている場合に、それらの消費量を計算し、2.2で用いる対象資源・物質の生産量ないしは出荷量から差し引いた。

3. 結果と考察

3.1 対象資源・物質の選定結果

MiLCA での試算可能性、生産量・消費量等のデータの入手可能性を考慮し、図 1 ないしは図 2 の横軸に示す資源・物質を対象に選定した。既存研究 [1)]ではコンクリートとセメントがいずれも対象資源・物質となっていたが、セメントの多くがコンクリートに使用されること、多くのプレキャストコンクリート製品が存在すること等から、本研究ではセメントのみを対象として選定した。また、既存研究の対象資源・物質と異なるものとして、かわら類やガラス類を選定した。

3.2 対象資源・物質1単位あたりの環境影響の試算結果

対象資源・物質1単位あたりの環境影響の試算結果を図1に、環境影響の内訳を図2に示す。資源・物質により、1kgあたり、1m^{2}あたり、1円あたりなど単位が異なってい

るため、図1の折れ線グラフは直接比較できない点に注意を要する。

3.3　対象資源・物質の総環境影響の試算結果

対象資源・物質の総環境影響の試算結果を図1に示す。建設用非金属鉱物の中では、セメントの環境影響が大きい結果となった。これは、セメントを生産する際に多くのエネルギーを消費し、二酸化炭素や大気汚染物質を排出することが要因となっている。そのため、図1でも地球温暖化と都市域大気汚染の影響が多くを占めている。また、ガラス類も同様の理由で大きな環境影響となった。建設用非金属鉱物の中では、こうした資源・物質が、環境政策上重要な管理対象になると考えられる。

なお、資源生産性の分母に用いられる天然資源等投入量においては、砂・砂利・砕石、石灰石等の重量が大きいことから、その重要度が高くなるが、本研究で示したように、これらの環境影響は相対的に小さい。今後、こうした検討をもとに、環境効率の算定に繋げていく必要がある。

4.　おわりに

本研究では、建設用非金属鉱物を対象としてその環境影響を推計し、各資源・物質利用の重要度を検討した。だたし、本研究の推計結果は試算の段階である。ライフサイクルの下流側（最終製品製造時、使用時、廃棄時）の環境影響の考慮、環境影響のダブルカウントを排除する際の原材料貿易等のシステム境界の検討、対象物質の拡大等の課題が残されている。

謝辞：本研究は、第Ⅲ期環境経済の政策研究による成果である。ここに記して深謝する次第である。

参考文献

1) van der Voet, E., et al.: Dematerialization: Not just a matter of weight, CML report 160, 2003
2) 産業環境管理協会：MiLCA ガイドブック(2014 年 10 月 9 日版)、2014、http://milca-milca.net/download-files/MiLCA_Guidebook.pdf
3) 伊坪徳宏、稲葉敦編著：LIME2(Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling)、社団法人産業環境管理協会、2010

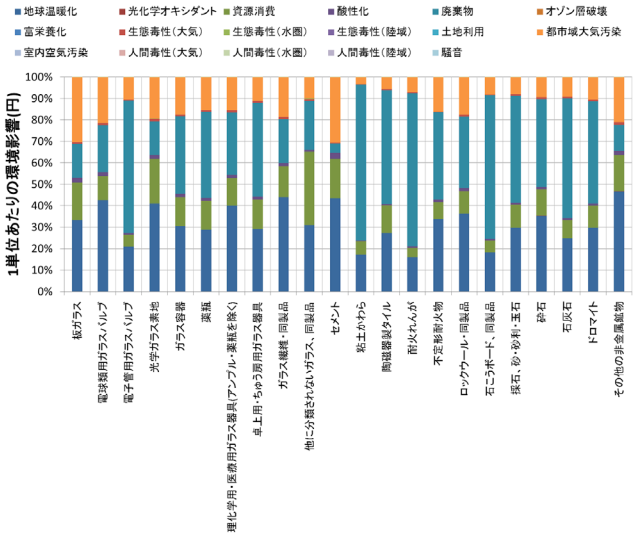


図2　対象資源・物質1単位あたりの環境影響の内訳

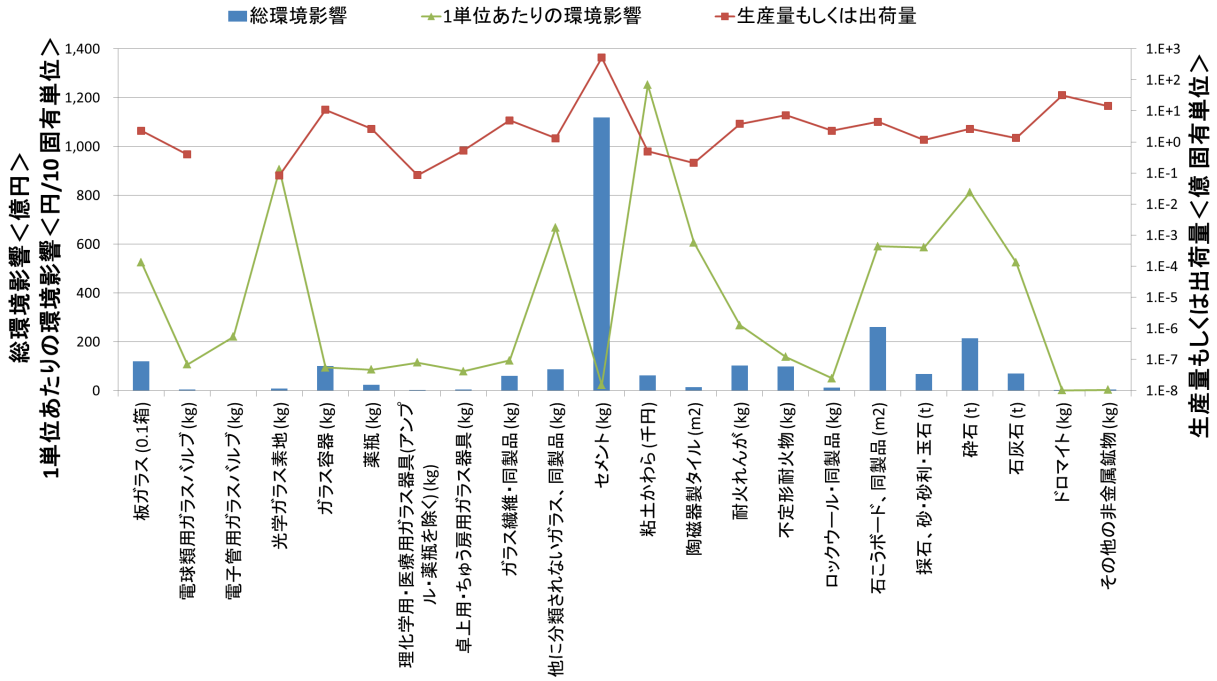


図１　対象資源・物質の１単位あたりの環境影響、生産量もしくは出荷量、および総環境影響(2010 年)

持続可能な調達のための O-LCA

O-LCA study for sustainable procurement

○大橋 憲司
Kenji Ohashi
株式会社資生堂
kenji.oohashi@to.shiseido.co.jp

1. はじめに

2015 年 12 月に開催された COP21 において、産業革命以前を基準とした気温上昇を 2℃以内に抑えることをターゲット、1.5℃以内に抑えることを努力目標に設定し、今世紀後半までに人為的な GHG 排出と人為的な吸収とをバランスさせて実質的な GHG 排出ゼロを目指すことを明記したパリ協定が結ばれた。今後、持続可能な経済活動において、より正確かつ精密な GHG マネジメントが必要とされることは明らかであり、産業界において LCA、LCM の果たす役割は、弥が上にも高まるものと予想される。一方、欧州を中心とした ESG 投資増大の影響を受け、投資家や環境 NGO などからの持続可能性に関する情報開示圧力が年々強まりつつある。2015 年には、CDP ウォーターが日本企業に対してアンケート調査を開始するなど、従来の CSR 活動を越えて、財務リスクや評判リスクに対応する意味においても、企業などの組織を対象とした LCA の知見の活用ニーズが高まっている。

こうした背景を受け、我々は GHG 排出と水消費について、当社の国内化粧品事業を対象としたインベントリ分析を実施し、第 9 回研究発表会で報告した。本報告においては、水消費のホットスポットとなっていた原材料調達段階に着目し、サプライチェーンにおける地域別、水源別に分析したウォーター “利用可能性” フットプリント（Water Unavailability Footprint）の結果について紹介する。

2. 調査概要

2.1 調査対象および調査項目

2014 年における当社の国内化粧品事業の原材料調達段階を対象として、地域別・水源別の水消費について評価を実施した。

2.2 調査方法

原料の素材作物種および生産国については、原料取引先にアンケート調査を実施した。その情報および原料別・取引先別の年間購入量データより、次式(1)により原料の年間購入量相当を生産するために必要となる素材作物の生産量を求めた。

$$X = \sum (BQ * IR * (MW_p/MW_i) * CR * PR / P_f * V_f) \quad (1)$$

X：原料生産に必要となる素材作物量
BQ：原料の年間購入量
IR：原料中の植物関連成分の配合率
MWp：成分中の植物由来部位の分子量
MWi：成分の分子量
CR：（複数の素材作物から生産される場合）素材作物の割合
PR：（素材作物が複数の生産国で生産される場合）生産国の割合
Pf：単位重量の素材作物から得られる植物由来部位・成分の重量
Vf：（素材作物から副産物が生産される場合）植物由来部位成分の経済価値割合

これに Water Footprint Network が提供する作物別・国別の水消費原単位データベース [1]に記載の原単位を乗じることにより、作物栽培に必要となる水量を推計した。

同一の原料成分またはその一部分の生産のために複数の素材作物が使用されている場合で、ヒアリング調査によりその割合が明らかな場合にはその値を用い、不明な場合には全ての作物が等量投入されたものと見做した。同様に、同一の原料成分またはその一部分の生産に使用された同一種の素材作物が複数の生産国で栽培されていた場合で、かつその利用割合が明らかな場合にはヒアリング調査の値を用い、不明な場合には当該作物の国別生産量に比例して生産されているものとシナリオを設定した。

こうして求めた国別・水源別の水消費インベントリデータについて、矢野らが提案する Water Unavailability Factor[2]によって水資源の利用可能性に関する影響評価を実施した。

3. 結果

3.1 サプライチェーン・ウォーターフットプリント評価システムの設計

水は地域による偏在性の高い資源である。どこで、どの水源から、どれだけの量を、いつ利用し、どこに、

どれだけの量を、どのような水質で排出したのかによって、環境に与える影響は大きく異なる。10 のプロセスや素材から構成される製品について水の利用に関する評価を実施した場合を例に、管理すべきインベントリの種類を考えてみると、①地域（国または流域：>200）、②水源（表層水、地下水、雨水ほか：>3）、③利用形態（取水、復水：>2）と、以上を算しただけで、その組み合わせは 1 万を超える。水の地域性に関する情報を適切かつ簡便に管理することを目的として、化粧品原料として利用されることの多い油脂作物の（主要生産国 9 カ国）＋（その他 1 カ国）の 10 カ国に絞った評価システム CLIC を設計し、第 9 回研究発表会で報告した。しかしながら従来の CLIC では、油脂作物の主要生産国以外の国で生産された場合や、マイナー作物について十分に管理できないという問題があった。そこで、地域情報を原料ごとに管理する従来のスタイルから、原料成分中の、さらに植物由来部位ごとに地域情報の管理ができるよう、データベースの階層構造を見直してシステムの再構築を行った。（図 1）

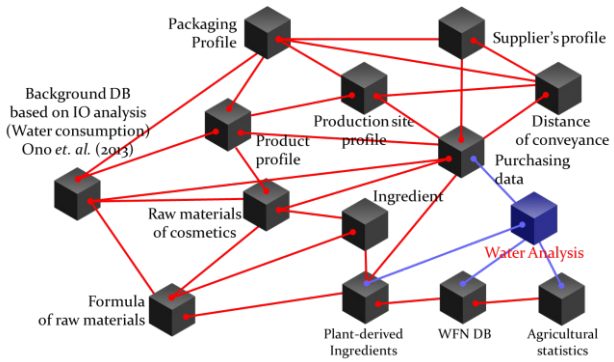


図 1 水評価システムの全体像

3.2 サプライチェーン・ウォーターフットプリント

当社の国内化粧品事業における原材料調達段階のウォーター“利用可能性”フットプリントの評価結果を図 2 に示す。

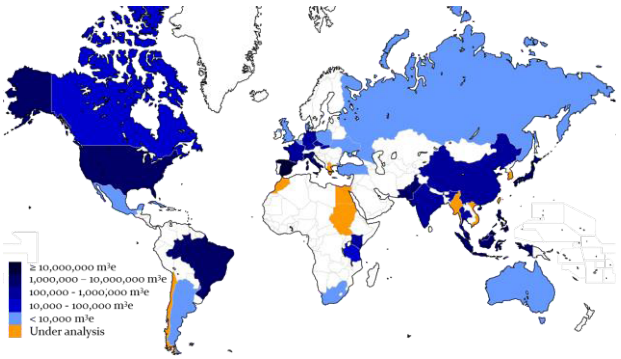


図 2 サプライチェーン・ウォーターフットプリント

保湿剤や油分、界面活性剤といった化粧品原料には、その成分の一部ないし全てが植物由来素材（グリセロール、脂肪酸、糖など）により構成されるものも多い。化粧品以外にも、食品や木材加工品といった植物が関わる産業においては、こうした原料素材を生産するために必要となる素材作物栽培に利用される水量は、自社の生産工場における直接的な水の利用量に比べて著しく大きくなる。サプライチェーンが世界中に広がるグローバル経済の渦中にあっては、自社の事業活動がどの地域の水にどの程度依存しているのか？を知ることは、リスク管理の観点からも極めて重要と言える。

加えて、現在の水資源利用可能性が未来においても変わらずに安定しているという保証はどこにもない。気候変動による降水の変化予測や洪水発生頻度の変化、作物種や栽培地域の集中度合い（=分散度合い）や代替可能性、水資源需要に直結する産業構造変化や人口の増減といった複数の指標と、組織の LCA を活用した水資源利用実態の分析結果とを重ね合わせることで、水資源利用に関する中長期～超長期リスクの分析が可能となれば、持続可能かつレジリエントなサプライチェーンの構築に役立つものと思われる。元来、LCA は経済活動に伴う環境への悪影響を定量化する優れたツールであるが、これに環境からの応答や社会的要因を積層的に可視化できる分析ツールとしての進化が、持続可能な社会、持続可能な経済を構築するために求められている。

4. 参考文献

1) Water footprints of crops and derived crop products (1996-2005) 入手先：http://waterfootprint.org/en/resources/water-footprint-statistics/

2) Shinjiro Yano *et. al.* (2015) *Sustainability*, (7) 9753-9772

ライフサイクルを思考した組織の自然資本評価

Evaluation of Natural Capital for Considering Life Cycle of Products and Services

○村主 さとみ*[1)] 、伊坪 徳宏 [1)]
Satomi Suguri, Norihiro Itsubo
1) 東京都市大学 環境情報学研究科
g1583107@tcu.ac.jp

1. はじめに

近年、LCA を組織評価に活用することが注目されている。CSR やトリプルボトムラインへの関心が高まるものの、組織を対象とした環境、社会、経済の三側面を網羅した分析方法は少ない。一方、国や自治体などを対象とした持続可能な発展に関する指標や評価方法については、これまでに多くの研究事例があり、これらの枠組みや知見を活用することが有効と考えられた。

2. 目的

本研究では、国を対象とした持続可能性の評価手法として広く活用されている「ジェニュイン・セイビング（GS）」の概念を用いた企業評価を実施する。GS には、「森林資源」「鉱物資源」「枯渇性資源」といった自然資本のほか、CO_2 排出による影響などが含まれる。これらの項目への影響は、産業連関分析やライフサイクル影響評価などのLCA 研究から得られた成果を応用することで、組織の GS を算定することが可能と考えられる。そこで、本研究では組織の LCA 評価手法としての GS の評価手法開発と利用可能性について考察した。

3. 方法

3.1 ジェニュイン・セイビング

ジェニュイン・セイビング(GS)とは、世界銀行 [1)]が進める国を対象とした持続可能性に関する評価手法である。世界銀行では Adjusted Net Savings という名称で現在研究開発が行われているが本研究では GS という名称で研究を行う。

国全体の総貯蓄額と人的資本への投資として教育支出の和から、自然資本の減耗として森林資源・鉱物資源・エネルギー資源の減耗と大気汚染による影響、CO_2 排出に伴う影響を差し引く。さらに、この結果を各国の国民総所得で除すことで算定される。正値であれば持続可能で、負値の場合は持続可能でない結果となる。

GS の算定式は式①の通りである。

$$Genuine\ Savings = \frac{NNS + EE - NFD - MD - ED - APD - CO_2D}{GNI} \quad \text{…式①}$$

表 1　Genuine Saving 算定用語の定義

用語	定義
NNS	国民総貯蓄
EE	教育支出
NFD	純森林減耗
MD	鉱物枯渇
ED	エネルギー資源枯渇
APD	大気汚染による被害
CO_2D	CO_2 排出による被害
GNI	国民総所得

本研究では、現在の国を対象とした評価手法を、組織評価に適用した。

3.2 算定方法

組織評価を行うにあたり、サプライチェーンを網羅した分析を行うことは必要不可欠である。簡便に、かつ、理論上すべての間接分を網羅することができる産業連関分析を用いることとした。使用データを表 2 に示す。

表 2　使用データ及び算定方法

	算定方法	注釈
NNS	営業余剰＋資本減耗引当	2)
EE	「企業内研究開発」等 13 部門の合計（行）	2)
MD	環境フットプリントデータベース原単位 ×LIME2 統合化係数	3) 5)
ED		3) 5)
APD		3) 5)
CO_2D	CO_2 排出原単位×LIME2 統合化係数	4)5)
GNI	国内総生産額	2)

使用した産業連関表 [2)] は、使用できるデータベース等の制約から、全て 2005 年のものとした。まず、NNS の算定方法は、国の評価では経済学における貯蓄の算定方法を用いるが、本研究では、組織を対象とするため、営業余剰と資本減耗引当を用いた。資本減耗引当はプラスの値として計上を行う。教育支出は、国の算定では小学校や中学校への教育費を指すが、本研究では教育費のみでなく新技術開発や発明等の知的財産の創出につながる研究開発費を対象にすることとして、産業連関表の取引基

本表の「学校教育」や「企業内研究開発」等 13 部門の購入額(行)を使用した。GNI は三面等価の法則から、国内総生産と国民総所得が同じ額であるという関係から、国内総生産額を用いた。

また、環境フットプリントデータベース[3]では、鉱物・化学物質の原単位を用いた。鉱物は銅・アルミニウム・鉄鉱石・金・銀、エネルギー資源は原油・天然ガス・石炭の原単位を用いた。大気汚染は、PRTR 物質を対象に大気中へ放出される影響を考慮した原単位を用いた。結果では「化学物質（大気）」という項目で結果を示す。木材については、木材を供給している部門に影響を割り当てると当該部門の影響が過大に評価されてしまうことから、今回は評価対象から外した。また、CO_2 排出量は国立研究開発法人 国立環境研究所「3EID」[4]の CO_2 排出量原単位を用いた。また、それらの影響に LIME2[5]の統合化係数を乗じ、2005 年産業連関表にある 404 部門ごとの結果を算出した。

4. 結果

本研究の結果を図 1 に示す。

全部門の結果を算出したが、今回は、約 400 部門のうち無作為に抽出した結果を示す。大半の部門が持続可能性を満たす結果となっており、全体の傾向として、国民総貯蓄の値が GS の結果に大きく寄与している。また、「粗鋼（転炉）」部門のように、CO_2 排出量や鉱物枯渇と言った自然資本減耗や環境影響によって、GS の結果に影響を与えていることが示された。

5. まとめ

本研究では、持続可能性の評価手法として広く活用されている「ジェニュイン・セイビング」の概念を用いた企業評価に関する枠組みの検討を行った。

6. 今後の課題

本項では、森林資源に関する影響を加味できていない。今後は、各部門の木材消費量に着目した環境影響評価を行い、分析を行っていく必要がある。また、大気汚染について、SOx や NOx といった影響について算定を行うことが挙げられる。

参考文献

1) The World Bank　Adjusted net savings
http://data.worldbank.org/indicator/NY.ADJ.SVNG.GN.ZS
2）総務省　産業連関表
http://www.soumu.go.jp/toukei_toukatsu/data/io/
3）東京都市大学　伊坪徳宏研究室　環境フットプリント原単位データベース. (オンライン)
http://www.yc.tcu.ac.jp/~itsubo-lab/research/EFPitiran.html.
4）国立研究開発法人　国立環境研究所 3EID
http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/jpn/index_j.htm
5) 伊坪徳宏, ・稲葉敦, “LIME2 意思決定を支援する環境影響評価手法”, 丸善, 東京, (2010), 付属 CD-ROM

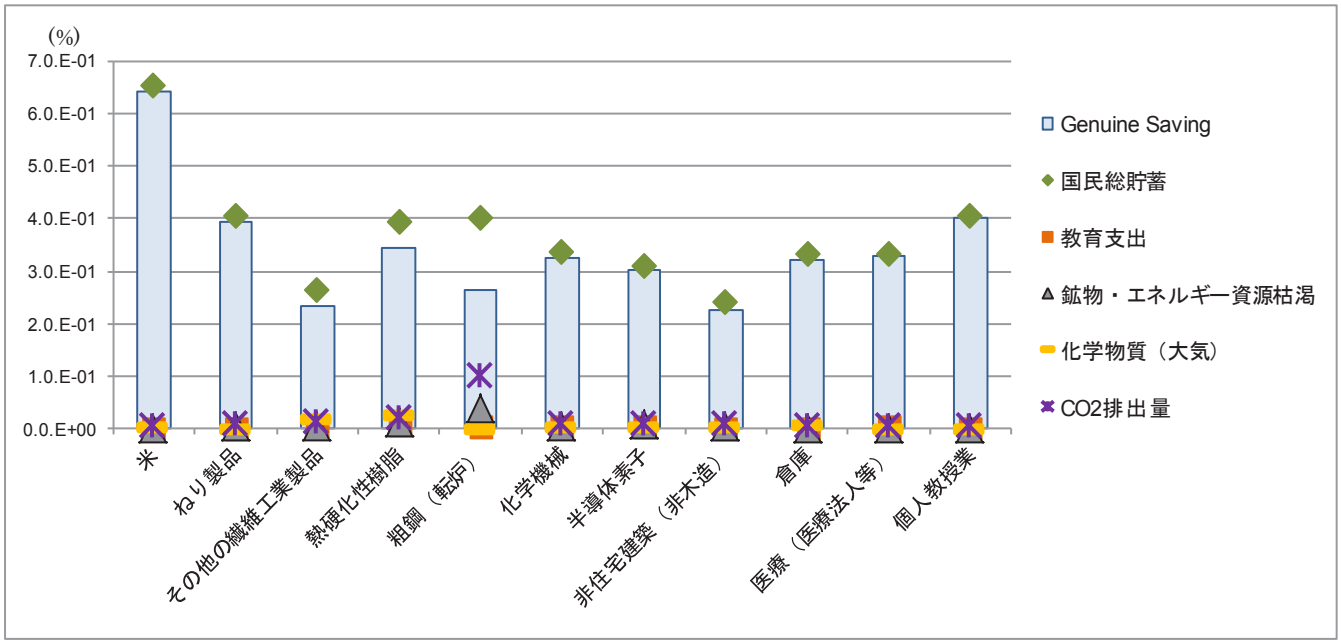


図 1　ジェニュイン・セイビング結果

電線の温室効果ガス排出量算定ガイドラインの策定に向けた検討

Examination for Development of Guidelines to Calculate GHG Emissions for Electric Cables

○柴原尚希*[1)]，橋本大[2)]，小坂裕[2)]，齋藤学[2)]，田原聖隆[3)]
Naoki SHIBAHARA, Dai HASHIMOTO, Hiroshi KOSAKA, Manabu SAITO, Kiyotaka TAHARA
1)産業環境管理協会，2)電線総合技術センター，3)産業技術総合研究所
* shibahara@jemai.or.jp

1. はじめに

現状の商品種別算定基準（Product Category Rule: PCR）[1)]に則って中小企業が電線の温室効果ガス排出量を推計することは技術・人員・コストの面から困難であるため、企業が把握している情報を活用して効率的に算定可能な方法の構築が進められている[2)]。本研究では、中小企業でのデータ収集と LCA 実施における課題の抽出を通じて、既存の方法を改良した算定方法の構築とそのガイドライン化に向けた検討を行い、方法論の多様な品種・サイズへの展開を試みる。

2. 調査範囲の設定

2.1 評価対象の概要

電気音響機器、電子通信機器等、100V 未満の信号伝送用に広く使用されているマイクロホン用ビニルコード(MVV-S)を対象とする。MVV-S は、絶縁体・シースともに塩化ビニル(PVC)を使用し、線心上及び多心撚り後の外層に遮蔽を施し、最外部にシースを被覆したものである[3)]。MVV-S の断面図を図 1 に示す。

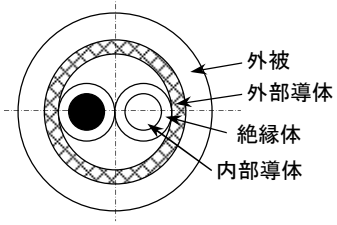


図 1　MVV-S の断面図（2 心の例）

2.2 システム境界

電線のライフサイクルには、原材料調達、生産、流通・布設、使用、廃棄・リサイクルの各段階がある。本研究では、電線生産企業自らがデータを把握可能な原材料調達段階（電気銅や PVC といった原材料の製造と、それらの生産工場への輸送）及び生産段階（工場における電線の製造）を対象とする。

3. 算定方法

3.1 既存算定法

文献 1)では、電線のライフサイクル段階ごとに対象プロセスとデータ収集項目が詳細に記述されている。例えば、生産段階における一次データの収集方法・条件では、原則 1 ロットごとに製造設備への投入物・排出物の量を把握し積み上げることと定められている。この規程を準用し、投入原材料・エネルギー量を実測する方法を本研究では既存算定法と呼ぶ（図 2）。原材料輸送については、実際に用いたトラックの種類、積載率、輸送距離を調査する。データを測定できればGHG 排出量が正確に算出される反面、データ収集に要する作業量は多くなる。

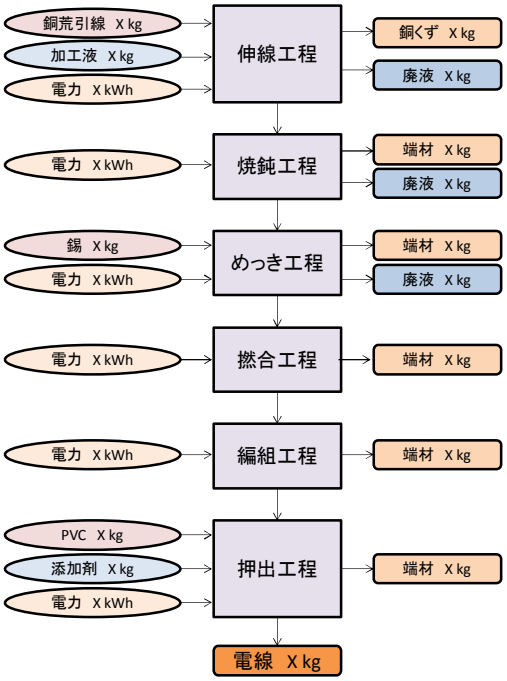


図 2　既存算定法

3.2 改良算定法

経理情報や出荷伝票といった、LCA の実施に関わらず既に存在しているデータを活用し算定する方法を本研究では改良算定法と呼ぶ（図 3）。

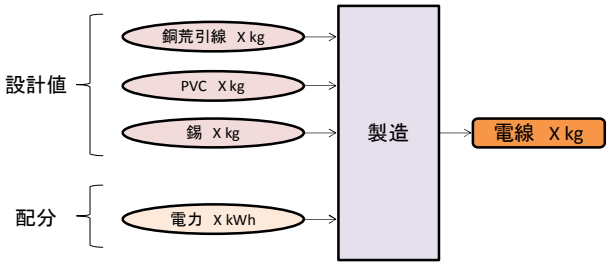


図 3　改良算定法

(1)原材料投入量

電線を製造する際の仕様書には、製品の材料及び構造に関する情報が記載されており、設計値が読み取れる。改良算定法では、原材料投入量＝設計値として算定を行う。そのため、構造に含まれない薬剤や各工程で生じるロスは考慮されず、カットオフされる。

また、原材料輸送については、文献 1)で定められているデータが取得できなかった場合のシナリオ（手段 : 10 トントラック、積載率 : 62%、輸送距離 : 500km）を適用する。

(2)エネルギー使用量

工場全体といった大きな単位であれば既にエネルギー消費量を把握できている場合が多い。改良算定法では、一定期間におけるその実績値を製品間で配分する。配分の基準として、①生産重量（電線量）、②生産重量（銅量）、③生産長が考えられる。

4. 算定結果

実際に MVV-S を製造している企業へのヒアリングによりデータを収集し算定を行っている。本稿では、ガイドライン策定に向けて検討中の試算段階の結果を示す。既存算定法のための測定を 2015 年 11 月に実施し、改良算定法に必要な生産量、電力使用量も同月のデータを用いている。また、算定には LCA ソフトウェア MiLCA を使用し、IDEA ver.1.1 の GHG 排出量原単位を適用している。なお、あくまで特定企業のデータに基づいた算定結果であるため、正規化した数値で示す。

4.1 算定方法の違いによる比較

導体の断面積＝0.5mm^2、線心数＝2（0.5sq×2c と表す）の MVV-S について、GHG 排出量を算定した結果を図 4 に示す。既存算定法と比べ、改良算定法による GHG 排出量の算定結果の方が小さくなった。これは銅くず及び PVC の排出を考慮していないことが要因の 1 つとして考えられる。そのため、ガイドライン策定の際には、算定にロスを組み込む方法を検討する。一方、改良算定法間の結果の差は電力の配分方法の違いにより生じる。生産長配分の場合、相対的に細い製品に対して過大に配分されている可能性があるため、同じ工場内で他にどのような製品が生産されているかを踏まえて、どの配分方法を採用するかを検討する。

4.2 サイズ違いの電線の比較

他サイズの MVV-S について、既存算定法を用いて GHG 排出量を算定した結果を図 5 に示す。GHG 排出量は導体断面積に比例することが予想される。

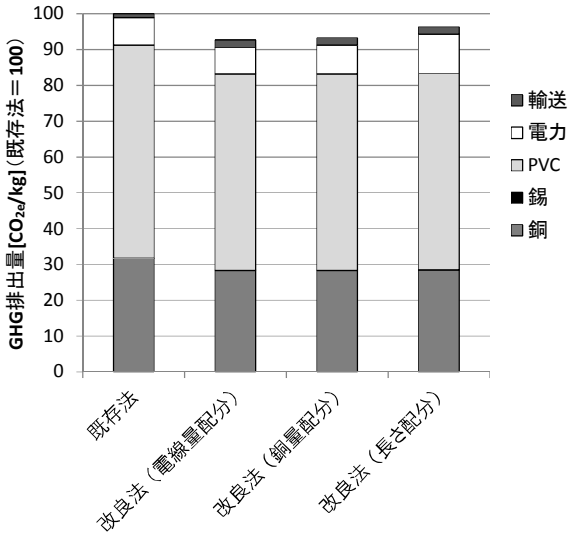


図 4　算定方法別 GHG 排出量の比較（0.5sq×2c）

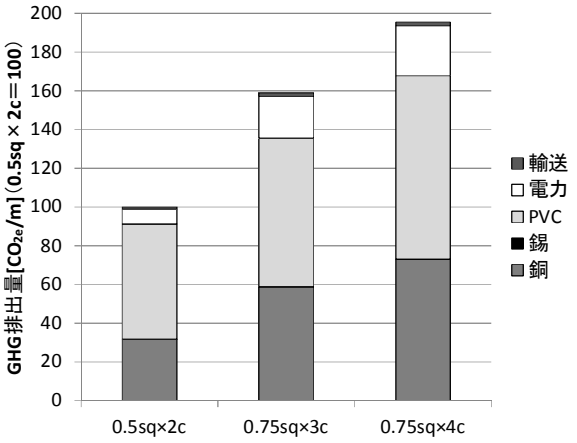


図 5　サイズ別 GHG 排出量の比較（既存法）

5. まとめ

本稿では、電線の温室効果ガス排出量算定ガイドラインを検討するために、2 つの算定方法を用いて MVV-S の GHG 排出量を試算した例を紹介した。

中小企業の実態に即した算定ガイドラインを策定するために、今後さらにサンプル数を増やし、ケーススタディを蓄積しながら検討を進めていく予定である。

引用文献

1) マルチクライアント研究『LCA データベースの整理』委員会：商品種別算定基準（対象製品：建設電販用電線 IV, CV, VVF），(2010)
2) 柴原尚希，神崎昌之，村松佳孝，齋藤学：“第 10 回日本 LCA 学会研究発表会”，神戸，（2015），pp.280-281
3) 一般社団法人日本電線工業会：“電線要覧（絶縁電線・ケーブル・通信ケーブル・技術資料）”，一般社団法人日本電線工業会, 東京, (2013), pp.224-229

江戸切子のライフサイクルアセスメント調査

Life cycle assessment investigation of Edokiriko.

○田村賢祐*1)、佐々木重邦 2)、十村勝 1)、北原康雄 1)、
Kensuke TAMURA, Shigekuni SASAKI, Masaru TOMURA and Yasuo KITAHARA
1) エヌ・ティ・ティ・アドバンステクノロジ株式会社,2) 武蔵野大学
*kensuke.tamura@ntt-at.co.jp

1．はじめに

伝統的工芸品産業の市場は、生活様式の変化、国内外の安価な製品の増大等により、需要が低迷し、生産額、企業数、従事者数ともに減少傾向にある。しかし、近年では、伝統工芸品の手作りの味わい、優れた機能性等が国内外でも高い評価を受けている。

このような伝統工芸品の魅力に加え、これまでほとんど実施されていない環境面における伝統工芸品ならではの特徴を調査することで、伝統工芸品を社会に広め、後世へ伝えるための一助となることを目的とする。

本研究では、日本の伝統工芸品である江戸切子を対象にライフサイクルに亘る環境負荷と伝統工芸品ならではの特徴の両面について調査・研究を行った。

2．調査対象

調査した江戸切子の製造工場は、株式会社堀口切子 1)を選定した。評価対象は、同社の主力製品「黒被万華様切立盃（くろぎせまんげようきったてはい）」とした。



製品名	黒被万華様切立盃	
材質	クリスタルガラス	
重量	0.14	kg
サイズ	φ 61×57h	mm

図１　対象江戸切子製品仕様

3．機能単位、システム境界

機能単位は、本製品 1 個とした。CO_2排出量の算定方法は、「機能単位あたりのCO_2排出量＝Σ（活動量×CO_2排出原単位（以下、原単位））」より求めた。

本製品のシステム境界は、図 2 のとおりである。

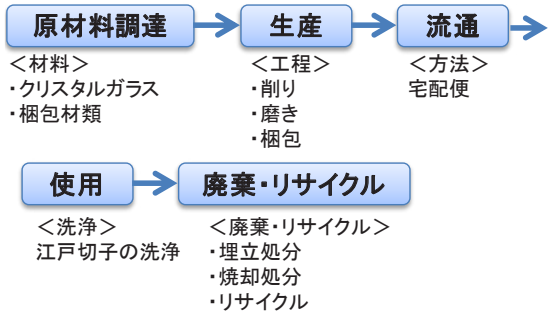


図２　本製品のシステム境界

原材料調達段階では、クリスタルガラスや梱包材である桐箱、緩衝材、包装紙などの調達に係るプロセスを評価した。

生産段階では、削り、磨き、梱包の工程に分けて評価した。生産段階においては、歩留り 100%であるとのヒアリング結果より、廃棄物はゼロとして評価した。さらに、工程間における輸送も評価した。また、工場内で使用する機械、資材等資本財の製造および廃棄については評価対象外とした。

製品の検品や梱包については、人の手で行われているため、環境負荷はゼロとして評価した。

流通段階では、宅配事業会社を利用した工場から客先までの輸送のプロセスを評価した。

使用段階では、江戸切子を洗浄する際に利用する水や洗浄液、ガスの利用に係るプロセスを評価した。

江戸切子の使用頻度や使用年数については、無作為に抽出した約 100 人を対象としたアンケート結果の平均値を用いた。使用頻度は約 10 回/月、使用年数は約 18 年であった。

廃棄・リサイクル段階では、処理場までの輸送と埋立てや焼却処分に係るプロセスを評価した。

4．評価（データ算出）方法

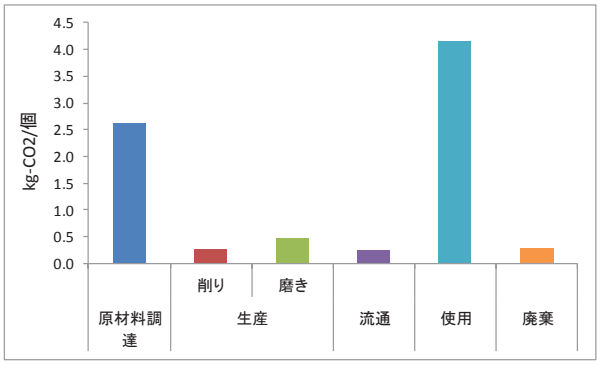
本評価では、製品 1 個製造するのに必要な材料、電力使用量等をヒアリングし、製品 1 個あたりの評価を実施した。

工場内で使用される電力量については、全てヒアリングによりフォアグラウンドデータを取得した。また、製品重量、サイズについてもフォアグラウンドデータを取得した。

バックグラウンドデータには主に、一般社団法人産業環境管理協会の LCA 支援ソフト MiLCA に搭載されているデータベース「IDEA1. 1. 6. 0」2) を利用した。また、輸送の負荷算出に利用した積載率は、データが得られなかったため、公開文献 3) を利用した。製品の出荷にはヤマトグループ CSR 報告書 2014 に掲載されている「ヤマト運輸の車両からの原単位CO_2排出量」4) を利用した。

５．結果と考察

本評価での製品１個あたりに係る CO_2 排出量は8.0kg であった。



	原材料調達	生産		流通	使用	廃棄	合計
		削り	磨き				
本製品	2.6	0.3	0.5	0.3	4.2	0.3	8.0

kg-CO2/個

図３　評価結果

ライフサイクル別で見ると、使用段階の CO_2 排出量が最も大きく、全体の 52%を占めていた。これは、使用年数が約 18 年と長いことが影響している。原材料調達段階は全体の 32%となっており、使用段階と合わせると、全体の 84%を占めている。

６．感度分析

本評価では、アンケートの結果より、江戸切子の使用年数を約 18 年とした。この値は、「江戸切子の使用経験がある、または、江戸切子を知っている人」を対象にした値である。感度分析では、江戸切子の使用年数の違いによる結果への影響を検討した。

本評価の使用年数約 18 年の他に、法定耐用年数[5]から使用段階の負荷を算出した結果をグラフにまとめた。

法定耐用年数は、「食事又は厨房用品（陶磁器製又はガラス製のもの）」の法定耐用年数である 2 年を採用した。

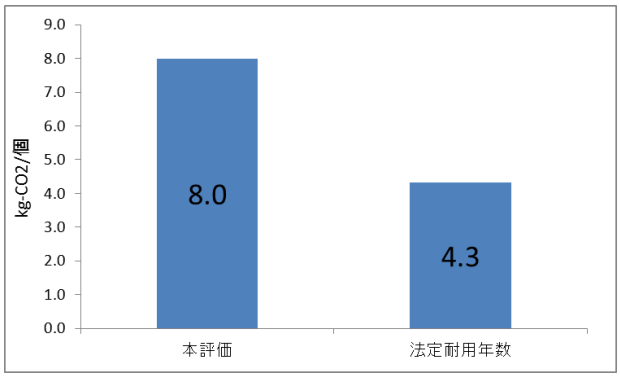


図４　感度分析評価結果　（製品１個あたり）

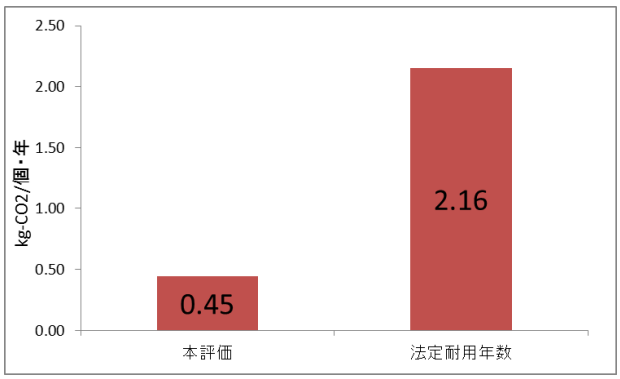


図５　感度分析評価結果（1 年あたり）

使用年数の違いが結果に与える影響を検討した結果、製品１個あたりで比較した場合（図４）では、使用年数が長いほど CO_2 排出量は増加する。使用年数を耐用年数である 2 年とした場合の CO_2 排出量は、本評価（使用年数約 18 年）の約半分であった。

ただし、機能単位を 1 年間あたりとして比較した場合（図５）では、使用年数が長いほど、１年あたりの CO_2 排出量は減少する。使用年数を耐用年数である 2 年とした場合の CO2 排出量は、本評価（使用年数約 18 年）の 4.8 倍という結果になった。

この結果から、江戸切子は、長期間使用されることにより 1 年あたりの環境負荷が極めて小さくなるということがわかった。

７．まとめ

本評価での製品１個あたりの CO_2 排出量は8.0kg であった。これは、江戸切子が伝統工芸品であるが故に「満足感」が高いことで、「大切に扱う」ことによる長寿命性が影響している。そのため、機能単位を 1 年間あたりとした場合では、環境負荷が極めて小さくなることが分かった。つまり、一般的に長く使用される江戸切子を使うことは、環境負荷低減に寄与すると言える。

８．謝辞

本評価の実施にあたり、株式会社堀口切子様より、製造工場内の調査にご協力をいただきました。ここに感謝いたします。

参考文献

1）株式会社堀口切子　＜http://kiriko.biz/＞
2）一般社団法人産業環境管理協会、LCA 支援ソフト MiLCA「IDEA1.1.6.0」
3）「物流分野の CO_2 排出量に関する算定方法ガイドライン（経済産業省・国土交通省）」
4）ヤマトグループ CSR 報告書 2014
5）減価償却資産の耐用年数等に関する省令

地域差を考慮したウォーターフットプリント用データベースの開発

Development of database for water footprint considering the spatial differences

○丸田隆之*[1)]、小野雄也[2)]、伊坪徳宏[1)]
Takayuki Maruta, Yuya Ono, Norihiro Itsubo
1) 東京都市大学, 2)東京大学生産技術研究所
* g1231191@ tcu.ac.jp

1. はじめに

世界経済フォーラムのグローバルリスク報告書 2015 年版によると様々な環境リスクのなかで最も重要なリスクのひとつとして水リスクを挙げている。水資源の希少性や遍在性、また急激な人口増加や途上国の生活レベル向上によって水不足が深刻化し、食糧難やこれに伴う疾病の蔓延が懸念されている。水リスクを捉えるための手法としてウォーターフットプリント(WF)が注目されているなか、その利用原則と実施手順に関する要件に関する国際規格 ISO14046 が発行された。

水リスクは偏在性が高いため、ISO14046 では地域性を考慮することを要求しているが、現存のインベントリデータベースは水を消費する地域に分類したものは少ない。地域分類したインベントリデータベースが構築されれば、消費地点の特徴を考慮した影響評価手法に適用することで WF の信頼性は大きく向上するものと期待される。

2. 研究目的

本研究では、産業連関表や工業統計を含む各種統計を用いつつ、可能な範囲で地域情報を反映した日本の水使用・水消費原単位を作成することを目的とした。

地域性の反映は、直接水消費量と間接水消費量の双方を地域に分類することが求められるが、本研究では、特に直接水消費量を地域に分類することを優先した。

3. 研究方法

3.1 水使用総量・水消費量原単位の作成方法

IS014046 によれば、消費水は「取水されたもののうち、同じ流域に返流されない水量」を指し、蒸散、蒸発、製品への包含、異なる流域や海への放流が含まれる。本研究では米の蒸発散、畑への投入水、家畜への投入水、育林への投入水、工場に使用される原料水、ボイラー用水を消費水と定義した。また、使用水は取水量と回収水量の総量とした。消費水と使用水の合計は水使用総量であり、水使用総量は雨水、河川水、地下水、回収水の合計と等しい。」と定義する。産業連関分析法を用いることで各産業の直接水使用総量・水消費量だけでなく、サプライチェーンの上流工程における間接水使用総量・水消費量の推計を行うことが可能となる。

式（1）は産業連関分析に基づく原単位 e の算出式である。

$$e = d \times (I - A)^{-1} \quad (1)$$

ただし、d は直接投入係数、I は単位行列、A は投入係数表である。本研究では 2011 年の農林水産省による耕地及び作付面積統計、作物統計（普通作物・飼料作物・工芸農作物）、野菜生産出荷統計、果樹生産出荷統計や経済産業省による工業統計を用いて、産業連関表の基本分類ごとに、取水源を区別しつつ、年間水消費量を求めた後に年間生産額で除することで、単位生産額あたりの直接水消費量を求めた。さらに産業連関表のレオンチェフ逆行列を用いることで間接分の水消費量を得て、水消費量の原単位を得た。（図 1）

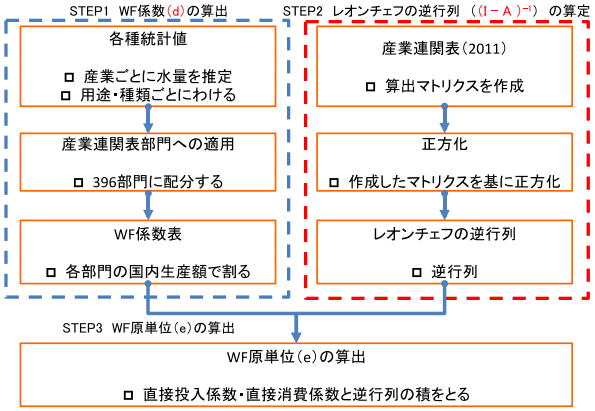


図１ 水使用総量・水消費量原単位の算出方法

4. 評価対象および評価範囲

日本国内、および海外の生産・消費活動を通じた水使用総量と水消費量を対象とした。ただし、本研究では海外における水使用総量と消費水量は国産仮定型を採用した。これらは取水別（雨水・河川水・地下水・回収水）、地域別に分けて水量を推計した。地域は 9 地域（北海道・東北・関東・中部・近畿・中国・四国・九州・沖縄）に区分して直接水使用総量、消費水量を算定した。本来は、地域間産業連関分析を利用して、地域間の移出入を考慮した

分析を行うことが望ましいが、最新の 2011 年表は地域表がまだ公開されていない。そこで、本研究では地域性の反映はWF の結果に大きな影響を与える直接分の地域分類を優先し、間接分は日本平均の値を用いることとした。

本研究では、水資源データベースの構築に際して、産業連関表（2011 年表、基本 396 分類）を用いているため、産業連関表基本 396 分類の各産業に対して、国内外における直接および間接を考慮した総水使用量を推定している。

5. 結果

本研究（2011 年産業連関表を用いた水消費量原単位）と既存研究（2005 年産業連関表を用いた水消費量原単位）の比較結果を図 1 に示した。

2005 年と 2011 年の水消費量原単位は同じ傾向を示した。相対的に 1 次産業の総量が大きく、2 次産業、3 次産業は一部を除いて 1 次産業より小さな値を示した。

2005 年と 2011 年の結果は、2 次産業と 3 次産業の水消費量原単位は近いが、1 次産業は若干両者において異なるものが見られた。原単位が大きくなった部門は 1 次産業に多く、小さくなった部門は 2 次産業に多かった。最も違いが大きくなった部門は麦類で、2005 年と比較して、約 4 倍となった。直接分は同等の値だが、国内生産額が約 1/5 倍の値となったことが要因と考えられる。

2 次産業は 2011 年度の原単位の方が全体的に 2005 年の原単位よりも小さくなった。2005 年から 2011 年にかけて産業が発達して、国内生産額が増加したことと、高い回収水の利用率を維持したことが要因と考えられる。食品加工業・製材・製皮・毛皮など 1 次産業からの影響が大きい部門を除いて、水消費量原単位は相対的に小さかった。

3 次産業については、工業用水及び上水道・簡易水道の水消費原単位はほぼ同等であったが、これら以外の各部門は全体的に 2011 年の方が 2005 年より小さい傾向を示した。これは、生産額の増加によるものと考えられる。

米部門と電力部門のおける 9 地域別の直接水消費量（m³/百万円）を表 1 に示した。米部門は生産量の多い地域において水消費量が大きくなった。電力部門は東北電力と北陸電力があるため、東北地方において電力消費量が大きくなった。

	米	電力
北海道	1.7.E+03	1.5.E-01
東北	6.6.E+03	5.8.E-01
関東	7.3.E+03	2.9.E-01
中部	2.8.E+03	4.3.E-01
近畿	2.4.E+03	3.5.E-02
中国	2.0.E+03	2.2.E-01
四国	1.1.E+03	1.6.E-01
九州	3.5.E+03	3.5.E-01
沖縄	1.4.E+01	6.1.E-02

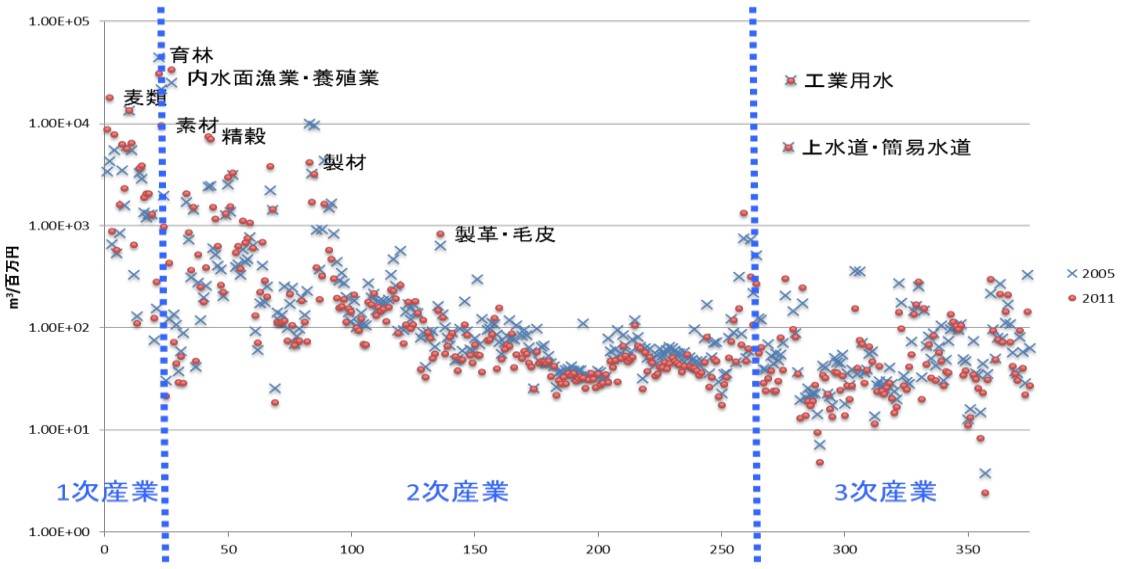
表 1　9 地域別の水消費量（m³/百万円）

6. まとめ

本研究では 2011 年産業連関表を用いて、日本の地域差を考慮したウォーターフットプリント用原単位を開発した。現時点では地域ごとの直接水消費量、水使用総量を産業連関表の一国表を使用していたため、間接分は地域の違いを反映できていない。地域間産業連関表の公開を受けて、地域間の移出入を考慮したデータベースを作成することができる。

引用文献

1) 小野雄也、伊坪徳宏：“ウォーターフットプリントへの応用を指向した水インベントリデータベースの開発”
2) 小野雄也、伊坪徳宏：“水の消費と汚染に着目したウォーターフットプリント用データベースの開発”



拡張データセット検索エンジンの提案

Proposal of an extended dataset search engine

○正畠宏一*[1)]、田原聖隆 [2)]
Koichi Shobatake, Kiyotaka Tahara
1) TCO2 株式会社, 2) 国立研究開発法人産業技術総合研究所
* shobatake@tco2.com

1. はじめに

LCA はその実施により製品や組織等の被算定対象が与える環境影響を明らかにし、意思決定を補助する。また、被算定対象のライフサイクル段階や評価対象とする影響領域を拡張することで、ホットスポットやトレードオフの状態を明らかにし、自身が関係するより広い経済システムの環境影響への理解を促す教育効果も見込まれる。しかしながら、LCA を実施する場合には、非常に簡易なスクリーニング的な実施結果の取得であっても、LCA の方法論の理解やそれに沿ったデータ収集、汎用的ではないソフトウエアの習熟等、労力や時間、コストがかかるといった問題が存在している。そこで、近年はサステナビリティコンソーシアムの提供する CSP（Category Sustainability Profile）のように、あらかじめ専門家によって製品カテゴリ毎にまとめられたホットスポットや改善機会を短いドキュメントとしてまとめて提示し、LCA は実施しないというアプローチも登場してきている。これは一見効率的なように思えるが、やはり自身に深く関係のある一次データに基づいて見える化を行うからこそ、具体的な理解や改善が進むという側面があることも否定できない。

現在、社会には BOM（部品表）や財務会計情報等、その表データを構成する行項目を中間フローとして LCI データベースへ上流連鎖するだけで、サプライチェーンに関わる影響を算出することができる生データが数多く存在しているが、これらの多くは LCA 実施のための投入情報として用いられてはいない。この原因の一つとしては、現在ソフトウエアや原単位表に含まれる二次データセットの検索は単純なプロセス名ないしは中間フロー名の部分一致検索、カテゴリ探索、長いコメント文章に頼っているのが実情であり、これが一つのボトルネックになっていると推測される。これは二次データセットを特定する方法が困難である問題とも言え、LCA の実施において未熟な実務者が不適切なデータセットへ連鎖を行い、結論を導いている場合もあると推測される。更に、検索対象の二次データとして利用できる LCI データセット数は着実に増え続けているものの、そのデータセットの命名規則（Nomenclature）や分類分け（Category System）の規則はデータベースやフォーマット毎にまちまちであり、これらを整理してデータベース間で整合性を保つ取り組みも始まったばかりである。そこで、本研究では、次のような活用シーンを想定したデータセット検索エンジンとそれを実装した WEB アプリケーションの開発を行い、その内容や効果、課題について報告する。

(1) LCA ソフトウエアにおけるデータセットの検索効率の向上
(2) 既に行われた LCA の中間フローの連鎖状況の検証や感度分析を行う候補データセットの取得

2. 検索エンジン

2.1 命題

本検索エンジンに与えられた命題は「ある検索語（行データで与えられた名称）を複数のデータセットからなる母集団中のいずれかのデータセットへ上流連鎖させるとする条件下で、より妥当と推測されるデータセットを探索し、優先順位を付けて一覧化する」である。

2.2 検索ロジック

本検索エンジンでは次の図に示すロジックで通常のデータセットの検索を拡張し、カテゴリ名、同義語、類似語、過去の検索語を加味した上でデータセットの優先順位付けを行うことで検索の改善を試みた。

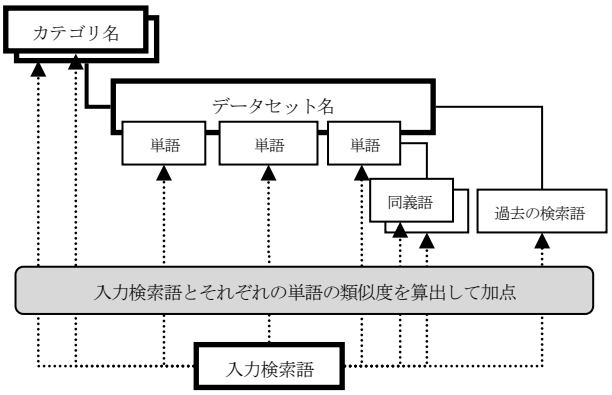


図 1　入力検索語とデータセット名の加点イメージ

(1) データセット名とカテゴリ名を可能な限り単語へ分解した上で、その単語の同義語やその和名、英名を辞書として準備する。
(2) 検索語と辞書の単語の類似度（部分一致を含む）

を取得し、その類似度に応じて関連するデータセットへ加点を行う。

(3) 過去の検索語と特定のデータセット名の連鎖実績に対して加点を行う。

(4) 複数の検索語に対する各データセットの点数を合算し、点数の高いデータセットから降順にその一覧を表示する。

2.3 実装

前述の検索ロジックをクラウド型の WEB アプリケーション（http://lci.tco2.com/）として実装した。検索語の入力を行うと、図 2 に示すように加点された全データセットが降順に表示される。

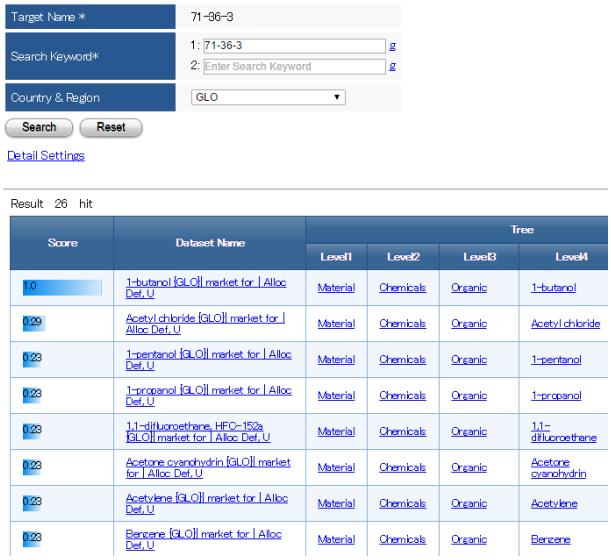


図 2　検索結果画面イメージ

図 2 の例では、検索語として CAS 番号「71-36-3」が、地理的条件として「GLO」（グローバル）と入力され、「1-butanol {GLO}| market for | Alloc Def, U」が最も優先度が高いデータセットとして表示された結果の画面である。結果一覧の 1 列目は検索語に対するデータセット毎の点数、2 列目はデータセット名、それ以降はそのデータセットが所在するカテゴリを表している。なお、このデータセットの出力製品である「1-butanol」という単語には、あらかじめ「ブチルアルコール」「3-メチル-1-プロパノール」「n-Butanol」「C4H10O」「71-36-3」等、和名や英名や分子式等、20 以上の同義語が登録されており、そのいずれに類似する検索語が入力されても、当該データセットが加点されて上位表示される結果となる。また、一度検索してユーザーが有効な結果と判断して保存した検索語とデータセットの組合せは、記録され、次回、同じ検索語で検索した際には、加点されて上位表示されるロジックも実装されている。

2.4 課題

本データセット検索エンジンを使用して明らかになった主な課題を示す。

(1) 追加の絞り込みが必要な場合

入力したキーワードに対応するデータセットが数多く存在する場合（例：Electricity）や、化石資源のように原材料製造と燃料使用のデータセットが両方存在している場合には、製品名称だけでは、同じように優先順位付けされた選択肢が複数表示されてしまい、より妥当性の高いデータセットを提供するには、絞り込みをするための追加キーワード入力をユーザーに要請するか、別のロジックによる優先順位付けが必要となる。

(2) エキスパートジャッジの再現

多数のエキスパートが本システムを利用し、その連鎖例が多く蓄積されない限りは、エキスパートジャッジによる LCA 的な意味の近さ（所謂あてはめ）を優先順位に有効に反映することはできない。逆に未熟なユーザーが多く利用している場合、適切でない連鎖が有効と判断されてしまい、その蓄積が優先度へ影響し、妥当でない優先順位付けが行われてしまう可能性もある。これは、ユーザーの LCA 実施経験や LCI データベースの理解度に応じた加点ロジックの導入が必要なことを示唆しているのかもしれない。

3. まとめと今後の展望

本研究では、データセットの検索を拡張し、優先順位を付けて一覧化するロジックを提案した。また、そのロジックを実装した WEB アプリケーションを開発し、その活用シーンと課題について検討を行った。今後は、LCA ソフトウエア等へ本検索機能を提供することで、より多くのユーザーが利用する条件下で、本検索エンジンがもたらす LCA モデル構築に際しての具体的な効率の向上効果を検証していく予定である。

また、BOM や財務会計情報から、影響評価結果を全自動で導き出すことを実現するには、有効な単位変換（例：MJ⇒kg 等）が必要となる。あらかじめ単位変換済みのデータセットを LCI データベース側で持った上でそれらを特定するか、そのようなデータセットが存在しない場合のためのマスターを検索エンジン側で準備して変換する形とするかについては、各々のデータベースとの調整が必要となるであろう。

謝辞

本研究の実装は「中小企業・小規模事業者ものづくり・商業・サービス革新事業」の支援を受けた。

2011 年版産業連関表を用いた建築実務者向け原単位データベースの構築

開発の方針とデータベース構築状況

Development of CO_2 emission intensity database for building designer
Concept and progress of database development

○小林謙介*[1)]、外岡豊[2)]、前田拓生[3)]
Kensuke KOBAYASHI, Yutaka TONOOKA, Takuo MAEDA
1) 県立広島大学, 2) 埼玉大学, 3) 早稲田大学
* kensuke@pu-hirodhima.ac.jp

1. 背景・目的

建築分野での CO_2 排出量は、全排出量の 3 分の 1 を占めるとも言われている。その削減策の検討には、LCA の実施が欠かせない。LCA を実施するうえで欠かすことができないのがバックグラウンドデータベースである。

建築分野では、日本建築学会 地球環境委員会 LCA 評価手法検討小委員会（主査：小林謙介、http://news-sv.aij.or.jp/tkankyo/s5/）によって、建物の LCA 指針[1)]やツール・原単位データベースの開発が行われている。建物の LCA 指針で公表されているのは 2005 年版を用いた原単位データベースであるが、すでに 10 年前のデータとなっている。2011 年の震災後、わが国の電源構成は大きく変わり、原単位も少なからず変わっていることも推測され、その状況が 5 年ほど経過していることになる。そのような中で、2015 年 6 月には、2011 年版産業連関表[2)]が公表された。

そこで筆者らは、2011 年版産業連関表を用いた新たな原単位データベースの研究・開発に着手した。本報告では、その第一報として、開発方針と進捗状況について述べる。

2. 開発方針

2.1 開発の全体像

本原単位データベースは、建築実務者向けに公開することを想定している。このデータベースは、①産業連関表をベースとしたデータと、②建築分野で使用頻度が高い項目を収録した参考データとから構成されている。

本報告では、このうちの①の研究・開発状況について説明する。現状では、エネルギー消費量と CO_2 排出量の原単位の開発に着手している。②については、筆者らの一連の研究[3)]にて報告を行っている。これらに関して、①で作成予定の原単位に連鎖し直して、年次を更新する予定である。

2.2 ベースとして用いる統計データ

本検討では、2011 年の産業連関表および総合エネルギー統計[4)]を用いて環境負荷原単位データベースを構築している。産業連関表の物量表からもデータベースを構築することができるが、物量データがない項目（例：コークス）が少なくない。また、物量データを得られても、それが複数の燃料の平均的な単位換算値である場合があり、そのデータを用いることで精度が落ちることも懸念される。このため、物量ベースでデータを公開している、総合エネルギー統計のエネルギーバランス表の値を用いてわが国の総排出量との整合性をとった。

2.2 他のデータベースとの関係

世界的なデータベース統合の流れの中で、わが国にも IDEA[5)]をはじめ複数のデータベースが存在している。それぞれのデータベース・あるいはそのデータベースに収録されたデータは、異なった目的で作成されており、自らの評価目的に合致しているかどうかを判断して利用するデータベースを選択すべきである。しかし現実には、利用者にそこまで考慮されることなく混用されることも少なくない。また、そうした情報を利用者が得にくいケースもあると考えられる。そこで、本データベースは、可能な範囲で、これらとの整合性をとる形を目指す。少なくともデータフォーマットは IDEA などのデータフォーマットと、記述事項を合わせる予定である。

3. 推計方法

3.1 総合エネルギー統計を用いて補正した部門別エネルギー消費量・CO_2 排出量の推計

産業連関表の基本表における産出表から、燃料、電力のエネルギー品目がどの部門に産出されているかの金額データを得ることができる。また物量表から各種固有単位で燃料製品 ton、kl、KNm^3 等の投入量が得られる。一方、燃料の中には、金額しか得られない品目も存在する。2011 年表ではコークスが物量表に掲載されていなかった。また、その他の石炭製品、その他の石油製品は、金額のみの掲載で、その内訳の燃料種類は特定されず物量も得られなかった。こうしたこ

とから、本推計では、原則として総合エネルギー統計に掲載されているエネルギー消費量・炭素排出量データを用いて補正し、それを産業連関表の金額で各部門に割り振る形とした。

その他の石炭製品、その他の石油製品は、国内生産額表に細品目別生産額と各種固有単位の生産量が掲載されており、それぞれの産出根拠となった価格も示されているので、その内訳をもとに燃焼用途に使われているエネルギー消費量と CO_2 排出量を計算した。また、その他石油化学基礎品の一部は燃料として使われる製品が含まれているため、そのエネルギー消費量（高発熱量）と CO_2 排出量を推計した。

産業連関表は、全目的の投入産出が記録されているので、排出量推計には排出を伴わない投入産出を除外した基礎量としてエネルギー関連品目の産出量を抽出し、それに基づいた排出量推計を行うことが、本推計での最も重要な基礎作業となる。そこでコークス製造に投入された原料炭、石油製品製造に投入された原油、都市ガス製造に投入された天然ガス（LNG）、その他の燃料等、エネルギー転換部門投入を区別した。事業用、自家発電用ともに火力発電用と蒸気発生用燃料、および熱供給事業は排出を伴うので最終消費と同列に扱った。最終消費のうち原料用に投入されたものは燃焼せず排出を伴わないので、石油化学基礎品原料等非エネルギー用投入分を区別した。

産業連関表から得られる情報は部門間の投入産出関係であって、どのような用途に投入されたかはわからない。わずかに参考になるのは特殊符号で、コークスからの副生ガス等、副産物発生量から重複集計を避ける控除分を得た。CO_2 排出量を推計するにはエネルギー用途として燃焼した消費量を確定しなければならない。そこで総合エネルギー統計におけるエネルギーバランス表から、非エネルギー用途消費量を得て、それを参考に CO_2 排出を伴わない投入先と投入量を特定した。燃料種類別に非エネルギー用途の投入量または割合として本推計に取り込み排出起源となる消費量を特定した。

非エネルギー用途の投入量に関して産業連関表とエネルギーバランス表で相互に大きく異なる不一致部分があったが、現時点の推計では産業連関表からはずれた部分はエネルギーバランス表からの数値を取り込むことを避け、産業連関表における部門構成を優先した推計を行っている。

3.2 非エネルギー起因の CO_2 排出

日本での CO_2 排出量は炭素を含む燃料の燃焼からの排出が圧倒的に多いが、それ以外の CO_2 発生源として石灰石を原料とするセメント（これをクリンカと呼ぶ）の焼成、石灰石膏法脱硫について計上の対象とした。カーボンブラックの製造工程等、いくつかの工業プロセスでも CO_2 の排出がある。そのため、今後これらについても検討が必要である。

また廃棄物からの CO_2 排出はその一部がバイオマス起源であり、京都議定書では計上しない対象であるため正確には廃棄物組成を想定した推計が必要になる。

3.3 主要な輸入品についての海外波及効果の考慮

本推計の特徴には、主要な建築材料である鉄やアルミニウムなどの誘発量推計において、海外波及を正確に推計することが挙げられる。これらの基本方針は筆者らの 1990 年表の推計において確立されており、本手法を用いて今後検討を行っていく予定である。

4. 今後の開発に向けて

本検討における原単位データベースの構築は、現段階では着手段階で、エネルギー消費量と CO_2 排出量の開発のみにとどまっている。現在、日本建築学会の LCA 評価手法検討小委員会では、LCA 実施に関するアンケート調査を実施しており、そこでは、多様化する環境負荷物質の評価ニーズの分析を行っている。それらの結果も踏まえ、今後エネルギー消費量・CO_2 排出量以外で、特に建築分野で評価ニーズが高い環境負荷物質の評価を可能にするための検討ができればと考えている。

5. まとめ

本報告では、日本建築学会 LCA 評価手法検討小委員会が中心となって実施している、新たな原単位データベースの研究・開発について、その第一報としての報告を行った。本データベースは、2011 年版産業連関表を用い、総合エネルギー統計を用いて補正を行ってより実態に近い原単位とすることなどを特徴としている。現時点では、エネルギー消費原単位と CO_2 排出原単位データベースの構築を行っている。

参考文献

1) 建物の LCA 指針　～温暖化・資源消費・廃棄物対策のための評価ツール～　改定版、日本建築学会、2013.2　2) 総務省統計局、2011 年産業連関表、2015.6　（http://www.soumu.go.jp/toukei_toukatsu/data/io/ichiran.htm）3) 小林ら：建築物の LCA における評価精度の検討　建築学会原単位データベースに優先的に追加 すべき項目の抽出と追加による精度の改善、日本建築学会環境系論文集 No.707 pp.91-98、2015.01　4) 経済産業省 資源エネルギー庁、総合エネルギー統計　（http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/）5) 田原、小林ら：網羅性を考慮したインベントリデータベース（IDEA: Inventory Database for Environmental Analysis）の開発状況、日本 LCA 学会研究発表会、2010.3

インベントリ分析における評価精度向上に関する検討
IDEAver.2 を用いた建築物の資材製造時・改修時における評価誤差の試算

Study on Improvement of Estimation Accuracy on Inventory Analysis
Trial Examination on Evaluation Errors Utilizing IDEAver.2 in Case of Housing Material Manufacture and Repair Processes

○河上慎太郎*1)、小林謙介*2)、恒川智美 2)、田原聖隆 3)、井上隆 1)
Shintaro Kawakami, Kensuke Kobayashi, Tomomi Tunekawa, Kiyotaka Tahara, Takashi Inoue
1) 東京理科大学, 2) 県立広島大学, 3) 産業技術総合研究所
*1 7114618@ ed.tus.ac.jp　*2 kensuke@ pu-hiroshima.ac.jp

1.はじめに

LCA 実施におけるインベントリ分析では、あらかじめ整備されたバックグラウンドデータの利用が一般的である。しかし、バックグラウンドデータの品質が十分に考慮されないまま、LCA が実施されると誤った結果解釈を招く恐れがある。

既報 1) において住宅を例とした資材製造時における CO2 排出量の評価誤差を分析した。住宅を基礎・躯体・内外装・設備と分類した時、内外装と設備での誤差が大きいことが分かった。設備の負荷量は内外装ほどでないが、個別データで見たときに誤差の大きさを示す変動係数で高い値を示す原単位項目が多く見受けられた。また住宅は生活環境を維持するため、建築の一部は修繕や改修が行われる。その中でも設備は比較的、短い期間で更新される。

そこで本研究では資材製造時に加え、改修時まで含めた評価誤差の分析を行い、影響の大きい原単位項目を明らかにする。

2.試算概要

事例住宅 11 件（木造戸建て 6 件、木造集合 3 件、S 造戸建て 1 件、RC 造集合 1 件）の資材製造時・改修時に伴う CO_2 排出量のインベントリ分析を実施し、バックグラウンドデータ利用時の評価誤差を分析した。

2.1.使用データ

本検討では、表 1 に示す詳細な資材が把握できる実施設計段階を想定した資材データを使用した。バックグラウンドデータは IDEAver.2.0(Inventory Database for Environmental Analysis version.2.0)2)を使用した。なお資材データは使用箇所ごとの膨大なデータのため、分析に影響のない範囲で部位ごとに集約して考察した。

2.2.改修時の検討

住宅寿命は 35 年と設定し、各資材の耐用年数は社団法人　建築・設備維持保全推進協会の「建築躯体・部材・設備等の耐用年数調査」報告書 3) のデータを参考にした。

表 1. 事例住宅の概要

		住宅①	住宅②	住宅③	住宅④	住宅⑤	住宅⑥	住宅⑦	住宅⑧	住宅⑨	住宅⑩	住宅⑪
主要構造		木造戸建						S造戸建	RC造集合	木造集合		
延床面積		164m²	141.6m²	184.4m²	165.4m²	175.6m²	143m²	119m²	25622m²	331.1m²	370.2m²	357.7m²
資材データ数		121	112	112	103	122	212	156	260	333	371	485
主要投入資材	基礎	砕石・生コンクリート							生コンクリート 鉄筋	砕石・生コンクリート		
	躯体	製材・合板						鉄骨 鋼板		製材・合板		
	内外装	窯業系 サイディング 石こうボード	モルタル 石こう ボード	合板 石こうボード			ガラス 石こう ボード	石こう ボード	合板 造作材	合板 石こうボード		
	設備	ユニットバス システムキッチン			システム キッチン ケーブル	ユニット バス システム キッチン	太陽電池 パネル	ユニット バス システム キッチン	ケーブル 開閉器	ユニットバス システムキッチン		

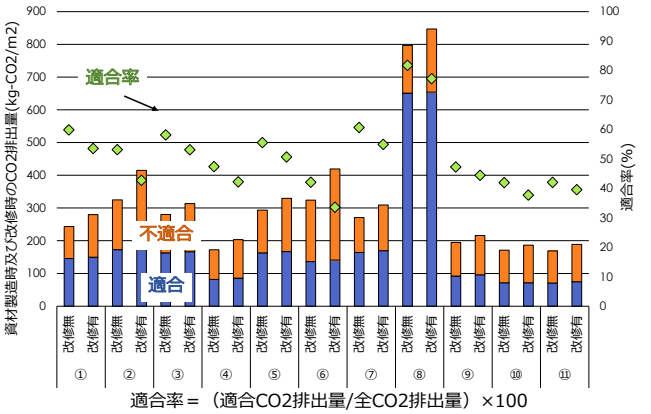


図 1. 適合性評価結果（住宅別）

2.3.評価誤差の算出手法

本検討においては住宅資材データと IDEA 原単位の有効範囲不一致により生じる誤差を扱う。その評価手法として「適合性」1)を用いた。

適合性評価によって不適合と判断された原単位項目には IDEA データベース（以下 DB）をもとに作成した誤差 DB を利用し、誤差を算出した。本分析においては新たに誤差 DB を作成した。IDEADB は細分類、詳細分類、個別データとより細かい分類になる階層構造を有している。適合性の判断をするデータは詳細分類であるため、誤差 DB は詳細分類に付属する個別データの分散をとるのが基本となる。また誤差 DB 作成の際にはより実態に即した値を得るため、製造業に関わる部門には重み付けとして該当する最新年次の工業統計 4)の生産額を使用した。既報で利用した誤差 DB の作成の際のもととなった

DB は IDEAver.1 で生産額データは 2005 年のものを使用していた。今回の ver.2 の誤差データベースは、現段階で入手可能な最新年の 2013 年のデータを用いて構築した。IDEAVer.2 は、表 2 に示すように分類もより細かくなっており、ver.1 よりも適合率の向上も期待できる。

3.評価結果

3.1.適合性評価結果

住宅別の適合性評価結果を図 1 に示す。改修を含めた評価では CO2 排出量が 10~30%程度増加し、適合率が 5~10%程度低下した。住宅を基礎、躯体、内外装、設備と部位分けしたとき、基礎・躯体は改修がないため数値の変動はなかった。内外装は CO2 排出量が 5~10（kg-CO2/m2）増加し、適合率は 2~4%低下したが変化は小さかった。資材の更新はあったが、防水シートなど特定のものを除き適合率に大きな影響を及ぼす項目が少なったことが要因である。設備の結果を図 2 に示す。CO2 排出量が約 10~80（kg-CO2/m2）と他の部位に比べ増加量が多く、適合率が極めて低い状況に変化はなかった。住宅②と住宅⑥は太陽パネルなど機器の負荷量が多く、更新されるため大きな変化が見られた。設備は適合率が上昇したものの適合率が低く負荷量が大きく増加したため、住宅全体として適合率が低くなったことが分かった。

3.2 誤差評価結果

住宅別の誤差評価結果を図 3 に示す。住宅⑥と住宅⑧の変動係数はほとんど変化しなかったものの、他の物件では 0.04～0.1 程度増加した。図 4 に示すのは設備の誤差評価結果である。多くの機器が更新され CO2 排出量が増加したものの変動係数の変化はほとんどなかった。しかし、元々変動係数の大きい設備の負荷量が増えたことにより住宅全体の誤差が大きくなることが分かった。このことより改修を含めた評価では内外装だけではなく設備の誤差に与える影響が大きくなることが分かった。設備の中でも負荷量が大きく誤差の大きい原単位項目を表 2 に示す。影響与える原単位項目は限られていることからこれらを優先的に改善することで精度向上が期待できる。

4.まとめ

住宅を例に最新のバックグラウンドデータである IDEAver.2 を用いて資材製造時・改修時の評価誤差について分析を行った。改修を含めた評価ではより設備の誤差の影響が大きくなることが分かった。また影響の大きい原単位項目は数種類に限られているため、優先的にこれらの項目を改善することで精度向上が見込める。

表 2. 誤差 DB 作成時の使用データ

	網羅性が担保		網羅性未担保	工業統計	
	細分類(4桁)	詳細分類(6桁)	個別データ(9桁)	調査年	有効データ数
IDEAver1	630	1664	1078	2005	1332
IDEAver2	634	1730	1499	2013	1769

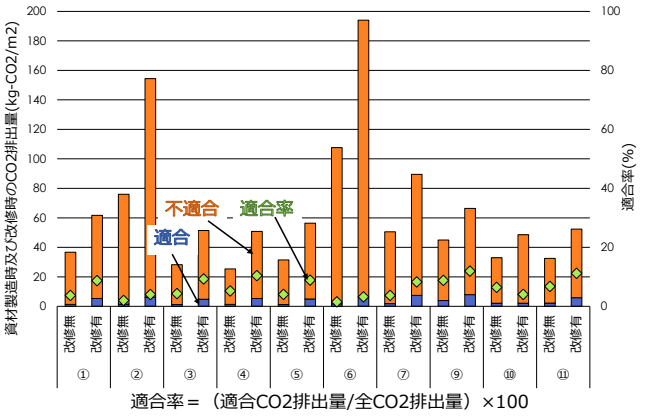


図 2. 適合性評価結果（部位別：設備）

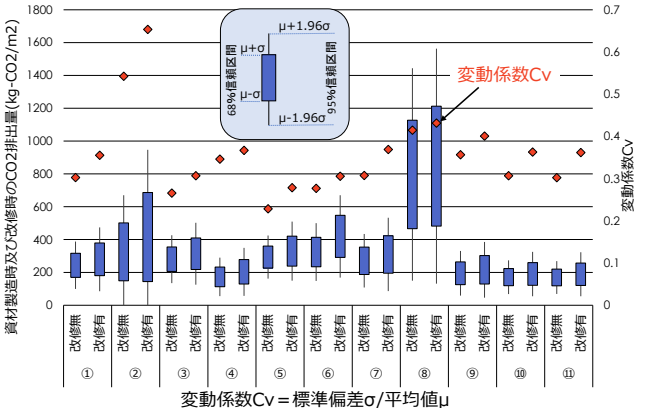


図 3. 誤差評価結果（住宅別）

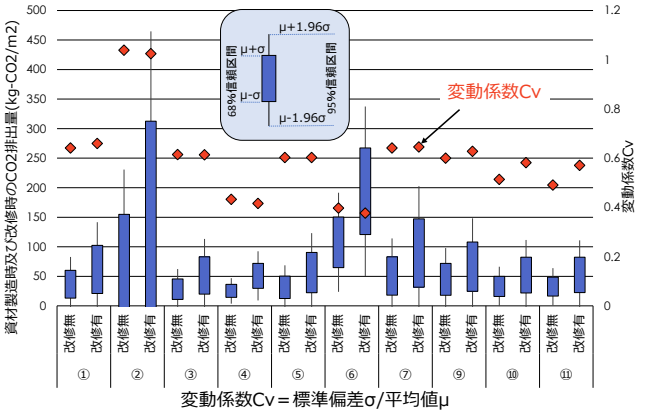


図 4. 誤差評価結果（部位別：設備）

表 3. 設備で影響の大きかった原単位項目

分類コード	原単位項目名	CO2排出係数		変動係数
		kg-CO2/unit	unit	Cv
141112000	木製流し台・調理台・ガス台(キャビネットが木製のもの)	0.003	円	0.490
194411000	強化プラスチック製容器・浴槽・浄化槽	4.446	kg	0.859
244116000	通信ケーブル	11.044	kg-導体	0.410
244115000	電力ケーブル	8.015	kg-導体	0.410
253213000	ガス湯沸器	93.847	台	0.863
253912000	太陽熱利用機器	242.099	台	1.295
267311000	エレベータ	0.851	kg	4.346
271313000	分電盤	46.667	面	1.849
271413000	接続器	0.135	個	0.698

引用文献
1)小林謙介ら：建物の LCA における評価精度の検討　データの適合性が評価結果に及ぼす影響の分析、日本建築学会環境系論文集　第 77 巻、第 680 号、pp.813-818,2012 年 10 月
2) 田原聖隆ら：網羅性を考慮したインベントリデータベース（IDEA: Inventory Database for Environmental Analysis）の開発状況、第 5 回日本 LCA 学会研究発表会、2010.3
3)社団法人：「建築・設備維持保全推進協会：建築躯体・部材・設備等の耐用年数調査」報告書、1998 年 3 月、pp.55-63
4) 経済産業省：”工業統計調査”、入手先〈http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/kougyo/〉、（参照 2015-12-25）

国内外都市の総合評価手法の開発
その 5　新興国各都市を対象とした環境効率の観点からの過去･現在の時系列評価

Development of Comprehensive Assessment Tool for Cities around the World
Part5 A Time-Series Assessment of Cities in Developing Countries from the Perspective of Environmental Efficiency

○藤田省一郎*[1)]、伊香賀俊治[1)]、村上周三[2)]、川久保俊[3)]、山崎潤也[1)]、鈴木健太郎[1)]
Shoichiro Fujita, Toshiharu Ikaga, Shuzo Murakami, Shun Kawakubo, Junya Yamasaki, Kentaro Suzuki
1) 慶應義塾大学, 2) 建築環境・省エネルギー機構, 3) 法政大学
* shoichiro@ z6.keio.jp

1. 背景・目的

2050 年には世界人口の約 7 割が都市に居住すると予測され､特にアジア地域では都市人口が 1970 年度比の約 2.7 倍増加すると報告されている[文 1)]。また、都市化の進む新興国において今後先進国と同等まで都市の品質（環境、社会、経済）が向上した場合、環境負荷の加速度的な増大が懸念され、今後は持続可能な都市環境づくりを目指す気運が世界的に高まっている。そこで新興工業国 BRICs の中で CO_2 排出量が最大であり、かつ近年の急速な経済成長に伴う大気汚染が各地で問題となっている中国に着目し、その主要 4 都市において前報で提案された都市総合評価手法[文 2)] を用いて時系列評価を行った。これより、今後の持続可能な都市環境づくりに向けた取り組みを検討する上での基礎資料を提供することを本研究の目的とする。

2. 研究方法の概要

前報の評価手法に各都市の統計データを入力して都市環境評価を行った[注 1)]。入力データについては国の統計データベースや学術論文等を参照し、1995 年、2000 年､2006 年､2011 年時点の統計データを収集した[注 2)]。縦軸を都市の品質 Q のスコア､横軸を環境負荷 L のスコアとした BEE チャート上における各年次の評価の推移から各都市の都市環境について考察した。

3. 評価結果

中国における都市開発や経済発展、文化の中心を担う直轄中心都市の 4 都市（北京市、上海市、天津市、重慶市）を対象とした時系列評価結果を示す。

3.1 北京市

北京市は Q が 2000 年から 2011 年にかけて向上し、L は 2006 年から 2011 年にかけて改善した（図 1･表 1）。L の改善は 2008 年に行われた北京オリンピック開催時に自動車の乗り入れ禁止等の交通規制や近隣工場の作業停止等の対策を行ったことが要因の一つと考えられる[文 3)]。ただし、2015 年 12 月には北京市政府が深刻な大気汚染が続くと予想される 4 段階の警報のうち最高レベルの「赤色警報」を発動する等[文 4)]、同市は 2015 年現在でも工場や自動車の排気ガスによる環境問題が顕在化しており、交通規制等がなされていない 2015 年では Q1 および L が悪化している可能性がある。このことから、同市では環境および L に配慮した都市施策考案が今後も不可欠である。

3.2 上海市

上海市は 2000 年から 2011 年にかけて Q が向上した。（図 2･表 2）一方で L は 1995 年から 2006 年にかけて悪化し、2011 年には改善される推移を描いた。2006 年から 2011 年にかけての L 改善の背景として、2010 年の上海万博に向けたクリーン開発メカニズムに基づく排出権取引のモデル事業が開始される等の環境対策を行ったことが要因の一つと考えられる[文 5)]。

3.3 天津市

天津市は 2000 年から 2006 年にかけて Q が大幅に向上した。（図 3･表 3）要因として地理的に北京市に近く、港湾都市として貿易を通じて開発が進んだことが挙げられる。一方で L は悪化しているため、有効な L の改善策を講じる必要性がある。中国最大の対外開放港として海外から経済成長の後押しとともに、L 改善に寄与する技術等を導入していくことが環境効率の優れた都市環境づくりへの一案といえる。

3.4 重慶市

重慶市は他の 3 都市と比べて L が良好であることもあり唯一全ての年次において B^+ ランクと評価され、さらに 2000 年から 2011 年にかけて A ランクに近づいている。（図 4･表 4）同市は直轄中心 4 都市の中でも L がもともと少ないが 2000 年から 2011 年にかけて悪化の推移となったため、都市の発展と併せて L の抑制を継続的に行うことで持続可能な都市の一モデルへと成長することが期待される。

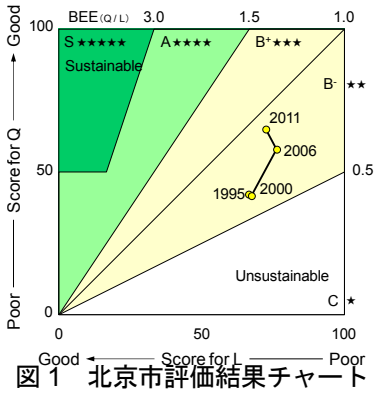


図１　北京市評価結果チャート

表１　北京市評価結果スコア

北京市	Q1. Env	Q2. Soc	Q3. Eco	Q	L	BEE
1995	2.12	3.35	2.56	41.87	66.58	0.63
2000	3.18	2.93	1.85	41.32	67.58	0.61
2006	3.64	3.47	2.81	57.65	76.44	0.75
2011	3.44	4.12	3.21	64.72	72.62	0.89

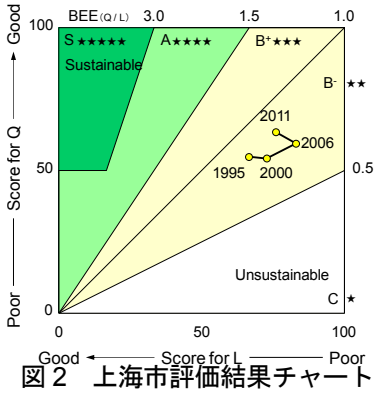


図２　上海市評価結果チャート

表２　上海市評価結果スコア

上海市	Q1. Env	Q2. Soc	Q3. Eco	Q	L	BEE
1995	2.88	4.20	2.47	54.63	66.58	0.82
2000	4.13	3.52	1.85	54.11	72.86	0.74
2006	4.02	3.49	2.60	59.30	83.10	0.71
2011	3.75	3.73	3.11	63.33	76.06	0.83

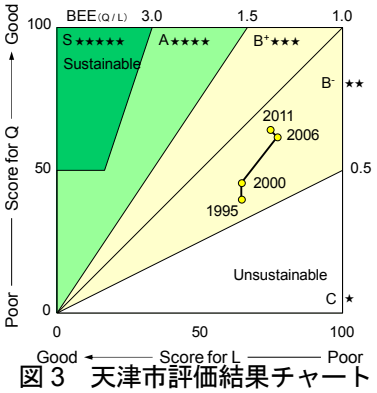


図３　天津市評価結果チャート

表３　天津市評価結果スコア

天津市	Q1. Env	Q2. Soc	Q3. Eco	Q	L	BEE
1995	1.77	3.45	2.52	39.54	64.79	0.61
2000	3.66	3.24	1.54	45.33	64.79	0.70
2006	3.73	3.46	3.18	61.42	77.33	0.79
2011	3.61	3.77	3.30	64.02	74.86	0.86

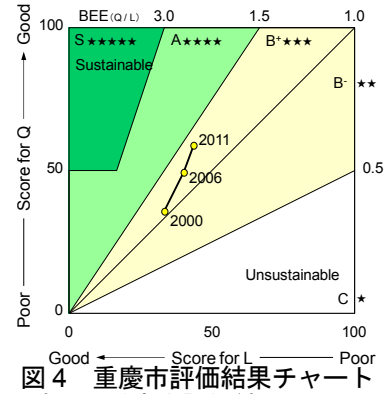


図４　重慶市評価結果チャート

表４　重慶市評価結果スコア

重慶市	Q1. Env	Q2. Soc	Q3. Eco	Q	L	BEE
2000	2.34	3.42	1.5	35.47	33.38	1.06
2006	2.57	3.52	2.81	49.13	40.18	1.22
2011	2.98	3.81	3.24	58.61	43.59	1.34

4. 今後の展望

中国政府は 2011 年、「第 12 回五カ年計画」において「2020 年までに温室効果ガスを 2005 年比で 40～45% 削減する」という L の削減に対して拘束性のある目標を掲げた[文6)]、2015 年には大気汚染防止法の改正によって PM2.5 の排出量抑制が義務付けられた[文7)]。これらの施策の遂行によって、今後は L の改善や大気環境の改善による Q1 の向上に期待がかかる。

5. まとめ

その 4 で提案された都市評価手法を用いて中国主要 4 都市の総合性能を時系列評価した。各都市の環境効率の推移を可視化することで施策効果の実態を考察し、持続可能な開発に向けた今後の施策方針を提案した。

謝辞

本研究は一般社団法人日本サステナブル建築協会の下に設置された「CASBEE 都市（世界版）検討小委員会」（委員長：村上周三）並びに同委員会作業部会のメンバーの皆さまの多大なるご助言によって実現した。ここに記して深甚の謝意を表す。

注釈

1)収集不可であった指標に関しては同手法の評価理論に基づいて他の項目に均等に重み付けを再配分した。

2）重慶市においては 1995 年時点での指標収集が不可能であったため他 3 時点で評価を実施した。

引用文献

1）国際連合：” World Urbanization Prospects”,入手先<http://esa.un.org/unpd/wup/DataQuery/.＞,(参照 2015-11-23)　2）” CASBEE for Cities - Pilot version for worldwide use (2015)” 一般財団法人 建築環境・省エネルギー機構,入手先<http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/index.htm>,(参照 2015-1-6)　3）鈴木伸ほか：”北京オリンピック前後の大気汚染物質濃度”,第 50 回大気環境学会年会(2009) 4）在中国日本国大使館：”北京等の華北地方における大気汚染「赤色警報」（19 日～22 日）”, 入手先< http://www.cn.emb-japan.go.jp/consular_j/joho151218_j.htm＞,(参照 2015-12-23) 5）中国通信社：”炭素強度規格研究のスタート”, 参照先< http://www.china-news.co.jp/node/3704＞,(参照 2015-12-23)　6）中国政府:”中華人民共和国国民経済と社会発展　第十二次五ヶ年計画”,(2011) 入手先< https://www.spc.jst.go.jp/policy/national_policy/plan125/index_125.html＞,(参照 2015-12-23) 7）中国政府：”大気汚染防止法”,(2015)

共分散構造分析を利用した社会影響評価手法の開発

Development of Social Life Cycle Assessment Method Using Covariance Structure Analysis

○一杉佑貴*[1)]、伊坪徳宏[1)]
Yuki Ichisugi, Norihiro Itsubo
1) 東京都市大学大学院　環境情報学研究科
* 1583102@ tcu.ac.jp

1. 背景

2015 年に Carbon Discloser Project が公開した Global Cities Report 2015 によると、世界都市における GHG の排出量は 12.6 億トン（CO_2排出量換算）であり、人口増加に伴い、ますます都市での環境負荷が増えるものと予測された。また、都市の評価指標に関する世界初の国際規格として ISO37120 が 2014 年に発行された。この規格は都市のサービスと生活の質を表す指標を 17 カテゴリー、計 100 項目挙げている。この指標は都市の環境だけではなく経済、貧困、政治といった幅広い範囲の項目が含まれる。このように、都市における評価は様々な角度から評価することが求められる。

2015 年 9 月に国連持続可能な開発サミットが開催され、150 を超える加盟国の参加のもと、その成果として持続可能な開発のための 2030 アジェンダが採択された。ミレニアム開発目標の後継として定められた持続可能な開発目標（Sustainable Development Goals）では、世界全体が貧困や飢餓、エネルギー、気候変動、平和的社会など持続可能な開発のために達成すべき目標が挙げられた。

世界で持続可能な開発目標達成に向けた動きが注目されるなか、LCA 研究では、製品のライフサイクルにおける環境負荷を定量的に算定する Environmental-Life Cycle Assessment (E-LCA)に加え、社会に対する影響を評価する Social-Life Cycle Assessment(S-LCA)が注目されている。UNEP/SETAC Life Cycle Initiative が 2013 年に S-LCA に関する報告書を公開した。ここでは、S-LCA の手順について、E-LCA と対比しつつ説明をしている。S-LCA のインベントリ分析では、対象とする製品にかかわる労働時間、雇用者数、所得、児童労働者数といった項目を対象に分析を行う。それをもとに社会に対する影響を評価するのが Social Life Cycle Impact Assessment（S-LCIA）である。S-LCIA の評価項目は研究により異なるが、例えば国や地域の幸福度を評価するものがある。S-LCA に関する既存研究では、産業連関分析を用いて産業ごとの雇用創出、所得の増加などを推計する事例がある。S-LCIA に関する既存研究は、定性的なもの、定量的なものの双方があり、後者の中には統計解析を通じて労働時間と社会影響を関係づける研究事例が存在する。しかし、現時点において評価手法や範囲、指標などに関する国際的な合意はない。

先述の通り、都市に関する情報は多くの社会面に関する情報がある。本研究では、これらの豊富なデータを S-LCIA 手法の構築に活用することに着目した。ISO37120 に基づく都市の統計データを使用し、統計解析を通じて S-LCIA 手法の開発に着手した。その第一歩として本発表では統計データから都市の社会に対する影響を与える要因を共分散構造分析を利用し、可視化することを試みたことについて報告する。

2. 方法

2.1 使用データ

本研究では WCCD（World Council on City Data）が Web で公開している Open Data Portal の世界 20 都市のデータを使用する。この統計データは ISO37120 の 100 指標と 7 項目のプロフィールデータを網羅している。この 100 指標は経済、教育、エネルギー、環境、財務、火事と緊急事態の対応、行政、健康、レクリエーション、安全、住居、固定廃棄物、遠隔距離と技術発展、輸送、都市計画、排水、水と衛生の 17 カテゴリーに分類される。

2.2 算定方法

本研究では 100 指標の統計データに対して、共分散を計算し、ピアソンの積率相関係数（パラメトリック法）を算出する。これは対象とする 2 項目間の相関係数の絶対値が必ず 1 以下になり+1 に近ければ正の相関が強く、-1 に近ければ負の相関が強いということを検定することが出来る。算定式は以下に示す。

$$r = \frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2}\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \bar{Y})^2}} \quad （式１）$$

rはピアソンの積率相関係数で、X,Y は二項目の変数、nは母数である。この相関係数のうち 0.9 を超えたものを抽出する。その後、相関係数をもとにパス図を作成し可視化は共分散構造分析を用いる。

3. 算定結果

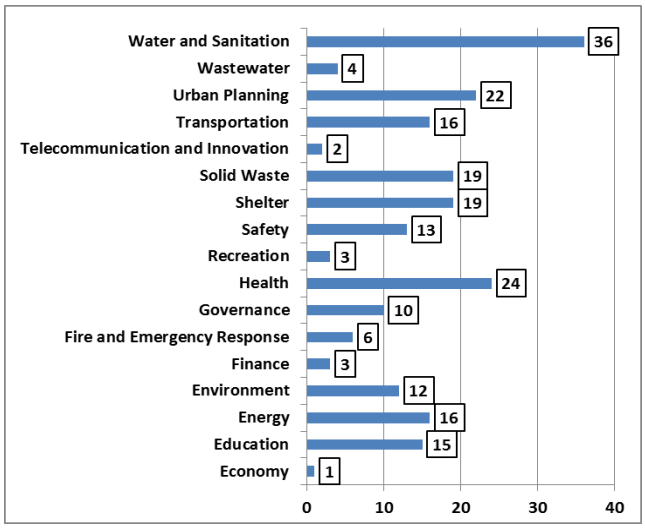


図 1　rの絶対値が 0.9 以上の項目数

図 1 は相関係数の絶対値が 0.9 以上となった項目をカテゴリーごとに示したグラフである。他のカテゴリーと相関の高い項目が多かったのは Water and Sanitation と Health となった。これを基にエンドポイントを Life expectancy として、共分散構造分析を用いることによりパス図を作成した結果を図 2 に示す。Life expectancy との相関が強い項目は Water Service interruptions、Under age five mortality ratio、Electrical interruptions、であることが確認できた。また、それぞれの項目との相関が強い項目を挙げパス図に示した。図 2 の数値は項目間の単回帰分析を行った結果を示している。最終的に Life expectancy に対する影響を定量的に示すことができた。このような検討を他のカテゴリーについても検討を進めることで複数の因果関係を定量的に分析するとともに、これらを統合した相互関係図を作成する。この結果を受けて重回帰分析を行うことで、社会影響を評価するための手法を構築することが可能となる。

4. まとめ

本研究では、S-LCA のための影響評価手法を構築することを目的として、ISO37120 に基づく統計データを収集し、ここで挙げられている指標間の相関について共分散構造分析を通じて定量的関係づけを試みた。水と衛生を例に検討したところ、断水や取水制限の発生が水アクセスの低下や平均寿命、5 歳児未満の死亡率に影響を与える得ることが示唆された。これらの関係づけを他のカテゴリーについて合わせて検討するとともに、これらを統合することで S-LCIA の評価係数を構築するための検討につなげていく予定である。

5. 課題

本研究では WCCD のデータを用いて推計を行ったが都市のサンプル数が少ないため、カバー率が低い指標が存在した。複数の統計資料を駆使するなど、サンプルが少ない指標に関する信頼性向上に向けた検討を合わせて行う。

6. 参考文献

1）Carbon Discloser Project : “Global Cities Report 2015”, (2015) ,pp.1-2
2）国際連合広報センター:“2030 アジェンダ”, United Nations Information Centre,(オンライン),入手先＜http://www.unic.or.jp/activities/economic_social_development/sustainable_development/2030agenda/＞
3）UNEP/SETAC Life Cycle Initiative :“Guidance for Social Life Cycle Assessment of Products”, (2013),pp33-75
4）World Council on City Data :“Open Data Portal”,WCCD,(オンライン), 入手先＜http://open.dataforcities.org

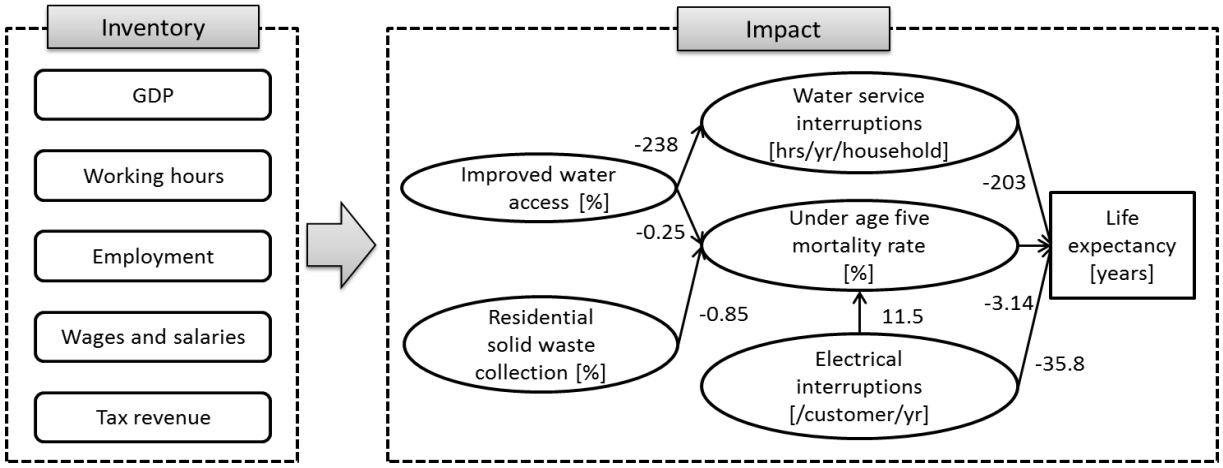


図 2　共分散構造分析結果

産業共生によるライフサイクル効果の蒸気価格への影響分析

The effect of life cycle impact through industrial symbiosis on steam price

○大西 悟*[1)]、Kim Hyeong-woo[1)]、藤井 実[1)2)]、藤田壮[1)2)]
Satoshi Ohnishi、 Kim Hyeong-woo 、Tsuyoshi Fujita、 Minoru Fujii、Tsuyoshi Fujita
1) 国立環境研究所、 2) 名古屋大学
*ohnishi.satoshi@nies.go.jp

1. はじめに

気候変動、資源枯渇、産業の空洞化等の課題に対し、産業共生、すなわち産業都市において事業者間が熱、廃棄物・副産物を相互利用することでエネルギーの高度化を進める戦略が、解決策の一つとして各地で採用されている[1)]。産業共生を推進する鍵として地理的近接性、政策介入、地域協働、エネルギーの安定性が議論されてきた[2)]が、事業投資の直接的な決定要因は、それぞれの事業者の熱・副産物の売却益、廃棄物の処理費、燃料費削減、設備投資・運転費用、ボイラー運転費削減などの経済費用便益が主である。

産業共生研究は、地域の物質・エネルギーフローの把握、潜在的シナジーの抽出、費用便益の特定、LCA 等を通じた環境便益の特定、地域のエネルギー効率最適化を通じて、事業の有益性を評価してきた[3)]。実際に、個別事業所内での対策に加え、これらの研究成果をもとに地域の物質・エネルギーを含めた対策を検討することで、潜在的な経済機会を特定し、熱、廃棄物・副産物の相互利用が促進した事例も多く報告されている[1)]。

一方、ライフサイクルを含めた環境便益は、政策決定者への影響は大きいものの直接的な経営判断に直結しづらい。だが、パリ協定に代表される温室効果ガスの排出削減圧力の増加に伴い、規制の強化、投資家を含む社会的要請の増加、燃料使用への制約が進むことで、企業がこれまで経済性が低いと判断されてきた事業への投資を行う可能性が増してきている。こうした事業を促進するためには、適切に外部経済を内部化する必要があり、炭素価格による燃料費、設備投資・運転費等の変動要因を熱・副産物の取引価格に反映させることが重要になる。

本研究は、産業共生の理念に基づき熱の相互利用が実現している韓国・ウルサン市をケーススタディとして事業者ごとの GHG アカウンティングの結果を考慮した炭素価格の導入と変動が蒸気価格に与える影響を分析する。

2. 対象事例および方法

韓国・ウルサン市は、Eco Industrial Park 事業のモデル地区として 2005 年から産業共生を推進し、2015 年までに 108 のネットワークの可能性が抽出され 33 のネットワークが事業化に成功している[4)]。これにより、年 254 千 toe の燃料削減効果を生み出している[4)]。これらの事業は、地理的近接性に伴う設備投資費の削減、2010 年前後の世界的な燃料価格の高騰による燃料費削減効果、政府・自治体による事業計画の策定補助、事業者間の心理的距離の縮小による事業リスク低減が重要な鍵であった。だが、温室効果ガスの削減圧力が高まる中で、経済的利益とともに事業者ごとの炭素排出削減効果の適切な配分や削減効果の内部化が重要な課題になってきている。

特に、二事業所間での熱融通事業では、システム全体では炭素排出削減効果があるものの、蒸気の供給事業者は事業前後で排出量が増加することがあり、これまでの事業所の炭素排出量算定方法では不利な結果となる可能性がある。この状況を明らかにするため、亜鉛工場の蒸気を製紙工場で利用する産業共生事業を対象に GHG アカウンティングを用いた事業者ごとの二酸化炭素排出量および炭素価格の導入と変動による影響を分析する。

システムを概説する（図１）。ベースラインシナリオでは、亜鉛工場において石炭コジェネレーションにより蒸気（200℃前後）、CO_2 および電力を発生させ、製造プロセスに投入し、亜鉛を製造する。そして、製紙工場では C 重油をボイラーに投入し、発生した蒸気と CO_2 を製紙プロセスで利用する。産業共生シナリオ（現状）では、亜鉛工場の石炭コジェネレーション設備で蒸気を発生させ、亜鉛製造プロセスおよび製紙プロセスに投入する。合わせて、製紙プロセスからの廃熱回収も行う。この際、発電はせず、その分を外部電力から購入する。製紙工場はボイラーを撤去し、亜鉛工場からの蒸気と CO_2 により紙を製造する。機能単位は、産業共生シナリオでの亜鉛、紙の製造量とし、システム境界は、亜鉛工場および製紙工場での製品原料の内包負荷分、製造工程とする。使用データは 2009 年の実績値であり、1 年間を単位とする。

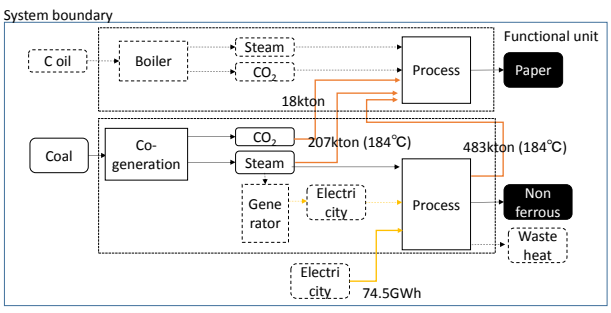


図 1: 産業共生シナリオのシステム図

3. 結果・考察

蒸気価格の決定は、二事業者間の契約によって決まり、毎月改定することが多い。蒸気価格は、供給側の用役費や人件費などの直接経費に基づく方法、燃料費増減分を原油と等価に換算する方法、エクセルギーの増減分を配分する方法などにより決定する。例えば、用役費では、蒸気の搬送量、亜鉛工場の蒸気製造・搬送コスト、電力購入費、製紙工場の受入コストが主な変数となる。いずれの方法も二事業者間の利益を等価で最大にするように調整が行われる。この際に両社の便益が確保され、初期投資の回収年が一定期間より少なくなる時に事業の経済性が確保される。

ウルサン市の事例では、蒸気価格 28.4US$/t（2009 年平均）で取引し、両社に年 2.83 百万 US$の利益があり、投資回収年が 1.6 年であったと推計できる。ただし、経済的には両社に便益をもたらしながらも、環境便益の面でバランスを崩している。温室効果ガス排出量は、Scope1,2 のみ（日本の温対法の算定手法）では、システム全体で 121kt-CO_2/year の削減であるが、製紙工場の削減量が 55.8 kt-CO_2/year に対して亜鉛工場では 23.6 kt-CO_2/year の増加になる。なお、個別事業所の排出量の総計がシステム全体の総計と異なるのは、蒸気の受取が製紙工場の Scope2 として加算されるのに対して、亜鉛工場の Scope1,2 には影響しないことに起因する。Scope3 として蒸気搬送の効果を亜鉛工場に付与すると Scope1,2,3 の総計は、製紙工場で 66.4 kt-CO_2/year、亜鉛工場で 93.4 kt-CO_2/year となり両者が環境便益がを享受することになる（図 2）。

環境便益を内部化するために炭素価格を設定し、蒸気価格および両者の便益への影響を分析した結果を表 1 に示す。炭素価格は、2030 年ごろをターゲットとし 100 US$/t-$CO_2$ までを想定している [5]。現在考えられている炭素価格の評価範囲は事業者の Scope1,2 であり、蒸気価格を一定にすると、受取側の製紙工場は直接的な燃料削減費に加え炭素価格上昇を回避することができるため便益は増加する一方で、供給側の亜鉛工場は購入電力への炭素価格が増加し、便益が減少し 40 US$/t-$CO_2$ でマイナスになる。この炭素価格の影響による供給側の不利益を回避するためには蒸気価格を操作する必要がある。蒸気価格を上昇させることで、炭素価格による受取側の便益を供給側に移行することができ双方の便益が確保でき、産業共生による環境便益を拡大するインセンティブになる。一方、Scope3 を炭素価格の評価範囲に加え、オフセットを考慮すると供給側の外部電力購入による炭素価格の上昇よりも産業共生による炭素排出削減による便益が大きくなり、蒸気価格が減少しながらも両者の経済便益は拡大する。

産業共生の二者間の便益の配分は、炭素価格に伴う便益を蒸気価格で調整することが双方の経済便益の上昇につながること、Scope3 を考慮しその炭素削減効果をオフセットする可能性を検討すると両者の経済便益は炭素価格 1 US$/t-$CO_2$ の上昇で経済便益 8.48%の上昇につながり、推進のインセンティブとなる可能性を示せた。今後は、産業共生事業における炭素価格とその評価範囲の経営判断への影響を詳細に分析することが課題である。

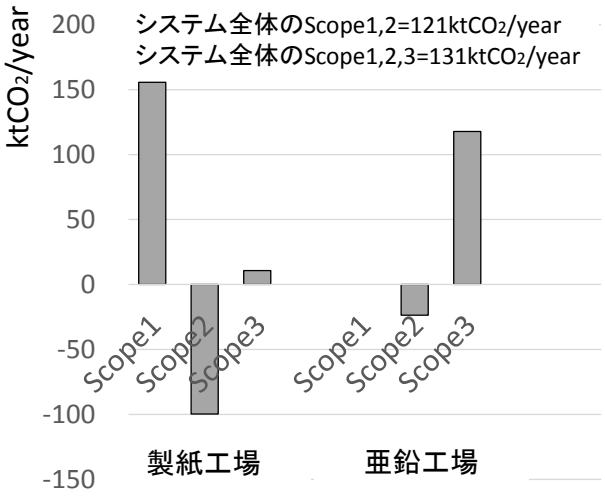


図 2：事業所ごとの GHG アカウンティングの結果

表 1：炭素価格による蒸気価格と便益への影響

炭素価格	*US$/t-$CO_2$*	*0*	*50*	*100*
蒸気価格（Scope1,2）	US$/ton	28.5	32.0	35.5
両者の便益（Scope1,2）	百万 US$/年	2.32	2.68	3.04
蒸気価格（Scope1,2,3）	US$/ton	28.5	26.4	24.3
両者の便益（Scope1,2,3）	百万 US$/年	2.32	6.57	10.8

謝辞

本研究は、環境省の環境研究総合推進費（2-1404、3K143016）により実施された。関係者に謝意を表する。

引用文献

1) Geng Y.,Fujita T., Park HS, Chiud A.S.F., Huisingh D: J IND ECOL:(2015), In Press, Corrected Proof
2) Ohnishi, S., Fujita, T., Chen, X., Fujii, M.: J CLEAN PROD: 33,(2012),pp.217–225
3) Dong, L., Fujita, T., Dai M., Geng, Y., Ren, J., Fujii, M., Wang, Y., Ohnishi, S.: J CLEAN PROD:(2015):in press
4) KICOX：Eco-industrial Park Construction Plan：the 3rd Step One Year Report:(2015)(韓国語)
5) IEA:World Energy Outlook 2014:(2014)

複数年物質フロー調査による北九州エコタウン事業の構造変化分析

Structural change analysis of Kitakyushu eco-town project by multi-year material flow investigations

○本田雄暉*[1)]、鶴田　直[1)]、松本　亨[1)]
Yuki Honda, Tadashi Tsuruta, Toru Matsumoto
1) 北九州市立大学
* t2551040@eng.kitakyu-u.ac.jp

1. 研究の背景と目的

1997 年より開始されたエコタウン事業では、全国で 26 の地域が承認され、廃棄物や副産物等の循環利用を促進しつつ事業活動が展開されている[1)]。第 2 次循環型社会形成推進計画（2008 年）では、地域循環圏を踏まえた循環型社会づくりが国による取り組みの 1 つに位置づけられたが、エコタウンは、特に広域的な循環においてその活用が模索されている。事業開始後 18 年以上が経過したエコタウン事業の変化について、その定量的な把握と要因を分析することが求められている。

以上のような背景のもと、本研究では、全国のエコタウンの中で最もリサイクル事業者の集積が進んでいるとともに、第 1 号承認（1997 年）として長期にわたり事業を展開している北九州エコタウンを対象に、2 時点にわたり実施したアンケート調査およびヒアリング調査により把握した物質フローデータをもとに、物質収支や輸送距離の変化について分析する。次に、ライフサイクルアセスメント（LCA）によりリサイクル事業による CO_2 削減効果を評価し、その変化に関する要因分析を行う。

2. 研究方法

北九州エコタウンの立地事業所を対象に、2005 年度と 2010 年度の 2 回にわたりアンケート調査及びヒアリング調査を実施した。調査対象事業所は、北九州エコタウン内に立地する全事業所であるが、有効回答のあった事業所数は，2005 年度調査（4～9 月）で全 21 事業所中の 18 事業所[2)]、2010 年度調査（1～3 月）で全 28 事業所中の 23 事業所である。

3. 業種別 CO_2 削減効果の構造変化分析

3.1 全ステージの要因分析

全ステージの要因分析

$$CO_2 = \sum_{i=1}^{7}\left\{\left(\frac{CO_2 i}{Mi}\right)\times\left(\frac{Mi}{Ri}\right)\times Ri\right\} \quad (1)$$

ここで、
CO_2: CO_2 排出量，i: 業種（i=1~7），
M: 年間受入量，R: 事業者数
第 1～3 要因はそれぞれ次のように定義できる。

$\frac{CO_2 i}{Mi}$…第 1 要因（炭素集約度） $\frac{Mi}{Ri}$…第 2 要因（事業者数あたり年間受入量）Ri…第 3 要因（受入量）

次に、(1)式を全微分し、エコタウンにおける CO_2 排出量変化の要因分析モデルを以下のように設定した。結果を図 1 に示す。

まず合計を見ると、第２、３要因が大きく減少したことから、全ステージ全体として CO_2 排出量が減少したことがわかる。

$$\Delta CO_2 = \sum_{i=1}^{7}\left\{\Delta\left(\frac{CO_2 i}{Mi}\right)\times\left(\frac{Mi}{Ri}\right)\times Ri\right\}$$

$$+\sum_{i=1}^{7}\left\{\left(\frac{CO_2 i}{Mi}\right)\times\Delta\left(\frac{Mi}{Ri}\right)\times Ri\right\}$$

$$+\sum_{i=1}^{7}\left\{\left(\frac{CO_2 i}{Mi}\right)\times\left(\frac{Mi}{Ri}\right)\times\Delta Ri\right\}+\text{残差項} \quad (2)$$

次に業種別に見ると、バイオマスはプラスにその他廃棄物と業務用・輸送用機械器具はマイナスに CO_2 排出量の変化が大きいことがわかる。要因別では、第 1 要因の変化は少なく、それ以外の要因の変化が大きいこともわかる。

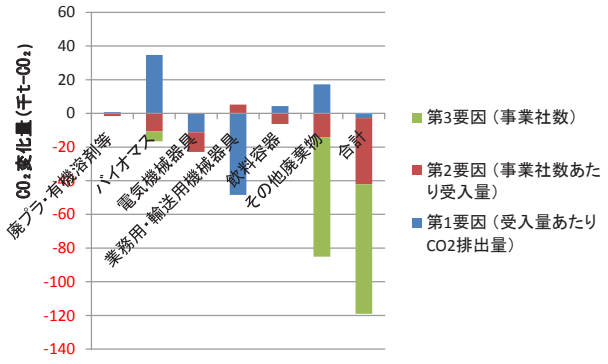


図 1 業種別 CO_2 変化の排出要因の内訳

3.2 輸送ステージの要因分析

輸送ステージの要因分析式を､次のように定義した。

$$CO_2=\sum_{i=1}^{6}\left\{\left(\frac{CO_2 i}{ti\cdot kmi}\right)\times\left(\frac{ti\cdot kmi}{ti}\right)\times ti\right\} \quad (3)$$

ここで、

CO_2: 輸送ステージの CO_2 排出量,

i: 業種（i=1~6）, t: 年間受入量, km:運搬距離,

第 1～3 要因はそれぞれ次のように定義できる。

$\frac{CO_2 i}{ti\cdot kmi}$…第 1 要因（トンキロ原単位） $\frac{ti\cdot kmi}{ti}$…第 2 要因（輸送距離） ti…第 3 要因（重量）とする。

次に、全ステージと同様に(3)式を全微分することで、輸送ステージの CO_2 排出量変化の要因分析モデルを設定した。結果を図 2 に示す。

まず合計を見ると、第 1 要因は減少、それ以外の要因が増加し輸送ステージ全体として CO_2 排出量がわずかに減少したことがわかる。次に業種別に見ると、バイオマスとその他廃棄物の変化量が大きいことがわかる。要因別では、全て要因で CO_2 排出量は大きく変化していることがわかる。

3.3 リサイクル処理ステージの要因分析

輸送ステージの要因分析式を､次のように定義した。

$$CO_2=\sum_{i=1}^{6}\left\{\left(\frac{CO_2 i}{Ei}\right)\times\left(\frac{Ei}{Mi}\right)\times Mi\right\} \quad (4)$$

ここで、

CO_2: リサイクル処理による CO_2 排出量,

i: 業種（i=1~6）, M:年間受入量

E:リサイクル処理に要したエネルギー消費量

第 1～3 要因はそれぞれ次のように定義できる。

$\frac{CO_2 i}{Ei}$…第 1 要因（炭素集約度） $\frac{Ei}{Mi}$…第 2 要因（受入量あたりエネルギー消費） Mi…第 3 要因（受入量）

全ステージと同様に、(4)式を全微分し、リサイクル処理ステージにおける CO_2 排出量変化の要因分析モデルを設定した。結果を図 9 に示す。

まず合計を見ると、第２，３要因が大きく増加したことから、リサイクル処理ステージ全体として CO_2 排出量が増加したことがわかる。次に業種別に見ると、バイオマスとその他廃棄物の CO_2 排出量の変化が大きいことがわかる。要因別では、第 1 要因の変化は少

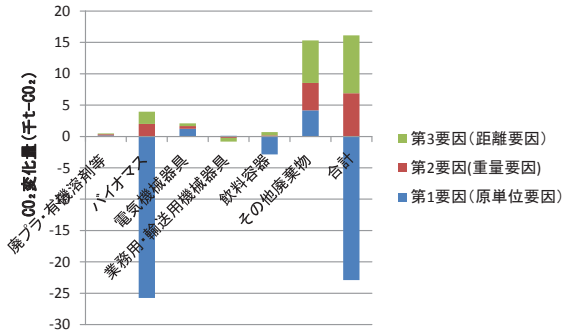


図 2　業種別 CO_2 排出量の変化要因の内訳（輸送ステージ）

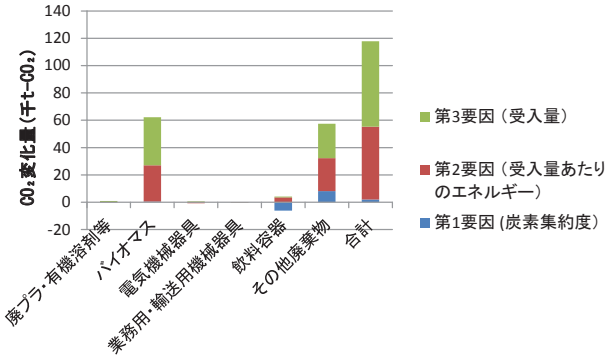


図 3　業種別 CO_2 排出量の変化要因の内訳（リサイクル処理ステージ）

なく、それ以外の要因の変化が大きいこともわかる。

4. まとめと今後の課題

日本のエコタウン事業は、リサイクル事業における先導的役割のみならず、地域循環圏における資源循環システムの確固たる役割を担うことが求められつつある。そのためには、冒頭で述べたとおり中長期にわたる検証が求められる。本研究では、複数年のデータを比較・考察することで、一時点だけの現象だけでなく事業活動が変化することに伴う CO_2 排出量への影響について定量的に示すことができた。

今後の課題としては，エコタウンという資源循環装置の安定性についての分析を行う必要があると認識している。

引用文献

1)勝原英治, 松本亨, 鶴田直（2007）, LCA を用いた北九州エコタウン事業の環境負荷削減効果の推計, 第 35 回環境システム研究論文発表会講演集, pp.233~238

2) 松本亨, 勝原英治, 鶴田直, 藤山淳史(2009), 地域資源循環拠点の持つ環境負荷削減効果の総合的評価に関する研究, 環境システム研究論文集, Vol.37, pp.321~329

3日目
(3/4)

タイムテーブル

3日目　3月4日(金)

<table>
<tr><th></th><th>A会場</th><th>B会場</th><th>C会場</th><th>D会場</th></tr>
<tr><td>9:00-9:20</td><td rowspan="4">特別セッション：
社会システムの
エコデザイン(2)
製品ライフサイクルと
ライフスタイル</td><td rowspan="4">温室効果ガス</td><td rowspan="4">環境ホットスポット</td><td rowspan="4">特別セッション：
温室効果ガスの
削減貢献量評価(1)
素材・部品・
プロセスの貢献</td></tr>
<tr><td>9:20-9:40</td></tr>
<tr><td>9:40-10:00</td></tr>
<tr><td>10:00-10:20</td></tr>
<tr><td>10:20-10:40</td><td colspan="4">休憩</td></tr>
<tr><td>10:40-11:00</td><td rowspan="4">容器包装</td><td rowspan="4">気候変動</td><td rowspan="4">水管理</td><td rowspan="4">特別セッション：
温室効果ガスの
削減貢献量評価(2)
製品・サービスの貢献</td></tr>
<tr><td>11:00-11:20</td></tr>
<tr><td>11:20-11:40</td></tr>
<tr><td>11:40-12:00</td></tr>
<tr><td>12:00-13:00</td><td colspan="4">昼休み</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">M会場</td></tr>
<tr><td>13:00-14:20</td><td colspan="4">学会各賞受賞記念講演</td></tr>
<tr><td>14:20-14:40</td><td colspan="4">休憩</td></tr>
<tr><td>14:40-15:40</td><td colspan="4">クロージング</td></tr>
</table>

LCA に基づく屋上緑化の費用便益分析

Cost-Benefit Analysis of Green Roof Based on LCA

○井原智彦*[1)]、山口和貴[2)]、岡和孝[3)]、大橋唯太[4)]、亀卦川幸浩[5)]、玄地裕[6)]
Tomohiko Ihara, Kazuki Yamaguchi, Kazutaka Oka, Yukitaka Ohashi, Yukihiro Kikegawa, Yutaka Genchi
1) 東京大学, 2) 東京電力, 3) みずほ情報総研, 4) 岡山理科大学, 5) 明星大学, 6) 産業技術総合研究所
*ihara-t@k.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

