

課題名 2RF-1303 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

課題代表者名 平野 勇二郎（国立研究開発法人国立環境研究所 社会環境システム研究センター 主任研究員）

研究実施期間 平成25～27年度

累計予算額 30,259千円（平成27年度9,744千円）  
予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード 低炭素社会、生活・行動様式、ライフサイクルCO<sub>2</sub>排出、地域経済、地域環境

#### 研究体制

- (1)低炭素型の生活・行動様式の評価と都市・地域デザイン(国立研究開発法人国立環境研究所)
- (2)低炭素型経済システムを実現する企業経営と産業構造に関する研究(横浜国立大学)
- (3)低炭素型の地域計画と地域経済・社会動態への影響に関する研究(名古屋大学)

### 研究概要

#### 1. はじめに(研究背景等)

低炭素社会を実現する上で、低炭素型の生活・行動様式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において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、例えば空調や給湯などの生活者による直接的なエネルギー消費にのみ着目している。しかしながら、実際には民生部門と比較して産業部門のエネルギー消費は非常に多いため、今後は生産活動に伴う工場からのCO<sub>2</sub>排出を削減することが必要である。また、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。このため、都市環境分野における生活・行動様式の設計と、ライフサイクルアセスメント分野におけるCO<sub>2</sub>推計手法、環境経済分野における経済活性化の研究の3つを結び付け、低炭素型の生活・行動様式を実現する方策を確立する研究を提案する。この方策では、経済活動あたりのCO<sub>2</sub>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、コスト負担や消費の抑制を発生させず、地域における雇用創出とCO<sub>2</sub>削減を両立する生活・行動様式を提示することができる。この研究は、これまでは民生、運輸部門が中心であった低炭素型生活・行動様式の議論にライフサイクルCO<sub>2</sub>削減のメニューを導入するものであり、具体的な低炭素都市デザインに貢献するものである。現在の大量生産・大量消費社会において浪費型の生活・行動様式を改善することは重要課題であるが、実際に生産のCO<sub>2</sub>を消費者側から削減するためには、このアプローチは不可欠である。

#### 2. 研究開発目的

本研究では都市・地域環境分野における低炭素型生活・行動様式の設計と、ライフサイクルアセスメント分野におけるCO<sub>2</sub>推計手法、環境経済分野における地域経済活性化の研究の3つを結び付け、CO<sub>2</sub>削減と経済活性化を両立する施策を提案する。まず種々のエネルギー消費調査やライフサイクルアセスメントのデータベース等を用いて、生活に伴うCO<sub>2</sub>排出の実態を明らかにする。特に産業と最終需要の関係を詳細に把握し、工業製品の消費に伴う工場からのCO<sub>2</sub>排出も消費者側の人間行動要因と結びつけて把握する。次に、種々の生活・行動様式の変化シナリオに従い、マクロ経済モデル・産業連関モデルを用いて産業構造の変化やそれに伴うCO<sub>2</sub>削減効果、雇用創出効果について検討する。その上で、地域における産業構造や人口構成、気候、土地利用などを踏まえて低炭素と経済活性化を両立した生活・行動様式と、それを実現するための望ましい都市・地域環境の計画の方向性を提示する。

#### 3. 研究開発の方法

##### (1)低炭素型の生活・行動様式の評価と都市・地域デザイン

これまでもエネルギー消費の人間行動要因の分析や低炭素型・省エネルギー型生活・行動様式の提案などの研究は数多く行われてきた。ただし、その多くは電力やガスなどの直接的なエネルギー消費によるCO<sub>2</sub>排出を対象としている。実際には、例えば工業製品を消費した場合にも製造や運搬によるCO<sub>2</sub>排出が生じるため、今後はライフサイクル全体でのCO<sub>2</sub>排出量を削減する生活・行動様式を検討する必要がある。そのための基礎研究として、消費行動に伴う直接エネルギー消費によるCO<sub>2</sub>排出量と製品やサービスの購入により誘発される間接CO<sub>2</sub>排出量を推計した。また、後の推計でも利用可能な直接・間接CO<sub>2</sub>排出原単位データを整備した。次に実際に

都市に居住する生活者をサンプルとして選定し(以下、生活者サンプルと記す)、日々の消費行動とそれに伴うCO<sub>2</sub>排出量を算定した結果を分析した。この生活者サンプルは、単身世帯として東京都内に居住する男性の大学生である。この生活者サンプルには製品やサービスの消費行動の記録を依頼し、その支出額と前述した金額あたりCO<sub>2</sub>排出原単位から生活に伴う間接CO<sub>2</sub>排出量を算出した。また、自宅のリビング、台所、浴室の主要機器を対象として直接エネルギー消費によるCO<sub>2</sub>排出も算定した。直接エネルギー消費によるCO<sub>2</sub>排出は、電力については主要機器に設置した簡易電力消費計の計測値から算出した。給湯については湯量と給水温度、給湯温度の関係からエネルギー消費量を計算し、CO<sub>2</sub>排出量を計算した。次にこのCO<sub>2</sub>排出量を行動別に集計することにより、例えば食事方法や移動方法などの行動選択によるCO<sub>2</sub>削減可能性を明らかにした。

さらに低炭素型生活・行動様式を提案するため、サブテーマ3と連携して人口規模・密度・移出入や産業別就業人口比率などの社会動態を把握するための「地域社会動態モデル」を構築し、居住機能の高効率化について検討を行った。そのうち、とくに産業構造の違いが地域エネルギー消費と生活・行動様式に与える影響について詳細な検討を行った。とくに、ここでは前述したCO<sub>2</sub>排出原単位と結びつけて、詳細な空間スケールで地域の産業構造と直接・間接CO<sub>2</sub>排出量との関係を明らかにした。

## (2) 低炭素型経済システムを実現する企業経営と産業構造に関する研究

地球温暖化問題が深刻化している中、持続可能な企業経営を実現するために、一企業単位の環境マネジメントには限界があり、サプライチェーン単位での環境管理(グリーンサプライチェーンマネジメント、以下、GSCM)による環境配慮型経営の実現が重要な課題となる。GSCMに関する既存研究は、一国内や一企業内の取組を対象としたGSCMの実施程度を評価する研究、廃棄物などを対象としたGSCM展開構造の研究、産業間のGSCMを比較する研究などが一般的であった。しかしながら、①地球温暖化問題に関するGSCM実施がどのような要素に影響されているのか、その展開構造は何か、②サプライチェーン全体でのCO<sub>2</sub>排出削減の条件は何か、に関する研究は不十分である。そこで本研究では、地球温暖化対策の歴史的変遷、政策的要因、世界的動向、ステークホルダーの影響、企業内部の要因などから、企業におけるGSCM展開の影響要素を抽出し、その展開構造を明らかにした。企業においてサプライチェーン全体でのCO<sub>2</sub>排出削減の可能性について検討した。

## (3) 低炭素型の地域計画と地域経済・社会動態への影響に関する研究

都市・地域の居住モデルを構築することで、地域環境デザインのモデル化を行った。都市・地域の居住モデルでは、汎用性の高い推計モデル構築のために、都市の特徴を損なわない範囲内で、モデルの外生変数の数を極力少なくするように仮定した。特に、その特徴を表す仮定としては、人口密度により大きく影響を受けるモデル化を行ったことである。また、それを補足する変数として地域を示すダミー変数を設定した。業務部門については通常の人口分布(夜間人口)とは異なる、昼間人口を基盤にモデル化をする必要があるため、昼間人口比についても外性的に入力する仮定をした。以上から、本モデルでは以下の4の外生変数による推計を行うと仮定した。4の外生変数は、人口、面積、地域ダミー、昼間人口比である。その推計フローの概要を図1に示した。

以上の方法で、世帯数から住宅延床面積を推計する際に世帯あたり床面積の規模を考慮することで、詳細な推計を行った。推計された住宅延床面積に、エネルギー消費原単位とエネルギー種別CO<sub>2</sub>換算係数を乗じることで家庭部門CO<sub>2</sub>排出量を推計した。

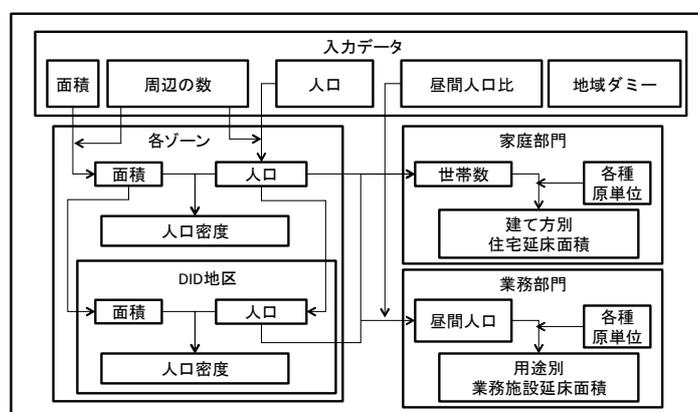


図1 推計フローの概要

また、前述の都市・地域の居住モデルによるエネルギー消費量推計を取り込んで地域経済・エネルギー・CO<sub>2</sub>排出構造を把握するための、地域における気候政策・経済分析モデルを構築した。分析データは、愛知・岐阜・三重の東海三県の1990～2010年の主要経済・社会データとエネルギー消費データを用いた。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構成される。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分析した。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分析した。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（現状維持ケース）を推計した。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した。

#### 4. 結果及び考察

##### (1) 低炭素型の生活・行動様式の評価と都市・地域デザイン

CO<sub>2</sub>排出量の推計結果を図2に示す。なお電力消費によるCO<sub>2</sub>排出は、消費者のエネルギー消費に伴うCO<sub>2</sub>排出であるため、ここでは直接CO<sub>2</sub>排出に含めた。図2から、単身世帯と二人以上世帯のいずれも、直接CO<sub>2</sub>排出と間接CO<sub>2</sub>排出は概ね同程度であるが、いずれも間接CO<sub>2</sub>排出の方が若干大きいという結果となった。したがって、当然ながら消費者による省エネルギーも重要課題であるが、製品・サービス消費による間接CO<sub>2</sub>排出の削減も同様に重要であると言える。間接排出について消費項目別に比較した場合、単身世帯、二人以上世帯とも「食料」、「交通・通信」、「教養娯楽」のCO<sub>2</sub>排出量が比較的多い。これらの項目では消費行動の選択により削減する余地があることが推察される。また、単身世帯と二人以上世帯とを比較すると、世帯あたりでは単身世帯では約15.2[kg-CO<sub>2</sub>/世帯/日]、二人以上世帯では約30.3[kg-CO<sub>2</sub>/世帯/日]となった。CO<sub>2</sub>排出量を1人あたりで比較すると、単身世帯では二人以上世帯と比較し1.6倍ほどCO<sub>2</sub>排出量が多いという結果となった。したがって居住形態や世帯構成もCO<sub>2</sub>排出量に大きく影響していることが分かる。また、1人あたりCO<sub>2</sub>排出量の単身世帯と二人以上世帯の差異は、直接CO<sub>2</sub>排出と比較して間接CO<sub>2</sub>排出において大きいと、物品の共有や調理の効率化によるCO<sub>2</sub>削減効果が得られていると解釈できる。こうしたことから、生活・行動様式を改善する対策により間接CO<sub>2</sub>を削減する方策には十分な削減ポテンシャルがあることが推察される。

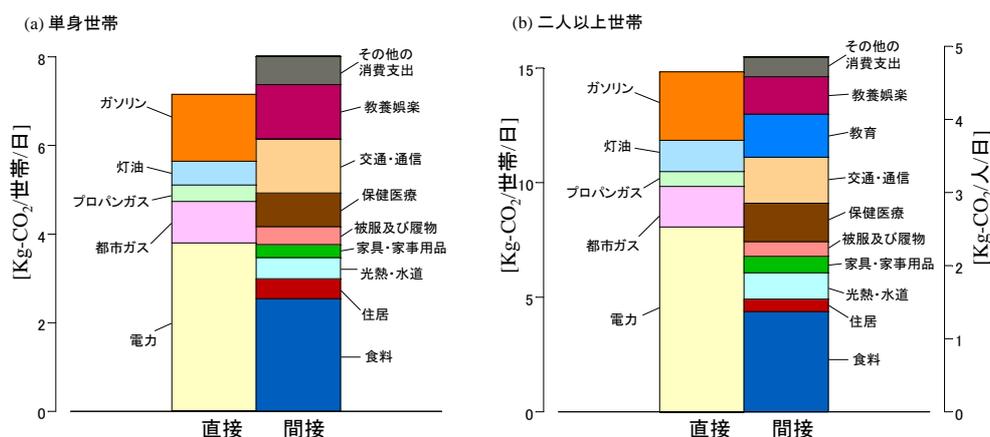


図2 直接・間接CO<sub>2</sub>排出量の推計結果

次に生活者サンプルから取得したデータを消費行動別に集計した。ここでは典型事例として、食事方法、入浴方法、移動方法について各々の方法によるCO<sub>2</sub>排出量を示す(図3、図4、図5)。この結果、消費行動の選択によりCO<sub>2</sub>排出削減できる可能性が高いことが示された。

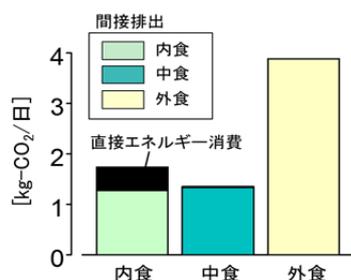


図3 食事方法の解析結果

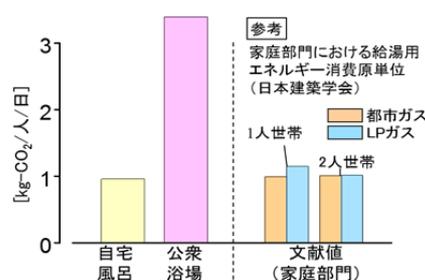


図4 入浴方法の解析結果

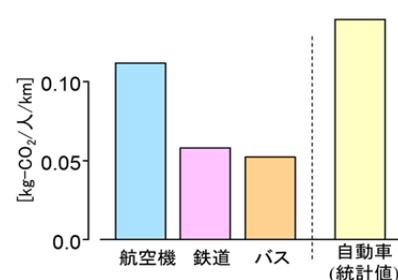


図5 移動方法の解析結果

第3次産業従事者割合と1人あたりCO<sub>2</sub>排出量の関係を示したところ(図6)、直接CO<sub>2</sub>排出については第3次

産業従事者割合8割を超えると電気代に起因する1人当たり直接CO<sub>2</sub>排出量が特に増加するという結果となった。一方、第3次産業従事者割合と1人当たり間接CO<sub>2</sub>排出量の関係性はみられない。ただし、食料に起因する1人当たり間接CO<sub>2</sub>排出量の変動が激しく、低炭素型生活・行動様式の実現には食料の調達方法・調理法の見直しについて検討の余地がある。

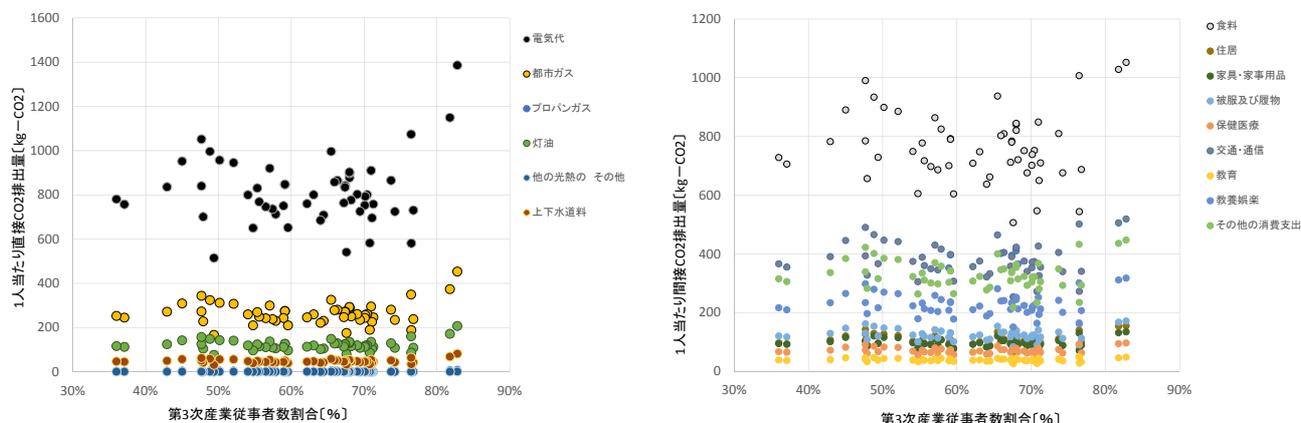


図6 第3次産業従事者割合と1人当たりCO<sub>2</sub>排出量(左:直接CO<sub>2</sub>排出量、右:間接CO<sub>2</sub>排出量)

## (2) 低炭素型経済システムを実現する企業経営と産業構造に関する研究

本研究では上場製造企業全1520社を対象にアンケート調査を行った結果をもとにグリーンサプライチェーンマネジメント(GSCM)の実施および企業パフォーマンスについて因子分析(主成分分析、Kaiserの正規化を伴うバリマックス法)を行った。この結果から抽出された因子を用いて共分散構造分析を行い、GSCM実施と企業パフォーマンスの因果関係モデルを導出した結果、図7の通りとなった。この結果、多くの企業において直接CO<sub>2</sub>排出量と比較しサプライチェーンにおける間接CO<sub>2</sub>排出量は大きく、GSCMの実施によるCO<sub>2</sub>削減ポテンシャルが大きいことが示された。またサプライチェーンを通じた対策により、国内企業の努力により国外における誘発CO<sub>2</sub>を削減できる可能性が示唆され、企業の社会的責任を検討する上で有益な結果を得た。

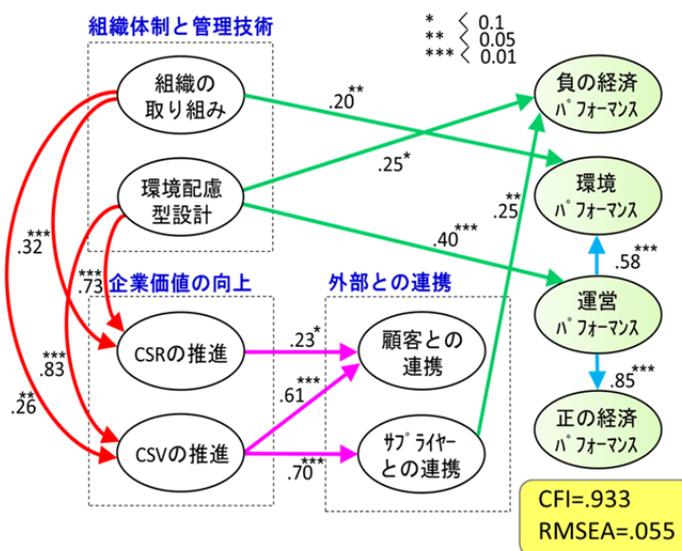


図7 低炭素化に関するGSCM実施と企業パフォーマンスの因果関係モデル

## (3) 低炭素型の地域計画と地域経済・社会動態への影響に関する研究

都市・地域の居住モデルにより名古屋都市圏を対象とした、DID人口及びDID面積を変動させた場合の影響評価を行った結果を図8に示す。横軸はDIDへの人口集約割合を示し、大きいほど集約、小さいほど分散を示し、凡例はDID面積の縮小割合を示す。結果より、DID面積を20%縮小し、DIDの人口集約割合を10%低下させたときにCO<sub>2</sub>排出量が最小であった。また、図9に将来人口に応じた名古屋都市圏の推計結果を示した。人口減少に伴い、将来のCO<sub>2</sub>排出量は減少するが、現状維持シナリオでは一人あたり排出量が増加する結果となった。集約シナリオにより、一人あたり排出量を現状程度の水準に維持でき、人口分布による資源効率の改善が見込めることが示された。

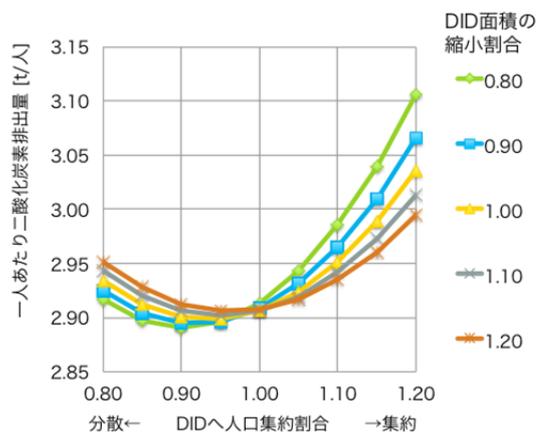


図8 名古屋都市圏における分析結果

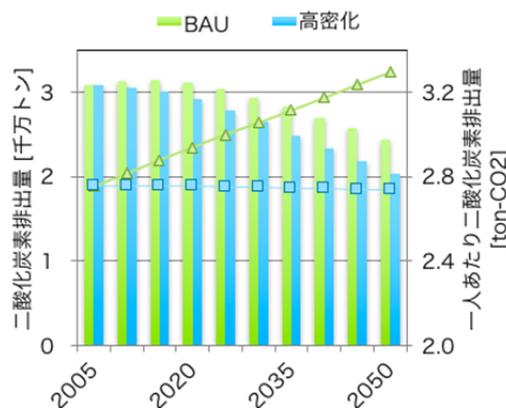


図9 名古屋都市圏の将来分析結果

次にCO<sub>2</sub>削減策の導入ケースを想定し、その場合の経済効果をマクロ計量モデル・産業連関モデルで推計した。この結果、例えば愛知では県内総生産や製造業出荷額の押し上げ効果が大きく、岐阜・三重は県民所得・地方税収入の押し上げ効果が大きいことなどの結果を得た。また、地域経済モデルに加え、総人口や人口密度、高齢者人口比率などの人口統計を用いて東海三県のエネルギー需要予測を行い、各地域の特性を明らかにした。この結果、例えば人口規模の大きい愛知と中山間地域の多い岐阜では将来的にエネルギー需要は減少すること、また石炭・石炭製品・石油製品といった化石燃料の需要が減少するが、天然ガスの需要は増加すること、さらには電力・熱についても減少することなどが示された。また、将来推計の結果を部門別のエネルギー需要で比較すると、運輸(貨物・乗用車)のエネルギー需要(ガソリン需要)は三県ともに減少し、農林水産業も同様の結果であった。一方で、機械産業については愛知では減少し、岐阜・三重で増加するという結果になり、東海三県域内で機械産業内の変化によるエネルギー需要の変化の違いがみられた。

## 5. 本研究により得られた主な成果

### (1) 科学的意義

本研究では、生活・行動様式のうち特に消費活動について、それを支えるサプライチェーンを構成する各要素と一体的に捉え環境的・社会的な観点から比較検討を行うため、生活・行動様式に関する種々のエネルギー消費量・CO<sub>2</sub>排出量の推計を行った。

消費行動による間接的なCO<sub>2</sub>排出量については、食品や日用雑貨等の消費行動に伴うサプライチェーン全体での間接的なCO<sub>2</sub>排出量を推計した。従来は工業製品の製造に関わるCO<sub>2</sub>排出量は工場側から把握することが一般的であったが、本研究の推計結果により消費者側から把握することが可能となり、生活・行動様式と結び付けて検討する際の基礎資料として利用可能なデータが得られた。また、都市居住者のサンプルを選定し、消費行動に伴うCO<sub>2</sub>排出量を算出した。とくに家計調査や全国消費実態調査、産業連関表などの各種データから作成した品目別のCO<sub>2</sub>排出原単位と室内のエネルギー消費計測から直接・間接CO<sub>2</sub>排出量を算定し、消費行動別に集計して結果を比較することにより、とくに消費行動の選択によりCO<sub>2</sub>排出量を削減できる可能性が高いことが示された。

低炭素化対策に関する日本企業のGSCM実施と企業パフォーマンス間の展開構造を分析した結果、企業内部のGSCM実施のうち、組織の取り組みと環境配慮型設計といった組織体制や低炭素化管理技術に関するGSCM実施が、企業価値の向上を目指した近年の取り組みであるCSRやCSVの推進を促進しており、CSRとCSVの推進はさらに、外部との連携によるGSCM実施に影響を与えたことが判明した。また、GSCM実施のうち、環境配慮型設計とサプライヤーとの連携から負の経済パフォーマンスへの影響がみられるものの、環境配慮型設計から運営パフォーマンスへの促進効果や組織の取り組みによる環境パフォーマンスへの促進効果が確認された。

低炭素な地域計画を支える社会システムのあり方を検討するための方法論として、都市・地域の居住モデルを作成し、人口規模・密度・移出入や高齢者人口比率・産業別就業人口比率などの社会動態に応じた、住宅需要分布・業務ビル分布を推計した。また、モデルより名古屋都市圏におけるCO<sub>2</sub>消費構造を明らかにし、集積の程度に応じた削減ポテンシャルを評価した。さらに名古屋都市圏を対象としたシナリオ分析により、望ましい集積の傾向及び技術導入が示唆された。

本研究で構築した手法によって、人口動態の変化を把握する地域社会動態モデルのCO<sub>2</sub>排出量変化の推計

において、将来的な人口動態の変化を考慮することが可能となった。雇用創出もしくは人口動態の変化を組み込むことにより、詳細な地域社会動態の変化を反映したCO<sub>2</sub>推計が可能になったことから、「地域マクロ経済モデル」を用いて地域のマクロ経済・産業・エネルギー需要・CO<sub>2</sub>排出を踏まえて、環境施策の評価をより総合的に行うことが可能となった。

## (2) 環境政策への貢献

### <行政が既に活用した成果>

本研究においてサービス産業を対象として産業分類別にエネルギー消費量を推計した結果に基づき、平野が検討委員を務める「業務部門におけるエネルギー消費実態把握方策検討委員会」(環境省 地球環境局)において種々の知見提供を行い、政策的なCO<sub>2</sub>排出削減の目標設定に貢献した。

平野が低炭素型ライフスタイルに関する講演を行なった(環境都市事業職員講座、2013年10月25日、新地町役場101・102会議室)。東日本大震災により被災した自治体の一つである福島県相馬郡新地町において、本研究プロジェクトによる、環境・エネルギー関連の施策(未利用エネルギーの活用等)の低炭素効果等の評価結果について、講演を通じて情報共有を実施するとともに、自治体および地元企業の担当者との継続的な意見交換を実施している。これにより、産学官の連携強化による地域環境政策の提案に向けた基盤が構築できた。新地町では、復興・再生事業の一環として、住民の生活支援や環境情報の見える化を目的としたICTネットワークシステムを構築し2014年4月より50世帯程度での運用を開始している。本推進費での検討成果を踏まえて、エネルギー制御方法等に関するネットワークシステムの基幹部分の計画・仕様等の具体設計が実施されている。

名古屋大学大学院環境学研究科附属持続的共発展教育研究センターのコンサルティングファーム部門における岐阜県大垣市との連携として、「緑の村公園リノベーション計画策定に関する研究」及び「九里半街道牧田宿における景観まちづくりの調査研究」事業に、吉田が協力教員として参画し、自治会主催まちづくり協議会にて地域住民に対して本研究成果の一部を発表し、結果的に「景観まちづくり方針」の策定に当該結果が活用された。

愛知県と公益財団法人名古屋産業科学研究所が主催する「平成26年あいち環境塾」では、吉田がチューターとして研究的知見を提供し、産業技術の集積や豊かな自然環境などの愛知の“資源”を活用した持続可能な社会づくりに向けた、“2030年ビジョン”の策定に反映された。

### <行政が活用することが見込まれる成果>

日本建築学会建築物気候変動対策小委員会のシンポジウム「建築分野の新たな気候変動対策に向けて」において、平野が低炭素型ライフスタイルに関する講演を行なった(2016年3月25日・日本建築学会会議室)。このシンポジウムには環境政策に関係する研究者や自治体関係者が多数参加しており、とくに本研究課題の直接・間接CO<sub>2</sub>排出に関する知見について参加者との情報共有することができた。

東日本大震災の被災自治体である福島県相馬郡新地町において、新地駅周辺再開発事業の計画を進めており、自治体と企業の協議会等の機会に本研究プロジェクトによる地域スケールの低炭素施策の知見を活用し、地域エネルギーマネジメントの実現に向けて情報発信した。

インドネシア環境省とのエコシティに関する意見交換の場において、本研究成果も活用しながら低炭素都市研究の提案を行った。インドネシア環境省と国立環境研究所は、都市の低炭素化に関する研究を協力して進める予定である。

名古屋大学大学院環境学研究科において平野が招へい教員として講義「環境資源論」「環境都市システム論」において都市エネルギーシステムに関して本研究の成果に基づく知見を提供し、環境政策に関する専門家育成の場における高度な環境教育に貢献した。

企業のGSCMを通じた温暖化対策への要請が国際的に高まっており、2011年にGHGプロトコルによる「SCOPE3基準」や、2013年にISO(国際標準化機構)による「ISO/TR 14069」が策定されるなど、サプライチェーン全体における温室効果ガス排出量の計算や報告が求められている。こうした状況下で、本研究において低炭素化対策に関するGSCM実施による自社の企業パフォーマンスへの影響構造を明確にしたことは、企業によるGSCM実施へのさらなる推進のインセンティブとなり得るため、低炭素化に向けた制度設計に取り込む価値があり、今後の国・地方行政の施策に活用されることが見込まれる。また、本研究において構築したGSCM実施と企業パフォーマンスとの因果関係モデルは、低炭素化と企業価値の両立を目指した環境政策を推進するための根拠としての活用が期待できる。

