課題名	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
課題代表者名	井村　秀文（名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻地圏空間環境学講座）
研究実施期間	平成20～22年度
累計予算額	累計予算額　186,147千円（うち22年度 62,049千円） 予算額は、間接経費を含む。

研究体制
（１）地球温暖化対策ロードマップの作成（名古屋大学)
（２）都市の動的物質・エネルギー代謝（名古屋大学）
（３）都市類型による施策の評価（独立行政法人国立環境研究所）
（４）アジアへの適用（名古屋大学）

研究概要

１．はじめに

都市は、地球温暖化対策にとっての重要な鍵となっている。

国連、国際エネルギー機関(IEA)等の調査によると、現在世界人口の約半数が居住する都市は、世界の1次エネルギー需要の67%、エネルギー消費に関連するCO_2排出量の75%を占めている。また国連の予測によれば、2050年には世界人口92億人の約2/3にあたる64億人が都市に住むことになる。IPCC第3作業部会報告書（07年）によれば、分野別に見た2050年までの潜在的な温室効果ガス(GHG)削減量が最も大きいのは「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。しかし、低炭素社会に向けた対策については、供給側の対策（たとえば、炭素隔離貯留技術(CCS)、ゼロエミッション型火力発電、バイオ燃料、原子力等）が中心となっており、単体の技術効率評価にとどまっている。2008年のG8北海道洞爺湖サミットで示された目標、“2050年までに温室効果ガス半減”を達成するためには、需要側、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。特に、急速な都市化と都市の膨張に直面しているアジア（中国、インド、ASEAN諸国等）において、都市整備の早い段階で低炭素社会実現の施策を組み込むことが必須であり、そのためには日本が革新的なモデルを提示し、その可能性を積極的に発信しなければならない。しかし、地球温暖化防止行動計画、環境モデル都市等、日本の自治体においては、さまざまな取り組みがなされているものの、施策の効果、実現可能性に係る検証は不足している。こうした情況において、社会システム全体を考慮した、低炭素型都市づくりに係る施策効果の評価手法を確立することで、各自治体の計画をモニタリングし、実現に向けたフォローアップを可能とすることが急務である。

２．研究目的

本研究では、低炭素型都市づくりのための施策パッケージを提示し、その効果について分析することを目的として一連の研究を展開した。

ここでは第1に、都市の民生部門、交通部門、財・サービス消費（間接的排出）を対象とし、都市という境界条件の中で、都市にできることの可能性と効果、その限界を明確化する。CO_2の削減可能性を評価する際、単にエネルギー効率の向上すなわちCO_2排出削減、という図式にとどまらず、都市におけるエネルギーと物質代謝の連動性に着目し、建物の建設、維持管理、更新・廃棄といったライフサイクル全体を考慮した分析（LCA）を実施する。また、地域外へのスピルオーバー（溢出）効果、将来における低炭素技術の進歩と普及見通しについても評価する。これにより、技術的な対策だけでなく，社会システム全体としての対策を提案する。なお、技術の普及見通しについては、政策、技術の専門家からなるパネル会議を組織し、産学官連携による議論を通じて、その方向性を見出していく。

第2に、現在先進国を中心に、さまざまな都市毎に事例研究が実施されているが、個々の都市の状況に応じた対策が提示されているだけで、これを共有し、途上国を含む他都市に適応するといった段階には至っていない。このため、個別性と汎用性を兼備し、途上国での都市整備に役立つ知識・技術体系の構築が必要である。ここでは、自然条件、社会経済条件、都市規模等により、世界各都市の類型化を図り、各類型に応じた低炭素型都市施策の一般解、あるいは特殊解を提示する。また水・緑の配置等、都市の低炭素型化には直接的に大きく寄与しない施策も、ヒートアイランド抑制等をコベネフィット(Co-benefit)の観点から総合的な評価に組み込む。

３．研究の方法

図1に本研究の構成を示す。

(1)地球温暖化対策ロードマップの作成

1)低炭素型都市実現のための技術システムの適用可能性とその評価

名古屋都市圏におけるエネルギーの利用状況、エネルギー資源の賦存量等の各種データ収集を行い、これらに基づき、名古屋都市圏を対象にCO_2排出量2050年80%削減（1990年比）のロードマップ試案を作成した。次に、住宅の低炭素化リフォーム、バイオマスエネルギーの利活用等による各種のCO_2削減対策を実施することを想定し、各対策の導入時期、削減効果の発現時期等をロードマップ化した「名古屋都市圏CO_2削減ロードマップ案」を提案した。

さらに、ロードマップ案で示した各種CO_2削減策に対して、2050年までの導入量や削減効果量として適切な予測値を入力することで、現実的なロードマップ案を作成した。各種CO_2削減策の2050年までの予測は、国レベルにおいても存在しない。そこで、各分野の専門家（大学・研究機関、企業、行政など）に、予測と課題・対策案に関する見解を出してもらい、デルファイ法を用いそれらの収斂を図ることで、適切な値を導出した。

2)低炭素型田園都市づくり

低炭素型田園都市を想定するうえで、都市における水循環の適正化と自然的土地利用が重要となってくる。まず、水循環の適正化において、都市では水を遠方のダムから導水する一方、都市内の降雨は災害回避のため、速やかに廃棄してしまう矛盾がある。今後、都市の降雨の有効利用や地下浸透や蒸発散の促進による都市の水循環の健全化が重要であり、それが達成された場合、水に関わる都市の省エネルギー化が実現する。低炭素型田園都市づくりのための各種施策効果の評価手法を確立すべく、将来の土地利用変化による河川流出量の抑制効果、グリーンインフラストラクチュアの概念を用いた浸透性街路空間デザインの導入効果、についてそれぞれ評価した。

