

E-0806 低炭素型都市づくり施策の効果とその評価に関する研究

(2) 都市の動的物質・エネルギー代謝

名古屋大学 大学院環境学研究科 都市環境学専攻

井村秀文

奥宮正哉・谷川寛樹・加藤博和

東修・平野勇二郎・曹鑫(平成20年度～平成21年度)

吉田友紀子(平成21年度～平成22年度)

文多美・田畑智博・戸川卓哉(平成22年度)

〈研究協力者〉 名古屋大学 大学院環境学研究科 都市環境学専攻

大西暁生・奥岡桂次郎

平成20～22年度累計予算額：65,903千円（うち、平成22年度予算額：22,177千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]本研究は、低炭素型都市を実現するための政策分析評価ツールの開発を目的とし、(1)低炭素型都市理論の構築、(2)低炭素型都市施策の効果の評価モデル(都市シミュレータ)の開発を行っている。第一の低炭素型都市理論の構築においては、理論的考察及び経験則に基づき、都市の類型に応じたエネルギー消費量及びCO₂排出量の推計・予測を行うための分析手法の体系化を目指している。まず、都市部を対象に、産業構造(第3次)とエネルギー消費原単位から地域特性を分析し、業務部門と家庭部門のエネルギー消費の構造についての各種データの体系的整理を行った。さらに、平成20年度に内閣府が募集した、環境モデル都市事業に対しての82団体の提案書における施策内容を比較分析した。日本全国の市町村を地域特性に応じて類型化し、施策の分類と重ねることで、地域の特性に応じた温暖化対策の施策メニューを考察した。次に、仮想的な都市について、産業構造、空間構造、気候等の条件を任意に変え、そこに省エネルギー等のさまざまな技術を導入した場合のCO₂削減効果を定量的に評価する仮想都市モデルの開発を行う。さらに、コンパクトシティと低炭素社会が結びつけられた議論が行われていることから、オフィスビルや住宅の立体構造化、集中の程度に着目し、都市の形態・構造とエネルギー消費量の関係性を評価した。

第二の評価モデルの開発においては、実際の都市を対象に、都市の空間構造と省エネ技術の導入等によるCO₂排出量の削減効果を検討することによって、都市整備にともなうエネルギー消費量、CO₂排出量及び物質循環量を評価するための都市シミュレータの開発を行った。名古屋市・富山市に適用することによって、民生部門では、太陽光発電、コージェネレーションシステム、ヒートポンプ等の技術対策の効果を、運輸部門(旅客交通部門のみ)においては、都市の空間構造の変化とハイブリッドや電気自動車等の技術導入による効果を分析した。また、都市規模等の違いによる低炭素型都市づくり施策の効果の違いを評価・検討した。

[キーワード]低炭素都市理論、都市類型、物質・エネルギー代謝、4d-GIS、政策評価

1. はじめに

人類社会にとって、地球温暖化対策が急務となっているが、対策の鍵は、産業・人口が集中する都市にある。国連の予測によると、2050年に世界人口の約2/3が都市に居住するとされ、またこれにより、都市におけるエネルギー消費量はさらに増加することは明らかである。IPCC第3作業部会報告書(07年)によれば、施策分野別に見た2050年までの温室効果ガス(GHG)削減ポテンシャルが最も大きいのは「建築(ビル・住宅)」である。また、増大抑制効果が高い分野として、「交通」があげられている。これらはいずれもエネルギーの需要側での対策の重要性を指摘しているものである。2050年に向けたCO₂排出量大幅削減の長期的な目標、また短・中期的な2020年までの25%削減に向け、発電効率の向上等、エネルギーの供給側における技術的対策のみならず、とりわけ都市を中心とした社会システム全体を低炭素社会に向けることが重要である。

こうした背景から、先進国を中心に、都市レベルでの地球温暖化防止計画が数多く発表されているが、施策の効果、計画の実現可能性に係る検証は必ずしも十分ではない。また、計画の基礎である分析手法やデータも千差万別であり、計画内容の相互比較も簡単ではない。そのため低炭素型都市づくりの施策立案の基礎となる分析評価手法を体系化し、計画内容の評価や相互比較を可能にすることが重要である。

2. 研究目的

本研究は、低炭素型都市の実現を目指した自治体の計画づくりに実践的に役立つような分析評価手法の開発を目的とする。具体的には、以下の2つにより、低炭素型都市づくりのための理論-実証-実践の手法の体系化を図る。

(1) 低炭素型都市理論の構築

理論的考察及び経験則に基づき、汎用性のあるエネルギー消費推計・予測手法を構築し、都市類型別の都市低炭素化施策を体系化する。都市圏における人口配分と二酸化炭素(以下、CO₂)の排出構造の関係を明らかにするために、現在の日本の都市をもとに仮想都市圏モデルを構築する。これにより都市圏内の民生部門・運輸部門の活動量を推計し、気候特性により異なる地域別原単位を利用してCO₂の排出量を推計する。また、その仮想都市において温暖化対策を行ったときの削減量の比較を行い、人口密度などに応じた効果的な温暖化施策を検討する。

民生業務・家庭部門のエネルギー消費原単位は、地域特性や建物特性によりバラツキがあるため、エネルギー消費原単位から対策を立案することは難しい。そのため、地域特性や建物特性を考慮したベースラインとなる地域レベルのエネルギー消費推計手法を開発する。

(2) 低炭素型都市施策の効果の評価モデル(都市シミュレータ)の開発

具体的な都市を対象に、4次元地理情報システム(4d-GIS)によって都市の空間構造の時間変化をシミュレーションし、都市の物質・エネルギー代謝の時間的変化を再現することにより、都市整備に伴う建築物やインフラ等の構造物の建築・運用・廃棄にともなうエネルギー消費とCO₂排出量の時系列的な分析を行う。

以上の研究実施においては、名古屋市等の自治体政策担当者と連携協力し、自治体における地球温暖化防止計画づくり等への貢献を目指す。

3. 研究方法

(1) 低炭素型都市理論の構築

我が国の民生部門のエネルギー消費量は増え続けている。民生部門のうち家庭部門については、すで

に多くの調査結果が発表されている。しかし業務部門については、建物の構造、用途等が多種多様で、地域特性や建物特性によりエネルギー消費原単位の調査結果にはバラツキがある。また、都市のCO₂排出量推計は、個別都市を対象としたケーススタディの結果は多数報告されている。しかし、CO₂排出量推計や施策効果の評価の手法として、都市ごとの気候条件等を考慮した、多くの都市に共通的に適用可能な分析モデルはまだ確立していない。このため、多くの都市に汎用的に適用可能なCO₂排出量推計・予測手法の確立、都市類型別の都市低炭素化の方策について体系化・理論化を行う。このため、以下の研究を行う。

1) 都市の地域特性と施策の関係についての評価

一般に、大都市ほど世帯あたり・1人あたりのCO₂排出量が少ないことは経験的には知られているが、その要因は複雑である。例えば集合住宅が増加して冷暖房負荷が減ることや、都市ガスが普及してCO₂排出原単位が小さくなること等、種々の要因が同時に作用している。また、現状の日本の都市分布では大都市は比較的温暖な地域に集中しているため、気候条件との間接相関が生じている可能性がある。このため、大都市であればこの施策が効果的であると断定することは容易ではない。そこで、本研究では都市の地域特性によって類型化を行い、それに応じた温暖化対策を検討する。まず、自然状況、社会状況、産業構造の3種類の特徴を1つの変数群として主成分分析を行い、その結果をクラスター分析することで類型化を行った。それにより環境モデル都市事業に応募した82団体を分類し、分類ごとの施策を整理した。

a. 地域の類型

地域の類型に際しての主要な視点は、都市の規模、機能、構造、発展度など多岐にわたっている。本研究では、温暖化対策を検討するために適した地域分類であることとデータの利用可能性を考慮し、①自然的特徴、②産業的特徴、そして人口規模など③社会的特徴の3つの要因で地域を分類することにした。

地域分類の手続きの方法について説明する。まず、様々な統計データを基に市区町村単位のデータベースを構築した。次にそのデータベースをもとに主成分分析を行い、市区町村の特徴を集約した指標を作り出した。最後に、主成分分析で得られた主成分得点を用いてクラスター分析を行い、市区町村を複数のカテゴリに分類した。

b. 分析に利用したデータ

以下、自然的特徴、社会的特徴、産業的特徴の3種類ごとに、分析に用いたデータを記す。なお、分析対象にしたのは、全国の市区町村でその数は1786である。

i) 自然的特徴

以下に示す12のデータを用いて、自然的特徴による地域分類を行った。

- | | | | | |
|-------------|-----------|---------|-----------|--------|
| 1)可住地面積割合 | 2)年平均気温 | 3)年最高気温 | 4)年最低気温 | 5)年降水量 |
| 6)積雪日数 | 7)日射量 | 8)標高 | 9)平均傾斜 | |
| 10)臨海性(ダミー) | 11)森林土地利用 | | 12)建物土地利用 | |

データの出所は以下の通りである。1)は総務省統計局のデータを参照した。2)~7)は気象庁のデータを利用した。8)、9)は日本の地形・地盤デジタルマップによるメッシュデータを市町村に空間結合することで利用した。10)~12)は国土数値情報ダウンロードサービスで手に入れたGISデータを市町村ごとに整理して利用した。

ii) 産業的特徴

産業的特徴については、町村レベルまで含めて詳細に情報を公開している統計は少ない。そこで、ここでは、「事業所・企業統計調査」の雇用者数を用いて、各市町村の各業種についてその全雇用者に占める割合を計算し、それを用いた。なお、分類数は、出来るだけ実際の産業構造を把握できるように、最も詳しい 411 分類を用いた。

iii) 社会的特徴

社会的特徴とは市町村の人口などの居住分布とインフラなどの都市基盤の充実さを示すデータをまとめたものである。地域分類を行うに当たり、以下の 12 のデータを用いた。

1)人口密度	2)世代別人口率	3)構成別世帯割合
4) DID (人口集中地区) 人口比率	5)DID人口密度	6)昼間人口比率
7)市域内鉄道路線数	8)市域内鉄道駅数	9)市域内道路実延長
10)市域内高速道路実延長	11)自動車種別保有台数	12)中心地距離

1)～3)、6)、11)は総務省統計局のデータを参照した。4)、5)、7)～10)、12) は国土数値情報ダウンロードサービスで手に入れた GIS データを市町村ごとに整理して利用した。

c. 環境モデル都市提案書の整理

施策を分析・評価するに当たり、まずは環境モデル都市に応募した全 82 都市の全施策まとめ、個々の施策について技術関連、システム設計・制度化などのソフト関連、その他に分類した。以下この操作を分類 A と呼称する。

