

環境科学シンポジウム 2013

5. 低炭素型ライフスタイルを実現する都市環境と地域経済

1. シンポジウムの趣旨

低炭素社会を実現する上で、低炭素型ライフスタイルへの転換が重要課題である。これまでも主に都市環境分野ではエネルギー消費の人間行動要因に関する研究が行われてきたが、その多くは例えば冷暖房や自動車利用など、生活者による直接的なエネルギー消費のみに着目していたと言える。実際には、ライフスタイルを改変した場合、消費パターンの変化によるサプライチェーンでの CO₂ 排出量の変化や地域経済への影響など、様々なことを考慮する必要がある。こうした問題について考えるための情報交換を目的とし、関連研究分野における様々な研究事例を紹介した。

2. 各講演の概要

1) 「低炭素型ライフスタイルを実現する都市環境の計画・評価方策の提案」

話題提供者：平野勇二郎
((独) 国立環境研究所)

低炭素社会を実現するためには、大量生産・大量消費型のライフスタイルから低炭素型のライフスタイルへの転換が急務である。これまでも低炭素型ライフスタイルの実現に向けて、様々な機会に国民への啓発が行われてきた。しかしながら、その大半は例えば冷暖房の設定温度の見直しや、公共交通機関の利用促進などの生活者による直接的なエネルギー消費のみに着目している。実際には民生部門や運輸部門と比較し産業部門のエネルギー消費は非常に多いため、生産活動に伴う工場から CO₂ 排出を削減することが今後の大幅削減の鍵となる。製品の生産による CO₂ 排出の算定は LCA の研究分野で行われており、消費行動に伴う CO₂ 排出量をサプライチェーン全体で算定することが可能である。しかしながら、消費行動を抑制するような温暖化対策では景気の後退につながるため、経済活性化や雇用確保への配慮も必要となる。そこで報告者らは、環境研究総合推進費(2RF-1303)の研究プロジェクトにおいて、ライフサイクル全体での CO₂ 排出量を削減するライフスタイルの提案と、それを実現するための都市環境の設計に関する研究を進めて

いる。本報告ではその基本コンセプトについて紹介した。

現在開発を進めている手法では、例えば典型的にはライフスタイルを製造業依存型からサービス産業依存型へ転換することなど、経済活動あたりのライフサイクル CO₂ 排出量が少ない産業へ産業構造を徐々にシフトすることにより、CO₂ 削減と経済活性化を両立した社会の将来像を提示する。これは、従来は民生部門、運輸部門が中心であった低炭素型の都市環境設計の研究にライフサイクル CO₂ 削減のメニューを導入するものであり、大量生産・大量消費社会からのソフトランディングとも言うことができる。今後、様々なケーススタディを通じて知見を固めるとともに、具体的な環境都市構築や震災復興まちづくりへなどの政策の場において貢献することを目指していく予定である。

2) 「民生家庭部門における省エネ施策がもたらすマルチベネフィット」

話題提供者：川久保俊
(法政大学)

従来の研究では、民生家庭部門における省エネ施策がもたらす便益として居住者の光熱費削減や家庭部門の温室効果ガス排出量削減の部分に着目するものが多数を占めていた。しかし実際には省エネ施策の実施により、省エネの便益(EB: Energy Benefits)に加えて、多くの省エネ以外の便益(NEB: Non-Energy Benefits)がもたらされることが明らかになりつつある。EBとNEBを併せたこのマルチベネフィットを如何にして定量化し、効果的に情報発信していくかが、課題であると共に、民生家庭部門における排出削減の鍵である。

省エネによる便益EBの定量化に関する方法論は既に確立されているので、今後は省エネ以外の便益NEBを定量化する方法論を確立させていく必要がある。特に、NEBの中でも住環境の改善に伴う健康維持増進効果に関する関心が大きいので、この方法論の検討を行った。既往研究より、一般的な住居から高断熱・高气密住宅に転居すると、各種疾病に罹患する確率が減少することが近年になって明らかになってきており、この効果を経済価値換算することによって、住環境整備の意義を明示化すること

を本研究では試みた。住環境整備によって家族が健康になると、勤労者は休業日数が減少して給与損失を予防することが可能になる他、世帯の医療費そのものを節約することも可能になる。この給与損失の予防額と医療費節約分の総和をNEBとして考慮することにした。その結果、一般的な世帯が年間に良質な住宅に住むことによって得られるNEBの額は約27,000円と推計された。これは省エネによって得られるEBとほぼ同じオーダーであり、その効果は比較的大きいことが示された。