最後に、名古屋市の本山地区における内水氾濫を対象とした集水域マップの作成手法の提案と、その地域の治水対策の効果分析を行った。作成段階において標高データを用いて設定条件を設けるとともに、過去の氾濫区域との比較を行うことで、詳細な集水域マップの作成を行った。

(2)都市の動的物質・エネルギー代謝

1)低炭素型都市理論の構築

都市の地域特性による類型化とそれに応じた温暖化対策を検討するため、都市の類型化および施策の分類を行った。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CO_2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った。さらに、都市形態の変化とエネルギー消費の関係性を分析した。ここでは、名古屋市を対象として、オフィスビルの容積率上限までの建設、住宅地への用途転換等の複数のケースを提案した。また、これに伴う病院、学校等の業務系建物の建設を合わせてシミュレーションすることで、各ケースにおけるエネルギー需要量の変化を評価した。

2)都市の成長、建物、インフラとエネルギー:分析ツール(都市シミュレータ)の開発

名古屋市を対象として、都市空間の再編に伴うCO_2排出量の削減効果を評価した。具体的には、メッシュ単位での人口、土地利用・建物データを整備し、2000年～2050年における民生部門及び交通部門からのエネルギー消費量及びCO_2排出量を推計した。また、建物の建設から廃棄までに係るライフサイクルでの物質ス

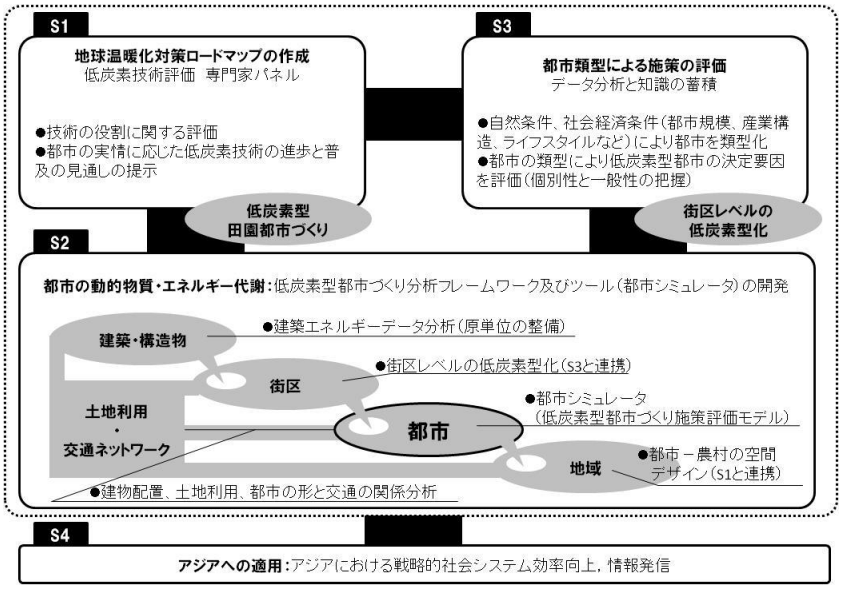


図1 研究の構成

トック量、物質フロー量を評価した。都市空間再編シナリオとして、特定地区への中央集約型、駅そばへの分散集約型、非集約型を提案し、住宅及び業務建物の再配置に関する将来変化予測を行った。これに、民生部門、運輸部門の低炭素化に資する対策技術を導入することによる時系列的なCO_2削減可能量を推計した。

(3)都市類型による施策の評価

1)国外における低炭素型都市政策の事例

効率的な都市の低炭素型化対策実施のため、主に屋内外の気温低減を通じた空調負荷削減に焦点を絞り、規模(人口、面積等)、自然条件、経済社会条件等で異なる国内外のさまざまな都市・地域を対象に実施された研究をレビューした。具体的には、国内外の都市開発プロジェクトにかかる資料を収集し、気候別、都市計画手法別、熱供給手法別、政策別に分類する手法を検討した。

2)街区レベルの低炭素型化:エネルギー消費・GHG排出量の推計手法の開発と温暖化対策への適用

近接する住棟による日影は、日射の室内進入を制限することから、住宅の冷房、暖房、照明に大きく影響する。そこで、中国の夏暑冬寒気候帯における5大都市(上海、武漢、長沙、成都、重慶)を対象(非単身世帯:全電化を仮定)を対象として、住宅電力消費量計算ツール(eQUEST)を用い、近接住棟による空調用電力消費量への日影効果について数値シミュレーションを行う。ここでは住宅街区の形態パラメータとして、W/H(建物高さに対する棟間距離の比:つまりアスペクト比の逆数)を用い、エネルギー消費の視点からみた都市類型ごとの住宅街区形態の最適解提示を試みる。

(4)アジアへの適用

以下の取り組みにより、主に日本の都市を対象にサブテーマ1-3で開発した低炭素型都市づくり施策評価ツールのアジア都市に対する適用可能性を検討した。

1)文献調査に基づくアジア展開に向けた課題整理

World Bankにより作成されたEco^2Citiesイニシアティブ(2010)では、主に途上国都市を対象とした低炭素型都市づくりの原理を提唱し、これに対する評価ツールを紹介している。これを参考に、本プロジェクトで構築された日本の評価ツールについて、アジア都市に適用する上で有用であるものを特定し、その適用限界を整理する。

2)アジア都市におけるエネルギー消費の時空間分布解析(基礎データベース構築)