屋上緑化は気温低下を通じて冷房需要の削減や暑熱ストレスの緩和など、環境面においてさまざまな便益をもたらす。一方、その製造や運用のためにエネルギーを必要としたり暖房需要を増加させたり負の便益ももたらす。同時に、導入にはコストもかかる。そのため、屋上緑化の導入を合理的に判断するためには、費用便益分析が必要となる。本研究では、LCA を用いて環境影響の変化量を、調査・文献よりコストの変化量を計算することで、屋上緑化の費用便益分析を実施、屋上緑化を導入すべきかどうか合理的な判断がおこなえるようにする。

2. 評価フロー

環境影響評価の経済換算値とコストを合算し（フルコストアセスメント(FCA)）、費用便益分析とする。

環境影響は、LIME2[1)]で採用されている単一指標の円を評価指標とする。評価フローは次の通りである（図 S1）。

(1) 都市気象・ビルエネルギー連成モデル CM-BEM[2,3)]を用いて、年間時刻別のビルの空調エネルギー消費量（電力・都市ガス）と気象要素を計算する。
(2) 文献に基づいて、製造・運用段階の直接の材料・エネルギー消費量を調査する。
(3) 製造・運用段階および空調エネルギーに伴うライフサイクル環境負荷を、積み上げ型 LCA ソフトウェア MiLCA ver.2.1.5[4)]により求める（インベントリ分析）。
(4) ライフサイクル環境負荷の削減に伴う、4 つの保護対象におけるライフサイクル環境影響の削減量を LIME2 により評価する。
(5) 都市気候に伴う環境影響（熱中症・熱ストレス）については、都市気候変動に特化した LCIA 手法[5)]を用いて評価する。熱中症は日最高湿球黒球温度(WBGT)より、熱ストレスは日最高気温よりそれぞれ死亡数を推定し、さらに 1 死亡あたりの損失余命を乗じることで、障害調整生存年(DALY)の損失量を評価する。
(6) 4 つの保護対象における環境影響を、LIME2 の重み付け手法を用いて 1 つの経済指標に統合化する。

コストは、聞き取り調査や関連文献から評価する。導入コスト、運用に伴う潅水の上水コスト・揚水動力のエネルギーコスト、および空調（冷房・暖房）のエネルギーコストの変化量を評価対象とする。

3. 評価対象

評価対象地域は、東京の代表的な事務所街区（中央区日本橋 2–3 丁目・日本橋兜町付近）とし、同街区に存在するすべての建築物の屋上に導入された場合を評価する。建築物の形状は 2001 年度の東京都 GIS[6)]から作成、建築構造は主に標準ビルのデータ[2)]を参照、エネルギー需要のスケジュールは実測値[7)]に基づいて作成した。ただし断熱条件によって評価が大きく変わることが予想されたため、感度を評価するために無断熱条件（屋上 25 mm・側壁なし）と高断熱条件（75 mm・50 mm）を用意した。期間は、2002 年 6 月 1 日から 2003 年 5 月 31 日の 1 年間とした。

屋上緑化は、インテンシブ・エクステンシブの 2 種類を評価対象とした。インテンシブ屋上緑化は、管理型の工法であり、頻繁な潅水が必要となる芝緑化システムを評価する。客土（20 cm）、土壌流出防止フィルター、保水・排水・通気パネル、耐根シートなどから構成される。エクステンシブ屋上緑化は、省管理型の工法であり、人工潅水の必要がほとんどないセダム緑化システムを評価する。構成はインテンシブ屋上緑化とほぼ同じであるが、客土は 10 cm である。ともに屋上の 50%に導入可能とし、耐用年数は 10 年[8)]とした。

4. 環境影響

(1) 気象要素・エネルギー消費量

屋上緑化を導入した場合の 8 月の月平均時刻別気温および WBGT の軽減効果を図 S2 に示す。無断熱・高断熱条件ともにインテンシブ屋上緑化は最高気温を 0.13~0.14℃低下させる一方、エクステンシブ屋上緑化の気温低下は 0.03~0.04℃にとどまる。しかし、インテンシブ屋上緑化は盛んな蒸発散のため、湿度を上昇させ、結果、日最高 WBGT は無断熱条件で 0.04℃、高断熱条件で 0.02℃上昇した。エクステンシブ屋上緑化は蒸発散作用が乏しく湿度が上昇しないため、WBGT も 0.01℃低下した。

対策なしシナリオにおける年間 2 次エネルギー消費量を図 S3 に示す。無断熱条件では床面積あたり年間 905 MJ のエネルギーが消費されており、高断熱条件では冷房が若干増加するものの、暖房が大きく減少するため 40 MJ の省エネルギーとなっている。屋上緑化による省エネルギー効果を図 S4 に示す。いずれも暖房需要を若干増加させる一方、冷房需要を削減した。ただし効果は断熱条件

によって異なり、無断熱条件ではインテンシブ屋上緑化 6.8・エクステンシブ屋上緑化 1.9 MJ 削減した一方、高断熱条件では、それぞれ 1.9・0.5 MJ の削減にとどまった。

(6) ライフサイクル環境影響（重み付けによる統合化後）

図 S5 に、両条件における屋上緑化導入時のライフサイクル環境影響の変化量を示す。熱ストレスおよび熱中症の影響が圧倒的に大きく、空調（特に冷房）と導入に伴う影響が続き、運用段階に伴う影響は小さいことがわかった。両条件において、インテンシブ屋上緑化を導入した場合、熱中症・寒冷ストレスの増加量が暑熱ストレスの削減量を上回ってしまい、トータルでは環境影響は増加してしまった。一方、エクステンシブ屋上緑化は、熱中症を削減するため、熱中症・暑熱ストレスの削減量が寒冷ストレスの増加量を上回り、環境影響を大きくはないが削減できることがわかった。

5. コスト（ライフサイクルコスト）

図 S6 に、両条件における屋上緑化導入時のライフサイクルコスト(LCC)の変化量を示す。導入費用がインテンシブ屋上緑化では 1 m^2 あたり 40,000 円、エクステンシブ屋上緑化では 25,000 円であり、耐用年数の 10 年で除算しても（割引率 0%で計算）、LCC 全体で大きな割合を占めるに至った。インテンシブ屋上緑化では潅水に伴う上水費用も無視できない。一方、冷房エネルギー削減に伴う電力・都市ガスの削減費用は、最大である無断熱条件下のインテンシブ屋上緑化でも 20.1 円に過ぎなかった。

6. 費用便益分析

環境影響における便益と経済的費用を合算し、FCA を実施した（図 1 参照）。図より明らかなように、導入コストが圧倒的な割合を占め、ついでインテンシブ屋上緑化では潅水コストとなる。LCA で最も大きな熱中症や熱ストレス（暑熱）緩和効果をもってしても、導入コストに到底及ばなかった。

7. おわりに

屋上緑化の費用便益分析を実施したが、緑化の種類によらず導入コストが圧倒的であった。この結果からは屋上緑化は環境影響を考慮しても導入はペイしないと考えられる。しかし、LCC に基づく費用便益分析の多くは、屋上緑化の優位性を指摘している（たとえば Bianchini and Hewage[9]）。今後は、多くの仮定の見直し、および洪水防止効果などの他の便益の定量化も検討する予定である。

謝辞

本研究の一部は、環境省環境研究総合推進費 S-14「気候変動の緩和策と適応策の統合的戦略研究」（研究代表者: 沖大幹・東京大学教授）の一環として実施したものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

1) 伊坪徳宏, 稲葉敦（編）: LIME2―意思決定を支援する環境影響評価手法, (2010), 産業環境管理協会.
2) Ihara T, Kikegawa Y, Asahi K, Genchi Y, Kondo H: Applied Energy, 85 (1), (2008), pp.12–25.
3) 井原智彦, 山田耕治, 川口雅幸, 村山和義, 玄地裕, 山口和貴: 2010 年度日本建築学会大会（北陸）学術講演梗概集 D-1, (2010), pp.869–870.
4) 産業環境管理協会: MiLCA ver.2.1.5. (2014)
5) 井原智彦, 玄地裕: 日本建築学会環境系論文集, 73 (634), (2008), pp.1407–1415.
6) 東京都: 平成 13 年度東京都都市計画地理情報システム, (2004)
7) Ihara T, Genchi Y, Sato T, Yamaguchi K, Endo Y: Energy, 33 (11), (2008), pp.1634–1645.
8) 玄地裕, 東貴博, 大橋唯太, 亀卦川幸浩, 稲葉敦: 第 23 回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集, (2004), pp.265–268.
9) Bianchini F, Hewage K: Building and Environment, 58, (2012), pp.152–162

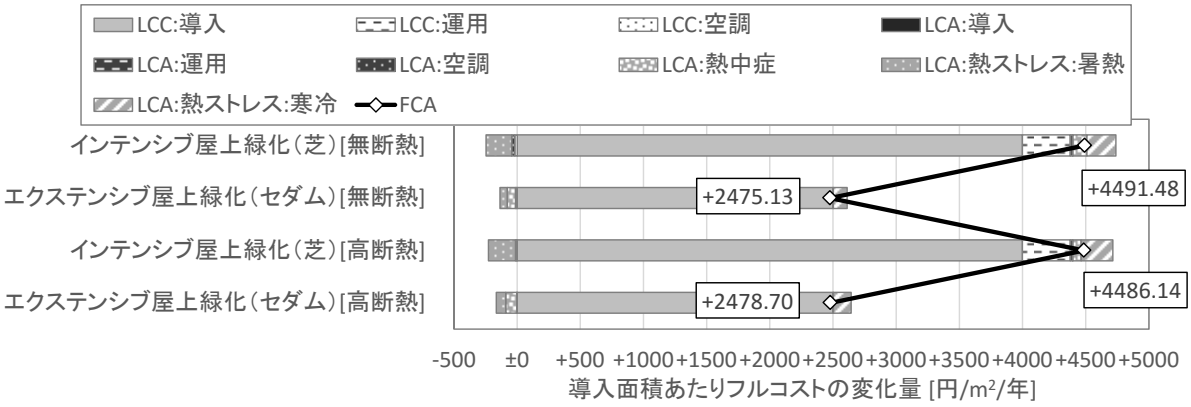
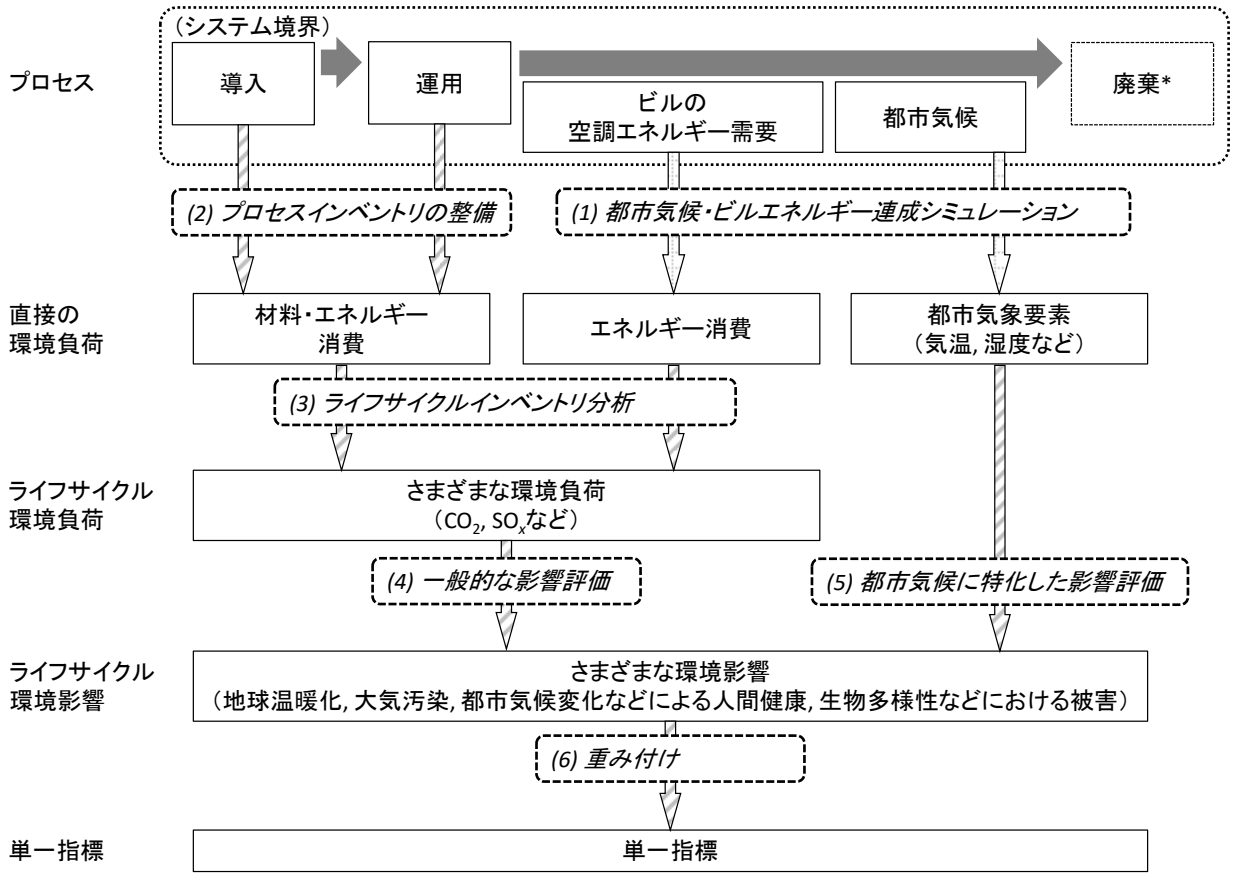
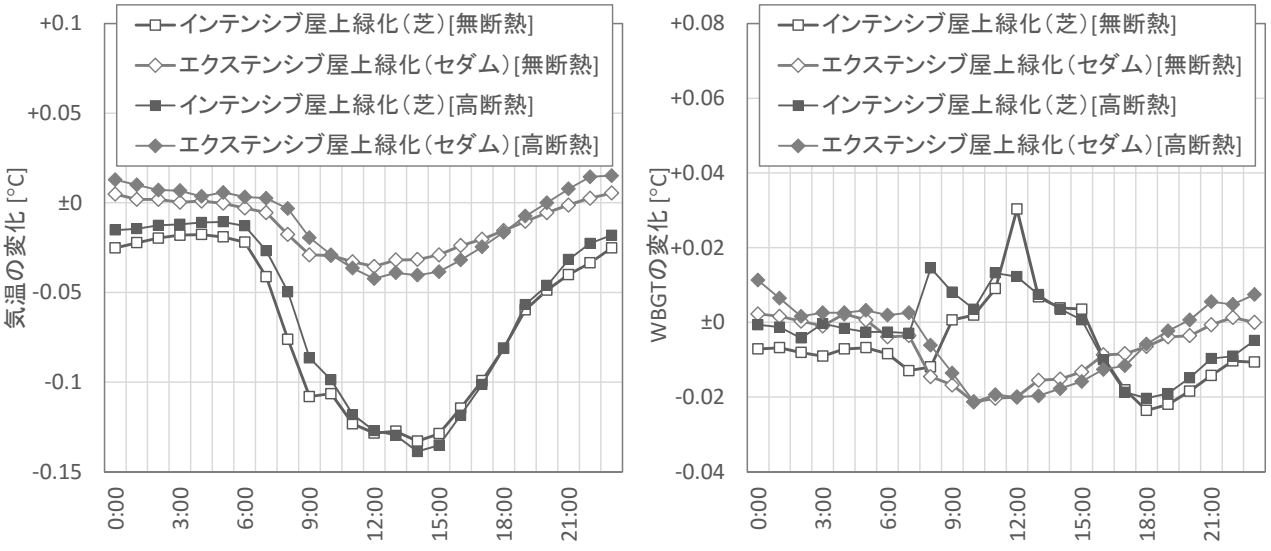


図 1 年間フルコストの変化（対策なしシナリオとの差分）



*本研究では、全体に占める割合の小さい廃棄段階を対象外とする。

図 S1 本研究の評価フロー



(a) 気温　　(b) WBGT

図 S2 8 月平均の時刻別気温・WBGT（対策なしシナリオとの差分）



図 S3 年間エネルギー消費量

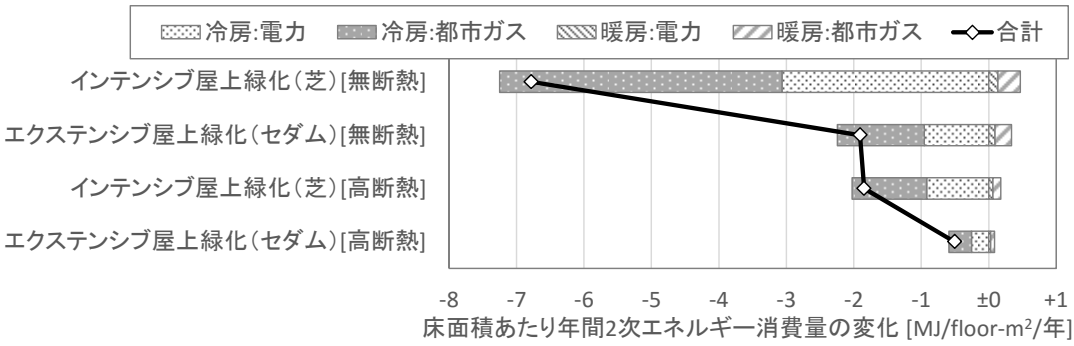


図 S4 年間エネルギー消費量の変化（対策なしシナリオとの差分）

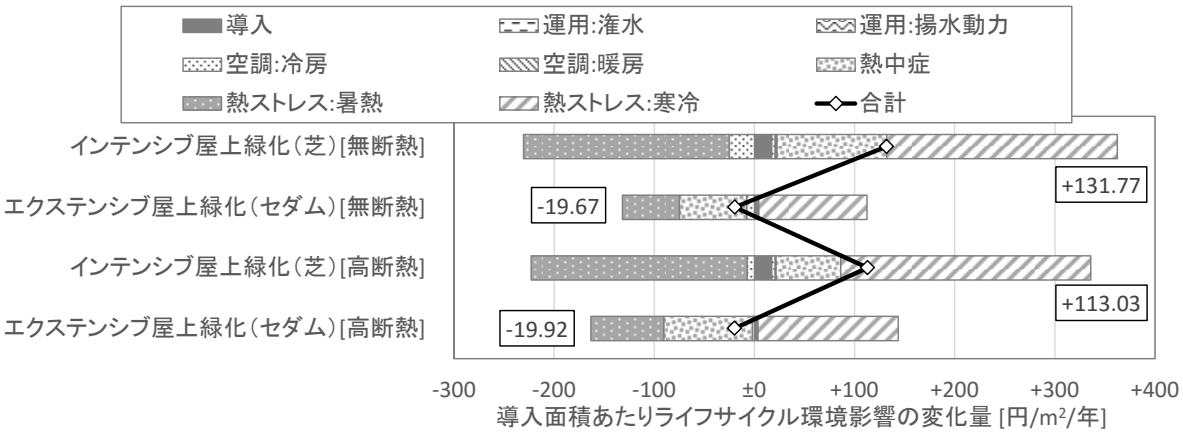


図 S5 年間ライフサイクル環境影響の変化（対策なしシナリオとの差分）

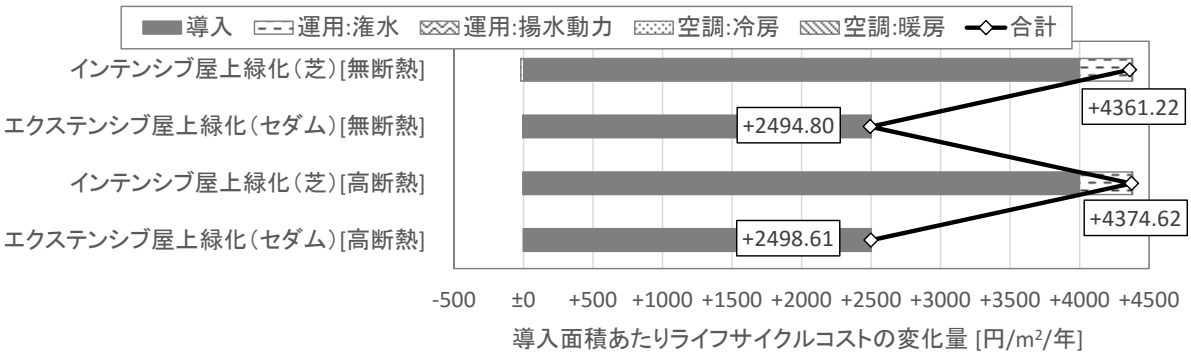


図 S6 年間ライフサイクルコストの変化（対策なしシナリオとの差分）

Consequential Life Cycle Simulation 手法の提案

A proposal of Consequential Life Cycle Simulation method

○松本拓也*[1)]，森田大智 [2)]，松山祐樹 [1)]，福重真一 [1)]，小林英樹 [1)]
Takuya Matsumoto, Taichi Morita, Yuuki Matsuyama, Shinichi Fukushige, Hideki Kobayashi
1) 大阪大学大学院, 2) 大阪大学
* matsumoto@lce.mech.eng.osaka-u.ac.jp

1. 序論

製品の環境性や経済性を評価する際には，製品の製造から使用，廃棄に至るまでの製品ライフサイクルを通じて評価を行う必要がある．Life Cycle Assessment(LCA)は，単一製品の代表的な製品ライフサイクルを通じた環境負荷の評価を目的とする [1)]．しかし実際の製品には，他の製品との間に相互作用がある．例えば電気自動車の場合，その普及に伴い他種の自動車の量が減少する，あるいは充電設備の設置が進むことが考えられる．このような相互作用まで含めてライフサイクル評価を行う手法として，Consequential - LCA(C-LCA)が提案されている．ライフサイクル評価を行うにあたっては，動的な評価の必要性についても議論がなされている．そのような手法としては Life Cycle Simulation(LCS)が提案されている．

本研究では，製品ライフサイクルの環境性や経済性を，他製品との間の相互作用まで含めて動的に評価する手法として，Consequential - Life Cycle Simulation(C-LCS)手法を提案する．

2. 関連研究

LCA は，その特色によって Attributional - LCA(A-LCA)と C-LCA とに分けることができる [2)]．A-LCA は 1 製品単位，あるいは 1 機能単位を対象として，その製品ライフサイクルにおける環境負荷を評価する手法である．

C-LCA は製品がもたらす相互作用まで含めてライフサイクルを評価する手法である．Alessandra らによると，C-LCA の顕著な特徴はマーケットメカニズムを取り入れていることと，マルチファンクションを考慮していることである [2)]．Ekvall らは，はんだ付けの材料が SnPb から鉛フリーはんだへとシフトした場合の環境負荷について，使われなくなった鉛が他製品に使用されることまで考慮して分析している [3)]．

製品ライフサイクルを動的に評価する手法としては LCS が提案されている [4,5)]．LCS では製品ライフサイクルをプロセスのネットワークとしてモデル化する．各プロセスは Input，Output，Given のパラメータと Output パラメータを導出するための計算式である Procedure を持つ．これらを用いて離散事象シミュレーションを行うことにより製品ライフサイクルの環境性や経済性を評価する．

C-LCA は製品 LC の外との間の相互作用を考慮するが，静的な評価手法である．LCS は動的な評価が可能だが，相互作用を考慮していない．

3. Consequential - Life Cycle Simulation 手法

本研究では，LCS 手法をベースとして C-LCA の考え方を取り入れた，C-LCS 手法を提案する．そのためのアプローチとして，LCS の表現形式を用いて相互作用を表現する方法を提案する．そして，本手法を用いてライフサイクル評価を行う手順について述べる．

3.1 相互作用の表現方法

本研究では，以下の 2 種類の相互作用を考慮する．

1) マルチファンクション

主機能の他に副機能を持つ製品がある．例えば，電気自動車はそのバッテリを活かして家庭用蓄電池としても使うことができる．このような製品は，自身の製品ライフサイクルの枠を超え，ほかの製品にも影響を及ぼす．

2) 需要代替

新規製品が普及する際には，同じ主機能を持つ製品の需要を代替する．例えば，電気自動車が普及すると，ガソリン自動車が減少することが考えられる．

これらの相互作用を表現するために，関連する製品についてその製品ライフサイクルをモデル化し，それらを接続する．

3.2 評価手順

本手法を用いてライフサイクル評価を行う場合，以下の手順をとる．

1) 対象とする製品と目的の決定
2) LCS モデルの作成
3) C-LCS モデルへの統合
4) システムバウンダリ設定
5) モデルの詳細化
6) シミュレーション実施と結果の解釈

手順 1 では対象とする製品と，ライフサイクル評

価を行う目的を決定する．手順 2 では対象とする製品と，相互作用のある製品のライフサイクルを，LCS の表現形式に従いモデル化する．この段階で各モデルに与えるデータは，後述する手順 4 において用いるための概算でよい．手順 3 では手順 2 で作成した LCS モデル同士を接続し，C-LCS モデルを作成する．手順 4 では作成した C-LCS モデルを用いて予備的なシミュレーションを行う．手順 1 で決定した目的と，ここで得られた結果を基に C-LCS 実行者がシステムバウンダリの設定を行う．手順 5 では，手順 4 で設定したシステムバウンダリ内の LCS モデルの詳細化を行う．詳細なデータはこの段階で収集する．手順 6 では，設定したシステムバウンダリ内で再度シミュレーションを実施する．その結果をもとに，必要に応じて手順 1～5 へと戻る．

4. ケーススタディ

提案した手法の有効性を示すため，3.2 節で述べた手順に従いケーススタディを実施した．

手順 1 により，対象製品を電気自動車(EV)，評価目的を銅の新規投入量予測とした．手順 2 により，EV，充電スタンド，ガソリン自動車(GV)，ハイブリッド自動車(HV)，家庭用蓄電池(Home Battery, HB)，太陽光発電パネル(PV)などの LCS モデルを作成した．手順 3 により，作成した LCS モデルを接続し C-LCS モデルを作成した．以下に LCS モデル間の関係の一部を示す．

- EV の一部は，HB の代わりとしても使用される．
- HB としても使われる EV のバッテリは消耗が早くなる．
- EV の使用済バッテリを HB にリユースする．

手順 4 により，システムバウンダリを決定するため，銅の新規投入量について予備的シミュレーションを実施した．その結果，EV，GV，HV，HB が支配的であったため，これらをシステムバウンダリの範囲内とし，他を範囲外として評価対象から外した．手順 5 によりモデルを詳細化した．銅の投入量に関するより詳細なデータ，他の金属投入量，CO2 排出量，製造コストなどのデータを収集した．手順 6 のシミュレーション結果を図 1 に示す．また，LCS モデル間の接続関係を定義せず従来の LCS の結果を合算したものとの比較を図 2 に示す．

図 2 より，C-LCS では LCS の合算と比較して EV のバッテリ製造による銅の新規投入量が増加し，HB 製造による分が減少している．これは手順 3 で定義した LCS モデル間の関係により，EV バッテリの交換・リユースサイクルが早くなっているためである．

5. 結論

本研究では製品ライフサイクルの相互作用まで含めて動的に評価する C-LCS 手法を提案した．ケーススタディを行い従来の LCS のみによる評価結果と比較することで，相互作用まで評価に含める必要性を示した．環境政策などを策定する際に本手法を用いることで，従来のライフサイクル評価よりも広い範囲を評価し，直感的な判断が難しい意思決定を支援することができる．加えて，企業における部門を超えたビジネスでの利用が期待できる．

課題としては，評価範囲を広げることによるデータの入手性・信頼性の低下が考えられる．

参考文献

1) 足立芳寛ほか，”環境システム工学”，東京大学出版会，東京，(2004)，pp.83-114
2) Alessandra Z, et al.: Journal of LCA Japan 10 (3), (2014), pp.213-229
3) Ekvall T.,Andrae A.: Int J LCA 11(5), (2006), pp.344-353
4) Umeda Y., Nonomura A., Tomiyama T.: AIEDAM 14 (14), (2000), pp.149-161
5) Kumazawa T, Kobayashi H.: AEI 20 (20), (2006), pp.127-136

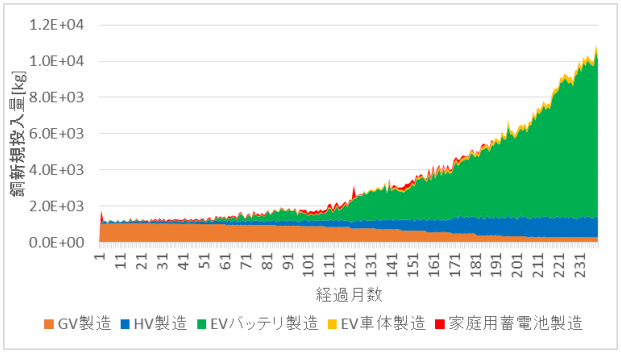


図 1 毎月の銅の新規投入量

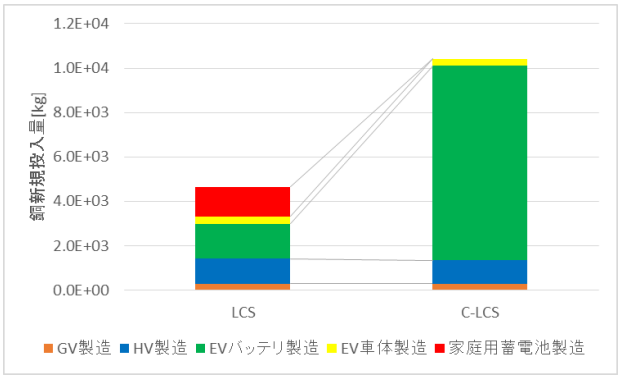


図 2 LCS と C-LCS との比較(最終月)

気候変動社会におけるミレニアルズ消費の研究

Study on Millennials Consumption in Climate Change

○九里 徳泰
Noriyasu Kunori
相模女子大学学芸学部
n-kunori@star.sagami-wu.ac.jp

1. はじめに

一般生活において環境負荷の少ない・倫理的な消費によるスマート・ライフスタイルを実現するにはマクロの消費動向が大きなポイントとなる。本研究では今後の社会を支えてゆく次世代の新しい消費層「ミレニアルズ」に注目し、日本における低炭素・自然共生型スマート・ライフスタイルの考察を行う。日本の人口構造から団塊ジュニア（1970 年代前半生まれ。広義では 1970 年代生まれ）以降、1980 年以降生まれの消費層を日本の「ミレニアルズ」と定義する。この消費層は 2000 年以降に耐久消費財の潜在購入者となり、2000 年代半ばから自動車や住宅という環境に関係ある耐久消費財の購入を開始する。

ミレニアルズと環境動向に関する時代的な背景として以下があげられる。京都議定書が 1997 年に採択、2005 年に批准。日本は 2008 年から 2012 年までの約束期間中に、温室効果ガスの排出量を 1990 年比で６%削減の義務を負う。2000 年に循環型社会形成推進基本法が制定、個別法としてリサイクル法７法が揃えられた。2001 年に環境省設置。2009 年に住宅用太陽光発電の余剰買取制度が導入。技術的な背景としては 1997 年にハイブリッド自動車プリウスが発売、2000 年頃から太陽光発電システムでの光熱費ゼロ住宅の販売を始め、2001 年に高効率給湯機が発売された。2006 年、電気自動車「i-MiEV」発売。2009 年 PHV(プラグインハイブリッド車)「プリウス プラグインハイブリッド」発売。2010 年、電気自動車「リーフ」が発売されている。このような背景からミレニアルズは、成人以降に社会慣習としてのリサイクル、省エネルギー（温暖化対策を含む）行動があったと考えられる。

本研究の重要な注目点は、気候変動社会における低炭素・自然共生型の消費、つまり持続可能な消費（Sustainable Consumption）の検討である。Sustainable Consumption の初出は 1992 年の地球サミットにおける Agenda21 の chapter4：Changing Consumption Patterns の 4.1 (a) Focusing on unsustainable patterns of production and consumption;(b) Developing national policies and strategies to encourage changes in unsustainable consumption patterns[1] である。Sustainable consumption and production という用語は、1994 年のオスロ・シンポジウムでの定義が国連でも利用され、この定義は1997年のブルントラント委員会の持続可能な開発の流れをくむものとされており、その内容は以下である。"The use of services and related products, which respond to basic needs and bring a better quality of life while minimizing the use of natural resources and toxic materials as well as the emissions of waste and pollutants over the life cycle of the service or product so as not to jeopardize the needs of further generations"[2]。

国連において 2015 年に批准された The Sustainable Development Goals (SDGs) の 12. Ensure sustainable consumption and production patterns の大項目があり、2030 Agenda for Sustainable Development aims の Paragraph 28 で以下のように説明されている。"We (Countries) commit to making fundamental changes in the way that our societies produce and consume goods and services. Governments, international organizations, the business sector and other non-state actors and individuals must contribute to changing unsustainable consumption and production patterns, including through the mobilization, from all sources, of financial and technical assistance to strengthen developing countries' scientific, technological and innovative capacities to move towards more sustainable patterns of consumption and production. We encourage the implementation of the 10-Year Framework of Programmes on Sustainable Consumption and Production. All countries take action, with developed countries taking the lead, taking into account the development and capabilities of developing countries"[3]。

持続可能な消費は今後国際的な大きな行動となることが考えられる。

2. 先行研究

日本におけるミレニアルズ消費、もしくは Generation Y の研究は少ない。Fromm&Garton (2013)において、ミレニアムズの消費傾向は、健康志向、レンタル（共有）志向、ブランドを尊重し、インターネットを活用する層であるとされ、その消費構造は健康志向で、高品質、低エネルギー型であり、インターネット情報によりその意思決定が変容するとしている[4]。日本においてのミレニアルズは社会背景から、インターネットを中心とした情報社会に年少期から触れ、SNS を活用し、そのコミュニティの影響を受けている。その要素は、ラグジュアリー（トップエンドブランド志向）な消費でなく等身大な消費を

し、ダイエットなどの健康志向、気に入りのブランドがあり、おしゃれ（かっこいい）などがあげられる[5]。

3. 調査方法

総務省の調査データを用い、日本のミレニアルズ消費における環境配慮型消費に関する分析を行った。

利用したデータは、平成 21 年全国消費実態調査　世帯主の年齢階級別主要耐久消費財の普及率(二人以上の世帯)平成 22 年 7 月、平成 26 年全国消費実態調査 世帯主の年齢階級別主要耐久消費財の普及率(二人以上の世帯)平成 27 年 7 月[6]である。

4. 調査結果

総務省全国消費実態調査、世帯主の年齢階級別主要耐久消費財の普及率(二人以上の世帯)から、住宅と環境配慮消費に関係あるものを抽出した。

太陽光発電、高効率給湯機、LED 照明が平成 26 年度調査項目に新たに加えられ、太陽光発電、高効率給湯機は

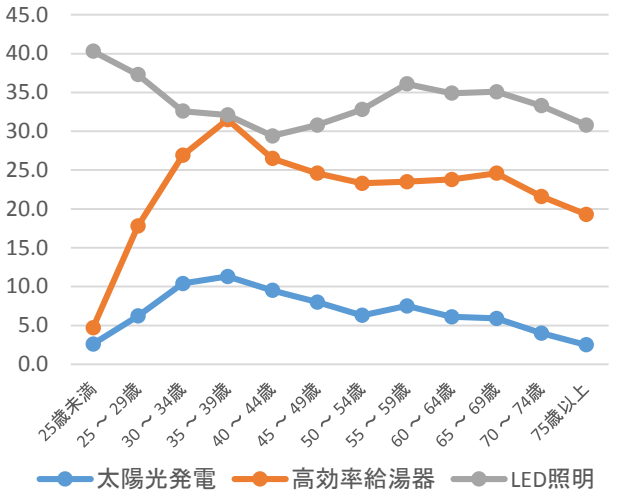


図 1 世帯主の年齢階級別主要耐久消費財普及率(%)（H26）

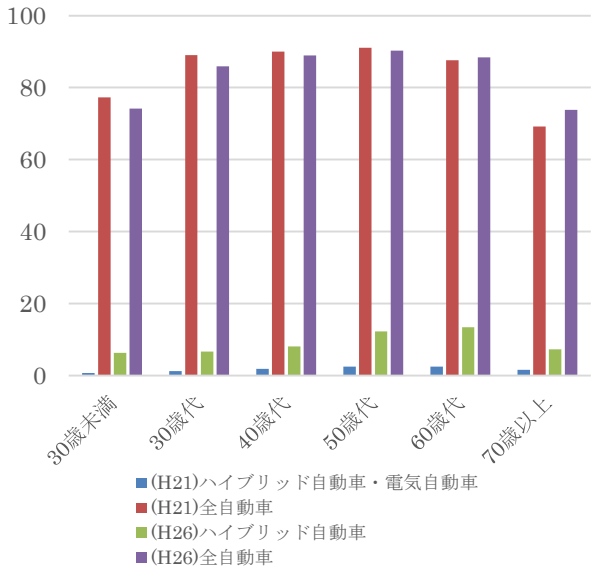


図 2 世帯主の年齢階級別自動車の普及率(%)（H26、H21）

35~39 歳をピークに他の年齢層よりも高い普及が認められる。LED 照明は 20 歳代が高いことが伺える。

自動車に関しての消費を、環境配慮消費と関係あるハイブリッド車に関して平成 21 年と平成 26 年を比較した。自動車全体の普及率が 30 歳未満で 89. 05%から 74. 2%に大きく減少したが、ハイブリッド車の普及率は 0. 7%から 6. 3%に向上している。しかし、普及率が高い世代は 50 歳代 12. 2%、60 歳代 13. 4%である。電気自動車は平成 26 年の全国全体で 0. 2%の普及率である。

5. まとめと展望

日本におけるミレミアムズ世代の住宅設備における環境消費、すなわち太陽光発電、高効率給湯機、LED 照明消費が確認できた。今後、高断熱サッシや高断熱壁の導入の調査を検討したい。自動車に関しては 50、60 歳代のハイブリッド車の所有率が高い。総務省全国消費実態調査で収入の高さとハイブリッド車の所有の高さは明らかになっているが、50、60 歳代は収入が低くても所有率は高い。これは可処分所得が高いことが考えられる。ミレニアムズ世代は特に 90 年代に生まれた世代が自動車を持たない選択が見え、平均所得の低下を加味しても移動の便益より所有の価値観の変容が伺える。古木等(2008)で環境配慮商品の購買層は「かっこいい、高級感のある、先進的な、技術が優れている」と統計分析より指摘されており従来のミレニアムズ傾向と重なっている。今後の研究としてミレニアムズと健康志向、高品質、低エネルギー型消費、環境消費と地域性へのアプローチを行いたい。

引用文献

1) UNEP, Changing Consumption Patternshttp, (オンライン),入手先< http:// //www.unep.org/Documents. Multilingual >,(参照 2016-01-05)

2) UNEP, What is SCP?, (オンライン),入手先< http://www.unep.org/ resourceefficiency/ Home/WhatisSCP/tabid/105574/>, (参照 2016-01-05)

3) United Nations, Sustainable consumption and production, (オンライン),入手先<https://sustainabledevelopment.un.org/topics/sustainableconsumptionandproduction>,(参照 2016-01-05)

4)Fromm,J.,Garton,C., “Marketing to Millennials”, AMACOM (2013),p.27

5)朝日新聞 2015 年 4 月 26 日朝刊

6)総務省,世帯主の年齢階級別主要耐久消費財の所有状況,(オンライン),入手先< http://www.stat.go.jp/data/zensho>,(参照 2016-01-05)

7) 古木二郎,宮原紀壽,山村 桃子:環境配慮商品における購買層の特性と環境性能の価値評価に関する調査研究,三菱総合研究所所報,49,(2008),pp.128-142

将来世代の視点を取り込んだフューチャーデザイン手法の可能性と応用展開

Prospects and Research Agenda of Future Design Methods

○原圭史郎*[1)]、西條辰義[2)]、栗本修滋[1)]、吉岡律司[3)]、黒田真史[1)]
Keishiro Hara, Tatsuyoshi Saijo, Shuji Kurimoto, Ritsuji Yoshioka, Masashi Kuroda
1) 大阪大学, 2) 一橋大学, 3) 岩手県矢巾町役場
* hara@ceids.osaka-u.ac.jp

1. はじめに

持続可能な社会づくりに向けて、学術や実践の場で様々な試みが行われている。例えば、持続可能社会形成に向けた超学的な学問体系であるサステイナビリティ・サイエンスでは、システム（地球システム、社会システム、人間システム等）間の複雑かつダイナミックな関係性を捉えることで問題の因果関係構造を俯瞰し、持続可能社会ビジョンの提示を進めていくことを重要なテーマとしてきた[1)]。この点についいは、世界で多くの研究活動が行われ一定の成果が生まれつつある。一方で、サステイナビリティ・サイエンスを含む既存の学術体系ではこれまで扱うことが難しかった大きな課題が存在する。将来世代の視点や利益を取り込んだ意思決定やビジョンづくりである。サステイナビリティを担保していくためには、将来世代につながる意思決定やビジョンづくりが本質的に重要であるにも関わらず、市場や民主制といった現行の社会システムや、人間の持つ近視性や楽観性といった特徴の下では、将来世代に資する判断や意思決定は実質的に困難である。持続可能社会を導くためには、将来世代という“ステークホルダー”を創出する必要がある。

この課題に取り組みため、我々は将来世代の代弁者としての役割を明確に与えられ各種意思決定やビジョンづくりに臨む「仮想将来世代」を創出し現世代と仮想将来世代との間の交渉・合意形成を通じた意思決定やビジョンづくりを『フューチャーデザイン』と定義し、市場や民主制を補完するための新たな社会技術として発展させるべく、関連の研究および住民参加型の討議実践を進めている[2)]。本稿では、フューチャーデザインの概要とこれまでの研究から得られた知見を簡潔に整理するとともに、今後の研究課題やフューチャーデザイン手法の応用展開の可能性を簡潔に示す。

2. フューチャーデザイン

2.1 仮想将来世代の可能性

フューチャーデザインでは、将来世代の立場から、将来世代の視点・利益を代弁し討議や意思決定に臨む役割を与えられた「仮想将来世代」を創出するというアプローチを採る。我々はこれまで複数の手法を用い、仮想将来世代の効果や可能性の検証を進めてきた。仮想将来世代創出の効果の判断基準の一つは、近視性の克服であり、例えば下記のような事が明らかになりつつある。

例えば被験者を集めた経済実験では、仮想将来世代を創出することによって、人々の意思決定が、近視眼性を乗り越えた、将来世代の視点・利益を代弁した合意形成につながる可能性があることを見出した[3)]。

また、岩手県矢巾町や大阪府吹田市において住民参加のもとで実施した討議実践では、ビジョン形成のための討議を行う際に、通常の現世代グループが、地域の待機児童の問題や地域コミュニティ・人のつながりの劣化などに代表される、いわゆる目の前の具体的な課題解決をまず優先しその延長に将来ビジョンを描こうとする傾向にあることや、現在満たされていいないニーズを特定しこれを克服するためのビジョンを構想する傾向にあるのに対して、仮想将来世代グループでは、地域資源や地域に普遍的に存在する長所に目を向け、これらを伸ばしてこうという長所伸長型の議論を行う傾向があることが分かってきた[4)]。

さらにアンケート調査からは、人々が様々なレベルの政策課題について優先順位化を行う際に、将来世代の利益を代弁する役割を与えられる仮想将来世代グループと、現世代グループとでは判断傾向が大きく異なることが明らかとなった。例えば、仮想将来世代は、解決に時間がかかるような課題に対してより優先度を高めた判断をする傾向にあることが分かりつつある[5)]。

2.2 フューチャーデザインの様式化

以上に述べたように、これまでの研究からは、将来世代の利益や視点を代弁するという明確な役割を与えることによって、人々の判断や意思決定が、自己利益の増大を目的にしたものから、近視性を克服したものへと変化しうることが少しずつ明らかになりつつある。このように、近視性を克服した視点や判断能力を持ちうる将来世代を新しいステークホルダーとして現代に仮想的に創出し、この仮想将来世代と現世代との交渉あるいは熟議を通じて、世代間の利益差や各種コンフリクトを乗り越えた持続可能社会形成に向けたビジョン形成や意思決定を実践していくことがフューチャーデザインの主な目的・趣旨となる（図１）。

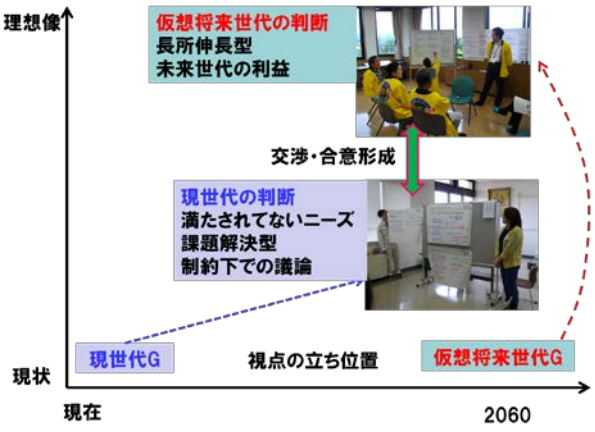


図 1 フューチャーデザイン討議の概念

2.3 研究・検討課題

住民参加に基づくフューチャーデザイン実践は、岩手県矢巾町をはじめとした自治体で実践が始まっている。これらは萌芽的取り組みであるが、これらの実践から仮想将来世代が現世代とは異なる意思決定や判断を行う可能性があること、が分かってきた[4]。一方で、人々が近視性を克服した判断をするための諸々の条件整理もさらに精緻化していく必要がある。また、フューチャーデザイン手法を住民参加に基づく意思決定のための社会技術として広く社会実装につなげていくためには以下のような検討課題が存在する。

例えば、a）どのような条件下で、効果的に仮想将来を創出しうるのか、b）人々に仮想将来世代に成りきってもらうための有効なツールとはどのようなものか、c）どのような属性の主体がいかなるプロセスを通じて仮想将来世代となるべきか 、d）フューチャーデザイン討議においては現世代および仮想将来世代に対してどのような情報を提示すべきか、 e）現世代および仮想将来世代間での合意形成を導くためにはどのようなファシリテーションを実践すべきか、などである。この他にも参加型フューチャーデザインの意義や汎用性をさらに検証していくために今後取り組むべき課題も多く存在する。これらの課題については、住民参加に基づく実践なども通じて、検証していく必要がある。

3. フューチャーデザイン手法の応用展開例

ここでは、仮想将来世代を創出したフューチャーデザイン手法の応用展開の例を提示する。その一つは、将来世代の視点も含めた施策・事業の評価、すなわち“フューチャーアセスメント”の基盤構築の可能性である。現世代と将来世代双方の立場・視点から現代における政策や事業を評価するための方法はこれまで構築されておいないため、今後検討していくべき重要課題であろう。既に多くの研究例があるサステイナビリティアセスメント（持続可能性評価）は、持続性の包括的観点、すなわち環境・社会・経済的側面を総合的に評価するところに主眼があったが、将来世代への影響を本質的に組み込めていなかった。この点において、フューチャーアセスメントにおいては、既存のアセスメント手法に将来世代の視点を組み込むという意味合いで、新規の方法論へとつながる可能性がある。

基本的な考え方としては、仮想将来世代というステークホルダーを現代に創出し、将来世代の視点を明示的に反映させた事業・施策評価と、現世代によるそれとを統合化していくというアプローチが考えられる。2.1 で述べたように、仮想将来世代からは現世代とは異なった判断に基づき、異なった施策評価の重みづけが提示される可能性があることから、より将来世代の視点を反映した施策:事業評価を行うことが可能となる。統合化のプロセス・アプローチについても検討が必要となるが、自治体の水道事業など具体的な事例を対象として、参加型プロセスの中で今後、方法論の構築に向けた研究を展開していく予定である。

4. おわりに

本稿では、将来世代の代弁者としての役割を明確に与えられて意思決定やビジョンづくりに臨む「仮想将来世代」を創出することによって、将来世代にも資する意思決定を実践するためのアプローチ、すなわちフューチャーデザインの概要を紹介した。仮想将来世代の効果や可能性、今後の研究課題を簡潔に整理するとともに、本手法の応用展開例の一つとしてフューチャーアセスメントを紹介した。フューチャーデザインは、近視性を克服した意思決定を行うための一つの重要なアプローチとなりうるが、萌芽的な研究・実践であるため、今後さらに近視性克服の効果や実践・実装の観点からさらに多角的に検証を進めていく必要がある。

引用文献

1) Komiyama H., Takeuchi K.: Sustainability Science, 1(1), (2006), pp 1-6
2) 西條辰義編,“フューチャー・デザイン：七世代先を見据えた社会”, 勁草書房, 東京, (2015)
3) 西條辰義（2015）経済学のフロンティアを開拓する新しいジャンル, 経済セミナー増刊号「総力ガイド 21 世紀の経済学」日本評論社, pp. 78-81
4) Hara K., Yoshioka T., Kuroda M., Kurimoto S., Saijo.: Proc. EcoDesign 2015, Tokyo, (2015), pp. 72-74
5) Hara K., Yoshioka T., Kuroda M., Kurimoto S., Saijo.: Proc. EcoDesign 2015, Tokyo, (2015), pp. 105-10

容器包装の環境効率における機能の定量化

Quantification of the Functional Value of Containers and Packaging to Assess Eco-Efficiency

○吉村祐美*1)
Yumi Yoshimura
1) 東洋製罐株式会社
* yumi_yoshimura@toyo-seikan.co.jp

1. はじめに

近年の消費者のライフスタイルの変化により、容器包装は保存期間の延長やユニバーサルデザイン[1)]の導入など、様々な変化を遂げている。一方、容器包装は使用後に不要となることから、軽量化などによる原材料調達から廃棄・リサイクル段階までのライフサイクル全体での環境影響の低減も不可欠である。しかし、保存期間の延長を目的としたバリア性の高い機能性材料の使用など、容器包装としての機能を向上させることで、原材料調達や製造段階での環境影響が高くなることもあり、容器包装の開発にあたっては、環境影響とそれ以外の要素とのバランスが重要となる。そこで、環境影響以外に容器包装に要求される機能を「機能的価値」と定義し、環境影響を分母、機能的価値を分子とした環境効率手法を用いて評価することを目指した。

環境効率手法は、電気・電子業界での検討は進んでおり、ガイドライン[2)]も制定されているが、容器包装は、機能を発揮する場がサプライチェーン上に複数存在し、また付与する機能も複数となることが多いため、環境効率を評価する場合もこれらを考慮する必要がある。しかし、この様なライフサイクル全体を考慮した容器包装の機能評価はなく、容器包装の環境効率を算定するには、機能の評価手法の確立が不可欠である。そこで本研究では、容器包装の環境効率の算定を目指した、ライフサイクル全体を考慮した容器包装の機能評価を検討した。ただし、研究の初期段階であることから、環境効率の分母として想定する環境影響は、温室効果ガスに限定した。

2. 容器包装の機能の検討

2.1 機能的価値評価の項目の選定

通常の容器包装の開発でも特定の機能を評価することはあるが、ライフサイクル全体を考慮しつつも、開発時に重要視した項目を中心にした評価が多く、機能全般を評価するような網羅的な評価は行っていない。この場合、開発製品によって機能評価が異なるため、様々な機能を持っている製品を一律に評価することはできない。また、一方の機能を付与したことで、評価に含んでいない他の機能が低下することも考えられる。さらに、容器包装の機能の利用者は、中身メーカー、物流業者、小売り販売業者、消費者、及び廃棄・リサイクルに関わる自治体や事業者など多岐にわたっていることから、あらゆるステークホルダーにとっての機能を考慮する必要がある。そこで、本研究では容器包装に求められる機能を容器包装のライフサイクルステージに沿って洗い出すこととした。

機能の洗い出しは、ライフサイクルステージ毎に考えられる機能の分類を設定し、LCA 日本フォーラム「容器包装の環境効率研究会」に参加している企業メンバー（Supporting Information 参照）より、分類別に存在する容器包装の基本的な機能、付加的に与えられる機能などを集め、計 50 項目を選定した（表 1）。

項目の選定にあたっては、環境影響にも関連する機能も挙げられた。例えば森林認証紙の使用は、本来は森林資源の利用に伴う環境影響の削減として、環境効率の分母で評価されるべき項目であるとも言えるが、ステークホルダーの要求など、それ自体が付加的に価値を付与する機能でもある。この様に、分母と分子でダブルカウントになりうる項目もあるが、温室効果ガス以外の環境影響に関わる項目のうち、ステークホルダーのニーズがある機能については、本研究では機能の評価項目に含めることとした。

2.2 機能の評価方法

それぞれの機能の評価基準については、計測値やモニター調査等が一般的である。しかし、網羅的な評価を目指す本研究では、全ての項目に計測やモニター調査を実施すると、評価が終了するまでに膨大な時間と費用が必要となる。そこで本研究では、計測等の必要がない簡易的な評価として、容器包装の開発者や販売者などの評価者が、各項目に設けた基準に沿って、機能の有無または優劣を 2 択で評価することとした。

機能の評価は、簡易的な評価を目指したため、評価者による個人差が懸念された。特に評価項目のバウンダリがライフサイクル全体と広いこともあり、評価者の専門性に影響した評価結果となりやすい。そこで、評価はできる限り複数人で行うことで、評価の偏りを低減させることを検討した。また、評価者間に差が生じた場合は、評価者の知識の差なども考えられること

から、判断した根拠を評価者間で共有し、最終的には統一の評価結果を出すことで個人差を排除し、評価に妥当性を持たせた。

2.3 絶対評価と相対評価

容器包装の機能を評価する際、それぞれの製品が各項目の機能を有しているかどうかを絶対的に判断する方法と、評価対象の製品間で各項目の優劣を相対的に比較する方法がある。前者の場合は、各項目について機能を有している製品間では差がつかないため、評価点に差が生じにくく、後者の場合は、機能を有していても、比較対象となる製品より劣っている場合には、機能を有していない場合と同じように評価されてしまう。この様に、これらの評価方法は一長一短があるが、評価者によって全社に基づく評価と後者に基づく評価が分かれることや、この両方を混同した評価を行ってしまうことも多く、評価結果に妥当性が得られにくい。そこで、対象製品の機能の有無を判定する絶対評価と、対象製品間での優劣のみを比較する相対評価の両方を行うこととした。

絶対評価では、評価の基準となる容器包装の設定が重要なため、複数で評価する場合は、基準となる容器包装を評価前に統一した後、絶対評価と相対評価を行うこととした。

3. まとめ及び課題

本研究では、容器包装の環境効率の算定を目指した機能的評価の項目及び評価基準の設定を行い、容器包装の機能を網羅的に評価する手法を導いた。評価項目については、あらゆる用途の容器包装を対象としているが、現段階では食品用容器包装を想定した機能に偏っているため、今後は非食品や二次包装に該当する機能についても、さらに検討する必要がある。また、一次包装で失った機能を二次包装で補うことも考えられるため、複数の容器包装も含めた評価方法を検討する。

機能的評価の数値化については、有している、または優れていると判断された機能を各 1 点とし、その合計点を機能的評価の点数としたが、機能によっては、求められる重要度が異なることも考えられる。機能的価値の重み付けについては、今後検討する必要がある。

評価の妥当性については、絶対評価と相対評価の両方を行うこと、及び評価者を複数にすることで担保したが、主観に影響される基準も存在するため、評価基準を見直し、評価者の負担になり過ぎず、かつ判断しやすい基準の策定を目指す。また、最終的に環境効率を評価する際の機能的評価の数値については、絶対評価または相対評価のどちらの数値を用いるかは今後の検討である。

一方、環境効率の分母に当たる環境影響の評価については、まだ検討がされ尽くしていない。今後、環境影響の評価についても基準を策定するが、考慮する環境影響のカテゴリーが変わった場合、機能とのダブルカウントになる可能性がある。環境影響の評価基準を策定しつつ、機能の項目も合わせて見直していく必要がある。

4. 謝辞

本研究は、LCA 日本フォーラム「容器包装の環境効率研究会」で検討した内容である。

5. 参考文献

1) 一般財団法人日本規格協会：“JISS0021 包装－アクセシブルデザイン－一般要求事項”，日本工業標準調査会，（オンライン），入手先 < http://www.jisc.go.jp/app/pager?id=1414559>，（参照 2015-12-17）

2) 日本環境効率フォーラム「ファクターX」標準化に関する WG: “電機・電子製品の環境効率指標の標準化に関するガイドライン（Ver. 2.1）”，(2009)

表 1 容器包装環境効率における機能評価項目一覧

段階	原材料調達（容器包装製造）			生産（最終製品）	流通・販売					使用				廃棄・リサイクル		
分類	素材	容器製造	物流	充填	輸送	保存	意匠性	安全性	販売・購入	ユーザビリティ	安全性	利便性	エネルギー	廃棄性	リサイクル	リユース
項目	容器包装の安全衛生	過剰包装の防止	強度保持	高温充填対応	輸送効率	防錆・導電性	アイキャッチ性	タンパーエビデント	陳列効率	易開封性	PL（製造物責任）対策	断熱・保温性	使用時の省エネ	減容性	単一素材	別用途でのリユース
	工程での安全衛生保証		寸法変化	低温充填対応	スタック性、荷崩れ防止	保管性	情報表示・提供	インジケーター	容器を利用した陳列対応	再封性	チャイルドレジスタンス	食器代替機能		易焼却性	分別容易性	
	持続可能な素材の認証		保管スペースの配慮	滅菌済み納品	食品のずれ防止	表示、ラベル保持性		偽造防止		電子レンジ加熱対応					回収性	
				無菌充填対応	耐傷つき性	機能性バリア				保持性						
				レトルト殺菌対応	耐衝撃性	耐内容物性				視覚障がい者への配慮						
				検査性						注ぎ出し性						
										残量確認機能						
										最後まで取り出せる						
										開封後の保管性						

Supporting Information

LCA 日本フォーラム「容器包装の環境効率研究会」のメンバーを以下に示す。

	氏名	所属
委員長	平尾　雅彦	東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻教授
副委員長	中谷　隼	東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻助教
	小松　郁夫	東洋製罐株式会社
	家木　敏秀	東洋製罐株式会社
	吉村　祐美	東洋製罐株式会社
	長谷川　浩	大日本印刷株式会社
	柴田　あゆみ	大日本印刷株式会社
	中川　善博	凸版印刷株式会社
	馬屋原　慧准	株式会社エフピコ
	山下　毅	レンゴー株式会社
	門奈　哲也	サッポロビール株式会社
	金井　路也	日本テトラパック株式会社
	遠藤　明子	三笠産業株式会社
	中橋　順一	旭化成株式会社
	深谷　将世	三井化学株式会社
	田崎　智宏	国立研究開発法人国立環境研究所
オブザーバー	和泉　昭宏	一般社団法人プラスチック循環利用協会

環境効率の算定を目指した容器包装の機能評価の事例分析

Case Study of Evaluating Containers and Packaging Functions to Determine Eco-Efficiency

○吉村祐美*[1)]、小松郁夫 [1)]、家木敏秀 [1)]
Yumi Yoshimura, Ikuo Komatsu, Toshihide Ieki
1) 東洋製罐株式会社
* yumi_yoshimura@toyo-seikan.co.jp

1. はじめに

東洋製罐は、金属やプラスチックの容器包装や、食品関連機械、包装システムの販売および技術サービスの製造・販売を行っている。容器包装の製造にあったっては、開発段階から LCA を導入しており、ライフサイクルにわたって環境に配慮した製品、技術の開発を進めている。しかし、全ての開発において環境負荷が低減できるとは限らず、機能性の向上を目指した容器包装の開発においては、機能の付与により環境負荷が高くなることがある。環境負荷の増加は最小限に留める必要があるが、それに伴う機能の低下は避けなければならない。そこで東洋製罐では、機能と環境の両面を評価する環境効率を検討することとした。

2005 年に策定した東洋製罐の環境効率評価基準は、「製品性能」、「嗜好性」、「消費」、「得意先」、「輸送」、「化学物質使用」、「リユース・リサイクル」、「省資源」の 8 つの観点に関連する機能を評価する手法である。評価項目はある程度決められているが、製品によって他にも重要と考える項目があれば追加が可能となっている。また、評価点は項目の重要度によって重み付けを行うが、この重み付け係数も評価する製品に合わせて評価者が設定できる。このため、評価対象の製品に合った評価が可能ではあるが、項目や評価点が評価者の主観が結果に大きく影響するため、その評価の妥当性が課題となっていた。そこで、あらゆる容器包装に対応した容器包装の環境効率手法を確立するため、LCA 日本フォーラムで「容器包装の環境効率研究会」を発足した。

研究会では、容器包装に要求される機能を「機能的価値」と定義し、その評価方法の検討を行った。まずは容器包装の基本的な機能、及び付加的に与えられる機能を 50 項目選定し、それぞれの機能的価値評価基準と、評価手順の検討を行った。また、事例評価を行い、課題について整理を行った。そこで本報告では、アルミ缶で行った評価結果と、得られた課題について報告する。

2. アルミ缶の機能的価値評価事例

2.1 評価の手順

本事例では、機能的価値評価の課題を整理することを目的としているため、環境負荷が同等で、新たに機能を付与したアルミ缶を評価対象とすることとした。仕様は、炭酸アルコール用の 350ml 飲料缶で、缶胴がストレートの製品（製品 1）と、製品 1 の缶胴に加工を加えてアイキャッチ性やハンドリング性を高めた製品（製品 2）を評価対象製品とした。

製品 1 及び 2 は、製品重量が同一のもので、缶胴の加工有無のみが異なる。ただし、製品 1 を製造する場合も製品 2 の加工工程を通過することから、製缶時のエネルギーは同一である。

評価者は、材料（評価者 1）、加工（評価者 2）、充填（評価者 3）のそれぞれに知見のある 3 名とした。

評価方法は、LCA 日本フォーラム「容器包装の環境効率研究会」で検討している機能的価値評価項目に沿って、機能の有無、または優劣を評価した。機能的価値評価の数値化は、有している、または優れていると判断された機能を各 1 点とし、その合計点を機能的価値の点数とした。

2.2 評価者による評価結果の差異

1 回目の評価では、評価者による機能的価値評価の差異を確認するため、各々で機能的評価を行った。その結果、評価者 1 及び 3 は絶対評価も相対評価も製品 2 が優れていると評価した。それに対し、評価者 2 は絶対評価では製品 2 が優れているが、相対評価では製品 1 が優れていると評価した（表 1）。絶対評価は対象製品における機能の有無を評価するため、機能を有していれば優劣の差が微小であっても結果に差は生じない。一方、相対評価は比較対象製品間での優劣を評価するため、より優れた製品のみに評価点が付く。評価者 2 が絶対評価と相対評価で結果が異なったのは、両製品とも機能は有しているが、比較すると製品 1 の方が優れると評価した機能があったためであった。

評価項目別に比較すると、機能的価値評価の合計点は同じでも、評価点を付けた項目は評価者で差が見られた。この要因は 2 点考えられ、1 点は評価基準が曖昧で評価者によって捉え方が異なるということが影響していた。もう 1 点は、絶対評価を行う際に、評価者が想定している基準容器が影響していると考えられた。例えば、容器包装の耐傷つき性を評価する際、あらゆ

る容器と比較してアルミ缶が傷つきにくいと評価するか、形状が異なるアルミ缶の中で傷つきにくいと評価するかによって結果が異なる。従って、絶対評価を行う前には、基準とする容器包装を評価者間で揃えることが重要と考えられた。

表 1 機能的価値評価結果（1 回目）

評価者	絶対評価点		相対評価点	
	製品 1	製品 2	製品 1	製品 2
評価者 1	17	19	0	2
評価者 2	23	24	2	1
評価者 3	23	24	0	2

2.3 評価者による差の低減

2 回目の評価では、基準となる容器包装を評価者間で揃えてから絶対評価と相対評価を行った。その結果、1 回目の評価に比べ、評価者による差は小さくなった（表 2)。評価が分かれたのは表 3 の 3 項目で、そのうちの陳列効率は評価基準が曖昧であったことが影響した。強度保持及び容器の保持性については、評価者の知見の差によるものであった。

強度保持については、両製品共に要求される強度を十分に満たしているが､加工に知見のある評価者 2 は、厳密に比較すると差があることを知っていたため、相対評価で差が付く評価となった。容器の保持性についても、製品 2 のコンセプトの 1 つであることを評価者 1 が知っていたため、絶対評価及び相対評価で差が付く評価としていた。陳列効率の違いについては、評価基準が曖昧であったことが影響していた。

次に、評価者による差を低減するため、3 名の評価者の結果をまとめ、1 つの評価結果とすることを検討した。結果のまとめには、単純平均値、最大最小を除いた中心値などが考えられたが、結果の差異は、評価者の知見によるものであったため、3 名の評価者で妥当性を検証し、1 つの評価結果として纏めた（表 4)。

表 2 機能的評価結果（2 回目）

評価者	絶対評価点		相対評価点	
	製品 1	製品 2	製品 1	製品 2
評価者 1	23	25	0	2
評価者 2	22	23	1	1
評価者 3	22	23	0	1

表 3 機能的価値評価の相違点

評価項目	絶対評価点		相対評価点	
	製品 1	製品 2	製品 1	製品 2
強度保持	●◆▲	●◆▲	◆	
陳列効率	●	●		
保持性		●		●

●評価者 1、◆評価者 2、▲評価者 3

表 4 機能的価値評価最終結果

絶対評価点		相対評価点	
製品 1	製品 2	製品 1	製品 2
23	25	1	2

3. まとめ及び今後の課題

本事例分析では、容器包装の環境効率手法の確立を目指し、アルミ缶の機能的価値の評価を行った。

評価にあたっては、相対評価は製品間の比較であるため評価しやすい傾向にあるが、絶対評価は何らかの基準製品を設定して評価を行うため、この基準製品の設定が評価に影響することが確認された。

機能的価値の評価範囲は、ライフサイクル全体に及んでいるため、評価者の知見によって評価結果に差が生じる。評価の妥当性を担保するには、評価者の知見を分散させた複数の評価者で評価を実施することで、ライフサイクル全体の評価に対応することができると考えられた。しかし、評価基準の曖昧さも結果の差異に影響しているため、今後は評価基準の精査も課題となる。

相対評価は絶対評価に比べ、製品間の比較がより厳しくなる。しかし、相対評価で生じる差は、通常管理している規格より必要以上の規格を要求することに繋がりかねない。一方、絶対評価では必要以上の規格は一律に評価されるという利点はあるが､前述のように、基準製品の設定や評価基準が結果に影響を及ぼす。今後、容器包装の環境効率の算定に向けては、絶対評価及び相対評価の利点を活かした評価の方法を検討する必要がある。

ライフサイクルステージ間で相互に影響しあう容器包装と内容物の分析

Analysis of Reciprocal Influences between Packaging and Content across Life Cycle Stages

○横川直毅*[1)]、上原恵美 [1)]、杉山弘和 [1)]、平尾雅彦 [1)]
Naoki Yokokawa, Emi Kikuchi-Uehara, Hirokazu Sugiyama, Masahiko Hirao
1) 東京大学
* n-yokokawa@pse.t.u-tokyo.ac.jp

1. 背景

容器包装は、内容物を保護するといった内容物からの要求によって多様な機能を有している。一方で、容器包装を製造して内容物とともに流通させることで、内容物のライフサイクルへも影響を与える。

図 1 に、容器包装と内容物のライフサイクルを示す。既往の容器包装の LCA では、資源活用のためリサイクルシステムに着目した環境影響評価 [1)]や内容物の輸送方法や消費方法を考慮したシナリオ分析 [2)]は行われていたが、ライフサイクルステージ間の影響を考慮して容器包装の機能と内容物の相互に及ぼしあう影響の評価は行われていない。例えば、図 1 には、サプライチェーンからくる容器包装の機能への要求と、それに対応する容器包装が及ぼす影響の一例を矢印で示した。容器廃棄段階におけるリサイクル性をよくするための要求や流通段階における内容物保護のための要求それぞれに対して、容器包装の機能が影響を与える。また、流通段階における保護によって、食品廃棄の変化といった影響も与える。このように要求と影響が互いに連関するだけでなく、容器包装による影響は、サプライチェーンを通して波及していくことが考えられ、こうした影響までを考慮する必要があると考えられる。

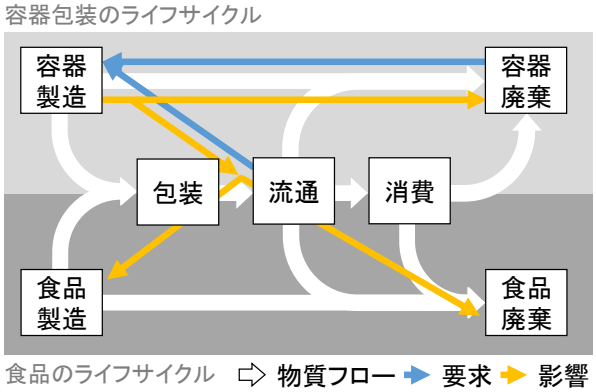


図 1 容器包装と内容物のライフサイクルと相互影響

本研究では、容器包装の機能がライフサイクルステージ内およびステージ間でどのように相互影響を及ぼしているかを分析する。そして、シナリオ分析において機能間の関係を環境影響評価に組み込むことで、より環境に配慮した容器包装の設計支援を行うことを目的とする。

2. 食品と容器包装の機能の相互影響

2.1 容器包装の機能

容器包装の基本機能として、保護機能、利便機能、情報機能の 3 つが挙げられる [3)]。保護機能は、物理・化学・生物・人為的要因から内容物を保護する機能であり、利便機能は、流通・販売・消費上で扱う人に対して便利さをもたらす機能であり、情報機能は、人に情報を発信するための機能である。これらの機能は、さらに詳細に分類することができる。また、容器包装には基本機能のほかにも、経済性や安全衛生性といった具備要件としての機能も存在する。

各機能をどの程度、どのような手段で容器包装に付与するかは、容器包装の設計段階で考慮されるが、要求が発生するライフサイクルステージによって求められる機能が異なる。例えば、食品ロスの削減に貢献することや、老若男女問わず安全に製品を使用できること、リサイクル技術の制約による素材の制限などがあげられる。これらの要求は、容器包装の設計時に同時に満たすことができない、すなわち、機能間でトレードオフが生じることがある。

2.2 サプライチェーンを通した影響

機能を決定する設計者と実際に恩恵をうける実行者が異なることと同様に、機能間のトレードオフ関係もライフサイクルステージを超えて生じることがある。そうしたライフサイクルステージを超えて相互に影響を及ぼしあう機能を抽出するために、ある機能がどの機能と連関しているのかを、影響として可視化した。SI にサプライチェーンを通して容器包装の機能の影響を可視化した図を示した。容器包装の機能については、LCA 日本フォーラムの「容器包装の環境効率」研究会で議論されている機能を参考にした。

本研究では、ある項目が改善されると別の項目が改善されることを示す関係と、ある項目が改善されると別の項目が改悪されるトレードオフ関係を分析する。例えば、流通段階での情報機能の 1 つである

アイキャッチ性を高める方法として、容器包装のサイズを大きくすることが考えられる。アイキャッチ性の向上により、店舗での売れ残りなどが削減されることが期待される。一方、サイズを大きくすることは、輸送効率を悪くするといったアイキャッチ性と同じ流通段階での機能に加え、素材の過剰消費といった製造や廃棄段階への悪影響も考えられる。

この分析から、現状のある項目を改善するためにはどの機能を改善するのがよいのか、遡って判断することができる。また、あるステージのための機能改善がほかのライフサイクルステージにおいて環境面からみてよいのかどうかといった関係を考慮した環境影響評価を行うことができる。

3. シナリオ分析

3.1 牛乳における容器と内容物の関係

紙パック牛乳を対象として、紙パックのバリア性の向上に伴う各ライフサイクルステージへの影響の分析を行った。

日本で流通している紙パック牛乳には、紙製容器を LDPE でラミネートした屋根型紙パックに充填されたチルド牛乳(以下 CH)と、さらにアルミ箔を積層したレンガ型のアルミ付紙パックに充填されているロングライフ牛乳(以下 LL)が存在している。CH は、コールドチェーンの発達により、製造から販売まで常に冷蔵環境に置かれることで、品質の劣化を防いでいて、賞味期限は 1-2 週間である。また、屋根型のため、輸送効率は悪いと考えられるが、プラスチック製の通函を用いることで積み上げることが可能となっている。一方 LL は、アルミ箔が積層されたことによるバリア性の向上と、CH よりも高温で殺菌した後に無菌環境で充填を行うことにより、常温での流通・保管が可能となっている。そのため、賞味期限も 2-3 ヶ月と CH よりも長く、この長い賞味期限によって、CH よりも流通や消費の段階でのロスを削減できる可能性がある。また、レンガ型であり、ダンボール箱に詰めて輸送されている。

3.2 結果

図 2 に、内容量が 1 L の CH と LL に関して、アルミ箔の付与などによってバリア性を向上させたことによる環境影響の変化を示す。ここでは、バリア性の向上によって輸送環境や保管環境が常温になり、かつ、賞味期限の延長により流通でのロスが 3.5%から 2.5%に削減されたと仮定して評価を行った。なお、1 L 分の牛乳の生産といった CH と LL で共通とした項目に関しては、図に含まれていない。また図 2 では、機能ごとの差に着目して各段階で環境影響の大きい側に、環境影響の差を示した。

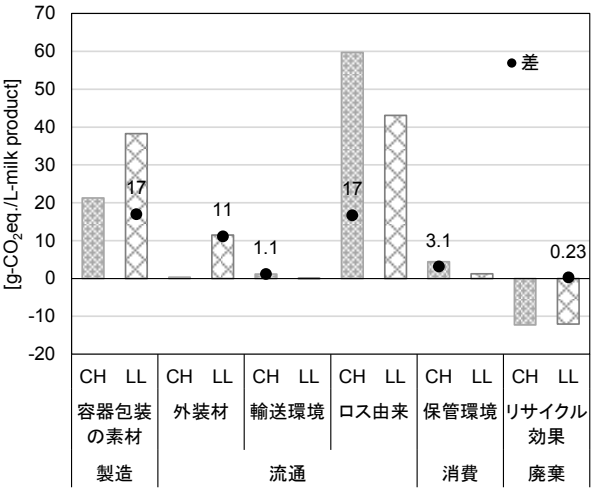


図 2 バリア性の違いによる環境負荷の変化

これまでの評価では、機能向上による製品全体の環境負荷の増加と食品ロスの削減効果に着目して製品の評価を行っていた [4]。一方、図 2 のように製品機能ごとの変化に着目することで、バリア性の向上によって流通における輸送環境やロス、消費時の保管環境が改善されるのに対し、製造時の素材やリサイクル効果が高環境負荷となることがわかった。ライフサイクル全体では、LL のほうが CH よりも環境負荷が大きいという比較も可能である。このように、バリア性の向上に関わる機能やバリア性とトレードオフの関係となっている機能をシナリオ分析によって環境影響で記述することができた。さらに、ここで記述された関係を組み合わせることにより、容器包装と内容物に相互に関わる機能間だけでなくサプライチェーン全体への影響も評価できた。

4. 結言

容器包装の機能が、ライフサイクルを通して何に影響をあたえるのかを分析し、シナリオ分析を用いてその影響を定量的に表した。一つの機能間の関係だけでなく、容器包装と内容物の相互への影響も合わせて環境影響評価に組み込むことで、より環境に配慮した容器包装の設計の支援を行うことが可能となると考えられる。

5. 引用文献

1) Xie M., Qiao Q, Sun Q, Zhang L.: Int. J. LCA, 18 (3), (2013), pp 626-635
2) Cichorowski G, Joa B., Hottenroth H., Schmidt M.: Int. J. LCA, 20 (4), (2015), pp 426-439
3) 日本包装技術協会: 包装…知っとく知識, (2012)
4) 横川直毅, 上原恵美, 平尾雅彦: 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, (2015)

Supporting Information

容器包装の機能がサプライチェーン全体にどのように影響を与えるかを可視化した。図 S1 に、機能における影響の波及とトレードオフの関係を示す。図 S1 では、実線の矢印で書かれた関係がある機能が改善されると別の機能が改善されるといった影響関係を示し、破線両矢印で書かれた関係がある機能が改善されると別の機能が改悪されるといったトレードオフの関係を示す。

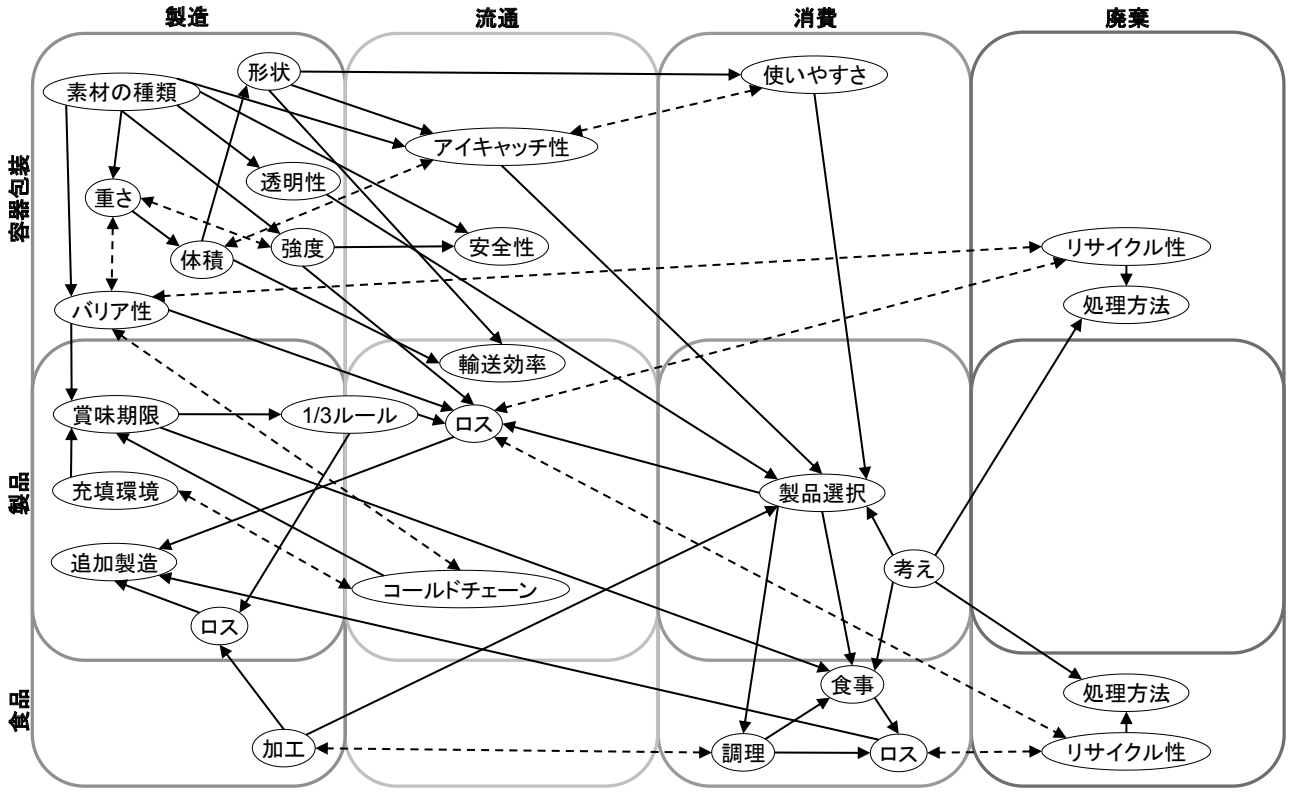


図 S1 環境面から見たライフサイクルにおける項目ごとの影響やトレードオフ関係

うちエコ診断を通じた HEMS(Home Energy Management System)のデータ利用の検討

A study of uses of HEMS (Home Energy Management System) data through Uchieco-Shindan

○小野光司*[1)]
Kouji ONO
1) 日本生活協同組合連合会
* kouji.ono@jccu.coop

1. はじめに

生協では、「環境政策」の中で、「家庭からの CO_2 の30%削減」を目標に掲げ、また 2012 年に策定された「エネルギー政策の転換をめざして」では、「くらしと地域における取り組み」として 6 つの課題を提起し、「家庭におけるエネルギー使用の『見える化』」を課題とした。エネルギーを「見える化」することで、省エネ、CO_2 削減の意識啓発や行動が進み、組合員の学習や情報交流によって、省エネ・CO_2 削減の取り組みの広がりを期待できると考え、2013 年度から 2014 年度にかけて、「見える化」機器の一つである HEMS を活用して検証を行った。

2013 年度の実験では、HEMS 自体の効果を見るために、対照としての HEMS 未設置者を設け、あえて設置者への働きかけや情報提供を行わずに進めた。その結果、HEMS によって電気使用についてより細かい「気付き」が見られたが、HEMS 設置者と HMES 未設置者間で明確な差を確認できず、各家庭で電気使用実態が全く異なり、画一的な提案では節電が進まないこと、また独力による効果的な節電は専門的で難しいことがわかった。そのため、外部の専門家によるアドバイスが家庭の節電に有効と判断し、2014 年度は、専門家のアドバイスが可能な「うちエコ診断」での HEMS データの利用を検討した。

2. 方法

2.1 実験の主体・参加者・協力団体

・協力生協：パルシステム連合会、福井県民生協、コープこうべ
・モニター(参加者):各協力生協の組合員･役職員 99 名
・うちエコ診断等の協力団体
パルシステムの自社診断士、NPO 法人エコプランふくい、 (公財)ひょうご環境創造協会、(一財)　大阪府みどり公社

2.2 使用した HEMS 機器

パナソニック製 HEMS
※分電盤のブレーカーごとに電気消費量を 30 分間隔で計測し、見える化できるタイプ

2.3 実験の目的と進め方

実験を２段階(①と②)に分けて行った。

①HEMS データを活用した家庭の節電可能性調査

HEMS データをどのように見える化すれば、電力消費量の気付きや診断に利用できる情報になるか、検討するために HEMS データをグラフ化し、そのグラフを利用して、10 名の参加者について詳細に調査した。

②うちエコ診断等における HEMS データの活用

家庭に即した節電を特定するためには、専門家のアドバイスが有効ではないかと考え、「うちエコ診断」に HEMS データを組み合わせた取り組みの可能性を検討した。

③データの分析と評価

①②で取り組んだ節電効果の確認を行った。

表 1　2014 年度の実験の概要

時期	テーマ	実験の進め方
8-9 月	①HEMS データを活用した詳細な家庭の節電可能性調査	･HEMS データを使ったグラフを作成し、事前に配布 ・グラフを使い 10 名に詳細な調査を実施。 ・グラフの有効性と節電の提案の可能性を検証
11-12 月	②うちエコ診断（省エネ診断）における HEMS のデータの活用	・①のグラフを参加者(37 名)とうちエコ診断士に事前配布 ・実際のうちエコ診断の中で、グラフを使い、電気使用状況の理解、提案の可能性と納得性により、グラフの有効性を評価
2-3 月	③データの分析と評価	③実際に取り組んだ節電の効果を検証

2.4 実験に使用したグラフ

(1)月次電力消費量・月次電気使用割合

月ごとに回路ごとの電力消費量を積算したグラフ。月ごとにどの回路の電力消費量が多いか、年度を通じてどのように電力消費量が変化しているかを、理解で

きる。

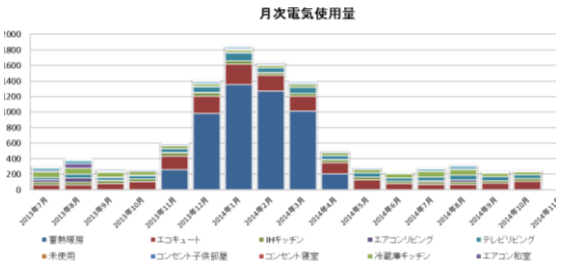


図１　月次電力消費量

(2)回路別家電月間使用量割合

特定月の電力消費量の大きい 9 回路を多い順に並べたグラフ。節電の優先順を決める参考になる。

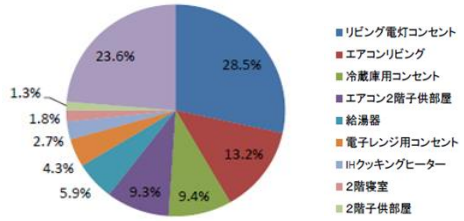
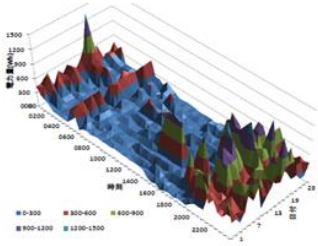


図２　回路別家電月間使用量割合

(3)月間電気消費量推移

平日と休日の電気総使用量について､時間帯､日付､電力総使用量を 3D グラフで表したもの。家庭全体での生活パターンを理解できる。



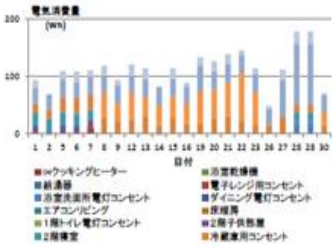


図３月間電気消費量推移　図４最低電力比率の構成

(4)最低電力比率の構成

最も電気使用量の少ない時間帯の家電別電力消費量を積算したグラフ。家庭の活動が最も少ない時間帯における待機電力や常時使っている家電や回路を把握できる。

(5)回路ごとの月間電気消費量推移

特定月特定回路の電力消費量を時間帯、日付ごとに 3D グラフで表したもの。生活スタイルを理解できる。

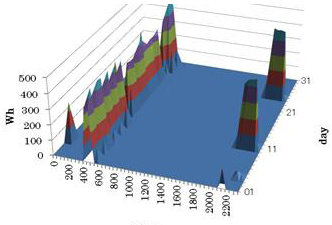


図５　回路ごとの月間電気消費量推移

3. 結果

①HEMS データを活用した家庭の節電可能性調査

全般的に、家電の回路・使用実態を細かく認識できていないと思われた。グラフの見方を理解し、家庭のライフスタイルとグラフを整合させる中で、回路の特定や電気の使用実態への理解が進んだ。節電意識の高い参加者の中には、節電が徹底できている参加者がいたが、ほとんど効果のないような節電に取り組んでいる可能性があった。また、家電がどの回路と接続しているわからない場合に、電気の使用の分析ができず、節電につなげることができないケースがあった。

②うちエコ診断等における HEMS データの活用

診断士は、うちエコ診断等でのグラフの利用について、「大いに可能性がある」、「ある程度可能性がある」と回答した。診断に有効なグラフは、図 1、2、4、5 で、特に図 2 は、電力消費量の多い家電を特定でき、対策を重点的に進められる点で有効だった。また、実際のデータなので説得力があり、ライフスタイルを聞き出しやすく、家電の使用方法、行動に対するアドバイスにもつながると回答した。

③うちエコ診断等による節電実施の効果検証

照明、冷蔵庫、電気ポットで、節電の効果を確認した。

4. まとめ

回路又は家電の節電の優先順位付けには、電力消費量を回路別に表した「回路別家電月間使用量割合（図 2)」のようなグラフが有効だった。3D グラフは、単なる電力消費量のグラフでなく、ライフスタイルを表現するものだった。受診者のライフスタイルをリアルに表現した 3D グラフを基に受診者と診断士が話し合うことで、具体的な提案や受診者の納得感につながる可能性がある。

5. 今後の課題・提言

データの解釈には専門的な知識や経験が必要なため、グラフを提示しただけでは、節電が進み難く、専門家のアドバイスが有効と思われる。そのため、HEMS データ利用には､情報を解釈してくれる専門家との連携、例えばうちエコ診断等との連携も考えると良い。今後スマートメーターが各家庭に設置されれば、これまでよりも細かな電力消費量のデータが得られる。(3)月間電気消費量推移(図 3)、「1 日における電力消費量のピーク」、「最低電力比率と 1 人あたりの電力消費量のグラフ」の情報提供が可能になる。今後も、効果的で具体的な節電の「気付き」につながり、ライフスタイルを認識できるよう情報提供が必要である。

Supporting Information

本文の図１～４の拡大図

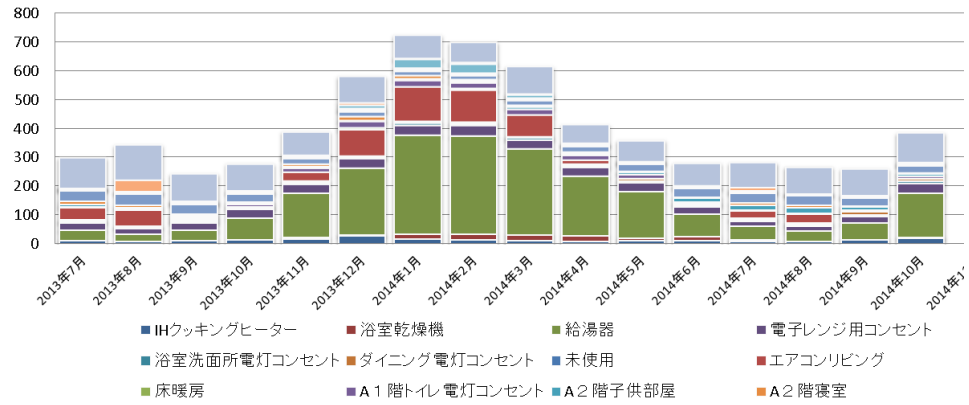


図１　月次電力消費量

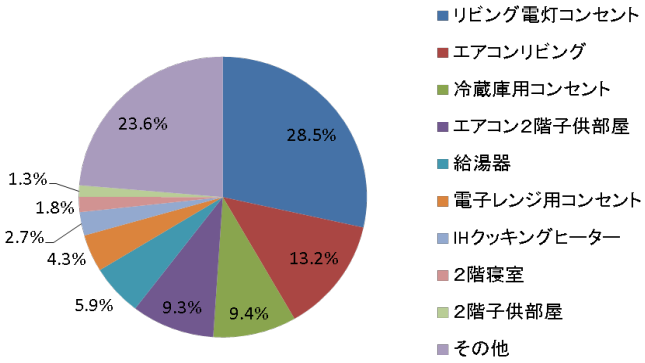


図２　回路別家電月間使用量割合

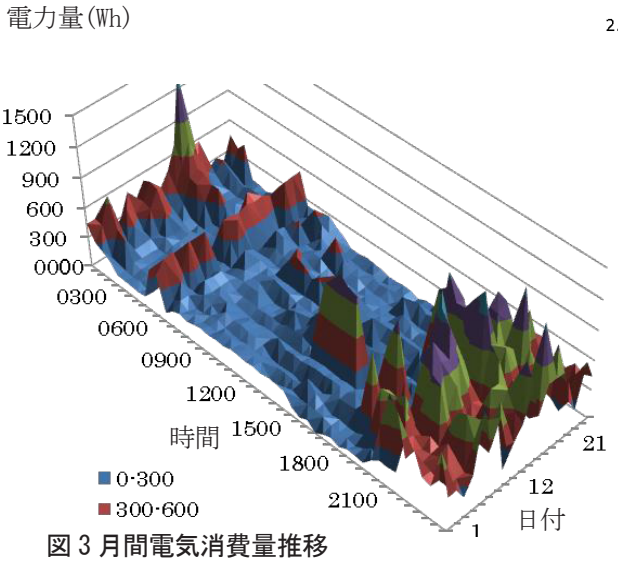


図３月間電気消費量推移

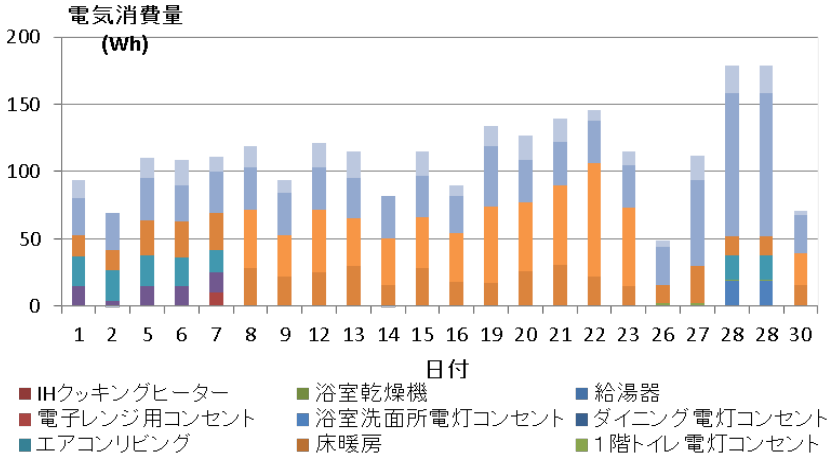
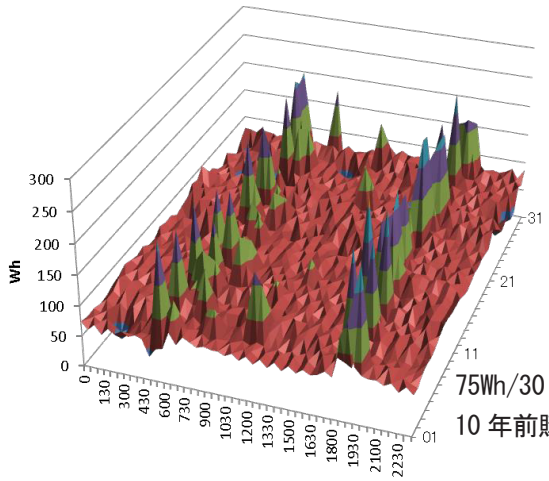


図４最低電力比率の構成

回路ごとの月間電気消費量推移の事例(図５に相当)

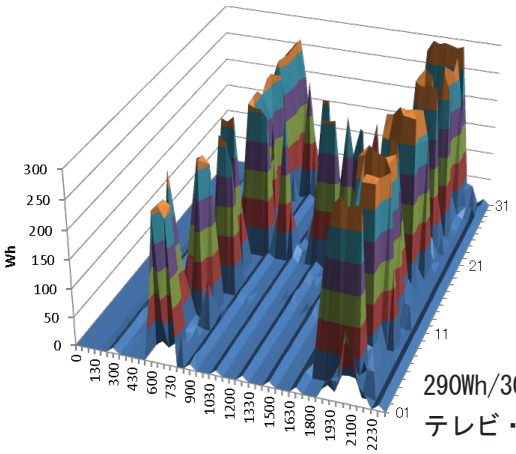
特定月特定回路の電力消費量を時間帯、日付ごとに 3D グラフで表したグラフ。家電は、回路の名称、参加者のヒアリング、家電の特性から特定した。

冷蔵庫



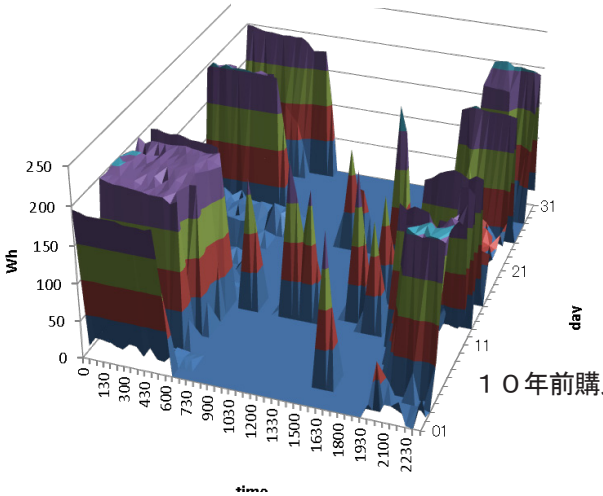
75Wh/30 分
10 年前購入

テレビ



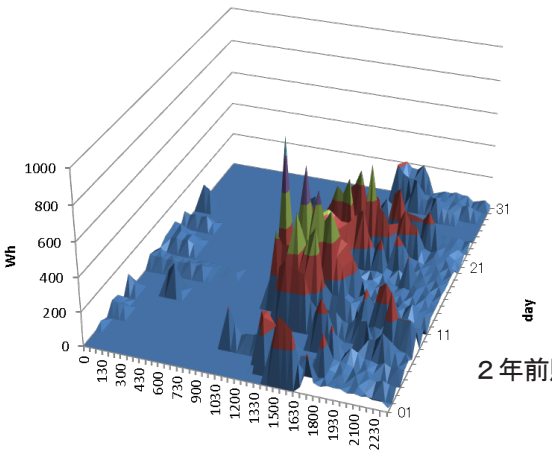
290Wh/30 分
テレビ・リビング

エアコン



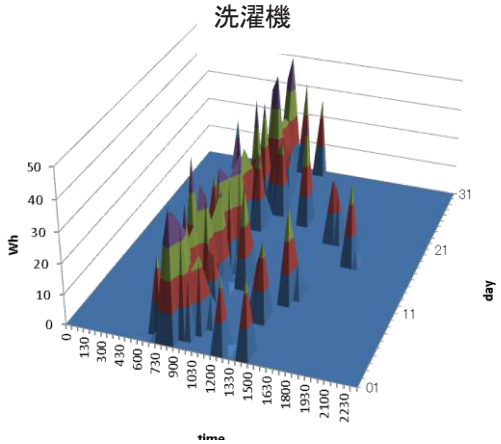
１０年前購入

エアコン

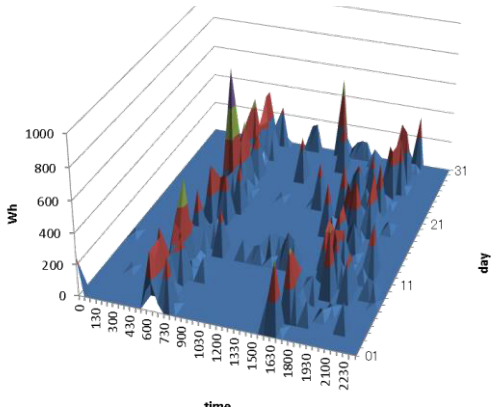


２年前購入

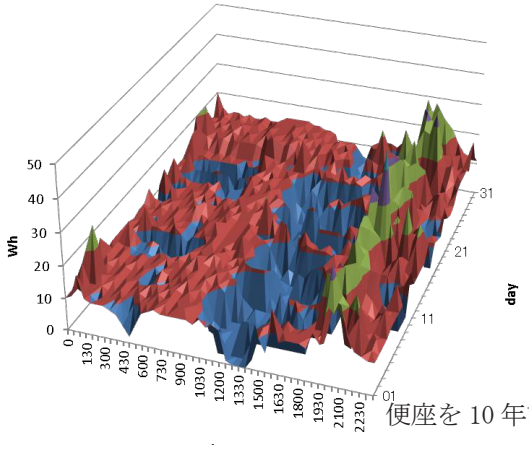
洗濯機



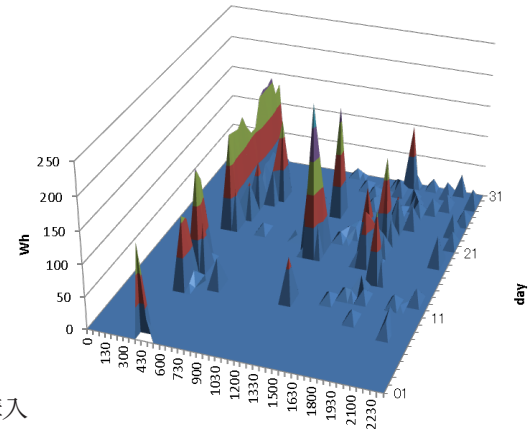
IH クッキングヒーター



トイレ

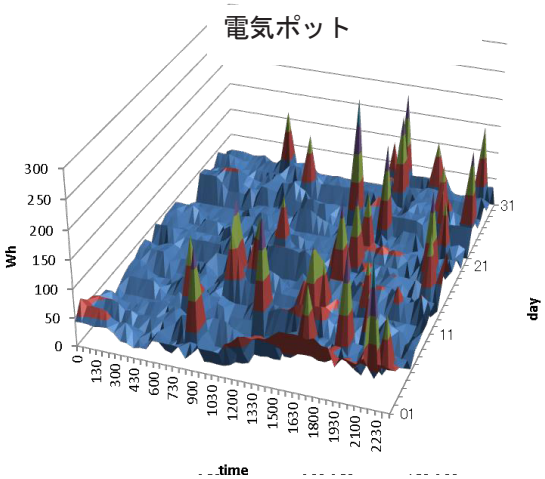


レンジ炊飯器コンセント

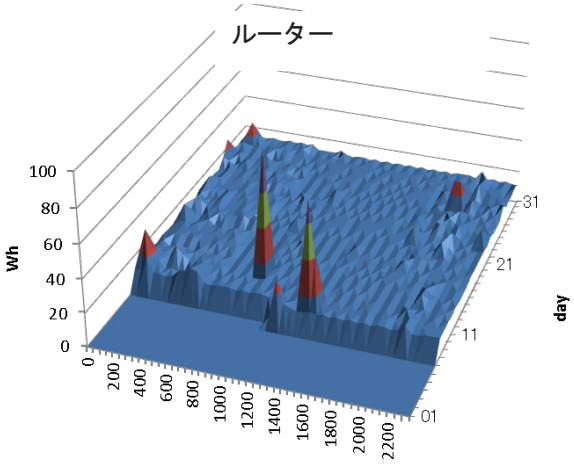


便座を 10 年前に購入

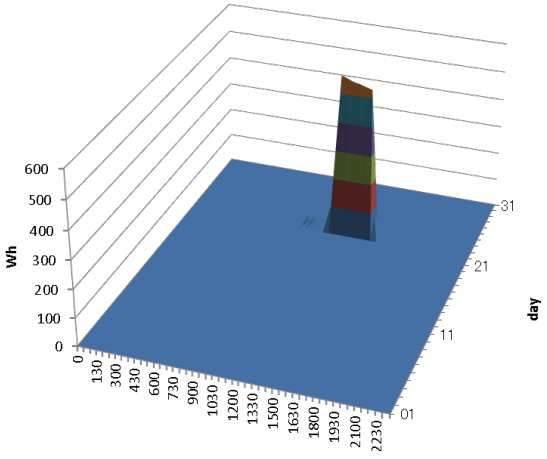
電気ポット



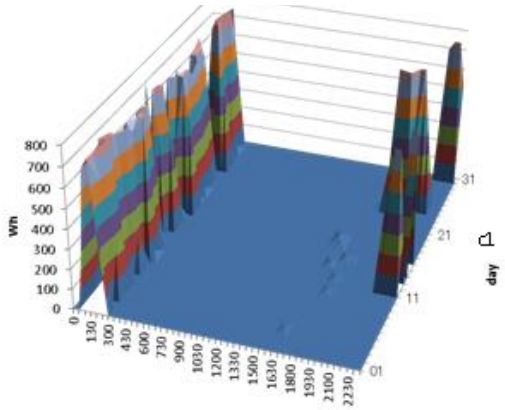
ルーター



浴室乾燥機



エコキュート



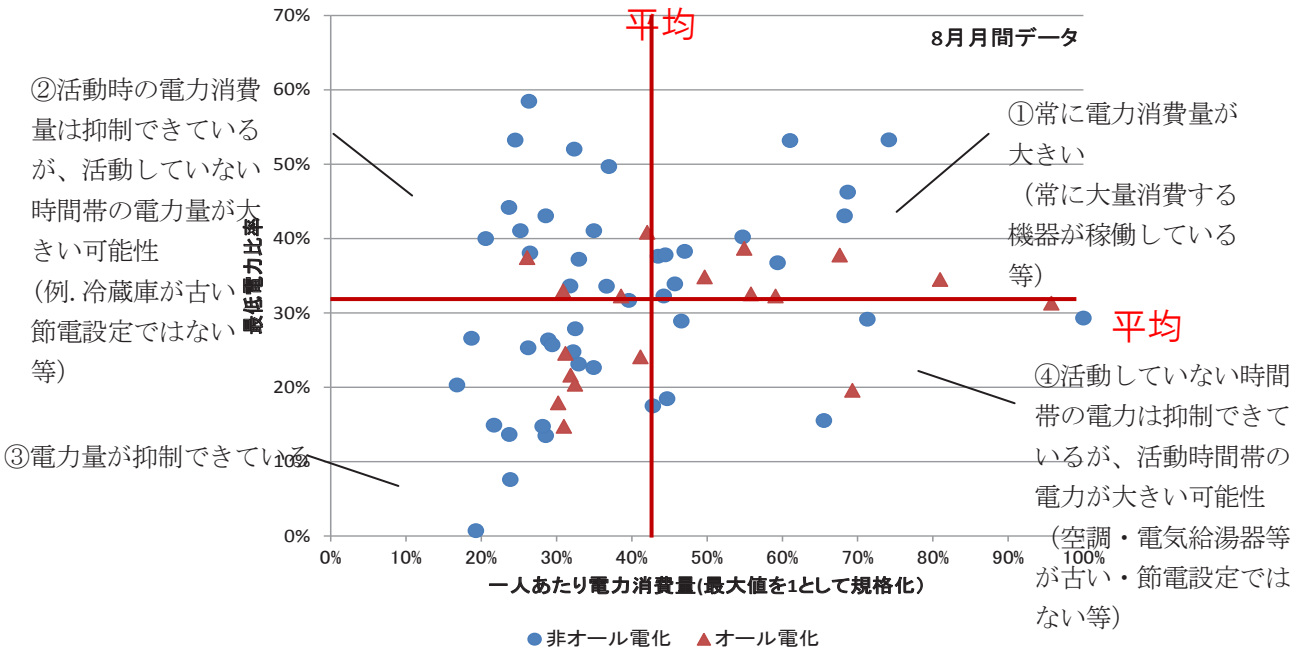


図 6　最低電力比率と 1 人あたりの電力消費量のグラフ(2014 年 8 月)

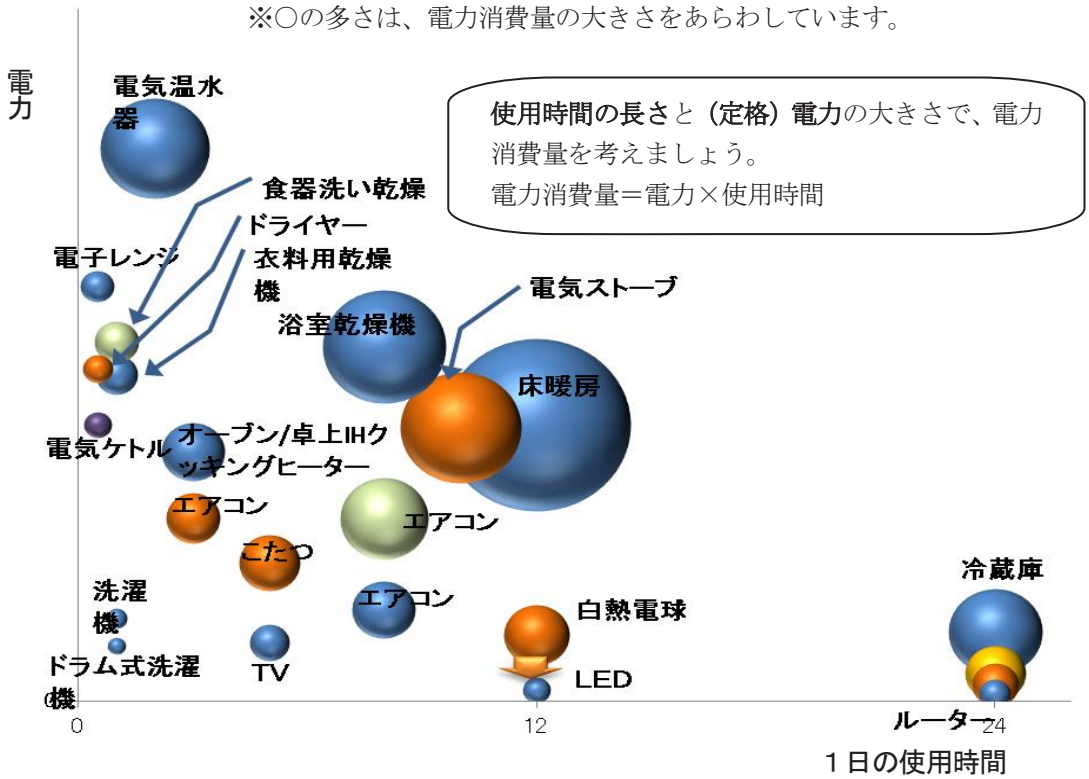


図 7　気付きにつながる情報提供の例：家電の使用時間と電力消費量のイメージ

全上場企業を対象とした温室効果ガス排出量の算定と公開

Calculation and publication of greenhouse gas emissions of listed companies

○本田智則*[1)]、西野成昭[2)]、稲葉敦[2)]
Tomonori Honda, Nariaki Nishino, Atsushi Inaba
1) 産業技術総合研究所, 2) 東京大学, 3) 工学院大学
* tomonori-honda@aist.go.jp

1. はじめに

2015 年末に開催された COP21 で、世界の気温上昇を 2℃未満に抑える取り組みに合意が得られた。京都議定書の失敗を受けて、世界 196 の国と地域が参加し、温室効果ガス排出削減への取り組みが進められることとなった。

日本は 2030 年度までに 2013 年度比 26.0%の温室効果ガス排出削減を行うという目標が掲げた。2013 年度の国内温室効果ガス排出量は、13 億 9000 万トンであった [環境省, 2015]。2030 年までに 3 億 6140 万トンの温室効果ガス排出を削減し、10 億 4200 万トンの排出量とすることを表明した。1990 年以降、温室効果ガス排出量が最も少なかったのはリーマンショックの影響によって世界的に景気が悪化した 2009 年の 12 億 5000 万トンである。1990 年度に比にして 18.0%の削減に相当する。これを実現するため、電源構成の組み替えや省エネによって 21.9%の温室効果ガス排出削減を実現するとしている。

一方で、産業部門はそのエネルギー消費効率を長期にわたって向上させてきており、1973 年の第一次オイルショック前と比較して、経済規模は 2.4 倍になっているにも係わらず、1 次エネルギー消費量は 40 年以上にわたって年間 6,000PJ 前後で推移している。そのため、昨今では民生部門、業務部門における省エネルギーが着目されるようになりつつある。しかし、COP21 の合意を機に産業部門においてもさらなる温室効果ガス排出削減が求められることが予想される。

そのような中で、企業間取引等においても他社の温室効果ガス排出量を考慮に入れた購買活動や、サプライチェーン全体の温室効果ガス排出量の算定等が進められていくことが期待される。

2. 研究目的：企業間比較可能な温室効果ガス排出量の算定

そこで重要となるのが、どのようにして自社、及び取引先等を含めた他社の温室効果ガス排出量を評価し、考慮していくのかということになる。

現在、毎年約 1000 社が環境報告書や CSR 報告書（以下環境報告書）といった形で自社の温室効果ガス排出量を公表している。しかし、これら報告書では、報告する企業によってそのバウンダリが異なっている。

例えばA社は自社単体の温室効果ガス排出量を報告している一方で、B 社は自社を含む子会社全て、C 社は子会社、及び関連会社を含めた温室効果ガス排出量を自社の排出量として報告している。子会社や関係会社というように客観的な基準によって報告範囲が切り分けられていれば比較も不可能ではないが、「主要生産工場」の温室効果ガス排出量のみを報告しているケースも多い。さらに、環境報告書データはその原単位の値も異なっているケースが多く、報告企業の時系列的な温室効果ガス排出傾向を知ることには使えても、企業間比較を行うことはできない。

そこで本研究では、開示されたデータに基づいて上場企業全社を対象として、複数のバウンダリを定義し、企業間比較可能な形で企業個々の温室効果ガス排出量を算定することとした。

3. 算定方法

3.1 温対法データ

企業の温室効果ガス排出量を算定するにあたっては、温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度（以下温対法）よって開示されたデータを用いて企業の温室効果ガス排出量の算定を行うこととした。

温対法は 2006 年度より施行され、原則としてエネルギー使用量の合計が原油換算 1500kl 以上となる事業所は自社の事業所単位で温室効果ガス排出量の報告が義務づけられている。また、2009 年度からはフランチャイズチェーンについても対象となり、事業所個別では上記要件に達しないが加盟店の合計エネルギー使用量が上記要件を超える場合は報告の義務が課されるように法改正が行われた。

3.2 温対法データの網羅性

温対法データはその網羅性が高い点に特徴がある。温対法で開示された温室効果ガス排出量を図 1 に示した。2006 年から最新の 2012 年までの開示データに掲載された企業及び運輸部門の温室効果ガス排出総量は約 6 億 5 千万トンである。2012 年度の日本の温室効果ガス総排出量は 13 億 4300 万トンであり、産業、業務、

運輸部門からの排出はこの 7 割であることから、国内の総排出量約 9 億 4000 万トンのうち、6 億 5 千万トンを評価対象とすることができる。これは対象部門の温室効果ガス排出総量のうち約 70%が評価対象となることを意味しており、現在国内で使用可能な温室効果ガス排出データとしては最も網羅性が高い。

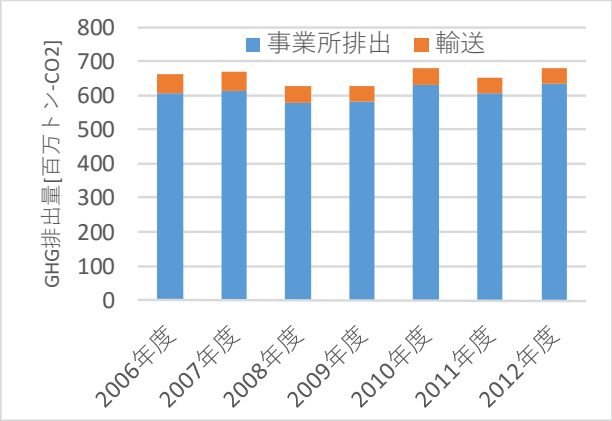


図 1 温対法によって開示された温室効果ガス排出総量推移

3.3 バウンダリの設定

温対法データは報告バウンダリとして、事業所単位でデータが収集されており、事業所単位の温室効果ガス排出量とその結果を集計した企業単位の温室効果ガス排出量が開示されている。

そのため、温対法データをそのまま用いた場合は、事業所単位または企業単体の温室効果ガス排出量しか評価することができない。そのため、昨今増えている持株会社の温室効果ガス排出量の算定などは行えない。また、一般に環境報告書などでは、子会社や関係会社の温室効果ガス排出量を親会社の温室効果ガス排出量として算定して公開しているが、温対法データのみでは企業間の関係は不明であるため、子会社、関係が社の温室効果ガス排出量を親会社に配分することができない。

そこで､本研究では東洋経済新報社の大株主データ、関係会社データを用いて、温企業の関係を株式所有比率に基づいて相互の関係を明らかにした。

評価にあたっては、

- バウンダリ 1：持株比率 50%以上（子会社）
- バウンダリ 2：持株比率 20%以上（関連会社）

として、2 つのバウンダリを設けて算定を実施した。算定にあたっては、会社法に基づき、子会社の子会社は親会社の子会社として取り扱った。また、同様に子会社の関係会社は親会社の関係会社として扱った。ただし、関係会社子会社、及び関係会社は親会社の子会社、関係会社としないよう算定を行った。（図 2）

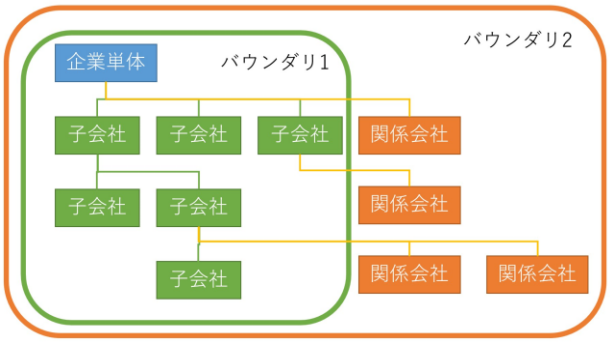


図 2 評価バウンダリの設定

3.4 温室効果ガス排出算定方法

2 種類の方法によって、温室効果ガス排出量の算定を行った。1 つは、子会社、及び関係会社の温室効果ガス排出量は全て親会社の排出量として算定する手法である。この手法は環境報告書等で一般的に用いられている手法である。しかし、この算定手法では関係会社の温室効果ガス排出量をダブルカウントしてしまうケースがある。具体的には A 社と B 社、C 社の 3 社がそれぞれ 20%出資する D 社が存在するとき、この D 社は A,B,C 社それぞれの関係会社として位置づけられる。よって、この D 社の温室効果ガス排出量は 3 社に対し配分されることになり、結果として全体の温室効果ガス排出総量が真の温室効果ガス排出量よりも多くなってしまう。

そこで、本研究では 2 つめの配分手法として、株式所有比率に基づいて配分する手法でも温室効果ガス排出量の配分を行い、温室効果ガス排出量を算定した。この方法であれば、先の 3 社は、D 社の温室効果ガス排出量のうち 20%分のみが配分されるため、ダブルカウントは生じない。

4. 算定結果とその公表

以上の算定手法を用いて、有価証券報告書を発行する全上場企業を対象として算定を行った。その結果、全上場企業約 3600 社のうち、2114 社が単体または子会社、関係会社を通じた温室効果ガス排出の報告が行われていることを確認した。2114 社の温室効果ガス排出総量はバウンダリ 2 を採用した場合 2012 年度は 4 億 3340 億トンの排出となった。このことから 2012 年度に温対法に基づき開示された温室効果ガス排出量 6 億 3535 万トンのうち、約 68%が上場企業とその子会社、及び関係会社からの排出である事が分かった。

企業個別の情報を含めた算定結果については、日本 LCA 学会環境情報研究を通じて公開していく予定である。

学生を主体とする工学院大学の SCOPE3

SCOPE3 of Kogakuin University mainly focusing on students

○井上夏美 [1)]、中野龍司 [1)] 、村田翔 [1)] 、田中浩二 [2)] 、稲葉敦*[1)]
Natsumi Inoue, Ryuji Nakano, Sho Murata, Koji Tanaka, Atsushi Inaba
1) 工学院大学, 2) e.s.feed 株式会社
* a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

1.諸言

現在、企業では自社の温室効果ガス（以下.GHG）の直接排出（SCOPE1）、他者から供給された電気、熱・蒸気の使用に伴う間接排出（SCOPE2）の情報の開示に加え事業活動に関連する他者の排出（SCOPE3）を加えたバリューチェーン全体の GHG 排出量の算定が進められている。

その様な中で著者ら [1)] は 2012 年度及び 2013 年度の工学院大学会計支出データとエネルギー使用量のデータを用いて工学院大学の SCOPE1,2,3 の算定を行い、その結果、2 年間とも SCOPE1,2 の合計値と SCOPE3 の GHG 排出量がほぼ同等である事を示した。SCOPE3 の中ではカテゴリー1 の購入・サービスの割合が大きいので、GHG 排出量の削減には、環境に配慮した製品を購入の推進する事が必要である。

しかし、大学の活動を学生が主体であると考えると、大学の収支決算報告書及びエネルギー使用量データのみの算定では不十分であると考えられる。特に学生が頻繁に使用する生協等の学内他組織の GHG 排出量や大学の経理データから算定される GHG 排出量には含まれないので、これらの排出量を学生個人の通学や物品購入として別途算定する必要がある。

そこで、本研究では、大学の経理データに含まれない学生の活動を加味した大学全体の SCOPE1,2,3 の算定方法を検討する。具体的には、生協の GHG 排出量を算定と学生に対するアンケート調査を基に GHG 大学排出量を算定し大学法人の CO_2 排出量と比較する。

2.研究方法

2.1 工学院大学の SCOPE3 の計算

経理課より 2014 年度工学院大学会計支出データ及び 2014 年度特別会計データ、施設課よりエネルギー使用量データを入手した。MiLCA[2)]並びに 3EID[3)]より引用した CO_2 排出原単位を用いて、工学院大学の SCOPE3 を算定した。

2.2 工学院大学生協購買部・食堂部の SCOPE3

工学院大学の生協は食堂部と購買部より成る。生協より各購入品データを入手した。

生協食堂部については、購入品の重量に CFP データベース [2)] 等より得た CO_2 排出原単位を乗じ算出した。調理済み食品（加工食品）等は cookpad[4)]等に記載されたレシピより原材料の種類・分量を調査し、原材料の食材ごとに CO_2 排出量を算定し、各食材の排出量を合計し求めた。生協購買部について、購買部の購入品データより、各購入品の重量に、3EID[3)] 等より得た排出原単位を乗じて算定を行った。

2.3 学生の行動による SCOPE3 の計算

工学院大学に在籍する学生を対象に、学生生活に関するアンケート調査を行い 101 名分の有効回答を得た。

2.3.1 通学

学生の通学経路を以下の 6 通りに分類し、電車・路線バス・原付バイク・自動車のいずれか 1 つ以上を使用している回答を算定対象とした。得られた通学形態のデータに日本 LCA 学会ニューツーリズム研究会報告書 [5)]より得た排出原単位を乗じて回答者 101 名分の算定を行った。算定した CO_2 排出量に対して、授業日程表より算出した所定の日数（1～3 年生:205 日間、4 年生・大学院生:280 日間）と 2014 年度の在籍学生数 6454 人を乗じて、全在籍学生の 1 年分の学生の通学に関わる CO_2 排出量とした。

表 1　工学院大学の学生における通学形態分類

通学先	新宿キャンパス	八王子キャンパス
通学形態	電車を利用せずに通学	
	電車を利用して通学	
	電車・シャトルバスを利用して通学	

2.3.2 購入物品及び生協食堂の利用

学生が生協で購入した物品と生協以外で購入した物品の CO_2 排出量を、購入金額を基に 2.2 項と同様に算定を行った。

また、生協食堂の利用における CO2 排出量も 2.2 項と同様に算定した。これらを通学と同様の方法で、全在籍学生の 1 年分の CO2 排出量に換算した。

3.結果及び考察

3.1 工学院大学の SCOPE3 算定

図に 2014 年度の工学院大学全体の SCOPE1,2,3 の内訳を示した。工学院大学全体の CO_2 排出量は 17265[t-CO_2]であり、その内 58%の 10088[t-CO_2]が SCOPE3 であった。2014 年度は学科改変に備えて特にキャンパスの建て替えなどが多かったため、各建物費が CO_2 排出量全体の約 27%を占めた。

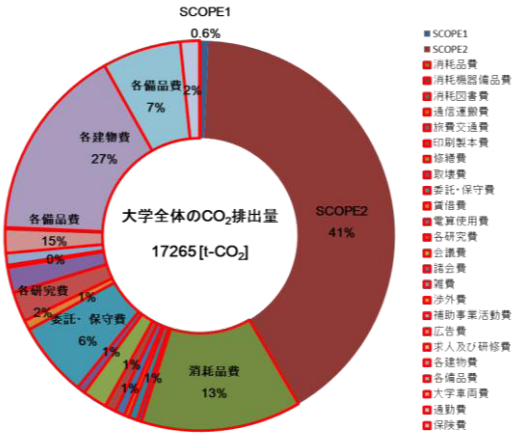


図 1　2014 年度の工学院大学全体の SCOPE1,2,3

3.2 工学院大学生協購買部・食堂部の SCOPE3 算定

図 2 に 2014 年度生協全体の SCOPE1,2,3 の算定結果を示した。生協全体の CO_2 排出量は 6042[t-CO_2]であり、その内の約 88%が生協購買部由来であった。

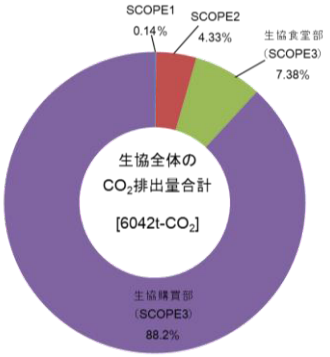


図 2　2014 年度の工学院大学生協全体の SCOPE1,2,3

3.3 学生の行動による SCOPE3 算定

アンケート調査の結果、学生の活動に関わる CO_2 排出量は 6042[t-CO_2]であった。その内訳は、生協購買部由来の排出量が 698[t-CO_2]、生協食堂部由来が 171[t-CO_2]、新宿キャンパスへの通学由来が 996[t-CO_2]、八王子キャンパスへの通学由来が 1688[t-CO_2] となった。図 2 より、生協食堂部の SCOPE3 に対して約 40%の誤差だったので図 2 に示した生協食堂部の SCOPE3 算定結果を学生の生協食堂の利用による CO_2 排出量とした。学生の通学の CO_2 排出量が全体の約 60%を占めている。