## 6. 研究成果の主な発表状況

### (1) 主な誌上発表

#### <査読付き論文>

- 1) 戸川卓哉、藤田壮、谷口知史、藤井実、平野勇二郎: 土木学会論文集G(環境), 69, 6401-412 (2013)  
「長期的な土地利用シナリオを考慮した地域エネルギー資源活用策の評価手法」
- 2) T. TOGAWA, T. FUJITA, L. DONG, M. FUJII and M. Ooba: Journal of Cleaner Production, 81, 60-69 (2014)  
"Feasibility Assessment of Power Plant Source Waste Heat to Plant Factory Considering Spatial Configuration"
- 3) Y. YOSHIDA and Y. HIRANO: World SB14 Barcelona (2014)  
"Study of Effective Energy Improvement for Area Management to Optimize Low-Carbon Cities."
- 4) 戸川卓哉、藤田壮、藤井実、大西悟、平野勇二郎、大場真: 土木学会論文集G(環境), 70(6), II\_33-II\_43 (2014)  
「都市・地域の空間特性を考慮した資源循環・エネルギー施策の計画支援システム」
- 5) 渡邊聡: 経済政策ジャーナル, 11, 2(2014)  
「地域におけるCO<sub>2</sub>削減策とその経済効果推計に関する考察ー都道府県のシミュレーション研究」
- 6) Y. HIRANO, Y. YOSHIDA, and S. WATANABE: Austin Journal of Earth Science, 2 (2015)  
"Development of Measures for Urban Environment Planning and Evaluation Aimed at Realizing Low-Carbon Lifestyles"
- 7) Y. YOSHIDA, Y. HIRANO and S. WATANABE: Austin Journal of Earth Science, 2, 3, (2015)  
"Study of Effective Energy Improvement for Area Management to Optimize Low-Carbon Cities"
- 8) Y. HIRANO and T. FUJITA: Energy and Buildings, 114, 15, 87-95 (2016)  
"Simulating the CO<sub>2</sub> reduction caused by decreasing the air conditioning load in an urban area"
- 9) Y. HIRANO, T. IHARA and Y. YOSHIDA: Building and Environment (in press)  
"Estimating Residential CO<sub>2</sub> Emissions based on Daily Activities and Consideration of Methods to Reduce Emissions"
- 10) 孫穎、宮寺哲彦: 環境科学会誌(印刷中)  
「低炭素型企業経営に向けたグリーンサプライチェーンマネジメント(GSCM)展開構造の研究」

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

## (2) 主な口頭発表(学会等)

- 1) 平野勇二郎、藤井実、戸川卓哉、藤田壮、柴原尚希、渡邊聡: 環境科学会2013年会(2013)  
「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」
- 2) 平野勇二郎、藤田壮、稲葉陸太、酒井広平、早瀬百合子、大迫政浩: 第21回地球環境シンポジウム(2013)  
「民生業務部門における業種別エネルギー消費量の構造分析」(地球環境優秀講演賞受賞)
- 3) 松澤玲美、孫穎: 第10回環境情報科学ポスターセッション(2013)  
「低炭素社会に向けた環境配慮型商品購入に対する消費者行動の 影響要因分析」(理事長賞受賞)
- 4) 平野勇二郎、藤井実、井原智彦、高橋敬子、藤田壮: 第30回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス(2014)  
「生活者のライフスタイル変化によるCO<sub>2</sub>排出量削減可能性の評価」
- 5) 平野勇二郎、吉田友紀子、戸川卓哉: 環境共生学会 第17回地域シンポジウムポスターセッション(2014)  
「低炭素型ライフスタイル実現する都市の環境創生に向けた検討」(地域シンポジウム・ポスター優秀発表賞受賞)
- 6) 吉田友紀子、渡邊聡、松野正太郎、平野勇二郎: 第33回エネルギー・資源学会研究発表会(2014)  
「低炭素型の地域計画の開発～都市機能モデルによる検討～」
- 7) 戸川卓哉、藤田壮、藤井実、大西悟、平野勇二郎: 第49回土木計画学研究発表会(春大会)(2014)  
「統合型GISデータベースの構築とエネルギー・資源循環システム設計への適用」
- 8) 平野勇二郎、吉田友紀子、戸川卓哉: 第11回環境情報科学ポスターセッション(2014)  
「ライフサイクルCO<sub>2</sub>を削減する都市環境構築に向けた方策の提案」(理事長賞受賞)
- 9) 平野勇二郎、吉田友紀子、井原智彦、藤井実: 第34回エネルギー・資源学会研究発表会(2015)  
「消費行動に伴うCO<sub>2</sub>排出量の推計とその属性による比較」
- 10) 吉田友紀子、平野勇二郎: 第32回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス(2016)

「産業構造の違いが地域エネルギー消費と低炭素型ライフスタイルに与える影響」

## 7. 研究者略歴

課題代表者：平野勇二郎

東京大学大学院工学研究科博士課程修了、博士(工学)、現在、国立研究開発法人国立環境研究所主任研究員

研究分担者

1) 孫 穎

京都大学大学院地球環境学舎修了、博士(地球環境学)、現在、横浜国立大学経営学部准教授

2) 奥岡 桂次郎

名古屋大学大学院環境学研究科博士後期課程修了、博士(工学)、現在、名古屋大学大学院環境学研究科助教

3) 渡邊 聡

名古屋大学大学院経済学研究科博士後期課程修了、博士(経済学)、現在、鈴鹿大学講師

**2RF-1303 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****(1) 低炭素型の生活・行動様式の評価と都市・地域デザイン**

国立研究開発法人国立環境研究所

社会環境システム研究センター 平野勇二郎・藤井実・戸川卓哉

資源循環・廃棄物研究センター 田崎智宏・稲葉陸太

〈研究協力者〉

大阪大学 環境・エネルギー管理部 吉田友紀子（平成27年度）

平成25～27年度累計予算額：19,731千円（平成27年度5,644千円）

予算額は、間接経費を含む。

**[要旨]**

これまでもエネルギー消費の人間行動要因の分析や低炭素型・省エネルギー型生活・行動様式の提案などの研究は数多く行われてきた。ただし、その多くは電力やガスなどの直接的なエネルギー消費によるCO<sub>2</sub>排出を対象としている。実際には、例えば工業製品を消費した場合にも製造や運搬によるCO<sub>2</sub>排出が生じるため、今後はライフサイクル全体でのCO<sub>2</sub>排出量を削減する生活・行動様式を検討する必要がある。そのための基礎研究として、消費行動に伴う直接エネルギー消費によるCO<sub>2</sub>排出量と製品やサービスの購入により誘発される間接CO<sub>2</sub>排出量を推計した。次に、実際に都市に居住する生活者をサンプルとして選定し、日々の消費行動とそれに伴うCO<sub>2</sub>排出量を算定した結果を分析した。この生活者サンプルには製品やサービスの消費行動の記録を依頼し、その支出額と金額あたりCO<sub>2</sub>排出原単位から生活に伴う間接CO<sub>2</sub>排出量を算出した。また、自宅のリビング、台所、浴室の主要機器を対象として直接エネルギー消費によるCO<sub>2</sub>排出も算定した。次にこのCO<sub>2</sub>排出量を行動別に集計することにより、例えば食事方法や移動方法などの行動選択によるCO<sub>2</sub>削減可能性について検討した。また、第3次産業従事者割合と1人当たりCO<sub>2</sub>排出量の関係を示し、例えば直接CO<sub>2</sub>排出については第3次産業従事者割合8割を超えると電気代に起因する1人当たり直接CO<sub>2</sub>排出量が特に増加することなどの知見を得た。

**[キーワード]**

低炭素社会、生活・行動様式、間接CO<sub>2</sub>排出量、家庭部門、エネルギー消費

**1. はじめに**

低炭素社会を実現する上で、大量生産・大量消費社会における浪費型の生活・行動様式から低炭素型の生活・行動様式へ転換することが重要課題である。これまでも主に都市環境分野において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。しかしながら、その多くは例えば空調や給湯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おり、より大きな割合を占める産業部門のCO<sub>2</sub>排出には手つかずとなっている。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、大量生産・大量消費型の生活・行動様式から低炭素型の生活・行動様式へ転換し、生産活動に伴う工場からCO<sub>2</sub>排出を消費者側から削減することが重要課題として挙げられる。

## 2. 研究開発目的

生活・行動様式のうち、特に消費活動（食品・日用雑貨等の非耐久財の消費）について、それを支えるサプライチェーンを構成する各要素と一体的に捉え、環境的・社会的な観点から比較検討を行う。特に、卸売業を含めたサプライチェーンの実態把握を行い、生活・行動様式の変化が与える間接的な影響についても検討する。この結果から、望ましい生活・行動様式や商業立地を具体的に実現するための方策を提示する。とくに、生活・行動様式誘導と立地規制・都市機能誘導等の都市計画的対策の両面から、需給双方のオプションを考慮して、低炭素と生活環境の両面から望ましい生活・行動様式と商業立地について一体的に検討する。

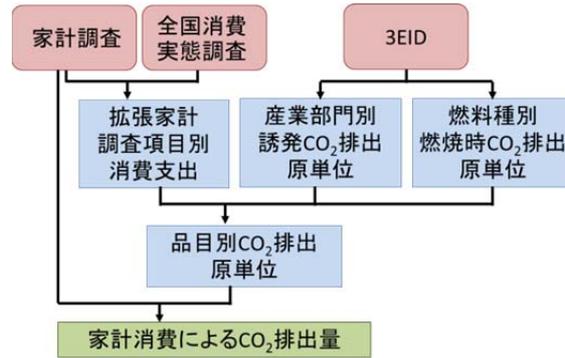
## 3. 研究開発方法

### （1）直接エネルギー消費に伴うCO<sub>2</sub>排出量のマクロ推計モデル

生活・行動様式と結びつく直接的なCO<sub>2</sub>排出量を推計した。このため、まず家計調査による光熱費の支出金額と小売物価統計調査によるエネルギー価格から、世帯当たりの電力、ガソリン、都市ガス、プロパンガス、灯油の消費量を算出し、年間CO<sub>2</sub>排出量を計算した。なお、ここでは後述する製品購入に伴う間接CO<sub>2</sub>排出量と区別し、電力消費によるCO<sub>2</sub>排出は直接CO<sub>2</sub>排出量に含めてカウントする。直接CO<sub>2</sub>排出量は気候や都市規模などの地域条件の影響を受けやすいため、全国49都市について算出した。都市ガスとプロパンガスの比率を決める際には、家計調査による各ガス購入頻度に基づいて配分した。次に、直接的なCO<sub>2</sub>排出量を生活・行動様式と結び付けて考察するため、エネルギー用途に分解し、地域や住まい方等との関係についても検討を加えた。エネルギー用途への分解には冷房・暖房について戸建住宅・集合住宅を区別して気温からエネルギー消費量が算出できるデグリーデー法や、気温による給水温度の予測式を用いた給湯用エネルギー推計などの方法を用いた。

### （2）消費行動による直接・間接CO<sub>2</sub>排出量の推計と世帯属性による比較

これまでもエネルギー消費の人間行動要因の分析や低炭素型・省エネルギー型生活・行動様式の提案などの研究は数多く行われてきた。ただし、その多くは電力やガスなどの直接的なエネルギー消費によるCO<sub>2</sub>排出を対象としている。実際には、例えば工業製品を消費した場合にも製造や運搬によるCO<sub>2</sub>排出が生じるため、今後はライフサイクル全体でのCO<sub>2</sub>排出量を削減する生活・行動様式を検討する必要がある。そのための基礎研究として、消費行動に伴う直接エネルギー消費によるCO<sub>2</sub>排出量と製品やサービスの購入により誘発される間接CO<sub>2</sub>排出量を推計した。このため、家計調査による光熱費の支出金額と小売物価統計調査によるエネルギー価格から、世帯当たりの電力、ガソリン、都市ガス、プロパンガス、灯油の消費量を算出し、直接エネルギー消費による年間CO<sub>2</sub>排出量を計算した。図(1)-1に示したフローに従い、品目別CO<sub>2</sub>排出原単位を用いて、食品や日用雑貨等の消費行動に伴うサプライチェーン全体での間接的なCO<sub>2</sub>排出量を推計した。

図(1)-1 間接CO<sub>2</sub>排出量の推計フロー

### (3) 消費行動の選択によるCO<sub>2</sub>削減可能性の検討

図(1)-1に示した間接CO<sub>2</sub>推計方法では、多世帯の集計値しか得られていないため、個々の消費行動に分解できない。したがって、この推計ではマクロ評価は可能であるが、詳細な生活・行動様式と結びつけて検討することが難しい。また、一定のサービス需要に対して代替手段のシナリオを設定することが難しいため、生活・行動様式の改変によるCO<sub>2</sub>削減について検討することが困難である。こうしたことから、現実的な生活・行動様式と消費行動、CO<sub>2</sub>排出量の関係について、生活者の視点から検討することが不可欠である。

そこで次に、実際に都市に居住する生活者をサンプルとして選定し（以下、生活者サンプルと記す）、日々の消費行動とそれに伴うCO<sub>2</sub>排出量を算定した結果を分析した。この生活者サンプルは、単身世帯として東京都内に居住する男性の大学生である。この生活者サンプルには製品やサービスの消費行動の記録を依頼し、その支出額と前述した金額あたりCO<sub>2</sub>排出原単位から生活に伴う間接CO<sub>2</sub>排出量を算出した。また、自宅のリビング、台所、浴室の主要機器を対象として直接エネルギー消費によるCO<sub>2</sub>排出も算定した。直接エネルギー消費によるCO<sub>2</sub>排出は、電力については主要機器に簡易電力消費計を設置し、0.525[kg-CO<sub>2</sub>/kWh]として算出した。給湯については湯量と給水温度、給湯温度の関係からエネルギー消費量を計算し、CO<sub>2</sub>排出量を計算した。次にこのCO<sub>2</sub>排出量を行動別に集計することにより、例えば食事方法や移動方法などの行動選択によりCO<sub>2</sub>削減可能性について検討した。

### (4) 産業構造による地域エネルギー消費と低炭素型生活・行動様式への影響分析

低炭素型生活・行動様式を提案するため、サブテーマ3と連携して人口規模・密度・移出入や産業別就業人口比率などの社会動態の把握をするための「地域社会動態モデル」を構築し、居住機能の高効率化について検討を進めている。そのうち、産業構造の違いが地域エネルギー消費と生活・行動様式に与える影響について検討を行った。とくに、ここでは前述したCO<sub>2</sub>排出原単位と結びつけて、詳細な空間スケールで地域の産業構造と直接・間接CO<sub>2</sub>排出量との関係を明らかにした。

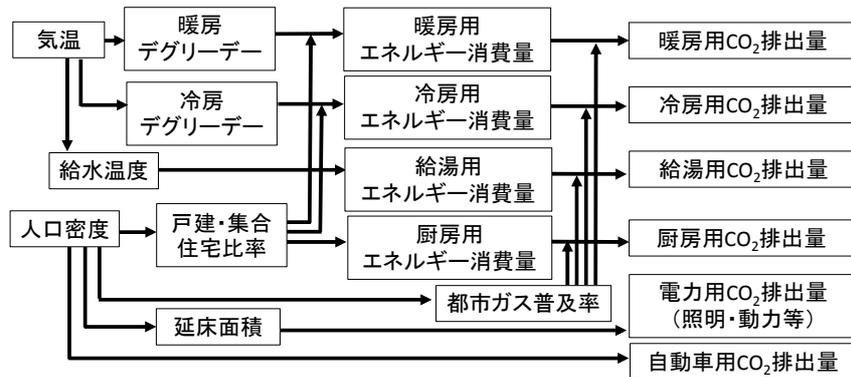
## 4. 結果及び考察

### (1) 直接エネルギー消費に伴うCO<sub>2</sub>排出量のマクロ推計モデル

本研究において構築したモデルのフロー図を図(1)-2に示す。本研究では、気温の影響を受ける成分として、冷暖房は気温からエネルギー消費量が算出できるデグリーデーによる推定式、給湯

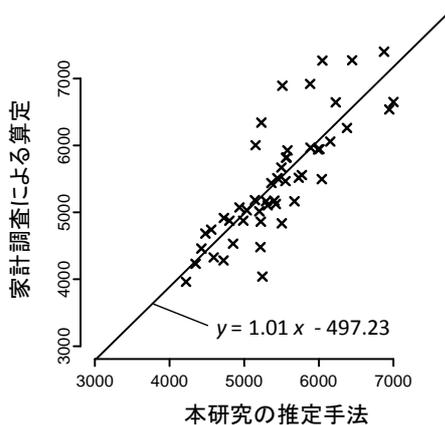
は気温から給水温度を推定し、使用湯量、給湯温度の想定値からエネルギー消費量を算出した。調理は気温の影響は小さいため既存の原単位データにより一定値を与えた。

都市の密集度は戸建・集合の比率や都市ガス普及率などの様々な形でCO<sub>2</sub>排出に影響する。本研究では都市の密集度を代表するパラメータとして人口密度を選択し、統計値から得た戸建・集合住宅比率、都市ガス普及率、世帯当たり延床面積、ガソリン消費量と人口密度の関係式を作成した。

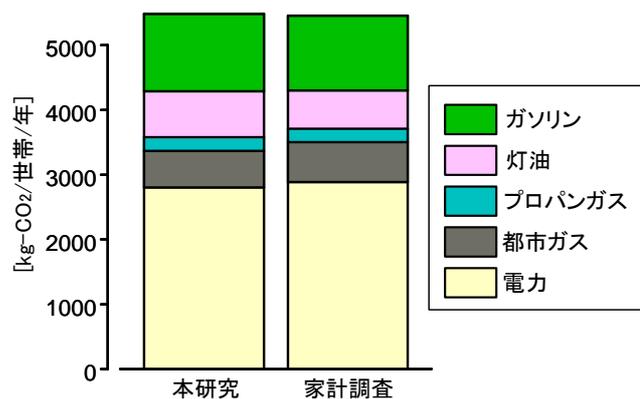


図(1)-2 CO<sub>2</sub>排出量推計フロー

これらCO<sub>2</sub>排出量推定式から得られたCO<sub>2</sub>排出量と、家計調査から算出したCO<sub>2</sub>排出量とを比較した(図(1)-3)。この結果、相関係数R=0.822であり、本研究の推定式は気温と人口密度のみに基づく粗い推計手法であることを考慮すれば、概ね妥当な結果であると考えられる。次に、これらのエネルギー源別CO<sub>2</sub>排出量について、49都市の平均値を算出して比較した(図(1)-4)。この結果はエネルギー構成比の設定値に依存するが、全体としてはよく一致しており、概ね妥当な設定であることが確認された。



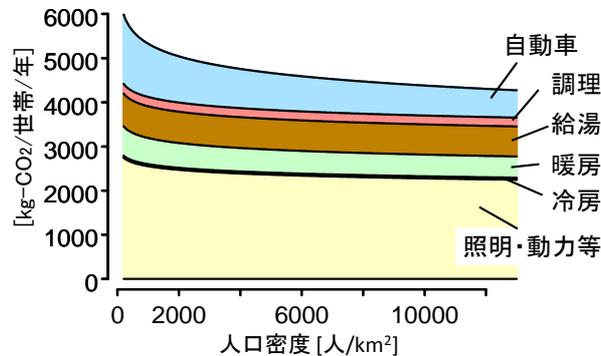
図(1)-3 推定結果の比較(都市別)



図(1)-4 推定結果の比較(エネルギー源別)

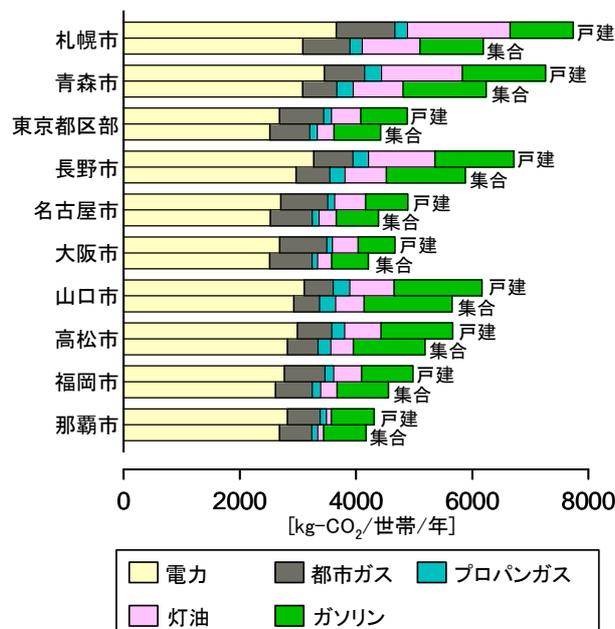
次に本研究で得た推定式に基づき、東京都区部の気温条件で人口密度を変化させた場合のCO<sub>2</sub>排出量の変化について検討した(図(1)-5)。この結果は、一般的な多くの市街地において居住地域の高密度化によるCO<sub>2</sub>削減効果が期待できるが、一定以上の高密度地域ではさらに高密度化してもそのCO<sub>2</sub>削減効果は大きくはないことを示唆している。この結果は、コンパクトシティ化などによ

る適度な高密度化がCO<sub>2</sub>排出削減に結び付く可能性を示唆しており、最適な都市規模を検討する上で有益な資料となり得ると考えている。



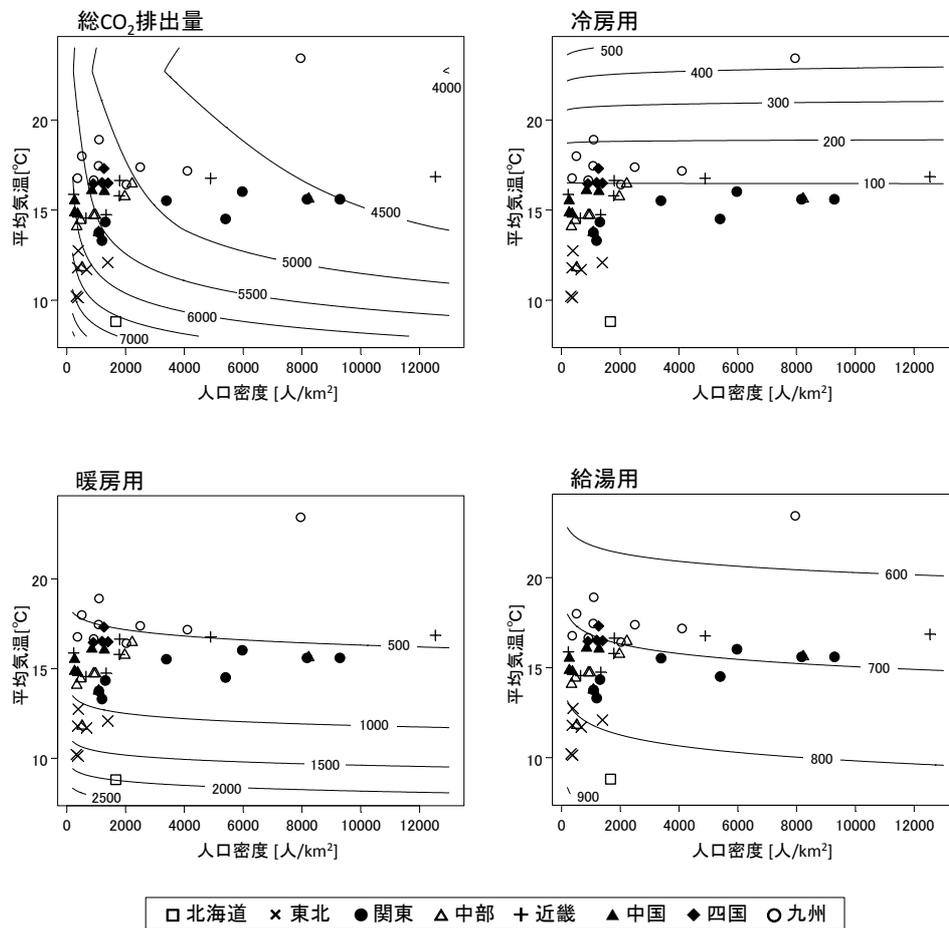
図(1)-5 人口密度とCO<sub>2</sub>排出量の関係

次に都市化の要因として比較的影響が大きい戸建・集合比率を他の要因から分離するため、主要都市において戸建・集合比率をそれぞれ0%、100%として値を比較した(図-(1)-6)。戸建・集合比率以外は全て前述した推定式により気温と人口密度から得た値を用いた。この図から、寒冷地では戸建・集合の建て方による差異が大きい傾向が読み取れる。これは集合住宅の方が床面積に対して外気に接する屋根や壁面の面積が小さく、熱貫流や換気侵入熱による暖房負荷が生じにくいからであると考えられる。一方、冷房負荷には内部発熱や窓面からの日射取得熱などの外気以外の影響も大きいから、温暖地は寒冷地と比較し差が生じにくいことが考えられる。また、もともと日本の平均的な住宅では冷房用エネルギー消費と比較し、暖房用エネルギー消費の方が大きいことも、寒冷地において差が大きく生じた要因として考えられる。



図(1)-6 戸建・集合住宅のCO<sub>2</sub>排出量推定結果

49都市の平均気温とデグリーデーから関係式を作成し、人口密度－平均気温の座標軸上に前述の推定式から得られるCO<sub>2</sub>排出量の等値線を引き、各都市をプロットした(図(1)-7)。ここでは全用途を合わせた総CO<sub>2</sub>排出量のほか、冷房用、暖房用、給湯用も示した。この総CO<sub>2</sub>排出量の図から、等値線は左上から右下へ斜めに伸びているのに対し、点の分布系は人口密度が高い地域は平均気温16～17℃付近に集中している。平均24℃付近を超えると暖房の影響よりも冷房の影響が上回り、等値線の方向が入れ替わるが、このエリアに含まれる都市は本研究において対象とした49都市の中では那覇のみであった。冷房用、暖房用はいずれも平均気温が支配要因であるが、戸建・集合住宅比率や都市ガス普及率にも依存するため、人口密度も若干影響している。給湯用は絶対量は冷房より多いが、気温の影響は冷房用、暖房用と比較して小さい。これらの結果から、高密度化することによりCO<sub>2</sub>排出削減できる可能性が高いのは寒冷地であるが、新たに居住拠点を創出する場合は温暖地に立地する方がよりCO<sub>2</sub>排出量が少ないことが予想される。

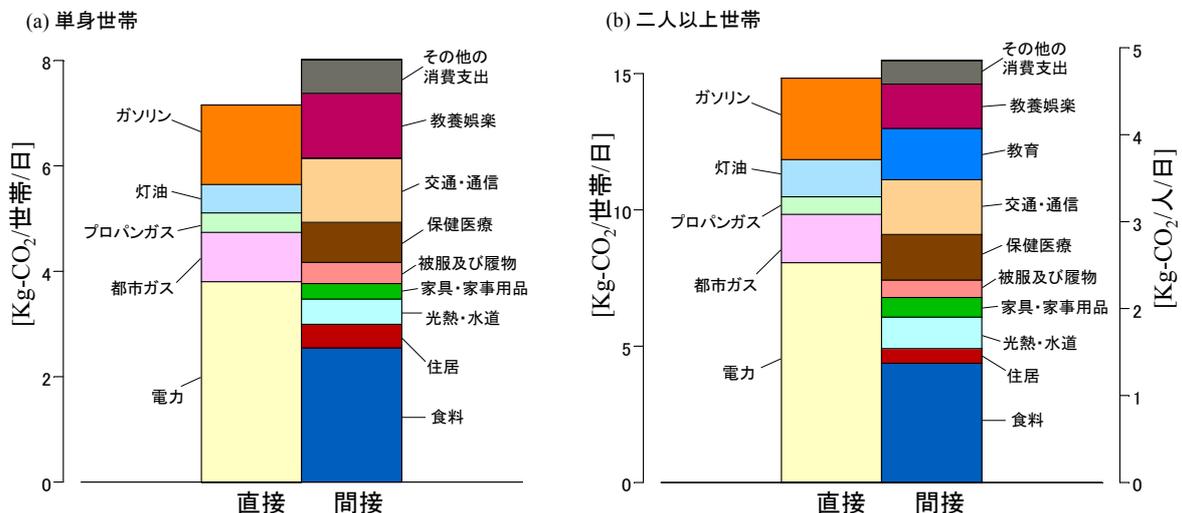


図(1)-7 人口密度－平均気温座標軸上の推定CO<sub>2</sub>排出量と各都市の分布  
(等値線はCO<sub>2</sub>排出量[kg-CO<sub>2</sub>/世帯/年]を示す)

## (2) 消費行動による直接・間接CO<sub>2</sub>排出量の推計と世帯属性による比較

CO<sub>2</sub>排出量の推計結果を図(1)-8に示す。なお電力消費によるCO<sub>2</sub>排出は、消費者のエネルギー消費に伴うCO<sub>2</sub>排出であるため、ここでは直接CO<sub>2</sub>排出に含めた。図(1)-8から、単身世帯と二人以上世帯のいずれも、直接CO<sub>2</sub>排出と間接CO<sub>2</sub>排出は概ね同程度であるが、いずれも間接CO<sub>2</sub>排出の方が

若干大きいという結果となった。したがって、当然ながら消費者による省エネルギーも重要課題であるが、製品・サービス消費による間接CO<sub>2</sub>排出の削減も同様に重要であると言える。間接排出について消費項目別に比較した場合、単身世帯、二人以上世帯とも「食料」、「交通・通信」、「教養娯楽」のCO<sub>2</sub>排出量が比較的多い。これらの項目では消費行動の選択により削減する余地があることが推察される。また、単身世帯と二人以上世帯とを比較すると、世帯あたりでは単身世帯では約15.2[kg-CO<sub>2</sub>/世帯/日]、二人以上世帯では約30.3[kg-CO<sub>2</sub>/世帯/日]となった。CO<sub>2</sub>排出量を1人あたりで比較すると、単身世帯では二人以上世帯と比較し1.6倍ほどCO<sub>2</sub>排出量が多いという結果となった。したがって居住形態や世帯構成もCO<sub>2</sub>排出量に大きく影響していることが分かる。また、1人あたりCO<sub>2</sub>排出量の単身世帯と二人以上世帯の差異は、直接CO<sub>2</sub>排出と比較して間接CO<sub>2</sub>排出において大きいと、物品の共有や調理の効率化によるCO<sub>2</sub>削減効果が得られていると解釈できる。こうしたことから、生活・行動様式を改善する対策により間接CO<sub>2</sub>を削減する方策には十分な削減ポテンシャルがあることが推察される。