今回は住環境整備がもたらす健康維持増進効果のみを定量化したが、他のNEBも同様に定量化して市民に情報提供することによって、家庭部門における自発的な省エネ対策が促進されると期待している。

3) 「資源の全体で効率的な利用に向けた評価手法に関する検討」

話題提供者：藤井 実（独）国立環境研究所）

低炭素・省資源化に向けた各種対策は、評価対象とする領域では正の効果をもたらしても、対象外の他の領域に対しては、負の効果をもたらす場合がある。全体を評価することが望ましいが、データの制約や実施の手間を考えると実用的ではない。そこで本研究では、部分的に実施・評価する対策が、全体の改善にも繋がる可能性を向上させるための、計画・評価手法について検討した。

従来の製品等のライフサイクル分析に対し、資源を評価の中心に置き、資源自体の採掘から廃棄に至るライフサイクルにおいて、どれだけの機能を提供できるかを評価する枠組みを構築する。資源のライフサイクル分析では、評価自体が資源の利用効率や資源生産性等の評価に直結するため、一部の領域で正の効果をもたらす対策が、他の領域でのトレードオフを生じる可能性を低減できると考えられる。なお、図1に示すように、従来の製品等のライフサイクル分析（横方向の積み上げ）に対して、直交する断面での評価であり、仮に全体を包括的に評価する場合には、両分析方法は等価なものになるはずである。

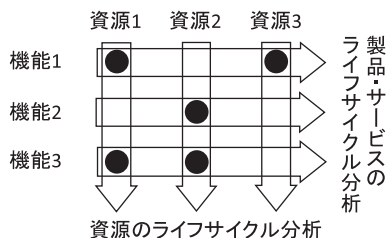


図1 資源のライフサイクル分析（従来法との関係）

廃プラスチックのケミカルリサイクル（合成ガスおよび高炉還元剤の製造）を事例として採り上げた。従来の評価に対し、資源のライフサイクルを評価する観点から、リサイクルにより代替される化石資源（天然ガスおよび石炭）の一般的な用途もシステム境界に含めて評価した。

従来の評価方法によるCO₂削減効果に対し、資源のライフサイクル分析の観点では、異なる評価となり、最適なりサイクル対策の判断も異なったものになる可能性が示された。評価方法の詳細を検討・整理し、その利点・欠点を示すことが今後の課題である。

4) 「消費者行動の変化に伴う環境・経済への波及効果に関する分析手法の検討」

話題提供者：河尻耕太郎
（独）産業技術総合研究所）

消費者行動が直接的・間接的に社会の環境負荷に与える影響は大きい。しかしながら、現在、環境分野における消費者行動に関する研究は少なく、行動および消費の波及について分析する手法は存在しない。そこで本研究では、消費者の消費行動の変化に伴って生じる環境・経済への波及効果を分析するための手法について、節約行動をケーススタディとして、検討を行った。

本研究では、ウェブアンケートを用いて、各支出項目の節約ポテンシャルと、節約によるリバウンド効果について調査を行った。本調査により、各世帯の年間CO₂排出量約12トンのうち、節約可能なCO₂排出量はその約6%にあたる0.7トンであるが、そのうちの0.65トンがリバウンドするため、節約による正味のCO₂削減量は約50kg-CO₂程度であることが明らかになった。したがって、リバウンドによるCO₂排出を抑制しない限り、節約によるCO₂削減効果は小さい。

リバウンドによるCO₂排出を分析するためには、どの支出項目を節約し、どの支出項目にリバウンドするのか、金銭の流れを捉えることが重要である。そのための手法としてマトリクスを用いた分析が有効であることが明らかになった。本マトリクスを用いて、光熱費など、CO₂原単位の大きな項目を節約し、教育や通信、レジャーなど、CO₂原単位の小さな項目にリバウンドすることで、効率的にCO₂排出量を節約できることが明らかになった。

上記研究と並行して、ウェブ上で家計簿を記帳することで、家計支出に伴う間接的・直接的なCO₂排出量、電力消費量、経済波及効果を見える化できるソフトウェアを開発中であり、現在プロトタイプを公開している。今後、つくば市と共同で、本ソフトの実証実験を遂行予定である。

5) 「再生可能エネルギー発電導入に伴う雇用創出の特徴—拡張産業連関モデルの応用」

話題提供者：稗貫峻一・本藤祐樹
(横浜国立大学)