技術とソフトとを分ける際には、表 2-1 の様な基準を設けた。技術開発に関連する施策としては、新たに生み出される技術や製品に対する取り組みが含まれ、具体的には公共施設向け太陽光発電システムの開発や、バイオマスの燃料化に関する実験などが挙げられる。一方で、そういった技術の普及促進や、そのための補助政策などは社会の仕組みを変えていくものであり、ソフトの項に属する。他には公共交通利用促進のための啓発や、コンパクトシティ構想を代表とする都市計画、レジ袋の削減などが含まれる。また、上記以外の施策をその他とする。

次に、分類 A で区分したものをさらに、以下のキーワード別に詳細分類する。しかし、施策の提案者や分野によって細かさに段階が生じるため、分類にも段階を持たせる。以下でこれらの操作を分類 B および分類 C と呼称し、表 2-2 にまとめた。

技術に関しては、太陽光や風力などの自然エネルギーを効果的に利用する再生可能エネルギー項目や、エコカーやエコ家電を代表とするトップランナー製品などが含まれる。ソフト面では、マイカー規制やモビリティマネジメントを含む交通システム関連の施策や、森林整備などの緑化事業などが含まれる。また、例えば未利用エネルギーの利用促進など、技術と併せて行うことによってより効果的になる、普及啓発なども含まれてくる。施設整備は施策を行う上で、インフラとして必要になってくる項目を含んだものである。以上のように、施策をさらに詳細に分類することで、比較・検討を行えるものとする。

表2-1 分類A

技術	技術開発に関連する施策 1) 低炭素型技術の開発に関わるもの 2) 技術の実証研究 3) 技術の導入可能性調査
ソフト	社会システムデザイン、普及啓発などに関連する施策 1) 土地利用、中心市街地活性化、交通システムデザイン 2) 教育活動、人材育成 3) カーボンオフセットの制度化 4) 優良企業表彰制度 5) 国際連携 など 6) 技術導入促進策（融資・補助金、企業誘致） など
その他	施設整備などに関連する施策 1) 緑地公園整備、コミュニティガーデンの設置 など

表2-2 分類Bと分類C

分類A	分類B	分類C
技術	再生可能エネルギー	太陽光、風力、水力、バイオマス、雪冷熱、その他
	トッランナー製品	住宅、家電製品、自動車、街路灯
	地域熱供給	—
	省エネ関連技術	—
	ごみ減量	—
	炭素固定 など	—
ソフト	普及啓発	環境教育、レジ袋削減 など
	交通システム	公共交通利用促進、レンタサイクルの実施 など
	都市計画	コンパクトシティ、土地利用など
	カーボンオフセット	—
	緑化	—
その他	施設整備	—

d. 施策実現へ向けた充実度の評価

次に、施策実現のためにどこまでやっているか（以後、属性と呼称する）について、以下の表2-3のように分類・評価する。この7項目の属性をどれだけ満たしているかが政策実現に向けての充実度であり、段階に応じて考察する。①と②は研究・開発に関する項目で、直接・間接の違いはあるが、新しい取り組みを推進するものである。③から⑤は導入に関する項目で、具体的に取り

組みを導入するためのモデルケースを作るためのものである。⑥や⑦に関しては、需要サイドと供給サイドに関する項目で、市場への普及を目的としたものである。以上のように、施策実現のための項目を属性として、施策ごとに属性数を整理することによって、施策の充実度を評価する。

表2-3 施策の属性

施策内容	ポイント
①研究・開発に着手	✓ ある取り組みの導入に対し、左記の施策がパッケージとして体系化されている場合は、実現可能性が高いといえる。 ✓ 単に⑥などの普及啓発のみを実施している場合などについては、施策効果は相対的に低いといえる。 ✓ ある技術を導入する際に各自治体がどのような施策体系を構築しているかを左記に示す施策の数によってチェックする。 1) 該当施策数1-2：施策効果→低 2) 該当施策数3-4：施策効果→中 3) 該当施策数5以上：施策効果→高
②開発の援助・促進（補助金・企業誘致・産学官共同研究の推進など）	
③導入のための実証試験・導入可能性評価など	
④導入のための社会システムデザイン、新規制度の創設など。	
⑤導入に必要なインフラ・施設整備	
⑥需要喚起のための普及促進（普及啓発、補助金、エコポイントなど。需要側への啓発）	
⑦認証制度の確立、優良企業の表彰制度の創設など（供給側に対する啓発）	

2) 仮想都市モデルによる人口配分とCO₂排出構造の分析

都市圏における人口配分とCO₂排出構造の関係を検討する。そのために都市の空間配置をどのように簡略化しつつ重要な要素を欠かすことなくモデルを構築できるかが鍵となる。地域の違いなどを考慮しつつ、仮想都市をどのような形でとらえるのかが大変重要である。都市間の通勤者数により決定された都市圏を仮想都市モデルのサンプルとして利用する。その際に、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」と定義する。また、それ以外の都市を都市圏における郊外として「周辺」と定義することにする。以下、「コア」、「周辺」はこの定義に基づくものとする。

仮想都市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。また、複数あるすべての周辺都市を扱うと本モデルに適合しない結果となったため、大都市の周辺に3つのかたまりがあるという特徴を踏まえ、周辺の最大値が3となるように周辺都市をまとめた上で、周辺に含まれる市町村数に応じて、20以上であれば3、10以上であれば2、10未満であれば1であると仮定した。さらに、人口集中地区(DID地区)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。

仮想都市モデルにおいては、都市圏を形成するものとして、人口、面積、昼間人口比、周辺の数、地域ダミーを設定する。なお、周辺の数とは都市域における周辺の個数であり都市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がある。この5つのデータを初期設定として、以下、仮想都市モデルのフローを考える。全体の大まかな流れをとらえたのが、図2-1に示すフローチャートである。フレームとしては、人口・面積などの分布を示した後、住宅延床面積・業務施設延床面積・通勤トリップなどの活動量をモデル内において推計し、地域別の原単位によりエネルギー消費量、さらにCO₂排出係数を乗じることで二酸化炭素排出量を推計する。また、地域別の原単位はエネルギー計量分析センター民生部門エネルギー消費実態調査の巻末資料をもとに作成した。地域別・建て方別・延床面積別にエネルギー消費量を整理し、その値を原単位として利用した。

図2-1のフローチャートにより、簡潔に人口配分に応じたCO₂排出量を推計する過程が示されている。

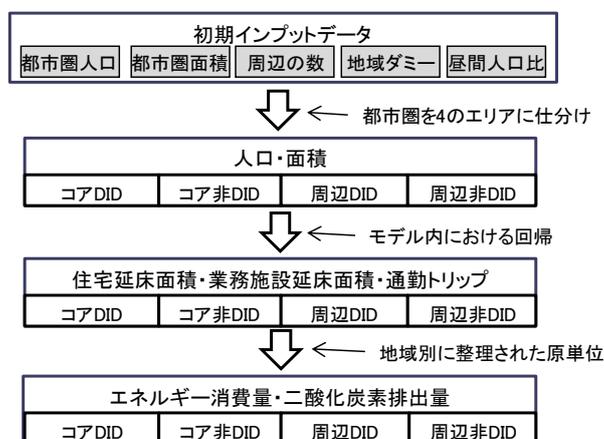


図2-1 モデルのフロー

3) 都市のエネルギー消費量、CO₂排出量分析評価モデルの構築

ある都市について、人口の規模・分布、経済特性、土地利用、住宅や各種施設の規模と配置、気候条件等の諸条件を仮想的に与え、エネルギー消費量、CO₂排出量等を推計・評価できるシステムを開発する。まず、業務部門と家庭部門に係るさまざまな社会経済的要素とGHG排出量について経験的に得られている原単位データ、対策効果等を体系的に収集・把握する。次いで、都市の諸条件を変化させ、エネルギー消費量、CO₂排出量等がどのように変化するかを数値実験し、様々な施策の効果を分析評価する。名古屋市都心を対象に、住宅やオフィスビル等の商業・業務建物の配置と構成、また容積率の変更等を仮想的に与え、それらの違いに伴う業務部門と家庭部門のエネルギー消費量の変化を分析する。さらに、地域冷暖房技術導入による運用効率改善方法を検討する。

(2) 低炭素型都市施策の効果の評価モデル(都市シミュレータ)の開発

サブテーマ1における低炭素技術の普及シナリオ、水・緑の配置によるコベネフィット(Co-benefit)の評価結果、サブテーマ3における建築物性能評価、街区レベルの対策効果等、様々な要素を1つのモデルに統合する共通の土台(解析プラットフォーム)を構築する。

本研究では、①都市の人口・世帯の動態を推計し、②住宅、商業・業務建物のライフサイクルを考慮しながら、③都市空間構造の再編を様々なシナリオによって表わし、④エネルギー消費量・

CO₂ 排出量を推計する。さらに、⑤建物屋上面と空閑地での太陽光発電量を推計し、⑥ここで得られた太陽光発電のエネルギー消費量・CO₂ 排出量の削減効果を④と比較することによって検討する。図 2-2 に、本モデルの概要を示す。まず①では、国勢調査のデータを用い、格子ごとに人口コーホートを用いて年齢別の人口を推計する。さらに、世帯主率法・家族類型（親族、非親族、単独）を考慮し、最終的に格子別・家族類型別にその世帯数を求める。次に②では、個々の建物属性の情報を持つ名古屋市の都市計画基礎調査（建物用途別現況）のデータを用いて、住宅の建て方・構造別のデータを格子単位で整備し、これらの属性別に住宅の廃棄を建物コーホート(解析対象集団)によって表す。これら人口・世帯の増減や住宅の寿命を考慮し、人口・世帯と住宅の量をバランスさせながら、新築される住宅の棟数並びに延床面積を決定する。

商業・業務部門の推計には、名古屋市の都市計画基礎調査（建物用途別現況）のデータを用いて、用途別の商業・業務建物の棟数並びに延床面積を格子単位で整備し、市の人口に比例して棟数を決定する。次に③では、推計された人口・世帯と住宅及び商業・業務建物を、集約化のシナリオに合わせて、住宅においては新築段階で、商業・業務建物においては人口分布の変化に合わせて、特定の地区に配置する。例えば、都市構造を集約する場合には、人口・世帯や住宅及び商業・業務建物が駅周辺に集約するように設定する。次に④では、③の都市空間構造のシナリオに合わせて民生部門（家庭部門と商業・業務部門）から発生するエネルギー消費量・CO₂ 排出量を推計する。さらに⑤では、③の都市空間構造のシナリオに合わせて、建物屋上面や空閑地に太陽光パネルを設置した場合の発電量を推計する。最後に⑥では、太陽光発電によって得られた電気を先に求めた④のエネルギー消費量から減ずることによって太陽光発電による削減効果を算出し、さらにこれを CO₂ 排出量に換算することで削減効果を太陽光発電のポテンシャルとして推計する。なお、解析空間単位は、基準地域メッシュ（第 3 次地域区画）を緯線方向、経線方向に 2 等分してできる 2 分の 1 地域メッシュ（一辺約 500m）を用い、入力する全てのデータはこの空間単位

