神戸製鋼グループの環境経営

Environmental management on the Kobe Steel group

○水口誠 1)
Makoto Mizuguchi
1) 株式会社神戸製鋼所

1. はじめに

神戸製鋼グループでは、健全な地球環境を次世代に引き継ぐことが私たちの使命であると認識し、「環境に配慮した生産活動」、「製品・技術・サービスでの環境への貢献」、「社会との共生・協調」という 3 つの VISION を環境経営基本方針に掲げ、社会的責任を果たし、グループの環境力を高め、企業価値の向上に取り組んでいます。

当社グループの昨年度の売り上げは 1 兆 8,000 億円強で、グループ会社は約 200 社あります。事業の構成は、鉄鋼・溶接・アルミ・銅の素材系と機械系があり、鉄鋼事業部門では、神戸で発電を行い関西電力に売っています。売り上げの構成比では鉄鋼が 43%で、そのなかで 6 割が素材、4 割が機械という構成です。

「環境」は企業活動にとって、リスク、制約になりうるものですが、一方でビジネスチャンスでもあると考えています。本稿では、先述の 3 つの VISION に沿って、環境に係る取り組みについてご紹介したいと思います。

2. 環境に配慮した生産活動

環境に係るリスクは、安全や品質と基本的な考え方は同じです。まずリスクアセスメントを行い、顕在化する前にその芽を摘んでいくよう努めています。周辺環境や作業のどこにリスクが潜在しているかの把捉に努め、日々の管理と情報の共有を図っています。

1）エネルギーの高効率利用

当社の 2013 年度の分野別エネルギーの使用量は、鉄鋼事業が 95%を占めています。生産工程で生成するコークス炉ガス、高炉ガス、転炉ガスなどの副生ガスを鋼材加熱用の燃料や自家用発電所の燃料などとして、ほぼ全量を有効に活用しています。さらに、廃熱を利用した発電を積極的に実施しており、副生ガスによる発電と合わせて電力の 82%を自家発電でまかなうなど、高効率なエネルギー使用を行っています。

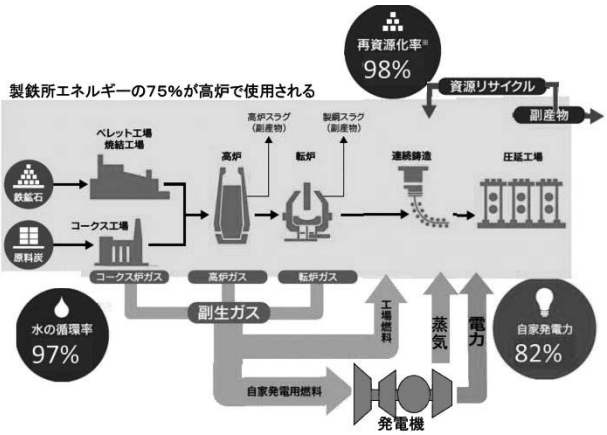


図 1　鋼材の生産フロー

また、生産工程から生成する副産物については、原料としての再利用や、セメント用資材等で有効活用を図っており、副産物の 98%をリサイクルしています。工業用水については 97%を循環利用しています。

2）降下ばいじん対策

当社の鉄鋼事業の主力生産拠点である加古川製鉄所は兵庫県加古川市の臨海地域に所在しています。降下ばいじんを低減するために、ベルトコンベアの密閉化、集じん設備や散水装置の能力増強を行うとともに、所内周囲には防風ネットを設置しています。また、加古川市役所、播磨町役場、地元自治会等に、ばい煙等の連続測定データを送信し、モニターでこれらの情報をリアルタイムで公開しています。

図 2　敷地境界の防風ネット（25m×2200m）

3）有害化学物質の削減

当社では、環境に配慮し有害化学物質の削減にも取り組んでいます。

2008 年には耐食性に優れた新たな被膜を開発し、国内で初めて有害な六価クロムを含まない電気製品向けの表面処理鋼板を提供しています。

また、アルミ製品を製造する真岡製造所では、蓄熱燃焼式排ガス浄化装置を設置し、製造に用いる揮発性有機化合物（VOC）の排出量を削減しています。

3. 製品・技術・サービスでの環境への貢献

神戸製鋼グループは各分野でオンリーワンの製品と技術をユーザーに提供することで、環境に貢献してい

ます。

2013 年度は、鉄鋼製品、アルミ製品の高強度化による自動車の軽量化、エアコン分野では、溝付き銅管による熱交換の効率アップ、その他、産業機械・建設機械分野、製鉄プラント分野などの製品の提供を通じて、合計 4,350 万トンの CO_2 の削減に貢献しました。

図３　オンリーワン製品･技術による CO_2 の削減

1）素材分野

当社は、自動車の軽量化に素材分野で貢献しています。一般的な鋼板より強度を上げた鋼板「ハイテン」は主に自動車の車体骨格部材に使用され、自動車の足廻りで使用されるアルミ製のサスペンションでは、従来の鉄製品と比較して 40%以上の軽量化を実現し、軽量化に大きく貢献しています。また、当社では接合のための溶接事業も保有しており、鉄とアルミそれぞれの特性を活かし異材接合したハイブリッドな部品の提案も行っています。

2）機械分野

当社は燃料電池車向けの水素ステーションに使われる水素圧縮機や熱交換器を大幅にコストダウンし、コンパクト化した「パッケージ型水素ステーションユニット（商品名:HyAC mini）」を開発し、次世代の省エネ・CO_2 排出削減を実現しています。

バイナリー発電ユニットは、熱水・蒸気、温泉・地熱などを利用して発電を行うもので、エネルギーを無駄なく利用することができます。また、神戸市の下水処理場に導入されているバイオガスエコステーションは、下水処理行程で発生する「消化ガス」をバイオガスとして市バスの燃料などに使用しています。

3）新製鉄技術

当社の新製鉄技術であるミドレックス(MIDREX)法では天然ガスを用いることで CO_2 を 50%削減でき、アイティ・マークスリー(ITmk3®)法にすれば低品位の鉄鉱石が使用でき、高炉法と比べ CO_2 を数%削減できます。

MIDREX 法の製鉄所は、これまでに全世界で 70 基程建設しており、ITmk3®法による商業第一号機をアメリカ、ミネソタ州に建設しました。

4. 社会との共生、協調

1）KOBELCO GREEN PROJECT

当社は、KOBELCO GREEN PROJECT として種々の環境貢献活動を行っています。

そのひとつは、森林整備活動です。兵庫県内２ヶ所に加え、一昨年から大阪府茨木市でも開始しました。また、2013 年度から「KOBELCO 森の童話大賞」を実施しています。この事業は、全国の小、中高生を対象とした森をテーマにしたおはなしのコンテストで、金賞作品については審査員を務める絵本作家の挿絵をつけて絵本にするというものです。次代を担う子どもたちに森や自然環境について考えてもらう機会にしてもらえればという思いでスタートしました。

図４　KOBELCO 森の童話大賞

2）エコ通勤

当社加古川製鉄所では、地球温暖化防止を主目的として、2009 年からマイカー通勤を公共交通機関や通勤バス、自転車などへ転換する「エコ通勤」の取り組みを進めています。この結果、マイカー通勤が約 8,000 台／日を 4,000 台削減し、CO_2 排出量を約 2,600 トン削減しました。エコ通勤を導入したことで、製鉄所周辺の朝夕の交通渋滞も緩和されました。

5. まとめ：「環境経営」のあるべき姿

神戸製鋼グループは、1905 年の創業から 1 世紀以上もの間、素材系/機械系の事業を中心に、電力卸供給、不動産、電子材料など幅広い事業分野でくらしや産業・社会を支えてきました。

こうした事業から生まれる製品・技術により、産業や人々の生活の基盤を担うことが、私たちの使命だと考えています。

当社グループには、環境負荷の低減や、未利用資源の有効活用など、社会が直面する課題の解決につながる製品・技術が多数存在します。こうしたものづくり力を強化することで、地球環境や社会に貢献する企業体を目指します。

神戸から東北へ――住まいを再生する

Comparing Kobe and Tohoku: Rebuilding Housing and Communities after the Great Disasters

○平山洋介*[1)]

Yosuke Hirayama

1) 神戸大学

* yosukeh@kobe-u.ac.jp

大災害からの復興における最重要の課題の一つは、住宅再生である。被災者の人生の立て直しに向けて、雇用創出、保健・医療の再構築、地域福祉の拡充などの一連の対策が実施される。このなかで、住まいの再生は、生活再建の課題の一つであるだけではなく、その基盤としての位置を占める。

神戸にずっと住んでいるので、20 年前、大地震に出くわした。これを上回る大災害が日本に発生するとは、想像さえしたことがなかった。東北太平洋沿岸地域を大津波が襲ってから、数週間後に被災地を歩いた。その光景は、凄惨としかいいようがなかった。

阪神･淡路大震災（1995 年 1 月 17 日）から東日本大震災（2011 年 3 月 11 日）にかけて、住宅復興の方法はどのように発達し、どのような課題が残っているのか。この点の検討が本報告の主眼である。

1. 「土地・持家被災」という文脈

東北沿岸地域の住宅復興を検討するうえで、まず、重要なのは、「土地被災」に注目する視点である。阪神･淡路と東北は、住宅の大量滅失という共通性をもつ。しかし、東北では、阪神・淡路とは異なり、大津波によって建物が「根こそぎ」にされ、土地が激しく被災した。広範なエリアが浸水し、地盤沈下が多数の地域に発生するなかで、津波対策の強化の必要があらためて強調された。被災者は震災前に住んでいた土地を再び利用できるとは限らない。このため、東北では、「どこに住むのか」に関する見通しがより不安定である。

さらに、「持家被災」が多い点をみる必要がある。阪神・淡路では、被災者の多くは借家人であった。その住宅復興は、公営住宅建設を中心手段とした。これに比べ、東北沿岸では、大半の被災者は土地を所有し、一戸建ての持家に住んでいた。これを反映し、被災世帯の多くは持家再建を望んだ。しかし、敷地と再建資金の確保は容易ではない。再建のためにどのような対策が必要になるのかが問われた。

2. プレハブ／みなし仮設

阪神・淡路大震災では、応急生活段階の仮設住宅を供給する手法は、行政による「プレハブ仮設」の建設にほぼ限られていた。東北の被災地では、これに加え、民営借家のストックを利用した「みなし仮設」の供給が拡大した。仮設供給の手法が増えたことは、住宅復興の枠組みの重要な変化を意味した。

プレハブ仮設とみなし仮設は、それぞれ独自の利点・欠点をもつ。既存の恒久住宅である民営借家を使ったみなし仮設には、高い物的水準、利便性の高い市街地への立地、迅速な供与などの特徴がある。これを反映し、みなし仮設では、稼働年齢の子育て世帯が多くなった。一方、分散立地のみなし仮設の入居者は、生活再建を支える公的支援の対象に安定して入っているとは限らず、また、個人情報保護のために、ボランティアグループに住所などが知らされず、その援助対象にもなかなか含まれない。これに比べ、行政運営のプレハブ仮設団地では、高齢者の比率がより高く、自治体・ボランティアグループなどが入居者の状態に目配りし、生活支援を供給した。

3. 持家被災の特性

阪神・淡路大震災では、「借家被災」が多く、東北では大量の「持家被災」が発生した。被災世帯の内訳をみると、阪神・淡路では、8 割が借家世帯、東北では、持家世帯が 8 割であった。

持家被災では、住宅ローン返済が終わっていたかどうかが問題になる。私たちが釜石市で実施した調査の結果によれば、持家に住んでいた世帯のうち、住宅ローン残債をもつ世帯は 2 割であった。この比率は、家族世帯でとくに高く、約 4 割に達した。

住宅ローン債務が残った世帯のために、「私的整理ガイドライン」が新たに用意された。これを利用すれば、住宅ローンなどの返済が困難になった被災者は、一定額の現預金を手元に残したうえで、債務の免除・減額などを受けられ、そして、信用情報機関には登録されない。しかし、制度適用には金融機関の同意が必要とされ、また広報が十分とはいえない点などから、利用者は増えていない。災害時残債という難しい問題に関し、新しい手法がつくられると同時に、さらなる工夫がすでに必要になっている。

一方、高齢層では、アウトライト住宅を所有してい

たケースが大半を占める。アウトライトとは、住宅ローン返済を終え、あるいは住宅ローンを使わずに家を建て、債務をともなわない状態を意味する。アウトライト持家は、住居費負担の軽さを特徴とし、年金生活者の安定を支える役割を担っていた。言いかえれば、高齢世帯にとって、アウトライト住宅の消失は、生活基盤を掘り崩す深刻な原因になる。

4. 持家向け融資／補助

東北の被災地では、持家再建が住宅復興の中心手段になる。しかし、住宅ローンの供給という伝統的な手法がなかなか通用しない。多数の世帯の雇用・所得が震災のために不安定になった。高齢者の多くは、住宅ローンの調達に必要な所得をもたず、また年齢が高い点から、借り入れ資格を備えていない。バブルの破綻以来、経済の基調はデフレに転じ、住宅ローン債務の実質負担が増大した。住宅ローンは、経済成長のもとで、所得上昇の途上の若い世帯がおもに利用するという前提のもとで成り立つ技術であった。東北が経験しているのは、住宅ローンの伝統的な条件の消失である。

このため、東北の被災地では、持家再建の「融資」ではなく、「補助」の必要性が高まった。被災者再建支援法の 1998 年制定、2004 年、07 年改正によって、住宅再建に対する最大 300 万円の支援金給付が可能となった。この制度の検討途上では、私有財産である持家への公的補助の論拠の弱さが指摘された。しかし、災害時の持家再建支援は困窮者を救済し、地域社会・経済の再建を支える点において公共性をもつ、という認識がしだいに広がった。

さらに、住宅再建促進のために、自治体レベルの独自制度がつくられた。持家支援は公営住宅の必要量を減らす効果をもつと考えられた。同時に、持家ストックの増加は、固定資産税の歳入増に結びつく。

5. 土地被災を超えて

阪神・淡路地域の住宅復興は、多くの困難をともなった。しかし、住宅再建に使用できる土地は残っていた。これに対し、「土地被災」に見舞われた東北沿岸では、住むための土地をつくるところから復興を展望する必要がある。

東北の被災自治体の多くは、防集事業（防災集団移転促進事業）、漁業集落防災機能強化事業、土地区画整理事業、津波復興拠点整備事業などにもとづく大がかりな土地利用再編に取り組み、高台移転、内陸移転、被災地面のかさ上げなどによって、新たな居住地を創出しようとしてきた。

東北の人たちにとって、持続可能な地域をつくることは、切実な願いである。東北沿岸では、震災前から、人口減・高齢化、経済縮小などの傾向が現れていた。震災の影響による人口・経済変化の加速がありえる。高台移転などの大規模かつ多数の事業は、大量の時間を使うことから、人口流出をさらに促進する可能性をもつ。事業全体のスケールが適切であったのかどうかについての評価作業がいずれ必要になる。

土地利用再編の中身もまた地域の持続可能性という観点から検討する必要がある。津波に襲われた“元地”に関しては、住宅立地を規制し、商業・業務空間および公園などを整備するという計画が多い。しかし、商業・業務施設需要の過大な見積もりは、未利用地と空室の多い建物を増やし、地域維持を困難にする。高台などの移転先の居住地の設計については、近い将来の人口減・高齢化への対応を織り込む必要がある。小規模な居住地をつくるケースでは、人口変化の影響がとくに大きい。事業のイニシャルコストは、政府が負担する。しかし、事業完了後の道路網・ライフラインなどの管理は自治体負担になる。分散した居住地の維持に必要な費用は大きい。計画立案では、将来のランニングコストに関する検討が不可欠になる。

6. 戻る／移る

阪神・淡路の復興では、震災前の居住地に帰還することが、多数の被災者に共通する目標となった。これに対し、広範に浸水した「土地被災」の東北沿岸地域では、多くの人たちが震災前の場所に戻れず、移転を余儀なくされる。このため、“戻る”世帯だけではなく、“移る”被災者を支えることが、新たな課題となった。

東日本大震災では、広域避難者が多い。原発事故が発生した福島からは、とくに多数の人びとが遠方に避難した。拡散した避難者に対する支援は、十分ではない。広域避難者を受け入れた自治体は、彼らに公営住宅を提供し、所得・就労・就学などに関する援助を実施した。しかし、支援の内容と水準は、自治体ごとに異なるうえに、安定性を欠く。離散した被災者は、先行きについての不安を感じ続けている。

阪神・淡路地域では、復興事業が完了した地区に対する住民の評価は高いと言われることがある。しかし、高く評価している住民は、自分たちの場所に“戻った”人たちである。これに比べ、“移った”人たちが、何を思い、復興をどのように評価しているのかは、たいていの場合、追跡されない。「復興の評価とは誰の評価なのか」に注意する必要がある。東北沿岸地域から、多数の人たちが遠方に移動した。被災自治体の多くは、広域避難者との関係を保つ工夫を重ねている。これを継続し、遠くに移った人たちの「声」を聴き続けることが、東北復興をより適切に評価し、より望ましい方向に向かわせるために必要である。

音響的多様性概念の LCA における利用可能性：南スマトラにおけるオイルパーム生産を事例とした考察

Applicability of acoustic diversity to LCA: a case study of oil palm production in southern Sumatra

○林清忠*[1)]、ディアン・ヴィタ[2)]、アーウィンシャー[2)]
Kiyotada Hayashi, Vita Dhian, Erwinsyah
1) 農業・食品産業技術総合研究機構, 2) Indonesian Oil Palm Research Institute
* hayashi@affrc.go.jp

1. はじめに

ライフサイクルアセスメント（LCA）により土地利用の影響評価を行うためのグローバルな特性化係数[1)]が開発され、生物多様性に対するポテンシャルな影響の評価が世界規模で実施できるようになった。しかしながら、農業生産活動が生物多様性に与える影響を評価する上で、次の課題が残されている。

第 1 は、特性化係数が WWF のエコリージョンごとに、しかも大まかな土地利用類型（agriculture, pasture, urban, managed forest）ごとに示されているため、生物多様性の違いが収量の違いによってもたらされる傾向がみられることである[2)]。有機農業と慣行農業の違いを評価するためには、より詳細な特性化係数が必要であることは開発者によっても指摘されている[1)]。

第 2 は、仮にこの特性化係数を用いる評価システムを環境政策の一環として導入した場合、それが誘因両立的なメカニズムとはならないことである。すなわち、生物多様性を高める活動よりは、収量を高める活動によって評価点を改善できるため、そのシステムの導入は、プランテーションのマネージャーが生物多様性を高める生産管理を実践する誘因とはならない。

これらの課題を解決する上での決定的な問題は、現場レベルでの生物多様性に関するデータの不足である。水田からのメタン排出量が微気象の影響を強く受けることと同様に、生物多様性の評価においても局所的な自然条件と人間活動の詳細を考慮することが重要である。したがって、データ収集過程が方法論に組み込まれているような新たな研究方向が必要であり、その一つの可能性が生物多様性の音響的モニタリング手法[3)]の活用であると考えられる。実際にその手法は、時間とコストのかかる生物種の同定作業を必要とせず、大きな可能性があると推測される。

そこで、この研究では、音響的多様性概念が LCA にどの程度利用可能かを検討する。事例として、インドネシア南スマトラにおけるオイルパーム生産を取り上げる。

2. 方法

2.1 音響的指標の利用

土地利用および土地利用変化の影響評価の枠組み[4)]における縦軸（横軸である時間に対して、生物多様性や土壌の質等を表現する縦軸）にアプローチするため、異なった土地利用（パームオイルプランテーションおよび森林）の生物多様性の評価を試みる。そのため、現地でのレコーディングを実施し、得られた音響データファイルを分析した。音響的多様性を示す指標として、音響的複雑性指標（Acoustic Complexity Index; ACI）[5)]を用いた。また、地点間の違い（β 多様性）を計測する指標として、音響的非類似性指標（Acoustic Dissimilarity Index）[3)]を用いた。

2.2 パームオイルプランテーション、プランテーション内森林、保全林の比較

生物多様性を評価することが持つ社会的意味、レコーディングの実施可能性、生物多様性の季節変動等を考慮し、事例研究のサイトとして、南スマトラを選定した。パレンバンとジャンビの中間に位置するインドネシアオイルパーム研究所のダワス・プランテーションおよび隣接する森林において計測を行った。具体的には、プランテーション内の 2 か所（2°30’33.47”S, 103°48’20.44”E [以下、地点 1]および 2°31’55.16”S, 103°48’18.67”E [地点 2]）、プランテーション内部の森林（2°31’36.49”S, 103°48’17.43”E [地点 3]）、隣接する保全林（hutan suaka alam; HSA）（2°31’5.15”S, 103°48’25.64”E [地点 4]）の計 4 か所において、2014 年 8 月 26 日から 28 日にかけて 1 か所につき 24 時間以上のレコーディングを行った。その際、2 台のデジタルレコーダー（SONY PCM-D100）を用いた。自然界の音は人間の可聴帯域を超えることを考慮し、サンプリング周波数 192 KHz、量子化ビット数 24 ビットのデジタルレコーディングを行った。レコーダーは高さ 1.5m、水平方向に設置した。

2.3 データ解析

収集されたデータファイルは、音響ファイルの最大

サイズである 2GB ごとに区切られるため、これらを複数の断片に区分した。すなわち、2GB は 192KHz、24 ビットの場合には約 30 分に相当するが、その 10 分割等を実施した上で解析を行った。人間の声（コーランの朗読）、レコーダー設置時の雑音等を含んでいるファイルは除外した。計算には、統計ソフトウェア *R* ならびにパッケージ seewave を用いた。

3. 結果

表 1 は約 3 分ごとに分割したファイルについて求めた ACI の平均値、表 2 は同様に求めた標準偏差を示している。これらの結果ならびに既往の報告 [6]から判断し、生物多様性は、平均値のような位置パラメータに示されているというよりは、標準偏差のような尺度パラメータに表れていると考えられた。

表 1　ACI の平均値

時間帯	0-6	6-12	12-18	18-0	全体
地点 1	151.1	151.2	151.9	150.9	150.9
地点 2	151.5	151.2	151.2	150.7	150.7
地点 3	148.5	149.6	148.2	149.3	149.3
地点 4	148.1	147.5	150.8	149.9	149.9

表 2　ACI の標準偏差

時間帯	0-6	6-12	12-18	18-0	全体
地点 1	1.118	0.841	0.803	1.984	1.326
地点 2	2.615	0.613	0.583	1.468	1.580
地点 3	0.306	1.747	1.202	0.568	1.231
地点 4	0.733	2.051	4.472	1.688	2.935

また、音響的非類似性指標からは、地点 1 と地点 2、地点 3 と地点 4 の類似性が示された。

4. 考察

4.1 インベントリデータベース構築に対する含意

インベントリデータにおいて、土地利用および土地利用変化に関する情報は、一般に“inputs from nature”のセクションに、占有および転換（“from”および“to”）として記載される。音響的多様性の解析結果は、その際に活用できると考えられる。しかしながら、農業生産からの複数のアウトプット（環境影響を含む正負の多面的機能）を直接記述する視点からは、“outputs to nature”というセクションを設けるという方向もあると考えられる。この場合、生物多様性よりも上位の概念となる生態系機能および生態系サービスを、影響評価としてどのように構成するかが重要になる。

4.2 影響評価手法の開発に対する含意

もう一つの方向として、生物多様性の計測結果に基づき、影響評価手法を開発する方向が考えられる。土地利用および土地利用変化の現在の影響評価手法は、土地利用カテゴリーおよびカテゴリー変化に基づいているが、インベントリデータに含まれる農業生産管理に関する情報に基づいて影響評価を行う方向である。すなわち、インベントリデータにおける“inputs from technosphere”のセクションに記載されている肥料、農薬等の農業投入財に関する情報をはじめとする生産管理に関する詳細な情報に基づく影響評価手法の開発である。現状では、必ずしも容易でない側面を含んでいるが、この形の評価の方が環境支払等の政策的枠組みともより整合的であり、音響的多様性の解析結果を有効に活用することができると考えられる。

5. おわりに

音響的多様性の利用は、現場に即した土地利用の LCA を実施する上で、さらなる発展の可能性のある研究方向であると考えられる。その一方で、音響解析であることに伴う固有の限界、すなわち移動、コミュニケーション、センシングの際に音を発する動物に対象が限定されることには十分な注意を払う必要がある。

音響的多様性を評価する上では生物種の同定は必要ないが、方法論を検討する上では同定作業も重要である。その際には、現地の住民が有するローカルな知識の活用も必要になると考えられる。また、その同定作業の結果に基づき、生物種の自動同定システムの開発も可能であると考えられる。

謝辞

本報告は JSPS 科研費 26340110 の研究成果を含む。

引用文献

1) de Baan L., Mutel C.L., Curran M., Hellweg S., Koellner T.: Environ. Sci. Technol., 47, (2013), pp. 9281-9290
2) Michelsen O., McDevitt J.E., Coelho C.R.V.: Int. J. Life Cycle Ass., 19, (2014), pp. 1214-1225
3) Sueur J., Pavoine S., Hamerlynck O., Duvail S.: PLoS ONE, 3, (2008), e4065
4) Milà i Canals L., Romanya J., Cowell S.J.: J. Clean. Prod., 15, (2007), pp. 1426-1440
5) Pieretti A., Farina A., Morri D.: Ecol. Indic., 11, (2011), pp. 868-873
6) Barnes A.D., Jochum M., Mumme S., Haneda N.F., Farajallah A., Widarto T.H., Brose U.: Nat. Commun., 5, (2014), 5351

IUCN レッドリストデータを活用した鉱山採掘時の生物多様性への影響の推計

Use of IUCN Red List data to estimate biodiversity impact by resource mining

○湯龍龍*[1)]、中島謙一 [1)]、村上進亮 [2)]、伊坪徳宏 [3)]
Longlong Tang, Kenichi Nakajima, Shinsuke Murakami, Norihiro Itsubo
1) 国立環境研究所, 2) 東京大学, 3) 東京都市大学
* tang.longlong@nies.go.jp

1. はじめに

鉱山採掘はその探索地と採掘地の約三分の一が保護価値の高い原生的な生態系に位置するため、生態系への影響が無視できない[1]。国連環境計画の国際資源パネルはこうした影響を削減するために、世界における生物多様性影響の全体像を把握することが緊要な課題と位置づけている[2]。これまで、IUCN Red List データベース[3]を活用して製品貿易に通じて生じる絶滅危惧種数の全体像を示す研究があるが、特定の要因である鉱山採掘由来の影響は明らかでない[4]。一方、LCA において鉱山採掘に伴う生物多様性影響を評価するには、鉱山採掘による土地改変や化学物質排出などのインベントリデータを整理したうえで、それぞれインベントリに対応する生物多様性影響係数を乗じて算出することが考えられる。この方法を用いた場合は、汎用的なインベントリデータと対応する影響係数があるが、地域別の評価に対応できない。

本研究の目的は、IUCN Red List データベースを活用して国別に鉱山採掘の生物多様性被害係数を開発することである。本稿はその評価方法について述べる。

2. 方法

2.1 評価の枠組みと指標

ある国の鉱石採掘量あたりの生物種の絶滅リスク増分をその国の生物多様性被害係数と定義する。IUCN Red List データベースを使用する理由は、世界における種レベルのデータが最も揃っており、種レベルの多様性の地域性を表現できるためである。絶滅リスク指標は一定期間における種の絶滅割合を示す種の絶滅速度（E/MSY: Extinctions per Million Species-Years）[5]を採用した。これは、絶滅種の絶対数より相対的な絶滅速度が望ましいことと、IUCN Red List のカテゴリ基準は絶滅リスクの考え方を基づいていることためである。

詳細な算定手順は図 1 に示す。まず、IUCN が整理するある国 2003 年の評価種を対象とし、2003 年と 2014 年のレッドリストカテゴリを潜在的な年間絶滅種数に変換し、鉱山採掘の寄与分のみを国別に集計する。次に、対象国の総絶滅種数を世界の評価対象種で除して、世界の絶滅速度への影響量を算出する。最後に、絶滅速度の差分を鉱石採掘量の差分で被害係数を算定する。2003 年以後にレッドリストカテゴリの分け方が統一されたことと、同じ種を 2 回以上に評価することを確保するためになるべく長い期間を取ることを考え、2003 年から 2014 年までの 12 年間を選択した。

2.2 年間潜在的絶滅種数の推計

年間潜在的な絶滅種数の推計方法を以下に示す。IUCN Red List Criteria の E 基準は一定期間における絶滅確率を示している。一方、絶滅速度(λ)は一定期間(T)における種の絶滅割合(P)を示している。まず、その E 基準の期間と絶滅確率を絶滅速度の算定式（式 3）に与えて、ある Red list category (RLC)の危惧種の絶滅速度を求めることができる。次に、評価期間を 1 年にしたときの種の絶滅割合を算出し、評価種数（この場合は種数 N＝1）に乗じてその種の 1 年あたりの潜在的な絶滅種数（ES）が得ら

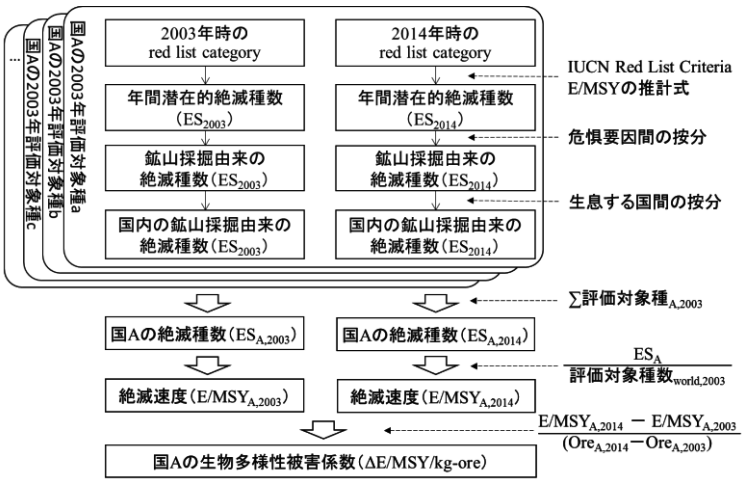


図 1 評価の枠組み

れる（式 1, 2）。なお、危惧種でない種は潜在的な絶滅種数をゼロとした。

$$ES_{RLC} = P \times N \tag{1}$$

$$= \left(1 - e^{-\lambda \cdot T}\right) \times N \tag{2}$$

$$\lambda = \frac{\ln\left(1 - P_{RLC}\right)}{-T_{RLC}} \tag{3}$$

2.3 危惧要因間の按分

危惧種は異なる要因に影響される場合が多い。鉱山採掘による絶滅リスクを得るためには、要因間に重みづけを行う方法を取った。IUCN では危惧要因を 12 大分類、54 中分類に分けている。危惧要因はダイレクト要因と定義し、土地面積減少や個体数変化などストレスを引き起こす直接的な要因（例：工場建設など）である。IUCN は、危惧要因ごとに影響の重篤度、範囲を示している。ここでは、これら重篤度と影響範囲を点数つけて正規化し、要因間の重みづけを行う方法を取る。表 1 は影響の重篤度と範囲の点数付けを例示した。

表 1 影響の重篤度と範囲の分類とその点数付け例

Scope	Minority (<50%)	0.25
	Majority (50-90%)	0.70
	Whole (>90%)	0.95
	Unknown scope	0.50
Severity	Negligible	0.00
	Slow, Significant Declines	0.25
	Rapid Declines	0.75
	Very Rapid Declines	1.00
	Unknown severity	0.50

2.4 生息国間の按分

危惧種は複数国にまたがって分布する場合がある。ある国の被害係数を算定するためには、その危惧種の絶滅リスクを国間で按分する必要がある。その場合は、まず、対象種がそれぞれ国の鉱山エリアに分布するかどうかを確認したうえで、鉱山エリアに分布する国を対象に、国間の鉱石採掘量で按分する方法を取る。実際は、鉱石採掘量だけではなく、国間の環境保全の度合いにも影響されるものと考えられる。

2.5 絶滅速度の算定

絶滅速度は種、国と世界レベルでの算定が可能である。国別の被害係数は共通の指標が必要のため、世界の絶滅速度を選択した。よって、A 国での鉱山活動に伴う A 国での潜在的な絶滅種数を世界の絶滅速度に換算した。絶滅速度の定義によれば、世界の絶滅速度は一定期間における世界の絶滅種数を評価対象種で除して計算できる。従って、A 国の鉱山活動が影響した世界の絶滅速度（λc）は、A 国の 2003 年 1 年間（T=1）の絶滅種数（ES_c）を 2003 年世界の評価対象種（N_w）で除して算出される（式 4, 5）。

$$\lambda_c = \frac{\ln\left(1 - P_c\right)}{-T} \tag{4}$$

$$= \frac{\ln\left(1 - \dfrac{ES_c}{N_w}\right)}{-T} \tag{5}$$

2.6 鉱石採掘量あたりの絶滅リスク

国 A の生物多様性被害係数は、2003 年と 2014 年の絶滅速度の差分を鉱石採掘量の差分で除することで算出される。分母は、鉱山面積も考えられるが、その場合は絶滅要因が土地改変と限ってしまうため、鉱石採掘量を採用した。なお、今後は影響係数の活用方法やインベントリデータとの接続などを考慮して見直す予定である。

3. 手法の特徴と限界

指標について、E/MSY 指標は相対的な絶滅速度の指標であり、世界に生息する生物種の合計種数がわからない中での絶滅種絶対値での評価よりよいと考えられる。また、IUCN Red List データベースにつながりやすいため、国別の被害係数の推計が可能となる。一方、以下の限界も考えられる。絶滅速度指標はすでに広く用いられたが、推計される将来の絶滅速度は一般に実際の絶滅速度より高いことが知られている[5]。また、本研究は E/MSY への換算を IUCN Red List Criteria の E 基準の基に行った。その基準は安全側を立てカテゴリの絶滅リスクを高めに設定しているため、本評価方法は鉱山採掘に由来する絶滅速度を過大評価して可能性がある。

生物種のレッドリストカテゴリの変化は、すべてが絶滅リスクの変化を示すものではなく、一部はこれまで評価方法の改善、ミスの訂正などによるものもあるが、本研究は情報不足のため、無視している。また、絶滅リスクの危惧要因間の按分は種ごとに妥当な傾向が示されるかどうかは今後より詳細に確認する必要がある。

4. おわりに

上記評価手法はまだ開発途上であり、今後は複数国を対象に被害係数の算定と比較を行い、評価手法の検証を行う予定である。

参考文献

[1] Miranda et al. (2003) Mining and Critical Ecosystems: Mapping the Risks. WRI, Washington DC

[2] Van der Voet et al. (2013) Environmental Risks and Challenges of Anthropogenic Metals Flows and Cycles. UNEP-IRP

[3] International Union for Conservation of Nature. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.2. http://www.iucnredlist.org

[4] Lenzen et al. (2012) NATURE 486, 109-112

[5] Henrique et al. (2010) Science 330, 1496-1501

二次資源の利用可能性を考慮した鉱物資源消費の将来シナリオ別特性化係数の算定

Calculation of Characterization Factors of Mineral Resources Consumption by Future Scenarios Considering the Availability of Secondary Resources

○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

我々の生活に不可欠な存在である鉱物資源の利用に関して、製品として経済圏に蓄積している二次資源の利用可能性の重要性は大きい。ライフサイクル影響評価（LCIA）においても鉱物資源消費は頻繁に議論される影響領域の一つであるが、将来における二次資源の利用可能性を考慮した特性化モデルはまだ十分に確立されていない。また鉱物資源消費の特性化モデルには複数のモデルが提案されているが、それらについて意見は分かれており、モデルに関する比較をはじめとしたさらなる考察も必要と思われる。本研究では複数の既存の特性化モデルを基に二次資源の利用可能性を考慮に入れた将来シナリオ別の特性化係数を算定する。そして二次資源の利用可能性に関するシナリオ別の係数間比較とそれらの係数の感度のモデル間比較を行う。

2. 方法

2.1 時系列一次消費量の推計

蓄積していく二次資源の将来における消費を考慮したt年における一次資源の消費量（時系列一次消費量P_t）を、一次生産の歩留まり率をy_1，二次生産の歩留まり率をy_2，t年における需要量をD_t，t年におけるリサイクル率をRR_t，製品がx年で廃棄される確率を$L(x)$として、次式によって推計した。

$$P_t = \frac{1}{y_1}\left\{D_t - y_2 \cdot RR_t \int D_k \cdot L(t-k)dk\right\} \quad (1)$$

またP_tから埋蔵量が枯渇するまでの年数（枯渇年数）が算定でき、埋蔵量を枯渇年数で除すことで平均一次消費量$\bar{P}$を算出できる。以上は初期年をt_0，埋蔵量が枯渇する年をt_fとして次式で表される。

$$\begin{cases} R = \int_{t_0}^{t_f} P_t dt \\ \bar{P} = \dfrac{R}{t_f - t_0} \end{cases} \quad (2)$$

2.2 特性化係数の算定

本研究では 3 つの既存の特性化モデルを基に二次資源の利用可能性を考慮した特性化係数を算定した。

(1) 消費量・埋蔵量比

消費量と埋蔵量の比に基づく指標は日本の LCIA 手法である LIME2[1)] の特性化係数としても用いられており、現在の年間消費量をP，可採埋蔵量をRとして、次式によって表される。

$$CF = \frac{P}{R} \times \frac{1}{R} \quad (3)$$

本研究では、式 (3) 中の現在の年間消費量Pを平均一次消費量$\bar{P}$に置き換えることで、新たな特性化係数を算定した。

(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おり、割引率をr (=3%)，市場価格をVとして、次式によって表される。

$$DF = \left(\frac{1}{1+r}\right)^{\frac{R}{P}} \times V \quad (4)$$

本研究では、式 (4) 中の現在の年間消費量Pを平均一次消費量$\bar{P}$に置き換えることで、新たな特性化係数を算定した。

(3) 超過コスト

超過コストは Goedkoop *et al.*[2)] によって提唱された特性化モデルで、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}，割引率をr (=3%)として、次式によって表される。

$$Surplus\ cost = \sum_t \left(MCI_{kg} \times P \times \frac{1}{(1+r)^t}\right) \quad (5)$$

本研究では、式 (5) 中の現在の年間消費量Pを時系列一次消費量P_tに置き換えることで、新たな特性化係数を算定した。

2.3 シナリオの設定

将来シナリオは、式 (1) 中の D_t（需要量）およびリサイクル率（RR_t）に関して設定した。

需要量は将来の人口や一人当たり GDP と、リサイクル率は将来の用途別構成比や各製品のリサイクル率と関係があるとして、それらの要素に関するシナリオを設定した。

3. 結果

本稿ではまず二次資源の利用可能性の考慮による特性化係数の変化を見るために、将来の需要およびリサイクル率を 2012 年の値で一定とし、一次生産と二次生産における歩留り率を同様で一定とした現状固定シナリオにおける、鉄の特性化係数の算定結果を示す。なお需要量、リサイクル率、および製品寿命は表 1 のように用途別に設定しており、その用途別構成比も現状固定シナリオでは将来にわたって 2012 年の値で一定と仮定した。また製品寿命の確率分布は正規分布に従うとし、歩留り率は 80.8%とした。

表 1 現状固定シナリオにおける設定

用途		建設	運輸	機械	製品
2013 年以降の最終需要 [百万 t]		538	139	626	108
2013 年以降のリサイクル率 [%]		87	82	82	58
製品寿命	平均値 [年]	75	20	30	15
	標準偏差	25	7.5	10	5

3.1 時系列一次消費量の算定結果

2013 年から 2100 年までの鉄の時系列一次消費量の推定結果を図 1 に示す。

図 1 において、将来における二次消費量の増加に伴い一次消費量は最終的に現在の半分以下まで減少しており、二次資源の利用可能性の影響の重要性が示唆された。また図 1 と時系列一次消費量の推定結果と鉄の 2012 年における可採埋蔵量（8.0×10^{10} t）から、鉄の枯渇年数および平均一次消費量$\bar{P}$はそれぞれ 87 年、9.2×10^{8} t と推計された。なお従来の特性化のように現在の年間消費量に基づいて算定すると、枯渇年数と一次消費量はそれぞれ 59 年、1.4×10^{9} t となった。

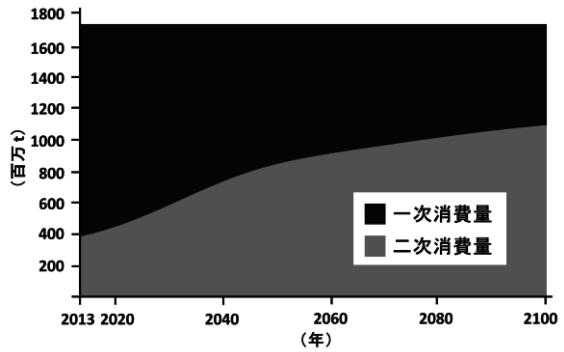


図 1 鉄の時系列一次/二次消費量の推定結果

3.2 特性化係数の算定結果

(1) 消費量・埋蔵量比、(2) ユーザコスト、(3) 超過コストの 3 つの特性化モデルにおける、将来の二次資源の利用可能性を考慮しない従来の特性化係数と、本研究の現状固定シナリオで算定した特性化係数との比較を図 2 に示す。

図 2 より二次資源の利用可能性を考慮することによって特性化係数は、消費量・埋蔵量比で約 32%、ユーザコストで約 56%、超過コストで約 24%小さくなることがわかる。

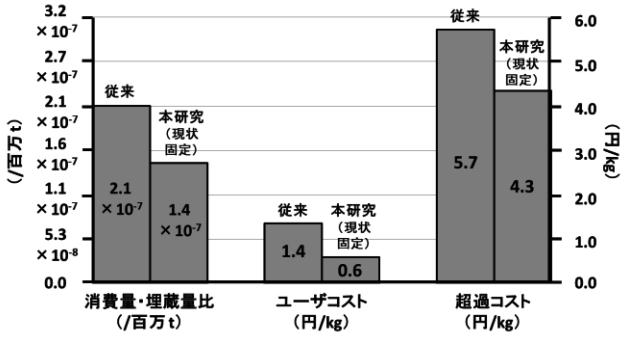


図 2 従来と本研究における特性化係数の比較

4. まとめ

本稿では二次資源の将来における利用可能性を考慮した鉄の特性化係数を、3 つの既存のモデルに基づいて算定し、結果を比較した。そして需要量等の変数を現状のまま一定と仮定する現状固定シナリオにおいては、ユーザコストが二次資源の利用可能性の考慮によって、もっとも大きく影響を受けることがわかった。

本稿では二次資源の利用可能性の考慮による係数の変化を見るために、単純な仮定による現状固定シナリオに基づいた係数をまず算定した。今後は、需要量やリサイクル率の将来予測に基づいた将来シナリオを設定することが課題となる。

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 (2010)
2) 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)

金属資源のクリティカリティ評価に向けた構成要素の検討

Components and Indicators for Criticality Assessment of Metals

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

金属資源の利用に伴う環境影響は、主に天然資源の採掘による土地改変や枯渇に関する評価が実施されてきた。一方で、特に工業先進国において、自国産業が大量の（輸入）天然資源を消費することは、資源リスクの増大をもたらすと認識されている。資源リスクについては、各金属の供給リスク（supply risk）と産業での重要性（economic importance あるいは vulnerability）に着目したクリティカリティ評価が先進国で進められている。さらに、クリティカリティと環境影響評価を相互に取り入れる研究も進められている [1,2)]。

日本の資源確保戦略 [3)]では、ベースメタル、レアメタルを含めた 30 種の戦略的鉱物資源を定め、海外資源権益の獲得、代替材開発、リサイクル促進、備蓄増強を確保戦略の柱として示している。短期的、長期的な資源リスクを反映し、かつこれら確保戦略の推進によるリスク軽減を評価する枠組みの作成は、様々な将来社会シナリオの中でとるべき中長期的な資源戦略の検討において重要な課題である。

本研究では、日本にとってのクリティカリティを評価するための枠組みの構築と評価結果を示すとともに、クリティカリティの環境影響評価への適用について論ずる。

2. クリティカリティ評価手法の構築

2.1 クリティカリティ評価の動向

クリティカリティの評価研究では、供給リスクと産業での重要性の側面を評価するという考え方は共有されている。一方で、その構成要素の選定や要素間の重要性の重みに関しては、議論の最中にある。既往の研究では、供給リスクとしては地質学的、地政学的、社会的、経済的側面が、産業での重要性については、その金属が関わる産業分野での生産額、需要動向や代替可能性が考慮されることが多い。

日本を対象としたクリティカリティの評価は、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）や日本メタル経済研究所がレアメタルを対象として実施した例がある [4,5)]。

2.2 日本を対象とした評価

資源確保戦略に対して、日本を対象とした従来のクリティカリティ評価研究は、「所有する海外資源権益の資源リスクへの寄与が評価されていない」「評価対象がレアメタルに限定されている」といった点で資源政策との対応が不十分であった。そこで、本研究では戦略的鉱物資源のうち 22 種の金属を対象として、2012 年のクリティカリティ評価を実施した。

評価は、NEDO の評価手法 [4)]をベースとして、表 1 に示す5つのカテゴリと13の構成要素を用いて実施した。このなかで、「供給リスク」に含まれる「権益確保の十分度」については、著者らが既報 [6)]で提案した指標を用いた。22 種の各金属について、これら構成要素に関連するデータを収集し、それぞれの要素に関しての危険度を最大 3 段階で評価した。そして、要素ごとの評価結果を統合し、クリティカリティを 0-35 点[注)]の間のスコアで算出した。評価基準や統合の際の重み付けの詳細は Supporting Information (SI)に示す。

表１　クリティカリティの構成要素

カテゴリ	構成要素
供給リスク	可採年数
	埋蔵量の集中度
	鉱石生産の集中度
	輸入相手国の集中度
	権益確保の十分度
価格リスク	輸入価格上昇率
	輸入価格変動率
需要リスク	世界需要成長
	国内需要成長
	特定用途需要成長
リサイクル制約	備蓄の有無
	リサイクルの状況
潜在リスク	将来の使用規制リスク

注) 従来評価 [4)]では、「権益確保の十分度」を除いた 12 の要素を用いて 0-32 点で評価し、18 点以上の金属を「重要鉱種」とみなしている。

3. 結果

各金属のクリティカリティの評価結果をカテゴリの内訳とともに図 1 に示す。インジウムやレアアースといった一部レアメタルのクリティカリティが高く示された。しかし、その他のレアメタルについては、鉄や銅といったベースメタルとほぼ同等のクリティカリティであると示された。レアメタルとベースメタルではそのリスクの主要因が異なっており、レアメタルでは生産国の集中や使用済み製品からのリサイクルの困難さがスコアを引き上げているのに対し、ベースメタルは可採年数の短さや途上国の成長を背景とした採掘量の増加が要因となっている。また、ほとんどの金属について価格リスクは最高レベルの高さと評価されており、適切な評価基準（SI 参照）の設定についての検討が必要と考えられる。

NEDO は 2005 年および 2008 年について同様の枠組みで評価を実施している [4]。その結果と比較すると、タンタルとタングステンについて顕著なクリティカリティの低下が見られた。これら金属は 2000 年代における価格の高騰と紛争鉱物としての指定から、その消費量削減が産業界で取り組まれてきた金属である。その結果、近年では国内需要推移は落ち着いており、以前のクリティカリティ評価結果に比べ需要リスクが低減されている状況が示された。

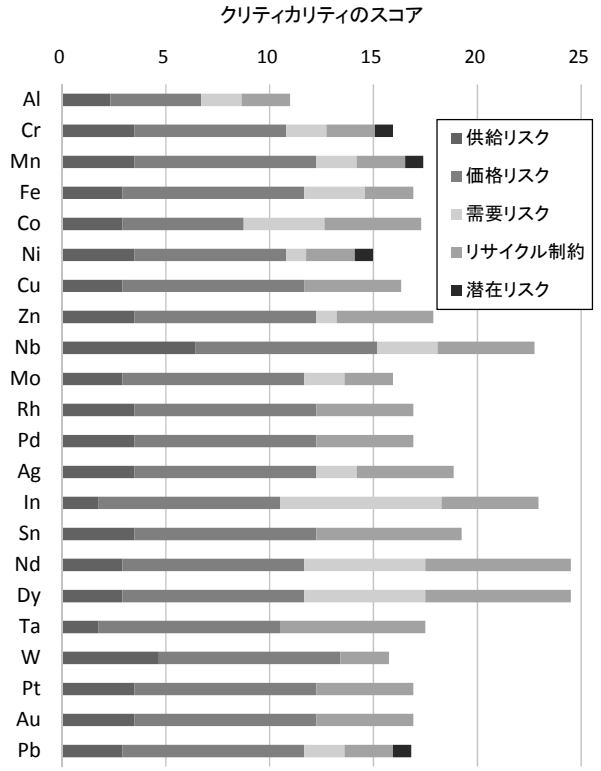


図 1　戦略的鉱物資源のクリティカリティ（2012 年）

4. おわりに：クリティカリティ評価とその LCA への適用に向けた課題

本研究の結果では、ベースメタルに着目する資源確保戦略の必要性や、省資源技術開発の資源リスク低減への貢献が示されたといえる。しかし、構成要素の選定、構成要素の評価基準の設定、重み付けと統合の考え方について、資源循環のステークホルダー間の合意に向けた検討を進める必要がある。特に、短期的リスクと長期的リスクを見極めたうえで、それぞれの対象金属に適した施策が実施される必要がある。

Schneider ら [2]は、クリティカリティを「経済面から見た利用可能性」とみなし、環境影響評価における資源消費の特性化係数と比較している。ただし、クリティカリティは対象金属を産業で消費している状態が抱えるリスク（≠被害）の度合いを示す指標であり、金属消費が及ぼす被害を示す特性化係数、被害係数とは意味合いが異なるものである。したがって、クリティカリティとインベントリの乗算を、従来と同様の意味で解釈するのは難しい。また、クリティカリティ評価は個別の金属を対象とした算定にとどまっており、多様な素材構成をもつ製品を対象としたクリティカリティの活用は十分に検討されていない。クリティカリティの考え方と手法論を発展させた上で、環境影響評価の目的に応じた活用方法を探る必要がある。

引用文献

1) Graedel, T.E. et al.: Environ. Sci. Technol. 46, (2011), 1063-1070.
2) Schneider, L. et al.: Int J Life Cycle Assessment 19, (2014), 601-610.
3) 外務省・経済産業省：資源確保戦略, http://www.kantei.go.jp/jp/singi/package/dai15/sankou01.pdf ，（参照 2015-01-07）
4) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）：“希少金属代替材料開発に関する最新動向調査報告書”，(2009)
5) 社団法人日本メタル経済研究所：”クリティカルメタルとその代替可能性”, (2008)
6) 畑山博樹，田原聖隆：第 9 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集，(2014), pp.312-313.

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

Life cycle assessment of printed matter using plant oil ink considering spacial difference of cultivated area

○秋山翔太*[1)]、内田弘美[2)]、太田直樹[2)]、荒井翔平[3)]、伊坪徳宏[1)]
Syota Akiyama, Hiromi Uchida, Naoki Oota, Syohei Arai, 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, 3) 東京薬科大学
* g1131006@tcu.ac.jp

1.はじめに

従来のインキは石油系溶剤が汎用的に利用されてきたが、1990 年代から環境問題に対する意識の向上から、植物油に代替した植物油インキが注目されてきた。

しかし、現在では石油資源の代替と地球温暖化対策としてバイオ燃料の需要が急速に拡大することで、作物の産業利用と食糧の競合が大きな課題となっている。印刷用インキは大豆油を原料としたものが主流であったが、近年はパームや米ぬかなど他の植物への展開がみられる。

植物油インキを含めた環境評価事例はいくつかあるが、作物の種類に応じた分析とこれらの比較を行った事例は少ない。また、植物油インキの原料生産には栽培での水使用が潜在的に大きいものと考えられるが、水使用による影響は地点により大きく異なる。大豆は米国、パームは東南アジアが主な栽培地点であり、これらの地理的な特徴を反映した分析が求められる。

2.研究目的

本研究では、オフセット印刷においてマレーシア産パーム油、米国産大豆油、日本産米ぬか油を用いた印刷物について環境影響評価を実施行う。特に、ウォーターフットプリント（WF）では、作物の原産国に応じた分析を行い地域の特徴を反映した分析を行う。

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、原材料の種類と原産地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、A4 再生紙 1000 枚に印刷すること
基準フロー	インキ量：0.047g、A4 判再生紙 1 枚：5g
輸送	植物油、ワニス、インキ、廃棄・リサイクル

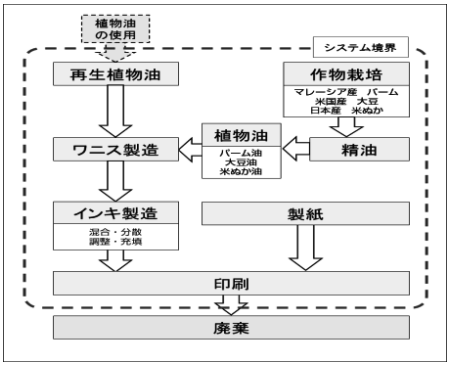


図 1　システム境界

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 3 種類のモデルを設定し、表 2 に示す。

印刷では藍・紅・黄・黒の 4 色のインキを用いるが、評価ではすべて黒で印刷をした場合を想定した。

表 2　インキ中に含まれる油の主原料

パーム油インキ	パーム油、パーム油エステル
大豆油インキ	大豆油、再生植物油
ライスインキ	米ぬか油、再生植物油

3.3. 計算方法

企業へのヒアリング調査を実施し、インキ製造に関して一次データの収集を行った。ただし、用紙製造データについては、日本製紙連合会公表のインベントリデータを使用した。また、用紙印刷に関しては、事業者のための GHG 排出量算定ガイドライン（version2.0）のデータを使用した。算定には、MiLCA 及び IDEA 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。作物の栽培、精油段階に投入される物質については既存文献[1-3)]より引用した。

WF の算定については、インベントリ分析を実施し、さらに矢野らの特性化係数[5)]を乗じることで影響評価を行った。作物の栽培における水消費量に関しては CLIMWAT 及び CROPWAT を用いて算定した。その他の水消費量については水使用・水消費データベース[6)]を使用した。

4.結果

4.1. 環境影響評価

はじめに、3 種類の植物油インキにおいてインキの

LC-CO_2 評価を行い、その結果を図 2 に示す。どのモデルもインキ生産原材料調達がほとんどを占めている。大豆油インキが最大で、ライスインキが最も小さいという結果になった。

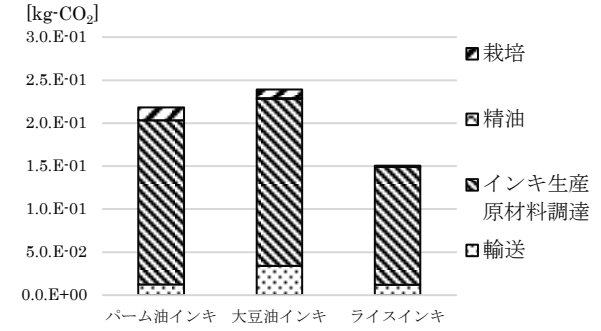


図 2　インキの LC-CO_2 評価結果

インキに注目した統合化評価を行った結果を図 3 示す。パーム油インキが約 0.5[円]、大豆油インキが約 0.6[円]、ライスインキが約 0.4[円]という結果になった。パーム油インキは大豆油インキと比較して約 1 割程度低く、ライスインキは約 4 割の削減がされている。ライスインキは、原材料調達の部分で米ぬかという副産物を利用できるという効果が大きいため、値が小さくなったと考えられる。

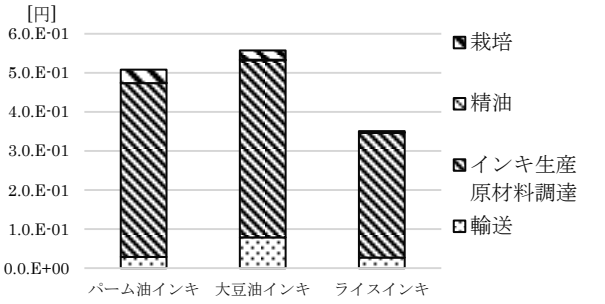


図 3　インキの統合化評価結果

4.2. WF

次に、3 種のインキの水消費量算定結果を図 4 に示す。熱帯地域で生産されるパームは水消費量が多いが、その大半は雨水である。一方、ライスインキは米ぬかを使用することから主製品である米との配分により水消費量が相対的に小さくなった。ただし、全体の半分以上を河川水が占めた。このように、作物の種類によって水消費量と主な種水源は大きく異なることが分かった。

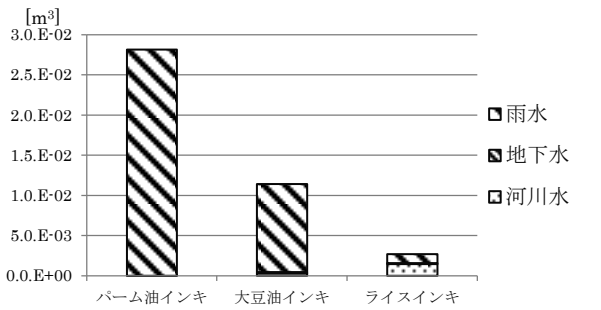


図 4　作物栽培に着目した水消費量結果

次に、Water availability footprint（WAF）結果を図 5 に示す。大豆油インキが最大で、パーム油インキが次いで大きく、ライスインキは最も小さかった。大豆は米国における特性化係数が東南アジアよりも大きいこと、パームは雨水の消費量が大きいことが影響している。ライスインキは副産物を利用した効果が大きいが、一方で河川水の寄与が大きく、雨水を考慮しなければ大豆油インキに匹敵するものと考えられた。

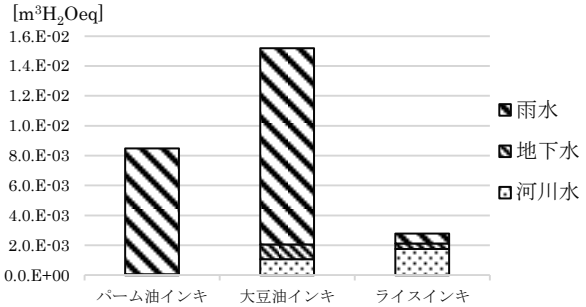


図 5　Water availability footprint 結果

5. おわりに

原産地が異なる 3 種類の植物油インキを用いた印刷物の影響評価と WF を行った。統合化結果と WAF 結果はいずれも米国産の大豆油インキが最大であった。一方、副産物である米ぬかを利用するライスインキは、統合化結果と WAF 結果も最も小さかった。また、WF 結果によれば、水消費量と影響評価で結論が異なることが分かった。原材料の栽培地点の明確化と、地理的な特徴を反映した影響評価係数を利用することの重要性を確認することができた。

参考文献

1) Sumiani Yusoff，Sune Balle Hansen：“Feasibility Study of Performing an Life Cycle Assessment on Crude Palm Oil Production in Malaysia”（2007）
2) 佐藤邦光，辻本進：“食用大豆油と大豆ミールの LC-CO_2”（2007）
3) 東京都市大学伊坪徳宏研究室：“米油のLCA分析”（2014）
4) 荒井翔平，伊坪徳宏：“植物油インキを用いた印刷物の環境影響評価”（2012）
5) 矢野伸二郎、花崎直太、伊坪徳宏、沖大幹：“全球水資源モデルを用いて水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）
6) 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）

LIME3 における規格値の算定
-世界を対象にしたエンドポイントタイプの年間環境影響量の算出-

Normalization values in LIME3 –Estimation of annual environmental impacts in global scale-

伊坪徳宏 [1)]、湯龍龍 [2)]、本下晶晴 [3)]、井伊亮太 [4)]、松田健士 [4)]、山口和子 [5)]

Norihiro ITSUBO[1)], Tang Longlong[2)], Masaharu Motoshita[3)],

Ryouta Ii[4)], Takeshi Matsuda[4)], Kazuko Yamaguchi[5)]

東京都市大学 [1)]、国立環境研究所 [2)]、産業技術総合研究所 [3)]、

パシフィックコンサルタンツ [4)]、三菱東京 UFJ リサーチ&コンサルティング [5)]

Itsubo-n@tcu.ac.jp

keywords: normalization values, global scale, endpoint type, impact assessment, LIME3

1. はじめに

正規化は LCIA の一段階であり、さまざまな影響領域を対象とした特性化結果を相対的に比較するために利用される。これまでに複数の研究が実施され、これらの成果は規格値として公開された。規格値は大きく、ミッドポイントの特性化係数を利用したものとエンドポイントタイプの被害係数を利用したものに分けられる。

しかし、これまでの正規化に関わる研究事例は以下の課題を有する。

(1) 世界規模の評価

これまでの研究のほとんどが、ある特定の国や地域を対象にしており、世界全体を網羅した規格値の算定事例は極めて少ない。これは既存の特性化手法の多くが、欧州、日本、米国などの先進国を対象としたものであり、新興国や途上国における環境条件を反映していないことが主な要因であるといえる。発展途上国における影響が含まれない規格値の利用は環境問題の南北格差が考慮されず、世界全体から見た環境影響の効果的な低減につながらない恐れがある。また、環境影響の規模と主要な影響領域は地域により異なるものと考えられる。現時点で地域間の環境影響の違い反映しつつ、世界レベルで評価した研究事例は少ない。

(2) エンドポイントレベルの規格値の算定

WHO(2009)は世界規模の健康損失の現状を報告しており、そのなかで環境変化が要因となる健康被害量を定量的に示した。UNEP や IUCN などが参画したミレニアム生態系評価報告書(MEA 2005)では、過去、現代、および将来における生物種の絶滅速度が評価された。これらの国際機関は評価結果に一定の不確実性があることを認めつつも、エンドポイントレベルで定量的に環境被害量を公開することは、様々なステイクホルダーが情報共有するのに有効であると認識していることを表す。世界レベルのエンドポイントタイプの規格値が得られれば、国際機関が発行した報告書の内容の比較することができ、結果の相互検証に利用することができるが、現時点でこのような利用に耐えられる研究事例はない。

2. 研究目的

本研究では、上記の課題を解決するため、エンドポイントタイプタイプの世界規模の規格値の算定を行う。エンドポイントには人間健康、社会資産、生物多様性、一次生産の四項目を対象とする。評価結果は世界全体における一年間の経済活動を通じて発生し得る潜在的な環境被害量である。評価結果は全世界と国際連合が分類する 6 地域(アフリカ、アジア、中南米、北米、欧州、オセアニア)についてそれぞれ求めた。

3. 研究方法

規格値の算定には、LIME3 で開発した被害係数(Damage Factor)(Ii et al 2014、Tang et al 2014-1、Tang et al 2014-2、Yamaguchi et al 2014、Matsuda et al 2014、Motoshita et al 2014)に各国の年間環境負荷量(Annual Environmental Loads)を乗じ、これらの総和から求めた。被害係数は国ごと、物質ごと、影響領域ごとに算定されている。

$$\mathrm{NV}_e = \sum_i \sum_c \sum_s \left(DF_{e,c,i,s} \times AEL_{c,i,s} \right)$$

ここで NV はエンドポイント e における全球規模の規格値、DF は国 c、エンドポイント e、影響領域 i、物質 s における被害係数、AEL は国 c、物質 s における年間環境負荷量を指す。

評価範囲としては、LIME3 が採用した 8 つの影響領域(地球温暖化、大気汚染、光化学オキシダント、土地利用、水消費、鉱物資源消費、化石燃料消費、森林資源消費)を対象とした。被害指標は他の公開内容と対比することを想定しつつ、損失余命(人間健康)、米ドル(社会資産)、EINES(生物多様性)、NPP(一次生産)を用いた。

4. 結果

以下に人間健康と生物多様性を取り上げて算定結果を示す。

4.1 人間健康

図 1 に人間健康の結果を世界全体、6 地域について示した。世界全体で 7.9E+7DALY/year(人口ひとりあたりでは約 4days/year/p)であった。この値は WHO(2009)による結果(7.8E+7DALY/year：環境を要因とする健康被害のうち本研究で算定対象外とした室内空気質汚染と鉛汚染を除く)とよく整合した。

大気汚染による影響が最大で全体の 4 割を占めており、地球温暖化、水消費の影響がほぼ同等であった。光化学オキシダントは全体の 3%程度であった。地域によって健康被害量と影響領域の構成は大きく異なった。特に、アジア・アフリカが大きく、北米、オセアニアが小さかった。アジアは大気汚染と温暖化が大きい。大気汚染は中国、インドなどの新興国における燃料消費に伴う PM による健康影響が大きい。一方、温暖化はインド、パキスタンなどの南アジアを中心とした感染症、下痢などの影響が大きい。アフリカは、水資源消費による影響が大きい。生活用水、農業用水の不足による健康影響、上下水道の未整備による感染症が大きな割合を占めた。

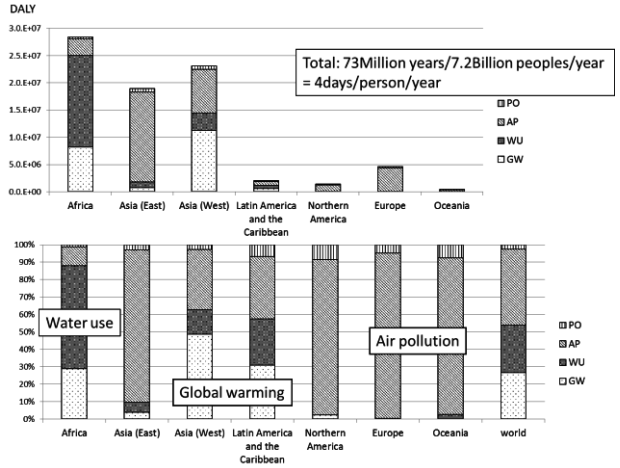


図 1 人間健康の規格値算定結果(世界全体と 6 地域)

4.2 生物多様性

図 2 に生物多様性の規格値算定結果を示した。全世界でおよそ 100 種の維管束植物が 1 年間で絶滅しているものと評価された。これは、維管束植物種 27 万種に対する 100 種であることを考えると、10000 種中 4 種が絶滅したことに相当する。この結果は、国連ミレニアム生態系評価報告書が提示した過去(10000 種中 1 種)と将来の絶滅(10000 種中 10 種以上)の中位に位置する。

影響領域のなかでは、土地利用による生息地の消失が最大で半分以上を占めた。温暖化、森林伐採がこれについで大きかった。これらに対して鉱物資源、化石燃料の消費による影響は小さかった。被害量の地域差は非常に大きく、アジアにおける影響が半分以上を占めた。これは土地利用面積が大きい中国に加え、近年経済成長による開発が進み、かつ、潜在的に生物多様性が豊富である東南アジア各国(インドネシア、フィリピン、ベトナム)における影響が大きいことによる。アジアについで中南米地域の影響が大きかった。アルゼンチンとブラジルは開発による土地利用変化が大きく、エクアドルは潜在的に生物多様性が豊富で土地利用による影響の感度が高い国が大きかった。

アフリカ、北米、欧州における影響は同程度であったが、影響領域の内訳は異なった。先進国で構成される北米は土地利用変化の影響は小さいが、米国における森林伐採の影響が大きかった。

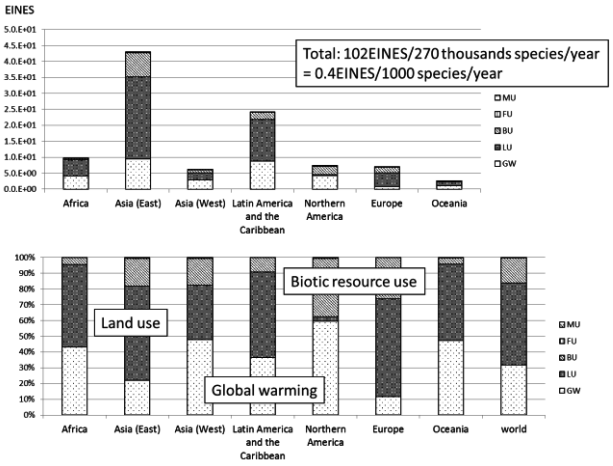


図 2 生物多様性の規格値算定結果(世界全体と 6 地域)

5. 結論

全世界の規格値は、人間健康が 7900 万年、社会資産は 400Billion US$、生物多様性は 100 種(維管束植物種)、一次生産は 1800 億トンと推定された。本研究が採用した方法から得られた規格値は、不確実性が大きいものと考えられるものの、世界保健機関やミレニアム生態系評価報告書等が公開する内容とほぼ整合する結果が得られた。これはボトムアップ的なアプローチで再現性がある結果が得られることを意味し、エンドポイントアプローチに基づく LCA 結果の有用性を担保することに貢献するものと考えられる。

謝辞

本研究は、内閣府先端研究助成基金助成金（最先端・次世代研究開発支援プログラム、研究課題名：地球規模問題に対する製品環境政策の国際的推進を支援するライフサイクル経済評価手法の開発）において実施されました。

LIME3 における重みづけ係数の算定
-G20 を対象にした先進国・新興国の重みづけ係数の算定と比較-

Development of LIME3 –LCIA method at global scale-

伊坪徳宏 [1)]、村上佳世 [2)]、栗山浩一 [2)]、吉田謙太郎 [3)]、時松宏治 [4)]

Norihiro Itsubo[1)], Kayo Murakami[2)], Koichi Kuriyama[2)], Kentaro Yoshida[3)], Koji Tokimatsu[4)]

東京都市大学 [1)]、京都大学 [2)]、長崎大学 [3)]、東京工業大学 [4)]

Itsubo-n@tcu.ac.jp

keywords: global scale, weighting factor, impact assessment, LIME3

1. はじめに

LIME2(Itsubo et al. 2012)では、日本国民の環境意識を反映した四種の保護対象間の重みづけ係数を開発した。本手法はすでに日本製品や企業活動の評価に活用されているが、日本の重み付け係数を世界で汎用的に利用するのは限界がある。重み付けは経済、文化、社会的条件により異なることが予想されるものの、いまだこれらの違いを考慮した重み付け係数が具体的に開発、検討された事例は少ない。

本研究では世界各国で利用できる重み付け係数の開発を想定しつつ、G20 を評価対象国とした重み付け係数の開発を行った。同一の調査票をもとに G20 加盟国を対象としたアンケート調査を実施し、国ごとに算定した重みづけ係数の間を比較するとともに、地球規模の重み付け係数開発と活用に向けた検討を行った。

2. 研究目的

本研究では世界で利用できる重み付け係数の開発に向けて以下の検討を行った。

(1) 主要各国の重み付け係数の開発

各国の環境意識の違いを反映した国ごとの重み付け係数を開発した。ここでは地理的なバランスを考慮して、G20 加盟国を対象とした。各国の係数を比較できるように、アンケートに利用される調査票は世界共通のものを用いた。

(2) 先進国と途上国の間の比較

先進国(G8)と新興国(G8 を除く G20)のグループごとに重み付け係数を算定し、両者の比較を行った。あわせて、先進国同士、新興国同士においても比較を行い、グループ内で環境意識が異なるかどうかについてもあわせて検討した。

(3) 世界を対象に評価できる重み付け係数の開発

世界全体を代表する重み付け係数の算定を試みた。この結果をグループ(先進国、新興国)ごと、国(USA、Canada など)ごとの重み付け係数と比較することで、世界全体の重み付け係数の代表性について検討するとともに、LCA での利用可能性について考察した。

3. 研究方法

LIME が採用する 4 種の保護対象(人間健康、社会資産、生物多様性、一次生産)間の重み付けをコンジョイント分析を通じて行った。コンジョイント分析は環境経済学において多くの利用実績があり、多属性である環境について属性ごとの価値を測定するのに適している。本研究では G20 加盟国すべてを対象にアンケート調査を行った。回答者による調査票の内容理解とバイアスの最小化を優先して、新興国(残り 11 カ国)は面接調査(訪問調査もしくは会場調査)を採用した。先進国はプレテストの結果からインターネット調査と面接調査の間で結果の差は小さかったことを確認した上で、インターネット調査を採用した。いずれもランダムサンプリングを採用して、新興国は各国 200～250 サンプル、先進国は各国 500～600 サンプル、全体で 6,400 件の回答を得た。

得られた回答結果に対する統計解析では、評価対象国ごとに回答者個人の環境思想の違いを定量的に分析するため、ランダムパラメータロジットモデルを採用した。

4. 結果

いずれの国もすべての環境属性の計算結果は統計的に有意であった。本研究を通じて無次元の重み付け係数(WF1)と支払意思額を用いた経済指標(WF2)の二種類の結果を得ることができる。本論文ではそのうち、G20 加盟国ごとの無次元の重み付け係数の結果を図 1 に示した。

先進国と新興国で大きく特徴が異なる結果が得られた。新興国では相対的に健康影響と社会資産を重視する傾向があり、先進国では生物多様性と一次生産を重視する傾向がみられた。また、先進国では国間の違いは小さく、かつ、保護対象間の重みづけの差も小さかったが、新興国では国間の違いは大きく、かつ、人間健康の重みが特に大きいなどエンドポイント間の重み

づけ係数の差が大きかった。このように先進国と新興国の間で大きく特徴が分かれたのは、グローバルレベルの環境問題に対する関心が高い先進国とローカルレベルの環境問題に対する関心の高い新興国の特徴の表れとも考えられる。

各国の環境属性に対する評価結果の変動係数を比較したところ、新興国でも年収が少ない国と先進国は相対的に小さく、新興国で年収が相対的に高い国は変動係数が高い結果となった。この結果を図 1 と照合すると、新興国で年収が低い国では大気汚染や水消費による自国の健康影響が深刻であることから、国民全体で人間健康に対する重みが高い傾向があることがわかる。一方、先進国では自国における環境影響は相対的に小さく、環境問題はグローバルの生態系への影響という認識が強いことが分かる。新興国で年収が高い国では、環境問題に対する個人の認識が大きく異なる傾向がみられた。

G20 全体では人間健康が最も大きく(0.34)、生物多様性(0.27)、一次生産(0.23)がこれに次いで大きく、社会資産(0.16)の重み付けは相対的に小さかった。先進国(G8)は生物多様性や一次生産の価値が G20 全体の結果より相対的に高く、生物多様性(0.31)が最大で、人間健康(0.29)が次いで大きかった。一方、新興国は健康影響(0.44)の重みが特に大きく、他の三項目の重みはほぼ同等であった(社会資産(0.18)、生物多様性(0.19)、一次生産(0.19))。

5. 結論

本研究は共通の調査票を用いて先進国のみでなく、新興国を含め、かつ、これらの比較を行った世界で初めての研究である。面接調査とインターネット調査あわせて 6,400 件のアンケート調査を実施した結果、G20、G8、G8 を除く新興国、各国の重み付け係数、いずれも一部の新興国を除いて全ての環境属性について統計的に有意な結果を得た。また、先進国の重み付け係数は相対的に保護対象間の差が小さい一方で、新興国は保護対象間の差が大きかった。さらに、新興国の間では結果に大きな差がない一方で、新興国の間では環境意識が大きく異なることがわかった。ランダムパラメータロジットモデルを用いた統計解析によれば、G20 全体の係数よりも、先進国や新興国に分類して算定した重み付け係数の方が変動係数は低く、国ごとの重み付け係数の変動係数はさらに低かったことから、国ごとの重み付け係数を用いることでよりばらつきを低減した統合化を行うことができることがわかった。

謝辞

本研究は、内閣府先端研究助成基金助成金（最先端・次世代研究開発支援プログラム、研究課題名：地球規模問題に対する製品環境政策の国際的推進を支援するライフサイクル経済評価手法の開発）において実施されました。

参考文献

Itsubo N et al. (2012) Int J Life Cycle Assess 17(4): 488-498

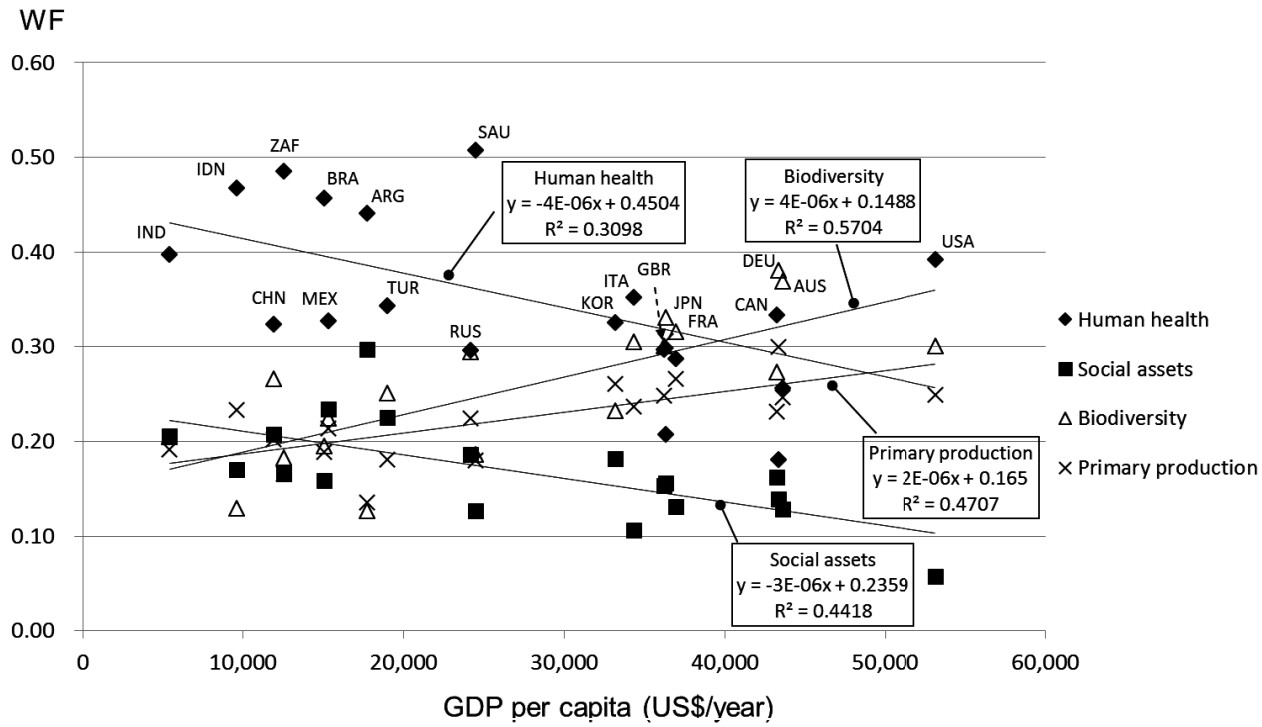


図 1 重みづけ係数の算定結果：縦軸は無次元で四種の重みづけ係数の和が 1 になるように正規化している

F1 日本グランプリを対象とした環境・経済・社会影響評価

The environment, economy, and social impact evaluation of the F1 Japan Grand Prix

○大港 勇輝*[1)] 、伊坪 徳宏*[1]
1) 東京都市大学 環境情報学部
g1131039@tcu.ac.jp

1.　はじめに

スポーツ、展示会、コンサート、会議、フェスティバル等、多種多様なイベントが行われている。大規模イベントは備品や配布物など大量の物品が投入されることから、近年様々な環境対策が行われている。2020 年に開催することが決定している東京オリンピックでも「環境五輪」を掲げ、様々な環境への取り組みが計画されている。2012 年に行われたロンドンオリンピックでは、環境・経済・社会の 3 側面を考慮した持続可能なイベントマネジメントに関する国際規格 ISO20121 が導入された。2020 年開催される東京オリンピックにおいても同規格に沿った企画、運営が求められよう。

自動車レースの最高峰である F1 グランプリは、オリンピックと同様、大規模で国際的なイベントとして位置づけられる。その規模は 1 シーズン世界約 20 ヶ国で行われ、１戦あたりの経済効果は数百億円と言われている。

これまでにイベントを対象とした LCA は複数行われているものの、F1 グランプリほど大規模なイベントの環境評価事例は少ない。また、既存の研究の多くは環境側面に注目するものの、経済や社会の側面に着目した評価も少ない。

2.　目的

イベントにおけるサステナビリティマネジメントが注目されるなか、本研究では東京オリンピックに先立ち、世界的な大規模自動車レースである「2014 FIA F1 世界選手権シリーズ 第 15 戦 日本グランプリ」を環境、経済、社会の 3 側面に沿って評価する。本研究では特に以下の事項に展開することを想定した。

A）国際イベントを対象に ISO20121 を意識した LCA を行うことで、サプライチェーンを考慮したイベントサステナビリティの在り方を検討する。

B ） 多数の関係者が参加する「F1 日本グランプリ」を対象に分析することで主催者、来場者、チームなど多様なステイクホルダーに対して新たな環境対策の提案を行う。

C ） F1 は多数のグローバル企業が参加する巨大な市場が形成される場でもある。環境のみでなく、社会や経済側面にも注目した分析を行うことで、国際的な波及効果について環境・経済・社会の観点から包括的に検討するための資料が提供される。

3.　方法

本研究では、現地調査に加え、F1 経済効果報告書(2006)、F1 マネー（書籍）、インターネットを主な二次データとして用いて算定を行った。以下にイベントの詳細を示す。

図-1　対象イベント詳細

来場者数	150000人
日程	平成26 年 10 月 2 日（木）～6 日（月）
会場	鈴鹿サーキット国際レーシングコース （三重県鈴鹿市稲生町）
主催	株式会社モビリティランド (MOBILITYLAND CORPORATION)

本研究では、環境側面を CO_2排出量、経済側面を経済波及効果を社会側面は雇用者数を採用した。経済波及効果については二次波及までを算定対象とした。

今回の主な計算方法、システム境界は以下のとおりである。

CO2、経済効果、雇用 = Σ（活動量 i×原単位 i）

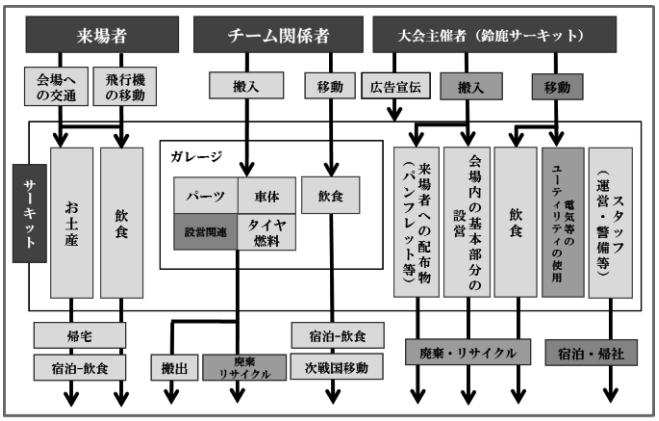


図-2　本研究のシステム境界

大会主催者のユーティリティ、廃棄・リサイクル、搬入搬出・スタッフ移動はデータ入手が困難であったため、今回は評価に含めなかった。CO_2算定に用いた活動量は物量もしくは金額を用い、経済波及効果、雇用効果の算定には全て金額データを用いた。原単位は主に 3EID、エコプロダクツ展示会レンタル用原単位（パシフイックコンサルタンツ）経済効果と社会効果のデータベース（東京都市大学 松永典子）を利用し、算定を

行った。また、来場者とスタッフの移動は人キロ法、チームの貨物は従来トンキロ法を用いて算定を行った。

4.　結果

4.1 環境・経済・社会側面に注目した評価結果

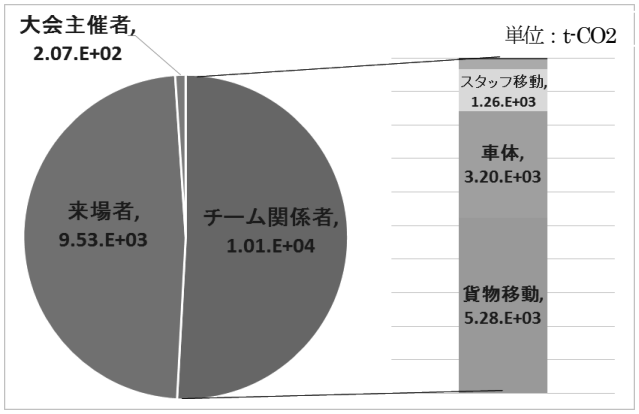


図 3. CO_2排出量

図 3 にイベント全体での CO_2排出量算定結果を示した。CO_2排出総量は、約 20,000t-CO_2となった。内訳はチーム関係者と来場者がそれぞれ約半分を占め、大会主催者に関係する排出量は少なかった。チーム関係者の内訳をみると、車体を含む貨物輸送、スタッフの移動による寄与が大きかった。今回の分析では前戦のシンガポールから日本、次戦のロシアへの移動に関わる半分の負荷を割り当てた。約 700t もの貨物を長距離移動することの影響が大きく見込まれた。また、車体に関する負荷も大きく計上されたが、本研究では車体生産は自動車部門の原単位に金額データを乗じたため、実際よりは過大な結果になっているものと考えられる。

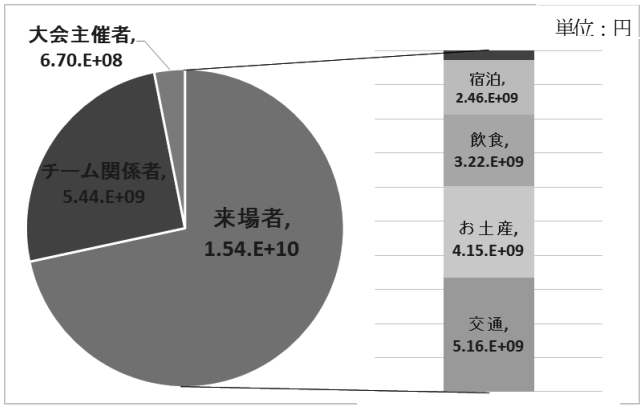


図 4. 経済波及効果

図 4 にイベント全体での経済波及効果の算定結果を示した。経済波及効果の総額は約 215 億円となった。来場者が約 7 割、チーム関係者が 3 割と多く、大会主催者はこれらに比べると小さかった。来場者は会場までの移動のほか、お土産や宿泊、飲食など開催地で購入する物品や食品サービスに関わる事項が大きかった。チーム関係者は環境面では貨物移動（飛行機）の影響が 5 割を占めたが経済波及効果の算定では離着料のみの考慮のため結果が小さい値となっている。

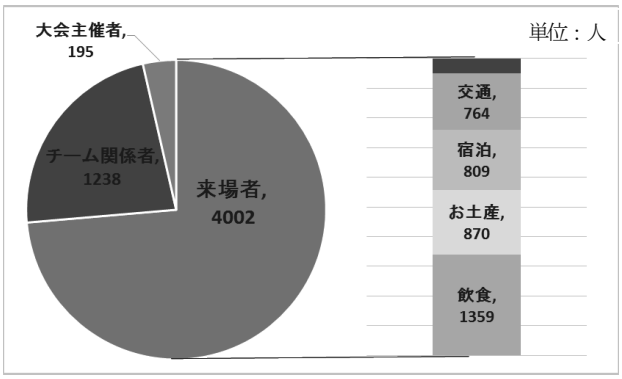


図 5. 雇用効果

図 5 にイベント実施による雇用効果の算定結果を示した。全体で約 5400 人の雇用創出が見込まれた。経済波及効果の結果と同様、来場者が最大で、チーム関係者がこれに続いて大きく、大会主催者はこれらに比べて小さかった。ただし、来場者の内訳でみると飲食が最大で、お土産、宿泊の割合がこれに次いで大きく、開催地における効果がより大きいことが分かった。

4.2 環境・経済・社会を重みづけした結果

環境・経済・社会の 3 側面の関係を総合的に見るため、正規化したのち、すべての重みを 1 として統合化した。（概要ではスペースの関係上結果は省く。）

優位度＝経済効果の重み+雇用効果の重み-CO_2の重み

上記の優位度が高ければ高いほど良いとみなし、低ければ低いほど悪いとみなした。その結果来場者はお土産（菓子）、お土産（衣服）、飲食店が高い値を示した。チーム関係者では、飲食、宿泊が高い値を示した。大会主催者ではテントや応援旗が高い値を示した。このような結果から、今後他の低い値を示した項目を削減し、高い値を示した項目に費用をかけることで、環境・経済・社会面の 3 側面から見て持続可能なイベントが可能である。

5.　まとめ

本研究では産業連関表分析を用いて 2014 年 F1 日本グランプリを対象とした環境・経済・社会評価を行い、3 側面のホットスポットを把握した。サプライチェーンを網羅したサステナビリティマネジメントのための定量的な分析を LCA の知見を活かして実施することが可能であることを見出すことができた。

参考文献

1.　Ｆ１経済効果調査 報告書　鈴鹿Ｆ１日本グランプリ地域活性化協議会
2.　Ｆ１マネー＆サイエンス Vol.2 書籍

途上国における水質浄化による効用を考慮した浄水器のウォーターフットプリント

Water Footprint of water purifier which focus on water purification effect in developing country

○秋山颯太*[1)]、森孝[2)]、湯龍龍[3)]、伊坪徳宏[1)]
Souta Akiyama, Takashi Mori, Longlong Tang, Norihiro Itsubo
1) 東京都市大学, 2) 浄水器協会, 3)国立環境研究所
*g1131007@tcu.ac.jp

1. はじめに

世界の損失余命（以下、DALY）の約 1 割は悪質な水・衛生環境が要因である。[1)]ミレニアム開発目標でも浄水、衛生設備環境の整備が取り上げられるように、これらの対策は世界の環境政策の最重要課題である。

衛生環境改善に向け、既往研究では新たな大規模衛生システムを導入する方法が提案されているものの、資金の確保、現地住民の合意など実現までに多くの課題がある。特に水問題に脆弱な低所得者 BOP 層に普及させるには、初期投資が少なく、減価償却期間が短い装置が有効である[2)]。そこで、本研究では比較的安価で設置でき、かつ、日本企業が技術的に優位にある浄水器に注目した。

2. 研究目的

本研究では、浄水器を活用した衛生環境改善方法を提案し、浄水器を活用した BOP ビジネスの発展に貢献することを目的として、以下の評価を実践することとした。

1，浄水器のウォーターフットプリントを行う。

2，浄水器の製造・使用段階の被害評価を行うと共に、衛生環境が整っていない地域へ実装したと仮定した場合の健康影響軽減効果について、シナリオ分析を行う。

3. 研究方法

3.1 浄水器本体の環境影響評価

本研究では、蛇口直結型浄水器・ピッチャー型浄水器を対象に、浄水器 1 台の使用と機能単位を定めた。使用条件としては、本体耐用年数 2 年、カートリッジ消費個数 27 個/2 年、カートリッジ寿命は 300ℓ、使用量/日は 10ℓ=2.5ℓ/日・人×4 人と設定した。

バウンダリは、素材製造から部品成型・加工、組み立てまで含め、間接部門（研究開発、事務、営業）の影響は含めない。廃棄は考慮しないものとした。（図 1）

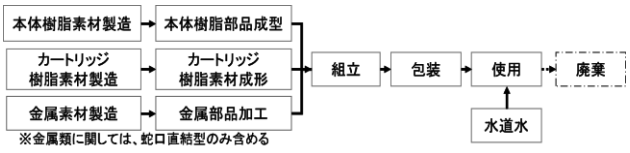


図１　本研究のバウンダリ

インベントリ分析では、小野らが開発したデータベース[3)]を活用し、水使用量を評価した。

$$水使用量 = \sum(活動量 \times 水使用原単位) \qquad (式1)$$

被害評価は人間健康影響のみをソフトウェア MiLCA Ver.1.2.4 を使用し、評価手法は LIME2[4)]を用いた。必要なフォアグランドデータには環境対策委員会所属企業の浄水器製造に用いる物質の代表値を用いた。

3.2 浄水器導入による健康影響削減効果シナリオ分析

ガーナの首都アクラにおけるニマ地域を対象に評価を行った。算定条件は文献[5)]から引用した。対象地の選定は、年間一人あたりの損失余命が 10^{-6} 以上の地域で行った。対象人口は 69,000 人（大人 70%，子供 30%）、飲水量は大人 2.9ℓ/日、子供 1.0ℓ/日に不定期の使用量 0.5ℓを加算した量となる。水質改善効果を計るために使用するフィルターは MF(Micro Filtration)を用いた。取水経路は以下の 8 つ。①Household storages, ②Private yard taps, ③Private taps dry-storage, ④Communal taps(running water), ⑤Communal taps dry-storage, ⑥Communal wells, ⑦Water sachets(regular consumers), ⑧Water sachets (irregular) .

導入シナリオは蛇口直結型浄水器を接続可能な①～⑤の経路における利用者全員に向け、1 世帯（4 人）に 1 台の浄水器を導入したと仮定。カートリッジは 300ℓ使用時に濾過限界性能 50%に達する。対象病原体は以下の 4 つ。ⅰ)カンピロバクター, ⅱ)ロタウイルス, ⅲ)クリプトスポリジウム, ⅳ)大腸菌 O157. これらはいずれも世界保健機関の水質ガイドラインにて取り上げられている。

本研究では、浄水器設置前後について損失余命を算定した。以下に算定式を示した。

$$\mathrm{DALY} = \sum C \times XF \times RF \times EF \qquad (式2)$$

ただし、C は消費量、XF は暴露係数、RF は D-R 係数、EF は損失余命の換算係数である。浄水器を利用することで、病原体の濃度が変化し、摂取量が変化する。

表１　本研究における算定条件

	病原体	用量反応係数	発病リスク	DALY / case[4)]	フィルター除去率[8)]
(1)	カンピロバクター	β-ポアソンモデル[4)]	3.00.E-01[6)]	4.60.E-03	2.3 logs
(2)	ロタウイルス		5.00.E-01[6)]	3.94.E-01	0.0 logs
(3)	大腸菌O157		3.50.E-01[7)]	3.95.E-01	2.3 logs
(4)	クリプトスポリジウム	指数用量反応モデル[4)]	7.00.E-01[6)]	9.29.E-02	2.3 logs

浄水器導入による健康リスク軽減効果に関しては、蛇口直結型の浄水器を感染経路①～⑤に導入したと考えた。

また、浄水器製造に伴う CO_2 排出等に伴う影響も健康被害評価として表現し、上記の結果に加えた。

4. 結果

4.1 ウォーターフットプリント

蛇口直結型が 1.45.E+01 m^3,ピッチャー型が 1.46.E+01 m^3 であり、使用段階に大きく影響を受けた。使用段階を除いた負荷の割合は、カートリッジと濾材に大きく表れた。蛇口直結型とピッチャー型の値は近似しているが、内訳は異なり、活性炭以外の面でみると、蛇口直結型はカートリッジで使用される ABS 樹脂、ポリアセタールの割合が高い。ピッチャー型は多くをポリプロピレンが占めた。カートリッジに着目すると、ピッチャー型に比べて蛇口直結型の負荷が約 1.5 倍高くなった。これは、ピッチャー型の本体の約8割を占めるAS樹脂の水使用量が非常に少ないためにこのような結果になったと考察できる。

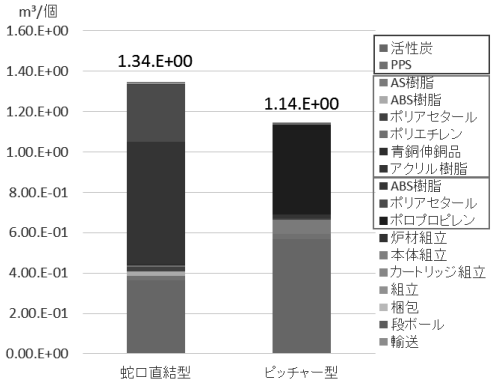


図 2 使用段階を除いた浄水器の水使用量

※凡例の枠は上から濾材、本体、カートリッジを指す。

4.2 LIME2 を活用した人間健康影響評価

蛇口直結型の全体リスクはピッチャー型と比べて 0.91.E-07 DALY 小さくなった。活動量の違いによる差が大きく寄与している。リスクの内訳は双方とも CO_2 排出由来の地球温暖化への影響による損失が主であり、次いで SO2 排出由来の都市域大気汚染による損失となっている。製品構成を樹脂部品が多く占めることにより、全体における樹脂採掘によるリスクの影響度合いは小さく、活性炭などとは資源採掘の点からの違いが生じた。

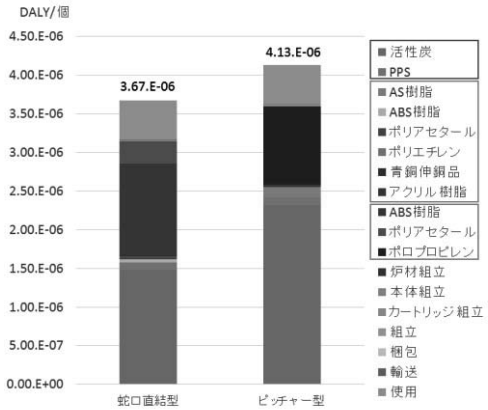


図 3 製品種類別の健康被害量評価結果

4.3 ニマ地域を対象としたシナリオ分析

図 4 に浄水器 1 台 2 年間使用による健康影響軽減効果を示した。導入前で 1.06.E-01 DALY, 導入後で 2.04.E-02 DALY となり、リスクを約 1/5 に減らす効果がみられた。1 人あたりでみると 2.96E-07 DALY であった。

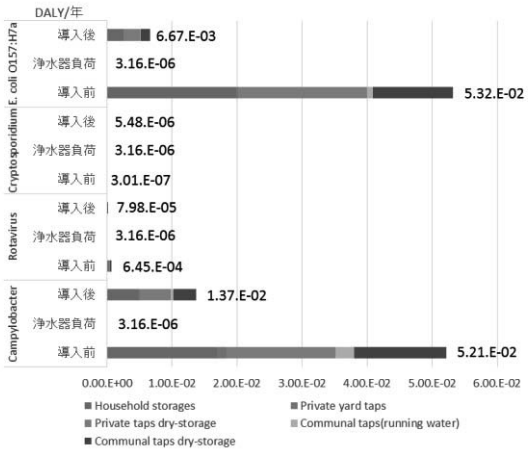


図 4 病原体ごとの健康リスク（浄水器設置前後の比較）

図 4 は蛇口直結型であったため、感染経路は①～⑤を対象とした。ピッチャー型の浄水器を導入した場合、水を汲み入れて使用するため、蛇口がない場合でも利用可能である。そのため、日常的な使用が考えられる①～⑦の感染経路すべてに適用できるためにより高い効果が期待できるといえる。

5. まとめ

本研究では浄水器を対象に環境影響評価を行った上で、ケーススタディとして、ガーナの首都アクラのニマ地域に製品を実装したと仮定し、その健康リスク軽減効果を計った。浄水器導入による感染症削減効果は大きく、健康影響を約 1/5 に減らすことが可能であることが分かった。当該評価を通じて、BOP ビジネスの社会貢献について定量的に分析することの可能性を見出すことができた。

6. 参考文献

1) Prüss-Üstü A ら：SAFER WATER, BETTER HEALTH
2) 眞子ら：バングラデシュ農村部における経済的に妥当な代替水の選択に関する研究
3) 小野ら：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
4) 伊坪ら：LIME2
5) E. Machdar ら：Application of Quantitative Microbial Risk Assessment to analyze the public health risk from poor drinking water quality in a low income area in Accra, Ghana
6) WHO：Guidelines for Drinking Water Quality, 3rd edition
7) Haas ら：Development of a dose-response relationship for Escherichia coli O157:H7
8) Mark ら：Water Treatment and Pathogen Control

厚木飛行場付近の航空機騒音による健康影響評価

The health impact assessment by aircraft noise of Atsugi Air Port

○名倉亮太、伊坪徳宏
Ryota Nagura, Norihiro Itsubo
東京都市大学
*g1131151@tcu.ac.jp

1.　はじめに

都市化や経済成長による交通機関の発達に伴い、交通を原因とする騒音被害が問題視されるようになっている。日本の大都市における環境基準の達成率は向上しているが、まだ充分とは言えない。

疫学研究によれば、騒音は高血圧や心疾患などとの関連性が認められている。WHO 欧州事務局は 2011 年に「環境騒音による疾病負荷」という文書を報告しており、騒音による健康影響を DALY で表した。西欧州では年間約 160 万年と推定した。これは他の疾病と比較しても大きい値であり、騒音が重大な問題であることがわかる。

日本の飛行場の中でも神奈川県にある厚木飛行場では、2014 年の 5 月に国内で初めて自衛隊機の夜間飛行差し止めの判決が下された。人口密度の高い神奈川県において騒音規制が行われたことは多くの健康影響の低減につながるものと期待されるが、この削減効果に関する予測についてはこれまで実施されたケースは少ない。本研究では国内で初めて夜間飛行の差し止めがなされた厚木飛行場付近の航空機騒音による健康影響評価を行った。また、夜間飛行差し止めの前後での健康影響を比較することで、夜間飛行差し止めの効果を検証する。

2.　方法

2.1 評価対象

評価対象地域は、神奈川県の厚木飛行場付近とする。騒音測定地点は南関東防衛局が設定した、周辺の公共施設 23 地点である。測定地点と各地点の騒音レベル(2013 年度平均)を表 1 に示す。

表 1 厚木飛行場周辺の騒音測定局設置地点

測定地点	L_{den}	測定地点	L_{den}
飛行場北側	78.5	立野台小学校	57.2
飛行場南側	78.3	JAさがみ綾西支店	57.7
綾南小学校	68	町田市健康福祉会館	64.9
天台小学校	59.8	藤沢総合高校	65.2
引地台中学校	63.4	金井中学校	54.9
座間防衛事務所	64.5	鶴川中学校	52.2
上鶴間小学校	63.9	大沼小学校	55.5
西鶴間小学校	70.1	国分コミュニティーセンター	50.8
相模野小学校	57.7	御所見中学校	54.8
文ヶ岡小学校	64	湘南台小学校	57.5
綾瀬市福祉会館	59.3	小和田小学校	54.3
大庭中学校	65.4	平均	61.6

2.2 比較対象

本研究では厚木飛行場と同じく軍用機を扱う嘉手納・普天間飛行場と、一般旅客機を扱う成田空港を比較対象として設定した。表 2 に各飛行場の詳細を記載する。騒音レベルの平均値および影響人口は平成25年度のものである。特筆するべき点として、厚木飛行場の影響人口が他の飛行場の約 6 倍とかなり大きくなっていることと、成田、嘉手納・普天間の影響人口がほぼ等しくなっている。

表 2 各飛行場の詳細データ

	厚木	成田	嘉手納・普天間
騒音レベル（平均値/Lden）	62	52	57
形態	軍用飛行場	国際飛行場	軍用飛行場
影響人口	約240万人	約40万人	約40万人

2.3 算定方法

本研究では南関東防衛局の実測値と WHO 欧州事務局の算定式を用いて健康影響を評価する。また評価項目は WHO 欧州事務局が評価したもののうち、影響が大きい「アノイアンス」と「睡眠妨害」、また「子どもの認知障害」を対象とする。欧州 WHO 事務局の算定式を以下に示す。

式 1）D=EF*P*DF

D:騒音による健康影響
EF:影響分析
P:曝露人口
DF:被害分析

① 影響分析

アノイアンスの影響分析(%HA)と睡眠妨害の影響分析(%HSD)は以下の式から求められる。

式 2)

$$\%HA = -1.395 \cdot 10^{-4}(Ldn-42)^3 + 4.081 \cdot 10^{-2}(Ldn-42)^2 + 0.342(Ldn-42)$$

式 3)

$$\%HSD = 18.147 - 0.956(L_{night}) + 0.01482(L_{night})^2$$

こどもの認知障害の影響分析は騒音レベルごとに設定されており、55Ldn 未満は 0%、55～65Ldn は 20%、65～75Ldn は 50%、75Ldn 以上は 75%とする。実測値は平成 25 年度のものを使用している。

② 曝露人口

曝露人口は厚木飛行場の影響範囲である神奈川県の各市と東京都町田市を含む地域の総人口約 240 万人とした。算定の際には測定値から騒音レベル別の被曝人口分布を作成し、騒音レベルごとの DALY 値の総和を飛行場の健康影響とした。

③ 被害分析

WHO 欧州事務局が設定している 1 件あたりの損失余命を用いる。アノイアンスは 0.02(DALY/case)、睡眠妨害は 0.045(DALY/case)、子どもの認知障害は 0.006(DALY/case)である。

3. 結果

3.1 飛行場間の健康被害比較

図1に厚木飛行場航空機騒音の健康影響評価結果を示した。全体で年間約 22000 年の損失余命が発生しているものと考えられた。これは一人当たりで、3.3 日に相当する。

成田や普天間・嘉手納の健康影響と比較すると、厚木のほうがおよそ 12 倍程度大きかった。厚木飛行場周辺の人口密度が他の地域よりも高いことが要因として挙げられる。また、成田が厚木よりも相対的に被害量が小さいのは、一般旅客機が離発着する成田のほうが軍用機を主とする厚木よりも騒音レベルが相対的に小さいことも影響している。

評価項目間で比較してみると、厚木は睡眠妨害が最も大きくなったのに対し、成田、嘉手納・普天間はアノイアンスが最も大きくなった。これは成田空港が夜間の飛行をすでに規制していることや、嘉手納・普天間飛行場は米軍のみが使用しているため、厚木飛行場よりも夜間訓練が活発でないことが要因と考えられる。

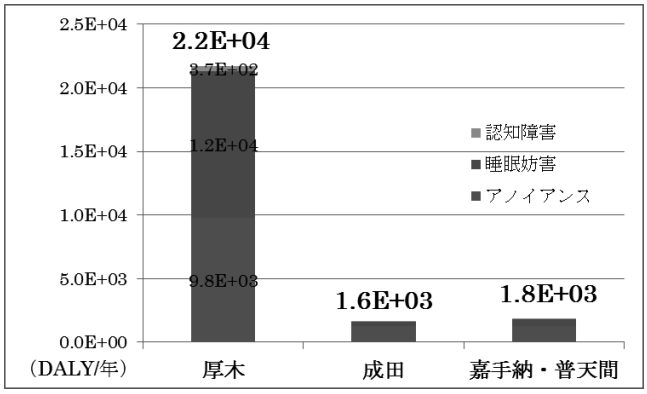


図1 空港騒音による健康影響評価結果

3.2 夜間飛行差し止め前後の比較

厚木基地の夜間飛行差し止めが行われることで騒音レベルと健康影響も大きく低減するものと期待される。夜間飛行規制前後の騒音レベルをDALY値に換算した結果を図2に示した。約5割に相当する11000DALY の削減効果が見込まれた。この値はその他の疾病（100 万人あたり）の値と比べてみてもかなり大きい数値であり、夜間飛行規制の効果は大きいということがわかった。

評価項目間で比較してみると、睡眠妨害の低減効果が約 5800 年で最も大きくなった。ただし、今回算定に用いたL_{night}の値は実測値L_{den}から推定したものであるため、低減効果が過小評価になってしまっている可能性がある。

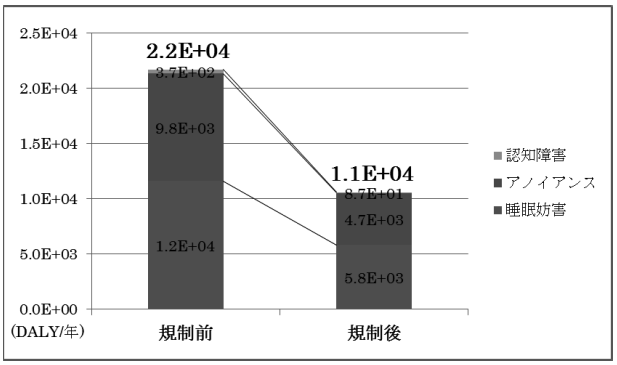


図 2 厚木飛行場における夜間飛行差し止め前後の健康被害の評価結果比較

4. まとめ

本研究では、厚木飛行場付近の航空機騒音による健康影響を算出した。航空機騒音による健康被害は曝露人口と騒音レベルが大きく関わっている。いずれのパラメータも大きい厚木飛行場の潜在的な健康影響は約 22000 年と推定された。夜間飛行差し止めによる健康影響を推定したところ、約5割の低減が見込まれた。

評価項目の網羅性と評価地点の詳細度を向上させることが今後の課題として挙げられる。

5. 参考文献

1)WHO EU:Burden of disease from environmental noise-Quantification of health life years Lost in Europpe- (2011)

2)村上太一:普天間飛行場付近の航空機騒音による健康影響評価(2013)

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(2010)

4)丸茂雄一:基地騒音訴訟を巡る判例の動向(2009)

5) WHO : Global Health Risks -Mortality and burden of disease attributable to selected major risks, (2009)

住居環境における環境影響及び健康被害に関するシナリオ分析

A scenario analysis on environmental impact and resident's health based on the home environment

○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

現在日本では、地球温暖化や東日本大震災を背景に様々な省エネルギー運動を推進している。省エネルギーとは、エネルギーを節約することであり、具体的には、室内の断熱化を測ることや、クールビズのようにエアコンの使用を控えたりすることである。しかし、家庭では省エネルギーを推進することによって、熱中症やシックハウスなど健康被害のリスクがある。高齢者には、「冷房が体に障る」「電気代がもったいない」という潜在意識が存在する。従って、健康性の評価を取り入れて経済的な影響を検討し、省エネルギー効果と合わせた判断基準を提示することが必要である。そこで、本研究では、家庭の省エネルギー対策を健康面、経済面及び環境面で検討する。特に、室内環境における疾患などの人体の健康への影響について、健康被害に関する金銭的な価値を算出する。最終的に意識の改善を目標とする。

2. 本研究の流れ

主な流れとしては、対策費用の算定、健康被害リスクの算定及び環境影響評価の 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、空調にかかる費用から算出し、室内空気質汚染による健康被害を想定する。建材や生活用品などから放散する化学物質による室内空気質汚染の対策として、換気と空気清浄機の設置が挙げられる。そこで本研究では、換気を行うことによる空調負荷の増加を冷房費として考慮することとした。なお、環境影響評価についても、ある家庭の実測データを基に行った。次に、健康被害リスクに関しては、主に LIME2 の用量反応係数を用い、健康被害リスク算定は、DALY(障害調整生存年数)による健康被害量及び医療費による健康被害量の 2 通りで算出した。ここでは、省エネ行動を行う居住者が実際に支払う可能性がある経済価値換算のために、医療費を健康被害リスクの金額(疾病患うことで失われる金額)とし、最終的には、経済価値指標上において、この 2 つを比較することで、支払い額の見積もりを行うと共に、疾病対策費用の可視化を行った。

2.1 計測について

本研究では、電力消費量を計測する機器は中国計器工業株式会社省エネナビ CK-5 を用いる。これは 1 時間ごとに消費電力量と気温と受信回数を計測する。データの集計期間は 2014 年 7 月 1 日から 10 月 31 日を対象とした。対象とするモデル家庭は、冷房を適切に使用している一般家庭を選定した。

室内空気質汚染の具体的な原因物質は、建材や家具、生活用品から発生する揮発性有機化合物トルエンやホルムアルデヒドである[1)]。そこで、本研究では、室内空気質汚染を定量化するために、ホルムアルデヒド及びトルエンの測定を行った。ここでは、自動ガス採取装置 GSP-300FT-2 を用いて検知管式測定法で行った。また、検知管はホルムアルデヒド用 91PL、トルエン用 122P を用いた。これから室内濃度変化を対象とするモデルの室内及び室外の 2 箇所から求め、また、室内空気質汚染の対策の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)測定を行った。

3. 健康影響評価について

3.1 DALY による算出方法

対象とする疾病はシックハウス症候群(SHS)、鼻咽がん及び中毒症状とする。DALY による算出方法では、LIME2 の各係数を用いて DALY を算出し、その後特性化係数を掛け合わせることによって健康被害リスクを円換算する(表 1 参照)[2)]。なお、DALY は、健康被害を受けることによって、将来被る障害を表し、特性化係数は支払意思金額で表されている[3)]。係数からわかる通り、対象物質の濃度から症状の程度(QEESI 値)を算出、その後、症状の程度から DALY を算出する。なお、この用量反応係数内では、発症率 % を「全人口当たりの SHS 患者数」として係数に掛け合わせている。本研究では、対象物質の濃度との関係を考慮するため、既往研究より発症率を濃度当たりの発症確率 0.364 % / μg/m^3 とした[4)]。

表 1　使用した原単位及び係数(LIME2 参照)[2)]

係数	ホルムアルデヒド	トルエン
粘膜症状[QEESI/ppm]	0.378	0.300
精神症状[QEESI/ppm]	0.406	0.327
粘膜症状[DALY/QEESI]	0.017	0.018
精神症状[DALY/QEESI]	0.038	0.040

表２　使用した係数(LIME2 参照)[2)]

係数	鼻咽ガン	中毒症状
用量反応関係 DR [case/人/年/(mg/m^3)]	0.00173	0.004
疾病の程度 DALYDs [DALY/case]	4.90	0.16

3.2　医療費による算出方法

医療費による健康被害リスクの算出では、LIME2 の 1 疾患当たりの平均持続期間(年/1case)に注目して算出する[2)]。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)を表すことができる。この場合の、医療費の点数計算方法に出来高払い方式を採用し、程度ごとに疾患を発症した際に、発症する以前まで回復するための医療費を算定した。また、基本的に医療費負担は 3 割とし、医療費 1 点当たり 10 円とした。なお、この計算方法に関して、表 3 を用いた(参照国立盛岡病院管理課)。また、がんの医療費については、1case 当たり 115 万円の費用がかかるものとした[5)]。

表３　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

4.　結果

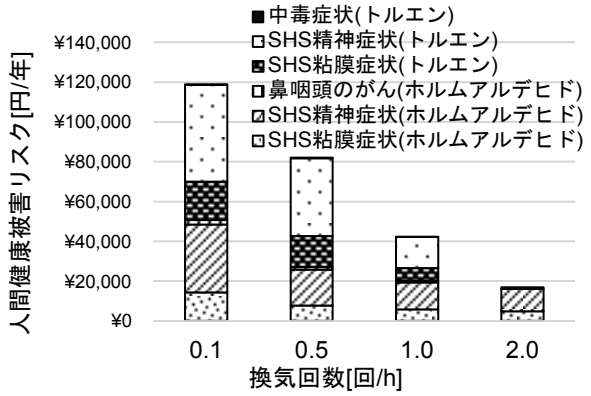


図１　DALY による健康被害リスク

換気回数が 0.1 回/h の場合、DALY による健康被害リスクは約 12 万円となり、2.0 回/h の場合、約 1.7 万円となる(図 1 参照)。これは、対象者が障害を被るためにどれだけ支払う意思があるのかを示している。次に、実際に医療費として居住者が払うことになる金額示す。

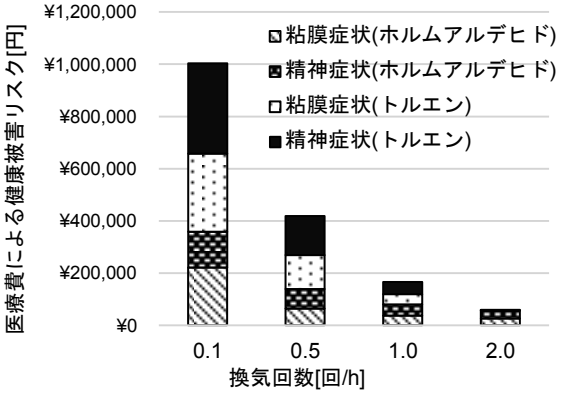


図２　医療費による健康被害リスク

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 100 万円となり、DALY 値換算の場合と比べて非常に大きな値をとる(図 2 参照)。従って、省エネを実際に行う対象者にとっては、窓を閉め切った状態で長時間いることは無視できないリスク金額であると言えよう。また、換気回数を 2.0 回/h と増やすことでリスクを大幅にさげることができるが、約 6 万円のリスク金額があることが想定される。医療費換算による鼻咽がんの健康被害リスクは換気回数が 0.1 回/h の場合 37.6 円 、0.5 回/h の場合 19.9 円、1.0 回/h の場合 15.4 円 、2.0 回/h の場合 12.6 円 となった。なお、シックハウス症候群の場合と比べて影響が小さくなったのは、鼻咽がんの発症確率が低かったためである。

5.　おわりに

今回考慮した健康被害は、鼻咽がん、シックハウス症候群であった。しかし、室内には、その他にヒートショック、熱中症、熱ストレスによる睡眠障害などが存在する。今後はこれらも考慮することが必要である。また、対象の汚染物質濃度の不確実性を考慮することとしたい。

参考文献

1) 横浜市健康福祉局生活衛生課：“横浜市建築物シックハウス対策ガイドライン”, (2008)
2) 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”,社団法人産業環境管理協会 , 丸善株式会社,(2010)
3) 池田俊也,田端航也, “わが国における障害調整生存年(DALY)”, (1998) 83–99
4) 平成 21 年度厚生労働科学研究費補助金分担研究報告書, “シックハウスにおける継続観察と症状改善手法に関する実証的研究”, (2009), p67-79
5) 日本医療政策機構市民医療協議会がん政策情報センター：“患者が求めるがん対策 vol2-がん患者意識調査”入手先<http://ganseisaku.net/pdf/inquest/20110509.pdf>（参照 2014-1-7）

南海トラフ大地震を想定した災害廃棄物処理計画

The disaster waste management plan for a Nankai trough earthquake

○梁田雄太*[1)]、加用千裕[2)]、立尾浩一[3)]、山田正人[4)]、橋本征二[1)]
Yuta Yanada, Chihiro Kayo, Koichi Tachio, Masato Yamada, 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、4) 国立環境研究所
* rv0023ep@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

甚大な被害をもたらした東日本大震災においては、大量の災害廃棄物・津波堆積物が発生したが、その量は通常考えうる量を大きく超過し、計3,100万トンに達した。このような中、環境省は、南海トラフ大地震が起きた場合の災害廃棄物・津波堆積物が、最大で約3億5,000万トンに及ぶとの推計を明らかにした[1)]。この結果は東日本大震災の約11倍に相当し、廃棄物が発生する自治体のみでは到底処理できる量ではないことが明らかとなった。環境省の調査では、全国規模で処理を行った場合の処理年数も明らかにしているが、地域レベルの処理年数や処理年数を削減するための具体的方針は明らかになっていない。廃棄物の堆積の長期化は復旧復興の妨げになることから、早期の復旧復興に向けて災害廃棄物の迅速な処理計画が必須である。これについては、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として、広域処理による費用と処理期間の低減効果を検討しているほか、平山ら[3)]が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。最新の情報を踏まえ、南海トラフ大地震についても同様の検討が必要である。

このようなことから、本研究では、南海トラフ大地震において上記の災害廃棄物・津波堆積物が発生した際に、どのように迅速な処理が可能かについて検討することを目的とする。具体的には、既存の廃棄物処理施設を最大限活用した上で、処理体制の違いによる災害廃棄物処理期間の低減効果を明らかにする。このため、以下の2つを検討する。

- 仮設の破砕・焼却施設を導入すると処理年数がどれだけ短縮できるか。
- 広域処理を導入すると処理年数がどれだけ短縮できるか。

2. 方法

2.1 検討したシナリオ

既存の廃棄物処理施設を最大限に活用したうえで、仮設の破砕・焼却施設の導入量に関わるシナリオ、広域処理に関わるシナリオ（A：県内処理、B：ブロック内広域処理、C：全国広域処理）でどれだけ処理年数が短縮できるかを検討した。なお、ブロック内とは、関東、中部、近畿、四国、中国、九州の各ブロック内とする。

2.2 災害廃棄物の種類別・地域別発生量の推計

南海トラフ大地震による災害廃棄物発生量は、環境省による推計値の中でも最大となる「ケース：4-B（九州地方、火災最大（冬夕、風速 8m/ｓ））」の約3億2,327万トン（津波堆積物を除く）の値を用いるが、災害廃棄物の種類ごと地域ごとの排出量を考慮する必要がある。このため、東日本大震災に関わる過去2年（平成24年度、平成23年度）の災害廃棄物排出量の種類ごとの割合[4)]を用いて、南海トラフ大地震の総発生量を種類ごとの発生量に按分し、災害廃棄物の種類別発生量をできる限り詳細に推計した。また、中央防災会議が推計した都道府県別の災害廃棄物発生量の割合[5)]を用いて、環境省が推計した災害廃棄物発生量を案分し、都道府県別の発生量を推計した。

2.3 廃棄物処理施設データの整備

各都道府県の一般廃棄物処理施設並びに産業廃棄物処理施設の処理対象廃棄物および処理能力のデータを、環境省が公表している「一般廃棄物処理事業実態調査」並びに各自治体が公表している産業廃棄物処理施設情報をもとに整備した。本研究では、加用ら[2)]が作成したデータベースを拡張する形で行った。さらに、各処理施設の年間稼働日数と処理可能量を設定した。

2.4 処理フローの設定と各施設への搬出割合の推計

2.2で推計した各災害廃棄物量の重量、災害廃棄物対策指針の廃棄物の種類別処理方法[6)]と東日本大震災で特に被害があった岩手県、宮城県、福島県の過去2年（平成24年度、平成23年度）の災害廃棄物処理状況のデータ[4)]を用いて、災害廃棄物の種類別の処理方法、各廃棄物の各処理施設への搬入割合を整理した。

2.5 線形計画法による最適化モデルの構築

南海トラフ大地震により全国で発生する災害廃棄物を対象とし、全国に立地する一般廃棄物および産業廃棄物処理処分施設、ならびに再生利用先への最適配分を、総費用（輸送費・処理費）の最小化を目的として線形計画法で求めた[2)]。

＜目的関数：総費用最小化＞

$$c_{1,1}\cdot x_{1,1}+c_{1,2}\cdot x_{1,2}+\cdots+c_{i,j}\cdot x_{i,j}\rightarrow \min$$

＜制約条件①：仮置場条件＞

$$x_{1,1}+x_{1,2}+\cdots+x_{1,j}=w_1$$

$$x_{2,1}+x_{2,2}+\cdots+x_{2,j}=w_2$$

：　　：

$x_{i,1}+x_{i,2}+\cdots+x_{i,j} = w_i$

＜制約条件②：施設条件＞

$x_{1,1}+x_{2,1}+\cdots+x_{i,1} \leqq p_1$

$x_{1,2}+x_{2,2}+\cdots+x_{i,2} \leqq p_2$

：　　：

$x_{1,j}+x_{2,j}+\cdots+x_{i,j} = \leqq p_j$

＜制約条件③：非負条件＞

$x_{1,1}$、$x_{1,2}$、…、$x_{i,j} \geqq 0$

ここで、i：災害廃棄物の発生都道府県、j：災害廃棄物の処理・再生・処分都道府県、$x_{i,j}$：都道府県 i から都道府県 j へ輸送される廃棄物量（t）、$c_{i,j}$：都道府県 i から都道府県 j へ輸送される廃棄物の輸送・処理単価（円/t）、w_i：都道府県 i にある廃棄物量（t）、p_j：都道府県 j の受入可能量（t）とする。

なお、期間については、1 年間の処理の最適化から解析を開始し、発生都道府県の総廃棄物量（t）が受入都道府県の総受入可能量（t/年）を超過した場合、2 年目の処理を解析し、以後同様に期間を延長して解析を行うこととした[2)]。また、破砕処理は自県内で行い、その他の処理を広域処理で行うこととした。

2.6 シナリオごとの処理年数の算出

仮設の破砕・焼却施設の導入量に関わるシナリオ、広域処理に関わるシナリオごとに、2.5 の計算により全ての廃棄物処理が終了するまでの年数を算出した。

3. 結果と考察

3.1 災害廃棄物の種類別発生量の推計

東日本大震災に関わる過去 2 年のデータ[4)]によれば、発生した災害廃棄物のうち、最も多くを占めるのはコンクリートがらの 53%であり、このほか、土石、木くず、混合ごみ、可燃ごみなどが大きな割合を占めた。

このうち、コンクリートがらや土石は広域処理に馴染まないため、本研究では、木くず、混合ごみ、可燃ごみを広域処理の検討対象とした。

3.2 処理フローの設定と各施設への搬出割合の推計

可燃ごみ、混合ごみ、および木くずに焦点を当て、東日本大震災に関わる過去 2 年のデータ[4)]に基づき処理フロー（図 1）及び各処理施設への配分内訳を設定した。計算は下記の順に行っていく。

①可燃ごみ：焼却施設へ輸送

②混合ごみ（5%）：ごみ燃料化施設、焼却施設の順に優先的に輸送

③混合ごみ（90%）：焼却施設へ輸送

④混合ごみ（5%）：管理型最終処分場へ輸送

⑤木くず（75%）：製紙工場、木質ボード工場、肥料・敷料工場、発電所・燃料利用施設、焼却施設の順に優先的に輸送

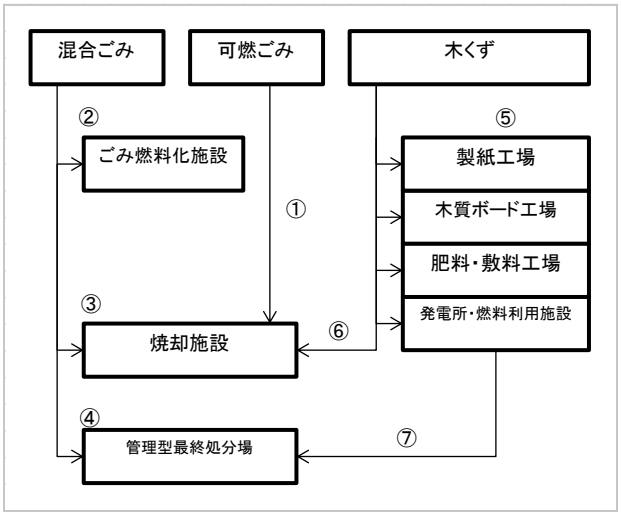


図 1 各災害廃棄物処理フロー

⑥木くず（25%）：焼却施設へ輸送

⑦焼却残渣（焼却量の 20%）：管理型最終処分場へ輸送

4. おわりに

シナリオごとの災害廃棄物の処理完了期間を試算した結果、また、仮設処理施設をどれほど導入すべきかについて検討を行った結果については、学会当日に報告する。

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、2014、http://www.env.go.jp/recycle/waste/disaster/earthquake/conf01.html、2015 年 1 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）―費用と処理期間の低減効果―、生活と環境、57(1)、36-42、2012

3) 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

4) 環境省：日本の廃棄物処理、2013／2014、http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/、2014 年 7 月アクセス

5) 中央防災会議：南海トラフ巨大地震の被害想定について（第二次報告）、2013

6) 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、2014 年 10 月アクセス

南海トラフ巨大地震による住宅地被害額の推計

—静岡県西部地域におけるケース—

Estimation of the amount of the residential damage by great earthquakes along the Nankai trough —Case of western region of Shizuoka prefecture—

前田真佐樹 [1)]、○佐尾博志*[1)]、牧歩嵩 [1)]、大西暁生 [1)]
Masaki Maeda, Hiroshi Sao, Hodaka Maki, Akio Onishi
1)東京都市大学
* hsao@tcu.ac.jp

1. はじめに

2011 年 3 月に発生した東日本大震災をはじめ、わが国では地震や、津波等の被害が多発している。近年では南海トラフ巨大地震の発生が懸念されており、地震調査研究推進本部(2014)[1)]によると、2014 年 1 月 1 日時点で 40 年以内に発生する地震の確率が 80%～90%と公表している。内閣府[2)]は平成 26 年 3 月に公表した、南海トラフ地震防災対策推進基本計画のもと、一般住宅への対策として建物の耐震強化や、堤防のかさ上げ等を目標としている。津波発生時において、浸水想定区域内にある住宅は極めて危険であり、かつ、高齢者が多い地域は逃げ遅れまたは逃げることが難しく、被害を受ける可能性が考えられる。

本研究では大きな被害が予想されている静岡県の静岡市から西にある地域(以降、静岡県西部地域と称す)を対象に、人口と世帯の数並びに一般住宅の建物の建設から使用、廃棄までの一連(以後、住宅ライフサイクルと称す)の推計を第三次メッシュごとに行う。その際に、一般住宅が建て替え時期に達した場合、建替え前と同じ地域に同じ一般住宅を建替えることとして、BAU(Business as Usual)シナリオを設定した。最後に、任意の時点において、浸水想定区域に存在する住宅を割出し、住宅地被害額を推計する。なお、本研究における BAU シナリオとは、人口減少を考慮したライフサイクルの推計であることに注意されたい。また、ここでは津波による被害を推計しており、地震による住宅の被害額は推計していない。

2. 推計の方法

2.1 人口推計・世帯数推計

2010 年から 2050 年までの人口推計を行うにあたり、長谷川ら(2012)[3)]を参考に、コーホート要因法を用いた。合計特殊出生率 [4)]、男女出生比 [5)]、死亡率 [6,7)]と 2005 年[8)]及び 2010 年の国勢調査[9)]の人口から算出した純移動率をもとに男女別かつ 5 歳階級別で 5 年ごとに推計した。世帯数は上記の方法で算出した各年の人口に、男女別かつ 5 歳階級別の世帯主率を乗じて推計した。

静岡県西部地域における人口の推計結果を図 1 に示す。静岡県西部地域において、2010 年からすでに人口は減少傾向にあることがわかる。また、2050 年には 2010 年の人口から約 29%減少するという結果となった。静岡県西部地域の多くの地域では少子高齢化が見られ、出生数が減少するのとともに、いくつかの地域では転出者が多いため、人口が減少している地域が多く見られた。一方で、静岡市や浜松市の一部の地域では人口が増加する地域も存在した。世帯数も同様に全体的に減少傾向にあることがわかった。

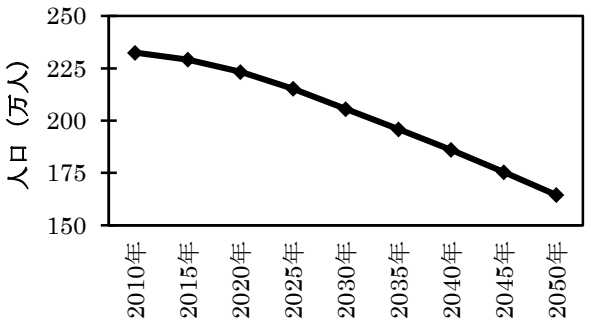


図 1　静岡県西部地域における人口の推計結果

2.2 住宅の需要量推計

ここでは、各メッシュにおける世帯数より、必要となる延床面積(以後、住宅の需要量と称す)を住宅のタイプごとに算定する。住宅のタイプは建て方別では戸建て住宅・集合住宅、構造別では木造・非木造とし、計 4 つのタイプに分類する。建て方別では 2 階以下を戸建て住宅、3 階以上を集合住宅とし、1 世帯当たりの延床面積の推計を行った。構造別では、住宅・土地統計調査(2008)[12)]から市町別に割合を求めた。なお、1 世帯当たりの延床面積の推計には、住宅土地統計調査(2008)[12)] と ESRI ジャパン(2012)[13)] から建て方別の延べ床面積の割合を算出し、各メッシュの延床面積及び

世帯数から推計した。

2.3 住宅ライフサイクル推計

ここでは、住宅の投入量(以後、住宅の供給量と称す)の推計を行うにあたり、対象年から 5 年前の延べ床面積(以後、残存量と称す)から、長岡ら(2009)[14]の推計式及び廃棄率を参考にし、対象年の廃棄量を算定する。なお、使用した廃棄率は、5 年ごとの築年数と住宅のタイプ別によって数値が異なっている。ここで、前年の残存量から廃棄量を差し引いたものが対象年の残存量としており、その値が住宅の需要量に満たない場合、その年に需要量の不足分ほど住宅の供給を行う。

2.4 住宅地被害額の推計

津波の浸水による住宅地被害額は、治水経済調査マニュアル(2005)[16]の「直接被害の対象資産」で定められている式を用い、津波の浸水想定区域にある住宅において推計した。津波の浸水想定区域については内閣府(2012)[15]の南海トラフの巨大地震モデル検討会が提供している、陸域における津波浸水深データの「駿河湾～紀伊半島沖」の公表浸水深を使用した。ここで、静岡県西部地域の一部のメッシュ内において、浸水域と非浸水域が混在するメッシュがある。しかし、本モデルではメッシュ内の浸水域の住宅の延べ床面積を特定することが出来ないため、メッシュ内で少しでも浸水している地域は全て浸水域とし、被害額の算定時に過大値にならないように、家屋被害額と家庭用品被害額の値にそれぞれ浸水率を乗じて算出した。なお、浸水率は、実際の浸水面積から対象となるメッシュの面積を除すことで推計した。

静岡県西部地域における住宅地被害額の推計結果を図 2 に示す。2010 年に発生した場合、静岡県西部全体では住宅地被害額が最も大きく、2050 年にかけて被害額も減少した。これについては、少子高齢化による人口減少が原因ではないかと思われる。また、津波被害を受ける地域は、掛川市、湖西市、御前崎市、静岡市、磐田市、浜松市、牧之原市の沿岸部であり、浸水域に住宅のある世帯数は 2010 年でおよそ 11,300 世帯、2050 年にはおよそ 7,100 世帯となることがわかった。静岡県西部地域の市町別の住宅地被害額の推計結果を図 3 に示す。2050 年に津波が発生した場合、最も被害額が高い浜松市では約 972 億円、浸水被害のある地域の中で最も被害額が低い磐田市で約 3 億円となった。なお、静岡市では被害額が 2010 年と比べ 2050 年の方がやや高くなることがわかった。この地域での世帯数は 2035 年頃にピークを迎え、その後減少している結果となっているが、2050 年時点では 2010 年の世帯数よりも多いため、このような結果となった。

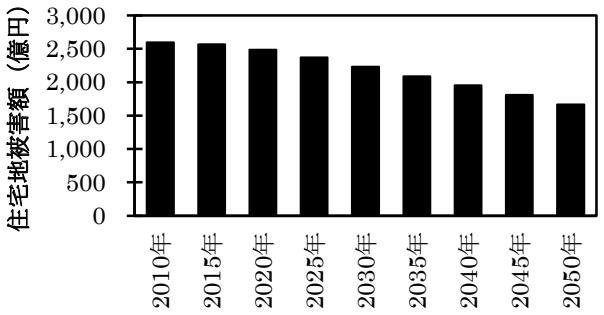


図 2 静岡県西部地域における住宅地被害額の推計結果

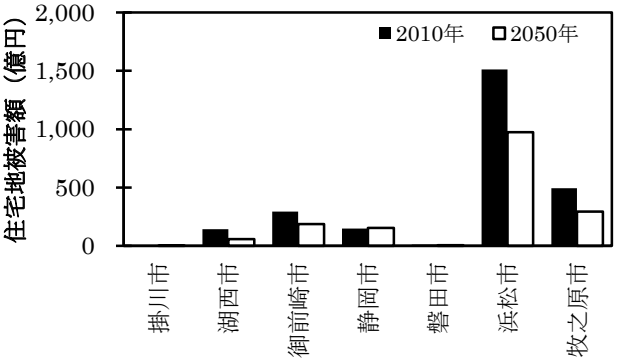


図 3 静岡県西部地域における 2010 年と 2050 年の市町別住宅地被害額の推計結果

3. おわりに

本研究では静岡県西部地域を対象に、BAU シナリオのもと、人口と世帯の数並びに、住宅ライフサイクル、住宅地被害額の推計を第三次メッシュごとに行った。さらに、任意の時点において、浸水想定区域に存在する住宅を割出し、住宅地被害額を推計した。推計の結果より、浸水想定区域内にある住宅被害を軽減する対策を検討する必要があることが示された。本研究では一般住宅の建物の被害を推計してきた。我が国では少子高齢化問題に直面しており、高齢者の安全に関しても対策の一部として行っていくことが必要となる。こうした面も踏まえ、本研究から新たなモデルを構築し、住宅地被害額を抑える対策を検討していく必要がある。

謝辞

本研究は、環境省の環境研究総合推進費（3K143015, 代表田畑智博）と科学研究費補助金（26340104, 代表：大西暁生）の支援により実施された。ここに記して、深謝する。また、本研究では南海トラフの巨大地震モデル検討会において検討された震度分布・浸水域等に係るデータを利用している。

引用文献

引用または参考したものに関しては以降の SI に記す。

災害時に発生する廃棄物の発生・処理に関する研究

Study on Generation and Processing of Waste after a Natural Disaster

○佐伯孝*[1)]、佐野　隼翼[1)]、蔡　佩宜[2)]、田畑　智博[2)]
Takashi Saeki, Shunsuke Sano, Peii Tsai, Tomohiro Tabata
1) 富山県立大学, 2) 神戸大学
* 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、本年 8 月に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。しかし被災自治体は、災害時には、避難所の設置・運営や行方不明者や被災規模等の情報整理など様々な業務に追われることになる。東日本大震災では、災害廃棄物の発生量の推計値が処理が進むにつれて変化し、発災直後ではかなり過大に推計されていた地域もあった。東日本大震災での宮城県の推計量の推移を図 1 に示す。平成 23 年 3 月に求めた推計量と平成 24 年 7 月、25 年 4 月に求めた実行計画では約 2 倍の差が生じた。

災害廃棄物の発生量の推計値は仮置場の設置に必要であり、発生量の推計値が変化すると仮置場の設置に混乱を生じさせ、災害廃棄物処理の妨げになる。仮置場の設置には、発生量だけでなく被災地から持ち込まれるタイミング、処理施設へ搬出されるタイミング等を含めた仮置場の必要面積を算出する必要がある。さらに、災害廃棄物をリサイクルする場合、リサイクル材の置場の確保も必要となる。

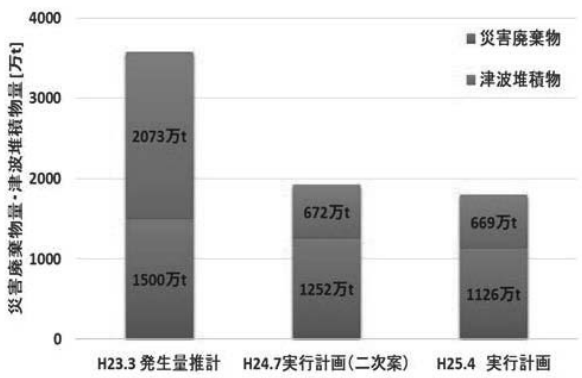


図 1　宮城県における推計量の推移

南海トラフ巨大地震では東日本大震災の数 10 倍、首都直下巨大地震では 5 倍程度の災害廃棄物が発生することが予想されており、災害廃棄物の推計値の精度向上が求められている。各自治体では、災害廃棄物処理計画を作成しており、処理計画の中で、仮置場の設置や広域処理の構築のために災害廃棄物の発生量と時間的データが必要となっている。

本研究では、過去の災害における災害廃棄物の量的、時間的データや仮置場や各種処理施設への搬入、搬出時期、仮置場の設置面積等の情報を収集し解析することで、災害時に発生する廃棄物について被災規模と発生量や仮置場や処理施設への持ち込み時期との関係性を明らかにすることを目的とした。

2. 研究方法

地震や土砂災害等を経験した自治体や気象庁、様々な研究所が公表している報告書等から市町村毎の被害規模、建物被害、人的被害、被害額、災害廃棄物発生量について整理した。

東日本大震災で被災した自治体に対して、個別に仮置場の設置状況、仮置場の面積、各災害廃棄物の発生量、各廃棄物の処理施設、各処理施設への搬入量の日々データ、災害廃棄物処理経費等を調査した。

3. 研究結果

3.1 災害廃棄物の持ち込み量の変化

各種報告書や自治体へのアンケート調査により把握した東日本大震災における住家被害と災害廃棄物量、家電廃棄量について、一部の市のものを表 1 に示す。各自治体において災害廃棄物の品目が異なっていることが分かる。

東日本大震災の発災後に各災害廃棄物が処理施設に運び込まれた日別データの提供をいただいた A 市、B 市、C 市について発災後からの災害廃棄物持ち込み件数、災害廃棄物の累計量を図 2、3、4 に示す。

A 市（図 2）の災害廃棄物の処理施設への持ち込み量の変化を見てみると、2011 年 3 月 11 日に地震が発生し、12 日には廃棄物の持ち込みが始まっている。処理施設への持ち込みは発災後 1 ヶ月が最も多く、以降は持ち込みが減少していることが分かる。A 市では災

表1 住家被害と災害廃棄物量

	住家被害（棟）					災害廃棄物量（t）							家電廃棄量
	全壊	半壊	一部損壊	床上浸水	床下浸水	合計	可燃物	不燃物	木くず	コンクリート	瓦・タイル	金属くず	
A市	8	132	1,620			40							
B市	7	20	1,689	9	24	718	539	178					1t
C市	10	3,649	5,092			2,821			14	2,351	378		
D市	43	438	265		250	3,243	1,479		371	909	450	24	
E市	17	141	7,137			26,279	441	65		25,766			8t
F市	17	115	4,295			10,974	593			6,279	4,100		1t
G市	8	266	3,718			11,404		156	37	11,195			615台
H市	95	2,726	2,663			38,614	4,328	8,191		26,093			2t
I市	64	263	7,073			33,056	7,908		5,732	16,495		878	
J市	135	480	3,680			23,533			1,970	21,563			

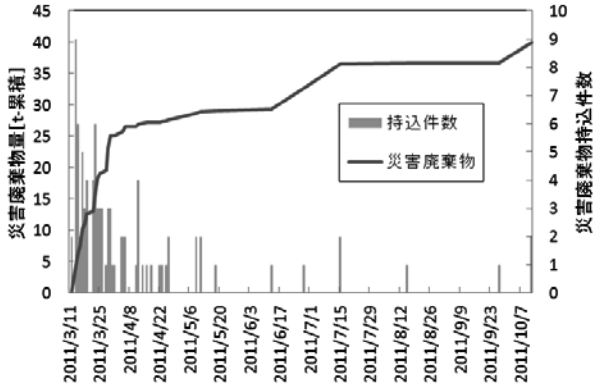


図 2　災害廃棄物の持ち込み量（A 市）

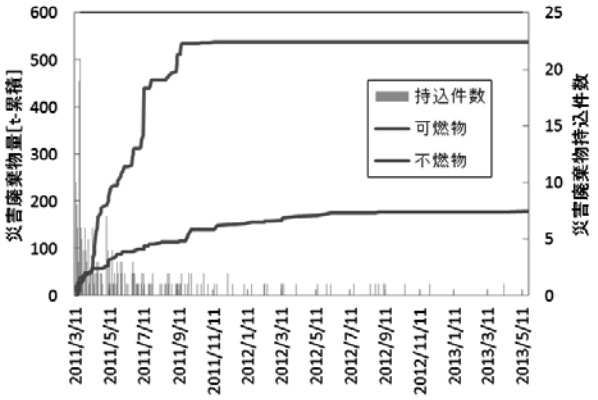


図 3 災害廃棄物の持ち込み量（B 市）

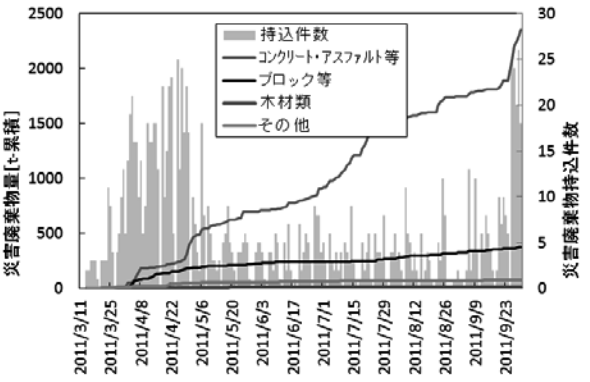


図 4　災害廃棄物の持ち込み量（C 市）

害廃棄物の発生量が 40 トンと少ないことから、住民によるがれき類の片付けが比較的簡単に終わったため、処理施設への持ち込みが 1 ヶ月で収束したものと考えられる。

B 市（図 3）では、発災から 2 日後に持ち込みが始まっている。1 ヶ月経過してから廃棄物が増加している。これらの違いは、仮置場の設置状況や道路等の交通網への震災の影響等が考えられる。さらに、B 市では浸水被害が発生していることも影響の一因と考えられる。

C 市（図 4）では、発災から 3 日後に持ち込みが始まっている。処理施設への持ち込み件数は A 市、B 市では、発災直後 1、2 週間が多くなっているが、C 市では、発災後 1 ヶ月前後が多くなっていることが分かる。廃棄物量もコンクリート・アスファルト類が発災 1 ヶ月後から定期的に持ち込まれていることも分かる。C 市では、震災に伴う液状化により被害が発生しているため、液状化の復旧工事等で発生したコンクリート・アスファルト類が持ち込まれていることが予想される。

4. まとめ

本研究では、災害時に発生した災害廃棄物量の把握と東日本大震災時における処理施設等への災害廃棄物の持ち込み量の変化について調査を行った。その結果、災害廃棄物の発生量により処理施設への持ち込み量や件数が影響を受けることが明らかとなった。様々な要因との関係性について考察した結果を研究発表会にて報告する。

謝辞

本研究の実施にあたって、自治体の方々に多大なご協力を頂いた。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。

固定資本・耐久消費財の適正管理に向けた時系列的物質フロー・ストック分析

Time-series material flow and stock analysis towards sound management of fixed capital and durable goods

○中西翔太郎*[1)]、中谷隼 [1)] 、森口祐一 [1)]
Shotaro Nakanishi, Jun Nakatani, Yuichi Moriguchi
1) 東京大学
* nakanishi@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

我が国の社会資本の多くは、高度成長期に集中的に建造され、今後数十年間で老朽化が急速に進行すると予測されている [1)]。また製造業を中心として、機械などの設備の平均稼働年数が耐用年数をはるかに超過する傾向にあることが指摘されている [2)]。さらに全国的に空き家率の上昇が報告されている [3)]。以上のように、日本では、社会資本の大規模な補修や置き換えが必要であると同時に、旧来の「古いものを壊して新しいものに置き変える」というフロー型社会が成立しなくなってきた状況が見てとれる。急激な環境の変化に今後さらされる固定資本は、その適正管理法の検討が急務である。

物質フロー・ストック分析（material flow and stock analysis: MFSA）は、社会のモノの流れと蓄積を定量的に評価する手法である。我が国の統計は人・モノ・金の流れに関する資料は充実しているが蓄積に関する資料は多くない。そこで固定資本に対する MFSA は極めて有用であるが、これまで MFSA の適用範囲は、金属などの高価値資源に限定的であった。特に建設物を扱った事例は少ない [4)]。

そこで本研究では、日本の物質フロー・ストック管理に資するために、固定資本の網羅的な分析手法の開発とデータベースの構築を目的とした。

2. 方法

2.1 時系列的物質フロー・ストック分析

固定資本の網羅的分析を行うにあたり、産業連関表 [5)]（input-output table: IOT）は、一国一年の全経済活動を記述している点で優れた情報源である。Nakamura, et al.[6)] は IOT を利用した MFA 手法として WIO-MFA を開発した。WIO-MFA が単年のフロー分析の手法であるのに対し、本研究では、固定資本の蓄積を分析するため、複数年の IOT を利用し時間軸を分析に組み入れた。また、固定資本マトリクスを利用することで、各資本の蓄積先も分析に組み込んだ。これらの拡張を含め、本研究で用いた手法を時系列的物質フロー・ストック分析（TS-MFSA）と呼ぶ。

TS-MFSA の概要を以下に示す。まず各年の投入係数行列［$A_{ij}(t)$］に歩留り行列［$\Gamma(t)$］を乗じ、$(I-A)^{-1}$ 型逆行列を、歩留りを考慮したレオンチェフの逆行列［$\tilde{B}_{ij}(t)$］として求める（式 1）。ただしt,i,jは、投入が行われた時点、中間財、固定資本・耐久消費財をそれぞれ表し、例えば投入係数行列［$A_{ij}(t)$］は、1 組の i,j,t に対し一つの値が定まるということを意味する。

$$\tilde{B}_{ij}(t) = \left[I(t) - \Gamma(t) \circ A_{ij}(t)\right]^{-1} \quad (1)$$

ここで、∘は、アダマール積を表す。次に、逆行列［$\tilde{B}_{ij}(t)$］の要素［$\tilde{b}_{ij}(t)$］と部材係数行列［$C_{pi}(t)$］の要素［$c_{pi}(t)$］そして固定資本最終需要行列［$F_{kj}(t)$］の要素［$f_{kj}(t)$］を乗じることで、財の投入量［$Q_{t,p,i,j,k}(t)$］を求める（式 2）。

$$q_{p,i,j,k}(t) = c_{pi}(t) \times \tilde{b}_{ij}(t) \times f_{kj}(t) \quad (2)$$

ただし$q_{p,i,j,k}(t)$は、財の投入量［$Q_{p,i,j,k}(t)$］の要素である。投入量［$Q_{t,p,i,j,k}(t)$］は、t,p,i,j,kの 5 次元の配列である。さらに時点 $\hat{t}$における財の蓄積量［$S_{p,i,j,k}(t,\hat{t})$］を、投入量［$Q_{p,i,j,k}(t)$］と寿命関数行列（［$L_{i,j,k}(t)$］）の積を投入時点（t）で総和することで求める（式 3）。

$$s_{p,i,j,k}(t,\hat{t}) = \sum_{t}^{\hat{t}} \left[q_{p,i,j,k}(t) \times l_{i,j,k}(t)\right] \quad (3)$$

ここで$s_{p,i,j,k}(t,\hat{t})$は、蓄積量［$S_{p,i,j,k}(t,\hat{t})$］の要素であり、蓄積量［$S_{p,i,j,k}(t,\hat{t})$］は 6 次元の配列である。最後に、時点$\hat{t}$における EOL (end of life)を迎えた量（以下、EOL 量）（E）は、式（4）の関係が成り立つ。よって式（5）のように蓄積量（S）の時点 $\hat{t}$+1 と$\hat{t}$の差から時点$\hat{t}$の投入量（Q）を引くことで得る。

$$S(\hat{t}+1) = S(\hat{t}) + [Q(\hat{t}) - E(\hat{t})] \quad (4)$$

$$E(\hat{t}) = S(\hat{t}) - S(\hat{t}+1) + Q(\hat{t}) \quad (5)$$

EOL 量［$E(\hat{t})$］は、蓄積量［$S_{p,i,j,k}(t,\hat{t})$］同様、6 次元の配列である。以上、式 (1)-(5) によって TS-MFSA は、固定資本・耐久消費財の投入量、蓄積量、EOL 量を推計する。

2.2 データの準備

本研究は、1970 年から 2005 年の IOT を基礎資料とした。各年の IOT は、部門分類が異なるので、基本表を 369 行 (i) ×369 列 (j) に統一した。同様に物量表、固定資本マトリクスも部門統一を行った。

各基本表を投入係数化し、投入係数行列（A）とした。

物量係数行列（C）を作成するにあたり、まず物量表の

行部門のうち、ダブルカウントを避けることとデータの信憑性を考慮し、バイオマス 6 部門、非金属鉱物 9 部門、化石資源 21 部門、金属鉱物 4 部門、計 40 部門を部材（p）として選択した。また物量表を他の資料と比較し、著しく値が異なる場合は修正を行った。部材（p）が物量表行部門に無い年は、投入表を日銀物価統計 [7]で実質化したうえで直前の物量表の値から補った。上の処理を行った物量表を列の国内総生産で除すことで投入係数化し、物量係数行列（C）とした。固定資本マトリクスを固定資本最終需要行列（F）とした。また寿命関数行列は、Hashimoto, et al. [8]を参考に表 1 のように作成した。

表 1. 固定資本の寿命関数

固定資本	関数・変数
機械類	ワイブル, m=2.9, η=10
木造建築	対数正規, μ=3.7, σ=0.6
非木造建築	ワイブル, m=14, η=154.9
土木構造物	正規, μ=70, σ=4.8
その他	正規, μ=5, σ=1.3

3. 結果と考察

3.1 投入量

図 s1-s4 に TS-MFSA による投入量［$Q_{t,p,i,j,k}(t)$］の結果を示す。図 s1 では、横軸に投入時点（t）をとり、投入量を他の研究 [9),10)]と比較した。投入量の最大値は 1990 年であり、2005 年は 1970 年よりもやや低い水準まで、新しい固定資本の投入が落ち込んでいることが分かった。また他の研究と比較し、定義の違いもあり、やや低い値となっているが、概ね近い傾向の結果が得られている。

図 s2－s4 は、縦軸に投入時点（t）、横軸にそれぞれ、資本形成部門（k）、固定資本（j）、部材（p）別の投入量の割合を示している。図 s2 より、年とともに製造業の割合が下がり、一方でサービス産業の割合が上がっている。また発電、上下水道などの公共インフラは 75～80 年にかけて集中している様子が伺える。このようにその時代の産業構造に応じて、固定資本の投入先は異なることがわかる。図 s3 より、投入の大部分の質量は土木と建築であることが分かった。同様に図 s4 より部材としては非金属鉱物が大部分を占めると分かった。

3.2 蓄積量

図 s5,s6 に蓄積量［$S_{p,i,j,k}(t,\hat{t})$］の結果を示す。図 s5 は横軸に観測年（$\hat{t}$）、縦軸に蓄積量を固定資本（j）別に示したものである。図 s5 の蓄積量の結果は上昇を続けていることから、1970 年以前に投入された固定資本についても推計に加える必要が示唆される。また図 s6 に、土木、建築以外の固定資本（j）の蓄積量を図 s5 同様に示した。図 s6 では、非土木、非建築の固定資本の蓄積量が 2000 年ごろにピークになり、その後減少を始めている様子が見て取れる。

3.3 EOL 量

図 s7,s8 に EOL 量［$E(\hat{t})$］の結果を示す。図 s7 は、横軸に観測年（$\hat{t}$）、縦軸に EOL 量を部材（p）別に示したものである。投入量や蓄積量と比較し、バイオマスや金属鉱物の比率が高くなっている。これは、非金属鉱物が多く用いられている土木構造物は寿命が長く、図 s7 のような中短期的スパンでは EOL を迎えないのに対し、金属が多く用いられている機械類などは相対的に短寿命であるからだと考えられる。

また図 s8 には 1980 年に投入された（t=1980）固定資本の EOL 量を示した。まず投入時点から、その他の製造業製品、機械、建築の順番で次々に EOL を迎える様子が分かる。土木はこの時間スケールでは、ほとんど廃棄されないことが分かる。

4. 結論

本研究では、日本の物質フロー・ストック管理に資する固定資本の網羅的な分析手法として TS-MFSA を開発し、1970 年から 2005 年までに我が国に投入された固定資本・耐久消費財の投入時点、部材、中間財、資本形成部門別の蓄積量のデータベースを構築した。

今後は、1970 年以前・2005 年以降についても投入量を推計するモデルを開発する必要がある。またこのデータベースの具体的な活用方法を、EOL を迎えた固定資本の fate 推計、特に退蔵・残置された固定資本の定量化とその問題点の検討、また災害廃棄物処理等を題材として検討する。

謝辞

本研究は環境省環境研究総合推進費(1-1402)および三井物産環境基金の支援を受けた。

引用文献

1) 国土交通省, “国土交通白書 2014”, (2014), p.28-30
2) 経済産業省, “企業設備のビンテージと生産性の動向”,(2005)
3) 総務省, “平成25年住宅・土地統計調査（速報集計）”,(2014)
4) 村上進亮, 橋本征二: 日本LCA学会誌,6(2),(2010),pp.76-82
5) 総務省, “産業連関表”,(1970-2005)
6) Nakamura S., Nakajima K., Kondo Y., Nagasaka T.: JIE, 11(4), (2007), pp. 50-63
7) 日本銀行, “製造業部門別投入・産出物価指数（2005年基準）”, (2014)
8) Hashimoto S., Tanikawa H., Moriguchi Y.: “6th International Conference on Ecobalance”, Tsukuba, Japan, (2004), pp.193-19
9) World resources institute: “Resource Flows”, (1997), pp.44,45
10) 環境省: “環境白書”, (1990-2014)

緑のカーテンを用いたインタラクティブアートによる地域環境教育の試み

Dissemination Trial of Environment Education by the Interactive Art Using Green Wall in Local Communities

○近藤晶*[1)]、笠井利浩[1)]
Sho Kondo, Toshihiro Kasai
1) 福井工業大学
* sho-kondo@fukui-ut.ac.jp

1. インタラクティブアート展示にいたる経緯

2012 年より毎年、福井市立東安居小学校において、笠井の指導により緑のカーテンを栽培してきたが、2013 年に笠井が、緑のカーテンをスクリーンとしてテストしたところ、鑑賞に問題がなく、また群葉に投影すると点描のような独特の映像効果を得ることが確認できた。このことから、笠井が実行委員会事務局長を務める「第 7 回雨水ネットワーク会議全国大会 2014 in 福井」（以下、雨水ネットワーク会議）において、この緑のカーテンを映像用スクリーンとして使用した特別展示を行うことが決定した。その後、東安居小学校校長を通じて、東安居小学校で開催される「サ・いってこ祭」（以下、いってこ祭）への展示を打診したところ好意的に受け入れられ、いってこ祭でもほぼ同様の展示を行うことが決定した。

2. 緑のカーテン概要

スクリーンに使用する緑のカーテンは、笠井の指導により福井市立東安居小学校 5 年生が行った。その際、ただ栽培指導を行うだけではなく、ライフサイクル思考（活動による環境負荷を総合的に考える手法）に基づく「正しいエコ」とは何かを学ぶ環境教育も同時に行っている。例年は 5 月中に苗植えを行うが、2014 年は 8 月の雨水ネットワーク会議で使用することが決定していたため、6 月 4 日に苗植えを行った。植え付け範囲は幅 18 メートルとなり、校舎にかける園芸用ネットは高さ 10 メートルである。いってこ祭当日には、上部に若干の空きが見られるものの、ほぼ校舎を覆うサイズの緑のカーテンが出来上がった（図 1）。

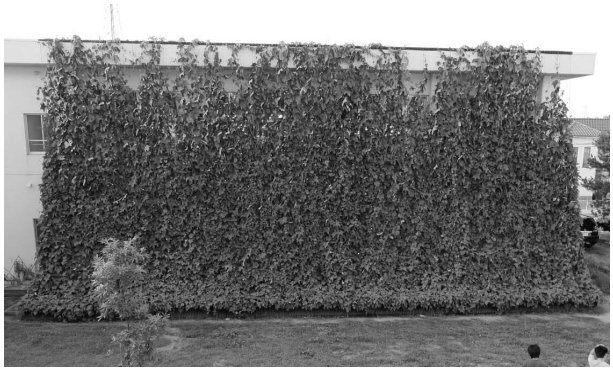


図１　緑のカーテン全体像

3. 映像概要

緑のカーテンに投影する映像は近藤が制作した。主に地域住民や子どもが参加する、地区の祭で展示することから鑑賞者の動きによって映像が変化するインタラクティブなものとし、楽しめる作品を目指した。また、雨水や植物を映像中に使用し、環境教育や雨水ネットワーク会議も連想させるものとした。以上をふまえて、スクリーン前で鑑賞者が動くとその前方の緑のカーテン上に雨が降り、ゴーヤが育つような映像表現を行い、動きがなくなるとゴーヤが消えるという映像を制作した。作品のコンセプトは「現代の雨乞い」として展示を行った。

インタラクティブな機能は、Web コンテンツや携帯電話向けアプリ、デジタルサイネージなどで使用される ActionScript[1)]と Web カメラを用いたフレーム差分法を用い、Web カメラから得られた画像のうち、鑑賞者が映る高さにあるピクセルに変化のあった座標をリアルタイムで抽出するプログラムを作成した。

フレーム差分法により得られた画像の変化 x 座標には、雨が降る表現を行い、同時にランダムな大きさと角度でゴーヤの葉が揺れながら現れ増えていく表現処理を行った。雨の表現と同時に 9 種類の滴の音の中からランダムに再生させた。

これらの結果、図 2 の処理結果を得ることができ、これを用いて実際の展示を行った。

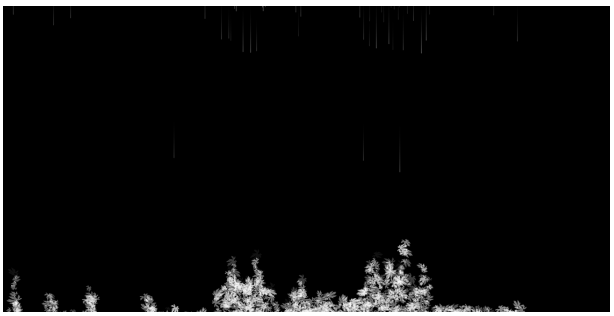


図２　プログラム実行画面

4. いってこ祭展示概要

2014 年 7 月 26 日に開催されたいってこ祭は東安居小学校で行われ、夕方までは一般的な夏祭りと同様のイベ

ントが行われ、20 時より緑のカーテンへの映像展示を行った。機器は緑のカーテンの向かい側にある校舎の 2 階にプロジェクタと処理用 PC を設置し、Web カメラを 1 階に設置した。

映像プログラムの実行は、笠井によりこの緑のカーテンを用いたライフサイクル思考（以下、LCT）に基づく環境教育の実践報告を行った後、展示が開始されるという形態であった。鑑賞者は主に地域住民や小学生であり、遊びやゲーム感覚で作品を捉えられたためか、鑑賞者の反応は非常によく、インタラクティブな反応を楽しんでいた（図 3）。また、普段知られていない緑のカーテンを使った LCT に基づく環境教育を地域住民に知らせる良い機会となると共に、エコ活動における LCT の重要性について紹介できた。

図３　いってこ祭展示風景

5. 雨水ネットワーク会議展示概要

雨水ネットワーク会議は、2014 年 8 月 23、24 日に雨や雪の利用や防災について考える目的 [2]で、福井工業大学で開催された全国規模のシンポジウムである。23 日には懇親会の後、20 時より緑のカーテンへの映像展示を行った。この会議では、福井での雨水活用の取組として、LCT に基づく環境教育を行っている東安居小学校の 5 年生児童による活動内容の発表もあった。そのため、緑のカーテンや環境教育内容への来場者の関心は高かった。

いってこ祭では、Web カメラを 1 階に設置したが、鑑賞者が Web カメラの奥行方向に対して複数いる場合、緑のカーテンに近い奥側にいる鑑賞者の反応を得ることができなかったため、Web カメラの位置を校舎 2 階に変更した。映像プログラムの実行タイミングはいってこ祭と同様である。

鑑賞者の構成はいってこ祭とは大きく異なり、学術的な内容を含むイベントであったことから、鑑賞者の年齢層は高くなった。年齢層が高いことから、恥ずかしさによりインタラクティブな反応を楽しまないのではないかとの懸念があったが、映像を投影すると、鑑賞者は積極的に緑のカーテンの前で動いていた（図 4）。

図４　雨水ネットワーク会議展示風景

6. 問題点と今後の展開

いってこ祭での展示は祭運営者にも好評であり、毎年行うことが要望されている。このことから、次年度から参加者へのアンケートを行い、環境教育へのアートの影響を定量的に計測できることが期待される。またこのアンケートの中では、LCT の理解度調査に繋がる内容も取り入れ、LCT に基づく環境教育の実践を行う上での教育効果促進ツールとしての効果を測定すると共に、より効果的なアートの取り入れ方について検討したい。

アート作品としての問題点として、今回の展示では、プロジェクタの投影範囲が緑のカーテンに対し小さかったことや、鑑賞者が一斉に動くと、自分の動きが映像のどこに反映されているかがわかりにくいなどの問題があったほか、水滴の音とは別に音楽を流すと、鑑賞者が踊るなどして積極的に作品を楽しむのではないか、といった改善点も得られたため、来年以降の展示で検討していきたい。また、今回の展示では事前に制作した葉の図形を投影したため、プロジェクションマッピングとは言いにくいものだったが、Web カメラから得られた画像を処理して、その時の生育状況に合わせ、一枚一枚の葉にプロジェクタの光を投影し、インタラクティブなプロジェクションマッピングを行う予定である。

参考文献

1) クスール, “Flash クリエイターになるための教科書”, 株式会社マイナビ, 東京, (2012), pp.12-15

2) 雨水ネットワーク会議全国大会 2014 in 福井 実行委員会: “第 7 回雨水ネットワーク会議全国大会 2014 in 福井資料集”, (2014), 81p.

小中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 Based on Life Cycle Thinking in an Elementary and a Lower Secondary School

○笠井利浩*[1)]、荒木史代[1)]、前畠勇[2)]
Toshihiro Kasai, Fumiyo Araki, Isamu Maehata
1）福井工業大学、2）福井市立東安居小学校
* kasai@fukui-ut.ac.jp

1. はじめに

これまでに実践されてきた環境教育プログラムの多くは、自然の素晴らしさや環境問題の現状を伝えることにより、対象者に環境保全の重要性を理解させることに主眼をおくものである。このような環境教育は一定の効果をもたらし、現在では皆が環境保全の重要性を理解している。また、社会には環境に配慮した商品も増え、様々な環境配慮活動が実施されているが、全ての商品や活動がライフサイクルアセスメントの観点から考えて、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。このような背景から、地球温暖化防止等を目的とした環境教育にはライフサイクル思考（以下、LCT）の導入が重要である。笠井ら[1-6)]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。

本報は、2010 年度から継続実施している LCT に基づく環境教育プログラムの実践の紹介と評価を行うものである。

2. 5 年間の実践

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、表 1 に示す。2010 年度に、最初の LCT に基づく環境教育用教材（雨水活用装置）を設置して以来、様々な形の環境教育の実践を行ってきた。この実践記録から、A 小学校のほぼ全ての児童が進学する今年度の B 中学校の 2 年生は、過去に 2 回、2 年連続で笠井による LCT に基づく環境教育（実施日 : 2010/11/10 および 2011/5/18）を受けていることが分かる。また、現小学校 6 年生の児童についても、小学校 4、5 年次に 2 年連続で LCT に基づく環境教育（実施日 : 2012/10/10 および 2013/6/19）を受けていることが分かる。

表 1　A 小学校で行った環境教育の実践記録（～2014/12）

◎ 2010 年度
10/1　環境教育授業（1 年）（現小 5）
11/10　環境教育授業（4 年）（現中 2）

◎ 2011 年度
5/18　環境教育授業（5 年）（現中 2）

◎ 2012 年度
4/19　現職教育（教員）
6/15　緑のカーテン苗植え（全学年）
9/13　緑のカーテンと記念撮影
9/21　環境教育授業（5 年）（現中 1）
10/10　環境教育授業（4 年）（現小 6）
10/29　緑のカーテンお別れ会（根切）（4 年）（現小 6）

◎ 2013 年度
4/17　緑のカーテン土再生（5 年）（現小 6）
5/13　緑のカーテン苗植え（5 年他）（現小 6 他）
6/19　環境教育授業（5 年）（現小 6）
7/17　緑のカーテンと記念撮影（5 年他）（現小 6）

◎ 2014 年度
5/23　環境教育授業（5 年）
6/4　緑のカーテン苗植え（5 年他）
7/2　環境教育授業（5 年）
7/14　環境教育授業（5 年）
7/26　緑のカーテンプロジェクションマッピング
8/19　緑のカーテンと記念撮影（5 年）
8/23　雨水ﾈｯﾄﾜｰｸ会議全国大会 2014 in 福井発表（5 年）
10/20　緑のカーテンお別れ会（根切）（5 年）
10/24　緑のカーテン撤去（5 年）

3. 評価

これまで小学校で実施してきた LCT に基づく環境教育の効果を検証するために、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ことを目標とし実施した。本効果測定では本実践の目標に沿ったと考えられる批判的思考態度尺度と学校生活スキル尺度（進路選択スキル）を用いた。

3.1 方法

対象者：中学 1～3 年生　計 446 名

中学 1 年生 138 名（内実践群 55 名、統制群 83 名）
中学 2 年生 146 名（内実践群 60 名、統制群 86 名）
中学 3 年生 162 名（内実践群 49 名、統制群 113 名）

上記に述べた環境教育の実践を行ったA小学校の児童は、卒業後 B 中学校に進学する。本研究では、B 中学校全校生徒に質問紙調査を実施し、LCT を取り入れた環境教育を実践した A 小学校の卒業生を実践群、その他の小学校の卒業生を統制群として分析した。

実施時期：2014 年 10 月

手続き:以下の項目で構成される質問紙調査を実施した。

(1) 中学生用批判的思考態度尺度[7]15 項目
「とてもよくあてはまる（5 点）」から「まったくあてはまらない（1 点）」の 5 段階評定で回答を得た。

(2) 学校生活スキル尺度・進路選択スキル[8]12 項目
「とてもよくあてはまる（4 点）」から「まったくあてはまらない（1 点）」の 4 段階評定で回答を得た。

3.2 結果

各学年が実施した環境教育プログラムが異なるために、分析は各学年別に実施した。

(1) 中学生用批判的思考態度尺度

先行研究[7]同様に、批判的思考態度尺度の「論理的思考への自覚」「探究心」「客観性」「証拠の重視」の各因子別に平均得点を算出し、*t* 検定を実施した。その結果、2 年生の「探究心（$t(144)=3.20$, $p<.01$）」、「客観性（$t(144)=2.11$, $p<.05$）」、「証拠の重視（$t(144)=2.00$, $p<.05$）」で有意な結果が得られた。すべての因子で、実践群の得点が、統制群の得点より高かった。

(2) 学校生活スキル尺度・進路選択スキル

学校生活スキル尺度・進路選択スキル 12 項目の平均得点を算出し、t 検定を実施した。その結果、2 年生のみで有意な結果が得られ（$t(144)=3.53$, $p<.01$）、実践群の得点が、統制群の得点より高かった。

表 2　実践群･統制群の平均・標準偏差・統計結果

尺度(因子)	実践群 M	実践群 SD	統制群 M	統制群 SD	値
中1					
批判的思考態度尺度					
論理的思考	3.23	(.79)	3.21	(.59)	
探究心	4.15	(.89)	4.22	(.76)	
客観性	3.65	(.58)	3.57	(.60)	
証拠の重視	3.81	(.73)	3.73	(.73)	
学校生活スキル尺度					
進路決定スキル	3.19	(.53)	3.04	(.48)	
中2					
批判的思考態度尺度					
論理的思考	3.21	(.60)	3.00	(.71)	
探究心	4.33	(.73)	3.90	(.85)	**
客観性	3.59	(.57)	3.39	(.55)	*
証拠の重視	3.83	(.70)	3.55	(.92)	*
学校生活スキル尺度					
進路決定スキル	3.18	(.35)	2.92	(.48)	**
中3					
批判的思考態度尺度					
論理的思考	2.94	(.79)	2.95	(.69)	
探究心	4.02	(.81)	4.17	(.76)	
客観性	3.59	(.59)	3.50	(.45)	
証拠の重視	3.71	(.88)	3.47	(.86)	
学校生活スキル尺度					
進路決定スキル	3.01	(.48)	3.06	(.46)	

**p<.01,*p<.05

4. 考察

効果測定の結果、小学校時に 2 年連続で LCT に基づく環境教育を経験した中学 2 年生のみで、生徒の批判的思考･態度と進路選択スキルが向上しているという成果が得られた。この結果から、LCT に基づく環境教育の学習効果定着のための繰り返し学習の重要性が示唆された。

参考文献

1) 笠井利浩, 玉村正人(2011): 福井工業大学研究紀要, 41, pp.345-353
2) 笠井利浩, 玉村正人(2011)： 第 6 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, pp.386-387
3) 笠井利浩, 本多真吾(2012)： 日本環境教育学会第 23 回大会(東京)研究発表要旨集, p.70
4) 笠井利浩, 本多真吾(2013)： 第 8 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, pp.200-201
5) 笠井利浩, 前畠勇, 荒木史代(2014)： 第 9 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, pp.150-151
6) 荒木史代, 笠井利浩(2014)： 日本教育心理学会第 56 回総会発表論文集, p.844
7) 前田健一, 新見直子, 加藤寿朗, 梅津正美(2010)： 広島大学心理学研究, 10, pp.89-100
8) 飯田順子, 石隈利紀(2002)： 教育心理学研究, 50, pp.225-236

【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。

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

Environmental Education based on Life Cycle Thinking in Primary School

○中村洋*[1) 3)]、寺木秀一[2)]、澤谷精[1)]
Hiroshi Nakamura, Shuichi Teraki, Tadashi Sawatani
1) 環境ネットワーク・文京, 2) 東洋大学, 3) 地球・人間環境フォーラム
* nakamura@gef.or.jp

1. はじめに

これまで様々な環境教育の教材が開発・実践され、環境教育を受けた人たちの行動変容に関する調査・分析が進められてきた[1-8)]。日常の消費活動とその背後にある生産活動や自然環境とのつながりへの認識が向上すると環境行動の意図も高まるとの指摘もある[9)]。このようなライフサイクル的思考（LCT）に基づく環境教育による行動変容に関しても多くの研究が蓄積されている[5), 7), 9-12)]。ただし、ライフサイクル思考の導入の有無による行動変容の向上効果に関する分析は十分とは言えない。当報告では小学校におおいてエネルギーを中心とした LCT に関する環境教育を行い、LCT の有無による環境教育を受けた小学生の省エネ行動及び関係する認識の変化を比較・分析した。

2. 実践・研究の方法

2.1 環境教育の実践

東京都文京区・葛飾区の小学校 2 校 68 名（A 校 35 人・B 校 33 人）に対して省エネルギー行動につながることを意図した環境教育を行った。環境教育はエネルギーを中心的な素材として扱い、中村・安達（2014）[13)]の教材開発手法を用いた。特に、中村ら（2015）[14)]で行動変容効果が高いとされた「話し合い活動」や「家庭での実践」を取り入れた。

表 1 に A 校・B 校で行った環境教育の内容を示す。A 校では電気のライフサイクルの視点を取り込んだ環境教育を行った。電気の原材料の調達、輸送、発電の長所や短所の考察、送電ロス、蓄電、電気の使用（省エネ計画の作成や実践）、二酸化炭素の回収・貯蔵（CCS） を扱った。例えば、発電の原材料の調達に関しては、報告者が現地の情報を有し、原子力発電の稼働時には日本で使用されるウランの輸入元であったニジェール共和国を例にした。そして、同国の生活を紹介しながら、私たちの電気の使用による現地への影響を考え、同国の小学生からの問いかけに対して手紙を書く活動を行った。LCT を扱わなかった B 小学校では、担任の教諭の希望により、複数の電気製品についてワットチェッカーでの電気使用量の測定を行い、ウォームビズをデザインする内容を扱った。気候変動の影響や要因の学習、私たちの生活における電気の使用と二酸化炭素の排出や気候変動の関係、家庭での省エネの実践とふりかえりは両校で共通して行った。

2.2 調査方法

環境教育による子どもの省エネ行動の変化を分析するために、早渕（2008）[4)]を参考にして構造的な調査票を作成した（表 2）。つながり感に関する調査票の記述は、平山ら（2009）[5)]や中島ら（2011）[7)]を参考にした。これらについて 5 件法で回答を得た（5=必ずしている／強く思う、4=している／思う、3=時々している／少し思う、2=ほとんどしていない／あまり思わない、1=していない／思わない）。

調査は環境教育前、環境教育後、環境教育の実施 1 か月後に担任の教師から環境教育を受けた子ども全員に配布し、その場で記入・回収した。回収率はいずれも 100%であるが、調査時に欠席した児童もいるため回収数は異なる（回収数　環境教育前:A 校 34　B 校 33、環境教育後：A 校数 32　B 校 32、環境教育実施から 1 か月後の調査は、11 月末が最終回の A 校は調査実施中のため割愛した）。

表 1 各校での環境教育の内容と LCT 的観点

	概要	LCT 的観点の内容	共通の内容	その他の内容
A 校	4 年生 35 人 10 月～11 月実施 全 11 時間 総合的な学習の時間	・ニジェールでの生活とウラン採掘の影響 ・電気の輸送や貯蔵 ・二酸化炭素の回収・貯蔵	・気候変動の影響や要因の学習 ・私たちの電気利用による発電所からの CO_2 排出の関連の説明 ・ワットチェッカーでの照明の電気使用量の実験 ・家庭での省エネの実践と振り返り	
B 校	5 年生 33 人 10 月～11 月実施 全 10 時間 総合的な学習の時間			・ワットチェッカーでの電気機器の電気使用量の実験 ・ウォームビズのデザイン

表2 質問の分析視点と調査票の記述

分析視点	略号	調査票の記述
省エネ行動	s1	省エネをしていますか？
行動意図	s2	これから先、省エネをしようと思いますか？
省エネへの態度	s3	省エネは温暖化を少しでも防ぐために、役に立つと思いますか？
		省エネをするのは良い事だと思いますか？
主観的規範	s4	家族はあなたが省エネをすることを期待していると思いますか？
		学校の友達や先生は、あなたが省エネをすることを期待していると思いますか？
認知行動の統制可能性	s5	省エネをすることは簡単だと思いますか？
		省エネをやろうと思えばできますか？
個人規範	s6	電気を使い過ぎることは良くないことだと思いますか？
責任感	s7	省エネを自分がやらなければならないと思いますか？
環境への態度	s8	これ以上地球の温暖化が進むことは大変な問題だと思いますか？
重要性認知	s9	省エネをすることは温暖化を少しでも防止するために大事だと思いますか？
有効感	s10	省エネは電気使用量を減らす効果があると思いますか？
関心・意欲の広がり	s11	もっと温暖化防止につながることを勉強して、知りたいと思いますか？
つながり感①	s12	私たちの身近なもの(※)が、自分に届くまでの流れを実感していますか？
つながり感②	s13	私たちが、もの(※)を選び、使うことにより、材料をとり、作り、運び、廃棄するところでも二酸化炭素が出ていると思いますか？
つながり感③	s14	私たちが、もの(※)を選び、使うことにより、世界に影響を与えると思いますか？

※工場や発電所、農場で作られたもの（電気製品、衣類、食べ物、電気など）

3. 実施結果・予備的考察

A 校・B 校ともに省エネ行動（s1）や認識の多くは向上していた。ただし、A 校に関しては認知行動の統制可能性（s5）、関心・意欲の広がり（s11）、つながり感②（s13）については低下が見られた。

A 校・B 校の変化度について t 検定を行った。その結果、省エネ行動（s1）の変化度に有意な差は見られなかった。認知行動の統制可能性（s5）、関心・意欲の広がり（s11）では、B 校が A 校より向上していた（$p<0.05$）。その他の認識には有意差は見られなかった。

A 校・B 校ともに省エネ行動とその効果が書かれたリストを用いた家庭での省エネの実践とワットチェッカーを用いての照明の電気使用量の実験を行った。B 校では、それに加えて照明以外にもテレビや暖房機器などの身近な電気製品について、自分ができそうな工夫を試し、ワットチェッカーで電気使用量の変化を調べた。そのため、省エネの方法とその効果を実感できたため、認知行動の統制可能性（s5）が高まったと考えられる。また、B 校では暖房の設定温度を下げても暖かく暮らせるウォームビズの工夫についてデザインを行った。子どもたちは楽しみながらデザインに取り組み、発表で盛り上がっていた。そのため、関心・意欲の広がり（s11）の向上につながったものと考えられる。予備的な整理の段階ではあるものの、LCA を導入した A 校は、つながり感に関して B 校よりも優位に向上していなかった。A 校は学校側の日程調整の結果、10 回目から 11 回目にかけて約 1 カ月時間が空き、その間に学芸会的な大きなイベントが行われたことが影響していると考えられる。また、ライフサイクル思考の素材としてニジェール共和国を取り扱ったものの、全く未知の世界の話であり、子どもたちが理解しにくそうにしている印象を受けた。素材の選択に関しても改善が必要と考えられる。さらに、ライフサイクルのそれぞれについて学習し、考えるプログラムにしたため、学習内容が過剰になったことも関心・意欲の広がりにマイナスに作用したことも考えられる。

謝辞

本研究は W-BRIDGE プロジェクトの一部として実施された。

引用文献

1) 広瀬幸雄: 社会心理学研究, 10(1), (1994), pp.44-55
2) 広瀬幸雄: 環境と消費の社会心理学, 名古屋大学出版会, 名古屋, (1995), p.243
3) 広瀬幸雄: 環境情報科学, 37(2), (2008), pp.36-40
4) 早渕百合子: 環境教育の波及効果, ナカニシヤ出版, 京都, (2008), 193pp.
5) 平山世志衣, 中島光太, 本藤祐樹: 日本LCA学会誌, 5(3), (2009), pp.367-381
6) 中村洋, 平松あい, 寺木秀一, 柴田陽子, 澤谷精: エネルギー環境教育研究, 7(2), (2013), pp.21-28
7) 中島光太, 平山世志衣, 本藤祐樹: 日本LCA学会誌, 7(1), (2011), pp.84-95
8) Hiramatsu A., Kurisu K., Nakamura H., Teraki S., Hanaki K.: Low Carbon Economy, 2014, 5, (2014), pp.40-50
9) 本藤祐樹, 平山世志衣, 中島光太, 山田俊介, 福原一朗: LCA学会誌, 4(3), (2008), pp.279-291
10) 本藤祐樹: LCA学会誌, 5(3), (2009), pp.331-337
11) 成田明沙美, 井上弘毅, 松本真哉, 中村栄子: 日本LCA学会誌, 5(3), (2008), pp.393-402
12) 安藤生大: 日本LCA学会誌, 5(3), (2009) , pp.382-392
13) 中村洋, 安達昇: 省エネルギーを話し合う実践プラン46, 公人の友社, 東京, (2014), p.143
14) 中村洋, 平松あい, 寺木秀一, 安達昇, 柴田陽子, 澤谷精: LCA学会誌, 11(1), (2015),)（印刷中）

中学/高校家庭科におけるライフサイクル思考に基づいた環境教育用教材開発（II）

Development of environmental education material based on lifecycle thinking for home economics in junior/senior high school(II)

○水野建樹*1)、津田祥子 1)、田原聖隆 2)、高田亜佐子 2)
Tateki Mizuno, shoko Tsuda, Kiyotaka Tahara, Asako Takada
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
*mizuno@sntt.or.jp

1.　はじめに

現在の初等中等学校での環境教育は、環境にかかわる内容の多様性や複雑性のため、多くの場合、教師自身が直接問題点に深く切りこんだ授業を行うことが困難であり、学校外部の環境専門家、あるいは環境　活動家が直接学校へ出向いて授業を行う出張授業・出前授業の形で行われることが極めて多い。しかし、この方法は教育の対象となる生徒数が限られており、学校や地域により教育内容やレベルに大きな違いが生じる。そのため、より多くの学校で環境に関する意識を高めるためには、通常のカリキュラムの中で担当教師が直接環境に関する教育を行うことが望ましい。しかし、過去の調査[1,2)]によれば、家庭科のどの分野でも環境との関わりが記述されているものの、ライフサイクル思考（Life cycle Thinking：LCT）を活用した教材は一切ない。そこで、LCT を取り入れた中学・高校家庭科教材を開発し、さらにそれを使った授業を試行することにした。今年度は、ライフサイクルでの環境負荷について気付きを与える目的で日常行動の中から「衣」に関する行動に焦点をあてた教材を試作した。

2.　構成

教材の目的は、身近な製品による環境負荷（CO2）について「気づき」を与えることである。そのために教材は、①ライフサイクルのほとんど全ての段階で CO2 が排出されていること、②各段階の CO2 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、CO2 を減らす方法を考えることにある。その発展として④中高生に長期的視点で CO2 排出削減に向けた心構えを醸成することにある。

教材は、基本的に「デジタル化した副教材」として提供することを念頭に入れつつ、授業時間、教師の専門性等を考慮して内容をレベル 1～3 に階層化することとした。なお、試作中の教材について家庭科担当教師に意見を聴取した中で「中高生の多くは本やノートなどの日用品が CO2 と関係しているとは思っていない」との指摘があったことから、「レベル 0」として、導入段階を加えた。

各レベルのコンセプトを以下に示す。

レベル 0：導入段階。日常生活で使う製品と CO2 の関係について具体的な説明に入る前に、両者に密接な関係があることに関心を向けさせることを目的とする。

レベル 1：授業時間として 15 分～30 分程度、製品のライフサイクルで考えることで、自分が製品を使っている以外の時でも、製品製造、輸送でも CO_2 があることに「気づき」を与えることを目標とする。

レベル 2：授業時間 1 時間程度、重要な段階を量的に提示する。それを根拠として、行動による影響の違いを知り、自らの行動と比較することを目的とする。

レベル 3：レベル 2 の内容をさらに詳細にしたもの。授業で興味を持った生徒がさらに詳しく知りたいときに、役立つ情報を記載する。

解説：レベル 2 までの授業を実施するにあたって、LCT について教師が知っておいた方がよいと考える知識や考え方を解説したもの（図 1 参照）。

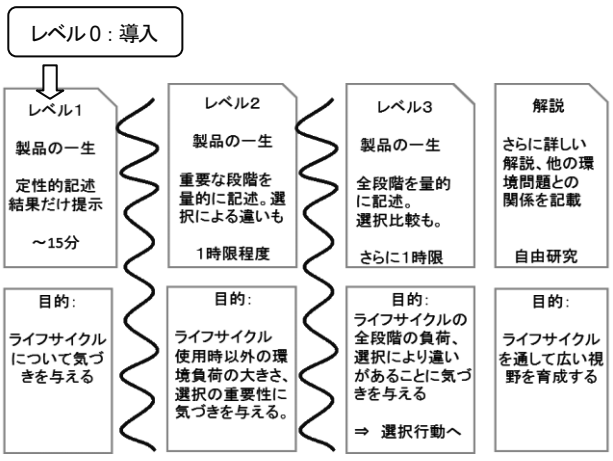


図 1　製品ライフサイクルと CO2（階層構造で説明）

3.　教材の試作

家庭科での被服（着る）分野で、比較的素材や構成が単純な「タオル」を取り上げ、その一生と CO2 の関係を

教材として試作した。図 2 は、図 1 の基本構想に沿って作成したタオルのライフサイクルと CO2 の関係と、教材としての構成事例である。これを基本にして生産段階、使用段階を単純化したタオルのライフサイクルを示したものが図 3 である。タオルの「ライフサイクル」で考えることにより、CO2 は使用段階だけでなく生産段階でも排出されていることに気づきを与える。その上で、生徒が身近に感じる使用時に着目し、タオルの使い方、洗剤の量、洗濯の仕方で CO2 を減らす工夫はあるか考えさせる工夫をした（図 4）。

以上の方法により、家庭での CO2 削減は日常の生活習慣を変えることが重要であることを考えさせる。その発展として日常使っているほとんどの製品の一生には、資源の採掘・調達－生産－使用－廃棄というプロセスがあること、また、そのいずれの段階でもエネルギー源として石炭や石油、天然ガスなどを使うことで世界（外国）とつながっていること、その結果 CO2 の排出と関わっていることにつなげてゆく。なお、現状では省エネ技術を活かした家電製品などが出回っており、それらの製品の購入・使用も CO2 削減に対して大きな役割をしていることにも触れておく。

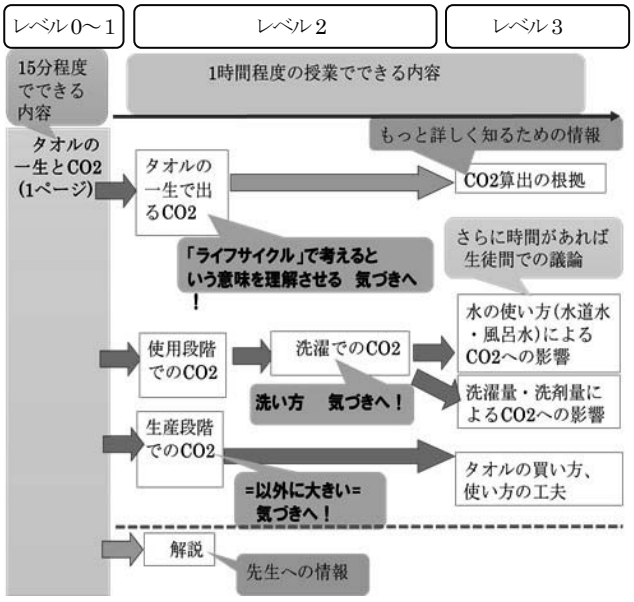


図 2　教材の基本形

4.　まとめ

消費行動に伴う CO2 削減をする目的でライフサイクル思考（LCT）に基づいた中学・高校家庭科用の教材開発すすめている。デジタル教材化をイメージして、導入（レベル 0）から LCT を最も簡単に理解できる内容（レベル 1）、さらに内容を掘り下げたもの（レベル 2～3）まで、教材の構成を「階層化」した。階層性を持たせることで授業上の制約（時間の制限、教師の関心の強弱等）を考慮した授業が可能となるよう工夫した。

なお、中学高校の家庭科では「被服」以外にも「食生活」「住生活」など多岐な日常生活の多岐な分野を扱っており、多くの分野で LCT の考え方を取り入れることが可能であり、必要でもある。そのため、「食生活」についても現在も教材開発に取り組んでいる。

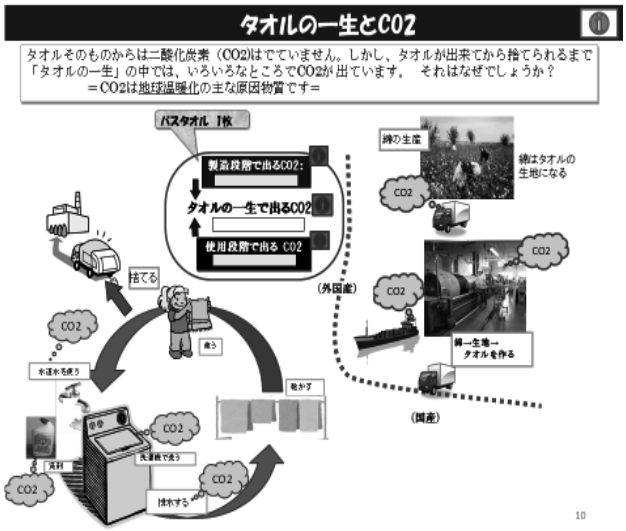


図 3　タオルのライフサイクル（イラスト事例）

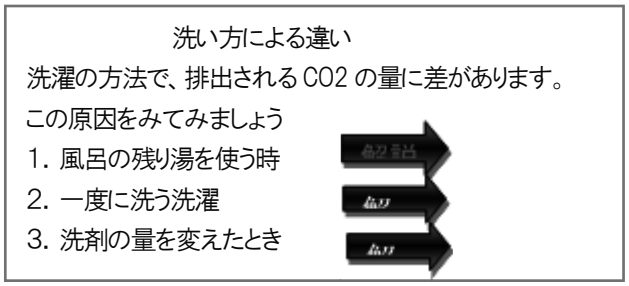


図 4　洗い方に関する課題提起と結果の提示

参考文献
1)日本 LCA 学会 環境教育研究会、ライフサイクル思考に基づいた環境教育のすすめ、（2012）
(http://ilcaj.sntt.or.jp/lcahp/kenkyukai-1.html)
2)水野建樹、津田祥子：第 9 回日本 LCA 学会研究発表会（2014）pp163-164

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「5-006 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）」の中で実施した。

発電技術への心理的近接性が省エネルギー行動に及ぼす影響
―太陽光発電システムを対象とした介入実験―

Effect of Psychological Proximity of Power-Generation Technology on Energy-Saving Behavior : An Intervention Study Focusing on PV Systems

○藤本ひかり*[1)]、本藤祐樹[1)]、弘中雄介[1)]
Hikari Fujimoto, Hiroki Hondo and Yusuke Hironaka
1) 横浜国立大学
* fujimoto-hikari-dm@ynu.jp

1. はじめに

太陽光・風力発電やバイオ燃料などの再生可能エネルギー技術は小規模分散型の設置が可能という特徴を有する。これらの技術は、日常生活の目に見える場に存在することによって、人々のエネルギーや環境に関する意識、さらには行動を変化させる可能性がある。

この可能性に着目して、太陽光発電 (PV) システムの設置が人々の意識や行動に与える影響を分析した先駆的な研究[1-3)]がある。例えば、住宅用 PV システムに着眼した研究[1-2)]では、その設置後に世帯の環境行動が高まる可能性を示している。また、そのような意識・行動変化のメカニズム解明に取り組んだ研究[3)]では、PV システムに対する「心理的近接性（PV をシンボルのように思ったり、PV に対して愛着を抱く気持ち）」が省エネ行動を向上させる可能性を指摘している。

本研究では、意図的に PV システムへの心理的近接性を高めた場合に、人々の省エネ意識・行動にどのような影響を与えるのかを明らかにするため、長野県飯田市の保育園に通う園児の保護者を対象として介入実験を試みた。なお、実験は現在継続中であり、本稿ではその途中経過について報告する。

2. 仮説

本研究では、心理的近接性が与える省エネ意識・行動への影響を分析するにあたり、社会心理学における「VBN 理論（*Value-Belief-Norm Theory*）」を理論的枠組みとすることとした。VBN 理論は、倫理や規範に基づいて環境行動の心理プロセスを記述する理論である。

VBN 理論では、例えば省エネ行動を行うのには、自分が省エネ行動をすべきだという「個人規範」が活性化されるからであると考える。この個人規範には、地球温暖化やエネルギーの大量消費の責任が自分にあると感じる「責任帰属」が、責任帰属にはこれらの問題が重大であるとの認識「重要性認知」が影響しているとされる。さらに、重要性認知には自然も人間も人間以外の種も平等だと捉える考え方「New Environmental Paradigm ; NEP」が影響を与え、NEP には人々の信念や価値観が影響していると説明される。

本研究では、PV システムへの心理的近接性は、VBN 理論が提唱する心理プロセスモデルの各構成要素（価値観、NEP、重要性認知、責任帰属、個人規範）に影響を与え、省エネ政策の受容性や省エネ行動を向上させるという仮説のもと、分析を行う（図 1）。

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（1 園、92 名）を対象とし、平成 26 年 12 月 25 日に開始した（継続中）。日常生活の中で園の PV システムを意識する機会や、身近に感じられる状態を作ることで、心理的近接性を高めることをねらいとし、以下の 2 種の介入を行っている。

(1) PV 連絡帳の利用：普段使用している連絡帳に、園の PV システムの写真が表紙となったカバーを取りつけ、使っていただく

(2) ソーラーライトキーホルダーの所有：ソーラー機能がついた LED ライトキーホルダーを配布し、かばんや車のキーなどに付けて使っていただく

3.2 質問紙調査

介入前と介入一ヶ月後における計 2 回の質問紙調査によって、介入効果を測定する。なお、介入実験実施園（A 群）に加えて、PV システムが設置されているが介入実験は行わない園（B 群）、PV システムが設置されておらず介入実験も行わない園（C 群）においても同時期に質問紙調査を実施する。

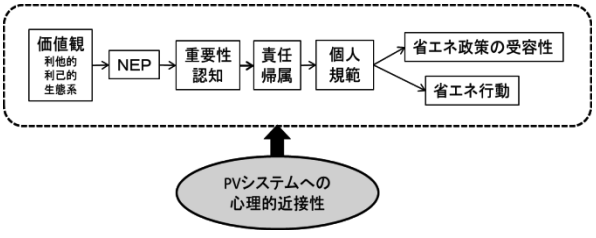


図 1　VBN 理論による省エネ行動のプロセスモデルと PV システムへの心理的近接性による影響仮説

表 1 介入前調査の概要

実施期間	2014 年 11 月 27 日～12 月 8 日
調査対象	長野県飯田市の保育園 3 園に通う園児(年長組・年中・年少組)を持つ 281 世帯 [A 群] PVO 介入O ： 92 名 [B 群] PVO 介入× ： 100 名 [C 群] PV× 介入× ： 89 名
実施方法	保育園経由での配布/回収
調査項目	PV システムの視認行動 PV システムへの心理的近接性 価値観、NEP、重要性認知、責任帰属、個人規範 省エネ政策の受容性 省エネ行動の実践度　など
回答方法	記名式
回収率	245/281（87.2%）

介入前調査は、表 1 に示す要領で実施しデータを収集した。

4. 結果と考察

介入前調査で得られた有効データを用いて、共分散構造分析によるパス解析を行い、2 章で示したプロセスモデルと PV システムへの心理的近接性による影響について検討した。

4.1 VBN 理論の検証

はじめに、全群の有効データ(N=224)を用いて、VBN 理論が提唱する省エネ行動のプロセスモデルを検証した。因果の強さを示すパス係数とその有意確率、及び各種適合度指標の度合いを参考に、構成要素の概念についても再検討した結果、NEP を除外したプロセスモデルが妥当であると判断した（図 2)。図中の値は標準化パス係数と決定係数であり、パス係数の***印は 1%水準で、**印は 5%水準で、*印は 10%水準で有意であることを示している（一部を除き観測変数と誤差変数は省略)。図 2 に示されるように、利他的・生態系価値観から省エネ行動及び省エネ政策の受容性に至る一連の心理プロセスは統計的に支持されている。ただし、利己的価値観→重要性認知において想定していた負のパスについては、有意な係数は得られなかった。この結果は、省エネ行動及び省エネ政策の受容性が、VBN 理論が提唱する心理プロセスモデルによって、一定程度説明できることを意味している。

4.2 PV システムへの心理的近接性が与える影響

続いて、A 群と B 群の有効データ(N=156)を用いてパス解析を行い、PV システムへの心理的近接性がプロセスモデルの構成要素のいずれに影響を与えているのかを検討した（図 3)。分析の結果、PV システムの心理的近接性は、利他的・生態系価値観に 1%水準で、省エネ政策の受容性に 5%水準で、省エネ行動には 10%水準で有意に正の影響を与えていることが分かった。ただし、重要性認知、責任帰属、個人規範への影響を示す有意なパスは得られなかった。つまり、PV システムへの心理的近接性は、VBN 理論のプロセスモデルの中でも、自分よりも他の人や全体の利益を尊重する価値観・考え方（プロセスの上位段階）と、省エネ行動や政策の受容性（プロセスの下位段階）に直接影響することで、省エネ行動を促進している可能性が考えられる。

5. おわりに

今後は、介入後調査を経て、介入前後の比較や変化量を用いた分析を行うことで、介入実験による心理的近接性の変化とその効果を明らかにする予定である。

最後に、調査にご協力戴いた皆様に厚く御礼申し上げます。なお、本研究は JSPS 科研費 (課題番号:25340120) の支援により実施されました。

引用文献

1) Keirstead J: Energy Policy 35(8), (2007), 4128 -4141
2) 本藤祐樹, 馬場健司: エネルギー・資源学会論文誌, 29(1), (2008), 15-21
3) Hondo H: Proc of International workshop on energy efficiency for a more sustainable world, (2013), 8 pp

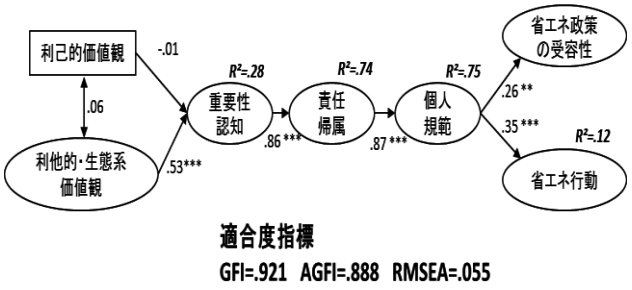


図 2　VBN 理論の検証

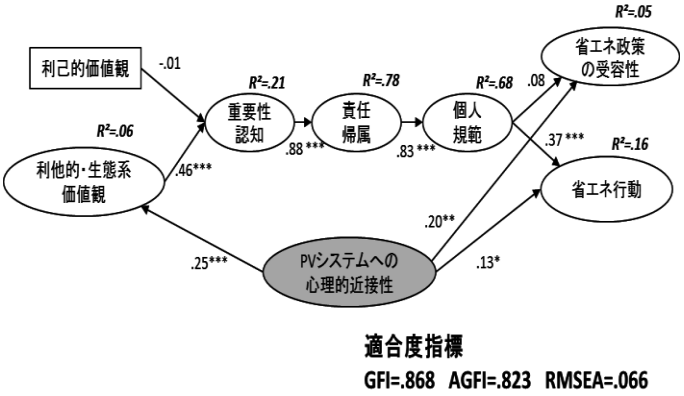


図 3　PV システムへの心理的近接性が
省エネ行動のプロセスモデルに与える影響

若年層への LCT 普及を目指した 日常行動及びゲーム志向性に関する基礎データの整備と可能性

Investigation of daily behaviors and preferences to games aimed at permeation of LCT in the young generation

○佐藤渓*[1)]、平松あい[2)]、栗栖聖[2)]、花木啓祐[1)]
Kei Sato, Ai Hiramatsu, Kiyo Kurisu, Keisuke Hanaki
1) 東京大学大学院工学系研究科、 2) 東京大学先端科学技術研究センター
* satok@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. 序論

家庭部門の二酸化炭素排出量の低減には市民一人一人の意識変化が必要であり、日常行動におけるライフサイクル的思考法（Life Cycle Thinking: LCT）の浸透も重要と考えられる。また、高齢者に比べ若年層での環境行動実施度が低いことが知られており[1)]、特に若年層へのアプローチが課題といえる。

これまでの環境教育におけるゲームを利用した手法では、カードゲームやボードゲームなどの多様な手法が検討されてきたが[2)]、いずれも教育的な内容構成となっており、利用者の興味を引きづらく、継続性を担保できない、対象が限定的になる、という問題があった。そこで、本研究では、市民がより魅力的に感じる LCT ツールの普及を狙い、スマートフォンアプリ開発者が自由に使える仕組みを構築できないかと考えた。そのためには、まず、どのような日常行動がどのような頻度で行われているのか、また、ゲームへの志向性はどうなっているのかを明らかにする必要がある。そこで、本研究では、日常行動のばらつきを調査し、行動 LCA データのスマートフォンゲームアプリへの利用の可能性を明らかにすることを研究目的とした。

2. 研究手法

本研究では、1) 日常行動に関する調査、と 2) スマートフォンアプリに関する調査、の二つをオンラインアンケート調査により行った。

「日常行動に関する調査」では、環境工学を専攻する大学生グループ（●名）、環境 NPO・NGO の 2 団体にそれぞれグループインタビューを行ない、重要と考えられる日常行動を抽出した。さらに総務省の社会生活基本調査[3)]を利用し、網羅的に日常行動を選定し、質問を全部で 103 問用意した。これに加えて、Hiramatsu and Kurisu[4)] で用いた環境意識に関する 25 設問の中から因子負荷量の高かった 10 問と、個人属性に関する質問を設けた。調査は日本全国 20 代から 70 代までの男女を対象に、2014 年 10 月 18 日～23 日にかけて、マクロミルにより実施した。得られた総サンプル数は、3,960 であった。

「スマートフォンアプリに関する調査」では、まずスマートフォンアプリ開発者 2 名に 4 回にわたってインタビュを行ない、一般的なゲームの分類やそれらへの LCA データ利用可能性について聞き取り調査した。調査は、関東圏の 18 歳から 50 代までの男女を対象に、2014 年 12 月に、マクロミルにより実施した。得られた総サンプル数は、3,105 であった。統計的な分析については、R (R 3.1.2 GUI 1.65 Mavericks build) を用いた。

3. 結果

3.1 行動の心理的要因の把握

2 回のアンケートで共通して設けた環境意識に関する 10 の質問につき、両者を合わせた 7,065 サンプルを対象に、因子分析を行なった(最尤法・Promax 回転・回帰法)。表 1 に結果を示す。

表 1　環境意識の因子分析結果

質問概要	因子				
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
行動しても環境良くならない	.782	−.010	.056	−.026	−.007
自分の行動は原因ではない	.778	.011	−.038	−.017	−.047
面倒でも行動すべき	.026	.815	−.064	.014	−.056
環境問題は重要	−.046	.733	.066	−.006	−.062
行動時環境意識していない	−.001	.012	.824	.000	−.030
環境問題に関心は高くない	.115	−.069	.579	.053	.043
他人の目なければ行動しない	−.020	.024	.027	1.017	−.009
他人や社会の目を意識する	.060	−.070	−.056	.641	.076
何が環境に良いかわからない	−.036	−.102	−.018	−.079	1.067
情報十分ではない	.065	.047	.020	.075	.475
固有値	1.554	1.414	1.071	0.730	0.231
累積寄与率	0.126	0.258	0.378	0.522	0.661

環境意識を構成する心理因子として、A) 個人の無責任さ､B) 環境全般への高い意識、C) 日常での環境への低意識、D) 他人の目への高い意識、E) 環境情報不足、の 5 因子を抽出し、これらでの累積寄与率は 66.1%であった。

3.2 環境意識による分類

次に 3.1 によって得られた因子得点によって全回答者（n= 7,065）をクラスター分析（ユークリッド距離・ウォード法） により、4 つのグループに分類した。各クラスターの平均因子得点を図 1 に示す。

これより、クラスター 1 は個人の責任が低く日常での環境意識が高いクラスター。クラスター2 は環境全般への意識が高く、環境情報も足りているクラスター。クラスター3 は個人の責任意識が高いが、日常での環境への意識は低く、他人の目への意識は高いクラスター。クラスター4 は環境全般への意識が低く、他人の目への意識が低く、環境情報は不足しているクラスターとなった。

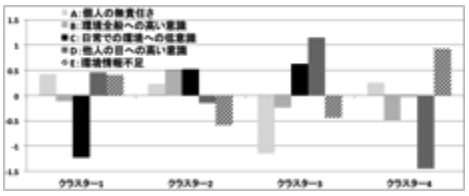


図 1 各クラスターにおける平均因子得点

3.3 特徴的な日常行動と対応ゲームアプリ

クラスター1～4 の持つ特徴を他の質問とのクロス分析によって見ていく。「日常行動に関する調査」では、「Q53：電化製品を買う際に省エネ性能を気にしていますか」という問いとのクラメール連関係数が 0.1 と、弱いながらも相関をとっていた。

図 3 にこれら Q53 のクラスターごとの回答結果を示した。特に、個人の責任意識が高いが、日常での環境への意識は低く、他人の目への意識は高いクラスター3 において、省エネ性能を気にする傾向が見られている。

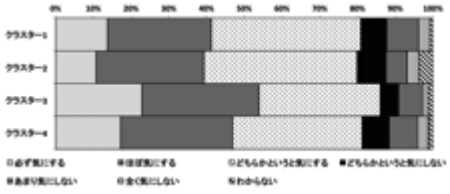


図 2 電化製品の省エネ性能意識行動に対する各クラスターの回答

また、同様に「スマートフォンアプリに関する調査」では、スマートフォンゲームアプリをやめた理由を尋ねた Q12 において、クラメール連関係数 0.08 と非常に弱いものの相関が現れていた。

図 5 に Q12 へのクラスターごとの回答を示した。

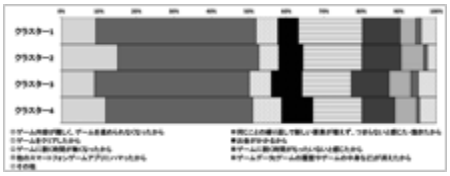


図 3 各クラスターのアプリゲーム終了理由

4. 結論

環境意識を構築する因子を抽出し、同因子得点に基づき 5 つのグループに分類した上で、類型ごとの日常行動やアプリ利用などの違いを解析した。これにより、例えば図 2 で見られるように、クラスター2 のような電化製品の省エネ性能を気にしない人に対しては、図 3 からゲーム内容に電化製品の購買行動を盛り込み且つゲームを簡単にすることでゲームの継続性が上昇し、環境配慮行動の促進につながるのではないかといったことが示唆された。

謝辞

本研究は、環境省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」（代表：栗栖聖）により実施された。

参考文献

1) 青木えり,栗栖聖,中谷隼,花木啓祐:家庭における環境配慮行動の類型化とその特徴分析,土木学会論文集 G(環境), Vol.67, No.7, pp.Ⅲ_615-Ⅲ_625, 2011
2) 天野雄太,平山世志衣,本藤祐樹:日本 LCA 学会誌, 8(1), (2012) pp.55-65
3) 総務省統計局,平成 23 年度社会生活基本調査,統計データ,入手先< http://www.stat.go.jp/data/shakai/2011/>,(参照 2014-6-6)
4) Hiramatsu, A. and K. Kurisu, 2014, EcoBalance 2014 (Oct. 27-30, Japan).

