

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

(4) アジアへの適用

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
(独) 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)	一ノ瀬俊明
地球環境研究センター	Shobhakar Dhakal
名古屋大学大学院環境学研究科 都市環境学専攻	東修・大西暁生・曹鑫
〈研究協力者〉	
広島大学大学院国際協力研究科	金子慎治(平成20年度)
中華人民共和国 北京師範大学資源学院	陳晋(平成20年度)
名古屋大学環境学研究科 都市環境学専攻	中村一樹(平成21年度)

平成20～22年度累計予算額：18,207千円(うち、平成22年度予算額：5,501千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨] これまで数多くの研究者や、IPCC、国際エネルギー機関(IEA)等の主要な国際機関が指摘しているように、今後の地球温暖化対策のカギを握るのは中国、インドを擁するアジアである。またIPCC報告書では、民生・運輸部門のCO₂削減ポテンシャルが高く評価されており、都市レベルでの対策の重要性を示唆している。このため本研究ではアジア都市の低炭素型化に向け必要となる評価ツールの構築について分析を行う。また、サブテーマ1-3において主に日本の都市を対象に、低炭素型化を体系的に評価するモデルを開発してきた。本研究ではこの取組を参考に、日本の都市とは異なる状況にあるアジア都市に適用可能なモデルの開発を目指している。まず、文献検索により、日本の評価ツールの汎用性を示すと同時に、アジア都市に適用する際の課題を整理した。そして、この課題を考慮してアジア都市における評価ツールを構築するため、中国都市を対象に、大きな変化が予測される土地利用・産業構造・家計消費の変化がエネルギー消費・環境負荷排出に与える影響、エネルギー消費の空間分布に関するデータ推計、都市のコンパクト性とインフラ整備レベルの関係に関して実証分析を行った。さらに、アジア都市における長期的低炭素化戦略に関する既存文献を参考に、有効な低炭素施策を日本とアジアで比較した。この結果、アジア都市において社会経済の変化は環境に大きく影響することが示され、これに対して重要となる都市構造を考慮したインフラ整備の効率性や経済性を分析する手法を提示した。また、アジアの都市で有効な低炭素施策は日本の施策とは異なることが示された。

[キーワード] アジア都市、都市化、家計消費、都市構造、インフラ整備

1. はじめに

中国、インド等のアジア新興国がCO₂排出量削減の数値目標を示すことは、国際社会が地球温暖

化対策を推進する上で極めて重要である。しかし、ポスト京都議定書を巡る新たな枠組みづくりの構築は各国の思惑が絡み合い難航している。IPCC報告書は民生部門と運輸部門のCO₂削減対策を重視し、都市における対策の必要性を示している。このためアジアの低炭素型都市づくりに向けた具体的なロードマップを示すことが、国全体の削減目標の設定に寄与することになる。

しかし、このロードマップ作成には多くの課題がある。まず、アジアにおける低炭素型都市づくり施策評価ツールに何が必要かを把握し、日本における評価ツールを適用する際の限界を特定する必要がある。次に、この限界を考慮してアジア都市において低炭素型都市づくりの評価を行うために、様々な分析手法を組み合わせた評価ツールの確立が急務である。さらに、アジア都市における低炭素型化ロードマップの作成にあたり、将来のあるべき都市像を提示する必要がある。これらを踏まえ、都市の低炭素型化に向けた具体策を提示し、その効果を評価できるような手法を構築していかなければならない。

本研究では、次節以降に示す取組により、上記課題の克服に努めている。

2. 研究目的

本研究の目的は、主に日本の都市を対象にサブテーマ1-3で開発中の低炭素型都市づくり施策評価ツールを、アジア都市に対して適用可能なものとすることである。以下の取組により、アジア都市の低炭素型化ロードマップの作成に必要な評価ツールの構築に必要な知見を得る。まず、日本で構築した低炭素型都市づくり施策評価ツールをアジア都市に適用する上で、本プロジェクトで構築された評価ツールがこれにどう貢献できるか、そしてどのような限界があるかを考察する。次に、この限界に対応した評価ツールを構築するため、以下の実証分析を行う。

