

課題名 S-6-1 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

課題代表者名 増井 利彦 (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)

研究実施期間 平成21～25年度

累計予算額 649,090千円(うち25年度128,219千円)
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、将来シナリオ、モデル、エネルギー、都市、政策評価

研究体制

- (1) グローバルシナリオと整合したアジア低炭素社会シナリオの開発((独)国立環境研究所)
- (2) アジア低炭素社会シナリオ定量化のための国・都市レベルを対象としたモデル開発と低炭素社会を支える都市・地方シナリオの開発(京都大学)
- (3) アジア低炭素社会の実現に向けた国・地域シナリオの開発(みずほ情報総研株式会社)
- (4) 低炭素社会の実現に向けたエネルギーシナリオの開発((一財)日本エネルギー経済研究所)
- (5) インドにおける低炭素社会シナリオの開発と政策支援に関する国際交流研究((独)国立環境研究所)
- (6) 中国・インドを中心とした低炭素社会シナリオ実現のための制度設計およびロードマップの開発研究((公財)地球環境戦略研究機関)
- (7) アジア低炭素シナリオ下における産業別就業構造と都市化に関する研究(広島大学)

研究協力機関

中国国家発展改革委員会エネルギー研究所、北京師範大学、中国科学院広州エネルギー研究所、ソウル大学、インド経営大学院アーメダバード校、インド国立工業教育大学ボパール校、ボパール建築計画研究所、マレーシア工科大学、アジア工科大学、タマサート大学、キングモンクット大学、ボゴール農業大学、バンドン工科大学、東京大学、株式会社E-KONZAL

研究概要

1. はじめに(研究背景等)

2007年に出されたIPCC第4次評価報告書をはじめとする科学的知見の積み重ねにより、G8や国連などのハイレベルな国際政治の舞台で、深刻な温暖化影響を避けるため温度上昇を産業革命以前に比べて2℃以下に抑えることが世界共通の課題になっている。一方、その目安となる「2050年世界半減」(日本では、2050年までに80%削減目標が掲げられている)に至る道筋についてさまざまなシナリオ分析が行われているものの、特にアジア各国の実情に応じた大幅削減を実現する社会実装可能なロードマップづくりには至っていないのが現状である。そこで、アジア地域において、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方策を具体的に描くことが、地球規模での低炭素社会の構築において求められている。本テーマでは、戦略研究プロジェクトの全体テーマとして示されているアジアの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・評価手法の開発について、シナリオアプローチの手法を用いて、他のサブテーマの検討結果も踏まえながら低炭素社会の実現に必要な要素(社会経済の動向や対策)について定量的かつ定性的に分析する。

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、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ものである。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。また、再生型エネルギー開発と温暖化抑制以外の地球規模諸問題との係わりなど(例えば、バイオマスエネルギー開発・食糧問題・土地利用変化)、低炭素社会を検討する際に問題となる諸制約条件についても定

量的に解析し、アジアにおける低炭素社会の実現に向けた統合シナリオを開発する。特にエネルギーシステム・政策に関しては、これまでのエネルギー開発の経緯や世界全体のエネルギー需給状況、各国・地域のエネルギー安全保障など、低炭素社会以外の要素をも十分考慮して定量的に検討する。また、中国、インドなどアジアの主要国を対象に、各国・地域の研究機関、研究者と協力して、各種モデルを適用し、国・地域レベルの低炭素社会シナリオを構築する。

また、本プロジェクトの各テーマ共通のプラットフォームとして、プロジェクト全体の進行を調整するとともに、各テーマの代表者からなるシナリオタスクフォースを組織し、各チームの知見を総合して、政策支援と普及啓発に資するアジア低炭素社会像を描く。描かれた施策や取り組みは、サブテーマ(1)で行う定量モデルに入力され、2050年の低炭素社会の姿を定性的だけでなく定量的にも描く。また、アドバイザリーボードを運営し、総合的な研究を進める。

3. 研究開発の方法

テーマ1におけるサブテーマの構成を図1に示す。なお、サブテーマ(5)は、EFF(エコフロンティアフェロー)制度を利用して行った課題であり、2-3年度目を実施した。また、後期(平成24~25年度)には、サブテーマ(6)及び(7)を加えて、シナリオの強化とシナリオの実現に向けた取り組みの検討を行うとともに、テーマ間連携としてシナリオタスクフォースを設置した。

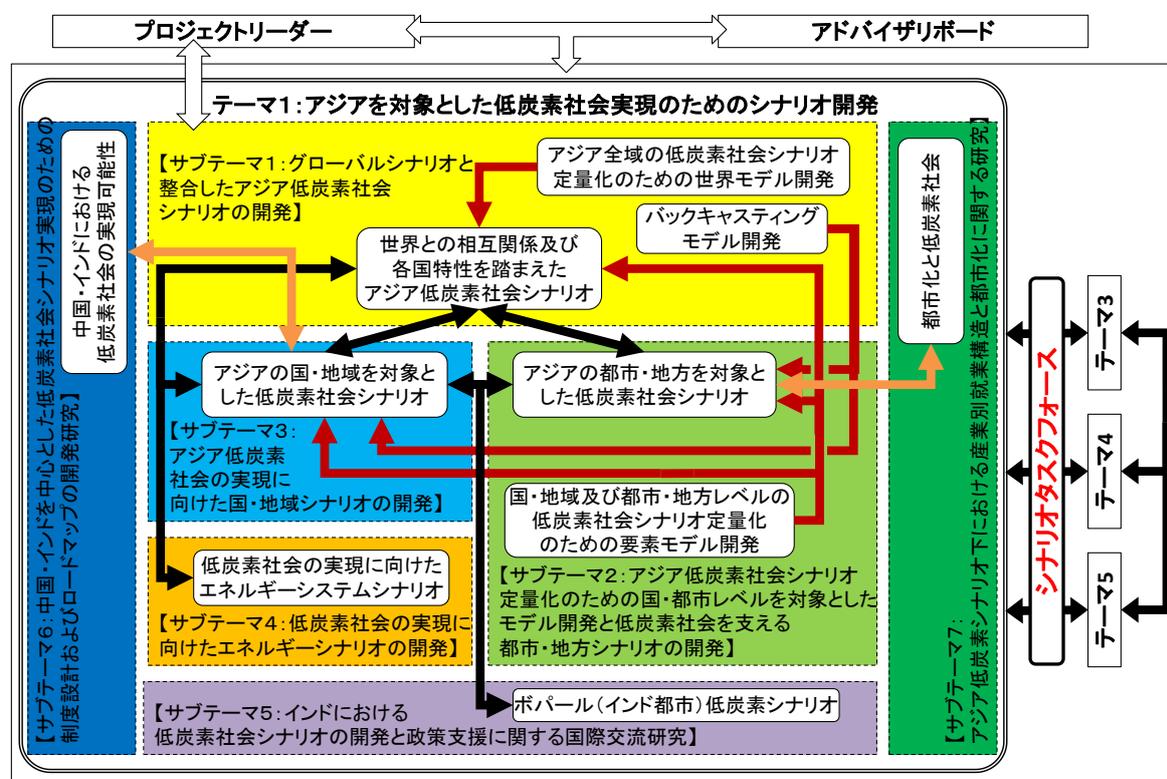


図1 テーマ1を構成する各サブテーマの位置づけと概要

(1) グローバルシナリオと統合したアジア低炭素社会シナリオの開発

2050年の世界における温室効果ガス排出量を1990年比半減させる際のアジアにおける排出削減シナリオを検討することを目的として、世界を対象とした応用一般均衡モデル(CGEMモデル)の改良とそれを用いた分析を行った。その際、世界の温室効果ガス排出量を削減する際の各国の排出削減目標について、公平性及び簡明・簡便性の観点から、一人あたり等排出量(pCAP)、GDPあたり等排出量(pGDP)、一人あたり等累積排出量(pCUM)を対象に、検討した。また、2050年低炭素社会実現に向けた方策を検討することを目的としてバックキャストモデルの開発を行った。このほか、アジア低炭素社会シナリオを検討するために重要となる再生可能エネルギーのポテンシャルの推計も行った。さらに、主としてサブテーマ(2)で開発してきたツール群のアジア主要国への普及を目的としたセミナー、ワークショップをサブテーマ(2)及び(3)と共同で実施し、世界CGEMモデルによる分析と整合するアジア各国シナリオ開発やその実現に向けた議論を、各国研究者や政策決定者と行った。

このほか、各テーマを横断する取り組みとして、シナリオタスクフォースをプロジェクトリーダーの元で組織し、2050年にアジア地域において低炭素社会を実現するための取り組みや施策について定性的に検討した。さらに、シナリオタスクフォースにおいて議論された定性的な情報を、サブテーマ(2)において開発された各種ツールを用

いて整理し、最終的には「10の方策」としてとりまとめた。さらに、本サブテーマにおいて、世界CGEモデルを用いて「10の方策」の定量化を行った。

(2) アジア低炭素社会シナリオ定量化のための国・都市レベルを対象としたモデル開発と低炭素社会を支える都市・地方シナリオの開発

本プロジェクトでは、シナリオ構築手法の基本的な考え方としてバックキャストिंगの方法論を採用する。バックキャストिंगとは、「特定の目標地点から現在に向かって逆算すること」と定義され、二段階に分けられる。前半は目標とする将来像の描写、後半が目標へ到達するための道筋の探索である。低炭素社会の構築においてこの考え方を適用するならば、前半の「目標地点」、すなわち「低炭素社会ビジョン」の描写と、後半の「逆算」、すなわち目標地点へ到達するための「低炭素社会ロードマップ」の探索とに分けることが出来る。低炭素社会の実現はこれまでの傾向の延長では不可能であること、長期的な目標の達成と現在の行動とを整合させる必要があることから、バックキャストिंगの考え方に基づくことで有用な手法を開発できると考えたためである。

本サブテーマで開発した手法は、次の4つの段階からなる(本稿に用いる英略語については表1を参照)。

1) 目標決定と情報収集

低炭素目標の決定は作成するビジョンおよびロードマップの対象範囲や枠組みを定める。収集する情報は主として統計データであり、十分な情報が得られない場合は、間接的な情報から推計により補う。実際の作業においてはかなりの労力をこの段階に費やすことになる。

2) 低炭素対策の予備評価

まず、候補となる低炭素対策の情報を収集する。そして、そのうち目標年までに導入の可能性がないものはこの時点で除外し、可能性があるものについては詳細な情報を収集する。

3) 低炭素社会ビジョンの構築

まず将来社会の想定を行う。社会経済の全体像について、定性的なシナリオをまず叙述し、次にそれを定量的な想定に反映する。一方でAHPTを利用して低炭素対策の評価を行う。これらからExSS、ExSS/Waste、AFOLUA/AFOLUBを利用して社会経済指標・GHG排出量・低炭素対策導入量を推計する。目標を達成するために必要な低炭素対策が同定されたならば、これらをまとめて低炭素社会ビジョンとする。

4) 低炭素社会ロードマップの構築

低炭素施策の導入に必要な施策を挙げてABS(Action Breakdown Structure)を作成する。次にAHPTで各施策を評価する。各施策の定量的要件(費用を含む)と制約条件(総費用の上限、中間年の目標)を設定し、Backcasting Tool (BCT)を用いてロードマップを構築する。各施策の排出削減量への貢献度はADSMおよびARIPPLEによって推計される。これらの推計結果から施策個票を完成させる。本サブテーマにより開発されたモデルおよびツールの一覧を表1に示す。

表1 サブテーマ(2)で開発したツールの一覧

名称	略称	説明
Extended Snapshot Tool	ExSS	社会経済指標、エネルギー需給、廃棄物発生量、GHG 排出量、そして低炭素対策による GHG 排出削減量を整合的に計算し、低炭素社会としての定量的な将来像をデザインする会計表型の比較静学モデル
Extended Snapshot Tool Waste module	ExSS/Waste	ExSS の追加モジュールで、廃棄物(産業廃棄物、一般廃棄物)の処理・処分から発生する GHG 排出量を推計する動学モデル
Socio-economic Design Template	SEDT	将来社会像の検討にあたって様々な社会経済指標について方向性を示し、定量化するために検討すべき事項が記述されたガイド
Agriculture, Forestry and Other Land use Activity Model	AFOLUA	人口増加や食料需要の変化等から AFOLU 部門の活動量(食料生産量、農地の面積、家畜頭数、土地利用転換面積等)を推計し、これらからの GHG 排出量を推計する動学モデル
Agriculture, Forestry and Other Land use Bottom-up Model	AFOLUB	農業・土地利用部門で利用される GHG 排出に関連する詳細な技術情報(費用、排出係数、適用可能な上限等)を格納し、与えられた活動量、排出量制約、排出税のもとで費用を最小化する技術導入経路を推計する動学モデル
Analytic Hierarchy Process Tool	AHPT	階層分析法(Analytical Hierarchy Process, AHP)を用いて、GHG 排出削減以外の複数の評価基準から各低炭素対策の総合的な評価を定量的に推計するツール
Action Breakdown Structure	ABS	低炭素目標を達成するために必要な施策を欠損・重複のないように挙げ、体系化するための樹形図状のチャート
Backcasting Tool	BCT	低炭素施策相互の関係を考慮し、目標年までの最適な政策実施経路を探索する動学モデル
Action Design Structure Matrix	ADSM	主体、事業、指標、目標の相互関係を記述するマトリクス
Action Ripple Diagram	ARIPPLE	主体、事業、指標相互の関係からそれぞれの排出削減への貢献量を間接的な効果も考慮して計算するツール
Specification Card (施策個票)	SC	実施される個々の低炭素社会施策に関する情報(投入資源、実施時期、実施主体、排出削減量等)を格納した様式

(3) アジア低炭素社会の実現に向けた国・地域シナリオの開発

本サブテーマでは、アジア低炭素社会の実現に向けた国・地域シナリオの開発を担当しており、以下の4つの作業を進めてきた。それぞれの作業を円滑に進めるために、対象とした国・地域（主に中国、インド、タイ、等）における研究者や政府関係者との信頼関係を構築して、密にコミュニケーションを取りながら作業を進めた。

1) 検討対象地域の選定と低炭素社会シナリオの策定に資する基礎情報の収集・整備

検討対象とするアジア諸国の絞り込みを行ったうえで、対象とする国・地域について、各国の国家開発計画、気候変動・エネルギー政策などの政策情報、高成長を実現するために乗り越えるべき課題、各国の政府機関や国際機関などのシナリオに示される社会経済指標について、情報収集を行った。

2) アジア地域における低炭素社会構築のための基礎となる社会像の検討

先行研究で開発されているビジョン構築手法を参考に、アジア諸国を対象とした汎用性のある叙述シナリオ構築手法の開発を行い、当該手法をアジア地域に適用することで将来の社会像を策定した。

3) シナリオ構築やモデル分析のための技術移転の実施

低炭素社会シナリオを構築するための手法や、各種モデルの操作方法、各種データの収集方法等について、各国の研究者に技術移転をするためのトレーニングを、サブテーマ(1)(2)と共同で実施した。

4) アジア諸国における低炭素社会シナリオの構築

国・地域によって多少の差異はあるものの、おおむね、定性シナリオを構築したうえで各種モデルを適用してシナリオの定量化を行うことで、アジア諸国における低炭素社会シナリオを構築した。

(4) 低炭素社会の実現に向けたエネルギーシナリオの開発

IEA（国際エネルギー機関）のエネルギーバランス表をもとに、将来にわたる詳細なエネルギー需給構造の変化を予測し得る計量経済モデルを、アジアを中心とする世界各地域について構築した。その上で、世界及びアジアにおけるエネルギー需給の状況や政策等の動向等を網羅的に調査・評価し、積み上げ式のモデル化により省エネルギー機器の普及見通し、化石燃料やウラン資源の生産見通し、原子力発電や再生可能エネルギー発電の進展見通し等を作成した。これらのモデル化をもとに、2050年までのアジア・世界各地域におけるエネルギー消費量やエネルギー起源CO₂排出量のみならず、石油・天然ガス・ウラン資源等の需給の見通しや貿易フロー、エネルギー自給率等の推計を行った。

(5) インドにおける低炭素社会シナリオの開発と政策支援に関する国際交流研究

世界中の都市から多くの温室効果ガスが排出されており、インドの都市もその例外ではない。このため、低炭素社会の道筋を構築するにあたって、インドの諸都市は気候変動緩和策に大きく貢献することが必要となる。本サブテーマでは、インドの中規模都市の例としてボパール市を取りあげ、ボパール市における民生部門、運輸部門、産業部門を対象とした低炭素社会シナリオの開発を行うことを目的とし、経済、環境、技術、社会、制度に関する要因に焦点を当て、ボパール市の将来を分析する上で必要となるドライビングフォースやトレンド、課題について、サブテーマ(2)で開発されたExSSを用いて分析を行った。分析において2つのシナリオを設定した。1つ目のシナリオでは、全体を概観するにあたって、想定される社会経済構造の変化を反映させて2035年のボパール市を表現した。さらに、望ましい2035年のボパール市の姿を描写した。

また、各種統計資料から生産部門を14部門に分割した2005年社会会計表の推計作業を行い、サブテーマ(1)で開発された国別の応用一般均衡モデルをボパール市に適用した。開発したモデルを用いて2035年のボパール市の経済活動と二酸化炭素排出量の推計を、なりゆきケース、低炭素社会ケースそれぞれについて行った。また、その結果を基にボパール市の政策決定者との温暖化対策に関する対話も行うことで、ボパール市における低炭素政策の効果、影響について定量的な検討を行った。

(6) 中国・インドを中心とした低炭素社会シナリオ実現のための制度設計およびロードマップの開発研究

中国及びインドを対象に、文献および現地インタビュー調査を行った。中国に関しては、その具体的な制度設計、特に中央政府と地方政府との調整などについて詳細に分析した。また日中の国際協力メカニズムに関しては、既存の協力システムの課題をレビューし、温暖化対策と大気汚染対策に関する共便益（co-benefit）に関する最新の研究を参照しながら、新しいメカニズムの可能性を検討した。インドに対しては、省エネ証書取引制度の効果等について調査を行った。

(7) アジア低炭素シナリオ下における産業別就業構造と都市化に関する研究

本サブテーマでは、都市化がアジア低炭素社会の構築にどのように貢献するかという視点で分析を行った。主な分析は以下の通りである。

1) 都市化がもたらすエネルギー消費量・CO₂排出量への影響の推定

途上国、先進国を含む世界約90カ国の35年間のパネルデータを用い、人口規模、発展段階、マクロ産業構造などを制御したうえで、STIRPATモデルと呼ばれる回帰分析を用いて、都市化がもたらす環境影響を抽出・定量化した。

2) 都市の発展段階の違いによるCO₂排出構造への影響評価

国全体のCO₂の排出構造が都市化の形態に依存するという仮説を、パネル潜在クラスモデルにより検証した。具体的には、国全体のCO₂排出量は、GDPや産業構造、人口といった要因が影響すると仮定し、この構造の違いを都市化に関する指標によって潜在クラスに分け、各国それぞれの潜在クラスの帰属確率の推移を検討することで、都市化に伴う複数のCO₂排出構造がどのような組み合わせで変化するかを明らかにするものである。

3) 都市への住民移転とエネルギー消費・CO₂排出に関する研究

都市化の中でも人口増加に焦点を当て、都市内人口の社会増加(住民移転による人口増加)が自然増加(都市内部での人口増加)と比較して、エネルギー消費量やCO₂排出量にどの程度影響するのかを評価するモデルを構築した。さらに、ベトナム・ハノイでの世帯調査データを利用した実証分析を行った。

4) 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に関する研究

本研究では都市や地域レベルで検討が進んでいる炭素勘定を利用して、都市の責任CO₂排出量の推計を行い、分析手法の確立を目指した。そのうえで、発展段階の異なる途上国都市において炭素勘定分析を適用する試みとして、a) 東京及びその他日本、b) 北京市と上海市において、それぞれ構成される2地域間産業連関表を用いて、直接CO₂排出量と財の取引を通じた間接CO₂排出量の推計を通じて、都市の責任排出量を分析した。

5) 電力消費に着目した、低炭素社会に向けた先行事例研究

低炭素社会へ向けたエネルギーに関する事例研究のために、バングラデシュ及びインドネシアに焦点を当てて、太陽光発電を用いたバングラデシュでの農村電化事業の評価、及び電力の違法接続世帯に関する研究を実施した。

4. 結果及び考察

(1) グローバルシナリオと整合したアジア低炭素社会シナリオの開発

アジア地域内の許容排出量割当スキームごとの削減目標を表2に示す。削減目標は、許容排出量割当スキームにより異なり、アジア全体で46～59%の削減が必要となる。ただし、日本を除くことにより、その幅は、42～63%となる。それぞれの国・地域別にみると、許容排出量割当スキームにより、削減目標が大きく異なる。pCAPとpCUMは同じ傾向があるが、pGDPは他のスキームと削減目標の傾向が異なる。ただし、現在、他の国と比較して相対的に排出量が少ない地域は、いずれのスキームにおいても削減目標は小さい。

pCAPでは、日本や韓国での削減目標の大きさが目立つ一方、インドでは排出量の増加が許容される。逆に、pGDPでは日本は削減目標は小さくなる。pCUMでは、日本、中国などを始めとして、多くの地域で、80%以上の削減が求められる。一方でインドやフィリピン、その他南アジアでは、2005年比2倍以上の排出量が許容される。

表2 2050年におけるGHG排出削減目標

排出量割当スキーム	2050年における削減(2005年比%)									
	世界全体	アジア(除日本)	中国	インド	インドネシア	日本	韓国	マレーシア	タイ	ベトナム
一人あたり排出量均等化	58	42	68	-51	15	83	85	67	61	12
GDPあたり排出量均等化	58	58-63	59-61	41-53	67	18-43	49-57	57-60	54-65	60-74
限界削減費用均等化	58	43	97	-100	49	94	99	93	85	32

*インドネシア及びマレーシアは、土地利用起源の排出・吸収を除外した値

こうした世界の2050年の温室効果ガス排出量を1990年比半減させるために必要となる施策の検討を、シナリオタスクフォースと共同で行い、「10の方策」として、まずは定性的にとりまとめた。方策1及び2は、テーマ5に関するもので、それぞれ都市内交通、地域間交通について言及したものである。方策3は、テーマ4に関するもので、産業部門を対象とした資源利用に関する方策である。方策4は、民生部門を対象とした方策であり、方策5はバイオマス資源を対象としたものである。方策6は、太陽光、風力といったバイオマス以外の再生可能エネルギーを対象とした方策である。方策7及び方策8は、農業と畜産、森林と土地利用をそれぞれ対象とした方策であり、後期2年において集中的に取り組んだ方策である。方策9及び方策10は、それぞれ技術と資金、ガバナンスを対象とした方策であり、テーマ3に関する横断的な取り組みを示したものである。

各方策は、小方策、手段、プログラムに要素分解し、プログラムについては、技術導入や政策立案、制度設計

それぞれに、担当者(担当機関)、要する費用とその調達方法、実施期間等を明示し、時系列も含めて具体的にどのような工程を踏めばよいかを詳細に提示した。こうした情報をもとに、世界を対象としたCGEモデルを用いて、「10の方策」による効果を定量的に評価した。定量化においては、サブテーマ(3)で検討された2つの社会像(表3)のうち、Advanced Societyと呼ばれる社会を対象に、2050年までの温室効果ガス排出量の推移を分析した。図2は世界及びアジアにおける温室効果ガス排出量の推移を、低炭素社会およびなりゆき社会について示すとともに、アジアに関しては各方策による削減の寄与を示したものである。図2から、アジアではエネルギーシステムや資源利用、建築物による温室効果ガス排出量の削減の寄与が大きいことがわかる。あわせて、各方策別に、社会経済の動向やエネルギー需給の変化について分析を行った。

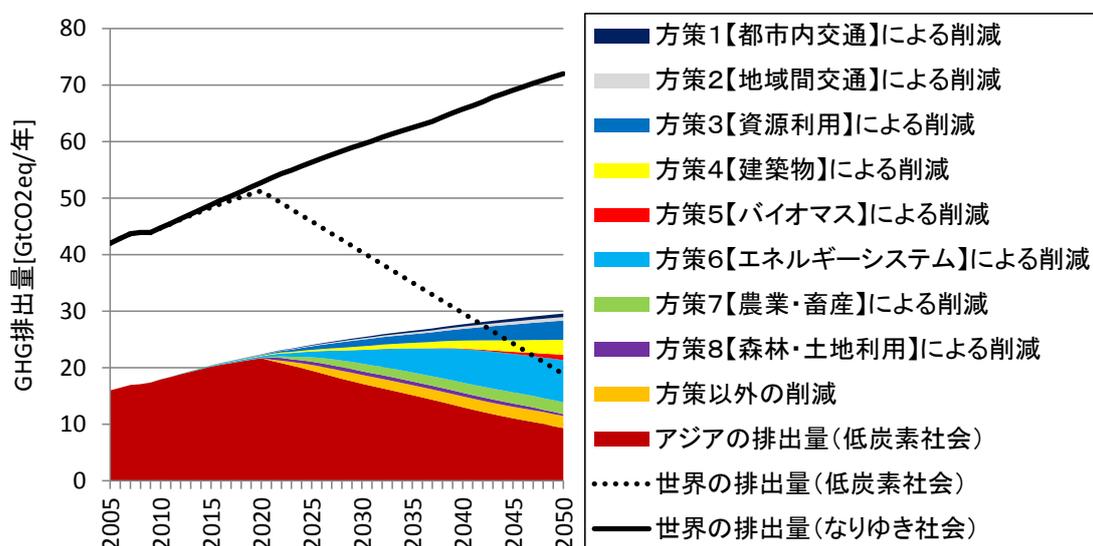


図2 世界及びアジア地域における排出量の推移と「10の方策」による削減量の推移

また、サブテーマ(1)では、バックキャストモデルの開発を行い、2010年以降から対策を導入することが重要であることを示唆した。このほか、モデル及びシナリオ開発とともに、低炭素社会の実現に向けた施策の検討を、各国の研究者や政策決定者と一緒にを行い、低炭素社会の実現に向けた施策について検討した。

(2) アジア低炭素社会シナリオ定量化のための国・都市レベルを対象としたモデル開発と低炭素社会を支える都市・地方シナリオの開発

表1に示す本研究で開発した手法を、12の国・地域において適用した。なりゆき(BaU)に対して対策を導入したシナリオ(CM)の場合、排出削減量はBaU排出量の22%~71%となった。

そのうち最も多くのモデル・ツールを活用した例として滋賀県におけるシナリオを示す。滋賀県は2030年にGHG排出量を50%(1990年比)削減するという目標を掲げている。そこで、ExSSを利用してその目標を達成するために必要な対策を同定した。将来社会の想定にあたっては、滋賀県琵琶湖環境部環境政策課地球温暖化対策室の協力を得て2030年の社会像を構築した。滋賀県では産業の生産額に占める第2次産業の比率が高い。そのため産業部門の排出量が全体のおよそ半分を占め、この分野での対策の導入が目標の達成に重要である。

また対策導入に必要な施策をあげて6つの方策からなるABSを作成し、これをもとに2010年から2030年までのロードマップを構築した。20年間の累積排出削減量は101MtCO₂、投入資源の合計は7.3兆円、平均削減費用は7.3万円/tCO₂となった。公的部門の費用は将来に必要な歳出を示している。ここで推計された公的部門の費用約1兆円のうち、国、県、滋賀県内の市町がどれだけそれぞれ負担するのか、その財源はどのように調達するのか、といった議論を開始する必要がある。

このほか、サブテーマ(3)と共同で、図3に示す各国、各地域の将来シナリオを、現地の政策決定者や研究者と開発した。



図3 本プロジェクトで作成した各国の低炭素社会シナリオ

(3) アジア低炭素社会の実現に向けた国・地域シナリオの開発

1) 検討対象地域の選定と低炭素社会シナリオの策定に資する基礎情報の収集・整備

モデルとの親和性を考慮しつつ、主に国際連合の統計区分をベースにして、アジア地域の定義付けを行った。地域はレベル4からレベル1の四段階で設定しており、そこでレベル2と定義した11地域(中国、インド、インドネシア、タイ、等)を主な対象として、主要な指標の整備を実施した。収集した情報は、各国の開発計画や気候変動・エネルギー政策などの政策に関する情報、各国政府機関や国際機関などが示している社会経済指標(総人口、GDP、産業構造、最終エネルギー消費量、交通需要、等)、詳細な技術データの動向などである。

2) アジア地域における低炭素社会構築の基礎となる社会像の検討

上述の作業を通じて構築したデータベースを踏まえ、アジア全体の叙述シナリオの構築、低炭素社会を目指すための方策の検討を行った。検討にあたっては、本プロジェクト全体において各テーマの研究者同士の連携を強化して、全体として一貫性のある方策の作成を行うために、シナリオタスクフォースを設置して検討を行い、表3に掲げる二つの社会像(ADV、CNV)を描き出した。

表3 本プロジェクトで共有した2つの社会像

	Advanced Society Scenario (ADV)	Conventional Society Scenario (CNV)
全体概要	次世代の社会システム、制度、技術等に向けて変革に意欲的・積極的に取り組む社会。	社会システム、制度、技術等の変化に慎重で、社会変革にかかるトランジションコストを気にかける社会。
経済	年間成長率 : 3.27%/年 (世界) (2005~2050) : 4.16%/year (アジア)	年間成長率 : 2.24%/年 (世界) (2005~2050) : 2.98%/year (アジア)
人口	総人口 : 69 億人 (世界) (2050) : 46 億人 (アジア)	総人口 : 69 億人 (世界) (2050) : 46 億人 (アジア)
教育	教育の改善に積極的 平均教育年数 : 4-12 年(2005 年)→11-14 年(2050 年)	教育政策の標準的な改善 平均教育年数 : 4-12 年(2005 年)→8-13 年(2050 年)
時間の使い方	多様なライフスタイルが混在するが、仕事やキャリアアップに費やす時間が比較的長い	多様なライフスタイルが混在するが、家族や友人との時間に費やす時間が比較的長い
労働(失業率)	2075 年に完全雇用を達成	失業率を 2009 年レベルに固定
政府効率性	比較的早い段階から改善	徐々にゆるやかな速度で改善
国際協力	貿易障壁や海外直接投資リスクの低減	アジア各国の協力関係はゆるやかに進む
技術革新	高い改善率	緩やかな改善率
運輸	高い経済成長率に基づく需要増	緩やかな需要増加
土地利用	スピーディーで効率的に土地改良を実施	緩やかで、用心深く土地改良を実施

なお、人口や経済活動の将来見通しについては、人口は、国連推計の中位のものを用いた。2010年時点の

69億人が2050年には93億人となるシナリオである。経済活動については、高め及び低めの二通りの経済成長見通しを想定した。この2つの社会では人口は同じであるものの、社会変革に対する取組の差が、教育水準及び政府効率改善の将来変化を通じ、全要素生産性及び失業率に差異を生じさせ、その結果、経済成長率の高低を生じさせるものと考えた。地域毎の経済成長率見通しは、前述のメカニズムを、資本及び人口を生産要素とするコブ・ダグラス型の生産関数で表現して推計を行った。

3) シナリオ構築やモデル分析のための技術移転の実施

アジア地域の研究者が自立的に将来シナリオを検討できるようになるよう、モデル分析やデータ収集に関する技術移転を目的としたトレーニングを、サブテーマ(1)、(2)と協力して実施した。トレーニングを通じて、各種モデルに関する技術移転ができたことに加えて、日本にはない各国独自の視点に基づく低炭素社会シナリオや方策が活発に議論されており、若手研究者の研究協力、交流、国際ネットワーク作りといった観点からも重要な意味を持っていたと考えられる。

4) アジア諸国における低炭素社会シナリオの構築

上述したトレーニングなどを通じて能力開発を行ったアジア諸国の研究者と協働して、上述の各種データやシナリオ検討の手法をベースとしつつ、様々な分析モデルを用いて図3に示すように中国、インド、タイ、インドネシアにおいて低炭素社会シナリオを、サブテーマ(2)と協力して作成した。

(4) 低炭素社会の実現に向けたエネルギーシナリオの開発

1) 低炭素社会実現に向けた省エネルギーの役割と更なる対策の必要性

「低炭素社会に向けたエネルギーシナリオの開発」では、まず、計量経済モデルを用いて、最新の実績値とエネルギー需給に関する新たな状況を反映して、2050年までの世界・アジアのエネルギー需給見通しを作成した。

今後アジアを中心として世界のエネルギー需要は急増し、レファレンスケースでは2011年から2050年にかけて一次エネルギー消費量は世界で1.7倍、アジアで2.0倍に増加し、それに伴ってエネルギー起源CO₂排出量もそれぞれ1.6倍及び1.9倍に拡大する。これに対して、省エネルギー・低炭素技術の最大限の導入を見込んだ技術進展ケースでは、2050年に世界で55%、アジアで48%削減される。しかし2050年の世界のエネルギー起源CO₂排出量は2011年比で29%減となり、「2050年に世界で半減」の目標達成には及ばない。この結果をサブテーマ(1)で開発されたCGEモデルの結果と比較することにより、以下の洞察が得られた。