消費者を対象とした環境教育・情報提供の効果測定に関する検討

Effectiveness Measurement of Environmental Education and Information Provision for Consumers

○上原恵美*[1)]、平尾雅彦 [1)]
Emi Kikuchi-Uehara, Masahiko Hirao
1) 東京大学
* e-uehara@pse.t.u-tokyo.ac.jp

1. 緒言

持続可能社会の実現に向けて、従来の消費パターンからの変革が求められている。消費者による環境に配慮した製品選択や日常行動の支援を目的として、様々な教育活動や情報提供が行われている。消費者への教育・情報提供により、環境問題や自身の行動に伴う影響の認知、及び、環境影響削減のための代替行動案を設計する能力が高まり、行動変化が促進されるという効果が期待される [1)]。一方で、教育・情報提供によってもたらされる消費者の行動変化については、体系的な評価手法が確立されておらず、既往の取り組み事例の効果は十分に検証されていない。また、教育・情報提供による行動変化は、環境配慮型製品の普及や環境税の導入といった、消費者を生活やそれをとりまく社会背景の変革がもたらす行動変化に比べて小さいのではないかという指摘も存在する [2)]。環境配慮行動支援のために効果的な教育・情報提供を行うためには、消費者の行動変化という観点から効果測定を行うための体系的な手法が必要となる。

本研究では、既往の環境教育・情報提供に関する研究・取り組みにおける効果測定事例の調査を行い、現状の評価手法の分類・比較を行うとともに、評価手法確立のための課題を抽出する。さらに、行動への影響因子としてライフサイクル思考能力に着目し、能力変化の測定方法を新たに提案する。

2. 効果測定の事例と課題

2.1 事例調査

既往の環境教育・情報提供に関する研究・取り組みにおける、効果測定事例の調査を行った。調査対象事例の一部を表 1 に示した。教育・情報提供により行動介入を行う対象としては、エネルギー・水消費、製品選択・購買、リサイクルを採り上げた事例が多く、類似する行動であっても、事例によって効果測定方法は様々であった。

調査事例で測定対象となっている様々な項目は、行動変化、行動変化に伴う環境影響、行動先行因子、行動設計能力、の 4 つに分類可能であった。行動変化は、行動介入により誘起しようとしている環境配慮行動の実践の有無を指し、環境ラベルの表示に伴う購入製品の変化 [5)]や、省エネ行動の実践の有無 6)を調査した事例などが存在する。行動変化に伴う環境影響は、エネルギーやCO_2排出量の削減量といった行動変化のもたらす結果を指す。

一方、行動変化や変化に伴う影響を直接測定することが困難な場合には、行動への影響因子の測定による行動変化の予測が行われている。また、行動への影響因子を測定することで、行動介入が消費者行動に変化をもたらすメカニズムを詳細に分析することが可能となる。行動先行因子は、環境配慮に対する意識・関心や個人の背景因子といった、行動変化を誘起あるいは阻害する因子を指す。特に、学校における環境教育の

表 1　環境教育・情報提供による介入に伴う効果測定事例

	事例・出典	Cincera and Krajhanzl (2013)[1)]	藤平他(2008)[2)]	Vanclay et al. (2011)[3)]	家庭エコ診断制度 (2011-2014)[4)]
対象	行動	家庭におけるエネルギー・水消費	家庭におけるエネルギー消費	食品の購買行動	家庭におけるエネルギー・水消費
	消費者	12～15歳の男女1219人	小中学生636人	特定の食料品店での購買者（購買品数2890）	受診希望世帯（H25：15337件）
	地域	チェコ	日本	オーストラリア	日本
	行動介入	教育	教育	カーボンフットプリントラベルの表示	省エネ・CO2削減対策の提案
	測定項目	行動設計能力	行動先行因子	行動変化	行動変化・行動変化に伴う環境影響
	比較対象	行動介入の無い他集団	行動介入前の同集団	行動介入の無い集団	受診前の同集団
	測定方法	自己申告	自己申告	他者調査	自己申告
	行動観察期間	短期間	短期間	3ヶ月	3ヶ月

ように、中長期にわたる行動変化の観察が困難な場合に測定対象となっている場合が多かった[1)4)]。行動設計能力は、環境配慮行動を自ら計画する能力を指す。これは、行動変化が環境影響削減に寄与する適切なものであるかを左右する因子であるが、測定対象として採用された事例は少ない。

測定方法としては、アンケートによる調査対象者の自己申告形式が用いられる場合が多い。一方で、自己申告による行動変化と他者調査による実際の行動変化の乖離を報告した事例[7)]も存在する。

2.2 効果測定の課題

事例調査により、教育・情報提供による行動介入の効果測定に関して、以下の課題が明らかになった。

- 介入対象の行動、消費者層、介入の目的に応じた、適切な測定項目の選定手法を体系化する必要がある。介入の効果を直接評価するための、行動変化の有無・変化に伴う環境影響の測定に加え、行動変化に至るメカニズムを分析するための、行動への影響因子の測定が必要となる。
- 行動への影響因子としての行動設計能力に着目した効果測定方法の整備が必要である。
- アンケートによる自己申告形式の調査結果については、その信頼性に関して十分な検証が必要である。

3. ライフサイクル思考能力の測定

事例調査により課題として挙げられた、行動設計能力の効果測定に関して、ライフサイクル思考能力に着目した測定方法を検討した。消費者が自身の固有条件を考慮して適切な環境配慮を行ううえで、ライフサイクル思考に基づく行動設計が有効であると考えられる。ライフサイクル思考に必要な能力として、ライフサイクルの考慮、シナリオ分析、システム境界の設定、機能単位の設定の 4 つを定義し、その測定のための調査票を作成した。

表 2 にライフサイクル思考能力測定のための質問の一部を示した。ライフサイクルの考慮に関しては、製品のライフサイクル全体を認識する能力を問うために、製品の使用段階だけでなく、その前後のプロセスからの環境負荷の認識を問う質問を設定した。シナリオ分析に関しては、製品ライフサイクルにおいて消費者がとる行動の選択肢の認識を問う質問を設定した。システム境界の設定に関しては、シナリオに応じて考慮すべき環境負荷の範囲を問う質問を設定した。機能単位の設定に関しては、類似する製品間での比較を行う際に、公平な判断を行うための比較単位を問う質問を設定した。

表 2　ライフサイクル思考能力測定のための質問例

ライフサイクルの考慮		
Q	ペットボトルはリサイクルするとCO2が全くでない	はい/いいえ
Q	ガソリンは燃やすときにCO2が出るが、作るときにもCO2が出る	はい/いいえ
シナリオ分析		
	ペットボトル入りの水を買うときと水道水を入れたマイボトルを利用するときを 考えます。飲料水容器の環境に良い選び方、使い方をアドバイスするうえで、以下の情報は重要だと思いますか。	
Q	マイボトルを捨てるまでの使用回数	はい/いいえ
Q	使い終わったペットボトルの捨て方	はい/いいえ
Q	1日に飲む水の量	はい/いいえ
Q	マイボトルを洗うために使う水の量	はい/いいえ
システム境界の設定		
	わりばしをあなたが利用するときに出るCO2を計算するとき、以下の条件で 出るCO2を考える必要があると思いますか	
Q	原料の木材を育てるときに肥料や水、燃料を使うことで出るCO2	ある/ない
Q	割り箸を使って食べた料理を調理するときに水や電気、ガスを使うことで出るCO2	ある/ない
機能単位の設定		
	以下の2つのものを作り、使い、使ったあとのものを処分することで出るCO2の 比べ方が公平だと思いますか	
Q	「500mL入りのペットボトル1本」と「1L入りのペットボトル1本」	はい/いいえ
Q	「LED電球1個」と、電球の値段が同じになるように数を合わせた「白熱電球」	はい/いいえ

4. 結言

環境教育・情報の提供に関する研究・取り組みにおける、効果測定事例の分析を行った。行動介入による消費者の行動変化の測定における課題を整理した。さらに、環境配慮行動に影響を与え得る因子としての行動設計能力としてライフサイクル思考能力に着目し、能力測定のための調査票を作成した。

引用文献

1) Steg L., Vlek C.: J. Environ. Psycol., 29 (3), (2009), pp 309-317
2) Lucas K., Brooks M., Darnton A., Jones J.E.: Environ. Sci. Policy, 11 (5), (2008), pp 456-466
3) Cincera J., Krajhanzl J.: J. Clean Prod., 61 (15), (2013), pp 117-121
4) 藤平和俊, 大須賀公一. 吉岡崇仁, 林 直樹: 環境教育, 18 (1) (2008), pp 17-28
5) Vanclay J.K., Shortiss J., Aulsebrook S., Gillespie A.M., Howell B.C., Johanni R., Maher M.J., Mitchell K.M., Stewart M.D., Yates J.: J. Consum. Policy, 34 (1), (2011), pp 153-160
6) 環境省: “家庭エコ診断制度”, 入手先 <https://www.uchieco-shindan.go.jp/2014/>, （参照 2015-01-06）
7) Corral-Verdugo V.: J. Environ. Psycol., 17 (2), (1997), pp 135-145

ライフサイクル思考型環境教育が環境配慮意識と行動に及ぼす影響の調査

Investigation of the influence of life cycle thinking-based environmental education on environmental consciousness and actions

○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)]、松本真哉 [1)]
Hatsuna Tadaka, Yoshii Hirayama, Yukiko Takaoka, Shoko Tsuda, Tateki Mizuno, 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
* tadaka-hatsuna-dj@ynu.jp

1. 背景と目的

私たちの大量消費型の生活様式は地球環境に多大な影響を与え、地球温暖化などの様々な環境問題を深刻化させていると考えられている。このような環境問題に取り組み、持続可能な社会へ転換するためには、この大量消費型の生活様式を一変させるのではなく、その中で環境に対して責任ある行動を選択し転換することが現実的だと思われる。環境教育はその責任ある行動を選択できる人材育成のために重要である。

環境教育は世界中で取り組まれており、日本でも多くの教材が開発され、教育現場などで実践されている。近年、環境教育の教育内容にライフサイクルの考え方(ライフサイクル思考、以下 LCT と略す)を取り入れた教材の開発や実践の報告が相次いでいる [1-5]。これらの教材では、自らの生活行動と環境問題の密接な関係に気付くことを第一の目的として、日常で利用する物品やサービスのライフサイクルを学ぶ。教材によっては、更に CO_2 排出量などの数値の試算や、グループワークなどの能動的学習により、環境負荷を低減する方策を学び考える内容も含んでいる。これらの LCT 型環境教育の教育効果は、一般には実践前後の質問紙調査により調べられており、実践後の受講者の環境配慮意識の向上などに顕著に寄与することが報告されている。一方で、教育効果の追跡調査の報告例は限られている。水野らは、受講後 1 年が経過した時点の教育効果について調査し、半数程度がライフサイクルという言葉や意味を忘れているとの結果を報告している [6]。しかし更に踏み込んで、その後の日常生活における意識変化の持続や生活行動に及ぼす影響などを追跡調査している例は知られていない。そこで本研究では、LCT 型環境教育の受講後の日常生活における環境配慮意識や行動に、LCT の学びが及ぼす影響について追跡調査を行った。

2. 調査方法

2.1 調査概要と調査対象

本調査は、LCT 型環境教育を受けた受講者に受講後一定期間が経過した段階で質問紙を送付し、回答し郵送してもらう形式で実施した。調査は 2014 年 7 月から 11 月に実施した。調査対象は、これまでに LCT 型環境教育/講座を受講した経験のある一般市民 96 人である。対象者の内訳は、①通信制の大学へ通う 20 代～70 代以上の男女 58 人、②製造業で働く 20 代～30 代の男性社員 23 人、③世田谷区内の自治会に所属する 40 代～70 代以上の男女 15 人である。質問紙の回収率は 80.2%であった(n=77)。①は、2012 年から 2014 年に講義を受けた受講者を対象にしているため、受講年により、受講後から調査実施までの経過時間は大きく異なる。②と③については概ね講義受講後 2～3 ヵ月後に調査を行った。また受講した講義の内容にも違いがある。①の講義は 2 日間の構成で、1 日目にグループワークを含む LCT 型環境教育、2 日目はライフサイクルアセスメントの基礎的な講義で構成されていた。②では、それぞれ 90 分の LCT 型環境教育の講義とグループワークを連続して受講し、③では 80 分の LCT 型環境教育の講座を受講した。また教材内容と実施者は、①と②が同じで、③のみ異なる。

2.2 質問紙の内容

質問紙の内容は、環境省や電力中央研究所が作成している質問紙を参考に作成した [7-8]。検討した質問内容は、質問 1：回答者の属性、質問 2：現在行っている環境配慮行動、質問 3：受講後の環境配慮意識と行動の変化、質問 4：講義全体の印象など、の 4 種類に分別される。質問 2 では、「現在(受講後)自宅で行っている環境配慮行動の頻度とその理由」について回答を求めた。ここでは、環境配慮行動として 7 項目の行動を選定し、それぞれの項目の頻度を「全くそうする事が無い」から「大体いつもそうしている」の 5 段階評定尺度で単一回答を求め、選択した頻度の理由を 10 項目から複数回答で回答する形式とした。理由には LCT の学びの影響を確認する選択肢を設定した(表 1)。質問 3 では、「受講後の環境配慮意識の変化」と「受講前後における、自宅で行っている環境配慮行動の頻度変化とその理由」を尋ねた。意識変化と頻度変化はそれぞれ 5 段階及び 3 段階の評定尺度で回答を求めた。頻度変

化の理由として、LCT の学びの影響を確認する選択肢を含む 6 項目を設定した。質問 4 では、「学びに関する家庭内でのコミュニケーションの有無」と「講義全体の印象」について、自由記述形式で回答を求めた。

表 1 環境配慮行動 7 項目及び理由 10 項目

環境配慮行動	理由10項目
1. ゴミ分別	1. 環境に優しいと思うから
2. 資源・モノの再利用	2. お金を節約できるから
3. 節電	3. 便利だから
4. 節水	4. ライフサイクルのどこかに環境負荷があるから
5. 環境を配慮した商品選択	5. 子どもがいるから
6. グリーン購入	6. 居住地域の規則だから
7. エコバッグの持参	7. 時間が無いから
	8. 関心が無いから
	9. 不便だから
	10. その他

3. 結果と考察

質問 2 では、全ての環境配慮行動において、30%前後の受講者がその項目を行う理由に LCT を挙げた。80%以上の高い割合で実行されている家庭内行動は節電であり、そのうちの約 37%は行動理由の一つとして LCT を選択した。環境に配慮した商品選択は約 60%の受講者が行動しており、そのうちの約 42%が LCT を行動理由の一つに挙げた。質問 3 では、全ての環境配慮行動の頻度が、受講後に 15～30%程度上昇したことが分かった(図 1)。ゴミ分別とグリーン購入については、20%程度の回答者が LCT を学んだことをその理由として挙げており、エコバッグの持参でも 16%弱の寄与が見られた。一方、最も頻度変化が大きかった節電については、12%程度の寄与しか見られなかった(図 S1 参照)。これらの結果は、受講後一定期間が経過していても、LCT の学びは全体の 30%の受講者の行動の動機となり、さらに特定の行動頻度上昇に影響を与えていたことを示す。項目間の相関など更に詳細な分析が必要である。

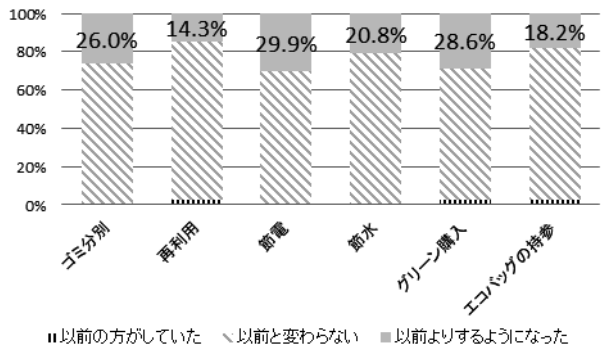


図 1 講座受講後の環境配慮行動の頻度変化

全体の傾向としては、回答者の過半数は日頃から質問紙にある環境行動を実践していた。しかしそのような母集団でも、67%の割合で講義受講後に環境配慮意識が向上したことが示された。また、「節電」は節約になるという印象を抱いている受講者が多いこと、一方で「節水」には不便だという印象を抱いている受講者が多いことが分かった。

4. まとめと今後の課題

LCT 型環境教育が受講後の日常生活に及ぼす影響と、意識及び行動変化に着目して質問紙調査を行った。詳細な解析はこれからだが、70%程度の受講者から環境配慮意識の向上が確認できた。また今回の調査対象者集団は、講義受講前から環境配慮行動に取り組む傾向があり、受講による特に大きな行動変化は見られなかったが、各行動によって、行動の頻度変化に対する LCT の学びの寄与率が異なっていることが示された。今後、回答者の属性による特徴や、各項目の相関などの解析を進める。

謝辞

本調査は、公益財団法人アサヒグループ学術振興財団 2014 年度研究助成により実施したものである。

引用文献

1) 水野建樹: 日本 LCA 学会誌, 5 (3), (2009), pp.324-330
2) 本藤祐樹: 日本 LCA 学会誌, 5 (3), (2009), pp.331-337
3) 成田明沙美, 井上弘毅, 松本真哉, 中村栄子: 日本 LCA 学会誌, 5 (3), (2009), pp.393-402
4) 平山世志衣, 中島光太, 本藤祐樹: 日本 LCA 学会誌, 5 (3), (2009), pp.367-381
5) 赤坂径高, 中原康敬, 田髙初奈, 松本真哉: 日本 LCA 学会誌, 9 (1), (2012), pp.37-44
6) 水野建樹: ILCA-J, Yokohama (Japan), (2010), pp.174–175
7) 環境省: “家庭における節電・CO_2削減行動に関する調査”, 環境省 (オンライン), 入手先 < http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=16616 >, (参照 2015-1-3)
8) 電力中央研究所: “エネルギー・環境問題に対する人々の考え方”, 電力中央研究所 (オンライン), 入手先 < http://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/report/detail/Y08047.html>, (参照 2015-1-3)

大学研究棟における雑排水と雨水の有効利用システムの LCA

Life cycle assessment of water reuse system focused on gray water and rainwater in a University building

○黒﨑久司*[1)]、佐竹孝 [1)]、吉川直樹 [1)]、天野耕二 [1)] 、中島淳 [1)]
Hisashi Kurosaki, Ko Satake, Naoki Yoshikawa, Koji Amano, Jun Nakajima
1) 立命館大学
* rv0019kh@ ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

日本の浄水場からは直接飲むことができる水質で水道水が供給されている。しかし、トイレ洗浄水や植物の灌水に使用するには過剰な浄水処理となっている。

2014 年 4 月に立命館大学の新棟「トリシア」において雑排水をトイレ洗浄水として利用する「雑排水再利用システム」､雨水を植物への灌水として再利用する｢雨水再利用システム｣が導入された。このシステムの導入により、過剰な処理を減らし環境負荷量が減少することが期待される。本稿では、その導入効果を定量的に検討するために、環境負荷量の評価を行う。

2. 研究手法

2.1 研究概要

トリシアに導入された雑排水再利用システムと雨水再利用システムの環境影響評価を行う。シナリオ分析として、雑排水に加えて雨水をトイレ洗浄水として使用する複合利用を想定し、従来システムと比較・評価を行う。さらに、利用人数や降水量の変化による評価結果の違いを分析する。

2.2 上下水道システムのシナリオとフロー

発生した雑排水(台所排水)は従来、下水処理場で処理されるが、シナリオ①ではトリシアに設置された浄化槽で処理し、処理後の水をトイレ洗浄水として再利用する。

壁面緑化(植物への灌水)は従来、上水道から供給されるが、シナリオ②ではトリシアの屋上に降った雨を貯水池に貯めることで雨水を再利用する。

シナリオ③では、雨水利用のシナリオとしてトイレ洗浄水に再利用することも検討する。

設定したシナリオとその説明を表 1 に、シナリオごとの配水フローを図 1～4 に示す。

表 1 シナリオ名とその説明

シナリオ名	説明
従来型	雑排水と雨水の再利用を行わず、上水から供給し下水へ流す。
現行型（①×0.5＋②）	シナリオ②に加え、発生する雑排水の半分をトイレ洗浄水として再利用する。
雑排水→トイレ洗浄水（①）	発生した雑排水をトイレ洗浄水として再利用する。
雨水→壁面緑化（②）	貯水池に貯めた雨水を壁面緑化灌水として再利用する。
雨水→トイレ洗浄水（③）	貯水池に貯めた雨水をトイレ洗浄水として再利用する。
複合型（①+②+③）	シナリオ①②③を複合利用する。

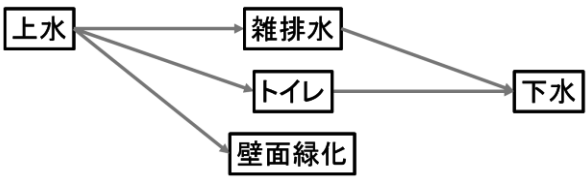


図 1 従来型の配水フロー

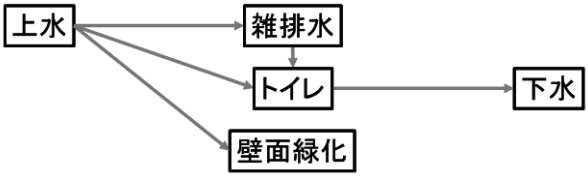


図 2 シナリオ①の配水フロー

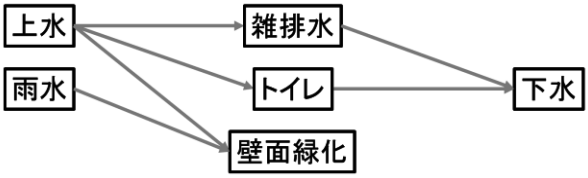


図 3 シナリオ②の配水フロー

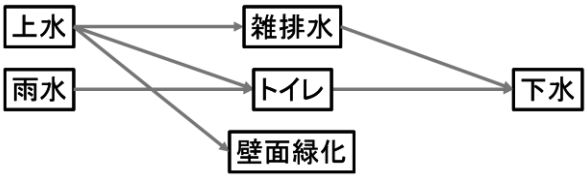


図 4 シナリオ③の配水フロー

2.3 使用するデータ

表 2 使用する原単位データ

		単位
浄水処理[1) 2)]	0.253	kg- CO_2/㎥
下水処理[2) 3)]	0.323	kg- CO_2/㎥
電力消費[4)]	0.516	kg- CO_2/㎥
ブロアの消費電力	33	W
雑排水量	3.98	㎥/日
トイレ洗浄水量	1.23	㎥/日
壁面緑化灌水量	0.85	㎥/日

表 1 は使用する原単位データの一覧である。

浄水処理[1) 2)]と下水処理[2) 3)]の原単位はトリシアの立地する地域の各処理場における電力・燃料・薬品の年間消費量にそれぞれの環境負荷原単位を乗じた値を年間処理水量で除すことで単位水量当たりの CO_2 排出量を求めた。

雑排水量・トイレ洗浄水量・壁面緑化灌水量の原単位は、2014 年 7 月 5 日～12 月 24 日の累積値を日数で除すことで 1 日当たりの値に換算した。

2.4 計算方法

表 1 と浄化槽のブロアの消費電力から使用段階における環境負荷量をシナリオごとに計算する。

雨水の集水量は、1 日ごとの大津市の降水量[5)]（2011 年 1 月 1 日から 2013 年 12 月 31 日）にトリシアの集水面積を乗じて、さらに雨水流出係数 0.9 を乗じて算定した[6)]。貯水量の上限は実際のトリシアの貯水池面積 162 ㎡に水深 1m を仮定し 162m^3 とした。貯水量の初期値を上限値の半分である 81m^3 とし、シナリオごとの上下水道使用量から環境負荷量を比較する。

3. 結果と考察

表 3 シナリオごとの浄下水道処理量

シナリオ名	上水	下水	単位
従来型	6.05	5.20	㎥/日
現行型	4.59	4.59	㎥/日
シナリオ①	4.83	3.98	㎥/日
シナリオ②	5.20	5.20	㎥/日
シナリオ③	2.47	5.20	㎥/日
複合型	1.38	3.98	㎥/日

表 2 はシナリオごとの浄下水道処理量である。

雑排水のトイレ洗浄水への再利用は浄下水処理量の双方を減少させる効果があり、雨水の壁面緑化灌水とトイレ洗浄水への再利用は浄水処理量のみを減少させる効果がある。複合利用を行った場合、従来型と比較し上水使用量は 23%に、下水処理量は 77%に減少した。

表 4 シナリオごとの環境負荷量の内訳

シナリオ名	上水	下水	ブロア（浄化槽）	合計	単位
従来型	1.53	1.68	0.00	3.21	kg-CO_2/日
現行型	1.16	1.48	0.41	3.05	kg-CO_2/日
シナリオ①	1.22	1.28	0.41	2.91	kg-CO_2/日
シナリオ②	1.32	1.68	0.00	3.00	kg-CO_2/日
シナリオ③	0.63	1.68	0.00	2.31	kg-CO_2/日
複合型	0.35	1.28	0.41	2.04	kg-CO_2/日

表 3 はシナリオごとの環境負荷量の内訳である。

雑排水の再利用システムで使用されるブロアによる環境負荷量の増加量よりも、上下水道使用量の減少による環境負荷量の減少量が大きいことから、使用段階においてシステムの優位性を示すことができた。

4. おわりに

本研究では、雑排水と雨水の再利用システムの使用段階における環境負荷量を算出した。

今後の課題として、再利用システムにおけるポンプの電力消費量を計測し、発生する環境負荷量に加える必要がある。また、雨水の再利用システム導入に伴う環境負荷量の考慮を行う必要がある。

5. 謝辞

本研究の一部は文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業（S1411032）による成果である。

6. 参考文献

1) 公益社団法人　日本水道協会：水道統計（平成 19 年度版）
2) 下水道における地球温暖化防止対策検討委員会：下水道における地球温暖化防止推進計画策定の手引き,（オンライン）, 入手先〈http://www.mlit.go.jp/common/000036176.pdf〉,（参照 2014-12-24）
3) 公益社団法人　日本下水道協会：下水道統計（平成 22 年度版）
4) 関西電力株式会社：“関西電力ウェブサイト”, CO2 排出係数について,（オンライン）, 入手先<http://www.kepco.co.jp/corporate/kankyou/lowcarbon/co2.html>,（参照 2014-12-24）
5) 気象庁：“気象庁ウェブサイト”, 過去の気象データ・ダウンロード,（オンライン）, 入手先<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>,（参照 2014-12-24）
6) 公益社団法人　日本下水道協会：日本下水道協会編（1984）

神戸大学の環境保全推進活動

Environmental management activity of Kobe University

○末次　憲一郎*[1)]、西山覚[1)]、勝田知尚[1)]、佐藤正昭[1)]、吉村知里[1)]

Kenichiro Suetsugu, Satoshi Nishiyama, Tomohisa Katuda, Masaaki Sato, Chisato Yoshimura

1) 神戸大学

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

1.　緒言

神戸大学環境管理センターは「神戸大学水質管理センター」を母体とし、それを拡充・改組されて平成１６年に発足した。学内における環境汚染の防止を行い、「環境教育研究活動支援部門」・「環境保全対策部門」・「資源エネルギー管理部門」の３部門により構成されていた[1)]。

しかしながら昨今のエネルギー管理体制の重要性から、環境管理センターにおける「資源エネルギー管理部門」の省エネルギー推進活動をさらに発展させ、本部の環境マネジメントに関する組織を加えて、全学的なエネルギー管理や CO_2 排出量削減を推進することが急務となっており、新たな組織体制への変革が求められていた。

2.　組織の機能と役割

2.1.　環境保全推進センターの設立

環境管理センターにおける「資源エネルギー管理部門」の省エネルギー推進活動をさらに発展させ、本部の環境マネジメントに関する組織である「環境・施設マネジメント委員会」、「環境マネジメント部会」、「環境レポーティングワーキンググループ」、「環境マネジメント検討ワーキンググループ」加えて、全学的なエネルギー管理体制の構築、エネルギー管理標準の策定等、エネルギー消費量の削減、CO_2 排出量の削減を本格的に推進するために、新たな体制が環境保全推進センターとして設立された[2)]。

本環境保全推進センターは、神戸大学において、環境保全を推進し、持続可能な社会の創造に貢献するために必要な施策を企画・立案し、及び実施することを目的としている。

2.2.　センター内部門の活動

環境保全推進センターは、環境管理センターの環境汚染防止、環境教育研究の促進に加え、廃棄物排出量の削減、エネルギー使用量・CO_2 排出量の削減の全学的取り組みを推進するために、次の２部門より構成され、以下の業務を遂行する[2)]。

ｉ）　環境管理部門のミッション

(1) 本学の構成員に対する環境教育に関すること。
(2) 環境保全に関する調査及び研究に関すること。
(3) 教育研究活動に伴い発生する環境汚染物質の分析，計測監視の統括に関すること。
(4) 教育研究活動に必要な指定化学物質の環境への排出量の把握及び管理の統括に関すること。
(5) その他環境教育及び研究並びに環境汚染を防止するための技術的支援に関すること。

等々、上記５項目を実施する。

ii）　環境企画部門のミッション

(1) 環境保全活動の推進に係る基本計画の策定
(2) 環境保全活動の評価に関すること。
(3) 環境報告書に関すること。
(4) エネルギーの使用の合理化に関すること。
(5) 環境への負荷を低減するための技術の導入。

等々、上記５項目を実施する。

これらセンター内部の部門に全学から選ばれたメンバーによる専門委員会が連動しており、学生のメンバーからなる学生環境調査隊もセンター内に含む組織となっている。

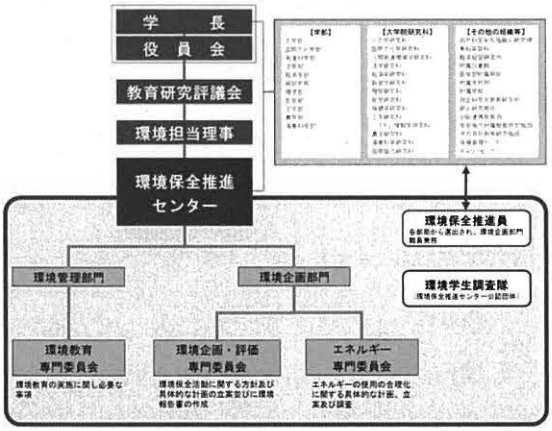


図１　環境保全推進センターの組織体制

3.　全学の環境保全活動の推進[2]

3.1. 神戸大学環境報告書の作成と活用

環境保全推進センターは、全学の環境に関する活動について、年度ごとに総括を行い、環境報告書としてレポートを作成している。この環境報告書に、神戸大学の環境方針や環境憲章などトップポリシーのほかに、環境のアクティビティである環境トピックスや研究のほか、環境パフォーマンスとしてマテリアルフローに従ったエネ

ルギー収支やリサイクル、リユースなどの３Ｒについてまとめを行っている。この環境報告書をもとに、学内での活用を図り、コミュニケーションツールとして活用展開を図っている。

3.2. PDCA サイクルの効率化のための全学環境保全推進報告会の開催

環境保全推進センターの２部門に、それぞれの専門部会があり、これらの３専門部会における年度ごとの活動において、PDCA サイクルを着実に早く回すために、年２回の全学環境保全推進報告会の開催を実施している。

本年度は７月に第１回全学報告会を開催し、企業における省エネ化の講演を開催した。第２回目を１１月に開催し、年度始めに考えた年度計画の推進状況ならびに環境パフォーマンスの推進状況の把握を、年度中間でチェックし是正することを意図して実施した。あわせて、環境活動において学内で顕著な活動を行った貢献者の表彰を行った。

図１第１回全学報告会での報告と企業による講演

3.3. 学生環境調査隊による環境キャラバンと提言

環境保全推進センターには大学公認の環境学生調査隊が参画しており、この学生目線による学内環境保全推進を大学環境担当者とともに行っている。これにより、日々学内で学習している学生達の生の声がセンターに届けられ、改善が早期に推進される。また学長との対談を通て、大学運営に学生の視点から具体的な提案が直接学長の耳に入る仕組みとなっている。

図２　環境キャラバン（写真上）と学長との対談（写真下）

3.4. 環境報告書を読む会と環境学入門での教育

作成した環境報告書の活用の一貫として、環境保全推進状況を学生や教員との間で情報共有を図っている。すなわち、作成した環境報告書をもとに、議論を行い、理解を深めている。また、さらに環境に関する知識を深めるため、教養原論科目である「環境学入門」を担当し、環境教育を実施している。

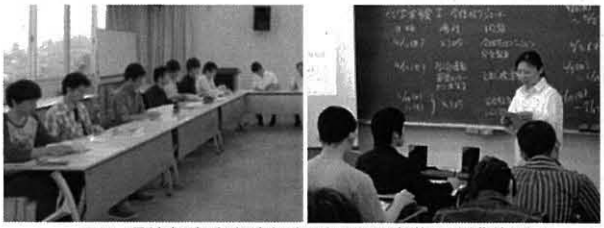


図３　環境報告書を読む会（左）と環境学入門講義（右）

4. 今後の活動展開

環境保全推進センターは、神戸大学において、環境保全を推進し、持続可能な社会の創造に貢献するために必要な施策を企画・立案し、及び実施することを目的としていくが、さらにセンターの活動として将来を見据え、以下の活動を推進していく。

第一にエネルギー合理化のための PDCA サイクル実施の徹底を行う。すなわち、年度初めに中期目標に基づき当該年度目標を明確にし、これに基づいてエネルギー使用の実施を目指し、PDCA サイクル実行の徹底を行っていく。環境保全推進全学報告会を活用し、年度中間でのエネルギー使用状況の把握を行い、これに基づいた、年度、中期運用の是正を実施していく。

第二に神戸大学独自研究による再生エネルギーによる省エネルギー化の実現を推進する。すなわち、神戸大学では、風力、バイオマス、波力など再生エネルギーに関する多くの研究がなされている。環境憲章の具体的な実践を考え、神戸大学独自の世界的な再生エネルギー技術を内外に PR を行うとともに、学内で本技術による具体的な再生エネルギーの運用を推奨し、省エネルギー化を図っていく。

参考文献

1)　神戸大学環境管理センター報（第９号　平成２５年度版）
2)　神戸大学環境報告書２０１４（平成２６年度版）

神戸大学の学生参加型環境教育

Student-Paticipatory Education in Environmental Issues at Kobe University

○吉村知里*[1)]、國部克彦[1)]、勝田知尚[1)]、佐藤正昭[1)]、末次憲一郎[1)]、西山覚[1)]

Chisato Yoshimura, Katsuhiko Kokubu, Tomohisa Katsuda, Masaaki Sato, Kenichiro Suetsugu, Satou Nishiyama

[1)] 神戸大学

* chisa0a@kobe-u.ac.jp

1. 緒言

神戸大学では総合大学の特色を生かし、環境保全推進センターが中心となって他部局の教員と広く環境について考える場として1,2回生に「環境学入門」講義を開設している。受講生や学内環境関係のイベントに参加し、積極的に大学の環境を良くしたい学生で”環境学生調査隊”を2012年に結成した。他大学を調査し神戸大学の課題を学長や構成員に報告した。学生からの提案やイベントを行い、全学への周知と環境活動参加を呼びかけている。しかし、主体として意欲的に活動する学生やイベント参加者の確保に今後の課題が残っているのが現状である。

2. 神戸大学の環境憲章と環境教育

神戸大学は環境憲章において、基本理念と基本方針(1.環境意識の高い人材の育成と支援、2.地球環境を維持し創造するための研究の促進、3.率先垂範としての環境保全活動の推進)を掲げている。神戸大学環境憲章は、入学時に配布される『環境管理ガイドブック』[1)]にも記されている。『環境管理ガイドブック』[1)]は、学内の生活に関するゴミの分別や省エネルギーの推進、実験廃棄物の廃棄・管理および排水の最終処理の仕組みや注意事項をA5版8頁にまとめたものである。

主な環境教育のプログラムは、発達科学部など6学部でESD(Education for Sustainable Development)サブコースを実施しており、修了生はESDプラクティショナーとして認証を受ける。また、文理融合型の環境学の講義として、「環境学入門」を環境保全推進センターが主体となって開講している。

環境報告書を掲載後、環境報告書を用いたPDCAサイクルの試みとして「環境報告書を読む会」を学内で開催し学生と教職員で意見交換を行った。意見交換を行った学生の中で”環境学生調査隊”を結成し、他大学の環境への取り組みを調査および学内の環境に関するサークルや活動を取材した。その学内外の環境への取り組みをイベントや冊子で紹介し、学生目線で学生に学内環境保全を促す活動を行った。

2.1 環境学入門の位置づけ

2009年度 から、1、2年生を中心とする全学部の学生を対象に、「環境学入門」を開講した。2011 年度からは卒業単位となる教養原論の科目となった。

「環境学入門」は、自然科学系の教員と、人文・社会科学系の教員が、ほぼ半数ずつで講義する文理融合型の授業科目で、総合大学ならではの特徴を生かした講義を行っている。講義の目的は、学生に環境学に関心を持ってもらうことと、環境学の領域の広さと深さを実感してもらうことである。

2.2 教科書の作成と特色

神戸大学での「環境学入門」の構成と同じように教科書[2)]を作成した。それは、環境と生態系、地理、人体、生命のような空間や命に関することから講義は始まり、化学と資源・エネルギーという環境と密接に関連する工学分野の問題が解説される。つづいて、環境と法・政策、経済、経営という社会科学と環境とのかかわりが説明され、さらに環境と倫理およびコミュニケーションという人文学的な見方が提供される。最後に、大学の環境マネジメントについて、学生も巻き込む形で講義が展開される。

「環境学入門」の講義を担当する環境教育専門部会では、このような環境学の領域を幅広くとらえた特徴のある講義を、神戸大学の学生だけでなく、全国の多くの大学生にも触れていただきたいと考え、講義をもとに書籍を刊行した。環境教育専門部会で書籍の内容について検討を加え、その結果、各領域の最先端で活躍している担当者が初学者にもわかりやすいように、その内容を書き下ろしている。

これまでの講義では配布物を印刷していたが、教科書を用いることで配布資料の削減も兼ねることができた。

3. 環境学生調査隊の活動

”環境学生調査隊”は2012年9月に結成され、環境報告書への提言、環境イベントの開催、他大学などの調査を主な活動としている。2014年4月より図1の組織体制で“環境学生調査隊”は活動している。学長との対談(図2)は、学生にとって貴重な体験となり、意見交換の結果企画されたイベントの「エコアイデアプレゼン大会」(図3)は学生のアイデアを学内に反映できそうな提案が挙が

っている。

4. 今後の課題

講義や環境報告書と構成員の約 90%を占める学生と今後の大学の環境保全・管理について場を持つことが重要と考える。そのために、講義の開講やイベントを開催し、“環境学生調査隊”を結成してきた。しかし、学生を中心として環境保全・管理にまきこみ、環境憲章に掲げている様に進めるにはさらなる工夫と構成員に周知と協力が必要になる。環境保全推進センターは学生をサポートしこれからの神戸大学を持続可能な社会の創造に繋がるよう努めたい。

参考文献

1）神戸大学環境管理ガイドブック（2014 年度版）
2）環境学入門　神戸大学環境管理センター環境教育専門部会編

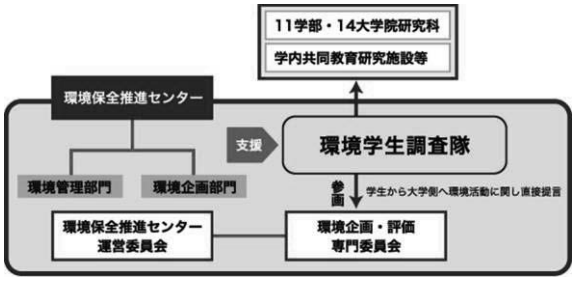


図 1. 環境学生調査隊と環境保全推進センター

図 2. 福田秀樹学長と対談（2013 年 8 月）

図 3. エコアイデアプレゼン大会（2013 年 12 月）

社会的空間における行動変容をきっかけとした環境教育の在り方についての研究

Fostering Pro-environmental Behaviors by Making a First Step in the Social Space

○小谷津亮*[1)]、栗栖聖 [2)]、花木啓祐 [1)]
Ryo Koyatsu, Kiyo Kurisu, and Keisuke Hanaki
1) 東京大学大学院工学系研究科, 2) 東京大学先端科学技術研究センター
* koyatsu@ env.t.u-tokyo.ac.jp

1.はじめに

CO_2 排出量に占める家庭部門の割合は、個人の運輸部門も含めると 25%にのぼり [1)]、個人の環境配慮行動改善が大きな課題だと言える。

人々の環境意識向上や環境配慮行動実施を促す取組みは、現状では効果が一過性であり、対象となる人・行動が限定的という課題を抱えている。

そこで本研究では、幅広い人・行動に実施可能で、かつ継続性を担保しうる環境教育として、互いが知り合いである「社会的空間」で、きっかけ行動の変容を起こす取組みを対象とし、実験やアンケートにより、その可能性を検討することを研究目的とした。

2.研究仮説

図 1 に本研究で用いた研究仮説を図で表した。社会的空間では、「b. 記述的規範」が作用しやすく、「a. 行動変容への働きかけ」が「c. きっかけ行動」に繋がると想定される。行動変容は「d. 自己効力感の高まり」及び「e. 認知的不協和の排除」を生じ、「f. 他の行動への波及」をもたらすと考えられる。以下に本仮説に関与する心理因子の説明をする。

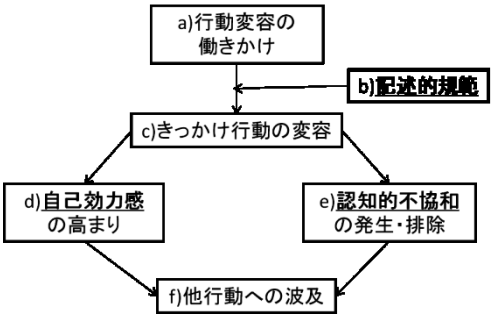


図 1　研究の論理構成

2-1　記述的規範

Cialdini *et al.*[2)]は、人が行動する際に作用する社会的規範には命令的規範と記述的規範の 2 種類があるとしている。このうち記述的規範とは、他の多くの人の行動の認知を指す。そのため、他人の行動を目にする社会的空間はきっかけ行動の変容という観点から適していると考えられる。

2-2　自己効力感

自己効力感とは、自分に目標を達成するだけの力があると実感することである。これを最も感じられるのは、自分自身が何かを達成する経験によるものである [3)]。従って、実際に環境配慮行動を実施することで、環境配慮行動を実施できるという感覚を与え、さらなる行動の波及が起きる可能性がある。

2-3　認知的不協和

認知的不協和とは、自身の行動や認知の間に不整合が存在する際に、不快感を生じる状況をいう。人はこの不快感を取り除くため、一方の行動や認知を変化させることで、不協和状態の軽減、排除を起こす。従って、ある環境配慮行動を実施させることで、他の環境配慮行動をやっていないという認知を起こさせれば、認知的不協和の排除を起こさせうると考えられる。

3.実験

社会的空間でのきっかけ行動の変容による環境教育の可能性を検討するために実験を行った。

3-1　実験対象

実験の対象者には大学の環境工学を専攻する学部 3･4 年生各 19 名を選定した。きっかけとする対象行動には、3・4 年生各々の演習室(授業や自習を行う専用の部屋)における消灯行動を選定した。

3-2　使用機器

消灯行動の把握には人感センサ（クリマテック株式会社、CO-UX90-006M）並びに照度計（同社、CO-UX90-002M)を使用し、部屋の利用時間と点灯時間を定量的に把握した。行動変容促進にはポスター(図 S1)を使用した。

3-3　実験の流れ

実験の 1 カ月前よりベースラインの消灯行動を把握した。さらに、実験前の環境意識や環境配慮行動の実施度をアンケート調査した。2014 年 6 月 14 日より、B2 サイズのポスター(図 S1)を各部屋の入口扉内側に掲示し、行動変容を促した。ポスター貼付から 2 カ月後に、事後アンケートとして消灯行動の実施度変化や、心理面・行動面の変化について質問す

ると同時に、演習室の消灯行動に対する態度や、様々な場所での消灯行動実施度、一般的な消灯行動に対する態度を問うた。

4.結果

4-1　消灯行動の結果

消灯行動について、「非消灯率」を部屋の点灯時間に対する部屋の不在状態の時間と定義し、その値をポスター貼付前後で比較した。

3 年生の部屋では、ポスター貼付前の非消灯率が 30.9%だったのに対し、後は 28.1%と若干の改善が見られた。一方、4 年生の部屋では、前が 22.2%だったのに対し、後では 23.6%と数値が悪化した。

アンケート調査における、消灯行動の自己申告にでは、3 年生 4 人がより消灯するようになったと答えたほかは、主観的な変化も見られなかった。また回答者の 8 割が、必ず消灯していると答え、自身の行動を過大評価している可能性が考えられた。

4-2　心理面・行動面の変化

アンケートで消灯行動が変化したと答えた 4 人に対して、自己効力感の発現や認知的不協和の排除といった心理的変化の有無や、行動変容の波及が実際に起こったかをアンケートで調査した。しかし、これらの心理因子の変化は見られず、行動についても、1 人が他の場所での消灯行動をやるようになったと答えた他は、変化は見られなかった。

4-3　演習室の消灯行動に対する態度

上記のように、明確な実行動や想定心理因子の変化は見られなかったことから、被験者の様々な社会的空間に対する態度について詳細に比較評価した。

演習室の消灯行動に対する態度について 6 件法で尋ねた 6 問につき、因子分析（最尤法、プロマックス回転）に供した。その結果、「演習室での消灯行動の無責任さ」と「演習室における互いの行動への意識」という 2 因子を抽出した（表 S1）。

因子分析で得られた因子得点を用いて、クラスタ分析（平方ユークリッド距離、Ward 法）により被験者を類型化した結果を図 2 に示した。「責任感はやや薄いが、周囲の目を気にしている」クラスタ①（n= 12）と、「責任感が薄く、周囲の目も気にしない」クラスタ②（n=6）、「責任感が強く、周囲の目はあまり気にしない」クラスタ③（n=9）に分けられた。

このうち、実際に消灯行動が変化したと答えたのはクラスタ①のみで、クラスタ②は行動に変化がなく、クラスタ③は元から必ず消していると答えた。

これら各クラスタの特徴を理解するため、さらに、環境意識について尋ねた 19 問から抽出した 5 因子（表 S2）と様々な場所における消灯行動をまとめた 3 主成分（表 S3）の、各クラスタにおける得点を、図 S2、S3 にそれぞれ示した。これを見ると、社会的空間で行動変容が起きうるクラスタ①は環境意識、関心が高く、コストを厭わないという特徴を持っていることが分かる。一方、クラスタ②は環境意識が低く、自分のコストに関係ある行動だけをとるクラスタ、クラスタ③は関心がやや低いながら、責任感が強く、行動も積極的というクラスタであることが分かる。

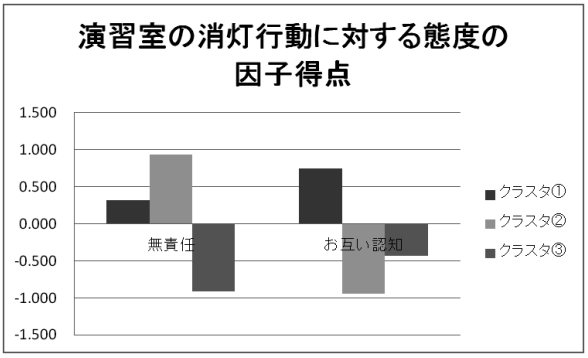


図 2　演習室の消灯行動に対する態度の因子得点

5.まとめ

今回の、ポスターを用いた実験では、明確な実行動の変化及び、自己効力感や認知的不協和の発現は認められなかった。

しかし、社会的空間での消灯行動における態度にはばらつきがあり、その特徴によりいくつかの類型に分かれることが判明した。これら各類型に対し、個別のアプローチにより、行動変容策を模索していくことが重要と言える。

謝辞

本研究は、環境省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」（代表：栗栖聖）により実施された。

参考文献

1) 環境省,平成 26 年度版環境・循環型社会・生物多様性白書(PDF 版),環境省 HP, (オンライン),入手先 <http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h26/pdf.html>, （参照　2015/01/04）

2) Cialdini *et al.*(1991) A focus theory of normative conduct: A theoretical refinement and reevaluation of the role of norms in human behavior. In L.Berkwitz (ed.) Advances in experimental social psychology. Academic Press, 24 , 201-234

3) 森谷絜,2007,「健康のための行動変容」における「健康行動理論」の有用性の検討(総説)、天使大学紀要 vol.7, 1-14

4) Festinger,L.,1957, A theory of cognitive dissonance. Evanston : Row Peterson.

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)]、一宮敦史 [1)]、田中浩二 [2)]、稲葉敦*[1)]
Natsumi Inoue , Atsushi Ichinomiya , 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

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。

そのような中で著者ら [1)] は 2012 年度の工学院大学の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、SCOPE1,2 の合計値と SCOPE3 の排出量はほぼ同数であることを示した。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為、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ことが必要である。

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における他組織の GHG 排出量は別途で算定する必要があり、加えて、学生個人で購入した備品に係わる間接排出量についても検討する必要がある。

その為、本研究では学生を主体とする大学の SCOPE3 の算定方法を検討する。本稿では、その端緒として、生協の CO_2 の間接排出量を算定し、大学法人の CO_2 排出量と比較する。

２．計算手法

２．１使用データ

工学院大学の生協は食堂部と購買部よりなる。食堂部の購入品に関するデータは大学生協より工学院大学生協食堂への販売データを入手した。また、購買部での購入品に関するデータは、購買部から直接入手した。

２．２工学院大学生協食堂部の SCOPE3 の計算

購入品を食材・調理済み食品（加工食品）・調味料・その他に分類し、食材ではその購入重量に、味の素データベース [2)] 等より得た GHG 排出係数を乗じ算出した。調理済み食品（加工食品）等は「クッキング基本大百科 [3)]」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。以下は食材の CO_2 排出量算定式である。

CO_2 排出量$_{[t\text{-}CO2]}$＝食材の重量 $_{[t]}$ ×排出係数 $_{[t\text{-}CO2/t]}$

以上の方法を用いて、工学院大学生協食堂食材購入データより食材 143 種の CO_2 排出量の算定を行い、調理済み食品（加工食品）等 425 種の算定を行った。表１は食堂における加工食品（学食カレー）の算定結果である。学食カレーの CO_2 排出量は 5.10[ton]となった。

表 1　学食カレーの算定結果

原材料	分量(g)	総量(規格×数量)(g)	GHG排出量係数	単位	CO_2排出量
玉ねぎ	990	1.57×10^{6}	0.193	[ton-CO2e/ton]	0.303[ton]
人参	120	1.90×10^{5}	0.278	[ton-CO2e/ton]	0.0529[ton]
ジャガイモ	1.26×10^{3}	2.00×10^{6}	0.0760	[kg-CO2e/kg]	152[kg]
豚肉	390	6.19×10^{5}	6.22	[kg-CO2e/kg]	3.85×10^{3}[kg]
カレールー	240	3.80×10^{5}	1.94	[kg-CO2e/kg]	739[kg]

２．３購買部の SCOPE3 の計算

購買部の購入品データより、各購入品の重量に、3EID[4)] 等より得た排出係数を乗じて算定を行った。

CO_2 排出量$_{[t\text{-}CO2]}$＝購入備品 $_{[t]}$ ×排出係数 $_{[t\text{-}CO2/t]}$

２．４生協の SCOPE1,2 の計算

電気、水道、ガスのエネルギーの CO_2 排出量は以下の式で算定した。

CO_2 排出量$_{[t\text{-}CO2]}$＝使用量 $_{[単位]}$ ×排出係数 $_{[t\text{-}CO2/t]}$

３．結果及び考察

３．１食堂部の SCOPE3

図 1 は生協食堂における CO_2 排出量であるので、食堂における CO_2 排出量の約 8 割は調理済み食品（加工食品）であることが分かる。これは、生協食堂では短時間で多くの料理を提供しなければならないことから、調理時間が短い調理済み食品（加工食品）の仕入れが多い為である。

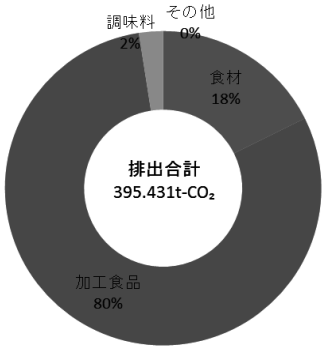


図 1　生協食堂における CO_2 排出量

次に食材・加工食品等の CO_2 排出量算定結果を、五定日本食品標準成分表[6]の分類法に従って 18 群に分類した。図 3 に食材、図 4 に加工食品 CO_2 排出量の内訳を示した。加工食品等の中では肉類や麺類の CO_2 排出量が多く、加工食品では麺類、主食系の穀類、豆腐、味噌等の豆類、及び肉類で全体の 85%を占めることが分かった。穀類には麺類や米などの主食が、豆類には様々な料理に用いる豆腐が、それぞれ含まれている。他の食材と比較して購入量が多い為に穀類と豆類の排出量が多くなったと考えられる。

また、生協食堂部が購入する食材等の中にはコストが安価である外国産の食品も多く含まれると考えられる。今回使用したデータでは原産地等の詳細な情報は無く、購入品目とその購入量、購入価格のみである為、輸送距離といった情報を把握することが可能となれば、地産池消の推進等の提言も可能となると考えられる。

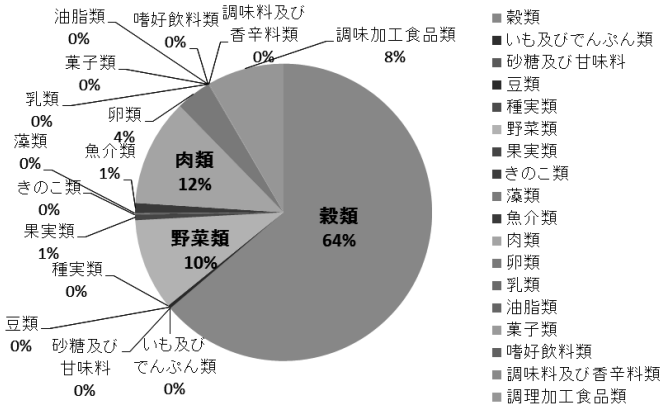


図 3 食材の CO_2 排出量内訳

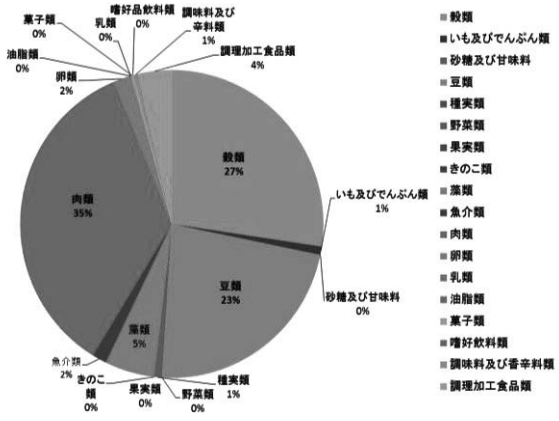


図 4 加工食品の CO_2 排出量内訳

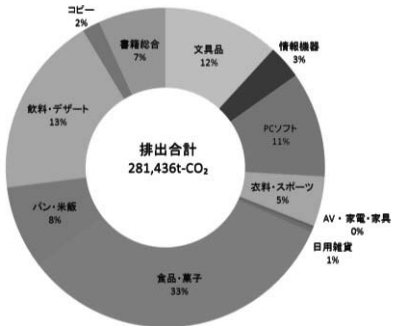


図 5 購買部の CO_2 排出量内訳

３．２購買部の SCOPE3

図 5 は購買部の CO_2 排出量である。生協購買では弁当や飲料水の購入量が書籍関係より多く、食品類の CO_2 排出量が多いことが分かった。

３．３生協全体の CO_2 排出量

生協食堂部、購買部の SCOPE3 と生協全体の SCOPE1,2 の算定結果を図 6 に示す。生協の CO_2 排出量は SCOPE1,2,が約 11.6%、SCOPE3 が約 80.4%である。また、購買部の SCOPE3 が全体の約 75%を占めている。

図 6　生協の CO_2 排出量算定結果

４．結論

本研究では学生を中心とする SCOPE3 の検討の端緒として大学生協における SCOPE1,2,3 の算定を行った。一宮らの計算[7]によると 2013 年度の工学院大学の CO_2 排出量は SCOPE1,2,3 全体で 1.61×10^7t-CO_2 であり、生協の CO_2 排出量はこの 0.1%に過ぎない。しかし、大学の建物の更新・維持などを除いて学生の活動を中心に考える際には、非常に重要な要素になると思われる。

今後、更に学生の通学、学生が購入した備品の算定方法について検討を行い、学生を主体とする SCOPE3 の算定システムの境界設定および算定方法を確立したい。

５．参考文献

１）宮田航,田中浩二,稲葉敦:第 9 回日本 LCA 学会研究発表会,(2013), pp 224-225

２）味の素株式会社 環境・安全部,2010 年 10 月 15 日,食品関連材料 CO_2 排出係数データベース,p5-24

３）和田美代子,2011 年 11 月 1 日,クッキング基本大百科,株式会社集英社,p26,27,56,57,174,175

４）一般社団法人,産業環境管理協会“LCA　支援ソフトウェア（MiLCA）”

５）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)”

６）香川芳子 2014 年 2 月 10 日,食品成分表 2014 資料編,女子栄養大学出版部,p248-249

７）一宮敦史ら:本研究発表会で発表予定

東京都市大学横浜キャンパスにおける SCOPE3 の算定

The Calculation of SCOPE3 in Tokyo City University at Yokohama campus

○野添直人*[1)]、伊坪徳宏[1)]
Naoto Nozoe, Norihiro Itsubo
1）東京都市大学,
*g1132180@tcu.ac.jp

1. はじめに

地球温暖化の抑制に向けて、事業者のサプライチェーンにおける温室効果ガス排出量の把握、削減を求める動きが世界で広がってきている。GHG プロトコルによる「SCOPE3 スタンダード」の策定や ISO による算定ガイドラインの検討、CDP(カーボンディスクロージャープロジェクト)による事業者へのGHG排出量の開示要求の活発化などが例に挙げられる。

これらの動きにより、日本国内でも一般企業等によるサプライチェーンにおける GHG 排出量の報告は年々増加してきている。しかし、学校法人等の大規模事業者からの算定・報告事例は未だ数少ないのが現状である。そこで、本研究では大学からのヒアリングデータを使用し、日本の大学で初の ISO14001 を取得した東京都市大学横浜キャンパスにおける SCOPE3 の算定を行うことで、GHG 排出量を把握し、削減ポテンシャルを見出すことを目的とする。

2. 方法

2.1 評価対象

本研究では東京都市大学横浜キャンパスを対象として算定を行う。詳細を表 1 に示す。

表 1）東京都市大学横浜キャンパス詳細データ(2014 年)

学生数	教職員数	敷地面積	所在地
1893 人	201 人	64,688㎡	横浜市牛久保西 3-3-1

2.2 対象物質

SCOPE3 では GHG(CO_2, N_2O, CH_4, HFCs, PFCs, SF_6 の 6 種)を対象に評価を行う。

2.3 対象範囲

SCOPE1, SCOPE2, SCOPE3 を対象範囲とする。しかし、大学では SCOPE3 下流 7 カテゴリの負荷は極端に小さくなると考えられるため、上流8カテゴリのみを対象とする。

2.4 計算方法

東京都市大学総務課からのヒアリングデータと、大学ホームページ上に公開されているデータを用いて算定した。ヒアリングデータは、平成25 年度の購入物品、購入備品、教職員の通勤、出張データであり、ホームページでの公開データは、エネルギー使用量、廃棄物量、学生の出身地域一覧データ、学生食堂の提供食数等である。

本研究ではSCOPE3 のカテゴリの中でも上流8 カテゴリを対象に算定を行った。また、排出原単位は「サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出量の算定のための排出原単位データベース ver2.01」より引用した。

計算式は以下のとおりである。

GHG 排出量＝Σ(活動量×排出原単位)

また、各カテゴリの活動量データを表 2 に示す

	カテゴリ	使用データ(H25 年度)
SCOPE1		燃料使用量
SCOPE2		電力使用量
SCOPE3	カテゴリ１	購入物品データ
	カテゴリ２	大学資金収支報告書
	カテゴリ３	電力使用量
	カテゴリ４	
	カテゴリ５	廃棄物量
	カテゴリ６	出張先データ
	カテゴリ７	通勤用定期データ 学生出身地域データ
	カテゴリ８	リース物品データ
	その他	学生食堂提供数

表 2）各カテゴリ活動量データ

SCOPE1 では燃料の燃焼等による直接排出、SCOPE2 では電力の使用による間接排出、SCOPE3 では非エネルギー起源の間接排出を対象としている。

学校法人特有の大きな負荷である「学生の通学」に関しては、今回はカテゴリ 7 従業員の通勤に含まれると仮定して計算を行う。また、学生食堂の負荷はその他カテゴリとして算定を行う。

3. 結果

算定ガイドラインに基づき、平成 25 年度の東京都市大学横浜キャンパスの SCOPE3 の結果を算出した。

東京都市大学横浜キャンパスの1年間における GHG 排出量算定結果を図 1 に示した。全体の排出量は約 2,500t-CO_2eq であった。これは一人、一年当たり約 1.25t であり、家庭部門の一人あたり CO_2 排出量(2.24t/人/年(独立行政法人国立環境研究所)の約 6 割に当たる。両者の評価範囲が異なるものの、構成員が大学に過ごす時間を考慮すると妥当なものと解釈される。

SCOPE1 から SCOPE3 のなかでは、SCOPE2 と 3 の排出量が大きかった。本学横浜キャンパスは環境情報学に関する研究領域が主であることから、PC などの情報端末を利用した講義や演習が多い。そのため、講義の照明や空調のほか、PC 等の演習で利用する電力消費が相対的に大きいものと考えられる。

SCOPE3 の排出量の内訳をみた結果を図 2 に示した。カテゴリ 7 従業員の通勤による排出量は SCOPE3 全体の半分程度を占めた。学生を含む構成員の通学と通勤は主に公共交通機関を利用しているが、一部の学生と教職員はバイクや自家用車を利用する。2 番目に大きいカテゴリ 1 購入物品サービスは、総務課が管理している購入物品のデータのみであるため、実際にはより多くの排出量があるものと考えられる。東京都市大学横浜キャンパスの GHG 排出量と、SCOPE3 の排出量内訳を、図 1，図 2 にそれぞれ示す。

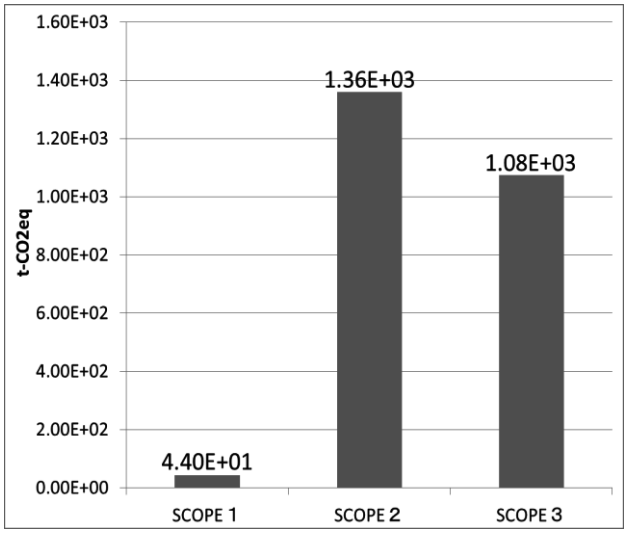


図 1)東京都市大学横浜キャンパスの GHG 排出量

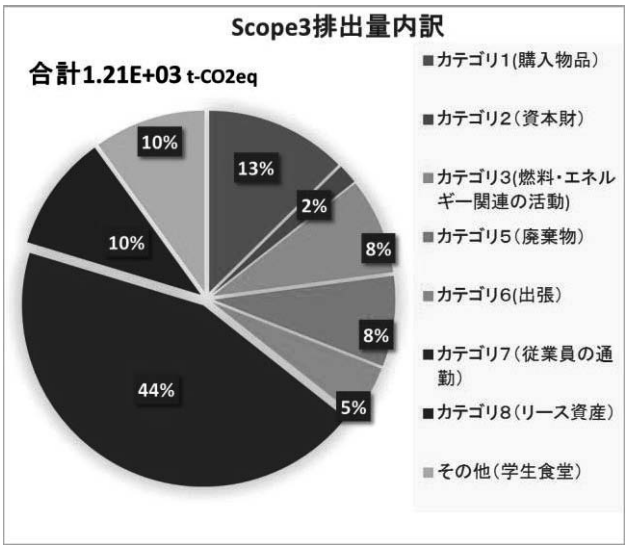


図 2)SCOPE3 の排出量内訳

4. まとめ

本研究では「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」に基づき、大学からのヒアリングデータを用いて東京都市大学横浜キャンパスを対象に SCOPE3 の算定を行った。

SCOPE2 と SCOPE3 の GHG 排出量が同程度に大きかった。より節電や省電力の取り組みやグリーン購入の推進を進めていくことが、GHG が排出量削減への近道といえる。

今回はすべての購入物品に関する金額データが得られなかったため、購入サービスや消耗品に関わる環境負荷(カテゴリ 1)が大幅に過小評価になっている。

今後、評価範囲の網羅性を担保するためには、金額データの収集とこれらのデータを用いた評価体系の構築が必要である。

5. 参考文献

1) 環境省：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(Ver2.1)
2) 環境省：サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出等の算定のための排出原単位について(Ver2.1)
3) 青木秀樹：教育施設を対象とした LCA とスコープ 3 の実施と比較(2011 年 3 月)
4) GHG プロトコル: Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard

DEA による大学の環境効率指標の提案

A Proposal of Environmental Efficiency Indicators of University Using Data Envelopment Analysis

○松井俊幸*[1)]、小村和彦 [1)]
Toshiyuki Matsui, Kazuhiko Omura
1) 東海大学
* 3bjnm019@mail.tokai-u.jp, komura@tokai-u.jp

1. はじめに

環境効率指標は、製品やサービスの価値と環境負荷の両側面を評価する考え方であり、企業や製品の競争力を測る指標のひとつとして使われている。また近年、環境への取り組みの一つとして、企業のみならず、国や産業界、さらには自治体などの様々な分野において環境効率指標が公表されている。

しかしながら、環境報告書を開示するなど環境への取り組みに積極的である大学において、環境効率指標を開示している事例は見当たらない。

そこで本研究では、各大学の 2012 年度における財務諸表や環境報告書などに掲載されている情報をもとに、包絡分析法（DEA：Data Envelopment Analysis）を用いた相対的な環境効率指標の測定方法を提案する。

2. 研究内容

2.1 大学における環境効率指標

環境効率指標は「環境影響を最小化しつつ価値を最大化する」という考え方を指標化したものであるため，次式のように表されている [1)]。

$$\text{環境効率} = \frac{\text{製品・サービスの価値}}{\text{環境影響}}$$

一方、DEA を用いた大学の経営面における効率値の測定は、山﨑ら [2)]や Kostas ら [3)]によって行われている。

しかしながら、環境影響を考慮した大学の効率値の測定方法に関する研究は見当たらない。

また、DEA を用いた環境効率の算出方法については Fare ら [4)]や湯舟ら [5)]によって研究されているが、いずれの方法も、前述の式の分子および分母の考え方は採用していない。

そこで本研究では、分子には大学の価値を、そして分母には大学の環境影響を採用した大学における環境効率指標を提案する。

2.2 DEA・CCR モデルによる定式化

DEA は Charnes らによって開発された経営分析手法の一つであり、その方法は、複数の項目を一つの仮想的入力と仮想的出力にまとめ、仮想的出力／仮想的入力から求められる比率尺度によって、相対的に効率性を評価するものである。

当研究では、DEA の基本的モデルである CCR（Charnes, Cooper and Rhodes）モデルを用いて、選定した大学間の環境効率性を相対的に比較する。

大学の集合を$N = \{1,2,\cdots,n\}$とする。入力項目の集合を$M = \{1,2,\cdots,m\}$、出力項目の集合を$S = \{1,2,\cdots,s\}$とする。また、大学$j \in N$の入力データを$x_{ij}(i \in \mathrm{M})$、出力データを$y_{rj}(r \in S)$とする。さらに、入力および出力の重み係数を、$v_i\ (i \in M)$と$u_r\ (r \in S)$する。

ここで、n校の大学間で比較した大学$k \in N$の環境効率性について、次の分数計画問題を解くことによって求める（n個の問題を解くことに注意）。

(FP_k)

$$\text{目的関数}\quad \max\quad \theta = \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rk}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ik}}$$

$$\text{制約式}\quad \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}} \le 1, \qquad j \in N,$$

$$v_i \ge 0, \qquad i \in M,$$

$$u_r \ge 0, \qquad r \in S.$$

この制約式の意味は、重み係数v_iとu_rによる仮想的入力と出力の比をすべての大学について 1 以下に抑えるということである。また、(FP_k)は、大学kの比率尺度θを最大化するように、v_iとu_rを決める問題であるが、実際には、(FP_k)と同値の線形計画問題(LP_k)を解くことによって最適解を求める [6)]。（(LP_k)の定式化については割愛する。）そして、(LP_k)の最適解を(v^*, u^*)とし、目的関数値をθ^*とする。このとき、$\theta^* = 1$ならば、大学kは D 効率的であるという。

3. 環境効率指標の測定

3.1 入出力項目の選定

当研究では、DEA の分母にあたる仮想的入力には、環境負荷である排水量および廃棄物排出量、二酸化炭素排出量の 3 つを選定し、分子にあたる仮想的出力には当期純利益および科研費採択件数、特許出願件数、卒業者数、就職率の 5 つを選定した。

表 1　総合面での効率値と優位集合

大学名	効率値	優位集合
U1	0.382	U31,U35
U2	0.996	U11,U21,U34,U35
U3	0.764	U11,U19,U21,U28,U34,U35
U4	0.300	U11,U16,U31
U5	0.819	U11,U15,U16,U27
U6	0.941	U19,U28,U31
U7	0.882	U11,U16,U19,U28,U31,U35
U8	0.604	U11,U16,U27,U35
U9	0.730	U11,U28
U10	0.372	U11
U11	1.000	U11
U12	0.779	U11,U19
U13	1.000	U13
U14	0.799	U11,U19,U28
U15	1.000	U15
U16	1.000	U16
U17	0.472	U11
U18	0.964	U11,U19
U19	1.000	U19
U20	0.855	U11,U19,U28
U21	1.000	U21
U22	0.712	U11,U34,U35
U23	0.366	U11,U19,U28
U24	0.392	U11
U25	0.664	U11,U16,U21,U35
U26	0.496	U11,U21,U28,U35
U27	1.000	U27
U28	1.000	U28
U29	0.887	U11,U16,U27
U30	0.841	U11,U16,U27,U28
U31	1.000	U31
U32	0.683	U11,U31,U35
U33	0.342	U11,U19
U34	1.000	U34
U35	1.000	U35
U36	0.526	U11,U16,U27
U37	0.611	U11,U16,U21,U35
U38	1.000	U38
U39	0.644	U11,U16,U27,U35
U40	0.600	U11,U16,U21,U35
U41	0.484	U11,U21,U35
U42	0.462	U11,U27,U35
U43	0.593	U11,U27,U28
U44	0.937	U11,U19,U31
U45	0.722	U11,U15,U16,U27
U46	0.329	U11,U16,U19,U31
U47	0.627	U11,U16,U21,U35
U48	0.374	U11,U16,U28
U49	0.435	U11,U28
U50	0.242	U11,U16,U28,U35

3.2 測定方法

はじめに、我々が選定した入出力項目の数値が公表されている大学 50 校について、DEA を用いて大学の総合面からの環境効率指標を測定した。さらに、双対問題を解き、優位集合を求めた。

次に、入出力項目を変更することにより、財務面、研究面、教育面における環境効率もそれぞれ求めた。具体的には、入力項目は、排水量および廃棄物排出量、二酸化炭素排出量とし、出力項目は財務面では当期純利益を選定し、研究面では科研費採択件数および特許出願件数、教育面では卒業者数および偏差値とした。

3.3 測定結果と考察

はじめに、総合面における環境効率と優位集合を求めた。その結果を表 1 に示す。総合面では大学 50 校中 12 校が $\theta^{*}=1$ となり、最も効率値の低い大学は U50 で 0.242 となった。優位集合では，大学 U11 が最も多く出現した。これは、大学 U11 が入力、出力の傾向が多くの大学と似ており、かつ、効率的である事を表していると考えられる。

つぎに、各面における環境効率を求めた。その結果を表 2 に示す。財務面では 50 校中 3 校が、研究面では 5 校が、教育面では 3 校が $\theta^{*}=1$ となった。さらに、財務、研究、教育のいずれかの面で $\theta^{*}=1$ となる大学は総合面においても $\theta^{*}=1$ となっている。

表 2　各種効率表

大学	効率値(総合)	効率値(財務)	効率値(研究)	効率値(教育)
U1	0.382	0.121	0.180	0.293
U2	0.996	0.913	0.379	0.210
U3	0.764	0.202	0.642	0.561
U4	0.300	0.000	0.296	0.219
U5	0.819	0.360	0.707	0.182
U6	0.941	0.000	0.561	0.742
U7	0.882	0.167	0.796	0.714
U8	0.604	0.336	0.405	0.160
U9	0.730	0.000	0.730	0.604
U10	0.372	0.000	0.372	0.152
U11	1.000	0.103	1.000	1.000
U12	0.779	0.000	0.779	0.378
U13	1.000	0.000	0.629	0.774
U14	0.799	0.000	0.799	0.572
U15	1.000	0.102	1.000	0.370
U16	1.000	0.747	1.000	0.237
U17	0.472	0.002	0.470	0.172
U18	0.964	0.045	0.831	0.872
U19	1.000	0.000	1.000	0.531
U20	0.855	0.000	0.855	0.529
U21	1.000	1.000	0.570	0.228
U22	0.712	0.512	0.360	0.170
U23	0.366	0.000	0.366	0.176
U24	0.392	0.000	0.392	0.218
U25	0.664	0.404	0.478	0.206
U26	0.496	0.377	0.262	0.158
U27	1.000	0.600	0.935	0.258
U28	1.000	0.000	1.000	1.000
U29	0.887	0.282	0.830	0.224
U30	0.841	0.246	0.766	0.337
U31	1.000	0.087	0.983	1.000
U32	0.683	0.343	0.314	0.382
U33	0.342	0.000	0.342	0.162
U34	1.000	1.000	0.241	0.188
U35	1.000	1.000	0.315	0.217
U36	0.526	0.099	0.511	0.255
U37	0.611	0.260	0.556	0.225
U38	1.000	0.815	0.429	0.285
U39	0.644	0.432	0.400	0.160
U40	0.600	0.302	0.465	0.314
U41	0.484	0.291	0.296	0.129
U42	0.462	0.094	0.434	0.329
U43	0.593	0.000	0.593	0.238
U44	0.937	0.005	0.832	0.633
U45	0.722	0.252	0.703	0.235
U46	0.329	0.000	0.316	0.212
U47	0.627	0.321	0.466	0.212
U48	0.374	0.000	0.374	0.207
U49	0.435	0.003	0.435	0.215
U50	0.242	0.064	0.227	0.191

4. おわりに

各大学の財務諸表や環境報告書などに掲載されている数値を使用し、DEA を用いた相対的な環境効率指標の測定方法を提案した。その結果、総合面では大学 50 校中 12 校で $\theta^{*}=1$ となり、環境効率の高い大学であることがわかった。また、財務面および研究面、教育面における環境効率指標についても測定した結果、より詳細な各大学の特色が浮き彫りになった。

5. 引用文献

1) 國分勝彦ほか,“環境経営・会計”, 有斐閣アルマ, 東京, (2007), pp.158
2) 山﨑その, 伊多波良雄:会計検査研究, 41 号, (2010), pp.117-133
3) Kounetas1, K., Anastasiou, A., Mitropoulos, P., Mitropoulos, I. : International Transactions in Operational Research, 18(5), (2011), pp.545-559
4) 湯舟勇介ほか :“経営情報学会”, 金沢, (2012), pp.96-99
5) Fare, R., Grosskopf, S., Tyteca, D. : Ecological Economics, 18(2), (1996), pp.161-175
6) 刀根薫,“経営効率性の測定と改善”, 日科技連, 東京, (1993), pp.16

リサイクル効果を評価するハイブリッド的枠組みの構築と食のサプライチェーンへの応用

Development of the hybrid framework for evaluating effects of recycling and application to food supply chains

○丸山多聞*1)、中谷隼 1)、森口祐一 1)
Tamon Maruyama, Jun Nakatani, Yuichi Moriguchi
1) 東京大学
* maruyama@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

食品廃棄物と容器包装廃棄物には複数のリサイクル手法が存在し、多くの産業と関わっている。サプライチェーンを対象とした分析を行う場合には産業連関分析が有効であるが、家庭が最終需要としてしか扱われていない、輸入量の大きい財では誤差が大きい、リユースとリサイクルをうまく記述できない等の限界がある。そこで、プロセスデータと産業連関表を接続し、情報を補うことでより正確な分析を行う Integrated Hybrid Analysis という手法を用いてリサイクルによる環境負荷削減効果を体系的に評価する枠組みを構築し、食のサプライチェーンに応用した。さらに、リサイクルに関する複数のシナリオを設定し、環境負荷量の削減効果を定量化した。

2. 分析手法

Suh & Huppes[1]は Integrated Hybrid Analysis を用いた環境負荷の計算法を以下の様に定式化している。

$$M_{IH} = \begin{bmatrix} \tilde{B} & 0 \\ 0 & B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{A} & Y \\ X & I - A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{k} \\ 0 \end{bmatrix}$$

（M_{IH}:環境負荷量、$\tilde{B}, \tilde{B}$:環境負荷行列、$\tilde{A}$:技術行列、X:上流のカットオフフロー、Y:下流のカットオフフロー、I:単位行列、A:投入係数、$\tilde{k}$:任意の行列）

Xには産業連関表からプロセスデータに投入される財・サービス（プロセスデータでは記述し切れなかった財・サービス等）を、Yにはプロセスデータから産業連関表に投入される財・サービス（輸入財等）を、$\tilde{k}$には最終需要を記述する。

また、Xは各プロセスの単位生産量あたりの財・サービスの生産額、Yは各プロセスの単位生産額あたりの財・サービスの生産量の形で記述する。

本研究では、リサイクルを含んだサプライチェーンの行列形式での記述ルールを構築した。具体的には、各列がプロセス、各行が財・サービスの正方行列$\tilde{A}$を作成し、対角成分$\widetilde{a_{jj}}$にプロセス j の活動量として 1 を記述し、要素$\widetilde{a_{ij}}$にはプロセス j の 1 単位の活動に必要な財・サービス i の量を記述する。ただし、財・サービス i の生産が対応するプロセス i の活動を誘発する場合には要素$\widetilde{a_{ij}}$は負の値に、再生製品の生産等によりプロセス i の活動を代替する場合には正の値を記述する。

$\tilde{A}$の逆行列$\tilde{A}^{-1}$の要素$\widetilde{a_{ij}}^{-1}$の値はプロセス j の 1 単位の活動に伴うプロセス i の活動量を表している。

3. ケーススタディ

日本全国で消費されるコーヒー由来の CO_2 排出量とその部門別内訳を分析した。

小売店でコーヒー豆を購入、小売店で缶コーヒーを購入、コーヒーショップでコーヒーを購入、飲食店でコーヒーを飲用の 4 つのケースを設定した。

表 1　共通のデータ・前提条件

項目	出典	備考
コーヒー容量		190mL
コーヒー豆栽培	Coltro ら 2)	ブラジルから輸入
コーヒー豆加工	Humbert ら 3)	日本で加工
ブラジルの電力	Coltro ら 4)	
輸送	LCA データベース 5)	3000t コンテナ船で 20000km
肥料	産業連関表 6)	有機質:化学 = 1:1

缶コーヒーが 100 万杯消費され、スチール缶のリサイクル率が 92.9%[7]のときのプロセスフロー図は図 1 のようになる。

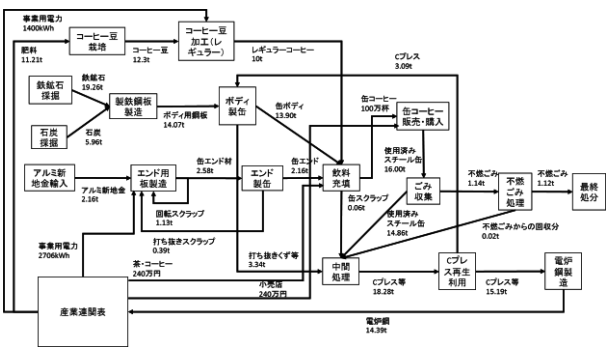


図 1　缶コーヒーのプロセスフロー図

スチール缶は 190mL の 2 ピースラミネート缶であるとし、マテリアルフローのデータを環境省[8]から得た。ただし、環境省のデータは 350mL 缶のものであったので、重量で按分を行った。

3.1 データ・前提条件

本稿では缶コーヒーのケースについて解説し、ほかの 3 つのケースについてはSIで解説する。

項目	出典	備考
鉄鉱石	LCA データベース	ブラジルから輸入
石炭		複数の国から輸入
ボーキサイト	日本アルミニウム協会[9]	
アルミニウム		日本で精錬
ボディ用鋼板製造	LCA データベース（環境負荷）	熱延鋼板製造のデータ打抜くずを再生利用
ボディ製缶		スクラップが発生
エンド用板製造		電力は産業連関表から工場内リサイクル
エンド製缶		スクラップが発生
ボディ・エンドの輸送	LCA データベース	4t トラックで 5km
飲料充填	産業連関表（茶・コーヒー）	缶とコーヒーはプロセスデータからスクラップが発生
販売	産業連関表（小売）	
消費		缶を家庭で廃棄
リサイクル	LCA データベース	鋼板または電炉鋼を代替特殊鋼のデータを使用
ごみ処理		
単価	コンビニでの価格	1 杯 120 円

3.2 缶コーヒーの CO_2 排出量の部門別内訳

缶コーヒー100 万杯あたりの CO_2 排出量は 223t であり、その内訳を示すと図 2 のようになる。

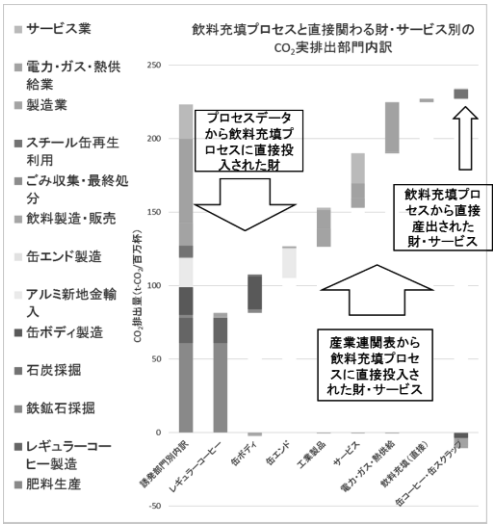


図 2　飲料充填プロセスから見た CO_2 排出量の内訳

図 2 は図 1 の飲料充填プロセスに焦点を当て、飲料充填プロセスに直接投入もしくは産出される財・サービスから排出される CO_2 の量を表すとともに、最終的にどの部門の CO_2 排出を誘発するかを表している。ここで、「缶コーヒー・缶スクラップ」のグラフには缶コーヒーの流通から消費、廃棄、リサイクルまでのプロセスが含まれている。

3.3 リサイクル率の変化による部門別内訳の変化

スチール缶リサイクル率が 0%の場合について分析を行い、3.2 との CO_2 排出量の変化を比較した結果が図 3 である。

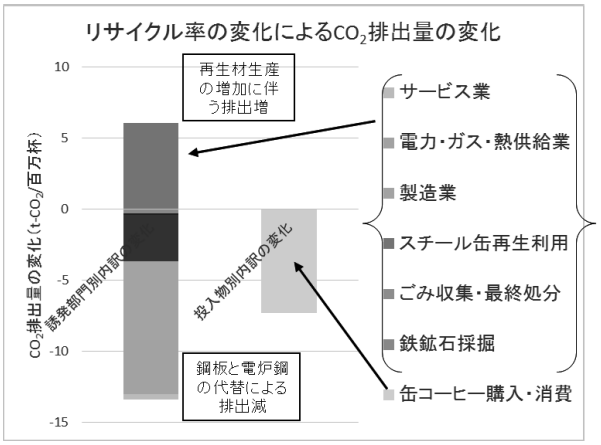


図 3 リサイクル効果の分析

図 3 から、リサイクルによりどの部門において環境負荷が削減されているのかが可視化される。缶コーヒーのケースでは再生材生産量の増加により CO_2 排出量が増加し、一方で鋼板と電炉鋼が代替されることにより CO_2 排出量が減少する。

4. おわりに

本研究では、リサイクルによる環境負荷削減効果を体系的に評価する枠組みを構築し、コーヒーを対象としてケーススタディを行った。この枠組みを用いることで、輸入財や消費者行動も含めた詳細な分析が行えるようになるとともに、リサイクルによりどの部門において環境負荷が削減されているかが可視化された。今後は、飲料と食品を組み合わせたケースを対象とし、リサイクル手法や食生活のパターンについてより詳細な分析を行う。

謝辞

本稿は、科学研究費補助金・若手研究 B（26820220）の一環としてまとめられた。

引用文献は SI に示す。

食料消費に関わる淡水資源必要量の将来シナリオ評価

Assessment of water resource requirement related to food consumption considering future scenario

○山口陽平*[1)]、田村賢人 [1)]、吉川直樹 [1)]、天野耕二 [1)]、橋本征二 [1)]
Yohei Yamaguchi, Kento Tamura, Naoki Yoshikawa, Koji, Amano, Seiji Hashimoto
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、土地資源や淡水資源の過不足、すなわち土地資源・淡水資源の需給不均衡を発生させる。これら 2 種類の資源問題は、安定した社会活動の維持を阻害するため、持続可能な社会の達成が危ぶまれている。

既往の研究では、田村ら [1)]によって各国の農地必要量の現状把握、および農地必要量の将来シナリオ評価が行われているが、国際貿易や淡水資源必要量に関しては考慮されていない。実際には、土地資源・淡水資源は偏在しており、資源の不足地域では国際貿易が必要である。そこで、本研究では、国際貿易を考慮した食料消費量の現状を把握し、その将来的な変動も含めて各国の食料消費に関わる淡水資源必要量を推計する。

2. 研究方法

2.1 研究の概要

本研究では、国際貿易を考慮した上で、各国の食料消費に関わる淡水資源必要量の現状を推計する。さらに、その推計結果に将来的な作物需要変動量に伴う淡水資源必要量の変動を考慮することにより、将来的に予測される淡水資源必要量を推計する。本研究における食料消費に関わる淡水資源必要量の推計フローを図 1 に示す。

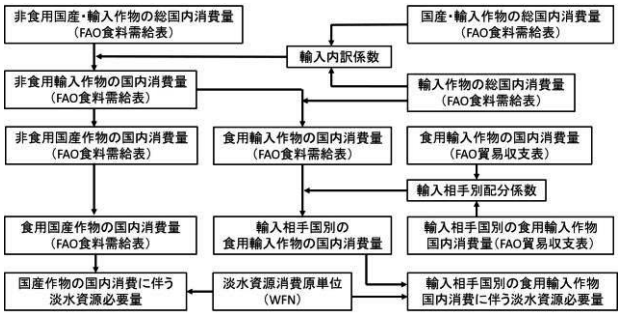


図 1 食料消費に関わる淡水資源必要量の推計フロー

2.2 使用データ

本研究では、2010 年度を基準年とし、各国の食料消費量に関しては、基準年における FAO 食料需給表 [2),3)] と FAO 貿易収支表 [4)] の統計データから推計する。また、一次生産レベル作物需要量結果を用いて、将来的な作物需要変動に伴う淡水資源必要量の変動を推計する。各国の淡水資源必要量は、Water Footprint Network（WFN）淡水資源消費原単位 [5)] を用いて推計する。

本研究の対象国は、FAO 食料需給表に掲載された 170 カ国・地域に統合させる。また、品目分類は田村ら [1)]と同じ 96 品目とし、FAO 食料需給表、FAO 貿易収支表、WFN 淡水資源消費原単位に記載の品目を対象品目の分類と対応させて分析を行った。

2.3 食料消費内訳の推計

次式(1)の輸入内訳係数を非食用国産・輸入作物の総国内作物消費量に乗じて、非食用作物国内消費量の国産分と輸入分の内訳を推計する。

$$r_{i,j,Trade} = \frac{Import\ Quantity_{i,j,Commodity\ Balances}}{Domestic\ Supply\ Quantity_{i,j,Commodity\ Balances}} \quad (1)$$

ここで、添え字 i は対象国、j は対象品目を表す。また、(1)式中の分子は国内輸入作物消費量[ton]、同式中の分母は国産・輸入作物の総国内消費量[ton]を表す。

一方、輸入相手国別の食用輸入作物国内消費量の内訳は、次式(2)の輸入相手国別配分係数を食用輸入作物国内消費量に乗じて推計する。

$$r_{i,j,k,l,Trade} = \frac{Import\ Quantity_{i,j,k,l,Trade\ Matrix}}{Import\ Quantity_{i,j,Trade\ Matrix}} \quad (2)$$

ここで、添え字 k は対象国の輸入相手国、l は k 国からの食用輸入作物を表す。また、式(2)中の分子は k 国からの食用輸入作物 l の国内消費量[ton]、同式中の分母は輸入相手国別の食用輸入作物国内消費量の合計値[ton]を表す。

2.4 淡水資源必要量の推計

各国の淡水資源必要量は、食用国産作物消費に伴う淡水資源消費量と食用輸入作物消費に伴う淡水資源消費量に分けて、ウォーター・フットプリントにより評価する。本研究では、原料となる作物の栽培時における淡水資源消費をウォーター・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

のとする。

ここで、各国の輸入相手国別の食用輸入作物国内消費に伴う淡水資源消費量に関しては、対象国と輸入相手国との 2 カ国間での国際貿易を行う場合を考える。すなわち、輸入相手国からの輸入作物は、すべて輸入相手国で生産されたものであると仮定する。この場合、対象国は輸入相手国から輸入した作物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。

各国の食用国産作物国内消費に伴う淡水資源消費量[m^3]は、食用国産作物国内消費量[ton]に淡水資源消費原単位[m^3/ton]を乗じて推計する。同様に、輸入相手国別の食用輸入作物国内消費に伴う淡水資源必要量[m^3]は、輸入相手国別の食用輸入作物国内消費量[ton]に淡水資源消費原単位[m^3/ton]を乗じて推計する。なお、食用輸入作物国内消費に伴う淡水資源消費量の推計には、輸入相手国の淡水資源消費原単位を使用する。

3. 結果と考察

アメリカ合衆国における基準年（2010 年）の食料消費に伴う淡水資源必要量の推計結果を下記に示す。図 2、図 3 に対象品目分類別（飲料類、穀物類、調味料類、肉類、野菜・果実類）の国産分（図 2）・輸入分（図 3）の食料消費に伴う淡水資源必要量の推計結果、図 4 に国産分・輸入分それぞれに関する食料消費に伴う淡水資源必要量の推計結果の比較を示す。各図は、縦軸に推計結果または対象品目の分類、横軸に淡水資源必要量[Gm^3/yr]をとったグラフである。

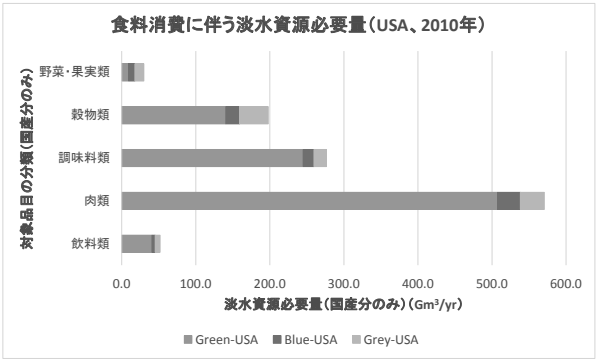


図 2 食料消費に関わる淡水資源必要量（国産分）

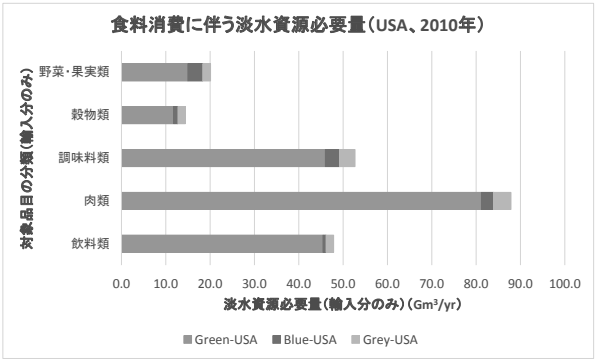


図 3 食料消費に関わる淡水資源必要量（輸入分）

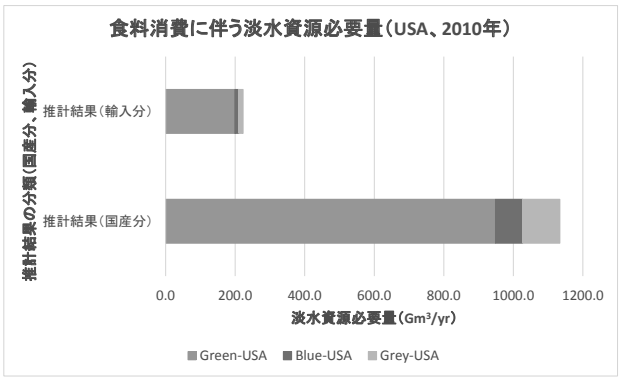


図 4 食料消費に関わる淡水資源必要量の比較

図 2 より、食用国産作物分の食料消費に伴う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くなっていることが分かる。図 3 に関しても、図 2 と同様のことがいえる。この結果から、アメリカ合衆国で消費される国産分・輸入分の食料生産量には、降水量が大きく寄与すると考えられる。

また、図 4 より、食用国産作物分の食料消費に伴う淡水資源必要量が相対的に大きいことが分かる。この結果は、アメリカ合衆国内での食料生産に必要な淡水資源量が相対的に大きいことを表すので、同国の食料自給率の高さを反映しているといえる。

4. 今後の予定

他の対象国に関しても、食料消費に伴う淡水資源必要量の現状を推計する。また、各国の将来的な淡水資源必要量の変動に関しても推計を試みる。

5. 謝辞

本研究は、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：将来の食料・バイオ燃料の需要に関わる土地制約、2013 年度立命館大学卒業研究
2) FAOSTAT: Commodity Balances - Crops Primary Equivalent, <http://faostat3.fao.org/download/FB/BC/E>
3) FAOSTAT: Commodity Balances - Livestock and Fish Prima, <http://faostat3.fao.org/download/FB/BL/E>
4) FAOSTAT: Trade - Detailed Trade Matrix, <http://faostat3.fao.org/download/T/TM/E>
5) 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

食料・バイオ燃料に関わる将来の農地需要の抑制ポテンシャル

Potential for restraining future agricultural land requirements associated with food and biofuels

○田村賢人*[1)]、吉川直樹[1)]、天野耕二[1)]、橋本征二[1)]
Kento Tamura, Naoki Yoshikawa, Koji Amano, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学
*rv0013ir@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

近年、人口増加や経済成長、再生可能エネルギー利用の促進等の影響により、食料・バイオ燃料の需要が増加している。こうしたバイオマス資源の需要増加は、土地利用の変化、生物多様性の減少、窒素・リンフローの変化、気候変動等のプラネタリー・バウンダリー[1)]に影響を与えることから、バイオマス資源の適正な利用を検討することも、地球の制約に対応する上で重要と考えられる。筆者はこれまでに、IPCC の社会経済シナリオ(SSPs)[2)]にもとづき、将来の食料・バイオ燃料の需要に関わる作物需要量と農地需要量の推計を行ってきている[3)]。その結果、食料用の作物需要量は最大で 16.3Gt（2010 年の 2.4 倍）、バイオ燃料用の作物需要量は最大で 10.0Gt になると推計された。また、これらを生産するための農地需要量は最大で 2.0Gha、2010 年の収穫面積のおよそ 1.3 倍になると推計され、400Mha の農地拡大が必要となる可能性が示された。

しかしながら、上記で検討した農地需要量は、耕作地の需要量であり、牧草地を考慮していなかった。2010 年現在、世界の農地のおよそ 7 割を牧草地が占め[4)]、今後も食生活の変化により畜産物の需要増加が予想されることから、牧草地を含めた要拡大農地面積は、さらに大きくなると考えられる。

このようなことから、本研究では、将来の食料需要を満たすための牧草の需要と、その生産に必要な牧草地の面積を推計した。また、肉食の削減、食品廃棄物の削減、収率の向上などのシナリオによってどれだけの農地需要を抑制できるかについて検討した。

2. 方法

2.1. 研究の枠組み

本研究では、田村ら[3)]で推計した世界の 187 の国・地域の畜産物需要量をもとに、牛肉、牛乳を生産するのに必要な牧草の量と牧草地の面積を推計するとともに、農地需要の抑制ポテンシャルを推計した。本研究の推計フローを図 1 に示す。なお、推計基準年は 2010 年とし、2010 年より 2100 年まで 5 年ごとに推計を行う。

2.2. 牧草需要量の推計

k 国の t 期における畜産物 i の需要量を満たすための牧草の需要量 $DM_{k,i}(t)$(kg DM)を下記の式(1)で算出した。

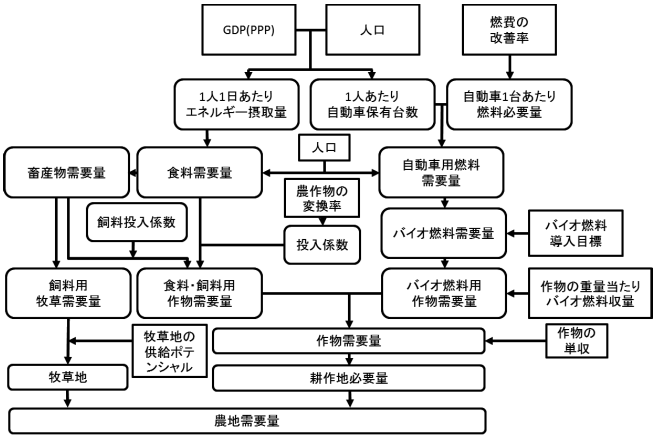


図1 推計フロー

$$DM_{k,i}(t) = W_{k,i}(t) \cdot NE_{k,i} \cdot FM_{k,i} / ED_{k,i} \quad (1)$$

ここで、$W_{k,i}(t)$は k 国の t 期における畜産物 i の需要量(kg)[3)]、$NE_{k,i}$ は k 国における畜産物 i 1kg あたりの家畜 i のエネルギー需要量(MJ/kg)[5)]、$FM_{k,i}$ は k 国における家畜 i の飼料のうちの牧草摂取割合[5)]、$ED_{k,i}$ は k 国における牧草 1kg あたりの家畜 i の摂取エネルギー量(MJ/kg DM)[5)]である。$NE_{k,i}$、$FM_{k,i}$ および $ED_{k,i}$ については、187 の国・地域を 7 つの地域に整理して推計した。また、$ED_{k,i}$ に関して、Wirsenius[5)]では「Cropland pasture」「Permanent pasture, oversown」「Permanent pasture, native」の 3 つの牧草地が示されているが、「Permanent pasture, oversown」が最も現状の牧草地に近いため、その値を利用した。

2.3. 牧草地需要量と農地の抑制ポテンシャルの推計

2.2.で求めた $DM_{k,i}(t)$から、k 国の t 期における家畜 i の牧草地需要量 $GL_{k,i}(t)$を下記の式(2)により推計した。

$$GL_{k,i}(t) = DM_{k,i}(t) / Y_k / 1000 \quad (2)$$

ここで、Y_k は k 国の牧草地 1ha あたりの牧草供給量の平均値(Mg DM/ha)[5)]である。続いて、式(3)により各国の牧草地需要量を合計することにより世界の牧草地需要量を算出した。

$$GL(t) = \sum_k \sum_i GL_{k,i}(t) \quad (3)$$

最後に、耕作地も含めた将来の農地需要について、肉食の削減、食品廃棄物の削減、収率の向上などのシナリオによってどれだけ抑制できるかについて検討した。

3. 結果と考察

3.1. 飼料用牧草需要量

牧草需要量は 2010 年に 1.9Gt DM と推計され、Herrero ら[6]による 2000 年に 2.3Gt DM と比較すると 2 割程度下回る値となった。これは、羊肉・山羊肉の考慮ができていないためと考えられる。最も牧草需要量が多く推計された SSP3 では、2100 年に 6.4Gt DM と推計され、2010 年から約 3.4 倍の牧草が必要となる結果となった。その他、SSP1 で 2010 年の 2.3 倍(2070 年)、SSP2 で 2.6 倍(2095 年)、SSP4 で 2.4 倍(2100 年)、SSP5 で 2.4 倍(2070 年)となった。

3.2. 牧草地需要量

図 2 に牧草地面積需要量の推計結果を示す。2010 年の牧草地面積需要量は、およそ 1.2Gha と推計され FAOSTAT[4]における実際の牧草地面積である 3.35Gha と比較すると、現在の約 35%の面積でよいという結果となった。畜産物の需要の増加にしたがって牧草地の需要は増加し、SSP3 では現在の牧草地面積からおよそ 800Mha(約 24%)の拡大が必要であると推計された。しかしながら、その他のシナリオにおいては 2100 年まで牧草地を拡大する必要はないという結果となった。

次に、SSP3 における、耕作地面積を含めた農地需要量の結果を図 3 に、要農地拡大面積を図 4 に示す。2010 年において、牧草地面積は全体の 44%を占め、飼料に関わる農地面積は 55%を占めた。また、農地需要量が最大となる 2100 年では牧草地面積は 68%、飼料に関わる農地面積は 77%を占める結果となった。要拡大農地面積は 2050 年までで最大 0.4Gha(SSP5)、2100 年で 1.2Mha(SSP3)と推計された。既往の研究では、2005 年から 2050 年までの要拡大農地面積は 123~495Mha であり[7]、既往の研究の範囲に収まる結果となった。

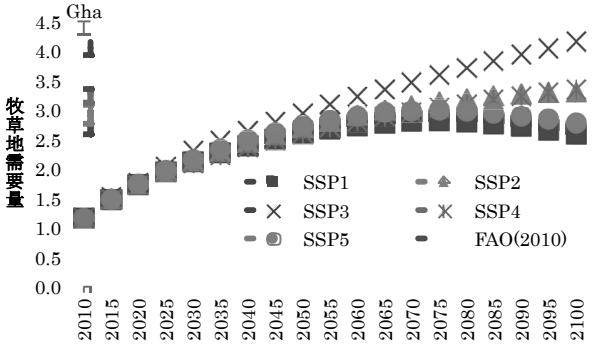


図 2 牧草地面積需要量

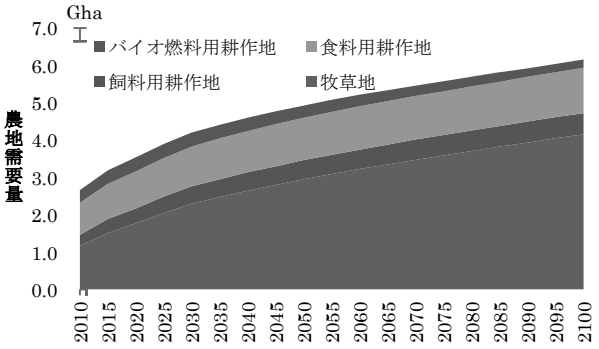


図 3 農地需要量(SSP3)

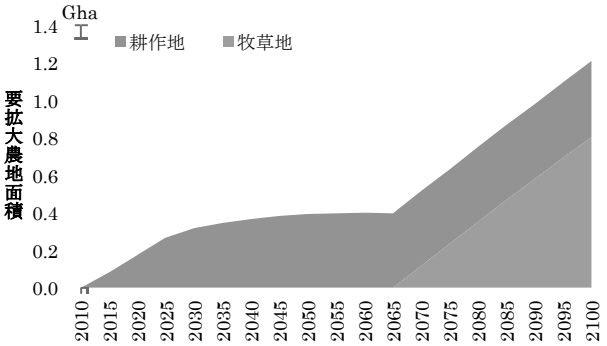


図 4 要拡大農地面積(SSP3)

4. おわりに

現状では、構築した推計モデルで牧草地も含めた将来の農地面積需要量を推計したところであり、今後、肉食の削減、食品廃棄物の削減、収率の向上などのシナリオによる農地面積需要の抑制可能性について検討していく。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。

参考文献

1) Rockstrom, J. et al.: Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity, Ecology and Society, 14(2), art.32, 2009

2) 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

3) 田村ら：食料・バイオ燃料に関わる将来の農地需要とその抑制案、第 42 回環境システム研究論文発表会講演集、pp.33-38、2014

4) FAO: FAOSTAT, http://faostat.fao.org/, 2014 年 6 月アクセス

5) Wirsenius, S: Human Use of Land and Organic Materials: Modeling the Turnover of Biomass in Global Food System, Chalmers University of Technology and Goteborg University, 2000

6) Herrero, M. et al.: Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems, PANS, 110(52), pp.20888–20893, 2013

7) UNEP: Assessing Global Land Use: Balancing Consumption with Sustainable Supply, A Report of the Working Group on Land and Soils of the International Resource Panel, 2014

鉛に汚染された土壌の評価とバイオレメディエーションによる鉛の回収

Characteristics of soil pollution by lead and the sorption of lead using bioremediation processes

○塩見尚史*[1)]，末次　憲一郎[2)]，　勝田知尚[2)]

Naofumi Shiomi,　Kenichiro Suetsugu, Tomohisa Katusda

1) 神戸女学院大学,　2) 神戸大学

*n-shiomi@mail.kobe-c.ac.jp

1.　緒言

農薬や重金属による土壌汚染が、アジアやアフリカの国々で深刻化しつつある。水銀、カドミウム、ヒ素など毒性の高い重金属が土壌や地下水に高濃度に含まれており、飲料水に深刻な打撃を与えている。また、電子機器の投棄などにより、レアーアースが土壌に含まれていることから、土壌からの重金属の回収することも、注目されている。持続的な社会を保持するには、重金属汚染の現状を正しく把握し、正しい汚染防止策並びに回収策を見出すことが求められる。

本研究は、鉛汚染について注目した。最近、中国では相次いで鉛中毒が報告された。鉛による大気や土壌の汚染は、アジアでも急速に進んでいる。にもかかわらず、鉛汚染の実態が十分に理解されているとは言えない。そこで、我々は環境情報を整理することにより、鉛のゼロエミッションにとって重要な対策について検討した。さらに、高濃度の鉛汚染場所に対して、植物や微生物による重金属の回収（phytomining や biomining）の可能性についても検討した。

２．方法

鉛のゼロエミッションにとって重要な対策に関する情報と、土壌からの鉛の回収の方法に関する情報を、論文等により収集した。さらに、得られた情報に基づいて、簡単な試算をおこなった。

３．結果及び考察

3.1 鉛の廃棄量とゼロエミッションの可能性

鉛の用途を、環境省などの報告に基づいて調査した[1)]。鉛の主な用途は、Figure 1 に示すように、80%以上が鉛蓄電池（自動車・企業）であり、それ以外では無機薬品（塩化ビニルの安定剤、クリスタルガラス、塗料）、はんだ（電化製品）、鉛管板の順であった。先進国では鉛蓄電池の回収が進んでいるが、世界的には十分といえない。また、EU の WEEE（電気電子廃棄物）は、年間 600 万トンであり、その 90%が何の前処理もなく埋め立てまたは焼却されている。はんだが 5-10%含まれていると仮定すれば、ヨーロッパだけで毎年、3-6 万トンのはんだが廃棄されていう計算になる。さらに、世界の塩ビの消費量は、3647 万トンであり、4,500ppm の鉛系安定剤が含まれていると仮定すれば、16.4 万トンが廃棄されている計算になる。

EU では ELV 指令、RoHS 指令、EC　Directive94/62 により、鉛などの重金属の廃棄を禁止した。日本では、塩化ビニルの安定剤、電化製品の基盤のハンダ、塗料については、無鉛化が進んでおり、使用量は減少している。さらに、バッテリーの再生鉛として再利用率も、90%まで上がっている。したがって、理論上は、今後バッテリー電極の回収率を高め、ロボット等を用いて閉鎖された空間で鉛の冶金をおこなえば、Figure 2 のようなサイクルが可能であり、鉛の廃棄量を最少限にすることが日本では可能となる。言い換えれば、鉛の排出ゼロエミッションに近づけることが可能である。

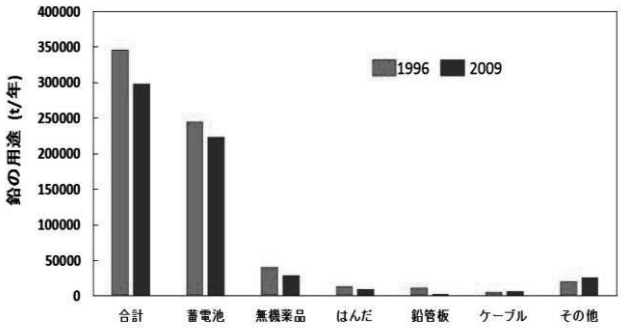


Figure 1 鉛の用途の内訳

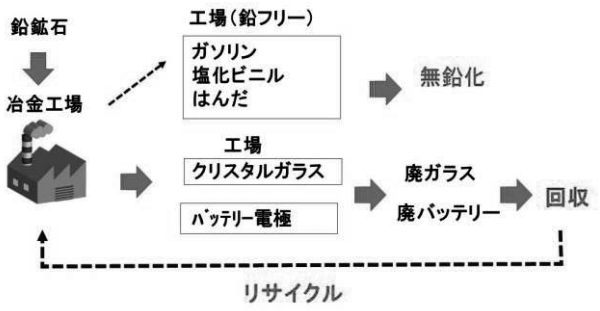


Figure 2 鉛の排出ゼロエミッションへのフロー

3.2 大気の鉛汚染と血中の濃度

血中の鉛濃度が 10μg/dL 以下では、問題ないが 20μg/dL に増加すると、IQ の低下が見られ、40μg/dL を超えると前駆的中毒症状が現れる。日本人の正常な血中鉛濃度は、1-3μg/dL である。5μg/kg/day 以上の鉛を経口摂取し続けると、体内に鉛摂取量の 32%が蓄積したという報告もある。60kg の人に換算すると、300μg/day に相当するが、食事からの鉛の接取量（日本人）は、20-25μg/day であり、鉛の血中濃度を高める要因は、大気からの呼気による暴露と考えられる。0.3mg/day、1 日に呼吸により 100m^3 の空気を交換し、30%を体内に取り込むと仮定すれば、少なくとも 10μg /m^3 以下であることが必要となる。インドの鉛製錬工業地域では、PM2.5(あるいは PM10)に 14μg/m^3 の鉛が測定されていることから、鉛製錬工業地域は、健康に影響が出るレベルの鉛が排出されていると考えられる。また、中国は、精錬所付近での値が報告されていないが、中毒が相次いでいることを考慮すれば、大気中に異常に高い濃度の鉛を含んでいると考えられる。

3.3 鉛汚染土壌

最後に、世界各国の土壌の鉛レベルを調査した。土壌中の正常な鉛濃度は、15-30mg/kg 程度であるが、鉛製錬が行われていない地域の土壌では、この基準に近い値であった。一方、鉛の採掘場付近や鉛の精錬所付近では、鉛が微粒子として発生し、土壌を高濃度に汚染しており、1-50g/kg 以上にも及ぶ場所が数多く存在した。

3.4 土壌からの鉛の回収

鉛の採掘場付近や鉛の精錬所付近の土壌汚染濃度を 10g/kg とし、深さ 2m までの汚染（土の比重を 1.7）を回収すると仮定すれば、鉛の質量は、340t/ha になる。鉛価格を 20 万円/t とすれば 6800 万円/ha になる。したがって、土壌中の重金属を高濃度・高純度で安価に回収できれば、コスト的に見合う可能性がある

土壌から重金属を取り出す方法として、土壌を洗浄する方法がある。鉛は土壌に吸着されているので、EDTA による洗浄法が検討されており、1 万円/ﾄﾝ(土)と試算されている。

また、重金属の回収方法として最も期待されているのが[2)]、植物を利用したファイトマイニングである（Figure 3)。適切な植物(hiperaccumulatr)を用いた場合、極めて安価に、50%以上の鉛を土壌から吸い上げることができる。ただし、時間がかかる点とそれを燃焼して鉛を回収する必要がある。Ni などのように、極めて高濃度に蓄積する植物を見いだせればコスト的に見合うかもしれない。

一方、微生物による鉛の吸収や解毒機構は詳しく調べられている。微生物は遺伝子操作も容易であり、鉛耐性が高く、高濃度に鉛を蓄積する微生物を作製することは可能と考えられる。その微生物を用いれば、WEEE などの焼却灰から、効率よく鉛の回収が行える可能性がある。

一方、土壌汚染に微生物を適用する場合は、土壌から微生物を回収する工夫が必要となる。我々は、アルギン酸等により微生物を固定化したビーズを土壌と混合した後、浮力やふるいによりビーズを効率よく取り出す方法について検討を進めている。効率よくこの方法を行うことができれば、鉛のみならず、様々な重金属の優れた回収方法となり得ると考えられる。

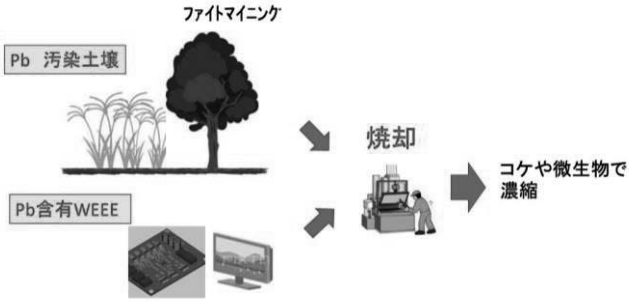


Figure 3 鉛回収プロセスのフロー

4．結言

鉛の用途の大半は、鉛蓄電池、無機薬品、はんだ、鉛管板に占められる。したがって、鉛蓄電池の回収率を高め、鉛フリー化を行うことにより、鉛の排出を最小減にできる。即ち、鉛はゼロエミッションに近づけることが可能な金属である。

鉛の損失は、十分な設備の備わっていない採掘場および精錬所で起こっており、それら周辺の高濃度の鉛を含む土壌や排水からの鉛の回収は、コスト的には厳しいが、放置することはできない。植物あるいは微生物を用いて回収した鉛を再利用できれば、修復費用が軽減され、修復が可能となるかもしれない。植物あるいは微生物を用いて修復をおこなう場合は、高濃度の鉛耐性があり、高濃度に蓄積できることが、必要である。

参考文献

1) 環境省「製品中の有害物質に起因する環境負荷の低減に関する調査報告」 平成 17 年 7 月
2) Fulekar ら Afr, J. Biotech., 8. 529-535 (2009)
3) Jarostawiecka ら Microbiology, 160, 12 (2014)

カトマンズでの持続可能な廃棄物処理

The Sustainable Solid Waste Management in Kathmandu Metropolitan City

○ブダ　マガル　サロジ、成田暢彦*、菅井径世、
Saroj BUDHA MAGAR, Nobuhiko NARITA and Michiyo SUGAI
名古屋産業大学大学院
*narita@nagoya-su.ac.jp

1. Introduction

Kathmandu Metropolitan City (KMC), the capital of Nepal, is the most urbanized and populated city in Nepal. Haphazard urbanization and unprecedented population increase of 7.9% per annum has put the Solid Waste Management in crisis. KMC solid waste generation was 466 ton/day[1], 523.8 ton/day[2], 700,000 liter/day[3], where 65% of household waste consisted of organic waste. The average per capita Municipal solid waste generation was 464.4 g/capita/day. This research evaluates the three different organic waste recycling process; Composting, Electricity generation and Compressed Natural Gas (CNG) production for cooking purpose. And find the most appropriate and sustainable recycling process for the organic waste generated in KMC.

2. Methodology

The research is mainly based on secondary data. The main part of the thesis is divided into three different scenarios; Scenario I (Composting), Scenario Ⅱ (Electricity Generation), Scenario Ⅲ (CNG production). The potential production of each scenario is calculated with the assumption that all the Organic Waste generated is recycled. These three scenarios were selected on the basis of present demand of KMC. Then finally these three scenarios were evaluated from cost benefit, replacing potential of present demand and CO_2 emission reduction potential perspective.

3. Present Status of Solid Waste Management in KMC

Average household waste generation is around 1 kg/day/person. Total household waste generation was 750 m^3/day in 2004[3], Dangi study[2] shows 393.2 tons/day in 2007, which is the maximum, and the study[1] shows it to be 233.07 tons/day. Similarly, total municipal waste generation was 523.8 tons/day in 2007 with average per capita MSW 660 g/capita/day and it has decreased to 466 tons/day with average per capita MSW 464.61 g/capita/day.

Although the waste generation figure varied with the individual studies, the comparative study found that the household waste compositions were somewhat in line for different studies conducted in KMC.

Table 1 Population Growth and Solid waste Generation in KMC

	year						
Element	1952	1961	1971	1981	1991	2001	2012
Population	106,579	121,019	150,402	235,160	421,258	671,846	1,003,285
Waste (tons/y)	17,905	20,331	25,268	39,507	695,96	90,885	170,142
%Increase in Population		13.5%	24.3%	56.4%	79.1%	59.5%	26.9%
%Increase in Waste		13.5%	24.3%	56.4%	76.2%	30.6%	-11%

The portion of organic waste found in the studies is consistently approximately 2/3 of the total waste. Plastics and paper and paper products have gone up with a steady increase in the weight percentage.

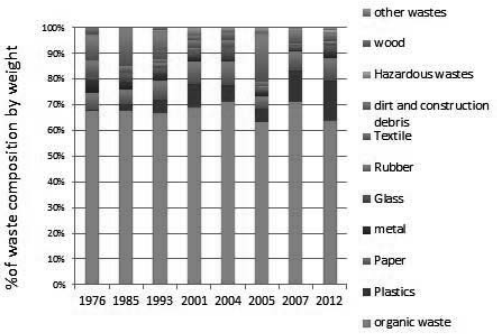


Fig 1: Waste composition in KMC [1,2,3]

The municipal waste collection ratio varies with the different studies. KMC reported municipal solid waste collection ratio was 90%; 91%[3]; 86.9%[1]. Due to the relatively low collection rates the city residents are encouraged to dump waste into roadsides and river banks. KMC lacks a sanitary landfill that undergoes closure time and again so municipality practices open dumping. Source separation and formal recycling of organic waste is nonexistent. Informal Scavenging manages 10% of solid waste in KMC that saves NRs 7.2 million per year yet they are not formally addressed by the law.

4. Evaluation of Three different Recycling Scenarios

The three different recycling scenarios for management of organic waste are Scenario Ⅰ - Composting, Scenario Ⅱ - Electricity Generation, Scenario Ⅲ - CNG production for

cooking and heating purpose. Here it is assumed that all the waste generated is recycled (302.9 t/d) i.e. total Municipal waste generated in KMC 466 t/d that consists of 65% organic waste. Each scenario is analyzed from three different perspectives. They are present demand, cost (alternate value) and CO_2 emission reduction potential.

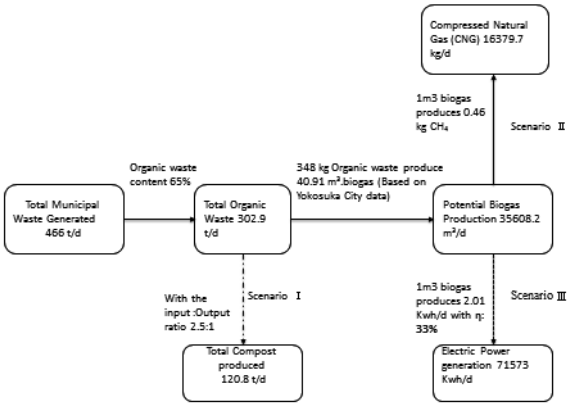


Fig.2 Research Flow with the calculation of Potential production of each recycling process.

4.1 Scenario Ⅰ : Converting Organic Waste to Compost

The analysis is based on paper[4]. The compost plant of KMC established in 2005 was designed to handle 500 kg/d feedstock input and to produce an output of 200 kg/d. i.e. Input Output ratio will be 2.5:1. So, with 2.5:1 input output ratio total organic waste of 302.9 t/d would produce 120.8t/d compost.

The present demand of Compost in KMC is 99t/d and present chemical fertilizer used in Kathmandu is 27 t/d. Present consumption of chemical fertilizer is calculated in terms of replacement ratio of compost fertilizer. From calculation 1 and calculation 2, to replace 27 t/d of chemical fertilizer, 2,700t/d compost and 6,237t/d compost is needed respectively. From the calculation the amount of compost that could substitute the chemical fertilizer, could profit NRs. 198,000 and NRs. 90,000 for calculation 1 and calculation 2 respectively.

According to carbon footprint Pilot business CO_2 equivalent common basic unit database-scan vol.2 in Japan, the GHG emission of compost is 0.71kg CO_2/kg. So, the total emission from the compost produced (120.8t/d) in KMC would be 85,768 Kg-CO_2/d.

4.2 Scenario Ⅱ Electricity Generation from Waste

In this scenario the biogas production and production efficiency of KMC are assumed to be same as the research done by Yokosuka City, Japan. It is calculated that total Organic Waste of 302.9t/d can produce biogas of 35,608.2m^3/d and potential electricity generation of 71,572.5 kWh/d. Current demands is assumed very high as the KMC suffers 12-14hrs/d load shedding.

The per capita consumption of electricity is 0.5kWh/d and the average electric tariff is NRs 9.25. So total produced electricity could be sold is NRs 662,050/d. Biogas is considered as carbon neutral so CO_2 emission is zero.

4.3 Scenario Ⅲ Producing Compressed Natural Gas

The potential production of CNG is calculated to be 16,380 kg/d. Currently, Liquefied Petroleum Gas (LPG) is used for cooking purpose. Per Capita LPG Consumption of Nepal is 7.81 kg. The total consumption of LPG in Kathmandu valley stands at 60% of total domestic consumption.

It is calculated that CNG as a coking fuel in KMC would Profit NRs 1,098,090 /d. And the CO_2 reduction potential is calculated to be 35,183 Kg- CO_2/d.

Table 2 Comparing the benefits of various recycling scenarios.

Different Scenarios	Potential Production from waste	Present demand	Present Consumption	Present Price	Other benefits (replacing Amount that fulfills the current demand)	Alternative Value	CO_2 emission Reduction
Composting (Scenario Ⅰ)	120 t/d	99 t/d	27 t/d Chemical Fertilizer	12-15 Rs/Kg	Calculation 1=2700 t/d (replace 4.4 Calculation 2=6237 t/d (replaces 2% of Chemical Fertilizer) [Compost need to replace 27t/d of Chemical Fertilizer]	Calculation 1= Rs. 198000 Calculation 2= Rs. 90000	8576 8KgC O_2/d
Electricity Production (Scenario Ⅱ)	71572 KWh/d	12-14 hrs Load shedding so demand is considered high	0.5 KWh/d/p	7.5-11 Rs/KWh	71573KWh/d could be transferred to the National grid	662050 Rs/d.	0 Carbon Neutral
CNG Production (Scenario Ⅲ)	16379.7 Kg/d	Due to the shortage of LPG, demand is considered high.	60% of total domestic consumption.	1470 Rs/Cyl (LPG)	747 CNG cyl/d could be produced.	Profits 1098090 Rs/d	3518 3kgC O_2/d

5. Conclusion

Evaluation of Present demand, alternative value, CO_2 emission reduction potential is done in between Composting, Electricity production and Compressed Natural Gas production for cooking purpose. The calculation shows that Production of Compressed Natural Gas for cooking purpose is the most sustainable and the best alternative for recycling organic waste in context of KMC.

6. Reference

1) Asian Development Bank, Solid Waste Management in Nepal, Current status and Policy Recommendation.(2012)

2) Mohan B. Dangi, Christopher. Pretz, Michael. Urynowicz, Kenneth. Gerow, J.M. Reddy, Municipal solid waste generation in Kathmandu, Nepal (2006)

3) Nippon Koei Co. Ltd., Yachiyo Engineering Co. Ltd. The Study on the Solid Waste Management for the Kathmandu Valley, draft final report volume 1 (2007)

4) Sandec : department of Water and Sanitation in Developing Countries, Nepal for composting .(2012)

解体調査に基づいた使用済みハイブリッド自動車特有部品のレアアース類の消費量と回収ポテンシャル推定

Rare Earth Element Consumption and Recovery potentials from End-of-Life Hybrid Electric Vehicle Components Basing on Dismantling Survey

○矢野順也*[1)]、室井隆徳[2)]、酒井伸一[1)]
Junya Yano, Takanori Muroi, Shin-ichi Sakai
1) 京都大学環境科学センター, 2) 中央復建コンサルタンツ株式会社
* yano@eprc.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

ハイブリッド自動車（HEV: hybrid electric vehicle）の普及が急速に進む中、近い将来使用済み HEV の廃棄増加が予想される。HEV には多様なレアメタルが使用されており、資源回収量の見通しが重要となる。本研究ではレアアース類（REEs: rare earth elements）に着目し、世代別の HEVs 特有部品のサンプル分析により含有量を明らかにした。そして、2030 年までの HEV 特有部品に関連する消費量、ストック量および廃棄量（回収ポテンシャル）を推定した。

2. 方法

2.1 HEV 廃棄台数推定

推定期間は 2010－2030 年とした。対象車種は HEV のみとし、プラグインハイブリッド車や電気自動車は対象外とした。HEV 特有部品として、ハイブリッドトランスミッション（HT）、ニッケル水素電池（NiMH バッテリー）を対象とした。

HEV 廃棄台数は初度登録年別の保有台数に残存率を乗じて推定し、保有台数は自動車検査登録情報協会[1)]、次世代自動車振興センター[2)]の統計データを用いた。将来の保有台数見通しについては、次世代自動車戦略[3)]の普及目標値（新車に占める割合として 2020 年までに 20－30%、2030 年までに 30－40%）を用い線形に増加すると仮定した。

$$F(y,t) = exp\left\{-\left(\frac{t+0.5}{\eta}\right)^{m}\right\} \qquad \text{Eq. 1}$$

$F(t)$ ：残存率
y ：初度登録年
t ：車齢
m ：形状パラメータ
η ：尺度パラメータ

HEV の残存率はワイブル分布に従うとし、Eq. 1 の通りとした。形状パラメータ、尺度パラメータは統計値を用いて最小二乗法により推定した。この際、残存率は HEV の初度登録年別に異なると仮定し、初度登録年別に推定した。NiMH バッテリーの寿命は HEV よりも短く、車検等のメンテナンス過程での排出も考えられる。そのため、インターネットアンケートを 2013 年 3 月に HEV ユーザーに対して実施し（有効回答数 604）、NiMH バッテリー交換回数と使用年数のヒアリング結果を用いて Eq. 2、Eq. 3 のとおり NiMH バッテリーの交換確率（1 回交換：$P_1(t)$、2 回交換：$P_2(t)$）を推定した。

$$P_1(t) = 1 - exp\left\{-\left(\frac{t+0.5}{\eta'}\right)^{m'}\right\} \qquad \text{Eq. 2}$$

$$P_2(t) = 1 - \int_0^{\infty} P_1(t-t') \times p_1(t')dt' \qquad \text{Eq. 3}$$

※$p_1(t')$：$P_1(t')$の確率密度関数

2.2 HEV 特有部品中の REEs 含有量

HT は駆動モーターとジェネレーターの 2 つのモーター磁石（ネオジム磁石）を有し、NiMH バッテリーは負極材に REEs が使用されている。REEs 含有量は HEV の世代により異なると考えられることから、2012 年 12 月、2013 年 12 月に実施した解体調査により、1997 年製（初代）、2003 年製（2 代目）、2009 年製（3 代目）の HT をサンプル回収した。NiMH バッテリーは初代のみが回収できたため、2 代目、3 代目はバッテリーセル数に比例すると仮定した。初代、2 代目、3 代目のセル数は 252、228、168 とした。回収したサンプル中の REEs 含有濃度を ICP-MS を用いて分析し、部品重量を乗じて表 1、表 2 に示したとおり含有量を算出した。3 代目以降は将来も REEs 含有量に変化がないものと仮定した。

表 1 ハイブリッドトランスミッション（HT）の REEs 含有量

(g/compontent))	初代 (1997)	2 代目 (2003)	3 代目 (2009)
Pr	71	63	1.0
Nd	267	281	266
Dy	148	112	68
Total REEs	486	457	335

表 2 NiMH バッテリーの REEs 含有量

	REE content	
	[ppm]	[g/unit]
La	20,000	870
Ce	28,000	1,200
Pr	2,700	120
Nd	8,800	380
Gd	190	8.3
Tb	9	0.4
Dy	4	0.2
Er	9	0.4
Total REEs	-	2,600

3. 結果と考察

3.1 HEV 廃棄台数

HEV 廃棄台数は図 1 に示した通り、2010 年には 1.1 万台/年だったが 2030 年には 51－65 万台/年まで増加すると推定された。また、2030 年の HEV の国内保有台数は 1800－2400 万台と推定された。

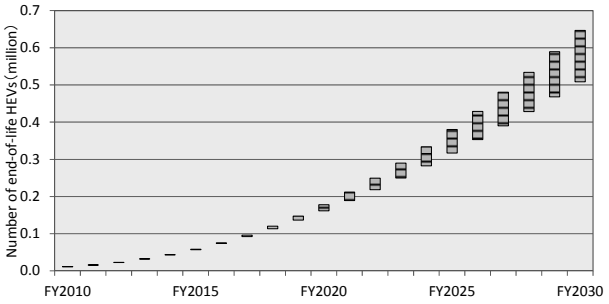


図 1 HEV 廃棄台数推定結果

3.2 REEs 回収ポテンシャル

HT 中の磁石用途の REEs 需要と回収ポテンシャル推定結果を図 2 に示した。

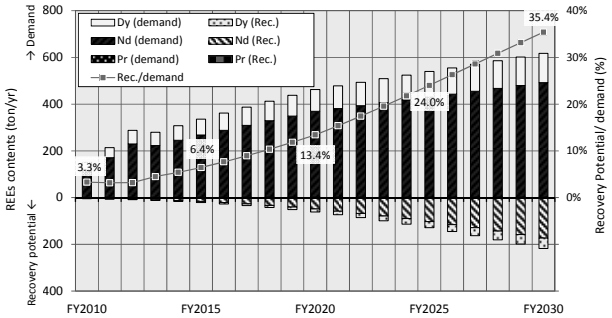


図 2 ハイブリッドトランスミッション（HT）由来の REEs 回収ポテンシャル推定結果

2030 年には 620 ton/yr の需要量に対し、廃棄 HEV 中 HT からの回収ポテンシャルは 220 ton/yr と推定された。NiMH バッテリーについては図 3 に示したとおり、2030 年には 3,200 ton/yr の需要、2,900 ton/yr の回収ポテンシャルとなった。すなわち、HT、NiMH バッテリーそれぞれ需要量に対して 35.4%、92.1%に相当する REEs が使用済部品中に含まれていることが明らかになった。なお、REEs 使用量削減策が検討されている昨今の情勢を鑑みれば、将来の需要量は本推定値を下回ることも考えられる。

また、図 4 に示したとおり、NiMH バッテリーは使用済み HEV よりも使用中の HEV のメンテナンス交換による排出が多く、メンテナンス過程からの廃棄も重要な排出源であることが示唆された。

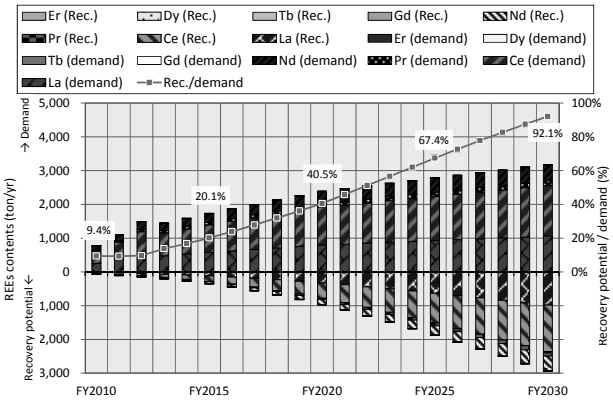


図 3 NiMH 由来の REEs 回収ポテンシャル推定結果

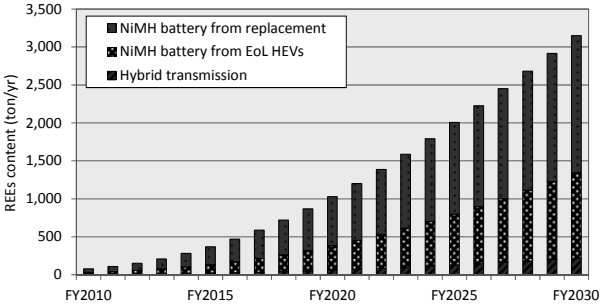


図 4 部品由来別の REEs 回収ポテンシャル推定結果

4. 結論と今後の課題

本研究では HEV 特有部品（HT と NiMH バッテリー）からの将来の REEs 回収ポテンシャルを推定した。使用済自動車全体の資源性を評価する上では、今後、ガソリン車や電気自動車中まで対象を広げる必要がある。

5. 引用文献

1) 自動車検査登録情報協会：初度登録年別自動車保有車両数
2) 次世代自動車振興センター：電気自動車等保有台数統計（推定値）、http://www.cev-pc.or.jp/tokei/hanbai.html （参照 2014-7-11）
3) 経済産業省：”次世代自動車戦略 2010”, (2010)

都道府県における自動車買い替えに伴って発生する鉄スクラップ需給バランスの分析

Analyzing Balances between Supply and Demand of Iron Scraps Generated by Automobile Replacements in 47 Prefectures of Japan

○西嶋大輔*[1)]、加河茂美 [1)]、中島謙一 [2)]
Daisuke Nishijima, Shigemi Kagawa, Kenichi Nakajima
1)九州大学,　2)独立行政法人国立環境研究所
* nishijindaiko@gmail.com

1. はじめに

先進国において、自動車のような耐久財の買い替えは、経済循環を促す原動力としてだけでなく、廃棄物をはじめとする環境負荷の減少の要因としても重要な役割を担っている。

その一方で、廃プラスチック・廃ゴムといった二次資源は、資源利用や資源リサイクルという観点から注目を集めている。そのなかでも、鉄スクラップは世界的にみても重要な二次資源の一つである。そして、その鉄スクラップは廃自動車からも取り出される二次資源である。

以上のことを考慮すると、自動車買い替えによって発生する鉄スクラップについて考えることは、今日の持続可能な社会を考えるうえでは不可欠であると考えられる。

自動車の買い替えから発生する鉄スクラップについての先行研究として、Kagawa et al.,(2014)[1)]がある。この研究では、寿命関数と廃棄物産業連関表を用いて、将来における日本での自動車の買い替えに伴って発生する鉄スクラップの供給量とその需要量を推計し、そのギャップを分析している。

この先行研究は、廃棄物リサイクル、とりわけ鉄スクラップの研究において大きな貢献をしている。しかし、地域あるいは都道府県といったより細かいレベルまでは分析されていない。そういった地域間での差異を見ることができていないという点がこの先行研究の問題点の一つである。より有効な資源政策を考えるうえで、一国全体レベルではなく、そういった地域レベルでの差異や特色を分析することは、非常に有意義なものになると考えられる。

そこで本研究では、各地方における自動車買い替えによって発生する鉄スクラップの供給量と需要量を推計し、そのギャップを地方レベルで分析することを目的とする。

その第一段階として、今回については鉄スクラップの供給量を各都道府県で推計し、その結果から考察を行う。

2. 研究手法

先行研究を基に、まず自動車買い替えによって発生する鉄スクラップの供給量を定義する。

はじめに、ある年 t 年における地域 n の r 年製の自動車のストック台数は、以下の(1)式のように定義できる。

$$S(n,t,r) = \varphi_{t-r}\, f(n,r) \tag{1}$$

ここで、$f(n,r)$は地域 n における r 年製の自動車の販売台数、φ_{t-r} は r 年製の自動車の t 年における残存確率を示している。

この式を用いることで、ある年 t 年における地域 n の自動車のストックの総台数は、以下の(2)式のように表すことができる。

$$S(n,t) = \sum_{r=1}^{t} S(n,t,r) = \sum_{r=1}^{t} \varphi_{t-r}\, f(n,r) \tag{2}$$

さらに、ここで将来の自動車のストックは定常状態に落ち着くということを仮定する。

その理由として、先進国、特に日本においてはすでに自動車が広く普及しているため、新規購入よりも買い替えによる自動車の購入が大半を占めることが経験的に考えられるからである。

この定常状態を仮定すると、S(t)=S(t-1)となり、ここから(3)式の将来の自動車の需要関数を導出することができる。

$$f(n,t) = \sum_{r=1}^{t-1} (\varphi_{r-1} - \varphi_r) f(n, t-r) \tag{3}$$

そして、購入された自動車の台数と同じ台数が廃棄され、そこから鉄スクラップが発生するので、ある年 t 年における地域 n の自動車買い替えに伴う鉄スクラップ供給量は(4)式のようになる。

$$IS(n,t) = \sum_{m=1}^{47} TC(m,n) \times f(n,t) \times u_{scrap,auto} \tag{4}$$

ここで、$TC(m,n)$は m 地域から n 地域への廃棄自動車の交易係数、$u_{scrap,auto}$ は廃棄自動車１台あたりの鉄ス

クラップ量を示している。

3. データ

$\varphi_{t\text{-}r}$ と $u_{scrap,auto}$ については、先行研究で推計された値を使用する。過去の自動車の購入台数については、自動車販売連合会のデータを用いる。また、廃棄自動車の交易係数については、国土交通省の全国純流動調査のデータをもとに独自で推計したものを用いる。

4. 推計結果と考察

推計の結果、図 1~4 のように、鉄スクラップの供給量の動きとして、次の３つのパターンが見られた。

一つ目は沖縄県のみの特殊なパターンで、図 1 のように 2013 年から供給量が単調に増加し、その後一定の水準に落ち着くという動きである。沖縄県では、2013 年での供給量は 7286 トンであるが、2035 年には 8763 トンまで増加し、2013 年比で約 20%の増加が見られた。

二つ目は、2013 年以降増加と減少を交互に繰り返していくというパターンである。図 2 では、その特徴が分かりやすく表れていた愛知県の供給量のグラフを載せている。愛知県では、2013 年には供給量が 91049 トンであったが、最初増加し、2017 年にはピークで 93458 トンまで増加した。これは、2013 年比で 2.6%の増加である。その後供給量は減少し、その減少は 2024 年の 91046 トンまで続いた。そして、再び供給量は増加し、2030 年の 92300 トンまで増加した。またその後減少し 2035 年には 91988 トンとなり、これは 2013 年比で 0.9%増となっている。

そして最後の三つ目は、2013 年から減少をたどり、その後はその減少した水準に落ち着くという動きである。図 3 では、その動きが顕著に見られた北海道の供給量のグラフを載せている。北海道では、2013 年の 46741 トンをピークに減少が続き、2023 年には 43952 トンにまで落ち込んでいる。その後上下動が多少あるものの、2035 年での供給量は 44461 トンとなり、2013 年比で 4.8%の減少となった。

ただし、三つ目の減少をたどるパターンのなかでも、宮城県に関しては、また少し違う動きを示している。そのグラフを図 4 に載せている。宮城県でも、2013 年の 22256 トンから 2021 年の 22146 トンまで供給量が減少する。しかし、その後供給量が大きく増加し、2027 年にはピークの 22339 トンを迎える。これは、2013 年比で 0.3%増加しており、この 2013 年比で増加している年があるという特徴は、三つ目の供給量の動きのパターンを示す他の都道府県には見られなかった特徴である。その後、2035 年には 22231 トンまで減少するものの、2013 年比で 0.1%の減少に留まっている。

以上から、自動車買い替えによる鉄スクラップの供給量の動きは、都道府県間で異なることが分かった。

そして、これらの３つの鉄スクラップの供給量の動きの特徴は、より効率的な資源配分を考えるうえで有効なものとなる。

以上のように考えると、政府は持続可能な鉄スクラップの利用を考えるうえで、ここで示した３つの鉄スクラップ供給量のトレンドを考慮すべきである。

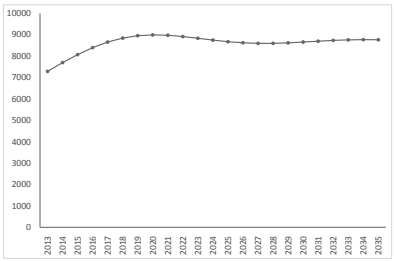


図 1 沖縄県における鉄スクラップの供給量の推移（2013～2035 年　単位：トン）

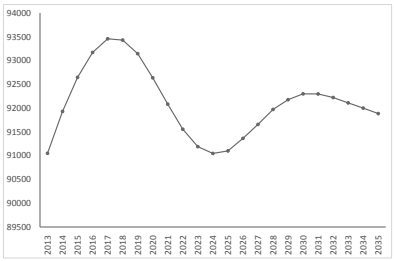


図 2 愛知県における鉄スクラップの供給量の推移（2013～2035 年　単位：トン）

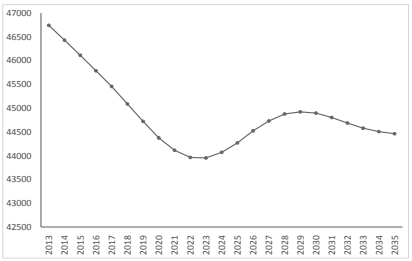


図 3 北海道における鉄スクラップの供給量の推移（2013～2035 年　単位：トン）

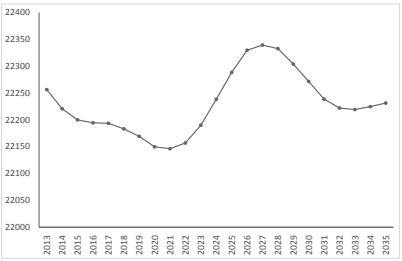


図 4 宮城県における鉄スクラップの供給量の推移（2013～2035 年　単位：トン）

5. 引用文献

1) Kagawa.,et al. *Journal of Industrial Ecology*, 2014.

循環型社会を目指した鉄鋼材リサイクルシステムの構築

Development of steel recycling system for the recycling-oriented society

○松橋諒*[1)]、醍醐市朗 [1)]、後藤芳一 [1)]

Ryo Matsuhashi, Ichiro Daigo, Yoshikazu Goto

1) 東京大学大学院,

* matsuhashi@mfa.t.u-tokyo.ac.jp

1. 背景

鉄鋼材は他の金属材料に比べても圧倒的に使用量が多く、多様な用途で使われている。現在、鉄スクラップは日本の鉄源の 35%程度を占め、使用済み製品からのリサイクル性も高いため、循環型社会を形成するにあたり、最も重要な素材の 1 つであると言える。

鉄鋼材の蓄積(in-use stock)量は、将来、飽和すると考えられている [1)]。将来の鉄鋼材蓄積量が飽和した社会では、使用済み製品からの回収性が高いと、社会中に蓄積された鉄鋼材を繰り返しリサイクルし、天然資源の消費は減少する循環システムに移行することが想定される。これにより、循環型社会を達成することができると考えられる。

一方で、繰返しリサイクルすることにより、銅をはじめとした鉄鋼材中の不純物が濃化し、リサイクル材が要求される機能を満たさないことが懸念される [2)]。既存研究における不純物濃化に対する対応策として、不純物の機械的分離や化学的除去、天然資源による希釈が挙げられる。しかし、個々の製品における使用済み後の不純物の分離や除去では、その影響は限られるため、対象を製品から社会全体に拡張し、不純物濃化への対応策を検討していくことが重要である。その際、鉄鋼材中の不純物濃度だけでなく、不純物許容濃度が異なる鉄鋼材用途のシェアや、それら用途ごとの平均使用年数も、鉄鋼材の循環性を変動させると考えられるため、結果として不純物の濃化に影響を与えると考えられる。

そこで本研究では、社会システムにおける要素も考慮して、循環型社会での鉄鋼材利用システムを最適化するモデルの構築を目的とした。

2. 研究手法

2.1 ベースモデルの構築

将来的に社会中の鉄鋼材蓄積量が飽和し、蓄積された鉄鋼材を循環利用することで定常状態となった鉄鋼材循環利用システムを想定した。各用途の蓄積量 X と平均使用年数λを用い、1 年間の排出量 X/λと投入量を図 1 のようにモデル化した。本モデルでは鉄鋼材の用途を建築(B)、自動車(A)、機械(M)、容器(C)、その他(O)の 5 つに分類した。排出された使用済み製品

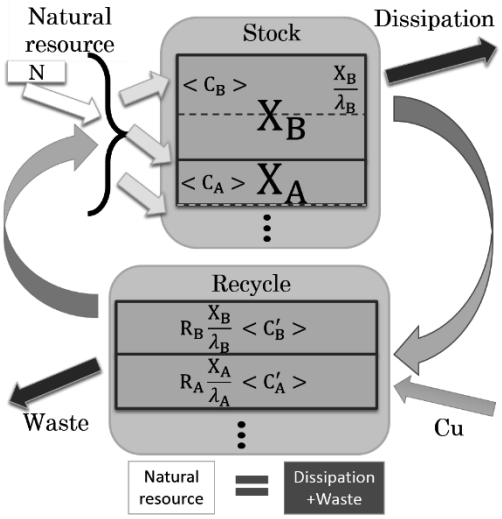


図 1　ベースモデルの模式図

に含まれて排出される鉄鋼材のうち、スクラップとして回収される比率を R とした。需要量に対し、スクラップで供給できない鉄源は、天然資源由来の鉄源（N）が投入されるとした。鉄スクラップは、リサイクル時に排出元となる用途に応じて異なる量の不純物（銅）を巻き込むとし、各用途から回収された鉄スクラップ銅濃度を C'とした。本モデルでは、原料として天然資源と老廃スクラップのみを考慮し、スクラップの系外との移出入は考慮しなかった。先述のように定常状態を想定したため、天然資源投入量 N と回収されない鉄スクラップの量（X/λ*(1-R)）が等しくなるので、N が小さいほど循環している鉄スクラップの量は多いことになる。よって、本モデルでは、N の大小により社会全体の循環性を評価できる。

2.2 最適化

図 1 のモデルにおいて、回収された鉄スクラップの供給と各生産鋼材の需要について、線形計画法を用いて最適化を行った。目的関数は、天然資源投入量 N の最小化とした（式 1)。制約条件は、それぞれの用途に対して、排出量と投入量が同じであること（式 2）と原料の銅総量が需要側の銅許容量以下であること（式 3）とした。a_{ij}は、排出元が用途 j であった鉄スクラップのうち、生産鋼材用途 i の原料として利用された鉄スクラップの割合を表す。

Optimize

$$N = \sum_k N_k \ (k = B, A, M, C, O) \quad 式\ 1$$

Subject to:

$$\frac{X_k}{\lambda_k} = \sum_i a_{ki} R_i \frac{X_i}{\lambda_i} + N_k \ 式\ 2$$

$$\frac{X_k}{\lambda_k} C_k \geq \sum_i a_{ki} R_i \frac{X_i}{\lambda_i} C_i' \ 式\ 3$$

2.3 サブモデルの構築

ベースモデルで設定したパラメータは、実際には任意の値をとれる訳ではなく、ある制約の下で変動すると考えられた。例えば、回収率 R は、鉄スクラップ価格に応じて変化すること[3]が考えられ、他のパラメータも同様に価格に応じて変化する場合、その 2 つのパラメータは連関性を有することになる。そこで、ベースモデルで設定した各パラメータを、外生パラメータ(資源価格、経済指標やそれらの変化率など)を用いて説明するサブモデルを構築する。これにより各パラメータ間の連関性について明確にできる。

3. 結果

3.1 ベースモデルの構築

日本での現状を参考にし、表 1 に示す各パラメータ値を設定した。この条件における最適化の結果、最小の天然資源投入量 N は 860 万トンと推計された。これは、現在の粗鋼生産量と比べると 1 桁程度小さいが、定常状態や系外との移出入の状況がモデルとは異なるため、比較することに妥当性はない。

次に、パラメータのうち C'について、銅の混入を考慮しないパラメータに変更し、最適化を実施した。その結果、N は 510 万 t となり、不純物の混入を完全に回避することにより 350 万 t の天然資源削減が可能であることが示された。これから、現在の回収性や不純物混入の状況のまま、鉄鋼材の蓄積量が飽和した閉じた循環利用システムに移行すると、銅濃度の制約により、現在よりも鉄鋼材の循環性は低下する可能性が示唆された。現在の日本では、半製品、鋼材製品、最終製品等、粗鋼生産量のうちの 4 割程度を輸出しているため、天然資源を多く利用し、自然と希釈されているため、制約が顕在化していないと考えられる。

3.2 感度分析

表 2 の条件から、5 つの用途それぞれの C 以外の 4 つのパラメータが 1%変動したときの、最小化された天然資源投入量 N の感度を分析した。変動させる符号と N の変動する符号が同じものと異なるものがあるため、N の変動する符号が正になるように各パラメータを変化させた結果を図 2 に示した。容器用途の回収率 R の感度が最も高く、総じて容器用途ならびに自動車用途の影響が大きい結果となった。

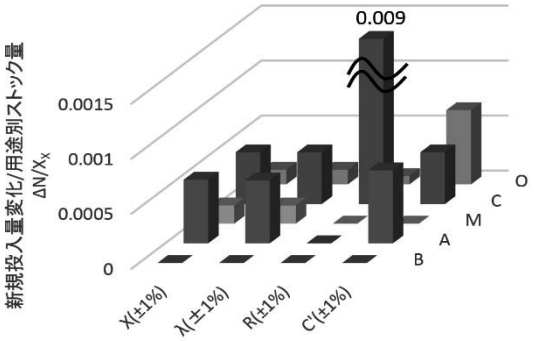


図２　感度分析結果

表１　ベースモデルで使用したパラメータ

	X(billion t)	λ (year)	R(%)	C'(%)	C(%)
B	0.70	30	85	0.30	0.30
A	0.10	13	95	0.20	0.050
M	0.10	15	95	0.22	0.15
C	0.010	1.0	95	0.010	0.010
O	0.050	12	90	0.18	0.15

結果からは、用途シェア X や平均使用年数 λ についても、天然資源投入量に影響を及ぼすことが明確になった。これは、社会システムにおける要素も、循環利用システムにおいて重要であることが確認できたとともに、本研究においてその関係性が定量的に分析できるモデルが構築できたことを示している。

3.3 鉄スクラップ回収量の分析

回収率 R のサブモデルを構築するために、関東地区の鉄スクラップの市況について分析した。鉄スクラップ回収時における集荷範囲には価格依存性があることが示唆された。これを元に、資源価格と回収率 R の定量的関係性を導くことが今後の課題である。

4. まとめ

循環型社会での循環性を定量的に評価できるモデルを構築し、社会システムにおける要素も循環性に影響を与えることが明確にできた。今後は各パラメータを説明するサブモデルの構築が望まれる。

5. 引用文献

1) H.Hatayama, I.Daigo, Y.Matsuno, Y.Adachi: Environ. Sci. Technol, 44 (16), (2010), pp 6457-6463
2) 片山裕之, 水上義正: まてりあ, 35 (12) , (1996) , pp 1283-1289
3) I. Daigo, K. Iwata, Y. Goto: Comparison of End-of-Life Recycling Rates of Common Metals in Japan . EcoBalance 2014, 28-30 October, Tsukuba

鉄鋼資源に着目した Car-to-Car 志向型自動車リサイクルのシナリオ分析

Scenario based LCA Analysis on the Car-to-Car oriented recycling focusing on iron and steel resources

○肥後 光暁*[1)]、松八重 一代[2)]、大野 肇[2)]、中島 謙一[3)]、長坂 徹也[2)]
Mitsuaki Higo, Kazuyo Matsubae, Hajime Ohno, Kenichi Nakajima, Tetsuya Nagasaka
1) 東北大学, 2) 東北大学大学院, 3) 国立環境研究所
*takule22@dc.tohoku.ac.jp

1. はじめに

現在、日本国内では年間 900 万台の自動車が製造されており[1)]、自動車は私たちの生活に必要不可欠なものになっている。経済活動を終えた自動車は廃自動車(ELV ; End of Life Vehicle)としてリサイクルされており、自動車破砕残さ（エアバック類、タイヤ、フロン等を除く）に関しては 90%以上のリサイクル率を達成している[2)]。しかし、この高いリサイクル率は自動車破砕残さを土木・建築用鋼材などにリサイクルすることで達成されている。そのため、新たに自動車用部品を製造する際に天然資源の投入が必要不可欠である。より少ない天然資源の投入で多くの価値を生み出すのが重要であるという考えの資源効率の向上のためには、ELV スクラップを自動車用部品にリサイクルする Car-to-Car 志向型の閉じたリサイクルが必要であると考えられる。

自動車部品の 72%は鉄鋼材で作られている[3)]ので、ELV 由来の鉄スクラップのリサイクルは自動車のリサイクルを考える上で切り離せない存在である。鉄鋼材には鉄鉱石を原料とした転炉鋼と鉄スクラップを原料とした電気炉鋼の 2 種類がある。現在、自動車用鋼材にはもっぱら転炉鋼が用いられているので、ELV 由来の鉄スクラップをリサイクルして得た電気炉鋼を自動車用鋼材に用いた場合、自動車ライフサイクル中の素材製造における CO_2 排出量に変化が見られると考えられる。

図 1 は平均的中級車（車重 : 1.1t, 燃費 : 10km/ガソリン 1*l*, 走行距離 : 13 万 km/10 年）を対象にした自動車ライフサイクル CO_2 排出量の内訳を示している[3)]。ライフサイクル CO_2 排出量全体の 74%が走行時であるが、ハイブリッド化や軽量化等によって走行時における CO_2 排出量が今後低減していくと予想できる。そのため、素材製造における CO_2 排出量が減少した場合、ライフサイクル全体の環境負荷削減にも影響を与えると考えられる。

一方で、今まで ELV 由来の鉄スクラップの主なリサイクル先は土木・建築用鋼材であった。そのため、鉄スクラップが自動車用鋼材に用いられた場合、土木・建築用鋼材に用いる鉄スクラップの供給不足という問題が考えられる。

このような背景から Car-to-Car 志向型自動車リサイクルは、環境負荷およびスクラップ需給バランスに影響を与えると予想できる。そこで本研究では、自動車用鋼材に電気炉鋼を用いた場合の自動車ライフサイクルの CO_2 排出量の算出およびスクラップ需給バランスの見直しを行う。

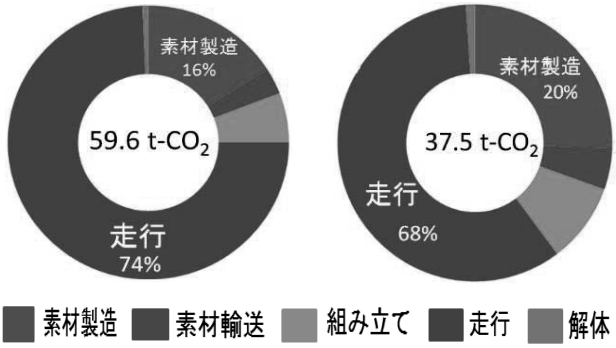


図 1 自動車ライフサイクルの CO_2 排出量の内訳
（左）従来の内訳、（右）改善後の内訳
（走行における CO_2 排出量が半分になったと仮定）

2. 方法

2.1. 自動車ライフサイクル中の検討範囲

図 2 に自動車のライフサイクルを示す。本研究ではライフサイクル中の資源採掘および素材製造における CO_2 排出量を積み上げ式に算出した。さらに、着目元素は鉄とし、製造する素材はボディに用いる薄板とした。

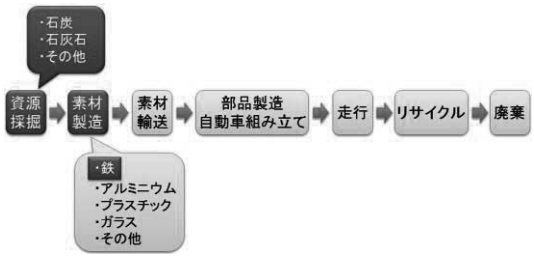


図 2 本研究における検討範囲

2.2. 計算方法

本研究では一般的な電気炉鋼である A および自動車用鋼材に用いられる電気炉鋼の B の 2 種類について製鋼過程における CO_2 排出量を算出した。図 3 は本研究で CO_2 排出量を算出する際に検討した製鋼過程のプロセスチャートである。輸送は圧延されたコイルを酸洗浄工場に運搬する際のプロセスである。B に関しては酸洗浄を経た

段階で従来の自動車用鋼材である転炉鋼と同等の品質を得るものとした。

図3 中の F_i は i（i=1~7）において排出される CO_2 であり、次式で表される。

$$F_i = \sum\left(I_{i,k} * C_{i,k}\right) \quad (i = 1,2,3,4,5,7)$$

ここで、$I_{i,k}$ は i への投入物 k の重量、$C_{i,k}$ は i への投入物 k の CO_2 原単位を表す。原単位は全て LCA ソフトウェアである MiLCA(Multiple interface Life Cycle Assessment)[4] を用いた。また、コイルの輸送に関して（i=6）は改良トンキロ法[5]を用いた。最大積載量 2,000kg 以上、平均積載率 52%のガソリン車で 433km 輸送すると想定した。

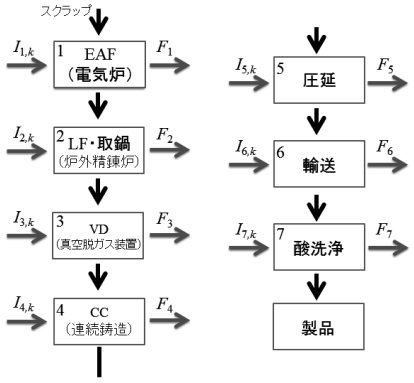


図 3 製鋼過程のプロセスチャート

3. 結果と今後の方針

A および B に関して図 3 で示した各プロセスにおける CO_2 排出量を図 4 にまとめた。また、各プロセス内で投入物あたりの CO_2 排出量がわかるように内訳した。図 4 より電気による CO_2 排出量が最も多く、B に関しては輸送による CO_2 排出量が全体の 26%と約 1/4 を占めていることがわかった。

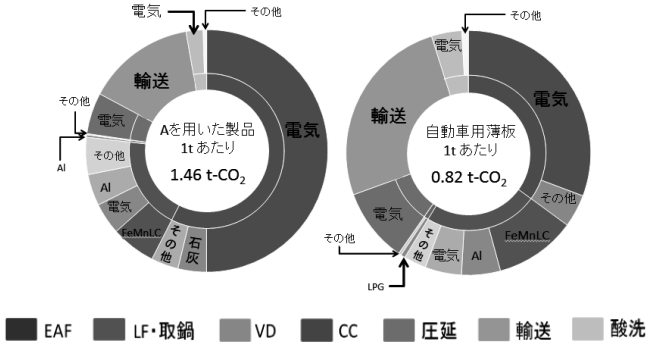


図 4 CO_2 排出量の算出結果

また、一般的な普通乗用車のボディ 250kg の一部に B を用いた場合の素材製造における CO_2 排出量を表 1 に示す。自動車用転炉鋼の製鋼における CO_2 原単位は MiLCA を参照した。表 1 から、B を 10%ボディに用いることで素材製造における CO_2 を 8.3%削減できることがわかった。

しかし、表 1 では原料である鉄スクラップの回収、輸送における CO_2 排出を考慮していない。

表 1 CO_2 削減効果

鋼材の割合	CO_2 排出量 (t-CO_2)	CO_2 削減率
100%転炉鋼	1.23	―
90%転炉鋼 10%電気炉鋼（B）	1.13	8.3%

そこで、鉄スクラップの回収、輸送における CO_2 排出も加えた素材製造における CO_2 削減率を算出した。ただし、算出方法は改良トンキロ法を用いて、最大積載量 2,000kg 以上、平均積載率 52%のガソリン車、輸送重量 1,609t とした。また、国内の主要な工業地域である名古屋に半径 250 および 500km から直線距離で輸送、B を 10%ボディに用いたとしている。図 5 に名古屋を中心とした CO_2 削減率の範囲を示す。西は四国、北は山形の範囲であれば素材製造における CO_2 排出量を 7.8%減らせることがわかった。

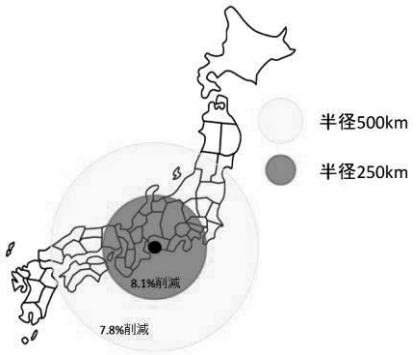


図 5 名古屋を中心とした CO_2 削減率の範囲

今後の課題として、電気による CO_2 排出量が最大とわかったので、太陽光発電などのエコ電力を取り入れた際の CO_2 削減効果の算出が挙げられる。また、今回は素材製造における CO_2 削減効果しか検討できなかったが、自動車ライフサイクル全体での CO_2 削減効果についても検討していく。さらに、当初の目的にもあったスクラップ需給バランスの見直しも行う。

4. 参考文献

1) 一般社団法人 日本自動車工業会：“自動車産業の現状”
2) “平成 25 年度 各自動車メーカー等のリサイクル率及び収支の状況”，入手先< http://bit.ly/1zKfLtx >,（参照 2014-11-18）
3) 森本 一史, トヨタ中央研究所R&D レビュー, Vol.30, No.2, (1995)
4) 社団法人 産業環境管理協会
5) 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方法ガイドライン”

レアメタルの国際貿易クラスター分析

○時任翔平*[1)]、岡本隼輔[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

昨今、進む地球温暖化を受けて低炭素社会の実現のため、新エネルギー技術への需要は高まっている。それに伴い需要の拡大が見込まれているのがレアメタルである。例えば、ガソリン車から、高燃費で二酸化炭素排出の少ないハイブリッドカーや電気自動車などの次世代自動車への移行や、スマートホンやタブレット、PC などの精密機器の普及に伴い、レアメタルのさらなる需要の拡大が見込まれる（Rydh *et al*., 2003; Kato *et al*., 2011）。そのためレアメタルの安定した調達は、今後の日本が重点的に取り組まなければならない資源問題のひとつである。しかし現在日本において、国内で利用される製品に含まれているレアメタルはほぼすべて海外からの輸入によって賄われたものである。希少資源であるレアメタルは、その地域的な偏在性が大きく、また産出国の政治的状況による貿易の規制や資源ナショナリズムや資産運用による投機的な価格の引き上げなどの懸念がある（Alonso *et al*., 2012）。そのため日本ではレアメタルの安定供給に向けて政治的、技術的な取り組みを国家主導で進めていく必要がある。

本研究では、国際貿易におけるレアメタルの貿易構造を、グラビティモデルに則り、地理的距離、経済規模、関税、政治リスクなどの様々な要素が貿易量にどれほど相関があるかについて定量的に分析する。ここから得られる分析結果を基に、輸出国からみた資源の安定供給や、輸入国からみた資源の安定確保のあり方について考える。

また、グラビティモデルによって判別されるレアメタルの貿易量に大きな影響を与えると推定される要因について、貿易ネットワークの重み付けを行い、国際貿易におけるレアメタルクラスターの検出を試みる。クラスター分析を行うことで、レアメタル貿易における需給の安定的な相互依存関係を定量的に評価する。本研究の分析結果から、日本がどのような国際貿易クラスターに属しているか把握し、資源の安定確保において今後の国際経済的な取り組みについて議論する。

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 年のネオジム、コバルト、プラチナの国際貿易データベースと CEPII データベースを用いて分析を行う。CEPII データベースには、分析対象とする国家間の地理的距離などの情報が記載されている。

3. 分析手法

3.1. グラビティモデルによるレアメタル貿易量の推定

本研究では、まずレアメタルの国際貿易データベースを用いて、レアメタルの国際貿易量を各国の GDP、各国間の距離、各国の政治的リスクを説明変数とするグラビティモデルの妥当性を次の(1)式にて分析する。

$$\ln\left(g_{ij}\right)=\beta_1\ln\left(GDP_i\right)+\beta_2\ln\left(GDP_j\right)+\beta_3\ln\left(DIST_{ij}\right)+\beta_4\ln\left(RISK_{ij}\right)+\varepsilon_{ij} \quad (1)$$

(1)式の g_{ij} はレアメタルに関する i 国と j 国の二国間の貿易量、GDP_i と GDP_j はそれぞれ i 国と j 国の GDP、$DIST_{ij}$ は二国間の距離を、$RISK_{ij}$ は i 国と j 国の二国間の政治的なリスクを示している。加えて一人当たり GDP、関税、マイニングリスクなど様々な要素を説明変数とすることによってレアメタルの国際貿易量の決定要因について定量的に評価する。

3.2. レアメタル貿易量のクラスター分析

前述のグラビティモデルによって判断されるレアメタル貿易量 g_{ij} に大きな影響を与えている要因に着目した上で、特にネオジム、コバルト、プラチナの国際貿易クラスター分析を行う。クラスター分析を行うことで、各国が複雑に絡み合うレアメタルの貿易フローから、資源集約的な国の集合を抽出することが可能となる。近年、経済学の分野とグラフ理論で発達したクラスター分析を融合させた実証的な研究も盛んに行われている（Kagawa *et al*., 2013a, b; Okamoto, 2014）。本研究では 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法を用いる。今貿易フローネットワークにおける辺の重みを頂点間（国間）の関係の強さと解釈すれば、ネットワークを A と B という 2 つのグループに分割する評価基準としては、例えば、グループ間の関係の強さを最小にすることが考えられる。これは切断辺の重みの合計値、つまり同一グループに属さない頂点間の重みの合計値、

$$Cut(A,B)+Cut(B,A)=\sum_{i\in A,j\in B}g_{ij}+\sum_{j\in A,i\in B}g_{ij} \quad (1)$$

が最小になるような基準である。しかし、式(1)の評価基

準を用いると、孤立した 1 つの頂点がクラスターとして検出されることがよく知られている。そこで(1)式の評価基準に加えて、集合 A と集合 B に属するクラスターサイズ $\sum_{i\in A} d_i$ と $\sum_{i\in B} d_i$ が最大になる、つまりグループ内の関係の強さが最大になるような条件を与える。すなわち、「グループ間の関係の強さが最小」かつ「グループ内の関係の強さが最大」になるように 2 つのグループに分割する方法である。この 2 つの評価基準を満たす指標として、下式(23)に示す基準化切断値を定義し、この値が最小になるような分割問題を考える。

$$\text{Min.} \frac{\sum_{i\in A, j\in B} g_{ij}}{\sum_{i\in A} d_i} + \frac{\sum_{j\in A, i\in B} g_{ij}}{\sum_{i\in B} d_i} \qquad (2)$$

しかしこの問題は NP 困難な問題として知られている（Shi *et al.*, 2000）。Ding *et al.* (2005)に倣うと、(2)式で示される離散組み合わせ問題を下式(3)に示される非負行列因子分解問題へと導くことができる。

$$\underset{\mathbf{H}\geq\mathbf{0}}{\text{Min.}} \quad \left\|\mathbf{D}^{-1/2}\mathbf{G}^{*}\mathbf{D}^{-1/2} - \mathbf{H}\mathbf{H}'\right\|_F^2 \qquad (3)$$

ここで、$\|\bullet\|^2$ はフロベニウスノルムを示しており、$\mathbf{H}$ は内生的に決定される非負行列を示している。プライム記号は行列の転置を示す。非負行列 $\mathbf{H}$ はネットワーク構成する頂点の数×ネットワークに存在するクラスターの数（二分割の場合は 2）の次元を持つ。(3)式に示される最小化問題は、$h_{ij} \leftarrow h_{ij}\left(1-\beta+\beta\left(\mathbf{D}^{-1/2}\mathbf{G}\mathbf{D}^{-1/2}\mathbf{H}\right)_{ij} / \left(\mathbf{H}\mathbf{H}'\mathbf{H}\right)_{ij}\right)$ という繰り返し計算によって求めることができる。ここで、$\beta\,(0<\beta\leq 1)$は任意のパラメータであり、$\mathbf{D}$ は次数行列を示す。内生的に求まる行列 $\mathbf{H}$ の第 i 行目の(K×目の横ベクトル $\hat{\mathbf{h}}_i$ は、頂点 i の特徴ベクトルと呼ばれており、この特徴ベクトルが類似している頂点の集合がクラスターとなる。本研究ではこの類似度を利用したクラスタリング手法として K-means 法を利用する。

4. 結果

本研究で整備された 231 カ国を対象としたレアメタルの国際貿易データベースによると、ネオジウム、コバルト、プラチナの国際貿易量はそれぞれ 18565 トン、153916 トン、402 トンであった。ネオジウム、コバルト、プラチナは電子部品、民生用電気機器など様々な製造工業品に利用されているため特に先進工業国の輸入量の大きさが際立つ。先進工業国は、それらのレアメタルを様々な国から輸入しており、各先進工業国の輸入相手国は地理的な状況や貿易政策の状況によって異なっている。レアメタルの輸入国にとっても輸出国にとっても、自国がどのようなレアメタルの国際貿易クラスターに属しているのか把握しておくことは、輸出国から見た資源の安定供給や輸入国からみた資源の安定確保において極めて重要である。そこで本節では、3.2 節で開発された国際貿易ネットワークに関するクラスタリング手法を用いて、レアメタルの国際貿易ネットワークデータからネオジウム、コバルト、プラチナの国際貿易ホットスポットを検出する。

まず、ネオジウムの国際貿易ネットワークから検出した国際貿易ホットスポットについて述べる。分析の結果、合計で 18 個のホットスポットを検出した。ホットスポットの中でも特にレアメタルの国際貿易量が最大のものは 11 番のホットスポットであり、国際貿易総量の約 41%を占める 7589 トンもの取引がされていた（図 1 を参照）。このホットスポットは、中国（CHN）、香港（HKG）、フィリピン（PHI）、インド（IND）、スリランカ（SRI）、モルディブ（MDV）、アメリカ（USA）、セーシェル（SEY）、日本（JPN）からなるホットスポットであり、特に中国が貿易量の観点から重要な役割を果たしている（図 2 を参照）。次に大きなホットスポットは、13 番のホットスポットであり、1470 トンのネオジウムが取引されていた。このホットスポットは、韓国（KOR）、イラン（IRI）、アラブ首長国連邦（UAE）、スウェーデン（SWE）、デンマーク（DEN）、イギリス（GBR）、アイルランド（IRL）、オランダ（NED）、フランス（FRA）、ドイツ（GER）、スイス（SUI）、イタリア（ITA）、フィンランド（FIN）、ハンガリー（HUN）、スロベニア（SLO）、チェコ（CZE）、スロバキア（SVK）というヨーロッパ諸国を中心としたものである。興味深い点は、日本と地理的に非常に近い韓国が日本とは違うホットスポットに含まれている点である。これは明らかに韓国のネオジウムの密な貿易パートナーが日本とは違うことを示している。

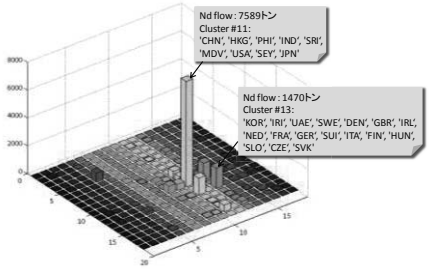


図 1　クラスター内・間のネオジウムのフロー（トン）

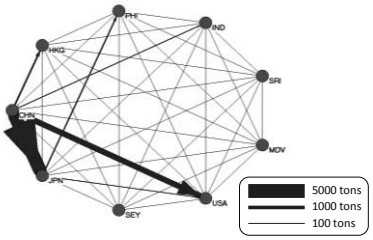


図 2　クラスター11 番におけるネオジウムの貿易構造

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)]、南齋規介[2)]、長坂徹也[1)]

Takashi Yamamoto, Kazuyo Matsubae, Keisuke Nansai, Tetsuya Nagasaka

1) 東北大学, 2) 国立環境研究所

* B4TM5022@s.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。しかし、世界人口増加やバイオエタノール需要増大の観点から、資源需要が増加している。[1),2)]また、リンには高い遍在性や枯渇問題が指摘されており、戦略資源化している背景から、国内外の多くのコミュニティで持続的なリン資源利用に向けた取り組みが行われている。[3)]

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、リン鉱石の採掘には天然放射性物質や、重金属元素などの有害物質による現地での環境汚染、採掘活動による土地改変など種々の環境リスクが潜在している。また、リン鉱石の高い偏在性や、黄リンの生産拠点が限られていることなどから、輸入におけるカントリーリスクが存在する。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リン資源利用について議論することは出来ない。また、先行研究[4)]から、サプライチェーンを通じたリンの流れは明らかになっているが、これらとリスクの情報を繋ぐ研究は未だない。

このような背景から本研究では、リン資源利用により生ずる種々のリスクを加味した、ライフサイクル全体での資源管理と、その可視化について論ずる。

2. 鉱石に随伴するリスク

リン鉱石に随伴するリスクとして、天然放射性物質（NORMs）と、重金属元素の随伴、採掘国におけるカントリーリスクを考える。対象年は 2005 年としてデータの構築を行った。先行研究の GLIO モデル[4)]によってリンの直接・間接の流れが明らかになっている。図 1 に日本の最終需要によって引き起こされるリンの流れを示した。この中には様々なリン製品が含まれているため、鉱石のみを抜き出すために、国際貿易統計からリン鉱石の輸入比率を求め、それを掛け合わせることでリン鉱石の量を推計した。次にリスクの設定だが、NORMs、重金属に関しては、各国のリン鉱山[5)]の数に対してこれらの有害元素が含まれている鉱山の数を比率として鉱石量に掛け合わせることでその国のリスクとした。また、カントリーリスクに関しては、OECD 諸国のカントリーリスク[6)]を 10 段階で分類したもの（値が大きいほどリスクも高い）を掛け合わせることでその国のリスクとした。

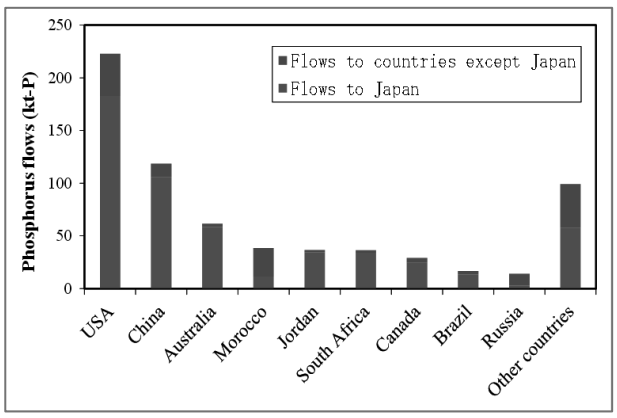


図 1　日本の最終需要によって引き起こされるリンの移動量

3. 結果

図 2 は、日本における各国のリンへの依存度とリン鉱石への依存度、リスクの関係を表したものであり、図 3 はリスクの内訳を表したものである。

NORMs、重金属のリスクはモロッコが高いことがわかる。モロッコはリン鉱石の生産量では全世界で 3 番目であるが、埋蔵量では最大であるため、将来リン鉱石が更に枯渇し、モロッコのリン鉱石に依存する場合、有害元素というリスクを高い可能性で負うことになるといえる。また、カントリーリスクに関しては、中国が高いことが分かる。これは、将来何らかの要因でリン鉱石の輸出規制が布かれ日本への供給が絶たれる可能性が高いことを表している。

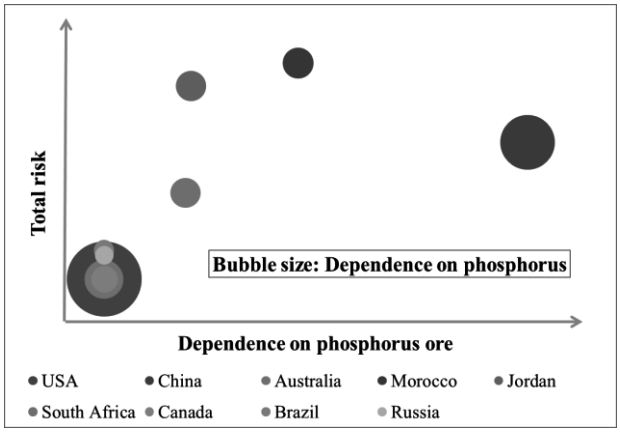


図 2 日本におけるリン依存度、リン鉱石依存度、リスクの関係

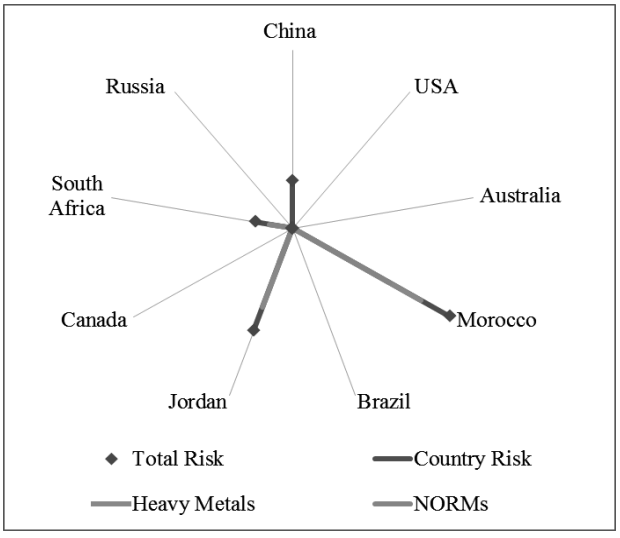


図 3 日本の最終需要によって引き起こされるリン鉱石の移動に随伴するリスク

図 2,3 から日本におけるリン鉱石供給という観点では、中国に最も依存していることが分かる。また、モロッコは 2 番目に重要な国であるが、リン鉱石に随伴しているリスクは最も高いことが読み取れる。そしてそのリスクのほとんどが、放射性物質や、重金属元素の環境リスクである。リン資源利用を考える上で、現地での環境汚染について憂慮することが、持続的なリン資源利用においては重要である。

4. これから

リンのサプライチェーンとリスク情報を繋ぐうえでリスクには様々な種類が考えられるため、リンのサプライチェーンを通してどのリスクがどの過程で影響を及ぼすのかについてリスクの類型化を行っていくことが必要である。

また、どのリスクがどの程度影響するのかについて、各リスクの重みづけについて考察することも必要である。

5. 参考文献

1) 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>, (参照 2014-12-25)
2) F.O.Licht: “World Ethanol Markets The Outlook to 2015”, (2006)
3) Matsubae K., Kajiyama J., Hiraki T., Nagasaka T.: Chemosphere, 84, (2011), pp.767-772
4) Nansai K., Kondo Y., Kagawa S., Suh S., Nakajima K., Tanno S.: Env. Sci. & Tech., 46(19), pp.9146-9154
5) 小田部廣男著, “リン鉱石とリン資源”, 日本燐資源研究所,(1997)
6) “Country Risk Classifications of the Participants to the Arrangement on Officially Supported Export Credits”, <http://www.oecd.org/trade/xcred/crc.htm>, (参照 2014-12-28)

焼結ダスト及び焼却灰に着目したカリウムのマテリアルフロー分析

Material flow analysis of potassium associated with sintering dust and incinerated ash

○松浦樹生*[1)]、松八重一代[1)]、三木貴博[1)]、長坂徹也[1)]
Kifu Matsuura, Kazuyo Matsubae, Takahiro Miki, Tetsuya Nagasaka
1) 東北大学
* yatahinai@gmail.com

1. はじめに

カリウムは、リンや窒素と共に肥料三大要素と呼ばれ、主に化学肥料の材料に用いられる。この化学肥料は農作物の生長に欠かすことのできないものであり、現代農業において必要不可欠である。こうして生産された農作物は、人間が生活するうえで必要な食料や家畜の飼料、バイオエタノール生産など多くの分野で必要とされている。さらにカリウムは、食品添加物や半導体用金メッキ、医薬品などにも利用されており、こうしたことからカリウムは我々の生活には欠かすことのできない元素の一つである。こうした中で、今後世界では人口増加や食生活の変化により農作物の需要が増加していくことから、化学肥料の需要が増加し、それに伴いカリウムの需要も今後増加していくことが予想される[1,2)]。

経済資源としてのカリウム埋蔵量はおよそ 6,000mt、年間生産量は 34mt であり[3)]、急激な資源枯渇の可能性は低いとさえている。しかしながら、今後の需要増加や、カリウム価格の上昇、カナダやロシア、ベラルーシ等に資源が偏在していること等から、供給面に不安を抱えており、その対策が検討されはじめている[4)]。

日本において、カリウム資源の産出地は存在しない。そのため、万が一資源保有国に災害や政治不安が発生した場合、日本におけるカリウムのサプライチェーンが崩壊するリスクが存在する。サプライチェーンリスク管理の観点から、日本国内における未利用カリウム資源の有効活用を促し、カリウムの二次資源回収を検討する必要がある。

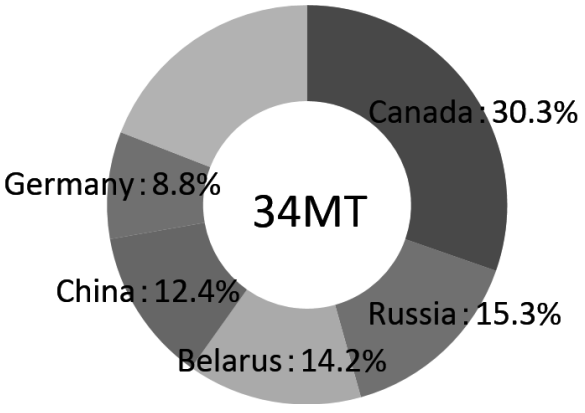


図 1 カリウム鉱石産国(2013)[3)]

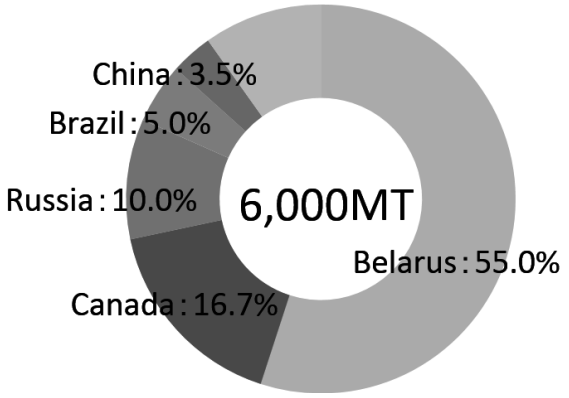


図 2 カリウム鉱石埋蔵国(2013)[3)]

2. 目的

カリウムの回収や再利用を検討するにあたり、日本国内におけるカリウム資源がどのようにしてどれほどの量が流通しているのかを定量的に把握することが必要である。本研究はマテリアルフロー分析(MF6)を行うことで日本国内におけるカリウムの流通量及び流通経路を把握し、カリウムの二次資源としてのポテンシャルに関する課題抽出を目的とする。

3. 分析結果

3.1 農業分野

本研究では、高橋らによるカリウムのマテリアルフローを参考[5)]に、付随元素として明示的にカリウム資源として流通しないカリウムについて分析を行った。分析によって得られたマテリアルフローを図 3 に示した。図 3 では日本に輸入されたカリウム鉱物、カリウム化合物の約 70%が肥料として用いられ、施肥されていることが分かる。更に、肥料及び家畜の排出物として農業に用いられたカリウム資源(合計 669kt-K)のうち、我々の日常生活へと流れるのは全体の約 32%であり、約 36%(240kt-K)は土壌中へ蓄積、約 32%(213kt-K)は水域へ流出している。

3.2 化学工業分野

化学工業に用いられるカリウム資源(合計 236kt-K)のうち、約 29%(69kt-K)が金メッキの前処理や医薬品、食品添加物等の工業製品へと流れている。

3.3 鉄鋼製錬分野

鉄鋼製錬の原料である鉄鉱石やコークス、石灰にはカリウムが含まれていることが知られており、古くから回収に関する研究が行われていた[6)]。現在の鉄鋼製錬におい

て、原料に含まれるカリウムの多くは原料の焼結過程で副生される焼結ダストに移行している。この焼結ダストは鉄鋼製錬の原料として再利用される場合を除けば廃棄物とされるものであり、カリウムの回収は行われていない。そうした中で、焼結ダストからのカリウム回収研究が進められていることから[4]、大きなマーケットを持つ鉄鋼業は、今後の日本におけるカリウムの二次資源供給源として大いに注目できると考えられる。

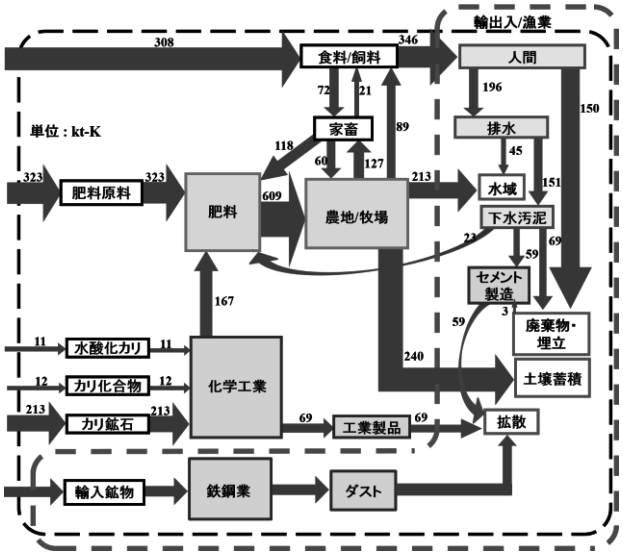


図 3 日本におけるカリウムのマテリアルフロー分析

3.4 廃水・廃棄物分野

家計消費において需要されるカリウムは最終的に廃水や廃棄物として放出される。廃棄物の処理方法は、廃棄物の種類により大きく異なる[7]。その中で、ゴミ焼却時に生じる焼却灰と溶融処理時に生じる溶融スラグに多くのカリウムが含まれていることから、本研究ではこれらのカリウムの移動量を分析し、廃棄物フローを形成した[8]。図 3 より、廃棄物に含まれるカリウムの殆どが埋立等で自然界へ拡散しているが、焼却処理にて生じる廃棄物焼却灰をセメント産業へ再利用していることから、焼却灰に含まれるカリウムはセメント産業へ流れている[7,9]。

一方、廃水は下水処理場で処理されたのちに自然界へと放流され、この処理時に生じる下水汚泥は、カリウムを多数含んでいる。下水汚泥のリサイクル率は高く[10]、約 15%(23kt-K)が肥料等に、約 39%(59kt-K)がセメント原料としてリサイクルされている。こうした中でセメント産業からのカリウム分離は古くから研究されている分野であり[10]、日本におけるカリウムの二次資源供給源として大いに注目できると考えられる。

表 1 下水汚泥における分野別カリウム移動量と割合

分野	移動量(kt-K)	分野別割合(%)
埋立	33	22
セメント	59	39
建材	32	21
緑農地	23	15
その他	4	3
合計	151	100

4. 考察

日本の鉄鋼業における粗鋼生産量は世界 2 位の規模を持つ一大産業である。カリウム回収実験の結果[4]を日本の鉄鋼業に応用した場合、約 20kt-K のカリウムが回収可能であると試算できた。カリウム鉱石輸入量が 213kt-K であることを考えれば、年間輸入量の約 10%のカリウムを回収できる可能性のある鉄鋼業はカリウムの二次資源としての大きなポテンシャルを秘めていると考えられる。

5. おわりに

2005 年におけるカリウムのマテリアルフロー分析を行うことで日本全体でのカリウムの流通形態を明らかにすることができた。分析の結果、日本に輸入されるカリウム資源の多くが農業に用いられ、その多くが自然界へと拡散していることが明らかになった。そうした中で人間の日常生活で排出される廃水・廃棄物から一定量のカリウムがセメント産業に移動していることが明らかになった[7,9,10]。また鉄鋼業の原料に付随元素としてカリウムが含まれており、その規模から相当量のカリウムが移動していると推測される[4]。この二つの産業は古くからカリウムの回収ついて研究が進められており[6]、今後の日本におけるカリウムの二次資源供給源として大きなポテンシャルを秘めていると予想される。

一方で、今回鉄鋼業の試算で用いたダスト中のカリウムの含有率は日本を対象としたデータではないため、今後は日本国内における鉄鋼業の原料の産地及び成分を考慮し、より正確な数値を求めること、また日本でのセメント産業からのカリウムの回収可能量を具体的な数値で表すことが今後の課題である

参考文献

1) United Nations, World Population Prospects: The 2012 Revision, <http://esa.un.org/wpp/>(2014-4-14)

2) FAO. 2011. World Livestock 2011 – Livestock in food security. Rome, FAO

3) USGS Minerals Information: Potash, <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/potash/> (2014)

4) G Zhang et al: Journal of Environmental Sciences, 25 (6) (2013), 1226-1234

5) 高橋麻里江: “日本におけるカリウムのマテリアルフロー” ,(2013)

6) Albert R. Meez et al: United States Department of Agriculture, 1226, (1924)

7) 環境省: “日本の廃棄物処理 平成 24 年度版”, (2014)

8)吉田隆:”飛灰対策 有害物質除去・無害化・再資源化技術”,(1998)

9) (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 : “未利用資源からのリン、カリウムの省エネルギー型回収技術開発の先導調査” ,(2009)

10) 国土交通省下水道部門: “下水道汚泥の利用状況” <http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/>

機能に着目した材料使用量の評価手法の構築

Evaluation method of material usage in terms of function

○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

物質は、人間の生産活動により、天然資源から材料、最終製品と姿を変えていく。人間は、その最終製品から様々なサービスを享受し、文明社会を営んでいる。本研究では、最終製品の提供するサービスに寄与する材料の機能に着目した。材料を定量するとき、質量による評価が一般的である。しかし、材料が高機能化した場合、質量による定量評価では、従前の材料との違いを評価することが困難なことがある。例えば、材料 1 kg を機能単位として材料の生産にかかる CO_2 排出量を評価すると、耐熱温度がより高い材料の評価は、同等あるいは高機能化のための追加的なプロセスがあれば従前の材料より大きくなると考えられる。これでは、高機能材料を生産したり、開発したりすることによる環境負荷削減のインセンティブにならない。貨幣価値による評価が、高機能化を考慮した材料評価の方法の 1 つに考えられるが、これは時間や地域、需給状況等に影響を受け、評価の時点と場所によって異なる結果となることが考えられる。時間や場所に依存しない評価尺度として、材料の提供する機能を、物理量や工業量により評価することが考えられる。個別の材料では、その特性値が示されるものの、材料の年間生産量等のマクロ量に対して、それらの特性の総量として表現された例はほとんどない。そこで、本研究では、材料が提供する機能を、物理量や工業量によって定量することで、材料の使用量を評価する手法の構築を目的とする。

２．研究手法

評価対象とする材料は、日本において使用される普通鋼とした。普通鋼の使用量は、鋼材品種ならびに用途が明確である受注量を統計[1]から得て用いた。本研究では、材料の機能を、材料の特性のうち最終製品が提供するサービスに寄与するものとした。物質がライフサイクルを通して提供する機能の中で、本研究で評価対象とした材料が提供する機能の位置づけを図 1 に示した。

普通鋼に要求される機能を特定するために、工業標準であり日本の国家基準の 1 つである日本工業規格（Japanese Industrial Standards: JIS）を用いた[2, 3]。JIS の中で要求されている事項のうち、呼称や適用範囲等、変更しても材料の物理量や工業量が変わらないものを除き、全ての要求事項を、材料の特性として抽出した。また、JIS の要求事項は、その全ての用途先において最終製品が提供するサービスに寄与すると考え、抽出された全ての特性が本研究で定義した材料の機能であるとした。

受注統計[1]では、普通鋼の品種は大分類では 17 種[1]、中分類では 36 種[2]、小分類では 44 種[3]に区分される。鉄鋼メーカや工業会のカタログや資料[例えば 4, 5]を用いて、小分類の各品種に対応する JIS 記号を特定した。それにより品種別受注量を JIS 記号別

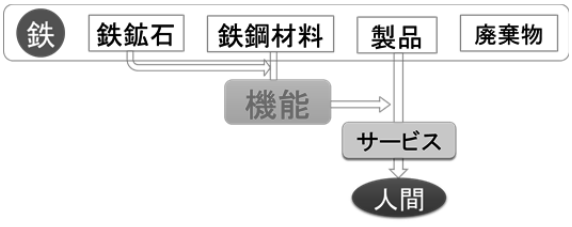


図 1　物質としての鉄のライフサイクルにおいて提供する機能やサービスの概念図

1 軌条、鋼矢板、H 形鋼、棒鋼、平鋼、厚板、鋼管など
2 例えば、棒鋼の中に、大形、中形、小形、異形棒鋼、鉄筋用丸棒の 5 区分がある。
3 3 つの中分類（亜鉛系めっき鋼板、配管用鋼管、その他用鋼管）のみに細目がある。

受注量に変換した。なお、1 つの品種に複数の JIS 番号や JIS 記号が対応した場合は、その JIS 番号や JIS 記号ごとに受注量を等分した。対応する JIS 記号が特定できなかった品種には、同じ中分類や大分類に属する他の品種が対応したものを対応させた。

JIS 記号ごとに異なる種類の機能や異なる機能量が要求されており、対応する受注量を用いて、機能の種類別に受注量を質量基準にて加算した。ただし、1 つの JIS 記号で複数の機能が要求されている場合は、重複してそれらの機能種全てに加算した。

機能の別に質量基準で総量が把握された受注量を、機能量に換算した。ただし、機能の種類によっては、示強性の状態量としての物理単位を有するものもあるため、示量性の状態量としての機能量を新たに定義し、相加性を担保し機能量の合計を算出した。

３．結果と考察

普通鋼の各品種に対応する JIS を特定した結果、JIS 番号は 65 種類が、その細目である JIS 記号は 411 種類が特定された。それら 411 種類の JIS 記号には、異なる 69 種類の特性と化学組成が要求事項とされていた。化学組成は、他の特性を発現する必要条件と考え、要求される特性として扱わなかった。

69 種類の特性を、簡便のために 12 種の機能に集約した。機能種の集約においては、例えば、降伏点や引張強さは引張強さに、メッキの付着量や塗膜の耐久性は耐食性に、曲げ性や深絞り性は加工性にそれぞれ集約した。質量基準での 12 種の機能別受注量（2005 年 3 月）を図 2 に示した。普通鋼の多くは、引張強さ、表面外観性、加工性を要求されていることが分かった。これは、構造材や外板として様々な最終製品に使用されているためと考えられた。

本研究で抽出された普通鋼の機能には、用途先で要求される主な機能、従属的な機能、最終製品への加工・組立工程において要求される機能が混在していると考えられた。抽出された機能の関係性を明確にすることが、今後の課題である。また、本研究で抽出された機能以外にも、鉄鋼メーカの規格[例えば 4]には、電気的特性、熱的特性などが規定されており、公的な工業規格からの抽出では不十分であったことが考えられ、さらなる研究が望まれる。

機能量基準による普通鋼受注量の評価は、機能の 1 つである引張強さについて定量した。引張強さ(単位：Pa)は、示強性の状態量であるため、相加性がなく、そのままでは総量を算出できない。そこで、引張強さ(Pa (=N･m^{-2}))を密度(g･cm^{-3} (= t/m^{-3})) で除し、受注量 (t) を乗じることにより、示量性の新たな状態量を定義し、機能量とした。各 JIS 記号に定められた引張強さと密度、各 JIS 記号に対応づけられた受注量を用い、機能量を算出した。質量基準では 2.9×10^{6} t の 2005 年 3 月の受注量に対応する機能量は、1.6×10^{14} N･m と算出できた。これは、引張強さを提供する普通鋼を長さ１ m で使用した場合、1.6×10^{14} N の力を支えることができる量と理解できる。機能量として定義した状態量の単位 (N･m) は、力のモーメントの単位やエネルギーの単位と同じであるが、表している状態量は異なると考えている。機能量の定義にも、さらなる考察が望まれる。

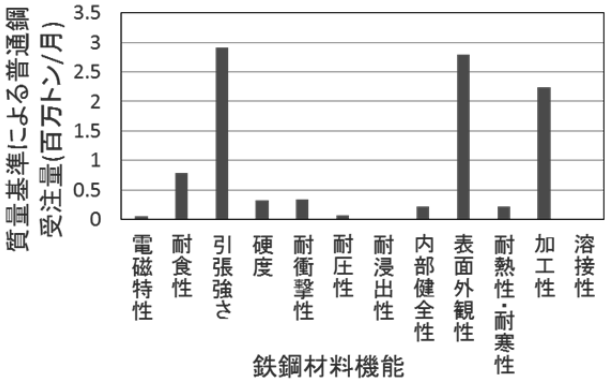


図２　質量基準による普通鋼の機能種別受注量（2005 年 3 月）

５．引用文献

[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）2005 年 3 月分, (2005), pp. 3-14

[2] 日本規格協会: JIS ハンドブック 鉄鋼 1 2008, 日本規格協会, 東京, (2008), pp.1908

[3] 日本規格協会: JIS ハンドブック 鉄鋼 2 2008, 日本規格協会, 東京, (2008), pp.1632

[4] JFE スチール：熱延鋼板, (2014)

[5] 日本鉄鋼連盟建材薄板技術普及委員会：亜鉛系めっき鋼板ご使用の手引き, (2014)

ストック型社会形成に向けたストック使用効率の評価

Evaluation of stock-use efficiency toward development of a stock-type society

○八柳有紗*[1)]、橋本征二 [1)]
Arisa Yatsuyanagi, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学
* rv0023xk@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

循環型社会構築に向けて、ストック型社会という概念が注目を集めている。これは、使用価値の高いストックを生産するとともにこれを長期間活用していくこと、また、すでに存在するストックを適切に再使用・再生利用または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。そうした社会を構築するためには、現在蓄積されているストック量を適切に把握し、その使用価値や使用効率について検討を行う必要がある。日本における2011年度の総物質投入量は15.7億トンであり、そのうち5.1億トンが建築物や土木構造物などとして新たに蓄積されたと推計されている [1)]。したがって、建築物・土木構造物を対象とした検討が重要である。

このようなことから、本研究では、建築物・土木構造物に関する物質ストック量を推計するとともに、その使用効率を計測する指標を提案し、時系列の推移を明らかにすることを目的とする。このため、以下を行う。

①物質ストックの使用効率を検討するために、これらの建築物・土木構造物が潜在的に持つ機能と、実際に発揮している機能に注目して指標を提案する。
②建築物・土木構造物に含まれる物質ストック量を推計する。
③ストック使用効率を時系列で推計し、その推移を考察する。

2. 方法

2.1 対象とする建設物および物質

建設工事着工統計調査 [2)]、公共工事着工統計調査 [3)]、建設工事受注動態統計調査 [4)]の調査分類を参考に、本研究では表 1 の建築物・土木構造物を対象として物質ストックの推計および指標作成を行う。また、推計対象とする物質は、セメント、鋼材、骨材・石材、瀝青材とする。これは、後述する物質ストック量の推計に用いる原単位がこれらの建設資材を対象としているためである。

2.2 ストック使用効率指標

各建築物・土木構造物のストック使用効率は以下で計測する。

$$\frac{\text{ストックの発揮している機能}}{\text{物質ストック量(ton)}} = \frac{\text{ストックの潜在的な機能}}{\text{物質ストック量(ton)}} \times \frac{\text{ストックの発揮している機能}}{\text{ストックの潜在的な機能}}$$

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。ストックの潜在的な機能を物質ストック量で除した項は物質使用効率（物質利用強度）、ストックの発揮している機能をストックの潜在的な機能で除した項はストックの稼働率を示す。ストックは複数の機能を有する場合が多いが、(1)主たる機能が何か、(2)その機能を算出できる可能性があるか、という 2 つの基準から、これらの機能を計測する指標を検討する。

2.3 物質ストック量の推計方法

物質ストック量は Hashimoto et al.[5)] の方法を参考にし、以下の式で推計する。

$$MS_{ia}(t) = \sum_{\tau} C_a(\tau) \times \alpha_{ia}(\tau) \times R_a(t-\tau)$$

ここで、$MS_{ia}(t)$は t 年において建設活動 a によりストックされている物質 i のストック量（ton）、$C_a(\tau)$は τ 年に行われた建設活動 a の活動量（m^2、円）、$\alpha_{ia}(\tau)$は τ 年に行われた建設活動 a 一単位あたりにストックされた物質 i の量（ton/m^2、ton/円）、$R_a(t-\tau)$は τ 年(＜t 年)に行われた建設活動 a によるストックの(t-τ)年後における残存確率である。$C_a(t)$は、建築物に関しては着工床面積 [6)]、土木構造物に関しては総工事費評価額 [2)3)4)]で表現される。$\alpha_{ia}(\tau)$は、建設資材・労働力需要実態調査 [7)]による建設活動 a 一単位あたりに投入されている物質 i の量（投入原単位）を用いる。厳密には投入原単位と蓄積原単位は異なるが、建設分野において、物質投入したものでストックとならずに廃棄される量はわずかであることから、本研究では投入原単位と蓄積原単位は同一の値をとるものとする。

3. 結果と考察

3.1 ストック使用効率指標の検討結果

ストックの潜在的な機能、発揮している機能の計測指標案を表1に示す。機能を同定できていない分野もあり、今後の課題である。以下では、道路を例に物質ストック量、ストック使用効率の試算結果を示す。

3.2 道路を対象とした物質ストック量の推計結果

図 1 に示す通り、全国における道路の物質ストック量は増加傾向にあり、近年では約 50 億トンに達すると推計された。これに対し、Hashimoto et al[5)]は 2010 年頃の道路の物質ストック量を約 45 億トン、長岡ら [8)]は 2005 年の物

質ストックを約 40 億トンと推計しており、本研究の推計値はこれらとほぼ比較可能な値となった。なお、長岡ら[8]の推計には道路に付随する橋梁やトンネル等の物質ストック量は含まれていない。

3.3 道路を対象としたストック使用効率の推計結果

図 1 に示す通り、貨物輸送量[9]も増加傾向にあるものの、物質ストック量の増加がそれを上回るため、ストック使用効率は減少傾向にあると推計された。増加したストックが効果的に活用できていないことが示唆される。

4. 今後の課題

現段階では、土木構造物に関して、公共部門が形成したストックのみを対象としているため、対象を民間部門にも拡大していく必要がある。また、今後は資材や用途ごとに寿命関数を設定し、より詳細に物質ストック量を推計していくことが望まれる。

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） 環境省：平成 26 年度版環境白書、173-174、2014
2） 建設大臣官房：建設工事着工統計年度報、1956-1959
3） 建設省：公共工事着工統計年度報、1960-1999
4） 国土交通省：建設工事受注動態統計調査年度報、2000-2013
5） 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
6） 建設省、国土交通省：建築統計年報、1956-2013
7） 国土交通省：建設資材・労働力需要実態調査
8） 長岡耕平、谷川寛樹、吉田登、東修、大西暁生、石峰、井村忠文：全国都道府県・政令都市における建設資材ストックの集積・分布傾向に関する研究、環境情報科学論文集、23、83-88、2009
9） 運輸省、国土交通省 : 自動車輸送統計調査、1987-2012

表 1 対象とする建設物とストック使用効率指標における機能

対象とする建設物（建設活動 a）		潜在的な機能	発揮している機能
建築物	住宅	延床面積(m^2)	居住人口(人)、使用床面積(m^2)
	商業用等その他	延床面積(m^2)	売上(円)、使用床面積(m^2)
土木構造物	治山・治水	災害被害削減予想額(円)	災害被害削減予想額(円)
	農林水産		売上(円)
	道路	輸送容量(台/日)、道路面積(km^2)	貨物輸送量(ton・km)、旅客輸送量(人・km)
	港湾・空港	輸送容量	貨物輸送量(ton・km)、旅客輸送量(人・km)
	下水道	処理能力(ton)	処理量(ton)
	公園・運動場	総面積(km^2)	利用者数(人)
	土地造成		
	鉄道軌道	輸送容量、総延長(km)	貨物輸送量(ton・km)、旅客輸送量(人・km)
	電気・ガス	発電能力(kW)、ガス供給能力(J)	発電量(kWh)、ガス供給量(J)
	郵政事業用施設		
	上・工業用水道	給水能力(ton)	給水量(ton)
	廃棄物処理	処理能力(ton)	処理量(ton)

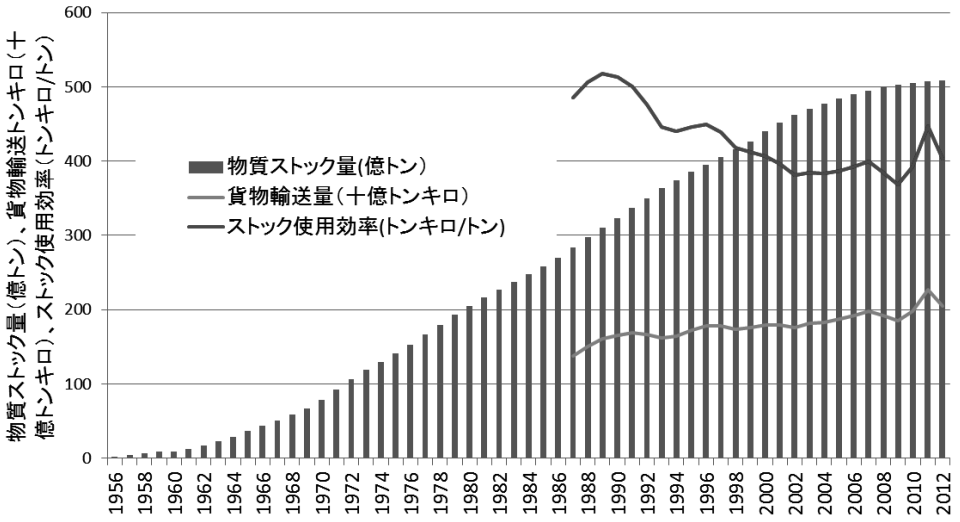


図 1 全国における道路の物質ストック量、貨物輸送量とストック利用効率

情報通信衛星の運用リスクを考慮した情報通信技術の LCA

~自動車用 GPS 機能を例として~

A life cycle analysis on communication satellite in consideration of the operation risks.
An examination case of car navigation function with GPS system.