- ・ 都市化とエネルギー消費の関係性を分析し、今後大きな変化が予測される土地利用・産業構造のエネルギー消費への影響を評価する。
- ・ 家計におけるエネルギー・水の消費が直接的・間接的に環境負荷に及ぼす影響を産業連関分析により明らかにし、将来の家計消費増大に伴うCO₂排出量を予測する。
- ・ 都市化による市街化地域の変化が大きくデータも不足している都市圏を対象に、夜間光衛星画像データ等を活用し電力消費量に係る空間情報を把握する。
- ・ 都市空間の形状とインフラ整備レベルの時系列変化の関係を分析し、都市のコンパクト性がインフラ整備に有効かを分析する。
- ・ アジア都市低炭素化にあたり将来の都市像を示すため、日本とアジアにおける低炭素施策効果を比較し、アジア各国の目標CO₂削減量を達成するのに有効な施策を特定する。

3. 研究方法

本研究ではアジア都市における低炭素施策に関する文献検索と、世界第一位のCO₂排出国であり今後の排出量の急増が見込まれる中国を対象にした実証分析を行う。

(1) アジアにおける低炭素型都市づくりの評価の課題整理

アジアにおける低炭素型都市のあり方は、日本におけるそれとは異なるものと考えられるため、日本における評価ツールのアジアへの適用には限界がある。World Bankにより作成されたEco2Citiesイニシアティブ(2010)¹⁾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。本研究ではこれを参考に、本プロジェク

トで構築された日本の評価ツールに対し、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した。

(2) アジア都市の土地利用・産業構造の変化がエネルギー消費に与える影響

アジアにおける社会経済の将来予測において、経済成長により土地利用と産業構造は大きく変化するものと考えられる。この変化は、都市におけるエネルギー消費の変化につながるもので、将来のエネルギー消費を推計する上で重要な要素となる。これらの要素が相対的に影響する度合いを把握するための代表的な手法に、IDA(Index Decomposition Analysis)がある。本研究では、上海市のエネルギー消費増に深く関連する要因を把握するため、このIDAによる分析を行った。

(3) アジア都市における家計消費の変化による環境への影響

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。経済成長にともな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1人当たりCO₂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CO₂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。

(4) アジア都市におけるエネルギー消費の空間分布解析

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。

(5) アジア都市における都市開発とインフラ整備の関係

急速な都市化が進むアジア都市では、都市開発とインフラ整備は互いに強く影響しあい、インフラ整備水準は都市の開発タイプによるとも考えられる。都市化による土地開発は不可逆的であり、インフラ整備コストは開発密度により異なる。都市化は世界的な現象だが、途上国ではより顕著であり、開発が国で管理されている中国でも開発の郊外化が進行している。本研究では、時系列データの分析を通して、中国の4つの都市における都市空間のコンパクト性とインフラの整備レベルの関係を分析する。

(6) 日本とアジアで有効な低炭素施策の比較

アジアと日本の都市の状況の違いより、アジアにおける低炭素施策は、日本と異なるものと考えられる。アジア各国でも、バックキャストリングアプローチを用いた低炭素化施策による将来削減可能量の分析が行われてきた。環境省推進費による脱温暖化2050プロジェクトでは、アジアの国レベルと都市圏レベルを対象に、マクロ経済モデルをもとにしたエネルギー需要・温暖化ガス(GHG)排出推計モデルを適用し、目標となるCO₂削減量を達成するのに必要な各施策の効果を民

生・産業・旅客交通・貨物交通の各部門で特定している。ここでは、日本で構築した手法をアジアに適用しているが、アジアにおける経済成長や導入施策の仮定の違いを考慮している。これらの施策の種類は、施設・設備・業務プロセスによる排出効率改善やエネルギー生成による間接的排出効率改善といったCO₂排出改善策、燃料変化によりよりCO₂排出の少ない燃料に転換することでの改善策、高炭素な消費活動からの移行・削減策に分けることができ、本プロジェクトで行った名古屋の2050年75%削減計画の結果と比較可能である。本研究では、脱温暖化2050プロジェクトによるアジアの低炭素施策の効果と、本プロジェクトによる名古屋の施策の効果と比較し、その違いを分析した。

(7) 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。具体的には、①低炭素型都市づくりを目指したエネルギー・発展・炭素管理に関する国際的な産学官連携を強化し、気候変動の緩和に寄与する、②研究成果やモデリング・分析手法などを共有し、低炭素型都市の実現に向けた国際的な議論を深化させる、③低炭素型都市に関する、さまざまな研究分野の統合手法を探求する、④低炭素が他都市の実現に向けて、政策関連性に対する学術的取組を行い、研究と政策の架け橋を築く、ことを目的としている。