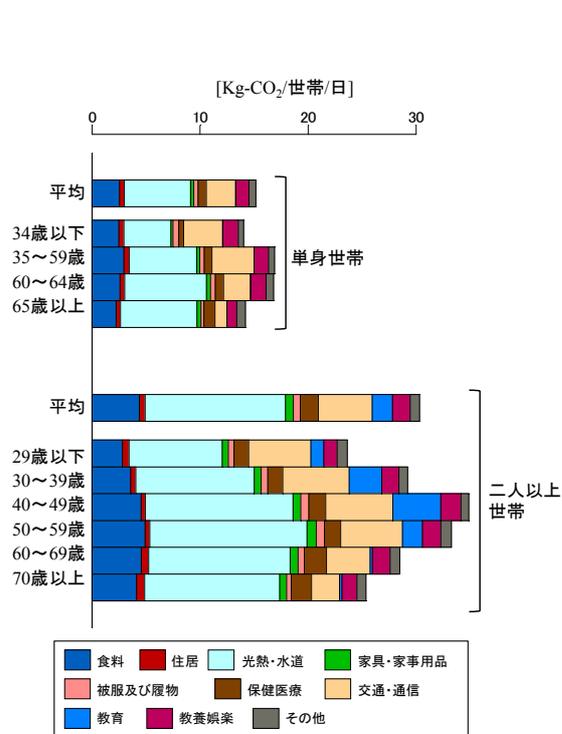


図(1)-8 直接・間接CO<sub>2</sub>排出量の推計結果

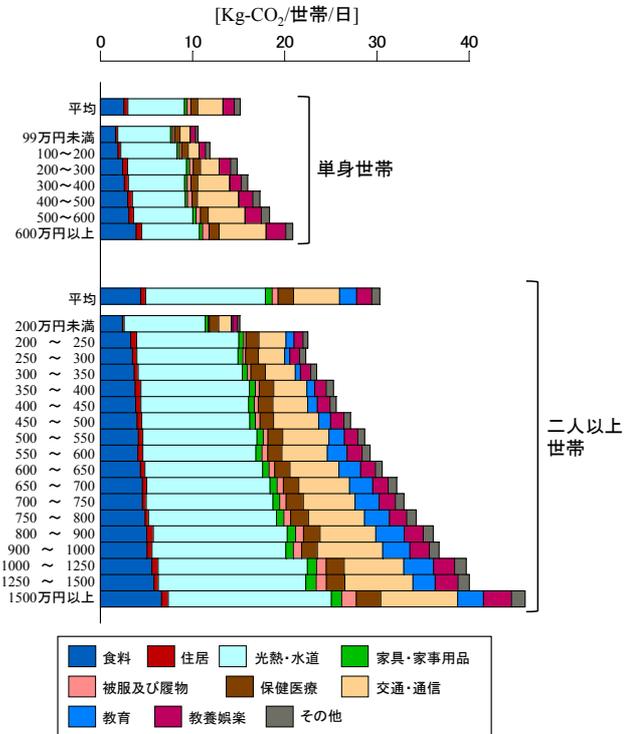
世帯主の年齢階級別CO<sub>2</sub>排出量の推計結果を図(1)-9に示す。なお、図(1)-9では煩雑になることを避けるため、直接CO<sub>2</sub>排出と間接CO<sub>2</sub>排出とを区別せずに図化した。このため、この図ではガソリン以外の直接CO<sub>2</sub>排出は「光熱・水道」の項目、ガソリン消費による直接CO<sub>2</sub>排出は「交通・通信」の項目に含まれている(図(1)-10も同様)。この図(1)-9から、とくに二人以上世帯ではCO<sub>2</sub>排出量は年齢とともに増加し、40~49歳の階級においてCO<sub>2</sub>排出量はピークとなるが、50~59歳以降では再び減少し、とくに60歳以降では減少幅が大きくなっている。ただし、これは生活・行動様式だけでなく、収入や世帯人員数などの諸要因が影響している可能性がある。すなわち、収入の増加と子の成長が同時に生じ、子の独立や定年退職などを経てCO<sub>2</sub>排出量が再び減少するという解釈が可能である。実際、単身世帯においても34歳以下と65歳以上においてCO<sub>2</sub>排出量が少ない傾向が読み取れるが、その差異は二人以上世帯と比較して小さい。

次に年間収入階級別CO<sub>2</sub>排出量を図(1)-10に示す。この図から、高収入世帯ほどCO<sub>2</sub>排出量が多い傾向が読み取れる。このことから、裕福な生活・行動様式の方が物品やエネルギーの消費が多く、

CO<sub>2</sub>排出量が大きく生じている可能性がある。ただし、実際には収入による生活・行動様式の違いのほか、図(1)-9と同様にライフステージの影響が含まれている可能性が高い。したがって今後、より詳細なデータに基づき、個々の生活行動と結びつけた分析が必要である。



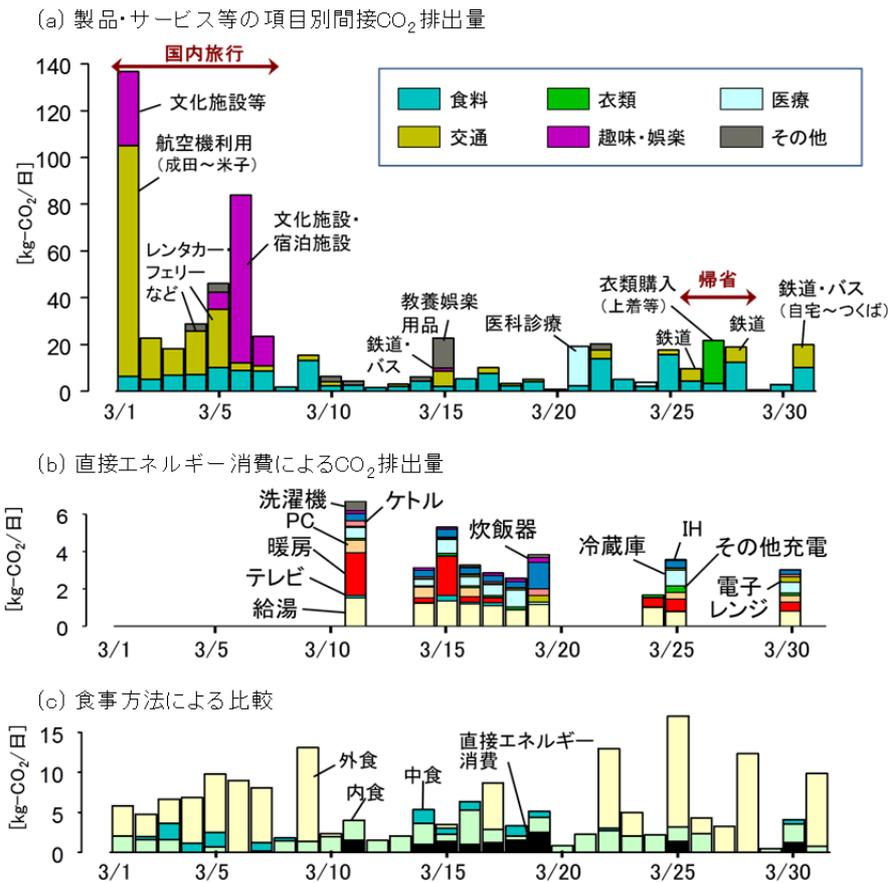
図(1)-9 世帯主の年齢階級別CO<sub>2</sub>排出量



図(1)-10 年間収入階級別CO<sub>2</sub>排出量

### (3) 消費行動の選択によるCO<sub>2</sub>削減可能性の検討

図(1)-11に生活者サンプルの1か月間のCO<sub>2</sub>排出量を示す。図(1)-11aに示した間接CO<sub>2</sub>排出量では、限定的なサンプルであるため一般性については検討が必要であるが、今回のケースではこの生活者サンプルは調査期間中に国内で旅行しており、航空機利用に伴うCO<sub>2</sub>排出量が多いという結果となった。旅行期間を除外して平均すると、間接CO<sub>2</sub>排出量は1日あたり約10kg-CO<sub>2</sub>程度であり、その約半分を食料が占めるといった結果となった。



図(1)-11 生活者サンプルによるCO<sub>2</sub>排出量の計測結果

図(1)-11bに示した直接エネルギー消費によるCO<sub>2</sub>排出量では、値が0の日は外出等による欠測日である。この図から、直接エネルギー消費によるCO<sub>2</sub>排出量は欠測日を除くと4~5[kg-CO<sub>2</sub>/日]程度であり、間接CO<sub>2</sub>排出量と比較し、少ないと言える。ただし本研究では電力については主要機器のみしか計測できていないため、今後より網羅的な計測が必要である。

そこで、次に間接CO<sub>2</sub>排出量(図(1)-11a)の中で比較的大きな割合を占めた食料について外食、中食、肉食に分けて集計した(図(1)-11c)。この図から、とくに外食があった日のCO<sub>2</sub>排出量が大きいたことが分かる。また、厨房における直接エネルギー消費によるCO<sub>2</sub>排出も積み上げたところ、食材の消費による間接CO<sub>2</sub>排出と比較して小さいという結果となった。

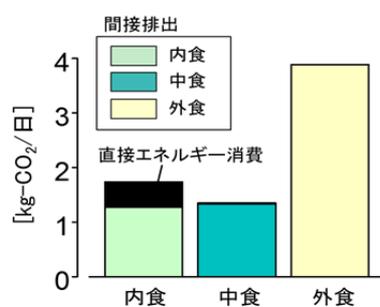
次に消費行動の選択によるCO<sub>2</sub>排出削減の可能性について検討するため、図(1)-11に示したデータを消費行動別に集計した。ここでは典型事例として、食事方法、入浴方法、移動方法について各々の方法によるCO<sub>2</sub>排出量を比較した(図(1)-12、図(1)-13、図(1)-14)。なお、本研究は限定的な事例であるため、必ずしも各方法について対等の前提で比較できていない。

まず食事方法について外食、中食、肉食を比較すると、本研究の事例では外食のCO<sub>2</sub>排出量が中食、肉食の2倍以上に大きいという結果となった(図(1)-12)。ただし本研究では、食事の内容を対等に比較できておらず、本研究で選択した生活者サンプルは肉食の時には比較的軽い食事で済ませている傾向が読み取れたため、一般性については精査が必要である。

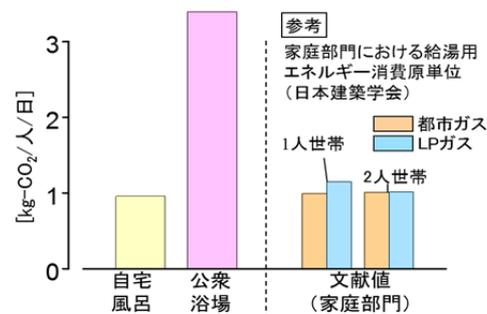
入浴方法について自宅の浴室と共同浴場を比較したところ、今回の事例では共同浴場の方が数

倍も大きいという結果となった（図(1)-13）。共同浴場では多人数で熱エネルギーを共有できるため、ろ過技術や熱回収技術によりエネルギー利用を効率化できる可能性が高いと考えているが、現状では衛生面を優先して多量の温水が消費されていることが推察される。ただし、自宅の浴室は給湯器の直接エネルギー消費によるCO<sub>2</sub>排出のみをカウントしているが、共同浴場は浴場業が消費した物品の製造時のCO<sub>2</sub>排出なども含まれており、必ずしも給湯用エネルギーのみではないという違いがあるため、今後前提を合わせて比較する必要がある。

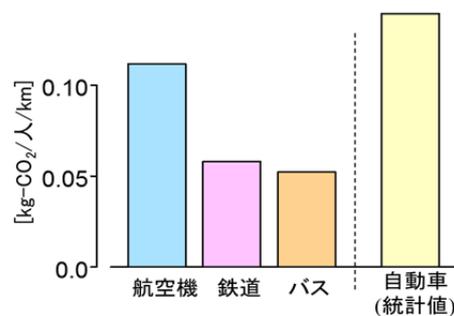
移動手段について比較すると、鉄道およびバスは航空機の半分程度という結果となった（図(1)-14）。自動車は今回の生活者サンプルは利用していなかったため、自動車燃料消費量統計年報によるガソリン自動車の平均燃費に基づき乗車人数を2名とした場合のCO<sub>2</sub>排出量を図(1)-14に加えた。当然ながら1人あたりの自動車のCO<sub>2</sub>排出量は乗車人数により大きく変わるが、多くの場合は公共交通に移行することにより低炭素化できる可能性が高いと考えられる。



図(1)-12 食事方法の解析結果



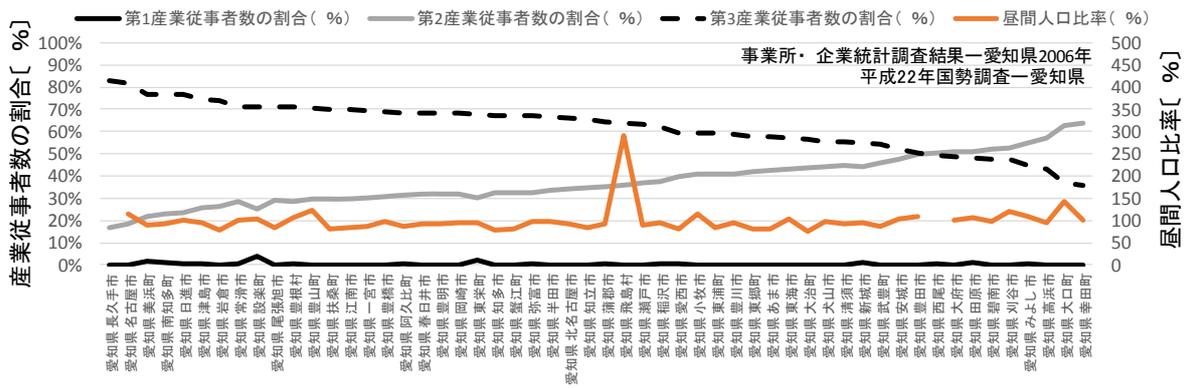
図(1)-13 入浴方法の解析結果



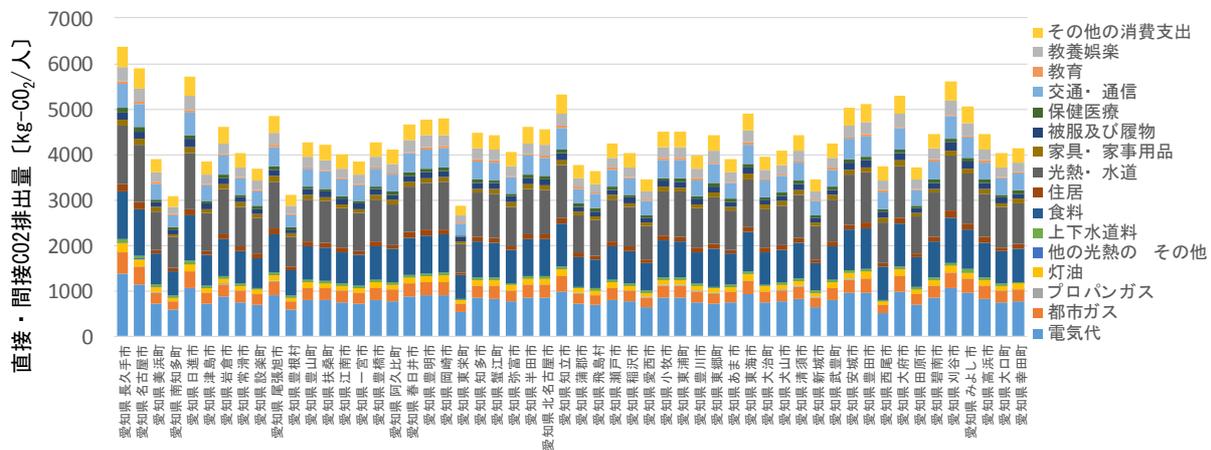
図(1)-14 移動方法の解析結果

#### (4) 産業構造による地域エネルギー消費と低炭素型生活・行動様式への影響分析

図(1)-15は、愛知縣市町村における第3次産業従事者数を降順に示す。愛知県は、第3次従事者数が多い名古屋市、第2次産業を代表する自動車産業で有名な豊田市を含む。また、消費支出推計データによる消費支出金額からエネルギー源別の直接的なCO<sub>2</sub>排出量原単位と、支出項目ごとの間接CO<sub>2</sub>排出量原単位を用いて、愛知縣市町村別の1人あたり直接・間接CO<sub>2</sub>排出量を算出した（図(1)-16）。この図からは、第3次産業従事者数と1人あたりCO<sub>2</sub>排出量の関係性は必ずしも明確ではない。

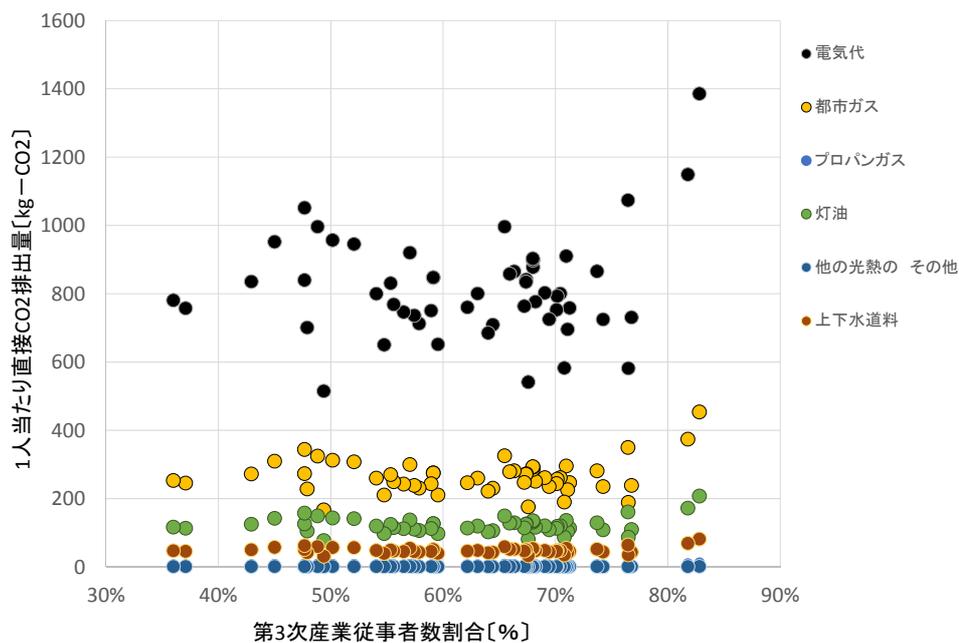


図(1)-15 愛知県—第3次産業従事者数降順と昼間人口比率（平成22年度国勢調査）

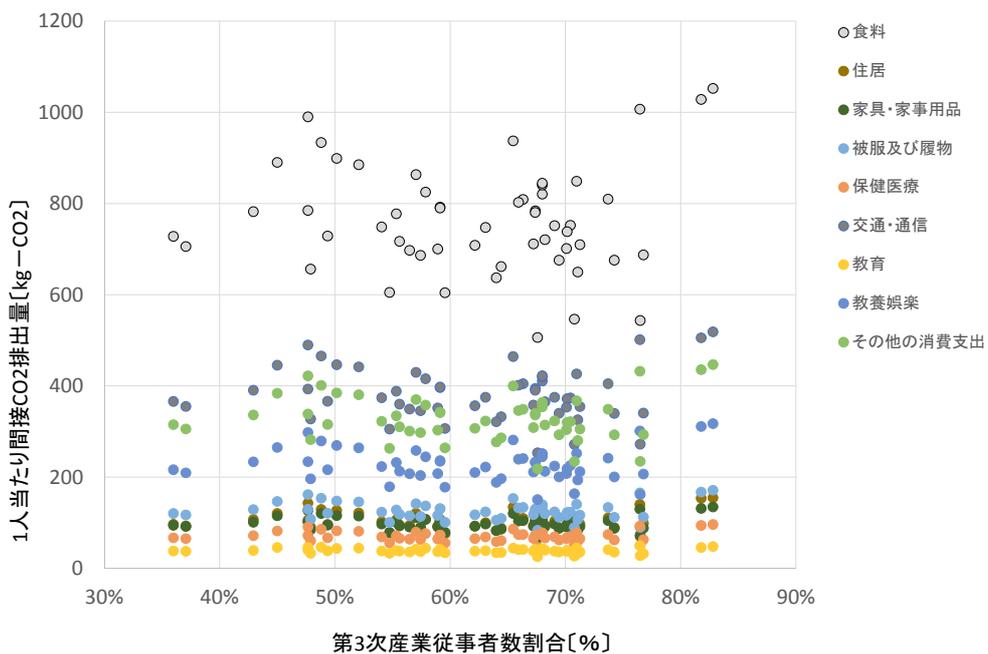


図(1)-16 第3次産業従事者数降順に示す1人あたり直接・間接CO<sub>2</sub>排出量〔愛知県〕

そこで次に、第3次産業従事者割合と1人当たり直接CO<sub>2</sub>排出量の関係を示した（図(1)-17）。電気代、都市ガス、プロパンガス、灯油、他の光熱、上下水道いずれも6次多項式において相関係数0.42を示した。同様に、第3次産業従事者割合と1人当たり間接CO<sub>2</sub>排出量の関係を示したところ（図(1)-18）、6次多項式の相関係数0.28となり、相関がみられない。第3次産業従事者割合8割を超えると電気代に起因する1人当たり直接CO<sub>2</sub>排出量が特に増加する。そのため、第3次産業従事者割合が8割以上を示すと、地域エネルギー消費も増加傾向になると考えられる。一方、第3次産業従事者割合と1人当たり間接CO<sub>2</sub>排出量の関係性はみられない。ただし、食料に起因する1人当たり間接CO<sub>2</sub>排出量の変動が激しく、低炭素型生活・行動様式の実現には食料の調達方法・調理法の見直しが必要不可欠なことがわかった。



図(1)-17 第3次産業従事者割合と1人当たり直接CO<sub>2</sub>排出量



図(1)-18 第3次産業従事者割合と1人当たり間接CO<sub>2</sub>排出量

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

本研究では、生活・行動様式のうち特に消費活動について、それを支えるサプライチェーンを構成する各要素と一体的に捉え環境的・社会的な観点から比較検討を行うため、生活・行動様

式に関する種々のエネルギー消費量・CO<sub>2</sub>排出量の推計を行った。まず生活・行動様式と結びつく家庭の直接CO<sub>2</sub>排出量を推計し、エネルギー用途に分解した。この結果、気候と人口密度のパラメータのみで概ね良好な精度で用途分解し、地域条件との関係も明らかになった。

消費行動による間接的なCO<sub>2</sub>排出量については、食品や日用雑貨等の消費行動に伴うサプライチェーン全体での間接的なCO<sub>2</sub>排出量を推計した。従来は工業製品の製造に関わるCO<sub>2</sub>排出量は工場側から把握することが一般的であったが、本研究の推計結果により消費者側から把握することが可能となり、生活・行動様式と結び付けて検討する際の基礎資料として利用可能なデータが得られた。また、都市居住者のサンプルを選定し、消費行動に伴うCO<sub>2</sub>排出量を算出した。とくに家計調査や産業連関表、3EID等の各種データから作成した品目別のCO<sub>2</sub>排出原単位と室内のエネルギー消費計測から直接・間接CO<sub>2</sub>排出量を算定し、消費行動別に集計して結果を比較し、とくに消費行動の選択によりCO<sub>2</sub>排出量を削減できる可能性が高いことが示された。

低炭素型生活・行動様式について検討するための基礎研究として、家計調査や産業連関表等の各種データを結び付けて、直接エネルギー消費と製品やサービス購入に伴うサプライチェーン全体でのCO<sub>2</sub>排出量を推計した。この結果、種々の消費行動の選択によりCO<sub>2</sub>排出量を削減できる可能性が高いことが示された。また、「地域社会動態モデル」により産業構造の違いが地域エネルギー消費と生活・行動様式に与える影響について検討を行い、第3次産業従事者割合が8割以上を示すと、地域エネルギー消費も増加傾向になると考えられること、第3次産業従事者割合と1人当たり間接CO<sub>2</sub>排出量の関係性はみられないことなどの結果を得た。また、食料に起因する1人当たり間接CO<sub>2</sub>排出量の変動が激しく、低炭素型生活・行動様式の実現には食料の調達方法・調理法の見直しが欠かせないことがわかった。

## (2) 環境政策への貢献

### <行政が既に活用した成果>

本研究において主にサービス産業を対象として産業分類別にエネルギー消費量を推計した結果に基づき、平野が検討委員を務める「業務部門におけるエネルギー消費実態把握方策検討委員会」（環境省 地球環境局）において種々の知見提供を行い、政策的なCO<sub>2</sub>排出削減の目標設定に貢献した。

平野が低炭素型ライフスタイルに関する講演を行なった（環境都市事業職員講座、2013年10月25日、新地町役場101・102会議室）。東日本大震災により被災した自治体の一つである福島県相馬郡新地町において、本研究プロジェクトによる、環境・エネルギー関連の施策（未利用エネルギーの活用等）の低炭素効果等の評価結果について、講演を通じて情報共有を実施するとともに、自治体および地元企業の担当者との継続的な意見交換を実施している。これにより、産学官の連携強化による地域環境政策の提案に向けた基盤が構築できた。新地町では、復興・再生事業の一環として、住民の生活支援や環境情報の見える化を目的としたICTネットワークシステムを構築し2014年4月より50世帯程度での運用を開始している。本推進費での検討成果を踏まえて、エネルギー制御方法等に関するネットワークシステムの基幹部分の計画・仕様等の具体設計が実施されている。

### <行政が活用することが見込まれる成果>

日本建築学会建築物気候変動対策小委員会のシンポジウム「建築分野の新たな気候変動対策に向けて」において、平野が低炭素型ライフスタイルに関する講演を行なった（2016年3月25日・日本建築学会会議室）。このシンポジウムには環境政策に関する研究者や自治体関係者が多数参加しており、とくに本研究課題の直接・間接CO<sub>2</sub>排出に関する知見について参加者との情報共有することができた。

東日本大震災の被災自治体である福島県相馬郡新地町において、新地駅周辺再開発事業の計画を進めており、自治体と企業の協議会等の機会に本研究プロジェクトによる地域スケールの低炭素施策の知見を活用し、地域エネルギーマネジメントの実現に向けて情報発信した。

インドネシア環境省とのエコシティに関する意見交換の場において、本研究成果も活用しながら低炭素都市研究の提案を行った。インドネシア環境省と国立環境研究所は、都市の低炭素化に関する研究を協力して進める予定である。

名古屋大学大学院環境学研究科において平野が招へい教員として講義「環境資源論」「環境都市システム論」において都市エネルギーシステムに関する本研究の成果に基づく知見を提供し、環境政策に関する専門家育成の場における高度な環境教育に貢献した。

## 6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文（査読あり）>

- 1) 戸川卓哉、藤田壮、谷口知史、藤井実、平野勇二郎：土木学会論文集G（環境）,69,6401-412（2013）  
「長期的な土地利用シナリオを考慮した地域エネルギー資源活用策の評価手法」
- 2) T. TOGAWA, T. FUJITA, L. DONG, M. FUJII and M. Ooba: Journal of Cleaner Production, 81, 60-69 (2014)  
"Feasibility Assessment of Power Plant Source Waste Heat to Plant Factory Considering Spatial Configuration"
- 3) Y. HIRANO and T. FUJITA: Third International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island (2014)  
"Simulating CO<sub>2</sub> Reduction Effects of Measures for Reducing Air-Conditioning Load in Urban Districts"
- 4) Y. YOSHIDA and Y. HIRANO : World SB14 Barcelona (2014)  
"Study of Effective Energy Improvement for Area Management to Optimize Low-Carbon Cities."
- 5) 戸川卓哉、藤田壮、藤井実、大西悟、平野勇二郎、大場真：土木学会論文集G（環境）, 70(6), II\_33-II\_43（2014）  
「都市・地域の空間特性を考慮した資源循環・エネルギー施策の計画支援システム」
- 6) 平野勇二郎、谷川寛樹、藤田壮：土木学会論文集B1(水工学), 71(4), I\_439-I\_444 (2015)  
「屋上緑化建築における屋根面蒸発散量とCO<sub>2</sub>削減効果の数値シミュレーション」

- 7) Y. HIRANO, Y. YOSHIDA, and S. WATANABE: Austin Journal of Earth Science, 2 (2015)  
"Development of Measures for Urban Environment Planning and Evaluation Aimed at Realizing Low-Carbon Lifestyles"
- 8) Y. YOSHIDA, Y. HIRANO and S. WATANABE: Austin Journal of Earth Science, 2, 3, (2015)  
"Study of Effective Energy Improvement for Area Management to Optimize Low-Carbon Cities"
- 9) Y. HIRANO and T. FUJITA: Energy and Buildings, 114, 15, 87-95 (2016)  
"Simulating the CO<sub>2</sub> reduction caused by decreasing the air conditioning load in an urban area"
- 10) Y. HIRANO, T. IHARA and Y. YOSHIDA: Building and Environment (in press)  
"Estimating Residential CO<sub>2</sub> Emissions based on Daily Activities and Consideration of Methods to Reduce Emissions"
- 11) Y. HIRANO and Y. YOSHIDA: Sustainable Cities and Society (in press)  
"Assessing the Effects of CO<sub>2</sub> Reduction Strategies on Heat Islands in Urban Areas"

#### <査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

#### <その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 平野勇二郎、柴原尚希：環境科学会誌、26, 6, 509-513 (2013)  
「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」
- 2) 平野勇二郎、松野正太郎：環境科学会誌, 28, 6, 483-487 (2015)  
「環境科学シンポジウム2015 11.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」

#### (2) 口頭発表（学会等）

- 1) 平野勇二郎、戸川卓哉：日本建築学会大会(2013)  
「家庭部門におけるCO<sub>2</sub> 排出量推定モデル」
- 2) 平野勇二郎、藤井実、戸川卓哉、藤田壮、柴原尚希、渡邊聡：環境科学会2013年会 (2013)  
「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」
- 3) 藤井実、平野勇二郎、藤田壮：環境科学会2013年会 (2013)  
「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」
- 4) 戸川卓哉、平野勇二郎、藤田壮：環境科学会2013年会 (2013)  
「ライフスタイル - 商業立地の相互関係モデル」
- 5) 平野勇二郎、藤田壮、稲葉陸太、酒井広平、早瀬百合子、大迫政浩：第21回地球環境シンポジウム (2013)  
「民生業務部門における業種別エネルギー消費量の構造分析」
- 6) 平野勇二郎、藤田壮、戸川卓哉、孫穎：空気調和・衛生工学会大会(2013)  
「民生業務門における業種別エネルギー消費量のマクロ推計」
- 7) 平野勇二郎、戸川卓哉、藤田壮：日本環境共生学会第16回学術大会(2013)  
「地域条件を考慮した家庭部門の CO<sub>2</sub> 排出量の構造解析」