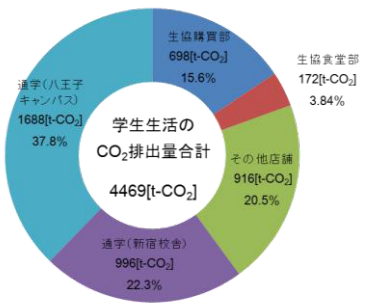


図 3　学生の行動に由来する CO_2 排出量の内訳

3.3 工学院大学の全体的な SCOPE1,2,3 算定

図 3 に示した学生の通学、物品購入並びに食堂の利用は大学の経理データに記載されないので、図 1 には含まれていない。従って、これらを図 1 に加える必要がある。一方、生協の購入物品のうちの学生が購入したもの以外は大学が購入していると考えられ、図 1 に既に含まれている。また、生協の SCOPE1,2 も既に図 1 に含まれている。以上を考慮した学生の活動を含めた工学院大学の SCOPE1,2,3 算定結果を図 4 に示した。学生の活動を含めた工学院大学全体の CO_2 排出量は 25763[t-CO_2]となった。

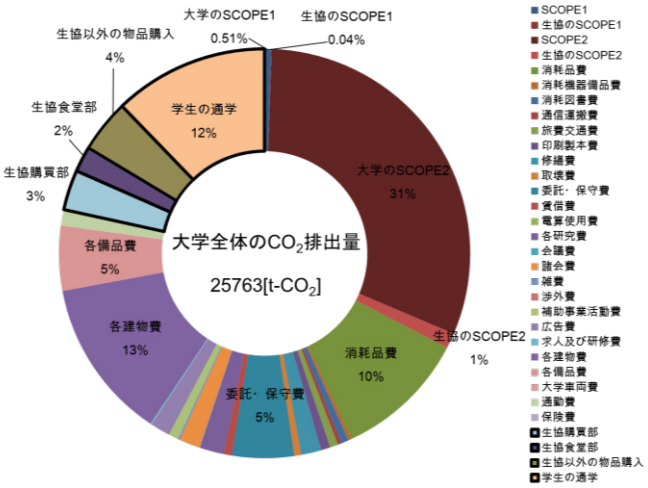


図 4　学生の活動を加味した工学院大学の SCOPE1,2,3

4.まとめ

本研究では、工学院大学及び生協並びに学生の行動に関する SCOPE1,2,3 の算定を行った。その結果、学生の活動に関する CO_2 排出量は工学院大学全体の排出量 25763[t-CO_2]に対して約 21%を占める結果となった。学校法人の SCOPE1,2,3 算定を行う場合は、大学の経理データには記載されない学生の通学や物品購入状況を補填する必要がある。

5.参考文献

1) 一宮敦,田中浩二, 稲葉敦:第 10 回日本 LCA 学会研究発表会, (2013), p224-225
2) 一般社団法人,産業環境管理協会“LCA　支援ソフトウェア（MiLCA）”
3) 独立行政法人, 国立環境研究所,” 産業連関連表　環境負荷単位(3EID)”
4) クックパッド株式会社, cookpad, http://cookpad.com/
5) 日本 LCA 学会, 日本 LCA 学会ニューツーリズム研究会報告書, (2012), p92-96

テキストマイニングに基づいたカーボンフットプリントの計算方法の提案

A method based on text mining for calculating carbon footprint

○趙 培江*1)、永野 宏治 1)
Zhao Peijiang and Koji Nagano
1) 室蘭工業大学
* 14096014@mmm.muroran-it.ac.jp

1. はじめに

カーボンフットプリント(CFP)とは、製品やサービスの原料・製造・輸送・消費・廃棄の全過程で発生する温室効果ガスの量を二酸化炭素（CO_2）の量に換算して、ラベル付けする社会的な仕組みである [1)]。現在、日本で展開されている CFP の取組みは、カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム（CFP プログラム）、コープさっぽろの食品 CFP の取組み等がある。現在の CFP の取組には以下の問題がある。

(1) CFP が公開されている商品の数が少ない。2015 年 12 月の時点で、CFP プログラムでは 1153 品の商品を公開し、127 品を CFP 対象製品としている。
(2) CFP の認知度が低い。筆者らが 2014 年 9 月と 2015 年 8 月に札幌においてアンケート調査した結果 CFP を知っている一般消費者は 14%であった [2)]。
(3) CFP の大きさを把握しにくい。CFP の大きさの基準がない。また、CFP 計算されている商品が少ないため、CFP の大小を相対的に評価しにくい。

これらの問題は相互に関連している。これらの問題の中で、CFP が計算された商品数が多くなるならば、CFP の認知度の向上、CFP の大小の商品間比較が可能になると考えられる。

一方、現代は商品に関する情報が多量にウェブに公開されている。このようなウェブに公開されている情報から CFP を推定できるようになると、メーカーに直接頼らずに、商品の CFP を求められるようになる可能性がある。本研究では、テキストマイニングを用いて、ウェブに公開されているデータを使って、商品の CFP の範囲を計算する方法を提案する。

2. 推定方法の概要

図 1 にテキストマイニングを用いた CFP の推定方法の概略を示す。本手法はウェブからデータを収集する部分と CFP を計算する部分からなる。ウェブから収集するデータは商品の原材料データ、原材料産地データ、生産データである。本手法でウェブから収集されるデータには、オープンデータベースとして統一した表現形式に整理されているデータと、一般のウェブサイトにおいて公開されているテキストデータがある。オープンデータベースから取得したデータは整理されたデータのため、直接 CFP の計算に容易に使用できる。一方、一般のウェブサイトに公開されているテキストデータは、表現がウェブサイト毎に異なるため、直接使用できない。そこで、著者らは、一般のウェブサイトから CFP に関するデータを自動的に抜き出すテキストマイニングの方法を開発している。CFP の計算では、収集した商品データを用いて、該当商品種の CFP の最大値、最小値、平均値を計算する。収集した商品データから商品種の CFP を計算する時、その商品種を構成する個々商品の原材料にばらつきがあるため、商品種の CFP 計算結果はばらついた推測値になる。このような本手法の特徴は、ウェブに公開されているデータを使って CFP の分布範囲を推定し、商品の CFP の基準を示す点にある。

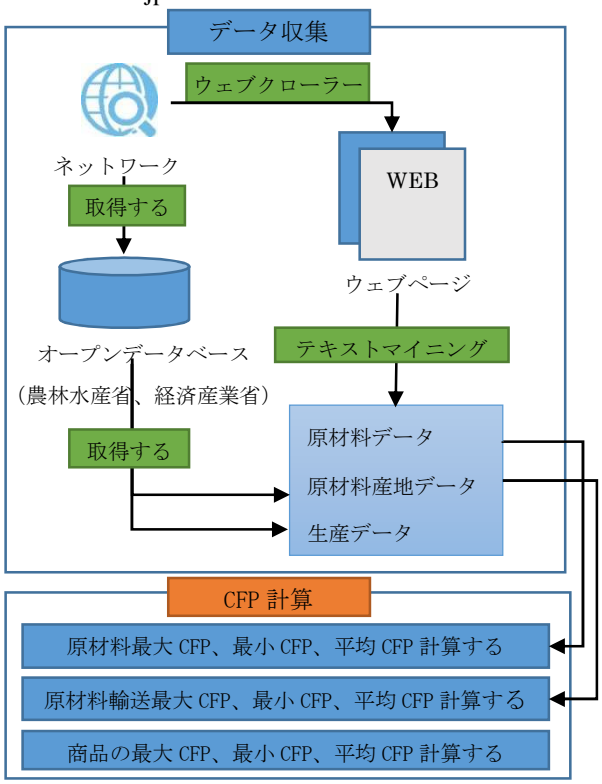


図 1 テキストマイニングを用いた CFP の推定方法

3. データの収集

本手法ではウェブからデータを収集する時、一般のウェブサイトから商品の原材料のデータを収集し、オープンデータベースから原材料産地データと生産データを収集する。

原材料データを収集するため、本研究では、原材料データが記録されるウェブサイトを検索するウェブクローラーと商品に関するテキストデータを抽出するテ

キストマイニング用の再帰自己符号化器を開発している。このウェブクローラーでは、計算する商品の商品名を含むウェブサイトを自動的に検索し、商品の原材料に関係するテキストを収集する。本研究の再帰自己符号化器は、テキストデータから単語を抽出し、その抽出した単語が商品に関するデータである確率を計算する。本手法で、収集する原材料データは、原材料名、原材料の出現頻度比、原材料と商品の重量比の最大値、最小値、平均値である。原材料の出現頻度比とは、その商品が現れるウェブページの数と、そのウェブページの中で、その原材料が現れるウェブページの数の比である。

本手法でオープンデータベースから収集される原材料産地データは、その原材料の日本国内で産地名、産量と海外の輸入先、輸入量である。収集する先は農林水産省と経済産業省が公開しているオープンデータベース [3]である。本研究では 6962 品の原材料の産地データを収集した。

本手法で収集された生産データは、各生産メーカーが公開している工場の CO_2排出量と工場所在地である。

4. CFP の計算

本手法でウェブから収集したデータには、以下の性質がある。

(1) 商品の原材料データにばらつきがある。本手法では、原材料データを複数のウェブサイトから収集するため、同じ商品種でも個々の商品の重量、原材料の種類、その原材料が商品に占める重量比が異なる。

(2) 原材料の真の産地情報は不明である。

この二つの性質のため、本手法では次に述べるように CFP を推定する。

原材料データにばらつきがあるため、本手法では、各原材料の出現頻度比を考え、原材料 CFP の最大値、最小値、平均値を計算する。また、個々の商品によって重量が変わるため、本手法では、商品の重量mを 100g に固定する。

原材料 A の原材料 CFP の最大値CFP_{A-max}、最小値 CFP_{A-min}、平均値 $\overline{\mathrm{CFP}_A}$はそれぞれ(1),(2),(3)式で計算式する。$R_{A-max}, R_{A-min}, \overline{R_A}$は原材料と商品の重量比の最大値、最小値、平均値である。P_Aは原材料の出現頻度比である。原材料 CFP の最小値を計算する(2) 式では原材料の出現頻度が 50%以上の原材料を使う。CO_2原単位U_Aは味の素グループ版「食品関連材料 CO_2 排出係数データベース」に基づいた数値である。

$$\mathrm{CFP}_{A-max} = R_{A-max} * P_A * U_A * m \quad (1)$$

$$\mathrm{CFP}_{A-min} = R_{A-min} * P_A * U_A * m \quad (2)$$

$$\overline{\mathrm{CFP}_A} = \overline{R_A} * P_A * U_A * m \quad (3)$$

表１カップヌードル CFP 計算結果

CFP 種類	最大 CFP (g-CO_2/ 100g)	最小 CFP (g-CO_2/ 100g)	平均 CFP (g-CO_2/ 100g)
原材料 CFP	172.4	58.2	108.8
輸送 CFP	17.4	5.4	14.2
生産 CFP	32.2	32.2	32.2
総 CFP	222.0	95.8	155.2

原材料 A の輸送 CFP の最大値CFP_{At-max}、最小値CFP_{At-min}、平均値$\overline{\mathrm{CFP}_{At}}$ はそれぞれ(4),(5),(6)式で計算する。本手法では、原材料Aを各産地からメーカーの工場までの最長輸送距離L_{A-max}、最短距離L_{A-min}を用いて、輸送 CFP の最大値、最小値を計算する。 (6)式の平均輸送距離$\overline{L_A}$は、各産地 k の原材料 A の産量 M_k と日本国内総消費量 M_{all} の比で重み付けした輸送距離L_{Ak}の重み付け平均値である。なお、日本国内総消費量は国内産量と海外輸入量の和である。輸送原単位U_tでは、国内輸送はトラックの輸送原単位 0.272 kg- CO_2 /(ton km)を使用し、海外輸送は船の輸送原単位 0.0089 kg- CO_2 /(ton km)を使用している。

$$\mathrm{CFP}_{At-max} = L_{A-max} * R_{A-max} * P_A * U_t * m \quad (4)$$

$$\mathrm{CFP}_{At-min} = L_{A-min} * R_{A-max} * P_A * U_t * m \quad (5)$$

$$\begin{cases} \overline{\mathrm{CFP}_{At}} = \overline{L_A} * \overline{R_A} * P_A * U_t * m \\ \overline{L_A} = \sum_k \frac{M_k}{M_{all}} * L_{Ak} \end{cases} \quad (6)$$

5. 計算結果と考察

本研究で提案した方法を用いて、21 個のウェブサイトから日清食品のカップヌードルのデータを収集し、CFP を計算した。現在、日清食品のカップヌードルには 34 種が販売されている。また、本研究のテキストマイニングの開発を十分に完成されていないため、本報告では、商品のデータの一部は著者らが手動で収集した。計算結果を表１に示す。

本報告では、テキストマイニングにより、大量な商品データを収集し、商品の CFP の範囲を計算できる可能性を示した。しかし、本手法を使った計算する過程には、再帰自己符号化器の認識率が足りない、収集した CFP の計算に関するデータの量が少ない等の課題がまだあるため、改良を重ねていく。

引用文献

1) 永野宏治，吉田洋一，小松均，村上伸吾(2013)：日本 LCA 学会誌, 9(4), 299-305

2) 趙培江，永野宏治，鈴木昭徳，佐藤和彦(2016)：日本 LCA 学会誌，12(1)

3) 農林水産省：“農林水産省/統計情報”， <http://www.maff.go.jp/j/tokei/index.html>,（参照 2015-11-25）

スーパーマーケットにおけるカーボンフットプリント公開の取組についての認知度調査

Awareness survey about presentation of carbon footprint in supermarkets

○永野宏治 [1)]，趙培江 [1)]，鈴木昭徳 [2)]，横滝智也 [1)]

Koji Nagano, Zhao Peijiang, Akinori Suzuki and Tomoya Yokotaki

1) 室蘭工業大学，2) 生活協同組合コープさっぽろ

nagano@mmm.muroran-it.ac.jp

1　はじめに

著者らは、2009 年よりスーパーマーケットにおいて食品のカーボンフットプリント (CFP) を計算し、その結果を Point of purchase advertising(POP) 表示により店舗内に公開展示してきた [1)]。さらに、2014 年 10 月から、食品を中心にして 130 品について CFP を計算し、新たに、CFP を紹介するパンフレットの配布、CFP の包装材への印刷を行っている [2, 3)]。

著者らは、CFP 公開の取組の効果を検証するために、2014 年 9 月と 2015 年 8 月及び 11 月に CFP の認知度をアンケート調査した。本報告では、このアンケート調査と CFP 公開の取組の効果についての解析結果を報告する。

2　CFP の公開の取組

著者らが、スーパーマーケットの店頭に POP で展示してきた CFP は、2010 年に 16 品、2011 年に 23 品、2012 年に 37 品である。そして、2014 年 10 月に CFP をとおして一層の消費の環境影響をアピールするために、130 品について CFP を計算し公開した。この 130 品の内訳は、食品が 124 品、日用品 (トイレットペーパー等) が 6 品である。

2014 年に CFP を公開した製品は、コープさっぽろのプライベートブランド (PB)「なるほど商品」が 50 品、「なるほど商品」以外のコープさっぽろの PB が 52 品、北海道の複数の食品メーカーが参加しているブランド「北海道 100」が 14 品、その他 14 品である。コープさっぽろの PB「なるほど商品」は、共通の基本構想と規格でまとめたブランドである。このブランドは、ほとんどが北海道で製造した食品であり、統一した簡潔なデザインの包装を用いている。

2014 年の CFP の公開では、新たに、包装材への CFP のラベリングを実施した。図 1 に包装材に印刷したラベルを示す。このラベルは、コープさっぽろの PB「なるほど商品」に印刷した。PB「なるほど商品」は、コープさっぽろが一つの基本構想と規格でまとめたブランドであるため、他社の工場で製造していても、他の製品に比



図 1　栄養成分表示と CFP を統一したデザインのラベル



図 2　CFP を紹介するパンフレット

べて CFP に関するデータを容易に収集でき、包装デザインにも独自に工夫ができた。

図 1 のラベルでは、健康に関する栄養成分の表示と環境に関する CFP 表示を組み合わせた。消費者は、食品と健康を結びつけていると筆者らは考えた。そして、食品と健康を結ぶ情報が、食品の栄養成分と筆者らは考えた。一方、筆者らは食品と環境を結びつける仕組みとし

て CFP に取り組んできた。そこで、食品を仲立ちにして健康に関わる栄養成分と環境に関わる CFP を結びつけて、図 1 のように、CFP の表示と栄養成分の表示を、形を統一したデザインで並べて、包装に表示した。なお、CFP が栄養素の一つと誤解されないように、CFP は緑色あるいは赤色の地のデザインにし、栄養素は白地のデザインに統一した。

CFP を消費者に伝えるために、2014 年には図 2 のパンフレットを店頭と宅配で配布した。このパンフレットでは、130 品の CFP をまとめるとともに、CFP の紹介や製造過程における CO_2 排出量の違い等を紹介した。

3　認知度のアンケート調査

本報告で述べた 130 品の CFP の公開に先立ち、2014 年 9 月にコープさっぽろが主催する組合員向け展示会で、CFP の認知状況を調べるアンケート調査を実施した。この展示会は札幌市スポーツ交流施設つどーむで行われた。さらに、CFP の公開の約 11 ヶ月後の 2015 年 8 月に、札幌の同じ展示会で同様のアンケート調査を実施した。また、2015 年 10 月に室蘭においても同様のアンケート調査を実施した。室蘭における調査は初めてである。

表 1 にアンケートの調査方法の概要をまとめる。また、表 2 にアンケートの質問とその回答結果をまとめる。本報告で述べた CFP の公開活動の前後で、質問 ①「CFP を知っていますか？」と質問 ③「CFP プログラム参加マークを見たことがありますか？」について「はい」と答えた人の割合には、変化は見られなかった。一方、質問 ②「コープさっぽろの CFP 独自マークを見たことがありますか？」については、マークを見たことがあると答えた人の割合が増加していた。これと同様の認知度は、室蘭においても見られた。

4　認知度の解析

札幌会場における公開取組前後のアンケート調査から、CFP の公開の取組の効果を χ^2 適合度検定により評価する。質問 ① でたずねた CFP 制度の認知度については、帰無仮説を「本取組は、CFP の認知度向上に効果がない。」とする。この場合、χ^2 適合度統計量は自由度 1 であり、$\chi^2 = \frac{228\times(68\times22-15\times123)^2}{83\times145\times191\times37} = 0.33$ である。実現値 0.33 は、自由度 1 、5% 点の χ^2 分布 $\chi^2_{0.05}(1) = 3.84$ より小さいため、帰無仮説「本取組は、CFP の認知度向上に効果がない。」は有意水準 5% で棄却できなかった。同様に質問 ③ のアンケート結果でも、本取組は、CFP プログラム参加マークの認知度向上に効果がない。」は有意水準 5% で棄却できなかった。

質問 ② のアンケート結果では、帰無仮説を「本取組は、コープさっぽろの CFP 独自マークの認知度向上に効果がない。」とする。χ^2 適合度統計量は $\chi^2 = \frac{229\times(72\times46-3\times108)^2}{75\times154\times180\times49} = 20.0$ である。この実現値 20.0 は、先に述べた有意水準 5% の 3.84 より大きいため、質問 ② についての帰無仮説は有意水準 5% で棄却できる。つまり、本取組は有意水準 5% でコープさっぽろの CFP 独自マークの認知度向上に効果があったと言える。

表 1　CFP の認知度調査の方法。質問によって回答数が異なる。

調査した日時	2014年9月27日（土）10:00～16:00	2015年8月22日（土）10:00～16:00	2015年10月31日（土）10:00～15:00
調査を行った展示会	コープさっぽろ第8回食べる・大切フェスティバル札幌会場（札幌市スポーツ交流施設　コミュニティドーム　つどーむ）	コープさっぽろ第9回食べる・大切フェスティバル札幌会場（札幌市スポーツ交流施設　コミュニティドーム　つどーむ）	コープさっぽろ第9回食べる・大切フェスティバル室蘭会場（旧室蘭駅舎・旧室蘭駅舎公園ぽっぽらん）
展示会来場者総数（人）	7094	8517	2145
アンケート調査方法	CFPの展示ブースへの来場者への聞き取り		
回答者の主な属性	主婦、小学生または幼児を連れた家族連れ		
回答者の年齢層	20歳～70歳		
回答者数（人）	70～83	141～154	64～66

表 2　CFP のアンケート結果

	2014年9月27日 札幌会場		2015年8月22日 札幌会場		2015年10月31日 室蘭会場	
	はい	いいえ	はい	いいえ	はい	いいえ
①カーボンフットプリントを知っていましたか？	15人 (18%)	68人 (82%)	22人 (15%)	123人 (85%)	5人 (8%)	59人 (92%)
②  のマークを見たことがありますか？	3人 (4%)	72人 (96%)				
②  のマークを見たことがありますか？			46人 (30%)	108人 (70%)	13人 (20%)	53人 (80%)
③  のマークを見たことがありますか？	0人 (0%)	70人 (100%)	4人 (3%)	137人 (97%)	6人 (9%)	60人 (91%)

参考文献

1) 永野宏治, 吉田洋一, 小松均, 村上伸吾 (2013) : 日本 LCA 学会誌, 9(4), 299-305

2) 永野宏治，鈴木昭徳，趙培江 (2015) : 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 198-199

3) 趙 培江，永野宏治，鈴木昭徳，佐藤和彦 (2016) : 日本 LCA 学会誌，12(1)(印刷中)

ＬＣＡを活用した気候変動緩和策の限界削減費用分析評価の一試行

A trial study of Marginal Abatement Costs Analysis for Climate Change Mitigation Strategies using Life cycle assessment

○小関康雄*[1)]、伊坪徳宏[1)]
Yasuo Koseki, Norihiro Itsubo
1) 東京都市大学
* ykoseki@ tcu.ac.jp

1. はじめに

気候変動問題について、「防止策」としての極力気候変動を抑える「緩和策」と、「事後対応策」としての変動が進んだ場合の被害を極力少なくする「適応策」の両面からの検討が、世界レベルで議論されている。

その緩和策や適応策の実現にはかなりの費用と時間が必要なため、その優先順位の決定が非常に重要である。優先順位の決定情報のひとつに CO2 削減量と削減コストで評価する「限界削減費用分析（MAC）」手法があり、国内外で研究が進んでいる。[1) 2)]

本研究では、各種の緩和・適応策を多面的に評価する目的で、現状手法にＬＣＡと LCC の考え方および環境コストを導入した新しい手法を提案し、電気製品の省エネ策を中心にした緩和策について評価した試算結果を報告する。本研究は、環境省の環境研究総合推進費（S-14）の研究の一環で実施している。

2.　研究方法

2.1　評価対象

評価対象は、現在検討中の緩和策と適応策を計画的に評価する予定で、今回は「手法開発の提案」を中心に、削減コスト的に有利と予想される電気製品の省エネ化による「緩和策」に注目し、照明、自動販売機、冷蔵庫、エアコン、テレビ等の家電品を対象とした。対象製品の主要仕様（緩和策の概要）を表１に示す。

表１　緩和策の対象製品の概要（主要仕様）

NO	分野	製品	緩和策の具体的内容	製品仕様の比較（比＝新製品/現状製品）					製品台数（万台/年）
				軽量化	省エネ化	省資源・他		製品価格比	
				質量比	電力比	項目1	項目2		日本
1	照明	現状	白熱電球	3.50	0.14	寿命：1000h		10.94	94,108
		新	LED電球			寿命：40000h			
2	自販機	現状	現状機	0.91	0.53	冷媒：134a	蛍光灯照明	1.00	30
		新	超省エネ型			冷媒：CO2	LED照明		
3	冷蔵庫	現状	現状製品	1.17	0.77	冷媒：R600a（イソブタン）		1.00	376
		新	省エネトップ製品						
4	エアコン	現状	現状製品	1.18	0.67	冷媒：R410A（混合冷媒）		0.86	750
		新	省エネトップ製品						
5	テレビ	現状	CRT	0.12	0.20	ブラウン管（CRT）		0.57	406
		新	省エネトップ商品			液晶			

2.2　評価方法

本研究では、以下の３つのステップで評価した。

（１）　ライフサイクルアセスメント（LCA）

LCA ソフト「MiLCA」を用いて、対象製品１台当たりのライフサイクル全体での、特性化の「温暖化負荷（GHG）」値と統合化の「LIME2」値を算出した。

計算に用いた一次データ（活動量）は、材料や部品の構成比率を関連工業会の公表値等を、製品の性能や質量は最新カタログの公表値を用いた。

（２）　ライフサイクルコスト（LCC）

「製造コスト」は製品価格を、「使用コスト」は消費する電気代と交換部品の製造と廃棄コストを、「廃棄コスト」は家電リサイクルの回収および処理費用等から算出した。

（３）　LCA を考慮した限界削減費用分析（MAC）

今回提案した評価法には２つの特長がある。

１つは、CO_2削減量（MAC 横軸）に、製造と廃棄の負荷を加え、更に削減量の対象を CO_2削減量から、CO_2を含む温暖化物質の GHG 削減量に拡張した。

２つ目は、CO_2削減コスト（MAC縦軸）に、製品の製造と使用コストに廃棄コストを加え、更にコスト範囲に環境コストを加え拡張した。

ＭＡＣの算出は以下の３ステップで実施した。

a)　年間ＧＨＧ排出量（ｔ－ＧＨＧ/年）への換算

ＭＡＣは１年あたりの日本又は世界全体での削減効果を評価するため、製品１台位当たりのライフサイクル全体でのＬＣＡ結果を、使用年数や日本や世界での製品台数等の需要予測から[3)4)]、以下の式で換算した。

【年間ＧＨＧ排出量】（ｔ－ＧＨＧ/年）
＝【ＬＣＡ値】/【使用年数】×【製品台数】・・（１）

b)　年間コスト(円/年)への換算

LCC に環境コスト（ＬＩＭＥ２）を加え、上記と同様に年間に換算する下式で算出した。

【年間コスト】（円/年）
＝（【ＬＣＣ値】＋【ＬＩＭＥ２】）
/【使用年数】×【製品台数】　　・・（２）

c)　ＧＨＧ削減コスト（円/ｔ－ＧＨＧ）への換算

新旧製品のＬＣＡとＬＣＣより（１）（２）式で算出した結果の差の比より、下式で算出した。

【ＧＨＧ削減コスト】（円/ｔ－ＧＨＧ）
＝Δ【年間コスト】/Δ【年間ＧＨＧ排出量】・・（３）

3.　研究結果と検討

3.1　LCA（ｔ－ＧＨＧ/年）

図１に、「照明分野」を対象に白熱電球とＬＥＤ電球のＬＣＡ結果より求めた【年間ＧＨＧ排出量】(式（１）の結果）の比較を示す。ＬＥＤ電球は、白熱電球の４０倍寿命が長いため、１個当たりの製造時の製造時のＧＨＧ値は、白熱電球４０個分に比べ1/3と小さく、消費電力も 1/7 と少なく交換電球の処分も不要なことから、使用時のＧＨＧも大幅に小さくなり、白熱電球からＬＥＤ電球への交換の緩和策の効果は大きいと予想される。

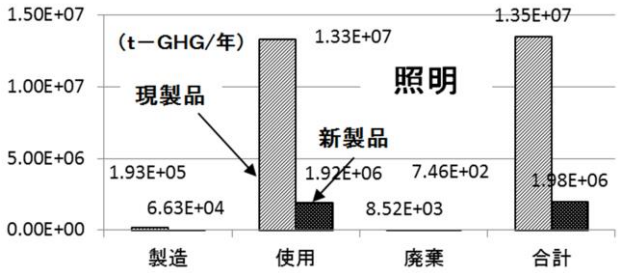


図１　白熱電球とＬＥＤ電球のＬＣＡの比較

3.2　LCC（円/年）

図２に、同様に白熱電球とＬＥＤ電球のＬＣＣ結果より求めた【年間コスト】(式（２）の結果）の比較を示す。ＬＥＤ電球は、長寿命の効果で製造時のコストが 1/4 に、使用時の省電力と交換電球の廃棄コスト削減等で 1/7 に低減でき、この緩和策は、削減コスト面でも有利と推測される。

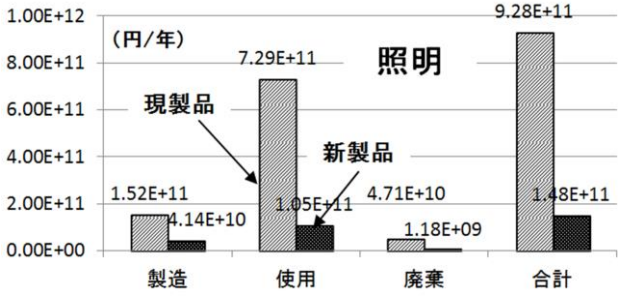


図２　白熱電球とＬＥＤ電球のＬＣＣ結果

3.3　MAC

図３に、照明、自動販売機、冷蔵庫、エアコン、テレビを対象としたＭＡＣ結果を示す。

削減コストは、製品のＧＨＧ削減の手段に大きく影響され、製品単価の相違の他に、省電力は電気単価、長寿命化は交換単価と回数等で変化し、結果的にはエアコンが大きくテレビが小さい。

ＧＨＧ削減量は、省エネや長寿命化、軽量化、脱フロン化の他に、製品の台数に大きく影響され、結果的には、製品台数も大きく省エネ効果が大きい照明が極端に大きく、１台当たりの効果は大きいが製品台数の少ない自動販売機は少なくなる傾向を示す。

評価法の比較では、ＬＣＡ考慮の提案法（実線）は、現状法（点線）に比べ、削減コスト効果が増える傾向にあり、削減量は製品により増減があるが、全体では 15 万トン（1.1%）増加し、全体の削減コスト（グラフの面積）も 900 億円/年（10%）増えた。

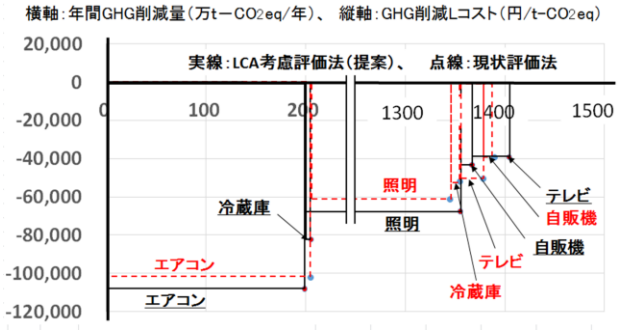


図３　限界削減費用分析（ＭＡＣ）の結果

4.　まとめ

ＬＣＡを考慮したＭＡＣ評価法を提案し電気製品の省エネによる緩和策を試算し、評価結果に製品の仕様（価格含む）やシナリオが大きく影響し、その程度は製品により異なることが確認できた。

今後は、製品対象を拡大していくとともに、感度分析を基に使用した一次データやシナリオの代表性や妥当性を検討する予定である。

謝辞：

本研究の遂行に当たり、日本電機工業会の斎藤潔氏、日本自動販売機工業会の天満直樹氏始め、多くの方に、貴重なアドバイスとデータ提供を頂いたことに、感謝いたします。

5.　参考文献

1)　Mckinsey,Y.Glemarec,GEA 国際会議 2009 より
2)　国立環境研究所「AIM/Enduse (Japan)による 2020 年排出削減に関する検討」、2009,3
3)　日本電機工業会：白物家電５品目の世界需要調査（2007 年～2013 年）、2015 年 3 月発行
4)　日本自動販売機工業会：自販機普及台数及び年間自販金額（2014 年版）

LCA を活用した気候変動適応策の検討: 輸入品のスクリーニング評価

Application of LCA for a study on adaptation to climate change:
screening of imported products

○中野勝行*1)
Katsuyuki Nakano
1）産業環境管理協会
* nakano@jemai.or.jp

1. 背景と目的

気候変動は洪水の多発等によって生産活動に影響を与えることが懸念されている。日本は多種多様な製品を海外から輸入しているため、海外におけるこれら事象による輸入品への影響が考えられる。そこで、本研究では LCA を活用して気候変動からの潜在的な影響が大きい輸入品を特定するためのスクリーニング評価を試みる。

2. 方法

一般的な LCA においては、製品システムが環境に与える影響を評価する。一方、本研究では気候変動からの製品システムへの影響を評価する枠組み（LCA-AP）[1]を用いた。LCA-AP では、気候変動によって影響を受ける基本フローを定量化することでインベントリ分析とする。その後、地域別の脆弱性・ハザードを考慮した特性化係数との積を求めることで気候変動からの潜在的な影響を評価する。

生産に長い期間、広い面積を利用する製品は異常気象等の影響を受けやすいため、本研究では土地利用からの影響を評価した。基本フローは土地利用面積[m^2year]とした。また、労働集約的な製品は感染症の流行等による労働力不足の影響を受けやすいため、人間健康に関わる項目として労働者への影響を評価した。基本フローは工数[人時]とした。

本研究におけるインベントリ分析の手順を図 1 に示した。産業連関分析により単位金額あたりの土地利用面積および工数を既往研究をもとに設定し、貿易統計の金額との積を求めた。金額あたりの工数は産業連関表の雇用表をベースにし、国別の GDP あたりの雇用数データを用いて補正した。データは 2005 年を基準とした。特性化係数はグローバル気候リスク指数(CRI)[2]を人間健康と土地利用に、また気候脆弱性（CV）[3]を人間健康の評価に用いた。CRI は過去（1993 から 2012 年）の気候関係災害による被害を元にした係数である。一方、CV は未来（2050 年）の影響を予測した係数である。そのため、CRI によって評価した結果から、将来は CV で評価した結果に移行するとも解釈できる。

また、貿易集中度を評価するために、ハーフィンダール・ハーシュマン指数（Herfindahl-Hirschman Index, HHI)を産業連関表の部門単位で算定した。HHI は各国の国別シェアの自乗を足し合わせたもので、特定国に輸入を依存すると 1 に近づく。

なお、本研究は著者による既往研究[4]に追加的な分析を加えたものである。

3. 結果

2005 年の貿易統計では、192 カ国から 8159 種類の製品を輸入しているデータがある。それぞれを産業連関表の大分類に整理した結果を図 2 に示した。CRI で評価した土地利用では、農林水産業製品が大部分を占め、次いで飲食料品の影響が大きかった。また、人間健康への影響に関しては、CRI および CV による評価結果とも農林水産業製品や飲食料品の影響も 3 割程度を占めたが、電子部品や情報通信機器、繊維製品など製造業製品の影響も大きな割合を占めた。

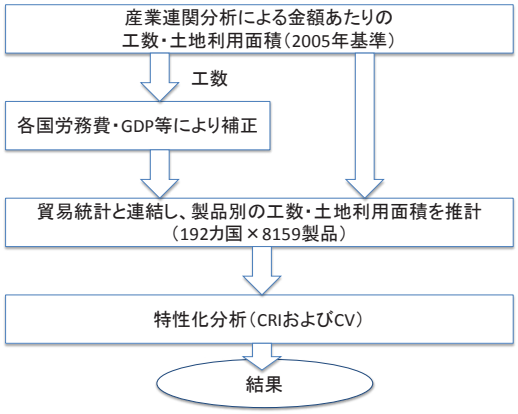


図 1　算定手順

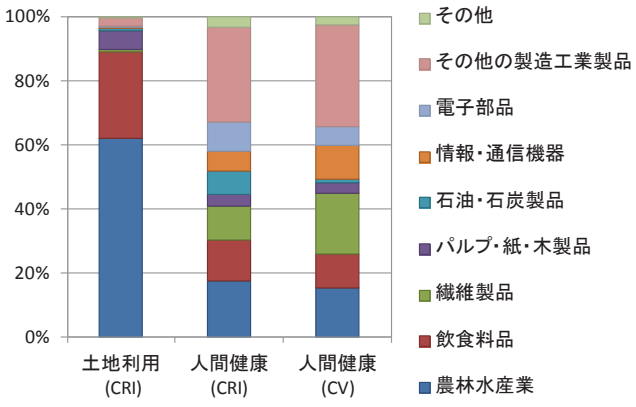


図 2　産業分野別影響評価結果

次に、国別の影響度を図 3 にまとめた。CRI で評価した土地利用に伴う影響では、米国が大部分を占め、次いで中国、豪州の影響が大きかった。また、人間健康への影響に関しては、CRI および CV による評価結果とも中国の影響が大きかった。ただし、CV では中国が大部分を占めたが、CRI では、フィリピン、ミャンマー、ロシアなどの影響も大きかった。

また、評価結果を産業連関表の基本分類にて整理し、上位 10 部門を表 S1 にまとめた。表 S1 には、主に結果に寄与した具体的な製品名を 9 桁の HS コードに基づき例示した。

当該 10 部門について、HHI を算定し図 4 に示した。円の大きさは輸入額を示している。また、縦軸は最も影響の大きい部門にて正規化している。その結果、土地利用に関してはその他の食用耕種作物をはじめ、豆類や飼料作物部門が HHI および潜在的な影響の両方が高かった。これらは米国へ輸入を依存していることによって HHI が高くなった。一方、と畜は米国の他に豪州、カナダ、デンマーク等に輸入が分散しているため、潜在的な影響は高くなったが、HHI は低くなった。人間健康については、織物製衣服とニット製衣服が CRI および CV の評価において HHI と潜在的な影響が大きかった。これは中国への輸入集中に起因した。電子部品や金属鉱物は上位 10 部門に該当したが、HHI は低かった。しかし、これらは例えば鉄鉱石と銅鉱石の輸出国が異なることで HHI が低く算定されているためである。図 4 の解釈においては、同一部門内においても代替性が必ずしも高くないことに注意を要する。

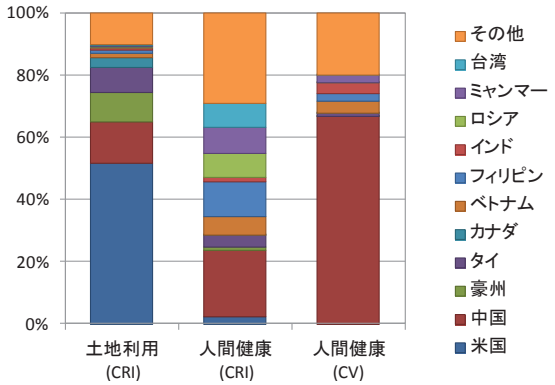
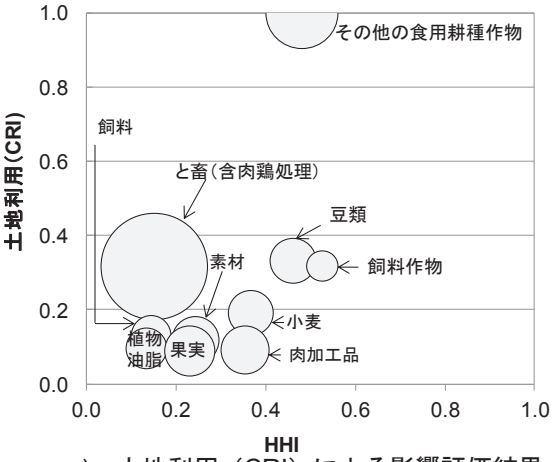
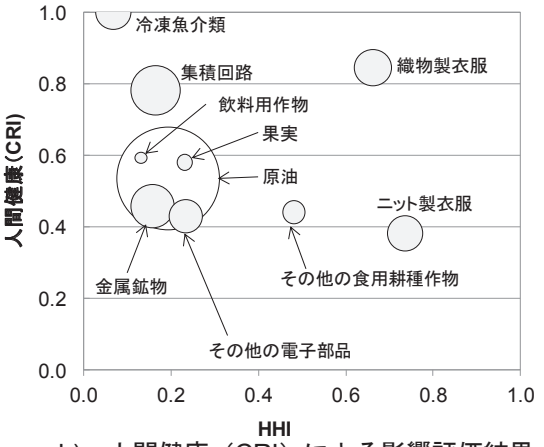


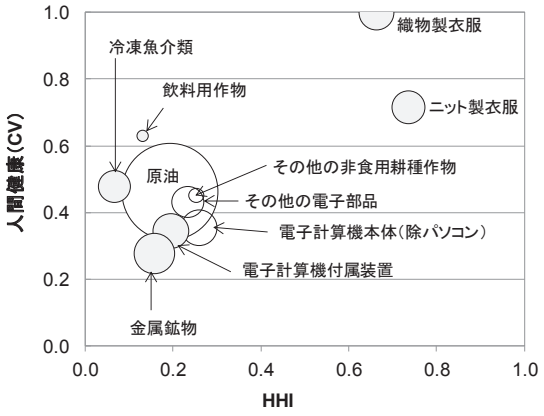
図 3　国別影響評価結果



a)　土地利用（CRI）による影響評価結果



b)　人間健康（CRI）による影響評価結果



c)　人間健康（CV）による影響評価結果

図 4　影響の大きい上位 10 部門と貿易集中度（HHI）（円直径は貿易額）

4. まとめ

本検討では、産業連関分析を用いて日本の全輸入品について気候変動からの影響についてスクリーニング評価した。しかし、データは主に日本の産業連関表に依存しており、輸入国の実態を十分に反映していない。また、土地利用面積に比例して気候変動からの影響が大きくなるという前提条件を採用しており、今後より実態に応じた手法上の改善が必要である。

5. 引用文献

1) Nakano K.: Int. J. LCA, 20(6), (2015), pp 819-828
2) Kreft S., Eckstein D. : “Global climate risk index 2014”, (2014), pp.1–28.
3) Wheeler D.: “Quantifying vulnerability to climate change : implications for adaptation assistance”, (2011), pp. 1–53.
4) Nakano K.: Mitigation Adapt. Strateg. Glob. Chang, Online first, (2015) DOI: 10.1007/s11027-015-9692-6

Supporting Information

表 S1　影響の大きい上位 10 部門と具体的な製品例

順位	土地利用(CRI)	人間健康（CRI）	人間健康（CV）
1	その他の非食用耕種作物 - トウモロコシ（米国） - 菜種(低エルカ酸のもの)(米国, 豪州) - ごま（パラグアイ, 中国） - そば （中国）	冷凍魚介類 - エビ調製品（ミャンマー, ベトナム） - タラ調製品（ロシア） - たこ （モーリタニア）	織物製衣服 - 女性用スラックス（木綿）（中国） - 男性用スーツ（羊毛）（中国） - 男性用シャツ（木綿）（中国） - 男性用フード付きジャケット（合成繊維）（中国）
2	豆類 - 大豆 （米国, 中国）	織物製衣服 - スーツ（羊毛・合成繊維）（ミャンマー）	ニット製衣服 - ジャージ、スラックス、カーディガン、T シャツ（木綿）（中国）
3	飲料用作物 - ルタバガ、飼料用のビート等 （米国, 豪州, カナダ） - トウモロコシ （米国）	集積回路 - MPU （フィリピン） - マイクロコンピュータ（台湾）	飲料用作物 - コーヒー（エチオピア, タンザニア, ブルンジ, パプアニューギニア）
4	と畜（含肉鶏処理） - 豚肉 （米国, デンマーク, カナダ） - 牛肉 （豪州） - 羽毛（中国）	飲料用作物 - コーヒー （ホンジュラス, パプアニューギニア, エチオピア, ニカラグア）	冷凍魚介類 - たこ（モーリタニア） - エビ調製品（ミャンマー, ベトナム, インド）
5	麦類 - 小麦 （米国, 豪州, カナダ）	果実 - バナナ・パイナップル（フィリピン）	原油 - 原油 （スーダン, イラン, ベトナム）
6	飼料 - ペットフード （タイ、米国）	原油 - 原油 （ロシア, イラン, ベトナム）	その他の非食用耕種作物 - タバコ （マラウイ） - 木綿 （ジンバブエ）
7	木材 - ベイマツ （米国） - マツ （ニュージーランド） - カラマツ （ロシア）	金属鉱物 - 銅鉱石(パプアニューギニア, インドネシア） - 鉄鉱石 （フィリピン, インド）	その他の電子部品 - 印刷回路（中国, ベトナム） - 無線通信、レーダ、テレビ等の部分品（中国, フィリピン）
8	植物油脂 - 大豆油かす（中国, 米国, インド）	その他の食用耕種作物 - ごま（ミャンマー, ニカラグア, ホンジュラス）	電子計算機本体（除パソコン） - 自動データ処理機械用部品（中国） - デジタル式処理装置（中国）
9	肉加工品 - 鶏肉 （米国, 中国）	その他の電子部品 - 無線通信、レーダ、テレビ等の部分品（フィリピン） - 印刷回路 （ベトナム, 台湾）	電子計算機付属装置 - プリンタ（中国） - 液晶式モニタ（中国）
10	果実 - バナナ （フィリピン） - アーモンド （米国） - キウイフルーツ （ニュージーランド）	ニット製衣服 - 男性用ジャージ、プルオーバー、カーディガン、T シャツ(木綿)(中国) - T シャツ（木綿）（ホンジュラス）	金属鉱物 - 銅鉱石 （パプアニューギニア, インドネシア） - 鉄鉱石 （インド）

気候変動適応策の評価を志向した影響評価手法の開発

Development of life cycle impact assessment method focus on assessment of adaptation strategies for climate change

○湯龍龍*[1)]、伊坪徳宏 [2)]
Longlong Tang, Norihiro Itsubo
1) 農業環境技術研究所, 2) 東京都市大学
* tanglonglong@affrc.go.jp

1. はじめに

地球温暖化の影響が増すなか、緩和策だけではなく、適応策の検討が重要視されつつある。近年は温暖化の影響評価に伴い、適応策の効果を推計する研究も増えている。一方、将来の気候変動とその影響を予測するには、人間社会・経済活動が将来どのくらいの規模になり、どのくらいの温室効果ガスを排出するのか、というシナリオを想定する必要がある。適応策の効果を推計する際に、共通の将来シナリオをあらかじめ想定しておくことが重要になる。整合性のある社会経済シナリオと気候シナリオを前提とした影響評価や適応策評価を支援するために、SSP (Shared Socio-economic Pathways) と RCP (Representative Concentration Pathways)シナリオが開発された。特に SSP は将来社会の緩和能力と適応の困難さを考慮しており、今後これら新しいシナリオに沿って、適応策の評価研究も増えることが予測される。

一方、適応策は想定される温暖化影響を削減するが、適応策自身の実施によって引き起こされる環境影響もある。両者の関係を考慮することによって、適応策の真の効果を見ることが可能となる。その観点で、適応策の LCA は、適応策自身の環境影響増加量を算定でき、適応策による環境影響削減効果の情報と合わせれば、より効果的な適応策の実施に支援できるものと考えられる。しかし、現状では、適応策を対象とした LCA は殆どなく、評価方法の開発ならびにケーススタディーの実施が求められる。本研究は、適応策の LCA を想定する場合、地球温暖化の影響評価手法における課題とその対応を検討する。以下に、既存の温暖化影響係数を適応策の LCA に適用する場合の課題を整理してみる。

（1）適応策はある特定の影響の低減を想定するのに対して、適応策自身が排出される CO_2 による影響は健康、生態系、社会資産に及ぶ。両者を比較するには、影響間のトレードオフの解析が必要であり、エンドポイントレベルの影響評価手法の開発が求められる。しかし、現状では LCIA における温暖化の影響評価手法は遅れている。健康だけではなく、生態系、社会資産の CO_2 被害係数の算定が求められる。さらに、CO_2 被害係数の不確実性が大きいものの、定量的示す研究は殆どない。

（2）将来にわたって適応策の効果を推計する場合は共通の SSP シナリオに基づくことが想定される。したがって、適応策自身の温暖化影響も SSP シナリオ別に算定できることが望ましい。しかし、SSP シナリオ別の CO_2 影響係数はまだない。

上記議論を踏まえて、本稿は地球温暖化による健康影響を絞って、SSP シナリオ別の CO_2 健康被害係数を推計するための課題とその対応について報告する。

2. CO2 健康被害係数の課題

Tang et al. (2015) [1] は CO_2 健康被害係数の不確実性を表現するために、将来社会像に応じて被害係数を算定する枠組み（図 1）を提案し、SRES (Special Report on Emissions Scenarios) シナリオ別の CO_2 健康被害係数を算

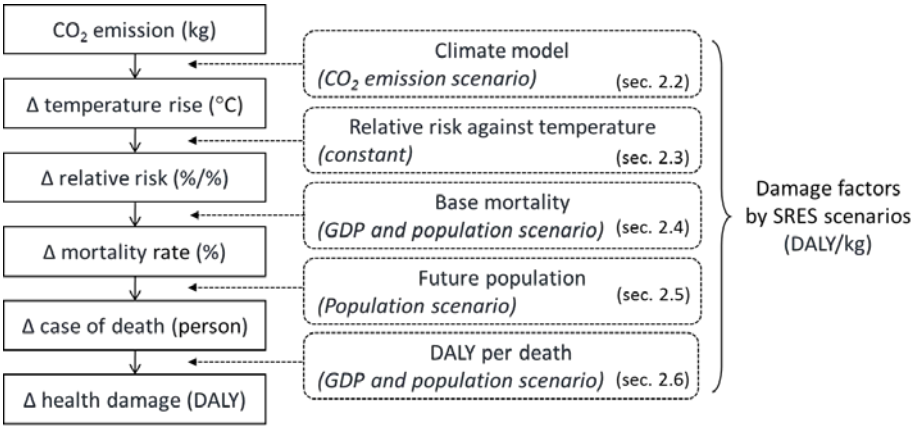


図 1　将来社会像に応じた CO2 健康被害係数の算定枠組（Tang et al., 2015 より）

定している。しかし、RCP と SSP シナリオ別に算定していない。

また、係数算定に用いられる相対リスクは WHO (2004) [2] の成果である。温暖化の影響評価はまだ十分に解明されていない部分も多く、知見が頻繁に更新される研究分野であるため、常に最新の情報を係数算定に取り入れる必要がある。

さらに、不確実性について、Tang et al. (2015) は将来経済発展、人口成長の違いを考慮して、SRES シナリオ別の CO_2 健康被害係数を算定しているが、それぞれのシナリオにも大きい不確実性（気温上昇幅など）を有するが、示していない。

3. CO_2 健康被害係数の算定方法

3.1 算定方法

上記課題への対応を検討し、全体的な評価方針は、Tang et al. (2015) の枠組みを採用して、RCP と SSP シナリオ別に CO_2 健康被害係数を算定し、さらに、相対リスクのデータの更新、シナリオごとの不確実性の推計を加えるものとする。

計算式は以下に示す。

$$DF_{RCP,SSP} = \left(AD_{RCP,SSP} - D_{RCP,SSP}\right) / \Delta CO_2$$

$$AD_{RCP,SSP} = \sum_i \sum_r \sum_t \left(AT_{t,r,RCP} \times R_{t,r,i} \times M_{t,r,i,SSP} \times P_{t,r,SSP} \times S_{r,i}\right)$$

$$D_{RCP,SSP} = \sum_i \sum_r \sum_t \left(T_{t,r,RCP} \times R_{t,r,i} \times M_{t,r,i,SSP} \times P_{t,r,SSP} \times S_{r,i}\right)$$

$DF_{RCP,SSP}$: RCP 別、SSP 別の CO_2 健康被害係数 (DALY/kg)
AD：CO_2 を追加排出された場合の健康被害 (DALY)
D：CO_2 を追加排出しない場合の健康被害 (DALY)
T: 気温増分 (ºC)
R: 気温 1℃上昇あたり相対リスクの増分 (%/ºC)
M: ベースライン死亡率 (%)
P: 人口 (person)
S: 死亡一件あたりの損失余命 (DALYs/case)
RCP: RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5
SSP: SSP1, SSP2, SSP3, SSP4, SSP5
t: 2000-2080; r: 21 regions; i: Heat stress, undernutrition, dengue, malaria, diarrheal, coastal flooding

3.2 データの更新

Tang et al. (2015) で使用されるデータに対して、想定される主な更新は以下の通りである。

気温上昇量の推計は、従来の MAGICC5.3 [3]簡易型気候モデルの代わりに、RCP シナリオ別に推計できる MAGICC6.0 を用いて、地域別に推計する。

相対リスクは、WHO (2014) [4]の成果を活用する。WHO (2014)は WHO (2004)の更新版であるが、全疾病項目を対象に A1B シナリオ（複数 GCM: Global Climate Model）の場合の死亡者数を推計しており、相対リスクとして整理されていない。本研究は異なる GCM の気温上昇量とその気温上昇量に対応する死亡者数の関係を基に、疾病別、地域別に 1℃あたりの相対リスク（RR/℃）を求める予定である。得られる RR/℃は線形と想定されるが、熱ストレスのように、非線形の気温と相対リスクの関係が求めている場合は、非線形の RR/℃を適用する。

ベース死亡率について、Tang et al. (2015)は WHO (2004) が推計した 2030 年までの GDP/cap と死亡率データを基に、GDP/cap と死亡率の関係式を抽出してから、SRES シナリオ別の GDP/cap に応じた死亡率を 2100 年までに推計している。本研究は同じ方法を用いて、SSP シナリオ別に死亡率を推計する。なお、WHO (2004)に比べて、WHO (2014)は 2080 年までの死亡率データを提供している利点がある。

死亡一件あたりの損失余命（DALY/case）は、WHO の最新の統計データを用いる。

3.3 不確実性

被害係数の不確実性は、用いられる評価方法とデータに影響されるが、ここでは、係数算定に用いられる主なデータ（気温上昇、相対リスク、ベース死亡率、DALY/case）の幅を考慮して推計する方針である。

気温上昇は、複数 GCM と気候感度の幅を考慮する。疾病別の相対リスクとベース死亡率は、WHO (2014)の結果の不確実性を反映する。DALY/case は WHO 統計データを確認したうえで、対応方法を検討する。

4. おわりに

本研究は、適応策の LCA を想定した場合、温暖化の影響評価手法が対応すべき課題について、健康、生態系など異なる温暖化の影響評価係数の開発と、RCP、SSP シナリオ別に推計することが重要と整理した。さらに、CO_2 健康被害係数について、先行研究の課題を整理したうえで、SSP シナリオ別の CO_2 健康被害係数の算定方法を示した。今後は、データ整備を行い、本評価手法に適用することによって、SSP シナリオ別の CO_2 健康被害係数の試算を行い、既存研究と比較検証を行う予定である。

参考文献

1) Tang et al. (2015) Int J Life Cycle Assess DOI 10.1007/s11367-015-0965-9
2) WHO (2004) Comparative quantification of health risks. Global and regional burden of diseases attributable to selected major risk factors, Geneva
3) Wigley TML (2008) MAGICC/SCENGEN 5.3: User Manual (version 2)
4) WHO (2014) Quantitative risk assessment of the effects of climate change on selected causes of death, 2030s and 2050s

気候変動の緩和策と適応策を対象としたライフサイクル評価

Environmental Life Cycle Assessment of Climate Change Mitigations and Adaptations

伊坪徳宏 [1)]、湯龍龍 [2)]、小野雄也 [3)]、小関康雄 [1)]、正畠宏一 [4)]、沖大幹 [3)]

Norihiro Itsubo[1)], Tang Longlong[2)], Yuya Ono[2)], Yasuo Koseki[3)], Koichi Shobatake[4)], Taikan Oki[5)]

東京都市大学 [1)]、農業環境技術研究所 [2)]、東京大学 [3)]、TCO2[4)]

Itsubo-n@tcu.ac.jp

keywords: climate change, mitigation, adaptation, meta-analysis, cost benefit analysis

1. はじめに

製品ライフサイクルの環境影響を定量的に評価する LCA はすでに多くの温暖化対策に適用されている。国連環境計画がバイオ燃料に関する複数の LCA 研究論文を整理した報告によれば、概ねバイオ燃料は石油燃料より CO_2 排出量は低いものの、水消費や土地利用、富栄養化など他の環境影響に対する影響は石油よりも高く、包括的な観点からみた環境配慮が必要であることを警告した。欧州委員会が 2013 年に発行した LCA 実施に基づくグリーン調達の推奨文書は、温暖化のほか、資源消費、生態毒性などを含む 14 種類の影響領域を評価範囲に含むことを要求している。

一方で、多岐に渡る影響領域について評価しても、これらの間でトレードオフが発生した際の対応に課題が残る。近年の LCA 研究は影響領域間で比較できるエンドポイントタイプの手法が注目されている。しかし、エンドポイントタイプの手法はまだ発展途上の段階で国際的な合意がない。特に気候変動については、生物多様性に対する影響評価に関する具体的な提案は限定的で、農作物・水資源・森林資源・水産資源などの社会資本に関する影響を網羅した手法は提案されていない。このような状況下で実施された LCA は気候変動の影響を過小評価するとともに、緩和策や適応策に対する効果も過小評価することになる。

これまでに複数の緩和策と適応策について LCA が適用されているが、実施者が異なるため、評価範囲や手法が異なり、対策間で比較することができない。そこで、本研究では①気候変動に関するエンドポイントタイプの影響評価手法を新規に開発するとともに、②日本発で最新のエンドポイントタイプの影響評価手法である LIME3 に適用して共通の評価基盤の下で複数の気候変動対策に対する LCA を実施する。

2. 研究目的

緩和策と適応策は気候変動対策における車の両輪として位置づけられるものの、両者の統合的な実施を想定した計画立案は少ない。戦略的研究開発領域課題(S-14)「気候変動の緩和策と適応策の統合的戦略研究(研究代表者：沖大幹)」では、緩和策と適応策の双方を網羅的、かつ、統合的に評価し、気候変動対策の適切な計画立案に貢献するための定量的基礎資料を整備するための研究を行う。

本研究ではその一環として、複数のエンドポイントを網羅した気候変動の影響評価手法を開発し、複数の緩和策と適応策を対象に影響領域間のトレードオフやコベネフィットを考慮した LCA を実施する。

3. 研究内容

【課題 1】気候変動を対象としたエンドポイントタイプのライフサイクル影響評価手法の開発

IPCCAR5WG2 の記載内容と S-14 の他テーマの研究成果を反映しつつ、影響評価手法 LIME が対象とするエンドポイント「人間健康」「社会資産」「生物多様性」「一次生産」を網羅した評価手法の開発を行う。運命分析、影響分析、被害分析に分け、これらを開発・統合することで被害係数、すなわち単位量の環境負荷に対するエンドポイントの潜在的な被害量を求める。運命分析では複数の気候モデルを活用して CO_2 排出による気温変化などを算定する。影響分析では気温変化による生物種の分布変化や農作物の収量変化などを求める。被害分析ではこれらの影響を「生物種の絶滅リスク変化」などの被害指標に集約する。被害係数は、適応策のある場合(例えば SSP1)とない場合(例えば SSP3)のそれぞれを算定する。これらの結果に LIME の重みづけ係数を乗じて統合化係数を算定する。

【課題 2】影響領域間のトレードオフ、コベネフィットを考慮した気候変動対策の LCA

緩和策(自動車、再生可能エネルギー、CCS など)と適応策(インフラ整備、農業、水など)を対象にした LCA を行う。インベントリ分析では、関係者ヒヤリングに基づく一次データの利用を優先しつつ、ecoinvent などの二次データも活用する。影響評価は【課題 1】の成果と LIME3 を用いて、被害評価と統合化を行う。複数の緩和策と適応策を網羅した統合化結果は横断的に費用便益分析に活用され、統合的多面評価に活用される。

図 1 に、本プロジェクトの実施内容に関する概念図を示した。

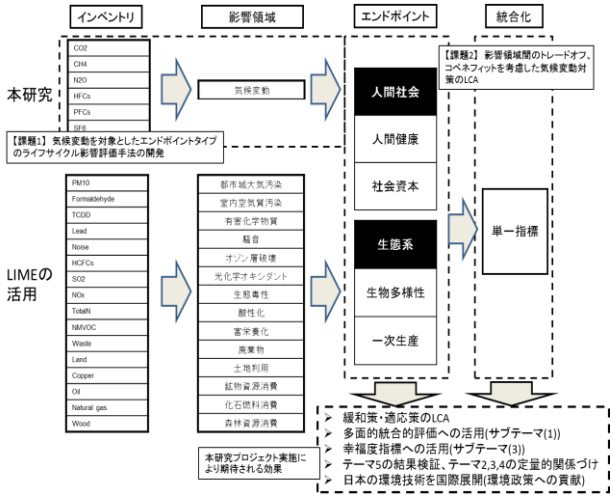


図 1 本研究の枠組

3. 現在の進捗

プロジェクト開始初年度に当たる本年度は以下の事項について検討した。

【課題 1】＜気候変動を対象としたエンドポイントタイプのライフサイクル影響評価手法の開発＞

IPCCAR5WG2 の掲載論文を整理して、被害係数を計算するための枠組みを構築した。LCA の影響評価手法の既存研究と S14 テーマ 2(生態系保全による緩和策と適応策の統合)およびテーマ 3(気候変動に対する地球規模の適応策の費用対便益分析)の検討内容の整合性を考慮しつつ、「人間健康」、「社会資本」、「生物多様性」、「一次生産」を対象に、カテゴリエンドポイント(エンドポイントごとに関係する被害項目のこと、例えば下痢、マラリア、栄養失調など)を抽出する。さらに、カテゴリエンドポイントごとに温室効果ガスの排出から被害に至るまでの経路とそれらの定量的な関係づけを行うための評価手法の開発方針を策定する。評価結果として示す被害指標とこれらを集約した単一指標をサブテーマ(3)(主観的幸福度なども活用した気候変動対策の費用便益分析)に示し、幸福度指標への利用性について検証する。

健康影響を対象とした被害評価手法開発では、直接的な影響(熱・寒冷ストレス、洪水)と間接的な影響(生物媒介の感染症、食料や水が媒介する感染症、栄養失調)を対象に、気温変化による疾病および死亡リスクの変化について定量的な関係づけを行う。当該年度における疾病及び死亡リスクの計算は IPCCAR5WG2 報告書と WHO による最新版の報告を活用するが、S14 テーマ 3 サブテーマ(3)(気候変動による健康への影響評価と適応策の費用便益分析)の結果が得られたら順次これらの内容を反映させる。それぞれの健康損失を損失余命に変換することで、気候変動によるすべての健康影響を被害指標に集約する。図 2 に気候変動の被害係数算定の手順について示した。

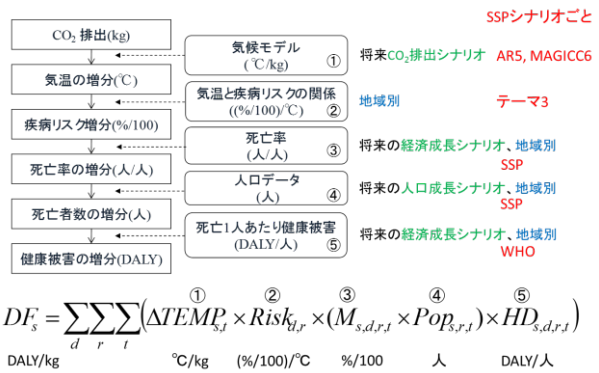


図 2 気候変動の被害係数の算定手順

【課題 2】＜影響領域間のトレードオフ、コベネフィットを考慮した気候変動対策の LCA＞緩和策の LCA 実施に加えて適応策の評価枠組みについて検討した。緩和策の評価では、低環境負荷型の自動車を対象とした事例研究を行った。先行研究事例のメタ分析を行うとともに、関係者ヒヤリングから基礎データの収集を行い、LIME を用いた影響評価を行った。気候変動のみでなく自動車由来の環境影響として関係の強い大気汚染、化石燃料消費、鉱物資源消費、光化学オキシダント、廃棄物などの影響も含めた。評価結果はエンドポイントごとにみた被害評価とこれらの影響を外部費用として表現した統合化についてそれぞれ求めた。本研究の事例研究を通じて、自動車の気候変動対策による大気汚染を含む他の影響の削減をコベネフィットとして示すことができる。これにより第四次環境基本計画において今後の環境政策の方向として挙げられている「政策領域の統合による持続可能な社会の構築」に向けた検討を「大気汚染・自動車対策」と「気候変動対策」の統合を例に考察することが期待される。

適応策の LCA については、ライフサイクルを通じた環境評価の増分(ex.原材料の生産や施工に伴う CO_2 排出)と、その対策導入に伴う被害低減量(浸水リスク低減)の双方の算定から実施される(図 3)。防潮堤の設置の場合は、浸水被害の軽減による便益は S14 テーマ 3 から推定される。この結果を適応策の環境影響と同一の指標で表示することで、両者のバランスについて比較・考察することが可能となる。現在は、浄水器や海洋淡水化に関わる適応策の評価を検討している。

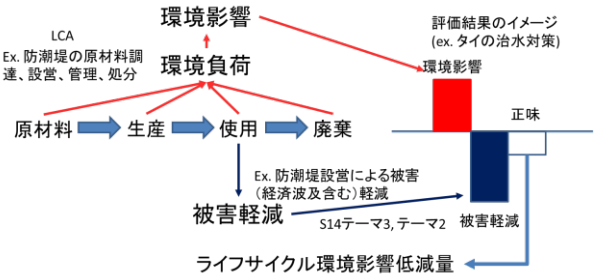


図 3 適応策の LCA の枠組

製品ライフサイクルに立脚したホットスポット分析手法の開発と活用

Development of hotspot analysis based on life cycle perspectives and application to green procurement

伊坪徳宏 [1)]、田原聖隆 [2)]、近藤康之 [3)]、佐野裕隆 [4)]、神崎昌之 [5)]

Norihiro ITSUBO[1)], Kiyotaka Tahara[2)], Yasushi Kondo[3)], Hirotaka Sano[4)], Masayuki Kanzaki[5)]

東京都市大学 [1)]、産業技術総合研究所 [2)]、早稲田大学 [3)]、日本環境協会 [4)]、産業環境管理協会 [5)]

Itsubo-n@tcu.ac.jp

keywords: hotspot analysis, IDEA, WIO, LIME, social impact assessment

1. 背景

欧州委員会は 2 万件を超えるアンケート調査を通じて、市民の環境意識は高いものの、現在の環境ラベルは消費者への訴求力が十分でないことを指摘した。そのうえで、より強い影響力を発揮するため、製品ライフサイクルの環境影響を公表する環境フットプリントの実施を推奨し、制度化に向けた試行事業を 20 業種を対象にして開始した。米国では建築（LEED）、事務機器（EPEAT）を通じて、LCA の実施をグリーン調達の要件として含めた。

デル、ユニリーバ、コカ・コーラなど米国の主要 120 社で構成されるサステナビリティコンソーシアムは、簡易 LCA を基礎としたホットスポット分析の実施を開始し、その成果はウォルマートのグリーン販売へと展開されている。UNEP(国連環境計画) /SETAC(環境毒物化学会)ライフサイクルイニシアティブは、ライフサイクルの中から重要な要素を抽出するホットスポット分析に注目し、分析方法の開発を開始した。

欧米が開発するホットスポット分析手法は、欧米のデータベースと影響評価手法が活用されるため、日本の技術や環境条件が反映されにくい。環境影響の誤解と評価手法の誤用が生じると、得られた結果に対する信憑性が低下し、却ってグリーン購入促進の障害になりかねない。

「製品ライフサイクルに立脚した環境影響評価基盤の構築と社会実装によるグリーン購入の推進」(科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業：平成 26 年 10 月～平成 29 年 9 月)では、日本の最新の影響評価手法やデータベースを統合したホットスポット分析手法を開発している。これを 100 種類の製品を対象に解析し、その評価報告書を国、産業界、消費者へ公開する。その研究成果はグリーン調達、購入のための共通基盤として活用されることが期待される。

2. 研究目的

本プロジェクトでは、最新のインベントリデータベースと環境影響評価手法に基づく環境ホットスポット分析手法の開発を行う。科学的な方法を駆使した 100 品目を対象とした分析結果は、専門家による「グリーンイノベーションのための羅針盤」として国、自治体、企業、消費者に広く報告される。国は政府特定調達品目の評価基準を、企業はエコイノベーションの効果的な推進を、消費者は真のエコプロダクツを購入するための判断基準を得ることができる。ホットスポット分析手法と結果は環境ラベル(タイプ 1 と 3)の信頼性を高めるべく社会実装されるとともに、合理的な審査基準の下で調達品目の選択を促進する改正グリーン購入法施行の基盤として活用されることが期待される。

3. プロジェクトの概要

上に示した本研究の目的を達成するための実施課題として、以下の二つを挙げた。

【課題 1　17 影響領域を網羅したインベントリデータベースと影響評価手法の開発】

LCA の実施方法に倣い、実施項目を以下の三つに分類し、それぞれの課題について作業部会を設置してインベントリデータベースと影響評価手法を開発する。

(1-1)　インベントリ分析(上流)のデータベース開発と更新

(1-2)　インベントリ分析(下流)のデータベース開発と更新

(1-3)　影響評価手法の開発と更新

影響領域は 17 種類を網羅する。インベントリ分析(上流)は産業技術総合研究所が開発した IDEA (Inventory Database for Environmental Analysis)を、インベントリ分析(下流)では早稲田大学が開発した WIO (Waste Input Output)を、影響評価手法は産業技術総合研究所と東京都市大学が開発した LIME (Life cycle Impact assessment based on Endpoint modeling)を基礎として、これらの更新と新規追加のための開発研究を行う。

本研究の実施を通じて、インベントリ(上流)では産業連関表の基本分類約 400 部門を対象として 17 種の影響領域を網羅した環境負荷原単位が、インベントリ(下流)は約 400 部門を対象としたリサイクルおよび廃棄を通じた環境負荷原単位が得られる。影響評価の研究成果として、17 影響領域を対象とした特性化係数が得られる。

【課題２　100 品目を対象とした環境ホットスポット分析と社会実装】

実施項目を以下の二つに分類し、それぞれの課題について二つのグループ（エコマークグループ、エコリーフグループ)を設置して評価インフラを開発するとともにそれを活用する。

(2-1)　100 品目を対象とした環境ホットスポット分析

(2-2)　環境ホットスポット分析結果の公表と社会実装に向けた活動

上に示した課題とプロジェクト成果、社会実装までの関係を以下の図１に示した。

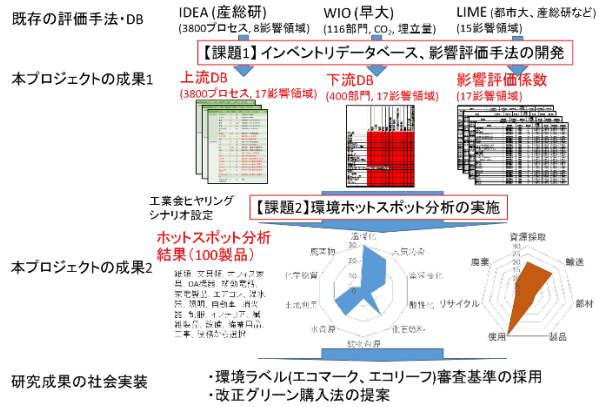


図１　本プロジェクトの研究課題と成果、社会実装までの関係

4. 平成 26 年度までの進捗

これまでの主な進捗について、以下に示した。

【課題１　17 影響領域を網羅したインベントリデータベースと影響評価手法の開発】

（１）上流インベントリデータベースの開発

地球温暖化物質、オゾン層破壊物質の排出に関しては、IPCC 報告書、日本国温室効果ガスインベントリ報告書、PRTR、工業統計などを参考に、今までの IDEA には考慮されていなかった排出物の拡充を実施した。温暖化では HFCs、PFCs、SF6 等の排出が追加され、オゾン層破壊では、HCFC-141b、CFC-11、CFC-12、HCFC-22 等の排出が追加された。また、水資源と土地利用に関しては、工業統計の用地用水編を参考にして、IDEA の対象プロセスすべてに追加した。これにより、従来のインベントリデータベースよりも上記 4 領域において緻密詳細で、かつ、広範な分析が可能になった。さらに、更新されたデータを用いてホットスポット分析を試行を実施し、評価結果の妥当性について確認した。

（２）下流インベントリデータベースの開発

平成 23 年（2011 年）産業連関表を基礎として、廃棄物産業連関表（WIO 表）の勘定体系に沿ってデータベースを開発するために必要な調査を行った。

環境分野で応用されている産業連関表に関して、既存研究の調査と現段階における研究水準を確認した。とくに、オランダ・フローニンゲン大学などによる WIOD（World Input-Output Database)、オランダ TNO、ノルウェー科学技術大学などによる改訂 EXIOBASE および CREEA プロジェクト、シドニー大学による Eora を調査対象とした。WIOD については文献に基づいて調査を行った。改訂 EXIOBASE と Eora については、ホットスポット分析にデータベースを活用する可能性も含めて関係者への聞き取り調査を行い、日本の WIO 表と既存の多地域産業連関表を統合した手法開発に関する今後の研究課題を整理した。

（３）影響評価手法の開発

既存研究の調査と現段階における研究水準を確認した。特に欧州委員会共同研究センター(JRC)による ILCD(International Life Cycle Databook)、オランダライデン大学と Pre 社などが開発した Recipe、ナイメーヘン大学など複数の研究機関が参画して開発した欧州連合のプロジェクト LCImpact、米国ミシガン大学やデンマーク工科大学などが推進している Impact world+などの動向を把握し、その研究水準について整理した。さらに、これらと LIME との関係について整理して、影響領域ごとに現時点での最善の評価手法の選定と今後の研究課題についてまとめた。

さらに、特性化係数の開発に着手した。これまでに大気汚染、鉱物資源消費、水資源消費、ヒト毒性について特性化係数開発のための検討を行った。いずれの影響領域も、運命分析、暴露分析、影響分析の三要素を開発し、これらを統合して特性化係数を算定する見通しが立った。

【課題 2】　100 製品を対象としたホットスポット分析の実施と評価報告書の公開

ホットスポット分析の全体像を示すための既存研究の調査とこれらに基づく評価実施の可能性について検討した。2011 年産業連関表への活用に先行して、2000 年の産業連関表約 400 部門を網羅した廃棄物産業連関表(WIO 表)を駆使して、上流と下流の双方を解析するホットスポット分析のツールを試作した。さらにここでは、企業から得た一次データを用いて紙、紙製容器、複写機、冷蔵庫を対象にホットスポット分析を試算した。CO2、水、土地と、廃棄物を対象に実施するとともに、これらを統合したホットスポット分析の実施が可能であることを確認した。今後はこれらを最新年度に更新するとともに、環境影響の評価範囲を拡張することでホットスポット分析ツールを開発するとともに、評価対象品目を広げて、100 品目の分析へと移行する。

環境ホットスポット分析のためのインベントリデータの作成

Development of inventory data for environmental hotspot analysis

○高田亜佐子*[1)]、藤井千陽[1)]、田原聖隆[1)]
Asako Takada, Chiharu Fujii, Kiyotaka Tahara
1) 産業技術総合研究所
* a.takada@aist.go.jp

1. はじめに

環境ホットスポット分析(Environmental Hot Spots Analysis : EHSA)は対象製品の重要な要素(影響領域やライフサイクルステージ)の特定や環境負荷削減策の優先順位付けのための有効な指標であるとUNEP/SETAC Life Cycle Initiative[1)]は報告している。欧米では The Sustainability Consortium により飲料や食料品等を対象に EHSA が実施されている。一方、European Commission で議論されている環境フットプリントは 14 の影響領域に関するマルチクライテリアによる評価を目指している。このような状況下で著者らのグループは 17 の影響領域(地球温暖化、オゾン層破壊、水資源消費、土地利用、大気汚染、光化学オキシダント、陸域酸性化、富栄養化、水域酸性化、森林資源、化石燃料消費、鉱物資源、廃棄物、ヒト毒性、生態毒性、室内空気質汚染、放射線)を評価できる EHSA を日本で実施するための環境を整え、グリーン購入等の施策への展開を目指した研究開発(RISTEX, JST)を実施している。その一環として本研究は、EHSA を実施するために必要不可欠であるバックグラウンドデータベースの構築を目的とした。具体的には 17 の影響領域に関連するインベントリデータを、我々が開発している IDEA(Invetory Database for Environmental Anarysi)[2)] に追加する。IDEA はサービス業の一部を除く全製品のインベントリデータが格納され入出力項目名及び流量が明示されているため EHSA 用のインベントリデータを算出するのに適しており、これを基礎として EHSA 用に 17 の影響領域に関連するインベントリデータを追加する。さらに廃棄物産業連関表[3)]の利用や全製品のインベントリデータの活用のために産業連関表[4)]の枠組みを利用するため、インベントリデータが追加された IDEA のプロセスを産業連関表の約 400 分類と対応させる。

2. 方法

2.1 IDEA への基本フローの追加

IDEA への基本フローの追加の手順について、影響領域ごとに説明する。

2.1.1 地球温暖化

日本国温室効果ガスインベントリ報告書[5)]及び産業構造審議会資料[6)]に掲載されていた代替フロン等排出量の実測値または推計値をもとに算出する。

2.1.2 オゾン層破壊

PRTR 対象のオゾン層破壊物質について PRTR[7)]から年間排出量を得て、工業統計調査用の調査票甲及び乙[8)]から PRTR 対象事業所の出荷額(出荷量)を得て、出荷額(出荷量)1 単位当たりの化学物質排出量を算出する。

2.1.3 水資源消費

水資源消費影響領域に関係するインベントリデータとして、取水、消費水、利用水、蒸散の 4 種類の基本フローを追加し、さらにその水源によって表層水、海水、地下水、かん水、雨水に分ける。各プロセスにおける水資源の流量を「取水量=消費水量+利用水量」でバランスをとる。工業統計調査用の調査票甲の工業用水使用量及び製造品出荷額をもとにインベントリデータを算出する。

2.1.4 土地利用

土地利用影響領域に関係するインベントリデータとして、土地改変、土地占有の 2 種類の基本フローを追加する。土地利用区分は LIME2[9)] を参考にし、9 種類(田、畑地、果樹園、その他の樹木畑、森林、荒地、建物用地、幹線交通用地、その他の用地)を設定する。工業統計調査用の調査票甲の工業用地面積及び製造品出荷額をもとにインベントリデータを算出する。

2.2 IDEA のプロセスと産業連関表の分類との対応

IDEA に格納されているインベントリデータを EHSA 用に利用するためには、IDEA のプロセスを産業連関表の約 400 分類に対応させ、かつ生産額当たりの環境影響評価結果に変換する必要がある。IDEA は約 3,800 プロセスを格納しておりそのうち国内生産額が入手可能でかつ網羅性を確保できる約 2,000 プロセスを抽出し、それらを産業連関表の約 400 分類と対応させる。産業連関表の取引基本表等で基準としている単位は金額なので、IDEA に格納されているインベントリデータのうち基準単位が数量のものはそれを製品の単価で除することで基準単位を金額に変換する。

IDEA のプロセスと産業連関表の分類とを照合し、1 対 1 で対応している場合あるいは IDEA の 1 プロセス

に対し産業連関表の複数の分類が対応している場合は、IDEA のインベントリデータを産業連関表の分類のそれに移行する。IDEA の複数のプロセスに対し産業連関表の 1 分類が対応している場合は、IDEA の各プロセスのインベントリデータを各プロセスから出力される製品の日本供給額で加重平均することで、産業連関表の分類に統合する。

3. 結果及び考察

3.1 IDEA に追加した基本フローの種類及びその流量の妥当性の検討

IDEA に追加した基本フローを表 1 に示す。

表 1 IDEA に追加した基本フロー

影響領域	IDEAに追加した基本フロー
地球温暖化	7種類: HFC23, R-410A, R-404A, R-407C, HFC-152a, PFC-116, 四塩化炭素
オゾン層破壊	10種類:HCFC-142b, HCFC-124, CFC-115, 四塩化炭素, HCFC-123, HCFC-21, HCFC-225, 1,1,1－トリクロロエタン, CFC-113, 臭化メチル
水資源消費	15種類: 取水, 利用水, 消費水のそれぞれに表層水, 海水, 地下水, かん水, 雨水の区分が存在する 3種類: 蒸散･表層水,蒸散･地下水,蒸散･雨水
土地利用	土地占有7種類: 田, 畑地, 果樹園, その他の樹木畑, 建物用地, 幹線交通用地, その他の用地 土地改変8種類: 土石採掘, 最終処分場建設, 森林→幹線交通用地, 森林→田, 森林→建物用地, 森林→果樹園, 森林→その他の用地, 森林→畑地

地球温暖化及びオゾン層破壊影響領域に関連する基本フローは従来の IDEA にそれぞれ 8 種類、4 種類が存在していたので今回追加したことで両影響領域は従来よりも高精度な評価ができるようになった。

地球温暖化及びオゾン層破壊影響領域に関連する基本フローの流量の妥当性について、基本フローを追加した IDEA を用いて算出した環境影響と他のデータベースのそれとを比較することで検討した。一例として ecoinvent[10] に格納されている硝酸アンモニウムと比較したところ、IDEA による地球温暖化の環境影響は 5.62kg-CO_2eq /kg であり、ecoinvent のそれの 99.98%と同程度だったのでおおむね妥当と判断した。IDEA によるオゾン層破壊の環境影響は 1.43×10^{-8}kg-ODP/kg であり、ecoinvent の 3.6%にすぎなかったが、日本の排出経路を確認したところ ecoinvent で排出のあった CFC-114、ハロン 1211 及びハロン 1301 が排出されていないと確認できたので環境影響に差が生じることは妥当と判断した。

水資源消費及び土地利用影響領域に関連する基本フローの流量の妥当性について、基本フローを追加した IDEA を用いて算出した上水道国内消費量、工業用水国内消費量、土地区分別面積と他の情報源から得られたそれらとを比較することで検討した。両者の差は小さかったので妥当と判断した。

3.2 IDEA のプロセスと産業連関表の分類との対応関係の妥当性の検討

IDEA のプロセスを産業連関表の分類に適切に対応させることができたかを検討するために、各プロセスから直接排出される地球温暖化影響領域に関連する各物質の排出量について EHSA 用インベントリデータと 3EID[11] とを比較した。両者の差が大きかった分類については、IDEA において基準単位を数量から金額に変更する際に用いた製品の単価や、IDEA の複数のプロセスを産業連関表の分類に統合する時に用いた日本供給額を見直すことで、IDEA のプロセスと産業連関表の約 400 分類との対応関係を修正した。

4. まとめ

EHSA で 17 の影響領域を評価できるように、従来の IDEA に地球温暖化、オゾン層破壊、水資源消費、土地利用に関連するインベントリデータを追加した。IDEA の約 2,000 のプロセスを産業連関表の約 400 分類と対応させることで、EHSA 用のインベントリデータの枠組みを完成させた。今後、上記以外の影響領域に関連するインベントリデータを追加する予定である。

謝辞

本研究は、(国)科学技術振興機構　社会技術研究開発センター 科学技術イノベーション政策のための科学研究開発プログラムの「製品ライフサイクルに立脚した環境影響評価基盤の構築と社会実装によるグリーン購入の推進」の一環として実施された。ここに記して謝意を表する。

引用文献

1) UNEP/SETAC Life Cycle Initiative : “Hotspots Analysis”, UNEP, <http://www.lifecycleinitiative.org/wp-content/uploads/2014/12/UNEP-Hotspots-Mapping-Project-Final-Report-Phase-1.pdf>, (2016-1-6)
2) (国)産業技術総合研究所 (一社)産業環境管理協会 : ”IDEA”, <http://www.idea-lca.jp/> , (2016-01-04)
3) 中村愼一郎 : “廃棄物産業連関表”, 早稲田大学, < http://www.f.waseda.jp/nakashin/wio_j.htm>, (2016-1-6)
4) 総務省, “平成 23 年(2011 年)産業連関表 計数編 1”, 経済産業調査会, 東京, (2015)
5) 温室効果ガスインベントリオフィス, “日本国温室効果ガスインベントリ報告書 2012 年 4 月”, (独)国立環境研究所, 茨城県, (2012)
6) 経済産業省 : “産業構造審議会化学・バイオ部会地球温暖化防止対策小委員会”, 経済産業省, < http://www.meti.go.jp/ committee/gizi_1/17.html>, (2016-1-6)
7) 環境省 経済産業省 : “個別事業所のデータ”, 環境省, < http://www.env.go.jp/chemi/prtr/kaiji/index.html> , (2016-1-6)
8) 経済産業省, “平成 22 年工業統計調査 工業調査票甲・工業調査票乙”, 経済産業省, 東京, (2010)
9) 伊坪徳宏 稲葉敦, “LIME2 意思決定を支援する環境影響評価手法”, (社)産業環境管理協会, 東京, (2010)
10) Swiss Centre for Life Cycle Inventories : “ecoinvent version 3”, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, < http://www.ecoinvent.org/database/>, (2015-1-6)
11) (独)国立環境研究所 : “産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)”, (独)国立環境研究所, < http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/jpn/index_j.htm >, (2016-1-6)

日本の評価基盤に基づく製品の環境ホットスポット分析

Environmental Hotspots Analysis of Products using the Japanese environmental infrastructure

○鈴木春生*[1)]、有間俊彦 [1)]、一杉祐貴 [1)]、村主さとみ [1)]、近藤康之 [2)]、田原聖隆 [3)]、高田亜佐子 [3)]、伊坪徳宏 [1)]

Haruo Suzuki[1)],Toshihiko Arima[1)],Yuki Ichisugi[1)],Satomi Suguri[1)],Yasushi Kondo[2)],Kiyotaka Tahara[3)], Asako Takada[3)],Norihiro Itsubo[1)]

東京都市大学 [1)]、早稲田大学 [2)]、産業技術総合研究所 [3)]

* h3suzuki@ tcu.ac.jp

1. はじめに

環境ホットスポット分析とは製品やサービスのライフサイクルを通じて環境影響の大きい活動領域を特定する手法である。環境ホットスポットを特定することで、問題点を抽出して改善に向けた取り組みを促し、環境に配慮した商品を選択するグリーン購入を促進することが可能となる。しかしながら、科学的な知見、根拠に基づいた環境スポット分析の事例は少ない。

本研究では、最新のインベントリデータベースと環境影響評価手法に基づく環境ホットスポット分析手法の開発を行い、科学的な方法を駆使して 100 品目を対象とした環境ホットスポット分析に向けた検討を行った。

2. 研究目的

環境ホットスポット分析の基となる情報は、研究、市場、専門的な知見や事業者による科学的な調査を基にしたもので、その範囲は経済、環境、倫理、社会の多岐にわたるものである。様々なシステムで懸念される問題を環境ホットスポット分析は、検討段階で先行して問題を抽出、精査することが可能であり、国、産業、組織、製品、サービスといった広い分野で活用することができる。

環境ホットスポット分析の結果は、専門家によるグリーンイノベーションのための羅針盤として、国・自治体・企業・消費者に広く報告され、環境ラベルの信頼性を高めるべく社会実装されるとともに、合理的な審査基準の下で、調達品目の選択を促進する改正グリーン購入法施行の基盤として活用されることを目指す。

3. 研究方法

3.1 評価対象と評価範囲の設定

本研究では 2011 年の産業連関表、廃棄物産業連関表に基づく環境ホットスポット分析を予定しているが、今回は現在活用できる 2005 年データを基に、用紙とテレビの環境ホットスポット分析を行った。

表１に機能単位とシナリオ設定、図１にシステム境界を示す。

表１　機能単位とシナリオ設定

評価対象	用紙	テレビ
機能単位	印刷用紙1トンの消費	2005 年製液晶テレビ1台の使用
評価シナリオ	国内で製造、家庭で使用した後、一般ごみとして焼却され、残渣を埋立	国内で製造、家庭で 10 年使用した後、家電リサイクル施設に運ばれ処理

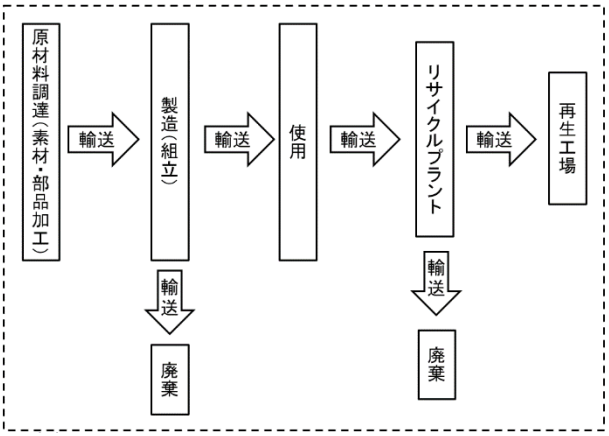


図１　システム境界

3.2 計算方法

本研究では、2005 年産業連関表を基に下記の統計データによる二次データの収集を行った。

算定には、3EID 2005 年 生産者価格基準原単位、環境フットプリントデータファイル、平成 12 年廃棄物産業連関表を使用し、統合化は環境影響評価手法である LIME2 を用いて評価を行った。

(1)材料調達、製造段階の推定

産業連関表の約 400 部門に分類された一部門である「洋紙・和紙」および「ラジオ・テレビ受信機」部門に投入(供給)される原材料、燃料、サービスのデータを抽出した。

抽出したデータの内、原材料を「材料調達段階」に分類し、その他の燃料、サービスを「製造段階」と推定した。

(2)輸送、使用段階の推定

輸送に関しては、生産した「洋紙・和紙」部門、「ラジオ・テレビ受信機」部門から使用する消費者(最終需要部門)である「家計消費支出」に渡るまでの販売者(卸売・小売)および輸送手段(貨物輸送ほか)に関わるデータを産業連関表から推定した。

印刷用紙の使用段階では、原材料、燃料ほかの投入は無いものとし、液晶テレビでは消費電力、平均視聴時間から 10 年間の総電力量を推定した。

(3)廃棄、リサイクル段階の推定

廃棄、リサイクル段階に関しては、産業連関表の該当部門では破砕、焼却、埋立のデータ区分ができないため、平成 12 年廃棄物産業連関表に基づいて、CO_2排出量、埋立処理面積、埋立容積を推定した。

(4)LIME2 を活用した環境影響評価

上記(1)～(3)で推定したデータに基づき、インベントリ分析を行った後に LIME2 を活用して被害評価、統合化を行い、ライフサイクル別、影響領域別の環境影響評価結果を算出した。

4. 結果

4.1 印刷用紙

図２に示す様に、使用段階でエネルギーを消費しない印刷用紙は、材料調達や製造段階の温室効果ガス排出の影響が大きく、液晶テレビの水消費の環境影響と比較すると、印刷用紙のそれは無視できない。

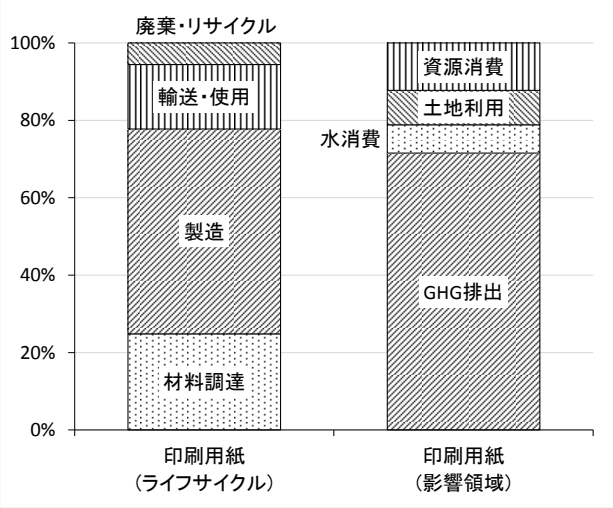


図２　印刷用紙の算出結果

4.1 液晶テレビ

エネルギー消費型製品である液晶テレビでは図３に示す様に使用段階の温室効果ガス排出の影響が大きく、製品を構成する資源消費の影響に注意を要する。

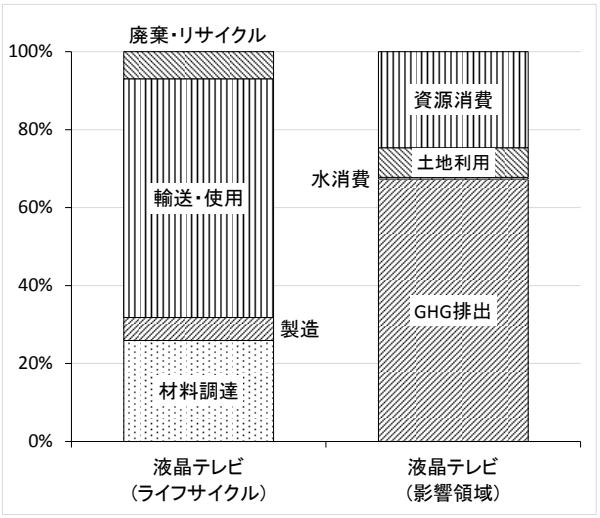


図３　液晶テレビの算出結果

5. 結論

本研究では、使用段階でエネルギーを使わない製品とエネルギー消費型製品の環境ホットスポット分析を行い、両製品の違いが分析結果に表れていることを確認した。

今後は分析結果の精緻化を目指して 100 製品の一次データ収集を行い、2016 年に公開される 2011 年データベースを活用した分析を行う予定である。

謝辞

本研究は、国立研究開発法人　科学技術振興機構　戦略的創造研究推進事業（社会技術研究開発）「科学技術イノベーション政策のための科学研究開発プログラム」題名：製品ライフサイクルに立脚した環境影響評価基盤の構築と社会実装によるグリーン購入の推進において実施されました。

参考文献

1) 総務省：平成 17 年(2005 年)産業連関表(確報)
http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001019588
2) 国立環境研究所：3EID 2005 年 原単位
http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/jpn/datafile/embodied/2005/403.htm
3) 伊坪研究室：環境フットプリントデータファイル
http://www.yc.tcu.ac.jp/~itsubo-lab/research/EFPitiran.html
4) 早稲田大学：平成 12 年廃棄物産業連関表
WIO2000 version 0.06b
http://www.f.waseda.jp/nakashin/wio_j.htm
5) LCA 日本フォーラム：LIME2 係数リスト
http://lca-forum.org/database/impact/

Measuring Stocked Material Use Efficiencies: Case Study of Sewage Pipelines in Japan

○Cherry Myo Lwin*, Sébastien M.R. Dente , Toshiyuki Shimizu, Tao Wang, Seiji Hashimoto
Ritsumeikan University,
*14v00918@gst.ritsumei.ac.jp

1. Introduction

Infrastructure in any country is crucially important for many necessary activities supporting industrial and economic development. They are physical core structures through which society enjoys services. Such infrastructure, however, requires myriad resources. Efficient resource use demands resource use efficiency assessment. This research examined sewage pipeline networks, which represent large underground assets and material stocks, and estimated the stocked material use efficiencies (SMUE). Two objectives are (a) estimation of the accumulated sewage pipelines construction materials in Japan at prefectural level, and (b) analysis of the function performed per stocked materials in use (SMUE) throughout Japan.

2. Methods

The material stocks of sewage pipelines were estimated using the following equation by distinguishing the specific diameter type.

$$MS_d(x+1) = MS_d(x)\times\{1 - r_d(x+1)\} + \{L_{new,d}(x+1) + L_{ren,d}(x+1)\} \times MI_d(x+1) \quad (1)$$

In that equation, $MS_d(x)$ denotes the material stock (tonnes) of sewage pipelines of specific diameter type d in year x. $r_d(x)$ is the ratio of renovated length (km) of sewage pipelines of specific diameter type d in year x [1] to total length (km) of sewage pipelines of specific diameter type d in year x-1 [1]. $L_{new,d}(x)$ shows the length (km) of new sewage pipelines of specific diameter type d in year x [1]. $L_{ren,d}(x)$ is the length (km) of renovated sewage pipelines of specific diameter type d in year x [1]. $MI_d(x)$ signifies the material intensity (tonnes/km) of sewage pipelines of specific diameter type d in year x [2].

The SMUE in prefecture i shown below can be decomposed into five ratios.

$$SMUE_i = \frac{SP_i}{MS_i} = \frac{SP_i}{SC_i}\times\frac{SC_i}{P_i}\times\frac{P_i}{A_i}\times\frac{A_i}{L_i}\times\frac{L_i}{MS_i} \quad (2)$$

In that equation, SP_i denotes the service (m^3 of wastewater treated) provided by the wastewater treatment plants in prefecture i [1]. MS_i denotes material stocks (tonnes) of sewage pipelines in prefecture i. SC_i is the service capacity (m^3) of wastewater treatment plants in prefecture i [1]. P_i shows the population (persons) having access to the wastewater treatment service in prefecture i [1]. A_i is the area (km^2) of sewage pipelines in prefecture i [1]. L_i is the length (km) of sewage pipelines in prefecture i [1].

3. Results and Discussion

Figures 1 and 2 present material stocks and SMUE in 2010 at the prefecture level. Not surprisingly, the material stock is linked primarily to the sewerage-connected population because the 12 most populated prefectures, which account for 68% of Japan's population, show the highest material stocks adding up to 66% of total material stocks. Tokyo, the most populated prefecture, has the highest stock. Its sprawl effect is mainly oriented southward (Kanagawa), northward (Saitama), and southeastward (Chiba). Osaka has no such sprawl except Hyogo. Aichi and Hokkaido have similar amounts of material stocks, but the per-capita material stock in Aichi is 33% less than that in Hokkaido because Hokkaido has larger area and fewer people, implying lower SMUE in Hokkaido than Aichi. Overall, material stocks are concentrated along the Tokaido and Sanyo rail lines and related large cities (Tokyo, Nagoya, Osaka, Kobe, Hiroshima, Fukuoka). In contrast, material

stocks are lower in less populated prefectures (Wakayama, Tottori, Tokushima, and Saga).

The SMUE offers a completely different picture. Tokyo and Osaka show high SMUEs because they process large amounts of wastewater, even though their material stocks are large, although such is not the case for Aichi, Hiroshima, Fukuoka, and Hokkaido, for which SMUE are low. A difference is apparent between sparsely populated prefectures: high SMUE of Nagano and Ehime, average SMUE of Aomori and Wakayama, and low SMUE of Iwate and Tottori.

Finally, decomposition analysis showed that Kyoto and Ishikawa, which have a similar high SMUE, present different characteristics because Kyoto's high SMUE is explained mainly by its high population density (high P/A in equation 2), whereas the use of small pipelines (high L/MS in equation 2) is the main explanatory factor of Ishikawa's high SMUE. In addition, Akita is remarkable because its population level is similar to Ishikawa's, but its material stocks are seven times larger than Ishikawa's, mainly because of the use of large pipelines (low L/MS in equation 2), thereby giving it the highest material stock per capita: 17.7 ton/capita. The national average is much lower: 4.1 ton/capita. The SMUE in Akita is therefore 13 times lower than that in Kyoto and Ishikawa and 7.3 times lower than the national average efficiency. Overall, decomposition analysis revealed that sewer pipe size and sewerage-connected population density can be the main drivers determining SMUE: this point must be examined further in future research.

4. Conclusion

We estimated material accumulations in sewage pipelines and introduced a pioneering step for measuring SMUE using direct service indicators. Future research will analyze each prefecture for underlying factors and will apply indicators to other infrastructure and products.

Acknowledgements: This research was funded by the Environmental Research and Technology Development Fund (1-1402) from the Ministry of Environment, Japan, by a Grant-in-Aid for Scientific Research (26281056) from the Japan Society for the Promotion of Science, and by the Ritsumeikan Global Innovation Research Organization (R-GIRO).

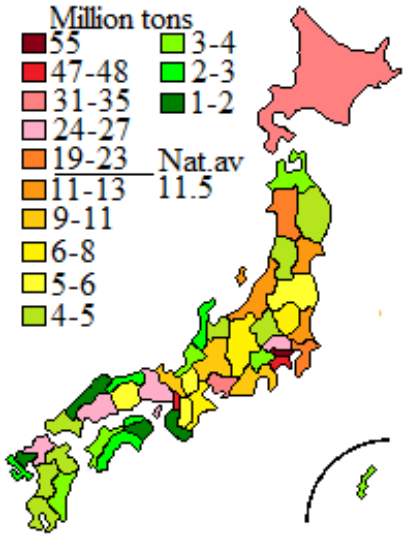


Figure 1. Material stocks in 2010

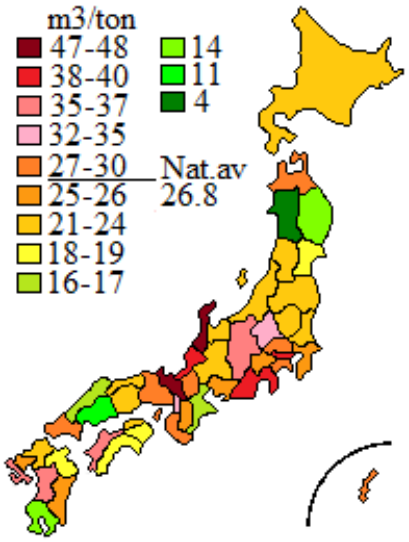


Figure 2. Stocked material use efficiency in 2010

References

1) Japan Sewage Works Association (JSWA): Statistical Yearbooks for Sewer Management, JSWA, 1984-2012
2) Nagaoka, K., Tanikawa, H., Yoshida, N., Higashi, O., Onishi, A., Feng, S., Imura, H.: Study of accumulation/distribution tendencies of the material stock of the construction sector in all prefectures and megacities in Japan. *Environmental Science* 23, 83–88, 2009

世界の下水道構造物に蓄積された鋼材量推計とその飽和量予測

Estimation of steel stock in global sewer networks

○藤本郷史*[1)]、河村千秋 [1)] 、松野泰也 [2)]
Satoshi Fujimoto, Chiaki Kawamura, Yasunari Matsuno
1) 宇都宮大学, 2) 東京大学
* fujim@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. はじめに

下水道網は，近代的生活の質を確保するために必須の重要な社会基盤構造物である。この社会基盤構造物を適切に整備・維持するためには，投入・蓄積される資源量を把握しておく必要がある。下水道構造物は地下に建設されるので，蓄積された資源量の把握が他の社会基盤構造物に比べて難しい。本報では，各国の指針，実態調査等の広範囲な文献調査に基づいて，全球レベルで下水管渠ネットワークに蓄積された鋼材量とその将来的な飽和蓄積量を推計することを目的とした。

2. 鋼材量の推計

2.1 算定の方法

全球レベルで積み上げ法から資源蓄積量を推計するには，GDP, 人口など全球レベルで入手可能な値からの推定に拠るしかない。本報では, 式1)に示すように，人口および人口密度から資源飽和量を算定した。さらに，式2)のように，飽和量に現状の下水整備率を乗じて現状の資源量を推計した。

$$St^{sat} = \sum P_i \cdot L^{sat}(pd_i) \cdot R_{m,d} SMI_{m,d} \quad (1)$$

$$St^{cur} = \sum SC_{c(i)} \cdot P_i \cdot L^{sat}(pd_i) \cdot R_{m,d} SMI_{m,d} \quad (2)$$

ただし，St^{sat} ：飽和状態における鋼材蓄積量[ton], St^{cur} :現在の下水管路に蓄積された鋼材量[ton]に対して，都市iの人口 P_i [person], 人口密度 pd_i [person/ km^2], 人口密度から推定される飽和状態の都市における住民あたり管渠長さ $L^{sat}(pd_i)$ [m/person], 下水管渠の材質 m , 管径d の管が下水管渠全体に占める割合 $R_{m,d}$ [%], 鋼材原単位$SMI_{m,d}$ [ton/km], 都市iの所在する国$c(i)$ における下水整備率$SC_{c(i)}$ である。

2.2 推計に用いたデータとその考え方

2.2.1 世界の各都市における人口と人口密度

下水道は一般に，都市部では集合処理を指向して管渠ネットワークとして整備されるのに対して，農村部などの人口密度が小さい地域では個別処理として整備される [1)]。したがって，QOL の観点から下水道が充分に整備された状況であっても，人口密度の小さい地域では下水管渠は整備されず蓄積資源量は小さい可能性がある。この考え方に基づいて，本報では，表 1 に示すように，2 種類の人口，人口密度データベースを採用し，飽和蓄積量の上限・下限値を推計した。

表 1　人口・人口密度の設定方法と考え方

	用いたデータとその概要
上限値	全世界を網羅する人口・人口密度データベース [2)]を用いて P_i, pd_i を設定した。自治体(administrative area)レベルまでしか区分されていないため, 下水道整備が不要な地域を算入してしまう可能性がある。
下限値	世界各国の人口 10 万人以上の都市リストデータベース [3)]から P_i pd_i を設定した(2873 都市)。途上国に多い 10 万人以下の町を算入していないので, 下水管渠長さを過小評価している。

2.2.2 住民一人あたりの下水管渠長さの飽和

先進国の都市部では，新規の下水管路整備工事が行われることは少ない。このことから，充分に成熟した都市においては，地区ごとの下水管路の量は飽和すると考えられる。本報では，この観点から先進各国の都市における下水管渠長さを文献調査した。

OECD 諸国のうち高収入(High-income)に分類 [4)]され，且つ，下水管路整備率 [5)]100%の都市における調査結果 [6-8)]を図 1 に示す。人口密度と住民一人あたりの管渠長さには比較的高い相関が観察された。これらの都市では，急激な都市の変化が無ければ下水管渠の新設工事は無く飽和しているとみなせるので，この回帰式（図中破線）を $L^{sat}(pd_i)$ として用いた。例えば，文献 9 では都市部で 1.5～3 m/person, 市街地で 2.5～5m/person, 文献 10 では，都市部で 2.5～3.5m/person 程度の下水管渠長さを概算値として示している。これらの下水道分野の報告から本考察の妥当性を確認した。

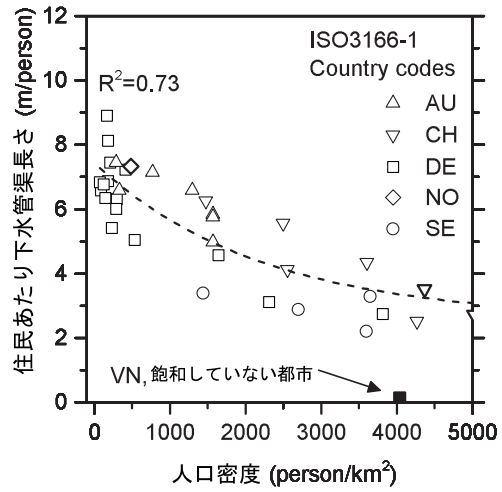


図 1 成熟した都市における人口密度と下水管渠長さの関係

2.2.3 下水管の材質および管径の分布

下水管渠の材質は文献 11 の方法で分類し，CON（コンクリート管），METAL の 2 分類にのみ鋼材が含まれるとした。図 2 の調査結果を参考に鉄筋コンクリート管(RC)の比率を 10%，METAL の占める比率を 1%とした。下水管の径分布は OECD の推計式[12]から導出した。鋼管，RC 管径別の鋼材投入原単位は，ASCE, JIS 等の規格値，文献調査ならびに業界団体提供値を参考に設定した。

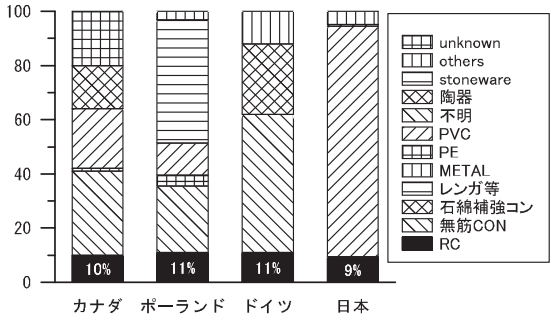


図 2 管の材質とその長さが占める比率（現状）

3. 推計結果と考察

表 2 に下水管渠網に係わる鋼材蓄積量の推計結果を示す。畑山ら[13]の推計と比較すると，下水管渠網は，最低でも 0.5%を占め，整備の方針によっては 1.5%にまで到達する可能性があることが明らかとなった。

表 2 鋼材蓄積量の推計結果

推計のシナリオ	記号	鋼材蓄積量(ton)	建設全体に対する比率(%)[13]
現状	St^{cur}	3.57×10^7	0.45%
飽和（下限）	St^{sat}	4.39×10^7	0.57%
飽和（上限）		11.4×10^7	1.50%

3.1 引用文献

1) OECD: 世界の水質管理と環境保全, 2004
2) CIESIN, CIAT. 2005. Gridded Population of the World, Version 3 (GPWv3): Population Density Grid. Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). http://dx.doi.org/10.7927/H4XK8CG2.
3) United Nations: Demographic Yearbook, Population of capital cities and cities of 100 000 or more inhabitants: 1993 - 2012
4) OECD: Country Classification, ANNEXⅢ, 2011
5) WHO, UNICEF: Progress on drinking water and sanitation Joint Monitoring Programme update 2014 , ANNEX3, ISBN: 978-924-150724-0, 2014
6) Gebhard Weiss and Hansjörg Brombach: Today's practice in stormwater management in Germany,(2007) pp.1557-1564, Proc.NOVATECH
7) Ofwat: International comparison of water and sewerage service 2007 report, (2007), pp.20-21
8) Venkatesh, G., Brattebø, H., Testing the power law on urban water and wastewater pipeline networks, (2011), Vatten, Vol.67, pp.157-160
9) UNEP, Environmentally Sound Technologies for Wastewater and Stormwater Management: An International Source Book, ISBN: 9280718207, 2001
10) Marcos Von Sperling: Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal, (2007), Intl Water Assn, pp.26-27
11) Sewerage Rehabilitation Manual, Second Edition, Water Research Centre, U.K.
12) OECD: Environmental Financing Strategies: Methodology and FEASIBLE Computer Model, Appendix 3: Documentation of Expenditure Functions –Wastewater
13) Hatayama.et.al:Environ. Sci. Technol., 2010, 44 (16), pp 6457–6463

謝辞

本報は，日本学術振興会 科学研究費 基盤研究（A）（研究代表者：松野泰也 東京大学准教授，課題番号：25241027）の助成を受けて実施した。研究内容の一部については，石田剛朗氏（元・広島大学助教）の助言をいただいた。日本国内の管に鋼材投入原単位については，日本国内の鉄筋コンクリート管製造会社および日本ヒューム管協会より参考資料を提供いただいた。以上の関係各位に感謝申し上げる。

ユーザ層に配慮した雨水活用装置稼働シミュレーションソフトの開発

Development of Rainwater Harvesting System Operation Simulation Software in Consideration for User Layer

○前川翔太*[1)]、笠井利浩[1)]
Shota Maegawa, Toshihiro Kasai
1) 福井工業大学
* maegawa.0724@gmail.com

1. はじめに

日本では、2014 年 5 月 1 日に「雨水の利用の推進に関する法律」が施行され、水資源の有効利用を目的に国や自治体の施設に対して雨水活用装置の設置、一般市民自らの雨水活用に努めるなど、雨水活用を推進している。雨水活用には、水資源確保や都市型洪水緩和、環境負荷削減の効果が挙げられる。しかしながら、降水特性や水の使用頻度によって効果が変化するため、設計段階において雨水活用装置の最適化は重要である。最適化方法として、インターネットで公開されている雨水活用装置稼働シミュレーションを利用する方法がある[1)]。しかしながら、降水特性などを反映させた上で環境負荷削減効果を算出できるものは少なく、一般市民向けや専門家向けなど各ユーザに対応した雨水活用装置稼働シミュレーションは見つからない。

本報では、一般市民向けおよび専門家向けの雨水活用装置稼働シミュレーションを開発したので報告する。

2. 方法

2.1 開発環境およびデータの調整

雨水活用装置稼働シミュレーションソフト開発に使用したプログラミング言語は、Visual Basic、PHP、jQuery である。フレームワークは、Microsoft 社が提供している ASP.NET を用いた。

シミュレーションに必要なデータは、AMeDAS 降水データ、集水面積（建築面積）、一世帯当たり人員、造水費用および時間帯別水使用量のデータである。降水データには当初、10 分値データを使用していたが、シミュレーション時のサーバへの負荷などを考慮し、1 時間値に再集計したデータを用いた。降水データの期間については、長期間とする考え方もある一方で、近年の急激な気候変動を考えた場合、過去 10 年間程度とするのが適当であると考え、2000～2009 年とした。雨水の集水には屋根面を用いるが、全量収集ができないことから集水面積の初期値は建築面積とした。この面積には、各市区町村の戸建住宅の平均面積を割り当てた。一世帯当たり人員には、各市区町村の戸建住宅に住む平均人員とした。造水費用は、水道事業体ごとの営業費用を給水量と分水量の合算値で除した値を用いた。これは、各水道事業体が水道水造水時に必要となった費用である[2)]。時間帯別水使用量は、シミュレーションで使用できるよう、トイレ洗浄用および洗濯用水としてまとめた値を用いた[3)]。

2.2 雨水活用装置稼働シミュレーションの流れ

雨水活用装置稼働シミュレーションの基本的な計算フローチャートを、図 1 に示す。シミュレーションでは、AMeDAS 降水データを用いて雨水集水量を計算するところから始まる。これらの計算後、水使用量、貯水タンク内水量を計算する。貯水タンク内水量の値によって、次に計算するオーバーフロー量、雨水貯水量、給水量、水道水代替量、貯水タンク内水量の計算方法が異なる。これらを 10 年間分繰り返し、集計項目ごとに年平均と月平均を算出するようにした。

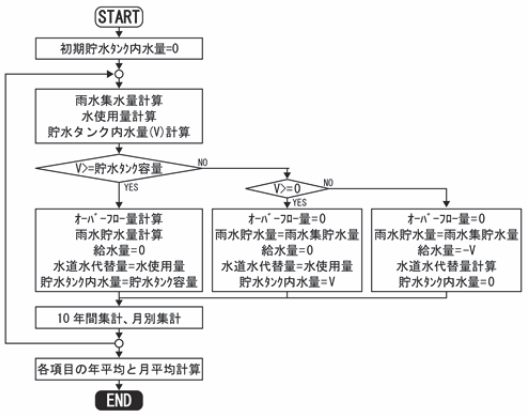


図 1　雨水活用装置稼働シミュレーションの流れ

2.3 環境負荷削減効果の算出方法

水道水削減による CO_2 削減量は、3EID を用いて下記の計算式から算出する。原単位は、産業連関表による環境負荷原単位データブック（2005 年）から 1.36 とした[4)]。原単位に各水道事業体の造水費用を掛け、水道水 $1m^3$ 当たりの CO_2 排出量を算出する。算出した値に雨水使用量を掛けることで、水道水削減による CO_2 削減量を求められる。また、加圧送水ポンプ使用時には、水道水削減による CO_2 削減量から電気使用時の CO_2 発生量を差し引くことで環境負荷削減効果を求めている。

$$CO_2\ 削減量(g\text{-}CO_2) = 原単位(t\text{-}CO_2/100万円) \times 造水費用(円/m^3) \times 雨水使用量(m^3)$$

3. 結果および考察

雨水活用装置稼働シミュレーションの結果画面を、図2、3に示す。簡易版の雨水活用装置稼働シミュレーション（図 2）では、①地点（装置設置場所） ②地域気象観測所 ③貯水タンク容量 ④集水面積(建築面積) ⑤使用人数 ⑥水道料金 ⑦時間帯別水使用量 を用いてシミュレーションできる。専門家向け（図3 左）では、簡易版の設定条件に加え、雨水活用装置の構成変更、時間帯別水使用量の複数パターンなどを追加した。一般市民向け（図3 右）では、専門家向けとは異なり、具体的な数値を設定することなく直感的に理解できるようインターフェースを考慮した。また、条件を設定することでインターフェースの色が徐々に追加され、ユーザに対して関心を抱かせる仕組みである。これらシミュレーションソフトを使用することで、設計段階において雨水活用装置の最適化を行うことができ、使用時の環境負荷削減量を最大にすることができる。

4. まとめ

本研究では、ユーザ層に配慮した雨水活用装置稼働シミュレーションソフトを開発した。これにより、各地域で雨水活用した場合の環境負荷削減効果などを算出できる。この結果を踏まえて雨水活用装置を設計することで、雨水活用による環境負荷削減量を最大にできる。また、一般市民向けのシミュレーションソフトでは、利用者増加を目的にやわらかい印象のユーザインターフェースにした。これにより、一般市民から専門家まで幅広いユーザに雨水活用装置稼働シミュレーションを提供でき、利用者増加に繋がると考えられる。今後は、シミュレーションソフトのユーザインターフェースを評価し、利用者増加に繋がっているかを検討する必要がある。

参考文献

1) Rain Tank：“雨水利用の計算”，おしゃれな雨水タンク，入手先 <http://www.raintank.info/simulation.html>，（参照 2016-1-3）
2) 笠井利浩：日本雨水資源化システム学会誌, 18 (1)，(2012)，pp.27-33
3) 越川康夫, 村川三郎, 西田勝：日本建築学会, (452)，(1993)，pp.37-45
4) 独) 国立環境研究所 地球環境研究センター：“3EID 産業連関表による環境負荷原単位データブック”，3EID，入手先 <http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/jpn/index_j.htm>，（参照 2015-12-30）

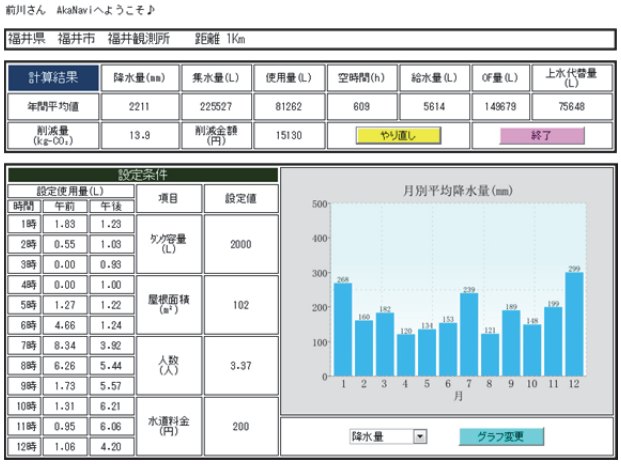


図 2 簡易版の雨水活用装置稼働シミュレーションソフトの結果表示画面

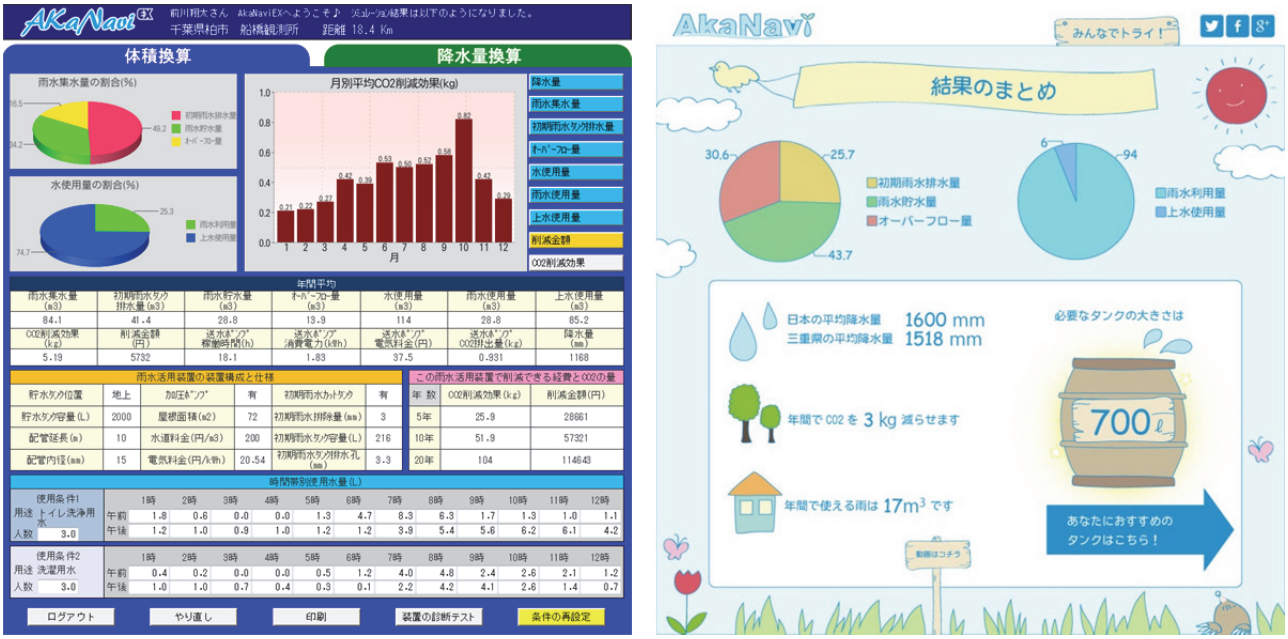


図3 専門家向けと一般市民向け雨水活用装置稼働シミュレーションソフトの結果表示画面

フェロセメント工法による雨水貯留槽の製作時における環境負荷量

Environmental Load Amount in Production of the Rainwater Reservoir Tank by Ferro Cement Construction Method

○早崎敬寛 [1)]、笠井利浩*[1)]
Takahiro Hayasaki, Toshihiro Kasai
1）福井工業大学
* kasai@fukui-ut.ac.jp

1. はじめに

近年、地球温暖化の影響などによりこれまでに経験したことがないような豪雨が頻発し、各地で洪水が発生している。このような極端な気候は、今後もさらにエスカレートして発生すると推測され、洪水被害の逆の渇水被害も起こる可能性が高い。このような洪水や渇水被害への対応策の一つとして、近年、雨水を汚水として下水道に流すのではなく、雨水を溜めて資源として活用しようという取り組み（雨水活用）が普及し始めている。また、雨水活用は、雨水の貯留による水資源の確保という観点からだけではなく、地下浸透や蒸発散による水循環健全化のためにも広く一般的に行われなければならない。しかしながら、まだまだ「雨水活用」の知名度は低く、今後、粘り強い啓蒙活動と実質的な普及に向けた取組みを続けてゆかねばならない。

本報では、福井市内の公民館において、ビオトープへの給水、花壇への散水の他、地域住民への雨水活用の啓蒙を目的に、地域住民と協働で製作した雨水貯留槽（以下、パンプキンタンク）の製作記録を報告する。また、この雨水貯留槽製作のもう一つの目的である、地域住民へのライフサイクル思考（以下、LCT）に基づく環境教育用に向けた基礎資料として試算した、雨水貯留槽製作時の環境負荷量の計算結果を報告すると共にこの活動を通じたLCTに基づく環境教育の可能性について述べる。

2. パンプキンタンク

パンプキンタンクは、世界銀行の支援を受けて行われた Community Water Supply and Sanitation Programme（CWSSP、1995～1998 年）の一部として開発された雨水貯留槽であり、スリランカの Badulla、Ratnapura および Matara 地域の水道や地下水供給が難しい場所に数百基設置されている[1)]。このパンプキンタンクは、幅20mm、厚さ 5mm 程度の鋼製フラットバーを湾曲させて作った骨組みの上に、線径0.5mm、目合15mm 程度の亀甲金網（以下、金網）を張ってモルタルを塗布して行うフェロセメント工法で製作されており、安価で高強度なものが製作できるという特徴をもつ。これまでに日本国内に現存するパンプキンタンクとしては、東京都墨田区にあるすみだ環境ふれあい館にある1基だけであった。これは、すみだ環境ふれあい館内の雨水資料館の開設に合わせて、NPO 法人雨水市民の会が 2001 年にスリランカの技術者を招いて製作されたものである[2)]。

