

課題名	S-6 アジア低炭素社会に向けた中長期的政策オプションの立案・予測・評価手法の開発とその普及に関する総合的研究
課題代表者名	甲斐沼 美紀子（独立行政法人国立環境研究所社会環境システム研究センターフェロー）
研究実施期間	平成21～25年度
累計予算額	1,268,153千円（うち25年度229,694千円） 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、アジア、バックカスティング、シナリオ分析、ガバナンス、脱物質化、低炭素交通

## 研究体制

### 【前期：平成21～23年度】

- (1) アジアを対象とした低炭素社会実現のためのシナリオ開発  
（（独）国立環境研究所、京都大学、（一財）日本エネルギー経済研究所、みずほ情報総研株式会社）
- (2) アジア地域の低炭素型発展可能性とその評価のための基盤分析調査研究  
（（公財）地球環境戦略研究機関、広島大学）
- (3) 低炭素アジア実現へ向けた中長期的国際・国内制度設計オプションとその形成過程の研究  
（東京工業大学、（独）国立環境研究所、関西大学）
- (4) 経済発展に伴う資源消費増大に起因する温室効果ガス排出の抑制に関する研究  
（（独）国立環境研究所、東京大学、名古屋大学、立命館大学、みずほ情報総研株式会社）
- (5) アジアにおける低炭素交通システム実現方策に関する研究  
（名古屋大学、日本大学、東京工業大学、横浜国立大学）

### 【後期：平成24～25年度】

- (1) アジアを対象とした低炭素社会実現のためのシナリオ開発  
（（独）国立環境研究所、京都大学、広島大学、（一財）日本エネルギー経済研究所、（公財）地球環境戦略研究機関、みずほ情報総研株式会社）
- (3) 低炭素アジア実現へ向けた中長期的国際・国内制度設計オプションとその形成過程の研究  
（東京工業大学、（独）国立環境研究所、関西大学、早稲田大学、国連大学高等研究所）
- (4) 循環資源・資源生産性の向上による低炭素社会構築に関する研究  
（東京大学、（独）国立環境研究所、立命館大学、名古屋大学、みずほ情報総研株式会社）
- (5) アジアにおける低炭素都市・交通システム実現方策に関する研究  
（名古屋大学、日本大学、東京工業大学、横浜国立大学、南山大学）

## 研究概要

### 1. はじめに（研究背景等）

世界の気温上昇を工業化以前と比較して2℃以下に抑えるという目標を達成するためには、2050年に、世界人口の半分以上、温室効果ガス（GHG）排出量の半分以上のシェアを占めると言われているアジア地域で低炭素社会が実現できるかどうかを鍵を握っている。アジア地域においては、先進国が歩んできたエネルギー・資源浪費型発展パスを繰り返すのではなく、経済発展により生活レベルを向上させながらも、低炭素排出、低資源消費の社会に移行する必要がある。（図1）

これまでの途上国における経済発展は、エネルギー集約型の技術社会を基軸として、先進国の産業構造に追従する形で自国の産業構造の高度化を促進する雁行形態型発展を標準として形成されてきた。また、アジア地域では、メガシティの形成を含む都市化の進展が目覚ましく、高エネルギー消費型の都市構造が構築されつつある。さらに、社会基盤整備や耐久消費財の普及などにより、素材産業や交通需要からのGHG排出量の増大が見込まれている。

アジア低炭素社会の実現に向けてその帰趨を決めるためには、エネルギー技術、社会インフラ、人的資源、制度、社会関係資本・慣習・軌範など多くの要素について、多様性に富む地域固有の特性を適切に考慮しつつ、資源・エネルギー確保、貧困解消、環境改善などのアジア各国の抱える諸問題の解決と低炭素社会を実現させる道筋を明らかにすることは緊急の課題である。

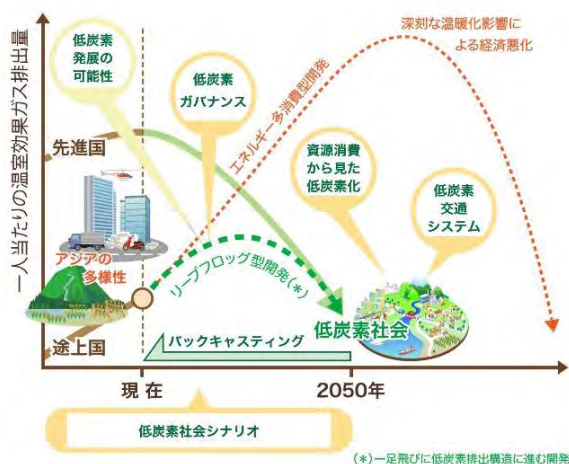


図1 S-6プロジェクト概要

## 2. 研究開発目的

本課題は、経済発展の著しいアジアの発展途上国を対象に、これまでに開発してきた統合評価モデルを適用し、低炭素社会の実現とともに経済発展など様々な課題をあわせて解決する中長期的な将来シナリオを描き、さらにその実現に向けた対策を検討、評価することを目的とする。

具体的には、テーマ1(低炭素シナリオ開発)において、アジア各国を対象に、各国の経済発展や各国が抱える個々の環境問題の解決に加え、低炭素社会の実現を統合する将来ビジョンを作成するとともに、その実現に向けた対策、道筋の検討と評価をバックキャストの手法を用いて定量的に行う。定量化にあたっては、各国のみを対象とするのではなく、各国間の関係も視野に入れた分析を行うために、世界モデル、国モデル、地域モデル、都市モデルなど、多岐にわたるモデルを用いて低炭素社会実現に向けたシナリオを構築する。

テーマ2(低炭素発展の可能性)においては、1)低炭素社会の基盤となる各国発展の道筋に影響を与える国内・国際要因、2)リーフロッグ型発展(従来型と異なり炭素排出の少ない発展)における技術・制度的な推進要因や障害要因、3)アジア的特質・価値観の役割、4)アジアにおける国全体の都市化と個別都市(メガシティ)の発展プロセス、5)国全体の都市化とCO<sub>2</sub>排出量・エネルギー消費量の関係、6)都市への住民移転によるエネルギーの消費構造変化、7)都市の責任排出などについて、現地調査、文献調査、モデルを用いた定量的分析により明らかにする。