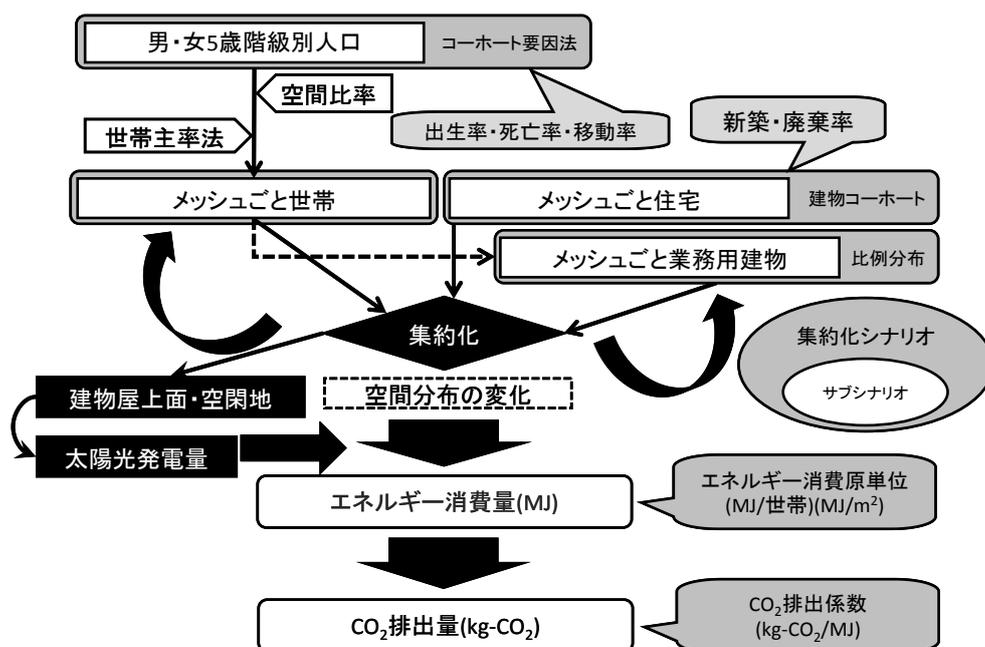


図2-2 本モデルの概要

に整理する。

平成20年度・21年度は、特に、都市内での住宅やオフィスビル等の商業・業務建物の配置に着目し、集中・分散の形態と程度に伴う民生部門のCO₂排出量の変化を分析した。さらに、建物に導入可能な技術対策の導入効果も評価した。同様に、都市の集中・分散の形態の変化や技術対策による運輸部門(旅客交通部門のみ)でのCO₂排出量の削減効果を検討した。エネルギー消費、CO₂排出量の評価に加え、都市形成に伴う建物の投入・使用・蓄積・廃棄の物質ストック、フローの量も把握した。

22年度は、前年度までに開発してきた都市シミュレータの拡張と、さらにはそれを他都市に適用することによって、都市規模や人口・建物などの空間配置の違い、また気候・地形等の自然条件の異なる都市において、どのような対策が有効かを、特に運輸部門(旅客交通部門のみ)において検討する。さらに、都市空間を有効に利用していくため、集約化によって発生する空閑地に太陽光発電を導入した場合のCO₂排出量の削減効果を分析する。

4. 結果・考察

(1) 低炭素型都市理論の構築

1) 都市の地域特性と施策の関係についての評価

前述したデータを多変量解析によって分析することで、都市の類型化を行った。その結果を表2-4に示す。自然類型は7種類、産業類型は5種類、社会類型は4種類である。また、東京、名古屋、大阪の三大都市圏について、産業類型、社会類型がどのように分布しているのかを通じて、地域構造の違いをどの程度再現しているかを検討する。図2-3の(a)~(c)は、3大都市圏の産業類型、社会タイプの分布図である。

まず、社会類型に関する共通点については、どの地域においても社会類型がある程度、「大都市域」を中心に、「都市域」、「中規模市町村域」、「小規模市町村域」というように、同心円帯状に分布していることがわかる。

他方、(a)~(c)における相違点は、(a)関東は「大都市域」がほかに比べて非常に大きいことがあ

表2-4 地域類型表

社会類型 産業類型	大都市域					都市域					中規模市町村域					小規模市町村域				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
自然類型																				
都市平地地域	千代田区 豊島区 横浜市 名古屋市 (25)	川崎市 (49)	(6)		(5)	つくば市 熊本市 (12)	堺市 (117)	(76)		(18)		(7)	(38)	(7)	(3)				(2)	(3)
内陸山間地域	京都市 (1)	(2)				静岡市 (10)	(73)	豊田市 (53)		(17)		(32)	(88)	(93)	(13)	(12)	(3)	橈原町 (68)	(13)	
高地地域						(3)	(5)	(10)			(1)	(9)	(19)	(46)	(7)		飯田市 (4)		(52)	(3)
日本海沿岸多雪地域						富山市 (6)	(10)	(5)		(1)		(2)	(15)	(22)	(2)		(4)		(11)	(2)
北日本寒冷地域						帯広市 青森市 (7)	(27)	(7)	(8)	(12)		(12)	(16)	(93)	(8)	(1)	(7)		下川町 (155)	(14)
暖流沿岸地域	(1)					広島市 北九州市 鹿児島市 (19)	(30)	(12)	(1)	(14)		(11)	(7)	(22)	(8)		水俣市 (30)	(4)	(82)	新宮市 (44)
南西諸島地域	(1)					(2)	(7)	(1)	(2)	(6)				(3)					(29)	宮古島市 (6)

(注1)A：業務中核都市型，B：業務衛星都市型，C：製造業中心型，D：公共事業中心型，E：地方中核都市型

(注2)かつこ内は市区町村の数を示す。(注3)太字の都市は環境モデル都市として採択された市町村である。

げられる。これは、東京の23区と横浜市や川崎市などの政令指定都市を結ぶ公共交通機関が発達し、この地域が一体となって大きな人口集中地域を形成しているからだと考えられる。逆に、名古屋都市圏では、分析の結果「大都市域」に分類されたのは、名古屋市だけである。このことは、地下鉄の整備は名古屋市だけに限られ、近隣の都市圏との公共交通ネットワークの充実度が他の二つの都市圏と比べると低く、自動車への依存度が高いことを意味している。

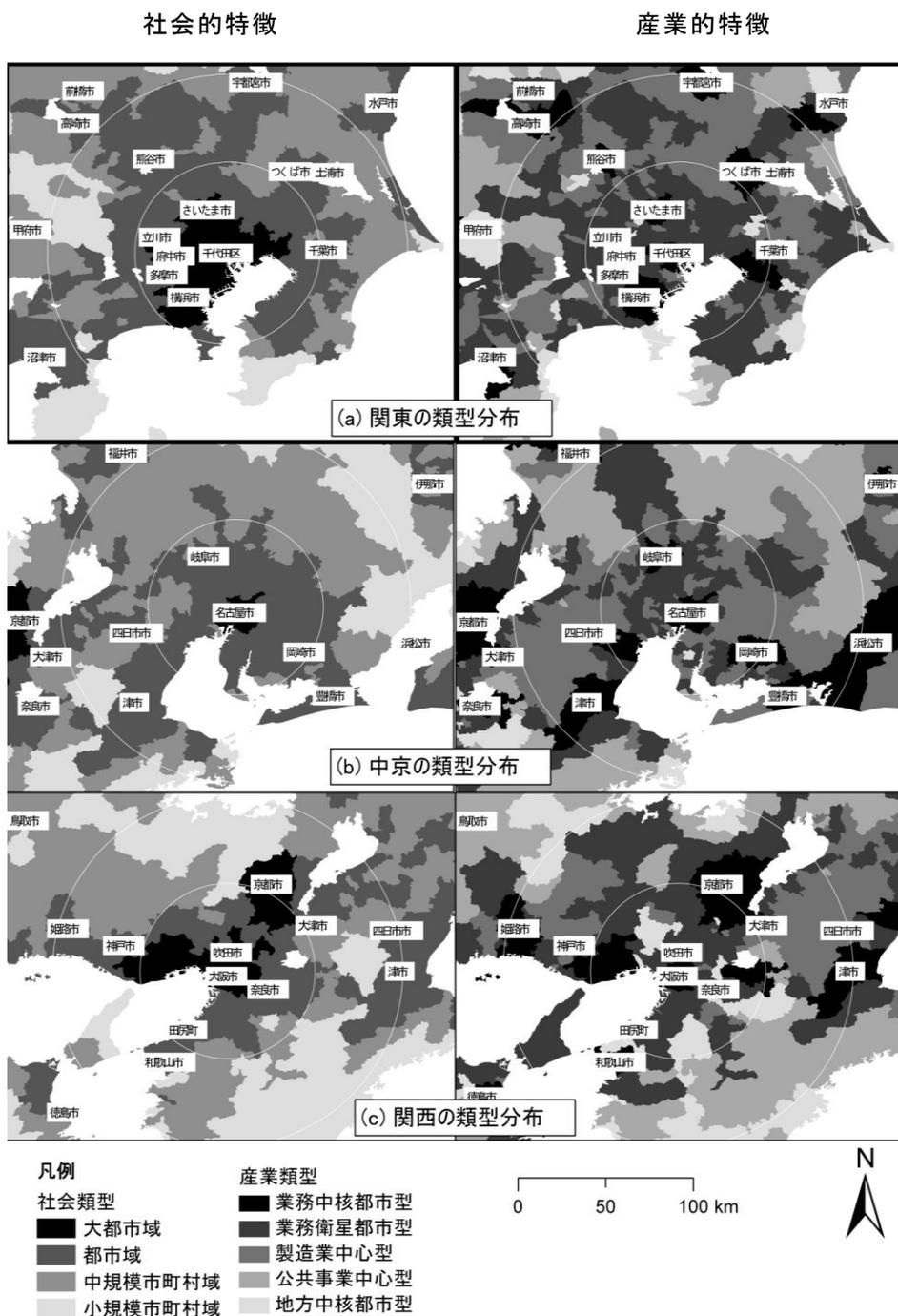


図2-3 3大都市圏における地域構造の比較

表 2-5 施策の属性別構成割合 [%]