3. パンプキンタンクの製作

今回製作したパンプキンタンクの製作プロジェクトは、筆者が今回のタンクが設置された公民館で行った雨水活用に関する講演会（2014/10）を切っ掛けに始まった。実際の製作は、2015 年3月中旬頃から始まり、主に土日を利用して行った。完成は、約4ヶ月後の 2015 年7月 11 日、製作に携わった延べ人数は、97 人・日となった。また、製作にかかる費用については、全額福井市からの助成金で賄われた。

3.1 パンプキンタンクの基本構造および製作工程

今回製作したパンプキンタンクの基礎図面を、図1に示す。このタンクの総重量は、満水時に 10t 以上になると予想されたため、その重量に耐えうるように基礎工事を入念に行った。

基礎平板（2.2×2.2×0.2m）完成後、タンクの形状を決定する枠鉄筋の組立と金網貼りを行った。枠組みに用いた異径鉄筋（D10）は、CAD で描いた図面を大判プリンターで原寸大に印刷した型紙に添って切断・曲げ加工を行った。また、モルタル塗りのベースとなる金網は、枠鉄筋全面に結束線を用いて貼り付けた。

左官作業によるモルタル積層は、金鏝を使って一回当たり約 5mm 程度の厚みでタンク内外から行い、最終的に約10cm の厚みにした。モルタル積層には、25kg ポルトランドセメント 55 袋、砂 3ｔ、モルタル用軽量骨材 500L、モルタル接着増強剤 18kg を用い、この工程に約2ヶ月間を要した。また、タンク内部には水漏れ防止のため、ケイ酸質系塗布防水剤を塗布した。

タンク製作の最終工程となる外部塗装は、油性シーラー塗布後、水性塗料を複数回塗り重ねて行った。また、環境教育用教材としての効果を高めるため、タンク横のビオトープ内の生物をイメージしたイラスト（原画は地区の児童が作成）シールの貼り付けを行った（図2）。

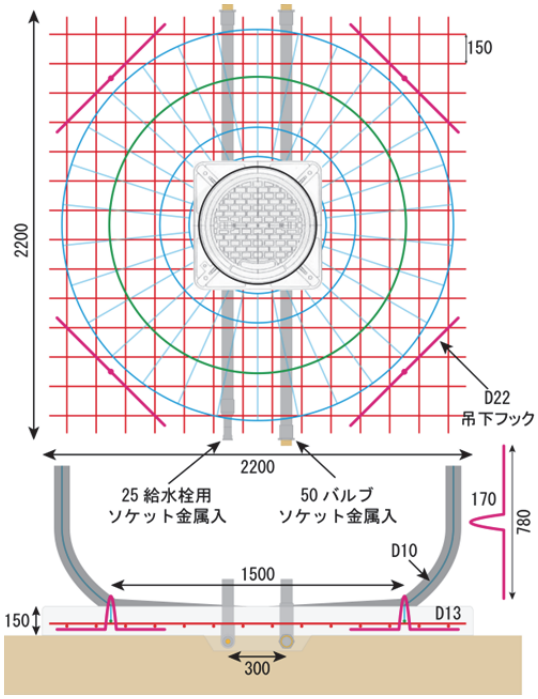


図1　パンプキンタンクの設計図（上：上面、下：側面）



図2　完成したパンプキンタンク

3.2　配管工事

パンプキンタンクへの雨水給水は、公民館の屋根の竪樋に接続した雨水取水装置を経て、雨水導入管を通じて行われている。これらの装置、配管類は全て塩ビ製のものであり、一般に販売されている給水・排水配管用のパイプや継ぎ手を利用して製作した。竪樋から取水した雨水は特別な処理はせず、比較的大きなゴミを取り除くためのステンレス製ボールザルでろ過しているのみである。

散水ホースへ送水は、250W 浅井戸ポンプを用いて行われ、タンク横の水栓柱から水道水と同じように雨水が使えるようになっている。

4.　パンプキンタンク製作時の環境負荷量

今回行ったパンプキンタンク製作時の環境負荷量の試算は、この結果を地域住民向けの LCT に基づく環境教育用の説明資料として用いる事を目的として行った。環境教育授業の際には、ワークシート等を用いて実際に受講者と分かりよくイメージしながら計算できるようにするため、3EID（2005 年）[3] を用いて行った。

4.　結果および考察

3EID によるパンプキンタンク製作時の環境負荷量の試算結果を、表 1 に示す。

表 1　パンプキンタンク製作時の環境負荷量の試算結果

項　目	金　額	原単位 $(I\text{-}A)^{-1}$	GHG $(kg\text{-}CO_2)$
砂利･採石	¥18,400	4.62	85.1
ｾﾒﾝﾄ	¥22,757	101.68	2313.9
熱間圧延鋼材	¥58,628	21.86	1281.6
ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ製品	¥103,920	3.63	377.3
ｾﾞﾗﾁﾝ･接着剤	¥976	5.16	5.0
製材	¥38,600	1.86	71.7
道路貨物輸送(除自家輸送)	¥3,835	3.79	14.5
その他の金属製品	¥19,440	4.31	83.7
その他の無機化学工業製品	¥40,000	10.80	431.8
金属製家具･装備品	¥255	3.21	0.8
非鉄金属素形材	¥5,842	4.89	28.6
ｾﾒﾝﾄ製品	¥1,728	7.57	13.1
ﾎﾞﾙﾄ･ﾅｯﾄ･ﾘﾍﾞｯﾄ及びｽﾌﾟﾘﾝｸﾞ	¥1,608	5.15	8.3
配管工事付属品 ･粉末や金製品･道具類	¥22,413	3.70	82.9
ﾎﾟﾝﾌﾟ及び圧縮機	¥74,100	3.61	267.3
合　計	¥412,502		5065.6

今回製作したパンプキンタンク製造時の環境負荷量は、特に素材であるセメント、鋼材の環境負荷から大きくなった。しかしながら、環境教育用の教材として考えた場合、今回製作したパンプキンタンクは、長い工期と相当な労力を使って製作されたため、主な設置目的的である「雨水活用普及啓発」や「LCT に基づく環境教育」の面からみた効果は大きいと考えられる。今後は、このパンプキンタンクを教材に、雨水活用と LCT の普及に向けた勉強会やイベントを地域住民と共に実施する予定である。

参考文献

1）The University of Warwick：Case Study 1 - The Sri Lankan Pumpkin Tank，http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/eng/research/civil/dtu/pubs/rn/rwh/cs01/，（2015-7-2）

2）笠井利浩（2015）：フェロセメント工法を用いた雨水貯留槽の製作，日本雨水資源化システム学会第 23 回研究発表会講演要旨集，pp.28-31

3）国立環境研究所地球環境センター：産業連関表による環境負荷原単位データブック（3EID），http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/jpn/index_j.htm，（2015-3-10）

【謝辞】雨水貯留槽（パンプキンタンク）の製作にあたり、ご協力いただいた福井市清水東地区の皆様と福井市清水東公民館の方々に感謝いたします。また、製作費の全額を福井市からの環境保全事業として補助頂きました。

温室効果ガス排出削減量評価の算定および公開事例
—自動車リユース主要 50 部品—

A Case Study in Calculation of Greenhouse-gas Reduction and its Publication:
50 Major Reuse Parts for Automobile

○髙橋颯太*[1)]、岩崎誠和 [1)]、藤田光伸 [2), 3)]、森孝男 [4)]、鈴木廉 [4)]、鈴木雄大 [2)]、玉木基裕 [3)]、杉本淳二 [3)]
石塚克美 [3)]、乙幡勝三 [3)]、鈴木成幸 [3)]、小林謙六 [3)]、谷洋紀 [3)]、早川明宏 [3)]、井上全人 [2)]
Sota Takahashi, Masato Iwasaki, Mitsunobu Fujita, Takao Mori, Ren Suzuki, Yudai Suzuki, Motohiro Tamaki
Junji Sugimoto, Katsumi Ishizuka, Katsumi Oppata, Shigeyuki Suzuki, Kenroku Kobayashi, Hironori Tani
Akihiro Hayakawa and Masato Inoue
1) 明治大学大学院, 2) 明治大学, 3) NGP 日本自動車リサイクル事業協同組合, 4) 富山県立大学
* ce52039@meiji.ac.jp

1. はじめに

日本では年間 300 万台強の自動車が廃車となっている。もし廃車をそのまま廃棄する場合、自動車 1 台の質量を 1 トンとしても、毎年 300 万トンの廃棄物が排出されていることになる。これは全国で毎年排出される約 7000 万トン廃棄物の 4%強にもなり、大きな社会問題となっている [1)]。この問題を解決するひとつの方法として、自動車のリユース部品が注目されている。自動車のリユース部品とは、使用済み自動車から再利用できる部品を取り外し、目視・現車・テスター等による点検を行い、洗浄・美化を施し商品化された部品である。一般的に、自動車の修理時にリユース部品を使用して修理することは、廃棄物を減らし、新たな資源の投入を最小限に抑えることから、環境にやさしいと言われている。しかし、自動車ユーザのリユース部品への認知不足等が利用推進の課題となっている。

本研究では、リユース部品の使用による温室効果ガス（以下、GHG）の排出削減量を定量化し、その結果を公開することで、リユース部品の「環境にやさしい」という付加価値をユーザに示し、その利用を促進する事例を紹介する。

2. 研究方法

2.1 GHG 排出削減量の考え方

本研究におけるリユース部品の使用による GHG 排出削減量の考え方を図 1 に示す。自動車の使用（走行）時に事故や故障が発生した場合、ユーザは自動車を修理して再び使用すると考えられる。ユーザは修理の際に、リユース部品と自動車メーカで生産された新品の部品のどちらかを使用して修理を行う。このとき、リユース部品を使用する場合と新部品を使用する場合では自動車の修理における GHG 排出量が異なると考えられる。本研究では、自動車の修理時にリユース部品を使用することによる GHG 排出削減量を新品部品生産時の GHG 排出量[A]とリユース部品生産時の GHG 排出量[B]の差と定義した。なお、どちらの部品を使用しても部品の輸送や取り付け時に排出される GHG は同等であると仮定した。

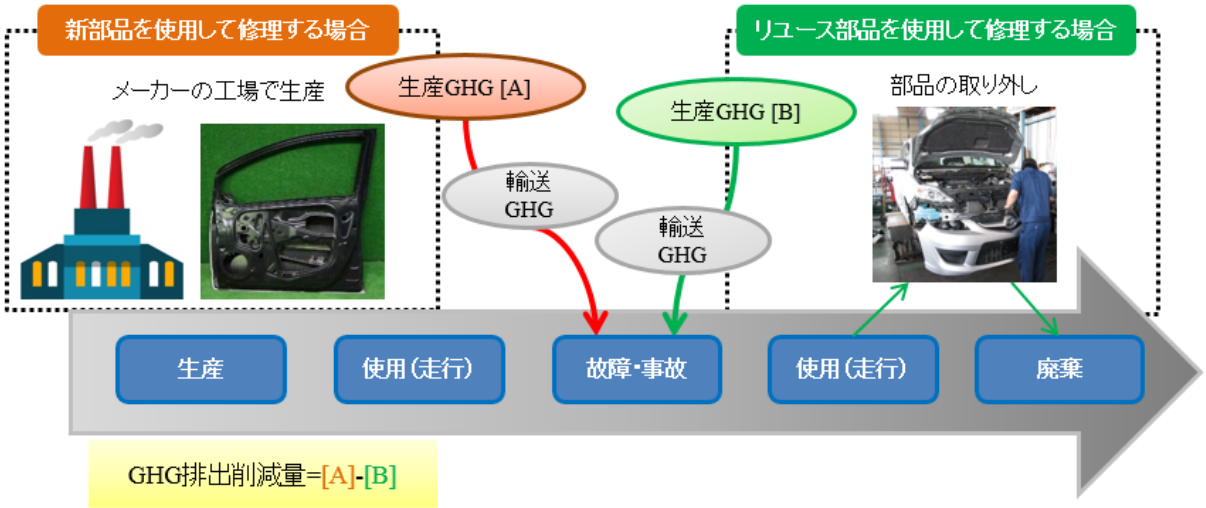


図 1　GHG 排出削減量の考え方

2.2　新品部品生産時の GHG 排出量[A]の算出

GHG 排出量を算出するために、国内 27 車種 38 台を対象とし、リユース部品として利用される頻度の高い 50 部品の素材・重量調査を実施した。素材・重量調査は以下の手順で行った。

1.　自動車部品を可能な限り分解
2.　分解後の各部品の重量を計測
3.　各部品の原材料や加工法の調査

新品部品の生産工程は原材料の調達、加工、組み立て工場への輸送の 3 工程として、分解後の各部品の重量に原材料の調達、加工、輸送の各種排出係数を掛けることで各工程の GHG 排出量を算出した。それらの合計を新品部品生産時の GHG 排出量[A]とした。

排出係数は、LCA ソフトウェア MiLCA から CO_2、CH_4、N_2O、SF_6、PFC の排出係数を入手し、GWP_{100}[2] を用いて CO_2 換算した合計値を用いた。

2.3　リユース部品生産時の GHG 排出量[B]の算出

リユース部品の生産工程を把握するために、自動車解体工場で調査を実施した。工場調査により、リユース部品の生産工程は再利用可能な部品の取り外し、点検、洗浄の 3 工程から成ることが確認できた。そこで、使用した機械・工具の使用時間を計測し、消費電力と排出係数を掛けることで GHG 排出量を算出した。

2.4　GHG 排出削減量の推定

GHG 排出削減量をユーザに公開するにあたって様々な車種の削減効果を算出する必要があるが、全車種の全部品を調査するのは現実的ではない。そこで、重回帰分析により、算出した削減量と車検証等のデータ（車両重量、排気量、高さ、幅、長さ等）の関係性を明らかにし、調査を行っていない車種についても GHG 排出削減量を推定できるように重回帰式を導出した。

3.　研究結果

新品部品生産時の GHG 排出量[A]の算出結果の一部とリユース部品生産時の GHG 排出量[B]を図 2 に示す。調査の結果、[A]は数十 kg-CO_2eq であるのに対して、[B]は 0.67kg-CO_2eq であった。このことから、自動車の修理時にリユース部品を使用することで GHG 排出量を大幅に削減できることが確認できた。

自動車解体工場で観測したリユース部品の生産工程は、1 台の使用済み自動車から 11 部品を取り外す工程であるため、1 部品あたりに換算すると[B]の値はさらに小さくなる。したがって、[A]の値に比べて[B]の値が極めて小さいので、GHG 排出削減効果は[A]とみなすことができる。このことから、重回帰分析の際には、目的変数を削減量ではなく[A]とし、車検証等のデータを説明変数とした。

導出した GHG 排出削減量の推定式を表 1 に示す。一般的には、車両重量や排気量と自動車のサイズの間には正の相関関係があると考えられる。したがって、F バンパーやフェンダーを含むほとんどの部品に関しては、車両重量や排気量を説明変数とした推定式が得られた。特殊な例としてはボンネットが挙げられる。リユースのボンネットを使用することによる GHG 排出削減量は主に排気量から推定できるが、ミニバンのボンネットは排気量の割には小さく、セダンのボンネットは長いという特徴を持つため、推定式は表 1 に示すような車両タイプを考慮した式となった。

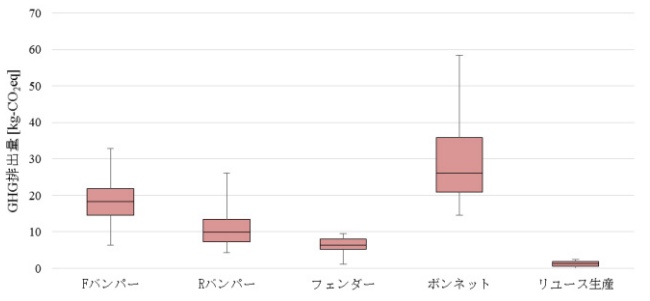


図 2　GHG 排出量算出結果

表 1　GHG 排出削減量の推定式

部品名	推定式	決定係数
F バンパー	ER=8.1D+6.0	0.66
R バンパー	ER =6.9D+0.6	0.66
フェンダー	ER =5.0×10^{-3}W+0.76	0.63
ボンネット	ER =11D-5.9α+13β+11	0.84

ER：GHG 排出削減量[kg-CO_2eq]、D：排気量[L]、W：車両重量[kg]、α：ミニバンか否か[1 または 0]、β：セダンか否か[1 または 0]

4.　まとめ

本研究では、リユース部品の使用による GHG 排出削減量を定量化し、リユース部品の利用を促進する事例を紹介した。今後は、この研究成果を NGP 日本自動車リサイクル事業協同組合のホームページ等で公開する予定である。

引用文献

1)　自動車リサイクル促進センター，2014 年度自動車リサイクル法に基づく月別運用状況 <http://www.jarc.or.jp/automobile/manage/pdf/15_03.pdf>,（参照 2015-12-28）

2)　IPCC, IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change2007,<https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html>,（参照 2015-12-28)

電子部品の温室効果ガス削減貢献量算定の取り組み

Methods to calculate GHG reduction contributions of electronic components

○横山亮*[1)]、桑島哲哉[1)]、藤岡泰行[1)]、廣瀬勝[1)]
Ryo Yokoyama, Tetsuya Kuwashima, Yasuyuki Fujioka, Masaru Hirose
1) ＴＤＫ株式会社
* ryoyoko@jp.tdk.com

１．はじめに

地球温暖化により引き起こされる気候変動への対応が環境分野における喫緊の課題である中、各国では低炭素化社会を実現するための取り組みが始まっている。特に日本では、自国におけるエネルギー消費等により排出される温室効果ガスの削減に加え、日本の優れた技術やそれに基づく製品を他の国や地域に提供することによる地球温暖化抑制への貢献を志向している。

このような事情から日本の産業界では、製品やサービスによる温室効果ガス削減貢献量を算定・公表していくことは、日本の優れた技術力による貢献を明らかにする手段として意義あるものと考えられている。実際に近年様々な団体等により開発・公表された温室効果ガス削減貢献量算定のためのガイドライン等の内、国際的な機関から発行されたもの[1-3)]はいずれも日本の各業界団体が主導して開発されたものである。

２．既存のガイドライン等

２－１．有用なガイドライン等

これまでに発行された温室効果ガス削減貢献量の算定に関するガイドライン等の内、電子部品の貢献量算定に有用なガイドライン等としては、国際電気標準会議（International Electrotechnical Commission : IEC）から発行された TR62726 ”Guidance on quantifying greenhouse gas emission reductions from the baseline for electrical and electronic products and systems” （電気・電子製品およびシステムのベースラインからの温室効果ガス排出量削減の定量化に関するガイダンス）（以下、TR62726）および日本 LCA 学会が発行した業界横断的ガイドライン「温室効果ガス排出削減貢献量算定ガイドライン」（以下、日本 LCA 学会ガイドライン）が挙げられる。

前者は電気・電子製品の特長である長く複雑なサプライチェーン、数年間に渡る製品寿命、製品が使用される段階でのエネルギー消費等を考慮した電機・電子分野に特化したガイダンスであり、後者はそれぞれの産業界が自分野に特化したガイダンス等を発行している状況を受け、評価手法としてのあるべき姿を示すべく温室効果ガス排出削減貢献量算定のガイドラインとしてとりまとめられたものである。

２－２．中間製品の取扱い

温室効果ガス削減貢献について、最終製品またはサービスによる貢献は、最終製品またはサービスの製造および提供者だけによるものではなく、サプライチェーン全体により成し遂げられたものであるとの考えがある。このような考えを基に上述の 2 つのガイドライン等は、中間製品に配慮した内容となっている。　具体的には、TR62726 では処々に「中間製品に関するガイダンス」が記載されており、日本 LCA 学会ガイドラインは、最終製品の貢献量をサプライチェーン上流の部品メーカーや素材メーカーに配分することを当初から念頭に置き、製品による削減貢献量は「最終製品等による正味の温室効果ガス排出削減量」、「最終製品等の普及量」および「評価対象製品等の寄与率」の３つを乗じることにより求められるとしている。

中間製品である電子部品の貢献量算定は、これら 2 つのガイドライン等に準じて行うことになるが、実際に貢献量を算定するに当たっては、電子部品の特長に合わせてガイドライン等を解釈した上での活用が必要となる。

２－３．電子部品の貢献量算定における課題

TR62726 では、中間製品の貢献量を算定するには、その中間製品が組み込まれる最終製品を評価することとしている。しかし、実際には、電子部品のような中間製品の開発・供給においては、貢献量算定の対象である中間製品の改善と同時に最終製品の設計も変更され、さらに一緒に組み込まれる他の中間製品も改善される場合がほとんどであり、最終製品を評価することにより電子部品単独での温室効果ガス削減貢献量を算定することは困難である。これは電子部品のみならず中間製品に共通する課題であると考えられる。

他方、日本 LCA 学会ガイドラインでは、上述のような状況をあらかじめ想定し、中間製品の貢献量は最終製品の貢献量に対象とする中間製品の寄与率を乗じることにより算定するものとしているが、この場合は逆に、電子部品自身の電力消費量から温室効果ガス削減量を直接算定できるものについても寄与率から算定しなければならないのかという疑問が生じる。このような状況は製品としての電子部品の多様性に起因する

ものであると言える。

３．電子部品の貢献量算定手法

３－１．貢献量算定の考え方

２－３．で述べたように、最終製品を評価することで特定の電子部品単独での貢献量を算定することは、ほとんどの場合困難である。しかし、電力の伝達経路で使われるような一部の電子部品については、効率の改善が電力消費量の低減になるため、最終製品に組み込まれた状態での稼働状況を知ることにより、電子部品単独での貢献量を直接計算することが可能である。つまり、ユニット電源やモーターのように部品そのものの電力消費量削減分を計算できるものについては、最終製品と同様に取り扱うことにより貢献量を算定できるということになる。

他方、センサーやその他の受動部品などのように、電力伝達経路以外で使われ、それ自身の電力消費量から貢献量を求めることは難しいが、省エネ家電製品等の構成部品としてなくてはならないものについては、日本 LCA 学会ガイドラインで提案されたように寄与率から貢献量を計算することとなる。

したがって、前述の課題を踏まえて電子部品の貢献量を算定するには、これら二つの計算手法を製品の特性に合わせて活用することが必要となる。

３－２．計算式

３－１．で示した考え方にしたがい電子部品の貢献量を算定するには、以下の二つの式を基本とすることになる。

(a) 電子部品の電力消費量から直接算出する方法

貢献量 (a) ＝ $\Delta W_r \times L \times H_{op} \times Coef \times S$

ΔW_r: 定格条件での消費電力削減分

L: 実働状態での負荷率

H_{op}: 稼働時間

$Coef$: 購入電力の CO_2 排出係数

S: 販売量

(b) 寄与率から間接的に算出する方法

貢献量 (b) ＝ $C_{fp} \times R \times S$

C_{fp} :最終製品の貢献量

R: 対象とする電子部品の寄与率

S: 販売量

４．電子部品の貢献量算定事例

ＴＤＫ（株）では上述の考え方と計算式を基に電子部品の貢献量を 2011 年度から算定している。2014 年度には算定の対象は 15 製品群にまで広がり、品名数では 2900 点以上にのぼる。

各分野における貢献量実績は自動車分野で 13.5 万 t-CO_2、産業用機器分野で 53.3 万 t-CO_2、ICT 分野で 31.1 万 t-CO_2、一般家電分野で 27.2 万 t-CO_2 であった。

５．まとめ

電子部品の温室効果ガス削減貢献量を算定する上で有用なガイドライン等を選定し、それらガイドライン等に準じた実際の算定における二つの課題を特定した。一つは電子部品だけではなく、その他の中間製品に共通する課題であり、もう一方は製品の多様性に起因する電子部品特有の課題である。

これらの課題を踏まえ、実際に電子部品の貢献量を算定するための考え方と計算式を提案した。

ＴＤＫ（株）は電子部品製造企業の先がけとして製品による貢献量の算定に取り組んでおり、2014 年度の貢献量実績は 125 万 t-CO_2 となった。

今回提案した電子部品の温室効果ガス排出削減貢献量算定手法は、日本の電子部品業界の国際競争力向上の一助とするべく（一社）電子情報技術産業協会（JEITA）電子部品部会に働きかけ、ガイダンスの形にまとめて公開する予定である。

６．参考文献

1) International Council of Chemical Associations / World Business Council for Sustainable Development Chemicals : Addressing the Avoided Emissions Challenge（2013）

2) International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector (ITU-T) : L.1410 Methodology for the assessment of the environmental impact of information and communication technology goods, networks and services (2012)

3) International Electrotechnical Commission (IEC) : TR62726 Guidance on quantifying greenhouse gas emission reductions from the baseline for electrical and electronic products and systems (2014)

飼料用アミノ酸 L-リジンの R&D 寄与分を考慮した川崎市域外環境貢献量の推計

Estimation of Avoided GHG Emissions using Feed-Use Amino acid L-Lysine outside Kawasaki City considering the R&D factor's rate of contribution

○高橋英二*[1)]、吉田剛[1)]、吉田知夏[2)]、高木智[2)]
Eiji TAKAHASHI, Tsuyoshi YOSHIDA, Chika YOSHIDA, Satoshi TAKAGI
1) 味の素株式会社, 2) 味の素アニマルニュートリショングループ株式会社
* eiji_takahashi@ajinomoto.com

１．はじめに

先日 COP21 においてパリ協定が採択され、地球温暖化対策が喫緊の国際的課題として再認識されており、農畜産分野でも更なる GHG 削減が求められている。

当社の飼料用アミノ酸の内、L-リジン塩酸塩（Lys）は、川崎市内の研究所で 50 年近く研究・開発（R&D）され、畜産分野でグローバルに利活用されている。飼料効率の向上による低タンパク化と豚、鶏の糞尿由来の余剰窒素削減に付随する亜酸化窒素（N_2O）削減による GHG 削減効果の推計[1) 2)]や Lys そのもののカーボンフットプリント(CFP)推計[3)]のみならず、現 J-クレジットの方法論への応用[4)]など、多岐に渡る検討と国内諸制度への貢献がなされてきた。

加えて昨今 LCA の分野では、製品サービス等の削減貢献量算定に関する手法開発が注目されており、Lys に関しても川崎市内での R&D による環境貢献製品の川崎地域外 GHG 削減貢献量の推計が待たれていた。

今回川崎地区の R&D 寄与率を考慮した飼料用リジンの域外貢献量を川崎メカニズム認証制度の「域外貢献量算定ガイドライン」[5)]に基づき推計し、2015 年 1 月に川崎市より正式に認証されたのでその概要を報告する。

２．方法

2.1　飼料用アミノ酸による GHG 削減の機構

動物の体を構成するタンパク質は 20 種類のアミノ酸で出来ており、その内数種類のアミノ酸は体内合成されないので飼料で補う必要がある。飼料内のアミノ酸バランスが悪いと、家畜体内で有効に利用されないアミノ酸が窒素化合物として糞尿中に排出され、大気や土壌及び水圏中の環境負荷要因となる。特に糞尿中の窒素が酸化・還元されると一部の窒素が N_2O となる。従って、飼料用アミノ酸添加によって、飼料内の栄養が家畜内で効率的に利用されると、結果的に GHG 削減が実現出来る。今回は複数の飼料用アミノ酸の内、Lys 添加による GHG 削減効果の推計となる。

2.2　機能単位と推計モデル

機能単位は、川崎メカニズムのガイドラインに沿って、「栄養学的に等価で同重量 33.3kg の飼料を製造・給餌すること」とした。栄養学的に等価とは、J クレジット方法論等でも想定されている低タンパク化（粗タンパク 2%削減）でも家畜の肥育に影響のないこと意味する。機能単位の内訳は以下となる。

33.3kg の大豆粕

＝32.3kg のトウモロコシ＋1kg 結晶 Lys　（式１）

推計モデルは、「仮想国養豚養鶏モデル」とした。前提として１）仮想国で Lys 発酵製造と利用、２）原料等輸送調達も当該仮想国でまかなう、３）施飼は養豚に 60%、養鶏に 40%配分　４）Lys は施飼後即利用される、というモデルである。従って、式１の同比率の養豚養鶏に対し、同重量の施飼となり、GHG 削減量の推計では、輸送や廃棄の項目を算定範囲外とした。

2.3 川崎メカニズムによる域外貢献量推計

前掲のガイドラインに沿った川崎メカニズムの推計式は以下となる。

域外貢献量 C＝L＊M＊P　　（式 2）

ここで

L　：Lys 単位重量当りの GHG 削減量（t-CO_2e/t）

M：年間販売量（t-Lys/年）

P　：寄与率（今回は R&D の寄与分）（－）

先ず、L の算定に関しては、上記機能単位、式１、仮想国モデルから、以下の CO_2 原単位を用い推計した。

Table1　使用した CO_2 原単位

項目	CO2 原単位 [kg-CO_2e/kg]	引用
大豆粕	0.357	6）
飼料用トウモロコシ	0.117	7）
Lys（リジン塩酸塩）	5.66	3）
Lys1kg 当たりの N_2O 削減原単位(CO2e 換算)	9.5	以下解説

Lys1kg 当たりの N_2O 削減原単位は、日本国インベントリ報告書の糞尿処理設備別の N_2O 管理係数[8]を用い、養豚と養鶏の比率を加味し推計した。N_2O の GWP を 310 とした結果、L は 11.95 t -CO_2e/t-Lys となった。また、上記の Lys の CO_2 原単位は、前掲の CFP 公開値 5.76kg/kg から輸送分 0.1 を引いたものを使用した。

M の Lys の年間販売量は 350,000t（2013 年ベース）とした。

P の R&D 寄与率に関しては、前掲のガイドラインの方法論に沿って、108 部門に分かれる 2005 年川崎市産業連関表に基づいて算定した。Lys の R&D はバイオファイン技術であり、かつ個別企業の R&D 投入費用等は秘匿データなので、公開済みの決算値[9]等を利活用し、バイオファイン分野の川崎市産業連関表の各産業部門での研究開発投入割合に対して、「飼料用」、「食料品用」、「医薬品用」を売上按分算定し、P＝5.75%とした。

以上の結果、式２より、飼料用アミノ酸 Lys の R&D 寄与分を考慮した川崎市域外環境貢献量 C（2013 年度ベース）は、以下の値となった。

$$C = 11.95[t\text{-}CO_2e/t] * 350{,}000[t/年] * 0.0575[-]$$
$$= 2.4 * 10^5 \quad [t\text{-}CO_2e/年]$$

2.4　本推計の長所と限界

本推計の長所は、全て公知公開データから構築され透明性高い推計で、推計手順も明確化、年度別の最新版 revision も容易であり、結果、学術論文化や対外発表も可能なものとなっていることが挙げられる。一方で、本推計の限界として、使用した CO_2 原単位の変動、GHG 推計の面での飼料用アミノ酸利用と N_2O 変換率の不確実性（地域差、気温差、処理工程差、養豚養鶏比率の変動 etc）がある。また実際には当社 4 か国の Lys 発酵生産[10]による複雑性を回避した仮想国シナリオモデル設定評価と生産・輸送等の地域差の考慮が限界となっている。R&D 寄与率の面では、本推計の長所と裏返しとなるが、企業データと 2005 年川崎市産業連関表公知公開データの持つ年変動要因と平均財としての不確実性の存在が本推計の限界と考える。

３．今後の展開

農林水産省の HP でも一般向けに判りやすい低タンパク飼料による GHG 削減の啓発[11]がなされているように、今後、Lys 初め飼料用アミノ酸の更なる認知拡大と利活用が地球規模での畜産由来 GHG 削減に極めて有効な手段と捉える。また J-クレジット等既存の仕組みの利活用や、低タンパク飼料の更なる実用化に向け、産官学連携に加え市民と共に課題解決を目指す Trans-Disciplinarity（超学際的）な取組が肝要と考える。

謝辞

川崎市環境局地球環境推進室中村室長、小林前課長、高見澤係長初め川崎市関係各位並びに三菱総研㈱片山様、小川様に感謝申し上げます。また長年に渡り当該飼料用アミノ酸環境評価に関し多くの御助言頂戴した NPO 法人産業・環境リエゾンセンター足立理事長、瀧田顧問、菅原専務理事、八木様に感謝申し上げます。

引用文献

1) 辻本進、松本慎一、新里出、三谷幸生、飼料用アミノ酸の LC-CO_2 と GHG 削減効果の推定、第 5 回日本 LCA 学会研究発表会要旨集、2010

2) Tsujimoto S, Tomo T, Osada T,Ogino A, Greenhouse gas reduction and improved sustainability of animal husbandry using amino acids in swine, poultry feeds. Article first published online: 9 JAN, 2013

3)カーボンフットプリント登録情報、塩酸 L-リジン、（CR-BU03-15001）
https://www.cfp-japan.jp/common/pdf_permission/001100/CR-BU03-15001.pdf　（参照：2015.12.24）

4)J-クレジット制度方法論、AG-001、豚・ブロイラーへの低タンパク配合飼料の給餌、（ver.2.1）
http://japancredit.go.jp/pdf/methodology/AG-001_v2-1.pdf（参照 2015.12.24）

5）川崎市、域外貢献量算定ガイドライン～温室効果ガス削減に向けた川崎市の新たな取り組み～平成 25 年 3 月第二版、川崎市、2013

6）佐藤邦光、辻本進、食用大豆油と大豆ミールの LC-CO_2、第 2 回日本 LCA 学会要旨集、2007

7）CFP データベース B-TW301010、 飼料用トウモロコシ（台湾産で代替）
https://www.cfp-japan.jp/calculate/verify/data.html
（参照:2015.12.24）

8)日本国温室効果ガスインベントリ報告書 2014 年、p6-12、表 6-15,2014
http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/2014/NIR-JPN-2014-v3.0_J.pdf　（参照:2015.12.25）

9)味の素㈱、FY2011～FY2013 実績組換前後対応表
http://www.ajinomoto.com/jp/ir/pdf/FY13_Classification_J.pdf　(参照:2015.12.24)

10)味の素(株)、飼料用アミノ酸事業、2013
https://www.ajinomoto.com/en/ir/pdf/Feed-useAA-Oct2013.pdf（参照：2015.12.25）

11) 農林水産省 HP　農林水産学術会議、温室効果ガスを減らす新しい豚のエサ、
http://www.s.affrc.go.jp/docs/youth/agri_science/as201303.htm（参照：2015.12.25）

製糖工場への「逆転プロセス」導入による
砂糖・エタノール生産体系変更の LCA

Life Cycle Assessment of modifications in sugar/ethanol coproduction enabled by introduction of "inversion process" in cane sugar mills

○福島康裕*[1)]、小原聡 [2)] 、菊池康紀 [3)]
Yasuhiro Fukushima, Satoshi Ohara, Yasunori Kikuchi
1) 東北大学, 2) アサヒグループホールディングス, 3) 東京大学
* fuku@sis.che.tohoku.ac.jp

1. はじめに

インベルターゼ欠損酵母 [1,2]を利用した混合糖液中の還元糖の選択的発酵操作は、糖液からのショ糖結晶の回収を阻害する還元糖を有用な物質であるエタノールに変換した上で分離できるようにする [3)]。サトウキビ産業において、この操作と、製糖用品種に替えて還元糖比率及びに繊維分比率が高い代わりに高反収が望める 高バイオマス品種　への転換を併せて実行することで、砂糖とエタノールの生産性を同時に飛躍的に向上する「逆転プロセス」は、特に製糖用品種で高い反収が得られない地域、電力供給が逼迫している地域において有用となり得る「食糧・エネルギー相乗生産技術」である。このような技術を用いて生産されるバイオ燃料は、食糧との直接競合を起こす第 1 世代バイオ燃料（食糧から製造するバイオ燃料）、これを回避する第 2 世代（未利用繊維分や廃棄物など食糧以外からのバイオ燃料製造）、第 3 世代（藻類からのバイオ燃料製造）とは一線を画した、新たな世代のバイオ燃料と考えることができる。

本報告では、このような技術の導入の効果を製品 LCA によって定量化するための枠組みを議論し、基準となる仮定を整理する。

2. 方法

サトウキビを含むいかなる作物を用いる場合でも、その土地で用いられる品種やその成分、反収などは地域によって相当の相違がある。また、エタノールの利用方法や製造される電力の用途、回避される現有の電力製造方式も異なる。このため、逆転プロセスの導入効果の現れ方や効果自体も地域による差異が重要になると想定される。そこで先ずはベンチマークとなる「逆転プロセス」導入のケーススタディーを完了し、後に他の条件をもつ地域への展開を可能にするための検討を加えることにした。

既往の研究では選択的発酵を用いず、面積あたりの施肥量や灌漑は製糖品種と同等で高バイオマス品種を用いた場合、製糖量を保ちつつエタノール生産性は廃糖蜜からの生産時と比べて 8 倍程度まで向上し、余剰電力量はエタノールを生産しない場合の 2.3 倍、廃糖蜜からのエタノール生産をする場合の 1. 7 倍に増加すると報告されている [4)]。同報告では、エタノールと余剰電力の増加分によって回避される排出量を、製糖プロセス及びにエタノール製造に係る排出量変化に加えることで GHG 排出削減量を定量化しており、このために農地の利用面積と製糖量を一定に揃えた仮定を採用している。

「食糧・エネルギー相乗生産技術」は、エネルギー生産を行うことで食糧生産も強化される技術である。土地面積あたりの生産性がどちらの製品についても向上する点が特徴であり、上記の評価方法ではその貢献を考慮したことにならない。これを考慮した削減効果を定量化するため、本報告では以下の方針を採用する。

1) 砂糖、エタノール、電力の生産量が全て変化する場合でも、砂糖の量に注目する。例えば面積あたりの砂糖の生産量の増加がある場合でもインベントリ評価の際に、砂糖の量を合わせることになるため、結果として土地利用や施肥量、営農操作などが削減されるものとして算定することになる。砂糖生産量あたりのエタノール及びに電力生産量の差については、これらの製品の利用方法のオプションに応じてその貢献を算定し、砂糖の環境影響へ反映する。
2) 含有糖分を砂糖とエタノールのどちらに振り分けるかは可変とし砂糖の排出原単位の幅を算出する。

同様のアプローチで、砂糖ではなく、エタノール、或いは電力の LCA として算定することも可能である。つまり、相乗生産される複数製品のうち、どの製品の原単位として導入効果を表現してもかまわない。目的に応じて効果の表現に用いる製品を選定すれば良い。

2.1 品種の変更

製糖用品種から高バイオマス品種への変更を行うと、等量の砂糖を得る為により多くのサトウキビを処理する必要がある。このため、製糖工場の稼働期間が拡張されることになる。これは、労働の長期化の効果、電力やエタノールの供給の平準化という効果をもたらす。

環境影響に係わる部分では、畑に於ける栽培状況が変化し、GHG の土壌からの直接排出量へ影響が生まれる。また、株出回数が増え新植に必要な苗の量が減ること、増殖率が増加することから、苗畑の必要面積及びに苗の育成にかかる環境負荷が減少する。小原はモデル地域について品種の変更による土地利用、生産性の変化およびに製糖工場の稼働日数と生産量の変化を計算した[5]（表１、表 2)。このようなモデルを用いて評価対象の生産体系の評価のためのインベントリを作成する。

表１　沖縄県の平均的状況を反映したモデル地域と栽培体系に高バイオマス品種を導入した場合の土地利用、作物生産性の変化[5]

	設定値（導入前）		設定値（導入後）	
植付分類	植付面積	単位収量	栽培面積	単位収量
春植	244ha	50t/ha		
夏植（1年目）	732ha		332ha	
（2年目）	732ha	75t/ha	332ha	100t/ha
株出（1回目）	244ha	50t/ha	332ha	110t/ha
（2回目）			332ha	95t/ha
（3回目）			332ha	90t/ha
（4回目）			332ha	85t/ha
苗畑	48ha		8ha	
収穫面積	1220ha	65t/ha	1660ha	96t/ha
栽培面積計	2000ha		2000ha	

表２　沖縄県の平均的状況を反映したモデル地域と栽培体系に高バイオマス品種を導入した場合の工場稼働日数と製品生産量の変化[5]

モデル工場データ		システム導入前	システム導入後
原料受入量	t/y	79,300	159,360
年間稼動日数	d	80	160
砂糖生産量	t/y	9,250	10,800
バイオエタノール生産量	kL/y	840	4,429

また、土地利用が変化する点にも注目する。Searchinger らは、土地利用の変化のうち、特に元の植生を除去することに伴う排出量の変化に光を当てた[6]が、これに加えて畑に年間を通してどれだけの炭素が固定されているかという点も評価の際に注目されるようになってきている。高バイオマス品種では畑に於ける平均炭素固定量が大幅に向上するため、この点についても別途算定する。

2.2 選択的発酵

選択的発酵操作による還元糖除去を製糖プロセスに導入する際には、搾汁を加熱し不純物を除去した後に行う清澄汁方式、さらに濃縮をする途中で行うシラップ方式が考案されている。選択的発酵の弱点は 100℃付近まで暖められた清澄汁或いはシラップを一度発酵温度の 30℃程度まで冷却して、再度加熱する必要がある。その際の熱交換や熱源の設定を適切に行い、プロセスのモデル化を行う。本研究ではベンチマークとして清澄汁方式を設定するものとする。

除去された還元糖はエタノールになり、濃縮工程で水との混合気体として回収される。濃度が通常の発酵液（10－15%程度）と比べて低い一方で、熱量をもっている。これを利用するためには、通常の糖蜜発酵の際の希釈で用いる水に混合する事を想定する。

2.3 エタノール、電力の利用

エタノールは水との共沸のため、ガソリンと混合して用いるために無水化する際に多くのエネルギーとコストが発生する。従って水が混合した状態での利用方法も想定して計算を試みる。

また、電力に関しては量としての貢献の他に、電力供給側の出力調整機能も貢献が期待される。特に、太陽光発電設備の受け入れ許容量の増加を見込むことができるが、この点の評価には大きな地域性が入り込む。したがってベンチマークケースの計算では、この効果は考慮せず、複数の火力発電の置換を想定する。

3. まとめ

上記で検討した方針による計算結果は可能であれば口頭発表にて報告する。

引用文献

1) Ohara S., Kato T., Fukushima Y., Sakoda A.: J. Biosci. Bioeng., 115 (5), (2013), pp. 540-543
2) Kato T., Ohara S., Fukushima Y., Sugimoto A., Masuda T., Yasuhara T., Yamagishi H.: J. Biosci. Bioeng., accepted, 10.1016/j.jbiosc.2015.12.012
3) Ohara S., Fukushima Y., Sugimoto A., Terajima Y., Ishida T., Sakoda A.: Biomass Bioenerg., 42, (2012), pp. 78-85
4) 小原聡, 福島康裕, 杉本明, 寺島義文, 石田哲也, 迫田章義: 日本 LCA 学会誌, 5 (4), (2010), pp. 439-445
5) 小原聡：東京大学博士論文, (2013), pp.97-98
6) Searchinger T., Heimlich R., Houghton R. A., Dong F., Elobeid A., Fabiosa J., Tokgoz S., Hayes D., Yu T.-H: Science, 319, (2008), pp. 1238-1240

ICT による温室効果ガス削減貢献について

Contribution to GHG emission reductions through provision of ICT

○井岡紘子*[1)]、端谷隆文 [2)]
Hiroko Ioka, Takafumi Hashitani
1, 2) 富士通株式会社
* ioka.hiroko @ jp.fujitsu.com

1. はじめに

ICT 機器、ネットワーク、サービスで構成される ICT ソリューションは、ライフサイクルを通して環境に負荷を与えると同時に、あらゆる産業部門やライフスタイルにおける効率化を実現することで、環境負荷の削減に貢献する。本稿は、後者の側面に焦点を当て、富士通研究所が 2004 年に提案した ICT ソフト・サービス（ソリューション）の環境貢献量算定手法や、評価事例、国際標準について紹介するとともに、今後の貢献量算定手法の発展に向けた課題を提示する。

2. ICT ソリューションの貢献量算定手法

2.1 国際規格

ICT ソリューションの貢献量算定手法は、Telecommunication Standardization Sector of International Telecommunication Union （ITU-T）が 2012 年に公開、2014 年に改版した勧告 L.1410 : Methodology for environmental life cycle assessments of information and communication technology goods, networks and services[1)] によって標準化された。同勧告は、ISO14040 と ISO14044 のライフサイクル評価手法をベースとして、first order effect（一次効果、または ICT による環境負荷 [2)]）と、second order effect（二次効果、または ICT により削減が達成された環境負荷 [2)]）の評価方法について記載している。

2.2 富士通の環境影響評価手法

富士通の貢献量算定は、富士通研究所が 2004 年に提案した「ソフト・サービス環境影響評価手法」を用いている。同手法は、同じアウトプットを出すある業務において、ICT ソリューションを使用している状態と、評価対象の ICT ソリューションを利用していない状態（ベースライン）それぞれの 1 年間の CO_2 排出量を試算・比較し、その差分を貢献量として評価するものである。同手法は、一般的な ICT ソリューションの使用時において最も影響を与えうる 7 つの項目を定義することで、評価対象業務の業種や業態に関わらず、バウンダリを効率的に設定することができる。（図 1）この考え方は、前述した ITU-T L.1410 において、比較分析する際に参照する「比較項目とその二次効果」[3)]のベースになっている。

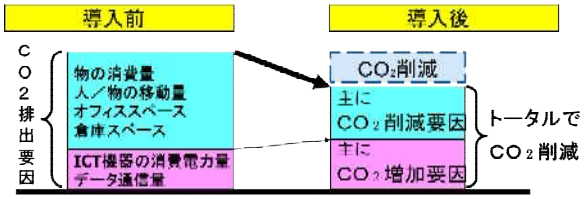


図 1 富士通研究所が提案したソフト・サービス環境影響評価手法の概要

2.3 評価事例

前項で述べた手法を使い、当社のソリューションを導入したある企業の営業業務を評価した事例を紹介する。（業務や CO_2 排出量試算のイメージは図 2 を参照。実際に試算した数値は非公開であるため、図中では仮の数値を使用している。）ある一定の営業担当者数や顧客数、契約成立数を設定し、当社の営業向けタブレットコンピューティングソリューションを導入した営業業務と、同ソリューションが導入される以前の業務（ベースライン）を比較する。導入以前の営業活動では、紙媒体で契約活動を行っていた。このため、営業担当者が営業所に帰社し、担当者を通じて契約書に記入された内容を確認していた。不備が見つかった場合、顧客へ再訪問を行い、再記入を行っていた。手続きが完了した契約書原本は本社に郵送し、電子データと共に保管した。

ソリューション導入後は、専用インターネット回線に接続されたタブレット端末上で契約や、記入した内容の確認を行う。手続きが完了した契約書は電子データだけを本社に保管する。

上記の業務を 1 年行った場合の、7 項目の CO_2 排出量を試算し、導入前後の CO_2 排出量の差分が、削減貢献量となる。

3. 今後の課題

3.1 目的に沿った評価手法とコミュニケーション方法の整備

当社の環境影響評価手法は、ICT の浸透によるベースラインの経年変化の評価や、すぐに効果を発揮する貢献量と中長期的に影響を及ぼす効果との区別、データ品質の向上など、改善に向けた課題がある。それら課題に対して、手法の精緻化だけを追い求めることが解決ではない。重要なことは、まず評価の目的を十分に明確にすることである。その上で、目的を果たすための手法の在り方や、評価結果の報告・訴求方法を、今後も継続的に議論しながら見極める必要がある。

3.2 新たな ICT ソリューションの評価

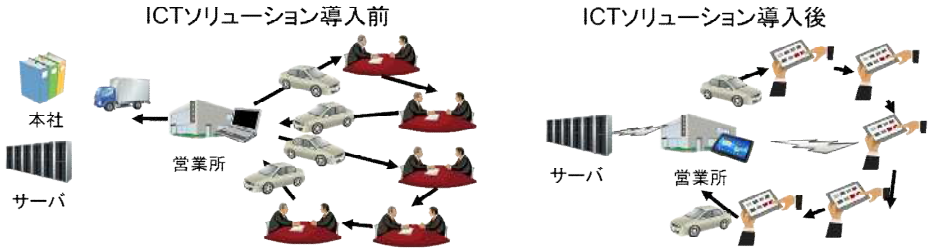
従来、ICT ソリューションは、業務の効率化や紙をはじめとする資源使用量の削減をその価値としていた。しかし近年は、例えば顧客の購買行動に関する情報を自動で収集・分析し、誘客や販売を強化する施策を提案するデジタルマーケティングなど、様々な端末やデバイスから得られる膨大なデータを統合・分析することで、今までできなかったことを可能にする新たな ICT ソリューションの開発・提供が進んでいる。このため、既存の評価手法も、従来の ICT ソリューションから、今後普及が見込まれる新たな ICT ソリューションの評価を可能にすべく、今後も改良を加える必要がある。

4. 最後に

本発表の機会を頂いた日本 LCA 学会及び工学院大学の稲葉敦教授、産業技術総合研究所の本下昌晴殿に謝辞を申し上げる。

5. 引用文献

1) Telecommunication Standardization Sector of International Telecommunication Union: “ Recommendation L.1410 Methodology for environmental life cycle assessments of information and communication technology goods, networks and services”, (2014)
2) 一般社団法人 情報通信技術委員会：“TTC 標準 JT-L1410「ICT 製品・ネットワーク・サービスの環境影響評価手法」”, (2013)
3) Telecommunication Standardization Sector of International Telecommunication Union: “ Recommendation L.1410 Methodology for environmental life cycle assessments of information and communication technology goods, networks and services”, (2014), pp. 66



	導入前	導入後	CO_2 増加分	CO_2 削減分
物の消費	140 t-CO_2	0 t-CO_2	-	140 t-CO_2
人の移動	12,000 t-CO_2	6,600 t-CO_2	-	5,400 t-CO_2
物の移動	26 t-CO_2	0 t-CO_2	-	26 t-CO_2
オフィススペース	3,600 t-CO_2	2,400 t-CO_2	-	800 t-CO_2
倉庫スペース	-	-	-	-
ICT機器の消費電力	120 t-CO_2	120 t-CO_2	0 t-CO_2	-
データ通信	0 t-CO_2	3 t-CO_2	3 t-CO_2	-
※表中の全て数値は仮のものを使用。			CO_2削減貢献量: 6,400 t-CO_2	

図 2　評価事例における ICT 導入前後の業務イメージ及び CO_2 削減貢献量の試算結果

エコマーク認定商品の環境負荷低減効果(CO_2 換算)の推計

Estimation of the environmental benefit (in CO_2 equivalent) of the Eco Mark products

○藤崎隆志*[1)]、大澤亮 [1)]、永村知之 [2)]
Takashi Fujisaki, Ryo Ohsawa, Tomoyuki Nagamura
1)公益財団法人日本環境協会, 2)株式会社三菱総合研究所
* takashi.fujisaki@ecomark.jp

1. はじめに

エコマークは、「生産」から「廃棄」にわたるライフサイクル全体を通して環境への負荷が少なく、環境保全に役立つと認められた商品（製品およびサービス）につけられる、国際標準化機構の ISO14024 に従った国内唯一のタイプ I 環境ラベルである。2015 年 12 月末現在、59 の商品類型（商品カテゴリ）で 5,556 商品を認定している。

エコマーク商品の環境負荷低減効果を「見える化」することは、消費者がエコマーク商品を選ぶ動機づけや、製造・販売事業者による環境配慮型製品の開発等のインセンティブ創出につながる。また、認定基準の有効性の分析にも活用することができる。

エコマーク商品の購入・利用による環境負荷低減効果の定量化にあたっては、商品カテゴリ毎に異なる認定基準と、その認定基準に基づいて認定された多様な商品の仕様等のデータを CO_2 と関連付けて整理し、実施可能な推計方法を開発する必要がある。これまで、評価対象範囲を文具 5 品目に絞った推計 [1)]は実施していたが、事業全体としての環境負荷低減効果の定量的な推計や検証は行われてこなかった。今般、全エコマーク認定商品を対象に環境負荷低減効果（CO_2 換算）の推計を実施したので、その結果を報告する。

2. 方法

2.1 算定手法の考え方

2014 年の 1 年間に市場に投入されたエコマーク商品の、それらのライフサイクルにおける CO_2 削減効果（原材料の変更、使用時電力量の削減等）を評価対象とした。多数の商品カテゴリの推計を行うため、全体の規模感を把握することを優先し、簡易な算定手法とした。このため、過大推計にならないように留意しつつ、削減効果の大きな商品カテゴリを対象にライフサイクルでの主たる削減効果を算定している。また、ある年に出荷された商品のライフサイクル排出量の削減効果の合計を、出荷時点で全て計上している。

2.2 評価対象範囲の設定

2014 年 12 月 31 日時点の全エコマーク認定商品(58 商品カテゴリ、5,448 商品)について、商品カテゴリ毎に主たる基準項目に着目し、それを基に算定対象とするか否かを検討した。その過程で、CO_2 削減と直接の関係性が薄い、あるいは認定商品数が少ない、定量化が困難、3EID（国立環境研究所、産業連関表による環境負荷原単位データブック）と販売数量から CO_2 排出量が少ないと推定される商品カテゴリは評価対象範囲から除いた。最終的に、ライフサイクル全体で CO_2 削減効果が特に大きいと考えられる 32 商品カテゴリを評価対象範囲とした。

評価対象の商品カテゴリ一覧を表 S1 に示す。

2.3 算定方法

2.2 で評価対象範囲とした商品カテゴリを CO_2 削減効果の発揮の仕方から 3 つに分類し、それぞれ算定方法を設定した。その算定方法に基づき 1 認定商品毎に商品の仕様、販売数量等のデータを活用して CO_2 削減量を算定し、それらを合計して全体量を推計した。

比較対象商品は、市場で平均的な商品を類推してベースラインに設定することが理想であるが、統計データの不足等から、環境配慮が特に意識されていない商品（例えばバージン材を 100%利用した商品）や、エコマーク商品の認定時の基準値をベースラインにおいた。なおエコマーク認定基準は通常、市場の 2〜3 割程度の商品が満たせるよう設定されているため、本仮定は削減効果の過小評価側への推定と考えられる。

2.4 削減効果の考え方

原材料の変更や低減に起因する CO_2 削減効果に分類される商品カテゴリについては、上流・下流ともにその材料種類や材料使用量の違いによる CO_2 削減効果を評価した。使用電力量等の低減に起因する CO_2 削減効果に分類される商品カテゴリについては、使用・維持管理段階による CO_2 削減効果を評価した。

分類毎の削減効果の主な考え方を図 S1 に示す。

ただし、例えば紙類では、新規パルプを利用した場合、古紙パルプを利用するケースに比べ使用するエネルギー量は減少するものの、パルプ製造段階で生じる黒液をエネルギー源として利用でき、その分 CO_2 排出量を抑制できる等のケースがみられた。そのため、商品のライフサイクルでの排出量の概観や、エコマーク

認定基準を満たすために副次的な効果が発生しないか等を見た上で、削減効果の計算を行った。

表 1　削減効果の算定方法

分類	ベースライン	算定方法
A.原材料の変更 再生材の利用など、原材料の変更に係るもの	バージン材100%の商品、または未利用材等を用いない商品	1 商品あたりの原材料使用量 ×原材料の原単位の差分
B.原材料の低減 軽量化等原材料の削減に係るもの	エコマークの基準値	原材料使用量の差分 ×原材料原単位
C.使用電力量等の削減 使用時の省エネ・節水に係るもの	エコマークの基準値	電力使用量の差分×電力原単位 （水使用量の差分×水原単位）

なお、本推計では基本的に商品のライフサイクルにおける CO_2 削減効果をシステム境界としたが、再生材等を利用する場合、再生される材料の廃棄（埋立・焼却）が減ることで再利用される前の商品のライフサイクルでの排出量が削減される。こうした効果が重要となるプラスチック類について、廃棄回避効果として推計した。ただし、必ずしもエコマーク認定商品のみに帰属する削減効果といえないため別立てで評価した。

2.5 シナリオの設定

個別商品の廃棄処理後のシナリオ（焼却、埋立、リサイクル）は想定が困難であるため、基本的には、廃棄物種類別の廃棄物の処理方法別処理量を考慮した加重平均の排出原単位を用いて評価した。すなわち、その種類の廃棄物が平均的に処理されるシナリオを考慮した計算方法とした。

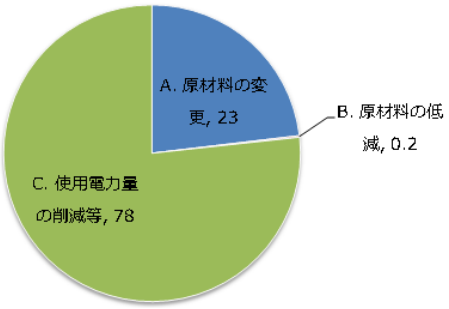
使用電力量の使用シナリオは、エコマーク基準に係るシナリオ（国際エネルギースタープログラム、省エネ法等）、各種制度の PCR（CFP プログラムやエコリーフ等）などを用いて評価した。

2.6 使用する原単位

算定に必要となる原単位（ある活動当たりの CO_2 削減効果）等は、カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム　基本データベース/利用可能データライブラリ（産業環境管理協会）、IDEA（Inventory Database for Environmental Analysis）（産業技術総合研究所、産業環境管理協会）、JLCA データベース（LCA 日本フォーラム）等の既存データベースを活用した。

3. 推計結果

以上の考え方に基づき算定した結果、2014 年の 1 年間に市場に投入されたエコマーク商品の、それらのライフサイクルにおける CO_2 削減効果は合計約 101 万 tCO_2（廃棄回避効果を含めると約 115 万 tCO_2）となった。



※廃棄回避効果含まず　　単位：万 tCO_2

図 2　CO_2 削減効果推計結果

4. 考察

削減効果の内訳は、使用時の排出削減による効果が大きく、使用電力量等の削減が全体の過半数を占めている。これは、「原材料の変更」が製造時や廃棄時というある一時点の削減効果を中心に評価しているのに対し、「使用電力量等の削減」は商品のライフサイクル（本算定では耐用年数）に亘って使用される電力・水使用量の削減効果を評価しているため、相対的に多く評価される結果となったことが大きい。

5. おわりに

本推計は、現段階で利用しうるデータ等を基に CO_2 削減効果の規模感を把握するため簡易に試算したものであり、多くの仮定を用いており不確実性も存在する。さらに精度を高めるためには、製品の販売状況をより正確に把握するとともに、評価対象商品の個別の状況や、システム境界以外の排出量に与える影響等を出来る限り反映できるようにすることが課題である。

謝辞

今回の推計にあたっては、LCA の専門家から成る第三者委員会を設置して算定方法やベースラインの設定、使用する原単位等の考え方について助言をいただいた。

引用文献

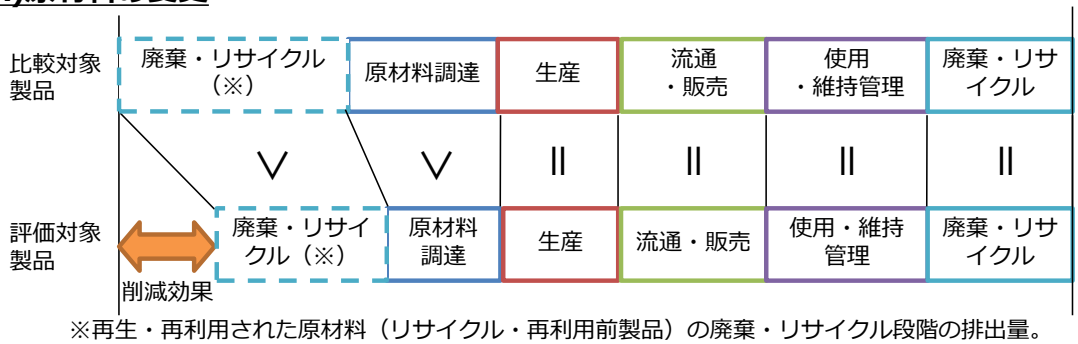
1) 財団法人日本環境協会エコマーク事務局:平成 16 年度環境保全効果調査 エコマーク認定「文具 5 品目」商品の環境保全効果に関する調査報告書,入手先
＜http://www.ecomark.jp/pdf/research2005_03.pdf＞

Supporting Information

表 S1　評価対象類型一覧

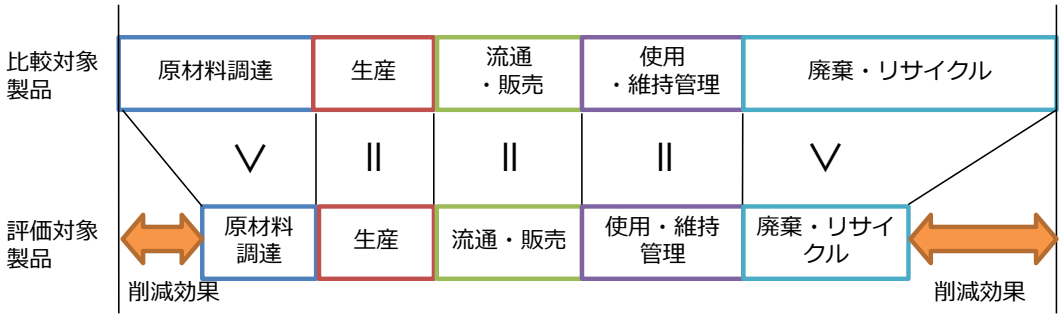
類型番号	類型名	削減類型
103	衣服 Version2	A.原材料の変更
104	家庭用繊維製品 Version2	A.原材料の変更
105	工業用繊維製品 Version2	A.原材料の変更
106	情報用紙 Version3	A.原材料の変更
107	印刷用紙 Version3	A.原材料の変更
108	衛生用紙 Version2	A.原材料の変更
109	タイル・ブロック Version2	A.原材料の変更
111	木材などを使用したボード Version2	A.原材料の変更
112	文具・事務用品 Version1	A.原材料の変更
115	間伐材、再・未利用木材などを使用した製品 Version2	A.原材料の変更
116	節水型機器 Version2	（その他）
117	複写機 Version2	C.使用電力量の削減
118	プラスチック製品 Version2	A.原材料の変更
119	パーソナルコンピュータ Version2	C.使用電力量の削減
120	紙製の印刷物 Version2	A.原材料の変更
122	プリンタ Version2	C.使用電力量の削減
123	建築製品(内装工事関係用資材)Version2	A.原材料の変更
124	ガラス製品 Version2	B.原材料の低減
127	消火器 Version2	A.原材料の変更
128	日用品 Version1	A.原材料の変更
130	家具 Version1	A.原材料の変更
131	土木製品 Version1	A.原材料の変更
133	デジタル印刷機 Version1	C.使用電力量の削減
137	建築製品(外装・外構工事関係用資材)Version1	A.原材料の変更
138	建築製品(材料系の資材)Version1	A.原材料の変更
139	建築製品(設備)Version1	C.使用電力量の削減
140	詰め替え容器・省資源型の容器 Version1	B.原材料の低減
145	プロジェクタ Version1	C.使用電力量の削減
149	BD/DVD レコーダー･プレーヤーVersion1	C.使用電力量の削減
151	浄化槽 Version1	C.使用電力量の削減
152	テレビ Version1	C.使用電力量の削減
155	複写機・プリンタなどの画像機器 Version1	C.使用電力量の削減

A)原材料の変更



※再生・再利用された原材料（リサイクル・再利用前製品）の廃棄・リサイクル段階の排出量。

B)原材料の低減



C)使用電力量の削減

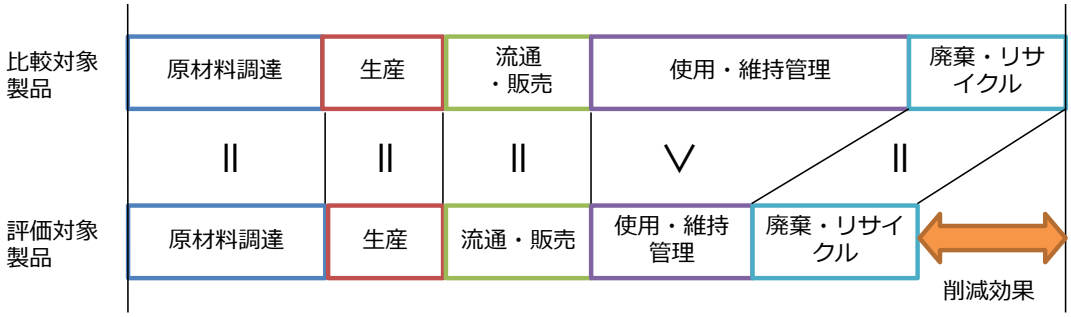


図 S1　削減効果の主な考え方

※１　A では再生される材料の廃棄（埋立・焼却）が減ることによる削減分も廃棄回避効果として算定しているが、必ずしも「エコマーク認定商品のみに帰属する削減効果」といえないため別立てで評価した。
※２　自らのライフサイクルの廃棄・リサイクルには次の製品の原材料調達を代替する効果を含まない。
※３　上記以外に生産段階の排出量の差異を評価すべき場合等は必要に応じて算定対象を設定して評価している。

削減貢献量評価ガイドラインと実践上の論点

Guidelines for assessing the contribution of products to avoided emissions and points at issue in practice

○本下晶晴*[1)]、醍醐市朗[2)]、鶴田祥一朗[3)]、稲葉敦[4)]
Masaharu Motoshita, Norihiro Itsubo, Kiyotaka Tahara, Atsushi Inaba
1) 産業技術総合研究所, 2) 東京大学, 3) 産業環境管理協会, 4) 工学院大学
*m-motoshita@aist.go.jp

1. はじめに

様々な環境問題への対応に関心が集まる中、既存の環境規制や環境負荷削減ニーズにおいてはオンサイトでの排出削減が重視されている。一方、バリューチェーンの連鎖が複雑化しており、社会全体での環境負荷削減の効率性を考えた場合、特定のプロセスやサイトだけに着目した環境負荷削減対策の推進は必ずしも合理的とは言えない可能性がある。特に、高機能素材や部品など中間財の技術革新のおいては、バリューチェーンの下流側に位置する最終製品に組み込まれた後に環境負荷削減に大きく貢献する例も少なくない。こうした技術の普及や更なる高度化を進めるためには、環境負荷削減に対するバリューチェーンのステークホルダーによる寄与を適切に評価することが必要である。それにより、環境負荷削減に取り組むステークホルダーのモチベーションの向上や、各取り組みに対する社会の適切な理解が進むものと期待される。

こうした背景から製品による環境負荷の削減貢献量を評価するためのガイドライン作成が進み、日本LCA学会も削減貢献量評価研究会からガイドラインを作成・発行するに至った。一方で、削減貢献量評価の実践においては、ベースラインの定義や寄与率の設定、普及量の把握など重要なポイントが存在する。本発表では、上記のガイドラインについて紹介すると共に、実践上の論点や活用の在り方などについて報告する。

2. 削減貢献量評価に関連する動向とガイドライン

2.1 実践状況

産業界では様々な企業による自主的な自社製品による環境負荷削減貢献に対する評価が行われている。近年の気候変動に対する関心の高まりから、多くの企業は温室効果ガスの排出削減に対する自社の貢献量を評価している。評価に取り組んでいる企業としては、鉄鋼製品、化学製品を生産する企業が多く、自社製品が利用された最終製品が自社製品の持つ特性を活用して実現している温室効果ガス排出削減量を評価している事例が多くみられる。また、最終製品を生産する企業も自社製品が使用される際に実現する温室効果ガス排出量の抑制効果などを、自社の活動に関連して実現される削減量として評価を行っている。

こうした評価事例にはそれぞれ様々な特徴があり、最終製品のライフサイクル全体での温室効果ガス排出の削減分を評価する事例から最終製品の使用時のみの削減分を評価する事例など評価の方法は事例によって異なる。また、最終製品による温室効果ガスの排出削減効果は様々なステークホルダーにより実現されているものと考えられるが、削減量全体に対する自社の寄与について言及しているかどうかについてもそれぞれの事例で異なっている。こうした多様な評価方法が乱立すると評価結果を受け取る社会の混乱を招くと共に、評価の実施者にとっても評価方法に対する予期せぬ批判を受ける可能性があり、こうしたリスクが削減貢献量の適切な評価の普及の妨げとなる可能性がある。こうした状況から、評価手法の乱立を防ぎ、実践を支援するための動きとして、様々な業界や団体によるガイドライン作りが進められてきた。

2.2 ガイドライン作成に関する動向

各業界からのガイドラインや評価方法の手引きとして、化学工業会[1),2)]、電気・電子機器業界[3),4),5)]から、各業界の製品による削減貢献量を評価するための方法論が作成・公表されている。また、自治体による地域内の幅広い産業による排出削減貢献量の評価とその活用による低炭素化の促進に向けて、算定の手引きやガイドラインも作成・発行された[6),7)]。こうしたガイドライン等に基づいた事例への適用評価も進められている。

日本LCA学会でもこうした状況を踏まえ、地域や業種に捉われず、幅広いステークホルダーが参照・利用できるガイドライン作成を目指して2013年に研究会を設立した。研究会ではアカデミアのみならず、産業界や各種団体・行政など様々なステークホルダーを交えた議論を通じて「温室効果ガス排出削減貢献量算定ガイドライン」を作成し、2015 年 2 月に発行に至った[8)]。特に、当該ガイドラインでは、バリューチェーン全体を俯瞰した削減貢献量評価を行う際の基盤となる LCA の国際規格 ISO14040/14044: 2006 に準拠した評価を重要視し、削減貢献量の定義から算定方法、報告、クリティカルレビューと検証について評価実施者にとっての指針となるものを示している。

3.　削減貢献量評価実践上の論点

3.1　削減貢献量の算定のポイント

日本LCA学会のガイドラインで定めている削減貢献量の算定方法のフレームはシンプルであり、①機能単位当たりの正味の温室効果ガス排出削減量、②削減効果を発揮する最終製品等の普及量、③削減量に対する評価対象の寄与率、の3要素を乗じることで算定する（図1）。

要素①については基本的に従来の製品LCAと変わりはないが、比較対象となるベースラインの設定が結果を左右する重要な要素の１つとして新たに加わる。ISO14040/14044 では一般に公開することを目的とした競合製品との比較主張については厳しい制限が課されており、特にベースラインの設定は結果の開示・非開示に関わらず慎重に行う必要がある。ガイドライン[8]では業界平均となる製品や自社の直近の旧製品、法や各種制度の基準製品などいくつかの例を挙げているが、従来存在しない新たな機能を持つ製品などベースラインの設定が容易でないケースも想定される。こうした課題については、評価事例を通じた議論を重ねて解決策を模索せざるを得ないといえる。

要素②の普及量については、販売量が把握できる場合は実績値に基づいた評価が可能であるが、未発売の新製品の評価などではその設定には不確実性が伴う。また、素材が部品などを対象とする場合、最終製品のすべてに自社製品が用いられるとは限らず、自社製品の貢献分を評価するためにはステークホルダー間でのコミュニケーションが不可欠となる。

要素③ではガイドライン[8]でも寄与率の設定方法の例について言及しているが、厳密に寄与率を定量評価することは必ずしも容易ではない。定量的な寄与率の設定が不可欠であるかどうかは評価の目的と利用方法にも依存すると考えられ、寄与率の設定の在り方についても様々な評価事例とその目的との関係の下に議論が必要である。

3.2　評価結果の活用方法の在り方

削減貢献量を評価する製品は、評価を実施する企業等の活動のうちの一部に関わっているものであることが少なくない。評価結果をコミュニケーションに利用する場合には、このように評価の対象が自身の活動のうちのどの部分に関わっているのかを十分に把握しなければ、よい側面のみの切り出しとしてグリーンウォッシュ批判などのビジネス上のリスクに繋がりかねない。こうしたことを避けるためにも、削減貢献量評価と共に近年注目されている組織の評価（O-LCA）と併せた活用が有効であると考える。ただし、組織の評価との併用において、既存事例でも一般に単年評価である組織評価の結果と、長期間にわたる製品による削減貢献量を単純に並列して開示されることがある。こうした評価は外部コミュニケーションにおいて誤解を招く恐れがあり注意が必要である。

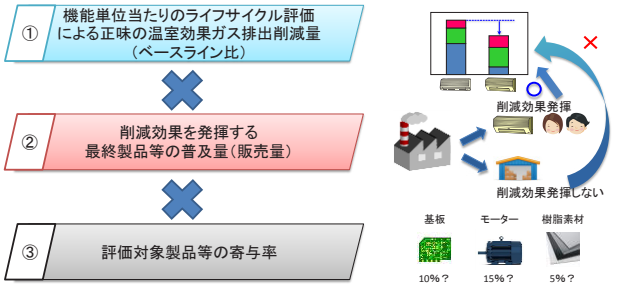


図１　削減貢献量評価の算定方法の概要

4.　おわりに

削減貢献量評価は事業活動による負の側面の評価が主体であった LCA が環境マネジメントを促進するためのモチベーション向上に貢献する新たな展開として期待できる。一方で、比較主張となり得るが故に、評価方法の信頼性の担保・精査や評価結果の発信方法について十分に検討する必要な点も多い。理論上のあるべき姿としてのガイドラインは出来上がってきているが、実践上の課題は未だ明らかとなっていない点もあると思われる。今後の事例研究を通じたより深い議論が進み、新たな LCA の展開として実践的に活用されることが望まれる。

参考文献

1) ICCA/WBCSD: Addressing the avoided emissions challenge, http://www.wbcsd.org/Pages/EDocument/EDocumentDetails.aspx?ID=15912&NoSearchContextKey=true
2) 日本化学工業会: CO2 排出削減貢献量算定のガイドライン, http://www.nikkakyo.org/upload/3255_4801_price.pdf
3) グリーン IT 推進協議会調査分析委員会: http://home.jeita.or.jp/greenit-pc/activity/reporting/110628/pdf/survey01.pdf
4) 一般社団法人電子情報技術産業協会: http://www.denki-denshi.jp/dl2011jan/pdf2014/Guidelines_for_device_contribution.pdf
5) International Electrotechnical Commission (2014): Guidance on quantifying greenhouse gas emission reductions from the baseline for electrical and electronic products and systems, TR62726
6) 川崎市: 域外貢献量算定ガイドライン, http://www.city.kawasaki.jp/300/cmsfiles/contents/0000045/45020/guideline.pdf
7) 滋賀県: 製品等を通じた貢献量評価手法, http://www.pref.shiga.lg.jp/d/new-energy/koukennhyouka.html
8) 日本 LCA 学会: 温室効果ガス排出削減貢献量算定ガイドライン, http://ilcaj.sntt.or.jp/lcahp/doc/guideline20150224.pdf

ポスター

タイムテーブル

2日目　3月3日(木)

16:00-17:00	ポスターセッション1　*コアタイムA:奇数番号
17:00-18:00	ポスターセッション2　*コアタイムB:偶数番号

旅行商品のタイプⅠラベル認定基準の提案及び CO_2 排出量の算定

Proposal of Type1Label for Tours and calculation of their CO2 emissions

○吉田知史 [1)]、竹内孝曜 [2)]、稲葉敦*[1)]
Satoshi Yoshida, Takaaki Takeuchi, Inaba Atsushi
1) 工学院大学, 2) 未踏科学技術協会
* a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

1. はじめに

2014 年度における国内旅行者数は約 4 億 7 千万人であり、2008 年度比で 1.5 倍に増加している [1)]。2020 年に東京オリンピックが開催されることから、今後さらに旅行者数が増加すると予想され、したがって、旅行を起因とする環境影響を低減することが求められている。

本研究では環境に配慮した旅行として提案されているエコツアーに着目し、その実態を分析することで環境影響を低減する手段を考察する。さらに、エコツアーの従来の旅行商品との差別化を図るためにタイプⅠラベルに着目し、行政が定めた環境関連の法律等を基にしたタイプⅠラベルの認定基準を提案する。その基準の中に CO_2 排出量の削減を導入する可能性を検討するために、旅行商品の CO_2 排出量算定のケーススタディを実施する。

2. 研究手順

2.1 エコツアーの事例分析

日本エコツーリズム協会のエコツアー総覧に掲載・登録されているツアーをもとに、地域別、宿泊の有無、ツアー内容をもとに、日本国内で行われている現状のエコツアーの傾向について分析を行う。

2.2 タイプⅠラベルの認定基準の検討

本研究では消費者における環境ラベルの認知度が高く、また環境への負荷が少ないことを表すことが出来るタイプⅠラベルに着目した。タイプⅠラベルの認定基準項目を定量的な評価、定性的な評価の 2 項目に分ける。チェックリスト方式を採用し、複数の項目のうち、ある一定の項目の条件を満たしていれば認定するように設計する。認定基準の項目は行政の環境関連の法律や条令等、タイプⅠラベルのホテルの認定基準、GPN の「ホテル・旅館」エコチャレンジ・チェックリストを参考に設定し、旅行の 4 要素（移動、食事、宿泊、観光）別に整理する。

2.3 旅行商品の CO_2 排出量の算定

実際に販売されている旅行商品を例に CO_2 排出量の算定を実施する。算定方法は風間、著者ら [2)3)4)] の研究をもとに旅行を 4 要素に分け、下記の式で行う。

移動：移動距離[km]×交通機関の原単位[kg-CO_2/km]
食事：食材の重量[g]×食材の原単位[kg-CO_2/g]
宿泊：一人当たりの CO_2 排出量[kg-CO_2]x:客室数
観光：年間 CO_2 排出量[kg-CO_2/ m^2]x:延床面積[m^2]

3. 結果

3.1 エコツアーの事例分析結果

エコツアー総覧に記載されている 800 のツアーについて地域別、宿泊の有無、ツアー内容等をもとに分類を行った。まず地域別にみると、現在行われているエコツアーは都市部もしくは九州南部（鹿児島県、沖縄県）で多く行われていることがわかった。また、図 1 よりエコツアーの内容はアウトドア・アクティビティが最も多く行われており、自然観察と合わせると全体の 75%が自然環境とのふれあいがテーマであることがわかった。アウトドア・アクティビティのツアー内容を細かくみると、自然環境に触れながら体を動かす健康の要素が多く含まれていることがわかった。

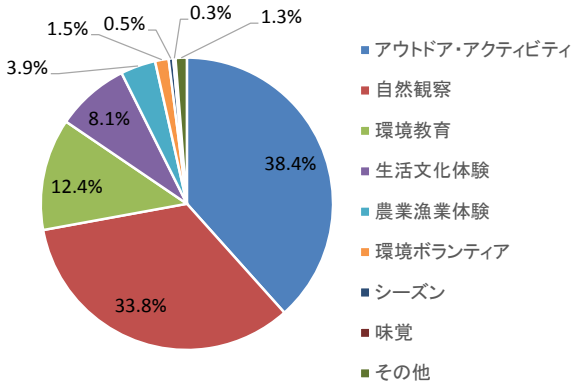


図 1.エコツアーの内容

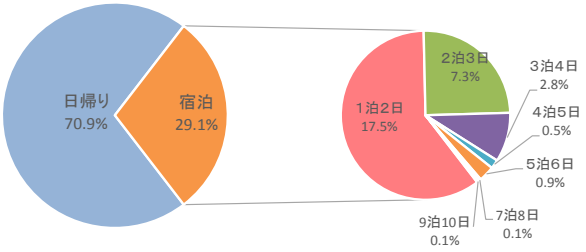


図 2. 日帰り/宿泊の割合

次に宿泊の有無については、エコツアーの大半は日帰りであることが明らかになった。これは自然体験型の内容が多いためであると推測される。調査した中では、環境に配慮した、特に CO_2 排出削減に着目した旅行は見られなかった。

3.2　タイプⅠラベルの認定基準の検討

旅行の企画実施者（旅行会社）と旅行の 4 要素に関する認定基準を検討した。

3.2.1　認定基準の例

①ツアー企画者（旅行会社）での環境への取り組みについて（例：環境アセスメントを実施、環境保全に必要な措置を講じている）
②移動（例：公共交通機関を利用した移動の推奨）
宿泊（例：GPN において、エコチャレンジホテルとして登録されているホテルの選択）
食事（例：地産地消による献立）
観光（例：省エネルギーに向けた取り組みを行っている施設の選択）
③具体的なエネルギー使用量や、削減量などのデータ、資料の開示の有無（例：電力、重油、ガス等の使用量を把握し、具体的な目標や計画を立てて削減やリサイクルに取り組んでいる）
④全体の CO_2 排出量の算定

3.2.2　法律、政策等との関係について

エコツアー総覧の推進や、エコツーリズムの定義をしている環境省を始め、約 50 項目の法律や政策をまとめた。４要素での例を以下に示す。
①移動（エコドライブ普及・推進アクションプラン）エアコンの適切な使用
②食事（食品リサイクル法）食品廃棄物の発生抑制、食品循環資源の再生利用
③宿泊（容器包装リサイクル法）分別収集、再商品化、廃棄物の発生抑制
④観光（エコツーリズム推進法）環境教育、地域振興への寄与、観光振興への寄与

この中から、環境負荷に大きく関わる内容かどうかを判断し、重要な項目を必須項目とした。ツアーの種別よって異なる内容であれば選択項目とした。

3.3　ケーススタディ

3.3.1　ツアー概要

旅行商品の CO_2 排出量の算定は旅行を「移動」・「宿泊」・「食事」・「観光」の 4 要素に分けて行う。実際に販売されている一般的なツアー（石垣島で、自然を見て楽しむ）とエコツアー（屋久島で、人と自然の関わり、現地の人々の生活や文化についてなどを体験して学び、保護や保全への関心を高める）をもとに 2.3 に示した式より、CO_2 排出量を算定した。

日程は 3 日間。４名で羽田空港から空路で石垣島、または鹿児島へ行く。屋久島までの移動にフェリーを利用する。島内の移動は石垣島ではレンタカー、バス、フェリーを利用する。屋久島の島内の移動は、タクシー、バスを利用する。食事回数は 7 回。宿泊施設には石垣島ではシティホテル、屋久島では旅館を利用する。

3.3.2　算出に用いたデータ

算定方法は、著者らの研究 [2)3)4)] に従った。２次データにはカーボンフットプリントの原単位 [5)] を用いた。図 3.より、CO_2 排出量は、石垣島の方が２倍近く多い結果となった。島内でのレンタカーの利用の有無と、羽田空港からの距離が長いためである。しかし、利用先のホテルの規模の大きさ、食事の内容も CO_2 排出量の差として表れている。

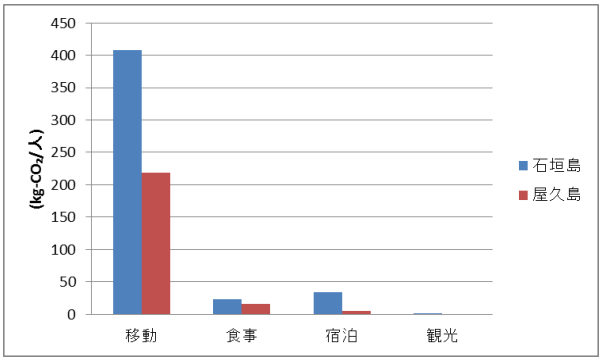


図 3.　CO_2 排出量の算定結果

4.　考察及び課題

実際の旅行商品の CO_2 排出量の算定を行い、４つの要素において算定を行うことが可能であると分かった。よってエコツアーの認定基準に CO_2 排出量の算定を加えることが可能であると考えられるが、タイプⅠラベルの認定基準とするためには、更に CO_2 排出量の算定方法を詳細に定める必要がある。その他の認定基準については必須項目と選択項目を分類し、各々にポイントを付与し、ポイント取得数を定める方法を考えた。今後はポイントの付与方法について更に検討したい。

5.　参考文献

1)　観光庁「宿泊旅行統計調査報告」観光庁(オンライン)入手先
<http://www.mlit.go.jp/kankocho/siryou/toukei/shukuhakutoukei.html>(2015-7-27)
2)風間理応　工学院大学卒業論文（2011）P.10-32
3)玉利有香　工学院大学卒業論文（2011）P.97-100
4)桜庭愛美　工学院大学卒業論文（2014）P.38-52
5)産業環境管理協会：カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム(2010)

日独における路面電車利用の促進要因分析

A analysis of promotional factor of tram use in Japan and Germany

○嶋田幸文*[1)]，遠藤 俊太郎[2)]，中口毅博[1)]
Yukifumi Shimada , Endo Shuntaro , Takahiro Nakaguchi
1) 芝浦工業大学 2) カッセル大学
* br12046@shibaura-it.ac.jp

1. はじめに

近年、都市における交通政策においては地球温暖化などの環境への配慮から自動車から公共交通への転換が行われているのが事実である。なかでも特に注目されているのが路面電車であるが、必ずしも利用は進んではいない。そこで本研究では、ドイツのフライブルク、エッセン、カッセル、フランクフルト、ケルンと日本の松山市、富山市、高岡市、岡山市を事例として、各都市で導入されている路面電車の現状と課題を把握したうえで、日独における路面電車利用の促進要因ついて分析することを目的とする。

2. 研究方法

まず、ドイツと日本において路面電車が導入されている都市を取り上げ、文献調査によって、各都市の基本データ（人口、面積、人口密度など）、交通分担率、路面電車の特徴についての内容や現状を把握する。次に、ドイツにおいては、都市全体の交通体系や路面電車についての現地調査を実施する。また、日本においてもドイツ同様に現地調査を実施した上で、市役所や交通事業者にヒアリング調査を実施する。さらに、日独の都市における路面電車の年間輸送データの分析と、対象都市の路面電車と市街地のマップを作成する。これらの調査で得られた路面電車の現状と課題をもとに、各都市での相違点を比較することで、路面電車利用の促進要因を明らかにする。

3. 事例都市の路面電車の利用状況

まず、事例都市の路面電車の利用状況をドイツに絞って示す。表 1 は交通分担率を、表 2 と図 1 は人口と年間輸送実績(2014 年度)を示したものである。

表 1　事例都市の交通分担率

	ドイツ				
基本データ	フライブルク	エッセン	カッセル	フランクフルト	ケルン
公共交通分担率(%)	18	17	22	23	21
自動車分担率(%)	30	54	42	34	43
自転車分担率(%)	28	3	7	13	12
徒歩分担率(%)	24	26	29	30	24

表 2　ドイツ事例都市の年間輸送実績(2014 年度)

	人口	運輸・運行実績			
		旅客数（千人）	人キロ（千）	車両キロ	面積キロ（百万）
フライブルク	251,494	75,354	258,871	7,401	1,036
エッセン	615,186	120,025	600,127	19,239	2,458
カッセル	282,879	37,386	189,934	7,584	1,037
フランクフルト	807,501	172,828	716,410	14,739	4,932
ケルン	1,340,024	275,119	1,456,191	36,528	7,865

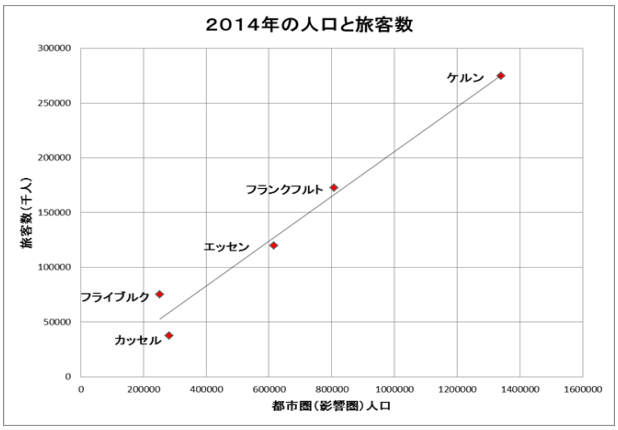


図 1　ドイツ事例都市の人口と旅客数(2014 年度)

4. 路面電車利用の促進要因

4.1 路面電車利用の促進要因のまとめ

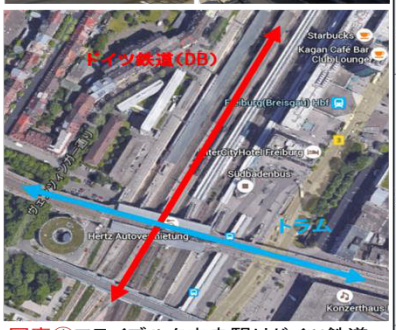
路面電車利用の促進要因を表 3 に示す。

表 3 路面電車利用の促進要因のまとめ

都市の特徴	人口 人口密度	市民の通勤通学などでの日常生活で路面電車を利用
	観光客数	観光客が路面電車電車利用率を高める
	市街地カバー率	路面電車の駅に徒歩でアクセスすることができる
	沿線の市街率	路面電車沿線の市街地密度が高いと路面電車の利用が高いか
交通分担率	公共交通分担率	公共交通分担率が路面電車利用に影響を与えている
	自動車分担率 自転車分担率	自動車と自転車の利用が路面電車利用の妨げとなる
路線と運行形態	運行頻度	待ち時間の少なさが利用促進につながる
	路線網	観光地や中央駅などの利用者が多い施設に路面電車が通っていること
	直通運転	他の系統、または電車に直通運転できることがバスとの違い
	速達性	表定速度の速いほうが速達性は高い 路面電車優先の信号システムで速達性は向上
結節点	乗り換えの利便性	他系統との乗り換え、またはバスや電車などの他交通との乗り換えのしやすさ。 同一ホームで乗り換え。ダイヤの密接性が高いことが言える
	パーク・アンド・ライド	パーク・アンド・ライドを駅の近くに整備すること
車両	編成と快適性	車内空間を広くすることで快適性があがる 連結数を多くすると車内の密度が低くなり快適性の向上となる
バリアフリー	駅	駅空間を広くすること、かつホームの段差を少なくしてスムーズな乗降ができる
	低床車両	低床車両でスムーズな乗降でストレスがないこと
運賃制度	運賃	分かりやすく低運賃かつ割引があると利用促進につながる
	支払い	ドイツでは事前に乗車券を購入することで車両全てのドアで乗降が可能→スムーズな乗り降り
	案内表示	利用しやすい、分かりやすい案内表示があること

表 4　フライブルクと松山市の比較





写真①フライブルク中央駅はドイツ鉄道とトラムの立体配置によって乗り換えの利便性が高い



写真②フライブルク市内中心地は全路線が経由するため乗り換えやすいダイヤ

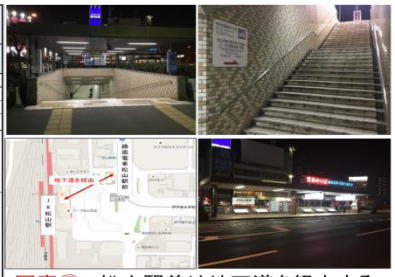


写真③トラム終着駅はバスとの結節点となり乗り換えを考慮されている



写真④トラム主要駅に駐車場が整備されパーク・アンド・ライドが導入されている

路面電車比較表		フライブルク Freiburg im Breisgau	松山市
		バーデン＝ヴュルテンベルク州	愛媛県
交通事業者		VAG	伊予鉄道
路面電車系統数		4	5
路面電車延長		30.4	9.6
路線配置		放射型 ・全系統が市内中心部一か所を経由する ・市内中心部に複数の系統が集中するように	市内輸送 ・2系統が市内環状型、3系統が道後温泉へのアクセス
交通結節点	鉄道中央駅	・フライブルク中央駅ではドイツ鉄道（DB）と立体で直交配置の駅構造により乗り換えの利便性が高い（写真①）	・JR松山駅から路面電車への乗り換えは地下道を経由する（写真⑤） ・松山市駅で電車やバスから路面電車への乗り換えは横断歩道を経由する（写真⑥）
	市内中心部	・市内中心地で他の系統と乗り換えしやすいダイヤが設定されている（写真②）	・JR松山駅前、松山市、大手町、大街道、道後温泉の各駅で各方面に向かうバスに乗り換えることができる（写真⑦）
	終着駅	・トラム終着駅ではバスとの結節点となり乗り換えを考慮（写真③）	・終着駅のJR松山駅前、松山市駅前、道後温泉はバスとの結節点
パーク・アンド・ライド		・トラム主要駅には大型駐車場が整備されている（写真④）	・1箇所導入されている
車両		・低床車両が導入され、乗り換え時間の短縮を図る ・6両1編成の車両が多くあり大量輸送が可能である	・1編成1両 ・新型は低床車両となっている ・旧型は乗降口に段差がありスムーズな乗降はできないが新型より車内が広くなっている（写真⑧⑨）
路面電車とその他の交通	路面電車	・市内中心部へのアクセスはトラムが輸送を担う	・路面電車は市内中心部の観光地を結ぶ
	その他	・トラム終着駅は結節点となり郊外へのアクセスはバスが輸送を担う（写真③）	・松山市駅、大手町駅、古町駅で郊外にアクセスする電車に乗り換えが可能だが、互いのダイヤに関連性はない（写真⑦）
運行頻度		・日中は2～5分間隔で運行している	・全系統が集中する区間は約2～5分間隔 ・日中は約10分間隔で運転されている
バリアフリー	車両	・低床車両が導入され、乗り換え時間の短縮を図る ・段差がある旧型タイプも運行している	・38編成中10編成が低床車両である（写真⑧⑨）
	駅	・67箇所中62箇所がバリアフリーが整備済	・28箇所中5箇所がバリアフリーが整備済
その他			・全線で軌道内への自動車進入を禁止している（横断を除く）
	整備計画		・JR松山駅前などの駅や駅前広場の再整備によって乗り換えの利便性向上やバリアフリー化を徐々に計画している



写真⑤JR松山駅前は地下道を経由する



写真⑥松山市駅前は横断歩道を経由する



写真⑦大手町駅は路面電車、バス、郊外電車の乗り換え結節点となっている



写真⑧新型車（左）は10両と旧型車（右）は28両が導入されている



写真⑨新型車（左）は段差なくスムーズな乗り降りが可能だが、旧型車（右）の乗降は段差が生じる

4.2 フライブルクと松山市の比較

ドイツのフライブルクと日本の松山市における路面電車の特徴を表 4 に示す。

4.3 フライブルクの路面電車と市街地の関係

図 2 は、GIS を用いてフライブルク路面電車の駅から 500m 圏内における市街地を示したものである。フライブルク市街地は灰色で示されているところであり、路面電車の駅から 500m 圏内の市街地は水色で塗りつぶされているところである。この地図から、フライブルクの路面電車が市街地をカバーする割合は大きいため、公共交通分担率が高いと考えられる。

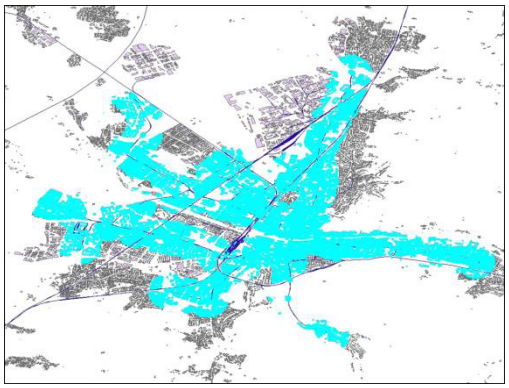


図 2 フライブルクの路面電車と市街地

5. まとめ

本稿では、日独における路面電車の利用状況と都市特性特徴を分析した結果、市街地カバー率が高いことが輸送人員を高め、促進要因に影響していることが明らかになった。

参考文献

1) “Kreiszahlen, Ausgewählte Regionaldaten für Deutschland, Ausgabe 2011.Statistische Ämter des Bundes undder , (2011)
2) Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e.V. (VDV): “statistik-2014” , (2014) , pp.57-61
3) VAG: <https://www.vagfreiburg.de/startseite.html> , (2015)
4) 伊予鉄道: <http://www.iyotetsu.co.jp/> , (2015)
5) 松山市役所都市整備部都市・交通計画課: “路面電車とまちづくり 2015” , (2015) , 22pp

家庭生活に伴う CO_2 排出量の都市・地域分布に関する分析

Analysis of geographical distribution of lifestyle-generated CO_2 emissions

○平野勇二郎*[1)]、井原智彦[2)]、吉田友紀子[3)]
Yujiro HIRANO, Tomohiko IHARA, Yukiko YOSHIDA
1) 国立環境研究所, 2) 東京大学, 3) 大阪大学
* yhirano@nies.go.jp

１．はじめに

地球温暖化の進行に伴い、社会全体における温室効果ガスの削減がますます重要課題となってきた。家庭生活に伴う CO_2 排出量は居住者の日常生活と直接関係するため重要である。とくに今後の少子高齢化や人口減少に伴い、低密度化による 1 人あたり CO_2 排出量の増加も懸念される中で、居住環境と生活に伴う CO_2 排出量の関係について適切な予測と計画が不可欠である。

本研究はそのための基礎研究として、家庭における CO_2 排出量推計モデルにより、その地域条件について分析と考察を行った。

２．CO_2 排出量推計モデルの概要

著者らは家庭生活に伴う CO_2 排出量を推計するマクロモデル構築の研究を進めている[1)]。以下にモデルの概要を説明する。

まず家計調査による光熱費の支出金額と小売物価統計調査によるエネルギー価格から、世帯当たりの電力、ガソリン、都市ガス、プロパンガス、灯油の消費量を算出し、年間 CO_2 排出量を計算した。直接 CO_2 排出量は気候や都市規模などの地域条件の影響を受けやすいため、全国 49 都市について算出した。都市ガスとプロパンガスの比率を決める際には、家計調査による各ガス購入頻度に基づいて配分した。

次に、得られた CO_2 排出量をエネルギー用途に分解し、都市・地域条件から各用途別 CO_2 排出量を推計する方法について検討した。エネルギー用途への分解には、冷房用・暖房用はデグリーデー法[2)]を、給湯用は気温による給水温度の予測式[3)]を組み込むことにより、地域の気温条件を反映した推定式を得た。また、世帯あたりの CO_2 排出量は市街化の程度により異なるため、戸建・集合住宅比率や都市ガス普及率を人口密度の関数として表現した。推計フローを図 1 に示す。個々の推定式については著者らの既報[1)]を参照されたい。

３．都市・地域条件の評価

次に居住環境と CO_2 排出量の関係について考察した。家庭における CO_2 排出量は気候条件と都市化の条件が影響するが、日本では大都市が比較的温暖な地域に集中しているため、個別都市のデータの解析では間接相関が生じ得る。そこで、図 1 に示した推計手法において、気温と人口密度を個別に変化させることにより両者の要因を分離する。

このため、まず全国 49 都市の平均気温とデグリーデーから関係式を作成した（図 2）。この式によりデグリーデーを平均気温により近似することにより、個々の都市において平均気温と人口密度の 2 変数のみで CO_2 排出量推計が可能となった（図 1 参照）。そこで次に、人口密度－平均気温の座標平面上に各都市をプロットし、図 1 の推定式から得られる CO_2 排出量を等

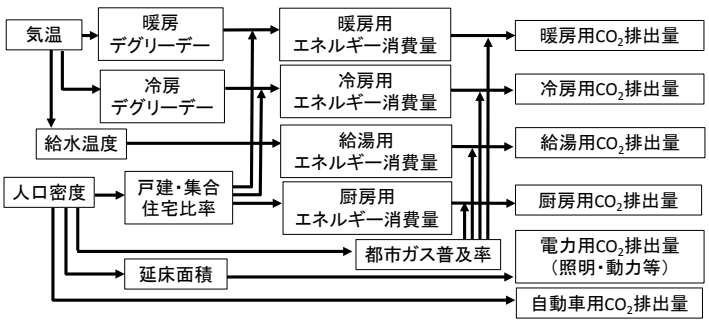


図１　CO_2 排出量推計フロー

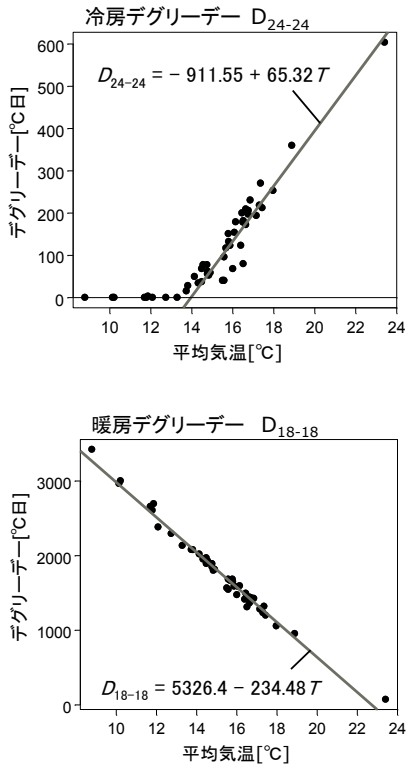


図２ 平均気温とデグリーデーの関係

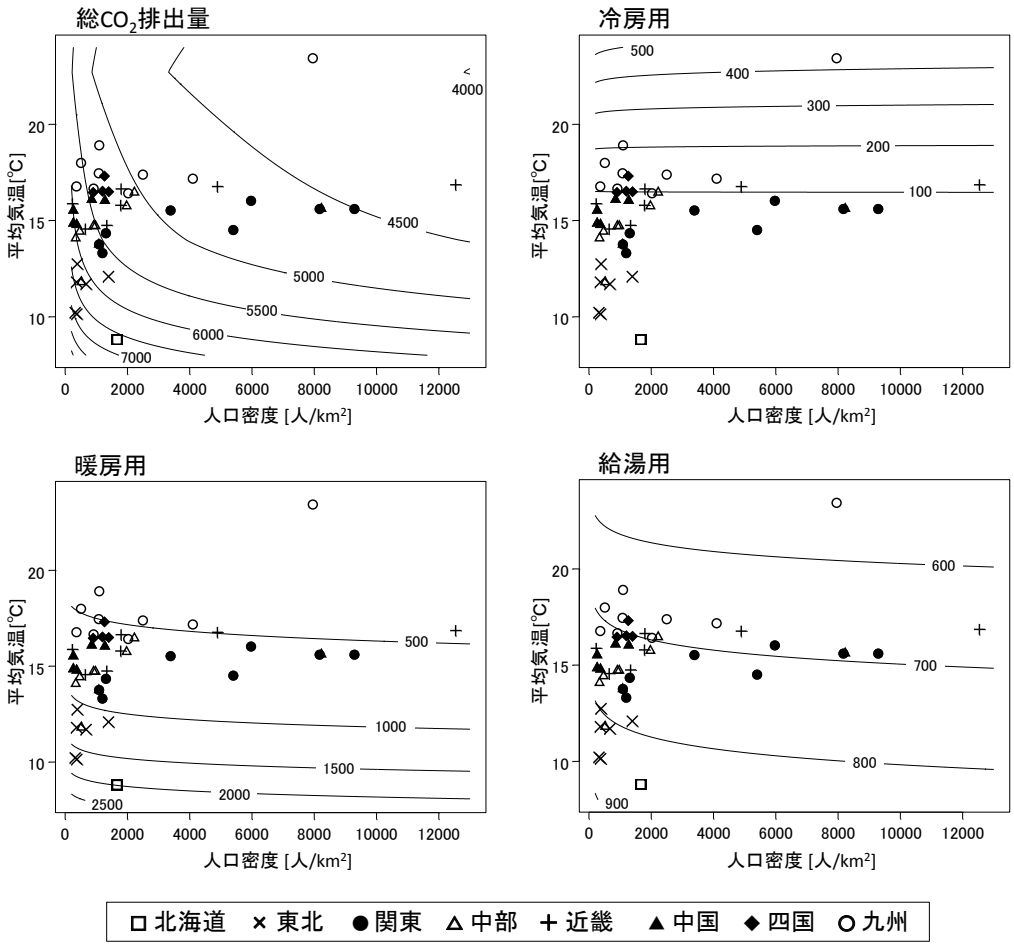


図 3 人口密度―平均気温座標平面上における各都市と推定 CO_2 排出量

値線で示した（図 3）。ここでは全用途を合わせた総 CO_2 排出量のほか、冷房用、暖房用、給湯用も示した。

この図から、総 CO_2 排出量は多くの都市が含まれる範囲では、温暖な地域ほど少ないことが分かる。これは冷房用、暖房用、給湯用の図を比較すれば分かる通り、日本の家庭における CO_2 排出量は冷房と比較して暖房、給湯の方が多く、気温の影響も生じやすいためである。平均 24℃付近を超えると暖房の影響よりも冷房の影響が上回り、等値線の方向が入れ替わる。ただし、本研究において対象とした 49 都市の中では、この範囲に含まれる都市は那覇のみであった。冷房用、暖房用はいずれも平均気温が支配要因であるが、戸建・集合住宅比率や都市ガス普及率にも依存するため、人口密度も若干影響している。給湯用は絶対量は冷房より多いが、気温の影響は冷房用、暖房用と比較して小さい。これらの結果から、新たな居住拠点を創出する際は、比較的温暖な地域を選択し、適度に高密度化することが低炭素につながる可能性が高いと言える。

４．まとめ

本研究では平均気温と人口密度の 2 変数により、家庭生活に伴う CO_2 排出量を算定し、CO_2 排出量に及ぼす都市・地域条件の影響について検討した。今後、これらの結果を各地域条件に応じた有効な CO_2 削減策や、適切な居住地選択に結び付けていく必要がある。また、現実的な居住地選択に結びつけるためには業務用建築や公共交通による CO_2 排出も踏まえる必要があるため、今後は評価対象を拡大し、評価事例をさらに蓄積する予定である。

謝 辞

本研究は平成 27 年度環境研究総合推進費「低炭素と経済活性化を両立する生活・行動様式と地域環境デザイン方策の提案」（2RF－1303）の支援により実施されました。ここに記して感謝の意を表します.

引用文献

1) 平野勇二郎，藤田　壮，高橋俊樹：環境システム研究論文集, 38,（2010）, pp.309-316.
2) 澤地孝男，坊垣和明，吉野　博，鈴木憲三，赤林伸一，井上　隆，大野秀夫，松原斎樹，林　撤夫，森田　大：日本建築学会計画系論文集，462, (1994), pp.41-48.
3) 石田建一：日本建築学会計画系論文集, 501, (1997), pp.29-36.