- 8) 平野勇二郎、谷川寛樹、戸川卓哉、藤田壮、孫穎：環境システム研究論文発表会（2013）  
「事務所ビル街区における屋上緑化の蒸発散量とそのヒートアイランド緩和効果およびCO<sub>2</sub>削減効果のシミュレーション評価」
- 9) 平野勇二郎、谷川寛樹、藤田壮、藤井実、戸川卓哉：第50回環境工学フォーラム(2013)  
「屋上緑化を導入した低炭素ビルにおけるCO<sub>2</sub>削減効果の数値シミュレーション」
- 10) T.TOGAWA: International Symposium on Regional Sustainable Development, Shenyang, 2013.  
"An Evaluation model of Regional Energy Resources utilization for Sustainable Development towards industrial-urban energy symbiosis"
- 11) 平野勇二郎、藤田壮：日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー学会合同研究発表会（2013）  
「住宅における夏季の各種CO<sub>2</sub>排出量削減施策のモデリング」
- 12) 平野勇二郎、藤井実、井原智彦、高橋敬子、藤田壮：第30回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス(2014)  
「生活者のライフスタイル変化によるCO<sub>2</sub>排出量削減可能性の評価」
- 13) 平野勇二郎、吉田友紀子、戸川卓哉：環境共生学会 第17回地域シンポジウムポスターセッション（2014）  
「低炭素型ライフスタイル実現する都市の環境創生に向けた検討」
- 14) 平野勇二郎、井原智彦、高橋敬子、吉田友紀子、藤田壮：第33回エネルギー・資源学会研究発表会（2014）  
「都市における低炭素型ライフスタイルに関する事例研究」
- 15) 吉田友紀子、渡邊聡、松野正太郎、平野勇二郎：第33回エネルギー・資源学会研究発表会（2014）  
「低炭素型の地域計画の開発～都市機能モデルによる検討～」
- 16) 戸川卓哉、藤田壮、藤井実、大西悟、平野勇二郎：第49回土木計画学研究発表会（春大会）（2014）  
「統合型GISデータベースの構築とエネルギー・資源循環システム設計への適用」
- 17) 平野 勇二郎：空気調和・衛生工学会大会（2014）  
「オフィスビル街区における屋上緑化のCO<sub>2</sub>削減効果のシミュレーション評価」
- 18) 平野勇二郎、吉田友紀子、戸川卓哉、高橋敬子：日本建築学会大会（2014）  
「低炭素型ライフスタイルを実現する都市・地域環境創生に関する研究 その1 生活に伴う直接・間接CO<sub>2</sub>排出量の推計」
- 19) 吉田友紀子、平野勇二郎：日本建築学会大会（2014）  
「低炭素型ライフスタイルを実現する都市・地域環境創生に関する研究 その2 全国市町村別、町丁・大字別における地域特性の把握」
- 20) 平野勇二郎：地理情報システム学会学術研究発表大会（2014）  
「都市における人間活動と熱環境の時空間分布を考慮したCO<sub>2</sub>排出シミュレーション」
- 21) 平野勇二郎、吉田友紀子：日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー学会合同研究発表会（2014）  
「都市街区におけるCO<sub>2</sub>削減策の温熱環境評価」

- 22) 平野勇二郎、吉田友紀子、戸川卓哉：第11回環境情報科学ポスターセッション（2014）  
「ライフサイクルCO<sub>2</sub>を削減する都市環境構築に向けた方策の提案」
- 23) 平野勇二郎、井原智彦、吉田友紀子、高橋敬子：第31回エネルギーシステム・経済・環境  
コンファレンス講演論文要旨集（2015）  
「ライフサイクルCO<sub>2</sub>を削減する都市の消費行動パターンに関する基礎的検討」
- 24) 吉田友紀子、平野勇二郎、渡邊聡、松野正太郎：第31回エネルギーシステム・経済・環境  
コンファレンス講演論文要旨集（2015）  
「低炭素型ライフスタイル実現のための居住機能の高効率化に関する研究」
- 25) 平野勇二郎、吉田友紀子：第42回土木学会関東支部技術研究発表会（2015）  
「川崎市における低炭素施策導入の省エネルギー効果と都市熱環境への影響」
- 26) 平野勇二郎、戸川卓哉、孫穎:日本地理学会春季学術大会（2015）  
「生活・行動様式－空間配置の相互関係モデルに基づく商業施設立地の分析」
- 27) 平野 勇二郎、戸川 卓哉、孫 穎：第18回地域シンポジウムポスターセッション（2015）  
「地域における居住スタイルと商業立地の関係分析－生活・行動様式－空間配置の相互  
関係モデルによる適用事例－」
- 28) 平野勇二郎、吉田友紀子、井原智彦、藤井実:第34回エネルギー・資源学会研究発表会(2015)  
「消費行動に伴うCO<sub>2</sub>排出量の推計とその属性による比較」
- 29) Y. HIRANO, Y. OHASHI, T. ICHINOSE: ICUC9 - 9th International Conference on Urban Climate  
(2015)  
"Evaluation of CO<sub>2</sub> reduction effects of buildings with green roofs by using a coupled  
urban-canopy and building-energy model"
- 30) 平野勇二郎、吉田友紀子：日本建築学会大会学術講演会（2015）  
「低炭素型ライフスタイルを実現する都市・地域環境創生に関する研究 その3 都市居住  
者のサンプルを対象としたケーススタディ」
- 31) 平野勇二郎：平成27年度空気調和・衛生工学会大会(2015)  
「住宅におけるCO<sub>2</sub>排出量のマクロ推計と立地条件の分析」
- 32) 平野勇二郎：環境科学会2015年会（2015）  
「ライフサイクルCO<sub>2</sub>評価に基づく低炭素型ライフスタイルの検討」
- 33) 大西暁生、室田昌子、森田紘圭、海老原学、井村秀文、平野勇二郎：環境科学会2015年会  
(2015)  
「地域活性化と環境共生を両立する低炭素コミュニティの実現手法の検討－登戸地区での  
まちづくり事例－」
- 34) 戸川卓哉、藤田壮、平野勇二郎、藤井実：環境科学会2015年会（2015）  
「地域特性に応じた分散型エネルギーシステムの最適設計手法」
- 35) 五味 馨、平野勇二郎：環境科学会2015年会（2015）  
「低炭素社会シナリオから見るライフスタイル変化の効果と影響」
- 36) 平野勇二郎、戸川卓哉、井原智彦、藤井実、小林元:日本環境共生学会第18回学術大会(2015)  
「家計消費に伴うCO<sub>2</sub>排出量の算定と世帯類型による比較」
- 37) 平野勇二郎：第52 回環境工学研究フォーラム（2015）

- 「住宅におけるCO<sub>2</sub>削減行動の効果とその都市熱環境への影響評価」
- 38) 平野勇二郎、大西暁生、吉田友紀子：第12回環境情報科学ポスターセッション(2015)  
「東京におけるエネルギー消費分布と気温分布に基づくCO<sub>2</sub>排出量の通年評価」
- 39) 平野勇二郎、吉田友紀子、鳴海大典：第32回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス(2016)  
「地域の気温条件の民生業務部門エネルギー消費量への影響に関する検討」
- 40) 吉田友紀子、平野勇二郎：第32回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス(2016)  
「産業構造の違いが地域エネルギー消費と低炭素型ライフスタイルに与える影響」
- 41) 平野勇二郎、井原智彦、吉田友紀子：日本LCA学会研究発表会（2016）  
「家庭生活に伴うCO<sub>2</sub>排出量の都市・地域分布に関する分析」
- 42) 大塚彩美、松村直輔、平野勇二郎、鳴海大典：2015年度第86回日本建築学会関東支部大会（2016）  
「省エネルギーを推進するライフスタイルに関する研究 その1：省エネルギー行動の背景的価値観・意識構造」
- 43) 柳川幸太、大塚彩美、松村直輔、平野勇二郎、鳴海大典：2015年度第86回日本建築学会関東支部大会（2016）  
「省エネルギーを推進するライフスタイルに関する研究 その2：HEMSデータを用いたエネルギー消費実態の分析」
- 44) 平野 勇二郎、吉田友紀子：土木学会第43回関東支部技術研究発表会（2016）  
「低炭素施策の導入が街区内熱環境へ及ぼす影響の詳細評価」
- 45) 吉田友紀子、平野勇二郎：第35回エネルギー・資源学会研究発表会（2016）発表予定  
「直接・間接CO<sub>2</sub>排出量削減のための地域計画に関する研究」
- 46) 平野勇二郎、井原智彦、吉田友紀子：日本建築学会大会（2016）発表予定  
「低炭素型ライフスタイルを実現する都市・地域環境創生に関する研究 その4 消費行動に伴うCO<sub>2</sub>排出量の世帯属性による比較」
- 47) 平野勇二郎、吉田友紀子、鳴海大典：平成28年度空気調和・衛生工学会大会（2016）発表予定  
「地域・年による気温条件の民生業務部門エネルギー消費量への影響に関する検討」

### (3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

### (4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 環境科学シンポジウム2013「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」  
(2013年9月3日、静岡県コンベンションアーツセンター「GRANSHiP」)
- 2) 環境科学シンポジウム2015「低炭素型ライフスタイルの実現に向けた都市・地域環境に関する各分野の事例」(2015年9月8日 13:30～16:00、大阪大学吹田キャンパスU2棟2階)

### (5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

#### (6) その他

- 1) 平野勇二郎、吉田友紀子、戸川卓哉：日本環境共生学会第17回（2014年）地域シンポジウム・ポスター優秀発表賞受賞（2014）  
「低炭素型ライフスタイル実現する都市の環境創生に向けた検討」
- 2) 平野勇二郎、藤田壮、稲葉陸太、酒井広平、早瀬百合子、大迫政浩：土木学会地球環境委員会・地球環境優秀講演賞受賞（2014）  
「民生業務部門における業種別エネルギー消費量の構造分析」
- 3) 平野勇二郎、吉田友紀子、戸川卓哉：第11回環境情報科学ポスターセッション・理事長賞受賞（2014）  
「ライフサイクルCO<sub>2</sub>を削減する都市環境構築に向けた方策の提案」

#### 8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

## (2) 低炭素型経済システムを実現する企業経営と産業構造に関する研究

横浜国立大学 経営学部

孫 穎

平成25～27年度累計予算額：2,499千円（平成27年度500千円）

予算額は、間接経費を含む。

### 【要旨】

地球温暖化問題が深刻化している中、持続可能な企業経営を実現するために、一企業単位の環境マネジメントには限界があり、サプライチェーン単位での環境管理(グリーンサプライチェーンマネジメント、以下、GSCM)による環境配慮型経営の実現が重要な課題となる。GSCMに関する既存研究は、一国内や一企業内の取組を対象としたGSCMの実施程度を評価する研究、廃棄物などを対象としたGSCM展開構造の研究、産業間のGSCMを比較する研究などが一般的であった。しかしながら、①地球温暖化問題に関するGSCM実施がどのような要素に影響されているのか、その展開構造は何か、②サプライチェーン全体でのCO<sub>2</sub>排出削減の条件は何か、に関する研究は不十分である。

そこで本業務では、地球温暖化対策の歴史的変遷、政策的要因、世界的動向、ステークホルダーの影響、企業内部の要因などから、企業におけるGSCM展開の影響要素を抽出し、その展開構造を明らかにした。企業においてサプライチェーン全体でのCO<sub>2</sub>排出削減の可能性について検討した。

### 【キーワード】

グリーンサプライチェーンマネジメント、共分散構造分析、アンケート調査、購買行動、環境配慮型製品

### 1. はじめに

経済のグローバル化や地球温暖化問題が進む中、低炭素型でなおかつ高い競争力をもつ企業経営を実現するためには、従来の一企業内部の環境経営に加え、調達連鎖で繋がる企業間の連携による環境管理を含めたサプライチェーン単位での包括的な環境管理（グリーンサプライチェーンマネジメント、Green Supply Chain Management、以下、GSCM）が重要となる。その背景として、近年、地球温暖化に関する企業や市民の環境意識が向上する中、企業内部では先進的な環境管理が導入されていても、上流のサプライヤーが地球環境を損なうような生産活動を行っていた場合、当該企業が製品の提供側として責任を問われることなどがあげられる。そのため、従来の自社内の環境管理のみの対策では限界がみられており、取引関係のあるサプライヤーや顧客を巻き込んだサプライチェーン単位での環境管理こそが地球温暖化問題の解決のカギとみられている。本研究におけるGSCMは、企業内部の環境管理に加え、上流のサプライヤーおよび下流の顧客との連携による環境管理の全体を含む。このような観点に基づき、自社のみで実施可能な環境管理を「内部GSCM実施」とし、上流のサプライヤーや下流の顧客との連携による環境管理を「外部GSCM実施」と定義する。GSCMの根本的な考えは、サプライチェーン全体における資源管理の効率化にあり、地球規模の環境対策と企業経営の両立に特に効果が期待されている。

日本において、温暖化対策に関する企業のGSCM実施は、企業のグローバル進出に伴う海外の環

境規制（例えば、EuP指令、ErP指令）への対応、「地球温暖化対策の推進に関する法律」（2008年改正）や「エネルギーの使用の合理化等に関する法律」（2013年改正）などの国内法の遵守、経団連の「低炭素社会実行計画」（2009）などへの対応、地球温暖化に関する規制強化に備えた環境リスク対策などのもとで推進されてきた。さらに、企業価値（ブランド力や信頼性等）の向上を目指した企業の社会的責任（Corporate Social Responsibility、以下CSR）や、次世代の企業経営戦略として企業価値と社会価値の両立を目指した共通価値の創造（Creating Shared Value、以下CSV）を実現するためにGSCMがますます強化される傾向にある。特に最近、CSVの理念のもと、低炭素化対策を本業として進め、企業パフォーマンスの向上を積極的に図ろうとしている企業が増えてきている。一方で、低炭素化に関するGSCM実施が企業パフォーマンスにどれだけ寄与しているのか、またどのような経路で影響を与えているのかに関しては必ずしも明らかにされていない。日本企業を対象としたGSCM実施と企業パフォーマンスの因果関係に関する研究が報告されているものの、低炭素化対策にフォーカスしたGSCMの展開経路に関する研究や、CSVなどの新しい環境管理の動きを踏まえた研究は不足している。

GSCM実施による企業パフォーマンスへの影響に関するこれまでの既存研究では、環境面や経済面を中心に検討されてきた。また、企業間の連携によるGSCM実施は組織能力の向上や環境技術の導入に寄与するため、環境パフォーマンスだけではなく、運営パフォーマンスにも影響を与えるという研究も報告されている。このように、GSCM実施による影響を環境・経済・運営パフォーマンスの観点から検討することが重要視されているものの、これらの因果関係については明確な結論には至っていない状況である。そこで本研究では日本企業を対象とし、低炭素化に関する取り組みにフォーカスしてGSCM実施から環境、経済、運営パフォーマンスの三方面への影響構造を検討していく。

## 2. 研究開発目的

本研究では、製造企業内部の環境管理、当該企業と上流のサプライヤーおよび下流の顧客との連携による環境管理をGSCM実施の検討範囲とし、これらのサプライチェーン単位の取り組みによる製造企業自身のパフォーマンスへの影響構造を検討の対象とする。具体的には、アンケート調査に基づいて、低炭素化対策に関するGSCMの実施内容および企業パフォーマンスを定量化して抽出する。そのうえで、GSCMの実施状況を概観し、GSCMの実施と企業パフォーマンスの因果関係モデルを構築することで、GSCMの展開構造を明らかにする。

## 3. 研究開発方法

本研究では、企業におけるGSCM展開の影響要素を抽出し、その展開構造を明らかにし、また、企業におけるサプライチェーン全体でのCO<sub>2</sub>排出削減の可能性について検討するために、（1）一般機械産業におけるGSCMと企業パフォーマンスの因果関係分析、（2）低炭素社会に向けた環境配慮型商品購入に対する消費者行動の影響要因分析、（3）低炭素型企業経営に向けたGSCM展開構造の分析を実施した。

### （1）一般機械産業におけるGSCMと企業パフォーマンスの因果関係分析

企業におけるグリーンサプライチェーンマネジメント（GSCM）展開の影響要素の抽出に関して

は、一般機械産業に焦点を置き、孫ほか<sup>1)</sup>、SUN et al.<sup>2)</sup>と一般機械産業の実状をもとに以下のよ  
うな仮説をたて、アンケート調査を実施した。

- 1) GSCM実施は、環境パフォーマンスに対して影響を与える。
- 2) GSCM実施は、運営パフォーマンスに対して影響を与える。
- 3) GSCM実施は、“正”および“負”の経済パフォーマンスに 影響を与える。
- 4) 国内と国外においてGSCM実施による企業パフォーマンス への影響が異なる。

アンケート調査は、2011年1月～2月の間に、国内の一般機械企業の中から、企業規模別に  
無作為に1001社を抽出し、郵送法によって実施した。分析における有効サンプル数は144である。  
調査項目に関して、1) GSCMの実施および企業特性、2) 企業パフォーマンスの2つの質問カテ  
ゴリーを設け、重回帰分析を用いて分析を行った。

## (2) 低炭素社会に向けた環境配慮型商品購入に対する消費者行動の影響要因分析

省エネルギーが期待できる商品を対象に、消費者のエコ商品購入を促進する要因を明らかにす  
ることで、企業におけるサプライチェーン全体でのCO<sub>2</sub>排出削減の可能性について検討した。  
調査は質問紙によって行い、2013年7月～8月にかけて、「平成23年度消費者団体名簿」に  
記載されている消費者団体の代表者1775名を対象に、郵送法で行った。調査項目は、消費者の  
環境問題に対する姿勢、知識の程度及びCO<sub>2</sub>削減効果が大きい等、エコ商品を購入する際にどのよ  
うな点に着眼するかを、いずれも5段階評価で問うた。欠損値のある回答を除いた有効回答数は  
582である。また、本研究では、影響要因の抽出を因子分析、因果関係の分析を共分散構造分析  
で行った。

エコ商品購買行動とその規定因について、広瀬<sup>3)</sup>と三阪<sup>4)</sup>による先行研究と、環境問題に対する  
日本の消費者の実状を踏まえた上で、4つの仮説を立てた。1) 昨今、消費者が環境情報に触れる  
機会が多くなっていることから、「環境学習」は「環境リスク認知」の影響要因である。2) 「環  
境リスク認知」はエコ商品利用意図を形成する要因である。3) 「行動の容易性」、「便益・費  
用評価」及び「実行可能性評価」はエコ商品購入意図を形成する要因である。4) 実際にエコ商品  
購入に至るプロセスは、「エコ商品利用意図」と「エコ商品購入意図」の二段階を経由する。

## (3) 低炭素型企业経営に向けたGSCM展開構造の分析

本研究では、製造企業内部の環境管理、当該企業と上流のサプライヤーおよび下流の顧客との  
連携による環境管理をGSCM実施の検討範囲とし、これらのサプライチェーン単位の取り組みによ  
る製造企業自身のパフォーマンスへの影響構造を検討の対象とする。具体的には、国内の製造業  
に焦点を置き、アンケート調査に基づいて、低炭素化対策に関するGSCMの実施内容および企業パ  
フォーマンスを定量化して抽出する。そのうえで、GSCMの実施状況を概観し、GSCMの実施と企業  
パフォーマンスの因果関係モデルを構築することで、GSCMの展開構造を明らかにする。最後に、  
低炭素化と企業経営の両立に向けたGSCM推進の方向性を示す。

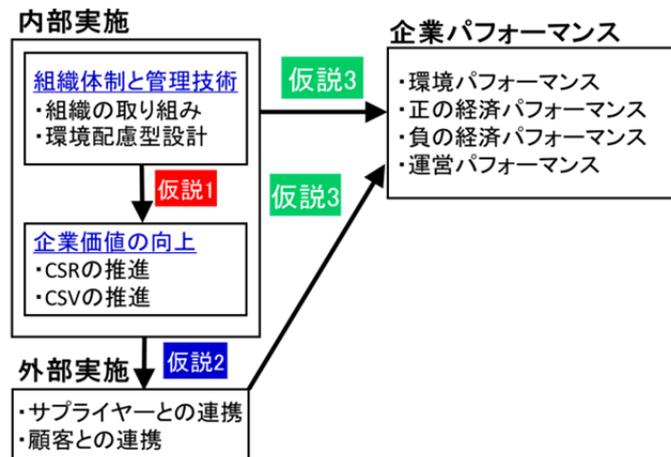
日本企業の低炭素化対策に関するGSCMの実施と企業パフォーマンス（環境、経済、運営）の影  
響構造について、既存研究と日本の実状を踏まえて下記3つの仮説を立てた。その仮説モデルの全  
体像を図(2)-1に示す。

仮説1：企業内部のGSCMの実施において、初期からの取り組み（組織の取り組みと環境配慮型設

計)は、近年の企業価値の向上に向けた取り組み(CSRとCSVの推進)を促進している。

仮説2: 企業内部のGSCM実施は、企業間の連携によるGSCM実施(サプライヤーと顧客との連携)を促進している。

仮説3: 企業のGSCM実施は、企業パフォーマンス(環境、“正”と“負”の経済、運営パフォーマンス)に対して影響を与える。



図(2)-1 低炭素化に関するGSCM実施と企業パフォーマンスの仮説モデル

本研究では上場製造企業全1520社を対象にアンケート調査を行った。アンケート調査は、2014年11月～12月の間に郵送法によって実施した。分析における有効サンプル数は、132であった。その内訳は、表(2)-1のとおりである。

表(2)-1 回答企業の産業種別と規模

	回答数	割合(%)
食料品製造業	14	10.6
繊維工業	3	2.3
パルプ・紙・紙加工品製造業	3	2.3
化学工業	21	15.9
ゴム製品製造業	1	0.8
窯業・土石製品製造業	2	1.5
鉄鋼業	4	3.0
非鉄金属製造業	3	2.3
金属製品製造業	5	3.8
はん用・生産用・業務用機械器具製造業	13	9.8
輸送用機械器具製造業	37	28.0
電子部品と電気機械器具製造業	13	9.8
その他	13	9.8
合計	132	100
従業員 ≥300人	113	85.6
<300人	19	14.4
合計	132	100

調査項目に関して、質問1) GSCMの実施、質問2) 企業パフォーマンスの2つのカテゴリを設けた。質問1) では、まず、GSCM実施の度合を測定するため、低炭素化対策に関する日本企業の代表

的な取り組みを踏まえたうえで GSCMの実施に関して6つのカテゴリを設け、49の調査項目を設定した。そのうち、企業内部の取り組みとして、「組織の取り組み」、「環境配慮型設計」、「CSRの推進」、「CSVの推進」を取り上げた。また、企業間の連携による取り組みとして、上流側となる「サプライヤーとの連携」と下流側となる「顧客との連携」を取り上げた。質問2)では、GSCM実施による企業パフォーマンスへの影響を測定するため、日本の環境配慮型経営の実情を踏まえたうえで、GSCMによる企業パフォーマンスに関して、環境パフォーマンス、正の経済パフォーマンスおよび負の経済パフォーマンス、運営パフォーマンスという4つのカテゴリを設け、28の調査項目を設定した。

#### 4. 結果及び考察

本研究の分析の結果、以下のような結果が導き出された。

##### (1) 企業におけるグリーンサプライチェーンマネジメント (GSCM) 展開の影響要素の抽出

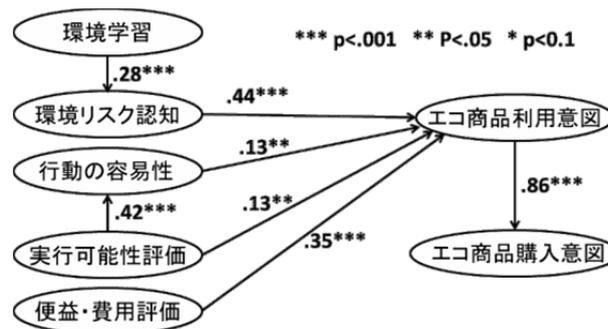
国内外における一般機械産業の GSCM 実施は取組の途中段階にあることが示唆された。また、国内においては、組織の取組、顧客との連携は持続可能な企業経営に寄与していることや、環境監査は環境パフォーマンスに有意な影響を与えていることが判明した。一方、サプライヤーとの連携、環境配慮型設計、資源回収による企業パフォーマンスへの影響はみられなかった。国外においては、組織の取組による運営パフォーマンスへの有意な影響がみられなかったものの、持続可能な企業経営に寄与していることが判明した。また、国内に対する分析結果と同様に環境監査による環境パフォーマンスへの影響も確認できた。今後、サプライヤーとの連携、環境配慮型設計、資源回収による企業パフォーマンスへの促進や、国外の GSCM 実施を強化していくべきであろう。

表(2)-2 GSCM実施と企業パフォーマンスの因果関係

国内	運営 (P1)	環境 (P2)	負の経済 (P3)	正の経済 (P4)	国外	運営 (P1)	環境 (P2)	負の経済 (P3)	正の経済 (P4)
F1組織の取組	0.26 <sup>+</sup>	0.36 <sup>**</sup>	0.29 <sup>+</sup>	0.47 <sup>***</sup>	F1組織の取組	0.20	0.37 <sup>**</sup>	0.05	0.45 <sup>**</sup>
F2顧客との連携	0.24 <sup>+</sup>	0.19 <sup>+</sup>	0.12	0.22 <sup>*</sup>	F2サプライヤー・顧客との連携	0.17	0.02	0.16	0.09
F3環境監査の実施	0.01	0.48 <sup>***</sup>	0.02	-0.04	F3環境監査の実施	0.18	0.27 <sup>*</sup>	0.21	0.07
F4サプライヤーとの連携	0.07	-0.28	0.03	-0.11	F4資源回収	0.09	0.07	0.16	0.13
F5資源回収	0.06	0.02	0.14	0.10	F5環境配慮型設計	0.14	0.03	-0.07	0.09
F6環境配慮型設計	0.13	0.02	-0.03	0.19	資本金	0.07	0.15	0.10	0.09
資本金	0.06	0.09	0.09	0.06	調整済みR <sup>2</sup>	0.40	0.49	0.14	0.50
調整済みR <sup>2</sup>	0.42	0.56	0.19	0.50	F	8.48 <sup>***</sup>	11.56 <sup>***</sup>	3.10 <sup>**</sup>	13.01 <sup>***</sup>
F	9.85 <sup>***</sup>	15.96 <sup>***</sup>	4.03 <sup>**</sup>	13.88 <sup>***</sup>					

##### (2) 低炭素社会に向けた環境配慮型商品購入に対する消費者行動の影響要因分析

質問紙調査の分析の結果、諸要因の因果関係は図(2)-2のように示されることが分かった。



図(2)-2 諸要因の因果関係モデル

図(2)-2によると、諸要因はエコ商品利用意図の形成を増進し、エコ商品利用意図とエコ商品購入意図の間には機能的な差異がほとんど見られないことが示された。また、環境学習は環境リスク認知及びエコ商品利用意図を経由してエコ商品購入意図に影響を与えている一方、環境学習から環境リスク認知への有意性が低いため、政府と企業は環境に関する情報を発信することで、消費者の知識レベルを底上げしていくことが重要であるといえる。さらに、知識や技能・社会的機会へのアクセス可能性を指す「実行可能性評価」が、「行動の容易性」に影響することが示された。企業におけるサプライチェーン全体でのCO<sub>2</sub>排出削減の可能性を高めるためにも、エコ商品購入の際の負担を軽減し、購入を容易にするために、今後は一層消費者に寄り添った商品表示や情報開示が求められる。

### (3) 低炭素型企业経営に向けたGSCM展開構造の分析

アンケート調査の結果をもとにGSCMの実施および企業パフォーマンスについて因子分析（主成分分析、Kaiserの正規化を伴うバリマックス法）を行った。Kaiser-Meyer-Olkinの標本妥当性の測度値はそれぞれ0.90、0.92であり、因子分析を行うことが妥当であると判断できる。また、調査項目間で強い相関を確保するために、因子負荷量の絶対値が0.50未満の項目が出現しなくなるまで、項目を削除しながら因子分析を繰り返した。その結果、表(2)-3、表(2)-4のような因子負荷行列が得られた。表(2)-3のGSCM実施では、組織の取り組み、環境配慮型設計、CSRの推進、CSVの推進、サプライヤーとの連携、顧客との連携という6因子を抽出でき、累計説明率は75.2%であった。一方、表(2)-4の企業パフォーマンスでは、環境パフォーマンス、運営パフォーマンス、正の経済パフォーマンス、負の経済パフォーマンスという4因子を抽出でき、累計説明率は81.2%であった。