		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	緑化	啓発
大都市	横浜市	13.16	13.16	18.42	18.42	2.63	18.42	5.26	0.00	2.63
大都市	千代田区	6.25	0.00	12.50	37.50	25.00	12.50	6.25	0.00	0.00
大都市	豊島区	0.00	0.00	23.08	23.08	30.77	15.38	0.00	7.69	0.00
大都市	名古屋市	8.11	5.41	37.84	10.81	8.11	5.41	2.70	5.41	5.41
大都市	大阪	8.33	8.33	8.33	25.00	8.33	0.00	0.00	25.00	0.00
大都市	吹田	0.00	3.45	3.45	17.24	13.79	10.34	0.00	6.90	20.69
中都市	相模原市	0.00	9.09	9.09	9.09	45.45	9.09	0.00	0.00	0.00
中都市	大垣市	0.00	9.09	9.09	0.00	9.09	18.18	4.55	18.18	13.64
中都市	多治見市	0.00	5.56	16.67	0.00	5.56	5.56	0.00	16.67	0.00
中都市	近江八幡市	6.25	0.00	12.50	18.75	31.25	12.50	0.00	6.25	6.25
中都市	長岡京市	0.00	5.00	10.00	5.00	0.00	0.00	0.00	40.00	20.00
中都市	京5市町	0.00	0.00	18.18	18.18	0.00	27.27	0.00	18.18	9.09
小都市	新宮	21.43	0.00	14.29	28.57	0.00	0.00	0.00	28.57	7.14
小都市	香南・香美	7.14	0.00	0.00	42.86	7.14	0.00	14.29	0.00	7.14
小都市	佐伯	29.41	11.76	11.76	11.76	0.00	0.00	0.00	11.76	17.65

- ①. 技術開発、事業化、制度化 ②. 開発援助（補助金、産学官共同など） ③. 実証実験、モデル事業、可能性調査
 ④. 導入のための社会システムデザイン、制度創設 ⑤. 導入のためのインフラ・施設整備
 ⑥. 需要側への啓発・普及促進（エコポイントなど） ⑦. 供給側への啓発（表彰制度、技術認定制度など）

次に、産業類型について見ると、どの都市圏も概ね、各都市圏の中心から、概ね 40km～60km ごとに「業務中核都市型」が出現している。しかし、(a)～(c)を比較すると、名古屋都市圏では、中心から 50km 圏内の都市について「業務衛星都市」に分類された都市の割合が、他の都市と比較すると少なく、その代わりに「製造業中心型」に分類された市区町村が比較的多いように見える。

先述したとおり、名古屋都市圏で自動車への依存が東京圏、大阪圏に比べて高い。これは、立地した産業により、必然的にもたらされた結果なのか、或いは都市政策によって回避され得る問題だったかを検討することは、重要である。その知見は、都市化が今後進行する途上国における低炭素社会に向けての政策を検討する際に役立つと考えられる。

今後、経済成長にともなう、産業構造、都市の空間構造、都市政策及び CO₂ 排出構造の関係を詳しく検討する必要がある。

以上のように、本章では、多変量解析を用いて都市の類型化を行い、地域類型表を作成した。自然類型、産業類型、社会類型はそれぞれ、7 種類、5 種類、4 種類であり、その組み合わせにより、86 種類に全国の市町村を類型化した。

a. 施策分類別の施策数

図 2-4 に環境モデル都市提案書に示されたすべての施策を分類別にまとめた。内側の円グラフは分類 A を示し、外側の円グラフは分類 B を示す。

まず、分類 A については、技術とソフトではソフトの方が 2 倍程度大きく、また、その他の施策数は少なかった。投資が比較的小さくてすむソフトによって削減を図ろうという全国的な意図がうかがえる。

次に、分類 B についてである。技術では、再生エネルギーに関するものが大きい。これは、温

暖化ガス排出の上流側、エネルギー転換部門における削減を図ろうという取り組みであり、地域に賦存する未利用エネルギーの利用促進を図るものである。続いて、トップランナー製品、省エネルギー関連があり、イノベーションによる削減が期待されていることがわかる。ソフトに関しては、普及・啓発や交通システムが多くを占めている。また、緑化や都市計画など、土地利用による削減効果を期待したものもある。その他では、施設整備は再生エネルギーや交通整備で、上述した技術やソフトの効果を発揮するためのインフラを供給するねらいがある。

全国的な傾向としては、施策の数としては技術では再生可能エネルギー、ソフトでは普及・啓発に関するものが多い。しかし、これらは提案の施策数で見た場合であり、実際の施策の充実度に関しては別の指標による考察が必要である。

b. 施策の属性別の評価

表 2-1 で示した、地域類型表に環境モデル都市に応募した 82 自治体をあてはめたものを見ると、ある程度自治体の分布に偏りが見られる。3つの観点から類型化し、140通り（自然類型7通り×社会類型4通り×産業類型5通り）ある条件下で都市を選定し、それらが属する条件での温暖化対策の傾向を見る。

実際に地域類型表から自治体を選定する際には、82自治体中の5つ以上の自治体が含まれ、自然類型・産業類型・社会類型の組み合わせが全て異なる組み合わせを選定した。結果としては、千代田区、豊島区、横浜市、名古屋市、大阪市、吹田市、近江八幡市、長岡京市、京阪5市町（木津川市、精華市、四條畷市、交野市、生駒市の連携）、相模原市、大垣市、多治見市、新宮市、香南市・香美市、佐伯市の15自治体を選び出された。

そしてそれらの自治体の全施策を、表 4 で述べた施策の属性という観点から相対比較し、各属性を持つ施策を自治体の全施策における割合で表 5 に示した。なお、先に述べた7項目の他、CO₂を定着させるための緑化と、施策の方向性のみを示し具体性のない啓発を例外的に項目として分けた。各属性の上位3都市については網掛けをした。

表 5 から得られる傾向を以下にまとめた。

大都市では、③から⑤の導入に関する属性の割合が大きく、特にモデル事業の割合が大きい。モデル事業はある程度の技術と資金がないと取り組めない内容であり、先駆的事例を都市域内で数多くしていくことで、削減をねらっている。また、インフラや施設整備にも取り組んでおり、それだけの資金があることを示しており、大規模な開発による効果が期待されている。小規模都市は、ほとんどの場合豊富な自然資源を利用したバイオマスエネルギー

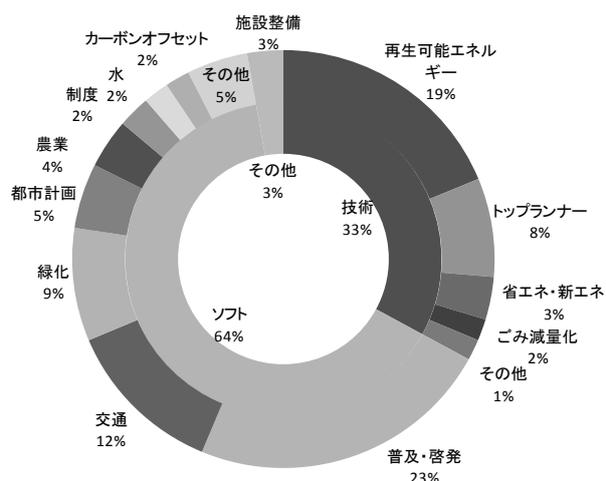


図 2-4 施策分類別の施策数

を中心とした要素技術の開発の割合が高いが、資金がないため導入策の充実においてはその割合が小さい。そのため資金のかからない制度創設や具体的でない普及啓発の項目が他より多い。中規模都市の対策は、分類の上での特徴は弱く、様々なものに手を付けている印象を受ける。温暖化対策の中にも地域独自性を取り入れようとする姿勢が多くみられるが、実現性がないものが多い。

c. 地域類型別の傾向について

地域類型別に施策分類の施策数を示す。ここでは、類型される自治体が比較的多かった、都市平地地域・業務中核都市型（A）・大都市域、日本海沿岸多雪地域・業務中核都市型（A）・都市域、北日本寒冷地域・公共事業中心型（D）・小規模都市域の3種類を取り上げた。

表6に都市平地地域・業務中核都市型（A）・大都市域の施策例を示した。技術では、全国と同様に、再生可能エネルギーやトップランナー製品の割合が大きい。地域熱供給が続いており、施設整備の施策と併せて、面的なエネルギー利用を促進することがわかる。ソフトでは、普及・啓発の環境教育やエコポイントの割合が大きく、市民活動の効果的な利用がわかる。また、交通システムでは、公共交通の利用促進と輸送システムの改善があり、特に都市内の輸送の混雑緩和が図られている。

表 2-6 都市平地地域・業務中核都市型(A)・大都市の施策例

分類A	分類B(分類C)	数	割合
技術	再生可能エネルギー(廃熱利用・太陽光)	24	53.3%
	トップランナー製品(住宅・オフィス)	17	37.8%
	地域熱供給	4	8.9%
	合計	45	100%
ソフト	普及・啓発(環境教育・エコポイント)	37	53.6%
	交通システム(公共交通・輸送システム)	22	31.9%
	緑化(屋上緑化)	10	14.5%
	合計	69	100%
その他	再生可能エネルギー(廃熱利用)	2	50.0%
	街区整備	1	25.0%
	交通整備	1	25.0%
	合計	4	100%

表 2-7 に日本海沿岸多雪地域・業務中核都市型（A）・都市域の施策例を示した。まず、ソフトが全体の半分を占めていることがわかり、その中でも交通に関する割合がとても大きい。公共交通とコンパクトシティによる都市構造の転換に集中している傾向がよくわかる。また、技術の面では、大規模なものより比較的小規模なあまり投資コストのかからない施策が多い。これらから、この類型では、大規模な開発をするよりも、システムの転換による削減ポテンシャルのほうが効率的であることがわかる。特に表6と比較することで、その傾向が見て取れる。

表 2-7 日本海沿岸多雪地域・業務中核都市型(A)・都市域の施策例

分類A	分類B(分類C)	数	割合
技術	ト ッ プ ラ ン ナ ー 製 品	5	35.7%
	再 生 可 能 エ ネ ル ギ ー (中 小 水 力 発 電)	4	28.6%
	省 エ ネ (融 雪 効 率)	2	14.3%
	合 計	14	100%
ソフト	交 通 シ ス テ ム (公 共 交 通)	11	34.4%
	都 市 計 画 (コ ン パ ク ト シ テ ィ)	9	28.1%
	普 及 ・ 啓 発 (レ ジ 袋 削 減)	7	21.9%
	合 計	32	100%
その他	交 通 整 備 (L R T)	2	100%
	合 計	2	100%