アジア都市において、都市構造による低炭素型施策の効果を分析するために、そのための空間データを整備する必要がある。この例として、エネルギー消費量の都市内空間分布のデータ整備が挙げられる。これまでの都市の膨張により、エネルギー消費は増大し、その空間分布も変化していると考えられる。本研究では、中国を対象に夜間光衛星画像データを活用し、より簡易的かつ高精度に都市の形を抽出する新たな手法を開発した。また、これにより中国25都市の1993年から2003年の都市域の拡大を評価した。中国の省別電力需要データと夜間光衛星画像データから得られる各省内の都市および農村部の夜間光強度の関係から、中国における電力消費の空間分布とその時系列的変化を把握した。

さらに、アジアにおける社会経済の将来予測で大きく変化する要素として、家計消費も挙げられる。経済成長に伴う家計消費の増大は、エネルギー消費の変化を通して環境負荷排出を増大させる。本研究では、中国の家計消費と環境負荷の関係に着目し、まず産業連関分析の手法を用いて、家計におけるエネルギーおよび水の消費に伴う直接的・間接的な環境負荷を定量的に評価した。また、都市と農村の家計消費由来の一人当たりCO_2排出量等の比較を行った。加えて、家計収入の財ごとの価格と支出金額の関係を分析するモデル(AIDS(Almost Ideal Demand System)モデル)を用いて、電力・水道料金が中国の家計消費支出に及ぼす影響を分析し、家計由来のCO_2増加抑制に向けた適切な料金設定のあり方について論じた。

3)国際シンポジウム開催による情報発信

本プロジェクトによる研究成果のアジア諸国への発信および関連研究の情報収集を目的として国際シンポジウム及びワークショップを開催した。

４．結果及び考察

（１）地球温暖化対策ロードマップの作成

１）低炭素型都市実現のための技術システムの適用可能性とその評価

名古屋都市圏のエネルギー需給構造を明らかにするため、収集したエネルギーデータを精査するとともに、エネルギーバランスを考慮して、名古屋都市圏エネルギー需給構造データベースを作成した。作成したデータベースは、低炭素型都市づくりの観点から十分吟味することにより、名古屋都市圏における効果的なCO_2削減策の抽出、具体的な対策のCO_2削減可能量の算出時の基礎的なデータとなる。今回、作成したデータベースの方式は汎用性があり、他地域でも活用が可能である。

ロードマップを作成した結果として、各種の対策を実施することで、CO_2排出量は、2020年には1990年比マイナス20%程度、2050年には同80%となる。2050年のエネルギー需要量は1990年比マイナス50%程度、同じく一次エネルギー供給量はマイナス40%程度になることがわかった。上記で示した対策は、すでに実施されているもの、すぐに着手・着工できるものであり、実現可能性が高い。

さらに、デルファイ法により専門家の意見を反映させて作成したロードマップを図2に示す。デルファイ調査前の試案と比較すると、各種CO_2削減策によるCO_2削減効果は約3分の1になっている。BAU(Business as Usual)による削減量に関しては、域内総生産の予測を単純に適用したのみであり、より精査する必要がある。全国レベルの取り組み（グリーン家電・省エネOA機器・低燃費車・電気自動車・太陽光発電の普及）に関しては、個別削減策では多少の相違があるものの、デルファイ調査前の試案と2.7%の違いしかない。一方、地域に根差した取り組み（コンパクトシティ化による自動車利用量・CCHPの導入・共有自転車システムの普及・低炭素リフォームの普及・木質系バイオマスの利活用・廃棄物系バイオマスのメタン化による都市ガス代替利用・廃プラスチックの石炭代替利用など）に関しては、デルファイ調査前の試案が34.7%の削減割合であったものが、デルファイ調査後では4.1%と、大きく変化している。この最も大きな要因は、コンパクトシティの実現数およびコンパクトシティでのCCHPの導入数に関する項目である。試案では、コンパクトシティの実現数が2050年に1,500箇所で、その全てにCCHPが導入されることを想定していたことから、CCHPのCO_2 削減効果は全体の22.7%を占めていた。ところがデルファイ調査の結果では、コンパクトシティ実現数が「50箇所以上100箇所未満」と約20分の1になったのに加え、“実現した”コンパクトシティの中でCCHP(Combined Cool, Heat and Power)が導入されるのが「40%以上60%未満（専門性の高い回答者の見解）」、つまりCCHPの導入箇所は試案の約40分の1になってしまった。

また、ロードマップ試案では、廃棄物系バイオマスの全量をメタン化・都市ガス代替に利用するプランを想定したものの、デルファイ調査で得られた廃棄物系バイオマスの活用量は全量の約36%に過ぎなかった。さらに廃プラスチックの全量利用を前提としたことで考案した廃プラスチックの石炭代替利用については、取り組み自体は約49%の賛同を得ているものの、デルファイ調査で得られた廃プラスチックの活用量は全量の約13%でしかなかった。

名古屋都市圏におけるCO_2削減を進展させるにあたって、地域に根ざした取り組みを充実させる必要がある。特に単体の技術・削減策だけで評価するだけでなく、廃棄物系バイオマス都市ガス代替利用と廃プラスチックの石炭代替利用のような複合的な対策や、コンパクトシティによる自動車利用の減少とCCHPの導入、共有自転車システムの導入などの都市構造の転換といった、ダイナミックな対策について、より詳細に検討することが必要である。

2)低炭素型田園都市づくり

都市公園のクールアイランド効果（PCI：park cool island）を評価するため、公園の様々な温度低減効果（熱環境緩和効果）の特徴（公園の規模、公園内の土地利用・被覆、公園の形状など）と地表面温度との関係を明らかにした。また、人口減少により発生が予測される都市の空閑地や、近年増加が懸念される駐車場を緑化することによる温度低減効果をシミュレーションした。この結果、都市熱環境緩和における公園緑地