○牛窪翔*[1)]、朝賀勇人[1)]、小井土賢二[1)]、堂脇清志[1)]
Sho Ushikubo, Yuto Asaka, Kenji Koido, Kiyoshi Dowaki
1）東京理科大学
*j7410014@ed.tus.ac.jp

1. 背景・目的

近年、我が国では、情報通信技術(ICT)の活用によるCO_2排出削減の取り組み(Green by ICT)が行われている。「Green by ICT」では、「エネルギー利用効率の改善」、「物の生産・消費の効率化・削減」、「人・物の移動の削減」及び「環境計測・環境予測」の4項目が主に設定されており[1)]、なかでも「環境計測・環境予測」については、リモートセンシング、GPSによる位置情報把握などの技術を活用することで、CO_2排出削減対策の効果を検証していく上では欠かせないものとなっている。しかし、ICT利活用における環境効率の算出にあたり、環境計測では衛星自体の負荷を考慮に入れた例がなく、衛星自体の環境負荷を算出した例も少ない。また、衛生事業では打ち上げや運用リスクが存在し、失敗した場合は大きくその分の環境負荷が発生することになる。そこで、本研究ではカーナビを1例として、LCA視点から、カーナビと位置情報の把握に必要な測位衛星自体の環境負荷及び運用のリスクを考慮し、渋滞を迂回するケースとカーナビを用いずに渋滞を進むケースについて、道路を設定し自動車の走行時におけるCO_2排出量を比較することを目的とする。

2.システムの仕様と機能単位及びシステム境界

2.1 衛星及び打ち上げロケットの仕様

本研究の対象とする衛星として、2018年から運用が開始される準天頂衛星を対象とした。また、打ち上げロケットはHIIAロケット202型を対象とした。対象とする衛星、ロケットの燃料の主要諸元を表S1及びS2に示す。

また、準天頂衛星は図S1のように、様々な構成からなっており、本研究では図中の二次ペイロードは除くものとする。各項目を構成する部品については、準天頂衛星自体のデータは公表されていないため、既に公表されている衛星SPICAのデータを主に用いた[2)]。また、衛星が軌道を変更するために用いるアポジモータ及びスラスターの燃料の諸元については表S3及びS4に示す通りである。

最後に、衛星が送信する測位信号と伝送速度については、表S5に示すように信号すべてをカーナビが受信するものと仮定し、1秒あたり2,425bitの通信量を受け取るとして評価を行った。なお、この通信量に加えて、基本的には、測位情報を取得する為に衛星が4基必要であることから、他の3基をGPS用とし、このGPSの測位信号の伝送速度が50bpsであることを利用して、カーナビで受信する通信量を1秒あたり合計で2,575bit受け取るとして計算を行った。

2.2 道路と渋滞の仕様

本研究で対象とする道路区間については、関東自動車道及び東京外環自動車道を経路とする高崎JCTから川口JCTまでとした。この区間での渋滞状況は、関越自動車道上の花園インターチェンジ及び高坂サービスエリア付近で発生するものとし、渋滞距離はそれぞれ24km、10kmであり、渋滞解消時間は50分、20分かかるものとした。

一方、渋滞を回避する場合には、高崎JCTから太田ICまで北関東自動車道を経由した後、太田桐生ICから一般道を利用し佐野藤岡ICまでを走行する経路を仮定し、その後、佐野藤岡ICから東北自動車道を経由して川口JCTへと到着するルートとした。なお、本研究においては、渋滞をそのまま進むケースをcase1、渋滞を迂回するケースをcase2と表すこととする。また、各道路における総距離及び道路別の平均旅行速度は道路交通センサスのデータを用いた[3)]。

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、ガソリンを燃料とした自動車1台が道路を走行することとし、システム境界は図S2の示す通り、赤枠で囲まれた部分とした。なお、ロケット及び自動車の生産段階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 衛星及び自動車走行の CO_2 排出量の算出方法

衛星の構成及びロケットの燃料の生産段階については、産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)を用いて、百万円あたりの CO_2 排出源単位[t-CO_2/百万円]

に、それぞれの単価(経済産業省生産動態統計年報を参照)を乗じて計算した。

また、自動車のガソリンの燃料消費量及び CO_2 排出量については、物流分野の CO_2 排出量に関する算定方法ガイドラインに従って、燃料法を用いて CO_2 排出量を算定した((1)式参照)。

$$CO_2\text{排出量} = FC[l] \times 2.32[kg - CO_2 / l] \quad (1)$$

但し、FC は燃料消費量を表し、2.32 はガソリンの CO_2 排出係数を表す。また、燃料消費量 FC は、次式から平均速度の関数と走行距離の積の形に置き換えることができるものとして扱った[4]。

$$FC[l] = \frac{(829.3 / v - 0.8572v + 0.007659v^2 + 64.09)}{10^3} \times x \quad (2)$$

なお、v は平均速度[km/h]、x は走行距離[km]を表し、右辺の左項は燃料消費率[l/km]を表す。

3.2 衛星の通信量原単位の算出方法

本研究では、カーナビが測位衛星と通信する際に発生する通信量に応じて、衛星の負荷がかかるものと仮定して評価を行った。なお、その衛星分の負荷を求めるにあたっては、衛星の通信量に対する原単位を作成する必要があり、この CO_2 原単位については、衛星のライフサイクル CO_2 排出量に衛星が寿命になるまでに送信する全通信量を除することで与えることとした。

3.3 カーナビの CO_2 排出量の算出方法

次に、カーナビの使用段階以外の CO_2 排出量については、株式会社アルパインのデータを引用し、図 S3 に示す通りとなる。この場合、耐用年数を 5 年とし、走行時間分の CO_2 排出量を割り当てるものとする。また、使用段階については、走行時間と消費電力から CO_2 排出量を算出することとし、消費電力は 70W、カーナビの CO_2 排出原単位は、ガソリンから 100%の発電効率で発電できるとした場合の原単位 0.24kg-CO_2/kWh と仮定した。

4. 結果と考察

以上の条件から、衛星の生産段階の CO_2 排出量とロケット燃料の生産段階及び燃料の燃焼反応から発生する CO_2 排出量を求めた(図 S4 及び S5 参照)。この結果から、衛星の生産段階は合計で 40.97t-CO_2 となり、ロケットの打ち上げによって発生する CO_2 排出量は合計で 1171.95t-CO_2 となり、衛星の生産に比べて打ち上げの CO_2 排出量がはるかに大きいことが示された。また、衛星の運用及び廃棄におけるアポジモータとスラスター燃料から発生する CO_2 排出量は合計で 21.64t-CO_2 となった。

これらの結果と衛星が 1 日あたり送信する通信量を 11GB[5]であることから、この通信量 1MB 当たりの CO_2 排出原単位を計算すれば 30.75g-CO_2/MB という結果が得られ、これは、これまで衛星の打ち上げを考慮しない IO ベースでの CO_2 排出原単位に比して約 5.3 倍となった。

また、この求めた CO_2 排出原単位の結果から、渋滞している道路を想定した case1 及び case2 における CO_2 排出量の比較を行った(図 1 参照)。

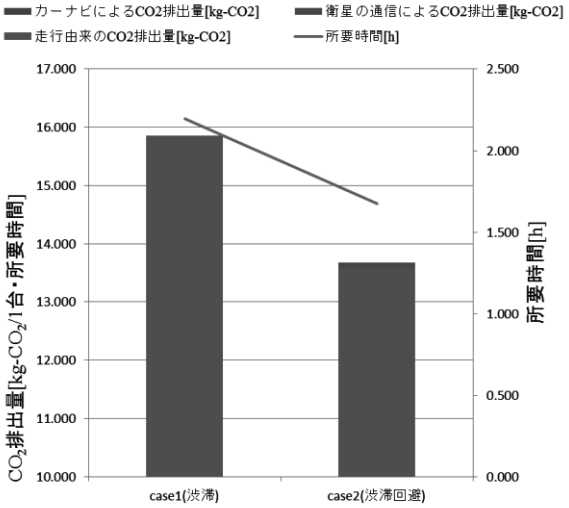


図 1　case1 及び case2 における CO_2 排出量の比較

本研究において、筆者らが設定した道路のケースでは、case2 が case1 に比べ CO_2 排出量を削減できることが示された。一方、本研究で目的としていた衛星自体の負荷を考慮したものの、衛星自体の負荷は自動車走行による CO_2 排出量に比べてかなり小さい値を示した。これは、所要時間が短かったため通信量が大きくならず、衛星の負荷の大きさを示すことができなかったためであると考えられる。

今後は、衛星の打ち上げや運用上の失敗におけるリスクを考慮した CO_2 排出量を導出することによって、どの ICT 分野において影響があるのかを考えることとしたい。

引用文献

1) 総務省: “「地球温暖化問題への対応に向けた ICT 政策に関する研究会」報告書”, 地球温暖化問題への対応に向けた ICT 政策に関する研究会, (オンライン), 入手先<http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/chousa/ict_globalwarming/index.html> ,(2014-12-14)
2) (独)宇宙航空研究開発機構　宇宙科学研究所　宇宙物理学研究系赤外線グループ: “第 4 章　衛星システム概要”, SPICA ミッション提案書, (オンライン), 入手先<http://www.ir.isas.jaxa.jp/SPICA/WG/proposal/part/4. pdf>, (2014-6-2)
3) 国土交通省: “:平成 22 年度　全国道路・街路交通情勢調査(道路交通センサス)一般交通量調査　集計表”,平成 22 年度道路交通センサス, (オンライン), 入手先<http://www.mlit.go.jp/road/census/h22-1/>, (2014-10-12)
4) 大城温, 松下雅行, 並河良治, 大西博文: 土木技術資料, 43(11), (2001), pp.50-55
5) 日本学術会議地球惑星科学委員会 地球・惑星圏分科会: “我が国の地球衛星観測のあり方について”, (2014)

金融向けＡＴＭのＣＦＰ評価におけるシナリオ分析の適用

Application of the scenario analysis for the CFP evaluation of the financial ATM

○森田政宏*[1)]，栗本英和[1)]
Masahiro Morita, Hidekazu Kurimoto
1）国立大学法人　名古屋大学　大学院環境学研究科
＊ morita.masahiro@e.mbox.nagoya-u.ac.jp

1. はじめに

製品や製造物単体の LCA（Life Cycle Assessment）は，原材料調達から，生産，流通，使用，廃棄に至るまでのライフサイクルにおける投入資源，環境負荷及びそれらによる生態系への潜在的な環境影響を定量的に評価する手法である．一方製品が社会生活の中で利用されることによって誘発する環境負荷をも評価する必要があり，その一つとして複数のシナリオを用いて製品の新規生産台数や稼働台数の予測を行い社会全体で稼働する当該製品の環境影響評価を行う手法 Silt（ Strategic Integrated LCA Technology for a Sustainable Society）が提案されている．[1)]

また，将来，想定される製品のライフサイクル変化や社会基盤としての利用形態の変化など可能性を持つシナリオとして構想し，シナリオに基づいて環境影響評価した結果を比較・提示することで，需要者等のステークホルダーによる意思決定を支援する判断材料に活用する研究がなされている．[2)]

本研究では，金融 ATM(Automatic Teller Machine)の CFP（Carbon Footprint of Products）評価結果をもとに，社会全体での環境負荷評価を行うにあたり，旧製品から新製品、新市場創出の市場変化が稼働台数に与える影響について、シナリオ分析の手法を適応した．本研究では，適用手法が市場変化の相互作用を定量的に評価する手段としての有効性とその課題を明らかにした．

2. 研究の方法

2.1 シナリオの必要性

金融 ATM が，市場全体の中で誘発する環境負荷量は，概念的には，単体の金融 ATM がライフサイクルを通して誘発する環境負荷量（ここでは，CO2 排出量換算の CFP 評価に限定する）と市場全体のなかでの稼働台数の積算によって，環境負荷の経年変化を算出することができる．(図 1)

稼働している ATM の台数は，製品の寿命分布より推定できる．しかし，新規生産台数（需要者から見た場合，新規導入台数）は，市場の変化に応じた市場メカニズムにより変動する．したがって、市場における潜在的な必要数（収束値）と寿命分布関数により廃棄される台数と新規導入台数との適正配分の中で，機器更新がなされている状態では安定した環境負荷量となる．しかし，現実の製品は市場メカニズムの中で，導入の意思決定がなされるため，稼働台数にも影響を受ける．また，製品の技術革新によっても，旧製品から新製品への代替も稼働する製品台数に大きな影響を与える．

需要者が新規導入の意思決定を行うためには，市場変化のシナリオによる将来予測が必要であり，環境負荷推定においても，市場メカニズム（技術変化，市場変化，法的規制変化など）を考慮したシナリオ作成が必要になっている．[2)]

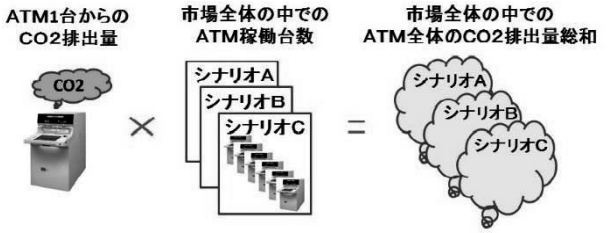


図 1　市場全体での環境負荷算出概念

2.2 シナリオ作成の方法

STEP1：市場メカニズムを考慮したシナリオを作成するために，金融 ATM に影響を与える重要な因子を検出する．過去，現在，将来の時間軸に沿って，日本経済，金融業界，情報端末技術，小口決済の生活様式など関連する重要な事象の「市場動向」を，時系列に整理した．[3), 4)]

STEP2：変化を引き起こす一連の事象をつなぎ合わせ，全体の相互関連図を作成する．因果関係をもつ因子と目的関数（市場全体での稼働台数）との関係式を作成する．本研究ではシステムダイナミックスの手法を導入した．各事象の因果関係を因果ループ図(causal loop diagram)として表現し，重要な因子と目的関数の関係を明確にし，シナリオ作成上の重要な不確実性となる要素を明らかにする．(図 2)

STEP3：重要な因子をもとに，複数のシナリオを作成する．本研究テーマでは，「金融機関の ATM」が，市場メカニズムの中で，どのように変化するかに注目し

た．重要因子とシナリオは，当該の業界の動向に知見をもつ専門家が複数で作成する．将来予測に対する不確実性は，専門家の間でも意見が分かれるが，このような見解の違いをシナリオとして評価することは，中長期の事業計画を立案する上でも有効である．（図3）

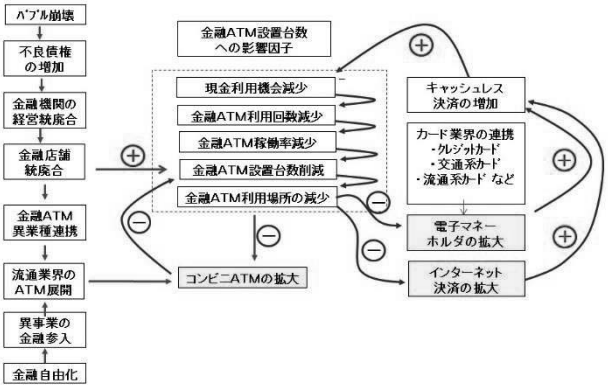


図 2　因果ループ図

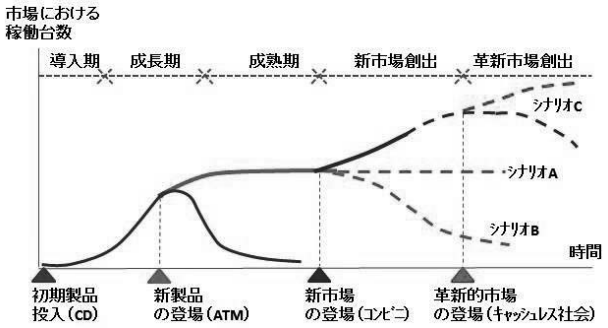


図 3-1　金融 ATM 市場のライフサイクル

シナリオ【A】現状継続モデル
電子マネー・ネット決済の利用は，交通，一部流通店舗，通販に限定．現金決済が主流．
金融機関，流通業界とも，顧客囲込ツールとして自社専用型ATM導入継続．

シナリオ【B】コンビニ汎用型ATM主流モデル
電子マネー・ネット決済の利用は，交通，一部流通店舗，通販に限定．現金決済が主流．
ATMによる差異化サービスが困難となり．金融機関はコンビニ汎用型ATMへの利用者誘導を推進．自社専用型ATMの導入台数，設置台数を削減．

シナリオ【C】キャッシュレス主流モデル
電子マネー・ネット決済の利用は，拡大し，現金決済の利用頻度が急速に減少．
金融・コンビニともに，専用型，汎用型ATM稼働率減少，ATMの導入設置台数減少．
社会全体のATM設置台数が減少し，キャッシュレス社会へと推移．

図 3-2　金融 ATM 設置台数のシナリオ例

STEP4：因果ループ図をもとに，システム全体の相互関係を図式化した「システムフローダイアグラム」を基に，シナリオの方程式作成を行う．システムダイナミックスツール STELLA[5]を利用したフローダイアグラムの基本構造を図 4 に示す．

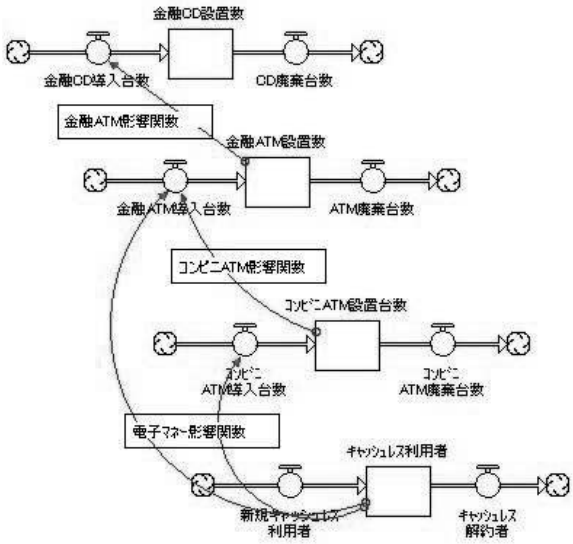


図 4　ATM 設置台数フローダイアグラムの基本構造例

3. 結果と考察

(1) シナリオ分析の導入によって「動的な LCA」へ拡張し，製品の将来に与える重要因子とその変動による環境影響をステークホルダーに提示することが可能となった．従来製品から新製品、革新的新市場の創出による市場の変化を誘発する因子を提示した．

(2) シナリオ分析にシステムダイナミックスを適用することにより，時間軸による環境変化を定量的に把握することが出来た．また，感度分析により因子の影響度合いを定量的に評価することが可能となった．

4. 今後の展望

本研究では，従来型の製品 CFP が製品の属性化された特性表示に対し，動的な LCA が市場での使われ方など変化に応じた特性として，需要者・消費者などステークホルダーの意思決定・購買判断に，有効な情報を提供していくものと考えている．

引用文献

1) 足立芳寛，松野泰也，醍醐市郎，滝口博明：“環境システム工学“，東京大学出版会，(2004)，pp. 170-180
2) ZAMAGNI. A, GUINEE. J, HEIJUNGS. R MASONI. P and RAGGI. A，日本 LCA 学会誌，10 (3)，(2014)，pp. 214-224
3) FISC，”Financial Information Systems in Japan”，2013，(2013)，pp. 20-23
4) 日本銀行決済機構局：“最新の電子マネーの動向について”，(2012)，pp. 2-3
5) STELLA：isee systems. inc の登録商標．

Green of ICT に向けた通信ビル電力消費モデルの提案

Proposal of an electricity consumption model for communication buildings toward green of ICT

*黒田 耕平 1)、山口 容平 1)、木下 裕介 1)、梅田 靖 2)、下田 吉之 1)、
原 美永子 3)、櫻井 敦 3)、岡 宏規 3)、田中 百合子 3)
Kohei Kuroda, Yohei Yamaguchi, Yusuke Kishita, Yasushi Umeda, Yoshiyuki Shimoda,
Minako Hara, Atsushi Sakurai, Hiroki Oka, Yuriko Tanaka
1) 大阪大学, 2) 東京大学, 3) 日本電信電話株式会社
* kuroda@lce.mech.eng.osaka-u.ac.jp

1. 背景

情報通信技術(Information and communication technology; ICT)の発展に伴って通信ネットワークの電力消費量が増加しており、通信事業者にはその省電力化(Green of ICT)が求められている。特に、通信事業者の電力消費の大部分は通信関連設備(通信設備やそれに付随する空調設備など)に起因している[1]。一般に、通信関連設備を収容した建物は通信ビルと呼ばれる。しかし、ビル単位の電力消費量は、電気代等から把握することは可能であるが、床面積ごとに分けられる利用形態別の電力を把握するためには個別に実測する必要がある。

本研究では、通信ビルにおける電力消費量の分析と電力消費量削減を目指して、通信ビル電力消費モデルを提案する。このモデルでは、一般的な建築物のエネルギー需要分析手法を参考に、通信ビルの電力消費量を床面積あたりの電力消費量に整理した。ケーススタディでは本モデルを通信ビルに適用して、電力消費内訳を算出した。

2. 通信ビル電力消費モデル

2.1 方法

日本各地に点在する通信ビルの電力消費を分析するため、通信ビルの月別の電力消費データと通信ビルの面積データを用いて、各月の通信ビルの電力消費内訳と電力消費の季節変動分を導出するモデルを構築した。まず、ビル単位で収集された電力消費データを床面積ごとの利用形態に基づいて機械室と事務室の電力消費に分離した。次に、機械室の電力消費を通信設備、空調設備、給電設備の 3 つの電力消費要因に分類した。

2.2 通信ビルの電力消費分析手順

通信ビルの月別の電力消費データから、通信ビルの電力消費内訳を分析する手順を Step 1 ~Step 4 に示す。

Step 1. 機械室電力消費原単位の抽出

通信ビル i の月別(1~12 月の各月)の通信ビル全体の電力消費データ $F(i,n)$ [kWh/月]から、事務室の電力消費原単位 $E_o(i)$ [kWh/m²/月]と事務室面積 $A_o(i)$[m²]を用いて、機械室における電力消費量を抽出した。ここでは、通信ビルにおける事務室の電力消費原単位を一般的なオフィスのものと同等と仮定した。一般の事務所の電力消費原単位は、非住宅建築物の環境関連データベース(DECC)[2]から面積区分ごとのデータを引用した。機械室における電力消費量を機械室面積 $A_m(i)$[m²]と n 月の日数 $day(n)$[日]で除して n 月における機械室電力消費原単位 $E_m(i,n)$ [kWh/m²/日]を月別に算出した。

$$E_m(i,n) = \frac{F(i,n) - A_o(i) \times E_o(i,n)}{A_m \times day(n)} \quad (1)$$

Step 2. 機械室ベース電力消費原単位と機械室季節変動電力消費原単位への分離

前提として、通信設備の電力消費量は年間を通して一定であることと、通信設備の電力消費量と内部発熱量が等しいと仮定した。月別の機械室電力消費原単位の最小値をベース電力消費原単位 $E_{m,B}(i)$[kWh/m²/日]と定義し、n 月におけるベース電力消費原単位を除く電力消費原単位を機械室季節変動電力消費原単位 $E_{m,F}(i,n)$[kWh/m²/日] とした。

$$E_m(i,n) = E_{m,B}(i) + E_{m,F}(i,n) \quad (2)$$

Step 3. 通信設備による電力消費原単位の抽出

ベース電力消費原単位から、通信ビルの機能である、通信設備による電力消費原単位 $E_{mech}(i)$[kWh/m²/日]を算出した。機械室の電力消費原単位を、通信設備、空調設備、給電設備に分けると、通信設備の電力消費量は内部発熱量と一致すると仮定したため、空調設備の電力消費原単位 $E_{air}(i,n)$ [kWh/m²/日]は、通信設備の電力消費量と外部からの貫流熱量原単位 $Q(i,n)$[kWh/m²/日]、空調設備の COP($COP(n)$[-])から推計できる。ベース電力消費原単位をとる月を N 月とすると、式(3)が成り立ち、式変換をすると式(4)のように通信設備電力消費原単位を得ることができる。

$$E_{m,B}(i) = E_{mech}(i) + E_{air}(i,N) \left(= \frac{E_{mech}(i) + Q(i,N)}{COP(N)}\right) \quad (3)$$

$$E_{mech}(i) = \frac{COP(N) \times E_{m,B}(i) - Q(i,N)}{1 + COP(N)} \quad (4)$$

Step 4. 季節変動電力消費原単位の算出

外気温によって変動する、空調設備の COP と熱貫流量の変動が季節変動電力消費原単位 $E_{air,F}(i,n)$[kWh/m^2/日]の要因と考えられる。空調設備の COP は通信ビルごとで実績値に照らして決定する。給電設備の電力消費量$E_{feed}(i,n)$[kWh/m^2/日]は給電設備の変換効率α[-]を用いて、通信設備の電力消費量から推計した。

$$E_{air,F}(i,n) = \frac{E_{mech}(i)+Q(i,n)}{COP(n)} - E_{air}(i,N) \quad (5)$$

$$E_{feed}(i,n) = \alpha \times E_{mech}(i) \quad (6)$$

3. ケーススタディ

提案するモデルを用いて、通信ビルを対象とした電力消費を分析した。計算条件を以下に示す。

1). 通信ビルの外気温は各都道府県の県庁所在地における月別の平均気温データに一致するものと仮定した[3]。
2). 通信ビルの熱貫流係数はビルによらず同じと仮定した。
3). 導入されている空調機の年平均 COP を 4.4 (月単位の平均 COP を 3.1~5.9)と想定した[4]。
4). 通信ビル機械室の空調設備の機能は冷房のみで、暖房や換気、除湿は行われていないと仮定した。
5). 通信ビルで用いられている断熱材は、一般の建築物のものと同程度であると仮定した。
6). 給電設備の変換効率を 82%と想定した[1]。

通信ビルの月別の電力消費量計算結果と実績値を図 1 に示す。縦軸は、モデルを用いて計算した年間の総電力消費量に対する各月の電力消費量の割合を示した。

モデルで計算した通信ビル全体の電力消費量でみた場合、モデル値と実績値の相対誤差は月別で-3.8~8.0%の誤差をとり、年平均で 2.5%となった。

4. 考察

提案したモデルを用いることで、各月の通信ビルの電力消費データから、通信設備、空調設備、給電設備、事務室に対する電力消費量を推計することができた。本モデルの利用により、個別に実測する方法と比べて、各設備および事務室の電力消費量を簡易的に求めることが可能となる。

月ごとにモデルを用いた計算結果と実績値を比較すると、冬季における相対誤差が比較的大きい。この理由として、事務室の電力消費推計に日本全地域の事務所の平均値を利用したことが考えられる。事務室の電力消費原単位は、外気温や導入設備など様々な要因で異なるため、より詳細な分析を行うためには、地域別で事務室の電力消費原単位を検討する必要があるといえる。

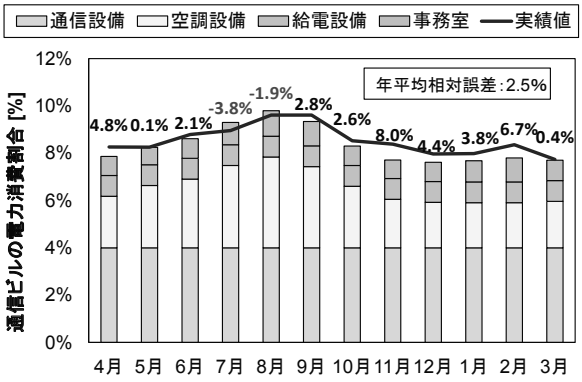


図 1 通信ビル電力消費モデルと実績値の関係

また、夏季において機械室の空調設備の電力消費量が、冬季の約 2 倍程度まで増加することがわかった。これは、外気温の上昇による貫流熱量の増加と空調設備の COP の低下が原因であると考えられる。このことから、夏季における通信ビル全体の電力消費量を削減するためには、気温が高い条件における空調設備の COP の改善が効果的であるといえる。

5. まとめ

本論文では、通信ビルの電力消費分析のために、通信ビルの電力消費内訳を明らかにするモデルを構築した。今後の課題として、電力消費の内訳結果についてビルを個別に実測する等の検証を実施し、モデルの妥当性の検証、および、精度向上を検討する必要がある。さらに、モデルを用いて様々な省エネ対策を講じた場合の、通信ビル全体の省エネ性能に対する感度分析を行うことなどが挙げられる。

6. 引用文献

[1] NTT 西日本技術革新部, NTT 技術ジャーナル 2009 年 9 月号, (2009), pp. 58-61
[2] 日本サステナブル建築協会, 非住宅建築物環境エネルギーデータベース, (オンライン), 入手先<http://www.jsbc.or.jp/decc_download/> (参照 2014-9-12)
[3] 気象庁, 過去の気象データ検索, (オンライン), 入手先<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/> (参照 2014-12-13)
[4] NTT ファシリティーズ, 都市型データセンタに適した省エネルギー、省スペース空調機 FMACS-V slim の販売開始, (オンライン) 入手先<http://release.vfactory.jp/file/39553.pdf> (参照 2014-12-13)

スマートフォン用有機 EL ディスプレイ(AMOLED) のライフサイクル評価

Life Cycle Assessment of Organic Electronic Display (AMOLED) for Smartphone

○天沢逸里*[1)]、太田隆司、井原智彦[1)]、花木啓祐[1)]
Eri Amasawa, Takashi Ohta, Tomohiko Ihara, and Keisuke Hanaki
1) 東京大学
* aamasawa@sustainability.k.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

有機エレクトロニクスとは有機半導体をベースにした電子機器のことを指す。軽量、薄さ、曲げられるなど、有機物の特性をエレクトロニクスに持たせる事が出来る事から、近年電子機器業界で注目を浴びている。さらに、有機半導体の主な原材料が石油の副産物であり、室温での製造が可能な事から、「環境にやさしい材料」として研究開発が促進されている反面、これらの環境影響は広く評価されていない。少数発表されている既存研究は有機薄膜太陽電池(OPV)に関する研究で、研究室で製造された OPV の Energy Pay Back Time はシリコン型太陽電池の約 1/6 という結果[1)]が出ている。また、有機半導体材料の合成に必要なエネルギーを実験から推算したインベントリも発表されている[2)]が、市場に出回っている有機 EL 照明、有機トランジスタやディスプレイの評価は発表されていない。また、既存研究は全て実験室での作成データに基づいており、実際的な量産スケールでは結果が異なると考えられる。そこで本研究では、現在市場で一番成功している有機エレクトロニクスであるスマートフォン用ディスプレイの Active Matrix Light Emitting Diode (AMOLED)のライフサイクル評価(LCA)について議論する。

AMOLED は市場に登場してからまだ数年しか経っていないため、インベントリデータベースに該当項目が存在しない。製品に使用されている材料の詳細もメーカーの機密情報であり、さらに生産工程における消費エネルギーに関する情報も入手が同様に困難である。しかし、このような新たな素材のインベントリデータを得ることは LCA における最大の命題である。本稿では、限られた情報の中でのライフサイクルインベントリ（LCI)作成の試行を報告する。

2. 目的および調査範囲の設定

本研究の目的は、AMOLED の環境影響評価を行うため、妥当性のあるインベントリを作成することである。製品に使用される材料の原料調達から、AMOLED のディスプレイ部分が完成するまでをシステム境界とする。AMOLED は、スイッチ機能を施すトランジスタと、その上で発光する有機EL層に大きく分かれる。本研究は有機エレクトロニクスに重点を置くため、トランジスタの生産は考慮しない。

機能単位は 5 インチの AMOLED ディスプレイ 1 枚で、文献[3,4)]の典型の構造を想定する。AMOLED ディスプレイの大半が韓国で生産されていることから、韓国での生産を想定する。

3. ライフサイクルインベントリデータの作成

インベントリ作成において必要なデータは、まず AMOLED の構成材料、すなわち使用される材料のリストである。2 つ目は構成材料の LCI（素材製造から AMOLED の製造工場に運ばれるまで)、そして最後は AMOLED の製造プロセスのデータである。これらのデータ収集方法について述べる。

3.1 AMOLED ディスプレイ構成材料

多数存在する AMOLED ディスプレイ材料から、代表的な有機ディスプレイ用材料を化学工学や応用化学分野の文献[3)]から選び出し、その中から製品化に至っている材料を抽出した。さらに有機 EL 分野の研究者らへのヒアリングから、評価する材料を決定した。

3.2 構成材料の LCI

構成材料のほとんどは特殊な化合物であり、既存のインベントリデータは存在しない。化合物の LCI 作成は長らく議論されており、化学量論をベースにした理論からのアプローチ[5)]や、化学プロセスシミュレータと現場の数値を組み合わせた方法[6)]が挙げられ、LCA ソフトのインベントリデータはプロセスシミュレータと産業連関表などの統計を元に作成されている。今回は、化学プロセス文献[7)]、特許、そして学術論文から化合物の LCI 作成を試みた。

想定する AMOLED には 8 層の有機半導体膜が使用されていると想定する。本来各層の材料は異なるが、有機 EL 材料の合成に必要なエネルギーはほとんど変わらないとの専門家の意見から、有機 EL において代表的な材料である Alq3 のみの LCI 作成を行い、他の材料の生産エネルギーは Alq3 と同じであると仮定した。Alq3 の LCI 作成では、複数のシナリオに基づいて、LCI とインパクト評価の結果を比較した。

3.3 生産データ

AMOLED の生産工程は工学系の文献[3)]を主に参照した。原料消費量、機器や工程におけるエネルギー消

費量は、専門家へのヒアリングと有機 EL 成膜装置を保有する研究機関の協力から得た装置の稼働における消費電力や施設における空調の消費電力から推算した。

4. 結果

4.1 Alq3 生産エネルギー消費量のシナリオ評価

Alq3 の生産エネルギーを推算するにあたり、4 本のシナリオを作成した。まず、インベントリデータベース(IDEA)に含まれる製品から最も Alq3 に近いとされる品目である Miscellaneous cyclic intermediates を Alq3 としたのをシナリオ A、Cyclic intermediates, synthetic dyes and organic pigments を Alq3 としたのをシナリオ B とし、機能単位 1 kg の生産におけるインベントリとエネルギー消費量を LCA ソフトウェア MiLCA にて比較した。結果、インベントリにおいて重量に大きく違いが出たのが淡水のインプットフローと処理水のアウトプットフローで、シナリオ B はシナリオ A の約 10 倍となった。次に、Alq3 の原料を文献 [7]から調査し、そのうち IDEA にインベントリがない原料は IDEA 内で一番近い製品を当てはめてインベントリを作成した。Fig. 1 は Alq3 の合成に必要な原料について、IDEA に含まれているものを追跡した図である。シナリオ C では Fig. 1 の合成 1 のみをシステム境界に入れ、IDEA に項目のない 8-hydroxyquinoline は一番近いとされる IDEA の製品に当てはめた。また、合成で消費されるエネルギーは、Miscellaneous cyclic intermediates からエネルギーフローのみを残したプロセスを新たに作成し、それを当てはめた。シナリオ D では、Fig. 1 のすべての合成(1~5)を考慮し、IDEA に項目のない原料はシナリオ C と同等に近い項目を当てはめ、エネルギーはシナリオ C と同じプロセスを使用した。原料使用量は文献や特許を参考に推計した。これら 4 本のシナリオを比較したところ、上流の原料まで細かく考慮したシナリオ D が一番多くの資源使用量となり、違いが大きく出たのは同じく淡水と処理水であった。既存研究において Alq3 に似た有機半導体の生産エネルギーを実験計測により計算した論文 [2]の数値と比べると、本研究の結果は低い数値となった。この違いの理由として、実験上の合成が量産スケールに比べてエネルギー効率が低いということが考えられる。

4.2 AMOLED の生産におけるエネルギー消費量

AMOLED のインベントリから MiLCA を使用してエネルギー消費量を評価した。その結果、施設の空調が一番大きく寄与しているという結果が出た。ただし、量産工程においてこれらの比率は変化する可能性がある。空調を除いて次に大きかったのが有機成膜の工程である。原料の生産エネルギーは、シナリオ D を用いたが、使用されている材料が少ないため、全体から見てごく微量のエネルギー消費量となった。

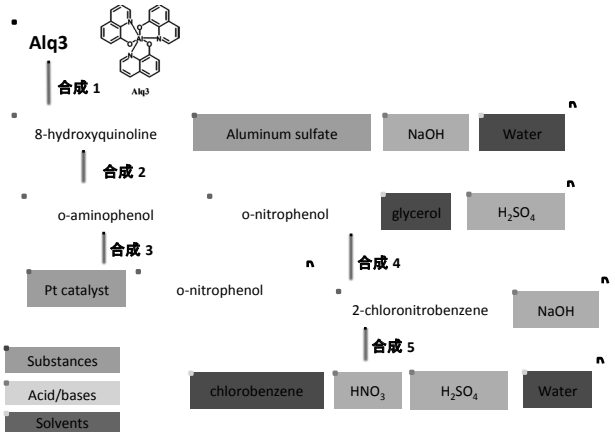


Figure 1. Alq3 の生産における原材料の追跡図。影のかかった原料は IDEA にデータが存在する材料である。

5. おわりに

インベントリデータのない AMOLED ディスプレイの LCI を、原料は化学プロセスの文献と特許を元に、製造工程におけるエネルギー消費量は研究機関の協力と専門家へのヒアリングから作成した。その結果、有機半導体材料の生産は上流の原料を評価対象にすればするほど、インベントリの数値が大きくなるという結果となった。また、実験規模と量産規模の間の相違も考えられる。今後、さらに現実的な AMOLED のインベントリを得る努力が必要である。

6. 謝辞

本研究を遂行するにあたり、調査の実施にご協力いただいた有機光エレクトロニクス実用化研究センター、貴重な助言をいただいた九州大学の安達千波矢教授、九州大学の服部励治教授に感謝の意を表します。

7. 参考文献

1) S. Lizin, S. V. Passel, E. D. Schepper, W. Maes, L. Lutsen, J. Manca, D. Vanderzande: Energy Environ. Sci. 6 (2013) pp 3136-3149
2) A. Anctil, C. W. Babbitt, R. P. Raffaelle, B. J. Landi; Prog. Photovolt: Res. Appl. 21 (2013) pp 1541-1554
3) 安達千波矢, “有機 EL デバイス物理•材料化学•デバイス応用” シーエムシー出版, 東京, (2007) pp 158
4) H. S. Yu: “Korea Display Conference”, Seoul, (2011)
5) G. Geisler, T. B. Hofstetter, K. Hungerbuhler,; Int. J. LCA 2 (2004) pp 101-113
6) A. D. Bojarski, G. Gullen-Gosalbez, L. Jimenez, A. Espuna, L. Puigjaner; Ind. Eng. Chem. Res. (2008) 47, pp 8286 – 8300
7) “Ullmann’s Encyclopedia of Industrial Chemistry”, John Wiley & Sons, New York, (2013)

産業連関表に基づく環境負荷原単位算定における自家輸送マトリックスの利用

Use of Table on Self-transports Supplementary to Japanese Input-Output Table for Developing Embodied Emission Intensity Data

輿石拓真 [1)]、佐藤邦光 [2)]、○近藤康之*[1)]
Takuma Koshiishi, Kunimitsu Sato, Yasushi Kondo
1) 早稲田大学, 2) 国際資源活用協会
* ykondo@waseda.jp

1. はじめに

約 5 年毎に作成公表される日本の産業連関表データベースにおいては「自家輸送」と呼ばれる仮設部門がある。また、自家輸送に係る投入を纏めた自家輸送マトリックスが付帯表として利用可能である。本稿は、自家輸送マトリックスから得られる各産業部門（列部門）に固有の自家輸送構造を比較検討し、その情報を利用すること、または利用しないことによって生じ得る環境負荷原単位算定結果への影響を検討する。さらに、自家輸送マトリックスの適切な利用方法を提案する。

自家輸送部門に着目した産業連関分析の研究例として、太田 [1)]、太田ら [2)]、加藤・太田 [3)]、武藤 [4)] がある。ただし、これらの研究は環境・エネルギー分析を行ったものではない。他方、自家輸送以外の輸送に関して産業連関表を拡張した研究例として、井伊ら [5)] をあげることができる。本稿は、我々の知る限り、初めて産業連関表に基づく環境負荷原単位算定に関連して自家輸送マトリックスの利用を検討した研究である。

2. 日本の産業連関表における自家輸送の取扱：ベンチマーク表と接続産業連関表の相違点

日本の産業連関表（ベンチマーク表）は約 5 年毎に作成公表される（本稿執筆時点で利用可能な最新のものは、平成 17 年（2005 年）産業連関表である）。ベンチマーク表は「列と行に自家輸送部門をたてた表章と、自家輸送部門をたてずに各部門が直接に自家輸送に係る財・サービスを投入する表章の 2 通りを作成しており、使用目的により選択が可能である。（総務省 [6)], p. 157）」自家輸送部門をたてる主な理由は、産業連関表の部門分類がアクティビティによる分類を原則としていることである。アクティビティ分類による本来の部門の活動以外の自家活動（輸送、こん包、教育、研究開発、広告、情報処理サービスなど）は、昭和 60 年表までは独立した部門として表章されていたが、平成 2 年表以降は自家輸送部門を除いて廃止された。自家活動を独立した部門として表章することにより、本来部門との対比と生産波及分析が可能になるとともに、投入構造を安定的にする効果も期待される。（総務省 [6)], p. 114、総務省 [7)], p. 57）

ベンチマーク表の部門分類は 5 年毎に見直され、少しずつ変更されているが、3 か年分の表を直近の部門分類に（できるだけ）揃えた接続産業連関表も作成公表されている（本稿執筆時点で利用可能な最新のものは、平成 7-12-17 年（1995-2000-2005 年）接続産業連関表である）。接続産業連関表においては、上述の使用目的に応じた選択はできない。これは「従来から推計の困難性と、各部門別のエネルギー需要を分析する利点を考慮し、自家輸送部門を設定していない（総務省 [7)], p. 57）」からである。

産業連関表の環境負荷原単位算定への応用は、3EID[8–11)] に見られるように、部門別のエネルギー需要分析と密接な関連がある。したがって、自家輸送を独立した部門として表章したベンチマーク表をそのままのかたちで用いるのではなく、自家輸送マトリックスの情報を併用することにより、自家輸送部門を独立した部門として表章しない接続産業連関表と同様の利点を活かすことが考えられる。

3. 自家輸送を考慮した産業連関表およびモデル

自家輸送部門を除く産業部門数を n とする。2 つの自家輸送部門「7131-01 自家輸送（旅客自動車）」「7132-01 自家輸送（貨物自動車）」を独立した部門として表章した産業連関表は、次のようにあらわされる。

$$\mathbf{Z}^{(1)} = \begin{bmatrix} \mathbf{Z}_{\mathrm{ind,ind}} & \mathbf{z}_{\mathrm{ind,psg}} & \mathbf{z}_{\mathrm{ind,frt}} \\ \mathbf{z}_{\mathrm{psg,ind}} & 0 & 0 \\ \mathbf{z}_{\mathrm{frt,ind}} & 0 & 0 \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{(n+2)\times(n+2)},$$

$$\mathbf{y}^{(1)} = \begin{bmatrix} \mathbf{y}_{\mathrm{ind}} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{(n+2)\times 1},$$

$$\mathbf{v}^{(1)} = [\mathbf{v}_{\mathrm{ind}} \quad 0 \quad 0] \in \mathbb{R}^{1\times(n+2)}.$$

ここで、添字 psg, frt, ind は旅客自家輸送、貨物自家輸送、その他の産業部門をあらわす。$\mathbf{Z}^{(1)}$ は中間取引額

行列、$\mathbf{y}^{(1)}$ は最終需要ベクトル、$\mathbf{v}^{(1)}$ は付加価値額ベクトルである。定義により $\mathbf{y}^{(1)}$ の最後の 2 つの要素はゼロである。自家輸送のためには労働投入が不可避であり、対応する付加価値額も正値のはずであるが、$\mathbf{v}^{(1)}$ の最後の 2 つの要素もゼロである。

2 つの自家輸送マトリックス $\mathbf{T}_{\text{psg}}, \mathbf{T}_{\text{frt}} \in \mathbb{R}^{n\times n}$ は以下の等式を満たす。

$$\mathbf{T}_{\text{psg}}\mathbf{1}_n = \mathbf{z}_{\text{ind,psg}}, \qquad \mathbf{T}_{\text{frt}}\mathbf{1}_n = \mathbf{z}_{\text{ind,frt}},$$
$$\mathbf{1}_n^{\mathrm{T}}\mathbf{T}_{\text{psg}} = \mathbf{z}_{\text{psg,ind}}, \qquad \mathbf{1}_n^{\mathrm{T}}\mathbf{T}_{\text{frt}} = \mathbf{z}_{\text{frt,ind}}.$$

ただし、$\mathbf{1}_n \in \mathbb{R}^{n\times 1}$ はすべての要素が 1 のベクトル、上付き添字 T は行列・ベクトルの転置をあらわす。

自家輸送部門を独立した部門として表章しない産業連関表は、次のようにあらわされる。

$$\mathbf{Z}^{(2)} = \mathbf{Z}_{\text{ind,ind}} + \mathbf{T}_{\text{psg}} + \mathbf{T}_{\text{frt}} \in \mathbb{R}^{n\times n},$$
$$\mathbf{y}^{(2)} = \mathbf{y}_{\text{ind}} \in \mathbb{R}^{n\times 1},$$
$$\mathbf{v}^{(2)} = \mathbf{v}_{\text{ind}} \in \mathbb{R}^{1\times n}.$$

自家輸送を独立した部門として表章した産業連関 $\mathbf{Z}^{(1)}$ に基づく場合と、自家輸送を独立した部門として表章しない産業連関 $\mathbf{Z}^{(2)}$ に基づく場合では、算定される環境負荷原単位は一般に一致しない。これは、後者では各部門に固有の自家輸送投入構造の情報がそのまま活用されるのに対して、前者ではその情報が活用されず、全部門に共通の平均的な自家輸送投入係数が利用されることによる。

いま、各部門の生産額を、

$$\mathbf{x}_{\text{ind}} = \mathbf{Z}_{\text{ind,ind}}\mathbf{1}_n + \mathbf{z}_{\text{ind,psg}} + \mathbf{z}_{\text{ind,frt}} + \mathbf{y}_{\text{ind}},$$
$$x_{\text{psg}} = \mathbf{z}_{\text{psg,ind}}\mathbf{1}_n, \qquad x_{\text{frt}} = \mathbf{z}_{\text{frt,ind}}\mathbf{1}_n$$

と書く。$\mathbf{Z}^{(1)}$ に基づく環境負荷原単位の算定に用いられる、全部門に共通の平均的な自家輸送投入係数は、

$$\mathbf{a}_{\text{ind,psg}} = x_{\text{psg}}^{-1}\mathbf{z}_{\text{ind,psg}}, \qquad \mathbf{a}_{\text{ind,frt}} = x_{\text{frt}}^{-1}\mathbf{z}_{\text{ind,frt}}$$

で与えられる。$\mathbf{Z}^{(2)}$ に基づく環境負荷原単位の算定に用いられる、各部門に固有の自家輸送投入係数は、

$$\mathbf{B}_{\text{psg}} = \mathbf{T}_{\text{psg}}\hat{\mathbf{z}}_{\text{psg,ind}}^{-1}, \qquad \mathbf{B}_{\text{frt}} = \mathbf{T}_{\text{frt}}\hat{\mathbf{z}}_{\text{frt,ind}}^{-1}$$

で与えられる。ここで、任意のベクトル $\mathbf{s}$ に対して、$\hat{\mathbf{s}}$ は $\mathbf{s}$ の要素を対角要素に持つ対角行列である。特殊なケースとして、各部門の自家輸送投入係数がすべて等しい場合、すなわち、

$$\mathbf{B}_{\text{psg}} = \mathbf{a}_{\text{ind,psg}}\mathbf{1}_n^{\mathrm{T}}, \qquad \mathbf{B}_{\text{frt}} = \mathbf{a}_{\text{ind,frt}}\mathbf{1}_n^{\mathrm{T}}$$

が成り立つ場合には、どちらの産業連関表を用いても同じ環境負荷原単位が算定される。しかし、一般に、これらの等式は成り立たないから、産業連関表の選択（自家輸送を独立した部門として表章するか否かの選択）が環境負荷原単位算定に影響する。

本稿では、以下の産業連関表の利用を提案する。

$$\mathbf{Z}^{(3)} = \begin{bmatrix} \mathbf{Z}_{\text{ind,ind}} & \mathbf{T}_{\text{psg}} & \mathbf{T}_{\text{frt}} \\ \hat{\mathbf{z}}_{\text{psg,ind}} & 0 & 0 \\ \hat{\mathbf{z}}_{\text{frt,ind}} & 0 & 0 \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{3n\times 3n},$$

$$\mathbf{y}^{(3)} = \begin{bmatrix} \mathbf{y}_{\text{ind}} \\ \mathbf{0}_n \\ \mathbf{0}_n \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{3n\times 1},$$

$$\mathbf{v}^{(3)} = [\mathbf{v}_{\text{ind}} \quad \mathbf{0}_n^{\mathrm{T}} \quad \mathbf{0}_n^{\mathrm{T}}] \in \mathbb{R}^{1\times 3n}.$$

ここで、$\mathbf{0}_n \in \mathbb{R}^{n\times 1}$ はすべての要素が 0 のベクトルである。表の雛形としては、自家輸送部門を東京都産業連関表 [12] における本社部門と同様に扱ったものである。各産業部門に固有の自家輸送に関する情報を活かして、それらを独立した部門として表章している。そのため、各産業部門に固有の自家輸送に関する情報を活かした環境負荷原単位が算定できるだけでなく、LCA に用いる場合に製造段階、輸送段階などの別に環境負荷を容易に評価することができる。

4. 構造分析

2005 年版の 3EID[8–11] を用いて、従来の方法と比較した本稿で提案する方法のメリットを検討する。また、従来の方法との相違を構造的に把握するために、自家輸送マトリックスから得られる投入係数行列（$\mathbf{B}_{\text{psg}}$, $\mathbf{B}_{\text{frt}}$ からすべての要素がゼロの行と列を削除して得られる行列）に対してクラスタ分析を適用する。これらの結果を研究発表会で報告する。

引用文献

1) 太田和博（2004）日交研シリーズ A, 372, 1–42
2) 太田和博、加藤一誠、金広文（2004）日交研シリーズ A, 347, 1–107
3) 加藤一誠、太田和博 (2004) 交通学研究, 48, 309–318
4) 武藤慎一（2014）交通学研究, 57, 89–96
5) 井伊亮太、中谷隼、栗栖聖、花木 啓祐（2013）日本 LCA 学会誌, 9(1), 2–12
6) 総務省（2009）平成 17 年（2005 年）産業連関表：総合解説編、経済産業調査会
7) 総務省（2011）平成 7-12-17 年（1995-2000-2005 年）接続産業連関表：総合解説編、経済産業調査会
8) 南斉規介、森口祐一、東野達（2002）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
9) K. Nansai, Y. Moriguchi, S. Tohno (2003) *Environ. Sci. Technol.*, 37 (9), 2005–2015
10) 南斉規介（2013）2005 年産業連関表に基づく部門別エネルギー消費量および温室効果ガス排出量の推計方法、国立環境研究所
11) K. Nansai, Y. Kondo, S. Kagawa, S. Suh, K. Nakajima, R. Inaba, S. Tohno (2012) *Environ. Sci. Technol.* 46(16), 9146–9154
12) 東京都総務局（2011）東京都産業連関表：平成 17 年（2005 年） 概要、東京都総務局統計部

海運業における消費税増税の影響分析

Analysis of influence on marine transport by consumption tax increase

○上原晃*[1)]、尾下優子[1)]
Hikaru UEHARA, Yuko OSHITA
1) 神戸大学
*1037109w@stu.kobe-u.ac.jp

1. はじめに

2014 年 4 月、消費税が 5%から 8%に増税された。この増税によって消費者だけでなく、多くの産業が影響を受けていると考えられる。例えば、上流にある材料製品の価格の増加は、次の産業の価格上昇に繋がり、下流産業に集約される。このように産業の複雑な連関を通して、消費増税に伴う日本経済全体への影響は増大していく。本研究では、多くの産業の中から、特に島国である日本において重要な役割を果たす海運業に着目する。昨今の燃料価格上昇の影響を受けている海運業にとって、この増税が与える影響は決して小さくはない。また、これまで消費税が産業に与える影響を分析した研究事例は存在するが、海運業界に焦点を当てた分析の事例はほとんど存在しない。そこで本研究では、産業の複雑な連関構造と経済への波及効果を捉えることが出来る産業連関分析を用い、増税が海運業に与える影響と、海運業を通して日本経済全体に広がる影響を分析し、今後の日本の産業発展に役立てる。

2. 先行研究

日本で産業連関分析を用いた一般消費税の価格効果を扱った研究に、中井（1981）・藤川（1997）などがある。中井（1981）では、産業連関理論に基づく一般消費税のモデル化の検討を行い、さらに 52 年産業連関延長表を用いて、以下のケースに分け、消費税導入（消費税 3%）が 23 産業部門へ与える影響分析が行われている。ただし、以下の非課税措置を受ける産業部門は、食料品・金融・保険・不動産部門である。

１次効果（完全価格転嫁）
２次効果ケースⅠ（非課税措置なし・一般政府支出）、
２次効果ケースⅡ（非課税措置なし・移転支払）、
２次効果ケースⅢ（非課税措置・一般政府支出）
２次効果ケースⅣ（非課税措置・移転支出）

税率上昇に伴う非課税措置の検討の結果、一番誤差（加重平均）が小さかったケースⅢが試案に相当するものとなった。

藤川（1997）では、付加価値税の徴税方式である「伝票方式」と「帳簿方式」についてモデル化し、1990 年ベースの産業連関表を用いて、両方式による各産業の価格への影響についての研究がなされている。

しかし、この両研究では産業部門別のミクロ的な価格効果の計測や付加価値税の徴税についての考察を行ってはいるが、『海運』に着目したより細かな影響の分析はなされていない。さらに、分析の対象とされている産業構造も 1978 年と 1990 年と古く、消費税の税率や産業・経済構造なども現在とは大きく異なっている。

そこで、本研究では島国である日本経済を支える上で重要な『海運』に焦点を当て、現在の産業構造下での一層ミクロ的な価格効果の計測を行う。

3. 方法

本研究では、消費税増税（3%の税率上昇）により、海運業そしてその他産業がどのような波及影響を受けるかについて、以下の 3 点について分析する。

---
1 : 全産業の税率が 3%上昇した場合の、海運業への増税の影響分析
2 : 1 の結果から、海運業への増税の影響がどの産業の波及影響によるものが大きいかを特定する分析
3 : 海運業の税率のみを 3%上昇させた時、海運業が他産業にどのような影響を与えるかを特定する分析

分析手法としては、上述の通り、産業間の波及の影響を分析することが可能である産業連関分析を用いる。

国税庁(2014)によると、現在の消費税の徴税方式は帳簿方式となっており、「生産、流通の各段階で二重、三重に税が課されることのないよう、（中略）課税売上げに係る消費税額から課税仕入れ等に係る消費税額を控除し、税が累積しない仕組みとなって」いる。

本研究では藤川（1997）に従い、以下に記述するモデルを用いて付加価値税の影響を分析する。

産業連関モデルを用いると、国内産業 j が支払うべき付加価値税（消費税）は、以下の(1)式で表される。

$$vat_j = \tau_j (p_j X_j - \sum_i p_i X_{ij}) \qquad (1)$$

v は付加価値率、a_{ij} は国内産業 j が 1 単位生産するのに直接投入した国内産業 i からの投入量の比率を示す投入係

数行列、t_jは国内産業jにかかる付加価値税の税率、τ_jは国内産業 j の製品の税込価格に含まれる付加価値税の税率を表す。$\tau = t/(1+t)$である。また、p_i, p_jはそれぞれ国内産業i, jの製品価格、X_jは国内産業jの1年間の生産額、X_{ij}は国内産業jが直接投入した国内産業iからの投入量である。つまり国内産業 j が支払うべき付加価値税（消費税）vat_jは、売上額$p_j X_j$から材料費$\sum_i p_i X_{ij}$を引いた付加価値額に税率τをかけたものになる（消費税のシステムについては、国税庁(2014)を参照のこと）。
この納税義務額（vat_j）を生産物1単位あたりに直すと、次の(2)式を得る。

$$\frac{vat_j}{X_j} = \tau_j \left(p_j - \sum_i p_i a_{ij} \right) = [p_1, p_2, \cdots, p_n] \begin{bmatrix} -a_{1j} \\ -a_{2j} \\ \vdots \\ 1 - a_{jj} \\ \vdots \\ \vdots \\ -a_{nj} \end{bmatrix} \tau_j$$

$$= p \begin{bmatrix} -a_{1j} \\ -a_{2j} \\ \vdots \\ 1 - a_{jj} \\ \vdots \\ \vdots \\ -a_{nj} \end{bmatrix} \tau_j \qquad (2)$$

税額分を転嫁し、供給価格を設定するとすれば、供給価格は次の式で得られる。

$$p_j = \sum_i p_i a_{ij} + v_j + p \begin{bmatrix} -a_{1j} \\ -a_{2j} \\ \vdots \\ 1 - a_{jj} \\ \vdots \\ \vdots \\ -a_{nj} \end{bmatrix} \tau_j \qquad (3)$$

この関係を（第 j 産業以外の）他の産業についても定義し、まとめて行列表せば、供給価格は次の式で表せる。

$$\begin{aligned} \mathrm{p} &= \mathrm{pA} + \mathrm{v} + \mathrm{p}(\mathrm{I} - \mathrm{A})[\tau] \\ \mathrm{p} &= \mathrm{v}[(\mathrm{I} - \mathrm{A})(\mathrm{I} - [\tau])]^{-1} \\ &= \mathrm{v}(\mathrm{I} - [\tau])^{-1}(\mathrm{I} - \mathrm{A})^{-1} \\ &= \mathrm{v}(\mathrm{I} + [\mathrm{t}])(\mathrm{I} - \mathrm{A})^{-1} \end{aligned} \qquad (4)$$

本研究の分析ではこの(4)式を用いて消費税の波及影響について分析を行う。

4. データ

本研究では、総務省発行の H17 産業連関表（34 部門）を用い、「運輸」部門を「外洋輸送」部門、「沿海・内水面輸送」部門、「港湾運送」部門、「その他運輸」部門の4部門に分解した、37 部門表を作成した。また、消費税率については、国税庁(2014)の第3章「非課税取引とは?」に従い、上述の 37 部門表の内、「金融・保険」部門、「不動産」部門、「公務」部門、「教育・研究」部門、「医療・保健・社会保障・介護」部門、「その他の公共サービス」部門は非課税対象とする。

5. 結果と考察

3 章示した方法と 4 章で示したデータを用いて、非課税部門以外の全部門の税率が 3%上昇した時の影響を分析した結果、全部門（非課税部門も含む）の単純平均価格上昇率は約 2. 3%であった。その中でも、影響が大きかった上位 5 部門を見ると、「水道・廃棄物処理」部門（約 2. 9%）、「対個人サービス」部門（約 2. 8%）、「農林水産業」部門（2. 8%）、「飲食料品」部門（約 2. 8%）、「建設」部門（約 2. 8%）など、飲食や食料品に関する部門への影響が大きいことが分かった。海運業3部門に着目すると、「沿海・内水面輸送」部門（約 2.6%）、「外洋輸送」部門（約 2.5%）、「港湾運送」部門（約 2.2%）であり、順位も非課税部門 6 部門を含む 37 部門中 22 位、28 位、30 位とそれ程高くはない。また、「その他運輸」部門（約 2.8%、7 位）と比較すると運輸の中でも比較的影響が低いことが明らかとなった。この影響がどの部門の消費税増加に伴うコスト増加によるものかなど、詳細な分析結果については研究発表会にて報告する。

6. まとめ

本研究では、産業の複雑な連関構造と経済への波及効果を捉えることが出来る産業連関分析を用い、消費税増税が海運業に与える影響と、海運業を通して日本経済全体に広がる影響を分析した。本研究の結果から得られた、海運業に対する増税の影響とその波及構造を考慮したシステム設計を行うことにより、より強靭な海運システム、引いては日本全体の産業構造を構築することができる。

参考文献

1) 中井英雄、近畿大学商経学会、28(1)、(1981)、pp.55-81
2) 藤川清史、大阪経大論集、42(3)、(1991)、pp.41-66
3) 藤川清史、甲南経済学論集、38(1)、(1997)、pp.55-90
4) 国税庁、“消費税のあらまし”、(2014).

車両挙動を考慮したラウンドアバウトにおけるライフサイクル分析

Life cycle analysis of roundabout intersection considering vehicle behavior

○野口淳史*[1)]、福留侑悟[1)]、吉川直樹[1)]、塩見康博[1)]、天野耕二[1)]
Atsushi Noguchi, Yugo Fukudome, Naoki Yoshikawa, Yasuhiro Shiomi, Koji Amano
1) 立命館大学
＊ rv0005ek@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

ラウンドアバウトとは、一方通行の環道交通流に優先権のある円形の交差点である。信号交差点や通常の無信号交差点に替わる新たな平面交差部の制御方式として、近年海外で積極的に導入されている。日本においても安全性、遅れ時間の削減及び環境負荷量の低減の利点にラウンドアバウトが注目され、導入に向けた動きが高まっている[1)]。

吉岡らは[1)]ラウンドアバウトと信号交差点のCO_2排出量を実車走行実験に基づいて比較し、ラウンドアバウト型交差点の方が環境負荷量少ない結果となった。しかし、施工段階から廃棄段階までのライフサイクルを通してのラウンドアバウトと信号交差点の比較分析は行われていない。そこで今回は、車両の加減速のCO_2排出量を分析することで走行実態の差を反映したラウンドアバウトと信号交差点のライフサイクル環境負荷量の算出を行い比較し評価を行う。

2. 研究手法

本研究では、長野県飯田市東和町のラウンドアバウトを研究対象とする。長野県飯田市東和町の交差点は安全面の問題から、信号交差点の改良もしくはラウンドアバウトが検討され、ラウンドアバウトが選択された。評価範囲を調達段階・施工段階・維持管理段階・運用・廃棄段階の5つの段階に分類する。

運用期間は15年と設定する。

a)調達段階：ラウンドアバウト施工で要した建設材料[2)]の製造時、運搬時(10kmと仮定)に発生する環境負荷量を算出した。

b)施工段階：積算書に基づき、重機施工歩掛より稼働時間を求め、その稼働時間に1時間当たりの燃料と軽油のCO_2原単位を乗じて環境負荷量を算出した。

c)維持管理段階：供用後、7年後に新材、再生材を用いたオーバーレイ工法(今回は表層の20%を修繕すると仮定した)、その8年後に新材、再生材を用いた打替え工法(下層路盤よりも上の層の取り換え)を行うと想定し、調達と運搬(10km)、施工時の環境負荷量を算出した。

d)運用段階：ラウンドアバウトを走行する車両の挙動を分析し、環境負荷量を算出した。

東和町の交差点に設置されたCATVによって撮影された動画データを用いて車両1台につき0.1秒間隔に車両挙動を分析した。車両挙動を分析する際にはビデオ画像処理システム「Traffic Analyzer」[3)]を使用した。調査日時は表1に示すとおりである。

表1:調査日時

	ラウンドアバウト	改良前 信号交差点
対象日	2013/9/19	2012/5/9
対象時刻	17:00～18:00	

車両挙動から環境負荷量を算出する際には車両の加減速を中島ら[4)]による推定式を用いることで燃料消費量を推定し，CO_2換算係数[2)]を掛けあわせることで環境負荷量を求めた。

用いた推定式を(1)～(4)に示す。

加速　$FC_1=0.5119a+0.2858$　(1)
定常　$FC_2=0.00259V^2+0.0209+0.1808$　(2)
減速　$FC_3=0.2061a+0.2848$　(3)
アイドリング　$FC_4=0.258$　(4)

FC　：　平均燃料消費量　[cc/s]
a　：　加速度[m/s^2]
V　：　平均速度[m/s]

e)廃棄段階：ラウンドアバウト以前の交差点の撤去と周辺構造物の撤去、残土と取り壊し構造物の運搬時の環境負荷量を算出した。

3. 結果と考察

3.1 運用段階

ラウンドアバウトと改良前信号交差点における対象日時の車両台数及び環境負荷量推定結果を表2に示す。

表 2:対象日時の環境負荷量

	ラウンドアバウト	改良前信号交差点
車両台数(台)	835	816
対象日時の総燃料消費量(L)	4.84	6.32
環境負荷量(kg-CO_2)	11.24	14.67
平均環境負荷量(kg-CO_2/台)	0.014	0.018

本稿は国際交通安全学会[5]により、ある平日 1 日の昼間(7～19 時)の交通量データに道路交通センサスの交通量の昼夜比率を乗じることで夜間(19 時～7 時)の車両台数を算出し、それを合計して 1 日の交通量とした。その値に 15 年を乗じたものを運用段階の環境負荷量として算出した。 1 日の交通量の推計値を表 3 に示す。

表 3: 1 日の交通量

昼(7 時～19 時)	7,721 台
夜(19 時～7 時)	2,316 台
合計(24 時間)	10,037 台

図 1 はラウンドアバウト、改良前信号交差点の環境負荷量の算出結果である。信号交差点に比べラウンドアバウトでは車両が緩やかな加速をすることや車両の停止時間の減少により環境負荷量が少なくなることがわかった。

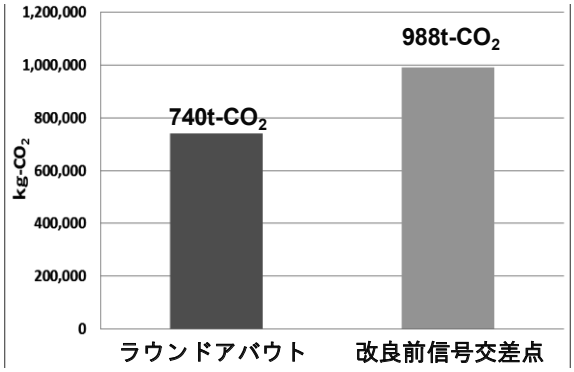


図 1:運用段階の環境負荷量

3.2 その他の段階

図 2 は調達段階、施工段階、維持管理段階、廃棄段階におけるラウンドアバウト化事業と信号改良化事業の環境負荷量の算出結果である。

両事業の環境負荷量を比較すると，いずれの工法，材料においても 15 年間の維持管理を行うとラウンドアバウト化事業が信号交差点の改良化事業に比べ約 3,000(kg-CO_2)環境負荷量が少なることがわかった.

初期建設(調達、施工、廃棄段階)においては施工面積からラウンドアバウト化事業の環境負荷量が交差点改良化事業に比べ多くなったが、維持管理段階においてLED 信号の稼働による消費電力が多く生じたため，長期的に維持管理を行えば交差点の改良事業の環境負荷量がラウンドアバウト化事業を上回る結果となった。

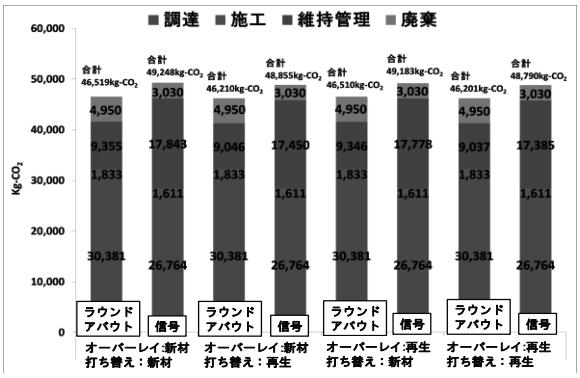


図 2: システム境界内における環境負荷量

4. おわりに

本研究では、ラウンドアバウトのライフサイクルにおける環境負荷量を算出した。今後は、運用段階において、ラウンドアバウトを走行する車両の走行速度プロファイルの平均値を分析することで自由交通流による速度プロファイルの推定を行い、他の設計条件に適用できるモデル化を検討していく。また信号改良化交差点に関しては車両挙動の分析方法を検討していく予定である。

5. 謝辞

本研究の遂行にあたり、飯田市建設部地域計画課より資料の提供を受けた。ここに記して謝意を表します。

6. 参考文献

1) 吉岡慶祐・米山喜之・宗平一徳・中村英樹・大口敬：実車走行実験に基づくラウンドアバウトと信号交差点の CO_2 排出量の比較分析，土木学会論文集 D3(土木計画学)，Vol.68，No.5. I_1253-I_1259(2012)

2) 環境省：算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧，環境省，(オンライン)，〈http://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/itiran.pdf〉

3) 鈴木一史･中村英樹 ： 交通流解析のためのビデオ画像処理システム TrafficAnalyzer 開発と性能検証, 土木学会論文集 D，Vol.62，No.3 pp.276-287, 2006

4) 中島ひろ子， 大原浩祉， 小栗康文， 鈴木隆, 吉田正武 ： 実走行における燃料消費量の推定，社団法人自動車技術会学術講演会前刷集
No.108-99pp13-16, 1999

5) 国際交通安全学会 ： 安全でエコなラウンドアバウトの実用展開に関する研究，国際交通安全学会報告書，2013

家庭給湯用の太陽熱利用システムのライフサイクルエクセルギー分析

Life cycle exergy analysis of solar thermal system for domestic hot-water supply

○門倉宏子*[1)]、本藤祐樹[1)]
Hiroko Kadokura, Hiroki Hondo
1) 横浜国立大学
* kadokura-hiroko-sd@ynu.jp

1. はじめに

再生可能エネルギーの熱利用技術は、建物での給湯や暖房など低温な熱需要へ低温熱を供給することで、エクセルギー損失を減らす効果が期待されている[1]。

本研究では、再生可能エネルギー熱利用技術の一つである家庭給湯用の太陽熱利用システムを対象として、エクセルギー損失の低減に寄与できるのか、その有効性についてライフサイクルの観点から定量的に明らかにすることを目的にしている。

2. 研究方法

本研究では、ガス給湯器による給湯と太陽熱利用システムによる給湯のエクセルギー損失を比較することで、太陽熱利用システムの有効性について検討する。

2.1 評価対象

太陽熱利用システムの構造は、太陽熱を集める集熱部とその熱を温水として蓄える貯湯部に分かれ、一般的に集熱部と貯湯部が一体型のものを太陽熱温水器、分離型のものをソーラーシステムと呼称する。

本研究では、太陽熱利用システムとしてこれら 2 種のシステムを評価対象とした。ヒアリング調査をもとに、4 人世帯の給湯熱需要の 40%を供給可能な太陽熱利用システムを平均的なものとし、表 1 に示す仕様のシステムを想定した。なお、太陽熱利用システムは集熱の不足分を補うための補助熱源が別途設置されており、本研究では給湯熱需要の残り 60%はガス給湯器により供給するとした。

ガス給湯器は、単体で使う場合も補助熱源として使う場合も、4 人世帯で一般的に使用される 24 号の外付けのガス給湯器を想定した。ガス給湯器で使用する燃料は都市ガス 13A とし、燃焼効率は 90%とした。

2.2 機能単位と評価範囲の設定

図 1 にガス給湯器による給湯、図 2-(a)に太陽熱温水器による給湯、(b)にソーラーシステムによる給湯、それぞれのシステム境界を示す。評価範囲は、資源採取、素材製造、加工組立、運用とした。

機能単位は、平均的な 4 人世帯の 15 年間分の給湯熱需要である 249[GJ]の熱供給とした。太陽熱利用システムとガス給湯器の耐用年数は、それぞれ 15 年、10 年とした。

表 1 太陽熱利用システム仕様

システム形式	太陽熱温水器	ソーラーシステム
集熱面積[m^2]	3.3	4
蓄熱容量[L]	200	160

図 1 ガス給湯器による給湯

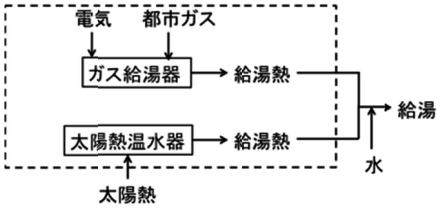


図 2-(a) 太陽熱温水器による給湯

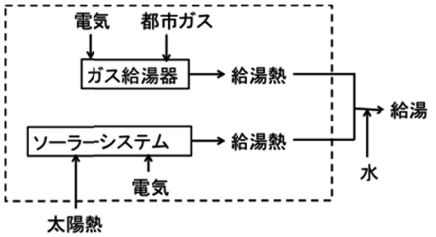


図 2-(b) ソーラーシステムによる給湯

3. エクセルギー分析

3.1 ライフサイクルエクセルギー損失の推計

エクセルギーは、エネルギーが可逆反応により標準環境と平衡に達するまでに生み出すことのできる最大仕事と定義される。エクセルギー損失は不可逆反応によって生じる損失分を指す。

各システムのライフサイクルを構成する単位プロセスのエクセルギー損失を、式(1)より推計した。

$$E_{loss} = E_{in} - E_{out} \quad \text{(1)}$$

ここで、E_{loss}はエクセルギー損失[MJ]、E_{in}は単位プロセスに投入した素材または燃料のエクセルギー[MJ]、E_{out}は生産した物のエクセルギー[MJ]を示す。

以上の各単位プロセスでのエクセルギー損失を累計したものを、ライフサイクルエクセルギー損失とした。

3.2 化学エクセルギーの計算方法

単位プロセスの投入側および産出側における素材や燃料などは、標準状態(常温常圧)に近い周囲環境状態で供給/生産されるものとみなし、本研究では化学エクセルギーを対象に計算を行った。

化学エクセルギーは式(2)によって計算される。

$$E_c = M \times C \quad \text{(2)}$$

ここで、E_cは化学エクセルギー[MJ]、Mは素材量[kg]、Cは標準化学エクセルギー[MJ/kg]を指す。標準化学エクセルギーに関しては既往文献[2][3]の数値を参考にした。ただし、既往文献に記載されていない有機化合物に関しては式(3)により化学エクセルギーを算出した。

$$Ex = M \cdot H_l\,(1.0064 + 0.1519\frac{\emptyset H}{\emptyset C} + 0.0161\frac{\emptyset O}{\emptyset C} + 0.0429\frac{\emptyset N}{\emptyset C}) \quad \text{(3)}$$

ここで、M：対象物質の乾燥質量[kg]、H_l：低位発熱量[MJ/kg]、ØC、ØH、ØO、ØN：対象物質の炭素、水素、酸素、窒素の重量分率を指す。

都市ガスや石炭等の燃料のエクセルギーは、Rant[4]の式より発熱量に係数を乗じることで求めた。電力が持つエクセルギーは、ライフサイクルを考慮して、発電時に投入される化石燃料が持つエクセルギーの合計とした。

なお本研究では、日射エクセルギーはエクルギー損失の計算に含んでいない。

3.3 計算に用いたデータ

エクセルギーの計算には、事業者へのヒアリング調査から得た、太陽熱利用システムの構成素材や組立加工に必要な燃料のデータを用いた。素材製造段階の単位プロセスに投入する原料や燃料に関しては、MiLCA を参照した。運用段階での都市ガス消費量や電気消費量は、(一社)ソーラーシステム振興協会が保有する EESLISM をベースにした、太陽熱利用システムの運用シミュレーションソフトを用いて算出した。

4. 結果と考察

図 3 にそれぞれの給湯システムのライフサイクルエクセルギー損失を示す。図 3 の下図は、上図の一部分を拡大したものである。

ガス給湯器に比べ、太陽熱温水器は 47%、ソーラーシステムは 41%、エクセルギー損失が少ない。段階別には、3 システムとも運用段階でのエクセルギー損失でほぼ占められており、素材製造と組立加工段階の影響は小さい。

運用段階では、投入側の都市ガスの持つエクセルギー量は大きいが、一方で産出側にある給湯の持つエクセルギー量は小さいため、その差で発生するエクセルギー損失が大きい。太陽熱利用システムの導入は、都市ガスの消費量を減らすことで投入側のエクセルギー量自体を低減し、投入側と産出側のエクセルギー差を小さくすることでエクセルギー損失の削減を可能としている。

素材製造段階では、家庭用のガス給湯器や太陽熱利用システムでは、エクセルギー損失の大きな素材量の割合が低く、エクセルギー損失が少ない。なお、部品加工の燃料データなどが完全に得られておらず、加工組立段階は過小評価されている可能性があることに留意すべきである。

以上より、素材製造や加工組立を含めても、運用段階でのエクセルギー損失抑制の影響が大きいため、太陽熱利用システムの導入はライフサイクルエクセルギー損失の低減に有効であると言える。

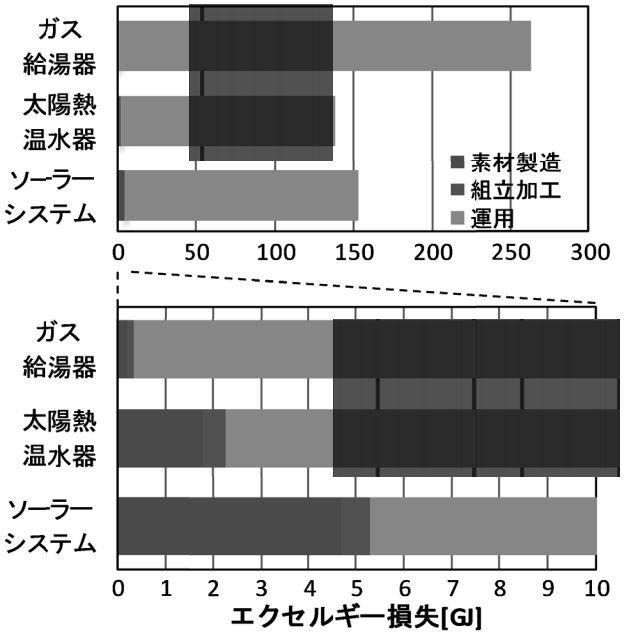


図 3 ライフサイクルエクセルギー損失

謝辞

ヒアリング調査およびデータ提供にご協力頂いた事業者の皆様、(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] (独)化学技術振興機構: “中低温熱利用の高度化に関する技術調査報告書”, (2013)

[2] Szargut, J et al. “Exergy Analysis of Thermal, Chemical, & Metallurgical Processes”, Hemisphere Publishing Corporation, New York, (1988).

[3] David R. Lide ed. Handbook of Chemistry and Physics , 74th ed. CRC Press, BocaRaton Fla.

[4] Z. Rant, "Exergie, ein neues Wort Für technishe Arbeitsfähigkeit", Forsch Ing Wes, Vol.22, pp.36-37 (1956).

世界の気象条件を考慮した各種太陽光パネルの発電パフォーマンス評価

Output performance analysis of several solar panels considering meteorological conditions over the world

○鈴木宏一*[1)]、福原大祐[1)]、吉川直樹[1)]、天野耕二[1)]
Koichi Suzuki, Daisuke Fukuhara, Naoki Yoshikawa, Koji Amano
1)　立命館大学
* rv0019ss@ed.ritsumei.ac.jp

1.　はじめに

近年、世界規模での太陽光発電の導入に伴い、シリコン系太陽光パネルが急速に普及しているが、今後、化合物系太陽光パネル池の普及も見込まれている。太陽光パネルごとに、気象条件やパネル特性の違いから発電量が異なるため、パネルごとの地域特性によるパフォーマンスの違いを明らかにする必要がある。本研究では、世界約 2,000 地点の気象データをもとに GIS（地理情報システム）上で、パネルごとの発電量を推計する。加えて、EPT（エネルギーペイバックタイム）を推計し、各パネルの優位性について考察を行う。

2.　方法

2.1 発電量の推計

本研究で対象とする太陽光パネルとして、単結晶シリコン、多結晶シリコン、薄膜シリコン、および CIS 系太陽光パネルを選定した（以下、太陽光パネルを省略）。システム規模は住宅用 4kW を想定する。対象地域として、世界中（南極大陸を除く）への各太陽光パネルの設置を考え、緯度や気候帯の違いによるパネル間のパフォーマンス比較を行う。

世界約 2,000 地点の気温、水平日射量、風速（以下、気象データとする）を計算ソフト SAM[1)] から取得し、これら気象データを緯度・経度から GIS 上に点データとしてプロットした。取得した地点データを図 1 に示す。次に、点データを面データに内挿した結果の例を図 2 に示す。

図1　GIS 上の点データ

図2　GIS 上の面データ

得られた気象データと、2009 年 NEDO 報告書[2)] に記載された太陽光パネルのパラメータから、下記に示した JIS C 8907[3)] 発電量推定式(1)を用いて発電量を推計する。

$$E_{pm} = K \times P_{AS} \times H_{AM} \div G_S \qquad \cdots(1)$$

ここで、Epm：月間システム発電電力量(kWh/Month)、K：月別総合設計係数、P_{AS}：標準太陽電池アレイ出力（kW）H_{AM}：月積算傾斜面日射量(kWh/m²)、Gs：標準試験条件における日射強度（kW/m²）である。

2.2 各太陽光パネルの EPT 算出

2009 年 NEDO 報告書[2)] に記載された各太陽光パネルのパラメータに基づいて、ライフサイクルエネルギーを下記(2)式から算出する。

ライフサイクルエネルギー消費量(MJ) = EPT(年)
　　×年間発電エネルギー量(MJ/年)　　…(2)

得られたライフサイクルエネルギーおよび 2.1 で推計された世界各地の発電量から EPT の算出を行う。

3.　結果

GIS 上で計算された、各太陽光パネルの EPT 統計値を表 1 に示す。各 EPT を同一の範囲内で色分けした EPT マップを図 3 に示す。GIS 上でマッピングした気候区分を表 2、図 4 に示す。加えて、緯度 30 度刻みの月別平均発電量と気候区分ごとの月別平均発電量を示した図を図 5、図 6 にそれぞれ示す。なお、各太陽光パネルの月別平均発電量の推移は類似していたため、代表として単結晶シリコンのグラフを示した。

表 1　各太陽光パネルにおける EPT 統計値

太陽光パネル種類	最大値（年）	最小値（年）	平均値（年）
単結晶シリコン	38.98	1.69	2.61
多結晶シリコン	28.16	1.24	1.91
薄膜シリコン	23.34	0.96	1.51
CIS系	18.51	0.78	1.22

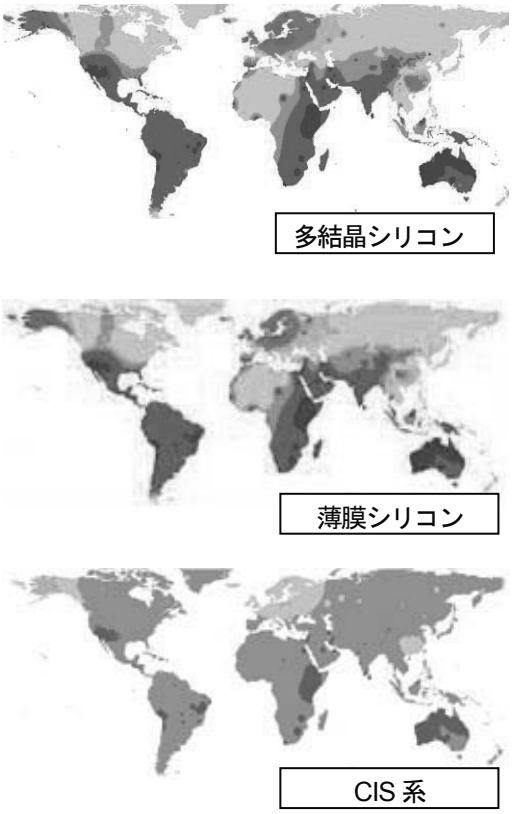


図３　各太陽光パネルの EPT マップ

表２　気候区分分類

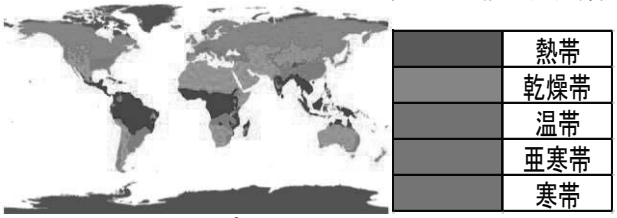


図４　気候区分マップ

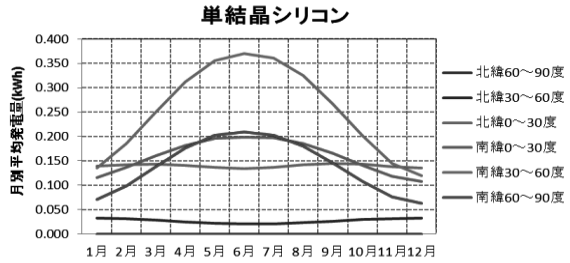


図５　緯度ごとの月別平均発電量

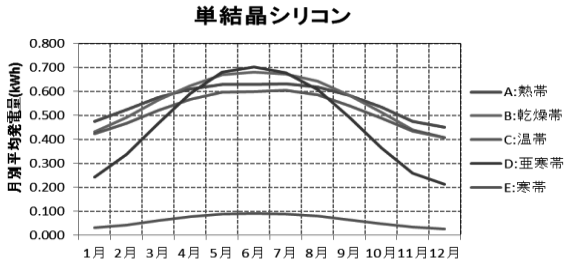


図６　気候帯ごとの月別平均発電量

4.　考察

図 3 より南半球において類似した EPT の分布傾向がみられる。一方、北半球ではヨーロッパ地域、アジア地域、アフリカ北部、北アメリカ、において分布傾向にばらつきがみられ、気候帯の違いによりパネルの温度上昇に影響が出たと考えられる。単結晶、多結晶、薄膜シリコンでは北半球の低・中緯度地域で EPT が小さく、高緯度地域で EPT が大きくなる傾向がみられた。一方、CIS 系は緯度の違いによる EPT の顕著な差はみられなかった。表 1 から、EPT の最大、最小、平均いずれの値においても CIS 系が最も小さい値を示している。薄膜シリコンは CIS 系と比較して最大出力温度係数が小さいが、EPT は CIS 系のほうが小さいことから、EPT の値は製造時のライフサイクルエネルギーに依存していると考えられる。図 4 と EPT マップの比較から、熱帯・亜熱帯気候において EPT が小さいことがわかるが、ヨーロッパ地域と北アメリカにおける EPT の差と、気候帯の違いによる顕著な相関は見られなかった。図 5 から北半球と比較して南半球では発電量が大きいことがわかる。特に、南緯 30～60 度では夏季の発電量が顕著に大きく、他の緯度の同時期発電量のおよそ 1.5 倍～2.0 倍以上の値を示した。図 6 から、どの気候帯においても夏季の発電量が大きく、冬季の発電量が小さいことがわかる。亜寒帯では夏季に最も大きい発電量を示している。これは、最大温度出力係数の影響により、パネル温度が低い条件下では発電効率の低下が小さくなるためであると考えられる。熱帯と乾燥帯では 4 月、9 月の中間期に発電量の大きさが逆転していることがわかる。

5.　今後の展望

気候帯による発電量の変化が、パネルのどのパラメータの変化により生じるものか明らかにしていく。発電量ではパネル間の顕著な差を確認することが困難であったため、面積一定条件下などの条件の変化や、コストの観点からの比較も随時行っていく。

参考文献

1)　NREL(National Renewable Energy Laboratory) : System Advisor Model(SAM) <https://sam.nrel.gov/content/downloads>, （参照 2014-10-02）

2)　独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 研究委員会: “「太陽光発電システム共通基盤技術研究開発」事後評価報告書”, (2010)

3)　“JIS C 8907 太陽光発電システムの発電電力量推定方法”, 日本工業標準調査会,（オンライン）, 入手先 <http://kikakurui.com/c8/C8907-2005-01.html>, （参照 2014-10-02）

コージェネレーションシステムを中心とした
エネルギー連携システムのエネルギー・環境評価

Energy and environmental assessment of energy interchanging system with a focus on Co-Generation

○小松泰成*[1)]、栗島英明[1)]、平石拓也[1)]、村上公哉[1)]
Yasushige Komatsu ,Hideaki Kurishima ,Takuya Hiraishi ,Kimiya Murakami
1)芝浦工業大学
* ae11029@shibaura-it.ac.jp

1. はじめに

近年、地球温暖化やエネルギー資源枯渇といった地球環境問題が注目されている。また、東日本大震災以降、エネルギーの安定的な供給が課題となっている。

分散型電源の一つであるコージェネレーションシステム（以下、CGS）は発電時の排熱を利用することで、高い総合エネルギー利用効率を可能とする。また、エネルギー源が二重化されることで、非常時にも電力や熱の安定供給が可能である。

CGS が高い総合効率となるためには、排熱をできるだけ無駄なく使うシステムを設計する必要がある。既往文献では、建物個別での CGS 導入はメリットが小さいこと[1)]や、排熱の価値を考慮した評価が必要であること[2)]が指摘されている。

そこで本研究では、異なる用途の建物間のエネルギー連系と熱のカスケード利用を行うコージェネレーションを中心としたシステムを設計し、そのエネルギー・環境評価を行う。

2. 研究方法

研究は以下の手順で進める。

1) 既往文献をレビューし、CGS の特性を明確化して、その課題を抽出する。
2) 建物用途別のエネルギー需要の特性を把握し、CGS を導入する対象を検討する。
3) (1)(2)を踏まえてコージェネレーションを中心としたエネルギー連系システムを設計する。
4) (3)で設計したシステムについて、システムのエネルギー消費量と総合エネルギー効率（利用エネルギー量／投入一次エネルギー量）、CO_2 排出量を推計し、従来のシステムと比較評価を行う。

3. コージェネレーションシステムの特性の明確化

表 1 にガスを燃料とする CGS の主な仕様を示す。

CGS の排熱は、給湯利用のほか、ジェネリンクを介した空調利用が行われている。しかしながら、建物個別での導入では、熱需要が少なく十分に排熱利用ができなかったり[1)]、給湯利用は熱の価値を十分に活用できていないため、CGS を単純に高効率システムと見なすことは不適当であると指摘されている[2)]。

以上より、CGS を高効率システムとするには、異なる用途の建物間を連系した熱需要の平準化や、給湯・空調以外の排熱利用先の検討、熱のカスケード利用を考えたシステムの設計が必要である。

表 1　CGS の主な仕様の比較

種類	ガスエンジン	ガスタービン	燃料電池
特徴	*発電効率が高い *高出力・高効率化	*軽量コンパクト *連続運転に向く *排熱の全量蒸気回収可能	*水の電気分解の逆を利用 *化学反応で、変換ロスが少ない
容量	5kW～10000kW	30kW～100,000kW	0.7kW～100kW
発電効率	29%～49%	24%～41%	37%～47%
排熱温度	*温水85℃前後 *蒸気100℃以上	*蒸気100℃以上	*温水70℃前後

4. 建物用途によるエネルギー需要の特性の把握

建物用途によるエネルギー需要の特性を把握し、CGS の導入先を検討するため、既往研究[3)4)]や熱負荷作成プログラム estel21[5)]の建物用途別データ、店舗等での現地調査等をもとにエネルギー需要の分析を行った。

図 1 に夏季における食品スーパーマーケット（以下、食品スーパー）の例を示す。食品スーパーのエネルギー消費のほとんどは系統電力であり、最も電力消費が大きいのが、ショーケース動力である。

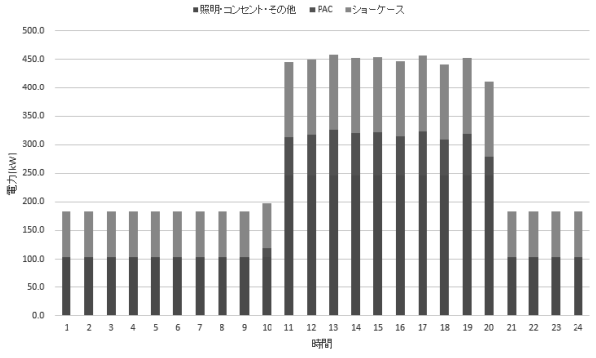


図 1 夏季における食品スーパーの電力負荷曲線
（延べ床面積 1805 ㎡）

この他、ホテルや病院等のエネルギー需要についても同様の検討を行った。

5. エネルギー連系システムの設計

以上を踏まえ、本研究では、食品スーパー（1805m^2）を中心としたエネルギー連系システム（以下、CGS 連系システム）を考える。ここでは新たな排熱利用先として、ショーケースを検討した。柳澤 [6]は、食品スーパーのショーケースに CGS 排熱を利用することで、高い省エネルギーとなることを指摘しているが、ショーケースの温度帯を十分に踏まえておらず、検討が不十分である。食品スーパーとの連系先はホテル（3000m^2）とした。図 2 に CGS 連系システムのシステム概略図を示す。

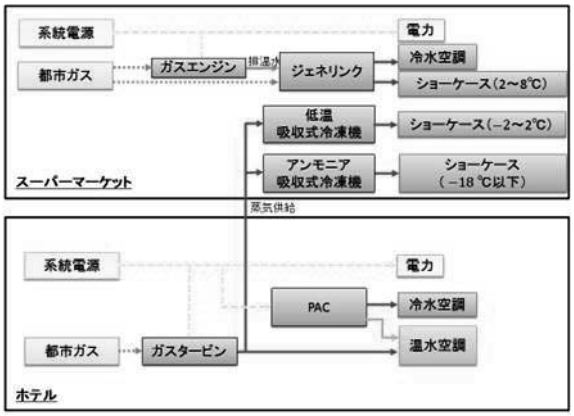


図 2 エネルギー連系システムのシステム概略図

食品スーパーにはガスエンジン（35kW×3 台）を設置し、その電力は食品スーパーで利用し、排温水はジェネリンクを介して空調と 2～8℃のショーケースで利用した。また、ホテルにはマイクロガスタービン（50kW×1 台）を設置し、その電力はホテルで利用し、発生する蒸気はホテルの空調として利用するほか、低温型吸収式冷凍機を介して、食品スーパーの 2～－2℃、－18℃以下のショーケースで利用した。

6. 対象システムのエネルギー・環境評価

表 2 に年間のエネルギー消費量、CO_2 排出量、総合エネルギー効率の推計結果を示す。

原子力発電が停止している 2013 年度の東京電力の排出源単位を用いたケースでは、CO_2 排出量は CGS 連系システムのほうが少なかったが、震災前の 2010 年度の原単位を用いたケースでは逆転し、従来システムのほうが少なくなった。また、総合エネルギー効率は、排熱を利用する CGS 連系システムが従来システムを上回る結果となった。

今後は、原子力発電が稼働している場合においても環境面で優れた結果を得られるようなシステムの再検討が必要である。また、運転資格を必要とするアンモニア吸収式冷凍機を用いる－18℃以下のショーケースについては、排熱利用量が多くないため、今後の検討が必要である。

表 2　推計結果

システム		従来	CGS 連系
エネルギー消費量	ガス[Nm^3]	0	2.90×10^5
	系統電力 [MWh]	1.92×10^3	4.21×10^2
CO2 排出量 [t-CO2]	2013 年	998.62	854.26
	2010 年	716.86	792.44
総合エネルギー効率 [%]		44.1	51.0

7. おわりに

本研究では、CGS 排熱を食品スーパーのショーケースに使用するエネルギー連系システムを設計し、エネルギー消費量、CO_2 排出量、総合エネルギー効率を評価した。その結果、総合エネルギー効率では CGS 連系システムが上回ったが、CO_2 排出量は系統電力の排出原単位により結果が異なった。

8. 引用文献

1) 山口容平・下田吉之・水野稔 : コージェネレーションにおける建物間連系の評価－排熱利用に上限がある冷凍機を利用した場合－. 空気調和・衛生工学会論文集, 97,(2005), pp39-50
2) 福田桂・井上貴至・山本博巳・藤井康正・山地憲治 : エクセルギー概念に基づくコージェネレーションシステムの総合効率評価. 日本エネルギー学会誌, 87,(2008), pp285-290,
3) 日本サステナブル建築協会 : “DECC データに基づく業務用建築の夏季節電方策に関わる緊急提言”,<http://www.jsbc.or.jp/decc/saveelec/index.html>,(参 照 2015-01-06)
4) 鷲頭紀幸 : 商業部門における電力消費実態調査からの一考察－スーパー・コンビニの省電力・負荷平準化の可能性について. エネルギー経済, 25(8), (1999),pp2-21
5) 株式会社 E.I.エンジニアリング
6) 柳澤聡子 : 地域分散型トータルエネルギー供給システムに関する基礎的研究. 早稲田大学大学院理工学研究科博士論文, 2002

再生可能エネルギー産業連関表を用いた バイオガス発電技術のライフサイクル GHG 分析

Analysis of Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Biogas Power Generation Technologies using a Renewable Energy Input-output Table

○兵法彩*[1)]、本藤祐樹[1)]、森泉由恵[1)]、中野諭[2)]
Aya HEIHO, Hiroki HONDO, Yue MORIIZUMI, Satoshi NAKANO
1) 横浜国立大学, 2) 労働政策研究・研修機構
* heiho-aya-gm@ynu.jp

1. はじめに

著者らは、再生可能エネルギー技術の導入に伴うライフサイクル環境･社会経済影響の的確な分析に向け、再生可能エネルギー部門拡張産業連関表（以下、再エネ I/O 表）を作成している[1)]。再エネ I/O 表は、様々な再生可能エネルギーを用いた発電・熱技術を対象としている。この表を用いることで、対象技術の導入によって誘発される温室効果ガス（Greenhouse gas 以下、GHG）排出量や雇用量の推計において、技術の特性を反映した容易な分析が可能となる。

本稿では、家畜排せつ物を原料とするメタン発酵ガス化発電技術を取り上げ、再エネ I/O 表の作成について説明するとともに、その導入に伴うライフサイクル GHG 分析結果について報告する。

2. 対象技術

本研究では、家畜排せつ物を原料とするメタン発酵ガス化発電技術（図 1）を対象とする。この発電技術は、収集した家畜排せつ物をメタン発酵処理することで得られるバイオガスを燃料とする。メタン発酵処理で副産物として生じる消化液は、有機肥料として近隣の農家に販売される。

施設建設と運用を評価範囲とし、ライフサイクルにわたり誘発される GHG 排出量を推計する。なお、施設耐用年数は 20 年と想定する。

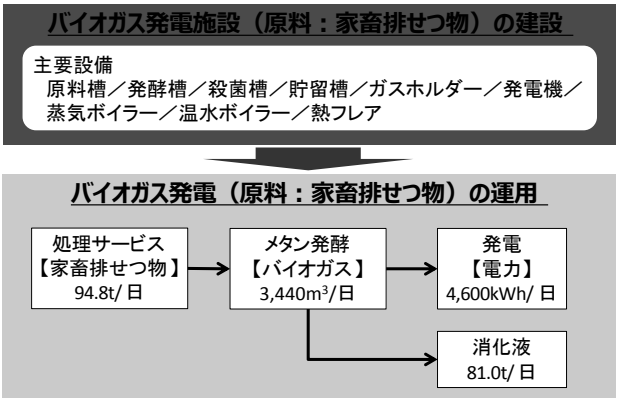


図 1 バイオガス発電（原料：家畜排せつ物）の概要

3. 再エネ I/O 表を用いたライフサイクル GHG 分析

バイオガス発電技術導入に伴うライフサイクル GHG 排出量（E[t-CO_2eq.]）は、式 1 に最終需要ベクトル$\boldsymbol{f}$[百万円]として総費用を与えることで推計する。

$$E = \boldsymbol{e}^{\mathrm{T}}(\boldsymbol{I} - \boldsymbol{A})^{-1}\boldsymbol{f} \qquad (1)$$

ここで$\boldsymbol{e}$：直接 GHG 排出係数ベクトル[t-CO_2eq./百万円]、T：転置、$\boldsymbol{I}$：単位行列[-]、$\boldsymbol{A}$：再エネ I/O 表の投入係数行列[-]、$\boldsymbol{f}$：最終需要ベクトル[百万円]である。

3.1 再エネ I/O 表の作成

再エネ I/O 表は、対象技術の建設と運用に相当する新設部門の投入係数ベクトルを作成し、既存の産業連関表[2)]に組み込むことで作成される。新設部門の投入係数ベクトルは、技術の特徴を反映させた投入額ベクトルより作成する。

投入額ベクトルは、対象技術を有する事業者から入手した金額（実績値）データから作成する。事業者から入手したデータを用いて、技術特性をより的確に表現するために、費用項目の細分化を行っている。建設費に関しては、例えば、基礎工事費が一括計上されている場合、工事積算基準や建設部門分析用産業連関表の比率などを参考に、労務費、燃料費、投入資材、機械損料等に細分化している。また運用に関しては、例えば修繕費のように経過年数の影響を受けることを考慮し、20 年間の損益計算書を作成し、20 年平均値を各費用項目の費用として用いている。

このように作成した建設､運用に関する費用項目を、既存の I/O 表の部門に格付けし、投入額ベクトルが作成される。投入額の合計値で投入額ベクトルを除すことで、投入係数が作成される。

3.2 直接 GHG 排出係数の作成

新設部門の直接 GHG 排出係数を作成するために、直接 GHG 排出量を推計する。まず、投入額ベクトルの燃料消費額から燃料消費量を推計し、環境省が公開

している排出係数を用い CO_2 排出量を推計した。また対象技術では、消化液の貯留に伴い CH_4 と N_2O が排出されるため、消化液中の有機物量および窒素量から、CH_4 と N_2O 排出量を推計し地球温暖化係数を用いて CO_2 換算する。なお、既存部門の直接 GHG 排出係数は、国立環境研究所が公表している 3EID[3]を使用する。

4. 結果

図 2 にバイオガス発電技術の導入に伴うライフサイクル GHG 排出量の構成を示す。ライフサイクルでみると、建設時の影響が 27%に対し、運用時は 73%となった。図 3 と図 4 に建設と運用の GHG 排出量割合の内訳をそれぞれ示す。

建設に伴う GHG 排出量は、燃料消費に伴う直接 GHG 排出量が 1%未満であり、資材・設備機器の製造など間接的な GHG 排出量がほとんどを占める。図 3 より、生コンクリート、熱間圧延鋼材、建設用金属製品といった、施設建設に必要な資材の製造に伴う GHG 排出量の影響が比較的大きいということがわかる。また、化学機械、回転電気器、ポンプ／圧縮機などの GHG 排出量割合が資材類に次いで大きい。これらは、家畜排せつ物の処理、バイオガス発電、消化液貯留において必要な、原料槽、発酵槽、殺菌槽、貯留槽といった設備機器の製造に伴う GHG 排出量である。

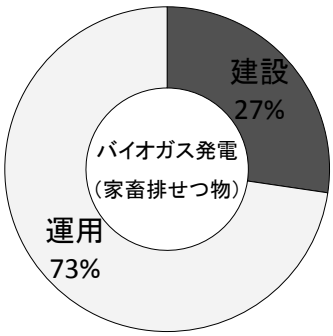


図 2 バイオガス発電技術の導入に伴うライフサイクル GHG 排出量の構成

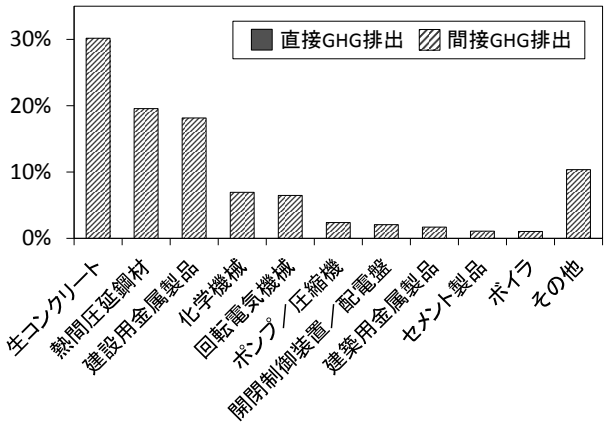


図 3 バイオガス発電施設の建設に伴う GHG 排出量割合の内訳（建設の GHG 排出量を 100%とする。）

運用に伴う GHG 排出量は、直接 GHG 排出量の影響が大きく約 70%であった。特に、消化液貯留に伴う GHG 排出量が 50%を占めている。これは、消化液が生成してから農家へ販売（散布）されるまでの貯留期間に、排出される CH_4 と N_2O の影響である。対象施設のように、メタン発酵で生じる消化液を水処理せず有機肥料として活用する場合には、その貯留に伴う CH_4 や N_2O を考慮して、例えば貯留槽に蓋をするなどの対策を、技術導入と同時に考えていくことが重要となる。

5. おわりに

家畜排せつ物を原料としたバイオガス発電技術を対象に再エネ I/O 表を作成し、ライフサイクル GHG 分析を行った。今後、異なるバイオマス原料を利用した複数の発電技術について同様の分析を行う予定である。

謝辞

ヒアリング調査・資料提供にご協力いただいている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）の支援により実施された。

引用文献

1) 環境省環境研究総合推進費(課題番号 2-1302) : “再生可能エネルギー技術の価値評価と導入戦略のための基盤構築”, 研究プロジェクト HP, <http://www.hondo.ynu.ac.jp/REPJ/toppage.html>, （参照　2014-12-28）
2) 総務省編, 平成 17 年(2005 年)産業連関表, (財)経済産業調査会, 東京, (2009), 495p
3) 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 HP, <http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/jpn/index_j.htm >, （参照 2014-12-28）

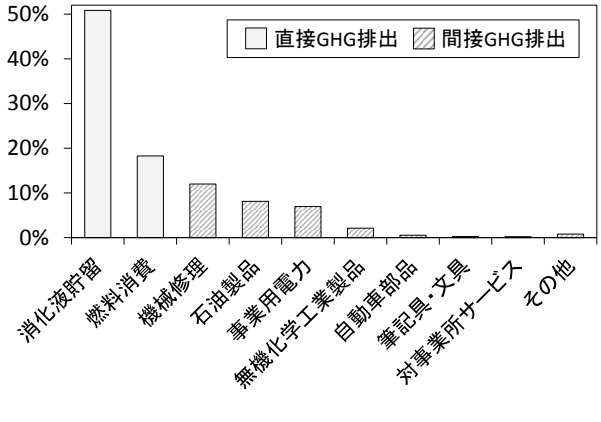


図 4 バイオガス発電の運用に伴う GHG 排出量割合の内訳（運用の GHG 排出量を 100%とする。）

日本企業の低炭素型サプライチェーン経営

Low-carbon supply chain management of Japanese companies

○國部克彦*[1)]，梶原武久[1)]，西谷公孝[1)]
Katsuhiko Kokubu, Kimitaka Nishitani, Takehisa Kajiwara
1) 神戸大学
* kokubu@kobe-u.ac.jp

1. はじめに

低炭素型社会を実現するためには，一企業だけの努力では達成困難であり，サプライチェーン単位での活動が重要である。低炭素型経営を目指す活動は，GHG プロトコル・スコープ 3 や CFP（カーボンフットプリント）に典型的に見られるように，一企業単位の活動から，サプライチェーン単位の活動に重点を移行している。

しかしながら，スコープ 3 にしても CFP にしても，サプライチェーンで CO_2 を測定・評価するだけでは，実際に低炭素型社会を実現することは難しい。サプライチェーンを構成する企業が実際に低炭素化に取り組まなければならない。しかし，サプライチェーンに連なる来なる組織同士が，低炭素化に向けてどのような協力体制を組むことができるのかについては，まだ十分究明されていない。

そこで本研究では，東証一部上場の日本企業を対象に，サプライチェーンにおける低炭素化活動の実態について考究する。

2. 調査概要

れわれは，2011 年 11 月に東証一部上場の製造企業 821 社の購買部門に対して，郵送による調査を行い，197 社(23.9%)から回答を得た。以下では，この調査結果をもとに，主要な発見事項を説明する。

3. 低炭素型サプライチェーン経営の実態

3.1 購買部門の目標

購買部門の部門目標について調査したが，その結果は下記の通りで，環境目標は，コスト，納期，品質などの目標に比べてウェートは低く，低炭素化原材料の購入は，一般的な環境性能の要求よりも低いことが明らかとなった。なお，質問はすべて 5 点リッカートスケールで質問しており，数字はその平均で，括弧内は標準偏差である。

①原材料・部品の調達コストの低減	4.89(0.33)
②原材料部品の安定供給	4.73(0.47)
③納期通りの原材料・部品の調達	4.60(0.68)
④高品質の原材料部品の調達	4.46(0.74)
⑤環境性能の高い原材料・部品の調達	3.71(0.99)
⑥原材料・部品の低炭素化	3.20(0.92)
⑦サプライヤーの CO_2 排出量の削減	3.01(0.92)

3.2 サプライチェーンでの環境目標

サプライチェーンでの環境目標について，一般的な環境目標と低炭素化を目指す目標について尋ねたところ，低炭素化を目指す目標は相対的に低い位置づけであり，情報共有に関してはまだ十分に進んでいないことが示された。

①サプライヤー選択異において ISO14001 などの環境マネジメントシステム認証を重視している	3.55(1.10)
②調達方針において環境重視を非常に明確に示している	3.54(1.19)
③サプライチェーンにおける CO_2 削減量に関する目標は極めて明確である	2.57(1.02)
④CO_2 削減への取り組み度合いを重視しながらサプライヤー選択を行っている	2.35(0.94)
⑤主要なサプライヤーとは CO_2 削減に関する詳細な情報を共有している	1.96(0.85)

3.3 サプライチェーンでの低炭素化活動の阻害要因と望ましい政策

サプライチェーンでの低炭素化活動を促進するうえでの阻害要因について質問したところ，7 つの要因の中でコストに関する要因と情報共有の困難さに関する要因が上位にきた。このことから，コスト対効果と情報共有に問題があることが分かる。

①原材料や部品の CO_2 削減を価格に反映させることが難しい	3.95(1.15)
②自社にとってのコストが高くなる	3.84(0.94)
③複数サプライヤー間の原材料・部品の CO_2 排出量が把握できない	3.62(1.15)

低炭素型サプライチェーン経営を実行するためにコストが重要な課題であり，それを自社だけで解決でき

ないとしたら，行政の支援が必要になるだろう。その主な施策については，以下の回答結果から，補助金や技術開発のための支援が期待されていることが分かる。

①低炭素型サプライチェーンで製造された商品への補助金　3.93(1.12)

②低炭素型サプライチェーンの企業に対する低炭素化技術支援のための財政支援　3.82(1.13)

③低炭素型サプライチェーンの構築に対するコンサルティング費用などの行政による支援　3.46(1.17)

④第三者機関による低炭素型サプライチェーンの認証とそれに基づく最終消費者への啓発　3.28(1.14)

筆者らは数社のサプライヤーへインタビュー調査を行ったが，そこでも行政からの低炭素化のための技術支援への要望は高かった。これは，低炭素化のための投資の回収という意味で重要である。

4. 低炭素型サプライチェーンの規定要因

低炭素型サプライチェーン経営は，質問票調査実施時点で十分に普及していなかったが，低炭素型サプライチェーンを目指す経営手法はいくつかあることが理解できた。それは次の 4 つのタイプである。

①低炭素化の公式的要望
②低炭素化のためのモニタリング
③低炭素化のための間接支援
④低炭素化のための直接支援

「低炭素化の公式的要望」とはバイヤーの購買部門によるサプライヤーへの低炭素化要求が十分行われていることを指す。「低炭素化のためのモニタリング」とは，サプライヤーの CO2 排出状況を何らかの方法でモニタリングしていることを指す。また，「間接連携」とは低炭素化のためにバイヤーとサプライヤーが情報共有や教育のような支援活動を行うことを指し，「直接連携」とはバイヤーとサプライヤーが低炭素型製品を開発するなど，実際の事業面で連携することを指す。

本研究では，これら 4 つの低炭素型サプライチェーンを目指す活動を，規定する要因について分析した。説明変数は以下の 4 つである（なお，括弧内は仮説の符号である）。

①CO_2 測定・評価困難性（－）
②関係特殊的投資（＋）
③サプライヤー集中度（？）
④環境重視部門目標（＋）

さらに，コントロール変数として，規模および環境規制への厳格度を採用して，上記の 4 つの活動に対して回帰分析を実施した。その結果が，表 1 である。

表 1　低炭素型サプライチェーン経営の規定要因

		(1) 公式的要望		(2) モニタリング		(3) 間接支援		(4) 直接連携	
	仮説	係数	標準誤差	係数	標準誤差	係数	標準誤差	係数	標準誤差
CO_2測定・評価困難性	－	0.181	0.188	−0.136	0.063 **	−0.127	0.059 **	−0.145	0.061 **
関係特殊的投資	＋	0.047	0.181	0.151	0.061 **	0.011	0.057	0.074	0.059
サプライヤー集中度	？	−0.134	0.052 **	0.002	0.020	−0.010	0.016	−0.015	0.017
環境重視部門目標	＋	1.177	0.199 ***	0.478	0.067 ***	0.280	0.063 ***	0.415	0.065 ***
規模	＋	0.263	0.111 **	0.020	0.037	0.096	0.035 ***	0.065	0.036 *
規制厳格度	＋	−0.199	0.208	0.061	0.070	−0.082	0.065	−0.093	0.069
定数項		−2.683	1.883	0.307	0.634	0.377	0.593	0.661	0.617
F値		9.410***		15.008***		7.316***		11.817***	
調整済R^2		0.232		0.335		0.185		0.280	
観測数		168		168		168		168	

推定結果を表 1 に示す。モデル(1)では公式的要望，モデル(2)ではモニタリング，モデル(3)では間接支援，モデル(4)では，直接連携を被説明変数としている。

モデル(1)によると，サプライヤー集中度が有意に負，環境重視部門目標が有意に正の関係を持っている。サプライヤー集中度については関係の方向性について言及しなかったものの，両者とも仮説どおりである。他方，CO_2 の測定・評価困難性と関係特殊的投資については，統計的に有意な関係性が認められなかった。

モデル(2)によると，CO_2 測定・評価困難性が有意に負，関係的特殊的投資と環境重視部門目標が有意に正である。いずれの結果も，仮説を支持している。サプライヤー集中度については，統計的に有意な関係はみられなかった。

モデル(3)によると，CO_2 測定・評価困難性が有意に負，環境重視部門目標が有意に正であり，仮説を支持している。一方，関係特殊的投資，サプライヤー集中度については，統計的に有意な関係性が検出されなかった。

モデル(4)によると，CO_2 測定・評価困難性が有意に負，環境重視部門目標が有意に正である。いずれの結果も，仮説を支持している。一方，関係特殊的投資，サプライヤー集中度については，統計的に有意な関係性が見いだされなかった。

以上の分析を通じて，バイヤーとサプライヤー間の取引関係の特質やバイヤー企業の購買部門の部門目標が，低炭素型サプライチェーン経営の実践の形成に対して一定の影響を及ぼすことが明らかになった。まず，CO_2 排出量の測定・評価の困難性が高いほど，モニタリング，間接支援，直接連携の程度が低い。これらの分析結果は，エイジェンシー理論の予測と整合的である。すなわち，サプライヤーの低炭素化の努力を評価するための業績指標となる CO_2 排出量の測定が難しいほど，サプライヤーの行動をコントロールすることできず低炭素型サプライチェーン経営の実践が抑制されるものと考えられる。

詳細版アジア産業連関表による GHG インベントリデータベースの開発

Development of GHG Inventory Database using Detailed Asian International Input-Output Table

○山口博司*[1)]、伊坪徳宏[1)]
Hiroshi YAMAGUCHI, Norihiro ITSUBO
1)東京都市大学　*hirosy@tcu.ac.jp

1. はじめに

アジアのサプライチェーンの低 GHG をはかるため、アジア諸国の環境影響の LCA による可視化を目的に、産業連関法による GHG のデータベース（DB）の開発を以下の３手法により行った。①各国産業連関表と各国の統計表による方法　②国際産業連関表と国際統計表による方法、③アジア国際産業連関表と各国産業連関表を組合わせた詳細版アジア国際産業連関表による方法。③では同一手法で多数の国、多種の環境負荷のデータベースが開発でき、GHG 原単位の間接分分析により国間の製品・部品・素材・エネルギーにわたる相互依存関係の詳細な分析が可能であることを示す。

2. 研究対象・方法・結果

2.1　研究対象

GHG データベースの対象国は中国、韓国、台湾、フィリピン、マレーシア、シンガポール、インドネシア、さらに日本、米国を加えたアジア国際産業連関表（AIIO）の対象 10 か国とする。また対象となる環境負荷物質は GHG（CO_2、CH_4、N_2O、HFCs、PFCs、SF_6）とする。

2.2　研究方法および結果

産業連関法による原単位の作成は積み上げ法に比べ精度は劣るが、すべての波及効果を含む原単位が短時間で得られる点で優れているためこれを採用する。図１に示す２手法でアジア各国の原単位を作成し比較した。

①　各国産業連関表と各国の統計表による方法

日本について 2005 年の産業連関表[2)]、作物統計、畜産統計、工業統計から水のデータベースを作成した。また中国についてCO_2のデータベースを中国の 2007 年産業連関表と 2009 年エネルギー統計表から作成した[7)]。

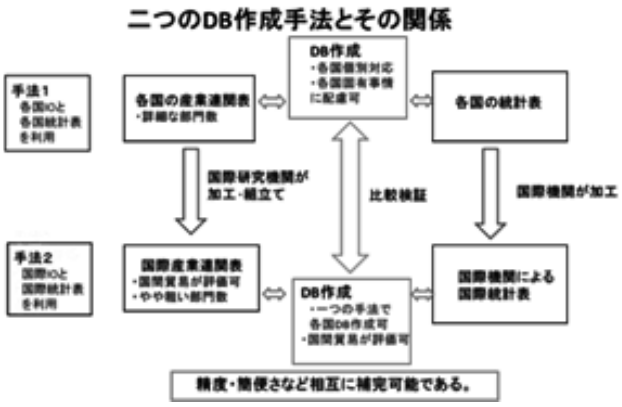


図１　手法①と手法②

これより日本の場合はデータが整備されており直接のヒアリングが可能なことから詳細なデータベースが作成可能であるが、他国の場合には。言語、各国の独自の事情、統計の不足・不整合、ヒアリングが容易でないことなどの問題があるため、10 か国の多種の排出物質の DB を短期間に作成するのは困難であることがわかった。

②　国際産業連関表と国際統計表による方法

国際産業連関表と国際統計表から DB を作成する。具体的には JETRO のアジア国際産業連関表と EC の EDGAR 統計、OECD/IEA のエネルギー統計を用い GHG ７ガス（エネルギー由来 CO_2、非エネルギー由来 CO_2、CH_4、N_2O、HFCs、PFCs、SF_6 を抽出し作成した（図３）[7)]。この方法は 10 か国の原単位が一度にできること、国間の貿易を含む誘発排出も見ることができ優れている。一方で各国の異なる産業連関表を調整するため 76 部門とやや粗い分類数であるため、詳細な分析には適しない。

③アジア国際産業連関表と各国産業連関表を組合わせた詳細版アジア国際産業連関表による方法

詳細な分析を可能にするため、図２に示すような各国の産業連関表をそのまま用いる約 2500 部門の詳細版のアジア国際産業連関表を作成する。

図２　詳細版国際産業連関表の構成（手法③）

まず日本一国のみを 403 部門の詳細版とした AIIO を作

成し、評価を行う。日本の IO および輸出統計により部門分割を行う。また直接排出係数を３EID および EDGAR を用いて算出してこれより詳細版の GHG 原単位を作成した[7)]。

1）詳細化の方法として、日本の国の統計としての産業連関表[2]を取引額の按分指標の基礎として用いた部門分割を行う。2）また、日本の輸出統計[3]を用い、日本からの輸出に係る取引について対象国に応じて差異化した按分指標値として分割を行う。原単位と特徴のある部門につき図に示す。各 GHG ガスにつき日本国温室効果ガスインベントリー報告書[4]などに一致する結果が確認できた。

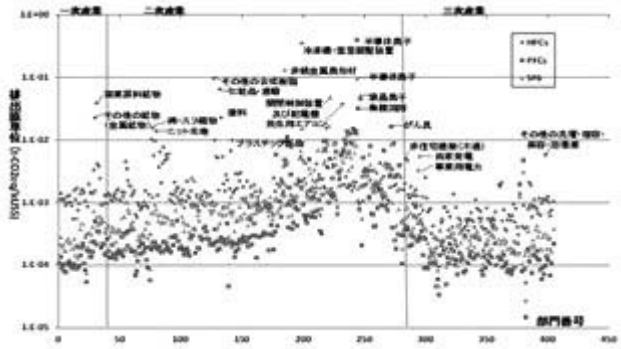


図３　詳細版 AIIO による、HFCs、PFCs、SF_6 の DB

3.　既存研究との比較

GHG 合計の原単位について扱っている 3EID2005 年版[5] と詳細 AIIO の比較を行った。詳細 AIIO による原単位は、海外の生産を国産技術仮定とする 3EID よりも値が大きく、アジア各国の環境負荷を反映しているものと推定される。ただし本研究では ROW（その他世界）については外生国として扱っている。

4. 原単位の間接分内訳による分析

4.1　原単位の間接分分析による相互依存関係の分析

日本分割詳細版 AIIO による GHG 排出原単位とその間接分により素材・製品・サービスの国間の相互依存分析を行った。特徴のある素材・製品・サービス部門を取り上げて GHG 原単位の内訳の分析から各国の産業構造が区別でき国間の相互依存関係が分析できることがわかる。

4.2　原単位の間接分内訳による分析

表１に各国の半導体・集積回路からの GHG 各ガスの間接比率を示す。 エネルギーCO_2、非エネルギーCO_2、CH_4、N_2O はどの国も 1 に近いが、HFCs、PFCs、SF_6 は国によって大きく異なる。HFCs, PFCs、SF_6 は前工程における洗浄用、クリーニング用に多く用いられており、この数字が 1 に近いほど直接排出が 0 に近く前工程が少ないと考えられ、これらの国では完成されたウェハーをチップに切断し、端子との配線形成や、樹脂モールドなどの組み立てを行う後工程が中心になっていると考えられる。

5. 結論・今後の課題

5.1　結論

（1）アジア各国の詳細な IO インベントリデータベースの作成を目的として、AIIO に各国表の部分を取り込んだ約2500 部門からなる詳細版アジア国際産業連関表を開発

表１　各国の半導体・集積回路からの GHG 各ガスの間接比率

	エネルギー CO_2	非エネルギー CO_2	CH_4	N_2O	HFCs	PFCs	SF_6	GHG合計
Indonesia	0.819	1	0.999	0.994	1	1	1	0.861
Malaysia	0.878	1	0.996	0.98	0.771	0.641	0.879	0.878
Philippines	1	1	0.996	0.967	1	1	1	0.999
Singapore	0.999	1	0.999	0.998	0.638	0.372	0.667	0.917
Thailand	0.94	1	0.994	0.968	1	1	1	0.961
China	0.964	1	1	0.996	0.799	0.472	0.431	0.946
Taiwan	0.994	1	0.998	0.984	0.486	0.118	0.102	0.724
Korea	0.942	1	0.997	0.987	0.601	0.246	0.186	0.738
日本 半導体素子	0.866	1	0.997	0.938	0.074	0.004	0.011	0.31
日本 集積回路	0.909	1	0.998	0.96	0.966	0.119	1	0.839
U.S.A.	0.866	1	0.996	0.979	0.46	0.072	0.261	0.766

することとし、日本のみを詳細版にしてその有効性を検証した（手法③）。

（2）詳細版 AIIO による日本の 405 部門の排出原単位を調べ各ガスの大きい部門につき、日本国温室効果ガスインベントリー報告書などに一致する結果を得た。

（3）日本分割詳細版 AIIO による GHG 排出原単位とその間接分により素材・製品・サービスの国間の相互依存分析を行う方法を検討し、半導体・集積回路について GHG 原単位の間接分の内訳により各国の半導体のプロセスの詳細な議論が可能となった。

（4）以上から日本分割詳細版 AIIO の作成手法（手法③）は有効であり、これよりアジア 10 カ国の各国表を取り入れた詳細版アジア国際産業連関表はデータベース作成の有効な手法となると判断できた。

5.2　今後の課題

今後の課題として残り 9 か国の IO を用いた詳細 AIIO の開発、各種の製品・サービス・素材・資源・エネルギーの相互依存分析、AIIO2005 年版への対応、ROW（その他世界）との貿易に関する扱いの検討などがあげられる。

謝辞

環境省環境研究総合推進費（1E-1106）によるご支援に感謝いたします。貴重な助言をいただいたアジア経済研究所 桑森啓様 に感謝いたします。パシフィックコンサルタンツの井伊亮太氏、堀口健、当研究室の小野雄也氏に DB の開発へのご協力に関し感謝いたします。

参考文献

1)JETRO アジア経済研究所：Asian International Input-output Table 2000　(2006)、同 2005（2014）
2) 総務省統計局他：平成 17 年（2005 年）産業連関表
3) 財務省：貿易統計（輸出統計）
4) 国立環境研究所地球環境センター：日本国温室効果ガスインベントリー報告書（2005.5）
5) 南齋・森口：国立環境研究所，3EID2005 年版
6) European Commission Joint Research Center：Emissions Database for Global Atmospheric Research
7)山口博司他、堀口健他、小野雄也他：第 7 回、第 8 回、第 9 回日本 LCA 学会研究発表会予稿集。
8）OECD/IEA: Energy Statistics of OECD Countries 2004-2005,　same of OECD Countries 2004-2005。

マテリアルフローコスト会計（MFCA）とLCAの統合モデル

Environmental Management Accounting Method integrated MFCA with LCA

○中嶌道靖*[1)]、伊坪徳宏[2)]
Michiyasu Nakajima, Norihiro Itsubo
1）関西大学, 2）東京都市大学
＊ nakajima@kansai-u.ac.jp

1. はじめに

資源生産性向上の観点から世界で活用されているマテリアルフローコスト会計（MFCA）をさらに温暖化ガスの削減にも貢献できる環境管理会計手法として発展させることを目的としている。そのひとつの手法開発として、LCAによるインベントリデータを活用し、プロセスでのCO_2排出情報も提供できるようにMFCAを発展させようとしている。そのひとつの研究として、環境省研究推進費（E-1106）「アジア地域を含む低炭素型サプライチェーンの構築と制度化に関する研究」(平成23-25年度）のサブテーマにおいて、サプライチェーンにおいてMFCAを展開した場合に、具体的にLCAによるインベントリデータとMFCAデータを連携させることによって、低炭素型サプライチェーンを促進するマネジメント情報として、いかに活用可能かを検討した。

2. 低炭素型サプライチェーンを促進するMFCAマネジメント情報とは

次に示す図1は、本研究における低炭素型サプライチェーンにおけるMFCAマネジメント情報のモデルである。

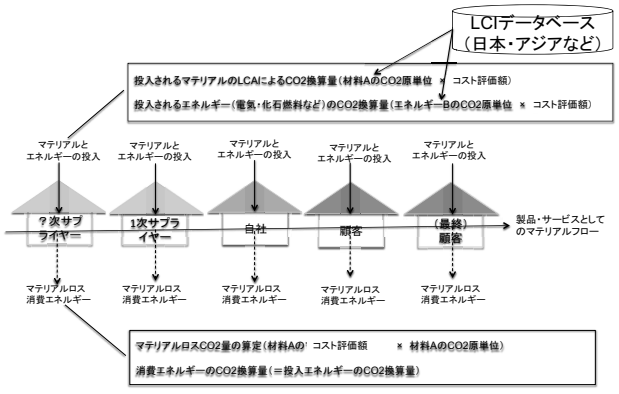


図1 低炭素型サプライチェーン化を促進するためのMFCAマネジメント情報のモデル（國部（2014）1E-1106-35よりの一部変更）

MFCAをサプライチェーンでの各企業で導入し、データを共有することによって、上記の環境省研究推進費プロジェクトの他のサブテーマで開発したインベントリデータデータである、温暖化ガスを基礎とした環境負荷情報（CO_2換算量）とMFCA情報を連携することが可能となる。なお、データベースでの環境負荷換算量の原単位データは、資源（マテリアル）の価格百万円当たりの環境負荷換算量（t-CO_2eq/百万円）である。このようなインベントリデータの算出方法やその妥当性などに関しては本稿では触れない（たとえば、國部（2014）１E-11106-1～26を参照）。なお、MFCAではマテリアルフローならびにエネルギー消費を物量単位で測定・把握し、その物量情報をコスト評価することにより省資源化を促進するマネジメントを実施することから、本データベースの原単位が円ベースであることは適合性が高く有用である。

このような理論的な構築をもとに、これまでのサプライチェーンでのMFCAに関する日本企業の事例を援用することとした。該当する事例の中から1事例を選び、3社のサプライヤーと1社のバイヤーが4社のチェーンとして連なる事例を援用して具体的な統合モデル化を実施し、そのマネジメント情報の有用性を検証した。

3. MFCAを基礎とした低炭素型サプライチェーンを評価するマネジメント情報

具体的なMFCAのデータをもとにしたインベントリデータベース情報によるサプライチェーンでのマテリアルフローおよびエネルギー消費に関するCO_2換算量の評価は、次に示すような算定方法で実施する。本研究では、以下に示す①から④のデータを対象に、それぞれのコスト額とCO_2換算量を算定する。なお、それぞれの計算に必要とされるデータは、マテリアルフローとエネルギー消費に関する物量データはMFCA情報から、購入単価は既存の財務上の原価データから、CO_2換算量の原単位は本研究で開発されたインベントリデータベースから入手される。

次の4つを対象のデータ範囲としている。

①マテリアル（投入：良品・マテリアルロス）
②エネルギー（投入：電気）
③水（投入：井戸水・購入水）
④運送（トラック輸送：軽油またはガソリン）

また、上記4つそれぞれのコスト額と、そのコスト額に基づくCO_2換算量は次のように算定される。

コスト額　　＝　物量×購入単価

CO_2換算量　＝　コスト額*×原単位

(*のコスト額とは上記の算式で算定されたコスト額である。)

このような評価ならびに算定方法に基づき、MFCAのコスト情報を基礎に計算した事例として、次の表１を作成した。

表1　4社からなるサプライチェーンでの算定事例（國部（2014）1E-1106-57）

区分	No.	マテリアル	単位	原単位[t/円]および単価/kg	サプライチェーン全体（サプライヤーA・B・C・A・バイヤーX）			日本国内	
					総投入量 t	製品	率	マテリアルロス	率
主材料	1	鉄材	t-CO2eq/円	2.87936E-05	2.879	1.296	45.0%	1.584	55.0%
			円	¥200	¥100,000	¥45,000	45.0%	¥55,000	55.0%
	2	硫酸ニッケル	t-CO2eq/円	1.59511E-05	0.011	0.009	80.0%	0.002	20.0%
			円	¥500	¥710	¥568	80.0%	¥142	20.0%
	3	塩化ニッケル	t-CO2eq/円	1.59511E-05	0.003	0.003	80.0%	0.001	20.0%
			円	¥800	¥213	¥170	80.0%	¥43	20.0%
	4	ニッケル	t-CO2eq/円	4.29881E-06	0.012	0.010	80.0%	0.002	20.0%
			円	¥2,000	¥2,840	¥2,272	80.0%	¥568	20.0%
主材料　合計			t-CO2eq		2.906	1.317	**45.3%**	1.589	**55%**
			円		¥103,763	¥48,010	**46.3%**	¥55,753	**54%**

本事例では、サプライヤー（A社・B社・C社）及びバイヤー（X社）の日本企業4社からなるサプライチェーンにおいて、MFCA分析を実施し、そのマテリアルフロー及びエネルギー消費・水消費を物量単位で測定・把握し、その物量データに基づいて、上記の算定式に基づき計算したものである。上記の表１では主材料だけしか例示していないが、補助材料・包装材・エネルギー・水など、一般的なMFCA分析で対象とするマテリアルデータに基づいて分析している。

ここで示しているように、MFCAデータ（コスト）情報とCO_2換算量の原単位データに基づき、各マテリアルフローに関して、それぞれCO_2換算量を算定することは可能であることが判明した。この場合には、主材料が分析対象となるが、この製造プロセスでは、投入されたマテリアルが背負ってきたCO_2の約55%が製品として、次のプロセスに引き渡せないことを表している。この数値の大きさを評価するためには比較対象が必要であるが、まずは、プロセスの低炭素化評価の尺度を数量化できたと言える。当該プロセスとしては、この見える化した低炭素化のレベルをさらに向上させるために、MFCAに基づくプロセス改善を実施することができると考えられる。

５．　国際地域での低炭素型サプライチェーンを促進するマネジメント情報としての可能性

当該の環境省研究推進費プロジェクトでは、東アジアでの低炭素型サプライチェーンの構築に向けた評価システムの開発を目的とした。その目的を達成するためには、各国の企業が同じくMFCAを導入することがまず重要である。それに合わせて、CO_2換算量を算定するためのCO_2換算量の原単位のデータベースが整っていることが重要である。また、そのデータが整ったとして、そのCO_2換算量算定の精度が、各国間の比較対象を実施する上で重要となる。

また、CO_2換算量が MFCA情報とともに、数値情報として提供できるということは大きな進展ではあるが、企業マネジメント実務での活用という点では課題もある。たとえば、 MFCA情報が投入材料という細かな単位（細目）であるにもかかわらず、インベントリデータは具体的に投入原材料（商品）レベルのデータではなく、また、日本以外の東アジアでのデータはさらに大きな項目でのデータとなることから、企業での意思決定上での情報の質が異なる。MFCAでの経営意思決定とインベントリデータベース情報に基づく経営意思決定とを統合するためには国際的なインベントリデータの構築と国際的なコンセンサスが必要である。

国際的なものづくりネットワークのなかにある製造企業にとって、低炭素型サプライチェーンを構築しマネジメントする上で、コスト削減効果とCO_2削減効果という2つの異なる次元の目標を、経営的に統合化することが求められている。今後の更なる発展・開発は必要であるが、本研究で提示したMFCAとLCAの統合モデルは、現時点において、「自社」のサプライチェーンにおいて低炭素化および価格競争力を促進する手法として活用できると考えられる。

６．　最後に

これまで、MFCAとLCAとの統合モデルは、環境経営を今後さらに推進・発展させるためには必要であると言われてきた。しかしながら、具体的にMFCAとLCAを統合したマネジメント情報は明示されていなかった。本研究の成果によって、より具体的なMFCAとLCA統合モデルの一例を提供し、マネジメント手法としての今後の発展に向けた課題を見出すことができた。さらには、東アジアを範囲とした広域エリアを対象とした、低炭素型サプライチェーンを促進する環境経営情を、企業が実現する可能性を示した。

７．　引用文献

１）國部克彦（課題代表者）：“1E-1106 アジア地域を含む低炭素型サプライチェーンの構築と制度化に関する研究”，平成25年度 環境研究総合推進費 終了成果報告集，（2014），<http://www.env.go.jp/policy/kenkyu/suishin/kadai/syuryo_report/h25/pdf/1E-1106.pdf>，（参照 2015-01-05）

パナソニックの低炭素サプライチェーン構築を目指した取組み

Panasonic's Initiative to Establish Low Carbon Supply Chain

○小西勝*[1)]
Masaru Konishi
1) パナソニック株式会社
konishi.masaru@jp.panasonic.com

1. 背景

当社は創業以来、健全な社会発展に貢献することを経営理念とし、社会の公器として地球温暖化防止や資源循環など、持続可能で安心・安全な社会を目指した取り組みを進めてきました。2013 年度には、当社グループのブランドスローガンとして「A Better Life, A Better World」を制定し、これを実現するための重要な要素の一つとして環境取り組みを推進しています。

当社は、多くの購入先様・物流パートナー様（以降、パートナー様）によって支えられています。そのため、自社単独ではなくサプライチェーン全体で環境負荷を考慮する必要があると考えており、2013 年 7 月に改定した「環境基本方針」では、パートナー様とともに環境貢献活動を拡大することを宣言しています。また、これに合わせて、2018 年に向けた環境行動計画「グリーンプラン 2018」を改定し、「社会との共感を通じた取り組み」項目のひとつとして「サプライチェーン」を挙げ、購入先様とともに「グリーン調達」や環境貢献とコスト合理化の同時実現を目指す「ECO・VC 活動」の積極推進を表明しています。

2. グリーン調達の取り組み

当社は 1999 年に「グリーン調達基準書」を発行して以来、環境に配慮した製品づくりを購入先様とともに推進しています。グリーン調達基準書では「グリーンプラン 2018」に盛り込んだ購入先様との協働目標を達成するために、グリーン調達方針として、当社の環境基本方針に賛同し商品・物品を提供いただく購入先様群を構築することを掲げ、「購入先様の事業活動領域での環境負荷低減」、「当社とのコラボレーションによる成果の共有」に加えて、環境負荷低減の取り組みをサプライチェーン全体に広めるための「購入先様による上流取引先への働きかけ」を要請しています。

加えて、購入先様における当社要請内容の実践状況を把握し、購入先様とともに環境負荷低減活動をより効率的に推進するために、「グリーン調達サーベイ」を実施しています。2012 年度は試行的に、当社グループの主要購入先様 415 社を対象に、「環境マネジメントシステムの構築」、「化学物質管理の徹底」、「温室効果ガス排出量の削減」、「資源循環の推進」、「生物多様性保全」などの項目において購入先様の取り組みレベルを確認しました。2013 年度からは、当社グループ全体でのサーベイは実施せず、当社の各事業場が主体となり、購入先様とのコミュニケーション手段の一つとして実施しています。また、欧州 RoHS 指令に代表される製品含有化学物質に対する規制の強化、拡大に対応して、サプライチェーン全体での管理レベルを向上させるために、当社は 2005 年より継続的に購入先様への環境品質保証体制監査を実施しています。2013 年度は、約 2,400 社の購入先様への監査を実施し、製品含有化学物質管理レベルの向上を支援しました。

3. 購入先様の事業活動領域での環境負荷低減

当社は、サプライチェーン温室効果ガス（GHG）排出量（スコープ 3）の把握に向けて、2011 年度から購入先領域での排出量の把握に取り組んでいます。

把握方法としては、購入先様に対して当社向け部材の生産に伴う GHG 排出量を直接質問する方法と、産業連関表に基づく資材別の温室効果ガス排出原単位を活用する方法の２種類を用いて取り組んでいます。

3.1 購入先様に対して直接質問する方法

2011 年度から原材料、電気電子部品、加工部品の購入先様 185 社のご協力のもと、4 回にわたって試行調査を実施しました。

2013 年度に実施した 4 回目の調査では、2011 年度の初回調査にご協力いただいた原材料と電気電子部品の購入先様 37 社を対象に再調査を行いました。この調査の目的は、初回調査（2010 年度実績データ）と 4 回目調査（2012 年度実績データ）の GHG 排出量や GHG 排出量購入金額原単位の変化を確認することでした。購入先様 37 社の自社領域、上流領域（原材料・部品の製造）、下流領域（国内搬入物流）の当社向け温室効果ガス排出量の合計値は、約 180 万トン（CO2 換算）で、初回調査時から 38 万トン減少しました。購入先様 37 社の自社領域における原単位は、初回調査時から 2.8% 改善しました。今後は、購入先様と当社の経済合理性、収集データの網羅性などを考慮しながら取り組みを進めていきます。

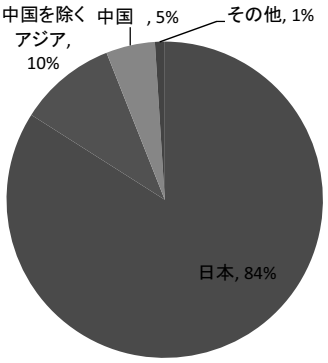


図 1 主要購入先 37 社の GHG 排出量（計 180 万トン）

図 2 主要購入先様の GHG 排出量把握試行の説明会

3.2 産業連関表に基づく原単位を活用する方法

当社が購入する部材の量および金額と、日本政府が公開している産業連関表に基づく資材別の温室効果ガス排出原単位 [1)]を用いて、当社の上流領域全体の温室効果ガス排出量を試算しました。

購入する部材の量および金額は、購入品目別に調達部門が管理しているデータを利用しています。2012 年度のデータによる試算結果は、1,327 万トンとなり、当社の生産活動における温室効果ガス排出量の約 4 倍と推計しています。

3.3 2 種類の方法の比較

当社グループの購入先様は、グローバルで 1 万社以上におよび、各社に対して直接質問して温室効果ガス排出量を把握することは現実的ではありません。産業連関表を活用する方法は、カバー率が高く、既存のデータを活用することによって追加的な大きな手間をかけずに推計することができるというメリットがあります。

しかし一方で、業種ごとの平均的な原単位で試算を行うため、実際の購入先様における排出量との乖離は避けられず、また購入先様の排出量削減の取り組みが直接的に反映されないというデメリットもあります。

上記のような状況を考慮して、今後、購入先様の排出量を把握する目的や、購入先様や当社の負担、データ精度などの面から、よりよい把握の方法の検討を継続していきます。

4. 購入先とのコラボレーションによる成果の共有

2009 年度より、購入先様と「ECO・VC（Value Creation）活動」を行っています。これは当社の調達部材において、購入先様とともに、省エネルギー、省資源、リサイクル材の使用などの環境配慮を行いながら、同時にコスト合理化も目指す取り組みです。

2010 年度からは、CO2 削減に加え、循環型モノづくりにも焦点をあて取り組みを拡大しています。また、2012 年度からは、中国や他のアジア地域での活動を加速させています。2013 年度は、グローバルの購入先様から当社商品や購入先様の工場の省エネルギー、当社商品の小型・軽量化などについて 1,077 件のアイディアをいただきました。これらの優れた取り組み事例を購入先様の皆様と共有して横展開を図るため、国内外の購入先様が出席する「パナソニック エクセレントパートナーズミーティング」で紹介しています。

今後も、ECO・VC 活動を通してより多くの購入先様に、CO2 削減、コスト削減、循環型モノづくり（投入資源の最小化、リサイクル、脱石油材料への代替など）を実践していただきます。

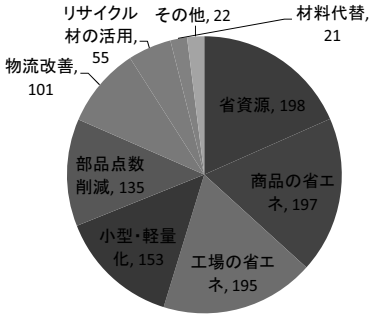


図３ 購入先様からの提案件数（計 1077 件）

表１ 提案による環境側面の成果

項目	2011 年度	2012 年度	2013 年度
提案件数	901 件	866 件	1,077 件
CO_2削減量	32 万 3,000t	41 万 2,000t	48 万 3,387t
再生資源活用量	1 万 6,521t	1 万 7,011t	1 万 9,353t
投入資源削減量	1 万 6,231t	1 万 8,431t	2 万 1,211t

5. 最後に

当社グループのスローガン「A Better Life, A Better World」の実現に向けて、グローバルなサプライチェーンを視野に入れ、持続可能な発展に貢献していきます。

引用文献

1) 環境省: “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 Ver2.0”, (2013)

持続可能なサプライチェーンマネジメントと企業業績に関する実証分析

An Empirical Study of Sustainable Supply Chain Management and Firm Performance

○八木迪幸*[1)]、孫希辰[1)]、國部克彦[1)]

Michiyuki Yagi, Xichen Sun, and Katsuhiko Kokubu

1) 神戸大学

* yagi@ruby.kobe-u.ac.jp

1. Introduction

From the viewpoint of sustainable supply chain management in the literature, it is considered important to manage inventory and climate change issues at the whole level of supply chain. This study examines the present potential to reduce inventory and scope 1 and 2 at the firm and industry levels in the manufacturing and retail industries (i.e., based on six digits of Global Industry Classification Standard (GICS)) in 2011 and 2012 in 38 countries. Because there are few firms disclosing scope 1 and 2 in the retail industry, however, we consider only the reduction potential of scope 1 and 2 in the retail industries.

Specifically, following Leleu and Briec (2009), this study estimates firms' technical efficiency index (FTE), industry technical efficiency index (ITE), and the lower bound of firms' allocative efficiency index (FAE). In addition, considering four types of virtual supply chains (automobile, consumer electronics, apparel, and food industries) based on eight digits of GICS as demonstrating analysis, this study estimates weighted average FTE (WFTE), ITE (WITE), and the lower bound of FAE (WFAE). Finally, to examine what types of firms are efficient from the viewpoint of supply chain (i.e., inventory and scope 1 and 2), we adopts fixed-effects regression model regressing the FTE on a set of dummy variables of environmental, social, and governance (ESG) policies from Bloomberg Professional service (Park and Ravenel, 2013).

2. Model

2.1 Efficiency at the firm and industry levels

Let inputs be denoted by $x \in R_+^N$, good outputs by $y \in R_+^M$, and bad or undesirable outputs by $b \in R_+^J$. Following Färe (1988), let T as a possible production technology set with bad outputs:

$$T = \left\{ \begin{array}{l} \left(x, y, b\right) : x \in R_+^N \text{ can produce} \\ \left(y, b\right) \in R_+^M \times R_+^J \end{array} \right\} \tag{1}$$

The directional distance function seeking to increase the desirable outputs and decrease the undesirable outputs and inputs directionally can be defined by the following formulation:

$$\begin{aligned} &\vec{D}(x, y, b; g) \\ &= \sup\left\{\beta : (x - \beta g_x, y + \beta g_y, b - \beta g_b) \in T\right\} \end{aligned} \tag{2}$$

This study considers one output: sales (y1), four inputs: labor (the number of employees; x1), capital (gross fixed assets: x2), intermediate goods (cost of goods sold; x3), and inventory (x4), and two bad outputs: scope 1 and 2 (b1 and b2, respectively) for manufacturing industries. On the other hand, because there are few firms disclosing GHG volume in the retail industries, this study do not consider the two bad outputs (b1 and b2) in the retail industries.

Following Leleu and Briec (2009), we use the industry input/output vector as a direction at the industry level. Specifically, to estimate the potential of the supply chain management, this study focus only on minimization of inventory (x4) and scope 1 and 2 (b1 and b2) for manufacturing, and only on minimization of inventory (x4) for retail, in terms of k firm in certain industry, in the following directional distance function:

$$\vec{D}\left(x^k, y^k, b^k; \left[0, 0, 0.X_4\right], 0, \left[B_1, B_2\right]\right) = \max \beta_k \tag{3}$$

$$\text{s.t.} \sum_{k=1}^{K} z_k y_{mk} \geq y_{mk}, m = 1, \ldots, M, \tag{4}$$

$$\sum_{k=1}^{K} z_k x_{nk} \leq x_{nk}, n = 1, 2, 3, \tag{5}$$

$$\sum_{k=1}^{K} z_k x_{4k} \leq x_{4k} - X_4, n = 4, \tag{6}$$

$$\sum_{k=1}^{K} z_k b_{jk} = b_{jk} - \beta B_{jk}, j = 1, 2, \tag{7}$$

$$\sum_{k=1}^{K} z_k = 1, \tag{8}$$

$$z_k \geq 0, k = 1, \ldots, K \tag{9}$$

where $X_4 = \sum_{k=1} x_{4k}$, $B_1 = \sum_{k=1} b_{1k}$, $B_2 = \sum_{k=1} b_{2k}$. Note that, as described above, for retail industry, we do not consider Eq. 6. Then, FTE can be expressed as follows:

$$FTE = \max \sum_{k=1}^{K} \beta_k \tag{10}$$

In addition, ITE is expressed as follows:

$$ITE = \max \delta \tag{11}$$

$$\text{s.t.} K \sum_{k=1}^{K} z_k y_{mk} \geq y_{mk}, m = 1, \ldots, M, \tag{12}$$

$$K \sum_{k=1}^{K} z_k x_{nk} \leq x_{nk}, n = 1, 2, 3, \tag{13}$$

$$K \sum_{k=1}^{K} z_k x_{4k} \leq x_{4k} - \delta X_{4k}, \tag{14}$$

$$K\sum_{k=1}^{K} z_k b_{jk} = b_{jk} - \delta B_{jk},\ j = 1,2, \quad (15)$$

$$\sum_{k=1}^{K} z_k = 1, \quad (16)$$

$$z_k \geq 0,\ k = 1,\ldots,K\,. \quad (17)$$

Note that in the similar way of FTE estimation, we do not consider Eq. 15. Given FTE and ITE estimation above, following proposition 1 in Leleu and Briec (2009), the lower bound of FAE is expressed as follows:

$$FAE \geq ITE - FTE \quad (18)$$

2.2 Efficiency at the multi industry levels

Because production technology T is considered basically different among industries, it is difficult to assess efficiency at the multi industry level. For simplification, we consider multi-industry FTE and ITE as weighted average value using actual inputs or bad outputs. Specifically, we use minimum (or bottlenecked) weighted average FTE and ITE as WFTE and WITE among the sums of inventory (x4) and scope 1 and 2 (b1, b2). In addition, as well as the lower bound of FAE above, given WFTE and WITE estimation above, we define the lower bound of weighted average FAE (WFAE) as follows:

$$WFAE \geq WITE - WFTE \quad (19)$$

2.3 Regression model

To examine what types of firms are efficient in terms of inventory and scope 1 and 2, we use a fixed-effects regression model, controlling for unobserved firm and year fixed effects. The regression model is to regress FTE for k firm on ESG policies ESG of firms as follows:

$$\beta_k(\%) = ESG'\alpha_1 + \alpha_2 \ln(asssets) + \alpha_k + \alpha_t + e_{kt} \quad (20)$$

where k and t denote firm and year, respectively. e denotes an error term. ESG denote a set of ESG dummy variables from Bloomberg Professional service (see Supporting Information (SI) Table S.1 for definition). Ln(Assets) denotes a natural log of total assets, representing size factor.

3. Data

Data in this study come from Bloomberg Professional service and consists of consolidated accounting and balanced panel data from in 2011 and 2012 for listed firms in 38 countries. For industry classification, we use industry classification (i.e., 6 digits) for industry estimation and sub-industry classification (i.e., 8 digits) for multi-industry estimation of GICS (see SI Table S.2). The total number of observations is 1,388 (i.e., 694 firms in each year). SI Table S.3 shows descriptive statistics of the whole sample.

4. Result

4.1 Estimation of FTE and ITE

SI Table S.4 shows the result of FTE and ITE in each industry classification. Average FTE for the manufacturing industries are both 1.6% in 2011 and 2012 whereas average FTE for the retail industries are 20.5% and 20.9% in 2011 and 2012. Average FTE as a whole are both 4.8% in 2011 and 2012, indicating that 4.8% of inventory and scope 1 and 2 could be reduced by improving technical efficiency.

On the other hand, average ITE for the manufacturing industries are 17.5% and 19.0% in 2011 and 2012 whereas average ITE for the retail industries are 57.9% and 58.5% in 2011 and 2012. Total average ITE are 24.2% and 25.6% in 2011 and 2012, indicating that approximately 25% of inventory and scope 1 and 2 could be reduced by improving industry technical efficiency. Given FTE and ITE, the lower bounds of FAE (i.e., ITE minus FTE) are 15.9% and 17.4% in 2011 and 2012 for the manufacturing industries, and 37.4% and 37.6% in 2011 and 2012 for the retail industries. As a whole, the lower bounds of FAE are 19.5% and 20.7% in 2011 and 2012, suggesting that reallocating the resources of firms can result in reducing at least approximately 20% of inventory and scope 1 and 2.

4.2 WITE and WFTE in four virtual supply chains

SI Table S.5 shows the result of estimating WITE and WFTE in the four virtual supply chains chain as a demonstrative analysis. As a whole, this result shows WFTE is much low, indicating that there are less potential to reduce the inventory and/or scope 1 and 2 by firms' independent efforts. On the other hand, WFAE is relatively high and is more than ten percent except for the apparel industry.

4.3 Regression model

SI Table S.6 shows that estimation result of fixed effects model. In specification 1 (with no consideration of firm fixed effects), the coefficient of environmental quality management policy is statistically significantly different from zero and negative. On the other hand, in specification 2 (with consideration of firm fixed effects), the coefficient of green building policy is statistically significantly different from zero and negative. This indicates that firms of implementing these policies are efficient from viewpoint of sustainable supply chain.

5. References

1) Färe, R., 1988, "Fundamentals of production theory," In: Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer, Berlin.
2) Leleu, H. and W. Briec, 2009, "A DEA estimation of a lower bound for firms' allocative efficiency without information on price data," International Journal of Production Economics, 121 (1), pp. 203−211.
3) Park, A. and C. Ravenel, 2013, "Integrating Sustainability Into Capital Markets: Bloomberg LP And ESG's Quantitative Legitimacy," Journal of Applied Corporate Finance, 25(3), pp. 62–67.

アジア国際産業連関表によるライフサイクルインベントリデータベースを用いた新興国と先進国間のサプライヤー選択

A Supplier Selection among Emerging and Developed Countries using Life Cycle Inventory Database by Asian International Input-Output Tables

○車谷和彦*[1)]、山田哲男 [1)] 、伊坪徳宏 [2)] 、井上全人 [3)]
Kazuhiko Kurumaya, Tetsuo Yamada, Norihiro Itsubo, Masato Inoue
1) 電気通信大学, 2) 東京都市大学, 3) 明治大学
* k1010051@edu.cc.uec.ac.jp, tyamada@uec.ac.jp

1. はじめに

地球温暖化が世界的に大きな問題となっている今日、サプライチェーンでの温室効果ガス (Greenhouse Gas: GHG) 排出量削減の必要性がますます高まっている [1)]。一般的に企業の生産活動において、同じ素材の生産でも新興国と先進国の間に GHG 排出量原単位に差があるとされる。サプライチェーンにおいては、費用面と GHG 排出量削減を両方考慮すると、新興国と先進国間のサプライヤー選択 [2)]が必要になる。先行研究 [3)]では、GHG 排出量と費用の削減のサプライチェーンを目指し、日本と中国をはじめとするアジア諸国間のサプライヤー選択の低炭素化を提案した。しかし、中国にとっては日本のみならず米国も主要な貿易相手国であるが、対象となった先進国は日本のみであった。
本研究では、組立製品の部品調達において、総 GHG 排出量の制約のもとで費用を最小化するように、新興国と先進国間でのサプライヤー選択を行う。

2. 新興国と先進国間のサプライヤー選択の低炭素化

2.1 部品表構築とサプライヤー選択の最適化手順

文献 [3)]をもとに、図 1 に新興国と先進国間のサプライヤー選択の低炭素化の手順を示す。はじめに、対象製品の部品表とアジア産業連関表によるライフサイクルインベントリーデータベース [3)]を用い、部品ごとの調達費用と GHG 排出量を算出する。次に、ε 制約法 [4)]を用いた整数計画法により、GHG 排出量削減を制約条件とし、調達費用最小を目的関数とするサプライヤー選択の最適化を行う。

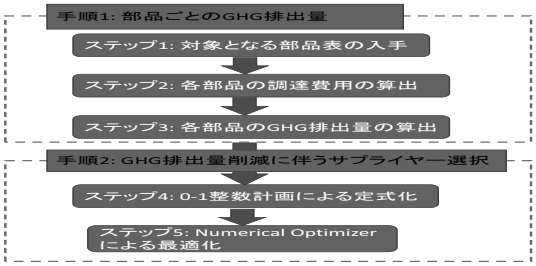


図 1 新興国と先進国間のサプライヤー選択の低炭素化

2.2 GHG 排出量と費用によるサプライヤー選択の定式化

本研究では、部品 j においてサプライヤー l が選択されるときは 1、選択されないときは 0 をとる 0-1 変数 x_{lj} を用い、調達費用の最小化を目的関数とする式(1)を与える。制約条件は ε 制約法 [4)]を用いて、総 GHG 排出量が目標とする削減率を満たす値以下であることとする。また、各部品はそれぞれ 1 ヶ国のみから選択するように式(3) を設ける。

目的関数：Minimize $\sum_{j\in J}\sum_{l\in L} PC_{jl}\, x_{jl}$ (1)

制約条件：$\sum_{j\in J}\sum_{l\in L} e_{jl}x_{jl} \le \epsilon_{GHG} \times R_{max}$ (2)

$\sum_{l\in L} x_{jl} = 1 \qquad \forall j \in J$ (3)

パラメーター：

J ： 部品の集合、 J={1, 2, …, j, ..., |J| }

L ： サプライヤーの集合、L={1, 2, …, l ,…, |L| }

PC_{jl} ： サプライヤーl における部品 j の調達費用

e_{jl} ： サプライヤーl における部品 j の GHG 排出量

x_{jl} ： サプライヤーl の部品 j を選択する場合は 1、
選択しない場合は 0 をとる 0-1 変数

R_{max} ： 初期構成の総 GHG 排出量

ϵ_{GHG} ： 総 GHG 排出量制約率、ϵ_{GHG}={1.0, 0.95, …, 0.5}

3. GHG 排出量を考慮したサプライヤー選択

3.1 部品ごとの調達費用と GHG 排出量比較

部品ごとの調達費用と GHG 排出量の比較例として、掃除機モデル [5)]を対象とする。図 2 は、上記 3 カ国の部品ごとの GHG 排出量を比較したものである。GHG 排出量の平均は大きいものから中国、米国、日本の順となった。以上から、部品を中国製にすれば調達費用を抑えられる一方で、米国製や日本製にすれば GHG 排出量を削減できることがわかる。

表 1　GHG 削減率に対するサプライヤー選択の変化

部品番号	部品名	シナリオ(A) 中国→米国へのサプライヤー選択の変化								シナリオ(B) 中国→日本へのサプライヤー選択の変化							
		GHG排出量削減率[%]							サプライヤー選択数合計	GHG排出量削減率[%]							サプライヤー選択数合計
		0	5	10	20	30	40	50		0	5	10	20	30	40	50	
1	吸込み口車輪			○				○	2							○	1
2	車輪止め						○	○	2		○	○	○		○		4
3	吸込み口上部																
4	吸込み口下部					○	○		2					○			1
5	掃除機ノズル		○				○		2							○	1
6	ハンドル右											○				○	2
7	スイッチ		○					○	2				○				1
8	ハンドル左																
9	本体左							○	1								
10	本体右							○	1								
11	ダストケースふた							○	1								
12	メッシュフィルター				○	○	○	○	4				○	○	○	○	4
13	連結パイプ			○	○		○	○	4					○		○	2
14	ダストケース																
15	排気チューブ			○				○	2								
16	フィルター上部					○	○	○	3						○	○	2
17	フィルター下部						○	○	2								
18	保護キャップ						○		1							○	1
20	ファン外枠ゴム		○	○	○	○	○	○	6		○	○	○	○	○	○	6
21	ファン外枠		○	○	○		○	○	5		○	○		○	○	○	5
22	ファン下部																
23	ファン		○	○			○	○	4			○		○		○	3
サプライヤーが変化した部品の合計		0	5	6	4	4	11	14	44	0	3	5	4	6	5	10	33

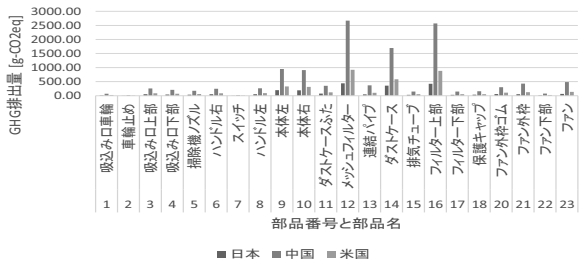


図 2 部品ごとの GHG 排出量: 日本, 中国 対 米国

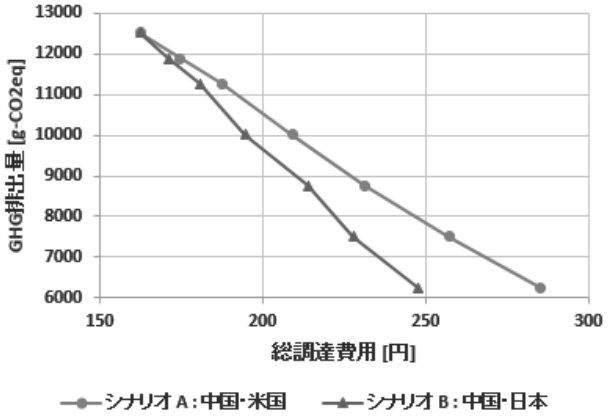


図 3 費用に対する GHG 排出量の挙動

3.2 部品ごとのサプライヤー選択のモデルと結果

新興国と先進国の組み合わせとして、次の 2 つのシナリオを設け、サプライヤー選択を行う。

シナリオ A: 中国・米国間のサプライヤー選択

シナリオ B: 中国・日本間のサプライヤー選択

なお、 部品番号 19 のモータは外れ値となるため、 結果からは除外した。また、初期状態（GHG 削減率 0%）では、全部品で中国製が選ばれているものとする。

表 1 は、GHG 削減率に対するサプライヤー選択の変化である。シナリオ A では、GHG 排出量の削減率 30%から 40%で選ばれた部品数が、4 点から 11 点と増加の大きいことがわかる。また、部品番号 20 のファン外枠ゴムについては、すべての GHG 削減率の場合に選択されていた。シナリオ B でも同様な変化がみられた。

図 3 は、費用に対する GHG 排出量の挙動である。GHG 排出量削減率が 10%までは、両シナリオ間で調達費用の差はほとんどない。それ以上削減率を上げると、調達費用はシナリオ A の方がシナリオ B と比較して 2～4%と増加していることがわかる。

4. まとめと今後の課題

本研究では、GHG 排出量を抑えながら費用の最小化を図るサプライヤー選択を新興国と先進国間で行い、中国と日本あるいは米国で行う場合の 2 つについて比較および考察を行った。　今後の課題は、他のアジア諸国を含むサプライヤー選択の低炭素化や、リードタイムの考慮が挙げられる。

引用文献

1) 國部克彦, 伊坪徳広, 中鳥道靖, 山田哲男: 会計, 182 (1), (2012), pp.82-97
2) Yoshizaki, Y., Tetsuo, Y., Itsubom, N., Inoue M.: 1st East Asia Workshop on Industrial Engineering, Hiroshima, Nov., (2014) on USB
3) 堀口健, 辻本真也, 山口博司, 伊坪徳宏: “アジア国際産業連関表を用いた東アジア各国における温室効果ガス排出原単位データベースの開発”, 第 7 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 野田, (2012), pp.236-239
4) 吉村允孝, “モノづくりにおけるシステム設計最適化”, 養賢堂, (2007), p.106
5) 井上全人, 秋山智広, 石川晴雄: セットベース設計手法を用いた 3D-CAD に基づくライフサイクル設計システム, 日本機械学会, 第 21 回設計工学・システム部門講演会,山形, (2011), pp. 420-423

アジア地域における貿易構造と大気汚染物質排出の関係分析

Analyzing the Relationship between International Trade Structure and Air Pollutions in Asian Countries

○白新田佳代子*[1)]、永島史弥 [1)]、加河茂美 [1)]、南斉規介 [2)]
Kayoko Shironitta, Fumiya Nagashima, Shigemi Kagawa, Keisuke Nansai
1) 九州大学, 2) 国立環境研究所
* kayoko.s137@gmail.com

1. はじめに

今日アジアの国や地域は、最終財やそれに投入される中間財を世界に供給する主要な製造拠点として重要な役割を果たしている。そしてアジア地域の急速な経済成長の源泉である農業や製造業は大量の化石燃料の消費を必要とし、大気汚染の主要な原因となる物質を生み出している。とりわけ中国の経済成長に伴い $PM_{2.5}$ をはじめとした大気汚染物質による被害は、国内に留まらず国境を越えて周辺アジア諸国でも深刻化しており、日本も同様に被害を受けている。しかしながら、アジア地域、特に中国や東南アジアの国々の大量生産に伴った大気汚染物質の排出の背景には、グローバル貿易の進展と世界のサプライチェーンを支える世界の工場としてのアジア地域の役割の拡大があることに留意しなければならない。Takahashi *et al*. (2014) は、2008 年におけるアジア産業連関表を用いてアジアの 9 か国について、最終需要を生み出す Driver country、 $PM_{2.5}$ を直接排出する Source country、そして排出された $PM_{2.5}$ による健康被害を受ける Receptor country に焦点を当て、$PM_{2.5}$ の直接・間接排出と $PM_{2.5}$ の健康被害を推定している。例えば、日本が受ける $PM_{2.5}$ の健康被害は、主に日本国内の最終需要が誘発した生産に伴って発生した $PM_{2.5}$ によってもたらされていることが分かった。しかし、この論文では貿易構造そのものに着目して分析されておらず、どのサプライチェーンが $PM_{2.5}$ を誘発し、自国及び他国の健康被害に影響を与えている主要な経路であるのかについて分析はされていない。

そこで本研究では、貿易構造と大気汚染問題に着目し、アジア地域のサプライチェーンが $PM_{2.5}$ の排出量および $PM_{2.5}$ による健康被害に与える影響を分析する。

2. 研究手法

本研究で使用するデータは、ジェトロ・アジア経済研究所（IDE-JETRO）が提供する 2000 年のアジア国際産業連関表(AIIOT)をもとに、Takahashi *et al.*(2014)が RAS 法を用いて推定した 2008 年版アジア国際産業連関表である。AIIOT はアジアの 9 の国と地域(インドネシア、マレーシア、フィリピン、シンガポール、タイ、中国、台湾、韓国、日本)と 76 の産業部門から構成される産業連関表である。また、$PM_{2.5}$ の産業別排出量や排出原単位データ及び越境汚染による健康被害のデータは Takahashi *et al.*(2014)から引用した。本研究は構造経路分析 SPA (Peters and Hertwich, 2006) を用いて分析を行った。AIIOT を用いて当該国(地域)r の消費起源排出量を表すと次式となる。

$$Q^r = \mathbf{e}(\mathbf{I}-\mathbf{A})^{-1}\mathbf{f}^r \qquad (1)$$

ここで Q^r は r 国(地域)の消費起源総排出量、$\mathbf{e}=\{e_i\}$ は排出係数ベクトル、$(\mathbf{I}-\mathbf{A})^{-1}$ はレオンチェフ逆行列、$\mathbf{f}^r=\{f_i^r\}$ は r 国（地域）の最終需要ベクトルを表す。レオンチェフ逆行列をテイラー展開すると(1)式は次のように書き換えることができる。

$$\begin{aligned} Q^r &= \mathbf{e}(\mathbf{I}-\mathbf{A})^{-1}\mathbf{f}^r \\ &= \mathbf{e}(\mathbf{I}+\mathbf{A}+\mathbf{A}^2+\mathbf{A}^3+\ldots)\mathbf{f}^r \\ &= \mathbf{e}\mathbf{f}^r+\mathbf{e}\mathbf{A}\mathbf{f}^r+\mathbf{e}\mathbf{A}^2\mathbf{f}^r+\mathbf{e}\mathbf{A}^3\mathbf{f}^r+\ldots \end{aligned} \qquad (2)$$

ここで第 1 項の $e_i f_i^r$ は r 国(地域)の最終需要により誘発された第 i 産業の $PM_{2.5}$ 排出量を表す。第 2 項の $e_j a_{ji} f_i^r$ は第 i 産業での生産により誘発された第 j 産業の $PM_{2.5}$ 排出量を表す。すなわちこれは第 i 産業から第 j 産業へのサプライチェーンの経路から発生した $PM_{2.5}$ を表す。同様に $e_k a_{kj} a_{ji} f_i^r$ は第 i 産業から第 j 産業、第 j 産業から第 k 産業という経路から発生する $PM_{2.5}$ の排出量を表す。

$PM_{2.5}$ による健康被害については Takahashi *et al.* (2014)で使用された SRR(source-receptor-relationship)行列 $\mathbf{T}=\{t_1^{sr}\}$ を応用し推定を行う。

3. 結果と考察

本研究では、Takahashi *et al*. (2014)で使用された 2008 年のアジア産業連関表を用いて、$PM_{2.5}$ について SPA を行った。2008 年におけるアジア地域における日本の消費ベース $PM_{2.5}$ 排出量は 165kt-C と推計される。

表 1 は日本の最終需要によって誘発された $PM_{2.5}$ の排出量が多い経路の上位 20 位までを示している。日本の最終需要によってアジア地域で排出された $PM_{2.5}$ を考慮するため、日本で生産された財のサプライチェーンは除外している。

日本において $PM_{2.5}$ 排出強度の強い経路は中国の transportation 産業から最終需要への経路で、次いでタイの food crops 産業に誘発されたタイの other food products 産業から日本の最終需要への経路であった。日本のサプライチェーンの経路において、アジア諸国の Transportation 産業と日本の最終需要を結ぶサプライチェーンからの排出量が最も多く、中でも中国から最も排出量が大きい。これは日本とアジア諸国間の財や人の頻繁な移動が背景にあると考えられる。またアジア諸国の農産物や衣服、機械などの製造品の経路からの排出も目立っている。

アジアの他の地域に関する SPA の結果及びアジア地域の越境汚染結果および議論については発表会にて詳細を述べる。

引用文献

1) Takahashi K., Nansai K, Tohno S, Nishizawa M, Kurokawa J, Ohara T.: Atmospheric Environment, 97, (2014), pp 406-415
2) Peters G. P., Hertwich E.: Economic Systems Research, 18 (2) , (2006) , pp 155-181

表 1　汚染部門（日本を除く）から日本の最終需要までの経路における $PM_{2.5}$ の排出上位 20 経路

順位	排出量 (t)	経路
1	1275	中国 transportation
2	760	タイ other food products ← タイ food crops
3	507	タイ transportation
4	357	中国 food crops
5	301	韓国 transportation
6	262	中国 other service
7	239	タイ food crops
8	203	中国 wearing apparel ← 中国 weaving and dyeing ← 中国 other grain
9	188	中国 wearing apparel ← 中国 transportation
10	177	インドネシア food crops
11	172	フィリピン food crops
12	164	中国 transportation ← 中国 transportation
13	157	中国 wearing apparel ← 中国 other grain
14	138	中国 wholesale and retail trade
15	118	台湾 transportation
16	116	インドネシア petroleum and petrol products
17	103	中国 specialized machinery ← 中国 transportation
18	99	中国 wearing apparel ← 中国 spinning ← 中国 other grain
19	88	マレーシア other manufactureing products
20	84	インドネシア transportation

中国のサプライチェーンを考慮した自動車製品 CO_2 排出量の推計とその削減策

Estimation and the Reduction Measures of Automobile Product CO_2 Emissions Considering Supply Chain in China

○中道久美子*[1)]、花岡伸也 [1)]、谷蘊 [2)]
Kumiko Nakamichi, Shinya Hanaoka, Yun Gu
1) 東京工業大学, 2) 聯橋集団
* nakamichi@ide.titech.ac.jp

1. はじめに

中国の CO_2 排出量は 2010 年に世界第 1 位となり、その削減の必要性がますます高まってきている。現状では80%以上を火力発電に依存している中国において、排出量削減を実現するためには、生産・輸送・使用のサプライチェーン全体を考慮して削減策を検討する必要がある。特に、経済成長によって中国の自動車産業は急激な成長を遂げている。一方で、自動車の生産、販売台数が世界第 1 位になったにも関わらず、千人あたり保有台数でみると、まだ 71.42 台 [1)]で、まだ世界平均の 140 台の半分程度である。今後は、人口増加と経済成長、そして消費者の購買力の増大によって、自動車産業市場がますます拡大することが予想される。特に自動車は部品数が多く、自動車産業サプライチェーン全体における CO_2 排出量は膨大である。しかし、中国では、自動車産業の規模の拡大を果たした一方で、企業乱立等の課題を抱えており、サプライチェーン全体の CO_2 排出量の把握はできていないのが現状である。

これに対し、世界資源研究所と持続可能な開発のための世界経済人会議を中心に設立された温室効果ガス（以下、GHG）プロトコルイニシアチブでは、GHG 排出量の算定と報告の基準を策定している。ここでは、CO_2 排出量を Scope1（直接排出）、Scope2（間接排出）、Scope3（その他事業活動外での排出量）の 3 段階に分けて排出量の開示を要求している [2)]。特に Scope3 の排出量は、調達物流や輸送などのサプライチェーンを含んだものであり、その他にも使用段階等における排出量も含まれている。中国を対象とした研究としては、セメントの LCA などが行われている [3)]。自動車産業においては、直接排出量は生産活動に直接関連しており、算定は比較的容易であるため、開示する企業が多数あるが、間接排出量を十分考慮できていないのが現状である。製品 LCA の観点からその双方を推計することにより、環境に優しい自動車の製造、使用、さらには、サプライチェーン全体の CO_2 排出量の削減を目指す、グリーンサプライチェーンの検討が可能となる。

そこで、本研究では、中国の自動車製造業を対象に、部品調達、生産、輸送、使用の各段階における間接排出量を考慮した乗用車 1 台あたりの CO_2 排出量を、サプライチェーン全体を通して推計し、その削減策を示すことを目的とする。削減策としては、工場立地変更による AVOID 戦略とともに、鉄道への SHIFT 戦略、完成車使用時の IMPROVE 戦略に着目する。

2. 使用データと CO_2 排出量の推計方法

車種の一般性及び今後のマーケット拡大方針、データ入手可能性から、上海自動車集団（SAIC）の子会社上海フォルクスワーゲン（SVW）が製造しているモデルラビダ（Lavida）を研究対象とする。

生産段階については JLCA データベースから車型の近いエネルギー投入データを使用した。輸送段階については、直接サプライヤー情報が入手できないため、SVW のウェブサイトの情報、公開資料や年鑑等 [4-7)]の情報を収集した上で、ヒアリング調査を実施し、取引情報と輸送機関情報を把握し、住所から輸送距離を計算した。ディーラーに関しては、上海 VW のウェブサイトに公開されている各省の販売店の数を収集した。使用段階については、燃費や燃料の情報は、公開情報 [4)]と消費者の自発投票を比較し、中国の現状に最も近いと思われる 11.1km/L を用いた。走行距離は年間平均 2.5 万 km といわれ、法定使用年数は原則 10 年である。

生産段階の CO_2 排出量は以下の式で推計した。

$$E = E_m + E_p + E_a \quad (1)$$

$$E_m = \sum_n (\sum_m g_m \times f \times W_m) \times u_n \quad (2)$$

$$E_p = \sum_n g_n \times f \times u_n \quad (3)$$

$$E_a = g_a \times f \quad (4)$$

E：生産段階の自動車 1 台あたり排出量 (t- CO_2)；
E_m：素材製造時の自動車 1 台あたり排出量 (t- CO_2)；
E_p：部品生産時の自動車 1 台あたり排出量 (t- CO_2)；
E_a：組み立て時の自動車 1 台あたり排出量 (t- CO_2)；
g_m：素材製造時の素材 1kg あたり使用電力量 (kWh)；
W_m：部品 1 個あたりの素材使用重量 (kg)；
u_n：自動車 1 台あたり部品使用数 (個)；
g_n：部品生産時の部品 1 個あたり使用電力量 (kWh)；
g_a：組み立て時の使用電力量 (kWh)；
f：排出係数 (t-CO_2/kWh)；
m：素材番号　m=1～54；　n：部品番号　n=1～31

輸送段階については、自動車部品の輸送車は 10t トラックで積載率 80%とし、完成車の陸上輸送機関はすべてトレーラーで 8 台積みとし、以下の式で求めた。

$$E_T = \sum_i E_i + \sum_c E_c + E_D \quad (5)$$

$$E_i = \frac{W_i \times d_{ij} \times C \times H \times F \times 44/12}{u} \quad (6)$$

$$E_D = \sum_s \frac{n_s}{876}\{E_M\delta_{sM} + E_R\delta_{sR} + E_c\} \quad (7)$$

$$E_c = \frac{W_c \times d_{kl} \times C \times H \times F \times 44/12}{q} \quad (8)$$

$$E_R = \frac{W \times d_{rn} \times F_R}{q} \quad (9)$$

$$E_M = \frac{W \times d_{lm} \times F_M}{q} \quad (10)$$

$$\sum_s n_s = 876 \quad (11)$$

E_T：輸送段階の自動車 1 台あたり排出量 (t- CO_2)；
E_i：部品輸送の自動車 1 台あたり排出量 (t- CO_2)；
E_c：完成車陸上輸送の自動車 1 台あたり排出量 (t- CO_2)；
E_R：完成車鉄道輸送の自動車 1 台あたり排出量 (t- CO_2)；
E_M：完成車水運輸送の自動車 1 台あたり排出量 (t- CO_2)；
E_D：完成車輸送の自動車 1 台あたり排出量 (t- CO_2)；
n_s：s 省のディーラー数；
δ_{sM}：完成車組み立て工場から s 省への輸送での水運利用の有無（1：利用あり、0：利用なし）；
δ_{sR}：完成車組み立て工場から s 省への輸送での鉄道利用の有無（1：利用あり、0：利用なし）；
W_i：部品ユニットの総重量 (t)； d_{ij}：輸送距離 (km)；
c：改良トンキロ法燃料使用原単位 (ℓ/tkm)；
H：単位発熱量 (GJ/kℓ)； F：排出係数 (t-C/GJ)；
i, j：サプライヤー番号 i=1～97； u：ユニット数；
q：完成車数； W：全車両重量 (t)；
d_{kl}：完成車組立工場とディーラーの道路距離 (km)；
d_{rn}：完成車組立工場とディーラーの鉄道駅距離 (km)；
d_{lm}：完成車組立工場とディーラーの港間距離 (km)

使用段階の CO_2 排出量は以下の式で推計した。

$$E_u = \frac{d}{e} \times f' \quad (12)$$

E_u：使用段階における排出量 (t- CO_2)；
d：自動車 1 台あたり生涯走行距離 (km)；
e： 自動車の燃費 (km/ℓ)；
f'：ガソリンの排出係数 (g-CO_2/kWh)

3. シナリオ設定と分析結果

シナリオの設定内容を図 1 に示す。a) 一次エネルギー消費量のうち天然ガスのシェアを 4.6%から 12%にするという国家能源局の発表と、鉄道電気化 60%の目標、b) 2020 年の中・重度混合動力車の年間乗用車生産販売量を 50%以上とし、燃費を 0.045L/km 以下にする計画、c) VW 中国グループによる 2015 年までに燃費を 11%削減する目標、d) 300km 以上の中距離でも鉄道輸送を利用すること、e) 政府の西部大開発による低税率等優遇政策を考慮して設定した。

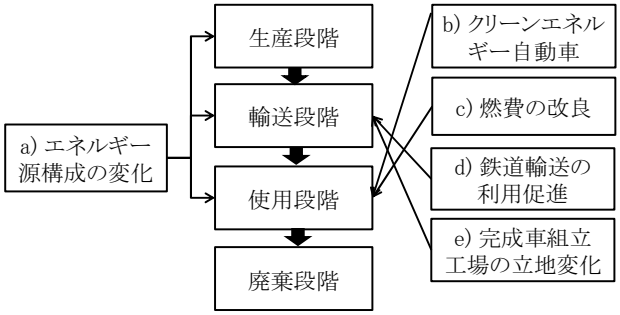


図 1 CO_2 排出量削減シナリオの設定内容

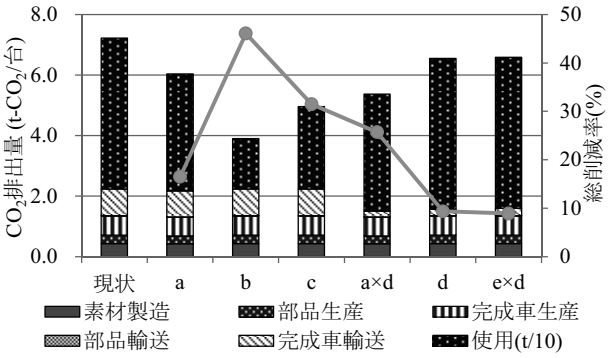


図 2 シナリオ別の CO_2 排出量推計結果

図 2 の分析結果を見ると、生産段階においては、もともと排出量が小さいため、シナリオによる大きな変化はないことが分かった。輸送段階に関しては、輸送手段が排出量に影響を及ぼすことが明らかである。使用段階における排出量の削減はサプライチェーン全体において非常に大きいことが分かった。中国では、自動車保有台数が増加し続けているが、併行して燃費改良やクリーンエネルギー自動車の普及が急務である。

4. おわりに

本研究では、中国の自動車製造業を対象に生産・輸送から使用までの CO_2 排出量を間接排出を考慮して推計するとともに、シナリオ分析から低炭素化を実現するグリーンサプライチェーンのための方策を検討した。

本研究の結果から、特に、完成車輸送に鉄道輸送を活用することで、排出量が 4 分の 1 になることが示された。部品輸送による CO_2 排出量は、1 台の自動車に使われる部品のみで考えれば値は小さいが、その値は鉄道貨物への転換（SHIFT 戦略）により半分近くになることが示され、今後の自動車保有台数の増加を考慮して掛け合わせれば、その削減効果は大きい。以上より、貨物鉄道の路線沿いに工場の集積を促し、産業コリドーを形成することによってサプライチェーンの低炭素化が可能であることが示唆された。

なお、本稿は、環境省・環境研究総合推進費戦略的研究開発領域（S-6）の支援により実施され、有益なご助言をいただいた。ここに記して謝意を表する。

引用文献

1) 王俊秀: ”中国汽车社会发展报告 2012-2013”, 社会科学院文献出版社, (2013)
2) GHG Protocol: “Corporate value chain (scope 3) accounting and reporting standard”, <http://www.ghgprotocol.org/standards/scope-3-standard>, 2015.01 参照
3) 張文宇, Dinil Pushpalal: 日本 LCA 学会誌, 8(2), (2012), pp.181-199
4) 上海大众汽车: “公司介绍”, <http://www.csvw.com/csvw2011/qygk/qyjj/gsjs/index.shtml>, 2015.01 参照
5) FOURIN: “中国自動車部品産業”, FOURIN, (2012)
6) 中国汽车工业协会, 中汽华轮公司: “中国汽车工业企事业单位信息大全”, 人民交通出版社, (2012)
7) 中国汽车技术研究中心, 中国汽车工业协会: “中国汽车工业年鉴”, 年鉴编辑部出版, (2012)

アジア各国を対象としたウォーターフットプリント

Water footprint focused on Asian countries

○小野雄也*[1)]、本下晶晴 [2)]、伊坪徳宏 [1)]
Yuya Ono, Masaharu Motoshita, Norihiro Itsubo
1) 東京都市大学, 2) 産業技術総合研究所
*g1293101@tcu.ac.jp

1. はじめに

水資源における遍在性の拡大や人口増加、発展途上国における生活水準の向上によって水不足が加速している。このような背景からウォーターフットプリントの議論や研究が進められ、2014 年 8 月 1 日、遂に ISO14046 ウォーターフットプリント（以下、WF）が批准された。今後は CFP のように製品・サービスにとどまらず、組織や国などにも適用されるなど、マクロな評価も予測される。実際、CREEA は国レベル、Hoekstra らは世界レベルの評価を行っている。しかし、評価を行うにあたり、WF 用データベースが必要となるが既存のデータベース [1-5)] は ISO に沿っているとは言い難い。また、特定の産業のみ評価対象となっており、必ずしもサプライチェーン全体を網羅していないことや一国産業連関表を使用しているため、輸入品に関する負荷が国内技術仮定としていることなど課題が存在する。

そこで本研究ではこれらの問題に対応するため、ISO の枠組みを継承し、かつ地域間国際産業連関表を用いた WF データベースを開発する。これにより複数国を対象とした評価が可能となり、輸入品は輸入国の実態を反映した負荷を示すことが出来る。本研究を活用することで今まで反映することが出来なかった海外由来の負荷を含めた結果を得ることができる。また、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 WF の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. アジアを対象とした WF データベース開発方法

ここでは 2005 年版アジア産業連関表を用いた水消費原単位の開発方法を記述していく。式 1 は原単位 e（m^3/1000US$）の算出式である。

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

ただし、d は直接負荷係数、I は単位行列、A は投入係数表である。原単位算出手順を下記に示す（図 1）。まず、各種統計資料からアジア国内における水消費量を「雨水、河川水、地下水」ごとに推計した。推計した水源別水量を該当する産業連関表の各産業部門に配分し、生産額で除することにより、直接負荷係数表を作成した(STEP1)。次に前述した通り、本研究は 2005 年版アジア国際産業連関表を用いている。アジア国際産業連関表は 10 カ国（アメリカ、日本、韓国、中国、台湾、タイ、フィリピン、マレーシア、シンガポール、インドネシア）を網羅した産業連関表であり、各国部門 76 部門の計 760 部門である。このうち、台湾は水に関する詳細な統計情報が入手できなかったため、中国と統合し、684 部門の行列を作成した。更にその後、貿易統計を用いて日本部門を 76 部門から 403 部門に詳細化した計 1013 部門の取引基本表を作成し、逆行列係数表を算出した(STEP2)。最後に上記の積をとることで各産業における原単位を算出した (STEP3)。

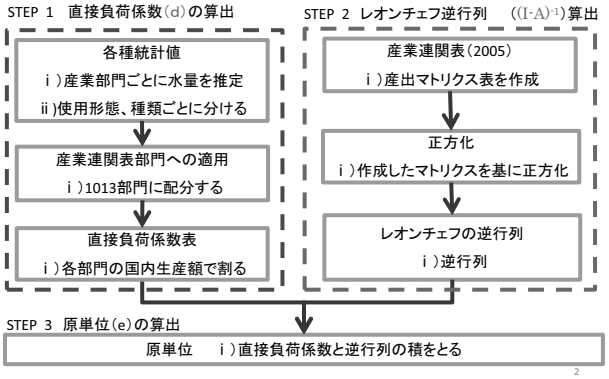


図 1　水消費原単位推計方法

3. アジアを対象とした WF データベース結果

図 2 に本研究（2005 年版アジア国際産業連関表を用いた水消費原単位）と既存研究 [6)]（2005 年版日本産業連関表を用いた水消費原単位）の比較結果を示した。なお、比較は日本 403 部門を対象に比較をしている。以下、各産業に注目しつつ、その特徴について述べる。

一次産業は金額当たりの水消費量が相対的に大きい。特に育林は、林業用山林面積が各国とも相対的に広く、栽培期間も長いこと、かつ生産額が他の一次産業と比べて相対的に低いため、金額当たりの水消費原単位が最も大きい傾向にある。また、米、麦類、豆類、砂糖原料及び育林部門は既存研究との差異が少ないことから日本負荷割合が高いことが分かる。その一方で、雑

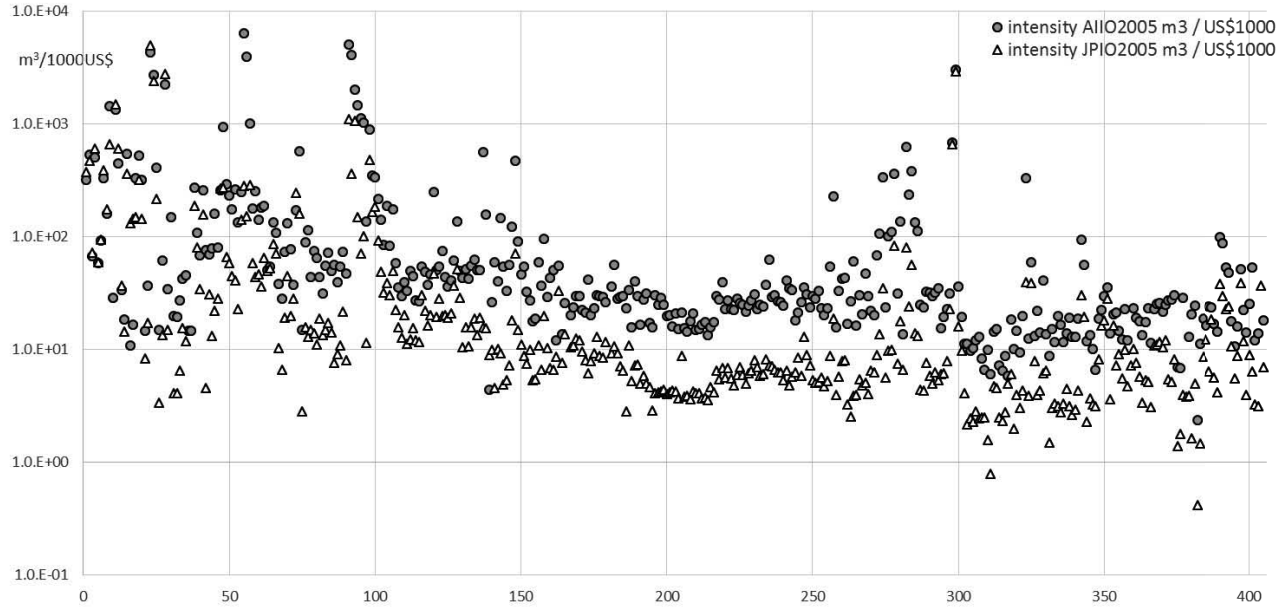


図２　本研究及び既存研究原単位[6)]の比較

穀や飼料作物、豚や肉鶏、肉用牛などの畜産部門は海外からの間接負荷割合が高いことが分かった。

二次産業は生産額当たりの水消費量が小さい部門と一次産業の影響から生産額当たりの水消費量が大きい部門に分けることができる。一般的に二次産業は回収水の利用割合が高いため、大量の水を消費せず生産が可能である。このため、一次産業からの影響が少ない部門の原単位は相対的に小さいが、海外負荷の影響から既存研究と比べて 10 倍近い差異を示した。その他の二次産業に着目すると一次産業からの影響から食品加工業、製材業、製皮・毛皮、畳・わら加工品などの部門が相対的に大きくなった。また、製粉やでん粉、植物油は海外からの負荷が特に大きい傾向を示した。

三次産業は工業用水及び上水道・簡易水道部門の水消費原単位が大きい。これらの部門は他国からの輸入に依存していないため、既存研究と比べて大きな差異がないことが分かる。その他の三次産業は上下水道・簡易水道の利用を通じた間接的な水消費が多いほか、素材等を一次産業、加工品等を二次産業からそれぞれ供給されているため、既存研究と比べ全体的に本研究の値が大きい結果となった。

4. まとめ

本研究では 2005 年版アジア産業連関表を用いて水消費原単位データベースを開発した。対象国は 9 か国、原単位は全 1013 部門である。一国版産業連関表と異なり、複数国からの負荷を反映することでより実態に即した結果を得ることができ、かつ従来の日本版産業連関表を用いた原単位データベースと同じく 403 部門の原単位を搭載しているため、マクロ分析だけでなく、ライフサイクルアセスメントへの応用にも対応可能である。

ISO によれば、WF で要求される基本フローは地理的情報や取水源に加え、汚染等の化学的パラメータや時間的な情報についても入手することを推奨している。今後の課題としてはこれらの要求事項を満足したデータベースのあり方について検討することや直接負荷データになりうる精度の高い統計データの入手等が挙げられる。

5. 引用文献

1) 小林由典, 親里直彦 (2008): 日本 LCA 学会誌, 4 (4), 359-366
2) The University of Sydney, The Virtual Water Cycle of Victoria, The University of Sydney ホームページ, 入手先 <http://www.isa.org.usyd.edu.au/publications/ISA_VirtualWater.pdf>, (参照 2011-9-25)
3) Xu Z., Chen B., Yang Z.F. (2009): ECOLOGICAL MODELLING 220, 245-253Matsuno Y., Betz M.: Int. J. LCA, 5 (5), (2000), pp 295-305
4) Blackhurst M., Hendrickson C., Vidal J. S. I. (2010): Environ. Sci. Technol, 44, 2126-2130
5) Ecoinvent, The ecoinvent Database, Ecoinvent ホームページ, 入手先<http://www.ecoinvent.org/ database/>, (参照 2014-3-12)
6) 小野雄也, 堀口 健, 伊坪徳宏 (2013) : LCA 学会誌, 9(2), 108-115

インベントリデータベースを用いたサプライチェーンの脆弱性評価

Vulnerability Assessment of Supply Chains using the Life Cycle Inventory Database

○中谷隼*[1)]、田原聖隆[2)]、工藤祐揮[2)]、中島謙一[3)]、醍醐市朗[1)]、栗島英明[4)]、西島亜佐子[1)]、森口祐一[1)]
Jun NAKATANI, Kiyotaka TAHARA, Yuki KUDO, Kenichi NAKAJIMA, Ichiro DAIGO, Hideaki KURISHIMA, Asako NISHIJIMA, Yuichi MORIGUCHI
1) 東京大学、2) 産業技術総合研究所、3) 国立環境研究所、4) 芝浦工業大学
*nakatani@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

2011 年に発生した東日本大震災やタイ洪水によって多くの産業プロセスや物流網が被災し、我が国に関与する多くのサプライチェーンが寸断される事例が報告された。東日本大震災の際には、被災地からの部品・素材の供給や物流網が滞り、関連する産業活動に影響を及ぼした。タイ洪水の事例は、サプライチェーンのグローバル化の進展に伴い、様々な国や地域における災害の発生が我が国のサプライチェーンに影響を及ぼす状態にあることを示した。特に、特定の部品・素材の供給力低下が、想定されなかった形で波及的に様々な製品やサービスの供給に影響を及ぼす事例が見られた。こうした背景から、国内生産プロセスと原料輸入の両面で、それらの寸断によるサプライチェーンリスク（SCR）の分析が求められる。

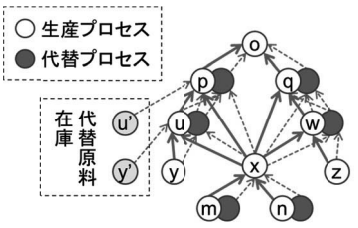
本研究では、グラフ理論を応用し、生産プロセスおよび原料の代替性を考慮して、サプライチェーン構造の脆弱性を評価する枠組みを構築した。さらに、我が国のインベントリデータベースに基づく IDEA マトリクスを脆弱性評価の枠組みに適用して、国産製品のサプライチェーンの中で、寸断による波及的影響が大きく、脆弱性の要因となる国内生産プロセスと輸入原料を特定する。

2. 分析方法

2.1 脆弱性評価の枠組み

ここでは、生産プロセスや輸入の寸断によって原料を調達できなくなって（物理的に）生産が不可能になるリスクを「サプライチェーンの機能停止リスク」と定義し、それに対する影響の受けやすさをサプライチェーン構造の「脆弱性」とする。グラフ理論を用いて、サプライチェーン構造と機能停止リスクの関係をモデル化し、代替性を考慮してサプライチェーン構造の脆弱性を評価する枠組みを構築した[1)]。

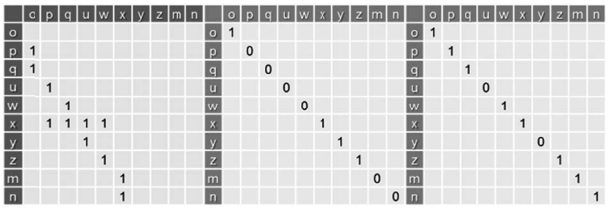
まず、製品・部品・素材の生産プロセスをノード、それらの需給関係をエッジとした有向グラフによって、サプライチェーン構造を表現する（**図 1**）。ここで、複数の生産プロセス（供給元）から実線の矢印が入っている状態は「AND 節点」であり、いずれからの供給が滞っても生産できないものと考える。生産プロセスの代替性は、各ノードの背後に代替プロセスを表すノードを配置することで表現される。また、そのプロセスが生産する部品・素材に代替となる原料（輸入原料など）や在庫が存在することは、それぞれの横にノードを配置することで表現される（**図 1** 参照）。生産プロセスからの矢印と代替プロセスまたは代替原料・在庫からの点線の矢印が入っている状態は「OR 節点」であり、いずれかの供給元が寸断していなければ生産が可能であるものと考える。



注）ノード i からノード j へ向かうエッジ（矢印）は、ノード i で生産される部品や素材がノード j へ供給されて、原料として用いられることを示す。

図 1　サプライチェーン構造の有向グラフの例

次に、ノード i からノード j へ向かうエッジが存在する場合に要素が $a_{i,j} = 1$ となる隣接行列 $\boldsymbol{A}$ を定義して、有向グラフによって表現されたサプライチェーン構造を行列によって記述する（**図 2**）。プロセス寸断性行列 $\boldsymbol{S}_P$ は、ノード i に代替プロセスが存在しない場合に寸断の危険性が高いと考え、要素（対角成分）を $s_{i,i}^{P} = 1$ とする。また、原料寸断性行列 $\boldsymbol{S}_Q$ は、ノード i で生産される部品・素材に代替原料や在庫が存在しない場合に寸断の危険性が高いと考え、要素（対角成分）を $s_{i,i}^{Q} = 1$ とする。



注）各行は部品や素材の供給元、各列が供給先を表す。

図 2　サプライチェーン構造の隣接行列（左）、プロセス寸断性行列（中）、原料寸断性行列（右）の例

隣接行列 $\boldsymbol{A}$ および単位行列 $\boldsymbol{I}$ を用いた (1) 式のブール演算によって、可達行列 $\boldsymbol{R}$ が算出される。可達行列の要

素が $r_{i,j} = 1$ であることは、i 行の生産プロセスが寸断することで、j 列の生産プロセスが多かれ少なかれ波及的影響を受けること意味する。

さらに、(2) (3) 式のブール演算によって算出される行列を、プロセス脆弱性行列 $\boldsymbol{V}_P$ および原料脆弱性行列 $\boldsymbol{V}_Q$ と定義する。プロセス脆弱性行列の要素が $v_{i,j}^{P} = 1$ であることは、i 行の生産プロセスが寸断することで（その代替原料や在庫がなければ）j 列のプロセスの生産が不可能になることを意味する。一方、原料脆弱性行列の要素が $v_{i,j}^{Q} = 1$ であることは、i 行の生産プロセスが寸断することで（その代替プロセスがなければ）j 列のプロセスが原料を調達できず、生産が不可能になることを意味する。

$$\boldsymbol{R} = (\boldsymbol{I} - \boldsymbol{A})^{-1} \quad (1)$$

$$\boldsymbol{V}_P = \boldsymbol{S}_P \cdot \boldsymbol{R} \quad (2)$$

$$\boldsymbol{V}_Q = \left(\boldsymbol{I} - \boldsymbol{S}_Q \cdot \boldsymbol{A}\right)^{-1} \quad (3)$$

例えば、**図 2** の隣接行列と寸断性行列から算出された可達行列と脆弱性行列は、それぞれ**図 3** のようになる。ノード x が寸断すると、それ自身を含め６つのプロセスが生産できなくなる。また、どの生産プロセスが寸断してもノード o は波及的影響を受け、代替プロセスと代替原料や在庫の両方を考慮すると、ノード x やノード z の寸断によってノードoは生産できなくなることが分かる。

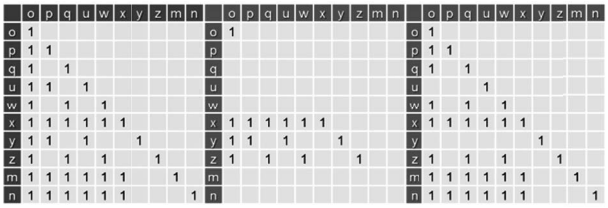


図３　サプライチェーン構造の可達行列（左）、プロセス脆弱性行列（中）、原料脆弱性行列（右）の例

2.2　SCR 分析用 IDEA マトリクスの整備

我が国のインベントリデータベースである IDEA [2] から、産業連関表の投入係数行列と同様に、各列に生産プロセス、それぞれから産出される製品（他の生産プロセスにとっては、投入される原燃料などになる）を各行に配置して、1,847 品目の正方行列を作成した。各列の要素には、それぞれの生産プロセス（単位量）への原燃料などの投入量が記述される。この IDEA マトリクスをもとに、以下の手順で、上記の隣接行列 $\boldsymbol{A}$ に相当する「SCR 分析用 IDEA マトリクス」を整備した（**図 S1** 参照）。

① 各生産プロセスについて、区分が「資源/原材料」の品目を残して、他の品目（ユーティリティや廃棄物処理など）の投入量は 0 にする。
② 直接的な原料ではないと判断される品目（建設補修、段ボールなど）も、投入量を 0 にする。
③ 合算インベントリの影響が大きいと判断される生産プロセス（品目名が「その他の…」「他に分類されない…」など）は、全ての品目の投入量を 0 にする。
④ 行列の各要素を、バイナリ変数に変換する（正値の要素は 1 に変換、0 の要素は 0 のまま）。

3.　分析結果

国内生産プロセスと原料輸入の寸断によるリスクを分析するために、脆弱性評価（原料脆弱性行列）の枠組みに SCR 分析用 IDEA マトリクスを適用した。まず、(4) (5) 式によって、国内可達行列 $\boldsymbol{R}_D$ と輸入可達行列 $\boldsymbol{R}_F$ を定義および算出した（**図 S3**、**図 S4** 参照）。$\boldsymbol{M}$ は IDEA に付記された国内生産量と輸出入量から算定した輸入行列であり、$(\boldsymbol{I} - \boldsymbol{M})$ をバイナリ変数に変換した。

さらに、国産原料寸断性行列 $\boldsymbol{S}_{DQ}$ と輸入原料寸断性行列 $\boldsymbol{S}_{FQ}$、(6) (7) 式によって、国産原料脆弱性行列 $\boldsymbol{V}_{DQ}$ と輸入原料脆弱性行列 $\boldsymbol{V}_{FQ}$ を定義および算出した（**図 S3**、**図 S4** 参照）。国産原料寸断性行列の要素は輸入係数が 0.1 以下のときに 1、輸入原料寸断性行列の要素は輸入係数が 0.9 以上のときに 1 になるバイナリ変数とした。

$$\boldsymbol{R}_D = (\boldsymbol{I} - (\boldsymbol{I} - \boldsymbol{M})\boldsymbol{A})^{-1} \quad (4)$$

$$\boldsymbol{R}_F = \boldsymbol{M} \cdot \boldsymbol{A} \cdot \boldsymbol{R}_D \quad (5)$$

$$\boldsymbol{V}_{DQ} = \left(\boldsymbol{I} - \boldsymbol{S}_{DQ} \cdot \boldsymbol{A}\right)^{-1} \quad (6)$$

$$\boldsymbol{V}_{FQ} = \boldsymbol{S}_{FQ} \cdot \boldsymbol{A} \cdot \boldsymbol{V}_{DQ} \quad (7)$$

国産原料脆弱性行列の要素が $v_{i,j}^{DQ} = 1$ であることは、国内で i 行の生産プロセスが寸断することで、j 列のプロセスが原料を調達できず、生産が不可能になることを意味する。輸入原料脆弱性行列の要素が $v_{i,j}^{FQ} = 1$ であることは、i 行の原料輸入が寸断することで、j 列のプロセスが原料を調達できず、生産できなくなることを意味する。

4.　おわりに

本稿で算出した脆弱性行列は、国内生産プロセスや原料輸入が寸断した場合に、どういった国産製品のサプライチェーンが影響を受けるかを表しており、それぞれが寸断する危険性については、代替性の有無のみを考慮した離散的な分析になっている。今後、生産プロセスごとの国内地域の寡占度や、輸入原料ごとの輸入相手国の寡占度を HHI 値によって表し、定量的な分析に発展させる。

謝辞　　本研究は、科学研究費補助金・基盤研究 A（24246150）「リスクに対する頑健性と柔軟性を備えた環境調和型サプライチェーン設計手法の開発」（代表：森口祐一）の一環として実施された。

引用文献

1)　中谷隼 他：開発技術 19，pp. 23-35（2013）
2)　田原聖隆 他：第 9 回 日本 LCA 学会研究発表会，C2-07（2014）

IDEA マトリックスを用いた次世代自動車導入の産業構造解析

Industry structural analysis of the advent of new-generation vehicle using the IDEA matrix

○田原聖隆*[1)]、工藤祐揮 [1)]、畑山博樹 [1)]、本下晶晴 [1)]、河尻耕太郎 [1)]、本田智則 [1)]、野村昇 [1)]、匂坂正幸 [1)]

Kiyotaka Tahara,Yuki Kudoh, Hiroki Hatayama, Masaharu Motoshita, Kotaro Kawajiri, Tomonori Honda, Noboru Nomura, Masayuki Sagisaka

1) 産業技術総合研究所

* k.tahara@aist.go.jp

1. はじめに

持続発展可能な社会構築という社会的要請に対して、新たな社会システム(新規技術・政策)の導入が必須とされる。新たな技術が導入に対する環境への直接的な影響のみだけではなく、産業構造の変化など、社会全体に波及的に生じる間接的な影響まで動的かつ包括的に評価することが求められている。従来から産業連関表を利用して経済波及効果などの評価が可能であったが、産業連関表は金額ベースであり、かつ 400 分類での分析となっているので、詳細な分析には不向きである。そこで、本研究では、1 次産業と 2 次産業および 3 次産業の一部を対象としたインベントリデータベース IDEA を用い、我が国の産業構造を示した IDEA マトリクスを作成し、新規社会システムとして次世代自動車の導入を対象として、産業構造解析に用いることを試みた。

2. IDEA マトリックスの作成

我々が作成したインベントリデータベース IDEA から、IDEA マトリックスを作成した [1)]。IDEA は主に統計データをベースにしたハイブリッド積み上げ方を採用して作成され、約 3800 のデータを格納している。IDEA データベースは対象年を 2010 年と設定されている。IDEA 分類は図 1 に示すように階層構造を有しており、そのうち生産量の情報が入手可能でかつ網羅性を確保できる約2000データをIDEAマトリックスに用いた。

図 1 IDEA データベースの階層構造

IDEA マトリックスは、プロセスデータの集まりである投入係数表に生産量の対角行列を乗じることによって作成した。IDEA マトリックス各製品・サービスのプロセスデータに生産量を乗じると、製品・サービスを供給するために必要な製品の使用量を把握することができる。また、最終需要量(サービス業等)、輸出入量を計上することによって対象製品・サービスがどこに供給されているかを把握が可能となる。この IDEA マトリックスを用いることで直接的な需要と供給を定量化ができ、かつ投入係数の逆数を用いることで直接と間接を含めた波及的な需要量の定量化が可能となる。

3. 次世代自動車導入の産業構造解析

IDEA マトリクスを用いた産業構造解析を次世代自動車の導入を対象とし実施した。自動車は、従来の社会システムとしてはガソリン車(GV)であるが、ハイブリッド自動車（HEV）や電気自動車（EV）などの次世代自動車の大規模な普及が政府目標として掲げられており解析に適していると考えた。対象は乗用車のみとした。

3.1 乗用車の生産保有台数シナリオ

次世代自動車の産業構造解析を実施するためには、製造時のみではなく使用時も考慮に入れる必要があるため、生産台数および保有台数を推算した。生産台数および保有台数生産台数の予測は､各年の生産台数を､保有台数の変化と廃棄分の買い替えを考慮して推計した。保有台数予測モデルの要素は、経済成長による増加と人口減少による現象とし、廃棄台数予測モデルの要素は過去の販売台数数位と使用年数分布とした。生産台数のうち、GV、HEV、EV 内訳は、次世代自動車戦略 2010[2)]より導入割合の目標値を用いた。2030 年までの生産台数と保有台数の推移を図 2 に示す。

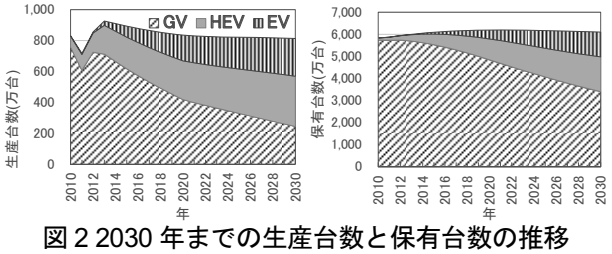


図 2 2030 年までの生産台数と保有台数の推移

3.2 解析方法

IDEA マトリックスの投入係数と次世代自動車の普及に対する生産量と使用時に必要な燃料等の製品の使用量を 2010 年から 2030 年の直接的な需要量の変化を算出し(図 3)、間接的な需要量の変化を把握するために、直接的な需要量に IDEA マトリックスの逆行列係数を乗じて直接および間接を含めた需要量の変化を定量した。乗用車使用時の燃料は燃費として GV は 10.5km/L、HEV は 16km/L、EV を 6km/kWh として年間走行距離を 9000km と仮定して算出した。その他メンテナンスは、エンジンオイルとバッテリーとタイヤを考慮した。

3.3 需要量変化

2010 年から 2030 年までの約 2000 の各製品・サービスごとの需要量を算出し、需要量の変化を把握した。解析結果の一例として「アンモニア，ＮH3 100%換算」の需要量の変化を図 3 に示す。

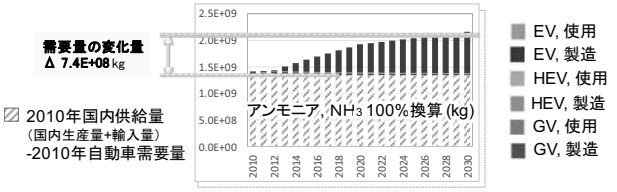


図 3 解析結果例(アンモニア)

2010 年における国内の供給量は 1.43E+09 kg(国内生産量:1.18E+09 kg、輸入量:2.51E+08 kg)であるのに対して、2030 年には加えて 7.4E+08 kg が必要となることから、供給量は 1.5 倍必要となる。アンモニア増加する要因としては、電気自動車用に搭載されるリチウムイオンバッテリーの製造時に硝酸が大量に必要になることに由来する。電気自動車のプロセスデータは 1 点データであるため精査は必要となるが、波及の影響で需要量が大きくなる製品を確認することができた。

3.4 環境影響の変化

次世代自動車が導入時の環境影響を把握した。2010 年の製造･使用の環境影響を基準として 2030 年の各影響領域への環境影響量の変化を求めた。図 4 に示すように、地球温暖化や資源消費（化石燃料）の影響は減少し、資源消費（鉱物資源）は大きくなる結果となった。これは、バッテリー等に鉱物資源が多く用いられていることに由来する。

4. 産業連関分析との比較

産業連関表でも同様の解析が可能である。IDEA マトリックスを用いた場合との相違の確認を行った。2010 年に対する 2030 年の需要比率を IDEA と IO で比較した結果の例を図 5 に示す。次世代自動車の生産増大により、電池、モーター関連部門の生産量が増加することが確認することができる。IO で分析した結果は、現在の電池で生産量が多い鉛電池の影響により「鉛・亜鉛」の必要量が増加しているが、IDEA では実際に生産が増加するリチウムイオン電池の生産増加に伴う影響が分析できている。

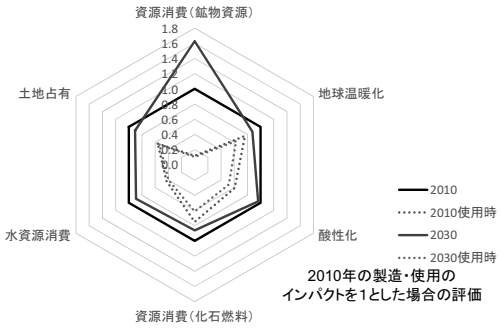


図 4 2010 年に対する 2030 の環境影響

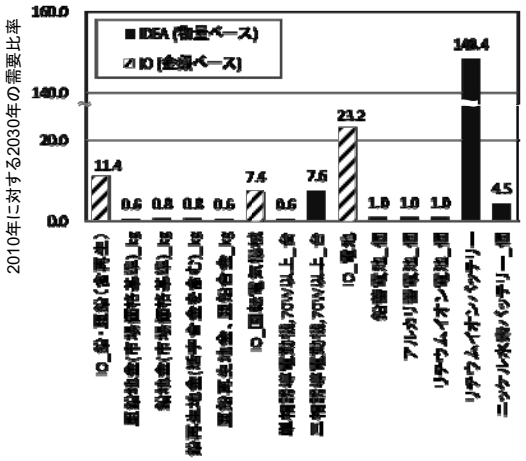


図 5 IDEA マトリックスと IO の比較例

5. おわりに

インベントリデータベースである IDEA から IDEA マトリックスを作成し、次世代自動車導入に対してどのように影響するかについて解析した。直接の需要増加のみではなく、間接を含めた需要の変化および需要と供給のバランスについて把握することができた。産業への影響を定量的に示すことが可能であることから、多種活用方法が考えられる。

引用文献

1） 田原聖隆ほか:“第 8 回日本LCA 学会研究発表会”, 滋賀, (2013), pp.278-pp279

2） 経済産業省:“次世代自動車戦略 2010 について” 経済産業省, (オンライン), 入手先 <http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004630/pdf/20100412002-3.pdf>, (参照 2015-01-06)

サプライチェーンを通じた環境リスクの ホットスポット特定のためのデータベース作成検討

Study of database production for identification of environmental risk hot-spots in supply chain

○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

組織では気候変動など環境から受ける影響も考慮する必要がある。例えば、新たな環境マネジメントシステムの国際規格（ISO 14001:2015）では組織が環境から受ける影響もマネジメントするよう要求事項が増える予定である。気候変動からの影響評価は、IPCC 報告書をはじめ様々な検討がなされている。しかし、サプライチェーンを通じて製品設計者等が簡易に気候変動からの影響を評価するための方法は開発されていない。そこで、本研究では LCA の枠組みを用いて気候変動による潜在的な影響を相対的に評価できる方法を開発することで、製品設計時等における適応策の簡易的な検討の支援を目的とする。

2. 方法

2.1 LCA を用いた適応策検討の枠組み

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、本研究で提案する、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を図 1 に示した。まず具体的な気候変動によって引き起こされる影響を想定する。気候変動に関わる環境動因（気候動因）として、IPCC[1)] は温暖化傾向、乾燥傾向、極端な降水などを挙げている。これら気候動因は、人間健康や農産品に影響を与える。そして、それぞれの影響にそれによって影響を受ける基本フローを特定する。例えば、サイクロンによって農作物が影響を受けるが、その影響は長い期間・広い土地を利用していると潜在的影響は大きくなる。そのため、基本フローは土地の利用[m^2year]である。そして、その土地を多く要するアクティビティを特定することで、適応策検討の優先順位を示すことができる。

気候変動からの影響は、暴露、ハザード、脆弱性の相互作用による [1)]。暴露とは、「悪影響を受ける可能性がある場所及び環境のなかに、人々、生活、生物種又は生態系、環境機能・サービス及び資源、インフラ、もしくは経済的、社会的又は文化的資産が存在すること [1)]」とされる。そこで、定量化された存在としてインベントリ分析結果を暴露と定義した。影響を被るおそれのある基本フローが多いほど、暴露されるとした。

ハザードとは、「健康影響に加え、財産、インフラ（中略）、生態系及び環境資源の損害や損失をもたらしうる、自然又は人間によって引き起こされる物理的事象又は傾向が発生する可能性、あるいは物理的影響 [1)]」である。そこで、物理的な現象として「発生する可能性、あるは物理的影響」を考慮して設定することにした。

脆弱性とは「悪影響を受ける傾向又は素因 [1)] 」である。そこで、気候変動からの影響を社会的に完全に押さえ込むことができる状態をゼロと定義した。脆弱性の定義には様々なものがあるが、本手法では社会経済的側面のみを対象とし、物理的な側面を示すハザードと区別する。評価式を下記に示した。

$$CI = \sum_i (Exp_i \cdot f(Haz_i, Vul_i))$$

ここで、*CI* は影響領域指標、*Exp* はインベントリ分析結果（暴露）、*Haz* はハザード、*Vul* は脆弱性である。

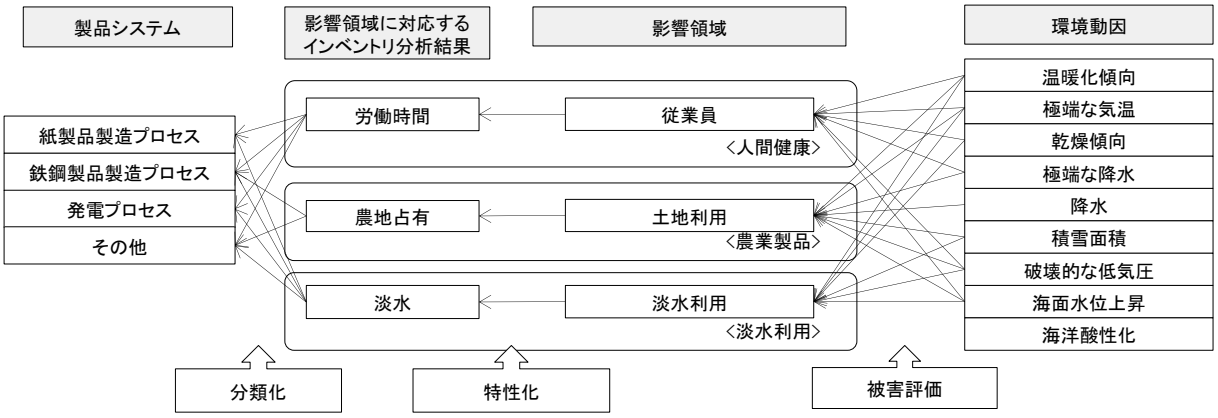


図 1　気候変動からの影響を評価する枠組み

2.2 影響領域の設定

一般的な LCA においては、気候変動が一つの影響領域である。それは関係する基本フローを CO_2 に自然科学的に影響を換算できるからである。しかし、適応策の検討では干ばつや森林火災に関わる基本フローを定量化するため、それらの基本フローを単純に合算できない。そのため、気候変動の影響領域を、人間活動への影響、農業生産減少、水資源減少、物流寸断のサブカテゴリに分割した。

人間健康への影響は、伝染病や熱波など様々な影響が想定されるが、直接的には従業員への影響として顕在化する。そのため従業員の労働工数[人時]を領域指標とした。

農業生産減少は、農業用地面積が大きく、また利用期間が長いほど影響が大きいと考えられる。そのため農業用地の占有面積と時間の積[m^2year]を領域指標とした。水資源枯渇は、干ばつや洪水により、衛生的な淡水へのアクセス性が低下することである。そのため淡水体積[m^3]を領域指標とした。

2.3 地理的側面の評価

気候変動の影響は物理的な気候変動の影響の程度（ハザード）と、社会経済的にそれらに対応する能力の程度（脆弱性）によって異なる。そのため、気候変動に関わるそれらの影響を国・地域別に係数化したものとして、Global Climate Risk Index (CRI)[2]がある。当該係数の作成データとして、1993 年から 2012 年の人口あたりの気候変動に関わると想定される災害に起因する死者数および GDP に対する被害の割合を示している。そこで、本手法では人口あたりの被害人数を人間健康に関わる影響評価に、また GDP に対する被害の割合を社会資産に関わる影響領域の係数に用いた。

2.4 物理的側面の評価

気候変動の影響は、土地利用であれば河川のデルタ地帯がより洪水の発生確率が高いように、同じ国であっても場所によってハザードは異なる。しかし、これら区分でインベントリデータは整備されていないため、現段階では区別せずに後述のケーススタディを行った。

3. ケーススタディの試行

情報用紙 1kg の製造までをシステム境界とし、図 2 に示すケーススタディを実施した。インベントリデータは製紙工程については JLCA-DB、バックグラウンドデータについては IDEA v.1.1 を利用した。ただし、労働時間など一部の数値は推定値である。

その結果、図 3 に示すようにベトナムからのチップ調達が最も影響を受けるという評価になった。次いで、豪州からのチップ輸入となった。ベトナムは気候変動からの影響を受けやすいとされ、適応策の検討が必要とされる。本手法では潜在的な環境からの影響を評価するため、ホットスポットの特定までは可能であるが、ベトナムにおける実際の環境リスク評価まではできない。そのため、ベトナムにおけるチップ調達に関わるサプライチェーンを精査し、具体的な気候変動リスクの抽出と適切なマネジメントが望まれる。

4. まとめ

本報では LCA の枠組みを用いて気候変動からの潜在的な影響を評価し、ホットスポットを特定する方法を提案した。既存のインベントリデータベースの基本フローを利用して一定の評価が可能であるが、より信頼性の高い結果を得るには環境リスクを考慮した基本フロー区分を検討し、データ整備することが必要である。今後、本方法が環境リスクの効率的な管理に資するか実例を通じて検証していく必要がある。

引用文献

1) IPCC：“Summary for Policy makers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Summary for Policymakers”, (2014), pp.1‐32

2) Kreft, S., Eckstein, D. :“Global climate risk index 2014”, (2014), pp.1–28.