テーマ3(低炭素ガバナンス)においては、世界及びアジアにおいて低炭素社会を確立していくための中長期的国際制度のあり方を提示し、その実現のための具体的な政策オプションを提案するため、低炭素技術移転や普及を行うための国際制度及びこれを支える資金メカニズムのあり方や、アジア地域における気候変動制度の構造化のあり方についてアジアにおける新興国(特に中国、インド、インドネシア)の事例研究を踏まえて政治的現実を踏まえた制度設計提案を行う。

テーマ4(資源消費から見た低炭素化)においては、アジア諸国の経済発展に伴う社会基盤の整備、耐久消費財の普及、消費財の消費拡大、あるいは低炭素化技術の普及等の想定に基づいて、今後の資源需要量と素材生産に係るGHG排出量の推計を行うとともに、こうした資源の需給バランスや資源の効率的・循環的利用による低炭素化のポテンシャル、需給ギャップ解消のポテンシャルについて検討することを目的とする。

テーマ5(低炭素交通)においては、2050年におけるアジア低炭素社会実現のための具体的な交通体系のビジョン及びその実現に向けた施策ロードマップ提示を目的とする。研究のアプローチとして、経済成長著しいアジアのCO<sub>2</sub>排出構造の診断を行い、アジアの低炭素交通システム構築のための治療へと繋げる。分析のスケールとしては、人々の生活を支える都市内交通システムの低炭素化の分析と、より大きいスケールで都市間・国間の経済取引を支える地域間交通システムの低炭素化の分析とで研究を行う。

## 3. 研究開発の方法

### (1)アジアを対象とした低炭素社会実現のためのシナリオ開発

世界、国、都市や地域といった異なるスケールの統合評価モデルと、各国や各都市において低炭素社会の実現に向けて施策や取り組みを評価する政策評価ツールを開発するとともに、それらをアジアに適用することで将来の社会経済シナリオを開発し、想定される社会経済シナリオ下での低炭素社会の姿を定性的、定量的に示した。なお、定性的な低炭素社会の描写は、各テーマからなるシナリオタスクフォースによって検討された。この他、エネルギーや都市構造に着目して低炭素社会を評価するモデルの開発や、アジア、インドにおける現状の施策

の展開について調査を行った。

## (2) アジア地域の低炭素型発展可能性とその評価のための基盤分析調査研究(前期のみ)

先行研究や関連文献調査、国内外の専門家・実務家からの聞き取り調査、現場調査に加え、ワークショップなどを現地で開催し、現地専門家からの更なるインプットの獲得を図った。中国、インドに関しては、特に、温室効果ガス排出削減数値目標、順守体制、省エネ促進制度などを、現地聞き取り調査や文献調査によって定性的かつ定量的に分析した。アジア的特質・価値観に関しては、地域社会での営みにある「サステナブル」な要素に着目し、現代のコンテクストに翻訳・応用する政策(制度づくり、宣伝、ビジネス、コミュニティの取り組みなど)の可能性を探ることを目的として、日本・タイ・インドネシアで、文献調査とアンケート調査をした。

また、時系列データを利用し、計量経済モデル、特にパネルデータ分析手法を利用した。アジア地域の低炭素型発展可能性とその評価のための基盤分析調査研究の中で、とりわけ都市および都市化を切り出して検討するものであり、国全体の都市化とCO<sub>2</sub>排出量・エネルギー消費量の関係を分析するため、都市化による国全体及び主要排出部門ごとのCO<sub>2</sub>排出量の影響と、都市化の違いによるCO<sub>2</sub>排出構造への影響を産業別に分析した。同時に、都市への住民移転によるエネルギー消費構造の調査をアジア都市で実施するとともに、地域産業連関分析を応用して、都市化と直接・間接エネルギー消費を考慮した都市の責任排出量を推計した。最後に低炭素社会構築のための先行事例の収集をバングラデシュ及び中国で実施した。また、「発展段階、規模、産業構造の異なるアジア都市における都市への移転住民の所得とエネルギーアクセスに関する研究」では、住民へのアンケート調査を実施した。

なお、本テーマ2は前期(H21～23年度)で終了し、後期(H24～25年度)はテーマ1に統合して継続的に研究を行った。

## (3) 低炭素アジア実現へ向けた中長期的国際・国内制度設計オプションとその形成過程の研究

中長期温室効果ガス排出削減・抑制目標の現状とその国際的衡平性のあり方の検討並びに気候変動ガバナンス制度の効果的推進のための行為主体の配置のあり方の検討を行った。また、気候変動対処以外の目的で設立された主要な地域協力機関および制度の機能評価、アジア地域における衡平性の検討、そしてアジア地域での資金供給メカニズムの検討の3つの観点から研究を推進した。

技術革新・移転における障害の把握とタイとベトナムの事例研究の実施、そして障害の克服に向けた制度の役割と機能に関する研究を検討すると同時に、アジア地域に存在する気候変動制度を調査し、これらの地域制度が国連気候変動枠組条約および京都議定書とどのような相互関係性を持っているかを研究した。

また、後期から新規に加わったサブテーマ5においては、新興国に着目した低炭素国際制度に関する研究に際して、アジアの新興大国(中国、インド、インドネシア)に注目しテーマ1で提示されている各国の2050年ビジョンを念頭に、その実現を阻む障壁を取り除くために必要な施策について文献調査を中心に研究を行った。

## (4) 循環資源・資源生産性の向上による低炭素社会構築に関する研究

(前期<H21-23年度>テーマ: 経済発展に伴う資源消費増大に起因する温室効果ガス排出の抑制に関する研究)

研究対象は、炭素排出量の大きな素材である鉄鋼材、セメント、紙・パルプ、および太陽光・風力等の低炭素化技術に関連するレアメタルとし、資源の需給バランスや資源の循環的・効率的利用による低炭素化のポテンシャル、需給ギャップ解消のポテンシャルについて検討するため、物質のフロー・ストックを推計するモデルとこれに基づきCO<sub>2</sub>排出量を推計するモデルを構築した。また、国際貿易による間接的なCO<sub>2</sub>排出量やレアメタルの移動を推計するモデルを構築した。上記のモデルにより、素材生産における効率向上やエネルギー転換、ストックされた循環資源や再生可能資源による資源代替、国際的な分業・国際資源循環などの素材供給側からのポテンシャルについて検討するとともに、アジアの地域特性を生かした資源消費のより少ない社会基盤整備、耐久消費財の保有形態の変更、一過性の資源消費の少ない消費形態への転換などの素材需要側からのポテンシャルを検討した。