まず、低炭素社会の実現(2050年世界GHG半減の達成)のためには、再生可能エネルギー発電、原子力発電及びCCS付き火力発電によって発電部門をほぼ完全にゼロエミッション化する必要がある。その上でエネルギー需要を可能な限り電力化し、更に省エネルギー技術の最大限の普及促進を図る必要がある。但し、省エネルギー技術等の普及のみでは2050年に世界半減を達成することは難しく、エネルギーサービス需要側での根源的な変化、即ち産業構造の変革や資源の循環的利用、都市構造の合理化による輸送需要の劇的な変化やモダリティシフトの促進等が不可欠である。また、既存の省エネルギー・低炭素化技術のみならず、現在実用化されていない革新的な技術の導入の必要性も示唆されるため、先進技術開発の促進が鍵になるともいえる。

なお、2011年のエネルギー消費量の実績値は、2005年を基準年としたモデル分析の2011年予測値よりも顕著に高い傾向が見られる。即ち、アジア及び世界のエネルギー消費量は従来の予想を上回る勢いで増加している。このことはモデル分析上の課題を提示するとともに、低炭素社会実現のためにはこれまでにない対策の深化により、エネルギー需給構造の低炭素化を早急に進める努力が必要であることを示している。

2) 非在来型資源開発の影響

2000年代半ば以降、北米を中心にシェールガス、シェールオイルを中心とした非在来型資源開発が進み、世界のエネルギー需給のあり方は大きく変化した。これらの非在来型資源は北米のみならず、中国・インドをはじめとするアジア諸国にも豊富に存在するものと見られており、今後も更にその開発が進展し、エネルギー需給の姿を大きく変えることが予想される。本研究ではこの事象がアジアの低炭素化とどう関連するかについても分析を行った。

図4は2040年のアジアのエネルギー起源CO₂排出量の変化を示したものである。基準となるレファレンスケースに比べ、非在来型資源開発促進ケースでは石炭の利用が天然ガスに代替されることにより、430万トンのCO₂排出量が削減される。しかし一方で原子力や再生可能エネルギー等の導入が阻害され、またエネルギー価格の低下により需要そのものが増加するために、実際のCO₂排出量削減は240万トン程度に止まる。世界全体ではアジアほど石炭火力の比率が高くないため、燃料転換によるCO₂排出削減の効果は更に小さく、削減分の9割以上が反動増によって帳消しにされる。

非在来型資源開発の進展に伴い原子力発電や再生可能エネルギー発電の導入が阻害される可能性があることは、既に米国の事例から明白である。また短期的に需給が緩和するため、各国政府は省エネルギー技術普及促進の努力を緩める危険性がある。このように、一見すると各国に大きな利益をもたらす非在来型資源開発は、低炭素社会実現の観点からは逆に障害の一つとなり得ることを示した。

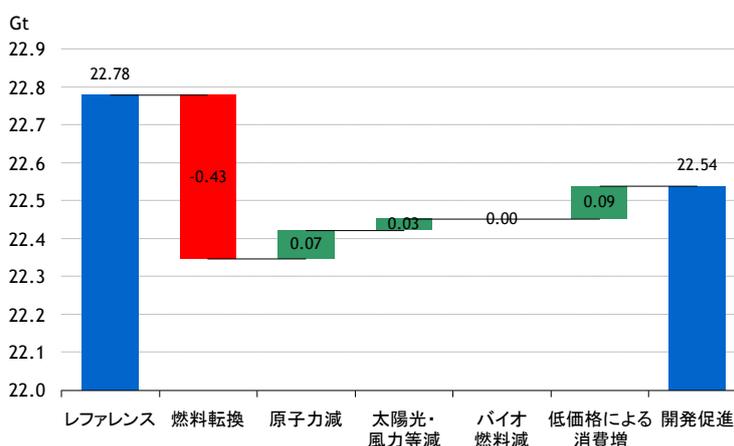


図4 非在来型資源開発によるCO₂排出量への影響(アジア:2040年)

3) 低炭素化によるエネルギー・セキュリティ向上効果

アジア各国が短期的視野のもとにエネルギー政策を進めた場合、低炭素社会実現への道のりは遠ざかることが懸念される。ここで必要となるのは、より長期的な視点である。アジアのエネルギー自給率は過去急速に低下を続けており、BaUシナリオでは2011年の81%から、2050年には60%まで低下する。これはアジアを中心に世界各国によるエネルギー争奪競争が激化することを意味しており、その回避は大きな政策的課題であると言える。

現在非在来型資源開発を積極的に進めている中国のみならず、アジア各国において非在来型資源開発が最大限進んだシナリオでは、2050年のアジアのエネルギー自給率は64%まで向上する。しかしそれを遥かに上回る自給率の向上が、世界GHG半減を達成するシナリオによってもたらされ、このシナリオでは2050年のエネルギー自給率は75%まで回復する。このように、長期の視点に立って初めて、エネルギー政策と地球環境対策とが同一の方向を向くものとなる。アジア各国が決して目先の動向に捉われることなく、冷静かつ大胆な政策を着実に進めることが求められる所以である。

(5) インドにおける低炭素社会シナリオの開発と政策支援に関する国際交流研究

本研究では、2005年のインド・ポパール市を対象に、14部門からなる社会会計表を作成した。インドの都市を対象とした社会会計表は作成されていないので、インドを対象とした国民経済計算データや産業連関表、各産業における年次調査報告書(1997-98, 2004-05)、人口センサス(2001, 2011)、人口の将来見通し、ポパール市における開発計画(2007-08等)、ポパール市が所属するマディヤ・プラデーシュ州の域内総生産統計(1990-2010)、ポパール市におけるエネルギー供給統計等を参考に、統合的な社会会計表を作成した。

作成した社会会計表をもとに、ポパール市を対象としたExSS、CGEモデルを作成し、2035年を対象としたなりゆき社会(BaU)と低炭素社会(LCS; 550ルピー/tCO₂(=12\$/tCO₂)の炭素価格を想定)の各ケースを対象とした評価を行った。BaUにおいて、2035年のGDP、最終エネルギー消費、CO₂排出量は、それぞれ2005年の値と比較して、5.5倍、5.4倍、5.2倍となり、LCSケースでは、BaUケースと比較して、それぞれ2%、15%、20%減少する結果となった。

(6) 中国・インドを中心とした低炭素社会シナリオ実現のための制度設計およびロードマップの開発研究

1) 中国における省エネ目標達成責任制度の実効性

中国政府は「単位GDP当たりCO₂排出量(CO₂原単位)を2020年に2005年比で顕著に削減する」という削減目標を国際的に公表している。このために、地方や企業に省エネ目標を振り分けていて、人事考課制度などと結びつけることによって効果を高めようとしている。しかし、現状の割り当て量の算定方法は合理性に欠け、不公平という批判が出やすいものになっている。また、生産停止命令などのペナルティの有効性も疑問である。

2) 中国における排出量取引制度の構築

中国では、北京、上海、天津、深圳などにおいて、排出量取引制度のパイロットスキームの構築がなされている。ただし、測定・報告・検証(MRV)の制度設計が圧倒的に遅れている。また、国の目標が原単位目標であるため、絶対量となる排出割当量と整合させるのが困難となっている。各地域での制度設計も異なり、実際の排出枠の取引はあったものの市場は流動性を欠如している。国レベルへの拡大は、少なくとも3~4年先であり、炭素税との併存も議論され始めている。

3) 中国における大気汚染対策が温暖化対策に与える影響

中国政府は、2011年からの大気汚染の深刻化を受けて、2013年9月に北京市などでの2017年におけるPM2.5

濃度の25%削減(2012年比)を策定している。その実現のために、北京市などに対して2017年まで計8,300万トンの石炭消費量の削減義務を賦課し、今後、大気汚染対策重点区域は順次拡大される(13地域115都市まで拡大される予定)。このような石炭消費量のキャップは、製鉄業や発電事業に大きな影響を与える。たとえば、規制対象となった4地域における鉄鋼生産量は全国の約35%であり、実質的に大都市および中都市での石炭火力発電所建設が禁止された。これらの石炭消費規制が実施されれば、「(世界全体での2°C目標達成に必要とされる中国全体でのCO₂排出量2020年ピーク)が実現される可能性がある。

4) クリーン開発メカニズムを用いた日中協力スキーム

日中間の温暖化対策あるいは大気汚染対策での協力を進める場合、日中両国にとって政治・経済的なインセンティブがなければ実現しない。したがって、例えば日本が中国からPM2.5排出を同時に削減するようなクリーン開発メカニズム(CDM)プロジェクトのクレジットを、共便益があるということで市場価格よりも安く購入し、中国はそれで得た収入を「日中環境エネルギー・ファンド」への原資とするという仕組みが考えられる。このファンドは、中国での環境エネルギー・資源プロジェクトへの投資を目的とし、プロジェクト実施に対しては日本企業と中国企業に優先権を与える。

5) インドの省エネ証書取引制度

インドの気候変動に関する国家行動計画では、国家エネルギー効率向上事業を通じてエネルギー効率改善を実現するスキームである省エネ証書取引制度(Perform, Achieve and Trade: PAT)が規定されている。このPATでは、国内の主要産業施設のエネルギー効率改善を目的として、企業が省エネ目標を達成した場合に取引可能な証書を政府が発行する。このようなPATの課題あるいは懸念としては、第一に、国家計画や2001年エネルギー節約法の中核的な基本方針に関して、最初のサイクル終了後の継続的な省エネやエネルギー効率改善の目標が依然、曖昧で不明確なことである。第二に、スキームのMRVの枠組みは明確ではあるものの、実施後の知見が十分には得られていないことである。そのため、既存の指定消費者のMRVの課題については不確実なままである。第三に、エネルギー効率目標の達成に対するインセンティブの不足および罰則制度の有効性に対する懸念である。

(7) アジア低炭素シナリオ下における産業別就業構造と都市化に関する研究

1) 都市化がもたらすエネルギー消費量・CO₂排出量への影響の推定

途上国では都市化にともなってエネルギー消費量が減少する一方で、先進国では都市化によってエネルギー消費は大幅に増加することが示された。1%都市化が進むことで途上国では0.296%エネルギー消費量が減少するが、先進国では0.595%増加することが分かった。

2) 都市の発展段階の違いによるCO₂排出構造への影響評価

CO₂排出構造は都市化に依存するという仮説を支持する結果を得た。都市化の初期段階では、人口増加がCO₂排出構造に強く影響する一方、都市化の段階が進むにつれて、排出構造を規定する要因がGDP、産業構造へと遷移することが示された。

3) 都市への住民移転とエネルギー消費・CO₂排出に関する研究

農村部からの移転住民は、非移転住民と比較してエネルギー消費量・CO₂排出量が大幅に少ない反面、他都市部からの移転住民では非移転住民と有意差が見られないと結論付けた。農村部からの住民移転により都市化が進む場合と、その他の要因で都市化が進む場合では、エネルギー消費量・CO₂排出量の観点で異なる示唆をもたらすことを意味している。

4) 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に関する研究

東京都での分析の結果、2005年での電力や財の輸入に含まれるCO₂排出量を勘案したところ、間接排出量は直接排出量の4倍に上ることを示した。北京市、上海市での分析の結果、依然として一定規模のエネルギー多消費産業を抱える上海市での直接、間接CO₂排出量は北京市のそれを大きく上回る一方で、一人あたり責任排出量に大きな差が無いことが判明した。

5) 電力消費に着目した、低炭素社会に向けた先行事例研究

バングラデシュでの太陽光発電を用いた農村電化事業の評価を通じて、導入世帯の特徴及び導入によって得られた便益、利用者満足度に影響する要因を抽出することができた。インドネシアでは、電力の違法接続世帯の特徴を社会経済要因や地域別に明らかにした。

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

アジアの低炭素社会シナリオを構築する際に必要となる社会経済指標等の収集・整備を通じて、モデル分析などの定量的評価を行うにあたり、想定する社会経済指標が既往研究と比較してどのあたりに位置しているかを把握したり、モデル分析の結果についての理解を深めたり、モデル分析自体の問題点や特徴を見極めたりす

るにあたって極めて有用な基礎情報を整備することができた。また、アジア諸国の研究者に対するモデル分析などに関する技術移転を行うとともに、彼らと協働して低炭素社会シナリオの検討を進めたことで、アジア地域における低炭素社会構築に向けた研究活動や社会実装などを推進することに貢献した。さらに、アジア低炭素社会の実現に向けた10の方策の策定を通じ、2050年までに世界のGHG排出量を1990年比半減させるために、アジア地域に求められることを、根拠をもって示すことができた。なお、GHG削減策の検討において、従来は、再生可能エネルギーの導入や省エネといったエネルギーのみに関する対策の検討が中心であったが、世界CGEモデルによる定量化では、そうしたエネルギー分野の対策とともに、交通需要や生産活動そのものなどの施策にも踏み込んだ分析を行った。こうした分析手法を通じて、低炭素政策がエネルギー分野だけではなく、経済発展全体に関わることを示した。

手法の開発は、京都市および滋賀県行政との緊密な協力のもとで行われ、開発された手法は行政担当者、住民・事業者の代表者、市民団体の構成員など様々な主体との対話過程を通じて低炭素社会シナリオを構築するものとなっている。またその適用例を通じて実際に利用可能なものであることを確認した。これらのことから本研究の成果は低炭素社会の政策策定に対して新しく有用な技法をもたらすことが出来たと考えられる。

都市化とエネルギー消費量、CO₂排出量との関係について、国の発展段階や産業構造に配慮した計量経済モデルを用いて分析を行ったこと、更にCO₂排出構造と都市化の形態の分析を実施することで、各国が都市政策を通じてどのように低炭素社会構築を目指すことが望ましいのか、実証的に検討することができた。発展段階の違いや、産業構造が国ごとに大きく異なることから、CO₂排出削減を目指すには、各国の都市化の形態の多様性に配慮する必要があることを示唆した。特に、アジア大都市でのCO₂の責任排出量の変化を検討することにより、間接・直接のCO₂排出量と都市化・都市発展との関係を分析することができた。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

これまで本研究成果の一部は、ワークショップ、専門家会議、シンポジウムを通じて、各国の研究者・途上国政府（インドネシア・中国・バングラデシュ・フィリピン）、援助関係者（GTZ、UN、JICA）、民間企業、NGOと議論を行う中で、成果の広報・普及に努め、各国の低炭素政策やエネルギー政策、援助政策に貢献することができたと考えている。この中にはIPCC第5次報告書の代表執筆者も含まれており、気候変動対策に向けて影響力のある人物に対して成果を普及するよう努めた。

国内では、京都市環境モデル都市行動計画の策定後、本研究での適用例の結果を受け、平成22年に京都市地球温暖化対策条例を全面改正し、その第3条において本研究で推計した削減目標である2030年にGHG排出量を1990年比で40%削減することを目標とするとされている。また、平成23年に策定された京都市地球温暖化対策計画では35頁に本研究の推計結果が引用されている。一方、滋賀県では、琵琶湖環境部温暖化対策課が現在策定中である「低炭素社会実現のための工程表」に本研究の手法が利用されている。平成22年3月12日公表の「低炭素社会実現のための工程表素案」に本研究の適用例において構築された施策群および各施策のスケジュールが示されている。

<行政が活用することが見込まれる成果>

中国、インド、タイ、インドネシアなどの国を対象として低炭素社会シナリオの検討を行ったことで、世界全体の温室効果ガス削減に向けた取り組みに貢献することが期待される。特に、地域ごとに取りうる対策について具体的に提示できたことは、温室効果ガス削減の実効性を高めることに繋がったものと考えられる。また、アジア地域において低炭素社会シナリオやそれを実現させるための対策を具体的に検討することは、日本の優れた省エネルギー技術などが、アジア諸国においてどのような貢献ができるかを検討するための基礎的な材料を提供することにも繋がるものと考えられる。さらに、都市化とアジアの気候変動対策の成果から、途上国都市個別の温暖化対策立案だけではなく、都市計画や産業政策などを実施するために生かすことができると考えている。このほか、非在来型資源の積極的な導入が低炭素社会とは逆の方向になり得ること、低炭素社会がエネルギー安全保障において重要となるなどの成果は、アジアにおける今後のエネルギー戦略を検討する上で、重要な示唆を与えるものとなった。

なお、各国との共同研究を通じて、海外においても以下のような成果の活用が見込まれている。

- 1) インドネシアでは国家開発企画庁が国家計画の策定への活用を意図して、エネルギー関連のモデル比較が、2013年10月に開催したワークショップにおいて行われ、本研究成果も示された。国家開発企画庁より引き続き協力を要請されており、今後も活用が見込まれている。
- 2) ベトナムでは天然資源環境戦略政策研究所との協働により将来シナリオ構築が進められている。その成果はベトナム政府が今後策定する低炭素社会へ向けた政策に反映される見込みである。
- 3) カンボジアではカンボジア環境省主催の低炭素社会を目指すワークショップが2013年4月および2014年2月に

開催され、本研究の成果が示された。環境大臣からも支持を受けていることから今後の活用が期待される。

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) 五味馨、越智雄輝、松岡譲：環境システム研究, 37, 435-446 (2009)
「定量的なバックキャストイング手法を用いた低炭素施策程表の構築手法の開発」
- 2) 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”
- 3) P. POUMANYONG and S. KANEKO: Ecological Economics, 70(2), 434-444 (2010)
“Does urbanization lead to less energy use and lower CO₂ emissions? A cross-country analysis”
- 4) A.PATTANAPONGCHAI, B.LIMMEECHOKCHAI, Y.MATSUOKA, M.KAINUMA, J.FUJINO, O.AKASHI, Y.MOTOKI: GMSARN International Journal, 5 (3), 189-194 (2011)
“The AIM/Enduse Modeling. Subsidy for Clean Power Generation and CO₂ Mitigation in Thailand”
- 5) 松尾雄司, 小宮山涼一, 永富悠, 末広茂, 沈中元, 森田裕二, 伊藤浩吉: エネルギー・資源学会論文誌, 32(5), 1-8, (2011)
「2050年の低炭素社会実現に向けたアジア・世界のエネルギー需給見通しに関する分析」
- 6) S.ASHINA, J.FUJINO, T.MASUI, T.EHARA, 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 CO₂ Emissions by 2050”
- 7) 藤森真一郎, 増井利彦, 松岡譲: 土木学会論文集G(環境), 69, 5, 1_227-1_268 (2013)
「エネルギー機器情報を用いた応用一般均衡モデルの開発と緩和策の分析」
- 8) 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”
- 9) Y. MATSUO and K. ITO: Global Environ. Res., 17(1), pp.89-98. (2013)
“Energy Scenario Development toward a Low-Carbon Society”

<査読付論文に準ずる成果発表> (対象: 社会・政策研究の分野)

- 1) 明日香壽川: 環境と公害, 43(1) Summer, 56-59 (2013)
「中国の大気汚染問題と日本の協力のあり方」

(2) 主な口頭発表(学会等)

- 1) G.KAYO, T.IKEGAMI, T.EHARA, K.OYAMADA, S.ASHINA, J.FUJINO: World Renewable Energy Congress 2011, Linkoping Electronic Conference Proceedings of World Renewable Energy Congress 2011, 732-739, Linkoping, Sweden (2011)
“Diversified analysis of renewable energy contribution for energy supply in Asian regions”
- 2) S. KANEKO, M. ICHIHASHI, S. DHAKAL: International Society for Ecological Economics Conference, Windsor Guanabara Hotel, Rio de Janeiro, Brazil, 2012.
“Change in carbon responsibility for Tokyo from 1990 to 2005: evidence from carbon accounting using inter-regional input-output environmental model”
- 3) 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”
- 4) 五味馨, 林優里, 松岡譲: 第41回環境システム研究論文発表会, 福岡 (2013)
「低炭素社会の実現に向けた様々な取組が温室効果ガス排出量削減に及ぼす定量的寄与量の推計」
- 5) S. HIGASHI, R. KAWASE and Y. MATSUOKA, International Congress on Energy Efficiency and Energy Related Materials, Antalya, Turkey (2013)
“A Study on World Steel Demand Considering Service Demand Change”
- 6) 松尾雄司、永富悠、柴田善朗、柳澤明、山下ゆかり、伊藤浩吉: 第29回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、東京 (2013)
「アジアのエネルギーミックスと長期需給見通し」
- 7) 明日香壽川: 環日本海国際学術交流協会公開講演会 (2014)
「中国の大気汚染問題と日本の協力のあり方」

- 8) S. KOMATSU, S. KANEKO, P. P. GHOSH: The 10th International Conference on Environmental, Cultural, Economic and Social Sustainability, Split, Croatia, 2014.
"The Implications of Living in an Urban Slum on Residential Energy Consumption: Case Study in Dhaka"

7. 研究者略歴

課題代表者: 増井利彦

大阪大学卒業、博士(工学)、現在、国立環境研究所 社会環境システム研究センター室長

研究分担者

1) 松岡 譲

京都大学卒業、工学博士、現在、京都大学大学院工学研究科教授

2) 日比野 剛

東京理科大学卒業、理学修士、現在、みずほ情報総研株式会社 環境エネルギー第1部次長

3) 伊藤 浩吉

上智大学卒業、現在、一般財団法人日本エネルギー経済研究所研究顧問

4) Aashish Deshpande

Bhopal University卒業、PhD、現在、Professor, National Institute of Technical Teachers' Training & Research, India

5) 明日香 壽川

東京大学卒業、博士(学術)、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、及び東北大学大学院東北アジア研究センター教授

6) 金子 慎治

九州大学卒業、博士(工学)、現在、広島大学大学院国際協力研究科教授

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

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

(1) グローバルシナリオと統合したアジア低炭素社会シナリオの開発

(独) 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
増井 利彦・高橋 潔・花岡 達也・金森 有子
社会環境システム研究センター 持続可能社会システム研究室
藤野 純一・肱岡 靖明

<研究協力者>

(独) 国立環境研究所 社会環境システム研究センター

芦名 秀一・岩渕 裕子（～2011年度）・
明石 修（～2011年度）・藤森 真一郎（2010年度～）・
Dai Hancheng（2010年度～）・須田 真依子（2010年度～）・
加用 現空（2010年度～2011年度）・
Diego Silva Herran（2011年度～）・
朝山 由美子（2011年度～）・長谷川 知子（2012年度～）・
亀井 未穂（2012年度～）

平成21～25年度累計予算額：264,405千円

（うち、平成25年度予算額：51,194千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

低炭素社会の実現に向けて、今後も経済発展が見込まれているアジア地域における取り組みが重要となる。本サブテーマでは、国際的な視点から、2050年における世界の温室効果ガス排出量を1990年比半減させる社会を目標に、アジアにおける取り組みについて検討を行うものである。世界を対象とした応用一般均衡モデルを開発し、低炭素社会を実現するための施策をとりまとめた「10の方策」を構成する個別対策について、各テーマで検討された対策を組み入れることによって、その効果を定量的に明らかにした。その結果、アジアにおいては、温暖化対策を行わない場合、2050年の温室効果ガス排出量は、2005年と比較して85%増加するのに対して、低炭素社会では42%削減することが必要となる。温室効果ガスの削減に大きく寄与する分野は、エネルギーシステム、資源利用、建築物の各方策であることが示され、特に発電部門に関しては、すべて炭素隔離貯留技術（CCS）を導入するなどの対策が必要となることを示した。なお、前提となる社会シナリオは積極社会（ADV）としており、温暖化対策を行わない場合においても効率改善に資する活動が行われていることから、2050年の限界削減費用は300ドル/tCO₂となっている。こうした結果から、2050年の温室効果ガス排出量を半減するという目標の実現には多くの施策の導入が必要となり、きわめて厳しい目標ではあるが、達成は不可能ではないと考えられる。また、検討した方策を構成する個別の対策をどのタイミングで導入するかを検討するためのバックキャスティングモデルの開発を行い、日本を対象に適用した。さらに、再生可能エネルギーの供給ポテンシャルについて、太陽光、陸上風力、バイオマスを対象に評価した。なお、開発した応用一般均衡モデルについては、アジアの若手研究者を対象にトレーニングを行い、各国において低炭素社会の実現に向けて検討されている施策の効果について分析を行うとともに、各国の政策とその効果に関する情報交流を行った。

[キーワード]

アジア、低炭素社会、シナリオアプローチ、統合評価モデル、人材育成

1. はじめに

2008年に北海道で開催された洞爺湖サミットの首脳宣言では、気候変動問題が大きく取り上げられ、2050年までに世界全体の温室効果ガス排出量を50%の削減を達成する目標というビジョン

が共有された。また、2010年に合意されたカンクン合意による長期的な共有ビジョンでは、産業化以前の水準から世界の平均気温上昇を2℃以下に抑える観点から、温室効果ガス排出量の大幅削減が必要であることを認識すると明記された。このように、低炭素社会の構築に向けて、世界の首脳レベルにおいては、目標が共有されるようになっている。一方で、各国がどれだけ温室効果ガス排出量を削減しなければならないかについては、合意されておらず、各国が提示した削減目標を積み上げて2℃目標の排出経路を上回っていることがUNEP(2013)¹⁾等で指摘されている。こうした状況の中、今後も経済成長が見込まれ、エネルギー消費量の増加が予想されるアジアにおいて、経済発展と両立させるような温室効果ガス削減策を検討することは、きわめて重要である。とりわけ、削減の押しつけではなく、各国が自らの意思で対策を検討し、計画を策定することが重要である。

2. 研究開発目的

本サブテーマは、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、他のサブテーマの成果も踏まえながら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、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ものである。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。また、再生型エネルギー開発と温暖化抑制以外の地球規模諸問題との係わりなど（例えば、バイオマスエネルギー開発・食糧問題・土地利用変化）、低炭素社会を検討する際に問題となる諸制約条件についても定量的に解析し、アジアにおける低炭素社会の実現に向けた統合シナリオを開発する。特にエネルギーシステム・政策に関しては、これまでのエネルギー開発の経緯や世界全体のエネルギー需給状況、各国・地域のエネルギー安全保障など、低炭素社会以外の要素をも十分考慮して定量的に検討する。さらに、アジアにおいては都市化の進展も顕著であることから、テーマ5による交通問題からのアプローチとは別に、産業構造を踏まえた分析についても行う。また、中国、インドなどアジアの主要国を対象に、各国・地域の研究機関、研究者と協力して、各種モデルを適用し、国・地域レベルの低炭素社会シナリオを構築する。

また、本プロジェクトのプラットフォームとして、プロジェクト全体の進行を調整するとともに、それらによる知見を総合して、政策支援と普及啓発に資するアジア低炭素社会像を描く。また、アドバイザリーボードを運営し、総合的な研究を進める。

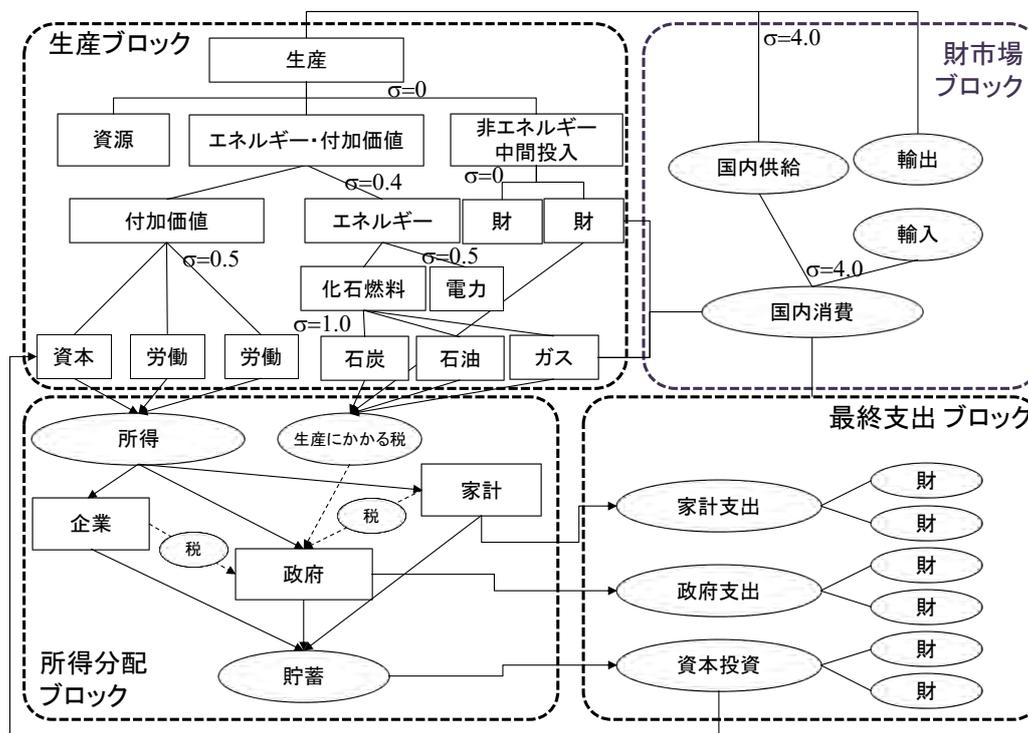
3. 研究開発方法

(1) 応用一般均衡モデルの開発

世界を対象とした応用一般均衡モデルを用いて、2050年の世界の温室効果ガス排出量を1990年比半減するための施策の効果を定量的に明らかにした。図(1)-1に本モデルの構造を示す。表(1)-1に示すように、本サブテーマで用いた応用一般均衡モデルは、世界を17の国や地域（うち、アジアは、日本、中国、インド、東南アジア・その他東アジア、その他アジアの5地域）に分割したもので、発電技術や農業が比較的詳細に区別されている。定量化にあたっては、シナリオタスクフォースのメンバーと連携して、「10の方策」の各方策について、「小方策」、「手段」、「プログラム」にブレークダウンし、「プログラム」ごとに対策とその効果をモデルに反映させて、2050年における効果を明らかにした。なお、低炭素社会における各地域に対する初期割当量は、2050年時点で1人あたり均等化とし、2020年（各国が公表している排出目標もしくはトレンド延長）から2050年にかけては線形で削減すると仮定した。また、定量化においては、これまで提示してきたAdvanced Society（積極社会）とConventional Society（保守的社会）の2つの社会像のうち、Advanced Societyで示されている社会像を対象とした（社会像については、サブテーマ（2）において説明する）。

このほか、低炭素社会シナリオの実現に向けた最適な経路を探索するためのバックキャストモデルの開発、アジア低炭素社会シナリオを検討するために重要となる再生可能エネルギーのポテンシャルの推計を行うとともに、他のサブテーマと開発してきたモデル群のアジア主要国

への普及を目的としたセミナー、トレーニングワークショップを実施し、世界モデルによるトップダウン的な分析と整合するアジア各国シナリオの開発に向けた分析を行った。



図(1-1) 応用一般均衡モデルの概要

表(1-1) 定量化に用いた世界を対象とした応用一般均衡モデルの地域区分と財の区分【地域区分】

日本	EU25	ブラジル
中国	その他欧州	その他中南米
インド	旧ソ連	中東
東南アジア+その他東アジア	トルコ	北アフリカ
その他アジア	カナダ	その他アフリカ
オセアニア	米国	

注：網掛け部分がアジア

【財区分】

米	その他畜産	製材	その他製造業
小麦	林業	紙・パルプ ^{注3)}	電力 ^{注1)}
その他穀類	石炭	化学製品 ^{注3)}	ガス
油糧作物	原油	石油精製 ^{注3)}	建設
砂糖作物	天然ガス	石炭転換	交通・通信
その他作物	非燃料鉱物	非金属製品 ^{注3)}	その他サービス
反芻家畜	食料加工	鉄鋼製品 ^{注3)}	燃料型バイオマス ^{注2)}
乳牛	繊維製品	非鉄金属製品	