4. 結果・考察

(1) アジアにおける低炭素型都市づくりの評価の課題整理

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、バックキャストリ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において、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。

インフラの効率的デザインでは、都市構造による効率的なマテリアルフローを実現するようなエネルギー供給・水供給・交通システム・廃棄物処理の需要管理型システムを構築することが重要とされている。ここでは、従来の大規模インフラで地域全体に中央配分的に供給するシステムだけでなく、街区・建物レベルの自給自足的なシステムを組み込むことで、インフラ費用を節約でき効率的であると考えられている。シンガポールでは、排水のリサイクルや雨水からの集水を通じた水供給システムを構築している。中国の日照市では、ソーラーパネルを各建物に普及することで、太陽光発電によるエネルギー供給システムを構築し、年間家庭あたり\$120の節約を実現している。このインフラシステムの効率性は、開発密度・施設連結性・土地利用といった都市構造に大きく影響する。開発密度が高く、インフラへのアクセスがよいコンパクトな都市では、インフラを供給するのに必要な需要を確保できると同時にコストが抑えられ、より効率的なインフラ

を供給可能である。また、インフラ施設間の近接性を高めることで、より補完的なインフラ供給システムも構築できる。上海市では、蒸気発電施設からの熱エネルギーを近隣の焼却施設に利用するようなインフラシステムを計画している。さらに、都市の自然環境を利用したグリーンインフラに関する世界の事例では、都市緑化によるクーリングや洪水時の排水抑制といった機能を利用して、インフラ整備コストの抑制に貢献している。これより、都市構造を考慮したマテリアルフローの分析は、アジア都市における効率的なインフラシステムの構築に貢献できる。

しかし、このような分析のための都市構造のデータはアジア途上国において不足している。都市構造のデータとしては近年発達している地理情報システム(GIS)が有用であるが、途上国においてはこのデータ整備状況は先進国に比べかなり遅れている。また、中国のようにデータがある程度整備されてきても、その情報開示には消極的である国もある。これより、アジア都市で都市構造を考慮したマテリアルフローを分析するにおいて、都市構造に関するデータ推計が必要であることがわかった。

低炭素施策の計画的投資については、開発維持コスト(ライフサイクルコスト)を用いた費用対効果を考慮してインフラ整備の実現可能性を検討することが重要とされている。街区の新規開発において、効率的なインフラシステムを整備すると、従来の整備に比べ約25%のライフサイクルコストを節約することが可能であることが示されている。新規開発におけるインフラ導入では様々なオプションが考えられるが、既存開発地ではその開発コストはより高価になり、導入できるインフラが限られてくる。よって、既存開発地でも工場跡等の低利用地では再開発を、商業や住宅地等の高利用地ではインフラ改造といったその土地に適したインフラ投資が必要となる。さらに、インフラ開発による地価の変化も、インフラ開発コストに考慮していく必要がある。アジア途上国の都市では、低炭素施策導入に財源の制約が大きい一方で、経済成長にともない土地開発による地価の上昇からの利益が見込まれる。インフラ整備が遅れることで、非効率なインフラを持つ開発地が増え、地価もより上昇していくため開発コストが上がり、効率的な整備がより難しくなる。これに対し、この地価上昇は税収の増加につながる上に、中国のように国が土地を所有することでより大きな利益を得ることができ、さらなるインフラ投資が可能になることも考えられる。よって、経済的なインフラ整備維持とそれによる環境負荷排出削減を考慮した費用対効果分析は、アジアにおける低炭素施策の計画的投資に不可欠となる。

しかし、インフラ整備と土地開発の関係は、日本とアジアで異なる。都市が成熟しその維持・縮小が必要となる日本では既存開発地に対するインフラ改造が中心になるが、都市の成長が予測されインフラ整備水準がまだ低いアジア途上国では新規開発によるインフラ開発が必要になることから、インフラ開発と土地開発の相互依存度はより高くなる。このように、アジア都市においてインフラ整備は環境面・経済面で効果が期待される主要な手法であり、インフラ開発と土地開発の関係を分析することがより重要になることがわかった。