## (5) アジアにおける低炭素都市・交通システム実現方策に関する研究

(前期<H21～23年度>テーマ: アジアにおける低炭素交通システム実現方策に関する研究)

低炭素都市・交通システム実現方策に関する研究では、診断、治療(処方)、治療(評価)の観点から検討した。

- ・診断: アジア途上国のCO<sub>2</sub>排出構造を簡易に診断するため、経済発展レベル、生産・消費需要、移動需要、自動車利用需要、交通起源CO<sub>2</sub>排出量の関係を4象限(排出構造4象限図)で示す手法を構築した。
- ・治療(処方): 将来の社会像を想定し、国間交通、国内交通、都市圏交通、地区交通といった様々なスケールで、AVOID・SHIFT・IMPROVE(ASI)戦略を組み合わせた低炭素交通システムの将来ビジョンを提示した。そして、ASI戦略における各施策のCO<sub>2</sub>削減効果を検証し、これらの施策を組合せその実現手法を検討した。

・治療(評価): 長期的将来の社会経済変化を踏まえ、地域間交通と都市内交通のASI戦略の施策パッケージがCO<sub>2</sub>排出に与える影響を推計するモデルを構築し、低炭素交通システムの実現ロードマップを検証した。また、CO<sub>2</sub>削減に加え、地域経済、生活の質(QOL)に与える影響を推計するモデルを構築し、低炭素交通システム実現手法の有効性を評価した。

#### 4. 結果及び考察

##### (1) アジアを対象とした低炭素社会実現のためのシナリオ開発

2050年の世界の温室効果ガス排出量を1990年比半減するために必要となるアジアでの取り組みを、「10の方策」としてとりまとめた。また、「10の方策」で示される個別の施策を、世界を対象とした応用一般均衡モデルに対して入力し、アジアにおける温室効果ガス排出量の削減の効果を定量的に分析した。その結果、アジアでは、エネルギーシステムや産業、民生における取り組みが重要となることが明らかとなった。こうしたトップダウン的なアプローチに対して、各国や主要都市、地域を対象に、拡張型スナップショットツールを適用し、各国の政策決定者や研究者と議論しながら、ボトムアップでの低炭素社会の構築の可能性について分析を行った。また、エネルギーモデルを用いて、エネルギー安全保障や省エネの重要性を明らかにするとともに、都市化を評価するモデルをもとに、都市という視点で低炭素社会の可能性について検討を行った。また、インド、中国を対象に、低炭素社会にむけて実行されている取り組みについて調査が行われた。図2は、本課題で提示した「10の方策」とその効果を、世界CGEモデルを用いて定量化した結果である。

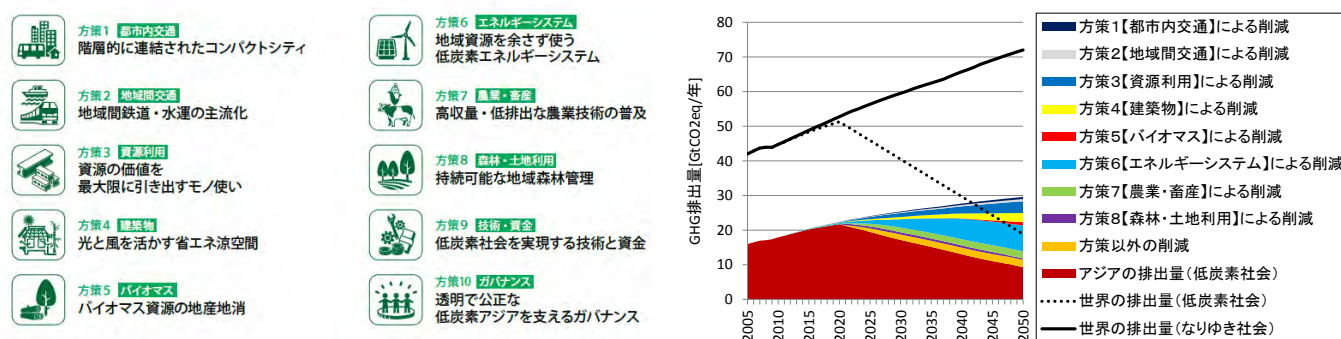


図2 アジアの低炭素社会の実現に向けて提案した「10の方策」とその効果

##### (2) アジア地域の低炭素型発展可能性とその評価のための基盤分析調査研究

アジアの低炭素発展に関して、インドネシアでは関連各省間の政策協調の欠如や森林管理権限・責任の不明瞭さに起因する森林資源管理全体の実効性の低さ、脆弱なガバナンス、適切なモニタリング体制の欠如といった制度的課題や、材木市場における商業材木の供給量に対する需要過多といった構造的課題の存在が明らかになった。一方、中国、インドは、それぞれ具体的な数値目標や省エネ促進制度を持ち、技術レベルも向上している。しかし、インドネシアと同様に、測定・報告・検証(MRV)の制度設計が大幅に遅れており、技術・資金等の面での国際協力がある程度は必要であることがわかった。中国とインドの両国においてCCS(炭素隔離固定)は温室効果ガス削減のために有効であるものの、必ずしも利用の可能性が現時点において高いとは言えない状況であることが判明した。一方、原子力の利用については、2011年3月の東京電力福島第一原子力発電所の事故を受けても、原子力利用を抑制するという流れには至る可能性が低いことが分かった。アジアにおける環境に対する価値観に関しては、「もったいない」というキーワードのもと、価値が認知される度合いと、行為の動機としてはたらく度合いには多少の違いがあることがわかった。すなわち、言葉通りの「価値」が、具体的な行為の場面で機能しているわけではないという事実は、「価値」を取り入れた政策を設計する際に意識される必要がある。