注1) 電力は、以下の発電技術を用いて生産される。

石炭火力 ^{注3)}	ガス火力 ^{注3)}	水力	太陽光	廃棄物バイオマス ^{注2)}
石油火力 ^{注3)}	原子力	地熱	風力	その他再生可能

注2) バイオマスは、以下の3種を対象としている。

バイオマス転換（第一次世代）／エネルギー作物由来バイオマス転換（第二次世代）／作物残渣・木材残渣バイオマス転換（第二次世代）

注3) 発電を含め、注3)の付いた部門は、生産時にCCSの導入が可能な部門であることを示す。

(2) バックキャスティングモデルの開発

日本を対象にして描かれた低炭素社会シナリオの実現方策を具体的に検討するには、対象年となる2050年までのエネルギーサービス需要を満たしながら、どのような施策（対策および政策）を、いつどれだけ導入すればよいかをある基準のもと評価し、CO₂排出の道のり、投資の道のりおよび定量的データを加味した工程表等を提示する必要がある。そこで、各部門の活動量を日本低炭素社会シナリオで推計した社会変化や人口構成の変化等を参考に与え、基準年（2000年）と対象年（2050年）のエネルギー消費や産業構造、CO₂排出構成をエネルギー・スナップショット・ツールや応用一般均衡モデルで得た値から参照し、それらの中間年については内生的に推計するバックキャストモデルを開発した。解析期間中の総費用を現在価値で合計したときに最小となるように、各年のCO₂削減対策への投資やエネルギーバランスなどを推計して、将来目標である「CO₂排出量が1990年比で70%削減できる社会（シナリオA、B）」を実現するための道筋を検討した。

(3) 再生可能エネルギーのポテンシャルの評価

アジアを対象とした低炭素社会シナリオの開発では、エネルギー消費側とともに供給側の対策も重要となる。このため、世界全域を対象に、再生可能エネルギーのポテンシャルを推計するための再生可能エネルギー供給モデルの開発を行った。

1) 太陽光発電ポテンシャルの推計

月別時刻別の水平面日射強度を考慮し、太陽光パネルの最適傾斜角をグリッドセル毎に求め、月別時刻別の最適傾斜角日射強度[kW/m²]を算出した。GISデータベースから読み込む土地被覆分類別面積に対して設定した導入割合[%]から太陽光発電に利用できる面積を算出し、太陽電池モジュールの効率を13%と仮定して太陽光発電の技術的ポテンシャル[kWh/yr]を計算した。

2) 風力発電ポテンシャルの推計

設置する風車は、定格出力2MW、ハブ高さ80m、ロータ直径90mのものを想定した。太陽光発電と同様に、風力発電に利用可能な導入割合を設定し、風車の設置可能台数を算出した。平均風速およびRayleigh分布を用いて、0.1m/s刻みでv[m/s]の風速の出現確率分布R(v)を求め、さらに、利用可能率、出力補正係数、その他のロスを考慮し、風力発電の技術的ポテンシャル[kWh/yr]を算出した。

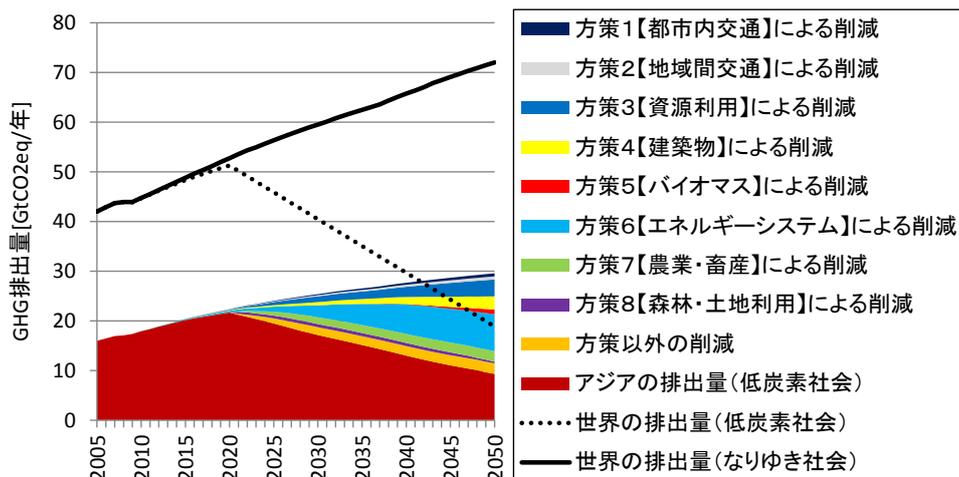
(4) アジア各国を対象とした応用一般均衡モデルの適用と普及に向けた人材育成

低炭素社会の実現に向けて、様々な施策が考えられるが、そうした施策を各国の発展の段階や保有する資源をもとに、自ら検討することが求められる。推進費S-6-1では、開発した様々なツールやモデルを用いて低炭素開発を分析、定量化することを目的とした人材育成のワークショップを、他のサブテーマと共同で実施してきた。本サブテーマからは、応用一般均衡モデルや技術選択モデルについてトレーニングを実施した。

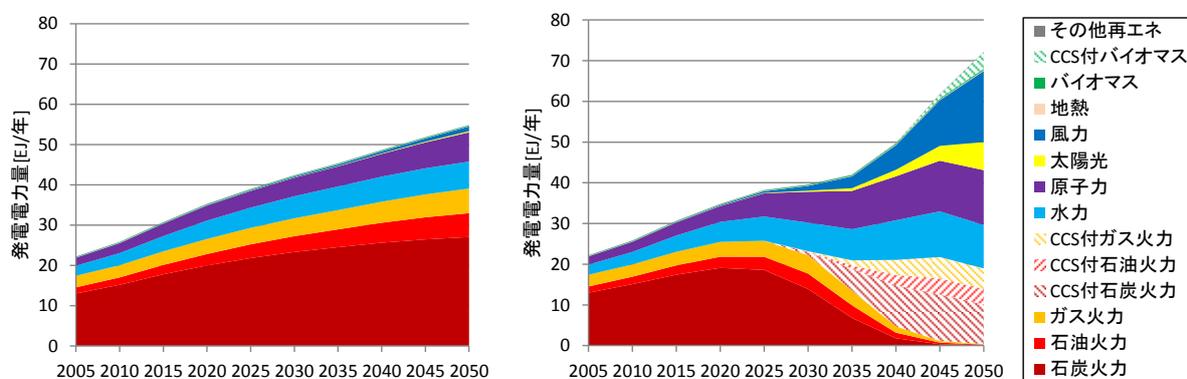
4. 結果及び考察

(1) 世界を対象とした応用一般均衡モデルによる温室効果ガス世界半減シナリオの評価

世界モデルを用いた計算結果のうち、図(1)-2では世界及びアジアの温室効果ガス排出量の推移を示す。本図では、アジア地域において、方策1~8のうちどの施策によって削減が実現しているかについても示している。方策6のエネルギーシステム（太陽光や風力等の再生可能エネルギーの積極的な導入）や方策3の資源利用（産業部門での対策）、方策4の建築物（民生部門での対策）による効果が大きいことがわかる。なお、こうした削減を実現するために必要な限界費用は、2050年に300ドル/tCO₂まで上昇する。図(1)-3は、低炭素社会となりゆき社会でのアジアの電源構成を示したものである。2050年には、火力発電に代わって再生可能エネルギーの供給が重要になるが、火力発電も2050年までにCCSが導入されるようになっている。これらの結果から2050年までに世界の温室効果ガス排出量を半減させることはきわめて厳しい目標であるが、本分析結果で示したように、様々な施策を総動員することで実現することが可能であるといえる。また、後述する国や地域を対象としたシナリオ開発でも、本シナリオに準じた想定での試算が見られるようになり、本課題で取り組んできたトップダウンからのアプローチと、ボトムアップの方法が連携した低炭素社会に向けての取り組みが見られるようになった。本研究成果は、ポーランドのワルシャワで開催された気候変動枠組条約締約国会議COP19のサイドイベントにおいても報告された。



図(1)-2 「10の方策」によるアジアでの温室効果ガス排出量の削減効果



図(1)-3 アジア全域における発電電力量の推移（左：なりゆき社会、右：低炭素社会）

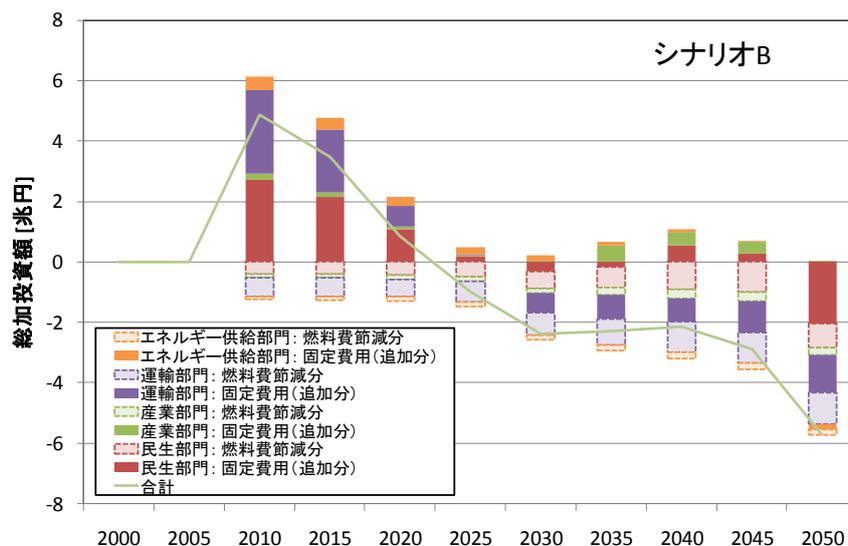
(2) バックキャストモデルによる日本を対象とした低炭素社会シナリオ分析

その結果、シナリオA、Bともに70%削減に至る道のりはほぼ同様であり、対策は2010年から導入が進み、2020年には1990年比マイナス17%、2030年には1990年比マイナス30%を通る早期削減対策の道のりが、総費用最小化の観点から最適であることが示された。

その理由として、次の4点が指摘された。1) 技術には習熟効果があり、対策導入量の拡大に伴いCO₂削減技術の追加費用は安価になる、2) 先送りすると習熟効果が十分に働かないこともあり、低炭素社会の実現までに要する総費用が高額になる、3) インフラ整備はすぐできないため、2050年の直前に低炭素型へ転換することは困難である、4) 将来の技術開発・普及には不確実性があり、ある低炭素型技術の開発が予定通りに進まないなどの理由により、予期していた導入量が確保できないことが明らかになった時に、別の技術に乗り換えて普及を進められる機会を確保する必要がある。さらに、温暖化の影響は温室効果ガス排出量の蓄積量で効いてくるのでその点も勘案すると、より早期の削減が必要になる。

年間投資額の推移に目を向けると、シナリオA、Bのいずれでも、初期には燃料費の節減分を加味しても年間5兆円程度の追加投資が必要となる（図(1)-4）。固定費用の追加分のみだと、2010年にはシナリオA、Bとも民生部門に年間2.5兆円、運輸部門に年間2.5兆円の投資が必要となる。運輸部門については、習熟効果と都市構造の変化などによる運輸需要の低下もあり、それ以降は急激に低下して2020年にはほぼゼロとなるが、民生部門については引き続き2030年頃まで2兆円程度の投資が必要である。これらの投資は、民生部門では高効率機器や高断熱住宅、運輸部門では次世代自動車など、効率改善の余地が大きく、コスト低減が見込める対策に向けられている。

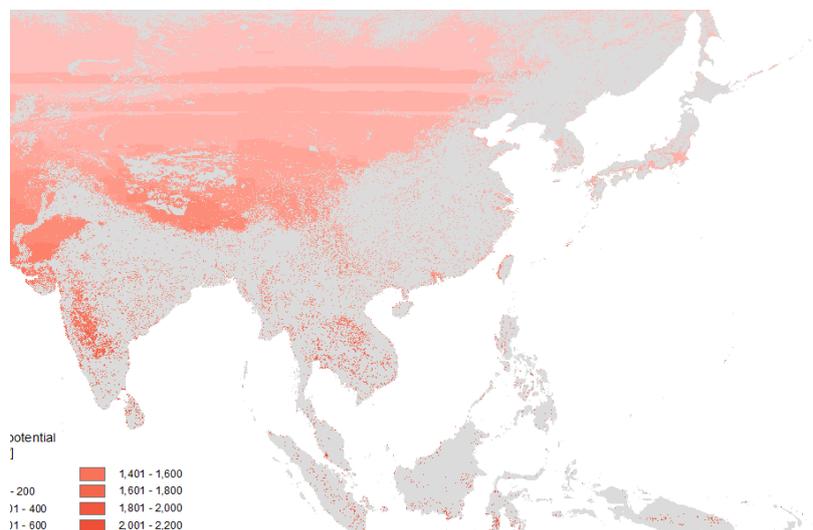
このほか、バックキャストモデルを用いて、2011年3月11日の東日本大震災以降の原子力発電の再稼働による2050年80%削減に向けた排出経路の推計を行った。



図(1)-4 2050年70%削減を実現するのに必要な追加投資額の推移

(3) 再生可能エネルギーのポテンシャル

図(1)-5に、再生可能エネルギーポテンシャルを用いて推計したアジア地域における太陽光発電のグリッド別年間ポテンシャル推計結果を示す。大きなポテンシャルがユーラシア大陸内陸部に存在することがわかる。その一方で、風力についても同様である一方、森林系バイオマスはユーラシア大陸沿岸部および東南アジア諸国に広く存在することが明らかとなった。なお、アジア全体では、太陽光発電および陸上風力発電のポテンシャルは同程度期待できるが、森林系バイオマスは地域的に広く賦存するがポテンシャル量としてはそれほど大きくない。このことから、アジア地域において再生可能エネルギー中心の低炭素型エネルギーシステムを構築するためには、地域偏在性の異なる太陽光・風力と、バイオマス資源をどのように組み合わせていくかが肝要であることがわかる。



図(1)-5 太陽光発電の年間ポテンシャル評価結果

(4) アジア各国を対象とした応用一般均衡モデルの適用と普及に向けた人材育成

途上国間での情報共有についても積極的に行うための場として、他のサブテーマと共同でトレーニングワークショップを実施し、本サブテーマからは、応用一般均衡モデルや技術選択モデルを対象にトレーニングを実施した。また、得られた成果をもとに、各国で適用された施策の議論を参加者間で行った。また、2013年7月24日に開催されたISAP会合での「2°C目標に向けたアジア

主要国の温室効果ガス削減可能性比較」セッションなどを活用し、情報の共有を行い、各国の適切な緩和行動（NAMAs）の支援等にもつとめた。今後は、こうした自主的な活動を更に盛り上げていくための支援を、国や地方などを通じて実施していきたいと考えている。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

「2050年の世界の温室効果ガス排出量を1990年比半減」に資するアジア各地域の排出量の目安と技術削減の可能性、経済影響について科学的に分析できるツールであるモデル開発とその普及を行うことが可能となった。特に世界モデルは、国別のモデルと同じ枠組みで分析することが可能であり、今後、アジア低炭素社会の分析にあたって、世界全体の緩和策の目標達成と、各国の取り組みとの整合性等を検討する際に重要となる。また、再生可能エネルギーポテンシャル評価モデルの出力結果は、アジア全域における再生可能エネルギーを中心とした低炭素型エネルギーシステム解析・提案への基礎的情報を提供するものとなる。一方、バックキャストモデルは、将来に向けた対策の道筋を明示したものであり、その解析結果の1つであるわが国の原子力発電のリスクも加味した低炭素社会への道筋の評価は、頑健な低炭素社会像を描くための重要な情報となる。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

環境省の地球温暖化対策に係る中長期ロードマップ検討会における第1回全体検討会（2009年12月28日）の資料2-2においてバックキャストモデルによる試算を示した。また、第5回全体検討会（2010年3月27日）の資料3の地球温暖化対策に係る中長期ロードマップ（議論のたたき台）（案）では、本サブテーマで示した日本低炭素社会シナリオに基づいてロードマップが作られた。

<行政が活用することが見込まれる成果>

今後、世界半減シナリオと統合的なアジア各国の低炭素社会シナリオを開発することは、世界全体の温暖化政策に貢献することが期待される。なかでも、再生可能エネルギーポテンシャル評価モデルの解析結果は、これをもとにアジア各国において低炭素社会への移行を促す際にどのような種別の再生可能エネルギーへの投資をすべきかの基礎的な判断材料を提供することが可能になると考えている。トレーニングワークショップを通じて、各国の若手研究者を受け入れており、こうしたモデル開発やシナリオ分析のノウハウを持った研究者が、各国の低炭素社会の実現に向けて、牽引してくれるものと期待している。

6. 国際共同研究等の状況

(1) シナリオ共同研究機関

- Indian Institute of Management (インド)
- Department of Management Studies, Maulana Azad National Institute of Technology (インド)
- Center for Research on Energy Policy, Bandung Institute of Technology (インドネシア)
- Bogor Agricultural University /Brighten Institute (インドネシア)
- Energy Research Institute (中国)
- Sirindhorn International Institute of Technology, Thammasat University (タイ)
- The Joint Graduate School of Energy and Environment, King Mongkut's University of Technology Thonburi (タイ)
- Stanford University, Energy Modeling Forum (米国)
- Battelle Memorial Institute (米国)
- Graduate School of Engineering (COPPE), Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ), Centro de Tecnologia (ブラジル)

(2) AIMトレーニングワークショップ参加機関

- Indian Institute of Management (インド)
- Department of Management Studies, Maulana Azad National Institute of Technology (インド)

- Center for Research on Energy Policy, Bandung Institute of Technology (インドネシア)
- Bogor Agricultural University /Brighten Institute (インドネシア)
- Energy Research Institute, National Development and Reform Commission (中国)
- Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences (中国)
- China Academy of Transportation Sciences (中国)
- The Joint Graduate School of Energy and Environment, King Mongkut's University of Technology Thonburi (タイ)
- Sirindhorn International Institute of Technology, Thammasat University (タイ)

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) 金森有子・松岡譲：地球環境研究論文集, 18, 131-142 (2010)
「エネルギーサービスの需給バランスを考慮した家庭部門のエネルギー消費量推計について」
- 2) S. Ashina, J. Fujino, T. Masui, K. Fujiwara, G. Hibino, M. Kainuma and Y. Matsuoka: J. Renewable and Sustainable Energy, 2, 031001 (2010)
“Japan roadmaps toward low-carbon society by backcasting: Optimal CO2 reduction pathways and investment timing for low-carbon technologies”
- 3) P. R. Shukla, S. Dhar and J. Fujino: J. Renewable and Sustainable Energy, 2, 031005 (2010)
“Renewable energy and low carbon economy transition in India”
- 4) 藤森真一郎・増井利彦・松岡譲：環境システム研究論文集, 39, II_243-254 (2011)
「世界温室効果ガス排出量の半減シナリオとその含意」
- 5) 生津路子・藤森真一郎・松岡譲：環境システム論文集, 39, II_255-266 (2011)
「応用一般均衡モデルを用いた日本における温室効果ガス削減目標の分析」
- 6) 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 CO2 Emissions by 2050”
- 7) 白木裕斗・芦名秀一・亀山康子・森口祐一・橋本征二：エネルギー・資源学会論文誌, 33 (1), 1-10 (2012)
「多地域電源計画モデルを用いた 2020 年の日本電力部門における再生可能エネルギー導入シナリオの検討」
- 8) 金森有子・松岡譲：土木学会論文集 G(環境), 67 (6), II_363-374 (2011)
「エネルギーサービスの需給バランスを考慮した業務部門のエネルギー消費量推計について」
- 9) A. Pattanapongchai, B. Limmeechokchai, Y. Matsuoka, M. Kainuma, J. Fujino, O. Akashi and Y. Motoki : GMSARN International Journal, 5 (3), 189-194 (2011)
“The AIM/Enduse Modeling. Subsidy for Clean Power Generation and CO2 Mitigation in Thailand”
- 10) O. Akashi, T. Hanaoka, Y. Matsuoka and M. Kainuma: Energy, 36, 1855-1867 (2011)
“A Projection for Global CO2 Emissions from the Industrial Sector through 2030 based on Activity Level and Technology Changes”
- 11) P. Winyuchakrit, B. Limmeechokchai, Y. Matsuoka, K. Gomi, M. Kainuma, J. Fujino and M. Suda: Energy Sources Part B: Economics, Planning, and Policy (accepted)
“CO2 Mitigation in Thailand’s Low-carbon Society: The Potential of Renewable Energy”
- 12) 長谷川知子・松岡譲：土木学会論文集 G(環境), 68(5), I_211-I_220 (2012)
「インドネシアにおける農畜産業・森林・土地利用変化に由来する温室効果ガス排出緩和に関する研究」
- 13) 生津路子・藤森真一郎・松岡譲：土木学会論文集 G(環境), 68(6), II_155-II_164 (2012)
「世界温室効果ガス排出量半減に向けた中国における削減方策の定量的解析」
- 14) 長谷川知子・松岡譲：土木学会論文集 G(環境), 68(6), II_255-II_264 (2012)
「農畜産業における技術積み上げ型温室効果ガス排出削減評価モデルの開発」

- 15) M. Kainuma, K. Miwa, T. Ehara, O. Akashi and Y. Asayama: *Climate Policy*, 13, Iss. sup01 (2013)
“A low-carbon society: global visions, pathways, and challenges”
- 16) S. Fujimori, T. Masui and Y. Matsuoka: *Global Environmental Research*, 17(1), 79-87 (2013)
“Global low carbon society scenario analysis based on two representative socioeconomic scenarios”
- 17) M. Namazu, S. Fujimori and Y. Matsuoka: *Global Environmental Research*, 17(1), 109-118 (2013)
“Two Future Visions of China –its challenge towards low carbon development-”
- 18) M. Namazu, S. Fujimori and Y. Matsuoka: *Global Environmental Research*, 119-128 (2013)
“Two Future Visions of India –its sustainable development pathway-”
- 19) 生津路子・藤森真一郎・松岡譲：土木学会論文集 G(環境), 69, 5, I_85-I_95 (2013)
「世界温室効果ガス排出量半減に向けて一東南アジアにおける排出量削減策の分析」
- 20) 藤森真一郎・増井利彦・松岡譲：土木学会論文集 G(環境), 69, 5, I_227-I_268 (2013)
「エネルギー機器情報を用いた応用一般均衡モデルの開発と緩和策の分析」
- 21) 生津路子・藤森真一郎・松岡譲：土木学会論文集 G(環境), 69, 6, II_359-II_371 (2013)
「応用一般均衡モデルを用いたアジア地域における温室効果ガス排出量削減の分析」
- 22) P. Thepkhun, B. Limmeechokchai, S. Fujimori, T. Masui and R. M. Shrestha: *Energy Policy*, 62, 561-572 (2013)
“Thailand's Low-Carbon Scenario 2050: The AIM/CGE analyses of CO2 mitigation measures”
- 23) N. T. Hoa, T. Hasegawa and Y. Matsuoka: *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19, 15-32 (2014) DOI10.1007/s11027-012-9424-0
“Climate change mitigation strategies in agriculture, forestry and other land use sectors in Vietnam”
- 24) T. Hasegawa and Y. Matsuoka: *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, in press (2013) doi: 10.1007/s11027-013-9498-3.
“Climate change mitigation strategies in agriculture and land use in Indonesia”
- 25) T. Jilani, T. Hasegawa and Y. Matsuoka: *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, in press (2014)
“The future role of agriculture and land use change for climate change mitigation in Bangladesh”

<査読付論文に準ずる成果発表> (対象：社会・政策研究の分野)

記載すべき項目はない。

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) P. Thepkhun, S. Fujimori, T. Masui and B. Limmeechokchai: *Climate Thailand Conference 2011*, 358-367 (2011)
“Analyses of Climate Change Mitigation Measures to GHG Mitigation and Energy Consumption in Thailand towards 2030 using AIM/CGE Model”
- 2) J. Fujino, In: O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer and C. von Stechow eds.: *Renewable Energy Sources Climate Change Mitigation*, Cambridge University Press, 707-78 (2011)
“Renewable Energy in the Context of Sustainable Development.”
- 3) P. Winyuchakrit, B. Limmeechokchai, Y. Matsuoka, K. Gomi, M. Kainuma, J. Fujino and M. Suda: *Energy for Sustainable Development 2011*
“Thailand’s low-carbon scenario 2030: Analyses of demand side CO2 mitigation options”
- 4) 藤野純一：産業と環境, 41 (2), 31-34 (2012)
「持続可能なアジア低炭素開発に向けて-アジア低炭素社会研究プロジェクト」
- 5) D. Silva: *Renewable energy potential model – Manual (Solar, Wind)(2012)*
http://www-iam.nies.go.jp/aim/AIM_datalib/RenewPotentialModel-AIM-Manual-20120116-1.pdf.
- 6) S. Ashina and J. Fujino : 3rd IAEE Asian Conference, Kyoto, Japan, February 20 (2012)
“Impacts of Post-Fukushima Nuclear Policies on Roadmaps towards a Low-Carbon Society in Japan, 2012”
- 7) 生津路子・藤森真一郎・松岡譲：京都衛生工学研究会, 26(3), 33-36 (2012)
「中国における長期的な温室効果ガス削減可能性の検討」
- 8) Hoa, N. T., Gomi, K., Matsuoka, Y., Hasegawa, T., Fujino, J. and Kainuma, M., et al. (2012)
“A low carbon society development towards 2030 in Vietnam”

- 9) アジア低炭素社会研究プロジェクト (2012)
「低炭素アジアに向けた 10 の方策」
(日本語版) http://2050.nies.go.jp/file/ten_actions_j.pdf
(英語版) http://2050.nies.go.jp/file/ten_actions.pdf
 - 10) 藤野純一：環境技術 2013 年 3 月号 (2013)
「アジア太平洋統合評価モデルを用いた定量的な温暖化対策立案支援」
 - 11) T. Hanaoka, K. Fujiwara, Y. Motoki, G. Hibino and O. Akashi: The 8th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, Dubrovnic, Croatia, 0412-1-0412-15 (2013)
“Cobenefits of reducing non-CO2 emissions by achieving a 50% global GHG emissions reduction target by 2050”
 - 12) Y. Kanamori: Proceedings of 16th conference of ERSCP and 7th conference of EMSU (2013)
“Estimation on residential energy consumption in Japan and China based on energy service supply-demand Structure”
- (2) 口頭発表 (学会等)
- 1) S. Ashina: 7th Workshop GHG Inventories Asia (WGIA7), Seoul, Korea (2009)
“Projection of GHG missions -Make the inventory and AIM models will give the future pathways-”
 - 2) T. Hanaoka: 6th Tripartite Pres. Meet. Among NIER, CRAES, NIES, Seoul, Korea (2009)
“Introduction of climate policy assessment and 2050 Japan & Asia low carbon society studies”
 - 3) 脇岡靖明：第 17 回環境アセスメント学会制度研究部会, 東京 (2009)
「地球温暖化「日本への影響」～長期的な気候安定化レベルと影響リスク評価～」
 - 4) M. Kainuma, P. R. Shukla, K. Jiang and J. Fujino: COP15 and CMP5 Side Event, Copenhagen, Denmark (2009)
“Low Carbon Asia: Visions and Actions”
 - 5) Y. Kanamori: IHDP Open Meet. 2009, Bonn, Germany (2009)
“The impacts of demographic changes on environmental load generation”
 - 6) 増井利彦：気候変動適応型社会の実現に向けた技術開発の方向性立案のためのタスクフォーラム第 2 回, 東京 (2009)
「将来の社会像 人口・経済・資源問題の観点から」
 - 7) J. Fujino: Cambridge Kyoto Symposium Pathways to a Low Carbon Society, Cambridge, UK (2010)
“Scenarios for a low carbon society in Japan in 2050”
 - 8) T. Masui, M. Kainuma, S. Ashina and G. Kayo: Workshop on Climate Change Impacts and Integrated Assessment, Snowmass, USA (2010)
“Scenario Assessment Interim Results from AIM (Asia-Pacific Integrated Model)”
 - 9) X. Hu, K. Jiang, T. Masui and H. Dai: AIM Training Workshop 2010, Tsukuba, Japan (2010)
“Impact assessment of China's climate target towards 2020”
 - 10) 金森有子：環境経済・政策学会 2010 年大会, 名古屋 (2010)
「全世界の家庭部門のエネルギー消費量推計手法の提案と適用」
 - 11) 金森有子：第 18 回地球環境シンポジウム, 茅野 (2010)
「エネルギーサービスの需給バランスを考慮した家庭部門のエネルギー消費量推計について」
 - 12) T. Masui: International Symposium: Technology and Policy for Low Carbon Society, Beijing, China (2010)
“Low Carbon Asia Research Project in Japan”
 - 13) Y. Kanamori: Climate change and green Asia, Inception workshop of ADB/I Study, Tokyo, Japan (2011)
“Greening the Asia: The role of lifestyle choices, technology and financing, Comment to the role of lifestyle choices”
 - 14) T. Masui, A. Okagawa, K. Matsumoto, S. Fujimori and H. Dai: The 16th AIM International Workshop, Tsukuba, Japan (2011)
“AIM/CGE for global and country analysis”
 - 15) 増井利彦：シンポジウム「アジア低炭素社会にむけて」, 東京 (2011)

- 「温室効果ガス排出量の世界半減に向けたトップダウンアプローチと各国目標からのボトムアップアプローチ」
- 16) Y. Kanamori and Y. Matsuoka: EEDAL 2011-6th International Conference on Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting , Abstracts of EEDAL 2011-6th International Conference on Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting, Copenhagen, Denmark (2011)
“Method for Estimation of Residential Energy Consumption Structure”
 - 17) G. Kayo, T. Ikegami, T. Ehara, K. Oyamada, S. Ashina and J. Fujino: World Renewable Energy Congress 2011, Linkoping Electronic Conference Proceedings of World Renewable Energy Congress 2011,732-739, Linkoping, Sweden (2011)
“Diversified analysis of renewable energy contribution for energy supply in Asian regions”
 - 18) S. Ashina and M. Kainuma: Workshop on Measuring Asia's Progress in Tackling Climate Change and Promoting Green Growth, Beijing, China (2011)
“Development Trajectories, Emission Profile and Policy Actions: Lesson Learned from Japan's experience”
 - 19) S. Ashina: 2011 International Energy Workshop, Stanford, USA (2011)
“A Roadmap to a Low-Carbon Society in Japan Contingency analysis for feasibility of energy pathways”
 - 20) M. Kainuma, S. Fujimori, N. Hanasaki and Y. Hijioka: Workshop to Explore the New SMA/SSP Approach, Changwon, Korea (2011)
“Integrated SMA/SSP: Research Experiments by the AIM group”
 - 21) M. Kainuma: Symposium on Low Carbon Asia Research Projects, Johor Bahru, Malaysia (2011)
“Action Plans towards Low-Carbon Cooperation in Asia Lessons Learned from Low-Carbon Scenario Study”
 - 22) M. Kainuma, S. Fujimori, N. Hanasaki, T. Masui and Y. Hijioka: Energy Modeling Forum 2011 Workshop on Climate Change Impacts and Integrated Assessment (CCI/IA), Snowmass, USA (2011)
“Key challenges and uncertainties in IAM for energy-landuse-water nexus.”
 - 23) 生津路子・藤森真一郎・松岡謙：京都大学環境衛生工学研究会 第33回シンポジウム，京都 (2011)
「日本における温室効果ガス削減対策の評価：応用一般均衡モデルを用いた分析」
 - 24) 藤野純一：第3回持続可能なアジア太平洋に関する国際フォーラム (ISAP2011)，横浜，2011年7月
「アジア諸都市における低炭素都市ロードマップ作成状況について」
 - 25) S. Ashina: 6th TIER Economy, Energy and Environment Conference, Taipei, Taiwan, August 2011
“Japan's Energy Portfolio Revisited: To be, or not to be”
 - 26) S. Ashina and M. Kainuma: The Second Technical Workshop on Tackling Climate Change and Accelerating Green Growth: New Knowledge towards Policy Solutions, New Delhi, India (2011)
“Development Trajectories, Emission Profile and Policy Actions: Lesson Learned from Japan's experience”
 - 27) M. Kainuma: Seminar on Japan's Contribution to IIASA Activities, Vienna, Austria (2011)
“Joint Research through AIM Model Development -What is AIM model and What have been done -”
 - 28) トラン・タン・トゥ・藤森真一郎・松岡謙：第19回地球環境シンポジウム，水戸 (2011)
“Potential of GHG Emissions Reduction in Vietnam and its Implications”
 - 29) M. Kainuma: LIMITS Kick-Off Meeting, Milano, Italy (2011)
“Asia scenarios for a low carbon society Possible collaboration with LIMITS project”
 - 30) 芦名秀一・松橋啓介・田邊潔：第39回環境システム研究論文発表会，東京 (2011)
「実証分析に基づく研究機関における省電力型ワークスタイル実現可能性検討：国立環境研究所における電力消費構造の分析と省電力対策の実証」
 - 31) 芦名秀一：環境科学特別講座－研究最前線からの報告，東京 (2011)
「脱温暖化社会に向けて」
 - 32) 藤野純一：GEA 国際会議 2011 「復興を通じた持続可能な社会づくり～日本の再生を世界と共に～」，東京 (2011)
「日本およびアジアにおける低炭素社会に向けた道筋」