表 8 に北日本寒冷地域・公共事業中心型 (D)・小規模都市域の施策例を示した。この類型では技術の割合がソフトよりも大きく、表 4 に示した全国のカテゴリと比較しても技術の割合の大きさが理解できる。また、施設整備に関しても割合としてかなり大きい。小規模市町村であるために、経済活動があまり盛んでないことや既存の施設の不足などがあり、新しい技術を導入することへの期待度が大きいことがわかる。また、豊富な自然エネルギーを利用し、エネルギー自給自足を推進することによって、大きな削減効果を打ち出している。

表 2-8 北日本寒冷地域・公共事業中心型(D)・小規模都市域の施策例

分類A	分類B(分類C)	数	割合
技術	再 生 可 能 エ ネ ル ギ ー (バ イ オ マ ス ・ 風 力)	19	79.2%
	ト ッ プ ラ ン ナ ー 製 品 (ハ イ ブ リ ッ ド ・ 電 気 自 動 車)	3	12.5%
	合 計	24	100%
ソフト	緑 化	7	31.8%
	普 及 及 啓 発	5	22.7%
	カ ー プ ー ン オ フ セ ッ ト	4	18.2%
	合 計	22	100%
その他	再 生 可 能 エ ネ ル ギ ー	2	40.0%
	緑 化	1	20.0%
	農 業	1	20.0%
	合 計	5	100%

以上のように、施策分類別の施策項目は、全国ベースで見た場合と、都市類型別に見た場合で、異なっていることがわかる。全国一律の施策でなく、地域の特性に応じた施策を決定することが重要であり、そのためのツールを示した。

2) 都市圏における人口配分とCO₂排出構造の関係

a. 転居シナリオ

周辺からコアへ転居させるシナリオを考える。周辺の戸建てからコアの共同住宅に集住させる仮定をおく。コアの人口に対して転居させる人口の割合を転居割合とする。ここでは、初期インプットを、名古屋市都市圏相当の人口1000万人、都市域10000km²の都市圏Aと、札幌市都市圏相当の人口400万人、面積5000km²の都市圏Bの2種類のものについて扱う。転居に伴う、コアと周辺の人口密度の変化について述べる。

都市圏Aでは都市圏の規模が大きいので、コアの人口に対して周辺の人口が大きい。よって転居は100%までも可能であり、コアの人口密度は大きな傾きで変化するが、周辺の人口密度はあまり影響を受けずほとんど変化しない。一方で、都市圏Bでは都市圏の規模がそれほど大きくはないので、20%転居させたところ、周辺の人口は大きく減少し、人口密度は激しく低下した。

次に、人口密度の変化に対して、二酸化炭素排出量の変化を部門ごとに検証する。同様に都市圏A、都市圏Bを対象とし、その関係を図2-5に示す。

図2-5から、都市圏Bにおける削減量は、都市圏Aと比較して大きいことがわかる。特に交通量の削減が大きい。これには、人口密度が低いために、自動車の分担率が大きいことから、転居による通勤者数の削減が大きいことが理由として考えられる。

b. 技術導入シナリオ

次に、ここでは、技術導入によるCO₂排出量削減ポテンシャルを推計する。導入する技術は高島(2009)を参考に選択し、CGS（コージェネレーションシステム：吸式冷凍機あり）、CGS（吸式冷凍機なし）、ヒートポンプ給湯器、太陽光パネルの4種類がある。図2-6にCGS（吸式冷凍機あり）を導入したときの削減ポテンシャルを示す。CGS（吸式冷凍機あり）は業務施設に導入するとし、コアだけに導入した場合と周辺にも導入した場合について、導入割合を変化させて削減効果の変化を調べる。

対象とした都市は都市圏Aである。100%導入したときの削減効果は、コアのみの場合9.3%コア・周辺ともに導入した場合の削減効果は27.4%である。ただし、それほどの導入は見込めないもので、実際はそれほどの削減効果はないと考えられる。

転居シナリオと技術導入シナリオを比較すると、大都市圏においては技術導入が進むことによるCO₂排出削減の効果は大きいと考えられる。しかし、転居による影響もある程度あるため、併用して導入すると効率がよいと考えられる。一方で、中規模から大規模にかけての都市圏は、転居による効果はかなり大きかった。このような都市圏は集約化を進めることによってエネルギー効率が増大し、二酸化炭素排出削減が期待できることがわかる。これらの結果から、技術導入と人口配分の変化を同時に進めることが必要であり、現状の人口密度により技術導入の程度と人口配分の変化の程度の組み合わせが異なることが示唆された。また、都市の集約化とCGS導入を比較して考察しているが、例えば費用に対するCO₂排出量の削減効果といった、統一的な指標による比較ができなかった点は今後の課題である。

3) 都市のエネルギー消費量分析評価モデルの構築

名古屋市における都心のオフィスビル配置を現状維持とした場合と、容積率上限まで建設が行われた場合の2ケースを想定し、計算した。都市形態を指標とした「無対策ケース」について、都市形態とエネルギー消費の関係を評価した。

各結果を図7、図8に示す。結果として、①都市中心部では、業務建物のうちオフィス建物が最も多く、冷房需要に対する対策が有効である。②オフィスから住宅への用途変更を想定した場合、商業施設や病院、学校等の業務系建物分布が変化し、結果として暖房・給湯需要が多くなる。③都市中心部に容積率上限まで建設を見込むと、エネルギー消費量を現状より削減することは困難であることがわかった。そのため、用途変更の制御方法を検討することで、地区における冷熱・温熱の負荷平準化を考慮することができる。さらに、地域冷暖房技術導入による運用効率改善が見込まれるため、地域エネルギー予測が可能になった

けでなく、中長期的な人口増減に対応したエネルギー削減手法を立案できるようになった。

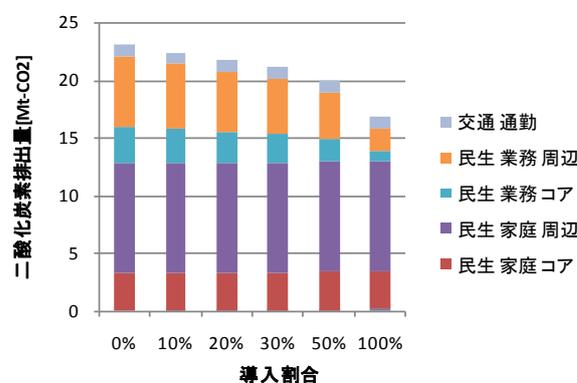
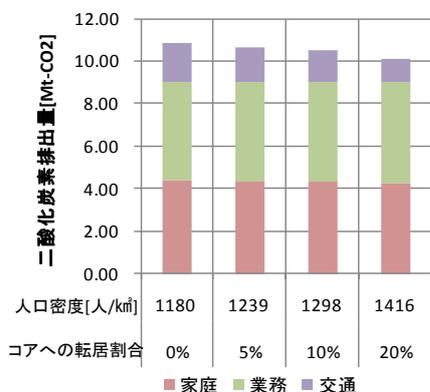
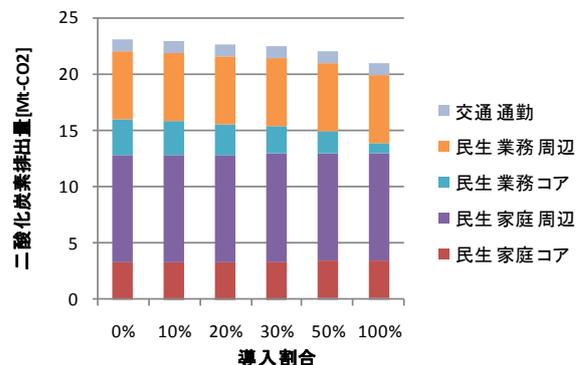
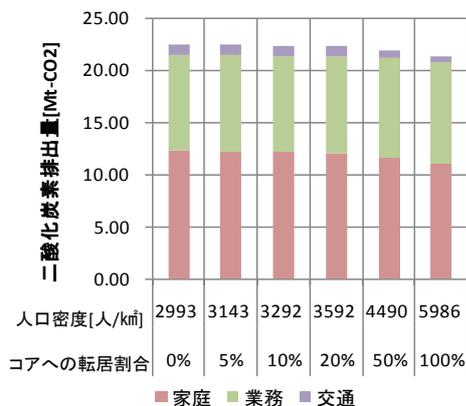


図2-5 人口密度の変化と二酸化炭素排出量の関係 (上: 都市圏A 下: 都市圏B)

図2-6 CGS (吸式冷凍機あり) 導入時の排出量 (上: コアのみ 下: コア, 周辺ともに)

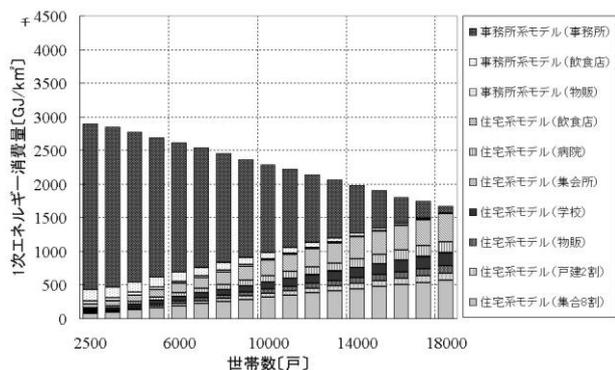


図2-7 1次エネルギー消費予測 (現状維持)

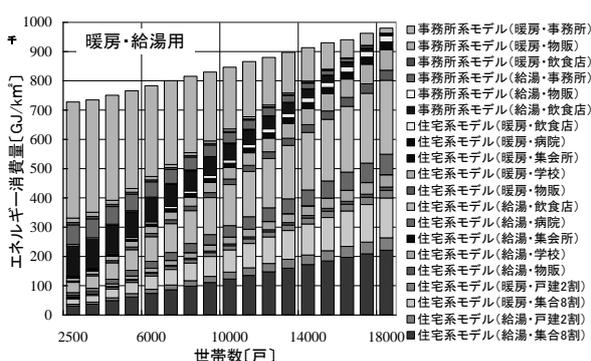


図2-8 暖房+給湯需要予測 (維持維持)

この結果、1次エネルギー消費量は、図7より世帯数増加に伴い減少することがわかる。さらに、世帯数増加に伴い、暖房・給湯需要は増加が予想され(図8)、負荷平準化の観点から検討すると、冷熱(冷房)と温熱(暖房・給湯)需要が同量となる世帯数4000戸/km²が適切であると考えられる。