家庭における電力消費実態データを用いた省エネ推進手法に関する研究

Energy Conservation Method Using Actual Electricity Consumption Data at Home

○秋山　悠大 [1)]、竹内　孝曜 [2)]、本田　智則 [3)]、稲葉　敦 *[1)]
Yudai Akiyama, Takaaki Takeuchi ,Tomonori Honda, Atsushi Inaba,
1) 工学院大学 , 2) 未踏科学技術協会,3)産業技術総合研究所
* a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

1. 緒言

日本の総電力需要は 1973 年度から 2012 年度までの間に、416TWh から 916TWh と約 2 倍に増大した。

総電力需要の内訳を見ると産業部門の割合は 1973 年度には 65.1%（271TWh）であったものが 2012 年度には 27.5%(252TWh)へと絶対量が 0.9 倍に減少している。一方で、家庭部門が総電力需要に占める割合は 18.7%(77TWh)から 31.4%(288TWh)と割合だけでなく、絶対量も 3.7 倍と増加している [1)]。

一方、東日本大震災以降、国内発電設備は火力発電に大きく依存しており、2030 年までに温室効果ガス排出量を 26%削減するという COP21 で定められた目標を達成するためには、電力需要量の絶対量が増加傾向にある家庭部門におけるエネルギー消費量の削減は不可欠な課題となっている。そこで本研究では、オール電化住宅約 240 世帯の個別電力消費実態データを用いて、家庭部門における消費電力の実態を把握し、その結果から消費者の自主性の行動によって電力需要を削減する方法について検討を行うこととした [2)]。

2. 研究手法

本研究では産業技術総合研究所で収集された 236 世帯の電力消費実態データを用いた。本データは 2014 年 1 月 1 日から 2014 年の 12 月 31 日までの 365 日の 1 時間ごとの消費電力データ（データ総数約 207 万件）となっている。データとあわせてアンケート調査が実施されており、世帯人数、延床面積、世帯主年代、住宅の引き渡し年､住宅のある都道府県など 30 項目以上にわたる属性情報も収集されている。

今回、それぞれ家庭の消費電力量に影響を及ぼすと考えられるデータを抽出し、電力消費量の高い属性を明らかにした。また、その属性に対して、生活行動を阻害しない省エネ手法の提案を行うこととした。今回のデータ件数は 10 件以上のみの世帯を分析対象とした。

3. 結果

3.1 世帯構成と消費電力量の関係

3.1.1 世帯人数の変化が消費電力量に与える影響

最初に世帯人数が消費電力量に与える影響について検討した。検討にあたっては、世帯人数ごとに年間の消費電力量の平均値を比較した。

世帯人数と年間平均消費電力量の関係を図 1 に示す。図 1 より世帯人数と年間平均消費電力量の関係はほぼ線形であり、世帯人数が 1 人増えることで年間消費電力量が 496kWh 増加する傾向が示された。

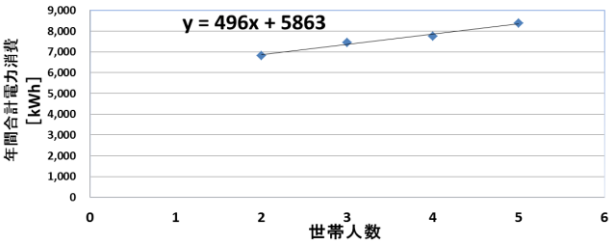


図 1　世帯人数別の年間合計消費電力量

3.1.2 子供の有無が消費電力量に与える影響

次に世帯人数の増加は子供の人数の増加による変化であるケースが主であると考え、子供の人数と消費電力量の関係を図 2 に示した。検討にあたっては、子供がいない夫婦 2 人世帯と夫婦 2 人と子供のみによって構成される世帯を抽出してデータの分析を行った。

図 2 より、子供がいない世帯に子供が 1 人追加されることで年間に約 769kWh 電力消費量が増えることが示された。また、1 世帯に子供が 1 人以上いる場合では子供が一人増えるごとに約 286Kwh の消費電力量が増大する傾向が示された。図 1、図 2 の結果から、世帯人数の増加による消費電力量の増加は、子供の有無による影響の大きさから人数のみによって説明するよりも、夫婦と子供に分離して推計する必要性が示された。

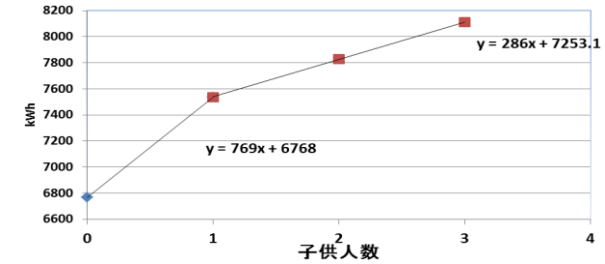


図 2　子供の人数別の年間合計消費電力量

3.1.3　子供の年代が消費電力量に与える影響

続いて、夫婦 2 人と子供 1 人以上で構成された世帯のみを抽出し、子供の年代が消費電力量に与える影響を分析した。アンケート調査から得られた各世帯の長男及び長女の年齢を乳児、幼児、小学生、中学生の 4 つの子供年代に分けて分析した。

図 3 に子供の年代と年間の合計消費電力量の関係及び各年代別の子供の平均人数を示した。図 3 より、子供の年齢の上昇とともに子供の平均人数が変わらないのにもかかわらず、消費電力量が増加している傾向が示された。ここで、中学生の子供がいる世帯では小学生までの子供がいる世帯に比べて顕著に消費電力量の増大が見られた。

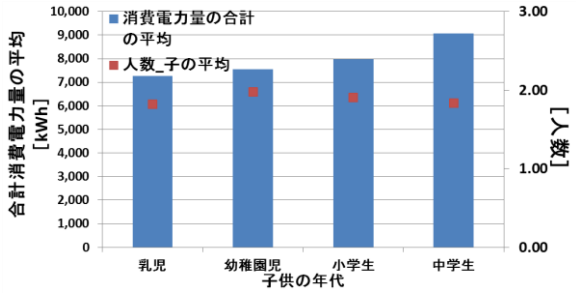


図 3　年間の子供の年代が年間消費電力量に与える影響及び各年代別の子供の平均人数

3.1.4　中学生の子供がいる世帯における詳細分析

上記の結果を踏まえ、中学生の子供がいる世帯において消費電力量が増大した要因の分析を行った。分析に当たっては、世帯の時間別の消費電力量に着目して分析を行う事とした。時間帯別消費電力量に着目することで、そのライフスタイルの違いが顕著となる。

図4は平日における24時間の平均消費電力量を示している。図 5 は子供が夏休みに入っている 7 月～8 月の 24 時間の時間別の平均消費電力量を子供の年代別に図示した。図 4 において午前 3 時から午前 4 時ごろに消費電力量がピークを示しているが、ヒートポンプ式給湯器を新電気料金時間帯に稼働していることによる影響である。

一般に子供が帰宅する 15 時以降の時間帯で、中学生以上の子供がいる世帯のみ消費電力量が顕著に増大していた。この要因としては、年齢が高くなることによって子供が自分の部屋を持ちそこでの活動が主となっていることが要因ではないかと予想された。このことを確認するために、子供が夏休みに入り自宅にいる時間が多くなる 7 月、8 月のみを取り出して 24 時間の平均消費電力量の推移を確認した結果を図 5 に示す。子供が自分の部屋で活動することが消費電力量の増大に繋がっていると仮定するならば、夏休み中は 1 日を通じて消費電力量の増大が観測されると考えた。その結果、図 5 に示した通り、24 時間を通じて中学生以上の子供がいる世帯のみで消費電力量の増大が見られた。このことから、子供が自分の部屋で過ごすことによる影響が、図 3 の結果を生じさせたと強く類推させる。ただし、統計的には有意な差ではあるものの、今回の調査では中学生以上の子供をもつ世帯数が 6 件と少ないため、今後更なる調査が必要である。

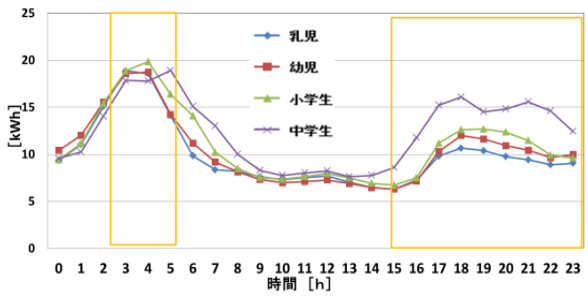


図 4　年間の子供の年齢別の時間別の平均消費電力量（平日）

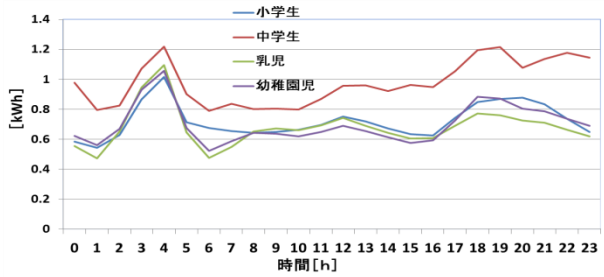


図 5　7 月から 8 月の子供の年齢別の時間別の平均消費電力量（休日のみ）

4. まとめ

今回の分析では、子供の年代及び世帯人数が年間の消費電力の増大に大きな影響を及ぼしていることがわかった。一般に義務教育世代への環境教育は将来の環境意識を変えるためのものとして行われることが多いが、本研究の結果から、中学生以降の世代については将来に向けた環境教育だけではなく、自室における省エネ教育を行うことで、直近の省エネに資する可能性が示唆された。

引用文献

1）経産省　資源エネルギー庁　再生可能エネルギー・省エネルギーの現状と課題
<http://www.pref.shimane.lg.jp/infra/energy/energy/chiiki_taisaku/index.data/02saienesyouene.pdf>

2）大和総研　電力不足解消のカギは家計部門にある
<https://www.dir.co.jp/research/report/japan/mlothers/11110201mlothers.html>

太陽光発電システムと環境行動

Solar power generation system and environmental action

○相沢健道 [1)]、雑賀高 [2)]
Takemichi Aizawa, Takashi Saika
1) 工学院大学
* gm15501@ns.kogakuin.ac.jp

1. 研究の背景と目的

日本の電力発電システムは、主に石炭や LNG を燃やし、蒸気を作りタービンを回す運動エネルギーを利用した火力発電システムが主要な発電方式となっている。かつ、約 25 年間（1990 年度から 2013 年度）に火力発電システムに依存した電源供給は、約 10%程増加している。また発電会社をはじめとした、エネルギー産業においては、1990 年以降二酸化炭素の排出量も増加している傾向がある。従って、火力発電システムによる電力供給では、二酸化炭素をはじめとした温暖化ガスが排出され、地球温暖化の原因の一つとして地球環境へ悪影響を与えている。また、二酸化炭素の排出量には、直接排出量と呼ばれる発電に伴う排出量をエネルギー転換部門からの排出と計算したものと間接排出量と呼ばれる電気事業者の発電に伴う排出量を電力消費量に応じて最終需要部門に転化したものの 2 種類があるが、そのうち、直接排出量では、発電会社をはじめとした、エネルギー産業部門の割合が最も高い。また日本国内における二酸化炭素の間接的な排出量の主な要因は、自動車などの運輸部門及び発電等のエネルギー部門の割合が高い。また一人当たりの二酸化炭素の排出で最も多いのは、電力を利用する場合である。従って、二酸化炭素の排出量を減らすには、太陽光発電システムをはじめとした再生可能エネルギーによる発電システムを住宅向けに導入することで、二酸化炭素の排出量を減らすことが可能であると考える。
また日本の家庭が年間で消費する電力は約 3600kWh である。そこで、2030 年までに普及が見込まれかつ発電時に二酸化炭素の排出がない住宅用太陽光発電システムを住宅に導入し同時に省エネ対策を実施することで、自家発電システムだけで電力を賄うことが可能なシミレーションモデルを検討し、一般家庭における電力消費行動との比較をし、改善提案探る目的である。

2. 研究概要

現状の日本の家庭における電力消費量を把握し、電力消費量の割合を分析する。その上で、1 日の電力消費量を試算し、その上で実際のシミレーションモデルとの相違から、自家発電のみで電力を賄うこと可能な条件を検討する。

2.1 研究方法

セルオートマトンと呼ばれるマルチエージェントと呼ばれる複数の人間行動パターンが存在するシミュレーションで、個々のエージェント（該当者）ごとに、ある場面での行動をあらかじめ決めておき、全体としてどのような動きをするのか見るシミュレーションモデルを構築する。

基本的には、エージェントのパラメータ設定とパラメータの妥当性検証の繰り返しを行う。

手順としては、まず現状の省エネ行動を再現した家庭のシミレーションモデルを構築する。この際にシミュレータの変数設定に必要となる数値は、官公庁が公表している統計資料や、実際に家庭で計測したデータを用いる。

作成したシミュレータが現実を模倣しているかを確かめるために、妥当性検証を行う。今回の研究では、自宅で消費された毎月の電力消費量及び太陽発電システムの発電量の推移と、シミュレータ上での電力消費量の推移の傾向を比較することによって妥当性検証を行う。現実を模倣したシミュレータを用いて、次に変数を動かしてシミュレーション全体の挙動にどのような変化が現れるかを観察する。今回の研究では自家発電システムだけで電力を賄うことが可能なシミレーションモデルを調べることが目的であるので、シミュレータの変数のうち、家電製品の数や使用頻度など家庭全体の電力消費量推移が変動すると考える。

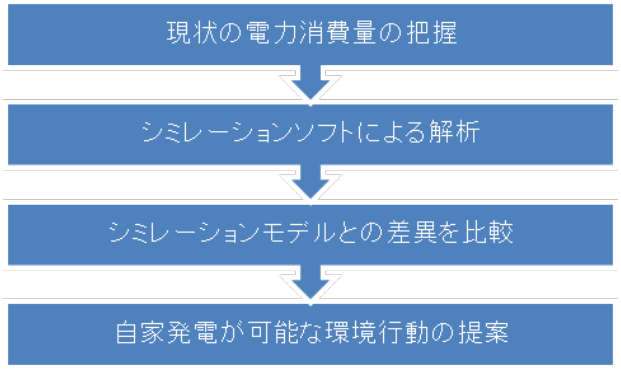


図 1 研究方法のフロー

3. 引用文献

① 書籍

北 栄輔，脇田祐希子共著“Excel で学ぶセルオートマトン”，オーム社，東京, (2011), p.2-3

② 学会講演要旨

本藤祐樹著 :“日本 LCA 学会”，つくば，(2005)，pp240-241

長谷川正利，大西暁生，戸川卓哉，奥岡桂次郎，谷川寛樹著“都道府県別 CO2 排出量推計モデルの構築及び太陽光発電の導入効果の検討”，(2013)，pp157-165

③ 報告書

資源エネルギー庁“低炭素電力供給システムに関する研究会報告書 第 2 部” (2009) ， pp47

資源エネルギー庁“平成 26 年度エネルギー白書 第 2 部 エネルギー動向 第 1 章 国内エネルギー動向 第 1 節 エネルギー需給の概要” (2014)

省エネルギーセンター“平成 24 年度エネルギー使用合理化促進基盤整備事業（待機時消費電力調査）” (2013) ， pp iii,iv,99,100

小松 秀徳: “省エネルギー・節電進策のための情報提供における「ナレッジ」の活用”，(2014)

西尾 健一郎著: “家庭における 2011～14 年夏の節電の実態－東日本大震災以降の定点調査”，(2014)

④ Web サイト

価格.com :“価格.com 住宅設備・リフォーム 太陽光発電よくある質問”，（オンライン），入手先 <http://kakaku.com/taiyoukou/faq/#02-01 >，（参照 2016-1-23）

全国地球温暖化防止活動推進センター:“すぐ使える図表集 4-7 一人当たりの二酸化炭素排出量（2013 年度）”，（オンライン），入手先 < http://www.jccca.org/chart/chart04_07.html>，（参照 2016-1-23）

分散型エネルギーを導入した大学キャンパスにおける余剰電力の有効利用方法の検討

Investigation of the utilization method of the surplus electric power in the university campus that introduced distributed energy

○関谷知治*[1)]、福原大祐[1)]、吉川直樹[1)]、天野耕二[1)]

Tomoharu Sekiya, Daisuke Fukuhara, Naoki Yoshikawa, Koji Amano

1)立命館大学

*rv0029hv@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

現在、日本は東日本大震災の発生による原子力発電停止の影響で 90%弱を火力発電に依存し、化石燃料の消費量が増加している。また、2014 年 9 月以降一部の電力会社による 10kW 以上の大規模な太陽光発電の設置や売電申請を保留・中止が発生した。その後、申請が再開されたものの出力抑制の可能性を受け入れない限り、売電ができる設備と認定されない状況である。今後、さらに太陽光発電が普及する場合、電力会社への売電を安定して行うことは難しくなる可能性がある。

近年、自立・分散型エネルギーシステムが注目されている。複数の用途が複合し、エネルギー消費量の大きい大学キャンパスは、システム導入による効果が大きいものと考えられる。

そこで、立命館大学びわこ・くさつキャンパス(以下、BKC)に太陽光発電、ガスコージェネレーションを導入し、系統電力から電力を購入しない自立的なシステムを想定する。その際に発生した余剰電力を電気バスに蓄電し、シャトルバスの運行等に充てるなど電力会社への売電以外の有効利用方法をシステム全体の環境面・経済面の双方から現行システムと比較し、最適なシナリオを検討する。

2. 方法

2.1 研究概要

本研究では対象を BKC とし、現在建設中の温水プールを含む体育施設も考慮することで余剰排熱の有効利用を考える。電力は太陽光発電を主とし、不足分をガスコージェネレーションで補うことを想定する。昼間に発生した余剰電力を電気バスに蓄電し、シャトルバスの運行や蓄電量に余裕がある場合においては BKC 内の系統に給電するなど有効利用し、電力会社への売電を行わないものとする。ガスコージェネレーションの排熱は、空調設備やスポーツ健康コモンズに導入予定の温水プールを含めた給湯での利用を想定する。

気象庁の「過去の気象データ」[1)]より、大津市の 2014 年 4 月 1 日～2015 年 3 月 31 日を利用し、夏季・冬季・中間期、授業日・非授業日、晴れ・曇り・雨で分類を行う。図 1 に分類後の各条件に該当する日数を示す。

2014 年度における BKC の実際の電力使用量・熱使用量を入手し用いる。参考文献から発電量・供給熱利用量、電気バスの蓄電量・消費量・給電可能量を 10 分ごとに算出する。その際、電力使用量・熱使用量が発電量・供給熱利用量を上回らないようにする。

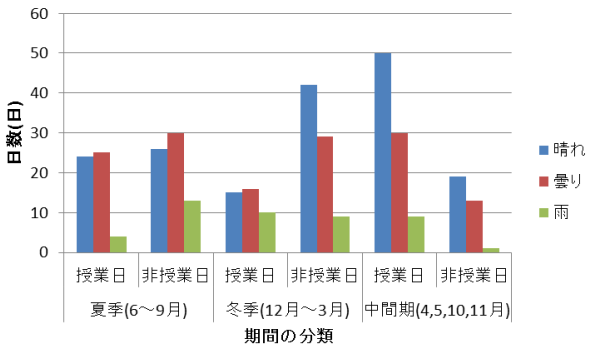


図 1　気象データの分類結果

2.2 シナリオ設定

複数のシナリオについて想定する。表 1 にシステムの分類方法について、表 2 に実施する想定シナリオ分類結果を示す。ガスコージェネレーションと電気バス・蓄電池の導入台数は電力使用量、熱使用量、余剰電力量を考慮し決定する。

表 1　システムの分類方法

太陽光発電	西面～南面～東面、上面を対象に設置
ガスコージェネレーション：①	1ヶ所に大型を設置
ガスコージェネレーション：②	各建築物に小型を設置
電気バス	○導入有、×導入無
蓄電池	○導入有、×導入無

表 2　実施する想定シナリオ分類結果

	太陽光発電	ガスコージェネレーション	電気バス	蓄電池
シナリオ1	○	×	×	×
シナリオ2	×	①	×	×
シナリオ3	×	②	×	×
シナリオ4	○	①	○	×
シナリオ5	○	②	○	×
シナリオ6	○	①	×	○
シナリオ7	○	①	○	○

2.3 発電量・排熱回収量推計

NEDO[2)]の推定式(1)を用いて太陽光発電の発電量を推計する。

$$PV = \alpha \times \beta \times \gamma \times A \times \delta(m) \times PV_{op} \times SR(m) \cdots (1)$$

ここで、PV: 発電電力量(kWh/10min)、α: 設置方式による温度上昇への影響係数(=1.02)、β: その他損失(=0.95)、γ: パワーコンディショナー変換効率(=0.92)、A: 面積(m^2)、δ(m): 季節別素子温度上昇による損失係数、PV_{op}: 発電出力(kW)、$SR(m)$: 10 分間日射量{(kWh)/m^2・10min}とする。

ガスコージェネレーションについては、天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル 2008[3]を参照し、式(2)(3)を用いて発電量・排熱回収量をそれぞれ推計する。その際、燃料として都市ガスを使用する。

$$Q_e = \eta_e \times C \times H \div 3.6 \quad \cdots(2)$$

$$Q_h = \eta_h \times C \times H \quad \cdots(3)$$

ここで、Q_e: 発電量(kWh/10min)、η_e: 発電効率、C:燃料消費量(Nm^3/10min)、H: 燃料発熱量(MJ/ Nm^3)Q_h: 供給熱利用量(MJ/10min)、η_h: 排熱回収効率とする。

2.4 電気バスの蓄電量・電力消費量・キャンパスへの給電可能量推計

参考文献[4]から電気バスの蓄電量・電力消費量・キャンパスへの給電可能量を条件式(7)を満たしつつ式(4)～(6),(8)より推計する。電気バスへの蓄電量が蓄電容量を超えた場合には、放電することとする。

$$A_b = S \times \eta_1 \quad \cdots(4)$$

ここで、A_b: 電気バスの蓄電量(kWh/10min)、S: 余剰電力量(kWh/10min)、η_1:蓄電効率(=0.94)とする。

$$U_b = A_b \times \eta_2 \quad \cdots(5)$$

$$C_b = EC_b \times M \quad \cdots(6)$$

$$\sum U_b > \sum C_b \quad \cdots(7)$$

ここで、U_b: 使用可能量(kWh/10min)、η_2: 電動機効率(=0.90)、C_b: 電力消費量(kWh/10min)、EC_b: 電費(kWh/km)、M: 走行速度(km/10min)とする。

$$SP_b = (\sum U_b - \sum C_b) \times \eta_3 \quad \cdots(8)$$

ここで、SP_b: キャンパスへの給電可能量(kWh/10min)、η_3: DC/AC インバーター変換効率(=0.85)とする。

2.5 電力需給・熱需給

電力供給・熱供給が電力需要・熱需要を上回る必要性がある。また、電気バスから BKC 内への給電量が式(8)で求めたキャンパスへの給電可能量より下回っている必要性がある。以下に条件式(9)～(11)を示す。

$$\mathrm{PV} + Q_e + SE_b \geqq D_e \quad \cdots(9)$$

$$SP_b \geqq SE_b \quad \cdots(10)$$

$$Q_h \geqq D_h \quad \cdots(11)$$

ここで、SE_b: 電気バスから BKC 学内への給電量(kWh/10min)、D_e: 学内総電力需要量(kWh/10min)、D_h: 学内総熱需要量(MJ/10min)とする。

2.6 環境面・経済面の評価

環境面については、化石燃料消費量について現在のシステムとの比較を行う。現行システムの消費量は関西電力の電源構成や都市ガスの利用量から推計し、ディーゼルバスの燃料使用量についても評価する。想定システムはガスコージェネレーションにて使用した都市ガスの使用量から推計する。経済面については以下の式(12)を用いてコストペイバックタイム（CPT）を算出し評価を行う。

$$\mathrm{CPT}(年) = \frac{\text{各機器の導入費用の合計(円)}}{\text{想定システムへの変更による年間節約金額(円/年)}} \quad \cdots(12)$$

ここで、各機器の導入費用とは太陽光発電、ガスコージェネレーション、電気バス及び付随する充放電設備のことである。

3. 太陽光発電の発電量推定結果

NEDO 日射量データベース閲覧システム[5]より、1時間ごとの発電量の推計結果を図 2 に示す。

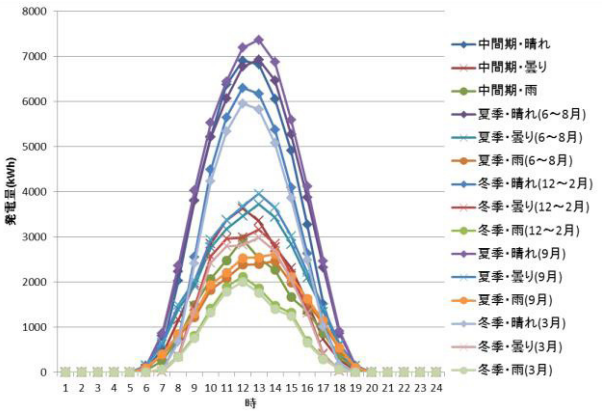


図２ 太陽光発電の発電量推定結果

4. おわりに

詳細な結果については、学会当日に報告する。

種々の条件を変化させたシナリオ設定を行い、電力供給・熱供給不足が生じることがなく、化石燃料使用量・CPT が小さくなるシナリオを検討する。

参考文献

1) 気象庁　過去の気象データ検索〈http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php〉（参照　2015-11-17)

2) NEDO（独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）：“大規模太陽光発電システム導入の手引書”,(2011)

3) 日本エネルギー学会,”天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル 2008”,日本工業出版株式会社,東京,(2008),p.72

4) 中川二彦,満本祐太:日本エネルギー学会誌,93,(2014),pp716-724

5) NEDO 日射量データベース閲覧システム〈http://app0.infoc.nedo.go.jp/metpv/metpv.html〉（参照　2015-12-12)

エネルギー協同組合における
再生可能エネルギー導入の成立要因に関する研究
－ドイツ・フライブルク市を事例として－

A study on the factors of establishing renewable energy activity in the energy cooperative organization
- Case study of Germany Freiburg City -

○黒須由利江*[1)]，中口毅博 [1)]，芝井 彰 [2)]
Yurie Kurosu, Takahiro Nakaguchi, Akira Shibai
1) 芝浦工業大学, 2) 環境自治体会議
* br12036@shibaura-it.ac.jp

1. はじめに

ドイツは電力における再生可能エネルギーは 2014 年現在､約26%と日本に比べ大きな割合を占めている。これは、ドイツでは協同組合の活動が活発で、再生可能エネルギーの普及に大きな影響を持っていることが理由のひとつと考えられる。

そこで本研究では、エネルギー協同組合の活動が活発な都市のひとつであるドイツのフライブルク市のエネルギー協同組合をとりあげ、再生可能エネルギー導入の取り組みについて考察する。特に、市民出資についての事例に着目し、その成立要因を明らかにすることを目的とする。

2. 研究の方法

図 1 に示すように、まず、文献、統計データ及びヒアリング調査により現状把握を行う。その上で事例となる組合に対し、詳細なヒアリング調査を行う。

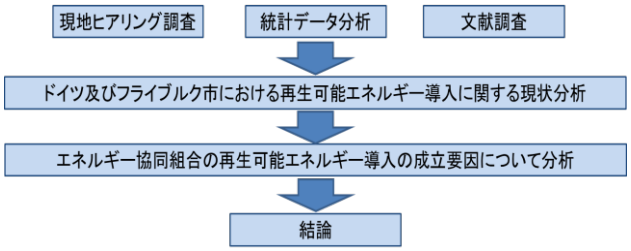


図 1 研究の流れ

3. 再生可能エネルギー及び協同組合の現状

ドイツの再生可能エネルギー設備における出資者別割合では、約 40%が個人、約 11%が農家の出資と、市民出資が全体の半分を占めている（図 2)。

一方、ドイツのエネルギー協同組合の設立数は 2011 年以降減少傾向にあるものの、年々増加している。(図 3)。また、ドイツにおける再生可能エネルギー事業を担う組織は 3 つに分類できる。市民ファンドでは出資と配当に、株式会社では多額の出資に、協同組合ではコミュニティ内の出資に重点が置かれ、ケースに応じて使い分けられている（表 1)。

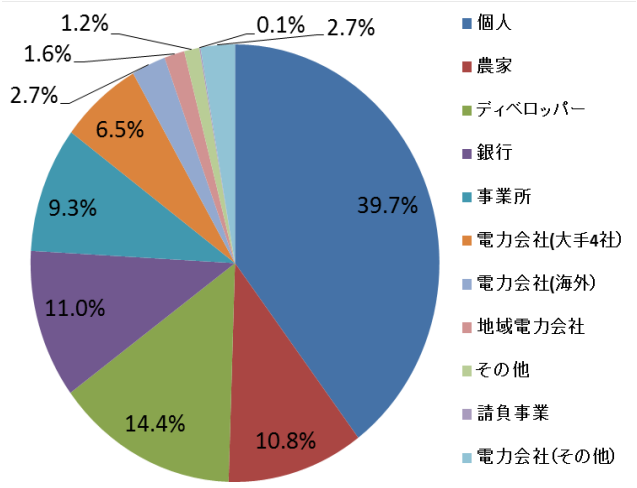


図 2 ドイツの再生可能エネルギー設備出資者割合

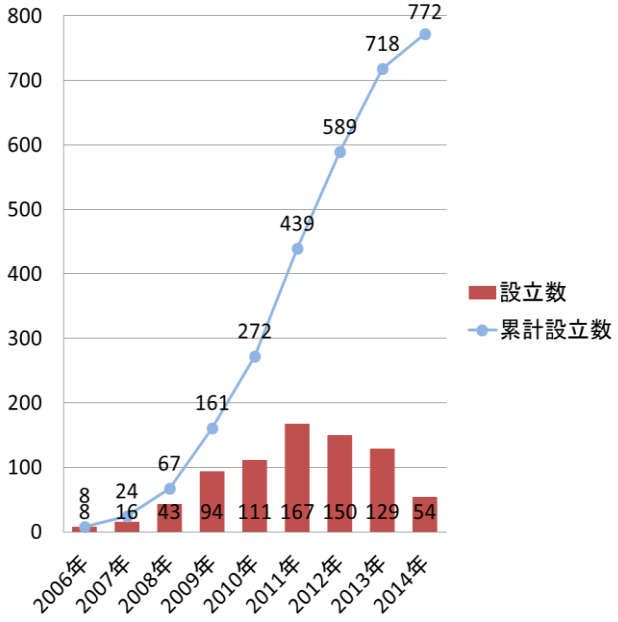


図 3 ドイツのエネルギー協同組合設立数

表 1 再生可能エネルギー事業を担う組織の分類

	協同組合	市民ファンド(有限合資会社)	株式会社
最低資本金	定款で規定できる(無しでも可)	25000ユーロ(有限会社設立に必要)	50000ユーロ
出資者	利用者が出資する場合が多い	配当や社会貢献に興味を持った市民が広く出資	大口投資家や域外の投資家が多額の出資
出資者の議決権	出資額の大きさにかかわらず原則1人1票	なし(有限会社が経営権を有する)	持ち株数に比例
特徴	再生可能エネルギー設備をコミュニティが共同で利用・管理	再生可能エネルギー設備の出資者に利益を配当	再生可能エネルギー設備の出資者に利益を配当

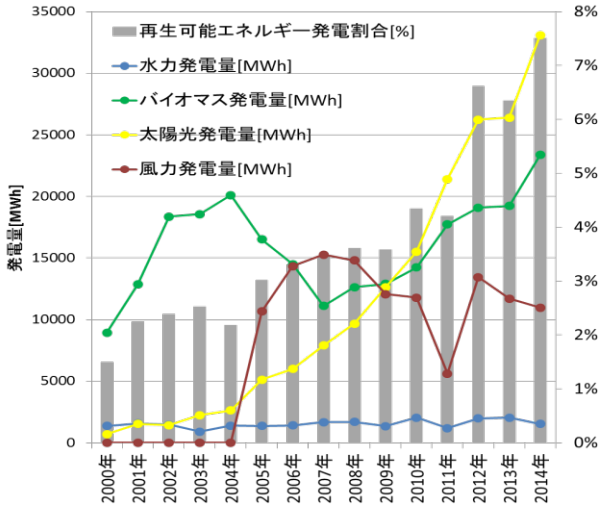


図 4 フライブルク市の再生可能エネルギー発電割合

図 4 は、フライブルク市の再生可能エネルギー発電割合を示したものである。2000 年から大幅に増加し、特に 2004 年から 2005 年にかけて風力発電量が増加している。また、2004 年以降は太陽光を中心に発電量が増加している。

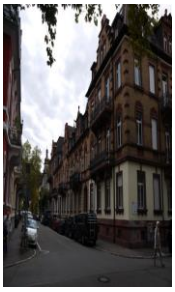
4. 協同組合の特徴と成立要因

2015 年 9 月 2 日～3 日にかけて、フライブルク市の現地調査にて、ヒアリングを行った。ゾーラーゲノ（Solar-Bürger-Genossenschaft）、エコトリノーヴァ（Ecotrinova）、ゾーラーレス・バウエン（solares bauen GmbH）のヒアリング結果について表 2 に示す。

5. まとめ

本稿では、ドイツ・フライブルク市のエネルギー協同組合をとりあげ、再生可能エネルギー導入の取り組みについて現状分析を行った。ポスターセッションにおいては、再生可能エネルギー導入の成立要因について発表する予定である。

表 2 協同組合の特徴と成立要因

ヒアリング先 / 項目		ゾーラーゲノ	エコトリノーヴァ	ゾーラーレス・バウエン
事業概要		・ソーラーパネルの建設 ・コージェネレーションを住民に貸し、設置させてもらうことなど、それらの運営	・コージェネレーションの見学ツアーの開催 ・地域の市民団体などの連絡を発信 ・設備導入計画の立案 ・現地チェックの専門家の養成研修 ・市民からの問い合わせへの対応	・太陽光発電の建設(敷地面積が約2000～3000㎡のものが多いが、最大のものは約3万㎡)
事業例		・ソーラーパネルの設置(DAV Freiburg) 	・ヴィーレ地区のコージェネレーション推進 	・ヴォーバン地区における低エネルギー住宅(クレーハウス)の建設 
設立の歴史		・目的: 全国に反原発及び反石炭発電を拡大 ・2005年創立 ・最初は決まった事務所もなく人の家で集まりを行っていた	・原子力発電所の建設反対運動を行い、当時は10万人を超す市民が非常に活発に活動をしていた	・1999年フラウンホーファー研究所内に創立 ・研究より実践が重要と考えフラウンホーファー研究所から独立 ・5人で始めた
市民出資	方法	・知り合いへの働きかけ	・市民出資のプロジェクトを行っていない	・建築グループでは、再生可能エネルギー導入の費用は建築費の一部となっている
	出資者数	・約170人		
	出資割合	・市民出資20%、銀行融資80%		
市民とのつながり		・そもそも知り合いがいるところからプロジェクトが行われている	・2006年に大学講座、土曜日大学のようなものを開催	・「建築グループ」というかたちで色々な住民が一緒になって建物を建てた。
その他のつながり		・環境保護団体、他のエネルギー協同組合、売電契約を結んでいる電力会社、自治体	・家の所有者や施工業者に対して研修やセミナーの開催	不明

参考文献

1) DGRV-DeutscherGenossenschafts-undRaiffeisenverbande.V.: “Energiegenossenschaften”,(2014),pp3-4
2) badenova AG & Co. KG:“Energie- und Wasserversorgung”, FR.ITZ die Online-Statistik der Stadt Freiburg,入手先< http://wiki.stadt.freiburg.de/webkatalog/index.php?ea=ea3&eb=eb27&ec=ec5469&selectD=1>(参照 2015-11-10)
3) 小磯明,“ドイツのエネルギー協同組合”,同時代社,東京,(2015),p.37
4) trend :research GmbH:“Genossenschaftliche Unterstützungsstrukturen für eine sozialräumliche Energiewirtschaft”,(2011),p.20

温泉バイナリー発電のライフサイクル分析

Life cycle analysis of hot spring binary power generation

○北川慧*[1)]、吉川直樹 [1)]、天野耕二 [1)]
Kei Kitagawa, Naoki Yoshikawa, Koji Amano
1) 立命館大学
* rv0027eh@ ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

我が国の地熱資源量は他国に比べ高いポテンシャルを有するが、現状として地熱発電の設備容量は低く、地熱エネルギーを有効に利用しているとは言えない [1)]。このことから、今後の利用拡大を模索しなければならない。そこで注目されているのが、比較的低温である温泉水を利用した温泉バイナリー発電である。従来の地熱発電においてはライフサイクル評価がすでにされている [2)]が、温泉バイナリー発電についての評価事例はこれまで報告されていない。そのため、環境負荷や経済性への影響が明らかになっていない。本研究では、温泉バイナリー発電の有用性を検討するためにライフサイクル評価を行い、発電機の複数設置を考慮したシナリオ分析に基づいて環境負荷量と経済性を定量的に評価する。

2. 温泉バイナリー発電の仕組み

図 1 に源泉からバイナリー発電機までに熱エネルギーを供給するプロセス及び必要な製品を示す。熱エネルギーは源泉で発生して熱交換器を介してバイナリー発電機に送られて電気エネルギーに変換される。このとき、温泉水を直接投入せず熱交換器を介する理由は、スケールと呼ばれる温泉水中の成分が析出し、輸送管を詰まらせる現象を防止するためである。バイナリー発電機に熱エネルギーを投入した後の熱エネルギーの流れを図 2 に示す。

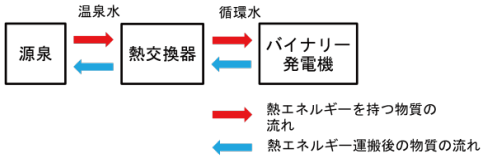


図 1 温泉バイナリー発電の仕組み

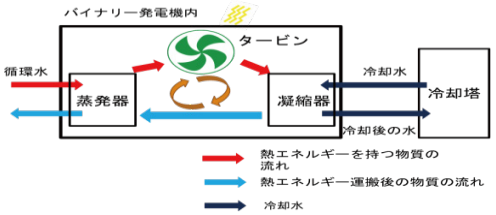


図 2 バイナリー発電機内の熱エネルギーの流れ

バイナリー発電機では蒸発器と凝縮器、そして、発電を行うスクリュータービンの 3 種類から構成されている。バイナリー発電機の発電は (1) から (4) が繰り返されて行われている。

(1) 低沸点媒体は蒸発器で導入された熱エネルギーによって蒸発する。
(2) 蒸発した低沸点媒体はスクリュータービンに導入され発電する。
(3) 発電後, 低沸点媒体は凝縮器で冷却され液体に戻る。
(4) 液体となった低沸点媒体は蒸発器に送られる。

また、凝縮器での冷却には、大量の水が必要であるため冷却塔から供給して凝縮させている。

3. 方法

3-1 研究の概要

本研究では長崎県の小浜温泉を対象地域とした。対象地域選定の理由として、源泉からの放熱量が国内で最大クラスのためである [3)]。評価対象として、発電量と二酸化炭素排出量およびコストの 3 項目を評価する。また、温泉地での発電システムを複数設置することを想定してシナリオを作成する。シナリオ作成の目的は発電機の集中的配置や分散的配置といった施設配置の違いが環境負荷やコストに与える影響を分析する。

3-2 システム境界

図 3 に本研究におけるシステム境界を示す。研究対象は源泉から発生した熱エネルギーが電気エネルギーに変化する過程とする。その過程に必要な製品として、以下の 4 項目を対象とする。

(1) バイナリー発電機本体
(2) 熱交換器
(3) 輸送管
(4) 冷却塔

それぞれの製品のプロセスフローは部材製造段階、施工段階、運用段階、廃棄段階の４段階からなる。そのうち廃棄段階は全ライフサイクルに対して寄与が小さいと予想されることから本研究では対象から除外する。

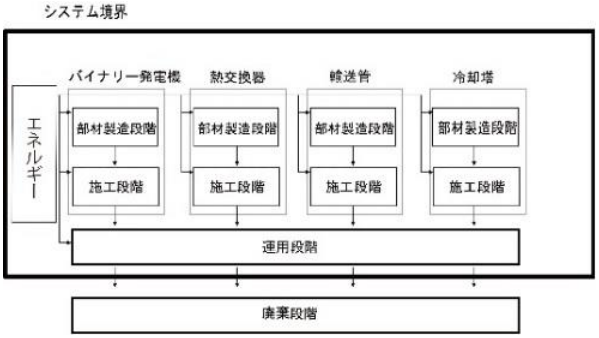


図 3 システム境界の概要

3-3 シナリオ設定

シナリオ作成は地理情報システムソフトウェア「ArcGIS」を用いる。小浜温泉に存在する源泉の位置を入力し、発電所の数、位置などの条件を設定する。作成の際には、シナリオ設定に関する前提条件をあらかじめ決定しそれに従う。シナリオ設定に関する前提条件は以下の項目である。

(1) 輸送管のルートは道路に沿う。
評価対象製品以外での土地代などによる費用の発生を避けるためである。

(2) 温泉水は源泉から最も近い発電機に投入する。
源泉と発電機を遠くした場合、熱損失とコストが増加することが明らかのためである。

(3) 発電機が海に近い場合、冷却塔を設置せず、冷却は海水を使用する。
現在小浜温泉バイナリー発電所では海水を冷却水に用いている。これは冷却塔の施工費を節約するためである。本研究では、冷却塔の施工費より海まで海水を使用する輸送管の施工費が低い場合、冷却塔を使用せず海水を冷却すると仮定する。海水を利用する場合は、海から発電機へ海水を導入する輸送管の施工を評価に加える。

3-4 発電量の算出

バイナリー発電機の発電量は投入した温泉水の温度と流量、発電機の低沸点媒体を冷やす冷却水量とその水温の 4 つの要素によって変化する [4]。本研究では、発電機稼働中は冷却水の状態は変化しないため、水量と水温は一定とする。小浜温泉事務局の報告書に記載された温泉水の水温と流量の関係から、各シナリオにおける発電量を求める。源泉からバイナリー発電機までの輸送による熱損失は源泉から熱交換器での輸送管内、熱交換器本体、熱交換器からバイナリー発電機での輸送管内の 3 過程を考慮する。それぞれの過程における流入前と後の水温の実測値から熱量の比率を算出し、その比率を用いて各シナリオの源泉からバイナリー発電機までの熱損失を求める。

3-5 二酸化炭素排出量及びコストの算出

本研究での対象製品はバイナリー発電機本体、熱交換器、輸送管、冷却器の４項目である。そのうち発電機と熱交換器、冷却器については積み上げ法または報告書 [5] に記載されている購入価格に基づいて産業連関分析法から算出する。輸送管については重量に基づいて積み上げ法で算出する。また、各製品の点検、洗浄などによって発生する人件費も考慮する。

4. おわりに

本研究では、温泉バイナリー発電を対象として発電施設の配置を考慮したライフサイクル評価を行った。研究発表会では二酸化炭素排出量、発電量、コストの算出結果について報告する。

5. 参考文献

1) Bertani R：“Geothermal power generation in the world 2005-2010 update report”,Geothermics,41,(2012),pp1-29
2) 今村栄一,長野浩二:“日本の発電技術のライフサイクル CO2 排出量評価―2009 年に得られたデータを用いた再推計―”,(2010)
3) 村岡洋文：日本エネルギー学会誌,86,pp53-160
4) 高橋和雄・松田治幸・藤澤亮・松村昌義・成川裕・足立成人:”温水仕様バイナリー発電システム”,神戸製鋼技報,63(2),(2013),p2-5
5) 株式会社エディット:”平成２４年度チャレンジ２５地域づくり事業報告書（先進的対策の実証による低炭素地域づくり集中支援事業）委託業務（小浜温泉未利用温排水による温泉発電事業化実証事業）”,(2013)

PEFC-CGS における
CO_2 排出量及び資源枯渇を考慮した統合化指標の提案

A proposal of the integrated performance indicator of residential fuel cell power system in consideration of eco-burden and resource depletion

○神野裕亮*[1)]、小井土賢二[1)]、堂脇清志[1)]
Yusuke Jinno, Kenji Koido, Kiyoshi Dowaki
1) 東京理科大学
7414615@ed.tus.ac.jp

1. はじめに

近年、CO_2 排出量削減のために、家庭用燃料電池コージェネレーションシステム(PEFC-CGS)の導入が進められている。燃料電池自体に関する国際標準化を目的とした審議が行われており、PEFC-CGS の環境面からの検討も行われるようになった。

先行研究において、PEFC-CGS では間接 CO_2 排出量と比較した場合、運転時による直接 CO_2 排出量が小さいことが判明している。また、例えば電極上の Pt 触媒の添加量といった製造プロセスでの特定の技術はシステムの動作に影響を与える要素は、CO_2 排出量のみを考えた場合に、全体での影響が小さく、LCA の結果として見えなくなってしまう。しかし、燃料電池の生産ノウハウであり、重要な要素であるため LCA 指標に組み込む必要がある。

本研究では、PEFC-CGS における CO_2 排出量と資源枯渇の影響を分析する。その上で、複数項目での統合評価が可能な包絡分析法(Data Envelopment Analysis, DEA)を用いることにより、環境負荷と生産ノウハウの観点からの指標の提案を行った。

2. 条件設定

2.1 対象システム

定格出力 1kWel の PEFC-CGS を対象とした。また、定置用燃料電池システムのデータとして、平成 19 年度みずほ情報総研による報告書を参照した。

2.2 システム境界

次に、システム境界を図 S1 に示す。CO_2 排出量では資源の採掘から素材の製造段階までと、システムの使用段階を対象とした。また、資源枯渇では資源の採掘と素材の製造を考慮した。

3. インベントリ分析

3.1 製造段階における CO_2 排出量及び資源枯渇の算出方法

本研究での LCA ソフトフェアとして MiLCA 1.1.6.0 を用いてインベントリ分析を行った。本研究での参照データは詳細でないため、MiLCA における該当する項目が多数あり結果にばらつきが生じる。ここで、結果の最大値と最小値の偏差を考慮した。また、ここでの不確実性が離散型一様分布に従うとし、モンテカルロシミュレーションを試行回数 1,000 回で行った。

3.2 使用段階における CO_2 排出量の算出方法

PEFC-CGS の使用段階の直接 CO_2 排出量を算出した。JIS C8851 の資料に基づき、対象とする家庭を定めた。電力需要と熱需要のデータに基づき、最適化のシミュレーションを行った。PEFC-CGS を導入することにより、従来ケースと比較した場合の CO_2 排出削減量が最大化となるように、以下の式に従う。

$$\max\left(\mathrm{Total\_Conv_{CO_2}} - \mathrm{Total\_PEFC_{CO_2}}\right) \quad (1)$$

従来ケースとは、電力需要においてエアー・コンディショナーを介しての暖房需要や他の家庭用電気機器などを含んでいる。暖房需要では、日本では灯油を燃料としたオイルヒーターを使用している。しかし、本研究では需要データは JIS に基づいており、暖房需要が電力に含まれているため、暖房がエアー・コンディショナーによって供給すると仮定する。PEFC-CGS の場合には、従来の電力と温水器によって同時にエネルギー需要を満たす。なお、部分負荷特性を考慮し、定格出力の 30%以下ではシステムが停止することを想定した。

3.3 シナリオ設定

以下の 3 つのシナリオを検討した。まず、1 つ目のシナリオとして、基準仕様で定めた素材重量を変化させた場合を考慮した。2 つ目のシナリオでは、白金の使用量が 1/10 まで低減したときについて考察することとした。なお、ここでの評価は、白金以外の構成素材の重量は全て基準仕様と同じであるとした。最後に、3 つ目のシナリオとして、現在の開発状況により近いケースを想定した。

3.4 DEA による統合化指標

次に、前述した方法により求めた CO_2 排出量及び資源消費の結果から、本研究では効率法を分析する手法の一つとして DEA を用いた指標の提案を行う。入力項目として間接 CO_2 排出量[kg-CO_2/unit]と資源枯渇[kg-Sb basis/unit]とし、出力項目として PEFC-CGS を導入することにより従来のケースと比較した場合の直接 CO_2 排出量削減量[kg-CO_2eq/yr]の2入力1出力を設定し、以下の式を解く。

<LP$_o$>　目的関数

$$\max\theta = u_1 y_{1o} + u_2 y_{2o} + \cdots + u_s y_{so} \quad (2)$$

制約式

$$v_1 x_{1o} + v_2 x_{2o} + \cdots + v_m x_{mo} = 1 \quad (3)$$

$$u_1 y_{1o} + u_2 y_{2o} + \cdots + u_s y_{so} \leq v_1 x_{1o} + v_2 x_{2o} + \cdots + v_m x_{mo} \ (j = 1, \cdots . n) \quad (4)$$

$$v_1, v_2, \cdots, v_m \geq 0 \quad (5)$$

$$u_1, u_2, \cdots, u_s \geq 0 \quad (6)$$

記号 o は 1,2,...,n のいずれかを指す。入力につけるウェイトを v_i(i=1,2,…,m)、出力につけるウェイトを u_r(r=1,2,…,s)とする。

<LPo>の最適解を(v*,u*)とし、目的関数値を θ*とする。このとき、θ*=1 ならば DMUo は D 効率的であるといい、θ*の最適解として得られた(v*,u*)の値は、DMUo に対する最適ウェイトを意味する。また、比率尺度の値は、次の式で表せる。

$$\theta^* = \sum_{r=1}^{s} u_r^* y_{rj} \quad (7)$$

重み u,V を決定することにより効率値 θ^*を算出することができる。効率値は、他の DMU の制約条件の中で、その DMU に最も有利になるように決定する [1)]。

4. 結果

4.1 間接 CO_2 排出量(入力項目)

上記の条件に基づいて PEFC-CGS のシナリオに基づく間接 CO_2 排出量を算出した(図 S1 参照)。最も影響度があるのは貯湯槽であるが、これは重量が大きいためである。また、基準に対する各シナリオ別削減率は、シナリオ 1 で約 16%、シナリオ 2 で約 2%、シナリオ 3 で約 17%という結果となった。

4.2 資源枯渇(入力項目)

次に、シナリオに基づく資源枯渇の結果を図 S2 に示す。資源枯渇の特性化係数は、MiLCA において CML2002model(EF 基準)手法を選択した。

図 S2 に示すように、資源枯渇においても貯湯槽の影響が最も大きい。次いで白金の影響が大きく、基準仕様において MiLCA で約 28%となった。また、CO_2 排出量の項目と比較して、資源枯渇における白金の影響は非常に大きい。重量ベースではわずかであり、影響度は注目すべき点である。また、基準に対する各シナリオ別削減率は、シナリオ 1 で約 16%、シナリオ 2 で約 29%、シナリオ 3 で約 30%という結果となった。

4.3 直接 CO_2 排出量(出力項目)

次に、PEFC-CGS の使用段階における CO_2 排出量の結果を示す。従来ケースと比較した場合の年間 CO_2 排出削減量は 3.97 t-CO_{2eq}/yr である。製品の寿命である 10 年間を想定すると、39.7 t-CO_{2eq}/LT との結果になった。また、PEFC-CGS を導入することにより従来のケースと比較した場合の直接 CO_2 排出量削減量は 0.591 t-CO_{2eq}/yr となった。

4.4 DEA による統合化指標

最後に DEA による統合化指標によるシナリオに基づく効率値を図 1 に示す。なお、出力項目の値は全てのシナリオで同一と仮定した。

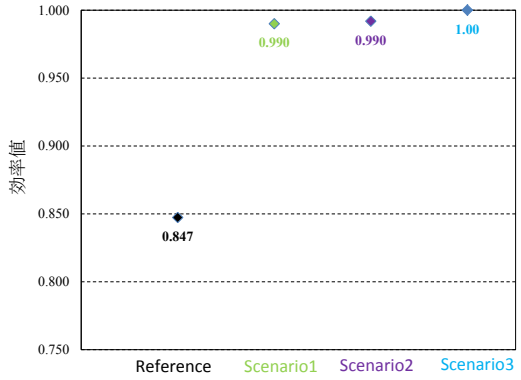


図 1　DEA による効率値

図 1 に示すように、シナリオ 3 が最も優れた製品であることを示している。また、シナリオ 2 のような Reference と総重量は変わらず白金量が大幅に減少している特色の持った製品も高く評価されている。これは資源枯渇における白金の影響が大きいためだと考えられる。

5. まとめ

本研究では DEA 法を用いた LCA 指標と生産効率を組み合わせた指標の提案を行った。多くの PEFC-CGS が導入されていく中で、システムの標準化についての議論を行わなければならない。PEFC-CGS は多くの特性を持っているため、環境負荷のみでなく、素材の影響に関連する生産効率を導くことは非常に重要である。今後、より適切な指標の作成を行う予定である。

6. 引用文献

1)　刀根薫, 経営効率性の測定と改善―包絡分析法 DEA による-, 日科技連出版社, 1993

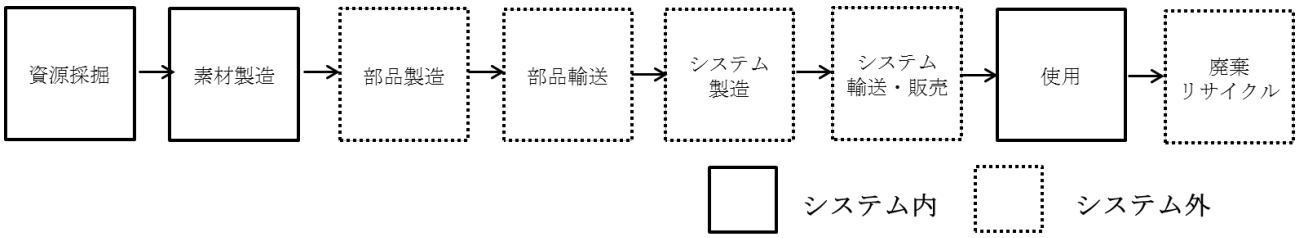


図 S1　システム境界

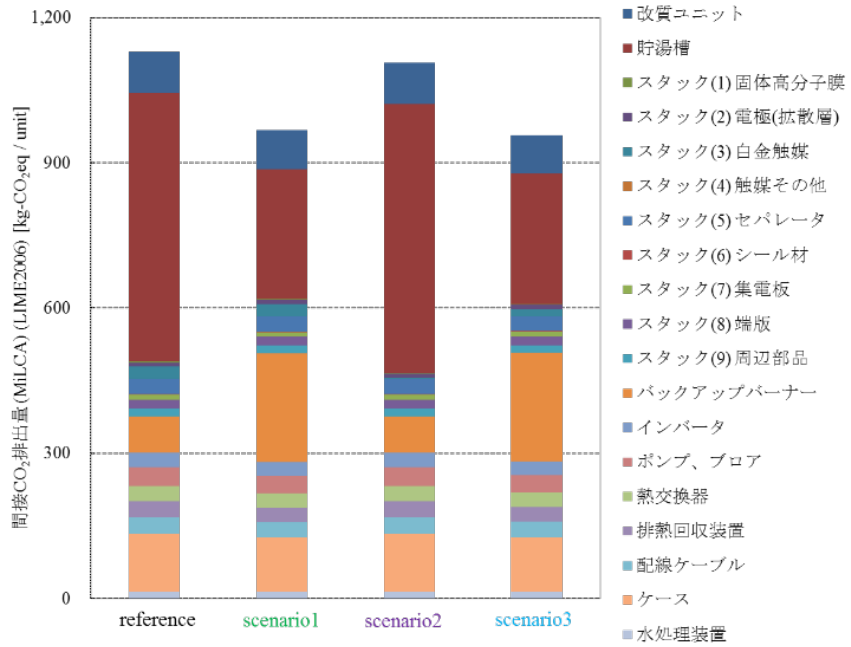


図 S2　シナリオ別の間接 CO_2 排出量

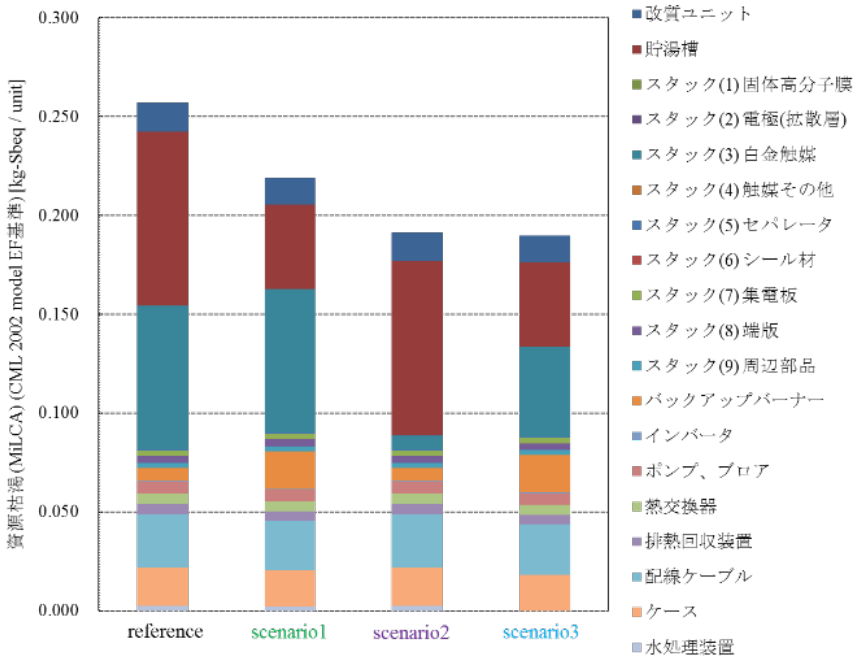


図 S3　シナリオ別の資源枯渇

宇宙太陽光発電の実現による CO_2 排出削減効果の算定

Calculation of CO_2 reductions by the space solar power generation

○南部隆寛*1)　竹内孝曜 2)　稲葉敦 1)
Takahiro Nambu,Takaaki Takeuchi,Atsushi Inaba
1）工学院大学，　2）一般社団法人 未踏科学技術協会
*a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

1. はじめに

今日、地球温暖化や化石燃料の枯渇によって再生可能エネルギーへの転換が求められている。本研究ではエネルギー問題の長期的な視点に立ち、24 時間発電可能である宇宙太陽光発電システム（Space Solar Power System：SSPS）に着目した。宇宙で稼働させるこのシステムは、実現までに解決すべき技術的課題が多くある一方で、太陽光を利用するため環境負荷の削減に大きく貢献すると考えられている。

本研究では、SSPS が実現した場合を想定し、ライフサイクルにおける CO_2 排出量、及び、システム稼働における CO_2 ペイバックタイム（回収期間）を算定し、SSPS の CO_2 排出削減効果を検証する。

2. 研究手法

宇宙における太陽光システムの CO_2 ペイバックタイム[1]は、SSPS で想定される発電電力量、日本の平均電源での CO_2 排出量（原単位）、SSPS のライフサイクルにおける CO_2 排出量を用いて算出する。

$$CO_2\text{ペイバックタイム(N)} = \frac{C}{A \times B}$$

A：太陽光発電の発電電力量［kWh / 年］
B：既存の発電での CO_2 排出量（原単位）［kg-CO_2 / kWh］
C：太陽光発電システムの CO_2 排出量［kg / CO_2］

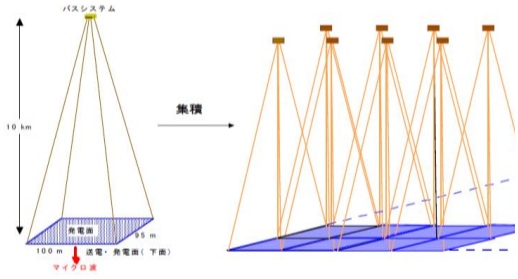


図１　マルチバステザー型 SSPS [2]

本研究では吉岡ら[3]により既に CO_2 排出量が評価されているマルチバステザー型 SSPS に着目し、算定を行う。これは、それぞれの衛星がモジュールとなっており、バスシステムと太陽電池パネルテザーによって結ばれている構造になっている。実際の運用においては 1 つのユニットが 625 個連結されて衛星全体（約 2.5km×2.5km）を構成する[3]。総重量は 26,600 t となる。

2.1　SSPS の発電電力量（A）

搭載されている電池は、変換効率 35%の高効率太陽電池であり、発電電力は、上面で 2.8GW、下面で 2.5GW ある。また、太陽電池パネルで発電した電力はバッテリーに蓄えられ、1.36GW の電力としてマイクロ波で地上に送電される。そして、地上の受電アンテナで集電され、商用電力へ変換され、地上で 1GW 発電可能なシステムとなる[3]。SSPS の発電電力量（A）は

$1\text{GW} \times 24 \times 365 = 8.76 \times 10^9 kWh/年$ である。

2.2　既存の発電での（ライフサイクルにおける）CO_2 排出量（原単位）（B）

IDEA[4]より日本の平均電源（2012 年度）における排出原単位は 0.577 kg-CO_2 / kWh を用いる。

2.3　SSPS の CO_2 排出量（C）

すでに、吉岡ら[3]によってマルチテザー型 SSPS の CO_2 負荷は算定されている。そこでは、静止軌道までの輸送を、地球から低軌道までを再使用型低軌道輸送機、低軌道から静止軌道までを軌道化間と 2 段階に分けて輸送するとしている。吉岡ら[3]によるこのシステムの CO_2 排出量を表１に示す。

表1　マルチバステザー型SSPS の CO_2 排出量（$\times 10^9$kg）（部門別）

部門	吉岡ら[3]	本研究
①　発電衛星：構造体	1.12	←
②　発電衛星：太陽電池	⑤に含む	0.656
③　地上設備	0.693	←
④　輸送機	6.59	6.55
⑤太陽電池（発電衛星と輸送機搭載分）	2.35	
合計（SSPS 全体）	10.8	9.019

本研究ではＨⅡＢロケット[5]で地球から静止軌道を輸送するものとして算定を行う。地上では吉岡ら[3]と同様に

レクテナを用いる。HⅡB ロケットで地球から静止軌道まで輸送するものとして、算定を行う。ここで、①、③に関しては、吉岡ら[3]が算定している CO_2 排出量を引用した。また、②の発電衛星の CO_2 排出量は吉岡ら[3]より、輸送機と構造体の太陽電池の重量比から発電衛星のパネル部分における CO_2 排出量を算出した。④の輸送段階においては、HⅡB ロケットを素材別に分類し、製造から排出される CO_2 の量を算出した。分類したデータを表 2 に示す。

ロケットの重量の 9 割を推進薬が占めることから、推進薬以外のロケットの構体、電子機器、慣性誘導装置についてはアルミ合金（アルミ）から製造されていると仮定した。過塩素酸アンモニウムは IDEA[4]より産業用火薬の排出原単位を代用し算出した。また、CO_2 排出量原単位には、IDEA[4]より引用し、その数値もまた表 2 に示す。

HⅡB ロケットは 1 回につき静止衛星軌道まで 8t まで輸送可能である。よって 1 機製造するのに 3325 回打ち上げを必要とする。従って CO_2 排出量は

$1.970 \times 10^6 \times 3325 = 6.55 \times 10^9 \mathrm{kg} - CO_2$ となる。

表 2　HⅡB ロケット（１機打ち上げ）の素材別 CO_2 排出量（$\times 10^6$kg）と CO_2 排出量原単位(kg-CO_2/kg)

排出量		排出量原単位
液体推進薬		
液体水素	0.189	0.13
液体酸素	0.0149	0.23
ポリブタジエン系コンポジット固体推進薬[6]		
過塩素酸アンモニウム（産業用火薬）	0.849	4.6
アルミニウム粉末	0.327	7.74
ポリブタジエン	0.177	5.69
推進薬以外の部分		
アルミ	0.414	7.74
合計	1.970	

3. 結果

以上より日本の平均電源に対する SSPS の CO_2 ペイバックタイムは 1.78 年となる。

$$CO_2\text{ペイバックタイム(N)} = \frac{9.019 \times 10^9 kg}{8.76 \times 10^9 \frac{kWh}{y} \times 0.577 \frac{kg}{kWh}}$$

$$= 1.78\text{ 年}$$

また、吉岡ら[3]が算出した CO_2 排出量は $1.08 \times 10^{10} kg$ であり、同様に算出すると 2.14 年となった。

4. まとめ

既往研究の情報をもとに輸送方法を変えてマルチバステザー型 SSPS について、CO_2 ペイバックタイムの算定を行った。マルチバステザー型 SSPS の CO_2 のペイバックタイムは約 1.8 年となった。地上の太陽光発電が 2.1～4.2 年[7]であることから、環境負荷削減への有効性は優れていることがわかる。

今後の課題は、輸送段階におけるコスト、資材、輸送能力の改善が挙げられるが、第一は輸送コストである。現在打ち上げられている輸送ロケットは使い捨てであり、また、1 機打ち上げるのに 100 億円以上の費用がかかる。

スペース・エクスプロレーション・テクノロジーズ社が開発、打ち上げ実験を行っている再使用型ロケットファルコン 9 は現時点で約 73 億円であり、打ち上げロケットの中では破格である。同社 CEO のイーロン・マスク氏によれば、打ち上げコストは現在の 100 分の 1（現在のレートで 7000 万円）まで下がり、完全再使用型の機体も実現可能だという。このように再使用型のロケットが実現すれば、コストのみならず、使用する機体材料の量は減少し、それに伴い CO_2 の排出量も削減できると考える。

5. 参考文献

1 稲葉敦　他：太陽光発電システムの導入による CO_2 排出削減効果,エネルギー・資源. 16(5). 72-77(1995)
2 財団法人無人宇宙実験システム研究開発機構, 太陽光発電利用促進技術調査（SSPS（宇宙太陽光発電システム）プロジェクト）, http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g90624b22j.pdf（参照 2015-10-5）
3 吉岡完治　他：“宇宙太陽発電衛星のある地球と将来宇宙産業と未来社会についての学際的研究”慶應義塾大学出版会,(2009),pp45-145
4 ライフサイクルインベントリ分析用データベース IDEA　ver.2,産業技術総合研究所
5 JAXA:“地上と宇宙を結ぶ輸送システム HⅡB ロケット”　（参照 2015-9-30） http://www.jaxa.jp/projects/rockets/h2b/index_j.html
6 室津義定：航空宇宙工学入門,森北出版株式会社,p97
7 環境省（参照 2015-11-5） http://www.env.go.jp/recycle/report/h25-03/02.pdf

CO_2 排出削減貢献量の算定方法の開発

Development of evaluation method of Avoided CO_2 Emissions

○山田 要、稲葉 敦*
Kaname Yamada, Atsushi Inaba
工学院大学
* a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

1. 諸言

近年、既存製品を新たな製品に置き換えた場合に、バリューチェーン全体で回避される CO_2 排出量を算定する温室効果ガス削減貢献量が注目されている。化学業界、電機・電子業界、自治体では削減貢献量の算定手法を示しており[)]、2015 年 3 月には日本 LCA 学会が削減貢献量の算定ガイドラインを発行した[1)]。しかし、具体的な算定方法はまだ確立されていない。

本研究では既往の算定事例を収集・分析し、これを基にベースラインの設定方法、寄与率の設定方法等を提案することを目的とする。

2. 既往の CO_2 排出量削減貢献量の調査と分析

本研究は下記の手順によって進めた。

①インターネットを用いて、削減貢献量の事例を検索し、報告書や企業の環境報告書、CSR レポート等から削減貢献量の事例を収集した。

②収集した削減貢献量の事例を最終製品、部品・素材、IT システム、組織全体（最終製品、部品・素材、IT システムの合算）に分類した。

③さらに詳細に分類するために、最終製品の事例は削減貢献量の算定の有無で分類し、算定されている事例に関しては、算定年度が過去、未来、不明に分類した。部品・素材の事例は寄与率が設定されている事例、部品・素材の事例ではあるが寄与率を 1.00 として計算している事例、算定されていない事例に分類した。IT システム事例は算定の有無によって分類した。組織全体の事例は製品が特定できないため詳細分類は行わなかった。

3. 結果

3.1 調査結果

事例調査の結果、合計で 61 件の削減貢献量の事例を収集することができ、内 2 件が重複していた為、その 2 件を除く 59 件を分析対象とした。

収集した事例を最終製品、部品・素材、IT システム、組織全体に分類した結果、最終製品が 28 件、部品・素材が 16 件、IT システムが 12 件、組織全体が 3 件となった。

3.2 削減効果の発揮方法

各事例の削減効果の発揮方法に着目し、事例分析を行うと、ベースラインが評価対象製品に置き換えることで消費電力量や紙の使用量などが削減される事例（直接効果）、評価対象製品を使用すると評価対象製品以外の製品やシステムの消費電力量や燃料消費量が間接的に緩和される事例（間接効果）、評価対象製品が導入されることで、従来使用されていた製品の使用頻度や消費エネルギー量などが将来的に削減することを想定して削減効果を算出する事例（みなし効果）の 3 種類の削減効果があることが分かった。

4. 算定事例

3 の調査結果を基に、プラスチック容器を導入した事例について削減貢献量を算定することを試みた。

算定で使用する原単位はカーボンフットプリント 2 次データベースを用いた[2)]。

4.1 山形のサクランボ[3)]

山形のサクランボは傷みやすく、福岡の人は飛行機でサクランボを輸送しなければ食べることが出来なかった。しかし、プラスチック容器を使用することで、トラックで福岡県まで輸送できるようになった。従って、プラスチック容器により飛行機で輸送する際に排出される CO_2 を削減することが出来るようになったという事例である。

ベースラインは、サクランボを紙で包み衝撃を緩和させて飛行機で輸送するものとした。普及量は 6~7 月の間の輸送量とした。また、1 日 1 回輸送していると想定した。

寄与率は、得られる削減効果が全てプラスチック容器のみが発揮していると考えられるため 1.00 とした。

この事例の削減効果は、プラスチック容器によりサクランボを空輸する必要が無くなった為、今までサクランボを輸送する為に使用していた飛行機が使わなくなったという「みなし効果」である。

表 1 に算定に使用したデータを示し、山形のサクランボの CO_2 排出量の算定結果を図 1 に示す。

表 1, 図 1 より、プラスチック容器を使用した際の削減貢献量を算出すると、236.5 [t-CO_2/年]となった。

4.2 草加せんべい[3)]

プラスチック容器が無い時は、毎日 1 回、少量の草加せんべいを埼玉県草加市から東京駅（片道 16.9 km）の土産店へトラックで運んでいた。しかし、プラスチック容器により、長期保存が可能となったため、3 日

表１　山形のサクランボの算定データ

	評価製品	ベースライン
年間輸送回数（回/年）	61	61
さくらんぼ年間販売量（t/年）	70.26	70.26
さくらんぼの廃棄割合	0%	10%
年間実質出荷量（t/年）	70.26	77.28
原単位（kg-CO_2/kg）	9.67E-01	9.67E-01
排出量検索名	核果果実	核果果実
山形のさくらんぼ製造段階年間CO_2排出量	6.79E+01	7.47E+01
容器の重量（g/個）	20	8
容器の年間製造個数（個/年）	3.513E+05	3.864E+05
原単位（kg-CO_2/kg）	1.49E+00	2.05E+00
排出量検索名	ポリプロピレン（PP）	さらし包装紙
プラスチック容器製造段階年間CO_2排出量	1.05E+01	6.34E+00
輸送手段	トラック	飛行機
片道距離（km）	1283	1283
輸送1回当たりのさくらんぼの重量（t/回）	1.1518	1.2669
原単位（kg-CO_2/tkm）	4.43E-01	1.58E+00
排出量検索名	1.5トン車：積載率75%	国内貨物航空輸送
輸送段階（往復）の年間CO_2排出量	2.06E+02	3.13E+02
さくらんぼの廃棄量（t/年）		7.03
廃棄場までの片道距離（km）		8.2
輸送1回当たりのさくらんぼの重量（t/回）		0.1152
原単位（kg-CO_2/tkm）		1.14E+00
排出量検索名		軽トラック：積載率75%
原単位（kg-CO_2/kg）		3.34E-02
排出量検索名		焼却処理（一般廃棄物）
さくらんぼ廃棄時の年間CO_2排出量		3.66E-01
輸送1回当たりのCO_2排出量（t-CO_2/回）	2.59	6.47
寄与率　（－）	1.00	
CO_2排出削減貢献量（t-CO_2/年）	236.49	

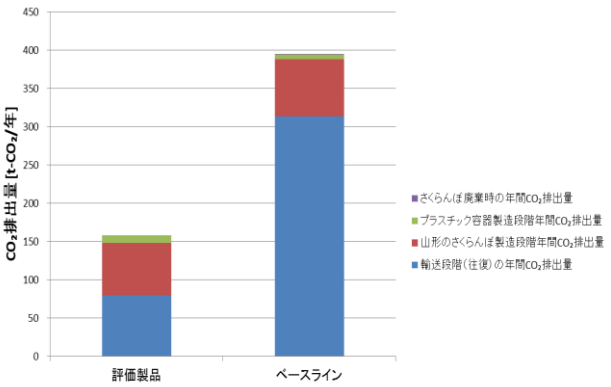


図1　山形のサクランボのCO_2排出量

間に売れる量を 1 度で輸送できるようになった。

この事例のベースラインは草加せんべいを紙箱に入れて、東京駅内の土産店で販売するものとした。

普及量はせんべいの年間製造・販売枚数とした。

寄与率は得られる削減効果はプラスチック包装材を使用することにより得られるため 1.00 とする。

この事例の削減効果は輸送回数が削減される「間接効果」である。

表 2 に算定に使用したデータを示し、草加せんべいの CO_2 排出量の算定結果を図 2 に示す。

表 2，図 2 より、プラスチック包装材を使用した際の削減貢献量は 45.08 [t-CO_2/年]となった。

5.　まとめ

本研究では、既往の事例を調査し、ベースラインの設定方法、寄与率の設定方法の検討を行った。

事例調査の結果、59 件の事例を最終製品、部品・素材、IT システム、組織全体に分類し、得られる削減効

表２　草加せんべいの算定データ

	評価製品	ベースライン
販売想定量（箱/日）	100	100
煎餅の封入想定枚数（枚/箱）	6	6
年間製造・販売枚数（枚/年）	2.19E+05	2.19E+05
年間輸送回数（回/年）	122	365
煎餅の重量（g/枚）	16	16
煎餅の年間製造重量（g/年）	3.504E+06	3.504E+06
原単位（kg-CO_2/kg）	1.59E+00	1.59E+00
排出量検索名	精米	精米
煎餅製造段階の年間CO_2排出量	5.57E+00	5.57E+00
容器の重量（g/個）	5	167
容器の年間製造個数（個/年）	36,500	36,500
原単位（kg-CO_2/kg）	1.49E+00	2.05E+00
排出量検索名	ポリプロピレン（PP）	さらし包装紙
容器製造段階の年間CO_2排出量	2.72E-01	1.25E+01
輸送手段	トラック	トラック
片道距離（km/回）	16.9	16.9
原単位（kg-CO_2/tkm）	1.14E+00	1.14E+00
排出量検索名	軽トラック：積載率75%	軽トラック：積載率75%
輸送段階（往復）の年間CO_2排出量	1.64E+01	4.93E+01
煎餅1枚当たりのCO_2排出量 t-CO_2/枚）	1.02E-04	3.08E-04
寄与率　（－）	1.00	
CO_2排出削減貢献量（t-CO_2/年）	45.08	

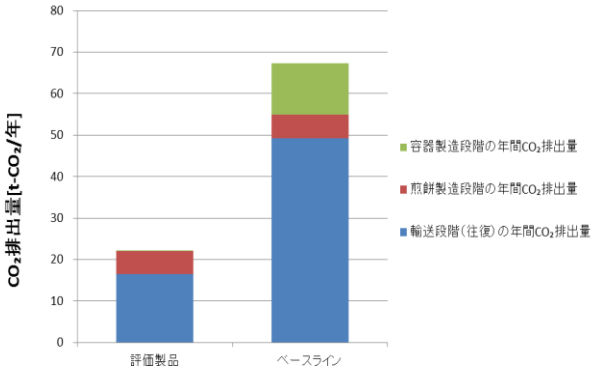


図2　草加せんべいのCO_2排出量

果を直接効果、間接効果、みなし効果の 3 種類に分類した。

さらに山形のサクランボと草加せんべいの事例の削減貢献を算定した。

山形のサクランボの事例ではトラック輸送が不可能だった際に使用していた飛行機が削減されるみなし効果であり、草加せんべいの事例はプラスチック包装容器により、トラックの輸送回数が削減される間接効果である。今後、更に多くの削減貢献量の事例を検討したい。

6.　参考文献

1)　日本 LCA 学会：“温室効果ガス削減貢献量算定ガイドライン”，入手先 <http://ilcaj.sntt.or.jp/lcahp/doc/guideline20150224.pdf>，（参照 2015-6-18）

2)　産業環境管理協会：カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム（2010）

3)　プラスチック製食品容器包装ライフサイクル評価委員会　㈱産業情報研究センター：“プラスチック製食品容器包装ライフサイクル評価報告書”，(2015)

素材の社会的価値評価のための枠組みの検討

Discussion on a framework for evaluating social value of materials

○醍醐市朗*[1)]、畑山博樹[2)]、中島謙一[3)]、山末英嗣[4)]、松八重一代[5)]、小林能直[6)]

Ichiro Daigo, Hiroki Hatayama, Kenichi Nakajima, Eiji Yamasue, Kazuyo Matsubae, Yoshinao Kobayashi

1) 東京大学, 2) 産業技術総合研究所, 3) 国立環境研究所, 4) 京都大学, 5) 東北大学, 6) 東京工業大学

* daigo@ material.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

電気事業者の発電に伴う排出量を電力消費量に応じて最終需要部門に配分した部門別排出，（発行年），pp. 頁-頁量が公表される[1)]。1 つには、その量が容易に算出可能なこともあるが、もう 1 つに消費端における消費削減の努力を促すことにあると考えられる。他にも、エネルギーの使用に伴う温室効果ガスの排出分は、Scope 2 として、他の用役や素材の消費による排出分と区別されている[2)]。

ライフサイクル的視点からは、電力と素材で、その上流工程への遡及に特に違いはない。電力やエネルギーが他と区別されている要因には、消費端において消費量を容易にコントロールできることと、その消費による便益が明確であることがあると考えられる。

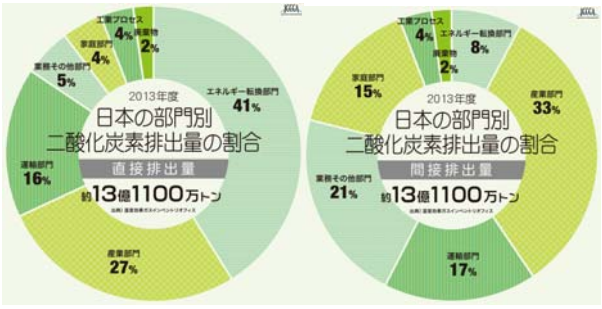


図 1　日本の部門別二酸化炭素排出量の割合（左）各部門の直接排出量、（右）各部門の間接排出量[1)]

産業部門における温室効果ガス排出量の上位 3 業種、鉄鋼業、化学工業、窯業・土石製品製造業では、ほとんど最終製品を生産しておらず、生産した素材や原料が、さらなる加工を経て、最終製品を構成する部材となる。それらの排出量は、日本全体の約 16%と大きいが、各業界における削減方策に関する議論が中心であり、消費側から削減を議論されることはあまりない。これは、直接消費する主体が加工度の高い産業であり、最終消費者ではないこともあるが、消費による便益が明確ではないことも一因ではないかと考えられる。

材料が提供する機能、素材のライフサイクルを通じた循環の仕組み、社会を支える基盤としての物質ストックの価値などの『素材の価値』は、いままで評価されてこなかった。欧州では、既に 10 年ほど前から SoVaMat（Social Value of Materials）イニシアチブ[3)]として、材料の社会的価値を議論してきている。産業構造や文化的な背景も異なることから、本邦においても、産業と環境のバランスに関する議論を次のステージへ止揚するために、材料の価値を評価する技術の確立が必要である。

そこで、本研究では、素材の社会的価値を評価する枠組みについて提案するとともに、この枠組みで価値を構成する要素を抽出することを目的とした。

2. 研究方法

2.1 素材の社会的価値の抽出

「素材の社会的価値」が指す価値を定義されたものは、見当たらなかった。そこで、素材の社会的価値に含まれる価値を抽出した。今までに例のない初めての試みであるため、網羅性は担保できないものの、列挙した。ワークショップ形式で、KJ 法を用いたブレーンストーミングを実施した。11 人で約 1 時間半、6 名で約 1 時間半、7 名と 8 名の 2 グループで約 1 時間の述べ 4 回実施した[4)]。

素材の社会的価値として、例えば、材料そのものの外観に関する価値や、材料の提供する機能に関する価値、材料を生産する工場の価値、副産物を提供する価値、生産技術に関わる価値等、幅広い価値が抽出された。

2.2 素材の社会的価値の貢献する社会

個別の参加者が意見をカードに記し、似通ったカードをいくつかのグループにまとめ、それぞれのグループに見出しをつけた。集約された見出しを、１つ１つの社会的価値の要素と考えた。

次に、社会的価値の要素をさらに大括りにするような価値の大分類を得た。それに対して、個別の要素が貢献する先の社会像を考えた。社会像としては、例えば、循環型社会、低炭素社会、個人の豊かさ、安全・安心な社会などが挙げられた。1 つの要素が複数の社会像に貢献している場合は、重複を許容した。

行項目として価値の大分類を、列項目として貢献する社会像を記したマトリックスとし、行列の各マスに個別の要素を配置した。

3. ケーススタディ：鉄鋼材／鉄鋼業

ケーススタディとして、鉄鋼材あるいは鉄鋼材を生産する産業である鉄鋼業を対象とし、鉄鋼の社会的価値を取り上げた。

述べ 4 回のブレーンストーミングにより抽出され、整理された鉄鋼の社会的価値に関する個別要素を、価値の大分類と貢献先の社会像によって整理した行列として図 1 に示した。

素材の価値として､材料特性の価値､持続性の価値、産業の価値、技術の価値、文化の価値、学問・教育の価値の 6 つの大分類が整理された。個別の要素が貢献する社会像として、循環型社会、低炭素社会、安心・安全、経済的発展、社会としての豊かさ、個人的豊かさ、イノベーション、持続可能な資源利用が挙げられた。

例えば、材料の価値の要素で、低炭素社会に寄与する要素として、長寿命、多様性などが挙げられた。他には、持続性の価値の要素で、循環型社会に寄与する要素として､リサイクル性が挙げられた｡下図中では、先述のグループの見出しのみを記したため、具体的に示す価値が分かりづらいものもあるが、それぞれの要素の後ろに参加者の個別意見がある。

なお、まだ価値項目と社会像項目の間の区別が不明確で、さらなる議論による整理が必要であると考えられる。

4. 最後に

本稿では、鉄鋼材をケースとして取りまとめた素材の社会的価値を報告した。一方で、他の素材では、ここでは挙げられなかった価値が抽出されるものと考えられる。ポスター発表時には、学会参加者からの貢献を見込んで、全ての素材を対象として、個人の考える素材の社会的価値を意見として貼付できるようなポスターを準備する予定である。

5. 引用文献

1) 全国地球温暖化防止活動推進センター“日本の部門別二酸化炭素排出量（2013 年度）”，全国地球温暖化防止活動推進センター，（オンライン），入手先 <http://www.jccca.org/chart/chart04_04.html>,（参照 2015-12-10）
2) 環境省、経済産業省：“サプライチェーンを通じた温室効果ガス排出量算定に関する基本ガイドライン”，（2014），p.I-8
3) The SOVAMAT initiative: “The SOVAMAT Initiative and the SAM network”, The SOVAMAT initiative,（オンライン），入手先 <http://www.sovamat.org/>,（参照 2015-12-10）
4) 日刊産業新聞　2015 年 9 月 25 日（金）4 面「「鉄の価値」グループ討論」

	循環型社会	低炭素社会	経済的発展	安全・安心	豊かさ（社会）	豊かさ（個人）	イノベーション	持続可能な資源利用
材料の価値	・長寿命 ・製品としての価値 ・多様性 ・材料としてのﾎﾟﾃﾝｼｬﾙ	・長寿命 ・製品としての価値 ・多様性 ・材料としてのﾎﾟﾃﾝｼｬﾙ	・製品としての価値 ・多様性 ・材料としてのﾎﾟﾃﾝｼｬﾙ	・製品としての価値 ・多様性 ・材料としてのﾎﾟﾃﾝｼｬﾙ			・多様性	・安価 ・豊富 ・長寿命 ・強度
持続性の価値	・リサイクル性 ・原料・資源供給	・廃棄物処理 ・原料・資源供給 ・電力供給	・電力供給 ・原料・資源供給 ・エネルギー資源補給機能	・原料・資源の供給（循環資源として） ・エネルギー資源補給機能				・豊富 ・長寿命
産業の価値			・地域の産業振興 ・観光資源提供 ・他産業の需要への影響		・分析技術の発展 ・地域振興 ・基盤産業 ・日本の古くからの文	・分析技術の発展 ・日本の古くからの文化	・分析技術の発展	
技術の価値		・他産業の省エネ	・他産業の省エネ		・インフラ ・技術のイノベーション ・分析技術の発展	・分析技術の発展	・分析技術の発展	
文化の価値					・地域の文化的象徴 ・日本の古くからの文化	・癒し ・日本の古くからの文化		
学問・教育の価値				・ポジティブマインドセット ・文学・アートへのインスピレーション提供	・学問創生 ・人材育成	・学問創生 ・人材育成 ・ﾎﾟｼﾞﾃｨﾌﾞﾏｲﾝﾄﾞｾｯﾄ ・文学・ｱｰﾄへのｲﾝｽﾋﾟﾚｰｼｮﾝ提供	・学問創成	

図１　鉄鋼の社会的価値に関する個別要素（価値の大分類と貢献先の社会像の行列によって整理）

世界における二次アルミニウム埋蔵量の推計

An estimate of secondary aluminum reserve in the world

○吉田友晴*[1)]、Kyaw Nyunt Maung[2)]、橋本征二[1)]
Tomoharu Yoshida, Kyaw Nyunt Maung, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学、2) 立命館大学大学院
* rv0033hi@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

アルミニウム及びアルミニウム合金は軽量かつ強度がある点が大きな特長である。耐食性、加工性、通電性、熱伝導性などにも優れており、汎用金属として幅広く利用されている。また、近年では、中国などの新興国において、技術発展や生活水準の向上に欠かせない資源として、その需要が急速に拡大している。

アルミニウムは鉄に次いで世界で 2 番目に多く消費されている金属であり、今後も輸送機械の軽量化や途上国の経済発展により増加を続けると予想される[1)]。しかし、アルミニウム新地金の生産・製錬には膨大なエネルギーを消費するため、製錬プロセスにおける技術改善や循環利用の促進が求められている。畑山ら[2)]はアルミニウムの循環利用の可能性について検討しているが、環境負荷の観点において、リサイクル促進の有意性が大きな素材の一つである。

我々の研究グループではこれまで、社会に蓄積された銅素材のうち、二次資源として利用可能なものを「二次銅埋蔵量」と称して、この量を推計する試みを行ってきている[3)4)5)]。アルミニウム素材については、畑山ら[2)]や Liu and Muller[6)]が世界各国のアルミニウム素材蓄積量を推計している。しかしながら、二次アルミニウム素材としてどれだけ循環利用可能な量が社会の中に蓄積されているのか、すなわち、二次アルミニウム埋蔵量の同定という観点からの研究は行われていない。

本研究では、主要国を対象として社会に蓄積されたアルミニウム素材の量を推計するとともに、そのリサイクルの可能性について検討し、循環利用可能な二次アルミニウムの蓄積量(二次アルミニウム埋蔵量)を推計した。

2. 方法

2.1 対象国の選定

Liu and Muller[6)]が推計を行った 19 か国を対象とした。

2.2 アルミニウム蓄積量および二次アルミニウム埋蔵量の算出方法

アルミニウム蓄積量および二次アルミニウム埋蔵量は、水上と橋本[5)]の方法を参考に以下の式で算出した。

$$S(t)=\Sigma_a\Sigma_i\{U_a(i)\cdot R_a(t-i)\}$$

$$SR(t)=S(t)\cdot r(t)$$

$$S_{pc}(t)=S(t)/P(t)$$

$$SR_{pc}(t)=SR(t)/P(t)$$

$$R_a(y)=\exp[-\{y/Y_a\}^b\cdot\{\Gamma(1+1/b)\}^b]$$

ここで、S(t)は t 年におけるアルミニウム蓄積量(t)、$U_a(i)$は i 年における製品 a としてのアルミニウム利用量(t/y)、$R_a(y)$は製品 a の y 年後の残存率(-)でワイブル関数、SR(t)は t 年における二次アルミニウム埋蔵量(t)、r(t)は t 年における二次アルミニウム埋蔵率(-)、$S_{pc}(t)$は t 年における 1 人あたりのアルミニウム蓄積量(t)、P(t)は t 年における人口(人)、$SR_{pc}(t)$は t 年における 1 人あたりの二次アルミニウム埋蔵量(t)、Y_aは製品 a の平均使用年数(年)、Γはガンマ関数、b は分布の幅を示すパラメータである。

2.3 二次アルミニウム埋蔵率の算出方法

二次アルミニウム埋蔵率 r(t)は、経済社会に蓄積されたアルミニウムのうち、経済的に回収可能な二次資源の比率であり、二次アルミニウム埋蔵量を推計するための係数である。二次埋蔵率は、二次資源として回収される老廃スクラップの量を推計される老廃スクラップの発生量で除すことで算出した。

$$r(t)=RS_{EOL}(t)/GS_{EOL}(t)$$

ここで、$RS_{EOL}(t)$は t 年における老廃スクラップの回収量(t/y)、$GS_{EOL}(t)$は t 年における老廃スクラップの発生量(t/y)である。$RS_{EOL}(t)$は以下のように算出した。

$$RS_{EOL}(t)=US(t)-RS_{PRO}(t)+S_{EX}(t)-S_{IM}(t)$$

$$US(t)=US_{HQ}(t)+US_{LQ}(t)$$

$$=\{P_{SP}(t)-C_{RA}(t)\}+\{P_{RA}(t)+D_{AO}(t)+D_S(t)-C_{AO}(t)\}$$

ここで、US(t)は t 年におけるスクラップの利用量(t/y)、$RS_{PRO}(t)$は t 年における製造プロセスで排出される加工スクラップの回収量(t/y)、$S_{EX}(t)$は t 年におけるスクラップの輸出量(t/y)、$S_{IM}(t)$は t 年におけるスクラップの輸入量(t/y)、$US_{HQ}(t)$は高品質スクラップの利用量(t/y)、$US_{LQ}(t)$は低品質スクラップの利用量(t/y)、$P_{SP}(t)$は中間製品の生産量(t/y)、$C_{RA}(t)$は製錬アルミニウムの消費量、$P_{RA}(t)$は製錬アルミニウムの生産量(t/y)、$D_{AO}(t)$はアルミナ精錬時のドロス廃棄量(t/y)、$D_S(t)$はスクラップ精錬時のドロス廃棄量(t/y)、$C_{AO}(t)$はアルミナの消費量(t/y)である。また、$GS_{EOL}(t)$は以下のように算出した。

$$GS_{EOL}(t)=\Sigma_i\{U_a(i)\cdot f_a(t-i)\}$$

$$f_a(y)=R_a(y-1)-R_a(y)$$

ここで、$f_a(y)$は製品 a の y 年後の廃棄率(-)である。

2.4　用いたデータ

各国のアルミナ生産量、製錬アルミニウム生産量、またそれぞれの輸出入量については、WBMS(World Bureau of Metal Statistics)[7]のデータを用いた。製品としてのアルミニウム利用量については中間製品消費量、製品の需要割合と歩留まりを掛け合わせて推計した。また、製造プロセスで排出される加工スクラップ量はアルミニウム製品の加工時歩留まりを用いて推計を行った。$R_a(y)$の変数である平均使用年数 Y_aや中間製品消費量、製品の需要割合、加工時歩留まりについては、Liu and Muller[6]の値を参考に設定した。

3.　結果と考察

3.1　各国のアルミニウム蓄積量の推計結果

例として日本のアルミニウム蓄積量の推計結果を図 1 に示す。土木&建築分野の蓄積量が一番多く、次いで輸送機械に多く蓄積されていると推計された。容器包装分野は社会に滞在する期間が短いので、蓄積量も少なくなった。なお、畑山ら[2]、Liu and Muller[6]は、2010 年前後のアルミニウム蓄積量を、それぞれ約 35 百万トン、約 40 百万トンと推計しており、本推計は畑山らの推計とほぼ一致する。一人当たりの蓄積量も年々増加していく結果となり、2010 年に 250kg/人と推計された。

また、日本以外の各国の推計結果については学会当日に報告する。

3.2　各国の二次アルミニウム埋蔵量の推計結果

日本の老廃スクラップ発生量を図 2 に示す。輸送機器分野での発生量が一番多いと推計された。土木&建築分野は社会に滞在する期間が長いことから、蓄積量に比較するとスクラップの発生量は少なく、逆に容器包装の発生量が多くなっている。

また、2000 年以降の埋蔵率を同図に示しているが、埋蔵率は 30～40%で推移する結果となった。この値はやや小さめの結果であると考えているが、その原因については現在検討中である。仮にこの埋蔵率を使って日本の二次アルミニウム埋蔵量を推計すると 950 万～1400 万トンとなる。この量は、日本のアルミニウム生産量 120 万トンに対して約 8～12 倍もの量であり、世界のアルミニウム生産量4500 万トンに対しても約20～30%の量に相当する結果となった。

また、日本以外の各国の推計結果については学会当日に報告する。

謝辞：本研究は、環境省環境研究総合推進費（1-1402）による成果である。ここに記して深謝する次第である。

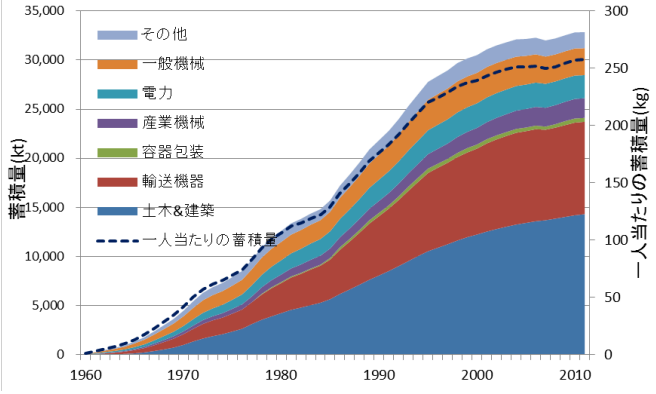


図１　日本における蓄積量の推移

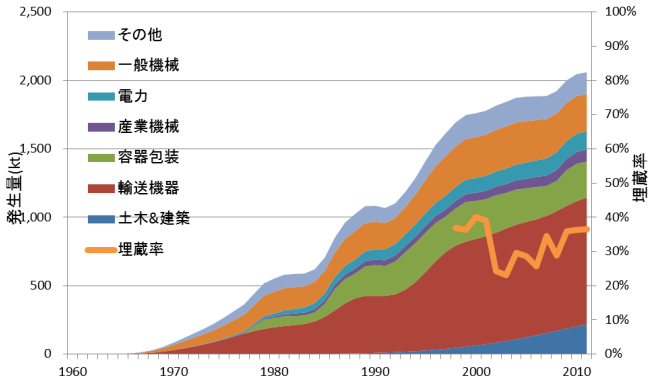


図２　日本における老廃スクラップ発生量と埋蔵率の推移

参考文献

1) 畑山博樹、醍醐市朗、松野泰也：アルミニウムの循環利用による CO_2 排出削減効果の推計、第 7 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集、pp.244-245、2012

2) 畑山博樹、醍醐市朗、松野泰也、足立芳寛：日本、米国、欧州、中国を対象としたアルミニウムの循環利用可能性の評価、日本金属学会誌、72(10)、pp.812-818、2008

3) 両角昌高、橋本征二：世界における二次銅埋蔵量の推計、第 9 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集、pp.396-397、2014

4) 水上瑞樹、橋本征二：世界における二次銅埋蔵量の推計とそのシナリオ分析、第 10 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集、pp.328-329、2015

5) Maung, K.N., M. Mizukami, T. Wang, C.M. Lwin, and S. Hashimoto: Assessment of secondary copper reserves in the anthroposphere, Abstract Book of the 8th Conference of International Society for Industrial Ecology, p.814, 2015

6) Liu, G. and D.B. Muller: Centennial evolution of aluminum in-use stocks on our aluminized planet: Environ. Sci. Technol., 47(9), pp.4882-4888, 2013

7) WBMS：World Metal Statistics、http://www.world-bureau.com/#、2015 年 7 月アクセス

グローバルな農業由来・生活排水由来リンフローのシナリオ分析

Scenario analysis of global phosphorus flows from agriculture and domestic wastewater

○村上真理*[1)]、Cherry Myo Lwin[1)]、橋本征二[1)]
Mari Murakami, Cherry Myo Lwin, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学
* rv0032pf@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

リンは生物が生きていく上で必要不可欠な元素である。人間はこれを人為的に供給し農産物を生産しているが、化学肥料に用いられるリン鉱石には枯渇の懸念がある。一方、人間の生活で使用されたリンが、最終的に水圏へ流出してしまうと、富栄養化等の環境問題を引き起こす。先進国・発展途上国に関わらず、リンは世界中の国々で消費されている資源であり、その適正な管理のためには、水圏へのリンフローをグローバルに推計し、将来のシナリオについて検討しておくことが重要である。また、水圏へ流出するリンを回収することができれば、リン鉱石の消費量を削減できることから、こうした観点でも水圏へのリンフローを検討する意義がある。

本研究では、データが比較的入手できる世界 27 ヶ国・地域を対象として、今後の人口や農地・畜産需要に関するシナリオ[1)2)]をもとに、農業由来および生活排水由来のリンフローを推計し、適切な施肥や下水道の整備等による水圏へのリンフローの削減可能性や、下水道におけるリン資源の回収可能性について検討を行った。

2. 方法

本研究では、化学肥料等に含まれるリンが水圏へ流出するフローを推計の対象とした(図 1)。リン鉱石の採掘や化学工業での使用等のプロセス、図 1 において破線で示すルートについては考慮しないものとした。水圏へのリンフローを農業由来、生活排水由来の 2 つに分け、既存研究[3)]で用いられた計算式を参考に、以下の通り算出した。

①農業由来：農業由来については、肥料由来の水圏へのリンフロー(PF_f)と家畜糞尿由来の水圏へのリンフロー(PF_m)に分け、それぞれ以下の通り算出した。

$$PF_f = (\sum_i (P_{CROPi} \times HA_i) + P_{ls} \times R_{ls} + P_e \times R_e) \times R$$

$$PF_m = \sum_i (N_i \times P_{ANIMALi}) \times (1 - R_{ls}) \times R$$

ここで、P_{CROPi}：作物iの単位収穫面積当たりに施用されるリンの量[t/ha]、HA_i：作物iの収穫面積 [ha]、P_{ls}：家畜糞尿中のリン量[t]、R_{ls}：家畜糞尿中リンの農地還元率[-]、P_e：排泄物中のリン量[t]、R_e：排泄物中リンの農地還元率[-]、R：農地(土壌)から水圏へのリン流出率[-]、N_i：家畜iの頭数[頭(羽)]、$P_{ANIMALi}$：家畜i一頭(羽)あたりの糞尿中のリン量[t/頭(羽)]である。

②生活排水由来：生活排水由来については、排泄物由来の水圏へのリンフロー(PF_e)と雑排水由来の水圏へのリンフロー(PF_g)に分け、さらに、下水道もしくは尿貯槽が存在する場合(PF_{e1}、PF_{g1})と存在しない場合(PF_{e2}、PF_{g2})とに分けて以下の通り算出した。

$$PF_{e1} = P_e \times SC \times (1 - PR)$$

$$PF_{e2} = P_e \times (1 - R_e) \times (1 - SC)$$

$$P_e = POP \times P_{PERSON}$$

$$PF_{g1} = P_g \times SC \times (1 - PR)$$

$$PF_{g2} = P_g \times (1 - SC)$$

$$P_g = POP \times P_{GRAY}$$

ここで、SC：下水道普及率[-]、PR：下水道におけるリン除去率[-]、POP：人口[人]、P_{PERSON}：一人あたりの排泄物中のリン量[t/人]、P_g：雑排水中のリン量[t]、P_{GRAY}：一人あたりの雑排水中のリン量[t/人]である。

③水圏へのリンフロー：農業由来、生活排水由来それぞれのリン負荷を足し合わせることで、各対象27ヶ国の水圏へのリンフロー(PF)を算出した。

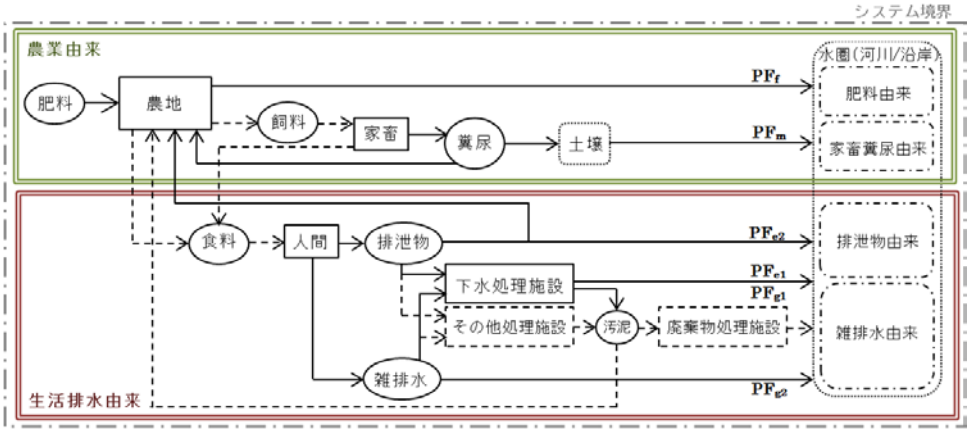


図1 肥料使用から水圏までのリンフロー

$$PF = PF_f + PF_m + PF_e + PF_g$$

なお、将来の人口や農地・畜産需要については、今後最も農地拡大が見込まれ、拡大農地を現在の作物収穫面積に応じて各国に配分するシナリオ[1)2)]を用いた。

3. 結果と考察

3.1 農業由来のリンフローの推計結果

今回対象としている 27 の国と地域は、2010 年時における世界のリン酸肥料使用量の 90%以上を占めており[4)]、農業由来の水圏へのリンフローを議論するに十分と考えられる。農業由来の推計結果(図 2)を見ると、農地・畜産需要の増加に伴って全体的に増加傾向が見られ、ブラジル、中国、インド、米国のシェアが大きく推計された。また、どの国においても家畜糞尿由来より肥料由来の方が大きくなっており、農業(農作物輸出)が盛んに行われている国(ブラジルや米国等)で大きな値となっている。計算に使用した変数である R_{ls} と R については、中国、日本、EU に関しては各国をケーススタディーとした既存研究[5)6)7)]より値を得たが、その他の国に関してはグローバルな値[8)]を用いて計算を行った。このため、国によっては過大・過小推計となっている可能性がある。

3.2 生活排水由来のリンフローの推計結果

SC が低い場合・高い場合[9)]の生活排水由来の推計結果を図 3、図 4 に示す。人口増加が大きいシナリオを用いているため、どちらにおいてもリンフローは増加傾向となった。しかし、*SC* が高いシナリオは低いシナリオに比べてリンフローが約 11～17%少なくなっており、下水道整備によるリンフローの軽減効果として見ることができる。また、2010 年時の生活排水に含まれるリンを下水処理施設で除去した時の対象国・地域合計リン量は、*SC* が高いシナリオにおいて約 60 万トンと推計され、これを同年のリン酸肥料として全て使用できると考えると、対象国・地域全体で肥料の使用量を約 2%抑えることができる。

謝辞：本研究は、環境省環境研究総合推進費（S-11-2）による成果である。ここに記して感謝する次第である。

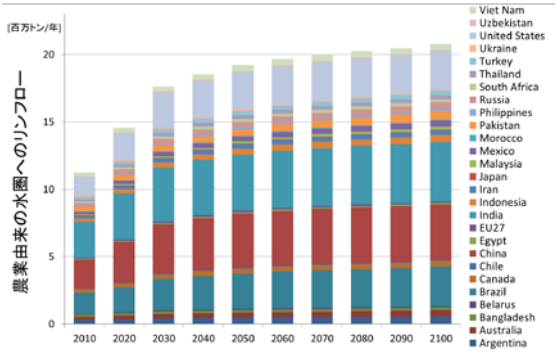


図 2　農業由来の水圏へのリンフロー

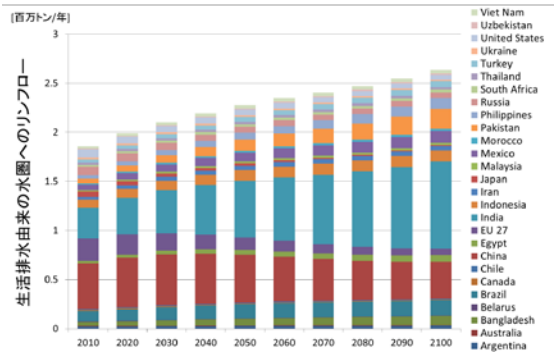


図 3　生活排水由来の水圏へのリンフロー
（下水道普及率が低いシナリオ）

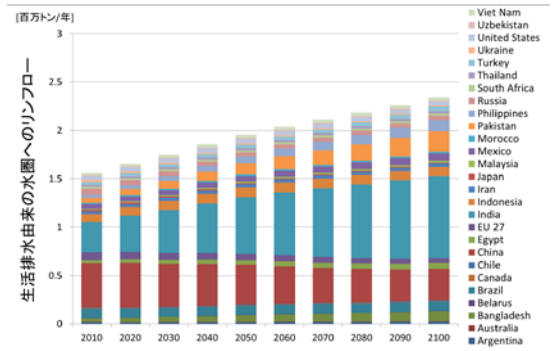


図 4　生活排水由来の水圏へのリンフロー
（下水道普及率が高いシナリオ）

参考文献

1) IIASA：GGI Scenario Database Version 1.0, https://secure.iiasa.ac.at/web-apps/ene/SspDb/dsd?Action=htmlpage&page=countries, 2015 年 11 月アクセス
2) 田村賢人、橋本征二：Planetary boundaries の整合性～土地利用の変化と生物多様性の減少について、第 11 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集、投稿中、2015
3) 宮内雄飛、松八重一代、橋本征二：水圏へのリンフローのシナリオ分析、第 9 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集、pp.104-105、2014
4) FAO：FAOSTAT, http://faostat3.fao.org/home/E, 2016 年 1 月アクセス
5) Ma, D., S. Hu, D. Chen, Y. Li: The temporal evolution of anthropogenic phosphorus consumption in China and its environmental implications, Journal of Industrial Ecology, 17(4), pp.566-577, 2013
6) Matsubae-Yokoyama, K., H. Kubo, K. Nakajima, T. Nagasaka：A material flow analysis of phosphorus in Japan, Journal of Industrial Ecology, 13(5), pp.687-705, 2009
7) van Dijk, K.C., J. P. Lesschen, O. Oenema: Phosphorus flows and balances of the European Union Member States, Science of the Total Environment, 542, pp.1078-1093, 2016
8) Cordell, D., J.-O. Drangert, S. White：The story of phosphorus: Global food security and food for thought, Global Environmental Change, 19, pp.292-305, 2009
9) C. M. Lwin, K. N. Maung , S. Hashimoto: Future sewage sludge generation and sewer pipeline extension in economically developing ASEAN countries, J Mater Cycles Waste Manag, 17, pp.290-302, 2015

一般廃棄物のリサイクル率の再定義：滋賀県のケーススタディー

Re-defining recycling rate of general waste: a case study of Shiga prefecture

○長野朝子*[1)]、橋本征二 [1)]
Asako Nagano, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学
* rv0030xs@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

循環型社会の形成に向けて、3R(リデュース、リユース、リサイクル)の取り組みが進められている。このうち一般廃棄物のリサイクルに関しては、毎年環境省が「一般廃棄物処理実態調査」[1)]を行っており、各自治体のリサイクルの状況がリサイクル率として示され、関連する様々な政策に活用されている。

2000 年以降、リサイクル率は上昇してきたが、近年全国のリサイクル率は横ばいとなっており、減少が観察される自治体もある。この理由の一つとして、店頭回収などの民間企業による資源化量の増加の影響が考えられる。リサイクルできるものが自治体の回収システムで回収されなくなれば、そのリサイクル率は減少していくことになるが、循環型社会に向けて適切な対策を推進していくためには、現実を正確に把握することが重要である。

本研究では、①都道府県におけるリサイクル率増減の要因を分析するとともに、②民間企業による一般廃棄物の資源化量を考慮した真のリサイクル率を定義し、③滋賀県を対象として、真のリサイクル率を推計した。

2. 方法

2.1 リサイクル率増減の要因分析

リサイクル率が上昇ないしは減少している都道府県を対象に、一人当たりのごみ排出量や資源化量、資源化物ごとの資源化量の増減等の情報をもとに、都道府県のリサイクル率の増減の理由を分析した。

2.2 真のリサイクル率の定義

民間企業による資源化量を考慮した真のリサイクル率を下記のように定義した。

$$A = B / C * 100$$

ここで、A は真のリサイクル率(%)、B は自治体による資源化量(直接資源化量+中間処理後再生利用量+集団回収量)+民間企業による資源化量(t/年)、C は自治体によるごみ処理量+集団回収量+民間企業による資源化量(t/年)である。

文献 [2)3)]を参考に、一般廃棄物の資源化ルートを整理したものが表 1 である。本研究では、民間企業による資源化ルートのうち、小売業者による店頭回収および古紙回収業者による古紙回収を対象として、以下に示す方法でその資源化量を推計した。

表 1　一般廃棄物の資源化ルート

種類	資源化ルート		状況
家庭系	行政	市町村による回収	把握
		自治会等による集団回収	把握
	民間	小売業者による店頭回収(紙パック、食品トレイ、PET ボトル、缶、瓶等)	未把握
		再資源化業者による回収(古紙、家電製品等)	未把握
		資源ごみの抜き取り	未把握
事業系	行政	市町村による回収	把握
	民間	再資源化業者による回収(古紙、PET ボトル、缶、瓶、食品廃棄物等)	未把握

2.3 民間企業による資源化量の推計方法

2.3.1 小売業者による店頭回収

県内の小売業者のうち、「滋賀県におけるレジ袋削減の取り組みに関する協定」を締結している事業者 [4)]を対象に、品目別店頭回収量の推計を行った。滋賀県が県内の 4 社について店頭回収量を調査した結果 [5)]を用いて、売場面積当たりの品目別店頭回収量を算出し、これに 4 社以外の事業者の売場面積を乗じて拡大推計を行った。古紙については店頭回収を実施している事業者が 4 社のうち 1 社であったことから、拡大推計は行わなかった。

2.3.2 古紙回収業者による古紙回収

古紙回収業者により回収される古紙には、家庭系の古紙と事業系の古紙があるが、本研究では、新聞およびその折り込み広告と雑誌類を対象に、その回収量 D(t/年)を、下式により推計した。

$$D = (E + F) * G - H - I$$

$$E = J * K * 12 / 1000$$

$$F = (L * N) / (M * O) * P * Q / 1000000$$

ここで、E は新聞および折り込み広告の排出量(t/年)、F は雑誌類の排出量(t/年)、G は全国の平均的な古紙回収率(-)[6)]、H は店頭回収による回収量(t/年)、I は行政による回収量(t/年)[1)]、J は滋賀県における日刊紙の発行部数(-)[7)]、K は一般的な家庭から排出される新聞及び広告の排出量(kg/月)[3)]、L は滋賀県内 1 世帯当たりの雑誌・週刊誌の月間購入額(円/月)[8)]、M は全国の 1 世帯当たりの雑誌・週刊誌の月間購入額(円/月)[8)]、N は滋賀県の総世帯数(-)[9)]、O

は全国の総世帯数(-)[9]、P は全国の雑誌出版部数(1/年)[10]、Q は雑誌 1 冊当たりの平均重量(g)[10]である。

3. 結果と考察

3.1 リサイクル率増減の理由の分析結果

リサイクル率が上昇している都道府県には、北海道、茨城県、京都府、大阪府、岡山県、沖縄県等があった。このうち、北海道については、生ごみの資源化量の増加や、ごみ処理の有料化によるごみ排出量の減少が要因として考えられた。一方で、リサイクル率が低下している都道府県には、奈良県、広島県、高知県等があり、紙類の回収量減少が観察された。紙類の回収量減少の背景には、民間企業による回収の促進のほか、新聞や雑誌の電子化が考えられるが、重量の大きな紙類はリサイクル率に与える影響が大きいことから、民間企業による回収量の推計においても留意を要する。

3.2 民間企業による資源化量の推計結果

3.2.1 小売業者による店頭回収量の推計結果

推計結果を図 1 に示す。回収量は増加傾向にあり、重量では古紙の回収量が多くなっている。行政による資源化量の総量は近年 87,000(t)前後であり、2014 年の店頭回収量の総量はその 16(%)程度に相当する結果となった。

3.2.2 古紙回収業者による古紙回収量の推計結果

推計結果を図 2 に示す。新聞・雑誌古紙の発生量が横ばいの中で、行政による回収量が年々減少しており、その分民間企業による古紙回収量は増加の傾向にあると推計された。図 1 で見たように 2009 年頃から店頭回収による回収量が増加しており、古紙回収業者による回収量もそこから減少傾向と推計された。

3.3 真のリサイクル率の推計結果

現在上記の推計内容を検証中であり、また、表 1 に示すその他の資源化ルートについても検討中である。真のリサイクル率の推計結果については学会当日に報告する。

謝辞：本研究を進めるにあたり、滋賀県庁や県内スーパーの関係者に多大なるご協力をいただいた。ここに記して深謝する次第である。

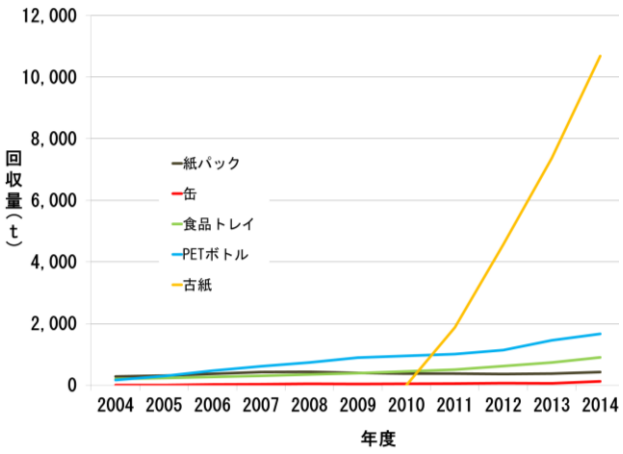


図 1　品目別店頭回収量の推計結果

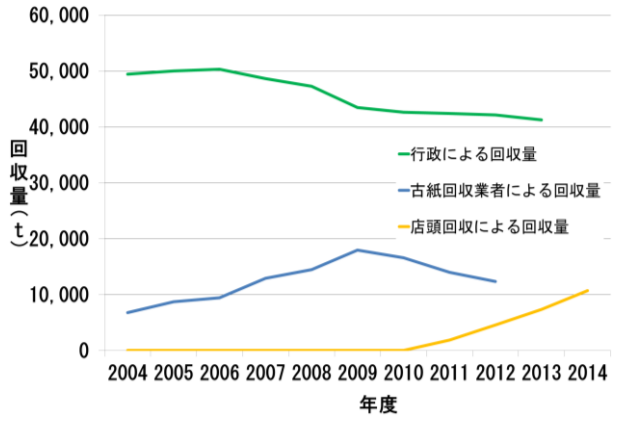


図 2　古紙回収量の推計結果

参考文献

1) 環境省：一般廃棄物処理実態調査結果、http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/、2015 年 7 月アクセス
2) 三重県：第 25 回ごみゼロプラン推進委員会、資料 6 民間における資源回収量の把握について、http://www.eco.pref.mie.lg.jp/gomizero/03/doc/25siryou6.pdf、2015 年 7 月アクセス
3) 大阪府：第2回大阪府環境審議会廃棄物処理計画部会、参考資料 1 リサイクルの全体像、http://www.pref.osaka.lg.jp/attach/5078/00098548/2-s1.pdf、2015 年 7 月アクセス
4) 滋賀県：滋賀県におけるレジ袋削減の取組に関する協定の締結、協定締結事業者店舗一覧、http://www.pref.shiga.lg.jp/d/haikibutsu/gomizero/kaimono/rejifukuro-top/files/tennpoichiran10gatu.pdf、2015 年 7 月アクセス
5) 滋賀県：第 1 回滋賀県環境審議会廃棄物部会、参考資料 2 県内大手スーパーにおける店頭回収の状況、http://www.pref.shiga.lg.jp/shingikai/kankyo/haiki/files/20150602sankoushiryou.pdf、2015 年 7 月アクセス
6) 古紙再生促進センター：古紙回収率推移、http://www.prpc.or.jp/menu05/linkfile/kaisyuritu.pdf、2015 年 10 月アクセス
7) 日本新聞協会：日本新聞年鑑、日本新聞協会
8) 総務省統計局：全国消費実態調査、http://www.stat.go.jp/data/zensho/2014/index2.htm#kekka、2016 月 1 月アクセス
9) 総務省統計局：住民基本台帳に基づく人口、人口動態及び世帯数調査、https://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL08020101.do?_toGL08020101_&tstatCode=000001039591 、2016 年 1 月アクセス
10) 全国出版協会：出版指標年報、全国出版協会

年齢階級・生活様式を考慮した住民のごみ分別実施状況に関する考察

Discussion on plastic packaging waste segregation behavior
taking into account inhabitants' age-group and life style

○田畑 智博*[1)]、宮本 一毅[1)]、蔡 佩宜[1)]
Tomohiro Tabata, Kazuki Miyamoto, Tsai Peii
1) 神戸大学
* tabata@people.kobe-u.ac.jp

1. はじめに

わが国の高齢化率は緩やかに上昇を続けており、2014 年の 26.0%から、2060 年には 39.9%まで増加すると予想されている[1)]。この問題は自治体のまちづくりや行政サービスの面にも広く影響を及ぼす可能性がある。その一つがごみ処理施策である。高齢者は、認知機能や体力の衰えにより、煩雑なごみ分別などの日常行動が十分に行えないケースが指摘されている。神戸大学[2)]が、神戸市灘区鶴甲地区で 2013～2014 年にかけて実施した悉皆調査では、60 歳以上回答者(約 1,100 人)の約 6.3%がごみ出しや分別に困難があると答えている。図 1 は、5 歳年齢階級別に、ごみの分別やごみ出しができるかをたずねた結果である。75 歳以降、分別ができないと回答した住民の割合が急激に増えている。また、高齢化が進んでいる地域では、ごみの分別ルールを守られていないごみ出しが増加することが分かっている[3)]。

今後、さらに高齢化が進むと、分別できていないごみ出しが増加する可能性がある。これが引き金となることで、自治体が行政サービスとして行っているごみ処理施策を、将来、現行の状態で続けることが難しくなる可能性がある。なぜならば、住民関与によるごみの分別や洗浄などのごみ分別行動は、自治体が行っているごみ処理の出発点となっているためである。住民は、自治体による分別指示のもと、いわゆる「ボランティア」となって分別を行っている。これがわが国のごみ処理やリサイクルの仕組みを支えている。しかし、高齢者人口の増加により、ごみ分別が十分にできない住民が多くなり、住民の分別に依存した自治体のごみ処理施策を大きく変更せざるおえない可能性がある。

本研究では、高齢者の高齢化率の増加とごみ分別行動の変化がごみ処理施策に及ぼす環境的・経済的影響を分析すること、超高齢化社会に相応しい自治体のごみ処理施策のあり方を提案することを研究の目的とする。本稿ではその前段階として、容器包装プラスチック(以下、容リプラ)の分別割合に着目し、年齢階級や生活様式(一般世帯と単身世帯など)の観点から、若年層から高年層までのごみ分別度合いの違いを考察する。これを踏まえ、高齢世帯のごみ分別やごみ出し行動を分析するための足がかりとする。

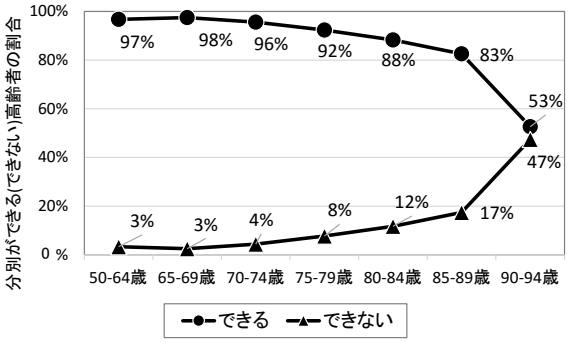


図 1 ごみの分別ができる/できない回答者の割合（神戸市灘区鶴甲地区での調査）[2)]

2. 研究の方法

2.1 アンケート調査

研究の対象地域は神戸市とし、容リプラの分別に関する Web アンケート調査を行った。質問は、デモグラフィック属性(性別、世帯数、年収など)と本質問である。本質問では、容リプラの種類別での資源ごみへの分別度合い(5 段階)と洗浄度合い(4 段階)、ごみ分別・ごみ出しを行う主体(本人、その他家族、ボランティアなど)である。容リプラは、環境省[4)]に基づき、14 種類(表 1)に分類した。回収サンプル数は 1,304 である。調査対象者の年齢は 20~69 歳であり、神戸市の年齢階級別の人口・性別の構成を考慮して実施した。調査期間は 2015 年 11 月 16 日～同年 11 月 24 日である。

2.2 容リプラの分別割合の計算

資源ごみへの分別度合いに関する質問では、容リプラの種類別に、燃えるごみではなく資源ごみに入れているかどうかを、5 段階(表 1)でたずねた。回答結果について、「いつも入れている」場合は 100%分別、「全く入れない」の場合は 0%分別(即ち、燃えるごみに入れる)とし、その間の回答を 25%刻みで増減させた。これに、環境省[4)]の容リプラ種類別の組成割合の数値を乗じ、容リプラ種類別のごみ分別割合を算出した。

3. 結果と考察

表 1 に、容リプラ種類別での資源ごみへの分別度合いの結果を示す。ここでは、回答結果を尺度得点として 1~5 点に変換し、平均点を算出した。得点が高いほど、資源ごみに分別する割合が高い。結果として、「パック・カップ・弁当容器」が最も分別割合が高くなった一方で、「販売店の袋・包装」や「複合アルミ箔」の分別割合が低かった。この理由として、汚れが多く洗浄が面倒であること、そもそも容リプラとして認識されていないことが挙げられる。

図 2 に、10 歳年齢階級別のごみ分別割合の結果を示す。ごみ分別割合は 20~29 歳が最も低く、年齢階級が高いほど増加することがわかる。特に 60~69 歳階級で最も大きい理由は、仕事を退職して時間に余裕ができ、且つ、環境問題への意識の高まりから、ごみ分別に積極的に取り組んでいるためと推測される。世帯数によるごみ分別割合をみたところ、一般世帯の方が単身世帯よりも若干割合が大きかった。

図 3 に、弁当などの容器の洗浄度合いの結果を示す。容リプラは品質基準を満たすために汚れが付着しないように洗浄することが求められる。本調査では、高齢者に関するデータは 65~69 歳のみしか得られていないが、「日用品のプラスチックボトル」などは、「ざっと洗い流す+全ての汚れを洗い流す」の度数は全年齢階級中で最も高かった。一方、「弁当などの容器」について、65~69 歳の回答者は「全ての汚れを洗い流す」の度数が最も高かったが、「可燃ごみに入れる」の度数も他の年齢階級と同様の値を示していた。このことから、分別に積極的な高齢者がいる一方で、汚れが落としにくいごみは洗浄を諦める高齢者も一定数いる傾向が伺えた。

4. おわりに

本稿の結果は途中経過であり、当日の発表では様々な結果を提示する。また、今後は、70 歳以上の高齢者についても今回同様の調査を行うことで、69 歳までの回答者との結果の比較を行う予定である。

謝辞

本研究の一部は、環境研究総合推進費(3K143015)、三井住友海上福祉財団の助成を受けて実施した。ここに記して謝意を表す。

引用文献

1) 内閣府: 高齢社会白書, 日経印刷 (2015)
2) 神戸大学: 鶴甲いきいきまちづくりプロジェクト～アクティブエイジングを目指して～アクティブ･エイジングプロジェクト縦断調査報告書～大学による介入プログラムの効果～ (2015)

表 1 容リプラ種類別の回答結果

容リプラの種類	組成割合[4]	容リプラを資源ごみに分別するか*
○パック･カップ･弁当容器	34%	*3.75*
(1) プリン、ヨーグルト、アイス等のカップ		3.82
(2) 弁当、豆腐、納豆、マーガリン等の容器		3.58
(3) 卵、果物等のパック		4.14
(4) ハム、ソーセージ、レトルト食品等のパック		3.46
○商品の袋･包装(アルミなし)	27%	*3.70*
(5) 菓子、カップ麺等の外装フィルム		3.68
(6) 衣料品、日用品、詰め替え用洗剤等の袋		3.54
(7) ペットボトルのラベル		3.89
○PET以外のプラスチックボトル	17%	*3.62*
(8) 食用油、ソース、ドレッシング、乳酸飲料等食品のボトル		3.53
(9) 洗剤、漂白剤、シャンプー、リンス、カー用品、薬、化粧品等日用品のボトル		3.72
○販売店のレジ袋	9%	*3.29*
(10) レジ袋		3.29
○複合アルミ箔	8%	*2.72*
(11) チョコレート、ガム、アイス、バター、レトルト食品等食品の銀色部分		2.68
(12) 石鹸、洗剤、シャンプー等日用品の銀色部分		2.76
○販売店の袋･包装	5%	*3.20*
(13) 生鮮食品、弁当等を包んでいるラップ		2.98
(14) パン、菓子、野菜等の袋		3.43

*: いつも入れる(5点、100%)、殆ど入れる(4点、75%)、たまに入れる(3点、50%)、殆ど入れない(2点、25%)、全く入れない(1点、0%)。斜線の数字は、大分類ごとの平均得点。

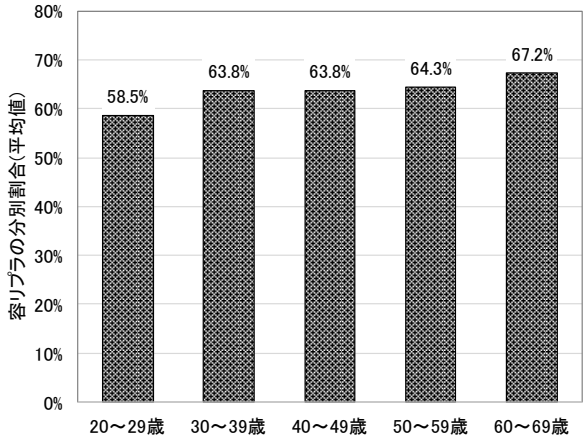


図 2 容リプラの分別割合(10 歳年齢階級別)

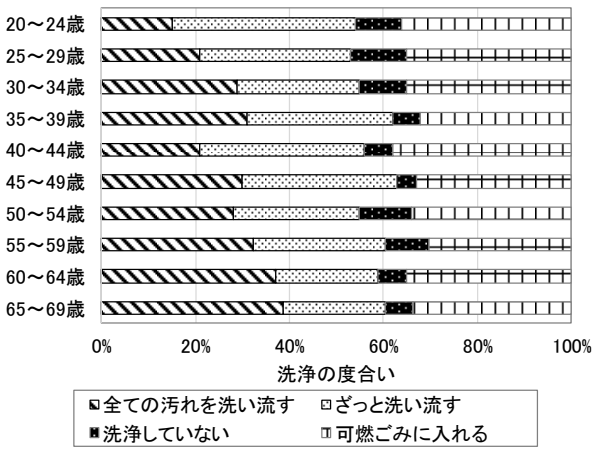


図 3 弁当などの容器の洗浄度合い(5 歳年齢階級別)

3) 宮前典子: 静岡県沼津市におけるプラスチックごみ警告数と高齢化率の関係について, 静岡県立大学短期大学部研究紀要 (2010), Vol.24, pp.27-34
4) 環境省: 容器包装廃棄物の使用・排出実態調査, http://www.env.go.jp/recycle/yoki/c_2_research/, (参照 2016-01-03)

大学におけるごみの分別率向上に向けたごみ箱デザインの検討

An examination of trash can design to improve separation rate of trashes in a university

○佐々木雄哉*[1)]、橋本征二[1)]
Yuya Sasaki, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学
* rv0028rx@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

廃棄物の処理及び清掃に関する法律によると、事業者は、その事業活動に伴って生じた廃棄物を自らの責任において適正に処理しなければならないとされている。このため事業所では、ごみの分別に取り組む必要があり、近年、分別の種類も細分化される傾向にある。

大学も事業所のひとつであり、廃棄物の排出者として事業系一般廃棄物や産業廃棄物を適正処理する責務を負っている。このためには、学生をはじめとしたごみの排出者一人ひとりの協力が必要であり、彼らのごみ分別行動を促進させることが課題である。

これに対して、大学構内に設置するごみ箱のデザインを工夫することでごみ箱に捨てられるごみの分別率を向上させようとする試みがいくつか報告されており、透明型のごみ箱がペットボトルのラベルの分別に[1)]、一体型・指示有り型のごみ箱がペットボトルのキャップの分別に[2)]対して効果があったことなどが報告されている。

立命館大学びわこ・くさつキャンパス(BKC)構内にも分別型のごみ箱が多く設置されているが、分別機能を果たせていない様子が伺えるほか、その分別状況についても明らかになっていない。大学が廃棄物の適正処理を正確かつ効率的に進めるためにも、大学構内のごみ箱を利用する学生をはじめとした多人数の環境意識を高め、分別行動を促進させる必要がある。

本研究では、ごみの分別率の向上に向けたごみ箱をデザインし、その効果を検証した。また、その検証の過程で、学内のごみ箱に捨てられる各ごみの組成と分別率を明らかにした。

2. 方法

2.1 検証実験の概要

ごみ箱のデザインが排出者に与える影響を検証するため、学内に設置されているごみ箱を対象としてごみ組成調査を実施し、現状の組成と分別率を明らかにした。その後、ごみ箱をデザインしたものに差し替え、同様の調査を実施することで、差し替え前後のごみ組成と分別率の変化を分析した。分別率は、各ごみ箱に捨てられるべきごみの量をそのごみ箱に捨てられていたごみの量で除して算出した。

対象としたごみ箱は、BKC 構内のほぼ中央に位置し、捨てられるごみの量が多い学生交流施設(セントラルアーク)に設置されている 2 か所のごみ箱(対象 A、B)である。ごみ箱は、それぞれ燃やすごみ、プラごみ、ペットボトル、カン・ビンの 4 つで構成される(図 1)。

2.2 ごみ箱のデザイン

既存研究では、中身の可視化[1)2)3)]、捨て口の分別指示の有無[2)]、分別表示のデザイン[3)]などの観点からその効果を検証したものが報告されているが、分別表示の位置による分別行動への影響を検証した事例は無い。例えば、スーパーやコンビニなどの小売店では、商品の陳列位置によってその販売数が変わる。すなわち、ゴールデンゾーンと呼ばれる顧客の目に入りやすい位置に陳列された場合は、それ以外の位置に陳列された場合よりよく売れる。これは、陳列位置が顧客の商品選択に影響を与えているためである。本研究ではこの考え方を参考にし、ごみ箱の分別表示を排出者の目に入りやすくすることで、分別行動が促進されると考え、以下の 2 種類のデザインを作成した。

① 既存のごみ箱に貼られている分別ラベルの位置のみを高くしたデザイン(図 2 左)。
② 既存ごみ箱の高さを高くしたデザイン(図 2 右)。

調査では、①のデザインを対象 A、②のデザインを対象 B のごみ箱と差し替えた。



図 1　対象となる既存ごみ箱



図 2　デザインしたごみ箱

2.3　調査サンプルの収集期間

ごみ組成および分別率の調査に用いるサンプルは、ごみ箱差し替え前のサンプルを 2015 年 11 月 18 日(水)～24 日(火)の 1 週間分、ごみ箱差し替え後のサンプルを 2015 年 12 月 2 日(水)～8 日(火)の 1 週間分収集した。収集時刻は、清掃業者による収集スケジュールと同じく、月曜日から金曜日は 8:30 と 13:30、土曜日は 8:30、日曜日は収集なしとした。

2.4　ヒアリング調査

サンプル収集期間中に排出者へのヒアリング調査を実施し、排出者に影響を与えた要因を考察した。

3.　結果と考察

3.1　ごみ箱差し替え前後のごみ組成と分別率の調査結果

対象とした 2 か所 4 種類のごみ箱について、ごみ箱差し替え前後のごみ組成と分別率を調査した結果を図 3、4 に示す。

(1) 燃やすごみ：対象 A、B ともに容器包装類の割合が大きかった。中でも紙パックや紙コップといった飲料容器が多くを占めた。また、対象 A、B ともにごみ箱差し替え後に分別率の変化は見られなかった。

(2) プラごみ：対象 A、B ともに容器包装類の割合が大きかった。中でもプラスチック製の弁当箱などが多くを占めた。また、ごみ箱差し替え後は、A、B ともに燃やすごみに捨てられるべき紙の容器包装類がプラごみへ多く混入し、分別率が低下する要因となった。A に関しては、厨芥類の割合も増加し、分別率が大きく低下した。

(3) ペットボトル：対象 A、B ともに重量比としてペットボトルが最も多くを占めたものの、キャップやラベルの除去はほぼ行われていなかった。ごみ箱差し替え後は、厨芥類(飲み残し)の割合が増加し、特に B の分別率が大きく低下した。

(4) カン･ビン：飲料缶、飲料びんが多くを占めた。重さのあるびんの割合が大きいが、数量としては缶の方が多かった。A に関しては、差し替え後、他のごみ箱に捨てられるべきものの混入率が増加した。差し替え後は、ごみ箱の設置位置の関係上、角度によってはカン･ビンの分別表示が見えなくなってしまうため、異物が捨てられた可能性もある。B に関しては、ペットボトルと同様、飲み残しの増加により、分別率が低下した。

(5) まとめ：以上から、ごみ箱の分別表示を排出者の目に入りやすくすることで分別行動が促進される効果はほぼなかったと考えられる。なお、ペットボトル、カン･ビンに関して、重量比に与える影響が大きい厨芥類を除いた結果を見ると、A のカン･ビン以外は、分別率が微増する結果となった。

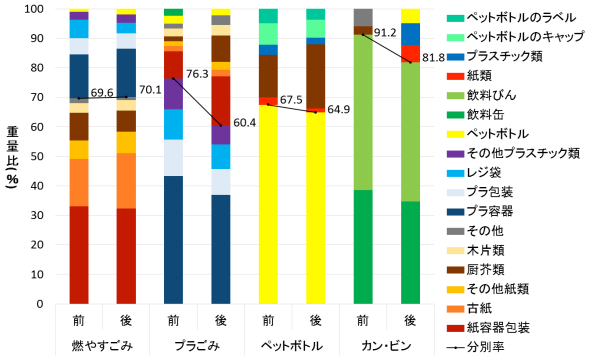


図３　対象Ａのごみ箱差し替え前後のごみ組成と分別率

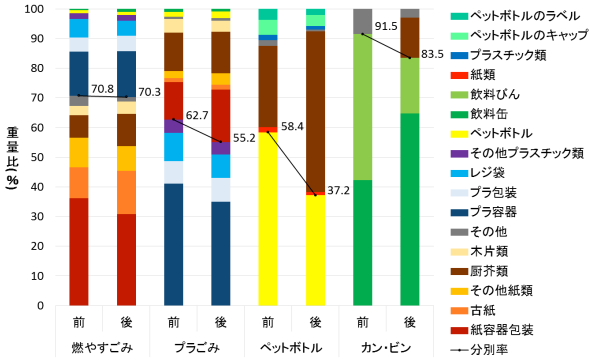


図４　対象Ｂのごみ箱差し替え前後のごみ組成と分別率

3.2　ヒアリング調査の結果

デザインしたごみ箱が既存のものと違うことに気がついた排出者はほとんどおらず、ごみ箱に対する関心が低いことがうかがえた。また、ごみを捨てる際に分別表示を意図せず見たという人もおらず、本調査の結果からは、分別表示の高さが排出者の分別行動を促進させる効果はないと考えられた。しかし、排出者の中には、ごみを捨てる際、分別表示より先にごみ箱の中身を見て、捨てられているごみから分別種別を判断している人もいた。間違った分別がさらに間違った分別を誘発することから、捨て口に蓋を付けるなどしてごみ箱の中身が見えない状態にする、あるいは分別表示をより捨て口に近い位置に設定することで、結果が変わる可能性も示唆された。

参考文献

1)　伊藤佑真、尾崎泰介、坂本拓海、寺田智徳、馬場ひかり、森尚子、赤尾聡史：大学におけるペットボトルの分別を促す透明ごみ箱の効果、第 25 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演集、pp.45-46、2014

2)　吉田飛雄士、鈴木慎也、高橋史武：ペットボトル消費者の分別廃棄行動に与えるゴミ箱デザインの効果、第 25 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演集、pp.49-50、2014

3)　加藤悟、松村憲一：鉄道駅のごみ箱デザインによる分別促進に関する社会実験、第 21 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演集、pp.34-34、2010

廃棄携帯電話を活用した環境教育

Environmental Education by using discarded mobile phones

○高橋和枝[*1)]、澤田孝 [1)]、佐々木重邦 [2)]
Kazue Takahashi, Takashi Sawada, Shigekuni Sasaki
1) NTT 先端集積デバイス研究所, 2) 武蔵野大学
* takahashi.kazue@lab.ntt.co.jp

1. はじめに

携帯電話は、多くの学生にとって最も身近な電子機器となっている。例えば、財布を忘れてもあまり困らないが、携帯電話無しでは何もできないという話も聞く。一方、NTT では、持続可能な情報通信の提供を目指して、情報通信サービスの LCA による評価により、携帯電話ネットワークの中で、端末の環境負荷が高いことを定量化し [1)]、さらに携帯電話の高機能化と資源消費量の増加に関係があることを MFA により、明らかにした [2)]。その結果、携帯電話には、金やパラジウムのような貴金属だけではなく、多種多様な希少金属が高濃度に含有されていることが明らかになっている。一方、携帯電話のリサイクル方法の改善方法を探るため東京大学と共同でユーザーへのアンケートを 2009 年に実施した [3)]。携帯電話のユーザーに対するアンケートの結果、環境に配慮して携帯電話を購入すると回答したユーザーは 29%と少数派であったのに対し、家電製品では 79%、自動車でも 72%が購入時に環境面を考慮すると回答し、顕著な差が認められた。すなわち、携帯電話のような身近な電子機器であればあるほど、機能を重視し、日常生活との関係が認識しにくい「環境」に配慮できないのではないかと推測される。そこで、学生に身近な携帯電話を対象として、資源リスクやリサイクルの課題を学習するための教材を作製した。今回、武蔵野大学大学院環境学研究科「環境材料工学」の授業の一環として、その教材を使用して実習を行う機会を得たので、ここにその結果を報告する。尚、この授業は、材料工学の基礎、エコマテリアル設計、新規材料、環境影響評価手法等について学習するが、資源リスクに関する学習をしてから本実習を行った。

2. 実習の方法

2.1 実習の準備

実習前に解体用携帯電話、星形等の特殊精密ドライバー、デジタル天秤等を準備した。また、導入部として、実物を示しながら、携帯電話の解体方法を説明した。携帯電話の解体手順は①リチウム電池を取り外した後、②カバー（筐体）のねじをはずし、③液晶ディスプレイ、④基板、スピーカー、モーター等に分解する。なお、使用した廃棄携帯電話に危険物は含まれていないが、カバーを外すときに怪我をしないように注意喚起を行った。また、分解した部品は、主な素材ごとに分類し、さらにその重量をスケールにより測定するように指導した。

2.2 使用した廃棄携帯電話

今回の実習に使用した携帯電話は計 3 台で、製造年、型式が異なるものである。また、利用者の個人情報を守るために機器の中央部に穿孔があけられているものを使用した。さらに実習終了後は、適正に廃棄処分を行った。

2.3 試算ツールの概要

作成したツールは、部品群の重量に、対応する資源濃度を掛け合わせて資源量を推定するものである。マイクロソフトのエクセル上に、データ投入シートと、結果の表示シートを作製した。使用した含有資源量のデータベースは、文献 [2)]をもとに作成した。

ここで、資源含有量の推定精度上は、同機種のデータを用いることが望ましいが、全ての携帯電話を分析することは困難であるため、できるだけ近い製造年かつ形態の携帯電話のデータを選択するようにした。

資源リスクは、推定した資源量と TMR 指標 [4)]から求め、経済性は、資源の市場価格を参考に設定した。

2.4 収集したデータ

学生が収集したデータは、以下のようなものである。

解体前：製造メーカ、型式、重量

解体後：解体時間、部品別重量、ねじの種類と数

得られたデータは、直ちに前述のツールに投入し、評価を行った。

2.5 評価方法

評価は、①資源含有量、②TMR、③経済性、④LCA の 4 種類である。前項で投入したデータから、自動的に評価が行われ、結果が表示される。

以上の実習の流れを図 1 に示す。実習は全体で約 3 時間であった。



図 1 実習のながれ

3. 実習の結果

3.1 実機の解体

携帯電話は、学生自身が特殊ドライバーとマイナスドライバーを用いて解体した。(図 2)

学生は、携帯電話を解体するのは初めてであったが、1 台あたり約 20 分で解体することができた。

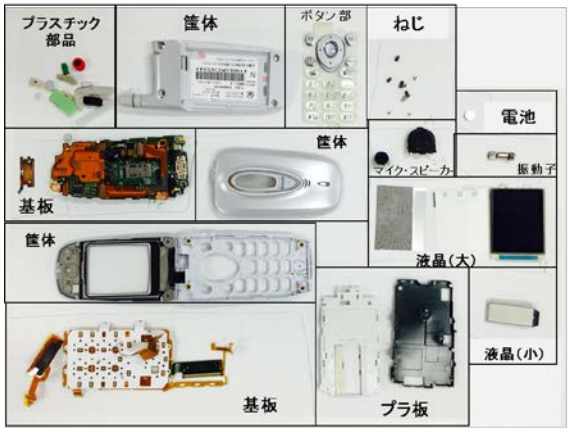


図 2　解体した携帯電話の例

3.2 評価結果

評価結果の例として、推定資源量、TMR 評価結果、資源価値推定結果を図 3 に示す。比較のため、各評価結果は、寄与率として示した。図 3 より、携帯電話に一番多い材料は、プラスチック(67%)であり、金は 0.1%であるが、TMR、資源価値の大部分を占めるのは金であり、寄与率はそれぞれ、84%、91%であった。また、1 台の資源価値は 130 円であり、運搬や処理費等を考慮すると、学生の時給（約 1000 円）と解体時間から求めた 330 円には乖離があり、手解体によるリサイクルが進まない一因が明らかになった。

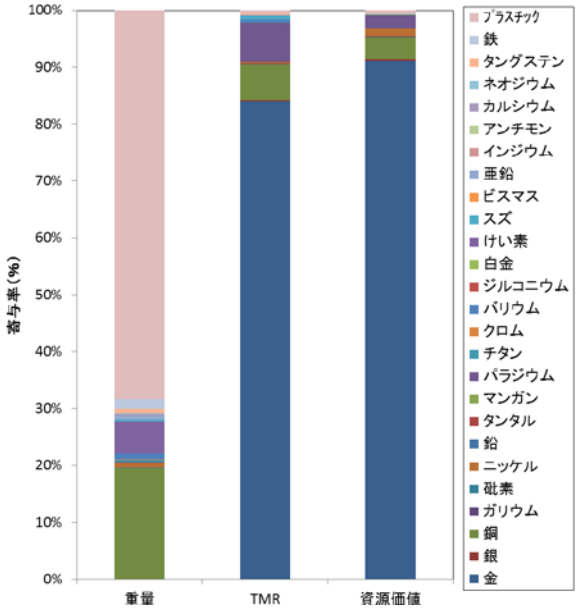


図 3　評価結果例

3.3 考察

実習後、携帯電話の環境負荷削減策についてディスカッションを行った。その中の一部を紹介する。

① 分離しやすい構造にする
② ねじを統一し、また取付け箇所を明示する
③ 資源回収を妨げる複合材料の使用を減らす
④ 貴重な資源が含まれる為、回収量を増やす
⑤ 希少金属の回収技術を開発する

4. 最後に

学生自らが実機の解体から評価までを実施することにより、資源リスクの理解を深めるとともにリサイクルの課題を体験することができた。これにより携帯電話のエコデザインをより具体的に考えることができたと考えられる。さらに教材の高度化と対象の拡大を検討する予定である。

引用文献

1) 澤田ら、エコデザイン 2006 アジア・パシフィック・シンポジウム、東京、(2006) SJ-3
2) 高橋ら、日本金属学会誌、 73, (9), (2009) pp.747-751
3) Takahashi K. I., et. al.: Proc. EcoDesign 2009 6th Int. Sympojium on Enviromentally Conscious Design and Inverse Manuhfacturing, Hokkaido, (2009)
4) NIMS-EMC 材料環境情報データ NO18 -概説資源端重量（TOTAL MATERIAL REQUIREMENT; TMR)-

ベトナム国ホーチミン市における一般廃棄物処理システム改善に伴う温室効果ガス排出量削減効果

Improvement of municipal solid waste management system and the reduction of greenhouse gas emission in Ho Chi Minh City, Vietnam

○河井紘輔*[1)]、佐野翔一[2)]、高木重定[2)]
Kosuke Kawai, Shoichi Sano, Shigesada Takagi
1) 国立環境研究所, 2) みずほ情報総研
* kawai.kosuke@ nies.go.jp

1. はじめに

途上国では、大部分の一般廃棄物が未処理のまま直接埋立処分されている。経済活動が急速に拡大する大都市では、発生する廃棄物の量が増加傾向であり、減容化を目的とした中間処理の導入ニーズが高まりつつある。ベトナム国では厨芥類（食べ残しや調理くず。以下、「生ごみ」という。）を分別して再資源化する機運が高まっており、ホーチミン市でもモデル地域に限ってではあるが2013年8月より生ごみの分別収集が継続されている。今後、ホーチミン市では生ごみの分別収集のモデル地域を拡大することが計画されている。

本研究では、ホーチミン市 1 区をケーススタディとして、埋立処分に依存する現状の一般廃棄物処理システムと比較して、生ごみを分別収集・メタン発酵するシステムの温室効果ガス排出量の削減効果を定量に評価することを試みた。なお、本研究は環境省委託事業「ベトナム国ホーチミン市における生ごみ循環システムの構築」における評価の中間報告を行うものである。

2. 評価の前提条件

2.1 評価シナリオの設定

ベースラインシナリオでは、ホーチミン市 1 区で発生する一般廃棄物は分別収集されることなく、直接埋立処分されるものとする。埋立処分場では発生するメタンガスの回収は行われていない。

対策シナリオでは、ホーチミン市 1 区全域で生ごみが分別収集され、メタン発酵施設（処理能力：100 t/日）で処理され、回収ガスを用いて発電し、グリッド電力を代替するものとする。また、メタン発酵施設で生成された消化液は液肥として農地還元され化学肥料の一部を代替するものとする。

2.2 評価対象廃棄物

評価対象とする廃棄物は家庭系一般廃棄物及び事業系生ごみとする。ホーチミン市 1 区における廃棄物の年間発生量を表 1 に、廃棄物の含水率を表 2 に示す。

表1 ホーチミン市1区における廃棄物の年間発生量

発生源	種類	発生量(t/年)
家庭系	生ごみ	24,419
	その他ごみ	19,746
事業系	生ごみ	56,441

表 2 ホーチミン市 1 区における廃棄物の含水率

発生源	種類	含水率(%)
家庭系	生ごみ	73.5
	その他ごみ	49.8
事業系	生ごみ	73.5*

* 事業系生ごみの含水率のデータが得られなかったため、家庭系生ごみのデータを援用

表 3 設定したバイオガス発生原単位及メタン割合

	単位	数値
バイオガス発生原単位	Nm^3/t-wet	100
メタン割合	%	55

表 4 埋立処分に伴うメタン発生原単位

発生源	種類	kg-CH_4/t-dry
家庭系	生ごみ	125.6
	その他ごみ	84.4
事業系	生ごみ	125.6

2.3 評価対象プロセス

評価対象とするプロセスは、分別収集、運搬、メタン発酵、埋立処分とし、中継（積替）プロセスに関しては情報を入手できなかったため、評価対象から除くこととする。また、メタン発酵施設において異物を除去する前処理プロセスも設置する必要があるが、適切な情報を入手できなかったため、評価対象から除くこととする。メタン発酵プロセスで設定したバイオガス発生原単位等を表 3 に示す。埋立処分に伴うメタン発生原単位を表 4 に示す。

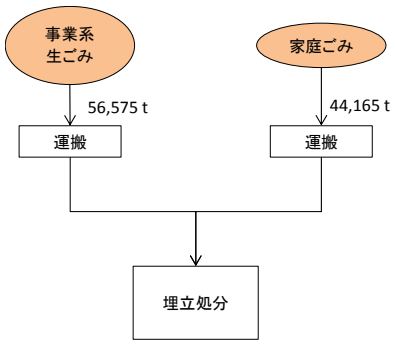


図 1 ベースラインシナリオにおける廃棄物フロー

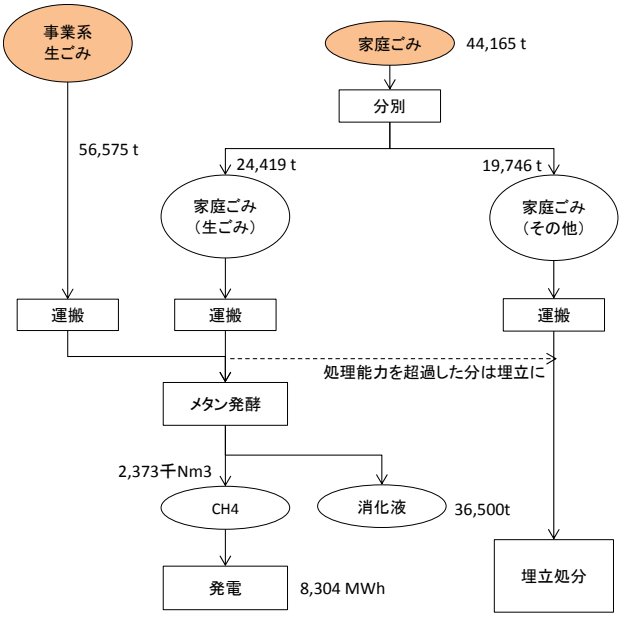


図 2 対策シナリオにおける廃棄物フロー

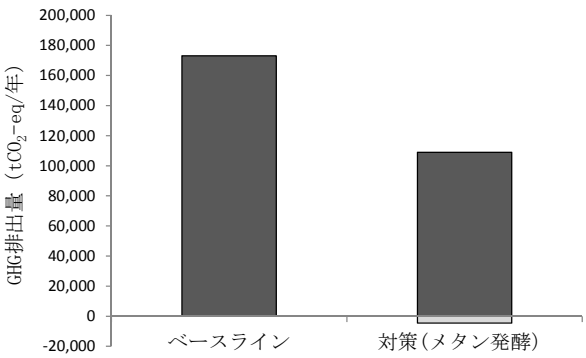


図 3 評価シナリオごとの温室効果ガス排出量

2.4 評価シナリオの廃棄物フロー

ベースラインシナリオ及び対策シナリオにおける廃棄物フローを図 1、2 に示す。対策シナリオにおいて、メタン発酵施設の処理能力（100 t/日）を超過した場合は埋立処分することとする。廃棄物 1 t に対してメタン発酵施設で生成する消化液は 1 t と設定する。

3. 結果及び考察

ベースラインシナリオと比較して対策シナリオでは埋立処分される廃棄物量が約 36%削減され、その影響でメタンガスの発生を大幅に抑制できる。図 3 に示す通り、ベースラインシナリオと比較して対策シナリオの温室効果ガス排出量は約 40%削減できると評価した。うち、約 37%は直接埋立処分の回避によるもので、約 3%はメタン発酵後の発電・グリッド電力の代替によるもの（代替量は図 3 中で負の値で示す）である。

4. 結論

現状の廃棄物処理システム（ベースラインシナリオ）が直接埋立に依存しているため、生ごみの直接埋立を回避することによる温室効果ガス排出量の削減効果は非常に高いことが本研究で評価できた。

一方で、国内における類似の評価事例と比較してもデータ不足による評価の不確実性は否めない。以下に今後の課題を挙げ、評価の改善を試みたい。

(1) 評価実施当時はホーチミン市では 2 ヶ所の埋立処分場が稼働していたが、最新の情報ではそのうち 1 ヶ所が閉鎖されたとのことである。運搬に係る温室効果ガス排出量のより精度良く評価を行うためにも、ホーチミン市 1 区で収集される一般廃棄物のフローを正確に把握する必要がある。

(2) 本研究の評価にあたってはデータの欠損を理由として多くのプロセスを割愛している。中継（積替）施設やメタン発酵施設の前処理等に関するデータの収集を試みる必要がある。

(3) 本研究の推計に用いた原単位の中には、一部、国内の数値を援用したものがある。国、地域、対象とする廃棄物等によって数値が変わる原単位もあるため、データの充実度に応じて適切な原単位に変更していく必要がある。

(4) 家庭系の分別精度が 100%と設定されているが、これは非現実的な達成値である。国内の事例とも照らし合わし、家庭系生ごみを分別した場合の精度をパラメータとして現実的な分別精度を設定した上で、対策シナリオの効果を評価すべきである。

天津市における廃プラスチックリサイクルシステムの改善による環境負荷削減効果

Environmental load reduction effect of improvements on the Plastic Waste recycling system in Tianjin

○叢　日超*[1)]、松本　亨 [1)]
Richao Cong, Toru Matsumoto
[1)]北九州市立大学
* u3dac404@ eng.kitakyu-u.ac.jp

1. はじめに

中国の経済発展とともに深刻化する廃棄物の増大に対処するために、廃棄物回収・処理システムの整備と、プレイヤーとしての静脈産業の発展が期待されている。直轄市の１つである天津市における廃プラスチックのリサイクルシステムについては、収集体制、リサイクル施設の経済効率性、環境対策面、労働衛生面等、様々な観点から問題が指摘されている [1)]。本研究では、天津市の家庭からの廃プラを評価対象に、無認可のリサイクル体制を現状ケース、子牙循環経済産業区での近代的な廃プラリサイクルを改善ケースと想定し、改善による環境負荷削減効果を試算した。特に、輸送過程に焦点を当て、Grid City Model（GCM）をベースとした最適化計算により中継場数を求め、その後 GIS を用いて、現状の収集体制に対する改善ケースのより詳細な計算を行い、CO2 排出量の推計を行う。

2. 発生量の推計とケース設定

中国では、廃プラスチックの発生に関する統計、あるいは推計に用いることができる情報が十分に整備されていない。そこで、2011 年 8 月に天津市の廃プラ回収拠点に調査を行い、PET 以外の家庭からの廃プラ発生量を年間約 36 千トン、うち有償で回収可能なのは 85.5%と推計した。

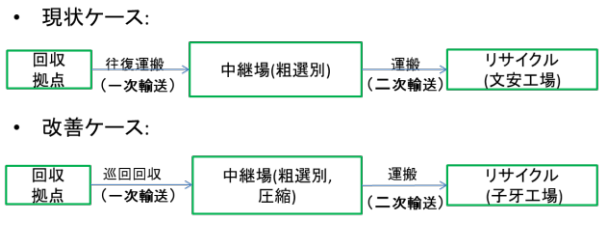


図 1 比較ケースの設定

評価対象システムを、図 1 のように設定する。天津市内で発生する廃プラを回収し、子牙のリサイクル工場までの輸送するケースを改善ケース、それに対し、回収拠点において一定の回収量になると中継場まで往復運搬し、中継場から無認可のリサイクル工場（河北省文安）まで輸送する過程を「現状ケース」とする。

3. 輸送過程の最適化計算

年間回収量を輸送することを前提に、コスト最小化のもとでの最適な中継場数を求める。ここでは、目的関数と制約条件を考慮する以下の輸送モデルを構築し、LPSolve IDE [2)]を用いて試算した。

目的関数：

総コスト→Min.