- 33) 加用現空・須田真依子・藤野純一：世界建築会議 2011, 東京 (2011)
「アジア地域の低炭素社会シナリオの開発」
- 34) J. Fujino: 2011 International Modeling Conference-Transition to Sustainable Energy & Low Carbon Systems in Developing Countries-, Abstracts of 2011 International Modeling Conference-Transition to Sustainable Energy & Low Carbon Systems in Developing Countries-, Seoul, Korea (2011)
“Low Carbon Society Roadmap for Developing Countries in Asia: Lessons Learned from Fukushima”
- 35) 芦名秀一：第 4 回横幹連合コンファレンス, 第 4 回横幹連合コンファレンス講演論文集, 能美 (2011)
「世界規模のモデルを用いた環境, エネルギー対策とその評価」
- 36) T. Masui: Third EMF24 Global Study Working Group Meeting, Program of Third EMF24 Global Study Working Group Meeting, Potsdam, Germany (2011)
“The EMF24 results of AIM/CGE [Global]”
- 37) K. Riahi, J. Edmonds, J. Eom, M. Kainuma, T. Kram, V. Krey, E. Kriegler, T. Masui, R. Moss, V. Vliet et al.: The Nature and Use of New Socioeconomic Pathways for Climate Change Research, Boulder, USA (2011)
“Overview of narratives in integrated assessment model SSP experiments”
- 38) 加用現空・藤野純一：フィンランド議会環境委員国立環境研究所視察, つくば (2011)
“Cases: Sustainable urban development in Iskandar Malaysia and Sustainable house project in Yokohama city”
- 39) D. Silva, S. Ashina and J. Fujino : エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 東京 (2012)
“Feasibility study on low-carbon energy system with renewable energy in Asia”
- 40) 芦名秀一・藤野純一：第 28 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 東京 (2012)
「世界技術選択モデルを用いたアジア低炭素社会に向けた技術移転促進の資金メカニズムに関する研究」
- 41) Y. Asayama: United States Agency for International Development (USAID) Low Emission Development Strategy (LEDS) Forum. Bangkok, Thailand (2012)
“Toward Low Carbon Societies Asia with the application of Asia-Pacific Integrated Model, NIES, Japan”
- 42) 生津路子・藤森真一郎・松岡譲：第 40 回環境システム研究論文発表会、和歌山 (2012)
「世界温室効果ガス排出量半減に向けた中国における削減方策の定量的解析」
- 43) D. Silva, S. Ashina and J. Fujino : 第 31 回エネルギー・資源学会研究発表会、大阪 (2012)
“Estimation of the energy potential of renewable resources using a GIS-based model.”
- 44) T. Hasegawa and Y. Matsuoka: 18th Annual International Sustainable Development Research Conference, Hull, UK (2012)
“GHG Emissions and Mitigation potentials in Agriculture, Forestry and Other Land Use sectors in Indonesia”
- 45) K. Gomi, T. Hasegawa, C. S. Ho and Y. Matsuoka: 18th Annual International Sustainable Development Research Conference, Hull, UK (2012)
“Developing tools for low-carbon society scenarios in a developing country: a case study in Malaysia”
- 46) T. H. Nguyen, T. Hasegawa and Y. Matsuoka: 18th Annual International Sustainable Development Research Conference, Hull, UK (2012)
“Mitigation potential in Agriculture, Forestry and Other Land Use sectors towards sustainable agricultural growth in Vietnam”
- 47) D. Silva, S. Ashina and J. Fujino: 35th IAEE International Conference, Perth, Australia (2012)
“Preliminary assessment of biomass energy potential in Asia using geo-referenced data.”
- 48) D. Silva, S. Ashina and J. Fujino : 第 29 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、東京 (2013)
“Estimation of the renewable energy potential at global scale considering spatial distribution of energy supply and demand.”
- 49) 芦名秀一・藤野純一・増井利彦・日比野剛・松井重和：エネルギー・資源学会第 32 回研究

- 発表会, 東京 (2013)
「2050年日本低炭素社会シナリオ及び実現ロードマップの再検討」
- 50) S. Fujimori, T. T. Tran, M. Namazu, T. Masui, Y. Matsuoka, K. Jiang and 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”
 - 51) 亀井未穂 : 日本建築学会 2013 年度大会, 札幌 (2013)
「'Zero carbon city'実現のための都市構造と交通政策の関連性についての考察」
 - 52) M. Kamei: The European Conference on Sustainability, Energy and the Environment 2013, Brighton, UK (2013)
“An Analysis of Comprehensive Effectiveness of Tokyo’s Climate Policies”
 - 53) M. Kamei: International Conference on Energy, Environment, Ecosystems and Sustainable Development, Paris, France (2013)
“The Implications of Zero Carbon Principles for Transport and Urban Form”
 - 54) M. Kamei, L. W. Chau and C. S. Ho: Sustainable Building 13, Dubai, United Arab Emirates (2013)
“Factors that constitute ‘good governance’ for urban sustainable development - A case study of Low Carbon Development Project in Iskandar Malaysia”
 - 55) H. Shiraki and S. Ashina: 36th Annual IAEE International Conference, Daegu, South Korea (2013)
“Effects of Low Carbon Energy Transition on Future Fossil Fuel Prices with an Energy Resource Model”
 - 56) D. Silva, S. Ashina, J. Fujino, H. Hashim, W. S. Ho and J. S. Lim: 36th IAEE International Conference, Daegu, South Korea (2013)
“Evaluating renewable energy targets in local areas with an energy system model - Case study of Iskandar Malaysia”
 - 57) T. Masui: Low Carbon Asia Research Network (LoCARNet) Second Annual Meeting, Yokohama, Japan (2013)
“Asian activities toward two degree target”
 - 58) T. Masui: The 5th International Forum for Sustainable Asia and the Pacific, Yokohama, Japan (2013)
“Emission Pathways toward the 2 Degree Target”
 - 59) D. Silva, H. Dai, S. Fujimori and T. Masui: 6th Annual Meeting of the Integrated Assessment Modeling Consortium (IAMC), Tsukuba, Japan (2013)
“Global assessment of onshore wind energy with transmission costs”
 - 60) T. Masui: Workshop on Comparative Study on Low Carbon Modeling for Indonesia, Jakarta, Indonesia (2013)
“AIM Model for developing low carbon strategy -Economic impacts based on CGE model-”
 - 61) S. Ashina: 2013 Greenhouse Gases Emissions Statistics and Energy Flow Sankey Diagram Seminar, Taipei, Taiwan (2013)
“GHG Emission Statistics and Sankey Diagram-The Role of Modeling Study and its Potential”
 - 62) S. Ashina: 2050 Taiwan GHGs Reduction Pathway Forum, Taipei, Taiwan (2013)
“2050 Japan Low Carbon Society Scenarios”
 - 63) M. Kainuma: Opportunities and Challenges in China’s Energy Development -Energy Efficiency and Conservation, Singapore, Singapore (2013)
“Energy Efficiency and Conservation Strategies in Japan and Their Implications to China’s Future Energy Development”
 - 64) M. Kainuma: 2nd Annual Meeting of the LoCARNet, Yokohama, Japan (2013)
“How can we facilitate implementation of technologies to promote low carbon development?”
 - 65) M. Kainuma: Planetary boundaries and environmental tipping points: What do they mean for sustainable development and the global agenda? , Geneva, Switzerland (2013)
“Consideration of socio-economic tipping points for sustainable development”
 - 66) M. Kainuma: COP19/CMP9 Side Event: Roadmap and Actions toward Low Carbon Societies in Malaysia and throughout Asia, Warsaw, Poland (2013)
“Ten Actions toward Low Carbon Asia”
 - 67) M. Kainuma: COP19/CMP9 Japan Pavillion Side Event: Pathways toward low carbon societies in Asia by 2050 and contributions of Japan to their realization- Quantitative & Qualitative Assessment

- of LCS using the Asia-Pacific Integrated Model (AIM) , Warsaw, Poland (2013)
 “Methodologies to Estimate Pathways”
- 68) M. Kainuma and S. La Motta: LCS-RNet COP19 Side-event: Transition to Low-Carbon Resilient Societies: From Theory to Reality, Warsaw, Poland (2013)
 “Transition to Low-Carbon Resilient Societies: From Theory to Reality Report of the LCS-RNet 5th Annual Meeting; Accelerating the Transition to Low Carbon Societies”
- 69) M. Kainuma: LoCARNet COP19 Side-event: GHG Emissions Reduction Potential in Asia for the Two Degree Target, Warsaw, Poland (2013)
 “Asia’s Low Carbon Future: Can Asia Change the World through Leapfrogging?”
- 70) Y. Asayama: Khon Kaen Low Carbon Society Workshop, Khon Kaen, Thailand (2013)
 “Experience on developing the Low Carbon City development plans Using Asia-Pacific Integrated Model (AIM) Case Studies: Kyoto City & Shiga Prefecture in Japan and Iskandar, Malaysia”
- 71) D. Silva, S. Ashina and J. Fujino: 30th Conference on Energy, Economy, and Environment, Tokyo, Japan (2014)
 “Study on the Feasibility of Wind Power Supply Across Asia Focusing on Electricity Transmission Costs”
- 72) Y. Asayama and B. Limmeechokchai: International Conference and Utility Exhibition 2014 on Green Energy for Sustainable Development, Pattaya City, Thailand (2014)
 “Policies and Measures to Remove Energy Efficiency Barriers in Thai Buildings toward NAMAs”

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) シンポジウム、セミナー等の開催（主催のもの）

- 1) AIM Training Workshop（2009年8月31日-9月11日、国立環境研究所、参加者42名）
- 2) The Integrated Assessment Modeling Consortium（2009年9月15日-17日、つくば国際会議場、参加者57名）
- 3) Asian Modeling Meeting（2009年9月18日-19日、米国 Pacific Northwest National Laboratory (PNNL)との共催、つくば国際会議場、参加者51名）
- 4) AIM International Workshop（2010年2月20日-22日、国立環境研究所、参加者77名）
- 5) AIM Training Workshop（2010年8月2日-6日、国立環境研究所、参加者38名）
- 6) AIM International Workshop（2011年2月19日-21日、国立環境研究所、参加者81名）
- 7) シンポジウム「アジア低炭素社会にむけて」（2011年2月22日、国際協力機構 JICA 研究所国際会議場、観客213名）
- 8) AIM トレーニングワークショップ（2011年6月6日-17日、国立環境研究所、中国、インド、タイ等の若手研究者、11名）
- 9) 第一回低炭素アジア研究プロジェクト国際シンポジウム（2011年7月4日、マレーシア、ジョホールバルイスカンダル地域開発庁、マレーシア工科大学、マレーシア政府関係者、UTM 研究者、アジア諸国の低炭素社会研究者約200名）
- 10) 低炭素社会シナリオに関するモデリング研修（2011年7月5日、マレーシア、ジョホールバルイスカンダル地域開発庁、マレーシア工科大学、マレーシア工科大学研究者・学生約70名）
- 11) 社会経済・温室効果ガス排出削減統合評価モデルに関するトレーニングワークショップ（2011年8月1日～8日、国立環境研究所、アジア諸国から13名）
- 12) Institute of Strategy and Policy on Natural Resources and Environment (ISPONRE) LCS team Training Course（2011年9月20日～22日、国立環境研究所、JICA、ISPONREより4名）
- 13) ポパール持続可能ビジョン国際シンポジウム（2011年9月23日、School of Planning and Architecture, Bhopal, India、国内外から100名程度の研究者・政策担当者）
- 14) 低炭素社会構築に向けたコンセンサス・ビルディングの研修（2011年10月2日～9日、京都市・滋賀県・東京都等、マレーシア政府機関・研究機関、地域開発庁、エネルギー公社より4名、他アジア諸国から2名）
- 15) 第二回低炭素アジア研究プロジェクト国際シンポジウム（2011年10月31日、マレーシアジョホールバル、マレーシア政府関係者、UTM 研究者、アジア諸国の低炭素社会研究者約

- 200名)
- 16) 低炭素エコヴィレッジフォーカスグループディスカッション (2011年11月2日, マレーシア, ジョホールバル Felda Taib Andak, マレーシア市民約40名)
 - 17) AIM トレーニングワークショップ フォローアップ会合 (2011年11月16日~18日, 国立環境研究所, 中国, タイ等の若手研究者4名)
 - 18) シンポジウム「持続可能なアジア低炭素社会に向けた日本の役割」(2011年11月22日, 東京, 市民約200名)
 - 19) 「低炭素社会行動計画アクション(案)」に対するフォーカス・グループ・ミーティング (2011年11月25日, マレーシア, ジョホールバル, イスカンダル地域開発庁, マレーシア工科大学, 地方自治体や州森林局等約15名)
 - 20) 気候変動枠組条約 COP17 ブース出展及びサイドイベント(2011年11月28日~12月9日, 南アフリカ, ダーバン, 日本, マレーシア, 米国, インド, 中国, スイス等, 多くの国から政府関係者, 大学, コンサルタント, NGO等約80名)
 - 21) イスカンダル開発地域の低炭素社会教育に関するフォーカスグループディスカッション (2011年12月1日, マレーシア, ジョホールバル, イスカンダル開発地域学校教員等約40名)
 - 22) イスカンダルマレーシア持続可能な首都会議 (2011年12月12日~13日, マレーシア, ジョホールバルイスカンダル地域開発庁, 約500名)
 - 23) 第17回 AIM 国際ワークショップ (2012年2月17日~19日, つくば, 86名)
 - 24) 東アジア低炭素成長パートナーシップ対話」サイドイベント「東アジア低炭素成長ナレッジプラットフォーム」(2012年4月14日 日本・東京 JICA・IGES/LCS-RNet 事務局と共催国際機関や政策担当者, 民間セクター等116名)
 - 25) Cambodia Workshop : Designing and establishing Cambodian Low Carbon Development Plan (2012年5月29日 カンボジア・プノンペン カンボジア環境省・IGES/LCS-Rnet 事務局と共催 カンボジア政府関係者等60名)
 - 26) Workshop on Exploring Potential for Low Carbon Society in Vietnam (2012年5月31日 ベトナム・ハノイ ベトナム政府天然資源環境省所管 天然資源・環境戦略研究所 (ISPONRE), JICA ベトナム事務所, IGES/LCS-Rnet 事務局と共催 ベトナム政府系研究機関や援助機関より70名)
 - 27) AIM トレーニングワークショップ (ハノイ) (2012年5月31日~6月1日 ベトナム・ハノイ ISPONRE と共催 ISPONRE 等15名)
 - 28) Workshop on Low Emission Development Scenarios of Energy Sector: Preliminary Result of AIM Exercises (2012年6月6日 インドネシア・ジャカルタ JICA インドネシア事務所, インドネシア国家気候変動評議会(DNPI)と共催 DNPI をはじめとするインドネシア政府機関等45名)
 - 29) ISAP2012:低炭素アジア研究ネットワーク(LoCARNet) キックオフ会合 (2012年7月23日 日本・横浜 IGES/LCS-RNet 事務局と共催 国際機関・研究機関等30名)
 - 30) AIM トレーニングワークショップ 2012 (2012年7月24日~8月2日 日本・つくば NIES インド, インドネシア, 韓国, カンボジア, タイ, 台湾, 中国, バングラデッシュ, 日本, ベトナム, マレーシアから20名)
 - 31) 低炭素社会国際研究ネットワーク (LCS-RNet) 第4回年次会合 (2012年9月17日-18日 英国・オックスフォード 英国エネルギー研究センター (UKERC), 英国エネルギー・気候変動省, IGES/LCS-RNet 研究機関, 政策担当者等から70名)
 - 32) 低炭素アジア研究ネットワーク (LoCARNet) 第1回年次会合 (2012年10月16日-17日 タイ・バンコク タイ温室効果ガス管理機構(TGO), タイエネルギー環境合同大学院大学 (JGSEE), アジア太平洋地球変動研究ネットワーク (APN), アジア開発銀行(ADB), 環境省, IGES/LoCARNet 事務局 研究機関, 政策担当者等から120名)
 - 33) シンポジウム: アジア低炭素発展への道 (2012年10月30日 日本・東京 環境省, IGES と共催 約200名)
 - 34) COP18/CMP8 サイドイベント 低炭素アジア実現に向けて: 科学と政策を橋渡しするモデルの役割 (2012年11月30日 カタール・ドーハ マレーシア工科大学 (UTM) と共催

約 130 名)

- 35) AIM フォローアップ トレーニングワークショップ 2012 (2012 年 12 月 10 日～13 日 日本・つくば NIES インド、インドネシア、タイから 6 名参加)
- 36) 第 18 回 AIM 国際ワークショップ (2012 年 12 月 14 日～15 日 日本・つくば NIES AIM 国内外研究協力機関から 70 名参加)
- 37) Cambodia Workshop: A Systematic and Quantitative Design of Low Carbon Development Plan for Cambodia (2013 年 4 月 22 日、HIMAWARI HOTEL (Phnom Penh, Cambodia)、カンボジア関連の政府機関、大学、研究機関、NGO、国際機関等約 70 名)
- 38) Vietnam Workshop: Low Carbon Society in Vietnam (2013 年 4 月 25 日、Dai Lai Flamingo Resort (Vinh Phuc, Viet Nam) ベトナム関連の政府機関、大学、研究機関、NGO、国際機関等約 35 名)
- 39) Side Event on East Asia Low Carbon Growth Partnership Dialogue East Asia Knowledge Platform for Low Carbon Growth (2013 年 5 月 17 日、Iino Hall & Conference Center (Tokyo)、国内外の研究者、政府機関、民間、大学等約 100 名)
- 40) AIM/Enduse トレーニングワークショップ (2013 年 6 月 10-14 日、国立環境研究所第二会議室 (つくば)、アジアから約 20 名)
- 41) Workshop on Khon Kaen LCS Workshop (2013 年 6 月 18 日、Pullman Khon Kaen Raja Orchid Hotel、コンケン市、現地大学、民間企業、NGO 等から 90 名)
- 42) 5th Annual Meeting of the LCS-RNet (2013 年 7 月 22-23 日、パシフィコ横浜 (横浜)、国内外の研究者、政府機関、民間、大学等約 80 名)
- 43) 2nd Annual Meeting of the LoCARNet (2013 年 7 月 24-25 日、パシフィコ横浜 (横浜)、国内外の研究者、政府機関、民間、大学等約 80 名)
- 44) Workshop on Comparative Study on Low Carbon Modelling for Indonesia (2013 年 10 月 8 日、Four Seasons Hotel, Jakarta, Indonesia、インドネシアの政策担当者・研究者、日本の研究者など約 50 名)
- 45) Policy Dialog on Finding Path for Low Carbon Development in Indonesia (2013 年 10 月 9 日、Four Seasons Hotel, Jakarta, Indonesia、インドネシアの政策担当者・研究者、日本の研究者など約 50 名)
- 46) Workshop on Low carbon Study in Vietnam (2013 年 10 月 14 日、Hanoi Grand Plaza Hotel, Hanoi, Vietnam、ベトナムの政策担当者・研究者、日本の研究者など)
- 47) 推進費 S-6 一般公開シンポジウム: アジア低炭素社会へのチャレンジ (2013 年 10 月 17 日、国連大学ウタント国際会議場 (東京)、180 名)
- 48) 第 6 回 IAMC 年次会合 (2013 年 10 月 28-30 日、国立環境研究所 (つくば)、国内外の研究者など 80 名以上)
- 49) COP19 Side Event: Pathways toward low carbon societies in Asia by 2050 and contributions of Japan to their realization (2013 年 11 月 13 日、COP19/CMP9 Japan Pavillion, Warsaw, Poland、COP19/CMP9 参加者約 25 名)
- 50) COP19 Side Event: Roadmap and Actions toward Low Carbon Societies in Malaysia and throughout Asia (2013 年 11 月 15 日、COP19/CMP9 Venue, Warsaw, Poland、COP19/CMP9 参加者約 90 名)
- 51) COP19: LoCARNet サイドイベント: GHG Emissions Reduction Potential in Asia for the Two Degree Target (2013 年 11 月 15 日、COP19/CMP9 Japan Pavillion, Warsaw, Poland、COP19/CMP9 参加者約 25 名)
- 52) COP19: LCS-RNet サイドイベント: Transition to Low-Carbon Resilient Societies: From Theory to Reality (2013 年 11 月 19 日、COP19/CMP9 Japan Pavillion, Warsaw, Poland、COP19/CMP9 参加者、約 45 名)
- 53) 第 19 回 AIM 国際ワークショップ (2013 年 12 月 13-14 日、国立環境研究所大山ホール (つくば) 国内外の研究者等 80 名)

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) フジサンケイビジネスアイ, 2009 年 10 月 10 日, 朝刊, 13 面, 日本提案の「低炭素社会国際研究ネットワーク」初会合 先進国で 80%削減 道筋いかに

- 2) 日本経済新聞, 2009年10月24日, 朝刊, 5面, 家庭の温暖化ガス排出 1世帯180万円で7割削減が可能 国立環境研試算
 - 3) 毎日新聞, 2009年11月17日, 朝刊, 3面, CO2削減 費用最低「2020年に17%」環境研試算「90年比70%」の場合
 - 4) 電気新聞, 2010年3月24日, 朝刊, 2面, 25%減 国内対策で達成可能 国環研 試算結果まとめる
 - 5) 日刊工業新聞, 2010年4月2日, 朝刊, 14面
 - 6) 毎日新聞, 2010年4月5日, 朝刊, 8面
 - 7) Utusan Online, 2011年7月6日, http://www.utusan.com.my/utusan/info.asp?y=2011&dt=0706&pub=Utusan_Malaysia&sec=Johor&pg=wj_01.htm
 - 8) Berita Harian, 2011年7月6日
 - 9) Sin Chew Jit Poh (中国語), 2011年7月6日
 - 10) China Press (中国語), 2011年7月6日
 - 11) Nanyang Siang Pau (中国語), 2011年7月6日
 - 12) The Star Online, 2011年7月8日
<http://thestar.com.my/metro/story.asp?file=/2011/7/8/southneast/9036757&sec=southneast>
 - 13) NNA.ASIA, <http://nna.jp/free/news/20110705myr002A.html>
 - 14) Daily Asia INFO, 2011年7月6日
 - 15) 中日新聞, 2011年10月6日
 - 16) 日刊工業新聞, 2012年11月26日
 - 17) 時事ドットコム, 2012年12月1日
 - 18) UNFCCC Press Conference, 2012年11月30日
 - 19) UNFCCC Climate Studio, 2012年11月30日
 - 20) BERNAMA, 2012年12月2日
 - 21) Green Plus カーボンオフセットニュース, 2012年12月3日
 - 22) 建設通信新聞, 2012年12月4日
 - 23) The Star, 2012年12月4日
 - 24) JICA ニュース, 2012年12月5日
 - 25) 日経産業新聞, 2012年12月6日
 - 26) BERNAMA, 2012年12月11日
 - 27) New Straits Times, 2012年12月12日
 - 28) BERITA, 2012年12月12日
 - 29) 読売新聞, 2013年4月19日
 - 30) 化学工業日報, 2013年4月26日
 - 31) 電気新聞, 2013年5月15日
 - 32) The Nation, 2013年6月9日,
<http://www.nationmultimedia.com/business/Road-map-for-a-low-carbon-Thailand-30207310.html>
 - 33) Asia News Network, 2013年6月9日,
<http://www.asianewsnet.net/Study-sets-roadmap-for-low-carbon-Thailand-47706.html>
- ほか161件

(6) その他

- 1) 2009年8月に「低炭素社会に向けた道筋検討」報告書を「脱温暖化 2050 研究プロジェクト」Web サイト上で発表した。(http://2050.nies.go.jp/index_j.html)

8. 引用文献

- 1) UNEP (2013) The Emissions Gap Report 2013

(2) アジア低炭素社会シナリオ定量化のための国・都市レベルを対象としたモデル開発と低炭素社会を支える都市・地方シナリオの開発

京都大学大学院工学研究科
 <研究協力者>

松岡 譲・倉田 学児・河瀬 玲奈

京都大学大学院工学研究科

五味 馨・Janice J. Simson

滋賀県琵琶湖・環境学研究センター

内藤 正明 (2009年度)・金 再奎 (2009年度)

平成21～25年度累計予算額：62,507千円

(うち、平成25年度予算額：11,969千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

世界全体として低炭素社会を実現するには数多くの中央政府・地方自治体の行動が必要であり、目標と行動計画が策定され、低炭素施策が実施されなければならない。本研究では低炭素社会を目指す多くの発展途上国政府・地方政府において適用可能で汎用的な低炭素社会シナリオ構築手法を開発した。手法は目標設定から具体的な施策の内容の決定までを含んでおり、各段階において必要となる計算や思考の道具立て(モデルまたはツール)が開発された。これらを用いることで将来の社会経済発展や技術開発と統合的な低炭素社会シナリオを構築し、必要な低炭素社会施策を同定することができる。これを京都市、滋賀県、インドネシア、ベトナム、タイ、カンボジア、バングラデシュ、コンケン県(タイ)、広州市(中国)、アーメダバード市(インド)、ボパール市(インド)、京畿道(韓国)の各国・地域において適用し、それぞれの地域において2020年～2050年を目標年とする低炭素社会シナリオを開発した(都市や地域のシナリオは、サブテーマ(3)と共同で行うとともに、ボパール市はサブテーマ(5)のエコフロンティアフェロー(EFF)の課題として実施)。

また、低炭素シナリオの基礎として、将来の活動の基礎となる社会経済状況の描写とその定量化が必要となる。具体的には、経済成長率や人口、消費行動などであり、既存研究におけるこれらの数値を評価するとともに、推進費S-6全体で使用する将来シナリオの設定を行った。また、それらの将来像をもとに、2050年の世界の温室効果ガス排出量を1990年比半減するという目標に対して、各国がどの程度削減を行う必要があるかの見通しについて検討を行った。

[キーワード]

低炭素都市、低炭素型発展、地球温暖化対策、シナリオアプローチ、バックキャストイング

1. はじめに

低炭素社会の実現には長期間を要することから、その計画は数十年間を対象とせざるを得ない。ここではそのような目標とその実現のための計画とを合わせて「低炭素社会シナリオ」と称する。世界全体として低炭素社会を実現するには数多くの中央政府・地方自治体の行動が必要であり、目標と行動計画が策定され、低炭素施策が実施されなければならない。しかしながらGHGはほとんどすべての人間活動から排出され、従って排出量や排出の構造は将来の社会経済状況に大きく左右されるとともに、その抑制策(低炭素対策)は多岐にわたる。このような対象について目標を達成するのに必要な対策を同定し、計画を策定するためには広範な知識と計算能力が必要とされる。これらは特に政府内に抱える資源に制約の多い地方自治体や発展途上国の政府にとって低炭素社会を目指す際の障害になるものと考えられる。

2. 研究開発目的

上記の背景を踏まえ本研究では、多くの発展途上国政府・地方政府において適用可能で汎用的な低炭素社会シナリオ構築手法を開発することを目的とする。手法は目標設定から具体的な施策の内容の決定までを含む包括的なものとし、その中では各段階において必要となる計算や思考の道具立て(モデルまたはツール)も開発する。これを実際の地方自治体や発展途上国において適用して低炭素社会シナリオを開発し、手法の有効性を確認する。

また、低炭素シナリオの基礎として、世界全体としてのGHG排出量削減目標の達成可能性を検

討するためには、それに対応した各国・地域における削減目標達成について検討する必要がある。GHG排出量の大部分を占めるのは、エネルギー起源のものであり、それらの挙動は経済活動に密接に結び付いている。特にアジア地域においては、今後数十年、高い経済成長が見込まれており、その経済発展を所与として、GHG排出量の削減可能性について検討する必要がある。本研究では、世界のGHG排出量半減目標達成の可能性を検討するために、アジアを15地域に区分し、その地域ごとの削減目標達成のフィージビリティを検討した。

3. 研究開発方法

(1) 開発したシナリオ構築手法の概要

本研究ではシナリオ構築手法の基本的な考え方としてバックキャストिंगの方法論を採用する。バックキャストिंगとは、「特定の目標地点から現在に向かって逆算すること」と定義され、二段階に分けることが出来る。前半は目標とする将来像の描写、後半が目標へ到達するための道筋の探索である。低炭素社会の構築においてこの考え方を適用するならば、前半の「目標地点」、すなわち「低炭素社会ビジョン」の描写と、後半の「逆算」、すなわち目標地点へ到達するための「低炭素社会ロードマップ」の探索とに分けることが出来る。低炭素社会の実現はこれまでの傾向の延長では不可能であること、長期的な目標の達成と現在の行動とを整合させる必要があることから、バックキャストिंगの考え方に基づくことで有用な手法を開発できると考えたためである。

ここで開発した手法は次の4つの段階からなる。①目標決定と情報収集：低炭素目標の決定は作成するビジョンおよびロードマップの対象範囲や枠組みを定める。収集する情報は主として統計データであり、十分な情報が得られない場合は、間接的な情報から推計により補う。実際の作業においてはかなりの労力をこの段階に費やすことになる。②低炭素対策の予備評価：まず、候補となる低炭素対策の情報を収集する。そして、そのうち目標年までに導入の可能性がないものはこの時点で除外し、可能性があるものについては詳細な情報を収集する。③低炭素社会ビジョンの構築：まず将来社会の想定を行う。社会経済の全体像について、定性的なシナリオをまず叙述し、次にそれを定量的な想定に反映する。一方でAHPT (Analytic Hierarchy Process Tool)を利用して低炭素対策の評価を行う。これらからExSS (Extended Snapshot tool)、ExSS/Waste、AFOLUA/B (Agriculture, Forestry and Other Land Use Activity model/Bottom-up model)を利用して社会経済指標、GHG排出量、低炭素対策導入量を推計する。目標を達成するために必要な低炭素対策が同定されたならばこれらをまとめて低炭素社会ビジョンとする。④低炭素社会ロードマップの構築：低炭素施策の導入に必要な施策を挙げてABS (Action Breakdown Structure)を作成する。次にAHPTで各施策を評価する。各施策の定量的要件(費用を含む)と制約条件(総費用の上限、中間年の目標)を設定し、BCT (Backcasting Tool)を用いてロードマップを構築する。各施策の排出削減量への貢献度はADSM (Action Design Structure Matrix)およびARIPPLE (Action RIPPLE diagram)によって推計される。これらの推計結果から施策個票を完成させる。

こうして構築された低炭素社会施策が実行に移されたならば、それは時間の経過とともに見直す必要があるだろう。例えば5年毎にその進捗を監視し、その時点を出発点として再び低炭素社会ビジョンとロードマップを構築し、施策を実行する。このプロセスを反復することによって、漸近的に目標とする低炭素社会に近づいていくことが出来ると考えられる。図(2)-1には各段階の作業、作業の担当者、利用するツールが示されている。

(2) 主体

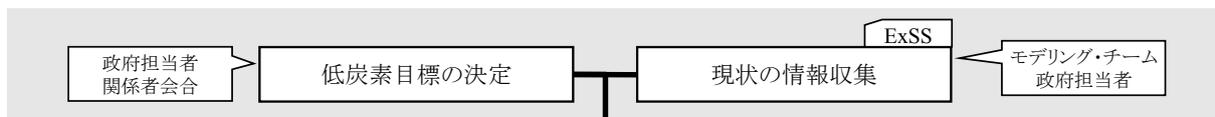
政府担当者、モデリング・チーム、そして関係者会合が、各段階に関与し作業を担当する主体となる。以下に各主体の役割を示す。

政府担当者：地域の代表として施策の策定プロセス全体を運営するとともに、統計情報の収集や低炭素社会施策体系の構築にあたっての情報提供が期待されている。

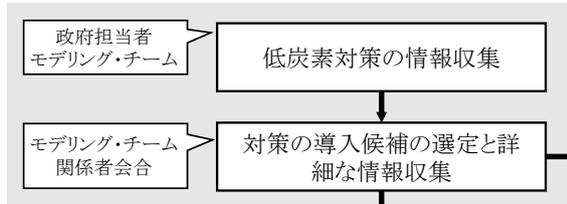
モデリング・チーム：大学の研究者やコンサルタント等が主として担当し、推計ツールの操作を行う。必要な場合は事前に推計作業を行ってから関係者会合に臨む。

関係者会合：それぞれの段階での要件に応じて参加者の意見を反映し、関係者が合意し得るビジョンおよびロードマップを構築していく。関係者会合には上二者のほか、その地域の意志決定に参画する多様な主体が参加可能である。例えば地域住民、地域内で活動する事業者の代表、NPO等の市民団体の代表である。