表(2)-3 GSCM実施の因子分析結果

GSCM実施	F1	F2	F3	F4	F5	F6
部門ごとの温暖化対策への対応	<b>0.87</b>	0.06	0.15	0.16	0.12	0.08
部門間の協力による温暖化対策への対応	<b>0.86</b>	0.14	0.15	0.15	0.11	0.04
経営トップによる温暖化対策へのコミットメント	<b>0.85</b>	0.08	0.12	0.17	0.17	0.08
経営方針と関連付けた温暖化対策の方針・行動計画の策定	<b>0.82</b>	0.16	0.15	0.18	0.06	-0.01
中堅管理層による温暖化対策へのコミットメント	<b>0.75</b>	0.17	0.10	-0.08	0.21	0.27
温暖化対策に関する従業員への研修	<b>0.70</b>	0.18	0.30	0.14	0.08	0.07
温暖化対策に関するサプライヤーへの教育・研修	0.16	<b>0.82</b>	0.03	0.08	0.16	0.28
温暖化対策のためのサプライヤーへの資金援助・融資	0.05	<b>0.78</b>	0.17	0.11	-0.11	0.05
温暖化対策に関するサプライヤーとの情報・意見交換	0.14	<b>0.77</b>	0.12	0.16	0.20	0.15
二次サプライヤーに対する温暖化対策の要求	<b>0.74</b>	<b>0.74</b>	0.07	0.05	0.22	0.01
温暖化対策のためのサプライヤーへの技術提供	<b>0.71</b>	<b>0.71</b>	0.19	0.24	-0.04	0.36
温暖化対策を評価項目としたサプライヤーの選択	<b>0.67</b>	<b>0.67</b>	0.12	0.15	0.44	-0.14
CSR専門部署の設置			0.17	<b>0.89</b>	0.13	0.18
CSR専任担当者の設置			0.15	<b>0.87</b>	0.15	0.13
CSR報告書・環境報告書・サステナビリティ報告書等の作成・公開	0.27	0.10	<b>0.64</b>	<b>0.64</b>	0.14	0.21
海外拠点・グループ会社におけるCSR展開	0.25	0.15	<b>0.63</b>	0.32	0.21	0.18
環境配慮型包装に関する顧客との連携	0.16	0.17	0.29	<b>0.82</b>	0.21	0.14
環境配慮設計に関する顧客との連携			0.18	<b>0.76</b>	0.11	0.19
輸送過程の温暖化対策に関する顧客との連携	0.19	0.30	0.15	<b>0.76</b>	0.30	0.09
製品の使用段階における温暖化対策を考慮した製品デザイン	0.27	0.15	0.18	0.13	<b>0.76</b>	0.22
輸送効率を考慮した製品デザイン				0.30	<b>0.72</b>	0.12
包装資材の削減を考慮した製品デザイン				0.41	<b>0.66</b>	0.16
教育、資金援助、技術支援などを通じたサプライヤーの育成	0.14	0.42	0.37	0.33	0.04	<b>0.63</b>
社会・温暖化問題の解決に寄与する製品・サービスの提供				10	0.45	<b>0.60</b>
事業展開地域における競争力強化と地域貢献活動	0.25	0.16	0.19	0.33	0.33	<b>0.56</b>
$\alpha$	0.93	0.89	0.90	0.88	0.89	<b>0.76</b>
因子負荷	18.61	16.14	12.68	10.99	10.20	<b>6.57</b>

表(2)-4 企業パフォーマンスの因子分析結果

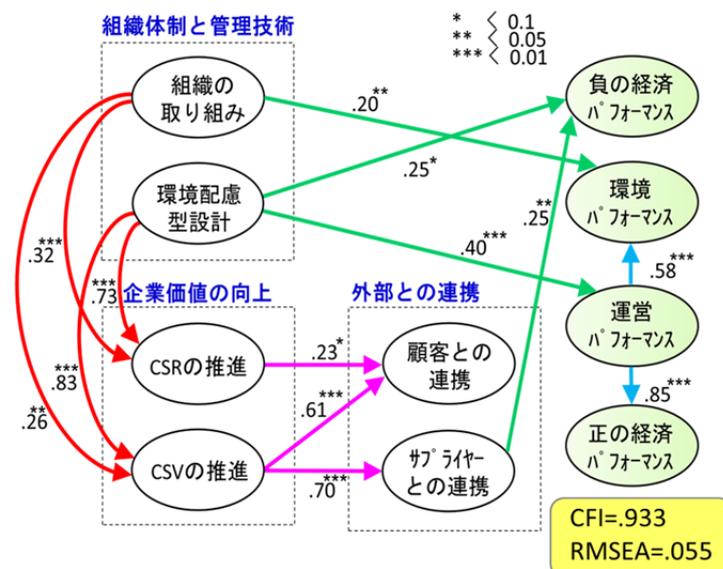
企業パフォーマンス	P1	P2	P3	P4
納期遵守率の向上	0.87	0.23	0.13	0.24
在庫水準の削減	0.87	0.20	0.12	0.20
製品品質の向上	0.82	0.28	0.14	0.30
稼働率の向上	0.79	0.29	0.21	0.29
製造リードタイムの短縮	0.79	0.20	0.16	0.32
製造ラインの増加	0.76	0.18	0.26	0.15
廃棄物の削減	0.27	0.84	0.15	0.10
温室効果ガスの排出削減	0.3	0.83	0.18	0.22
エネルギー利用量の削減	0.18	0.83	0.15	0.25
排水の削減	0.23	0.71	0.30	-0.01
温暖化対策のための投資の増加	0.07	0.23	0.84	0.16
温暖化対策に関する研修費の増加	0.07	0.23	0.84	0.16
環境配慮型資材の購入によるコストの増加	0.30	0.27	0.71	0.17
マーケットシェアの拡大	0.54	0.28	0.14	0.75
売上の増加			14	0.74
新規顧客の獲得	0.51	0.13	0.28	0.72
$\alpha$	0.96	0.89	0.81	0.96
因子負荷	32.72	20.09	14.66	13.74

また、GSCM実施および企業パフォーマンスの各因子の内的整合性を確認するために、各因子におけるクロンバックの $\alpha$ 信頼性係数（Cronbach's alpha）を算出した（表(2)-3、表(2)-4）。10因子の $\alpha$ 信頼性係数は、いずれも通常妥当と見られる値の0.7036)より上回った。企業におけるGSCM実施程度および企業パフォーマンス向上への影響度をみるために、表(2)-5に記述統計量を示した。

表(2)-5 各因子の記述統計

	項目数	平均値	標準偏差	N
F1 組織の取り組み	6	4.19	1.18	123
F2 サプライヤーとの連携	6	1.96	0.97	116
F3 CSRの推進	4	3.66	1.36	119
F4 顧客との連携	3	3.35	1.46	126
F5 環境配慮型設計	3	3.49	1.5	118
F6 CSVの推進	3	2.82	1.36	120
P1 環境パフォーマンス	6	3.49	1.22	122
P2 運営パフォーマンス	4	3.53	1.09	127
P3 負の経済パフォーマンス	3	2.96	0.97	123
P4 正の経済パフォーマンス	3	3.63	1.33	126

上記で抽出した因子（表(2)-3、表(2)-4）を用いて共分散構造分析を行い、GSCM実施と企業パフォーマンスの因果関係モデルを導出した結果、図(2)-3のとおりとなった。モデルの適応度は、CFI=0.933、RMSEA=0.055である。観測変数の数から勘案すると、検証を行うに妥当な当てはまりの良さであると考えることができる。矢印は変数間の因果関係を示し、その影響力は横に付記されたパス係数で表す。なお、パス係数は有意性の検定を実施しており、数値の右肩にその結果を示す。



図(2)-3 低炭素化に関するGSCM実施と企業パフォーマンスの因果関係モデル

上記の結果より、以下のことが指摘できる。表(2)-5の低炭素化対策に関するGSCM実施の平均値から、内部のGSCM実施において、組織の取り組みやCSRの推進、環境配慮型設計 (F1, F3, F5 $\geq$ 3.49) と比べて、新たな動きとなるCSVの推進 (F6=2.82) が相対的に遅れていることが判明した。その理由として、CSVが近年、大企業間で着手され、温暖化対策に関する事例が多く報告されているものの、企業間で全面的に浸透するまでには至っていないことが考えられる。また、外部との連携によるGSCM実施において、サプライヤーとの連携 (F2=1.96) には遅れがみられる一方、顧客と

の連携（F4=3.35）が大きく推進され、二つの取り組みの進捗に大きな差異が存在していることが判明した。このような差異が生じた原因としては、まず、サプライヤーとの連携には企業による教育研修や資金援助、技術提供など労力とコストのかかる取り組みが多く他社との合意が必要となるため、推進が遅れたことが考えられる。一方で、顧客との連携は業界の対策およびコスト削減効果により推進されてきたと考えられる。具体的には、2009年の経団連の「低炭素社会実行計画」において、世界最高水準の低炭素技術やエネルギー効率の維持・向上を目指すために、消費者や顧客との連携の強化を4本柱の一つとして企業に要求したことがあげられる。また、顧客との連携による包装や製品設計、輸送などに関する温暖化対策は企業にとってコスト削減につながる内容であるため、優先的に進められてきたと考えられる。この顧客との連携が進展している点に関しては、廃棄物管理を中心としたGSCM実施に関する既存研究とは異なる結果が示された。これは、廃棄物管理を対象としたGSCM実施においてはリサイクルシステムの構築などがコストや高度な技術を必要とするため、容易に取り組めるものではないことが理由として考えられる。

また、低炭素化対策に関する日本企業のGSCM実施と企業パフォーマンス間の展開構図（図(2)-3）として、次のようなことが示唆された。まず、企業内部のGSCM実施のうち、組織の取り組みと環境配慮型設計という組織体制や低炭素化管理技術に関するGSCM実施が、企業価値の向上を目指したCSRやCSVの推進を促進しており、そのうち環境配慮型設計による影響が特に強いことが示された。これは、CSRとCSVの推進が、組織の低炭素化に関する経営方針や組織構成員の全面的な協力のもとに取り組むものであることや、それらの実践が、低炭素化管理技術によって推進されてきたことに起因すると考えられる。なお、組織の取り組みから環境配慮型設計への間には、有意な影響は見られなかった。その理由として、日本の環境配慮型設計は温室効果ガスの削減をめぐる組織の取り組みよりはEuP指令やErP指令などといった海外の規制が背景となり、環境リスク管理の下での品質管理やコスト削減によって促進されてきたことがあげられる。

次に、CSRの推進は外部GSCM実施における顧客との連携を、CSVの推進はサプライヤーとの連携と顧客との連携の両方を大きく促進していることが判明した。その理由としては、まず、CSRの推進は、サプライヤーとの連携のような多額の費用が必要となる取り組みには影響力が及ばず、コスト削減効果のある顧客との連携に影響を与えやすいことが考えられる。また、CSRの推進のもとで、環境報告書やCSR報告書などによる情報公開が進み、顧客の信頼感が強まることにより、顧客との連携による製品の低炭素化設計や輸送過程の省エネ対策などが取り組みやすくなったことも理由としてあげられる。

さらに、GSCM実施のうち、組織の取り組みが環境パフォーマンスに影響を与えていること、環境配慮型設計とサプライヤーとの連携から負の経済パフォーマンスへの影響がみられるものの、環境配慮型設計から運営パフォーマンスへの促進効果や、その影響はさらに環境パフォーマンスおよび正の経済パフォーマンスを促進したことが示唆された。組織の取り組みに関しては、経営トップのコミットメントや部門間の協力による対応、温暖化対策の方針・行動計画などのもとの組織全体の連動が、省エネや温室効果ガスの排出削減などに貢献し、環境パフォーマンスを向上させたと考えられる。また、環境配慮型設計から運営パフォーマンスへの影響の理由として、消費者や顧客の温暖化対策に関する関心が高まる中、製品の使用段階や包装などに環境配慮型設計が実施された製品への需要が高まり、生産性や製品品質の向上、製造過程の効率化につながったと考えられる。さらに、環境配慮型設計はこれらの運営パフォーマンスの向上を通じて、間接

的に温室効果ガスの削減やエネルギー利用の削減といった環境パフォーマンスの向上につながるとともに、新規顧客の獲得や売り上げの増加などといった正の経済パフォーマンスを向上させたと考えられる。一方で、使用段階のエネルギー消費削減や輸送効率の向上、包装資材の削減などに配慮した低炭素化製品の設計開発およびサプライヤーへの技術提供や研修の実施、情報交換などによりコストが増えたことが、環境配慮型設計とサプライヤーとの連携が負の経済パフォーマンスへ影響を与えた理由としてあげられる。

一方で、CSRやCSVの推進、顧客との連携から企業パフォーマンスへの影響は示されなかった。日本では、CSRは社会貢献のためのボランティア事業としての位置づけが強く、企業のイメージ向上に繋がるものの、企業のパフォーマンス向上には必ずしも影響していないことが示唆された。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

一般機械産業におけるGSCMと企業パフォーマンスの因果関係分析では、一般機械産業のGSCM実施程度に関しては、企業間の連携による取組の遅れが見られることが示された。また、GSCM実施から企業パフォーマンスへの影響に関しては、「組織の取組」、「顧客の連携」において、環境と経済のWin-win効果が示された。また、「サプライヤーとの連携」、「資源回収」、「環境配慮型設計」による企業パフォーマンスへの寄与は見られないこと、「CSRの推進」が環境パフォーマンスを促進していることが示された。

低炭素社会に向けた環境配慮型商品購入に対する消費者行動の影響要因分析から、諸要因はエコ商品利用意図の形成を増進したこと、エコ商品利用意図と商品購入意図の間には機能的な差異がほとんど見られないこと、環境学習は環境リスク認知への優位性が低いこと、知識や技能・社会的機会へのアクセス可能性を指す「実行可能性評価」が、「行動の容易性」に影響することが示された。

低炭素型企業経営に向けたGSCM展開構造の分析では、多くの企業において直接CO<sub>2</sub>排出量と比較しサプライチェーンにおける間接CO<sub>2</sub>排出量は大きく、GSCMの実施によるCO<sub>2</sub>削減ポテンシャルが大きいことが示唆された。またサプライチェーンを通じた対策により、国内企業の努力により国外における誘発CO<sub>2</sub>を削減できる可能性が示唆され、企業の社会的責任を検討する上で有益な結果を得た。その一方で、日本企業における組織的取り組みとしては、サプライヤーや顧客との連携によるGSCM実施が相対的に遅れていることが示唆された。一方、環境配慮型設計は企業パフォーマンスにも良い影響を及ぼすことが示されており、今後現実的なパフォーマンス向上に結びつけるための知見の蓄積が求められる。

低炭素対策に関する国内製造業のGSCM実施状況を概観し、GSCM実施と企業パフォーマンスの間の展開構造を明らかにした。その結果、日本企業のGSCM実施において、外部実施のサプライヤーとの連携や新しい取り組みとなる内部実施のCSVの推進が比較的遅れていることが示唆された。また、低炭素化対策に関する日本企業のGSCM実施と企業パフォーマンス間の展開構造として、次のようなことが示唆された。まず、企業内部のGSCM実施のうち、組織の取り組みと環境配慮型設計といった組織体制や低炭素化管理技術に関するGSCM実施が、企業価値の向上を目指した近年の取り組みであるCSRやCSVの推進を促進しており、CSRとCSVの推進はさらに、外部との連携によるGSCM実施に影響を与えたことが判明した。次に、GSCM実施のうち、環境配慮型設計とサプライヤーと

の連携から負の経済パフォーマンスへの影響がみられるものの、環境配慮型設計から運営パフォーマンスへの促進効果や組織の取り組みによる環境パフォーマンスへの促進効果が確認された。さらに環境配慮型設計の影響は環境パフォーマンスおよび正の経済パフォーマンスを間接的に促進したことが示唆された。一方で、CSRやCSVの推進、顧客との連携からはいずれの企業パフォーマンスへも影響は示されなかった。今後、サプライチェーン単位での低炭素化対策と企業経営の両立を進めるために、上流のサプライヤーとの連携やCSVの推進を一層強化させていくことが必要である。また、GSCM実施が企業パフォーマンスの向上に貢献するよう、CSRとCSVの戦略的推進や、共通利益を前提にした企業間連携のあり方を開拓する必要がある。

## (2) 環境政策への貢献

### <行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

### <行政が活用することが見込まれる成果>

企業のGSCMを通じた温暖化対策への要請が国際的に高まっており、2011年にGHGプロトコルによる「SCOPE3基準」や、2013年にISO（国際標準化機構）による「ISO/TR 14069」が策定されるなど、サプライチェーン全体における温室効果ガス排出量の計算や報告が求められている。こうした状況下で、本研究において低炭素化対策に関するGSCM実施による自社の企業パフォーマンスへの影響構造を明確にしたことは、企業によるGSCM実施へのさらなる推進のインセンティブとなり得るため、低炭素化に向けた制度設計に取り込む価値があり、今後の国・地方行政の施策に活用されることが見込まれる。また、本研究において構築したGSCM実施と企業パフォーマンスとの因果関係モデルは、低炭素化と企業価値の両立を目指した環境政策を推進するための根拠としての活用が期待できる。

## 6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文（査読あり）>

- 1) 孫穎、宮寺哲彦：環境科学会誌（印刷中）

「低炭素型企業経営に向けたグリーンサプライチェーンマネジメント（GSCM）展開構造の研究」

#### <査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

#### <その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない。

### (2) 口頭発表（学会等）

- 1) 平野勇二郎、藤田壮、戸川卓哉、孫穎：空気調和・衛生工学会大会(2013)  
「民生業務門における業種別エネルギー消費量のマクロ推計」
- 2) 平野勇二郎、谷川寛樹、戸川卓哉、藤田壮、孫穎：環境システム研究論文発表会（2013）  
「事務所ビル街区における屋上緑化の蒸発散量とそのヒートアイランド緩和効果およびCO<sub>2</sub>削減効果のシミュレーション評価」
- 3) 松澤玲美、孫穎：第10回環境情報科学ポスターセッション（2013）  
「低炭素社会に向けた環境配慮型商品購入に対する消費者行動の影響要因分析」
- 4) 孫穎、藤村直哉：第10回環境情報科学ポスターセッション（2013）  
「一般機械産業におけるグリーンサプライチェーンマネジメント（GSCM）と企業パフォーマンスの因果関係分析」
- 5) 中林麻衣、孫穎：第11回環境情報科学ポスターセッション（2014）  
「自然体験型施設による環境配慮行動の促進と地域経済への影響に関する要因分析」
- 6) 平野勇二郎、戸川卓哉、孫穎:日本地理学会春季学術大会（2015）  
「生活・行動様式－空間配置の相互関係モデルに基づく商業施設立地の分析」
- 7) 平野 勇二郎、戸川 卓哉、孫穎：第18回地域シンポジウムポスターセッション（2015）  
「地域における居住スタイルと商業立地の関係分析－生活・行動様式－空間配置の相互関係モデルによる適用事例－」
- 8) 孫穎：第12回環境情報科学ポスターセッション(2015)  
「炭素型企業経営に向けたグリーンサプライチェーンマネジメント（GSCM）展開メカニズムの探索研究」
- 9) SUNYING: Taipei 2nd International Conference on "Business, Economics, Social Science & Humanities-BESSH-2016" (2016)  
"Empirical Study on Low-Carbon Supply Chain Management Practices and Performance in Japanese Companies"

### (3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

### (4) 「国民との科学・技術対話」の実施

特に記載すべき事項はない。

### (5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

### (6) その他

- 1) 松澤玲美、孫穎：第10回環境情報科学ポスターセッション・理事長賞受賞（2013）  
「低炭素社会に向けた環境配慮型商品購入に対する消費者行動の影響要因分析」

## 8. 引用文献

- 1) 孫 穎、宮寺哲彦、平野勇二郎、藤田 壮：持続可能な企業経営に向けたグリーンサプライチェーンマネジメントの役割. 土木学会論文集G（環境）, 68(6), II\_361-II\_369, 2012.
- 2) Sun et al. Environmental Governance for Sustainable Development, East Asian Perspectives, Tokyo: United Nations Press, pp312-336, 2013.
- 3) 広瀬幸雄：環境配慮的行動の規定因について, 社会心理学研究, Vol.10, No.1, pp.44-55, 1994.
- 4) 三阪和弘：環境教育における心理プロセスモデルの検討, 環境教育, Vol.13 No.1, pp.3-14, 2003.

### (3) 低炭素型の地域計画と地域経済・社会動態への影響に関する研究

名古屋大学

奥岡桂次郎（平成27年度）・吉田友紀子（平成26年度）・  
柴原尚希（平成25年度）・渡邊聡・松野正太郎

平成25～27年度累計予算額：8,029千円（平成27年度3,600千円）

予算額は、間接経費を含む。

#### 【要旨】

都市・地域の居住モデルを構築することで、地域環境デザインのモデル化を行った。モデルにおいて世帯数から住宅延床面積を推計する際に世帯あたり床面積の規模を考慮することで、詳細な推計を行った。推計された住宅延床面積に、エネルギー消費原単位とエネルギー種別二酸化炭素換算係数を乗じることで家庭部門二酸化炭素排出量を推計した。このモデルにより人口集約化の二酸化炭素排出量への影響を評価した。また、地域における気候政策・経済分析モデルを構築した。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構成される。低炭素施策の導入ケースを想定し、その場合の経済効果をマクロ計量モデル・産業連関モデルで推計した。この結果、例えば愛知では県内総生産や製造業出荷額の押し上げ効果が大きく、岐阜・三重は県民所得・地方税収入の押し上げ効果が大きいことなどが示された。

#### 【キーワード】

低炭素社会、都市環境、ライフサイクルCO<sub>2</sub>、地域経済、地域環境

#### 1. はじめに

低炭素社会の実現のためには、生活・行動様式を低炭素型に転換する必要がある。Arnulf Grubler（国際応用システム分析研究所（IIASA）／エール大学）によると、CO<sub>2</sub>排出抑制のための階層構造は、産業構造の影響が最も大きく、都市構造、エネルギー需要側の効率、エネルギーシステムの統合、石油代替の順に大きい<sup>1)</sup>。そのため、産業構造と都市構造を動的に結びつける地域計画を、モデルを用いて検討することとした。

また、地域レベルで地球温暖化対策を進めるにあたって、どのような削減策を選択するのが重要になる。各地域の経済・社会構造の違いや地域資源の賦存状況、地理的特性などの違いが、地域間で削減策の効果に違いにつながる。これはCO<sub>2</sub>削減効果だけでなく、削減策導入に伴う経済効果の差にもつながることになる。このように地域特性を把握したうえで、個々の地域特性に合わせた最も効率的な削減策の組み合わせを導入することが必要とされる。

#### 2. 研究開発目的

地域性を考慮した低炭素型生活・行動様式シナリオによる経済・産業・雇用に対する影響を明

らかにする。地域の人口構成や産業構造、気候、土地利用などの地域性を考慮した低炭素型生活・行動様式を実現する地域環境デザインのシナリオに基づき、地域経済指標への変化や雇用創出もしくは人口動態の変化を検討する。

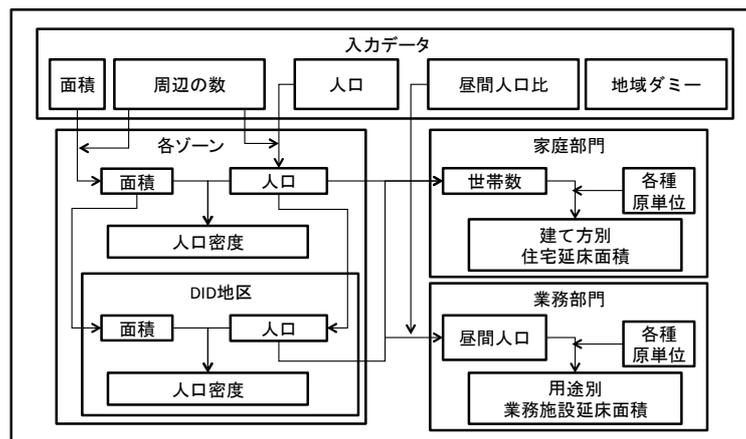
地域計画にあたっては、全国に広く用いられている1小学校区を単位とした公共施設等の街区計画手法の一つである近隣住区論を応用する。また、その地域における職住近接型の地域計画を検討するため、産業構造と結びつけた従業地における就業者数を推計するなど、1k㎡街区における地域計画手法の一般化を見据えたモデル構築することとする。検討街区の地域特性を考慮するため、従業地と就業地の就業者の昼夜の出入りについては、昼間人口比率の指標を用いて、日中及び夜間の1k㎡学区内人口を推定し、必要となる業務建物延床面積及び住宅建物延床面積を推定することで活動量を見積もり、建物用途ごと、生活・行動様式ごとのエネルギー消費原単位をそれぞれ設定することで、詳細に地域エネルギー消費量を推定することを最終的な目標とする。

地域特性を踏まえた温暖化対策とその経済影響を分析するためには、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」が必要となってくる。この研究では分析対象を東海三県(愛知・岐阜・三重)とし、かつ対策導入に伴う地域特性の違いに着目して分析する。分析にあたって、現在の地域をとりまく経済・社会状況を所与とした場合の経済・社会指標を推計する「参照ケース(BAU)」と対策を導入した場合に変化する「対策導入ケース」とを比較し、CO<sub>2</sub>削減策を導入することでいかなる影響がもたらされるのかを地域経済指標の変化から検討する。

### 3. 研究開発方法

#### (1) 都市・地域の居住モデルの構築による地域環境デザイン

本研究では、都市・地域の居住モデルを構築することで、地域環境デザインのモデル化を行った。都市・地域の居住モデルでは、汎用性の高い推計モデル構築のために、都市の特徴を損なわない範囲内で、モデルの外生変数の数を極力少なくするよう仮定をした。特に、その特徴を表す仮定としては、人口密度により大きく影響を受けるモデル化を行ったことである。また、それを補足する変数として地域を示すダミー変数を設定した。業務部門については通常の人口分布(夜間人口)とは異なる、昼間人口を基盤にモデル化をする必要があるため、昼間人口比についても外生的に入力する仮定をした。以上から、本モデルでは以下の4つの外生変数による推計を行うと仮定した。4つの外生変数は、人口、面積、地域ダミー、昼間人口比である。その推計フローの概要を図(3)-1に示した。



図(3)-1 推計フローの概要

仮想都市モデルでは、都市を対象にモデル化を行うが、より広域での推計を可能にするために、都市群を対象とした仮想都市圏モデルについても作成を行った。仮想都市圏モデルは、仮想都市モデルの前段階である都市圏内の人口分布を推計するモデルである。

各都市をサンプルとして利用する際に、都市圏内の最上層に位置する都市を都市圏における中心として「コア」と定義した。また、それ以外の都市を都市圏における郊外として「周辺」と定義することにした。以下、「コア」、「周辺」はこの定義に基づくものとする。また、仮想都市圏モデルにおいては単純化を行うために、都市圏においてはコアが1つと仮定した。周辺については、新たな外生変数「周辺の数」を定義することでその数を設定した。しかし、大きな都市圏では数多く存在するものすべてをひとつひとつ認識することによりモデルが複雑になるので、都市圏の規模等に応じて、ある程度まとめた周辺都市群が1から3の数だけ、コアの周りに分布しているものとした。さらに、人口密度の大きい地域と小さい地域を分けるために、人口集中地区 (Densely Inhabit District: DID、以下DID)をコアと周辺内でそれぞれ設定した。以上から、仮想都市モデルにおいては、都市圏をコアDID、コア非DID、周辺DID、周辺非DIDの4つのエリアに分割した。また、コアの昼間人口比を設定することで、都市圏内で昼夜間の人口移動が完結するとの過程から、コア・周辺それぞれの昼間人口を推計した。

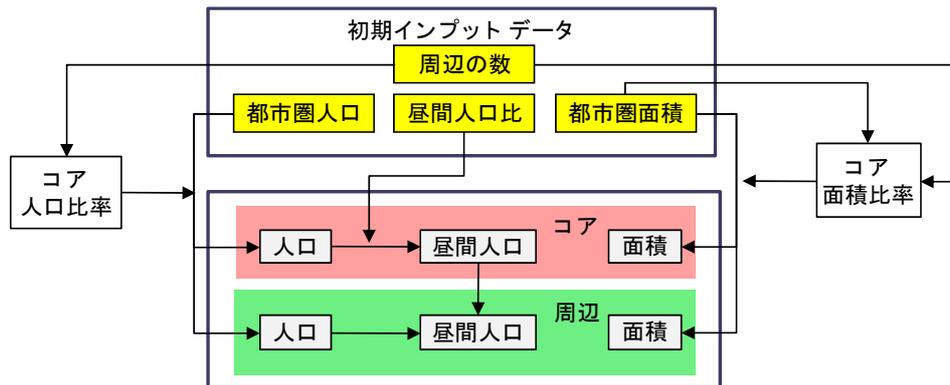
以上から、仮想都市圏モデルにおいては、人口、面積、地域ダミー、昼間人口比、及び周辺の数の5つの外生変数を設定することで、その圏域内の人口分布を示した。なお、周辺の数とは都市圏域における周辺都市の個数であり都市圏域の規模を示す指標となり、地域ダミーは地域における違いを表現するコードであり、北海道地方、東北地方、関東地方、北陸地方、中部地方、関西地方、中国地方、四国地方、九州地方、沖縄地方の10とした。

#### (a) 域内における人口分布の推計

まず、都市圏全体の人口と面積をコアと周辺に配分する。その手順を図(3)-2に示す。図より、都市圏人口と都市圏面積をコアと周辺に配分する際、コア人口比・コア面積比を設定しており、以下の式でコアと周辺の人口・面積は示される。

$$\begin{aligned}
 Pop^{core} &= Pop \times Rp^{core} \\
 Pop^{peri} &= Pop - Pop^{core} \\
 Area^{core} &= Area \times Ra^{core} \\
 Area^{peri} &= Area - Area^{core}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

ただし、 $Pop^i$  : ゾーン  $i$  の人口、 $Area^i$  : ゾーン  $i$  の面積、 $Rp^i$  : ゾーン  $i$  の人口比率、 $Ra^i$  : ゾーン  $i$  の面積比率、 $i$  : {core, peri}、である。