また、国全体の都市化とCO<sub>2</sub>排出量・エネルギー消費量の関係などを推計した。その結果、低開発状態での都市化は伝統的バイオマスからの転換によりエネルギー総消費量を減少させる効果がある一方で、CO<sub>2</sub>排出量は増大する。しかし、年間所得34,787ドルを超える先進国では都市化によってエネルギー消費量は若干増加するものの、CO<sub>2</sub>排出量は減少することが分かった。このことは、東京における地域産業連関分析の結果と整合的であり、一人当たりでみた(直接)CO<sub>2</sub>排出量は全国平均値より大幅に小さい一方で、間接CO<sub>2</sub>排出量を考慮した責任CO<sub>2</sub>排出量は大きく違わない。他方、アジア途上国の諸都市を対象に実施した、農村から都市への住民移転をもたらす要因とエネルギーアクセスに関するミクロな調査結果からは、移転住民の移転前後の家電製品保有状況がとりわけ大きく伸びていることが電力消費量、CO<sub>2</sub>排出量に大きく影響していることが分かった。特にダッカではその傾向が顕著であった。また、ジャカルタはハノイよりも発展段階が進んでいる(一人当たりGDPが大きい)が、家電製品所有比率は低く、移転による影響も小さいという結果となった。住民移転による生活家電



所有への影響は、所得格差の分布やライフスタイルなど各都市によって大きく異なる可能性があることが同時に示された。

### (3) 低炭素アジア実現へ向けた中長期的国際・国内制度設計オプションとその形成過程の研究

多様な行為主体に着目した低炭素ガバナンス制度設計に関する研究の結果、以下の3つの結論を得ることが出来た。1) 国際機関は科学者ネットワークの組織・運営、また、科学者ネットワークを国際(あるいは政府内)プロセスに結び付けるうえで重要な役割を担っている事を明示化した。2) 国家は効果的ガバナンス、とりわけ行為主体のネットワーク化において、依然として重要な役割を担っていることが明らかとなった。3) 環境に関する課題を環境以外の課題や利害に結び付けることにより、問題解決の糸口が見つかることがあるという示唆を得た。

また、アジア域内における低炭素社会構築のための資金供与制度のあり方に関する研究の結果、以下の3つの成果が得られた。1) アジア地域には、アジア開発銀行(ADB)やアジア太平洋経済協力(APEC)等の気候変動対策を主目的としない地域組織が、省エネ等実質的な気候変動緩和策の推進に貢献しており、活用の有用性が示された。2) 衡平性指標について、アジアの途上国は、a. 責任(汚染者負担原則、累積排出量、一人当たり排出量等)とb. 支払い能力(一人当たりGDPの高さ等)を重視していることが分かり、費用効果性の観点から目標を検討する日本の意思決定との相互理解が図られる必要があることが分かった。3) アジア地域で低炭素社会を実現するためには、年間約550億ドルの資金が気候変動緩和策に導入される必要があると推計した。他方で、現状の多国間、地域間、二国間の支援を合計してもその水準には遠く及ばないことから、今後追加的な資金調達方法を検討する必要があるが、民間資金による投資を促すことが、資金量の観点から最も効果的であることや、気候変動枠組条約の下で非附属書I国に分類されている途上国も応分の負担に合意すれば、複数の資金調達制度を組み合わせることで、上記金額が調達できることが示された。

低炭素社会実現への技術開発と技術移転の在り方に関する研究の結果、技術革新及び移転における障害は、1) 技術的な障害、2) 資金的な障害、3) 制度的な障害の3つに分類されることがわかった。それぞれのケーススタディーの結果を集約した結果、技術また国と地域によって技術普及の障害が大きく異なることもわかった。さらに、現在の国際制度が必ずしも障害を克服できるような機能を果たしているとは言えないという結論を導いた。特に経済的な障害を克服するような制度が欠如している点や途上国における知的財産権の問題が取り上げられていないことを指摘し、これらの障害に対応する制度が必要なことを提案した。

アジア地域における低炭素国際制度の設計に関する研究の結果、国際気候変動ガバナンスには制度を構成する規範としての「予防的アプローチ」と「共通だが差異ある責任」とそれにもとづく適法な政策オプションの範囲に対する規範的な論争(normative contestation)が存在している事を明らかにした。こうした規範論争は、京都議定書以外の別の気候変動に関する国際制度の出現を引き起こし、これが制度分散の重要な原因となっている事を指摘した。

新興国に着目した低炭素国際制度に関する研究の事例研究の結果、分析対象とした3か国が目指すべき将来像とその実現戦略は、各国の政治的・文化的・社会的文脈によって大きく異なることが明らかとなった。

### (4) 循環資源・資源生産性の向上による低炭素社会構築に関する研究

中国を対象とした分析において、今後の人口・GDPのシナリオに基づき、鉄鋼材、セメント、紙・板紙の需要量とその生産に伴うCO<sub>2</sub>排出量を推計した(基本ケース)。また、脱物質化推進対策に係るシナリオを設定し、同様に推計した(対策ケース)。基本ケースでは、鉄鋼材、セメント、紙・板紙に伴って排出されるCO<sub>2</sub>は2020年頃までは増加となるが、その後は鉄鋼材やセメントの需要減少によって排出量が減少し、2050年には2010年比で約1.5億トン-CO<sub>2</sub>減少となることが示された。また、長寿命化・リサイクル等の脱物質化推進対策を導入していく対策ケースでは、2050年に基本ケースに比べ約10億トン-CO<sub>2</sub>の削減が見込まれることが示された。

アジアにおける鉄鋼材を対象とした分析において、今後の需要量とCO<sub>2</sub>排出量を推計した。今後の鉄鋼材の需要量は1100~1200 Mt/年に達し、この水準を維持することが示唆された。中国の需要量は間もなくピークに達し、今後減少していく一方、インドやその他のアジア地域の需要量が増加していくと推計された。さらに、鉄鋼材のストック需要を8 t/人まで削減するシナリオについて検討したところ、2011~2050年の累積CO<sub>2</sub>排出量をBaUと比較して16%程度削減できることが示されるとともに、長寿命化やリサイクル率・歩留まりの向上等をさらに見込んだシナリオによって、さらに19%程度の削減が見込まれることが示された。