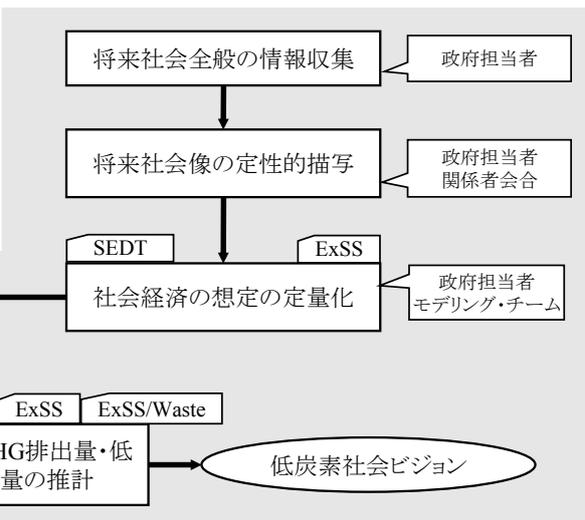
1. 目標決定と情報収集



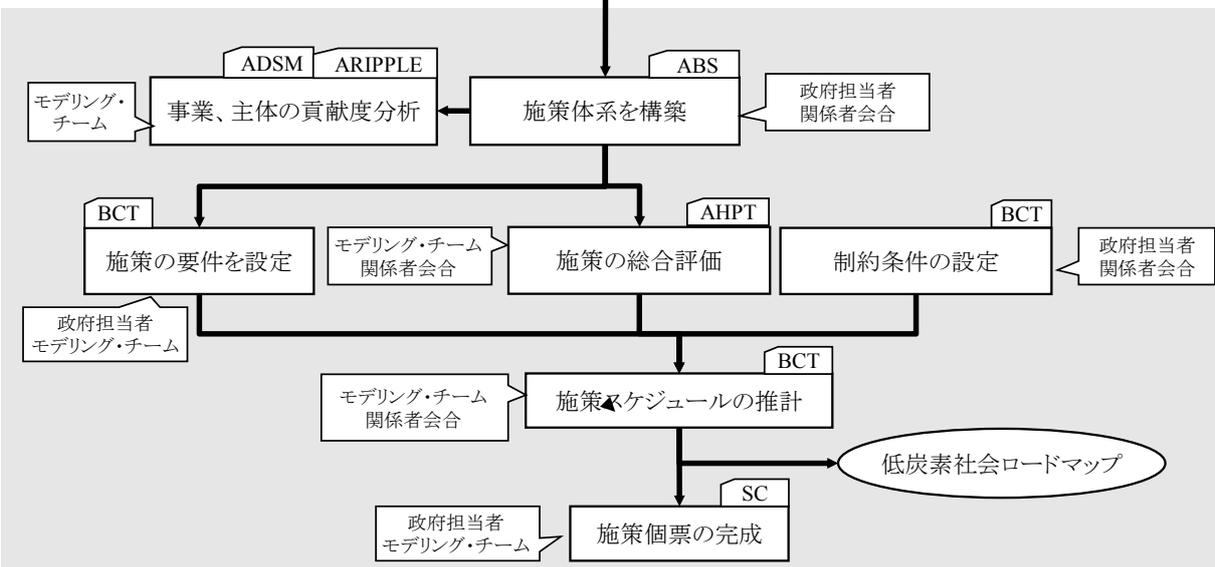
2. 低炭素対策の予備評価



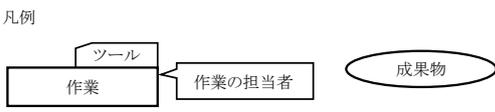
3. 低炭素社会ビジョンの構築



4. 低炭素社会ロードマップの構築



- 略称
 ExSS: Extended Snapshot Tool
 SEDT: Socio-economic Design Template
 AFOLUA: Agriculture, Forestry and Other Landuse Activity Model
 AFOLUB: Agriculture, Forestry and Other Landuse Bottm-up Model
 AHPT: Analytical Hierarchy Process Tool
 ABS: Action Breakdown Structure
 BCT: Backcasting Tool
 ADSM: Action Design Structure Matrix
 ARIPPLE: Action Ripple Diagram
 SC: Specification card



図(2)-1 開発した手法の全体像

(3) 開発されたモデルおよびツール

本研究により開発されたモデルおよびツールの一覧を表(2)-1 に示す。

表(2)-1 開発したツールの一覧

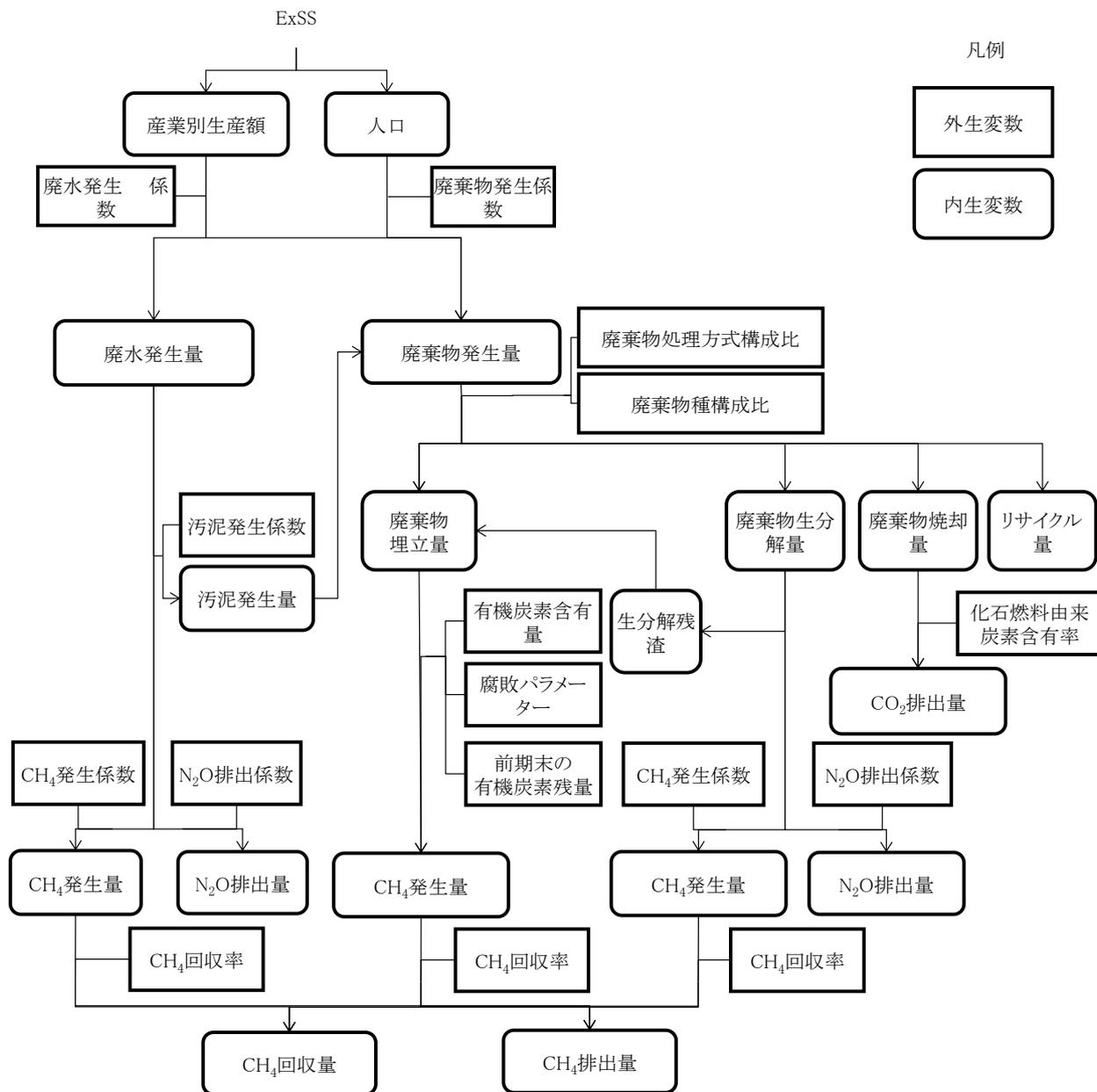
名称	略称	説明
1) Extended Snapshot Tool	ExSS	社会経済指標、エネルギー需給、廃棄物発生量、GHG排出量、そして低炭素対策によるGHG排出削減量を統合的に計算し、低炭素社会としての定量的な将来像をデザインする会計表型の比較静学モデル
2) Extended Snapshot Tool Waste module	ExSS/Waste	ExSSの追加モジュールで、廃棄物(産業廃棄物、一般廃棄物)の処理・処分から発生するGHG排出量を推計する動学モデル
3) Socio-economic Design Template	SEDT	将来社会像の検討にあたって様々な社会経済指標について方向性を示すために検討すべき事項が記述されたガイド
4) Agriculture, Forestry and Other Land use Activity Model	AFOLUA	人口増加や食料需要の変化等からAFOLU部門の活動量(食料生産量、地の面積、家畜頭数、土地利用転換面積等)を推計し、これらからのGHG排出量を推計する動学モデル
5) Agriculture, Forestry and Other Land use Bottom-up Model	AFOLUB	農業・土地利用部門で利用されるGHG排出に関連する詳細な技術情報(排出係数、適用可能な上限等)を格納し、与えられた活動量、排出量目標、排出税のもとで費用を最小化する技術導入経路を推計する動学モデル
6) Analytic Hierarchy Process Tool	AHPT	階層分析法(Analytical Hierarchy Process, AHP)を用いて、GHG排出以外の複数の評価基準から各低炭素対策の総合的な評価を定量的に算出するツール
7) Action Breakdown Structure	ABS	低炭素目標を達成するために必要な施策を欠損・重複のないように体系化するための樹形図状のチャート
8) Backcasting Tool	BCT	低炭素施策相互の関係を考慮し、目標年までの最適な政策実施経路を算出する動学モデル
9) Action Design Structure Matrix	ADSM	主体、事業、指標、目標の相互関係を記述するマトリクス
10) Action Ripple Diagram	ARIPPLE	主体、事業、指標相互の関係からそれぞれの排出削減への貢献量を間接的な効果も考慮して計算するツール
11) Specification Card (施策個票)	SC	実施される個々の低炭素社会施策に関する情報(投入資源、実施時期、実施主体、排出削減量等)を格納した様式

1) ExSS

ExSSの目的は目標像としての低炭素社会像を定量的に描写することである。社会経済指標、エネルギー需要量、エネルギー利用技術、そしてCO₂排出量などが含まれる。社会経済指標には人口、GDP、産業別生産額、交通需要量、建築物ストックなどが含まれる。ExSSは将来の社会経済状況の想定に基づいて、これらの指標の統合的な値を推計する。その社会経済の状況のもと、所与の排出量目標を達成するための低炭素対策を同定する。

図(2)-2にExSSの構造を示す。ここでは環境負荷として化石燃料の消費に由来するCO₂を示しているが、適当な推計式を追加することにより、他の温室効果ガス、環境負荷にも容易に拡張可能である。ExSSは勘定表型の比較静学モデルであり、連立方程式体系として記述されている。与えられた外生変数のもとで、ある1年間における地域内の各部門の活動の状況とエネルギー需給を統合的に推計する。低炭素対策は外生変数として個別に導入の想定を与える。すなわち自動的に目標を達成する低炭素対策を求めることはしない。様々な想定のもとで計算を反復しながら議論を通じて望ましいと思われる低炭素対策の組み合わせ、導入量を同定することが低炭素社会を「デザインする」という目的からはこのような柔軟性が必要と考えたためである。また対策組み合わせの同定にあたって有力な基準である費用最小化を行うには当然ながら費用の情報が必要になる。しかし国・地域によってはある対策の費用の情報ほとんど、あるいはまったく、得られないこ

デルとした。ただしExSSで推計された社会経済指標の値は入力として用いられる。



図(2)-3 ExSS/Wasteの構造

3) SEDT

ExSS を利用した将来推計では、将来の定性的な想定を各外生変数の値に反映させる。その時、各変数の背景にある事象についての知識が必要である。そのような知識を政府担当者や関係者会合の参加者が常に備えているとは考えられない。そこで、定性的な想定から外生変数の値を設定する作業を支援するツール「想定テンプレート」を開発した。その各頁ではまず、その変数に関連する要因について、基本的には三択の質問を提示する。選択肢は「増える 減る 現状程度」といったように、その事柄の変化の方向を選択する。その後、それらの影響した結果としての変数の値を書き込む。テンプレートにはその変数の基準年の値や過去からの変化の傾向、他の地域の値、他の研究による将来値の例などが示されている。テンプレートの頁の例を図(2)-4 に示す。

<p>①生活 (1) 『1世帯あたりの平均人数』</p> <p>1世帯あたりの人数は【増加 現状程度 減少】して、 平均で【 】人となっている。</p> <p>現状：【 】人 出典： 傾向：</p> <p>背景の想定</p> <p>結婚年齢は【遅くなっている 現状程度 早くなっている】 一人暮らしをする人は【増えている 現状程度 減っている】 三世代で居住する世帯の割合は【増えている 現状程度 減っている】 その他:</p> <p>説明</p> <ul style="list-style-type: none"> ・人口÷世帯数=1世帯あたりの平均人数 ・定量推計ツールでは人口をこれで叙して世帯数を推計する ・全国的な現在の傾向は、小さくなる方向にある ・1世帯の人数が少ないほど、1人あたりのエネルギー消費量は増加する傾向がある。 <p>参考例</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2.37人（全国、2025年） 出典：国立社会保障・人口問題研究所（2003）:日本の世帯数の将来推計 ・2.65人（滋賀県、2030年。2005年は2.95人） 出典：「しが2030の姿」検討ワーキンググループ（2006）:「みんなで描くしがの未来」 ・2.21人（シナリオA）、2.38人（シナリオB）（いずれも全国、2050年） 出典：「2050日本低炭素社会」プロジェクトチーム(2007):2050日本低炭素社会シナリオ:温室効果ガス70%削減可能性検討。

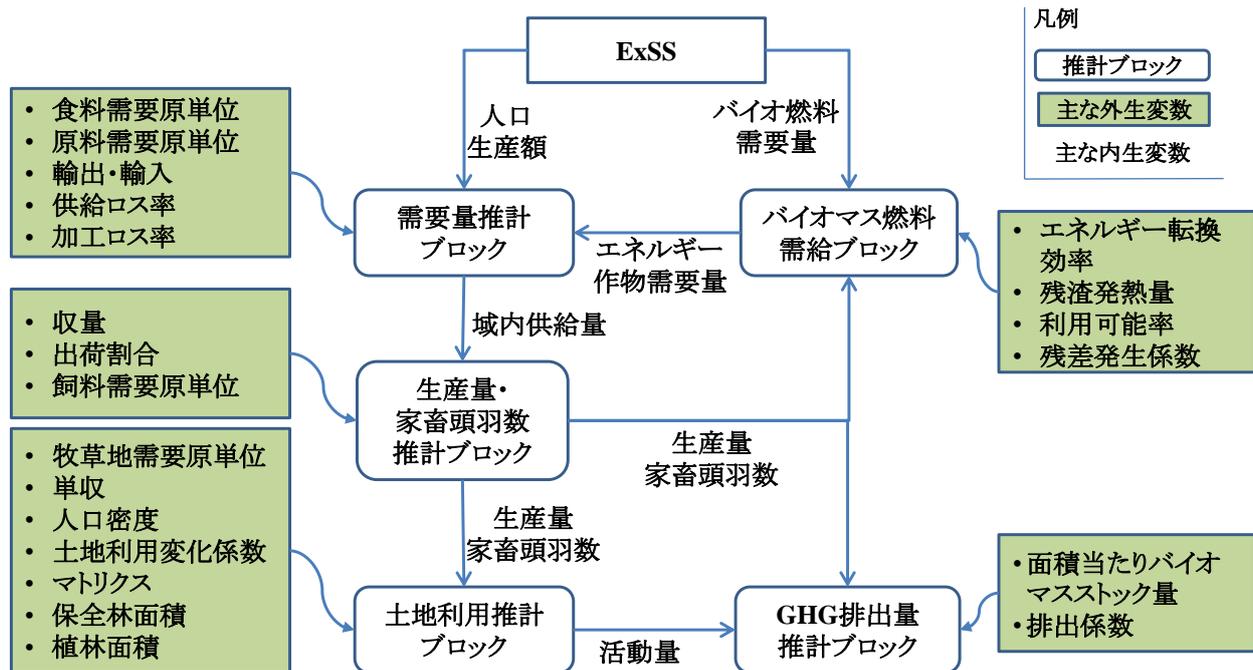
図(2)-4 SEDTの一例

4) AFOLUA

AFOLUAモデルは人口と食料、そしてバイオ燃料需要を起点としてこれらの関係を記述し、これら活動量の変化による将来のGHG排出量への影響を示すことが出来る。AFOLUAの計算体系の構造を図(2)-5に示す。人口と一人あたりの食料需要から対象地域全体の食料消費量を求め、これに輸出入を考慮して地域内での食料生産量を得る。農産物の生産量と単収から収穫面積を、畜産物の生産量から家畜頭数をそれぞれ求める。また外生的に与えられるバイオ燃料需要を満たす原料の必要量を推計する。原料のうち農産物は農産物の需要となる。土地利用モジュールでは上記の各活動に必要な土地面積を計算し、それを満たしながら与えられた土地利用転換係数に近づけるように土地利用転換マトリクスを推計する。

5) AFOLUB

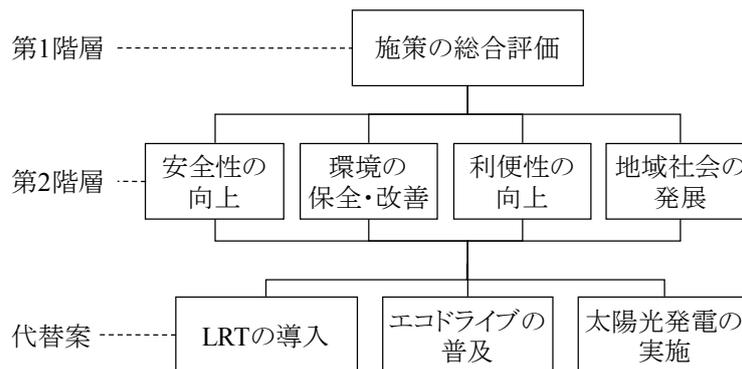
将来の活動量（農畜産業の生産量や土地利用の変化量）を所与とし、具体的な低炭素対策の詳細な情報を用いて、AFOLU部門のGHG排出量・削減量を計算する。このとき、最も経済合理的な排出量削減オプション(技術)を算定する。つまり、農畜産業生産者・林業経営者らが経済合理性を持って削減技術を選択するという仮定に基づき、設定した排出削減目標を最も低コストで達成する対策オプションのリストと削減費用を推計する。



図(2)-5 AFOLUAの構造

6) AHPT

AHP (Analytic hierarchy process)とは、ある問題に対して考えられる案(代替案)が複数ある場合に、複数の評価項目のもとでそれぞれの代替案を比較し、選好順位を決定するための手法である。AHPTはこれを低炭素社会施策で行うためのツールである。図(2)-6に階層構造の例を示す。ここでは評価項目の第1階層は「施策の総合評価」、第2階層に4つの評価項目、代替案に3つの低炭素社会施策を示している。評価項目の選定と階層化は任意に行うことが可能である。低炭素社会ビジョンの描写において総合評価値の高い低炭素対策から導入を設定することで、また低炭素社会ロードマップの構築においては混合整数計画法の目的関数に総合評価値をおくことで、総合評価の高さを低炭素施策の選択および実施順序にそれぞれ反映させることが出来る。



図(2)-6 階層構造の例

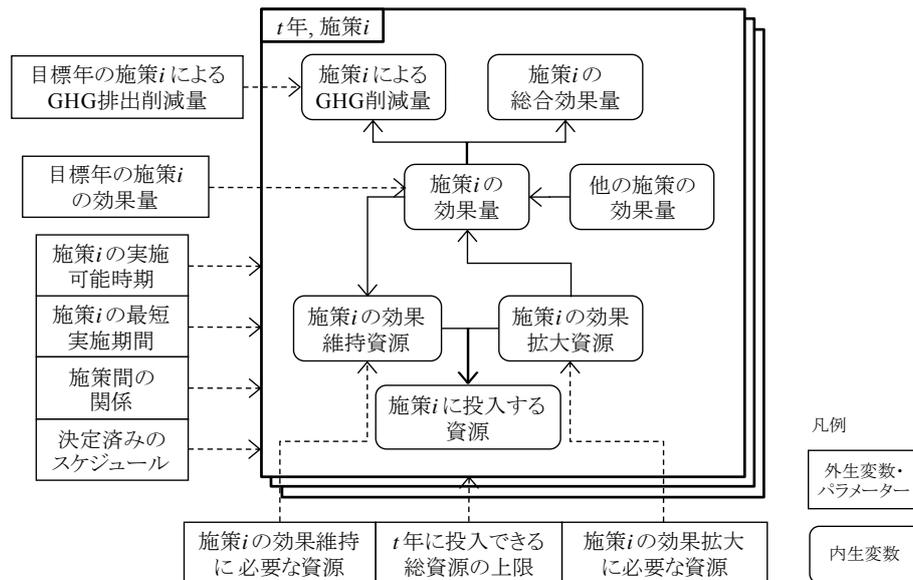
7) ABS

低炭素目標を達成するために必要な施策を欠損・重複のないように挙げ、体系化するための樹形図状のチャートである。ExSS等で同定された低炭素対策を実施するために必要な取組を政策分野別の大きなまとまり(方策)からより小さなまとまりに階層的に構造化する。最も下の階層には事業単位となる取組(施策)が位置する。全ての取組は何らかの経路で直接に排出削減をする対策(例えば省エネルギー型機器の普及)に繋がっていなければならない、また、全ての対策はそれが自発的・自動的に実現するものでない限り、それを実現するための施策をもたねばならない。

これらを踏まえてABSを作成することにより、対策を実施するために有効な施策のみを、また必要な施策は全てを、挙げる事が出来る。

8) BCT

低炭素施策相互の関係を考慮し、目標年までの最適な施策の実施スケジュールを探索する動学モデルである。混合整数法を用いて定式化されている。BCTの構造を図(2)-7に示す。各施策について、排出削減量、施策の実施および継続に必要な資源(人的資源と直接費用の両方を含む)、最短実施期間、開始可能年、実施主体、関連施策との関係、総合評価値を入力すると、資源の制約を満たしつつ全ての施策を目標年までに実施し、かつ期間中の総合評価値の合計を最大化する(すなわち、総合評価値の高い施策ほど早期に実施される)ような施策の開始年、完了年を推計する。



9) LCP-ADSM

LCP-ADSMは、低炭素政策に関わる要素間の影響関係を、直感的に読み取ることのできる形式で表す正方行列であり、低炭素政策の詳細設計を行う際に利用されることを意図する。その構造を図(2)-8に示す(以下、「ADSM」とのみ表記することもある)。LCP-ADSMはマルチドメインマトリクス(multi domain matrix、MDM)の形をとる設計構造マトリクス(design structure matrix、DSM)である。ここでDSMとは、システムを構成する要素とその間の相互影響を表現するネットワークモデリングツールであり、MDMは、二つ以上のドメインが行列に同順に並ぶDSMのことを指す。MDMの中で対角線上に位置し行・列に同一ドメインをもつ正方行列もDSMといい、その他の部分行列はdomain mapping matrix (DMM)とよぶ。ADSMを列方向に読むとその要素が影響を与える要素が分かり、行方向に読むとその要素が影響を受ける要素とその相対的な強度を知ることができる。ドメインとしては主体、事業、指標、定量目標、の4つがある。それらの定義を以下に示す。

- ・ 主体: 事業の実施責任者や協力者などその実施に関わる者、および実施による影響を受ける者。
- ・ 事業: 施策を実現するための具体的行動(例: 高効率機器の購入への補助金制度の実施、建物のエネルギー効率規準の設定)。一つのアウトプットを生む活動を一事業とする。一事業の所要期間は政策の対象期間以内。ABSでいう施策にあたることが多いと考えられるが、いくつかの施策のまとまりを一事業とすることも出来る。
- ・ 指標: 事業の実施により変化して定量目標達成をもたらす、事業目的に関連する指標。
- ・ 定量目標: 目標とする低炭素社会像を定量的に表したもの。温室効果ガス排出量だけでなく、低炭素政策の実装によって得られる他の効果に関する目標も含むことが出来る。

	主体	事業	指標	定量 目標
主体	主体 DSM		指標-主体 DMM	
事業	主体-事業 DMM	事業 DSM		
指標		事業-指標 DMM		
定量 目標			指標- 定量目標 DMM	

図(2)-8 ADSMの構造

10) ARIPPLE

ARIPPLEはADSMを入力とし、低炭素政策体系の各構成要素によるその下流の要素への寄与量を推計するツールである。特徴は、ある構成要素の変化が多様な経路を經由して他の構成要素へ影響する様子を表現する点である。この構成要素の間に影響が広がる様子を「さざなみ(ripple)」に喩え、本ツールをAction ripple diagramと称する。例えば、ある事業の実施が他の事業の業績を増減させる、または事業が指標を増減させその変化が主体の行動を変え、それによって他の事業の指標の増減がもたらされる、さらには事業が指標を増減させその変化が定量目標の達成をもたらす、それが主体の行動を変え...といった影響経路が考えられる。これらの関係を行列の式の形で表現し、解析的に解くことで波及効果を考慮した寄与量が求められる。定量目標にGHG排出削減量を設定し、適当なADSMを与えてこれを解くことで各事業又は主体によるGHG排出削減量への寄与量が得られる。

11) SC (施策個票)

施策個票とは、個々の低炭素社会施策に関する情報を格納した様式であり、構築した低炭素社会シナリオの実施に必要な各施策の情報を提示するものである。シナリオ作成者が何らかの根拠をもとに記入する項目と各ツールの出力を記入する項目があり、可能な項目から随時記入を行っていく。各段階での推計に必要な入力値となる項目もある。施策個票の例を図(2)-9に示す。これをまとめたものが低炭素社会シナリオを実現するための実施計画の一部となる。

(4) 手法の適用

開発した手法を表(2)-2に示す地域に適用し、低炭素社会シナリオを構築した。このうち京都市、滋賀県においては先に示した手法の4段階全てを行った。他の地域については1から3までが行われている。各地域での具体的な想定、目標、結果は4. 結果及び考察にて示す。

(5) 地域ごとの削減目標達成のフィージビリティ

1) 研究の概要

世界全体としてのGHG排出量削減目標の達成可能性を検討するためには、それに対応した各国・地域における削減目標達成について検討する必要がある。GHG排出量の大部分を占めるのは、エネルギー起源のものであり、それらの挙動は経済活動に密接に結び付いている。特にアジア地域においては、今後数十年、高い経済成長が見込まれており、その経済発展を所与として、GHG排出量の削減可能性について検討する必要がある。そこで、世界のGHG排出量半減目標達成の可能性を検討するために、世界を35地域に分割し、世界各地域の削減目標について、3つの排出割当スキームに基づき検討を行った。なお、3つの世界全体の排出量削減の負担を各地域別に分担するには、分担の公平性、実行可能性あるいは経済性を考慮する必要がある。数多くの提案がされているが、それらのうち、特に公平性及び簡明・簡便性の観点から、排出削減目標算定スキームとしては、目標年(2050年)において、1) 一人あたり等排出量(pCAP)、2) GDPあたり等排出量(pGDP)、及び3) 一人あたり等累積排出量(pCUM)の三通りを検討した。

A. ビジョンの描写に必要な情報				
直接施策名称	モーダルシフト	実施主体	市民	
直接施策内容				
自動車から公共交通機関及び自転車、徒歩への転換。				
施策内容の出典	環境モデル都市行動計画	目標年の実施	可能	
総合効果			総合評価値【AHPT】	0.415
安全性の向上	少し良い影響を与える	環境の保全・改善	少し良い影響を与える	
利便性の向上	少し良い影響を与える	地域社会の発展	少し良い影響を与える	
B. ロードマップの構築に必要な情報				
施策コード	CW_TM_03	方策名称	歩く街・京都	
施策名称	トランジットモールの使用	実施主体	市民	
施策内容			施策内容の出典	環境モデル都市行動計画
市民がトランジットモールを使用することにより、自動車を利用する人が減り、公共交通機関への転換が進む。				
最早開始可能年	2010		最短実施年数	1
ExSSにより推計された直接施策「モーダルシフト」の導入量及び排出削減量				
導入量	20%		排出削減量	321.4 ktCO2
施策「トランジットモールの使用」による排出削減量			31.6 ktCO2	
必要資源	市民	産業	政府	必要資源の算定根拠
実施必要資源				
継続必要資源				
総合効果			総合評価値【AHPT】	0.381
安全性の向上	少し良い影響を与える	環境の保全・改善	少し良い影響を与える	
利便性の向上	少し良い影響を与える	地域社会の発展	少し良い影響を与える	
不確定性	ほぼ確定的である	緊急性	少し高い	
間接施策名称	施策コード	施策種	並行係数	並行係数の算定根拠
歩道拡幅に係る工事	CW_TM_02	先行		
総合交通戦略の実施	CW_MM_01	並行	0.8	交通に特化した施策であり、与える影響が大きい
環境家計簿の導入	LS_EL_01	並行	0.95	幅広い分野に影響を与える施策であり、単体の施策に及ぼす影響は小さい
エコ町内会事業の実施	LS_EL_03	並行	0.95	幅広い分野に影響を与える施策であり、単体の施策に及ぼす影響は小さい
京エコロジーセンターによるエコメイト及びエコサポーターの育成	LS_HR_01	並行	0.95	幅広い分野に影響を与える施策であり、単体の施策に及ぼす影響は小さい
KESCの実施	IN_CS_01	並行	0.95	幅広い分野に影響を与える施策であり、単体の施策に及ぼす影響は小さい
C. 施策情報				
施策コード	CW_TM_03	方策名称	歩く街・京都	
施策名称	トランジットモールの使用	実施主体	市民	
施策内容			施策内容の出典	環境モデル都市行動計画
市民がトランジットモールを使用することにより、自動車を利用する人が減り、公共交通機関への転換が進む。				
施策「トランジットモールの使用」による排出削減量			31.6 ktCO2	
開始年【BCT】	2020		完了年【BCT】	2021
投入資源【BCT】	市民	産業	産業	
実施投入資源				
継続投入資源				
総合効果			総合評価値【AHPT】	0.381
安全性の向上	少し良い影響を与える	環境の保全・改善	少し良い影響を与える	
利便性の向上	少し良い影響を与える	地域社会の発展	少し良い影響を与える	
不確定性	ほぼ確定的である	緊急性	少し高い	
期待される総合効果				
街中における自動車事故の減少や繁華街の活性化が期待される。				
モニタリング指標				
鉄道やバスの利用者数の調査、パーソントリップ調査等をもとにモーダルシフトの進捗を判断する。				
間接施策名称	施策コード	施策種	並行係数	並行係数の算定根拠
歩道拡幅に係る工事	CW_TM_02	先行		
総合交通戦略の実施	CW_MM_01	並行	0.8	交通に特化した施策であり、与える影響が大きい
環境家計簿の導入	LS_EL_01	並行	0.95	幅広い分野に影響を与える施策であり、単体の施策に及ぼす影響は小さい
エコ町内会事業の実施	LS_EL_03	並行	0.95	幅広い分野に影響を与える施策であり、単体の施策に及ぼす影響は小さい
京エコロジーセンターによるエコメイト及びエコサポーターの育成	LS_HR_01	並行	0.95	幅広い分野に影響を与える施策であり、単体の施策に及ぼす影響は小さい
KESCの実施	IN_CS_01	並行	0.95	幅広い分野に影響を与える施策であり、単体の施策に及ぼす影響は小さい

図(2)-9 施策個票の例

表(2)-2 低炭素社会シナリオを構築した国、地域

国、地域	目標年	対象部門	利用ツール	段階
京都市	2030	エネルギー	ExSS、BCT、AHP	1、2、3、4
滋賀県	2030	エネルギー	ExSS、BCT	1、2、3、4
インドネシア	2020、2050	エネルギー、農業・土地利用	ExSS、AFOLUA	1、2、3
ベトナム	2030	エネルギー、農業・土地利用、廃棄物	ExSS、ExSS/Waste、AFOLUB	1、2、3
タイ	2030	エネルギー	ExSS	1、2、3
カンボジア	2030、2050	エネルギー	ExSS	1、2、3
バングラデシュ	2025	エネルギー、農業・土地利用	ExSS、AFOLUB	1、2、3
コンケン県(タイ)	2030、2050	エネルギー、廃棄物	ExSS、ExSS/waste	1、2、3
広州市(中国)	2030	エネルギー	ExSS	1、2、3
アーメダバード市(インド)	2035、2050	エネルギー	ExSS	1、2、3
ボパール市(インド)	2035	エネルギー	ExSS	1、2、3
京畿道(韓国)	2030	エネルギー、土地利用	ExSS	1、2、3