一次輸送コスト+二次輸送コスト+中継場コスト $= a_1 \times b_1 \times x + t_1 \times c_1 \times n \times k \times (R \div c_1) + a_2 \times b_2 \times x + t_2 \times c_2 \times d \times (R \div c_2) + a_3 \times x + (x \times s_1 + x \times s_2 + x \times s_3) + (b_1 \times x \times m_1 + b_2 \times x \times m_2 + x \times m_3)$

制約条件：

1)一次輸送一日の作業時間最大は 8 時間：

$$\frac{L}{v} + p \times t' \leq 8$$

全ての一次輸送車一日回る拠点総数：

$$\frac{N \times f}{365} = b_1 \times x \times p$$

一台一次輸送用車一日の移動距離と回る拠点数：

$$L = p \times k$$

面積とグリッドの辺長：

$$k^2 = \frac{A}{N}$$

2) 各中継場の面積の合計は天津市内空地の面積

3) 中国の都市の交通ルールの一つでは、都心エリアには大型トラックの通行は禁止されるため、一次輸送用車の最大積載量は 2 トン、郊外は 4 トンと設定した。二次輸送用車は 4 トントラックを利用する。

関係式：

回収拠点での廃プラ年累積量イコル一次輸送量イコル二次輸送量:

$$\frac{4r \times 365 \times N}{30} = \frac{c_1 \times N \times f}{n} = c_2 \times b_2 \times x \times t = R$$

なお、各種変数については、表 1 に示すとおりである。

表 1 変数の設定

項目	一次輸送	二次輸送	中継場内作業
車輌の積載量	c_1	c_2	
車輌費用	a_1	a_2	
輸送量あたり費用	t_1	t_2	
中継場にあたり車輌台数	b_1	b_2	
年間輸送回数	f	t	
作業員の年間給与	s_1	s_2	s_3
年間の設備維持費用	m_1	m_2	m_3
グリッドの辺長	k		
一次輸送用車輌の1台1日に回る拠点数	p		
一次輸送用車輌の1台1日の移動距離	L		
中継場数	x		
中継場の容量	c_3		
中継場の建設費用	a_3		
天津市の面積	A		
回収拠点総数	N		
一次輸送において1回で回る拠点数	n		
回収拠点1ヶ所あたり作業時間	t'		
一次輸送用車輌の平均速度	v		
1拠点における買取量(1週間あたり)	r		
年間総輸送量	R		
二次輸送において一回の移動距離	d		

4. GIS による輸送過程の解析

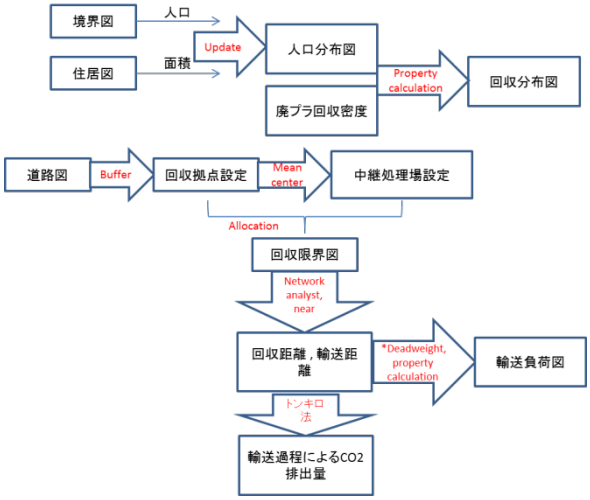
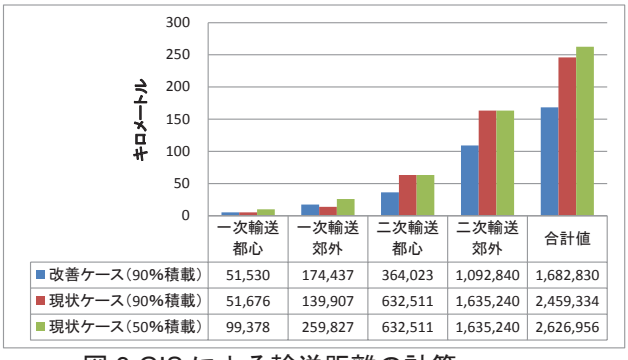


図 2 GIS 解析フロー

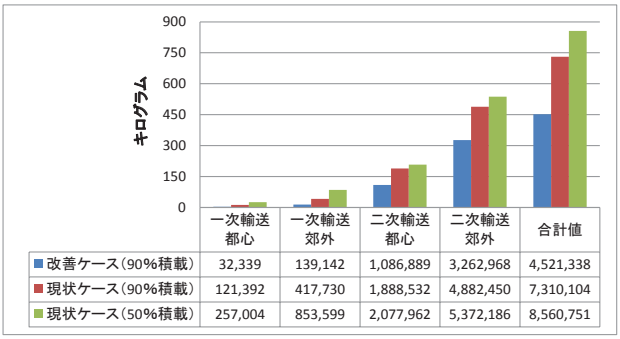
3 章で求めた中継場数をもとに、GIS を用いて移動距離を詳細に求める。解析フロー[3]を図 2 に示す。人口密度の差が大きいため、都心 6 区と郊外 10 区分けて解析を行った。中継場の位置は、重心法の応用である mean center 機能を用いて決定し、輸送過程のシミュレーションし、輸送距離を算出した。



	一次輸送 都心	一次輸送 郊外	二次輸送 都心	二次輸送 郊外	合計値
改善ケース(90%積載)	51,530	174,437	364,023	1,092,840	1,682,830
現状ケース(90%積載)	51,676	139,907	632,511	1,635,240	2,459,334
現状ケース(50%積載)	99,378	259,827	632,511	1,635,240	2,626,956

図 3 GIS による輸送距離の計算

図 3 が示すような距離を生かし、属性テーブルで輸送負荷を計算し、トンキロ法[4]を用いて CO2 排出量を推計した結果を図 4 に示す。



	一次輸送 都心	一次輸送 郊外	二次輸送 都心	二次輸送 郊外	合計値
改善ケース(90%積載)	32,339	139,142	1,086,889	3,262,968	4,521,338
現状ケース(90%積載)	121,392	417,730	1,888,532	4,882,450	7,310,104
現状ケース(50%積載)	257,004	853,599	2,077,962	5,372,186	8,560,751

図 4 輸送による CO2 排出量

5. 結論と今後の課題

本研究では、GCM をベースとした最適化計算による中継場数と、GIS を用いた詳細な輸送距離に基づく輸送過程の CO2 排出量を推計することで、天津市の廃プラ収集・運搬システムの改善案による CO2 削減量を推計した。約年間 3,977 トンで、現状ケース（50%積載率）の CO2 排出量の 47%である。

本研究の推計精度を上げるためには、以下のような課題がある。

・LCA として再商品化までを包含すること。特に、リサイクル工程の公認・非公認の相違を表現すること。

・そのためには、無認可工場における水汚染の評価を行うことが必要となる。

引用文献

1) 東 信太郎：天津市における廃プラスチックのマテリアルリサイクル事業について，INDUST 11 月号 vol.26, No.11（2011），pp26-31

2) 平山勝敏：最適化問題の数理・計算的解法 –lpslove (Windows 版)を用いて混合整数計画問題を解く-

3) XUE, Y., MATSUMOTO, T. and ZUO, J. (2005): Study on the GIS based Visible Analysis of Waste Disposal Flow of Beijing, Abstract Proceedings of International Conference on Circular Economy and Regional Sustainable Development, p.36

4) 環境省：第Ⅱ編　温室効果ガス排出量の算定方法（2012）pp.Ⅱ-38-41

建設発生土の発生・処理実態に関する研究

Study on Generation and Processing of Construction Surplus Soil

○小池　護 [1)]、佐伯　孝*[1)]
Mamoru Koike, Takashi Saeki
1) 富山県立大学
* tsaeki@pu-toyama.ac.jp

1. はじめに

天然資源が極めて少ない我が国が持続可能な発展を続けていくためには、3R（リデュース、リユース、リサイクル）の取り組みを充実させ、廃棄物が有効に利用・適正処分される循環型社会を構築することが求められている。国土交通省による「建設リサイクル法」の施工により、公共工事以外の民間工事でもコンクリート、木材、アスファルト・コンクリートを対象とする特定建設資材廃棄物についてのリサイクルが促進され、建設廃棄物全体の再資源化・縮減率は平成 17 年度には 92%、平成 20 年度には 94%、平成 24 年度には 96%と着実に向上した 1）。しかし、建設副産物のリサイクルが着実に成果を挙げている一方で、平成 24 年度の建設廃棄物の排出量が平成 20 年度より 13.9%増加しており、その取り組みは十分とは言えない。国土交通省の実施している平成 24 年度建設副産物実態調査によると建設発生土は建設副産物の中でも、有効利用率の実績値が 68.5%と、建設廃棄物全体の再資源化・縮減率の実績値の 96%と比べ低い値となっている [1)]。現在、国土交通省では、公共土量調査の実施や建設発生土等の工事間利用の促進、官民有効利用の試行マッチング [2)] をはじめとする複数の取り組みを行っている。しかし、さらに建設発生土の有効利用を進めていくためには、日本国内の建設発生土の発生・処理・移動実態を調査し、都道府県間の搬出土量の保管・移動に関する過程の効率化を図っていく必要がある。そのことに類似した解析では、建設発生土等の流れを総合的に管理し、循環型の有効利用システムの構築を目的に「建設副産物実態調査」等のデータをもとに八都県市（埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、さいたま市、千葉市、横浜市、川崎市）における建設発生土及び建設汚泥の処理実態とその傾向の把握を行っているが、対策の検討には至っていない。そのため、この調査方法を参考に日本国内の建設発生土の発生・処理・移動実態を解析し、把握することから対策の検討を行っていく必要がある [3)]。

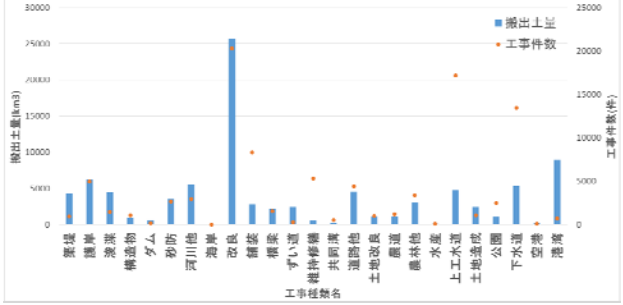


図 1　工事種類別、搬出土量及び工事件数

2. 研究目的

国土交通省が実施している「建設副産物実態調査」を基に、建設発生土の発生実態、処理実態等の解析を行い、工事種別ごとの発生土の搬出量や新材購入量、都道府県間の搬出土量、ストックヤードの利用量等を把握し、建設発生土の有効利用策の提案を目的とする。

3. 研究方法

国土交通省が実施している「平成 24 年度建設副産物実態調査」のデータ（H24 ストックヤード一覧、H24 建設発生土搬出工事一覧、H24 新材利用工事一覧、H24 土質改良プラント一覧）を用いて、施工場所、工事種類、搬出先種類、搬出先場所に分類して解析を行い、日本全体の建設発生土の発生・処理・移動実態やストックヤードの利用量・立地状況・最大ストック量、中間処理施設における処理状況等を把握するとともに、搬出土量の保管・移動の最適化、建設発生土の有効利用策を考察する。

4. 結果

「平成 24 年度建設副産物実態調査」のデータから建設発生土搬出工事における工事種類ごとの搬出土量と工事件数の内訳を図 1 に示す。「改良」という工事種別から搬出される残土量、工事件数ともに非常に多いことがわかる。歩道の整備や歩道の段差を無くす工事、拡幅工事などの道路の改良工事が該当する。道路工事における搬出土量の内訳を図 2 に示す。道路工事の搬出土量の内訳では、改良工事が 67%と最大となっている。このことは道路工事における工事件数の内訳より、改良工事の件数が 20296 件と最大になっていることがその要因に挙げられる。図 1 と図 2 から工事件数が多いにもかかわらず残土の搬出量が少ない工事もあること

がわかる。このことは、工事種別により残土の発生量が異なることがわかる。「維持補修」は、古くなりひび割れやでこぼこが出来たアスファルト舗装の補修を行う工事のため、工事で発生するごみは舗装由来のアスファルトが主であり、残土の発生量自体が少ないものと考えられる。「改良」では、歩道や車道の掘削が伴うため、アスファルトだけでなく残土が多く発生していると考えられる。

図 3 に建設発生土搬出工事の搬出先場所の内訳を示す。搬出先の内訳から「受入地」が 35%、「他工事」が 30%、「ストックヤード」が 20%となっていることがわかる。「受入地」とは、農地受入や公共事業土捨場、民間土捨場などのことであり、有効利用さえていないことを示しており、この残土をどう有効利用できるかが重要であると考えられる。

図 4 にストックヤード、図 5 に土質改良プラントの立地状況を示す。ストックヤードの容量や土質改良プラントの処理能力は各施設において大小あるが、施設数だけを見てみると人口が多い都市近郊に立地していることがわかる。北海道にはストックヤードが多く、広島県では土質改良プラントが多いことがわかる。

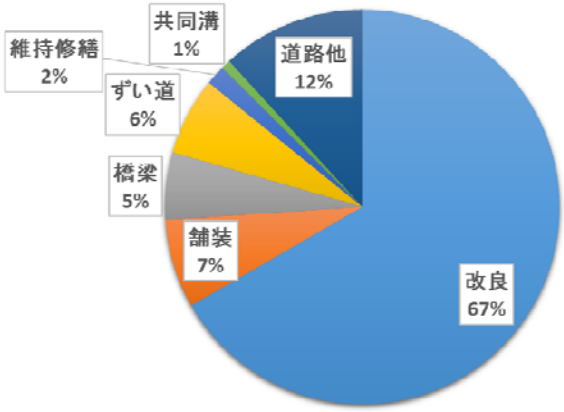


図 2　道路工事における工事種類別搬出土量の内訳

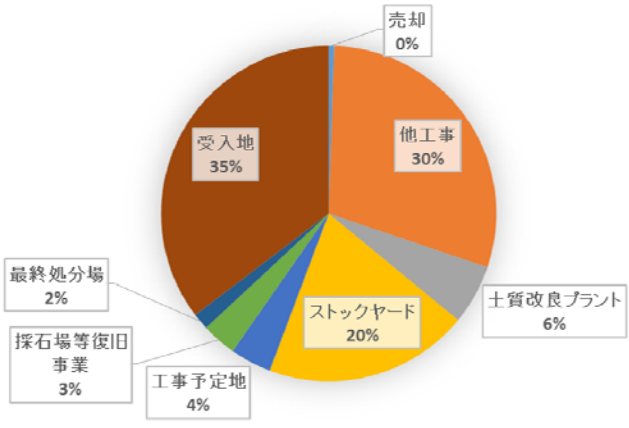


図 3　搬出先場所の内訳

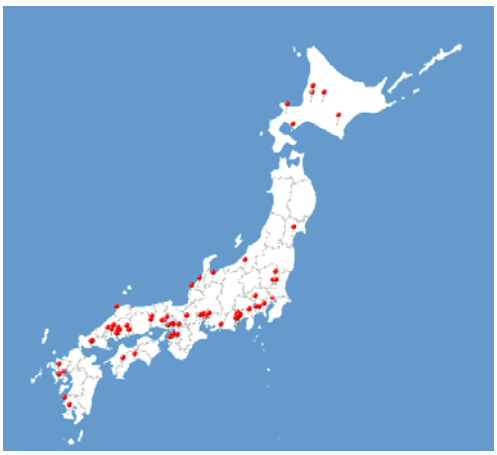


図 4　ストックヤードの立地

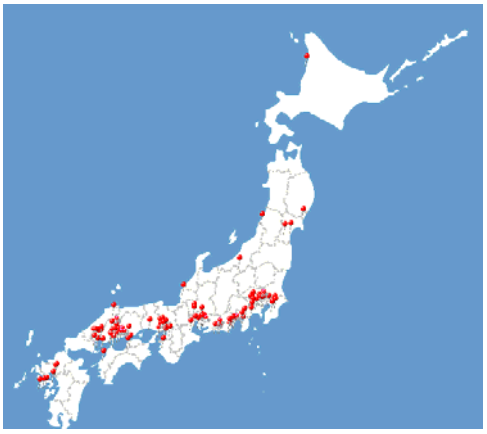


図 5　土質改良プラントの立地

5. まとめ

建設発生土搬出工事の搬出土量や搬出先について解析を行った。道路工事の「改良」から搬出される残土が多いことが明らかとなった。今後、都道府県間の移動実態を調べることで搬出土量の都道府県間の移動実態、移動状況の問題点を把握し、搬出土量の都道府県間の移動状況の改善点や移動先の効率化の検討を行う。

6. 参考文献

1)国土交通省総合政策局公共事業企画調整課:建設リサイクル推進計画 2014，平成 26 年 9 月
2)国土交通省総合政策局公共事業企画調整課:建設発生土の官民有効利用の試行マッチング実施要領（案），平成 27 年 6 月
3)八都県市廃棄物問題検討委員会、八都県市建設リサイクル検討会:首都圏における建設発生土等処理実態等に関する調査報告書，平成 18 年 12 月

本研究の実施において「国土交通省建設副産物実態調査」の調査票情報を利用した。

津波における災害廃棄物の発生量への影響に関する研究

Study on Effect of the Amount of Disaster Waste in Tsunami

○今井晃一 [1)]、佐伯孝*[1)]
Kouichi Imai, Takashi Saeki
1) 富山県立大学
* tsaeki@pu-toyama.ac.jp

1. はじめに

東日本大震災では、津波により大規模な被害がもたらされ、莫大な量の災害廃棄物が発生した。災害廃棄物は、被災地の復旧や復興のために早期の撤去や処理が望まれる。津波が発生すると災害廃棄物が発生場所から移動し、一部が引き波によって海洋へと流出する。そのため、災害廃棄物の発生量の推計値とのずれが生じ、災害廃棄物の迅速な撤去、適切な仮置場の確保、効率的な処理が困難となり、早期復旧・復興の妨げとなる。現在、南海トラフ巨大地震では、多くの地域で津波被害が発生することが想定されている。津波堆積物は、海底や海岸の砂泥等が津波によって陸上に打ち上げられ堆積したものや、陸上の農地土壌等が津波に巻き込まれたものであり、衛生・安全面から迅速に撤去する必要がある。自治体が作成する災害廃棄物処理計画では、地震で発生する災害廃棄物の推計方法、津波で発生する津波堆積物の推計方法については記載されているが、津波によって災害廃棄物の発生量がどのように変化するかについて検討されていない。

2. 研究目的

本研究では、津波によって災害廃棄物の発生量がどの程度変化するかを津波被害地の地形的な要因から検討することを目的とした。また、災害廃棄物の発生量の変化を把握することで、より迅速な災害廃棄物の処理を可能とする処理計画の策定に利用することを目指す。

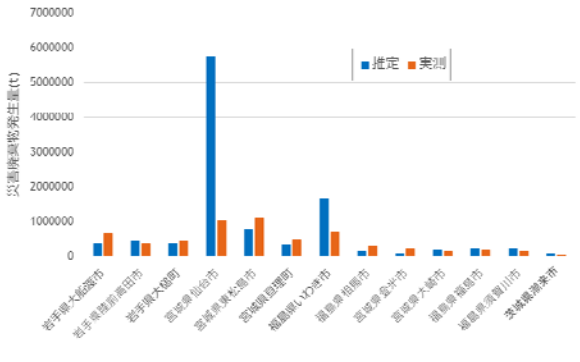


図 1　災害廃棄物の推計値と実測値

3. 研究方法

本研究では、東日本大震災で被災した自治体が発行した報告書や各自治体から情報提供を受け、災害廃棄物の発生量や種類、津波被害面積、建物の被害状況等のデータを整理した。東日本大震災津波詳細地図（古今書院）と GIS ソフトを用いて、津波被害地域の地形の断面図を作り、津波到達地点での地形変化を調べ、災害廃棄物量の影響を検討した。

4. 研究結果

災害廃棄物の推計値と実測値を図 1 に示す。災害廃棄物の推計値は住家の全壊、半壊棟数に災害廃棄物の発生源単位 [1)]を乗ずることで算出した。宮城県仙台市と福島県いわき市において災害廃棄物の推計値と実測値が大きくずれていることがわかる。津波堆積物量の推計値と実測値との比較を図 2 に示す。津波堆積物量の推計は津波による浸水面積 [2)] に発生源単位 [1)]を乗ずることで算出した。津波浸水面積が同程度の宮城県東松島市と宮城県亘理町の津波堆積物量を比較すると、

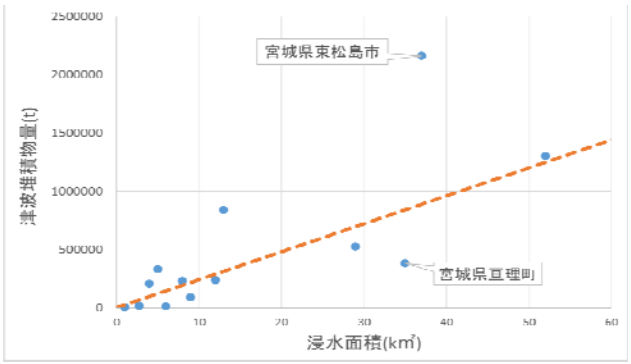


図 2　津波浸水面積と津波堆積物発生量のグラフ

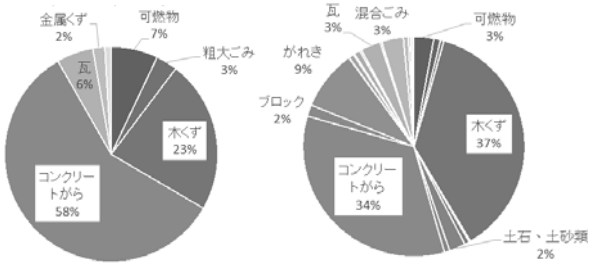


図 3　災害廃棄物の組成
（左：仙台市（津波被害あり）、（右：登米市（津波被害なし））

180 万 t の差が生じており、大きな違いが生じていることがわかる。宮城県東松島市は、報告書によると津波浸水面積が 37km^2 であり、実際の津波堆積物量は、推計した津波堆積物発生量の約 2.4 倍となった。

津波被害を受けた自治体と津波被害を受けなかった自治体の災害廃棄物の組成（津波堆積物を除く）を図 3 に示す。図左は宮城県仙台市、図右は宮城県登米市の組成を示している。両自治体においてコンクリートがらが多くを占めており、ついで木くずが多いことがわかる。仙台市よりも登米市の方が木くずの比率が高くコンクリートがらの比率が低いように見える。これは、被害を受けた建物の種類や 2 次仮置場における分別方法等の様々な影響を受けるため 2 自治体では影響因子の特定は難しい。図 4 に津波被害を受けた中でも津波被害の大きな自治体の災害廃棄物の組成を示す。岩手県陸前高田市、宮城県南三陸町、宮城県女川町は津波によって壊滅的な被害を受けた地域である。この 3 自治体を見てみるとコンクリートがらが災害廃棄物の多くを占めていることは仙台市を同様であるが、仙台市と比べて木くずの比率が非常に小さいことがわかる。木くずは粗大ごみ（可燃）や可燃物に含まれていることも予想されるが、地形による影響があるものと考えられる。ここで挙げた地形的な影響とは、仙台市のような平野部では津波の引き潮速度は遅いが、入り江のような地域では津波が山部に当たることによって引き潮速度が速くなり、結果として引き潮によって水に浮く木くずのような災害廃棄物が海洋に流出したと予想される。

東日本大震災において津波被害のあった自治体の海岸線での津波高さ、津波の到達距離、津波の到達地点の背後角度の関係を図 5 に示す。図 4 の自治体は到達距離が短く、背後角度が大きいことからいくつかのグループに分けられることがわかる。

5. まとめ

津波被害の有無や地形的な影響によって災害廃棄物の組成に影響を受ける可能性が明らかとなった。災害廃棄物の発生量や種類、津波被害面積等のデータ整理を行う。津波高さ、津波到達距離、津波到達地点の地形と災害廃棄物発生量との関係性を明らかにする。より多くの地域での解析を進め、地形的な変化を加味した発生量の推計を行う。

参考文献

1）災害廃棄物等の発生量の推計、災害廃棄物対策指針技術資料 1-11-1-1

2）津波による浸水範囲の面積（概略値）について（第５報）、平成 23 年 4 月 18 日国土地理院

謝辞

本研究の実施にあたって、ご協力いただいた産業廃棄物中間処理、最終処分業者の方々にこの場を借りてお礼を申し上げたい。なお、本研究は、環境省の環境研究総合推進費 3K143015「震災に伴う人工資本・自然資本ストックの損失と対策の評価」の一部として実施した。

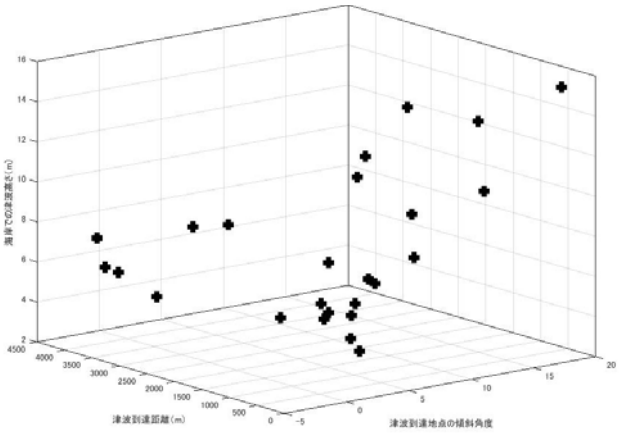


図 5　津波高さと到達距離、背後角度の関係

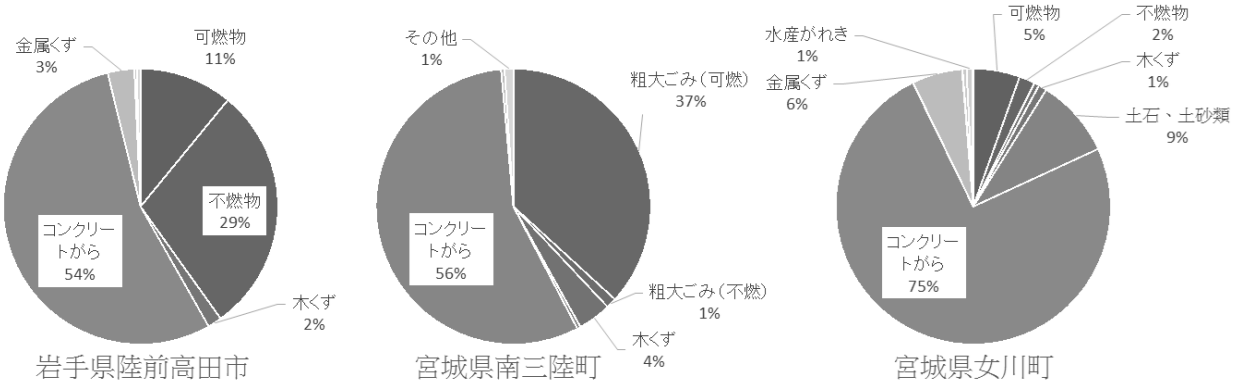


図 4　津波被害を受けた地域の災害廃棄物の組成

産業廃棄物の処理単価の地域特性に関する研究

Study on Area Characteristic of the Treatment Unit Cost of Industrial Waste

○北恭兵 [1)]、佐伯孝*[1)]、佐々木基了 [2)]、谷川昇 [2)]
Kyouhei Kita, Takashi Saeki, Motoki Sasaki, Noboru Tanikawa
1) 富山県立大学, 2) 公益財団法人　日本産業廃棄物処理振興センター
* tsaeki@pu-toyama.ac.jp

1. はじめに

産業廃棄物とは、事業活動に伴って生じた廃棄物であり、廃棄物処理法で規定された 20 種類の廃棄物のことである。産業廃棄物の処理単価は、廃棄物の種類毎だけでなく、廃棄物の大きさや他の廃棄物との混合状態などの性状によっても異なり、更には処理方法によっても異なっている。（表 1 参照）

本研究室では、以前より産業廃棄物の発生・移動実態の解析を行っており、廃棄物の種類が違うと移動距離が異なることが明らかとなっている。移動距離が異なる原因は、遠方のリサイクル可能な処理施設への移動等が考えられているが、移動距離に各地域の処理単価も影響している可能性が考えられる。

産業廃棄物の処理単価は、処理業者のホームページや産廃情報ネットさんぱいくん [1)]、優良さんぱいナビ [2)] に公開されているが多くの処理業者が「要相談」となっている。一般財団法人建設物価調査会が発行している建設物価にも一部の処理単価が記載されているが、全国の状況を把握することは非常に困難である。このような状況であるため、各廃棄物の処理単価を調査し、廃棄物性状や処理方法ごとの処理単価の解析や各処理単価の地域特性に関する研究は行われていない。

2. 目的

本研究では、廃棄物の種類だけでなく廃棄物の性状や処理方法ごとの処理単価を調査し、地域特性を解析することで各廃棄物の処理単価と移動距離との関係性について検討することを目的とする。処理単価と移動距離の検討から、産業廃棄物の移動距離の効率化について検討することを目指している。

3. 研究方法

産業廃棄物中間処理施設を対象に処理可能な廃棄物の性状や各廃棄物の処理単価に関するアンケート調査を実施しするとともに、処理単価表の提供依頼を行った。日本産業廃棄物振興センターが過去に各事業者より収集した処理単価表のデータの提供を受けた。収集した処理費のデータは、産業廃棄物は種類だけではなく、大きさや混合状態などの性状ごとの処理単価が異なることから、種類、性状、備考の３段階で分類を行った。集めたデータを基に作成した表から産業廃棄物の種類、単価の把握、処理施設の処理能力の評価を行った。

4. 結果

全国の産業廃棄物、特別管理産業廃棄物の中間処理、最終処分業者 5000 社を対象にアンケート調査、処理単価表の提供依頼を行い、約 1000 社からの返信があった。返信のあった処理業者の約半数から処理単価表の提供を受けた。

産業廃棄物は廃棄物処理法では 20 種類であるが、表 1 を見てわかるように廃棄物処理法の分類であるがれき類の中に、鉄筋の有無によって無筋コンクリート、有筋コンクリートと分類され、さらに大きさで A と B といった分類がされていることがわかる。表 1 の処理業者では、がれき類で 8 種類に分けて処理単価が設定

表 1　がれき類等処理料金（県北建設資源再生協同組合、福島県）

種類		処理料金（円/t）設計単価	備考
がれき類	無筋コンクリート　（A）	1,500円	
	無筋コンクリート　（B）	1,800円	特大のもの
	有筋コンクリート　（A）	2,000円	
	有筋コンクリート　（B）	2,200円	特大のもの
	アスファルトガラ	1,200円	
	セメント式	1,700円	
	ＡＬＣ版	3,500円	コーキング等が付着していないもの
	コンクリートポール　（廃電柱 等）	3,500円	
ガラスくず・コンクリートくず及び陶磁器くず	コンクリート二次製品	2,200円	不良品・U字溝・ヒューム管 等
	戻り生コンクリート	1,500円	生コンが固形化されたもの
	陶器瓦	7,000円	黒色・赤色瓦ともに可 アスベストを含むものは不可（新建材 等）
鉱さい	大谷石・国見石 等	2,500円	

されていることがわかる。このように廃棄物処理法の廃棄物分類では不十分であることから、さらに詳細に分類を行って検討を行うこととした。

木くずを 5 種類に分類しそれぞれの処理単価を図 1 に示す。処理単価は最高値、最低値、中央地を示している。「建設・解体系」は、柱・梁・角材、木くずベニア・ボード類、おが粉・くずなど類似品、柱材、梁材、角材、パレット、ベニヤ、その他合板類、おがくず、型枠材などとした。「生木・草系」は、生木・生木の根、竹、竹の根、伐採木くず、剪定木くず、伐採竹、刈草、刈芝、杉皮、ワラ、もみ殻などとした。様々な処理方法があることから幅広い処理単価になっている。中央値を比較すると畳や CCA 材系の処理単価が高い傾向が見られる。その原因としては、畳は焼却やリサイクルするために破砕する必要があるため処理単価が高くなり、CCA 材は重金属が含まれているため処理単価が高くなっていることが予想される。

次に、各種廃棄物の地域間での処理単価の比較を図 2 に示す。廃棄物毎に処理単価の平均値をマッピングしたものである。図 1 の際と同様に様々な処理方法が含まれていることから傾向を把握することが困難であるか、今後、データを追加し、廃棄物の処理方法ごとでのマッピングを行うことで、廃棄物の処理単価の地域特性の把握が可能となる。

5. まとめ

各事業者から回収したアンケート調査や処理単価表の解析を行い、処理単価と発生した産業廃棄物の地域特性との関係を地図上に示した。今後、処理単価の情報の追加を行うことで、処理単価の地域特性の把握と、全国の産業廃棄物の移動距離との関係性について検討を行う。

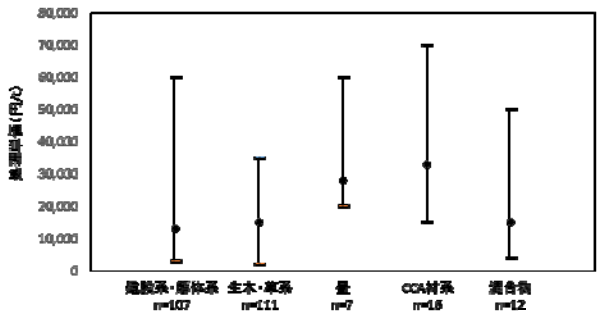


図 1　木くずの処理単価

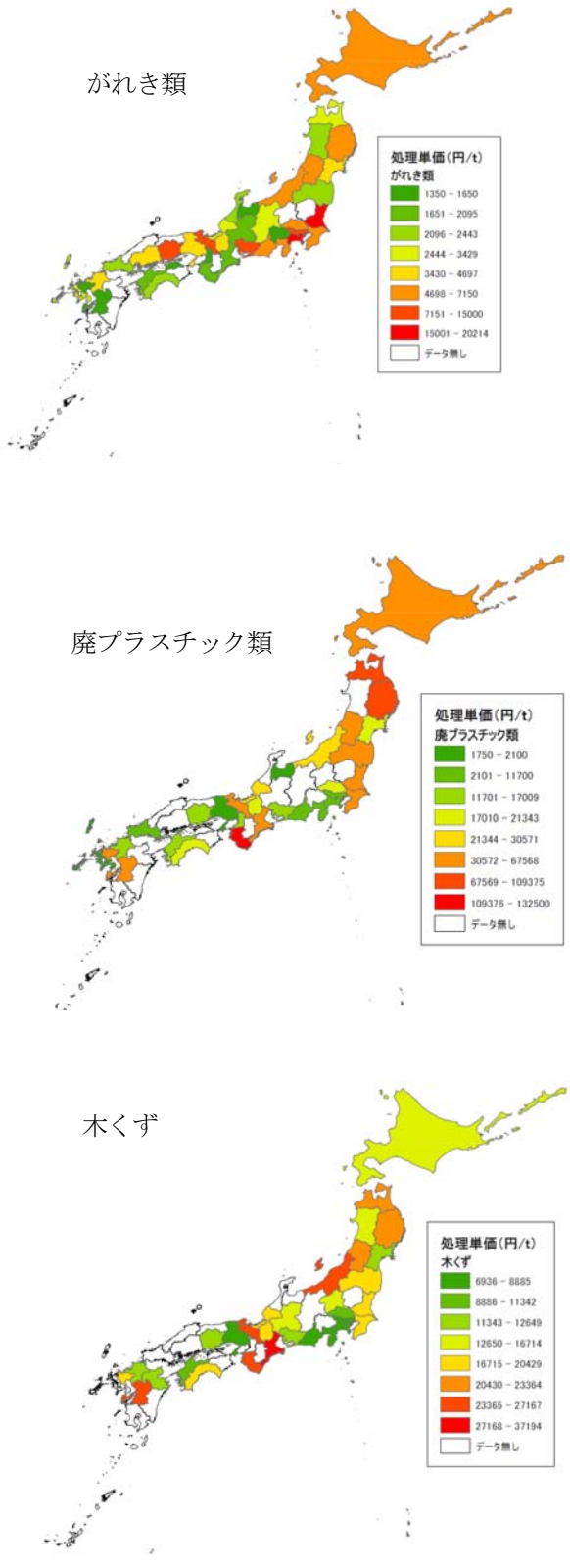


図 2　各種産業廃棄物の処理単価の地域特性

地域間産業連関表を用いた産業廃棄物の地域依存的評価

Region-dependent Assessment of Industrial Waste using Interregional Input–Output Tables

○中谷隼*[1)]、野田匠一郎[1)]、馬場史織[2)]、森口祐一[1)]
Jun NAKATANI, Shoichiro NODA, Shiori BABA, Yuichi MORIGUCHI
1) 東京大学、2) 東京大学（現・キヤノン）
*nakatani@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

地域依存性を持つ影響領域の評価では、ある地域における消費活動や生産活動がサプライチェーンを通して、どの地域において負荷や影響を発生させているか（ホットスポット）を特定する必要があり、地域間産業連関表を用いた分析が有効である。例えば、Takahashi *et al.* [1)] はアジア国際産業連関表と、$PM_{2.5}$ の主成分である黒色炭素（BC）および有機炭素（OC）の一次生成粒子の発生源寄与（SRR）、それらと早死の間の濃度反応関数を用いて、アジア 9 ヶ国・地域における最終需要（driver）・発生源（source）・影響先（receptor）の関係を分析している。同様の分析方法は、地域依存性を持つ他の影響領域の評価にも適用できるものと考えられる。

日本で開発されたライフサイクル影響評価（LCIA）手法である LIME 2 では、「廃棄物」が独立した影響領域（指標は埋立容量）として設定されている [2)]。このことは、日本においては最終処分場の枯渇などを背景として、廃棄物処理が地球温暖化など他の領域に与える影響とは別に、廃棄物の処分量そのものの評価が重要であることを反映していると言える。一方で、中間処理施設の能力や最終処分場の容量の地域差は、廃棄物を地域依存的な影響領域として考える必要性を示唆している。

本研究では、国内の地域間産業連関表および産業廃棄物の広域移動量の統計を用いて、地域別・部門別の需要や供給（driver）に起因する、地域別・種類別の産業廃棄物の発生量（source）および地域別の最終処分量（receptor）を評価する。地域間産業連関表として、特定の市町村における廃棄物の発生に着目した「入子型」と、北海道や東北から九州や沖縄までの各地域における需要に着目した「並列型」を用いて、2 パターンの分析を試みた。

2. 分析方法

本研究では、国内における廃棄物の発生および処分を対象とする。そのため、入子型および並列型を用いた分析、いずれにおいても(1) 式のような輸入品控除型の分析方法を適用した。

$$\boldsymbol{W} = \boldsymbol{E} \cdot (\boldsymbol{I} - (\boldsymbol{I} - \boldsymbol{M})\boldsymbol{A})^{-1} \cdot \boldsymbol{F} \qquad (1)$$

ここで、$\boldsymbol{W}$ は産業廃棄物発生量、$\boldsymbol{E}$ は単位負荷量、$\boldsymbol{A}$ は投入係数、$\boldsymbol{M}$ は輸入係数、$\boldsymbol{F}$ は最終需要の行列である。$\boldsymbol{E}$ は、403 内生部門ごとの 19 種類の産業廃棄物の直接処理量 [3)] をもとに、国内生産額または地域内生産額によって加重平均して、108 内生部門（入子型）または 9 地域×53 内生部門（並列型）に集約した。

2.1. 入子型地域産業連関表による分析

市町村および都道府県の地域産業連関表に基づいた入子型地域産業連関表を作表することで、特定の市町村または都道府県における（p）各種類の産業廃棄物の発生が（t）どの最終需要部門で（k）どの内生部門に発生する需要に（j）どれだけ誘発されているか、4 次元の分析が可能になる。本研究では、千葉市産業連関表と、千葉県産業連関表および全国産業連関表（いずれも平成 17 年）を結合して、千葉市＜千葉県＜全国（各 108 内生部門）の地域間産業連関表を作表した（**図 1**）。ここで、千葉県内の千葉市以外の他市町村は「残・千葉県」、千葉県以外の他都道府県は「残・全国」と表記した。また、M_i は部門 i の輸入額、N_i は移入額、T_i は移出額である。

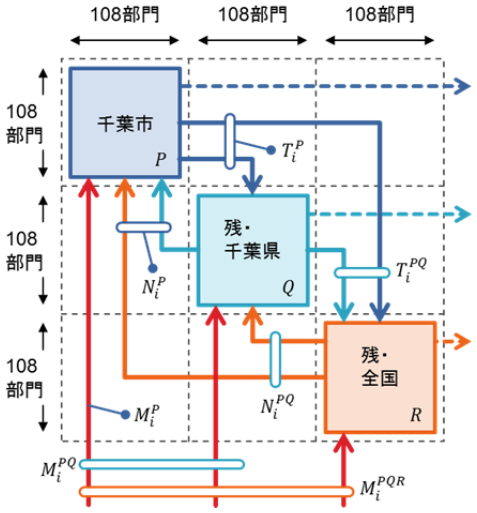


図 1　入子型地域間産業連関表（千葉市＜千葉県＜全国）の構造

輸入品控除型の投入係数行列 $(\boldsymbol{I} - \boldsymbol{M})\boldsymbol{A}$ は、**図 2** のように設定した。ここで、a_{ij} は内生部門 i から内生部門 j への投入係数、m_i は輸入係数、n_i は移入係数である。

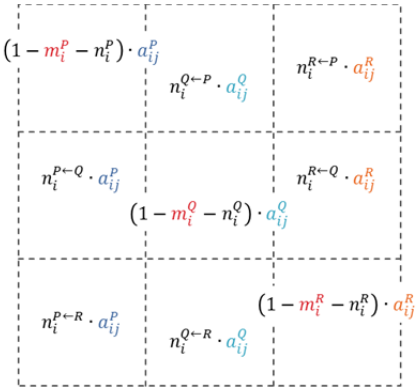


図２　入子型地域間産業連関表における投入係数行列（輸入品控除型）

2.2.　並列型地域産業連関表による分析

各地域における最終需要に起因する産業廃棄物の発生量の分析には、経済産業省による地域間産業連関表（平成 17 年）を用いた。これは、9 地域×53 内生部門×8 最終需要部門の並列型の地域間産業連関表であり、各地域における（r）各最終需要部門に起因して（k）どの地域の（q）どの内生部門に需要が発生し（j）どの地域で（p）どの種類の産業廃棄物が（t）どれだけ発生しているか、6 次元の分析が可能である。

3.　分析結果

3.1.　千葉市における産業廃棄物発生を誘発する需要

千葉市における（$p=P$）産業廃棄物の発生が（$\sum_t\cdot$）どの内生部門への（j）最終需要に（$\sum_k\cdot$）どれだけ誘発されているか、**図３**に内訳を示した。

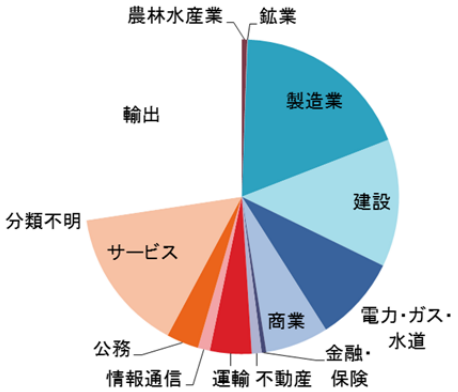


図３　各内生部門への国内最終需要および輸出に起因する千葉市における産業廃棄物（合計）の発生量の内訳

3.2.　各地域における需要に起因する産業廃棄物発生

各地域における（r）飲食料品への（$j=4$）民間消費支出に起因して（$k=2$）どの地域で（p）動物のふん尿が（$t=17$）どれだけ発生しているか、**図４**に地域別発生量を示した。

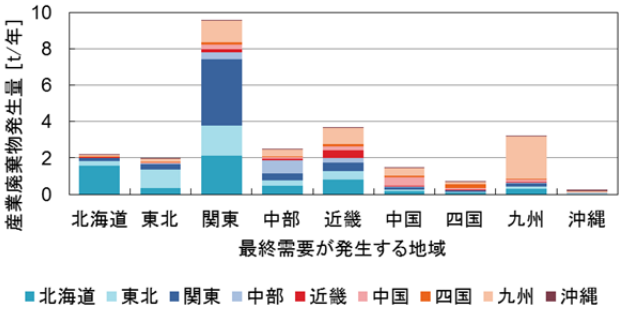


図４　各地域における飲食料品への最終需要（民間消費支出）に起因する産業廃棄物（動物のふん尿）の地域別発生量

各地域から供給される（q）飲食料品への（$j=4$）民間消費支出に起因して（$k=2$）どの地域で（p）動物のふん尿が（$t=17$）どれだけ発生しているか、**図５**に地域別発生量を示した。

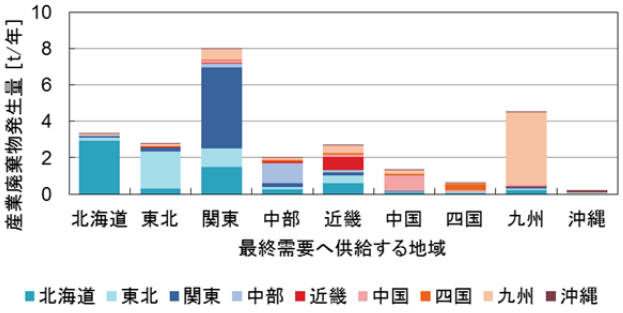


図５　各地域から供給される飲食料品への最終需要（民間消費支出）に起因する産業廃棄物（動物のふん尿）の地域別発生量

4.　今後の展開

以上のように、地域別・部門別の最終需要（driver）に起因する、地域別・種類別の産業廃棄物発生量（source）を分析することができた。今後は、産業廃棄物の広域移動量の統計 [4] を用いて、地域別の最終処分量（receptor）の評価へ展開する。

謝辞　本研究は、科学研究費補助金・基盤研究 A（15H01750）「サプライチェーンが産み出す価値と環境・資源ストレスの統合的ホットスポット分析」（代表：森口祐一）の一環として実施された。

引用文献

1)　Takahashi *et al.*: *Atmospheric Environment* 97, pp. 406–415 (2014)
2)　伊坪徳宏・稲葉敦 編著：LCA シリーズ LIME 2－意思決定を支援する環境影響評価手法，産業環境管理協会，東京（2010）
3)　伊坪徳宏研究室：環境フットプリントデータベース，http://www.yc.tcu.ac.jp/~itsubo-lab/research/EFPitiran.html
4)　環境省：平成 24 年度 廃棄物の広域移動対策検討調査及び廃棄物等循環利用量実態調査報告書（広域移動状況編 平成 23 年度実績）

災害廃棄物の広域処理に対する住民の受け入意思と選好の評価

Evaluation of Public Acceptance and Preference to Wide-Area Disposal Measures for Disaster Waste

○蔡 佩宜*[1)]、田畑 智博[1)]、白川 博章[2)]
Peii Tsai, Tomohiro Tabata, Hiroaki Sirakawa
1) 神戸大学，2) 名古屋大学
* peii.tsai@people.kobe-u.ac.jp

1. はじめに

2011 年の東日本大震災では、東北 3 県で約 2,800 万トンという膨大な量の災害廃棄物(津波堆積物含む)が発生した。岩手県内で発生した災害廃棄物は、平時におけるごみ排出量の約 11 年分に相当するものであった。被災地では処理施設自体が被災したケースもあり、被災地や県内のみで災害廃棄物の処理を迅速に遂行することが困難であった。そのため、政府や被災自治体は、全国の自治体に対して災害廃棄物の広域処理の受け入れに関する要請を行った。2011 年 4 月時点では 572 自治体が受け入れの意向を表明したが、その後、多くの自治体が災害廃棄物の受け入れを撤回した。理由の一つは、同年 6 月末に災害廃棄物から放射性物質が検出され、汚染の拡散に不安を抱いた住民の反発である[1)]。東日本大震災では放射性物質の影響はあったとはいえ、自治体が災害廃棄物を受け入れる際に、住民の理解と協力を得る必要があることは避けて通れない課題である。

そこで本研究では、災害廃棄物の広域処理に対する住民の理解に関する基礎的な知見を得るため、住民を対象としてインターネット調査を行うとともに、因子分析やテキストマイニングを用いて災害廃棄物の広域処理に関するキーワード間およびキーワードと他の要素との関連性を分析する。また、コンジョイント分析を通じて、災害廃棄物の受け入れ賛否に関わる意思にどのような要因が影響しているのかを明らかにする。

2. 研究の方法

2.1 アンケート調査の実施

アンケート調査は、ネットリサーチ会社が保有・連携するリサーチ専用パネルを用いて、2015 年 11 月に実施した。対象地域は兵庫県と三重県であり、対象モニター数は 20 歳～69 歳の計 1,064 名である。調査項目は、回答者属性と本質問である。本質問は、先ず、「災害廃棄物の受け入れ意思」として、「分別された災害廃棄物」、「分別されていない廃棄物」、「有害物質が付着した災害廃棄物」について、それぞれ「受け入れたい」から「絶対受け入れたくない」の 5 段階評価で尋ねた。続いて、それぞれの災害廃棄物の「受け入れの判断基準」について自由記述してもらった。また、住民の受け入れ意思に関わると考える災害廃棄物の処理に関する知識、行政に対する信頼度合や居住地から処理施設との距離などにも尋ねた。

2.2 アンケート結果の分析

著者ら[2)]が前回行った調査では、災害廃棄物の分別は住民の受け入れ意思に大きく影響することが伺えた。しかし、それ以外にも災害廃棄物の受け入れに影響する要因が存在すると考え、本研究では因子分析によって「災害廃棄物の受け入れ」に相関する要因を考察した。また、自由回答欄の「受け入れの判断基準」に対して、フリーウェアの KHCoder[3)]を利用してテキストマイニングを用いた分析を行った。最後に、コンジョイント分析によって広域処理の受け入れに対する各要因の影響度を分析した。

3. 結果と考察

3.1 災害廃棄物の受け入れ意思および災害廃棄物の処理・知識に関する特徴

災害廃棄物の広域処理の受け入れに係る質問項目のうち、目標変数として設定した項目のいずれとも有意な相関を示さなかった項目を除外し、残りの項目について最尤法による因子分析を行った。その結果、第 1 因子は「災害廃棄物の安全性と情報の提示」、第 2 因子は「行政の主導による災害廃棄物の分別と処理」、第 3 因子は「住民やボランティアの主導による災害廃棄物の分別と搬入」、第 4 因子は「災害廃棄物の受け入れ」、第 5 因子は「行政への信頼」、第 6 因子は「放射線の知識」、第 7 因子は「廃棄物処理施設とプロセスの知識」と命名した。

因子間相関についてみると、「災害廃棄物の受け入れ」と相関が相対的に高い因子は「災害廃棄物の安全性と情報の提示」と「行政の主導による災害廃棄物の分別と処理」であった。この結果から、災害廃棄物の広域処理について住民の理解を深めるには、行政による災害廃棄物の安全性の保証や情報開示、また災害廃棄物の分別や搬入において行政が主導的に指示と行動することが有効であることが示唆された。また、災害廃棄物の搬入と分別について行政の主導によるスコアの有意差も確認された。

3.2 自由記述欄のテキストマイニングによる解析結果

災害廃棄物の「受け入れの判断基準」について、自由記述欄に対して形態素分析を行い、キーワードごとの出現率を求めた。そして、「分別された災害廃棄物」、「分別さ

れていない災害廃棄物」、「有害物質が付着した災害廃棄物」の受け入れ、もしくは受け入れたくないと考える理由について、抽出したキーワードの共起関係を示した結果の一例を図 1、図 2 に示す。図 1 からは、受け入れ賛成の意思を示す回答の中に「分担」「施設」「能力」「焼却」等の廃棄物処理に関するキーワード、または「復興」「全国」「お互い様」といった協力的な姿勢がみられた。図 2 からは、受け入れ賛成の意思を示す回答には「放射線」「原発」「付着」等のネガティブなキーワードがみられるものの、「負担」「方法」「処分」「場所」等の受け入れに対する検討する意向が伺えた。

これらの結果から、分別によって災害廃棄物の内訳を明確にすることで住民が有害物質の混入に対する不安が軽減することが読み取れる。また、有害物質が付着した災害廃棄物に対しても処理方法や場所、負担の度合などの条件が明確的に検討・提示されれば、受け入れの受容性が高くなると言える。このことから、広域処理の実施においては、被災地の仮置き場での、住民や自治体等による分別の徹底や適切な情報提供が重要であることが示唆される。

3.3　災害廃棄物の受け入れに関する選好度

広域処理に関する選好度調査は選択型コンジョイント分析により実施した。表 1 は選択実験における属性とその水準である。得られたアンケート結果を用いてパラメータ推定結果を表 2 に示した。推計結果をみると、すべての属性が 1%水準で有意となっている。また、災害廃棄物の有害物質濃度と処理に要する期間の係数の符号がマイナスとなっているので、有害物質の濃度が高くなるほど、また処理期間が長くなるほど、選択される確率が下がることを意味する。そして、MWTP から選好度を総合的に判断すると、最も重視されている要因は有害物質の濃度（高いレベル）であり、続いて災害廃棄物を受け入れる量の割合と分別の有無であった。

4.　おわりに

本研究では、災害廃棄物の広域処理については、受け入れ自治体の住民の不安を取り除くためにどのような取り組みが必要かについてアンケート調査によって考察を行った。その結果、災害廃棄物の安全性提示と分別は住民の受け入れの意向に大きく影響することを示した。また、その災害廃棄物の分別や搬入に対して行政が主導的に指示・行動することが住民の理解を深めるには重要であることが示された。

謝辞

本研究の一部は、環境研究総合推進費(3K143015)の助成を受けて実施しているものである。記して謝意を表す。

表 1　広域処理案の属性と水準

属性	水準				
災害廃棄物分別の有無	分別されている	分別されていない			
災害廃棄物の有害物質濃度	不検出	低レベル	高レベル		
災害廃棄物を受け入れる量の割合	全体の 5%	全体の 10%	全体の 15%	全体の 20%	全体の 30%
処理に要する期間	1 年	1.5 年	2 年	2.5 年	2.75 年
焼却施設から住まいまでの直線距離	0.5km	1km	3km	5km	8km
年間負担額(税金の上昇)	1,000 円	5,000 円	10,000 円	20,000 円	30,000 円

表 2　効用関数の推計結果

属性変数	係数	t 値	MWTP (円／世帯年)
分別の有無	0.70	20.54***	16,950
有害物質濃度／不検出	-0.28	-3.02***	-6,785
／低いレベル	-0.52	-5.43***	-12,496
／高いレベル	-1.52	-15.19***	-36,579
受入れる量の割合	0.81	3.95***	19,395
処理に要する期間	-0.26	-9.30***	-6,225
焼却施設との直線距離	0.072	10.79***	1,740
年間負担額	-0.42	-23.96***	
サンプル数	8,512		
対数尤度	-10,409		

***p<.01

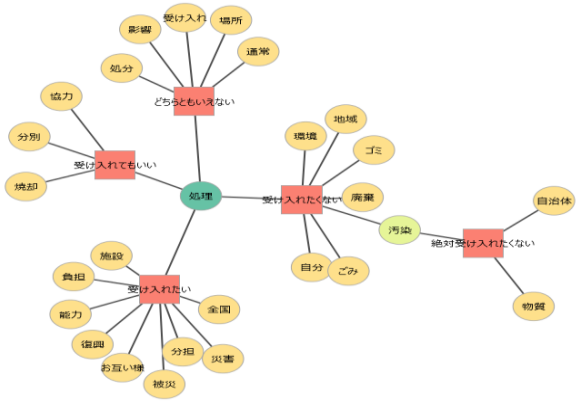


図 1　共起ネットワーク図(分別されている災害廃棄物)

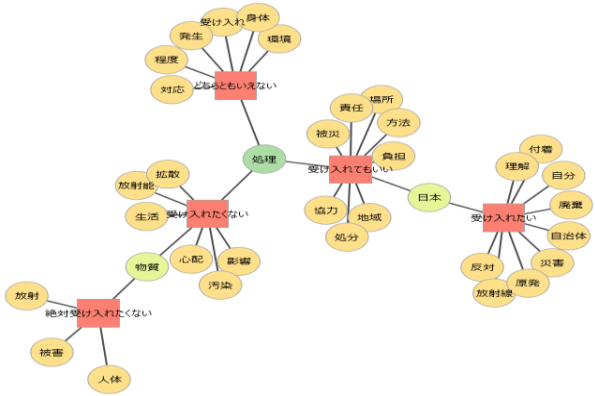


図 2　共起ネットワーク図(有害物質が付着した災害廃棄物)

引用文献

1) 加藤 勝：東日本大震災における災害廃棄物広域処理政策のプログラム・セオリー評価，日本評価研究 (2013)，Vol.12, No.3, pp.15-25
2) 蔡 佩宜，田畑智博，白川博明：災害廃棄物の広域処理受け入れに対する住民意識の調査，第 26 回廃棄物資源循環学会研究発表会 (2015), pp.161-162
3) 樋口耕一：KHCorder, http://khc.sourceforge.net/

下水処理システムの CO_2 排出量の評価

CO_2 emission of the sewage treatment system

○内野　弘之 [1)]、竹内　孝曜 [2)]、稲葉　敦*[1)]
Hiroyuki Uchino, Takaaki Takeuchi,Atushi Inaba
1) 工学院大学, 2) 未踏科学技術協会
*a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

1. はじめに

下水道事業は私たちの生活環境の改善や自然環境の保全に重要な役割を果たしている。本研究では、下水処理システムの CO_2 排出量を算定し、汚泥処理施設におけるメタン発酵による発電の導入などの効果を CO_2 排出量の観点から考慮する。

2. 研究手法

2.1 算定条件

本研究では、芝浦水再生センター、森ケ崎水再生センター、南部スラッジプラントの 3 つの施設データを取り上げ、東京都水道局の広報課にヒアリング調査を行った。これらのプラントは連携して運用されている。調査内容は、設備概要、処理能力、汚泥処理量、電力消費量、燃料消費量、薬品消費量、ガス消費量等である。図 1 に各施設の物質及びエネルギー投入量を示す。なお、芝浦水再生センターと森ケ崎水再生センターではそれぞれ 221,614,290[m^3/年]、415,532,560[m^3/年]の下水が処理されている [1)]。南部スラッジプラントでは 23,402,180[m^3/年]の汚泥が処理されている。

また、下水処理過程と汚泥処理過程では、使用されているエネルギーが異なる。南部スラッジプラントでは燃料の使用がないが汚泥を燃焼させるために都市ガスの使用が大きい。

3. CO_2 排出量の算定方法

ヒアリングでは、森ケ崎水再生センターでの燃料消費量が得られなかったので、芝浦水再生センターとの処理人口当たりの比を用いて概算を行った。算定に用いる CO_2 原単位は MiLCA[2)]や一般公開されている温対法の排出係数一覧 [3)]や既往研究 [4)]より引用した。

4. CO_2 排出量の算定結果

4.1 各施設の CO_2 排出量

それぞれの施設の CO_2 排出量の算定結果を図 2 に示す。芝浦水再生センター、森ケ崎水再生センター、南部スラッジプラントの各施設の CO_2 排出量はそれぞれ 33,648[t/年]、62,444[t/年]、56,837[t/年]となった。森ケ崎水再生センターの CO_2 排出量が最も大きい。

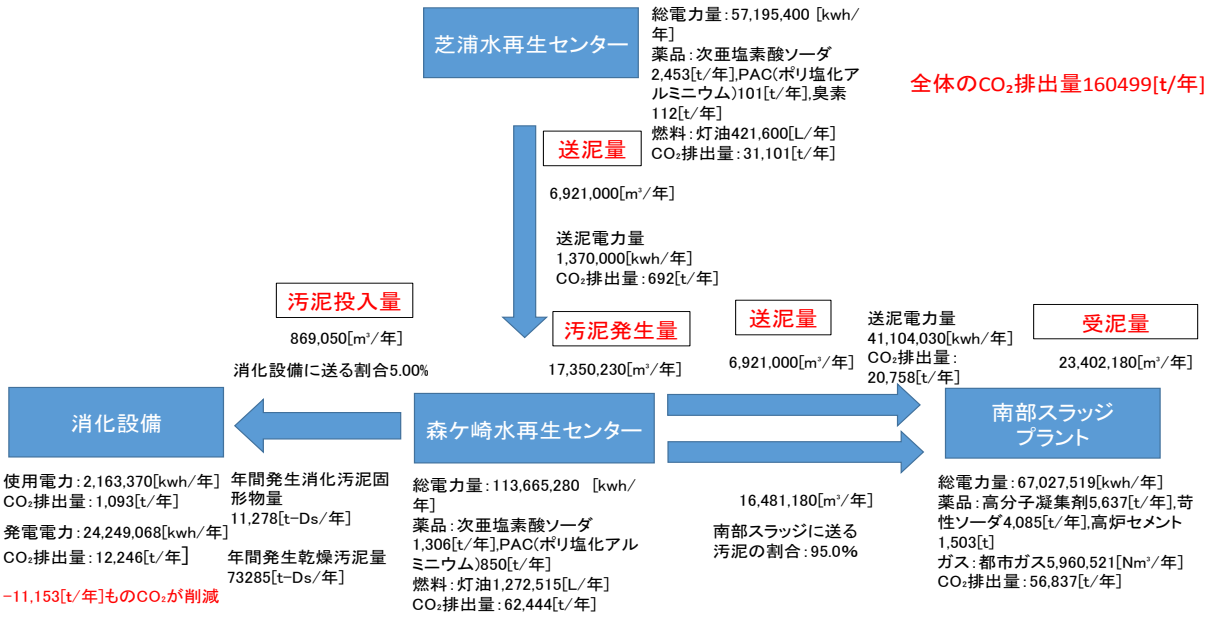


図 1　現状の 1 年当たりの消費エネルギー及び物質量

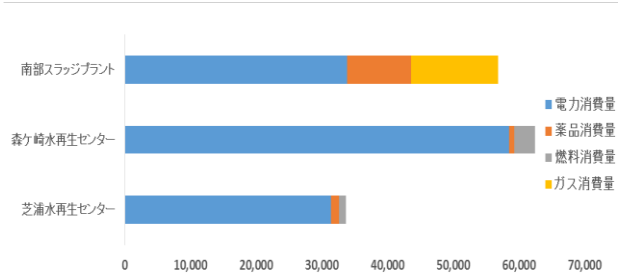


図2 施設で排出されたCO₂排出量の詳細

また、いずれの施設で持電力起因の CO_2 排出量が多い。既存の研究 [5]においても、下水処理過程においては CO_2 排出量が最も多い項目として電力が上がっている。今回の結果からも電力量によって CO_2 排出量が大きく変化することがわかった。

また、施設間へ送泥を考慮した 3 施設全体の CO_2 排出量を図 1 に示した。森ケ崎水再生センターでは、南部スラッジプラントに送泥する汚泥とは別にメタン発酵による消化ガス発電を利用する設備がある。現状の森ケ崎水再生センターで発生する汚泥量は、17,350,230[m³/年]であるが、実際にメタン発酵に使用される汚泥量は全体の約 5%の 869,050[m³/年]であり、残りの約 95%南部スラッジプラントに送泥されている。869,050[m³/年]の投入汚泥に対して使用する電力は、2,163,370[kwh/年]であり、発生したメタンガスによる発電量は 24,249,068[kwh/年]である。発電電力量から使用電地力量を差し引くと、CO_2 排出量は年間 160,499[t/年]となる。

4.1.1 芝浦水再生センターにメタン発酵を導入した場合

現状では、芝浦水再生センターに、メタン発酵を行うための消化設備がない。芝浦水再生センターで発生する汚泥の 5%をメタン発酵に利用すると仮定した場合の CO_2 排出量を算定した。消化設備を導入することにより送泥量が 5%少なくなり、南部スラッジでの発電量は少なくなるが全体の CO_2 排出量は 155,729[t/年]となり、メタン発酵による CO_2 排出削減量は、4,770[t/年]となった。

4.1.2 森ケ崎水再生センターの汚泥をすべてメタン発酵した場合の CO_2 排出量

芝浦水再生センターと森ケ崎水再生センターの汚泥量をすべてメタン発酵すると仮定した場合の CO_2 排出量を算定した。255,303[t/年]の CO_2 排出量が削減できることがわかった。

5. まとめ

従来の下水処理システムと消化設備を導入した下水処理システムを比較した結果、芝浦水再生センターの汚泥発生量の約 5%の汚泥量を投入することにより、4,770[t/年]の CO_2 排出量削減が可能だとわかった。また、両水再生センターでの発生汚泥の全てをメタン発酵すると 255,303[t/年]の CO_2 排出量削減になる。

現在下水処理における高度のエネルギー回収技術として B-DASH が注目されている。そこには大きく分けて 3 つの技術が存在する。表 1 に詳細を示す。今後 B-DASH を導入した場合の CO_2 削減量評価を行いたい。

6. 参考文献

(1)東京都下水道局　http://www.gesui.metro.tokyo.jp/ 2016/1/5 確認
(2)LCA 支援ソフトウェア　MiLCA　(産業管理協会)
(3)温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度 http://ghg-santeikohyo.env.go.jp/calc　2016/1/6 確認
(4)米元　剛史,李　玉友,2008,下水処理におけるエネルギー消費に及ぼす処理方式および処理規模の影響に関する統計分析,下水道協会誌,vol45,No.544,96-105
(5)吉田　一子,大森　康弘,若松　重幸,2008,汚泥脱水設備における CO_2 排出量に関する基礎的研究 NO.554,131-137
(6)国土交通省　超高効率固液分離技術を用いたエネルギーマネジメントシステム導入ガイドライン(案) 2013

表1 B-DASH 新技術の概要及び特徴[6)]

	概要	特徴
超高効率固液分離	超高効率固液分離は、消化ガス発生量の大きい生汚泥を下水から徹底的に回収し、水処理への負荷を軽減することによる省エネルギー化を行う。	(1)生汚泥回収率が高い→約40%増加し、有機物回収率も増加。 (2)省スペース化→従来技術の半分のスペースで設置可能。 (3)曝気動力を削減→流入下水のSS及びBOD除去率を、従来のものより大幅に向上させることにより、生物反応槽への負荷を低減し、曝気動力を15%軽減。
高効率高温消化	高効率高温消化は、生汚泥、生ごみからのコンパクトで高効率なバイオガス回収を行う。	(1)消化日数が短い→20日から5日に短縮 (2)消化ガス発生量増加→不織布担体を重点したことで、菌担体が高濃化。生ごみをいれても安定した処理が可能。 (3)建設コストの削減→高速消化が可能なため容積が1/4に変更。消化槽が小型になるため鋼鉄製に移行でき建設コストの削減を実現。
スマート発電	スマート発電システムは、プラント運転最適化制御とハイブリット型燃料電池により構成される下水処理場システムの省エネルギー、創エネルギー、畜エネルギーを促進する。	(1)システム全体→下水処理全体の受電電力の平準化が可能。 (2)ハイブリット型燃料電池→発電効率が高く、消化ガスの全量利用が可能。

LCA 手法による下水処理場消化ガスプラントからの余剰ガスの精製・貯蔵に関する評価

Evaluation for excess gas from Digestion Gas Facility in Sewage Treatment Plant by Life Cycle Assessment

○甲斐穂高*[1)]、本田智之[2)]、平山聡[2)]、中道隆広[3)]、蒲原新一[3)]、石橋康弘[2)]
Hotaka Kai, Tomoyuki Honda, So Hirayama, Takahiro Nakamichi, Shinichi Kamohara, Yasuhiro Ishibashi
1) 鈴鹿工業高等専門学校, 2) 熊本県立大学, 3) 長崎総合科学大学
* kai@chem.suzuka-ct.ac.jp

1. はじめに

現在、わが国には約 2,150 箇所の下水処理場があり、処理後発生する下水汚泥の処理方法は処理場ごとに様々であるが、現在、メタン発酵による嫌気性消化が注目されている。嫌気性消化処理は、下水汚泥を減容化するだけでなく、メタンを高濃度で含有するバイオガスを同時に発生させる。発生したバイオガスは再生可能エネルギーとして利用可能であるため、固定価格買取制度（FIT）の導入とともに、バイオガスを燃料としたガスエンジンでの発電が普及しつつある。

しかし、全下水汚泥発生量の約 30%を占める 10 トン／日以下の小規模下水処理場においては、ガス発生量が 500 m^3N/h 以下と少ないため、単独の消化槽では採算性に乏しく、発電機の導入が困難である。そのため、発生したバイオガスは一般的にボイラーの加温に用いられ、余剰ガスはすべて焼却処分されているのが現状である。

この余剰ガスの有効活用のために、複数の小規模処理場の余剰ガスを 1 箇所に集めて集約化し、発電に利用することが有効であると考えられている。

われわれの研究グループは、従来からある 2 塔式の PSA 装置よりも低コストかつ高効率である 1 塔式の PSA 装置を用いて、熊本県の 2 箇所の下水処理場から発生した余剰ガスを 1 箇所に集約して発電する実証試験を行った。しかし、このような回収・精製システムの環境影響における具体的な評価は少なく、従来の PSA 装置と環境影響についての比較は行われていない。

そこで、本研究では、３つの下水処理施設に設置した実証試験プラントを対象とし、ライフサイクルアセスメント（LCA）によって環境負荷を推定するとともに、既存 PSA 装置と比較することを目的とした。

2. 評価範囲と方法

2.1 評価範囲

図 1 に実証試験の概要を示す。評価範囲は PSA 装置への余剰ガスの投入から、集約した精製ガスの発電までとした。実証試験であるため、発電した電力は集約処理場の新規設備に利用するものとした。余剰ガス発生前の下水汚泥処理は、評価する全処理場で同一であるため、評価範囲外とした。今回新設する設備は全処理場で基本的に同じものだが、A 町のみ B 町・C 町に比べ利用可能な余剰ガス量が大きく異なるため、A 町の PSA 装置はそれに応じてスケールアップしたものを建設するものとした。運搬用のトラックについては、輸送のみ考慮し、トラックの製造は評価範囲に含めないものとした。PSA 装置は毎日 17：00~9：00 の夜間のみ稼働するものとし、10 年間の稼働を指標に本研究では評価を行った。

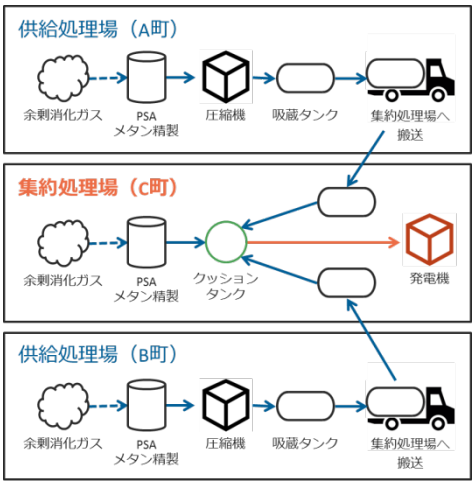


図 1　実証試験の概要

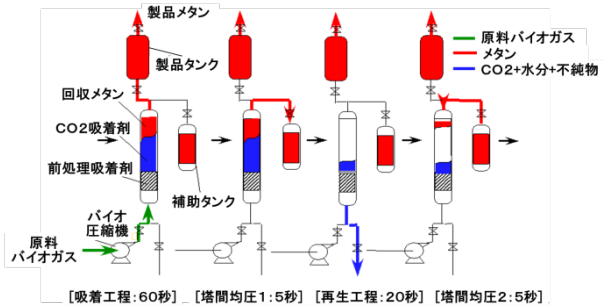


図 2　1 塔式 PSA バイオガス精製装置
フローシートと操作シーケンス

2.2 評価方法

上記の評価範囲を対象として、(社) 産業環境管理協会提供ソフトウェア MiLCA を使用し LCI 分析を行った。また、LCI 分析後、同ソフトウェアを利用して、日本版被害算定型環境影響評価手法(LIME 2)によるライフサイクルインパクトアセスメント(LCIA)を行った。

LCIA では、LCI 分析によって算出されたアウトプットが「人間健康」、「社会資産」、「生物多様性」、および「一次生産」に与える被害量を算出した(被害評価)。そして、被害評価結果を統合化し、経済指標である「円」で単一指標化した。

本研究で使用したデータは、関連企業への調査やヒアリングを通しての調査や、文献、LCA ソフト MiLCA からそれぞれ得た。

3. 結果

図 3 に「人間健康」に対する被害評価を障害調整生存年数（DALY）[3)]で示した。「人間健康」に対する被害量は、圧縮工程が最も影響していた。 図 4 に「社会資産」に対する被害評価を通貨単位：円（YEN）[3)]で示した。「社会資産」に対する被害量が全被害量の中でも突出しており、人間健康と同様に圧縮工程で最も大きい影響がみられた。

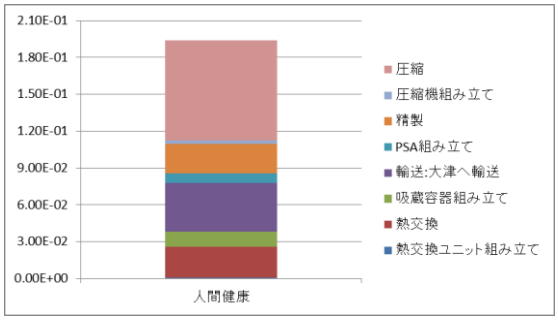


図 3 「人間健康」に対する被害量（単位：DALY）

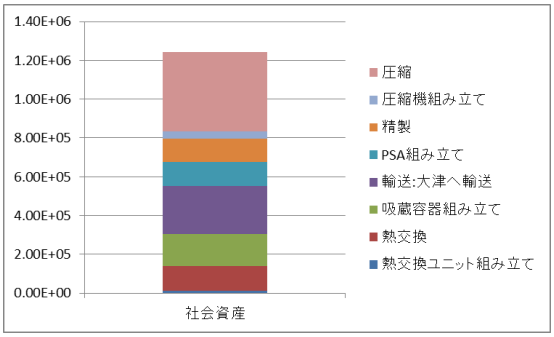


図 4 「社会資産」に対する被害量（単位：YEN）

図 5 に「生物多様性」に対する被害評価を生物種の絶滅リスク期待値（EINES）[3)]で示した。「生物多様性」に被害量は、稼働による影響は少なく、製造段階に大きい影響がみられた。図 6 に「一次生産」に対する被害評価を純 1 次生産力（NPP）[3)]で示した。「一次生産」に対する被害量は、社会資産と同様の結果を示した。

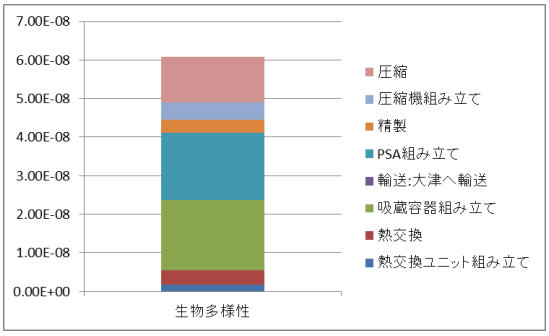


図 5 「生物多様性」に対する被害量（単位：EINES）

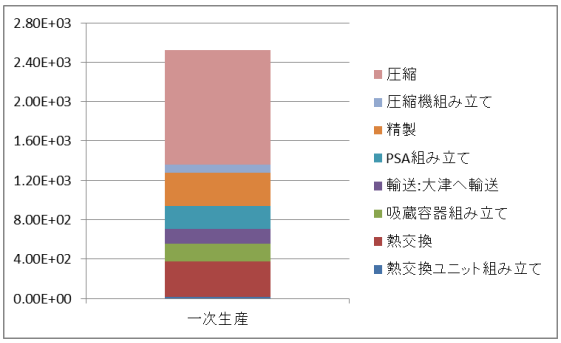


図 6 「一次生産」に対する被害量（単位：NPP）

図 7 に被害評価結果を統合化し、経済指標である「円」で単一指標化した結果を示した。統合化の結果圧縮工程の負荷量が最も多いことが明らかになった。

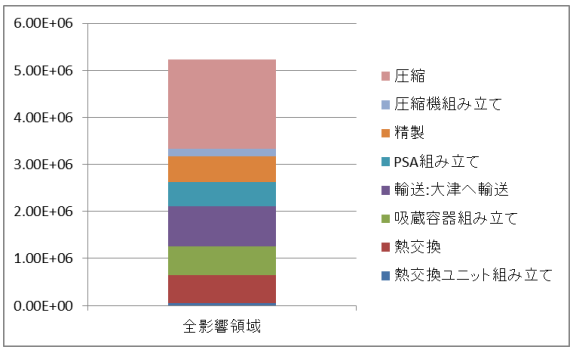


図 7 統合化結果（単位：円）

4. まとめと今後の展望

現状では、本実証試験の各プロセスの内、圧縮工程に大きい負荷があることが明らかになった。今後は詳細な考察を進めるとともに、既存 PSA との比較を行っていきたい。

5. 引用文献

1) 大村道明・竹内良曜・村井克則・菊池貞雄：農業施設 35 (4), (2005), pp.211-220

3) 伊坪徳宏ほか，“LCA 概論”，(社)産業環境管理協会，東京，(2010)，pp.143-173

排出実態調査に基づくバイオマス残渣利用のライフサイクルシナリオ分析　大学キャンパスを対象として

Life cycle scenario analysis of biomass utilization based on emission characteristics A case study of university campus

○細川裕*1)　・吉川直樹 1)　・天野耕二 1)
Yutaka Hosokawa, Naoki Yoshikawa, Koji Amano
1) 立命館大学
*rv0022he@ed.ritsumei.ac.jp

1.　はじめに

2000 年に食品リサイクル法が施行されてから、食品廃棄物の削減は各業界で進められてきた。例えば、ホテル業界では廃棄物対策を最重要課題の一つに挙げ、その大半を占める生ごみの削減のために肥料化を用いたリサイクルが行われている [1]。コンビニ業界では廃棄物対策として店舗において廃食用油のリサイクルや飼肥料化が進められている [2]。

食品廃棄物の削減を推進するために、学内店舗利用者が多く、日本全国に数多く存在し構成員も多いため安定した食品廃棄物を得ることができる大学キャンパスでの対策が必要である。大学キャンパスにおけるバイオマス残渣の資源化に関する既往の研究としては山田ら [3]による北海道大学での事例があるが、学内で家畜を育成している、学内店舗より学外店舗において利用者が多い、バイオマス残渣の使用が暖房器具中心という点からやや特殊な事例であるといえ、農学部を有しない大学における研究事例の蓄積が必要である。

そこで本研究では、設置・メンテナンスが容易な高温発酵型バイオ式処理機を大学構内に導入した際のライフサイクル環境影響を評価する。対象店舗から排出される廃棄物の排出実態を調査し、それらの分別処理による影響も考慮した。

2.　研究方法

本研究では、立命館大学キャンパス内の学内食堂 2 か所ならびにコンビニ 1 か所から発生する廃棄物を研究対象とする。上記の対象範囲からの廃棄物のうち、食品由来のごみをバイオマス残渣とし、紙や容器包装などはその他のバイオマス残渣以外の廃棄物として扱う。

2.1　システム境界

現行シナリオならびに堆肥化シナリオのシステム略図をそれぞれ図 1、図 2 に示す。

現行シナリオでは、対象店舗由来の廃棄物はすべて草津市クリーンセンターに輸送された後焼却処理される。これを「輸送段階」「焼却段階」とする。さらに堆肥化製造段階相当の化学肥料を購入したと仮定してライフサイクル環境負荷を算定する。これを「製造段階」「輸送段階」とする。

また堆肥化シナリオでは、対象店舗由来の廃棄物のうちバイオマス残渣を高温発酵型バイオ式処理機で処理することで堆肥を製造する。これを「製造段階」とする。この製造堆肥を近隣農家に輸送する。これを「輸送段階」とする。バイオマス残渣以外の廃棄物は従来通り草津市クリーンセンターで焼却処理する。これを「輸送段階」「焼却段階」とする。

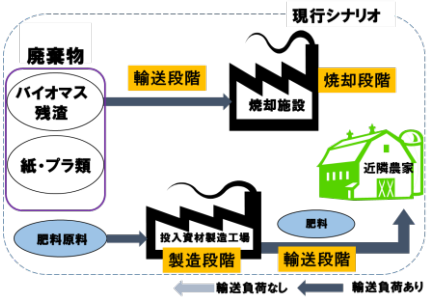


図 1　現行シナリオ略図

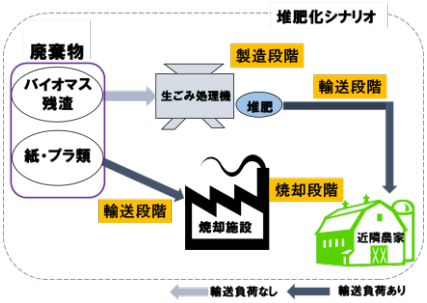


図 2　堆肥化シナリオ略図

2.2　調査方法

学内のバイオマス残渣発生量とその変動を調査するとともにバイオマス残渣以外の廃棄物（容器包装や紙ごみなど）の内訳を把握する（排出量調査・組成調査、表 1）。

また、高温発酵型バイオ式処理機を中心として堆肥化実験を行い、消費電力を測定する。更にバイオ

マス残渣投入量あたりの堆肥生成量を求め、この結果から堆肥化システム導入による環境負荷削減効果を推計する。

表１　調査概要

	組成調査	排出量調査
対象店舗	食堂2か所、コンビニ1か所	
調査期間	2015年10月23日～11月21日（計5回）	2015年5月27日～6月26日（計13回）
区分	容器包装プラスチック 容器包装以外プラスチック 紙 低品質バイオマス残渣 その他	バイオマス残渣
回収基準	厨芥庫内廃棄物の1割	厨芥庫内バイオマス残渣全量

3.　研究結果

排出実態調査から得られた知見を述べる。まず対象店舗における１日当たりのバイオマス残渣量は表２のようになる。

これらの店舗由来のバイオマス残渣の合計値85.3[kg/日]を含めた廃棄物の内訳が図 3 のようになる。

表 2　対象店舗での１日当たりバイオマス残渣量（単位：kg/日）

	食堂		コンビニ	計
バイオマス残渣	29.0	22.5	33.9	**85.3**

バイオマス残渣は低品質なものも含めて全体の半分を占めていた。ここで低品質バイオマス残渣とは、食堂内のシンクなどから排出される水分と夾雑物を多く含んだバイオマス残渣であり、手分別が困難であった。また店舗で調理する際に発生する油の残りかすや、給茶機の中に投入して使用した茶殻など、分類が難しいものも含める。

バイオマス残渣以外の廃棄物に関しては、容器包装プラスチック（調味料の入れ物や冷凍食品のパックなど）が 26%と最も多く、紙類（レシートや紙製容器）が 16%で続く。容器包装以外のプラスチックは全体の 5%を占めており、対象物質は店舗などのレジで配られるビニール袋が大部分を占めているため、重量比での値が小さくなった。

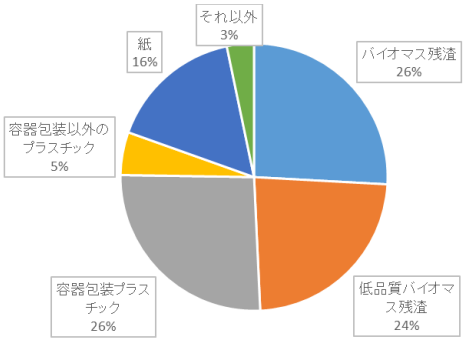


図３　１日の廃棄物内訳

4.　おわりに

本研究では、大学キャンパス内店舗から発生する廃棄物の内訳を調査し、それらの分別処理によるライフサイクル環境影響評価を行った。また、大学キャンパス内店舗から発生するバイオマス残渣をバイオ式処理機によって堆肥化した場合のライフサイクル環境影響評価を行った。

学会当日では、組成調査による内訳区分に基づいたライフサイクル環境影響評価ならびに、堆肥化システムと現行システムとの変化の比較結果について報告する。

5.　謝辞

本研究にあたって立命館生活協同組合からの協力を得た。ここに記して謝意を表する。

6.　参考文献

1)　上岡瞳・金谷健：土木学会論文集 G(環境),68 (6)，(2012)，pp. 59-69

2)　野村総合研究所:”　コンビニエンスストアを取り巻く環境に関する調査結果(H26)”，<http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/shoryu/convenience/pdf/001_05_00.pdf >

3)　山田健太・藤井賢彦・荒木肇：日本 LCA 学会誌,8 (1)，(2012)，pp. 45-54

DNP バイオマスプラスチック包材「バイオマテック®PET」の LCA と容器包装への適用

LCA of DNP Biomass Plastic Packaging 'BIOMATECH PET' and its Application to Packaging

○柴田あゆみ*[1)]、伊坪徳宏[2)]
Ayumi SHIBATA, Norihiro ITSUBO
1) 大日本印刷株式会社, 2) 東京都市大学
* Shibata-a6@mail.dnp.co.jp

1. はじめに

DNP では環境への負荷や持続可能性に配慮した包装材を積極的に開発しており、その環境側面をコミュニケーションするために LCA 手法を活用している。バイオマス PET（ポリエチレンテレフタレート）は、ボトル用途で普及していたが、フィルム用途は実績がなかった。PET フィルムはパウチ等の容器包装において主要な構成層であることから、2010 年、商社、原材料メーカー、フィルムメーカーと協力して、バイオマス PET フィルムの開発に着手し、石油由来の PET フィルムと同等の物性を備えたバイオマテックフィルムを 2012 年に上市した。開発と同時に必要だったのが環境価値の証明である。当初、国内に LCA データが存在しなかったことから、信頼性の高い LCA データを作成するべく、2011 年、東京都市大学・岩谷産業・DNP の 3 者で LCA 研究を実施し、第 7 回日本 LCA 学会研究発表会にて報告した[1,2)]。

2. 研究目的

既存研究において、いくつか課題を見出しており、①サトウキビの栽培方法、②テレフタル酸のバックグランドデータについては再検討の余地があると考えていた。本研究では、既存研究の課題について再検討し、算定結果の精緻化を行った。その結果について報告するとともに、容器包装への適用について言及する。

3. 方法

3.1 評価対象と評価範囲

評価対象は以下の通りとした。
・バイオマテック PET フィルム
（バイオマスプラスチック度 20%）
・石油由来 PET フィルム
・バイオマテック PET を使用した容器包装
バイオマテック PET フィルムを使用した容器包装のシステム境界は図 1 の通りである。

3.2 評価対象物質

温室効果ガス（以下、GHG）を対象とした。

3.3 データ収集方法

3.3.1 バイオマテック PET

(1) サトウキビの栽培

既存研究では、現地におけるヒアリングより、稲作に似た栽培方法であると見定め、嫌気性条件化で土壌より発生する CH_4 を算定に含んだ。その後の専門家へのヒアリングにより、栽培方法は畝間灌漑（furrow irrigation）であると結論付け、CH_4 は除外した。栽培期間中の N_2O の算定方法[3)]は以下の通りである。
・作物残渣の農用地の土壌への施用に伴う N_2O
デフォルトの排出係数[4)]×作物残渣鋤き込みによる窒素投入量×44/28
・合成肥料施肥に伴う N_2O
農用地に投入された合成施肥用量×デフォルトの排出係数[4)]×44/28

(2) テレフタル酸

PET は MEG（モノエチレングリコール）とテレフタル酸の脱水縮合により作られる。植物由来の PET はこの MEG をサトウキビから作った材料である（図 1）。

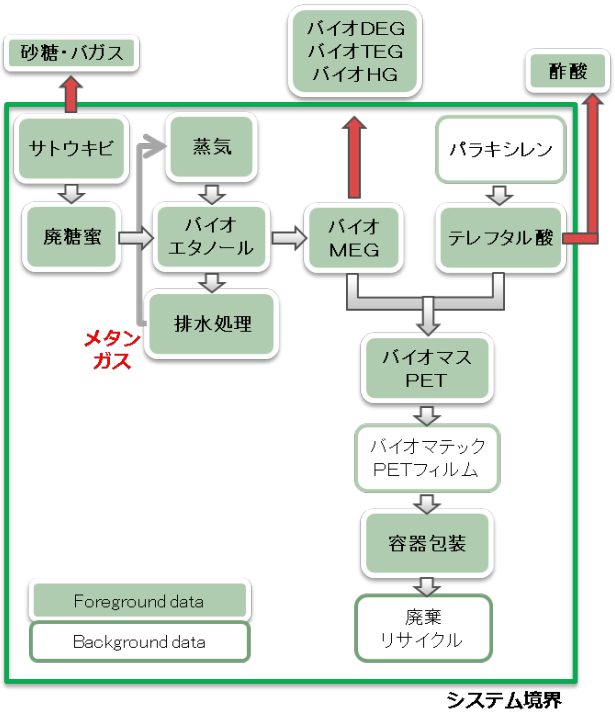


図 1　バイオマテック PET フィルムの製造フローとシステム境界

一方で、約 7 割がテレフタル酸から成るため、そのバ

ックグランドデータの選択により大きく影響を受ける。既存研究では、IDEA のデータを適用していたが、本研究では、パラキシレンまでは、50 ユニットのスチームクラッカーデータからなる Plastics Europe の Eco-profile[5] を適用し、パラキシレン～テレフタル酸までは、製造元のフォアグランドデータを収集した。

表１　テレフタル酸のデータ詳細

	プロセス	
	原油～ﾊﾟﾗｷｼﾚﾝ	ﾊﾟﾗｷｼﾚﾝ～ﾃﾚﾌﾀﾙ酸
既存研究	IDEA	IDEA
本研究	Plastics Europe	Foreground data

3.3.2　石油由来 PET

MEG までのプロセスについては Eco invent を参照した。テレフタル酸についてはバイオマテック PET と同様の値を使用し、PET 重合は IDEA より引用した。

3.4　算定方法

インベントリ分析、影響評価ともに MiLCA を使用して評価した。PET フィルムの製膜に関しては、CFP プログラム原単位[6] より引用した。また廃棄段階は 100%焼却を想定し、バイオマテック PET のバイオ由来炭素分はニュートラルとし、算定した。ただし、容器包装として算定をする際は、CFP プログラムのプラスチック製容器包装 PCR[7] の焼却率を参照した。

4. 結果

4.1　サトウキビ栽培段階の GHG 排出量

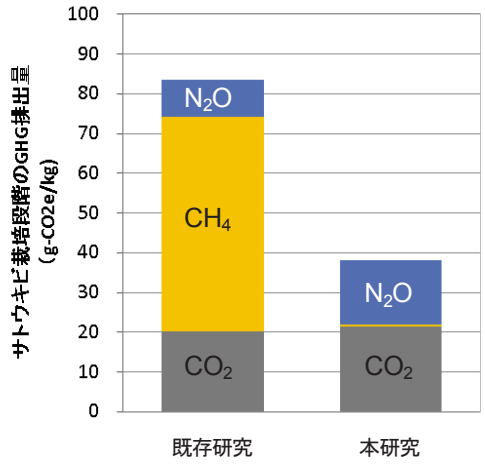
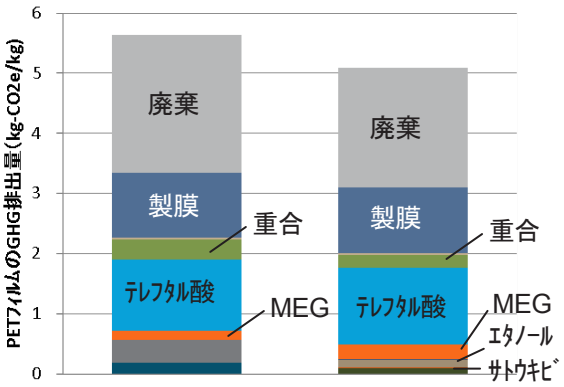


図２　サトウキビ栽培段階の GHG 排出量構成

既存研究におけるサトウキビ 1kg あたりの GHG 排出量は 83.5g であったが、本研究では、38.1ｇという結果を得た。詳細は図 2 に示した。

4.2　PET フィルムの GHG 排出量

バイオマテック PET フィルムは石油由来 PET フィルムと比較し、約 10%の削減効果があることを明らかにした。詳細は図 3 に示した。



	原材料～製膜	廃棄	合計
石油由来 PET ﾌｨﾙﾑ	3.35	2.29	5.64
ﾊﾞｲｵﾏﾃｯｸ PET ﾌｨﾙﾑ	3.10	1.99	5.09

図３　PET ﾌｨﾙﾑ 1kg 当たりの GHG 排出量と構成

4.3 容器包装への適用

バイオマテック PET はパウチ等の容器包装を中心に採用され、拡がりを見せている。本研究の成果を活かし、これらの容器包装の算定を行うと、2014 年度は石油由来の PET を使用した場合よりも 1 年間で約 2090t の GHG 排出量削減につながることがわかった。

5.　まとめ

本研究でバイオマテック PET の再検討を行うことで、原単位をより精緻化した。今後は本算定結果を用いて LCA を実施し、バイオマテック PET の環境側面についてコミュニケーションしていく。また、バイオマス素材は水や生態系への影響把握も重要である。併せて検討していく。

6.　謝辞

アドバイスをいただきました国立研究開発法人農業環境技術研究所の秋山様に厚く御礼申し上げます。

引用文献

1)　麻喜皓人ら：インドにおけるサトウキビ栽培の環境影響評価（2011）
2)　八木橋聡美ら：バイオマス由来ポリエチレンテレフタレートの LCA（2011）
3)　GIO：日本温室効果ガスインベントリ報告書 (2014)
4)　2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
5)　Plastics Europe Eco-profile BTX 2013-02
6)　CFP プログラム　基本データベース ver. 1.01
7)　CFP-PCR（PA-BC-03）プラスチック製容器包装

木質バイオマス利活用事業の社会影響評価に関する考察

Discussions about social life cycle assessment on the product for utilizing woody biomass

○文　多美*[1)]、塚原　建一郎[1)]、匂坂　正幸[1)]、渕上　智子[2),3)]、田原　聖隆[1)]
Dami MOON, Kenichiro TSUKAHARA, Masayuki SAGISAKA, Tomoko FUCHIGAMI and Kiyotaka TAHARA
1) 産業技術総合研究所, 2)　東京大学,　3) 合同会社エフプロ
*dami.moon@aist.go.jp

1.　はじめに

林地残材や製材端材などの未利用木質バイオマスがエネルギー資源として主に利用されている中で、セルロースナノファイバー(CNF)という高付加価値製品へのマテリアル利用も注目されている。石油由来の高機能エンジンプラスチックの代替製品として開発されているCNFは、鉄よりも軽くて強い特徴を持っているため、自動車部品に用いることで、燃費向上による温室効果ガス(greenhouse gas, GHG)の削減に貢献でき、環境面での効果が期待される[1)]。また、CNF は原料となる木質バイオマス資源を日本国内の森林から採取できるため、森林地域の経済活性化にも貢献できる[2)]。このように、地球温暖化対策や循環型社会形成，新産業創出といった環境効果・経済効果が期待されているCNF製造事業を推進することにおいて、持続可能性を構築するためには、事業の実施に伴う生活の質に関連する人々の雇用面や健康、そして人権等といった様々な社会側面での影響についても検討する必要がある。そこで、本研究では、木質バイオマスの伐採からCNF生産までの事業プロセスを対象に、社会側面での影響を評価することを目的とする。また、原料となる木材チップを開発途上国から輸入する場合と国産材を使う場合での社会影響についても明確にする。具体的には、日本と木材チップの主な輸入国であるベトナムの木材チップを用いてCNFを製造する際に及ぼされる社会影響を社会的ホットスポットデータベース(Social Hotspots Database, SHDB)を用いて評価する。

2.　研究方法

木材チップからなるCNF製造事業が社会及ぼす影響を把握するため、まず、木材チップの採取先によって日本産とベトナム産の 2 つのケースに分けて、図 1 のようにプロセス範囲を設定した。日本産では日本国内から採取した木材チップを、ベトナム産ではベトナムから採取した木材チップをCNFの製造の原料に用いる。2 つのケースとも、CNF の製造は日本で行われることを前提にするため、ベトナム産ではベトナムから日本への海上運搬工程が加わる。次に、SHDB を使ってケース別社会影響を評価するため、木材チップからCNF製造までのプロセスにかかる費用の内訳を産業別に分けて、表 2 のようにインプットデータを作成した。そしてSHDBを用いて労働条件と人権を中心になる社会面で起こりえるリスク内容とリスクレベルを推計した。

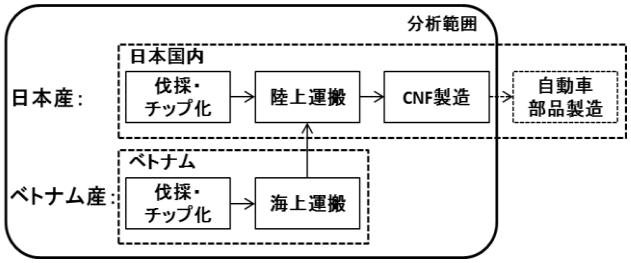


図 1 プロセス範囲の設定

表 1　SHDB 分析に用いる産業別インプットデータ

産業別セクター	ケース（JPY/CNF1JPY）		項目
	日本産	ベトナム産	
Forestry	0.0115	0.0053	伐採、チップ化、運搬
Transport nec	0.0026	0.0065	海上運搬
Transport nec	0	0.0026	陸上運搬
Water	0.0121	0.0121	水使用
Machinery and equipment nec	0.6826	0.6824	機械維持・補修
Business service nec	0.0351	0.0351	賃貸関連
Electricity	0.2353	0.2352	電気消費

＊ 産業別セクターはSHDBの産業セクターによって分類した。

SHDBから出力される約600以上の社会リスク項目は、5 ソーシャルカテゴリ(Labor rights and decent work, Health and safety, Human rights, Governance, Community infrastructure)、22 ソーシャルテーマに分類される[3)]。これらの SHDB の社会影響の分類範囲は、UNEP から提供する Socio-economic Life Cycle Assessment (S-LCA)を参考にしている[4)]。SHDB により、各リスク項目のリスクレベルとリスク指標が把握できる。ここで、リスクレベルは 5 段階(undefined risk level(URL)、low risk(LR)、medium risk(MR)、high risk(HR)、very high risk(VHR))で評価され、リスク指標は労働時間で表される。本研究では、HR と VHR に分類される項目を対象にリスク指標を分析した。

3.　結果と考察

(1) CNF 製造事業による社会リスク

木材チップの採取からCNF生産までのプロセスにおける社会リスク項目を表 2 に示した。CNF の生産事業による社会リスク項目は日本産とベトナム産の 2 つのケースとも同じく、木材チックの採取先による差は見られなかった。カテゴリ別リスク指標の構成比も 2 つのケースで

表 2　CNF 製造による社会リスク（SHDB の分析結果）

Social categories	Labor rights and decent work	Health and safety	Human rights	Governance	Community infrastructure
VHR	・Child labor ・Forced labor ・excessive working time ・Wage assessment ・Poverty ・Migrant labor ・Freedom of association etc. ・Unemployment ・Lobor laws	・Injuries and fatalities ・Toxics and hazards	・Indigenous rights ・High conflicts ・Gender equity ・Human health issues	・Legal systems ・Corruption	・Drinking water ・Sanitation ・Children out of school ・Smallholder or conventional farms
HR					**・Hospital beds** ・Drinking water ・Sanitation ・Children out of school ・Smallholder or conventional farms

ほぼ同じく、Human rights, Labor rights and decent work, Health and safety の順でリスクが高かった(図 2)。

(2) ケース別社会リスク

ケース別CNF製造プロセスにおける社会リスクを見ると、リスク指標の構成比の一番高かった Human rights では 2 つのケースの違いは大きく見られなかった(図 3)。Labor rights and decent work について、日本の木材チップを用いて CNF を製造する日本産では Labor laws テーマのリスクが大きい反面、ベトナムの木材チックを輸入して CNF を製造するベトナム産では Child labor テーマのリスクが大きいことが分析された(図 4)。他に、Governance と Community infrastructure においても木材チップの採取国によるリスクの格差は見られた。

4.　おわりに

木質バイオマスから作る CNF 製造事業を対象に、木材チップの採取先によって社会に及ぼすリスク内容の違いについて考察した。これにより、バイオマス資源を採取する国によって、Governance、Health and safety、labor rights and decent work のソーシャルカテゴリに及ぼす効果及びリスクに大きな差が生じることが分析された。これらの研究成果を踏まえ、CNF を原料にした最終製品の製造を含めた社会への影響についても検討する。

5.　参考文献

1) Moon, D.M., Tsukahara, K., Sagisaka, M, Tahara, K.:3rd Asian conference on Biomass science, (2016.1), (発表予定).
2) Moon, D.M., Kitagawa, N., Sagisaka, M, Genchi, Y.: J. Jpn. Inst. Energy, 94(6), (2015), pp. 582-587.
3) Benoit-Norris, C., Cavan, D.A., Norris, G: Sustainability, 4(9), (2012), pp.1946-1965.
4) Guidelines for social life cycle assessment of products (2009):UNEP web site, <http://www.unep.org/publications/search/pub_details_s.asp?ID=4102>, (2015.10.29).

謝辞

本研究は、文部科学省 GRENE（グリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス）NE-CARP（植物 CO_2 資源化研究拠点ネットワーク）プロジェクトの一環として行われた。



図 2　カテゴリ別社会リスク指標の構成比

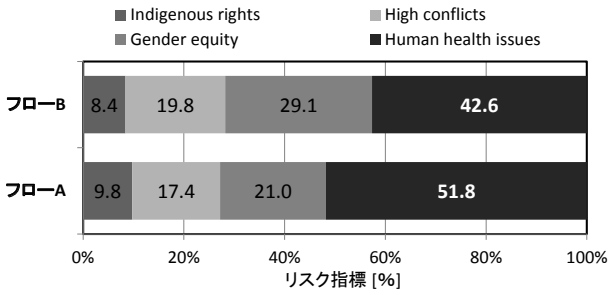


図 3　Human rights 部門でのリスク指標の構成比

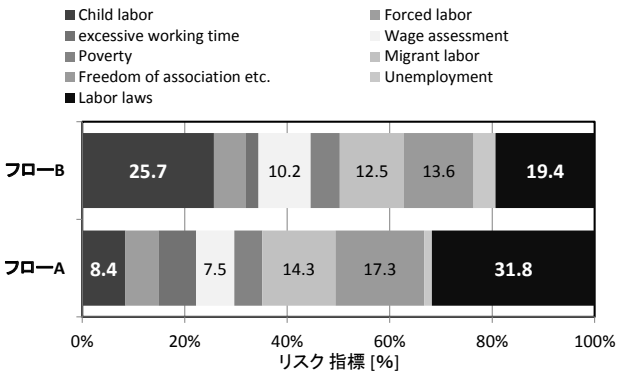


図 4　Labor rights and decent work 部門でのリスク指標の構成比

広島県における森林資源のマテリアルフローと環境負荷分析

Material flow and environmental analysis on woody resources in Hiroshima Pref.