アジアにおける紙・板紙を対象として分析において、今後の需要量とCO<sub>2</sub>排出量を推計した。2050年のアジア10カ国における紙・板紙需要量は、現在の世界(アジア10カ国)の消費量の111%(336%)~153%(463%)になると推計された。また、低炭素化対策を導入すれば、2050年の無対策のCO<sub>2</sub>排出量と比べて、黒液利用で約24%、古紙パルプ増加で約5%、木材化学パルプ増加と黒液利用の複合で約32%、技術改善で約25%の削減効果が得られることが分かった。

温暖化対策技術に関わるレアメタルを対象とした分析において、今後のガリウムの需給を推計した。CIGS太

陽電池向けのガリウム需要の拡大から、現状のままのガリウム供給体制では需要を満たすことが出来なくなることが示された。また、アルミナ精錬所にガリウム回収プロセスを設置し、供給不足を賄う可能性を検討したところ、現状の3.3倍の生産能力が必要となることが分かった。しかしながら、2030年頃から徐々に太陽光電池由来のスクラップが発生することから、仮にこれをリサイクル率20%で回収できると仮定すると、その3.3倍は3倍で済むことが明らかになった。

日本の国内最終需要に伴い国際貿易を通じて世界で消費されるエネルギーは20721PJ(PJ=10<sup>12</sup>J)(NCV基準)と推計され、最終需要別の寄与としては、家計消費がその内の64%であった。家計消費は、消費財の消費が主であることから、消費財に対してサプライチェーンを通じてエネルギー消費量の把握と管理が重要であることが示唆された。国際貿易に伴う元素の移動量の推計については、機器・機械類などを含めた高加工度な製品を介した元素の移動量が、貿易に対する各元素の移動量に対して15%~27%を占め、資源の流れを把握する上で、高加工度製品を介した資源の流れが無視できない量である事が示された。

#### (5) アジアにおける低炭素都市・交通システム実現方策に関する研究

・診断：日本と中国のCO<sub>2</sub>排出構造を比較した結果、中国は日本より貨物鉄道が利用され、貨物輸送量におけるトラック輸送割合は小さいのにも関わらず、CO<sub>2</sub>排出量は同じ経済発展段階のデータで比較しても約12倍大きいことが示された。また、人口レベルが同規模のバンコク大都市圏と東京都のデータを用いて、都市交通起源CO<sub>2</sub>排出構造の4象限の図(図3)を描いた結果、バンコクのCO<sub>2</sub>排出量は東京の2倍以上多いことが示された。この主な要因として、バンコクでは移動距離の増加と車利用率の増加が顕著であり、急増する交通需要に対応するためには計画的な空間開発(AVOID)と大量輸送機関整備(SHIFT)が重要であることが分かった。

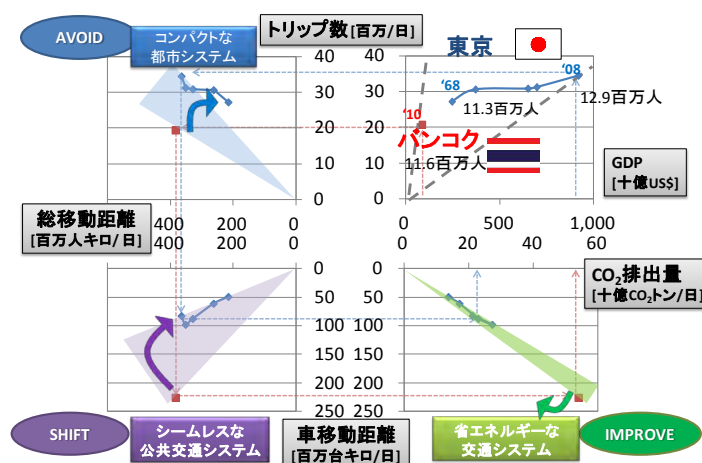


図3 都市交通起源CO<sub>2</sub>排出構造の4象限図

・治療(処方): 低炭素都市・交通システムの将来ビジョンを、コンパクトで階層的な中心機能配置(AVOID)、シームレスな階層交通システム(SHIFT)、自動車の低炭素化(IMPROVE)の概念の組合せで提示した。このようなシステムを実現するための施策については、都市発展初期ではモビリティ需要の増大に対応可能なインフラ整備を中心とした施策を行い、発展後期に経済効率性重視から社会充足性重視へとライフスタイル・価値観の変化を啓発できるようなストックの形成が重要であることが分かった。

低炭素地域間交通システムの将来ビジョンとして「鉄道・水運の主流化」を提示した。具体的には、貨物高速鉄道による産業コリドー形成(AVOID)、鉄道・水運の整備を軸としたインターモーダルな旅客・物流交通システム(SHIFT)、自動車・航空機の低炭素化(IMPROVE)の3つの観点から将来ビジョンを整理した。これらの将来ビジョンを実現するための方策として、経済成長期に高速鉄道や水運の整備(SHIFT)に積極的な投資を行い、鉄道輸送を主体とした産業構造の転換を図ること(鉄道指向型経済・工業開発: Rail Oriented Development)が重要であることを示した。

・治療(評価): ASEAN大・中都市で低炭素モードを選定した結果、車両技術の進歩を考慮しても、多くの都市で鉄道・BRT導入が低炭素であることが示された。この低炭素交通モードに対して、2050年に現況比約40%の都市旅客交通起源CO<sub>2</sub>排出量の削減に必要な整備量を検討した結果、2010年から30年までの早期整備をした場合、鉄道は平均約800km、BRTは平均約1000kmの整備が必要であることが示された。

バンコク市民の交通機関と居住環境への選好を踏まえて将来の交通行動変化を推計した結果、鉄道優先整備シナリオの中でも、駅前から車利用を排除し高質な駅前整備を行うカーフリーシナリオのCO<sub>2</sub>削減が最も高く、

渋滞抑制・QOL 向上にも効果的であることが分かった。

国内交通についてタイにおける空間開発パターンを評価した結果、CO<sub>2</sub> 排出量を減らすためには、首都バンコクに集中した産業をその周辺地域も含めた地域にもう少し分散させていく必要があることが分かった。大メコン圏では、貨物鉄道技術等を活用した低炭素な地域間交通システムへの投資を積極的に推進することができれば、トラック輸送量は抑制され、CO<sub>2</sub> 排出量を抑制することが可能であることが明らかになった。