2) 潜在 GDP の推計方法

GDP あたり等しい排出量の推計には、GDP の将来値が必要となる。本研究では、経済活動については、高め及び低めの二通りの経済成長見通しを想定した。ADV 及び CNV である。この両社会では人口は同じであるものの、社会変革に対する取組の差が、教育水準及び政府効率改善の将来変化を通じ、全要素生産性及び失業率に差異を生じさせ、その結果、経済成長率の高低を生じさせるものと考えた。地域毎の経済成長率見通しは、前述のメカニズムを、資本及び人口を生産要素とするコブ・ダグラス型の生産関数で表現し、諸定数を期間 1980 年～2008 年の報告値から推定したのち、将来に関しては両社会に対応し、表(2)-3 に記す変化を想定した。

表(2)-3 将来社会の想定

	Advanced Society Scenario (ADV)	Conventional Society Scenario(CNV)
全体概要	次世代の社会システム、制度、技術等に向けて変革に意欲的・積極的に取り組む社会。	社会システム、制度、技術等の変化に慎重で、社会変革にかかるトランジションコストを気にかける社会。
経済	年間成長率 : 3.27%/年 (世界) (2005～2050) : 4.16%/year (アジア)	年間成長率 : 2.24%/年 (世界) (2005～2050) : 2.98%/year (アジア)
人口	総人口 : 69億人 (世界) (2050) : 46億人 (アジア)	総人口 : 69億人 (世界) (2050) : 46億人 (アジア)
教育	教育の改善に積極的 平均教育年数 : 4-12年(2005年) →11-14年(2050年)	教育政策の標準的な改善 平均教育年数 : 4-12年(2005年) →8-13年(2050年)
労働	2075年に完全雇用を達成	失業率が2009年レベルで固定
政府効率性	比較的早い段階から改善	徐々にゆるやかな速度で改善
国際協力	貿易障壁や海外直接投資リスクの低減	アジア各国の協力関係はゆるやかに進む
技術革新	高い改善率	緩やかな改善率
運輸	高い経済成長率に基づく需要増	緩やかな需要増加
土地利用	スピーディーで効率的に土地改良を実施	緩やかで、用心深く土地改良を実施

4. 結果及び考察

以下に各地域において構築したシナリオの概要を示す。

(1) 京都市における適用

京都市は環境モデル都市でもあり、以下に示す意欲的な低炭素目標を達成しようとしていること、政令指定都市であるため必要な情報が得られやすいことから適用の対象とした。京都市環境政策局地球温暖化対策室の協力を得て、2030年の低炭素社会ビジョンおよび2010年から2030年までの低炭素社会ロードマップを構築した。2030年の低炭素目標は1990年比で40%削減である。ExSS

を利用して低炭素社会ビジョンを推計し、年約1.5%の経済成長率を前提として目標を達成するための直接施策を同定した。ロードマップの構築においては、間接施策としては京都市環境モデル都市行動計画に示された約130の施策を利用した。これらの施策をそれぞれの関係に従って整理して6つの分野にまとめ、BCTを利用して2030年までのロードマップを推計した。

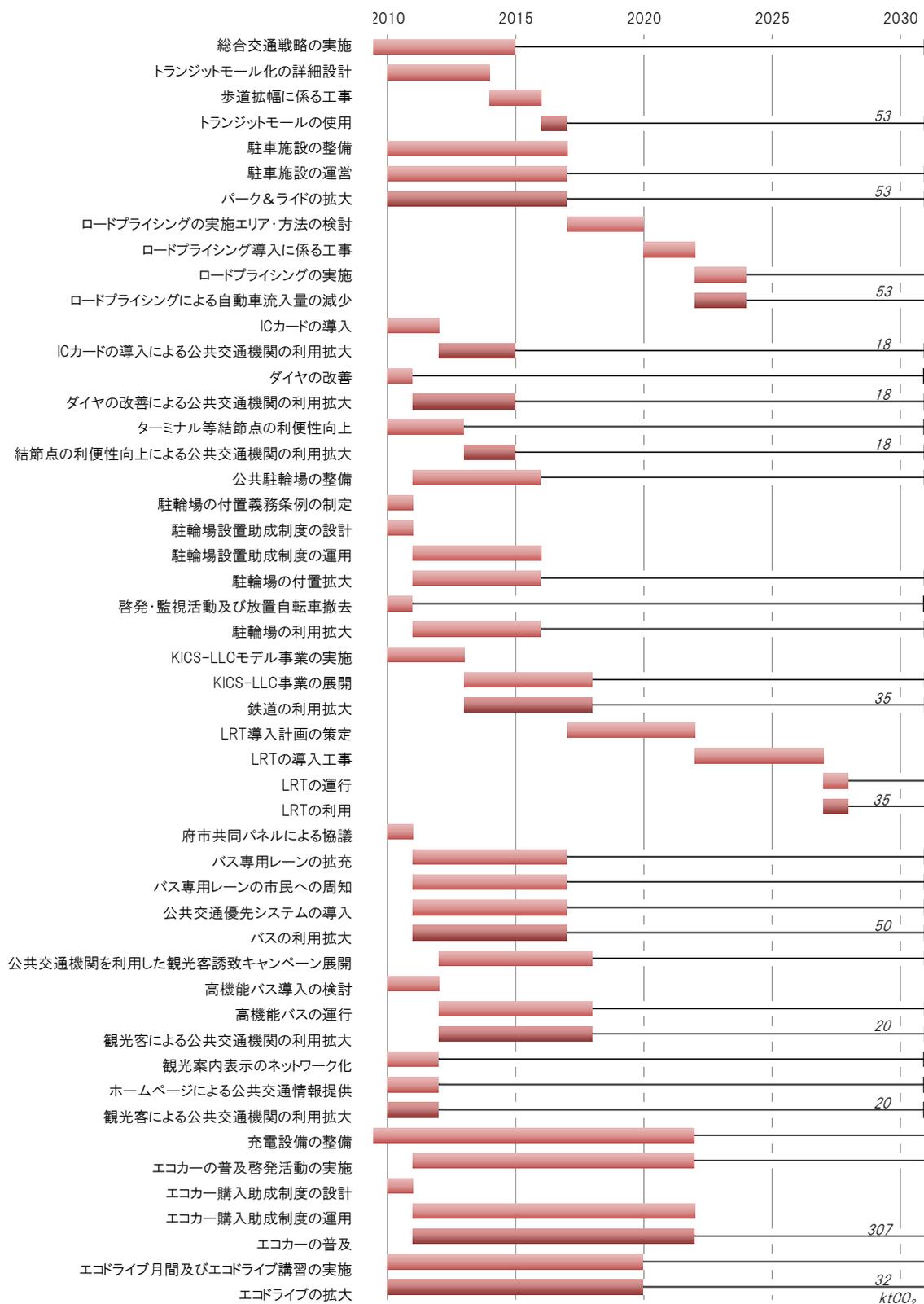
注：棒グラフの部分は施策が進行中、棒線の部分は施策が目標水準まで到達したあとも継続していることを示す。

図(2)-110にロードマップの例として交通関連の施策である「歩くまち・京都」のロードマップを、表(2)-4に社会経済指標の推計結果を、表(2)-5にCO₂排出量の推計結果を示す。2030年にかけて年約1.5%の経済成長の想定のもとで低炭素目標を達成することが可能であることが示され、またその具体的な毎年の実施スケジュールを提示することが出来た。

(2) 滋賀県における適用

滋賀県は2030年にGHG排出量を50%(1990年比)削減するという目標を掲げている。そこで、ExSSを利用してその目標を達成するために必要な対策を同定した。将来社会の想定にあたっては、滋賀県琵琶湖環境部環境政策課地球温暖化対策室の協力を得て2030年の社会像を構築した。表(2)-6に社会経済指標の推計結果を、表(2)-7に二酸化炭素排出量の推計結果を示す。滋賀県は京都市と異なり、生産額に占める第二次産業の比率が高い。そのため産業部門の排出量が全体のおよそ半分を占め、この分野での対策の導入が目標の達成に重要である。

また対策導入に必要な施策をあげて6つの方策からなるABSを作成し、これをもとに2010年から2030年までのロードマップを構築した。表(2)-8に各方策で必要とされた費用と推計期間全体の排出削減量を、また図(2)-11に排出削減量の推移をそれぞれ示す。20年間の累積排出削減量は101 MtCO₂、投入資源の合計は7.3兆円、平均削減費用は7.3万円/tCO₂となった。次のような理由により、この平均削減費用は他の研究¹⁾よりも大きく推計されているものと考えられる。1) 機器の導入に関して、初期費用の総額を用いていること。通常機器との差額ではない。2) エネルギー効率の改善による利用期間のエネルギー費用の低減を考慮していないこと。そのため、長期的には費用が負になるものであってもここでは正の費用となっている。3) 仮に低炭素施策がなくとも一定水準まで普及しうるもの、また、交通に関する政策のような、その目的がGHG排出削減だけではないもの、さらには他の政策課題を主たる目的とするものであっても、その全ての費用を計上していること。4) 将来に発生する費用を割り引いていないこと。さらには、ここでいう「費用」はその財・サービスの提供者にとっては「売上」である。そのため、本研究で推計された20年間の総費用7兆円がそのまま滋賀県民にとっての「損失」ではなく、「低炭素社会に関連する施策の導入によって生じる経済的行動の総額」あるいは「低炭素社会施策関連の市場規模」と解釈されるべきものである。そのためこれを「低炭素社会の費用」として捉えようとするとう理論的な問題が生じるが、住民や事業者とのコミュニケーションにおいては、直接的で理解しやすく有用であろうと考えられる。一方で公的部門にとっては支出額の全額を「費用」とすることで、将来の歳入から想定される歳出の制約を明示的に考慮することが出来る。その上で、ここで推計された公的部門の費用約1兆円のうち、国、県、滋賀県内の市町がどれだけをそれぞれ負担するのか、その財源はどのように調達するのか、といった議論を開始する必要がある。



注：棒グラフの部分は施策が進行中、棒線の部分は施策が目標水準まで到達したあとも継続していることを示す。

図(2)-1 京都市の低炭素施策「歩くまち・京都」のロードマップ。

表(2)-4 京都市における社会経済指標の推計結果

	2005年	2030年	2030年/ 2005年
人口(万人)	147	140	0.95
世帯数(万世帯)	65	65	0.99
GDP(十億円)	6124	8305	1.36
一人当たりGDP(百万円)	4.15	5.94	1.43
生産額(十億円)	9938	13400	1.35
第一次産業	17	19	1.13
第二次産業	2735	3542	1.30
第三次産業	6947	9507	1.37
旅客輸送量(百万人・km)	9251	8192	0.89
貨物輸送量(百万トン・km)	3484	4571	1.31

表(2)-5 京都市におけるCO₂排出量の推計結果 (ktCO₂)

	1990年	2005年	2030年		BaU/ 1990	CM/ 1990
			BaU	CM		
家庭	1740	1826	1815	821	1.04	0.47
業務	1680	2204	2420	900	1.44	0.54
産業	2080	1256	1674	1276	0.80	0.61
旅客輸送	1506	1689	1655	819	1.10	0.54
貨物輸送	504	566	756	421	1.50	0.83
廃棄物	258	474	577	349	2.24	1.35
合計	7768	8015	8897	4586	1.15	0.59

表(2)-6 滋賀県における社会経済指標の推計結果

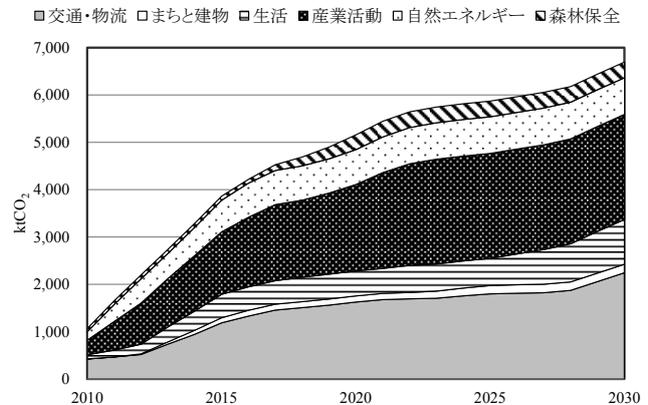
	2000年	2030年	2030年/ 2000年
人口(万人)	1397	1381	0.94
世帯数(万世帯)	439	521	0.99
GDP(十億円)	5935	7677	1.29
一人当たりGDP(百万円)	424.82	556.00	1.37
生産額(十億円)	11584	13435	1.34
第一次産業	95	564	1.06
第二次産業	7220	6470	1.35
第三次産業	4269	6401	1.17
旅客輸送量(百万人・km)	10670	16367	0.91
貨物輸送量(百万トン・km)	3937	3397	1.39

表(2)-7 滋賀県におけるGHG排出量の推計結果 (ktCO₂eq)

ガス種	排出部門	1990年	2000年	2030年		BaU/ 1990	CM/ 1990
				BaU	CM		
二酸化炭素	家庭	1240	1686	2114	600	0.48	1.70
	業務	1013	1263	1430	469	0.46	1.41
	産業	6749	6383	6436	3769	0.56	0.95
	旅客	1155	1734	2906	960	0.83	2.52
	貨物	924	1080	897	416	0.45	0.97
メタン	工業プロセス	1149	335	0	0	0.00	0.00
	廃棄物焼却	101	240	283	235	2.33	2.80
	農業(メタン)	165	156	303	303	1.83	1.83
吸収	森林吸収	-	-	-	-477		
合計		12496	12877	14369	6276	0.50	1.15

表(2)-8 方策別の費用と排出削減量

方策	累積費用(10億円)			累積排出削減量 (MtCO ₂)	平均削減費用 (千円/tCO ₂)
	公的部門	民間部門	合計		
交通・物流	329	2,080	2,409	31	77
まちと建物	162	1,358	1,520	3	56
生活	247	1,590	1,837	14	131
産業活動	177	156	333	34	10
自然エネルギー	108	903	1,011	13	77
森林保全	61	164	224	6	30
計	1,084	6,251	7,335	101	73



図(2)-11 方策別の削減量の推移

(3) インドネシアにおける適用

東南アジアの新興国のひとつであるインドネシアは国際エネルギー機関の2006年の統計で世界第三位のGHG排出国とされ²⁾、今後も経済成長によるエネルギー需要の増加と農地の拡大による森林減少に伴い排出増加が続くと予想されている。インドネシア政府は2020年にBaselineから26%の排出削減を目標としている。また同国では森林の保全や泥炭火災の防止が重要な政策課題となっている。これらはともにGHG排出削減にも効果的である。また、パーム油等からの自動車用燃料生産の増加が目指されているが、これによって森林が減少した場合には正味の排出増加になる可能性もある。そこでこのような関係も考慮しつつ、インドネシア全体として低炭素目標を達成するシナリオを構築するため、ExSSとAFOLUAモデルを組み合わせ用いた。2020年と2050年为目标年として、エネルギー部門と農業・森林・土地利用部門でいくつかの低炭素社会シナリオを構築した。シナリオの想定を表(2)-9に示す。

表(2)-10に排出量の結果をとりまとめる。2020年にBaUではGHG排出量が約3032MtCO₂eqとなった。これに比較してCM1で26%、CM2で24%、CM3で31%の削減となった。CM2シナリオではCM1よりも排出量が約3.5%増加したためインドネシア政府の2020年の目標（BaUから26%の削減）は達成されない。バイオ燃料を生産するためにオイルパームの生産量が増加し、森林から農地への土地利用転換が引き起こされ、土地利用転換からの排出量増加がエネルギー部門での排出削減を上回ったことによる。一方、CM3では「その他」と分類されている土地（多くは未利用地）を農地に転換したことにより、CM1の排出量から排出量が約6.2%減少した。ただし、ここでは他の油糧作物（ジャトロファなど）を考慮していない。また、農地に転換する以前の土地利用によって作物の単収が異なると考えられるが、情報の不足によりこれも反映されていない。そのためこの結果はより詳細な情報が得られたならば更新される可能性がある。しかし、これらのシナリオ構築により、本研究で開発した手法は潜在的に排出増加につながる可能性のある低炭素対策相互の関係を表現し、かつ全体の排出量に対する影響を推計することが出来るということを示すことが出来た。

表(2)-9 インドネシアで構築したシナリオの想定

2020年		2050年
BaU	対策なし	対策なし
CM1	両部門でGHG排出量26%削減	2020年のシナリオを延長 電力の多様化
CM2	CM1の想定に加え、石油の10%をバイオ燃料で代替	CM1の想定に加え、石油の25%をバイオ燃料で代替
CM3	CM2の想定に加え、「その他」の土地を優先的に農地に転換するように設定	CM2の想定に加え、「その他」の土地を優先的に農地に転換するように設定

表(2)-10 インドネシアのGHG排出量の推計結果 (MtCO₂eq)

		2005年	2020年				2050年			
			BaU	CM1	CM2	CM3	BaU	CM1	CM2	CM3
エネルギー部門	家庭	69	187	167	167	167	301	153	131	131
	業務	28	181	172	151	151	1,266	545	498	498
	産業	134	618	569	484	484	2,102	1,493	1,355	1,355
	旅客輸送	51	88	63	57	57	79	53	43	43
	貨物輸送	29	67	67	61	61	270	253	206	206
	小計	311	1,142	1,038	920	920	4,020	2,497	2,233	2,233
農業・森林・土地利用部門	農林業	189	245	211	211	209	288	213	213	213
	家畜	24	36	36	36	36	48	48	48	48
	土地利用転換	869	1,194	636	821	576	817	161	515	186
	泥炭火災	152	60	97	80	95	22	100	66	97
	泥炭酸化	259	356	219	246	262	545	103	118	150
	小計	1,493	1,890	1,198	1,394	1,178	1,719	625	961	694
合計		1,804	3,032	2,236	2,314	2,098	5,739	3,122	3,195	2,927

(4) ベトナムにおける適用

ベトナム政府はこれまでに国全体としての低炭素目標を公表していないが、CDMによる低炭素対策がこれまでも導入され、また今後はJCM事業においても低炭素対策が進むものと見込まれる。そこで本研究では各分野での排出削減の可能性を検討するため、ExSS、ExSS/Waste、AFOLUBを利用してエネルギー、農業・森林・土地利用、廃棄物部門の2030年の低炭素シナリオを開発し、分野別に12の方策を構築した。表(2)-11にGHG排出量の推計結果を示す。2005年時点ではエネルギー部門からの排出は全体の50%以下だが、2030年BaUでは2005年から4倍以上の増加となり、全体の76%を占める。表(2)-12に12の方策(Action)の排出削減への貢献度を示した。エネルギー分野の排出量構成比の増加により、BaUからの排出削減全体のうち71%をエネルギー分野の方策(Action E1~Action E6)が占め、Action E4 Energy Efficiency Improvement が最も大きい。

表(2)-11 ベトナムのGHG排出量の推計結果 (MtCO₂eq)

	2005年	2030年 BaU	2030年 CM	2030年BaU /2005年	2030年CM /2005年	2030年CM /2030年BaU
エネルギー	81	522	342	6.44	4.22	0.66
家庭	15	110	68	7.45	4.61	0.62
業務	6	41	28	6.68	4.51	0.67
産業	39	257	185	6.61	4.78	0.72
交通	21	114	61	5.36	2.87	0.54
農業・森林・土地利用	70	79	37	1.13	0.53	0.47
農林業	65	85	64	1.31	0.98	0.75
森林・土地利用	5	-6	-27	-1.20	-5.40	4.50
廃棄物	19	83	52	4.35	2.73	0.63
合計	170	684	432	4.02	2.54	0.63

表(2)-12 構築された12の方策とその排出削減量 (MtCO₂eq)

方策	排出削減量	構成比
エネルギー	180	71%
Action E1 Green Building	14	6%
Action E2 Convenient Transport	15	6%
Action E3 Energy Saving Behavior	17	7%
Action E4 Energy Efficiency Improvement	79	31%
Action E5 Fuel Shift in Industry	16	6%
Action E6 Smart Power Plants	39	15%
農業・森林・土地利用	42	17%
Action A1 Livestock Manure Management	3	1%
Action A2 Livestock Enteric Fermentation	3	1%
Action A3 Rice Cultivation Management	12	5%
Action A4 Soil Management	3	1%
Action F Forest and Land Use Management	21	8%
廃棄物	31	12%
Action W Sustainable Waste Management	31	12%
合計	253	100%

(5) その他の地域における適用

そのほかにタイ、カンボジア、バングラデシュ、コンケン県(タイ)、広州市(中国)、アーメダバード市(インド)、ボパール市(インド)、京畿道(韓国)のそれぞれの地域においてExSSを適用し低炭素社会ビジョンを構築した(地域や都市に関するシナリオは、サブテーマ(3)と共同で実施し、ボパール市のシナリオは、サブテーマ(5)のEFFの課題として実施)。これらの地域での排出量の推計結果を表(2)-13に示す。各々のシナリオをまとめた冊子が国立環境研究所Webサイト(<http://2050.nies.go.jp/LCS/>)にて公開されている。

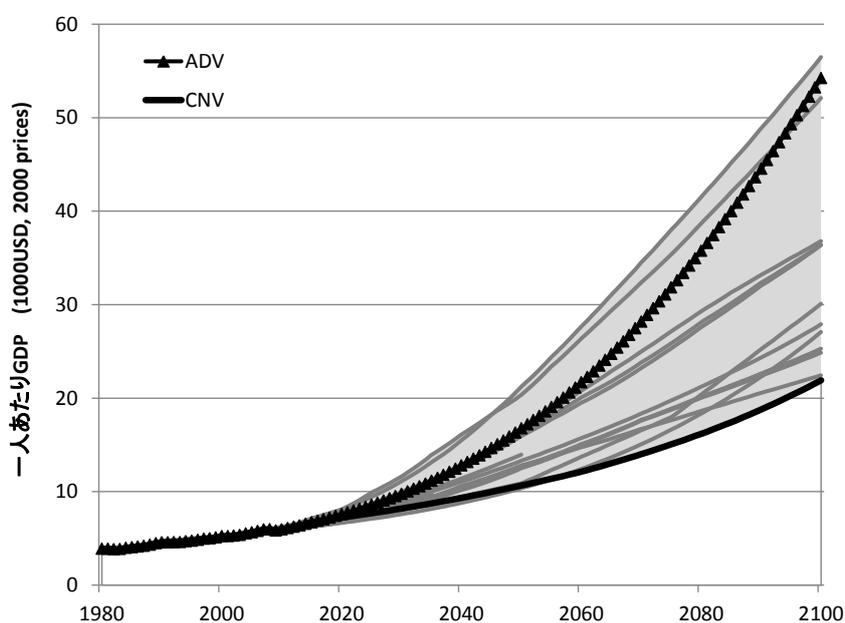
(6) 地域ごとの削減目標達成のフィージビリティ

1) 潜在GDPの推計結果

図(2)-12に、本サブテーマで想定した2つの将来シナリオADVとCNVの1人あたり世界の1人あたりGDPの推移を既存研究とともに示す。世界全体の2010年~2050年の経済成長率は、ADVシナリオにて年率3.39%、CNVシナリオにて年率2.23%であり、過去40年の3.1%と比較し高めと低めである。これらは、これまでに提唱されているGDPの将来シナリオの幅のうち、上側20%タイル値(ADV)、下限値(CNV)程度の値である。世界のGDPは2010年と比較して2050年には3.8倍に、2100年には13.4倍になることを意味する。これは、アジアでは、それぞれ5.8倍、17.9倍に相当する。もっとも一人あたりGDP成長率(2010-2050)が高いのは、ADVシナリオのその他南アジアであり、6.44%である。それ以外のアジア地域も高い値を示しており、その他東南アジアで6.07%、ベトナムで6.08%などとなっている。

表(2)-13 各地域における GHG 排出量の推計結果

	基準年	目標年	基準年排出量		目標年排出量		BaU /基準年	CM /基準年	CM /BaU
			BaU	CM	BaU	CM			
タイ	2005年	2030年	186.0	563.7	324.2	3.03	1.74	0.58	
カンボジア	2010年	2030年	4.3	22.4	14.0	5.19	3.24	0.62	
		2050年	4.3	94.3	63.1	21.82	14.60	0.67	
バングラデシュ	2005年	2025年	87.9	308.9	179.4	3.51	2.04	0.58	
コンケン県(タイ)	2005年	2030年	2.4	5.3	3.6	2.22	1.54	0.69	
		2050年	2.4	7.5	5.3	3.17	2.22	0.70	
広州市(中国)	2005年	2030年	98.0	336.0	165.0	3.43	1.68	0.49	
アーメダバード市 (インド)	2005年	2035年	10.2	44.1	24.6	4.32	2.41	0.56	
		2050年	10.2	86.3	25.2	8.46	2.47	0.29	
ポパール市(インド)	2005年	2035年	2.5	11.8	6.9	4.71	2.76	0.59	
京畿道(韓国)	2005年	2030年	65.5	162.5	126.5	2.48	1.93	0.78	



図(2)-12 世界の一人あたり GDP と既往研究との比較

二つの将来シナリオは、異なった社会構造を有しており、GDP のシェアが大きく異なる。ADV シナリオでは、2010 年に 70.8% を占めていた附属書 I 国は 2050 年には 37.6% となり、非附属書 I 国の占めるシェアは大幅に増加する。一方で、CNV シナリオでは、非附属書 I 国の伸びは 29.2% から 51.3% に留まる。また、一人あたり GDP でみると、AD シナリオでは非附属書 I 国の急激な成長により、2010 年にその差は 13 倍であったが、2050 年には 3.4 倍にまで縮まっている。CNV シナリオでは、一人あたり GDP の比率が 3.4 倍にまで縮小するには 2100 年までの時間を要する。表(2)-14 に主要地域における GDP の推計値を示す。

2) 排出割当スキームによる削減目標

3つの排出割当スキームによる削減目標を表(2)-15 に示す。2050 年に 1990 年比で世界 GHG 排出量半減目標を所与とする場合、世界の削減目標は 2050 年で 2005 年比 58% となる。附属書 I 国では、pGDP(ADV)では 58% である一方、その他の排出割当スキームでは 83-95% と非常に大きな削減を求められる。非附属書 I 国では、国・地域間における排出割当スキームごとの削減目標の差が顕著である。また、pCAP と pCUM は削減目標に同じ傾向がみられるが、pGDP は他のスキームと削減目標の傾向が異なる。

表(2)-14 世界各地域の GDP 推計値

国・地域	GDPのシェア (%)				GDP 成長率 (%/yr)				GDPの一人あたり成長率 (%/yr)				
	2010	2050		2100		2010-2050		2010-2100		2010-2050		2010-2100	
		ADV	CNV	ADV	CNV	ADV	CNV	ADV	CNV	ADV	CNV	ADV	CNV
アルゼンチン	1.0	1.2	1.3	0.7	1.1	3.87	2.86	2.48	2.04	3.29	2.29	2.26	1.82
オーストラリア	1.3	1.0	1.3	0.6	1.1	2.69	2.22	1.92	1.68	1.81	1.35	1.38	1.14
ブラジル	2.2	3.1	2.9	1.9	2.4	4.26	2.93	2.75	2.00	3.91	2.59	2.86	2.11
カナダ	2.1	1.4	1.8	0.8	1.5	2.32	1.85	1.77	1.50	1.68	1.22	1.38	1.11
中国	8.5	18.4	17.3	17.1	20.5	5.41	4.06	3.72	2.89	5.49	4.14	4.12	3.29
インドネシア	0.7	1.2	1.2	1.3	1.4	4.96	3.80	3.71	2.73	4.43	3.28	3.64	2.67
インド	2.3	7.1	5.7	9.6	7.2	6.31	4.56	4.56	3.19	5.46	3.72	4.29	2.92
日本	12.1	4.0	5.8	1.6	3.3	0.60	0.36	0.63	0.45	0.98	0.74	1.00	0.81
韓国	1.9	1.4	1.7	0.6	1.2	2.61	1.92	1.58	1.33	2.67	1.98	1.87	1.62
メキシコ	1.7	2.5	2.3	1.3	1.9	4.45	3.03	2.65	2.06	3.83	2.42	2.52	1.93
マレーシア	0.3	0.6	0.6	0.6	0.9	4.67	3.67	3.49	2.92	3.56	2.57	2.91	2.35
ニュージーランド	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	3.24	2.37	2.30	1.91	2.57	1.70	1.88	1.49
フィリピン	0.3	0.5	0.5	0.6	0.7	4.88	3.92	3.84	3.00	3.56	2.61	3.10	2.27
ロシア	1.0	1.4	0.9	1.4	1.2	4.26	2.01	3.28	2.12	4.58	2.33	3.57	2.40
シンガポール	0.3	0.2	0.3	0.1	0.2	2.34	1.96	1.65	1.43	1.87	1.49	1.52	1.31
タイ	0.4	0.9	0.7	0.9	0.8	5.24	3.31	3.68	2.51	5.16	3.24	3.88	2.71
トルコ	0.9	1.2	1.1	0.5	0.8	4.01	2.70	2.34	1.76	3.41	2.11	2.24	1.66
USA	28.3	14.7	20.6	7.3	14.5	1.71	1.42	1.38	1.13	1.05	0.76	0.90	0.65
ベトナム	0.2	0.5	0.3	0.7	0.4	6.53	4.27	4.63	3.11	6.08	3.83	4.70	3.18
南アフリカ	0.5	0.9	0.7	0.6	0.7	5.05	3.25	3.25	2.33	4.73	2.93	3.15	2.24
台湾	1.1	0.7	1.0	0.3	0.5	2.41	1.96	1.25	1.04	2.77	2.32	1.93	1.72
その他東アジア	0.0	0.1	0.1	0.3	0.1	6.23	3.22	5.31	2.63	5.92	2.92	5.21	2.53
その他南アジア	0.6	2.9	1.4	4.5	2.0	7.56	4.51	5.26	3.26	6.44	3.42	4.81	2.82
その他東南アジア	0.1	0.3	0.1	0.5	0.2	6.63	3.65	5.00	2.71	6.07	3.10	4.90	2.61
その他オセアニア	0.1	0.2	0.1	0.3	0.2	6.33	3.92	4.72	3.25	4.74	2.37	3.73	2.27
その他アフリカ	1.9	9.6	5.1	30.1	12.6	7.66	4.78	6.12	4.05	5.56	2.74	4.62	2.57
中央アジア	0.2	0.5	0.3	0.8	0.5	6.16	3.47	4.64	2.97	5.37	2.70	4.31	2.64
初期EU所属国	21.9	11.3	14.8	5.7	10.9	1.70	1.23	1.39	1.10	1.57	1.10	1.34	1.05
その他EU所属国	1.2	1.2	1.1	0.7	1.0	3.29	1.87	2.28	1.63	3.46	2.05	2.50	1.84
その他東欧	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	4.27	2.02	2.91	1.73	4.76	2.50	3.39	2.21
その他東欧附属書I国	0.2	0.3	0.2	0.4	0.2	4.16	1.70	3.44	1.69	4.72	2.25	3.89	2.13
その他ヨーロッパ	0.2	0.4	0.2	0.3	0.2	4.93	2.50	3.43	2.07	5.07	2.64	3.70	2.34
その他西欧附属書I国	1.2	0.6	0.9	0.3	0.7	1.56	1.34	1.39	1.22	1.28	1.06	1.24	1.07
その他中南米	2.2	4.3	3.2	3.2	3.4	5.14	3.19	3.35	2.38	4.29	2.36	2.98	2.01
中東諸国	2.5	4.9	4.1	4.4	5.4	5.12	3.50	3.56	2.75	3.71	2.11	2.72	1.92
アジア	28.9	39.1	36.9	38.8	39.6	4.17	2.85	3.26	2.25	3.68	2.37	3.20	2.19
非附属書I国	29.2	62.4	51.3	80.5	64.5	5.37	3.68	4.09	2.79	4.47	2.79	3.58	2.29
附属書I国	70.8	37.6	48.7	19.5	35.5	1.77	1.28	1.46	1.11	1.58	1.10	1.36	1.02
世界	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	3.39	2.23	2.92	1.89	2.62	1.47	2.49	1.46

pCAP では、インド、マレーシア、フィリピンや、その他アジア地域において GHG 排出量の増加が許容されるのが特徴であり、その他南アジアでは、120%の増加となる。

pGDP では、削減目標は将来の GDP に大きな影響を受ける。したがって、ADV シナリオと CNV シナリオにより削減目標に大きな隔たりがある。特に、日本、シンガポール、その他南アジア、その他西欧附属書 I 国などでその開きが大きく、50%前後に達する地域もある。

pCUM では、近年 GHG 排出量の増加が著しい中国などでは、その他の附属書 I 国と同様に 90%以上の削減が求められる。pCUM では地域間の削減目標の差が 3つの排出割当スキームの中で最も大きく 476%に達する。