(2) アジア都市の土地利用・産業構造の変化がエネルギー消費に与える影響

図4-1はIDAによる分析結果で、上海市における1995年から2006年の間のエネルギー消費増に対し、都市域の拡大、産業構造の変化、エネルギー効率向上の3要素がどの程度寄与しているかを示している。上海市の全体のエネルギー消費は、この間28.34Mtce (ton of coal equivalent:石炭換算トン)と89.7%増加している。分析の結果、都市域の拡大は、約49.05Mtceのエネルギー消費量増加をもたらしたことが示された。これは、都市のスプロール現象が上海市のエネルギー消費

に与える影響は非常に大きいことを意味している。GDP が総額で3342億6千万元増大する中、市街地は923.04 km² から1720.10 km² へと飛躍的に拡大してきた。この急激な市街地の拡大は経済成長と単純に線形関係にあるわけではないが、エネルギー消費量の大幅な伸びに関与していることがわかった。

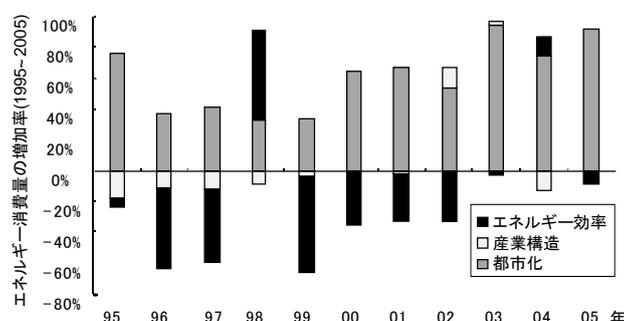


図4-1 上海市のエネルギー消費増大に係る要因分析結果

一方で、経済構造の変化とエネルギー強度の総量が減少したことで、都市スプロール化現象の速度に比べて、エネルギー消費量の増大量は抑制されている。産業構造の変化とエネルギー強度の変化はそれぞれ、約4.61 Mtceと16.10 Mtceのエネルギー消費の減少をもたらしている。各部門生産高割合による産業構造変化のエネルギー消費の減少への影響は限定的であるが、エネルギー効率の変化による影響は比較的大きくこれは各産業部門で異なり、エネルギー効率の良い産業への転換でエネルギーが節約できることが示された。エネルギー消費の減少に最も貢献しているのは工業で、エネルギー消費総量を約24.73 Mtce減少させた。工業部門でのエネルギー強度の変化は、技術革新と長年に渡る管理経験によって、約19.74 Mtceのエネルギーの節約をもたらした。これより、エネルギー集約型の工業でエネルギー効率化が進んでいることがわかった。

しかし、工業部門の変化によるエネルギー節約は、サービス業部門でのエネルギー消費の急激な上昇による抑制されている。上海の産業構造は徐々に変化し、産業の主体は工業からサービス業へと大きく転換してきた。1995年のGDPでは工業が最も高くサービス業より42%高かったが、2006年にはサービスが最も高く工業より4%高くなった。サービス業部門は、生産高割合による産業構造の変化により約1.29 Mtce、部門ごとのエネルギー強度の変化において、約3.85 Mtceエネルギー消費を増加させている結果となった。これに対し、農業分野は、合計のエネルギー消費量を減らしてはいるが、その量はわずかで約0.90 Mtceの減少となった。このように、都市域の拡大はエネルギー消費を増大させるが、産業構造の変化とエネルギー効率の変化がエネルギー消費の減少に貢献できることがわかった。

(3) アジア都市における家計消費の変化による環境への影響

2002年の中国各世帯のエネルギー総使用量は21.6GJで、二酸化炭素・二酸化硫黄・窒素酸化物の排出量はそれぞれ、1.5t、11kg、5kg、水の使用量は815m³、廃水量は438tあった。分析より、エネルギー消費と温室ガス排出の約44%以上は世帯消費に起因することが示された。ここでは、消費物の生産による間接的関与が直接的関与よりはるかに大きくなっている。水の使用と廃水流出では、農業や食糧生産では莫大な水が使用・廃水されているため、食料品の主な消費者である世

帯が83%以上を占めている結果となった。世帯支出からの環境への影響全体における各消費カテゴリーの割合では、食料品カテゴリーに加え、住宅カテゴリーでの調理と暖房における電気と燃料の使用により多くの環境負荷が排出されることが示された。また、第三次産業（特にサービス業）に対する世帯の支出が急激に増加していることによる環境負荷排出の増加もみられた。