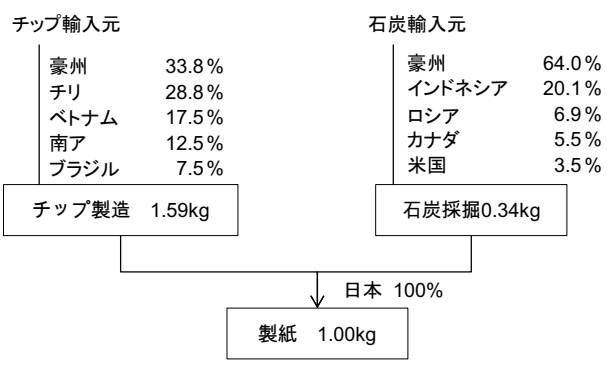


図 2 ケーススタディの製品システム

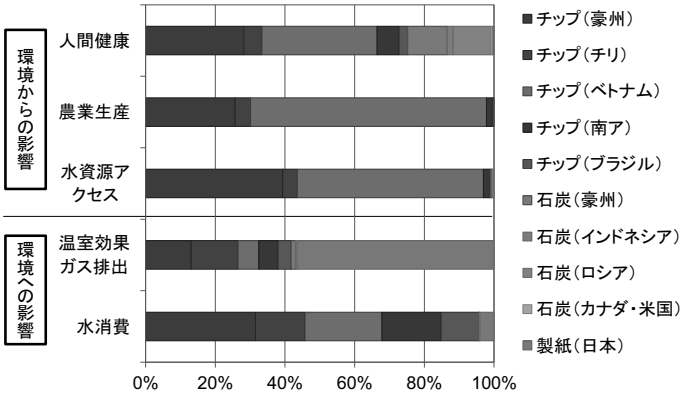


図 3 ケーススタディ結果（推定値含む）

日本の家計消費に伴うカーボンフットプリントとマテリアルフットプリントの比較

Comparison between global carbon and material footprints of Japanese households

○重富陽介*[1)2)]，南齋規介 [2)]，東野達 [1)]
Yosuke Shigetomi, Keisuke Nansai, Susumu Tohno
1) 京都大学, 2) 国立環境研究所
* shigetomi.yosuke.46w@st.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

近年では，持続可能な社会の実現に向けた多面的な取り組みの必要性から，国や地域スケールの最終需要が誘発する複数のフットプリントを可視化する動きが始まっている [1)]。しかし，先進国において最もカーボンフットプリント (CF) を誘発するとされる家計消費が誘発する複数の環境負荷量を比較した先行研究は，GHG とエネルギー消費量を比較したものを除くと数少ない。地球温暖化は現在最も喫緊の環境問題であり，低炭素化技術における関心は年々高まっている。そのため，発生起源が異なる CF と資源消費に焦点を当てたマテリアルフットプリント (MF) の構造をそれぞれ同時に可視化しておく必要性は大きい。

このような背景から，本研究では国内家計消費が誘発する CF と低炭素化技術に重要なレアメタル (Nd, Co, Pt) の MF について世帯別解析を実施し，温暖化と資源問題の両側面をライフスタイルの違いから捉えることを研究目的とした。

2. 方法

2.1 五分位年収階級別家計消費支出額の算定

本研究では，日本の家計消費が誘発する CF および MF を，GLIO モデル [2)] を用いて算定した。GLIO の一部を構成する国内産業連関表 (JIOT) の家計消費支出部門は単一部門で表現され，世帯属性の消費傾向を反映する支出額を得るためには外部の公的統計を利用してこれを分割する必要がある。ここでは最新の 2005 年の JIOT に最も近い 2004 年の全国消費実態調査 (NSFIE) を利用することで，五分位年収階級別世帯の年間支出額を以下のように推計した。この方法は，国内家計消費支出部門を 6 つの世帯主年齢階級別支出額に分割した Shigetomi et al. (2014) [3)] の方法論を応用したものである。

まず，世帯属性 j の単位支出額あたりの部門 i における支出割合$r_{ij} = P_{ij}/\sum_{i=1}^{N} P_{ij}$と，商品部門 i における世帯属性間のシェアを示す$s_{ij} = P_{ij}/\sum_{j=1}^{M} P_{ij}$を算出した。ここで$P_{ij}$は，NSFIE を利用して得た，JIOT における商品部門 i への世帯別支出額 (百万円/m) であり，N=409 は部門数, M=5 は世帯属性数である。このとき，定義した部門対応に基づいて NSFIE の支出項目別消費額を JIOT の商品部門消費額 (購入者価格) に変換した。また，NSFIE の支出項目が JIOT の複数部門に対応する場合は，対応する複数部門の JIOT における家計消費支出額の大きさによって NSFIE の支出額を分配した。両者による世帯の消費特性を最も反映し，かつ JIOT の家計消費における部門別支出額g_i (百万円/y) に整合する世帯属性別の部門別消費割合$\tilde{r}_{ij}$を，式(1)で定義された目的関数を式(2)-(5)の制約条件下で最小化する二次計画問題を解くことで決定した。

$$\underset{\tilde{r}_{ij},\tilde{s}_{ij}}{\mathrm{Min.}} \sum_{j=1}^{M}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{\tilde{r}_{ij}-r_{ij}}{r_{ij}}\right)^2 + \sum_{j=1}^{M}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{\tilde{s}_{ij}-s_{ij}}{s_{ij}}\right)^2 \quad (1)$$

s.t.

$$g_i = \sum_{j=1}^{M} \tilde{r}_{ij} g_{ij} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{N} \tilde{r}_{ij} = 1 \quad (3)$$

$$\tilde{s}_{ij} = \tilde{r}_{ij} g_j / g_i \quad (4)$$

$$\tilde{r}_{ij} \geq 0 \quad (5)$$

ここでg_jは，JIOT の家計消費総支出額を全消調査の世帯別年間総支出額のシェアで按分して得た世帯別年間総支出額である。このg_jに，上の二次計画問題の解である$\tilde{r}_{ij}$を乗じることで，部門 i における世帯別支出額g_{ij}を得た。ここまでの値は購入者価格を基にしており，CF と MF の計算に用いる GHG 排出原単位および単位金額あたり MF に合わせて，g_{ij}を生産者価格f_{ij}に変換した。したがって，本研究で求めた 5 つの世帯属性別の消費額の合計は，JIOT の家計消費の総支出額と整合する。このf_{ij}に部門 i ごとの輸入率 m_i を用いて国産品と輸入品に対する消費額を決定した。また，政府が補助する教育費および医療費については，国民の負

担率を用いて正味の支出額を計算した。さらに, MF の算出に利用した支出額については，家計の医療サービス需要が誘発する MRI 等の医療機器における固定資本や，家計が主に需要する商品にほとんど対象とするレアメタルが投入されていないと予想される一部の部門を考慮した。したがって，CF と MF の計算で用いた家計消費支出額は若干異なる。

2.2 CF と MF の算定

本研究における家計消費が誘発する CF (Mt-CO_2eq/y) は，2005 年の 3EID を基に算定したマイカーや暖房器具の使用等による燃料燃焼に由来する直接排出量と，国産品と輸入品に対応する GLIO の GHG 排出原単位を用いて算定したサプライチェーンで生じる間接排出量の和とした。また，家計消費由来の MF (t/y) は，GLIO の国産品と輸入品における単位最終需要あたりレアメタルの MF を用いて算定した。

2.3 世帯人員を考慮して重み付けした支出額の算定

本研究で対象とする五分位年収階級別世帯は，それぞれ平均世帯人員が異なるため，各世帯のライフスタイルの違いによる CF および MF を比較するときにはその点を考慮する必要がある。例えば，世帯人員が増加することで世帯支出額も増加するが，その変化率は世帯人員に比例しない。そこで OECD の”Square root scale”を用いて各世帯の一世帯あたり支出額を平均世帯人員の平方根で除することで重み付けし，それぞれの一世帯あたり CF および MF の特徴を世帯間の世帯構成人数の違いを考慮して考察した。

3. 結果

本稿では，算定した 2005 年の家計消費が誘発した CF と Nd, Co, Pt の MF の特徴について述べる。図 1 に 2005 年の CF と各 MF の内訳を，GLIO の約 400 部門を統合して定義した 17 分類 [4] で示す。この 17 分類は，United Nations Statistics Division による Classification of Individual Consumption by Purpose (COICOP) に基づきながら家計の直接エネルギーに関する部門を細分化したものである。家計消費をはじめとする最終需要が誘発する環境負荷量ないしインパクトを COICOP で表現した先行研究は多数存在するため，COICOP に準拠させることでそれらとの比較が容易となる。

同年の家計消費が誘発した CF の総量は 1108Mt-CO_2eq/y であった。そのうち最も大きな誘発シェアを占めたのが [15] Vehicle fuels and lubricants (12.3%) で，僅差で[1] Food and non-alcoholic beverages (12.1%)，[11] Electricity (12.0%) が続いた。日本では[15] Vehicle fuels and lubricants が [14] Other transport を，[11] Electricity が [12] Gas を上回ったのに対し，UK [4] ではそれぞれの大小関係の逆転が起こっている。このことから日本は UK と比べて，交通の CF においては自家用車の直接利用による寄与が公共交通機関等の利用よりも大きく，また家庭内の CF においてはガスよりも電力による寄与が重大であることが示唆される。

同様に，Nd，Co，Pt の MF は，それぞれ 360 t/y, 3808 t/y，8.8 t/y であった。いずれのレアメタルにおいても[16] Other transport による寄与が最も大きく，特に Nd の MF の約半分を占めた。CF においては 4 番目に大きく寄与する分類であり，したがってこれらに関連するサプライチェーンのモニタリングが非常に重要であると考えられる。Nd の MF において次に大きい寄与を示したのは[7] Recreation and culture (22.3%) であったが， CF においては大きく寄与しない。Co の MF においては 3 つのレアメタルの中で[1] Food and non-alcoholic beverages (9.1%) による寄与が最も顕著であり，CF と同様に重要な分類であることが示唆される。Pt の MF においては[5] Health (22.8%) による寄与が非常に大きく，CF と同様に [3] 今後の少子高齢化による医療需要の増加の影響が懸念される。

当日の発表では，五分位年収階級世帯別の CF および MF における分析結果とその考察についても報告する。

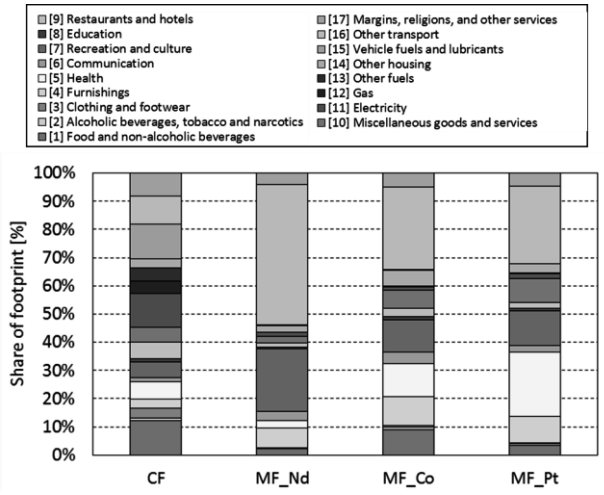


図 1. 家計消費由来の CF と Nd, Co, Pt の MF の内訳 (%)。17 分類は UN の COICOP に基づく。

4. 引用文献

1) Galli et al. *Ecol. Indic.* 2012, 16, 100-112.
2) Nansai et al, *Econ. Syst. Res.* 2009, 21, 267-290.
3) Shigetomi et al. *Environ. Sci. Technol.* 2014, 48(11), 6069-6080.
4) Chinis et al. *Ecol. Econ.* 2012, 84, 129-141.

東アジアを含めた硬質塩化ビニル建材の再資源化システム構築に関する研究

-東アジアにおける塩化ビニル廃材のマテリアルフローのモデル化-

Study on recycling system of rigid PVC building material in East Asia.
- Modeling the material flow of PVC scrap in East Asia -

○磯部孝行*[1)]、清家剛 [1)]、金容善 [1)]、伊藤篤司 [1)] 、原田優作 [2)]
Takayuki Isobe, Tsuyoshi Seike, Yongsun Kim, Atsushi Ito, Yusaku Harada
1) 東京大学大学院, 2) 東京大学
* 107633a@sbk.k.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

近年、建設産業では、建設リサイクル法における特定建設資材を中心に、再資源化が行われている。一方、塩化ビニル樹脂(PVC)を用いた塩ビ管や樹脂サッシは、再資源化の流れなど十分に把握されておらず、多くの再生 PVC 原料が海外へ輸出されていると考えられている。そこで、本研究では塩ビ管や樹脂サッシなどの硬質 PVC 建材の再資源化システムの構築を図るために、東アジアを含めた PVC 廃材のマテリアルフローを把握することを目的とした。

2. マテリアルフローの作成方法

本研究におけるマテリアルフローの作成方法は、生産、再資源化・最終処分のプロセスに分類した情報を整理して、各フローに該当するデータを得た。まず、生産に関するデータは、国内及び海外の統計資料より暦年の生産量を把握した。次に、各製品の排出量の推計と各製品の再資源化に関するデータ収集により、再資源化量及び最終処分量を推計した。参考資料の概要を表 1 に示す。

3. 各プロセスにおける物流量

塩ビ管や樹脂サッシなどの PVC 廃材は、国内の統計 [6)]より、韓国、台湾、中国を中心に輸出されている。そこで、本章では、日本、韓国、台湾、中国の PVC 製品の生産量、再資源化量及び最終処分量を明らかにすることを目的とする。基準年は、収集できた情報の関係上、2011 年とした。

3.1 PVC 製品の生産

本節では、4 カ国の PVC 樹脂の需要量及び各 PVC 製品の生産量の暦年データを、表 1 に示す文献等より整備した。各国における PVC 樹脂の需要及び PVC 製品の生産量を、表 2 に示す。

3.2 PVC 製品の再資源化量及び最終処分量

以下の手順で PVC 製品の再資源化量及び最終処分量を推計した。1)各 PVC 製品の排出量を推計、2)各 PVC 製品の再資源化量を文献等から把握、3)排出量から再資源化量を除いた値を最終処分量とした。

表 1 各フローにおける参考資料

国	各プロセス	文献
日本	-生産量及び需要	PVC 樹脂；日本の業界団体の統計データ [1)] PVC 製品 PVC 管；日本の業界団体の統計データ [2)] 樹脂サッシ；既往文献 [3)] その他 PVC 製品;日本の業界団体の統計データ [4)]
	-再資源化量	既往文献 [5)] 財務省：貿易統計 [6)]
韓国	-生産量及び需要	PVC 樹脂、製品；韓国の業界団体の統計データ [7),8)]
	-再資源化量	国内；韓国の業界団体からの提供データ 輸入；国際連合の貿易統計データ [9)]
台湾	-生産量及び需要	PVC 樹脂；台湾の文献 [10),11)] PVC 製品 PVC 管、板、シート；台湾の工業統計 [12)] その他 PVC 製品；台湾の文献 [10)]
	-再資源化量	国内；統計資料なし 輸入；台湾の貿易統計データ [13)]
中国	-生産量	PVC 樹脂；日本の業界団体の統計データ [11)] PVC 製品；中国の既往研究 [14)]
	-再資源化量	国内；中国の統計資料 [15)] 輸入；国際連合の貿易統計データ [9)]

表 2 PVC 製品の生産量及び耐用年数(Unit : kton)

	PVC樹脂	塩ビ管 [建築;30年] [土木;50年]	樹脂サッシ [30年]	板材 [10年]	電線被覆 [15年]	その他 1年 [1年]	その他 3年 [3年]	その他 5年 [5年]	その他 建築 [30年]
日本	1,027	333	21	37	138	126	62	219	107
韓国	841	171	242	17	-	119	39	254	-
台湾	580	201	-	94	23	114	74	74	-
中国	13,247	2,200	1,285	1,219	583	2,715	3,047	2,252	-

※かっこ内の値は耐用年数

(PVC 製品の排出量推計) ： 排出量の推計は、既往研究 [14),16)]を参考に各 PVC 製品の生産に関する暦年データと表 2 に示す各製品の耐用年数を用いて排出量を推計した。また、各製品の排出は正規分布に従うと仮定し、以下、推計式を用いた。

$$W_{(t)} = \sum P_{k,i} \times f_{k,(t-i)} \qquad f_{k,(x)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$

ここで、W(t)はt年におけるPVC製品の廃棄物排出量、$P_{k,i}$はi年におけるPVC製品kの出荷量、$f_{k,(x)}$は平均耐用年数μ、標準偏差σの正規分布に従うPVC製品kの寿命関数

各国における PVC 廃材の排出量の推移を図 1 に示す。日本は 1,180kton、韓国は 550kton、台湾は 520kton、中国は 7,220kton となった。

(PVC 製品の再資源化量) ： 日本の PVC 製品の再資源化量は、国内と海外用に分け推計した。国内用は、

既往文献[5]にある再資源化量から同年の PVC 廃材の輸出量を除いた値を再生 PVC の国内用とした。海外用は、貿易統計[6]にある 2011 年の PVC 廃材の輸出量とした。その他、韓国の PVC 製品の再資源化量は、業界団体から提供された資料により再資源化量を把握した。台湾国内での再資源化状況は、把握する事が出来なかった。中国国内での PVC 廃材の再資源化状況に関連する文献を把握できなかったため、プラスチック廃材全体の再資源化率[14]を参照し、再資源化率と PVC 廃材の排出量の積を再資源化量とした。以上、得られた PVC 廃材の再資源化量を表 3 に示す。

日本での PVC 製品の再資源化量は 134kton であり、44kton が国内、90kton が海外で消費される。韓国は、国内で 96kton 再資源化され、大部分が国内の再生原料として消費され、海外からも再生原料を 33kton 輸入している。台湾は、国内の再資源化情報を得ることが出来なかったが、海外からの 29kton 輸入している。中国国内の再資源化量は 1,876kton であり、海外から 1,186kton 輸入している事が分かった。

(PVC 製品の最終処分量) ： PVC 製品の最終処分量は、日本が 1,045kton、韓国が 513kton、中国が 5,341kton となることが分かった。

4. 東アジアを含めた PVC 廃材のマテリアルフローのモデル化

3 章で整理したデータを用い、東アジアを含めた PVC 廃材のマテリアルフローを作成した。結果を図 2 に示す。日本の PVC 廃材は、韓国、台湾、中国へ輸出され、海外に依存した再資源化システムとなっている。中国は、世界各国から PVC 廃材を輸入し、PVC 廃材の需要が旺盛である。また、韓国、中国では、自国内でも再資源化が行われており、自国で補えない需要を他国の PVC 廃材を輸入していると考えられる。

5. まとめ

本研究では、マテリアルフローを作成し、多国間の PVC 廃材の利用動向を俯瞰的に把握することができた。情報が十分に整備されていない国もあるため、それらのデータを、どのように整備していくかが、今後の課題である。

表 3 国別の再資源化量と最終処分量(Unit : kton)

	処理方法	計	塩ビ管	樹脂サッシ	板材	電線被覆	その他1年	その他3年	その他5年	その他建築
日本	再資源化量	134 [+1][-90]	59	1	0	44	30	0	0	0
	最終処分量	1,045	217	6	68	194	90	71	284	115
韓国	再資源化量	96 [+29][-5]	19	18	-	-	2	0	57	-
	最終処分量	513	37	14	15	-	111	77	259	-
中国	再資源化量	1,878 [+1,186][-2]	11	9	148	55	646	626	383	-
	最終処分量	5,341	33	27	421	156	1,835	1,780	1,089	-

※かっこ内の数値は輸出入量(マイナス ; 輸出、プラス ; 輸入量)

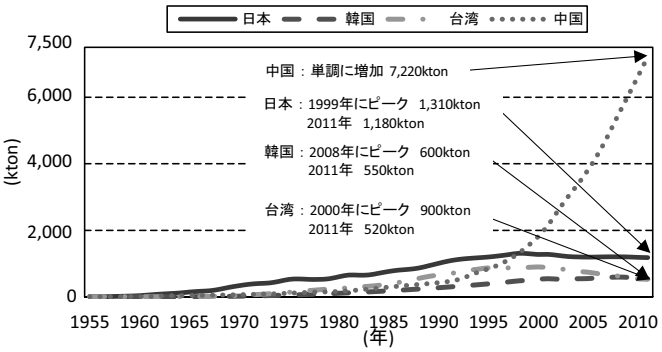


図 1 各国における PVC 廃材の排出量

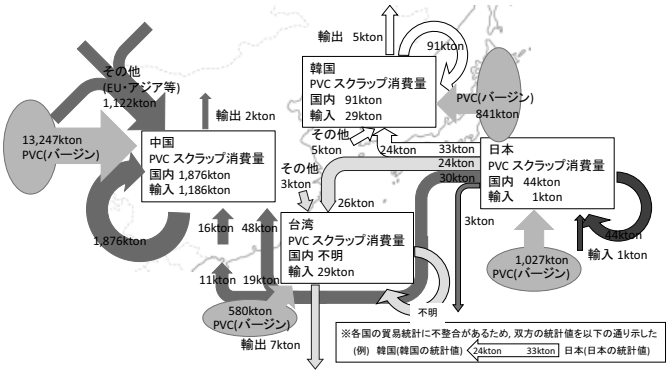


図 2 東アジアを含めた PVC 廃材のマテリアルフロー

謝辞

本研究は、公益社団法人 LIXIL 住生活財団より助成を受けた。また、ご協力いただいた方々に感意を表する。

引用文献

1) 塩ビ工業環境協会：塩化ビニル樹脂 塩ビ樹脂生産・出荷実績 (暦年) 暦年データ(1955-1980 年,1981-2013 年),(オンライン),入手先< http://www.vec.gr.jp/lib/lib2_1.html> (2014.10.20 参照)
2) 塩化ビニル管・継手協会：塩化ビニル管・継手統計目次, (オンライン),入手先< http://www.ppfa.gr.jp/04/index.html> (2014.9.28 参照)
3) 日本サッシ協会ほか:塩ビサッシリサイクル合同 WG「2002～2012 年 活動・調査報告書」", 2013.5 ,p.28
4) 塩ビ工業・環境協会 : 産業分野別需要量推移, (オンライン),入手先 < http://www.vec.gr.jp/lib/lib2_1.html> (2014.9.28 参照)
5) 一般社団法人産業環境管理協会 資源・リサイクル促進センター：平成 18 年度「産業廃棄物・有価発生物の状況調査」18 年度調査研究報告(1), (オンライン),入手先< http://www.cjc.or.jp/modules/incontent/indexletter21Jmain03.html>(2014.10.3 参照)
6) 財務省:貿易統計, (オンライン),入手先< http://www.customs.go.jp/toukei/srch/index.htm?M=01&P=0>(2014.9.3 参照)
7) Korea Vinyl Environmental Council : Progress of Supply and Demand, (オンライン),入手先<http://www.ikovec.or.kr/ikovec/sub_index.php?html=sanup> (2014.10.29 参照)
8) Korea Vinyl Environmental Council : Shipping Proportion by Applications, (オンライン),入手先<http://www.ikovec.or.kr/ikovec/sub_index.php?html=sanup01 > (2014.10.29 参照)
9) 国際連合 : UN Comtrade Database, (オンライン), 入手先 <http://comtrade.un.org/data/ > (2014.10.29 参照)
10) 台湾環境保護署：限塑政策後續推動及 PVC 與含汞產品管制措施評估計畫,2005.12,p.240
11) 塩ビ工業・環境協会；世界の塩ビ, (オンライン),入手先 < http://www.vec.gr.jp/lib/lib2_5.html > (2014.09.03 参照)
12) 台湾経済部統計処：跨類別弾性査詢, (オンライン), 入手先 <http://dmz9.moea.gov.tw/GMWeb/advance/AdvanceQuery.aspx> (2014.09.03 参照)
13) 台湾経済部国際貿易局：中華民国進出口貿易統計, (オンライン), 入手先< http://cus93.trade.gov.tw/FSCI/ > (2014.09.03 参照)
14) Yucheng Zhou,Ning Yang,Shanying Hu : Industrial metabolism of PVC in China –A dynamic material flow analysis, Resources Conservation and Recycling, Elsevier,Vol.73,2013.10,pp.33-40
15) 中国国家発展和改革委員会：中国資源総合利用年度報告,2014,p.26
16) 中井和彦ほか：塩化ビニル樹脂のストック量と廃棄物の予測及びマテリアルフローの解明,第 28 回環境システム研究論文発表会講演集,2000.10,pp.113-120

建築における木質バイオマスの有効利活用に関する研究

資源循環と環境負荷低減の観点からの建築木くずの有効利用に関する検討

Study on Utilization of Woody Material in Building

Effective utilization of waste‐wood in view of resource recycling and environmental load reduction

○草間蓮 [1)]、坂本泰行 [1)]、井上隆 [1)]、小林謙介*[2)]、田原聖隆 [3)]

Ren Kusama, Yasuyuki Sakamoto, Takashi Inoue, Kensuke Kobayashi, Kiyotaka Tahara

1）東京理科大学，2)県立広島大学，3）産業技術総合研究所

＊ kensuke@pu-hiroshima.ac.jp

1. はじめに

木材は適正な管理を行って利用すれば、持続的に生産可能な資源である。日本は国内に国土の約 2/3、およそ 2,510 万 ha に及ぶ森林面積を抱えた豊富な木材資源保有国であると同時に世界的な木材資源消費国である [1)]。しかし、木材自給率は 28%ほどで世界でも有数の木材輸入国となっている [2)]。このような状況下の日本において木材資源の有効活用、再利用を促進することは森林保護の視点からも重要である。直近では資源余剰の状況であるが、近年、我が国は、植林面積の著しい低下がみられ、今後は木材供給可能量が小さくなることが予想される。従って、建築木くずの再資源化が重要性を増すと考えられる。

そこで本研究では、資源循環や環境負荷低減の観点から建築廃棄木材の有効利用に関する評価を実施し、持続的で効率的な利活用策の提案を目的に検討を実施している。本報告では、再資源化策を講じるための、木くず利用の現状分析や、それに基づいた木材廃棄物発生の将来予測を試みた。

2. 木材利用状況の現状分析

2.1 マテリアルバランス分析

既往のフロー[3)]をもとに、木材の需要量と供給量を比較した。また、久保山らの推計[4)]によれば、年間供給可能量は 5000 万 m^3 となっている。その供給量に対して、我が国の木材使用量は約 7000 万 m^3 となっている。内訳をみると 7 割以上を輸入製品が占めており、国産材の利用量は 2000 万 m^3 以下となっている。この事から供給能力が国産材利用量を上回り、国内の森林資源が余っていることが確認できた。しかし、植林面積が著しく減少してきており [5)] 将来森林資源が不足する可能性もある。森林資源だけでなく、建築解体材、林地残材などの資源の活用も重要と考えられる。木材資源の消費量が多い、建築および製紙分野での製品生産量を図 1 に示す。木材消費量では、建築分野が上回っており建築での資源の有効活用は欠かせないと考えられる。

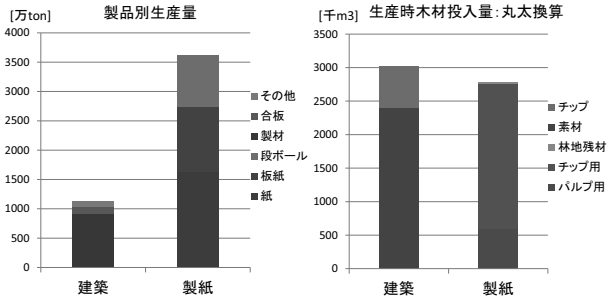


図 1. 国内における木材投入量・木製製品生産量

表 1. チップ品質別（原料別）用途

	原料	主な用途											
		マテリアル系								サーマル系			
		MDF	エタノール	製紙	製紙（板紙）	木炭	マルチング材	Iボード・Hボード	パーティクルボード	燃料	セメント原料	高炉還元剤
Aチップ	柱、梁等断面積の大きなもの 無垢材（幹材）	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Bチップ	主にパレット、梱包材、解体材で比較的断面積のあるもの 無垢材（枝材）				○	○	○	○	○	○	○	○
Cチップ	同上及び合板等								○	○	○	○
Dチップ	型枠等の上記以外の木屑。ペンキの付着した木屑（襖、障子等を含む。）									○	○	○

2.2 解体材利用状況の分析

森林資源が減少する可能性があることから、将来的には、解体材のいっそうの活用が重要になると考えられる。そこで、解体木くずの利用状況を分析し、再資源化可能量の推計を試みた。なお、表 1 に示すように、解体材起因のチップは、品質ごとに利活用可能性が異なる。本研究ではこれらの品質も考慮した検討を行った。具体的には、需要量（建築分野でのチップの必要量）、供給量（解体材のうちチップとして利用されている量）とポテンシャル（チップ利用されている解体材の品質）の 3 つの観点から分析を行った。推計は、経済産業動態統計 [6)]からチップを必要とする製品の年間生産量を計算し、木材投入量原単位を乗じることでマテリアル利用のチップ需要量とした。また、伊香賀らの既往研究 [7)]から得た暖房の年間消費エネルギー量の数値を木質チップ燃

焼による熱量で除することで、熱利用のチップ需要量とした。供給量とポテンシャルに関しては、建設副産物実態調査[8]をもとに計算を行った。

推計結果を図 3 に示す。チップ需要量が非常に大きく、解体材による供給量は 7%程度となった。供給量とポテンシャルを比較すると、ポテンシャルでは高品質チップが約 8 割程度占めているのに対してマテリアル利用されているチップは全体の 3 割程度となっており、高品質なチップの大部分が燃料利用されていることがわかった。

3. 木材利用の将来推計

3.1 建築に関する推計方法

建築分野における必要木材量・解体木くず排出量の将来推計を試みた。推計における総ストック戸数は、国立社会保障・人口問題研究所の日本の将来推計人口[9]と住宅土地統計調査から得た数値を用いて推計した。人口の将来推計値を一般世帯人員で除し、世帯数に 1 世帯あたりの住宅戸数を乗じて総戸数を推計した。今回、空き家に関しては考慮されていない。現存する住戸の減衰については、玉置らの既往研究[10]を方法論として参照し、ロジスティック曲線を推計モデルに採用した。また、将来の総住宅戸数と現存する住戸の残存量の差を着工量として推計した。

3.2 推計結果とケーススタディー

結果を図 4 に示す。単純な比較はできないが、消費総量と排出総量で比較すると、年を追うごとに排出量が大きくなる傾向が確認できる。内訳の大きい高品質チップの有効活用が重要であることがわかった。そこで、高品質チップを需要量（木質ボード）に対して最大限利用し、余剰分を製紙に利用したケースを図 5 に示す。現状（2014 年）に比べて約 600 万 ton の森林資源伐採量（丸太換算）を削減できることがわかった。紙需要に関しては、日本の将来推計人口から得た人口データに経済産業動態統計から得た一人あたりの紙消費量を乗じることで算出した。

4.まとめ

建築分野を中心に、木材の利用状況を分析し、将にわたる建築解体材の利活用可能性を推計した。現状においてはサーマルリサイクルが大部分を占めているが、マテリアルとしての再資源化可能性が大きいことを確認した。さらに、建築における必要木材量・解体材供給量を 2060 年まで推計した。将来にわたって国内における必要木材量に対して解体材でどの程度賄えるかが示された。

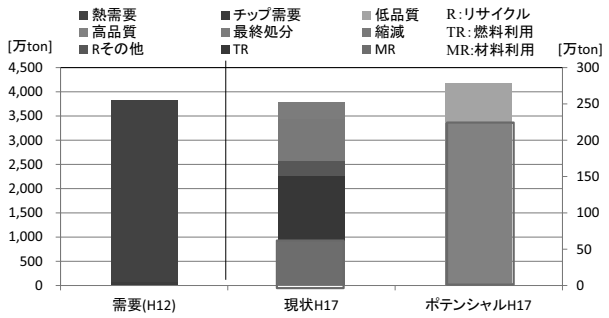


図 3. チップ需要量・解体材供給量・品質

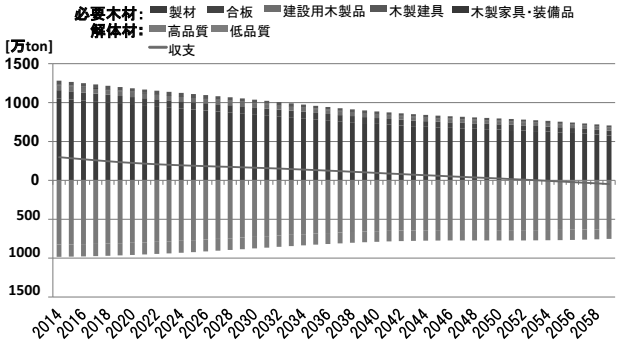


図 4. 建築分野の必要木材量・解体材供給可能量

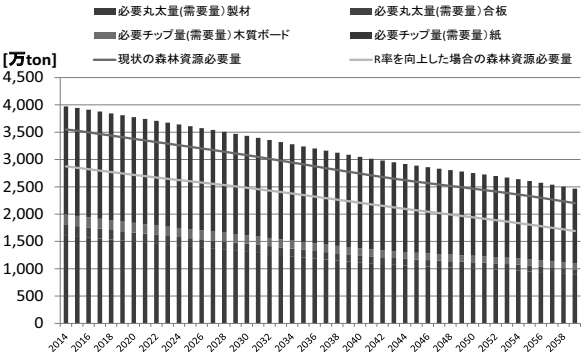


図 5. リサイクル率が森林資源に及ぼす影響

引用文献

1) FAO「STATICS DATABASE」,「Production yearbook」, 森野庁「木材需給表」2) 農林水産省、特集 木材自給率の向上を目指して 国産材のすすめ＜ http://www.maff.go.jp/j/pr/aff/1007/spe1_01.html＞ 3) 建築における木質バイオマスの有効利活用に関する研究～木質バイオマス利用実態の推移を踏まえた環境負荷削減策の検討～ 第 7 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集 p2-40、2012 . 3 4）久保山裕史: 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 5）森林・林業統計要覧 2014 ＜ http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/toukei/youran_mokuzi.html ＞ 6) 経済産業生産動態統計、経済産業省、＜ http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/result/ichiran/08_seidou.html＞ 7）伊香賀俊治:住宅のエネルギー消費量と CO2 排出量の都道府県別マクロシミュレーション手法の開発、日本建築学会技術報告集、pp.263-268、2005.12 8）建設副産物実態調査、国土交通省、入手先＜ http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/fukusanbutsu/jittaichousa/index01.htm＞9）日本の将来推計人口、国立社会保障・人口問題研究所＜ http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/Mainmenu.asp ＞ 10）玉置伸侶：滅失住宅推計方法論および地域特性の検討、日本建築学会論文報告集、1978.5

インベントリ分析における評価精度向上に関する検討
～住宅を例に適合性と Pedigree Matrix を用いた評価誤差の試算～

Study on Improvement of Estimation Accuracy on Inventory Analysis
Trial Examination of Error Caused by Pedigree Matrix and Adjustment of Foreground and Background Data in Housing LCA

○河上慎太郎*1)、小林謙介*2)、田原聖隆 3)、井上隆 1)
Shintaro Kawakami, Kensuke Kobayashi, 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、利用されると一連の評価プロセスにおいて様々な誤差が生じる可能性がある。データの品質とはバックグラウンドデータ自体の品質(データ作成時に決定づけられる品質)と、データの利用目的（評価目的）と用いるデータのマッチング（利用時の品質）がある。

近年の LCA の利用拡大に伴い、大勢を捉えるだけでなく、微妙な差異まで分析するケースも増えている。このような中で、データの品質が十分に認識されないまま LCA が実施されると誤った結果解釈を招く恐れがある。そこで、本研究は住宅を例としたインベントリ分析における評価誤差を分析し、住宅の評価において影響の大きい項目を明らかにすることを目的とした。

2.試算概要

本試算は事例住宅 8 件（木造 6 件、S 造 1 件、RC 造 1 件）の資材製造に伴う CO_2 排出量のインベントリ分析を実施し、データ自体が持つ誤差とデータを利用した際の誤差を算出した。

2.1.分析方法

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データを使用した。バックグラウンドデータは IDEA(Inventory Database for Environmental Analysis)[1)]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.データの品質判断について

原単位の作成には様々な統計や文献など用いられる。データを扱う際にはそれらの情報が IDEA の設定条件に対して十分な品質を有しているか確認し、品質判断を行った。一方、原単位利用に関してはそれが目的に対して適切なものか判断することで品質を判断した。

表 1. 事例住宅の概要

住宅		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
床面積(㎡)		164.0	141.6	184.4	165.4	175.6	143.0	119.0	25622.0
主要構造		木造戸建						S造戸建	RC造集合
屋根		陶器瓦	陶器瓦 集熱パネル	陶器瓦	ステンレス瓦	石綿スレート 屋根葺き材	金属板葺き	アスファルトルーフィング	
外装		窯業系 サイディング	モルタル	窯業系 サイディング	モルタル 珪藻土	窯業系 サイディング	窯業系 サイディング	合板	ALCパネル
内装	床	フロア合板・畳・大谷石					フローリング	木質ボード フロア合板	フローリング
	壁	壁紙		ビニルクロス 漆喰	ビニルクロス 大谷石	ビニルクロス 漆喰・珪藻土	壁紙	窯業系 サイディング	壁紙
		石こうボード・木						ガラス質複層板	
	天井	ビニルクロス					気密シート	ビニルクロス	ガラス質 複層板
	断熱材	石こうボード・木							
		グラスウール							
設備							太陽光発電		エレベータ
		塩ビ管、銅管、ユニットバス、ケーブル、システムキッチン							
資材データ数		300～400					750	700	1800

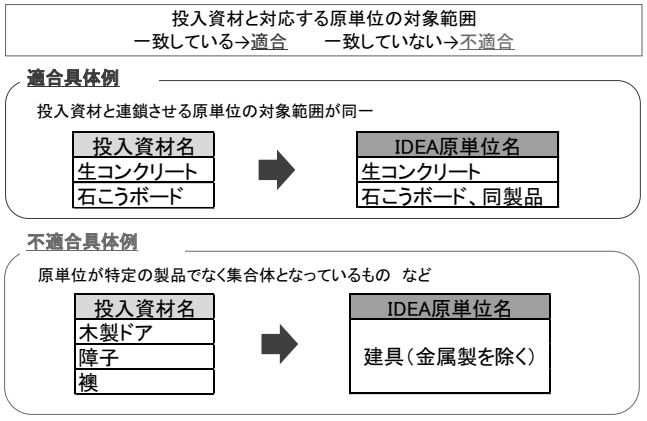


図 1. 適合性について

2.2.1.データ作成時の品質判断手法

本試算で使用する IDEA データは Bo Weidema らによる評価手法である Pedigree Matrix[2)]をもとにした品質判断（表 SI1）が行われている。信頼性、完全性、時間面、地理面、技術面を各 5 段階で評価し、それぞれに与えられた係数により誤差が算出できる。

2.2.2.データ利用時の品質判断手法

住宅資材データと IDEA 原単位の有効範囲の一致・不一致を判断する「適合性」[3)]という評価手法を用い品質判断を行った。図 1 に示す生コンクリートや石こうボードのように投入資材と原単位名が同一とみなせるものは適合とした。また、木製ドアや障子は建具（金属製を除く）に集約され、原単位が特定の製品ではなく集合体となっている。したがって、有効範囲が不一致となるため不適合とした。

3.試算結果

本分析では各事例住宅の CO_2 排出量の 95%信頼区間における最大値と最小値の差を誤差として扱い、単位床面積当りの CO_2 排出量の誤差で比較を行った。また Pedigree Matrix と適合性による誤差は品質判断手法や算出手法が異なり、同等の扱いができないため、各誤差の相関を分析した。

3.1 木造の試算結果

木造住宅は図 2 に示すように Pedigree Matrix と適合性による誤差の相関はほとんどなく、資材の種類ごとに誤差の出方が異なることが分かった。例えば、データ自体の誤差は生コンクリートやセメント製品などが多く、適合性による誤差は分電盤や電力ケーブルなどの設備に関するものが多かった。両方の誤差で大きいのは太陽熱利用機器や屋根空気式集熱ソーラーシステムなど創エネ機器類となった。

3.2 S 造の試算結果

S 造では基礎や躯体に使用される普通鋼形鋼や亜鉛めっき鋼板などはデータ自体の誤差が大きく、分電盤や通信ケーブルなどは適合性による誤差が大きくなった。内外装に投入されるアルミ圧延製品や浴槽に使われるデータは分類が粗く、データ自体の品質も悪いことが分かった(図 3)。

3.3 RC 造の試算結果

RC 造は 260 ある資材データのうち 17 のデータで誤差量の 80%を占めた。他の構造に比べ特定の資材が大きな影響を与えていた。また、図 4 に示すように相関は全くなく、Pedigree Matrix と適合性による誤差のそれぞれに偏る傾向があった。

3.4 誤差の傾向

図 5 に示すようにデータは誤差の出方にある程度の傾向があり、Pedigree Matrix では生コンクリートや普通鋼形鋼などが多く、適合性では分電盤や電力ケーブル等の設備機器が多い傾向があった。また、太陽熱利用機器や消石灰などは両方とも大きいことが分かった。評価結果に大きな影響を及ぼす可能性がある原単位項目は表 SI2 に示す。

4.まとめ

住宅を例に IDEA 原単位の誤差について分析を行い LCA 評価結果に大きな影響のあるデータを明らかにした。今後これらのデータを改善する際にはデータの作成時の品質を十分確保したうえで、分類の細かいデータを作成すべきである。

引用文献 1) 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 2) Bo Pederson Weidema and Marianne Suhr Wesnaes :Data quality management for life cycle inventories –an example of usingdata quality indicators,J Cleaner Prod.Vol 4,No3-4,pp.167-174,1996 3) 小林謙介ら：建築物の LCA に関する評価精度の検討，日本建築学会環境系論文集 2012 年 9 月　第 77 巻　第 679 号

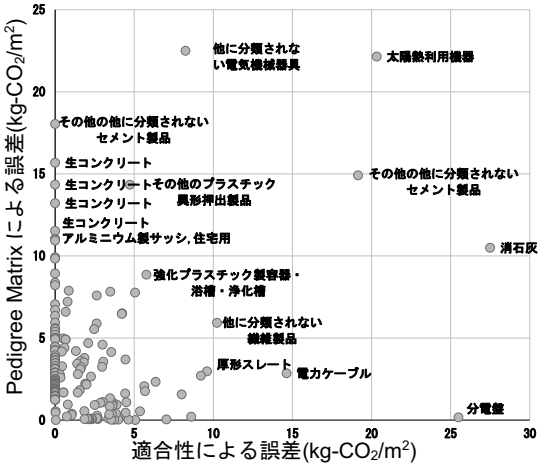


図 2. 誤差の相関（木造）

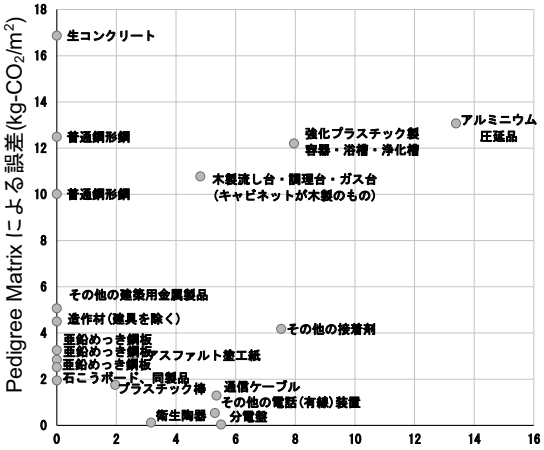


図 3. 誤差の相関（S 造）

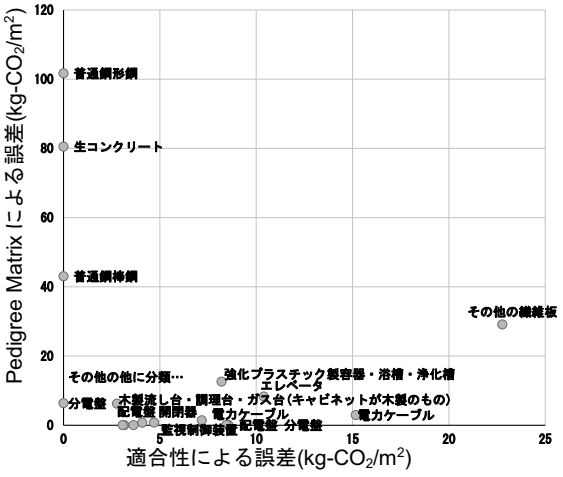


図 4. 誤差の相関（RC 造）

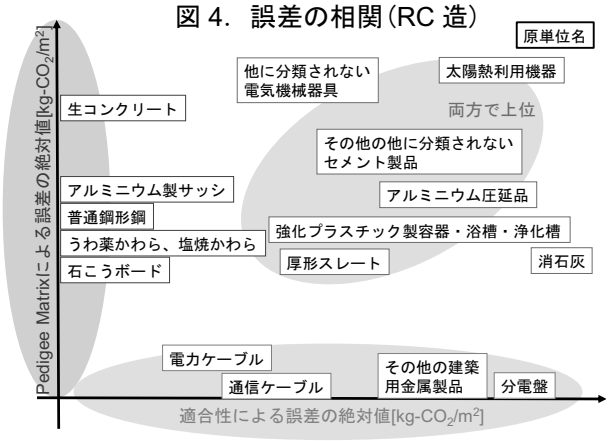


図 5. 誤差の傾向（RC 造を除く）

ライフサイクルの視点に立った横浜市のカーボンフットプリント

Carbon footprint of Yokohama city from the viewpoint of the life cycle

○一杉佑貴*[1)]、伊坪徳宏[2)]

Yuki Ichisugi,Norihiro Itsubo

1) 2) 東京都市大学　環境情報学部　環境情報学科

*g1131024@tcu.ac.jp

1. はじめに

LCA は従来より製品やサービスを対象にした分析方法として広く産業界を中心に定着してきたが、近年はマクロな視点から組織全体に関する分析に利用する例が増えてきた。SCOPE3 やカーボンディスクロージャープロジェクト(CDP：Carbon Disclosure Project)などの動向を受けて、ISO（国際標準化機構）が企業や組織の LCA の要件に関する文書作成を行っている。CDP の報告書には、日本企業 500 社を含め、世界の主要企業がサプライチェーンを網羅した CO_2 排出量の回答結果が公開されている。2014 年 11 月には世界の 207 都市を対象とした環境の取組が公開された。そのうち 108 都市は GHG 排出量を算定し、その総量は 12 億 t-CO_2（CO_2 換算）であったことが報告されている。今後、都市規模での低炭素社会の取組は国際的にさらに注目されると同時に、これらの活動について定量的に分析を行う評価方法が求められている。

日本では、内閣府が持続可能な経済社会システムを実現する都市・地域づくりを目指す「環境未来都市」構想を進めている。低炭素社会の実現に向けて取組を行う都市を「環境モデル都市」として平成 25 年度までに計 23 都市を選定し、その中からさらに環境、社会、経済の三側面に優れた、より高いレベルの持続可能な都市として 11 の「環境未来都市」を選定した。そのひとつである横浜市では地球温暖化対策実行計画書を作成し、市内での温室効果ガスの年間排出量を年間算出し、低炭素社会の実現に向けた取組に役立てている。しかし、この計画書で算出された値は市内のエネルギー消費を温室効果ガスとして計上しているが、域外の移入・移出、波及効果を考慮した間接的な排出は含まれていない。組織の LCA では購入物品や販売後の CO_2 を含めており、今後はサプライチェーンの環境負荷を網羅した都市の評価が求められる。これにより、移入製品のグリーン購入や環境付加価値の高い製品の移出について検討することが可能になる。

そこで、本研究では評価範囲をライフサイクルに広げた都市の評価について、横浜市を対象に実施することを目的とした。

2. 方法

2.1 評価対象

本研究では横浜市を評価対象とした。横浜市の人口は 371 万人、総面積が 437.4km^2 で日本の都市で人口が最も集中し、産出額が 21.8 兆円に対して、域内生産額が 12.5 兆円と経済活動が活発な国内最大の政令指定都市である。

2.2 算定方法

本研究は産業連関分析法を用いて、横浜市の一年間当たりの CO_2 排出量を算定した。使用データは、横浜市の産業連関表（H17）の大項目（13 部門）、直接排出量は横浜市の地域温暖化対策計画書・報告書（平成 25 年度）のものを使用した。直接排出量 **D** を産業連関表の市内生産額(x)で除し百万円当たりの CO_2 排出量を **d** とする。そこに産業連関表の取引基本表から投入係数 A を求め、作成したレオンチェフ逆行列（I－A）$^{-1}$ を乗じ、原単位を作成した。今回は横浜市全体と市内の二つで比較を行うため、全体 **e** と市内 **e'** の原単位を二つに作成した。市内の排出原単位は、移入ベクトル**M**を控除したレオンチェフ逆行列を用いて計算をしている。最終的に作成した排出原単位に市内最終需要計 f を乗じ、CO_2 排出量を算定した。算定式は下記に記す。

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

$$e'=d\{I-(I-M)\}^{-1} \quad (2)$$

$$d=D/x \quad (3)$$

$$E=\Sigma ef \quad (4)$$

$$E'=\Sigma e'f \quad (5)$$

$$E''=E-E' \quad (6)$$

E と E'はそれぞれ横浜市全体の CO_2 排出量、横浜市内の CO_2 排出量を表している。上記の(4)式から(5)式の差をとることにより、横浜市外の排出量 E"を算定した。

3. 結果

本研究で作成した横浜市の CO_2 排出原単位と国立環境研究所が公開している 3EID の全国平均値を比較したものを図１に示した。電力・ガス・水道の CO_2 原単位が最

大であったが、本研究の方が 3EID よりも 3 割ほど小さくなった。製造業も全国に比べて小さかった。横浜市は自動車の加工組立業の割合が多く、相対的に生産額あたりの CO_2 発生強度が低い業種が多いためである。運輸部門が小さいのは、地下鉄やバスなどの公共交通機関の利用率が高く、人口密度が高いことから移動距離が相対的に短いことが影響しているものと考えられる。公務、サービスも全国値より低い値となった。これは電力をはじめとした間接分の環境負荷が相対的に小さいことが影響したものである。

平成 25 年度の横浜市の CO_2 排出量は図 2 のようになった。総排出量は約 2350 万トンであり、製造業、サービス、建設部門の割合が高かった。製造業が大きいのは、横浜市は組立を中心とした工業が盛んであることと、エネルギー消費の負荷を製造業に割り当てているためである。また、横浜市（2010）の結果よりも総量が本研究の方が大きかったのは、当該研究は移入した製品の製造時までに発生する環境負荷が移出した製品製造までの環境負荷よりも大きいことを示すものである。また、市内と市外の環境負荷の内訳をみると市外の負荷も市内の負荷とほぼ同等程度であることが分かった。なかでも、原材料の供給、建材の供給までの負荷が相対的に大きかった。市内製造業・建設教が原材料超たちに関する環境負荷削減を進めることが排出総量の削減に大きく寄与するものと期待される。

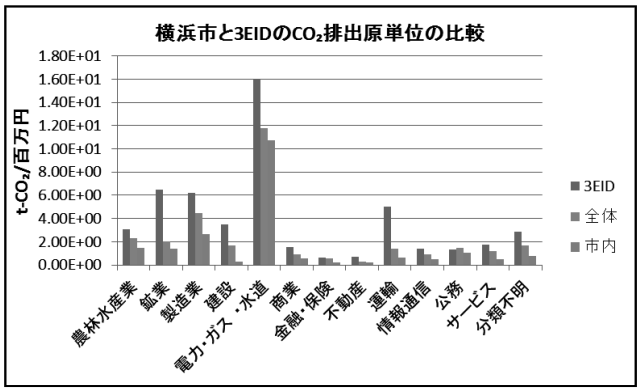


図１　横浜市の排出原単位と 3EID の比較

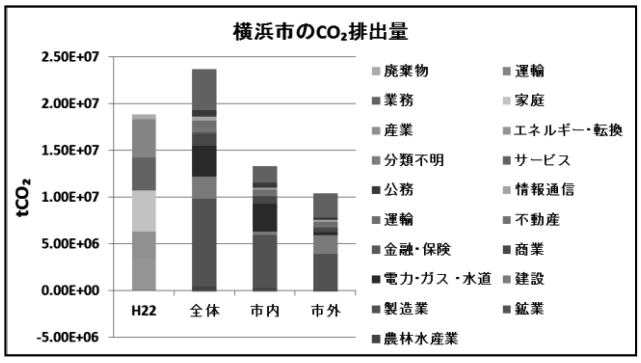


図2　平成 25 年度　横浜市の CO_2 排出量（13 部門）

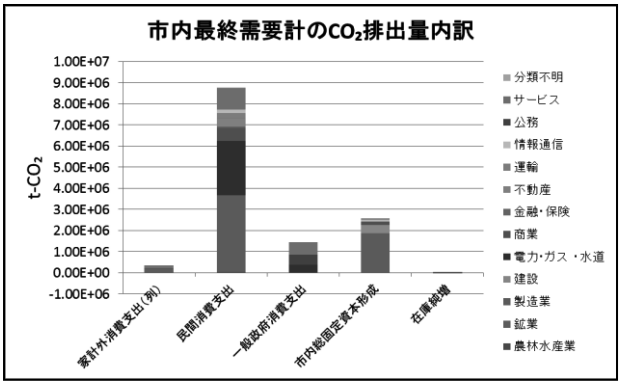


図３　市内最終需要計別 CO_2 排出量

図 3 は市内最終需要計別に CO_2 排出量を示したものである。全体で一番大きい値は民間消費支出であり中でも大きな割合を占めたのは製造業である。これは家庭の乗用車保有台数が国内大都市で一番多いことに由来すると考える。

本研究では、横浜市を対象に域内外の移出入を考慮した都市の CO_2 排出量の算定を行った。ライフサイクルの視点からサプライチェーンの全体を網羅することを優先して、横浜市の産業構造と特徴を反映した環境負荷総量を算定することができた。自治体が公開する市内の環境負荷のみでなく、市外の移出入を考慮したところ、市外の環境負荷も市内で発生する負荷と同規模に大きく、グリーン購入の積極的な推進が求められるものと考えられた。

今後の課題として、特に環境行政で関心の高いリサイクル・廃棄の環境負荷量の詳細化、CO_2 以外の環境負荷量の算定、部門詳細化、SCOPE3 など組織の LCA との整合性を向上することなどが挙げられる。

4.　参考文献

1）横浜市地球温暖化対策実行計画書（H26）pp1-127
2）横浜市　環境創造局　（PDF）
http://www.city.yokohama.lg.jp/kankyo/ondan/jourei/keikakushotou-kouhyou.html
3）横浜市の市民経済計算(H23)
http://www.city.yokohama.lg.jp/ex/stat/sna/pdf/sna2011.pdf
4）国立環境研究所
http://www-gio.nies.go.jp/faq/ans/outfaq6a-j.html
5）Carbon Disclosure Project City
https://www.cdp.net/cities
6）内閣官房地域活性化統合事務局
http://www.kantei.go.jp/jp/singi/tiiki/kankyo/
7）全国地球温暖化防止活動推進センター（JCCA）
http://www.jccca.org/ipcc/

低炭素街区群構築によるライフサイクル CO_2 削減効果の分析

Estimates of life cycle CO_2 reduction effect of low-carbon city block building

○石田千香*[1)]、森田紘圭 [2)] 、加藤博和 [1)]
Chika Ishida, Hiroyoshi Morita, Hirokazu Kato
1) 名古屋大学, 2) 大日本コンサルタント株式会社
* cishida@urban.env.nagoya-u.ac.jp

1. はじめに

現在、低炭素まちづくりに関する取り組みとしてスマートシティ・コミュニティ事業が積極的に進められている。これは再生可能エネルギーや ICT 活用など技術導入を集中的に導入するものであり、既成市街地での展開は進んでいない。既成市街地の展開方策として森田ら [1)]や横井ら [2)]は、既存建築物の建物更新ペースに合わせて段階的に市街地を再構築する誘導方策を提案し、その評価を行っている。しかし、これらは理想的なロードマップを描いたものであり、実際には土地利用施策の実施には時間を要することから、再構築が思うように進まない可能性が高い。また、郊外地域では今後、建物新築需要が加速度的に減少することが予想される。建物は一度更新されると次の更新まで 30 年以上時間を要することから、建て替え需要が多く発生する時期を逃すと、土地利用規制を図ったとしても低炭素な街区の実現が困難になる可能性がある。既成市街地を低炭素化に導くためには、時間進行とともに変動する建替需要に応じて、土地利用施策実施のクリティカルポイント(実施期限)を把握するとともに、需給ギャップを解消する建物建替時期のコントロール(規制建物の延命化や早期建替誘導)が求められる。

本研究では、既成市街地の低炭素化実現方策を検討するため、土地利用の誘導開始時期による LC-CO_2 の変化を把握するとともに、土地利用規制と建物延命化の組み合わせの効果を検討する。

2. 推計方法

2.1 モデルの全体構成

LC-CO_2 消費量推計方法の概要を**図-1** に示す。まず、地区内における世帯数の将来シナリオをもとに 1 年ごとの用途別建物立地量を算出する。次に算出された立地量と既存建物の寿命から予想される滅失量の差から用途別新築需要量を算出し、1 年ごとの更新シナリオをもとに建物立地をシミュレーションする。その後、各年ごとの建物立地状況から、地区内で発生する民生エネルギー、建設エネルギー消費量を推計し、エネルギー消費量に CO_2 排出原単位を乗じることで LC-CO_2 を算出する。

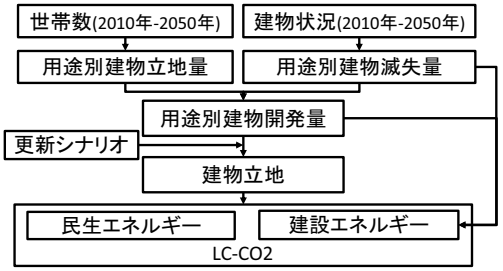


図-1　LC-CO_2 消費量推計方法

2.2 建物滅失時期及び建設時期のシミュレーション

まず、既存建物の滅失時期は小松ら [3)]の式を用いて構造・用途別に 1 年単位で推計する。個別に滅失時期を特定することは困難であるため，モンテカルロ法を利用した更新予測モデルを構築した。具体的には、小松らが算出した築年数 a を説明変数とする建物構造 c の残存率関数 $S_c(t,a)$ から、t 年において建物 i が残存している確率 $R_c(t,a)$ を式(1)のとおり算出し、1 年ごとのシミュレーションを実施することで、地区内の建物更新状況を表現するモデルとした。

$$R_{i,c}(t+1,a+1)=S_c(t,a)\cdot R_{i,c}(t,a) \quad (1)$$

さらに、t 年における用途 s の地区全体での新築開発量 ΔA_t^s は式(1)のように定式化される。

$$\Delta A_t^l=\frac{P_t}{P_{t-1}}\cdot A_{t-1}^l-A_t^l \quad (2)$$

ここで、P_t および P_{t-1} は対象年およびその前年の人口、A_t^s および A_{t-1}^s は同じ用途の建物床面積であり、用途が商業および業務の場合は就業者人口を用いた。以上から算出された需要量をあらかじめ設定した立地シナリオに従って配置し、1 年単位の地区の建物立地をシミュレートする。

2.2 民生および建設エネルギー消費量の推計方法

民政エネルギー消費量は、森田らの方法 [4)]を用いて、統計調査から得られる世帯属性(世帯人数や就業状況から設定した 12 属性)毎の生活行動スケジュールを基にエネルギー需要量を算出したうえで、各建物の築年数に応じた断熱性能や設備性能で除することで算出する。また、建設エネルギー消費量は、用途別・構造別の建物の更新、維持管理、廃棄に係る CO_2 排出原単位を建物の LCA ツールを用いて算出する。

3. 名古屋都市圏を対象としたケーススタディ

3.1　地区の概要と将来シナリオの設定

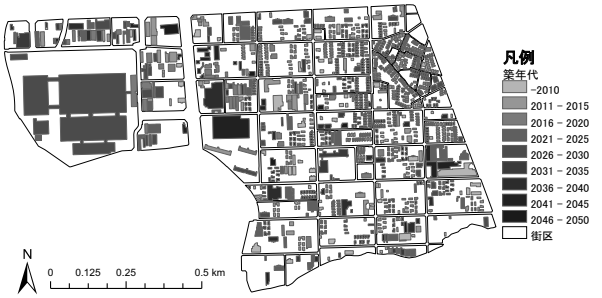
以上の手法を用いて名古屋都市圏の郊外地域である豊山町志水小学校区を対象にケーススタディを実施した(図-2)。対象地区は北東部に昔ながらの農村集落、西部に工場や商業施設が形成されており、1970 年以降、地区の中心に向かって農地が徐々に工場や住宅に転用している地区である。

図−3 に現状推移(BAU)した場合の築年代別建物配置を示す。現在の建て替えトレンドのまま、建物が将来に渡って建て替わる場合、2050 年には現在よりも市街地が農地側に低密度に広がる可能性がうかがえる。

将来分析シナリオとして土地利用規制の開始時期を 10 年単位に遅らせたシナリオと、それぞれの建物に延命化を組み合わせたシナリオを推定する。

土地利用の誘導は、北東の旧農業集落に市街地を集約させ､それ以外の地区では立地を禁止するものとし、現在よりもコンパクトな市街地を目指すシナリオ(図-4)とし、建物の延命化は一律 20 年とした。

図-2　現状の建物用途分布



図−3　現状推移（BAU）における
将来建物立地(2050 年)

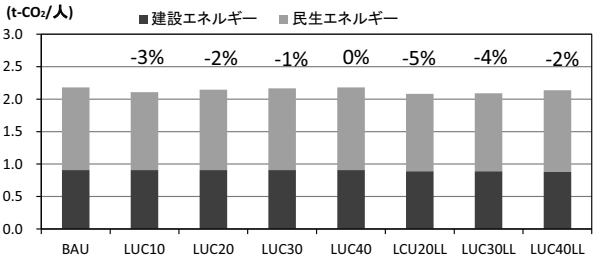
図-4　土地利用誘導(LUC10)における
将来建物立地(2050 年)

3.2　土地利用誘導シナリオの分析結果

各シナリオの CO_2 排出量の分析結果を図−5 に示す。また、2050 年時の建物立地をそれぞれ SI1、SI2、立地量の時系列変化を SI3 に示す。

土地利用の誘導時期別の変化についてみると、LUC10 では BAU に比べ-3%が期待できるが、実施時期を遅らせるにつれ、市街地の拡散が進み、施策効果が期待できない。

また、既存建物の延命化を組み合わせた場合では LUC20LL で-5%と最も大きな削減が期待でき、組み合わせによる削減効果が明らかになった。



図−5　シナリオ毎の１人あたり CO_2 排出量の分析結果

4.　まとめ

本研究では、既成市街地の低炭素化実現方策を検討するため、土地利用の誘導開始時期よる LC-CO_2 の変化を把握、個別建物の延命化の組み合わせ効果を検討した。その結果、土地利用の誘導開始時期が遅くなるにつれ低炭素化施策の効果は小さくなるが、既存建物の延命化も組み込んだ場合、土地利用誘導開始時期が遅れても CO_2 削減効果が期待できることが明らかになった。

5.　参考文献

1) 森田紘圭, 高野剛志, 加藤博和, 林良嗣, 村山顕人：土木計画学研究・講演集，49，(2014)

2) 横井隆志，山本祐吾，東海明宏，盛岡通：土木学会論文集 G(環境)，66，(2010)，pp.17-34

3)小松幸夫: 日本建築学会計画系論文報告, 439, (1992), pp.91-99

4) 森田紘圭, 金岡芳美, 加藤博和, 柴原尚希, 林良嗣：土木学会論文集 G(環境)，69(5)，(2013)，pp.33-43

謝辞

本研究は、環境省地球環境研究推進費 2-1404「地域インベントリ解析による環境成長拠点の計画と評価モデルの開発」を受けて実施した．ここに記して謝辞を表する。

各都道府県における資源蓄積量の生産効率性分析

An Analysis of Production Efficiency of Material Stock in Prefectures in Japan

○江口昌伍*[1)]、奥岡桂次郎 [2)]
Shogo Eguchi, Keijiro Okuoka
1）九州大学大学院経済学府, 2）名古屋大学大学院環境学研究科
* shogoeguchi43@gmail.com

1. 研究背景

現代社会では、建築物や鉄道など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。言い換えると、我々はこれまで蓄積されてきた社会基盤（あるいは社会資本）に完全に依存した生活を送っている。しかしながら、蓄積された社会資本量には各都道府県で大きな差異が存在する。

表 1　1990 年の東京都と兵庫県の資源蓄積量の比較

1990年	東京都	兵庫県
建築物 (t)	842,656,509	333,286,869
鉄道 (t)	3,169,283	3,125,715
空港 (t)	637,731	287,820
ダム (t)	6,245,294	35,607,368

表 2　2005 年の東京都と兵庫県の資源蓄積量の比較

2005年	東京都	兵庫県
建築物 (t)	1,055,772,421	432,693,807
鉄道 (t)	3,586,900	3,221,262
空港 (t)	716,347	326,196
ダム (t)	6,245,294	52,170,458

上の表 1 は、Tanikawa *et al*. (2014)で推計された 1990 年における東京都と兵庫県の資源蓄積量の比較である。この表から、東京都は兵庫県の 2 倍以上の建築物ストックを蓄積しているものの、鉄道の蓄積量に関しては両都県間に大きな差異はないことが読み取れる。一方、ダムに関しては兵庫県の蓄積量が、東京都を遥かに上回っていることも同様に読み取れる。また、表 2 は 2005 年における東京都と兵庫県の資源蓄積量の比較である。これらの表 1 と表 2 を比較すると、この 15 年間における資源量の蓄積スピードは、両都県で異なっていることが分かる。このように、都道府県ごとに蓄積された資源量には明らかな差異が存在し、生産活動に多大な影響を与えている。従って、その資源蓄積量の生産効率性に関しても都道府県ごとに差異があると考えられる。

日本の都道府県における生産効率性を分析した既存研究には例えば Nakano and Managi (2012)がある。この研究では、2000 年から 2003 年を分析対象期間として、各都道府県の労働力と民間資本ストックから生み出される生産額の効率性を、生産活動に伴って誘発された廃棄物排出量を考慮したデータ包絡分析法を用いて分析した。その分析結果から、分析期間における各都道府県における生産効率性には大きな差異があることが明らかになった。

また、Nakano and Managi (2010)では、1991 年から 2002 年にかけての、労働力と民間資本ストックを投入要素とした都道府県レベルの生産効率性を、CO_2 排出量を含めたデータ包絡分析法を用いて分析した。その結果、分析期間における日本の都道府県レベルの生産効率性は低下していることが明らかになった。

このように、日本の都道府県レベルでの生産活動の効率性を分析した研究は存在するものの、資源蓄積量に着目して効率性分析を行った研究はない。先に述べたように、社会では蓄積された社会基盤の上に、生産活動を行っていることからも、都道府県ごとに蓄積された資源量をベースとした生産効率性を分析することは非常に重要である。また、分析期間に関しても、Nakano and Managi (2010)はバブル崩壊後のいわゆる「失われた 10 年」という経済低迷期を対象としているため、好況期の都道府県レベルの生産効率性との比較はなされていない。

本研究では、都道府県ごとに蓄積された社会基盤から生み出される生産の効率性を、長期時系列データを利用したデータ包絡分析法により分析し、今後の日本の資源蓄積量に関わる生産効率の改善に向けての検討を行う。

2. データ

本研究では、Tanikawa *et al*. (2014)で推計された 46 都道府県（沖縄県を除く）の 1955 年から 2005 年までの 5 年ごと（11 ヵ年）の資源蓄積量データ（建築物、鉄道、空港、ダム）と総務省統計局公表の労働力人口を投入要素とし、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）を産出要素として資源蓄積量の利用効率性を分析した。分析対象期間の設定は、社会基盤が急速に整備された高度成長

期からの資源蓄積量の生産効率性を評価することで、今後の日本の資源蓄積量に関わる生産効率の改善に向けて、より深い考察が可能になると考え、1955 年からとした。

3. 分析手法

本研究では、投入と産出から効率性を分析する手法である、データ包絡分析法（Data Envelopment Analysis、以下 DEA）の基本的なモデルである CCR（Charnes-Cooper-Rhodes）モデルを用いて都道府県ごとの資源蓄積量の生産効率性を分析した。（Charnes *et al*., 1978; Färe *et al*., 1989）。(1)式がそのモデルである。

$$
\begin{aligned}
&\min\ \theta_t \\
&\text{s.t.}\quad \theta_t \mathbf{x}_{zt} - \mathbf{X}_t \boldsymbol{\lambda}_t - \mathbf{s}^x_{zt} = \mathbf{0} \\
&\qquad -y_{zt} + \mathbf{y}_t \boldsymbol{\lambda}_t - s^y_{zt} = \mathbf{0} \\
&\qquad s^x_{zit}\left(i = 1,2,\ldots,m\right) \geq 0 \\
&\qquad s^y_{zt} \geq 0 \\
&\qquad \lambda_{jt}\left(j = 1,2,\ldots,l\right) \geq 0 \qquad (1)
\end{aligned}
$$

ここで $\mathbf{x}_z = \left(x_{zi}\right)$ は、分析対象となる都道府県 z の t 年時における投入量ベクトルであり、y_z は産出量である。一方、$\mathbf{X}$ は分析対象となるすべての都道府県の投入量行列、$\mathbf{y}$ は産出量ベクトルである。また、$\boldsymbol{\lambda}$ は各都道府県を結び、効率性フロンティアを形成する変数ベクトルであり、効率性スコア θ とともに効率性の改善を考える上での重要な指標となる。この線形計画問題は、各都道府県の産出 y_z 以上を確保しながら投入 $\mathbf{x_z}$ を最大限縮小するような縮小率 θ を生産可能集合の中で探す問題である。従って、θ=1 の時に分析対象都道府県の資源蓄積量利用効率は最大になり、θ<1 の時に非効率的になる。よって、θ が 1 から離れるにつれてより非効率になっていく。

しかしながら、CCR モデルは投入・産出量に関するスラック（過不足）を効率性値の考慮に入れていないため、効率性スコア θ には反映されない非効率性が存在する。ここでのスラックとは、(1)式では s として表されたものである。そこで、Fukuyama *et al*. (2011) で用いられた、スラックの大きさを考慮した DEA モデルを用いて効率性分析を行った。(2)式に記すのがそのモデルである。

$$
\tau_t = \theta_t - \frac{\bar{\mathbf{x}}_{zt}\mathbf{s}^x_{zt} + \bar{y}_{zt}s^y_{zt}}{m+1} \qquad (2)
$$

ここで、

$$
\bar{\mathbf{x}}_{zt} = \left(\frac{1}{x_{1zt}} \quad \frac{1}{x_{2zt}} \quad \cdots \quad \frac{1}{x_{mzt}} \right)
$$

$$
\bar{y}_{zt} = \frac{1}{y_{zt}}
$$

ここでの θ は(1)式を解くことによって得られたものであり、$\bar{\mathbf{x}}_z$ と $\bar{y}_z$ はそれぞれ、t 年時における分析対象都道府県 z の投入量の逆数からなる行ベクトルと産出量の逆数である。また、m は投入要素数を表しており、ここでは 5 である。従って、τ はスラックの大きさを考慮した資源蓄積量の効率性スコアとなる。

また、1955 年から 2005 年までの投入・産出量データを組み合わせてパネルデータを作成したものに、上記の DEA フレームワークを適用することで、高度成長期から現在に至るまでの資源蓄積量の効率性分析も行い、年次ごとの分析だけでは明らかにならない長期間のタイムスケールの中での効率性分析も行った。

4. 結果と考察

詳細な結果と考察に関しては本会で発表することとし、今後の日本の資源蓄積量に関わる生産効率の改善に向けての議論を行う。

5. 引用文献

1) Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E., *European Journal of Operational Research*, 2, (1978), pp.429–444.

2) Fukuyama, H., Yoshida, Y., Managi, S., *Environmental Economics and Policy Studies*, 89, (2011), pp.89–102.

3) Färe, R., Grosskopf, S., Lovell, C.A.K., Pasurka, C., *The Review of Economics and Statistics*, 71, (1989),pp. 90–98.

4) Nakano, N, Managi, S, *Pacific Economic Review*, 15, (2010), pp.708-718.

5) Nakano, N, Managi, S, *Environ Econ Policy Stud*, 14, (2012), pp.327-339.

6) Tanikawa, H, Fishman, T Okuoka, K, Sugimoto, K, *Journal of Industrial Ecology*, (2014), (In review).

４つの戦略的側面に注目した地域的資源循環システムの実装に関する検討

Regional Material Cycle System Implementation Considering Four Strategic Aspects

○稲葉陸太*[1)]、田崎智宏 [1)]、小島英子 [1)]、河井紘輔 [1)]、多島　良 [1)]、栃尾圭亮 [2)]
Rokuta Inaba, Tomohiro Tasaki, Eiko Kojima, Kosuke Kawai, Ryo Tajima, Keisuke Tochio
1) 国立環境研究所, 2)船井総合研究所
* inaba.rokuta@nies.go.jp

１．はじめに

これまで、地域的な資源循環に関する実務および研究において、システムを実装するための戦略については十分研究されて来なかった。一方、軍事や経営の分野では戦略が盛んに研究され発展してきた。経営分野の戦略研究についてはミンツバーグらが 10 個の学派として網羅的に整理しており、戦略のプロセスと内容を軸とした分布も示している 1)。

ミンツバーグらの議論を踏まえると、戦略の分類として、計画的か実践的かという時期の軸、および客体的か主体的・理念的かという姿勢の軸が考えられる。この 2 軸による 4 象限を考え、ミンツバーグの整理における学派の分布を図 1 に示す。

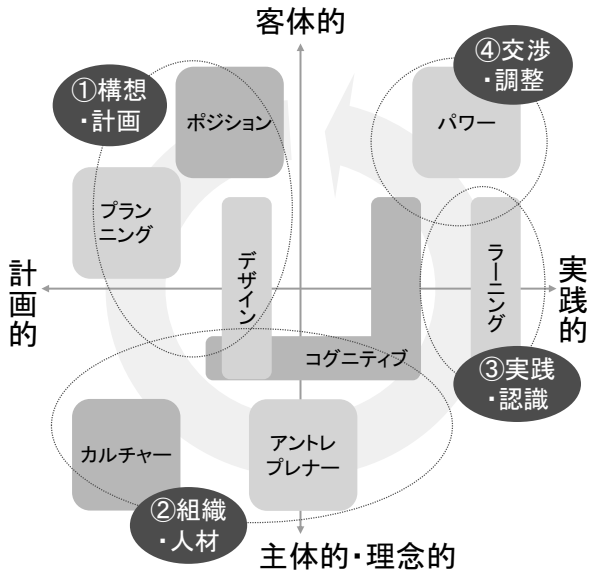


図１．戦略の学派の分布と事業に伴う経路

廃棄物管理や資源循環に関する従来の戦略は、予め決められた計画的なもの、および全体を包括する展望的なものがほとんどであり、図 1 ではプランニング学派やアントレプレナー学派が該当する。前者は専門のプランナーが形式的に戦略を立てるもので、後者は支配的なリーダーが頭の中で戦略を立てるものである。しかし、実際に事業を進めると、完全に当初の計画どおりになる場合は稀であり、経験と学習に基づく実践的な戦略も必要となる。図 1 ではラーニング学派が該当し、個人や組織が学習することで得られる様式として戦略を立てる。なお、図 1 では 8 個の学派が示されており、残る 2 個（エンバイロメント、コンフィギュレーション）は全域にまたがるため省略されている。

各学派の相違は戦略が持つ様々な側面によるものであるため、事業を進めるにあたっては、時期や対象に応じて適切な学派の方法を選択していく必要がある。事業を進めていくうえで一般的な戦略の経路（以下「戦略経路」）は、図 1 に示す①構想・計画、②組織・人材、③実践・認識、そして④交渉・調整といった側面を辿る。開始点は事例によって異なり、逆行・跳躍もありうる。戦略の形成から目標達成までを「戦略段階」と呼ぶことにする。ある戦略段階の目標が達成されたのち、別の目標が必要になると、それを達成する新たな戦略段階が始まる。

著者らは、自治体担当者向けに地域的資源循環システムを適切に実装するための戦略の手引きを示すことをめざしている。その一環として、本研究では、いくつかの地域的取組の事例について、重要な活動を抽出して前述の戦略側面に区分して評価を行い、事業の推進において効果が大きいものを明示することにした。

２．方法

２．１　重要な活動の抽出と時系列の分析

まず、地域的資源循環や地域活性化に関する事例をいくつか選択し、文献調査や聞取調査を実施してそれらの情報を収集した。重要な活動の抽出にあたっては、予め記入シートを準備した。記入シートの縦軸には、前述した戦略経路が辿る側面として①構想・計画、②組織・人材、③実践・認識、そして④交渉・調整という区分を設定した。一方、横軸は右方向に進む時間軸とした。基本的に 1 枚の記入シートは 1 つの戦略段階を表すものとした。

まず、事業の初期から順に作業を開始した。戦略目標の設定と達成に関する重要な活動を抽出し、該当する戦略側面の欄に記入した。重要な活動は四角形で表現し、その内部には「活動の名称」、「実行したこと」および「それにより生じた結果」を記述した。戦略目

標の達成に大きく貢献した重要な活動は青色で示した。また、活動の実施により、戦略目標の達成への影響を矢印で示した。例えば、正の影響なら右上向き、負の影響なら右下向きとした。さらに、活動どうしの流れについては、四角形どうしを矢印で連結した。当該の戦略段階以前からの活動は前提条件の欄で記述した。

２．２　行動の重要度と実績度の評価

戦略の 4 つの側面における達成項目を具体的な達成基準について検討し、それらの各項目について、各事例を重要度と実績度の 2 つの視点から評価した。重要度評価は当該項目が当該事例における戦略実施上、重要かどうかを評価するもので、3 段階（大＝極めて重要度が高い、中＝重要度が高い、低＝あまり重要度が高くない）で評価を実施した。実績度評価は、当該事例が当該項目の目標をうまく達成できたかを評価するもので、3 段階（△＝実績が上がらなかった、○＝実績が上がった、◎＝大きな実績が上がった）で評価を行った。重要度が高くとも、事例によっては戦略実施が失敗する場合もあるし、重要度が低くとも戦略実施が成功することがあるので、重要度評価とは独立な評価軸として評価を行ったものである。事例によっては、全く関わりのない項目があったため、これらの実績度評価はハイフン（ - ）として記入した。また、評価の根拠や背景については「評価の根拠」欄にその内容を記入した。

評価作業は、当該事例の活動や調査に関わった者が 2 名以上で実施し、意見が異なる部分があれば、議論を行って 3 段階評価を確定させた。また、各項目を実現するための重要な活動を選択肢として記載して、側面④における鍵となる活動の抽出の作業で利用した。

２．３　評価結果の数値化

次に、それぞれの事例を並列に評価するために、これまでの評価を数値化した。数値化は、3 段階評価を 3 点、2 点、1 点として点数付け、ハイフン（ - ）は 1 として計算した。全体的な値を算出した。さらに、両者の評点を乗じた数値を影響度評点とした。

影響度評点は重要度が高く、かつ実績度が高いものを高く評価するので、この評点が高い項目は、実際の活動で高い実績を上げることができる重要項目であると解釈することができる。

２．４　鍵となる活動の統合・評価

各項目を数値化したのちに、すべての事例を横に並べ、平均値を算出して当該戦略段階における各項目の平均評点を算出した。また、その際に鍵となる活動を分析し、その中でも特に重要と考えられたものを表に整理した。

３．結果

本研究では、地域活性化の事例として岩手県の一関市、地域的な廃棄物系バイオマス資源循環の事例として山形県の長井市、福岡県の大木町、鳥取県の智頭町・八頭町を対象とした。また、各事例における戦略段階としては、事業の進展に着目した「準備段階」「定着段階」および「変革段階」を設定した。例として準備段階の結果を表 1 に示す。

表１．準備段階の評価結果（４事例平均）

	重要評点	実績評点	影響評点
①構想・計画	2.3	2.2	**5.2**
②組織・人材	2.3	2.2	**5.2**
③実践・認識	2.4	2.3	**6.0**
④交渉・調整	1.7	2.2	**3.6**

4事例における影響評点から側面別に影響度を評価すると、準備段階においては「③実践・認識」の影響評点が高く、次いで「①構想・計画」「②組織・人材」が高いという結果となった。一方で、「④交渉・調整」の影響度は、相対的に低い傾向が現れている。背景としては定着段階と比較した場合、施策そのものに関する検討や試験的な実施が求められる段階であるため、取組団体の組織化や実際の行動の基本となる計画も実践と同様に重視される点が挙げられる。

４．おわりに

本研究では、いくつかの地域的な廃棄物系バイオマス資源循環の事例を対象として、重要な行動や施策を抽出し、それらを戦略の側面に区分して評価し、事業の推進やシステムの実装において効果が大きいものを明示した。今後、今回の分析結果をさらに精査するとともに、対象事例を追加することによって、地域や事業の分類毎の傾向をより明確にすることが必要である。それによって、分類毎に効果的な行動や施策、さらには戦略経路が明らかになり、地域的資源循環の実装に向けた戦略の手引きの骨格となることが期待される。

引用文献

1) 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

企業の社会的責任に与える影響要因

Factor affecting to corporate social responsibility

―都道府県に着目して―

focusing on administrative prefectures

○山根悠也*[1)]、山田匠[1)]、木村大樹[1)]、小島直之[1)]、八木田浩史[1)]

Yuuya YAMANE, Takumi YAMADA, Daiki KIMURA, Naoyuki KOZIMA, Hiroshi YAGITA

1)　日本工業大学

*y.yuuya1123@gmail.com

1.　はじめに

2010 年 11 月に社会的責任に関する国際規格 ISO26000 が制定され、持続的発展の為に企業の社会的責任（Corporate Social Responsibility : CSR）が求められている。また持続的発展の為に2020年までに企業が変革しなければ地球の資源は危機的状況に陥るとの問題提起から、「2020 年型企業」への変革が求められている［1］。

企業の経営戦略の為に CSR が財務に与える影響研究は数多く行われているが、財務が CSR に与える影響についての研究は少ない。また CSR の内容に踏み込んだ評価はなされていない状況にある。

2.　目的および研究方法

本研究では CSR の各側面の評価を行い、企業及び業界の特徴を把握する。また都道府県の地域特性が CSR に影響が与えているか検討を行う。

2. 1.　　CSR の数値化の方法

CSR の数値化は既往研究の評価方法を用いて行う［2］。この数値化方法は、7 側面、48 項目に分かれた評価項目を用いて評定している。7 側面は、組織統治、公正な事業慣行、人権、労働、環境、消費者利益、社会貢献である。

2. 2.　　財務評価の方法

財務評価は先行研究での評価方法を用いた［3］。　収益性の項目では資本営業利益率、売上高営業利益率、成長性の項目では売上高年平均成長率、営業キャッシュフロー、安全性の項目ではインタレスト・カバレッジ・レシオの 3 項目、5 つの指標で各項目 20 点として 100 点満点で数値化を行う。

2. 3.　　財務が CSR に与える影響の分析方法

CSR の数値化と財務成績を用いて主成分分析を行い財務が CSR に与える影響を分析する。またクラスター分析を行い主成分分析の集団分けを行う。

CSR の側面毎の数値化結果を用いてクラスター分析を行い側面別 CSR 数値化結果の集団分け、集団の特徴を確認する。

3.　研究対象

飲料企業 16 社、小売企業 8 社の計 24 社を研究対象とする。また都道府県の CSR への影響を確認する為に追加で企業の評価を行う。

4.　結果および考察

CSR の数値化の結果について外れ値を検定した結果、ユニカフェが外れ値となったので検討対象から除外した。

表 1 は、対象とした飲料企業 15 社と小売企業 8 社の CSR の側面別数値化結果を示している。ビール販売企業はビールを販売する 4 社を対象としている。CSR の側面別数値化結果の 23 社平均を見ると、消費者利益の平均値が 0.299 と 0.5 以下である為、企業は商品の不具合や安全性などのネガティブな情報の発信は有益でないと認識していると考えられる。

23 社平均の中で組織統治が 0.758 と 0.5 以上である為、企業の意思決定能力が高く質の高い CSR を行う事が可能であると考えられる。しかし飲料企業と小売企業毎の組織統治の平均値では、飲料企業の方が 0.159 上回っている。小売企業の場合、アルバイトを含めると多くの人員の管理や統制をする必要がある為、組織統治の平均値が低くなったものと考えられる。

ビール販売企業４社平均からビール販売企業は飲料企業、小売企業より積極的に CSR を行っている事が分かる。ビールを含むアルコール販売企業は歴史的に CSR に否定的な企業として認知されている［4］。その為ビール企業は積極的な CSR 活動を行う事により企業の印象を変えようとしていると考えられる。印象改善の為に企業内部は労働について、外部に向けては環境についての活動を行っている事がビール企業の特徴だと考えられる。

表 1　CSR の側面別数値化結果

企業名	組織統治	公正な事業慣行	人権	労働	環境	消費者利益	社会貢献
アサヒGHD	0.857	0.857	0.667	0.800	0.750	0.250	0.833
キリンHD	0.857	0.833	0.500	1.000	0.250	0.833
サッポロHD	0.857	0.714	0.667	0.500	0.875	0.000	0.833
サントリーHD	0.857	1.000	0.833	0.900	0.750	0.750	0.833
伊藤園	0.714	0.571	0.667	0.500	0.750	0.500	0.667
日本たばこ	1.000	0.857	1.000	0.500	0.875	0.000	0.667
コカコーラウエスト	1.000	0.857	0.500	0.200	0.625	0.500	0.833
ヤクルト	1.000	0.714	0.833	0.500	0.750	0.750	0.500
大塚HD	0.714	0.857	0.500	0.300	0.875	0.250	0.500
カゴメ	0.714	1.000	0.500	0.500	0.750	0.500	0.667
コカコーライースト	0.857	0.857	0.667	0.200	0.625	0.250	0.833
ダイドー	0.714	0.714	0.167	0.300	0.125	0.000	0.667
北海道コカコーラ	0.857	0.857	0.667	0.400	0.750	0.500	0.833
キーコーヒー	1.000	0.571	0.667	0.500	0.375	0.000	0.500
ジャパンフーズ	0.571	1.000	0.167	0.500	0.375	0.250	0.500
ローソン	0.857	0.714	0.667	0.900	0.625	0.250	0.833
セブン	0.714	0.714	0.667	0.500	0.500	0.500	1.000
ファミリーマート	0.714	0.714	0.667	0.500	0.750	0.750	0.833
イオン	0.857	0.714	1.000	0.400	0.625	0.000	0.833
スリーエフ	0.714	0.714	0.167	0.200	0.375	0.500	0.667
ポプラ	0.429	0.571	0.000	0.400	0.500	0.000	0.500
山崎	0.571	0.857	0.500	0.300	0.625	0.250	0.667
ユニー	0.571	0.857	0.167	0.500	0.500	0.000	0.667
飲料会社平均	0.838	0.819	0.622	0.473	0.683	0.317	0.700
ビール会社平均	0.857	0.857	0.750	0.675	0.844	0.313	0.833
小売会社平均	0.679	0.732	0.479	0.463	0.563	0.281	0.750
全23社平均	0.758	0.776	0.551	0.468	0.623	0.299	0.725

図 1に企業のCSR数値化結果と財務成績を用いてクラスター分析を行った結果を主成分得点の散布図として示す。第 1 主成分 X 軸は、CSR 評価、収益性、安全性の第 1 主成分を健全な財務で CSR が行えるか確認する指標とし、マイナスに近づくほど健全な財務で CSR が行えるとした。第 2 主成分 Y 軸は成長性ベクトルが影響を与えている事から財務が成長するか確認する指標とし、マイナスに近づくほど成長するとした。

最も健全な財務で CSR を行える集団は、黒色で示された 8 社である。しかし集団ごとの CSR 数値化結果の平均が一番高いのは灰色に白文字で示された集団である。その為、健全な財務である事が高く評価されたことが分かる。

灰色に白文字の集団は財務を犠牲にしても CSR を積極的に行う企業である事が成長性のない集団である為、経営が成熟しきった企業であると考えられる。CSR 数値化結果が高くなった要因として安全性の指標が高い事から

CSR をする余裕が生まれた為と考えられる。

灰色に黒文字の集団は安全性が低いが成長性が高い事から、財務の安全化が最重要であり CSR の積極的な活動は財務の安全性が上がるまで行えないと考えられる。

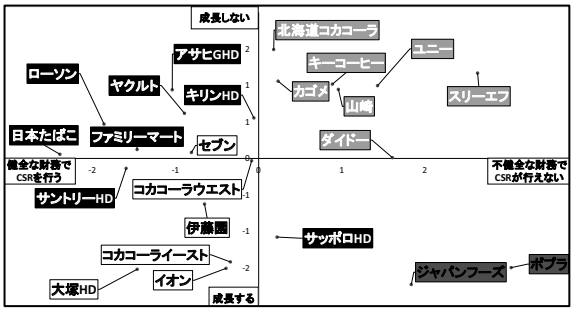


図 1　クラスター別主成分得点の散布図

側面別の CSR の数値化結果についてクラスター分析を行い、CSR 活動の特徴が類似する集団ごとに分けた。CSR の特徴は、大きく A 型と B 型に分けられ、A 型内でＡＡ型、ＡＢ型に分けられた（図 2）。　から AA と AB の違いとして、AA は消費者利益側面が低く、AB は消費者利益側面が高い事が分かる。消費者利益側面は 23 社平均でも一番低く積極的な情報公開を行わない側面である。AB は積極的な消費者利益に関連した活動をしており、各側面均一に CSR を行っている集団である事が分かる。しかし AA の方が、CSR 数値化平均が高く、消費者利益側面以外の側面で CSR 数値化結果を上げている事が分かる。B の集団は公正な事業慣行側面を除いて CSR 数値化結果側面は A と比べ低い。公正な事業慣行側面の評価に用いる情報は公開されやすい為、高い評価となっていると考えられる。公正な事業慣行は株式を上場している場合、投資する際の判断材料となる為、多くの情報を公開していると考えられる。

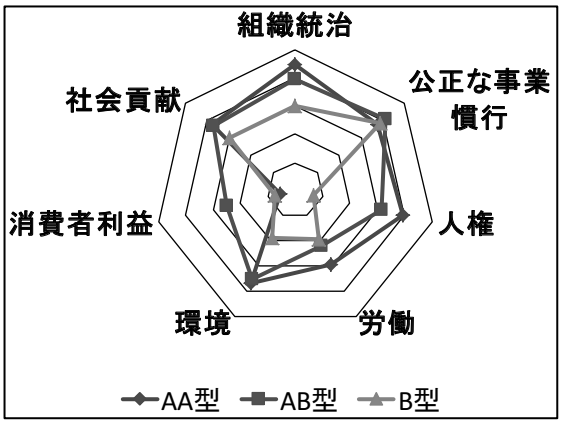


図 2　AA と AB と B の側面別 CSR 数値化結果

クラスター別主成分得点の散布図ではサッポロ HD が黒色集団の中で唯一 X 軸のプラス側にいる（図 1）。財務成績の中で収益性が黒色で示された集団の平均より低いにもかかわらず、CSR 数値化結果と安全性が高い事から、クラスター分析で黒色集団に振り分けられている。CSR 数値化結果では環境側面が飲料企業の中で一番高い結果になっている。

図 3 は北海道に関連する企業の側面別CSR数値化結果の比較を示している。北海道コカコーラはコカコーラグループの中で環境側面が高い。2 つの特徴に影響を与えている要因として企業の活動地域が関係していると考えられる。サッポロ HD は創業の地、札幌での環境保護活動を行っている。北海道コカコーラもコカコーラカンパニーの方針以外の CSR 活動として北海道地域での環境保護活動の情報を公開している為、環境側面の評価が高くなった。

北海道での企業活動が環境側面に優位な影響を与えている事が考えられる。検証する為に、北海道の企業である JR 北海道の側面別 CSR 数値化結果を行い、図 3 に示した。CSR 数値化結果は 20 と低いが側面別の評価では環境側面は 0.625 であり 23 社平均の 0.623 を上回っている事が確認できた（図 3）。側面別 CSR 数値化結果のクラスター分析を行った結果、CSR に消極的な B 型集団になった。B 型集団の中で環境側面が平均以上の企業は JR 北海道以外にない事から、北海道で活動する企業は環境側面に優位な影響を与えている事が確認できる。

北海道は森林資源が都道府県の中で一番多く、環境保護活動がしやすい事から環境側面の評価が高いと考えられる［5］。

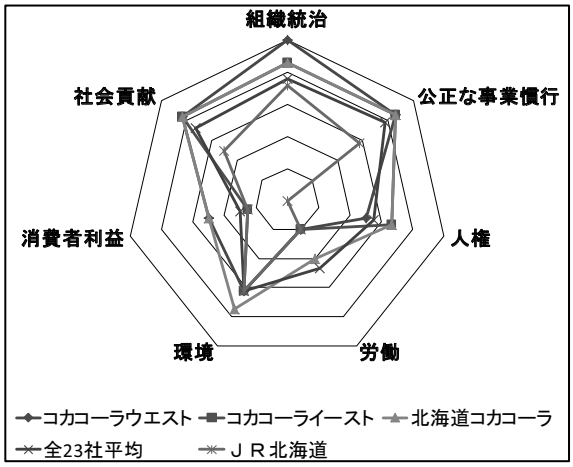


図 3　北海道関連企業の側面別 CSR 数値化結果

引用文献

1) 環境省：“環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書”, (2014)

2) 黄　馨儀：“企業の社会的責任の対比分析　日本と台湾の CSR レポートについての一考察”. 日本工業大学, (2011)

3) 中尾　麗イザベル: “企業の社会的責任と財務パフォーマンスに関する実証分析”. 大阪大学大学院国際公共政策研究科, (2007)

4) 川村　雅彦:環境技術, 33(12),(2004),pp.29-32

5) 林野庁: “森林資源の現況”,林野庁, (オンライン), ＜http://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/h24/index.html＞. (参照: 2014-10-23)

6) 荒木　真貴子：“CSR 活動と財務業績の関係に関する実証分析-業種別の特徴と個別の CSR 活動に着目して-”. 創価大学大学院, (2009)

システムダイナミックスによる都市の将来予測および環境施策効果

Future Predictions and Effects of Environmental Measures in a City by System Dynamics

○中澤克仁*[1)]、塩田哲義[1)]、千葉洋[1)]
Katsuhito Nakazawa, Tetsuyoshi Shiota, Hiroshi Chiba
1) 株式会社富士通研究所
* k.nakazawa@jp.fujitsu.com

1. はじめに

現在、日本における将来的な人口減少や少子高齢化は大きな社会問題となっており、とりわけ地方自治体においては、これら問題を考慮した最適な財政運営が課題となっている。今後、地方自治体において継続的に住民満足度の高い行政サービスを提供し続けていくためには、人口や歳入の将来予測を基にした施策立案と、施策を導入した場合の効果検証を行った上で、最適な施策を選択していく必要がある。その中でも、特に地方自治体における環境関連（廃棄物処理）費用の負担は大きく、この費用を軽減できる施策を導入して住民サービスの充実を図ることができれば、住民満足度の向上にも繋がるものと考えられる。

そこで本研究では、システムダイナミックスによる地方自治体を対象とした 2000~2050 年の人口-財政-廃棄物の予測シミュレーションモデルを構築して、将来的な人口変動およびごみ処理量を予測すると共に、ごみ処理費を推計することで、そこでの有効な環境施策の提案と環境施策導入による定量的な効果を算定することを目的とした。なお、本研究では、近年において都市化が著しく、人口変動が特に大きい川崎市を対象とした。川崎市の2010年における環境費は243億円で、その内のごみ処理費が 130 億円（全体の 53.5%）と割合が高いことから[1)]、ごみ処理費の削減に向けた施策提案およびその導入効果について検討した。

2. シミュレーションモデルおよびデータ設定

2.1 シミュレーションモデル

システムダイナミックスは、MIT の J.W.Forrester より提案された方法論で、時間の経過に伴って変動するシステムの内部構造をモデル化して、シミュレーションすることにより、その動的特性を解明する手法である[2)]。図 1 に、本研究での人口-財政-廃棄物のシミュレーションモデルを示したが、状態を表すストック、ストックの変化量を表すフロー、補助変数を表すコンバータ、これらの要素を結合するコネクタ（赤色矢印）を組み合わせ、それぞれの要素に変数や関数等を設定してシミュレートする（連立微分方程式を解く）ことで、システムの動的な挙動を分析することができる。

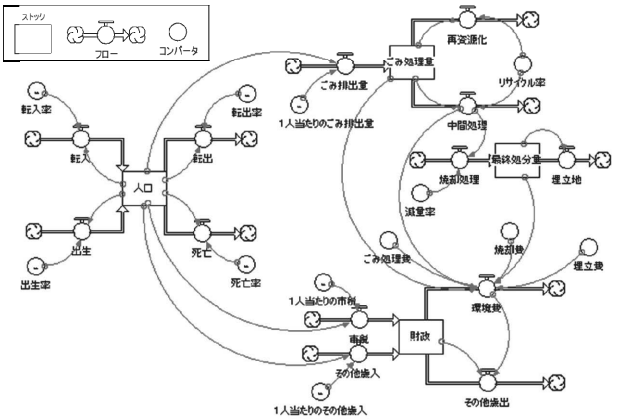


図 1 人口-財政-廃棄物のシミュレーションモデル

図 1 のモデルは、STELLA ver.10 を使用して、人口モジュール、財政モジュール、廃棄モジュールを組み合わせて構成されており、人口の変動に応じてごみ処理量および最終処分量が変化し、その変化に付随して環境費が変動する構造となっている。

2.2 データ設定

上記のモデルに設定するデータについては、総務省や川崎市から公開されているデータを引用した[3,4)]。コンバータは、川崎市の 2000~2012 年の実績データから近似曲線を用いて 2050 年までの推計値をモデルに設定した。フローは、2000~2012 年のコンバータ値とストック値の重回帰分析から得られたモデル式を設定した。さらに、表 1 にストック初期値および各種定数を示したが、リサイクル率および各廃棄物処理費用は、経年的な変動が小さい上に、施策導入効果を明確に算定するために、モデル内に定数として設定した。

表 1 シミュレーションモデルの設定データ

要因	データ	出典
人口:初期値（人）	1,249,905	3)
財政:初期値（¥）	528,094,073,000	4)
ごみ処理量:初期値（t）	532,073	4)
最終処分量:初期値（t）	75,999	4)
リサイクル率（%）	14.47	4)
ごみ処理総務費（¥/t）	16,263	1)
焼却場費（¥/t）	7,426	1)
廃棄物海面埋立費（¥/t）	7,189	1)

3. 結果および考察

3.1 人口予測

上記のモデルおよびデータを用いて川崎市の人口予測を行った。ここでは、国立社会保障・人口問題研究所（以下、社人研）の推計値と併せて図 2 に示した[3,5]。本研究の結果では、川崎市の人口は 2024 年に 149 万人まで増加し、それ以降 2050 年まで減少していく傾向が示された。社人研の推計でも同様の傾向が示されたが、2030 年以降の挙動に差が認められた。これは、社人研では社会人口（転入－転出）が増加し続けると推計しているのに対して、本シミュレーションでは、社会人口が 2030 年以降は低下すると予測しているためである。なお、2000~2012 年の実績値との比較では、平均誤差が 0.79%と小さいことから、適合性が高くシミュレーションが実行できているものと考えられる。

3.2 廃棄物排出量の予測

次に、上記の川崎市の人口予測の結果を基にして、2000~2050 年のごみ排出量および最終処分量の予測を行った。その結果を図 3 に示したが、人口減少および 1 人当たりのごみ排出量の減少に伴って、2000 年に 51.2 万 t あったごみ排出量が 2050 年には 12.3 万 t、最終処分量も 7.6 万 t から 1.7 万 t に減少する結果となった。なお、実績値との比較では、2000~2012 年の平均誤差がごみ排出量で 2.5%、最終処分量で 2.0%と実績値との適合性が高いことが示唆された。

3.3 ごみ処理費の予測と施策導入効果

上記のごみ排出量および最終処分量の結果を基に、2000~2050 年の川崎市におけるごみ処理費の予測を行った（図 4 参照）。ここでは、BAU（Business As Usual）での予測に加えて、2015 年にごみ削減施策（1 人当たりのごみ排出量を 10%削減）を導入したシナリオと、2015 年にリサイクル促進施策（リサイクル率を 10%向上）を導入したシナリオのシミュレーションも行った。その結果、人口削減によるごみ排出量の削減により、BAU での環境費は 2050 年に向けて減少する傾向が確認された。また、ごみ削減施策シナリオおよびリサイクル推進施策シナリオを導入した場合、BAU と比較して、2015~2050 年の累計でごみ削減施策シナリオは 280 億円、リサイクル促進施策シナリオは 100 億円のごみ処理費を削減できる結果が得られた。

4. まとめ

以上のように、ごみ削減施策（1 人当たりのごみ排出量を削減）が環境費削減に特に効果的であることが示唆された。今後は、具体的なごみ削減施策の選定、住民による受容性の検証、費用対効果の分析等、総合的な観点から施策の適用を検討していく必要がある。

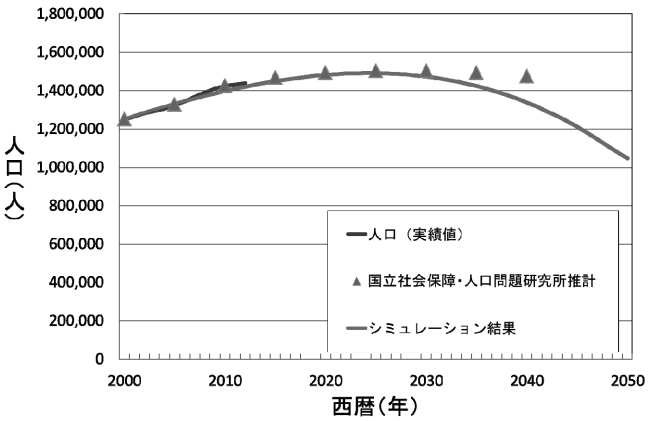


図 2 川崎市の人口予測

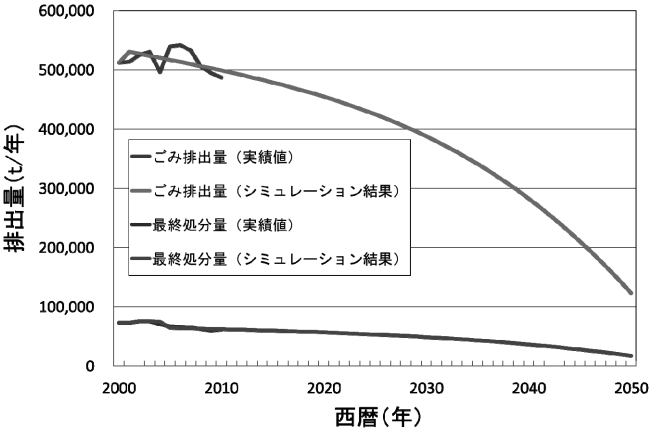


図 3 川崎市のごみ排出量および最終処分量の予測

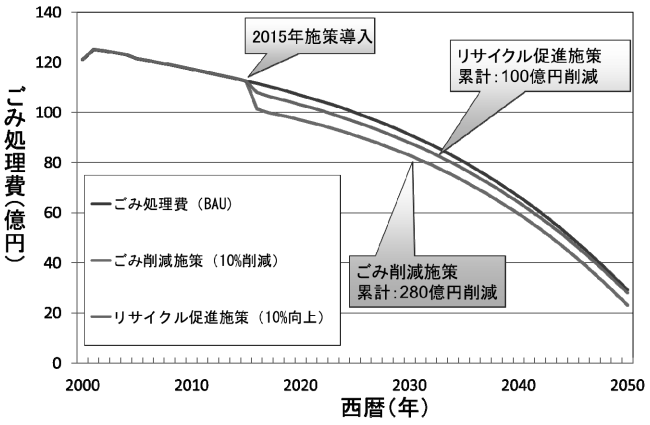


図 4 川崎市のごみ処理費の予測と施策導入効果

5. 引用文献

1) 川崎市：“環境局事業概要-廃棄物編-”，(2011)
2) John D. Sterman，“BUSINESS DYNAMICS”，Irwin/McGraw-Hill，U.S.，(2000)
3) 川崎市：“川崎市統計書”，(2014)
4) 総務省統計局：“e-Stat”，政府統計の総合窓口，（オンライン），入手先 ＜ http://www.e-stat.go.jp/>，（2015-1-8）
5) 国立社会保障・人口問題研究所：“日本の地域別将来推計人口”，(2013)

地域資源を活用した産業共生：離島におけるケーススタディ

Industrial Symbiosis Based on Regional Resources: A Case Study of Remote Island

○兼松祐一郎*[1)]、菊池康紀 [1)]、大久保達也 [1)]
Yuichiro Kanematsu, Yasunori Kikuchi, Tatsuya Okubo
1) 東京大学
* kanematsu@platinum.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

ある産業から生まれる副産物や廃棄物を近隣にある他の産業において活用することで資源およびエネルギーの利用効率を高める取り組みを「産業共生(Industrial Symbiosis)」と呼ぶ [1)]。資源およびエネルギーの効率的な交換・輸送のため、産業共生は地域での取り組みとなりうるが、環境負荷のみならずエネルギーコストや廃棄物処理コストの削減が期待でき、地方創生の基盤としても有効と考えられる。

日本においては石油化学コンビナートや工業地帯において古くから同様の取り組みが行われてきたが、農林水産地域などへの適用は少ない。畜産廃棄物由来の堆肥利用や、農林業残渣を活用したバイオマス発電なども産業共生の一部と言えるが、より積極的な異業種間のネットワーク形成により地域全体としての資源・エネルギー効率の向上を目指すことができる。様々な地域の特性に応じた産業共生の計画手法が必要である。

本研究では、地域資源を活用した産業共生の計画手法の体系化を目的とし、その初期検討として離島におけるケーススタディを行った。離島は少子高齢化やエネルギーコストの問題などにいち早く直面していること、分析・評価において地理的バウンダリが比較的明確であることから、ケーススタディの対象として好適であると考えられる。

2. ケーススタディ

2.1 ケーススタディ対象

本研究では鹿児島県の種子島を対象にケーススタディを実施した。種子島ではサトウキビ産業が基幹産業として存在する。島内にはサトウキビから原料糖を生産する製糖工場があり、圧搾残渣のバガスを燃料とした自家用コジェネレーション設備(CGS)を持っている。現在､種子島ではサトウキビを 12 月～翌 4 月頃に収穫しており、生ものである植物資源は保存ができないため、製糖もその期間のみ行われる。非製糖期間は製糖工場の CGS が稼働しておらず､産業共生シナリオの一案として、他のバイオマスや燃料を活用して非製糖期間も CGS を稼働させ､熱電併給を行うことが考えられる。さらに、製糖工場ではバガス燃焼によって得られる熱量は工場内での熱需要を超えており、未利用熱が多く存在する。熱需要先との接続が可能となれば、未利用熱の有効利用も考えられる。島内で得られる他のバイオマスおよび他のシナリオについては以下 2.2 に示す。

2.2 産業共生の構想

島内の自治体による報告書 [2-4)] や現地でのヒアリングに基づき、利用可能資源を整理し、各資源について利用技術を列挙した(表 1)。上述の製糖工場併設の CGS の拡大利用に加え、木質系バイオマスについてはチップ化・ペレット化を経由した熱利用を考慮した。特に利用技術の組み合わせにおいては、エネルギーの品質を考慮した需給マッチングが重要であると考え、電力では系統連系における周波数変動調整能力の高低、熱では熱量[J]・出力[kW]だけでなく、温度[ºC]も考慮し、現実的なエネルギー融通に配慮した。

表 1　地域資源と利用技術

資源 (利用可能量 [t-wet/yr])	利用技術
余剰バガス (5,800)	[A1] 既存CGS拡大利用
間伐材 (2,180)	[B1] ペレット化 → 熱利用
	[B2] チップ化 → 熱利用
	[B3] チップ化 → 既存CGS拡大利用
	[B4] チップ化 → 新規ガス化CGS利用
製材残材 (1,660)	[C1] ペレット化 → 熱利用
	[C2] 既存CGS拡大利用
	[C3] 新規ガス化CGS利用
チップ残材 (2,160)	[D1] ペレット化 → 熱利用
	[D2] 既存CGS拡大利用
	[D3] 新規ガス化CGS利用

これらの資源と利用技術の組み合わせにより、図 1 のようにサトウキビ産業と製糖業を中心として、農業・林業・漁業間の物資の融通に基づく共生的な地域システムの構想を立案した。

2.3 産業共生計画の要件

産業共生の計画においては多くの産業が関与すること、また自治体や住民を含めた地域での取り組みとなるため、複数のステークホルダー間の合意のもとで計画を進めていく必要がある。以下に産業共生計画の要件を整理する。

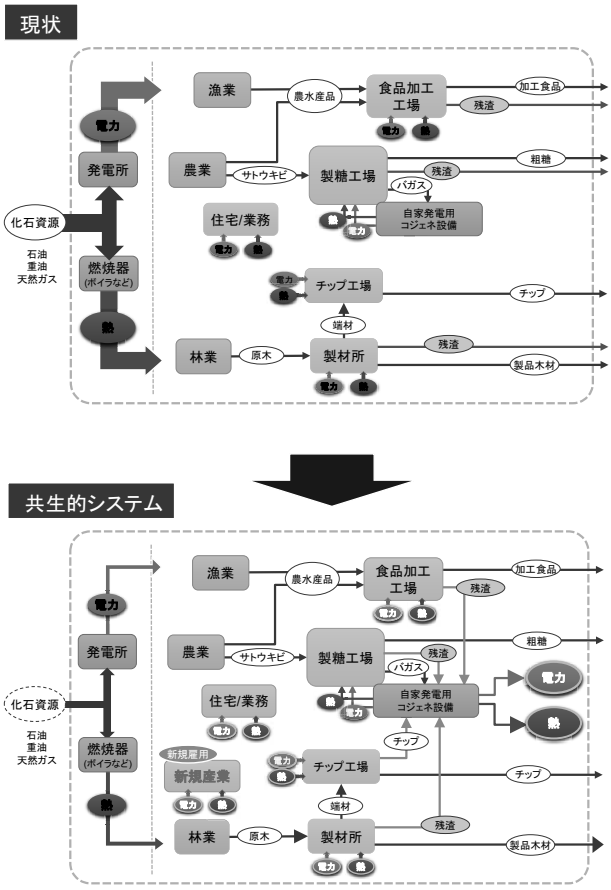


図 1　ケーススタディにおける産業共生の地域システム構想

2.3.1 物資・エネルギーフローの定量化・可視化

第一に現状および将来シナリオにおける物資・エネルギーの流れを定量化・可視化し、意思決定に関わる関係者間で共有できることが必要である。地域システムに含まれる各要素、すなわち資源・エネルギーの供給側と需要側の産業や変換技術をモデル化し、シミュレーション環境を整備することにより定量化・可視化は支援される。

また、シミュレーションの実行のために必要な情報の入手を支援する情報インフラの整備も必要である。例えば、各資源の供給者となる各産業の従事者が、発生する資源量や余剰となるエネルギー量を入力し、それらが共有されるようなクラウド環境などの構築と利用が考えられる。このような環境は計画段階のみならず運用段階においても活用できる。

2.3.2 産業共生効果の定量化

第二に、上記のような産業共生によるヒト・モノ・カネの実際の流れの変化が及ぼす環境・経済・社会的な波及効果も定量化することが必要である。

これまでに筆者らは各資源と利用技術の組み合わせによる複数のシナリオを設計し、各シナリオによる最大生産可能エネルギー量を推算した。また生産された地産エネルギーを使用することによる化石資源代替の効果を、GHG 排出量を指標としてシナリオ間比較を行った [5]。これらも有用な情報であるが、実際に導入決定や事業運営を行うにあたっては経済性の評価も必須となる。また、特に雇用不足・人口減少が問題となっている地域においては雇用の創出や、新たな地域の価値の創出など、社会的な評価も必要となる。

2.3.3 要素技術発展を考慮に入れたロードマッピング

産業共生においては段階的にネットワークが形成されるので、要素技術の導入も段階的となる。長期的な取り組みの中、利用技術の発展や費用対効果を視野に入れた導入ロードマップ策定とその手法が求められる。

3. まとめ

このように産業共生の計画には多面的な評価に基づく合意形成が必要である。地元とのワークショップ等も頻繁に開催し、情報交換や計画立案そしてシステム実装への活動を進めている。今後の研究において上記課題への取り組みおよび他地域への適用を通して計画手法の体系化を目指す。

謝辞

本研究に関する情報収集のために、新光糖業（株）から研究協力を得た。東北大学 福島康裕准教授、神戸大学 尾下優子助教とは多くのディスカッションをさせて頂いた。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 からの寄付で活動している。

引用文献

1) Chertow, M. R.: J. Ind. Ecol., 11 (1), (2007) pp.11–30
2) 鹿児島県西之表市: “西之表市バイオマスタウン構想”, (2008)
3) 鹿児島県中種子町: “中種子町バイオマスタウン構想”, (2009)
4) 鹿児島県南種子町: “南種子町バイオマスタウン構想”, (2008)
5) Y. Kikuchi, Y. Kanematsu, M. Ugo, Y. Hamada, T. Okubo, J. Ind. Ecol., (2015), Submitted

47 都道府県間産業連関モデルを用いた 東北三県における産業構造と GHG 排出構造の分析

Analysis of the industrial and GHG emission structures for three prefectures in Tohoku region using the multiregional input-output model

○山下裕也*[1)]，南齋規介 [2)]，加河茂美 [3)]，東野達 [1)]
Yuya Yamashita, Keisuke Nansai, Shigemi Kagawa, Susumu Tohno
1) 京都大学，2) 国立環境研究所，3) 九州大学
* yamashita.yuya.67u@st.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

大規模な自然災害は、建物やインフラなどに与える直接被害と、サプライチェーンを通じて広がる間接被害をもたらす。その被害は時間的・空間的に広範囲に渡り、被害額を推計するために様々な研究が進められている [1)]。被災地の経済復興においては損壊した生産拠点や地域内需要の回復が重要であるが、産業の投入構造の変化や需要の代替などサプライチェーンの変化も考慮する必要がある。しかし、現状被災地の経済においてサプライチェーンの影響と経済被害の関係を定量的に分析した事例はない。そのため、被災地の生産を誘発する需要やサプライチェーンの構造を解析することは経済復興において重要である。

2011 年の東日本大震災においては津波や地震による直接被害だけでなく、原子力発電所事故による農作物の風評被害、電気料金の値上げなど被災地以外の地域にも影響が及んでいる。さらに火力発電所の全面稼働による温室効果ガス (GHG) 排出量増加 [2)]に見られるように、被害への対応が環境に与える影響を無視することはできない。

本研究では 2005 年の岩手県、宮城県、福島県の GDP を誘発する産業構造を分析することで、経済復興にとって重要な需要およびサプライチェーンを同定する。また、GHG 排出構造を把握することで経済効果と環境負荷両方の視点から復興について議論する。

2. 方法

本研究では、多地域間産業連関分析を用いて東北三県の GDP を誘発する要因について分析を行う。震災前のデータは 2005 年の 47 都道府県間産業連関表を用い、部門解像度は 80 部門である。

2.1 県の GDP を誘発する最終需要の同定

産業連関分析におけるレオンチェフ逆行列$\mathbf{(I-A)^{-1}}$から最終需要が誘発する GDP を式(1)で求めることができる。なお、$\mathbf{I}$ は単位行列、$\mathbf{A}$ は投入係数行列、$\mathbf{v}$ は付加価値率であり、*diag* は対角化を表す。

$$(GDP) = diag(\mathbf{v})(\mathbf{I}-\mathbf{A})^{-1}\mathbf{f^r} \quad (1)$$

(GDP)は *r* 地域の最終需要 $\mathbf{f^r}$ に誘発される GDP であるため、東北三県における GDP を誘発する都道府県の最終需要ごとに計算することで寄与を求められる。

2.2 県の GDP を誘発するサプライチェーンの同定

ある地域について分析する際、サプライチェーンを対象地域内間の投入、域内から域外への投入、域外から域内への投入、域外間の投入のように 4 つに分割する。各サプライチェーンが誘発する GDP への寄与は additive decomposition technique [3)]を用いて算定する。

まず、式(2)のように対象とするサプライチェーンに即して投入係数を分割する。

$$\begin{pmatrix}\mathbf{A_{11}} & \mathbf{A_{12}}\\ \mathbf{A_{21}} & \mathbf{A_{22}}\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\mathbf{A_{11}} & \mathbf{0}\\ \mathbf{0} & \mathbf{0}\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}\mathbf{0} & \mathbf{A_{12}}\\ \mathbf{0} & \mathbf{0}\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}\mathbf{0} & \mathbf{0}\\ \mathbf{A_{21}} & \mathbf{0}\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}\mathbf{0} & \mathbf{0}\\ \mathbf{0} & \mathbf{A_{22}}\end{pmatrix} \quad (2)$$
$$= \mathbf{B^1}+\mathbf{B^2}+\mathbf{B^3}+\mathbf{B^4}$$

式(2)では、右辺の第 *i* 項を下辺の第 *i* 項に対応させている。このように定義された $\mathbf{B^i}$ について、それぞれ式(3)～(6)により逆行列を求める。

$$\mathbf{L^1} = \left(\mathbf{I}-\mathbf{B^1}\right)^{-1} \quad (3)$$

$$\mathbf{L^2} = \left(\mathbf{I}-\mathbf{L^1B^2}\right)^{-1} \quad (4)$$

$$\mathbf{L^3} = \mathbf{(I-L^2L^1B^3)}^{-1} \quad (5)$$

$$\mathbf{L^4} = \left(\mathbf{I}-\mathbf{L^3L^2L^1B^4}\right)^{-1} \quad (6)$$

各サプライチェーンが誘発する GDP (p^1～p^4) は逆行列を用いてそれぞれ式(7)～(10)によって計算できる。

$$p^1 = \mathbf{vL^1f}-\mathbf{vf} \quad (7)$$

$$p^2 = \mathbf{vL^2L^1f}-\mathbf{vL^1f} \quad (8)$$

$$p^3 = \mathbf{vL^3L^2L^1f}-\mathbf{vL^2L^1f} \quad (9)$$

$$p^4 = \mathbf{vL^4L^3L^2L^1f}-\mathbf{vL^3L^2L^1f} \quad (10)$$

ただし、式(7)で求められる p^1 は式(2)における第 1 項のサプライチェーンが誘発する GDP であるが、これは第 1 項を $\mathbf{B^1}$ としたように、第 *i* 項を $\mathbf{B^i}$ として計算した結果に過ぎない。実際には、第 1 項が $\mathbf{B^1}$ となった際に $\mathbf{B^2}$ を第 3 項や第 4 項に対応させる場合もあれば、第 1 項が $\mathbf{B^2}$ や $\mathbf{B^3}$ に対応する場合も存在する。そのため、

これら全ての場合について計算し、平均をとることでサプライチェーンの効果を求める。

$$GDP = \overline{p^1} + \overline{p^2} + \overline{p^3} + \overline{p^4} + \mathbf{vf} \quad (11)$$

ここで、各項は式(12)によって求められる。

$$\overline{p^k} = \frac{1}{4!}\sum_{i=1}^{4}\sum_{j=1}^{(4-1)!} p_{i,j}^{k} \quad (12)$$

$p^k_{i,j}$は、k 番目のサプライチェーンが $\mathbf{B}^i$に対応したとき、残りのサプライチェーンと **B** との対応が (4-1)!=6 通り存在するため、その中の j 番目の場合の効果を表す。

2.3 GHG 排出量の計算

式(1)、式(7)～(10)で用いた付加価値率ベクトル **v** を単位直接GHG排出量ベクトル **d** に置き換えることで、直接排出量と間接排出量を考慮した内包型排出量を計算できる。直接排出量は、産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID) [4]の値を用いる。

3. 結果

東北三県において、2005 年の県内 GDP のうち 60%前後を誘発するのは県内需要であり、続いて都道府県別に見ると東京、大阪といった大都市の需要が誘発している GDP が多いことが分かった。福島県の例を図 1 に示す。

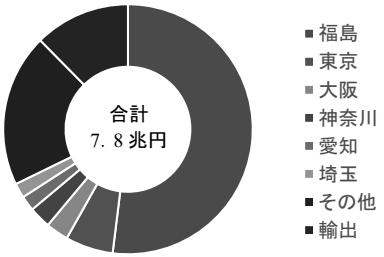


図 1. 2005 年の福島県における誘発県別 GDP

また、図 2 に各県の需要が誘発する 2005 年の福島県における GHG 排出量を示す。GDP 誘発に比べ、他県の誘発によるシェアが大きくなっている。

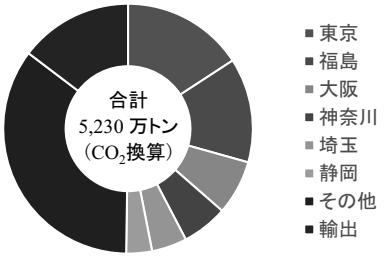


図 2. 2005 年の福島県における誘発県別 GHG 排出量

サプライチェーンが誘発する 2005 年の福島県における GDP について図 3 に示す。図中の P1 は福島県から福島県への投入による効果、P2 は福島県から他県への投入による効果、P3 は他県から福島県への投入による効果、P4 は他県から他県への投入による効果である。FD は福島県に対する最終需要による直接効果である。

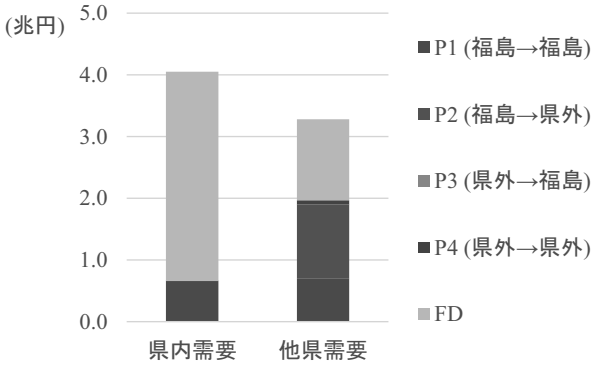


図 3. 2005 年の福島県 GDP におけるサプライチェーン別誘発寄与

県内需要によって誘発される GDP は、80%以上が直接効果によって生み出されるものであり、残りは県内のサプライチェーンの効果によるものである。一方他県の需要によって誘発される GDP は、40%が直接効果、60%が間接効果である。間接効果の中では県内チェーンによる効果よりも県内から他県へのチェーンによる効果が大きい。また、県内生産に直接関わらない他県から県内への投入、他県から他県への投入といったサプライチェーンによる効果はほとんど見られなかった。

4. 引用文献

1) Okuyama, Y., Santos, J. R.: Econ. Sys. Res., 26 (1), (2014), pp. 1-12
2) 国立環境研究所 : ”2012 年度（平成 24 年度）の温室効果ガス排出量（確定値）について”, 温室効果ガスインベントリオフィス, (オンライン), 入手先 <http://www.nies.go.jp/whatsnew/2014/20140415/20140415002.pdf>, (参照 2014-12-17)
3) Nansai, K., Kagawa, S., Suh, S., Fujii, M., Inaba, R., Hashimoto, S.: *Environ. Sci. Techno.*, 43(12), (2009), pp. 4241-4246
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)

近畿地方民生部門を対象とした分散型電源における小地域単位の電力融通ポテンシャルの評価

Evaluation of the sub-regional power interchange potential by distributed power supply in the Kinki civilian sector

○福原大祐*[1)]、吉川直樹[1)]、天野耕二[1)]、島田幸司[1)]
Daisuke FUKUHARA, Naoki YOSHIKAWA, Koji AMANO, Koji SHIMADA
1)立命館大学
*rv006078@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

分散型発電や電力融通による電力供給が注目されつつあり、分散型発電のなかでも自然エネルギーの導入容量は増加傾向にある。しかしながら自然エネルギーによる発電量は地域、季節や時間帯によっても供給可能なエネルギーは変化するため地域、時間帯によって電力の需給バランスが変化することが予想される。今後、自然エネルギーが普及していくうえで、電力供給を安定させるために各地域、季節、時間によって需給バランスの安定性を担保することが必要となる。本研究では時間帯別の家庭・業務部門の電力需要や分散型発電の発電ポテンシャルを、気象観測値と統計値を基に GIS によって地域レベルで詳細に推計した。これを用い、電力の需給バランスと地域内外での電力融通による効果の評価を行った。

2. 方法

本研究では、近畿地方を対象地域とし、アメダスおよび NEDO の各観測地点における気象統計値に基づき GIS を用いて空間的補完を行い、各地区における時間帯別の発電ポテンシャルの推計を行った。さらに発電ポテンシャルと統計値および土地利用、建物面積による各種制約条件を考慮し、分散型発電の設置可能量および各地区での有効な期待発電電力量、家庭部門および業務部門の電力需要量を推計した。その結果から各地区の時間帯別電力需給バランスと余剰電力量の電力融通による効果の評価を行った。

本稿では、代表的な分散型発電として太陽光発電と風力発電を用いた算出方法について述べる。太陽光発電の導入率は、NEDO の『太陽光発電ロードマップ（PV2030+）』[1)]より太陽光発電を設置する世帯を全体の 50%だと仮定し、業務部門には推定した屋根面積の 50%を使用するものとした。設置する太陽光発電の発電容量は 160W/m^2 として屋根面積のうち設置可能な面積に乗ずることで設置容量とした。また、太陽光発電量は JIS 規格[2)]を元に推計した。風力発電は、NEDO の『風力発電導入ガイドブック 2008』[3)]を参考に、各風車間の間隔や、保護林でないこと、住居付近でないこと等の制約条件を考慮した。また、風力発電の発電容量は、比較的規制が厳しくない規模の 600kW/基とした。

本稿では家庭部門および業務部門各々の日電力自給率を式(1)、民生部門全体を式(2)と定義した結果について述べる。

$$SS_p = PV_p / D_p \quad \cdots(1)$$

$$SS_A = (PV_A + Aero) / D_A \quad \cdots(2)$$

ここで、SS_p: 家庭部門および業務部門各々の日電力自給率、SS_A:民生部門全体の日電力自給率、PV_p: 家庭部門および業務部門各々の日太陽光発電電力量(kWh/day)、PV_A:民生部門全体の日太陽光発電電力量(kWh/day)、D_p: 家庭部門および業務部門各々の日電力需要量(kWh/day)、D_A:民生部門全体の日電力需要量(kWh/day)、Aero:日風力発電電力量(kWh/day)である。

3. 結果

3.1 日電力自給率推計結果

図 1~3 は、家庭部門、業務部門、民生部門全体別に 5 月の近畿地方の日電力自給率を 500m メッシュ単位に推計した結果である。図 1 の家庭部門では中心の都市部の日電力自給率は低く特に大阪では 50%を下回る地域が集中している。これは、近畿地方では中心の都市部に集合住宅が多く存在しているために、太陽光発電の設置容量に対して、電力需要量が大きくなったことが起因している。反対に山間部では、集合住宅が少なくなり、太陽光発電の設置容量に対し電力需要量が小さくなることにより、日電力自給率が高くなり発電電力量が高くなっている。また、淡路島やその周辺部では電力需要量に対して、特に発電電力量が高いため 100%を超える箇所が多く存在している。図 2 の業務部門の場合では、家庭部門と同様に中心の都市部が 25%以下と特に電力自給率が低い傾向が見られるが、家庭部門と比較すると全体として電力自給率が低く、電力自給率が 100%を超える箇所はまばらに点在しているのみである。これは家庭部門と比較して業務部門では、電力需要量に対して、太陽光発電の設置可能面積がより少なくなるためである。

図 3 の民生部門全体では中心の都心部だけではなく、

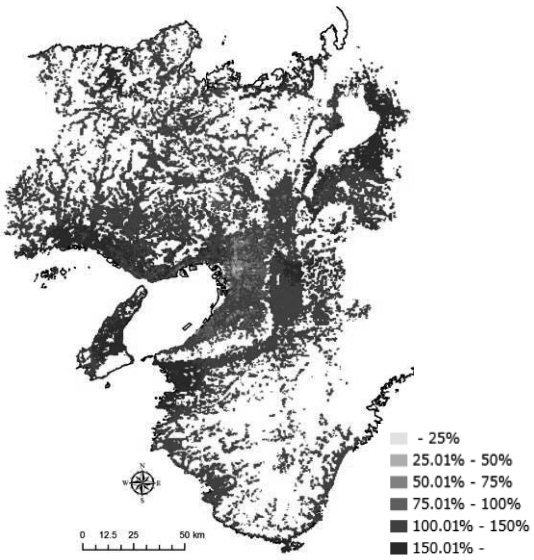


図１　家庭部門の日電力自給率(5 月)

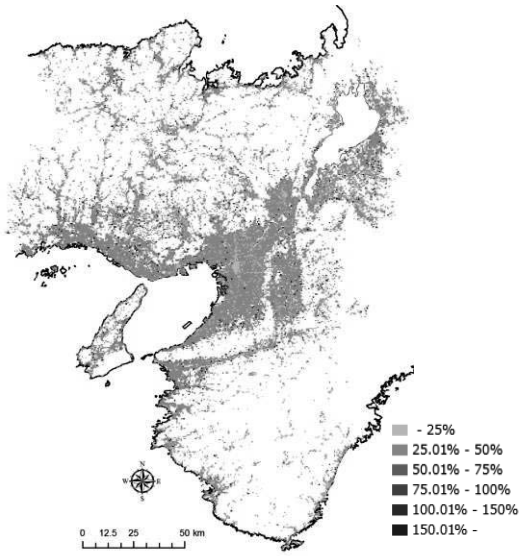


図２　業務部門の日電力自給率(5 月)

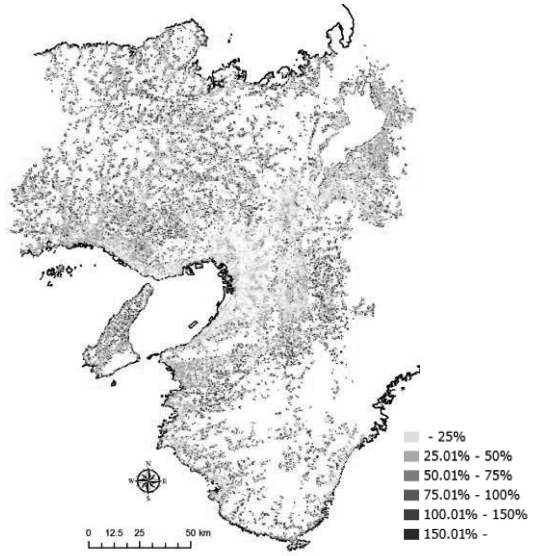


図３　民生部門全体の日電力自給率(5 月)

その近郊の業務部門が多い箇所も電力自給率が 25%以下と低くなる箇所が集中している。 反対に、山間部では業務部門による影響が減るため電力自給率が 100%を超える箇所が多く存在している。

3.2　電力構成比推計結果

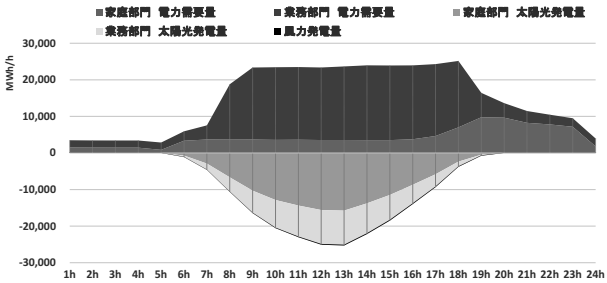


図4　近畿地方民生部門全体の電力構成比推移(5 月)

次に、5 月の近畿地方全体での時間帯別の電力構成比推計を行った結果を図 4 に示す。縦軸の正の値は各時刻の家庭部門、業務部門の各々の電力需要量を、負の値は各々の太陽光発電の発電量と風力発電の発電量を表している。図 4 のように業務部門の電力需要量のピークは日中であるが、家庭部門は夕方以降がピークであり、日中の太陽光発電の発電量を業務部門に融通することが可能である。また、5月の分散型発電の発電ピークである12~13時には民生部門全体で約 1,880~1,930MWh/h の余剰電力が発生している。この余剰電力も活用すると 5 月の**近畿地方民生部門全体の**日平均電力自給率は約 56.35%となった。(他月は図 S1~S3 に記載)

4.　おわりに

本稿では、近畿地方民生部門の日電力自給率と電力構成比について述べたが、家庭部門と業務部門は電力需要のパターンや太陽光発電の設置可能量が異なり、各箇所の家庭部門と業務部門の構成比の違いを考慮して時間帯別に電力融通による効果の評価を行う必要がある。

5.　謝辞

本研究の一部は、日本生命財団 環境問題研究助成を受けて行われた。記して謝意を表す。

参考文献

1) NEDO: ”太陽光発電ロードマップ（PV2030+）”, NEDO,入手先 ＜ http://www.nedo.go.jp/library/pv2030_index.html>, (参照 2012-4-30)
2) 独立行政法人 産業技術総合研究所: “太陽光発電システムの発電電力量推定方法”,日本工業標準調査会(JISC),入手先< http://www.jisc.go.jp/app/pager?id=348347>, (参照 2012-6-1)
3) NEDO: 風力発電導入ガイドブック 2008 http://www.nedo.go.jp/library/pamphlets/ZZ_pamphlets_08_3dounyu_fuuryoku2008.html,(参照 2012-6-1)

戸建住宅における雨水活用装置による環境負荷削減効果の評価

Evaluation of Environmental Load Reduction Effect by the Rainwater Harvesting System for Detached House

○前川翔太 [1)]、笠井利浩*[1)]
Shota Maegawa, Toshihiro Kasai
1）福井工業大学
* kasai@fukui-ut.ac.jp

1. はじめに

近年、地球温暖化などの環境問題によりエコバッグでの買い物やペットボトルのキャップ集めなど、環境に配慮した活動が多くされている。このようなエコ活動の一環として雨水活用も行われている場合が多い。雨水活用は“もったいない精神”に基づいて行われていることが多く、環境負荷削減の観点を取り入れた活動は少ない。しかしながら、エコ活動の一環として雨水活用を行う以上、環境負荷削減効果を明らかにすることは重要である。また、雨水活用の環境負荷削減に関する研究報告は少数である [1,2)]。これらの研究内容として、設置時や廃棄時の環境負荷は考慮されておらず、水道水削減による環境負荷削減量のみ報告されいる。

本研究では、東京都世田谷区の戸建住宅に設置されている雨水活用装置を対象に、設置時から廃棄時までを考慮し、約 30 年間の実測値データを基に環境負荷削減効果の評価を行ったので報告する。

2. 方法

2.1 雨水活用装置の概要

今回対象とした東京都世田谷区の戸建住宅では、約 30 年前から水資源の有効利用および流出抑制を目的に雨水活用を行ってきた。対象戸建住宅の平面図を、図 1 に示す。雨水は住宅の屋根面から集水しており、北面の屋根（116.1m^2）から集水する雨水は、スクリーン（ろ過装置）で大きな枯葉などのゴミを除去し、駐車場地下にある貯水槽（2.12m^3）に貯め、1 階と 2 階のトイレ洗浄用水として使用している。貯水槽の水位がある一定以下になった場合は、自動的に井戸水が給水される仕組みである。貯水槽からオーバーフローした雨水は、貯水槽から浸透槽に流入する。これら、トイレ洗浄用水使用量と井戸水補給量は、雨水活用装置導入時から現在も記録されている。また、庭に降雨計が設置されており、1 時間ごとの降水量を記録している。浸透槽では、流出抑制および地下浸透を行っており、オーバーフローした雨水は排水溝に流出する構造である。また、南面の屋根（105.2m^2）から集水する雨水は、地下 1m に設置した浸透トレンチから浸透させている。

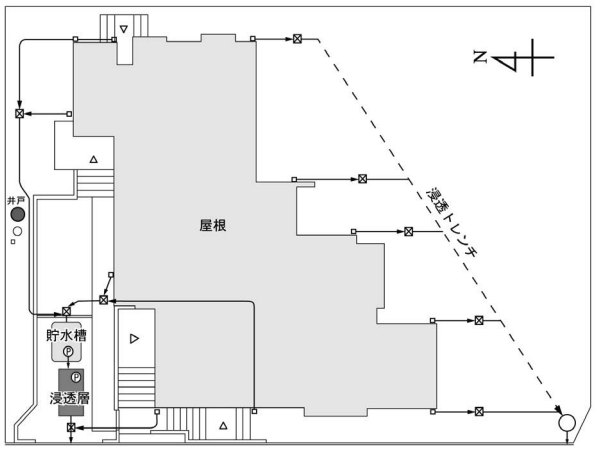


図 1　評価対象とした戸建住宅の平面図

2.2 環境負荷削減効果の算出

今回の評価対象範囲は、貯水槽および浸透槽がある北面とした（図 1 左半分）。装置は約 30 年前に導入し、現在同じ商品は販売されていない。そのため、設置時の環境負荷量は、現在販売されている同性能の装置導入時に発生する環境負荷量とした。環境負荷量の算出には 3EID を用いて行い、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から割り当てた [3)]。購入金額は、月刊積算資料 [4)]、カタログおよびインターネットで調査した（表 1）。軽油単価は、経済産業省資源エネルギー庁の石油製品価格調査から 130.2 円とした [5)]。運送費の原単位 354 は、国土交通省の自動車燃費一覧から取得した [6)]。

雨水活用時の環境負荷削減効果の算出には、約 30 年間記録されてきた雨水使用量および加圧送水ポンプの電気使用量を使用した。水道水削減による CO_2 削減量は、原単位 1.36 に造水費用と雨水使用量（2349.32m^3）を掛けて算出した。造水費用とは、水道事業体が水道水造水時に必要な費用である。費用は、水道事業体の営業費用を給水量と分水量の合算値で除して求めた。今回は東京都世田谷区の 163 円を割り当てた。また、雨水活用時の環境負荷量として、電気使用量（8107.16m^3）に CO_2 排出原単位 0.386 を掛けて求めた。原単位は、東京電力株式会社が公表している 1985～2013 年の平均値である [7)]。

各装置の廃棄は、埋め立て処分として環境負荷は無い

ものとした。そのため、輸送時に発生する環境負荷量を廃棄時の環境負荷量とした。埋め立て場所は、中防不燃ごみ処理センターとして、東京都世田谷区からの距離を NAVITIME で算出し、21.6km とした。

CO_2 削減量(g-CO_2)＝
原単位(t-CO_2/100万円)×造水費用(円/m^3)×雨水使用量(m^3)

表１　雨水活用装置設置時の環境負荷量算出項目

	金額	原単位 (t-CO_2/百万円)
① 貯水槽	275,000 円	4.19
② 加圧送水ポンプ	371,000 円	4.27
③ 配水管	5,000 円	4.19
④ スクリーン	1,000 円	25.06
⑤ 集水マス	3,000 円	10.12
⑥ マンホール	61,000 円	16.24
⑦ 砂利	4,500 円	5.58
⑧ 設置工事(軽油)	2,500 円	7.67

	距離 (km)	原単位 (g-CO_2/km)
⑨ 運送費	200	354

3. 結果および考察

雨水活用装置による環境負荷削減効果を、表 2 に示す。装置をライフサイクルで考えた場合、設置時に発生する環境負荷量は 3910kg、使用時に 3130kg、水道水削減による CO_2 削減量は 521kg、廃棄時に 3.67kg となった（有効桁数 3 桁）。従って、雨水活用装置による環境負荷削減効果は-6520kg となり、環境負荷を増加させていることがわかった。これらから、装置設置による環境負荷が一番高いことがわかった。また、設置時と使用時の環境負荷量が近い値を示しており、加圧送水ポンプ使用による環境負荷量が高いことがわかった。水道水削減による CO_2 削減量は、521kg であるが、水道水造水時の環境負荷が低く、CO_2 削減量は少ない。装置廃棄時の環境負荷量は、3.67kg である。これら全体を考えた場合、装置設置時における加圧送水ポンプの環境負荷量は 1580kg であり、使用時も含めると全体の環境負荷量の約67%を占めている。そのため、環境負荷削減の観点から雨水活用を行う際には加圧送水ポンプを設置するよりも貯水槽の位置を高くし、配水する仕組みを構築する必要がある。

表２　戸建住宅における雨水活用装置による環境負荷削減効果

装置設置時の環境負荷量（kg-CO_2）	3910
装置使用時の環境負荷量（kg-CO_2）	3130
水道水削減による CO_2 削減量（kg-CO_2）	521
装置廃棄時の環境負荷量（kg-CO_2）	3.67
環境負荷削減効果（kg-CO_2）	−6520

4. まとめ

本研究では、東京都世田谷区の戸建住宅に設置されている雨水活用装置のライフサイクルにおける環境負荷削減効果の評価を行った。今回対象とした戸建住宅では、約 30 年前に雨水活用装置を導入した。そのため、現在同じ装置は販売されておらず、同等品を設置したと仮定して、環境負荷量を算出した。使用時の環境負荷量は、雨水使用量と電気使用量の実測値より算出した。廃棄時における環境負荷量は、同等品を埋め立てとして運送費のみ計上した。その結果、水道水削減による CO_2 削減量が少なく、加圧送水ポンプの購入時および電気使用による環境負荷が高いため、環境負荷削減には繋がっていないことがわかった。このことから、インバータ式の加圧送水ポンプの導入や高置タンクから送水して消費電力を抑える必要がある。一方、浸透においては今回、環境負荷削減の評価を行っていない。しかしながら、地下水涵養や流出抑制などの効果もあるため、今後は効果を定量化し、評価を行いたい。

参考文献

1）笠井利浩: 日本雨水資源化システム学会誌, 18（1）, (2012), pp.27-33
2）中島耕作, 大塚雅之, 高橋雄太, 進藤宏行: “日本建築学会関東支部研究報告集”, (2009), pp.101-104
3）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 2014-1-3）
4）財)経済調査会: 月刊積算資料, (9), (2010), 1032p.
5）経済産業省・資源エネルギー庁 : “石油製品価格調査”, 経済産業省, 入手先 <http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/petroleum_and_lpgas/pl007/results.html>, （参照 2015-1-3）
6）国土交通省 : “自動車燃費一覧（平成 26 年 3 月）”, 国土交通省, 入手先 <http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr10_000019.html>, （参照 2015-1-3）
7）東京電力(株) : “CO_2 排出量・排出原単位と販売電力量”, 東京電力 HP, 入手先 <http://www.tepco.co.jp/corporateinfo/illustrated/environment/emissions-co2-j.html>, （参照 2015-1-3）

【謝辞】本研究で使用しました、トイレ洗浄用水使用量などは、雨水貯留浸透技術協会　屋井裕幸様、東京大学名誉教授　高橋裕様、高橋利子様　からご提供いただきました。ここに記して感謝の意を表します。

高齢者の省エネ対策と健康影響を考慮した住宅導入の可能性評価

A feasibility study on the promotion of elderly housing in consideration of both behavior energy saving and health condition.

○大野彰之*[1)]、小井土賢二[1)]、堂脇清志[1)]
Akiyuki Ohno, Kenji Koido, Douwaki Kiyoshi
1) 東京理科大学
* akiyuki2615@gmail.com

1. はじめに

今後、高齢化による高齢世帯の増加が予想される。また高齢世帯のエネルギー消費量が多いことから、家庭部門のエネルギー消費量を削減するためには、高齢者の省エネ行動が必要になる。一方で、高齢者は健康影響に強い関心を持っている。地球温暖化によって、夏季の気温上昇が進む日本において、高齢者の熱中症は注意すべき問題である。そこで、適切な冷房の使用及び予防策の啓発が重要となってくる。

本研究では NHK 国民生活時間調査[1)](以下:NHK 調査)とアンケート調査により高齢者の行動スケジュールを把握し、推測される行動スケジュールを基に熱負荷計算ソフト The Building Energy Simulation Tool Program[2)](以下:BEST)を用いることで、空調機器及び住宅の建て方が高齢者の夏期の冷房需要に与える影響を評価した。また、高齢者の熱中症によるリスクを金銭に換算した藤沢の既往研究[3)]を参考に、熱中症による健康被害リスクと高齢者のライフスタイルの関係性を検討した。

2. 研究手法

2.1 BEST によるエネルギー消費量の計算

BEST では、設定温度、在室・空調スケジュールを設定することができる。本研究では、二人暮らしの高齢夫婦が睡眠中は寝室、起床在宅中は居間にそれぞれいると仮定し、NHK 調査とアンケート調査を基に年代別(60 代、65 代、70 代、75 代、80 代以上)に在室・空調スケジュールを設定して計算を行った。また、戸建住宅と集合住宅の二つのモデルを作成し、住宅に建て方によるエネルギー消費量への影響を評価した。

2.2 健康被害リスク額の計算

藤沢の研究では熱中症の患者数、医療費等から暑さ指標(以下:WBGT)毎の熱中症による健康被害リスク額を推計しており、WBGT の値が上がるに連れて健康被害リスク額が高くなるという結果になっている(図 1 参照)。WBGT とは、人体の熱収支に影響の大きい湿度、輻射熱、気温の 3 つを取り入れた指標で、乾球温度、湿球温度、黒球温度の値をから計算する。室内で日射が無い状態と仮定することで気温と湿度から WBGT を推定することができる。

本研究では年代、男女、平日休日、WBGT で分類を行い、全ての分類の組合せについて健康被害リスク額を計算した。また、外出している間は熱中症リスクのない環境にいると仮定し、室内にいる場合のみの健康被害リスクを想定した。

東京消防庁が発表している高齢者における熱中症の時間帯別発生状況から、健康被害リスク額を時間帯ごとに重みづけを行い、NHK 調査から決定した行動スケジュールと組み合わせて分類ごとに外出時間に対するリスク額を決定した(図 2 参照)。また、アンケート調査から分類ごとの外出時間の割合を決定した(図 3 参照)。分類ごとの健康被害リスク額は、外出時間に対するリスク額に、外出時間の割合を掛けることによって算出した。

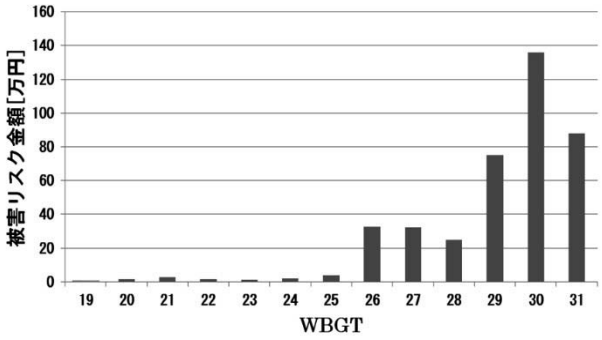


図 1　WBGT と高齢者の健康被害リスク額の関係

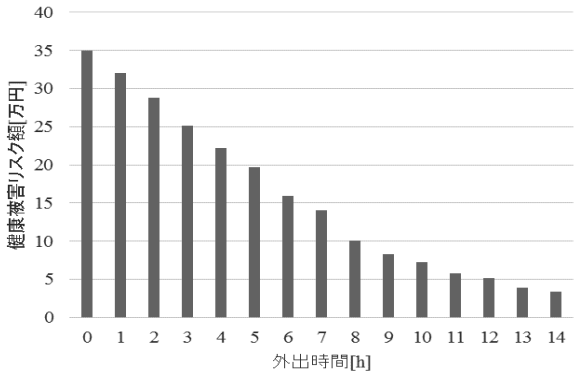


図 2　外出時間ごとの健康被害リスク額
(60 代男平日の WBGT:30 ケース)

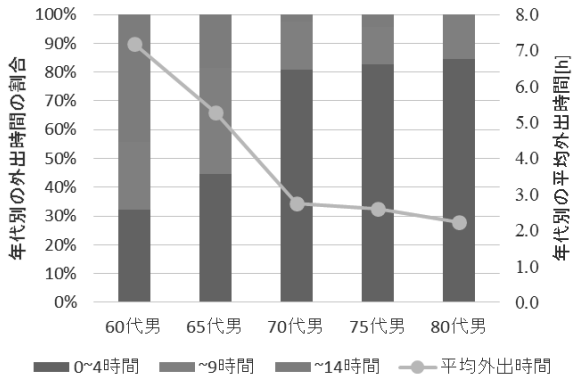


図３　年代別の外出時間の割合(平日ケース)

3. 結果･考察

3.1 住宅の建て方のエネルギー消費量への影響

冷房のエネルギー消費量は年代が上がり、在宅時間が長くなるごとに大きくなり、変化量の最大は、集合住宅で 0.15GJ、戸建住宅で 0.26GJ だった(図 4 参照)。図 5 からわかるように空調機器の設定温度と住宅の建て方による影響は大きく、設定温度に対応する WBGT が大きくなる程エネルギー消費量が小さくなり、戸建住宅の方が集合住宅よりもエネルギー消費量が大きいという結果になった。戸建住宅のエネルギー消費量が大きくなったのは冷房をきかせる床面積が広く、また集合住宅に比べて一部屋あたりの外気と接触する面積が広いためだと考えられる。

3.2 分類ごとの健康被害リスク額

熱中症による健康被害リスク額は図 6 に示すように 60 代男平日のケースが一番小さくなった。これはまだ職を持っている人が多く、そのため長時間外出をする人が多いためだと考えられる。また、どのケースにおいても 80 代以上になると外出時間が 0 時間となる高齢者が増え、健康被害リスク額が大きくなっている。これは 80 代以上になると寝たきりになる高齢者が増えるためだと予想される。

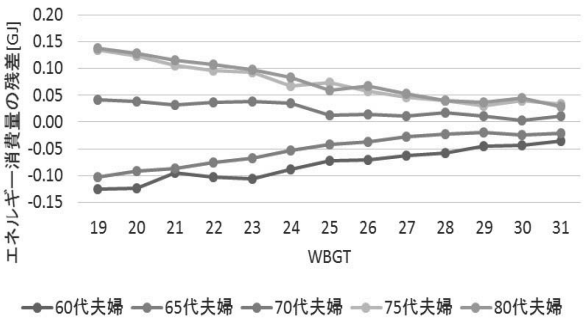


図４　冷房エネルギー消費量の残差(戸建ケース)

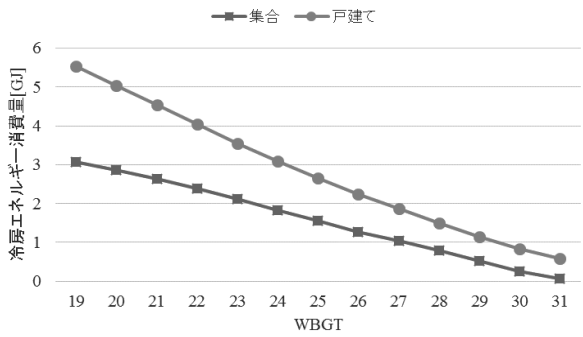


図５　WBGT、建て方ごとのエネルギー消費量(平均)

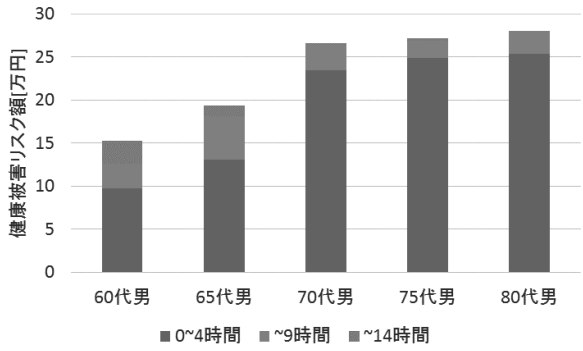


図６　健康被害リスク額(平日の WBGT:30 ケース)

4. まとめ

本研究では､NHK 調査とアンケート調査から決定した高齢者の年代別の行動スケジュールを基にエネルギー消費量、健康被害リスク額を算出した。

冷房のエネルギー消費量は設定温度及び住宅の建て方には大きく影響を受けた。設定温度を高くし、集合住宅に住むことで、エネルギー消費量は削減できる。しかし、気温が高い場合健康被害リスクは上昇する。したがって、住宅を変えることは、定年を迎えた収入の少ない高齢者には現実的ではない。今後は、高齢者でも導入の可能性のある省エネ対策を検討する。健康被害リスクは、出勤のために外出時間の多い 60 代男性の平日ケースでは明らかに小さく、熱中症に関して言えば外で働いている方が健康に良い可能性がある。一方で、寝たきり等の理由で外出のできない高齢者は健康被害リスク大きくなるため適切な空調の利用を呼びかけが必要である。今後は外出中の健康被害リスクの評価方法を検討し､信頼性を向上させる必要がある。

参考文献

1) NHK 放送文化研究所:“NHK 国民生活時間調査 2010”,NHK 出版,東京,(2011),p640
2) 建築環境･省エネルギー機構: The Building Energy Simulation Tool Program,(2008)
3) 藤沢祐介:東京理科大学理工学部経営工学科卒業論文(2014)

低炭素スマートライフスタイルの研究

－太陽光発電、太陽熱利用、EV、木質バイオマスを活用した実証実験－

Study on Low-Carbon Smart lifestyle
-Experiment in Housing Energy System using PV power, Solar energy assisted heat pump, EV and Wood biomass-

○九里 徳泰
Noriyasu Kunori
1) 富山県立大学工学部環境工学科
kunori@pu-toyama.ac.jp

1. はじめに

本研究の目的は、ゼロエネルギー住宅、特に炭素排出(地球温暖化抑制)に注目し、日本におけるカーボンゼロ住宅の 2 地点での比較実証実験を目的とし、日本におけるカーボンゼロ住宅（電気自動車、自家発電設備、HEMS で管理）での実験を通し、日本の家庭部門の低炭素化（スマートライフスタイル）を実証研究し、増加が著しい一般生活における日本及び世界各国で求められている「低炭素スマートライフスタイル」の普及可能性を探るものである。

本研究は、4 年間の実証実験計画であり、その 3 年目となる。初年度に、神奈川県茅ケ崎に太陽光発電、太陽熱利用ヒートポンプ、電気自動車（EV）、HEMS、木質バイオマス利用となるペレットストーブを導入した実験住宅を造りモニタリングを開始した。2 年度目は富山県富山市において太陽光発電、HEMS を導入し、インターネットによる常時モニタリングできる実験住宅を3軒用意した。

茅ヶ崎市においては引き続き電気自動車を導入した、ライフサイクル・スマートライフを実現するためのスマートハウス＋スマートモビリティによる日本におけるライフスタイル・カーボンフリーを引き続き検討した。

富山市の家庭 3 軒では、降雪があり、冬の暖房に多くのエネルギー利用する北陸地域においてゼロカーボン住宅及びライフスタイルが可能であるのか、北陸の家庭におけるエネルギーマネジメントの可能性を検討した。

これまでの研究で以下の 7 点が確認されている。

①ガソリン車から EV 利用（年間 6000 ㎞走行）への変更は、低炭素ライフスタイルに極めて有効である。関東 1 家庭当たり年間 4t の CO_2 排出量の内、移行により 0.6 t 程度の削減が可能。導入においては、補助金を使えば 227 万円にまで車両価格は下がりガソリン車と競合できる。関東甲信越の CO_2 排出量(環境省 2014)は、照明家電製品等からの排出（37%）、自動車用燃料（22%）、給湯（17%）、暖房（16%）となっていて、家庭からの CO_2 排出 2 位を大幅に削減できることは、極めて重要である。

②関東地方で5~6kWの太陽光発電システムを導入すると家庭での年間のエネルギーバランスは EV 利用を入れてもイーブンになる。

③太陽光発電の家計への経済的メリットは高く、茅ヶ崎市の実験住宅では、金利を入れた償還分析では測定結果から 10kW 未満、1kWh=38 円(2014 年)という経済産業省の固定価格買い取り制度で 11~13 年で償還ができる。

④茅ヶ崎市の実験住宅は、オール家電住宅とし、EV 利用、バイオマス資源利用をすることにより、1 年間の光熱費は、上下水道代を除き、バイオマス燃料代(60,000 円/年)のみが費用負担となり、売電による収入でその費用が相殺される。つまり、エネルギー費用の家計負担がゼロになる。

⑤太陽熱利用は、関東甲信越の CO_2 排出量は、給湯（17%）が 3 位となっており、茅ヶ崎市の実験住宅において年間 1,100kW のエネルギー削減となり、年間のエネルギー利用の 1/7 の削減に寄与している。

⑥ペレットストーブを用いたバイオマス資源利用は、関東甲信越の CO_2 排出量が暖房（16%）と 4 位となっており検討が必要な削減部分である。バイオマス資源利用は、電気や都市ガス、灯油を使わない非化石燃料であり、CO_2 の排出として計上されない資源として、ゼロカーボン住宅での利用価値がある。

⑦研究の限界に関して、導入に関するインセンティブは大きく改善されたが、既往研究で言われている、「断熱性能、気密性能の向上」に関しては今後の課題となる。

2. 仕様機器の概要

富山市の A 邸は市街地海側でパナソニック製 VBHN 233SJ01（4.66kW）太陽光発電装置を設置、B 邸は富山市市街地山側、シャープ製 ND-170AA（5.1 k W）太陽光発電装置を設置、C 邸は B 宅近接で三菱製 PV-MA2000B (4.8KW) 太陽光発電装置を設置している。すべてオール電化住宅。神奈川県茅ケ崎市の住宅は、木造 2 階建住宅で、シャープ製 ND-160AB×28（4.480kW）太陽光発電装置、集熱ユニット 2.06m^2×2 を設置し太陽熱利用自然冷媒ヒートポンプ給湯機 HSE-3757GPXHTE2 を設置。EV は日産リーフを導入している。冷房は夏のエアコンはな

く各部屋のシーリングファンを用いるオール電化住宅。照明は全て LED。冬はバイオマス利活用でペレットストーブを用いる。大人 2 人、子供 2 人の家族構成。

3. 調査結果

調査の対象期間は、神奈川県茅ケ崎市 2013 年 1 月～2014 年 12 月で EV 利用を含み、富山市の 3 家庭は 2013 年 9 月～2014 年 10 月で行った。

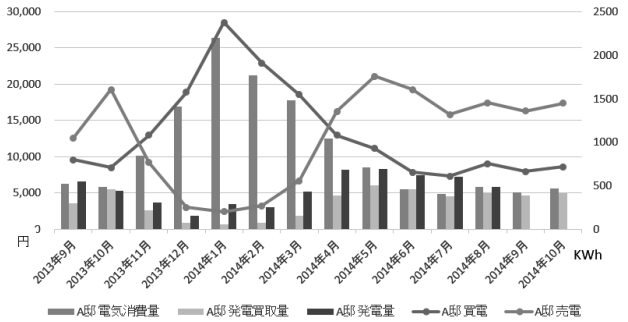


図 1 富山市 A 宅の電力・コスト収支

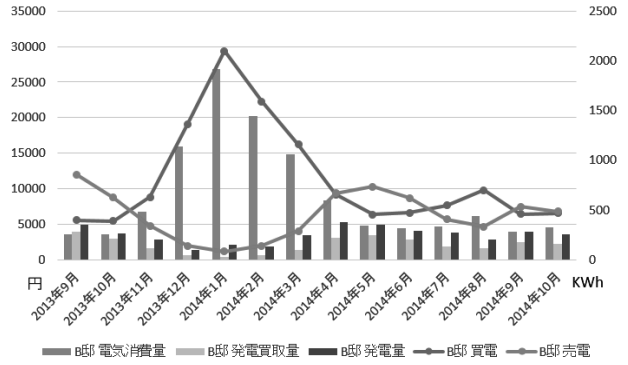


図 2 富山市 B 宅の電力・コスト収支

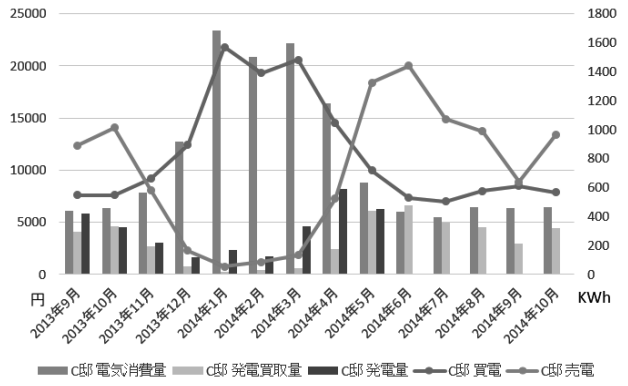


図 3 富山市 C 宅の電力・コスト収支

富山市では平均気温が 10 度以下となる 12 月～3 月は特に家庭でのエネルギー消費が大きく増加する。また北陸特有の冬の曇天により日照時間が少なくなり発電量も減る。エネルギー収支は 5～10 月にプラスになる可能性が高いが、年間収支では各家庭とも 6000kWh を超えるマイナスである。コスト収支は 3 家族すべてマイナス収支で A 邸 4918 円、B 邸 71,899 円、C 邸 24,552 円（14 カ月収支）である。太陽光発電に関わる設備の償還であるが、A 邸 14 年、B 邸 30 年、C 邸 17 年（1 k Wh=42 円買取、金利込）となり、茅ヶ崎市の実験住宅の償還は 11～13 年なので A 邸は大きくは変わらない。北陸と南関東の発電力は 2 割程度北陸が低い。総じて冬季の暖房のエネルギー源をどうするかかが大きなポイントになる。

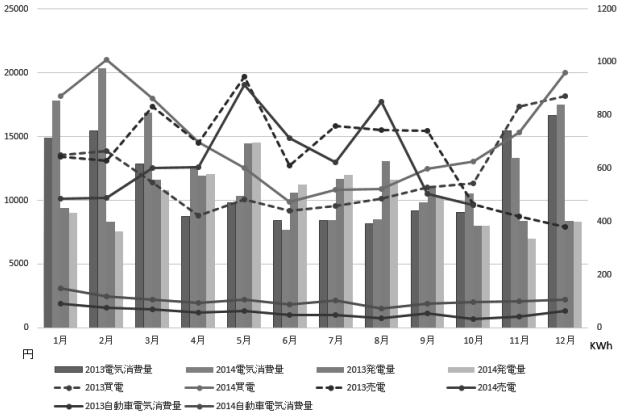


図 4 茅ヶ崎市 2013, 2014 年月別電力・コスト収支

茅ヶ崎市の実験住宅におけるエネルギー収支（バイオマス利用除く）がイーブンまたはそれに近い、プラスになるのは 4 月～10 月で、11 月～3 月までの冬場は日照時間の短さから発電量が低く、給湯の負荷が高い。5 月～11 月において太陽熱利用自然冷媒装置の効果は高く 2014 年は年 1100kWh の効果があり、オール電化住宅における給湯用のエネルギー削減に大きくつながる。また、電気自動車利用の電気エネルギーは、総家庭消費の 7%と低くガソリンからのエネルギー転換をしても経済的にエネルギー的に環境的にも大きなメリットがある。

4. まとめと展望

太陽光による自家発電、太陽熱利用によるエネルギー収支ゼロ、EV の導入と省エネ、バイオマス利用、による GHGs 排出の大幅な削減（ローカボン）を目指したゼロエネルギー住宅の実証実験を茅ヶ崎市と富山市で継続して行った。ゼロエネルギー収支にするには、冬季の暖房のエネルギー源の検討が必要だ。日本の国内の森林の間伐対策は大きな課題で、カーボンフリーになる木質ペレットを熱源として活用することは極めて重要な政策であると考えられる。ストーブ装置が 20 万円、燃料費が年間 6 万円（1t）となり、これが導入の問題点となる。

富山での 3 家族のモニタリングから、各家庭によるばらつきがあることが判明した。日中家にいるかどうかという就業、学業によるライフスタイルの差異、また太陽光発電効率の差異から、設備償還期間も大きな差が開く。

今後の研究として HEMS の家庭への生活における効用と蓄電池を取り入れた研究を行いたい。

引用文献

1)環境省:家庭からの二酸化炭素排出量の推計に係る実態調査試験調査の結果について,(オンライン),入手先 <http://www.env.go.jp/press/17985.html>,(参照 2015-01-02)

デジタルネイティブの生活時間分析－メディアの利用時間に着目して－
Life time analysis of digital native－focusing on the media usage time－

○山田匠*1)木村大樹 1)八木田浩史 1)
Takumi Yamada , Daiki Kimura , Hiroshi Yagita
1) 日本工業大学
＊takumi.yamada8018@gmail.com

1. はじめに

近年、パソコンや携帯電話などの情報機器や通信器を日常的に利用し、高度なメディアリテラシーを習得しながら、社会化の過程を経た若年層世代をデジタルネイティブと呼び、教育やSNSの利用等の観点から様々な研究が行われている[1-2]。年代や情報機器などの観点からデジタルネイティブに様々なタイプが存在することは分かっているが、デジタルネイティブに関する各世代間の特徴付けや枠組み、定義は様々である[3]。デジタルネイティブのメディアに対する調査等はあるが、1日の生活時間、行動に注目した研究は少ない[1]。

本研究では、生活時間の視点からデジタルネイティブの様々なタイプの特徴、違いを時間の観点から求めることを目的とする。

2. 研究方法

10代から60代までを10歳ごとにグループ分けし、情報通信メディアを1週間利用した際の利用時間別行為者率表を基にメディアの利用方法、利用機器に関する相似性の程度を判断する。メディアの利用方法はテレビ(リアルタイム視聴・録画視聴)、インターネット、新聞閲覧とする。メディアの主な利用機器はテレビ、携帯電話(スマートフォン含む)、パソコン、デジタルネイティブの特徴としてメディアのマルチタスク利用(以下、ながら利用)を対象とする[4]。分析には、生活時間研究の一般的な統計手法である行動別分析を用いる。

2.1 デジタルネイティブとは

表1は、Windows95が発売されパソコンが急速に普及するようになった1995年を基準とし、この時に12歳以下であった者を「デジタルネイティブ」、この時より後に誕生した者を「ネオ・デジタルネイティブ」、この時に13歳以上であった者を「デジタル移民」、この時に23歳以上であった者を「デジタル異邦人」とする。デジタルライフスタイル軸(デジタル技術を使用して生活する者、使用しないで生活する者)によって、デジタルネイティブ内に複数のグループを形成する[1]。

表1　デジタルネイティブ内のグループ形成

年齢			
10代 (2000年)	20代 (1990年)	30代 (1980年)	40代以上 (1970年以上)
ネオ・デジタルネイティブ	デジタルネイティブ	デジタル移民	デジタル異邦人

2.2 生活時間とは

人の1日の生活であり、睡眠、食事などの生理的な必要時間である1次時間(必需行動)、仕事や家事などの社会生活活動時間である2次時間(拘束行動)、余暇活動など自由に使える時間である3次時間（自由行動)の3つの時間に分けられる。

2.3 行動別分析とは

一対の行動の行為者率の変化の相似性の程度を求める分析手法である[5]。行動別分析は折線グラフの形状を波形分析、波高分析の２つの分析視角に基づいて行う。

波形分析は、一対の折線グラフの波動(上下、平行の動き)の斉一性(synchronicity)の程度を判断するものである。比較対象となる２つのグラフのスロープに注目し、スロープが上昇するとプラス(＋)、降下するとマイナス(－)、スロープに変化がなかった場合には0(ゼロ)の符号を与え、この符号を基に同一の時刻に同じ符号を持つ場合は同じ動きだと見なし１(イチ)を、両者が異なる符号を示す場合には0(ゼロ)という演算値を与える(表2)。演算値を設定したら「2つのグラフのスロープは相互に無関係な変化を示す」という帰無仮説を設定する。期待値として、1と0の合計の半分の数を設定する。演算値などを基にＸ二乗検定(式1)を導入する。Ｘ二乗検定の結果が、危険率(計算に誤りが起こる確率)より大きければ帰無仮説は不成立として0(ゼロ)の符号を与え、危険率より小さければ帰無仮説は成立として1(イチ)の符号を与える。本研究では、危険値はすべて5%(0.05)とする。

表２　符号リストおよび論理演算値

スロープ	1	2
グラフA	＋	＋
グラフB	－	＋
論路演算	0	1

X^2＝(１の頻度-期待値(スロープの半分))２/期待値＋(０の頻度-期待値)２/期待値…式1)

波高分析は、一対の折線グラフの波の縦の振幅の大きさに着目し、その相似性の程度を分析するものである。F検定(データの分散が等しいか判断する検定)を使用する。F検定には、excel2010のF.TEST関数を使用し、比較対象のグラフのデータを配列1、2に指定し検定を行う(式2)。「2つのグラフのスロープの振幅は等しくない」という帰無仮説を設定し、F検定の結果が危険率5%(0.05)より大きければ帰無仮説は成立として1(イチ)の符号を与え、危険率より小さければ帰無仮説は不成立として0(ゼロ)の符号を与える。

=F.TEST(配列1、配列2)…式2)

２つの分析視角において同様の仮説が示された場合は、その仮説が正しいものとし、帰無仮説(非相似性)が示された場合は0(ゼロ)、対立仮説(相似性)が示された場合は1(イチ)の符号を与える。片方において異なる結果が示された場合は、その結果は誤っているものとする。相似性、非相似性が示された１と０の総数を求め、各年代の違いを求める。

4. 結果・考察

図1、図2は、それぞれ各年代から見たメディアの利用方法の相似性、非相似性を示しており行動別分析を行った結果を示している。

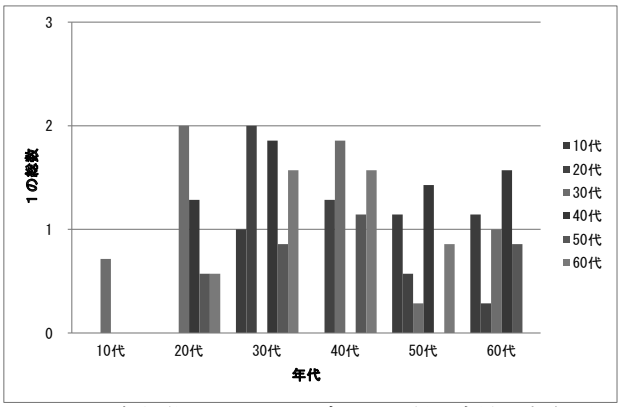


図１　各年代から見たメディアの利用方法の相似性

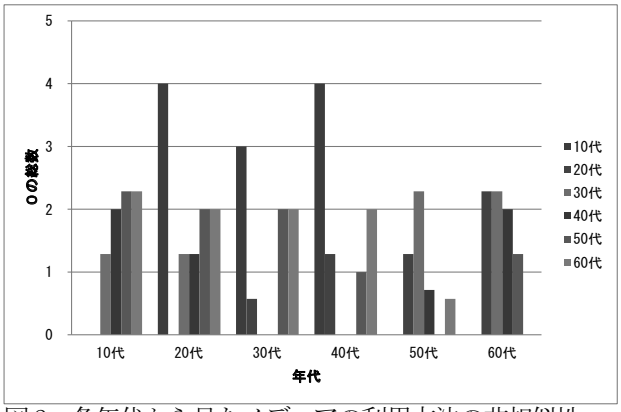


図２　各年代から見たメディアの利用方法の非相似性

20 代から 40 代にかけて、相似性、非相似性において関係性が示された。10 代に対しては非相似性が示された。10 代から見ると、30 代との相似性、非相似性が示されており、10 代にとって 30 代が重要になっていることが示された。

図 3、図 4 は、それぞれ各年代から見たメディアの利用機器の相似性、非相似性を示しており行動別分析を行った結果を示している。

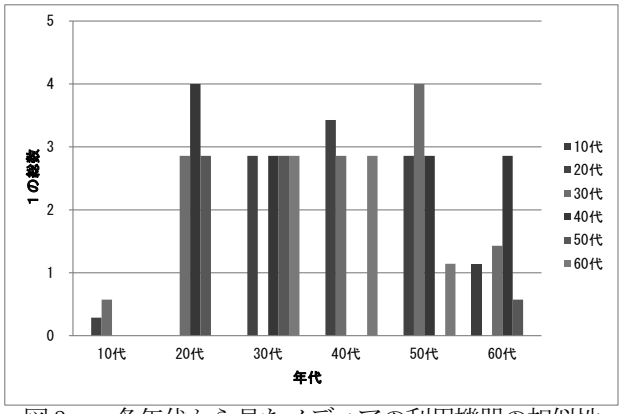


図３　　各年代から見たメディアの利用機器の相似性

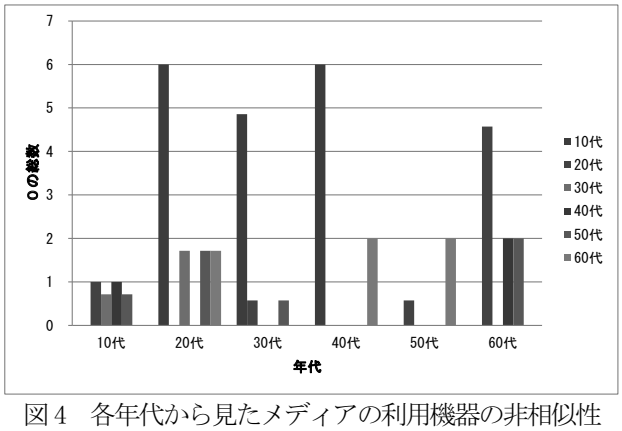


図４　各年代から見たメディアの利用機器の非相似性

20 代から 50 代にかけて、相似性、非相似性において関係性が示されているが、10 代に対しては非相似性が示されている。ネオ・デジタルネイティブから見ても、20 代から 30 代のデジタルネイティブ、デジタル移民に対する相似性、20 代から 50 代のデジタルネイティブから異邦人にかけて非相似性が示されており、10 代にとって、30 代が重要になっていることが分かった。

図 5、図 6 は、それぞれ各年代から見たメディアのながら利用の相似性、非相似性を示しており行動別分析を行った結果を示している。

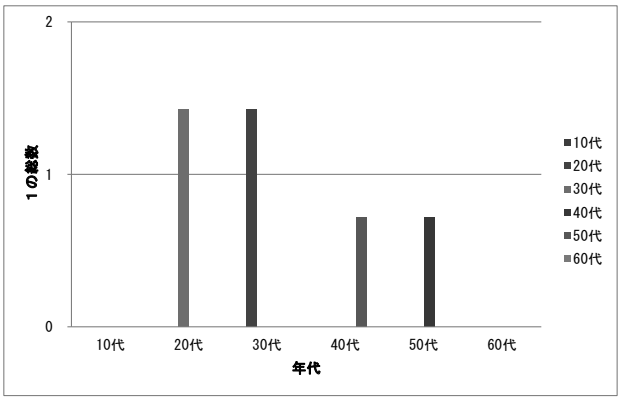


図５　各年代から見たながら利用の相似性

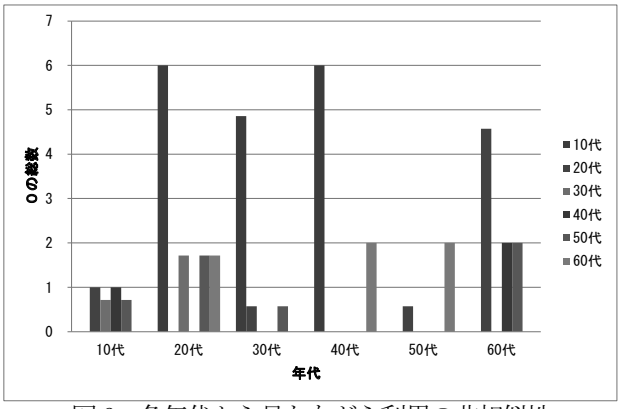


図６　各年代から見たながら利用の非相似性

20 代から 30 代、40 代から 50 代においてながら利用への相似性が高いことがわかった。20 代から 40 代にかけて、10 代に対しては非相似性が示されており、メディアの利用方法、機器においても同様の相似性、非相似性が示されている。20 代から 40 代にかけて互いに関係性があることを示しているのに対して、10 代のネオ・デジタルネイティブは他の世代と異なることがわかった。

5. まとめ

本研究では、デジタルネイティブの特徴としてメディアの利用方法、利用機器に関して分析を行った。20 代から 40 代にかけて 20 代から 40 代にかけて関係性があるのに対して、10 代は他の世代と異なることがわかった。ながら利用に関しても、若年層世代だけではなく、40 代以降においてもながら利用は行われており、ながら利用を行っているというだけでは、デジタルネイティブであるということの証明とはならないことがわかった。

本研究では、年代ごとの相似性、非相似性を求めたが、行動に関する詳細な設定はされておらず、現時点で諸研究との共通性が高い高橋らの定義などでは、デジタルライフスタイル軸をデジタル実践者、非デジタル実践者の 2 つに分けてグループ形成を行っており、さらに詳細な定義付け等を行う必要がある[1-2]。今後の課題として、メディアだけではなく睡眠や食事などの 1 日の生活時間全体から各年代の違いを求める。

引用文献

1)　高橋利枝, 本田量久, 寺島拓幸：応用社会学研究誌, 50, (2008), pp71-92
2)　安藤昌也：“デジタルネイティブ世代の生活価値観とソーシャルメディア”, slideshare(オンライン), 入手先 <http://www.slideshare.net/masaya0730/ss-9401008>, (参照 2014 - 11-28)
3)　藤原正弘：“日本社会情報学会(JASI)”, 東京大学駒場キャンパス, (2012), pp1-3
4)　総務省情報通信政策研究所：“情報通信メディアの利用時間と情報行動に関する調査報告書”, (2014)
5)　藤原眞砂：総合政策論叢, 7, (2004), pp83-95

家計支出に及ぼす気温の影響

Impact of Air Temperature on Household Expenditure

○井原智彦*[1)]、深津浩 [1)]
Tomohiko Ihara, Hiroshi Fukatsu
1) 東京大学
*ihara-t@k.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

世界平均気温は 1880~2012 年の間で 0.85℃上昇した [1)]。最大限の温暖化緩和策を導入しても、気温はさらに上昇すると見られている。

気温上昇によって、需要をまかなえるだけの食料など消費財が生産されなくなった場合、消費財不足により、社会に負の影響がもたらされる。温暖化適応策を適切に導入するためには、この負の影響を把握する必要がある。そこで、これまで気候変化によって農業などさまざまな産業の生産がどのように増減するか、分析されてきた [2)]。一方で、気候変化によって需要が増加した場合も、消費財不足に陥る可能性があるが、エネルギーや上水などの分野以外では、需要増減はほとんど分析されていない [2)]。しかし、前世紀より産業構造は複雑化しており、サプライチェーンを考えると、ある消費財の需要増減が、食料など必需財の産業の生産に影響を与える可能性があり、エネルギーや上水以外の消費財についても、気候変化による需要増減を把握する必要があると考えられる。そこで、本研究は、最終需要の大半を占める家計において、気候変化に伴う消費財需要量の変化を解析する。

気候変化が消費財の需要に与える影響としては、個別消費財に対する影響を解析した事例はいくつか存在するが、包括的に解析した事例は少なく、わずかにイギリスにおける影響を解析した事例 [3,4)]が存在する程度である。しかし、影響は地域によって異なると考えられる [3)]。

日本においては、原沢・西岡 [5)]が整理しているが、残念ながら数値は私信に基づく。一方、企業は、販売時点情報管理(point of sale system, POS)データに基づいて、毎日の気候と需要の関係を解析している [6)]が、詳細は公開されない。外部の研究者が POS データを解析した事例（飲料 [7)]、小売店 [8)]）も存在するが、一小売店や一企業のデータであるため、社会全体の影響評価とはならない。そこで、本研究では、一般に公開されている公的統計を用いて、気候変化が消費財の家計最終需要に与える影響を解析する。

2. 解析手法

消費財の需要データとして総務省による家計調査、気候データとして気象庁による観測データを用いる。

日本の家計調査は、全国約 9,000 世帯が 6 か月にわたって支出記録を毎日付けており、非常に網羅性が高く、信頼性も高い。本研究では、家計調査統計から市町村別の二人以上の世帯の世帯あたり月間支出額を採用する。そのうち、金銭支出と実消費のタイムラグが 1 か月未満と考えられる食料および光熱・水道の各費目を分析対象とする（光熱・水道は支出が 1 か月後と考えられるため、1 か月前の気候データと対応させる）。

地域や季節による物価の違いの影響を排除するため、総務省による消費者物価指数および全国物価地域差指数を用いて、支出額を補正する。日数の影響を排除するため、支出額を日数で除算し、30 を乗算する。さらに、景気変動の影響を排除するため、5 年平均値を分析する。

家計調査統計が 1 か月単位の支出額であるため、気象庁の観測データのうち月平均気温を用いる。

各費目について、式(1)に示すように、補正済み月間支出額を被説明変数に、平均気温、平均気温の 2 乗、休日数および可処分所得を説明変数にそれぞれ設定して、回帰分析を実施する。

$$x = mt^2 + nt + \alpha d + \beta y + C \qquad (1)$$

ここで

x: 支出額 [円]、t: 平均気温 [℃]、d: 休日数 [日]、
y: 可処分所得 [円]、m, n, α, β, C: 定数

なお、休日は土曜日、日曜日、祝日およびお盆(8/13~8/15)・年末年始(12/27~1/3)とした。

3. 解析対象データ

2006~2010 年の 5 年間の市町村別家計調査統計のうち、県庁所在地都市および政令指定都市を解析対象とした。ただし、市町村合併や未調査年が存在した都市は除外した（除外都市: 福島市、宇都宮市、前橋市、新潟市、福井市、浜松市、甲府市、長野市、大津市、堺市、岡山市、山口市、高知市、佐賀市、熊本市、宮崎市）。

物価を補正するために、2007 年の全国物価地域差指数、2006~2010 年の消費者物価指数を用いた。

また、気象データは、解析対象の市町村に存在する気象台もしくはアメダスの観測値を用いた。

4. 解析結果

回帰分析の結果を表 1 に示す。穀類、肉類、野菜・海藻、油脂・調味料、電気代の 5 費目は、2 つの気温の項がともに 1%水準で有意となった。また、計 9 費目が、2 つ

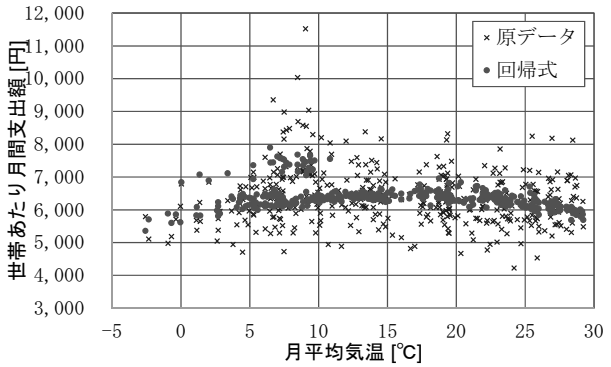


図 1 肉類の解析結果

の気温項が 5%水準で有意となった。すべての説明変数が有意となった肉類の回帰結果を式(2)、図 1 に示す。

$$x = -3.096t^2 + 89.74t + 122.3d + 0.00207y \quad (2)$$

果物、菓子類、飲料および電気代の気温の 2 乗項の係数は正となった。果物の回帰結果を式(3)に示す。

$$x = 13.4t^2 - 495t + 375.8d + 0.002119y + 8137 \quad (3)$$

気温の 2 乗項の係数が正の場合、気温が上昇しても低下しても支出額は増加することとなる。この 4 費目は、夏冬ともに季節性の存在が考えられる財であり、そのために式(3)のように回帰されたと考えられる。

5. おわりに

世帯あたり月間支出額と月平均気温の関係を分析し、気候変化の影響を評価した。費目数の増加・細分化による解析の精緻化および季節性の除外が今後の課題である。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金（基盤研究(A)）「リスクに対する頑健性と柔軟性を備えた環境調和型サプライチェーン設計手法の開発」（課題番号 24246150）（研究代表者: 森口祐一・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) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Fifth Assessment Report (AR5) Working Group I, (2013)
2) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Fifth Assessment Report (AR5) Working Group II, (2014)
3) Agnew MD, Palutikof JP: International Journal of Climatology, 19 (13), (1999), pp.1493-1507.
4) Subak S, Palutikof JP, Agnew MD, Watson SJ, Bentham CG, Cannell MGR, Hulme M, McNally S, Thornes JE, Waughray D, Woods JC: Climatic Change, 44 (1-2), (2000), pp.1-26.
5) 原沢英夫, 西岡秀三（編）: 地球温暖化と日本, (2003), 古今書院.
6) 気象庁: 企業の天候リスクと中長期気象予報の活用に関する調査, (2001) http://www.jma.go.jp/jma/kishou/chousa/index13-2.html
7) 森真理子: お茶の水地理, 41, (2000), pp.104-105.
8) 生田目崇, 須山憲之: 専修大学商学研究所報, 41 (8), (2010), pp.1-29

表 1 式(1)の各説明変数の p 値

大費目	費目	気温t	気温の 2 乗t^2	休日数d	可処分所得y
食料	穀類	2.36×10^{-10} **	8.11×10^{-11} **	0.417	5.68×10^{-27} **
	魚介類	0.4	0.0336	1.55×10^{-6} **	9.1×10^{-54} **
	肉類	3.1×10^{-5} **	3.83×10^{-6} **	6.90×10^{-4} **	3.62×10^{-13} **
	乳卵類	0.937	0.878	1.62×10^{-4} **	3.89×10^{-10} **
	野菜・海藻	7.51×10^{-3} **	4.06×10^{-4} **	6.39×10^{-3} **	1.44×10^{-12} **
	果物	0.0269 *	0.0190 *	0.702	2.16×10^{-5} **
	油脂・調味料	1.51×10^{-8} **	1.52×10^{-13} **	0.415	3.83×10^{-49} **
	菓子類	7.01×10^{-5} **	0.0464 *	0.295	6.75×10^{-21} **
	調理食品	0.0130 *	1.17×10^{-3} **	7.69×10^{-11} **	2.08×10^{-63} **
	飲料	0.181	6.24×10^{-8} **	0.884	9.81×10^{-7} **
	酒類	0.103	0.125	0.27	7.45×10^{-26} **
	外食	0.177	0.348	7.51×10^{-7} **	9.73×10^{-8} **
光熱・水道	電気代	1.1×10^{-37} **	2.83×10^{-30} **	3.53×10^{-10} **	2.16×10^{-6} **
	ガス代	0.517	1.1×10^{-6} **	2.66×10^{-3} **	0.137
	上下水道料	8.74×10^{-3} **	0.0365 *	0.0223 *	0.964

**: 1%水準で有意、*: 5%水準で有意

家計消費の構造変化に着目した固定資本形成に起因する資源消費量の将来推計

Forecasting the resource consumptions in Japan associated with capital formations considering the change in households' consumption

○荒川淳一*[1)]，南齋規介[2)]，東野 達[1)]
Junichi Arakawa, Susumu Tohno
1) 京都大学, 2) 国立環境研究所
* arakawa.junichi.46w@st.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

我が国では，現代の大量生産，大量消費，大量廃棄型の社会経済活動の仕組みを根本から見直し，循環型社会を構築するために循環型社会形成推進基本計画(循環基本計画) が 2003 年に定められた．循環基本計画では，我が国がどれだけの資源を採取，消費，廃棄しているかという経済社会におけるものの流れを表す物質フロー指標を定義し，その具体的な目標値を定めた．その指標の一つである資源生産性は，国内総生産 (GDP) を天然資源等投入量 (DMI) で割った値であり，産業や人々の生活がいかにものを有効に利用しているかを表している．この指標は，資源の循環的利用による天然資源の代替のほか，生産技術や消費構造の変化にも影響される.[1)] ここで言う天然資源とは，原油・天然ガス，金属鉱物，非鉄金属鉱物，食糧資源，その他資源，農業残さを指し，これらのほとんどの資源の消費構造は家計消費支出と固定資本形成による消費が大きな割合を占めている．

近年，我が国の家計消費の構造は大きく変化し始めている．その理由として挙げられるのが，深刻な高齢化による世帯構成の変化である．人口構造の大きな変化が国民の消費行動にも影響を与えている．そこで本研究では，資源生産性に影響を与える要素の一つである消費構造の変化に着目し，今後の日本の世帯構成の変化による消費の変化が固定資本形成に起因する DMI に与える影響を明らかにすることを目的とした．

2. 方法

2.1 家計消費と固定資本形成を連動させた分析手法

産業連関モデルには，最終需要等がモデルに対して外生的に与えられるオープンモデルと最終需要等もモデル内において内生的に決定しようとするクローズドモデルがある．完全なクローズドモデルは一般的に分析には適さないとされているが，最終需要等を構成する諸項目の中には内生化可能なものもあり，本研究では固定資本形成を内生化したモデルを扱う．固定資本形成は一般的な産業連関表において外生変数として扱われることが多いが，最終需要の中でも大きなウェイトを占めるため，他の経済変数に従って決定される面が強い．固定資本形成は民間法人，公的企業，一般政府，対家計民間非営利団体及び家計が所有する固定資本財をまとめた部門であり，特に需要が最も大きい家計消費支出による影響が大きいと考えられる．例えば，実際には家計が固定資本財の消費を誘発し,その固定資本財が固定資本形成部門に計上されるが，単純なオープンモデルではこのような連鎖的波及効果を捉えることはできない．そこで日本の 2005 年度版産業連関表をベースに，固定資本形成を内生部門の産業の一つとして擬似的に取り扱った産業連関モデルを作表した．図 1 に本研究で扱う固定資本形成を内生化した産業連関モデルを示した．本モデルから得られる投入係数行列，レオンチェフ逆行列から固定資本形成の投入構造を読み取ることができ，これらの行列を家計消費支出に乗じることで家計消費支出の変化に伴う固定資本形成の変化を分析することができる．本モデルより求めた投入係数行列，レオンチェフ逆行列を式(1)に示した．なお，下付き添字は行，列の部門を表し, 1, 2 はそれぞれ産業部門，固定資本形成部門を指す．

$$\mathbf{A}=\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}, \qquad \mathbf{B}=\left(\mathbf{I}-\mathbf{A}\right)^{-1}=\begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{pmatrix}$$

$$a_{11}=(x_{ij}/X_{1j}),\ a_{12}=(K_{ij}/X_{2j}),\quad a_{21}=(C_{ij}/X_{1j}),\ a_{22}=(0) \tag{1}$$

			中間需要			最終需要	総生産
			産業 (i=1~403)	固定資本形成		その他の最終需要	
				公的 (i=1~113)	民間 (i=1~113)		
中間投入	産業 (j=1~403)		x_{ij}	K_{ij}		F	X_{1j}
	資本減耗引当	公的 (j=1~113)	C_{ij}	0		0	X_{2j}
		民間 (j=1~113)					
付加価値	その他の付加価値		V	0			
総生産			X_{1i}	X_{2i}			

図 1 固定資本形成を内生化した産業連関モデル

2.2　DMI の 2035 年までの将来推計

2005 年を基準とする 2035 年までの世帯主年齢階級別世帯の家計消費支出の将来変化のデータ, F_h[2)]と式(1)の行列を用いて産業連関分析することで，家計消費が産業部門に誘発する国内生産額, X_{h1} と家計消費に伴う固定資本形成の国内生産額, X_{h2} を求める．

$$\begin{pmatrix} \mathbf{X_{h1}} \\ \mathbf{X_{h2}} \end{pmatrix} = \mathbf{B} \times \mathbf{F_h} \qquad (1)$$

式(1)より求めた係数行列と式(2)より求めた各生産額を用いてその消費の内訳を見ることができる．家計消費による各生産品の誘発生産額は $a_{11}\mathrm{diag}(X_{h1})$より求めることができる．また固定資本形成部門に関しては, $a_{12}\,\mathrm{diag}(X_{h2})$より資本形成部門別に資本財の投入額を見ることができ，さらに $b_{11}a_{12}\mathrm{diag}(X_{h2})$より資本財から誘発される各原料を見ることができる．求めた行列から DMI の対象となる産業部門を抜き出し,物量表により金額から重量に単位変換することで DMI を求める．

3. 結果

3.1 2035 年までの固定資本形成額の将来推計

図 2 に $a_{12}\,\mathrm{diag}(X_{h2})$より求めた 2005 年から 2035 年までの家計消費が誘発する資本財別固定資本形成額の将来推計を公的，民間別に示した．最も大きな割合を占める建設物の生産額が減少していることから，全体の生産額も減少しているが，通信機器，精密機器等の生産額は 2015 年まで増加傾向である．しかし，それ以降はほとんどの部門は減少しており 2005 年を基準として 2035 年まで増加した部門は精密機器のみである．この原因として, 2015 年以降は総人口の減少率が 1.0%以上と大きな値となるため，全体の生産額も大きく減少している．医療機器等を含む精密機器は高齢の世帯主の世帯での家計消費額が大きく，増加傾向であったため生産額も増加したと考えられる．

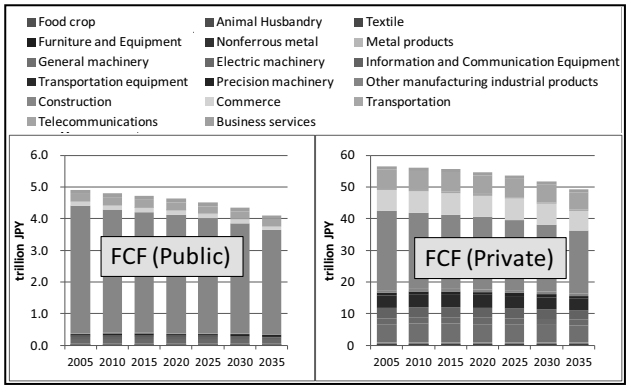


図 2 家計消費が誘発する資本財別固定資本形成額の将来推計

3.2 2005 年から 2035 年の DMI の将来推計

図 3 に 2005 年を基準とした 2035 年までの家計消費支出，および家計消費支出に伴う固定資本形成に誘発される DMI の将来推計を示した．このグラフより家計消費によって年間 220-260 トンの固定資本形成を経由した DMI が誘発されることが分かった．またその資源別の内訳を見ると，家計消費によって直接誘発される資源は石炭，原油，天然ガス等が大きな割合を占めている．これは，家計による DMI が電気，都市ガス，水道等のライフラインに関わる部門が約 15%を占めていることに付随する．一方で，固定資本を経て誘発される資源は石灰石や砂利，採石等が大きな割合を占める．これは，図 2 から読み取れるように資本財別では建設物の生産額が最も大きく，これらの資源が建設物から誘発されているからである．

また，家計消費により誘発される全資源の DMI は 2010 年が最大であるのに対して，固定資本を経由した DMI は 2005 年から 2035 年まで一律して減少しているのがわかる．この原因を資源別に見てみると，2005-2010 年の石炭，原油，天然ガスの DMI が 2.5% 増加しており，家計消費による直接誘発量はこれら資源の寄与が大きいことに起因している．

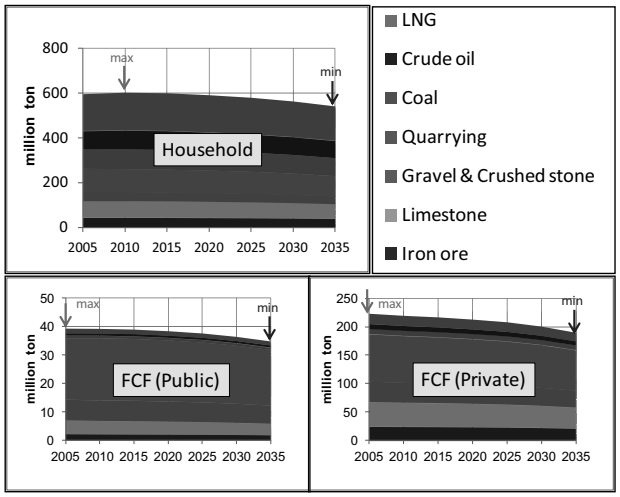


図 3 家計消費（上），及び家計消費に誘発される固定資本形成（下）が誘発する DMI の将来推計

4. 引用文献

1) 森口祐一，廃棄物学会誌, (2003), 14, 242-251,
2) Shigetomi, Y. , Nansai, K., Kagawa, S., Tohno, S, *Env. Sci. Tech.*, (2014), 48, 6069-6080

食品ロスの発生量推計と削減方策のライフサイクル評価

Estimation of Food Loss Generation and Life Cycle Assessment of Reduction Measures

○邉見亮太*[1)]、松本亨 [1)]
Ryota Hemmi, Toru Matsumoto
1) 北九州市立大学
* s1153601@eng.kitakyu-u.ac.jp

1. はじめに

日本では、年間 1,700 万トン（平成 23 年度）[1)] の食品廃棄物が排出されているが、これは世界全体の食料援助量の約 2 倍にあたり、日本の米収穫量とほぼ等しい。このうち、本来は食べられるのに廃棄されているもの、いわゆる「食品ロス」が年間約 500～800 万トン発生しているとされる [1)]。この食品ロスを減らすために、国では「食品ロス削減国民運動」など、種々の施策を開始している。その施策の一つとして、フードバンク活動支援が位置づけられている。フードバンク活動は、廃棄されるはずだった食品を食品として有効利用する試みであり、食品ロスを削減し、再生利用等実施率の向上に有効な手段になり得るとの期待がある。平成 21 年度の調査 [2)] では、12 団体が紹介されている。

以上のような背景のもと、本研究では、福岡県を対象として食品ロスの発生量推計と、フードバンク活動による食品の有効活用策の環境負荷削減効果の推計を行うことを目的とする。なお、福岡県におけるフードバンク活動は、まだ端緒についたばかりであるため、そのポテンシャル量をベースに評価するものとする。

2. 食品ロスの発生量推計

現在日本では事業系廃棄物 715 万トンのうち規格外商品や返品、売れ残りとして排出される可食部と考えられるいわゆる食品ロス量は 300～400 万トン、家庭系廃棄物のうち過剰除去や食べ残しは 200～400 万トンであり、食品由来の廃棄物のうち食品ロス量は 500～800 万トンであるとされている [1)]。

そこで、日本の業種別事業系廃棄物量 [1)] から食品ロス量を推計し、福岡県の値については業種ごとに按分値を用いて按分した。食品製造業については製造品出荷額、食品卸・小売業については商品販売額を用いた。これにより、食品製造業では 44,590t、食品卸業では 4,785t、小売業では 15,756t となった。

3. 評価手法

3.1 機能単位の設定

本研究では、機能単位を 2 章で推計した量でなく 12 万トン [1)] の食品ロスの中間処理、最終処分とした。なお、製品バスケット法を採用し、食品ロスの有効活用を図ることで現状実施されている焼却発電、飼料化、堆肥化ができなくなる点を考慮するために、電力、飼料、肥料の生産についても機能単位として設定した。

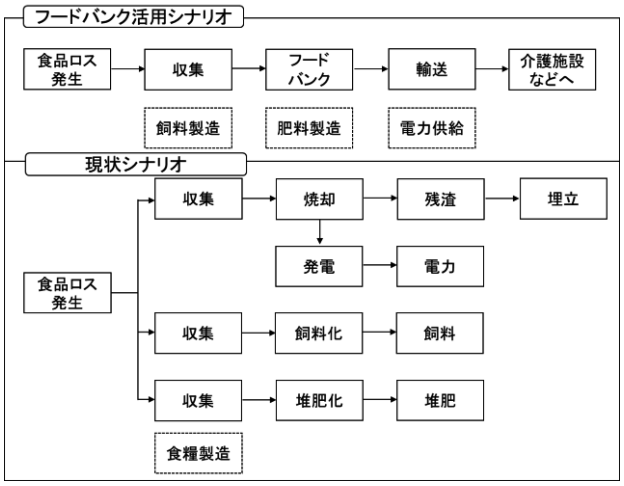


図 1　食品ロスのフローとケース設定

3.2 評価対象シナリオとシステム境界

評価対象とする食品ロスのフローを図 1 に示す。シナリオの設定は、フードバンク活用シナリオと現状シナリオの２ケースとした。中間処理、最終処分のための施設の建設段階は対象外とし、運用段階のみ評価対象とした。3.1 で触れたように製品バスケット法を採用したことから、フードバンク活用シナリオで生じる堆肥、飼料、電力に生産を現状シナリオのシステム境界に加え、一方で、フードバンク活用シナリオで活用する食料の製造を現状シナリオのシステム境界に加えた。

3.3 計算手法と GHG 原単位

まず農林水産省の食品廃棄物等の年間発生量、発生抑制の実施量及び再生利用等実施率（平成 24 年度）から、食品ロスの再利用率 85%[3)] と決定し、それ以外の 15%を焼却処理とした。次に食品廃棄物等を食品循環資源として再生利用した用途別実施量（平成 24 年度）により、堆肥化、飼料化の比を用いた。

参照した排出量原単位を、表 1 に示す。各方法によ

るインベントリデータ収集し、処理量当たりの CO_2 排出量を求めた。フードバンク活用システムでは代替エネルギーは飼料、化学肥料、電電力の製造となり、現状シナリオでは食品ロスから製造するため製造時の環境影響のみを評価した。輸送は改良トンキロ法を用いて計算した。その際、輸送手段と輸送距離は推測値を用いて計算した。最後にフードバンクを活用した際と現状の環境影響を比較することにより、フードバンクを活用することによる環境影響削減効果を推計する。

表 1. GHG 排出原単位一覧

項目	小項目（単位）	値
収集（2t 車）	積載重量[t/台]	2
	積載率[%]	50
	GHG 排出量[kg-CO2/tkm]	0.510[4)]
搬出（4t 車）	積載重量[t/台]	4
	積載率[%]	50
	CO2 排出量[kg-CO2/tkm]	0.325[4)]
焼却	CO2 排出量[t-CO2/t]	0.033[5)]
	N2O 排出量[t-N2O/t]	1.0×10^{-5} [5)]
埋立	CO2 排出量[t-CO2/t]	0.038[6)]
	CH4 排出量[t-CH4/t]	0.036[6)]
堆肥化	CO2 排出量[kg-CO2/ kg]	0.028[6)]
	CH4 排出量[kg -CH4/ kg]	1.1×10^{-5} [6)]
	N2O 排出量[kg -N2O/ kg]	2.3×10^{-6} [6)]
飼料化	CO2 排出原単位[t-CO2/百万円]	2.798[7)]
飼料作物製造時	CO2 排出原単位[t-CO2/百万円]	1.624[7)]
飼料製造時	CO2 排出原単位[t-CO2/百万円]	1.174[7)]

4. ライフサイクル評価結果

シナリオ別ライフサイクル評価結果を、表 2 に示す。

表 2. シナリオ別の CO_2 排出量

	現状	フードバンク活用
飼料製造	1,439	3,430
肥料製造	607	8,154
焼却	654	
埋立	4,083	
電力供給		4,475
輸送	3,208	7,734
食糧生産	125,964	
合計[t-CO2]	135,957	23,794