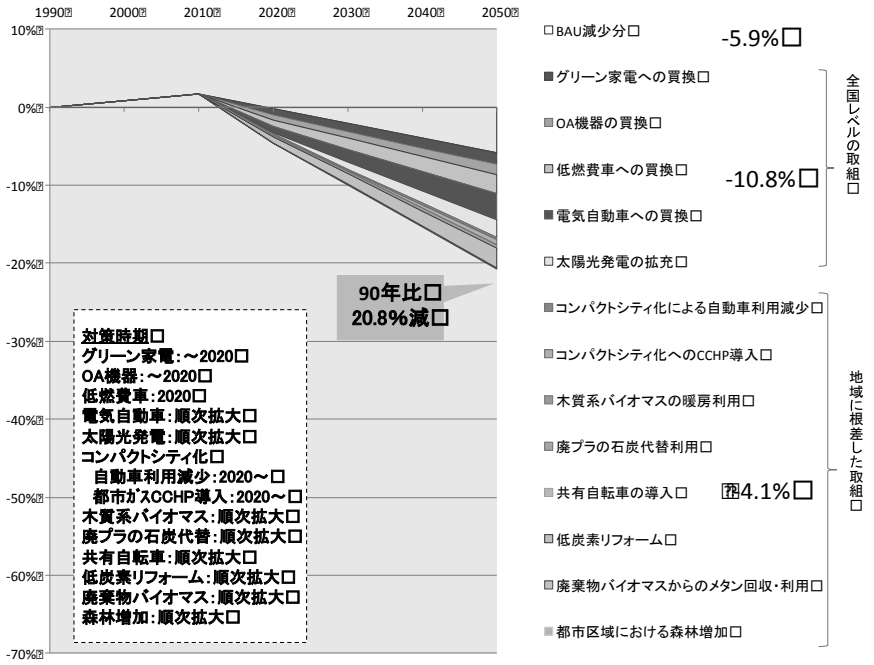


図2　温暖化対策ロードマップ試案

の重要性を明らかにし、低利用地を効率的に活用する方法を提案した。

名古屋市の本山地区を対象とし、詳細な集水域マップの作成を行った結果、都市内部における内水氾濫に対し、どの地域から治水対策をしていくべきかをより明確に把握することができた。また、作成した集水域内において、都市の緑化や雨水浸透施設の設置による治水の効果を明らかにした。これより、公共空間のみならず、宅地などの個人所有の土地において治水対策を導入・強化することにより、豪雨による被害リスクを大幅に減らすことができることがわかった。

(2)都市の動的物質・エネルギー代謝

1)低炭素型都市理論の構築

都市の類型化として、全国1,767市町村の地域特性を自然・産業・社会経済の3種類で類型化した。また、環境モデル都市事業への応募団体が示した施策内容から、技術、ソフト等に関する施策を抽出し分類した。これらを、関連性を持たせてデータベース化することで、地域類型とそれに対応した施策メニューとの関係をクロス分析できるようになった。また、理論都市モデルでの分析からは、大都市圏においては技術導入、中規模都市圏は集約化によるCO_2排削減効果が大きいことが明らかとなり、都市規模により有効な施策が異なることが示唆された。さらに、都市形態の変化とエネルギー消費量の関係性を分析した結果、オフィス建物群には冷房需要対策が、住宅地群には温熱(暖房・給湯)需要対策が、それぞれ必要になってくることを示した。本評価により、中長期的な人口増減及び用途転換に対応した地域エネルギー需要量の予測、効果的な地域冷暖房技術の導入によるエネルギー削減方法が立案できるようになった。

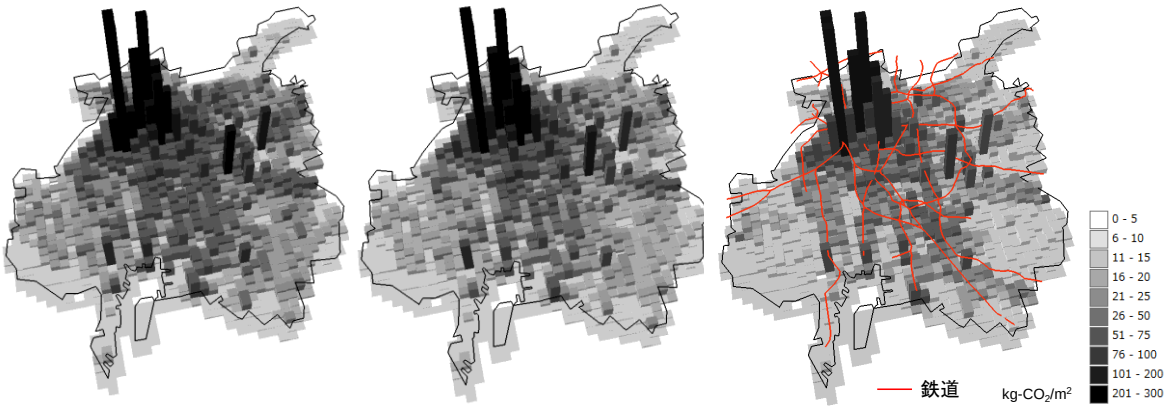
2)都市の成長、建物、インフラとエネルギー:分析ツール(都市シミュレータ)の開発

都市空間構造の再編や省エネ技術の導入によるCO_2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・検討可能な都市シミュレータを開発し名古屋市を対象にケーススタディを実施した。図-3にシミュレータによる出力結果の一例として2050年におけるシナリオ別のCO_2排出量の空間分布を示す。