都市部と農村部では様相が異なり、都市部では農村部のほぼ2倍近くのエネルギーを消費し、温室ガスを排出していた。急激な都市化により都市部と農村部の生活様式は徐々にその差が小さくなりつつあるとはいえ、中国の都市部と農村部の消費には確かな隔たりが存在する。2002年では、都市部の世帯の支出は、農村部の世帯の支出の2倍以上だった。農村部では、食料品が全支出に占める割合は50%に近かったが、都市部では35%と低かった。都市部の世帯は、教育とレジャー、交通費と交際費、衣料品、家庭における設備とサービスをより多く消費し、農村部の世帯よりも多くの負荷を環境に与えていることがわかった。また、水の消費においては、食料品カテゴリーだけでなく、世帯での直接使用も無視できない。中国では、2002年の各世帯の水の直接使用量は、都市部で62.23m³、農村部では34.31m³だが、農村部で水道水を利用できるのは、2002年末までの時点でわずか41%の世帯に過ぎない。このように、農村部の貧しい水道設備と都市部の安い水道料金は、世帯分野だけでなく農業分野でも格差を生じ、都市部で無駄な大量使用をひきおこす原因にもなっていることがわかった。

1992年から2002年の10年の間に、中国の消費に関連したエネルギー消費は、23,355 PJから26,356 PJへと12.8%増加し、CO₂排出量は2009Mt（20億9百万t）から2484Mtへと23.6%増加していた。全世帯のエネルギー使用総量とそれに伴うCO₂排出総量の変化を分解分析した結果、支出構造の変化により全世帯のエネルギー需要が2%、それに伴うCO₂の排出が3%増加した結果となった。その一方で、エネルギー強度の変化が、全世帯のエネルギー需要を79%減少させ、CO₂排出を83%減少させた。しかし、CO₂排出強度の変化は、CO₂排出を11%増加させた。世帯支出により計測された消費行動レベルの変化は、10年間に中国全世帯のエネルギー需要を71%、CO₂排出量を74%増加させた。同様に、世帯数の変化は、エネルギー使用総量を18%、CO₂排出を19%増加させた。以上の結果より、消費行動と世帯数の変化は、それぞれのカテゴリーのエネルギー使用量とCO₂排出量の増加に加速をかけていた一方で、エネルギー強度の変化は、各カテゴリーのエネルギー使用量とCO₂排出量増加を抑える方向に働いていたことがわかった。さらに、支出構造の変化とCO₂強度の変化は、食料品カテゴリーや衣料品カテゴリーにおいてわずかなエネルギー使用量とCO₂排出量の減少をもたらしたが、家庭における設備、医薬品と医療サービス、教育とレジャー、交通費と交際費、住宅費のカテゴリーで環境負荷の増加をもたらすことが示された。

また、現在の中国家庭の電力等のエネルギー消費量は現状の日本の2割程度と今後急増しうることを明らかにし、AIDSモデルの分析から、電気、水道に比べ、ガス（石炭ガス、天然ガス、LPG）の価格弾力性が相対的に高いことを示した。これより石炭ガスの価格を天然ガス等の価格より高く設定することで比較的高いCO₂削減効果が得られると考えられる。さらに、電力料金が水道、ガスの価格に比べ過去10年以上にわたり非常に低く抑えられていることを明らかにした。

（4）アジア都市におけるエネルギー消費の空間分布解析

中国におけるエネルギー消費の空間分布データを構築する上で、衛星画像の都合上、夜間光強度はある一定の強度に達すると、それ以上の強度がある場合でも飽和値である64を示す。このため既存の手法ではより夜間光強度が高い大都市域において電力消費量を過小評価する恐れがある。

そこで、非飽和の地域(夜間光強度が64未満の地域)で、か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。図4-2に2003年における中国の電力消費の空間分布を、図4-3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。

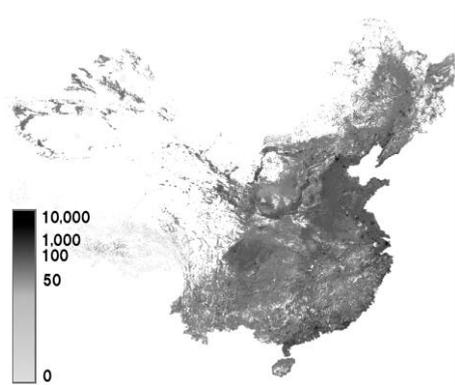


図4-2 中国の電力消費空間分布(2003, 万kWh/年)