本研究は、再生可能エネルギー技術に関連する部門を新設した拡張産業連関表を作成し、それら技術の導入に伴う環境・社会経済影響を分析することを目的としている。

今回のシンポジウムでは、地熱、風力、太陽光発電を導入した際に創出される直接・間接の雇用の特徴について報告した。以下に、その一部を示す。

地熱、風力、太陽光発電にそれぞれ1 [GWh] の最終需要が生じた場合にライフサイクル全体で創出される雇用量はそれぞれ0.81, 0.69, 2.79 [人・年/GWh] と推計された(図2)。

また、3技術の雇用効果を比較考察することで、次に示す特徴が明らかになった。

- (1) 地熱発電は発電段階において継続的に創出される雇用の比率(65%)が大きい。他方で、風力、太陽光発電は製造、建設による一時的な雇用の比率(58%, 70%)が高い(図2)。
- (2) 地熱発電は、機械修理、対事業所サービス部門など、発電所の維持管理や修繕に伴う雇用の多くが国内で発生するため国内雇用比率(84%)が高い。他方で、風力と太陽光発電は、タワー、ナセル、ブレード、太陽電池などの設備製造に係る製品や部品の多くを輸入しているため、国内雇用比率(65%, 70%)はやや低い。
- (3) 3技術に共通して、卸売、小売、金融、貨物輸送、労働派遣、対事業所サービスなどのサービス部門での間接的な雇用創出が確認された。

6) 「ライフスタイル—商業立地の相互関係モデル」

話題提供者：戸川卓哉((独) 国立環境研究所)

研究では、消費者の購買行動と、商業事業者の立地・価格競争を表現するモデルを構築し、それらを連動させることにより、人口密度・自動車保有率・

高齢化率などのライフスタイルを規定する諸要因が商業立地を変化させるメカニズムを実証的に分析し、都市構造が変化するような中・長期的な観点からのライフスタイルに関連する施策の環境影響評価を目的とする。具体的には、ホテリングの空間競争モデルの考え方に基づいて、商業立地を規定する構造的関係をモデル化し、モデルから導出された理論式に基づいて、商業統計の業種ごとにデータを活用し統計的妥当性を推計することで、ライフスタイル・購買行動に関する各要因が商業立地に与える影響度を分析した。

各種商品小売業では、世帯密度に関する弾力性が他の業種に比べて高い値を示している。織物・衣服・身の回り品小売業では、パラメータが理論式の符号条件を満たしていない。これは、衣料系の商品においてはヴァラエティの経済が働くため、店舗同士が競争関係というよりも相互補完関係にあり、大都市部に集中して立地している可能性が考えられる。飲食料品小売業に関する推定結果は理論モデルと高い適合性を示している。以上より、都市や地域をコンパクト化し、人口密度を上昇させることで飲食料品小売業を中心とした小規模・分散化が起こる可能性が示唆され、ライフスタイルと商業立地の相互関係の一端が示された。以上のモデルと統計パラメータを用いて、名古屋市を対象とした将来予測のシミュレーションを行った結果、今後、大規模小売店舗などを含む各種商品小売業の立地量や規模はほぼ現状のまま推移するが、進展する高齢化の影響を受けてコンビニエンスストアなどを含む飲食料品小売業の店舗数が大幅に増加する可能性があることが示唆された。また、その結果、流通に係る費用は1.20～1.55倍程度に増加することが示された。

都市域をコンパクトにすることにより店舗数は若干変化するものの、流通費用を削減する効果は大きくないことがわかった。これは、世帯密度の上昇に伴い一定の流通費用の節減効果はあるものの、高齢化の影響によるコスト増が凌駕するためである。このことから、単に都市域をコンパクトに集約するだけでなく、高齢者のモビリティの確保など総合的な都市の設計が今後必要であることが示唆された。

7) 「地域 CO₂ 削減策の統合影響評価モデルと地域特性に関する考察」

話題提供者：渡邊 聡
(名古屋大学)

本研究は、地域における CO₂ 削減策の効果を経済(Economy)－資源・エネルギー(Energy)－環境(Environment)を同時的に分析する「3Eモデル」を用いて分析した。