現状シナリオは 135,957t-CO_2 であり、フードバンク活用シナリオは 23,794t-CO_2 であった。フードバンクによる削減効果は 112,163t-CO_2 である。これは GHG 排出量だけの数値であり実際にフードバンク利用における福祉的効果を含んでいない。

5. まとめと今後の課題

福岡県内のフードバンク事業はまだ始まったばかり食品ロスの削減に寄与できる状況に至っていない。福岡県内の食品ロス量は人口比でおよそ 12 万トンある。本研究では現在のフードバンクが救済している食糧と福岡県内の食品ロスがゼロになった場合のフードバンク活用、飼料化、肥料化、焼却処理を対象に食品リサイクル過程における環境影響の推計と比較を試みた。

本研究で現状シナリオとフードバンク活用シナリオにより環境影響評価を行った。次いで 2 つのシナリオの比較を行い、ライフサイクル環境負荷を示した。

今後は、福岡県内の食品ロス発生源に対する実態調査を通じて、発生ポテンシャルのより正確な推計と詳細な組成を用い、それを LCA に反映させる必要がある

引用文献

1）平成 25 年 7 月 31 日 食料・農業・農村政策審議会食料産業部会食品リサイクル小委員会（第 9 回）及び中央環境審議会循環型社会部会食品リサイクル専門委員会（第 7 回）合同会合（第 7 回）における資料 1「各国における食品リサイクル等の実施状況」

2）三菱総合研究所：平成 21 年度フードバンク活動実態調査報告書, 2010

3）農林水産省：食品廃棄物等の年間発生量、発生抑制の実施量及び再生利用等実施率（平成 24 年度）

4）CO_2 換算量共通原単位データベース ver.4（国内データ）

5）環境省：サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出等の算定のための排出原単位データベース（ver.2.1）2014 年 3 月

6）産業環境管理協会 MiLCA

7）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」

LCA を用いた家庭内におけるフードロス削減の提案

Proposal of Food loss reduction in the home using the LCA

○西本圭佑*
Keisuke Nishimoto
東京理科大学
*nimo4869nimo@gmail.com

この発表の要旨は投稿されませんでした。

シナリオ分析による食品保護機能を考慮した容器包装の評価

Assessment of Packages Considering Food-Protective Function by Scenario Analysis

○横川直毅*[1)]、上原恵美 [1)]、平尾雅彦 [1)]

Naoki Yokokawa, Emi Kikuchi-Uehara, Masahiko Hirao

1) 東京大学

* n-yokokawa@pse.t.u-tokyo.ac.jp

1. 緒言

食品容器包装は、内容物を保護するための様々な機能を満たすように設計されている。しかし、高機能化を目的として素材の変更等を行うことで、製造時の環境負荷の増加や、リサイクル性の低下につながる可能性がある。

図 1 に、容器と食品のライフサイクルシステムに対して容器包装の高機能化が与える影響を示す。既往の研究では、容器包装のみの環境影響を評価し、内容物に起因する影響をシステム境界に含めずに異なる容器間の比較が行われてきた [1)]。しかし、容器包装の高機能化により内容物の保護機能が向上することで、製品の流通条件や賞味期限が変化し、内容物に由来するロスが減少することが予想される。

本研究では、食品容器包装を対象として、内容物の保護機能を考慮した環境影響評価を行う。食品を対象としたのは、流通や消費段階でのロスが社会問題となっており、容器包装の高機能化により賞味期限の延長等の取り組みが行われているためである。容器包装の機能による賞味期限の違いや消費者行動を考慮したシナリオ分析を行うことで、より環境に配慮した容器包装の設計・選択を支援することを、本研究の目的とする。

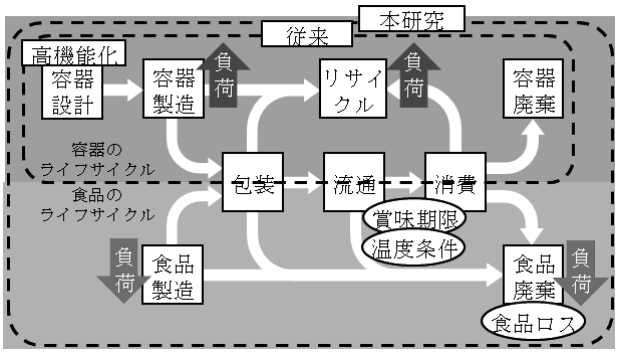


図 1 容器包装の高機能化の影響と研究の対象範囲

2. 内容物を考慮した容器包装設計支援のための評価

本研究で提案する、内容物への影響を考慮した環境配慮型容器包装設計支援のための環境影響評価の流れを**図 2** に示す。

はじめに、現状で主に流通しているベースケースとなる製品の設定と、食品ロスを削減するために容器包装が高機能化された製品を設定する。次に、容器包装の高機能化に伴う環境負荷の増加を評価する。LCA によって、1 製品を機能単位とした場合に加え、内容物である食品の一定量の消費を機能単位とした場合の評価を行い、容器包装の高機能化に伴う環境負荷の増加量を相殺するために、どの程度の食品ロスの削減が必要となるかを求める。これにより設計段階において、高機能化による食品ロス削減効果の具体的な目標値を定めることが可能となる。

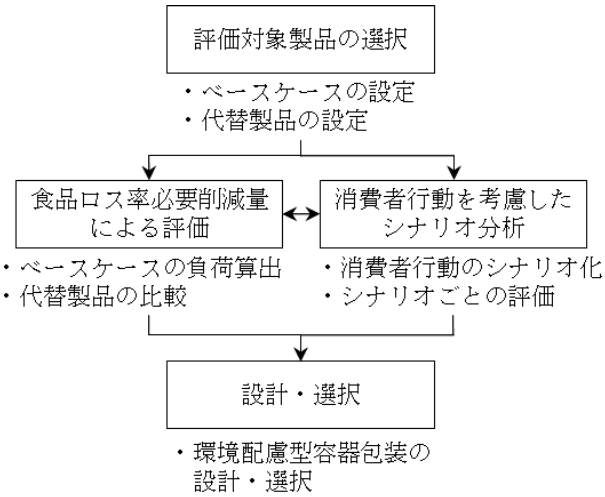


図 2 容器包装設計支援のための評価の流れ

また、食品ロスは消費者の行動にも大きく依存する。そこで、各製品について、消費・管理条件の異なるシナリオを作成し、環境影響の変化を分析する。これにより、容器包装設計時において、食品ロスおよび製品全体の環境負荷を削減するために、代替製品がターゲットとすべき消費者層が明らかになる。

3. ケーススタディ

3.1 評価対象製品

紙パック牛乳を対象として環境影響評価を行った。市販されている紙パック牛乳には、紙製容器に充填され冷蔵保存が必要で賞味期限が 1 週間程度のチルド牛乳(以下 CH)と、アルミ箔を積層した紙製容器に高温殺菌後無菌充填され賞味期限が 2 ヶ月程度のロングライフ牛乳(以下 LL)が存在する。(**SI** に両者の比較を示す)

CH の内容量 1L の製品(CH1L)をベースケースとし、食品ロスを削減するための代替製品として、LL と内容

量の小さい製品を考える。LL は、賞味期限の延長が食品ロスの削減につながることが予想される。一方、製品の内容量を小さくすることで、消費速度に比べ過剰な購入を抑える効果が期待される。そこで、代替製品として、CH の内容量 0.5L(CH0.5L)と内容量 0.2L(CH0.2L)の製品、及び、LL の内容量 1L(LL1L)と LL の内容量 0.5L(LL0.5L)の製品を設定した。

本研究では、機能単位を「1L の牛乳の消費」と定めた。また、CH と LL では内容物の差異はないものと仮定して評価を行った。

3.2 食品ロス率必要削減量による製品比較

紙パック牛乳の容器包装を変更したことによる環境負荷の増加とブレークイーブンになる食品ロス率削減量、すなわち食品ロス率必要削減量(φ)を算出した。φ は以下の式で表すことができる（式の詳細な導出は **SI** を参照)。

$$\varphi=\frac{E_{0_{to_be}}-E_{0_{as_is}}}{E_{100_{to_be}}}\times 100[\%]$$

$E_{x_{to_be}}$：食品ロスが x%の代替製品の環境負荷
[kg-CO_2eq/L-milk product]

$E_{x_{as_is}}$：食品ロスが x%の CH1L の環境負荷
[kg-CO_2eq/L-milk consume]

また、**図 3** に食品ロス率必要削減量の概念図を示した。

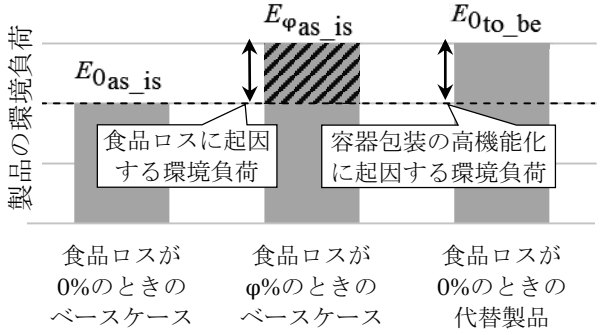


図 3 食品ロス率必要削減量の概念図

表 1 に牛乳の各製品の φ の値を示した。いずれの代替製品においても、1%前後の食品ロスの削減達成されれば、容器包装の変更に伴う環境負荷の増加量を相殺可能であることが分かった。

表 1 各製品の食品ロス率必要削減量

製品	CH0.5L	CH0.2L	LL1L	LL0.5L
φ [%]	0.00	0.35	0.97	1.21

このように、容器包装の設計段階において食品ロス必要削減量を算出することで、高機能化に伴う環境負荷の増加量を定量化し、食品ロス削減の具体的な目標値を定めることが可能となった。

3.3 消費者行動まで考慮したシナリオ分析

代替製品である LL1L について、消費者行動の違いによる環境影響の変化を明らかにするために、シナリオ分析を行った。食品ロスに関わる消費者行動の条件として、食品の消費頻度、消費速度、及び、賞味期限に応じた食品の管理方法に着目し 3 つのシナリオを作成した。消費頻度と消費速度が小さく賞味期限を過ぎた食品は廃棄する消費行動シナリオを Sc1、消費頻度と消費速度が小さく、賞味期限が過ぎても一定期間消費するシナリオを Sc2、消費頻度と消費速度が大きく賞味期限を過ぎた食品は廃棄するシナリオを Sc3 とした（各シナリオの条件の詳細は SI を参照)。CH1L と LL1L について、各シナリオにおける環境影響評価を行った結果を**図 4** に示した。

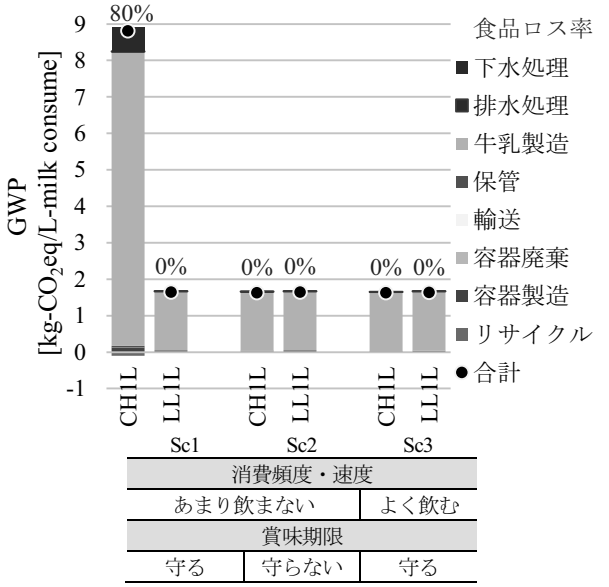


図 4 消費者行動を考慮したシナリオ分析評価結果

Sc1 においては、賞味期限の短い CH1L を利用した場合食品ロスが大きくなるため、賞味期限の長い LL1L へ変更することで環境影響が大きく削減される。一方、Sc2 や Sc3 では、CH1L の利用時に食品ロスが生じていないため、LL1L への変更による環境影響削減は見込めないことが分かった。LL1L は消費量が小さく賞味期限を過ぎた食品を廃棄している消費者をターゲットとすることで、食品ロス、及び、環境影響の削減に貢献が可能となると考えられる。

4. 結言

消費者行動まで考慮して内容物をシステムバウンダリに含む環境影響評価を行うことで、より環境に配慮した容器包装の設計支援が可能となった。

引用文献

1) Humbert S., Rossi V., Margni M., Jolliet O., Loerincik O. : Int. J. LCA, 14 (2), (2009), pp.95-10

富山県における食品廃棄物リサイクル事業のライフサイクル分析

Life Cycle Analysis of Food Waste Recycle in Toyama Prefecture

○神保有亮*[1)]、蒲原弘継[2)]、佐伯　孝[3)]、大門裕之[2)]
Yusuke Jimbo, Hirotsugu Kamahara, Takashi Saeki, Hiroyuki Daimon
1) 富山県環境科学センター, 2) 豊橋技術科学大学, 3) 富山県立大学
*yusuke.jimbo@pref.toyama.lg.jp

1. はじめに

富山県では、「富山県廃棄物処理計画（とやま廃棄物プラン）（2012 年 3 月改定）」を策定し、全国初となる県内全域での主要スーパーマーケット等におけるレジ袋の無料配布の廃止など、県民総ぐるみの取組を推進している。また、同プランでは一般廃棄物における再生利用率の向上を掲げ、2015 年度までに 25%の再生利用率（2012 年度の再生利用率は 22.8%）の達成を目標としており、県内における食品廃棄物のリサイクル・ループの構築は重要な位置付けにある。

こうしたことから、持続可能な循環型社会の構築に向け、県内における食品廃棄物（生ごみ）や循環資源の排出、再生利用等の実態を把握し、環境負荷が少なく効果的かつ経済的なリサイクル推進事業を検討していく必要がある。

富山市を中心とした２市２町１村で構成される富山地区広域圏事務組合では、2003 年４月から新しいクリーンセンター（焼却施設）が稼働し、毎年約 16 万トンの廃棄物を処理している。また、同施設はごみ焼却熱を利用した発電設備を有しており、余剰電力を売電している。一方、「環境にやさしい循環型のまち」を目標に掲げている富山市エコタウンでは、2003 年４月から食品廃棄物リサイクルを推進するため、バイオガス化施設（富山グリーンフードリサイクル（株）、以下富山 GFR）が稼働しており、同市内を中心に、年間数千トンの食品廃棄物を処理し、バイオガスによる発電等を行っている。このように、県内では循環型社会形成に向けて、2003 年頃から、廃棄物からのエネルギー回収事業が開始されているが、その LCA については未だ評価されていない。そこで本研究では、食品廃棄物に注目し、県内における食品廃棄物リサイクル及び一般廃棄物処理の LCA を行った。

2. 研究方法

本研究では、県内における食品廃棄物リサイクルの代表的な事例として、富山 GFR における食品廃棄物のバイオガス化事業を対象とする。同社では、2006 年以降、富山市の生ごみリサイクル事業に協力し家庭系食品廃棄物の受入を段階的に拡大しており、これに伴い富山地区広域圏クリーンセンター（以下クリーンセンター）における搬入量の減少が見込まれることから、ごみ組成変化とその発電への影響についても併せて考察した。システム境界を図１に示す。次に各施設の概要を以下に述べる。

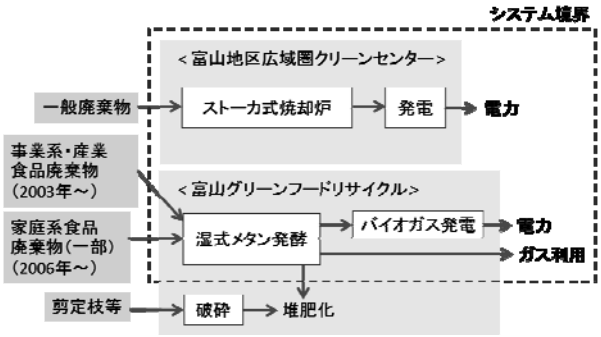


図１　本研究におけるシステム境界

2.1 富山地区広域圏クリーンセンター

クリーンセンターは、同広域圏の一般廃棄物を処理しており、処理量は、156,752 t-wet（2013 年度）となっている。また、その総発電量は、86,147,100 kWh であり、廃棄物 1 t あたりの発電量は 550 kWh/t（2012 年の発電効率では全国９位）となっていることから、本施設は焼却による発電効率が非常に高い施設であることが伺える。なお、同センターのごみ組成調査結果（乾燥重量換算）では、紙・布類が 54.3%、ビニール・ゴム・合成樹脂皮革類が 25.9%、厨芥類が 11.3%となっており、紙・布類及び合成樹脂皮革類の割合が高い。

2.2 富山グリーンフードリサイクル

同社は、2003 年 4 月から事業を開始しており、産業廃棄物及び一般廃棄物の食品廃棄物等を処理しており、処理量は 7,024t-wet（2013 年度）となっている。うち一般廃棄物の食品廃棄物量は 4,388t-wet、バイオガス年間発生量は 1,348,756 m^3、バイオガス発生原単位は 192 m^3/t-wet となっている。発生したバイオガスは、マイクロガスタービン発電機で発電後、施設内の電力に利用するほか、近隣の化学工場にボイラー用燃料ガスとして販売している。また、本施設はメタン発酵残渣と破砕した木質系廃棄物（剪定枝等）を用いて発酵を行い、堆肥として販売している。本研究では、図１に示すとおり、バイオガス化事業のみを評価した。

3. 各施設における CO_2 排出量

3.1 富山地区広域圏クリーンセンター

CO_2 排出量の結果を図２に示す。内訳は 2012 年度で、施設の電力使用分で 447 kg-CO_2/t-wet、助燃剤としての灯油使用分で 0.5 kg-CO_2/t-wet であり、発電により 1,172 kg-CO_2/t-wet の CO_2 が削減できることがわかった。助燃剤である灯油については、処理対象地域の廃棄物そのもののカロリーが高く、ほぼ自燃状態で焼却処理が進んでいるため、ほとんど使用されておらず、炉の立ち上げ等に用いられているだけであった（図２）。また、同センターの発電設備は、前述のとおり発電効率が高く、施設における CO_2 排出量の約 2 倍量の CO_2 を削減している結果となった。

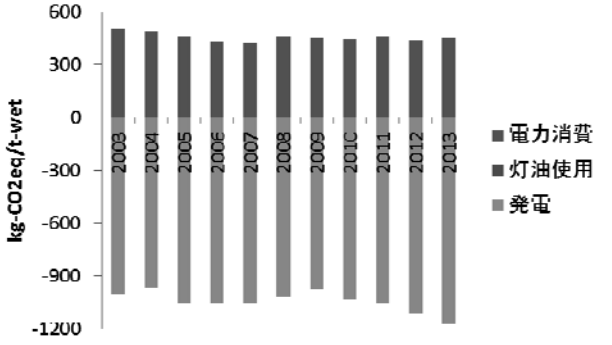


図２　富山地区広域圏クリーンセンターの CO_2 排出量

3.2 富山グリーンフードリサイクル

富山 GFR では、搬入された食品廃棄物は破砕選別された後、スラリー状にして、発酵槽へ送り込まれる。発酵槽でメタン発酵によりバイオガスを回収し、発電に用いられているほか、ボイラー用燃料ガスとして販売している。CO_2 排出量の内訳は 2013 年度で、施設の電力使用分で 274 kg-CO_2/t-wet であり、発電により 163 kg-CO_2/t-wet の CO_2 が削減できることがわかった（図３）。

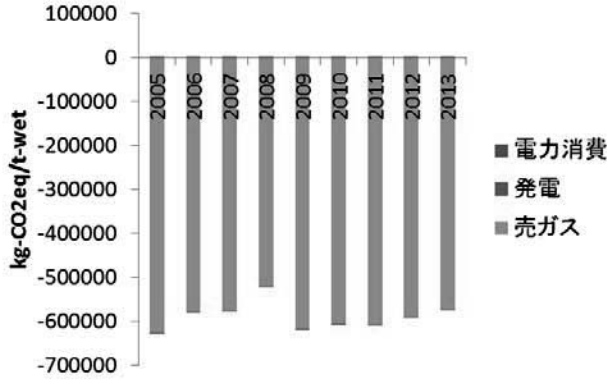


図３　富山グリーンフードリサイクルの CO_2 排出量

3.3 食品廃棄物リサイクルの効果

本研究では、食品廃棄物リサイクルの効果として、1）富山 GFR におけるバイオガスの販売に伴う CO_2 削減量、2）クリーンセンターにおけるごみ組成変化による発電量の増加に伴う CO_2 削減効果を評価した。

1）の効果について、毎年約 50 万 m^3 のバイオガスを販売しており、同地域の都市ガスとして、CO_2 排出量を換算すると、毎年約 60 万 kg-CO_2 の CO_2 が削減されていた。

2）の効果について、これまでの先行研究において、指摘されているように、ごみ組成変化による一般廃棄物の焼却施設の発電効率への影響及び N_2O 排出量への影響が考えられる [2)]。特に前者に関しては、図２に示すとおり、特に、2010 年以降ごみ量あたりの発電量が増加していることから、2006 年以降、同市の生ごみリサイクル事業によるクリーンセンターにおける発電効率への影響が考えられたが、富山 GFR の受入量が年間約 500~700t であり、クリーンセンターにおける処理量の約１％程度であったことから、ごみ組成変化による発電量への有意な影響は確認できなかった。

4. まとめ

本研究では、県内における代表的な食品廃棄物リサイクル事業の LCA を行った。富山 GFR 及び富山地区広域圏クリーンセンターにおける CO_2 排出量を評価した結果、県内の食品廃棄物事業における CO_2 削減量は年間約 60 万 kg-CO_2 であり、県内のリサイクル事業における CO_2 排出量の削減に大きく寄与できることがわかった。また、食品廃棄物のメタン発酵による CO_2 削減効果及びごみ組成変化による発電効率改善に伴う CO_2 削減効果について考察した結果、家庭系食品廃棄物の分別回収の推進により、一般廃棄物処理施設の運用効率（発電・焼却効率等）の向上に寄与できることがわかった。

今後の課題としては、現在、評価できていない廃棄物運搬における CO_2 排出量の評価、富山 GFR における堆肥化の効果及びクリーンセンターにおける N_2O 排出量の評価が必要である。

5. 謝辞

本研究を実施するにあたり、富山 GFR 及び富山地区広域圏事務組合の関係者の皆様には多大なご尽力をいただいた。ここに謝意を表する。

6. 参考文献

富山県、富山県廃棄物処理計画（とやま廃棄物プラン）、2012

蒲原ら、第 9 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨、東京都、2014 年 3 月 4 日 -6 日

大学キャンパスにおけるバイオマス残渣再資源化による環境負荷削減効果

Environmental load reduction effect by the biomass residual substance recycling in the 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

近年、日本では食文化が多様化し、一般家庭や料理店などでも一年中様々な食物が提供されている。その一方、消費･賞味期限の関係から、日々大量の食品残渣が廃棄されている。この問題を解決するために、堆肥化施設での大規模な堆肥化や処理機を用いた食品残渣の堆肥化などが考えられるが、設置スペースが限られることが多い場所では大規模ではなく小規模での堆肥化が必要になる。

既往の研究としては山田らのケーススタディ 1)があるが、学内で家畜を育成している、食環境が特殊である、バイオマス残渣の使用が暖房器具中心という点から、より一般的な事例が必要である。

そこで、本研究では処理機を用いた食品残渣の堆肥化に着目する。ここで対象範囲を身近な例であり、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残渣を得ることが期待できる大学キャンパス内の食堂に設定する。

2. 研究手法

本研究では、立命館大学キャンパス内の学内食堂のうち、ユニオンカフェテリアとリンクカフェテリア及び両コンビニから発生する食品残渣を研究対象とする。

上記の対象範囲内の食品残渣のうち、食品由来のごみをバイオマス残渣とし、紙や容器などはその他の焼却ごみとして扱う。

2.1 システム境界

堆肥化システムと現行システムを比較することで、学内食堂由来の食品残渣の堆肥化が資源循環型社会形成にどのように貢献できるのかについて検討する。堆肥化システムと現行システムのシステム境界を含むライフサイクルフロー図は図１のようになる。

2.1.1 堆肥化システム

上記のバイオマス残渣の堆肥化を推進した際に発生する堆肥量と消費電力を計測し、その他ごみについては従来どおり焼却処理すると設定する。これらのライフサイクル環境負荷を算定し、これを「堆肥化システム」とする。

2.1.2 現行システム

対象範囲から発生する食品残渣が従来どおり焼却処分されたと仮定して、その際の消費電力をデータから算定する。さらに堆肥化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。この二つを考慮したものを「現行システム」とする。

2.2 算定方法

算定方法としては、学内のバイオマス発生量とその変動を調査するとともに、乾燥式処理機と高温発酵型バイオ式処理機を中心として肥料化実験を行う。この実験は、大学生協より排出された食品残渣を収集し、組成および重量を調査する。その後処理機によって肥料化を行い、消費電力ならびに生ごみ投入量あたりの堆肥生成量を測定する。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。

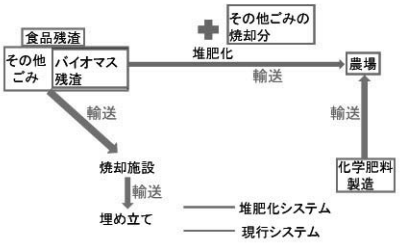


図１　ライフサイクルフロー図

3. 実験結果ならびに考察

夏季および秋季実験を比較して得られた知見を述べる。夏季実験は７月に秋季実験は 11 月に約 20 日間実施し、三つの処理機（一般家庭用小型乾燥式を含む）に食品残渣を投入して測定を行った。乾燥式については秋季のみ測定を行った。

学内の食品残渣の組成を知るために夏季に組成内

訳を調査した。内訳を炭水化物、肉・魚類、野菜類、その他(卵の殻)と分類した結果を図 2 に示す。

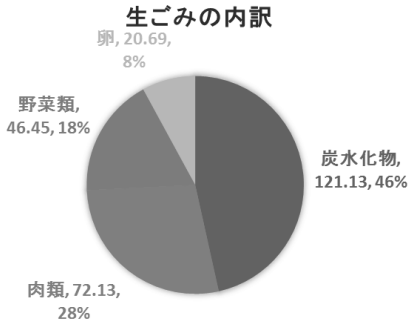


図 2　食品残渣内訳(夏季)

一日の総廃棄物はユニオン分で 300kg 前後、リンク分で 150kg 前後であり、そのうちバイオマス残渣はユニオンで約 1/7～1/6、リンクで約 1/3 を占めている。

次に得られた堆肥量に関する結果を表 1 に示す。

表1　バイオ式処理機の堆肥化率

	投入量(kg)	生成堆肥量(kg)	堆肥化率(%)
7月	595.1	154.0	25.88
11月	200.4	78.2	39.03

また堆肥成分に関する結果を表 2 に示す。

表2　物質循環に関する成分の実測値

測定項目	推奨値	実測値	評価
C／N比	10 ～ 20	19	○
全炭素(TC)（mg/kg）	150,000以上	428,200	○
全窒素(TN)（mg/kg）	10,000以上	22,300	○
全リン酸(TP)（mg/kg）	10,000以上	5,300	↓
全カリウム(TK)（mg/kg）	10,000以上	13,900	○
総細菌数（億個/g)*	8.6以上	検出限界以下	↓
C:N:P:K	100:10:5:5	100:5:1:3	可

*: 検出限界（7.8 × 10^6 cells/g）以下

堆肥化実験に関しては、窒素やカリウムは基準を満たしているが、リン酸関連物質が不足しており、現状では十分な性質とは言えない。

さらに消費電力に関する結果を図 3 に示す。

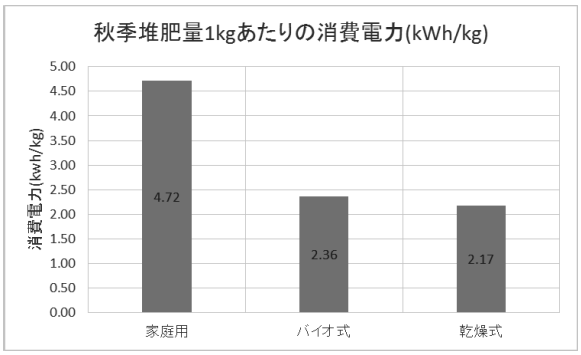


図 3　秋季堆肥量 1kg あたりの消費電力

乾燥式は優秀だが、家庭用は 1 日の処理可能量が少ないため、一概に比較は出来ない。

3.　おわりに

本研究では、大学キャンパス内食堂から発生するバイオマス残渣を処理機によって堆肥化した場合の環境負荷について考察するために学内食堂由来の残渣量と消費電力を計測した。

今後の予定としては、秋季の実験で判明した 1 日の各食堂から排出される残渣の量から、「現行システム」の LCA の計算を行い「堆肥化システム」とライフサイクル環境負荷を比較する。

4.　謝辞

本研究の一部は独立行政法人科学技術振興機構（JST)「センター・オブ・イノベーション（ＣＯＩ）プログラム」の支援によって行われた。ここに記して謝意を表する。

5.　参考文献

1)　山田健太・藤井賢彦・荒木肇：”大学キャンパスにおける有機性廃棄物の学内循環システムの導入可能性検討：北海道大学をケーススタディとして”，日本 LCA 学会誌 VoL.8 No.1（2012）P45~54

食糧競合を回避したバイオエタノールの将来需給予測

Future prospects on demand and supply of bio-ethanol of
the first generation biomass resource origin without food competition

○平子友理*[1)]、小井土賢二 [1)]、堂脇清志 [1)]
Yuri Hirako, Kenji Koido, Kiyoshi Dowaki
1) 東京理科大学
* 7413612@ed.tus.ac.jp

1. 序論

地球温暖化問題は、CO_2 に代表される温室効果ガスの排出により起きている。2010 年時における世界の部門別 CO_2 排出量は運輸部門が 25%であり、高い割合を占めている [1)]。こうした状況の中で、CO_2 排出削減に貢献できる、輸送用燃料の代替である第一世代バイオマスを原料とするバイオエタノールが注目され、各国で製造されている。

一方、第一世代バイオマスは本来、食糧として用いることが可能な作物を燃料利用し、世界の食糧価格を高騰させ、食糧難を加速させる可能性もある。

将来的な第一世代バイオマスの利用を考えた際、バイオ燃料製造過程での副産物が飼料利用可能であること、食生活の変化に伴う穀物の供給が必ずしも需要と一致していないこと及び農業の保護という観点から、全ての供給可能な第一世代バイオマスを食糧に回す必要がなくなるという状況が生じる可能性がある。従って、将来の需要が落ち込むことが予想され、農業人口の保護が優先される対策が講じられている中で適切な利用が求められる可能性がある。

そこで、本研究では中園ら [2)]の研究を踏まえ、今後の食糧用及び飼料用の第一世代バイオマスの生産及び消費動向に着目し、2020 年から 2030 年の将来予測を行う。また、バイオエタノール及びバイオディーゼルを導入した場合の CO_2 排出量の評価も行う。

2. 研究の対象及び手法

2.1 対象国及び対象バイオマス

本研究では、第一世代バイオマスを食糧用、飼料用及び燃料用として利用可能なものと定義する。そこで、オンライン統計データベース FAOSTAT（FAO）が示す 1961 年から 2009 年における飼料や食糧の消費量の多い第一世代バイオマスは大麦、トウモロコシ、大豆かす、稲、サトウキビ及び小麦のであるため、対象バイオマスは上記 6 つとする。また、本研究で扱う対象国については、上記 6 種類の食糧を多く生産している国であるオーストラリア（AUS）、ブラジル（BRA）、カナダ（CAN）、中国（CHN）、インド（IND）、インドネシア（INA）、アメリカ（USA）、さらに日本（JPN）を含めた合計 7 カ国とした。

2.2 手法

最初に、FAO データを用いて、年間の飼料消費量の増減を左右するとされる人口以外の要素、タンパク質 1 単位当たりの飼料消費量及び生産構成の時系列解析を行った [2)]。次に、対象飼料及び食糧の増減の要因を検討するために、パス解析(Amos5.0)を行った。本研究では、飼料及び食糧消費量の増減（2009 年比）によってバイオマスへの利用の可否を 2020 年から 2030 年まで推計した。なお、各国の人口予測のデータは国連による人口の低位推計、中位推計及び高位推計のデータを用いた [3)]。さらに、システムダイナミックス（STELLA 9.1.3.）を用いて、パス解析で示された結果を流入のフローとして用いる。それぞれの過程で特定の係数を乗算することにより、流出のフローとしてバイオ燃料の供給量を定量的に表す（式(6)~(8)参照）。最後に LCA を用いて、バイオ燃料による CO_2 排出削減量を算定した [4)]。なお、式(1)から(8)についての説明は SI を参照されたい。

$$\sum Y_t = A_{jt} \times \sum Z_{jt} \quad (1)$$

$$Z_{jt} = \frac{K_{jt}}{L_{jt}} \times X_{jt} \quad (2)$$

$$S_t = \sum (D_t \times \frac{1}{F_j}) \quad (3)$$

$$z_0 = p_{01} z_1 + p_{02} z_2 + \cdots + p_{0k} z_k + p_{0u} u \quad (4)$$

$$P_{0u} = \sqrt{1 - (\sum P_{0i}^2 + 2 \sum P_{0i} P_{0j} r_{ij})} \quad (5)$$

$$\mathrm{BioM}(t) = \mathrm{BioM}(t - dt) + (\mathrm{pBioM} - \mathrm{pEtOH}) \cdot \mathrm{d}t \quad (6)$$

$$\mathrm{DDGS}(t) = \mathrm{DDGS}(t - \mathrm{d}t) + (\mathrm{pBagasse}) \cdot \mathrm{d}t \quad (7)$$

$$\mathrm{EtOH}(t) = \mathrm{EtOH}(t - \mathrm{d}t) + (\mathrm{pEtOH}) \cdot \mathrm{d}t \quad (8)$$

3. 結果

FAO による時系列解析及び人口の将来推計を加味したパス解析の結果、表 1 のような結果が得られた。

ここでいう「悲観ケース」とは単収増加があまり見込めずかつ人口が高位推移するケースを指す。さらに表中の数値は燃料利用可能であるバイオマスの量を示し、「×」は将来的に競合が起きるため燃料利用が不可能であることを表し、「N/A」はデータが存在しないことを示す。単収の増減の将来予測は Ottmar E.らの報告資料に則した[5]。

表 1 悲観ケースの第一世代バイオマスの将来供給量予測（2020 年から 2030 年までの合計量）[kton]

	barley	maize	rice	soybean cake	sugar cane	wheat
AUS	9.9×10^3	×	×	×	N/A	2.8×10^4
BRA	×	1.8×10^5	2.3×10^2	2.7×10^4	1.2×10^6	×
CAN	7.7×10^3	×	×	×	N/A	×
CHN	3.2×10^3	×	8.8×10^4	×	×	5.3×10^4
IND	2.5×10^3	5.3×10^4	1.6×10^5	×	×	×
INA	N/A	4.6×10^4	×	×	N/A	×
JPN	7.7×10^3	7.7×10^3	7.7×10^3	×	N/A	7.7×10^3
USA	7.7×10^3	3.1×10^5	7.6×10^3	×	N/A	5.3×10^4

また、図 1 にはシステムダイナミックスによって算出されたバイオエタノールの供給可能量を明示する。悲観ケースの場合にはブラジルが最も多く、対象期間中に合計約 2.5×10^5KL 供給が可能である。対象国全体を俯瞰すると、悲観ケースではバイオエタノール及びバイオディーゼルの供給可能量は合計で約 602,491KL であり、2020 年から 2030 年までで CO_2 を約 602kton-CO_2 がガソリン比及び軽油比で削減できる。一方楽観ケースの場合、合計約 1.2×10^6KL のバイオ燃料が供給可能であり、削減できる CO_2 は約 1,203kton-CO_2 であると試算された。

4. 結論

本研究より将来的に利用可能な第一世代バイオマス及び、その量が人口推移のケースごとに示された。今後は、バイオ燃料製造技術の進歩や、そのバイオ燃料の適切な分配を考慮する必要がある。

5. 引用文献

1)John Gale., et al.: “Chapter 2 Sources of CO_2-IPCC Working Group Ⅲ”, (オンライン), 入手先<http://www.ipcc-wg3.de/special-reports/.files-images/SRCCS-Chapter2.pdf>,（2014-11-1）

2)中園雅貴,原卓也,小井土賢二,堂脇清志：第 8 回日本 LCA 学会研究発表会,草津,(2013),pp.154-155

3)United Nations, Department of Economic and Social Affairs: ”Population”, World Population Prospects: The 2012 Revision, (オンライン), 入手先<http://esa.un.org/unpd/wpp/unpp/panel_population.htm >,（2014-11-1）

4)トヨタ自動車株式会社,みずほ情報総研株式会社: “輸送用燃料の Well-to-Wheel 評価 バイオ燃料を中心とした輸送用燃料製造(Well-to-Tank)における温室効果ガス排出量に関する報告書”,(2008)

5) Ottmar E., Romon P. M., Youba S.: “Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”, (2012)

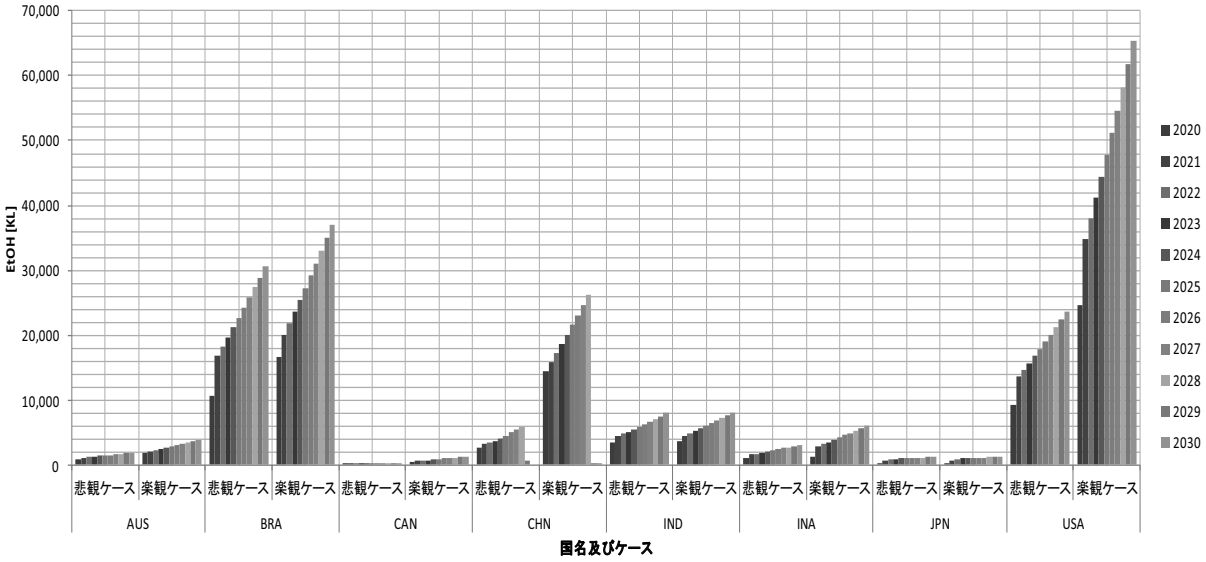


図 1 各国のバイオエタノールの供給可能料[KL]

国内農産物の金額・物量フローの解析

Monetary and Physical Flow Analyses on Products of Agriculture

○尾下優子*1)、菊池康紀 2)
Yuko OSHITA, Yasunori KIKUCHI
1) 神戸大学、2) 東京大学
*y_oshita@maritime.kobe-u.ac.jp

1. はじめに

農業従事者の高齢化や自由貿易化、バイオマス資源としての副産物の利活用など、日本の農業を取り巻く問題は深刻化・多様化しており、より包括的かつ強靭な農産物利用システムの構築が望まれている。国内のサプライチェーンを頑健に設計するためには、農業プロセス、社会システム、需給構造を含めたイノベーションが必要といえる。農産物においては、主製品である食糧や素材等高付加価値製品に加え、バイオマスエネルギーとしての副産物利用など、新たな価値が生み出されている。

そこで本研究では、産業連関表のデータを基に、構造経路分析を用いて、農産物の金額フローと物量フローを解析し、両フローのギャップに表れる国内の農業システムが抱える問題を明らかにし、効率的な利活用システムの構築のための提案を行う。

2. 方法

本研究では、農産物のフローを特定するために、環境的に重要なサプライチェーンを特定する研究などで多く用いられる、産業連関分析の構造経路分析(Defourny and Thorbecke, 1984; Lenzen, 2002)を応用する。まず、産業連関モデルを用いて、各産業の国内生産額を表すと以下の(1)式になる。

$$\mathbf{x} = \left(\mathbf{I} - \mathbf{A}\right)^{-1}\mathbf{y} \tag{1}$$

ここで、$\mathbf{x} = \left(x_i\right)$ は国内産業 i の年間の国内生産額ベクトル、$\mathbf{I}$ は単位行列、$\mathbf{A} = \left(a_{ij}\right)$ は国内産業 j が1単位生産するのに直接需要した国内産業 i からの投入量の比率を示す投入係数行列、$\mathbf{y} = \left(y_{if}\right)$ は国内産業製品 i に対する最終需要項目 f の年間の最終需要額を表すベクトルである。$\left(\mathbf{I} - \mathbf{A}\right)^{-1}$ はレオンチェフ逆行列($\mathbf{L} = \left(l_{ij}\right)$)と呼ばれ、$j$ 産業の製品1単位の生産に必要な i 産業の直接・間接の需要量を表す。つまり(1)式は、最終需要 $\mathbf{y}$ から誘発される各産業の最終波及的な生産額 $\mathbf{x}$ を表している。

このとき、レオンチェフ逆行列 $\mathbf{L}$ は以下の(2)式のように級数展開できる。

$$\mathbf{L} = \left(\mathbf{I} - \mathbf{A}\right)^{-1} = \mathbf{I} + \mathbf{A} + \mathbf{A}^2 + \mathbf{A}^3 + \cdots \tag{2}$$

$\mathbf{I}$ は第 1 次波及効果と呼ばれ、ある産業製品の直接的な最終需要量を示し、$\mathbf{A}$ は第 2 次波及効果と呼ばれ、第 1 次波及効果で最終需要された製品の生産に必要なある産業製品の量を示す。この(2)式を(1)式に代入し展開すると、以下の(3)式となる。

$$\mathbf{x} = \mathbf{y} + \mathbf{A}\mathbf{y} + \mathbf{A}^2\mathbf{y} + \mathbf{A}^3\mathbf{y} + \cdots \tag{3}$$

さらに、(3)式右辺のそれぞれの項は、要素ごとに分解することができ、サプライチェーンを表すことができる。例えば、第3項の $\mathbf{A}^2\mathbf{y}$ は、$a_{ij}a_{jk}y_{kf}$ と表すことができ、産業 i（中間製品）→ 産業 j（中間製品） → 産業 k（最終製品）→最終需要項目 f というサプライチェーンを表している。この手法を応用し、下式(4)のように対象の農産物が起点であるサプライチェーンのみを抽出し、フロー図を作成した。

$$\mathbf{F}_i = \sum_{f;j;k;l;\cdots}\left(y_{if} + a_{ij}y_{jf} + a_{ij}a_{jk}y_{kf} + a_{ij}a_{jk}a_{kl}y_{lf} + \cdots\right) \tag{4}$$
$$\left(i = \text{対象の農業製品}\right)$$

また、物量フローの解析に当たっては、産業連関表の物量表のデータを用い、対象農業部門から供給される農産物の物量、その農産物から生産される 2 次製品の物量について分析を行った。

上記の手法により抽出された金額フローと物量フローの差異を明らかにする。

3. 結果と考察

本研究では、総務省発行の平成 17 年産業連関表の基本分類表を用い、「米」、「いも類」、「野菜」、「果実」、「砂糖原料作物」、「素材」 を対象に、しきい値を設定し、国内生産額に対するカバー率が 90%以上になるように、フローの抽出を行った。産業分類については、特に重要な産業については基本分類を採用し、その他の産業に関しては、適宜部門を統合する。

各対象農産物の金額フローの概況について述べる。対象の各農産物の国内生産額に対する連鎖段階ごとのカバー率を見ると、野菜や果実は、そのほとんどが直接最終需要されている（野菜 : 67%、果実 : 65%）か、1 次加工以内で最終需要されており（野菜 : 97%、果実 : 95%）、

逆に砂糖原料作物や素材は、ほとんど直接最終需要されておらず（砂糖原料作物：0 %、素材：0.075%）、そのほとんどは、2 つまたは 3 つの産業を経由して最終需要されている。特に素材に至っては、4 つの産業を経由するサプライチェーンまでを捉えなければ 90%を超えないため、農林水産業の中では、相対的に多くの産業を経由して最終需要に行き着く産品であると言える。

次に、抽出された金額フローと物量フローの差について、特に「米」と「いも類」について述べる。

まず、「米」部門について結果を述べる。金額フローにおいて、米は、ごく一部が直接最終需要され、残りの 86%が精穀され、国内生産額のうち 60%が精穀された米として家計消費される。つまり、米→精穀→家計消費というサプライチェーンが全体の 60%を占めるということである。その他の精穀された米は、そう菜・すし・弁当や菓子類、調味料、清酒などの食料品や、学校給食や医療、介護、飲食業などに供給され、最終消費されている。また、米から精穀に供給されなかった分は、畜産業や野菜などに供給されているが、これは稲わらやもみ殻などが発酵飼料や堆肥として使用されているためと考えられる。しかし、この米の副産物が他産業に供給される割合は金額フローでは、ごくわずかである。直接・間接的に家計が消費する米の割合は、83%である。

次に米の物量フローについてみると、米の副産物である稲わらが、肥料や堆肥、敷料、餌として 1 次産業に投入される割合が金額フローに比べて非常に高いことと、金額フローでは検出されなかった多くの産業に供給されていることがわかった。具体的には、パルプや畳などの工業製品や、遊園地や競馬場などに馬の餌や敷料として供給されている。もし、この副産物の流れを見ずに米のサプライチェーンを設計し、例えば副産物をすべてエネルギーとして活用した場合、現在、比較的安い価格で稲わらを購入し、肥料や飼料、敷料、材料として活用している部門は、他の代替製品を見つけるか、現在より高い費用をそれに投入しなければならない。

次に「いも類」の金額フローと物量フローについて述べる。金額フローにおいて、いも類は、45%が直接家計消費され、18%が飲食系サービスに供給される。また、加工用のいも類の多くは、でん粉として加工されるが、金額フローにおいて、でん粉に供給される割合は、わずか 2.2%である。ただし、他の農林水産物に比べ、用途別の金額と実際の物量の差が明確であることが特徴であり、また農産物でありながら、工業用でん粉を介して、多くの工業製品に供給されているのも特徴である。

この結果を物量フローの分析結果と比較すると、金額フローで 45%を占めていた家計による直接消費は、物量では 27%である。また、金額フローでわずか 2.2%であったでん粉への供給は、物量では 34%であり、工業製品に供給されている割合も金額フローより大きい。この差異の要因は、生食用と加工用、また加工用でも食用と工業用で価格が大きく異なるためである。もし、付加価値の高い生食用のいも類だけにしか着目せず、でん粉を海外から輸入するなどの措置を取った場合、いも農家は、従来でん粉の材料として活用されていた生食用栽培ではない農地における加工用いもの生産ができなくなったり、生食用の規格外品の処理を考えたりしなければならない。また、金額フローではごくわずかしか検出されないが、物量フローではでん粉の副産物であるでん粉粕が「飼料・有機質肥料」に多く投入されていることがわかる。現在、安価にでん粉粕を飼料や有機質肥料の材料として活用している畜産家や農家は、その代替材料を見つけ出さなければならない。

このように、エネルギー利用等の新たな価値を付加しながら強靭な農産物利用システムを構築するためには、キャッシュフローの特定や付加価値の創出も重要であるが、その一方で金額には表れにくい副産物がどこでどのように利活用されているかという観点も見落としてはならない。

4. まとめ

本研究では、6 つの農林水産物を対象に金額ベースのフローと物量フローを分析した。農産物や副産物の単価の違いから、金額フローと物量フローでは大きな乖離があることが分かった。特に、金額フローでは、主製品である高付加価値な生食用農産物が比較的大きな割合を占めるが、物量フローでは安価もしくは価格がほとんどつかない副産物の割合が比較的大きいことがわかった。少量でも高付加価値な食糧や素材だけでなく、その主製品の生産のために生み出される副産物等のフローを経済的に成り立たせること、またその副産物を利活用して生産活動を行っている他産業との連関を考慮することが、強靭な農業システムを構築するために、また国内植物資源を持続的に利活用するために必要である。

参考文献

1) Defourny, J. and Thorbecke, E.: Economic Journal, 94 (373), (1984), pp. 111-136.
2) Lenzen, M.: Journal of Cleaner Production, 10 (6), (2002), pp.545-572.
3) 総務省、“平成 17 年産業連関表”、(2012). http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001019588&cycode=0
4) 農林水産省、“いも及びでん粉をめぐる事情”、(2008). http://www.maff.go.jp/j/study/denpun/h200714/pdf/data3.pdf

日本における食料生産の TMR とそのエネルギー・物質集約度評価

Total Material Requirement of Food Production in Japan

○山末英嗣*[1)]、松八重一代[2)]、石原慶一[1)]
Eiji Yamasue, Kazuyo Matsubae and Keiichi N. Ishihara
1) 京都大学, 2) 東北大学
* yamasue@energy.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

食料の生産性向上は人口増加に対する喫緊の課題であり，そのため例えば近代農業とって施肥や農薬の使用は重要なウェートを占める. さらに漁業, 畜産, 酪農においては大量のエネルギーや物質を必要とするものも多い.

農業環境技術研究所は農業に関する LCA を報告しており，特に二酸化炭素排出量の観点から重要なデータが提供されている[1]. しかし，例えば農業において一般的に見られる客土に注目すると，その二酸化炭素排出量は小さいが，客土を得るためにはその供給源である環境に対して何らかの作用・かく乱を引き起こしている.

Matsubae らは「バーチャルリン」という概念を提案し，日本の食料生産に必要なリンの量を分析している[2]. バーチャルリンの概念は二酸化炭素排出量では見えない影響を評価している点で重要である. 関与物質総量(Total Material Requirement, TMR)は直接・間接の物質投入だけでなく，いわゆる隠れたフローも評価する指標であり，バーチャルリンをさらに拡張させたものと考えることもできる[3].

二酸化炭素排出量を用いて地球温暖化を評価することはもちろん重要であるが，資源利用の端緒となる土地利用の影響を評価することも重要である. 上述の通り，食料生産には多くのエネルギー・物質が投入される. そしてそれには多くの土地利用が関わっていると考えられるが，このような観点からの評価例は少ない. そこで本研究では食料生産に関わる TMR を計測し，食料主語との特徴，さらには二酸化炭素排出量との関係について議論を行うことを目的とする.

2. 研究手法

本要旨では暫定的に行った作物，肉類，魚類，飲料の推算結果について説明する. 具体的にはコメ，トマト，キャベツ，小麦，ジャガイモ，サツマイモ，大根，ミカン，なし，甜菜，緑茶，サイレージ，早採りトウモロコシ，牛肉，豚肉，鶏肉，いか，ニシン，サーモン，マグロ，水，ジュース類，豆乳を主な対象とした.

機能単位は対象食物 1 kg の生産とした. システム境界は食料生産に必要な物質・エネルギーの採掘から食物が収穫されるまでとし，収穫後の梱包や消費者への輸送は考慮しなかった. 作物生産に必要なインベントリデータは農業環境技術研究所の報告値[1]を用いた. また肥料の TMR は著者らの報告値[4]を用いた. 農薬生産の TMR はその生産に必要なエネルギー[5]から換算した.

3. 結果および考察

図 1 に推算結果を示す. 作物の TMR は 1.2 から 7 kg/kg の範囲となった. 一方，漁業は 4~30 kg/kg となった. 牛肉の TMR は 130 kg/kg と他の食料に比べ非常に大きい値となった. 牛乳の TMR は 2.6kg/kg で，豆乳はその約半分である.

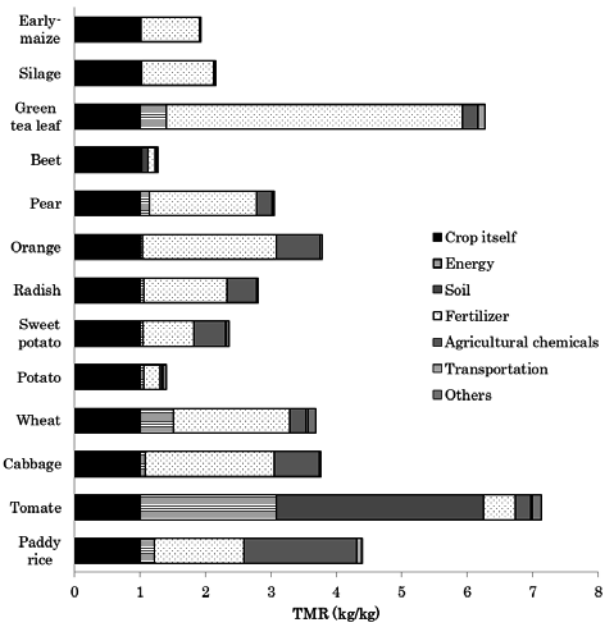


図 1 日本における食物生産の TMR

図 2 は種々の食物について二酸化炭素排出量と TMR についてプロットした結果である. 緑色は作物,

青色は水産, 赤色は豚肉, 参考値として黄色は肥料, 黒が鉄，白抜きが原油の結果である．図から食物毎に大きな傾向があることが分かる．漁業は相対的に二酸化炭素排出量が高く鉱物資源よりエネルギー資源の利用量が大きいことが分かる．一方，作物は肥料を使用するため漁業よりも鉱物資源よりとなっていることも分かる．

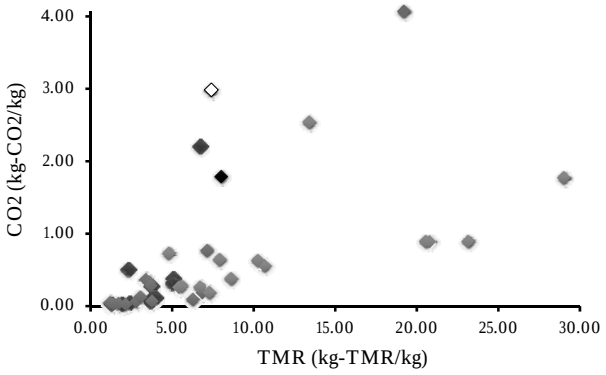


図 2 食物の TMR と CO2 排出量の関係

4. 引用文献

[1] National Institute for Agro-Environmental science *Life Cycle Assessment for Environmentally Sustainable Agriculture: 2003* http://www.niaes.affrc.go.jp/project/lca (Accessed 01.09.2014)

[2] Matsubae, K., J. Kajiyama, T. Hiraki, and T. Nagasaka. *Chemosphere* 84(6): 767–772, 2011.

[3] Wuppertal Institute. Mineral Intensity Factors: Overview on materials, fuels, transport services and food. http://wupperinst.org/uploads/tx_wupperinst/MIT_2014.pdf (Accessed 01.09.2014)

[4] E. Yamasue et al.” Weight of Land Use for Phosphorus Fertilizer Production in Japan in Terms of Total Material Requirement”, *Global Environmental Research,* (under reviewing)

[5] 木村康二，杉本義行：「農業生産における各投入要素のエネルギー原単位およびエネルギー集中度の推計」，千葉大学学報，第 47 号，247-254, (1993)

名古屋市における生鮮食品からの温室効果ガス排出量の将来予測

Future Prediction of the GHG Emissions from the Perishable foods in Nagoya City

○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

野菜や果物といった青果物をはじめとした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いおり、これまでの研究でも、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、3 年間の平均入荷量より、1 年当たりの生産・輸送に伴う GHG 排出量を算出し、地産地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。

しかし低炭素社会の実現のためには将来のあり方の実現可能性に基づくシナリオ設定による温室効果ガス排出量の予測が必要であると考えられる。

そこで本研究では、生産および輸送段階における排出量において大きな割合を占める燃料について、燃料の使用形態についての将来予測や人口動態変化予測の将来予測等に基づき、2050 年における温室効果ガス排出量の減少率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. 方法

2.1 温室効果ガス排出量の算出方法

表 1 に示す生鮮食品 37 品目について、名古屋市中央卸売市場年報[1)]より、平成 20~24 年の月別および年間入荷量のデータを入手した。このうち野菜 11 品目、果物 4 品目および水産物 11 品目については、輸送段階において、冷蔵または冷凍による輸送を行っていると仮定した。

生産段階における CO_2、CH_4 および N_2O の排出原単位($kgCO_2eq/kg$)については、野菜及び果物については文献値[2)]を用いた。水産物および生肉類は、3EID[3)]の分類にあてはめ、生産者ベースの原単位に、市場での単価を乗じて算出した。なお、水産物及び生肉類は国内産のみのデータを用いたため、輸入については考慮しないものとした。各項目についての排出原単位を、名古屋市中央卸売市場での入荷量に乗じることで、年間 GHG 排出量を算出した。

また名古屋市中央卸売市場年報では、各青果物の生産都道府県別及び輸入国別の入荷量が示されている。そこで、自動車輸送、鉄道輸送及び海上輸送を合わせた、輸送段階における GHG 排出量を算出した。具体的な算出方法は既報[4)]のとおりであり、冷蔵および冷凍輸送を行っていると仮定した品目は、その分の GHG 排出量を加算した原単位を用いて算出した。

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

シナリオ①：将来は人口が減少すると予測し、2005 年を 100 とした時の 2050 年の人口を推計した国土交通省の資料[6)]より、名古屋圏の人口減少率をもとめ、各生鮮食品の取扱量を、2050 年における人口をもとに設定したシナリオ。

シナリオ②：旬産旬消が進むと予測し、加温栽培を行っている青果物の生産を取扱量の多い 8 カ月に限定し、取扱量の少ない 4 カ月は生産を行わないと仮定したシナリオ。

シナリオ③：電気自動車の普及が進むと予測し、国内における自動車輸送時において、輸送をすべて電気自動車で行うと仮定したシナリオ。

シナリオ④：養殖漁業が盛んになると予測し、まぐろ類の生産を遠洋漁業から養殖漁業に変換するシナリオ。

3. 結果と考察

図 1 に生鮮食品の現状における GHG 排出量を示す。この結果、青果物ではイチゴやハウスみかん、きゅうり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などの遠洋漁業で生産する品目や、ぶり類など取扱量の多い品目で GHG 排出量が大きくなった。肉類では取扱量の少ない牛肉の方が、飼育時の排出が多いため GHG 排出量が大きくなった。

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 排出量の算出結果を図 2 に示す。シナリオ①では、2050 年の名古屋圏の人口予測では 2005 年と比較し、15%減少すると推計されているので、GHG 排出量は現状の 85%となった。シナリオ②では、きゅうり及びピーマンで 26%など、加温栽培を行っている品目で、GHG 排出量の削減が認められた。シナリオ③では、国内での自動車輸送では GHG は排出されないため、鉄道輸送及び海上輸送のみの GHG 排出量を算出した結果、ばれいしょの 36%など、国内の遠方から自動車輸送されてくる割合の高い品目で GHG 排出量が大きく減少した。シナリオ④では、養殖漁業の GHG 排出量が遠洋漁業に比べて小さくなることにより、まぐろ類の GHG 排出量が 58%減少した。

すべてのシナリオを組み合わせることにより、最も大きな削減効果があったのがまぐろ類であり、続いてきゅうりおよびばれいしょの約 46%であった。生鮮食品全体では約 26%の GHG 排出量の削減が可能であるという結果が得られた。

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。

参考文献

1) 名古屋市市民経済局生活流通部消費流通課:名古屋市中央卸売市場　市場年報(2009-2013)
2) 吉川直樹，天野耕二，島田幸司:環境システム研究論文集，34，(2006)，pp245-251
3) 南斉規介，森口雄一，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)，2005 年表，独立行政法人国立環境研究所　地球環境研究センター，
http://www-cger.nies.go.jp/publications/report/d031/
4) 中島寛則:第 9 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集，(2014)，pp120-121
5) 国土交通省: 「国土の長期展望」中間とりまとめ
http://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/kokudo03_sg_000030.html

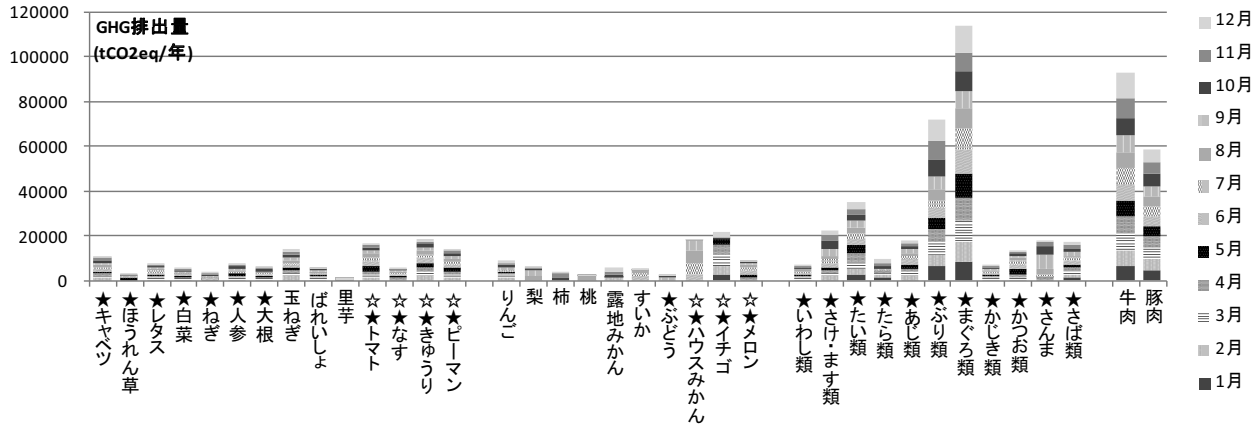


図 1　生鮮食品の GHG 排出量算出結果

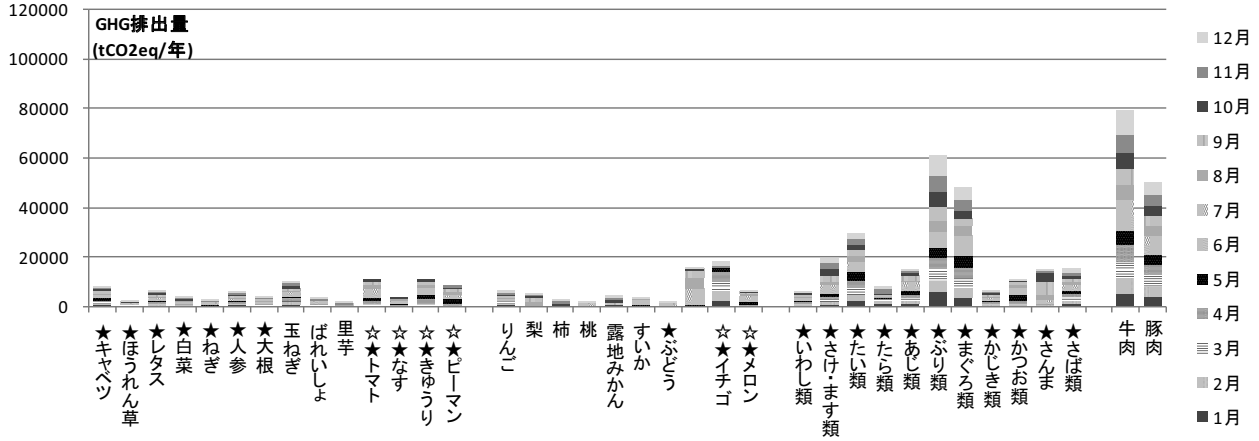


図 2　将来予測シナリオに基づく GHG 排出量の推計

植物工場を対象としたウォーターフットプリントとランドフットプリント

The water footprint and land footprint for a plant factory

○蜂屋陽子*[1)]、伊坪徳宏[1)]

Yoko Hachiya, Norihiro Itsubo

1）東京都市大学

*g1031182@tcu.ac.jp

１．はじめに

現在、日本の食料自給率は39%（平成25 年）である。これは先進国のなかでも低い水準であるが、昨年のTPP参加表明を受けて、さらに農作物の海外依存が増加するものと懸念される。農作物の輸入は栽培段階の水資源を輸出国に頼ることになる。日本のバーチャルウォーターは640億tで、日本は国内で直接使用する870億tに匹敵する。農作物の輸入により間接的に輸入するのは水だけではなく、土地も海外に借用していると考えることができる。欧州連合はカーボン、ウォーター、ランドといった指標を国ごとにフットプリントを示すなど、水や土地に関する指標が今後注目されるものと考えられる。

特に農業は水と土地の使用強度が高い。東日本大震災を一つの契機として、植物工場に対する注目が高まっている。植物工場は光源や空調を利用するが、栽培条件を制御し、生産効率を高めることで水や土地に関する負荷を低減する可能性を有する。しかし、従来の分析ではGHGに注目したものが多く、水や土地に関する議論は十分でなかった。

２．研究目的

完全閉鎖型植物工場を対象にLCAを行う。なかでも、植物工場の環境優位性が期待される水、土地に注目して、ウォーターフットプリントとランドフットプリントを行う。得られた結果は露地栽培と比較することで植物工場の環境特性を整理する。

３．研究方法

3.1　本研究の考え方

本研究では、国内の植物工場を対象にGHGの算定を行った。さらにウォーターフットプリントとランドフットプリントに着目し、輸出入におけるバーチャルウォーター・ランドがどのように影響するのか明らかにする。また露地栽培と比較し優位性を示す。

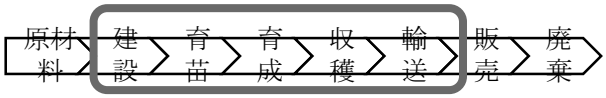
3.2　評価対象と評価範囲の設定

本研究では国内と海外の完全閉鎖型の植物工場を対象とする。機能単位はレタス１kgの生産とする。図1にシステム境界と詳細プロセスを示す。

表１評価対象について

	植物工場	露地栽培
総面積	2502 ㎡	3000 ㎡
栽培エリア	2502 ㎡	ー
育苗エリア	0 ㎡	ー
地域	長野県	福島県
収量	125662kg	4000kg

図１システム境界



育苗に関して、植物工場は露地栽培の苗を使用したと仮定する。露地栽培は露地で播種を行い栽培する。

3.3 計算方法

本研究では原単位法を採用した。

Σ（活動量×原単位）

表１に本研究で評価した影響領域と使用した原単位の一覧を示した。

表２　本研究で評価した影響領域と使用した原単位

影響領域	使用原単位
地球温暖化	3EID(2009)
水資源消費量	小野ら(2009)
水汚染	小野ら(2010)
土地利用	乗松ら(2013)

3.4活動量の収集方法

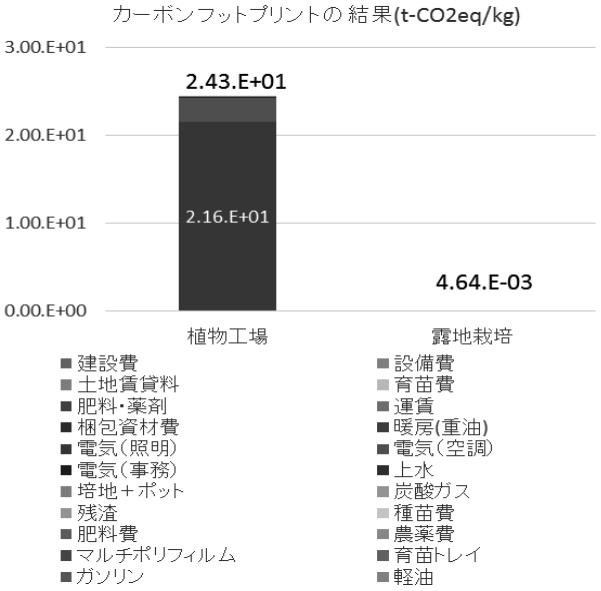
植物工場の活動量はGNH株式会社大山様からご提供していただいた事業計画書のデータを使用。（金額ベース）

露地栽培の活動量は長野県の農業経営指標（平成21年5月）を使用。

4.　結果

4.1 カーボンフットプリント

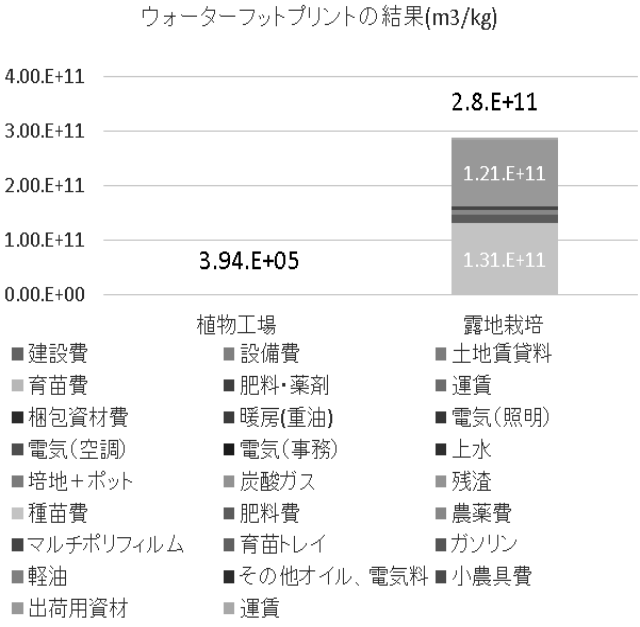
植物工場のGHG排出量を露地栽培と比較した結果を図２に示した。



植物工場の電気（照明）において CFP の高い値がみられた。植物工場では日光の代わりとして蛍光灯を一日約 18 時間使用しているためである。

4.2 ウォーターフットプリント

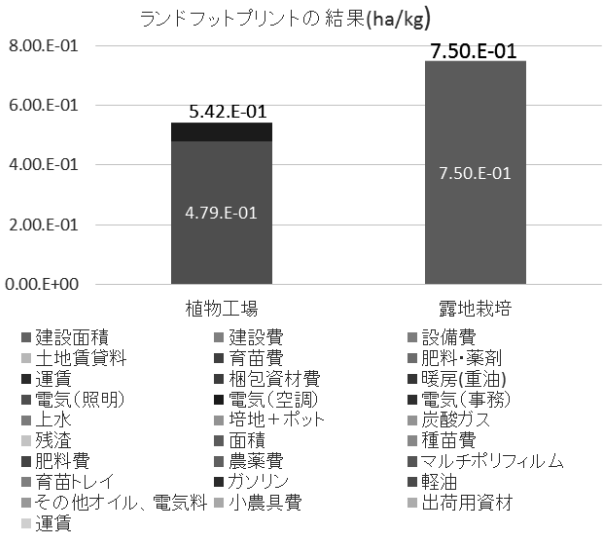
植物工場の水消費量と水汚染の評価結果について、露地栽培と比較した結果を図 3 に示した。



ウォーターフットプリントにおいては露地栽培で高い値がみられた。これはそれぞれ使用している梱包資材の価格の差が約 1.4 倍あるためだと考えられる。

4.3 ランドフットプリント

植物工場の土地利用の評価結果について、露地栽培と比較した結果を図 3 に示した。



植物工場においては電気（照明）、露地栽培では直接分土地面積に高い値が出た。露地栽培の直接分土地が占めていることから、植物工場のほうが土地利用に関して優位だと考えられる。

5. まとめ

本研究では植物工場を対象にカーボン、ウォーター、ランドを対象にした分析を行った。その結果、水管理や多段設置できる植物工場は、水や土地の環境負荷の削減に寄与する可能性を見出すことができた。これは日本のバーチャルウォーターやバーチャルランドの低減に寄与するだけでなく、水や土地の条件が十分備わっていない中東地域などで大きな効用があるものと期待される。ただし、本研究で利用したデータは計画段階のプロトタイプであるため、実績をベースとした評価ではない。また、植物工場は完全閉鎖型でも多様な技術開発が行われており、代表性の面で限界がある。

6. 参考文献

1) 小野雄也，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”（2012）

2) 小野雄也，伊坪徳宏：“水の種類と利用形態に着目した水インベントリデータベース”（2010）

SOFIX(土壌肥沃度指標)に基づく農作物栽培と慣行栽培の比較 LCA

Life cycle assessment of organic agriculture based on SOFIX compared with conventional agriculture

○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、複雑で制御が困難である。そのため過剰投入における環境負荷の増大や養分不足による単収の低下が生じる恐れがある。SOFIX（土壌肥沃度指標）は土壌の生物的・化学的・物理的な総合評価指標[1)]であり(図 1)、有機質肥料を用いた栽培に最適な施肥設計の指針となることが期待される。

本研究ではSOFIXを利用した農作物生産について、ライフサイクル GHG 排出量・栄養塩負荷量及び生産コストを算定する。化学肥料を用いた慣行栽培や既存の有機栽培事例等と比較し、SOFIXを利用した施肥設計の環境負荷削減効果とそのコストについて検討する。

図 1 SOFIX の概念図[1)]

2. SOFIX

SOFIX 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、土壌を総合的に評価する指標[2)]である。測定項目を以下の表 1 に記す。土壌を評価することによりどの項目が 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今後の土壌状態の改善の指針となる。

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. 研究手法

本研究では、2014 年度に兵庫県三木市において栽培されたキャベツを対象とする。圃場では SOFIX を活用した栽培体系と SOFIX を用いずに化学肥料を用いた栽培体系の 2 種類が適用されている。更に比較対象として化学肥料などを用いた慣行栽培体系と有機質肥料を用いた栽培体系についても対象としている。

SOFIX 実験圃場では 25m×40m を 4 分割しその中の 3 つは SOFIX を利用した圃場とし、残りの 1 つは化学肥料を用いた比較用の圃場としている。この対象地のほかに、比較対象として既存の化学肥料を用いた栽培事例と有機肥料を用いた栽培事例を分析する。化学肥料を用いた栽培事例は野菜・茶業研究所が 2000 年度に茨城県つくば市で栽培した事例[3)]を使用する。

表 2　研究対象事例の概要

対象地	栽培事例	調査年	SOFIX活用の有無
茨城県つくば市	慣行栽培事例[3)]	2000年	無
千葉県銚子市	有機栽培事例	2011年	無
兵庫県三木市	SOFIXを用いた事例	2014年	有
	SOFIXを用いていない事例	2014年	無

これらの方法につ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、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)

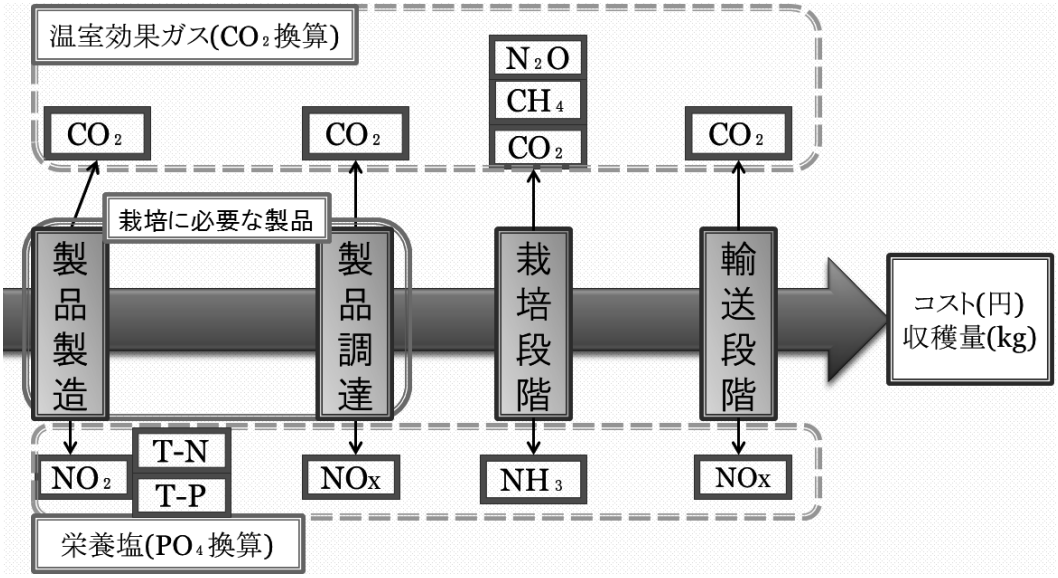


図２　農作物栽培のライフサイクルフロー

GHG 排出量については、農作機械や堆肥、燃料等の栽培活動に必要な製品の製造に伴う CO_2排出に加え、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。更に製品の調達や輸送に伴い排出される CO_2排出等を算定する。栄養塩負荷量については、栽培活動に必要な製品の製造において排出される NO_2や、全リン・全窒素や、土壌中から発生する NH_3等の算定を、リン酸等量(PO_4^{3-})として行う。

栽培活動に必要な製品の製造に関しては、LCA ソフトウェア MiLCA[4]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[5]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。必要なデータが無い場合はほか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。

輸送による GHG 排出量は、輸送先の距離のデータと輸送に使用する車両の種類、積載率から GHG 排出量を算定する。

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。データがない場合には対象地の平均時給から人件費を推定する。

4. まとめ

現在収集したデータの分析を行っており、発表の場では環境負荷とコストの算出結果について報告する予定である。

5. 謝辞

本研究の一部は独立行政法人科学技術振興機構（JST）「センター・オブ・イノベーション（ＣＯＩ）プログラム」の支援によって行われた。ここに記して謝意を表します。

6. 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 2014-12-10）

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第,(70),(2011),pp.63-71

3)独立行政法人農業環境技術研究所:”環境影響評価のためのライフサイクルアセスメント手法の開発”(2003)

4)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 2015-1-5)

5) 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 2015-1-5)

米生産における環境・地域影響の比較 LCA
タイおよび日本を対象として

Comparative LCA of environmental and regional impact of rice production:
Case study in Thailand and Japan

○吉川直樹*[1)]、Phongthep Hanpattanakit[2)]、天野耕二[1)]
Naoki Yoshikawa, Phongthep Hanpattanakit, Koji Amano
1)立命館大学, 2) Srinakharinwirot University
* n-yoshik@fc.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

農業生産方式の変更は、生産者の経営収支のみならず、環境影響や地域経済へも影響を及ぼす。持続可能な農業を推進するためには、これら改善に資する生産方法を選択していくことが重要である。たとえば、有機農業と慣行農業の選択においては、環境負荷やコストと土地生産性の関係や、農業生産者の付加価値・資材消費や雇用を通じた地域経済への影響を考慮することにより、主要な社会側面への効果を踏まえて意思決定を行うことができる。これらの定量化は、補助金や直接支払いなど、環境配慮型農業を推進する政策を評価する際にも有用であろう。また、灌漑方式や機械化・播種・耕起の方式など、多様な生産方式の違いが与える環境・経済・社会影響を分析することも、トリプルボトムラインの観点から持続可能な農業方式を選択するために重要である。

これまで農業生産のエネルギー消費に関する研究は数多く行われているが、たとえば Pimentel[1)]では、複数の研究データより、工業化の程度や労働集約度と土地生産性の関係を分析している。また、地域経済への波及効果や雇用効果について分析した研究については、バイオマスエネルギーの事例[2)]、環境保全型栽培米の例[3)]などがある。しかし、生産性や環境負荷・社会への影響に関わる複数の指標とそのトレードオフの観点から、農業生産方式を比較検討した事例は見られない。

そこで本研究では、農業生産方式の多様性の観点から日本およびタイの両国を対象とし、うるち米生産に関わる環境負荷・生産性・地域経済の影響およびそのトレードオフ関係について比較・分析する。

2. 研究手法

2.1 研究対象

本研究では、多様な生産方式について取り上げることを念頭に、表 1 に示す事例について調査を行った。

タイ国では、2 つの生産方式、3 事例を取り上げた。いずれも栽培に化学肥料を使用している点は共通であるが、そのうち 2 事例が比較的反収の高い灌漑水田での栽培であり、1 事例が反収の低い天水田での栽培という点で異なる。また、農薬の使用や作業の機械化状況についても差異がある。灌漑水田の事例間では、化学肥料(窒素成分)投入量および反収の違いが大きい。

日本の事例では、滋賀県の同一地域における栽培事例[4)]を取り上げた。2 事例のうちいずれも化学肥料を削減する点では共通であるが、一方は緑肥としてヘアリーベッチを利用している。この栽培地域においては、慣行比で化学肥料(窒素成分)を 50%削減した方式(表 1 中の「化学肥料削減」)が、最も多く採用されている。

2.2 データ収集・推計

本研究におけるシステム境界は、稲作のうち耕起・

表 1 評価対象事例

	灌漑農業(1)	灌漑農業(2)	天水農業	化学肥料削減	緑肥利用
国	タイ			日本	
地域	Pathum Thani 県		Cha Choengsao 県	滋賀県	
反収 (kg/10a)	450	425	200	480	460
栽培面積 (ha)	11.2	5.6	0.8	107	25
水管理	灌漑あり		天水	灌漑あり	
耕起	機械				
播種	散播(人力)		移植(人力)	移植(機械)	
収穫	機械		人力	機械	
肥料	化学肥料			化学肥料 有機質肥料	有機質肥料 (育苗のみ化学肥料使用)
農薬	除草剤		不使用	除草剤	
窒素投入量 (kgN/ha)	15.7	8.0	7.9	6.2	16.0 (緑肥含む)

播種～収穫までを対象とする。乾燥・調製や生産物の保管や輸送は対象外とした。また、農業生産の上流部分については、肥料・農薬・燃料・上水の製造については算定し、農業機械等の耐久財は算定対象外とした。

タイ・日本の事例ともにヒアリングまたは栽培日誌等の記録をもとにフォアグラウンドデータを収集した。栽培年は、タイにおいては 2012 年、日本の事例は 2008 年のものを使用した。機能単位は玄米 1kg とした。タイの事例では、収量は籾ベースでの把握であったことから、換算係数(0.8)を乗じて玄米ベースの重量とした。環境負荷の推計には MiLCA を用いた。農地からのメタン・亜酸化窒素の排出量については、IPCC ガイドライン [5]に基づき、有機質肥料の施用や水管理の実態をある程度反映した評価とした。

雇用効果および経済波及効果の推計については、各国の産業連関表を用いて推計した。経済波及効果の推計では、生産者の所得向上による消費拡大の影響（第二次波及効果）を含める場合と含めない場合のそれぞれについて算出した。

3. 結果と考察

図 1 に、各事例の農地からの排出を除く GHG（温室効果ガス）排出量および単収の比較を示した。GHG 排出量の内訳をみると、機械化された作業の多い日本の事例ではタイの事例よりも燃料由来の排出量が多く、肥料由来の排出量の小さい緑肥利用では、燃料による寄与が最も大きかった。それ以外の事例では肥料による排出量が最も大きい割合を占めている。化学肥料を利用した天水農業では、農業機械の使用はほとんどないものの、単収の低さから、重量あたり排出量は反収が高く、機械作業の多い他事例と同等程度となった。

表 2 は、「灌漑農業(1)」を 100 とした場合の、環境負荷と生産性に関わる指標の比較を示している。本稿の事例では、化学肥料を使用する天水農業は、きわめて労働集約的であるが、GHG 排出量の観点からは、農地からの面積あたりメタン排出量が小さく、生産物あたり排出量も小さい。緑肥利用では GHG 排出量は農地からの排出が要因で他の栽培方法より大きいが、化石エネルギー消費量は最も少ない。また、化石エネルギー消費量と労働時間とはトレードオフの関係にある。

なお、これら事例においては、栽培品種や気候、土壌タイプなど栽培の諸条件が大きく異なる。また、同一生産方式について 1～2 事例の評価であり、結果を単純に比較することはできない。しかし、生産方式の多様性とそれに伴う環境負荷や経済効果への影響を概観する目的から鑑みると、本稿の分析結果は有意であると考える。

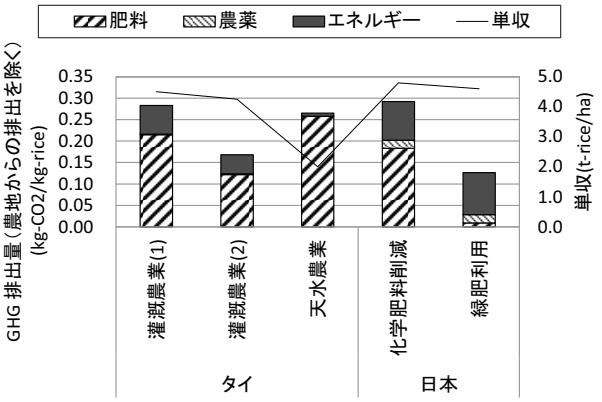


図 1 GHG 排出量および単収の比較

4. おわりに

本研究では、タイおよび日本のいくつかの事例を対象として、米生産に関わる環境負荷および生産性・地域経済影響を比較検討した。本稿で扱った事例数は限られており、実栽培事例に基づいて生産方式による差を明確に示すには、既存研究や新規調査によるデータおよび知見のさらなる蓄積が必要である。

引用文献

1) Pimentel and Pimentel, “ Food, Energy, and Society”, CRC Press, New York, (2008), 380pp.
2) 菊地克行，本藤祐樹:日本エネルギー学会誌，90 (7)，(2011)，643-653.
3) 林岳：農林水産製作研究所　環境プロジェクト研究資料，2，(2010).
4) 池田智大 他：日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集，7，(2012)，160-161.
5) IPCC: “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”, (2006).

表 2 米生産における環境・経済指標の算定結果

	タイ			日本	
	灌漑農業(1)	灌漑農業(2)	天水農業	化学肥料削減	緑肥利用
単収(kg/ha)	100	94	44	107	102
LC-GHG (kg-CO2/kg)	100	93	48	124	362
化石エネルギー消費量(MJ/kg)	100	58	99	96	30
労働時間(hr/kg)	100	106	2,113	192	245
資材および労働コスト (USD/kg-玄米)	100	96	242	797	566
（うち国内からの調達）	7.7%	8.0%	14.5%		

スーパーマーケットにおける 130 品のカーボンフットプリント公開の取組み

A Case Study of Carbon Footprint of 130 Food Products in a Supermarket

○永野宏治 [1)]，鈴木昭徳 [2)]，趙培江 [1)]

Koji Nagano, Akinori Suzuki, and Zhao Peijiang

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，2014 年 10 月に，食品を中心にして 130 品についてカーボンフットプリント (CFP) を計算し，公開した。これまで著者らは 2009 年よりスーパーマーケットにおいて食品の CFP を公開展示する取組みを行ってきた [1)]。これまでの著者らの CFP に関する経験では，消費者の CFP の認知度が低いことが課題になっている。CFP に取り組んだ食品メーカーの企業活動と消費者の間にある隔たりを改善し，CFP を社会に根付けるために，著者らは本報告の取組みを行った。

食品を主にした 130 品について CFP を計算する過程で，著者らがこれまで作った CFP 計算システム [2)] を改良し，それを CFP 計算の実作業に十分に使えるようにした。130 品もの多数の製品を短期間に少数の人が計算するためには，CFP のデータ収集の本質的特徴について理解が進み，その特徴に対応した CFP 計算システムの改良が実現できた。本報告では，新しく製作した CFP 計算システムの概要と CFP を消費者に伝える取組みを報告する。

2　CFP を計算した 130 品

著者らが 2014 年 10 月に CFP を計算した 130 品は，食品が 124 品，日用品 (トイレットペーパー等) が 6 品である。この 130 品の内訳は，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，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，「なるほど商品」以外のコープさっぽろの PB が 52 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。一方，ブランド「北海道 100」は，複数のメーカーが共同参加しているブランドである。

今回「なるほど商品」で CFP を計算した食品を製造したメーカーは 21 社だった。今回 CFP を計算した「北海道 100」の食品の製造メーカーは 8 社だった。したがって，CFP の計算では，一次データの収集で様々な状況に遭遇した。

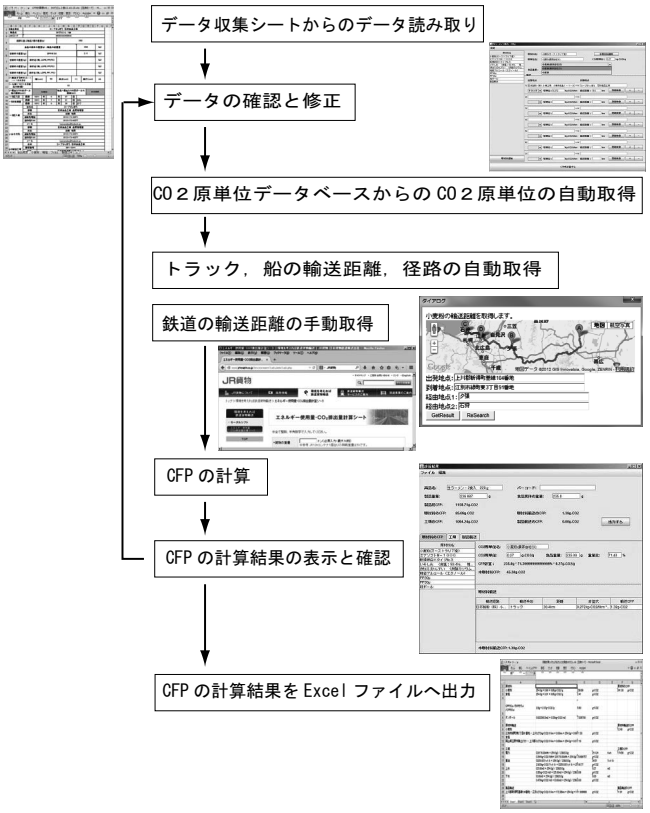


図 1　CFP 計算システムの計算の流れ

3　計算作業とその考察

CFP の計算では，著者らがデータ収集シートを食品メーカーに配布し，食品メーカーがそれに一次データを記入する。著者らが自作した CFP 計算システムでは，データ収集シートのデータの自動読み取り，CO_2 原単位データベース (DB) の検索，Google Maps 等を使った輸送距離の計算を行う [2)]。

今回の 130 品の CFP 計算に際して改良した CFP 計算システムにおけるデータの流れを図 1 に示す。主な改良点は，

- データ収集シートに記述された原材料名が CO_2 原単位データベースにない場合は，CFP 計算システムのオペレータがその原材料名の類義語で CO_2 原単位データベースを検索して，CO_2 原単位を取得する。
- 鉄道での輸送距離の計算では，JR 貨物のホームページで輸送距離データを手動で取得する。

- 船の輸送距離のデータは，公開された国間距離 DB と自作した国内主港間距離 DB から自動的に取得する。

等である。

CFP 計算システムの使用により，1 品の CFP を計算する時間は，CFP の計算が不慣れな学生でも数回練習すれば，約 15 分であった。4 人の学生がこの計算システムを使用して，30 社が製造した 130 品の CFP を約 1 ヶ月で計算できた。データ収集シートには不完全なデータが多いため，その確認と修正に多くの手間と時間がかかった。

データ収集シートに記述された原材料に相当する CO_2 原単位データベースに登録された原材料名を見つける作業が，もっとも手間のかかる作業であった。メーカーは，多くの場合，CO_2 原単位データベースに登録された原材料名でなく，商品名や日常業務における名をデータ収集シートに記入してきた。また，「砂糖（沖縄産）」のように，CO_2 原単位データベースに登録された原材料名と一緒に付加情報もデータ収集シートに記入したため，検索に手間がかかる場合が多かった。

4　CFP の表示方法の工夫

CFP の計算結果をパンフレット，包装へのラベリング，店舗内 POP を使って知らせることにした。消費者に CFP への興味をもってもらうために，パンフレットとラベルは栄養表示による健康へ意識と CFP による環境への意識を組み合わせて構成した。つまり，健康と環境を組み合わせることで，CFP の取組みを消費者が身近に感じることを狙った。図 2 に製作したパンフレットを示す。また，図 3 に包装のラベルを示す。包装のラベルは，栄養成分表示と CFP 表示を統一したデザインで印刷した。

図 4 にパンフレットにおける CFP の紹介例を示す。130 品の CFP をまとめて表示することで，この取組みの高い環境意識と活動の実績を訴えた。今回の計算では，特定の PB「なるほど商品」を中心に CFP を計算したため，その PB を CFP を使った環境配慮商品として特徴づけることが可能になった。

5　認知度調査

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，93 の展示ブースがあり，総数 7094 人の参加者があった。この参加者の中の 82 人に聞き取りアンケートを行った。このアンケート結果では，CFP を知らない人が 82 人中 67 人だった。本報告の

図 2　栄養表示と組み合わせて CFP を紹介するパンフレット

図 3　栄養成分表示と CFP の統一したデザインのラベル

図 4　CFP の紹介

CFP に関する取組みの後に，CFP の認知状況の変化を継続して調べる計画である。

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) 三田村正樹，新谷健仁，永野宏治 (2013)：第 8 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 28-29

技術水準と需要の長期変化を考慮できる
都市内旅客輸送手段のライフサイクル CO_2 推計

Evaluation of life cycle CO_2 emission of intra urban transport systems considering long term changes in technology trends and demand

○金井洸*[1)]、加藤博和 [1)]，柴原尚希 [2)]，森本涼子 [3)]
Koh kanai, Hirokazu Kato, Naoki Shibahara, Ryouko Morimoto
1) 名古屋大学, 2)産業環境管理協会,3)traNeco
* kanakana891013@ gmail.com

1. はじめに

旅客輸送起源 CO_2 排出量削減のためには，ライフサイクル CO_2 排出量（LC-CO_2）が乗用車より少ないとされるバスや鉄道の利用促進が必要である．しかし，これらの LC-CO_2 の値は，需要量が同じであっても，LC-CO_2 を直接的に規定する車両の運行量を左右する混雑率あるいは運行本数・編成両数といった変数によって大きく変化する特徴がある．また環境技術の進歩が著しく，長期を考える場合にはそのトレンドを考慮することも重要である．例えば，電気自動車（EV）や燃料電池自動車（FCV）といった次世代自動車の発展が目覚ましく，将来の技術向上によってはバスや鉄道より有利になる可能性もありうる．

一方，輸送手段の評価においては，言うまでもなく LC-CO_2 以外の様々な要素を考慮しなければならない．本研究では「(交通手段の性能) / (LC-CO_2)」で定義できる「環境効率」を用いる．ここで交通手段の性能は，速達性や定時性，快適性などの要素からなる．環境効率は運行についての諸設定や技術水準によって変化する．対策前後の環境効率の比はファクター値と呼ばれ，ファクター値が 1 以上でより大きい値を示せばこの対策はより適切であると判断できる．

本研究では，乗用車と電気鉄道を取り上げ，技術水準（CO_2 排出原単位）と需要量，および運行に関する諸設定による LC-CO_2 の算定を行い，環境効率やファクターの値を評価することを目的とする．

2. 運行本数と混雑率の関係

旅客輸送手段の CO_2 排出量は、車両運行量（車両 km）に CO_2 排出原単位（車両キロ当たり）を乗ずることで算出される．また，車両運行量は旅客輸送量（人 km）と車両当たり乗客数の積である．なお，混雑率は車両当たり乗客数を車両定員で除した値であり，運行本数と編成両数により変化する（式(1), (2)）．運行本数・編成両数と混雑率は反比例の関係となる．

$$C = T/P \quad (1)$$

$$S = D/(C \cdot N \cdot P) \quad (2)$$

ここでC：混雑率[%]，T：輸送人員[人/車両]，P：車両定員[人/車両]，S：運行本数[本/日]，D：需要[人/日]，N：編成両数[車両/本]

一方，乗用車については日本の道路交通センサスにおいて平均乗車人員（車両当たり乗客数に相当）が 1.3～1.4[人/車両]と安定した値を示す. 本研究では H22 のデータを基に 1.3 [人/車両]と設定する．

3. 評価手法及び諸設定

鉄道の LC-CO_2 を算出するに当たりシステム境界として，インフラの建設・維持補修，車両の運行・製造を扱う. 長田ら [1)]を参考に, 式(2)-(4)によって算出する．インフラ建設・維持補修に伴う CO_2 排出量は旅客輸送量の大小に係らず一定と考える．ライフサイクルはシステムが 60 年，車両が 20 年とする．乗用車については渡辺ら [2)]を参考に算出する．運行に関しては需要量による平均旅行速度を算出し，その速度における CO_2 排出原単位から推計を行う．乗用車のライフタイムは 8 年とする．

$$E = [(M \cdot Mc) + I + (R \cdot D \cdot Day)]/(D \cdot Day) \quad (3)$$

$$Nc = (D \cdot Co)/(P \cdot N) \quad (4)$$

ここでE：人 km あたりの LC-CO_2，M：車両製造 CO_2 排出原単位，I：インフラ建設・維持補修 CO_2 排出原単位，R：車両運行 CO_2 排出原単位，Nc：保有車両数，Co：集中率（ラッシュ時 1 時間交通量の 1 日交通量に対する比率），Day：日数（60 年×365）

鉄道の CO_2 排出原単位は既往研究 [1)]の設定値を用いる．また乗用車製造の CO_2 排出原単位は山田ら [3)]の推計値を参考に設定する. 走行の CO_2 排出原単位は車種・速度別の値を得るために報告書 [4)]の値を参考に設定する．

将来の技術水準の向上に関する設定について，乗用車は報告書 [5)]を参考にする．鉄道に関しては回生効率の向上や駅舎の省電力化など多くの要素を考慮する必要がある．しかし，これらの将来の技術水準向上が不明であるので，本研究では鉄道についてそれぞれ現在の排出原単位から 20%改善されたと仮定し推計する．

4. LC-CO_2 推計結果

図 1 において，現在の技術水準で混雑率を需要量に応じて長田らの手法を用いて設定した場合の結果を鉄道，乗用車それぞれについて太線で示してある．需要量が約 10,000 人/日より少ない場合は乗用車が定環境負荷となる．次に，鉄道の混雑率を 10%，150%に固定した場合が実線である．混雑率 10%の場合は運行本数が増加するので LC-CO_2 は増加する．高い混雑率で運行すれば LC-CO_2 は減少するがサービスの質（性能）は低下する．前項で設定した技術水準の向上を考慮した場合を破線で示す．乗用車は次世代自動車の普及や燃費向上など低炭素化の可能性が高く，鉄道よりも LC-CO_2 減少幅は大きい．この場合約 14,000 人/日以下の需要量であれば乗用車の方が LC-CO_2 が少なくなる．

5. ファクター値の算出例

ファクター値算出のために，益田ら [6]の手法を参考に環境効率を算出する（式(5), (6)）．性能値は性能項目間での重みが決まれば，どの項目のどの単位にも変換可能である．本研究において，性能値は旅行速度の尺度に統合するため，次元は km/h である．

$$(\text{環境効率}) = \frac{(\text{性能値})}{(\text{人 km あたりのライフサイクル}CO_2)} \quad (5)$$

$$(\text{性能値}) = \sum \left\{ \begin{matrix} (\text{性能項目の重み}) \\ \times (\text{交通手段の性能項目の水準}) \end{matrix} \right\} \quad (6)$$

需要量が 10,000 人/日の時の LC-CO_2 及び性能値，環境効率を表 1 に示す．技術向上すれば当然，環境効率は高くなる．鉄道の混雑率を 10%に固定した場合は，高い車内環境や運行本数などの理由から性能値は高くなるが，LC-CO_2 も大きいため，環境効率は最も小さい結果となった．本研究では技術水準変化に伴う車内の快適性向上は考慮していないため，技術変化によって性能値は変化しない．

6. まとめ

本研究では技術水準の向上や需要に応じた運行状況の変化を考慮した LC-CO_2 を乗用車と鉄道の場合について示した．さらに，環境効率及びファクター値を算出することで，環境負荷だけではなく性能を考慮した技術水準や運行状況の変化を定量的に評価することが可能である．

表 1　推計結果（需要量 10,000 人/日の時）

		LC−CO2	性能値	環境効率	ファクター値
鉄道	現在技術	143.6	18.71	0.1303	1
	混雑率10%固定	218.1	22.01	0.1009	0.7745
	混雑率150%固定	114.8	13.35	0.1163	0.8925
	将来技術	115.6	18.71	0.1619	1.2422
乗用車	現在技術	147.7	19.48	0.1319	1
	将来技術	101.1	19.48	0.1927	1.4609

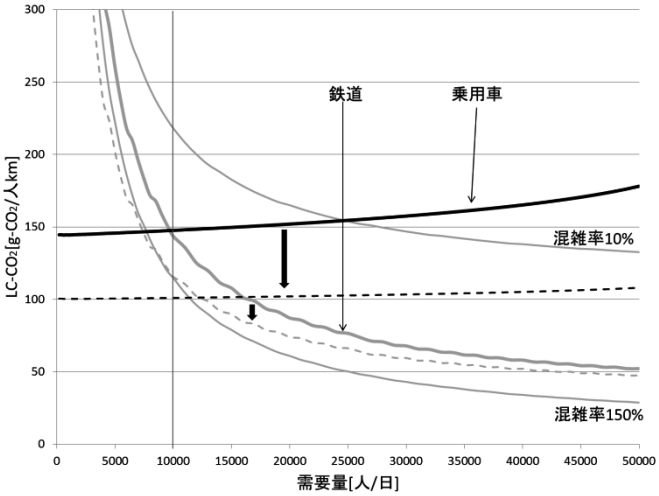


図 1　LC-CO_2 推計結果

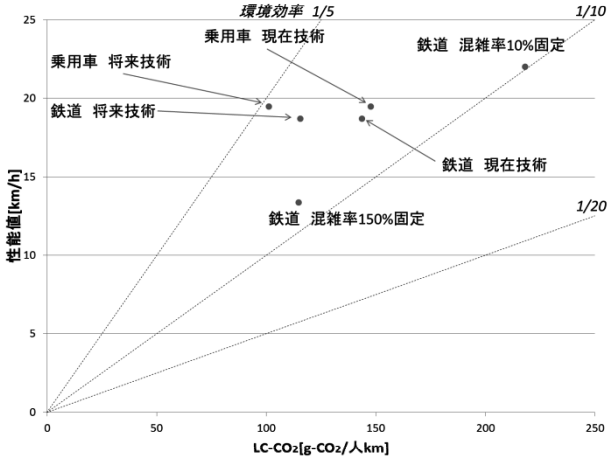


図 2　各場合の環境効率

引用文献

1) 長田基広，渡辺由紀子，柴原尚希，加藤博和：土木計画学研究・論文集, No.23 no.2, 2006
2) 渡辺由紀子，長田基広，加藤博和：日本 LCA 学会誌, Vol.2 No.3, 2006
3) 山田裕也，有山祐介，井野博満，原田幸明：日本金属学会誌 Vol.69, No.2, 2005
4) 日本自動車研究所 : 燃料自動車に関する調査報告書, 2006
5) 日本自動車研究所：総合効率と GHG 排出の分析報告書, 2011
6) 益田悠貴・加藤博和・柴原尚希・伊藤圭：土木学会論文集 G（環境）, Vol. 68, No.5, I_67-I_76, 2012

ガソリン代替自動車の CO_2 排出量(2)

CO_2 emissions in future automobile(2)

○唐　寧、成田暢彦*、菅井径世
Ning Tang, Nobuhiko Narita, Michiyo Sugai
名古屋産業大学大学院
* narita@nagoya-su.ac.jp

1. はじめに

自動車の環境性能は、地球温暖化に影響を及ぼす CO_2 排出量が指標として利用される場合が多い[1,2]。エコカーとして注目されている電気自動車や燃料電池自動車は、それぞれ電力、水素を燃料としているが、走行時に加え、燃料生産、車両組立の CO_2 排出量を分析した。

筆者らは、ガソリン代替自動車を対象に、自動車用燃料の採掘から走行までの CO_2 排出量および資源枯渇に着目して各自動車の環境性能を総合的に評価した[3]。この手法を用いて、本研究では電気自動車および燃料電池自動車を対象に、各自動車の生産に加え、燃料の採掘から走行、廃棄までの CO_2 排出量に着目して分析することを目的とする。

2. 調査方法

2.1　対象車種・システム境界

対象とするガソリン代替自動車は、本研究では上市されている以下の自動車を対象とし、自動車生産および燃費は製造各社から公表されている JC08 モードを採用した。

・ガソリン自動車：T 社乗用車及びハイブリッド乗用車
・電気自動車：N 社乗用車
・燃料電池自動車：T 社乗用車

上記の 4 車種は、サイズなどの機能は若干異なるが、各種の自動車の特性を評価するためには十分と考えた。

なお、調査対象のシステム境界は自動車生産に加え、それぞれの燃料の採掘から消費、廃棄までとし、機能単位は「1km」と設定した。また、評価に用いたバックグラウンドデータには、JEMAI-LCA、Simple LCA[4]などを採用した。

2.2　CO_2 排出量の評価

(1) ガソリン自動車、ハイブリッド自動車

自動車のライフサイクルに係る各工程の CO_2 排出量は、各社のカタログなどの公開資料に基づいて、基準車両（燃費 15.0km/L）を仮定して試算した。なお、ガソリン 1L 消費までの CO_2 排出量は、Simple LCA より、2.43kg（製造 0.11kg、燃焼 2.32kg）と設定し、各工程での 1km 走行あたりの CO_2 排出量を求めた。

(2) 電気自動車

N 社資料から、0.124kWh/km の電力が消費されると仮定した。なお、我が国の電力構成の変化から 0.44kg-CO_2/kWh[4]、0.60 kg-CO_2/kWh の 2 つのシナリオを設定した。

(3) 燃料電池自動車

水素製造方法として、 ①ナフサ改質　②鉄鋼業の COG 分離　③塩電解法（苛性ソーダ副生）　④天然ガス改質の計4手法を調査した。これらのインベントリデータは、Simple LCA のインベントリを基に分析して求めた。なお、②③のプロセスでは水素は副産物であるので、重量基準の配分でデータを整理した。また、COG から水素の分離に要するデータが得られなかったので、エネルギー消費は考慮せず、COG 成分中の水素 53%が完全に水素として分離されると仮定した。

1km 走行あたりの水素消費量は、T 社資料からタンクの水素充填量を試算し、一充填あたりの走行距離から 9.4g-H_2/km と設定した。

2.3　走行コストの評価

以下の条件下で、走行コストを試算した。

ガソリン）130 円、150 円/L
水素）1,080 円/kg-H_2
電力）13.45 円（夜間）、25.08 円/kWh[5]

3. 調査結果および考察

3.1　CO_2 排出量

各社の公開データに基づいてライフサイクルでの CO_2 排出量を推算した結果を図 1 に示す。図中で、EV1、EV2 は、それぞれ設定した電力誘発の CO_2 排出原単位に対応している。

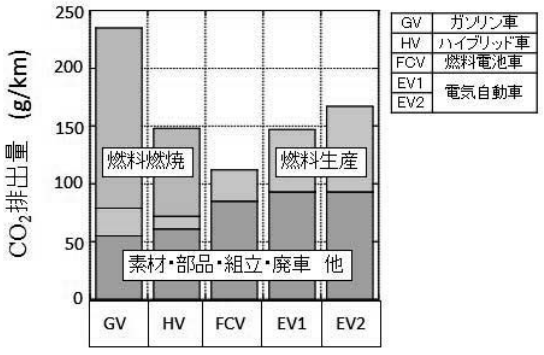


図 1　各乗用車の工程別 CO_2 排出量の推算

この図から、ガソリン自動車に較べ、ガソリン代替自動車の車両生産までの CO_2 排出量は大きい。また、電気自動車の LCA 結果公開時の電力誘発 CO_2 排出量（EV1）を、現状の電力構成に補正した結果、CO_2 排出量は増加する（EV2）。

3.2　燃料電池車の CO_2 排出量に及ぼす原料の影響

T 社資料は苛性ソーダ副生の水素燃料を利用した場合の LCA 結果であり、原料により CO_2 排出量が異なることが示されている。そこで、水素の原料や製法が CO_2 排出量に及ぼす影響を分析した。

苛性ソーダ副生の水素は、同時に苛性ソーダ及び塩素を併産するので、配分の考え方によって、その環境影響が大きく異なることが知られている。そこで、図 1 の水素燃料製造の CO_2 排出量を基に試算した結果、2.87kg-CO_2/kg-H_2 と推算される。この値は、LCA ソフトウェアなどで示されている重量基準の排出原単位（0.4kg～0.9kg）よりも大きく、何らかの配分または自家発電の補正などがなされた結果であると推測される。

一方、石油、石炭、天然ガスなどの化石燃料を原料とする水素製造法では、表 1 に示すような原単位が試算できるが、副産品への配分の考え方によってこの値は大きく異なる。

表 1　水素製造の原単位と副産品

原料	中間原料	CO_2 排出量 kg-CO_2/kg-H_2	副産品
原油	ナフサ	1.48	CO 他
石炭	COG	11.88	コークス
天然ガス		7.33	CO
塩＋電力		0.59	NaOH、Cl_2

そこで、以下には表 1 で示した CO_2 排出原単位を用いて、燃料電池車の CO_2 排出量に及ぼす原料の影響を試算した。その結果を図 2 に示す。

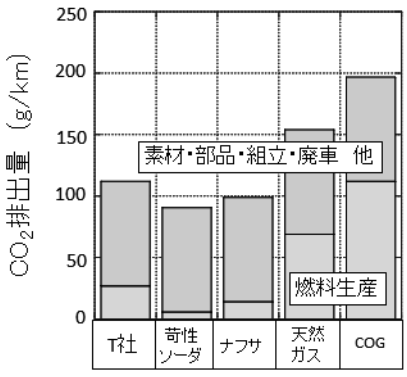


図 2　FCV の CO_2 排出量に及ぼす原料の影響

この図から、原料の選択によって燃料電池車の CO_2 排出量が大きく異なることが分かる。但し、排出量の絶対値は、配分手法や副産品の利用形態によって大きく差異が生ずる。

3.3　走行コストの評価

2.3 で設定した各燃料コストに対応した、単位距離走行あたりのコストを図 3 に示す。

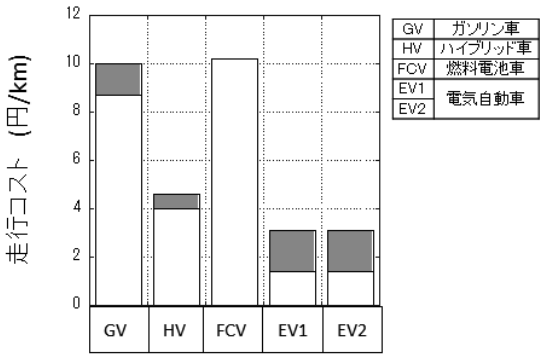


図 3　各乗用車の走行コストの推算

この図から、燃料電池車の走行コストは、ガソリン自動車並みである。次いで、ハイブリッド車、電気自動車の走行コストが低い。

4. まとめ

本研究では、電気自動車や燃料電池車などのガソリン代替自動車の CO_2 排出量に着目して、その環境性能を分析した。

その結果、電気自動車の CO_2 排出量は、その電源構成に大きく依存するので、近年の状況を反映すると増大している。一方、燃料電池自動車の CO_2 排出量は、製造原料に大きく依存することが明らかであるが、水素製造時の副産物の配分や副産品の利用形態によって大きな影響を受ける。

今後、ガソリン代替車は、CO_2 排出量に着目するばかりでなく、資源枯渇の観点からの評価が必要であるので、リチウム、白金などの希少資源のリサイクルの必要性を含めて検討が必要である。

5. 参考文献

1) 水素燃料電池実証プロジェクト報告書：http://www.jhfc.jp/
2) みずほ情報総研株式会社：燃料電池自動車のライフサイクル評価に関する調査、NEDO（2008）
3) 欽海　他：第 5 回 日本 LCA 学会研究発表会予稿集
4) 産業環境管理協会：http://www.jemai.or.jp/
5) 中部電力ホームページ：http://www.chuden.co.jp/

交通施設整備代替案間のライフサイクル環境負荷比較における不確実性の扱い

Treatment of Uncertainty on Comparing Life Cycle Environmental Load between Alternatives with Transport Facility Development

○山本(森本)涼子*[1)]、加藤博和[2)]
Ryoko YAMAMOTO-MORIMOTO and Hirokazu KATO
1)traNeco 、2)名古屋大学
*yamamoto.traneco@gmail.com

1. はじめに

交通施設整備の検討において、ライフサイクル環境負荷の小さい代替案を選定するためには、事業計画のできる限り早期の段階で排出量を推計し活用する必要がある。しかし早期であればあるほど入力データとして不確実性の大きい値を使用せざるを得ない。例えば交通機関の需要量変化の推計値が入力値として必要になるが、これらについて高い精度(信頼性)を得ることは現実には難しい。

本稿では、ライフサイクル環境負荷を各代替案で比較する場合に、推計に内包される各種の不確実性を考慮して大小を判定する方法を構築する。また、判定精度を高めるための不確実性管理についても検討する。

2. 大小判定精度の定義

本稿では、代替案比較における大小判定、すなわち「環境負荷排出量がより小さくなる可能性の高い代替案（ゼロオプションを含む）を見出す」ことを考える。

排出量推計値の大小が不確実性を加味した場合にも成立する確率を「大小判定精度」と定義する。不確実性に関して詳細な分析が行われていない段階でその傾向を考慮できるよう、2つの代替案のライフサイクル環境負荷排出量を、それぞれ確率変数RとSで表し、推計値を平均とする正規分布をなすものとする(**図1**)。それぞれの平均をμ_S, μ_R、分散をσ^2_R, σ^2_Sとする。RとSの実現値をr,sとし、$r \leqq s$が成り立つ確率を、大小判定精度 pとして定式化する。平均（推計値）の比(μ_S/μ_R)と、それぞれの変動係数v_R、v_SおよびRとSの相関係数ρ_{RS}を用いれば、大小判定精度pは次のように表される。

$$p = 1 - \Phi\left(\frac{1-(\mu_S/\mu_R)}{\sqrt{v_R^2 + v_S^2(\mu_S/\mu_R)^2 - 2\rho_{RS}(\mu_S/\mu_R)v_R v_S}}\right) \qquad (1)$$

この式を用いて、平均（推計値）や変動係数によって判定精度がどう変化するかを把握できる。

3. 交通施設整備代替案の CO_2 排出量推計への適用

実際の事例において結果の確率分布や大小判定精度を明らかにする。また、判定精度向上のための不確実性管理についても検討する。

3.1 適用事例の概要

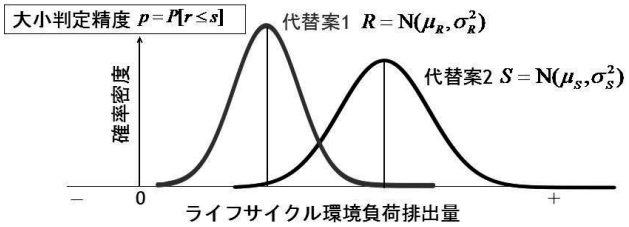


図１　大小判定精度の定義

表１　踏切遮断・自動車走行の状況設定

	除却		非除却
	ピーク時	通常時	-
昼間交通量[台]	7,000		9,000
踏切遮断による平均停止時間[分]	4.7	1.0	0
代替道路の昼間交通量[台]	10,000		8,000
誘発交通[台]	0		1,000
誘発交通のトリップ長[km]	0		5

ピーク時：7~9 時、通常時：9~19 時

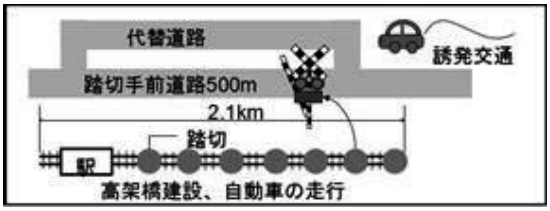


図２　評価対象範囲設定

著者らが過去に評価を実施した踏切除却事業[1)]をケーススタディとし、代替案は除却する場合としない場合を考える。評価対象範囲は、除却に伴う鉄道高架橋の建設と、供用後走行状況が変化する自動車交通の走行とする。各踏切手前道路の自動車走行状況の設定を**表 1** に、評価範囲設定を**図 2** に示す。評価する環境負荷は CO_2 のみ、ライフタイムを 60 年とする。

ライフサイクル CO_2(LC-CO_2)推計結果を**図 3** に示す。除却の方が非除却よりも小さい。本稿では大きな排出割合を占める自動車走行に関する入力データについて不確実性分析を行う。

3.2 不確実要因の確率分布の設定

入力データとなる自動車交通量・旅行速度に先行研究[2)]で得た確率分布を与える。交通量については、過去の類似実例における予測値と実測値のデータを収集し、その比の値が対数正規分布に従うと仮定して推定したものを、予測値に乗じて用いる。旅行速度については、同じ条件で多数回交通流シミュレーションを行うことで得られた

正規分布を用いる。誘発交通のトリップ長には正規分布を設定する。以上について、除却・非除却の自動車交通量に相関関係がある(相関係数 0.8)として、多変量正規乱数を生成し、試行回数を 10,000 回としてモンテカルロシミュレーションを行った。

4. 不確実性の検討

4.1 判定精度の算定

入力データの不確実性が LC-CO_2 推計結果に与える影響を分析する。踏切除却による LC-CO_2 削減量をΔE と表す。ΔE の確率分布を示した結果が**図 4** である。判定精度はΔE >0(除却により削減される)の範囲の積分値により求められ、**表 3** に示す通り判定精度は 74%となった。なお、LC-CO_2 の変動係数は除却・非除却で近い値となっていた。

4.2 判定精度向上の可能性

例えば判定精度 95%の信頼性を求められる場合、判定精度 74%の本ケーススタディの結果は「代替案が LC-CO_2 を削減できる」とは言い切れず、意思決定に利用するのが難しくなる。そのため、推計結果の不確実性をどの程度低減させれば求める判定精度を確保できるのかを検討する必要がある。

式(1)から得られる、判定精度と各代替案の LC-CO_2 の変動係数、および平均（推計値）の比との関係を示すグラフを**図 5** に示す。本ケーススタディの結果に合わせて v_R=v_S、ρ_{RS}=0.8 としている。そこに**表 3** の LC-CO_2 の変動係数および代替案間の比をプロットした。データの不確実性低減によって判定精度 95%を確保するには、現在 0.5 である変動係数を、0.1 以下という非常に小さい値にする必要があることが図からわかる。

4.3 不確実性管理に関する考察

以上のケーススタディの結果から、一般的な交通施設整備の不確実性管理について考察する。まず、LC-CO_2 の変動係数は、本ケーススタディと同程度の約 0.5 であると考えられる。なぜなら、多くの交通施設整備において、LC-CO_2 全体の大きな割合を占めるのが自動車走行起源の分であり、その交通量や速度のデータのばらつきの大きさは本ケーススタディと共通であると考えられるためである。したがって、一般的な交通施設整備の LC-CO_2 推計において判定精度確保のために求められる削減量は、ケーススタディと同様に**図 5** から読み取ることができ、**表 4** のようになる。LC-CO_2 を 30%削減する施策であれば約 80%の判定精度が、40%削減できれば約 90%の判定精度が確保できることが概算された。

ただし、本ケーススタディによる判定精度は 74%、同じ条件を式(1)に代入した結果は 60%であり、差異がある点に注意が必要である。これは、LC-CO_2 の分布形が正確に正規分布ではないことによるものと考えられる。

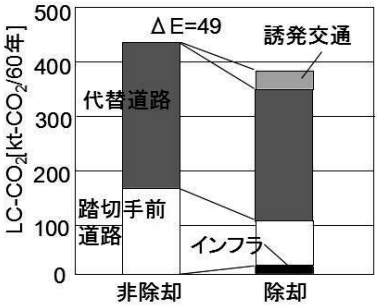


図 3　LC-CO_2 推計結果と削減量ΔE

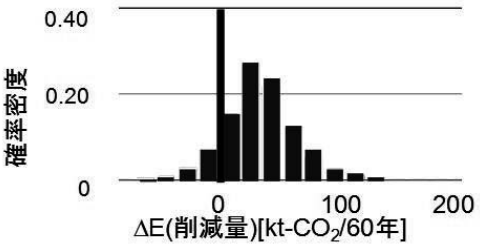


図 4　削減量ΔE の確率分布

表 3　判定精度と LC-CO_2 算定結果のばらつき

判定精度[%]		**74**
ΔE の平均値[kt-CO_2/60 年]		49
LC-CO_2 の平均(推計値)の比(除却/非除却)		1.13
LC-CO_2 の変動係数	除却	0.48
	非除却	0.52

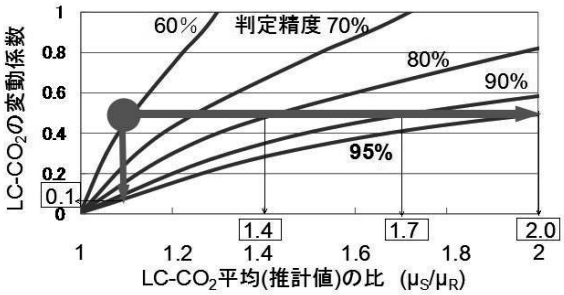


図 5　概略式から得られる判定精度と各パラメータの関係

表 4　一般的な交通施設整備の LC-CO_2 推計における判定精度確保のための条件

確保したい判定精度[%]	95	90	80
LC-CO_2 平均(推計値)の比(除却/非除却)	2.0	1.7	1.4
削減量[%](削減量/非除却の LC-CO_2)	50	41	29

5. まとめ

ライフサイクル環境負荷を各代替案で比較する場合に、推計に内包される不確実性を考慮して大小判定する方法を提案した。実際の交通システム整備代替案の LC-CO_2 推計に適用した結果から、環境負荷削減量と判定精度の関係を明らかにし、不確実性管理を可能とした。

引用文献

1)　森本涼子　他：地球環境研究論文集, (2009), 17, pp.193-201
2)　森本涼子　他：日本 LCA 学会誌, 7(4), (2011), pp.329-338

雇用の観点から見た切捨間伐材の集材・搬出促進方法の実行可能性評価

Feasibility study of promotional method for collecting and carrying forest post thinning residues from the viewpoint of employment

○小野田 峻[1)]、蔡 佩宜[1)]、田畑智博*[1)]
Shun Onoda,Tsai Peii,Tomohiro Tabata
1) 神戸大学
* tabata@people.kobe-u.ac.jp

1. はじめに

近年、地球温暖化の進行やエネルギーの安全保障の観点から再生可能エネルギーの利用促進が図られている。特に木質バイオマスは、山村地域の活性化や雇用創出効果が期待されるエネルギー源である。現在、林業就業者数の減少や木材価格の低下等の影響により、山中に残された間伐材(切捨間伐材)が約 800 万トン存在する[1)]。これらの切捨間伐材を集材・運搬することで、現状よりもさらにエネルギー利用量の増加が見込める。切捨間伐材の利用促進に関する研究として、辻ら[2)]は建設業から林業への人材移転の考え方を提唱し、その可能性を評価している。しかし、既存研究は全国を対象とした評価であり、地域特性を反映した検討が必要である。また人材移転の実現には、林業や建設業の雇用状況や異産業・異業種参入に対する意識等を把握することが不可欠である。

そこで本研究では、都道府県単位で人材移転可能人員数を推計するとともに、林業や建設業における異産業・異業種参入に関する調査を行い、人材移転の可能性を考察する。

2. 研究の方法

2.1 建設業から林業への人材移転可能人員数の推計

人材移転可能人数の推計方法および推定式は、既存研究[1)]を参考にした。まず、切捨間伐材の集材・搬出に係る必要雇用労働者数(式(1))および建設業の余剰雇用労働者数(式(2))を都道府県ごとに算出する。以下にこれらの推計式を示す。

$$L^{dem}=\{(P\times A)-I\}\div D \quad (1)$$

ただし、L^{dem}：賦存量の観点から切捨間伐材の集材・搬出に係る必要労働人員数[人/年]、P：1ha 当たりの間伐材を素材生産に係る労働投下日数[人・日/ha]、A：切捨間伐面積[ha/年]、I：切捨間伐における労働投下日数[人・日/年]、D：常勤の林業労働者の平均労働日数[日]。なお、切捨間伐面積は集材・搬出の観点から、地理情報システム（GIS）を用いて最大傾斜角度 25° 以下の面積を除き推計した。

$$L_c^{sup}=L_c^{12}-I_c^{12}/a \quad (2)$$

$$a=\max(I_c^{01}/L_c^{01},I_c^{04}/L_c^{04},I_c^{06}/L_c^{06},Ic^{09}/L_c^{09},I_c^{12}/L_c^{12})$$

ただし、L_c^{sup}：土木業の余剰雇用労働者数[人/年]、L_c：土木業の雇用労働者数[人/年]、I_c：土木業の建設投資額[円/年]、a：雇用労働者一人当たり建設投資額[円/人]。

人材移転可能人員数(L[人/年])は、必要雇用人数(式(1))および余剰雇用労働者数(b)のいずれか小さい値とする。例えば、余剰雇用労働者数の方が必要雇用労働者数よりも多い場合は、必要雇用労働者数以上の人材移転は行わない。

2.2 林業および建設業に対するアンケート調査

林業へのアンケート調査は全国の森林組合(送付数 697)を対象に行なった。また建設業へのアンケート調査は兵庫県内の土木建築工事に携わる企業(送付数 789)を対象に行なった。アンケートはすべて郵送で配布し、回答は郵送およびメールとした。林業、建設業ともに、主な質問項目は、①事業状況、②労働力の過不足状況、③「緑の雇用」をはじめとした林業の雇用状況(林業のみ)、④人材移転や異産業・異業種の林業参入に対する考え方である。

3. 結果と考察

3.1 建設業から林業への人材移転可能人員数の推計

建設業から林業への人材移転可能人員数の推計結果のうち、人材移転可能人員数が多かった上位 5 県と、人材移転可能人員数が 0 であった 10 県を**表 1**、**表 2** に示す。

表 1　人材移転可能人員数が多かった上位 3 県

①兵庫県	735 人
②岐阜県	576 人
③岡山県	440 人

表 2　人材移転可能人員数が 0 であった 10 都道府県

北海道	岩手県
宮城県	福島県
東京都	富山県
山梨県	大阪府
和歌山県	沖縄県

表 1 に記載した 3 県はいずれも切捨間伐面積が大きく、また比較的緩やかな傾斜角度の森林が多かった。また、**表 2** に記載した 10 都道府県のうち、岩手県、宮城県、福島県等は、震災復興による建設業の人員不足が深刻であることが影響していると考えられる。このように地域ごとに林業および建設業の現況が異なるため、人材移転可能人員数に大きな差がみられた。

3.2 アンケート調査の結果と考察

林業の回答数は 170(回答率 24.4%)、建設業の回答数は 35(回答率 4.4%)であった。以下では、林業および建設業の労働力の過不足状況について述べ、林業および建設業の人材移転や異産業・異業種に対する考え方について考察する。

①林業および建設業の労働力の過不足状況

図 1 は、林業において現在の労働者数で切捨間伐材の集材・搬出は可能かどうかに関する結果である。**図 2** は、建設業の労働力の過不足状況を示している。建設業は震災復興や新規就業者数の減少などにより労働力が不足している傾向にあるため、建設業から労働力を移転させることは現状では困難といわざるを得ない。

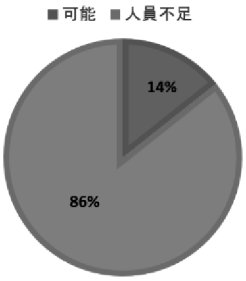


図 1　(林業)現在の従業員数で集材･搬出可能かどうか

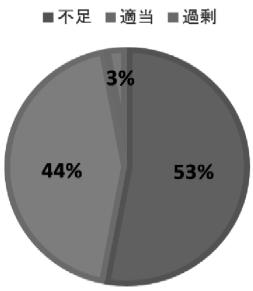


図 2　(建設業)労働力の過不足状況

②林業および建設業の人材移転や異産業・異業種参入に対する考え方

表 3 と**表 4** は林業側が考える林業への異産業・異業種参入の利点と障害、表 5 は建設業側が考える異産業・異業種参入の利点の集計結果の一部である。**表 3** より、林業では人材確保を望む意見が多いため、人材移転に関してもニーズが少なからず存在するといえる。また**表 4**、**表 5** より林業の障害・建設業の利点ともに利益・収益面の意見が最も多いことから、両者の意見が相反していることが分かる。

表 3　(林業)林業に他産業が参入することの利点

労働力の確保、人材不足を補う	12.7%
新しい発想や技術の導入	7.2%
作業道の開設や路網整備が進む	6.0%

表 4　(林業)林業に他産業が参入することの障害

利益追求による森林の質の低下	10.9%
経営の持続性、採算性	9.7%
労働災害の危険性が高い	7.8%

表 5　(建設業)他産業参入の利点

収益の確保、仕事の安定	17.1%
余剰資源（機械、人材）の有効活用	5.7%
雇用の確保	5.7%

4. おわりに

本研究では、未利用の切捨間伐材を集材・運搬する方法を、主に雇用の観点から分析した。人材移転可能人員数に関する結果しては、都道府県単位で人材移転可能人員数に大きな差が出ることが示された。また、アンケート調査で人材移転の可能性を検討したところ、回答数は極めて少なかったものの、建設業では労働力不足が大半を占めていたことから、現状では建設業から林業へ人材移転を行なうことは困難である。しかし震災復興などがある程度落ち着けば、建設業が労働力余剰になる可能性もあるため、人材移転は長期的な視点で検討すべき考え方であるだろう。

また異産業・異業種参入に関しては、林業・建設業両者の危惧する点と期待する点で相反する部分が見られた。この問題を解決するためには地方公共団体などの第三者が、互いの意見を適切に取りまとめることが必要不可欠であると考える。

謝辞

本研究は、ひょうご科学技術協会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) 平成 24 年度　森林・林業白書、林野庁、http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/24hakusyo_h/all/a63.html
2) 辻 佑機，坂口卓司，田畑智博：土木学会論文集 G(環境)、69(5)，(2013)，pp.167-173

下水処理場に於ける微細藻類によるエネルギー製造のインベントリ分析

Energy production from municipal wastewater and waste heat using microalgae

○福島康裕*[1)]、齋藤泰洋 [1)]、青木秀之 [1)]
Yasuhiro Fukushima, Yasuhiro Saito, Hideyuki Aoki
1) 東北大学
* fuku@sis.che.tohoku.jp

1. はじめに

単独では導入が難しいが、複数を効果的に組み合わせることで実装可能になる技術−システム技術は導入が容易でなく潜在的にまだ省エネの余地を残している。

被災した仙台市の南蒲生浄化センターでは、微細藻類からの液体燃料製造を下水浄化と組み合わせるシステム技術の開発と実証を復興プロジェクトの一環として実施している。提案システム [1)] では、ボトリオコッカス（B 藻）による生物学的酸素要求量(BOD)の低減と、オーランチオキトリウム（A 藻）による系外へ排出される汚泥の低減で省エネを達成する。また、B 藻、A 藻が製造するボトリオコッセン、スクアレンという炭化水素を改質し、化石燃料を代替可能で再生可能な液体燃料を生産する。また B 藻は、藻体残渣にアルギナンという炭素と水素の割合が高い固体炭化水素を含むためこれをガス化して水素を製造し改質に用いる。

本研究ではこのシステム技術の開発を支援するためにベンチマークシステムを設計し、実装のために必要となる実験条件の明確化と要素技術の進歩を測るための基準の提出を目的としており、その進捗を報告する。

2. 方法

要素技術の研究グループにインベントリデータ作成の参考となる実験結果や文献を提出していただいた。

2.1 下水処理部

活性汚泥法を想定した。まず、生下水から篩と沈殿でトイレットペーパーなどの固形物（SS）を取り除き一次処理水とし、活性汚泥槽へ投入する。活性汚泥は一次処理水中の有機物等を栄養源として酸素を消費する呼吸作用により増殖することで処理水の BOD を下げるため、活性汚泥槽では曝気が必要であり、また増加する汚泥をシステムから除く必要がある。従って下水の BOD を低減する B 藻培養は曝気及び余剰活性汚泥の脱水，処理に係る負荷を低減する。また提案システムでは初沈汚泥を利用して A 藻培養に必要な糖質や栄養塩を得るため、初沈汚泥の脱水並びに処理に係る負荷を低減できる。活性汚泥の余剰汚泥発生量は、除去する BOD と間接的に比例する。これは除去する BOD は原水中の栄養物量に比例し、余剰活性汚泥発生量は栄養物に比例するためである。ここでは表 1 のような仮定と計算を用いて、BOD 負荷の低減と、初沈汚泥の利用によって回避される脱水電力負荷を求めた。

2.2 燃料製造部

ボトリオコッセン製造: レースウエイでの B 藻培養によって行われる。光合成には光に加え栄養塩も必要なので一次処理水を培地として利用する。B 藻は細胞の増殖が遅いためミルキングという非破壊手法で細胞を活かしたままボトリオコッセンを抽出し、繰り返し利用する。増殖分は乾燥・破砕の上徹底的に抽出し、残渣をガス化に提供する。

水素・培地の製造: B 藻の藻体残渣を水熱処理によって固形物(ガス化→炭化水素の改質に用いる水素を製造)と可溶物(A 藻培養の培地)にわける。A 藻のスクアレン抽出後の藻体残渣も、水熱処理を異なる条件で適用し固形物と可溶物にわける。

スクアレン製造: A 藻は従属栄養性であり、光合成をしないため、培養槽での高集積化培養が可能である。主な栄養源は単糖なので、その確保が鍵となる。提案システムでは、下水処理部で発生する初沈汚泥を用いて糖を含む A 藻の培地を生産する。この技術は既に本プロジェクトにて確立済みであるが、実際にこの培地で大規模培養を行う実証試験の実施が必要である。

改質：本来スクアレン自体は燃料よりも高価な化粧品等の原料になるが下水を原料の一部に用いる提案システムでは安全性の担保に係るコスト、心理的に消費者に受け入れられ難いこと等から燃料とする。藻類油は一度低温低圧で水素化（脱二重結合）後、高温高圧

表 1　下水浄化システムの基準データ

	データ	データソース&計算方法
曝気負荷	1.2 kWh kg-BOD^{-1}	Weidema 1996, http://www.lcafood.dk
濃縮汚泥脱水負荷	5.8 kWh t-wet^{-1}	内田 2009 (下水道機構情報 Vol.3 (9))
脱水汚泥の含水率	0.8 (湿量基準)	本報告による仮定
BOD 汚泥転換率	0.4 g-MLSS g-sBOD^{-1}	本報告による仮定
SS 汚泥転換率	1.0 g-MLSS g-SS^{-1}	本報告による仮定
一次処理水密度	1 kg L^{-1}	本報告による仮定
一次処理水 BOD	200 mg L^{-1}	本報告による仮定
放流水 BOD	10 mg L^{-1}	本報告による仮定
提案系による	11.6×10^{-6} kWh g-sBOD^{-1}	(濃縮汚泥脱水負荷)
脱水負荷回避	29.0×10^{-6} kWh g-SS^{-1}	×(汚泥転換率)×(1-脱水汚泥含水率)$^{-1}$
提案系による曝気負荷回避	0.228 kWh ton^{-1}	(曝気負荷) ×{(一次処理水 BOD) - (放流水 BOD)}

下の水素化分解で炭素数の少ない炭化水素に変換する。

2.3 システム評価

B 藻はミルキングを 6 回繰り返し、毎回 10 日間培養する。培養槽の洗浄、滅菌などの時間も間にとると、70 日程度で 6 サブサイクルが終了する。実証試験設備である 2.5 トンの B 藻レースウエイ培養槽による培養と 30L ジャーファーメンター3 基による A 藻培養を前提に通年（= 5 サイクル）の運転として計算した。

3. 結果

B 藻培養槽のみ導入：下水処理の運用が回避され、ガソリン代替物質は 27kg 製造、水素と培地栄養分が余る。下水からのリン、窒素の除去が行われたと考えればよいが、その場合この培地養分の処理方法を想定すべきである。例えば肥料として有価で販売できれば肥料製造に係る環境負荷の低減分を算定できる。

A 藻培養槽も導入した場合：培地糖分が必要となるため、初沈汚泥を 9 トン（乾燥重量）程度水熱処理の上、硫酸加水分解で糖分を得る。スクアレン由来のガソリン代替物質は 3.6 kg 製造され、水素は製造可能量の半分以上が余剰となる。培地養分については、初沈汚泥の水熱処理で得られた液はそのまま実験で用いられている培地を置き換え可能と判っており、培地も不足しない。むしろ、余剰になる液（B 藻の藻体残渣水熱処理からの液、A 藻の藻体残渣の水熱処理からの液、初沈汚泥の水熱処理で得られる培地栄養分相当液の余剰分）の扱いを決めなくては算定ができない。大量の培地が余るのは、A 藻が必要とする糖分を得る為に必要な大量の初沈汚泥の水熱処理（多糖分解前の前処理）で副生されるからである。付近に食品・飲料工場などがあって排水等から糖分が手に入れば、A 藻培養を拡張でき余剰培地を減らせる。また、土地の制約が許せば糖質作物を作る、あるいは多糖を造る藻類を培養するのも一手である。上記の余剰の液は肥料や培地として利用すればよい。これらのオプションを考慮して、設計に役立てる分析を進める必要がある。

南蒲生の浄水システムにおける培養実証試験の効果(表 2)をみると、全体の電力消費のバランスでは倍賞[1)]も示したように消費電力は大きく、得られる燃料のエネルギーを上回る。一次処理水の活性汚泥処理回避による曝気に要する電力消費の削減分の効果は小さい。一方 A 藻培養による汚泥脱水回避による電力消費削減は比較的高い効果があった。しかし、A 藻の培養に用いるファーメンターの電力消費が過大であり全体としては未だバランスが悪い。レースウエイや送液ポンプなども含め、省エネ型の機器、方式、あるいは運転によって、ここからどの程度の省エネを達成できるか検討する必要がある。多少の培養効率を犠牲にしてでも培養槽の省エネを図る等のシステム設計もありうる。

汚泥の焼却による熱エネルギーの利用が見込めることで培養の温度条件を一定にすること、溶媒回収のための蒸留や、水熱処理、改質など多くの熱需要に伴う外部からのエネルギー資源投入が回避されることが重要である。但し改質においては高い温度が必要になり、そのような排熱が本当に取得可能か検討すべきである。

現時点ではまだ提案プロセスの優位性を示す結果ではないが、攪拌や保温、送液などは大きく最適化の余地を残しており、負荷低減が実現できれば回避電力が投入電力を上回ることも可能であろう。

表 2　実証システム導入のインベントリ関連データ

	単位	評価システム	
		B 藻	B 藻＋A 藻
一次処理水利用量	ton	67.5	67.5
初沈汚泥利用量	ton	0	9.1
B 藻の藻体残渣水熱処理	ton	13.4	13.4
A 藻の藻体残渣水熱処理	ton	0	2.3
初沈汚泥水熱処理	ton	0	1.1
回避電力消費	kWh	**15.5**	**278.1**
曝気	kWh	*15.39*	*15.39*
汚泥脱水	kWh	*0.15*	*262.73*
新増電力消費	kWh	**311.5**	**9104.5**
レースウエイ攪拌	kWh	*197.5*	*197.5*
送液ポンプ	kWh	*114*	*114*
ジャーファーメンター	kWh	*0*	*8793*
ヘプタン消費量	kg	**312.5**	**312.5**
ヘキサン消費量	kg	**113**	**146.5**
余剰水素	kg	**1.4**	**1.7**
余剰培養液（N、P,他の養分）	ton	**13.4**	**16.8**
ガソリン製造量	kg	**27.0**	**30.5**
ボトリオコッセン由来	kg	*27.0*	*27.0*
スクアレン由来	kg	*0*	*3.6*

未算入：【新増投入物質】滅菌用エタノール、セラミックフィルター洗浄用薬液、硫酸、N_2、$CaCO_3$、PSI 凝集剤、Ni-Fe/Mg/Al 触媒【施設関連設備】温室、培養槽、配管、ポンプ、セラミックフィルター、改質反応器、コンクリート基礎など。表中の数字は年間（=5 サイクル）相当。

4. 最後に

LCA は、製品の環境側面の評価だけでなくシステム技術の開発支援にも用いることができる。但し新規システム技術の開発途上において現存する製品との比較で事業継続等の意思決定をすることは得策ではない。開発途上では未だシステム技術は最適化されておらず、従来製品と比べて優位な結果が出なくても、その研究開発を続ける意義があるからである。むしろ、LCA を用いて、部分最適ではなく境界条件に合ったシステム最適を実現する要素技術の開発戦略を提出することが目的となる。LCA を早期に適用することで、システム技術の萌芽を摘むようなことがあってはならない。

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。データや知見の提供をしてくださった筑波大、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のご貢献に感謝いたします。

引用文献

1)　本稿の Supporting Information
2)　倍賞弘平、東北大学修士論文 (2014)

木製治山ダムのライフサイクル炭素収支：いくつかのシナリオ分析

Life-cycle carbon balance of wooden erosion-control dam: some scenario analyses

○長井翔太朗*[1)]、金澤瑛[2)]、明石浩和[2)]、橋本征二[1)]
Shotaro Nagai, Akito Kanazawa, Hirokazu Akashi, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学、2) 京都府農林水産技術センター
* rv0021hr@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

地球温暖化問題の解決が世界的な課題となっている今、低炭素社会の構築が緊急に求められている。省エネルギー製品の開発や普及、再生可能エネルギーの利用推進など数多くの取り組みがなされているが、材料としての炭素排出量が少なく、材料自体が炭素を固定している木材の活用もまた注目されている取り組みの一つである。

中でも土木構造物における木材利用に関しては、土木学会・日本木材学会・日本森林学会による「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」がその普及を提言するなど[1)]、今後の活用ポテンシャルが高い分野として注目されている。同提言においては、木材の価値の定量化とその手法の標準化を図っていくことが必要であるとしており、木材利用の LCA についても更なる事例研究と評価手法の標準化を図っていくことが求められる。

このような背景から、本研究では、土木構造物における木材利用の例として木製治山ダムを取り上げ、そのライフサイクル炭素収支を検討する。木製治山ダムについては、高奥[2)]、細川ら[3)]、Noda et al.[4)]による LCA の報告があるが、木材による炭素固定も含めたライフサイクル炭素収支は、森林の状態や補修の頻度、木材の腐朽状況によっても大きく左右されるため、本研究ではこれらに関するシナリオ分析を行う。

2. 方法

2.1 評価対象ダム

平成 25 年度に、京都府綾部市に建設された木製治山ダムを対象とする。京都府が独自に定めた木製治山ダムの設置基準[5)]を満たしており、京都府下で生産された間伐材を使用している。ダムの体積は 85.9m^3、土砂抑止量は 184.8m^3 である。

2.2 評価対象範囲とシナリオ設定

本研究が評価対象とする森林とダムのライフサイクルを図 1 に示す。橋本と加用[6)]は、バイオマス製品の LCA を実施するにあたって、陸上生態系及びバイオマス製品の炭素ストック量の変化が想定される場合は、これをインベントリ分析の中で適切に考慮すべきであるとしている。本研究では森林と木製治山ダムが固定している炭素ストックがこれに相当するが、本研究ではこれらを評価対象範囲に含めた。森林の炭素ストックを評価する際のベースラインの違い（V、F）、間伐した森林の皆伐後の植林の有無（b1、b2）、ダムの腐朽・分解の状況（c1、c2）、林地・加工残材の燃料利用の有無（d1、d2）によるシナリオを設定した。なお、ダムの寿命は 50 年[2)]、その後は当該地に残置するものとし、評価期間は建設後 100 年とした。

2.3 炭素収支評価手法

(a) 燃料消費等による炭素排出

ダムの積算書を用いて使用資材量を算出するとともに、木材加工会社、建設現場にてデータ収集を行い、MiLCA[7)]を用いて積み上げ法によりインベントリ分析を行った。データ収集については、製材時の歩留まりと電力消費量、建設時の軽油消費量を調査した。維持管理においては、10 年間で建設時の木材使用量の 10%を入れ替えると仮定した。

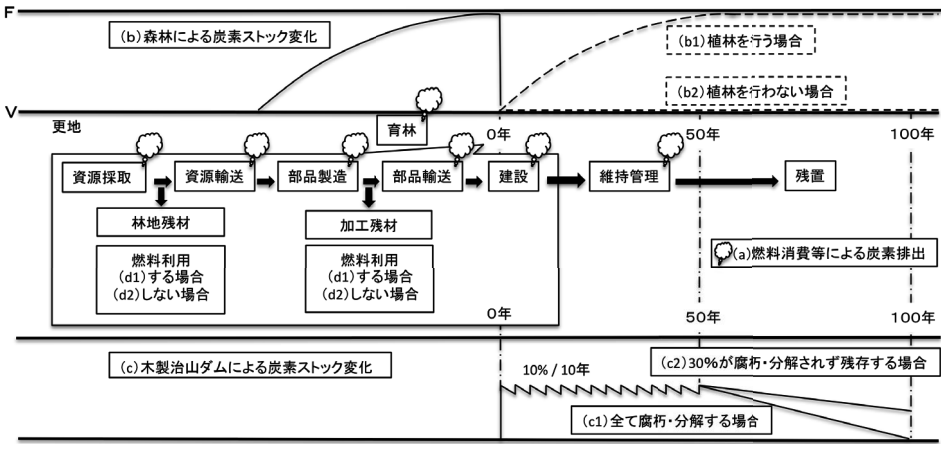


図 1　木製治山ダムのライフサイクルとシナリオ

(b) 森林による炭素ストック変化

木製治山ダムは間伐材を利用しているため、間伐によって森林の炭素ストックがどのように変化するかを検討すべきとも言えるが、これには様々なケースがあると考えられる。一方、植林した多くの木を異なる樹齢で伐採し、異なる木材を森林から生産していると考えれば、間伐された 1 本 1 本の木に着目して炭素ストックの変化を考えることもできる。本研究では、この考え方に立ち、間伐を行った森林が最終的に皆伐された後に、間伐した木に対応する植林を行うか（b1）行わないか（b2）でシナリオを設定した。植林を行う場合には、間伐した木と同じ樹齢（同じ炭素ストック）まで成長すると仮定し、間伐木の炭素ストックの変化のみを考慮した。また、森林の炭素ストックを評価する際のベースラインを、更地（V）とするものと、森林（F）とするものの 2 つを設定した。森林の炭素ストック量は、木製治山ダムの木材使用量、製材歩留りのほか、各種係数[8]を用いて算出した。

(c) 木製治山ダムによる炭素ストック変化

木製治山ダムの炭素ストック量も、その木材使用量のほか、各種係数[8]を用いて算出した。10 年間で建設時の木材使用量の 10%が腐朽・分解し、二酸化炭素もしくはメタンとして大気中に排出されるとした。また、建設後 100 年経った際に、全てが腐朽・分解されるシナリオ（c1）と、建設時に土中に埋めた木材（木材使用量の約 30%）は腐朽・分解されずに残るシナリオ（c2）を想定した。

(d) 林地・加工残材の燃料利用

林地・加工残材をチップ化して燃料利用する場合（d1）としない場合（d2）を想定し、燃料使用した場合に得られる化石燃料代替効果を算出した。

3. 結果と考察

ここでは、**(a) 燃料消費等による炭素排出**の結果と既存研究[2)4)]を比較したものを図 2 に示す。なお、比較を行うためにダムの体積当たり、および土砂抑止量当たりの CO_2 排出量（kg-CO_2/m^3）を示している。また、それぞれのダムを区別するために、京都で建設されたダムを京都型ダムと呼称している。

図 2 より、いずれのダムも原材料の採取・製造・輸送段階の排出量が最も大きい。京都型ダム（本研究）においては、部品製造に伴う排出が大きかった。また、体積当たり、土砂抑止量あたりのどちらで比較しても、秋田型オールウッドダムが最も CO_2 排出量が少ない結果となった。治山ダムの機能をどのように表現するかは議論の余地があるが、土砂抑止量あたりで比較することがより適切と考えられる。ただし、今回は規模の異なるダムを比較していることの影響もある。一般的に規模が大きいほど、単位機能あたりの環境負荷は小さくなると考えられることから、今後は同規模のダムによる比較を行っていく必要がある。このほか、補修の頻度や木材の腐朽状

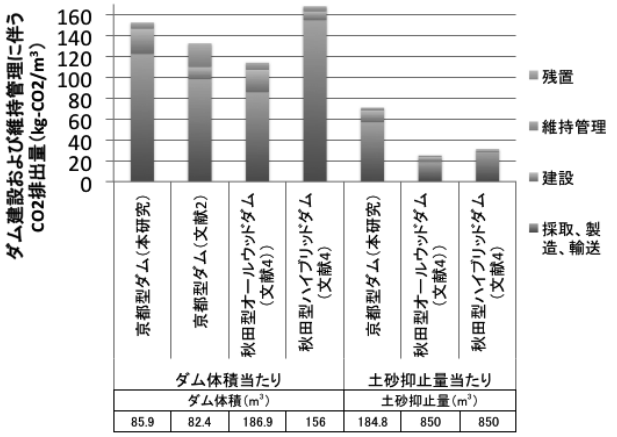


図2 ダム建設および維持管理に伴う CO_2 排出量

況の違いも結果に影響を与えていると考えられる。例えば、高奥[2)]が 10 年で 5%の補修を想定しているのに対し、本研究では 10 年で 10%としている。比較にあたっては、こうした点も考慮する必要がある。

なお、森林や木製治山ダムの炭素ストック量を加えた結果、植林の有無、燃料利用の有無、腐朽・分解の状況等のシナリオを考慮した結果については学会当日に報告する。

謝辞：本研究は、林野庁・環境省「平成 26 年度木材利用推進・省エネ省 CO_2 実証業務」の一部として実施したものである。

参考文献

1) 土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会：土木分野における木材利用の拡大へ向けて、2013（http://committees.jsce.or.jp/mokuzai/node/35）
2) 高奥信也：京都府における木製治山ダム、砂防学会誌、62(6)、pp.59-62、2010
3) 細川大地、高奥信也、橋本征二：木製治山ダム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.376-377、2013
4) Noda, R., Kayo, C., Sasaki, T., Takaoku, S.: Evaluation of CO_2 emissions reductions by timber check dams and their economic effectiveness, Journal of Wood Science, 60, pp.461-472, 2014
5) 京都府：京都府木製治山ダム、http://www.pref.kyoto.jp/forest/mokudamu/damu_index.html、2014 年 11 月アクセス
6) 橋本征二、加用千裕：木材製品の炭素循環の評価方法に関する基礎的検討、木材利用研究論文報告集、10、pp.29-34、2011
7) 産業環境管理協会：http://www.milca-milca.net、2014 年 8 月アクセス
8) 環境省：京都議定書3条3及び4の下での LULUCF 活動の補足情報に関する報告書、2009

新潟県産材を使用した合板の環境影響評価

Determining the Environmental Impact of Plywood Made from Japanese Ceder Tree in Niigata Prefecture

○高村秀紀*1)浅野良晴 1)
Hideki Takamura, Yoshiharu Asano
1）信州大学工学部、信州大学山岳科学研究所
* takam@shinshu-u.ac.jp

1. はじめに

我が国で生産される合板の原料は、これまでロシア産の北洋カラマツが多くを占めていたが、ロシアによる丸太輸出関税の引上げを契機として、合板の素材をスギやカラマツ等の国産材針葉樹に転換する動向が急速に進んでいる [1)]。県産材に着目すると、新潟県の森林蓄積量は年々増加しており、木材製品としての利用が期待されている [2)]。木材製品の利用促進の一つとして、環境負荷の定量化が挙げられる。しかし、木材製品である合板の環境負荷を定量化した事例は少ない [3),4)]。よって本研究は、新潟県産材を使用した合板の環境負荷を定量化することを目的とする。

2. 合板工場における調査概要

調査の対象範囲は商品種別算定基準 [5)]で定められた合板の製造段階のうち原料調達段階から生産段階までを対象に調査を行った。図 1 に合板の調査対象範囲を示す。調査対象位置は図 S1 を参照。合板は、ロータリーレースと呼ばれる機械で原木を剥皮して薄い単板を製造し、奇数枚の単板を接着剤で貼ることで製造される。調査対象とした合板の仕様は、フェイスバックに南洋材の単板 0.85mm を 2 枚、中板に新潟県産スギの単板 3mm を 2 枚、ロシアカラマツの単板 1.7mm を 1 枚貼りあわせる仕様となっている。詳細は図 S2 を参照。

2.1 歩留まりの算出

長さ 2m の丸太 5 本分について単板製造前後と仕上げ前後の木材の重量及び材積量の計測を行った。そして各工程における歩留まりを算出した。表 1 に各工程における歩留まりの結果を示す。丸太から製品までの総歩留まりは、材積量歩留まりが 0.61、重量歩留まりが 0.23 となった。

2.2 出荷材積量あたりの燃料消費量

新潟県産スギを使用した合板の年間の出荷材積量を販売清算書から明らかにし、電力消費量は電力会社からの請求伝票から明らかにし、軽油消費量は領収書から把握した。結果を表 2 に示す。ロータリーレース等に電気が使用され、工場内で使用されるフォークリフトに軽油が使用されていた。

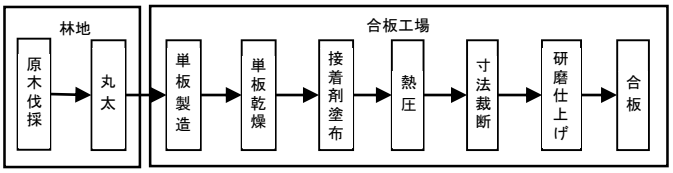


図 1　調査対象範囲

表 1 各工程における歩留まり

個体番号	皮剥工程		単板製造工程		単板乾燥工程		寸法裁断工程		仕上げ工程	
	材積量歩留まり	重量歩留まり	材積量歩留まり	重量歩留まり	材積量歩留まり	重量歩留まり	材積量歩留まり	重量歩留まり	材積量歩留まり	重量歩留まり
1	0.98	0.93	0.52	0.73	1.00	0.33	0.97	0.91	1.00	0.99
2	0.96	0.92	0.79	0.70	1.00	0.39	0.97	0.91	1.00	0.99
3	0.99	0.92	0.62	0.75	1.00	0.39	0.97	0.91	1.00	1.00
4	1.00	0.94	0.69	0.75	1.00	0.39	0.97	0.91	1.00	1.01
5	0.99	0.93	0.57	0.75	1.00	0.34	0.97	0.90	1.00	1.00
平均	0.98	0.93	0.64	0.74	1.00	0.37	0.97	0.91	1.00	1.00

表 2 出荷材積量当たりの燃料消費量

		H23年度	H24年度	平均
年間電気使用量	kWh	—	8,035,770	8,035,770
年間軽油消費量	L	61,000	60,000	60,500
出荷材積量	㎥	69,529	51,787	60,658
出荷材積量当りの電気使用量	kWh/㎥	—	155	132
出荷材積量当りの軽油消費量	L/㎥	1	1	1

表 3 合板１㎥製造時の材積量・重量・炭素固定量の変動

項目		樹種	伐採	造材	保管	単板製造	接着剤塗布	仕上げ
材積量	㎥	新潟県産スギ	1.1	0.9	0.8	0.5	0.5	0.5
		ラワン	—	—	0.5	0.3	0.3	0.3
		カラマツ	—	—	0.3	0.2	0.2	0.2
重量	t	新潟県産スギ	1.1	1.0	0.9	0.6	0.2	0.20
		ラワン	—	0.4	0.4	0.3	0.1	0.09
		カラマツ	—	0.5	0.4	0.3	0.1	0.09
炭素固定量	t-C	新潟県産スギ	0.19	0.15	0.14	0.09	0.09	0.08
		ラワン	—	—	0.12	0.08	0.08	0.08
		カラマツ	—	—	0.10	0.06	0.06	0.06
炭素固定割合		新潟県産スギ	1.4	1.1	1.0	0.6	0.6	0.6
		ラワン	—	—	1.0	0.7	0.7	0.6
		カラマツ	—	—	1.0	0.6	0.6	0.6

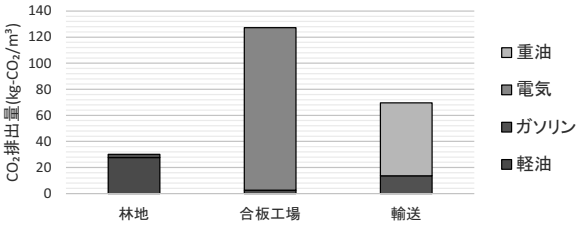


図 2　合板 1 ㎥製造時の CO_2 排出量

3. 合板 1m³ 製造時の CO_2 排出量の算出

伐採工程から仕上げ工程までの材積量と量及び炭素固定量の変動を表 3 に示す。伐採工程における CO_2 排出量について、新潟県産スギは著者ら [6)]における新潟県下越地域の林地での実測調査の結果を使用した。南洋材及びロシアカラマツについては既往の研究 [7)]の南洋材、ロシアカラマツの調査結果をそれぞれ使用した。

合板製造工程における CO_2 排出量は、2 章で算出した出荷材積量あたりの燃料消費量に、原単位[注 1)]を乗じることで算出を行った。運搬工程における CO_2 排出量はウッドマイルズ関連指標算出マニュアル[8)]に従って算出した。輸送距離は新潟県産スギについては新潟県下越地域の林地から調査対象の合板工場までの距離を地図から求めた。下越地域の林地から合板工場までの距離は 60.4km となった。南洋材、ロシアカラマツについては既往研究[7)]における輸送距離を使用した。接着剤における CO_2 排出量については既往研究[9)]におけるメラミン・ユリア共縮合樹脂接着剤のインベントリ分析結果に原単位[注 1)]を乗じたものを使用し算出を行った。合板 1m³製造時の CO_2 排出量の結果を図 2 に示す。合板 1m³ 生産時の CO_2 排出量は 173.9kg-CO_2/m³となった。

4. 合板 1m³ 製造時のカーボンバランスの算出

4.1 原木 1 本の利用用途内訳

燃料消費や端材による CO_2 排出量の総量に対して、合板が負担する割合を算出する為、原木 1 本に対する端材の割合を算出した。また、端材の利活用状況についてアンケート調査を行った。発生する端材のうち他産業で使用される端材による CO_2 排出量は合板が負担しないものとするが、今回調査対象とした合板工場では、発生した端材の全てが自社で蒸気式乾燥の燃料として使用されていた為、燃料消費や端材による CO_2 排出量は、すべて合板が負担するものとした。

4.2 カーボンバランスの算出

4.1 で算出した新潟県産スギを使用した合板生産時の CO_2 排出量に端材調査の結果を反映させ、合板 1 m³ の CO_2 吸収量[注 3)]をプラス、燃料消費による CO_2 排出量及び、林地または合板工場で発生した端材による CO_2 放出量をマイナスとして差引することにより、カーボンバランスを算出した。なお、本研究でのカーボンバランスの範囲は原料調達段階から生産段階までとした。図 2 の合板の生産段階での CO_2 排出量に、合板が負担する CO_2 排出割合を掛け合わせ、燃料や電気消費による各工程での CO_2 排出量とした。林地で放置された林地残材による CO_2 排出量[注 4)]を、端材による CO_2 排出量とした。本調査では発生した端材の全てが自社で蒸気式乾燥の燃料として使用されていた為、端材による CO_2 排出量はすべて合板が負担するものとした。実測調査で得られた全乾比重をもとに CO_2 吸収量を算出し、CO_2 吸収量から燃料や電気消費による各工程での CO_2 排出量と端材による CO_2 排出量を差し引いた合板 1m³ 生産時のカーボンバランスを算出した。結果を表 4 に示す。

表 4 カーボンバランス

CO_2吸収量(kg-CO_2/m³)		810.3
燃料消費による CO_2排出量(kg-CO_2/m³)	林地における燃料消費によるCO_2排出量	−30.9
	運搬工程における燃料消費によるCO_2排出量	−70.6
	合板工場における燃料消費によるCO_2排出量	−135.9
端材による CO_2排出量(kg-CO_2/m³)	林地における端材によるCO_2排出量	−60.5
	合板工場における端材によるCO_2排出量	0
カーボンバランス		512.5

表 5 統合化の結果

影響領域	統合化結果(円/m³)
地球温暖化	286
有害化学物質	1
生態毒性	0
酸性化	16
光化学オキシダント	3
廃棄物	0
資源消費	60
都市域大気汚染	187

5. LIME による環境影響評価

本研究では CO_2 以外の環境負荷も考慮できる環境影響評価手法である LIME による環境影響評価を行った。インベントリ分析にはフォアグラウンドデータとして既往研究[6)]及び本研究における実測調査に基づいた調査結果を用いた。またバックグラウンドデーとして LCA 計算支援ソフト JEMAI-LCA Pro 付属のインベントリ分析データベース[注 5)]を用いて行った。統合化の結果、合板 1 m³製造時の環境影響への被害金額は 538 円/m³となった。統合化の結果を表 5 に示す。主な環境影響は都市大気汚染及び地球温暖化であった。また主な被害項目は社会資産であった。

6. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

1)実測調査の結果から丸太から製品までの総歩留まりは、材積量歩留まりが 0.61、重量歩留まりが 0.23 となった。

2)合板工場における実測調査による調査結果から、合板 1m³ 生産時の CO_2 排出量は 173.9kg-CO_2/m³ となった。

3)本研究で調査を行った合板のカーボンバランスは＋513.0kg-CO_2/m³となり、カーボンポジティブとなった。

4)LIME による環境影響評価を行った結果、合板 1 m³ 生産時の被害金額は 538 円/m³となった。また、主な環境影響は都市大気汚染及び地球温暖化であった。

謝辞
調査を実施するにあたり、新潟県の合板工場関係者各位に多大なる協力を得た。ここに深く感謝の意を記す。

注釈
注 1) CO_2 排出原単位は環境省のデータベース算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧(2010/04/01)及び東北電力の 2011 年度の原単位を用いた。軽油は 2.58 kg-CO_2/L、灯油は 2.49 kg-CO_2/L、ガソリンは 2.32 kg-CO_2/L、電気は 0.547 kg-CO_2/kWh とした。
注 2) 2013 年日本建築学会公表の CO_2 排出原単位を用いた。
注 3) CO_2 吸収量の算出式を下に示す。全乾比重は表 S1 を参照。
CO_2 吸収量(kg-CO_2)＝全乾比重(t/m³)×0.5×1000×(44/12)
注 4) 林地残材による CO_2 排出量の算出式
$Ew=V\times D\times C\times \alpha \times 1000$ ・・・・・(式 S1)
ただし、
Ew：林地残材による CO_2 排出量[kg-CO_2/m³]
V：伐採工程で生じる端材の材積量[m³]
D：原木の全乾比重 0.33 [t/ m³]
C：炭素含有率 0.50 [t-C/t]
α：CO_2 換算係数 44/12 [t-CO_2/t-C]
注 5) 社団法人産業環境管理協会による LCA 支援ソフトウェア JEMAI Pro を用いて算出を行った。

参考文献
1) 平成 21 年度 森林・林業白書 全文 (HTML 版)：平成 22 年 4 月 27 日公表
2) 新潟県：平成 23 年度新潟県の森林・林業(資料編)，2012. 3
3) 渕上祐樹, 他：木材製品の製造プロセスにおける CO_2 排出量の評価 日本建築学会環境系論文集 75(655), 861-867, 2010-09
4) 古俣寛隆, 他：製材、集成材及び合板製造における温室効果ガス排出量の算出とその方法に関する諸課題 林産試験場報 (539), 1-5, 2010-03
5) 社団法人産業環境管理協会:CFP プログラム, <http://www.cfp-japan.jp/info/index.php>, (参照 2013.1.10)
6) 上田智輝, 他：木造住宅に使用される越後スギのライフサイクルアセスメント調査その 1 4 事例を対象とした製材 1 m³製造時の材積量と炭素固定量及び燃料消費量の把握, 日本建築学会学術講演便概集 2013.07, 1001-1002
7) 伊香賀, 他：輸入木材の LCA データベースの構築 日本建築学会技術報告集 2010.6, 609-614
8) ウッドマイルズ研究会:ウッドマイルズ関連指標算出マニュアル Ver.2008-01, pp. 1-8, 2008.7
9) 服部剛昭:木質材料に使われる接着剤のインベントリ分析 木材学会誌 vol52, No4, p235-240. 2006

木質発電施設および CHP 施設から製造されるエネルギーの GHG 排出量

Greenhouse Gas Emissions of Energies Generated Power Plants and CHP Plants Using Wood Biomass

○古俣寛隆*[1)]、石川佳生 [1)]、石河周平 [1)]
Hirotaka Komata, Yoshio Ishikawa, Syuhei Ishiko
1) 北海道立総合研究機構林産試験場
* komata-hirotaka@ hro.or.jp

1. はじめに

2012 年 7 月から FIT (Feed-in Tariff) が開始されたことで木質バイオマス発電に注目が集まっている。発電時の木材燃焼から排出される CO_2 はカーボンニュートラルと見なされるが、木材の収集および輸送には化石資源が投入されるため、LCA (Life Cycle Assessment) による判断が必要である。一方、木材をエネルギーとして利用する場合には、熱利用も重要である。それは、熱は電力よりもエネルギー変換効率が高く、化石燃料を由来とするエネルギー製造システムに対してより高い排出量削減効果が期待できるためである。

本研究では、木質発電施設および CHP (Combined Heat and Power：熱電併給) 施設により製造されるエネルギーの温室効果ガス (Greenhouse gas：GHG) 排出量を算出した。機能単位あたりの GHG 排出量を、化石燃料を由来とするエネルギー製造システムのそれと比較し、両者の排出量削減効果を明らかにした。

2. 方法

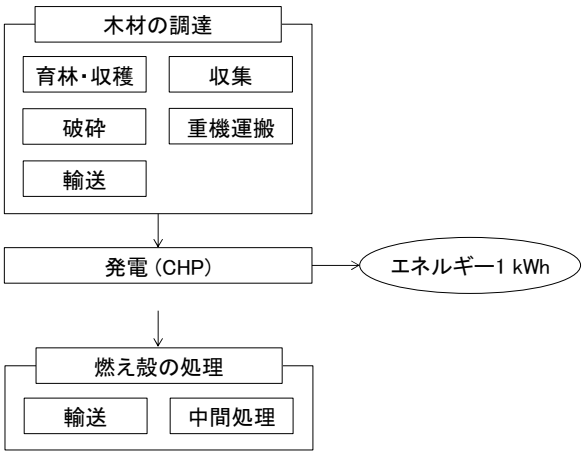


図 1　システム境界

図 1 にシステム境界を示した。機能単位には、製造した電力あるいは電力および蒸気を合計したエネルギー1 kWh を設定した。燃料となる木材は、いわゆる林地残材 (立木を丸太にする際に出る枝葉や梢端部分、森林外へ搬出されない間伐材等、通常は林地に放置される残材) と利用間伐材・主伐材とした。林地残材の調達に係る燃料消費量は、北海道内の 8 現場から得た加重平均値を用いた。利用間伐材・主伐材の調達に係る燃料消費量は、文献値 [1)]から平均的な施業モデルを設定して引用した。木材の輸送は、積載率 80%の 10 トントラックで 50 km として往復 (片荷) を考慮した。燃え殻の発生量は燃焼質量の 2%として、輸送は木材の輸送と同様のシナリオを設定した。

評価は以下のシナリオに基づき実施した。木材が 10 万 m^3 集荷される地域を想定し、発電施設に用いる場合 (シナリオ 1) と CHP 施設に用いる場合 (シナリオ 2) の 2 つのシナリオを設定した。木材は、林地残材が 2 割、利用間伐材・主伐材が 8 割とした。CHP 施設では、それぞれ 0.6MPa、18 t/h の抽気蒸気を利用するものとした。なお、この抽気蒸気によって、年間で合計約 10 万 m^3 の木材乾燥が可能であり、これは国内の大型製材工場の木材乾燥量に相当する。ボイラーの温度、圧力、蒸気量等の必要なパラメータは同規模の各既存施設の値やヒアリング値を参考にした (ボイラースペックの設定値の例：温度 450℃、圧力 5.4 MPa、蒸気量 25 t/h)。発電プラントの稼働日数は 340 日/年、木材の容積密度は 350 kg/m^3、燃焼時の含水率は 50% (乾量基準) とした。発電効率や総合効率の推計には、財団法人省エネルギーセンターの省エネ計算ツールエネカルク Ver.3[2)]を用いた。インプットデータは(一社)産業環境管理協会の LCA 算定支援ソフト MiLCA (クライアント Ver.1.1.3.5、マスタ・データベース構造 Ver.1.2.4、IDEA Ver.1.1.0) を用いてモデル化し、インベントリ分析および特性化を実施した。比較を行う化石燃料のシステムの原単位には、電力は北海道電力、蒸気は C 重油ボイラーによるものを引用した。

3. 結果と考察

表 1 に推計された各施設の規模と効率を示した。木質発電施設および CHP 施設の発電出力は、それぞれ 5464 kW、3127 kW と推計され、CHP 施設では発電施

設よりも発電出力が 43%低かった。また、送電端発電効率についても、発電施設の 18.7%に対し、CHP 施設では 11.6%と 38%低く推計された。以上のように、電力の製造に関しては、CHP 施設よりも発電施設の方 (発電のみを行う方) が能力は高くなった。しかしながら、熱利用効率を含めた総合効率は、CHP 施設は 61.8%となり、発電施設の 18.7%よりも 3 倍以上高くなった。

表 1　推計された各施設の規模と効率

			木質発電	木質CHP
発電出力		kW	5464	3127
発電効率	発電端	%	22.0	13.6
	送電端	%	18.7	11.6
熱利用効率		%	0.0	50.2
総合効率		%	18.7	61.8

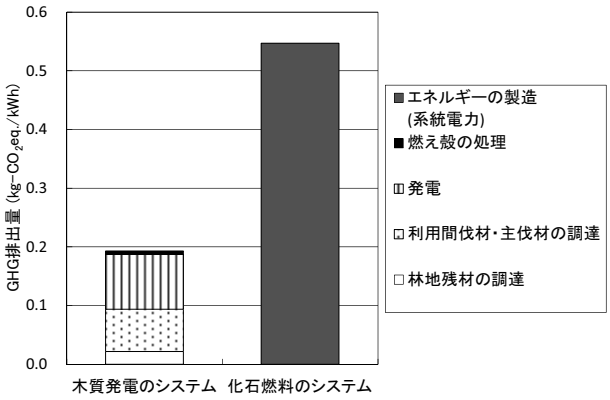


図 2　シナリオ 1 の GHG 排出量

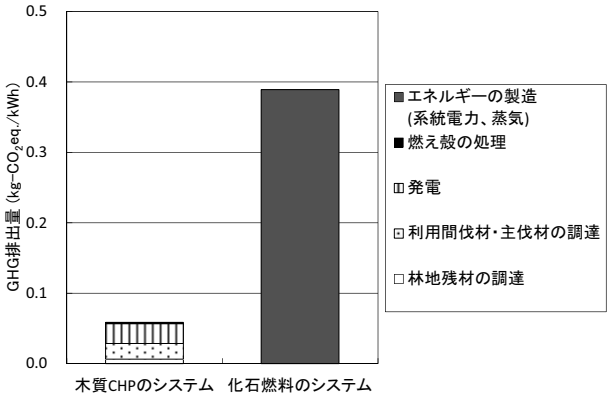


図 3　シナリオ 2 の GHG 排出量

これら効率等の前提条件から機能単位あたりのインプットデータを求め、インベントリ分析および特性化を実施した。

シナリオ 1 および 2 の GHG 排出量を図 2 および 3 に示した。木質発電のシステムの GHG 排出量は 0.193 kg-CO_2eq./kWh と算出された。対して化石燃料のシステム (ここでは北海道電力) のそれは 0.547 kg-CO_2eq./kWh となり、木質発電施設による電力は商用電力と比べて 65%の排出量削減効果が認められた。排出内訳を見ると、最も排出割合が高かったプロセスは、発電プロセスであり全体の 48%を占めていた。次に高かったのは、利用間伐材・主伐材の調達プロセスであり 37%を占めていた。発電プロセスからの GHG 排出量の約半分は、木材の燃焼による CH_4 に起因していた。木材燃焼による CO_2 はカーボンニュートラルと見なされカウントされないが、木質発電による GHG 排出量にとって、木材燃焼からの CH_4 の影響は小さくないことが分かった。

一方、電力と熱を製造する木質 CHP のシステムの GHG 排出量は 0.0584 kg-CO_2eq./kWh と算出された。排出量をシナリオ 1 の電力のみを製造する木質発電のシステムと比較すると、総合効率に反比例して低くなっていることが分かる。また、排出内訳に占める各プロセスの比率はシナリオ 1 の場合と同じである。対して化石燃料のシステムの GHG 排出量は、0.389 kg-CO_2eq./kWh であり、シナリオ 1 の場合よりもさらに大きい 85%の排出量削減効果が認められた。

4. まとめ

従来の化石燃料を由来とするエネルギー製造システムに代わって、木質発電や木質 CHP を導入することで多くの GHG 排出量が削減可能なことを定量的に示した。また、熱需要の時間的、空間的マッチングが必要不可欠ではあるものの、発電のみを行うより、熱電併給を行う方がより多くの削減効果が得られることも示した。

引き続き、評価方法の精査を行うとともに、FIT による売電や熱利用における事業採算性および地域にもたらす経済波及効果も合わせて評価し、木材の利用方策等について検討していく。

5. 引用文献

1) 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
2) 小西二郎, “省エネ計算ツールエネカルク Ver.3 徹底解説”, 財団法人省エネルギーセンター, 東京, (2010)

[謝辞]　本研究は JSPS 科研費 25450249 の助成を受けて実施しました。ここに記して感謝いたします。

鉄鋼材ストック・フローに着目した需要量が変遷する要因の分析

An Analysis of Changes in Steel Demand Based on Steel Stock and Flow

○舟田享史*[1)]、醍醐市朗[1)]、後藤芳一[1)]
Takashi Funada, Ichiro Daigo, Yoshikazu Goto
1）東京大学工学部マテリアル工学科
＊ funada@mfa.t.u-tokyo.ac.jp

1. 諸言

現在、鉄鋼材の年間生産量は約 15 億トンと他の金属材料と比較しても大きく、資源をより効率的に利用することが求められる。需要量の時系列変化について、1 人あたり GDP に対する 1 人あたりの素材消費量の経年変化が逆 U 字型になるという使用強度(IU: Intensity of Use)仮説がある[1)]。既存研究では、特定の国や地域を対象として、1 人あたり所得や時間の変化に対する素材 IU の定量的分析[1)]や、産業構造に応じた IU 仮説の適用可能性の検討[2)]が実施されてきた。

総務省統計局の財の分類に、資本（投資）財と生産財という区分があるように、素材の需要にも、インフラ整備に必要な素材(資本材)と消費者向けの素材(消費材)に分類できると考えられる[3)]。様々な用途別の需要量の時系列変化に注目すると、IU 仮説に示されているような需要ピークに関して、資本材が需要ピークを示した後に消費材が需要ピークを示すことが観測されている[3)]。しかし、その変遷の要因は明らかになっていない。本研究では、鉄鋼材需要量が変遷する要因の分析を目的とする。

2. 研究手法

2.1 手法の概要

本研究では、先述の資本材と消費材の役割の違いに着目した。資本材と消費材を区別し、資本材ストック量の増加と、フロー量である消費材の需要量の増加の関係を分析した。

2.2 資本材と消費材

各製品用途を資本材と消費材に区分することを考えたとき、同じ製品であっても用途先に応じて両方の側面を持つ用途も多いと考えられる。例えば、電球が信号機に利用される場合、交通インフラの整備に寄与するため資本材と理解できる一方、家庭に利用される場合は消費材と理解できる。特に、本研究では、用途は、統計の区分に従うため、種々の製品を統合した統計の用途区分では、各用途の全消費量が、資本材か消費材かのどちらかに属することは多くないと考えられる。このような課題はあるものの、主に資本材としての利用が多いと考えられる用途を資本材として分類することとした。

本研究では、鉄鋼受注統計の 99 用途区分のうち、使途不明分と販売業者向を除いた 92 用途に鋼材需要量を区別した。それらの用途を、需要量ピークの時期と平均使用年数の組み合わせにより、資本材と消費材に分類した。需要量ピークの時期は、先行研究から、資本材の需要ピークが来た後に消費材の需要ピークが来ることが観測されているため、需要ピーク時期の早いものを資本材、遅いものを消費材とすることを考えた。また、平均使用年数に関しては、インフラ整備向けの鉄鋼材は、消費者向けの鉄鋼材より平均使用年数が長いことを想定し、平均使用年数の長いものを資本材、短いものを消費材とすることを考えた。ただし、全ての用途を資本材か消費材に分類せず、上記の条件で判別できない用途はどちらにも分類しなかった。

2.3 需要量とストック量の推計

需要量は、受注統計から 1969 年～2012 年の統計値と、1958 年～1968 年は用途区分の異なる同統計を加工し、接続することで用いた。ストック量の算出は、先の受注量と、ワイブル関数を用いた使用年数分布を用いて、動的分析により推計した。

2.4 資本材ストック量と消費材需要量の関係

本研究では、資本材ストック量を説明変数、消費材需要量を目的変数とした重回帰分析を行い、消費材の需要変遷を説明できる可能性のある資本材を各消費材に対して抽出した。分析対象期間は、ストック量の増大と消費材需要の増加に着目するため、各消費材の需要の立ち上がりから最初にピークを迎える年までとした。本研究では需要量を用いてストック量を算出する手法をとったことと、需要の増加期間を分析対象期間としたことから、各用途の資本材ストック量は総じて増加傾向を示すため、多重共線性の発生が想定された。また、需要の増加期間を分析対象期間としたことから、各資本材ストック量と各消費材需要量の間には、正の相関がみられることが想定される。そのため、説明変数の抽出において、負の回帰係数を示したものを除外し、全てが正の回帰係数を示すデータセットになるまで説明変数を減らす手法（変数減少法）を採用した。

完成したデータセットの中で、説明変数の有意性を示すｔ値が 2 以上となったものを、説明力のある変数として決定した。また、資本材ストック量と消費材需要量の関係について、1. インフラの整備が消費材の需要を喚起する、2. インフラの整備と消費材の需要が同時に増大する、3. 消費材需要の増大がインフラの整備を喚起する、の 3 つのケースが想定される。そのため、説明変数の時系列を目的変数の時系列に先行させる、一致させる、遅行させる、の 3 つのケースについて分析した。

3. 結果と考察

3.1　資本材と消費材の分類

需要がピークとなる可能性のある期間は 1958～2012 年であり、平均使用年数は 1～52.5 年の幅があることを考慮し、ピークとなる時期がより早く(1958 年)、平均使用年数がより長い（52.5 年)ものが資本材であり、逆に時期が遅く使用年数が短いものが消費材と考え、時期から使用年数を引いた数値が小さいものから順に 11 用途を資本材、大きいものから順に 7 用途を消費材とした。選定した数については、その次の順位のものとの差が大きかったため、その用途までを選定した。以下に、選定された用途を列記した。

【資本材】

22. 港湾　　27. 水道業　　24. 鉄道
25. 電力業・通信業＜電・通＞　　17. 鉄鋼業
3. 鉱工業・農林水産業建築物(基礎杭)＜鉱農建＞
4. 鉱工業・農林水産業建築物(その他用)
19. 石油精製業・化学工業＜石化業＞
20. その他民間土木＜他民土＞
42. パルプ製紙機械・器具＜紙パ機＞
37. 金属加工機械及び金属工作機械＜金工機＞

【消費材】

52. 厨房機械(業務用)＜厨房機＞
60. バルクキャリアー＜バルク＞
61. その他船＜他船＞
65. 乗用車　　67. 軽四輪車＜軽四輪＞
75. 食缶　　91. 金型用＜金型＞

表 1 と図 1 においては、紙面の制約から、カッコ内の略称を用いた。

3.2　資本材ストック量と消費材需要量の分析

各消費材に対し、説明変数として有意であると認められた資本材を表 1 にまとめた。バルク船やその他船の船舶に関する消費材が、それらが利用するインフラである資本材としての港湾により説明されたことがわかる。用途によっては、需要量の増加とインフラの整備に相関があることが示唆された。これは、時系列でのストック量、需要量の変化において、港湾のストック量と船舶の需要量の間に類似性があることを示している(図 1)。ただし、需要量はストック量に比べて変動幅が大きいことを考慮する必要もある。需要量が短い期間のピークや谷を示したとき、類似した変化を示すストック量があれば、それが説明変数として抽出されてしまうことがある。例えば、食缶の説明変数として港湾が抽出された（表 1)が、両者の需要量、ストック量が 1970 年あたりから著しく増加しており、その期間の類似(図 1)がこの結果につながったと考えられた。

表 1. 各消費材の説明変数

	2年先行	1年先行	一致	1年遅行	2年遅行
厨房機		電･通			鉄鋼業
バルク	港湾		石化業	港湾	石化業
他船	港湾	港湾	港湾	他民土	港湾
乗用車	鉱農建	鉱農建	鉱農建 石化業		金工機
乗用車(国内)	鉱農建	鉱農建	鉱農建	鉱農建	紙パ機
軽四輪	鉄道	鉱農建	鉄道		鉄道
食缶	石化業	水道業	港湾	他民土	他民土
金型	他民土	水道業	港湾	電･通	電･通

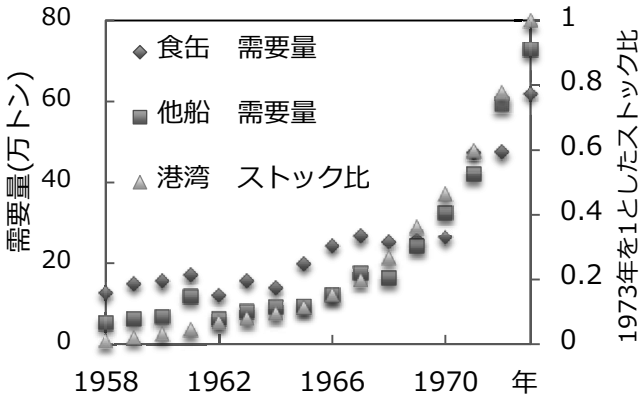


図 1. 資本材ストック比と消費材需要量

4. 引用文献

1) P. Crompton: Resour. Policy. 26, 103-114, 2000
2) I. O. Soile: Int.　J of Energy Economics and Policy. 3, 1-9, 2013
3) 藤原亮: 東京大学工学部マテリアル工学科卒業論文, 2014

ネットワーク理論を用いた国際的なレアメタルフローの特性化

Characterization of global rare metal flows with network theory

○宮田恭輔*[1)]，南齋規介[2)]，東野 達[1)]
Kyosuke Miyata, Keisuke Nansai, Susumu Tohno
1) 京都大学, 2) 国立環境研究所
* miyata.kyosuke.82e@st.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

近年，省エネ製品の需要拡大に加え，新興国や途上国の経済成長の発展により，金属資源の需要が更に増加すると予想される。金属資源のなかでもレアメタルは希少資源であるため，消費できる量に限りがあることから，効率の良い使用が求められている。そのため，国際貿易を通じて流通する資源量や国内の資源流通形態について数多くの議論が進められている。 森口[1)]は，国連貿易統計から抽出，推計した主要自然資源についての貿易データを地図および表の形で収録している。また，Graedel ら[2)]の，コバルトを使用する主要3カ国及び全球においてライフサイクルの段階別に，それらの蓄積量を計算した研究例がある。更に，穀物の貿易フローの構造特性を求めるためにネットワーク分析を応用した研究例もある[3)]。しかし，世界全体である1つの金属資源を対象として，貿易の要となる国々を明らかにしたり，貿易ネットワークの構造特性を解明した研究例はない。

本研究では，現代社会に不可欠で，採掘可能な国が限られている金属元素という観点からコバルト，プラチナ，ネオジムに対象を絞り，レアメタルの貿易フローに対して加重・非加重条件の両方で貿易ネットワーク構造を考えることにより，通常のマテリアルフロー分析では明らかにならない構造特性を明らかにする事を目的とする。その為，ネットワーク分析を用いて貿易ネットワークを考察する。本研究の結果より，金属資源の貿易ネットワークの要となる国を見つけ出し，世界全体の供給体制の脆弱性を評価することにより，紛争や災害時でも世界全体に安定的に金属資源を供給する対策を提案できると考えられる。

2. ネットワーク分析方法

2.1 中心性分析

ネットワーク分析を用いた既存の研究[3)]では，各国の次数と媒介中心性との値の相関関係から Core を算出している。この Core とは，貿易ネットワークの中で多くの国の中継地点であり，その中でも特に重要な数カ国を Core としている。

国際的な金属資源のフローの場合，国を点（node）とし，国と国の金属資源のフローを線（arc）として図1のようなネットワークで表せる。Core を抽出するために，用いる手法は①入次数中心性，②出次数中心性，③媒介中心性の3つとする。入次数中心性とは，「入次数が大きいほど中心性が高くなる」という計算手法である。また，出次数中心性は，「出次数が大きいほど中心性が高くなる」となっており，図1（左図）の入次数3の C が最も入次数中心性が高く，出次数2の D 国が出次数中心性が最も高いと計算される。媒介中心性は「全最短経路中にあるノードを通る経路の割合」であり，図1（右図）で任意の点 A から E への最短経路を考える場合，A，E を含まないそれぞれの点の媒介中心性の値が計算され，この図では B が2回で最大値となる。なお，本研究でネットワーク分析に用いるソフトウェアは Pajek[4)]である。

2.2 トライアド分析

トライアド分析とはネットワーク内の推移性を明らかにするために通常用いられる手法である。多くのネットワークはその内で，いくつかの小集団を形成すると予想されるが，それらがどの様に繋がっているかを明らかにする事ができる。例えば，小集団同士の繋がりが階層的になる場合もある。それらの様々なネットワークの構造的な特性を明らかにするために，トライアド分析が用いられている。その中で，SNS や生物の神経ネットワーク，穀物貿易のネットワーク[3)]を用いた分析例がある。本研究でも金属資源ネットワークの構造特性を明らかにするためにトライアド分析を行う。

一般的なトライアド分析ではバランス理論を用いて行われている[5)]。バランス理論では，図3の右上にある16種類の三角形のパターンが全体に占める割合により、横軸にあるぞれぞれのモデルに分類できる。ノード間の相互フローの最小単位は3点からなるトライアドのパターンのいずれかに属することからネットワーク全体を調べずとも，これらトライアドの型がネットワーク内にそれぞれ存在する数 n とそれぞれの期待値 e を比較することによって，ネットワークがどのような推移モデルであるかを明らかにすることができる。各クラスタ間を含めた全体の関係性をみることにより，中心性分析で求めた Core を含めた貿易ネットワーク全体がどのように推移しているのかを検証する。

2.3 解析データ内容

本研究で使用するデータは南斎ら[6]が 2005 年の国際貿易統計 BACI を元に製品中に含まれる金属量を考慮し算出したものである。また，これらは 231 の国と地域を対象としており，Co，Nd，Pt の金属ごとに算出している。本研究では商品分類ごとにネットワーク分析を行うため，国際標準的な貿易分類コードである 6 桁の HS コードの上 2 桁ごとにまとめる。全商品の金属量を合計したデータとそれぞれの商品分類ごとのデータでそれぞれネットワーク分析を行う。

3. 結果・考察

表 1 に各製品に含まれる金属量を考慮したコバルトの貿易量をランキング形式で示す。更に，図 2 に全製品に含まれるコバルト合計量のフローの中心性分析の結果を示している。縦軸は総次数，横軸は媒介中心性の値を 0 から 1 の間に正規化した値である。これにより Core と Rich Club に含まれる数カ国が明らかになっており，これらの国がコバルトの貿易ネットワークで重要な国であることが分かる。この結果と実際の貿易量のランキングとを比較すると，大きく結果が異なっており，マテリアルフロー分析だけでは見えてこない貿易ネットワークの供給構造が明らかになっている。貿易量では日本，中国が上位にあるが，分析結果では米国，ドイツ，英国が貿易の要となっていることが分かる。これらの国々の供給が止まるとレアメタルを含む製品の世界への供給に重大な影響が出ると示唆される。よって，コバルト貿易の供給の脆弱性が明らかになっている。

次にトライアド分析の結果を図 3 に示す。期待値よりもバランスモデルの値が非常に高い事がわかる。よって，コバルトの貿易ネットワークはバランスモデルの傾向があると言える。しかし，バランス理論を適用するには，非バランス理論値が 0 に限りなく近い必要があるが，11 のトライアドタイプが期待値以上となっている。しかし，他の禁じられたトライアドが期待値以下なので，バランス理論を適用して良いと考えられる。更に，階層的な傾向もみられることから，これらが Co の貿易ネットワーク構造ならではの特徴であると推測される。このことから，Co の貿易ネットワークは Core を中心としたやや階層的ではあるが， バランスのとれたネットワークであり, Co 供給は世界全体に行き届いている事が明らかになった。

4. 引用文献

1) Moriguchi,Y.: http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d033/D033.html. Accessed Dec. 9, 2013 (2003).
2) Harper, E. M., Kavlak, G., Graedel, T. E.: *Environ. Sci. Technol.*, 46, 1079−1086 (2012).
3) Xiaowen, L., Qian, D., Megan, K.: *Environ. Sci.Technol.*, 48, 5439-5447 (2014).
4) Batagelj, V., Mrvar, A. : Pajek - analysis and visualization of large networks, Lecture Notes in Computer Science, Vol.2265, pp. 77-103 (2003)
5) 安田雪: Pajek を活用した社会ネットワーク分析, 東京電機大学出版局 (2009).
6) Nansai, K., Nakajima, K., Kagawa, S., Kondo, Y., Suh, S., Shigetomi, Y., Oshita, Y.: *Environ. Sci. Technol.*, 48, 1391–1400 (2014).

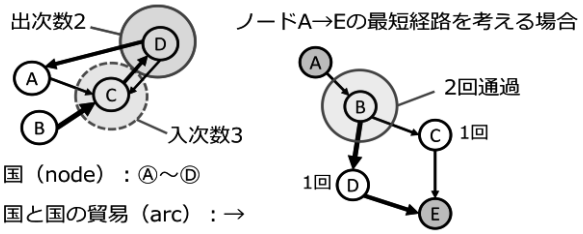


図 1. 中心性概要図

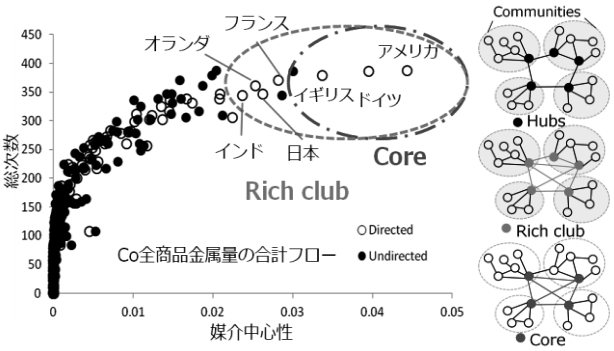


図 2. Core の算出結果

表 1. コバルトの実際の貿易フロー

Rank	Import (All Commodity)		Export (All Commodity)	
	Country	Weight(t)	Country	Weight(t)
1	日本	22,929	コンゴ民主共和国	22,287
2	中華人民共和国	18,784	中華人民共和国	13,050
3	アメリカ合衆国	14,848	日本	9,992
4	ジンバブエ	10,302	フィンランド	9,112
5	香港	6,693	ザンビア	8,591

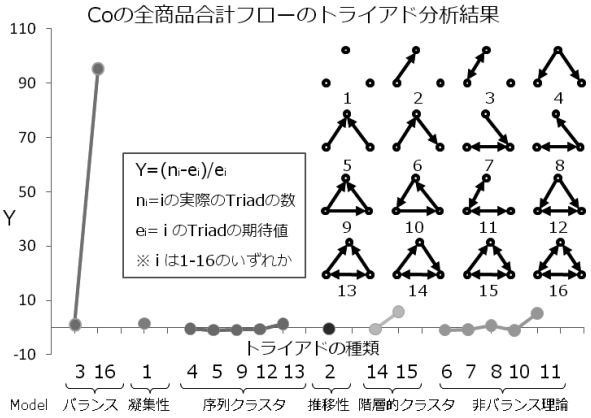


図 3. トライアド分析結果

ニッケルサプライチェーンに伴う資源散逸問題に資するニッケル、コバルト及びクロムのフロー解析

Material flow analysis on nickel, cobalt and chromium for solution of resource dissipation issue associated with supply chain of nickel

○大塚祐登*[1)]、大野肇[1)]、松八重一代[1)]、中島謙一[2)]、南齋規介[2)]、長坂徹也[1)]

Yuto Ohtsuka, Hajime Ohno, Kazuyo Matsubae, Kenichi Nakajima, Keisuke Nansai, Tetsuya Nagasaka

1) 東北大学, 2) (独)国立環境研究所

*b3tm5004@s.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、二次電池等多岐にわたって使用される重要な金属であり、需要は毎年およそ 5%の増加傾向にあるため、今後も増加していくことが予想される[1)]。ニッケル利用の持続可能性を考えた場合、経済資源としてのニッケル埋蔵量はおよそ 219,500kt であり、資源枯渇の可能性は低いとされている[1)]が、ニッケルのサプライチェーンに伴うニッケル資源の散逸の問題はこれまでも指摘されている[2)]。また、ニッケルの製造に伴い、例えばラテライト鉱石の湿式処理プロセスにおける尾行中へのコバルトの損失[3)]や、ロシアの銅-ニッケル製錬所やギリシャのフェロニッケル製錬所付近の土壌へのクロムを初めとする重金属元素の堆積[4),5)]など資源の散逸が指摘されている。以上より、持続可能なニッケル資源利用を実現するために、ニッケルサプライチェーンの把握及びニッケルを含めた随伴する重要元素の管理状況の把握が重要であると考えられる。そこで本研究では(1)貿易統計 BACI[6)]を用いた世界規模でのニッケルのフローの分析及び日本の最終需要が他国のニッケルフローに及ぼす影響の分析（GLIO モデル[7)] の適用)、(2)ニッケル含有製品製造に伴うニッケル、コバルト、クロムのフロー解析を行った。なお(1)に関しては、第 9 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(2)について論じる。

2. ニッケル含有製品製造におけるコバルト及びクロムのフロー解析について

ニッケル鉱石にはコバルトやクロムといった元素が随伴していることが確認されている。Figure 1 及び Table 1 は日本へ輸入されるニッケル鉱石に随伴する可能性のあるコバルト及びクロムの推計量を示している。推計結果より、日本へ輸入されるニッケル鉱石に随伴するクロムは日本国内の年間需要量の 5.2-10.3%, コバルトは 7.5-37.7%を占める可能性を示している。

Table 1　Estimated amount of Ni, Cr and Co contained in nickel ore imported into Japan.[8),9)]

鉱石組成(%)			鉱石輸入量 (2010)(10^6t)	随伴元素量 (2010)(10^3t)			国内需要量 (2010)(10^3t)			随伴元素量/国内需要量 ×100(%)		
Ni	Cr	Co		Ni	Cr	Co	Ni	Cr	Co	Ni	Cr	Co
1.86-2.17	0.5-1	0.02-0.1	4.5	84-98	22-45	1-5	49	438	12	-	5.2-10.3	7.5-37.7

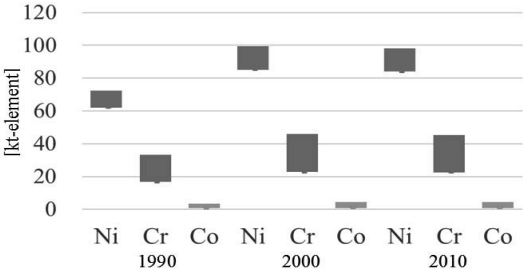


Figure 1　Estimated amount of Ni, Cr and Co contained in nickel ore imported into Japan.

また、本研究(1)より得られたニッケル国際フロー分析の結果を Figure 2 に示す。国際フロー分析の結果より、ニッケル資源の多くは Raw Material(フェロニッケル、金属ニッケル、酸化ニッケル)の形態で取引されていることが明らかとなっている。

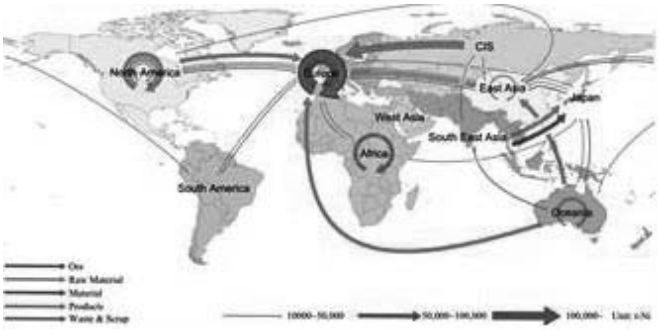


Figure 2　Global flow of nickel

以上を含め、資源の有効利用や消費の状況の把握を図る上で、現状のニッケル中間生成物の製造プロセスにおけるニッケル、コバルト及びクロムのフローを把握しておくことが重要である。

3. フェロニッケル製造プロセスに伴うニッケル、コバルト及びクロムのフロー解析

3.1 先行研究

先行研究では、ニッケル製品製造の LCA のインベントリーデータがニッケル協会、ecoinvent Centre, JEMAI（一般社団法人産業環境管理協会）等で報告されている。しかしそれらのデータベースでは、ニッケル製造プロセスに投入されたニッケル量と製品へ移行したニッケル量のみが示されており、ニッケル鉱石やその他の原料に随

伴して投入された他元素の流れや、ニッケルを含むそれらの元素がどのプロセスでどのような形態で、存在しフローして流れているのかを把握することが不可能である。

3.2 フレームワーク及び推計方法

フェロニッケルの製造プロセスとマテリアルフロー分析のフレームワークを示す。フェロニッケルは通常ニッケル 25%と鉄 75%の合金であり製鉄メーカーにおいてステンレスの原料として使用される。原料となるラテライト鉱石のおよそ 90%は乾式製錬プロセスを経てフェロニッケルとなる。本研究が対象とするプロセスでは、採掘された鉱石を選鉱し、キルンで乾燥した後、電気炉で精錬を施しフェロニッケル(25%-Ni)を得る。またそれぞれのフローは以下の計算式より推計した。

基本式　$F_{i,a-b} = X_{a-b} \cdot C_{i,a-b}$

$F_{i,a-b}$：プロセスaからbへ向かう元素iのフロー

X_{a-b}：プロセスaからbへ向かう物質の物量

$C_{i,a-b}$：プロセスaからbへ向かう物質中の元素iの濃度

この際、$X_{a\text{-}b}$に関しては既存の LCA のインベントリーデータ [10),11),12)]、$C_{i,a\text{-}b}$に関しては各種文献や組成情報データベース [13),14)]を参照した。フレームワーク内で示される $U_{i,9}$ のフローに関しては投入産出量を示している。

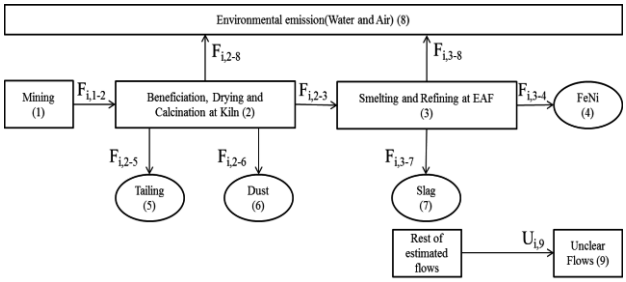


Figure 3　Material flow analysis (MFA) system for the ferronickel production(25%-Ni, 1kg)

3.3 推計結果

Figure 4 にフェロニッケル製造プロセスに伴うニッケル、コバルト及びクロムのフロー解析結果を示す。フェロニッケル製造プロセスにおいて製鋼工程で生じるテーリングや精錬工程で生じるスラグへニッケル、コバルト及びクロムが損失している可能性がある。フェロニッケルそのものへ移行するコバルトのフローも存在し、その後有効利用されない場合散逸の可能性が危惧される。また、推計結果からは把握することのできなかった不明瞭なフロー($U_{i,9}$)も存在し、これらのフローに関しても資源散逸の可能性が考えられる。

4. 結論・課題

ニッケルの中間生成物の製造プロセスにおける資源散逸に関する定量的な推計を行った結果、プロセス内で生じる廃棄物へ資源が散逸している可能性を示すことができた。資源の有効利用を図る上で現状生じている、資源の流れを明らかにすることは重要である。

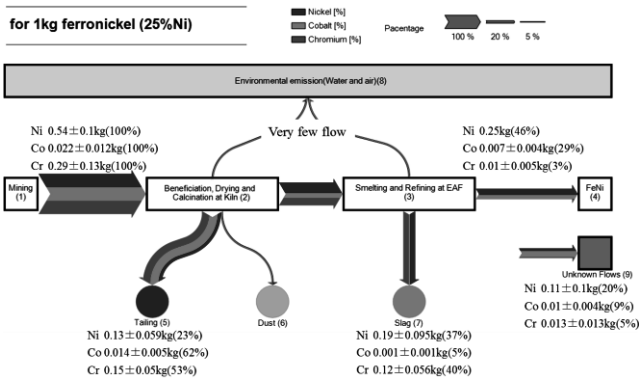


Figure 4　Substance flow analysis of Ni, Co and Cr for 1kg ferronickel(25%-Ni) production.