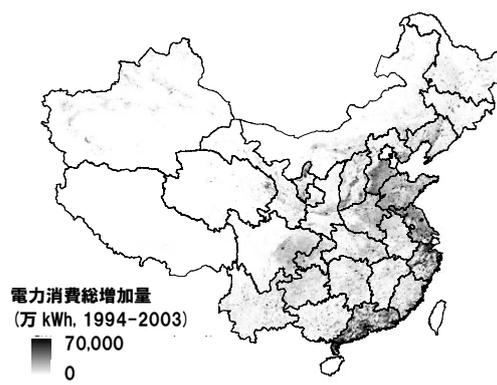


図4-3 中国の電力消費の地域別増加量

(5) アジア都市における都市開発とインフラ整備の関係

1992年、1997年、2002年の北京市、上海市、天津市、重慶市のデータを用いて、インフラ整備レベルの変化とGDP、農業人口、都市のコンパクト度の関係を回帰分析したところ、有意な結果が得られた。ここでは、GDPと非農業人口の成長は、インフラ整備レベルの向上をもたらす結果を示している。感度分析では、GDPの1%の増大と農業人口の1%の増大は、インフラ発達レベルをそれぞれ0.39% 向上と0.93% 低下させる結果となった。都市のコンパクト性の分析では、その計量化に土地形態指標(LSI)と最大パッチ(区画)指標(LPI)の2つの指標を用いた。しかし、これらの指標がインフラ発達レベルに与える影響は他の要素より低く、LSIの影響に関しては、コンパクト性が減少(都市が拡大)するとインフラ発達レベルが増大するという結果となった。これは、中国ではまだ都市は成長している段階にあり、都市域拡大によるインフラ整備が必要である中で、コンパクトな都市ではインフラ整備が少なくすむということに起因すると考えられる。これより、コンパクトな都市がインフラ整備量を上げるわけではなく、その整備量を抑えることでコストを節約することができることがわかった。

(6) 日本とアジアで有効な低炭素施策の比較

表4-1は名古屋の結果を、マレーシアのイスカンダル都市圏とタイ・ベトナムの国レベルの結果と比較したものである。総削減量は、国の目標値により異なるため、比較分析では総削減量に対する各施策からの削減の割合を対象にした。民生部門と旅客交通部門では、名古屋はアジアより全般的に高い割合の削減となっており、トップランナー電気製品や自動車の普及・住宅用と車両用の太陽光発電システムの整備といった技術的改善手法が効果的であることがわかった。一方で、産業部門ではアジアでの削減の割合がより高く、アジア途上国において第2次産業はまだ成長が期待される主要産業であり、ここにおける施設・設備・業務による排出率改善や燃料変化を通した

対策は大きな効果があることを示している。またベトナムでは、貨物部門における削減の割合が名古屋や他のアジアと比べても高い。ベトナムでは製造業は高い成長が期待され、これにより貨物交通が2005年から2030年で約11倍になることが予測されており、車両の排出効率の改善や車から鉄道等への交通モードの移行による消費活動の低炭素化が有効になることが示された。

このように、バックキャストイングアプローチを用いた低炭素化戦略シナリオの分析はアジアにも適用可能であるが、日本とアジアでは低炭素化の手法が異なるといえる。アジアでは、日本のような先端技術を利用した施策をとることはコストや技術力の面で限界がある一方で、高い成長が見込まれる第2次産業部門やそれにかかわる貨物交通部門で大きな削減可能性がある。このような点を考慮して、日本の施策をそのままアジアに適用するのではなく、アジアにおいて有効な低炭素施策を検討していく必要があることがわかった。