(2) 低炭素型都市施策の効果の評価モデル(都市シミュレータ)の開発

名古屋市を対象として、都市シミュレータの適用を行った。都市空間構造と太陽光発電導入のシナリオの概要を表 2-9 に示す。表 2-10 に、2050 年における全シナリオの結果及び 2000 年比における CO₂ 排出量削減効果の割合をまとめる。

表2-9 都市空間構造と太陽光発電導入のシナリオ

シナリオ	都市空間構造	太陽光発電	
		建物	空地
シナリオ①	非集約	×	×
シナリオ②	集約化	×	×
シナリオ③	非集約	○	×
シナリオ④	集約化	○	×
シナリオ⑤	非集約	×	○
シナリオ⑥	集約化	×	○
シナリオ⑦	非集約	○	○
シナリオ⑧	集約化	○	○

注) ○は太陽光発電を導入する場合であり、×は導入しない場合である。
集約化とは、名古屋市が環境モデル都市の提案書で示した駅そば居住を前提としている。
空地への太陽光発電の導入率は50%に設定している。

表2-10 都市空間構造と太陽光発電のシナリオ結果 (2050年)

	シナリオ①	シナリオ②	シナリオ③	シナリオ④
CO ₂ 排出量(千t)	6180.926	5823.648	5239.414	5260.672
削減割合 (%)	8%	13%	22%	22%
	シナリオ⑤	シナリオ⑥	シナリオ⑦	シナリオ⑧
CO ₂ 排出量(千t)	5742.219	3825.94	4800.707	3262.964
削減割合 (%)	15%	43%	29%	51%

1) 人口・世帯の推計結果

図 2-9 に、名古屋市の人口と世帯及び 1 世帯あたり構成人数の結果を示す。名古屋市の人口は、2000 年の 224 万人から 2015 年の 233 万人まで増加し、その後低下し、2050 年には 199 万人程度となる。また世帯は、2000 年の 92 万世帯から 2020 年の 101 万世帯まで増加し、その後低下し、2050 年には 88 万世帯となる。人口に比べて世帯の減少が少ないのは、世帯主と成り得る比較的年齢の高い人口が増加することに起因している。この人口と世帯の結果から、1 世帯あたり構成人数を推計すると、2000 年の 2.45 人/世帯から 2050 年の 2.26 人/世帯となり、核家族化が進むことを表わしている。

2) 住宅・商業・業務建物の推計結果

図 2-10 に、都市空間構造シナリオ別の建物の延床面積の結果を示す。この結果、非集約型の場合、2020 年頃までは人口や世帯が増加することによって延床面積も増加し、その後減少していく。ただし、住宅の延床面積は居住している住宅だけを対象に集計したものであり、実際には空き家となって存在している住宅が多く存在するため、この延床面積を含めるとさらに多くなる。この

空き家の延床面積は 2050 年においておよそ 5300 万 m^2 になる。分散集約型の場合は、周辺地域から比較的中心地域に集約され、また非木造集合のサンプル住宅に移り住むことによって 1 世帯あたりの延床面積が抑制され、延床面積は大幅に減少する。これによって、比較的分散し戸建住宅に多く住んでいた人が集約することでエネルギー消費や CO_2 排出量の削減が見込めると考えられる。

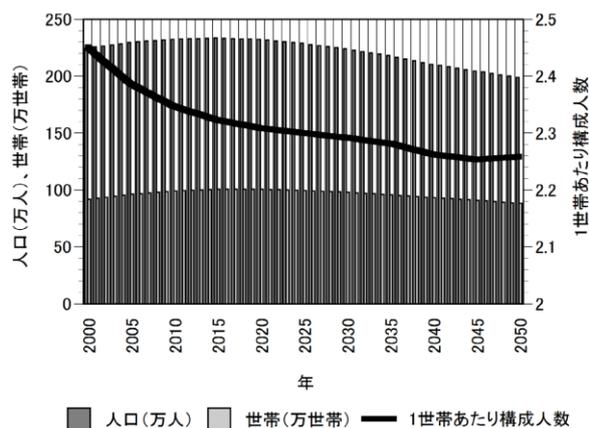


図2-9 名古屋市の人口と世帯及び1世帯あたり構成人数の推移

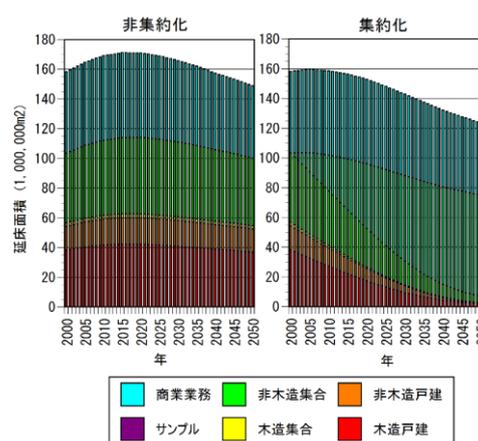


図2-10 都市空間構造シナリオごとの延床面積
注) 図中の住宅の延べ床面積は、居住している住宅を対象にカウントしており、空き家は含まれていない。

3) 空閑地の推計結果

図 2-11 に、都市空間構造シナリオごとの名古屋市全体の空閑地面積割合を示す。この結果、非集約化の場合、空閑地面積割合は、2000 年の 7% から 2020 年頃まで 4% 程度低下し、その後若干の増加傾向に転ずるものの、2050 年には 5% 程度に留まる。この結果は、人口・世帯の変化に起因しているものの、名古屋市の東側では戸建住宅の開発が進んでいること、また比較的若年層が多く住んでいるため、この地域での世帯主の増加と更なる戸建住宅の開発から 2050 年の空閑地面積割合は 2000 年のそれより若干小さくなる。この結果、都市空間構造を現状と同じような非集約型で進めた場合、2050 年の空閑地面積は現状とほぼ同じかそれより小さくなることが考えられる。一方、集約化の場合、空閑地面積割合は 2000 年の 7% から 2050 年の 20% に増加する。そのため、空閑地面積は集約化の場合、将来にかけて大幅に発生することがわかった。

4) 都市空間構造の変化と太陽光発電の導入による CO_2 排出量削減効果ポテンシャルの推計結果

図 2-12 に、①・②のシナリオの結果を示す。これらのシナリオは、都市空間構造の変化は考慮するものの太陽光発電は導入しない場合のシナリオの結果を表す。この結果、どのシナリオ下においても、人口・世帯の増加により 2015 年まで CO_2 排出量は増加するもののその後低下傾向になる。2050 年における CO_2 排出量は 2000 年のそれと比較して、非集約化の場合で約 8% 低下し、この低下は人口・世帯の低下などに起因している。一方、集約化の場合は 13% 程度低下し、集約化

の効果は約 5%（シナリオ②－シナリオ①）であることがわかった。図 13 に、③・④のシナリオの結果を示す。これらは、都市空間構造の変化に加え太陽光発電を建物に導入した場合のシナリオの結果を表す。この結果、2050 年において、非集約化と集約化で約 22%の CO₂ 排出量削減効果が得られることがわかった。これは、集約化によって、戸建住宅から比較的規模の大きな集合住宅に住み替えが進み、この結果太陽光発電の導入が可能な屋根面積が減ることに起因している。さらに、太陽光発電の導入による CO₂ 排出量削減効果を見ると、非集約化の場合は約 14%（シナリオ③－シナリオ①）、集約化の場合は約 8%（シナリオ④－シナリオ②）であることがわかった。

図 2-14 に、⑤・⑥のシナリオの結果を示す。これらは、都市空間構造の変化に加え太陽光発電を空閑地に導入した場合のシナリオの結果を表す。この結果、非集約化の場合は約 15%、集約化の場合は約 43%の CO₂ 排出量削減効果があることがわかった。これは、空閑地が多く発生する集約化シナリオにおいてその効果が高いことがわかる。さらに、太陽光発電の導入による CO₂ 排出量削減効果を見ると、非集約の場合は約 7%（シナリオ⑤－シナリオ①）、集約化の場合は約 30%（シナリオ⑥－シナリオ②）であることがわかった。

図 2-15 に、⑦・⑧のシナリオの結果を示す。これらは、都市空間構造の変化に加え太陽光発電を建物に導入しさらに空閑地に導入した場合のシナリオの結果を表す。この結果、非集約化の場合は約 29%、集約化の場合は約 51%の CO₂ 排出量削減効果があることがわかった。さらに、太陽光発電の導入による CO₂ 排出量削減効果を見てみると、非集約の場合は約 21%（シナリオ⑦－シナリオ①：シナリオ③による効果約 14%＋シナリオ⑤による効果約 7%）、集約化の場合は約 38%（シナリオ⑧－シナリオ②：シナリオ④による効果約 8%＋シナリオ⑥による効果約 30%）であることがわかった。