## 5. 本研究により得られた主な成果

### (1) 科学的意義

- 1) 本研究の定性的、定量的な分析結果から、世界の温室効果ガス排出量の半減は、実行可能な解であるが、「10の方策」で示したようなあらゆる施策を総動員して達成できる目標であることが明らかとなった。また、その実現に向けて必要となる様々な施策や取り組みを時系列で示すことで、より整合的で合理的な低炭素社会の実現に向けた取り組みを明示することが可能となった。また、エネルギー安全保障の面や都市化の面からも考察を行うことができた。
- 2) 各国の排出削減目標について公平性の観点から網羅的な調査を行うことで、実際の排出パスが異なってくることを示すことができた。また、アジアの国家主導の地域制度は制度的分散の状況にあり、京都議定書と規範的に競争関係にあることから衝突的断片化の特徴を有することを明らかにしたことにより、この分野の学術的論議に大きく貢献した。その上で、気候変動ガバナンスに係る様々な行為主体の役割を考慮し、有機的にネットワーク化させることで、効果的な制度の構築が可能であるという結論を導いたことにより、今後の気候変動ガバナンス研究に大きな示唆を与えることができた。さらに、世界及びアジア低炭素社会構築に向けた効果的な気候変動ガバナンスに必要な不可欠な資金供給メカニズムと低炭素技術革新・移転に関する研究を推進することにより、より具体的な提案が可能となった。最後に、発展途上国の文脈において「低炭素社会」がどのようなインプリケーションを有するかについて、事例研究を基に関係性の把握を行った事により、開発学と環境学（低炭素社会研究）の統合的研究を推進した。
- 3) バックキャストिंगによるアジアの低炭素交通システムの設計手法について、ビジョンづくりから、政策選択までのプロセスを、一貫したシステムとして提示した。アジアの長期的将来における社会経済や都市開発の変化に伴う交通需要の大きな変化を想定した上で、データの利用可能性に応じてアジア途上国都市の低炭素交通システムの設計を行う手法体系を構築した。また、アジアの地域経済と環境について、交通モデル・経済モデル・環境モデルの統合型モデルを開発することで、より包括的な評価を行うことが可能になった。

### (2) 環境政策への貢献

#### <行政が既に活用した成果>

- 1) 各国の排出削減目標に関して、2020年目標が議論されていた時期に、公平性の観点から網羅的な調査を行い、また、京都議定書の約束期間のような概念と、2020年単年目標という概念の違いによって、実際の排出パスが異なってくることを示した本研究の成果は、2009年の麻生政権下での中期目標策定論議の際の資料提供などで政策検討に貢献したほか、2010年8月6日中央環境審議会地球環境部会中長期ロードマップ小委員会で資料として提供された。
- 2) 耐久財・耐久消費財・消費財の製品需要量から炭素排出量の大きい鉄鋼材、セメント、紙・板紙の需要量とその生産に伴って排出されるCO<sub>2</sub>排出量を推計可能な物質フロー・ストックモデルを構築した。このボトムアップ型のモデルにより算出した中国の鉄鋼需要の推計結果は、環境省「2013年以降の対策・施策に関する検討小委員会第2回低炭素ビジネスWG」(2012年2月8日開催)の資料において引用された。
- 3) 世界231の国や地域を含めたグローバルなシステム境界に基づき、国際貿易に伴うエネルギー消費と汎用金属資源の移動量の構造を明らかにした。このグローバルエネルギー消費原単位に基づき算出されているグローバル GHG 排出原単位は、環境省所管による「グリーンバリューチェーンプラットフォーム (<http://www.gvc.go.jp/>)」において、SCOPE3用の原単位データベースとして利用されている。

#### <行政が活用することが見込まれる成果>

- 1) これまでに開発されてきた各国別に構築した低炭素シナリオや実際の取り組みは、世界の温室効果ガス排出量の半減には十分とはいえないが、本課題を通じて、半減シナリオに対応する国別シナリオも見られるようになり、少しずつではあるが、変化の兆しが見られるようになった。また、アジア各国の政策担当者や研究者を対象としたトレーニングワークショップを実施したり、各国で既にとられている様々な取り組みを共有することで、低炭素社会の実現に向けて、取り得る施策を各国自ら検討し、評価、導入することが可能となると考えている。
- 2) インドネシア、中国、インドの気候変動・エネルギー政策に関して、その数値目標や具体的政策に関して詳細

な分析が行われた。特に、中国およびインドにおける温室効果ガス排出削減や再生可能エネルギーに関する数値目標の国際的比較可能性に関して定量的な分析がなされた。また、アジアでの炭素回収貯留技術導入の課題、原子力発電の役割の維持、MRV制度のキャパビルの必要性などが確認された。アジアの伝統的価値観に関しても、具体的な議論のベースを確立することができた。さらに、リープフロッグ型の都市発展を目指すことや、各国の都市化の形態（都市化率・産業構造）の多様性、都市部と農村部・他都市との関係性、都市以外の地域で誘発される間接的なCO<sub>2</sub>排出量、といった要因に配慮すべきことなどが明らかになった。そして、都市の低炭素型発展は様々な関連政策（都市計画、産業構造の変革等）とも密接に結びついており、エネルギー安全保障の確立や化石燃料輸入コストの削減などにも貢献することを示すことができた。これらの点も、日本の政府開発援助などによる国際協力政策の策定などに多に役立せることができると思われる。

- 3) 耐久財・耐久消費財・消費財の製品需要量から炭素排出量の大きい鉄鋼材、セメント、紙・板紙の需要量とその生産に伴って排出されるCO<sub>2</sub>排出量を推計可能な物質フロー・ストックモデルを構築したが、このボトムアップ型のモデルは、既に活用された「中国の鉄鋼需要の推計結果」以外にも、需要削減・リユース・リサイクル等の脱物質化対策の評価・検討に活用できると考えられる。また、複数鉱種間の併産・副産関係を記述したシステムダイナミクスモデルを構築したが、このモデルでは、例えば、CIGS太陽電池の導入が、様々な鉱種にもたらす影響をシステム全体として分析できることから、環境政策と資源政策のより統合的な検討に活用できると考えられる。
- 4) 本研究で提示したアジア低炭素交通システムの将来ビジョンや実現施策についての成果は、コンケンでは、知事、市長、副市長、ピエンチャンではラオス公共事業交通省交通局長、交通技術環境室長といった行政関係者にも内容を紹介しており、今後の計画において分析内容が利用される可能性がある。また、タイに続いてモータリゼーションによる渋滞が深刻化しマニラ、ハノイ、ジャカルタも含め多くのアジア都市において交通計画、都市計画に関するマスタープランが作成段階であり、インドネシア交通省も、本研究手法の適用について興味を示している。加えて、アジアのインターモーダル輸送を促進している UNESCAP などの国際機関にとっても有益な情報である。