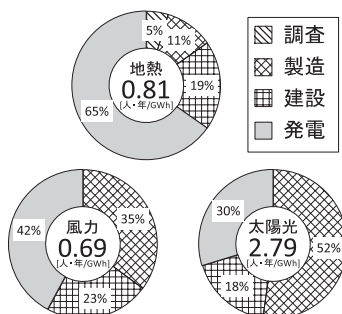


図2 各技術のライフステージ別雇用比率

分析にあたって、東海地方（愛知・岐阜・三重）を対象にした 3E モデル（地域気候政策・経済分析モデル）を構築し、2030 年の当該地域の姿と CO₂ 削減策の経済効果を推計した。

このモデルはさらに細かく分かれ、各県の主要経済指標（県内総生産・県民所得など）の間の相互関係を把握する地域マクロ計量モデルと産業構造を把握する産業連関モデルならびにエネルギー需給構造を把握する地域エネルギーモデルから成る。モデルの構築ならびに分析の手順は、まず地域マクロ経済構造をマクロ計量モデルと産業連関モデルから行う。次に予測された地域マクロ経済構造を通じてエネルギー需給構造をエネルギーモデルから行う。その上で現状のトレンドがそのまま続いた場合として BAU ケースを推計する。それに対し削減策の導入ケースを策定し、削減策が導入された場合のマクロ経済指標や産業構造、雇用者数の効果等をマクロ計量モデル・産業連関モデルで推計される。

また、3 県内における対策導入の効果の差を比較するために、削減対策別の CO₂ 削減量に対する対策導入支出額の比をもとめる支出単価と、削減策別の導入支出額に対する生産波及効果の比を示す支

出効率を推計した（表 1）。愛知は自動車の燃費改善やグリーン家電・OA 機器の買い替えのような全国レベルの削減策が他県よりも比較的安価であり、支出効率も 1 より大きいものが多く、岐阜は EV の支出単価が比較的安価であり、バイオマスメタン・木質バイオ・都市緑化の支出効率が比較的高い傾向にあり、三重は工場ガス転換・RPF の支出単価が安価、また RPF について支出効率が比較的高いという傾向にある。

3E モデルに基づく効果推計は、温暖化対策が地域経済・資源エネルギー需給に与える影響を考えるにあたって政策インプリケーションを与えるものである。一方で、地域における低炭素対策とその地域特性について考えていく場合、（1）人口・世帯構成等社会動態を分析するモデル、（2）地域エネルギー需給構造の変動が最終消費エネルギー価格に与える影響を分析するモデル、以上 2 つのモデルが必要になる

8) 「地域特性に応じた低物質・低炭素都市圏の規模と人口分布の検討」

話題提供者：奥岡桂次郎（名古屋大学）
人間活動の多くは都市における活動であり、都市

表 1 東海 3 県削減策別支出単価と支出効率比較（単位 支出単価：円 /tCO₂，支出効率：円）

	支出単価			支出効率		
	愛知	岐阜	三重	愛知	岐阜	三重
電気自動車	27,700	26,300	35,100	1.087	0.768	0.525
PV	105,262	102,638	136,850	0.784	0.604	0.404
風力	24,292	26,325	30,959	0.5	0.935	0.507
中小水力	23,290	23,436	30,295	0.794	0.593	0.4
地熱	77,638	80,656	80,135	0.718	0.681	0.428
燃費（ガソリン）	78,879	199,827	124,892	1.021	0.516	0.403
燃費（軽油）	8,960	44,800	74,667	1.014	0.491	0.39
グリーン家電	59,733	149,333	224,000	1.025	0.53	0.409
グリーン OA	12,000	42,000	42,000	1.024	0.53	0.41
ガス地域 CHP	30,529	30,365	30,365	0.76	0.697	0.442
工場等ガス転換	2,012	2,625	2,026	1.027	0.981	0.613
共有自転車	74,000	XX	74,000	0.992	0.544	0.447
バイオマスメタン	111,982	112,779	112,783	0.801	1.078	0.732
木質バイオ	15,250	17,429	XX	0.613	0.8	0.571
リフォーム	681,481	681,481	681,481	0.62	0.753	0.388
発電燃料転換	15,714	XX	16,500	1.45	XX	0.882
RPF（石炭代替燃料に）	44,657	XX	41,680	1.022	XX	0.946
都市域緑化	5,263,167	XX	3,157,900	0.325	1.139	0.629
合計	130,066	73,400	84,860	0.643	0.713	0.484