都市の分散集約型は、2000年に比べて2050年のCO_2排出量を、民生部門では約5%、運輸部門(旅客交通部門のみ)では約17%削減可能であった。また、分散集約型は非集約型に比べ削減効果が高いこと、技術対策の導入により更に大幅な削減が見込めることがわかった。同様に、物質のストック・フローの量も、集約型が非集約型に比べ削減効果が高いことが明らかとなった。

また、都市空間構造の再編や人口減少などによって、未利用地である空閑地が多く発生する可能性がある。そのため、この土地を有効に利用する目的から、太陽光パネルの導入の促進とその発電によるCO_2排出量の削減効果を検討した。この結果、非集約化(BAU)の場合は建物に太陽光発電を導入する方が空閑地に導入するよりも効果的であり、集約化の場合は空閑地に導入する方が建物に太陽光発電を導入するよりも効果的であることが分かった。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(BAU)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(太陽光発電の導入なし)、前者の方が、CO_2排出量の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可能性が示唆された

さらに、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CO_2排出量は360 kt-CO_2、2050年におけるCO_2排出量は技術導入を考慮しない場合、BAUで310kt-CO_2、富山市の環境モデル都市行動計画に沿った集約化のシ



a非集約・太陽光発電の導入なし　b.非集約・太陽光発電導入　c.集約・太陽光発電導入

図3　2050年におけるCO_2排出量の空間分布

ナリオ（政策シナリオと称する）では291kt-CO_2、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-CO_2となり、都市構造の集約化により、CO_2排出量の削減効果が一定程度見込めることが分かった。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、大幅なCO_2排出量の削減が見込めることが分かった。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、CO_2排出量をより効率的に削減できることを示した。

（3）都市類型による施策の評価

1）国外における低炭素型都市政策の事例

本研究期間中に面識を得た世界各国の専門家からの情報をもとに、国外における低炭素型都市政策事例のデータベースを作成し、次の普遍的知見を抽出した。主な情報源は対象各都市の都市気候変動行動計画（Action Plan）などである。中国に多い事例は、「生態城」をゼロから設計し導入可能な技術を一括で導入するものである。一方ヨーロッパに多い事例は、再生エネルギー導入、高効率機器導入、土地利用、建築、交通など、一通りの知見を既存の市街地へ導入するものである。また自然条件を活用した事例として、風力（カルガリー）、地熱（唐山）、水上交通（バンコク）などが特筆されるものの、交通関連をのぞき、土地利用や街区構造といった都市的な施策は（再生エネルギー・高効率機器導入にくらべて）十分に普及してはいない。

2）街区レベルの低炭素型化：エネルギー消費・GHG排出量の推計手法の開発と温暖化対策への適用

中国の夏暑冬寒気候帯における5大都市（上海，武漢，長沙，成都，重慶）を対象（非単身世帯：全電化を仮定）として、近接住棟による空調用電力消費量への日影効果について数値シミュレーションを行った結果、以下の知見が導き出された。対象地域における近接住棟による日影効果としては、冬期の暖房需要に対する増加効果よりも夏期の冷房需要に対する削減効果が優っている。上海、武漢ではこれら2つの効果が相殺しているが、長沙、成都、重慶では冬期の暖房需要に対する増加効果はほぼみられない。空調用電力消費量の差異は、気温やデグリーデイの大小関係でおおむね説明できるものと思われ、日影効果の差異は、基本的には太陽高度（対象の5大都市間で大きな差異はない）と日射量で決まるものと考えられる。内陸側の3都市（長沙，成都，重慶）では冬期の日射量が少なく、その結果が冬期の暖房需要に対する増加効果の少なさとして現れたものと思われる。一方、夏期における長沙と重慶の日射量は大きく異なっているものの、夏期の冷房需要に対する削減効果には大きな差異が見られなかった。内陸側の3都市では、近接住棟による日影効果を最大限生かすようなデザイン（推奨最小棟間距離による住宅街区設計）を推進すればよい。上海、武漢では、棟間距離を広めにデザインすると同時に、住棟に隣接して落葉樹の高木を植栽し、緑陰による日影効果に引き出すなどの考え方が有効である。上海以外では、推奨最小棟間距離でデザインされた住宅街区において、最も高い削減率が期待できる。武漢と長沙では、現状の推奨最小棟間距離が電力消費量削減の視点からも好ましい数値である。

（4）アジアへの適用

1）文献調査に基づくアジア展開に向けた課題整理

低炭素社会の形成においてWorld Bankは都市を中心とした評価を強調しており、低炭素型都市づくりの原理として、セクター間の統合的戦略、インフラの効率的デザイン、施策の計画的投資といった要素が挙げられている。セクター間の統合的戦略では、都市レベルでの低炭素化戦略を実行していくため、全セクターで共有できる長期的計画を作成することが重視されている。これより、バックキャスティングを用いてマクロレベルで長期的な環境負荷削減目標を設定し、それに必要な各セクターの削減量・プロセスを特定することは、アジアにおいても必要である。しかし、今後の経済成長が大きいと考えられるアジア都市では、長期的計画を検討する上で社会経済の将来予測が困難である。経済の成長にともない、都市域の拡大、産業構造の変化、生活水準の向上といった面で大きな変化が予想され、これはエネルギー消費や環境負荷排出に影響する。これらの変化は日本とは大きく異なるものであり、アジア都市で長期的な低炭素化戦略を分析する際に、アジア都市における社会経済の将来予測の検討が重要であることがわかった。