また今後の課題として、今回推計を行ったフェロニッケルの製造プロセスに加えて、ニッケルの重要な中間生成物である金属ニッケルや、酸化ニッケルの製造プロセスに伴うフロー解析を行う必要がある。

5. 引用文献

1) Mudd M. G.: Ore Geology Reviews, 38, (2010), pp. 9-26
2) Reck K. B.et al.: Environ. Sci. Technol. 42, (2008), pp. 3394-3400
3) G. Senanayake: Hydrometallurgy, 105, (2010), pp. 60-68.
4) T. Norseth: Sci.Total Environ. , 148, (1994), pp.103-108.
5) A. Nicolaidou: Sci.Total Environ. , (1989), pp. 113-117.
6) CEPII: "BACI(Base pour l'Analyse du Commerce International)", <http://www.cepii.fr/anglaisgraph/bdd/baci.htm>, (参照 2014/12/25)
7) Nansai K., Kondo Y., Kagawa S., Suh S., Nakajima K., Tanno S.: Env. Sci. & Tech., 46(19), pp.9146-9154
8) JOGMEC: 金属資源レポート 10.ニッケル（Ni）（http://mric.jogmec.go.jp/public/report/2012-05/10.Ni_20120619.pdf）(参照 2014/12/24)
9) USGS, var.-a. Minerals Year book. US Geological Survey (USGS),.
10) Nickel Institute: LIFE CYCLE ASSESSMENT OF NICKEL PRODUCTS FINAL REPORT, Prepared by Ecobalance
11) ecoinvent centre: ecoinvent v2.0, No. 10
12) JEMAI: MiLCA 1.1.3.5
13) Frank K. Crundwell et al. :Extractive Metallurgy of Nickel ,Cobalt and Platinum- Group Metals
14) O. Coto et al. :Hydrometallurgy, 94, (2008), pp. 18-22

鉄鋼材のストック量と提供するサービス量の時系列分析

Time Series Analysis on In-use Steel Stock in Terms of Quantity and Functionality

○藤村怜央*[1)]、醍醐市朗[1)]、後藤芳一[1)]
Leo Fujimura, Ichiro Daigo, Yoshikazu Goto
1）東京大学
＊ fujimura@mfa.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

地球上の採掘可能な鉄鉱石の量は、鉄純分で1人あたり 10 t と見積もられている。Muller ら[1)]は、世界全体が先進国の水準(8-12 t/人)の鉄鋼材を必要とすると、現時点で採掘可能な鉄鉱石を使い果たすと指摘している。社会で必要となる鉄鋼材ストック量の推計は、今後の需要量推計にも寄与するとともに、資源問題に対する取り組みへの重要な知見となる。

鉄鋼材ストック量の推計に関する既存研究として、Toi ら[2)]は、日本のストック量の時系列変化を、S字型曲線（ロジスティック曲線）によってモデル化した。Mueller ら[3)]は、アメリカにおける1人あたりストック量が 1980 年代に飽和していることを示した。Hatayama ら[4)]は、経済成長とともにストック量は飽和するとの仮定の元、将来の鉄鋼材ストック量を推計した。しかし、鉄鋼材ストック量の飽和現象は経験則的にしか認められておらず、既に飽和した国でこれ以上にストック量が増加しないことや、他の国が将来的に同様の飽和傾向を示すことは、明らかではない。

本研究では、この飽和現象の要因を解明する新しい視点として、鉄鋼材を用いた製品(鉄鋼製品)が人間の生活に対して提供するサービスに着目した。サービス量とストック量の関係には、大きく異なる 2 つが考えらえる。1 つは、例えば 2 人が自転車で移動するには2台が必要になるような比例関係である。他方は、例えば発信する電波の種類や量がいくら増えても電波塔は1つでよいような関係である。一方で、多くの先進国では鉄鋼材ストック量の飽和現象が観測されている[1)]ことから、それらの国では、サービス量が飽和しているか、サービス量の増加に対して追加的に必要となる鉄鋼材の量が小さくなっているかのどちらかが起きていると考えられる。

そこで、本研究では鉄鋼製品が提供するサービス量に着目した鉄鋼材ストック量の飽和現象のメカニズムの解明につながる分析手法の構築を目的とした。

2. 研究方法

2.1 サービス量と鉄鋼材ストック量の分析

本研究では、日本における鉄鋼材ストックとそれらから提供されるサービスを分析対象とした。本研究では、機能を提供するものをサービスとし、提供する機能を定量したものをサービス量とした。例えば、運輸というサービスでは、自動車という最終製品が鋼橋や標識を付帯する道路を走行し旅客や貨物を輸送するという機能を提供している。本研究では、鉄鋼材のストック量（2.3 節）とそれらが提供するサービス量（2.2 節）の過去からの変化を観測し、分析した。

2.2 鉄鋼製品が提供するサービスの設定ならびにサービス量の推計手法

産業区分を参考に、サービスが提供している機能の類似性を考慮し、鉄鋼製品が使われているサービスを住居、運輸、電気通信、水道、エネルギー、農林水産業、工業、商業、公共の9つに分類した。本研究では、前者5つのサービスに関して分析した。それぞれのサービス量を、非木造住宅の床面積(㎡)、輸送量(トンキロ/年)、消費情報量(bit/年)、給水量(㎥/年)、最終エネルギー消費量(J/年)と設定した。時系列の各サービス量は、統計値からそのまま得たか、いくつかの統計値を合計することで得た。ただし、消費情報量は、単位の異なる2種の統計を接続した。

2.3 鉄鋼材ストック量の推計手法

本研究では、サービスが提供する機能を発現するために必要な環境やインフラを「設備」、必要な道具を「機具」とし、各サービスの設備と機具としての鉄鋼材ストック量を時系列に推計した。

普通鋼用途別受注統計に区分された 99 用途のうち次工程用、最終使途不明分、販売業者向けを除く82の用途区分を、各サービスの設備か機具に対応させた。82用途それぞれのストック量を、時系列の受注量統計値と、減価償却資産の耐用年数表を参考に設定したワイブル関数を用いた使用年数分布を用いて、動的分析により推計した。ただし、運輸サービスの機具の1つである自動車としての鉄鋼材ストッ

ク量は、製造年度ごとの保有台数から得られる各時点でのノンパラメトリックな残存率と、対応する年の国内で販売された自動車に使用された鋼材量を用いて推計された。また、住宅サービスの設備である住宅の鉄鋼材ストック量は、建築年別床面積の推計値と床面積あたりの鋼材使用量原単位を用いてボトムアップ手法で推計した。

3. 研究結果

各サービスのサービス量の推移を図 1 に示す。種類によってサービス量の単位が異なるため 2009 年の各サービス量で規格化して示した。水道、エネルギー、運輸においてサービス量の飽和傾向が観測された。電気通信ではインターネットの発達によって、住居では鉄筋コンクリート造などの普及によって、サービス量が増加し続けていた。

各サービスの鉄鋼材ストック量の推移を図 2 に示す。2000 年の各鉄鋼材ストック量で規格化して示した。エネルギー、水道において鉄鋼材ストック量の飽和傾向が観測された。電気通信では鉄塔などの設備のストック量、運輸では自動車、船舶などの機具のストック量が増加しており、飽和傾向は観測されなかった。住居に関しても、飽和傾向は観測されなかった。パラメトリックな動的分析では、設定した平均使用年数と分布関数の形状母数の不確実性がある。そのため、平均使用年数を±20%、形状母数を±40％変化させた場合の鉄鋼材ストック量も推計した。それらを変化させた場合も、飽和傾向に変化はなかった。

表 1 に各サービスにおけるサービス量と鉄鋼材ストック量の飽和傾向の有無をまとめた。水道、エネルギーに関して、鉄鋼材ストック量の飽和の要因はサービス量の飽和だと考えられた。特に、エネルギーに関しては、鉄鋼材ストック量の単位重量あたりのサービス量も増加しており、使用効率が良くなっていることが観測されたため、鉄鋼ストック量は減少の方向に転じていた。運輸に関して、サービス量が飽和しているにも関わらず、鉄鋼材ストック量は増加傾向を示した。これは早さ、利便性などの本研究では考慮していない機能が近年要求されていることが要因だと考えられた。電気通信、住居に関して、サービス量が増加しているため、鉄鋼材ストック量も連動して増加していると考えられた。特に住居に関して、他の 4 つと異なり、サービス量はフロー量ではなく、ストック量である。そのため、他と比べて鉄鋼材ストック量の単位重量あたりのサービス量を増加させることは困難であると考えられた。

4. おわりに

鉄鋼製品が提供するサービス量に着目した鉄鋼材ストック量の飽和現象のメカニズムの解明につながる分析手法を構築した。モデルケースとして、エネルギー、水道、運輸、住居、電気通信の 5 サービスに関して分析を行った。エネルギー、水道では、鉄鋼材ストック量が飽和していることが観測された。今後はサービス量とストック量の関係を定量的に分析できるモデルの構築が望まれる。

5. 引用文献

1) D. Mueller, T. Wang, B. Duval: Environ. Sci. Technol., 45, (2011),pp.182-188
2) A.Toi, J.Sato: Tetsu-to-Hagane, 84, (1998), pp.534-539
3) D. Mueller, T.Wang, T. Graedel: PNAS 103, (2006), pp.16111-16116
4) H. Hatayama, I. Daigo, Y. Matsuno, Y.Adachi: Environ. Sci. Technol., 44, (2010), pp.6457-6463

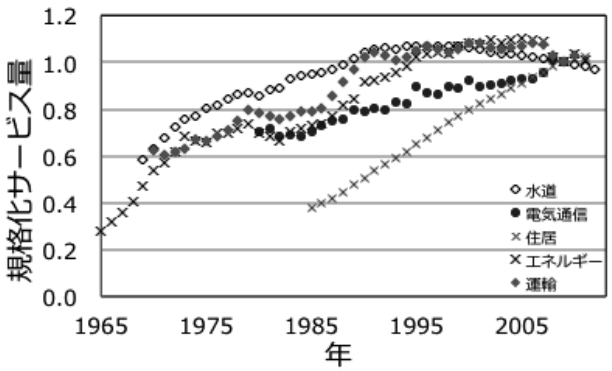


図 1　規格化サービス量の推移(2009 年を 1 とした)

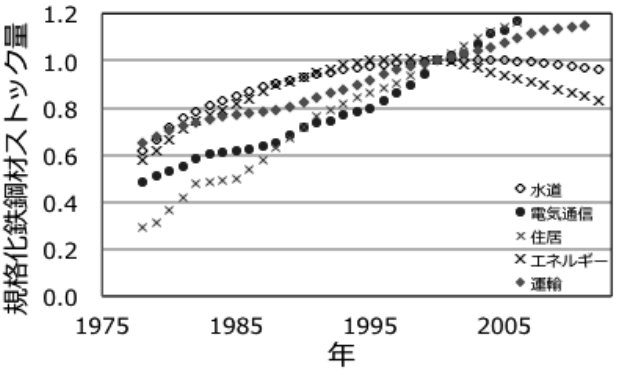


図 2　規格化鉄鋼材ストック量の推移(2000 年を 1 とした)

表 1　サービス量とストック量の飽和傾向の有無

	水道	エネルギー	運輸	電気通信	住居
サービス量	○	○	○	×	×
ストック量	○	○	×	×	×

全国市区町村の住環境整備状況と要支援・要介護者割合との関係性の分析

Analysis on Relationship between Housing Conditions of All Municipalities in Japan and Ratio of Person Requiring Support or Care

○鈴木健太郎*[1)]、伊香賀俊治 [1)]、村上周三 [2)]、川久保俊 [3)]、瀧上柾 [1)]
Kentaro Suzuki, Toshiharu Ikaga, Shuzo Murakami, Shun Kawakubo, Masaki Takigami
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

超高齢社会に直面している長寿国日本において、今後目指すべきは日常生活に制限のない期間を示す「健康寿命」の延伸と言われており [1)]、その実現のためには、生活習慣の改善などの一次予防だけでなく、住まいを含む地域コミュニティの社会的支援環境の整備といったゼロ次予防も不可欠とされている [2)]。それらに関する施策を立案するためには、国や県よりも住民の目線により近い基礎自治体単位で住環境の整備状況を把握することが有効であると考えられる。

そこで本研究では、公開統計情報を用いて全国市区町村の住環境の整備状況を評価した。また、健康状態を計る指標として要支援・要介護者数を取り上げ、住環境整備状況との関連性を検証した。これにより、超高齢社会における健康施策の立案を支援することを目的とする。

2. 全国市区町村の住環境整備状況の評価

2.1 評価指標の選定および指標値の点数化

全国市区町村の住環境整備状況を把握するため、評価項目として、各市区町村内の住民の健康状態に大きく寄与する断熱性能等の住宅の要素を包括した「住まい」と、自宅周辺のインフラ整備状況を基準とした「アクセス性」の二項目を大項目として選定した。さらに、それぞれの大項目の下に中項目、小項目を設置した（表 1）。評価指標を選定する際に用いた統計情報は、総務省統計局「住宅・土地統計調査」にて公開されている 2008 年のものである。

次に、各小項目の指標値を 1.00 点から 5.00 点にスコア化した。これに重み係数を乗じて中項目・大項目毎に集計し、最終的に全国市区町村を総合的に評価した。スコアリングの関数を図 SI.1 に示す。

2.2 全国市区町村の評価結果

「住まい」の総合評価結果を図 1 に示す。東北・北陸・甲信と中国以西の地域の間で結果に大きく差異が見られた。「住まい」の小項目のうち、「窓・壁に断熱・結露防止工事をした住宅の割合」「二重サッシ又は複層ガラスの窓のある住宅の割合」「手すり等の高齢者のための設備のある住宅の割合」に関して同様の有意な地域差が見受けられた（図 SI.2、表 SI.1）。特筆すべきは、高齢化対応が施されている住宅もこれら積雪量の多い地域に高い割合で存在していることである。寒冷地では寒さの影響で筋肉が硬直するリスクが高まり、歩幅が狭くなるなどして体のバランスを崩しやすくなる傾向があるため、これらの地域には住宅内の転倒予防に対して意識の高い住民が多い可能性が示唆された。また、図 1 に示す地域差は、濱田ら [3)]の月平均気温と月循環器血管死亡率（心疾患・脳血管疾患・呼吸器疾患）の関係の地域差と同様の傾向であり、住宅性能が居住者の疾患に影響を及ぼしている可能性が示唆される。

図 2 に全国の「アクセス性」の総合評価結果を示す。各小項目のうち、公民館・集会所まで 1km 以内の住宅の割合を除いては人口密度の比較的高い地域で評価が良好であったが、その一方で、過疎地域市町村近傍では評価が良好でない傾向が確認された。

表 1　評価指標一覧

大	中項目	小項目
住まい	断熱性能の確保	平成 13 年以降築住宅割合
		窓・壁に断熱・結露防止工事をした住宅割合
		二重サッシ又は複層ガラスの窓のある住宅割合
	最低限の住環境の確保	最低居住面積水準[注 1)]を満たす住宅割合
		水洗トイレを有する住宅割合
		建物に損傷のない住宅割合
	古い住宅の整備	昭和 45 年以前築住宅割合
		空き家割合
	高齢化対応	手すり等の高齢者のための設備のある住宅割合
アクセス性	道路アクセス	幅員 6m 以上の道路まで 100m 以内の住宅割合
	交通機関アクセス	交通機関まで　500m 以内の住宅割合
	生活関連施設へのアクセス	医療機関まで
		公園まで
		公民館・集会所まで
		緊急避難所まで　1km 以内の住宅割合
		老人デイケアサービスセンターまで
		銀行まで
		小学校まで

注 1) 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。

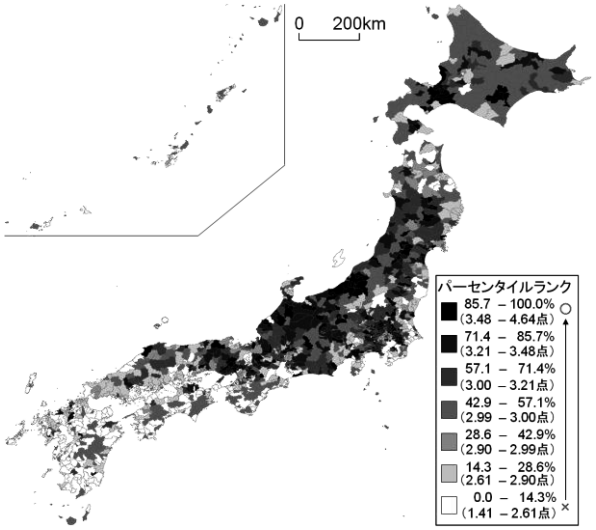


図１　全国の住まいの評価結果

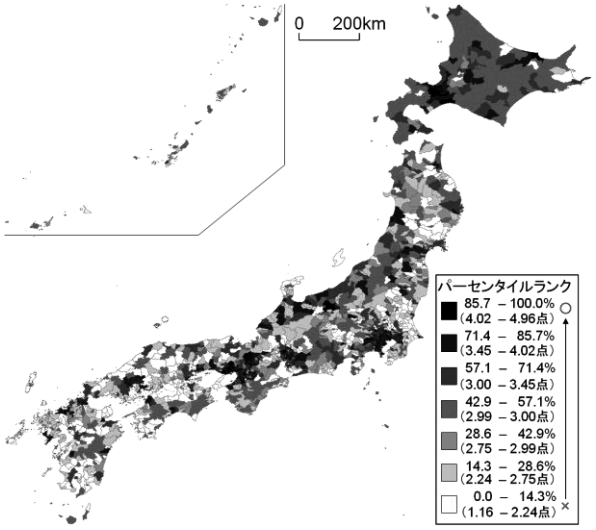


図２　全国のアクセス性の評価結果

3. 住環境整備状況と住民の健康との関係性の検証

本節では、前節で評価した全国の住環境の整備状況が、住民の健康状態に及ぼす影響を明らかにするために、2003 年の住環境整備状況の各指標値（%）を説明変数として、2008 年の各自治体の「65 歳以上人口に占める要支援・要介護者割合 [4)5)]」を目的変数とする重回帰分析を実施した。その際、健康に影響を及ぼす住環境以外の要因も考慮するため、高齢化率 [4)]、収入レベル [6)]、食事・喫煙習慣 [7)]、体力活動量 [7)]、交通網充実度 [8)]の指標値も説明変数に含めた（表 SI.2）。

重回帰分析の結果を表 2、表 SI.3 に示す。各偏回帰係数は、当該指標値が 1 単位増加した際の要支援・要介護者割合の増加分と理解できる。

また、説明変数同士の説明力の強さを意味する標準化偏回帰係数を比較すると、要支援・要介護者には世世帯平均年収が大きく影響を及ぼすことが確認できる。この他の住環境以外の要因では、飲酒習慣者の割合、野菜摂取量、歩数の平均値、一人当たりの乗用車保有台数が影響を及ぼしており、健康規定要因の中で生活習慣が強い作用を及ぼしていることが確かめられる。

表２　重回帰分析の結果　（n=1,201, *:p<0.05 **:p<0.01）

説明変数	要支援・要介護者割合(R^2=0.468)	
	偏回帰係数	標準化偏回帰係数
世帯平均年収	-1.41×10^{-4}	-0.359**
一日当たりの野菜摂取量の平均値	-1.10×10^{-4}	-0.102**
飲酒習慣者（男性）の割合	-7.84×10^{-4}	-0.120**
一日当たりの歩数の平均値	-6.62×10^{-6}	-0.096**
一人当たりの乗用車普及台数	-1.56×10^{-2}	-0.053*
最低居住面積水準以上住宅割合	-6.00×10^{-2}	-0.092**
水洗トイレを有する住宅割合	-1.82×10^{-2}	-0.086**
昭和 45 年以前築住宅	13.0×10^{-2}	0.358**
医療機関まで 1km 以内の住宅割合	2.26×10^{-2}	0.159**
公民館まで 1km 以内の住宅割合	-1.62×10^{-2}	-0.069**

また、住まいに関連する要素の中では、昭和 45 年以前に建築された住宅の割合が大きいほど要支援・要介護者割合は増加することが示された。これらの住宅は、現在の標準的な住宅と比較して室内温熱環境が良好でなく、住民の健康状態に悪影響を及ぼしている可能性が推察される。さらに、トイレの水洗化とも関連性が見受けられ、汲み取り式トイレにおける臭気対策としての窓開閉が冬期の室間温度差を拡大させていることが考えられる。

アクセス性関連の指標の中では、医療機関へのアクセス性に関して要支援・要介護者割合と正の相関が見られ、病院から比較的遠くない場所に要支援・要介護者が居住している傾向があると推察できる。また、公民館や集会所を含む様々な施設が訪問可能な徒歩圏内に存在することにより、住民の活動量増加に繋がることや、公民館・集会所にて行われる生涯学習への積極的な参加が、その自治体に居住する住民の精神的健康の向上に貢献していることが考えられる。

4. まとめ

総務省統計局が公表する「住宅・土地統計調査」を活用して全国市区町村の住環境整備状況を評価した。さらに、住環境整備状況と要支援・要介護者割合の関係を重回帰分析により定量化した。今後は、複数の自治体の行政関係者との協議を通して、本研究で提案した住環境整備状況の評価手法の実用性を検証する。

参考文献

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/kenkou/dl/kenkounippon21_02.pdf>，（参照 2014-12-13）
2) 星旦二：公衆衛生情報，(2001)，pp.42-43
3) 濱田直浩，羽山広文ほか：日本建築学会学術講演梗概集，名古屋，(2012)，pp.1027-1028
4) 総務省統計局：平成 22 年国勢調査，(2010)
5) 厚生労働省：介護保険事業状況報告　月報（暫定版），(2008)
6) 総務省統計局：平成 20 年住宅・土地統計調査, (2008)
7) 厚生労働省：国民健康栄養調査，(2006-2010)
8) 国土交通省自動車交通局：自動車保有車両数, (2008)

国内外都市の総合評価手法の開発
その 3　東南アジア主要都市を対象とした総合環境性能と住民の健康水準との関係

Development of Comprehensive Assessment Tool for Cities around the World
Part 3 Relationship between Environmental Performance of Major Cities in Southeast Asia and Level of Residents' Health

○山崎潤也*[1)]、伊香賀俊治[1)]、村上周三[2)]、川久保俊[3)]、瀧上柾[1)]
Junya Yamasaki, Toshiharu Ikaga, Shuzo Murakami, Shun Kawakubo, Masaki Takigami
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、国内外の自治体では都市の価値や魅力を創出しようとする動きが活発化しており、都市性能を把握・改善するためにその可視化を図る機運が高まっている。その 1[文1)] では国内外都市の環境性能を包括的に評価するツールを開発した。その 2[文2)] では、その 1 で開発されたツールを用いてアジア新興国の 4 都市の試行評価を行い、各都市の現状を明確化することで同ツールの実用性を検証した。本報では近年特に国民の健康増進に焦点が当てられている東南アジアに着目し、主要 10 都市の環境性能を評価する。さらに世界 62 都市の環境性能と住民の健康水準との関係性を明確化することで、各自治体が住民の健康増進を図る施策立案時における同ツールの活用例を示すことを目的とする。

2. 東南アジア主要都市の総合環境性能評価

本報では東南アジア 10 都市（表 SI.1）を含む世界 62 都市の環境性能を評価する。可能な限り多様な都市の特徴を捉えるため、評価対象都市は新興国と先進国から満遍なく抽出した。なおブルネイダルサラームとシンガポールは都市国家であるため、国家全体の領域を都市として扱った。本報で着目する東南アジア 10 都市のうち 8 都市は人口 100 万人を超える大都市であり、うち 5 都市は国の首都である。

2.1 評価方法

都市の環境性能評価ツール CASBEE-都市[文3)] に改良を加え、評価対象都市を国外に拡張したツールを用いる。同ツールは表 SI.2 に示す評価指標を用いて環境品質・活動度 Q（以降：Q）、環境負荷 L（以降：L）を評価し、Q/L で定義される環境効率 BEE 値を算出する。本報では主に各国統計局の公開統計情報を収集し、非公開のものは現地の自治体職員に直接情報の提供を依頼することによって入手した。また一部の入手不可能な統計情報については国の平均値で代用した。

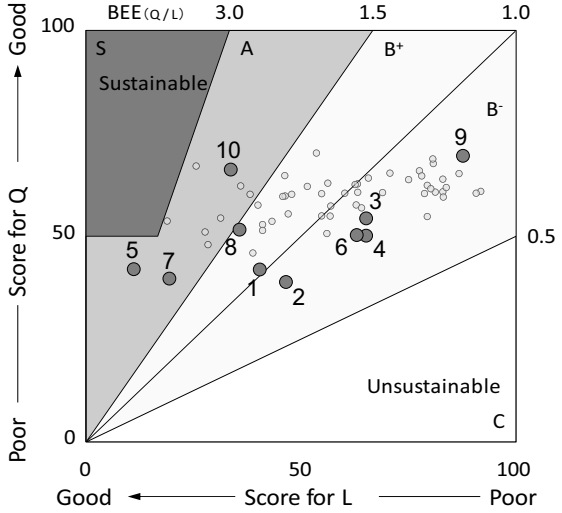


図 1　東南アジア 10 都市の評価結果（BEE チャート）

表 1　東南アジア 10 都市の項目別評価結果

番号	都市	L	Q	Q1 環境	Q1.1	Q1.2	Q1.3	Q1.4	Q2 社会	Q2.1	Q2.2	Q2.3	Q3 経済	Q3.1	Q3.2	Q3.3
1	ジャカルタ	40.76	41.63	1.85	2.30	2.09	1.93	1.10	2.97	3.07	2.28	3.55	3.17	3.72	2.80	3.00
2	バンドン	46.81	38.58	1.99	1.75	3.11	2.01	1.10	3.07	3.73	2.76	2.73	2.56	2.76	1.92	3.00
3	クアラルンプール	65.42	54.05	2.10	1.67	4.56	–	1.17	3.50	3.72	3.38	3.40	3.88	4.30	4.35	3.00
4	ジョホールバル	65.42	49.84	2.61	2.59	4.07	1.57	2.24	2.87	2.41	2.96	3.24	3.50	3.30	4.18	3.00
5	マニラ	11.56	41.69	2.41	2.42	4.09	2.01	1.10	2.66	3.35	2.27	2.36	2.94	2.85	2.96	3.00
6	バンコク	63.24	49.97	2.30	1.34	2.58	4.19	1.08	3.12	3.51	3.59	2.27	3.58	3.20	4.53	3.00
7	ハノイ	19.80	39.39	1.46	1.38	2.31	–	1.17	3.55	3.77	3.27	3.62	2.71	2.20	2.93	3.00
8	ホーチミン	36.07	51.31	2.39	2.24	2.18	3.91	1.23	3.75	3.87	3.24	4.14	3.02	2.85	3.21	3.00
9	ブルネイダルサラーム	87.86	69.22	3.56	4.79	1.56	3.83	4.06	3.83	4.15	3.38	3.95	3.92	4.43	4.33	3.00
10	シンガポール	34.03	65.90	2.94	1.57	4.22	4.88	1.10	4.01	4.33	2.82	4.87	3.96	4.74	4.14	3.00
平均		50.06	50.57	2.38	2.22	3.14	2.62	1.53	3.41	3.66	3.08	3.50	3.28	3.21	3.62	3.00

2.2 評価結果

東南アジア 10 都市を含む世界 62 都市の総合評価結果を図 1 に示す。一プロットは一都市を示す。個々の都市に着目するとマニラ、ハノイ、シンガポールの 3 都市が A ランクとなり、環境効率が高いことが示された。特にシンガポールは Q も世界の平均的な水準を上回っている。同国は環境維持に努める機運が高く、排気ガスの規制により大気質が良好であることなどから Q が高い。また特に人口が集中する領域であり、住民一人当たりの CO_2 排出量が少ないことから L が低い。

東南アジア 10 都市の項目別評価結果を表 1 に示し、それらを除く世界 52 都市の結果を表 SI.3 に示す。これより各都市の特徴が明確化された。

3. 都市環境と健康水準の関係性の検証

世界 62 都市の Q の総合スコアと、都市住民の健康水準を表す「平均寿命」「乳児死亡率[注 1)]」との関係性を図 2・図 3 に示す。これより双方には一定の相関関係があることが示唆された。

3.1 分析方法

都市環境が住民の健康水準に与える影響を定量化するために重回帰分析を実施した。平均寿命・乳児死亡率を目的変数とし、表 SI.2 に示す Q の中項目[注 2)]のスコアを説明変数とした。分析対象は前節で評価した世界 62 都市とし、変数選択法をステップワイズ法とすることで各説明変数のうち影響度の高い指標を抽出した。

3.2 分析結果と考察

分析結果を表 2 に示す。平均寿命・乳児死亡率に影響を与える Q の中項目として「Q1.2 環境質」「Q2.1 生活環境」「Q3.1 産業力」「Q3.2 労働基盤」が抽出された。影響度の相対比較が可能な標準化偏回帰係数に着目すると、平均寿命と乳児死亡率の双方とも「Q3.1 産業力」に最も大きな影響を受けていることが示唆された。

抽出された Q の中項目と平均寿命・乳児死亡率との関係性を図 SI.1 から図 SI.7 に示す。決定係数（R^2）に着目すると、平均寿命・乳児死亡率の双方とも「Q3.1 産業力」との関係性が最も強いことが示唆された。

東南アジアに着目すると、クアラルンプールとシンガポールは「Q1.2 環境質」のスコアが高く、乳児死亡率の値が低い。これより都市の大気質や飲料水の水質が乳幼児の健康に影響を与えていることが示唆される。「Q2.1 生活環境」のスコアはブルネイダルサラームとシンガポールが特に高く、また両都市の住民は平均寿命が長い。交通安全性や防犯性の良好な都市は住民が安心して居住でき、精神的な安定が長寿に繋がっている可能性がある。「Q3.2 労働基盤」のスコアはマレーシア各都市が高く、住民の健康水準も良好である。労働基盤の充実は都市全体の経済活性化のみでなく個々の収入の安定化にも繋がり、個人の金銭的な充実が健康増進に寄与すると考えられる。

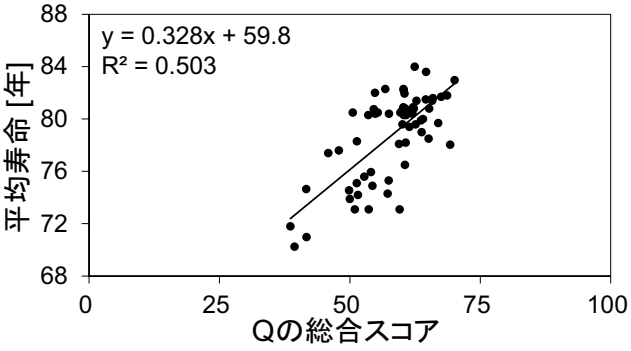


図 2　平均寿命と Q の総合スコアの関係

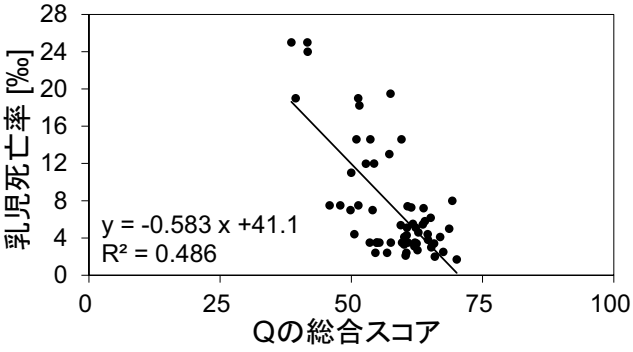


図 3　乳児死亡率と Q の総合スコアの関係

表 2　重回帰分析結果　（n=62）

説明変数	平均寿命（R^2=0.664）		乳児死亡率（R^2=0.671）	
	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
Q1.2 環境質	-	-	-1.58	-.204**
Q2.1 生活環境	2.70	.496***	-3.38	-.346***
Q3.1 産業力	2.53	.558***	-3.45	-.422***
Q3.2 労働基盤	0.75	.148**	-3.20	-.352***

ステップワイズ法（投入：F≦0.05, 除去：F≧0.10）　** : p<0.05　*** : p<0.01

4. まとめ

国内外都市の総合評価手法を用いて、東南アジア主要 10 都市の総合環境性能を評価した。また各都市の Q のスコアと住民の健康水準の関係性を明確化することで同ツールの活用例に関する知見を得た。

注釈

1）乳児死亡率は社会的因子が健康に与える影響を反映する主な指標として WHO が指定しており、健康水準を国際的に比較する際に適する。

2）平均寿命を評価対象に含む「Q2.3 社会活力」、一律 3.00 点の「Q3.3 CO_2 取引力」の項目を除く。

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）田中良篤ほか：第 9 回日本 LCA 学会研究発表会, (2014), pp.66-67

3）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

一般消費者の環境配慮行動と関心・知識の関係

How does public interest and knowledge affect environmental conscious consumption?

○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

大手スーパーマーケットなどではレジ袋の有料化が進み、消費者はエコバッグを持参するといった環境配慮行動がみられるようになった。大手自動車メーカーではハイブリッド自動車のラインアップも増え、さらには電気自動車や水素燃料電池車といった選択肢もでてきている。行政の環境保護を目的とした政策が推進され、企業の環境配慮型製品の開発が競い進む中、一般消費者の環境意識も高まってきている。

エコバッグや節電、環境配慮型製品の選択という一般消費者の行動がみられるが、大幅な温室効果ガス排出量削減に結びついているとは言えない。一方で、メディア等による地球環境問題に関する情報発信は一般消費者に対し、「環境に優しい（良い）」、「環境に悪い（良くない）」という択一的なものにとなりやすい。

現状の LCA は企業、行政、専門家が取り扱うことが多い。消費者と LCA を繋ぐものはタイプⅢエコラベルや企業の PR 情報といったものに限られ、LCA は専門家の域を出ていない。一方で、消費者と LCA を結びつけるための研究も行われてきた。上原ら[1)]は、消費者のライフサイクル思考支援を目的とした、環境配慮行動を実行に移すメカニズムを環境配慮に関する関心と環境情報に対する信頼という２つの側面から分析している。その結果によれば消費者の環境配慮への関心と信頼が環境情報の認知に影響を与え、かつ製品選択にも影響を及ぼし得ることを示唆している。環境配慮行動をとる消費者にライフサイクル思考の導入は効果的である。しかし、環境配慮行動をとらない消費者を把握したうえで、どのようにして配慮行動をとらせることができるのか検討も必要である。

持続可能な社会を実現させるためには、行政や企業の努力と併せて、消費者の環境配慮行動も重要である。そこで本研究では、まず科学や環境に関する知識が環境配慮行動に繋がるという仮説にたち、一般消費者の LCA の認知度を調査するとともに、生活態度や生活思想、科学への理解と関心がどのように環境問題への関心や理解に結びつき、環境配慮行動として表れるか解析する。

2. 研究方法

一般消費者の環境配慮への関心や環境問題への知識、科学に関する知識を Web アンケートによって調査した。調査の実施は株式会社ネオマーケテイングに依頼した。アンケートの内容は個人属性を判別するものとして、性別、年齢、居住地、職業、最終学歴、年収、情報収集媒体について尋ねた。生活態度については、安全意識、経済意識、社会参加意識、倫理観、トレンド追従について問う設問を作成した。環境配慮への関心については、回答者の環境配慮行動に関する同意と社会経済観などについて尋ねた。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件法とした。また、環境問題に関する知識については「正しい」、「誤っている」、「わからない」の３件法とした。科学的知識については、近年のメディア等で取り上げられたものや、経済協力開発機構（OECD）による「国際的な生徒の学習到達度調査」[2)]を参考に設問を作成し、回答方法は、環境問題に関する知識と同様に３件法とした。質問項目内容は SI に示した。

3. 結果と考察

アンケート内容

・調査実施日：2014 年 12 月
・対象者：成人男性および成人女性
・調査対象年齢：20 代から 80 代
・サンプル数：1000
・回答方法：７件法と３件法の併用

・環境に関する知識と環境配慮行動について、図１に示すように、環境問題に対する問いの正答率が高かった人ほど環境配慮の態度が強く現れるという傾向は明確にはみられなかった。環境問題に対する知識が環境配慮行動の増進に結びつくとは必ずしも言えない。環境配慮行動に対し働きかける別の要因を調査する必要がある。

・結果の解析にあたり、環境配慮に関する関心の回答結果をダミー変数化して点数化し、生活態度は 13 項目の設問を内容から「安全意識」、「経済意識」、「倫理観および社会参加意識」、「トレンド追従」に該当するも

のでそれぞれグルーピングしダミー変数・点数化し、それらの相関関係を解析した。その結果得られる線形回帰式の決定係数を表１に示す。

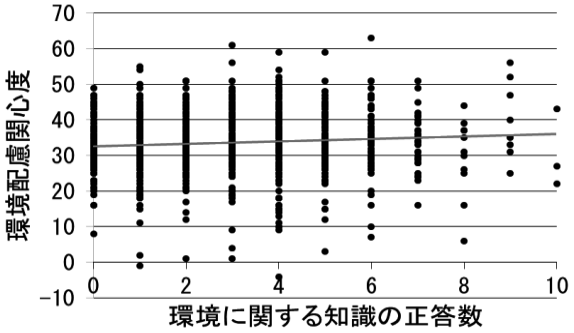


図１　環境に関する関心と知識の関係

マーキングの色が赤い場合は相関が高いことを示す。ただし、Q8s5,12,13 については環境配慮態度とは逆の質問をしている。環境配慮に関心が高い場合、倫理観および社会参加意識が高い傾向がある。それに比べ、安全意識や経済意識との相関はやや弱い。トレンド追従との関係を見た場合、他の項目と比較して関心との相関が低く、流行にのり環境配慮行動をしている傾向は見られなかった。自律的な義務感の強い人が環境配慮行動を取る可能性が指摘できる。

表１　環境配慮に関する関心と生活態度の決定係数

	安全意識	経済意識	社会参加倫理観	トレンド追従
Q8s1	0.46297	0.28361	0.48503	0.35534
Q8s2	0.38767	0.33948	0.51718	0.36039
Q8s3	0.37578	0.29609	0.51020	0.35105
Q8s4	0.23651	0.28969	0.33445	0.23286
Q8s5	0.14689	0.05633	0.13012	0.19109
Q8s6	0.28466	0.22247	0.40872	0.23920
Q8s7	0.16114	0.23979	0.27950	0.16598
Q8s8	0.24173	0.38588	0.31472	0.16904
Q8s9	0.39989	0.40300	0.36300	0.23423
Q8s10	0.30595	0.23490	0.33745	0.23905
Q8s11	0.21174	0.28393	0.26220	0.19887
Q8s12	0.15734	0.27302	0.23363	0.15719
Q8s13	0.23840	0.24149	0.26610	0.26384

・LCA の認知度について正答率は 10.4%であった。最終学歴が大学・大学院と回答した人が多く LCA について認知している傾向が見られた。また、図 2 に示すように職業別では公務員や経営者など業務等で LCA について関わる機会が多いことが要因のひとつとして考えられる。

全体と LCA 正答者における環境配慮への関心と環境に関する知識の比較結果を表３に示す。LCA を正しく理解している回答者が環境配慮について関心が高いとは必ずしも言えない。

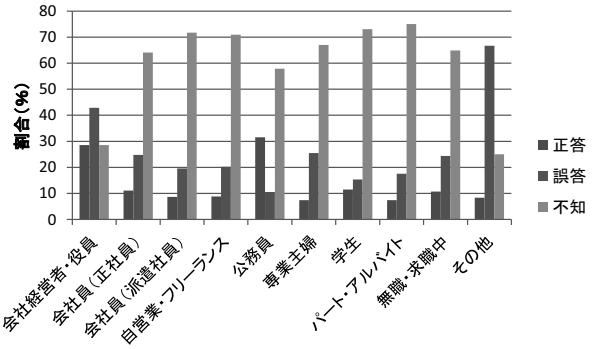


図２　LCA 正答率の職業比較

表３　環境に関する関心における比較

	全体	LCA既知者
環境配慮への関心	33.46	34.49

また、図３に示すように環境に関する知識、科学に関する知識の正答数は全体と比較して、LCA 認知者の方が高い傾向がみられた。

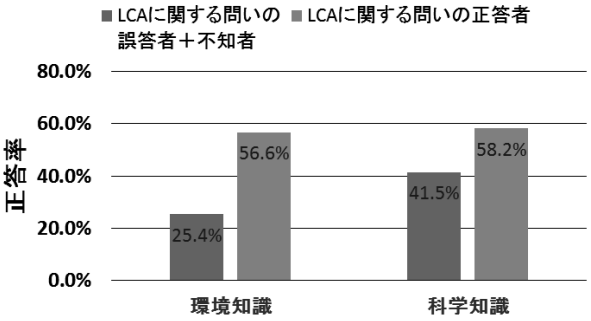


図３　環境知識・科学知識における正答率の比較

4. まとめ

本研究では、一般消費者の環境問題への態度と理解および科学への関心と理解についてアンケート調査を実施した。調査前の段階では環境配慮に関する関心と環境に関する知識の関連が高いと想定していたが、環境に関する態度と知識に明確な関係は見られなかった。しかし、今回の調査ではサンプル数が必ずしも十分とは言えず、さらに設問に見直しを加えたうえで解析を進め、一般消費者の環境配慮行動を増進させる方法を検討する必要があると考える。

5. 引用文献

１）　上原恵美、中谷隼、平尾雅彦：“第９回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集”、(2014)、pp144-145
２）　文部科学省、「平成 16 年度科学技術白書」、(2004)

イベント用リユース食器利用活動のフットプリントによる環境コミュニケーションが活動従事者の意識と行動に及ぼす影響の調査

The impact of the footprint information on the reuse-tableware program executors

○平山世志衣*[1)]、田髙初奈[2)]、松本真哉[2)]
Yoshie Hirayama, Hatsuna Tadaka, Shinya Matsumoto
1) 特定非営利活動法人横浜 LCA 環境教育研究会(YLCA.Lab), 2) 横浜国立大学
* hirayama@ xx.em-net.ne.jp

1. 緒言

3R 行動は広く市民に浸透している環境配慮行動である。3R 行動の 1 つイベントにおけるリユース食器の推進は、行政の後押しもあり、全国で様々な組織団体が主体となって実践されている活動の 1 つである。資源節約、廃棄物削減の観点からは、環境負荷削減に有効ではあるが、地球温暖化防止の観点からすると、実施方法によっては必ずしも環境影響の改善とならない場合もある。しかし、リユース食器システムの環境優位性はすでに確固たるイメージとされており[1)]、ディスポーザブルに対してどれだけ環境に良いか、さらにはそもそもディスポーザブルより環境負荷が削減されているかといった疑問はほぼ挙げられないまま、活動が推進される状況にある。リユース食器を含む 3R 行動による環境負荷低減を目指すには、実践者に行動のライフサイクルを通した環境影響を考慮する意識を促すことが必要であるが、このような環境情報が 3R 実践者に与える影響については十分な研究がなされていない。そこで本研究では、イベント用リユース食器利用活動を推進している大学生環境系ボランティアメンバーを対象に、カーボンフットプリントを巡る情報提供が、環境意識行動や意識に及ぼす影響を調査した。

2. 調査の方法

リユース食器推進に関心のある対象に、彼らが関わるリユース食器利用活動のカーボンフットプリント提示の影響を示す観測変数として、提示前後の環境配慮行動の実施度とその意図を質問紙により調査した。

2.1 調査対象

本調査の対象は、東京都内の私立大学の学生によるリユース食器利用推進活動サークル（サークル A）のメンバーのうちの 11 名である。調査対象者は、2014 年 11 月に実施される大学祭において、模擬店で提供される食品用のリユース食器の配布・回収・洗浄・管理（以下リユース食器活動）に従事した。

2.2 調査方法

図 1 に示す概要の調査を 2014 年 9 月から 12 月の間に行った。調査対象者に対し、表 1 に示す 7 種の環境配慮行動について「実行頻度」と「実行または不実行意図」を尋ねる質問紙調査を行った。「実行頻度」は 5 段階から 1 種選択、「実行・不実行意図」は 9 種の選択肢と自由記載からの任意数選択による回答を求めた[2)]。質問紙調査は、11 月 1 日及び 2 日に実施されたリユース食器活動前(以下、事前調査)とリユース食器活動後にそのカーボンフットプリントについての報告を受けた後(以下、事後調査)の 2 回実施した。事後調査では、各行動の実施頻度の変化とその理由についても、選択肢による回答を求めた。調査対象者のフットプリントの理解向上のために、事前調査とリユース食器活動実施の間に、各自 e ラーニング型の LCA 学習を行ってもらった。この内容は、「リユースカップ利用」、「マイバッグ利用」、「地産地消」についてフットプリントにより環境影響を定量的に評価比較する手法の学習と、e ラーニング実施者の所持品の LCA を専用のソフトウェアで実施するもので[3)]、調査対象者には学習後にこの内容に関する感想を自由記載方式でレポートしてもらった。

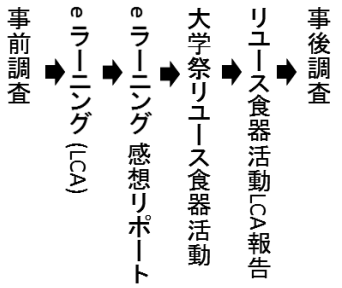


図 1　調査の概要

表 1　質問紙調査　環境配慮行動選択肢

環境配慮行動	頻度の選択肢
・ゴミ分別	・全くそうする事がない
・資源再利用	・めったにそうすることがない
・節電	・時々そうしている
・節水	・しばしばそうしている
・リユース利用	・大体いつもそうしている
・グリーン購入	
・マイバッグ	

表 2 質問紙調査　環境配慮行動実行不実行理由選択肢

環境配慮行動実行/不実行意図	
・環境にやさしいと思うから	（環境配慮）
・お金を節約できるから	（経済性）
・便利だから	（利便性有意）
・ライフサイクルを通した環境負荷があるから	（LCT）
・子どもがいるから	（しつけ・教育）
・居住地域の規則だから	（規則）
・時間がないから	（時間不足）
・関心がないから	（無関心）
・不便だから	（利便性低下）
・その他(自由記載)	

なお、調査対象者のバックグラウンドの環境意識の高さについては、リユース食器活動に関わっていない同じ大学の学生（対照）に対する同じ質問紙調査を実施し、調査対象者の事前調査回答と比較した。

3. 結果

3.1 事前調査結果

事前調査によれば、調査対象者（サークル A、n=11）に占めるマイバッグ利用者は 70%、それ以外の環境配慮行動実行者は 80%以上であった（図 S1）。この実行者比率は対照群(cont、n=20)との有意差は見られなかったが、調査対象者は、環境配慮を実行理由として挙げる傾向にあった(図 2)。一方、対照群の環境配慮行動は、より経済性を意識したものであることが伺える。

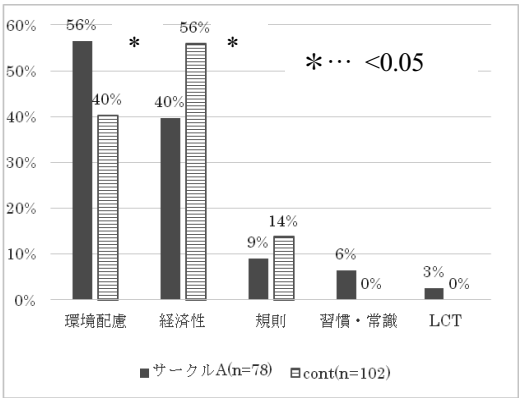


図 2　環境配慮行動実行理由（事前調査）

3.2 e ラーニング感想

e ラーニング型 LCA 学習の感想についてテキストマイニングを行い、記述内容を図 3 に示す 9 種の要素に分類した。環境配慮とされる行動が、そのライフサイクルを考慮すると気づかぬところで環境影響を与えているという環境問題の多面性や、環境配慮だけでなく行動本来の価値である安全性や経済性（行動の多面的評価）を考慮する必要性に関する表記が多く見られた。環境問題の多面性については、特にリユース食器の課題を考察する記述が見られた。

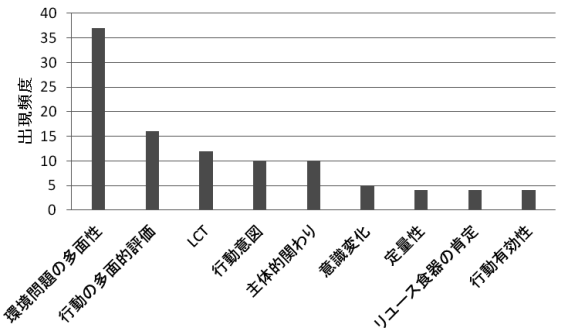


図 3　e ラーニング感想の記述内容の分類と出現頻度

3.3 事後調査

事後調査では、環境意識が変化したと答える回答者が多数を占めた(図 S2)。環境配慮行動の実施の有無に変化はなかったが、その実行頻度については回答者の 9 割に何らかの減少が見られた（図 S3)。

環境配慮行動理由は、経済性を理由に挙げる回答が増加していた。また、事前調査では無かった利便性を選択する回答が複数見られた（9%（n=68））（図 S4)。

4. 考察

リユース食器活動に従事する大学生環境系ボランティアのメンバーに対しカーボンフットプリントを巡る情報提供を行ったところ、環境問題の多面的、さらには環境影響だけでなく安全性経済性などの行動選択におけるトレードオフに係る問題を検討する意識が高まった可能性が示唆された。彼らの環境配慮行動の実行理由は、情報提供後には環境配慮だけでなく経済性や利便性をあわせて考慮するケースが見られた。このような行動選択理由の変化が行動の実行頻度に影響した可能性もある。また、リユース食器における課題についても検討する姿勢が見られた。これらの結果より、環境配慮行動のフットプリント情報が、環境配慮行動の評価や選択に影響を及ぼす可能性が示唆された。

謝辞
質問紙調査にご協力いただいた東洋大学経済学部吉田明子教授に感謝いたします。

参考資料

1) 左近高志ほか: 環境情報科学論文集,23(2009), pp257-262
2) 田高初奈ほか: 第 10 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集(2015),投稿中
3) 平山世志衣ほか: 第 9 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集(2014),pp156-157
4) 小林充: LCA 日本フォーラムニュース No.55,(2011), pp22-25

電力市場制度設計に関する考察

Discussion about a market mechanism design for electric power

○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, 2) 工学院大学
* tomonori-honda@aist.go.jp

1. はじめに

2013 年 4 月「電力システムに関する改革方針」が閣議決定され、「電力の完全自由化」と「発送電を分離の方針」が示された。実現の過程で懸念される「電気料金の最大限の抑制」の方針も併せて示され、その実現手段として「電力取引市場」の活用が挙げられた。

「市場」には本質的に価格調整機能、それに伴う需給調整機能が備わっており、電力取引市場の活性化が上記方針の実現に寄与することが期待される。しかし、電力の市場取引においては通常の「財」の取引とは異なり、同時同量制約、電源の多様性確保といった制約が存在する。このような制約や規制が存在する市場においては、市場を設置しただけでは、取引量（流動性）を維持することは困難となる。実際、2000 年に発生した米国カリフォルニア州における電力危機は、電力取引の流動性が確保されないまま自由化を進めたことがその発生要因の一つとして挙げられており、電力取引市場の制度設計に問題があったことが指摘されている[1)]。また、消費者にとって「電力」は、電源の種別に寄らず同質であり、基本的に電源の種類は需要家側の選択に影響を与えづらい。そのため、完全に自由化された市場において電力取引を行った場合、最もコストの安い電源のみが残り、その他の電源は市場から淘汰されるさらに、2014 年 9 月には固定価格買取制度を背景として、地域的に偏在する形で急速に普及した太陽光発電システムが電力会社の最小需要量を超えて発電してしまうとして、一部電力会社では新規の再生可能エネルギー受け入れを見合わせる動きが見られるに至り、再生可能エネルギー買い取りの仕組みの大幅な転換が求められつつある。

一方、エネルギーセキュリティーの観点からは単に価格の安い電源のみを維持することは問題であり、電源の多様性確保は不可欠な要素である。また、日本が地球温暖化に対応することは国際公約として宣言されており、再生可能エネルギーの普及は急務である。

以上から、将来の日本の電力システム、特に再生可能エネルギーを主体とした低環境負荷型分散電力システムを構築していくためには、電源種別に応じたインセンティブを考慮に入れた制度設計に関する研究、及び制度を社会実装するためのシステム研究を行うことが求められる。

国内外において電力自由化に関する研究は多く行われている。例えば、英国のスポット取引に対する経済学的研究や、完全競争下での電力市場のシミュレーションがある[2,3)]。しかし、既存研究の多くは大規模発電設備を前提とした研究が中心であり、再生可能エネルギーを中心とした分散型電源、特に家庭用ソーラーパネルなどの小規模分散型電源を想定した電力取引に関する制度設計研究は皆無である。例えば、取引に関わる既存研究は、電力の特徴として(1)同一複数財の大規模市場、(2)発電者の費用構造の非対称性、(3)需要に対する不確実性、(4)送電制約といった点が主に挙げられ、いずれも従来の経済学の枠組みで扱える項目にのみ焦点が絞られ、本来電力が有する技術的特徴、例えば周波数変動やその調整、発電設備特性、といった視点を考慮に入れた電力取引の制度設計研究は存在しない。

2. 目的

本研究では実データに基づき分散型電源の普及を考慮に入れ設計された電力取引市場において需要者・供給者の各主体が取引を行うことが結果的に電力の多様性・安定性、環境性を含む社会コストの低減に資する制度設計を行い、これを社会実装するために必要となる研究を実施することを目的とし、本発表ではその前段階の考察を示すこととした。

3. データ

本研究では、住宅単位の電力データとして日本建築学会が 2002 年から調査を開始した「住宅内のエネルギー消費量に関する調査」の結果を用いた[4)]。また、電力会社の電力需要量については、各電力会社がウェブサイト上で公開する 1 時間単位の電力データを用いた。

住宅データについては、1 時間あたりに 1000kWh 以上の電力を消費しているなど、一般の住宅では消費されることがあり得ない電力量が記録されたデータもあったため、異常値を除外することとした。除外にあたっては、一般にオール電化住宅で考えられる最大契約容量として 15kVA を想定し、1 時間あたり 15kWh 以上の電力量を消費しているデータについては除外することとした。その結果、データが公開されている 76 戸のうち 14 戸が除外し、62 戸の電力消費データを用いることとした。

4. 家庭における電力需要の特徴

電力市場制度設計については需用者として大規模事業所等、高負荷な需要者を想定した研究が多く、家庭やそのコミュニティーといった小規模な電力需用者や家庭等に取り付けられたソーラーパネル等を前提とした分散電源の取り扱いについてはほとんど議論されていない。

企業やその事業所の電力需要の傾向はおおむね安定しており予想がしやすいこと、さらに、電力を使用して経済活動を行っているためその需給を大きく変化させることは難しいと考えられる。一方、家庭における電力需要は電力需要全体の５分の１程度ではあるが、企業等とは大きく異なる電力需要の傾向を示すと予想される。

図 2 は 8 月、図 3 は 1 月における時刻単位の電力需要を電力会社全体と建築学会が公表したデータに基づく一般家庭における電力需要パターンを示している。

夏期、冬期ともに電力会社全体の電力需要パターンと、家庭における電力需要パターンには大きな違いがあることがわかる。家庭における電力需要のうち深夜帯に突出して電力需要が大きくなっているのはオール電化住宅における深夜電力料金を利用した温水給湯器等の電力消費による影響である。また、夏期と冬期を比較したとき電力会社が示す需要パターンはいずれも深夜に低く、日中に高い傾向を示しているが、家庭における電力需要は夏期と冬期で大きく変化することもわかる。特に冬期においては電力需要の変化率は電力会社全体の電力需要の変化率よりも大きな変化を示している。

5. 制度設計の枠組み

以上の簡易な考察から、将来の電力市場の自由化において家庭部門の電力需要や設置された発電機器、および蓄電池等の分散電源は企業やその事業所における電力需要と大きく異なることがわかる。また、季節によっては需要ピークが逆転することが確認できる。

これらのことから、家庭における電力需要のインセンティブコントロールすることで、家庭部門と産業部門の電力消費の平準化を実現することができると考える。これにより、分散型電源を中心とした電力システムの普及を効率的かつ、環境性を含む社会コストを最小化しつつ行うことができると予想される。将来的な展望として、大規模な単一の電力取引市場で全電力を取引するのではなく、同種の制約条件を有する電源が小規模な集団を作り多数の取引市場を構成し、小規模市場と既存の大規模電源を主とした市場が相互に取引を行うという 2 段階の電力取引市場を設置することで効率性の低下を最小化することができる可能性が高い（図 3)。今後は、家庭部門のインセンティブを考慮に入れた電力市場制度設計研究が求められる。

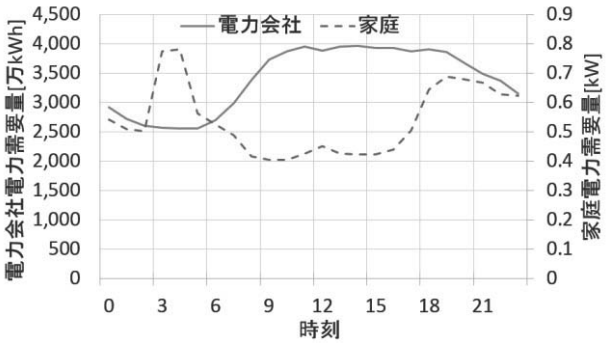


図 1 夏期（8 月）における時刻別電力需要

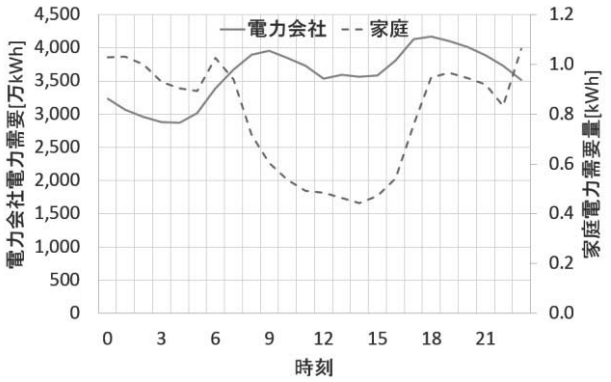


図 2 冬期（1 月）における時刻別電力需要

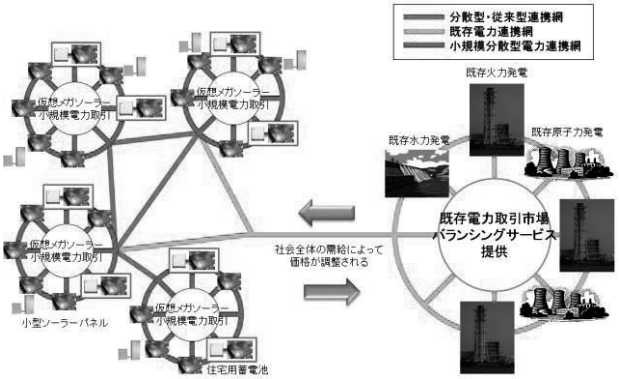


図 3 LCA 制度設計概略図

引用文献

1) W. Christopher, The California Electricity Crisis: Causes and Policy Options. San Francisco: Public Policy Institute of California. (2003)

2) R.J. Green, D.M. Newbery, “Competition in the British electricity spot market”, Journal of Political Economy, Vol. 100, No. 5, (1992), pp. 929–953

3) N. Hosoe, S. Akiyama, “A spatial equilibrium analysis of transmission charge reform in Japan’s electric power industry”, RIETI Discussion Paper Series 06-E-022, (2006)

4) 日本建築学会, 住宅内のエネルギー消費量に関する調査研究委員会 公開データ,(2008) http://tkkankyo.eng.niigata-u.ac.jp/HP/HP/database/index.htm

株式市場における投資家の環境責任情報公開手法の提案と経済実験検証

○赤井研樹*[1)]、武井秀樹[2)] 、西野成昭[1)]
1) 東京大学, 2) 三菱東京ＵＦＪ銀行
* akai@css.t.u-tokyo.ac.jp

1. イントロダクション

環境問題を解決する糸口として、環境改善の促進を金融面から誘導しようとする環境金融に注目が集まっている。その中で、投資信託の分野では、投資先を選択する際に、企業の CSR を考慮に入れた社会的責任投資（Socially Responsible Investment: SRI）といった手法が使われている。SRI は企業の社会的責任の評価を意思決定プロセスに組み入れた投資手法である。SRI の背景の一つに、株主投資主体には、単に自分の利益を最大化するだけでなく、企業の最終的所有者としてより良い社会となるために貢献し、企業に対して社会を良いものになるように働きかける義務があるという株主責任の考え方が存在する。投資主体の間に株主責任の考え方は広まってきてはいるものの、個々の良心に頼った社会には限界がある。持続可能な社会を形成してくためには、新たな制度を導入する必要がある。

しかし、株主責任の考え方が広まっているとはいえ、株主の考え方に依存して現状の問題を改善しようとする試みには限界があるのは明らかである。そこで、投資主体の環境配慮型投資行動を誘発するための新たな制度を構築する必要がある。本研究では、投資主体の環境に対する株主責任を企業の二酸化炭素排出量を用いて、第三者から評価するという制度を提案する。そして、提案した制度を経済実験によって検証する。

2. 環境責任評価を導入した株式市場モデルの提案

2.1 株式市場のモデル

本研究のモデルでは、2 種類の企業のみが存在する市場を考え、その企業を企業 P、企業 Q とする。企業 P は、二酸化炭素排出削減活動を行っていないが、企業 Q は二酸化炭素排出削減活動を積極的に行っている。その中で、N 人の投資主体がその 2 種類の企業の株式を取引する株式市場を考える。

企業 P、企業 Q の株式をそれぞれ株式 P、株式 Q と呼ぶ。N 人の投資主体は、取引開始前に金銭と株式を実験者より与えられ、T 期間繰り返される s 秒間の取引期間の間にダブルオークションによって株式取引を行う。第 t 期間の取引期間末には、株式を保有している投資主体に対して株式一株ごとに配当d_tが支払われる。また、各取引期間末に配当と同様に株式 P、株式 Q の一株当たりの二酸化炭素排出量C_tが定まる。

全取引期間 T 期間が終了すると、投資主体が保有する株式はある最終買取価格 D によって実験者に買い取られる。投資主体の金銭は、取引期間中の株式取引と取引期間ごとの株式の配当、実験者による最終買取によって増減する。

株式 P、株式 Q の配当と一株当たりの二酸化炭素排出量について述べる。各取引期間末に、株式 P、株式 Q の配当と一株当たりの二酸化炭素排出量が定まる。取引期間 t における株式 P の配当はd_t^P、株式 Q の配当はd_t^Qで表され、それぞれ独立に定まる。各取引期間における配当の期待値を$E(d_t)$で表し、$E(d_t^P) = E(d_t^Q)$とする。次に、各取引期間末に配当と同様に、企業 P、企業 Q の企業活動による二酸化炭素排出量を市場に存在する総株式数で割った株式 P、株式 Q の一株当たりの二酸化炭素排出量が定まる。期間 t における株式 P の一株当たりの二酸化炭素排出量をC_t^P、株式 Q の一株当たりの二酸化炭素排出量をC_t^Qで表され、それぞれ独立に定まる。各取引期間における配当の期待値を$E(C_t)$で表し、$E(C_t^P) > E(C_t^Q)$とする。また、株式の配当と二酸化炭素排出量に相関はなく、独立に定まる。

2.2 投資主体に対する環境責任評価手法

本節では、新たに導入した概念である環境責任評価の詳細について述べる。環境責任評価は、企業の二酸化炭素排出量情報によって、投資主体の環境面での株主責任を第三者が評価するという形で可視化することで、投資主体の環境配慮投資行動を誘発することを目的とする。環境責任評価は 5 段階評価を応用したものとし、評価の決定要素になる二酸化炭素排出量は本田ら[1]の考え方を用い、企業の環境負荷を株式所有に基づき配分する。

投資主体 i の取引期間 t における所有株式に基づく二酸化炭素排出量C_{it}を、以下のように定義する。ただし、n_i^P、n_i^Qはそれぞれ投資主体 i が配当を受け取った株式 P、株式 Q の株数とする。

$$C_{it} = n_i^P \times C_t^P + n_i^Q \times C_t^Q$$

投資主体の二酸化炭素排出量C_{it}をもとに投資主体 i の取引期間 t における環境責任評価R_{it}を計算する。環境責任評価とは、投資主体が環境責任を果たしているのかを示す指標のことであり、市場にいる他の投資主体よりも二酸化炭素排出量C_{it}が少ないほど高い評価になる。一方で、他の投資主体よりも二酸化炭素排出量C_{it}が多いほど低い評価になる。計算には、累積相対

度数の考え方を用いる。排出量順位とは、市場にいる投資主体の中で取引期間 t における投資主体の二酸化炭素排出量C_{it}が少ない方から順位のことを指す。その順位を階級とし、それぞれの投資主体の二酸化炭素排出量C_{it}を度数とする。また、排出量順位が少ない方からの累積相対度数を r とし、環境責任評価の計算式を次のように定める。

$$R_{it} = 5 - 4 \times r$$

環境責任評価R_{it}は 1 から 5 までの値をとる変数である。各投資主体の環境責任評価は毎期間終了時に計算される。また、同じ二酸化炭素排出量の投資家は同じ環境責任評価になるように、同じ二酸化炭素排出量であれば最も小さい累積相対度数 r を評価の計算に用いる。また、取引期間終了時に株式を保有していない期間に関しては、環境責任評価は計算されない。

3. 経済実験

3.1 実験設定

被験者実験は東京大学で異なる被験者群で 2 回実施した。実験は z-Tree[2]と呼ばれるソフトを用いてコンピューター上で行った。被験者はまず実験 1 として環境評価のない取引を行い、次に実験 2 として環境評価のある取引を行った。各回とも、東京大学学部生を 9 名ずつ雇用し、2 時間で平均 3500 円を支払った。

各実験の取引期間は 10 期間とし、1 期間は 180 秒とした。この値は全ての被験者に対して実験前に説明した。一株あたりの配当は(0, 40, 140, 300)のいずれかが等確率で選ばれる。二酸化炭素排出量は株式 P については(0, 4, 14, 30)が、株式 Q については(0, 2, 7, 15)が等確率で選ばれるとした。二酸化炭素排出量は 2 種類の株式ごとに独立に定まる。株式と現金の初期保有量は全被験者で同一で、現金は 5250 を保有し、株式はそれぞれ 1 株ずつ保有するとした。

3.2 実験結果

実験 1 と 2 の平均取引価格の推移は図 1 と 2 の通りである。実験 1 に比べて、実験 2 では相対的に株式 Q が株式 P よりも高値で取引される傾向があった。実験 2 の注文価格に関しては、全期間において株式 Q の平均売り注文価格が株式 P の平均売り注文価格を上回った。一方、平均買い注文は株式 Q の方が株式 P よりも低くなった。これらより、実験 2 においては被験者の間で株式 Q の方が重要視されたと考えられる。

次に、環境責任評価によって被験者の行動に影響が出たのかどうか考察する。それぞれの被験者には、各期間終了時に二酸化炭素排出量によって環境責任評価が計算される。また、取引期間中の取引画面に前期の環境責任評価が表示される。表示された環境責任評価によって被験者の行動に影響を与えたかどうか分析するために、それぞれの被験者が株式の売買を行った前期に受けていた環境責任評価、すなわち株式取引を行った際に取引画面に表示されている環境責任評価の平均値を比較すると、株式 P を売却したときの環境責任評価値の 3.54 に対して、株式 Q を売却したときの評価値が 3.82 と、より高くなっており、環境責任評価が低いと評価をあげるために株式 P を売却する傾向があると推測される。逆に、株式 Q を購入したときの環境責任評価値の 3.78 に対して、株式 P を購入したときの評価値は 3.59 と、より低くなっており、評価をあげるために株式 Q を購入する傾向があると推測される

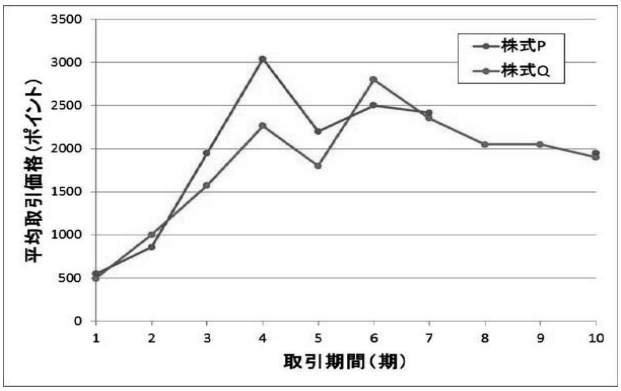


図 1 環境評価の無いときの平均取引価格

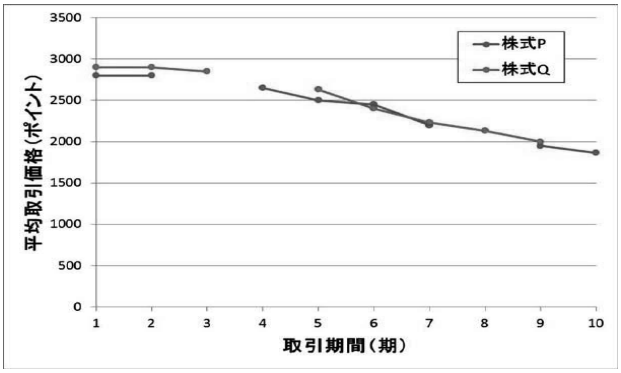


図 2 環境評価のあるときの平均取引価格

4. 結論

二酸化炭素排出量に差がある株式の間では取引価格に差がみられなかったが、環境責任評価を導入したことによって、環境配慮活動を行っている企業の株式の価格が高くなる傾向があることが示された。また、環境責任評価が投資主体の意思決定に影響を与える可能性があることも示された。

引用文献

1) Fischbacher U.: Experimenttal Economics 10(2), (2007), pp. 171–178.
2) 本田智則, 稲葉敦: 日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, (2012), pp. 328-32.

環境配慮型シールラベルの LCA

Life cycle assessment of eco-friendly tuck labels

○佐藤涼太*[1)]、坪根遼一[2)]、渡辺太二[2)]、伊坪徳宏[1)]
Ryota Sato, Ryoichi Tsubone, Taiji Watanabe, 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
*g1131090@tcu.ac.jp

1. はじめに

近年 ISO26000(社会的責任に関する国際規格)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)」という考え方が国際的に広まっており、環境に対する 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。包装や食品の成分表示等で使用されるシールラベルは生産・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しているが、焼却時にCO_2を約20%削減するシールラベル(以下、CO_2削減ラベル)が開発され業界の注目を集めた。

CO_2削減ラベルについては CO_2 固定に関わる技術的な説明文書があるが、LC の観点から見た分析結果は公表されていない。また、台紙を使用しないシールラベル(以下、台紙フリーラベル)も省資源に寄与するものと期待され、これまでにカーボンフットプリント(以下、CFP)が実施されているが、ウォーターフットプリントやランドフットプリントに関する分析は実施されていない。

2. 研究目的

本研究では環境配慮型シール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種のシールラベル(通常の台紙付きラベル、CO_2削減ラベル、台紙フリーラベル、CO_2削減台紙フリーラベル)とする(図1および表1)。機能単位は「シールラベル 1 ㎡の消費」とし、評価項目は GHG、水、土地の3種とする。

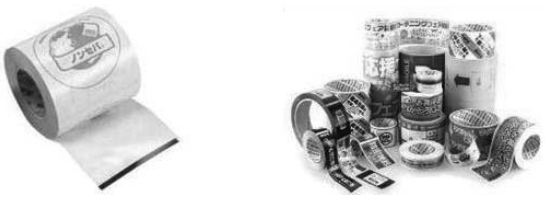


図1　評価対象

表1 評価対象

ケース 1	通常の台紙付きラベル
ケース 2	CO_2削減ラベル
ケース 3	台紙フリーラベル
ケース 4	CO_2削減台紙フリーラベル

3.2 調査範囲

シールラベルのシステム境界を図 2 に示す。原材料調達から製造、輸送、使用、廃棄までの LC 全体をシステム境界とする。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をシステム境界外とした。

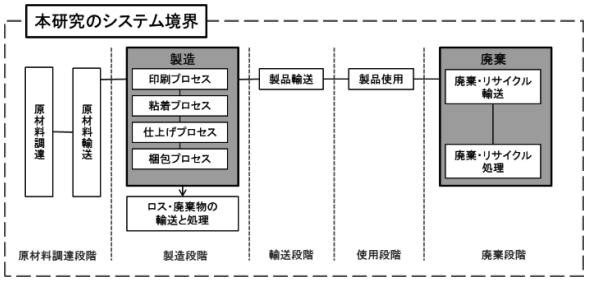


図2 システム境界

3.3 データの収集

本研究では、東京都目黒区下目黒にある「サトーグリーンエンジニアリング株式会社」へヒアリングに行き、一主要製品(1,185 ㎡)に投入される原材料や電力等のデータを取得した。また、台紙フリーラベルの CFP の詳細データと CO_2削減剤に関わるデータを取得した。

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。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 試験の結果から明らかにする。

4. 結果

4.1 CO_2 削減剤の効果

CO_2 削減剤(NVC 添加品)における TG/DTA 試験の結果を図 3 に示す。台紙付きラベル(通常品)との焼却後の残渣量[%]の差(1.17%)から値を求める。公的機関検査結果から得られた検量線(CO_2 削減量―残渣量)の方程式(y=15.001x+4.1012)に値を代入する。その結果、焼却時の CO_2 排出削減量が約 21%であることが明らかとなった。以降の LCA では CO_2 削減剤は「焼却時の CO_2 排出量を 20%削減する」効果があるという前提の下で算定を行う。

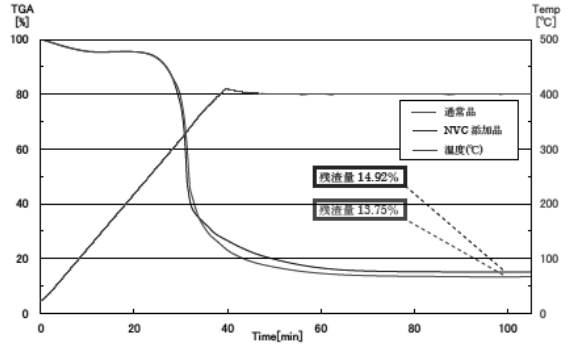


図 3 TG/DTA 試験の結果

4.2 各種シールラベルの GHG 排出量

GHG 排出量の算定結果を図 4 に示す。原材料調達、廃棄、台紙生産が相対的に大きかった。ケース 1 と 3 の比較より、台紙フリーにより CO_2 は約 3 割削減されることがわかった。ケース 1 と 2 の比較より、CO_2 削減剤の使用により CO_2 排出量は LC で約 5%削減された。

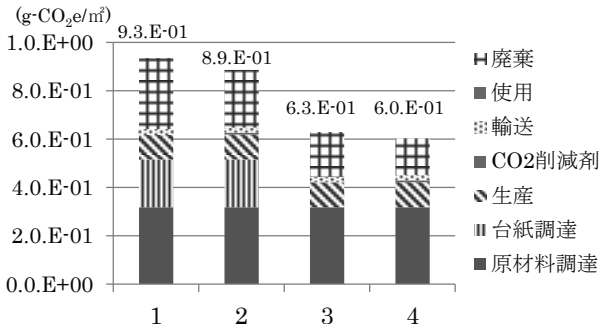


図 4 GHG 排出量比較

4.3 各種シールラベルの水消費量

水消費量の算定結果を図 5 に示す。原材料調達と台紙で全体の約 7～9 割を占めた。台紙フリーによる効果が大きく、およそ 4 割削減された。対して、ケース 2 と 4 では CO_2 削減剤の生産分(5.4.E-03 ㎥)が増加した。この値はケース 1 において約 1 割程度に相当する。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。

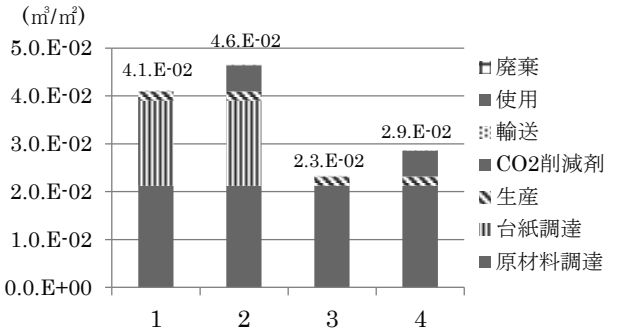


図 5 水消費量比較

4.4 各種シールラベルの土地利用面積

土地利用面積の算定結果を図 6 に示す。原材料調達(主に基材のコート紙分)と台紙で全体の 90%以上を占めた。台紙フリーの効果が大きく、およそ半減できるものと考えられた。ケース 2 では CO_2 削減剤の生産分(2.8.E-07ha)が増加した。この値はケース 1 において約 5%に相当する。

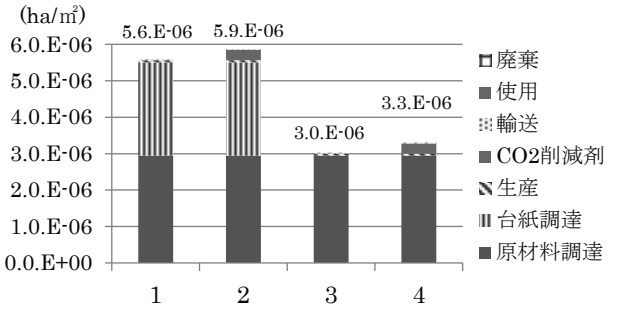


図 6 土地利用面積比較

5. おわりに

本研究では、LCA を用いて環境配慮型シール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。シールラベルの環境負荷は基材、台紙等の原材料の使用量に大きく依存し、台紙フリーによる効果が非常に高いことがわかった。CO_2 削減ラベルに関しては通常ラベルに比べ GHG で有利だが、水、土地で 1 割程度の増加が見込まれた。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)

メカニカルリサイクル PET 普及に伴う国内流通および環境負荷の変化

Changes in the domestic distribution and environmental impact
due to the spread of mechanical recycled PET

○大橋憲司*[1)]、金丸敦 [2)]
Kenji Ohashi, Atsushi Kanemaru
1) 株式会社資生堂, 2) 協栄産業株式会社
* *kenji.oohashi@to.shiseido.co.jp*

1. はじめに

持続可能な社会の形成に向けた挑戦として、近年、使用済み飲料 PET ボトルのリサイクルが進められている。これまで、市場から回収された PET ボトルには衛生面での懸念があったことから、そのほとんどが繊維などの飲料容器以外の用途として再生され、マテリアルリサイクルによるボトル to ボトルの再生は行われてこなかった。栃木県のリサイクル事業者である協栄産業株式会社は、アルカリ洗浄などの徹底した品質管理と、再生処理中に低下した分子量を回復させる固相重合処理によって、PET ボトルから PET ボトルへのマテリアルリサイクル（メカニカルリサイクル）を可能とした。本手法により再生された PET 樹脂は、2010 年に飲料容器の素材として採用されて以来、2015 年現在では数多くの製品に活用されている。しかしながら、こうしたボトル to ボトルのクローズドリサイクルが拡大すると、従来、飲料 PET ボトルのリサイクル材を利用していた繊維製品やフィルム製品への材料供給が不足し、その不足分はバージン材料によって補填されることが予想される。

本研究では、日本社会でメカニカルリサイクルの普及が進んだ場合において、PET 製品全体の流通量と、それに関連する GHG 排出がどのように変化するかについて検討を行った。

2. 調査概要

2.1 調査対象および調査方法

PET ボトルのリサイクルに関しては、国内外で数多くの報告があるが [1-3]、リサイクルにより任意の回数だけ再生され、バージン素材を代替した後に廃棄されるシナリオに基づいて分析された評価が多い。しかしながら現実には、バージン素材を用いた製品廃棄物とリサイクル素材を用いた製品廃棄物とを回収・分別の過程で仕分けることは不可能である。バージン素材であるかリサイクル素材であるか、あるいはバージン素材とリサイクル素材の複合素材であるかを問わず、一定の割合がリサイクルされ、残りは海外に輸出されたり廃棄されたりしていることから、再生回数を設定することは困難であり、投入されたバージン素材からの再生材の量が十分に小さくなるまでを対象とした、現実に即した評価が求められる。

本研究では、メカニカルリサイクルが普及する以前の 2010 年における日本の PET 樹脂流通量をベースとして、メカニカルリサイクル普及に伴う各 PET 製品への波及効果を PET 樹脂流通量および GHG 排出によって評価した。日本の市場に投入されたバージン PET 樹脂が、ボトルや繊維等の製品に繰り返しリサイクルされた場合に、飲料容器やその他の用途として利用される PET 樹脂製品の流通全体を機能単位とし、日本における PET 樹脂製品市場をシステム境界と設定した。

PET 関連製品の流通量は、以下の式により求めることができる。

$$Xc = \sum_{n=0}^{\infty} (a*Rxc)^n * Xo$$

$$Xm = \sum_{n=0}^{\infty} (a*Rxm)^n * Xo \ , \quad Xo = \sum_{n=0}^{\infty} \{(a*Rxc)^n * Xoo\} - (Xc + Xm)$$

$$Y = \sum_{n=0}^{\infty} (a*Ry)^n * Yo \ , \quad Yo = \sum_{n=0}^{\infty} \{(a*Ry)^n * Yoo\} - Y$$

$$Z = \sum_{n=0}^{\infty} [\{(Xo*a^n / \sum_{m=0}^{\infty} (Xo*a^m)\} * Zo] \ , \quad Zo = Z$$

$$W = Xo + Yo - Zo$$

Xc : ケミカルリサイクルによる PET 樹脂流通量
Xm : メカニカルリサイクルによる PET 樹脂流通量
X_0 : 飲料用途として投入されるバージン PET 樹脂量
X_{00} : 飲料用途として投入されたバージン PET 樹脂量（2010 年実績値）
Y : 飲料以外の用途として投入される PET 樹脂流通量
Y_0 : 飲料以外の用途として投入されるバージン PET 樹脂量
Y_{00} : 飲料以外の用途として投入されたバージン PET 樹脂量（2010 年実績値）
Z : 輸出される PET 樹脂量
W : 国内で廃棄される PET 樹脂量
a : 廃棄 PET 容器の回収率
Rxc : ケミカルリサイクルによる飲料容器への再生率
Rxm : メカニカルリサイクルによる飲料容器への再生率
Ry : 飲料容器以外の用途への再生率

各 PET 製品の再生量の総和はバージン材料投入量と回収率、再生率により決定される。一方で、2010 年における PET 製品の流通量を機能単位と設定していることから、バージン材料の投入量は再生量により決定される循環関数となる。そこで、本検討では、バージン材投入量に比べて再生量が十分に小さくなるまでリサイクル（10 回）を行った場合として、メカニカルリサイクル普及以前（2010 年）と普及後における PET 樹脂の流通量および、それに関連する GHG 排出量の比較評価を実施した。ただし、飲料容器や繊維製品などの樹脂成形に関わる負荷は本評価に含めていない。

3. 結果と考察

2010 年の日本では 158.9 万 t のバージン PET 樹脂が投入され、飲料容器が 60.1 万 t、繊維製品が 34.7 万 t、シート製品が 25.5 万 t、フィルム製品ほかが 38.6 万 t 生産されている。このうち 50.4 万 t の使用済み PET 容器が回収され、飲料容器 2.0 万 t、繊維製品 5.9 万 t、シート製品 8.4 万 t、フィルム製品ほか 1.0 万 t に再生されている [4]。また、回収された飲料 PET 容器のうち、約 20 万 t が海外に輸出されたと推測されている。

2013 年度にはメカニカルリサイクルされた PET 樹脂が約 2 万 t 出荷されているが、これによる飲料用途および飲料用途以外の PET 樹脂流通量への影響を評価した（図 1, 2）。

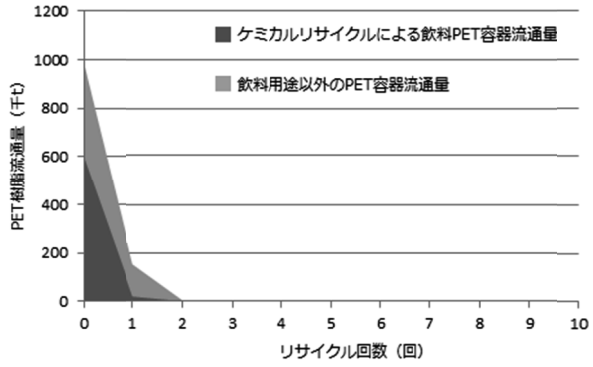


図 1 メカニカルリサイクル導入前の PET 製品流通量

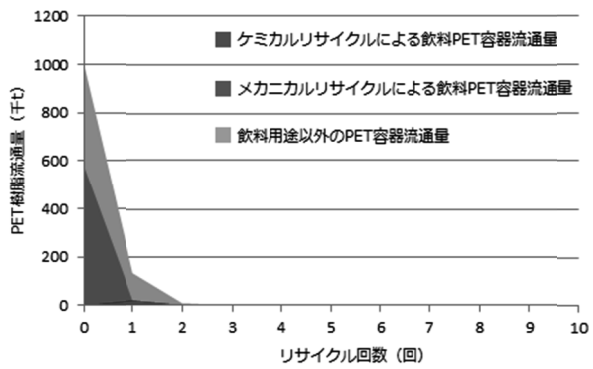


図 2 メカニカルリサイクル導入後の PET 製品流通量

メカニカルリサイクルが導入される以前に比べて、飲料容器に投入されるバージン材料は 2.2 万 t 削減され、一方で繊維など飲料容器以外の用途として投入されるバージン材料は 1.5 万 t 増加した。

次に、メカニカルリサイクルによる再生量を 2013 年の実績値である 2.0 万 t から 12 万 t まで増加させた場合に、バージン材の投入量および PET 樹脂製造、回収・輸送、再生、廃棄処理など PET 樹脂の供給に関わる GHG 排出量について算定を行った。再生量が 4.0 万 t 以上となるシナリオでは、再生量の増加分を国内循環量で賄えないことから、輸出量の抑制により不足分を補うものとした。その結果、12 万 t の PET 樹脂が再生された場合には、8.4 万 t のバージン材投入と 38 万 tCO_2e の GHG 排出が抑制されることが明らかとなり、メカニカルリサイクルの普及拡大が PET 市場全体における環境負荷削減にも貢献することが示唆された。

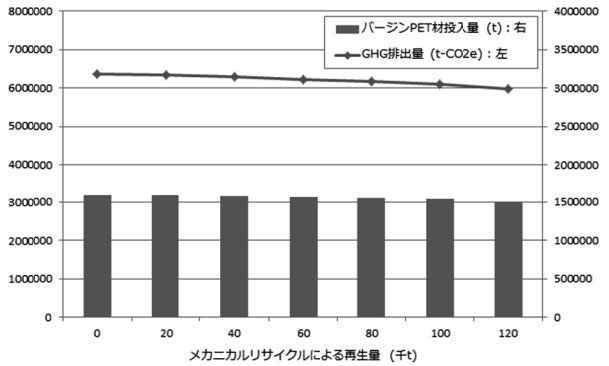


図 3 メカニカルリサイクルの拡大による バージン原料投入量および GHG 排出量の変化

国土が狭く鉱物資源や化石資源に乏しい我が国においては、人間社会をシステム境界として、システムに投入される資源およびシステムから排出される廃棄物の量を減らすことは極めて重要な課題であり、廃棄物の再生はその課題解決に大きく貢献する手段の一つと言える。その普及拡大のためには、一つの製品種における試みだけに囚われることなく、系全体への波及効果についても広く俯瞰した上で、より有効なオプションを選択することが必要であろう。

引用文献

1) Nakatani *et al.*, *Journal of Life Cycle Assessment, Japan*, Volume 7, No.1, pp96-107 (2011)
2) Li Shen *et al.*, *International Journal of Life Cycle Assessment*, Volume 16, Issue 6, pp 522-536 (2011)
3) 北原 *et al.*, PET ボトルリサイクルの帰結的 LC-CO_2 分析, 第 8 回 LCA 学会研究発表会 (2013)
4) PET ボトルリサイクル年次報告書（2011 年度版）

阪神大震災により創製された鉛フリーはんだ材料の経年環境影響評価

Aging environmental impact assessment of Lead free solder created by Great Hanshin Earthquake

○末次　憲一郎*[1)]、塩見尚史[2)]
Kenichiro Suetsugu,　Naofumi Shiomi
1) 神戸大学,　2) 神戸女学院大学
*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、鉛フリーはんだの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)]。

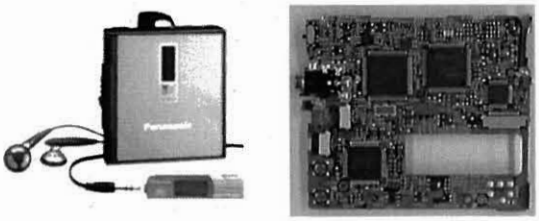


図1．世界初のポータブル MD プレーヤと電子回路基板

以降各種材料の研究開発が行われ、現在汎用材料としては、SnAgCu 系鉛フリーはんだ材料が使用されている。

この鉛フリーはんだ材料に関する環境影響については、これまで従来の鉛はんだとの比較において各種検討が行われてきたが、実際の電子回路基板製造工程と環境影響の関係については研究がなされていなかった[3)]。このため実際の製造工程を用いた場合の主要な環境影響評価について検討を行った。

2．方法

2.1.実装プロセスによるはんだ材料の主要なライフサイクル影響評価（LCIA）

テネシー大学のクリーン製品・クリーン技術センターが、鉛フリーはんだ材料のＬＣＡに関して研究を行った[3)]。鉛フリーはんだプロジェクト（LFSP）では、リフロープロセスにおけるペースト材料の LCIA 及びフロープロセスにおける LCIA が報告されている[3)]。この製造工程における重点 LCIA 項目を検討した。

2.2.主要実装プロセスの現状使用割合の評価

主要実装プロセスであるリフロープロセスとフロープロセスにおいて、実際の製造工程ではそれぞれのプロセスがどれほどの使用されているのかを調査し、上記２大実装プロセス工程が混在した、実際の製造工程の状況把握を行った[4)]。

2.3. 実際の生産を考えたはんだ材料の使用状況

上記主要実装プロセスの使用状況を考えたペースト材料、棒はんだ材料の製造状況を、〔2.2〕の調査比率をもとに算出を行い、実際の混載使用状況を明らかにした。

3．結果及び考察

3.1. SnAgCu(SAC)をベースとしたペーストおよび棒はんだ材料の LCIA への影響

表１に SAC をベースとした、SnPb はんだ材料のリフロープロセスにおけるペースト材料[3)]での比較を示した。この結果から、環境影響カテゴリー中、『癌以外の職業病』、『一般の人の疾病』及び『水圏生態系への毒性』が、約８倍から約７０倍程度の影響力を与えていることがわかった。

表1．　SACをベースとした従来SnPbはんだペーストの顕著な特性差異

環境影響カテゴリー	機能ユニットの単位	SnPb	SAC	SnPb／SAC
癌以外の職業病	Kg	560,000	8,120	69.01
水圏生態系への毒性	Kg	1,270	36.4	37.80
一般の人の疾病	Kg	88,000	10,550	8.40
富養化	Kg(リン酸塩相当)	0.122	0.118	1.03
一般の人の癌	Kg	6.96	7.05	0.98
地球温暖化	Kg(CO2酸塩相当)	817	873	0.93
エネルギーの使用	MJ	12,500	13,600	0.92
オゾン層破壊	Kg(CFC-11相当)	0.0000995	0.00011	0.90

次に表２に SAC をベースとして SnPb はんだ材料のフロープロセス棒はんだ材料[3)]での比較を示した。この結果から、環境影響カテゴリー中、『癌以外の職業病』、『水圏生

表2．　SACをベースとした従来SnPb棒はんだとの顕著な特性差異

環境影響カテゴリー	機能ユニットの単位	SnPb	SAC	SnPb／SAC
癌以外の職業病	Kg	715,000	10,900	69.01
一般の人の疾病	Kg	133,000	12,200	10.90
水圏生態系への毒性	Kg	1,550	198	9.82
職業癌	Kg	59.4	57.5	1.03
一般の人の癌	Kg	4.13	5.04	0.82
富養化	Kg(リン酸塩相当)	0.0214	0.0257	0.80
再生可能資源の使用	kg	6,030	8,760	0.69
地球温暖化	Kg(CO2酸塩相当)	187	357	0.52

態系への毒性』及び『一般の人の疾病』において約８倍から約７０倍の影響力を与えていることがわかった。

3.2. SAC をベースとしたペーストおよび棒はんだ材料の LCA への影響

表３に SAC をベースとして SnPb はんだ材料のリフロー/フロー混載プロセスにおけるペースト／棒はんだ材料を用いた場合での環境影響を検討した。現実の生産では、リフロープロセスが３０％、フロープロセスが７０％であり[4]、この比率に基づいてペーストと棒はんだの割合を考慮し、環境影響について検討を行った。

表3.　SAC をベースとして SnPb ペースト/棒はんだ混載製造工程での顕著な差異

環境影響カテゴリー	機能ユニット単位	SnPb	SAC	SnPb／SAC
癌以外の職業病	Kg	668,500	16,066	66.57
水圏生態系への毒性	Kg	1,466	149.5	9.39
一般の人の疾病	Kg	119,500	11,750	0.87
富養化	Kg(リン酸塩相当)	0.515	0.0533	0.801
一般の人の癌	Kg	4.97	5.64	18.97

表３から、環境影響のカテゴリーにおいて、『癌以外の職業病』が約６７倍、『一般の人の疾病』が約１９倍、『水圏生態系への毒性』が約9.4倍と極めて顕著な影響を与えていることが明らかになった。

これらの検討結果から、鉛フリーはんだをベースとして考えた場合、『癌以外の職業病』、『一般の人の疾病』及び『水圏生態系への毒性』の観点で、顕著な効果を発揮していることが明確になった。またこの環境影響が鉛フリーはんだを使用することによって、地球環境への負荷を約十分の一以下まで、顕著に低減させることが明らかになった。

しかしながら、現在鉛フリーはんだへの置き換えは、８０％であり、まだ２０％が鉛フリー化されていない。

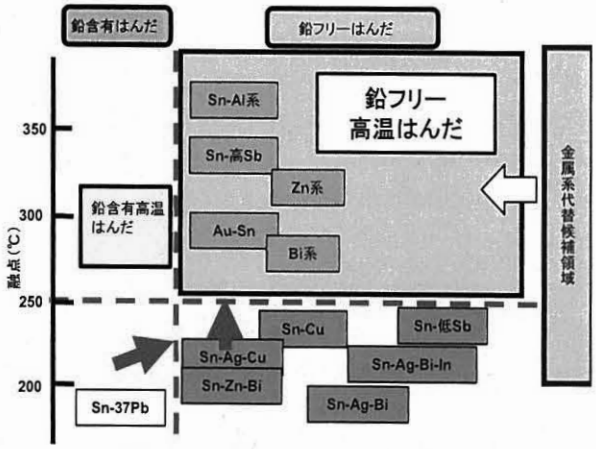


図２　各種鉛フリーはんだの溶融温度域

それは図２に示されているように、高温域のはんだ材料において鉛フリーはんだ化が行われていないためである。

この高温域での接合用はんだは、車載電子機器やパワートレインのほか、SiC 半導体の接合材料の用途となっており、これらのデバイスのほとんどが、鉛８０％以上の鉛はんだが現在でも使用されている[5]。しかしながらこれら鉛はんだに替わる材料系については、いまだ組成が明らかになっておらず、世界の半導体メーカー等がしのぎを削って開発を進めている。これらの分野も早急に鉛フリー化を進めていきたい。

4．結　言

SAC をベースとして SnPb はんだ材料のリフロー/フロープロセスにおけるペースト／棒はんだ材料での比較を示した。これらの結果から従来の鉛はんだは環境影響のカテゴリーにおいて、『癌以外の職業病』、『一般の人の疾病』及び『水圏生態系への毒性』が極めて顕著であり、鉛フリーはんだに比べると、地球環境への負荷が約８倍から約７０倍となっていることが明らかになった。

これらのことから、従来の鉛はんだから鉛フリーはんだ化することによって、毒性の観点から環境負荷低減に貢献してきたと考える。さらに鉛フリーはんだが現在から将来に渡って継続使用されることにより、未来において大きな環境貢献が可能になったと考える。あわせて今後高温はんだの領域においても、鉛フリー化を推進する必要があると考え、研究を継続していく。

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)　『電子部品中はんだのライフサイクルアセスメント』,　テネシー大学鉛フリーはんだプロジェクト (Aug. 2005, Http://www. epa. gov/dfe/solder/lca/index. hym)
4)『詳説　鉛フリーはんだ接合技術』(編著),　末次憲一郎　他, 工業調査会,　(2004年) pp249.
5)　K. Suetsugu, A. Furusawa, M. Tanaka, H. Takano. H. Takehara, T. Horiuchi and K. Matsusige, Mater.　Trans. 47,　No4 (2006) pp1082-1089

阪神大震災により創成された高温鉛フリーはんだの環境特性改善

Environmental property improvement of High melting point lead free solder created by Great Hanshin Earthquake

○末次　憲一郎*[1)]、松木一弘[2)]、小西琢磨[2)]、許哲峰[2)]、寺田圭吾[2)]
Kenichiro Suetsugu, Kazuhiro Matsugi, Takuma Konishi, Teppo Kyo, Keigo Terada
1) 神戸大学, 2) 広島大学
*ksuetsugu@port.kobe-u.ac.jp

1. 緒　　言

１９９５年阪神淡路大震災を契機としてSnAgBiIn系鉛フリーはんだ材料が研究され、１９９８年本材料を使用したポータブルMDプレーヤーが、世界で始めて量産実用化された[1,2)]。以降現在に至るまで、鉛フリーはんだ材料が電子機器用として世界的に使用され、その結果、『癌以外の職業病』、『一般の人の疾病』及び『水圏生態系への毒性』において顕著な環境負荷低減が明らかになった。

しかしながらこの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　各種物性値の調査

各種接合はんだ材料の主要な特性について調査を行い、環境に適する鉛を含まないはんだ材料を絞り込んだ。さらにこの合金をはんだ材料として用いた場合、従来の鉛はんだと比べてどのような課題があるのか、マッピング化して調べ、その結果を図１に示した。

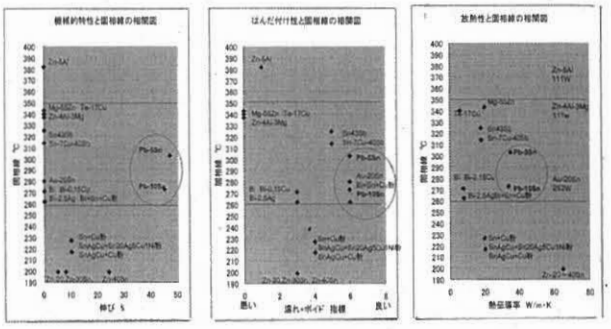


図１．固相温度と伸び、濡れ性、熱伝導率の関係

上記調査結果から、従来の鉛はんだは鉛フリーはんだに比べ、伸びと融点のバランスが良好だということがわかった。鉛フリーはんだ対応材料として、伸びは良好であるが融点が低い材料系と、伸びは良好でないが融点が高い材料系の二つの群に分かれた。

上記以外の材料系は、アンチモンやベリリウムなどもの合金も存在するが、毒性の関係で高温鉛フリーはんだ材料に適しないと考える。

2.2　各種物性地の調査から進め方

適合する材料系を得るためには、第一に融点が高くて伸びが小さいものを改良する方法、第二に融点が低くて伸びが大きな材料系を改良する方法、第三に新たな組成で実現する方法の三つの方法が考えられる。

この方法のなかで、まず第二の伸びが大きい材料を高温化することを考えた。この高温化のためには、予測を可能とする材料設計が必要であることがわかった。

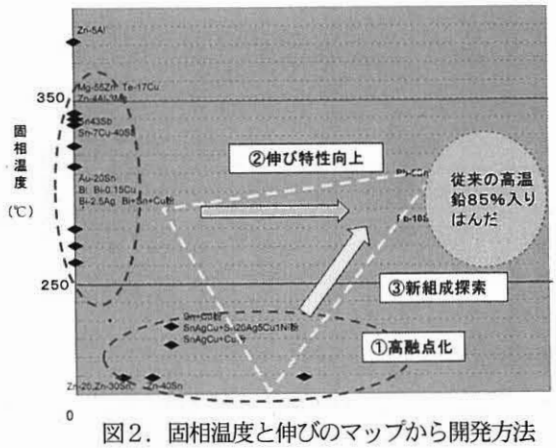


図２．固相温度と伸びのマップから開発方法

2.3. 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３に示した。

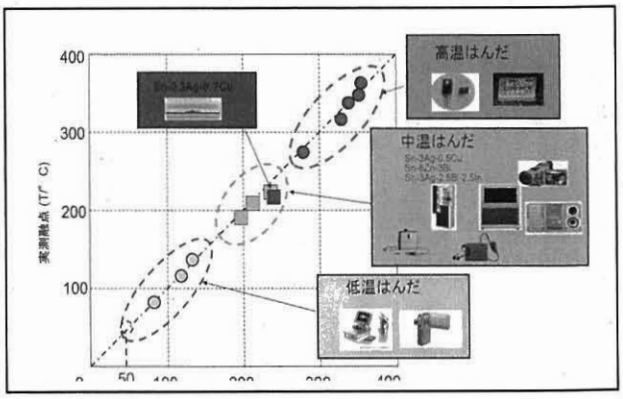


図３．高温鉛フリーはんだの設計温度と実測温度

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３を用いて高温特性を有する高温はんだ材料を調べ、ビスマス系材料をベースとした材料系において実用化への可能性があると考えた。

2.4. ビスマス系はんだ材料の伸びの調査

ビスマス系材料が高温特性を有することより、この材料をベースとしてこれにＡｇ等の添加元素を加え、ビスマス系材料の引張り特性について調べた。

その結果を図４に示した。ビスマスに銀を２％から５％程度混合する材料系において、弾性率が向上し、またＣｕを混合することにより、伸びが数十％以上得られることがわかった。さらにビスマスをベースとして、各種添加元素を投入することにより、高温特性を維持しつつ伸びを改善できる可能性を絞り込んだ[4]。

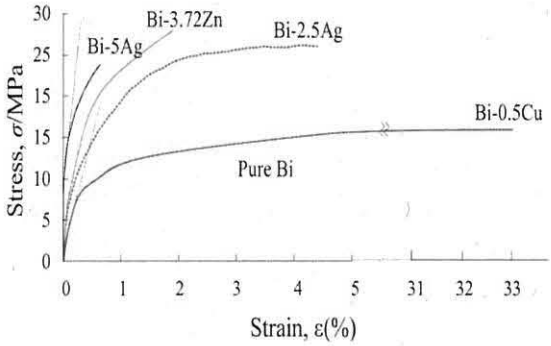


図４．Ｂｉ系材料の引張り試験結果

３．テストピースでの接合特性確認と実機への搭載

ビスマス系材料をベースとした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を、加速試験等実施してテストピースレベルで調べた。

その結果テストピース段階での比較試験では、ビスマス系高温鉛フリーはんだ材料は、従来の高温鉛はんだ同等以上の特性が得られた。

あわせて実機での特性評価を実施するために、図５に示すようにＬＥＤ照明機器を対象に選んだ。ＬＥＤ機器は車載ヘッドライトやパワートレイン等の高信頼性分野において使用されており、応用範囲は広いと考えている。現在ＬＥＤ照明機器の電源基板を用いて、ビスマス系高温鉛フリーはんだ材料の実機での信頼性評価を開始している。

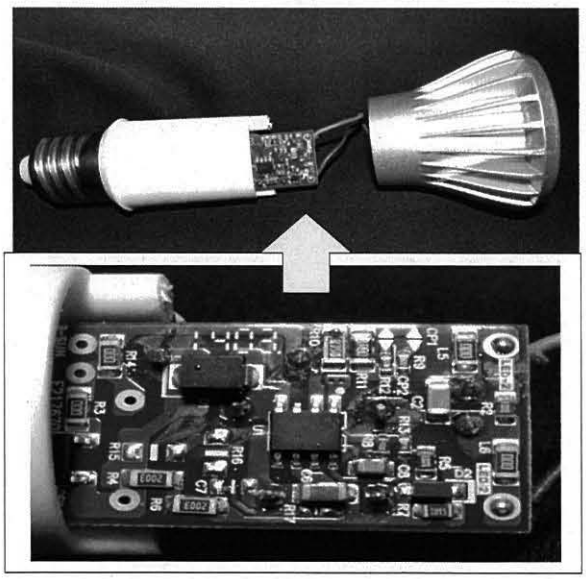


図５．ＬＥＤ電源基板への適用

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、環境負荷を低減することから、現在、世界の約８０％を従来の鉛はんだから置き換えられている。しかしながらパワーエレクトロニクス等で用いられる２５０℃以上の高温系はんだについては、従来の鉛８５％含有した鉛はんだが使用されたままとなっている。

このためビスマス系はんだ材料を用いて、各種調査実験を行った。その結果、融点が２７０℃以上で伸びが３０％以上の高温鉛フリーはんだ材料の可能性が得られた。この材料系を用いたテストピース段階での特性試験では、従来の鉛はんだ同等以上の特性を有していることがわかった。実用化を進めるために、ＬＥＤ照明機器の電源用電子回路基板への実機評価を開始している。

ビスマス系鉛フリーはんだ材料を、車載やパワートレイン用電子回路機器への展開を図り、現在でも鉛はんだから代替ができていない分野を鉛フリー化へと進め、鉛はんだ全廃を達成したいと考えている。

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.

米国を対象とした global link input-output モデルの作成とカーボンフットプリント分析

Building a global link input-output model of US and carbon footprint analysis

○飛松雄大*[1)]，南齋規介[2)]，東野　達[1)]
Takehiro Tobimatsu, Keisuke Nansai, Susumu Tohno
1) 京都大学，　2) 国立環境研究所
* tobimatsu.takehiro.36r@st.kyoto-u.ac.jp

1. 研究の背景と目的

近年，技術革新や貿易の多角化によって各国の環境負荷排出構造は複雑化している．それを受けて，商品の生産に伴いグローバルサプライチェーンで生じた環境負荷排出の責任を，その生産を行なった国に帰属する従来の考え方 (生産者責任論) から, その商品を最終的に消費した国に帰属する考え方 (消費者責任論) へと移り変わりつつある[1)]．このような消費者責任の観点から評価を行うツールの一つに，global link input-output model　(GLIO)[2)]がある．これは逆行列計算で世界的な波及効果を計算可能な多地域間産業連関表 (MRIO)[3)]の一種であり，国外部門を簡略化することにより MRIO の欠点である膨大なコストや部門解像度の犠牲といった点を解決したモデルである．この構造体系を自国の産業連関表に応用してメリットが享受できる国は，日本，米国，韓国などの詳細な部門数で自国の産業連関表を作成している国々である．現時点では日本版 GLIO（JPN-GLIO）だけが作成されている，

今日，生産者責任論の観点から米国は世界第 2 位の温室効果ガス排出国である[4)] が，先進国，消費大国，世界最大の輸入国であるため，その環境負荷排出量は消費者基準の観点では世界最大である[5)]．本研究では米国の環境負荷排出量を消費者基準の観点から解析するにあたり，米国の産業連関表の詳細な部門解像度を生かした新規モデル (US-GLIO) を作成する．さらに、本モデルにより，米国の各商品の最終需要に伴う国内外への波及的環境負荷排出構造を詳細に評価する．

2. 方法

2.1 研究の方針

JPN-GLIO は「商品-商品」体系に基づいて作成されているが，米国の産業連関表では国連が推奨している国民経済計算体系 (SNA) が用いられており，そのため「供給-使用」体系で産業連関表を作成している．

米国のような SNA 体系を用いている国に関して GLIO を作成するには，「供給-使用」体系を「商品-商品」体系に変換した後に日本の作成方法を踏襲して作成する方法と，「供給-使用」体系のままの新しい GLIO の枠組みを作成する方法がある．本研究では, US-GLIO 作成後に JPN-GLIO と比較検討することを考慮し，技術仮定を用いて US-GLIO を「商品-商品」体系に変換して表 1 のように作成する．その変換方法は以下の通りである．

米国産業連関表に関して商品技術仮定を用いた U 表 V 表を Bureau of Economic Analysis (BEA)より入手する．それらを用いて以下の計算(1)を行うことにより商品技術過程にのっとった投入係数行列を求めることができる．ここで，$\mathbf{V}^T$ は $\mathbf{V}$ の転置行列を表す．

$$\mathbf{A}(\mathbf{U},\mathbf{V}) = \mathbf{U}(\mathbf{V}^T)^{-1} \quad (1)$$

また，投入係数行列は一般的に式(2)で表されるので，変換後の中間需要行列は式(3)で表される．ここで，$\mathbf{q}$ は総生産行列であり，$\hat{\mathbf{q}}$ は，$\mathbf{q}$ の対角行列である．

$$\mathbf{A} = \mathbf{x}(\hat{\mathbf{q}})^{-1} \quad (2)$$

$$\mathbf{x} = \mathbf{U}(\mathbf{V}^T)^{-1}\hat{\mathbf{q}}^{-1} \quad (3)$$

以上が米国における「供給-使用」体系から「商品-商品」体系への変換方法である．

米国国内部門は米国産業連関表に基づき、389 部門で構成する．国外部門は JPN-GLIO にならい，230 の国と地域を一国一部門で接続する．具体的な作表の手順は以下の通りである．

まず表 1 の X1 については BEA より公表されている米国産業連関表より，上記の変換法を適用し用いる．また，UNCOMTRADE(2005)データを用いて輸入表，輸出表を作成し産業連関表内の輸入額と組み合わせることにより X3 を算出する．Y1～Y3 については UN-COMTRADE の貿易表から米国部のみを細分化する．

JPN-GLIO を構成する日本の産業連関表と貿易データは，2005 年度のものが使用されている．一方，米国の産業連関表は, BEA より 5 年ごとに発行されており，現在最新版は 2007 年版である．本研究では日本版との

比較を視野に入れているので，US-GLIO における貿易データは 2005 年度版を用いるなど，可能な限り使用データの年度を統一して作成する．

表 1　US-GLIO の構成

	国内 n=389	輸入 n=389	海外 n=230	需要 n=1008	総生産 n=1008
国内 n=389	**X**1	0	**X**3	$\mathbf{f}^{\mathbf{D}}$	$\mathbf{x}^{\mathbf{D}}$
輸入 n=389	0	0	0	$\mathbf{f}^{\mathbf{I}}$	$\mathbf{x}^{\mathbf{I}}$
海外 n=230	$\sum Y1$	$\sum Y2$	$\sum Y3$	$\mathbf{f}^{\mathbf{G}}$	$\mathbf{x}^{\mathbf{G}}$

X1:米国内生産品の国内中間投入量($)，X3:米国内生産品の海外輸出($)，Y1: 米国内生産品のための海外生産品投入量($)，Y2:海外生産品の国内直接需要のための投入量($)，Y3：米国以外の二国間の海外生産品の取引量($)，**f**：最終需要，**x**：総生産量($)

2.2 GLIO の環境分野への拡張方法

上記の方法で表1のような構造を持つUS-GLIOを作成したが，このままでは環境負荷に着目した分析を行うことは不可能である．海外部に関して表中の単位を内包的環境負荷排出量へと変換を行うことによって，環境負荷に特化した作表が完了する．その計算方法は以下のとおりである．

ある商品kに関して，生産時の環境負荷原単位$\hat{\omega}^{(k)}$，と輸送時の環境負荷原単位$\hat{\sigma}^{(k)}$が既知であるならば，以下の式(4)によって内包的環境負荷量を得ることができる．なお，l は商品数を表す．

$$\hat{Y}^{I(k)} = \sum_{k=1}^{l} (\hat{\omega}^{(k)} Y^{I(k)} + \hat{\sigma}^{(k)} Y^{I(k)}) \tag{4}$$

Y^{II}，Y^{III}に関しても同様の手順で変換を行い，環境分析用のハイブリット GLIO は表 2 の構造となる．なお，今回は環境負荷として CO_2 を用いており，各排出原単位は，IO 表を作成している国に関しては GTAP[6]から得られたものを用いている．その他は JPN-GLIO と同様にして求められる [2]．

なお、以降の分析は変換後の US-GLIO を用いて行う．

表 2　US-GLIO の構造

	国内	輸入	海外	需要	総生産
国内	X1	0	X3	f^D	x^D
輸入	0	0	0	f^I	x^I
海外	$\sum \tilde{Y}1$	$\sum \tilde{Y}2$	$\sum \tilde{Y}3$	f^G	$\tilde{x}^G$

X1：米国内生産品の国内中間投入量($)，X3：米国内生産品の海外輸出($)，$\tilde{Y}1$：米国内生産品のための海外生産品投入の内包環境負荷量(tCO_2)，　$\tilde{Y}2$：海外生産品の国内直接需要のための投入の内包環境負荷量(tCO_2)，$\tilde{Y}3$：2 つの米国以外の国家間の海外生産品の取引の内包環境負荷量(tCO_2)，**f**:最終需要，**x**:総生産量($)，$\tilde{x}$:総内包環境負荷量($tCO_2$)

2.3 分析方法

上記の手順によって得られた US-GLIO に関して，以下の逆行列計算(5)を行うことにより，米国最終需要 **f** の変化に付随した自国内部や国外への環境負荷排出量への影響を評価することができる．なお，**A** は US-GLIO から得られる投入係数行列であり式(6)のように定義される．**d** は米国産品の直接環境負荷単位ベクトルを表し，個々の部門からの総排出量をその部門の総生産額で除すことにより定義される [7]．**i** は要素すべてが 1 の列ベクトルである．

$$\mathbf{E} = \begin{pmatrix} \mathbf{d} \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{i} \end{pmatrix}^{T} (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{f} \tag{5}$$

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} X^{I}(x^{d})^{-1} & 0 & X^{III}(x^{G})^{-1} \\ 0 & 0 & 0 \\ \{\sum \tilde{Y}^{I(k)}\}(x^{d})^{-1} & \{\sum \tilde{Y}^{II(k)}\}(x^{I})^{-1} & \{\sum \tilde{Y}^{III(k)}\}(x^{G})^{-1} \end{pmatrix} \tag{6}$$

3. 評価方法

作成した US-GLIO を用いれば原単位を国内と海外誘発量に分けて算出することができる．また GLIO は，文献にあるように，グローバルなサプライチェーンを考慮したグローバル CF(GCF)を算出可能であり，1 国だけの IO から求められる CF(輸入財も国内材と同一の CO_2 排出量の仮定)との比較から問題点を指摘でき，CF 精度を明らかにできる．

4. 引用文献

1) Peters, K.: Ecol. Econ. , **65**(1), 13-23 (2008).
2) Nansai, K. et al.: Econ. Syst. Res., **21**(3), 267-290 (2009).
3) 南斉ら：日本 LCA 学会誌，**9**(2), 67-101 (2013).
4) JCCCA: http://www.jccca.org/global_warming /knowledge/kno03.html. Accessed, Dec. 5, 2014 (2011).
5) Peters, K. et al.: Environ. Sci. Technol., **42**(5), 1401-1407 (2008).
6) Global Trade Analysis Project: https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/v7
7) CEDA http://cedainformation.net/CEDA_origins.html

産業連関分析の環境分析への応用に関する既往研究のレビュー

Input-Output Analysis and its Application to Environmental Analysis: A Critical Review

○金本圭一朗[*1)]
Keiichiro Kanemoto
1) 九州大学
* keiichiro.kanemoto@gmail.com

1. はじめに

Wassily W. Leontief が産業連関分析の環境問題への応用の道筋を示して以来 [1)]、産業連関分析はライフサイクルでの環境評価を行うための最も重要な方法の一つとして、近年急速な発展を遂げてきた。本稿では、応用範囲を急速に拡大しつつある産業連関分析、そして特に多地域間産業連関 (MRIO: Multi-Region Input-Output) 分析とライフサイクル評価の現状を著者の理解と既往研究のレビューをもとに展望する。はじめに、ライフサイクル評価をする上で避けては通れないグローバル化の対応に不可欠な MRIO 表の作成及び分析のこれまでと現状を概観する。そして、今後、必要となると考えられるいくつかの研究テーマをその現状と共に示す。

2. 多地域間産業連関分析

グローバル化の進展とそれに伴う途上国における環境負荷の増加に伴って、生産過程で排出される環境負荷を考慮した、貿易に伴う環境負荷がライフサイクル全体での排出量の推計の中でも重要であるとの認識が広がってきた。当初は、輸入品であっても国内で作られた場合と同様であるとする仮定が置かれてきたが (単地域産業連関分析)、各国における生産工程や排出係数の違いの大きさから、多地域間産業連関 (MRIO) 分析が2005年前後から発展を遂げてきた。初期の研究は、ある国と他の数ヵ国間で、ある国の消費にともなってその国および他国で排出されている環境負荷の推計が行われてきた。例えば、金本他は、日本が輸出及び輸入している製品の生産過程で排出されたCO_2排出量を推計することで、最終的に日本で消費された製品の生産過程で排出されたCO_2排出量を推計している。

その後、昨年の本誌 (Vol.9 No.2) でも紹介されたように、世界のいくつかの研究グループ (GTAP、Eora、WIOD、EXIOPOL/CREEA、GLIO、IDE-JETRO等) が、世界規模のMRIO表の作成に取り組んできた。これは、グローバル化が進展する中で、ある製品や国、地域のライフサイクルでの環境負荷を推計する際に、他の国の実態に則したライフサイクルでの環境負荷を考慮しなければ、正確な推計が困難であるという認識が広がってきたからである。また、各国の排出に対する責任を現在の生産ベースではなく、他の国からの輸入に伴う排出量を考慮した消費ベースで考えるという新たな視点の登場が、これらの研究を後押しした。世界規模のMRIO表の作成の主な目的は、世界各国間の貿易に伴う環境負荷、資源、付加価値等の推計を行うことである。そして、ここ数年間に、*Nature*誌、*PNAS*誌、*Nature Climate Change*誌を始めとするトップジャーナルに、貿易に伴う温室効果ガス、エネルギー、大気汚染物質、絶滅危惧種、森林伐採、土地、資源、水、付加価値、雇用等に関する論文が立て続けに出版されてきている。

これまで、いくつかの論文において、産業連関分析、そして多地域間産業連関分析の環境分析への応用に関するレビューが行われてきた。例えば、Wiedmann (2009) は、単地域産業連関分析、ある国を中心としたMRIO 分析、そして全世界を対象としたMRIO 分析とスケール別に既往研究をレビューし、更なるデータの入手や質、MRIO モデルの信頼性向上を課題として挙げている [2)]。Sato (2013) は、既往研究の貿易に伴う CO_2 の結果を比較することで、その結果の違いの大きさを示している [3)]。これらのレビュー結果は、個々の研究者がMRIO 表の作成を行なっていた研究において課題とされてきたものであり、WIOD、EXIOPOL/CREEA、Eora、GTAP といったMRIO 表が作成されてきた現在においては、むしろどのようにMRIO 表を用いた分析を行うのか、そして発展させるのかが重要となってきた。また、世界各国や世界全体での CO_2、大気汚染物質、水、マテリアル、絶滅危惧種等のフットプリントに関する分析は既に行われており、既存の指標のフットプリント分析はこれ以上求められていない。

そこで、金本 (2014) は、既往研究の結果の違いやデータの質、応用範囲の拡大やフットプリント分析を超え、MRIO 表の発展について既往研究から新たな課題を明らかにしてきた [4]。そこで、本研究では、特にハイブリッド LCA やインパクト評価に焦点を当てて、新たな研究課題を明らかにする。

3. 研究課題

3.1 MRIO 表の発展とハイブリッド LCA

これまでに紹介したように、いくつかの研究グループが世界規模の MRIO 表を構築してきたが、それぞれのデータベースは利点とともに課題も持っている。Wiedmann et al. (2011) は、効率的かつ効果的な MRIO に必要とされる点を紹介している [5]。これらの中でも、今後、特に課題となる点はボトムアップ型の LCA データベースとの統合である。これまで、各国・地域の産業連関表とその国・地域のボトムアップ型の LCA データベースとを組み合わせるハイブリッド LCA データベースの理論的発展や推計が行われてきたが、ボトムアップ型の LCA データベースと MRIO 表の比較、そして、MRIO との統合は緒に就いたばかりである。

ハイブリッド LCA データベースの作成は、全世界の全ての製品・サービスを包括できるという利点と、これまでの LCA を行なってきた詳細さを維持できる利点を併せ持っており、あらゆる LCA の基準となる可能性が高い。また、産業連関表の部門統合による影響に関する分析が多く行われてきたが、現在の数百部門以上の詳細な経済構造データが消費ベースの推計や貿易に伴う排出量の推計に必要なのかといった今後の産業連関分析の環境分析を占う評価も得られる。

3.2 インパクト評価

日本の消費ベースの大気汚染物質排出量の推計それ自体は、大気汚染が最終的に引き起こす健康被害まで明らかにすることはできない。そこで、MRIO 分析の結果であるライフサイクルでの環境負荷の排出量と、その排出により最終的に発生する健康被害や生態系影響等のインパクト評価の統合的分析を行う必要がある。また、温室効果ガスを例に取ると、これまでは、私達の消費によって誘発される温室効果ガス排出量を明らかにしてきたが、その排出による温度上昇、海面上昇、異常気象の増加といった影響と、その影響が生態系、人々への健康影響といったインパクト段階での評価には結びついていない。

このような統合的分析は、これまでほとんど行われていないが、MRIO 分析発展の可能性が非常に高い分野であると考える。

引用文献

1) Leontief W; Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach; *The Review of Economics and Statistics*; 1970; 52(3); 262-271
2) Wiedmann T; A review of recent multi-region input–output models used for consumption-based emission and resource accounting; *Ecological Economics*; 2009; 69(2); 211-222
3) Sato M; Embodied carbon in trade: a survey of the empirical literature; *Journal of Economic Surveys*; 2014; 28(5); 831-861
4) 金本圭一朗; 産業連関分析の環境分析への応用; *日本 LCA 学会誌*; 2014; 10(3); 340-350
5) Wiedmann T, Wilting HC, Lenzen M, Lutter S, Palm V; Quo Vadis MRIO? Methodological, data and institutional requirements for multi-region input–output analysis; Ecological Economics; 2011; 70(11); 1937-1945

廃棄物産業連関分析による日中貿易の相互影響評価

GHG Emission and Waste Generation Embodied in International Trade between China and Japan

○筑井麻紀子*[1)]、林晨 [2)] 、纪开燕 [2)]、郎晓亮 [2)]
Makiko Tsukui, Chen Lin, Ji Kaiyan, Lang Xiaoliang
1) 東京国際大学, 2) 山東大学
* makiko@tiu.ac.jp

1. はじめに

日本と中国は経済的に密接な関係にあり、財務省貿易統計をベースとしたジェトロ(2014)の発表によれば 2013 年の日本からの輸出が約 1,299 億ドル、日本への輸入が 1,821 億ドルと、総額で約 3,120 億ドルに上る。こうした経済的に深い関係から与え合う影響は、経済のみならず環境面にも及んでいると考えられる。中国から輸出される最終消費財の生産活動に伴う環境負荷に関しては、様々な研究(Lin and Polanski, 1995; Peter et al., 2007; Weber et al., 2008; Peter and Hertwich, 2008)がなされているが、日本への輸出も大きな負荷をかけていることが予想されている。こうした影響には、温暖化ガスの排出のみならず、大気汚染(Streets, 2006)、廃棄物の処理やリサイクルに伴う汚染や環境負荷(Leung et al., 2006, Terazono et al, 2004; Hicks et al., 2005)が挙げられる。そこで、本研究では、日中廃棄物産業連関分析によって、中国と日本の関係を経済面及び環境面から明らかにしていく。

2. 日中廃棄物産業連関表と分析モデル

本研究では日中廃棄物産業分析モデルとして、Isard (1951)の地域間産業連関分析モデルと中村・近藤 [1)]の廃棄物産業連関モデルから開発された、加河・近藤 [2)]の地域間廃棄物産業連関モデルと同様のモデルを採用している。

日中廃棄物産業連関表は、経済産業省の 2007 年日中国際産業連関表 [3)]と林らが推計した中国廃棄物産業連関表 [4)]をベースに推計している。財・サービス部門は、日本部分・中国部分共に 30 部門で構成されており、廃棄物部門は産業廃棄物に関しては、日本部分は産業廃棄物 19 分類に対し [5)]、中国部分は、産業廃棄物が「製錬残渣廃棄物(smelting waste residue)」、「フライアッシュ(fly ash)」、「鉱さい(slag)」、「その他(other)」の 4 分類である [6)8)]。一般廃棄物は、羽原ら [9)]の推計方法により、日本部分は家庭系一般廃棄物 32 分類、事業系一般廃棄物 17 分類、中国部分は 29 分類で推計した。

3. 日中の消費活動/最終需要が両国に与える影響

3.1 直接効果

本研究で推計した 2007 年日中廃棄物産業連関表は、財・サービスは 1 ドルがそれぞれ 7.604 元、117.76 円のドル建てとなっている。日本で生産された最終需要財の中国の輸入額は約 293 億ドルで、その 48%は一般機械が占める。それに対し、中国で生産された最終需要財の日本の輸入額は、約 744 億ドルで、繊維・衣服・革製品(31%)、電子計算機・同付属装置(17%)、民生用電子機器・通信機械とその他製造業で 15% を占める。

3.2 間接効果

こうした日中両国における最終需要財貿易が生産国に与える波及効果はどのようなものだろうか。2 節で示した廃棄物産業連関分析モデルにより推計した波及効果の影響の大きさは、生産額・温暖化ガス排出量・廃棄物排出量、いずれの項目についても中国が被った影響は日本が受けた影響を大きく上回っている。日本に輸入された最終需要財 744 億ドルを生産した中国では 1,716 億ドルの誘発効果を受けているが、中国に輸入された最終需要財 293 億ドルを生産した日本では 427 億ドルの誘発効果に過ぎない。日本への最終財輸出による中国における温暖化ガス排出量の波及効果は 11,066 万 CO_2-ton(eq)、中国への最終財輸出による日本における温暖化ガス排出量の波及効果はわずか 902 万 CO_2-ton(eq)、である。また産業部門からの廃棄物粗排出量(リサイクル等の再投入を考慮しない廃棄物排出量)は、日本への最終財輸出による中国における廃棄物排出量の波及効果は 2,357 万トンであるのに対し、中国への最終財輸出による日本における廃棄物排出量の波及効果は 114 万トンに過ぎない。これらの結果は、両国の最終需要財の貿易規模の違いを考慮してもなお、中国における影響が大きいということを示している。これは両国の産業構造やエネルギー消費構造の違いと貿易によって取引される最終需要財を生産する産業の排出係数の違いに起因している。そこで、そうした点に注目しつつ、特に影響の大きい中国における産業別の推計結果を示す。

図 1 は中国で生産され日本で消費される最終需要財によって誘発される中国の産業別誘発生産額を示している。繊維工業の誘発生産額が最も大きく約 371 億ドルであり、図 1 に示した上位 10 位までの産業分類における誘発額が全体の 73%を占めている。これらの産業

別波及効果の内訳を検討すると、繊維工業や化学工業を始めとする製造業への直接効果から誘発される生産に加え、繊維工業への需要によって誘発される化学工業への波及効果や、繊維工業・食品産業・飲食業によって誘発される農業・食品産業への誘発額が大きい。

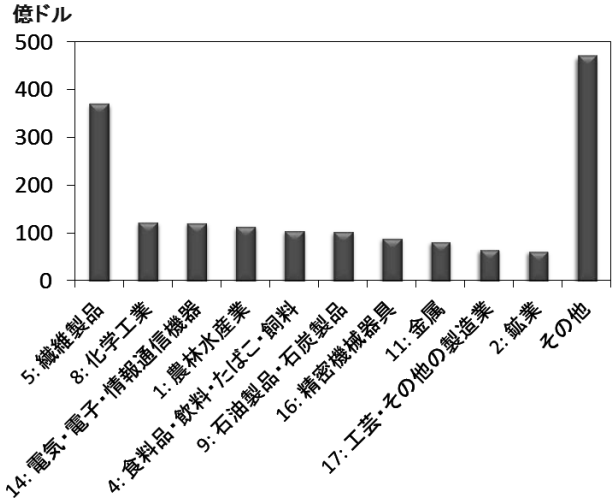


図 1 日本の消費により中国で誘発される生産額

温暖化ガスについては、石油製品・石炭製品からの誘発排出量が最も大きく 66 百万 CO_2-ton(eq)と全体の 60%を占める。生産額誘発の結果と併せて考えると、主に中国の石油製品・石炭製品産業における温暖化ガス排出係数が生産額百万ドル当たり 6,345 CO2-ton(eq)と日本と比較し約 22 倍に上るためと考えられる。

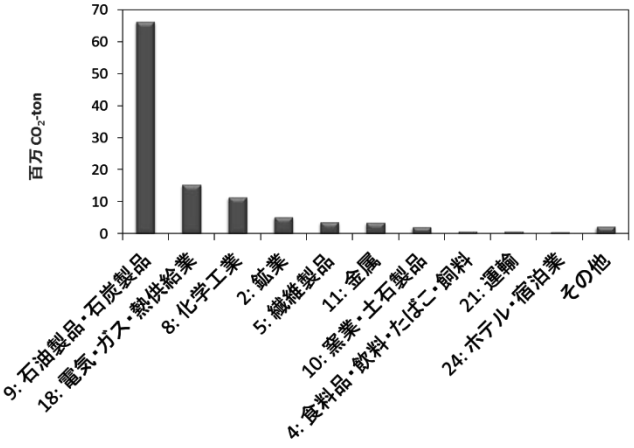


図 2 日本の消費により中国で誘発される温暖化ガス

産業部門から排出される廃棄物の誘発においては、鉱業からの誘発量が最も多く、922 万トンに上る。これも中国における工業からの廃棄物排出係数が生産額百万ドル当たり 1,464 トンと非常に大きく、2 番目に誘発量が大きい電気・ガス・熱供給業の廃棄物排出係数も生産額百万ドル当たり 782 トンと日本の 16 倍に当る点に起因すると考えられる。

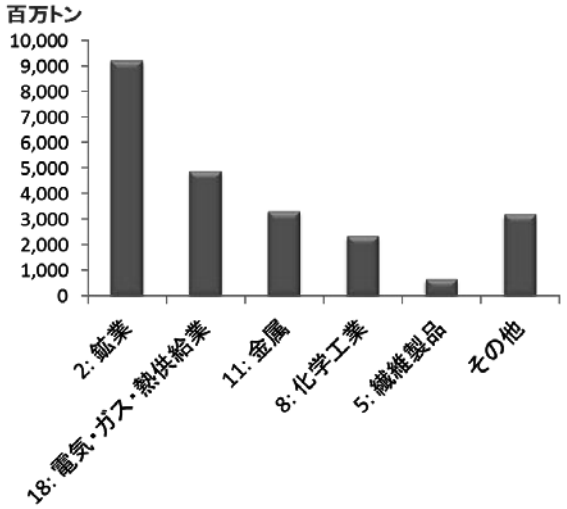


図 3 日本の消費により中国で誘発される廃棄物排出

4. おわりに

日本の消費が中国に与える影響は、経済面でも環境面でも、中国の消費が日本に与える影響を大きく上回ることが明らかになった。特に、エネルギー産業の温暖化ガス排出係数、鉱業の廃棄物排出係数の高さが、環境負荷の増大に大きな影響を与えている。

謝辞

本研究は平成26年度JSP科研費23510051の援助を受けて行われた。また故佐藤敬済氏の推計作業への協力に心から感謝いたします。

引用文献

1) Nakamura S., Kondo Y.: J Ind Ecol, 6(1) , (2002), pp 39-64.
2) 加河茂美，近藤康之(2007)：“第 5 章 地域廃棄物産業連関分析”，ライフサイクル産業連関分析，中村慎一郎，早稲田大学出版部，東京, 105-140.
3) 経済産業省:”2007 年日中国際産業連関表”，(2012)
4) Lin C., Tsukui M., Ji K., Lang X.: “21st International Input-Output Conference”, Kitakyushu, Japan, (2013), pp.62.
5) 環境省：”平成 21 年度事業 産業廃棄物排出・処理状況報告書 平成１９年度実績”，(2010)
6) 国家環境保護総局:”中国環境統計年報 2008 ”，中国環境科学出版社,（2009）
7) 国家統計局, “中国統計年鑑 2008”, 中国統計出版社, (2009)
8) 国家統計局, “中国投入産出表 2007”, 中国統計出版社, (2009)
9) 羽原浩史，松藤敏彦，田中信壽 (2002)：廃棄物学会論文誌, 13(5) , pp. 315-324.

資源生産性の国際比較に関わる留意点と新たな指標の提案

Notes for international comparison of resource productivity and a proposal of new indicators

○伊藤新*[1)]、橋本征二[2)]
Arata Ito, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学大学院、2)立命館大学
* rv0001rv@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

循環型社会形成推進基本計画では、物質フローに着目した指標が 3 つ導入された。その 1 つが資源生産性指標である。資源生産性指標は「GDP/天然資源等投入量もしくは消費量」で表され、我々の経済活動が、いかに効率的にモノを利用しているかを計測するものである。この指標は、持続可能な発展の指標のひとつとして欧州や日本で採用されており、国際比較も行われているが、資源生産性の値は国によって大きく異なっている。しかしながら、単純に「資源生産性の高い国が資源の利用効率が高く、資源生産性の低い国が資源を無駄に使っている」と言うことはできない。国の資源生産性は、様々な要因で決まるからである。

本研究では、筆者らのこれまでの研究成果 [1)2)3)]に基づき資源生産性の国際比較に関わる留意点を整理するとともに、これらの課題に対応する新たな指標の提案と検討を行った。

2. 資源生産性の国際比較に関わる留意点

筆者らは、これまでに 10 ヶ国程度を対象に資源生産性の差異の要因分析を行ってきた [1)2)3)]。その結果、当該国が資源をどのくらい効率的に利用しているかということに加え、天然資源の輸出需要がどのくらい大きいか、資源を大量に利用する財・サービスへの国内需要がどのくらい大きいか、といった最終需要構造の違いも大きな影響を与えることが分かっている。このため、資源生産性の国際比較を行う際には、こうした最終需要構造の影響を考慮する必要がある。また、比較にあたっては、できるかぎりそうした影響を排除することが望ましい。

以下では、最終需要構造の影響を排除する新たな比較指標を 2 つ提案し、その利用可能性について検討を行った。

3. 新たな指標の提案その 1

3.1 財・サービスの資源利用強度

各国の最終需要構造の違いを排除して国際比較を行うなら、各財・サービスの資源利用強度（Resource-Use Intensity: RUI）を見ることが最も容易である。これは、以下の式で表される。

$$RUI_i = \frac{RI_i}{F_i} \cdots (1)$$

ここで、RUI_i は財・サービス i の資源利用強度（t/$）、$RI_i$ は財・サービス i を生産するために直接的・間接的に利用された資源投入量（t）、F_i は財・サービスの最終需要額（$）である。財・サービスの資源利用強度が小さければ、同じ財・サービスより少ない資源投入量で生産しているか、同じ資源投入量でより最終需要額の多い（付加価値の高い）財・サービスを生産していることを意味する。

3.2 指標の試算例と留意点

財・サービスの資源利用強度（2010 年）の 10 ヶ国比較結果を図 1 に示す。図の横軸（c1～c35）は、産業部門（財・サービス）を表している。各産業部門が生産する財・サービスの資源利用強度は、その財・サービスの生産効率と考えることができる。図では、例え

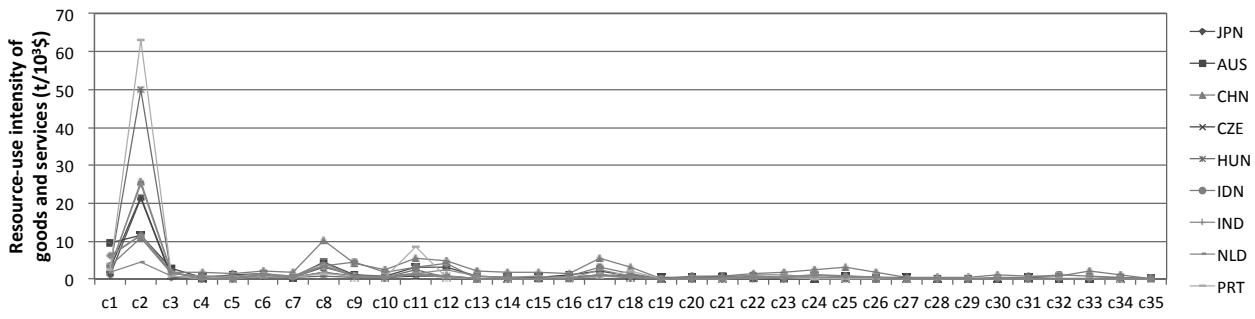


図 1　10 ヶ国の財・サービスの資源利用強度の比較（2010 年）※c1～c35 は部門を表す

ば、鉱業・砕石部門（c2）における資源利用強度の差が大きいが、ポルトガルとハンガリーが突出して高く、オランダが一番低い値を示している。オランダは、少ない資源投入量で最終需要額の多い財・サービスを生産しているということになるが、同じ産業部門でも生産している財・サービスの種類が異なることから、より解像度の高い産業連関表を用いることが正確な理解を助ける点にも留意しておく必要がある。

4. 新たな指標の提案その２

4.1 補正資源利用強度

筆者らが資源生産性の差異の要因分析で利用してきた構造分解式を用いれば、各国の最終需要構造の影響を控除した国レベルの「補正資源利用強度」を算出することができ、これを用いれば国レベルで直接比較を行うことができる。

補正の方法としては、まず、対象国の産業連関表と資源投入量を足し合わせ、平均的な経済構造、資源利用効率の仮想国を設定する。次に、仮想国との間で国レベルの資源利用強度の構造分解[4]を行い、補正資源利用強度を（2）式により算出する。

$$\left(\frac{DMI}{GDP}\right)_{Ave.} + f_{RUI} = \left(\frac{DMI}{GDP}\right)_{c} - f_{FDS} - f_{1+API} \quad \cdots (2)$$

ここで、$(DMI/GDP)_{Ave.}$は平均仮想国の資源利用強度（t/$）、$(DMI/GDP)_c$は対象国の資源利用強度（t/$）、f_{RUI}は財・サービスの資源利用強度の影響（t/$）、$f_{FDS}$は最終需要構造の影響（t/$）、f_{1+API}は 1+平均輸入性向の影響（t/$）である。左辺は、平均仮想国の資源利用強度に対象国の財・サービスの資源利用強度の影響を加えたものであり、右辺は、対象国の資源利用強度から最終需要経済および平均輸入性向の影響を除いたものである。（2）式の左辺もしくは右辺を算出することで、最終需要構造および平均輸入性向の影響を排除して、各国の資源利用強度を比較することができる。

4.2 指標の試算例と留意点

最終需要構造および平均輸入性向の影響を除いた補正資源利用強度と補正前の資源利用強度（2010 年）を比較したものが図 2 である。日本、ポルトガル、アメリカでは補正前よりも補正後の資源利用強度が高くなり、オーストラリア、チェコ、インドネシアでは、補正前よりも補正後の資源利用強度が大幅に低くなっている。今までの資源生産性の比較では、最終需要構造や平均輸入性向などの影響を大きく受け、例えば、オーストラリアなどの資源輸出国が日本などの資源輸入国に比べて資源生産性を低くしていたが、補正によって日豪の差は大きく縮まった。すなわち、資源の利用効率という観点からは、両国に大きな差がないことが示唆された。ただし、補正資源利用強度を算定する際にも 3.で示した財・サービスの資源利用強度を用いており、より解像度の高い産業連関表を用いることがより正確な補正資源利用強度を算出することにつながる点には留意しておく必要がある。

5. おわりに

今回の指標の試算では、35 部門の産業連関表を用いているが、より解像度の高い産業連関表を用いた試算も合わせて行っているところである。財・サービスの資源利用強度、国レベルの補正資源利用強度のいずれも、その精度は産業連関分析の精度に依存しており、この点を考慮して比較を行っていくことが必要である。

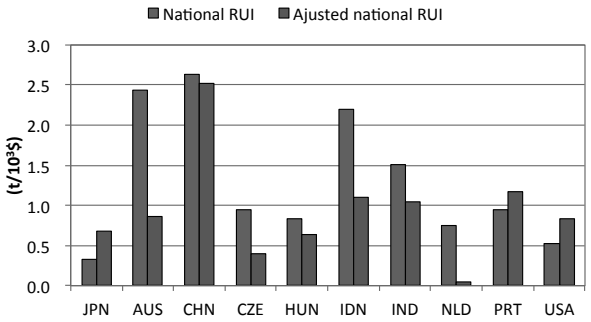


図２　最終需要構造および平均輸入性向の影響を除いた補正資源利用強度と補正前の資源利用強度の比較（2010 年）

謝辞：本稿は、第Ⅱ期環境経済の政策研究の成果による。ここに記して深謝する次第である。

引用文献

1) 伊藤新、橋本征二：財・サービスの物質利用強度と需要構造が国の資源生産性に与える影響～10ヶ国の時系列変化～、*第 9 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集*、pp.96-97、2014

2) 伊藤新、橋本征二：資源生産性指標の日豪中比較～財・サービスの資源利用強度と最終需要構造が国の資源生産性に与える影響～、*土木学会論文集 G（環境）*、70(6)、pp.II_257-II_265、2014

3) Ito A. et al.: Japanese, Australian, and Chinese resource productivity: Effects on material-use intensity and demand structure of goods and services on national resource productivity, *Abstracts of The Joint 11th ISIE Socio-Economic Metabolism Section Conference and The 4th ISIE Asia-Pacific Conference*, P02, 2014

4) Hashimoto S. et al.: What factors have changed Japanese resource productivity? A decomposition analysis for 1995-2002, *Journal of Industrial Ecology*, 12, pp.657-668, 2008

太陽電池パネルのリサイクルシステム構築に向けた関連資源の需給バランスの検討

Supply and demand balance of resources related to solar panels toward the construction of their recycling system

○髙柳達*[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

低炭素社会・循環型社会の実現に向けて、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)2)3)4)]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、レアメタルを輸入に頼っている日本において、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。

以上のようなことから、本研究では、使用済み太陽電池パネルを資源として再利用することを視野に、オープンループ・リサイクルも含めたリサイクルシステムの構築に向けて、関連資源の需給バランスの検討を行うことを目的とする。このため、以下の三つを検討する。

- 太陽電池に関する資源フローの将来にわたる推計
- 関連する資源の全体フローの将来にわたる推計
- 上記に基づく関連資源の需給バランスの検討

2. 方法

2.1 対象とする太陽電池と関連資源

表 1 に示す太陽電池と関連資源（元素）を対象とした。

2.2 シナリオの設定

太陽電池の今後の国内導入量については、文献[5)]をもとに、図 1 に示すようなシナリオ（高位、中位、低位）を設定した。また、表 1 に示す各太陽電池のシェア率についても、文献[6)7)]をもとに、図 2 のように設定した。なお、過去の国内出荷実績については、2002 年からのセル・モジュール出荷量データ[8)]を用いた。

2.3 太陽電池に関連する資源フローの推計

以上のシナリオをもとに、太陽電池に関連する資源（元素）のストック量と廃棄量を下式により推計した。

$$RSi(t) = \sum_{n,j} Pj(n) * \varepsilon ij(n) * Rj(t-n) \quad \cdots(1)$$

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

ここで、RSi(t)は t 年における元素 i のストック量(t)、RDi(t)は t 年における元素 i の廃棄量(t)、Pj(n)は n 年における太陽電池 j の国内出荷量(kw)、ε ij(n)は n 年に出荷された太陽電池 j における元素 i の含有率(g/kw)、Rj(t-n)は太陽電池 j の t-n 年後の残存率、Dj(t-n)は太陽電池 j の

表 1　対象とする太陽電池とその関連資源（元素）

太陽電池	関連資源（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	Sn、Ti、Ru、Zr

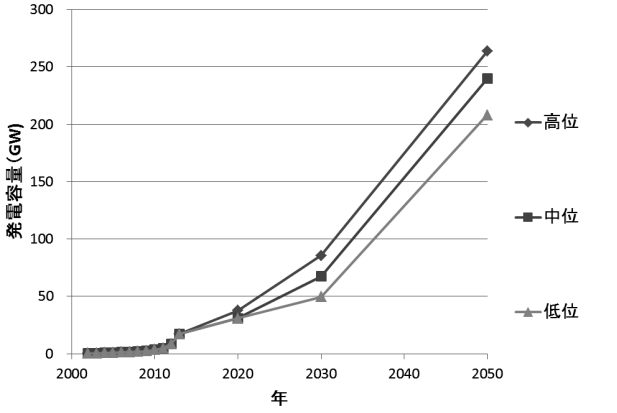


図 1　太陽電池の国内導入量シナリオ[5)]

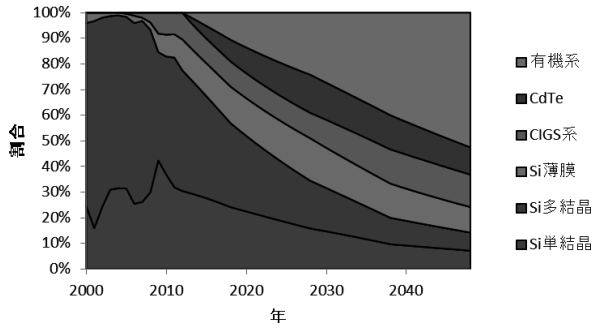


図 2　各太陽電池のシェア率の推移

t-n 年後の廃棄率である。ε ij(n)については文献 9)を参考に設定した。

2.4 関連する資源の全体フローの推計

2.3 で推計した資源の太陽電池以外の用途も含めた全体フローの推計を行った。過去の需給量データ 10)をもとに将来推計を行った。

2.5 関連資源の需給バランスの検討

2.3 及び 2.4 の結果から、太陽電池に関連する資源（元素）をリサイクルした場合の需給バランスを検討した。本検討においては、研究段階も含めた太陽電池のリサイクル技術を考慮した。

3. 結果と考察

ここでは、Si 系・化合物系太陽電池を例に、2.3 の推計結果を示す。

Si 系・化合物系太陽電池に含まれる表 1 の元素の国内需要量および廃棄量は図 3 および図 4 のような推計結果（高位シナリオの場合）となった。図において需要量が鋸型となっている元素があるのは、図 1 に示すように 2020 年、2030 年に毎年の平均的な需要量が変化し、かつ、図 2 に示すシェア率も 2030 年、2040 年に変化するためである。

図 3 より、Si の廃棄量は 2030 年代には需要量を上回る可能性があることがわかる。これは図 2 に示すように、今後 Si 系太陽電池のシェアが減少していくからであるが、一方、Si 系太陽電池のシェアが減少していったとしても、今後も一定量の導入が見込まれることも示唆される。したがって、図 1、2 のシナリオのもとで、Si の廃棄量が需要量を大きく上回ることはないと推察される。

同様に図 4 より、化合物系太陽電池の Te の廃棄量は 2050 年には需要量に到達する可能性がある。また、他の元素の廃棄量についても 2050 年以降には需要量に到達することになる。図 2 のシナリオでは化合物系のシェアはわずかに減少していくことになるが、これらがリサイクルできれば新規資源の需要を抑制することができる。

学会当日は、関連する資源の全体フロー（太陽電池以外の用途でのフロー）を見渡した上で、太陽電池パネルをリサイクルした場合の関連資源の需給バランスの検討結果についても報告する。

謝辞：本研究は、環境省環境研究総合推進費（1-1402）およ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。

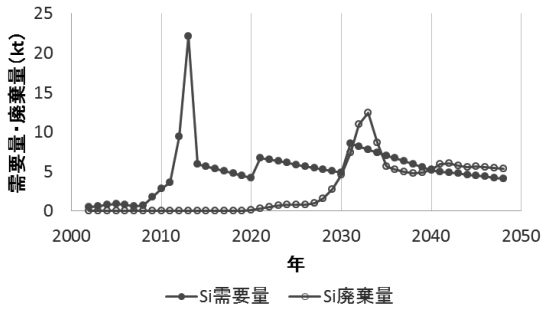


図 3 Si 系太陽電池に含まれる Si の国内需要量および廃棄量の推計結果

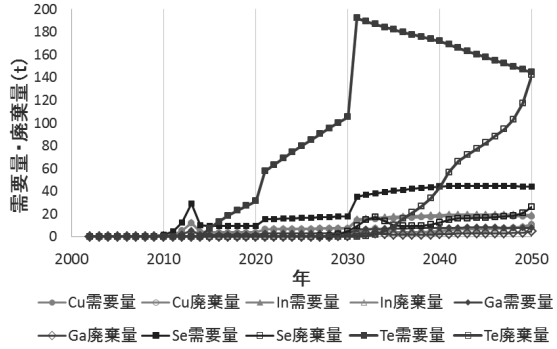


図 4 化合物系太陽電池に含まれる元素の国内需要量および廃棄量の推計結果

参考文献

1) 岡島敬一、内山洋司：リサイクル技術を考慮した太陽電池ライフサイクル評価、*日本 LCA 学会誌*、5(4)、521-528、2009
2) Takiguchi, H. and Morita, K.: Sustainability of silicon feedstock for a low-carbon society, *Sustainability Science*, 4(1), 117-131, 2009
3) 瀧口博明、森田一樹：太陽電池の３R 評価モデルの構築、*環境科学会誌*、23(2)、81-95、2010
4) Takiguchi, H. and Morita, K.: Global flow analysis of crystalline silicon, in Basu, S.(ed), *Crystalline Silicon-Properties and Uses*, InTech, 2011
5) 環境省：*平成 25 年度 2050 年再生可能エネルギー等分散型エネルギー普及可能性検証検討報告書*、2014（https://www.env.go.jp/earth/report/h26-01/）
6) IEA: *Energy Technology Perspectives*, OECD/IEA, 2008
7) Zuser, A. and Rechberger, H.: Considerations of resource availability in technology development strategies, *Resource, Conservation and Recycling*, 56, 56-65, 2011
8) JPEA 太陽光発電協会：http://www.jpea.gr.jp/document/figure/index.html 2014 年 10 月アクセス
9) 馬場洋三：新エネルギー導入促進に伴うレアメタル需要、金属資源レポート、734-743、2009
10) JOGMEC：鉱物資源マテリアルフロー（http://mric.jogmec.go.jp/periodical/index.html）

太陽電池パネル廃棄量の市区町村別発生量予測に基づく収集・再資源化システムの検討

Optimization of Recycling System Based on Future Estimation of Discarded Solar Panel

○佐藤太平*[1)]、松本亨 [1)] 、藤山淳史 [2)]
Taihei Sato, Toru Matsumoto, Atsushi Hujiyama
1) 北九州市立大学, 2) 北海道大学
* u3mac003@eng.kitakyu-u.ac.jp

1. 研究背景と目的

日本はエネルギーの大量消費国であるにもかかわらず、エネルギー自給率は約 5%と低い値に留まっている。加えて、国内エネルギー資源全体の半分以上を占める石油の大半を政治情勢の不安定な中東地域から輸入しており、供給リスクが問題視されて久しい。さらに 2011 年の東日本大震災では、原子力発電の損傷により放射性物質が放出され、甚大な被害をもたらした。それに伴いエネルギー供給の安定性、経済性、環境保全性に加え、安全性の観点から評価が一段と議論されるに至っている。これらの課題に対して、近年太陽光発電を始めとした再生可能エネルギーが注目されている。それに伴い普及拡大が予測されるため、将来大量の廃棄物が発生することが推測される。しかし、太陽電池（PV）システムの回収・再資源化システムは未整備であり、今のうちから回収・再資源化のための体制を検討しておくことは重要であると考えられる。

筆者ら [1)]はこれまで生産時ロス・設置時ロス・製品寿命・建物寿命を廃棄要因とした住宅用・メガソーラーの市区町村別の廃棄量予測を行ってきた。しかし、メガソーラーは産業用途の約 20%程度であり、学校や病院の屋上を利用する中小規模産業用が大半を占める。そこで本研究では、住宅用、産業用（メガソーラー）に加え、産業用（中小規模）を考慮した市区町村別廃棄量予測を行う。次いで、建設費用、運転費用、処理費収入を考慮した財務分析によるリサイクルプラント（RP）設置数の検討、ストックヤード(SY)・RP 間の輸送費用、SY の管理費用を考慮した総コスト、輸送・施設運営・処理の各工程による CO_2 排出量を推計することにより、全国における SY・RP の最適配置を検討する。

2. 太陽電池パネルの市区町村別廃棄量予測

2.1 市区町村別年間導入量の将来推計

本研究では、2030 年までの全国年間導入量を行い、住宅用・産業用(メガソーラー・中小規模)按分率を乗じることで市区町村別年間導入量を算出した。住宅用の都道府県範囲では導入実績を用いて、市区町村範囲では住宅数により按分した。メガソーラーは経済産業省の太陽光発電システム等の普及動向に関する調査 [2)] を参照し導入実績を用いて按分した。中小規模(20MW 未満)は都道府県範囲では経済産業省の再生可能エネルギー発電設備の導入状況を参照し、市区町村範囲では事業所数により按分した。

2.2 市区町村別廃棄量の将来推計

次に廃棄要因別の市区町村別廃棄量推計を行った。考慮した廃棄要因は、製品を製造する際の工程から発生する生産時ロス、初期不良を考慮した設置時ロス、PV パネルの製品寿命、加えて住宅用では設置する建物寿命を廃棄要因として、要因毎に算出を行った。生産時ロスによる廃棄は、年間導入量の 1%[3)]と仮定し、設置時ロスによる廃棄は、年間導入量の 2%[3)]と仮定した。製品寿命と建物寿命による廃棄は、既存研究 [1)]で用いた廃棄率を用いて算出した。市区町村別廃棄量の算出式を以下の(1)に示す。

$$D_{il} = P_{il} \times 0.03 + \sum_{j}^{l} P_{ij} \times \alpha_1 \times w \times d_1 + \sum_{j}^{l} P_{ij} \times \alpha_2 \times d_2 \quad (1)$$

D_{il} は i 市区町村の l 年の廃棄量、P_{ij} は i 市区町村の j 年の年間導入量、α は年間導入量に占める用途割合(α_1:住宅用、α_2:産業用)、w は構造種別の築年数割合、d_1 は、構造種築年数・経過年数別廃棄率、d_2 は製品寿命廃棄率である。2014 年の廃棄量は 13,548ton と推計され、2020 年に 3.2 倍、2030 年までに 13.9 倍の廃棄量が発生すると推計された。2012 年の太陽光パネル廃棄量と建設廃棄物排出量を比較すると約 2%を占める結果となる。2025 年の市区町村別廃棄量推計結果を図 1 に示す。住宅用は日射条件や人口集中の要因により関東・中部・九州地方の廃棄量が多い。産業用はメガソーラー導入可能な土地の多い北海道・九州の廃棄量が多い。

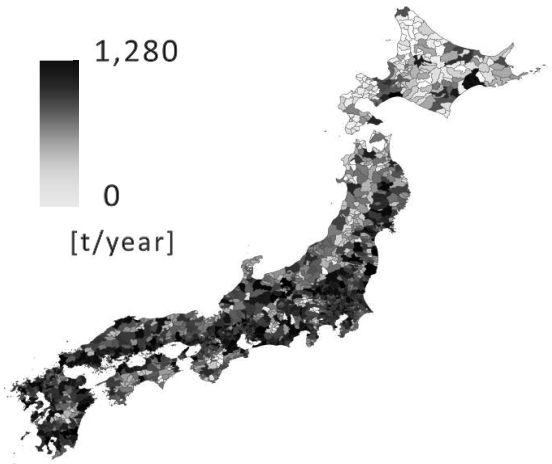


図 1.　市区町村別廃棄量推計結果（2025 年）

3.　収集・再資源化施設の最適配置検討のための輸送モデル

リサイクル事業を開始する 2016 年から 2025 年までの 10 年間を対象として、再資源化システムにおける最適輸送計画を以下の方法で算出した。廃棄場所から SY までの輸送を 1 次輸送、SY から RP までの輸送を 2 次輸送とする。SY は廃棄物を 1 時的に保管する倉庫のことを指す。なお廃棄場所は各市区町村役所とする。また SY の配置候補場所は各市区町村役所、RP の配置候補場所は SY の配置場所とした。今回の検討では、輸送管理に要するコストに加えて、CO_2排出量を評価指標とした。コスト評価による SY・RP の最適配置算出フローを以下の図 2 に示す。

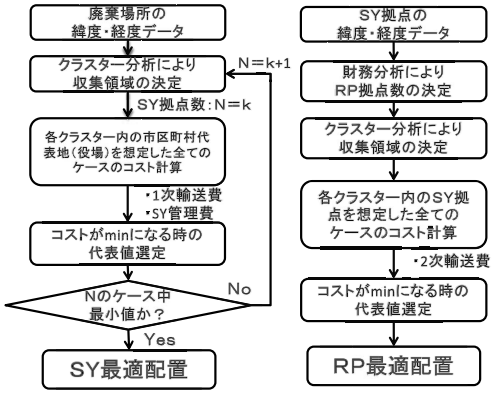


図 2.　SY・RP の最適配置推計フロー

SY の最適配置は、始めに廃棄場所の緯度・経度データをクラスター分析によりグルーピングし、収集領域を決定した。次いで各クラスター内の市区町村役所代表地の全てのケースのコスト(1 次輸送費・SY 管理費)計算を行い、コストが最小となるケースを代表値とした。地方別の SY 拠点数全ケース毎のコスト算出を行い、最小となったケースを SY の最適配置とした。RP の最適配置は、始めに RP 施設の財務分析により拠点数を決定した。財務分析ではイニシャルコスト、ランニングコスト、売却益を算出し、2030 年までの廃棄量を処理可能かつコスト最小となる再資源化施設を設定した。次いで SY 拠点の緯度経度データをクラスター分析によりグルーピングし、収集領域を決定した。各クラスター内の SY 拠点を想定した全ケースのコスト(2 次輸送費)計算を行い、コスト最小となったケースを RP の最適配置とした。CO_2排出量算出では、輸送費、SY のフォークリフトや照明などの運営からの排出量、RP の建設・運営・処理プロセスからの排出量を算出した。コストによる SY・RP の最適配置を以下の図 3 に示す。

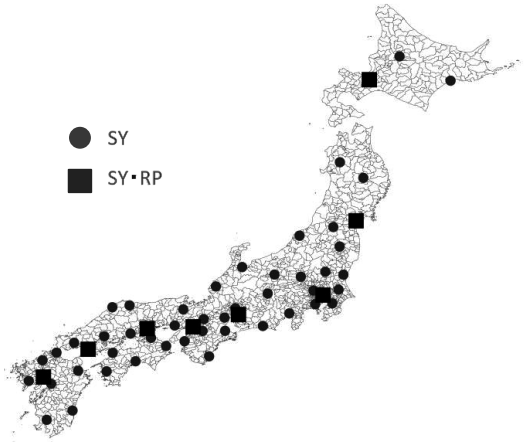


図 3.　コスト算出による SY・RP の最適配置

コスト指標による評価では、SY55 箇所、RP8 箇所のケースが最適配置となった。

4.　まとめと今後の課題

本研究では、生産時ロス、設置時ロス、製品寿命、建物寿命を考慮した市区町村別廃棄量推計と、輸送・管理・処理の各工程におけるコストと CO_2排出量の推計から、PV パネル廃棄物における最適輸送計画を示した。今後は、山岳等の考慮による地形の実態に即した SY・RP の配置設定、導入ポテンシャルを考慮した将来の発生分布を用いた精緻な輸送過程の推計等が課題として残された。

引用文献

1) 佐藤太平，松本亨，太陽電池パネル廃棄量の地域別発生量予測に基づく輸送・再資源化の最適配置、第 9 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集,
(2014),pp202-203
2) 経済産業省 : 新エネルギー等導入基礎調査　太陽光発電等の普及動向に関する調査，(2013)
3) Bilimoria S., Defrenne N.: “The evolution of photovoltaic waste in Europe”, (2013), pp

廃食油混合燃料を用いる小型ディーゼルエンジンの駆動特性による LCIA

LCIA by drive performance of a small diesel engine using abandoned cooking oil blended fuel

CHO Mansu[1)]，福島崇志 [1)]，○寇俊晞 [1)]，胡冬 [1)] ，横山優 [1)] ，佐藤邦夫*[1)]
Mansu Cho, Takashi Fukushima, Junxi Kou, Tou Ko, Masashi Yokoyama, Kunio Sato
1) 三重大学大学院生物資源学研究科
* sato@ bio.mie-u.ac.jp

1　はじめに

気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change ：IPCC） 第 4 次報告書によると，「温暖化の主たる原因は，人間活動による温室効果ガスの排出である」と言われている。限りある資源を有効に使い，再生可能な資源を生み出し続けられるような，持続可能な社会の構築が必要であるという認識が広まってきている。 そこで，一つの製品が，材料取得段階から最終的に廃棄処理されてその使命を終えるまでの全工程に及ぶ社会への影響，特に環境影響を算出し，総合的な見地から環境負荷を算定するための手法として，ライフサイクル影響評価（Life Cycle Impact Assessment：LCIA）手法が提唱されている。本研究ではこの手法をもとに，廃食用油を再利用し軽油に混合した代替燃料を用いる小形ディーゼルエンジン運転時のカーボンニュートラル効果を算定する。このような研究を通じ，最終的には温室効果ガス排出量を削減する手法を確立することを目的とする。

本研究では，軽油 100 % を使用した場合と 3 種類の廃食油混合燃料，すなわち廃食油 10 %混合燃料（WCO10），廃食油 15 %混合燃料（WCO15）および廃食油 20 %混合燃料（WCO20）を使用した場合について，燃料消費率と軸出力を計測比較し，廃食油混合燃料のカーボンニュートラル効果による温室効果ガス排出量の削減量について調べる。

2　方法と実験

2.1　実験概要

実験には，動力計を備えたテストベンチにて小型ディーゼルエンジン（ヤンマー空冷ディーゼルエンジン L-A 形シリーズ，L40A SS）を供試した。実験に用いた燃料は，軽油，WCO10，WCO15 および WCO20 である（表１）。

実験に先立ちエンジンを 10 分間ウオーミングアップし，その後，エンジン駆動実験を 20 分間行い，その間に，エンジン駆動特性と排気ガスの成分を計測機器により計測した。データサンプリングの間隔は 30s に 1 回とした。供試エンジンは回転速度設定器を備えるが，実際には回転速度が若干変動するので，そのときのエンジン回転速度を回転速度表示器 TDP-3321A-E (Coco Research Co.) により計測し，記録した。なお，エンジンの負荷トルクを 12 [Nm]に保つように動力計を操作した。

表１　供試燃料の成分（%）

	軽油	廃食油	添加剤
軽油	100	0	0
WCO10	89	10	1
WCO15	84	15	1
WCO20	79	20	1

2.2　実験結果

各供試燃料にて， 20 分間継続してエンジンを駆動した実験結果を表２に示す。トルクは設定値，発生エネルギーと燃料消費量は，20 分間にわたる実験の積算値である。

3 環境影響評価

3.1　目的と調査範囲の設定

実験結果をもとに，LCIA による温室効果ガス排出量の排出量を算定した。算定は地球温暖化係数（Global

表２　20 分間にわたるエンジン駆動実験の結果

	トルク [N]	発生エネルギー [10^6×J]	燃料消費量 [ℓ]
軽油	12	2.58	0.280
WCO10	12	2.57	0.280
WCO15	12	2.57	0.286
WCO20	12	2.56	0.292

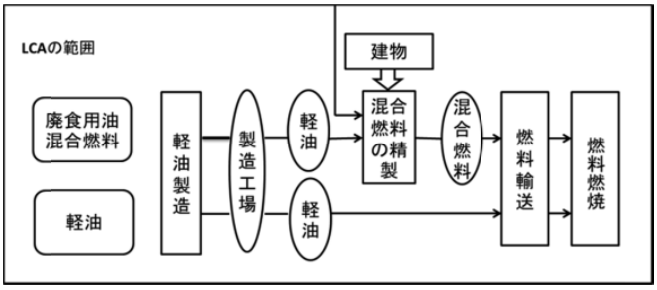


図１　LCIA の対象範囲

Warming Potential：GWP）を用いて行った。

LCIA の対象とする範囲は，軽油および廃食油混合燃料の製造，および廃食油混合燃料の燃焼までとした（図１）。

3.2　インベントリ分析および環境負荷の算定

インベントリ分析は，下記に示すように実測データおよびMILCA データベースなどを用いて行った。

3.2.1　軽油の製造

軽油製造におけるインベントリ分析と環境負荷の算定は，MILCA データベースを用いて行った。

3.2.2　製造設備

廃食油混合燃料製造設備については，建物と精製設備に分けてインベントリ分析を行った。

1)　建物

廃食油混合燃料製造に関する建物の環境負荷の算定には，日本建築学会の産業連関表を用いた。本研究で使用した廃食油混合燃料の製造工場のデータは，聞き取り調査により，次の通りであった。

・床面積：229.04m^2

・立替周期：20 年

・年間混合燃料生産量：7200kℓ

本研究では，床面積 1000m^2 以下，立替周期 35 年未満のデータを参考に環境負荷の算定を行った。

2)　精製設備

廃食油混合燃料製造に関する精製設備の環境負荷は，設備価格に産業連関表による環境負荷原単位を掛けることにより算出した。総設備費用は 17,431,346 円，償却年数は 7 年，さらに年間混合燃料生産量は 7200kℓであった。

3.2.3　廃食油混合燃料製造段階

廃食油混合燃料製造工程における環境負荷は，聞き取り調査により電力の消費量を把握した後，MILCA データベースを使用し，燃料 1ℓ当たりの環境負荷を算定した。

3.2.4　燃料燃焼（エンジン駆動）段階

軽油および廃食油混合燃料各 1ℓ当たりの燃焼工程における環境負荷を MILCA データベースを使用して算出した。添加剤は，軽油の値を代用して計算した。

表３　各燃料の１ℓ当たりのインベントリ

	CO_2 [kg]	CH_4 [10^{-3} kg]	N_2O [10^{-5} kg]
軽油	3.05	6.33	9.37
WCO10	2.75	5.70	8.53
WCO15	2.59	5.38	8.11
WCO20	2.44	5.06	7.69

3.2.5　インベントリ分析結果

上記各工程の環境負荷を合計し，各燃料の１ℓ当たりの製造・燃焼による環境負荷を算出し，表３のような算定結果を得た。

3.4　ライフサイクル影響評価

本研究の環境影響評価は GWP により行う。地球温暖化係数は CO_2，CH_4 および N_2O がそれぞれ 1，21 および 310 であることを考慮すると，軽油および WCO10，WCO15，WCO20 をそれぞれ１ℓ使用する場合の GWP は 3.21 および 2.80，2.73，2.57 となる（図２）。

さらに，軽油燃料によるエンジンの駆動において，20 分間に発生するエネルギーと等価の仕事をする廃食油混合燃料の量，およびカーボンニュートラルを考慮した GWP 削減率を表４に示す。

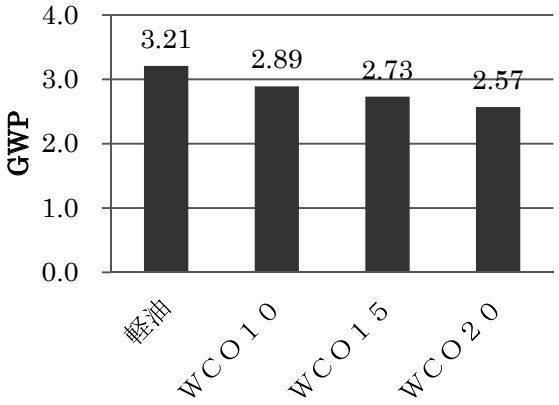


図２　各燃料１ℓ当たりの環境負荷（GWP）

表４　軽油発生エネルギーと等価の仕事をする廃食油混合燃料とカーボンニュートラルによる GWP 削減率

	エネルギー [10^6×J]	カーボンニュートラルによる GWP 削減率
軽油	2.58	-
WCO10	2.58	10%
WCO15	2.58	13%
WCO20	2.58	16%

4. まとめ

本研究では，動力試験により燃料消費率と発生動力を計測し，さらに混合燃料の製造設備や製造工程のエネルギー使用量などを考慮し，インベントリー分析を行った。

その結果，軽油発生エネルギーと等価の仕事をする廃食油混合燃料とカーボンニュートラルによる GWP 削減率は，WCO10, WCO15 および WCO20 の順に，軽油に対し，GWP 値で 90%, 87% および 84% となることが分かった。

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

Life Cycle Inventory Analysis of Hydrogen Energy Carriers

○工藤祐揮*1)、北川直美 1) 、村山麻衣 1) 、田原聖隆 1)
Yuki Kudoh, Naomi Kitagawa, Mai Murayama, Kiyotaka Tahara
1）産業技術総合研究所
* kudoh.yuki@aist.go.jp

1. はじめに

わが国の産業競争力の維持とさらなる強化のためには、安定的かつ安価なエネルギーを確保することが必要不可欠である。また地球温暖化や化石燃料の枯渇などの課題を同時に解決するために、省エネルギーや節電対策の強化に加え、再生可能エネルギーの導入・普及の加速化、環境負荷削減に配慮した化石燃料の有効活用などが求められている。その中で将来の二次エネルギーとして、電気・熱に加えて水素が中心的な役割を担うことが期待されており、水素を本格的に利活用する水素社会実現に向けた機運も高まっている。実際に、2014 年 4 月に策定されたエネルギー基本計画で水素社会実現に向けた記載が盛り込まれたことに引き続き、2014 年 6 月に策定された水素・燃料電池戦略ロードマップや 2014 年 7 月に公表された NEDO の水素エネルギー白書で、水素社会構築に向けた技術開発の方向性や導入への方向性が示された。また家庭用燃料電池の普及に加え、2014 年 12 月には燃料電池自動車の販売が開始されるなど、水素利用技術の実用化と普及も始まっている。

このような水素社会実現に向けた気運が高まる中で、水素エネルギー技術を社会実装していくためには、既存のエネルギー技術に対するコストや環境面での課題を明確にしていく必要がある。特に環境面については、様々な水素源からの水素製造、水素エネルギーキャリア変換、貯蔵、輸送、利用までのサプライチェーンを含めた LCA を実施することが重要である。

これまでに発電技術や水素を含めた各種自動車用エネルギーなど、二次エネルギーの LCA を行った事例は数多く存在するが、条件設定や分析手法が違うために、複数の文献の結果を単純に比較することは意味をなさない。そこで本研究では、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）を用いることにより、共通のプラットフォームに基づいた GHG 排出量算出を進めている。本稿では、これまでの分析で得られた結果を報告する。

2. インベントリ分析

2.1 対象水素源とエネルギーキャリア

本研究では、2030 年以降に水素エネルギーキャリアを既存の化石燃料等と競合できる価格で大量に導入することを目指している。そのため、海外で再生可能エネルギーから水電解水素を製造し、エネルギーキャリアとして日本に輸入して、発電や燃料電池等のエネルギー源として利用することを想定している。長距離海上輸送を伴うことから、本研究では液化水素（LH）、メチルシクロヘキサン（MCH）、アンモニア（NH3）、メタノール（MeOH）の 4 つを分析対象エネルギーキャリアとしているが、本稿では LH と MCH のインベントリ分析結果を記す。

2.2 システム境界と機能単位

図 1 に、本稿のシステム境界を示す。本研究では水素製造からエネルギーキャリアとして輸送し、発電や燃料電池等の利用端までを含めた一連のサプライチェーンからの GHG 排出量算出を視野に入れているが（図 1 上部）、本稿ではエネルギーキャリアを国内で大規模貯蔵した後に脱水素化するまでをシステム境界として

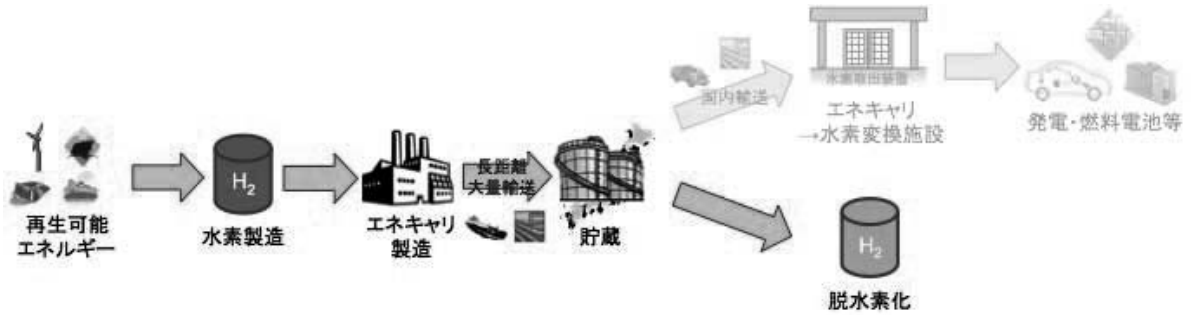


図 1 本稿のシステム境界と機能単位

いる（図 1 下部）。これに伴い、機能単位は水素の単位熱量あるいは単位体積あたりとしている。また想定している水素供給量は、年 100 億 Nm3 である。

2.3 分析方法と対象プロセス

既往の二次エネルギーの LCA を行った分析のうち、LH および MCH による水素サプライチェーンへの入力インベントリが明示されている文献 1)〜3)をフォアグラウンドデータとして用い、これに IDEA データを適用することにより GHG 排出量を算出した。

本稿で考慮する、水素エネルギーキャリアのサプライチェーンに含まれるプロセスは以下の通りである。

LH：LH タンカー空荷輸送（輸送距離 1 万 km、LNG タンカーの原単位と同じであると仮定）、風力・PV による海外水電解水素製造、海外水素液化、海外 LH 積地貯蔵、LH タンカー輸送（輸送距離 1 万 km、LNG タンカーの原単位と同じであると仮定）、国内 LH 揚地貯蔵、国内 LH 気化。

MCH：風力・PV による海外水電解水素製造、海外トルエン製造、海外水素添加（MCH 製造）（収率 99.8%、水素利用率 97.9%）、海外 MCH 積地貯蔵、MCH ケミカルタンカー輸送（輸送距離 1 万 km）、国内 MCH 揚地貯蔵、国内脱水素化（収率 94.9%、水素回収率 90%）、国内トルエン貯蔵、トルエンケミカルタンカー輸送（輸送距離 1 万 km）、海外トルエン貯蔵、海外トルエン補充（初期装荷量の 5%を想定）。

なお、タンカー輸送距離は 1 万 km であるとしているが、具体的にどの国で再エネからの水素製造を行うかを決定していないため、海外の系統電力 GHG 原単位は、IDEA から得られる国内系統電力原単位（0.577kg-CO2eq/kWh、2012 年度の数値）と同じであるとして推計を行った。

3　分析結果

ライフサイクルインベントリ分析による LH と MCH の GHG 排出量を、それぞれ図 2、3 に示す。LH では特に水素液化のために必要となる電力に伴う GHG が支配的であり、また MCH では脱水素反応に必要な熱量を確保するための重油燃焼による GHG の寄与が高いことがわかる。再エネからの水素製造を除く海外プロセスでは系統電力が投入されているものと仮定しているが、これらをすべて風力・PV で供給できる場合の推計結果を、図 2、3 それぞれの右側に示した。LH の排出量は風力で 43%、PV で 52%となるが、海外系統電力使用量が少ない MCH では、わずか 1%程度の削減にしかならない。

4.　おわりに

本稿では LH および MCH を対象とした水素エネルギーキャリアについて、ライフサイクルインベントリ分析によって GHG 排出量を推計した。現在、各プロセスの入力インベントリ・条件設定の精査とともに、NH3 と MeOH についてもデータ整備を行っており、発表時にはアップデートした分析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) 電力中央研究所：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−、研究報告：Y09027、(2010)
2) 電力中央研究所：メガソーラー発電技術のライフサイクル CO2 排出量評価、研究報告：Y12031、(2013)
3) NEDO：平成 21 年度エコイノベーション推進事業 海外生成可能エネルギーの大陸間輸送技術の調査、(2010)

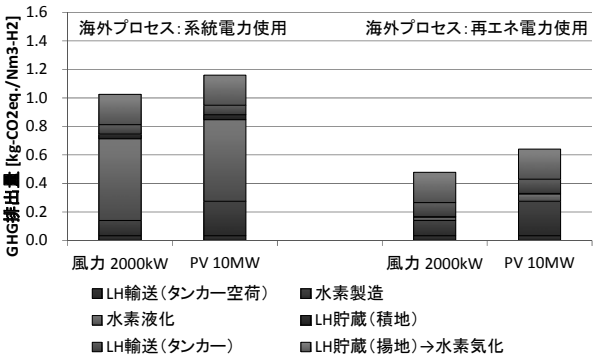


図 2 LH による水素 GHG 排出量

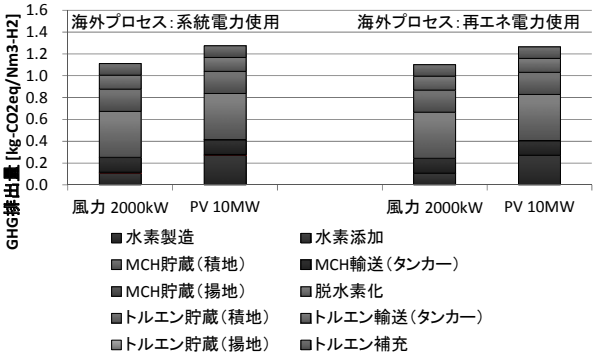


図 3 MCH による水素 GHG 排出量

環境・社会・経済的価値評価のための
再生可能エネルギー部門拡張産業連関表の開発

Construction of a renewable energy input-output table
for assessing environmental, social and economic value

○森泉由恵*[1)]、本藤祐樹 [1)]、中野諭 [2)]、兵法彩 [1)]、乗松義弥 [1)]、山下達也 [1)]、伊藤亮太 [1)]
Yue Moriizumi, Hiroki Hondo, Satoshi Nakano, Aya Heiho, Yoshimi Norimatsu, Tatsuya Yamashita, Ryota Itoh
1) 横浜国立大学、2) 労働政策研究・研修機構
* yue-m @ynu.ac.jp

1. はじめに

再生可能エネルギーの導入は、国や地域が抱える社会的課題を解決し、持続可能な社会を構築するための重要な手段の一つであるが、導入に際しては、期待される環境・社会・経済的価値が実現されるのか、十分に検討した上で選択・判断することが望ましい。

著者らは、環境研究総合推進費「再生可能エネルギー技術の価値評価と導入戦略のための基盤構築」[1)]の一環として、既存の産業連関表に複数の再エネ技術に関する部門を組み込んだ再生可能エネルギー部門拡張産業連関表（以下、再エネ I/O 表）を作成した。再エネ I/O 表作成の目的は、再生可能エネルギー導入がもたらす環境・社会経済影響を、的確かつ容易に評価することである。これにより、政策効果の客観的・定量的把握が可能になり、再生可能エネルギーに関する制度設計や計画策定に貢献することができる。

本稿では、再エネ I/O 表の作成方法を概説するとともに、再エネ I/O 表を用いた推計の一例としてライフサイクル雇用量の試算結果について報告する。

2. 再生可能エネルギー部門拡張産業連関表の概要

2.1 推計の対象とする技術

本研究では、再生可能エネルギーの熱利用技術と発電技術を対象としているが、今回は発電技術に焦点をあてて報告を行う。発電技術は、表 1 に示す 12 種を取り上げた。ライフサイクルの視点から、12 種の技術それぞれに関連する機器製造部門、建設部門、運用部門、燃料製造部門を特定し、合計で 49 部門を新設した。

2.2 本表の特徴

本研究で作成した再エネ I/O 表は、以下に述べる 2 つの特徴を持つ。第 1 の特徴は、再エネ関連部門を内生化していることである。再エネ技術導入にともなう影響の評価に既存の I/O 表を利用している例は散見されるが、こうした評価を行うためには、建設費および運用費データを入手し、全ての費用項目を該当する I/O 表部門にあてはめなければならない。これに対し著者

表 1 対象とする発電技術

エネルギー	発電技術
太陽光	住宅用太陽光発電
	小規模産業用太陽光発電（屋根設置）
	大規模産業用太陽光発電（屋根設置）
	大規模産業用太陽光発電（地上設置）
風力	大規模風力発電
水力	小水力発電
地熱	大規模地熱発電（フラッシュ）
	小規模地熱発電（フラッシュ）
バイオマス	木質バイオマス専焼発電
	メタン発酵ガス化発電（家畜排せつ物）
	メタン発酵ガス化発電（厨芥類）
	メタン発酵ガス化発電（下水汚泥）

らが作成した再エネ I/O 表では、投入係数ベクトルを内生化しているため、最終需要に総投資額を与えるだけで、再エネ技術導入による波及効果を容易に算出できる。

第 2 の特徴は、再エネ発電事業者からご提供いただいた実際の建設工事見積書や、収支決算書、経理簿などの詳細な一次データ（非公開データ）をベースに推計を行っている点である。これにより、実態に近い精緻な投入係数ベクトルを作成することが可能になる。

3. 再生可能エネルギー部門拡張産業連関の作成方法

3.1 投入係数ベクトル作成の流れ

推計は、次の(i)～(iii)の手順で行った。まず、(i) 論文や報告書等の文献調査により各再エネ技術の費用データ（公開データ）を網羅的に収集し、(ii) それらの情報と調達価格等算定委員会によるデータに基づき、各技術の機器製造・建設・運用・燃料製造の大枠の費用構成（「標準コスト」）を設定する。このプロセスは、特定事業の見積書や決算書を用いることによるデータの特殊性を排除し、一般性・代表性を高めることを目的としている。

次に、(iii) 再エネ発電事業者へのヒアリング調査を実施して詳細な費用データ（一次データ）を収集し、(iv) それを基に「標準コスト」を、複数の費用項目を

含まない最小単位にまで分割する。最後に、(v) 各費用項目を I/O 表の部門に格付けし、生産者価格に変換した上で、総生産額で除して投入係数ベクトルを作成した。

3.2 直接 CO_2 排出原単位の推計

新設部門の直接 CO_2 排出原単位は、以下のように求めた。まず、前節の(iii)で得られた一次データから、機器製造工場、建設工事現場、発電施設、一般管理部門における化石燃料消費額を求めた。それらの数値と、入手データ年の燃料単価、および各化石燃料 CO_2 排出係数から直接 CO_2 排出量を推計し、それを各部門の総生産額で除して直接 CO_2 排出原単位を求めた。なお、既存部門の直接 CO_2 排出原単位は、国立環境研究所の 3EID（2005 年版）[2]の値を利用している。

3.3 雇用係数の推計

新設部門の雇用係数は、以下のように求めた。まず、建設工事現場における雇用者数（人・日）については、見積書に計上されている労務費を，建設年における工種ごとの労務単価で割り戻して算出した。工事現場以外（工場や発電施設、一般管理部門）での雇用者数（人・年）は、計上されている人件費を、入手データ年における該当業種の平均年収で割ることで求めた。該当する業種の年間労働日数を用いて、求めた数値の単位を統一し、それを各部門の総生産額で除して雇用係数を算出した。なお、既存部門の雇用係数は、既存の産業連関表 [3]の付帯表である雇用表の従業員数から求めた。

4. 再エネ I/O 表を用いた誘発雇用量の推計

4.1 推計方法

作成した再エネ I/O 表を用いて、12 種の発電技術（表 1）の建設・運用にともない誘発される CO_2 排出量、雇用量を推計した。本稿では、雇用量を対象に試算結果を述べる。各部門で直接間接に誘発される雇用量（$\boldsymbol{L}$）は、式(1)により推計される。

$$\boldsymbol{L} = \hat{\boldsymbol{l}}(\boldsymbol{I} - \boldsymbol{A})^{-1}\boldsymbol{F} \qquad \text{式(1)}$$

ここで、$\hat{\boldsymbol{l}}$：雇用係数行列（対角行列）、$\boldsymbol{I}$：単位行列、$\boldsymbol{A}$：投入係数行列、$\boldsymbol{F}$：最終需要ベクトルを示す。

4.2 結果

図 1 に、各再エネ発電技術に 1MWh の需要が生じたときにライフサイクルにわたり誘発される雇用量を示す。図 1 の結果は、表 1 の 12 種の技術の中の 6 種を取り出したものであり、現時点での試算値である。

技術間の比較では、木質バイオマスの運用時の雇用量の多さが特徴的である。これは、原料となる木質チップの生産・輸送への波及の影響が大きいためである。

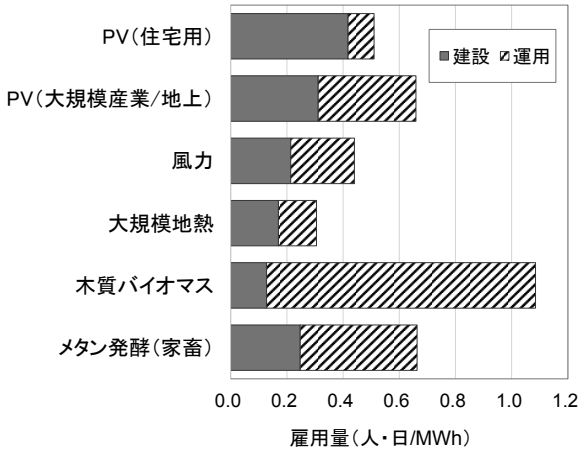


図 2　各発電技術のライフサイクル雇用量（試算値）

また、大規模 PV では日常的なメンテナンスに必要な雇用量が、メタン発酵では機械修理にともなう雇用量が誘発されており、技術によっては運用時においても建設時と同じかそれ以上の雇用量が生み出されている。

なお、図 1 の試算結果は、設備利用率や耐用年数などの前提条件によって結果が大きく変わり得ることに留意する必要がある。

5. おわりに

今後は、投入係数ベクトルおよび直接 CO_2 排出原単位・雇用係数の推計をさらに洗練させるとともに、作成した再エネ I/O 表を用いて持続可能性の観点から、再生可能エネルギー技術の評価やその導入戦略・政策の分析を実施していく予定である。

6. 謝辞

本研究を実施するにあたり、再エネ発電事業の関係者の皆様には、データ提供やヒアリング等、多大なるご協力を戴きました。また、本研究は、環境省環境研究総合推進費（課題番号：2-1302）による支援を受けています。ここに記して深甚の謝意を表します。

7. 引用文献

1) 環境研究総合推進費「再生可能エネルギー技術の価値評価と導入戦略のための基盤構築」http://www.hondo.ynu.ac.jp/REPJ/top.html
2) 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)：独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センター，入手先 http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/index-j.html
3) 総務省編，平成 17 年産業連関表，（財）全国統計協会連合会

鉄鋼排熱有効利用に向けた熱電発電システムのライフサイクル評価
Life cycle assessment of thermoelectric generation system toward utilization of exhausted heat from steel industry

○大矢麻美*[1)]、能村貴宏[1)]、中島謙一[2)]、秋山友宏[1)]
Asami Oya, Takahiro Nomura, Kenichi Nakajima, Tomohiro Akiyama
1) 北海道大学大学院, 2) 国立環境研究所
* asami-k@eng.hokudai.ac.jp

1. 緒言

産業排熱の約 16%[1)] を占める鉄鋼業の排熱は,天候によらず恒常的な排出がある一方で, 温度や形態が多様である. 様々な鉄鋼排熱回収技術の中で，熱から直接発電する熱電発電は省エネルギーデバイスとして注目を集めている. しかし, 商用化されている熱電　素子には銅や鉛製錬から副産するビスマスやテルルが多量に用いられ，素材製造段階で多量の投入エネ　ルギーや温室効果ガスの排出が予測される. しかし，これまでにライフサイクル全体を通してそれらの環境負荷を定量的に整理, 評価した事例はない. そこで　本研究では，エネルギー多消費かつ未利用熱多排出　産業である鉄鋼業からの排熱利用型熱電発電システムのライフサイクル全体における環境影響を調査した．特に，本研究では鉄鋼排熱を利用した熱電発電　システムの環境影響と発電性能に着目した.

2. 解析方法

2.1 前提条件

本研究では，製鉄所内連続鋳造設備のスラブからの輻射熱を回収するシステムを検討した．排熱から発電する熱電発電システムの温室効果ガス（*GHG*）削減効果と，省エネルギー効果を算定する目的で，影響領域として地球温暖化とエネルギー資源消費量について調査した.

Fig.1 は熱電発電システム概念図を示す. 熱源からの輻射熱と，水冷側の温度差で発電し，電流は電力変換機を通過した後に系統電力として使用されると想定した．発電ユニット（モジュール，受熱板，水冷板）だけでなく，水冷側の配管，ポンプ，電力変換機，架台を含めて熱電発電システムとし，これら全ての機器のライフサイクル全体における環境影響を評価した.

Fig.2 に本研究のシステム境界を示す. 解析の範囲は, 原料採掘から精製，素材製造，部品製造，輸送，使用（10 年間），メンテナンス，廃棄・リサイクルまでと

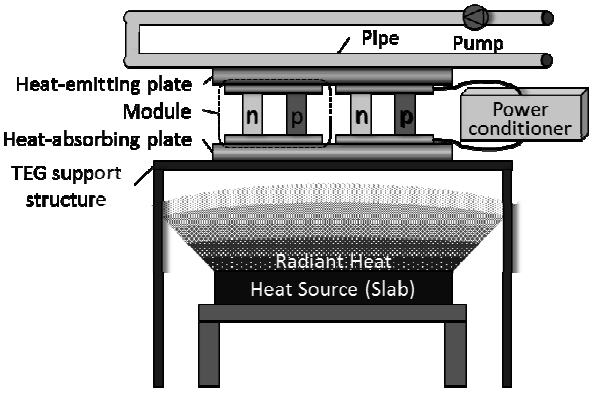


Fig. 1 Conceptual diagram of a thermoelectric power generation system. A thermoelectric power generation (TEG) unit consists of modules, a heat-absorbing plate, and a heat-emitting plate. The TEG system comprises the TEG unit and the balance of system (BOS)

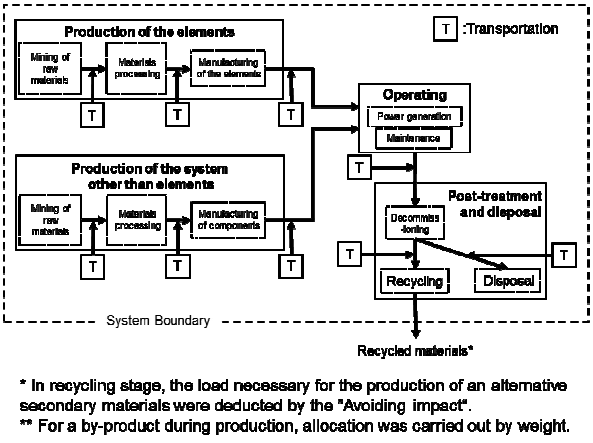


Fig. 2 Flow of life-cycle stages of thermoelectric generation system

した．原料製造時の副産物については、重量でアロケーションを実施済みのデータを用い, リサイクル効果, 排熱回収効果についてはオープンループ型リサイクルを仮定した．熱電素子には代表的かつ既に商用化されているビスマスーテルル系の材料を想定した．計算は市販の LCA ソフトを用い，データベースや既往研究報告に基づき，積み上げ法による　ライフサイクルインベントリ分析を実施し，各ライフサイクルステージ

における化石燃料（原油，天然ガス，石炭）消費量および CO_2 排出量を定量化した．インベントリ分析結果に基づき，特性化モデル LIME1 を用いて地球温暖化影響およびエネルギー消費に関してインパクト分析を実施した．

2.2 評価指標

本研究では，インパクト分析結果をもとに，以下の2つの項目に関して発電性能を評価した．

・温室効果ガス排出原単位，$GHG_{e\text{-}rate}$ [g-CO_2eq/kWh$_p$]

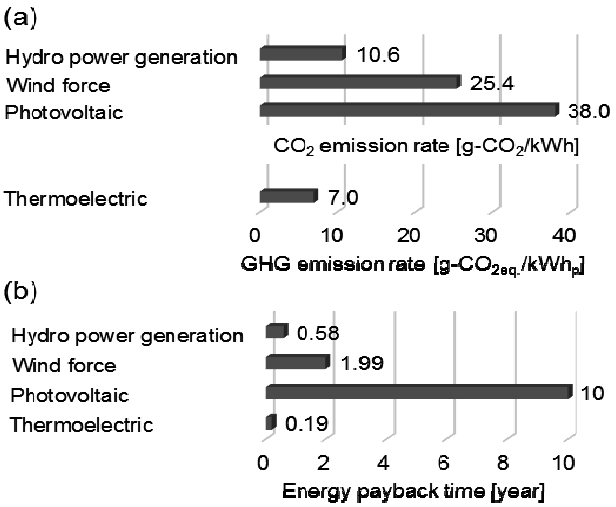
$$GHG_{e\text{-}rate} = GHG_{e\text{-}total} / E_{output\text{-}total}$$

$GHG_{e\text{-}total}$ は寿命中に排出する *GHG* 総排出量，$E_{output\text{-}total}$ は寿命中に発電する総発電電力量である．即ち，$GHG_{e\text{-}rate}$ は，単位発電電力量当たりの *GHG* 排出量である．

・エネルギー回収年，*EPBT* [year]

$$EPBT = (E_{input,ele} \times f_{ele} + E_{input,fossil}) / \{(E_{output,ele} - E_{operate,ele}) \times f_{ele} - E_{operate,fossil}\}$$

$E_{input,ele}$ は初期電力投入量，f_{ele} は電力の一次エネルギー換算係数，$E_{input,fossil}$ は初期化石燃料投入量，$E_{output,ele}$ は年間発電電力量，$E_{operate,ele}$ は年間運用電力投入量，$E_{operate,fossil}$ は年間運用化石燃料投入量である．*EPBT* は寿命中に投入されるのと同じエネルギーを，発電によって回収するまでに必要な稼働期間を表すため，*EPBT* が短いほど優秀な発電技術と言える．



Figs. 3 Comparison of (a) GHG emission rate/CO_2 emission rate[3] and (b) energy payback time[4] of thermoelectric power generation system with other power generation systems

3. 結果

熱電発電システムの $GHG_{e\text{-}rate}$ と *EPBT* を Figs.3 に示す．比較のため，代表的な再生可能エネルギー技術；風力発電（平均），太陽光発電，水力発電（中規模ダム水路式）の CO_2 排出原単位[3] と *EPBT*[4] を併記した．熱電発電システムの $GHG_{e\text{-}rate}$ と *EPBT* はそれぞれ 7.0 g-CO_2eq./kWh$_p$ と 0.19 year と判明し，$GHG_{e\text{-}rate}$ と *EPBT* で他の発電技術よりも優れた結果となった．本研究では熱電発電システムの設備利用率を 80%として計算を実施したが，風力発電，太陽光発電，水力発電の設備利用率はそれぞれ 20%，15%，45%[3]と低い値に留まっている．したがって，熱電発電システムの $GHG_{e\text{-}rate}$ と *EPBT* が他の発電技術を上回ったのは高い設備利用率に起因すると推察した．

4. まとめ

製鉄所内連続鋳造設備からの輻射熱を利用した熱電発電システムの環境影響，発電性能評価を実施した．発電性能を $GHG_{e\text{-}rate}$, *EPBT* を用いて評価し，$GHG_{e\text{-}rate}$ と *EPBT* はそれぞれ 7.0 g-CO_2eq./kWh$_p$ と 0.19 year と判明した．熱電発電システムの特徴でもある高い設備利用率が要因となり、他の再生可能エネルギー技術と比較しても優位な結果となった．

引用文献

1) NEDO：“工業群の排熱実態調査研究”，（2001）

2）株式会社 KELK, :“世界最高効率の熱電発電モジュールを開発・発売”, KELK.Ltd. (オンライン), 入手先＜ http://www.kelk.co.jp/news/090128.html ＞，参照（2014-12-15）

3) 今村栄一，長野浩司 :“日本の発電技術のライフサイクル CO_2 排出量評価―2009 年に得られたデータを用いた再推計―”，（2010），pp.26

4) 内山洋司，山本博巳 :“発電プラントのエネルギー収支分析”，（1991），pp.42-68

再生可能エネルギーに対する選好構築過程：持続可能性情報と決定支援手法が与える影響の解明

Preference construction processes for renewable energies: assessing influence of sustainability information and decision support methods

○林清忠*[1)]、本藤祐樹[2)]、森泉由恵[2)]、兵法彩[2)]、伊藤亮太[2)]
Kiyotada Hayashi, Hiroki Hondo, Yue Moriizumi, Aya Heiho, Ryota Ito
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

ステークホルダー（利害関係者）の選好を明らかにし、合意形成を図ることは、再生可能エネルギーを地域に導入する際に欠くことのできないプロセスである。実際に、エネルギー技術選択に関する研究分野においても、ライフサイクルアセスメント（LCA）、持続可能性評価に加え、多基準意思決定支援手法を適用しようとする試みは増加している[1-3)]。

しかしながら、以下の 2 点に関しては、更なる検討が必要である。第 1 は、各個人がデフォールトとして持っている選好が、技術の特性を表現する客観的情報（持続可能性に関する指標）の提示によってどのように変化するかである。これは、討論型世論調査とも共通する重要な視点を示している。第 2 は、客観的情報を処理する方法として意思決定支援手法を用いることにより、どのような選択をするようになるかである。これは、意思決定者としての各個人が、支援手法の活用により、それぞれの選好を構築していく過程を明示的に分析する必要があることを意味している。

そこで、この研究では、環境、経済、社会に関する持続可能性指標の提示、ならびに意思決定支援手法の利用が、再生可能エネルギーに対する選好の構築にどのような影響を与えるかを解明する。

2. 方法

2.1 代替案（再生可能エネルギーを用いた発電技術）

再生可能エネルギーに対する意思決定者の選好は、再生可能エネルギーを用いた複数の発電技術(代替案)の選好順序として計測した。対象としたエネルギー源は、太陽光、風力、小水力、地熱、木質バイオマス、バイオガスである。

2.2 評価基準（持続可能性情報）

再生可能エネルギーを用いた発電技術を評価する基準として、1 年間に 1 世帯が要する電力量（MWh）当たりの二酸化炭素排出量(kg-CO_2)、発電コスト(円)、雇用創出量（人・日）を用いた。順に、持続可能性における環境、経済、社会の側面に対応する。

2.3 決定支援手法

複数の意思決定基準を考慮しつつ代替案を選択する手法として、多属性価値関数に基づく多基準意思決定手法[4)]を用いた。ただし、手順の簡略化のため、それぞれの価値関数は線形であると想定するとともに、それぞれのレンジも事前に設定した。したがって、参加者が実際に行う作業は、評価基準に対するウェイト付けとなる。評価基準のレンジを考慮しないでウェイト付けを行った場合に生じる問題[5)]を回避するためのウェイト付けの方法を採用した。

2.4 ワークショップ開催による選好の計測

意思決定者（被験者）の選好を計測する場として、ワークショップを開催した。ワークショップは、都留市役所職員の研修の一環として、2014 年 11 月 6、13、14 日にミュージアム都留会議室において実施した。参加者は、就職後 1、2 年目の職員延べ 18 人である。ただし､全ステップを通して有効な回答を行った人数は、14 であった。選好の計測は、4 つのステップに分けて行った（表 1）。

表 1　各ステップにおける提示情報と被験者の作業

ステップ	実施日	提示情報と被験者の作業
0	11/6	代替案（発電技術）の名称のみ 代替案（カード）の順序付け
1	11/6	代替案の３基準の値の提示 代替案（カード）の順序付け
2	11/13	数値の持つ意味（公益性）の追加 代替案（カード）の順序付け
3	11/13	意思決定支援手法の説明 ３基準に対するウェイトの決定

ステップ 0 は、代替案の名前（およびイラスト）を描いたカードを順番に並べることによって実施した。ステップ 1 は、再生可能エネルギーを用いた発電技術に関する講義の後に、それぞれの代替案の持続可能性に関する 3 つの指標を記入したカードを並べることによって行った。ステップ 2 では、持続可能性情報がもつ意味の理解を深めるため、それぞれの評価基準が持

つ含意（公益と私益の観点からの差異）について、追加的な説明を加えた。ステップ 3 では、多基準意思決定支援手法に関する講義ならびに手順を説明した後、用意した記入用紙および付箋紙を用いて選好に関する情報を収集した。

2.5 データ解析

各参加者の選好（代替案に対する選好順序）が、それぞれのステップにおいて変化した程度を示す指標として、スピアマンの順位相関係数を用いた。すなわち、ステップ i とステップ i+1 の間の順位相関係数が 1 に近いほど、その間の選好の変化が小さいこと、逆に–1 に近いほど、その間の選好の変化が大きいことを示す。

また、ステップ 3 で用いた意思決定支援手法は、グループとしての意思決定を直接の対象としたものではないものの、ステップ 0 から 3 へと進むに従い、より体系的な手順を用いることとなるため、参加者間の選好の乖離度が小さくなると期待される。そこで、参加者全体（グループ）としての選好の整合性を表現する指標として、スピアマンの順位相関係数行列（14×14）の最大固有値を求めた。

3. 結果

3.1 各参加者の選好の変化

ステップが 0 から 3 へと進むに伴い、各参加者の選好がどのように変化したかは、図 1 の通りである。ステップ 0 から 1 にかけては、ほとんどの参加者の選好が大きく変化している。すなわち、持続可能性情報の提示によって、無意識のうちに形成されていたと考えられる再生可能エネルギーに対する選好順序が、持続可能性に関する客観的情報が提示されたことに伴い、変化したことを表している。

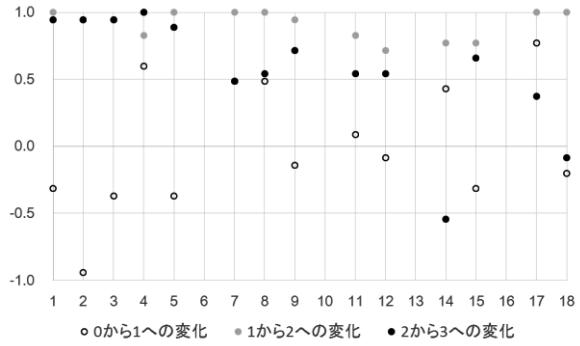


図 1　ステップの進展に伴う選好の変化（横軸：参加者番号、縦軸：スピアマン順位相関係数）

これに対して、ステップ 1 から 2 にかけては、相対的に小さな変化にとどまっている。これは、公益と私益に関する追加的な情報の提示が、大きな選好の変化をもたらさなかったことを示している。

ステップ 2 から 3 への変化、すなわち意思決定支援手法を用いることによる選好の変化は、1〜5 番の参加者を除き、相対的に大きいことが示された。

3.2 選好のグループ内整合性の変化

参加者全体としての整合性が、ステップの進展に伴いどのように変化したかを図 2 に示した。各参加者の選好が大きく変化したステップ 0 から 1 にかけて、およびステップ 2 から 3 にかけては、グループ内における選好の整合性が高まったことが明らかとなった。

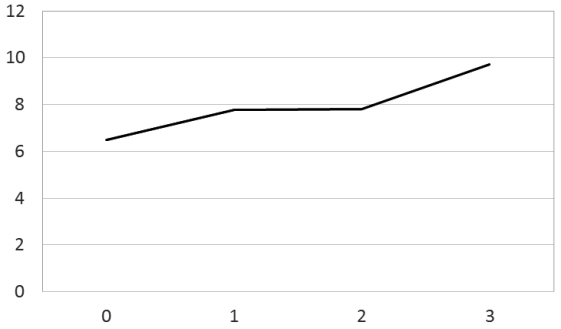


図 2　ステップの進展に伴う選好の整合性の変化（横軸：ステップ番号、縦軸：最大固有値）

4. 考察とむすび

分析結果が示しているのは、持続可能性情報の入手、および意思決定支援手法の活用により、意思決定者の選好が構築されていく過程であると考えられる。その過程が、グループ内の選好の整合性を高めていく過程でもある点は興味深い。今後、より実践的な場面での検討を進めていく計画である。

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) Bessette D.L., Arvai J., Campbell-Arvai V.: Environ. Sci. Technol. 48, (2014), pp. 1401-1408
2) Maxim A.: Energy Policy, 65, (2014), pp. 284-297
3) Santoyo-Castelazo E., Azapagic, A.: J. Clean. Prod. 80, (2014), pp. 119-138
4) Goodwin P., Wright, G.: Decision Analysis for Management Judgment, 5th Edition, Wiley, (2014), pp. 33-64
5) Keeney R.L.: Oper. Res. 50(6), (2002), pp. 935-945

既存電力システムにおいて再生可能エネルギーはどの程度導入できるのか？

電力システムにおける再生可能エネルギーの導入可能量の推計手法の開発

Research on a method to estimate the capacity of renewable energy in the conventional energy system

○河尻耕太郎、近藤康彦、村田晃伸
Kotaro Kawajiri, Yoshihiko Kondo, Yoshinobu Murata
産業技術総合研究所
* kotaro-kawajiri@aist.go.jp

1. はじめに

近年、固定価格買取制度などの施策により、日本や世界における再生可能エネルギーの導入量が飛躍的に増加しつつある。しかしながら、太陽光発電や風力発電は、出力が大きく変動するため、既存の安定的な電力の需給を前提とした電力システムにおいては、導入可能な容量に限界がある。したがって、将来の再生可能エネルギーの導入拡大に向けた施策を定量的に検討するためには、現状の電力システムで許容可能な再生可能エネルギーの出力容量（導入可能量）を推計し、導入を拡大する上でのボトルネックについて明らかにする必要がある。

過去の研究において、出力を調整することが困難なベース電源（出力一定で稼働させる発電所）の容量が、再生可能エネルギーの導入可能量を規定することが明らかにされている[1]。また、日本の離島における再生可能エネルギーの導入拡大に伴って、沖縄電力が各離島における再生可能エネルギーの導入可能量を推計している[2]。また、現状、東京電力や中部電力などの電力需要が大きい電力会社は、導入制約が小さいため、導入可能量の推計を行っていないが、それ以外の北海道電力、東北電力、北陸電力、中国電力、四国電力、九州電力は、再生可能エネルギーの導入可能量を推計している[3]。これらの研究および電力会社の推計により、再生可能エネルギーの導入可能量が、長周期変動における下げ代（既存電力網において受容可能な発電出力の下げ幅）、特に年間で電力需要量の小さい日における下げ代を元に、再生可能エネルギーの導入可能量を推計できることが明らかにされている。

そこで本研究では、各電力会社における電力需要の年間推移のデータと、各タイプの発電所の出力を元に、簡易に各電力会社の下げ代を推計する手法を開発し、各電力会社の下げ代と、再生可能エネルギーの導入可能量を推計する。また、得られた結果については、各電力会社の公表値と比較して、結果の妥当性について検討を行う。

2. 方法

各電力会社の長周期変動における下げ代を推計する手法は、以下のステップで構成されている。

- 各電力会社の電源構成のベストミックスを推計する。ベストミックスの推計方法は次のとおりである。
  - 各電力会社の電力需要データにおいて、過去に最も電力需要量が小さい日を選定する。
  - 各電力会社の電源構成において、原子力発電、水力発電（流込式）、地熱発電等を、ベース電源として所定の出力で発電すると想定する。
  - LNG 火力発電および石油火力発電で調整できる範囲において、石炭火力発電所の出力を一定かつ最大限導入できるように、揚水発電所の出力を必要最小限で調整する。
  - 上記ベース電源（原子力発電、水力発電、地熱発電）、揚水発電、石炭火力発電の残りの電力需要の範囲において、LNG 火力発電を最大限導入する。
  - 残りの電力需要を石油火力発電で賄う。
- 上記で得られた電源構成において、各発電技術の長周期変動における出力調整可能な容量を合計し、下げ代を試算する。
- 上記で得られた下げ代を元に、太陽光発電で換算した時の導入可能量を推計する。

本研究においては、北海道電力、東北電力、中部電力、東京電力、中国電力のホームページより、電力需要のデータを入手し、CSV ファイルとして入手可能なデータの範囲で、電力需要量が最小となる日を選定し、分析を行う。また、各電力会社の電源構成については、各種統計資料を元に推計する[4]。

上記推計において、原子力発電の出力は 0%と 100%の 2 ケースについて推計を行う。水力発電、地熱発電は最大限導入するものとする。揚水発電の蓄電電力量は、出力の 10 時間分を限度とする。なお、電源開発等

の所有する揚水発電所については、下げ代の推計には含まない。各発電所の長周期変動に対する最低負荷率は、原子力発電、流込式水力発電は 100%、流込式水力発電以外の水力発電所（揚水発電含む）は出力の 0%、LNG 火力発電および石油火力発電は出力の 33%とする。また、太陽光発電の導入可能量を推計するにあたって、発電所の出力変動の最大値を規格出力の 80%とする。

3. 結果

前述の 5 電力会社について、CSV ファイルとして入手可能なデータの範囲において、電力需要量が最も小さい日は、中国電力は 2013 年 5 月 2 日であり、それ以外の電力会社では 2014 年 5 月 4 日であった。

本研究では、上記の日における電力のベストミックスを推計し、5 電力会社の下げ代を推計した（図 1 参照）。

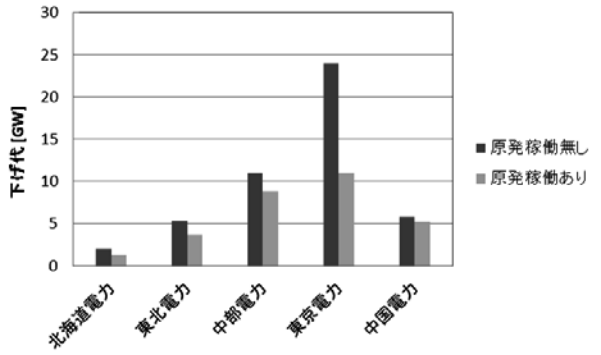


図 1. 各電力会社の下げ代

図に示すとおり、各電力会社とも、原子力発電が稼働した場合に、下げ代が減少する。特に、東京電力では、全発電所の出力合計に占める原子力発電の出力が大きいため、原子力発電の可動によって、下げ代が大きく減少する。

推計された下げ代にもとづいて、太陽光発電の導入可能量を推計すると、原子力発電所を 100%稼働する場合において、北海道電力、東北電力、中部電力、東京電力、中国電力における太陽光発電換算での導入可能量は、それぞれ 1.6、4.6、11、14、6.5GW であった。

なお、北海道電力、東北電力、中国電力が公表した太陽光発電の導入可能量はそれぞれ 1.2、5.5、2.2GW であり[3]、本研究の推計値と比較して若干差異が生じている。これは、電力会社の公表値は、原子力発電所の稼働率を約 8 割程度に設定していること、現状における風力発電などの導入量、および各電力会社管内の太陽光発電設備の実際の稼働率などを考慮して導入可能量を推計していること、また送配電設備の余裕も考慮していることなどが、原因として考えられる[3]。また、本研究の推計に用いた各電力会社の発電所の容量のデータと、実際の値に乖離がある可能性も否定出来ない。

しかしながら、推計結果と電力会社の公表値は、それほど大きくは外れてはいないことから、本研究の推計方法によって、十分ではないものの、簡易に各電力会社の下げ代を推計できる可能性が示唆された。

4. まとめ

本研究において、各電力会社の電力需要、電源構成のデータを元に、簡易に各電力会社の下げ代を推計し、太陽光発電で換算した時の再生可能エネルギーの導入可能量を推計した。

各電力会社ともに、原子力発電所を稼働させることで、下げ代が減少した。特に東京電力については、全発電所の容量に占める原子力発電所の容量が大きいため、原子力発電所の稼働によって大きく結果が変化した。

本研究の推計方法により、十分ではないものの、簡易に各電力会社の下げ代、および再生可能エネルギーの導入可能量を推計できる可能性が示唆された。

最後に、本研究によって得られた結果は、簡易な推計にもとづいたものであり、推計結果と電力会社の公表値との間に若干の乖離がある。この差異が生じた理由については、今後検討を重ねる。

5. 謝辞

本研究は、産業技術総合研究所安全科学研究部門部門内科研費を得てすすめられた。

6. 引用文献

1) Denholm P., Margolis R. M., Energy Policy, (2007), pp 2852-2861.
2) 沖縄電力, http://www.okiden.co.jp/shared/pdf/whats_new/2014/140529_01.pdf
3) 経済産業省資源エネルギー庁, http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/shoene_shinene/shin_ene/keitou_wg/pdf/003_09_00.pdf
4) 経済産業省資源エネルギー庁電力・ガス事業部編, 電源開発の概要. 2010.