さらに、この分析をアジアに適用するにあたり、都市圏の特定・都市構造の影響・エネルギー需要と価格の変化についてより分析する必要がある。脱温暖化2050プロジェクトによるアジアへの適用例では、マレーシアのイスカンダル都市圏は、将来成長が最も見込まれる経済圏の1つとして分析されている。しかし、タイやベトナムの適用例では国レベルの分析が行われており、都市または都市圏レベルの比較分析を難しくしている。エネルギー需要の変化に関しては1人当たりGDPの増加による1人当たりエネルギー消費量の増加が仮定されているが、ベトナムでは1人当たりGDPの増加が4.3倍なのに対し、1人当たり居住部門エネルギー消費量はBAUで1.3倍、低炭素シナリオではほぼ変化しないと過少に仮定されている。この仮定の現実性をさらに検討し、特に低炭素シナリオにおいてはエネルギー価格の増加による需要の変化も考慮に入れる必要がある。また、この分析では商業床や交通の変化といった要素が総消費量の変化として考慮されているが、その空間分布に関係する都市構造との関係は十分に考慮されておらず、都市構造の変化による影響を分析できない。これより、本プロジェクトで行ったアジアへの適用研究は、これらの問題の解決に貢献できるものであることがわかった。

表4-1 日本とアジアにおける低炭素化戦略による推計CO₂削減効果の比較

	Nagoya, Japan		Iskandar, Malaysia		Thailand		Vietnam	
	2050年75%削減		2025年60%削減		2030年43%削減		2030年45%削減	
	BAU比削減量 (kt-CO ₂)	総削減量に 対する割合						
民生部門	6,565	52.6%	8,136	31.4%	78,489	32.8%	64,100	31.8%
排出効率改善(施設・設備・業務)	2,680	21.5%	4,461	17.2%	29,684	12.4%	25,900	12.9%
間接的排出効率改善(エネルギー)	1,423	11.4%	2,556	9.9%	48,805	20%	10,300	5.1%
燃料変化	2,462	19.7%	1,118	4.3%	N/A	N/A	27,900	13.8%
消費活動の低炭素化		0.0%		0.0%		0.0%		0.0%
産業部門	3,160	25.3%	13,935	53.8%	122,492	51.1%	69,800	34.6%
排出効率改善(施設・設備・業務)	190	1.5%	10,730	41.5%	38,648	16.1%	20,400	10.1%
間接的排出効率改善(エネルギー)	1,954	15.6%	2,090	8.1%	42,508	17.7%	21,300	10.6%
燃料変化	1,016	8.1%	1,115	4.3%	41,336	17.3%	28,100	13.9%
消費活動の低炭素化		0.0%		0.0%		0.0%		0.0%
旅客交通部門	1,973	15.8%	1,225	4.7%	15,452	6.5%	24,700	12.3%
排出効率改善(施設・設備・業務)	838	6.7%	159	0.6%	4,151	1.7%	13,800	6.8%
間接的排出効率改善(エネルギー)	45	0.4%	2	0.0%	293	0.1%	2,200	1.1%
燃料変化	490	3.9%	441	1.7%	2,921	1.2%	3,600	1.8%
消費活動の低炭素化	600	4.8%	622	2.4%	8,087	3.4%	5,100	2.5%
貨物交通部門	792	6.3%	2,589	10.0%	23,128	9.7%	42,900	21.3%
排出効率改善(施設・設備・業務)	452	3.6%	595	2.3%	6,588	2.8%	17,500	8.7%
間接的排出効率改善(エネルギー)	0	0.0%	0	0.0%	9	0.0%	2,400	1.2%
燃料変化		0.0%	1,217	4.7%	7,062	2.9%	6,000	3.0%
消費活動の低炭素化	340	2.7%	777	3.0%	9,469	4.0%	17,000	8.4%

* 名古屋のケースに比べBAU比削減全体における割合が特に大きい場合は白抜き字で、小さい場合は黒太字で示している。

* タイの民生部門におけるエネルギー供給の効率化による環境負荷削減は、燃料変化による削減との内訳がされていない。

(7) 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。これらのイベントは、名古屋大学大学院環境学研究科、グローバルカーボンプロジェクト(GCP)、(独)国立環境研究所(NIES)が主催し、また環境省、愛知県、名古屋市、(財)地球環境戦略研究機関(IGES)の後援を得た。

国際シンポジウムでは、日米欧およ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構築し、現時点における世界の最先端の研究結果、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、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、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2011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