2）アジア都市におけるエネルギー消費の時空間分布解析（基礎データベース構築）

夜間光強度の解析により、中国の電力消費の空間分布を明らかにした。1993年～2003年までの電力消費量の推移から、農村部に比べ都市部では急速な増加傾向がみられること等を明らかにした。

図4に2003年における中国の電力消費の空間分布を、図5に過去10年間における電力消費量の増加量の分布を示す。図より、東部沿岸域において電力消費量が大きく、北京市、上海市、広州市を中心に過去10年間の電力消費量の増加が著しいことが分かり、空間分布を考慮したデータベースを構築することができた。

また、都市部におけるエネルギー消費構造の解析においては、都市の不規則な広がりの抑制、各産業におけるエネルギー効率のさらなる向上が、都市の低炭素化に必要であることを示した。また、アジア諸都市の

低炭素型化に向けたロードマップの構築を目指し、経済成長に伴うライフスタイルの変化の度合いを、人々の所得・消費支出と環境負荷の関係性から分析した。また、日本の事例を踏まえ、今後の家計消費構造の変化とそれに伴うCO_2排出量を予測した。これにより、現在の中国家庭における電力等のエネルギー消費量はまだ相対的に少なく、今後急伸する可能性が高いことを指摘した。これに対し、電気・水道等に係る公共料金政策を充実させることで、CO_2削減に寄与できることを示した。

3)国際シンポジウム開催による情報発信

国際シンポジウム“低炭素型都市をつくる—科学と政策の架け橋—”を2009年2月16日(月)にホテルメルパルク名古屋にて、国際ワークショップ“低炭素型都市の実現に向けて—国際共同研究と連携強化—”を2009年2月17日(火)から18日(水)まで、名古屋大学野依記念学術交流館にてそれぞれ開催した。

国際シンポジウムでは、日米欧及びアジア諸国の著名な研究者、政策担当者による基調講演、パネルディスカッションを行い、低炭素型都市づくりに関する世界各国の研究と政策の現状をレビューした。また、今後の研究と政策の連携、国際協力のあり方などについて討論を行った。また国際ワークショップでは、低炭素型都市づくりのためのモデル開発、都市のエネルギー政策及び地球温暖化対策などに関するより専門的な内容の討論を行った。

講演内容(全45講演)は、都市施策の類型化、低炭素型都市づくりモデルの開発動向、国際共同研究の連携強化などの各項目で再構築し、現時点における世界の最先端の研究成果、政策動向をとりまとめた。具体的には、先進国、アジア途上国におけるメガシティの政策を類型化するとともに、低炭素型都市づくりに係るさまざまなモデルを比較し、今後のモデルの方向性について議論した。さらに名古屋大学、国立環境研究所、GCP(グローバルカーボンプロジェクト)、コロンビア大学、ロンドン大学、OECD(経済協力開発機構)、IEA(国際エネルギー機関)、IGES((財)地球環境戦略研究機関)、IIASA(国際応用システム分析研究所)など各学術研究機関、政策機関の気候変動に係るさまざまなイニシアティブを比較し今後の取組について討論した。

国際ワークショップ“Climate change adaptation -sharing experiences from Manchester and Nagoya-”を2010年5月18日(火)に名古屋大学環境総合館レクチャーホールにて開催した。本ワークショップでは、名古屋大学とマンチェスター大学の研究者の方々による講演を行い、気候変動の緩和に寄与するさまざまな意見交換を行った。

国際ワークショップ“2nd International Meeting on Low Carbonization and Dematerialization Society”をそれぞれ2010年11月4日(木)午前と午後に名古屋大学環境総合館レクチャーホールにて開催した。名古屋大学、北京師範大学、オーストラリアのCSIRO(Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization)の研究者による講演を行い、本プロジェクトにおける一連の研究成果を発表するとともに、低炭素型都市づくりのためのモデル開発、都市のエネルギー政策に関する討論を行った。

全体を通じ、a)地方自治体の地球温暖化対策に係るフォローアップの強化、b)社会システム全体を考慮した低炭素型都市の実現(LCAによる評価の重要性)、c)低炭素型都市の評価における時間的、空間的境界条件の明確化、等について多くの意見交換を行い、今後の協力活動を継続することの必要性が認識された。

５．本研究により得られた成果

（１）科学的意義

1)サブテーマ1

名古屋都市圏における自然エネルギー賦存量を加味したエネルギー需給構造データベースを作成した。これをもとにして、各種対策・技術の導入に伴う、本地域におけるCO_2排出量を80%削減(90年比)可能とする

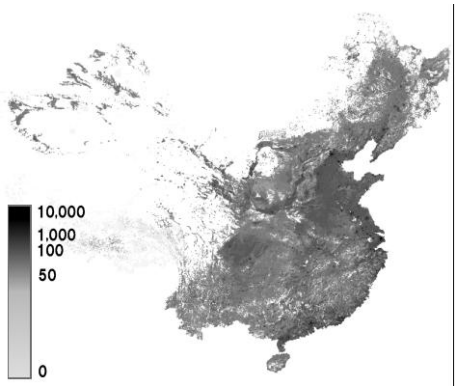


図4　中国の電力消費空間分布(2003,万kWh/年)