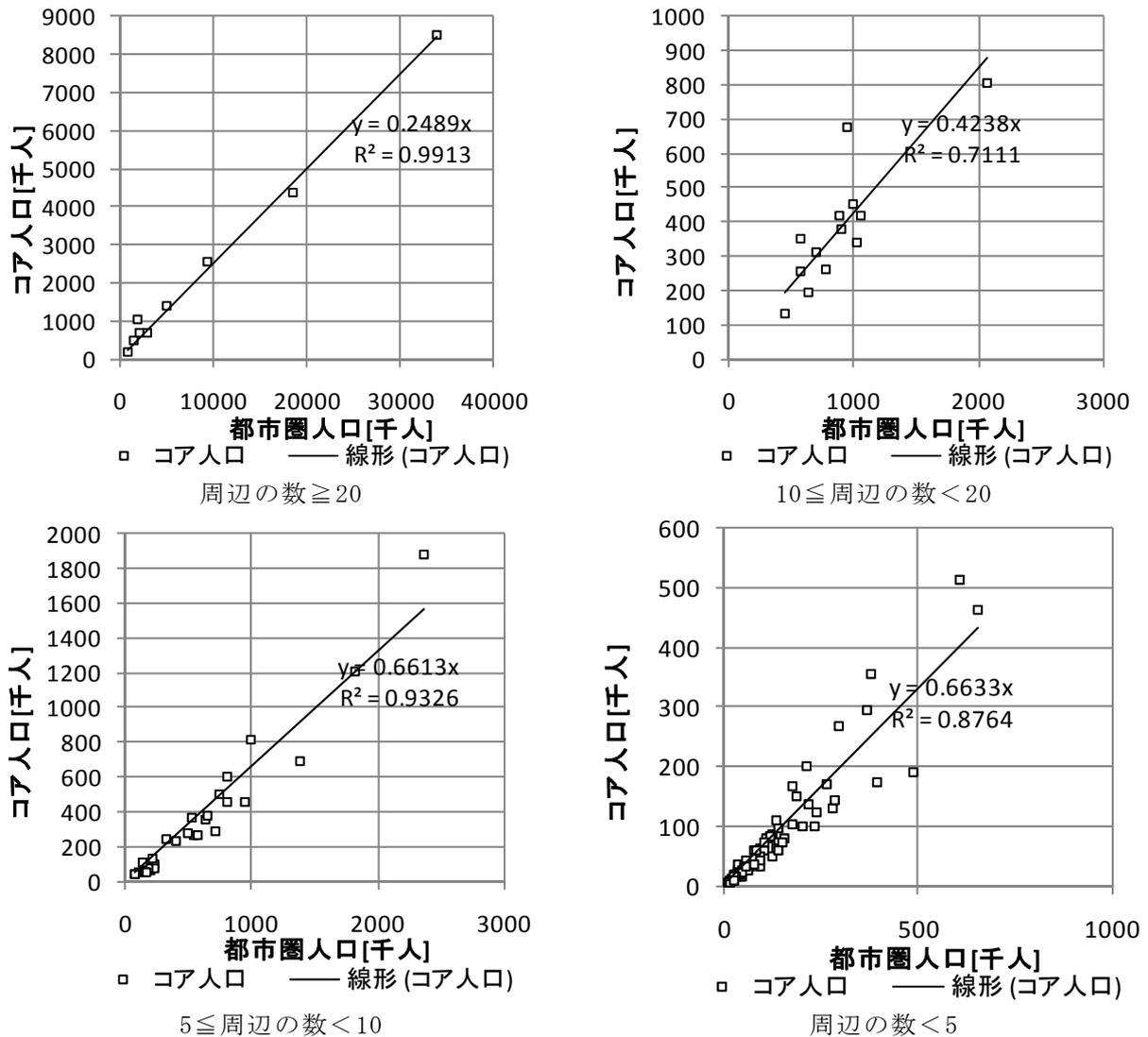
図(3)-2 仮想都市圏モデルの配分フロー

コア人口比は、都市圏人口をコアに振り分ける比率であり、反対に述べるとコアにどれだけの周辺人口が引きつけられているかの指標でもある。都市圏規模を示す指標の代替として周辺の数を利用する。図(3)-3に周辺の数により場合分けをした都市圏人口とコア人口の関係を表す散布図を示した。周辺の数に応じてコア人口を都市圏人口で回帰した傾きをコア人口比とする。コア人口比は以下の式に示される。また、それぞれ括弧内は  $t$  値である。

$$Rp^{core} = \begin{cases} 0.2489 & (t = 40.28) & (N \geq 20) \\ 0.4238 & (t = 14.99) & (10 \leq N < 20) \\ 0.6613 & (t = 27.06) & (5 \leq N < 10) \\ 0.6633 & (t = 29.94) & (N < 5) \end{cases}
 \tag{2}$$

ただし、 $Rp^{core}$  : コア人口比、 $N$  : 周辺の数、である。

周辺の数が多いほど、コア人口比は小さくなり、より多くの周辺の人口を都市圏として引きつけていることが分かる。これは、周辺が2章で示した都市間力がコアとの間に作用しているためであり、大都市圏であるほど通勤者を引きつけることから理解できる。



図(3)-3 周辺の数で分類した都市圏人口とコア人口

次に、コア面積比を推計した。人口比の時と同様に、面積比を見てみると、都市圏面積が大きくなるほどコア面積比が小さくなっていることが分かる。また、人口比の時と同様に周辺の数が大きくなるとコア面積比は小さくなるようである。これは、中心地として機能する面積には限りがあるため、都市圏域が大きくなってもコア面積はあまり大きくならないためであると考えられる。

以上のことから、コア面積比を以下の式で推計することとした。この式はロジスティック関数の形をとっている。ロジスティック関数とは成長曲線とも呼び、0から1までの変化を生物の成長の過程に応じて描く関数である。成長の過程とは、初期はわずかに変化し、中期に大きな変化を経て、後期はまたわずかな変化になるS字カーブを示す。この曲線は0から1の値をとるコア面積比を推計するのに適していると考えられる。

$$Ra^{core} = \frac{1}{1 + EXP(\alpha \ln(N) + \beta \ln(Area) + \gamma)} \quad (3)$$

ただし、 $Ra^{core}$  : コア面積比、 $N$  : 周辺の数、 $Area$  : 都市圏面積、 $\alpha, \beta, \gamma$  : 各係数、である。

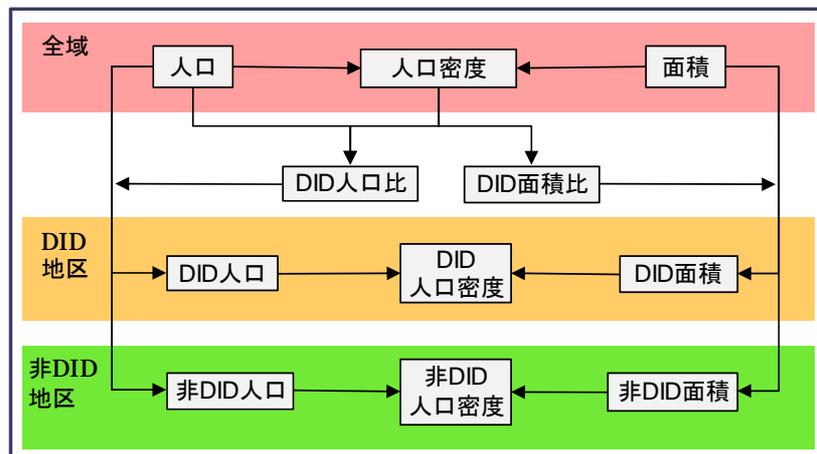
回帰分析により式(4.3)の係数を推計した結果を表(3)-1に載せる。表からは周辺の数が多いほどコア面積比が小さくなり、都市圏面積が大きいほどコア面積比が大きくなるのがわかる。つまり、都市圏面積が大きいほどコア面積も大きくなるが、周辺がどれだけであるかによって、コア面積は影響を受けるということである。

表(3)-1 コア面積比の推計結果

	係数	t値
周辺の数	0.967	8.265
都市圏面積	-0.378	-2.767
定数項	1.645	1.990
重相関決定係数		0.687
サンプル数		121

以上から、都市圏内のコア・周辺への配分を推計した。

次に各ゾーンで同様の配分フローを仮定することで、DIDと非DIDの人口・面積の推計を行った。基本的には都市圏の人口と面積をコアと周辺に分配したのと同様に、人口比率と面積比率を内生的に決定し、それによりDID地区と非DID地区に分配した。その手順を図(3)-4に示す。ここでいう全域とはコアないしは周辺に相当する。よってコアであれば、全域人口はコア人口であり、全域面積はコア面積である。比率は人口の集中度によって異なると考えられるので、人口密度により決定するものとした。



図(3)-4 DIDと非DIDへのフロー

コア比率を用いることで、各ゾーンの人口・面積は以下のように示される。

$$\begin{aligned}
 Pop_{DID}^i &= Pop^i \times Rp_{DID}^i \\
 Pop_{non-DID}^i &= Pop^i - Pop_{DID}^i \\
 Area_{DID}^i &= Area^i \times Ra_{DID}^i \\
 Area_{non-DID}^i &= Area^i - Area_{DID}^i
 \end{aligned} \tag{4}$$

ただし、 $Pop_{j}^i$ : ゾーン*i*の*j*地区の人口、 $Area_{j}^i$ : ゾーン*i*の*j*地区の面積比率、 $Rp_{j}^i$ : ゾーン*i*の*j*地区の人口比率、 $Ra_{j}^i$ : ゾーン*i*の*j*地区の面積比率、 $i: \{core, peri\}$ 、 $j: \{DID, non-DID\}$ 、である。

コアのDID人口は、都市圏において人口が最も集中している地区に居住する人口であるので、そのエリアに居住する人の比率は市域の人口密度だけでなく、コア人口にも影響を受けていると考えられる。よって、人口密度と人口規模に応じて、実際の配分に適合するように場合分けをすることとした(表(3)-2)。ただし、このようなカテゴリを考える際には、様々な要因が考えられるが、今回の分析では、少ないデータ入力の特徴から、人口と人口密度という限られた要素のみ取り上げて場合分けを行った。

表(3)-2 人口密度と人口規模によるカテゴリ分け

人口密度 人口	1500人/km <sup>2</sup> 以上	500人/km <sup>2</sup> 以上	500人/km <sup>2</sup> 以下
100万人以上	A		
10万人以上		B	
10万人以下			C

カテゴリ別にDID人口を全域人口で回帰した傾きがDID人口比率を示すものとし、以下の式で示す。なお、括弧内は*t*値である。

$$Rp_{DID}^{core} = \begin{cases} 0.9899 & (t = 117.0) & (A) \\ 0.6826 & (t = 40.24) & (B) \\ 0.3278 & (t = 15.68) & (C) \end{cases} \tag{5}$$

ただし、 $Rp_{DID}^{core}$ : コアDID人口比率、 $A, B, C$ : カテゴリ、である。

DID面積は市域における人口の集中している地区の面積であるので、市域の人口密度が増加するほどに大きくなると考えられる。都市圏面積をコアと周辺に分配したときと同様に、DID面積比率をロジスティック関数の形で、人口密度を説明変数として、以下の式により回帰した。人口密度を対数変換しているのはばらつきを標準化するためである。また、回帰結果は表(3)-3に示すとおりである。

$$Ra_{DID}^{core} = \frac{1}{1 + EXP(\alpha \ln(Dns^{core}) + \beta)} \tag{6}$$

ただし、 $Ra_{DID}^{core}$ : コアDID面積比率、 $Dns^{core}$ : コア全域の人口密度、 $\alpha, \beta$ : 各係数、である。

表(3)-3 コアにおけるDID面積比の推計結果

	係数	t値
コア全域の人口密度	10.495	41.973
定数項	-1.258	-30.407
重相関決定係数	0.9077	
サンプル数	96	

また、周辺のDID人口比率、DID面積比率に関しては、統計的に有意となる結果とはならなかった。そのため、周辺については線形回帰モデルによって、DID人口とDID面積を直接推計した。式を以下に示す。また、回帰結果は表(3)-4に示す。

$$\begin{aligned} Pop_{DID}^{peri} &= EXP(\alpha \ln(Dns^{peri}) + \beta \ln(Pop^{peri}) + \gamma) \\ Area_{DID}^{peri} &= EXP(\alpha \ln(Dns^{peri}) + \beta \ln(Pop^{peri}) + \gamma) \end{aligned} \quad (7)$$

ただし、 $Pop_{DID}^{peri}$ : 周辺DID人口、 $Area_{DID}^{peri}$ : 周辺DID面積、 $Dns^{peri}$ : 周辺全域の人口密度、 $\alpha, \beta, \gamma$ : 各係数、である。

DID人口、DID面積ともに、人口密度、人口が増加するほど大きくなる。これはより多くの人口が密集しているほどにDID人口もDID面積も大きくなることを示す。

以上から、コア、周辺ともに、全域の人口と面積からDID地区と非DID地区に人口を配分することが可能となった。

以上の方法で、初期インプットである都市圏の人口と面積、また周辺の数から、コアDID地区、コア非DID地区、周辺DID地区、周辺非DID地区の4つの地区に、人口、面積を配分する過程を示した。

表(3)-4 コアにおけるDID面積比の推計結果

	周辺におけるDID人口		周辺におけるDID面積	
	係数	t値	係数	t値
周辺全域の人口密度	0.340	2.458	0.242	1.795
周辺全域の人口	1.013	13.024	0.962	12.721
定数項	-4.212	-5.035	-10.345	-16.679
重相関決定係数	0.879		重相関決定係数 0.866	
サンプル数	71		サンプル数 71	

## (b) 二酸化炭素排出量の推計方法

人間活動の基盤である生活の主となるのは家庭部門である。家庭部門では人間活動の単位として世帯数や住宅の面積があり、それらに活動量あたりの原単位を乗じることで環境負荷を推計することが可能である。単位あたり環境負荷は、居住の様々な形態によって異なり、それに応じた原単位が整理される必要がある。居住の形態とは、戸建てや集合といった建物の建て方や、建築物の構造などである。エネルギー消費については、世帯あたりの消費量や延床面積あたりの消費

量を用いることが一般的であるが、本研究では世帯の規模も含めた世帯あたりの消費量を用いた。これにより、地区の人口密度が変化した際の世帯あたりの延床面積を考慮したエネルギー消費量推計を可能とした。以上のことから、対象地区における人口・面積をもとに、世帯構成人数により世帯数を決定し、建て方・構造別の延床面積を推計した。また、規模別の世帯数に世帯あたりエネルギー消費原単位を乗じることでエネルギー消費量を推計した。

家庭部門で主要となるのは世帯数であり、以下の式で推計した。

$$Hh_{i,j} = Pop_{i,j} / PpH_{i,j} \quad (8)$$

ただし、 $Hh_{i,j}$ : ゾーン*i*の*j*地区の世帯数、 $Pop_{i,j}$ : ゾーン*i*の*j*地区の人口、 $PpH_{i,j}$ : ゾーン*i*の*j*地区の世帯構成人数、 $i: \{core, peri\}$ 、 $j: \{DID, non-DID\}$ 、である。世帯構成人数については各ゾーン各地区において回帰分析により推計を行った。

次に、家庭部門の活動量として主となる住宅延床面積を以下の式により推計した。

$$TFHh_{i,j} = \sum_{type} \sum_k (Hh_{i,j}^{type,k} \times FApH^{type,k}) \quad (9)$$

$$Hh_{i,j}^{type,k} = Hh_{i,j} \times RhT_{i,j}^{type} \times RhF_{i,j}^{type,k}$$

ただし、 $TFHh_{i,j}$ : ゾーン*i*の*j*地区の住宅延床面積[m<sup>2</sup>]、 $Hh_{i,j}^{type,k}$ : ゾーン*i*の*j*地区の建て方 *type* 世帯あたり面積範囲*k*の世帯数、 $FApH^{type,k}$ : 建て方 *type* 世帯あたり面積範囲*k*の平均面積、 $RhT_{i,j}^{type,k}$ : ゾーン*i*の*j*地区の建て方 *type* の世帯割合、 $RhF_{i,j}^{type,k}$ : ゾーン*i*の*j*地区建て方 *type* における世帯あたり面積範囲*k*の世帯割合、 $i: \{core, peri\}$ 、 $j: \{DID, non-DID\}$ 、 $type: \{Detached, Collective\}$ 、 $k: \{0-30, 30-50, 50-70, 70-100, 100-150, 150-\}$ 、である。なお、*type*の *Detached*、*Collective* はそれぞれ戸建て、集合住宅を示し、面積*k*の単位については[m<sup>2</sup>]である。

建て方別世帯割合は世帯の住み方を示す割合であり、人口分布が集約した地域では戸建ての割合が小さく、分散した地域では戸建ての割合が大きいことから、人口密度を説明変数に以下の式で推計した。

$$RhT_{i,j}^{Detached} = f(Dns_{i,j}) \quad (10)$$

ただし、 $RhT_{i,j}^{Detached}$ : ゾーン*i*の*j*地区の戸建て世帯割合、 $Dns_{i,j}$ : ゾーン*i*の*j*地区の人口密度、 $i: \{core, peri\}$ 、 $j: \{DID, non-DID\}$ 、である。

世帯あたり面積別世帯割合は、世帯あたりの面積に応じた世帯数の割合で、確率密度関数により以下の式で推計した。

$$RhF_{i,j}^{type,k} = f(k_2) - f(k_1)$$

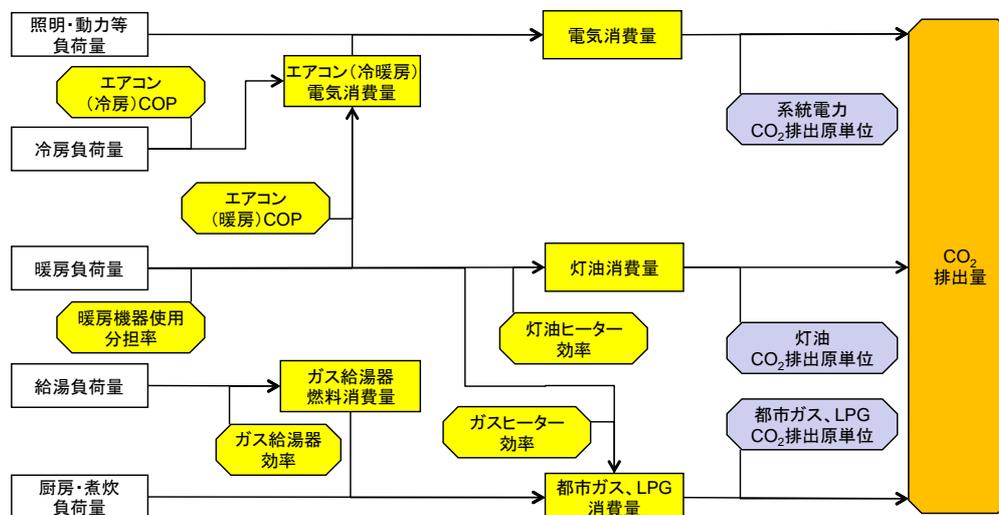
$$f(x) = \frac{1}{1 + EXP(a \ln(x) + b)} \quad (11)$$

$$a = \alpha_1 Dns_{i,j} + \beta_1$$

$$b = \alpha_2 Dns_{i,j} + \beta_2$$

ただし、 $RhF^{type,k}_{i,j}$ : ゾーン*i*の*j*地区の戸建て世帯割合、 $Dns_{i,j}$ : ゾーン*i*の*j*地区の人口密度、 $i: \{core, peri\}$ 、 $j: \{DID, non-DID\}$ 、 $type: \{Detached, Collective\}$ 、 $k: [k_1: k_2]$ 、 $\alpha, \beta$ : 各係数、である。

以上の方法で、世帯数から住宅延床面積を推計する際に世帯あたり床面積の規模を考慮することで、詳細な推計を行った。推計された住宅延床面積に、エネルギー消費原単位とエネルギー種別二酸化炭素換算係数を乗じることで家庭部門二酸化炭素排出量を推計する。エネルギー消費原単位は日本エネルギー経済研究所エネルギー計量分析センター(2000)より地域別機器別住宅規模別に整理した消費量の値を利用した。二酸化炭素換算係数については図(3)-5に示したフローで計算した。



図(3)-5 二酸化炭素排出量推計フロー

業務施設は、通常、日中の経済活動が行われている時間において利用される施設であるので、昼間人口1人当たりに必要な面積を推計することで、その値を昼間人口に乗じて推計した。

また、用途別の業務施設とは事務所、卸小売店舗、飲食店、ホテル・旅館、学校・研究機関、病院、その他の7種類である。

用途別の1人当たり延床面積を推計するにあたり、業務施設の面積のサンプルデータは国土交通省による法人建物調査(2008)で、都道府県と政令指定都市に限られている。そこで、少しでも多くのデータとして活用するために、政令指定都市がある都道府県についてはそれを除き、残りの部分をサンプルとした。これにより、サンプル数は61となる。また都道府県と政令指定都市を同じデータサンプルとしてとらえると、規模を扱うのは整合性に欠けるので、面積で除することによって標準化を行った。つまり、「昼間人口密度」1単位に必要な「面積当たりの業務施設の延床面積」を推計した。用途別に推計を行い、回帰式の傾きが、昼間人口密度1単位に必要な面積当たりの業務施設の延床面積である。その単位は $[(人/km^2) / (m^2/km^2)]$ であり、分母分子で $km^2$ を除けば $[人/m^2]$ であり、昼間人口1人当たりの業務施設の延床面積である。このように、用途別1人あたり業務施設の延床面積を用途別に推計した。

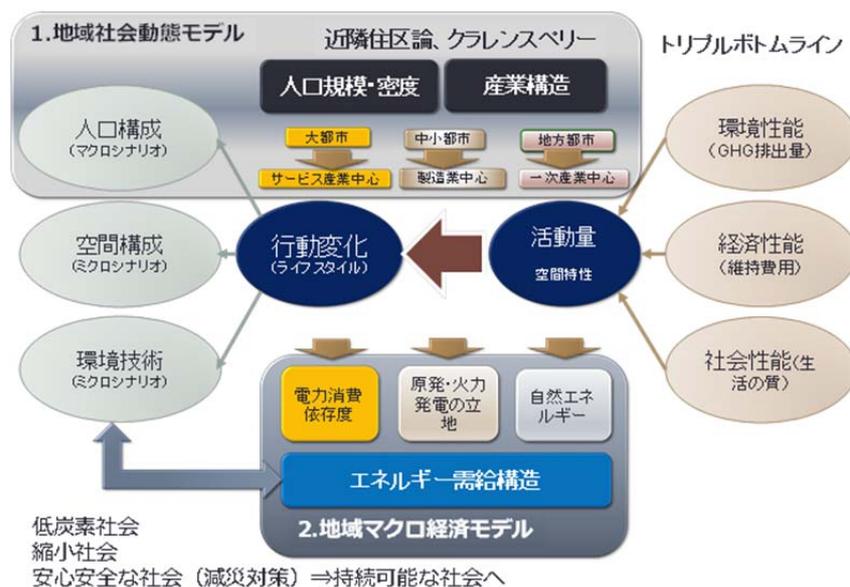
次に、推計された業務建物延床面積に、エネルギー消費原単位とエネルギー種別二酸化炭素換

算係数を乗じること家庭部門二酸化炭素排出量を、構造別資源投入原単位を乗じること資源蓄積量を推計した。エネルギー消費原単位は日本ビルエネルギー総合管理技術協会(2008)の地域別機器別消費量の値を利用した。二酸化炭素換算係数については家庭部門で示した図(3)-5のフローと同様に計算した。

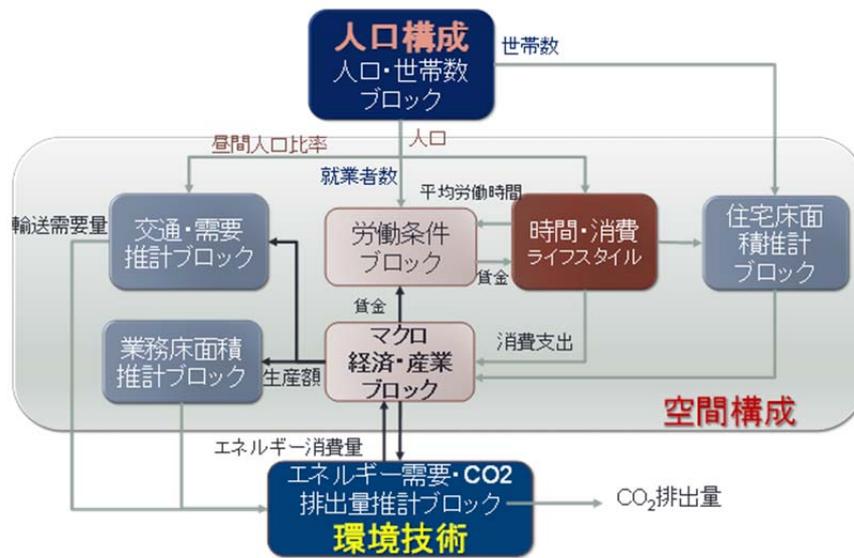
## (2) 地域社会動態モデルによる人口動態の推計手法

人口密度が多い都市部における低炭素都市の実現、人口密度が少ない郊外部における縮小社会への対応には、いずれも人が集まって住む仕組みの提案が求められている。人口が同じ場合、核家族化が進行すると、単身世帯が多くなり、1人当たりのエネルギー消費は増加するため、結果として地域エネルギー需要も増加することが考えられる。本プロジェクトで構築する地域環境デザイン方策は、図(3)-6に概念図を示す。このうち、「地域社会動態モデル」と「地域マクロ経済モデル」の関係は、図(3)-7のとおりである。

都市機能モデル<sup>2)</sup>は、近隣住区論を応用し、夜間人口(定住者)の生活を維持するための1小学校区を単位とした公共施設等におけるエネルギー消費と、従業地における就業者数に伴い、物販・サービス職業従事者が増加する傾向を用いて業務建物を含めた地域エネルギー消費を検討した。今回、昼間人口と夜間人口を用いて、経済活動と交通指標を含め、地域エネルギー需要を推定する「地域社会動態モデル」(図(3)-7)を構築した。



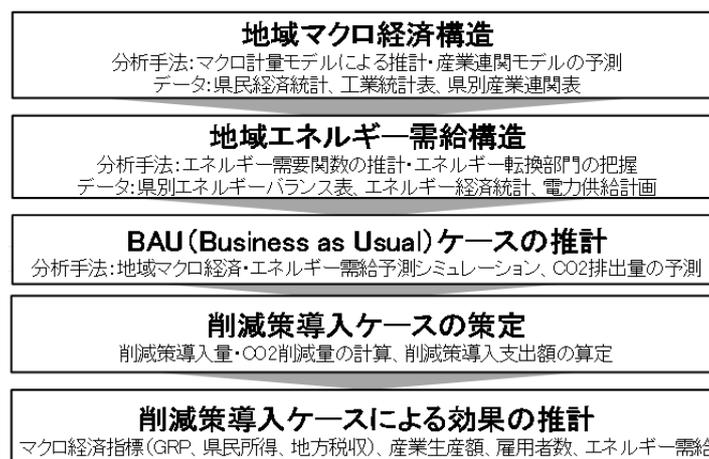
図(3)-6 本研究プロジェクトで構築する地域環境デザイン方策



図(3)-7 地域社会動態モデルと地域マクロ経済モデルの関係

### (3) 地域における気候政策・経済分析モデルの構築

分析データは、愛知・岐阜・三重の東海三県の1990～2010年の主要経済・社会データとエネルギー消費データ（資源エネルギー庁(2012)「都道府県別エネルギー消費統計」）、および1995年・2000年・2005年の各県産業連関表(中分類表)を用いる。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構成される。



図(3)-8 地域気候政策・経済分析モデルの構造と分析手法

モデルの構築ならびに分析の手順は図(3)-8に表すとおりである。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分析した。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分析した。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（現状維持ケース）を推計した。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した。

「マクロ計量モデル」は、経済における経済活動の相互作用とそれによって生み出される価値・諸指標の規模を示すものである。地域マクロ計量モデルの構造は需要決定型モデルとなっている。モデルでは、支出項目で域内の需要が決定されると産業活動ならびに所得分配、財政収支項目などが決定される。また、域内物価水準と賃金が決定されることで、域内の名目支出、ならびに雇用者数が決まる。これら域内の内生変数のほかに、日本全体のGDPや政府消費および公的固定資本形成、金利や人口水準などを外生変数として扱う。推計に当たっては重回帰式と定義式から成る。

マクロ計量モデルで推計された実質支出項目（民間・政府消費、民間設備投資、公的資本形成など）の成長率を使い、三県別に「予測産業連関表」を推計する。産業連関表の予測には、実績表に基づき投入係数の変化方向を予測し、同時に輸入係数・コンバータの推計を行う。そのうえで、マクロ計量モデルでシミュレーションされた実質支出項目の成長率を代入することで産業連関表での予測年の最終需要項目が推計される。また、最終需要項目に対して産業への中間投入を決定する逆行列計算については域内需要比例型として計算を行った。予測に用いる地域産業連関表は愛知・岐阜・三重ともに1995年・2000年・2005年の3つの実績表である。今回の推計にはいずれの県も統合中分類表を使ったが、部門数については県・年ごとにばらつきがあり、これらの異なる産業分類を12産業部門に集約した。

「エネルギーモデル」は、域内におけるエネルギー別の一次エネルギー供給・エネルギー転換・最終エネルギー需要量を決定する要因を明らかにするモデルである。ある地域における、ある時点での上記の実績を示したのがエネルギーバランス表である。将来におけるエネルギー源別需要量を推計するためにはいくつかの方法があるが、本論文では、製造業については産業別エネルギー原単位に予測産業連関表で推計された生産額を乗じる原単位方式で、製造業を除く各部門についてはエネルギー需要関数を用いて推計した。製造業以外の部門の2030年エネルギー需要のBAU値を計算するために、エネルギー需要関数を推計した。推計においては、上記6部門の過去（農林水産・建設鉱業・民生業務は1996年～2009年、民生家庭・乗用車・貨物自動車は1990年～2009年）のエネルギー需要量を用いてエネルギー需要関数を推計し、その上で部門別エネルギー源別に需要関数を推計した。

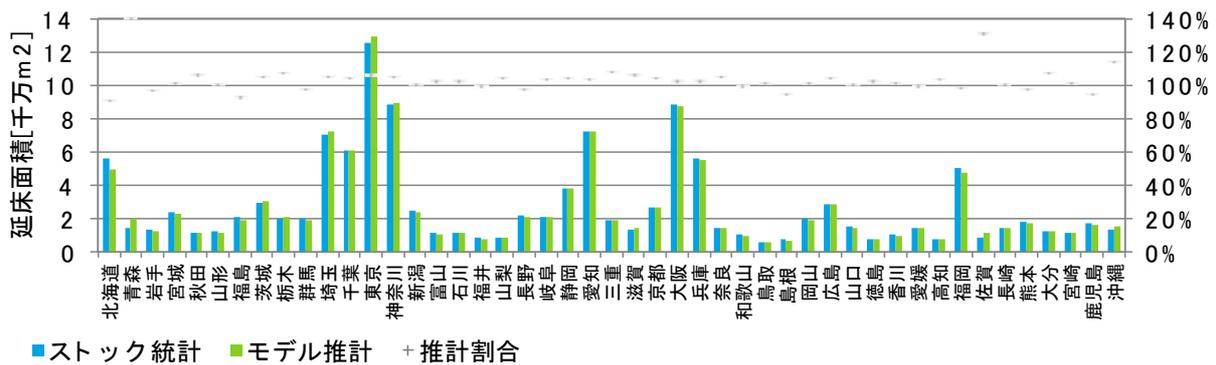
#### （４）各地域のエネルギー需給面からみた地域特性を明らかにした類型化

人口規模・密度（大都市・中小都市・地方都市）、産業構造（サービス業中心・製造業中心・一次産業中心）、エネルギー需給構造（電力消費依存度、原発・火力発電の立地等）、地理的・自然条件（温暖・寒冷地域、日照時間等）等の項目に分け、既存統計データを解析することで類型化し、代表的な地域を選定した。そのうえで、類型化された代表的地域における、最終消費支出・所得分配・産業別生産状況・財政状況等の地域のマクロ経済構造を把握するための「地域マクロ経済モデル」と、開発した人口規模・密度・移出入や高齢者人口比率・産業別就業人口比率などの社会動態の把握をするための「地域社会動態モデル」の妥当性を検証した。