IDEA における環境負荷項目の拡充
～オゾン層破壊及び地球温暖化関連物質～

Expanded Inclusion of Environmental Load in IDEA
Emissions of Ozone Depleting Substances and Global Warming related Substances

○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

欧州委員会（European Commission : EC）で議論されている環境フットプリントでは、14 の環境影響領域について環境影響評価の実施が可能になるとされている。昨今の環境影響領域の広がりに伴い、環境影響評価に供される環境負荷物質も多くの種類が要求されるようになっている。インベントリデータベースは環境負荷物質の入出力量の算定にも利用されているため、単位プロセスごとのライフサイクルインベントリ分析結果において各環境影響領域に対応した環境負荷物質の入出力量を提供できるようにしておく必要がある。我々はインベントリデータベース IDEA（Inventory Database for Environmental Analysis）[1)]を作成し、まもなく IDEA を改訂した IDEA version2（以下「IDEA v2」とする）を公開する予定である。

本研究では、IDEA v2 で算定することのできる環境負荷物質の種類及び入出力量を拡充させることを目的として主に以下の 2 項目を実施する。IDEA v2 で算定できる環境負荷物質と、他のデータベースで算定できるそれらとを比較することによって、環境影響領域ごとに充足または不足している物質を検討する。IDEA v2 の単位プロセスデータを追加または更新することによって環境影響評価に供する環境負荷物質の種類及び入出力量を拡充する。

2. SimaPro 日本語版 7.3 及び LIME2 を用いた IDEA v2 へ導入すべき環境負荷物質の検討

IDEA v2 は 3,863 プロセスを格納し、農林水産業及び製造業で生産される全製品のプロセスデータを作成しているため、他のデータベースと比較し上記範囲の製品であればインベントリデータをユーザーに必ず提供できるという優位性がある。IDEA v2 以外のインベントリデータベースとしては欧州で ecoinvent version 3（以下「ecoinvent v3」とする）[2)]等、米国で U.S. Life Cycle Inventory Database[3)]等が開発されている。LCA ソフトウェア SimaPro 日本語版 7.3（以下「SimaPro7.3」とする）は ecoinvent v3 や U.S. Life Cycle Inventory Database 等を含む 8 つのデータベースを格納しており 6,507 プロセスを利用できる。IDEA v2 及び SimaPro7.3 のそれぞれが格納しているプロセスデータから算定される環境負荷物質の種類を比較すると、地球温暖化物質は IDEA v2 が 27 物質、SimaPro7.3 が 17 物質であり、オゾン層破壊物質は IDEA v2 が 23 物質、SimaPro7.3 が 47 物質だった。両データベースに共通するプロセスごとに環境負荷物質の種類及び入出量を比較し、例えば SimaPro7.3 で確認できたが IDEA v2 では確認できなかった環境負荷物質について、排出経路の確認等をおこない IDEA v2 へ導入すべきか検討した。

環境影響評価手法の一つである LIME2（Life cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling）[5)]は、影響領域ごとに環境負荷物質を設定しており地球温暖化で 63 物質、オゾン層破壊で 94 物質が存在する。これらが IDEA v2 のプロセスデータから算定されているかを確認した。ただし、LIME2 で設定されているすべての環境負荷物質を IDEA v2 が満たす必要はない。なぜなら、IDEA v2 は日本における 2010 年時点の技術を前提にしているため、製造方法によっては環境負荷物質が排出されなかったり、環境負荷物質の回収をしていることも考えられるからである。上記を考慮しつつ IDEA v2 へ導入すべき環境負荷物質を検討した。

3. IDEA v2 への地球温暖化物質及びオゾン層破壊物質の導入方法

3.1 製品の単位生産量当たりの代替フロン由来の地球温暖化物質排出量について

2 章より IDEA v2 に代替フロン由来の地球温暖化物質を追加する必要があることがわかった。代替フロン由来の地球温暖化物質の排出源となっているプロセスは、インベントリオフィス報告書 [6)]や経済産業省審議会の資料 [7)]をもとに特定した。排出源を大別すると、（1）金属の製造プロセス、（2）ハロゲン元素を含む炭素化合物及び六フッ化硫黄の製造プロセス、（3）上記（2）を投入する製品の製造プロセスがあり、これらのプロセスの入出力を見直した。これら以外の排出源と

して製品の使用段階や廃棄段階もあるが、IDEA v2 の各プロセスの範囲は事業所出荷までであるため、今回は考慮していない。まず排出源を IDEA プロセスと対応させる。次に対応させた IDEA プロセスごとに入出力量を算定する。各プロセスをライフサイクルインベントリ分析することで製品の単位生産量当たりの地球温暖化物質排出量を算定する。

3.2 製品の単位生産量当たりのオゾン層破壊物質の排出量について

オゾン層破壊物質を排出している事業所及びその年間排出量を得るため、化学物質排出移動量届出制度（Pollutant Release and Transfer Register：PRTR）[8]を利用する。PRTR とは、有害化学物質を製造・使用している事業所の環境中への排出量及び事業所外への移動量を調査し公表する仕組みのことである。PRTR の対象有害化学物質にはオゾン層破壊物質が 21 物質含まれ、一定規模以上の事業所は年間排出量・移動量を届け出る義務があり、届出対象外の事業所からのそれらは国が推計している。平成 22 年度の PRTR の届出事業所でオゾン層破壊物質を排出している 3,467 事業所のうち製造業に属しかつ従業者 4 人以上の 317 事業所については、平成 22 年工業統計調査の調査対象にも該当するので、工業統計調査票で当該事業所が製造している製品を確認することによって、排出源となっているプロセスを特定する。事業所が複数の製品を生産しかつ複数の製品生産プロセスからオゾン層破壊物質が排出されると考えられる場合は、排出経路及び排出量算定方法を確認し各製品に排出量を割り当てる。工業統計調査票から対象プロセスから出力される製品生産量を得て製品の単位生産量当たりのオゾン層破壊物質排出量を算定する。

4. IDEA v2 への環境負荷物質導入結果

IDEA v2 への環境負荷物質導入結果の一例として、業務用エアコン、家庭用エアコン及び自動販売機への代替フロン由来の地球温暖化物質の導入結果を示す。上記 3 製品における地球温暖化物質の排出源として機器に冷媒を充填する際の漏えい由来及び冷媒を製造する際の漏えい由来がある。前者に関するプロセスデータを 3 製品の各生産プロセスに追加し、後者に関するプロセスデータを冷媒生産プロセスに追加した。上記 3 製品の各生産プロセスへ冷媒も入力も追加した。ライフサイクルインベントリ分析後に地球温暖化について環境影響評価を実施し、結果を図 1 に示す。特性化係数は IPCC 第 2 次評価報告書 [9]の GWP100 年値を用いた。環境負荷物質の導入によって家庭用エアコンの地球温暖化影響は IDEA v2 の 1.40 倍になり、プロセスによっては環境影響評価の結果に大きな影響を及ぼすことがわかった。

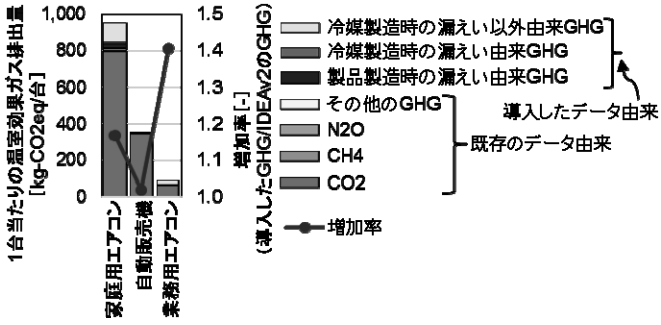


図 1　地球温暖化影響評価の結果

5. まとめ

IDEA v2 に格納されたプロセスデータから算定した環境負荷物質を SimaPro7.3 及び LIME2 と比較することによって、IDEA v2 に導入すべき環境負荷物質を抽出した。IDEA v2 のプロセスデータを追加または更新することによって、地球温暖化物質 10 物質、オゾン層破壊物質 21 物質の排出量を算定できるようになり、プロセスによってはそれらの物質導入によって環境影響が大きく増加することがわかった。

引用文献

1) （独）産業技術総合研究所 （一社）産業環境管理協会, IDEA （Inventory Database for Environmental Analysis）, 東京,（一社）産業環境管理協会,（2010）
2) Swiss Centre for Life Cycle Inventories：“ecoinvent version 3”, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 入手先 ＜http://www.ecoinvent.org/database/>,（参照 2015-1-6）
3) National Renewable Energy Laboratory：“U.S. Life Cycle Inventory Database”, NREL, 入手先 ＜http://www.nrel.gov/lci/>,（参照 2015-1-6）
4) PRe Consultants：“SimaPro 日本語版 7.3”, TCO2（株）,（2011）
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”,（社）産業環境管理協会, 東京,（2010）
6) 温室効果ガスインベントリオフィス編,“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）
7) 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, 入手先 ＜http://www.meti.go.jp/ committee/gizi_1/17.html>,（参照 2015-1-6）
8) 環境省 経済産業省：“個別事業所のデータ”, 環境省, 入手先 ＜http://www.env.go.jp/chemi/prtr/kaiji/index.html>,（参照 2015-1-6）
9) IPCC,“IPCC Second Assessment Climate Change 1995”, IPCC, USA,（1995）

研究開発段階における新規技術の LCA 評価手法の開発

Research on a method to evaluate impacts of a novel technology under research and development in life cycle assessment

○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

近年、ライフサイクルアセスメント（LCA）は、様々な製品やプロセスの環境負荷を評価するための評価手法として、確立されつつある。特に、新規製品や新たな製造プロセスの環境負荷を評価し、既存技術と比較することで、新規技術の優位性を環境負荷の側面で定量的に評価することができれば、研究・開発者の立場としては、自らの技術の優位性をアピールできる一方で、資金の出し手や評価する立場として、費用対効果の高い技術を選定することが可能となる。したがって、研究開発において、出来るだけ早い段階で、技術を評価することが求められるが、そのためには克服すべき課題が存在する。

研究開発段階においては、個々のプロセスのスケールが小さく、またプロセスのスループットなどについて考慮されていないことが多い。一般的に、プロセスのスケールが大きくなると、効率が向上することが知られている。そのため、革新的な技術であったとしても、スケールが小さいことによって、大規模スケールで用いられている既存技術よりも環境負荷が大きく評価される可能性が高い[1]。したがって、新規技術と既存技術と比較するためには、新規技術が商業化を前提とした大規模スケールで用いられたときの環境負荷と、既存技術の環境負荷を比較し、新規技術の本来のポテンシャルを評価する必要がある。

そこで、本研究では、研究開発段階において、新規技術が大規模スケールで用いられた時の環境負荷を推計する手法を開発することを目的とする。手法の検討を行うために、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[2]と、過酸化水素水を用いたα-ピネンの酸化プロセス[3]をケース・スタディとして取り上げる。

2. 手法

本研究では、新規技術が大規模スケールで用いられた時の環境影響について、下記のステップで分析を行う。

最初に、研究開発段階（ラボスケール）の各技術を構成する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、商業化より近い段階として、実証スケールの各技術のシステム境界、およびインベントリデータについて情報収集を行い、同じく環境負荷を推計する。

最後に、実証スケールにおけるシステム境界を構成す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を外挿し、商業化スケールのインベントリデータを推計する。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。

以上により、ラボスケール、実証スケール、商業化スケールの各スケールの環境負荷を推計し、最終的には既存技術の環境負荷と比較し、新規技術の優位性について検討を行う。ただし、実証スケールのデータが入手できない場合は、特許や論文等の文献情報を元に実証スケールのインベントリを推計する。

特許や論文、装置のカタログなどの文献情報や、化学反応や伝熱理論に基づくシミュレーション等を用いて、個別プロセスのスケールファクターを導出する。

本研究において、各ケースの機能単位を、それぞれα-ピネンオキサイド 1kg、カーボンナノチューブ 1kg とする。

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推計する[4]。環境負荷として、CO2 排出量を用いて分析を行う。

3. 結果

本稿では、現在進行中の研究の成果として、ラボスケールにおける、各ケースの技術の CO2 排出量について評価した結果を報告する。

図 1 に、ラボスケールにおける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-ピネンを酸化し、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。

図 2 に、ラボスケールにおいて、上記プロセスで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、本ケースにおいては、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ものである。特に、ステージ 1 においては、有機合成用の装置を長時間利用するために、電力による CO2 排出量が大きくなっている。

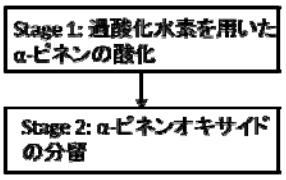


図 1. α-ピネンの酸化プロセスのシステム境界

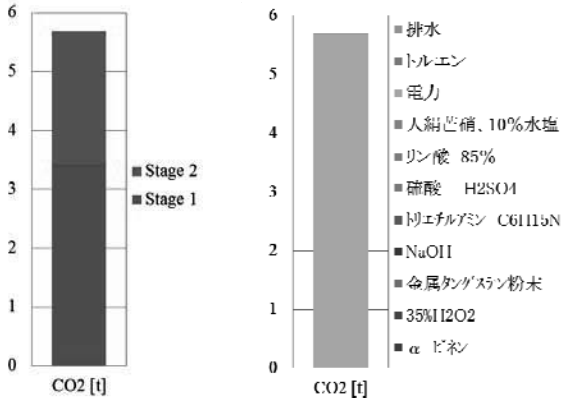


図 2. 1kg のα-ピネンオキサイド製造時の CO2 排出量

図 3 に、ラボスケールにおける CNT 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。次に、ステージ 2 において、エチレンを炭素源として、水蒸気を混入しつつ、基板上にカーボンナノチューブを成長させる。

図 4 に、ラボスケールにおいて、上記プロセスで 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 90%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、それを 20mm 角上の基板に分割(30 枚に分割すると想定)し、Stage 2 で 20mm 角の基板上にカーボンナノチューブを製造するため、Stage 1 の CO2 排出量は小さくなっている。また、CO2 排出量のほとんどが電力によるものである。特に、熱 CVD プロセスにおいては、高温でプロセスが行われるため、電力消費が大きい。

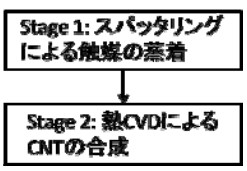


図 3. CNT スーパーグロース法のシステム境界

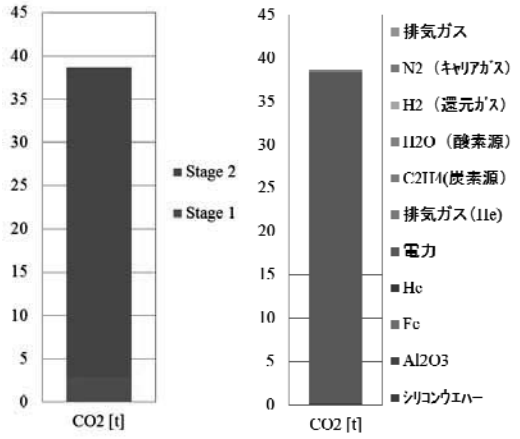


図 4. 1kg の CNT 製造時の CO2 排出量

4. 結論

本研究では、研究開発段階における新規技術が、大規模スケールで用いられた時の環境負荷を推計する手法について、過酸化水素を用いたα-ピネンの酸化プロセスと、CNT スーパーグロース法をケース・スタディとして、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、ラボスケールにおける両技術の環境負荷を推計した。両技術ともに、CO2 排出量のほとんどが電力消費によるものであることが明らかになった。

今後は、実証スケール、商業化スケールにおける環境負荷を推計し、両技術が大規模に用いられた時の環境負荷を推計する。将来的には、様々な種類の技術にも適用可能な、新規技術の評価手法を確立したい。

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) Hata K., Futaba D. N., Mizuno K., Namai T., Yumura M., Iijima S., Science, (2004), pp. 1362-1364.
3) 今喜裕, 佐藤一彦, 産総研 TODAY, (2012). pp. 12.
4) 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.

アジア各国を対象としたランドフットプリント

Development of Land footprint for Asian countries

○飯田惣也*[1)]、小野雄也[1)]、伊坪徳宏[1)]
Soya Iida, Yuya Ono, Norihiro Itsubo
1) 東京都市大学
* g1383101@ tcu.ac.jp

1. はじめに

国連ミレニアム生態系評価（Millennium Ecosystem Assessment; MA）によれば、動植物の生息地の改変を伴う開発行為は生物多様性を失う最も重要な要因の一つとして指摘された。LCA における影響評価手法の開発では、生物多様性に対する影響を PDF や EINES といった生物種の消失や絶滅に注目した指標を採用しているが、国際的な合意に至っていないのが現状である。欧州の CREEA プロジェクトでは、カーボン、ウォーターに加え、ランドにも注目した国レベルの環境評価を多国間産業連関分析を用いて実施した。消費ベースと生産ベースの土地利用の評価を欧米を含む先進国を対象に行われているものの、日本、中国を除くアジア諸国は ROW 扱いとなっているため、日本の評価結果は信頼性の面で課題があるものと考えられた。

2. 研究目的

本研究では、アジア国際産業連関表（AIIO）と各産業統計を用いて、土地の利用区分別にアジア各国を対象としたランドフットプリント用土地利用原単位を作成する。さらに、国全体のランドフットプリントを実施して、消費ベースの国内外の相互依存関係について定量的に分析した。また、土地利用原単位は、LCA での活用を想定して、日本の総務省表とアジア国際産業連関表（AIIO）を統合した詳細版アジア国際産業連関表を作成し、これに基づく原単位を作成した。本研究では 10 ヶ国（日本、韓国、中国、台湾、タイ、フィリピン、マレーシア、シンガーポール、インドネシア、アメリカ）を対象とした。詳細版アジア国際産業連関表は一国版の産業連関表と異なり、複数国からの輸出入の実態を反映することができ、より生産国の実態を反映した結果を得ることができる。

3. 研究方法

3.1 土地利用原単位の作成方法

本研究では、土地利用原単位を「各国内の一年間の生産活動による生産額 1000US$あたりの土地の直接的・間接的利用面積」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的土地利用面積だけでなく、サプライチェーンの上流工程における間接土地利用面積を含めた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 は投入係数行列である。まず、各国政府や国際機関が発行する統計などからそれぞれの国における直接的な土地利用面積を算出する。次に、算出したものを該当する産業連関表の各産業部門に配分し、国内生産額で除することにより、直接投入係数表を作成する。そして、産業連関表を正方化した 76 分類からなる行列を作成した後、逆行列係数表を算出し、最後に積をとることで各国の各産業における土地利用原単位を作成する。（図 1）なお、研究目的にもある 10 ヶ国のうち、日本に関しては 76 部門から 403 部門に詳細化しており、部門数は計 1087 部門となる。

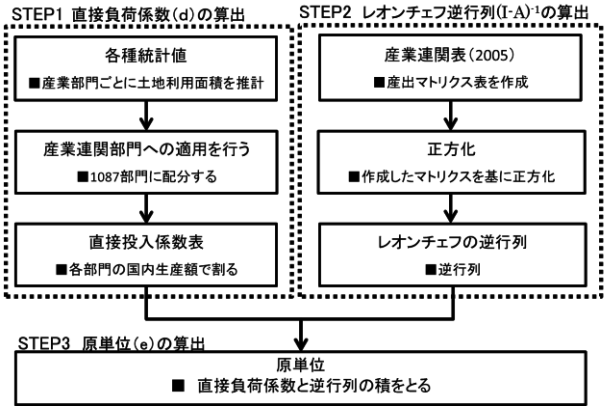


図 1　土地利用原単位の算出方法

3.2 土地利用面積の推計方法

各国の土地利用面積の推計に関しては、堀口ら[1)]を参考に、耕作地・牧草地・森林地・工場用地の 4 つの区分を推計する。工業用地とは、工場の立地など生産活動のために占有する面積（生産能力阻害地）を指す。また、いずれも対象年は 2005 年として、生産活動に実質的に用いられた土地面積を可能な限り推計した。耕作地および牧草地については、FAO（国際連合食糧農業機関）[2)]から対象国内における、各農作物の栽培面積と放牧地面積を集計した。森林地に関しては、育林部門での直接土地利用面積を用いた。森林の用途に関する情報は World environmental databook Euromonitor International 2006 に記載される、各国の 2005 年における木製品などの生産活動に用いられた「Production」の比率を用いた。工業用地は、

国際協力銀行が発行する「東アジアの主な工業団地」[3] に記載される各国の主要工業団地の開発地区面積を集計した。

4. 結果

図 2 に日本の土地利用原単位および部門ごとの他国からの間接負荷割合を示す。第 1 次産業の部門が他の産業と比較して大きな値を示した。これは田や畑など直接的な土地利用面積が大きいためである。特に「育林」6.8E-01（ha/1000US$）、「素材」4.7E-01（ha/1000US$）部門が比較的大きな数値となったが、これは森林地の直接土地利用面積が大きいことが起因している。

第 2 次産業では、「飼料」「製粉」「住宅建築」などの食品加工業および、森林地利用由来の部門が大きな値を示した。これは作物栽培や育林時の間接的な土地利用面積の負荷が大きく寄与していると言える。特に製粉部門においてはアメリカ、製材部門においてはアメリカやインドネシア、マレーシアからの間接影響が大きかった。

第3次産業に関しては、食品を取り扱う飲食業部門が、第 1 次産業からの波及で値が大きいものの、他の産業に比べて土地利用原単位は小さい傾向を示した。これはサービス部門ごとの直接土地利用面積として計上せず間接土地利用のみで計上しているためである。また、第 3 次産業においては国内でまかなわれる部門が多いゆえに、他国からの間接影響は小さい結果となった。

5. まとめ

本研究では詳細版アジア国際産業連関表（AIIO）を用いて、アジア各国を対象としたランドフットプリント用土地利用原単位を作成した。また、当該結果を用いた国レベルのランドフットプリントの算定を行った。日本の場合は、他国に約 8 割の土地を間接的に依存していることがわかった。総務省表のみの利用に比べて大きく異なることが確認され、国際産業連関表を用いることで海外の土地利用実態を反映した分析結果を得ることができた。

引用文献

1) 堀口健、伊坪徳宏：“LCA のための土地利用インベントリ原単位の開発”，環境情報科学論文集 25

2) FAO（国際連合食糧農業機関）：“FAOSTAT”，入手先＜http://faostat3.fao.org/＞

3) 国際協力銀行：“東アジアの主な工業団地”，入手先＜http://www.jbic.go.jp/wp-content/uploads/inv-report_ja/2005/08/2944/jbic_RIJ_2005001.pdf＞

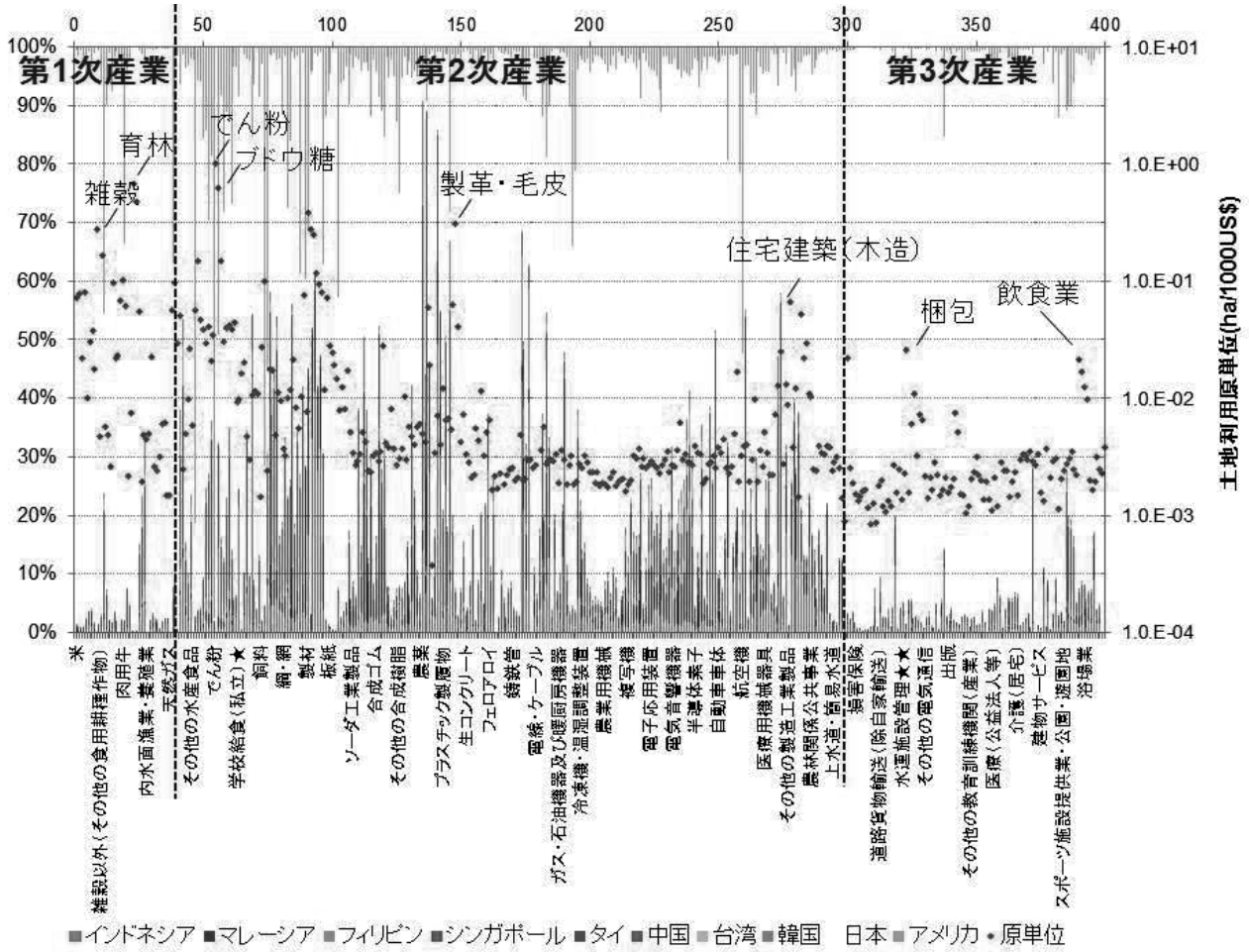


図２　日本の土地利用原単位と間接負荷割合

鉱床種類と採掘方法を考慮したニッケル資源採掘時の土地改変面積の推計

Estimating land transformation area caused by nickel mining considering types of deposits and mining methods

○湯龍龍*[1)]、中島謙一 [1)]、村上進亮 [2)]、松田健士 [3)]、伊坪徳宏 [4)]
Longlong Tang, Kenichi Nakajima, Shinsuke Murakami, Takeshi Matsuda, Norihiro Itsubo
1) 国立環境研究所, 2) 東京大学, 3) パシフィックコンサルタンツ株式会社, 4) 東京都市大学
* tang.longlong@nies.go.jp

1. はじめに

鉱山採掘は土地を改変し、生態系にダイレクトな影響を及ぼす[1]。ライフサイクルの観点では、その影響は殆どの工業製品の評価に関連するため、適切な評価が求められる。土地改変を通じた生態系影響に関する研究では、地域性が重要である[2]。鉱山採掘に伴う土地改変面積は、採鉱法や、鉱床種類などによって、鉱山間の違いが大きいと考えられるため、土地改変面積の推計に地域性の考慮が求められる。

Ecoinvent データベース[3]において、主要金属の土地改変面積は、実鉱山のデータを基に、直接（ピット）と間接（堆積、テーリング、施設）面積を考慮している。鉱山間の違いは採鉱法（坑内掘、露天掘）のみ区別している。しかし、同じ露天掘でも、鉱床の種類によって改変される面積が異なる。例えば、酸化鉱の場合、ピットが浅く、広く面積を取るが、ズリがピットに戻すことが多いため、堆積の面積が小さい。一方、硫化鉱の場合はピットが深く、廃棄物を堆積するための面積が大きくなる傾向がある。

本研究は、金属の採掘と製錬に伴う面積の改変に大きく影響するパラメーターを抽出することが、鉱山間の違いを評価するうえで重要と考える。これらキーパラメーターの特定はより多くの鉱山を効率的に評価することが可能となり、地域別の土地改変面積の推計に寄与するものと考えられる。さらに、キーパラメーターは土地改変面積のマネジメントにおいても重要な情報となりうる。

本研究の目的は、ニッケルを対象に、土地改変面積に寄与するキーパラメーターを考慮した鉱山別土地改変面積原単位の推計方法を開発する。

2. 方法とデータ

本研究では、まず、鉱床種類と採掘方法の組み合わせで、鉱山を 3 タイプに分けて、面積推計式を立てる。次に、それぞれタイプの中に鉱山間の違いに影響するキーパラメーターを特定する。最後に、上記方法を用いて、38 鉱山の評価を行った。

2.1 土地改変面積原単位の推計式

面積原単位の算定対象は、粗鉱（Ore）、金属ニッケル（Ni; 品位 99%以上）とフェロニッケル（FeNi; 品位 20%）とする。ニッケルの鉱床種類は主に硫化鉱と酸化鉱に分けられる。本研究は鉱山を酸化鉱の露天掘(ℓ)、硫化鉱の露天掘(so)と硫化鉱の坑内掘(su)の 3 タイプに分けた。

上記 3 タイプ別に Ore, Ni と FeNi の面積原単位の推計方法は、式(1)~(3)で定義した。Ore 原単位はピットと堆積の面積を考慮した。ピット面積は 1 トンの粗鉱を得る際に地中から掘り出す粗鉱と廃棄の重量にそれぞれの比重を与えて、合計体積を算出してから、採掘深度で除して算出される。堆積面積は、1 トンの粗鉱を得る際に生じる廃棄の重量に比重と体積高さを考慮して算出される。Ni 原単位は、粗鉱の品位と選鉱のリカバリ率を考慮して必要な粗鉱の重量を算出したうえで、テーリングの面積を追加した。FeNi 原単位は、酸化鉱の粗鉱原単位に酸化鉱の品位と選鉱までのリカバリ率を考慮して算出される。

$$Ore_{l,so,su} = \frac{\left(\frac{1}{\rho o} + \frac{r_{op,ug}}{\rho w}\right)}{d_{l,so}} \times c_{l,so,su} + \frac{\left(\frac{r_{op,ug}}{\rho w}\right)}{h} \times \left(1 - b_{l,so,su}\right) \quad (1)$$

$$Ni_{l,so,su} = \frac{1}{g_{l,s}} \times \frac{1}{k} \times Ore_{l,so,su} + \frac{\left(\frac{\frac{1}{g_{l,s}} \times \frac{1}{k} - 1}{\rho t}\right)}{n} \times \left(1 - f_{op,ug}\right) \quad (2)$$

$$FeNi = \frac{0.2}{g_l} \times \frac{1}{k} \times Ore_l \quad (3)$$

ρ_o:	粗鉱の密度 (t/m^3)	b:	廃棄の埋戻し率(%)
ρ_w:	廃棄の密度 (t/m^3)	g:	品位(%)
r:	剥土比 (%)	k:	選鉱までのリカバリ率 (%)
d:	採掘深度 (m)	ρ_t:	テーリング(乾燥)の比重(t/m^3)
c:	傾斜による面積補正(%)	n:	テーリングの高さ(m)
h:	堆積の高さ(m)	f:	テーリングの埋戻し率 (%)

2.2 キーパラメーターの抽出

キーパラメーターを抽出するために、全パラメーターが独立変数と仮定して、モンテカルロシミュレーションを行い、結果の不確実性とパラメーター別にその不確実性への寄与率を推計した。各パラメーターについての平均値と確率分布のデータを表 S1 に示した。データの制限上、各パラメーターの確率分布を詳細に決めることは困難のため、詳細なデータが得られる場合はそのデータの分布に従うが、そうでない場合は、一様分布とした。

2.3 ケーススタディー

本提案方法に、World Mine Cost Data Exchange [4]が整理したニッケル鉱山（13 か国に位置する 38 鉱山）のデータセットを適用して、鉱山ごとの面積原単位を試算する。計算方法は、まず、鉱山別に鉱床種類と採掘方法を特定することによって、適用する原単位推計式を特定する。次に、キーパラメーターのみ鉱山別にデータを収集し、他のパラメーターは推計式の代表値を用いて算定する。

3. 結果と考察

3.1 面積原単位の不確実性分析結果

図 1 に粗鉱、ニッケル製品の土地改変面積原単位の不確実性分析結果を示す。粗鉱について、露天掘（OP）は坑内掘（UG）より約 30 倍大きかった。OP は、中央値では酸化鉱がやや大きいものの、酸化鉱と硫化鉱の 90%信頼区間がほぼ重なった。ニッケル製品について、OP は硫化鉱の平均品位が酸化鉱より高かったため、面積原単位は低くなった。また、UG はテーリングを加えたことによって、OP との差は粗鉱の場合より縮まった。FeNi はニッケル金属の OP と UG の間に位置した。

既存研究との比較について、ニッケル協会の LCA 報告書[5]では鉱石中ニッケル純分あたりの面積を示している（OP:1.8m^2/t-Ni; UG:0.8 m^2/t-Ni）。一般的な粗鉱品位 0.5%-5%を想定した場合の OP と UG の結果は、それぞれ 0.01-0.09m^2/t-ore, 0.004-0.038m^2/t-ore となる。評価方法が異なっても、本研究の結果は既存研究と概ね整合した。

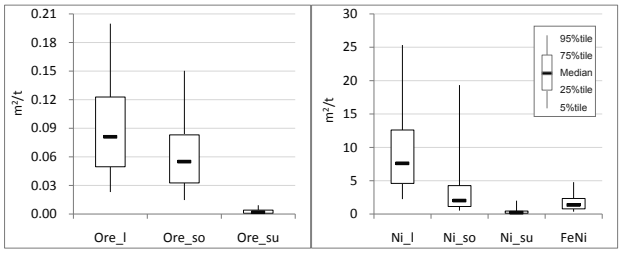


図 1 不確実性分析結果

3.2 キーパラメーター

表 1 に不確実性への寄与率が 10%以上のパラメーターを示す。Ni 製品は、品位と剥土比で 6 割から 9 割の不確実性を反映しているため、キーパラメーターとして抽出した。粗鉱の OP の場合は剥土比だけで、7 割弱を占めた。他のパラメーターは鉱山別にデータ収集が困難のため、剥土比のみをキーパラメーターとした。粗鉱の UG は、地理的要因よりも、採鉱技術に関連する埋戻し率が大きく影響した。鉱山ごとの埋戻し率のデータ収集が困難のため、2 番目に大きい剥土比をキーパラメーターとした。

上記キーパラメーターの特定により面積マネジメントに有用な示唆も得られた。例えば、UG の場合は埋戻しが要因の一つであり、OP の場合は酸化鉱だと採掘深度、硫化鉱だと堆積高さが改変面積に影響すると示唆された。

表 1 パラメーター別の不確実性への寄与率

	Parameters	Contribution to variance		Parameters	Contribution to variance
Ore_l	r op	67%	Ni_so	g s	61%
	d l	27%		r op	26%
Ore_so	r op	69%	Ni_su	g s	60%
	h	24%		f ug	19%
Ore_su	b su	54%	FeNi	r op	45%
	r ug	28%		g l	31%
	h	17%		d l	18%
Ni_l	r op	41%			
	g l	36%			
	d l	16%			

3.3 鉱山別の土地改変面積原単位

図 2 に 38 鉱山（13 か国）の粗鉱の面積原単位を例示する。鉱山間で最大十倍程度の差が推計された。同じ露天掘でも剥土比の違いによって鉱山間で大きい差が見られた。鉱山間の違いを採鉱法のみで区分する既存研究の限界が明らかになった。なお、鉱山間の違いはキーパラメーターである剥土比や品位に大きく影響されるため、精度の高いデータ収集が求められる。

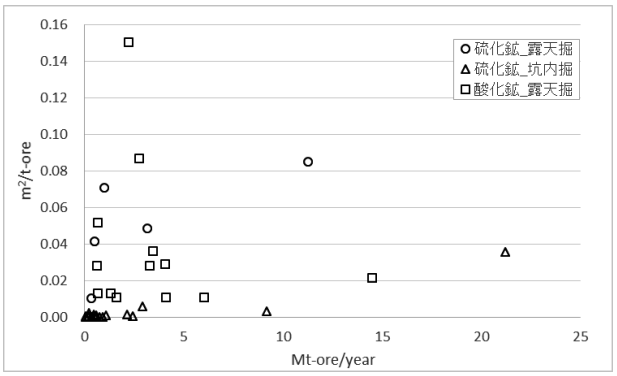


図 2 鉱山別の粗鉱の土地改変面積原単位

4. おわりに

本研究はニッケルを対象に、鉱床種類、採鉱法で鉱山を分類したうえで、キーパラメーターのみ鉱山別のデータを収集して、鉱山別の面積原単位を効率的に算定する方法を開発した。提案方法は今後地域別（国別など）の土地改変面積原単位を推計するための土台を構築したと言えよう。

参考文献

[1] Miranda et al. (2003) Mining and Critical Ecosystems: Mapping the Risks. WRI, Washington DC

[2] Pennington et al. (2010) Int J Life Cycle Assess 15 (3): 231-237

[3] Ecoinvent, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, http://www.ecoinvent.ch/

[4] World Mine Cost Data Exchange, http://www.minecost.com/datalst.htm/

[5] Ecobalance (2000) Life cycle assessment of nickel products. Nickel Institute.

サプライチェーン全体を考慮した企業の環境フットプリント

Environmental footprint of the company in consideration of the whole supply chain

○村主 さとみ*1) 、木村祐一*2)、伊坪 徳宏*1)
Satomi.Suguri, Yuuichi.Kimura, Norihiro.Itsubo
1) 東京都市大学 環境情報学部　2)株式会社　リコー
g1131108@tcu.ac.jp

1.　はじめに

製品を対象とした環境評価が中心であった LCA は、近年 SCOPE3 ガイドの発行や CFP での結果開示を受けて組織を対象とした分析への活用へと進化しつつある。欧州環境フットプリントにおいても、製品を対象とした PEF と合わせて、組織を対象とした OEF[1]のガイドも発行された。OEF はカーボンのみでなく、水など他の影響領域も含めた実施が想定されている。また、企業活動の評価に関するもう一つの動向として、生態系の経済価値に関する検討を進めてきた TEEB が中心となって、自然資本[2]を対象とした分析が提唱されたことが挙げられる。社会や経済に与える財とサービスの流れの基となる自然資産(大気、水、土地)と生態系及び化石燃料や鉱物などの再生不可能な資源を構成要素として、これらに対する経済的な影響を評価する。スポーツ用品メーカーPUMA 社が True cost 社と連携してサプライチェーン全体に及ぶ環境影響を、経済指標を用いて実施した。[3]しかし、両者の分析は企業を対象としたサプライチェーンを網羅することでは一致するものの、調査範囲や分析方法、評価結果の示し方など異なる点が多い。両者の特徴を生かしつつ、同一のデータを基に頑強性の高い結果が得られる手法体系を構築することが望まれる。

2.　目的

本研究では、ライフサイクルを網羅した企業活動の環境フットプリントの評価を行うことを目的とした。サプライチェーン全体を網羅し、かつ、再現性の高い結果を得ることを優先し、本研究では産業連関表を用いることとした。評価項目は、欧州組織の環境フットプリントで掲げている影響領域を網羅することを目指し、ここでは GHG 排出量、水消費、土地利用について算定を行う。さらに、LCI 結果を、LIME2[4]を用いて統合化することで、欧州の環境フットプリントと TEEB の自然資本評価をひとつの手法体系から求めるための実現可能性について検証する。

3.　方法

本研究では、株式会社リコーを対象に環境フットプリントを実施する。

3.1　評価対象

システム境界を図１に示す。
原材料調達から廃棄段階までのサプライチェーンを網羅する。また、製品生産の影響だけでなく、製品の販売や営業活動といったオフィスでのエネルギー使用量も算定の範囲内とした。

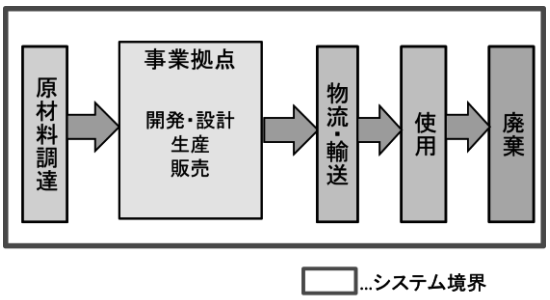


図１　本研究のシステム境界

3.2　データの収集

本研究は、リコーが自社の HP で公開している「2013 年度 エコバランス」[5]の算定で用いられたデータを使用し算定を行った。そのため、世界中の活動拠点がデータの収集範囲となっている。機能単位はリコーの 1 年間(2013 年度)の企業活動である。

3.3　算定方法

3.2 で提供されたデータは、全て物量の値であったため、投入量のデータをすべて、「平成 17 年 (2005 年) 産業連関表 列部門別統合品目別細品目別国内生産額表」に掲載されている単価を用いて、金額換算を行った。また、一部換算できないものはリコーでの取引価格のモデル額をヒアリングし、その金額を算定結果に組み込んだ。
原材料調達～使用段階までは具体的な次式によって求められる。

$$E=e(I-A)^{-1}\cdot F \qquad (1)$$

e は各部門における GHG 排出量や水使用量などの直接的な環境負荷ベクトル、$(I-A)^{-1}$はレオンチェフ逆行列を示す。GHG の算定には 3EID、水消費の算定には小野ら、土地利用の算定には堀口らの直接環境負荷ベクトルを利用した。レオンチェフ逆行列は、ある一単位の需要によって誘発される生産波及効果を示す。原材料の調達から生産、使用までは総務省表を用い、廃棄は WIO を利用することとした。また、F は最終需要を示すが、ここではリコーの一次データを貨幣換算したデータを割り当てた。

4.　結果

本稿では、原材料調達から使用段階までの GHG 排出量、

水消費についてのインベントリ結果について示す。

4.1　GHG 排出量

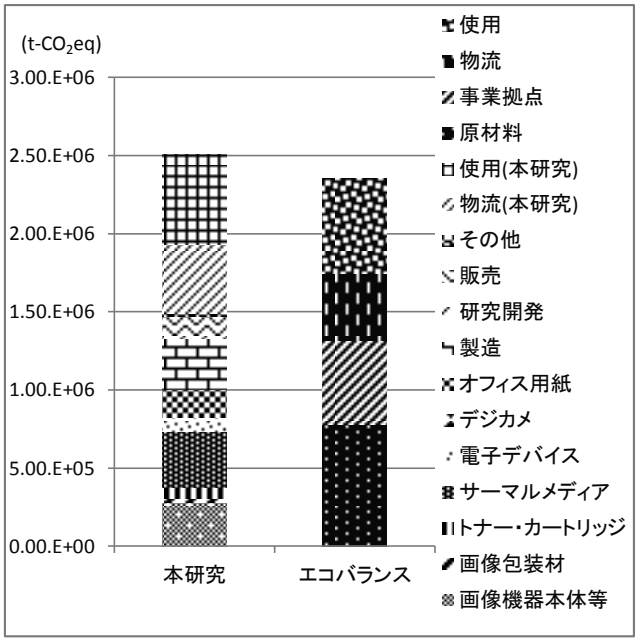


図2　GHG 排出量結果

GHG 排出量結果を図2に示す。総量は2.5×10^6トンで、使用と物流の寄与が大きかった。総量と構成に関しては既存の結果とほぼ同等の結果となった。また、生産までの結果については、部門内訳の仕方が異なるものの、これらを集計すると全体への寄与は大きく、これも既往の検討内容と同等の結果が得られた。生産までの内訳では、画像機器本体では、ボディを構成する樹脂や金属によるもの、サーマルメディアカンパニー・オフィス用紙では感熱紙や PPC 用紙による購入紙の影響が大きかった。これらは紙と製造段階の電力使用や販売段階のガソリンの消費が起因している分も比較的多い。

4.2　水使用･水消費

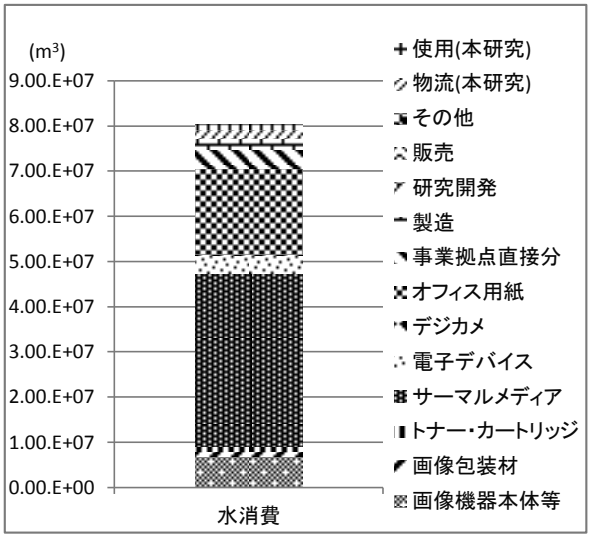


図3　水消費量結果

図 3 では水消費量の結果を示す。双方とも、原材料調達に伴う結果が大きく寄与している。要因としては 4.1 でも述べた画像機器本体の樹脂やサーマルメディアカンパニー・オフィス用紙の購入紙量に伴う水消費量が大きく寄与している。

5.　まとめ

本研究では組織の環境フットプリントの評価手法として産業連関分析を基にした分析を行った。企業の一次データを用いた GHG 排出量の分析結果は既存の結果とほぼ同等の結果が得られた。水、土地、などの影響領域を網羅しつつ、統合化による環境影響評価を行い、欧州環境フットプリントとTEEBの自然資本評価を統合する組織の影響評価手法の開発の可能性を見出すことができた。

参考文献

1)組織の環境フットプリント(OEF)
http://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/organisation_footprint.htm
2) Natural Capital Accounting and Water Quality: Commitments, Benefits, Needs and Progress
http://www.teebweb.org/wp-content/uploads/2014/01/TEEB_-NaturalCapitalAccounting-andwaterQualityBriefingnote_20131.pdf#search='TEEB_NaturalCapitalAccountingandwaterQualityBriefingnote_20131
3)PUMA’s Environmental Profit and Loss Account for the year ended 31 December
http://about.puma.com/damfiles/default/sustainability/environment/e-p-l/EPL080212final-3cdfc1bdca0821c6ec1cf4b89935bb5f.pdf
4) 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
5)株式会社リコー　2013 年度エコバランス
http://www.ricoh.com/ja/ecology/base/eco.html

家電製品 LCI 評価手法標準化と簡易評価手法開発

Standardization of Life cycle inventory analysis for home electrical appliances and Development of Simplified Estimation Method

○ 齋藤 潔*[6)7)]、清水 重利[1)7)]、竹山 典男[2)7)]、本池 祥子[3)7)]、二階堂 透[4)7)]、内山 知重[5)7)]、川口 洋平[5)7)]、市村 浩一[6)7)]、前田 智佐子[6)7)]

Kiyoshi Saito, Shigetoshi Shimizu, Norio Takeyama, Sachiko Motoike, Toru Nikaido, Chie Uchiyama, Yohei Kawaguchi, Koichi Ichimura, Chisako Maeda

1) シャープ株式会社, 2) 株式会社東芝, 3) パナソニック株式会社, 4) 日立アプライアンス株式会社, 5) 三菱電機株式会社, 6) 一般社団法人日本電機工業会, 7) 一般社団法人日本電機工業会 LCA-WG

*kiyoshi_saito@jema-net.or.jp

1. はじめに

日本電機工業会では、これまで、1999 冷凍年度と 2010 冷凍年度における代表的な製品モデルの冷蔵庫について LCI 分析を実施した[1)2)]。これら分析の評価において検討及び設定したライフサイクルシナリオの考え方等を基に、今般、家電製品全般に適用できる LCI 評価手法の業界標準 JEM-TR253 を 2014 年 3 月に制定した。その上で、今後、2014 年度から 2016 年度 3 ヶ年計画で、会員企業の製品アセスメント(環境配慮設計)評価ツールとしてのさらなる活用促進に向けて、インパクト評価や感度分析によりインベントリー項目の分類を見直す等、設計現場で容易に評価できる簡易評価手法の開発を推進する。

2. LCI 評価手法の標準化(JEM-TR253 の開発)

家電製品のライフサイクル CO_2 排出量 LCI 評価手法として、日本電機工業会では、業界標準(JEM-TR253 “家電製品のライフサイクル CO_2 排出量算出ガイドライン”)を 2014 年 3 月に制定した。ガイドラインでは、ライフサイクル CO_2 排出量評価に際して必要な、製品システムの設定及びライフサイクル各段階のデータ収集項目やシナリオ設定の考え方等を技術資料としてとりまとめた。

また、その理解を助けるため、附属書に、2010 冷凍年度の冷蔵庫 LCI 分析の評価事例を掲載した(表 1)。

表 1　JEM-TR253 の構成と内容

序文	
1 適用範囲	
2 引用規格	
3 用語及び定義	
4 目的及び調査範囲の設定	
5 製品システムの算定	• 算定単位(機能単位)、対象とする構成要素(a.本体,包装材及び付属品 b.消耗品及び定期交換部品)、ライフサイクル段階、カットオフ基準及びカットオフ対象の考え方を記載
6 全段階に共通して適用するライフサイクル CO_2 算出方法	• ライフサイクル全段階に共通する一次データの収集範囲・方法、特定の段階における配分(製造段階の投入エネルギー、リサイクルプラントの電力の製品 1 台当たりの案分)、廃棄物等の処理に関するシナリオの考え方を記載
7 調達(素材調達・部品加工)段階に適用する項目	• ライフサイクル各段階において、データ収集範囲に含まれるプロセス、データ収集項目、シナリオの考え方を記載
8 製品製造(組立)段階に適用する項目	
9 製品輸送段階に適用する項目	
10 使用段階に適用する項目	
11 回収及びリサイクル処理・処分段階に適用する項目	
附属書 A(参考) 冷蔵庫の評価事例	

2.1　製品システムの設定

家電製品の場合、算定単位(機能単位)は、通常、製品 1 台当たりとする。対象とする構成要素は、a)本体、包装材(集合包装及び製品包装を含む)及び附属品 b)使用及び維持管理段階で消費される消耗品及び定期交換部品とし、ライフサイクル段階は下記の 5 つの段階とする。

－調達(素材調達，部品加工)段階
－製品製造(組立)段階
－製品輸送段階
－使用段階
－回収及びリサイクル処理・処分段階

そのほか、カットオフの対象負荷項目(生産設備等資本財の使用時以外の負荷、事務部門や研究部門等の間接部分に係る負荷、製品の保管・倉庫管理等の負荷、調達段階の廃棄物適正処理に係る負荷等 10 項目)を示し、カットオフした場合はその基準と対象を明確にすることとした。

2.2　一次データ収集・配分等

一次データは設計値又は実測値とし、直近のデータが望ましいとした。特定の段階における配分として、家電製品の場合、製造段階の投入エネルギーは生産高(金額)比で製品 1 台当たりに按分し、リサイクルプラントの消費電力量は実績データを質量で按分することとした。

2.3　各段階のデータ収集・シナリオに関する留意事項

調達段階では、製品を構成する素材・部品について、生産サイトへの投入量の一次データを収集(BOM: Bill of materials の設定)する。その際、内製部品と外製部品を分け、外製部品は素材別の部品加工の原単位を用いて環境負荷を考慮することとした。

使用段階では、想定使用期間での電力や水の投入量について一次データを収集するか、又はシナリオで設定し、消耗品・定期交換部品はシナリオで設定する。シナリオは、国際標準規格やJIS、業界規格等で規定された測定方法及び稼働条件から設定し、想定使用期間は、実態調査及びそれに基づく適切な文献値等から設定する。

製造工程の廃棄物処理・輸送、製品輸送、回収・リサイクルの各段階での輸送は、いずれもそのルートを設定し、輸送手段(積載率)と距離を特定する。特定には、極力実態を反映した適切なシナリオの設定を推奨するが、困難な場合も考慮して、各段階の輸送手段(積載率)と距離のシナリオを示し、それを活用してもよいとした。なお、輸送は往路のみを算定対象とし、復路は他の用途で運搬する場合が多いため、考慮は不要とした。

リサイクル処理・適正処分のシナリオは、家電製品の場合、可能な限り、家電リサイクルプラントでの実績を基に設定する。ガイドラインでは、リサイクルプラントでの実績や適切な文献値に基づき、金属(鉄・銅・アルミ等)及びプラスチックの素材回収・再利用の割合を設定することとし、その上で、回収された素材は、再利用されることによって製造負荷が控除されるとした。

3. 簡易評価手法の開発

日本電機工業会では、2014 年度から 2016 年度の 3 ヶ年計画で、業界標準として開発した LCI 評価手法について、インパクト評価や感度分析によりインベントリー項目の分類を見直す等、設計現場で容易に評価できる簡易評価手法と算出ツールの開発を推進する。

2014 年度は、先ず、素材・部品の一次データ収集について、その環境負荷を過小評価しないように、収集項目の区分・分類等の再整理を検討することとし、その前提として、2010 冷凍年度の冷蔵庫 LCI 分析結果のインパクト評価を実施した(図 1)。その中で、調達する素材について、原単位の選択肢が多岐に渡っている鉄鋼類とプラスチック類についても各々のインパクト評価を実施し、下記方針での検討(感度分析等も含む)を踏まえて、分析に必要な収集項目の区分・分類について見直しを進めている。

1. 環境影響が著しい素材項目に絞り込む
2. 評価時に設定する原単位が共通の素材項目をまとめる
3. 家電製品(個別製品)で、環境影響に関連し、且つ固有の用途で使われる素材は、上記 1.2 に関わらず必要な項目を特定する

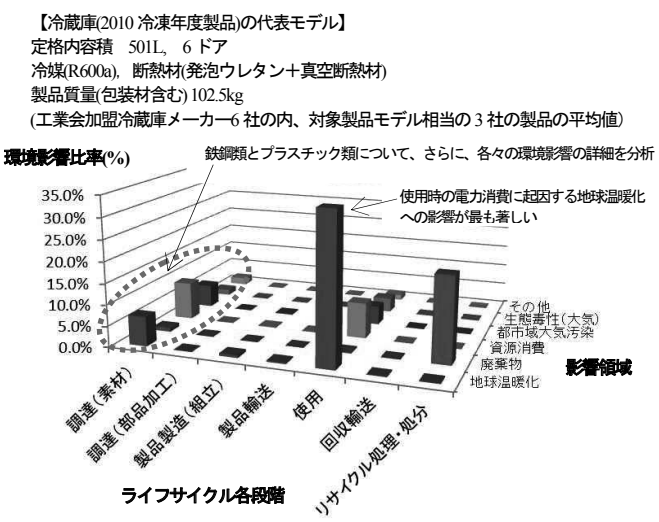


図 1　2010 冷凍年度冷蔵庫のインパクト評価結果
(日本版被害算定型影響評価手法 LIME Ⅱ を適用した評価結果)

なお、最終的な簡易手法の開発にあたっては、一次データとして収集する素材(鉄鋼及び金属類やプラスチック類等)等のデータの区分・分類(括り方)、その代表性の考え方について、その検討過程やその意図を明確にする。また、簡易評価手法に基づく算定の結果、そのライフサイクル CO2 排出量が過小評価にならないように、評価時に用いる原単位を特定する。さらに、簡易手法での算定結果は、その手法上の制約も考慮して、活用の用途も限定する等の方針で、検討を進めていくこととしている。

4. おわりに

日本電機工業会では、LCA の活用について、これまで次の方針・狙いを掲げ、継続して活動を進めてきた。

1. 業界共通の LCA 評価手法(LCI 分析手法)確立
2. 評価事例の公開と環境配慮製品の普及活動推進

このうち、業界共通の LCI 分析手法については、今回、工業会標準(JEM)を発行したことで、国際標準規格や JIS 規格などとの関連や整合も考慮し、業界内だけでなく、一般にも公開且つ活用できるものとして透明性の向上や信頼性を確保に努めることができた。

こうした取り組みの成果を踏まえ、引き続き、業界内での LCA 活用促進に向けて、今後 3 ヶ年の計画で簡易評価手法の開発を推進していく。

引用文献

1)　社団法人日本電機工業会 LCA-WG：“家電製品のライフサイクルインベントリ(LCI)データ収集などに係る調査結果”(2000)

2)　一戸誠之、相原史郎、竹山典男、本池祥子、佐藤美津男、高橋徹也ら (一般社団法人日本電機工業会 LCA-WG)：“冷蔵庫のライフサイクルインベントリー分析”日本 LCA 学会誌 Vol9. No.3(2013)

中小企業における電線の簡易な GHG 排出量算定方法の検討

Study on Simple Calculation Method of GHG Emissions for Electric Cables in Small and Medium-sized Enterprises

○柴原尚希*[1)]，神崎昌之[1)]，村松佳孝[2)]，齋藤学[2)]
Naoki SHIBAHARA, Masayuki KANZAKI, Yoshitaka MURAMATSU, Manabu SAITO
1)産業環境管理協会，2)電線総合技術センター
* shibahara@jemai.or.jp

1. はじめに

電線の GHG 排出量の推計のための商品種別算定基準（Product Category Rule: PCR）はすでに策定されており、企業による算定例も蓄積されてきている。しかし、PCR に則って LCA を実施するためには緻密なデータ取得が必要であるため、技術・人員・コストの面から中小企業における算定は困難である[1)]。

そこで本研究では、中小企業におけるデータ管理の実態と取得可能なデータを把握した上で、電線の簡易な GHG 排出量算定方法を構築する。さらに、構築した手法を多様な品種・サイズへ展開する方法も合わせて検討する。

2. 電線に関する既存の PCR

2.1 エコリーフプログラム PCR

2007 年に「(CL-01)電力用/通信用電線およびケーブル」PCR が制定されている[2)]。本 PCR では、電線・ケーブル（大物/小物）、光ファイバーについて、典型的なライフサイクルフローを設定し、段階別に算定手順を示している。

2008 年には、矢崎エナジーシステム株式会社（グループ従業員計 257,100 名の大企業）が本 PCR を「600V 電力用ポリエチレン絶縁耐燃性ポリエチレンシースケーブル平形 EM-EEF シリーズ」に適用し、エコリーフ環境ラベルを公開している。2014 年末現在、本 PCR を用いたエコリーフ登録事例はこの 1 件のみである。

2.2 工業会 PCR

電線技術総合センター（JECTEC）では、関連工業会で構成される委員会の助言のもと、2009 年度に「建設電販用電線（IV, CV, VVF）」PCR を作成している[3)]。本 PCR では、当該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。また、各項目について望ましいデータの取集方法と、それが困難な場合に認められている方法とが併記されている。例えば、生産段階における一次データ収集方法・条件では、以下の(ア)の方法を原則とし、(イ)(ウ)の方法を採用してもよいと定められている。

(ア) 1 ロットの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。
(イ) 1 つの製造設備で多種類の製品が製造されている場合、製造設備の一定期間の実績値を製品間で配分する。
(ウ) 事業者単位の一定期間の実績値を製品間で配分する。

3. 検討方法

本研究では、中小企業 2 社（A 社：従業員 120 名程度、B 社：従業員 30 名程度）による LCA 実施を想定する。

3.1 データ収集

ヒアリング調査により中小企業におけるデータ管理の実態を把握し、工業会 PCR に基づく LCA がどの程度実施可能か、あるいはどのような工夫をすれば現状のデータを活用できるかを探る。

1) 工程確認
・ 実際に現場を目で見ながら、使用されている装置、製造されている電線の種類、ライン数等を確認。
2) 原材料調達段階について
・ 原材料の使用量はどのように把握しているか、購入量・購入形態はどうなっているか。
・ 製品の歩留まりはどの程度か。
・ 絶縁体材料の構成はどうなっているか。
3) 生産段階（投入エネルギー）について
・ 電力、ガス、圧縮空気、上水、工業用水の使用量はどのように把握されているか(事業所全体/建屋ごと/工程ごと/電線の種類ごと)。
4) 輸送段階について
・ どの方面に出荷しているのか。
5) 廃棄・リサイクル段階について
・ 工程からのロス分は再び工程に戻して利用しているのか。

3.2 簡易手法の検討

3.1 節で得られたデータを用いて、工業会 PCR の手順で GHG 排出量の算定を行う。インベントリ分析結

果を俯瞰し､カットオフできる要因を抽出する｡また、ヒアリング結果を踏まえ、容易にデータを収集できない項目の簡便な算出方法を検討する。

3.3 簡易手法の応用

3.2 節で構築した方法を多様な品種･サイズに展開するための方法を検討する。例えば、外径に比例する原材料やエネルギーを特定しておくことで、類似製品のデータ収集に伴う労力の軽減が期待される。

4. ヒアリング結果

A 社が製造する同軸ケーブルのある品種について、製造工程の確認と原材料調達・生産段階に関するインベントリデータの収集可否を調査した結果を図 1 に示す。なお、企業秘密であるため具体的な数値の掲載は避けた。

A 社の場合、設備ごとに電力計が設置されているため、計測を行えば工程ごとに電力消費量を把握でき、工業会 PCR(ア)の方法を用いることができる。また、銅線や発泡 PE ペレットも工程ごとに把握可能である。ただし、現状では月報作成に必要のないデータは把握・蓄積されていないのが実態である。一方、上水は工場全体でしか把握できていない。また、本工場では複数の品種を製造しているため、伸線液溶剤やパラフィン等、不定期的に補充される原材料の投入量を個別に把握できない。そのため、工業会 PCR(ウ)の方法を用いざるを得ないことが分かった。

B 社ではキャブタイヤケーブルを製造している。エネルギー消費量を工程ごとに計測する装置はなく、さらに複数の品種を同時に製造しているため、個別に原材料投入量を把握できない。そのため、工業会 PCR に基づく場合は(ウ)の方法に依るしかない。なお、B 社の方が中小企業の実態としては典型的であり、簡易な算定手法が必要とされる所以である。

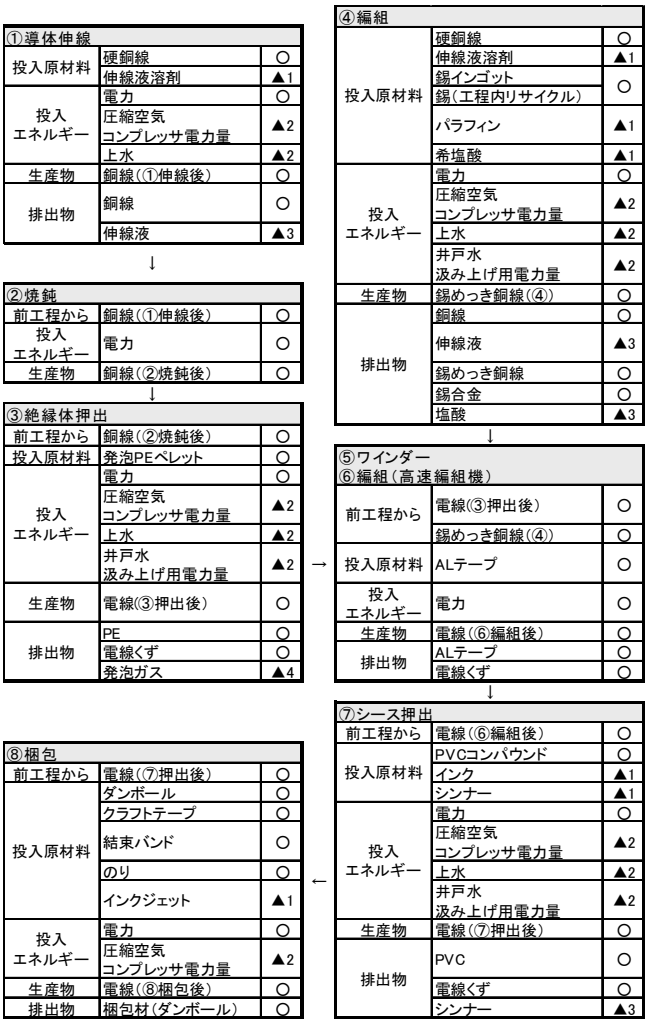


図 1　A 社における電線製造工程とデータ収集可否

5. まとめ

本稿では、実際に中小企業へヒアリングを行った結果を踏まえ､GHG 排出量算定に必要なデータの収集可能性を整理した。収集データを用いた算定結果とそれをもとに構築された簡易な算定方法については、研究発表会時に報告する。

6. 引用文献

1) 齋藤学：JECTEC NEWS, 72, (2014), p.8
2) 一般社団法人産業環境管理協会エコリーフ環境ラベル：「電力用/通信用電線およびケーブル」製品分類別基準（PCR 番号：CL-01），(2007)
3) 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)

7. 謝辞

本研究は、全国中小企業団体中央会・平成 26 年度中小企業活路開拓調査・実現化事業の支援により実施された。ここに記して謝意を表する。

製品分類別基準と環境製品宣言の費用についての国際調査

An International Survey on the Cost of Product Category Rules and Environmental Product Declarations

○田崎智宏*[1)]、正畠宏一[2)]、中島謙一[1)]、カール・ダルハマー[3)]
Tomohiro Tasaki, Koichi Shobatake, Kenichi Nakajima, Carl Dalhammar
1) 国立環境研究所、2) TCO2 株式会社、3) ルンド大学
* tasaki.tomohiro@nies.go.jp

1. はじめに

ライフサイクルアセスメント（LCA）の利用はいろいろな目的・種類がありえるが、その一つに、環境製品政策向けの情報を獲得する手段としての利用がある。その例が、カーボン・フットプリントやタイプ III の環境ラベルである。LCA がこのような重要なツールとしての役割を果たしている一方、LCA の利用は社会全般に普及した状況までには至っていない。LCA の正確性や比較可能性、正当性についての多くの議論があり、LCA の分野は発展してきた。しかしながら、そのような客観性や頑健性の追求が LCA の適用をコスト高にしてきたことは否めず、LCA 普及の阻害要因となっていたとも考えられる。現在では、社会 LCA やライフサイクル持続可能性評価（LCSA）の研究も進みつつあり、その結果、インパクトカテゴリが拡大され、LCA の実施をさらにコスト高にして利用を難しくさせる可能性もある。そのため、企業の環境マネジメントにおける LCA 利用の主流化に向けては、評価実施コストや評価による便益に応じて、評価対象の製品数や評価の精緻度を選択していくことがますます求められると考えられる。

そこで本研究では、製品の環境性能評価の実施費用についての知見を得るために、製品別算定基準 PCR（Product Category Rule）と環境製品宣言 EPD（Environmental Product Declaration）の費用についての国際調査を行った。製品の環境性能については、ISO14025「環境ラベル及び宣言」等の標準規格に基づき、図 1 に示すように、PCR を必要に応じて策定して、LCA を実施し、環境製品宣言の検証と登録をすることが行われている。そのため、PCR と EPD を対象とした調査を実施した。

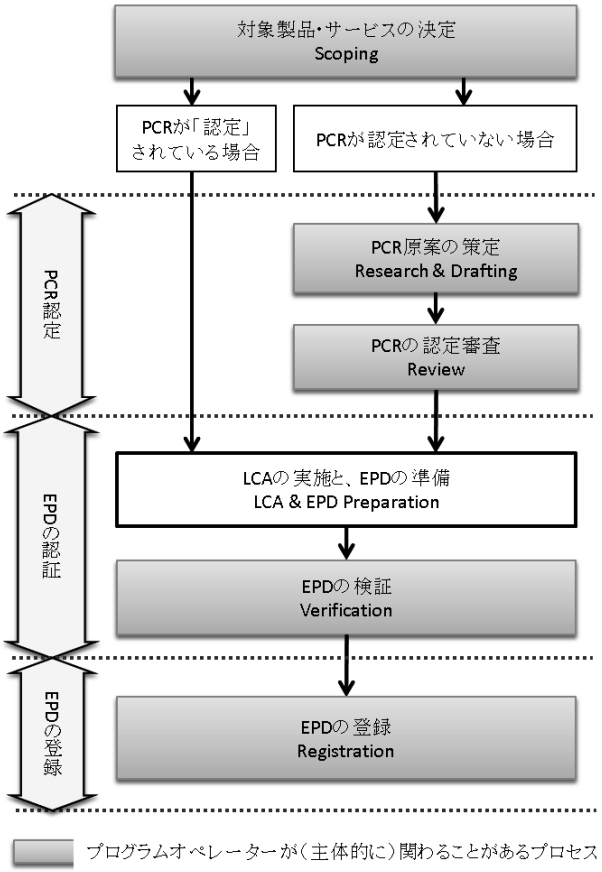


図１　PCR と EPD にかかる費用の調査結果

2. 方法

調査の手順を図 2 に示す。まず、世界各国における 35 の EPD の認証プログラムを行うオペレーター（以下、「プログラム・オペレーター」という。）のホームページを対象に、各プログラムのコストと工数情報を調査した。この結果をふまえ、調査対象とする作業項目（費用項目）を決定した（表 1 の項目を参照）。次に、これらの作業項目の費用ならびに工数についてのアンケート調査票を設計し、電子メールにて上記プログラム・オペレーターに

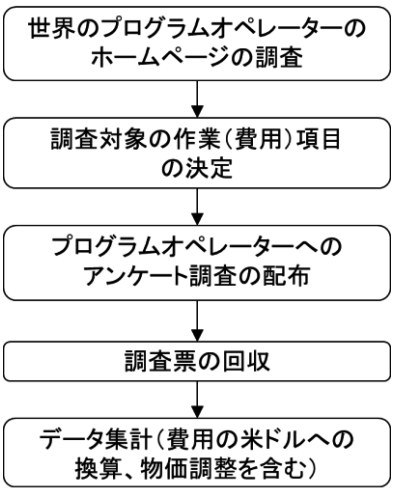


図２　調査手順

配布し、協力依頼を行った（使用言語は英語と日本語）。調査は 2014 年 4～5 月に実施し、15 の有効回答（欧州 6、北米 5、アジア 4）を得た。費用について大きく異なる複数のケースがある場合には、それぞれのケースで回答依頼を行い、それぞれのケースの発生割合についても質問を行った。調査された費用は米ドルに換算し、各国の購買力平価で補正を行った。

3. 結果

3.1 費用

費用の調査結果を表 1 と図 3 に示す。PCR と EPD の両方を含む全コストの中央値は 1 万 9000 米ドル（平均値は 2 万 9000 米ドル）であり、四分位区間で 1 万 2500～4 万 1000 米ドル）と中央値を比べておよそ倍半分の範囲となった。PCR の費目のなかでは、「Research & drafting」が約 5～6 割、「Review」が約 3~4 割を占めた（各全体ではなく、各費目の総和に対する割合）。EPD の費用のなかでは、「LCA and EPD preparation」の費用が 1 万 5000 米ドル（中央値）と大きく約 7 割を占め、次に「Verification」が約 1 割、残りはその他の費目となった。また、全コストは、個別費目の合計よりも小さく（例えば、全コストは 1 万 9000 米ドルであるが、費目の総和は 3 万 3000 米ドルであった）、プログラム・オペレーターが一貫した作業のなかで業務の効率化を図って費用を低減させていることが推察された。

ところで、今回の調査結果はあくまでも概算的な金額ならびにその幅を示したものであることに留意しておく必要がある。製品にはシンプルなものから複雑なものまで様々なものがあり、LCA の費用はそのような製品の種類によっても異なることには注意が必要である。また、類似の製品に対する LCA を繰り返す場合には、LCA の費用を小さく抑えることはできるだろう。さらに、一つの PCR は、同じ製品種に該当する他の製品にも利用することができる。個別の個々の製品を評価する費用は、LCA の費用から費目別費用の総和までのいずれかの値をとるとすれば、すなわち、1 万 5000 米ドルから 3 万 3000 米ドル（日本円では約 150～330 万円）の費用を LCA を用いた製品の環境性能評価に要していると考えられる。

表１　PCR と EPD にかかる費用の調査結果

	作業項目	四分位数（米ドル） 下側	中央値	上側	n
PCR	Scoping	485	1,693	3,375	6
PCR	Research & drafting	2,114	5,928	17,563	8
PCR	Review	1,013	5,072	8,587	7
PCR	PCR全体	2,738	15,000	25,625	9
EPD	LCA & EPD preparation	8,365	15,250	22,745	12
EPD	Verification	2,108	2,447	3,413	12
EPD	Registration	663	1,312	2,629	9
EPD	Initial fees other than registration	528	750	947	6
EPD	Running fee	587	973	1,531	10
EPD	EPD全体	10,309	12,826	30,001	15
全体（PCRとEPD）		12,509	18,761	41,238	15
各項目の総和		15,863	33,425	60,790	

*「全体」は合計値ではなく、直接調査した結果である。

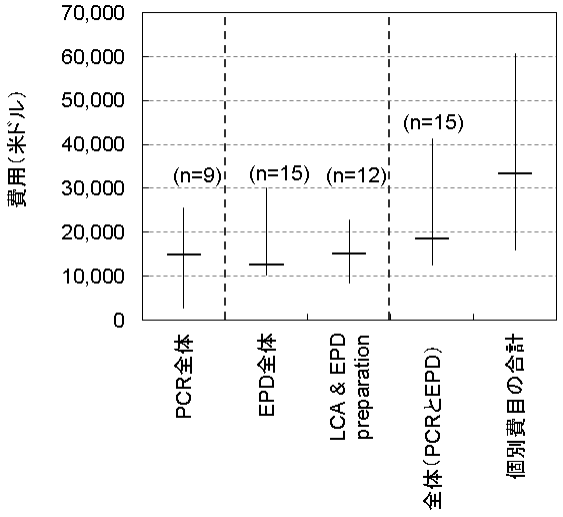


図３　PCR と EPD にかかる費用の調査結果（中央値と四分位数）

3.2 工数

工数の調査結果を表 2 に示す。工数の中央値は、全工数（PCR と EPD）で 26 人日であった。費用と同様に、PCR のなかでは、「Research & drafting」と「Review」の工数が、EPD のなかでは、「LCA and EPD preparation」の工数が大きな割合を占めていた。ただし、PCR の「Scoping」の割合が約 2 割と、費用の場合（約 1 割）と比べて大きな割合を占めた。「LCA and EPD preparation」の工数は 15 時間（中央値）と全体の工数のなかでも大きな割合を占めており、四分位区間で 5～20 人日となった。また、費用のばらつきよりも工数のばらつきの方が小さい結果となった。

表２　PCR と EPD に要する工数の調査結果

	作業項目	四分位数（人日） 下側	中央値	上側	n
PCR	Scoping	3	3	4	12
PCR	Research & drafting	5	8	9	13
PCR	Review	3	4	6	13
PCR	PCR全体	12	16	21	13
EPD	LCA & EPD preparation	5	15	20	9
EPD	Verification	2	4	6	11
EPD	Registration	1	1	3	11
EPD	EPD全体	3	19	25	12
全体（PCRとEPD）		22	26	44	12
各項目の総和		19	35	49	

*「全体」は合計値ではなく、直接調査した結果である。

謝辞

本調査に協力いただいたプログラム・オペレーターの方々に感謝いたします。特に、一部の方には多大なるご協力をいただき、厚く御礼申し上げます。

農産物需要の増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

Impact of land-use change caused by increasing demand for agricultural products on biodiversity

○矢野夏美*[1)]、田村賢人[1)]、橋本征二[1)]
Natsumi Yano, Kento Tamura, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学
* rv0023kf@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

産業革命以降、人間活動は地球環境の変化の主要因となり、地球システムに大きな影響を及ぼすようになっている。Rockstrom[1)]らはこれに対し、人類が安全に活動でき、地球環境が自らの回復力で基本的な機能を維持できる「地球の境界」として「Planetary Boundary」という概念を提唱した。「Planetary Boundary」は、気候変化、海洋の酸性化、成層圏オゾンの減少、窒素・リンの循環の変化、淡水利用の増加、土地利用の変化、生物多様性の減少、大気エアロゾルの負荷、化学物質による汚染といった 9 つの境界からなり、本研究ではこの中の「土地利用の変化」と「生物多様性の減少」を取り扱う。

IUCN[2)]の調査によると、「生息地の減少・破壊」は生物多様性の減少の主要因となっている。鳥類を始めとする多くの種は森林を生息地としていることから、森林伐採と土地改変による生息地の消失は、生物多様性に大きな悪影響を及ぼす。また、そうした土地の改変は他の様々な問題とも密接に関係している。例えば、森林の農地への転換は、森林に固定されていた炭素の排出や、肥料の散布を通じて窒素やリンの負荷を増大させる。田村ら[3)]の研究によれば、2050 年には食料やバイオ燃料の需要増加により、最大で 400Mha の農地の拡大が必要となる。しかしながら、今後の土地利用の変化が、生物多様性や窒素・リンの負荷にどのような影響を及ぼすかについては、定量的な議論がなされていない。また、それらの定量的関係を定式化した上で、その影響を緩和する方策について検討することが必要である。

このようなことから、本研究では、農産物需要の増大による土地利用の変化、すなわち、農地の拡大による森林の減少に着目し、それがもたらす生物多様性への影響とその影響を削減する方策について検討することを目的とする。

2. 方法

2.1. 農地拡大と生物多様性減少の関係

農産物需要の増加による農地拡大と生物多様性減少の関連付けは、古川ら[4)]の研究を参考に以下の式により行う。ここで、生物多様性減少は、各生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: Species Extinction Expected Value)(種数)とする。

$$SEEV = \sum_i EAAL \times \frac{HALR_i}{EAAL} \times \frac{SEP_i}{HALR_i} \quad \cdots (1)$$

ここで、EAAL は農地拡大面積(Expanded Area of Agricultural Land)(ha)、$HALR_i$ は EAAL の条件下での生物種 i の生息地減少率(Habitat Area Loss Ratio)(–)、SEP_i は $HALR_i$ の条件下での生物種 i の絶滅確率(Species Extinction Probability)(–)である。

2.2. 農地拡大面積（式 1 の第 1 項）

EAAL については、先述のように 2050 年に最大で 400Mha の農地の拡大が必要となる可能性があることから[3)]、本研究ではこの最大値を用いて検討を行う。

2.3. 農地拡大面積と生息地減少率の関係（式 1 の第 2 項）

EAAL と $HALR_i$ の関係については、農地拡大によって森林が減少する、つまり必要な農地面積に相当する森林面積が減少するものと仮定し、森林に生息する生物種 i の $HALR_i$ を推定する。

まず、GIS を用いて、FAO の土地利用図[5)]における森林と IUCN の生息分布図(脊椎動物の哺乳類、爬虫類、両生類、鳥類)[6)]を重ね合わせ、マングローブ林を含めた森林に生息する生物種について、それらの生息地の総面積とそのうちの森林面積を推定する。

次に、下式により $HALR_i$ を推定する。

$$HALR_i = \frac{\sum_k HAL_{i,k}}{\sum_k HA_{i,k}} = \frac{\sum_k HAF_{i,k} \times EAAL_k / FA_k}{\sum_k HA_{i,k}} \quad \cdots (2)$$

ここで、$HAL_{i,k}$ は国 k における生物種 i の生息地減少面積(Habitat Area Loss)(ha)、$HA_{i,k}$ は国 k における生物種 i の生息地面積(Habitat Area)(ha)、$HAF_{i,k}$ は国 k における生物種 i の森林生息地面積(Habitat Area in Forest)(ha)、$EAAL_k$ は国 k における農地拡大面積(＝森林減少面積)(Ha)、FA_k は国 k における森林面積(Forest Area)(ha)である。

$EAAL_k$ については、2002 年から 2012 年の各国の森林面積の増減のペースが今後も続くと仮定し、その増減率に応じて 400Mha の農地を比例配分する。

2.4. 生息地減少率と生物種の絶滅確率の関係（式 1 の第 3 項）

$HALR_i$ と SEP_i の関係については、$HALR_i$ と個体群減少率(PLR_i: Population Loss Ratio)が比例関係にあると仮定し、

$HALR_i$ を PLR_i に置き換えて、SEP_i を推定する。

まず、Maclean & Wilson[6]によれば、SEP_i と PLR_i には下記の関係がある。

$$\mathrm{logit}(SEP_i^{55.628}) = 13.284 \times PLR_i^{10} - 6.793 \quad \cdots (3)$$

ここで、$SEP_i^{55.628}$ は生物種 i の 55.628 年間における絶滅確率(–)、PLR_i^{10} は 10 年間における個体群減少率(–)である。PLR_i^{10} は 1 年間における個体群減少率 PLR_i^{1} より、下式を用いて推定する。

$$PLR_i^{10} = 1 - \exp(10 \bullet PLR_i^{1}) \quad \cdots (4)$$

ここで、PLR_i^{1} の値には 2.3 で求めた $HALR_i^{1}$ を使用する。$HALR_i^{1}$ は 1 年間における生息地減少率(–)である。

最後に、下式より SEP_i^{s} を推定する。

$$SEP_i^{s} = 1 - (1 - SEP_i^{t})^{s/t} \quad \cdots (5)$$

ここで、SEP_i^{s} は生物種 i の s 年間における絶滅確率(–)であり、本研究では、s=40 年間(2050 年頃まで)における絶滅確率を考える。なお、 (3)式より、t=55.628 である。

2.5. 生物多様性減少の回避の可能性

2.1 に示した式を用いて、生物多様性の減少を Planetary Boundary の限界値内におさめるための条件を検討する。例えば、農地の拡大自体を抑えること、農地拡大をするにも生息地の減少が少なく、生物多様性に大きな影響を及ぼさない場所を選ぶことなどが考えられる。

3. 結果と考察

3.1. 生息地減少率の推定結果

まず、400Mha を各国の森林面積の増減率に応じて比例配分した結果、世界 234 箇所[8] (世界の各国と主要な島しょ地域)のうち、94 箇所で森林が減少し、農地が拡大する想定となった。また、34 箇所で森林が完全に消失することとなった。特に、アフリカ・南アメリカで農地の拡大が進み、森林の減少が進行するとのシナリオである。

次に、土地利用図と生息分布図を重ね合わせ、種の生息状況を調べた結果を表 1 に示す。生息分布図上には哺乳類・爬虫類・両生類・鳥類のそれぞれについて、表 1 に示される種数の生息分布が記載されており、本研究では、そのうち絶滅確率の高い種について生息地減少率の推定を行った。このうち、森林が生息地に含まれる種の数、および箇所(世界の各国と主要な島しょ地域)は表 1 のとおりとなった。また、森林が生息地に含まれる種の 2010 年から 2050 年の生息地減少率は、平均的に哺乳類で 14%、爬虫類で 24%、両生類で 4%、鳥類で 7%と推定された。

3.2. 生物種の絶滅確率の推定結果

森林が生息地に含まれる種(表 1)の絶滅数の期待値は、哺乳類で 245.0、爬虫類で 21.1、両生類で 20.8、鳥類で 459.0 となった。この結果は、森林が生息地に含まれる生物種の多くが高い確率で絶滅することを意味する。

表 1 脊椎動物の生息状況

	種数	絶滅確率の高い種	森林が生息地に含まれる種	
			種数	箇所
哺乳類	5,417 種	506 種	440 種	145 箇所
爬虫類	3,710 種	75 種	50 種	56 箇所
両生類	6,311 種	88 種	60 種	28 箇所
鳥類	10,424 種	1,137 種	877 種	168 箇所

※「絶滅確率の高い種」とは、IUCN の生息分布図[6]における危険度の 6 段階のうち、最下位 1 段を除いた全ての種である。

地域別に見ると、農地拡大面積 $EAAL_k$ が小さいヨーロッパは絶滅数の期待値が小さく、$EAAL_k$ が大きいアフリカや南アメリカの期待値は大きくなった。また、既存のレッドリストで絶滅確率が高いと評価されていても、本研究においては必ずしも高いと評価されない種もあり、本研究の推定結果は、単純に土地改変の影響のみを反映したものとなっている。

4. おわりに

本稿で示した推定結果は暫定的なものであり、今後の詳細な検討により変更される可能性がある。また、各種の仮定を設定していることから、その感度分析も必要である。対象生物種をさらに拡大するとともに、EAAL と SEEV の関係から、生物多様性の減少を Planetary Boundary 内に収めるための土地利用条件についても検討していく。

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。

参考文献

1) Rockstrom J. et al.,: A safe operating space for humanity, Nature, 461(24), pp.472-475, 2009
2) Baillie J.E.M. et al.: A Global Species Assessment – 2004 IUCN Red List of Threatened Species, IUCN, 2004
3) 田村賢人ら：食料・バイオ燃料に関わる将来の農地需要とその抑制案、第 42 回環境システム研究論文発表会講演集、pp.33-38、2014
4) 古川拓哉ら：生物多様性フットプリント~木材材消費国が引き起こす海を越えた森林破壊の影響~、日本生態学会第 60 回全国大会、2013
5) LADA: Land Use system maps, http://www.fao.org/nr/lada/index.php?option=com_content&view=article&id=154&Itemid=184&lang=en, 2014 年 12 月アクセス
6) IUCN: The IUCN Red List of Threatened Species, http://www.iucnredlist.org/technical-documents/spatial-data, 2014 年 11 月アクセス
7) Maclean M. D. and Wilson R. J.: Recent ecological responses to climate change support predictions of high extinction risk, PNAS, 108(30), pp.12337-12342, 2011
8) Mapping Hacks：http://www.mappinghacks.com/data/, 2014 年 11 月アクセス

焼酎粕リサイクル施設の LCA 評価

Evaluation for Shochu Waste Liquid Recycling Facility by Life Cycle Assessment

○甲斐穂高*[1)]、本田智之[2)]、中道隆広[3)]、新家侑莉[2)]、大田政史[2)]、石橋康弘[2)]
Hotaka Kai, Tomoyuki Honda, Takahiro Nakamichi, Yuri Shinya, Masahito Ota, 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

平成 12 年頃より焼酎生産量の増加に伴い、焼酎粕の排出量は増加傾向にある。以前は、海洋投棄、農地還元および飼料化などの処分が行われていたが、平成 19 年 4 月「廃棄物その他の物の投棄による海洋汚染の防止に関する条約（ロンドン条約）」により、海洋投棄が原則禁止となったため、焼酎粕の陸上での処分方法の確立が必要となった。

現在、焼酎粕は肥料・飼料化、メタン発酵といった方法で処分されている。しかしながら、焼酎粕の再生利用について、その技術についての研究は行われているが、環境影響についての具体的な評価は少なく、肥料・飼料化とメタン発酵の環境影響については比較されていない。

本研究では、メタン発酵、肥料・飼料化の焼酎粕リサイクルシステムの環境影響についてのライフサイクルアセスメント（LCA）による比較評価を行うことで、環境負荷を定量化し、把握することにより、環境影響を考慮して、リサイクルシステムを活用する際の意思決定につなげることを目的とする。

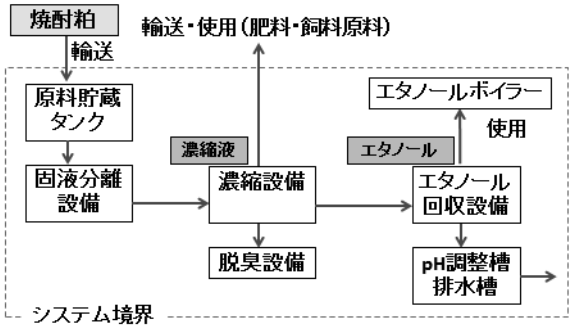


図 1　肥料・飼料化処理の評価範囲

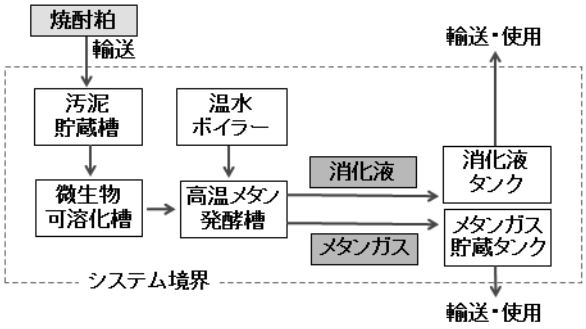


図 2　メタン発酵処理の評価範囲

2. 評価範囲と方法

2.1 評価範囲

機能単位を 1 年間で発生する 5482.6 t の焼酎粕を毎日処理するものとし、肥料・飼料化する場合（シナリオ 1：図 1）とメタン発酵を行う場合（シナリオ 2：図 2）を比較した。処理能力は、肥料・飼料化を 70 t/day、メタン発酵を 50 t/day と設定した。また、LCA の評価範囲は、焼酎粕の処理方法のみに着目して環境影響評価を行うため、輸送は評価範囲に含めない。さらに、焼酎粕から変換されたエネルギーによって軽減される環境負荷のうち、対象の処理施設外で使用されるエネルギーの環境負荷および施設から排出される廃棄物等の処理にかかる環境負荷（例えば、メタン発酵の場合であれば、メタン発酵後の発酵残渣や消化液の適正処理にかかる負荷等）、施設の設置における環境負荷についても評価範囲に含めない。

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：Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling 2)によるライフサイクルインパクトアセスメント(LCIA ： Life Cycle Impact Assessment)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)。なお、それぞれの被害評価における影響領域は 11 項目(地球温暖化、オゾン層破壊、酸性化、都市域大気汚染、有害化学物質、人間毒性、生態毒性、光化学オキシダント、富栄養化、土地利用、資源消費、廃棄物)とした。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。

2.3 各プロセスに使用したデータ

シナリオ１に使用したデータは、熊本県人吉市の球磨焼酎リサイクリーンセンターの運転データを用いた。シナリオ２に使用したデータは、既存のインベントリデータ[1)]を用いた。

3. 結果

LCI 分析のデータをもとに行ったLCIA結果について、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：Disability Adjusted Life Year）[2)]で示した。「人間健康」に対する被害量は、肥料・飼料化処理のほうが大きかった。 図４に「社会資産」に対する被害評価を通貨単位：円（YEN）[2)]で示した。「社会資産」に対する被害量は、肥料・飼料化処理のほうが大きかった。

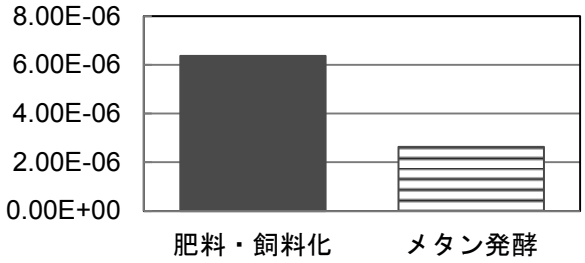


図３ 「人間健康」に対する被害量（単位：DALY）

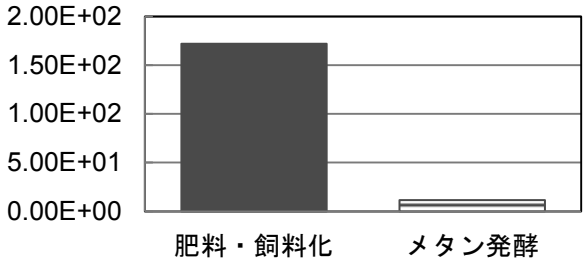


図４ 「社会資産」に対する被害量（単位：YEN）

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：Expected Increase in Number of Extinct Species）[2)]で示した。「生物多様性」に被害量は、メタン発酵処理の方が大きかった。図６に「一次生産」に対する被害評価を純１次生産力（NPP：Net Primary Productivity）[2)]で示した。「一次生産」に対する被害量は、肥料・飼料化の方が大きかった。

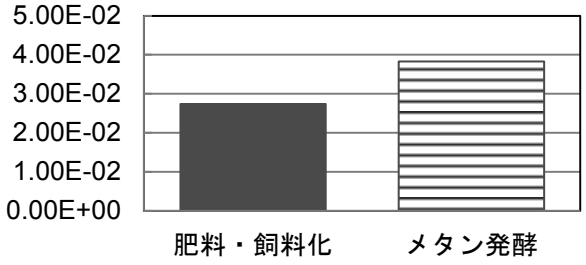


図５ 「生物多様性」に対する被害量（単位：EINES）

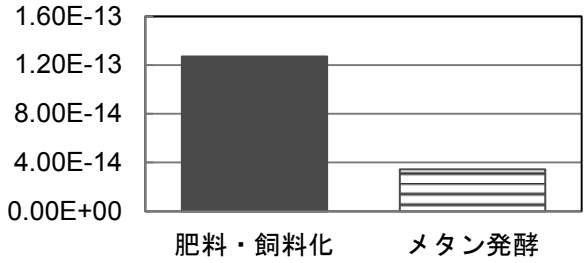


図６ 「一次生産」に対する被害量（単位：NPP）

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。地球温暖化への影響に大きな差は見られなかったが、肥料・飼料化はメタン発酵に比べ、資源消費への影響と都市域大気汚染への影響が大きく、光化学オキシダントへの影響が小さかった。

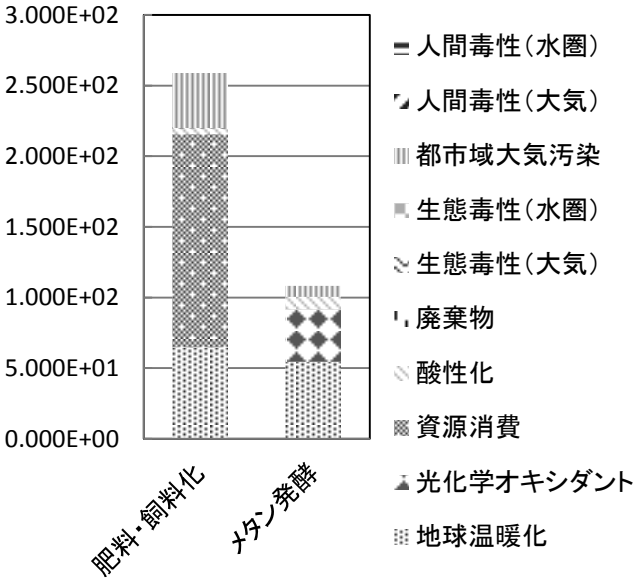


図７ 統合化結果（単位：円）

4. まとめ

被害評価の結果より、「生物多様性」への被害量には、メタン発酵処理が肥料・飼料化処理を上回るという結果が得られたが、「人間健康」、「社会資産」及び「一次生産」への被害量と統合化の結果より、メタン発酵のほうが環境に対する影響は小さく、焼酎粕の処理方法として優れていることが示唆された。

5. 引用文献

1) 甲斐穂高・中道隆広・有薗真澄・竹本直道・蒲原新一・石橋康弘：日本 LCA 学会誌, Vol.8 NO.4, (2012), pp. 370-382

2) 伊坪徳宏ほか, “LCA 概論”, (社)産業環境管理協会, 東京, (2010), pp. 143-173

温室効果ガスインベントリにおける廃棄物燃焼起源排出量の報告オプション：対策へのインセンティブの強度

Reporting options for GHG emissions from burning of waste in National Greenhouse Gas Inventories: Intensity of incentives

○田井中直人*[1)]、橋本征二[1)]
Naoto Tainaka, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学
* rv0020fh@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

気候変動枠組み条約の締結国は、その温室効果ガス（GHG）排出量を条約事務局に報告することが求められている。その推計方法を定めたものが IPCC ガイドライン[1)]であり、「エネルギー」「産業プロセスと製品の使用」「農業、林業とその他の土地利用」「廃棄物」の部門ごとに、GHG 排出量を報告することとなっている。しかしながら、複数の部門にまたがると考えられる排出源もある。例えば、廃棄物からのエネルギー回収である。

従来わが国では、エネルギー回収の有無に関わらず、廃棄物の燃焼による GHG 排出量を全て廃棄物部門で報告してきた。しかしながら、IPCC ガイドラインにおいては、エネルギー回収を伴う廃棄物の燃焼による GHG 排出量をエネルギー部門で報告することとしており[1)]、この齟齬を条約事務局より指摘されていた。このため、2009 年より条約事務局向けにはこれらの GHG 排出量をエネルギー部門で報告しながら、国内向けには従来通り廃棄物部門で報告を行っている[2)]。しかしながら、エネルギー回収を伴う廃棄物の燃焼による GHG 排出量を全て廃棄物部門で報告すると、廃棄物のエネルギー利用を促進したとしても廃棄物部門の排出量は変わらないため、廃棄物処理事業者がこうした取組を推進するインセンティブに欠ける。一方、全てエネルギー部門で報告すると、廃棄物由来のエネルギーは一般に GHG 排出係数が高いため、発電事業者や熱供給事業者、さらにはエネルギー利用事業者が廃棄物由来のエネルギー利用を推進するインセンティブに欠ける[2)]。

GHG の排出削減には、廃棄物のエネルギー利用を促進し、そのエネルギー利用効率を高めることが有効であるが、そのためにはどちらの部門で報告するのがよいのか。これに関して橋本・川西[3)]は、一般廃棄物発電を対象として 5 つの報告オプションを設定し、両部門でのインセンティブを比較検討するとともに、2010 年のデータをもとに両部門で報告される GHG 排出量を試算している。しかしながら、発電と熱利用をともに行うエネルギー回収のインセンティブやインセンティブの強度の検討が課題となっている。

このようなことから、本研究では、橋本・川西による先行研究[3)]を以下の観点で改善する。

① 発電と熱利用をともに行うエネルギー回収における排出量の配分方法を提案する。
② 廃棄物のエネルギー利用の促進、廃棄物のエネルギー利用効率の向上に関する 1 単位の取り組みに対する各報告オプションのインセンティブの強度を明らかにする。

2. 方法

2.1 新しい報告オプション案と各部門における GHG 排出量の推計方法

橋本・川西が検討した報告オプション[3)]をベースにしつつ、発電と熱利用をともに行うエネルギー回収を考慮した報告オプション案を以下に示す。また、以降の計算式においては下記の変数を用いる。

T: エネルギー回収を伴う廃棄物燃焼による GHG 排出量(tCO2/年) (T＝TE＋TH＋TEH＝E＋W)
TE: T のうち発電のみを伴う廃棄物燃焼による GHG 排出量(tCO2/年)
TH: T のうち熱利用のみを伴う廃棄物燃焼による GHG 排出量(tCO2/年)
TEH: T のうち発電と熱利用を伴う廃棄物燃焼による GHG 排出量(tCO2/年)
E: T のうちエネルギー部門で報告する GHG 排出量(tCO2/年) (E＝EE＋EH)
EE: E のうち発電に関わる GHG 排出量(tCO2/年)
EH: E のうち熱利用に関わる GHG 排出量(tCO2/年)
W: T のうち廃棄物部門で報告する GHG 排出量(tCO2/年)
i: 産業部門

(1) 廃棄物発電/廃棄物熱利用からの排出量のうち、半分をエネルギー部門、半分を廃棄物部門で報告する方法（発電と熱利用をともに行う場合は、エネルギー部門に割り当てられる排出量のさらに半分を発電と熱利用の排出量として報告）

EE＝TE／2＋TEH／4

EH＝TH／2＋TEH／4

W＝T／2＝(TE＋TH＋TEH)／2

(2) 廃棄物発電と同等の電力を火力発電で得る/廃棄物熱利用と同等の熱量を化石燃料で得る場合の排出量をエネルギー部門で報告し、残りを廃棄物部門で報告する方法（発電と熱利用をともに行う場合は、それぞれの計算でエネルギー部門に割り当てられる排出量の半分を発電と熱利用の排出量として報告）

EE＝(廃棄物発電量(発電のみ)(kWh)＋廃棄物発電量(発電と熱利用)(kWh)／2)×火力発電平均排出係数(tCO2/kWh)

EH＝Σ(産業ｉの廃棄物熱利用量(熱利用のみ)(MJ)＋産業iの廃棄物熱利用量(発電と熱利用)(MJ)／2)×産業 ｉ で利用する化石燃料平均排出係数(tCO2/MJ)

W＝T−E＝T−EE−EH

(3) 廃棄物発電の発電効率が火力発電と同じ/廃棄物熱利用のエネルギー利用効率が化石燃料と同じと仮定した場合の排出量をエネルギー部門で報告し、残りを廃棄物部門で報告する方法（発電と熱利用をともに行う場合は、それぞれの計算でエネルギー部門に割り当てられる排出量の半分を発電と熱利用の排出量として報告）

EE=(TE＋TEH／2)×(廃棄物発電の発電効率 12%[4]／火力発電の発電効率 42%[5])

EH=(TH＋TEH／2)×(廃棄物熱利用のエネルギー利用効率／化石燃料のエネルギー効率)

W=T–E=T–EE–EH

(4) 一定の発電効率を上回る廃棄物発電/一定のエネルギー利用効率を上回る廃棄物熱利用からの排出量をエネルギー分野で報告し、残りを廃棄物分野で報告する方法（発電と熱利用をともに行って両方の基準を満たす場合は、その排出量の半分を発電と熱利用の排出量として報告）

EE=TE(一定効率以上の発電のみ)＋TEH(一定効率以上の発電と熱利用)／2

EH=TH(一定効率以上の熱利用のみ)＋TEH(一定効率以上の発電と熱利用)／2

W=T–E=T–EE–EH

(5) 廃棄物が持つエネルギーのうち、水分蒸発に必要となるエネルギーの比率に相当する GHG 排出量を廃棄物部門で報告し、残りをエネルギー部門で報告する方法（発電と熱利用をともに行う場合は、エネルギー部門に割り当てられる排出量の半分を発電と熱利用の排出量として報告）

EE=(TE＋TEH／2)×(低位発熱量／高位発熱量)

EH=(TH＋TEH／2)×(低位発熱量／高位発熱量)

W= T−E＝T−EE−EH

2.2 インセンティブの強度の検討方法

橋本・川西[3]は、以下の基準に基づいて報告オプションのインセンティブの有無を検討している。

基準 1 : 廃棄物からのエネルギー利用を促進するインセンティブがあるか

基準 2 : 廃棄物のエネルギー利用効率を高めるインセンティブがあるか

本研究では、基準 1 について、廃棄物一単位（MJ）を新たにエネルギー利用することによって、両部門の GHG 排出量をそれぞれどれだけ削減できるか、基準2について、廃棄物のエネルギー利用効率（発電効率、熱利用効率）を 1%上げることによって両部門の GHG 排出量をそれぞれどれだけ削減できるかを推計し、インセンティブの強度として評価する。

3. おわりに

上記の報告オプション案では、発電と熱利用をともに行う施設からの排出量のうち、エネルギー部門に割り当てられる排出量の半分を、それぞれ発電と熱利用の排出量として配分している。したがって、発電と熱利用を合わせて行うことで排出係数は化石燃料に比べて大幅に有利となる。現在、そのインセンティブの強度について検討を行っており、これらの結果については学会当日に報告する。

参考文献

1) IPCC: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, IGES, 2006

2) 環境省：平成 20 年度温室効果ガス排出量算定方法検討会(第 2 回)資料 3-6、2009（http://www.env.go.jp/earth/ondanka/santei_k/20_02/mat03_6.pdf 、 2014 年 8 月アクセス）

3) 橋本征二、川西博貴 : 温室効果ガスインベントリにおける廃棄物燃焼起源排出量の報告オプション〜一般廃棄物発電を対象として〜、環境システム計測制御学会誌、19(2/3)、pp.53-60、2014

4) 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/h22/index.html 、2014 年 8 月アクセス）

5) 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、一般財団法人省エネルギーセンター、2013

一般廃棄物焼却施設の発電・熱生産の現状と将来のエネルギー供給に関する考察

Analysis of waste-to-energy (WtE) in municipal solid waste incineration plants and future outlook of energy supply derived from WtE

○田畑智博*[1)]、蔡 佩宜[1)]
Tomohiro Tabata, Peii Tsai
1) 神戸大学
* tabata@people.kobe-u.ac.jp

1. はじめに

東日本大震災を契機として、一般焼却施設の発電・熱利用が注目されている。本研究では、焼却施設のエネルギー生産(WtE)に着目し、全国の一般廃棄物焼却施設の発電・熱生産およびその利用先等に関する現状を調査する。また、エネルギー供給源としての焼却施設およびごみ処理事業の方向性を考察する。

2. 研究の方法

先ず、環境省[1)]より、2012 年度の全国及び主要都市の余熱利用と発電量、外部利用量の現状を調査する。次に、焼却施設の発電・熱生産およびその利用先に関するアンケート調査を実施する。

アンケート調査の対象は、一部事務組合を含む 1,361 の地方公共団体である。質問項目は、焼却施設の処理能力、年間処理量、稼働日数、用途別(温水、蒸気(発電以外)、発電)の余熱利用量、場内利用量と外部供給量と供給先、余熱利用を行ってない場合の理由等である。なお、環境省[1)]も余熱利用の調査を行っているが、具体的な利用先は未掲載である。

調査期間は2014 年 10 月 8 日~同年 12 月 5 日であり、回答は 528 件であった(回収率 38.8%)。本稿では、回収途中の結果(350 件、325 焼却施設)を用い、焼却施設の設置地域の人口密度と組み合わせて結果を考察する。

3. 結果と考察

3.1 余熱利用量と総発電量

表 1 に、ごみ処理量あたりの余熱利用量と総発電量を示す。総発電量は全国平均で 0.22MWh であり、23 区及び 2 都市の方が、総発電量は 1.6～1.9 倍大きい。これは、全国平均では 1 施設あたりの平均処理能力が 155t/日であるのに対し、23 区及び 2 都市は 555～638t/日と規模が大きいことが一因である。外部利用に着目すると、東京 23 区と大阪市は総発電量の 41～49%を外部利用しているが、全国平均は 36%に留まっている。

余熱利用量は、全国平均は 0.22MWh であり、23 区及び 2 都市で幅がみられる。また、外部利用に着目すると、全国平均では余熱生産量のうち 14%に留まっている。参考として、Themelis[2)]によると、ミュンヘン(ドイツ)では 2.57MWh/t、マルメ(スウェーデン)では 2.68MWh/t の余熱をそれぞれ地域熱供給しており、日本における余熱の外部利用は極めて少ない。

3.2 余熱利用に関するアンケート調査の結果

余熱利用に関する調査の結果として、先ず、**表 2** に用途別(温水、蒸気(発電以外、発電))での余熱利用の有無に関する回答結果を示す。温水と蒸気(発電以外)の場合は、場内利用のみの割合が最も多く、場内+外部利用を行っている施設の割合は 10%以下であった。一方、発電の場合は、場内+外部利用を行っている施設の割合は 21.8%と高い値を示していた。発電の外部利用は、電力会社への売電が主である。

続いて、温水と蒸気(発電以外)に着目して、人口密度との考察を行う。人口密度からみた生産量の結果を**図1**、**図S1** に、処理能力からみた生産量の結果を**図S2**、**図 S3** に示す。生産量が 600MJ/t を超える施設は、少数である。また、生産量が 400MJ/t の規模の焼却施設では、人口密度が 1,000 人/km^2 以下の地域で熱利用が多く行われていた。このことから、温水、蒸気(発電以外)ともに人口密度との関係性はなく、余熱利用が行われていることがわかった。

温水の外部利用先を**図 S4** に、蒸気(発電以外)の利用

表 1 ごみ処理量あたり余熱利用量と総発電量

	合計		うち外部利用	
	余熱利用	総発電量	余熱利用	総発電量
全国平均	0.22	0.22	0.030	0.080
東京23区	0.055	0.41	0.055	0.21
大阪市	0.87	0.39	0.039	0.23
神戸市	1.032	0.34	0.006	0.085

単位: [MWh/t]

表 2 余熱利用の有無に関する回答

	温水	蒸気(発電以外)	発電
場内利用+外部利用	26 (8%)	17 (5.2%)	71 (21.8%)
場内利用のみ	58 (17.8%)	37 (11.4%)	33 (10.2%)
外部利用のみ	17 (5.2%)	14 (4.3%)	1 (0.3%)
利用なし	224 (68.9%)	257 (79.1%)	220 (67.7%)

先を**図 2** に示す。利用先のうち、公共施設は、老人福祉施設や健康施設が含まれている。また、ごみ・下水処理は、焼却施設の外にあるごみ処理施設や下水処理場が含まれている。人口密度との関係性をみたところ、温水の場合は人口密度に関係なく、公共施設や浴場・プールの利用が多かった。また、人口密度が低い地域ではごみ・下水処理への利用が多く、需要施設が限られていることが伺えた。蒸気(発電以外)の場合は、工場や病院への供給が特徴的であった。特徴的な焼却施設を対象に、具体的な外部供給先との直線距離を計算した結果を**表 3** に示す。殆どの施設は、供給先までの距離は 1km 以内と非常に短かった。

一方、余熱利用なしの焼却施設にその理由を尋ねたところ、人口密度が低い地域にある焼却施設ほど、近くに需要施設がない、余熱利用できる規模でないという回答が多かった(**図 S5**)。

3.3 将来のエネルギー供給に関する考察

上述の結果から、人口密度に関係なく、焼却施設の近隣に需要施設があることが、余熱の外部利用の有無に影響することが示された。それでは、近隣に需要施設がない場合や、現状で外部供給しており更に供給量を増やしたい場合はどうすべきか。

大都市の場合、一つの案は、熱供給の形を変えることである。例えば、生ごみと下水汚泥を混合でバイオガス化し、都市ガスに導管することで、家庭での熱需要を賄うことが可能である。Tabata and Chiba[3]は、上述の考えを神戸市に適用することで、ごみ発電のみの場合に比べて、ごみ由来のエネルギー生産量が約 2 倍増加することを示している。本方法は、都市ガスが普及している地域で有効である。しかし、ごみ処理と下水処理で管轄が異なることがネックである。

都市ガスが普及していない地方都市の場合、焼却施設の集約化および需要施設付近での焼却施設の建設が求められる。欧州では、コミュニティや産業地域への地域熱供給は、他のエネルギー供給方法に比べて経済性が高いとされている。しかし、コミュニティの近隣に焼却施設を建設する場合は、NIMBY 問題を解決する必要がある。また、コミュニティを対象とする場合は、人口減少や世帯の高齢化に伴う電力・熱需要の将来変化(ガス調理器から IH 調理器への切り替えなど)も考慮する必要がある。

4. おわりに

我が国では、一般廃棄物焼却施設の発電・熱生産が活発化しているが、特に熱の外部供給についてはまだまだ発展途上である。今後の研究の方向性として、大都市や地方都市の違いを考慮して、電力・熱需要の将来変化を踏まえたエネルギー供給の方法を検討する価値は高いといえる。

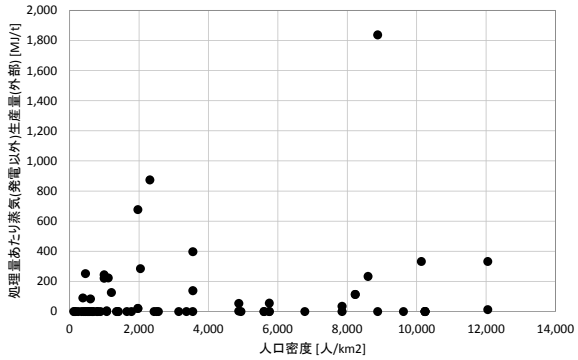


図 1 人口密度別の蒸気生産量（発電以外、外部利用）

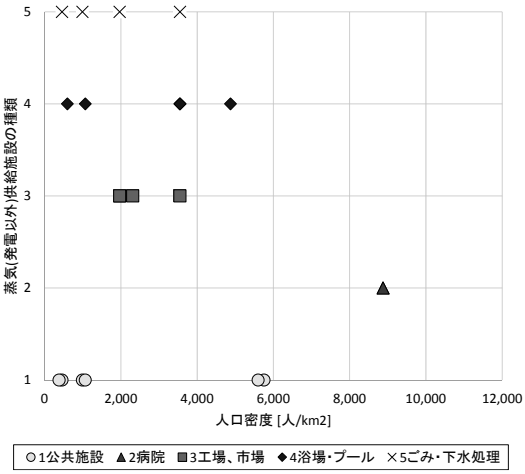


図 2 蒸気(発電以外)の外部利用先

表 3 余熱利用の外部供給先

施設	人口密度 [人/km2]	外部利用量 [MJ/t]	供給先	施設と供給先との直線距離[km]
<温水生産>				
A	685	2,023	温水センター	0.88
B	51	293	福祉施設	0.53
C	846	2,377	温室団地	0.10
<蒸気生産(発電以外)>				
D	457	7,399	福祉施設	0.26
E	2,311	874	工場	0.29
F	8,877	1,838	病院	0.91
G	381	91	福祉施設	0.10
H	3,549	1,678	工場	0.28
I	1,967	677	市場	0.55
J	1,967	20	工場	0.29

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ているものである。ここに記して、謝意を表す。

引用文献

1) 環境省 : 平成 24 年版一般廃棄物実態調査調査結果, http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/h24/index.html
2) Themelis N.J.: *Waste Manag World*, 12, (2011), pp. 41-43
3) Tabata T. and Chiba D.: *Venice Symposium 2014*, CD-ROM

一般廃棄物処理施設の処理余力の実態と災害時の廃棄物管理に関する考察

Analysis of the Redundancy Capacity of Municipal Solid Waste Treatment Plant and the Waste Management after a Natural Disaster

○蔡 佩宜*[1)]、佐伯 孝[2)]、田畑 智博[1)]
Peii Tsai, Takashi Saeki, Tomohiro Tabata
1) 神戸大学，2) 富山県立大学
* peii.tsai@people.kobe-u.ac.jp

1. はじめに

地震や水害などの自然災害により発生する災害廃棄物の早急な撤去、処理は、被災地の復旧・復興のために必要不可欠である。そのため、地域における災害廃棄物の発生量や既存施設での災害廃棄物の処理可能量をあらかじめ把握しておくことは、処理計画の策定の基礎情報として重要である。

一般廃棄物処理に関しては、環境省によって昭和 30 年から毎年実施されている一般廃棄物処理実態調査によって膨大なデータがある。この調査資料は一般廃棄物処理施設の規模、ごみ処理情況や管理体制などを把握する上では有益であるが、各施設の焼却余力を算出するための稼働可能な日数や施設の防災対策等に関する情報が不十分である。また、このような官方統計の業務統計資料においても、非標本誤差の存在が指摘されている[1)]。

そして、既存施設での災害廃棄物の処理可能量を試算する研究や自治体の報告書はいくつかなされているが、いずれの事例も、稼働日数は一定の日数で設定されていた。しかし、各施設の稼働可能な日数は、各設備の補修・点検や事情などによって大きく異なることから、同じ日数によって算出する結果は必ずしも現状を正しく反映しているとはいえない。

そこで、本研究では、まず全国各地で稼働している一般廃棄物処理施設にアンケート調査を行い、稼働可能な日数および耐震化等に関する現状を把握するとともに、各施設の処理余力や耐震化と相互の様々データ間の関係を考察する。次に、南海トラフ巨大地震を対象に、三重県を研究事例として災害廃棄物の発生量を地域別に推計し、地域の既存施設での処理可能量を検討することで、広域処理体制の方向性を考察する。

2. 研究の方法

先ず､環境省[2)]が公開している一般廃棄物処理実態調査の情報に基づき、2012 年度に全国で稼働している一般廃棄物処理施設を対象に、施設の稼働・維持管理実態や災害時の対策、耐震化情況等に関するアンケート調査を行う。アンケート結果により、環境省の公表資料に非標本誤差が存在した焼却施設の処理能力のデータを訂正し、焼却余力の試算や耐震化と相互の様々データ間の関係を考察する。次に、三重県を研究事例として想定南海トラフ巨大地震にかかわる災害廃棄物の発生量を市町村別に推計し、地域の既存施設での処理可能量を検討する。なお、各災害廃棄物の発生量は、環境省[3)]および三重県[4)]の災害廃棄物関連の公表資料での被害想定結果を主に利用し、倒壊建物棟数×発生原単位（トン／棟）×種類別の割合（%）で求めた。

3. 結果と考察

3.1 焼却施設の処理余力および耐震化情況

アンケート調査は、2014 年 10 月から 12 月にかけて、一般廃棄物処理施設および最終処分場を所有・管理している一部事務組合を含む 1,361 の地方公共団体を対象に実施した。今回の調査で 528 件の回答が得られ、回収率は 38.8%であった。本研究では、調査で得られた 454 の焼却施設を対象として分析を行った。

まず、焼却施設の焼却余力については、施設が必要とされる補修整備・点検などを考慮した年間最大稼働可能日数と平成24 年度の実績稼働日数を用いて余力を試算し、施設の焼却能力別で比較・分析を行った(図１)。その結果、いずれも焼却余力が 10%～50%未満の割合は最も大きく、50%～100%未満の割合と合わせると、60%～70%を占めることが分かった。半数以上の施設は一定の余力を持つことが示された。そして、平成 24 年度の実績稼働日数により試算した結果は、ほとんど余力がない割合が増え、100%～200&未満の施設数が減少したことが確認された。このことから、実績や一定の日数により焼却余力は過小評価される可能性があると考えられる。

次に、施設の耐震化情況に関する調査の結果として、耐震化を実施した、または策定中の施設の割合は 51.3%であり、半数以上を占めることが分かった。また、建設年度、処理能力と耐震化の考察結果について、施設の建設年度と耐震化には関連がみられなかったものの、処理能力とは有意な差が確認された（有意水準 1%)。1981 年に建設基準法の改正で新耐震基準が実施され、その以降に建設確認を受けた建物には、新しい基準が適用されている。しかし、焼却施設の場合は、必ずしもこの制約を受けることではなかった。その一方で、処理能力が高い施設ほど、耐震性を強化している傾向がみられた。

3.2 災害廃棄物発生量推計と既存施設の処理可能量に関する考察

三重県における想定南海トラフ巨大地震にかかわる災害廃棄物の発生量を推計した結果として、表１に地域別に推計結果を示す。なお、本研究では焼却施設での処理可能量を検討することが目的としたため、火災焼失による減量分を考量せず、揺れ、液体化および津波による災害廃棄物発生量を推計した。三重県全体は理論上最大クラスでは約2518 万トンの災害廃棄物が発生すると推計した。焼却施設で処理する可燃物は約 453 万トンであり、三重県の 10〜11 年分に相当する廃棄物が発生する。県内の既存施設の処理可能量は、各施設の最大処理可能量から 24 年度の年間処理量を除いた量として算出し、合計で約 18 万トン（焼却施設の被害を考慮せず、焼却余力を約 40%と試算した場合）であった。県内処理では可燃物の焼却処理に要する期間は約 24〜25 年となった。この結果から、復旧・復興のための迅速な処理のためには、地域の処理余力の増強施策に関する検討および広域処理体制を構築していくことが必要となる。

4. おわりに

本研究では、全国における半数以上の焼却施設は一定の余力を持つことが示された。しかし、事例研究で検討したように、想定南海トラフ巨大地震にかかわる災害廃棄物の発生量を既存施設の余力で処理することが困難である。今後、災害廃棄物の処理システムと適切な広域処理体制をいかに構築していくかを、検討する必要がある。

謝辞

本研究の実施にあたって、自治体および一部事務組合の方々に多大なご協力を頂いた。この場を借りてお礼を申し上げたい。なお、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ているものである。記して謝意を表す

引用文献

1) 仙田徹志, 長命洋佑, 森 佳子 : 統計学, 86, (2004), pp.1-19
2) 環境省：平成 24 年版一般廃棄物実態調査結果 <http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/h24/index.html>, (2014.7.25)
3) 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（参考資料） <http://www.env.go.jp/recycle/waste/disaster/earthquake/conf/ref01.pdf>, (2014.12.10)
4) 三重県防災対策部：地震被害想定結果（数表等） <http://www.pref.mie.lg.jp/D1BOUSAI/jishinhigaisoutei-point2014/20141016higaisuuryou.pdf>, (2014.12.10)

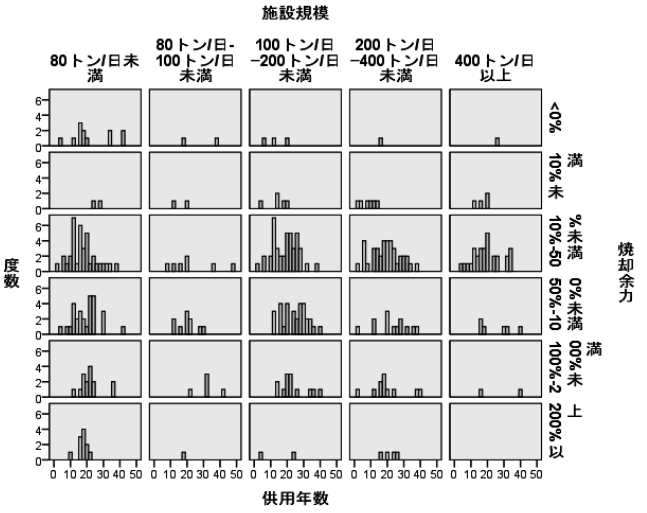


図１　施設規模、供給年数別の焼却余力

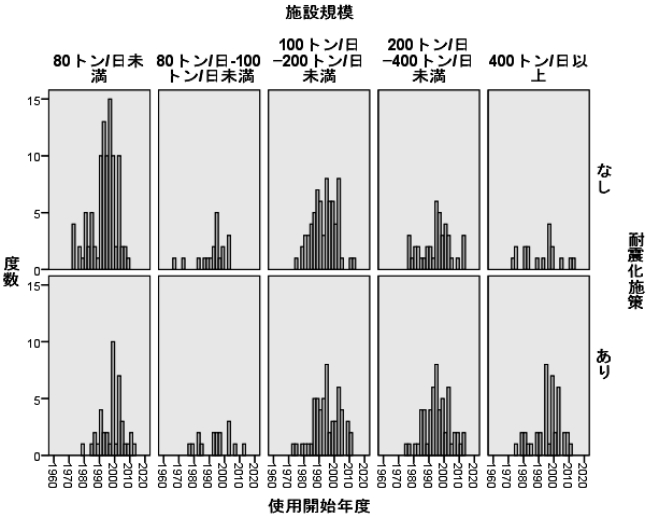


図２　使用年度、施設規模別の耐震化施策の実施情況

表１　災害廃棄物の発生量の推計結果　（万トン）

	種類別	地域区分					
		北勢	中勢	伊賀	伊勢志摩	東紀州	県計
過去最大クラス	発生量合計	153.3	122.0	0.9	357.0	168.0	801.2
	可燃物	27.6	22.0	0.2	64.3	30.2	144.2
	不可燃物	27.6	22.0	0.2	64.3	30.2	144.2
	コンクリートがら	79.7	63.5	0.5	185.6	87.4	410.6
	金属	10.1	8.1	0.1	23.6	11.1	52.9
	柱角材	8.3	6.6	0.05	19.3	9.1	43.3
理論最大クラス	発生量合計	613.1	659.8	28.9	894.8	321.9	2518.4
	可燃物	110.4	118.8	5.2	161.1	57.9	453.3
	不可燃物	110.4	118.8	5.2	161.1	57.9	453.3
	コンクリートがら	318.8	343.1	15.0	465.3	167.4	1309.6
	金属	40.5	43.5	1.9	59.1	21.2	166.2
	柱角材	33.1	35.6	1.6	48.3	17.4	136.0

廃棄プラスチックのリサイクルにおける高度選別導入による環境負荷削減効果の評価

Evaluation of the environmental impact of sorting in recycling of waste plastic

○二瓶秀星*[1)]、佐伯孝[1)]
Shusei Nihei, Takashi Saeki
1) 富山県立大学
* t117028@st.pu-toyama.ac.jp

1. はじめに

わが国では高度経済成長期以降「大量生産・大量消費・大量廃棄」を行うことで発展を遂げてきたため、廃棄物の排出量は年々増大してきた。そのため、循環型社会の形成のために一般廃棄物の排出量を抑制する目的で「容器包装に係る分別収集及び再商品化の促進等に関する法律」(以下､容リ法と略す)が施行された。容リ法は、一般廃棄物の約 60%を占める容器包装廃棄物の減量化を促進させ、少しでも多くを再利用することで、埋立処分場の使用量を減らすことが一つの大きな目的である。容リ法では消費者、事業者自治体にそれぞれの役割を決めることで、ペットボトルの回収率が 70%以上になり、プラスチック製容器包装の材料リサイクルが推進され、資源・エネルギー投入の節約、および埋立処分場の延命化に大きく貢献してきた。

容リ法において、自治体が家庭から回収したプラスチックを自治体が分別・洗浄しある程度の大きさの塊にしたものをリサイクル事業者が入札で落札するシステムになっている。プラスチック製容器包装は、工場または事業所からの産業廃棄物系廃プラスチックと異なり、廃棄物中の組成が単一でなく様々な種類のプラスチックが混同している。その原因は、表 1 に示すように家庭内の容器包装には様々なプラスチックが使われていることに起因している。更には、家庭において洗浄されているが、洗浄が不足しているプラスチックも含まれており、表面に汚れが付着しているものや、食品の包装等では、様々な種類のプラスチックによる複合フィルムのような製品も含まれている。そのため、選別工程の重要度が非常に高くなっている。高度選別装置を導入することで、前処理にあたる選別精度を向上させ、再生処理で得られる製品の強度などの価値が向上することが予想される。しかし、新たに選別装置を導入することでエネルギー等の消費量の増加が起きることが懸念される。

本研究では、風力選別と湿式比重分離を組み合わせたプラスチック製容器包装のリサイクルプロセスを対象に、高度選別機として光学式選別機を導入した際の製品の強度等を含めたプロセス全体における環境負荷削減効果について評価することを目的とする。

2. 研究方法

再生事業者に入荷したプラスチック製容器包装を対象に、容器包装に表示されている樹脂の種類と近赤外線を用いたプラスチック材質判別器を用いて組成調査を行った。

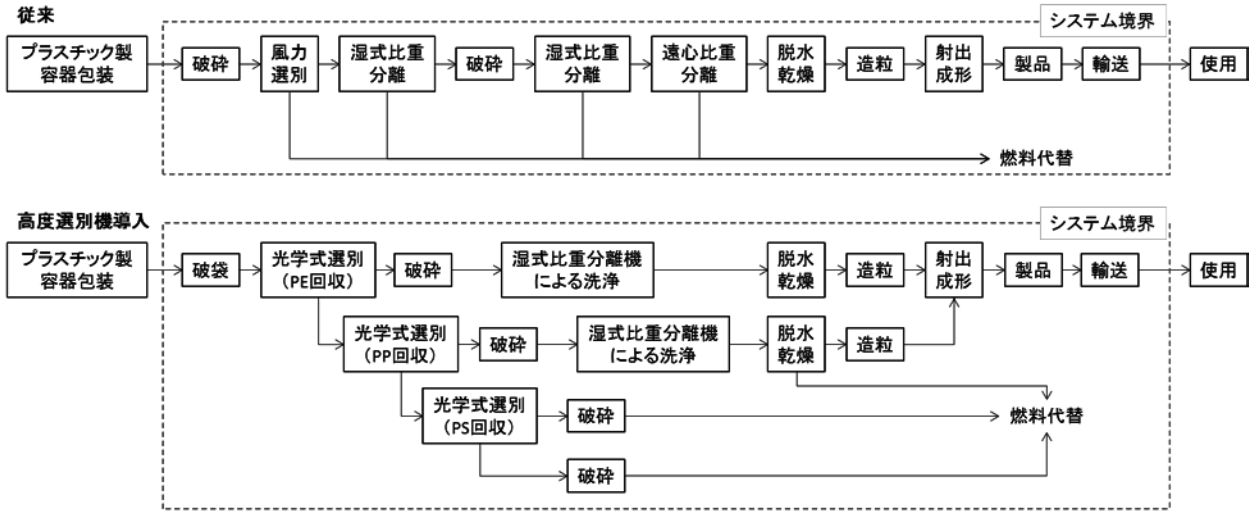


図1 本研究におけるシステム境界

表1　プラスチック製容器包装の用途と樹脂の種類

用途	樹脂の種類
清涼飲料	PET
乳酸飲料	PS
食材・調味料ボトル	PET、PE、PS
調味料チューブ	PE、PP
日用品ボトル・チューブ	PET、複合素材、PE、PP
食料品パック	PS、PP、PET

用途	樹脂の種類
食料品カップ	PS、PP、PET、PE
トレー	PS、PP、PET
大・中袋、無地袋	PE、PP
小袋	PP、PE、複合素材
レジ袋	PE
ラップ	塩化ビニリデン、PVC、PE

次に、従来プロセスと光学式選別プロセス得られた選別済みプラスチック製容器包装（破砕済み）の選別精度を確認するために、比重選別を行った。

比重選別機と光学式選別機を用いた各リサイクルプロセスにおいて使用される電力、水、ガス等のエネルギーの調査結果と、各リサイクルプロセスにおいて得られるリサイクル製品の強度等の情報を基に、環境負荷削減について評価を行う。システム境界を図 1 に示す。

3. 研究結果

プラスチック製容器包装の組成調査の結果を図 2 に示す。容器包装に表示されている樹脂の種類を基にプラスチックの種類が判別できたものが約半分あることがわかる。残りは表示がなく、プラスチック判別器を用いる必要があった。プラスチック判別器では、表面のプラスチックの種類のみ判別可能であるため、食品の包装に用いられる複合プラスチックの判別は不可能である。この結果は、既存の報告と同程度であることが分かる。再生事業者へのヒヤリング調査では、プラスチックの組成には地域性があり、特定のプラスチックが多い地域があるとのことであった。

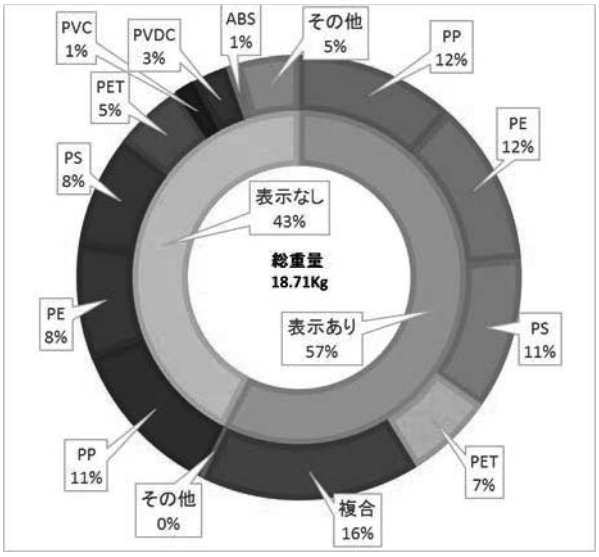


図 2　組成調査結果

本研究で対象としている再生事業者では、プラスチック製容器包装から物流用のパレット（図 3 参照）を製造している。環境負荷の評価では、図 1 に示したシステム境界において、自治体からプラスチック製容器包装を受けいれてから製造したパレットを 10t トラックによる客先までの輸送を対象に評価を行った。製品であるパレットのサイズ（1,100mm × 1,100mm × 150mm）、積載荷重（動荷重：1t、静荷重：3t）、材質（プラスチック製容器包装 100%）とし、重量のみを 36 kg、26 kg、20 kgと変化させ評価を行った。重量が 36 kgと 26 kgの製品は既存の製品であり、同じ耐荷重であるが、金型の改良により軽量化が達成されたものである。20 kgの製品は光学式選別機導入により、選別精度が向上することで、製品の強度が向上し、使用樹脂量の削減が可能であると考え、他社製品を調査した結果、20 kg程度への軽量化が可能であると仮定した。

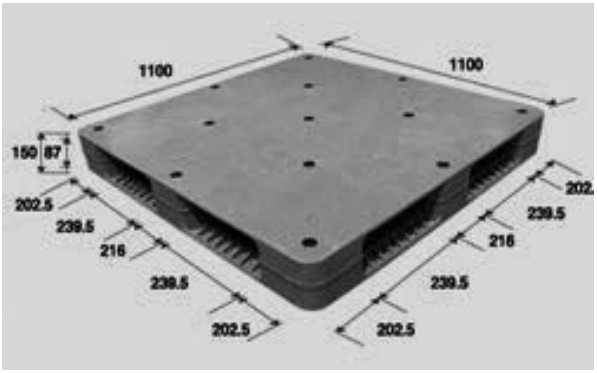


図 3　物流用パレット

4. おわりに

各プロセスにおけるエネルギー等の調査結果を基に、産業環境管理協会製の LCA ソフト MiLCA を用いて環境負荷の評価を行った結果を当日報告する。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、再生事業者の皆様には多大なご尽力をいただいた。ここに謝辞を述べる。

カーボンフットプリントによるリユースびんの温室効果ガス削減貢献量表示の試み

A trial for indication of avoided GHG emissions on reusable bottle by Carbon Foot Print

松井康弘*1)、○中田健斗 1)、足立裕紀 1)、吉野榮一 2)
Yasuhiro Matsui, Kento Nakada, Yuuki Adachi, Eiichi Yoshino
1)岡山大学, 2) 東洋ガラス株式会社
* matsui@okayama-u.ac.jp

1. はじめに

循環型社会の構築に向け、リサイクルに関する法制度・システムの整備が進む中、本来優先すべきリデュース、リユースの 2R の取り組みが立ち後れている。国は、先頃制定された第四次環境基本計画・第三次循環型社会形成推進基本計画において、2R の推進を重点課題として位置づけており、今後各地域で社会実験的な 2R の取り組みを実践し、試行錯誤しながら成功事例（Good Practice）を蓄積し、これを社会に広げていくことが必要である。

本研究では、岡山においてリユース推進を図るための象徴的アイテムとして、地元岡山県産の茶葉を用いたリユースびん入り飲料「晴・Re・茶（はれちゃ）」を開発・販売し、岡山の産官学民全ての主体に対してリユースの認知･体験を促すことを狙いとした。また、3R の効果について市民の理解度の向上を図るため、リユースびん飲料提供に関するカーボンフットプリント（CFP）を評価し、リユースによる CO_2 削減効果をびん上に分かりやすく表示した。また、飲料の試飲調査等を実施し、2R・リユースびん・CFP に関する認知、リユースびんを普及するための課題を検討したので結果を報告する。

2. びんリユースシステム実証事業の概要

リユースびん入り飲料の流通・販売・使用済みびんの回収は主に岡山市・倉敷市で実施した。回収・リユースを行うびんはリユースびん「Ｒドロップス（第２号）」（容量 : 220～230ml）を使用した。本研究で開発したリユースびん入り飲料には、(株) 引両紋が製造する岡山県真庭市勝山地区産のほうじ茶を使用し、岡山県の地産地消推進を象徴する飲料とした。

3. リユースびんのカーボンフットプリント（CFP）の評価・公表

本研究では、リユースびんの環境負荷削減効果を消費者に分かりやすく情報提供する目的で、使用したリユースびんのカーボンフットプリント (CFP) を評価・公表することとした（ただし、中味の飲料については本研究では対象外とした）。

リユースびんの製造・運搬、飲料製造・空びん回収・洗びん等に係る CFP を算定した結果、リユースびんを 5 回使用した場合の CO_2 排出量合計値は 720g-CO_2e となり、リユースびんを仮に 1 回の使用で捨てた場合の CO_2 排出量 440g と比べ、リユースびんを 5 回繰り返し利用（Reuse）する場合の 1 回利用あたりの CO_2 排出量は 140g となり、67%削減できることが明らかとなった。プロセス別の CFP の内訳を図 に示した。この算定結果は、CFP 事務局による検証に合格して CFP 宣言認定製品として認められ（登録番号 CR-BE03-14001[2]）、本研究で使用するリユースびん・広報媒体において図に示すような CFP マーク・数値表示を付与することが可能となった。ガラスびんとしては、本研究が日本で最初に CFP マークを取得した事例となった。

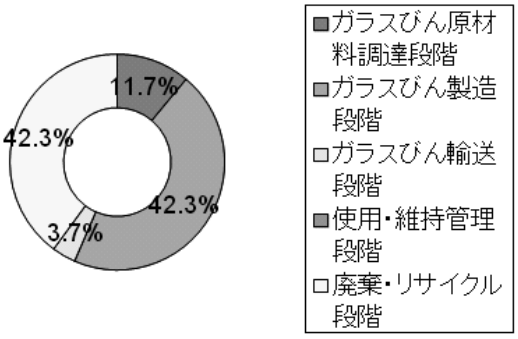


図 1　プロセス別の CFP の内訳

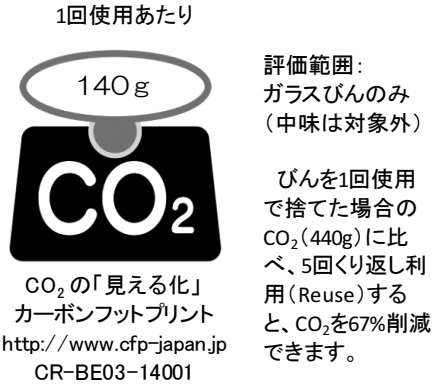


図 2　本研究で使用したリユースびんに付与する CFP マーク及び数値表示

4.　リユースびん飲料の試飲調査

4.1.　岡山県職員を対象としたマーケティング調査

(1) 調査の概要

日　　時：平成 26 年 2 月 19 日（水）12:00-13:00
場　　所：岡山県産業労働部産業企画課マーケティング推進室会議室
対　　象：岡山県庁に勤務する職員 50 名
調査内容：属性、商品の価格、預かり金とびん返却の関係、CFP の認知度・購入への影響等

(2) 調査の結果

① カーボンフットプリントに対する認知度

「あなたはカーボンフットプリントの表示の仕組みがあることを知っていましたか？」との質問に対して、「知っている」と回答したのは 30%であった。

② 温室効果ガスの排出量が小さいことによる購入意図への影響

「この商品には、カーボンフットプリントの結果として、ワンウェイびんよりリユースびんの方が温室効果ガスの排出量が小さいことを表示する予定です。あなたはこうした飲料を優先的に購入したいと思いますか？」との質問に対して、温室効果ガスの排出量が小さいことに対して肯定的な対象者が 14 名(28%)であった一方、リユースの効果・実現性に懐疑的、利便性に否定的な対象者が 10 名(20%)であった。

4.2.　「環境にやさしい企業活動のための環境経営セミナー」参加者を対象とした試飲調査

(1) 調査の概要

日　　時：平成 26 年 3 月 25 日（火）13:30-15:30
場　　所：岡山市役所 7 階大会議室
対　　象：環境経営に関心のある事業者・団体の代表等 33 名
調査内容：属性、預かり金とびん返却の関係、商品の価格、CFP の認知度・購入への影響、会社・組織の中での用途・販売方法など

(2) 調査の結果

アンケート調査には、対象者 33 名のうち 24 名から回答が得られた。

① カーボンフットプリントに対する認知度

「あなたはカーボンフットプリントの表示の仕組みがあることを知っていましたか？」との質問に対して、「知っている」と回答したのは 8.3%であり、県庁職員の 30%と比較して認知度が低かった。

② 温室効果ガスの排出量が小さいことによる購入意図への影響

「この商品には、カーボンフットプリントの結果として、ワンウェイびんよりリユースびんの方が温室効果ガスの排出量が小さいことを表示しています。あなたは、ご自身の会社・組織の中でこうしたリユースびん入りの飲料を優先的に購入したいと思いますか？」との質問に対する回答を図 に示した。肯定的な購入意図を示した回答者は 21%であった。

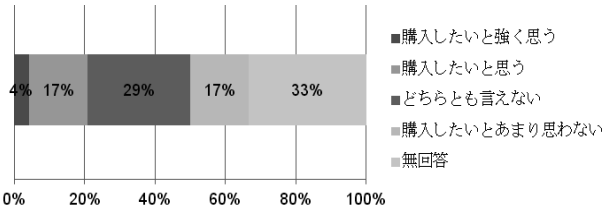


図 3　温室効果ガスの排出量が小さいことによる購入意図への影響

5.　まとめ

1) 岡山においてリユース推進を図るための象徴的アイテムとして、地元岡山県産の茶葉を用いたリユースびん入り飲料「晴・Re・茶（はれちゃ）」を開発した。
2) リユースびんの環境負荷削減効果を消費者に分かりやすく情報提供する目的で、リユースびんの CFP を算定した。リユースびんを仮に 1 回の使用で捨てた場合の CO_2 排出量 440g と比べ、リユースびんを 5 回繰り返し利用（Reuse）する場合の 1 回利用あたりの CO_2 排出量は 140g となり、67%削減できることが明らかとなった。この算定結果に基づき、CFP マーク・数値表示を付与したリユースびん・広報媒体を作成した。
3) 岡山県庁の職員、環境経営に関心のある事業者・団体の代表を対象として、リユースびん飲料の試飲調査を実施し、普及に向けた課題等についてアンケート調査を行った。県庁職員においては、温室効果ガスの排出量が小さい製品を購入することに肯定的な対象者が 28%、環境経営に関心のある事業者・団体の代表については、肯定的な購入意図を示した対象者は 21%であった。少数派ではあるものの、こうしたリユース・環境保全に協力的な層に効果的に訴求して、リユースの普及・定着を図ることが重要と考えられる。

6.　参考文献

1) （社）産業環境管理協会 : CFP プログラムホームページ, 入手先 <https://www.cfp-japan.jp/system/index.html>（参照 2015-1-7）
2) （社）産業環境管理協会 : 晴・Re・茶（は・れ・ちゃ）専用リターナブルびん「R ドロップス」カーボンフットプリント登録情報, 入手先 <http://www.cfp-japan.jp/common/pdf_permission/000857/CR-BE03-14001.pdf> （参照 2015-1-7）

林地残材を利用するリグニンから開発された材料の環境評価

LCA of lignin products developed from logging residues

○道中哲也*[1)]、本間春海[2)]、久保山裕史[1)]、佐々木達也[1)]、伊神裕司[1)]、山田竜彦[1)]
Tetsuya Michinaka, Harumi Honma, Hirofumi Kuboyama, Tatsuya Sasaki, Yuji Ikami, Tatsuhiko Yamada
1) 森林総合研究所, 2) 株式会社ドーコン
* michinaka.t@affrc.go.jp

1. Introduction

Due to the problem of cost and efficiency, a lot of wood of insufficient size and quality for sawn lumber or plywood remained in the forest after thinning and final harvest in Japan. It is estimated that the logging residues, including the above-stated items, reach to 20 million m^3 [1)]. Many efforts are being made to use logging residues in Japan under the background that Japanese government aims to raise the self-sufficient rate of wood from currently less than 30% to 50% in 2020 [2)]. Not to mention, to find a good way of utilization for logging residues is also important for local economy.

It is known that lignin shares 25 to 35% in the wood of conifers, and 20 to 30% in the wood of broad-leaf trees; however, wood lignin has not been used well compared with cellulose which is widely used such as paper-making. One of the solutions to expand utilization of logging residues is to use them as materials for producing high value added products, such as chemical admixtures for concrete and high-performance activated carbon fiber. A research and developemnt team has already developed the technology for manufacturing chemical admixtures for concrete and high-performance activated carbon fiber from wood, but the actual production of these two products have not been implemented in a factory.

In order to reduce their environmental impacts, a life cycle assessment (LCA) is implemented to these two products even though they are still at the experimental level. The results of LCA are feedbacked to the research and developemnt team to improve the enviormental impacts and chosing lower impacts production process.

2. Methodology and data

We set the system boundary as Figure 1. The process starts from logging residues which are collected and transported to chip mills. Wood chips are manufacrured and then chips are processed by alkali cooking to get isolated lignin. This isolated lignin is then put into another chemical reaction process and drying. Now the output could be used as chemical admixtures for concrete, or continue to be processed through another chemical reaction and thus high-performance activated carbon fiber can be obtained.

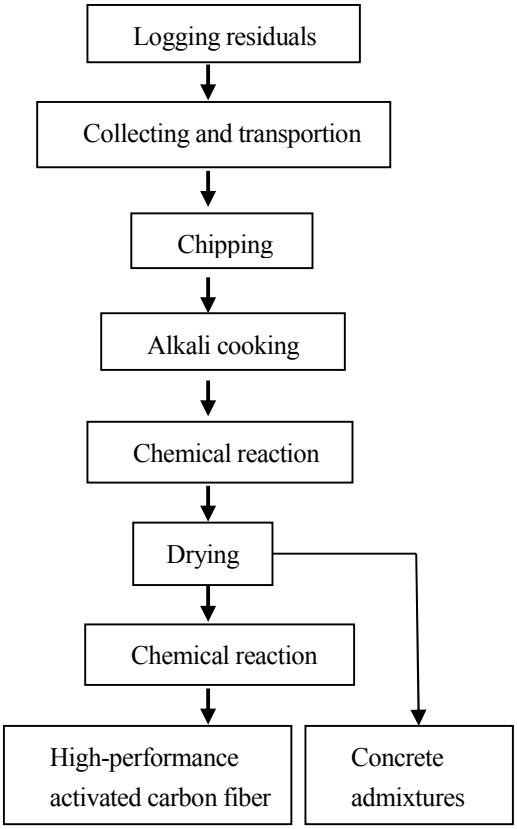


Figure 1 System boundary

The input data of energy and raw materials for chip manufacture are gathered from a chip mill in Gifu Prefecture; some input data on chipper is sourced from Japan wood energy [3)]. For other processes, the input data are obtained from the previous research and current research results. Because chemicla admixture for concrete and high-performance activated carbon fiber are not yet being produced commercially, which is still in the stage of reasech and development, some data are assumed by research and development team.

The function unit is set as product per ton. Software MiLCA by Japan Environmental Management Association

for Industry and its database are used for life cycle inventory analysis (LCI) [4]. For characterization to impact categories and damage evaluation, Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling (LIME2) [5] is used.

3. Results and discussion

The results for characterization to impact categories and damage evaluation are shown in Table 1. By LIME2, all the greenhouse gases are estimated and expressed as CO_2 equivalent. Non-renewable resource consumption is shown by standard substance – antimony; urban air pollution in SO_2. In more than ten impact categories, it is found that the products mainly have impacts in the following three categories: global warming, resource consumption and urban air pollution, while the impacts of other categories are rather small.

As for the damage evaluation, LIME2 set four protection areas. Human health is shown by Disability Adjusted Life Years (DALY), social assets in Yen, primary production in kilogram, biodiversity in Expected Increase in Number of Extinct Species (EINES).

When analyzing the inputs, it is found that the input of polyethylene glycol (PEG) in the chemical reaction has important impacts. Admixture2 and Fiber2 in Table 1 show the results when 30% of the input of polyethylene glycol can be recycled and reused. By comparing the results to same products, the impatcs can be reduced more than 10%.

4. Conclusion

These two products mainly give impacts to global warming, Non-renewable resource consumption and urban air pollution categories. The further reuse of PEG is expected. While the improvement of other data is also necessary to get a better environmental assessment.

5. Acknowledgement

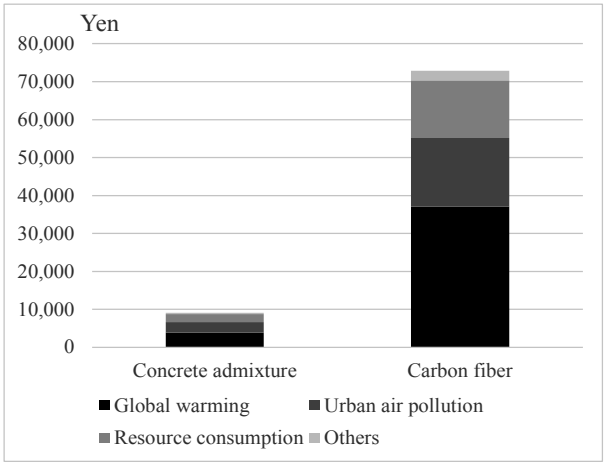


Figure 2 Integration in yen

This work was supported by Council for Science, Technology and Innovation (CSTI), Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program (SIP), “Technologies for creating next-generation agriculture, forestry and fisheries” (funding agency: Bio-oriented Technology Research Advancement Institution, NARO). Authors also thank other researchers in the research and development team who provided data for this research.

6. References

1) Forestry Agency, Japan: On wooden biomass. <http://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/biomass/con_1.html> (Accessed on Jan. 5th, 2015)
2) Forestry Agency, Japan: Outline of Master plan for forest and forestry, (2011), p.8
3) Japan wood energy Co., Ltd: Study on supporting wooden biomass LCA assessment, (2012), p.96
4) Japan Environmental Management Association For Industry (JEMAI): MiLCA
5) Itsubo, N. and Inaba, A.: LIME2 Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling, JEMAI, (2010), p.666

Table 1 Results of characterization to impact categories and damage evaluation

Products	Impact categories			Damage evaluation			
	Global warming (kg-CO2e)	Resource consumption (kg-Sb)	Urban air pollution (kg-SO2e)	Human health (DALY)	Social assets (Yen)	Primary production (kg)	Biodiversity (EINES)
Admixture1	1,650	0.017	1.34	0.0004	2950	1.36	5.08E-12
Admixture2	1,340	0.014	1.16	0.0003	2300	1.10	3.87E-12
Fiber1	15,800	0.126	9.00	0.0034	22,800	10.00	3.48E-11
Fiber2	13,800	0.109	7.88	0.0029	18,800	8.48	2.72E-11

森林資源の供給側と需要側を結びつけた利活用策の検討

—広島県における需給の現状・将来予測と環境負荷分析—

若林國久*1)、矢代秀平1) 、小林謙介1)
Kunihisa WAKABAYASHI,Shuhei YASHIRO,Kensuke KOBAYASHI
1)県立広島大学
*q206052sq@pu-hiroshima.ac.jp

1.はじめに

森林資源は、戦後造林した杉や桧が伐期を迎え、供給可能量は国産材需要の約 3 倍 [1]と言われ、木材自給率50%以上(28.2%/2009 年)を目指す計画[2]が進行中である。その一方で、伐採後の植林・育林による森林資源の循環利用の低迷による森林面積の減少で将来の供給可能量の大幅な低下も予想される。この状況で、西日本最大(全国 10 位)の森林資源を抱える広島県における供給側(林業)と需要側(建築業等)を結んだ長期的視点での利活用策の検討例はない。

このような背景から、本研究は、広島県の需給の現状及び将来予測や、フィールドワークによる実態調査、環境負荷排出量などの分析を通して環境負荷に配慮した持続的な利活用策の提案を目的とした。本報告では、木材の物質フロー分析とLCAを実施し、需給と環境負荷排出量の現状を明らかにした。また、製材の約90%を占める建築における今後45年間の木材消費量と解体に伴う木くずの発生量の推計を行い、木くず再利用による再資源化の重要性を明らかにした。さらに、自治体、森林組合等 5 施設への実態調査で対策検討の条件設定に必要な情報を得た。

2.物質フロー分析

2012 年の物質フロー分析を行った(図 1)。分析は、国土交通省から統計法第33条の調査票情報の提供による建設副産物実態調査の生データや、広島県林業課でのヒアリング調査、国・県(木材統計・工業統計など)、関係工業会の統計、民間企業の環境報告書などをもとにした。森林の蓄積量 96,011 千m^3の内、県産の素材利用量は 270 千m^3/年(0.28%)であり、現時点では資源の賦存量は需要を大きく上回って

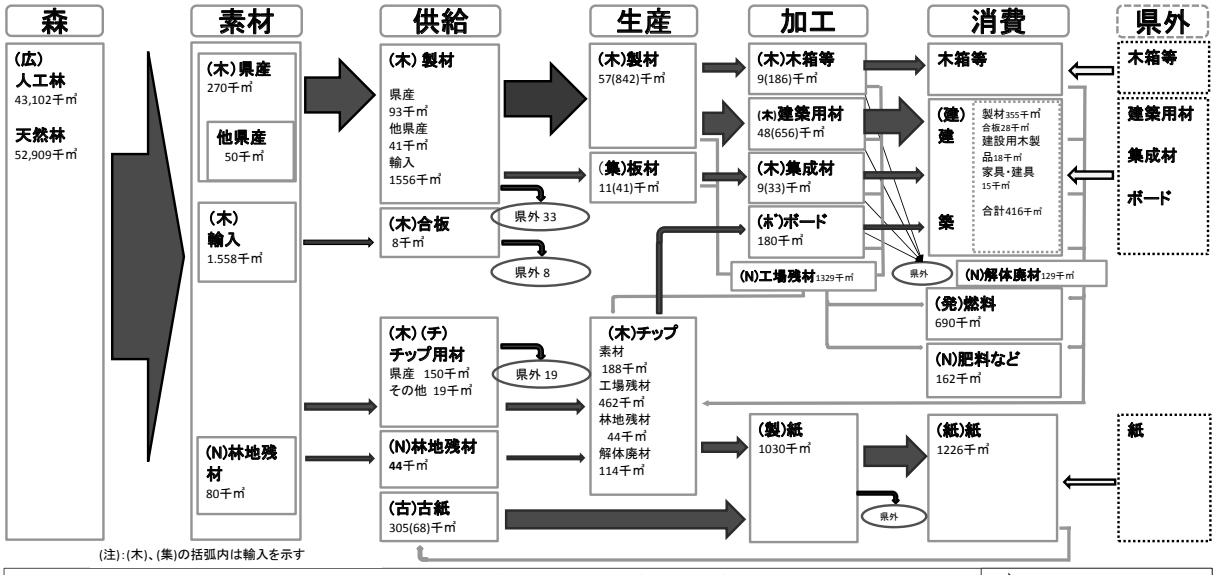


図1　広島県の物質フロー分析

いることが確認できた (参考：SI.1) 。

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[3]を実施した。分析は MiLCA を用いて実施し、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 50%は CO_2(約 30%)と SO_2(約 20%)であった。これらの排出量を分析すると、CO_2 の全体量は 99.5 万トン-CO_2 で、紙の製造(81%)と製材品等の木材製品製造(17%)で全体の 98%を占めた。また、SO_2 の全体量は 0.15 万トン-SO_2 で、紙の製造(62%)と製材品等の木材製品製造(37%)で全体の 99%を占めた。従って、これらのプロセスの負荷削減が不可欠である。

4.木材消費・木くず発生量推計

製材需要の約90%を占める建築における今後45年間の消費量と木くず発生量を推計[3]した(図 3)。推計は、将来の建物数は国立社会保障・人口問題研究所の将来推計世帯数をもとに想定した。既存建物の減衰はロジスティック曲線を用いて推計した。また、建物の半減期は 30 年とした。世帯数から減衰を差し引いたものを着工量とし、着工に伴う木材消費量・木くず発生量を推計した。その結果、木くず発生量は、今後、木材消費量よりも多くなる可能性が高いことが確認できた。木くずの多くは直接建材としての利用が難しいので、他産業を含めた活用策の検討が必要である。

5.実態調査

対策検討の条件設定に必要な情報を得るため、自治体(広島県林業課)と 3 森林組合、製材所での聞取り調査を行った。今後の供給量に影響を与える森林の循環利用では、植林率は 0～2 割、間伐も優良木を残す定性間伐のほかに、作業性を優先して伐採する木を選ばない列状間伐など、3 森林組合で多様な管理が行われていることがわかった (参考：SI.2) 。今後の利活用策提案に向けたシナリオ分析は、地域の多様性の実状を反映させることが重要である。

6.まとめ

本報告では、広島県の木材資源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、建築分野における 45 年後の木材消費量と木くず発生量を試算した。さらに、関係施設への実態調査で現状・課題を明らかにした。今後の利活用策提案に向けては、将来の木材資源の供給可能量推計や建築・製紙業等での需要との関係の時系列的分析が必要であり、評価に用いたデータ

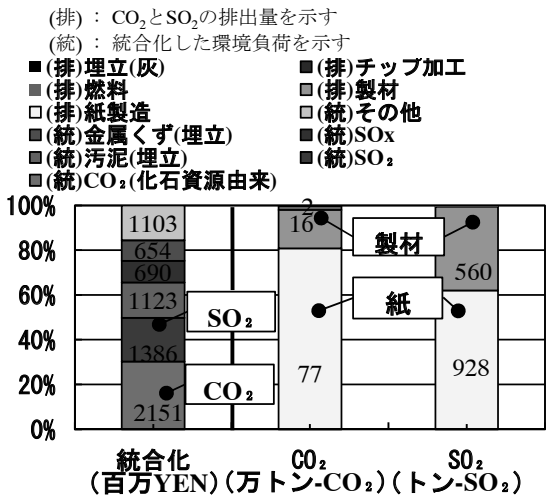


図2　LCA実施結果

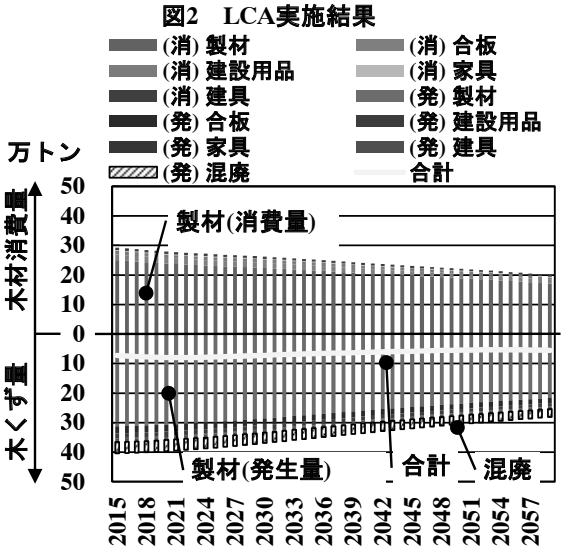


図3　木材消費量・木くず発生量推計

の精度や推計手法の精査・改善も重要な要素である。

7.参考文献

1)林野庁：“森林・林業基本計画の概要”, (2011)　2)日本建築学会　木質バイオマス資源の循環と有効利活用特別研究委員会：“木質バイオマス資源の循環と有効利活用　特別研究委員会報告”, (2012)　3)坂本泰行ほか：“建築における木質バイオマスの有効利活用に関する研究　～炭素蓄積量の観点から見た年次推移分析と効率的利用に向けた検討～、第 9 回日本 LCA 学会研究発表会”, (2014)、pp.284-285

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

ストーンペーパーは、木材パルプを使用した紙の製造と比べ、森林資源や水資源を必要としないため、環境負荷が少ないとされている。著者らの昨年までの研究では製造工程の水消費に伴う環境負荷は評価されているが、パルプ紙の製造に必要な森林育成のために必要な水消費に伴う環境負荷は評価されていない。そこで、この研究では、水消費量の算定方法を検討する。

2.研究手順

2.1.調査範囲

森林範囲は国有林と民有林とし、樹種範囲は天然林と人工林を範囲とする。また、水の収支は入力水を雨水量とし、出力水を蒸散量、利用水とする。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、本研究では上質紙 1m^2 あたりの水消費量を出力水の蒸散量と製紙工程の工業用水の合計値とする。

2.2.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 1m^{2}あたりの雨水量、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 1 に示す。

表 1.製紙 1m^{2}に必要な木材チップ 0.246kg の内訳

樹種		製紙用木材チップの割合[-]…①	%	製紙1m2に必要な木材チップ量[kg]	製紙1m2に必要な木材チップ量（0.246×①）[kg]…②
針葉樹	すぎ	0.2466	25%	0.246	0.06066
	ひのき	0.0543	5%		0.01335
	あかまつ･くろまつ	0.0838	8%		0.02062
	からまつ	0.0840	8%		0.02067
	えぞまつ･とどまつ	0.0302	3%		0.00744
広葉樹	クヌギ	0.1743	17%		0.04287
	コナラ	0.3264	33%		0.08030
合計		1	100%		0.246

表 1 の製紙用木材チップの割合は(1)式から算出した。

製紙に使われる各樹種の割合は、製紙以外のものを含めた木材チップの各樹種の使用割合と同じと仮定した。

$$Ai=Bi/\Sigma Bi \quad \cdots(1)$$

A:製紙用木材チップの樹種ごとの使用量の割合[-]

B:製紙以外のものも含めた木材チップの樹種ごとの使用量 [m^3][2)], i:対象樹種

ここで、クヌギとコナラの Bi が不明なのでクヌギとコナラの Bi を求める。

2.3. クヌギとコナラの Bi の算出

クヌギとコナラの木材チップの生産量(Bi)と素材生産量(Ci)の比は、広葉樹全体の木材チップの生産量(ΣBi)と素材生産量(ΣCi)の比と同じと仮定した。

$$Bi=(\Sigma Bi/\Sigma Ci)\times Ci \quad \cdots(2)$$

C:広葉樹の樹種ごとの素材生産量[m^3][3)]

ここで、クヌギとコナラの Ci は不明である。

2.4. クヌギとコナラの Ci の算出

クヌギとコナラの素材生産量(Ci)と森林蓄積量(Di)の比は、広葉樹全体の素材生産量(ΣCi)と森林蓄積量(ΣDi)の比と同じと仮定した。

$$Ci=(\Sigma Ci/\Sigma Di)\times Di \cdots(3)$$

D: 広葉樹の樹種ごとの森林蓄積量 [m^3][2)]

3.丸太 1kg の育成に必要な蒸散量と工業用水

都道府県合計平均値の対象樹種毎の丸太 1kg の育成に必要な蒸散量と工業用水の算出結果を表 2 に示す。

また、表 2 の計算は 3.1～3.4 で算出した。

表 2.丸太 1kg の育成に必要な水消費量の算出結果

樹種		蒸散量(a)	工業用水(b)	合計値
針葉樹	すぎ	3.38825	0.01333	3.40158
	ひのき	3.05460	0.00293	3.05753
	あかまつ･くろまつ	2.25247	0.00453	2.25700
	からまつ	1.91737	0.00454	1.92191
	えぞまつ･とどまつ	2.25934	0.00164	2.26098
広葉樹		1.94630	0.02709	1.97339
広葉樹	クヌギ	0.44264	0.00942	0.45206
	コナラ	0.32496	0.01765	0.34261
	その他	0.03199	0.00002	0.03201

単位：[m^3/1kg･木材]

3.1. 丸太 1kg の育成に必要な蒸散量の算出

(4)式より、都道府県別、対象樹種ごとの丸太 1kg の育成に必要な蒸散量を算定した。

$$Ii=[(Ji\times K\times Li)\div Mi]\div Ni \quad \cdots(4)$$

I:都道府県別の樹種ごとの丸太 1kg の育成に必要な蒸散量[m^3/1kg・木材]

J:都道府県別の樹種ごとの立木伐採面積[m^2]

K:都道府県別の FAO 基準蒸散量[mm][5)]

L:樹種ごとの標準伐期齢[年][6)7)]

M:都道府県別の樹種ごとの素材生産量[m^3][3)]

N:樹種ごとの全乾比重[kg/ m^3][8)9)]

都道府県別の樹種ごとの立木伐採面積と樹種ごとの比重

は、不明であるため算出する必要がある。次の方法からこれらの項目を算出した。

3.2.都道府県別の樹種別の立木伐採面積の算出

都道府県別の樹種ごとの立木伐採面積のデータは存在していない。そこで、(5)式より、樹種毎の全国の素材生産量と都道府県別の素材生産量の比に、日本国内全体の立木伐採面積を乗じることで、都道府県別の対象樹種別立木伐採面積を算出した。

$$Ji=O\times(Mi/\Sigma Mi) \quad \ldots(5)$$

O:日本国内全体（民有林+国有林）の立木伐採面積[m^2][3)]

3.3.対象樹種の全乾比重の算出

全乾比重は(6)式[8)]から算出した。含水率は 15%と設定した。

$$Ni=(Pi/(100+15))\times100 \quad \ldots(6)$$

P:気乾比重[g/c m^3][9)]

3.4. 上質紙 1kg に必要な工業用水の算出

既往の研究[1)]で算出されている上質紙 1m^2 に必要な工業用水の数値を用いて、対象樹種別の製紙に使われた木材チップ 1kg に必要な工業用水を(7)式で算出した。

$$Q=R/0.246 \quad \ldots(7)$$

Q:対象樹種別の
製紙に使われた木材チップ 1kg に必要な工業用水[m^3/1kg・木材]

R:上質紙 1m^2 あたりの工業用水[m^3/m^2][1)]

4.上質紙 1m^2 に必要な水消費量

表 2 に示した丸太 1kg の育成に必要な蒸散量と工業用水に表 1 で示した上質紙 1m^2 を製造するために必要な木材チップの重量を乗じて、上質紙 1m^2 の製造に必要な水消費量を求め、表 3 に示した。

表 3.上質紙 1m^2 に必要な水消費量

樹種		蒸散量 (a×②)	工業用水 (b×②)	合計
針葉樹	すぎ	0.2055	0.013331	0.2188
	ひのき	0.0408	0.002933	0.0437
	あかまつ・くろまつ	0.0464	0.004531	0.0510
	からまつ	0.0396	0.004543	0.0442
	えぞまつ・とどまつ	0.0168	0.001635	0.0184
広葉樹	クヌギ	0.0190	0.009421	0.0284
	コナラ	0.0261	0.017648	0.0437
合計		0.3942	0.054043	0.4230

単位:m^3

5.考察・課題

表 3 の蒸散量と工業用水の合計値を比較すると、約 140 倍蒸散量の方が大きい数値となった。これは、伐採されるまでの育林年数分の蒸散量であるためである。また、表 3 の樹種別の水消費量の中でスギの蒸散量が、水消費量合計値の 51.7%占めている。これは、表 1 に示したように、製紙用木材チップ使用量の割合が大きく、また、表 2 の丸太 1kg に必要な蒸散量が対象樹種の中では大きい数値であるからである。

本研究では、広葉樹の対象樹種はクヌギ、コナラの 2 種類としたため、針葉樹に比べ対象樹種が少ない広葉樹のデータには不確実性が大きい。製紙に使われる広葉樹の樹種を増やして水消費量の計算をする必要がある。

5.上質紙とストーンペーパーのインベントリ分析

表 4 にストーンペーパーと森林育成のための蒸散量を加えた上質紙のインベントリ分析結果を示す。

表 4. ストーンペーパーと上質紙のインベントリ分析

			ストーンペーパー	上質紙
消費負荷	枯渇資源	一般炭	0.01706313	2.06E-02
		原料炭	0.00083228	2.13E-03
		原油	0.08844584	5.04E-02
		天然ガス	0.02214285	8.62E-03
		石灰石	0.19528493	3.91E-02
	再生可能資源	木材		2.46E-01
		森林育成のための蒸散量		4.23E-01
		工業用水（m^3/m^2）	0.000024	1.33E-02
環境排出負荷	大気	CO_2	0.442334	2.19E-01
		CH_4	0.0003331	2.04E-04
		N_2O	1.6537E-05	1.08E-05
		NOx	8.9582E-05	3.74E-04
		NO_x（地表付近）	3.6735E-06	7.47E-08
		PM10（地表付近）	6.0366E-11	6.11E-10
		SO_2	7.26E-05	1.61E-04
		SO_x	2.4537E-05	2.01E-04
		ばいじん	1.0259E-05	5.43E-05
		炭化水素	2.8505E-06	1.64E-06
	水域	COD		1.31E-03
		N total		2.45E-05
		P total		6.14E-06
	土壌	焼却灰	0.108	2.40E-02

6.まとめ

表 4 にストーンペーパーと上質紙のインベントリ分析結果を比較した。上質紙の再生可能性資源に注目したとき、木材を原料とすることから、ストーンペーパーに比べ再生可能資源の使用量が多い。環境影響評価は今後の課題としたい。

7.参考文献

1) 篠崎信晴: “ストーンペーパーの環境影響評価”, LCA フォーラム,(2014)
2) 林野庁：木材需給報告書 1-2 樹種別素材生産量(2012)
3) 林野庁:木材需給報告書　1-2-2 素材需給の動向,素材需要量(2012)
4) 林野庁：森林資源の現況（2012）
5) 独立行政法人 農業環境技術研究所:モデル結合型作物気象データベース（2012）
6) 島根県「市町村森林整備計画」(2013)
7) 神奈川県　鎌倉市　「市町村森林整備計画」(2013)
8) 日本工業標準調査会: 文献 ID729: JIS Z 2101: 2009 木材の試験方法(2009)
9) 原色木材大図鑑,保育社,(1962)

南海トラフ巨大地震による住宅被害からの災害廃棄物の発生量の把握
－三重県におけるケース－

Understanding of the amount of disaster waste from the residential damage by great earthquakes along the Nankai trough -case of Mie prefecture-

牧歩嵩 [1)]、○佐尾博志*[1)]、前田真佐樹 [1)]、大西暁生 [1)]
Hodaka Maki, Hirosi Sao, Masaki Maeda, Akio Onishi
1) 東京都市大学
*hsao@tcu.ac.jp

1. はじめに

南海トラフ巨大地震の影響により日本の太平洋側の広範囲の地域で甚大な被害が出ることが懸念されているが、震災によって大量に発生する災害廃棄物に対する検討は未だ不十分である。そのため本研究では、南海トラフ巨大地震によって引き起こされる津波による住宅被害からの災害廃棄物の発生量を推計する。対象地域は三重県であり、1km^{2}メッシュごと(6,020 メッシュ）で、2010 年から 2050 年まで 5 年間隔で人口ならび住宅量を推計する。そして、ある任意の期間の地震によって発生した津波による住宅被害の災害廃棄物の発生量を把握する。

2. 人口及び世帯主数の推計

人口及び世帯主数の推計にはコーホート要因法を用いた。人口推計には、死亡率 [1)]、合計特殊出生率 [1)]、男女出生率 [1)]、2005 年 [2)]と 2010 年の人口 [3)]から算出した男女 5 歳階級別の純移動率の値をもとに、2010 年から 2050 年の人口を 5 年間隔で行った。また、世帯主数は、2005 年と 2010 年の世帯主数 [1)]をもとに算出した男女 5 歳階級別の世帯主率を男女 5 歳階級別の人口に乗じることで推計した。

図 1 に男女別の人口の推計結果を示す。この図より、性別では、どの時点においても、男性よりも女性の方が多い。また、男女ともに、2010 年から徐々に減少しており、2050 年では 2010 年と比べ、男性は約 24%、女性は約 25%減少した。

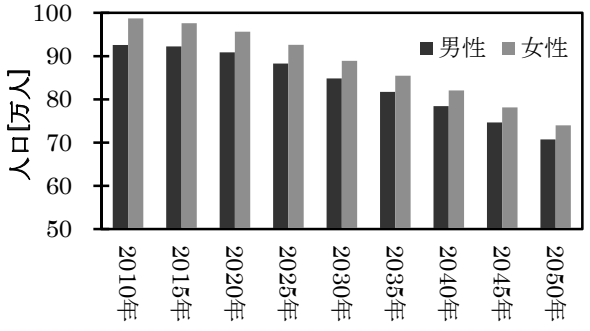


図 1　人口の推計結果

3. 一般住宅のライフサイクル推計

2010 年から 2050 年の住宅の延べ床面積（以後、需要量と称す）を推計するには、住宅の建て方別（2 階以下を戸建て住宅、3 階以上を集合住宅）かつ構造別（木造、非木造）の世帯主 1 人あたりの延べ床面積を算出する必要がある。そこで、住宅の建て方別構造別の需要量は、メッシュごとの延べ床面積 [3)]の値をもとに、メッシュごとの建て方別の世帯主の値 [3)]及び建て方別の延べ床面積 [4)]の値、県単位である建て方別かつ構造別の延床面積 [1)]の値、市町単位である建て方別かつ構造別の総数 [1)]の値をもとに算出し、その割合を用いた。住宅の建て方別構造別の世帯主数は、メッシュごとの建て方別の世帯主の割合 [3)]、市町単位である建て方別かつ構造別の総数 [1)]の値をもとに推計し、その割合を用いた。4 区分にした延べ床面積及び世帯主数を用いて算出した世帯主 1 人あたりの延べ床面積と、推計した世帯主数を乗じることで、2050 年までの住宅の需要量を求めた。

次に、2010 年から 2050 年までの住宅の建築量（以後、残存量と称す）を推計するにあたり、建て方構造別かつ築年数別の総数 [1)]の値をもとに算定し、その割合を用いた。

最後に、推計した需要量から残存量を引いた場合、マイナスになった分をその年の住宅の投入量とした。プラスになった場合、プラスの分を空き家として扱い、その年の投入量をゼロとした。この投入量は、5 年後の推計を行うとき残存量として扱う。廃棄量は、任意の期間の 5 年前の期間の残存量に廃棄率 [4,5,6,7,8,9)]を乗じることで算出した。

図 2 に三重県における住宅の投入量の推計結果を示す。なお、住宅量は人口に比例するため、図 1 の人口の推計結果と同様の推移となる。しかし、人口の推計結果が 2015 の時点で減少しているにもかかわらず、図 2 の投入量の推計結果では 2015 年までわずかながら増加している。これは、人口が多い地域で住宅の量が 2015 年まで増加するためである。

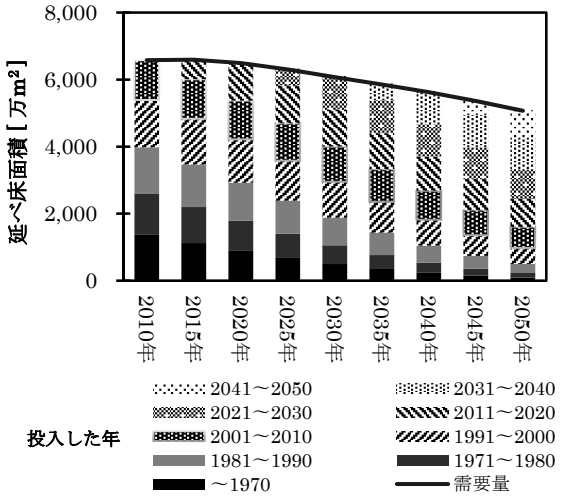


図２　三重県における住宅の投入量の推計結果

4. 津波による住宅の災害廃棄物の発生量

災害廃棄物の発生量は 5 年間隔で推計した投入量と残存量にマテリアル原単位[10]を構造別に乗じて推計した。なお、津波による浸水域の地域[11]のみ行った。

三重県における災害廃棄物の発生量の推計結果を図 3 に示す。図 2 に示したように、住宅の量は 2015 年まで増えるのにも関わらず、図 3 の災害廃棄物量は 2015 年の段階から減り始めている。これは、住宅の量が増えるのは人口の増加が起こっている一部の地域で見られる現象である。つまり、津波の浸水域内の大半の地域では住宅の量が増えないため、2015 年から災害廃棄物の量が減少すると考えられる。また、図 2 の住宅の量は、2050 年では 2010 年と比べ、約 23%減少している。それに対して、津波による災害廃棄物の量は、2050 年では 2010 年と比べ、約 31%減少しており、住宅の量より減る割合が大きい。この現象も、地域の人口差によるものと考えられる。

図 4 は三重県における災害廃棄物の発生量の空間分布を示しており、海沿いの人口が多い津市や四日市市、伊勢市等の地域に災害廃棄物の発生量が多いことがわかる。また、2010 年と 2050 年を比較すると、全体的には災害廃棄物の発生量が減っている地域が多くなっているが、一部の地域においては、2010 年から 2050 年にかけて災害廃棄物が増加していることがわかる。これは人口の増加が要因になっていると考えられる。

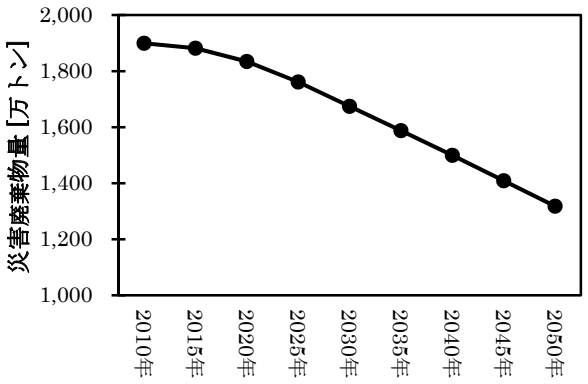


図３　三重県における災害廃棄物の発生量の推計結果

謝辞

本研究は、環境省の環境研究総合推進費（3K143015，代表：田畑智博）と科学研究費補助金（26340104，代表：大西暁生）の支援により実施された。ここに記して、深謝する。また、推計において、内閣府の「南海トラフの巨大地震モデル検討会において検討された震度分布・浸水域等に係るデータ」を利用している。

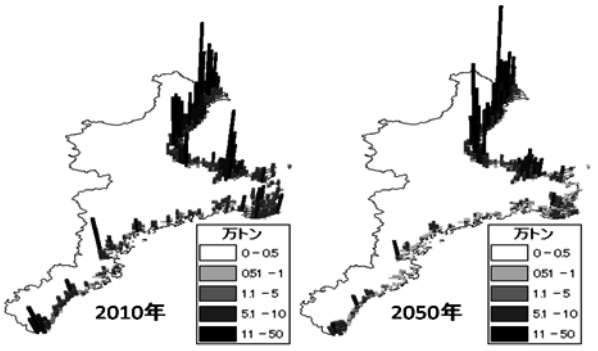


図４　三重県における災害廃棄物の発生量の空間分布

引用文献

1) 独立行政法人統計センター：政府統計の総合窓口 GL02020101, <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do>,（参照：2014-08-14）
2) 総務省統計局：平成 17 年国勢調査地域メッシュ統計（CD-ROM）
3) 総務省統計局：平成 22 年国勢調査地域メッシュ統計（CD-ROM）
4) ESRI ジャパン:ArcGIS data collection 詳細地図 2012（CD-ROM）
5) 小松幸夫，加藤裕久，吉田倬郎，野城智：日本建築学会計画系論文報告，39，(1992)，pp.101-110
6) 小見康夫，栗田紀之：日本建築学会計画論文集 ，75，(2010)，pp.2459-2464
7) Nomura, K : KEIO Discussion Paper, 99, (2005)
8) Nomura, K and F. Momose : OECD Working Party on National Accounts, (2008)
9) 長岡耕平，谷川寛樹，古田登，東修，大西暁生，石峰，井村秀文：環境情報科学論文集，23，(2009)，pp.83-88
10) 長岡耕平，藤原 梓，谷川寛樹：土木学会関西支部年次講演会，(2008)，pp.7-16
11) 内閣府　南海トラフ巨大地震モデル検討会：津波浸水深データ（CD-ROM)，(2012)

災害廃棄物発生量予測を目的とした
家庭用耐久消費財保有数量の推計モデルの構築

Construction of a model to estimate household durable goods possession intending to estimate waste generated by natural disaster

○山中優奈 [1)]、張 欧 [1)]、蔡 佩宜 [1)]、田畑智博*[1)]
Yuna Yamanaka, Ou Zhang, Peii Tsai, Tomohiro Tabata
1) 神戸大学
*tabata@people.kobe-u.ac.jp

1. はじめに

日本は、東日本大震災をはじめ多くの震災に遭ってきた。その際避けられないのが災害廃棄物の問題である。短期間に大量に発生する災害廃棄物は復興の妨げともなるため、より迅速な処理が求められる。その適格な処理計画のためには、第一に災害廃棄物がどれだけ発生するかの把握が重要となる。

現在発生量を求める手法としては、廃棄物の発生原単位を用いたものがある。発生原単位には、過去の大震災のデータを基に被害棟数当たりの廃棄物発生量を算出したものや、建物の解体時のがれき発生量を算出したものがある。しかし、これらは建物そのものから出るがれき発生量を推計したものであり、家屋内の耐久消費財を考慮していない。耐久消費財は質量で考えればがれきに比べて小さいが、日本の総世帯の耐久消費財総所有額は GDP の 27%にも相当する [1),2)]ことから、発災に伴う経済的な影響は大きいといえる。また、被災する耐久消費財の種類と量が詳細に把握できれば、リサイクルの計画も立てやすくなる。

そこで本研究では、家庭の耐久所費財を対象に、災害廃棄物量推計の第一段階として、世帯人数や居住地域といった世帯情報を考慮した保有数量の推計手法を構築することを目的とする。

2. 研究の方法

2.1 耐久消費財の保有データの整理

全国消費実態調査のアンケート元データとなるミクロデータ [3)] を用いる。全国消費実態調査は 5 年に一度行われており、耐久消費財所有数量に関して公表されているのは、2 人以上の世帯、単身世帯別等の 1000 世帯当たりの保有数量である。ミクロデータを用いることによって、世帯人数等の世帯情報別の細かい推計が可能となる。ミクロデータは入手できる最新であった平成 16 年調査分を用いた。なお、サンプル数は 47,797 であった。

平成 16 年全国消費実態調査では、40 項目が調査対象となっている。本研究では、分析の精度を上げるために全国消費実態調査の分類項目に基づき耐久消費財を表 1 の 5 つにグループ分けした。また調査項目に関しては最新の平成 26 年調査に合わせ、調査項目から除外されているものは本研究では対象外とした。いくつかの項目が一つにまとめられているもの(「プラズマテレビ」「液晶テレビ」「カラーテレビ」→「テレビ」等)に関しては項目を同じようにまとめた。

2.2 重回帰分析

分析には、各世帯情報と耐久消費財保有数量の関係を明らかにするため重回帰分析を用いた。目的変数に「各グループの総所有数量」、説明変数に世帯情報として「世帯人数」「世帯主の年齢」「延床面積」「3 大都市圏か否か」「住居形態」を用いた。ここで 3 大都市圏と

表 1　耐久消費財グループ分け

1 家事用耐久財	電子レンジ 自動炊飯器 冷蔵庫 電気掃除機 洗濯機 食器洗い機
2 冷暖房・空調用器具	ルームエアコン
3 一般家具	たんす 食堂セット 茶だんす・食器戸棚 サイドボード・リビングボード 鏡台 ベッド・ソファーベッド
4 自動車	自動車
5 教養娯楽用耐久財	テレビ ビデオレコーダー（DVD含む） パソコン カメラ ビデオカメラ ピアノ 書斎・学習用机

表 2　住居形態の分類

住居形態1＝1	一戸建て×持家
住居形態2＝1	一戸建て×賃貸
住居形態3＝1	集合住宅×持家
住居形態1＝2＝3＝0	集合住宅×賃貸

は、全国消費実態調査で規定される関東・中京・京阪神各大都市圏を示す。また住居形態に関しては、ミクロデータを表 2 のように 4 項目に分類しダミー変数を用いて重回帰分析を行った。

3. 結果と考察

3.1 重回帰分析の結果

グループごとの重回帰分析の結果を次式で示す。

y=a(世帯人数)+b(世帯主の年齢)+c(延床面積)
+d(3 大都市圏か否か)+e(住居形態 1)
+f(住居形態 2)+g(住居形態 3)+h

a~g の各係数と、定数項 h の値を表 3 に示す。t 値は、住居形態 2 の結果のみ 0.04～1.17 であったが、他はすべて 2 以上となり、有意性が認められた。この結果より、世帯人数や 3 大都市圏に住んでいるか否かといった情報が、所有数量に大きく関わることが示された。

3.2 兵庫県でのケーススタディ

上述の結果の妥当性を確認するため、兵庫県の 3 大都市圏(神戸市)、非 3 大都市圏(豊岡市)を対象として、表 3 の結果を用いて耐久消費財の所有台数を算出した。世帯情報として計算に用いるデータは、平成 17 年国勢調査 [2] の公表データである。また、平成 16 年全国消費実態調査結果と結果の比較を行った。但し、全国消費実態調査の公表データでは市町村ごとのデータがなかったため、神戸市・豊岡市がそれぞれ該当する大都市・小都市 A の地域別データを用いた。

結果を図 1、図 2 に示す。図 2 の公表データに比べ、図 1 の計算結果は全体的に数量が大幅に少ない値となった。この原因として、全国消費実態調査は、国勢調査が対象としている飲食店を営む併用住宅の世帯や学生の単身世帯を調査対象外としている、等の理由が考えられる。しかし、大都市に比べて小都市のほうが自動車の世帯保有数が多いといった 2 つの結果に共通する特徴も見られることから、今回導きだした重回帰式を用いて、地域差を考慮した推計ができる可能性があるのではないかと示唆された。

4. おわりに

本研究では、災害廃棄物発生量の推計を目的として、世帯人数や居住地域といった世帯情報を考慮した家庭の耐久消費財所有数量の推計を行った。全国消費実態調査のミクロデータを用いた重回帰分析の結果、公表データと比べて数量が少ないという相違を含みつつも、ある程度の地域差を考慮できる推計式を導くことができた。しかし、今回表せるものはあくまでも災害廃棄物になり得るポテンシャルであり、実際の廃棄物量ではない。今後は更なる推計式の精度の向上に加え、いつ起こるかわからない災害に備えた将来推計、実際の震災を想定した被害率の考慮等が必要となる。また、家庭の耐久消費財には、テレビや冷蔵庫等リサイクルできる貴重な資源が多く含まれる。大量に耐久消費財が廃棄となる災害時の被災家電リサイクルの可能性についても検討していきたい。

表 3　重回帰分析の結果

	a	b	c	d	e	f	g	h
1	0.21	0.0087	0.0011	0.066	0.34	0.066	0.17	2.83
2	0.13	-0.0016	0.0009	0.79	0.81	0.20	0.53	-0.17
3	0.86	0.050	0.0030	-0.19	1.32	-0.021	1.02	-0.90
4	0.24	-0.0086	0.0005	-0.31	0.18	0.023	-0.08	0.54
5	1.05	-0.032	0.0017	0.94	1.37	0.35	1.48	2.15

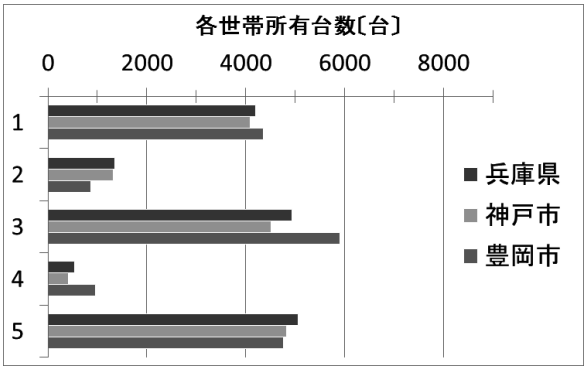


図 1　平成 17 年国勢調査を用いた計算結果

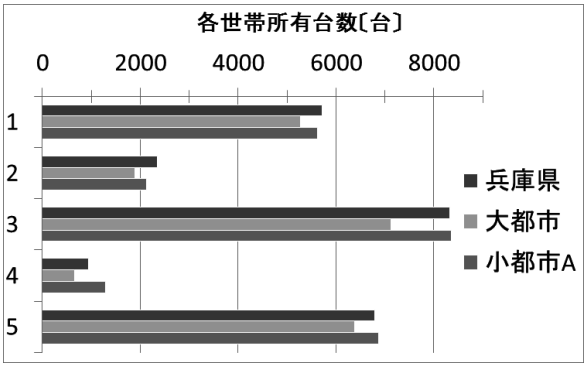


図 2　平成 16 年全国消費実態調査公表データ

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。ここに記して、謝意を表す。

参考文献

1) 損害保険料率算出機構 : 家財の地震被害予測手法に関する研究(その 1), (2007)
2) 総務省 : 平成 17 年、22 年国勢調査, (2010,2005), http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2010/
3) 総務省：平成 16 年全国消費実態調査ミクロデータ, (2004)

放射線による影響を含めた食品の環境評価

The environment value of the food including influence by radiation

○大内初音*[1)]、伊坪徳宏[2)]
Hatsune Ouchi, Norihiro Itsubo
1) 東京都市大学
* g1131036@tcu.ac.jp

1. はじめに

日本の自然放射線からの年間被ばく量(内部被ばくを含む)は従来 1.5mSv/年とされてきたが、近年その数値が見直された、2.1mSv/年が妥当であるとされた(表 1)。上方修正された要因は経口摂取由来の被ばく量算定において、Po210 が過小評価されていたためである。その結果、食品由来の線量が最大と見積もられている。近年、欧州員会が検討している環境フットプリントでは、14 種の影響領域の中に放射線を含めたように、LCA において放射線の影響を評価するための手法開発や事例研究が求められるようになっている。LCA ではこれまで工業製品を対象とした分析が多かったが、近年食品に関する評価が増えている。しかし、食品に対する LCA の多くは CO_2 や GHG のみに注目したものが多く、放射線のえいきょうについて算定したものはない。また、Po210 も含めた食品に対する影響評価を算定した論文の多くは海外であり、国内での研究例は少ない。

表 1　日本(1992 年と 2011 年)と世界平均の一人あたりの年間実効線量の比較

	日本（1992）	日本（2011）	世界平均
宇宙	0.29	0.3	0.39
大地	0.38	0.33	0.48
経口摂取	0.22	0.99	0.29
吸入摂取	0.59	0.48	1.26

出典：新版 生活環境放射線

2. 研究目的

日本では Po210 に関する論文の多くは煙草(吸入摂取)による影響を評価したものが多く、食品(経口摂取)における評価を行ったものは少ない。海外での方が注目され研究されている。しかし、日本特有の食習慣より日本人こそ食品に対する Po210 の影響評価を行うべきであり、Po210 に対する認識をより普及させていくべきである。また Po210 以外にも多くの食品由来の放射性物質は存在するため、それらも評価対象として、Po、U、Cs などの食品由来の放射性物質の内部被ばくによる影響を損失余命で評価する。また、CO_2 の排出による影響と対比して、地球温暖化の相互関係についても定量的に考察する。

3. 方法

本研究では、新版 生活環境放射線にて掲載された国内に流通する 137 品目を対象として環境評価を実施する。食品 137 品目を表したものは表 2 に表す。

表 2　本研究の計算対象 137 品目とその分類

	分類	品目	サンプル数
Ⅰ	穀類	米、パン、麺、とうもろこし	13
	ジャガイモ	サツマイモ、ジャガイモ、タロイモ	4
	砂糖	はちみつ	1
	豆類	豆腐、納豆、小豆	7
	ナッツ、種	ヘーゼルナッツ	3
Ⅱ	野菜	人参、大根、玉ねぎ、南瓜	22
	果実	イチゴ、オレンジ、バナナ、スイカ、メロン	13
	きのこ	しいたけ、なめこ	3
Ⅲ	藻類	わかめ	4
Ⅳ	魚介類	ツナ、タコ、エビ	27
Ⅴ	肉類	牛肉、豚肉、鶏肉	9
	卵	卵	1
	乳製品	牛乳、チーズ、ヨーグルト	4
	油脂	バター、マーガリン	2

VI	菓子類	クラッカー、キャンディー、チョコレート	6
	調味料・飲料	日本酒、ビール、お茶、コーヒー	10
	香辛料	ソース、ペッパー	8
		合計	137

出典：新版 生活環境放射線

3.1. 評価対象物質

本研究の評価対象物質は、動植物体を構成する 9 必須元素として含まれる炭素、水素、カリウム(C14、H31、K40)等の放射性同位体を除いた、トリウム、ラジウム 4226、ポロニウム 210、鉛 210 等の自然放射性核種 8 種である。

表 3 に本研究において評価対象物質となる放射性核種の名称と環境放射線データベースより得た物質ごとの濃度の範囲を表す。

表 3　各放射性核種の食品中濃度

放射性核種	濃度（Bq/kg）
Sr90	N.D.～9.9
Cs137	N.D.～19
Pu239＋240	N.D.～0.010
U238	N.D.～5.2
Th232	N.D.～0.18
Ra226	N.D.～3.9
Pb210	N.D.～45
Po210	N.D.～120

出典：出典：新版 生活環境放射線

3.2　計算方法

本研究では、食品由来による放射性物質の摂取量、内部被ばくによる発がんリスクの変化、発がんリスクの上昇による損失余命の増分を求め、これらを乗じることで食品由来の放射線影響を損失余命で表した。

3.2.1　実効線量(mSv)

本研究では、ICRP Publ.72 より経口摂取による線量換算係数、「環境放射線データベース」より食品ごとの放射線濃度を入手し、以下の計算式を用いて計算を行った。

預託実効線量

$$H\,(\mathrm{mSv/年}) = \Sigma\ 0.001 \times M \times 365 \times C \times A$$

M : 飲食物摂取量 (単位 : g/日 または ml/日)
「国民健康・栄養の現状～平成 20 年厚生労働省国民健康・栄養調査報告より」の食品群別栄養素等摂取量を用いた

C : 実効線量係数 (単位 : mSv/Bq)
ICRP Publ.72 の経口摂取による線量係数

A : 放射能濃度（単位 : Bq/kg　または Bq/l）
食品試料の核種別の放射能分析データ

3.2.2　損失余命の算定

部位別・男女別・被曝年齢別に推定したがんの罹患者数に応じた DALY の評価を行う。Global Burden of Disease の国別 DALY に、国立がん研究センターがん対策情報センターが公開している全国年齢階級別推定罹患者数を除算することで 1 件あたりの損失余命を算定する。Global Burden of Disease は 0~14、15~29、60+の 3 階級の DALY に分けて、国立がん研究センターがん対策情報センターは 5 歳間隔でデータが公表されている。

$$D_{o,s,a} = \frac{DALY_{o,s,a}}{incidence_{o,s,a}}$$

$DALY_{o,s,a}$: 性別 s が年齢 a における部位 o のがん損失余命(DALY)
$incidence_{o,s,a}$: 性別 s が年齢 a における部位 o の国内罹患者数(inc)

参考文献

1.) 公益財団法人　原子力安全研究協会 ： 新版 生活環境放射線 ,　2011 年 12 月

2.) Tomoko OTA, Tetsuya SANADA, Yoko KASHIWARA, Takao MORIMOTO and Kaneaki SATO：Evaluation for Committed Effective Dose Due to Dietary Foods by the
Intake for Japanese Adults , Jpn. J. Health Phys., 44 (1), 80 — 88 (2009)

3.) Hrayr S. Karagueuzian, Ph.D.（UCLA）, Celia White, MLS, James Sayre, Ph.D. ,　Amos Norman, Ph.D. : Cigarette Smoke Radioactivity and Lung Cancer Risk , Nicotine Tob Res. 2011 Sep 27

宇宙線被ばくによる健康影響を考慮した航空機の LCA

LCA of aircraft in consideration of the health effects cosmic-ray exposure.