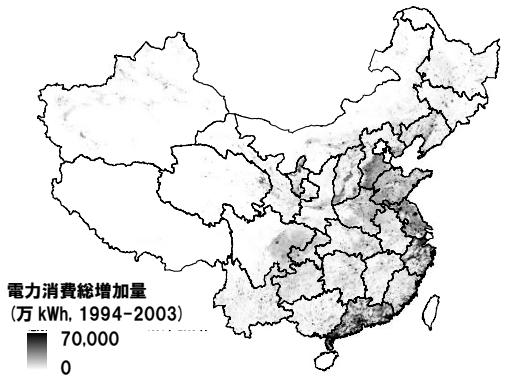


図5　中国の電力消費の地域別増加量

ロードマップの試案を作成した。これにより、対策・技術の導入方法やそれに伴う削減効果を具体的に議論することが可能となった。さらに、デルファイ法により、各種CO_2削減策の具体的な中長期将来予測について専門家の見解を反映させた。その結果、地域に根ざした取り組みについてそれほど進展しないという専門家の見解が示された。本ロードマップは、汎用性がある方法で作成されており、他地域においても適用可能である。

低炭素型田園都市づくりの検討において、都市公園緑地のクールアイランド効果、空閑地及び駐車場の緑化による熱環境緩和の効果をシミュレーションした結果、都市内の緑化を効率良く進めていくことによって、従来の建築物の屋上・壁面緑化に加え、さらに温度の低減効果が得られることがわかった。こうした都市のクールアイランド化は、エネルギー消費の削減にもつながり、低炭素型田園都市づくりにおいても有効であることを示唆した。

2）サブテーマ2

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CO_2排出量を推計した。さらに、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、CO_2排出量や物質循環量の推計が可能である。

3）サブテーマ3

低炭素型都市の実現に向けて、エネルギー削減を見込むための空調負荷削減に有効な街区形成方法について、現状の国内外の都市を定量的に評価することが可能になった。これまで概念的であった低炭素型都市の実現に向けて、定量評価を行うことにより、対策実施のための効率的な対策指針を提示することができた。

都市から排出される総炭素量に、分野別に、あるいは都市の行政境界の勘案の有無によって、大きな差異が存在することを浮き彫りにした。これは政策立案者に正しい制度的メカニズムおよび都市での気候変動緩和の多階層的ガバナンスにおける疑問と挑戦を突きつけるものである。たとえば、主要産業の立地が都市の行政域の外ではあるが拡大都市圏の中である場合、都市の中核と都市圏の間における移動と交差は膨大なものになり、妥当な頑健性を持つ都市GHG勘定が必要であることが明らかになった。また、デリー、バンコク、ジャカルタなどの気候変動の対策課題に積極的に取り組んでいる大都市の中にも、単年度の信頼できるGHGインベントリが存在しない場合が多い。都市にはその全域の炭素排出量を制限するための総合的な計画と排出源の移動を阻止する手段が必要である。都市の気候変動緩和行動を動機づけるものはいくつもあるが、炭素排出緩和を最大限に実施できる国際機構をどのように変えてゆくかが主要な政策課題であることも明らかとなった。

4）サブテーマ4

アジア都市において有用な低炭素型都市づくり施策の評価ツールを特定し、日本で開発したツールをアジアに適用する際の課題をまとめることで、アジア都市の評価では社会経済の変化の環境への影響、都市構造に関するデータの構築、土地開発のインフラ整備への影響の分析が必要であることを示した。

アジア都市おける評価ツールを構築するために必要となる分析を行い、大きな変化が予測されるアジア都市の土地利用・産業構造といった社会経済の変化や、家計消費の変化がエネルギー消費・環境に与える影響を示すことで、これらに関する将来のシナリオ設定においてこれらの重要度を特定することができた。

中国における電力消費の空間分布を把握するため、夜間の光強度(夜間光強度)と電力消費量との関係性を評価した。一般的に、夜間光強度がある強度に達すると、衛星画像の都合上、それ以上の強度では飽和値となり、夜間光強度が高い大都市域では電力消費量を過小評価する恐れがあった。今回提案した手法では、非飽和の地域で且つ比較的高い夜間光強度を示す地域の傾向を読み取り、飽和値を示す地域の夜間光強度を補正する手法を開発した。これより中国電力消費量の空間分布図の精度を維持できるようになった。

以上より、サブテーマ1から4を通じて、①地域（都市圏），②都市，③街区，④建物の各スケールにおいて適応・緩和の両面から土地利用政策や低炭素技術導入効果等を分析可能な一連のモデルシステムを構築した。これにより、これまで個別評価に留まっていた、低炭素都市づくり施策を総合的・網羅的に分析することが可能となった。

（２） 地球環境政策への貢献

1）サブテーマ1

地域的な貢献として、名古屋市は、2009年11月に、「低炭素都市2050なごや戦略　～低炭素で快適な都市なごやへの挑戦～」を策定した。これにおいて、本プロジェクトで平成20年度に作成した「名古屋におけるCO_2排出2050年マイナス75%ロードマップ」が貢献している。また、愛知県は、2009年11月に長期目標/長期

戦略の検討委員会を設置した。これにおいても、本プロジェクトで平成21年度に作成した「名古屋におけるCO_2排出2050年マイナス80%ロードマップ」、21年度の「名古屋都市圏におけるCO_2排出量80%削減（90年比）のロードマップ試案」が設置の際の礎になっている。また、名古屋市、及び民間の都市計画事業者等を交え、太陽光発電の導入可能性、名古屋市の街区レベルにおける水・緑の導入方法等を議論している。国際的な貢献として、2009年12月11日に、COP15（デンマーク・コペンハーゲン）におけるClimate Alliance主催のサイドイベントにおいて、本研究成果より策定した「低炭素都市2050なごや戦略」、都市シミュレータに関する研究成果を発表し、世界各国の政策担当者らと意見交換を行った。