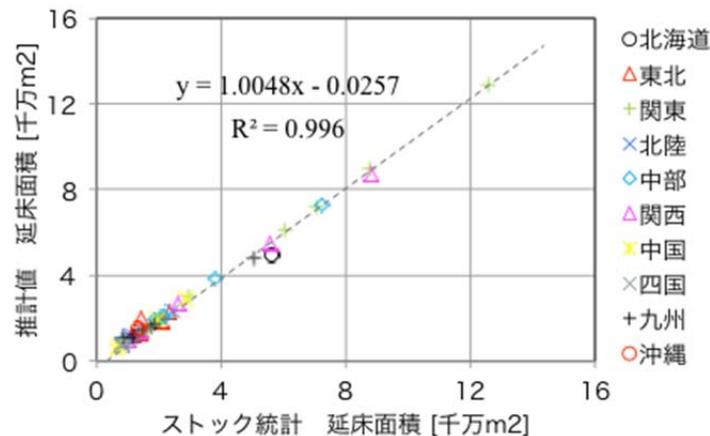
#### 4. 結果及び考察

##### (1) 都市・地域の居住モデルの構築による地域環境デザイン

本研究では、都市・地域モデルを構築し、地域ごとの住宅需要分布・業務ビル分布を推計した。図(3)-9に業務施設の延床面積推計結果の国土交通省(2010)との比較を示す。結果として、ほぼ全ての都道府県で100%付近を推移している。また、図(3)-10に推計結果を散布図として精度検証結果を示した。

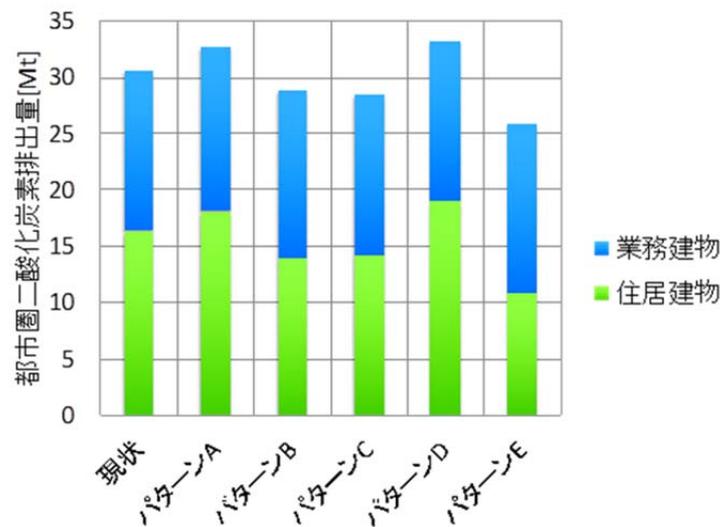


図(3)-9 業務施設延床面積推計結果の比較(2010)



図(3)-10 延床面積推計精度検証結果

次に、集積による影響評価の結果を図(3)-11に示した。表(3)-5に示す集約のパターンに応じてシナリオ分析を行った。中核都市はシュリンクさせることで都市圏全体の一人あたり二酸化炭素排出量が減少し、衛星都市については都市圏全体の一人あたり二酸化炭素排出量は増加することから、都市圏全体においてDID地区に集約するより、コアと周辺の中核都市において重点的に集中した方が良いことが示された。

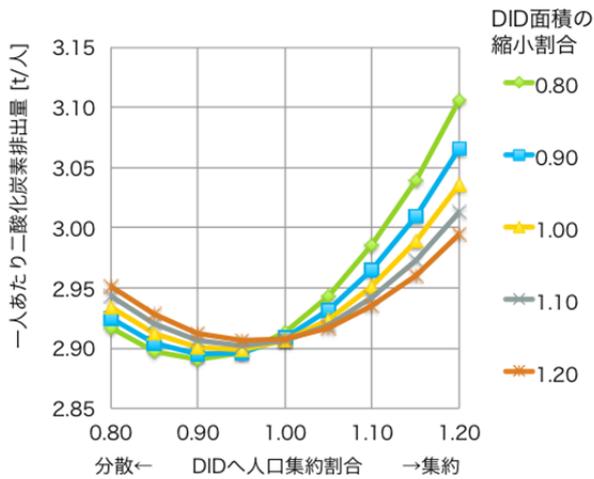


図(3)-11 集積による影響分析結果

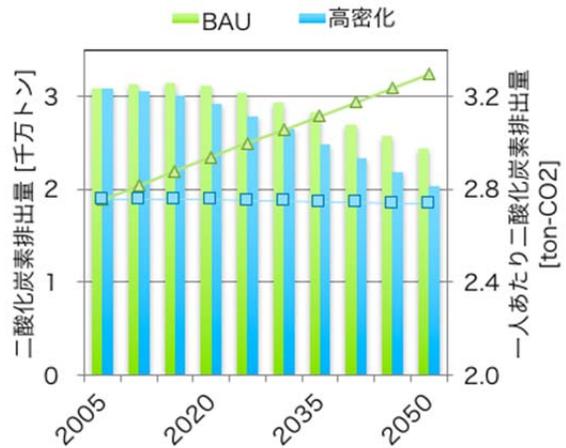
表(3)-5 集約パターンシナリオ(DIDの集積率)

	都市類型	A	B	C	D	E
コア	中核都市	10%	20%	0%	0%	20%
周辺	中核都市	10%	0%	20%	0%	10%
	衛星都市	10%	0%	0%	20%	-10%
	その他	10%	0%	0%	0%	0%

次に、名古屋都市圏を対象とした、DID人口及びDID面積を変動させた場合の影響評価を行った結果を図(3)-12に示す。横軸はDIDへの人口集約割合を示し、大きいほど集約、小さいほど分散を示し、凡例はDID面積の縮小割合を示す。結果より、DID面積を20%縮小し、DIDの人口集約割合を10%低下させたときに二酸化炭素排出量が最小であった。また、図(3)-13に将来人口に応じた名古屋都市圏の推計結果を示した。人口減少に伴い、将来の二酸化炭素排出量は減少するが、現状維持シナリオでは一人あたり排出量が増加する結果となった。集約シナリオにより、一人あたり排出量を現状程度の水準に維持でき、人口分布による資源効率の改善が見込めることが示された。以上の結果を組み合わせることにより、より集約した土地利用を必要とする一方、DID人口規模としては、将来の人口減少に応じた微減に従うと良いことが示された。



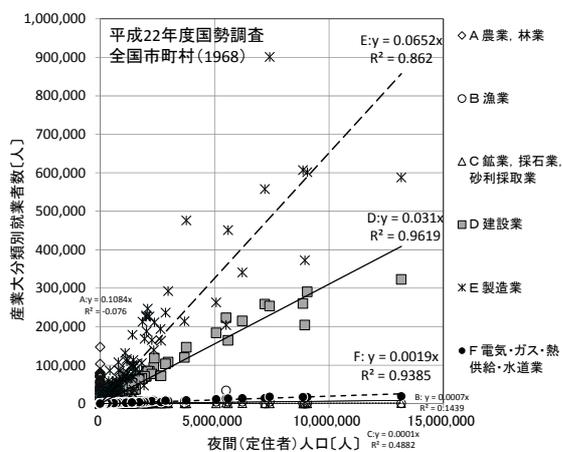
図(3)-12 名古屋都市圏における分析結果



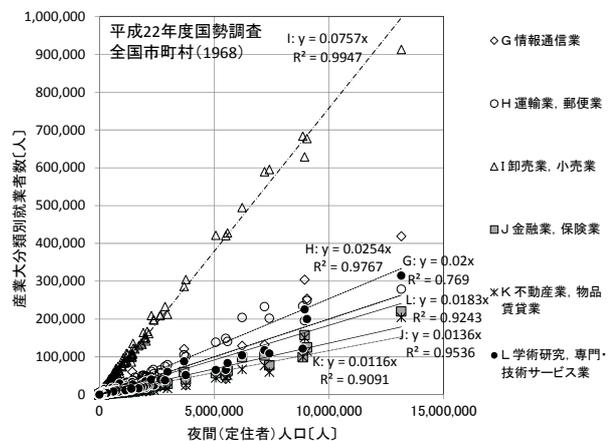
図(3)-13 名古屋都市圏の将来分析結果

(2) 地域社会動態モデルによる人口動態の推計手法

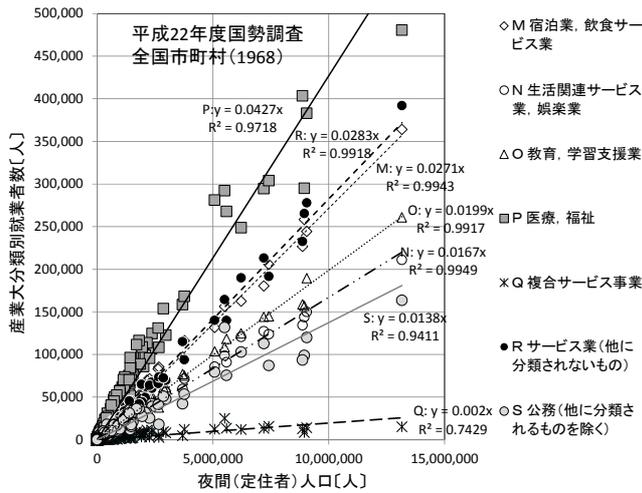
モデルの構築にあたっては、図(3)-14～図(3)-16の夜間人口における産業大分類別就業者数の関係を検討した。平成22年度国勢調査より、図(3)-14の夜間人口〔人〕とE:製造業及びF:電気・ガス・熱供給・水道業就業者〔人〕には、相関が見られる。また、図(3)-15も同様に、夜間人口が増加すればするほど、G:情報通信業、H:運輸業、郵便業、I:卸売業・小売業、J:金融業・保険業、K:不動産業・物品賃貸業、L:学術研究、専門・技術サービス業における就業者数が増加する。さらに図(3)-16では、M:宿泊業・飲食サービス業、N:生活関連サービス業、娯楽業、O:教育、学習支援業、P:医療、福祉、Q:複合サービス事業、R:サービス業（他に分類されないもの）、S:公務の就業者数も夜間人口との相関がある。よって、各相関式より、夜間人口を変数として、日本の標準的な地域における第2次産業及び第3次産業に従事する産業別就業者数を推定できる。定住者人口（夜間人口）と第2・3次産業別従業者数には、相関関係があるといえる。



図(3)-14 夜間人口と産業別職業従事者数1 (市町村別)



図(3)-15 夜間人口と産業別職業従事者数2 (市町村別)



図(3)-16 夜間人口と産業別職業従事者数3 (市町村別)

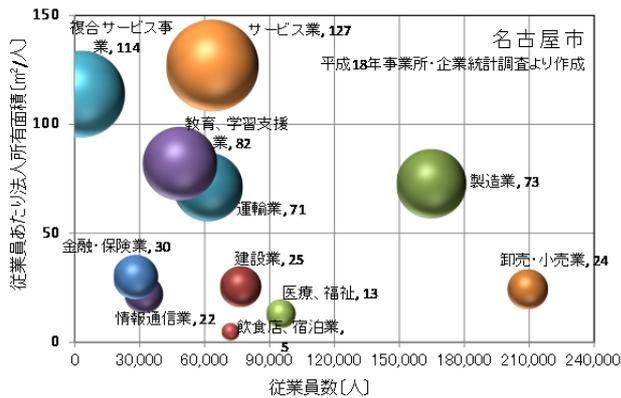
地域社会動態モデル(図(3)-7)内における、モデル構成要素の検討を行った。

今回の検討では、表(3)-6のとおり、さいたま市、名古屋市は、従業員1人あたり法人所有面積が小さく、空間の有効利用が図られていることを確認した。

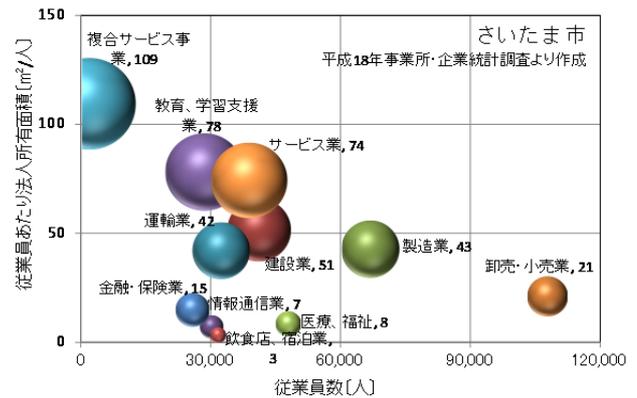
まず、名古屋市の産業分類別に各従業員数と、従業員1人あたり法人所有面積(図(3)-17)を示す。従業員1人あたり法人所有面積150㎡/人以下に、全業種が含まれた。サービス業、複合サービス業の必要面積が大きいこと、教育・学習支援業、運輸業、製造業は、ほぼ同程度の従業員1人あたり法人所有面積が必要になる。常住地の生活に密着するサービス業、複合サービス業、教育・学習支援業、医療・福祉、飲食店、宿泊業、卸売、小売業、運輸業の従業者と従業員1人あたり法人所有面積のバランスは、名古屋市よりさいたま市(図(3)-18)の方が全体的に小さく、空間の有効利用がなされているといえる。常住地の生活維持が可能、かつ、空間利用率の高い地域の特性を把握した。

表(3)-6 主要都市における授業者数あたり所有面積 [㎡/h]

従業員1人あたり法人所有面積 [㎡/人]	Average without Tokyo 23ku	札幌市	仙台市	さいたま市	千葉市	横浜市	川崎市	新潟市	浜松市	名古屋市	京都市	大阪市	堺市	神戸市	広島市	北九州市	福岡市	東京都23区
A: 建設業	75	93	184	51	40	45	17	108	76	25	29	31	55	176	108	98	58	26
B: 製造業	230	713	257	43	371	78	257	199	154	73	71	89	378	143	239	534	84	68
C: 情報通信業	20	27	29	7	10	9	5	35	34	22	21	12	15	17	28	36	14	20
D: 運輸業、郵便業	99	65	116	42	139	65	122	167	104	71	41	59	106	257	57	101	69	38
E: 卸売業、小売業	52	247	63	21	21	24	17	96	44	24	40	27	18	31	21	109	26	13
F: 金融業、保険業	35	59	33	15	25	10	12	31	47	30	31	29	18	140	18	31	24	23
G: 不動産業、物品賃貸業	587	346	494	142	568	197	128	284	3346	261	301	242	416	824	540	941	365	139
H: 宿泊業、飲食サービス業	8	15	22	3	5	2	2	13	8	5	10	3	7	6	3	9	11	4
I: 医療、福祉	17	18	20	8	17	12	8	24	43	13	13	7	12	31	10	32	11	8
J: 教育、学習支援業	139	265	236	78	137	86	52	193	147	82	182	45	56	122	176	175	200	67
K: サービス業	281	480	215	74	249	144	67	462	828	127	658	89	110	197	181	391	222	89
全業種平均	140	212	152	44	144	61	62	147	439	67	127	58	108	177	126	223	99	45



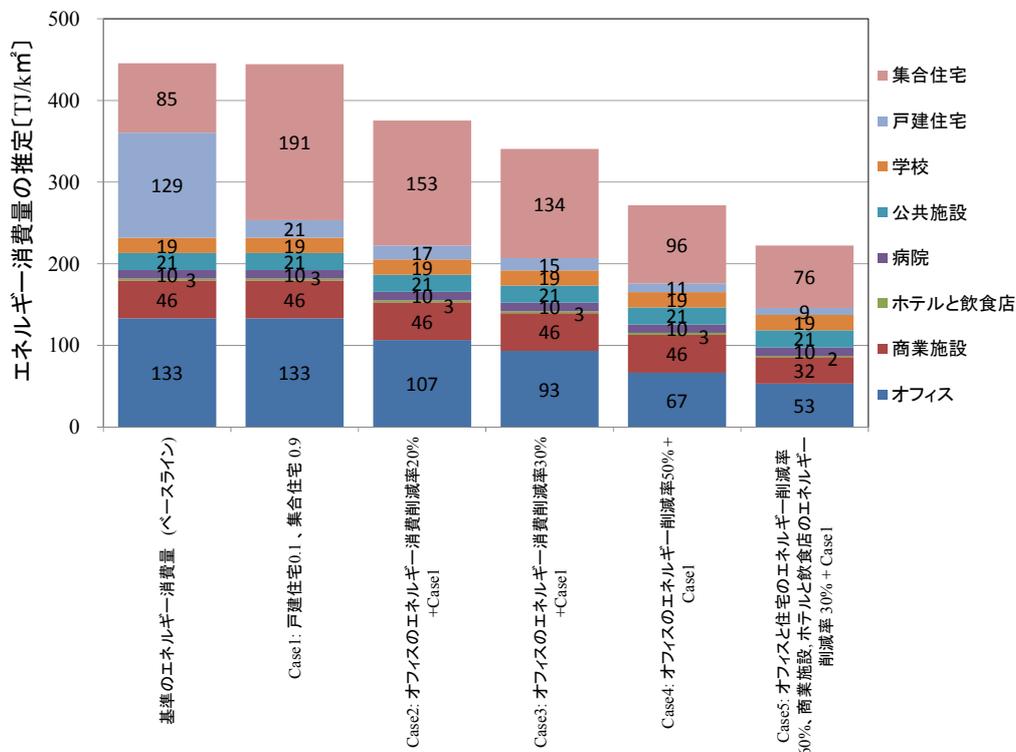
図(3)-17 名古屋市・従業員所有面積 [㎡/人]



図(3)-18さいたま市・従業員所有面積 [㎡/人]

主要都市における都市部の検討として標準的な値を示した名古屋市中区1k㎡街区の検討を基準モデルとして、対策ごとの地域エネルギー消費量の推定を、図(3)-19のとおり行った。

大都市の検討では、Case1では建て方の比率を戸建住宅10%、集合住宅90%と高密にした場合を想定したところ、さほどエネルギー消費量に差がみられない。また、オフィスのエネルギー消費が多く、オフィスの省エネ対策を施すと地域全体のエネルギー消費量削減に結びつくことがわかった。最終的に、オフィスのエネルギー消費削減率60%、商業施設、ホテル、飲食店のエネルギー消費量削減率30%を削減することで、地域エネルギー消費量をベースラインに比較して約半分に削減可能であることがわかった。



図(3)-19 名古屋市中区における対策ごとの地域エネルギー消費量の推定

図(3)-20は、第3次産業従事者数の割合の多い市町村別が多い順に、第1次及び第2次産業従事者数の割合も示したものである。第3次産業従事者数割合が多いほど昼間人口比率も多い地域がある。

昼間人口比率は、東京都千代田区1739%が最も多く、大阪府大阪市中央区592%、東京都中央区494%、東京都港区432%、名古屋市中区379%、愛知県西尾市353%と続く。常住地から従業地への移動が必要であるため、公共交通が発達していない地域では自家用車の利用が多くなる傾向があることを確認した。昼間人口比率の多い地域では、空き店舗をシェアハウス等により世帯数を増やし、商店街活性化など高密度な暮らし（都市型）が低炭素社会実装に結びつく。

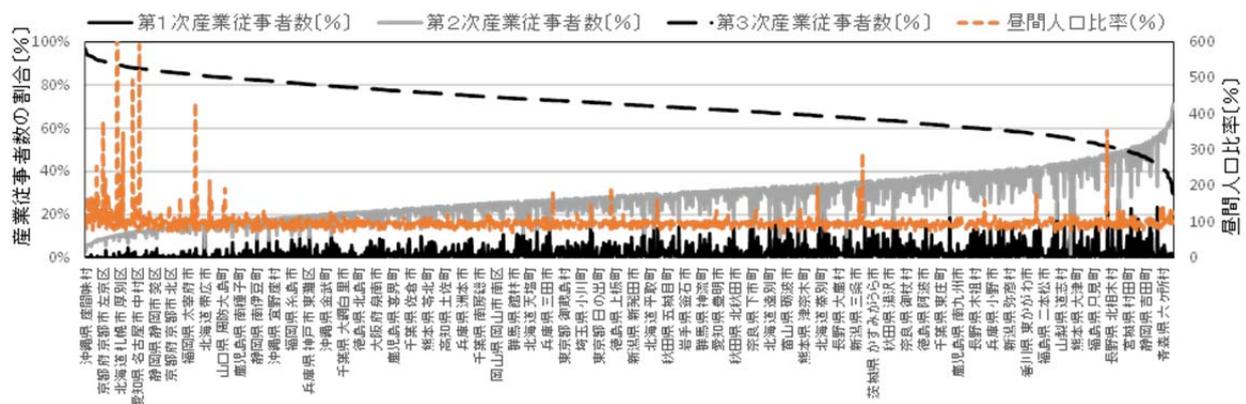
一方、第3次産業従事者数割合が多く、かつ、昼間人口比率100%程度を示す沖縄県座間味村、鹿児島県十村ではサービス業を中心とした職住一体的な暮らし（農村型）が行われているといえる。また、第3次産業従事者数割合が多く、かつ、昼間人口比率100%未満を示す兵庫県芦屋市、千葉県浦安市、東京都国立市等（郊外型）は、テレワークによる勤務が可能な地域と考えられる。よって、低炭素型生活・行動様式の類型は、地域別に表(3)-7に分類される。昼間人口比率100%前後が職住近接による低炭素型社会実装が容易であると考えられる。

今回、移動手段の必要となる都市部、郊外部の生活・行動様式の類型を行い、第3次産業従事者増と居住機能の高効率化を検討した。暮らし方には好みがあり、人生設計と共に価値観の合う生活・行動様式を選択することが望まれる。

さらに詳細な地域類型をGIS上に示すため、GIS上に街区レベルの情報基盤を整備した。

表(3)-7 移動手段の必要性による生活・行動様式の類型

平成22年度国勢調査	全国平均	都市部	郊外部	農村部(職住近接型)
昼夜間人口比率	100%	120%以上	80%以下	120%未満~80%以上
一般世帯の平均人数	2.4人	2.2	2.6	2.7
第3次産業従事者割合	67%	77%	70%	75%
1小学校あたり人口総数	5942人	7402	4862	7290



図(3)-20 市町村別（総数1909）第3次産業従事者数降順と昼間人口比率（平成22年度国勢調査）

### (3) 地域における気候政策・経済分析モデルの構築

2030年までのBAU推計結果について、県内総支出は年平均変化率で愛知0.3%、岐阜0.0%、三重1.0%増となった。その他の経済変数では、県民所得は年平均変化率で愛知-0.3%、岐阜-0.7%、三重0.3%、雇用者数が0.4%増の一方、生産ならびに雇用については1%未満の漸増傾向と予測している（表(3)-8参照）。

表(3)-8 愛知・岐阜・三重2005年実績と2030年BAU予測との比較（要約）

	愛知		岐阜		三重	
	2005	2030	2005	2030	2005	2030
県内総支出（十億円）	38,716	42,139	7,856	7,774	8,315	10,733
県民所得（十億円）	25,172	23,291	5,994	5,056	5,820	6,344
雇用者数（千人）	3,426	2,061	928	839	824	791
県地方税収入（十億円）	1,089	847	223	152	228	277
製造業生産高（十億円）	4,440	4,377	572	501	1,063	1,498

次に県別産業連関表では予測にあたっては、マクロ計量モデルで推計された支出項目の成長率を、産業連関表の最終需要項目に代入する必要がある。産業連関表の2030年予測では産業全体での成長率は2005年～2030年の25年間で愛知・三重が0.1%成長、岐阜は-0.5%である（表(3)-9参照）。産業別でみると愛知・三重の産業が成長する一方、岐阜の産業が減退するというパターンは鉄鋼・他製造・商業金融・公共サービス・対個人サービスという産業で見られる。一方、農林水産・建設・鉱業はいずれの県もマイナス成長である。岐阜県の中で成長が見込まれる産業は水道廃棄物および対事業所サービスであり、いずれも年平均変化率では1.0%～1.2%成長である。

表(3)-9 愛知・岐阜・三重2030年BAU予測産業連関表の部門別生産額  
（単位：10億円、実質2005年価格）

	愛知		岐阜		三重	
	生産額	成長率	生産額	成長率	生産額	成長率
農林	282	-1.30%	119	-1.20%	182	-0.80%
建設	21	-0.10%	696	-1.40%	542	-0.70%
化学	1,325	-0.40%	389	-0.60%	1,427	0.00%
鉄鋼	4,939	1.50%	406	-0.70%	804	0.10%
機械	22,169	-0.40%	2,227	-0.60%	5,248	0.10%
他製	11,968	0.10%	1,522	-0.70%	3,132	0.00%
水道	533	0.00%	161	1.20%	163	0.30%
商業	15,880	0.20%	2,249	-0.60%	2,266	0.10%
公共	7,413	0.10%	1,865	-0.30%	1,789	0.60%
対事	4,595	0.60%	665	1.00%	350	-0.80%
対個	3,138	0.10%	619	-0.60%	767	0.50%
他業	8,765	0.70%	1,369	0.00%	1,434	0.00%
計	81,029	0.10%	12,287	-0.50%	18,104	0.10%

注：実数右のパーセント表示は、2030年の2005年比年平均変化率

エネルギーモデルで使われる外生変数は、マクロ計量モデル・産業連関モデルで推計された内生変数の予測値を使うのに加え、IEA（2010）の原油価格予測を基にエネルギー価格の予測を行った。三県の2030年の予測需要量を2005年実績値と比較した結果を表(3)-10に、2030年予測エネルギー需要に基づきCO<sub>2</sub>のBAU排出量を推計した結果を表(3)-11に示した。

表(3)-10 愛知・岐阜・三重2030年エネルギー需要量の対2005年比

エネルギー	愛知	岐阜	三重	産業	愛知	岐阜	三重
石炭	0.993	0.909	1.579	農林水	0.915	0.689	0.953
石炭製品	0.953	0.963	1.516	建設鉱	0.972	0.869	1.157
軽質油	0.975	0.833	0.954	化学	0.960	0.923	1.080
重質油	0.917	0.925	1.043	鉄鋼	1.031	0.892	1.335
LPG	1.011	0.988	1.044	機械	0.915	1.468	1.321
天然ガス	1.281	1.213	1.163	他製造	0.847	0.944	0.988
都市ガス	1.030	0.987	1.108	貨物	0.972	0.748	0.935
再生可能	1.021	1.016	1.033	乗用車	0.865	0.658	0.822
電力	0.940	0.949	1.075	業務	1.008	0.942	1.095
熱	0.934	0.958	1.072	家庭	0.986	1.017	1.066
計	0.964	0.924	1.055	計	0.964	0.924	1.055

注：数値は2030年需要量／2005年需要量

表(3)-11 愛知・岐阜・三重実績CO<sub>2</sub>排出量とBAU予測排出量

	愛知	岐阜	三重
1990年排出量（万CO <sub>2</sub> トン）	7,112	1,298	2,489
2005年排出量（万CO <sub>2</sub> トン）	8,038	1,341	2,733
2030年BAU排出量（万CO <sub>2</sub> トン）	7,564	1,314	2,697
2030年BAU90年比（%）	6.35	1.23	8.36
2030年BAU05年比（%）	-5.9	-2.01	-1.31

BAU予測に対し、CO<sub>2</sub>削減策の導入ケースを想定し、その場合の経済効果をマクロ計量モデル・産業連関モデルで推計した。導入ケースの内訳は表(3)-12に示した通りである。これらの削減策に必要な支出額の2011年～2030年合計は、愛知4,323億円、岐阜2,346.2億円、三重1,955.3億円、削減量は愛知1,002.4万トン、岐阜496.6万トン、三重329.8万トンである。削減策導入のための支出額をCO<sub>2</sub>削減量で除した支出単価で比較すると愛知43,137円、岐阜47,245円、三重59,287円となる。

表(3)-12 東海三県削減策別導入量とCO<sub>2</sub>削減量  
(単位 支出額：百万円，削減量：万CO<sub>2</sub>トン，2011～2030年累計)

削減策	愛知		岐阜		三重	
	支出額	削減量	支出額	削減量	支出額	削減量
電気自動車	5263	19.0	526	2.0	1053	3.0
PV	27368	26.0	8211	8.0	8211	6.0
風力	3158	13.0	1053	4.0	10526	34.0
燃費(ガソリン)	29974	38.0	29974	15.0	29974	24.0
燃費(軽油)	2240	25.0	2240	5.0	2240	3.0
省エネ家電	8960	15.0	8960	6.0	8960	4.0
省エネOA	1680	14.0	1680	4.0	1680	4.0
中小水力	9316	40.0	24842	265.0	62105	82.0
地熱	6211	8.0	24842	77.0	62105	31.0
ガス地域CHP	98684	323.0	13158	43.0	19737	65.0
工場等ガス転換	974	48.4	105	4.0	385	19.0
共有自転車	5920	8.0	296	0.0	1480	2.0
バイオメタン	157895	141.0	15789	14.0	39474	35.0
木質バイオ	610	4.0	4880	28.0	49	0.0
リフォーム	38737	108.0	7747	21.6	3874	10.8
発電燃料転換	16500	165.0	0	0.0	330	2.0
RPF	3126	7.0	0	0.0	2084	5.0
都市域緑化	15789	0.0	15789	0.0	15789	0.0
合計	432405	1002.4	234620	496.6	195530	329.8

これらの対策支出額をマクロ計量モデル・産業連関モデルに外挿することでその経済効果を推計した。表(3)-13がマクロ計量モデルで推計された効果、表(3)-14が産業連関モデル(2030年予測連関表)で推計された効果である。

表(3)-13 マクロ経済モデルによるCO<sub>2</sub>削減対策導入の経済効果(要約)