## 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) K. GOMI, K. SHIMADA and Y. MATSUOKA: Energy Policy, 38, 4783-4796 (2010)  
“A low-carbon scenario creation method for a local-scale economy and its application in Kyoto City”
- 2) P. POUMANYVONG and S. KANEKO: Ecological Economics, 70(2): 434-444.  
doi:10.1016/j.ecolecon.2010.09.029 (2010)  
“Does urbanization lead to less energy use and lower CO2 emissions? A cross-country analysis”
- 3) S. KOMATSU, S. KANEKO and P. P. GHOSH: Energy Policy. doi:10.1016/j.enpol.2010.11.022 (2010).  
“Are micro-benefits negligible? The implications of the rapid expansion of Solar Home Systems (SHS) in rural Bangladesh for sustainable development.”
- 4) N. KANIE, H. NISHIMOTO, Y. HIJIOKA, and Y. KAMEYAMA: International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics Volume 10, Issue 4, 299-315 (2010)  
“Allocation and architecture in climate governance beyond Kyoto: lessons from interdisciplinary research on target setting”
- 5) S. KOMATSU, S. KANEKO and P. P. GHOSH: Energy Policy, 39(7), 4022-4031 (2011)  
“Are micro-benefits negligible? The implications of the rapid expansion of Solar Home Systems (SHS) in rural Bangladesh for sustainable development”
- 6) S. KOMATSU, S. KANEKO, R. M. SHRESTHA, and P. P. GHOSH: Energy for Sustainable Development, doi:10.1016/j.esd.2011.03.003 (2011)  
“Nonincome factors behind the purchase decisions of solar home systems in rural Bangladesh”
- 7) 玉西雄三、村上進亮、山富二郎: Journal of MMIJ, 127, 615-621 (2011)  
「4-D network relaxation法を用いた露天掘鉱山生産計画のアルゴリズム開発」
- 8) S. ASHINA, J. FUJINO, T. MASUI, T. EHARA, and G. HIBINO: Energy Policy, 41, 584-598 (2012)  
“A roadmap towards a Low-carbon Society in Japan Using Backcasting Methodology: Feasible Pathways for Achieving an 80% Reduction in CO<sub>2</sub> Emissions by 2050”
- 9) F. SHI, T. HUANG, H. TANIKAWA, J. HAN, S. HASHIMOTO and Y. MORIGUCHI: Journal of Industrial Ecology, 16, 493-505 (2012)  
“Toward a low carbon-dematerialization society: Measuring the materials demand and CO<sub>2</sub> emissions of



- building and transport infrastructure construction in China”
- 10) C. KAYO, S. HASHIMOTO, and Y. MORIGUCHI: Journal of Industrial Ecology, 16(4), 529–540 (2012)  
“Paper and paperboard demand and associated carbon dioxide emissions in Asia through 2050”
  - 11) K. NANSAI, Y. KONDO, S. KAGAWA, S. SUH, K. NAKAJIMA, R. INABA and S. TOHNO: Environmental Science & Technology, 46(16), 9146–9154 (2012)  
“Estimates of embodied global energy and air-emission intensities of Japanese products for building a Japanese Input-Output Life Cycle Assessment Database with a global system boundary”
  - 12) 中村一樹, 林良嗣, 加藤博和, 福田敦, 中村文彦, 花岡伸也: 土木学会論文集D3(土木計画学) 68(5), (土木計画学研究・論文集第29巻), pp.I\_857- I\_866 (2012)  
「アジア開発途上国都市における低炭素交通システム実現戦略の導出」
  - 13) R. KAWASE and Y. MATSUOKA, Energy Policy, 63, 1126–1138 (2013)  
“Reduction targets under three burden-sharing schemes for 50% global GHG reduction toward 2050”
  - 14) Y. MATSUO and K. ITO: Global Environ. Res., 17(1), pp.89–98. (2013)  
“Energy Scenario Development toward a Low-Carbon Society”
  - 15) Z. JIN, T. KURAMOCHI and J. ASUKA: Global Environmental Research, 17(1), 19–28 (2013)  
“Energy and CO2 intensity reduction policies in China: Targets and Implementation”
  - 16) N. KANIE, M. SUZUKI and M. IGUCHI: Global Environmental Research, 17 (1), 61–70 (2013)  
“Fragmentation of international low-carbon technology governance: an assessment in terms of barriers to technology development”
  - 17) M. SUZUKI: Environmental Economics and Policy Studies, 59 (2013)  
“Addressing key issues in technology innovation and transfer of clean energy technologies: A focus on enhancing the enabling environment in the developing countries”
  - 18) C. OH and S. MATSUOKA: International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics, DOI 10.1007/s10784-013-9219-0.(online publication) (2013)  
“The position of the Low Carbon Growth Partnership (LCGP): at the end of Japan’s navigation between the Kyoto Protocol and the APP”
  - 19) N. KANIE, P. M. HAAS, S. ANDRESEN, G. AULD, B. CASHORE, P. S. CHASEK, J. A. PUPIM DE OLIVEIRA, S. RENCKENS, O. S. STOKKE, C. STEVENS, S. D. VANDEVEER and M. IGUCHI: Environment: Science and Policy for Sustainable Development, 55 (5) 14–30 (2013)  
“Green Pluralism: Lessons for Improved Environmental Governance in the 21st Century–”
  - 20) S. HASHIMOTO and Y. MORIGUCHI: Global Environmental Research, 17(1), 39–46 (2013)  
“Resource management for carbon management: a literature review”
  - 21) K. NAKAMURA and Y. HAYASHI: Transport Policy, Vol.29, pp264–274 (2013)  
“Strategies and instruments for low-carbon urban transport: An international review on trends and effects”
  - 22) A. FUKUDA, T. SATTIENAM, H. ITO, D. IMURA and S. KEDSADAYURAT: The Journal of the Eastern Asia Society for Transport Studies, Vol.10, 113–130 (2013)  
“Study on Estimation of VKT and Fuel Consumption in Khon Kaen City, Thailand”
  - 23) S. PEAMSOK, F. NAKAMURA, S. TANAKA and W. RUI: Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies Vol.10 (2013)  
“Location and Mode Choice Decision Mechanism Analysis of Multi-Worker Household in Bangkok, Thailand”