GHG 排出削減目標には、LU の考慮の有無も大きな影響を与えている。なお、本研究では、2050年における LU での排出/シンクをゼロと見積もった。例えば、マレーシアでは、2005年における土地利用変化 (LU) によるシンクが非常に大きく見積もられており (national communication の報告に基づく)、pCAP において GHG 合計では-116%であったのが、LU を除くと 67%になる。また、収束目標年を後退させた場合には削減目標が緩やかになることは自明であるが、その度合いは、2075年に設定した場合では、日本において 9%小さくなる程度であり、その他の附属書 I 国でも 20%前後である。

表(2)-15 2050年におけるGHG排出削減目標

国・地域	GHG in 2005			2050年の削減目標 (対2005年比, %)											
	Total (MtCO ₂ eq)	ToT exLU	LU (%)	収束目標年 2050年						収束目標年 2075年					
				GHG total			GHG excl. LU			GHG Total			GHG Total		
				pCAP	pGDP		pCUM	pCAP	pGDP		pCUM	pCAP	pGDP		pCUM
	ADV	CNV		ADV	CNV		ADV	CNV		ADV	CNV				
アルゼンチン	318	306	4	69	32	28	93	68	30	25	92	32	12	-2	57
オーストラリア	573	528	8	89	68	58	99	89	66	55	99	74	63	48	90
ブラジル	2564	956	63	83	79	80	88	55	43	46	69	71	70	69	68
カナダ	785	731	7	89	68	58	100	89	66	55	100	72	60	43	93
中国	7946	7876	1	68	59	61	97	68	58	61	97	22	4	4	72
インドネシア	1791	666	63	69	88	88	81	15	67	67	49	46	67	64	43
インド	2145	2112	2	-51	41	53	-100	-54	40	52	-103	-98	-32	-14	-229
日本	1261	1351	-7	83	43	18	94	85	47	24	94	74	60	38	76
韓国	590	625	-6	85	57	49	99	86	60	52	99	65	51	34	87
メキシコ	635	582	8	56	29	36	74	53	23	30	71	19	10	12	19
マレーシア	39	254	-556	-116	-163	-181	51	67	60	57	93	-363	-402	-470	-209
ニュージーランド	50	75	-52	78	46	40	87	85	65	61	91	62	49	37	59
フィリピン	146	144	1	-104	39	33	-376	-106	38	33	-380	-82	5	-11	-333
ロシア	1580	2118	-34	85	84	90	100	89	88	92	100	55	51	63	95
シンガポール	48	48	0	75	14	-16	92	75	14	-17	92	56	30	0	64
タイ	349	336	4	61	54	65	85	59	52	64	85	19	7	25	39
トルコ	260	330	-27	32	20	24	57	47	37	40	66	-22	-12	-12	-28
USA	6157	7185	-17	87	57	40	99	89	63	49	99	70	56	34	89
ベトナム	226	216	4	12	60	74	32	8	59	72	29	-53	-18	16	-75
南アフリカ	457	447	2	76	66	74	93	76	66	73	93	45	38	48	64
台湾	290	290	0	87	54	39	99	87	54	39	99	67	49	27	91
その他東アジア	171	125	27	66	89	95	81	53	85	93	74	39	55	75	45
その他南アジア	539	530	2	-120	4	52	-371	-123	2	51	-379	-164	-109	-14	-400
その他東南アジア	647	152	76	74	92	96	87	-9	66	83	47	47	64	80	60
その他オセアニア	52	16	69	33	45	65	43	-116	-78	-12	-84	-35	-30	27	-43
その他アフリカ	3370	1694	50	-22	49	73	-105	-142	-2	46	-309	-69	-33	27	-156
中央アジア	536	529	1	71	82	90	81	70	82	90	81	38	41	63	60
初期EU所属国	3932	4188	-6	80	48	33	89	81	52	37	90	67	56	38	66
その他EU所属国	671	748	-11	80	68	71	96	82	72	74	96	57	51	51	77
その他東欧	174	223	-28	74	74	83	95	79	79	87	96	41	41	56	70
その他東欧附属書1国	469	539	-15	80	87	92	97	83	89	93	97	53	59	75	86
その他ヨーロッパ	178	176	1	59	62	77	74	58	62	77	73	16	19	49	27
その他西欧附属書1国	83	112	-35	67	-30	-87	69	75	4	-38	77	55	24	-18	34
その他中南米	1334	917	31	52	43	57	52	30	16	38	30	11	9	30	4
中東諸国	1698	1674	1	58	48	56	77	58	48	56	76	-3	-11	7	31
アジア	16238	14741	9	46	57	59	47	40	53	53	42	7	11	15	6
アジア(除く日本)	14977	13390	11	42	58	63	43	36	53	69	37	1	7	13	0
非附属書1国	26066	20669	21	42	57	65	34	26	46	50	17	2	8	22	-7
附属書1国	15995	18128	-13	83	58	46	95	85	63	52	96	65	55	40	80
世界	42061	38797	8	58	58	58	58	54	54	54	54	26	26	29	26

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

手法の開発は京都市および滋賀県行政との緊密な協力のもとで行われ、開発された手法は行政担当者、住民・事業者の代表者、市民団体の構成員など様々な主体とのインタラクティブなプロセスによって低炭素社会シナリオを構築するものとなっている。またその適用例を通じて実際に利用可能なものであることを確認した。これらのことから本研究の成果は低炭素社会の政策策定に対して新しく有用な技法を齎すことが出来たと考えられる。

ツールのうち、ExSSは社会経済指標とエネルギー需給を統合的に記述し、ほとんどのエネルギー消費に由来するGHG排出削減策を扱い、電力、交通、建築物などの各分野で研究されている詳細なモデルに比較すると単純でありながらも、低炭素対策の組み合わせや対策別の貢献度を同定するために必要な詳細さを備えている。必要な情報もほとんどが入手または推計可能であり、基本的には線形のモデルであるため、結果の解釈にも特別な困難は伴わない。このような特徴から、ある国や地域が低炭素社会を目指す政策を検討し始めたとき、初めに適用されるモデルとして最適なものを開発することが出来た。BCTの開発においてはこれまで将来研究の分野において思考枠組として提唱されてきた「バックキャスト」のアイデアを厳密な計算体系に定式化した。これによって観念的な議論に陥りがちなバックキャスト研究に対して定量的かつ整合的な根拠を与え、議論の実質化に寄与するものと考えられる。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

京都市環境モデル都市行動計画の策定後、本研究での適用例の結果を受け、平成22年に京都市地球温暖化対策条例を全面改正し、その第3条において本研究で推計した削減目標である2030年にGHG排出量を1990年比で40%削減することを目標とするとされている。また平成23年に策定された京都市地球温暖化対策計画では35頁に本研究の推計結果が引用されている。

滋賀県琵琶湖環境部温暖化対策課が現在策定中である「低炭素社会実現のための工程表」に本研究の手法が利用されている。平成22年3月12日公表の「低炭素社会実現のための工程表素案」に本研究の適用例において構築された施策群および各施策のスケジュールが示されている。

<行政が活用することが見込まれる成果>

インドネシアでは国家開発企画庁(BAPPENAS)が国家計画の策定への活用を意図して、エネルギー関連のモデル比較を2013年10月に開催したワークショップにおいて行い、本研究の成果もそこで示された。BAPPENASより引き続いての協力を要請されており、活用が見込まれている。

ベトナムでは天然資源環境戦略政策研究所との協働によりシナリオ構築が進められている。その成果はベトナム政府が今後策定する低炭素社会へ向けた政策に反映される見込みである。

カンボジアではカンボジア環境省主催の低炭素社会を目指すワークショップが2013年4月および2014年2月に開催され、本研究の成果がそこで示された。環境大臣からも支持を受けていることから今後の活用が期待されている。

6. 国際共同研究等の状況

- 1) Institute of Strategy and Policy on Natural Resources and Environment, Nguyen Van Tai, Nguyen Tung Lam, Nguyen Hoang Minh (ベトナム)
- 2) Bogor Agriculture University, Rizaldi Boer
Institut Teknologi Bandung, Retno Gumilang Dewi, Ucok Siagian (インドネシア)
- 3) Seoul National University, Lee Dong-Kun, Park Chan (韓国)
- 4) Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences, Zhao Daiqing, Wang Peng, Huang Ying (中国)
- 5) Indian Institute of Management, Priyadarshi Ramprasad Shukla
Maulana Azad National Institute of Technology, Bhopal, Aashish Deshpande
School of Planning and Architecture, Bhopal, Manmohan Kapshe (インド)
- 6) Sirindhorn International Institute of Technology, Thammasat University, Bundit Limmeechokchai
Joint Graduate school of Energy and Environment, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Sirintornthep Towprayoon, Savitri Garivait (タイ)

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) 五味馨・越智雄輝・松岡譲：環境システム研究, 37, 435-446 (2009)
「定量的なバックキャスト手法を用いた低炭素施策程表の構築手法の開発」
- 2) 越智雄輝・五味馨・福田堯・島田幸司・松岡譲：環境システム研究論文集, 38, 109-118 (2010)
「バックキャストアプローチに基づいた体系的な低炭素社会シナリオ構築手法の開発」
- 3) T. T. Tu, S. Fujimori and Y. Matsuoka: 環境システム研究論文集, 38, 289-299 (2010)
“Changes of energy consumption and the CO2 emissions structure in Vietnam from 1986 to 2005”
- 4) 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”
- 5) K. Gomi, Y. Ochi and Y. Matsuoka: Journal of Renewable and Sustainable Energy Special Issue, 2, 31004 (2010)
“A concrete roadmap towards a low-carbon society in case of Kyoto city”
- 6) 林優里・J. Simson・五味馨・松岡譲：環境システム論文集, 39, II_213-224 (2011)
「小規模都市のための低炭素都市デザイン手法の開発とマレーシア・プトラジャヤへの適用」

- 7) 五味馨・金再奎・松岡譲：環境システム論文集, 39, II_225-234 (2011)
「地方自治体における費用負担を考慮した低炭素社会へのロードマップ構築手法の開発」
- 8) 生津路子・藤森真一郎・松岡譲：環境システム論文集, 39, II_255-266 (2011)
「応用一般均衡モデルを用いた日本における温室効果ガス削減目標の分析」
- 9) 郭敏娜・倉田学児・松岡譲：土木学会論文集 G(環境), 68(5), I_193-I_204 (2012)
「中国での室内汚染および交通起源の沿道大気汚染を考慮した PM2.5 暴露量推計」
- 10) 長谷川知子・松岡譲：土木学会論文集 G(環境), 68(5), I_211-I_220 (2012)
「インドネシアにおける農畜産業・森林・土地利用変化に由来する温室効果ガス排出緩和に関する研究」
- 11) 生津路子・藤森真一郎・松岡譲：土木学会論文集 G(環境), 68(6), II_155-II_164 (2012)
「世界温室効果ガス排出量半減に向けた中国における削減方策の定量的解析」
- 12) 長谷川知子・松岡譲：土木学会論文集 G(環境), 68(6), II_255-II_264 (2012)
「農畜産業における技術積み上げ型温室効果ガス排出削減評価モデルの開発」
- 13) N. T. Hoa, T. Hasegawa and Y. Matsuoka: Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, DOI10.1007/s11027-012-9424-0
“Climate change mitigation strategies in agriculture, forestry and other land use sectors in Vietnam”
- 14) R. Kawase and Y. Matsuoka: Global Environmental Research, 17, 1, 11-18 (2013)
“Global GHG 50% Reduction and Its Feasibility in Asia”
- 15) M. Namazu, S. Fujimori, K. Jang and Y. Matsuoka: Global Environmental Research, 17 (1), 109-118 (2013)
“Feasibility of Low-Carbon Development in China”
- 16) M. Namazu, S. Fujimori, P. R. Shukla and Y. Matsuoka: Global Environmental Research, 17 (1), 119-128 (2013)
“Two Low-Carbon Development Pathways in India”
- 17) K. Gomi, A. Deshpande and M. Kapshe: Global Environmental Research, 17 (1), 129-138 (2013)
“Aligning Low-Carbon Society Scenario with City Development Goals in Bhopal, India”
- 18) 生津路子・藤森真一郎・松岡譲：土木学会論文集 G(環境), 69, 5, I_85-I_95 (2013)
「世界温室効果ガス排出量半減に向けて一東南アジアにおける排出量削減策の分析」
- 19) 藤森真一郎・増井利彦・松岡譲：土木学会論文集 G(環境), 69, 5, I_227-I_268 (2013)
「エネルギー機器情報を用いた応用一般均衡モデルの開発と緩和策の分析」
- 20) 五味馨・林優里・松岡譲：土木学会論文集 G(環境), 69, 6, II_1-II_12 (2013)
「低炭素社会の実現に向けた様々な取組が温室効果ガス排出量削減に及ぼす定量的寄与量の推計」
- 21) 生津路子・藤森真一郎・松岡譲：土木学会論文集 G(環境), 69, 6, II_359-II_371 (2013)
「応用一般均衡モデルを用いたアジア地域における温室効果ガス排出量削減の分析」
- 22) 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”

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 越智雄輝・五味馨・松岡譲：京都大学環境衛生工学研究会 第31回シンポジウム論文集, 73-76 (2009)
「地方自治体における低炭素社会に向けた施策シナリオ構築手法の開発」
- 2) 五味馨：学会誌 EiCA, 14,4 56-59 (2010)
「地域の将来像を計算するためのツール開発」
- 3) 五味馨：学会誌 EiCA, 14, 4 56-59 (2010)
「地域の将来像を計算するためのツール開発」
- 4) N. T. Hoa, K. Gomi and Y. Matsuoka：第38回環境システム研究論文発表会講演集, 93-100 (2010)

“A proposal of Sustainable Low-carbon Society in Vietnam towards 2030”

- 5) 生津路子・藤森真一郎・松岡譲：京都衛生工学研究会, 26(3) 33-36 (2012)
「中国における長期的な温室効果ガス削減可能性の検討」

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) 五味馨・越智雄輝・松岡譲：第 37 回環境システム研究論文発表会, 東京 (2009)
「定量的なバックキャストイング手法を用いた低炭素施策行程表の構築手法の開発」
- 2) K. Gomi, Y. Ochi and Y. Matsuoka: 15th Sustainable Development Research Conference, Utrecht, The Netherlands (2009)
“A systematic quantitative backcasting on low-carbon society policy of Kyoto city”
- 3) K. Gomi: The 15th AIM International Workshop, Tsukuba, Japan (2010)
“Designing a road map towards a low-carbon city in case of Kyoto”
- 4) N. T. Hoa, K. Gomi and Y. Matsuoka, 16th Sustainable Development Research Conference, Hong Kong, China (2010)
“A scenario for sustainable low-carbon development in Vietnam towards 2030”
- 5) 生津路子・藤森真一郎・松岡譲：京都大学環境衛生工学研究会第 33 回シンポジウム, 京都 (2011)
「日本における温室効果ガス削減対策の評価：応用一般均衡モデルを用いた分析」
- 6) 林優里・J. J. Simson・五味馨・松岡譲：京都大学環境衛生工学研究会第 33 回シンポジウム, 京都 (2011)
「アジア新興国における低炭素都市のデザイン--プトラジャヤ・グリーンシティ 2025 について」
- 7) 三隅卓矢・五味馨・松岡譲：京都大学環境衛生工学研究会第 33 回シンポジウム, 京都 (2011)
「中国における環境対策が地域的連関に及ぼす影響に関する基礎的研究」
- 8) 森本壮一・倉田学児・松岡譲：京都大学環境衛生工学研究会第 33 回シンポジウム, 京都 (2011)
「アジア地域におけるエネルギー・産業統計と統合的な大気汚染物質排出量推計手法の開発」
- 9) 河瀬玲奈・松岡譲：環境経済・政策学会 2011 年大会, 長崎 (2011)
「2050 年における経済発展と温室効果ガス削減目標のかかわりについて」
- 10) T. T. Tu・藤森真一郎・松岡譲：第 19 回地球環境シンポジウム, 水戸 (2011)
“Potential of GHG Emissions Reduction in Vietnam and its Implications”
- 11) 生津路子・藤森真一郎・松岡譲：第 40 回環境システム研究論文発表会、和歌山 (2012)
「世界温室効果ガス排出量半減に向けた中国における削減方策の定量的解析」
- 12) 林優里・J. J. Simson・五味馨・松岡譲：第 40 回環境システム研究論文発表会、和歌山 (2012)
「マレーシア・プトラジャヤにおける環境都市政策の実装に関する試み」
- 13) J. J. Simson: Association of European Schools of Planning Annual Meeting, Ankara, Turkey (2012)
“Environmental Sustainable Urban Development and Low Carbon Society Planning in Iskandar Malaysia”
- 14) S. Higashi, R. Kawase and Y. Matsuoka: International Congress on Energy Efficiency and Energy Related Materials, Antalya, Turkey (2013)
“A Study on World Steel Demand Considering Service Demand Change”
- 15) R. Kawase and Y. Matsuoka: International Congress on Energy Efficiency and Energy Related Materials, Antalya, Turkey (2013)
“CO2 Emission Reduction through Steel Demand Change toward 2050 in Japan”
- 16) 倉田学児・倉本直哉・松岡譲：第 54 回大気環境学会年会, 新潟 (2013)
「マレーシアジョホール州における大気汚染状況と気象場及び排出源との関係の解析」
- 17) 倉田学児・妹尾賢・松岡譲：第 54 回大気環境学会年会, 新潟 (2013)
「2013 年冬季における東アジアの PM2.5 越境汚染のシミュレーション」
- 18) 五味馨・林優里・松岡譲：第 41 回環境システム研究論文発表会, 福岡 (2013)
「低炭素社会の実現に向けた様々な取組が温室効果ガス排出量削減に及ぼす定量的寄与量の推計」

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) 国立環境研究所 AIM プロジェクトチーム、日本温室効果ガス排出量 2020 年 25%削減目標達成に向けた AIM モデルによる分析結果
http://www-iam.nies.go.jp/aim/prov/20091119_report.pdf
- 2) International Energy Agency (2011): World Energy Outlook.

(3) アジア低炭素社会の実現に向けた国・地域シナリオの開発

みずほ情報総研株式会社
環境エネルギー第1部

日比野 剛・藤原 和也・元木 悠子・
榎原 友樹（～2011年度）・小山田 和代（2012年度～）

<研究協力者>

株式会社 E-KONZAL

榎原 友樹（2012年度～）

平成21～25年度累計予算額：232,183千円

（うち、平成25年度予算額：44,461千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

本サブテーマでは、多様性を有するアジア各国について、それぞれの国・地域独自の諸制約条件についてそれぞれの国・地域の研究機関と協力しつつ個別に解析し、アジア諸国における低炭素社会の実現に向けた将来シナリオを開発することを目指す。そのためには、シナリオ構築に資する定性的・定量的な情報や低炭素社会に向けた各種対策の現状や今後の見通しに関する情報の収集、それらをベースにした将来シナリオの検討、様々なモデル・ツールを用いたシナリオの検討、などの作業が求められる。また、こうした作業を進めるために、それぞれの国・地域における研究者や政府関係者との信頼関係の醸成や彼らへの技術移転など、協働で作業を進めるための環境整備が必要となる。そこで、アジアの主要国を対象として、各国の開発計画や気候変動・エネルギー政策などの政策に関する情報、各国政府機関や国際機関などが示している社会経済指標、詳細な技術データの動向などの情報を収集・整備した。整備したデータベースを踏まえ、アジア全体の叙述シナリオの構築を行うとともに、アジア諸国に共通する方策「低炭素アジア10の方策」を作成した。また、アジア諸国において、モデル分析に必要な社会経済指標、対策技術に関するデータの収集・整備方法、対象とする国・地域を取り巻く環境や政策ニーズなどに応じたモデル分析に関する技術移転を実施した。さらに、上述したトレーニングなどを通じて能力開発を行ったアジア諸国の研究者と協働して、上述の各種データやシナリオ検討の手法をベースとしつつ、様々な分析モデルを用いてアジア各国における低炭素社会シナリオを検討した。

[キーワード]

アジア、シナリオ分析、低炭素社会、モデル、技術移転

1. はじめに

アジア地域は急速な人口増加、経済成長などに伴い、大幅な温室効果ガス排出量の伸びが予想されている。2030～2050年には、世界全体の排出量のおよそ半分は、アジアからの排出と見込まれており、世界全体の温度上昇を産業革命以前に比べて2度以下に抑えるという世界共通の課題を達成し、低炭素社会を実現させていくためには、アジアにおける取り組みが重要な役割を果たす。一方でアジア地域では、貧困や飢餓の解決、公害問題など克服すべき数多くの課題を抱えているため、地球温暖化対策の優先順位は必ずしも高くない。各国の事情に応じて、関心度の高い問題を解決しながらも、低炭素社会を形作っていくことができるような方策を描き、戦略的に達成していくことが求められている。

本戦略研究プロジェクトでは、多様なアジアの低炭素発展の可能性、アジア地域における包括的な気候変動レジーム、持続可能な資源管理、低炭素交通システムなどの検討を行うことにより、全体像を把握しうるアジア低炭素社会シナリオを開発することを目的としている。S-6-1では、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定量的に行う。そのために、本サブテーマでは、多様性を有するアジア各国について、それぞれの国・地域独自の諸制約条件についてそれぞれの国・地域の研究機関と協力しつつ個別に解析し、アジア諸国における低炭素社会の実現に向けた将来シナリオを開発することを目指す。

2. 研究開発目的

本サブテーマでは、アジアの主要な国・地域を対象として低炭素社会シナリオを構築することを目的とした。そのためには、シナリオ構築に資する定性的・定量的な情報や、低炭素社会に向けた各種対策の現状や今後の見通しに関する情報の収集、それらをベースにした将来シナリオの検討、様々なモデル・ツールを用いたシナリオの検討、などの作業が求められる。また、こうした作業を進めるために、それぞれの国・地域における研究者や政府関係者との信頼関係の醸成や、協働で作業を進めるための環境整備も必要となる。

3. 研究開発方法

本サブテーマでは、アジア低炭素社会の実現に向けた国・地域シナリオの開発を担当しており、以下の4つの作業を進めてきた。それぞれの作業を円滑に進めるために、対象とした国・地域（主に中国、インド、タイ、等）における研究者や政府関係者との信頼関係を構築して、密にコミュニケーションを取りながら作業を進めた。

（1）検討対象地域の選定と低炭素社会シナリオの策定に資する基礎情報の収集・整備

将来シナリオの検討やモデル分析において必要となる各種データは、国によって整備状況がまちまちであるうえ、日本のように多種多様な統計が整備されていることは極めて少ない。また、対象とする国・地域を取り巻く環境はそれぞれ異なるため、対象地域の政策ニーズや社会環境などを考慮して、各種データを整備することが求められる。

そこでまず、検討対象とするアジア諸国の絞り込みを行ったうえで、対象とする国・地域について、各国の国家開発計画、気候変動・エネルギー政策（具体的な数値目標を含む）などの政策情報、高成長を実現するために乗り越えるべき課題、各国の政府機関や国際機関などのシナリオに示される社会経済指標について、情報収集を行った。これらの情報は、将来予測に関する既往研究における各種指標の相場観を掴むこと、将来シナリオの構築のための基礎資料とすること、などに活用された。また、これらの基礎資料はシナリオ構築における共通の情報基盤として、S-6-1において共有した。

（2）アジア地域における低炭素社会構築のための方策の検討

先行研究である「S-3脱温暖化社会に向けた中長期的政策オプションの多面的かつ総合的な評価・予測・立案手法の確立に関する総合研究」において、日本を対象にしたビジョン構築手法が開発されているが、これらは膨大な書籍や文献のレビューとそのキーワード分析が必要なアプローチであり、多様な言語をベースとしたアジアのシナリオ構築に適用することは困難であった。また、本研究で開発するシナリオは、各国の社会的背景を十分に配慮したものであると同時に、アジア全体として、ある程度の整合性を持っている必要がある。このような観点から、日本で開発されたビジョン構築手法を参考に、アジア諸国を対象とした汎用性のある叙述シナリオ構築手法の開発を行い、当該手法をアジア地域に適用することでシナリオを策定した。

策定したシナリオにおいて、温室効果ガスの排出削減を現実のものにするためには、対策技術等の導入を促す具体的な方策を検討しなくてはならない。このため、アジア地域を対象として低炭素社会を実現するための「10の方策」を作成した。方策の策定にあたっては、チーム間の連携を強化するためにシナリオタスクフォースを設置して、S-6戦略研究全体で一貫性のある方策となるよう留意した。

（3）シナリオ構築やモデル分析のための技術移転の実施

アジア地域において低炭素社会シナリオを構築して、それを実現していくためには、日本側研究者のみならず現地研究者による自立的な分析の実施や政策提案が必要となる。しかし、そのために必要とされる各種データを、それぞれの国・地域の特性に応じて特定し、様々な統計から入手することは、モデルの特徴や収集するデータに関する一定の知識を有していないと難しい。また、モデル分析についても一定のスキルが必要とされる。そこで、低炭素社会シナリオを構築するための手法や、各種モデルの操作方法、各種データの収集方法等について、各国の研究者に技術移転をするためのトレーニングを実施した。トレーニングでは、参加者個々人の理解度や達成度に応じたフィードバックを行うとともに、ワークショップ終了後も細部にわたる指導を行うことで、確実に技術移転を進めていった。

(4) アジア諸国における低炭素社会シナリオの構築

上述の作業を通じて収集・整備された情報やスキルを活用しながら、アジア諸国の研究機関と協働しつつ、アジア諸国における低炭素社会シナリオを作成した。シナリオ策定にあつては、それぞれの国・地域における社会システムやライフスタイル、経済成長段階などの国内事情を反映させたシナリオを描写するよう試みた。国・地域によって多少の差異はあるものの、おおむね定性的シナリオを構築したうえで各種モデルを適用してシナリオの定量化を行う手順で進めた。

4. 結果及び考察

(1) 検討対象地域の選定と低炭素社会シナリオの策定に資する基礎情報の収集・整備

1) 検討対象地域の選定

「アジア」の定義は、国際連合や世界エネルギー機関などの国際機関においても、それぞれに大きく異なっている。また、低炭素社会シナリオの定量分析に用いるAIMモデル群では、独自にアジアの定義を有しており、これらとの整合性を考慮することも必要となる。そこで、AIMモデルとの親和性を考慮しつつ、主に国際連合の統計区分をベースにして、表(3)-1のレベル4に記述される地域をアジア地域と定義した。その上で、特に人口、GDP規模が小さいオセアニアの島嶼国について、ある程度まとめたサブ地域としたものをレベル3とし、シナリオ検討の最小単位として位置づけた。また、レベル2では排出量へのインパクトが相対的に小さい低所得国、および人口が100万人を下回る国を、AIMモデルとの整合性や国際連合のサブ地域区分を参考に統合・整理を行った。最後に、アジア全体におけるマクロ評価の対象として、日本、中国、インド、その他アジアの4地域区分をレベル1として位置づけた。

表(3)-1 検討の対象地域

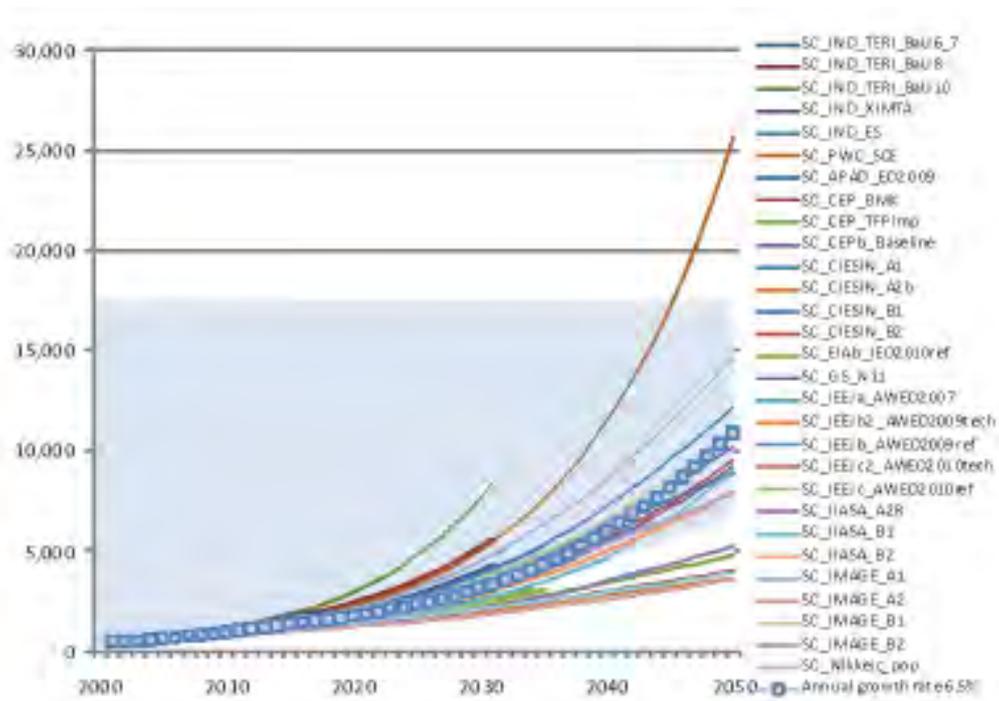
Level4 (45地域)	Level3 (28地域)	Level2 (15地域)	Level1 (4地域)
日本	→	→	→
中国	→	→	→
インド	→	→	→
台湾	→	→	→
インドネシア	→	→	その他アジア
マレーシア	→	→	
フィリピン	→	→	
韓国	→	→	
シンガポール	→	→	
タイ	→	→	
ベトナム	→	→	
北朝鮮	→	→	
モンゴル	→	その他東アジア	
ラオス	→	その他東南アジア	
ミャンマー	→		
ブルネイ	→		
カンボジア	→		
東ティモール	→		
アフガニスタン	→		
バングラデシュ	→	その他南アジア	
ブータン	→		
ネパール	→		
パキスタン	→		
モルディブ	→		
スリランカ	→		
フィジー	→	その他オセアニア	
バプアニューギニア	→		
マーシャル諸島	ミクロネシア		
ミクロネシア			
パラオ	その他オセアニア		
キリバス			
ナウル			
サモア			
ソロモン			
トンガ			
ツバル			
バヌアツ			
クック諸島		基本的にアメリカ、イギリス、フランス、NZなどの支配下にあることからレベル3以上では検討対象としない	
フランス領ポリネシア			
ニューカレドニア			
ニウエ			
北マリアナ諸島			
ピトケアン諸島			
トケラウ			
ウォリス・フトゥナ諸島			

2) 各種データの収集・整備

低炭素社会シナリオの構築やモデル分析を実施する際には、様々な社会経済指標や技術データを収集・整備することが求められる。本サブテーマでは、1)においてレベル2と定義した15地域のうち、複数の国で構成される4地域を除いた11地域（中国、インド、インドネシア、日本、韓国、マレーシア、フィリピン、シンガポール、台湾、タイ、ベトナム）を主な対象として、主要な指標の整備を実施した。収集した情報は、各国の開発計画や気候変動・エネルギー政策（具体的な数値目標などを含む）などの政策に関する情報、各国政府機関や国際機関などが示している社会経済指標（総人口、都市人口比率、GDP、産業構造、一次エネルギー供給量、最終エネルギー消費量、発電電力量、原子力・再生可能エネルギーポテンシャル、旅客交通需要・貨物交通需要、交通インフラ整備状況、住宅・建築物、土地利用）、詳細な技術データの動向などである。全項目を合わせて500本を超える文献を収集するとともに、データベース化を行った。整備した情報は、数百ページの資料に取りまとめ、シナリオ構築における共通の情報基盤としてS-6-1において共有した。

(2) アジア地域における低炭素社会構築のための方策の検討

上述の作業を通じて構築したデータベースを踏まえ、アジア全体の叙述シナリオの構築を行った。叙述シナリオの構築にあたっては、想定したパラメーターがどのような社会を意味しているのか具体的にイメージすることが困難であったので、構築したデータベースをもとに、想定したシナリオパラメータの社会的意味とその妥当性を検証することを目的として、シナリオパラメータの視覚化を実施した。これにより、シナリオ開発者が視覚的に指標を捕らえ、経済の発展段階に応じて比較的容易にパラメーターの想定を行うことが可能となった。図(3)-1に視覚化の例を示す。これは、インドにおけるGDPを対象に、本課題で設定している将来の想定と、既存研究や政府の計画の関係を示したものである。



図(3)-1 設定パラメータ（GDP）のシナリオ間比較（インド）

ここまでの作業を踏まえ、アジア全体の叙述シナリオの構築を行った。本手法によって作成された叙述シナリオは、アジアの各国研究者と議論を踏まえて改善した。また、低炭素社会を目指すための方策の検討も行った。検討にあたっては、S6戦略研究プロジェクト全体において各チームの研究者同士の連携を強化して、全体として一貫性のある方策の作成を行うために、シナリオタスクフォースを設置した。シナリオタスクフォースではまず、検討する方策ごとの整合性を定