		対策導入(A)		BAU(B)		(A)-(B)	
		2020	2030	2020	2030	2020	2030
県内総支出 (単位十億円)	愛知	41,673	42,409	41,402	42,139	271	270
	岐阜	7,642	7,789	7,630	7,774	12	15
	三重	9,926	10,736	9,911	10,733	15	3
県民所得 (単位十億円)	愛知	24,880	23,418	24,746	23,291	134	127
	岐阜	5,555	5,195	5,417	5,056	138	138
	三重	6,529	6,468	6,379	6,344	150	124
県雇用者数 (単位千人)	愛知	3,028	2,065	3,020	2,061	7.9	3.8
	岐阜	885	840	884	839	0.6	0.7
	三重	813	791	813	791	0	0
地方税歳入 (単位十億円)	愛知	1,043	864	1,027	847	16	17
	岐阜	187	162	177	152	10	10
	三重	285	284	275	277	10	7
製造業出荷高 (単位十億円)	愛知	4,628	4,436	4,569	4,377	59.2	59.2
	岐阜	521	506	517	501	3.8	4.8
	三重	1,370	1,505	1,368	1,498	1.4	6.2

表(3)-14 2030年予測産業連関表によるCO<sub>2</sub>削減対策導入の生産波及効果・雇用創出効果  
(要約, 単位 生産増:十億円, 雇用増:人)

	愛知		岐阜		三重	
	生産増	雇用増	生産増	雇用増	生産増	雇用増
農林水産	18	255	11	186	8	46
建設鉱業	2	191	51	185	22	88
化学等	1	58	0	10	1	14
鉄鋼非鉄等	22	219	4	60	1	29
機械	124	955	40	492	28	246
他製造・中小	19	161	6	132	6	90
水道廃棄物	35	79	4	96	10	32
商業金融等	412	443	22	127	11	152
公共サービス	9	511	6	201	2	119
対事業所サービス	41	857	8	371	6	175
対個人サービス	13	401	3	93	1	90
他業務	23	278	8	71	4	30
合計	349	4,408	162	2,024	99	1,109

表(3)-13について、BAUと比較すると県内総生産で0.2%~0.7%押し上げ効果が見られた。その他、県民所得で0.5%~2%、雇用者数で0.1~0.3%、製造業出荷額が0.1~1.4%の押し上げ効果が見られる。これらの結果から、愛知では県内総生産や製造業出荷額の押し上げ効果が大きく、岐阜・三重は県民所得・地方税収入の押し上げ効果が大きいことが示された。

一方2030年予測産業連関表で推計した経済効果について、BAU表と比較すると、各県の産業計では愛知0.9%、岐阜1.3%、三重0.5%押し上げ効果が見られた。産業別にみると各県とも農林水産業・建設鉱業でBAU表と比較して約4%~9%増加した。また各県の生産波及効果の産業別シェアについて、3県とも機械産業の生産増効果が2~3割を占める一方、愛知では商業が6割弱を占めるのに対し、岐阜・三重では建設鉱業のシェアが大きかった。雇用創出効果の産業別シェアでは、機械・公共サービス・事業所サービスが3県とも大きい一方、愛知・三重では商業・個人サービスなどサービス産業のシェアが次いで大きいのに対し、岐阜では農林水産・建設鉱業のシェアが大きいことが示された。

#### (4) 各地域のエネルギー需給面からみた地域特性を明らかにした類型化

前述した「地域マクロ経済モデル」に加え、総人口や人口密度、高齢者人口比率などの人口統計を用いて東海三県のエネルギー需要予測を行った。製造業以外の部門（農林水産・建設鉱業・民生業務・民生家庭・乗用車・貨物自動車）の2030年エネルギー需要のBAU値を計算するために、エネルギー需要関数を推計する。推計においては、上記6部門の過去（農林水産・建設鉱業・民生業務は1996-2006年、民生家庭・乗用車・貨物自動車は1990-2007年）のエネルギー需要量を用いてエネルギー需要関数を推計し、その上で部門別エネルギー源別に需要関数を推計した。エネルギー源別は各部門のエネルギー総需要量と各部門における電力需要シェア、またその他の燃料需要シェアと

区別して需要関数を推計するという手順で行った。その他の燃料需要シェアは各県各部門のなかでシェアの多い燃料を選んで推計した。また、各部門のエネルギー需要に占めるシェアが10%に満たない燃料需要については、「その他燃料」として推計した。

エネルギー需要関数は「エネルギー価格」と「部門活動指数」という独立変数から成っている。エネルギー価格は、原油価格については為替レートを掛け合わせて円ベースに転換し、軽油価格・重質油価格・電力単価や都市ガス価格、ガソリン価格などについてはデフレーターを掛け合わせて実質化した。それぞれの符号条件は、価格変数の係数の符号はエネルギー価格が上昇すればエネルギー需要量が減少すると考えられるのでマイナス、活動指数の係数の符号は大きくなるほど活動が活発になりエネルギー需要量が増加すると考えられるのでプラスである。

農林水産業のエネルギー需要の内訳は、電力需要よりも農業機械や漁業関係での機器に用いられる重質油・軽質油需要のシェアが大きいのが特徴である。もっともシェアの大きいのが重質油でありおよそ3分の2を占める。いずれの回帰式もエネルギー価格について負かつ有意であり、エネルギー価格の上昇が各エネルギー需要のシェアを減らす効果があることが示されている。活動指数を示す農林水産業出荷額は、農林水産業のいずれの回帰式でも有意性は得られなかった。

愛知県の建設鉱業のエネルギー最終需要に含まれるエネルギー源は軽質油・重質油・LPG・都市ガス・電力である。愛知の建設鉱業でもっともシェアが大きいのが軽質油であり50%を超えるシェアとなっている。軽質油・LPG・都市ガスいずれもt検定より1%水準で負かつ有意であり、エネルギー価格の効果について強い有意性を示している。また、岐阜・三重県の建設鉱業においてLPG需要が小さいため、軽質油とLPGを合わせ、結果として電力・重質油・軽質油についてのみ推計をした。

愛知の民生業務のエネルギー最終需要に含まれるエネルギー源は石炭・石炭製品・軽質油・重質油・LPG・都市ガス・電力・熱であり、他部門と比較して多様なエネルギー源を消費している。もっとも多いのは電力需要であり、全体の4割程度を占める。愛知県の民生業務のエネルギー需要関数の推計結果は、電力需要について電力価格は5%水準で負かつ有意となっている一方、他の回帰式では価格変数の係数の符号が正になっている。また、活動指数であるサービス業出荷額では重質油の回帰式で負かつ有意となっており、前提条件と逆になっている。

民生家庭のエネルギー最終需要に含まれるエネルギー源は軽質油・LPG・都市ガス・電力である。もっとも大きいシェアを占めるのが電力需要であり、家庭のエネルギー需要に占めるシェアのうち、おおよそ5割を占める。また都市ガスが全体の25%弱であり残りを軽質油とLPGで分けるという需要構造になっている。家庭電力需要の回帰式は、符号条件では前提条件と一致するもののt検定の有意性が結果となっている。また、その他の燃料について用途は主に暖房用燃料が中心であることを考慮し暖房度日を説明変数に加えている。

貨物・乗用車における燃料自動車は近年こそ電気自動車の需要も増えつつあるが、データセットの範囲である90-06年では皆無、もしくはあっても微々たるものであり、ほぼガソリン需要として考えてもよい。実際、エネルギーバランス表でも貨物・乗用車は軽質油(ガソリン含む)需要のみとなっている。

したがって推計式はシェアではなく実数値を用いる。推計結果を見ると、ガソリン価格の影響はいずれも負の影響が見られる。一方、保有台数については、貨物自動車が負かつ有意、乗用車が正かつ有意となっている。

製造業のエネルギー需要は、産業の生産規模とその産業のエネルギー効率性を示すエネルギー

原単位によって決定されるとする。産業別エネルギー原単位は下記のように定義される。

$$\text{産業別エネルギー原単位} = \text{産業別エネルギー需要量} / \text{産業別生産規模}$$

したがって、各製造業におけるエネルギー需要は以下のように定義される。

$$\text{エネルギー需要量} = \text{産業別エネルギー原単位} \cdot \text{産業別生産規模}$$

ここで産業規模を示す生産指数について、先行研究では鉄鋼業での粗鋼生産量や化学産業のエチレン生産量などを用いた例もあるが、本研究では予測産業連関表を使い、それぞれの産業の生産額を用いる2005年の原単位を推計したうえで、2030年までに年率0.3%改善すると仮定して推計した。原単位を計算する際、「電力」「ほか燃料」と区分して産業別で計算した。

この産業別のエネルギー原単位表と2030年の予測産業連関表の産業別生産額を乗ずることで、産業別の電力需要量および燃料需要量が計算される。電力需要量はそのままエネルギー最終需要として記入できるが、燃料需要はさらに石炭・石炭製品などの需要量に分ける必要がある。このために、各産業別に2007年の燃料源別需要量のシェアを掛け合わせて決定される。

以上により、2030年の最終エネルギー消費（BAUケース）が予測された。エネルギーバランス表は、最終消費とともに、エネルギー転換部門（発電、石油精製、都市ガス製造、コークス製造、産業用自家発、産業用蒸気等）のエネルギーバランスを作成し、一次エネルギー供給量との整合をとる。

ここでは、CO<sub>2</sub>排出量・削減量を算出するための地域（愛知県）のエネルギーバランス表を作成する。エネルギー転換部門のうち、コークス製造、石油精製、都市ガス製造については、所内消費以外のエネルギー転換の過程でCO<sub>2</sub>を排出しないので、対象とするのは、事業用発電、産業用自家発電・産業用蒸気、所内消費とする。

2030年の事業用電力のエネルギーバランス（電源構成・発電電力量）は、中部電力の最新の供給計画（2019年まで）で明らかにされている電源のうち、東海三県に立地する電源（石炭火力、LNG火力、水力）を取り上げ、電力の最終需要+電力の所内消費で足りない量は他県からの移入とし、2030年の電源構成・発電電力量とした。産業用自家発電・蒸気、所内消費については、全国のエネルギーバランス表から、それぞれのシェアを算出し、東海三県に適用した。

以上の推計結果に基づき、表(3)-15~17が推計した部門別（産業・運輸・民生）・燃料別エネルギー需要量の予測結果である。

表(3)-15 愛知県の2030年予測エネルギー需要（単位：TJ）

	石炭		石油			天然ガス	都市ガス	再生可能	電力	熱	合計
	石炭	石炭製品	軽質油	重質油	LPG						
産業	18,910	73,985	17,750	33,114	13,155	1,454	55,639	0	159,896	35,654	409,557
農林水産業	0	0	456	3,012	18	0	0	0	294	0	3,780
建設業・鉱業	0	0	5,794	1,685	14	0	1,514	0	2,208	0	11,214
化学・化繊・紙パ	0	0	973	3,774	1,041	0	1,187	0	8,682	13,333	28,991
鉄鋼・非鉄・窯業土石	18,778	73,397	2,955	24,021	3,537	1,454	18,307	0	29,199	17,056	188,704
機械	0	588	2,444	623	1,667	0	14,982	0	33,221	0	53,525
他業種・中小製造業	132	0	5,128	0	6,877	0	19,648	0	86,293	5,265	123,343
運輸	0	0	41,364	0	0	0	0	0	0	0	41,364
貨物	0	0	18,790	0	0	0	0	0	0	0	18,790
乗用車	0	0	22,574	0	0	0	0	0	0	0	22,574
民生	1,111	182	43,672	26,640	25,225	0	80,220	0	120,764	1,507	299,321
民生業務	1,111	182	27,088	26,640	3,015	0	44,981	0	65,324	1,507	169,848
民生家庭	0	0	16,583	0	22,210	0	35,240	0	55,440	0	129,473
最終需要計	20,021	74,167	102,786	59,754	38,379	1,454	135,859	0	280,660	37,161	750,242

表(3)-16 岐阜県の2030年予測エネルギー需要（単位：TJ）

	石炭		石油			天然ガス	都市ガス	再生可能	電力	熱	合計
	石炭	石炭製品	軽質油	重質油	LPG						
産業	2,968	1,207	3,793	9,770	862	335	1,608	23	30,529	7,756	58,851
農林水産業	0	0	338	904	7	0	2	0	209	0	1,460
建設業・鉱業	3	7	2,074	625	11	0	481	0	946	0	4,147
化学・化繊・紙パ	0	0	320	607	0	0	0	0	2,824	7,235	10,986
鉄鋼・非鉄・窯業土石	2,941	1,200	576	4,079	22	133	0	23	2,431	117	11,522
機械	0	0	39	1,016	274	202	0	0	2,287	0	3,818
他業種・中小製造業	24	0	446	2,539	548	0	1,125	0	21,832	404	26,918
運輸	0	0	12,532	0	0	0	0	0	0	0	12,532
貨物	0	0	3,574	0	0	0	0	0	0	0	3,574
乗用車	0	0	8,958	0	0	0	0	0	0	0	8,958
民生	333	26	13,831	6,459	6,898	0	10,486	0	31,521	0	69,554
民生業務他	333	26	6,914	6,459	1,205	0	8,037	0	15,116	0	38,090
民生家庭	0	0	6,917	0	5,693	0	2,449	0	16,405	0	31,464
最終需要計	3,301	1,233	30,156	16,229	7,760	335	12,094	23	62,050	7,756	140,937

表(3)-17 三重県の2030年予測エネルギー需要（単位：TJ）

	石炭		石油			天然ガス	都市ガス	再生可能	電力	熱	合計
	石炭	石炭製品	軽質油	重質油	LPG						
産業	3,130	4	4,530	19,295	19,950	1,356	5,002	579	60,613	33,998	148,456
農林水産業	0	0	541	4,366	36	0	10	0	338	0	5,290
建設業・鉱業	2	4	2,456	554	7	0	574	0	1,167	0	4,764
化学・化繊・紙パ	0	0	73	2,072	18,351	1,148	0	0	11,284	22,395	55,323
鉄鋼・非鉄・窯業土石	3,012	0	36	7,598	140	88	39	579	3,117	190	14,798
機械	0	0	580	73	303	120	1,596	0	9,048	0	11,721
他業種・中小製造業	116	0	844	4,632	1,113	0	2,783	0	35,659	11,413	56,559
運輸	0	0	17,283	0	0	0	0	0	0	0	17,283
貨物	0	0	3,061	0	0	0	0	0	0	0	3,061
乗用車	0	0	14,222	0	0	0	0	0	0	0	14,222
民生	377	35	12,985	6,257	6,829	0	9,537	0	29,840	0	65,860
民生業務他	377	35	6,773	6,257	1,042	0	6,625	0	13,298	0	34,407
民生家庭	0	0	6,212	0	5,787	0	2,912	0	16,542	0	31,453
最終需要計	3,506	39	34,798	25,552	26,779	1,356	14,540	579	90,452	33,998	231,599

これら結果について、2005年の実績値に対してどのように変化したのかを示したのが表(3)-18 および表(3)-19である。

表(3)-18 東海三県の2005年比燃料別エネルギー需要

	石炭	石炭製品	軽質油	重質油	LPG	天然ガス	都市ガス	再生可能	電力	熱	合計
愛知	0.993	0.953	0.975	0.917	1.011	1.281	1.030	---	0.940	0.934	0.964
岐阜	0.909	0.963	0.833	0.925	0.988	1.213	0.987	1.016	0.949	0.958	0.924
三重	1.579	1.516	0.954	1.043	1.044	1.163	1.108	1.033	1.075	1.072	1.055

表(3)-19 東海三県の2005年比部門別エネルギー需要

	産業	農林水	建設鉱	化学	鉄鋼	機械	他製造	運輸	貨物	乗用車	民生	民生業務	民生家庭	最終需要計
愛知	0.946	0.915	0.972	0.960	1.031	0.915	0.847	0.910	0.972	0.865	0.999	1.008	0.986	0.964
岐阜	0.937	0.689	0.869	0.923	0.892	1.468	0.944	0.681	0.748	0.658	0.974	0.942	1.017	0.924
三重	1.075	0.953	1.157	1.080	1.335	1.321	0.988	0.840	0.935	0.822	1.081	1.095	1.066	1.055

以上の結果から、人口規模の大きい愛知と中山間地域の多い岐阜におけるエネルギー需要は減少すること、また石炭・石炭製品・石油製品（軽質油・重質油）といった化石燃料の需要が減少するが、天然ガスの需要は増加すること、さらには電力・熱についても減少することが示された。一方、三重は多くの燃料で増加するという結果が得られたが、特に三重県内の鉄鋼・機械産業といった製造業の生産が増加するという予測によって推計された結果に原因があると考えられる。

部門別のエネルギー需要で比較すると運輸（貨物・乗用車）のエネルギー需要（ガソリン需要）は三県ともに減少し、農林水産業も同様の結果であった。一方で、機械産業については愛知では減少し、岐阜・三重で増加するという結果になり、東海三県域内で機械産業内の変化によるエネルギー需要の変化の違いがみられた。

以上のように、地域経済と地域の人口動態の変化を加味したエネルギー需要予測によって、地域特性が明らかになる。この研究では東海三県（人口規模の大きい愛知、中山間地の多い岐阜、北部に製造業が集積する三重）を対象に、地域経済モデルに加え、人口予測を加え、産業のみならず、民間（家庭・業務部門）・運輸部門の予測も可能になる。また、これによって県別のエネルギー需要における地域特性を知ることができる。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

低炭素な地域計画を支える社会システムのあり方を検討するための方法論として、都市・地域の居住モデルを作成し、人口規模・密度・移出入や高齢者人口比率・産業別就業人口比率などの社会動態に応じた、住宅需要分布・業務ビル分布を推計した。また、モデルより名古屋都市圏における二酸化炭素消費構造を明らかにし、集積の程度に応じた削減ポテンシャルを評価した。さらに名古屋都市圏を対象としたシナリオ分析により、望ましい集積の傾向及び技術導入が示唆された。

本研究で構築した手法によって、人口動態の変化を把握する「地域社会動態モデル」のCO<sub>2</sub>排出量変化の推計に、人口動態の変化を考慮することが可能となった。雇用創出もしくは人口動態の変化を組み込むことで、詳細な地域社会動態の変化を反映したCO<sub>2</sub>推計が可能になったことから、地域のマクロ経済・産業・エネルギー需要・CO<sub>2</sub>排出を「地域マクロ経済モデル」を用いて、環境施策の評価をより総合的に行うことが可能となった。

また、これまでの温暖化対策の効果は直接的な効果としてCO<sub>2</sub>削減量とその費用のみが政策形成

における関心であったが、以上のような地域マクロ経済指標や産業への生産波及・雇用創出効果への影響を推計することで、地域の温暖化対策による具体的な経済効果を把握することができる。併せて、削減策を導入した場合の効果を近隣自治体と比較することで、より比較優位を持つ削減策に取り組むというインセンティブを持つことになる。また、温暖化対策による経済効果をより効率的に生み出す削減策を組み合わせることで、温暖化対策と地域活性化の両立に向けた指標となりうることを示した。

## (2) 環境政策への貢献

### <行政が既に活用した成果>

名古屋大学大学院環境学研究科附属持続的共発展教育研究センターのコンサルティングファーム部門における岐阜県大垣市との連携として、「緑の村公園リノベーション計画策定に関する研究」及び「九里半街道牧田宿における景観まちづくりの調査研究」事業に、吉田が協力教員として参画し、自治会主催まちづくり協議会にて地域住民に対して本研究成果の一部を発表し、結果的に「景観まちづくり方針」の策定に当該結果が活用された。

愛知県と公益財団法人名古屋産業科学研究所が主催する「平成26年あいち環境塾」では、吉田がチューターとして研究的知見を提供し、産業技術の集積や豊かな自然環境などの愛知の「資源」を活用した持続可能な社会づくりに向けた、「2030年ビジョン」の策定に当該結果が反映された。

### <行政が活用することが見込まれる成果>

特に記載すべき事項はない。

## 6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

## 7. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

#### <論文(査読あり)>

- 1) N.SHIBAHARA, K.ITO, Y.MASUDA, R.MORIMOTO, M.YAMAMOTO, H.KATO and Y.HAYASHI: the 13th World Conference on Transport Research Society, USB(1590), (2013)  
"Evaluation Method of Life Cycle Carbon Dioxide Emissions for Various Urban Passenger Transport Modes"
- 2) R.MORIMOTO, N.SHIBAHARA and H.KATO: Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 10, 1189-1202(2013).  
"Life Cycle Assessment of Road Improvement Projects Considering Innovations in Vehicle Technology and Changes in Traffic Demand"
- 3) 森本涼子、眞野新吾、工藤希、柴原尚希、加藤博和、伊藤圭：土木学会論文集G(環境), 69, 5, 97-105 (2013)  
「ミクロ交通流シミュレーションを組み込んだ交通システム整備によるライフサイクル

CO<sub>2</sub>変化の推計手法」

- 4) 渡邊聡：経済政策ジャーナル，11,2(2014)  
「地域におけるCO<sub>2</sub>削減策とその経済効果推計に関する考察—都道府県のシミュレーション研究」
- 5) Y. YOSHIDA and Y. HIRANO：World SB14 Barcelona (2014)  
"Study of Effective Energy Improvement for Area Management to Optimize Low-Carbon Cities."
- 6) 渡邊聡：鈴鹿国際大学紀要CAMPANA, 21, 77-86 (2015)  
「地域CO<sub>2</sub>削減策の統合影響評価モデルと地域特性に関する考察」
- 7) Y. HIRANO, Y. YOSHIDA, and S. WATANABE: Austin Journal of Earth Science, 2 (2015)  
"Development of Measures for Urban Environment Planning and Evaluation Aimed at Realizing Low-Carbon Lifestyles"
- 8) Y. YOSHIDA, Y. HIRANO and S. WATANABE: Austin Journal of Earth Science, 2, 3, (2015)  
"Study of Effective Energy Improvement for Area Management to Optimize Low-Carbon Cities"
- 9) S. WATANABE and Y. YOSHIDA: Austin Journal of Earth Science, 2, 2, (2015)  
"Integrated Evaluation Model of Local Climate Policies and Regional Characteristics"

#### <査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

#### <その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 平野勇二郎、柴原尚希：環境科学会誌、26, 6, 509-513 (2013)  
「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」
- 2) 平野勇二郎、松野正太郎：環境科学会誌、28, 6, 483-487 (2015)  
「環境科学シンポジウム2015 11.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」
- 3) 吉田友紀子：建築雑誌, 131, 1680, P050 (2016)  
「地球環境部門-パネルディスカッション①[午前の部：総論]都市・建築分野におけるこれからの地球環境対策—パリ合意に向けて概要報告」

#### (2) 口頭発表（学会等）

- 1) 渡邊聡：日本経済政策学会第70回全国大会（2013）  
「地域におけるCO<sub>2</sub>削減策とその経済効果推計に関する考察：都道府県のシミュレーション研究」
- 2) 渡邊聡、海川能理子：生活経済学会第29回研究大会（2013）  
「協働型マネジメントサイクルの地方財政への効果—愛知県東海市を事例に」
- 3) 平野勇二郎、藤井実、戸川卓哉、藤田壮、柴原尚希、渡邊聡：環境科学会2013年会（2013）  
「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」
- 4) 渡邊聡：環境科学会2013年会（2013）  
「地域CO<sub>2</sub>削減策の統合影響評価モデルと地域特性に関する考察」

- 5) 柴原尚希、森本涼子：環境科学会2013年会（2013）  
「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」
- 6) 森本涼子、加藤博和、柴原尚希：環境経済・政策学会2013年大会（2013）  
「交通システムのLCA結果の不確実性情報提示に関する検討」
- 7) 海川能理子、渡邊聡：環境経済・政策学会2013年大会（2013）  
「環境行政における参加型意思決定システム-東海市の協働型マネジメントサイクルを事例として」
- 8) 益田悠貴、森本涼子、柴原尚希、加藤博和：第9回日本LCA学会研究発表会(2014)  
「建設資材の環境負荷原単位の不確実性が社会基盤LCA結果に及ぼす影響の分析」
- 9) 伊藤圭、加藤博和、柴原尚希：第9回日本LCA学会研究発表会（2014）  
「アジア開発途上国における都市内交通システムのライフサイクルCO<sub>2</sub>のマクロ分析」
- 10) 平野勇二郎、吉田友紀子、戸川卓哉：環境共生学会 第17回地域シンポジウムポスターセッション（2014）  
「低炭素型ライフスタイル実現する都市の環境創生に向けた検討」
- 11) 平野勇二郎、井原智彦、高橋敬子、吉田友紀子、藤田壮：第33回エネルギー・資源学会研究発表会（2014）  
「都市における低炭素型ライフスタイルに関する事例研究」
- 12) 吉田友紀子、渡邊聡、松野正太郎、平野勇二郎：第33回エネルギー・資源学会研究発表会（2014）  
「低炭素型の地域計画の開発～都市機能モデルによる検討～」
- 13) 平野勇二郎、吉田友紀子、戸川卓哉、高橋敬子：日本建築学会大会（2014）  
「低炭素型ライフスタイルを実現する都市・地域環境創生に関する研究 その1 生活に伴う直接・間接CO<sub>2</sub>排出量の推計」
- 14) 吉田友紀子、平野勇二郎：日本建築学会大会（2014）  
「低炭素型ライフスタイルを実現する都市・地域環境創生に関する研究 その2 全国市町村別、町丁・大字別における地域特性の把握」
- 15) 平野勇二郎、吉田友紀子：日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー学会合同研究発表会（2014）  
「都市街区におけるCO<sub>2</sub>削減策の温熱環境評価」
- 16) 平野勇二郎、吉田友紀子、戸川卓哉：第11回環境情報科学ポスターセッション（2014）  
「ライフサイクルCO<sub>2</sub>を削減する都市環境構築に向けた方策の提案」
- 17) 平野勇二郎、井原智彦、吉田友紀子、高橋敬子：第31回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文要旨集（2015）  
「ライフサイクルCO<sub>2</sub>を削減する都市の消費行動パターンに関する基礎的検討」
- 18) 吉田友紀子、平野勇二郎、渡邊聡、松野正太郎：第31回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文要旨集（2015）  
「低炭素型ライフスタイル実現のための居住機能の高効率化に関する研究」
- 19) 平野勇二郎、吉田友紀子：第42回土木学会関東支部技術研究発表会（2015）  
「川崎市における低炭素施策導入の省エネルギー効果と都市熱環境への影響」

- 20) 吉田友紀子：環境科学会2015年会（2015）  
「地域社会動態モデルにおける低炭素型ライフスタイルに関する研究」
- 21) 渡邊 聡：環境科学会2015年会（2015）  
「地域における低炭素型ライフスタイル普及に向けた経済学からの一考察」

### （3）出願特許

特に記載すべき事項はない。

### （4）「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 環境科学シンポジウム2013「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」（2013年9月3日、静岡県コンベンションアーツセンター「GRANSHIP」）
- 2) 環境科学シンポジウム2015「低炭素型ライフスタイルの実現に向けた都市・地域環境に関する各分野の事例」（2015年9月8日 13：30～16：00、大阪大学吹田キャンパスU2棟2階）

### （5）マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

### （6）その他

特に記載すべき事項はない。

## 8. 引用文献

- 1) Arnulf Grubler, Challenges for Analyzing Urban Energy and Carbon, International Workshop: Towards Low Carbon Cities - Understanding and Analyzing Urban Energy and Carbon, Urban and Regional Carbon Management, Global Carbon Project, Nagoya, Japan, February 16-18, 2009.
- 2) 吉田友紀子、奥宮正哉、大西暁生、一ノ瀬俊明、東修、谷川寛樹、井村秀文：事務所系・住宅系の建物用途別延床面積推定手法「都市機能モデル」による地域エネルギー需要の予測，第29回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集，11-1，pp.135-138，2010.

## **Design of New Lifestyles and Regional Development for Low Carbon Society and Economic Revitalization**

Principal Investigator: Yujiro HIRANO

Institution: National Institute for Environmental Studies (NIES)  
16-2, Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506, JAPAN  
Tel: +81-29-850-2890 / Fax: +81-29-850-2572  
E-mail: yhirano@nies.go.jp

Cooperated by: Yokohama National University, Nagoya University

[Abstract]

Key Words: Keywords: Low-carbon society, Lifestyle, Life-cycle CO<sub>2</sub> emission, Local economy, Local environment

Converting to low-carbon lifestyles and behavior is important for the establishment of a low-carbon society. Research has been conducted mainly in the urban environment field on human behavioral factors in energy consumption, but much of this research focuses on only direct energy consumption by people in their daily lives, such as for air-conditioning and hot water supply. However, in reality, because energy consumption for the industrial sector is extremely high compared to that for the civic sector, reducing CO<sub>2</sub> emissions from industrial activity is the key to large reductions in CO<sub>2</sub> emissions in the future. Moreover, because global warming countermeasures that curb energy consumption behavior may lead to economic downturns, it is imperative that consideration be given to invigorating the economy and securing employment. This study proposes urban and regional environmental planning and lifestyles for implementing measures for balancing the environment and economy, by linking consumer lifestyles with CO<sub>2</sub> emissions reduction measures for entire supply chains with LCA and economic invigoration and/or employment generation. The outline of this proposal is explained below. First, using various survey materials related to lifestyle and consumption, a list of various lifestyle activities and the accompanying demand for services was created. Next, lifestyle-generated CO<sub>2</sub> emission amounts were calculated using energy consumption surveys, the LCA database, and other sources. In particular, the relationship between industry and the final demand was identified in detail, and the CO<sub>2</sub> emissions caused by the consumption of industrial goods in factories were also linked to human behavioral factors for consumers. Using the results of these analyses, lifestyles that have economic effects but generate low carbon are selected and urban environments that establish these lifestyles are designed. In the urban environment field, much research has conventionally been conducted on low-carbon lifestyles with regard to the use of

lighting/air-conditioning, transportation, etc.; however, the aim of this research method is to include not only such direct energy consumption but also reductions in lifestyle CO<sub>2</sub> emissions from the consumption of products or services. Although changing and improving lifestyles that are currently wasteful in a mass-production/mass-consumption society is an important issue, in reality, this approach is essential for reducing industrial CO<sub>2</sub> emissions from the perspective of consumers and is expected to contribute greatly to environmental policies.