### ＜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) N. KANIE, Amsterdam Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change Earth System Governance: People, Places and the Planet’ (2009)  
“Allocation and architecture in Controversies and Approaches on Mid-term Target Setting in Japan: from 8% to 25%”
- 2) J. ASUKA: IGES Side event at UNFCCC COP17, Dec.5, 2011, Durban, South Africa (2011)  
“Low carbon society (LCS) in Asia: from planning to implementation”

- 3) T. WANG and S. HASHIMOTO: The 10th International Conference on EcoBalance, Tokyo, Japan (2012)  
“Forging a low-carbon steel cycle in Asia”
- 4) F. SHI, H. TANIKAWA, T. WAMG: MFA – ConAccount Section Conference 2012, Darmstadt, Germany (2012)  
“Material flow analysis for transport infrastructure and building construction in China”
- 5) S. FUJIMORI, T. T. TRAN, M. NAMAZU, T. MASUI, Y. MATSUOKA, K. JIANG, P. R. SHUKLA: IAMC 6th Annual Meeting, Tsukuba, Japan (2013)  
“Analyzing the energy demand of Low carbon development in China and India using AIM/CGE model”
- 6) 花岡伸也, 加藤智明, 中道久美子: 土木計画学研究・講演集, No.48 (2013)  
「大メコン圏の地域間貨物輸送における環境を考慮した機関分担率の算出」
- 7) N. KANIE, M. SUZUKI and M. IGUCHI, Earth System Governance Tokyo Conference: Complex Architectures, Multiple Agents (2013)  
“Fragmentation of international low-carbon technology governance: an assessment in terms of barriers to technology development”.

## 7. 研究者略歴

課題代表者: 甲斐沼 美紀子

京都大学工学部卒業、工学博士、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センターフェロー

### 研究分担者

1) 増井 利彦

大阪大学工学部卒業、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センター 統合評価モデリング研究室 室長

2) 明日香 壽川

東京大学大学院工学系研究科修了、学術博士、現在、公益財団法人地球環境戦略研究機関シニアフェロー、東北大学東北アジア研究センター 教授

3) 蟹江 憲史

慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科修了、政策・メディア博士、現在、東京工業大学大学院 社会理工学研究科准教授、国連大学高等研究所シニアリサーチフェロー

4) 森口 祐一

京都大学工学部卒業、博士(工学)、現在、東京大学大学院工学系研究科教授

5) 林 良嗣

東京大学大学院工学系研究科博士課程修了、現在、名古屋大学大学院環境学研究科附属交通・都市国際研究センター長・教授

**Research Project to Establish a Methodology to Evaluate Middle to Long Term Environmental Policy Options toward Asian Low-Carbon Societies (Low-Carbon Asia Research Project)**

Principal Investigator: Mikiko KAINUMA

Institution: National Institute for Environmental Studies (NIES)  
16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-506, Japan  
Tel: +81-29-850-2422 / Fax: +81-29-850-2572  
E-mail: mikiko@nies.go.jp

Cooperated by: Tokyo Institute of Technology, The University of Tokyo, Nagoya University, Kyoto University, Hiroshima University, Kansai University, Waseda University, United Nations University - Institute of Advanced Studies (UNU-IAS), Ritsumeikan University, Nihon University, Yokohama National University, Nanzan University, The Institute of Energy Economics, Japan, Institute for Global Environmental Strategies; Mizuho Information and Research Institute, Inc.

Abstract

Keywords: Low-carbon society, Asia, Backcasting, Scenario analysis, Governance, Dematerialization, Low-carbon transport

The objectives of this project were twofold: to establish a vision for low-carbon societies (LCSs) in Asia that would help to achieve a global mean temperature increase below two degrees compared with the preindustrial temperature, and to develop and evaluate comprehensive policy options and roadmaps. The research was conducted by five teams.

Team 1, in collaboration with the other teams, developed “Ten Actions toward Low Carbon Asia,” which provides a guideline for the planning and implementation of strategies for an LCS in Asia and quantifies the effectiveness of each action using an integrated assessment model. The team also developed LCS scenarios and roadmaps for several countries and cities in Asia by collaborating with researchers and policymakers in Asia.

Team 2 proposed policy interventions in each major emitting sector, such as the introduction of a market mechanism with a more stringent measurable, reportable, and verifiable (MRV) system. It also estimated the impacts of urbanization on energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions and showed that they are highly dependent on the

development stages of the respective countries.

Team 3 examined and analyzed international and domestic governance architectures, policy options, and environmental governance, and obtained two outcomes: (1) it is important to draw implications from the “fragmented governance” in the area of climate change issues, and (2) low-carbon technological and financial mechanisms must be effectively integrated into the post-2012 institutional framework.

Team 4 estimated future resource demand and CO<sub>2</sub> emissions from the production of materials. It developed material flow and stock models that can estimate demand for carbon intensive materials and CO<sub>2</sub> emissions from their production, as well as system dynamics models that describe the coproduction of multiple metals. This team also estimated energy consumption associated with international trade between 231 countries and regions.

Team 5 designed a low-carbon transport system by combining three types of strategies: avoiding unnecessary travel demand (AVOID strategy), shifting transport modes to low-carbon types (SHIFT strategy), and improving energy efficiency and emission intensity in transport (IMPROVE strategy). Based on these strategies, the team proposed visions of transport systems to meet expanding transport demand and improve quality of life, taking future changes in transport demand into consideration, both for urban and interregional transport.

These findings of the project and the proposed guidelines and methodologies to evaluate policy options are expected to contribute to the development of specific actions to realize an LCS for each country or region in Asia.