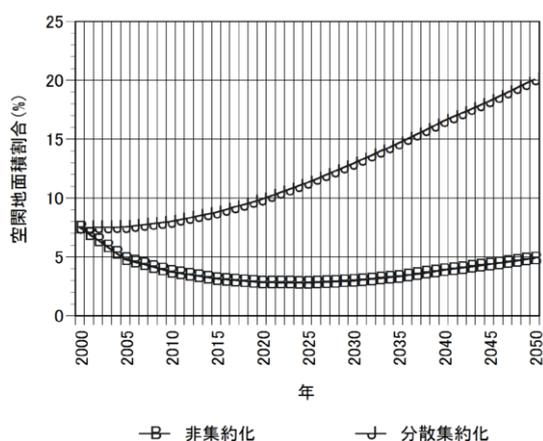


図2-11 都市空間構造シナリオごとの空閑地面積割合

注)分散集約化のサンプル住宅は5階建と設定。

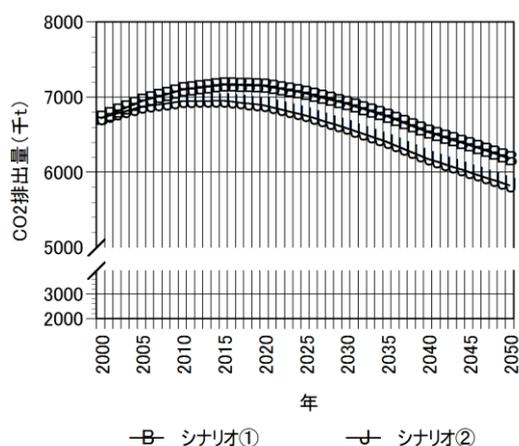


図2-12 シナリオ①・②の結果

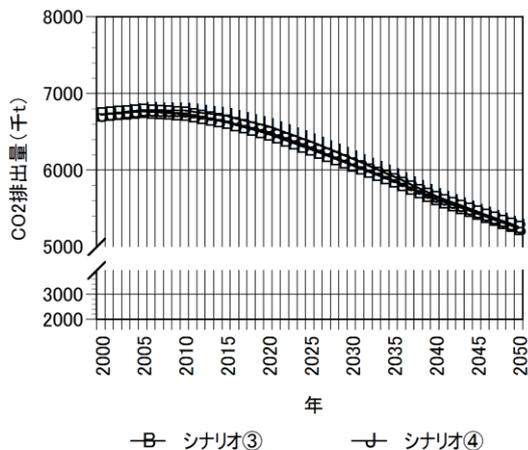


図2-13 シナリオ③・④の結果

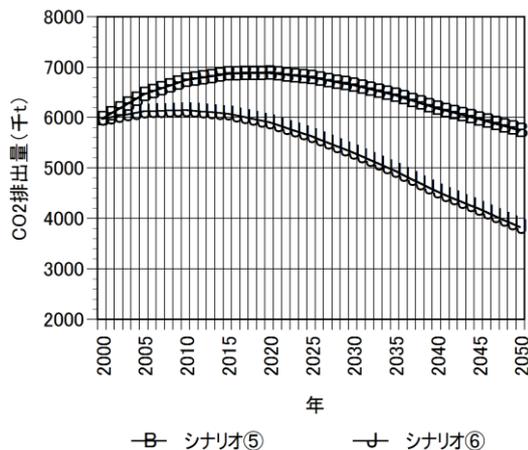


図2-14 シナリオ⑤・⑥の結果

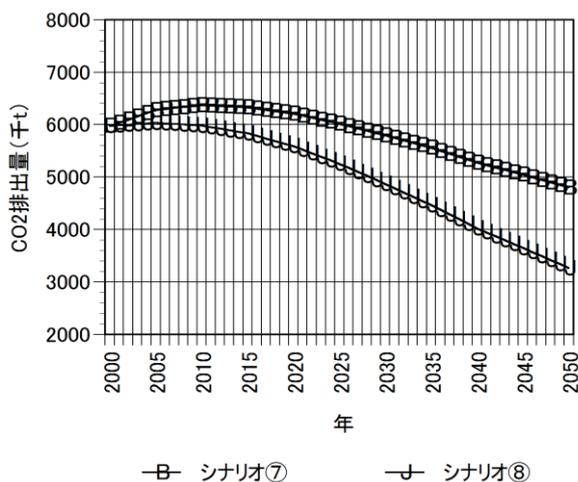


図2-15 シナリオ⑦・⑧の結果

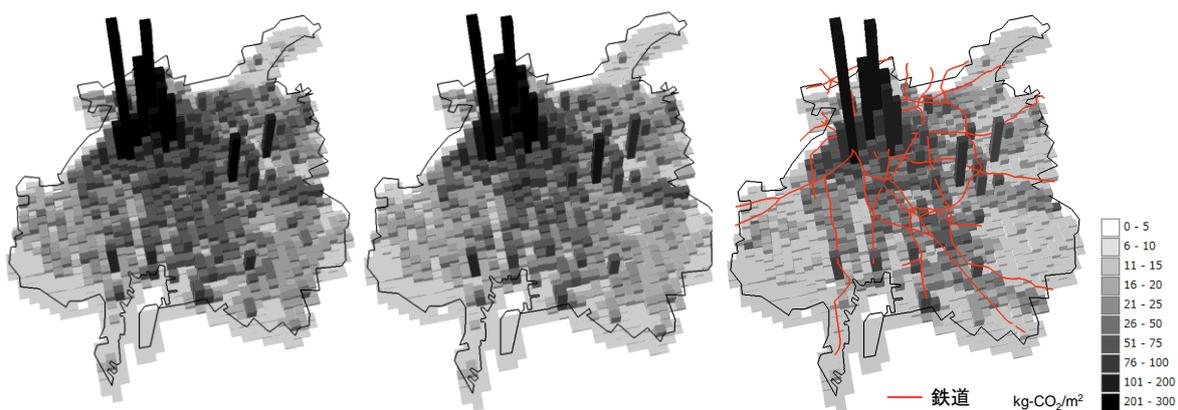


図2-16 2050年におけるシナリオ①（左），シナリオ⑦（中），シナリオ⑧（右）のCO₂排出量の空間分布

ここで図 2-16 に、2050 年におけるシナリオ①、シナリオ⑦、シナリオ⑧の CO₂ 排出量空間分布を示す。この結果、CO₂ 排出量は名古屋市の中心区である中区などで多く、この大半は商業・業務の

建物からの排出に由来している。さらに、シナリオ①とシナリオ⑦を比較すると、都市の空間構造は変化していないものの太陽光発電を建物と空閑地に導入した結果、排出が削減されていることがわかる。一方、シナリオ⑧は都市空間構造が集約されたことによって、その空間的な排出先も駅周辺に移り、またその量も太陽光発電の導入で削減されていることがわかる。

上記のシナリオの結果をまとめると、概して、非集約化の場合は建物に太陽光発電を導入するのが空閑地に導入するよりも効果的である。集約化の場合は、空閑地に導入するのが建物に太陽光発電を導入するよりも効果的である。都市空間構造間でのシナリオの結果を比較すると、非集約化で建物に太陽光発電を導入した場合と都市構造を集約化した場合、前者の方が、CO₂排出量削減効果が高いことから、都市空間構造の改変といった比較的困難とされる削減方法を選ぶよりも、太陽光発電の導入を促進する方が効果的であると考えられる。しかしこれは、住宅では新築段階に、商業・業務建物には2050年で100%太陽光発電が導入されるという比較的高い導入率を仮定した場合であり、その導入の程度によっては都市空間構造の集約化の方が太陽光発電の導入よりも効果的である可能性がある。今後、こうした導入率を変化させた場合の効果をさらに厳密に検討していきたい。さらに、集約化を行い空閑地に太陽光発電を導入すると高いCO₂排出量削減効果が得られるため、太陽光発電の導入率及び集約率によっては、非集約化で建物に太陽光発電を導入した場合よりも高い効果が得られる可能性がある。これについても、導入率や集約率を検討することで、その効果をさらに厳密に見積もっていきたい。

4) 地方都市圏への適用

平成21年度までは、名古屋市を対象に、都市空間構造の再編や省エネ技術の導入によるCO₂排出量の削減効果を、民生部門及び運輸部門(旅客交通部門のみ)において評価・検討した。また、人間の活動圏は名古屋市といった限られた行政区域内のみで規定されるのではなく、その周辺部を含む都市圏によって起こるものであり、その圏域全体を評価・検討できる分析フレームを提案した。22年度は、こうした行政区域内及び都市圏域全体を対象にした検討を継続するとともに、この分析フレームを富山市に適用することによって、特に運輸部門における検討を行った。この結果、2000年における富山市の旅客交通部門におけるCO₂排出量は360 kt-CO₂、2050年におけるCO₂排出量は技術導入を考慮しない場合、BAUで310kt-CO₂、富山市の環境モデル都市行動計画に沿った集約化のシナリオ(政策シナリオと称する)では291kt-CO₂、さらに集約化を進めたシナリオ(最大集約シナリオと称する)の場合で269kt-CO₂となり、都市構造の集約化により、CO₂排出量の削減効果が一定程度見込めることが分かった(図2-17)。さらに、HEV車(Hybrid Electric Vehicle:ハイブリット車)やEV車(Electric Vehicle:電気自動車)を導入した場合には2050年において、BAUで141kt-CO₂、政策シナリオで136kt-CO₂、最大集約シナリオで129kt-CO₂となり、大幅なCO₂排出量の削減が見込めることが分かった(図2-18)。これにより、都市構造の再編を進めるとともに、技術導入を促進するような施策をとった場合に、CO₂排出量をより効率的に削減できることを示した。こうした削減可能性は、スプロール化が比較的に行進し、さらには人口減少や高齢化が著しい中規模都市において、大都市よりも高いと考えられる。

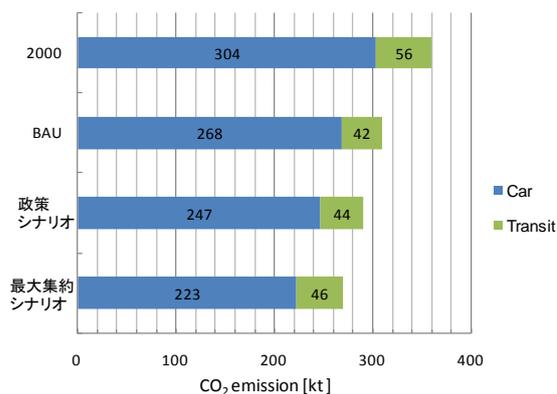


図2-17 2000年及び2050年の都市空間構造のシナリオ別のCO₂排出量

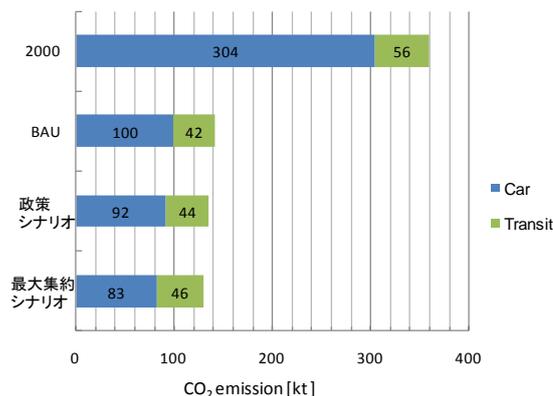


図2-18 技術導入した場合のCO₂排出量

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

- 低炭素型都市づくりの計画策定の基礎となる分析評価ツールの開発について、産業構造を考慮した分析フレームの構築、対策評価手法理論構築の面で一定の前進を達成した。
- 名古屋市を対象に、都市空間の再編及び技術対策による低炭素化の効果を評価するため、建物のライフサイクルや人口動態、これらの空間立地の検討、導入可能な技術の程度とその普及を考慮した場合の、2000年から2050年までの民生部門・交通部門のCO₂排出量を推計した。さらには、都市における建物や社会インフラ整備に必要な資材の投入・使用・蓄積・廃棄などの一連の物質循環(ストック・フロー)を把握した。作成した推計フレームは、考え得る様々な対策パターンをシナリオとして設定することで、CO₂排出量や物質循環量の推計が可能である。また、ここで作成した推計フレームを富山市に適用することによって、低炭素化の可能性を検討した。
- 地域エネルギーの冷温負荷平準化や、地域特性を検討するため、産業構造のうち事務所系モデル(第3次産業就業者)と、近隣住区論を応用した住宅系モデルからなる、「都市機能モデル」を確立した。名古屋中心部(中区)を例に、都市活動者(昼間人口-夜間人口+夜間人口×就業者割合×第3次産業就業者割合)、定住者(夜間人口)と、都市施設のエネルギー消費構造の関係を示した。また、事務所から住宅への用途変換による都市部のエネルギー消費構造の変化を把握した。