名古屋市の街区レベルにおける水・緑の導入による将来の田園都市づくりのあり方について、名古屋市及び民間の都市計画事業者等を交え議論してきた。これより、産学官の連携強化による地域環境政策への貢献がみられた。

2）サブテーマ2

我が国の1,767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。

都市空間の再編及び技術対策に伴うCO_2排出量の削減効果および都市の物質・エネルギー代謝が包括的に評価できる都市シミュレータを開発した。これにより、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、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。

また、それを他都市へ適用することにより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。

3）サブテーマ3

コンパクトシティに関する研究など、既存スタディの共通項を整理し、都市類型別にさまざまな施策の有効性、他の都市への適用可能性を明らかにした。国内外における調査をもとに、対策オプション導入可能性という観点からの都市類型化手法の適用により、IPCCにおける適応戦略の検討にとって重要なインプットを行うことができる。

建物形状および外皮性能を考慮した建物用途別のエネルギー消費量推定結果、地理情報システム(GIS)等における地域別のエネルギー消費量・GHG排出量推定結果および都市環境モニタリングによる精度検証をへて、知識基盤の公開などを通じ、研究成果の社会への還元を行うことができる。

4）サブテーマ4

本研究では、中国の家計消費と環境負荷の関係に着目し、まず産業連関分析の手法を用いて、アジア都市での土地利用・産業構造・家計消費によるCO_2排出量が、今後急増する可能性があることを明らかにしたことで、途上国に対し低炭素施策の重要性をアピールすることができた。特に、中国における電力、ガス、水の価格弾力性を見極めたうえで、これらにかかる公共料金の見直しがCO_2削減に大きく寄与することを示唆した。さらに、統計データが十分揃っていないアジア途上国の都市におけるエネルギー消費の時空間分布の解析手法を開発することで、今後経済成長に伴いCO_2排出量の急増が見込まれるアジアの都市における低炭素型都市づくり施策の適用可能性を高めた。

サブテーマ1から4での研究成果をもとに、名古屋市政策担当者らと議論を継続しており、本市の地球温暖化対策推進への貢献が見込まれる。また、国際的な貢献としては、プロジェクト期間中に主催した計4回の国際シンポジウム・ワークショップにおいて、国内外の政策担当者を招待し、実務的・学術的な成果を共有することにより、都市における低炭素化政策の普及を促進した。

６．研究者略歴

課題代表者：井村秀文

1947年生まれ、東京大学大学院工学系研究科博士課程修了、工学博士、現在、名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻特任教授

主要参画研究者

(1)：竹内恒夫

1954年生まれ、名古屋大学経済学部経済学科卒業、現在、名古屋大学大学院環境学研究科社会環境学専攻教授

(2)：井村秀文　（同上）

(3)：一ノ瀬俊明

1963年生まれ、東京大学大学院工学系研究科修士課程修了、博士（工学）、現在、独立行政法人国

立環境研究所社会環境システム研究領域(地球環境研究センター兼任)、上席研究員
名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻、教授(連携大学院)
(4):井村秀文 (同上)

７．成果発表状況（本研究課題に係る論文発表状況）

(1)査読付き論文

1) 大西暁生, 森杉雅史, 村松由博, 井村秀文, 林良嗣:愛知県豊田市における詳細土地被覆情報の取得と熱環境解析への適用に関する研究, 地球環境研究論文集, pp.181-190, 2008.
2) 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.
3) 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, Vol.23, pp.89-94, 2009.
4) 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, 環境情報科学論文集, Vol.23, pp.83-88, 2009.
5) 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.
6) 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.
7) 一ノ瀬俊明:ヒートアイランド軽減の都市低炭素化へのフィードバック, 環境科学会誌 22: 301-308, 2009.
8) X. Cao, J. Chen, H. Imura, O. Higashi: A SVM-based method to extract urban areas from DMSP-OLS and SPOT VGT data, Remote Sensing of Environment, Vol.113, pp.2205-2209, 2009.
9) 黎明, 大西暁生, 東修, 白川博章, 井村秀文:中国地域別の交通部門におけるCO_2排出量の削減可能性に関する研究, 環境システム研究論文集, Vol.37, pp.509-515, 2009.
10) 杉本南, 大西暁生, 清水裕之, 村山顕人, 大月淳:愛知県内三流域における土地利用変化による河川流出量の抑制効果の考察, 日本建築学会技術報告集, 33, pp. 689. 2010.
11) X. Cao, A. Onishi, J. Chen and H. Imura: Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data, Landscape and urban planning, 96(4), pp. 224-231, 2010.
12) 竹内恒夫:広域的地域における長期的CO_2削減ロードマップの試み, 環境科学会誌, 23(4), pp.307-313. 2010.
13) 山内悠生, 杉本南, 大西暁生, 清水裕之, 村山顕人:境川流域における土地利用変化と河川流出量変化に関する研究, 日本都市計画学会学術研究論文集, No45-3, pp. 655-660, 2010.
14) 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.
15) A. Onishi, X. Cao, T. Ito, F. Shi and H. Imura: Evaluating the potential for urban heat-island mitigation by greening parking lots, Urban forestry & Urban greening, Vol. 9 (4), pp.323-332, 2010.
16) 井上薫, 杉本南, 清水裕之, 大西暁生, 村山顕人, 大月 淳:グリーンインフラストラクチュアの概念を用いた浸透性街路空間デザインの導入効果, 日本建築学会計画系論文集, 660, pp. 335. 2011.
17) 大西暁生, 森杉雅史:名古屋市中心部における空閑地緑化が都市熱環境緩和効果に与える影響, 社会技術論文集, 2011, (印刷中).
18) 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, Vol.76, No.667, 2011(印刷中).

(2)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