注）各県 2030 年予測産業連関表によって分析された生産波及効果を基に算出。（資料）渡邊算出。

XX は対策導入量ゼロもしくは CO₂ 削減量が微小のため算出不能を表す。

の集積と人間活動は密接に関係していることから、低物質・低炭素については都市を対象に論じる必要がある。また、人間活動の分布は単一の都市に限られるものではなく、複数の都市群によって構成される「都市圏」内で、都市の枠を超えて存在している。そのため、低物質・低炭素な都市圏を実現するために、個々の都市の特徴をふまえた、都市圏全体のマテリアルストックや二酸化炭素排出量を把握する必要がある。本研究では、全国の都市圏を対象に、民生部門におけるマテリアルストック需要量と二酸化炭素排出量を推計するモデルを作成し、都市圏の人口規模や都市圏内におけるブロックごとの人口密度が変化したことによる影響を評価した。

本研究では、話題提供者らによる VUAM (Virtual Urban Area Model) の更新版を作成することで、都市圏におけるマテリアルストックと二酸化炭素排出量を推計した。初期入力値は人口、面積、周辺の数、昼間人口比、地方タイプの5である。地方タイプに関しては住居の建て方や構造の割合、またエネルギー構成比などの推計の際に用いた。中部地方の都市圏を対象に、以下の A から E の5種類の規模の都市圏を仮定し、コアと周辺との人口分布を変化させた。各仮定は、A:人口20万人、B:人口40万人、C:人口100万人、D:人口200万人程度、E:人口800万人、とした。この結果、全体としてコアへの集約に伴い、1人あたりマテリアルストック需要量の減少が見られたが、AやBの比較的小さい都市圏では10%程度集約したところで極値となり、それ以上の集約は需要量の増大をもたらすことなどが示された。

9) 「公共交通システム導入の低炭素性評価における Consequential LCA の必要性」

話題提供者: 柴原尚希・森本涼子
(名古屋大学)

交通分野では、Light Rail Transit (LRT) のような公共交通システムを導入し、乗用車からのモーダルシフトを促す施策が低炭素社会の実現のために有効であると考えられている。本発表では、既存研究における交通システムへのライフサイクルアセスメント (LCA) 適用の考え方を整理した上で、新たな交通システムの導入が環境負荷を削減しうるかどうかを判断するためには Consequential LCA が必要であることを述べた。

既存の交通システムに関する LCA 研究では、Attributional LCA と Consequential LCA のどちらの立場をとっているかを明示せずに評価が行われ

ているものの、その目的や評価対象範囲からいずれかに分類することができる。近年では、交通システム整備という政策の評価を目的に LCA が実施されることが多く、LRT の環境負荷評価を自動車交通への影響も含めて実施しバス等代替輸送機関と比較したり、Bus Rapid Transit (BRT) 整備をその後の自動車需要変化を合わせて評価したりしている。これらの研究では交通システム整備に伴い環境負荷排出量がどのように変化するかを把握していることから、Consequential LCA 的な視点が取り入れられていると言えるものの、マクロデータに基づく原単位を用いて分析が行われていることが多く、Attributional LCA による評価を足し合わせているとも言える。

発表では、LRT 整備に伴うライフサイクル CO₂ 変化をミクロ交通流シミュレーションを用いて推計した結果を例に、システムどうしの相互連関 (LRT 導入が走行速度や停止・加減速等の走行パターンといった自動車走行挙動に与える影響) は、マクロデータに基づく原単位を用いた分析では捕捉できないことを示した。また、公共交通システム導入によりもたらされる平均旅行速度等の道路交通状況変化は非線形であるので、自動車から LRT への転換率に応じた感度分析においても Attributional LCA に基づく原単位は使用できず、Consequential LCA による分析が必要であることを示した。

3. おわりに

冒頭のシンポジウムの趣旨でも述べた通り、低炭素型ライフスタイルを実現するためには、LCA や地域経済、都市環境などの研究分野の知見を結びつけて考える必要がある。本シンポジウムでは、非常に多岐にわたる内容でご講演頂いたが、いずれも本研究の趣旨と深く関係するものであり、多くの有益な議論ができた。すでに個々の知見としては十分に充実しており、今後はこれらを結びつけていくことが重要課題であると考えている。

なお、本研究は平成25年度環境研究総合推進費「低炭素と経済活性化を両立する生活・行動様式と地域環境デザイン方策の提案」(2RF-1303) の支援により実施された。

オーガナイザー 平野勇二郎
(独) 国立環境研究所
柴原尚希 (名古屋大学)