- ・ 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。
- ・ アジア都市に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。
- ・ 夜間光衛星画像データを活用した分析により、データ取得の困難な電力消費量の都市内空間分布を定量的に把握でき、他の途上国の都市および農村部の電力消費量を把握する上でも有効な手法を開発することができた。
- ・ アジア都市における都市開発とインフラ整備の関係を分析することで、コンパクトな都市はインフラ整備量の増加を抑制しうることが示され、経済的なインフラ整備のための都市構造に関して、より分析が必要であることがわかった。
- ・ 本プロジェクトで特定したアジア都市における評価ツールの課題に関しては、既存の研究では十分に考慮されておらず、本研究の結果も踏まえこのツールの構築にはさらなる改善が必要であることが示された。

（2）環境政策への貢献

- ・ アジア都市における低炭素型都市づくり施策の評価ツールの枠組みを構築することで、アジアの環境政策の意思決定支援ツールの有用性を高めた。
- ・ アジア都市での土地利用・産業構造・家計消費によるCO₂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CO₂削減に大きく寄与することを示唆した。
- ・ これまで低炭素型化を考える上で都市のコンパクト化の重要性が指摘されてきたが、単純に

コンパクト化がいわけでなく、都市構造や土地市場を考慮した効率的で経済的なインフラ整備がアジア都市では必要であることが示された。

- ・ 日本とアジアでの長期的な低炭素化戦略による効果を比較し、アジア都市においてさらなる成長が予測される第2次産業やそれにともなう貨物交通部門における削減が日本より顕著であることを示し、アジアの低炭素化戦略の策定においてこれらの部門の削減策の検討が有効であることがわかった。

6. 引用文献

- 1) Suzuki, H., Dastur, A., Moffatt, S., Yabuki, N., Maruyama, H. (2010) EC02 cities: Ecological cities as economic cities, the World Bank, Washington D. C.

7. 国際共同研究等の状況

- ・ 平成22年度は、北京師範大学と共同ワークショップを開催し、GIS分析と低炭素施策評価に関する研究発表を行い、相互の理解を深めた。
- ・ 平成21年度は、サブテーマ1が中心となって実施したCOP15におけるサイドイベントの企画運営をサポートすることで、低炭素型都市づくりの国際的な連携強化の取組を推進した。
- ・ 20年度から、北京師範大学資源学院との研究協力関係を継続している。21年度は特に、中国の電力消費の空間構造解析において、夜間光衛星画像データの分析を共同で実施した。
- ・ 一ノ瀬とDhakalはGCPとともに、グローバル・エナジー・アセスメント (GEA) の活動 (IPCC 型のアクション) へ貢献している。彼らはGEAの「都市」の章へ寄与しており、今後この問題における科学的知見を統合していく。GEAが解決策をまとめる間、当該プロジェクトは国際応用システム分析研究所 (IIASA) と共同でこの課題への取り組みを継続する。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文 (査読あり)>

- 1) X. Cao, J. Chen, H. Imura, O. Higashi: A SVM-based method to extract urban areas from DMS-OLS and SPOT VGT data, Remote Sensing of Environment, Vol.113, pp.2205-2209, 2009.
- 2) 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CO₂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.

<査読付論文に準ずる成果発表>

なし

<その他誌上発表 (査読なし)>

なし

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) D. Jun, H. Shirakawa, O. Higashi, H. Imura: Study on environmental impact by changing lifestyle and consumption patterns in China, ICSHGES 2009, pp.196-204, 2009.
- 2) 黄韜, 石峰, 東修, 谷川寛樹, 井村秀文: Structural change of China's economic output growth: 1997-2007, 土木学会中部支部研究発表会, CDROM, 2010.

3) J.Fei, X.Cao, H.Tanikawa, O.Higashi, H.Imura: Analysis of urban sprawl, economic structure and energy consumption in Shanghai, China during 1995-2006, 土木学会中部支部研究発表会, CDR0M, 2010.

(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) 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- ”、2009年2月16日（月）、ホテルメルパルク名古屋、観客200名

2) 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- ”、2009年2月17日（火）～18日（水）、名古屋大学野依記念学術交流館、観客160名

3) 国際ワークショップ“Climate change adaptation -sharing experiences from Manchester and Nagoya- ”、2010年5月18日（火）、名古屋大学環境総合館レクチャーホール、観客50名

4) 国際ワークショップ“2nd International Meeting on Low carbonization and Dematerialization Society ”、2010年11月4日（木）、名古屋大学環境総合館レクチャーホール、観客50名

(5) マスコミ等への公表・報道等

なし

(6) その他

なし