○上倉菜緒子*[1)]、伊坪徳宏 [1)]
Naoko Kamikura, Norihiro Itsubo
1) 東京都市大学　環境情報学部
*g1131049@tcu.ac.jp

1.　はじめに

2011 年に発生した東日本大震災により、福島第一原子力発電所にて大量の放射線物質が漏出したことを契機に、放射線に対する社会的関心が高まった。放射線の被ばくは原子力発電のみでなく、食品や宇宙線、室内ラドン、医療など様々な経路がある。国際放射線防護委員会は、ICRP1990 年勧告においてジェット機乗務員の被ばくを職業被ばくとして扱うべきである、という見解を示している。さらに、航空機の操縦士や客室乗務員は、皮膚がんになる可能性が 2 倍になると指摘した論文もある。一方で、航空機乗務員の被ばくに関する研究は、ガイドラインの策定や被ばく量の調査・考察にとどまっており、健康影響を定量的に検討したものはない。一方、LCA では労働環境を影響領域の一つとして含めることが提唱されてきたが、これまでに放射線の職業曝露が LCA に含まれた事例はない。

2.　目的

本研究では、航空機を取り上げて以下の事項を対象にした分析を行う。

(1) 1 回の渡航における乗客・パイロット・キャビンアテンド（CA）の被ばくによる健康影響
(2) パイロット・CA の就業における被ばくによる健康影響
(3) 航空機のライフサイクルに合わせた乗客・パイロット・CA の被ばくによる健康影響と航空機の地球温暖化による影響の比較

放射線による影響を DALY で表すとともに、航空機の温室効果ガス排出による健康影響と比較統合することで、放射線と地球温暖化の定量的な関係について考察する。

3.　評価方法

宇宙放射線量や部位別・男女別・被ばく年齢別の発がん率などのパラメータを収集し、算出式(式 1)より健康影響を評価する。線量の評価は、放射線医学総合研究所が開発したシステム [1)]を用いた。航空機の乗客数、乗客の年齢・性別による割合は、航空会社が公開している機種別のシートマップ、国土交通省航空局によって公開されている「航空旅客動態調査」から算定した。

図 1　算定プロセス

次に健康影響評価について算定式を式 1 に示す。

放射線による健康影響=Σ(生涯発がん率 × 放射線量 × DALYs/incidence)　(式 1)

生涯発がん率 [2)]について記載する。生涯発がん率とは、X 歳の時に Y（Gy）の被ばくした時の生涯における発がん率であり、1Gy 被ばくした時の 10000 人あたりの発がん率で表される。本研究では、パイロットの平均年齢 45 歳、CA の平均年齢 35 歳、平均寿命は厚生労働省　平成 25 年簡易生命表より（男）80.21 歳、（女）86.61 歳とした。対象部位は、2012 年において罹患数が多い胃、肺、大腸、肝臓、前立腺、乳房、子宮の 7 部位 [3)]を対象とする。

表 1　LIME2 によるがんの種類ごとの DALYs/incidence[4)]

がんの種類	DALYs/incidence
卵巣がん	15.279
前立腺がん	5.271
結腸がん	7.138
肺がん	12.587
胃がん	8.087
乳がん	8.282
肝臓がん	10.283
子宮がん	7.033
がん平均	9.339

DALYs/incidence は、日本のがんの種類ごとの年間の損失余命を、発症件数で除したものである。本研究では LIME2 からがんの種類ごとの DF を引用した。(表 1)

航空機の LCCO2 は、炭素繊維協会が公開したデータを用い、これに LIME2 の CO2 の被害係数を乗じることで温暖化による健康影響を求めた。

4. 結果と考察

はじめに、国内線（羽田空港 - 千歳空港の 1 回の渡航）と国際線（羽田空港 - 上海浦東国際空港の 1 回の渡航）における損失余命を図 2 に示す。

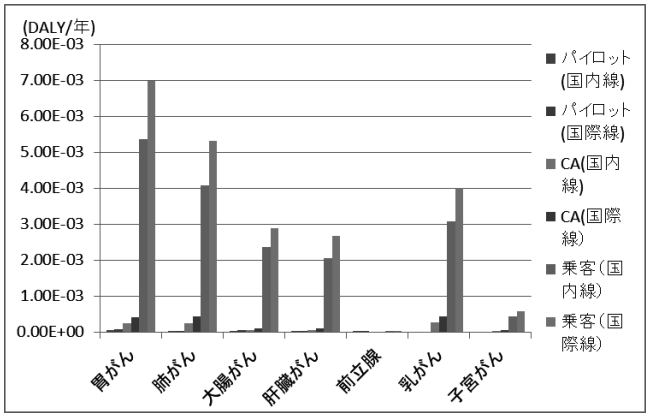


図２　国内線・国際線の１回の渡航における損失余命

羽田－千歳間(2.6μSv)の損失余命は、乗客 188 人に対して 1.74E-02 年、パイロット 2 人に対して 1.29E-04 年、CA8 人に対して 9.31E-04 年となった。羽田－上海間(4.4μSv)の損失余命は、乗客 142 人に対して 2.25E-02 年、パイロット 2 人に対して 2.19E-04 年、CA8 人に対して 1.57E-03 年となった。

次に、パイロットおよび CA の 1 人あたりの就業時の損失余命の分析結果を図 3 に示した。就業時の被ばく線量は 1 か月の渡航回数を 14 回として 206μSv とした。結果は、パイロットの損失余命が 3.67E-04 年、CA の損失余命が 6.58E-04 年となった。

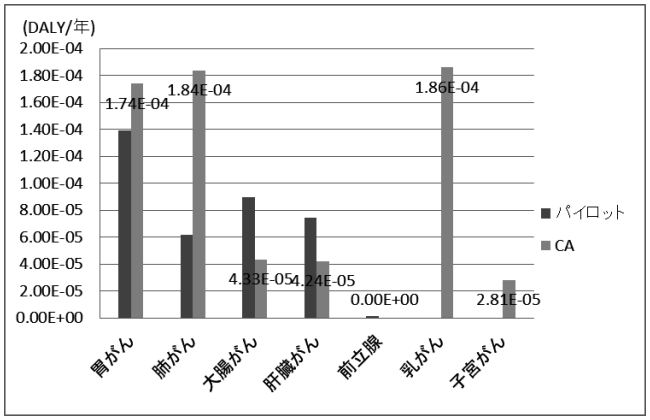


図３　パイロット及び CA の就業時の損失余命

つづいて航空機の CO2 排出量による損失余命と航空機のライフサイクルに合わせた乗客/パイロット/CA の損失余命の比較結果を図 4 に示す。航空機のライフサイクルは年間 2000 便で 10 年間使用したものとした。結果は航空機 1 機のライフサイクルを通じた CO2 排出による損失余命は 3.65E+01 年、宇宙線被ばくによる人間の損失余命は 3.81E+02 年となり、放射線による健康影響は温暖化の約 10 倍であった。放射線の健康影響では、人数が多い乗客の値が大半を占めるが、CA やパイロットへの影響も一割程度を占めた。1 度の渡航による損失余命は、大きな値とはならないものの、回数を重ねることによってその値は無視できないものと考えられる。

5. まとめ

本研究では、航空機を対象に放射線と地球温暖化による健康影響を評価した。使用時の放射線被ばくによる損失余命は、CO2 排出による地球温暖化の健康影響の役 10 倍となった。また本研究では、航空機の運航時の雲の影響は考慮していない。今後、航空機を対象とした LCA を行う際は、労働環境を含む放射線による影響も網羅した分析の必要性が高いことが示された。放射線による影響は性別や年齢によって大きく異なる。利用者の属性を詳細に区分した分析が求められる。

6. 参考文献

1) 独立行政法人　放射線医学総合研究所　航路線量計算システム:“航空機での宇宙線被ばく線量を計算表示するシステム（JISCARD)”
2) 独立行政法人原子力安全基盤機構:“確率論的環境影響評価のための生涯がんリスク解析に関する報告書、(2010)
3) 独立行政法人　国立がん研究センター　がん対策情報センター
4) 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, (2010)

一般住宅を対象とした室内空気質汚染の健康影響評価

Health impact assessment of indoor air quality pollution intended for the general housing

○中屋敷るり、伊坪徳宏
Nakayashiki Ruri, Norihiro Itsubo
東京都市大学
g1131143@tcu.ac.jp

1. はじめに

近年、住宅の高気密化、高断熱化などにより、空調負荷の低減が進んでいる。一方で、換気不足になれば化学物質による空気汚染やラドンの吸入による放射線の影響が増加する可能性がある。

化学物質暴露の主な要因としては、壁材や床材など建材の接着剤や家具の塗料からの揮発などが考えられる。シックハウス症候群に対する対策は、各関係省庁で取り組みが行われており、ホルムアルデヒドは2003 年の建築基準法改正により排出規制が強化された。以降、化学物質の放散量は低減し、シックハウス症候群の発症件数も低下しているが、現在でも 100 件を超える相談件数がある。

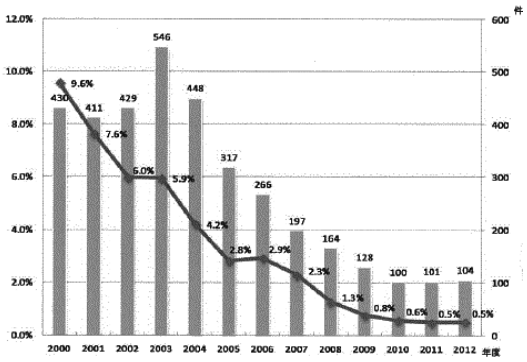


図 1 シックハウス症候群相談件数の推移

室内空気室汚染は成田らが被害係数の開発とモデル住宅を対象にした適用について検討を行った。また、放射線は郷原らが被害係数の開発と住宅を対象にした適用を行った。しかし、包括的な観点から、温暖化、室内空気室汚染、放射線を網羅した分析はまだ行われていないのが現状である。

本研究は一般住宅を対象として、化学物質の室内空気室汚染、放射線による健康影響を評価し、温暖化による健康影響と対比することで、より広範な視点に基づいた建築物の評価を行った。化学物質はとしては、ホルムアルデヒドを、放射線はラドンを対象にした。

2.2 評価対象と評価範囲の設定

本研究では、日本建築学会戸建標準住宅モデルを使用し、換気回数を 0.1 回/h、0.3 回/h、0.5 回/h、1.0 回/h、1.5 回/h と設定する。世帯数は住宅モデルを参考にし、2.58 人と仮定した。下記にステム境界と評価対象を示す。

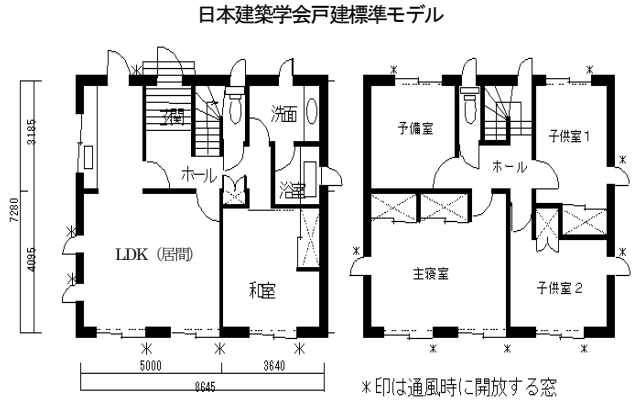


図２ 本研究の評価対象(日本建築学会戸建標準モデル)

評価対象：**日本建築学会戸建標準モデル**
対象物質：**ホルムアルデヒド**
住宅面積：125.86 ㎡
住宅容積：302.09 ㎥
放散速度：0.5 μg/㎥h（JIS・JAS などに表記され、内装仕上げの制限のないF☆☆☆☆を使用した）

2. 計算方法

2.1 化学物質の室内空気質汚染

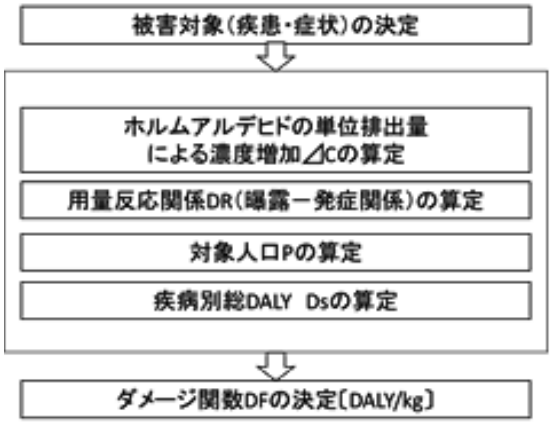


図３ 室内空気質汚染の評価方法のフロー

以下に、化学物質吸入による影響の算出式を下記に示す。

$$EIc = I \times \Delta C \times DR \times P \times Ds$$

EIc：室内化学物質の排出による人間健康影響（DALY）
⊿C：室内化学物質の単位量排出による室内濃度の増加分（$\mu g/m^3$）
DR：用量反応関係｛＝室内化学物質の単位濃度あたりの発症率｝、
P：対象人口（人）
Ds：1 疾病に対する被害量

ΔC の計算は産業技術研究所が開発した iAIR を用いた。DR、Ds は成田らが開発した被害係数の算定に用いたパラメータを用いた。P は 2.58 人と仮定した。

$$\Delta C = C_1 - C_0 = M/Q$$

C_1：汚染物質の室内濃度（$\mu g/m^3$）
C_0：汚染物質の外気濃度（$\mu g/m^3$）
M：汚染物質の排出量（μg/h）
Q：換気量（m^3/h）

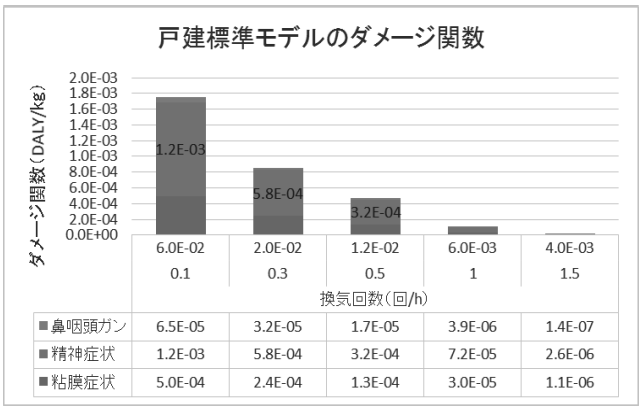
2.2 放射線の吸入による影響評価
以下にラドンの吸入による健康影響の評価式を示した。

$$ECi = I \times \Delta C_{Rn} \times DR_{Rn} \times P \times Ds$$

ECi：ラドンの吸入による人間健康影響(DALY)
⊿C はラドンの室内空気中濃度(ppm)
DR_{Rn}：Rn 吸入による DR 関数
Ds_{cancer}：発がん 1 件あたりの損失余命
DR_{Rn}：郷原が開発した被害係数に利用したパラメータ
Ds_{cancer}：WHO の GBDstudy から 1 件当たりの損失余命

2.3 地球温暖化の評価
インベントリは日本建築学会による報告からライフサイクル全体の CO2 排出量を得た。これに LIME2 における CO2 の被害係数を乗じることで得た。

3. 結果
ホルムアルデヒドの室内濃度を算出したうえで、ダメージ関数を求めるとともに結果の妥当性を検証した。
図 4 にダメージ関数の結果を示す。



	6.0E-02 0.1	2.0E-02 0.3	1.2E-02 0.5	6.0E-03 1	4.0E-03 1.5
■鼻咽頭ガン	6.5E-05	3.2E-05	1.7E-05	3.9E-06	1.4E-07
■精神症状	1.2E-03	5.8E-04	3.2E-04	7.2E-05	2.6E-06
■粘膜症状	5.0E-04	2.4E-04	1.3E-04	3.0E-05	1.1E-06

シックハウス症候群の粘膜症状が最も大きく、次にシックハウス症候群の精神症状が大きかった。鼻咽頭のガンは上記に比べると小さかった。換気回数が多いほど室内の空気が換気されるため化学物質濃度が減少するとともに吸入量と健康影響が低減する傾向が見られた。この結果を地球温暖化や放射線による影響と比較・統合することで、包括的な視点に立った住宅の環境影響評価を行うことが可能になる。

4.まとめ
本研究では、モデル住宅を対象に室内空気質汚染を対象にした評価モデルを更新するとともに、室内空気質の影響の算定とあわせて、地球温暖化や放射線による影響を包括した分析を行った。これらは換気回数に関してトレードオフの関係にある。発表会では、換気回数増加による室内空気質汚染と放射線の影響低減、地球温暖化の増加について定量的な分析結果について報告する。

5. 参考文献
成田菜採：「換気回数の変化による異なる環境影響のライフサイクルインパクト評価」
市原英樹：「各種壁紙のホルムアルデヒドと VOC の放散量の把握」
独立行政法人産業技術総合研究所：iAIR ver.1.0
厚生労働省：シックハウス（室内空気汚染）問題に関する検討会
国土交通省：建築・住宅
文部科学省：「学校環境衛生の基準」の留意事項について
村上周三：「住まいと体」東京大学生産技術研究所
NPO 法人：シックハウス診断士協会　室内空気測定について
一般財団法人 東京顕微鏡院：ホルムアルデヒドとは

観光施設から排出される CO_2 排出量の算定

CO_2 Emissions of places for amusement

○桜庭 愛美 、稲葉 敦
Kanami Sakurab,Atushi Inaba
工学院大学
*a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

1 はじめに

平成 24 年 3 月 30 日に観光立国推進基本計画が閣議決定され、観光が国の成長戦略の柱の 1 つとされた。2020 年に開催される東京オリンピックに向けて、ツーリズムの CO_2 排出量が増加すると考えられる。ツーリズムの CO_2 削減方法を検討する必要がある。

2 目的

ツーリズムには移動・観光・食事・宿泊という 4 つの要因がある。移動・食事・宿泊についてはすでにいくつかの CO_2 排出量の計算方法が提案されているが、観光については提案されていない。本研究では観光の CO_2 排出量の算定を試みる。

3 方法

観光施設からの CO_2 排出量は、環境省地球環境局地球温暖化対策課の温室効果ガス算定公表制度[1)]における H18～23 年の年間 CO_2 排出量を開示請求により得た。さらに文献[2)]より各施設の年間来場者数、敷地面積、延床面積、入場料、年間売上高を調べ、各施設の CO_2 排出量を分析した。

4 結果

遊園地・テーマパークの年間 CO_2 排出量と年間来場者数の関係を Fig1 に示す。原点に近い左下のデータを拡大したものを Fig2 に示す。Fig1、から年間 CO_2 排出量と年間来場者数が相関していることがわかる。0.0049[kg-CO_2/人]と算定できる。

水族館・動物園・植物園の年間 CO_2 排出量と年間来場者数の関係を Fig3 に示す。Fig3 を見ると点が 2 又に分かれている。下が動物園・植物園で上が水族館であり、いずれも弱い相関が認められる。動物園・植物園；0.0008[kg-CO_2/人]、水族館：0.0044[kg-CO_2/人］と算定できる。

博物館・美術館の年間 CO_2 排出量と年間来場者数の関係を Fig4 に示す。年間 CO_2 排出量と年間来場者数に、弱いが相関が認められる。0.0029[kg- CO_2/人］と算定できる。

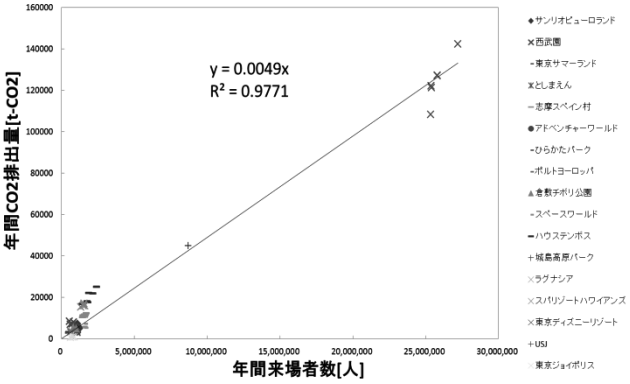


Fig1 各施設の年間 CO_2 排出量と年間来場者数のまとめ

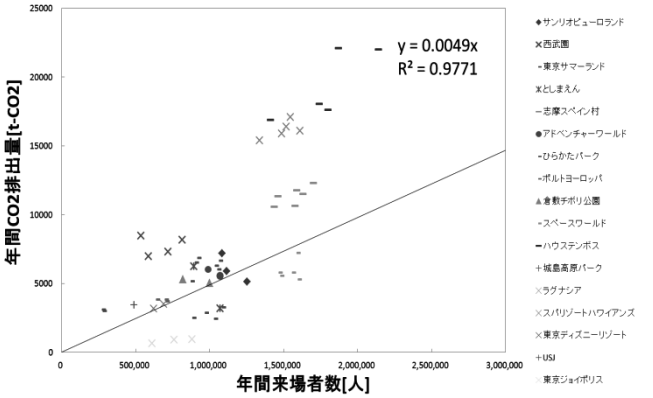


Fig2 各施設の年間 CO_2 排出量と年間来場者数のまとめ

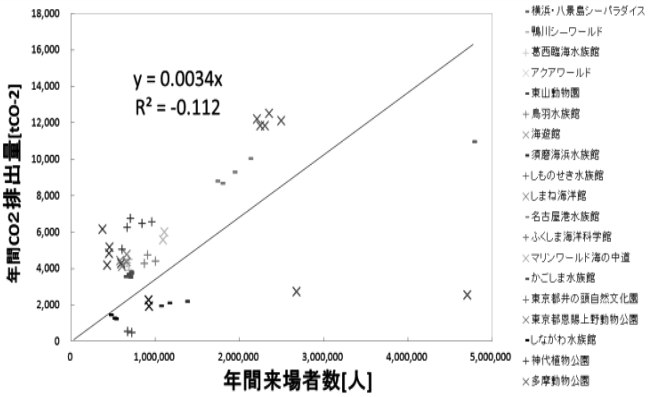


Fig3 各施設の年間 CO_2 排出量と年間来場者数のまとめ

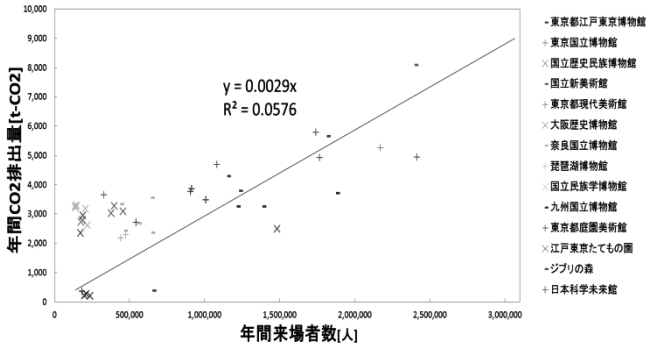


Fig4 各施設の年間 CO_2 排出量と年間来場者数のまとめ

5　ケーススタディ

5.1　方法

東京ディズニーリゾートへの旅行（日帰り・1 泊 2 日）でケーススタディを行い、4 つの要因を比較することで、ツーリズムでの CO_2 排出量削減方法を検討した。移動については柴原ら[3]、食事については風間ら[4]、宿泊については玉利ら[5] を参考に推計を行った。

5.2　結果

5.2.1　日帰り観光

新宿駅から東京ディズニーリゾートまで中型バスで移動する。東京ディズニーランドでの CO_2 排出量 Fig1 より 4.82[kg-CO_2/人]とする。昼食（パスタ）と夕食（天ぷら・赤飯）を食べ、帰りも中型バスで新宿駅へ移動する

5.2.2　1 泊 2 日観光

１日目：大阪駅から東京ディズニーリゾートまで中型バスで移動する。東京ディズニーランドでの CO_2 排出量は Fig1 より 4.82[kg-CO_2/人とする。日帰りと同様に昼食と夕食を食べる。宿泊はディズニーアンバサダーホテルへ宿泊する。

２日目：観光の東京ディスニーシーでの CO_2 排出量は Fig1 より 4.82[kg-CO_2/人]とする。朝食（鮭の和風焼き・赤飯）と昼食（パスタ）と夕食（ポーク料理・赤飯）を食べ、帰りも中型バスで大阪駅へ移動する。

5.3　結果

ケーススタディの推計結果を Fig5 に示す。全体の CO_2 排出量は、日帰りで 6.07[kg-CO_2/人]、1 泊 2 日で 26.7[kg-CO_2/人]となる。Fig5 から観光の割合は新宿駅からの日帰りで約 80%、大阪駅 1 泊 2 日で約 35%を占めることがわかった。

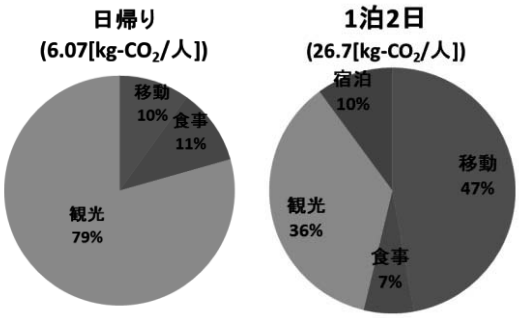


Fig5　ケーススタディのまとめ

6　考察及びまとめ

今回のケーススタディでは、日帰りでは観光要因、1 泊 2 日では移動要因の CO_2 排出量が多い結果となった。観光施設から出る CO_2 排出量はかなり多く、観光施設の自主的な省エネ対策が必要とされる。

移動では、新幹線や鉄道に移動手段を変えると事で CO_2 排出量を削減することが出来る。たとえば、1 泊 2 日の観光の場合中型バスを新幹線に変えると、全体で約 7.66%、移動だけで約 14.6%の削減となる。

食事では観光施設でとる分の食事を家から持参する事や、一度に作ることが出来き、多くの人とシェアして食べる事が出来るビュッフェに変える事で削減することが出来ると考える。

宿泊では、宿泊施設をシティ・リゾートホテルから、ビジネスホテルに変える事や、客室が多く、宿泊金額も安いホテルに変えると削減できると考える。

7　参考文献

(1) 環境省地球環境局地球温暖化対策課の温室効果ガス算定公表制度

(2) 綜合ユニコム株式会社, “レジャー＆レクパーク総覧”(H19.H21.H23.H25)

(3) 柴原尚希、伊藤友香、森本涼子、加藤博和: “ニューツーリズム研究会中間報告書”,(2012)P92-96

(4) 風間理応,”食事の CO_2 排出量推計方法の提案と海外ツアーの分析”,(2010)P10-32

(5) 玉利有香　“ニューツーリズム研究会中間報告書”,(2012) P97-100

小規模電力取引市場における家庭の行動特性の把握

Behavioral characteristics of house hold in the micro electricity transaction market

○原田航希[1)]・吉川直樹[1)]・天野耕二[1)]
Koki Harada, Naoki Yoshikawa, Koji Amano
1)立命館大学
*rv0021fk@kankyou system.jp

1.　はじめに

近年、化石燃料使用量の急増による地球規模での温暖化進行に伴い、クリーンエネルギーとして注目を集める太陽光発電の導入が進んでいる。加えて 2016 年より、国内における電力の完全自由化の段階的実行が決定している。これらの現状を受け、今後は太陽光発電を持つ一般家庭世帯も電力供給者として、電力取引市場への参入促進が見通されている。

本研究では、家庭などの小規模主体間で電力の取引を行う市場を想定する。太陽光発電設置住宅間における電力取引市場における世帯の行動特性を経済実験により把握することを目的とする。

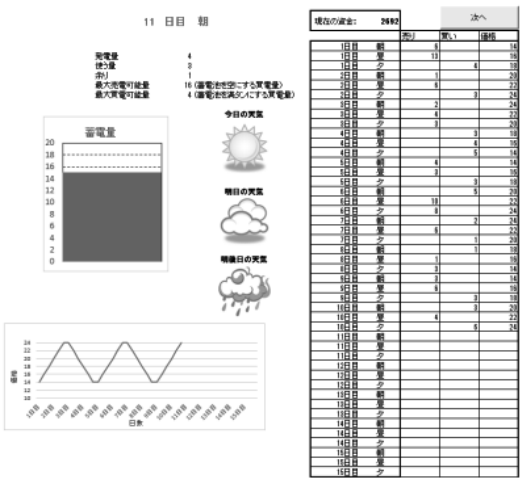


図 1 経済実験ワークシート

2.　方法

2.1 経済実験概要

本研究では 5 人から 15 人程度の被験者を対象に、仮想の小規模電力市場での電力取引の経済実験を行った。被験者は太陽光発電設置住宅居住者として、蓄電池を用い、買電と売電により利益最大化を目指す。実験には図 1 のワークシートを用いる。図 1 は 11 日目の朝まで取引を行った例である。1 日を朝、昼、晩に分け、それぞれの時間帯に取引を実行する。取引は 10 日間程度を目安に行う。被験者には天候および天候状況による太陽電池の発電量、現在の蓄電量、家庭内消費電力量の情報を与え、希望する売電、買電量の注文取引を行う。価格は今後余剰電力の買取価格が公共電力料金より下落することを想定し、1 kWh あたり 14 円、16 円、18 円、20 円、22 円、24 円の価格帯を設定し、被験者全体の注文の需給から取引毎に価格を決定する。また、蓄電容量を超える蓄電を行った場合、超過電力分は放電され、蓄電容量が不足した場合は、不足分の電力を 1kWh あたり 25 円の公共電力料金で購入するという、取引リスクを設けている。この経済実験における蓄電容量と損益の算出式を表 1 に記す。

表 1　蓄電容量と損益の計算方法

蓄電容量計算		
蓄電量(kWh)	=	(太陽電池による発電量＋買電量)-(家庭内消費電力量+売電量
損益計算		
利益(円)	=	売電量(kWh)*取引金額(円)
損害(円)	=	買電量(kWh)*取引金額(円)*(-1)
蓄電容量不足発生時		
不足補填金額(円)	=	不足電力量(kWh)*公共電力料金(円)*(-1)
		※公共電力料金は25円で固定値

2.2　経済実験内容

最初に 2014 年 12 月 16 日に実施した経済実験についての概要を記述する。実験の設定条件を表 2 に示す。実験を行う前に、調整と修正を兼ねたデモ実験を行った。その中で、需給バランスがとれており、注文取引が成立する実験条件を選定していった。実験では蓄電容量を 20 kWh、天候情報を 3 日分与える設定にした。蓄電容量、与える天候情報を大きく設定すると、蓄電容量超過と蓄電容量不足の取引リスクが軽減し、取引量が極端に少なくなり、デモ実験における取引市場が実際には機能しなかった。その結果を受け、表 2 の実験条件を選定し実験を行った。

表 2　実験の設定

被験者数	14 人
蓄電容量	20kWh
取引日数	10 日
天候情報	3 日分
晴天日	7 日
曇り日	1 日
雨天日	2 日

3. 結果と考察

実験の結果と考察を行う。実験は10 日間を想定し、30 回の取引を行った。この実験により、利益最大化を目的としながらも、買電行動を起こさないという行動を選択する被験者の存在を確認した。一度も買い注文を行わなかった被験者は14 名中２名存在し、全体の 14%を占めた。その集計結果を表３に示す。

表３　経済実験　買い注文集計結果

経済実験A被験者1 人1回取引あたりの買い注文平均(kWh)

	価格					
被験者	14円	16円	18円	20円	22円	24円
A	1.6	1.3	0.9	0.6	0.2	0.1
B	4.6	2.9	2.4	1.8	1.2	0.1
C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
D	0.7	0.6	0.3	0.3	0.3	0.2
E	0.4	0.4	0.1	0.1	0.1	0.0
F	1.5	0.9	0.1	0.0	0.0	0.0
G	3.3	2.5	1.3	0.4	0.1	0.0
H	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I	7.9	5.2	2.4	0.9	0.5	0.4
J	5.3	2.8	0.4	0.0	0.0	0.0
K	3.6	2.2	1.3	0.5	0.3	0.1
L	1.3	1.1	0.9	0.7	0.4	0.3
M	3.8	2.8	0.2	0.0	0.0	0.0
N	1.1	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0

表３は被験者毎の買い注文を価格別に合計した値を取引回数の 30 で除し、１取引あたりの買い注文平均を算出したものである。(kWh/1 取引)

被験者Ｃおよび Ｈが買い注文を行わない理由として、リスク回避が考えられる。被験者は利益最大化を目的に取引を実行している。その中で最大のリスクは、蓄電池容量不足による最高料金での電力購入と、蓄電容量超過による放電である。この被験者２名は、太陽光発電による自家発電分の電力量だけで、家庭の消費電力量をまかない、余剰分のみを売電するという行動を選択したことが考えられる。また、14 名の被験者のうち、６名の被験者が蓄電容量の不足を発生させた。しかし、買い注文を行わなかった被験者ＣおよびＨは、蓄電容量不足を発生させずに 30 回の取引を終えた。この結果からも、被験者ＣおよびＨは、売電のみに集中するという点から、蓄電容量不足による損失を回避する行動特性が見受けられる。

さらに、買い注文を行わない被験者Ｃおよび Ｈは、１取引電力量あたりの利益額が高いことが分かった。その計算結果を以下の表４に示す。総取引電力量(kWh)は、計 30 回の電力取引で売買した電力量の総計である。利益総額(円)は、30 回の電力取引の中で被験者が獲得した利益額である。利益総額を総取引電力量で除したものを、１取引電力量当たりの利益額(円/kWh)として計算した。

この結果を受け、買わない行動が与える、１取引あたりの利益額増加への影響力の調査を１つの目的とし、2015 年１月 13 日に再び実施する経済実験の設定条件を検討する。

表４　実験 １取引電力量あたりの利益額(円/kWh)

経済実験A 被験者別 １取引電力量当たりの利益額(円/kWh)

被験者	総取引電力量(kWh)	利益総額(円)	**１取引電力量あたりの利益額(円/kWh)**
C	**23.6**	**552.2**	**23.4**
H	**43.9**	**948.0**	**21.6**
F	48.0	1017.8	21.2
N	49.8	1013.8	20.4
E	46.9	951.6	20.3
K	33.6	676.6	20.1
B	56.6	1130.6	20.0
A	47.9	925.3	19.3
J	49.4	953.0	19.3
D	47.5	892.2	18.8
G	57.0	1043.8	18.3
I	51.5	892.0	17.3
M	50.0	606.8	12.1
L	74.3	844.3	11.4
全被験者平均	48.6	889.1	18.8

4. 今後の予定

2015 年１月 13 日に経済実験を実施する。2014 年 12 月 16 日に実施した設定条件に、蓄電容量、天候情報等の設定条件の変更を行い分析、考察を行う。加えて、この仮想電力取引市場が実際に導入された場合、将来の電力取引市場にどのような影響を与えるのか、シミュレーションを用いて考察する。

5. 謝辞

本研究の一部は、日本生命財団環境問題研究助成の支援を受けて行われた。ここに記して謝意を表する。

6. 参考文献

1) 西条辰義, “実験経済学への招待”, NTT 出版株式会社, 東京都品川区上大崎 3-1-1 JR 東急目黒ビル, (2007 年 11 月 20 日)

2) 山木要一・池田元英, “改訂版よくわかる電力取引入門”, エネルギーフォーラム , 東京都中央区銀座 5-13-3 , (2008 年 11 月)

3) 電気事業連合会: “電気事業連合会”, 電力自由化, (オンライン), 入手先 <http://www.fepc.or.jp/enterprise/jiyuuka/index.html>

4) 関西電力株式会社: “関西電力 HP”, 主な電位料金単価表, (オンライン), 入手先 <http://www.kepco.co.jp/home/ryoukin/unitprice/index.html>

震災後の一般市民のライフスタイルの変化と将来の電源構成受容性調査

Survey on Changes in the lifestyle of citizens after the great earthquake and acceptability of future power configuration

○田中浩二[*1)]、田原聖隆[2)]、中谷隼[3)]、松本真哉[4)]、水野建樹[5)]
Koji Tanaka, Kiyotaka Tahara, Jun Nakatani, Shinya Matsumoto, Tateki Mizuno
1) e.s. feed 株式会社、2) 産業技術総合研究所、3) 東京大学、4) 横浜国立大学、5) 未踏科学技術協会
*rsh24066@nifty.com

1. はじめに

主に化石燃料と原子力で構成されていた我が国の電力エネルギー供給形態が、東日本大震災による福島第一原子力発電所の事故により、極めて不透明な状況にある。一方で、CO_2 など温室効果ガスの排出増加による温暖化の影響がより一層懸念される状況（IPCC 第 5 次報告）となっている。そのため、温暖化対策としての CO_2 削減に向けたライフスタイルの変換を促す方策は、電源構成の大きな変化による影響を抜きには進められなくなった。

将来の電源構成に対する一般市民の選好度は、政府が電力政策を検討する上でも重要である。そのため、現時点での電源構成の変化が一般市民のエネルギー消費に関する意識とライフスタイルにどのような影響を及ぼしているか、さらに、今後の電源について一般市民はどのような構成を望んでいるか、調査した。

2. 調査方法

最初に、エネルギーとライフスタイル調査として、震災以後のわが国のエネルギー政策、電源構成など公開されている各種情報を収集した。図 1. はこれらの情報を整理し、単純化したものである。アンケートではこれを文章化し、判断に必要な情報として提示した。

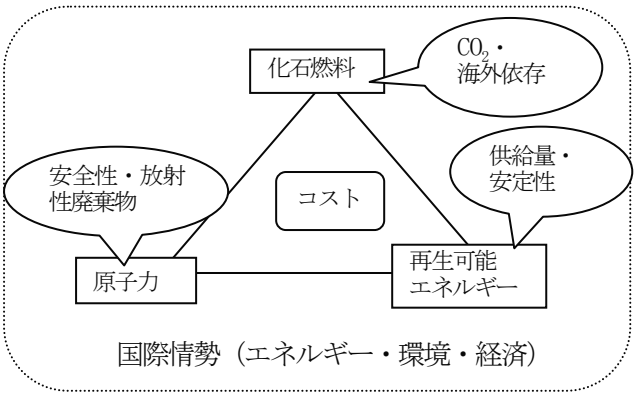


図 1. 電源構成とそれを取り巻く課題

次に、今から 10 年ないし 20 年後の電力エネルギー構成に関する一般市民の意識を調べるためのコンジョイント分析質問票と現在のライフスタイルとの関係を把握するための環境行動質問項目を作成した。これらを用いて、web による全国の成人一般市民を対象にアンケート調査を実施した。調査は 2014 年 3 月 10 日～12 日にかけて実施、得られた有効回答は 6183 件、回答者構成は各県の人口比率、年齢構成比、男女比とほぼ一致させた。

3. 調査結果

3．1 節電および環境意識・行動に関する特徴

環境意識・行動に関する調査結果として、震災後の節電は全体的に高い割合で実施しており、その理由として最も多いのは電気代上昇への対応、ついで電力ひっ迫懸念、原発再稼働への抵抗となっていた。今後節電を続けるかの問いで「そう思う」「ある程度そう思う」を加えると極めて高い結果であった（図 2.）。中でも、比較的強い意志表示である「そう思う」は、年齢が増すとともに多かった。

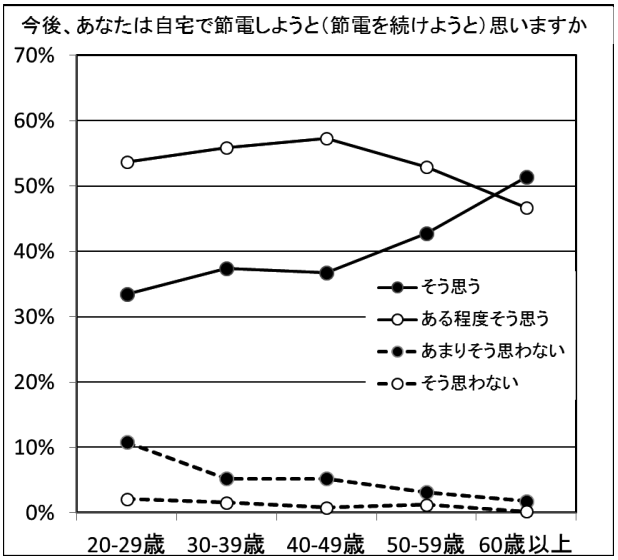


図 2. 現在実施している環境行動（年齢層との関係）

3．2 将来電源構成に関する選好度

将来電源構成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。質問票は図3.に示す電源構成事例を示したもの（A票）と示さないもの（B票）の2種類で行った。 A票とB票の回答者は独立である。表1.のA票で、支払い意思額（MWTP）は、RNW、NCL、FSLのそれぞれの比率を10%上昇させ石炭の比率を10%低下させることに対する値である。また、PTNとSTBは ○Δ× の3

ランクに分けた時の1ランクの変化に対する値である。結果として、電源構成を含めた質問（A票）への回答はそうでない質問（B票）に比べ電力資源の安定性と十分性へのMWTPが低い。これは電力用資源の安定性や十分性に比べて「電源として何を使うか」により強い関心があることを示している。

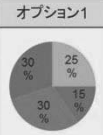
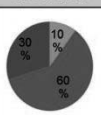
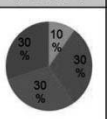
		オプション1	オプション2	オプション3
電源構成	再生可能エネルギー			
	原子力			
	石油・天然ガス			
	石炭			
電気代［円/(世帯・月)］		2000円 高くなる	現状維持	1000円 安くなる
発電用エネルギー資源	十分にあるか	△	○	×
	安定しているか	△	×	△
電力由来のCO_2排出量（現状との差）［kg/(世帯・月)］		－60 kg（かなり減る）	－20 kg（減る）	－20 kg（減る）

図3.　選択型コンジョイント質問票（A票）の例

(A 票)	パラメータ推定値		MWTP 円/(世帯月)
RNW(再生エネルギー)［10%］	0.154	***	578
NCL（原子力）［10%］	- 0.209	***	- 781
FSL（化石燃料）［10%］	0.111	***	415
CST 電気代[千円/(世帯・月)]	- 0.267	***	—
PTN（十分性）［1 ランク］	0.135	***	507
STB（安定性）［1 ランク］	- 0.065	**	- 245
CO_2 ［10kg/(世帯・月)］	- 0.097	***	- 364
(B 票)	パラメータ推定値		MWTP 円/(世帯月)
CST 電気代[千円/(世帯・月)]	- 0.355	***	—
PTN（十分性）［1 ランク］	0.479	***	1,348
STB（安定性）［1 ランク］	0.297	***	835
CO_2 ［10kg/(世帯・月)］	- 0.133	***	- 375

** 5%水準で有意　　*** 1%水準で有意

表 1.　コンジョイント分析結果

また、電源構成を含めた調査（A 票）からは、石炭による発電と比べて再生可能エネルギーや石油・天然ガスによる発電は望ましく、原子力による発電は望ましくないと考えられていることが示された。なお、原発再稼働に対して否定的な意見を持つ回答者は、 節電行動増進の程度が高い回答者グループ（図 4.で※のついた棒グラフ）に多く含まれていることも特徴的であった。

MWTP から選好度を総合的に判断すると、最も強い意志は、原子力は削減すること、ついで再生エネルギーを増加させることとなっている。優先度では、CO_2 を減らすことへの意思はその次に位置している。また、先述の環境行動の調査からは今後とも節電を実施するという意思がくみ取れる。

これらを基に将来の電源構成とその市民への影響について推察した。まず、将来的に原子力の削減量に比べて

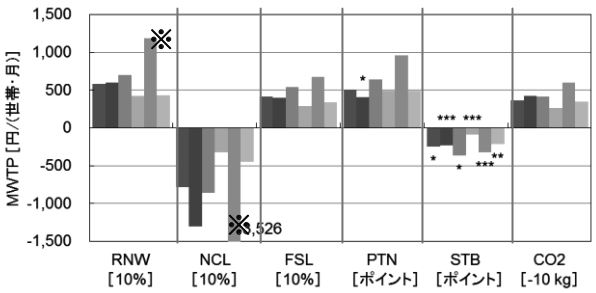


図4.　節電行動程度・理由ごとの MWTP（※本文参照）

再生エネルギー増加量が小さい場合には、化石燃料依存が続くことになり、結果として CO_2 排出は減らない。しかし、市民の希望は CO_2 排出削減であるから、化石燃料を減らすことが必要になる。しかし、実際にそのような施策をとれば電力の燃料不足をもたらす。市民は、この不足分を節電で対処し、CO_2 増加を抑える方向を考えていることになる。一方、削減した原子力以上に再生エネルギーによって電力が賄えるとした場合、逆に電力用燃料が過剰となる。そのため、化石燃料は削減可能となり、結果として CO_2 は削減される。この場合、再生エネルギーの発電単価によっては電力料金が高騰する可能性がある。これに対しても市民は節電で対処する、という考え方をもっていることになる。すなわち、原子力を削減し、かつ CO_2 を削減するという方向を実現するために、市民は「節電行動」を今後のライフスタイルにとって極めて重要と位置付けていると考えられる。

4．まとめ

東日本大震災による原発事故の後、市民のライフスタイルや環境行動・意識が震災以前に比べてどのように変化し、また今後の望ましい電源構成の姿をどの捉えているかアンケート調査を行った。将来の電源構成への期待として、CO_2削減への関心はあるものの原発依存を減らすことに対する優先度が最も高く、かつ節電への指向が強かった。この結果を受け止めるならば、節電を単に個人的努力に委ねるだけでなく、政策決定者には消費者を技術的、経済的に支援する政策の策定、例えば民生用省エネ機器の開発・普及促進、さらには省エネをもたらす都市構造や社会インフラ改革が求められる。

謝辞

本調査は一般財団法人新技術振興渡辺記念会平成25年度上期科学技術調査研究助成で実施したものである。

シミュレーション解析を用いたラウンドアバウトにおける環境評価

Environmental assessment of roundabout using a simulation analysis

○奥橋勇登*[1)]、野口淳史[1)]、吉川直樹[1)]、塩見康博[1)]、天野耕二[1)]
Hayato Okuhashi, Atsushi Noguchi, Naoki Yoshikawa, Yasuhiro Shiomi, Koji Amano
1) 立命館大学
* rv0018pp@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

ラウンドアバウトとは、一方通行の環道交通流に優先権のある円形の交差点である。信号交差点や通常の無信号交差点に替わる新たな平面交差部の制御方式として、近年海外で積極的に導入されている。日本においても、安全性、遅れ時間の削減及び環境負荷量の低減などの利点によりラウンドアバウトが注目され、導入に向けた動きが高まっている。ラウンドアバウトの実施経験の少ない我が国では、実走行時の挙動データに基づいて環境負荷量を推定した研究成果の報告数が少ない[1)]。吉岡らは実験用のラウンドアバウトを施工し、車両が実際に走行する際のCO_2排出量と信号交差点でのCO_2排出量を比較し、分析を行った[1)]。また野口らは長野県飯田市東和町のラウンドアバウトを対象に、調達・施工・維持管理・運用・廃棄までの 5 つの段階に分けてライフサイクルを通して環境負荷量を算出し、比較を行った[2)]。しかし昼夜間においての車両挙動の変化については、暗闇により視界が悪い為に速度を抑えるなど、車両挙動に違いが出てくることが予想されているが、実際の走行時の挙動データは報告されていない。

そこで本研究では近年、ラウンドアバウトが導入された滋賀県守山市立田町を対象に、一時停止交差点とラウンドアバウトにおける昼夜間での、実走行時の挙動データに基づいて環境負荷量を比較し、評価を行う。

2. 研究対象

本研究では、滋賀県守山立田町のラウンドアバウトと同交差点のラウンドアバウト導入前を研究対象とする。

対象地点の概要と場所を図 1 に示す。対象地点は、集落が点在する市街化調整区域で、周辺には畑地や田園が広がっている。昼間の交通量は少ないものの、朝夕の幹線道路が渋滞する時間帯に抜け道として車両が通過する。自動車交通量は、朝のピーク時に 666 台／時であり、通学路の指定やバス路線などは無い。立田町交差点では交通事故が 5 年で 9 件（出合頭 9 件の内 2 件は重傷者あり）[2)]発生しており、立安全面の問題が懸念されている。そのため市は安全性の向上のためラウンドアバウトを仮設置した。

ラウンドアバウト施工後の交差点の状況を図 2 に、施工前の交差点の状況を図 3 に示す。

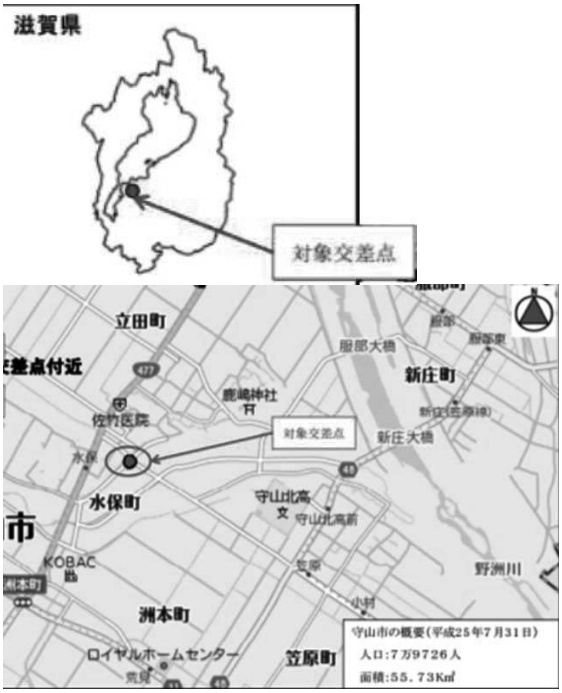


図 1：対象地点と守山市の概要[2)]

図 2：ラウンドアバウト施工後の立田町交差点

図 3：ラウンドアバウト施工前の立田町交差点 [2)]

3. 研究手法

立田町交差点に設置されたカメラによって撮影された動画データを用いて、各通行車両一台につき 0.1 秒間隔で車両挙動を分析する。車両挙動を分析する際には「Traffic Analyzer」[4)]を使用する。調査日時を表 1 に示す。

各時点の車両の加減速状況からを中島ら [5)]による推定式を用いることで燃料消費量を推定し、CO_2換算係数を乗じることで環境負荷量を算定する。用いる推定式を(1)～(4)に示す。(1)～(4)の推定式から、年間の環境負荷量をシミュレーションし分析することで、一時停止交差点およびラウンドアバウトとの比較を行う。

表 1 車両挙動の調査日時

	一時停止交差点	ラウンドアバウト
対象日	2013年11月11日	2014年3月4日
対象時刻(昼)	午後4時～午後5時	
対象時刻(夜)	午後5時～午後6時	

加速	$FC_1=0.5119a+0.2858$	(1)
定常	$FC_2=0.00259V^2+0.0209V+0.1808$	(2)
減速	$FC_3=0.2061a+0.2848$	(3)
アイドリング	$FC_4=0.258$	(4)

FC : 平均燃料消費量 [cc/s]
a : 加速度[m/s^2]
V : 平均速度[m/s]

4. 今後の予定

立田町の一時停止交差点およびラウンドアバウトのビデオ分析を行うことで車両挙動に基づいた環境負荷量の算出を行う。

昼夜間では車両挙動に変化が生じるとされているため、その挙動による環境負荷の変化にも注目し、ビデオ分析を行っていく。

5. 参考文献

1) 吉岡慶祐, 米山喜之, 宗平一徳, 中村英樹, 大口敬: 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 68 (5). (2012)pp.I_1253-I_1259

2) 野口淳史ほか: 土木計画学研究・講演集,50,(2014)pp.ROMBUNNO.170

3) “ラウンドアバウト検討委員会”, 国土交通省, (オンライン), 入手先 <http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/roundabout/doc02.htm>, (参照 2014-12-15)

4) 鈴木一史, 中村英樹: 土木学会論文集 D,62(3) (2006,)pp.276-287

5) 中島ひろ子, 大原浩祉, 小栗康文, 鈴木隆, 吉田正武 :社会法人 自動車技術会 学術講演会前刷集 108(99),(1999),pp13-16

東アジアを中心とする仮想水の概念を用いた水資源効率性の評価に関する研究

A study on evaluation of water resources efficiency using the concept of the virtual water around the East Asia

王芸霖 [1)]、佐尾博志 [1)]、杜金皓 [1)]、石峰 [2)]、○大西暁生*[1)]
Geirin Ou, Hiroshi Sao, Kinkou Tou, Hou Seki, Akio Onishi
1) 東京都市大学, 2) 山東省科学技術発展戦略研究所
* onishi@tcu.ac.jp

1. はじめに

近年、世界各国における国際貿易が盛んになっており、それに伴い、水資源の流出入が促進されている。そのため、一部の地域では水資源を巡り、国際問題に発展する事態にもなっている。本研究では、東アジアを中心とする世界全体での貿易を着目し、仮想水の概念のもと、国際貿易投資研究所（ITI : International Trade and Investment）の国際貿易に関するデータから農業部門、工業部門の国際貿易に伴う仮想投入水量（*VW* : Virtual Water）と現実投入水量（*RW* : *Real Water*）の流出入バランスと水資源依存の関係を明らかにする。

2. データ整備及び水資源効率性の推計方法

2.1 データ整備

本研究では、Oki *et al.*（2004）[1)]で定義されている仮想投入水の概念のもと、水資源の効率性を評価するためには、国際間の貿易額と各国の水資源の使用原単位のデータが必要である。まず、国際間の貿易額については、ITI が作成した「ITI 財別国際貿易マトリックス」[2)]の 2008 年における農業部門（穀物、米、小麦、とうもろこし、大豆）と工業部門（化学品、化学工業品、医薬品及び医薬用品、プラスチック・ゴム、プラスチックの一次製品）を評価対象とする。なお、評価対象国は日本、中国、韓国、インドネシア、マレーシア、フィリピン、シンガポール、タイ、ベトナムとし、一方、地域として、ASEAN4 ヵ国（ブルネイ、カンボジア、ラオス、ミャンマー）、その他のアジア、中東、アフリカ、オセアニア、南/中央アメリカ、NAFTA（アメリカ、カナダ、メキシコ）、および欧州連合（EU : European Union）とした。次に、各国の水資源消費量は Water Footprint Network が公表している農業部門及び工業部門のウォータフットプリント（WF : Water Footprint）[3)]を使用した。ただし、農業部門の WF は生産物別で 1996 年から 2005 年までの平均値が存在するが、一方、工業部門の WF は生産物別にはデータが存在しない。そこで、本研究では、工業部門の水資源の使用量は工業部門全体の 1996 年から 2005 年までの WF の平均値を共通に使用することとする。ただし、農業部門はシンガポール、工業部門では台湾において、WF の値が存在しないため、WF をゼロとして扱った。最後、GDP については、世界銀行（WB : World Bank）[4)]が公表する各国の値を使用する。次に、本研究における水資源の使用原単位は石ら（2012）[5)]と同様に、国内総生産（GDP : Gross Domestic Product）1 単位あたりの水資源の消費量と定義する。

2.2 水資源効率性の推計方法

本研究では、国際貿易に伴う国間の *VW* 及び *RW* の流出入バランスと水資源の依存及び貢献の状況を明らかにするために、財の輸入に伴う節水量（以後、水資源の効率性と称す）を算出する。この式は石ら(2012)[5)]を参考にしており、以下に示す通りである。なお、式(1)は輸入国が自国で仮に財の生産を行う際に必要となる水資源の量を表し、式(2)は輸出国が財の生産を行う際に実際消費している水資源の量を表す。式(3)は仮想投入水と現実投入水の差分であり、これは輸入による水資源の効率性を表している。ちなみに、式(3) の水資源の効率性において、輸入国（*j* 国）の総和（ΣEW_j）はある国の世界に対する貢献度合いであり、一方、輸出国（*i* 国）の総和（ΣEW_i）はある国が各国から受ける恩恵度合いを表し、その一方で、他国の輸入に依存度合いも同時に表している。

【仮想投入水】　$$VW_{ij} = w_j \cdot I_{ij} \quad (1)$$

【現実投入水】　$$RW_{ij} = w_i \cdot E_{ij} \quad (2)$$

【水資源の効率性】　$$EW_{ij} = VW_{ij} - RW_{ij} \quad (3)$$

VW_{ij} : 輸入国が仮に自国で財を生産することで消費することになる水資源の量、w_j : 輸入国の国内総生産 1 単位あたりの水資源の消費量、I_{ij} : *j* 国が *i* 国から輸入する総額、RW_{ij} : 輸出国が財の生産を行う際に実際に消費している水資源の量、w_i : 輸出国の国内総生産 1 単位あたりの水資源の消費量、E_{ij} : *i* 国から *j* 国への輸

出する総額、EW_{ij}：国際貿易に伴う水資源の効率性

3. 国際間の貿易に伴う水資源効率性

農業部門のおける国際間の貿易に伴う水資源効率性を図 1 に示す。なお、図 1 の矢印の太さは水資源効率性の大きさを表している。図 1 より、穀物については、元々やや乾燥した地域での栽培が適しているため、乾燥地域からの輸入が効率的であり、また、EU のように、国内総生産 1 単位あたりの水資源の消費量はあまり低くないが、輸出量が多いため、そのような国に依存している状況もある。

米については、乾燥地帯のアフリカ、湿地地帯のフィリピンや ASEAN 4 ヵ国は湿潤地帯のタイやベトナムに対して依存度が非常に高い。これは、アフリカ、フィリピンや ASEAN 4 ヵ国はタイやベトナムよりも国内総生産 1 単位あたりの水資源の消費量が高く、かつ、輸入量も他の国や地域と比べると多いため、その分依存度合いが強く表れたと考えられる。

小麦については、乾燥地帯や寒冷地帯で栽培され、高温湿潤地域には適さない作物である。そのため、NAFTA や南/中央アメリカ、オセアニアに依存している国が多い。

とうもろこしについては、主に NAFTA、南/中央アメリカで生産が盛んであり、NAFTA では様々な国に輸出しており、さらに、他の国に比べて、国内総生産 1 単位あたりの水資源の消費量も低いため、様々な国で依存されている。一方、南/中央アメリカは主に EU、中東、アフリカに輸出しているが、国内総生産 1 単位あたりの水資源の消費量がさほど低い訳ではないため、生産時に水資源の消費が多い乾燥地帯に依存している。

大豆については、NAFTA と南/中央アメリカがほとんど輸出しており、主な輸入国は中国、EU や日本であるが、水資源効率性が高い国を見ると、日本ではなくタイになっている。これは、日本の国内総生産 1 単位あたりの水資源の消費量が NAFTA よりも高く、南/中央アメリカより若干低く、タイは両国よりも高いため、日本は非効率、タイは効率的になっているということである。

一方、工業部門の国際貿易に伴う水資源の効率性を図 2 に示す。工業部門は、主に EU、NAFTA や中国が様々な国や地域に輸出しており、そして、国内総生産 1 単位あたりの水資源の消費量も比較的に低いことから、他国からしてみれば、輸入に頼る方が効率的と言える。ここで、中東は国内総生産 1 単位あたりの水資源の消費量は低く、輸入量が多い、一方で、アフリカ、ベトナム、ASEAN4 ヵ国の輸入量は少ないものの、国内総生産 1 単位あたりの水資源の消費量が高いため、EU、NAFTA や中国に依存している。

このように、乾燥地帯のアフリカは農業部門及び工業部門においては、様々な国から輸入しており、自国では水使用量の効率化を図っている反面、他国への依存が強いと言える。

謝辞

本研究は文部科学省の委託事業である気候変動リスク情報創生プログラム「課題対応型の精密な影響評価」のもとで行われた．ここに謝意を表する．

引用文献

1) Oki T, Kanae S. : Science Magazine, Vol.313, No.5790, (2006), pp1068-1072

2) 国際貿易投資研究所 ： ITI 財別国際マトリックス (CD-ROM), (2008)

3) Water Footprint Network：Waterstat <http://www.waterfootprint.org/?page=files/WaterStat-ProductWaterFootprints> , (参照 2014-12-16)

4) The World Bank : Data <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD> , (参照 2014-12-16)

5) 石峰, 大西暁生, 森杉雅史 : 水文・水資源学会誌, Vol.25, No.6, (2012), pp362-372

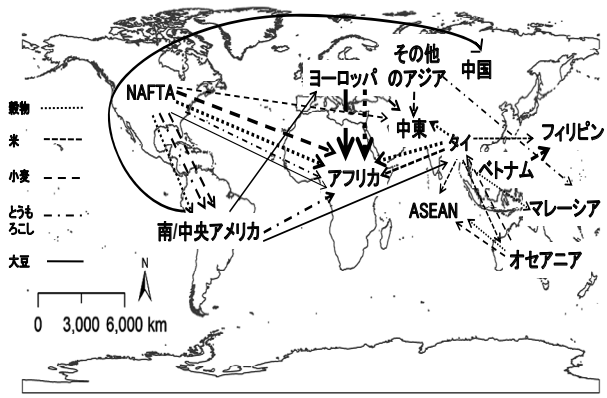


図 1　農業部門の国際貿易に伴う水資源の効率性

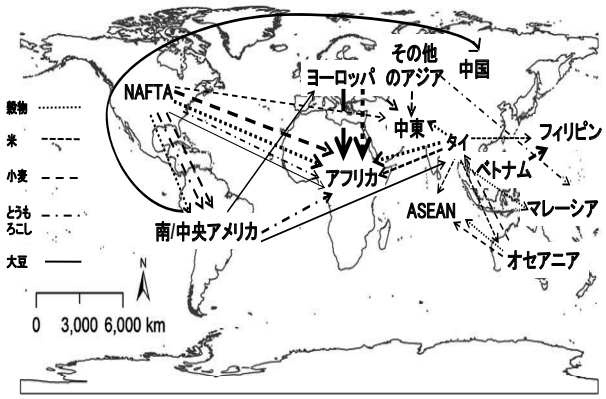


図 2　工業部門の国際貿易に伴う水資源の効率性

持続可能な発展理念に基づいた経済学･ＬＣＡとの融合の検討

Study on the Fusion of Economics and Life Cycle Assessment Based on the Concept of Sustainable Development

○鄭　秀君*[1)]

1）Project supported by Shanghai Cooperative Centre for WEEE Recycling；School of Economics and Management, Shanghai Second Polytechnic University

*cdqyjj02@aliyun.com

1.はじめに

「持続可能な発展」理念は広範囲で様々に議論されているが、環境保護基礎の上に経済開発､社会開発と解されている[(2)]。循環型経済は持続可能な発展社会構築の一つ道である。電子廃棄物リサイクルは循環型経済の重要な内容である。2014 年 11 月末にまで、中国の携帯電話ユーザーは 128103.2 万台、携帯電話の普及率は 93．5 台/百人だった[(3)]。使用済携帯電話は資源性と廃棄物性という二つ性質を持っている、貴金属やレアメタルや多いプラスチック材料などがあって、資源性は主でる。リサイクル価値を持っている。携帯電話リサイクルした時、違った資源化プロセスと方法、回収金属品格及び費やすのエネルギー･ 排出していた環境負荷･ 支払いのコストはそれぞれ違う。学界に使用済携帯電話の環境評価及び経済評価のような珍しい文献が大いに啓発された。本稿では持続可能な発展の理念に基づいて経済学とＬＣＡ融合の観点で使用済み携帯電話リサイクル政策を検討して見た。

2.経済学･ＬＣＡとの融合について

2.1LCA で環境影響評価する

周知のとおりに、学界に LCA 手法で携帯電話回収の環境影響評価されていた論文が多くて、主な研究潮流である。LCA は製品の「ゆりかごから墓場まで」という環境影響評価手法として広く応用されて、もちろん正しくはっきりしていて疑いの余地がない。

伝統的な経済学の「理性経済人仮定」場合によってメーカーの生産目標は利益が極大であるが､循環型経済の特徴は低投入･ 低消耗･ 低排出･ 高効率である。だから、メーカーは回収コストが低くてエネルギーを節約して環境負荷排出が少なかった携帯電話回収プロセスを選ぶのがほしい。政府も「環境･ 経済･ 社会」の３側面を同時に達成がほしい。メーカーも政府も「持続可能な発展」理念と一致していたけど、では具体的にいったいどうすればいいだろうか？「LCA と経済学」融合していたことは大切だろう。つまり LCA と産業経済学、区域経済学、金融学、マクロ経済学、ミクロ経済学、計量経済学などの経済分野の学科を融合して新しい総合分析方法を形成された。本稿では下記検討して見た。

2.2 コスト一収益分析

使用済携帯伝電話リサイクルの利益関係者たちはもっとも使用済携帯伝電話リサイクルの利潤優位を際立たせる。経済性のないリサイクルは永続性がない[(4)]。だから使用済携帯伝電話リサイクルに経済実行可能性評価していたことは必要である。普通の場合「コスト一収益」方法である。回収計画のコストより収益のほうが大きいなら、この回収計画は実行できる。しかも使用済携帯電話材料は金属とプラスチックが多いので市場価格傾向を分析すべきである。なかでも金の価格場合にＧＤＰ･ 利率･ 為替レート･ 政治要因などを分析しいた必要がある。

2.3 リサイクル産業分析

政府は生態環境に介入の一つの有効な手段として、環境保護の産業政策を頒布さ

れた。つまり産業構造、産業組織、産業レイアウトと産業技術から着手することにする。事前に政策目標を厳しく規制する。経済、法律と政府手段で総合な調節する。したがって、リサイクル産業を分析の必要がある。主に分析した内容は次のとおりである。リサイクル産業の経済状況、技術レベル、産業競争力、市場競争、産業組織、産業関連などである。リサイクル産業の発展段階及び国民経済の位置を説明する。リサイクル産業は成長産業であるがリスクもあるので、産業に影響された要因を分析して、産業見込みを予測しなければならない。雇用を増やし、経済成長を促進できる。

2.4 リサイクル政策

使用済携帯電話のリサイクル政策は市場誘導政策と環境規制、国家· 地域· 産業から実行される。政府は市場誘導政策でメーカーと消費者に補助を提供（内部経済化）した。中国での携帯電話回収様子について正式な企業回収、自発的に開催せれた携帯電話回収の公共活動、各地流動小商人から回収された。2012 年、中国「廃棄電気電子製品処理基金徴収使用管理方法」を頒布されて、標準に合った電気回収事業に補助を提供したが、使用済携帯電話回収は補助を提供しない。2013 年年末に「廃棄電気電子製品処理目録調整意見」の中に使用済携帯電話を含めていた。頒布されてから標準に合った使用済携帯電話リサイクル事業に基金補助を提供できる。中国携帯電話リサイクルを促進するかもしれない。

携帯電話中の金属量は減少傾向がある。回収事業家は回収計画、雇用など時考えなければならない。回収技術と設備を研究して、輸出したほうが良い事業発展戦略と言っても過言ではない。失業と不景気を避けて、落ち着いたリサイクル政策は大切である。

2.5 融合

上記のとおりに携帯電話リサイクルした場合に LCA で環境影響評価すると同時にコスト一収益分析やリサイクル産業分析やリサイクル政策など、経済学· ＬＣＡを完璧に融合させていた。持続可能発展理念に達成された。経済分野の産業経済学や地域経済学などの経済理論と LCA を交じていた学科である。大学院は廃棄物工学· ＬＣＡ · 経済学三つの専門科目を設けると提案する。

3.まとめと展望

本稿は経済学· ＬＣＡとの融合について理論面で簡単に検討された。先行研究と実例ないことは本稿の不足し今後の研究方向である。初めて下手な論文を発表していて、読者を少しずつ考えさせれば幸いである。

引用文献

1）矢口克也 : “「持続可能な発展」理念の論点と持続可能性指標” ，入手先〈http://www.ndl.go.jp/jp/diet/publication/refer/pdf/071101.pdf> ，(2014 年 12 月 30 日参照)
2)矢口克也 : “「持続可能な発展」理念の実践過程と到達点” ，入手先〈www.ndl.go.jp/jp/diet/publication/document/2010/.../03.pdf> ，(2014 年 12 月 30 日参照)
3)2014 年 11 月通信業主要指標完成様子（二）， 入手先 <http://www.miit.gov.cn> , (2014 年 12 月 30 日参照)
4)廣瀬武夫 : “廃棄物· リサイクルの 20 年”, 廃棄物学会誌，7(4)，(1996)，PP279-281
5)高橋国彦 : “携帯電話のリサイクル処理方法の比較論”, 化学工学会秋季大会研究発表講演要旨集，39(2007),ppZ108
6)高橋和枝、中村二朗、松野泰也、足立芳寛 : “携帯電話リサイクルによる資源回収効果の推計”，第 5 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集（2010 年 3 月），pp386-387
7)高橋和枝、中村二朗、小田部和美、鶴岡正顯、松野泰、足立芳寛 : “携帯電話からの資源回収とその経済効果および環境負荷”, 日本金属学会志，（2009）N0.9pp747-751

水素社会の実現に向けて

Toward Hydrogen Society

○小林　憲史、稲葉 敦[1*]

Kenji Kobayashi, Atushi Inaba

工学院大学

*a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

1. はじめに

水素は使用段階で CO_2 を排出しない。しかし、製造段階における CO_2 の排出にも留意する必要がある。このため水素の利用は、長期的には再生可能エネルギーによる水の電気分解が、中期的には化石燃料を原料として製造段階で発生する CO_2 を分離貯留(CCS)することが前提となっている。本稿ではあえて、水素製造国での一般電力に CCS がない場合をベースケースとして水素の製造から使用まで、ライフサイクルでの CO_2 排出量を考察した。

2. 本研究の目的

豪州で褐炭のガス化により水素を作り、日本に輸送して燃料電池自動車で 80,000Nm^3/h の水素を使うことを想定して、ライフサイクルでの CO_2 排出量を算定する。水素の海上輸送には、有機ケミカルハイドライド法（以下 OCH と示す）と液化水素法（以下 LH_2 と示す）の 2 つを想定し、それぞれの課題を抽出する。

3. 方法

OCH法は､海外で製造した水素とトルエンを反応させ、メチルシクロヘキサンとして貯蔵・輸送し、国内で脱水素して水素を利用する方法である。常温常圧で貯蔵・輸送が可能であり､水素ガスの約 1/500 の体積で貯蔵をすることができる。システムは実証済みだが、FCV ステーションは概念設計である[5)]。

LH_2 法は、水素ガスを-253℃で、液化した状態で貯蔵・輸送する方法である｡水素ガスの 1/800 の体積で貯蔵することができる。国内想定でのシステムは小規模商業化済みではあるが、大量貯蔵輸送に関しては将来の技術開発を想定した概念設計である[2)]。

①ベースケース

ベースケース作成の前提条件は現状稼働しているものとし、現状で実施されていない工程は将来の開発を想定した数値を採用した。

・製造：褐炭のガス化による水素製造。豪州の電力は 1.04kg-CO_2/kWh とし、天然ガス・褐炭由来の CO_2 は CCS の対象とした。LH_2 法の液化電力の現状値は 12～14kWh/kg-H_2 だが、将来値 6.17kWh/kg-H_2 を用いた[2)]。

・貯蔵・輸送：OCH 法の海上輸送は文献[3)]を用いた。その他の工程は文献[1,2,4,5)]を用いた。LH_2 法の海上輸送の BOG 量は LH_2 船の積載量と揚荷量の差から求めた[5)]。その他の工程は文献[2,7)]を用いた。

・利用：OCH 法では都市ガス改質の水素ステーション値 4.94kWh/kg-H_2[5)]、LH_2 法は有明水素ステーションの値 12.5kWh/kg-H_2 を用いた[5)]。

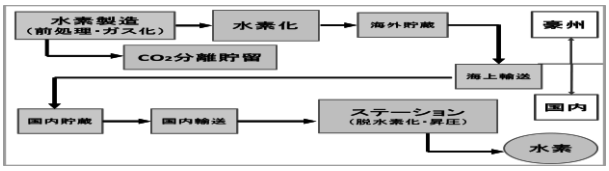


図 1.OCH 法フロー図

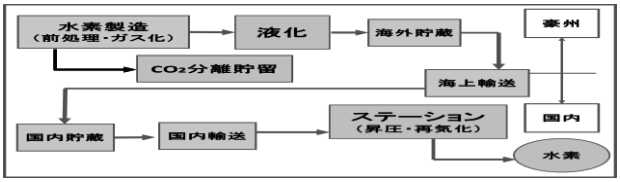


図 2.LH_2 法フロー図

②OCH 法のオプション

(1)IGCC+CCS：豪州の電力は IGCC+CCS 由来とした[6)]。さらに、IGCC+CCS に以下のオプションを加えたケーススタディを実施した。

(2)Alt1：水素化の時の排熱を利用できることを想定した。

(3)Alt2：タンカーを大型化し、輸送量当たりの燃料消費量を実績値から目標値へと変えた[3)]。

(4)Alt3-50%：脱水素化時に CO_2free 熱源を 50%利用するとした。

(5)Alt3-100%：脱水素化時に CO_2free 熱源を 100%利用するとした。

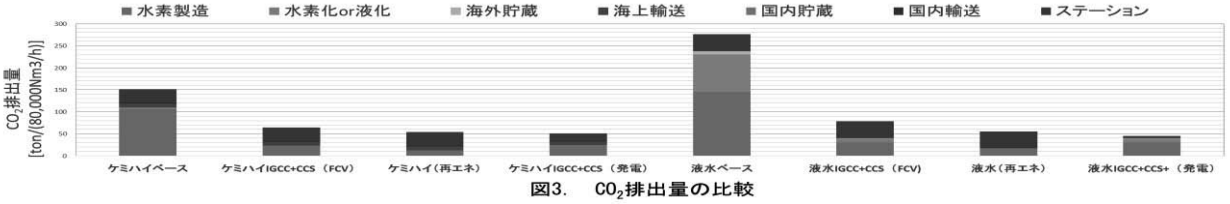


図3.　CO_2排出量の比較

(6)All Option：IGCC+CCS、Alt1、2、3-100%を適用。
(7)電力利用：FCV ではなく発電利用とした。
(8)電源の変更：豪州の電力を再エネ起源とした。
③LH_2法のオプション
(1)IGCC+CCS：豪州の電力は IGCC+CCS 由来とした[6]。さらに、IGCC+CCS のケーススタディに以下のオプションを加えたケーススタディを実施した。
(2)Alt1：国内貯蔵時のボイルオフガス(BOG)を圧縮水素として輸送・利用するとした[7]。
(3)Alt2-50%： ステーションの稼働率を 50%とした。
(4)Alt2-100%：ステーションの稼働率を 100%とした[8]。
(5)All Option：IGCC+CCS、Alt1、2-100%を適用。
(6)電力利用：FCV 利用ではなく発電利用とした。
(7)電源の変更：豪州の電力を再エネ起源とした。

4. 結果

4.1 ベースケースにおける比較

ベースケースと IGCC+CCS を用いた時における CO_2 排出量を比較したものを図 3 に示す。

80,000Nm^3 の水素を製造する際に、ベースケースでは OCH 法では 151.4ton、LH_2 法では 276.2ton の CO_2 を排出している。どちらもガス化での CO_2 排出量が最も多く、また LH_2 法は液化時の排出量も高い。ベースケースでは豪州の電力 1kWh 当たりの CO_2 排出量が高いので、電力消費量に比例して排出量が多くなっている。LH_2 は BOG で消費される水素を製造する分だけ褐炭の必要量が多い。そのため、豪州の電力を IGCC+CCS にすると、CO_2 排出量が大幅に削減できる。また、FCV ステーションの CO_2 排出量は仮定した電力消費量に依存している。

4.2 ケーススタディによる比較

図 4.5 にオプション別の CO_2 排出量を示す。

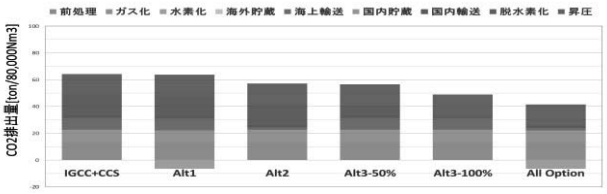


図 4.OCH 法ケーススタディ比較

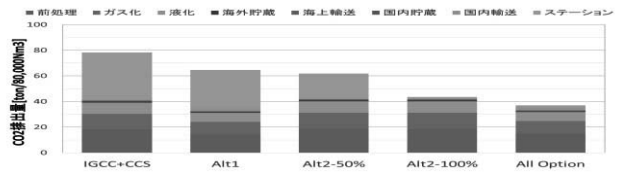


図 5.LH_2 法ケーススタディ比較

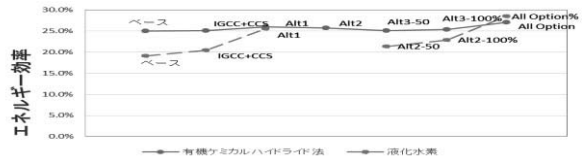


図 6. エネルギー効率の推移

CO_2 排出削減が見られたのは OCH 法では水素化の排熱利用、脱水素化の CO_2free 熱源の利用である。LH_2 法では、BOG の利用とステーションでの稼働効率が課題である。

最高効率を仮定すると、OCH 法では 31.7t、LH_2 法では 36.9t の CO_2 が排出される。ベースケースと比べると大幅な削減が可能である。

エネルギー効率を見ると、最高効率を達成できれば LH_2 法の方が若干高い。

4.3 利用別、電力別の CO_2 排出量

水素を発電に使う場合、及び豪州の電力を再生可能エネルギー電力にした場合を図 3 に示した。発電利用にすると昇圧電力の減少、国内輸送のカットにより製造以降の段階での CO_2 排出量を削減することができる。再生可能エネルギー電力を利用すると海外での CO_2 排出量をさらに削減することができる。

5. まとめ

ケーススタディから、OCH 法では水素化で発生する蒸気を熱として利用すること、脱水素化の熱源に CO_2free 熱を利用することで CO_2 排出量の削減につながり、LH_2 法では液化の電力と BOG の影響による褐炭の使用量を削減することが CO_2 排出削減になる。

6. 参考文献

1) J. Jpan. Inst. Energy, Vol.87, No.9, 2008「有機ハイドライドを用いた水素貯蔵技術のライフサイクル環境分析：エネルギー消費と CO_2 排出」
2) NEDO 成果報告書「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」川崎重工
3) 海上技術安全研究所報告「LCA 解析のための外航貨物船の運航状況分析と海上輸送の大気環境負荷物質の排出係数」
4) PEC-2009L-04「有機ハイドライドを用いた水素の大量輸送の可能性シナリオに関わる調査報告書」JPEC
5)JHFC 報告書「燃料電池システム等実証研究（第 2 期 JHFC プロジェクト）報告書」石油産業活性化センター、日本自動車研究所、エンジニアリング振興協会、日本ガス協会
6) Cambridge University Press「IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage」Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change
7) みずほプレスリリース「輸送用燃料の Well-to-Wheel 評価　日本における輸送用燃料製造（Well-to-Tank）を中心とした温室効果ガス排出量に関する研究報告書」トヨタ自動車・みずほ総研
8) NEDO 成果報告書「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発　次世代技術開発・フィージビリティスタディ等　技術シナリオに関するフィージビリティスタディ等研究開発　水素キャリアに応じたフィージビリティスタディ」岩谷産業・川崎重工・関西電力・清水建設・三菱重工・千代田化工建設

世界における二次銅埋蔵量の推計とそのシナリオ分析

An estimate of secondary copper reserve in the world and its scenario analysis

○水上瑞樹*[1)]、橋本征二 [1)]
Mizuki Mizukami, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学
rv0023sv@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

BRICs 諸国を中心とする国際的な経済成長に伴い、鉱物資源の需要が急速に増大している。2050 年の需要量予測 [1)]によれば、インジウムやガリウムなどのレアメタルに加え、亜鉛や銅などのベースメタルについても、現有埋蔵量の数倍の使用量が予測されている。なかでも銅は、銀に次いで電気抵抗が低く、電線や電気機械などに広く利用され、各国の経済成長に必要不可欠な金属であることから、その使用が制約されると社会全体に大きな影響を及ぼすと考えられる。

このような状況下で、近年では、「都市鉱山」という概念が注目を集めている。この概念は、製品として社会にストックされている鉱物を、都市に存在する鉱山と見立て、これらの二次資源を循環的に利用することで、天然鉱山由来の資源の利用を減らそうとするものである。

銅の都市鉱山という観点では、これまで寺角ら [2)]がボトムアップ手法を用いて国内銅蓄積量、Rauch[3)]がグローバルな銅素材の蓄積量、両角と橋本 [4)5)]がこのうち二次資源として利用可能なものを対象に世界の二次銅埋蔵量の推計を行っている。しかし両角と橋本の研究においては、国際統計におけるスクラップ利用量データの精度に問題があり、埋蔵率推計に課題が残った。また、今後蓄積されると考えられる量も検討されていない。

このようなことから、本研究では、いくつかの国際統計データを用いて循環利用な可能な二次銅の蓄積量（二次銅埋蔵量）を推計する。また、その結果と、いくつかの経済成長に関するシナリオを用いて将来の銅蓄積量および二次銅埋蔵量についてシナリオ分析を行うことを目的とする。

2. 方法

2.1 銅のマテリアルフローと各プロセスにおける物質収支

本研究では、図 1 に示す銅のマテリアルフローに基づき社会に投入される銅の量（製品としての銅利用量）および老廃スクラップの発生量・回収量等を推計し、これをもとに銅蓄積量および二次銅埋蔵量を推計する。

2.2 銅蓄積量および二次銅埋蔵量の推計方法

銅蓄積量および二次銅埋蔵量は以下の式で算出する。

$$S(t)=\sum_i\{U_a(i)\cdot F_a(t-i)\}$$

$$SR(t)=S(t)\cdot r(t)$$

$$S_{pc}(t)=S(t)/P(t)$$

$$SR_{pc}(t)=SR(t)/P(t)$$

$$F_a(y)=\exp[-\{y/Y_a\}^{ba}\cdot\{\Gamma(1+1/b_a)^{ba}\}]$$

ここで、S(t)は t 年における銅蓄積量(t)、$U_a(i)$は i 年における製品 a としての銅利用量(t/y)、$F_a(y)$は製品 a の y 年後の残存率(-)でワイブル関数、SR(t)は t 年における二次銅埋蔵量(t)、r(t)は t 年における製品 a の二次銅埋蔵率(-)、$S_{pc}(t)$は t 年における 1 人あたりの銅蓄積量(t)、P(t)は t 年における人口(人)、$SR_{pc}(t)$は t 年における 1 人あたりの二次銅埋蔵量(t)、Y_aは製品 a の平均使用年数(年)、Γ はガンマ関数、b_aは分布の幅を示すパラメータである。また、製品 a は図 1 に示す 5 分類とする。

2.3 二次銅埋蔵率

二次銅埋蔵率 r(t)は、経済社会に蓄積された銅のうち、経済的に回収可能な二次資源の比率であり、二次銅埋蔵量を推計するための係数である。二次銅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発生量で除すことで算出する。

$$r(t)=RS_{EOL}(t)/GS_{EOL}(t)$$

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発生量(t/y)である。$RS_{EOL}(t)$は以下のように算出する。

$$RS_{EOL}(t)=US(t)-RS_P(t)+S_{ex}(t)-S_{im}(t)$$

$$US(t)=HQS(t)+LQS(t)=\{SFP_p(t)-RC_c(t)\}+\{RC_p(t)-CO_c(t)\}$$

ここで、US(t)は t 年におけるスクラップの利用量(t/y)、$RS_P(t)$は t 年におけ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)、HQS(t)は高品質スクラップの利用量(t/y)、LQS(t)は低品質スクラップの利用量(t/y)、$SFP_p(t)$は中間製品の生産量(t/y)、$RC_c(t)$は精製銅の消費量(t/y)、$RC_p(t)$は精製銅の生産量(t/y)、$CO_c(t)$は銅鉱石の消費量(t/y)である。また、$GS_{EOL}(t)$は以下のように算出する。

$$GS_{EOL}(t)=\sum_i\{U_a(i)\cdot f_a(t-i)\}$$

$$f_a(y)=F_a(y+1)-F(y)$$

ここで、$f_a(y)$は製品 a の y 年後の廃棄率(-)である。

両角と橋本の推計 [4)5)]では二次銅埋蔵率の推計結果で異常値(マイナスの値や 1 以上の値)を示す国があった。これは、老廃スクラップ回収量$RS_{EOL}(t)$の推計値がマイナスとなったり、老廃スクラップ発生量$GS_{EOL}(t)$を上回ったりしたことが原因である。加工スクラップ量$RS_P(t)$や老廃スク

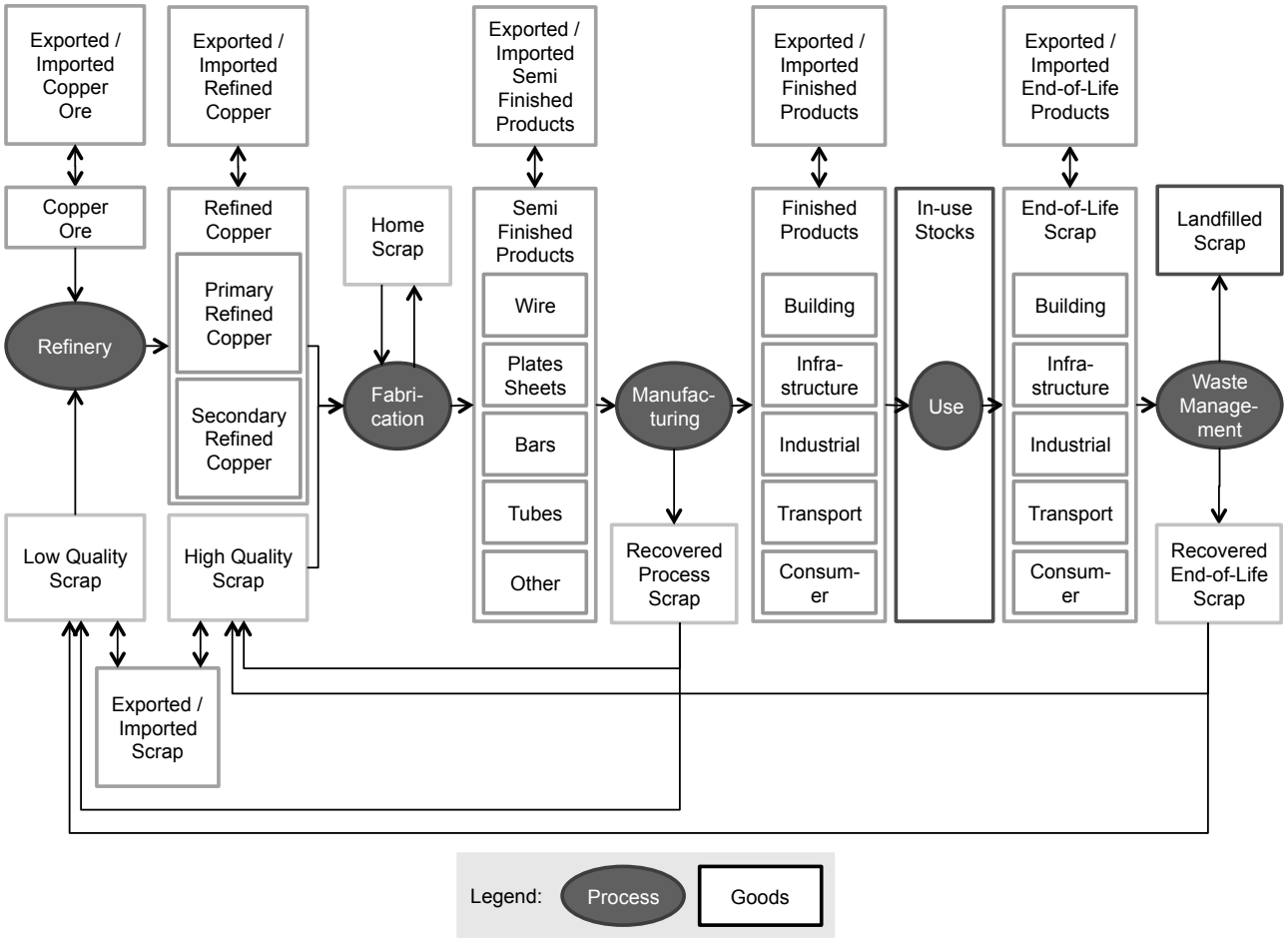


図１　銅のマテリアルフロー

ラップ発生量 $GS_{EOL}(t)$の推計の精度、再利用スクラップ量 US(t)の統計の精度などの要因が重なっての結果であるが、本研究では再利用スクラップ量US(t)について統計値の代わりに上記のような推計を行う。

2.4　用いるデータ

各国の銅鉱石採掘量、精製銅生産量、中間製品生産量、またそれぞれの輸出入量については、ICSG(International Copper Study Group)のデータを用いる。製品としての銅使用量については、ICA(International Copper Association)とIWCC(International Wrought Copper Council)のデータを用いる。加工スクラップ量は各銅製品加工時の歩留まりを用いて推計し、$R_a(y)$の変数である平均使用年数 Y_a やパラメータ b_a については、既存研究の値を参考にしながら、本研究で推計する各種フローの値が銅の物質フローに関する既存研究の値とできるだけ整合するように設定する。

2.5　シナリオ分析

既存の経済成長に関するシナリオと、推計した先進国の銅素材蓄積量の推移を基に、今後発展途上国を中心に蓄積されると考えられる銅素材の量や二次銅埋蔵量をシナリオ分析する。

3.　おわりに

本研究では、銅使用量をいくつかの製品に分け、製品による寿命の違いを反映すること、及びスクラップ利用量を間接的に推計することで、両角と橋本[4)5)]の課題を克服しようと試みているが、要旨提出時点では製品としての銅使用量について長期の時系列データを未入手であり、研究成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。

参考文献

1) 原田幸明、島田正典、井島清：2050 年の金属使用量予測、日本金属学会誌、71(10)、831-839、2007
2) 寺角隆太郎、高橋和枝、醍醐市朗、松野泰也、足立芳寛：ボトムアップ手法による国内銅蓄積量の推計、日本金属学会誌、73(9)、713-719、2009
3) Rauch J.N.: Global mapping of Al, Cu, Fe, and Zn in-use stocks and in-ground resources, PNAS, 106(45), 18920-18925, 2009
4) 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.396-367、2014
5) 橋本征二、両角昌高：世界各国の銅蓄積量・二次銅埋蔵量の推計、環境科学会 2014 年大会講演要旨集、pp. 226-227、2014

建築・住宅における資源ストックの有効利活用に関する研究

～将来推計の観点からみた資源リサイクルの可能性について～

A study on the effective utilization of resources stock in building and housing About the possibility of resource recycling as seen from the point of view of estimated future

○矢代秀平*[1)]、小林謙介[1)]、若林國久[1)]
Shuhei Yashiro, Kensuke Kobayashi, Kunihisa Wakabayashi
1）県立広島大学
*q006052tu@pu-hiroshima.ac.jp

1. はじめに

建築起因の廃棄物は産業廃棄物の約2割を占め、排出量が非常に多い分野である。今後建築における着工量は減少すると予想される一方で建築起因の廃棄物排出量は増加することも考えられる。その為、建築に関わる資源の有効利活用のためには資源消費量と再資源化可能量の時間的推移を考慮した分析が重要である。また、建物解体では、解体方法によって、再資源化可能量が大きく変わる。そのため、長期的な資源の利用量を踏まえた上で、優先的に回収すべき廃棄物の種類を検討する必要がある。現状では木くず等の個別の資源について再資源化可能量をまとめた研究[1)]は存在するものの、建物全体から分析した例はない。

そこで本研究では、現状および将来にわたる資源消費と再資源化可能量を資源別に分析するとともに、推計から考えられる資源の有効利活用を提案することを目的としている。本報告では、資源ごとの資材消費量と再資源化可能量について、現状および将来にわたる予測を行った。その結果を元に、今後の分析への課題や検討を行った。

2. 分析方法と結果

2.1 資源消費量および再資源化可能量の推計

今後の新規着工に伴う資源消費量と建物解体に伴う廃棄物の再資源化による再資源化可能量について分析を試みた。推計において、将来の建物戸数（ストック戸数）については国立社会保障・人口問題研究所の将来人口をもとに想定した。また既存建物の減衰はロジスティック曲線を用いて推計した。なお、建物の半減期は30年とした。スも重要と考えられる。

2.2 金属の再資源化可能量の推計

図1より分類したもののうちで金属に関する資源に着目して分析した(図3)。金属に関しては鉄、銅など金属資源を網羅した分析結果となっている。年を経るほど、資源消費量が減少する一方、再資源化可能量が増加し、将来的に再資源化量のほうが大きくなる可能性が示唆された。特に、鉄の再資源化可能量が大きかった。今後、正確な分析を行うには、複合材等の金属の種類ごとの含有率を分析する必要がある。

トック戸数から減衰を差し引いたものを着工量とした。そのデータをもとに着工面積から資源消費量を、解体面積から廃棄物排出量を算出した。排出廃棄物の種類ごとの再資源化率・埋立処分率をベースとし、年次による変動はないものと仮定して推計した。

図1に示すように、建築全体では資源消費量と再資源化可能量を見ると、資源消費量が徐々に減少し再資源化可能量が増加傾向にあることがわかる。内訳を見ると資源消費では生コンクリート・採石・砕石などのコンクリートに関わるものが多く、次いで製材等の木材が多かった。再資源化量としては、道路の敷石に用いられる路盤材が多かった。

2.2 コンクリートの再資源化可能量の推計

図1よりコンクリートに関わる資源に着目し分析した(図2)。コンクリートは重量ベースで見ると、全体に占める割合が非常に大きい。その資源量は徐々に減少し、今後20年で7～8割減る可能性がある。なお現状では評価できないが、コンクリートを大量に消費する鉄筋コンクリート造(RC造)や鉄骨鉄筋コンクリート造(SRC造)の着工量が著しく減少しているため、本結果よりも減少量はさらに大きくなることも考えられる。一方、再資源化可能量は、大半が路盤材で、20年で1～2割増加する可能性がある。道路需要との関係を分析しながら利活用検討する必要があるほか、建物用の骨材としての利用など他の利活用方法を検討することが必要である。

2.3 木材の再資源化可能量の推計

図1より木材に関する資源について着目して分析した(図4)。木材は、製材が圧倒的に多く、中でも、木造住宅での使用が多かった。木くずは、マテリアルリサイクルだけではなく、サーマルリサイクルの割合も高く、消費量よりは再資源化可能量のほうが小さい結果となった。ただし、再資源化物は大半がチップで、製材の代替品としては利用できない。チップは、パーティクルボードや紙などに再資源化されることが一般的で、少なくとも建築分野で利用されるチップ量よりも大き

く、他分野での活用も重要と考えられる。

2.4 埋立処分量の推計

解体に伴って発生する廃棄物のうち埋立処分される量を推計した(図 5)。埋立処分量は解体量の増加に伴って増える結果となった。但し本検討は、再資源化率を 2005 年ベースとして仮定し、再資源化が進めば、減少の可能性もある。内訳を見るとコンクリート塊・木くず・混合廃棄物が多かった。コンクリート塊は殆どが再資源化されているが、絶対量が多いため、一層の分別回収・再資源化が重要である。

3. 今後の課題

今回の研究の分析では建築分野における需給関係を全体として分析・推計を試算的に実施したが、資材投入量原単位やリサイクル率などのデータが一律(2005 年)であるなど、精度の向上が必要である。また、資源消費量・再資源化可能量だけではなく環境負荷分析や物質ごとの現状を知る上での実態調査等のデータ等を踏まえたうえでの分析が必要であると考える。

4. まとめ

既往研究を踏まえたうえで 2060 年までの建築分野における資源の動向を明らかにした。全体として、将来は再資源化量が資源消費量を上回ると思われるが物質ごとでの差異が大きく、それぞれでの利活用の検討が必要であると思われる。結果としては精度として課題を改善しつつ、実態調査や環境負荷分析を踏まえた上で、需給関係と利活用策の検討が重要と考えられる。

参考文献

1) 柿澤ら：建築・住宅における資源ストックと今後の効率的な資源利用策の検討、第 9 回日本 LCA 学会研究発表会、pp. 338-339、2014. 3

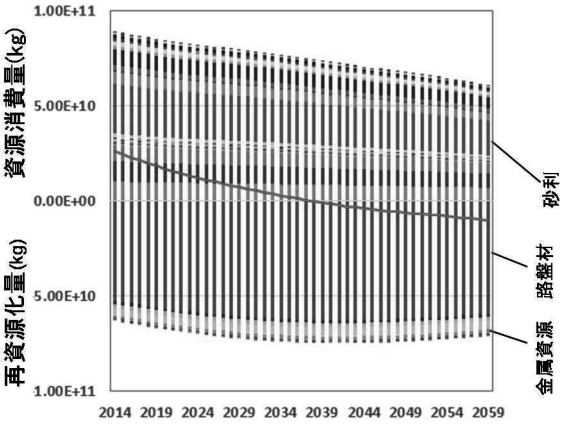


図1 資源消費量と再資源化可能量推計

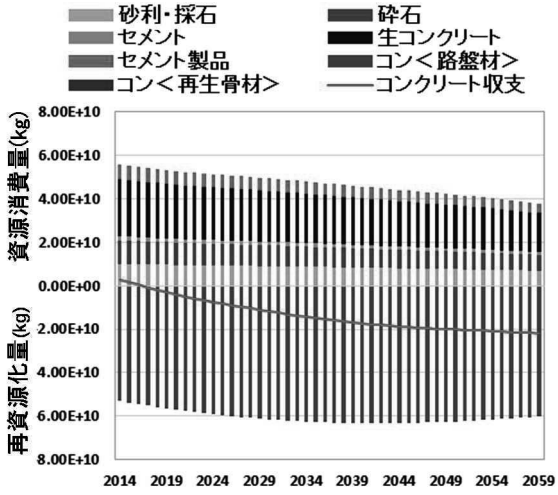


図2 コンクリート資源収支推計

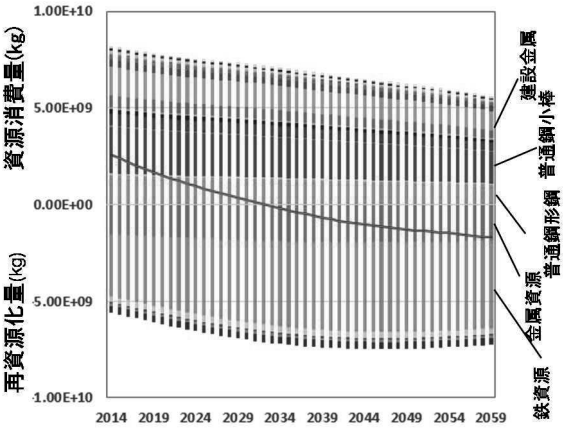


図3 金属資源収支推計

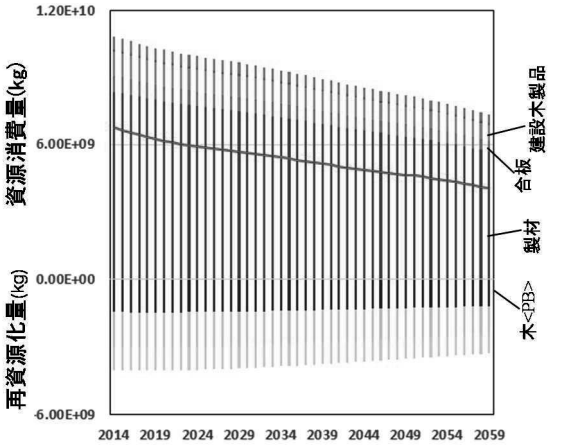


図4 木材資源収支推計

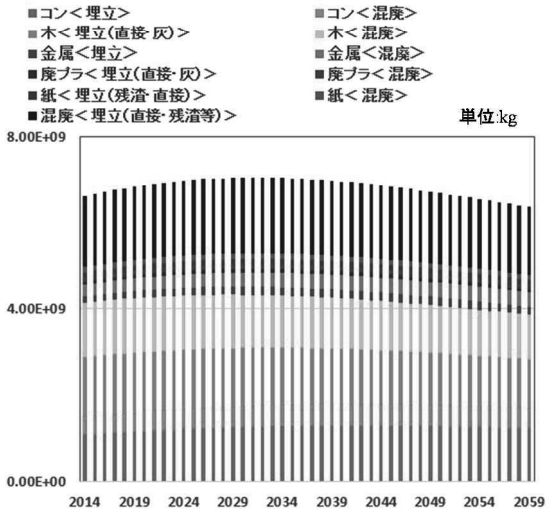


図5 埋立処分量量推計

家庭における潜在的な災害廃棄物発生量に関する研究

Creating a Household Durable Goods` Weight Data to Estimate Disaster Waste

○張欧 [1)]、田畑智博*[1)]、蔡佩宜 [1)]、山中優奈 [1)]
Ou Zhang, Tomohiro Tabata, Peii Tsai, Yuna Yamanaka
1) 神戸大学
*tabata@people.kobe-u.ac.jp

1. はじめに

震災のような大規模な災害が発生した場合、膨大な量の災害廃棄物が発生する。そのため、多くの被災地において、通常通りの廃棄物処理が困難になること予想される。災害廃棄物の撤去や処理は、人命救助や早期復興などの観点から重要であることから、発災時の災害廃棄物の推計は極めて重要である。特に、南海トラフ巨大地震では、地震の規模や大きさ、津波発生の予測結果から、東日本大震災よりも膨大な災害廃棄物が発生することが予想されている。

既存研究における災害廃棄物発生量の推計は、過去の震災等を参考にして発生原単位を作成しているケースが多い。これに対し、南海トラフ巨大地震のように将来発生する可能性がある自然災害の被災地は、過去の被災地とは人口密度や都市形態が異なるために、過去の震災等を参考にして作成した発生原単位では、当てはまりが悪くなる可能性がある。

本研究では、地域内における人工資本ストックの蓄積量に着目し、震災等に伴う人工資本ストックへの被害から、潜在的な災害廃棄物発生量を推計する手法を提案する。特に本研究では家庭の耐久消費財に着目し、耐久消費財別の質量原単位データベースを作成する。また、南海トラフ巨大地震の被害想定地域である近畿地方を対象として、一世帯あたりの耐久消費財の所有量から潜在的な災害廃棄物発生量を推計する。

2. 研究の方法

2.1 耐久消費財の質量原単位データベースの作成

対象とする耐久消費財は、全国消費実態調査 [1)]を参考にする。平成 21 年調査では、33 品目が対象となっている。本研究ではこれら品目をベースとして、質量が大きいと予想される品目、あるいは普及率が高い品目から計 18 品目を対象とした。**表 1** に、対象とした品目を示す。

対象品目の質量原単位データベースを作成するため、価格コム [2)]等に掲載されている製品データ(品目別の質量、定格消費電力、価格、販売日等)を抽出し、インチ数、性能、容量別で分類する。また、各データの平均値を計算する。

表 1　対象とした品目

カテゴリ	品目
設備器具	給湯器、温水洗浄便座
家庭用耐久財	電子レンジ、自動炊飯器、冷蔵庫、電気掃除機、洗濯機、IH クッキングヒーター、食器洗い機、電動ミシン、ルームエアコン、空気清浄機
交通・通信	自動車
教養娯楽用耐久財	薄型テレビ、カラーテレビ、ビデオテープレコーダー、パソコン、カメラ

2.2 南海トラフ巨大地震被害想定地域における潜在的な災害廃棄物発生量の推計

全国消費実態調査 [1)]また国勢調査 [3)]では、地域別の一世帯当たり耐久消費財の品目別保有数量が掲載されている。前項で作成した品目別質量原単位に、品目別保有数量を乗じることで、一世帯あたりのストック量を計算することができる。これに、自然災害による建物の被害棟数を乗じることで、家庭の耐久消費財に由来する、潜在的な災害廃棄物の発生量が推計できる。

対象地域の家庭における潜在的な災害廃棄物発生量を推計するためには、対象地域における被害状況を明らかにすることが必要である。本稿では、地方公共団体による南海トラフ巨大地震の被害想定をもとに、近畿地方における潜在的な災害廃棄物発生量を推計する。

本稿では、木造建物を対象として、地震、津波、地すべり等の被害により建物が全壊した場合は、敷地内の耐久消費財も全て災害廃棄物になると仮定した。但し、被害棟数に対する木造住宅と非木造住宅の棟数の推計は、被災地域では大阪府と兵庫県しか実施していない。そのため、大阪府と兵庫県の木造住宅の被害割合の平均値を算出し、これを他の地方公共団体の被害棟数に乗じることで、木造住宅の被害棟数を推計した。

3. 結果および考察

3.1 主要品目の質量原単位

主な耐久消費財の品目別質量原単位の作成結果を**表 2** に示す。全国消費実態調査の全国平均の品目別耐久。

表 2　主要品目の質量原単位

品目	サンプル数	質量原単位 [kg/台]	標準偏差
テレビ	409	15.7	13.4
冷蔵庫	342	63.8	31.5
エアコン	277	42.1	12.8
洗濯機	178	47.6	26.8
自動車	421	1,562	364.1

消費財保有数量をもとに一世帯あたりのストック量を推計したところ、約 2.1t となった。うち、**表 2** の 5 品目で、18 品目全体の質量の約 96.8%を占めていることがわかった

なお、本研究で作成した質量原単位の妥当性を検証するため、新潟県中越地震(2004 年)で発生した家電リサイクル法対象家電 4 品目由来の災害廃棄物発生量をもとに、実績値と本研究での推計値との比較を行った。実績値は 440t であったのに対し、本研究での推計値は 464t(質量原単位の平均値を使用した場合)であり、おおよそ実績値と近い値となった。このことから、作成した質量原単位の妥当性は高いといえる。

3.2 潜在的な災害廃棄物発生量の推計

近畿地方における一世帯当たりの耐久消費財保有量の結果を**表 3** に示す。これをもとに、近畿地方の家庭における潜在的な災害廃棄物発生量の推計結果を**表 4** に示す。地方公共団体による被害想定では、木造住宅の被害棟数は和歌山県が最も大きいため、潜在的な災害廃棄物発生量も最も大きくなった。次いで、三重県、大阪府が、発生量が大きい結果となった。

本結果を踏まえて、地理情報システムで神戸市の潜在的な災害廃棄物発生量をマッピングした結果を**図 1** に示す。神戸市では、西区と垂水区で地震と火災の被害が大きいことが想定されており、他区に比べて発生量が多い結果となっている。

表 3　一世帯当たりの耐久消費財保有量

地域	平均値 [t]	最大値 [t]	最小値 [t]
大阪府	1.41	1.63	1.19
兵庫県	1.83	2.11	1.55
京都府	1.67	1.93	1.42
奈良県	2.24	2.57	1.90
和歌山県	2.47	2.84	2.11
滋賀県	2.52	2.89	2.15
三重県	2.64	3.03	2.26

表 4　潜在的な災害廃棄物発生量の推計結果

地域	平均値 [千 t]	最大値 [千 t]	最小値 [千 t]
大阪府	131	152	111
兵庫県	80	92	67
京都府	104	120	88
奈良県	383	439	326
和歌山県	98	113	83
滋賀県	5.4	6.2	4.6
三重県	162	186	138

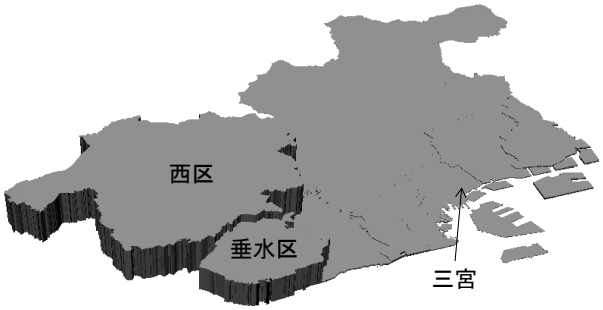


図 1　潜在的な災害廃棄物発生量(神戸市)

4. おわりに

本研究では、地域に蓄積している人工資本ストックに着目して、特に家庭の耐久消費財に由来した災害廃棄物発生量の推計を行った。耐久消費財の品目別の質量原単位データベースを作成するとともに、これを用いて南海トラフ巨大地震の被害想定地域における潜在的な災害廃棄物発生量を推計した。

本研究で作成した質量原単位を使用することで、耐久所費財品目別での災害廃棄物量を推計することができる。これを踏まえることで、災害廃棄物の種類別での処理、リサイクル対策が検討しやすくなるといえる。

今後の課題は、被害状況による耐久消費財の被害状況がリサイクルに及ぼす影響を分析すること、またこれを踏まえた災害廃棄物のリサイクル率を推計することである。

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。ここに記して、謝意を表す。

参考文献

1) 総務省：平成 21 年全国消費実態調査，http://www.stat.go.jp/data/zensho/2009/
2) 価格.com：http://kakaku.com/
3) 総務省：平成 22 年国勢調査，http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2010/

富山県における事業系食品廃棄物の発生・処理実態に関する研究

Generation and Processing of business food waste in Toyama prefecture

○小平剛士*[1)]、佐伯孝 [1)]、神保有亮 [2)]
Tsuyoshi Kodaira, Takashi Saeki, Yusuke Jimbo
1) 富山県立大学, 2) 富山県環境科学センター
* t117015@st.pu-toyama.ac.jp

1. はじめに

我が国において、大量生産・大量消費・大量廃棄型の経済社会活動によって物質的な豊かさを得ることができた一方、天然資源の枯渇の懸念や二酸化炭素などの温室効果ガス排出による地球温暖化など、さまざまな環境問題を引き起こしてきた。このため、持続可能な社会構築を目指し、低炭素社会に向けた取り組みや自然共生社会に向けた取り組みと統合して、「天然資源の消費が抑制され、環境への負担ができる限り低減された社会」、即ち循環型社会を構築することが求められている。

食品については、生産・流通段階において消費者の過度な鮮度志向などの要因により大量廃棄されるとともに、消費段階においては大量の食べ残しが発生している。このため平成 13 年に諸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」が施行されている。食品リサイクル法の施行後、食品廃棄物の発生量は年々減少しているが、食品製造業や外食産業、一般家庭などから食品廃棄物は 1,713 万トン排出されており、その内、1,337 万トンが焼却や埋立されている。産業廃棄物に分類される食品廃棄物は、産業廃棄物管理票で管理されており、排出事業者責任で処理されていることから再生利用が進んでいるが、家庭から排出される廃棄物や排出量が少ない事業系一般廃棄物に該当する食品廃棄物は自治体の焼却施設で処理されており、再生利用が進んでいない。

事業系一般廃棄物に含まれる食品廃棄物は約 40%であり、水分量が多いことから焼却施設への負担を考えるとリサイクル施設での処理への切り替えが急務である。家庭系ごみは有料化や細分別などの対策が打ち出されており、年々、家庭系ごみの排出量は減少している。将来のごみ減量を考慮すると事業系食品廃棄物への対応が必要である。

富山県では平成 15 年に「とやま廃棄物プラン」を策定（平成 24 年 3 月改定）し、一般廃棄物における再生利用率の向上を掲げ平成 27 年度までに 25%の再生利用率（平成 24 年度の再生利用率は 22.4%）の達成を目標としており、リサイクルループの構築は重要な位置づけにある。

食品小売業や飲食店から排出される事業系の生ごみは、家庭系の生ごみに比べて質・量ともに安定しておりリサイクル等の利活用可能なものが多いが、その排出状況や処理状況は十分に把握できていない。このために事業系食品廃棄物を排出する食品小売業や飲食店等を対象に生ごみの処理状況の実態を把握する必要がある。

富山県における事業系食品廃棄物の発生場所や発生量の把握、焼却やリサイクル等の処理実態の把握をおこない、その情報を基に、県内のリサイクル可能量と処理施設の必要な設置数についての評価等の富山県における食品廃棄物のリサイクルループ構築のための基礎データとすることを目的とする。

2. 研究方法

富山県内において事業系食品廃棄物を排出していると考えられる給食施設や飲食店、スーパー等の小売業をデータベースとして整理を行った。排出状況や処理状況についてほとんど把握されていない幼稚園、小中高等学校の給食調理場や給食センターを対象に、各施設から発生する調理くず、食べ残しの量とその処理委託先、処理方法等について富山県内の施設に対し、アンケート調査を行い、把握を行った。

次に、事業系一般廃棄物の収集運搬許可業者を対象に富山県内における事業系一般廃棄物の各廃棄物の運搬量と運搬先についてアンケート調査を行い、把握を行った。これらの結果を基に、現在の富山県において、事業系食品廃棄物の排出量分布、処理実態について把握を行った。

3. 研究結果

3.1 事業系食品廃棄物の排出事業者の把握

タウンページの情報を基に、事業系食品廃棄物を排出していると考えられる小中高等学校、スーパーやコンビニなどの小売業、飲食店のデータベースを作成した。図 1 に富山県内における幼稚園、小中高等学校、給食センターの配置を図 1 に、コンビニの配置を図 2 に示す。図 1 では、給食センターで一括調理し配達を行っている自ら調理施設を有さない施設は配置から除外してある。県内では、多くの市町において給食センターを有していること、高等学校においても半数程度

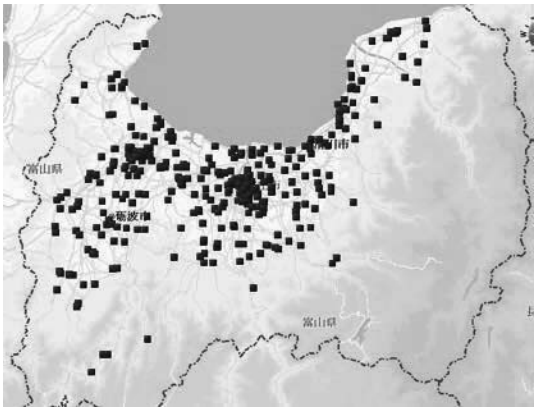


図 1　学校施設の配置状況

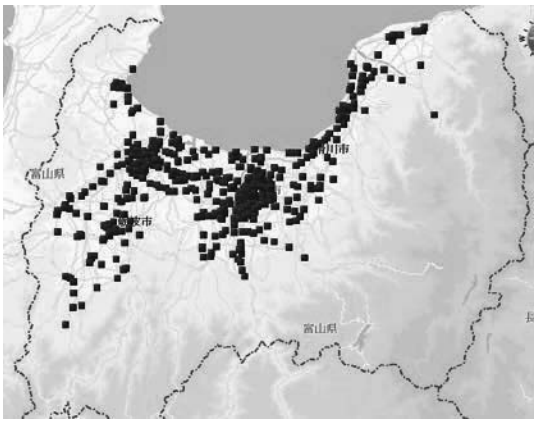


図 2　コンビニの配置状況

において給食が実施されていることが明らかとなった。図 2 では、コンビニが線状に配置されていることが分かる。これは、国道などの幹線道路沿いに店舗が立地しているためである。

3.2 学校施設からの排出・処理実態

富山県内の教育委員会を対象に、県内の幼稚園、小学校、中学校、高校における給食調理施設の有無、給食センターの有無について把握を行った。給食調理施設を有する施設を対象に調理くずや食べ残し等の食品廃棄物の発生量、処分方法、収集・運搬業者、処理業者と 1 日に作成する食数についてのアンケート調査を

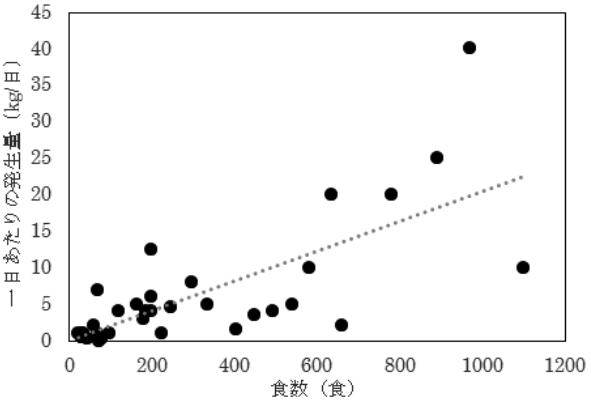


図 3　食数と食品廃棄物量

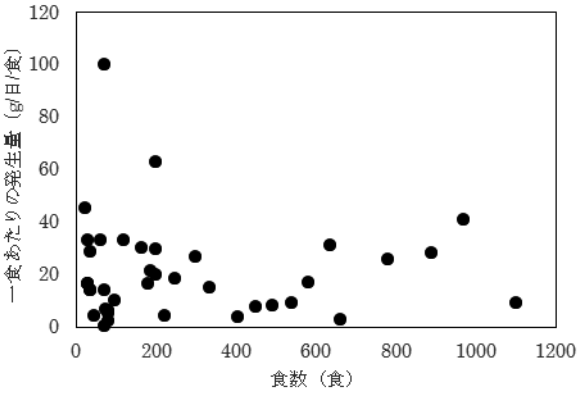


図 4　作成食数と一食あたりの食品廃棄物量

行った。アンケート結果を基に、食数と排出される食品廃棄物量の関係を図 3 に示す。ばらつきはあるが、1 食当たり 20.5g の食品廃棄物が発生することが明らかとなった。

次に、各施設での作成食数と一食あたりの食品廃棄物発生量の関係を図 4 に示す。作成食数と一食あたりの食品廃棄物発生量にあまり関係性は見られず、食品廃棄物の発生量はほとんどの施設において 40g 以下であることがわかる。

今回求めた作成食数と食品廃棄物発生原単位を用いて、県内の学校施設、給食施設からの発生量は 317.71t/年であった。各教育委員会に調査したところ、富山市内の小中学校、給食センターから発生する食品廃棄物は富山市の富山グリーンフードリサイクルにおいてリサイクルされていることが明らかとなった。富山市以外の施設から発生する食品廃棄物は、各自治体や広域圏の焼却施設で焼却処理されていると考えられる。これらの情報を基に、県内の学校施設における食品廃棄物の発生量を各処理に分けて把握した結果を表 1 に示す。

表 1　食品廃棄物の発生量と各処理量（推計）

県内の学校施設からの発生量	317.7t/年
リサイクル量（富山市分）	127.7t/年
焼却量（富山市以外分）	190.0t/年

4. まとめ

富山県における事業系食品廃棄物の発生・処理実態について調査を行った。本研究において得られた発生・処理実態を報告するとともに、富山県における事業系食品廃棄物のリサイクルについて報告する。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、学校関係者、給食調理施設関係者、事業系一般廃棄物収集運搬事業者の皆様には多大なご尽力をいただいた。ここに謝辞を述べる。

ICT の社会的価値の評価方法の検討
Method to Evaluate Values of ICT

○ 寺島 康平[1)]、稲葉 敦[1)]、並河 治[2)]、前川 均[2)]、細渕 良之[2)]
Kohei Terashima、Atsushi Inaba、Osamu Namikawa、Hitoshi Maekawa、Yoshiyuki Hosobuchi
1) 工学院大学、2) (株)日立製作所
*a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

1　緒言

ICT は近年急速に普及している[1)]が、ICT が社会に与える価値についての研究は殆ど行われていない。本研究では ICT の使用者が得る幸福感を定量化することを試みる。具体的には指静脈認証技術が事務所のロッカー、テーマパークのロッカー、そして ATM（現金自動預け払い機）に導入された場合の 3 つのケースを想定してアンケートを実施した。その時に得られる幸福感を金額で答えてもらうことで、使用者が享受する幸福感の大きさを金銭価値として表すことを試みた。ICT 以外の製品でも同様の手法が成立するか確認するため、エアコンによって得られる幸福感についてのアンケートも実施した。アンケートの方法としては WEB アンケートと、エコプロダクツ 2014 にて対面でのアンケートを行った。

2　アンケート調査

2.1 WEB アンケートの方法

株式会社マクロミルのセルフアンケート ASP「Questant（クエスタント）」を利用し、WEB アンケートにてアンケート調査を実施した。それぞれ約 100 件の回答を得た。有効回答数は事務所のロッカーに導入された場合は 60 件、テーマパークのロッカーでは 70 件、ATM に導入された場合では 76 件であった。

質問項目となる幸福感については、『ICT の社会的価値評価方法の検討（2014・矢澤通拓）』[2)]が行った評価の枠組みの方法を踏襲し、指静脈認証技術では紛失処理の煩わしさがないことの気楽さ、鍵を持ち歩かなくても良いことの開放感、高いセキュリティへの信頼感の 3 つを得られる幸福感に選定した。エアコンでは快適な温度による快適性、健康への安心感、および省エネ機能による経済性の 3 つを得られる幸福感に選定した。

2.2 WEB アンケートの結果

Fig2. にエアコンについての質問と、指静脈認証技術の導入を想定したそれぞれのケースの結果を示す。エアコンの質問については、3 つのケースのアンケートですべて同じ内容で聞いたので、それらすべて合算した結果を示した。

2.3 エコプロダクツ 2014 でのアンケート方法

2014 年 12 月 11 日～13 日に行われたエコプロダクツ 2014 にて対面でのアンケート調査を行った。WEB アンケートでは 3 つのケースについて別々に調査したが、この対面調査では 3 つのケースを 1 枚のアンケート用紙にまとめて調査した。その結果 45 件の有効回答を得た。

2.4 エコプロダクツ 2014 でのアンケート結果

Fig3. にエアコンについての質問と、指静脈認証技術が導入されたケースごとのアンケート結果を示す。

3　考察

Fig2. 及び Fig.3 の結果からエアコンについての質問でも、指静脈認証技術についての質問でも 3 つの幸福感で比較すると、どの幸福感も類似の値を示し、大きな変化は見られなかった。今回の質問方法ではそれぞれの幸福感の価値の違いを表すことは困難であると考えられる。

また Fig2. では事務所のロッカーに導入された場合に幸福感が高い金額になる傾向があり、ATM に導入された

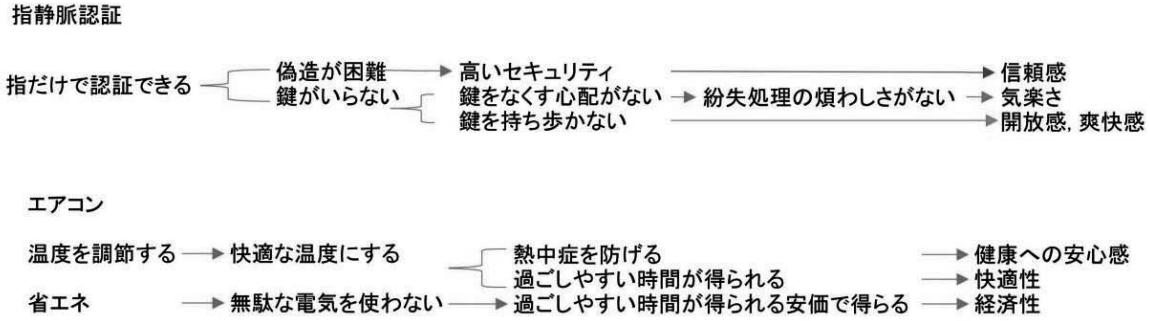


Fig1. 指静脈認証技術、エアコンの評価の枠組み

場合が低い金額になる結果となった。しかし、Fig3. ではATM の場合が最も高い金額が示されている。

Fig2. と Fig3. を比較すると Fig3. のアンケートのほうが若干ではあるが、高い金額を選択する人の割合が高くなっている。このように WEB アンケートと対面でのアンケートでは異なる傾向を示しており、アンケートの方法に依存する結果となった。今後アンケートの方法について検討する必要がある。

4　結言

エアコンと、指静脈認証技術によって得られる幸福感について調査を行ったが、幸福感ごとの大きな値の変化は見られなかった。しかしその理由は明確ではない。また想定した導入場面によって幸福感の量（金額）に違いが見られたことから、今後は更に導入する場面を増やし、その関係性を明確にしていく必要があると考えられる。

今回のアンケート調査ではそれぞれの幸福感の定量化が困難な結果となった。今後アンケート内容を再検討したい。

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）

2) 矢澤通拓, 渕上智子, 稲葉敦, 並河治, 前川均, 小泉亨：“第 9 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集”、(2014), pp499-500

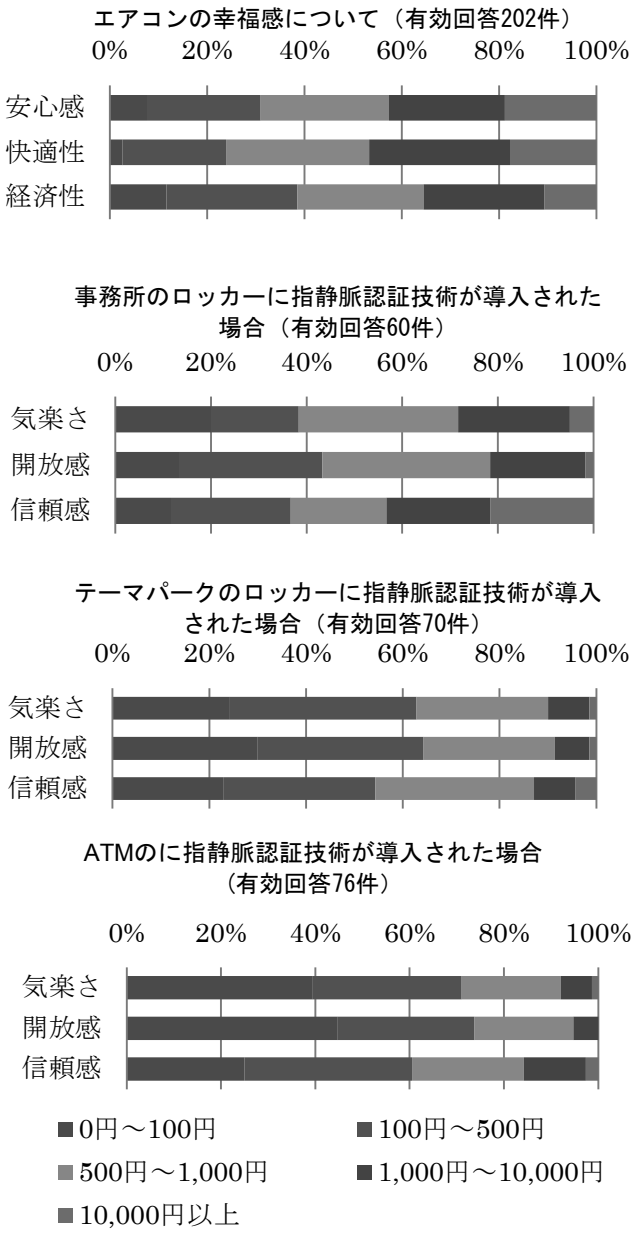


Fig2. WEB アンケートの調査結果

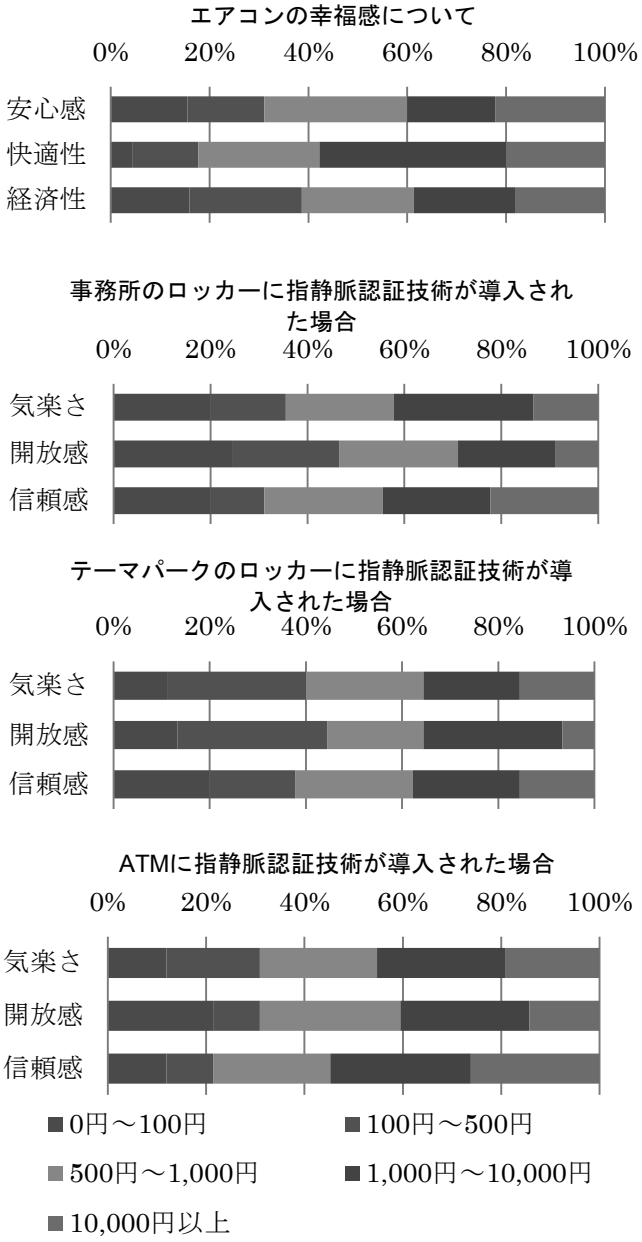


Fig3. エコプロダクツ 2014 での調査結果

ICT サービスの社会影響評価　-海外のケーススタディ—

Social Impact Assessment of ICT Services –Overseas Case Studies-

○髙橋和枝*[1)]、澤田孝 [1)]、Boisseau Julien [2)]，田中智子 [2)]，　Zeddam Ahmed [3)]
Kazue I. Takahashi, Takashi Sawada, Boisseau Julien, Tomoko Tanaka,　Zeddam Ahmed
1) NTT 環境エネルギー研究所, 2) Orange Japan, 3)Orange S.A.
* takahashi.kazue@lab.ntt.co.jp

1. はじめに

全世界の携帯電話の契約数は 60 億件となり、総人口の 70 億に近づいている。また、世界のインターネット利用者は、2014 年末で約 29 億人となり、さらに増加している[1]。このように世界中の通信環境が整備され、情報通信（ICT）サービスは、広く使われる時代となった。一方、ICT サービスによる脱物質化や移動の代替、効率化による環境負荷の低減は、LCA を使って評価されている。さらに ICT サービスが経済や社会に与える影響を客観的かつ定量的に評価することで、ICT サービスの選択や改良に活用できると考えられる。そこで人々の安全、健康、生活の快適さといった社会面に与える影響を定量評価するため、われわれは、国内の事例を中心に ICT サービスの社会影響を定量化する指標を開発してきた[2]。さらに、海外の ICT サービスを評価するため、ORANGE（旧フランステレコム）と共同で指標の改良に着手した。特に新興国での ICT の浸透は目覚ましいが、先進国よりも強い影響を与えていると考えられるため、新興国でのケーススタディを進めた。その結果、社会・経済の状況によっては、先進国では顕著ではなかった社会影響があることがわかった。そこで、評価項目を拡張して評価を試みた。

2. 評価手法と結果

2.1 GSF の概要

ICT サービスの社会影響を定量評価するために開発した社会うるおい指標（Gross Social Feel-good Index, GSF）は「環境」・「社会」「経済」のトリプルボトムラインに「「幸福」を加えたサブ指標から成る指標である。但し、これまで「社会」については、評価対象が広大なため、「安全」・「健康」・「快適」に分割して評価を行っていた。また、いずれの評価も定量評価とし、金銭価値で示すことにより、各項目間の比較が可能であることを特徴としている。

評価は、ICT サービス導入による影響を導入前後の影響の比較から求めた。具体的には、「環境」への影響に関しては、ICT 導入前後の環境負荷削減量を LIME でそれぞれ評価し、その差分としている。また、「社会」への影響については、まず ICT サービスが与える社会への影響を列挙し、さらに統計データに基づいて正負の影響を推定した。例えば、ICT サービスの導入により、健康面の増進が期待できる場合、死亡リスクおよび疾病リスクの削減量を求め、さらに生命価値を用いて、金銭価値として評価した。次に「経済」への影響は、ICT サービスの導入・運用に係るコストと導入により得られる経済効果から、費用対効果を算出した。評価に用いるデータは、可能な限り、ケーススタディを行う国や地域のデータとしているが、揃わない場合は、フランスまたは日本のデータで代用した。また、「幸福」指標は必須ではないが、主観に基づく評価のため、アンケートの結果などに基づいて支払意志額を評価することとした。但し、今回、報告するケーススタディには、含めていない。

2.2 評価のモデル

ORANGE が海外で提供している ICT サービスについて評価を行った。ここでは、その一例として、ヘルスサービスについて報告する。

図 1 は、アフリカで提供している携帯電話を使用した幼児の死亡率を削減するプログラム（DJOBI）である。

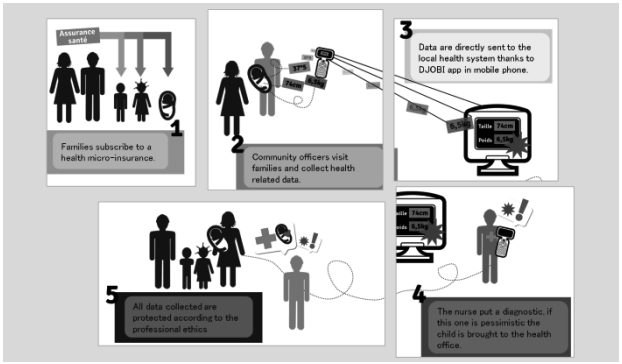


図 1　DJOBI 評価モデル

このサービスは、病院などの医療機関が少ない地域の市民が携帯電話を通じて妊婦・こどもに関する医療相談を行うサービスである。また、本システムには地域の保健士も参加しており、彼らも医療関連の教育を受けることができる。セネガルの Niakhar で実施したサービスが 1 年間あたりに与える影響について、GSF を用いて評価した。尚、対象とする子供（5 歳以下）

は、200 人であった。また比較したサービス導入前の状況は、家族が病人を連れて遠く離れた医療機関に歩いていき、さらに診察までに長時間待たされるため、病気が重篤化することもあった。

2.3 評価に使用したデータ

サービスに関するフォアグラウンドデータは、現地でできる範囲で収集した。また、評価に用いたデータは、可能な限り該当国の公開データを用いた。

2.4 評価結果

ここでは、サービスを受ける家族の視点から行った評価の結果を図 2 に示す。

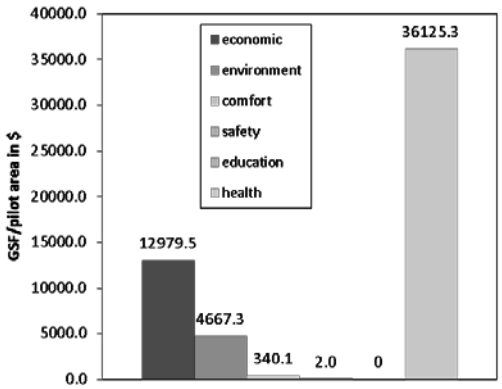


図 2 評価結果

一番大きな効果は、「健康」の影響である。これは、本 ICT サービスの利用により 5 名以上のこどもが命を救われ、52 時間の治療期間が短縮されことによる。続いて「経済」への影響が大きいが、これは、主に遠隔地の医療機関へ治療に行く時間やコストが削減できた効果を評価している。「環境」への影響は、移動に伴う環境負荷の削減量として算出される。「快適」は、自宅あるいは近くの医療機関で対応できるようになり、遠隔地への移動時間が削減された結果である。さらに「安全」面は、移動途中の交通事故に合うリスクが削減されることによる効果であるが、もともと少ない地域であったため、影響は小さいと評価された。またこのケーススタディにおける家族への「教育」は、携帯電話の操作等であり、影響は小さいが、保健士に対する教育の効果は大きく、地域でみれば、その効果は大きいことが、視点を変えた評価により、明らかになっている。

3. 評価の限界と感度分析

入手できた現地の情報は少なく、評価できた範囲には限界があった。また、新興国では、公開データが少ないため、代わりに評価に用いたデータには、異なる国や地域のデータが入っており、同一地区・国で評価するのには限界があった。使用するデータによる感度分析については、当日、報告する。一方、どの利害関係者からみた評価であるかにより、評価の結果が異なる。そこで同じケーススタディを行政、保険会社の視点からも評価した。その結果、影響領域の大小も異なることが明らかとなった。

4. 課題と今後の進め方

海外のケーススタディへの適用において、特に新興国では、評価に用いるデータが不足していることが第一の課題として挙げられる。不足したデータを補充するために、他国あるいは他地域のデータを使用することになるが、その影響を明らかにし、適切な対応方法を検討することが第二の課題である。

今後は、GSF を海外の事例に適用する際の課題について、さらにケーススタディを通じて明らかにするとともに、他の社会影響評価指標も参考として、評価指標の最適化を目指す。また、開発した評価指標が広く使われるためには、評価を容易にすることが必須であり、それを目指したツール開発も推進したいと考えている。

引用文献

1) 総務省、平成 26 年版情報通信白書、http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h26/pdf/index.html 〈2015.1.6 閲覧〉
2) 高橋、津田、原、根本、中村、西、伊坪、石井: 日本 LCA 学会研究発表会, (2008) , p2-47

エコマーク認定製品の CO_2 排出削減効果

CO_2 Reduction of Products Verifiied by Eco-Mark

○大畑　佑介*1)、稲葉　敦*1)
Yusuke Ohata, Atusi Inaba
1)　工学院大学
a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

1.はじめに

エコマーク認定基準は、廃棄物の削減や、リサイクルによる再商品化製品の利用など、CO_2 排出量を算定するうえでは間接的な基準が多い。本研究では、消火器並びに廃油を利用した石けんのエコマーク認定による CO_2 排出削減量を算定する。

2. 方法

2.1　評価対象

消火器は、総務大臣が定める「消火器の技術上の規格を定める法令」のうち、粉末消火器に該当する蓄圧式粉末消火器を対象とした。消火器 1 本は 4.95kg である。エコマークの認定基準のうち CO_2 排出量の削減に関与する項目は「消火薬剤中の再生消火薬剤配合率が 40%以上であること」と「回収された粉末(ABC)消火器は適正な方法で解体され、金属部分及び消火薬剤は、90%が適正にリサイクルされること。リサイクルできない部品は、適正な方法で処理・処分されること」である。

石けんは、総務省発行の「日本標準商品分類」に基づく「石けん」に該当するものを対象とした。石けん 1 個は 100g である。エコマークの公認基準のうち CO_2 排出量の削減に関与する項目は「製品の原料油脂に廃食用油を 70%使用していること」である。

2.2　評価範囲

CO_2 排出量の算定に先立ち、それぞれの認定製品を製造している企業から製品の製造に関するデータを得た。

図1に示すように消火器は原材料調達段階、生産段階、廃棄・リサイクル段階までを評価範囲とした。流通段階、使用・維持段階はデータ入手が困難なため本研究では評価範囲外とした。エコマーク認定製品は図 1 で示す工程であるが、非認定製品には消火薬剤の再生工程が含まれない。認定製品も非認定製品も日本で製造されるものとした。

石けんはエコマーク認定製品と非認定製品の製造方法が同一のため、図 2 に示すように原材料調達段階までを評価範囲とした。非認定石けんの原材料であるパーム油の海上輸送については、原産国であるタイと生産工場のある日本の首都間の直線距離を利用した。

2.3　算定方法

企業から得た製造工程に関するデータを基に、図 1、2 に基づいて CO_2 排出削減量を計算した。

原単位は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.4.01 を使用した [1)]。

廃食用油の CO_2 排出量は家庭系廃食用油のバイオディーゼル燃料化モデル事業における CO_2 排出量の推計 [2)] より、廃食用油の回収トラック重量平均油回収量、平均走行距離を使用した。

3. 結果

3.1　消火器の CO_2 排出量

エコマーク認定・非認定消火器の総 CO_2 排出量の算定結果を図 3 に示す。消火器はリサイクルされた消火薬剤を用いることにより原材料調達段階での CO_2 排出量が大きく削減され、全体では認定製品は非認定製品に比べ CO_2 排出量が約 32%少ない。

3.2　石けんの CO_2 排出量

エコマーク認定・非認定石けんの総 CO_2 排出量の算定結果を図 4 に示す。原材料調達段階だけを比較すると、認定製品は非認定製品に比べ約 41%の CO_2 削減になっている。廃食用油の CO_2 排出量がパーム油の CO_2 排出量に比べ大幅に少ない。また、認定製品は非認定製品よりパーム油を使用している割合が小さいため、海上輸送する際の CO_2 排出量も大きく削減できている。

4. まとめ

リサイクルによる CO_2 排出量を計算しようとすると再生材の製造データが必要になる。消火器の場合は企業の協力により再生消火薬剤を製造する際の実測データを使用したが、石けんの場合は再生材の CO_2 排出原単位を文献及びデータベースから得ている。リサイクル材の製造は小規模な工場で行われることが多く、工場によるエネルギー使用量の相違が大きいものと考えられる。エコマーク認定による CO_2 排出削減量を算定するためには、認定製品に使用される再生材の製造に関するデータを入手することが必要であると思われる。

5. 謝辞

製造工程のデータをご提供頂いた企業の皆様に感謝します。

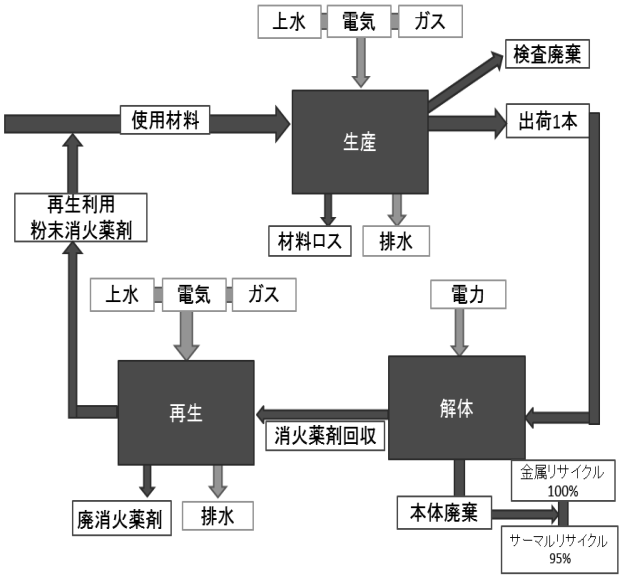


図１　消火器の製造フロー

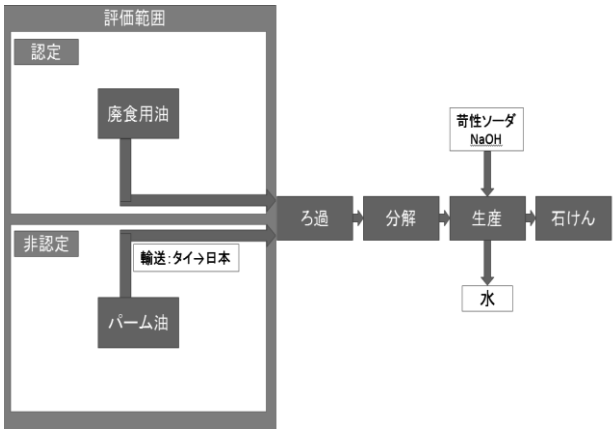


図２　石けんの製造フロー

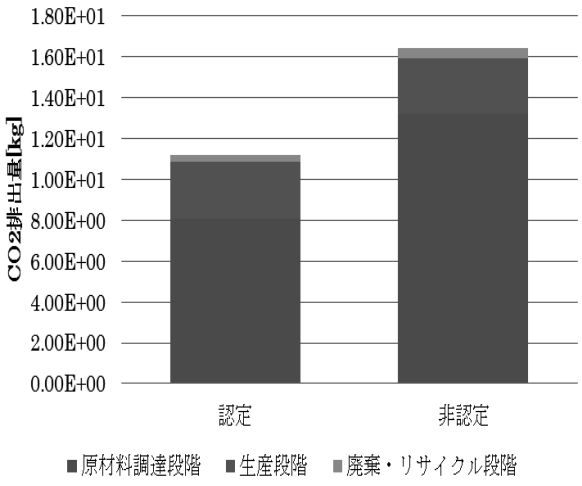


図３　消火器１本(4.95kg)あたりの CO_2 排出量

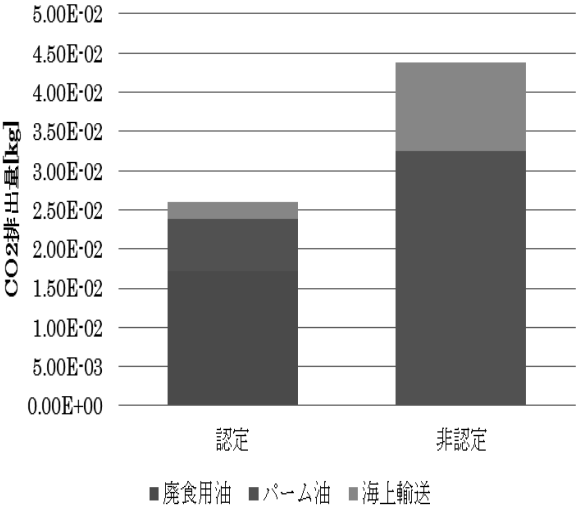


図４　石けん１個(100g)あたりの原材料調達段階の CO_2 排出量

6. 参考文献

1) カーボンフットプリント制度思考事業 CO_2 換算量共通原単位データベース ver.4.01

2）中島寛則 : 家庭系廃食用油のバイオディーゼル燃料化モデル事業における LCA 手法を用いた CO_2 排出量の推計、名古屋市公式ウェブサイト http://www.city.nagoya.jp/kankyo/cmsfiles/contents/0000025/25105/40shoho15-18.pdf　2015.1.7 現在

エコマーク認定サービスの CO_2 排出削減効果

CO_2 Reduction of Serves verified by Eco-Mark

○堀内　崇雄*[1)]、稲葉 敦[1)]
Takao Horiuchi, Atusi inaba
1) 工学院大学
*a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

1. 緒言

エコマークは公益財団法人日本環境協会が1989年に運営を始めた。様々な商品の中で、「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に付けられる環境ラベルのことである。従来は製品についてのエコマーク認定が多かったが、近年はホテル・旅館、損害保険、百貨店などサービスのエコマーク認定が増えている[1)]。本稿ではサービスのエコマーク認定による CO_2 削減量を算定する端緒としてホテルを対象とした CO_2 排出削減量を算出する。

2. 研究方法

CO_2 排出量の比較対象はエコマーク非認定である仮想のホテル[2)]とする。ホテル・旅館のエコマーク認定基準[3)]の中から CO_2 排出削減効果が特に期待できるものを抽出し、認定前後での CO_2 排出量を比較する。エコマーク認定基準と CO_2 排出量を計算する20項目を表1に示す。表1に示したコージェネレーションの導入と自然エネルギーの活用はエコマーク認定基準には含まれていない。

2.1 計算方法

実在する運営ホテルのデータを参考に客室数 132 部屋のホテルの運営データを作成した[4)]。図1に示す。このデータを基準にエコマーク認定によるそれぞれの項目の削減量を仮定し、エコマーク認定基準の20項目の CO_2 削減量を計算した。

図1　CO_2 排出削減量算定システム共通項目データ

B-3.(18)「熱源・熱搬送設備の省エネルギー」を例に挙げ、CO_2 削減量の算定式を示す。前提条件として 15kW のファン・ポンプをダンパー制御からインバータ制御により風量回転数 60%、1 日の時間稼働を 24 時間とする。

・ダンパー制御における所要電力量=電動機出力(=7.5kW)×ファン・ポンプの個数(=1)×所要電力ダンパー制御(=0.75)×1 日の時間稼働(=24h)×年間営業日数(=365 日)

・インバータ制御における所要電力量=電動機出力(=7.5kW)×ファン・ポンプの個数(=1)×インバータ制御(=0.22)×1 日の時間稼働(=24h)×年間営業日数(=365 日)

・省エネルギー効果=(ダンパー制御における所要電力量)-(インバータ制御における所要電力量)

・CO_2 削減量=省エネルギー効果×電気の CO_2 原単位(=0.479kg-CO_2/kWh)

2.2 計算結果

エコマーク認定基準の20項目の CO_2 削減量の計算結果を図2に示す。認定前後では、全体で 8.55×10^4 [kg-CO_2/年]の削減となる。また、その中で、食品廃棄物の発生抑制が全体の 29.0%を、熱源・熱搬送設備の省エネルギーが全体の 19.5%を占めている。

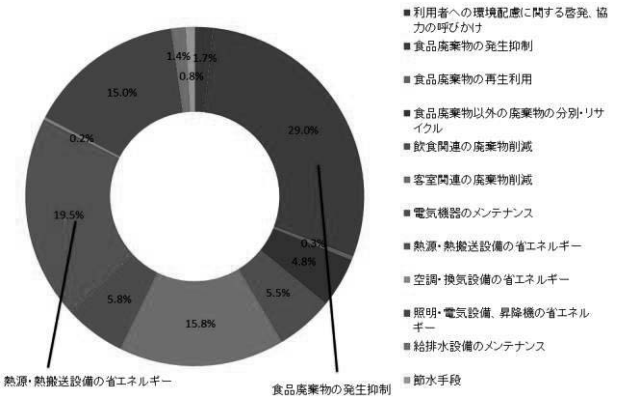


図2　推算式を用いた仮想のホテルでの CO_2 排出削減量の計算結果

3. 考察と結言

コージェネレーションの導入と自然エネルギーの活用は表 1 に示すようにそれぞれ 1.40×10^6 [kg-CO_2 / 年]と 2.27×10^4 [kg-CO_2 / 年] の CO_2 削減となる。これはエコマーク認定による 20 項目の CO_2 排出削減の 16.6 倍に相当する。該当項目更新が重要であることが分かる。

エコマーク認定のホテルは、非認定のホテルと比べどの程度の CO_2 削減になっているかを明確にすることができるようになった。今後、計算を簡便に行うことができるソフトウェアを作成したい。

4. 参考文献

1)公益財団法人日本環境協会エコマーク事務局
http://www.ecomark.jp/

2)石川 正隆：エコホテルの CO_2 排出量 削減効果の推定（2011）

3)エコマークホテル・旅館
http://www.ecomark.jp/hotel/nintei/

4)大場 晃樹：ホテルの CO_2 排出削減量とそのコストの簡易計算ソフトウェアの開発（2012）

表１　ホテル・旅館のエコマーク認定基準と CO_2 排出削減量の関係

エコマーク認定基準	仮想ホテルでのエコマーク認定前の値	認定後の値	CO_2削減量[kg-CO_2/年]
A.周辺環境への配慮と利用者との環境コミュニケーション			
A-1.周辺環境への配慮に関する基準			
(1)立地地域の環境への配慮			
(2)外部の環境活動への参加			
A-2.利用者との環境コミュニケーションに関する基準			
(3)環境方針や取り組みの情報公開			
(4)環境に配慮した移動手段についての情報提供			
(5)利用者への環境配慮に関する啓発、協力の呼びかけ			
タオル類の交換希望の有無	4.862 [MJ/枚]	2.917 [MJ/枚]	1.50E+03
(6)環境に配慮した食材とその情報の提供			
B.設備、運営による環境負荷低減			
B-1.環境マネジメントに関する基準			
(7)環境方針・目標の設定			
(8)環境活動の実施体制			
(9)環境管理責任者の設置			
(10)環境法規の順守			
(11)従業員教育			
B-2.廃棄物削減・リサイクルに関する基準			
B-2-1.食品廃棄物の削減			
(12)食品廃棄物の発生抑制			
厨芥・残飯の発生抑制	1,278,420 [円]	1,048,304 [円]	2.42E+04
厨芥・残飯の脱水	9.263E+04 [MJ/年]	8.337E+04 [MJ/年]	610
(13)食品廃棄物の再生利用			
廃色用油の有効利用	1,015 [kg]	101.5 [kg]	278
B-2-2.食品廃棄物以外の廃棄物削減			
(14)食品廃棄物以外の廃棄物の分別・リサイクル			
紙類の分別・リサイクル	15,920 [kg]	4,776 [kg]	4.12E+03
(15)飲食関連の廃棄物削減			
飲料容器分別・リサイクル	1.600E+05 [本]	0[本]	4.70E+03
(16)客室関連の廃棄物削減			
歯ブラシ・シェーバーの持参	86,000 [本]	51,600 [本]	2,906
アメニティを通常ボトルでの提供	1 g/回（低密度ポリエチレン）	3.24E-02g/回（ABS樹脂+ポリプロピレン）	1.43E-03
スリッパの代替	40 [g/回]（合成繊維）	1.6 [g/回]（綿）	9,460
アメニティグッズの定量化	10 [g/回]	4.0 [g/回]	1,169
B-3.省エネルギーに関する基準			
(17)エネルギー使用量の管理			
(18)電気機器のメンテナンス			
窓の断熱性向上化	28.73 [W/m^2]	19.19 [W/m^2]	4,940
(19)熱源・熱搬送設備の省エネルギー			
熱運搬設備導入・配管の断熱化	4.928E+03 [kWh]	1.445E+04 [kWh]	16,679
(20)空調・換気設備の省エネルギー			
バックヤードの空調管理（暖房）	650.1 [W]	580.5 [W]	198
(21)照明・電気設備、昇降機の省エネルギー			
LED電球に代替	0.396 [kWh]	0.311 [kWh]	1,460
客室不在時の電力削減装置導入	0.618 [kWh]	0 [kWh]	11,044
照度センサー・人感センサーの導入	1,297 [kWh/年]	544.7[kWh/年]	360
(22)給排水設備の省エネルギー			
B-4.節水に関する基準			
(23)水使用量の管理			
(24)給排水設備のメンテナンス			
排水の浄化利用	11.18E+03 [m^3/年]	7.826E+03 [m^3/年]　1.7 [kW]	1.17E+03
(25)節水手段			
節水機器（シャワーヘッド）の導入	5,160 [m^3/年]	3,096 [m^3/年]	718.3
トイレの節水	28 L	16.8 L	3.90E-03
B-5.化学物質に関する基準			
(26)殺菌剤、消毒薬、防虫・殺虫剤			
(27)洗剤			
B-6.グリーン購入に関する基準			
(28)消耗品のグリーン購入			
(29)備品、耐久消費財のグリーン購入			
コージェネレーションの導入	2,675,821 [kWh/年]	858,121 [kWh/年]	8.71E+05
	396,085 [m^3/年]	218,124 [m^3/年]	5.28E+05
自然エネルギーの活用	0 [kWh/年]	47304 [kWh/年]	2.27E+04

緑のカーテンによる環境負荷削減効果

Environmental Load Reduction Effect with Green Wall

○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、緑のカーテンは夏の風物詩となっている。環境教育やグリーンアートでも注目され、小学校、公共施設および一般家庭などにも幅広く普及している。緑のカーテンに関する納涼効果、環境負荷削減効果、建物断熱性の向上効果などに関しては、これまでに幾つかの報告がある。例として、緑のカーテンによるエアコンの電気使用量削減による環境負荷削減効果や、緑のカーテンの有無による壁の温度を比較による建物断熱性の向上効果を検討したものが挙げられる。その他にも、緑のカーテンの設置モデルプランを提案したもの [1)]や緑のカーテンの設置方位、大きさ、建物の広さなどを仮定し、省エネ効果と CO_2 削減効果について試算したものなどがある [2,3)]。

本研究では、福井市内の小学校で環境教育教材として用いられている、高さ 10m、幅 18m の緑のカーテン [4)] を対象に、その効果に関する研究を行った。緑のカーテンの有無による室温変化と緑のカーテンに供給する水の使用量（以下、水使用量）の記録などから、緑のカーテンによる納涼効果と CO_2 削減効果を試算し、緑のカーテンによる程度環境負荷削減について検討した。

2. 方法

2.1 温湿度の計測と水使用量の計測

温湿度の計測は、温湿度データロガー（おんどとり ease、T&D Corporation RTR-322）（以下、温湿度計）を用いて行った。温湿度計を緑のカーテンが設置されている教室と設置されていない教室の計 5 つの教室に設置し、7 月から緑のカーテンを撤去した11月までの5ヶ月間計測した。この温湿度計は、10 分ごとに温湿度計測が行え、そのデータは 10 日間保持されることから、1 週間に 1 回の頻度でデータ回収を行った。

今回研究対象とした緑のカーテンの植栽プランター底部には水抜き穴が無く、散水した水の全てが緑のカーテンに吸収されるという特徴を持っている。また、植栽プランターには自動灌水装置が設置されており、装置が消費する水使用量は、この装置専用に設置された水道メータで計測できるようになっている。この水道メータの指示値を、毎日朝 8 時にデジタルカメラで撮影・記録し、その画像から日々の自動灌水装置の水使用量を算出した。

2.2 緑のカーテンの成長率算出方法

緑のカーテンの成長率は、以下のようにして行った。緑のカーテンが設置されている校舎の対面校舎に、定点カメラを設置し、緑のカーテンの苗植えを行った 6 月から撤去した 11 月までの 6 ヶ月間、連続的に 1 分間ごとに Web カメラを用いて定点カメラ撮影を行った。緑のカーテンの成長率（以下、成長率）は、この定点カメラで撮影した画像（全約 17 万枚）から、毎日分について昼の 12 時頃の画像を使用して行った。成長率の算出は、緑のカーテンの葉の部分だけを Photoshop を用いて手作業で青く塗りつぶした画像ファイルを作成し、画像解析に適したプログラム言語である Python を使って記述したプログラムを用いてピクセル単位で解析して行った（図 1）。

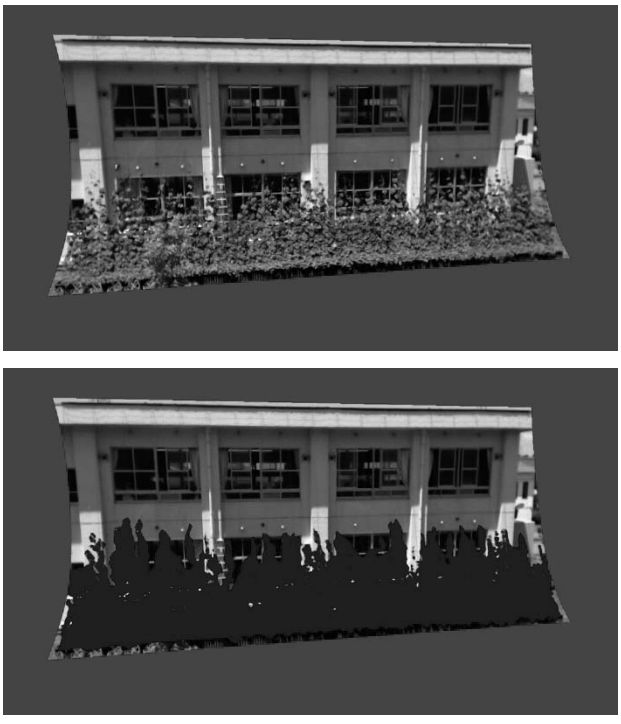


図 1 緑のカーテンの成長率算定エリアと算出用画像

2.3 CO_2 削減効果の算出方法

緑のカーテンが吸収した水量（散水した水量）を使い、その水が気化した時に奪われる熱量を基準にして計算を行った。この熱量をルームエアコンで冷却したと仮定し、その電力量を下記の方法で算出し、その結果から CO_2 排出量を求めて CO_2 の削減効果とした。

① 散水に使用した水の気化熱（J）を算出
水使用量(g)/水のモル質量(18g/mol)×40.8kJ/mol
② ①の気化熱を仕事率（W=J/s）に変換
③ ②の気化熱相当分を、ルームエアコンで冷却する場合の消費電力（kWh）（COP[5]=5）を算出
② / 5 / 3600×1000
④ ルームエアコンが消費する電力の電力料金を算出
（電灯 20 円/kWh）
③×20
⑤ ④の電力を発電する際に発生する CO_2 排出量を算出
（原単位 22.3）
④×22.3 / 1000

3. 結果および考察

3.1 納涼効果

緑のカーテンの有無による室温の変化を、図 2 に示す。図 2 は、小学校の夏休み期間中の 8 月 1 日から 8 月 31 日の 8:00～18:00 までの室温データを基にして作成したグラフである。使用したデータから、夜～早朝のデータを除外したのは、この時間帯のデータに緑のカーテンの有無の影響が少ないためである。緑のカーテンが設置されている校舎 1F の教室と設置されていない校舎 1F の教室(以下、緑のカーテンが設置されている校舎を「有り」、設置されていない校舎を「無し」）を比較すると、平均で 1～2℃の温度差が見られた。有りの 1F と無しの 2F 間にも、平均で 2～3℃の温度差が見られた。このことから、緑のカーテンによる納涼効果がはっきりと現れていることが分かる。また、有りの 2F と無しの 2F では温度差がほとんど見られなかったが、有りの 2F と無しの 3F では平均 2℃の温度差が見られた。これは、屋上への直射日光による輻射熱によるものだと推測される。

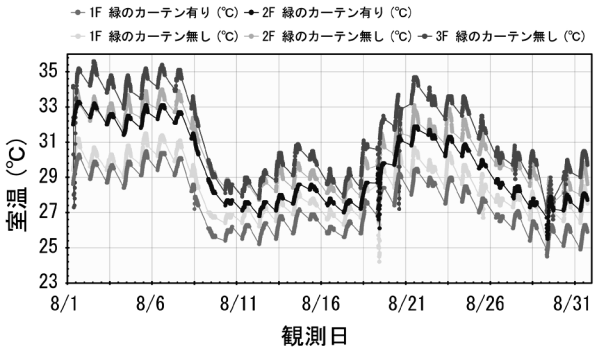


図 2 緑のカーテンの有無による室温の変化

3.2 CO_2 の削減効果

緑のカーテン栽培期間中の日平均気温、日水使用量、成長率の変化を、図 3 に示す。日平均気温は、1 日の日の出から日の入りの間の時間気温の平均値である。水使用量は、期間中の水使用量 32m^3 を 100%とした場合の水使用量の変化を表す。最終的な水使用量 32m^3 から CO_2 削減効果を算出した結果、栽培期間内に約 1797kg の CO_2 削減効果があったことが分かった。また、このグラフから、水使用量と成長率は比例していることが分かる。

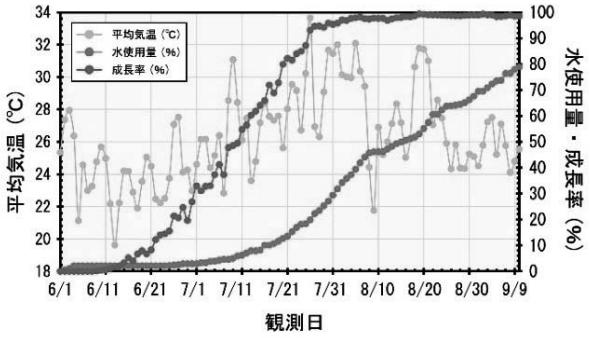


図 3 平均気温・水使用量・成長率の変化

4. まとめ

今回の研究では、緑のカーテンの環境負荷削減について検討した。10 分毎に計測した室温データから、緑のカーテンの有無で平均 2～3℃の温度差が見られ、はっきりとした納涼効果があることが分かった。灌水に使用した水使用量から算出した結果から、栽培期間内の CO_2 削減効果は約 1797 kg-CO_2 であったことが分かった。

5. 今後の課題

今回の CO_2 削減効果の算定は、緑のカーテンへの灌水量から行ったが、他の算出方法でも緑のカーテンの環境負荷削減効果を算出し比較する必要がある。また、今回は小学校の環境教育教材として用いられている、緑のカーテンの実測値を基に検討を行ったが、その他の緑のカーテンの実測データなども用いて検証する必要がある。評価手法として、今後はサーモカメラを用いた壁面温度計測、温湿度以外の気温、風速なども取り入れてゆきたい。水使用量については、連続的に計測できる装置を導入し、日射量、気温、湿度および風速などのデータと関連させた検討を行い、緑のカーテンによる納涼効果のより詳しい検討に役立ててゆきたい。

参考文献

1) 梶田菜穂子: 愛知県環境調査センター所報, (37), (2009), pp.13-21
2) 佐保満夫, 福田亜佐子: 横浜市環境科学研究所報, (33), (2009), pp.17-20
3) セントラル硝子㈱: “次世代省エネルギー基準(平成 11 年基準)”, 建築・住宅用板ガラス総合サイト, 入手先 <http://www.cg-glass.jp/pro/double/>, (参照 2015-1-3)
4) 笠井利浩, 前畠勇, 荒木史代: “日本 LCA 学会”, 芝浦工業大学, (2014), pp.150-151
5) Kenichi Mizuguchi: “エアコンの電気代・消費電力”, 電気設備の知識と技術, 入手先 <http://electric-facilities.jp/denki1/aircon.html>, (参照 2014-12-26)

家庭の生活スケジュールと再生可能エネルギー最適導入パターン関連性の検討

Relationship between living-activities schedule and optimal introduction pattern of renewable energy system

○宗行夏希*[1)]、吉川直樹[1)]、天野耕二[1)]
Natsuki Muneyuki, Naoki Yoshikawa, Koji Amano
1）立命館大学
* rv0015kp@ed.ritsumei.ac.jp

1 はじめに

東日本大震災により、原子力発電所の停止に伴う化石燃料消費量の増加、輸入コストおよび環境負荷量の増加が懸念されている。また、生活様式の多様化等により家庭部門のエネルギー消費量が増加している。近年、電力取引の自由化による小規模分散型エネルギーシステムが注目されているが、家庭でのエネルギー需給の不確実性が問題点となる。小規模エネルギーシステムにおいては，エネルギー消費は個人の行動により強く依存する傾向にある。そのためエネルギー需要予測には，生活行動をモデル化して表現し，そこから需要を推定するボトムアップ型アプローチが有効である。

そこで本研究では、各家庭の行動パターンと最適な再生可能エネルギー関連設備（電気自動車、蓄電池、太陽光発電）導入パターンの関連性を明らかにする。属性ごとの家庭の行動パターンを類型化し、電力使用量を推定する。地域条件を加味し、環境面・コスト面から最適な導入パターンを検討する。

2. 研究内容・方法

2.1 対象地域

近畿圏の府県のうち、大阪府と兵庫県を対象とした。日射量・乗用車1台あたりの走行量の大小により、対象範囲を決定した。図1では近畿圏における日射量の測定地点を示しており、表1では近畿圏における各地点での日射量を表したものである。表2では、近畿圏内における乗用車1台あたりの平均走行量を示したものである。

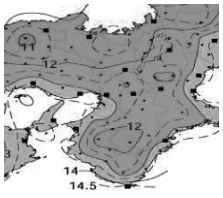


図1NEDOの日射量データ[1)]

表1近畿圏における日射量

都道府県	年間平均日射量mj/m²day
大阪府	14
京都府	12
兵庫県	11
滋賀県	12.5
奈良県	12.5
和歌山県	14.5

表2　近畿圏内乗用車台数および 1 台あたり年間走行距離[1)2)]

都道府県	乗用車（千台数）	乗用車の総走行距離（千 km）	距離（千 km/台）
大阪府	2,724	21,8	8.00
京都府	990	8,25	8.33
兵庫県	2,264	20,3	8.98
滋賀県	763	6,8 9	9.02
奈良県	641	5,3 8	8.38
和歌山県	526	4,71	8.96

2.2 対象家庭モデル

対象家庭モデルは、以下の4人家族とした。
父（有業者50代）母（有業者 or 無業者45～50歳）
息子（高校生）娘（高校生）の5パターンの世帯構成員の行動スケジュールを作成した。世帯構成員ごとに2府県・平日/休日の 4 パターン、合計20パターンを作成した。これらを表3で表す。

表3

	大阪		兵庫	
	平日	土日	平日	土日
有業者	父			
無業者	母			
高校生	息子			
	娘			

3 行動スケジュール作成

行動スケジュールを明確化することによって、各家庭における電力消費量を導き出す。社会生活基本調査に基づいて、平日/休日および時間ごとに推定する。社会生活基本調査にて、1日を 15 分刻みにした時間帯別に，該当する行動をした人の割合を集計したものを参考にし、行動スケジュールを作成した。また、行動スケジュールから各家庭の平日/休日の電力消費量を算出する。表4では平日における有業者50代男性の平均開始時刻・行動時間を示したものである。
表5では大阪に住む平日の4人家族（母　無業者）のの行動スケジュールを示したものである。表6では表5で使用された各家電の電力消費量を時間ごとに示したものである。図2では表6で表した電力消費量を1時間ごとに表したグラフである。

表4　世帯構成員５０代男性/有業者/平日の平均行動開始時刻・行動平均時間[3)4)5)]

行動	平均時刻	行動平均時間（分）
就寝	0:15	414
起床	7:00	
朝食	7:15	30
通勤（行き）	8:00	37
昼食	12:00	30
仕事	9:00	530
通勤（帰り）	19:00	37
テレビ・ラジオ		120
身の周り		43
夕食	20:00	30
コンピューター		12

表5行動スケジュール 例 4 人家族(母 無業者)/大阪/平日 [3)4)5)]

	20:45|21:00	21:00|21:15	21:15|21:30	21:30|21:45	21:45|22:00	22:00|22:15	22:15|22:30	22:30|22:45	22:45|23:00	23:00|23:15	23:15|23:30	23:30|23:45	23:45|24:00
睡 眠										息子	息子	息子	息子
朝食													
昼食													
夕食													
身の回りの 用事													
お風呂		娘	娘	娘		父	父						
ドライヤー	母				娘			父					
ポッド						母、娘							
家 事													
料理													
掃除機													
洗濯													
テレビ	父	父	母、	母、	母、	父	母	母	母、	父			
休 養・くつろぎ	娘	息子		息子	息子	息子	息子	息子	息子	父	父		父
コンピューター	息子		息子				娘	娘	娘	娘	娘	父	母
学 習													
買い物													
移動													

表６家電における電力消費量例 4 人家族/大阪/平日 [3)4)5)]

家電製品			朝(7~12)		昼(12~17)		夜(17~24)	
家電	行動	消費電力	時間(分)	kw・h	時間(分)	kw・h	時間(分)	kw・h
ドライヤー	身の周り	775	7	0.090417		0	14	0.180833
電気スタン	学習	34		0		0	75	0.0425
電子レンジ	料理	1141	5	0.095083	5	0.095083	10	0.190167
炊飯器	料理	1200		0		0	120	2.4
洗濯機	洗濯	400		0	105	0.7		0
アイロン	身の周り	1068		0		0		0
パソコン	コンピュー	50		0		0	180	0.15
テレビ	テレビ	107	105	0.18725	30	0.0535	315	0.56175
冷蔵庫	待機電力	80		0		0	1440	1.92
照明	行動							
リビング	テレビ・ネッ	78	300	0.39	180	0.234	420	0.546
ダイニング	食事	90	60	0.09	30	0.045	105	0.1575
キッチン	料理	66	60	0.066		0	60	0.09
洋室	学習・休養	70		0		0	75	0.0825
掃除	掃除	90		0	90	0.135		

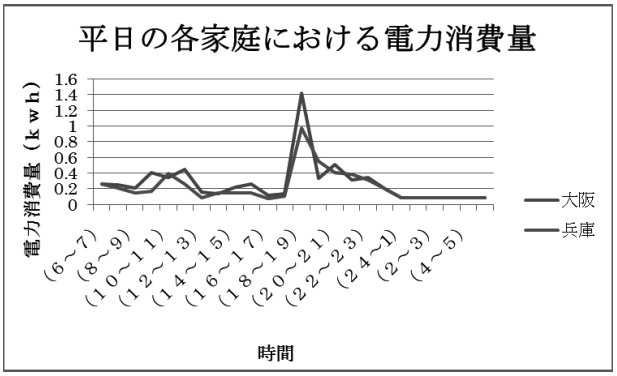


図２大阪府・兵庫県の平日の家庭における電力消費量

４,考察

大阪・兵庫県共に１８～２１時、特に１８～１９時に電力が消費されていることが分かる。これは家族４人が集まり、電力を消費する行動をしているためである。また大阪・兵庫県共に行動が類似しているため、電力消費量も類似した結果となった。

５. 今後の予定

各家庭の行動スケジュールおよび電力消費量の算出はしているが、各家庭の再生可能エネルギー導入シナリオは現段階では考慮されていない。そこで、各都道府県、家庭において再生可能エネルギー（電気自動車・太陽光発電・蓄電池）の最適導入シナリオの作成を行うものとする。その際には、再生可能エネルギー利用による CO2 削減と家電製品使用に伴う CO ２排出を統合的に評価するとともに、ライフサイクルコストについても検討を進める。

５ 参考文献

1) NEDO：日射量データーベース http://app7.infoc.nedo.go.jp/
2) 国土交通省：自動車燃料消費量統計年報 http://www.mlit.go.jp/ktoukei/search/excelhtml
3) 小澤暁人,吉田好邦,環境情報科学 学術研究論文,27(2013)
4) 経済省統計局：社会生活基本調査 http://www.stat.go.jp/data/shakai/2011/h23kekka.htm
5) 谷口 綾子, 下田 吉之, 旭 貴弘, 山口 幸男 日本建築学会環境系論文集 73, 632 (2008) P1217-1224

基礎杭を用いた地中熱利用システムのライフサイクル分析

Life Cycle Assessment of Geothermal Energy System with Foundation Piles

○村野昭人*[1)]
Akito Murano
1) 東洋大学
* amurano@toyo.jp

1. はじめに

家庭での消費エネルギー削減が重要な課題となっている中、その多くを占める冷暖房に利用できるエネルギーとして、地中熱エネルギーが注目されている。浅層土壌中の温度は、年間を通じて 15～20℃で安定していることが、筆者らの調査[1)]によっても確認されている。すなわち、熱交換によって夏季には冷気を、冬期には暖気を得ることが可能である。しかし、熱交換に必要な設備を設置する際のコストや、熱媒体を循環させるためのエネルギーが、普及における大きな課題となっている。

そこで本研究では、追加的な投資が不要である構造物の基礎杭を用い、さらに循環に要するエネルギーを削減するため熱媒体として空気を用いた地中熱利用システムを提案する。そのライフサイクル CO_2 の評価を通じて、空調エネルギーの削減につなげるシステムの有効性を検討する。

2. 地中熱利用実験

2.1 実験の概要

本研究では、構造物の基礎杭として、東洋大学川越キャンパス内に長さ 6m の鋼管杭を埋設した。杭内に塩化ビニル管を通し、熱電対を測定地点に取り付けた（図 1）。そしてホースを塩化ビニル管内に通して、その中に空気を循環させ、各地点および循環させる前後の空気温度を 5 分間隔で測定した。

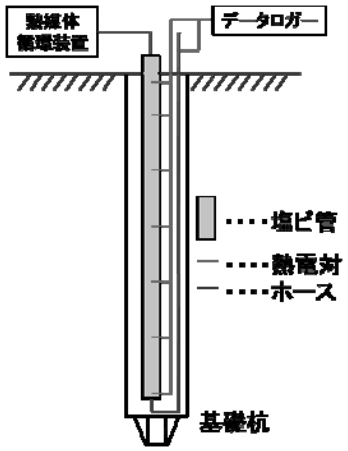


図 1 地中熱実験の断面図

2.2 風量が温度差に与える影響

空気を循環させる速度によって、得られる熱量がどの程度変化するのか検証した。図 2 に、風量ごとの循環前後の温度差の推移の一例を示す。正の値は、循環後の温度が高かったことを示す。冬期の場合、夜間ほど外気温と地中温度の差が大きくなるため、循環前後の温度差が大きくなる傾向にあることが分かる。

また、この結果より、風量が大きくなると得られる温度差が小さくなることが分かった。これは、風量が大きくなることで熱交換時間が短くなったことが原因と考えられる。

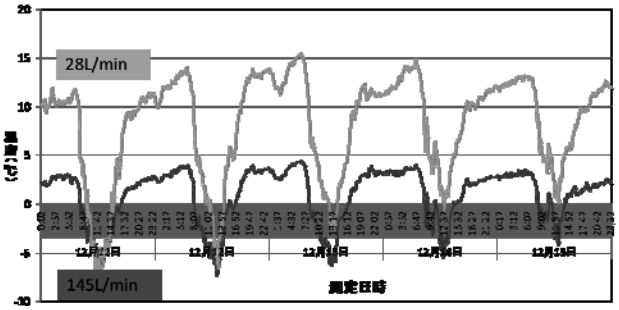


図 2 風量ごとの温度差の推移の例

2.3 ホースの長さが温度差に与える影響

次に、熱交換時間の差が、得られる熱量に影響するのか検証するために、地中に通すホースの長さを変化させた。図 3 に、ホースの長さごとの循環前後の温度差の推移の一例を示す。この結果より、ホースの長さが長くなり、熱交換時間が長くなることで、得られる温度差が大きくなることが分かった。

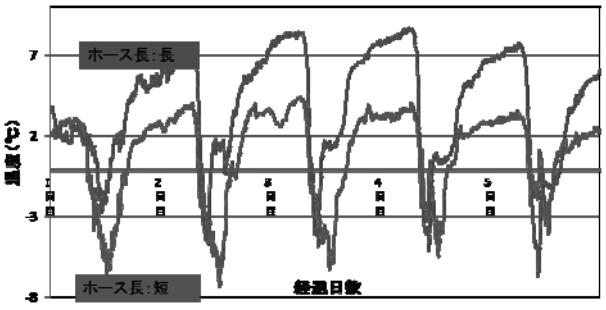


図 3 ホースの長さごとの温度差の推移の例

3. 地中熱利用システムのライフサイクル分析

3.1 地中熱利用によって得られる熱量

実験で得られた循環前後の温度差の値に、容積比熱や風量を乗じることで得られる熱量を算出する。循環後の温度が、循環前の温度より高い場合には採熱、低い場合には放熱となる。

季節によって得られる温度差は変化をするが、冷暖房需要の大きい夏季や冬期には、風量が小さい場合で約 7℃の温度差を一日に 10 時間程度は安定して得られる結果となった。熱量に換算すると、基礎杭一本あたり一日約 141kJ の熱を得られる結果となった。

3.2 地中熱利用システムの $LCCO_2$

3.2.1 $LCCO_2$ の評価方法

前節の結果を用いて、地中熱利用システムの $LCCO_2$ を評価する。評価対象として、①鋼管杭の製造、②鋼管杭の輸送、③鋼管杭の埋設、④熱媒体の循環、の 4 項目を設定する。住宅に長さ 6m、直径 14cm の基礎杭を 2 本設置するものと仮定し、システムの耐用年数は 30 年間とした。

①鋼管杭の製造において、鋼管杭の原材料は普通鋼とした。②鋼管杭の輸送において、杭の輸送には 10 トントラックを用い、輸送距離は往復 60km とした。③鋼管杭の埋設において、埋設時の燃料消費量を、実験サイトにて施工した際に使用した杭打機の機関出力、燃料消費率のカタログ値を基に算出した。杭打機の輸送は評価対象外とした。その他、評価に用いる CO_2 原単位として、国土技術総合研究所のプロジェクト研究報告 [2] の値を用いた。

④熱媒体の循環において、得られる熱量が少ない、すなわち循環前後の温度差が小さい季節および時間帯にシステムを稼働させると、効率が悪くなる。そこで夏季（6～9 月）に 120 日間、冬季（11 月～3 月）に 150 日間）、それぞれ 1 日あたり 10 時間のみ稼働させると仮定した。

3.2.2 $LCCO_2$ の評価結果

地中熱利用システムの $LCCO_2$ を評価した結果、①鋼管杭の製造に 283kg-CO_2、②鋼管杭の輸送に 62.8kg-CO_2、③鋼管杭の埋設に 216kg-CO_2、④熱媒体の循環に年間 2.26kg-CO_2 となった。従って耐用年数の 30 年間稼働した場合の $LCCO_2$ は、629kg-CO_2 となり、1kWh あたりの CO_2 排出量は約 1kg-CO_2 となった。再生可能エネルギーの CO_2 排出量原単位は、風力発電 23～29g-CO_2/kWh、太陽光発電 38g-CO_2/kWh、地熱発電 13g-CO_2/kWh、となっており [3]、それらと比較すると非常に大きな値となった。特に熱媒体の循環に電力消費量の大きいブロワを用いた場合には、CO_2 排出量の値は極めて大きくなり、熱媒体の循環に要するエネルギー消費量を以下に削減するかが重要な課題となることが分かった。

一方、構造物の基礎杭は、地中熱利用システムを導入しない場合でも設置するものである。すなわち、本システムの $LCCO_2$ を評価する上で、①～③における排出量を評価対象外とみなす考え方も成立する。その場合、1kWh あたりの CO_2 排出量は約 100g-CO_2 となり、今後の効率改善によっては他の再生可能エネルギーと同等の性能を有しうるものと考えられる。

4. まとめ

本研究では、基礎杭を用いた空気循環による地中熱利用システムの有効性を検証するために、風量や熱交換時間が熱交換量に与える影響を調査するとともに、実測データを基にして $LCCO_2$ を分析した。

その結果、熱交換時間の長さが、熱交換量に顕著に影響することが分かった。また、$LCCO_2$ を削減する上では、空気循環に要するエネルギーの削減が重要な課題となることが分かったとともに、より一層の効率改善が不可欠であることも明らかとなった。

今後の課題として、風量や熱交換時間の違いが熱交換量に与える影響について、シミュレーションによる理論値との比較を行うことや、断熱材を用いるなどシステム効率の向上に向けた改善案の効果を検証することなどが挙げられる。それらを通じて、安価でエネルギー効率の高いシステムを実現することが求められる。

謝辞：本研究の実施にあたっては、初雁興業株式会社および株式会社高脇基礎工事の協力を得た。ここに感謝の意を表する。

引用文献

1) 大野元治，大井悠，村野昭人：基礎杭を用いた空気循環による地中熱利用ポテンシャルの調査，第 67 回土木学会年次学術講演会，名古屋，(2012)，Ⅶ-139
2) 国土交通省 国土技術政策総合研究所：“プロジェクト研究報告第 36 号，社会資本のライフサイクルをとおした環境評価技術の開発～温室効果ガス削減や廃棄物削減効果を適切に評価する尺度をつくる～”，(2012)
3) 今村栄一，長野浩司：日本の発電技術のライフサイクル CO_2 排出量評価－2009 年に得られたデータを用いた再推計－，電力中央研究所報告，(2010)

雨水力発電機を題材とした環境教育への取り組み

Environmental Education Using the Rainwater Power Generator

○笠井利浩*[1)]、小林拓矢 [1)]
Toshihiro Kasai, Kobayashi Takuya
1) 福井工業大学
* kasai@fukui-ut.ac.jp

1. はじめに

持続可能な社会を構築するうえで、人間活動の基盤となるエネルギー利用に関する環境教育は重要である。エネルギー環境教育の分野では、自然エネルギー利用や節電など様々な内容の環境教育が実施されているが、ライフサイクル思考（以下、LCT）を取り入れたものは少ないのが現状である。これまでに笠井らは、小学校における環境教育の取り組みとして、雨水活用装置と緑のカーテンを教材に用いた LCT に基づく環境教育を 2010 年から行ってきた [1)]。また、一般市民向けの環境教育として雨水活用を通じてエコ活動における LCT の重要性を伝える活動を行ってきた [2-4)]。これらの背景を基に、2013 年度から雨樋から流れ出る雨水の流れを利用して発電するナノ水力発電機（以下、雨水力発電機）を利用した LCT に基づく地域活動や環境教育を行ってきた。

本報では、雨水力発電機を教材に用いた環境教育の紹介とこれまでの実践事例を報告する。

2. 雨水力発電機を用いた環境教育

2.1 雨水力発電機

本報では雨水力発電機と称しているが、基本的には自転車のハブダイナモ付前輪を用いたピコ（ナノ）水力発電機（MAX 2.4W）である [5)]。但し、本研究における LCT に基づく環境教育用教材としてのコンセプト　①可能な限りリサイクル部品（廃材）を使用　②構造がシンプルで分り易い　③見た目が楽しい（受講者の興味を引く）を踏襲したものとした。項目①としては、車輪部分には筆者らの所属大学で毎年春に廃棄される廃棄自転車のハブダイナモ付前輪を用い、羽根部分には近隣の竹林整備時に出た伐採竹材、台座部分には建築廃材を使用した。また、項目②については限られた発電電力を効率的に生かす回路設計を行い、回転によって光る LED ライトの光量を受講者の想像を上回るものになるように工夫した。

2.2 小学校での実践例

筆者らの所属大学近隣の福井市内の小学校において、2014 年 2 月に 6 年生 2 クラスを対象に 1 クラス（約 30 名）単位で 2 回実施した。授業では、様々な自然エネルギーを利用した発電方法の紹介・説明を行った後、雨水力発電機の構造と製作、使用、廃棄時の環境負荷量を計算した。その内容を基に、ライフサイクルで環境負荷削減を達成するにはどのように運転すべきかを議論し、エネルギー教育と LCT の考え方を学ぶ授業を実施した。

図 1 小学校でのエネルギー環境教育の様子

2.3 大規模イベントでの実践例

2014 年 8 月に福井工業大学で開催された、第 7 回雨水ネットワーク会議全国大会 2014 in 福井において、キッズ向け企画として「雨のパワーで明るく照らそう！～雨水力発電所をつくる～」と題して実施された。この企画では、参加者に組立キット化された雨水発電機を組立てて頂き、その場で回転させて自然エネルギーによる発電体験ができる。参加者数は、実際の組立てが伴うためキット準備の都合から最大 10 名に制限して行った。

図 2 雨水ネットワーク会議全国大会での環境教育の様子

2.4 地域活動での実践例

前述の雨水ネットワーク会議での企画実施をきっかけに、福井市上味見地区に豊富な水資源を利用したナノ水

力発電機設置の活動を始めたものである。2014 年 7 月に、地区住民と共に約 15 名の参加者で 10 機のナノ水力発電機（基本構造等は雨水力発電機と同じ）を製作し、地区住民によって村の適地で使用（発電電力は LED を使った外灯）されている。その後、新たに環境省　地域における草の根活動支援事業「伊自良の里における低炭素社会の実現に向けてのフォーラムの開催とピコ水力発電機製作・設置ワークショップの実施」の一環として、地区内の 6 集落に各 2 機ずつ発電機を設置した。2 月に開催されるフォーラムでは、本プロジェクトで製作・設置したナノ水力発電機の製作、使用、廃棄時の環境負荷量と発電による環境負荷削減効果の試算からエコ活動における LCT の重要性に関する講演を行う予定である。

図 3 福井市上味見地区での地域活動の様子

3. 結果および考察

雨水力発電機を教材に用いたエネルギー環境教育、イベント企画および地域活動状況を、表 1 に示す。

表 1 雨水力発電機を教材に用いたエネルギー環境教育

日時：2014 年 2 月 16 日
場所：福井市内公立小学校
対象、参加者：小学 6 年生 2 クラス（64 名）
タイトル：自然エネルギーで電気をつくる ～雨力発電所を LCA で考えてみよう！～

日時：2014 年 8 月 23 日
場所：福井工業大学（第 7 回雨水ネットワーク会議全国大会 2014 in 福井）
対象、参加者：一般 17 名（小学生 7 名、大人 10 名）
タイトル：雨のパワーで明るく照らそう！～雨水力発電所をつくる～

日時：2014 年 11 月～2015 年 3 月
場所：福井市上味見地区（6 集落）
対象、参加者：一社）伊自良の里振興協会、上味見地区住民　20 名以上
タイトル：伊自良の里における低炭素社会の実現に向けてのフォーラムの開催とピコ水力発電機製作・設置ワークショップの実施

これまでに実施した雨水力発電機を教材に用いた環境教育に、100 名以上の参加者が参加している。小学校と福井市上味見地区の住民を対象とした実践では、事前に対象者の把握や打合せが行え、また時間的な余裕もあったために LCT に基づく環境教育や講演が行えた。しかしながら、イベントで実施した企画では、当日まで対象者の把握ができなく、また時間的な問題から LCT に関する内容に触れることはできなかった。また、実施前のキット製作等にかかる準備に相当な時間を要し、参加可能人数にも制限がかかる。一方、小学校での実施は、対象者が統一されており事前の打ち合わせや時間の確保が計画的にできるために実施し易い。一定の地域を対象にした場合には、地域住民の活動への参加の姿勢が活動内容の濃さに大きな影響を与える。本報で紹介した実践例では、地域住民が非常に積極的に取り組まれており、持続可能なエネルギー問題、過疎化地域問題への取り組みとして大きな意義がある。またこのような背景から、2 月に開催されるフォーラムで LCT を取り上げることにより、より効率的な地域住民への LCT の定着が期待される。

4. 今後の展望

学校におけるエネルギー環境教育では、今後も LCT を含めた教育プログラム開発を継続する。イベント企画としての実施は、再度実施することも検討するが現時点においてはその予定はない。地域と連携した環境教育プログラムは、学校での環境教育の延長として特に取り組んでゆきたい。今後は、これまでに形成された上味見地区での小水力発電への取り組みの意識をベースに、地域興しも兼ねたイベント化を図り、より多くの人々に持続可能なエネルギー問題への取り組みとエコ活動における LCT の重要性を伝える活動を展開してゆきたい。

参考文献

1）笠井利浩, 荒木史代, 前畠勇（2014）：ライフサイクル思考に基づく環境教育プログラムの実践と評価, 日本環境教育学会第 25 回大会（東京）研究発表要旨集, p.113
2）笠井利浩（2013）：ライフサイクル思考に基づく環境講演会の実施事例, 福井工業大学研究紀要, 43, pp.243-253
3）前川翔太, 笠井利浩（2013）：雨水活用を通じて LCT の重要性を伝える市民向け環境講演会の評価, 第 8 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, pp.196-197
4）近藤晶, 笠井利浩（2014）：緑のカーテンを用いたインタラクティブアート, 環境芸術学会第 15 回大会研究発表概要集, p.18
5）中村昌広（2012）：自分で作るハブダイナモ水力発電, 総合科学出版, 148p.
6）「第7回雨水ネットワーク会議全国大会2014 in 福井」大会宣言と報告書（2014/12/31）: http://www.rain-net.jp/news/192/

日常生活における消費者の環境配慮行動選択に関する基礎調査

Basic research on consumer behavior for environmentally friendly selection in daily activities

○竹内孝曜 [1)]、北村祐介 [2)]、松本真哉 [3)]、津田祥子 [1)]、水野建樹 [1)]
Takaaki Takeuchi, Yusuke Kitamura, Shinya Matsumoto, Syoko Tsuda, Tateki Mizuno
1) 一般社団法人 未踏科学技術協会, 2) elsa - LCT・LCA を用いた環境教育促進団体, 3) 横浜国立大学
* takeuchi@sntt.or.jp

１．はじめに

今日、消費者の環境意識は高い [1)]とされているが、意識と実際の行動のつながりについては不明な点が多い。消費者は意思決定のための情報をメディア等から得ており、さらにインターネットの普及により、現在では膨大な量の情報を入手することができる。

そこで､本研究では消費者の日常生活における様々な行動選択の際に、どのような環境情報が意思決定に結びついているか、現状における消費者の行動選択の実態、及び、選択を「迷う」行動に関して調査を行い、その判断基準を含めて明らかにする。また、その判断が妥当か、環境負荷の視点で行動の検証を行う。

本稿ではその基礎調査として環境意識と行動の実態に焦点をあて、消費者が環境に良いと判断する行動に関するアンケート調査結果について述べる。

２．アンケート調査

現状における消費者の環境意識と行動選択の実態を調査するため、アンケートでは行動するための方法 4 項目、購入品 4 項目をとりあげ、計 8 項目に関して、どちらが環境に良いと思うか、選択してもらった。次に選択したものに関する取り組み状況を 5 段階評価で回答してもらった。方法の 4 項目は「レジ袋とマイバッグ」､「ネットショッピングと来店型ショッピング」､「食器洗い機と手洗い」､「割り箸とマイ箸」､購入品の 4 項目は「新聞紙と web ニュース配信」､「国産牛と輸入牛」､「無洗米と普通米」､「地元産野菜と地方産野菜」である。また、8 項目のうち、なぜ環境に良いと判断したか、回答者に 3 項目を取り上げてもらい、その理由について記述してもらった。アンケート調査ではこの 8 項目をランダムに配置した。

調査は東京ビックサイトで開催されたエコプロダクツ展 2014（2014 年 12 月 11~13 日）に来場した方を対象にした場合と､東京都内の高校で高校 1 年生 (80 名) を対象にしたアンケート調査の 2 度実施した。

エコプロダクツ 2014 の来場者は比較的環境意識が高い又は環境に関心があると考えられることから、環境意識の度合いによってアンケート調査の結果に違いがみられるか検証を行う。

３．結果及び考察

エコプロダクツ展 2014 で行ったアンケート調査では 230 名から回答を得ることができた。

まず、行動選択の 8 項目に関して、どちらが環境に良いと思うかという設問の結果を 2 つの選択肢のうち、回答の偏りが大きい順に図 1 に示した。

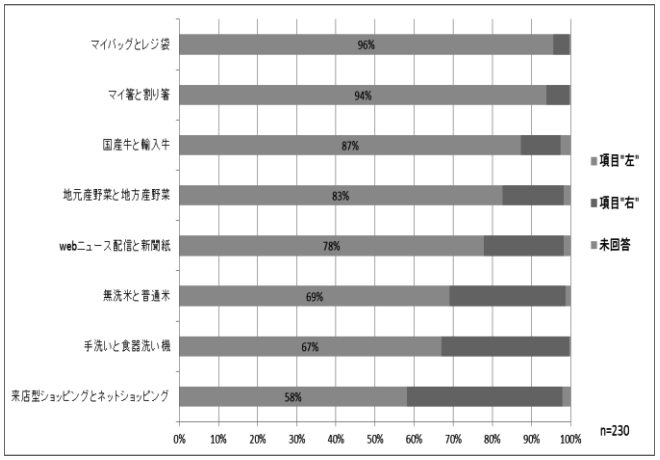


図 1.　環境に良いと判断した消費者の選択結果

図 1 より､「マイバッグ」､「マイ箸」､「国産牛」を環境に良いと判断した消費者が全体の 9 割近くいることがわかった。一方で「無洗米と普通米」､「手洗いと食器洗い機」､「来店型ショッピングとネットショッピング」では全体の 7 割未満であり、特に「来店型ショッピングとネットショッピング」の選択ではその判断が分かれ、双方の差は 1 割程度であった。これらの項目の回答比率の違いは、環境に良いと推奨される情報量にあると推測される。例えば「レジ袋とマイバッグ」では、現在多くの自治体でマイバッグが推奨され、レジ袋も有料となる地域も多くあることから、結果が顕著に現れたと考えられる。マイ箸も同様である。

次に 8 項目の各選択肢を、環境に良いと判断された多数派と少数派に分け、選択したものに関してどの程度実施しているか､取り組んでいるかの結果に関して、多数派を図 2、少数派を図 3 に示した。

このとき、図 2 では選択された項目に関して取り組む頻度の高い順（よく行う・たまに行うの回答者数の合計）とし、図 3 は図 2 に対応する形で示した。

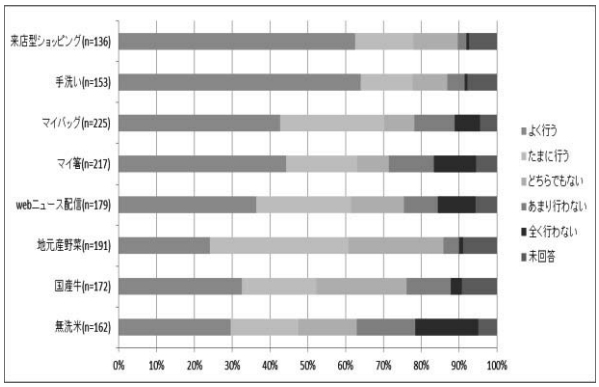


図 2.　多数派における取組状況

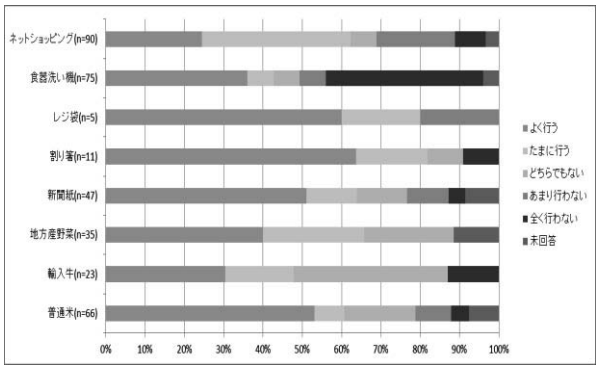


図 3.　少数派における取組状況

多数派では全体の 6 割程度が実施していると回答した（図 2)。方法と購入品では方法の方が、より取り組む消費者が多く、「来店型ショッピング」と「手洗い」では全体の 8 割であった。このことより、環境意識と行動に関して消費者は購入品の選択の取り組みより、行動のための方法の方が取り組みやすいと考えられる。取り組み状況が少なかったものでは「無洗米」・「国産牛」が半数であった。特に「無洗米」では全く行わないと回答した消費者が最も多かった。購入品に関しては経済的側面など意思決定のための情報が多岐にわたることから、消費者の環境意識と行動の結びつきが弱いと考えられる。

次に図 3 より、少数派においても全体の 6 割程度が取り組んでいると回答した。方法と購入品で見ると方法の方が取組むとした消費者が多いが、「食器洗い機」に関しては、所持していないという理由等で全く行わないと回答した消費者が 3 割程度いた。

環境に良いと判断した理由について 8 項目のうち 3 項目を選択した結果については、図 4 より、「レジ袋・マイバッグ」、「割り箸・マイ箸」の選択する消費者が多かった。理由については「ゴミにならない」、「繰り返し何度も使える」といった声が大半を占めた。これは消費者にとって環境に配慮した行動とその結果がわかりやすいことが選択された理由だと考えられる。残りの 6 項目は同数程度であった。

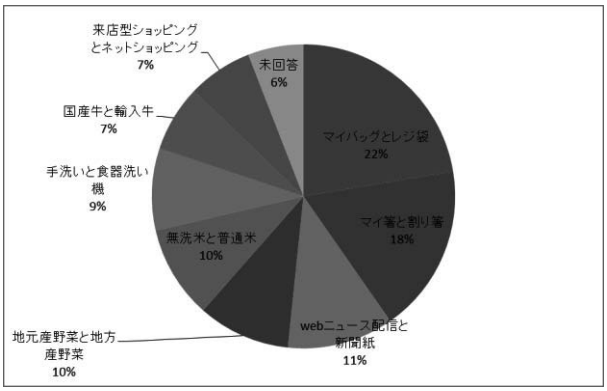


図 4.　環境良いと判断した理由について回答のあった項目結果

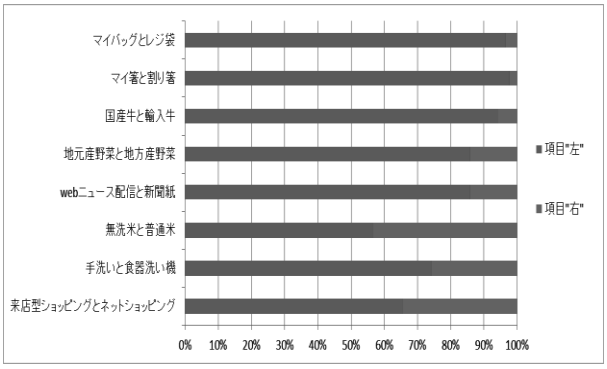


図 5.　環境に良いと判断した高校生の選択結果

東京都内の高校で実施したアンケート調査では高校 1 年生 80 人の回答を得た。その結果、図 5 より、図 1 とほぼ同じ結果であった。「無洗米と普通米」の回答比率は半数であったが、これは高校生の日常生活において家事に接する機会が少ないことが影響していると推測される。また、図 1 と図 5 の比較より、環境意識の度合いによって、環境に良いと選択する項目の割合に大きな違いは見られなかった。

４．結論

消費者の 6 割は今回のアンケート調査によって環境意識と行動が伴っていることがわかった。また、環境意識の度合いによって、選択される項目に差異は見られなかった。今後はアンケート調査で得た消費者の環境に良いと判断した理由についてさらに分析を進め、どのような情報が意思決定に結びついているか明らかにする。また、消費者が環境に良いと判断した結果と一般に環境に良いと推奨されている情報が妥当か、今回取り上げた 8 項目を中心に環境負荷（CO_2排出量等）から見た評価及び検証を行う。

５．参考文献

１） 消費者庁: 消費者政策の実施の状況,(2013), pp 12-13

環境を軸にした生活者セグメント別 環境コミュニケーションの可能性

－家事行動において－

Possible effects of environmental communication according to consumer segments centering on environment

○加藤久仁子*[1)]、角谷治夫[1)]、西山潤子[1)]、原憲子[1)]
Kuniko Kato, Haruo Kadoya, Junko Nishiyama, Noriko Hara
1) ライオン株式会社
* kuniko@lion.co.jp

1. 背景

持続可能な社会の形成に向け、産業部門の環境負荷削減のための努力は着実に推進されている。一方、家庭からの一世帯あたりの CO_2 排出量は減少しているが、世帯数が増加しているため CO_2 の総排出量は微増している[1)]。

企業は環境に配慮された暮らしに役立つ製品を提供するだけでなく、生活者が環境に配慮された製品選択ができるような情報提供を行うことが重要である。ライオン㈱が製造販売する製品（洗剤など）は暮らしの中で毎日使用する製品であり、1 家庭あたりの寄与は小さいものの、より多くのお客様に使用頂くことで、その寄与量は増加する。

そこで我々は、生活者の環境配慮行動の促進要因と阻害要因、具体的な意識を明らかにし、セグメント分類することにより各セグメントのお客様に響く、効果的な環境コミュニケーションを実施するための可能性を検討した。

2. 生活者の環境セグメント分類

2.1 調査方法

全国 20～50 才代、計 2064 名（各年代男女割付）を対象として、生活者の環境意識に関するインターネット調査を実施した(2013 年 10 月 24 日～28 日)。

生活者を日頃の環境意識によりセグメントに分類し、各セグメントのボリュームサイズを明らかにすると共に、毎日の暮らしに関わる 11 種の環境行動の実施件数、環境問題への関心や認識など、各セグメントの特徴を探った。

2.2 結果

生活者を環境意識の高低により６つのセグメントに分類し、各セグメントに呼称を付与（環境原理主義、進んで環境、ノートレードオフ、仕方なく環境、トレンディエコ、楽観・無関心）し、表１に示す。

６つのセグメントは、環境意識が高いほど提示した環境行動の実施件数が多い結果であった。

表１） 環境意識と環境行動による“環境セグメント”

意識	割合	環境に対する意識	環境行動	環境セグメント（呼称）
生活の快適便利を我慢してでも進んで環境行動を行う	5%	今の快適を我慢しても環境	多い*	*環境原理主義*
自分のﾗｲﾌｽﾀｲﾙに合う環境行動を進んで行う	25%	高い	する	*進んで環境*
自分にメリットのある環境行動を進んで行う	42%			*ノートレードオフ*
他人の目や子供の手前、環境行動を行う	8%			*仕方なく環境*
流行っているしカッコイイから環境行動を行う	1%	低い	しない	*トレンディエコ*
環境対応は国や専門家が考えることで自分は関係ない	19%	環境行動より便利快適が優先	少ない*	*楽観・無関心*

*提示行動より選択

また、環境問題と言われて思い浮かべるものを選択させた結果、最も多く（約 8 割）思い浮かべる項目は、「地球温暖化」「大気汚染」であった。これら問題の原因やしくみを理解しているかを 5 段階で尋ねた質問では、おおむね理解は低い結果であった。

3. 環境行動（家事）実態調査

3.1 調査方法

環境意識と行動実態の乖離を明らかにするため、家庭訪問調査を実施した（2013 年 12 月 1 日～12 月 18 日）。まず、生活者の約 7 割を占める「進んで環境」「ノートレードオフ」「仕方なく環境」を対象として、世帯構成、収入、年代等を調査票により 1 次スクリーニングを行った。次に、環境意識と行動についてインタビュー調査を行い、表２に示す特徴の異なる６名（A～F）を選定し、家庭訪問調査を実施した。

家事行動を中心として、掃除、食器洗い、ごみの分別などの観察とインタビューを行い、行動のトリガーとなる要因は何か、生活者にとってのベネフィットは何かを明らかにした。

表２）家庭訪問調査対象者／環境意識と行動

“環境セグメント”	*進んで環境*	*ノートレードオフ*	*仕方なく環境*
生活の快適より環境行動	する	する	しない
環境問題知識あり	A	C	E
環境問題知識なし	B	D	F

3.2 結果

環境セグメント別の環境意識構造として、特徴的な生活価値、環境価値、情緒価値、機能価値の方向性を表３に示す。環境行動のトリガーとなり得る価値観の一部を捉えることができた。

暮らしの中での環境行動は、生活者の環境セグメントが異なっても、大きな差はなかった。むしろ個々の環境価値が行動を左右している様子が観られた。

例えば“ノートレードオフ”の C さんは、環境のための行動は当たり前と言いながらも衛生面での妥協はできない。そのため、使用済み食品トレーや牛乳パックを室内に保管したくないのでリサイクルはしない。一方、C さんより環境意識は低い“仕方なく環境”の F さんは、キッチンにゴミ箱を５つ並べて、ゴミ分別･リサイクルを行う。

また、インタビューを通じて生活者の環境に対する知識は、概念的、抽象的で、自分が理解できる範囲の環境ルールに従っていることがわかった。環境行動や環境問題に関する情報源は、複数の家庭で子供が学校で教わる情報という声が聞かれ、子供の環境教育の重要性が裏付けられた。

4. まとめ

環境意識や行動の差により生活者を６つの環境セグメントに分け、さらに生活現場で生活者の本音を聞きながら家事行動を観察し、自らが行う環境行動により何らかの情緒的な価値を満たすことが分かった。それは、環境セグメントの違いにより異なる価値であった。

今回の検討により、各セグメントの情緒的な価値に響く情報の提供が、効果的な環境コミュニケーションとなる可能性を見出した。

5. 引用文献

1) “家庭部門における二酸化炭素排出の動向”, 全国地球温暖化防止活動推進センター, http://www.jccca.org/home_section/homesection01.html

表３） ３つの環境セグメントの環境意識構造

“環境セグメント”	*進んで環境*	*ノートレードオフ*	*仕方なく環境*
特徴的な生活価値観	自然と共生していきたい	人として正しくありたい きちんとしていたい	仲間はずれになりたくない
環境価値観	自然界の一員として、そのルールに沿う 少し不便になったとしても環境に良いことは行う	正しくありたいから環境行動は当然 ただし、「衛生面」は妥協したくない	他人に非難されない程度の環境行動をシブシブやる
情緒価値	自然の循環ルールに従っているという納得感	正しい環境ルールに従っているという満足感、ほめてもらいたい	身近なコミュニティの環境ルールに従っているから非難されないという安心感 ねぎらわれたい
機能価値の方向性	･価値ある捨て方ができる ･長持ちする ･自然に対する害が少ない ･ごみにならない ･天然･自然モノである	･学校で教わる環境行動や権威者が言う環境行動ができる ･周囲に自分の環境行動が見える ･パフォーマンスは100%である	･町内会･PTAなど近い周囲が行っている環境行動が簡単にできること ･周囲に自分の環境行動が見える ･パフォーマンスは100%である ･簡単で、コストがかからない

環境影響で重み付けした資源利用の環境効率～企業を対象として

Eco-efficiency of resource use weighted by environmental impact: companies' case study

○一瀬直人*[1)]、橋本征二 [1)]
Naoto Ichise, Seiji Hashimoto
1) 立命館大学
*rv0017sh@ed.ritsumei.ac.jp

1. はじめに

資源の枯渇や地球温暖化など世界規模での資源・環境問題を背景として、資源利用の効率化や資源の循環的利用が重要な課題となってきている。また、企業の社会的責任（CSR）への関心が高まる中、企業による資源・環境問題への取り組みが強く求められるようになっており、その範囲も、企業が間接的に排出する GHG 排出量（Scope3）に及ぶようになってきている。このような資源・環境制約の下で、日本企業は国際競争力を維持・強化し、国内において付加価値の向上、すなわち、資源生産性の向上を図っていくことが重要である [1)]。

一方、資源と言っても化石資源、鉱物資源、生物資源などがあり、それぞれの資源が環境に与える影響は異なっている。したがって、資源生産性指標における重量での資源利用の効率化が、環境負荷の削減に貢献しているかどうかは必ずしも明白ではない。資源利用が環境影響の高い資源から低い資源に代替していくことも重要と考えられることから、異なる資源を環境影響で重み付けすることも重要である。欧州においては、資源利用に関わる環境影響を LCA により重み付けし、国の資源利用に関わる環境影響を定量化した事例があるが [2)]、企業に適用した事例は見られない。また、日本においても、資源利用に関わる環境影響の重み付け係数の作成が必要である。

このようなことから、本研究では、資源利用に関わる広範囲の領域の環境影響を資源ごとに重み付けする係数を作成するとともに、資源利用に関わる企業の環境影響を定量的に計測し、環境影響で重み付けした資源利用の環境効率の向上を支援することを目的とする。

2. 方法

2.1 環境影響で重み付けされた資源利用の環境効率

資源生産性は一般的に、製品やサービスの産出量を資源投入量で除することにより算出される。本研究では、資源利用に関わる環境影響で資源を重み付けした上で、製品やサービスの産出量を資源利用に関わる環境影響で除した指標を「環境影響で重み付けした資源利用の環境効率」とする。産出量には各企業の売上高、製品生産量を用いる。

2.2 資源利用に関わる環境影響の重み付け係数の作成方法

① 資源利用に関わる環境影響のシステム境界

資源の採掘から材料生産、使用、処理処分まですべての工程をできる限り評価対象とする。例えば、石炭・石油などの化石資源の場合は燃焼の段階、金属資源の場合は使用段階での漏出等を評価対象とする [2)]。なお、その資源を含む製品が使用される段階でエネルギーを消費する場合、そのエネルギー消費は評価対象外とする [2)]。

② 重み付け方法

重み付け方法として、LCA の環境影響評価手法として開発された LIME [3)]を用いる。LIME は、日本の環境条件に基づいた被害算定型の環境影響評価手法であり、特性化、被害評価、統合化の大きく三つのプロセスから成る。

③ 重み付け係数の計算方法

LIME を組み込んだ LCA のソフトウェアである MiLCA を用いて、資源の採掘から廃棄、処理処分までの環境負荷量を算出するとともに、LIME により重み付け係数を計算する。

2.3 対象企業と対象年

木船ら [4)]が対象とした企業、すなわち、基礎素材産業である鉄鋼、セメント、紙パルプ産業の売上高上位 5 位のうち、資源生産性の試算に必要なデータが環境報告書等から入手可能な企業を対象とする。

2.4 データの入手方法

入手できる各企業の環境報告書・CSR 報告書等より資源投入量、製品生産量等のデータを収集する。また、有価証券報告書より各企業の単体の売上高、経常利益、純利益等のデータを収集する。セグメントで報告されている場合はそのデータも収集する。

3. 結果と考察

3.1 資源利用に関わる環境影響の重み付け係数の作成

評価対象の産業が投入する化石資源、鉱物資源、生物資源の重み付け係数の作成を行った。図１はいくつかの資源について重み付け係数を作成したものである。化石燃料を比較すると、コークス、重油の係数が大きく、特に、燃焼時の都市大気汚染領域の環境影響が大きい。このことは一般炭にも当てはまる。また、石灰石の環境影響のほとんどが地球温暖化領域であるのは、石灰石の脱

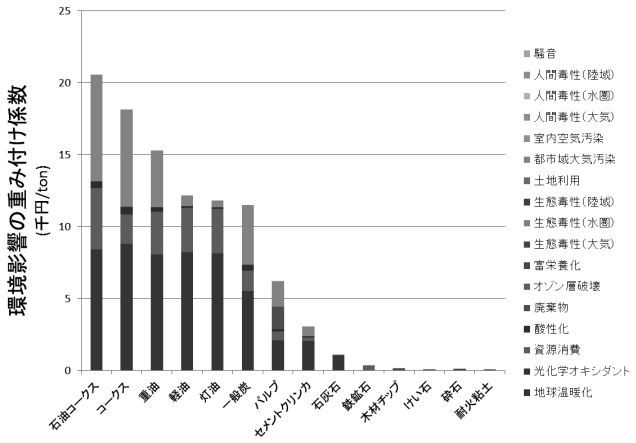


図1　資源利用に関わる環境影響を重み付けする係数

※　パルプ、セメントクリンカ、鉄鉱石、木材チップ、けい石、砕石、耐火粘土のシステム境界は生産のみである。

炭酸により CO_2 が発生するためである。

3.2　資源利用に関わる企業の環境影響

図 2 はセメント A 社の 2004 年から 2012 年の資源投入量を見たものである。各資源の投入量は減少傾向にあり、石灰石の投入量が多くを占めることが分かる。一方、図 3 は同社の資源利用に関わる環境影響を見たものである。図 2 と比較すると、投入量の少ない石炭が与える環境影響が大きくなっている。これは、図 1 に示すとおり、石炭の重量当たりの環境影響が石灰石と比較して大きいからである。このように、各資源が与える環境影響は異なっており、資源生産性を向上させても環境効率は向上していない可能性が示唆される。セメント B 社についても同様の結果が示された。

3.3　環境影響で重み付けした資源利用の環境効率

図 4 は売上高を環境影響で除した資源利用の環境効率と資源投入量で除した資源生産性をセメント A 社と B 社について比べたものである。両社ともに、全事業の売上高を、主としてセメント事業の資源投入量、環境影響で除しているため、セメント事業の占める割合の違いから両社の差が生まれている。

両社ともに資源生産性、環境効率のトレンドに大きな差はなく、セメント産業に関しては資源生産性を用いても環境効率をある程度評価できると考えられる。これは、資源ごとの環境影響は異なるものの、環境影響の大きな石灰石と石炭の投入量がある程度同じ比率で推移しているためである。これはセメント生産に関わる技術が安定しているという意味でもあり、図 4 に示される資源生産性もしくは環境効率の向上は、事業内容の変化によるものと考えられる。

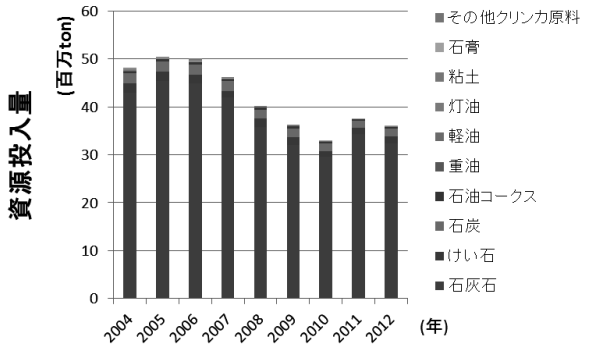


図2　セメント A 社の資源投入量

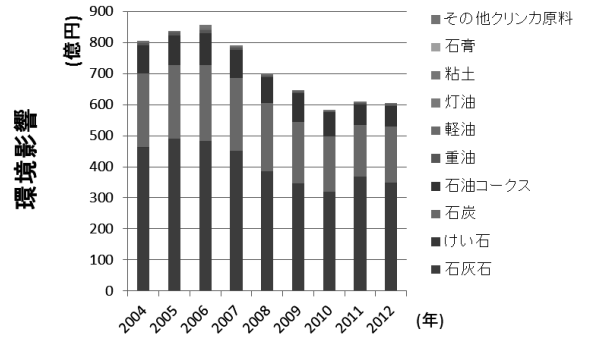


図3　セメント A 社の資源利用に関わる環境影響

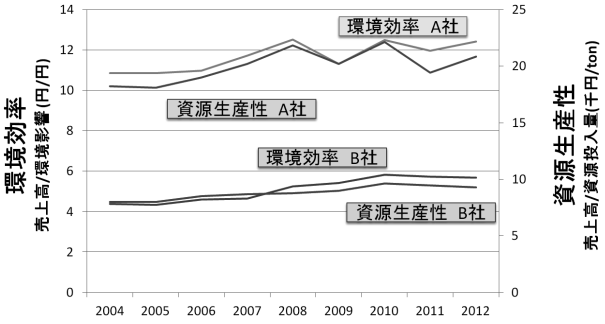


図4　セメント A 社と B 社の環境効率と資源生産性の比較

謝辞：本稿は、第 II 期環境経済の政策研究の成果による。ここに記して深謝する次第である。

参考文献

1)　百嶋徹：我が国企業の「資源生産性」に関する考察、ニッセイ基礎研究報、Vol.54、pp.1-53、2009

2)　van der Voet, E., L. van Oers, I. Nikolic: Dematerialization: Not just a matter of weight, Journal of Industrial Ecology, 8(4), pp.121-137, 2005

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

4)　木船敬太、橋本征二：企業レベルでの資源生産性指標の試算、第 9 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集、pp.100-101、2014

工学院大学の Scope3

SCOPE3 for Kogakuin University

○一宮 敦史*[1)]、井上 夏美[1)]、田中 浩二[2)]、稲葉 敦[1)]
Atsushi Ichinomiya, Natsumi Inoue, Kouji 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

近年、温室効果ガス排出量が増加している。2013 年度の日本の排出量は 13 億 9500 万トン（速報値）と前年度比+1.6%となり、早急な対策が求められている。

我が国の地球温暖化対策として、地球温暖化対策の推進に関する法律（温対法）やCSR 報告書等で排出量の情報開示が行われてきたが、CO_2 排出量削減への新たな取組みとして、原材料の調達、輸送、使用、廃棄等といった事業者の事業活動より排出される間接排出量(Scope3)の算定が始まっている。これまでは、事業者自身が排出する直接排出量(Scope1)、他者から供給された電気、熱、蒸気の使用に伴って排出される間接排出量(Scope2)の算定が主体となっていたが、現在は企業を中心に Scope1、Scope2 に加えて Scope3 の算定も浸透しつつある。また、学校法人でも著者らが昨年度2012 年度の会計支出データとエネルギー消費量のデータを用いて、工学院大学の Scope3 の算定を行った[1)]。本研究では、昨年度に引き続き、2013 年度データを用いて工学院大学の Scope3 の算定を行う。また、2012 年度と 2013 年度の相違について分析する。

2. 分析方法

本研究は以下の手順によって進めた。

①金額と支払い内容等で構成されている2013 年度の工学院大学会計支出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データを 450 の物品種別に分類して集計し、MiLCA[2)]及び 3EID[3)]を用いて該当する 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。

○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、Scope1, Scope 2, Scope 3 それぞれの CO_2 排出量を求め、2012 年度の計算結果と比較した。

3. 結果

3.1 2013 年度全体の支出

2013 年度の工学院大学の支出合計金額及びその内訳は図 1 の通りである。

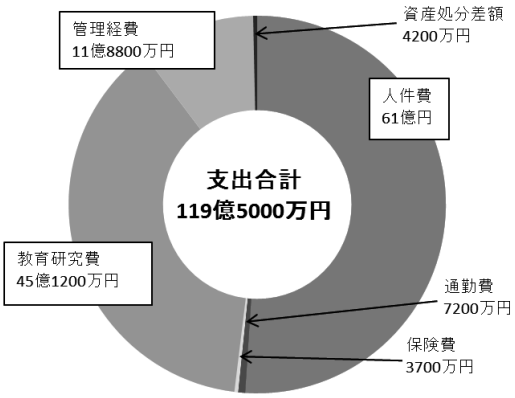


図 1.　2013 年度工学院大学の支出

2013 年度の支出合計金額は 119 億 5,000 万円で、昨年度より 2 億 7,000 万円増となった。その内訳は教員・職員の人件費が 61 億円、教員・職員の通勤費が 7,000 万円、教員・職員の保険費が 4,800 万円、教育研究活動に直接支出される費用、学生の勉学環境の維持費用などの教育研究費が 45 億 1,200 万円、学生募集経費、その他管理部門の経費などの管理経費が 11 億 8,800 万円、機器備品の除却損などの資産処分差額が 4,200 万円である。

このうち Scope3 の算定では、通勤費、保険費、教育研究費、管理経費が算定の対象となり、金額は 58 億 1000 万円、支出金額全体の 49%となる。

3.2 Scope 毎の CO_2 排出量

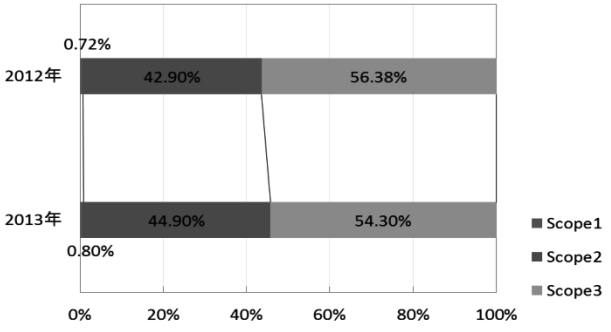


図 2.　Scope 別の CO_2 排出量割合とデータ比較

2013 年度工学院大学の Scope1、Scope2、Scope3 全体の CO_2 排出量は 1.61×10^7kg であった。各 Scope の内訳は Scope1 が 1.27×10^5kg（0.8%）、Scope2 が 7.23×10^6kg（44.9%）、Scope3 が 8.73×10^6kg（54.3%）となった。

図 2 に 2012 年度と 2013 年度の Scope 別の CO_2 排出量の割合を示す。データを比較すると、2013 年度は Scope1、Scope2 の割合が高くなり、Scope3 の割合が減った。これは、原子力発電所の稼働停止によって火力発電所からの CO_2 排出量が増加したことや、夏の猛暑、冬の厳寒により電力、都市ガス等の使用量が増加したことが原因である。

3.3 Scope3 各項目の CO_2 排出量

2012 年度及び 2013 年度の工学院大学 Scope3 算定結果の内訳を表 1 に示す。研究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。

表 1.　Scope3 の CO_2 排出量

勘定項目	CO_2排出量[kg]	
	2012年度	2013年度
消耗品費	1,807,526.80	2,077,359.81
消耗機器備品費	269,763.38	222,267.64
消耗図書費	334,738.69	291,898.94
通信運搬費	86,367.45	73,839.76
旅費交通費	258,961.98	98,682.42
印刷製本費	709,213.23	632,563.78
修繕費	194,391.25	191,356.72
取壊費	11,681.18	115,324.97
委託・保守費	1,244,393.89	916,794.10
賃借費	161,949.66	150,475.41
電算使用費	109.68	52.65
各研究費	358,605.35	369,526.62
会議費	9,134.06	7,455.18
諸会費	42,076.99	36,894.61
雑費	559,395.04	448,539.78
渉外費	5,619.84	1,620.67
補助委託保守費	220,785.49	146,004.47
広告費	484,446.82	316,341.55
求人及び研修費	21,010.65	30,360.67
各建物費	1,052,651.89	237,523.05
各備品費	1,180,701.08	2,148,137.78
大学車両費	45,996.65	0.00
通勤費	280,172.40	190,091.19
保険費	34,129.45	26,391.20
光熱水費（上水）	3,119.34	3,127.06
合計	9,376,942.24	8,732,630.00

2013 年度の CO_2 排出量は、2012 年度と比べて約 6.44×10^4kg 少なかった。2012 年度は新校舎の建設が行われ、その際に必要な備品を購入したことで、CO_2 排出量が多くなったと思われる。また、2013 年度の方が CO_2 排出量が増加したものとして取壊費が挙げられる。これは、使用されなくなった校舎の解体作業が行われたことが原因である。

また、表 1 の CO_2 排出量は Scope3 の 15 個のカテゴリー[4]のうち、7 個のカテゴリーに振り分けることが出来た。

図 3 に 2012 年と 2013 年のカテゴリー別 CO_2 排出量の割合を示す。

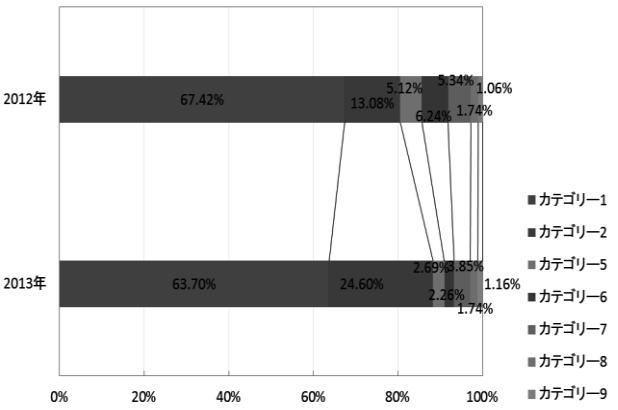


図 3.　Scope3 のカテゴリー別 CO_2 排出量割合

データを比較すると、2013 年度はカテゴリー2（資本財）の割合が 10%以上増加した。カテゴリー2 には表 1 中の各備品費が該当する。2013 年度は 2012 年度に比べてパソコンの購入金額が大幅に増加したため、CO_2 排出量が増加した。

4.　まとめ

工学院大学は昨年度に引き続き、Scope3 の算出を行った。Scope 別の排出量割合は昨年度と大きな変化はなかったものの、Scope3 のみを見ると、校舎の建設・解体などの活動によって、CO_2 排出量が変化することが分かった。今後も継続して Scope3 の算定を実施し、CO_2 排出量の変化の動向を分析しつつ、CO_2 排出量の削減方法を検討したい。

また、2013 年度は学生が関わる部分での CO_2 排出量の算定を行っており[5]、そのデータを分析することでより精緻に工学院大学全体の CO_2 排出量を示すことが出来ると思われる。

5.　参考文献

1)宮田航：2012 年度工学院大学の Scope3 算定（2013）
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）
5)井上夏美ら：本研究発表会で発表予定

日本 LCA 学会学生交流ネットワーク 2014 年度活動報告

ILCAJ-Student Communication Network Activity Report 2014

○重富陽介*[1)]，田髙初奈[2)]，伊藤新[3)]，稗貫峻一[2)]，岡本隼輔[4)]
Yosuke Shigetomi, Hatsuna Tadaka, Arata, Ito, Shunichi Hienuki, Shunsuke Okamoto
1) 京都大学, 2) 横浜国立大学, 3) 立命館大学, 4) 九州大学
* shigetomi.yosuke.46w@st.kyoto-u.ac.jp

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表 1 に示す。

表 1. SCN 設立から現在までの流れ

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回エコバランス国際会議中）
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） 約30名が参加 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） 約30名が参加
2014年9月	第6回ワークショップ2014開催 約35名が参加

2. 主な活動内容

・工場見学会 (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。本年度は見学会の代わりに新たな取り組みを行った。詳細は後述する。

・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う、学生同士で議論を行う。本年度は 9 月下旬の 3 日間、都内の国立オリンピック記念青少年総合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。本年度は日本 LCA 学会発表会の会期中に、東京工業大学大学院イノベーションマネジメント研究科の梶川裕矢氏をお招きし、「革新的エネルギー技術の開発と普及に向けて」というタイトルでご講演いただいた。

・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. 2014 年度ワークショップにおける新規活動報告

前述したワークショップは夏季の 3 日間で行なっており、例年その期間中に工場見学会を同時に開催してきた。しかし近年、工場見学会はその企業の LCA をはじめとする環境行動の一端に触れることができるものの、見学会の特性から受動的な取り組みに終始しがちであるという意見や、新規企画の提案を推奨する意見を頂戴していた。このような背景から、本年度は工場見学会に代わって、新たに学生同士で LCA に関するテーマについてグループディスカッションを行なう

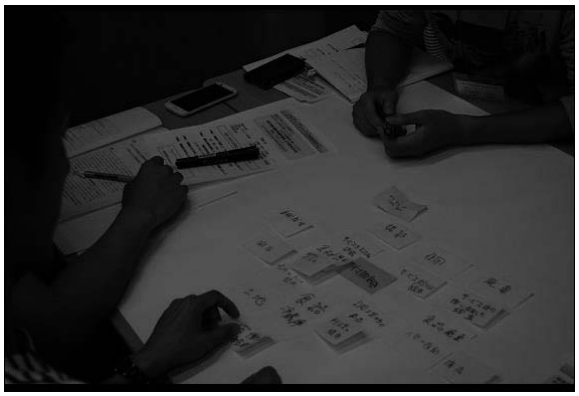


図 1 当日のグループディスカッションの様子

図 2 中島光太氏によるご講演の様子

「座談会」を開催した [2]。本要旨では主にその内容と当日の様子について報告する。

今回は、本年度 7 月に開催された日本 LCA 学会設立 10 周年記念座談会におけるパネルディスカッションのサブテーマに倣い、「学生は LCA の研究を通して何を学ぶべきか」をテーマとした。この座談会を通して参加した学生が自身の研究分野の視野を広げ、LCA と社会の繋がりや今後の自らの働き方をより明確に意識できるようになることを目的とした。

3.1 当日の内容

本年度のワークショップには学部生も多数参加していたため、本座談会の構成はできるだけ全員にとって議論に参加しやすい内容となることを心掛けた。そこでグループディスカッションの前に、全員が一定の LCA に関する知識の共有を図ることを目的とする勉強会を開催した。この勉強会では、幹事長の岡本と副幹事長の稗貫が、それぞれ LCA の手法と持続可能性に対する LCA の適用範囲について解説した。その後、4 人 1 班の全 7 班に分かれて、「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グループディスカッションを行なった (図 1)。

時間は 1 テーマ 30 分とし、ディスカッションの最後には、各班が意見をまとめた模造紙を用いて、1 テーマに対して 2 分以内で班としての意見を全体の前で発表することで、意見の共有を図った。

本座談会には、現在横浜国立大学博士課程に在籍しながら社会人 7 年目としてご活躍されている中島光太氏に同席していただいた。上述の発表の後、中島氏に本座談会の所感とご自身のこれまでの LCA に関わる経験についてご講演いただいた (図 2)。講演後には質疑応答の時間を設け、学生からは講演や中島氏自身に関する質問が積極的に挙がった。本座談会は終始盛況なまま終えることができた。

3.2 座談会に対する参加学生からの反応

ワークショップの後日、メールで参加者に対して本座談会に関するアンケート調査を実施した。座談会参加者 27 名のうち、20 名から回答を得ることができ、ほとんどの回答が本座談会の内容を肯定的に捉えた内容であった。そのうちグループワークを通して他大学との学生との交流にも繋がったと考える学生が半数以上おり、多くの学生が自身の研究に対する考え方も良い方向に変化したと回答した。一方でグループワークの時間については短かったという意見が半数近く見られ、検討の余地が残る。また、「座談会を通して LCA と社会の繋がりに対する見方は変わったか」という質問については、最も回答が分かれた。今回のテーマには明確な答えが存在せず、また時間的制約や調査の制約等も反映された結果であると考えられる。

アンケートには今後もこのような取り組みを望む声も見られ、今回の反省や収穫を糧にして次回以降の企画に繋げていきたい。

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、工場見学会や招待講演などで今後も引き続きご協力をお願いいたします。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けることを希望するとともに、研究室の内外での勧誘も行なっていただければ幸いである。

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/
2) 重富陽介，田髙初奈，稗貫峻一，江口昌伍，伊藤新，岡本隼輔: 日本 LCA 学会誌，(2015)，掲載予定