(2) 環境政策への貢献

- 都市レベルでの地球温暖化対策について、さまざまな施策の効果を分析評価するための手法が改善され、名古屋市等の自治体における政策の検討に貢献することができた。
- 平成22年度においては、前年度までに作成した名古屋市を対象とした都市空間の再編及び技術対策に伴うCO₂排出量の削減効果を評価できる都市シミュレータの開発を継続するとともに、それを他都市へも適用した。都市の物質・エネルギー代謝が包括的に評価可能なモデルを用いた複数都市での検討は、シミュレータの汎用性の確認とともに、都市規模や都市構造等の違いによる低炭素都市実現の差異が検討できる等、より広範な視点から検討することが可能となった。これによって、評価手法の確立に伴い、自治体の地球温暖化対策の効果について定量的評価が可能となり、施

策の効果や検討を行う有効な政策評価ツールとなる。本研究成果をもとに名古屋市政策担当者らと議論を行い、名古屋市の地球温暖化対策推進に貢献している。

- ・ 我が国の1767に及ぶ自治体の類型化を行い、環境モデル都市応募自治体(82団体)の施策に基づき、地域特性に応じた施策の提案が可能となった。これにより、自治体レベルの効果的な地球温暖化対策計画の立案に寄与することができる。

6. 引用文献

なし

7. 国際共同研究等の状況

- (1) 英国ティンダール気候変動研究センターとの連携(2009年5月12日、名古屋大学にて)
同研究センターJim Hall 教授と社会基盤システムの低炭素型化に係る研究打ち合わせ、及び講演会を実施した。今後の連携に向けて協議した。
- (2) 豪州連邦科学産業研究機構(CSIRO)との連携(2009年9月15日、11月24日、名古屋大学にて)
9月15日に、同機構Heinz Schandl博士とオーストラリアの資源フローとライフスタイル等について研究打ち合わせ、講演会を実施した。また、同年11月24日に、名古屋大学にて、同博士とアジア太平洋地域における資源生産性の変化等について研究打ち合わせ、講演会を実施した。なお、2010年6月以降、同機構Heinz Schandl博士を名古屋大学に招き、都市の物質・エネルギー代謝の評価に係る共同研究を実施予定である(3か月程度)。
- (3) 中国・山東省科学院との連携(2009年10月13日、中国山東省・山東省科学院にて)
低炭技術研究チーム(代表:李継民副所長)と国際ワークショップを行い、低炭素技術のシステム化等について研究打合せ、講演会を実施した。今後の連携に向けて協議した。
- (4) 中国・上海実業集団との連携(2009年12月14日、上海市にて)
上海市郊外の急速な開発を巡る問題、特に上海市北部の崇明島の持続的開発と低炭素政策について、開発権を握る上海実業集団と意見交換を行い、今後の連携に向けて協議した。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) 平野勇二郎, 井村秀文: 落葉樹による都市の暑熱環境緩和策効果と省エネルギー効果の通年評価, 環境情報科学論文集, Vol.23, pp.179-184, 2009.
- 2) 稲津亮, 谷川寛樹, 大西暁生, 東修, 石峰, 井村秀文: 複数年の空間情報を用いた都市重量の変化に関する研究—建築物・道路を対象とした和歌山市中心部でのケーススタディー, 環境情報科学論文集, pp.89-94, 2009.
- 3) 長岡耕平, 谷川寛樹, 吉田登, 東修, 大西暁生, 石峰, 井村秀文: 全国都道府県・政令都市における建設資材ストックの集積・分布傾向に関する研究, 同上, Vol.23, pp.83-88, 2009.
- 4) H. Tanikawa, S. Hashimoto: Urban stock over time: spatial material stock analysis using 4d-GIS, Building Res. & Info., Vol.37, Issue.5 & 6, pp.483-502, 2009.
- 5) 寺南智弘, 谷川寛樹, 深堀秀敏: 4d-GISによる用途地域変更を考慮した建築物耐用年数の推計, 土

木学会環境システム研究論文集, Vol.37, pp.221-226, 2009.

6) 谷川寛樹, 大西暁生, 高平洋祐, 橋本征二, 東修, 白川博章, 井村秀文:“ストック型”かつ“低炭素型”社会へ向けた都市構造物の物質・エネルギー消費の4Dマッピング:名古屋市の建築物を対象としたケーススタディ, 日本LCA学会論文集, Vol.6, No.2, 2010.

7) 吉田友紀子:自然通風利用によるオフィスの中間期冷房負荷削減効果に関する研究, 日本建築学会環境系論文集 第76巻 第667号(掲載決定), 2011.

<査読付論文に準ずる成果発表>(社会科学系の課題のみ記載可)

なし

<その他誌上発表(査読なし)>

1) 平野勇二郎, X. Cao, 大西暁生, 井村秀文:世界の諸都市におけるCO₂排出の現状と取り組みの事例紹介, 都市計画, Vol.279, pp.33-36, 2009.

2) 大西暁生, 高平洋祐, 谷川寛樹, 井村秀文:低炭素都市実現に向けたシミュレータの開発—名古屋市の民生部門を対象として—, 都市計画報告集, No.8-2, pp.84-87, 2009.

3) 大西暁生, 曹鑫, 森杉雅史, 奥岡桂次郎, 井村秀文:名古屋市中心地における空閑地緑化による都市熱環境緩和効果, 都市計画報告集, No.8-4, pp.176-180, 2010.

4) 大西暁生, 河村直幸, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹:都道府県別建物ストック需要の将来シナリオ分析, 都市計画報告集, No.9-2, pp. 58-63, 2010.

(2)口頭発表(学会等)

1) 岩本明大, 大西暁生, 奥岡桂次郎, 西野慧, 戸川卓哉, 加藤博和, 井村秀文:名古屋市における交通部門の低炭素化に関する研究, 地球環境シンポジウム, pp. 169-174, Vol. 18, 2010.

2) 奥岡桂次郎, 大西暁生, 東修, 井村秀文:低炭素型都市づくり施策の効果とその評価に関する研究 その1～地域類型別にみた低炭素都市づくり施策の評価～, 日本建築学会大会学術講演便概集(北陸), pp. 1009-1010, D-1環境工学 I, 2010.

3) 大西暁生, 奥岡桂次郎, 戸川卓哉, 吉田友紀子, 井村秀文:低炭素型都市づくり施策の効果とその評価に関する研究 その3～低炭素・低物質社会を目指した都市シミュレータの開発紹介～, 日本建築学会大会学術講演便概集(北陸), pp. 1013-1014, D-1環境工学 I, 2010.

4) 奥岡桂次郎, 大西暁生, 白川博章, 井村秀文:地域類型別にみた低炭素都市づくり施策の評価, 平成22年度土木学会全国大会 第65回年次学術講演会, CD-ROM, pp.189-190, 2010.

5) 高島健志, 大西暁生, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹, 井村秀文:名古屋市における都市空間構造の変化と建物・空閑地への太陽光発電の導入によるCO₂排出量削減効果ポテンシャルの推計, 日本環境共生学会第13回(2010年度)学術大会ポスター発表, 2010.

6) 奥岡桂次郎, 大西暁生, 白川博章, 谷川寛樹, 井村秀文:低炭素都市づくり施策の分類と地域類型別の検討, 日本環境共生学会第13回(2010年度)学術大会ポスター発表, 2010.

7) 戸川卓哉, 鈴木祐大, 西野慧, 加藤博和, 林良嗣, 河村幸宏, 川瀬康博:トリプル・ボトムラインから見た都市域集約策の評価, 土木計画学研究・講演集, Vol.42, CD-ROM(202), 2010.

8) 大西暁生, 河村直幸, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹:将来の社会変化を考慮した各都道府県の建物ストック需要量の推計, 平成22年度土木学会中部支部研究発表会, pp.647-648, 2011.

9) 奥岡桂次郎, 大西暁生, 谷川寛樹, 白川博章, 井村秀文:都市圏の人口分布による二酸化炭素排出構造の検討, 平成22年度土木学会中部支部研究発表会, pp.573-574, 2011.

10) A. Iwamoto, K. Okuoka, S. Nishino, A. Onishi, T. Togawa, H. Tanikawa, H. Kato, H. Imura: Study on urban distribution change toward a low carbon transport society, 平成22年度土木学会中部支部研究発表会, pp.583-584, 2011.

11) K. Takashima, K. Okuoka, A. Onishi, H. Tanikawa, J. Han, H. Imura: Reduction Potential of CO₂ Emissions by Installing Photovoltaic Power System on Buildings and Unused Land in Nagoya City, 平成22年度土木学会中部支部研究発表会, pp.577-578, 2011.

12) 鈴木裕大, 戸川卓哉, 加藤博和, 林良嗣: 持続可能性からみた都市空間構造再構築案の評価システム, 土木計画学研究・講演集, Vol.43, CD-ROM, 2011.

13) 西野慧, 戸川卓哉, 森田紘圭, 加知範康, 加藤博和, 林良嗣: 郊外居住者の価値観を考慮した大都市圏における都市コンパクト化の評価, 土木計画学研究・講演集, Vol.43, CD-ROM, 2011.

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム, セミナーの開催(主催のもの)

1) 第1回 環境システムワークショップ: オーストラリア連邦政府研究機関CSIRO, Dr. Heinz Schandl 氏「オーストラリアの資源フローとライフスタイル・家計消費」, 名古屋大学環境総合館, 2009年9月15日

2) 第2回 環境システムワークショップ: オーストラリア連邦政府研究機関CSIRO, Dr. Heinz Schandl 氏「アジア太平洋地域における資源生産性の変化」, 名古屋大学環境総合館, 2009年11月24日

(5) マスコミ等への公表・報道等

なし

(6) その他

1) 奥岡桂次郎, 大西暁生, 高島健志, 平野勇二郎, 白川博章, 谷川寛樹, 井村秀文:(社)環境情報科学センター第6回環境情報科学ポスターセッション・東京, 学術委員長賞(学生の部), 2009年11月

2) 平川隆之, 大西暁生, 高平洋祐, 谷川寛樹, 井村秀文: 同上, 2009年11月