○山本綾香*[1)]、若林國久 [1)]、小林謙介 [1)]、原田浩幸 [1)]、川村晃 [2)]

Ayaka YAMAMOTO, Kunihisa WAKABAYASHI, Kensuke KOBAYASHI, Hiroyuki HARADA, Akira KAWAMURA

1)県立広島大学

2)広島県木材組合連合会

*q306052jo@pu-hiroshima.ac.jp

1. はじめに

近年、環境問題への意識も高まり、森林資源の有効活用に向けて様々な対策が行われている。活用が拡大される一方で、植林が十分に行われていないことから、将来的には木材が不足することも懸念される。西日本でも有数の森林資源を有している広島県では、森林資源の賦存量に対する木材利用率が極めて低い。しかし、その活用を検討する上で必要不可欠なチップやペレット等の利用動態は十分に把握できていない。このような背景から、本研究では県内の約 200 の事業者に対してアンケート調査を実施し、一部はヒアリング調査を行った。その結果から、広島県域の木材の利用動態及び環境負荷排出量を明らかにして今後の木材利用のありかたについて検討することを目的とする。

2. データ分析

広島県の木材に関する製材や集成材等、約 200 の事業者に対してアンケート調査を実施した。回答率が 100%でなかったため、回答事業者の生産量等を県の統計で得られる全生産量で除算することで、原木消費や製品生産等のカバー率を求めた。また、発電に関しては回答事業者の発電電力量の合計を広島県の全発電所の発電量の合計で除算することで発電カバー率を求めた。アンケート集計値をカバー率で割り戻すことで、県全体の原材料や生産量、発電量を算出した。木くずに関しては建設副産物実態調査の合計値に合わせた。

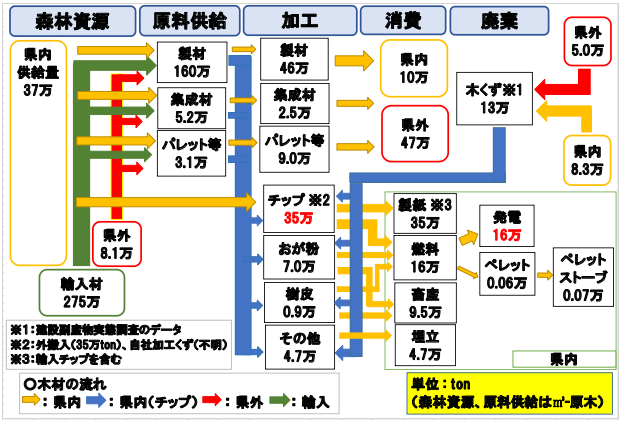


図 1. 物質フロー分析（2014 年）

3. マテリアルフロー分析

アンケート調査で得られたデータや事業者に対してのヒアリング調査などをもとに分析を行った。現状と 5 年後でそれぞれマテリアルフローを作成した。現状の木材の動態をフローに表したものを図 1 に示す。また、現状及び 5 年後のチップを中心としたフローを図 2 に示す。現状だけでなく 5 年後も含めて考察すると、大規模なバイオマス発電施設が建設されることで、チップ需要が大きく変化することが明らかになった。現状は年間約 16 万 ton のチップを使用しているが、5 年後は約 46 万 ton のチップが必要になるという結果になった。一方、県内のチップ生産量は、製材、集成材等の生産過程で生産され、外販されるものが 16 万 ton（内、県内分が 16 万 ton）、チップ

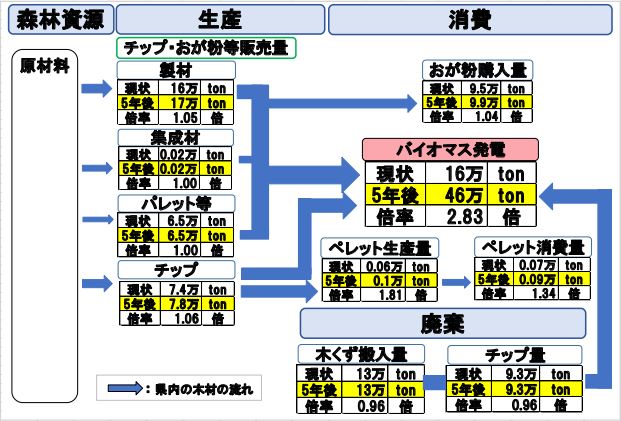


図 2. 物質フロー分析（5 年後）

製造施設での生産が 7 万 ton（内、県内分が 2 万 ton）程度であった。今後増設される予定のプラントを加味しても県内の供給力が不足する可能性があり、県産材の活用につながらない事も考えられる。

4. 環境負荷量の概算

木材利活用のライフサイクルにおける環境負荷分析（LCA）を行った。分析には MiLCA を用いた。環境負荷物質を統合化したものを図 3 に示す。統合化した結果、CO2 による環境負荷が最も大きいことがわかった。そこで CO2 に着目して、各工程での CO2 排出量の内訳を分析した。その結果、製紙の工程で最も CO2 が排出されていることが分かった。製紙の生産過程で、多くの化石燃料を使用していることが原因と考えられる。

5. 実態調査

木材に関するマテリアルフローに欠かせない情報や北部地域の森林の特徴などの情報入手のために県内の森林組合や自治体（7 事業者）に対して実態調査を行った。この結果、県産材の利活用が不十分であることや植林が不十分であること等の課題が得られた。特に県産材の活用が課題という意見は多く、林道の整備や安定供給、未利用木材の集荷システムの構築等が対策として挙げられた。また、広島県内の木材を持続的に利用するためには植林が必要になる。しかし、植林をするにはコストがかかり、経済的に厳しいためなかなか取り組めていないのが現状である。その他、得られた情報や課題等や対策は表 1 に示す。

今後広島県内には大規模なバイオマス発電施設が建設されるだけではなく、ペレットの需要も高まっている。従って、現状よりも多くの木材を使用することになるため、チップとしての利用だけでなく森林管理も含めた総合的な活用策の検討が重要である。

6. 考察

現在及び 5 年後の木材の利用動態を明らかにした。今後、大規模なバイオマス発電施設が建設されるが、発電に利用するチップ量等を把握した上でバイオマス発電のあり方を検討する必要がある。また、県産材を持続的に利用していくためにも植林を行い、適切な森林管理が必要となると考えられる。併せて、木材などを加工する際に発生する環境負荷物質の削減も今後の対策として重要になると考える。

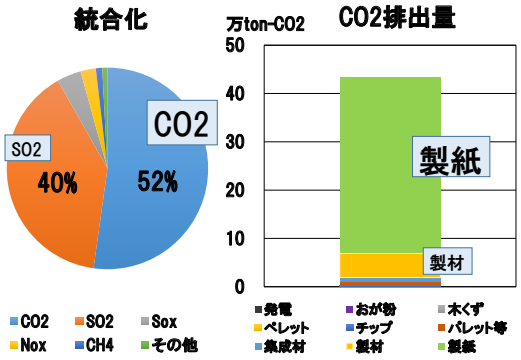


図 3. 環境負荷分析結果

表 1. 実態調査結果

		課題等	今後の方針・対策法
行政	聞き取り調査（1件）	・森林の多面的機能 ・山林の森林資源活用	・新町建設計画に基づき、長期総合計画（10年）実施 ・中小規模発電事業を実施（燃料：林地残材）
山側	アンケート調査（59件）	①県産材の活用	・安定供給・集荷システムの整理 ・新築より造改築推進（地産地消型の住宅政策） ・住宅以外の用途の推進（土木・環境資材等） ・ブランド化
	聞き取り調査（1件）	②木材活用の決め手（チップ利用を選択した理由）	・コストが安い（A重油と比較） ・燃料として利用可能（樹皮・のこ屑・端材等） ・入手容易（チップ：製造工程に伴って発生）
利用側	アンケート調査（120件）	①県産材の活用 輸入材：為替の影響を受ける ⇒安定供給不可	・安定供給・集荷システムの整理 ・ブランド化 ・林道の整備
	聞き取り調査（5件）	②木材活用の決め手（チップ利用を選択した理由）	・FITによる電力の高額買取があるため ・CO2削減への貢献のため ・燃料費安価 ・自治体の木質バイオマス事業のため
		③リサイクル率向上の可能性	・販売先の拡大 ・収益の確保

木材の発電利用における環境負荷と木材供給可能量分析

広島県神石高原町におけるケーススタディ

Analysis of material flow and environmental load on woody materials in view of power generation with wood chip

Case Studies in Hiroshima Pref. Jinsekikogen town

○若林國久*[1)]、山本綾香[1)] 、徳田好朗[2)]、豊田達哉[3)]、小林謙介[1)]

Kunihisa WAKABAYASHI, Ayaka YAMAMOTO, Yoshio TOKUDA, Tatuya TOYOTA, Kensuke KOBAYASHI

1)県立広島大学、2)神石高原町地域おこし協力隊、3)神石高原町

*q206052sq@pu-hiroshima.ac.jp, kensuke@pu-hiroshima.ac.jp

1.はじめに

木質バイオマス発電の累積設備容量は約26万kW(2010年末)[1)]で1990年代の10倍以上に達しており、FIT制度(2012年施行)によりさらに普及が進んでいる。発電利用するためには大量消費する木材を数十年間安定供給する必要がある。すなわち、環境負荷に配慮しつつ、持続的な利用(資源を町内で循環し競合回避)について十分な検討を行った上で実施することが不可欠であるが、長期的視点での検討例は殆どない。

このような背景から、本研究では、広島県(森林面積が西日本最大)で小規模発電導入の検討を始めた神石高原町の需給の現状及び環境負荷排出量や実態調査、木材供給可能量の将来予測などの分析を通して環境負荷に配慮した木材の持続的な利活用策(既存林産と発電燃料安定供給の持続)の提案を目的とした。本報告では、町内木材生産・加工事業者などへのヒアリング調査を実施した。その結果をもとに木材のマテリアルフロー分析とLCAを実施し、需給動態と環境負荷排出量の現状を明らかにした。また，既存の林産を続けた場合と、発電利用が加わった場合の今後45年間(伐採サイクル40年＋α)の供給可能量推計を行って長期的な視点での利活用のあり方を検討した。

2.物質フロー分析

2014 年の物質フロー分析を行った(図 1)。伐採量などの必用情報は、町内の規模の大きい木材生産・加工施設(8 施設)へのヒアリングにより入手した。小規模施設や町外事業者の伐採量は伐採申請値(伐採面積)に面積当たりの蓄積量を乗じる方法で推計した。蓄積量と素材利用量の関係を見ると、森林の蓄積量 4,577 千㎥(立木換算)の内、町産の素材利用量は 41 千㎥/年(立木換算)で、現時点では資源の腑存量は需要を大きく上回っていることが確認できた。

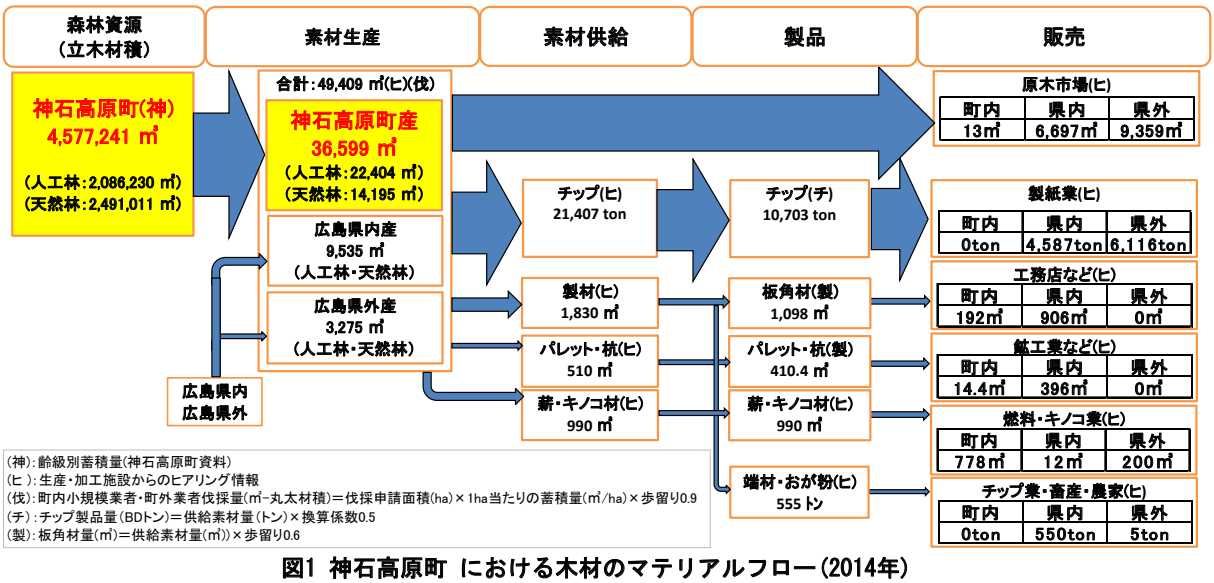


図1 神石高原町 における木材のマテリアルフロー(2014年)

3.環境負荷排出量の分析

木材利活用のライフサイクルにおける環境負荷排出量を分析するため、LCA を実施した。分析は MiLCA を用いて実施し、LIME2 を用いて全ての環境負荷を統合化した結果は図 2 のようになった。環境負荷物質全体の約 8 割は原油(43%)と CO_2(36%)で占められていた。排出量を分析すると、原油の全体量は 165 トン-原油で、町内原木生産(71%)、県内原木生産(18%)、県外原木生産(6%)で全体の 95%を原木生産(市場への原木輸送を含む)が占めた。CO_2 の全体量は 167 トン-CO_2 で、チップ(52%)と製材(17%)と町内の原木生産(17%)で全体の 86%を占めた。原木生産における軽油等の使用や、チップ加工・製材での電力使用に伴う原油等の化石燃料に由来しており、これらの負荷軽減施策が重要である。

4.実態調査

供給可能量の将来推計の設定条件と木材資源の持続的利用の視点での発電利用の課題を捉えるため、町内チップ事業者(2 施設)と生産・加工事業者(6 施設)をヒアリングした。供給可能量推計に影響を与える植林率(植林面積と伐採面積の比)は人工林が 0～数%、天然林は天然更新(100%)との回答であった。主に植林後 40 年以上経過した木を伐採し、枝・根以外は搬出しており、立木の約 9 割を利用(歩留まり約 0.9)していた。今後の生産量は伐期を迎えた人工林がしばらく増加、横ばい、或いは、後継者不足で減少を見込むなど意見が分かれた。設備の生産余力(生産可能量と現状の生産量の比)は原木が 1.3 倍、チップ 1.7 倍程度である。後継者育成と原木確保に課題があることがわかった。

5.木材供給可能量の将来推計

既存の林産を続けた場合と発電利用が加わった場合の今後 45 年間の 8 齢級(植林後 40 年)以上の供給可能量推計[2]を行った。推計は5つのケース(①発電電力 0kW、②100kW、③500kW、④1000kW、⑤2000kW)について行った。木材蓄積量から伐採量を差し引いた値に成長量を加えた値を供給可能量(立木換算値)とした。発電用の伐採量は発電電力に木材 1kg を燃焼して得られる電力量の係数 (0.7kW/kg)[3] を乗じて求めた。人工林の植林率 (4.1%)[4]以外の条件は実態調査の値とした。発電電力 500kW 以下(ケース①、②)では、今後、10 年間は 10%弱増加し、その後単調に減少する。45 年後は 12～15%程度の減少に留まる。ケース③、④では、今後、僅かに増加するが、その後は単調に減少し、45 年後は 27～42%弱まで減少する。ケース⑤では今後、単調に減少し、45 年後は 70%程度まで減少する結果が得られた。

6.まとめ

本報告では、木質バイオマス発電導入の検討を始めた自治体内のマテリアルフローを構築し、木材資源の需給と環境負荷排出量の現状を明らかにした。また、

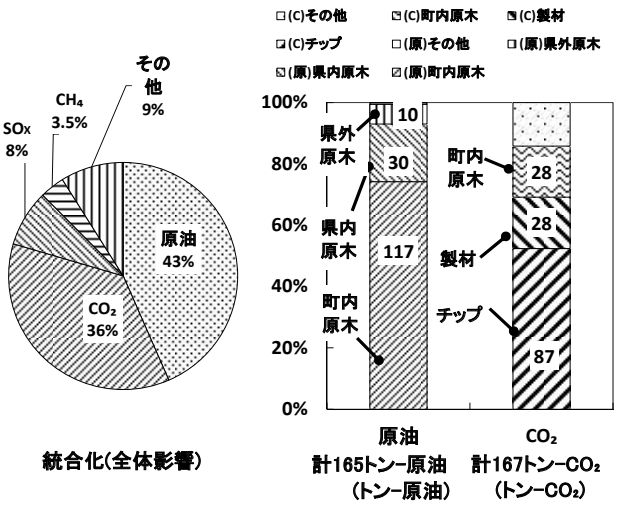


図2 LCA実施結果

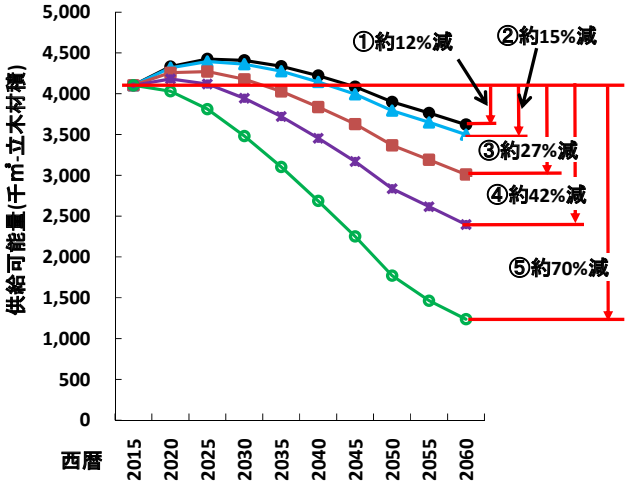


図3供給可能量推計結果

木材生産・加工施設等への実態調査を通して発電利用を含めた将来の木材供給量を確保するための課題を捉えることができた。さらに、発電利用した場合の今後 45 年間の供給可能量を試算し、発電量によっては急速に森林資源が減少する事態があり得ることを定量的に示した。発電利用を安定的に行うためには植林の計画的実施と、植林した材が成長するまでは供給不足を起こさない程度に今の資源を利用する必要がある。発電のように大量に木材を長期間消費する事業は計画段階で資源の持続的利用の視点での事前影響評価が重要と考えられる。また、発電利用に伴う環境負荷物質の削減の検討も重要である。

7.参考文献

1) 環境エネルギー政策研究所：“自然エネルギー白書 2012” 2) 久保山ら：第 12 章森林資源の将来予測（森林総合研究所編「森林・林業・木材産業の将来予測」）、日本林業調査会、p251-280 3) 中国経済産業局：中国地域における国産材、林地残材、間伐材等の利活用策の検討調査報告書(平成 19 年 3 月) 4) 広島県農林水産局：林務行政資料(平成 26 年 7 月)

日本の木材利用効率の推計

Quantifying wood use efficiency for Japan

○肖瀚*[1)]、橋本征二[2)]
Xiao Han, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学大学院、2) 立命館大学
* gr0236sv@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

近年、世界の産業用丸太の生産量は約 17～18 億 m^3 にのぼるが、このうち日本の消費量は約 7000 万 m^3 で推移している。以前ほどではないものの、日本が大きな木材消費国の一つであることに変わりはない。また、日本は、素材、製材、パルプ、紙などのさまざまな形態で木材製品を輸入しており、世界の貿易量に占める割合も大きい。世界の森林面積が減少する中、木材のより効率的な利用を追求することが求められる。

このためには木材の利用効率を計測することが重要である。これについては、Hashimoto ら[1)2)]が、物質フローに基づくいくつかの指標（物質利用効率（MUE）、使用済み製品再生利用率（URRUP）、使用済み製品再資源化率（RRUP）等）を適用して日本の木材利用の効率性を時系列で計測し、URRUP や RRUP が上昇していることなどを示している。しかしながら、Hashimoto ら[1)2)]の推計は2000 年までであり、その後の推移が明らかではない。

このようなことから、本研究では、2001年以降の木材フローを推計し、投入産出表の形で記述、経年的にとりまとめた上で、木材の物質利用効率の推移を検討した。

2. 方法

3.1 推計を行った木材フローとその記述方法

Hashimotoら[1)2)]の研究では、図1に示す木材フローを推計し、これを投入産出表の形で述している。生産活動32部門(列)および製品・副産物・廃棄物・資源48部門(行)で構成され、原材料などの投入がプラスの数値で、製品・副産物・廃棄物などの産出がマイナスの数値で記述される。

3.2 木材フローの推計方法

本研究では、Hashimoto ら[1)2)]が用いた方法を参考に2001年以降の木材フローを推計した。用いたデータは、林野庁、農林水産省、日本住宅・木材技術センター、日本木材総合情報センター、経済産業省などの統計データである。統計データが得られないフローについては下記のように推計を行った。

3.2.1 各生産活動における推計方法

（1）製材、集成材：製材生産時に発生する工場残材量については、素材の消費量と製材の生産量から求めた。

（2）単板、合板、単板積層材：単板の生産量、出荷量が不明なため、単板から合板を生産する際の歩留まりを用いて、合板用の単板消費量を求めた。また、合板用、単板積層材用の単板消費量と単板の輸出入量から、国内での単板の供給量を求めた。単板生産時に発生する工場残材量は、素材の消費量と単板の生産量から求めた。また、合板生産時に発生する工場残材量は、単板から合板を生産する際の歩留まりを用いて求めた。

（3）チップ：チップ生産時に発生する工場残材量は、素材の消費量とチップの生産量から求めた。

（4）削片板、繊維板：削片板、繊維板生産時に利用する再資源化チップの比率については、文献値を用いて設定した。削片板、繊維板生産時に発生する工場残材量は、原材料の消費量と削片板、繊維板の生産量から求めた。

（5）パルプ、紙、板紙：パルプ生産時に利用する再資源化チップ量については、利用する全チップ量から（3）で求めたバージンチップ量を差し引くことで求めた。パルプ生産時に発生する工場残材量については燃料として利用される廃材消費量の統計値を用い、黒液量については、原材料の消費量とパルプの生産量から計算される工場残材量と黒液量の合計値から工場残材量を差し引くことで求めた。紙、板紙生産時に発生する汚泥（正確には汚泥に含まれる木材起源の繊維）の量は、原材料の消費量（パルプ＋古紙＋その他の繊維）と紙、板紙の生産量（添加剤を除く）から求めた。

（6）木製品：原材料から木製品を生産する際の歩留まりを90%とし、製品の生産量と発生する木くず量を求めた。

（7）紙、板紙製品：原材料から段ボール、新聞紙、印刷物を生産する際の歩留まりを97%、原材料から段ボール箱、その他紙製容器包装、衛生用紙、その他の紙製品を生産する際の歩留まりを90%とし、製品の生産量と発生する加工紙くず量を求めた。出版物については、出版冊数と平均重量から生産重量を算出した。

3.2.2 製品の蓄積、廃棄の推計方法

t年の製品aの蓄積量($S_a(t)$)、t年の製品aの廃棄量($W_a(t)$)を、t年の製品aの消費量($ca(t)$)、廃棄率($d_a(t)$)を用いて、以下の式で求めた。

$$S_a(t) = S_a(t-1) + C_a(t-1) - d_a(t-1) \times S_a(t-1)$$

$$W_a(t) = d_a(t) \times S_a(t)$$

3.2 木材の利用効率の評価方法

Hashimoto ら[1)2)]は表1に示すような指標を用いて、木材の利用効率を評価しており、本研究でもこれを用いた。

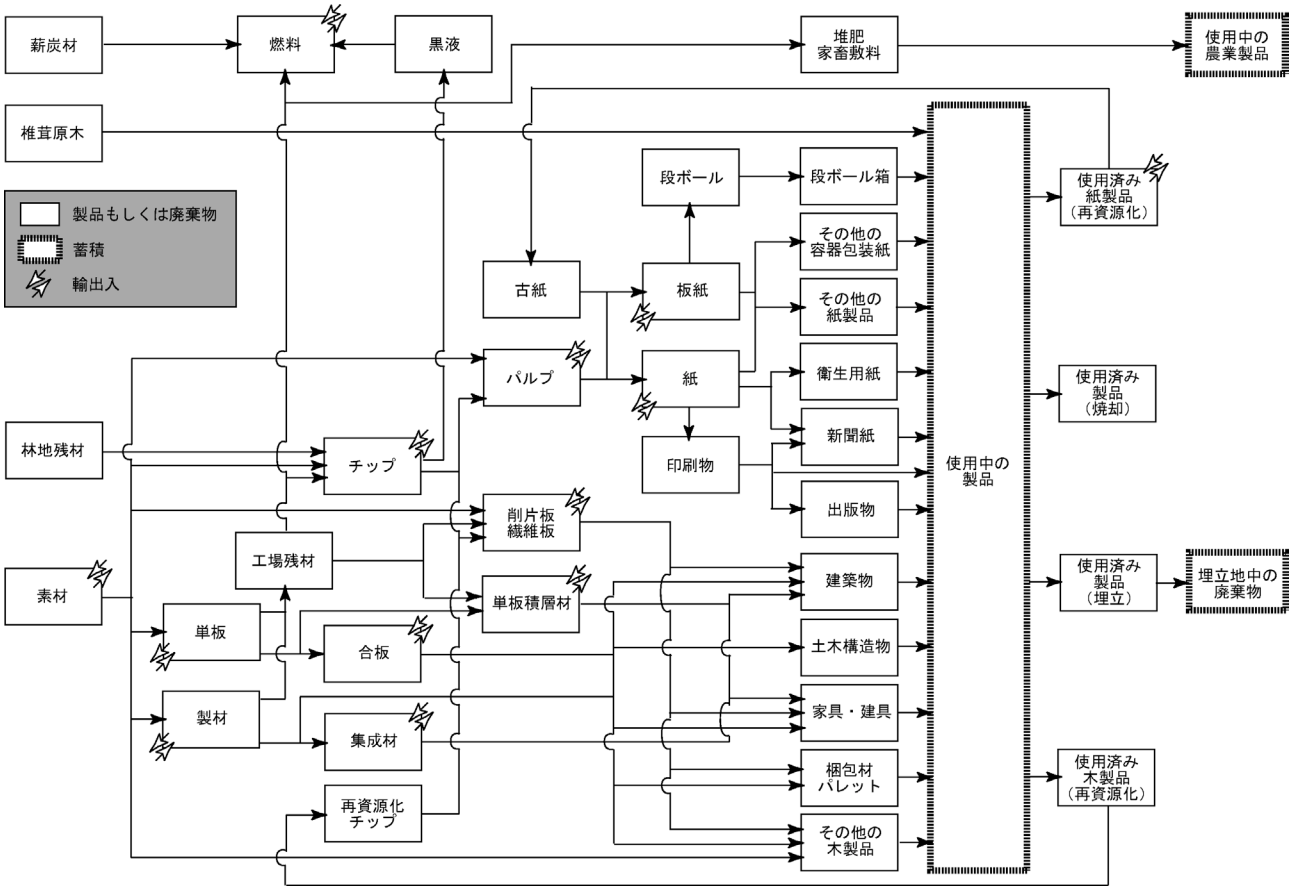


図１　本研究で推計を行った木材フロー[1)2)]

表１　６つの物質循環指標 [1)2)]

指標	指標が計測するもの	計算式
直接物質投入量 Direct Material Input: DMI	物質循環の目的（天然資源の消費の抑制）	
使用済み製品再生利用率 Use Rate of Recovered Used Products: URRUP	使用済み製品の再生利用（投入側）	使用済み製品の再生利用量 / 原材料の消費量
物質利用効率 Material Use Efficiency: MUE	副産物の再生利用と発生抑制	原材料の有効利用量 / 原材料の消費量
物質利用時間 Material Use Time: MUT	使用済み製品の再使用と発生抑制	製品の蓄積量 / 再生利用もしくは処分される使用済み製品量
使用済み製品再資源化率 Recovery Rate of Used Products: RRUP	使用済み製品の再生利用（排出側）	使用済み製品の再資源化量 / 再資源化もしくは処分される使用済み製品量
国内排出物量 Domestic Processed Output: DPO	物質循環の目的（環境負荷の低減）	

3.　結果と考察

現在、推計作業を進めているところであり、結果については学会当日に報告する。

謝辞：本研究は、第Ⅲ期環境経済の政策研究による成果である。ここに記して深謝する次第である。

参考文献

1)　Hashimoto, S., et al.: Six indicators of material cycles for describing society's metabolism: application to wood resources in Japan, Resources, Conservation and Recycling, 40(3), 201-223, 2004

2)　橋本征二、森口祐一：日本における伐採木材のマテリアルフロー・炭素フローデータブック、国立環境研究所、2004

放牧による砂漠化危険度マップの作成

Mapping desertification risk through grazing

○中島聡子*[1)]、橋本征二 [1)]
Satoko Nakajima, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学
* rv0030sk@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

砂漠化は世界が抱える重大な環境問題であり、持続可能な発展を目指す上で避けられない問題である。砂漠化の原因は、干ばつのような気候的要因と、放牧などの人為的要因に大きく分けられるが、UNEP[1)] の報告によると、世界で起きている砂漠化の原因の中で最も大きいのが過放牧であり、全体の35%を占めるとされる。したがって、世界の乾燥地における放牧の現状を把握し、砂漠化の危険度を理解することは、砂漠化を防止するための第一歩であり、放牧活動を持続的に行うためにも必要なことである。

このようなことから、本研究では、乾燥地における放牧の現状を把握し、将来的に放牧が原因で砂漠化が生じる危険度をマップ上に示すことを目的とする。具体的には、中国内モンゴル自治区における牧草の潜在生産量に対する牧草の潜在消費量を求め、前者に対して後者が多くなるほど砂漠化の危険度が高くなると考える。また、牧草の潜在生産量をもとに、各地域における持続可能な放牧のレベルを検討する。

2. 方法

2.1 牧草の潜在生産量の推計

乾燥地における潜在的な放牧の可能性を把握するために、純一次生産力(Net Primary Productivity: NPP)に基づいて天然草地生産力(Natural Grass Productivity: NGP)を推計した。NPPの推計には様々な方法があるが[2)]、本研究では、周ら[3)]の研究を参考にした。

中国内モンゴル自治区を対象とした周らの研究においては、牧草のNPPとNGPの間に以下のような線形関係があることが示されている。

$$NGP = 0.566 \bullet NPP + 0.437 \qquad (1)$$

周らは NPP の推計方法として筑後モデル [4)] を用いおり、本研究でも筑後モデルにより NPP を推計し、式(1)へ代入することで求められる NGP を牧草の潜在生産量とした。

筑後モデルによる NPP の算出式および係数は以下のとおりである。

$$NPP = 0.29e^{-0.216(RDI)^2} R_n \qquad (2)$$

ここで、NPP は年間純一次生産力(t 乾物重/ha/y)、RDI は放射乾燥度(−)、Rn は年間純一次放射量(MJ/㎡)であり、RDI の推定には Budyko の式 [5)]、Rn の推定には Chang の式 [6)]を用いる。以下それぞれの式を示す。

$$RDI = 10^3 \bullet \sum Rn / l \sum r \qquad (3)$$

$$\begin{aligned} Rn = {} & (1-\alpha)St \\ & - 0.00006\sigma Ta^4 [286.18 \\ & + 202.60(St/So) \\ & - \{45.24 + 10.92(St/So)\}\sqrt{e_a}\,] \end{aligned} \qquad (4)$$

ここで、r は月降水量(mm)、l は水の蒸発潜熱(J / g)、α はアルベド、St は月平均全天日射量(MJ/㎡)、σ はステファン・ボルツマン定数(5.67042×10^{-8}(W/(㎡・K^4))、Ta は月平均気温(K)、So は月平均大気外日射量(MJ/㎡)、e_a は月平均水蒸気圧(hPa)であり、日射量 St の推定には以下の回帰式 [3)]を用いた。

$$St / So = 0.23 + 0.47(n / N) \qquad (5)$$

ここで n は日照時間(hr)、N は可照時間(hr)である。

2.2 牧草の潜在消費量の推計

年間牧草消費量は各家畜の 1 年あたり牧草消費量の総和であり、牧草の潜在消費量は面積あたりの年間牧草消費量(t/ha)で表す。各家畜の 1 年あたり牧草消費量は、(各家畜 1 年あたりエネルギー需要量(cal/頭/日)) / (牧草当たりエネルギー摂取量(cal/t))で算出した。各家畜の頭数については、中国内モンゴル自治区における家畜種類別の頭数データ [7)]を用いた。

2.3 砂漠化危険度マップの作成

牧草の潜在生産量に対する牧草の潜在消費量を求め、その値を砂漠化危険度とする。したがって、値が1を越えれば砂漠化の危険性があることを示し、値が大きければ大きいほど危険度は高くなることを表す。

この値を地図上に表示して砂漠化危険度マップを作成するとともに、このマップをもとに、各地域における砂漠化の危険度や持続可能な放牧のレベルを検討した。

3. 結果と考察

3.1 牧草の潜在生産量の推計結果

NGP の推計結果を図 1 に示す。推計結果は 0.75～1.09 (t 乾物重/ha/y)となり、既存研究 [8)]と比較して妥当な範囲内に収まった。なお、図の白い地区は気象データがなく推

計ができなかった地区である。内モンゴル自治区は半乾燥地にあたる北東部に植生が多く見られ、乾燥地にあたる西部は少ない状況にあるが、図 1 にもその傾向が見られる。

3.2　牧草の潜在消費量の推計結果

牧草の潜在消費量の暫定推計結果を図 2 に示す。地域ごとに牛、馬、豚、羊、山羊の 1 年あたり牧草消費量を推計し、その合計を表示したものである。このほか、ロバ、ラバ、ラクダ等の家畜があるが、1 頭 1 日あたりエネルギー需要量のデータが得られなかったため、これらの牧草消費量は推計できていない。しかしながら、現時点で 1.0 (t 乾物重/ha/y)を大きく上回っている地域があり、NGP の推計結果と比較すると、過放牧による砂漠化の危険性が示唆される地域が存在する。

3.3　砂漠化危険度マップの作成結果

3.1、3.2 の結果から、(単位面積あたり牧草の潜在消費量 / 単位面積あたり牧草の潜在生産量)を算出し、暫定的に砂漠化危険度マップとして示したものが図 3 である。

砂漠化危険度が 1 を超えると危険とみなしているが、1 を超えている地域の特徴としては、面積あたりの家畜頭数が他の地域より比較的多く、消費量が生産量を大幅に超えていることが挙げられ、過放牧となっている。面積は小さいが、面積の大きい地域よりも家畜頭数が多い地域も見られた。

図 1～図 3 を比較してみると、NGP が小さい地域では砂漠化危険度が 1 より小さい傾向が見られた。逆に NGP が比較的大きい値をとった地域の中でも面積の小さい地域において、砂漠化危険度が高くなっている。こうした地域における放牧の管理が重要である。

なお、本研究では危険度が未遂計の地域や牧草消費量が未遂計の家畜があり、これらの点を改善していく必要がある。

謝辞：本研究は、環境省環境研究総合推進費（S-11-2）による成果である。ここに記して感謝する次第である。

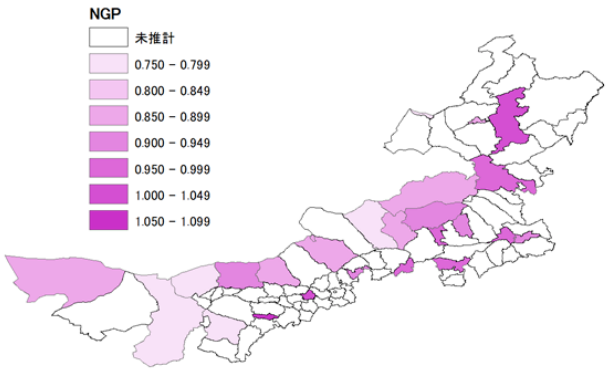


図 1　NGP の推計結果
(単位：t 乾物重/ha/y)

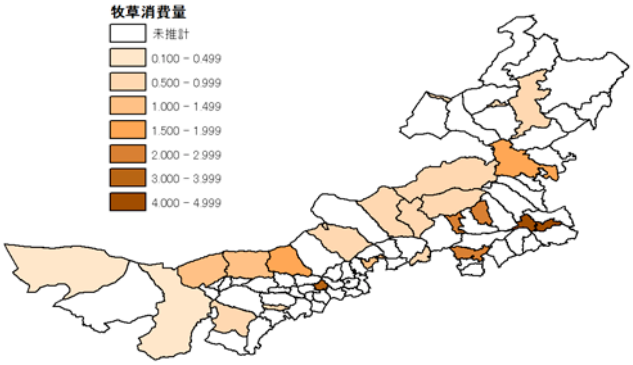


図 2 牧草の潜在消費量の推計結果(暫定)
(単位：t 乾物重/ha/y)

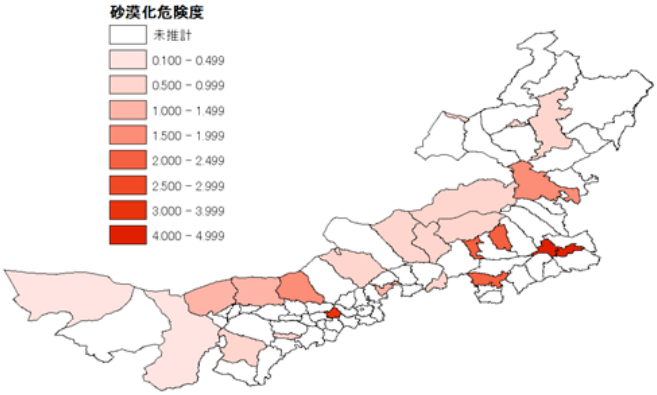


図 3　砂漠化危険度の推計結果(暫定)

参考文献

1) UNEP: World Atlas of Desertification 2ED, Routledge, 1997
2) Ito, A: A historical meta-analysis of global terrestrial net primary productivity: are estimates converging?, Global Change Biology, 17, 3161–3175, 2011
3) 周建中、大槻恭一、神近牧男：筑後モデルを用いた農業生産力の気候学的評価―中国内蒙古を事例として―、農業気象、51(1)、21-26、1995
4) Uchijima, Z. and H. Seino: Agroclimatic evaluation of net primary production of natural vegetation. (1) Chikugo model for evaluating net primary productivity, J. Agric. Meteorol., 40(4), 343-352, 1985
5) Budyko, M.I., Climate and Life, Academic Press, 1971 (English edition 1974)
6) Chang, J. H. : Global distribution of net radiation according to a new formula, Assoc. Amer. Geogr., 6, 340-351, 1970
7) 内蒙古自治区统计局：内蒙古自治区统计局, http://www.nmgtj.gov.cn/acmrdatashownmgpub/tablequery.htm?cn=C0101, 2015 年 12 月アクセス
8) 内嶋善兵衛、清野豁：世界における自然植生の純一次生産力の分布、農業環境技術研究所、1987

農業の LCA における土地利用の影響評価方法の調査研究

A survey on land use impact assessment within agricultural LCA

○湯龍龍*[1)]、神山和則[1)]、レオン愛[1)]、伊坪徳宏[2)]
Longlong Tang, Kazunori Kohyama, Ai Leon, Norihiro Itsubo
1) 農業環境技術研究所, 2) 東京都市大学
* tanglonglong@affrc.go.jp

1. はじめに

農業活動に伴う主な環境影響は、肥料施用に関連する酸性化、富栄養化、農薬に関連する生態毒性、エネルギー消費に伴う地球温暖化、および土地利用などがあげられる。異なる農地管理方法の適用によって、より環境影響の少ない農業システムへのシフトが求められる。有機農法と慣行農法の違いを注目した LCA 研究も増えている。これまでの LCA 事例評価は上に挙げた環境影響カテゴリーを考慮するものが多い。しかし、両農法の特徴を捉える観点では、温暖化に関連するメタンガスの排出量推定、富栄養化、酸性化に関連する栄養塩類の推計などにおいて、課題が残る。特に有機農法の特徴を反映できるインベントリー分析が求められる[1]。一方、土地利用影響カテゴリーについて、影響評価手法の開発が遅れているため、農法間の違いはインベントリー結果である土地利用面積で評価する研究が多い。本研究の目的は、①農業の LCA 事例評価における土地利用評価の現状を整理することと、②LCIA 手法における土地利用の影響評価方法の調査を行うことによって、農法の違いを表現する観点で、土地利用の影響評価手法の現状整理と課題抽出を試みる。本調査は今後農業の LCA における土地利用の影響評価手法の開発のための基礎的検討と位置付ける。

2. 文献調査の方法

LCA 事例評価の文献調査方法は以下に示す。Scopus より、peer reviewed article、2000~2015 年を限定し、Life cycle assessment + organic + conventional + land use をキーワードで検索した結果、15 件がヒットした。また、農法間の比較はしなくても、農業の土地利用の影響評価を行う最近の文献 4 件を加えて、合計 19 件の文献を調査した。

土地利用の LCIA 手法開発の文献については、国際誌 IJLCA、ES&T、Clean Products を対象に調査した。影響評価手法の指標、評価方法を示したうえで、農法の違いの表現の観点で手法間の違いを整理した。

3. 結果と考察

3.1 LCA 事例評価における土地利用の評価

表 1 に LCA 事例評価の文献を対象に、評価方法、結果および農法に関連する情報を整理した。全体として、土地利用の影響項目について、農法間比較をする 15 件中 12 件がインベントリー分析結果である土地面積で示している。いずれも有機農法が慣行農法に比べてより多くの農地を必要とする（表 1）。

「農法比較あり・影響評価あり」の文献について、1 件は有機農法の影響が大きいが、残り 2 件は有機農法の影響が小さい結果となる。前者について、有機農法の影響が大きい理由は、影響係数は農法の違いを分けていないため、面積が大きいことに由来すると推測される。一方、後者では農法別に影響係数を算定し、事例評価に適用した結果、有機農法の影響は小さいと算定された。有機農法の面積が大きいが、土地利用の影響が逆に小さい理由は、土地の面積と面積あたりの影響の重篤度（影響係数）の双方で土地利用の影響を評価する方法を取っており、有機農法の影響係数が非常に小さいためである。なお、これら文

表1 LCA事例評価における土地利用の評価

評価方法	文献数	インベントリー分析結果（有機/慣行）	指標・単位*	インパクト評価結果（有機/慣行）	指標・単位*	備考	文献
・農法比較あり ・影響評価なし	12件	1.1-4.5倍	m2/FU	-	-	・そのうち4件は土地利用の影響評価に言及している。例えば、土地利用の影響が未評価、土壌劣化の影響が未評価など。	Tuomisto et al. (2012)など（全リストはSIに掲載）
・農法比較あり ・影響評価あり	1件	未表示	m2/FU	1.2倍	Ecosystem quality (Point/FU)	・EI99を使用。 ・影響係数は農法の違いを分けない。 ・Organicは土壌質への影響が未評価を課題と言及。	Mohamad et al. (2014)
	2件	1.5-3.0倍	m2/FU	0.2-0.5倍	Biodiversity (PDF/FU)	・管理方法の違いを分けた影響係数を使用。 ・Organicの影響係数が小さい。	Guerci et al. (2013), Mueller et al. (2014)
・農法比較なし ・影響評価あり	4件	-	-	-	・生態系サービス影響指標 ・生物多様性影響指標	・UNEP-SETAC Guidelineの提案指標を使用。 ・そのうち1件は農法の違いを示し、2件は農法の相違を今後の課題と言及。	Milà Canals et al. (2013), Helin et al. (2014), Antón et al. (2014), Piastrellini et al. (2015)

*FU：機能単位

献は土地利用の影響を生物多様性に限っていることと、文献数が少ない（2 件）ことを留意する必要がある。

「農法比較あり・影響評価なし」の文献は、12 件中 4 件が土地利用の影響を評価すべきと言及している。また、「農法比較なし、影響評価あり」の 4 文献のうち 1 件が農法別に評価、2 件は農法の相違について評価することを今後の課題としている。よって、土地利用影響カテゴリーは、影響評価だけではなく、農法別に評価できることが重要であることが示唆された。

3.2 土地利用の影響評価手法

表 2 に土地利用の影響評価手法の特徴を整理した。影響評価手法全体では、まだ開発途上であり、指標や、評価方法などに合意がない。ミッドポイントレベルの手法は一件のみ、ミッドポイントからエンドポイントレベルの間に位置する手法は多く提案されている。土地利用による影響は、主に生物多様性の損失、生態系サービスの損失と土壌への影響に分けられる。生物多様性、生態系サービス影響は、UNEP-SETAC Guideline が提案する評価方法[2]が主流となる。なお、基準シナリオの選定は文献によって異なり、選定根拠も十分ではないなどの課題が残る。土地利用タイプについて、農業は考慮されるが、農法の違いまで定量化した文献は 3 件にとどまった。

農法別の影響係数を算定した文献は少ないが、ミッドポイント手法、生物多様性、生態系サービス、土壌影響のいずれも、評価する手法が存在する。生物多様性を評価する文献の多くは、農法の違いを言及するが、生態系サービスではサービス項目によって、偏りがあるように見える。

農法別の影響係数は、土地の自然度、生物多様性、生態系サービスでは、有機栽培で面積当たりの影響が小さい傾向がみられた。しかし、必ずしも有機農法が有利とは限らない。土壌資源枯渇性では、有機農法の土地利用面積が大きければ、土壌侵食の可能性が大きくなり、枯渇性影響も大きいものと推測される。

農法別係数の評価方法について、生物多様性影響は詳細な文献調査を基づく文献が多い。生態系サービス影響では、推計モデルを構築し、農地管理方法をパラメーターの一部として考慮する方法と、詳細なグリッドレベルのサンプリングデータを基づく方法が考えられる。いずれも高い地域性が求められる。

4. おわりに

LCA による農法間の比較研究において、土地利用影響カテゴリーの評価は土地利用の面積ではなく、影響で評価することが重要である。まだ、農法別の土地利用の影響係数が少ないが、多くの手法は農法別影響係数の開発の重要性を指摘しており、今後、さらなる農法別の手法開発が期待される。

参考文献

[1] Meier et al. (2015) Journal of Environmental Management 149: 193-208

[2] Koellner et al. (2013) Int J Life Cycle Assess 18: 1188-1202

表2 土地利用の影響評価手法

	影響項目	指標	係数の計算方法*	対応する土地利用タイプ	地域性	備考	文献
ミッドポイントレベル	土地利用	土地の自然度 (naturalness)	・自然への距離で特性化係数を定量化 ・評価対象となる土地の状況を基準表に照し合せて、0-1に換算。	・全土地利用タイプが評価可能	ランドスケープ的な分類	・農地管理方法は区別される。なお、正確な影響量ではない、改変の影響ではない。	Fehrenbach et al. (2015)
ミッドポイントレベル～エンドポイントレベル	生物多様性の損失	Relative species richness	・UNEP-SETAC Guidelineの提案方法 ・基準：semi-nature (forests, grasslands, wetlands, bare areas, and water bodies)。ΔQ：相対的種密度の変化	・Forest, Grassland, Pasture, **Agriculture** (Arable, permanent crop), Artificial areas	9 biomes	・農地管理方法について言及なし。	de Baan et al. (2013)a
		Relative species richness	・UNEP-SETAC Guidelineの提案方法 ・基準：natural cosystems。ΔQ：基準に対する種数の割合。	・評価対象は農地のみ	6 biomes	・extensiveとintensiveの違いを示しており、慣行が大きい傾向が見られる。	Elshout et al. (2014)
		Biodiversity Damage Potential (BDP_SD), species diversity	・UNEP-SETAC Guidelineの提案方法 ・基準：詳細は確認中。ΔQ：potentially lost nonendemic species.	・Forest, Pasture, **Agriculture**, Artificial areas, Urban	804 ecoregions	・農地管理方法の違いの表現が課題と言及、global land management map などの開発が必要。	de Baan et al. (2013)b
		Biodiversity Damage Potential (BDP_FD), functional diversity	・UNEP-SETAC Guidelineの提案方法 ・基準：primary forest。ΔQ：面積あたりの種数(SR)、種の特徴、機能を考慮する種数(FD)。	・Forest, Shrubland, Grassland, Pasture, **Agriculture** (fallow, field margins, extensive, intensive, permanent crop), Traffic area	21 ecoregions in the Americas	・extensiveとintensiveの違いを考慮しているが、サンプル数が非常に少ないため、傾向が見られない。	Souza et al. (2013)
		Extinction risk	・UNEP-SETAC Guidelineの提案方法 ・基準：nature, current。ΔQ：面積あたりの絶滅リスクで重みづけした種数。	・手法論は異なる土地利用タイプの評価が可能。論文は農業のみに適用した。	Grid (81m2) for a region in Africa	・グリッド別に有機と慣行栽培の情報があれば、違いも考慮可能。	de Baan et al. (2015)
	生態系サービスの損失	Biotic production potential (BPP)	・UNEP-SETAC Guidelineの提案方法 ・基準：9 climate regionsと土壌タイプの組み合わせたnative vegetation。ΔQ：SOC/m2	・Grassland, Pasture, **Agriculture** (fallow, irrigated, flooded crops, field margins, permanent crop), Urban	10 climate region	・詳細な農地管理方法別に評価しているため、有機と慣行の違いも表現可能。	Brandão and Milà (2013)
		Climate Regulation Potential (CRP)	・UNEP-SETAC Guidelineの提案方法 ・基準：Potential natural vegetation。ΔQ：Ceq/ha	・Forest, Grassland, Pasture, **Agriculture**, Artificial areas	7 biomes	・農地管理方法について言及なし。	Müller and Brandão (2010)
		Freshwater Regulation Potential (FWRP) Erosion Regulation Potential (ERP) Water Purification Potential (WPP)	・UNEP-SETAC Guidelineの提案方法 ・基準：Potential natural vegetation (PNV)。ΔQ：PNVの時に、地域別のQと現在の土地利用のQとの差分。	・Forest, Shrubland, Grassland, Pasture, **Agriculture**, Artificial areas	9-38 regions	・農地管理方法について言及なし。	Saad et al. (2013)
		Biomass production (HANPP)	・UNEP-SETAC Guidelineの類似方法 ・基準：NPP of potential natural vegetation	・Wilderness, Pasture, **Agriculture** (cropland), infrastructure	162 countries	・農地管理方法について言及なし。	Alvarenga et al. (2015)
	土壌の質と量の損失	Compaction (loss of pore volume)	・影響は土壌タイプごとの基準値と評価対象土地利用の値との差で算定。	・評価対象は農地のみ	soil type, climate condition	・機械利用の違いが考慮できる。	Garrigues et al. (2013)
		Desertification	・影響係数は8地域別に算定、差分ではなく、状態を定量化する。	・foreground systemを対象とする手法	8 ecoregions	・農地管理方法について言及なし。	Núñez et al. (2010)
		Soil resource depletion due to soil erosion	・土壌侵食を回避するのに必要なエネルギーで定量化	・インベントリー分析で土壌ロスを算定するため、土地利用タイプはインベントリー段階で考慮。	Grid (10 × 10 km^2)	・農地管理方法について言及なし。	Núñez et al. (2013)

*UNEP-SETAC Guidelineの提案方法：基準に対する対象となる土地利用タイプの生態系の質(Q)の差。

Supporting Information

表 1 の「農法比較あり・影響評価なし」文献 12 件の出典一覧。

1. Tuomisto et al. (2012) Annals of Applied Biology 161 (2): 116-126
2. Knudsen et al. (2010) Journal of Cleaner Production 18 (14): 1431-1439
3. Basset-Mens et al. (2005) Agriculture, Ecosystems & Environment 105 (1-2) 127-144
4. Hayo et al. (2009) Journal of Environmental Management 90 (11): 3643-3652
5. Leinonen et al. (2012) Poultry Science 91: 8-25
6. Leinonen et al. (2012) Poultry Science 91: 26-40
7. Dourmad et al. (2014) Animal 8 (12): 2027-2037
8. Thomassen et al. (2008) Agricultural Systems 96 (1–3): 95-107
9. Adrian et al. (2010) International Journal of Life Cycle Assessment 15: 855-868
10. Nemecek et al. (2011) Agricultural Systems 104 (3): 217-232
11. Villanueva-Rey et al. (2014) Journal of Cleaner Production 65: 330-341
12. Dekker et al. (2011) Livestock Science 139: 109-121

点滴灌水を導入した露地野菜栽培（ナス・ピーマン）の環境影響評価

Environmental impact assessment of field vegetables cultivation, which was introduced drip irrigation : A case study of eggplant and green pepper

○志村もと子*、渡邊修一　高橋英博、松森堅治
Motoko Shimura, Shuichi Watanabe, Hidehiro Takahashi, Kenji Matsumori
農研機構近畿中国四国農業研究センター
* shimura@affrc.go.jp

1. はじめに

点滴灌水は、肥料成分を点滴灌水チューブで作物に供給することで適切な養水分管理ができる技術である。肥料利用率向上や収量増加等を可能とし、近年、露地野菜栽培への導入が増えてきている。

本研究では、日射制御型拍動自動灌水装置（以下、拍動灌水）の導入がライフサイクル全体で地球温暖化や富栄養化に与える影響を明らかにすることを目的とし、環境影響評価（LCA）を行った。

2. 研究の方法

2.1 研究対象作目・技術

本研究で対象とするのは、岡山県での露地ナス栽培と、兵庫県但馬地域での露地ピーマン栽培である。

慣行の栽培方法を対照区とし、近年導入がすすめられている拍動灌水による点滴灌水を用いた栽培方法（拍動灌水区）との比較を行った。

2.2 日射制御型拍動自動灌水装置

この装置は、ソーラー発電で小型ポンプを動かして高所の貯水タンクに貯水し、その水位変動に応じて電磁弁を開閉させて間欠的に点滴灌水を行うものである。慣行の栽培方法に比べて、収量増加と施肥量削減効果が期待される。10a 程度の小規模な露地栽培圃場に導入しやすい安価な灌水装置が開発、販売されている [1]。

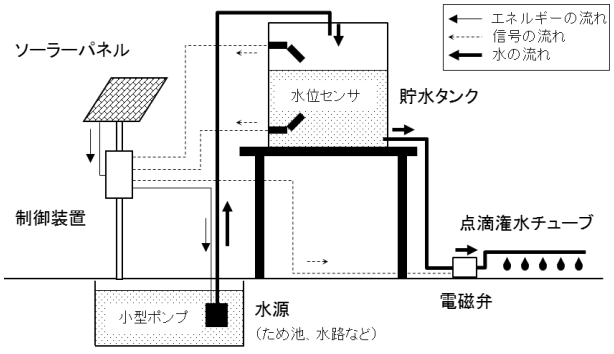


図１　日射制御型拍動自動灌水装置の概略図 [2]
ソーラー発電で小型ポンプを駆動し、高所の貯水タンクに揚水。水位の変動に応じて電磁弁を開閉させ灌水を行う。

2.3 システム境界

システム境界は、育苗から収穫までの生産プロセスとし、栽培に使用する機械や資材の製造を含めた。収穫後の流通・消費は対象外とした。また、施設・建物の製造、圃場の基盤整備、資材等の廃棄も対象外とした。

2.4 解析方法

露地ナス栽培の解析には、LCA ソフトウェア SimaPro (Ver.8.0.5)を使った。評価手法には、地球温暖化は IPCC GWP 100a、富栄養化は LIME2 を使用した。

露地ピーマン栽培の解析には、農研機構中央農研が開発した「経営指標から環境指標を計算する簡易 LCA プログラム」[3]を用いた。

インパクト評価は、７過程（資材等製造・耕地からの排出・燃料・機械製造・化学肥料製造・有機肥料製造・農薬製造）に分けて評価した。

GHG 排出量は対照区（慣行）、拍動灌水区の両者について、単位面積あたりと収穫物の単位重量あたりで算出した。収量あたりの算出を行ったのは、食糧消費の視点からは収量が重要であり、技術導入により収量が増加する場合には収量あたりの評価で比較することが必要と考えたためである。

2.5 インベントリデータ

2.5.1 露地ナス栽培

栽培に関する農業機械、燃料、種苗、資材等のデータは、岡山県農業経営指標（平成 22 年度）の作目別標準指導指標の露地ナス栽培の情報を用いた。また、肥料、農薬、収量については岡山県内の夏秋ナス栽培農家の普及指導担当者による聞き取り調査結果を用いた。

2.5.2 露地ピーマン栽培

栽培に関する種苗、農薬、資材等の使用量は、JA たじま八鹿営農生活センターの経営試算を用いた。農業機械、燃料については、近隣の鳥取県が作目別に作成した農業経営指導のてびき（平成 25 年版）のピーマン（夏秋）を用いた。肥料、収量については、兵庫県の露地夏秋ピーマン栽培技術マニュアルを参照した。

2.5.3 耐用年数

農業機械や圃場資材に関しては、農業経営指標の記載を用いた。拍動灌水装置に関しては、ソーラーパネル７年、電磁弁５年、制御装置７年、点滴灌水チューブ２年、塩ビ管、PE 管等の配管資材５年とした。

3. 結果

3.1 露地ナス栽培

3.1.1 温室効果ガス排出量

対照区と拍動灌水区の GHG 排出量を、面積あたりと収量あたりの値で図２に示した。

面積あたりの GHG 排出量は、拍動灌水導入により1%増加した。だが 10a あたりの収量は、対照区で9,600kg、拍動灌水区では 11,300kg と 18%増収したため、収量あたりの GHG 排出量は 15%減少した。

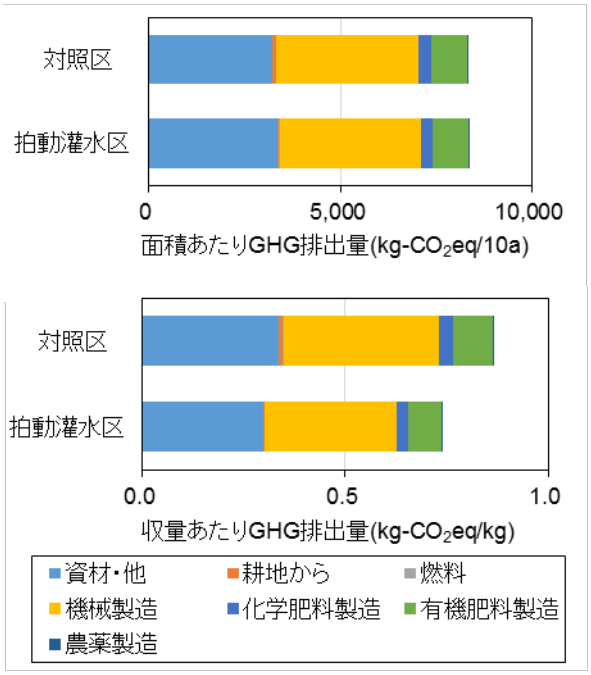


図２　露地ナス栽培での GHG 排出量

3.1.2 富栄養化インパクト

対照区と拍動灌水区の富栄養化インパクトを、面積あたりの値で図３に示した。拍動灌水の導入により富栄養化インパクトは対照区の約 30%に減少した。これは、拍動灌水を導入したことによって、肥料の溶脱量が 26.4kg から 7.7kg に減少したことによる影響である。

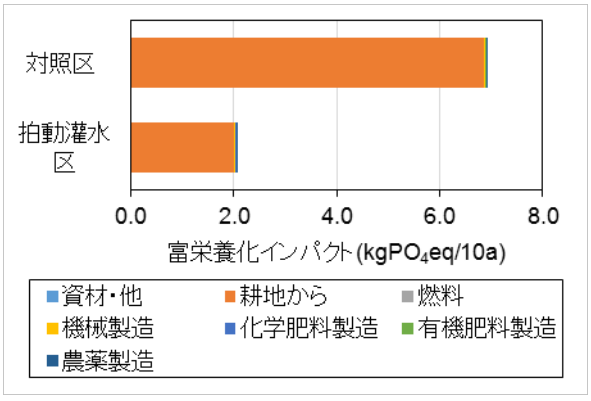


図３　露地ナス栽培での富栄養化インパクト

3.2 露地ピーマン栽培

対照区と拍動灌水区の GHG 排出量を、面積あたりと収量あたりの値で図４に示した。面積あたりの評価では、拍動灌水導入により温室効果ガス排出量が 7%増加した。だが、10a あたりの収量が、対照区の 10,198kg に対し、拍動灌水区では 11,769kg と 15%増収したため、収量あたり GHG 排出量は拍動灌水区が逆に 7%減少した。

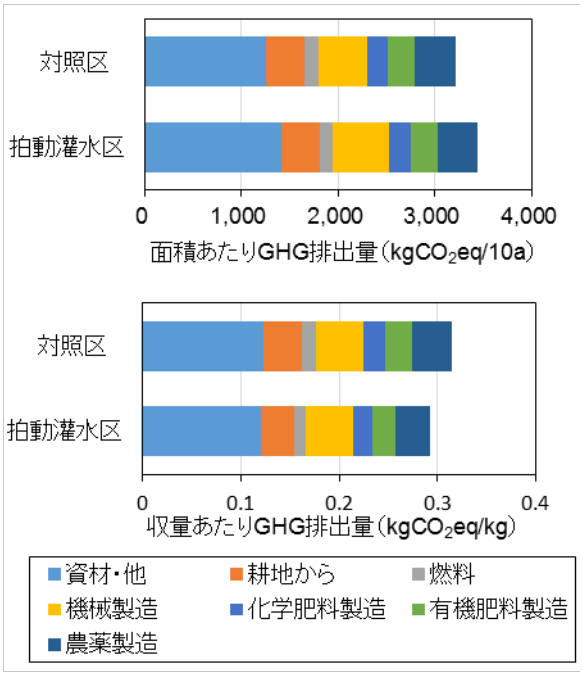


図４　露地ピーマン栽培での GHG 排出量

4. まとめ

露地ナス栽培において、対照区（慣行）と近年導入がすすめられている拍動灌水区を比較した。拍動灌水導入により面積あたり GHG 排出量は増加したが、収量あたり GHG 排出量は減少した。富栄養化インパクトは拍動灌水導入により減少した。露地ピーマン栽培の GHG 排出量の比較でも同様の傾向が見られた。

なお、本研究の一部は、農林水産省「農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業」において実施したものである。

5. 引用文献

1) 吉川弘恭, 中尾誠司: 近中四農研センター研究資料, 7, (2010), pp21-31

2) 渡邊修一, 志村もと子, 高橋英博, 松森堅治, 林清忠: 第 8 回日本 LCA 学会研究発表会要旨集, 草津, (2013) , pp360-361

3) 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構中央農業総合研究センター: “経営指標から環境指標を計算する簡易 LCA プログラム”（オンライン）, <http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/narc/2010/narc10-08.html>（参照 2016-1-6）

施肥設計を考慮した有機農作物栽培の LCA

Life cycle assessment of cultivation activities considering fertilization design

○松田朋也*[1)]、吉川直樹 [1)]、天野耕二 [1)]
Tomoya Matsuda, Naoki Yoshikawa, Koji Amano
1) 立命館大学
* rv0022rf@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

近年、化学肥料価格の高騰や栄養塩の流失による環境負荷の問題から、有機質肥料を使用した有機栽培等の環境保全型農業が注目されている。有機質肥料は化学肥料と異なり成分が土壌中の微生物に分解されることにより農作物へと吸収されるため、施肥設計が複雑で制御が困難である。施肥設計によっては過剰投入における環境負荷の増大や不足による単収の低下が生じる恐れがある。さらに成分が近くても、肥料の種類によって環境負荷や生産コストに影響を与える。そのため、有機栽培における施肥設計により環境負荷とコストの変化を比較することは非常に重要である。

本研究では農作物生産について、環境負荷量および生産コストを算定結果に基づいて、現行の有機農作物栽培と施肥設計として土壌肥沃度指標(SOFIX)を考慮した(図 1) 有機農作物栽培との比較評価を試みる。

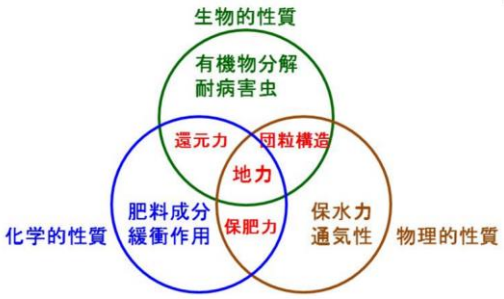


図 1 SOFIX の概念図 [1)]

2. SOFIX

SOFIX(Soil Fertile Index)とは、立命館大学で開発された指標であり、土壌中の生物の活性に着目し、土壌を生物的・化学的・物理的に総合評価する指標 [2)]である。測定項目においては以下の表 1 に記す。土壌を採取・分析することにより、どのような項目が SOFIX における推奨値からどの程度外れているか知ることで土壌が有機栽培を行う上で最適な状態へと改善するための指針となることが期待されている。

表 1 SOFIX での測定項目

測定項目	C/N比	全炭素	全炭素	全窒素	全リン酸
	全カリウム	窒素循環活性評価値	総細菌数	リン循環活性	pH

3. 研究概要

本研究では、2015 年度に滋賀県草津市のビニールハウスにて栽培した、ほうれん草を対象とする。圃場では SOFIX を用いて施肥条件を決定し、肥料の種類は現地で使用されていた市販の有機質肥料(有機アグレット 8-4-4)と立命館大学の大学生協食堂から排出された食品廃棄物を微生物の高温発酵式堆肥化処理機に投入し、製造された食品残渣堆肥の 2 種類を圃場へそれぞれ散布する。SOFIX を用いるにあたって今回の栽培では土壌中の全窒素量が SOFIX の推奨値になるように施肥設計を行った。比較対象として SOFIX を用いずに現行の施肥設計を加えた 3 種類の栽培体系で評価を行う。施肥設計の条件は以下の表 2 に記す。施肥以外の栽培条件はいずれも同一である。

実験圃場としているビニールハウスの面積は一棟あたり 1.94a(アール)である。

これら 3 つの栽培体系において栽培に必要な資材の製造、調達から作物の栽培、納品までのフローについて、ヒアリング調査によって得られたデータから収穫量あたりの温室効果ガス(GHG)排出量、栄養塩負荷量、生産コストを算定し、比較する(図 2)。

表 2 研究対象の施肥条件

圃場番号	施肥設計基準	使用した肥料
栽培圃場1	SOFIX	食品残渣堆肥
栽培圃場2		現行
栽培圃場3	現行	

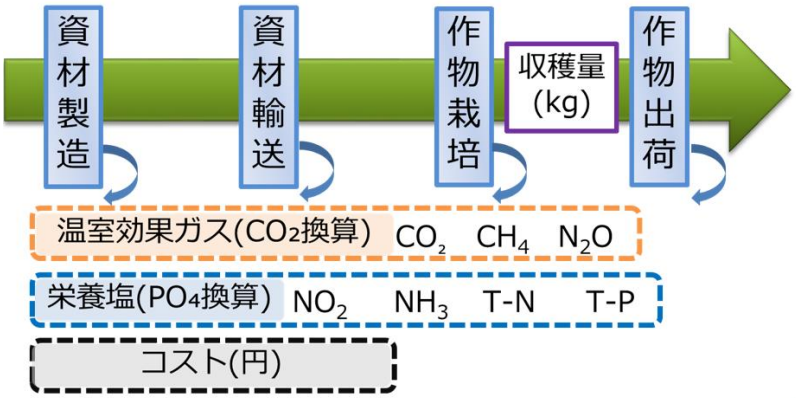


図２　農作物栽培のライフサイクルフロー

4. 研究手法

GHG 排出量については、栽培に使用した肥料、農薬、燃料等の栽培活動に必要な資材の製造に伴う排出量に加え、栽培期間中において土壌中から発生する CH_4 と N_2O を考慮する。資材の調達や輸送に伴い排出される CO_2 排出等も算定する。栄養塩負荷量については、栽培活動に必要な資材の製造や栽培活動中に土壌から環境へ排出される環境負荷量をリン酸当量(PO_4^{3-})に換算して算定する。

栽培活動に必要な資材の製造に関しては、LCA ソフトウェア MiLCA[3]を使用し GHG 排出量と栄養塩負荷量を算定する。

土壌中からの GHG 排出量および栄養塩負荷量を算定するためには DNDC[4]というモデルを使用する。DNDC モデルは、土壌中の温室効果ガスの発生量や硝酸態窒素溶脱量をその土地の気温や降水量といった気候条件、粘土含有率や pH といった土壌状態、品種や肥料の選択といった栽培方法などのパラメーターから予測するモデルである。気象条件のデータは気象庁のサイトから入手する。必要なデータが欠損している場合は他の栽培事例や研究結果などからパラメーターを推定する。

栽培に必要な資材や栽培した農作物を出荷する際の輸送における環境負荷量に関しては、輸送重量や輸送距離等から算出される改良トンキロ法を用いて算定を行う。

生産コストについては、使用した資材から、資材コストを算出し、労働投入時間から人件費についても算出する。

これらのデータから、項目ごとに排出される環境負荷物質と生産コストを算定し、LIME2[5]を使用することによりすべてを円に換算し、収穫量(kg)で除することで総合評価を行う。

5. まとめ

現在収集したデータの分析を行っており、発表では収穫量あたりの環境負荷量と生産コストの算出結果について報告する予定である。

6. 謝辞

本研究にあたり NPO 法人日本食品リサイクルネットワークと生産者である滋賀県草津市の有限会社クサツパイオニアファームよりデータ提供等ご協力頂きました。ここに記して謝意を表します。

7. 引用文献

1)立命館大学 : ”SOFIX-食と農のスロー&ローカル・イノベーション地域拠点モデルの構築”立命館大学,入手先 <http://www.ritsumei.ac.jp/acd/re/b-liaison/COI-T_SLI/sofix.html>,（参照 2015-12-20）

2)堀井幸江・松野敏英・久保田謙三・福原優樹・松宮芳樹・平川潤・松田文雄・北村實彬・久保幹 : 立命館大学理工学研究所紀要,(70),(2011),pp.63-71

3)産業環境管理協会:”新 LCA ソフトウェア MiLCA”, 産業環境管理協会, 入手先, <http://www.milca-milca.net/ >,(参照 2015-12-25)

4) 国立環境研究所地球環境研究センター:”DNDC”,国際研究 DB,入手先 <http://www.cger.nies.go.jp/db/gwdb/res/res02/res0205.htm>,(参照 2015-11-13)

5) 伊坪徳宏・稲葉敦編,”LIME2 意思決定を支援する環境影響評価手法”, 丸善, 東京,（2010）,p.52

紙容器緑茶飲料を対象としたウォーターフットプリント

The Water Footprint for a Paper Container Green Tea Beverage

○下里直子*[1)]、伊坪徳宏 [2)]
Naoko Shimosato, Norihiro Itsubo
1) 長野県工業技術総合センター, 2) 東京都市大学
* shimosato-naoko@pref.nagano.lg.jp

1. はじめに

長野県は日本の屋根と言われるように周囲を急峻な山脈に囲まれた緑豊かな地域である。数多くの水源を有し地下水賦存量も豊富であることから、飲料製造業の進出も目立つ。このような状況の中で長野県では、平成25年2月に第5次長野県水環境保全総合計画を策定し、水源の保全、水質の確保に努めている。また県内の自治体の中には、環境保全と産業振興の両立を目指し、地下水保全を目的とする条例を定めている例も多い。このように水環境保全は長野県を挙げて取り組まねばならない課題である。

そこで本研究では、企業の環境保全活動の効果と長野県地域の環境優位性を検証することを目的に、工場での使用水（地下水）の再利用の有無による製品のウォーターフットプリントを実施した。

2. 研究方法

2.1 製品評価の対象と機能単位

評価対象は国産茶葉を使用し長野県内で製造している紙容器緑茶飲料とし、機能単位を製品1本（内容量1L）とした。算定対象は原材料の調達から製造・出荷までとし、原料製造、使用、廃棄・リサイクル段階は含めず、工場製造での使用水の一部を再利用することとした。比較として、使用水を全く再利用しない場合のシナリオを設定し、両者について水消費量、潜在影響を評価した。

2.2 GHG 排出量の評価

製品の GHG 排出量を評価するにあたり、2 次データとしてカーボンフットプリントコミュニケーションプログラム基本データベース [1)]を利用し、材料・エネルギー別に原単位法で算定した。

2.3 水消費量及び潜在影響の評価

工場での使用水の再利用による効果を検討した。水消費量の算定には小野らが開発した水原単位データベース [2)]を利用した。潜在影響の算定には矢野らが開発した水資源への影響に関する特性化係数 [3)]を利用した。影響量の地域性を検討するため、地域区分を表1のとおり国別（日本）、都道府県別（長野県他）、空間分解能 0.5 度×0.5 度の各グリッド別（市町村レベル）の3段階に区別して用いた。

3. 研究結果

3.1 GHG 排出量

GHG 排出量は製品1本当たり 152g となった。図1に製品の GHG 排出量の内訳を示す。飲料用の紙容器は、アルミ箔付ポリエチレンフィルムをさらし紙に接着したロール紙とポリプロピレン製の注ぎ口から構成されるが、さらし紙とアルミ箔の GHG 排出量が大きくなり、全体の 46%を占めた。このようにカートンも含めパルプを原料とする材料は GHG 排出量が多くなる傾向にあった。その他に GHG 排出量が多かった添加物は主にアスコルビン酸によるものであった。

3.2 使用水再利用に関する水消費量と潜在影響

図2に使用水の再利用の有無による水消費量を示す。結果から製品の水消費量は 39.4L となった。本製品は地下水を製品使用水、ボイラー水、冷却水、洗浄水に用いている。このうちこの工場では、ボイラー水の一部をドレン回収したり、配管以外の設備の洗浄水に用いるなどして地下水の消費量削減を図っている。再利

表1　地域別の特性化係数

	表流水	地下水	降水
日本	1.2	3.1	0.6
長野県	1.49	2.76	0.73
静岡県	1.15	3.01	0.52
松本市	1.58	2.73	0.78
静岡市	0.98	2.91	0.46

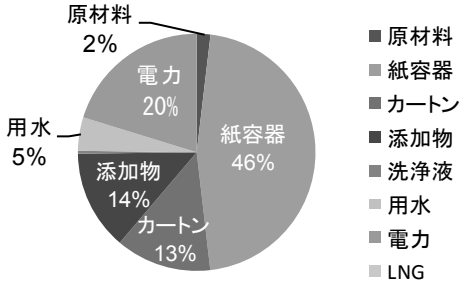


図1　製品の GHG 排出量の内訳

用なしの場合の水消費量は 40.6L で、削減率は 3.0%、地下水分のみでは 13.8%であった。

図 3 に製品の水源別の水消費量を示す。茶葉、紙容器の原料に起因する表流水、降水がそれぞれ 20.0L、10.8L、使用水である地下水は 8.6L と最も少なく全体の 21.8%であった。

図 4 に製品の日本における潜在影響を示す。潜在影響は再利用あり 57.1 LH_2O-eq、再利用なし 60.9L H_2O-eq となり、削減率は 6.2%、地下水分のみでは 13.8%となった。これは、使用水として用いる地下水が水消費量全体に占める割合が 21.8%であるため、消費量改善効果は 3.0%と小さくなったが、表 1 のとおり地下水の影響度が他の水源に比べ大きいため、潜在影響削減効果が 6.2%と大きくなったと考えられる。

3.3 潜在影響の地域性

図 5 に地域区分別の潜在影響を示す。地域区分の集計単位が最少であるグリッド別（市町村レベル）において 48.8L H_2O-eq と最少となり、最大だった国別の影響量 57.1L H_2O-eq と比べると 14.5%少なくなった。これは茶葉生産地（静岡市近隣地点）の特性化係数が、降水で日本の 0.6 に対し 0.46、表流水で日本の 1.2 に対し 0.98 と小さいため、茶葉生産での影響量が少なくなるとともに、工場所在地（松本市近隣地点）の地下水の特性化係数が日本の 3.1 に対し 2.73 と小さいことに起因する。これにより、静岡県静岡市近隣で生産された茶葉を使用し長野県松本市近隣で製造した本製品は潜在影響の小さい製品と言える。

4. おわりに

紙容器緑茶飲料は、GHG 排出量が 152g、水消費量が 39.4L、潜在影響（日本）が 57.1 L H_2O-eq であった。地下水の再利用による削減効果は、水消費量で 3.0%、潜在影響（日本）で 6.2%、地下水分のみでは双方とも 13.8%であった。環境影響の主要因は、GHG 排出が紙容器、水消費・潜在影響が原料茶葉だった。これらは製品の性格上、容易に削減することが困難な材料であるが、潜在影響は工場での使用水である地下水の再利用を行うことで効果的に削減されることが分かった。また、グリッドの集計を細分化し、原材料生産地、工場所在地付近に絞り込んで影響評価を行った結果、地域の環境優位性を明確化することができた。

5. 引用文献

1) 一般社団法人 産業環境管理協会：カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム基本データベース Ver.1.01，カーボンフットプリントコミュニケーションプログラムホームページ，入手先＜https://www.cfp-japan.jp/＞，(参照 2013-02-04)
2) 小野 雄也，堀口 健，伊坪 徳宏：LCA 学会誌，9(2)，(2013)，pp108-115
3) 矢野伸二郎，花崎直太，伊坪徳宏，沖大幹：日本 LCA 学会誌，10(3)，(2014)，pp327-339

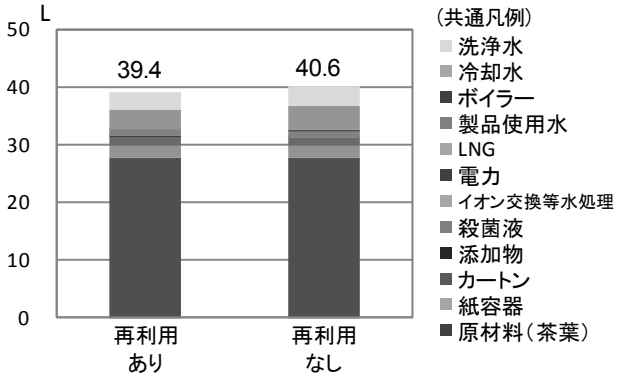


図２　地下水再利用の有無による水消費量

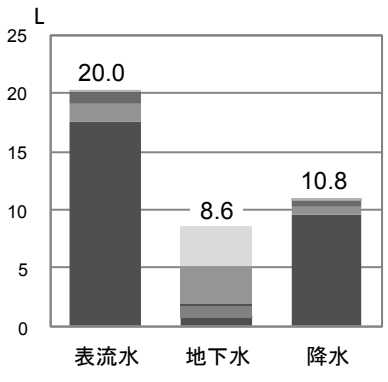


図３　水源別の水消費量

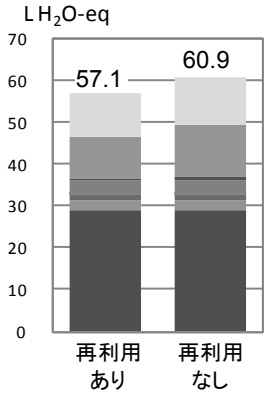


図４　地下水再利用の有無による潜在影響（日本）

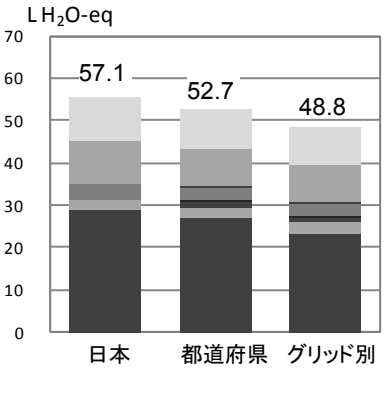


図５　地域区分別の潜在影響

食品廃棄物の発生抑制および再生利用のためのシナリオ分析

Scenario analysis for food waste reduction and recycling

○川口和希*[1)]、上原恵美[1)]、平尾雅彦[1)]
Kazuki Kawaguchi, Emi Kikuchi-Uehara, Masahiko Hirao
1) 東京大学
* k-kawaguchi@pse.t.u-tokyo.ac.jp

1. 緒言

日本では年間約 1700 万 t の食品廃棄物が排出されており、うち約 600 万 t が可食部のいわゆる食品ロスである。食品廃棄物の削減は、埋立地の切迫、温室効果ガス(GHG)排出、バイオマス資源の未活用、食糧自給率・飼料自給率などの多様な観点から社会課題として認識されている。対策方法としては、納品期限の延長等の発生抑制と、廃棄物を有効な資源に再変換する再生利用等の手段がある。しかし、再生利用では投入廃棄物の成分や再資源化物の需要など多様な制約条件が存在し、選択すべき技術の決定は容易ではない。

発生抑制や再生利用の個別技術の環境影響を評価する研究[1)]は存在するが、制約条件を考慮に入れた技術選択の研究は見られない。本研究では、発生抑制および再生利用の手法や技術を選択肢とし、サプライチェーンから再生利用プロセスまでのマテリアルフローモデルを作成し、モデルを用いて環境影響を評価することで食品廃棄物削減シナリオの分析を行う。

2. マテリアルフローモデル

研究対象とする食品廃棄物のフローを図 1 に示す。食品廃棄物はサプライチェーンのどの段階から排出されるかによって質が異なり、再生利用される割合や各再生利用技術との適合度が異なる。食品廃棄の要因別、発生段階別の特性を考慮するため、食品サプライチェーンの製造、卸売、小売、外食、家庭の 5 段階から排出される食品廃棄物の再生利用・処理のシナリオ分析を目的としたマテリアルフローモデルを作成した。対象システムは、食品の生産からサプライチェーンを通して、食品廃棄物が発生し、再生利用または焼却されるまでとし、再生利用技術として、飼料化、肥料化、メタン化の 3 手法を考えた。再生利用と焼却以外では、減量やその他、また用途不明といったフローがあるが小規模のため対象外とした。シナリオパラメタとして、現状からの発生抑制率 x_i[-]、再生利用率 y_i[-]、廃棄率 z_i[-]、再生利用から各技術への分配率 α_{ij}[-] (i=1,…,5：食品サプライチェーンの段階、j=1,2,3：再生利用技術)を設定した。このモデルにより、現状での段階 i からの食品廃棄物の排出が n_i[t]のとき、あるシナリオ条件下で再生利用プロセス j に仕向けられる量を $n_i(1-x_i)y_i\alpha_{ij}$[t]と定量化できる。環境影響は、GHG 排出量を指標とし、食品廃棄物から下流の各処理プロセスにおける GHG 排出原単位[2)]、および再資源化物による削減効果から算出した。発生抑制が行われるシナリオでは、上流の生産段階における生産量の変化分を算入した。なお、上流部分は 3EID を用いて計算した既往の原単位[3)]を計算に用いた。

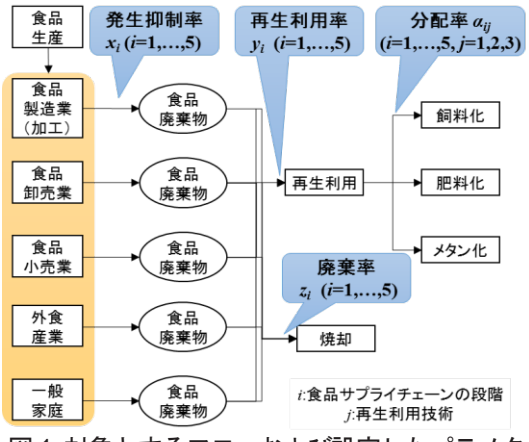


図 1 対象とするフローおよび設定したパラメタ

3. シナリオ分析

3.1 現状(BAU)シナリオの評価

まず、現状での日本の食品廃棄物の処理に由来する GHG 排出量を評価した。平成 24 年度の実績値[4)]から求めた現状のパラメタを表 1 に、評価結果を図 2 に示す。

図 2 の排出源別の内訳を見ると製造業由来の排出が全体の約 50%、家庭由来の排出が約 38%を占めており、処理方法別の内訳を見ると、排出量の約 52%が焼却に由来しており、約 49%が飼料化に起因している。また、肥料化とメタン化はわずかに排出量削減に貢献している。

3.2 代替シナリオの設定

発生抑制および再生利用した場合を想定し、表 2 に示す代替シナリオを設定した。まず、家庭からの焼却量を減らす No.1,2 のシナリオを作成した。また、他の段階からの発生抑制案として No.3 のシナリオを作成した。サプライチェーンからの食品廃棄の一因である流通での 1/3 ル

表 1 現状シナリオ

H24年度実績		発生量	発生抑制率	再生利用率	廃棄率	分配率		
						飼料化	肥料化	メタン化
	i	n_i[t]	x_i[-]	y_i[-]	z_i[-]	α_{i1}[-]	α_{i2}[-]	α_{i3}[-]
食品製造業	1	15,804	0	0.78	0.06	0.75	0.18	0.04
食品卸売業	2	219	0	0.52	0.41	0.30	0.46	0.03
食品小売業	3	1,224	0	0.36	0.62	0.45	0.36	0.03
外食産業	4	1,916	0	0.20	0.79	0.30	0.37	0.02
一般家庭	5	8,850	0	0	0.94	0	0	0

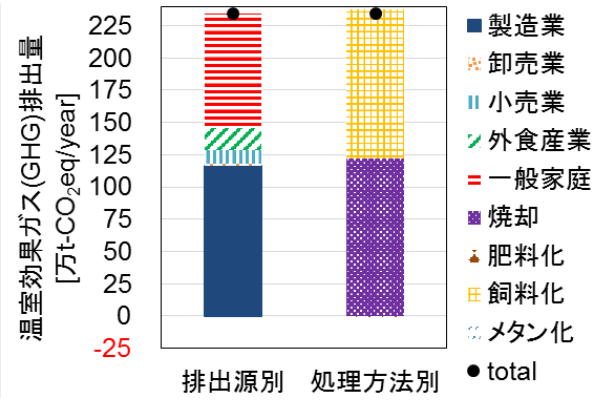


図２ 食品廃棄物の処理における環境影響評価

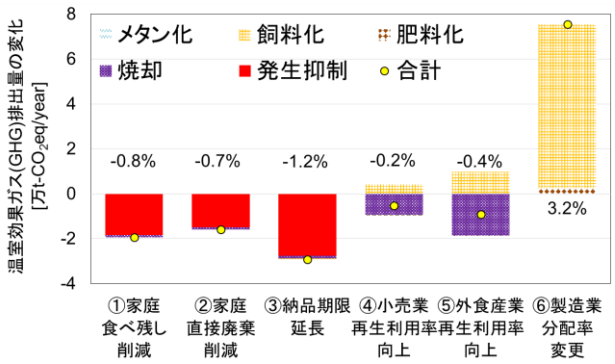


図３ 各シナリオの環境影響評価 (BAU からの変化)

ール（賞味期限の 1/3 までに納品し、2/3 までに販売しなければならないという商習慣）を試験的に緩和したパイロットプロジェクトの結果[7]を参考に卸売・小売業にて 1.4%の発生抑制効果が得られると仮定した。

また、再生利用プロセスの代替案として No.4~6 のシナリオを評価した。No.4,5 では小売業と外食産業に着目し、過年度の再生利用率を外挿して 2020 年度の再生利用率の推定し、パラメタを設定した。No.6 では製造業からの再生利用について、食品リサイクル法において優先度が最も高い飼料化への分配率が増加した場合を仮定した。

3.3 代替シナリオの評価

図 3 に代替シナリオの評価結果を BAU との差として示す。図中の数字は BAU と比較したときの削減率である。

No.1,2,3 のシナリオでは、どの代替案も排出量を削減できている。BAU との差異の内訳を見ると、発生抑制により生産等の上流での排出を回避する効果が大きく、焼却量が減ること自体の効果は小さい。これは、食品は輸送や処理の段階よりも生産段階で多くの GHG を排出しているという傾向に起因している。また、No.2,3 を比較すると、No.2 では調理時のエネルギーも無駄になるため、食べ残しを発生抑制する方が環境負荷の低減に繋がる。

No.4,5 の小売業・外食産業における再生利用率向上は飼料化量の増加と焼却量の減少につながる。しかし、両変化に伴う GHG 排出量の増減が相殺し、全体での排出量の変化は小さい。No.6 のシナリオでは、飼料化プロセスに由来する GHG 排出が増加し、食品廃棄物処理プロセス全体での GHG 排出量が 3.2%増加する。食品リサイクル法では、資源の有効活用や飼料自給率向上の観点から飼料化が最優先されているが、GHG 排出量の観点からは飼料化は他の技術に比べ不利である。

4. 結言

食品関連産業および一般家庭を含めた食品廃棄物の再生利用または焼却までのマテリアルフローモデルを作成した。各段階での再生利用率や再生利用技術への分配率をシナリオパラメタとして設定することで、サプライチェーンの各段階で食品廃棄物を発生抑制、再生利用した場合についてのシナリオ分析が可能となった。今後は、メタン化処理の普及や再生利用における技術制約の改善といった他のシナリオの検討に加えて、GHG 以外を指標として用いることや、食品に付随する容器包装も分析対象に追加することで、より現実に即した分析を行いたい。

引用文献

1) 横川直毅: “第 10 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨”, Kobe, (2014), pp.178-179
2) 株式会社三菱総合研究所: “食品産業リサイクル状況等調査委託事業（リサイクル進捗業況に関する調査）報告書”, (2014)
3) 松田健士, 矢野順也, 平井康宏, 酒井伸一, 山田一男, 荻内守、堀寛明: 日本 LCA 学会誌, 6(4), (2010), pp280-287
4) 農林水産省: “食品廃棄物等の年間発生量及び食品循環資源の再生利用等実施率について”, 入手先 http://www.maff.go.jp/j/shokusan/recycle/syokuhin/kouhyou.html, (参照 2015-12-22)
5) 環境省: “地方自治体における食品廃棄物等の再生利用等の取組実態調査報告書”, (2015)
6) 農林水産省: “食品ロス統計調査・世帯調査（平成 26 年度）”, (2015)
7) 公益財団法人流通経済研究所: “納品期限見直しパイロットプロジェクト最終報告資料”, (2014)

表２ 代替シナリオの定義

	No.	シナリオ名	説明	変更したパラメタ
発生抑制	1	家庭食べ残し削減	家庭から廃棄される食品の12%が食べ残し[5,6]でそのうち1%を削減	x_5=0.0012
	2	家庭直接廃棄削減	家庭から廃棄される食品の12%が直接廃棄[5,6]でそのうち1%を削減	x_5=0.0012
	3	納品期限延長	納品期限における1/3ルールを緩和し、小売・卸売業にて発生抑制	x_i=0.014 (i=2,3)
再生利用	4	小売業再生利用率向上	小売業の再生利用率向上	y_3=0.43,z_3=0.55
	5	外食産業再生利用率向上	外食産業の再生利用率向上	y_4=0.29,z_4=0.70
	6	製造業分配率変更	製造業からの再生利用のうち、飼料化の増加および肥料化の減少	α_{11}=0.80,α_{12}=0.13

幼少期の環境教育が学齢期の学習成果物に及ぼす影響に関する研究

―愛媛県内子町を事例に―

A study on the effects of early childhood environmental education on the learning outcomes of school-age
Case study of Uchiko town

○高杉悠那*[1)]、中口毅博[1)]
Haruna Takasugi,Takahiro Nakaguchi
1) 芝浦工業大学
*br12056@shibaura-it.ac.jp

1. 研究の背景と目的

我が国では、幼児期から大学においても様々な環境教育が行われており、連続的に行うことが必要であると言われている。しかし、環境教育を連続して行った場合にどのような効果をもたらすのかを明らかにした研究は少ない。そこで本研究では、幼稚園・保育園時代に受けた環境教育がその後の小学校での教育や家庭での生活に及ぼす影響を分析することによって、幼稚園・保育園時代の環境教育の効果を明らかにすることを目的とする。

2. 研究の方法と A 小学校の環境教育の特徴

「自然体験」「環境に配慮した活動（以下エコ活動と称する）」「ESD で育みたい力」の 3 つのテーマで、愛媛県内子町の A 小学校 2 年生の学習効果に関する自己評価アンケート（回収数 4 月：57、12 月：55）、保護者アンケート（回収数 54）から、出身園での違いを分析する。A 小学校 1～2 年生の環境に関する主な活動は表 1 のようになる。

表 1　A 小学校 1～2 年生の環境に関する主な活動

	4月	5月	6月･7月	9月	10月	11月	12月･1月
1年生	春の公園探検（知清河原）	エコ見回り 植物育成 校庭探検	夏の公園探検（知清河原） 小動物採集	エコ見回り発展 昆虫採集	秋の公園探検（知清河原）	自然物工作	冬の公園探検（知清河原）
2年生	エコ見回り発展 春のまち歩き	野菜の栽培 まち探検	生き物採集・飼育	木工体験 野菜の収穫	まち探検発展	公共施設環境チェック	自己分析

3. 学習に関する自己評価の分析

内子小学校 2 年生の学習効果を把握するため、自己評価アンケートの分析を行った。12 月のアンケートでは、同じ項目で、1 学期と比べてどの程度できるようになったかを把握した。図 1 は出身園別に ESD で育みたい力を示したものである。「とてもそう思う」と答えた割合の差は「創造力」（総合的な学習の時間で、工夫しながら取り組むのは楽しいですか）においては保育園出身者が 18%多いのに対し、「協調性」（いろいろな問題に取り組むとき、協力して活動することができますか）で幼稚園出身者が 19%多くなっている。

図 2 は ESD で育みたい力の変化を示したものである。特に幼稚園出身の子どもの主体性と創造性の項目に変化が見られ、「大変できるようになった」と回答した値はそれぞれ 71%、83%となっている。

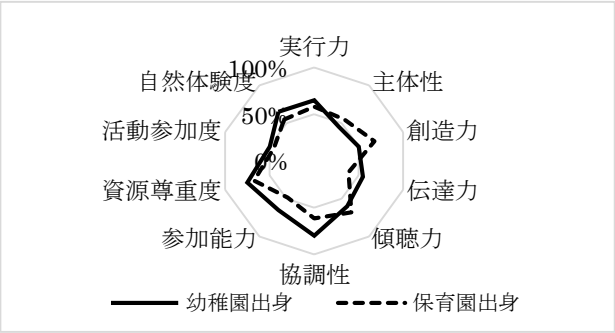


図 1　年度当初の ESD で育みたい力（4 月）

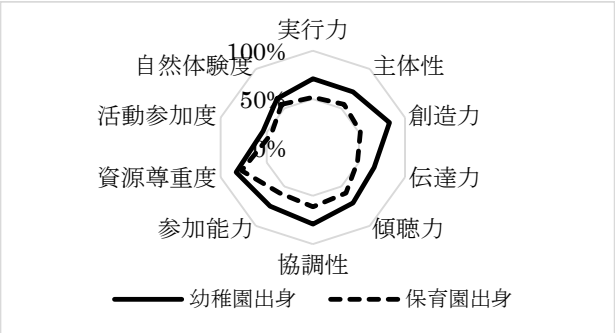


図 2　ESD で育みたい力の変化（12 月）

4.　「自然体験」と「エコ活動」の学習効果の出身園による違い

図 3、図 4 は親への環境活動伝達度について保育園出身者と幼稚園出身者の割合の差が大きい 5 項目を示したものである。このように、保育園出身者の回答率が高い項目はエコ活動、幼稚園出身者の回答率が高い項目は自然体験に関するものが多い。

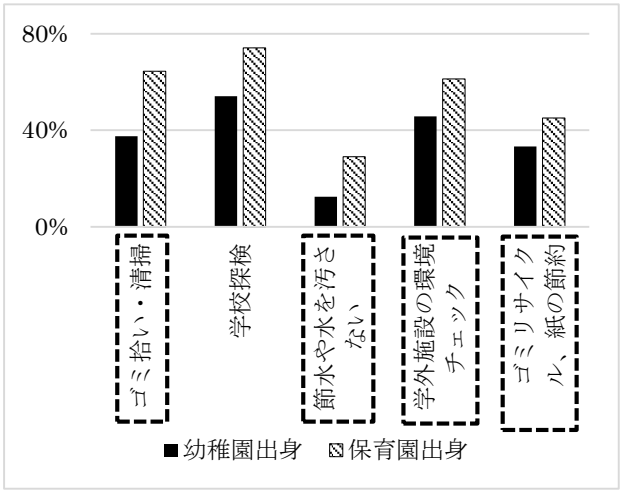


図 3　保育園出身者のほうが伝達率が高い項目

エコ活動　　自然体験

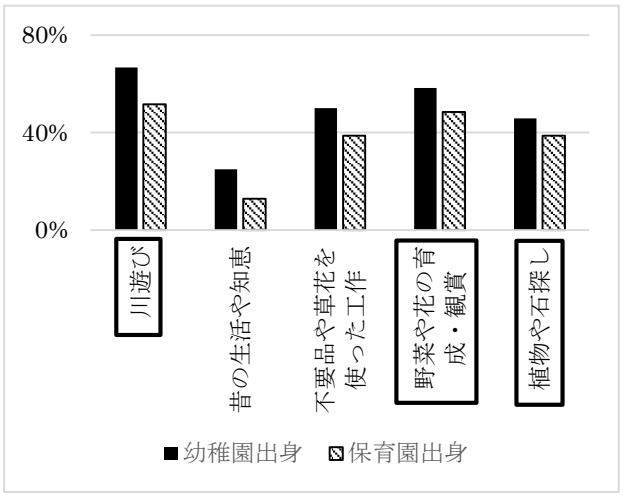


図 4　幼稚園出身者のほうが伝達率が高い項目

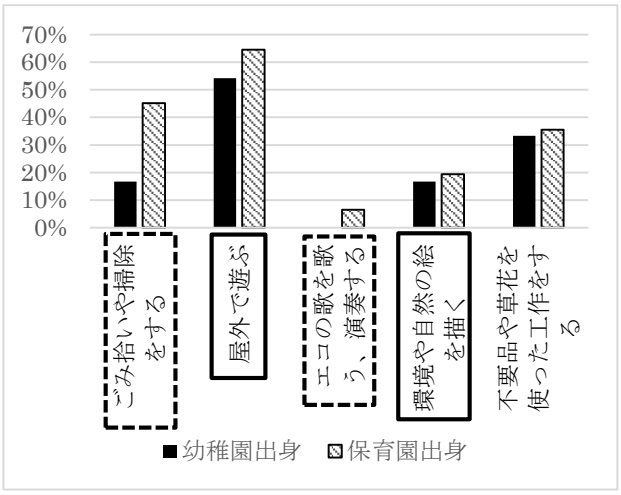


図 5　「子どもが実践しているエコ活動」で保育園出身者が多い項目

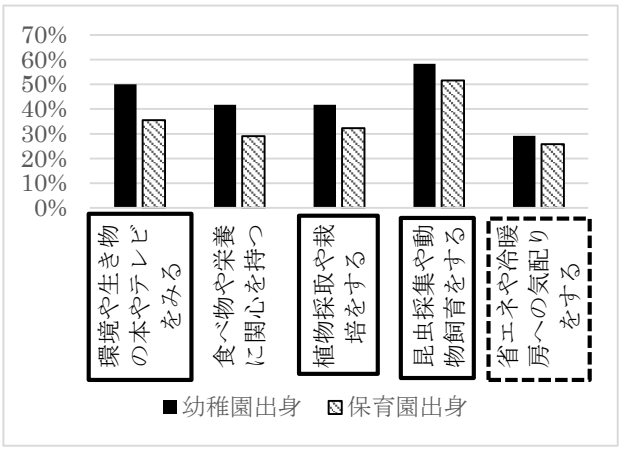


図 6　「子どもが実践しているエコ活動」で幼稚園出身者が多い項目

図 5、図 6 は環境配慮実践率について保育園出身者と幼稚園出身者の割合の差が大きい 5 項目示したものである。このように、上記の親への環境活動伝達率同様、保育園出身者の回答率が高い項目はエコ活動、幼稚園出身者の回答率が高い項目は自然体験に関するものが多いことが分かる。

5.　まとめ

これらの検証より、幼稚園・保育園時代の自然体験活動やエコ活動の学習効果が、小学校 2 年生になった子どもにも継続して影響していることが分かる。よって、幼少期における環境教育は効果的である。今後はその効果を向上させ、更に継続させるために、幼稚園・保育園と小学校、地域の連携が求められる。

Supporting Information

表１　小学校・園の人数

内子小学校	内子幼稚園	内子保育園	五城保育園	こばと保育園
370人 1年生56人 2年生58人 （平成27年度）	63人 年中23人 年長18人 （平成26年度）	82人 年中15人 年長16人 （平成26年度）	61人 年中11人 年長13人 （平成26年度）	39人 年中14人 年長13人 （平成25年度）

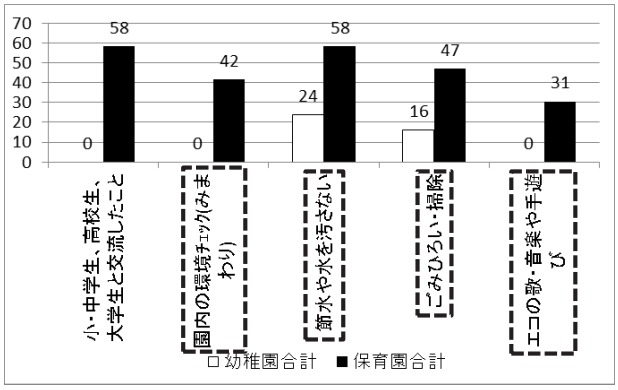


図７　保育園時代の親への伝達率

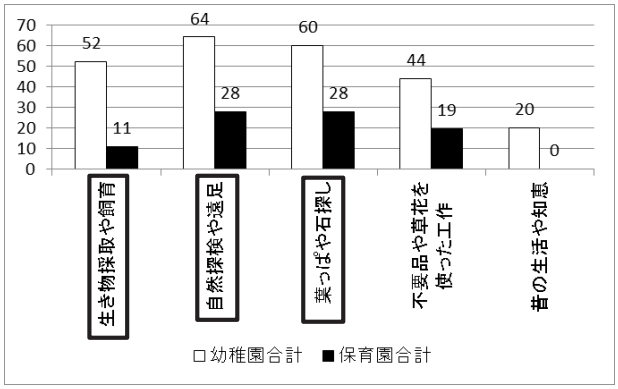


図８　幼稚園時代の親への伝達率

図 7、8 は 2013 年に幼稚園・保育園の保護者に行った、子どもの家庭での様子や、園での活動を家庭で話しているかについてのアンケート[1)]の抜粋である。その結果から、各園でさまざまな取り組みが行われているが、幼稚園では自然に関する活動に、3 つの保育園ではエコ活動に特に力を入れていることが分かる。園内の環境チェックは保育園のエコに関する活動の代表的なものとなっている。

参考文献

1）中口毅博　:「2013 年幼保共通アンケート」分析結果、2013 年

日独の地域連携型学習プログラムの学習成果による生徒の意識・行動の変容の把握

ーフライブルク S 学校と愛媛県内子町 A 高校を事例にー

To grasp the transformation of consciousness and behavior of students by learning outcomes of Japan and Germany Regional Cooperation type learning program
- A Case Study of Freiburg ·S school and Ehime Prefecture　A high school in Uchiko -

○森元公彦[*1)]、新田純奈[2)]、中口毅博[1)]
Masahiko Morimoto、Nitta Junna、Nakaguchi Takahiro
1) 芝浦工業大学　2)上智大学
* br12089@shibaura-it.ac.jp

1　研究の目的

持続可能な発展教育の 10 年以降、ESD の重要性は増している。効果的な ESD を実施するには地域と連携が必要と言われている。しかし、地域連携の効果について具体的に明らかにした研究は少ない。そこで本研究ではドイツ・フライブルク市の S 学校と愛媛県内子町 A 高校を事例に、地域連携型学習プログラムについて把握し、その学習プログラムが生徒の行動や考え方にどのような効果を表しているのか比較･分析する。また、日本とドイツでの地域連携型学習プログラムの特徴を比較することで生徒の行動に影響を与えているものについて考察する。

2　研究の方法

ドイツで行われた学校共通アンケートに合わせ、A 高校でアンケートを実施した。S 学校のアンケート対象学年は日本の中学 2 年生に相当する。内子町 A 高校は 2、3 年生の総合学習の時間に地域連携型学習を行っているクラスとそうでないクラスがあるためクラスにより学習成果が異なるのかを把握する。フライブルク市・S 学校でも同様にして地域連携型学習プログラムが生徒の行動や考え方にどのような効果を表しているかについて内子町 A 高校の 2、3 年生と比較・分析を行う。

3　愛媛県内子町 A 高校における地域連携型学習プログラムの概要

平成 26 年度の A 高校の 2 年 3 組の総合的な学習の時間では図 1 に示すような 4 つのテーマをグループ別に選定し、各テーマについて図 2 に示すような授業スケジュールで授業が行われてきた。現在の 3 年 3 組では昨年度の総合的な学習の時間の続きとして、笹祭りでの酒粕うどん作りや、商店街のＰＲのＣＭ制作まで活動を行った。平成 26 年度と平成 27 年度では 2 年生から 3 年生まで授業の流れに大きな違いは無いが、2 年生に与えられる 4 つの学習テーマは毎年異なる。



図 1　昨年及び今年度の学習テーマ

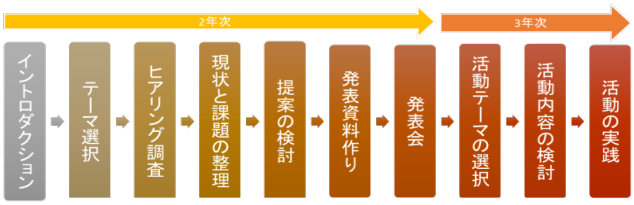


図 2　総合学習の授業スケジュール

4　フライブルク・S 学校の地域との関わり

フライブルク・S 学校では 1998 年～2008 年までエコワットプロジェクトを実施した。また、学校の校内活動では様々な団体や組織の方に直接指導を受ける機会が多い。

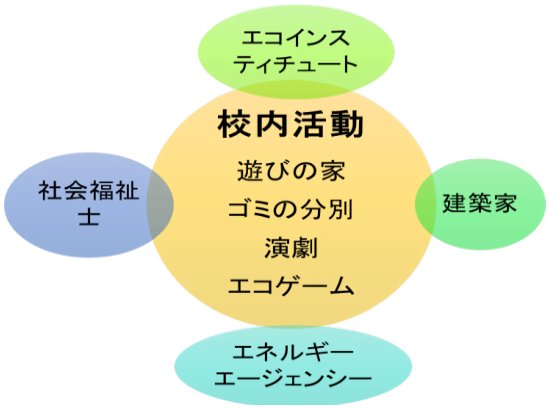


図 3　校内活動に携わる主な関係団体

5　学習効果の把握

アンケートの回答は「よく当てはまる」「どちらかといえば当てはまる」「どちらかといえば当てはまらない」「全く当てはまらない」の 4 段階であり、それぞれ 4 点、3 点、2 点、1 点として数値を算出することで集計を行った。

図 4 は生徒が授業を受けて自ら身についたと思うものを質問する項目を集計したものである。図 4 から、12 項目の中で 10 項目において A 高校の生徒の方が S 学校を上回る結果が見られた。特に「環境・自然をいたわる」「問題を解決する際に他の人と考えを話す」「考え行動する際に新しいことを試みる」の 3 つの項目では S 学校をより大きく上回っている。

図 5 は生徒が通う学校に対する評価のアンケート項目を設定し、集計したものである。7 項目の中で 5 項目において A 高校の生徒の方が S 学校の生徒よりも学校に対して高い評価をしていることが分かる。特に地域連携型学習プログラムと関係の強い「多彩で感激を与えるような機会を与えてくれる」、「授業を通して学校以外の場に訪問する機会が与えられている」の 2 つの項目においては A 高校の生徒の評価の方が S 学校の生徒よりも大きく上回っているという結果が得られた。

6　まとめ

図 5 から A 高校の生徒の方が S 学校の生徒よりも「多彩で感激を与えるような機会を与えてくれる」、「授業を通して学校以外の場に訪問する機会が与えられている」の 2 つの項目、すなわち地域連携型学習プログラムに関する学校の取り組みを高く評価していることから、図 4 の 12 項目中 10 項目において A 高校の生徒の方が S 学校を上回る結果となったと考えられる。

よって地域連携型学習プログラムの授業を高く評価している A 高校 2 年生の生徒の方が S 学校よりも地域連携型学習プログラムの学習成果が生徒の意識・行動に影響を強く与えていることが分かる。

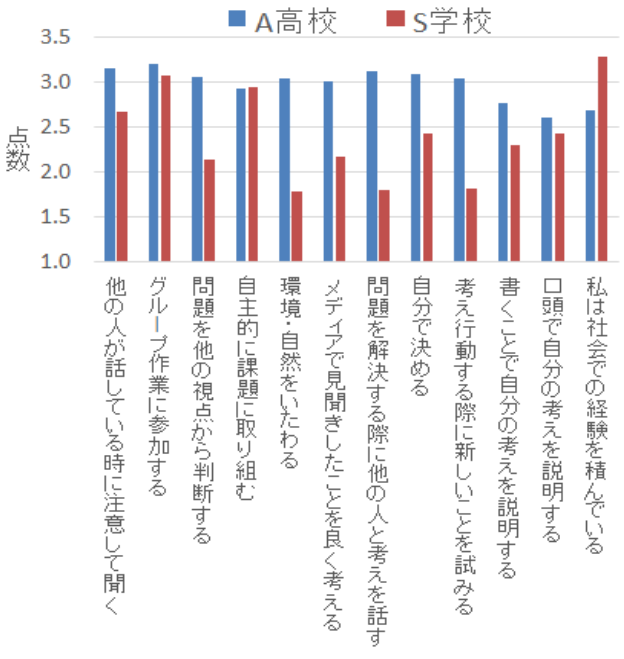


図 4　生徒の授業を受けた自己評価

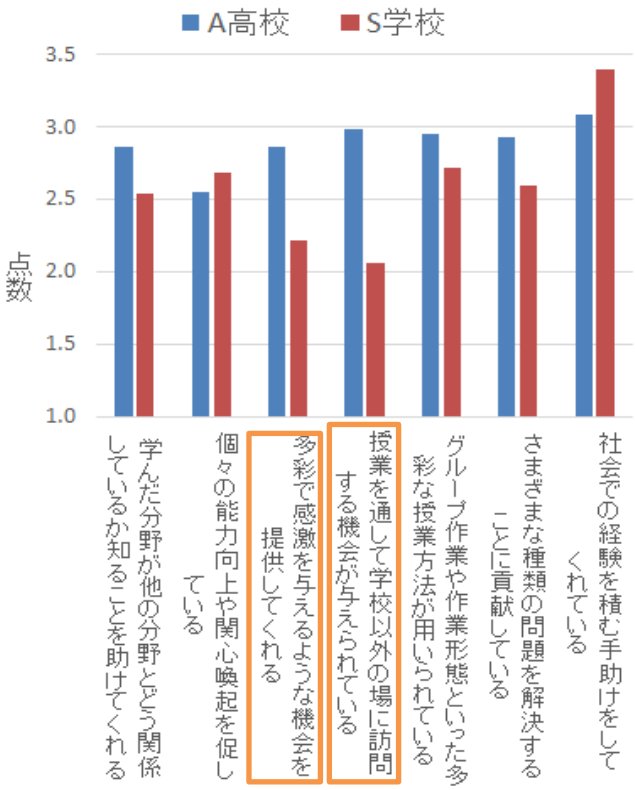


図 5　生徒の学校に対する評価

※赤枠は地域連携型学習プログラムの関連項目

参考文献

1)トランスファー21(編)　(2012)　「ESD コンピテンシー」　由井義通、卜部匡士訳、明石書店
2)Dieter Seifried　(2007)　「Making Climate Change Mitigation Pay ECO-Watt」
http://www.eco-watt.de/fileadmin/user_upload/pdf/ECOWatt_
english.pdf　より引用・作成　(2015 年 11 月閲覧)
3)　SEIS-Erhebung Bildungsregion Freiburg
2011
Bericht 2011plus Entwicklungsbericht
Staudinger Gesamtschule in Freiburg
Staudinger Str. 10 79115 Freiburg (ドイツ学校共通アンケート)

生産・消費間コミュニケーションの強化による環境配慮型製品普及に向けた消費者選好分析

Consumer preference analysis toward promoting environmentally-conscious products by reinforcement of communication between production and consumption

○環野真紀*[1)]、上原恵美 [1)]、平尾雅彦 [1)]
Maki Kanno, Emi Kikuchi-Uehara, Masahiko Hirao
1) 東京大学
* m-kanno@pse.t.u-tokyo.ac.jp

1. 緒言

環境配慮型製品の普及のために、環境ラベルや光熱費削減効果の提示等による消費者向けの環境情報の提供が行われている。一方、製品選択には消費者個人の価値観やライフスタイルが大きな影響を及ぼし、情報提供による環境配慮型製品選択の促進効果の差を生じさせている。また、既往の研究では、ライフサイクル思考能力が製品選択時の環境意識と環境情報への信頼に関連があることが指摘されている [1)]。効果的な環境情報提供を行うためには、多様な消費者の特徴と環境配慮型製品に関する情報ニーズを把握するとともに、知識・能力向上のための環境教育が必要である。本研究では、多様な消費者の価値観と製品情報に対するニーズを把握するとともに、ライフサイクル思考(LCT)能力向上のために有効な情報提供方法を分析し、生産・消費間コミュニケーションの強化による環境配慮型製品普及に向けた消費者選好分析をすることを目的とする。そのために、マーケティングにおいて多様な消費者の特徴を分析する手法である消費者セグメンテーションを用いる。

2. 手法

図 1 に消費者選好分析の手順を示す。3 回のアンケートを通して、消費者をセグメント化し、各セグメントについて LCT 能力、環境情報選好、環境情報提供による意識変容を分析する。アンケートはインターネット調査によって実施した。

2.1. 消費者セグメンテーションと LCT 能力分析

多様な消費者の情報ニーズを把握するため、アンケート 1 で日常生活や製品選択における主要価値を問う質問を実施し、回答傾向の類似する消費者をセグメント化し特徴を分析する。セグメンテーション分析において文献 [2)]を参考にした。質問の一覧を表 S1 に示す。各質問に「強くそう思う」(5 点)から「まったくそう思わない」(1 点)までの 5 件法の選択肢を設け、回答に 1 点から 5 点の点数を割り当てる。点数化した回答結果に対して因子分析を行い全 30 項目の共通因子を抽出する。回答者の因子得点に対して、クラスター分析を行い、類似する回答者のセグメントを作成する。同じアンケートにおいて、LCT 能力を問う質問を実施する。ライフサイクルの考慮に関する正誤問題、シナリオ分析のために必要なデータの選択問題、システム境界の設定に関する正誤問題、機能単位の設定に関する正誤問題の計 21 問の質問を実施し、回答結果に 23 点満点で得点を付与する。さらに、製品選択の際に利用する情報源の利用頻度や信頼の程度を問う質問を実施し、各セグメントへの情報提供手段の検討に用いる。

2.2. 製品環境情報に対する選好分析

アンケート 2 では、各セグメントに異なる環境情報を付与した製品の選好を問う質問を実施し、環境情報に対する回答者の認知を分析する。対象とする製品は、電球と再生紙の 2 製品とした。LED 電球は従来の蛍光灯や白熱球型に比べ電力消費量が小さく製品寿命が長い反面、価格が高い傾向にある。一方、再生紙は新規に生産された紙に比べ新規の木材消費量が少ない反面、白色度が低い傾向にある。両製品を対象とすることで、価格の上昇、機能の低下、および、環境情報の表示に伴

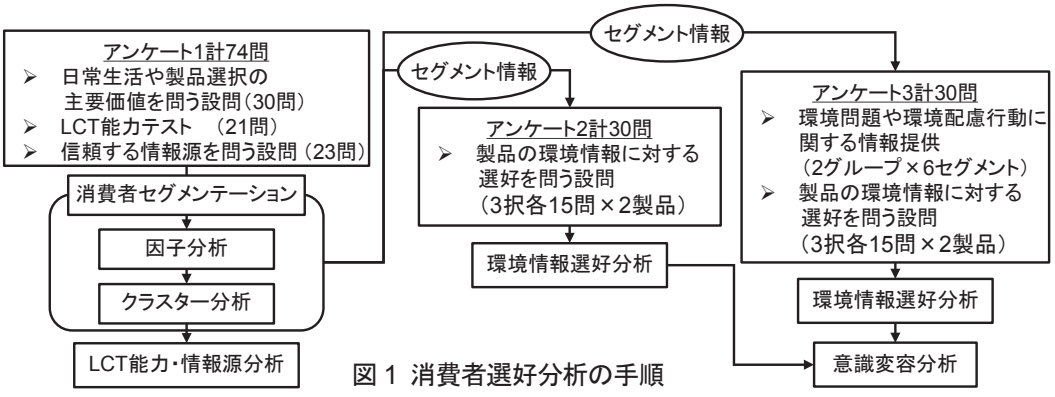


図 1 消費者選好分析の手順

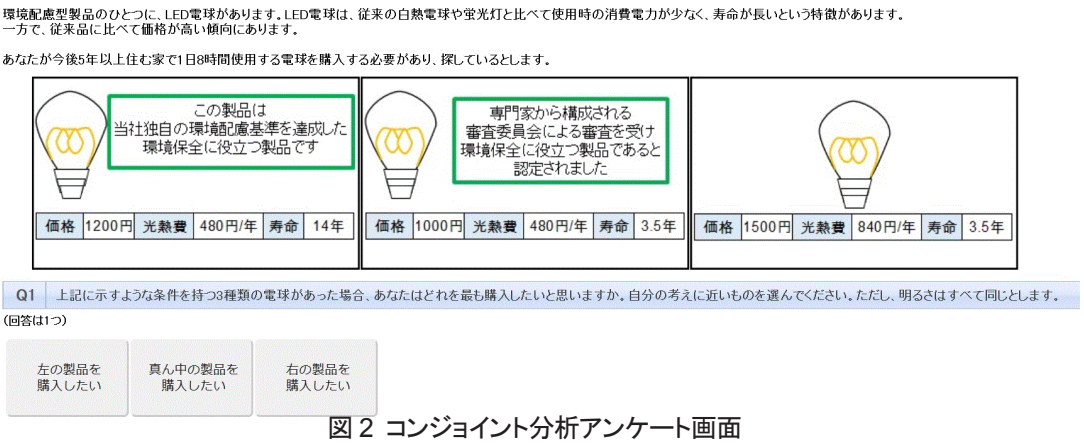


図 2 コンジョイント分析アンケート画面

う回答者の製品価値の認知の変化を比較することが可能となる。製品の環境ラベルなどの環境情報、価格などの経済性情報、機能に関する情報を総合的に評価させるために、図 2 に示すように複数の情報を表示させたコンジョイントカードを用いて比較の質問を行い、情報の選好度をコンジョイント分析により評価した。

2.3. 情報提供による選好変容効果の分析

アンケート 3 では、各セグメントを同数の 2 グループに分け、それぞれに異なる情報提供を行う。情報提供の内容は、地球温暖化問題による生物や人への影響と個人レベルの対策の必要性に関するものと、環境情報選好分析にも用いた電球と再生紙のライフサイクルを通した環境影響に関するものである。情報提供後にアンケート 2 と同様に再び選好を問う質問を実施し情報提供前後で比較することで、情報提供による認知の変化を分析する。

3. 消費者セグメンテーションと LCT 能力分析結果

3.1. 実施概要

2015 年 12 月 10 日～15 日にアンケート 1 を実施した。日本全国の 20～69 歳の男女より計 2470 の有効回答が得られた。回答者の性別、年代別の人口構成比は、日本全体の構成比とほぼ同じであった。

3.2. 結果

日常生活や製品選択における主要価値を問う質問への回答結果に対して因子分析を行い、6 つの共通因子（環境配慮や社会性を重視する「環境・社会性重視」、他人の評価・売れ筋・流行を重視する「トレンド重視」、自分の信念やこだわりを大切にする「こだわり」、性能や耐久性を重視する「品質重視」、衝動買いしがちで、他人が持っていないものを選ぶ「衝動的」、使い慣れた安価なものを好む「手軽さ重視」）を抽出した。因子得点に対するクラスター分析によって、表 1 に示した 6 つのセグメントを作成した。

各セグメントの回答者の因子得点の平均値を表 1 に示した。環境配慮や社会性を重視する因子得点が最も高いのはセグメント 6 で、LCT 能力の得点も最も高い結果となった。環境配慮や社会性を重視する因子得点の最も低いセグメント 2 は、LCT 能力の得点も最も低い結果となった。LCT 能力の得点が 2 番目に高いセグメント 4 は、構成比が最も大きく、手軽さ重視以外、どの因子得点も高い結果となった。

4. 結言

日常生活や製品選択における主要価値から消費者を 6 つのセグメントに分け、LCT 能力などの特徴を分析した。アンケート 2 以降は今後実施する。各セグメントの情報提供による環境情報選好の変容を分析することで、環境配慮型製品選択を促進するために有効な生産・消費間コミュニケーションの提言につなげる。

引用文献

1) Kikuchi-Uehara, E., Nakatani, J., Hirao, M.: Journal of Cleaner Production, in press
2) 三菱総合研究所: “ライフスタイルにもとづく消費者のセグメンテーションと環境意識・価値評価に関する調査研究”, (2009), pp.76-91

表 1 日常生活や製品選択における主要価値に基づく消費者セグメントと因子得点

	度数	割合[%]	因子得点						LCT能力[/23点]
			環境・社会性重視	こだわり	トレンド重視	品質重視	衝動的	手軽さ重視	
セグメント1	511	20.7	-0.09	-0.24	0.07	-0.50	0.19	-0.44	13.37
セグメント2	432	17.5	-1.22	-0.80	-0.72	-0.92	-0.06	0.31	12.85
セグメント3	454	18.4	-0.21	0.09	0.05	0.47	0.20	0.08	14.18
セグメント4	565	22.9	0.85	0.92	0.89	0.70	0.54	-0.29	14.28
セグメント5	276	11.2	-0.13	-0.63	-0.72	-0.41	-1.04	0.65	14.08
セグメント6	232	9.4	0.96	0.35	-0.23	0.66	-0.76	0.17	14.93
合計	2470	100							13.86

Supporting Information

表 S1 日常生活や製品選択における主要価値を問う設問項目

番号	項目名	設問
1	環境配慮生活	環境に配慮した生活を送りたい
2	自然愛好	自然と親しむのが好きだ
3	社会・地域活動	地域活動やボランティア活動に取り組みたい
4	心の豊かさ	経済的な豊かさよりも心の豊かさが大切だ
5	健康管理	健康管理には気をつけているほうだ
6	トレンド	流行に敏感なほうだ
7	承認欲求	他人からの評価を気にして行動することが多い
8	広い関心	世の中の物事に対して広く関心があるほうだ
9	新しいもの好き	新しい商品やお店を開拓するのが好きだ
10	情報発信	気に入ったものや情報があれば、家族や友人にそのよさを知らせるほうだ
11	趣味・こだわり	好きな分野やこだわりのある分野では時間や金を惜しまないほうだ
12	保守主義	伝統や常識を重んじるほうだ
13	信念	周囲に左右されず自分の信念を貫くほうだ
14	自己研鑽	自己を高めることに関心が高いほうだ
15	環境配慮企業	環境や社会に配慮する企業・お店の商品を購入したい
16	環境配慮対性能	最低限の機能があれば環境に配慮した製品を選ぶ
17	環境配慮対価格	多少高くても環境に配慮した商品を選ぶ
18	健康配慮	多少高くても健康に配慮した商品を選ぶ
19	安全性	製品・サービスを購入する際は安全性にこだわるほうだ
20	耐久性	多少高くても耐久性のよいものを選ぶ
21	性能	多少高くても性能のよいものを選ぶ
22	価格	総じて価格重視で安いものを選ぶ
23	売れ筋	売れ筋商品を選ぶ
24	有名・大手志向	多少高くても無名メーカーよりは有名メーカーのものを選ぶ
25	おすすめ商品好き	商品を選ぶ際は他人の意見を参考にするほうだ
26	リピーター	いつも使い慣れている物を買うことが多い
27	個性的	あまり人が持っていないものを選ぶほうだ
28	計画性	目についたものをぱっと買ってしまうなど衝動買いが多い
29	情報比較	商品を買う前にいろいろと情報を集めてから買うほうだ
30	購入しやすさ重視	購入のしやすさで商品を選ぶことが多い

ICT の社会的価値の評価方法の検討

Development of Evaluation Method of Social Value for ICT

○池田　圭甫 1)、稲葉　敦 1)、並河　治 2)、前川　均 2)、細渕　良之 2)
Keisuke Ikeda、Atsushi Inaba、Osamu Namikawa、Hitoshi Maekawa、Yoshiyuki Hosobuchi
1) 工学院大学、2) (株)日立製作所　情報・通信システム社
* a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

1.　諸言

ICT 機器は近年急速に普及しており、それにより CO_2 排出削減効果は 2020 年には 1.25 億トンにも及ぶとされている [1]。ICT 機器の普及は CO_2 排出量の削減だけでなく、導入による全体費用の低減、並びに使用者・導入者の効用(社会的価値)の増加にも効果があると考えられる。本研究では、ICT 機器の導入による効果を①CO_2 排出量の削減、②費用の削減、③社会的価値の増加の 3 軸で評価し、この 3 軸を金銭価値に換算してその合計で評価すること試みる。特に③社会的価値については楽しさ(Fun)、便利さ(Time Saving)、安心・安全(Safety)の 3 つの観点から定量化する。

2.　評価方法

本研究では評価対象の ICT 機器として、スマートフォン、フューチャーフォン、電話会議システムを取り上げる。

2.1　CO_2 排出量の評価方法

ICT 機器の製造、使用の段階の CO_2 排出量を算定するとともに、波及効果による CO_2 排出削減量を算定する。CO_2 排出量の金銭への換算は LIME2 に基づき 2.3 円/kg-CO_2 とする。

2.2　費用の評価方法

ICT 機器の導入費用を算出する。さらに、導入効果となる削減費用を算定する。

2.3　社会的価値の評価方法

ICT 機器の使用による楽しさ(Fun)、便利さ(Time Saving)、安心・安全(Safety)を得る時間を調べ、金銭に換算する。スマートフォンとフューチャーフォンについての使用時間を 2015 年 12 月 10 日～12 日に行われたエコプロダクツ 2015 で対面でのアンケートで調査した。スマートフォン 100 件、フューチャーフォン 10 件、合計 110 件の有効回答を得た。その結果を楽しさ(Fun)、便利さ(Time Saving)に分類し、それぞれの時間を 1,000 円/時間で金銭に換算した。各機能の 1 日平均使用時間を表 1、表 2 に示す。

表 1　スマートフォンのアンケート集計結果

機能	1日平均使用時間	社会的価値
SNS(Twitter・Facebook・LINEなど)	82.52　分	楽しさ(Fun)
インターネット検索(WEBサイト閲覧)	51.12　分	便利さ(Time Saving)
音楽再生	26.92　分	楽しさ(Fun)
動画再生(YouTubeなど)	31.83　分	楽しさ(Fun)
電子メール	8.84　分	楽しさ(Fun)
音声通話	5.02　分	楽しさ(Fun)
ゲームアプリ	35.77　分	楽しさ(Fun)
その他	0.71　分	楽しさ(Fun)
1日全体	242.7　分	

表 2　フューチャーフォンのアンケート集計結果

機能	1日平均使用時間	社会的価値
音声通話	4.56　分	楽しさ(Fun)
電子メール	17　分	楽しさ(Fun)
インターネット検索(WEBサイト閲覧)	30.1　分	便利さ(Time Saving)
ゲームアプリ	22.2　分	楽しさ(Fun)
その他	6.67　分	楽しさ(Fun)
1日全体	80.4　分	

3.　ICT 機器の評価

3.1　スマートフォンの評価

スマートフォンとしてカーボンフットプリントが公開されている GALAXY S5 を 2 年使用されるものとした。

①CO_2 排出量；スマートフォン 1 台製造する際に排出される CO_2 排出量とアンケート調査の結果より得たスマートフォン 1 日の使用時間から使用段階に排出される CO_2 排出量を算定した。また、波及効果として音楽配信による CD の製造枚数の減少、電子書籍の普及による紙の使用枚数減少、インターネットショッピングによる環境負荷削減を考慮した。

②費用；スマートフォンの購入金額と想定使用年数 2 年間の使用料金を算定した。また、前述と同じ波及効果の費用削減を算定した。

③社会的価値；楽しさ(Fun)は、スマートフォンの機能の中で SNS や音楽再生、電子メール等の楽しさの機能として考えられるものを合計し、1 日当たり 3.19 時間とし、2 年の使用期間を考慮して算定した。また便利さ(Time Saving)としてスマートフォンでインターネット検索を使用した際に節約できた時間を 0.852 時間/日とした。安心・安全(Safety)に該当するものはないものとした。

3.2　フューチャーフォンの評価

フューチャーフォンの算定条件はドコモ 2102i シリーズ 1 台、想定使用年数を 1.5 年とした。①CO_2 排出量；スマートフォンと同じく、製造及び使用段階に排出される CO_2 排出量を算定した。

②費用；フューチャーフォンの購入金額と想定使用年数 1.5 年間の使用料金を算定した。

③社会的価値；楽しさとして、フューチャーフォンの機能の中で電子メールや音声通話等の楽しさの機能と考えられるものを 1 日の平均使用時間を 0.841 時間とした。また便利さとしてフューチャーフォンでインターネット検索を使用した際に節約できた時間を 0.502 時間/日とした。また、社会的価値の安心・安全(Safety)はないものとした。

3.3　電話会議システムの算定方法

電話会議システムは、東京～大阪間と東京～横浜間で使用する場合を考え、さらに東京～横浜間は自動車で移動した場合と電車で移動した場合を考える。それぞれ想定使用年数は 10 年で 1 回の会議時間は 1.1 時間とし、東京～大阪間は総会議時間が 532 時間、東京～横浜間は総会議時間が 524 時間とする。

①CO_2排出量；システムを製造する際と使用時の電力消費量から算定を行った。また考えられる波及効果として出張に伴う移動の CO_2 の削減、オフィスの電力節約による CO_2 の削減を考慮した。

②費用；購入・設置費用と電気料金、出張費用の削減を考えた。波及効果として、出張の移動時間分の労働代の節約、またオフィスの電力節約に伴う電気料金の削減を考慮した。

③社会的価値；便利さ(Time Saving)として、出張の移動時間が削減されできた自由な時間を 708.4 時間/年とした。③社会的価値、安心・安全(Safety)として駅から会社まで移動する時間における人と自動車が接触しうる時間と日本全体の一人当たり交通事故被害金額を用いて、出張中の事故削減の算定を行った。電話会議システムには社会的価値の楽しさ(Fun)はないものとした。

4.　算定結果

各 ICT 機器の CO_2 排出量、費用、社会的価値の算定結果を表 3 に示す。また、各 ICT 機器の正の効果の全体を 100%として、それぞれの効果の割合を図 1 に示す。図 1 は、(-)の効果、(+)効果を対比させ社会的価値の比を明示する。

5.　まとめ

本研究では、ICT 機器の普及効果を①CO_2 排出量、②費用、③社会的価値の 3 軸で評価することを試みた。さらに使用者が得る社会的価値を楽しさ(Fun)、便利さ(Time Saving)、安心・安全(Safety)の 3 つの観点から定量化した。

その結果、スマートフォンやフューチャーフォンは社会に楽しさを提供している機器であり、電話会議システムは支払った費用以上に費用の削減が導入効果として期待される機器だということがわかった。また、会議を行う拠点が遠くなるほど削減される費用が大きくなる。さらに、ここで取り上げた ICT 機器は環境に与える影響(CO_2 排出量)よりも経済的影響(費用)や社会に与える影響(社会的価値)が圧倒的に大きいこともわかった。しかし、他の ICT 機器の評価結果を積み重ねる必要がある。

参考文献

1)総務省：　“平成 25 年度版　情報通信白書”<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h25/html/nc243110.html> (参照 2014-12-22)

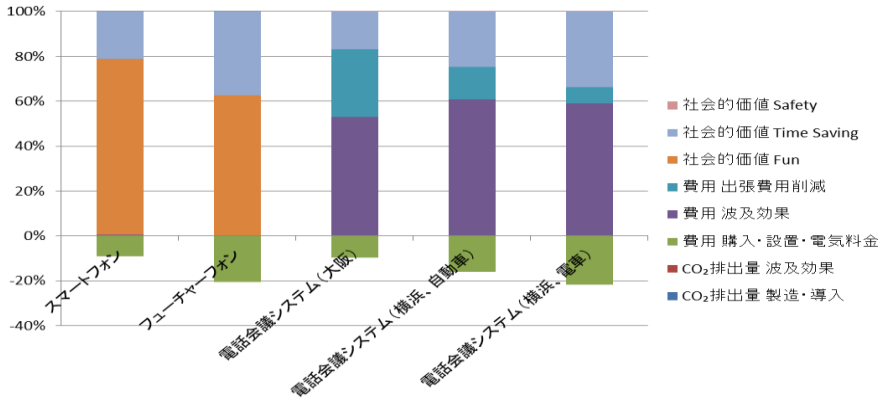


図 1　各 ICT 機器の CO_2 排出量、費用、社会的価値の関係

表 3　各 ICT 機器の CO_2 排出量、費用、社会的価値の算定結果　　単位：円

	CO_2排出量		費用			社会的価値			合計
	製造・導入	波及効果	購入・設置・電気料金	波及効果	出張費用削減	Fun	Time Saving	Safety	
スマートフォン	−5.31E+01	2.83E+02	−2.71E+05	1.20E+04	0.00E+00	2.33E+06	6.22E+05	0.00E+00	2.69E+06
フューチャーフォン	−4.87E+01	0.00E+00	−1.00E+05	0.00E+00	0.00E+00	3.07E+05	1.83E+05	0.00E+00	3.90E+05
電話会議システム（大阪）	−1.25E+03	1.34E+05	−4.01E+06	2.19E+07	1.26E+07	0.00E+00	7.08E+06	1.01E+02	3.78E+07
電話会議システム（横浜、自動車）	−1.43E+04	2.26E+04	−1.50E+06	5.75E+06	1.39E+06	0.00E+00	2.35E+06	2.20E+02	7.99E+06
電話会議システム（横浜、電車）	−1.43E+04	6.57E+03	−1.50E+06	4.09E+06	4.93E+05	0.00E+00	2.35E+06	1.01E+02	5.42E+06

工学院大学の SCOPE3

SCOPE3 for Kogakuin University

○中野　龍司[1)]、村田　翔[1)]、井上 夏美[1)]、田中 浩二[2)]、稲葉 敦*[1)]
Ryuji Nakano, Syo Murata, Natsumi Inoue, Koji Tanaka, Atsushi Inaba
1)工学院大学、2)e.s.feed 株式会社
*a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

1. はじめに

1998 年に地球温暖化対策の推進に関する法律（温対法）が制定されたにも関わらず、日本の温室効果ガス排出量は増加しており、早急な対策が求められている。一方、温室効果ガス排出量削減の取り組みとして世界的に SCOPE3 の実施が進んでいる。共著者らも大学での SCOPE3 実施方法を確立するために、ISO14001 の取得で整備したエネルギー使用量のデータ及び大学法人の一般会計支出データを用いて、2012 年度と 2013 年度の工学院大学の SCOPE3 の算定を行った。今年度は、2014 年度のデータを用いて算定した結果と前年度までの算定結果を比較し、大学の活動と CO_2 排出量の対応関係を考察する。さらに、工学院大学の特別会計データを使用し、八王子キャンパスにおける新棟の建設・整備に関わる CO_2 排出量の算定を行う。

2. 分析方法

本研究の手順を以下に示す。

①金額と支払い内容等で構成されている 2014 年度の工学院大学一般会計支出データ及び、キャンパス外の建築・解体費用等で構成されている特別会計データを経理課より入手した。また、電気・ガス等のエネルギーと上水の実績使用量が記載されているデータを ISO14001 推進委員会より入手した。

②一般会計支出データを 450 の物品及びサービスの項目別に分類して集計し、MiLCA[2)]及び 3EID[3)]を用いて該当する項目の CO_2 排出原単位を調べた。

③以下の計算方法に基づき各項目の CO_2 排出量を算出した。

○一般会計支出データ
CO_2 排出量＝金額×CO_2 排出係数（金額当たり）
○エネルギー使用量データ
CO_2 排出量＝使用量×CO_2 排出係数（使用量当たり）

④上式で算出した結果から、各 SCOPE の CO_2 排出量を求め、2013 年度の計算結果と比較した。

3. 結果

3.1 2014 年度全体の CO_2 排出量

2013 年度と 2014 年度の各 SCOPE の CO_2 排出量を比較したものを図 1 に示す。図 1 には特別会計データは含まれていない。

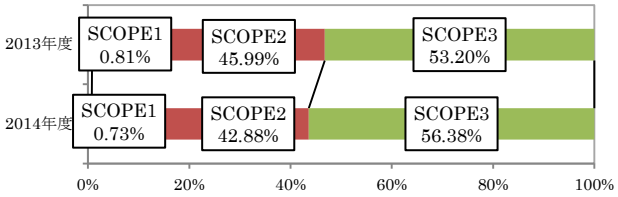


図 1.　2013 年度、2014 年度の工学院大学の各 SCOPE の CO_2 排出量比較

2014 年度の工学院大学の SCOPE1、SCOPE2、SCOPE3 全体の CO_2 排出量合計は 1.64×10^7kg であった、また 2013 年度の場合は 1.57×10^7kg であり、大学全体の CO_2 排出量は 7.00×10^5kg 増となった。また、2014 年度の CO_2 排出量は 2013 年度と比べ、SCOPE1、SCOPE2 の割合は減少し、SCOPE3 の割合が増加した。

3.2 2014 年度 SCOPE3 の CO_2 排出量

工学院大学全体の SCOPE3 の各勘定分類の CO_2 排出量の割合を図 2 に示す。SCOPE3 の対象となる支出金額を 25 個の各勘定項目に仕分けし、CO_2 排出量を算出した。CO_2 排出量の合計は 9.27×10^6kg となった。

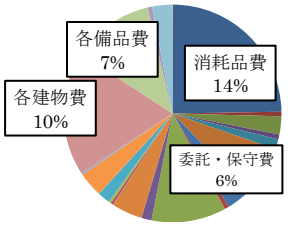


図 2.　2014 年度の SCOPE3 の勘定分類別割合

3.3 各キャンパスの CO_2 排出量

2014 年度の工学院大学 SCOPE3 を新宿キャンパスと八王子キャンパスに分類し算定した結果を図 3 に示す。データを比較すると消耗品費、委託・保守費、各建物費などに相違が見られ、CO_2 排出量の合計は新宿キャンパスでは 4.51×10^6kg、八王子キャンパスでは 5.20×10^6kg であった。

3.4 年度別特別会計データの CO_2 排出量

2013 年度、2014 年度の特別会計データの算定結果より得られた CO_2 排出量を図 4 に示す。2014 年度と 2013 年度の CO_2 排出量はそれぞれ 1.20×10^6kg、2.09×10^5kg となった。これらはそれぞれ 3.1 に示した工学院大学の CO_2 排出量の 7.32%、1.33%に相当する。

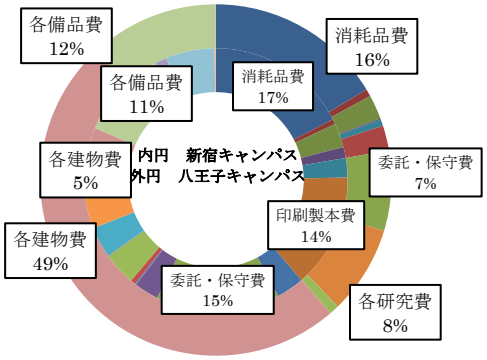


図 3.　各キャンパス別の SCOPE3 の勘定分類別割合

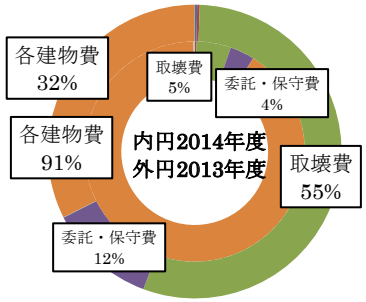


図４　年度別特別会計データの算定結果

図 1 に示した結果に特別会計データを含んだ結果を図 5 に示す。特別会計を加えた 2014 年度並びに 2013 年度の工学院大学全体の CO_2 排出量合計はそれぞれ 1.77×10^7kg、1.59×10^7kg となった。

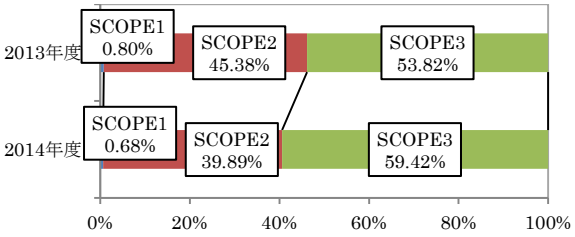


図 5　特別会計データを含んだ工学院大学全体の CO_2 排出量

次に図 2 に示した結果に特別会計データを含む場合と含まない場合での比較を図 6 に示す。特別会計を含む SCOPE3 全体の CO_2 排出量の合計は 1.05×10^7kg となった。工事に関連する項目である各建物費が 17%増加した。

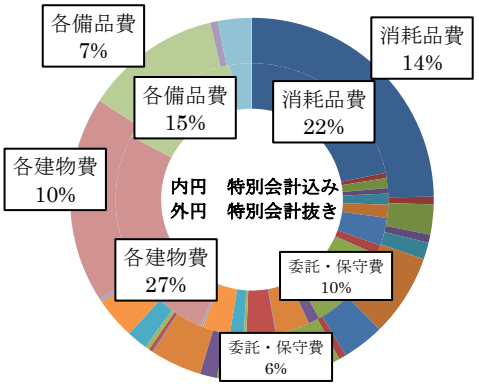


図 6.　特別会計データを含む場合と含まない場合の工学院大学の SCOPE3 の相違

特別会計は八王子キャンパスでの工事のみであるので八王子キャンパスの CO_2 排出量割合が増加する。SCOPE3 の八王子キャンパスの CO_2 排出量割合を特別会計の有無で比較した結果を図 7 に示す。SCOPE3 の八王子キャンパスの CO_2 排出量の合計は 5.49×10^6kg であった。新棟建設に関連する項目である各建物費が 13%増加した。

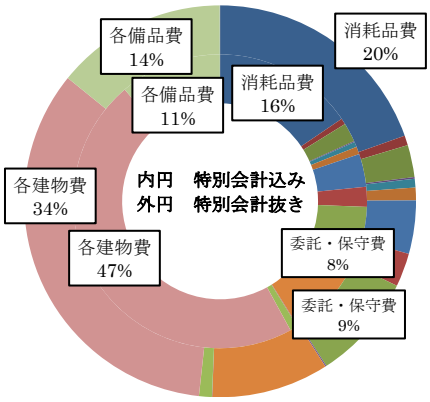


図７　特別会計データを含む場合と含まない場合の八王子キャンパスの SCOPE3 の相違

4.　まとめ

昨年度に引き続き、工学院大学の SCOPE3 の算出を行った。工学院大学全体では SCOPE3 の増加が見られ、大学全体で CO_2 排出量が増加しているという結果になった。

キャンパス別に比較してみると、新宿キャンパスでは消耗品費、印刷製本費、委託・保守費、各備品費の削減対策がそれぞれ必要であり、八王子キャンパスでは消耗品費、各研究費、各建物費、各備品費の対策が必要であることがわかった。

特別会計を含む場合の結果と含まない場合の結果を比較すると SCOPE3 の八王子キャンパスの CO_2 排出量の合計の差が 2.9×10^5kg となり、各建物費の割合に大きな相違が見られた。この結果から特別会計を含んだ SCOPE3 の算定は前年度より総合的な結果を得ることができた。

今後も算定を継続し、大学の活動の変化と CO_2 排出量における変化の対応関係を分析すると共に、CO_2 排出量削減対策の検討をしたい。

5.　参考文献

1) 一宮 敦史:2013 年度工学院大学の Scope3 算定(2014)
2) 一般社団法人産業管理協会：LCA 支援ソフトウェア（MiLCA）
3)独立行政法人国立環境研究所:産業連関表による環境負荷原単位データブック（3EID）（2005）
4)環境省・経済産業省：サプライチェーンを通じた温室効果ガス排出量算定に関する基本ガイドライン Ver1.0（2012）

工学院大学生協の SCOPE3

SCOPE3 of CO-OP of Kogakuin University
○村田　翔[1)]、中野　龍司[1)]、井上　夏美[1)]、田中　浩二[2)]、稲葉　敦*[1)]
Sho Murata, Ryuji Nakano, Natsumi Inoue, Kouji Tanaka, Atsusi Inaba
1)工学院大学, 2)e.s.feed 株式会社
* a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

1. はじめに

日本では、1998 年に地球温暖化対策の推進に関する法律（温対法）が制定され、CO_2 排出量削減の取り組みが行われてきた。近年新たな取り組みとしてバリューンチェーン全体での CO_2 排出量の削減を目指す SCOPE3 の実施が進んでいる。

著者ら[1)]も既に工学院大学の付属施設である生協食堂部及び購買部の 2013 年度の購入品データを用いて SCOPE3 の算定を行い、生協の SCOPE3 排出量は 5523[t-CO_2]であることを示した。本研究では 2014 年度のデータを用いて、生協購買部・食堂部の SCOPE3 を新宿キャンパス、八王子キャンパスに分けて算定し、昨年度の結果と比較して、CO_2 排出量の変化を整理する。

2.分析方法

本研究は以下の手順によって進めた。

①生協食堂部の食料購入品データ、生協購買部の購入品データを生協より入手した。また、生協食堂部・購買部の光熱費・水道代データを施設課より入手した。

②生協食堂部の食料購入品データを食材・調味料・調理済み食品に仕分けた。調味料・調理済み食品に関しては、cookpad[2)]等のインターネットサイトで食材の構成割合を算出し、原材料ごとにカーボンフットプリントのデータベース[3)]より CO_2 排出量の原単位を得て、新宿キャンパス、八王子キャンパスに分けて以下の式により CO_2 排出量を算定した。

○生協食堂部の食料購入品データ
CO_2 排出量[t-CO_2]
＝食材の重量[t]×CO_2 排出量係数[t-CO_2/t]

③生協購買部の購入品データを新宿キャンパス、八王子キャンパスに分け、各購入品の金額合計に 3EID[4)]、MiLCA[5)]により得た CO_2 排出量係数を用いて、以下の式により CO_2 排出量を算定した。

○生協購買部の購入品データ
CO_2 排出量[t-CO_2]
＝購入金額[円]×CO_2 排出量係数[t-CO_2/円]

④生協食堂部・購買部の光熱費・水道代データに 3EID により得た CO_2 排出量係数を用いて、新宿キャンパス、八王子キャンパスに分けて以下の式により CO_2 排出量を算定した。

○生協食堂部・購買部の光熱費・水道代データ
CO_2 排出量[t-CO_2]
＝光熱費・水道代[円]×CO_2 排出量係数[t-CO_2/円]

3.結果

3.1 生協食堂部の SCOPE3

2014 年度の生協食堂部の SCOPE3 排出量の結果を図 1 に示す。

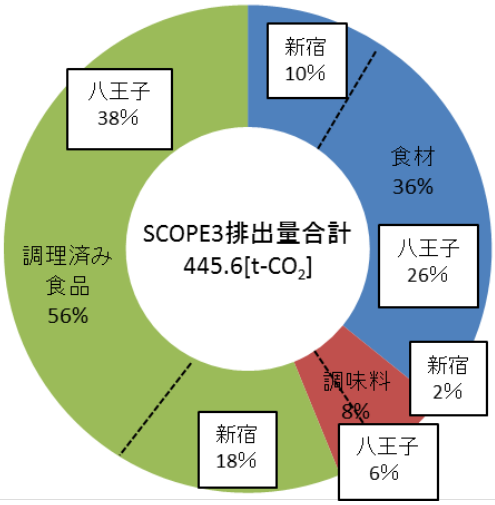


図 1.　2014 年度生協食堂部の SCOPE3 排出量

2014 年度生協食堂部の SCOPE3 排出量は 445.6[t-CO_2]であり、その内訳は、新宿食堂部が 132.7[t-CO_2]、八王子食堂部が 312.9[t-CO_2]であった。新宿キャンパスより八王子キャンパスの方が SCOPE3 排出量が多い。

3.2 生協購買部の SCOPE3

2014 年度の生協購買部の SCOPE3 排出量の結果を図 2 に示す。

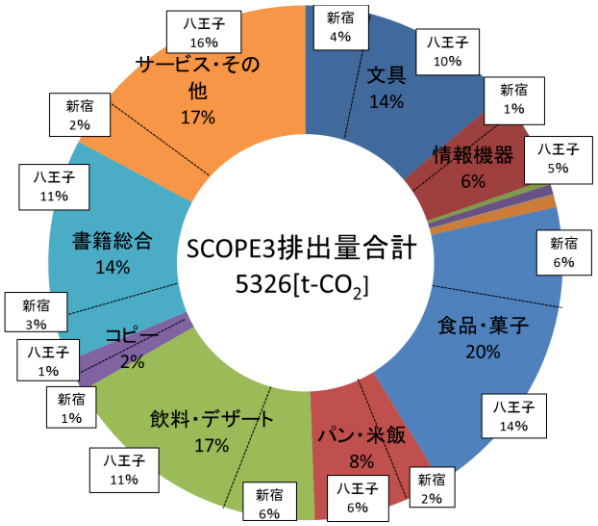


図 2.　2014 年度生協購買部の SCOPE3 排出量

2014 年度生協購買部の CO_2 排出量は 5326[t-CO_2]であり、その内訳は、新宿キャンパス 1334[t-CO_2]、八王子キャンパス 3992[t-CO_2]であった。図 2 に、文具や情報機器等項目ごとの割合を示す。ほとんどの項目で八王子キャンパスの方が大きいが、PC ソフト、衣類・スポーツ、AV・家具・家電、コピーは新宿キャンパスの方が大きい。また、購買部では食品・菓子、パン・米飯、飲料・デザートの割合が大きく、食品関係が全体の 45%を占めている。

3.3 生協全体の CO_2 排出量

2014 年度生協全体の CO_2 排出量を図 3 に示す。

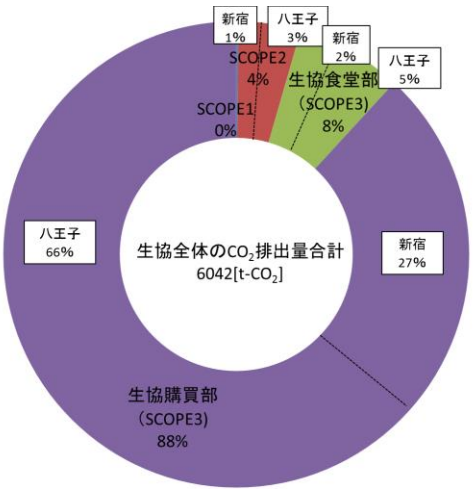


図 3.　2014 年度生協全体の CO_2 排出量

2014 年度生協全体の CO_2 排出量は 6042[t-CO_2]であった。新宿キャンパスは 1548[t-CO_2]で 25%、八王子キャンパスは 4494[t-CO_2]で 75%であった。SCOPE1,2 は全体の 4%、生協食堂部の SCOPE3 は 8%、生協購買部の SCOPE3 は 88%を占めることがわかった。また、SCOPE1,2,3 すべてで八王子キャンパスの方が新宿キャンパスより CO_2 排出量が多い。

3.4 2013 年度と 2014 年度の比較

生協全体の CO_2 排出量は、2014 年度の CO_2 排出量は 2013 年度に比べ、519[t-CO_2] 増加した。2013 年度と 2014 年度の比較を図 4 に示す。

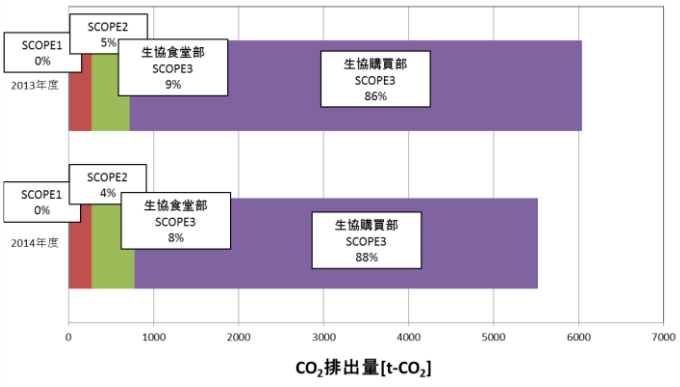


図 4.　2013 年度と 2014 年度の
生協全体の CO_2 排出量の比較

4.まとめ

本研究では、生協や工学院大学施設課から入手したデータを新宿キャンパス、八王子キャンパスに分け、算定を行った。生協食堂部では、2014 年度は 2013 年度に比べCO_2排出量が 59.5[t-CO_2]減少した。一方、2014 年度の生協購買部では 2013 年度に比べ 582[t-CO_2]増加した。また、SCOPE1,2 では 3.72[t-CO_2]の減少があり、節電対策等の効果があったと考えられる。

5.参考文献

1）井上夏美, 田中浩二, 稲葉敦：学生を主体とする工学院大学の SCOPE3（2014）, 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会

2）cookpad : http://cookpad.com/（2016 年 1 月 7 日確認）

3)産業環境管理協会：カーボンフットプリントコミュニケーションプログラム（2010）, http://www.cms-cfp-japan.jp/calculate/verify/data.html（2016 年 1 月 7 日確認）

4)独立行政法人国立環境研究所：産業関連表による環境負荷原単位データブック（3EID）（2005）

5）一般社団法人産業管理協会：LCA 支援ソフトウェア（MiLCA）, http://www.milca-milca.net/（2016 年 1 月 7 日確認）

日本 LCA 学会学生交流ネットワーク 2015 年度活動報告

ILCAJ-Student Communication Network Activity Report 2015

○江口昌伍*[1)]、田髙初奈[2)]、横井崚佑[3)]、田村賢人[4)]、伊藤亮太[2)]、重富陽介[5)]
Shogo Eguchi, Hatsuna Tadaka, Ryosuke Yokoi, Kento Tamura, Ryota Itoh, Yosuke Shigetomi
1）九州大学、2）横浜国立大学、3）東京大学、4）立命館大学、5）京都大学
* shogoeguchi43@gmail.com

1. はじめに

環境問題が現代社会における一つの大きな問題となった中で、ライフサイクルアセスメント（LCA: Life Cycle Assessment）を基盤とし、持続可能性のための科学的かつ定量的な評価方法とそれに基づく意思決定方法を検討する日本 LCA 学会が果たすべき役割は拡大してきた。本会に所属する学生会員は、研究発表会をはじめとする各種活動に参加し、様々な知識や経験を得ている。同学会に所属し、広い意味での環境問題という同じ問題を考える学生同士で、文理の垣根を越えて意見や考えを交換することは、各学生にとって非常に有意義である。学生会員の間で研究活動をはじめとする様々な問題に対処するための知識や人脈のネットワークを形成することを目指し、日本 LCA 学会の研究会の一つとして学生交流ネットワーク （SCN: Student Communication Network）が設立された[1)]。SCN では､学生会員の LCA への理解を深める契機として、様々なイベントを企画、開催している。SCN 設立から現在までの流れを図 1 に示す。

2008年 夏	学生組織設立に向けて始動
2008年 10月	学生部会設立の熱意書を理事会に提出 （提案者2名、賛同者9名）
2008年 12月	学生部会（仮称）設立が理事会に承認される 設立集会（第8回EcoBalance国際会議会期中）
2009年 3月	第1回学生総会（第4回日本LCA学会研究発表会会期中）
2009年 9月	第1回工場見学会およびワークショップ2009開催
2010年 1月	第1回工場見学会およびワークショップ2009の様子を学会誌で報告
2010年 3月	第2回学生総会（第5回日本LCA学会研究発表会会期中） 2009年度の活動を第5回日本LCA学会研究発表会にてポスター発表 第1回セミナー開催（第5回日本LCA学会研究発表会会期中）
2010年 8月	第2回工場見学会およびワークショップ2010開催
2011年 3月	第3回学生総会（第6回日本LCA学会研究発表会会期中） 2010年度の活動を第6回日本LCA学会研究発表会にてポスター発表 第2回セミナー開催（第6回日本LCA学会研究発表会会期中）
2011年 4月	第2回工場見学会およびワークショップ2010の様子を学会誌で報告
2011年 9月	第3回工場見学会およびワークショップ2011開催
2012年 3月	第4回学生総会（第7回日本LCA学会研究発表会会期中） 2011年度の活動を第7回日本LCA学会研究発表会にてポスター発表 第3回セミナー開催（第7回日本LCA学会研究発表会会期中）
2012年 9月	第4回工場見学会およびワークショップ2012開催
2013年 3月	第5回学生総会（第8回日本LCA学会研究発表会会期中） 2012年度の活動を第8回日本LCA学会研究発表会にてポスター発表 第4回セミナー開催（第8回日本LCA学会研究発表会会期中）
2013年 9月	第5回工場見学会およびワークショップ2013開催
2014年 3月	第6回学生総会（第9回日本LCA学会研究発表会会期中） 2013年度の活動を第9回日本LCA学会研究発表会にてポスター発表 第5回セミナー開催（第9回日本LCA学会研究発表会会期中）
2014年 9月	ワークショップ2014開催
2015年 1月	ワークショップ2014の様子を学会誌で報告
2015年 3月	第7回学生総会（第10回日本LCA学会研究発表会会期中） 2014年度の活動を第10回日本LCA学会研究発表会にてポスター発表 第6回セミナー開催（第10回日本LCA学会研究発表会会期中）
2015年 9月	第6回工場・研究所見学会およびワークショップ2015開催

図 1 SCN 設立から現在までの流れ

2. 主な活動内容

・工場・研究所見学会 （年 1 回開催）

実際に工場施設を見学することで、プロセスの仕組みや現場での LCA の利用法を理解し、企業の環境への取り組みなどについて議論を行う。例年の工場見学に代わり、本年度は研究所の見学を行った。

・ワークショップ （年 1 回開催）

研究成果を発表形式で報告する。研究手法やアイデア、研究予定など研究成果に至らないものも発表を行い、学生同士で議論を行う。本年度は 9 月下旬の 3 日間、茨城県つくば市にある筑波研修センターで開催した。

・セミナー （年 1～2 回開催）

環境に関する研究に取り組む学生会員の現在の研究活動を将来にどう活かしていくのか、企業やアカデミアに所属する正会員による講演などを通して意見交換を行う。本年度は第 11 回日本 LCA 学会発表会の会期中に、招待講演者による講演を予定している。

・学生総会 （年 1 回開催）

毎年開催される日本 LCA 学会研究発表会の会期中に開催する。活動報告や、翌年度の活動内容の検討、役員の決定などを行う。

・懇親会 （随時開催）

研究活動や進路選択、普段の生活まで様々なことについて学生同士で話し合い、情報交換を行う。

3. 2015 年度研究所見学会およびワークショップにおける活動報告（2015 年 9 月 28～30 日）

本年度の第 6 回工場・研究所見学会およびワークショップ 2015 は、9 月 28 日から 30 日にかけて茨城県つくば市で開催され、7 大学 9 研究室から総勢 32 名の参加者が集まった。本要旨では、その内容と参加学生からの反応について報告する。

3.1. 第 6 回工場・研究所見学会の様子

例年、夏期に開催されているワークショップ期間中には、実際の企業による LCA の実践状況と環境への取り組みを理解し、議論することを目的として、工場見学を行ってきた。また、昨年度は、新たな試みとし

て、「LCA の研究を通して何を活かす？」「LCA による結果をより社会に浸透させるためには？~消費者の観点から~」という 2 つのテーマについて、学生同士による座談会形式での議論を行なった。

そして、本年度は、「LCA と関わりの強い研究機関とそこで働く若手研究者」にスポットをあて、研究所における環境システム研究や研究者の実態を知り、今後の研究や将来の進路の一助とすることを目的として、国立開発法人国立環境研究所（NIES）と国立開発法人産業技術総合研究所（AIST）の見学を行った（図 2）。

当日は、両研究所の施設見学に加えて、小島英子氏（NIES 所属）、髙根雄也氏、畑山博樹氏（ともに AIST 所属）による講演が行われ、研究内容のみならず、研究者としての日常や研究者になるまでの経緯について幅広くご講演頂いた。



図 2 研究所見学の様子

3.2. ワークショップ 2015

2 泊 3 日で行われたワークショップでは、各研究室の紹介と研究発表会が行われた（図 3）。初日に行われた研究室紹介では、代表者による各研究室のテーマや分析に用いる手法、特色などについての発表があり、基礎的な知識を全体で共有した。

また、3 日間を通して開催された研究発表会では、過去最多となる 27 件の口頭発表が行われ、各自 7 分の発表時間と 7 分の質疑応答の時間が設けられた。研究対象は、マテリアルフロー分析（レアメタル、化学物質、鉱物資源等）、都市のマテリアルストック分析、東日本大震災の環境影響分析、耐久財の寿命の変化に着目した LCA 分析、アジア諸国における越境汚染物質の構造経路分析など非常に多岐に渡った。今回のワークショップでは土木学会、ヒートアイランド学会に所属する学生による研究発表もあり、LCA の枠にとらわれない、「環境システム研究」という広い視点での知識の共有も活発に行われた。加えて、国内誌と国際誌の論文執筆に関する発表も数件なされ、論文執筆の基礎知識と各発表者の体験談、具体的な事例等を参加者で共有し、今後の論文執筆へのモチベーションを高める取り組みもなされた。

また、本年度からの新しい取り組みとして、全参加学生の投票による優秀発表者の表彰も行われたため、会期中を通して非常に積極的な議論がなされ、当初の質疑応答の時間を超えて議論が白熱することもしばしば見受けられた。



図 3 研究発表会の様子

3.3. 参加学生からの反応について

研究所見学・ワークショップ終了後、メールにて参加者全員を対象にアンケート調査を実施した。ほとんどの回答では、研究所見学と研究発表会の内容を肯定的に捉えており、一定の成果があったと言える。一方で、論文執筆に関する発表では、学部生や修士学生を中心に、「あまり有意義ではなかった」という回答も見受けられ、論文執筆に対する学年による意識の差が表れる結果となった。また、発表件数についても「多すぎる」という意見もしばしば見られ、今後の運営に関しての課題も残った。

4. 今後の活動に向けて

SCN では、これまでの経験と反省を活かしながら、今後も学生会員同士のみならず、学生と企業あるいは大学の間のネットワークを広げる活動を続けていく予定である。正会員や賛助会員の皆様には、SCN の活動にご理解いただくとともに、工場・現場見学会や招待講演などで今後もご協力をいただければ幸いである。また、学生会員の皆様には、是非 SCN の活動に積極的に参加していただきたい。

引用文献

1) 日本 LCA 学会学生交流ネットワーク ホームページ：http://www.sntt.or.jp/~lca-stg/

学会賞受賞者講演

3日目　3月４日（金）　M 会場

13:00 － 13:20　**【奨励賞】ライフサイクル的思考の畜産環境分野への適用に関する研究**
◎菱沼竜男（宇都宮大学）

13:20 － 13:40　**【奨励賞】LCA 実施基盤の開発と産業界における実践**
◎中野勝行（産業環境管理協会）

13:40 － 14:00　**【論文賞】ライフサイクル影響評価における様々な手法による重み付け係数の算定と比較**
◎横井峻佑（東京大学）、中谷隼（東京大学）、
本下晶晴（産業技術総合研究所）、森口祐一（東京大学）

14:00 － 14:20　**【功績賞】LCA の実施を支えるインベントリデータベースの構築**
◎田原聖隆（産業技術総合研究所）

※論文賞につきましては、要旨ではなく受賞論文を掲載させていただいております。

奨励賞受賞講演

ライフサイクル的思考の畜産環境分野への適用に関する研究

Applying Life Cycle Approach for Evaluation of Environmental Aspects at the Livestock Manure Management System

○菱沼竜男*[1)]
Tatsuo Hishinuma
1) 宇都宮大学
* thishinuma@cc.utsunomiya-u.ac.jp

1. はじめに

私は、平成 11 年から 3 年間ほど酪農学園大学大学院で家畜管理・行動学研究室に所属した。ここで、指導教授から「まず、堆肥がどこまで運べるのかを計算してみなさい」と、テーマを与えられた。当時の私にはその意味が全く解らなかったが、難解なテーマに取り組むことへの興味と期待を感じていた。次の年には、指導教授から「バイオガスプラントをエネルギーの側面から評価しなさい」と、テーマを頂いた。真っ先に私の頭に浮かんだのは、ふん尿からのメタンガス回収率を原料や発酵温度をパラメータに実験、分析をすることであった。望んでいた実験系の研究ができると思って喜んでいたが、始まったのは学内の一番高い校舎の屋上から 1 日 1 回ほど、眼下で行われていたバイオガスプラントの建設工事を写真に収めることであった。やはりこれも、その意味が全く解らなかった。

これが、私がライフサイクル思考に基づいて畜産環境の研究に取り組むきっかけであったと思う。

2. 家畜排せつ物法と耕畜連携

平成 11 年は、畜産農家のふん尿の管理方法に対して罰則付きの法律、「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律（家畜排せつ物法）」が施行された年である。家畜ふん尿は、これまでも堆肥や液肥として水稲や畑作物、飼料作物などの生産に肥料や土壌改良材として有効に利用されてきた。その一方で、農地でのふんの野積みや素掘りため池への尿汚水の貯留などに代表される不適切なふん尿の管理が、近隣住民への悪臭や水系の汚濁などの環境影響の一因として問題視された。同法は、家畜ふん尿の不適切な管理の解消、ふん尿からの栄養塩類の流出を防止できる適正な管理設備の設置をねらいとして施行された。

また、同じ平成 11 年に「改正肥料取締法」と「持続農業法（略称）」が施行された。堆肥化処理が代表的なふん尿処理方式である日本において、これら３つの法律が施行された意味は、法令に準拠した適切な管理施設で堆肥を作り、含有肥料成分を表示して堆肥を流通し、畜産農家だけでなく耕種農家を含めて広域的に堆肥の利用を進めていく、という耕畜連携システムを作ることであった。畜産の現場では、堆肥化処理の自動化や利用の困難な尿汚水の高度な浄化処理施設などの整備が進んだ。

3. 家畜ふん尿用のバイオガスプラント

平成 12 年には、同大学院に研究施設として、実用規模の乳牛ふん尿処理用のメタン発酵処理施設（バイオガスプラント）が建設された。メタン発酵技術は古くて新しい技術と呼ばれ、1950 年代、1970 年代にその研究や利用のブームがあった。ただ、その当時はプロパンガスの普及やエネルギー問題（石油危機）の緩和に伴って、メタン発酵技術への関心は薄れていった。現在では、地球温暖化に代表される環境問題へ対応や循環型社会の構築に向けて、再びメタン発酵技術に関心が向けられている [1)]。

その理由として、環境負荷ガスの放出が少ない可能性があること、代替エネルギーの生産が期待できることがあった。メタン発酵処理は、開放系で通気をしながら好気的に分解を進めていく堆肥化処理とは異なり、密閉されたタンクの中（嫌気条件下）で分解が行われる。その設備構造から、処理過程でふん尿に由来する臭気や環境負荷ガスの放出が少ないことが期待される。また、メタン発酵処理では分解過程で可燃性ガスであるメタンが発生し、これを熱や電力に変換することが可能である。一方で、メタン発酵処理では、堆肥化処理のように処理過程での減量効果はほとんど無く、投入した原料の量とおよそ同量の消化液（処理後に排出される液状物）が排出されるという特徴がある。

4. 問題意識

意味が解らないながらも、与えられた研究テーマと畜産環境をめぐる社会動向から問題意識を整理して、研究作業に取り組んできた。

堆肥化を基本として構築が検討されている耕畜連携システムは、ふん尿の栄養塩類の流失に伴う環境問題を防止する管理施設の設置とともに、堆肥が畜産農家に滞ることなく耕種農家で利用されるシステムとともに環境負荷の低減をねらったものである。しかし、家畜ふん尿処理に伴う環境問題は処理や管理時に流失す

る栄養塩類の問題だけでなく、温室効果ガスやアンモニアガスの排出もある。また、畜舎でのふん尿搬出方式によって、選択できる処理施設やできあがるふん尿資材（堆肥、液肥など）も異なる。ふん尿資材が異なれば、利用先や散布に用いる車両が異なってくる。すなわち、家畜ふん尿処理・利用に伴う環境負荷の低減を考えるにはLC的思考を用いた分析が重要であり、段階的に比較評価を進めていく必要があると考えた。

5. LC思考を用いた家畜ふん尿処理システムの評価

5.1 ふん尿処理・利用技術の評価

堆肥化処理から農地還元までの作業と、堆肥利用と等価成分量の化学肥料の農地利用までの作業との間で燃料消費量を比較し、堆肥のエネルギー的な有効還元距離を推計した[2)]。搾乳牛100頭規模の酪農家で堆肥舎とマニュアスプレッダを利用した方式では、約20kmの輸送距離で化学肥料の散布と同量のエネルギーが消費されると推計できた。また、共同利用型堆肥化施設を利用した場合では、処理に伴うエネルギー資材の消費によって堆肥の化学肥料代替効果（エネルギー換算量）を上回る結果となった。

個別型の家畜ふん尿用バイオガスプラントを対象として、施設の建設、運用で消費されたエネルギー資材と発生したバイオガス由来のエネルギーの比較から、建設に投入されたエネルギーの回収期間を推計した[3)]。施設建設に投入されたエネルギーを、発生したバイオガスの熱電併給利用による余剰エネルギーのみで回収する場合の期間は約10年であった。さらに、消化液の化学肥料代替効果をエネルギー換算して計上したところ、建設エネルギーの回収期間は約3年に短縮された。仮に、消化液を浄化処理して河川放流を行う場合では、浄化処理施設の建設と運用で消費されるエネルギー資材のために回収期間は長くなる。したがって、家畜ふん尿処理にバイオガスプラントを利用する際には、消化液を積極的に利用する方向性で考えることが重要になると考えた。

LCA手法を用いて、代表的な家畜のふん尿処理・利用方式に関して、施設の導入と運用に伴う環境影響の特徴を把握した[4)]。結果として、堆肥化処理ではふん尿由来だけでなく燃料消費由来の影響が大きいこと、液肥化処理ではNH_3、尿の浄化処理ではN_2Oの影響が大きいなどがわかった。また、密閉構造をもつメタン発酵施設の環境負荷低減効果を、ほかの処理施設との比較を通して定量的に整理することができた。

堆肥や液肥の散布方式の違いを考慮したふん尿処理・利用方式のLCAを行った[5)]。ふん尿の処理と散布をシステム境界として処理方式別で比較すると、メタン発酵施設は堆肥化や液肥化に比べて地球温暖化の影響を低減したが、酸性化は同程度の影響であった。特に、NH_3排出量は、堆肥化施設では処理時、メタン発酵施設では消化液の散布時に多い、という特徴が示された。また、消化液の散布方式としてインジェクションタイプを用いることでNH_3の排出量を低減できること、その導入や利用に伴う燃料消費由来の環境影響の増加分はわずかであることがわかった。

5.2 地域的なふん尿処理システムの検討（地域LCA）

地域施策、システム検討に対するLCAの適用手法の開発プロジェクトの中で、市町村のふん尿処理・利用システムの検討に取り組んだ。具体的には、千葉県旧山田町の乳牛ふん尿の処理・利用システムを対象として、環境負荷の少ないシステムの代替案を検討した[6)]。システム検討では、地理情報システムや数理計画法を援用して、ふん尿処理施設の導入から運用、ふん尿資材の輸送と散布に伴う環境負荷と費用をシナリオ別に比較した。現状のふん尿処理・利用システムに対してシナリオ毎の費用対効果を定量化し、施設選定と立地位置選定を含めたシステム代替案を提案できた。

さいごに

この度の日本LCA学会奨励賞の受賞に際し、ご高配を賜りました表彰者選考委員会委員長ならびに各選考委員、学会役員の皆様に謹んでお礼を申し上げます。

奨励賞へのご推薦とともに、産総研旧ライフサイクルアセスメント研究センターでご指導を頂きました工学院大学の稲葉敦教授、（独）産業技術総合研究所の玄地裕氏、田原聖隆氏に厚くお礼申し上げます。

また、産総研旧ライフサイクルアセスメント研究センターの地域LCAグループでの経験を通して、多くの知識と研究に取り組む姿勢を学ぶとともに研究内容を発展させることができました。熱心なご指導と有意義なご議論を頂きました志水章夫氏、楊翠芬氏、芝浦工大の栗島英明先生、東京大学の井原智彦先生に心からお礼申し上げます。

最後に、畜産環境分野の研究に取組むきっかけを与えていただいた元酪農学園大学の干場信司教授に感謝申し上げます。

引用文献

1) 北海道バイオガス研究会：バイオガスシステムによる家畜ふん尿の有効利用, (2002), 酪農学泉大学エクステンションセンター
2) 菱沼竜男ほか：農業施設, (2006), 37(3), 39-46.
3) 菱沼竜男ほか：農業施設, (2002), 33(1),45-52.
4) 菱沼竜男ほか：農業施設, (2007), 38(1), 43-56.
5) 菱沼竜男ほか：日本家畜管理学会誌, (2008), 44(1), 7-20.
6) 菱沼竜男ほか：日本LCA学会, (2009), 5(1), 68-78.

LCA 実施基盤の開発と産業界における実践

Development of LCA infrastructure and practices in industry

○中野勝行*[1)]
Katsuyuki Nakano
1) 産業環境管理協会
* nakano@jemai.or.jp

1. はじめに

「環境にやさしい」とは何であろうか。LCA はその問いに答えるための技法である。しかし、企業などにおける現場ではデータ不足や社内外関係者との連携不足により、LCA 実施のための障壁が少なからずある。

そこで、LCA がより容易に、かつ実行力のある形で活用されるよう、成功裏に LCA を活用している企業の事例から一般的なモデルを構築することで他企業における LCA 導入時に活用したり、LCA 実施基盤である LCA ソフトウェアの開発などを実施したり、また産業界が直面している新たな課題に対して LCA を用いた解決案を提案したりするなど、下記の活動を行ってきた。

2. 企業内における LCA 活用

どの部署の人間が、いつ、何のために LCA を実施するのが望ましいのであろうか。企業の方と接していると、環境担当者が LCA を精力的に実施しても、広報担当者はそれを対外的に活用せず、また設計担当者に LCA 結果を伝えないがために社内的にも利用されていない、という悲劇に出会うこともある。

そのため、あらかじめ目的に応じて LCA 実施のタイミングと関係者（図 1）を明確にし、LCA の活用方法を社内体制化することが有効である [1)]。例えば、製品設計時に LCA を実施することで、LCA 結果を設計に活用することができる。ただし、その場合は情報が限られるため、LCA 結果の不確かさは高くならざるをえない。このような限界を踏まえた上で LCA の上手な活用が望まれる。

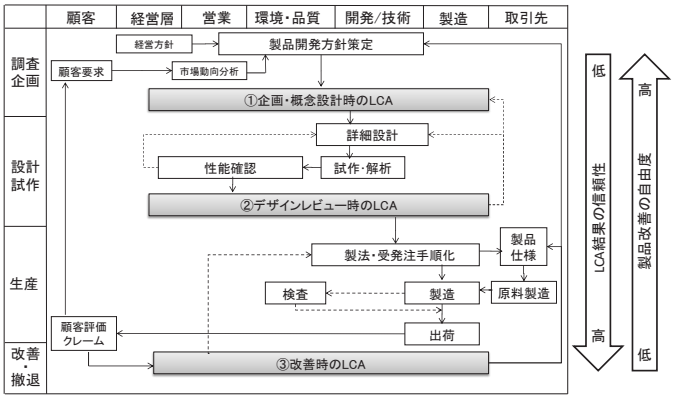


図 1 目的に応じた LCA 実施のタイミングと関係者

3. サプライチェーンを構成する企業間での LCA

LCA を実施するためには、サプライチェーン全体を通じた LCA データが必要になる。自社内の LCA データは関係部署に協力要請をするなどして、(時には社内ですら非常に困難であるが) 自社で収集することが原則である。しかし、購入している部材等の環境負荷は一般的な素材等の LCA データを用いて計算をすることが多い。取引先に LCA データの提供依頼をしても、取引先には LCA データを提供するインセンティブが少ないからである。

そこで、図 2 に示すサプライチェーン協働モデルを提案し、実践した [2)]。当該モデルでは企業内で収集した工程データを LCA のためだけではなく、マテリアルフローコスト会計など製造工程のコスト分析にも利用することで、コスト削減の余地を社内で明確にすることを支援する。コスト分析結果は社内でのみ利用し、企業間で共有する情報は LCA データのみとする。

川上側・川下側企業が参加するワークショップではサプライチェーンで連結した実際の LCA データに基づき、改善案を検討する。

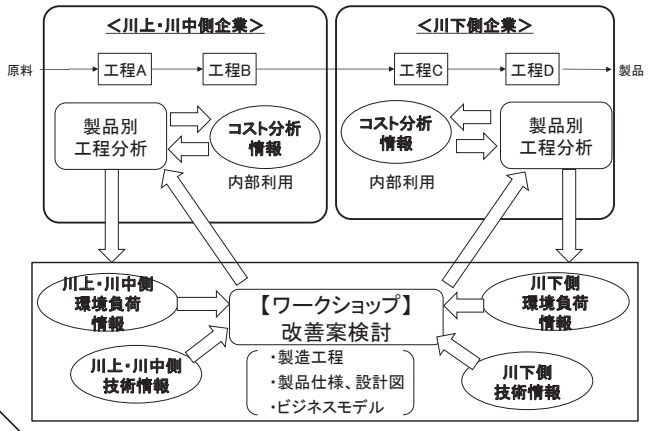


図 2 サプライチェーン協働モデル

例えばセットメーカと樹脂部品メーカで検討した事例では、樹脂部品の環境負荷が一般的な LCA データを用いた場合に比べて想定以上に大きいことがわかった。原因を確認すると、セットメーカが在庫ロス回避のため小ロットで樹脂部品を発注しており、樹脂部品メーカにて多くの段取りロスが発生していることが明らかになった。取引先の実際の LCA データを収集・共有したことで、はじめて明確になったロスであった。

4. LCA ソフトウェアの開発

我が国においては産業技術総合研究所（初期開発当時は資源環境技術総合研究所）が開発した LCA ソフト AIST-LCA(NIRE-LCA)が、JEMAI-LCA との販売名称で広く利用されてきた。本ソフトは利便性の高いソフトであったが、インベントリデータベース IDEA の搭載に伴いデータ量が膨大となったため、データベース機能を強化したソフトが求められることになった。そこで、新 LCA ソフト MiLCA を開発し、リリースした。

当該 LCA ソフトはインターネットを通じたデータ授受機能 [3]も付加しており、データの公開や利用が簡易にできるようになった。一方、データ量が膨大になったことによる操作性の低下、海外の LCA 手法への対応など課題もあるため、これらへの対応が今後の課題である。

5. サプライチェーンを通じた環境からの影響評価

気候変動による災害などがサプライチェーンに与える影響が懸念されている。そこで、気候変動に対する適応策検討のための LCA の枠組み（LCA-AP, LCA framework for adaptation planning）を提案した（図 3）[4]。本枠組みでは、LCA がこれまで蓄積してきた膨大なサプライチェーンに関するデータや、計算ソフトのアルゴリズムを活用することが可能である。

本枠組みでは、気候変動から影響を受ける側面を影響領域と定義し、それに関係する基本フローをインベントリ分析にて定量化することで環境からの潜在的な影響を評価する。また、地域固有の脆弱性・ハザードを考慮した係数を利用して特性化分析を行う。

例えば、脆弱性・ハザードの高い地域において生産に要する土地利用面積が広く、また利用期間の長い製品があると、当該製品は気候変動による極端な気象現象等による潜在的な影響を受けやすいといえる。このようなプロセスを特定することで、具体的な適応策を検討するためのスクリーニングをすることができる。

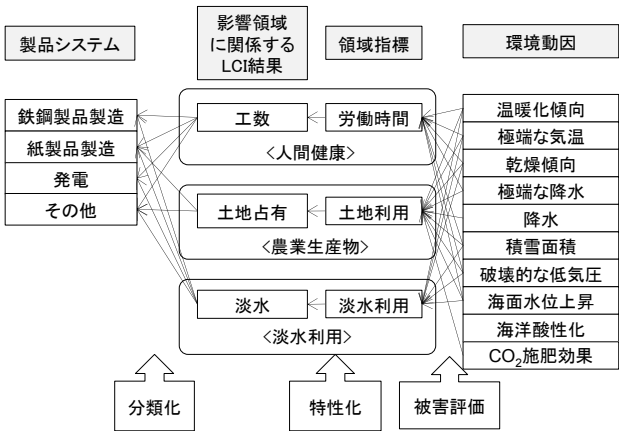


図 3 気候変動への適応策検討のための LCA の枠組み

例えば、日本の全輸入品を本手法でスクリーニング評価した [5]。このうち、土地利用に伴う影響を評価した結果を図 4 に示した。図 4 では、輸入品を産業連関表の各部門に割り当て、その中で影響の大きい上位 10 部門のみを示している。横軸の HHI（ハーフィンダール・ハーシュマン指数）は輸入国の集中度を、また円の大きさは貿易額を示している。その結果、輸入農業製品への潜在的な影響がより高いことが示された。

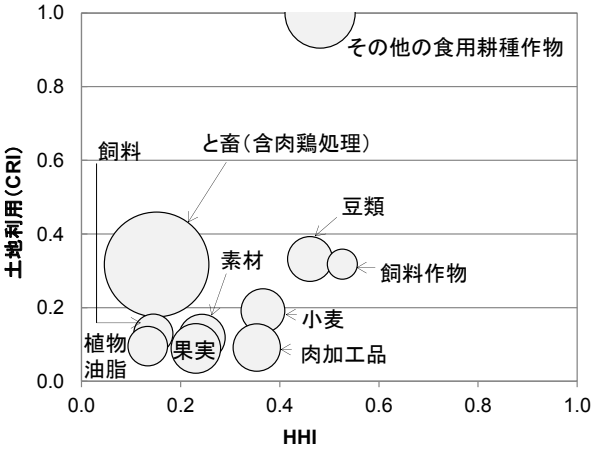


図 4 輸入品に対する気候変動からの潜在的な影響（土地利用に関する側面を CRI にて評価）

本手法により LCA を活用して環境からの影響をスクリーニング評価可能となったが、地域によって異なる脆弱性・ハザード（特性化係数）の設定方法など、結果の信頼性向上のため改善が必要である。

6. 今後の方向性

ライフサイクル思考をする目的は、「全体最適のための意思決定支援」だと考えている。全体最適には、環境側面だけでなく、社会側面、経済側面も考慮する必要がある。また世代間の公平性など、時間的なギャップもある。これら全てを網羅的に評価することは非常に困難であるが、社会における様々な意思決定の現場に貢献できるよう、今後も微力を尽くしたい。

謝辞

ご指導くださった先生方、産業環境管理協会の方々に深く感謝します。

引用文献

1) 中野勝行: 日本 LCA 学会誌, 9(4), (2013), pp. 265-270
2) Nakano K., Hirao M.: J. Clean. Prod, 19(11), (2011), pp. 1189-1197
3) 中野勝行: 日本 LCA 学会誌, 10(2), (2014), pp. 165-172
4) Nakano K.: Int. J. LCA, 20(6), (2015), pp. 819-828
5) Nakano K.: Mitig. Adapt. Strat. Gl, Online first, (2015) DOI: 10.1007/s11027-015-9692-6

研 究 論 文(Research Article)

ライフサイクル影響評価における様々な手法による重み付け係数の算定と比較

横井　崚佑[1,*]・中谷　隼[1]・本下　晶晴[2]・森口　祐一[1]

Calculation and Comparison of Weighting Factors Based on Different Methods in Life Cycle Impact Assessment

Ryosuke YOKOI[1,*], Jun NAKATANI[1], Masaharu MOTOSHITA[2] and Yuichi MORIGUCHI[1]

Synopsis:

Background and Objective. Though weighting in life cycle impact assessment (LCIA) is widely used in practice, it is still a controversial issue. There are many kinds of calculation methods of weights such as distance-to-target (DtT), panel, and monetization methods and the choice of the calculation method has an effect on the decision-making. From another aspect, weighting methods can be classified into midpoint and endpoint approaches. There exist previous studies that compare different LCIA methods including weighting phases. However no studies have compared weighting methods themselves considering the difference in frameworks of LCIA methods. The purpose of this study is, by calculating multiple sets of weighting factors using different methods under the identical LCIA framework, to investigate how differences in calculation methods and viewpoints among weighting methods have influence on midpoint and endpoint weighting factors.

Methods. Weighting factors were calculated for midpoint and endpoint impact categories using the panel method as well as the DtT method under the framework of LIME2. The questionnaire surveys for panel methods were conducted for respondent groups who have different viewpoints, such as LCA specialists and practitioners, and weighting factors based on two different approaches, "paired comparison" and "classification of importance", were calculated by two styles of questionnaires. By comparing the results, differences between respondent groups, between panel and DtT methods, and between different approaches of the panel method were discussed.

Results and Discussion. The variability of calculated weighting factors among specialists was larger than the LCA practitioners. Compared with the weighting factors based on the DtT methods, there was less difference among the weights of impact categories calculated based on panel methods. The choice of the approach of the panel method had an influence on the calculated weight of impact categories. For example, noise, as one of the midpoint impact categories of LIME2, was evaluated to be more important by paired comparison than classification of importance.

Conclusions. These results suggest that weighting factors can be affected by various factors such as the choice of calculation method of weights. It was found that even weighting factors of a particular respondent were variable depending on the approach of the panel method. When practicing LCIA, interpreting or using the results of LCIA, it is important to understand the underlying concepts and viewpoints of weighting methods behind the variability of weighting factors.

Keywords: Distance-to-target; endpoint approach; LIME2; midpoint approach; panel method

1　東京大学／〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1
2　国立研究開発法人 産業技術総合研究所／〒 305-8569 茨城県つくば市小野川 16-1
1　The University of Tokyo / 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656
2　National Institute of Advanced Industrial Science and Technology / 16-1 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8569
＊連絡先(Corresponding author), yokoi@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

ライフサイクル影響評価（LCIA）はライフサイクルアセスメント（LCA）のインベントリ分析（LCI）の後に位置付けられるステップであり、LCIの結果の持つ環境的意味の解釈を目的とした段階と言える[1)]。LCIAは1990年代前半より発展を続けており、これまでに欧州や日本において、特性化モデルなどが異なる様々なLCIA手法が開発されているが、手法により評価結果も変わるため、どの手法を選択するかは評価結果を利用する意思決定者にとっても重要な問題である。

LCAの国際標準規格であるISO14040[2)]においてLCIAの任意要素とされる重み付けでは、複数のミッドポイントへの環境影響量や複数のエンドポイントへの被害量が単一指標化されるため、トレードオフの関係を発生させることなく評価結果を比較することができるという利点がある。しかし、人間や生態系、資源といった異なる領域間の重要度の重み付けは主観的価値判断に基づくことが避けられず、一般に結果は一意的に定まらないと考えられる[3)]。世界の様々なLCIA手法の中でも、重み付けに関して様々な手法が提示されている。それらにはミッドポイントかエンドポイントかといった重み付けの対象となる「段階」の違いや、誰の主観によって評価するかという価値判断の「視点」の違いだけでなく、「重みの算定方法」の理論的背景に関しても、学問分野の違いや根拠とする価値基準の違いがあり[4)]、どの重み付け手法を選択するかという点においても価値判断が含まれるといえる[1)]。そのため、どの段階を対象として、どのような視点および重みの算定方法から係数が算定されているのかといった、重み付け手法の特徴を理解することが重要である。

既往の研究として、世界における重み付け手法をレビューした事例[5)]や、それらの評価基準をレビューした事例[4)]もあり、重み付け手法の比較の重要性は高いと考えられる。これまでに、重み付けを含むLCIA手法を同一のインベントリ分析結果に適用し、結果を比較した事例は存在するが[6, 7)]、ミッドポイントやエンドポイントの設定などLCIA全体の枠組みが手法間で異なるため、重み付け手法自体の特徴の比較・分析としては不十分である。同一のLCIAの枠組みおよび対象国・地域について、異なる重みの算定方法で算定された重み付け係数を比較した事例として、LIME1ではエンドポイント評価における同じ保護対象に対して、コンジョイント分析と階層分析法（AHP）による重み付け（いずれも日本国民へのアンケート調査に基づく）が比較されている[8)]。しかし、LIME以外で採用されている様々な重み付け手法について、対象となる「段階」や価値判断の「視点」、「重みの算定方法」の異なる重み付け係数を同一のLCIAの枠組み（ミッドポイントやエンドポイントの設定）で包括的に算定・比較した事例は見られない。そのため、重み付け手法の選択がミッドポイント間やエンドポイント間の相対的な重要度をどのように左右するかは明らかになっていない。

以上の背景を受けて、本研究ではまず、ミッドポイントおよびエンドポイントの特性化を含む日本のLCIA手法であるLIME2[9)]の枠組みにおいて、世界における様々なLCIA手法で採用されている重み付け手法を用いて、ミッドポイントおよびエンドポイントから重み付け係数を算定する。その結果をもとに、算定した係数間、および既存の重み付け係数との比較から、「重みの算定方法」や価値判断の「視点」の違いが重み付け係数に及ぼす影響について分析するとともに、各手法による重み付け係数を利用した場合の意思決定への影響について考察することを目的とする。

2. 重み付け手法の比較方法

2.1 重み付け手法の分類

現在までに様々な重み付け手法が開発されてきたが、それらの手法は重み付けの対象となる「段階」および「重みの算定方法」という2つの観点から分類することができる[3)]。

重み付けの対象となる段階は、大きくインベントリ、ミッドポイント、エンドポイントという3つに分けられる。また、これらを対象とする重み付けは、それぞれ「物質比較型」「問題比較型（ミッドポイント型）」「被害算定型（エンドポイント型）」とも呼ばれる。ただし、物質比較型はLCIAの必須要素である特性化を含まないため、本研究ではミッドポイント型とエンドポイント型のみを扱うこととする。

重みの算定方法は、主に「代替指標」「DtT（Distance to Target）法」「パネル法」「経済評価法」の4つに分類されるが、代替指標はインベントリの重み付けに用いられ特性化を含まないため、本研究では残りの3つの方法を対象とする。なお、以下で述べるように、どの重みの算定方法を選択するかは、どういった「視点」の価値判断から重み付けするかとも関連する。

DtT法では、排出量（インベントリ）や環境影響量（特性化結果）について目標値を設定し、現状値との乖離の程度から重みを算定する。目標値には、国の政策的な目標や環境基準などが用いられることが多い。そのため、価値判断の視点としては政府（行政）が想定される。ただし、目標の設定には科学的というよりも政策的な要因が影響するため、しばしば恣意的になるとも言われている[10)]。また、全ての排出量または影響量の目標値が等しい重要度を持つという前提に基づいており[10)]、DtT法が重み付け手法と呼べるかどうかに関して疑問視する意見もある[1)]。

パネル法では、アンケートやグループディスカッションを通した回答者の判断に基づいて重みを算定する。そのため、手法開発者の恣意性が低いことが特徴として挙げられる[3)]。一方で、回答者の主観的価値判断への依存は避けられない。パネル法を適用した既存の重み付け係数では、価値判断の視点は環境問題の専門家やLCAのユーザー（評価者）自身である（2.2参照）。

経済評価法では、仮想評価法（CVM）やコンジョイント分析などの手法を適用して、環境影響量や被害量を経済価値で表すことで重みを算定する[3)]。価値判断の視点は、CVMやコンジョイント分析の調査対象の選定によるが、既存の重み付け手法では環境影響の被害を受ける一般市民（国民）とされている（2.2参照）。評価結果が金額で表されるため直感的に分かりやすく、さらに費用対便益分析や環境会計など他の環境管理ツールへの利用のような応用面で優れていると考えられるが、その一方で影響量や被害量を経済的に表現することに対する倫理的な側面からの批判もある[3)]。

2.2 本研究で算定する重み付け係数

本研究では、LIME2の枠組みを前提として、ミッドポイント（LIME2の用語では「影響領域」）およびエンドポイント（同じく「保護対象」）を対象とした重み付け係数を算定する。表1に、LIME2における保護対象および影響領域と、それらの関連を示した[9)]。

本研究で算定する重み付け係数を、前述した重み付けの対象となる「段階」および「重みの算定方法」（価値判断の「視点」）という観点からの分類に従って、代表的な既存の重み付け係数とともに表2に示した。本研究では、パネル法による影響領域の重み付け係数は、表1に示した保護対象との関連を前提として影響領域から保護対象、保護対象から単一指標へと分けて重み付けする「一対比較」と、影響領域から単一指標へと直接的に重み付けする「重要度分類」という「アプローチ」の異なる2種類の係数を算定した（3.2および3.3参照）。また、本研究で算定する全ての重み付け係数は、日本の規格値（日本における年間排出量・消費量に起因する影響量または被害量）によって正規化された影響量および被害量に乗じることを前提とした。

ここで、本研究において行った重み付け係数の比較の組み合わせと、そこから得られる考察について表3にまとめた。

表2　既存の重み付け係数と本研究で算定する重み付け係数

		重み付けの対象となる段階	
		ミッドポイント	エンドポイント
重みの算定方法（価値判断の視点）	DtT法（政府）	EDIP97[11)] *DtT法（3.4）	
	パネル法（専門家）	BEES[12)] *一対比較（3.2） *重要度分類（3.3）	Eco-indicator99[13)] *直接重み付け（3.1）
	パネル法（ユーザー）	BEES[12)] *一対比較（3.2） *重要度分類（3.3）	*直接重み付け（3.1）
	経済評価法（国民）		LIME1[18)], LIME2[9)] EPS2000[14)]

注）*は、本研究で算定した重み付け係数（括弧内の番号は、それぞれ算定方法を述べた節）を示す。

表1　LIME2における影響領域（ミッドポイント）と保護対象（エンドポイント）の関連

影響領域＼保護対象	人間健康	社会資産	生物多様性	一次生産
地球温暖化	○	○	△	△
オゾン層破壊	○	○	△	○
酸性化		○	△	○
光化学オキシダント	○	○		○
都市域大気汚染	○			
有害化学物質	○			
室内空気質汚染	○			
生態毒性		△	○	△
富栄養化		○	△	△
騒音	○	△	△	
廃棄物		○	○	○
鉱物資源消費		○	○	○
化石燃料消費		○	○	○
森林資源消費			○	○
土地利用	△	△	○	○

注）　○：関連があると考えられ、被害係数も算定されている
　　△：関連はあると考えられるが、被害係数は算定されていない
出典）伊坪・稲葉[9)] をもとに筆者作成

表3　本研究において行った係数の比較の組み合わせとそこから得られる考察

比較した重み付け係数	比較から得られる考察	本文中の節
Eco-indicator99 *直接重み付け（専門家） *直接重み付け（ユーザー） LIME1, LIME2	ミッドポイントの重み付けにおける「視点」の違いが及ぼす影響	4.1
EDIP97, *DtT法 BEES, *一対比較, *重要度分類	ミッドポイントの重み付けにおける「重みの算定方法」の違いが及ぼす影響	4.2(1)
*一対比較および重要度分類（専門家） *一対比較および重要度分類（ユーザー）	パネル法によるミッドポイントの重み付けにおける「視点」の違いが及ぼす影響	4.2(2)
*一対比較 *重要度分類	パネル法によるミッドポイントの重み付けにおける「アプローチ」の違いが及ぼす影響	4.3(3)

注）*は、本研究で算定した重み付け係数を示す。

3. 重み付け係数の算定方法

表2における3.1 ～ 3.4の重み付け係数の算定方法を、それぞれ以下に述べる。パネル法においては、同じ構成の紙面（LCIAの研究会において実施）およびインターネット（企業に向けたLCA関連のメールニュースの中で依頼）によるアンケート調査を、2013年11月～2014年2月に実施した。ここで、有効回答のうち「LCIA手法の開発に関わっている」と回答（自己申告）した15名を「専門家」、手法の開発に関わっていない回答者の中で「実務としてLCIAを用いている」と回答した22名を「ユーザー」と定義した。

また回答に際して専門家、ユーザーについて、必ずしもすべての影響領域および保護対象について十分な知見または理解度を有していない可能性が考えられる。そこで、回答者の各影響領域および保護対象に対してイメージする影響ができるだけ共通なものになるようアンケート調査では質問の前に、図1と図2に例示したような影響領域（それぞれの環境問題の特徴と各保護対象への影響）および保護対象（それぞれの被害・指標の特徴と各影響領域の寄与）についての説明を、LIME2において考慮された影響領域と保護対象の関連（表1参照）や、算定された規格値[9]に基づいて提示した。

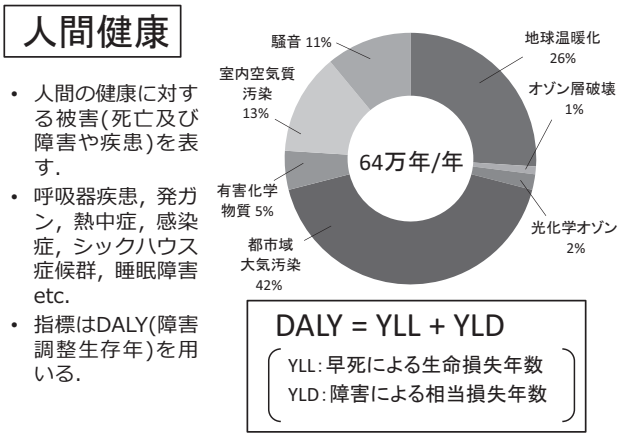


図2　パネル法における保護対象の説明（人間健康の例）

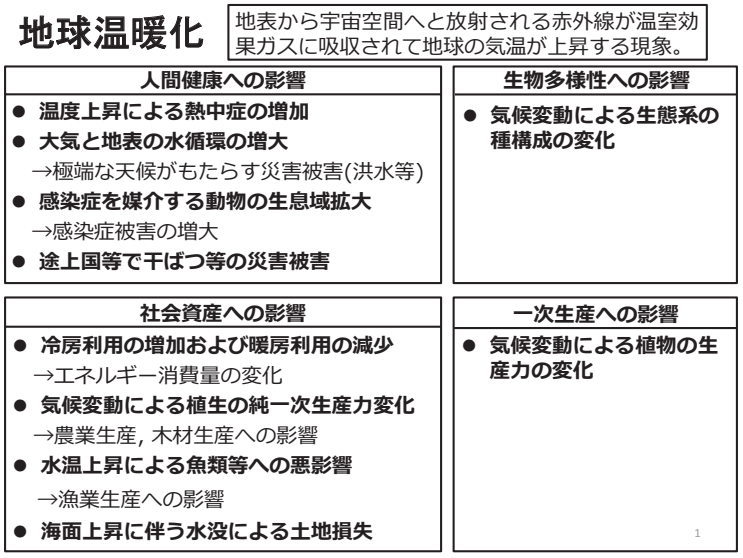


図1　パネル法における影響領域の説明（地球温暖化の例）

3.1 パネル法による保護対象の直接重み付け

オランダで開発された、Eco-indicator 99[13] のパネル法によるエンドポイントの重み付け手法に従った。上記の専門家およびユーザーに対して、LIME2の4つの保護対象について和が1になるように直接的に重み付けすることを求めた。また、各個人の重み付け結果を単純平均して、視点（専門家、ユーザー）ごとの重み付け係数を算定した。

3.2 一対比較による影響領域の重み付け

ここでは、保護対象ごとに関連する影響領域の重要度を算定する。ただし、各保護対象と関連する影響領域の数は10前後であり（表1参照）、3.1で述べた保護対象の重み付けのように、それらを直接的に重み付けすることは回答者にとって困難であると考えられる。そこで、各保護対象について関連する（表1において○または△の）影響領域の重要度を、図3のような一対比較の形式で尋ねた。ただし、一対比較の組み合わせ数を減らし、回答者の負担が過大になることを避けるため､4つの保護対象の全てと関連があり、かつ回答者にとって問題がイメージしやすいと思われる地球温暖化と、各影響領域の一対比較のみに限定して質問した。

専門家およびユーザーについて、一対比較の回答結果をもとに、各保護対象について関連する影響領域の重みの和が1になるように、AHPの幾何平均法によって影響領域間の重みを算定した。その上で、式（1）に示すように、各保護対象に対する影響領域の重みに、3.1で述べたパネル法（直接重み付け）による各保護対象の重みを乗じて合計することで、視点ごとに各影響領域の重みを算定した。

$$W_i = \sum_p (WD_p \times WP_{p,i}) \qquad (1)$$

ここで、

W_i ：影響領域iの重み

WD_p ：直接重み付けによる保護対象pの重み

$WP_{p,i}$：保護対象pに対する影響領域iの重み

なお、AHPにおける一対比較の相対的な重要度に関して、個人ごとに同じ表現（例えば「若干重要」や「明らかに重要」）に対する評価は異なると考えられる。そのため、重み$WP_{p,i}$を算定するための一対比較値は、各個人について保護対象の重み付け結果と整合的になるように、以下のように設定することとした。まず、回答者nの個別の一対比較値は、表4に示すように変数x_nによって表した（表4に示した一般的な一対比較値[15] の場合は、$x_n = 2$となる）。また、パネル法のアンケート調査においては、直接重み付けとは別に、保護対象間の重要度を図3と同様の一対比較の形式で尋ねた。その結果から、幾何平均法によって算出される各保護対象の重みと直接重み付けの結果との差が最少になるx_nを、各個人について最小二乗法によって算出した。

37名の回答者のうち､$x_n = 0.2 \sim 0.4$となる個人が多く（16名）、ほとんどの個人（35名）は$x_n = 2.0$未満であった。そのため、表4の一般的な一対比較値と比べて、影響領域間の重要度の幅は小さく評価されることになる。なお、ここで$x_n = 305$となった1名の回答者（ユーザー）は、一部の影響領域や保護対象の重みが0となるなど著しく偏った結果であったため分析から除外することとした。以下では、分析対象は36名（専門家：15名、ユーザー：21名）となる。

表4　AHPにおける一対比較値の設定

相対的重要度の表現	一般的な一対比較値	回答者nの個別の一対比較値
絶対的に重要	9	$1+4x_n$
明らかに重要	7	$1+3x_n$
重要	5	$1+2x_n$
若干重要	3	$1+x_n$
同じくらい重要	1	1

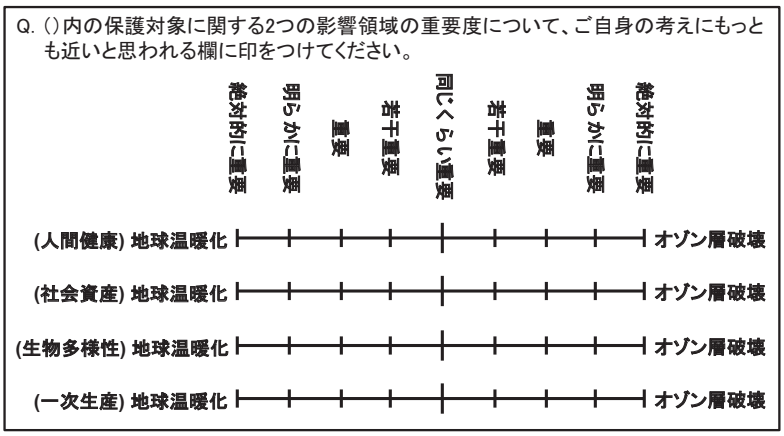


図3　影響領域の一対比較の質問例

3.3 重要度分類による影響領域の重み付け

米国のLCIA手法であるBEES[12]のパネル法（建材業者、建築設計者とLCA専門家によって構成される利害関係者）によるミッドポイントの重み付け手法に従って、上記の専門家およびユーザーに対して、LIME2の15影響領域の重要度を直接的に比較し、「とても高い」「高い」「普通」「低い」の4段階に分類することを求めた。BEESと同様に、各段階に対して表5に示すような一対比較値を設定し、幾何平均法によって4段階の重要度分類の重みを設定した。

同じパネル法でも、3.2の一対比較による影響領域の重み付けは影響領域から保護対象、保護対象から単一指標へと分けて重み付けしているのに対し、重要度分類による重み付けでは影響領域から単一指標へと直接的に重み付けしている点においてアプローチの差異がある。

3.4 DtT法による影響領域の重み付け

デンマークのLCIA手法であるEDIP 97[11]のDtT法による重み付け手法を参考に、式（2）を用いて現状値（参照年における環境影響量）との乖離の程度から重み付け係数を算定した。EDIP 97では地球規模のミッドポイントについては世界全体の目標値、地域的・局所的なミッドポイントについてはデンマークにおける目標値を設定しており、本研究ではLIME2の影響領域について、日本における目標値を設定した。また、EDIP 97では参照年を1990年、目標年を10年後の2000年としている。入手できるデータの年度を考慮して、本研究では参照年を2010年、目標年をEDIP 97と同様に10年後の2020年とした。

$$WF(j) = \frac{ER(j)_{10}}{ER(j)_{T20}} \qquad (2)$$

ここで、

$WF(j)$ ：影響領域jの重み付け係数

$ER(j)_{10}$ ：影響領域jの参照年（2010年）における環境影響量（現状値）

$ER(j)_{T20}$ ：影響領域jの目標年（2020年）における環境影響量の目標値

また、影響領域の中にはDtT法を適用できなかったもの（オゾン層破壊、酸性化、光化学オキシダント、有害化学物質、生態毒性、鉱物資源消費、化石燃料消費、森林資源消費、土地利用）がある（それぞれの理由については付録を参照）。以下では、残りの6影響領域（地球温暖化、都市域大気汚染、室内空気質汚染、富栄養化、騒音、廃棄物）について、式（2）に代入する現状値および目標値の設定方法について述べる。

（1）地球温暖化

2013年11月に開催された国連気候変動枠組条約・第19回締約国会議（COP19）において発表された、温室効果ガスを「2020年に05年比3.8%削減」するという日本の削減目標[16]を目標値の設定に用いた。2005年における温室効果ガス排出量（1.35×10^{12} kg-CO_2）[17]をもとに、2020年の目標値は1.30×10^{12} kg-CO_2と算出された。これを式（2）の分母、2010年における排出量（1.26×10^{12} kg-CO_2）[17]を分子に代入することで、重み付け係数を算定した。

（2）都市域大気汚染

都市域大気汚染に寄与するとされる物質のうち、LIME2では特性化係数（UAF: Urban Air pollution characterization Factor）が二酸化硫黄（SO_2）および二酸化窒素（NO_2）について算定されている。各物質の特性化係数は、単位量の排出による濃度増加量を環境基準値で除算したものの基準物質（SO_2）に対する比[9]と定義されており、環境基準に対する相対的な濃度が環境影響量に相当する。ここで、SO_2については「1時間値の1日平均値が0.04 ppm以下」、NO_2については「1時間値の1日平均値が0.04 ppmから0.06 ppmまで」という大気環境基準[18]があることから、いずれも環境基準値は0.04 ppmと設定されている。すなわち、LIME2の特性化において、SO_2の0.04 ppmとNO_2の0.04 ppmは等価の環境影響量を意味している。

表5　BEES[12]および本研究の重要度分類における一対比較値と重みの設定

	Highest（とても高い）	High（高い）	Medium（普通）	Low（低い）	重み
Highest（とても高い）	1	1.5	3	6	0.46
High（高い）	1/1.5	1	2	4	0.31
Medium（普通）	1/3	1/2	1	2	0.15
Low（低い）	1/6	1/4	1/2	1	0.08

また、LIME2では粒子状物質（PM2.5およびPM10）についても被害係数（エンドポイント）が算定されているが、特性化係数（ミッドポイント）は算定されていない。ここでは、上記と同様に各物質の環境基準は等価な環境影響量を意味するとして、大気環境基準[18]からPM2.5は0.035 mg/m^3、PM10は浮遊粒子状物質（SPM）の環境基準で代用した0.10 mg/m^{3}が、それぞれSO_2の0.04 ppmと等価の環境影響量であると考えた。

以上の考え方より、環境影響量の目標値はSO_2換算で0.16 ppmとなる。現状値は、2010年の一般局における濃度の年平均値（SO_2: 0.003 ppm、NO_2: 0.011 ppm、PM2.5: 0.015 mg/m^3、SPM: 0.021 mg/m^3）[19]からSO_2換算で0.040 ppmとして、式（2）に代入することで重み付け係数を算定した。ただし、目標値が1日平均値に基づいているのに対して、現状値が年平均値に基づいているため、重み付け係数が過小に算定される可能性には注意が必要である。

(3) 室内空気質汚染

室内空気質汚染に寄与する物質のうち、平均濃度（ただし、利用可能な最新年は2005年）のデータが存在する6物質を対象にして、DtT法による重み付け係数を算定した。

年間排出量はPRTR（Pollutant Release and Transfer Register）の届出排出量[20]と届出外排出量[20]の合計として、LIME2における室内空気質汚染の特性化係数を乗じて、物質ごとにホルムアルデヒド（HCHO）換算の年間影響量を算出した。現状値は、2010年の年間排出量をもとに設定した（表6）。同様に、2005年における年間影響量を算出し、化学物質の室内濃度の指針値[21]と2005年の平均濃度[22]の比で割ることで、物質ごとに年間影響量の目標値を設定した（表6）。対象とした6物質すべての現状値および目標値の総和を、それぞれ式（2）に代入することで重み付け係数を算定した。

(4) 富栄養化

富栄養化に寄与するとされる物質のうち、削減目標の設定に用いることのできる基準値が存在する全窒素と全リンを対象として、DtT法による重み付け係数を算定した。目標値は類型別の環境基準[23]、現状値は2010年の湖沼における濃度（検体数によって加重平均した全体の値）[24]を用いて設定した（表S2参照）。環境基準についても、類型別の値を2010年の検体数によって加重平均した（全窒素：0.388 mg/L、全リン：0.030 mg/L）。

ここで、LIME2における富栄養化の特性化係数（EPMC: Eutrophication Potential considered marine Material Circulation）[9]は、閉鎖性水域の底層溶存酸素（DO）濃度によって環境影響量を表している。窒素とリンについては流達率が100%とされているため、全窒素および全リンの濃度は、EPMCを乗じることで基準物質であるリン酸塩（PO_4^{3-}）の濃度に換算できる。その結果、環境影響量の現状値および目標値は、それぞれPO_4^{3-}換算で0.278 mg/Lおよび0.192 mg/Lと設定された。

(5) 騒音

騒音の環境影響量は、LIME2の特性化に従って、自動車交通量に対して線形であると見なしてジュール（J）単位で評価する。ここで、騒音レベルを表現するデシベル（dB）は対数尺であり、dBの増加は環境影響量の指数的増加を意味し、ある2つの環境影響量v_1, v_2に対応する騒音レベル（dB）をそれぞれd_1, d_2とすると、式（3）が成り立つ。

$$\frac{v_1}{v_2} = 10^{\frac{d_1-d_2}{10}} \quad (3)$$

自動車騒音の常時監視結果[25]が公表されており、ここから2010年に関して2,309箇所の測定地点（道路種別も記録されている）における昼間（午前6時から午後10時）および夜間（午後10時から午前6時）の騒音レベルの測定結果（dB）を得た。騒音の目標値は、地域の区分ごとに昼間と夜間についてdBで定められている環境基準[26]に基づくこととした。騒音の評価方法は等価騒音レベルによる点および昼間と夜間で時間が異なる点（昼間：16時間、夜間：

表6　DtT法の対象とした室内空気質汚染物質の年間排出量[20]と年間影響量の現状値および目標値

物質名	年間排出量（t）		年間影響量（現状値）（kg-HCHO）	年間影響量（目標値）（kg-HCHO）
	2005	2010		
ホルムアルデヒド	1.47×10^4	7.98×10^3	7.98×10^6	4.69×10^7
トルエン	1.85×10^5	1.13×10^5	4.34×10^7	1.66×10^9
キシレン	1.19×10^5	7.67×10^4	8.82×10^6	2.73×10^9
エチルベンゼン	3.38×10^4	3.16×10^4	8.30×10^5	7.83×10^8
スチレン	5.81×10^3	3.97×10^3	1.79×10^6	1.32×10^8
アセトアルデヒド	6.08×10^3	3.03×10^3	6.32×10^6	2.23×10^7

8時間）をふまえて、式（3）と騒音レベルの測定結果、および道路種別の環境基準値から、全体における環境影響量の現状値と目標値の比を算定し、重み付け係数を算定した。

なお、DtT法による騒音の評価係数の算定事例としてJEPIX[27]がある。ただしJEPIXでは環境基準値を超過した測定地点における削減すべき交通量のみを考慮して係数を算定しており、式（2）のように環境影響量に基づく本研究とは算定における考え方が異なる。

（7）廃棄物

廃棄物に関しては、2013年5月に閣議決定された第三次循環型社会形成推進基本計画の中で、2020年度の最終処分量は1,700万トンが目標とされている[28]。この値を目標値、2010年における一般廃棄物の最終処分量（484万トン）[29]と産業廃棄物の最終処分量（1,430トン）[30]の合計を現状値として、式（2）に代入して重み付け係数を算定した。

4. 結果と考察

4.1 保護対象の重み付け係数

専門家およびユーザーの直接重み付けによる保護対象の重み付け係数の算定結果と、LIME2[9]およびLIME1[8]における無次元の重み付け係数（コンジョイント分析による経済価値の重み付け係数と各保護対象の規格値から算定される）を図4に示した。また、本研究と同様のパネル法によって算定されたEco-indicator 99[13]の重み付け係数も、比較のために示した。

重みの算定方法の違いについて、本研究でパネル法により算定された重み付け係数では、コンジョイント分析を利用しているLIME2およびLIME1よりも人間健康や社会資産の重みが大きいことが分かる。また視点による違いに関して、専門家とユーザーの重み付け係数では、前者の方が人間健康や社会資産の重みが大きいものの、それらの差は上記のLIME2やLIME1との差と比べると小さい。これらの結果には、重み付けの方法の差異もあるが、一般市民とLCAの専門家またはユーザーという、視点の違いも反映されていると考えられる。

また、Eco-indicator 99の係数は本研究とはエンドポイントの定義は異なるが、「資源」を社会資産、「生態系の質」を生物多様性と一次生産の和と対応させて比較すると、本研究（専門家）とEco-indicator 99の係数は値が近いことが分かる。アンケート調査で提示された規格値の対象国・地域（本研究：日本、Eco-indicator 99：欧州）が異なることに注意は必要であるが、エンドポイントに対する専門家の価値判断には、日本と欧州で共通する傾向があると言える。

4.2 影響領域の重み付け係数

パネル法（一対比較、重要度分類）およびDtT法による影響領域の重み付け係数は、表7のように算定された。比較のために、BEES[12]のパネル法による重み付け係数と、EDIP 97[11]のDtT法による重み付け係数のうち、LIME2の各影響領域に対応するミッドポイントの係数も示した。

（1）「重みの算定方法」の違いが及ぼす影響

パネル法とDtT法による重み付け係数を比較すると、前者は地球温暖化やオゾン層破壊、化石燃料消費の重みが最も大きいのに対して、後者は本研究では富栄養化、EDIP 97ではオゾン層破壊の重みが最も大きいというように、影響領域間の重要度の順位が異なる。また、DtT法の方が影響領域間の重みの分布が大きいことが分かる。重みが最大の影響領域と最小の影響領域の係数の比は、本研究のパネル法では3～4倍、DtT法では約120倍であった。DtT法

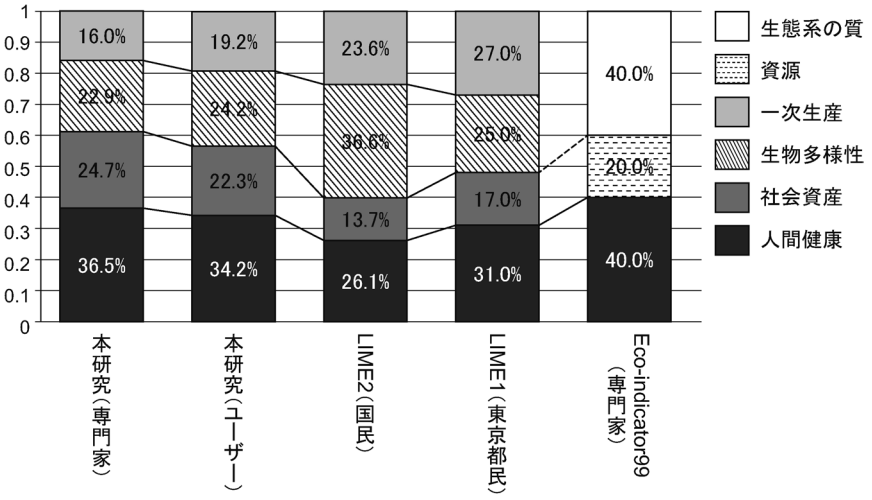


図4　パネル法による保護対象の重み付け係数の算定結果と既存の重み付け係数[8, 9, 13]

表7　影響領域の重み付け係数の算定結果とBEES [12] およびEDIP 97 [11] の重み付け係数

	本研究（パネル法）				BEES	本研究（DtT法）	EDIP97
	一対比較（専門家）	重要度分類（専門家）	一対比較（ユーザー）	重要度分類（ユーザー）			
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		
地球温暖化	14.0	11.7	8.9	8.7	16	0.969	1.3
オゾン層破壊	6.8	5.6	10.2	7.5	5	-	23
酸性化	4.6	6.8	6.1	6.1	5	-	1.3
光化学オキシダント	5.7	4.4	7.8	6.0	-	-	1.2
都市域大気汚染	6.1	6.6	5.2	7.2	6	0.090	-
有害化学物質	6.2	7.5	6.2	7.4	-	-	-
室内空気質汚染	3.8	4.0	5.4	4.4	11	0.013	-
生態毒性	7.0	6.2	7.5	6.9	11	-	-
富栄養化	6.3	4.3	6.7	5.6	5	1.603	-
騒音	6.4	3.7	5.5	3.3	-	0.867	-
廃棄物	5.8	6.9	5.0	5.9	-	1.123	1.1
鉱物資源消費	6.4	8.6	5.9	8.0	-	-	-
化石燃料消費	5.8	8.0	5.4	9.0	5	-	-
森林資源消費	5.6	8.3	5.0	8.1	-	-	-
土地利用	9.7	7.3	9.2	6.0	-	-	-

注1）重みが最大および最小の項目を灰色にしている。
注2）BEESの重み付け係数には上記以外にも、
・生息地変化（重み16%）
・取水（重み3%）
・人間健康（重み6%）
・スモッグ（重み11%）
がある。
注3）EDIP97の重み付け係数には上記以外にも、
・人間毒性（大気）（重み2.8）
・生態毒性（水系-急性、排水処理施設）（重み2.3）
・残留毒性（人間毒性-水系・土壌、生態毒性-水系-急性・土壌）（重み2.5）
がある。

による重み付け係数は目標値の設定に依存することに注意は必要であるが、EDIP 97 [11] でも約20倍の差が見られることから、影響領域間で重みに大きな差が付く可能性があることはDtT法の特徴と言える。

一方、パネル法による重み付け係数は分布が比較的小さいため、どの影響領域にも一定の配慮をした意思決定を志向する場合には（少なくとも日本においては）適した方法であると考えられる。ただしこの点は他方で、どのような影響領域にも選定された時点である程度の重みがつく可能性があることを示唆している。そのためパネル法による重み付けにおいては、対象とする影響領域の選定が重み付け結果に影響を及ぼしている可能性には注意が必要である。

(2) パネル法による重み付けにおける「視点」の違いが及ぼす影響

表7に示した係数のうち、専門家（15名の平均）とユーザー（21名の平均）の重要度分類による重み付けを比較する（図5）。視点によって影響領域間の重みの順位に大きな差異は見られないが（順位相関係数は0.818）、ユーザーよりも専門家の方が影響領域間の分布が大きいことが分かる（影響領域間の分散は、専門家：4.137、ユーザー：2.285）。一対比較による重み付けでも、同様の傾向が見られた。

また、専門家およびユーザーについて、個人ごとの各影響領域の重み付け結果のばらつきを見るために変動係数を表8に示した。重要度分類と一対比較の両方において専門家の重み付け結果の方が、特に廃棄物や鉱物資源消費について、ばらつきが大きい傾向にあることが分かる。この結果は、専門家の中でも影響領域の重要度についての価値判断は様々であることを表している。すなわち、特定の専門家による重み付け結果のみに基づいた場合、特定の影響領域を重視または軽視する可能性があり、パネル法における専門家の構成などには注意が必要である。

(3) パネル法による重み付けにおける「アプローチ」の違いが及ぼす影響

ここでは、専門家とユーザーを合わせた36名について、各影響領域の一対比較と重要度分類による重み付け結果に対応のある標本のt検定を適用して、両者による重み付け

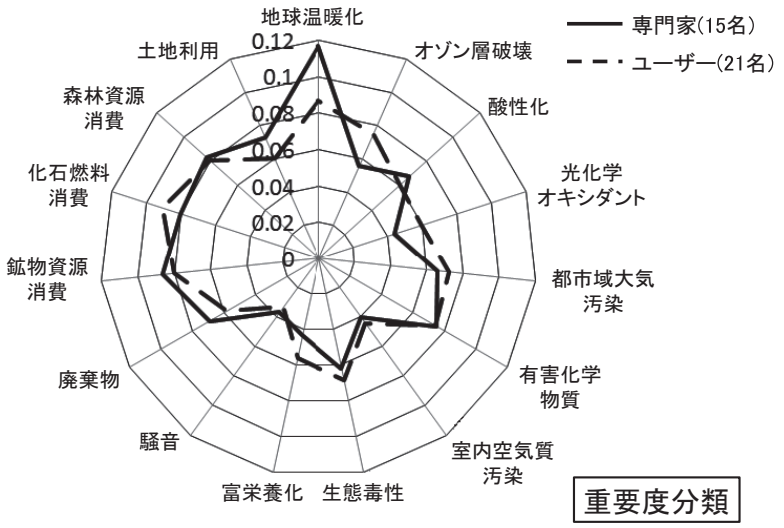


図5　パネル法(重要度分類)による影響領域の重み付け係数の算定結果

表8　専門家およびユーザーの各影響領域における重み付け結果の変動係数

	一対比較		重要度分類	
	専門家	ユーザー	専門家	ユーザー
地球温暖化	0.87	0.20	0.28	0.31
オゾン層破壊	0.58	0.58	0.54	0.33
酸性化	0.44	0.33	0.35	0.37
光化学オキシダント	0.35	0.26	0.40	0.31
都市域大気汚染	0.67	0.30	0.37	0.27
有害化学物質	0.66	0.55	0.37	0.35
室内空気質汚染	0.54	0.60	0.64	0.43
生態毒性	0.57	0.30	0.28	0.33
富栄養化	0.58	0.36	0.34	0.42
騒音	0.30	0.36	0.39	0.50
廃棄物	0.75	0.40	0.55	0.29
鉱物資源消費	0.52	0.30	0.50	0.28
化石燃料消費	0.58	0.34	0.39	0.26
森林資源消費	0.44	0.42	0.33	0.22
土地利用	0.25	0.28	0.34	0.35

係数の差異を調べた（表9)。また、騒音と化石燃料消費を例にして、36名の一対比較と重要度分類による重み付け結果の散布図を、図6および図7に示した。騒音については、多くの回答者が一対比較による重み付けの方が大きく、化石燃料消費については逆の傾向が見られる。

この結果は、影響領域から保護対象、保護対象から単一指標へと分けて重み付けする一対比較と、影響領域から単一指標へと直接的に重み付けする重要度分類というアプローチの違いで、重み付け結果が変わることを示している。

例えば騒音は、一対比較では人間健康への被害を前提として評価され、また人間健康の重みも大きいことから、算定された重み付け係数は小さくない。一方、重要度分類では保護対象との関連が明示されないため、騒音という影響領域へのイメージが先行して評価され、一対比較と比べて重み付け係数が小さく算定されたと推察される。

化石燃料消費は人間健康と関連せず、社会資産に対する重要度も大きくなかったため、一対比較による重みは騒音と同程度である。一方で、影響領域そのものとして重視されている問題であることが、重要度分類による重みが大きくなった要因と考えられる。実際に、保護対象の中で人間健康の重みを最も大きくし、社会資産の重みはあまり大きく評価しない一方で、影響領域間の重要度分類では、人間健康と関連のない化石燃料消費の重要度を「とても高い」とした回答も多く見られた。つまり保護対象に対する評価と、その保護対象に被害を及ぼす影響領域に対する評価は、必ずしも整合しないものと考えられる。

表9　アプローチによる重み付け係数の差異のt検定

	一対比較による係数の方が大きい	重要度分類による係数の方が大きい	有意差なし
地球温暖化			0.369
オゾン層破壊	0.005		
酸性化		0.041	
光化学オキシダント	0.000		
都市域大気汚染		0.006	
有害化学物質			0.061
室内空気質汚染			0.445
生態毒性			0.234
富栄養化	0.014		
騒音	0.000		
廃棄物		0.019	
鉱物資源消費		0.000	
化石燃料消費		0.000	
森林資源消費		0.000	
土地利用	0.000		

注1）有意水準は5%(両側検定)
注2）各影響領域に関して該当する欄にP値（両側検定）を載せている。

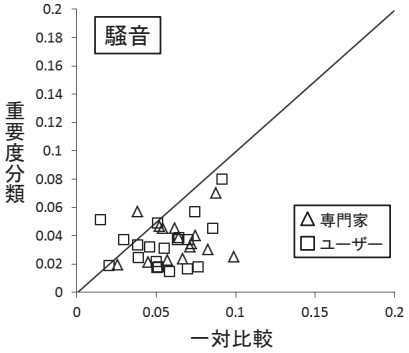


図6　2つのアプローチによる騒音の重みの比較

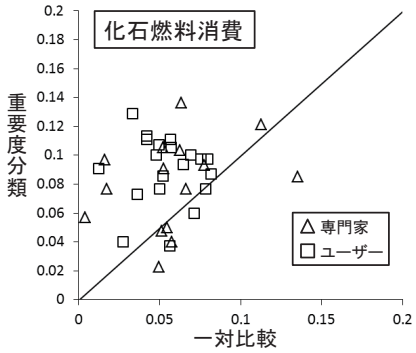


図7　2つのアプローチによる化石燃料消費の重みの比較

5. おわりに

本研究では、LIME2の枠組みの中で、重み付けの対象となる「段階」、「重みの算定方法」、価値判断の「視点」の異なる重み付け係数を算定し比較した。重み付けの段階としてエンドポイントにおける保護対象の重み付けに関しては、既存の係数と本研究でパネル法によって算定した係数を比較し、重みの算定方法や視点の違いに関して考察した。ミッドポイント評価における影響領域の重み付けに関しては、重みの算定方法（DtT法とパネル法）および視点(専門家とユーザー)、パネル法におけるアプローチ（一対比較と重要度分類）による係数の差を分析した。

最後に、本研究の分析結果から、各手法による重み付け係数を利用した場合に、評価結果や利用者の意思決定に対して、どのような影響があるかを考察する。

本研究で算定された重み付け係数の利用方法は、①エンドポイントでの評価として LIME2の被害係数による各保護対象の評価結果に対して、図4に示された係数を適用する場合と、②ミッドポイントでの評価として LIME2の特性化係数による各影響領域の評価結果に対して、表7に示された係数を適用する場合に分けられる。

まず①については、専門家とユーザーで重み付けに大きな差がないことから、係数の選択が意思決定に及ぼす影響は大きくない。ただし、LIME2においてコンジョイント分析を用いて算定された係数と比較すると、人間健康や社会資産の重要度が高くなる。

次に②については、パネル法およびDtT法によって様々な重み付け係数が算定された。パネル法によって算定された重み付け係数を用いると、DtT法と比べて影響領域間で重みに差がつきにくいため、どの影響領域にも一定の配慮をした意思決定となると言える。どの環境問題を重視する

べきか、専門的な見地からの価値判断を反映したい場合には、専門家を対象としたアンケート等の実施により算定された重みを採用することが適していると考えられるが、本研究によって専門家間では各影響領域の重みに関して価値判断にばらつきがあることが示された。表7に示した重み（専門家15名の平均）を用いる他に、特定の専門家による重みを意思決定に用いることも考えられるが、その場合、どのような専門家による重みを選定するかがそのまま意思決定に影響を及ぼす可能性が考えられる。またパネル法におけるアプローチの異なる2種類の重み付け係数については、保護対象との関連を前提とした一対比較を用いた場合は騒音や土地利用といった影響領域、影響領域間を直接的に重み付けする重要度分類を用いた場合は鉱物資源消費や化石燃料消費といった影響領域を重視した意思決定となる。

一方、政策的な目標に対して整合的であるためには、DtT法による重み付け係数が適していると考えられる。ただし本研究からわかるように、目標値に関して少なくとも日本においては、異なる環境問題に対して横断的に設定された基準値などが存在せず、そもそも資源消費のように基準値が存在しない影響領域も多い。DtT法によって算定された重み付け係数を用いた場合、そうした影響領域の評価結果が意思決定に反映されないことになるため、評価の目的（評価対象とする影響領域）との整合性に十分な注意が必要である。

謝辞

本研究を実施するに当たりアンケートへご協力いただいた、日本LCA学会の会員およびインパクト評価研究会のメンバーの方々、LCA日本フォーラムの会員企業の方々に謝意を表する。

（平成27年1月13日受付、平成27年6月11日採択）

参考文献

1) Finnveden G., Hauschild M., Ekvall T., Guinée J., Heijungs R., Hellweg S., Koehler A., Pennington D., Suh S. (2009): J. Environ. Manage., 91 (1), 1-21
2) ISO (2006): ISO 14040:2006 Environmental management -Life cycle assessment- Principles and framework. International Organization for Standardization, Switzerland, 20pp.
3) 伊坪徳宏, 田原聖隆, 成田暢彦 (2007): LCAシリーズ LCA概論, 産業環境管理協会, 東京, 305pp.
4) Johnsen F.M., Løkke S. (2013): Int. J LCA, 18 (4), 840-849
5) 中谷隼, 本下晶晴 (2013): 日本LCA学会誌, 9 (3), 189-205
6) Huppes G., Oers L. (2011): Evaluation of Weighting Methods for Measuring the EU-27 Overall Environmental Impact. JRC Scientific and Technical Reports, Publications Office of the European Union , 75pp.
7) Dreyer L.C., Niemann A.L., Hauschild M.Z. (2003): Int. J. LCA, 8 (4), 191-200
8) 伊坪徳宏, 稲葉敦 編著 (2005): ライフサイクル環境影響評価手法 LIME－LCA, 環境会計, 環境効率のための評価手法・データベース, 産業環境管理協会, 東京, 384pp.
9) 伊坪徳宏, 稲葉敦 編著 (2010): LCAシリーズ LIME2 - 意思決定を支援する環境影響評価手法, 産業環境管理協会, 東京, 666pp.
10) Seppälä J., Hämäläinen R.P. (2001): Int. J. LCA, 6 (4), 211-218
11) Wenzel H., Hauschild M., Alting L. (1997): Environmental assessment of products. Vol. 1: Methodology, tools and case studies in product development, Kluwer Academic Publishers, Hingham, MA. US, 553pp.
12) Lippiatt B.C. (2007): BEES4.0. Building for Environmental and Economic Sustainability Technical Manual and User Guide, National Institute of Standard Technology, 26-28
13) Goedkoop M., Spriensma R. (2001): The Eco-indicator99. A Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment. Methodology Report, Third Edition, 132pp.
14) Steen B. (1999): A Systematic Approach to Environmental Priority Strategies in Product Development (EPS). Version 2000 – General System Characteristics, CPM Report 1999:4, Gothenburg, SE, 66pp.
15) 木下栄蔵, 大屋隆生 (2007): シリーズ<オペレーションズ・リサーチ>1 戦略的意思決定手法AHP, 朝倉書店, 東京, 130pp.
16) 国連気候変動枠組条約 第19回締約国会議 (COP19) 及び京都議定書第9回締約国会合 (COP/MOP9) について (結果概要), 環境省ホームページ, 入手先 <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=17426>, (参照 2014-1-28)
17) 環境統計集, 環境省ホームページ, 入手先 <http://www.env.go.jp/doc/toukei/contents/index.html>, (参照 2014-6-14)
18) 大気汚染に係る環境基準, 環境省ホームページ, 入手先

<http://www.env.go.jp/kijun/taiki.html>,（参照 2014-1-28）

19) 大気汚染状況, 環境省ホームページ, 入手先 <http://www.env.go.jp/air/osen/index.html>,（参照 2014-12-3）

20) PRTRインフォメーション広場, 環境省ホームページ, 入手先 <http://www.env.go.jp/chemi/prtr/risk0.html>,（参照 2014-8-6）

21) 室内空気中化学物質の室内濃度指針値及び標準的測定方法等について, 文部科学省ホームページ, 入手先 <http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/nc/t20020410001/t20020410001.html>,（参照 2014-1-2）

22) 平成17年度室内空気中の化学物質濃度の実態調査の結果について, 国土交通省ホームページ, 入手先 <http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha06/07/071130_.html>,（参照 2014-1-2）

23) 水質汚濁に係る環境基準, 環境省ホームページ, 入手先 <http://www.env.go.jp/kijun/mizu.html>,（参照 2014-1-29）

24) 公共用水域水質測定結果, 環境省ホームページ, 入手先 <http://www.env.go.jp/water/suiiki/>,（参照 2014-6-17）

25) 国立環境研究所, 自動車騒音の常時監視結果, 国立環境研究所ホームページ, 入手先 <http://tenbou.nies.go.jp/gis/monitor/?map_mode=monitoring_map&field=8>,（参照 2015-5-28）

26) 騒音に係る環境基準について, 環境省ホームページ, 入手先 <https://www.env.go.jp/kijun/oto1-1.html>,（参照 2015-5-28）

27) 宮崎修行, ジーゲンターラー・C, 熊谷敏, 篠塚英一, 永山綾子（2007）: 社会科学研究所モノグラフシリーズ, 13, 13-63

28) 循環型社会形成推進基本計画, 環境省ホームページ, 入手先 <http://www.env.go.jp/recycle/circul/keikaku.html >,（参照 2014-12-3）

29) 日本の廃棄物処理 平成23年度版, 環境省ホームページ, 入手先 <http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/h23/data/disposal.pdf>,（参照 2014-1-25）

30) 産業廃棄物の排出及び処理状況等, 環境省ホームページ, 入手先 <http://www.env.go.jp/recycle/waste/sangyo.html>,（参照 2014-1-25）

31) 土壌環境基準, 環境省ホームページ, 入手先 <http://www.env.go.jp/kijun/dojou.html>,（参照 2015-5-28）

32) 環境基準及び指針値について, 環境省ホームページ, 入手先 <http://www.env.go.jp/air/osen/monitoring/mon_h24/ref/ref05.pdf>,（参照 2014-6-15）

付録

いくつかの影響領域（室内空気質汚染、富栄養化）について、DtT法による重み付け係数の算定に用いた環境基準などについて補足する。また、DtT法を適用できなかった影響領域（オゾン層破壊、酸性化、光化学オキシダント、有害化学物質、生態毒性、鉱物資源消費、化石燃料消費、森林資源消費、土地利用）について、その理由を述べる。

（1）オゾン層破壊

オゾン層破壊については、1988年に制定された「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律」があるが、この中で定められている削減目標は生産量および消費量に関する目標であり、排出量に関する目標を設定する本研究におけるDtT法とは整合しなかった。

（2）酸性化

対象物質であるSO_2とNO_2について大気環境基準[18]が定められているが、この大気環境基準は「人の健康を保護する上で維持することが望ましい基準」として定められているため、酸性化の目標値の設定には適さないと考えられる。なお、SO_2とNO_2に関する大気環境基準は、都市域大気汚染の重み付け係数算定において用いている。

（3）光化学オキシダント

光化学オキシダントについては、大気環境基準[18]により「1時間値が0.06ppm以下であること」と定められているが、1時間値に関する基準であるため、年間影響量の目標値を設定することができなかった。ただし、光化学オキシダントの環境基準達成率は一般局で0.5%, 自排局で0%と極めて低い水準となっており[19]、仮に重み付け係数を算定した場合には1を超える大きな値となることが予想される。

（4）有害化学物質

有害性を持つとされる化学物質は、LIME2において特性化係数や被害係数が算定されている物質だけでも100を超える。それらの一部について大気濃度の基準値や指針値が存在し、また水域および土壌についての濃度基準値も存在する[23, 31]。しかし、LIME2で採用されている多媒体の運命分析でもモデル化されているように、水域および土壌中の濃度は大気排出からの沈着や流出によっても影響され、逆に水域排出や土壌排出も大気中濃度に影響を与える。そのため、各媒体の濃度基準値をもとに有害化学物質（ミッドポイント）の目標値を設定することは容易ではなく、本研究ではDtT法による重み付け係数は算定することができなかった。

(5) 室内空気質汚染

室内空気質汚染に寄与する物質について、目標値の設定に用いた室内空気中化学物質の室内濃度指針値[21]と、現状値の設定に用いた室内空気中の化学物質濃度の実態調査結果（2005年の平均濃度）[22]を表S1に示した。ただし、DtT法による重み付け係数の算定は、これらのうち2005年の平均濃度のデータが存在する6物質を対象とした。

(6) 生態毒性

大気環境基準[18]と有害大気汚染物質による健康リスクの低減を図るための指針値[32]において基準値および指針値が設定されている12物質については、LIME2でも生態毒性の特性化係数が算定されている（なおダイオキシン類については、生態毒性の特性化係数は設定されていない）。しかし、これらの基準値および指針値は人の健康の保護を目的に設定された基準であるため、生態毒性の目標値の設定には適さないと考えられる。

また、水質汚濁に係る環境基準[23]の中で水生生物の保全に係る環境基準が、全亜鉛、ノニルフェノール、直鎖アルキルベンゼンスルホン酸及びその塩に関して設定されている。しかし、これら3物質に関してLIME2では被害係数は算定されているが、特性化係数は算定されていない。そのため、生態毒性についてDtT法による重み付け係数は算定することができなかった。

(7) 富栄養化

全窒素および全リンに関して、目標値として用いた水質汚濁に係る環境基準[23]と、現状値として用いた環境省の公共用水域水質測定結果[24]の「湖沼における全窒素および全燐の類型別の濃度推移」を表S2に示した。

(8) 鉱物資源消費・化石燃料消費・森林資源消費

鉱物資源消費、化石燃料消費、森林資源消費について、日本の目標値の設定に用いることのできるような基準値は存在しない。

(9) 土地利用

土地利用については、どのような土地利用および土地改変もLIME2における特性化係数は全て同じ値であり、特性化結果は「利用した土地の面積」を表す。土地利用面積に関する目標値や基準値は存在しないため、削減目標を設定できなかった。

表S1　室内空気質汚染物質の指針値[21]と2005年における平均濃度[22]

物質名	室内濃度指針値			平均濃度（2005）
	(μg/m^3)	(ppm)	(ppb)	(ppm)
ホルムアルデヒド	100	0.08		0.025
トルエン	260	0.07		0.003
キシレン	870	0.2		0.001
p－ジクロロベンゼン	240	0.04		－
エチルベンゼン	3800	0.88		0.001
スチレン	220	0.05		0.001
クロルピリホス	1	0.07		－
フタル酸ジ-n-ブチル	220	0.02		－
テトラデカン	330	0.04		－
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	120		7.6	－
ダイアジノン	0.29		0.02	－
アセトアルデヒド	48	0.03		0.017
フェルブカルブ	33		3.8	－

表S2　湖沼における全窒素と全燐の類型別の濃度（年平均値）[24]と環境基準値[23]

		全体	類型				
			Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
全窒素［mg/L］	2010年	0.61	0.18	0.36	0.69	0.97	1.3
	環境基準		0.1以下	0.2以下	0.4以下	0.6以下	1以下
全燐［mg/L］	2010年	0.039	0.004	0.013	0.045	0.066	0.15
	環境基準		0.05以下	0.01以下	0.03以下	0.05以下	0.1以下

FSホール 避難路

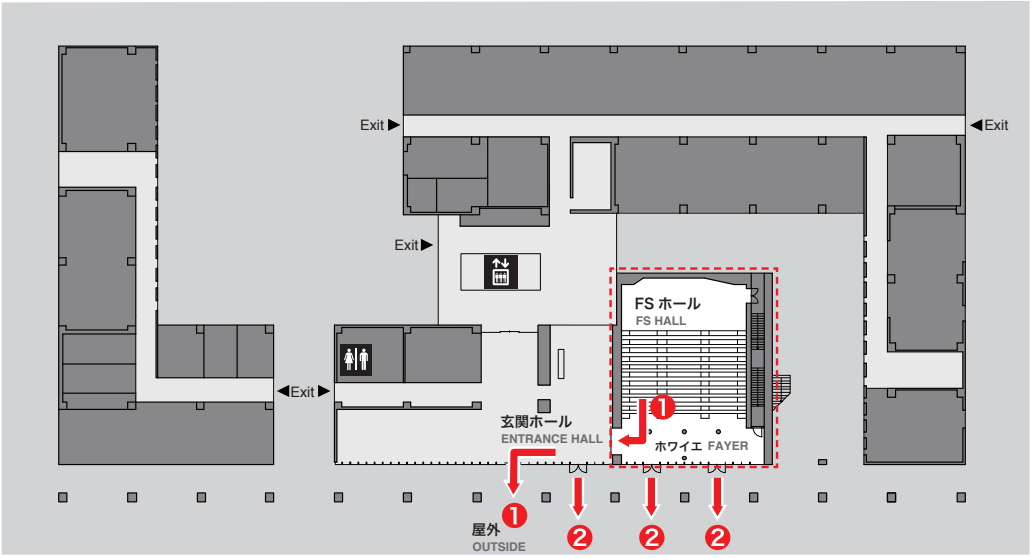
新領域創成科学研究科環境系
Graduate School of Frontier Science
Environmental Studies

FS HALL Evacuation Plan

FSホールを利用中に火災などの災害が発生した場合は、
主催者の指示に従い、以下のいずれかの避難路ですみやかに屋外に避難してください。

Follow any one of the routes below to evacuate the building in the event of a fire, threatening disaster or situation during use of FS Hall, acting in accordance to instructions from personnel.

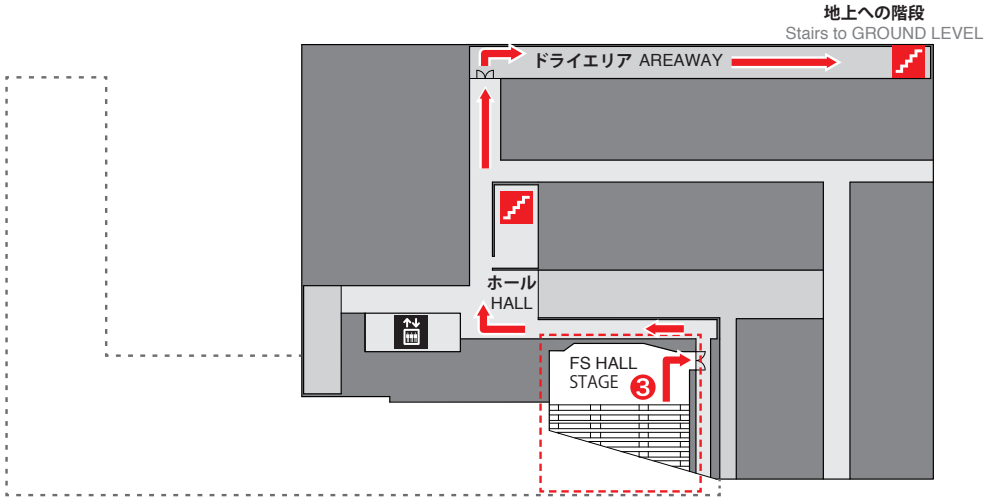
①ステージに向かい左手後方は大型のスライド式ドアになっています。
スライド式ドアを開けると玄関ホールを経て、屋外に出ることができます。
Towards the left and back of the room is a large sliding door.
Open the door to exit out through the entrance hall.



N

地上階
Ground Floor

②座席後方のホワイエのガラススクリーンは数カ所が扉になっています。
（カーテンを開き、）ガラス扉を解錠して直接屋外に出ることができます。
Some of the glass panels in the foyer behind the seating will open.
(Draw the curtains and) unlock the glass doors to step outside.



地下１階
Basement

③ステージの正面に向かい右手の舞台袖に扉があります。
地下１階の廊下を左手に進み、ホール、ドライエリアを経て、屋外にでられます。
To the right of the stage is a door.
Exit the door, go down the basement corridor to the left and pass through the hall and areaway to exit outside.

環境棟 講義室避難路

新領域創成科学研究科環境系
Graduate School of Frontier Science
Environmental Studies

ENVIRONMENT BUILDING Evacuation Plan

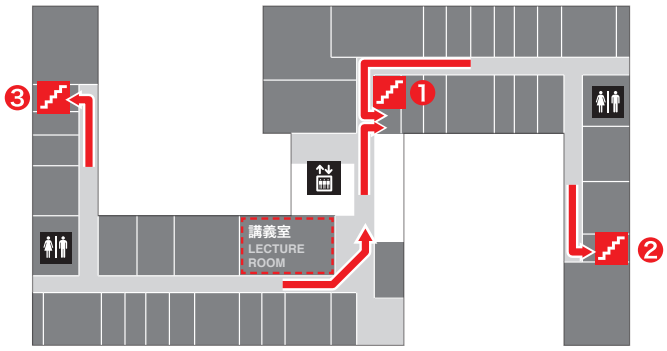
ご利用の前に各室から地上階への避難路をご確認ください。

Please make sure to check the evacuation routes to the ground floor before using building facilities.

◆避難階段は３カ所あります。
There are 3 emergency staircases in the building.

- **①中央階段** Central Staircase
- **②東階段** Eastern Staircase
- **③西階段** Western Staircase

3～7階
3rd - 7th Floor



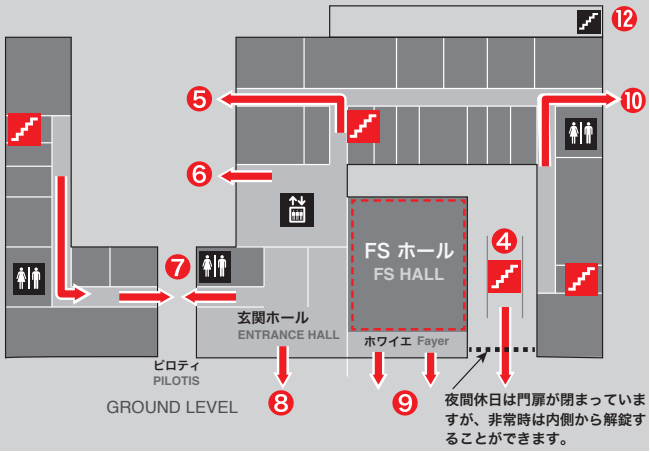
2階
2nd Floor



◆また、地上２階の屋上庭園階段経由で避難することも可能です。
Evacuation is also possible through the roof garden on the second floor.

- **④屋上庭園階段** Roof garden staircase

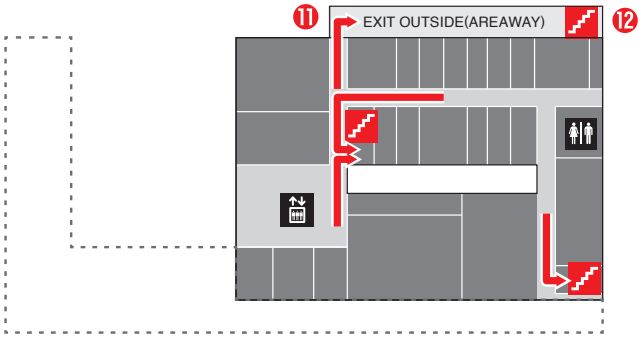
地上階
Ground Floor



◆地上階では、６カ所から屋外へ直接避難することができます。
There are 6 ways to exit the building from the ground floor.

- **⑤北西出口** Northwest exit
- **⑥EV 脇出口** Exit by the elevator
- **⑦ピロティ出口** Exit under the pilotis
- **⑧正面玄関出口** Front entrance
- **⑨FSホール・ホワイエ出口** FS Hall foyer
- **⑩北東出口** Northwest exit

地下１階
Basement



◆地下１階からは、北部ドライエリア　出口からいったん屋外に出た後、ドライエリア屋外階段で地上階へ避難することがきます。
To evacuate from the basement floor to the ground floor, exit first from the northern areaway, then use the outside staircase to evacuate to the ground floor.

- **⑪北部ドライエリア出口** North exit to the areaway
- **⑫ドライエリア屋外階段** Areaway outside staircase

日本語最新版 リリース予定

New SimaPro 8

with

ecoinvent 3

The most widely used
LCA software in the world

simapro 検索

TCO2 Co. Ltd. （SimaPro国内総代理店）
E-mail: LCA@tco2.com TEL: 03-6272-6814

一般社団法人産業環境管理協会

Japan Environmental Management Association For Industry

LCA総合プログラム

1 豊富な実績によるネットワークと信頼感！

＜主な実績＞
・LCA/CFP関連のISO規格策定へ参画
・LCA/CFPフォーラムの運営
・LCAソフト、データベースの開発
・各種LCA研修会の開催、書籍出版
・エコリーフ、CFPプログラム運営

・経験豊富なコンサルタントが懇切丁寧にLCA/CFP実施を支援します。

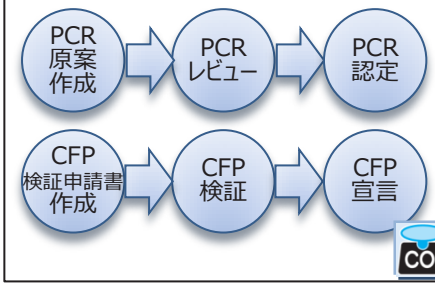
その他、多様な支援が可能です。
・海外動向の紹介
（欧州環境フットプリント、SCOPE3）
・学識者の派遣、レビュー



2 CFPプログラムに準拠したメニュー！

産業環境管理協会は、2012年7月より本格始動している「CFPプログラム」の運営事務局です。
CFPコンサルでは、「CFPプログラム」の最新情報を正確にお伝えします！

＜CFPコンサルメニュー＞
PCR策定支援／CFP算定研修会／CFP体制構築支援／CFP利用可能データ作成支援／CFP社内システム構築支援



3 MiLCAを用いて効率的なLCA/CFPを支援！

・LCAソフトMiLCAは国内最大級の約3,000のデータベースを搭載しています。

・MiLCAを用いることで、データ収集の手間を大幅に軽減できます。



・MiLCAにはCFP検証申請書の作成サポート機能があります。CFP検証申請書の効率的な作成が可能です。



・MiLCAホームページ：
http://www.milca-milca.net/

★技術相談窓口

1日コンサルをお願いするほどではないけれど、日頃の小さな相談にいろいろと乗ってほしい・・・

⇒実務上の悩みに何でもお答えします

★簡易報告書レビュー

LCA報告書をチェックしてほしいが、「クリティカルビュー」をお願いするほどではない・・・

⇒LCAエキスパート（1名）がチェックします

★その他の多様なメニュー

・SCOPE3の算定支援
・社内でのLCA検討会参加
・取引先へのデータ授受サポート
・LCA社内説明サポート
・社内LCAガイドライン作成支援
・環境フットプリント対応支援
・LCA関連の海外動向紹介
・社内でのLCA展開サポート
・LCA結果の社外公開サポート
・LIME手法の解説　など

ライフサイクル思考に関係する調査研究業務も受託しています！

※価格的にも取り組みやすいメニューになっています。

Check

詳しい内容や料金はWEBをご覧ください。

JEMAI LCAコンサル でWEB検索！

まずはお問い合わせください！

一般社団法人産業環境管理協会　LCA事業室
〒101-0044　東京都千代田区鍛冶町2-2-1
E-mail　：jemai-lca@jemai.or.jp
Tel　　：03-5209-7708

ご注意
本書の内容の一部または全部を、個人で使用するほかは、著作権上、日本 LCA 学会、および
著作権者の承諾を得ずに無断で、転写、複製することは禁じられております。

第 11 回日本 LCA 学会研究発表講演要旨集
2016 年 3 月 2 日発行 【定価：1,000 円（CD-ROM 版）、8,000 円（印刷版）】
発行者 ：第 11 回日本 LCA 学会研究発表会実行委員会
発行所 ：日本 LCA 学会事務局
〒 105-0003 東京都港区西新橋 1-5-10 新橋アマノビル 6 階
一般社団法人 未踏科学技術協会内
印刷・製本：（有）創文社