量レベルで担保するため、連携項目を抽出するとともに具体的な定量データについてS-6-1と他チームとの調整を行った。また、将来の叙述シナリオについてもシナリオタスクフォース内で検討を行った。検討の結果、サブテーマ（2）の表(2)-3に掲げる2つの社会像（ADV、CNV）を描き出した。いずれの社会像も、2050年に世界の排出量を1990年比で半減させる目標の達成を目指すものである。

また、これらの社会経済シナリオを基に、サブテーマ（1）において経済モデル（CGEモデル）を用いた定量化がなされた。定量化された基礎データは各チームに共有され、これを基に各チームが検討作業を進めることで、全体として統合的な検討が進められた。

シナリオタスクフォースでは、アジア各国は多様であるが、低炭素社会実現のための方策はある程度の幅を持ち共通するものであると考えた。そこで、アジア諸国に共通する方策として、「低炭素アジア10の方策」を作成した。作成した方策群を図(3)-2に示す。



図(3)-2 低炭素アジア 10 の方策

（3）シナリオ構築やモデル分析のための技術移転の実施

アジア諸国において、低炭素社会シナリオやそれを実現するためのロードマップを検討していくには、モデルによる検討を行うことが有効である。しかし、モデル分析のためには、上述のような社会経済指標、対策技術に関するデータを幅広く収集・整備することや、対象とする国・地域を取り巻く環境や政策ニーズなどに応じたモデルの調整等が求められる。こうした作業を、アジア地域の研究者が自立的に実施できるようになるよう、モデル分析やデータ収集に関する技術移転を目的としたトレーニングを実施した。実施したトレーニングの内容、参加者などを以下に示す。

1) Extended Snapshot tool (ExSS)に関するトレーニング

ExSSは、各種活動量や産業構造変化などを統合的に評価し、将来シナリオの描写等に活用することができるツールである。トレーニングでは、ExSSツールを用いた目標年における社会勘定、エネルギー勘定のバランスをとる考え方を理解してもらうとともに、実際にExSSにデータを入力するためのデータ収集・加工、モデル分析、シナリオ作成などの一連の流れについて技術移転を行った。トレーニングは中国、インド、タイ、インドネシアといった国々の研究者を対象としており、平成21年度には20名近く、平成22年度には（後述するAIM/Enduseのトレーニングと合わせて）総勢40名近くが参加して実施された。場所はいずれも国立環境研究所である。

2) AIM/Enduseに関するトレーニング

AIM/Enduseは技術積上型モデルであり、個別のエネルギー技術の普及動向やそれに伴うエネルギー消費量、温室効果ガス排出量の推移などを分析することができる。モデル分析の初学者にとってはやや複雑な構造を有していることから、モデルの概要を的確に理解してもらうと共に、実際にデータを入力して動作させることに重点をおいたトレーニングを行った。トレーニングは中

国、インド、タイ、インドネシアといった国々の研究者を対象としており、平成22年度には（前述のExSSのトレーニングと合わせて）総勢40名近く、平成24年度と平成25年度にはそれぞれ40名程度、20名程度が参加して実施された。場所はいずれも国立環境研究所である。

いずれのトレーニングワークショップにおいても、参加者によって理解度の差はあるものの、ワークショップ終了時には限られたデータの中で各国の地域特性を踏まえたオリジナルの低炭素シナリオや方策が提案されており、多くの参加者は暫定的な将来シナリオ作成にまで至っていた。このようにトレーニングを通じて、AIMモデルに関する技術移転ができたことに加えて、日本にはない各国独自の視点に基づく低炭素社会シナリオや方策が活発に議論されており、若手研究者の研究協力、交流、国際ネットワーク作りといった観点からも重要な意味を持っていたと考えられる。

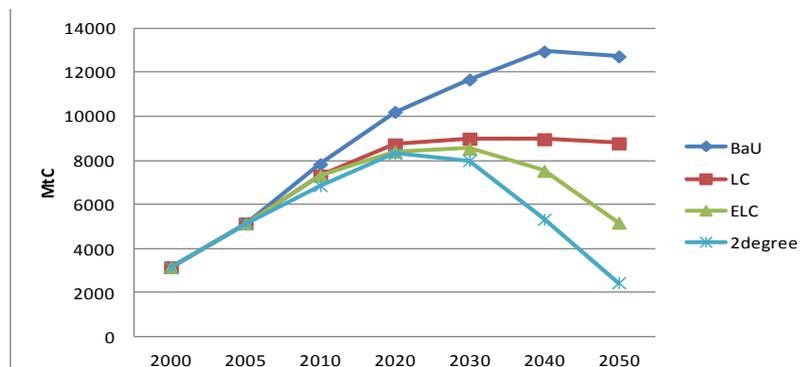
（４）アジア諸国における低炭素社会シナリオの構築

上述したトレーニングなどを通じて能力開発を行ったアジア諸国の研究者と協働して、上述の各種データやシナリオ検討の手法をベースとしつつ、様々な分析モデルを用いてアジア各国における低炭素社会シナリオを検討した。シナリオを構築したのは、中国、インド、タイ、インドネシアの4地域である。

1) 中国

a 国シナリオ

中国においては、IPAC（linked Integrated Policy Assessment model of China）を利用し、世界全体と中国の排出シナリオの定量的な分析を行った。中国を対象とした四つの排出シナリオ（ベースライン（BaU）、低炭素（LC）、強化低炭素（ELC）、2度目標（2 degree））を構築した。また、技術モデルも活用することで、経済活動、エネルギー消費活動、技術の進歩、ライフスタイルの変化をより詳細に扱うことができるようになっている。図(3)-3に各シナリオの排出量の推移を示す。



図(3)-3 中国におけるCO₂排出シナリオ

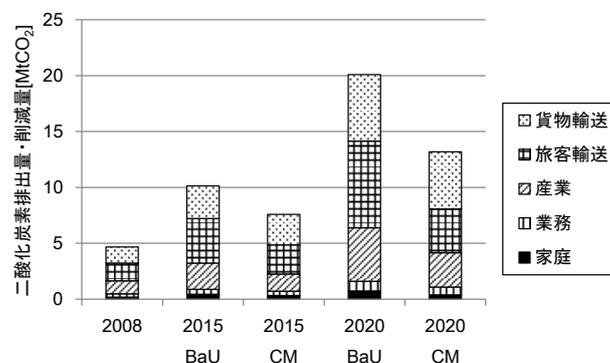
強化低炭素シナリオでは、①経済構造の転換、②エネルギー効率の改善、③再生可能エネルギーの開発、④二酸化炭素回収貯留などが採用されているが、2度シナリオでは、⑤再生可能エネルギーのさらなる導入や天然ガスによる石炭代替などの対策が強化されている。もし2度目標を導入するならば、中国のCO₂排出量は2025年までにピークを迎え、その後大幅な減少に転じ、2050年までに2020年比で70%以上削減されることが可能であると示された。このような大きな削減には利用可能なありとあらゆる低炭素エネルギー技術を一斉に普及拡大させること、国際的な連携を大規模に行うことが必要であろう。中国はコペンハーゲン合意に基づく政府目標以上の対策の実施が求められる。

再生可能エネルギーの開発に関する政策が中国における2度シナリオでは極めて重要である。技術の進歩と共に非常に多くの再生可能エネルギーが中国で利用されるようになるだろう。原子力は日本の原発事故の影響で開発のペースが落ちているものの依然として中国の重要なオプションである。中国では原子力は今のところ比較的クリーンで安全なエネルギー供給源であり、今後エネルギーシステムを多様化させていかなければならない。また、カーボンプライシングが数年の内

に中国で導入される可能性がある。短期的にはなかなか排出削減に反映されないが、エネルギー効率の高い技術へ転換していくためにさらなる政策支援が必要である。CO₂に対する排出枠の設定も中国において効果的なCO₂排出の抑制手段である。中国では第12次5カ年計画において、2020年までの非化石エネルギー導入目標と併せて、エネルギー需要量に上限を設ける政策を導入している。これは2015年以降にCO₂排出枠を設ける際のノウハウを得る良い実践の機会となるだろう。またパイロット事業として対象の都市および省で試験的に域内の排出権取引が計画されており、近い将来排出枠が設定されるだろう。

b 地域シナリオ（海口）

中国海南省に位置する海口を対象とした海口シナリオでは、まずエネルギー消費構造について詳細な分析を行い、ExSSを用いて2020年のエネルギー需給や温室効果ガス排出シナリオの検討を行った。具体的には、開発の方向性やビジョンを最大限考慮したBaUシナリオと、消費や発展のパターンの転換を想定した対策（CM）シナリオの2つを構築した。シナリオに基づいた推計の結果、2008年に約5 MtCO₂であった温室効果ガス排出量は、BaUシナリオでは2020年に20 MtCO₂まで増加すると推計されたが、CMシナリオの場合には約13 MtCO₂となり、BaU比で約35%の削減が可能であることを示した。

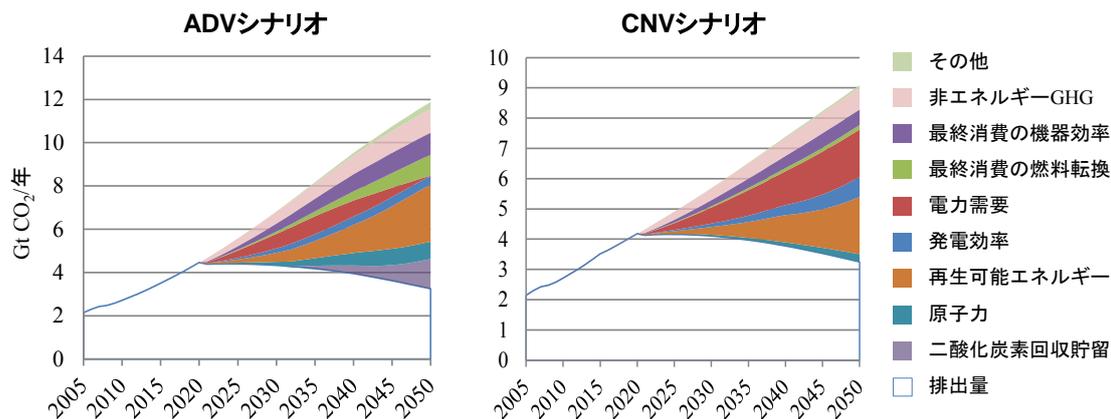


図(3)-4 海口シナリオにおける推計結果

2) インド

a 国シナリオ

インドにおいては、一般均衡モデル（AIM/CGE）による分析を行った。2050年までに世界全体の温室効果ガス排出量を2005年に比べて半減させることを目標として、ADVシナリオとCNVシナリオの二つのシナリオを示している。両シナリオとも、エネルギーシステムの転換が排出削減につながっている。しかし、導入する対策と経済への影響は両シナリオで根本的に異なる。これはマクロ経済、エネルギー、技術の開発・普及がシナリオ間で異なるためである。ADVシナリオの社会は、CNVシナリオの社会よりもGDPはるかに大きく、対策をしなかった場合の温室効果ガス排出量も多い。そのため対策をより強化する必要がある。削減目標を達成するための炭素価格も、CNVシナリオより高くなる。ADVシナリオの社会の方が、二酸化炭素回収貯留や再生可能エネルギー等の低炭素技術を導入するのに有利であるにもかかわらず、削減目標を達成する際のマクロ経済全体への影響は大きいという結果になった。2050年におけるGDPの損失比率は38%で、CNVシナリオよりも高い。しかし、ADVシナリオの2050年におけるGDPはCNVシナリオの2倍以上あるので、一概にCNVシナリオの方が経済的に望ましい社会であるということにはならない。



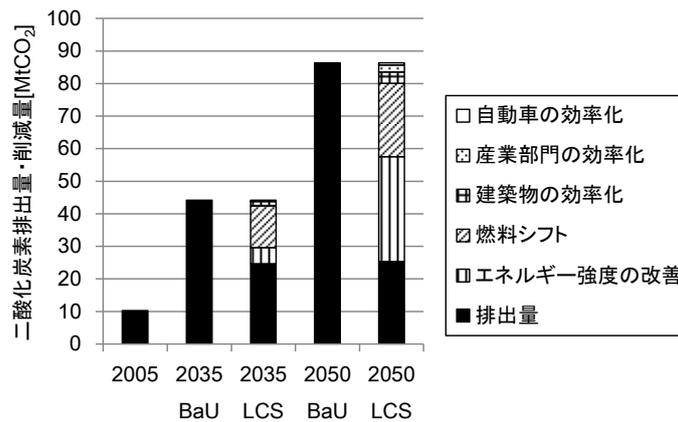
図(3)-5 インドを対象としたADVシナリオとCNVシナリオにおける緩和策

b 地域シナリオ（アーメダバード）

インド西部に位置するアーメダバードを対象としたアーメダバードシナリオでは、各種パラメーターをExSSに入力し、2050年までのエネルギー消費量と温室効果ガス排出量を推計した。アーメダバードのCO₂排出量は、2005年の約10 MtCO₂から、2050年にはなりゆき（BAU）シナリオで約86 MtCO₂にまで増加すると推計され、対策（LSC）シナリオの場合、BAUシナリオ比で約7割の削減が可能であると推計された。また、削減ポテンシャルの大きい部門の対策実現のため、表(3)-2に示す8つの方策を取りまとめた。

表(3)-2 アーメダバードシナリオにおける対策実現のための方策

方策 1	持続可能な交通	バス高速移動システムや地下鉄の整備、自動車における石油から電気利用へのシフト、自転車移動や徒歩移動の促進、道路交通マネジメントのための情報通信技術の活用、自転車や歩行者に適したインフラの整備など。
方策 2	低炭素電力	グリーン電力への移行推進やガスへの燃料シフト、再生可能エネルギーを基盤にした新しい電力インフラなど。
方策 3	エネルギー利用効率の向上	エネルギーラベリングプログラムの推進や建築物のエネルギー基準の導入など。
方策 4	物質利用時の効率向上	持続可能でエネルギー消費の少ない建築物素材やデザインの活用など。
方策 5	環境配慮型インフラや自治体サービスの整備	水資源マネジメントや緑地率の向上、公共サービス分野での高効率ランプへのシフトなど。
方策 6	リデュース、リユース、リサイクル	各種プロセスにおけるエネルギー消費の削減や水再生や水リサイクル、廃棄物からのエネルギー回収など。
方策 7	ガバナンス	各活動主体のコーディネートや低炭素社会づくりのための方策の検討・実施など。
方策 8	ファイナンス	市場性強化措置や外部資金を通じた適切な資金提供など。



図(3)-6 アーメダバードシナリオの推計結果

c 地域シナリオ (ボパール)

インド中央部に位置するボパールを対象としたボパールシナリオでは、2035年の低炭素社会シナリオを構築し、エネルギー消費のパターンや温室効果ガス排出量に影響を及ぼす重要な施策として7つの方策（方策1：環境に配慮したガバナンス、方策2：総合的な居住環境の向上、方策3：持続可能な生活様式、方策4：コミュニティ毎に機能が集約された都市形態、方策5：都市形態と一体となった輸送システム、方策6：自然環境の保全、方策7：豊かな農村地域）を取りまとめた。このうち、現在、ボパールで実践されている施策のうち、バス高速輸送システム（BRTS）の導入について、より詳細に分析を行った。BRTSは上述の方策6に属す施策である。

1981年から2011年の30年間でボパールの人口は2.5倍になり、車両の登録台数は85倍にも増加した。BRTS計画が段階的に推し進められ、第1段階では44 kmのBRTS用ルートを構築した。BRTSネットワークの構築に伴い、道路幅の拡張や鉄道との立体交差、主要交差点における地下道の設置による公共交通機関と歩行者の分離等、ボパールの輸送インフラは変化してきている。またBRTSでは高度道路交通システムが導入され、バス毎の現在地や速度、車両の状態のトラッキング等が可能である。BRTSの導入がCO₂排出量に与える影響の推計結果を表(3)-3に示す。ミニバス、タタ・マジック（タクシー）、二輪車からBRTSへの転換によって、約190 kgCO₂の削減が可能であると推計された。BRTSの導入はボパールを低炭素な未来に導く適切な方策が実施されていることを示唆しているが、経済的手段、需要抑制、代替手段の供給、教育、情報提供の観点から統合された政策パッケージによるアプローチがさらに必要である。また長期的には行動様式的大幅な変化に至るために政府の強い決意と警鐘が必要である。

表(3)-3 ボパールシナリオにおける推計結果

	ミニバス	タタ・マジック (タクシー)	二輪車	BRTS
モーダルシェア	60%	25%	15%	100%
乗者数 (人/日)	48,000	20,000	12,000	80,000
トリップ数 (トリップ)	1,600	2,500	8,000	1,330
平均輸送距離 (km/トリップ)	30	20	8	35
輸送距離 (km)	48,000	50,000	64,000	46,550
CO ₂ 排出原単位 (gCO ₂ /km)	2.8	0.64	2.4	2.8
CO ₂ 排出量 (kgCO ₂)	134.4	32	153.6	130.34

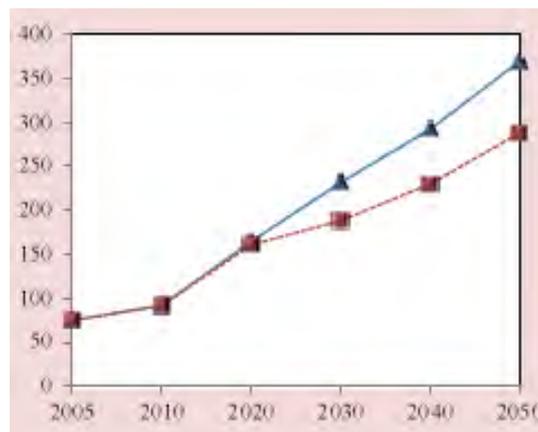
3) タイ

a 国シナリオ

タイにおいては、AIM/Enduseを利用して、発電部門における低炭素社会シナリオの検討を行った。AIM/Enduseは技術積上型の推計モデルであり、詳細な技術データベースを有している。いく

つかの制約条件の下で、与えられたサービス需要を満たすような技術の組み合わせが選択される。技術の組み合わせの変化は、燃料構成やエネルギー消費量に影響を及ぼし、結果として温室効果ガス排出量に影響を及ぼす。AIM/Enduseによる分析を通じて、将来の低炭素目標の達成に向けて、どのような対策を、どのようなタイミングで実施すべきかを明らかにすることができる。

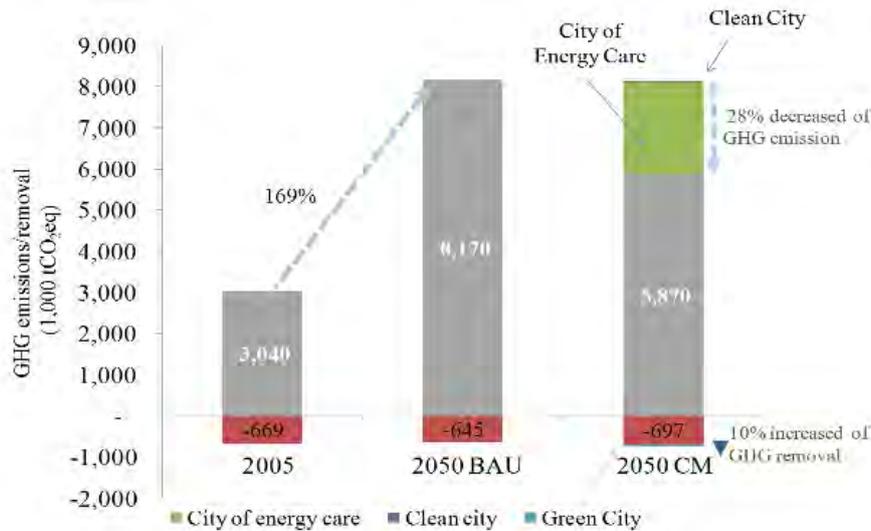
検討対象とした対策は大きく三つのカテゴリーに分類できる。一つ目は、新たな「クリーン技術」に類するもので、CCS、超臨界圧発電技術、石炭ガス化複合発電技術などである。二つ目は、「新エネルギー・再生可能エネルギー」に類するもので、太陽光発電、風力発電、バイオマス発電などである。三つ目は、「効率向上」に類するもので、より高効率な発電技術への代替である。BaUシナリオでは、2050年において約36 Mtoeの天然ガスが消費され、これは一次エネルギー消費量全体の66%を占めていた。次いで、石炭の消費量が約9 Mtoeとなった（一次エネルギー消費量全体の17%）。一方、対策シナリオでは、クリーンな石炭火力発電技術が非常に重要なエネルギー供給源となっており、これらの導入により、2050年までに約81 Mt CO₂の温室効果ガス削減が見込まれる。対策シナリオではBaUシナリオに比べて、発電技術のドラスティックな変化が見込まれる。従来型の天然ガス火力発電技術は、そのシェアが56%（BaUシナリオ）から25%（対策シナリオ）に低下するほか、CCSを伴う石炭火力発電技術を含むクリーンコールテクノロジーは、対策シナリオにおいてそのシェアを50%程度まで増加させる。クリーンコールテクノロジー等の先進技術は、現状での導入可能性から考えても、2020年～2030年において直ちに実施されるべきである。もし、これらの低炭素発電技術が早期に選択しなければ、これらの技術の耐用年数の長さのために、2050年に向けた温室効果ガス排出削減目標の達成は難しくなる。このため、こうした技術導入のための意思決定が行われることが、非常に重要である。



図(3)-7 BaUシナリオと対策シナリオにおける温室効果ガス排出パス
(縦軸は二酸化炭素排出量(MtCO₂)、実線：BaUシナリオ、破線：対策シナリオ)

b 地域シナリオ (コンケン)

コンケンシナリオでは、収集した各種社会経済指標などのデータとExSSを用いて、2050年温室効果ガス排出量の推計を行った。2050年の排出量（吸収源による排出削減効果を含む）は、BAUシナリオにおいて、約7.5 Mt CO₂になると推計された。次に削減方策の検討を行い、三つの戦略を設定した（戦略1：グリーンシティ、戦略2：クリーンシティ、戦略3：エネルギー配慮型都市）。これらの対策を実施することで、BAUケースと比較して温室効果ガスの排出量は28%削減できると試算された。ただし、削減効果の大半は「戦略3：エネルギー配慮型都市」によるものであり、戦略1および戦略2の削減効果は限定的なものとなった。



図(3)-8 2050年におけるシナリオ別（BAUと対策）温室効果ガス排出量/吸収量

4) インドネシア

インドネシアにおいては、まずExSSを用いて2050年までの排出シナリオの定量的な分析を行った。現在の発展パスが2050年まで継続される参照シナリオ（BaU）、BaUと同程度の発展パスでありながら省エネが進んだ社会シナリオ（CM1）、BaUより高い経済成長を誇りつつ省エネや燃料の低炭素化が進んだ社会シナリオ（CM2）、の3ケースについて検討を行った。その結果、表(3)-4に示すように、BaUシナリオではエネルギー部門からの排出量は2005年の299 MtCO₂から3,929 MtCO₂へとおよそ13倍に拡大する。一方で、CM1シナリオではエネルギー部門からのCO₂排出量は2,612 MtCO₂となり、BaUシナリオからは34%の削減となる。削減効果として最も大きかったのが産業部門であり、その後は交通部門、家庭部門、業務部門の順である。さらに、CM2シナリオではエネルギー部門からのCO₂排出量は656 MtCO₂となり、大きな経済成長を達成しつつもBaUシナリオから83%の削減が達成される。また、これらのシナリオ分析を踏まえ、大幅削減を実現するために必要な方策として表(3)-5の5つの方策を取りまとめた。

表(3)-4 2050年の各シナリオにおけるエネルギー需要と排出量

	2005年	2050年		
		BaU	CM1	CM2
エネルギー需要 (Mtoe)	101	770	516	972
旅客交通	18	36	12	16
貨物交通	7	106	27	81
産業	30	630	472	737
家庭	43	65	47	54
業務	4	94	54	132
一人当たりエネルギー需要(toe/人)	0.46	2.85	1.87	3.12
エネルギー強度 (toe/百万ルピア)	58	30	20	14
エネルギー起源CO ₂ 排出量(MtCO ₂)	299	3929	2612	656
一人当たり排出量(tC/人)	1.4	12.0	8.0	2.0

表(3)-5 対策実現のための方策

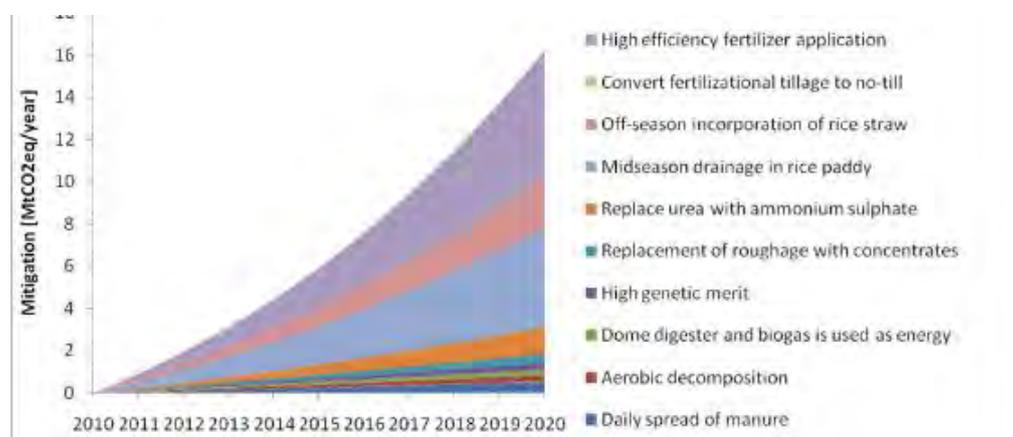
(1)クリーンエネルギー	家庭部門・業務部門におけるエネルギー種の転換（再生可能エネルギーもしくは排出原単位の低い燃料への転換）
(2)低炭素ライフスタイル	家電製品やオフィス機器の効率改善と、社会の行動変化に伴う排出削減
(3)低炭素電源	発電における再生可能エネルギーの利用、火力発電の高効率化（超臨界、IGCC）、さらにはCCSの導入、送配電ロスの低減
(4)産業部門の燃料転換	エネルギー源の低炭素化（再生可能エネルギーもしくは排出原単位の低い燃料への転換）、産業製造過程、機器等の高効率化
(5)持続可能な交通	モーダルシフト（公共交通の活用）、燃料転換、移動回数の低減、移動距離の低減（交通インフラの改善・情報通信、情報へのアクセスの改善）、交通管理、効率改善

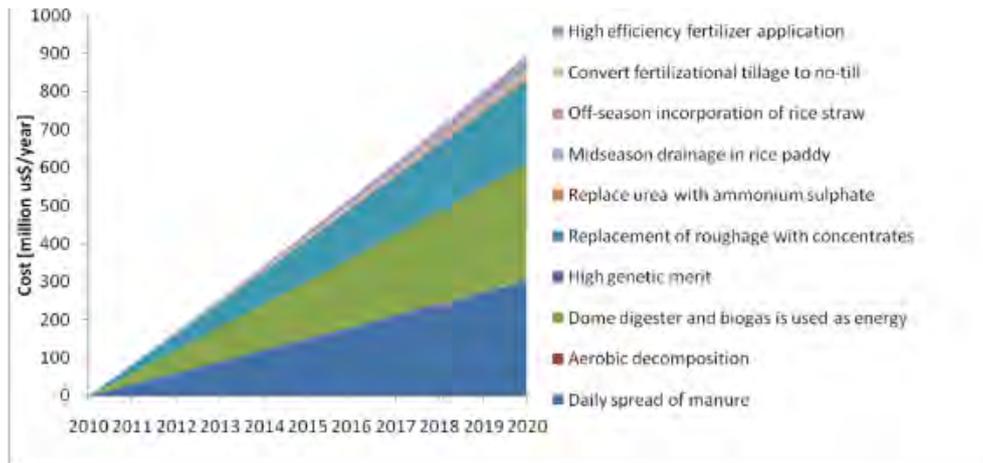
エネルギー部門に加えて、インドネシアでは土地利用変化や農業などからの温室効果ガス排出が、全体の大きな割合を占めている。こうした分野における将来シナリオの検討を行うため、農業・森林・土地利用（以下、AFOLU）部門を対象としたモデルによる作業を実施した。二酸化炭素に関する将来シナリオとして表(3)-6の二つを想定した。

表(3)-6 将来シナリオの想定

BAUシナリオ	食糧、家畜、住宅地の土地需要は人口増加に伴って増加する。ここでは食糧消費や農業・森林製品輸出の成長を考慮するがLCSについては考慮しない。年間の森林減少率は2000年から2006年の過去のデータをもとに外生的に与えた。
削減シナリオ	BaUで想定した森林減少率は改善する一方で植林は増加し、稲作、土壌管理、家畜部門などにおける排出削減対策が実施される。対策は26%削減が最小コストで達成されるよう設定した。

分析の結果、農業部門における10年間（2011年～2020年）における排出削減量は75 MtCO₂におよぶことが示された。また、10年間の総コストはおよそ48億ドルと推計された。最も削減ポテンシャルが大きかったのは高効率肥料の採用、間断かんがい、稲わらの土壌への混入、尿素を硫酸アンモニウムと代替などの方策である。一方で、対策コスト面では、現在のところ最もコストが大きいのバイオガスパラント、有機肥料の日常散布、粗飼料の濃縮飼料への代替である。これらの高コストな対策は主に、削減ポテンシャルそのものは決して大きくない。そこでこれらの高コスト対策を除いた場合についても検討したところ、それでも同分野では10年間で67 MtCO₂の削減が可能であり、そのコストは累積で3億3600万ドルにまで低下することが示された。同様に森林部門における排出削減ポテンシャルは農業部門と比較してかなり大きい。2020年におけるコストは2億ドル/年程度である。最も排出削減ポテンシャルが大きいの泥炭地における水管理の改善、森林保護、影響の大きい木材切り出しの抑制と自然再生の強化といった対策群である。

図(3)-9 農業分野の削減ポテンシャル（縦軸はMtCO₂/年）



図(3)-10 農業分野の削減コスト（縦軸は百万USドル/年）

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本研究では、アジアの低炭素社会シナリオを構築する際に必要となる社会経済指標等の収集・整備を進めてきた。世界やアジアを対象としたモデル等による予測や長期シナリオ分析は数多くあるが、推計に用いられている入力値には大きな幅がある。モデル分析などの定量的評価を行うにあたり、想定する社会経済指標が既往研究と比較してどのあたりに位置しているかを把握することが必要不可欠であり、モデル分析の結果についての理解を深めたり、モデル分析自体の問題点や特徴を見極めたりするにあたって極めて有用な基礎情報を整備することができた。

また、本研究ではアジアの様々な国において低炭素社会シナリオの策定を支援してきた。中国、インド、タイ、インドネシアなどの研究者に対する技術移転を行うとともに、彼らと協働して低炭素社会シナリオの検討を進めたことで、アジア地域における低炭素社会構築に向けた研究活動や社会実装などを推進することに貢献した。

さらに、アジア低炭素社会の実現に向けた10の方策は、将来の社会経済活動の姿や低炭素社会実現に必要な施策をS6戦略研究プロジェクトとして整合的に示したものである。10の方策策定を通じて、2050年までに世界の温室効果ガス排出量を1990年比半減させるために、アジア地域に求められることを一定の根拠をもって示すことに貢献できた。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

本研究では、中国、インド、タイ、インドネシアなどのアジアの主要地域を対象として低炭素社会シナリオの検討を行った。これらの研究成果は、世界全体の温室効果ガス削減に向けた取り組みに貢献することが期待される。特に、地域ごとに取りうる対策についてある程度具体的に提示できたことは、温室効果ガス削減の実効性を高めることに繋がったものと考えられる。

また、アジア地域において低炭素社会シナリオやそれを実現させるための対策を具体的に検討することは、日本の優れた省エネルギー技術などが、アジア諸国においてどのような貢献ができるかを検討するための基礎的な材料を提供することにも繋がるものと考えられる。

6. 国際共同研究等の状況

トレーニングやシナリオ構築について、以下の機関と協働した。

- Energy Research Institute, National Development and Reform Commission（中国）
- Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences（中国）
- Indian Institute of Management（インド）
- Department of Management Studies, Maulana Azad National Institute of Technology（インド）

- Sirindhorn International Institute of Technology, Thammasat University (タイ)
- The Joint Graduate School of Energy and Environment, King Mongkut's University of Technology Thonburi (タイ)
- Bandung Institute of Technology (インドネシア)
- Bogor Agricultural University (インドネシア)
- University Technology Malaysia (マレーシア)
- Department of Environment, Bangladesh (バングラデシュ)
- Ministry of Environment, Cambodia (カンボジア)
- Seoul National University (韓国)
- Industrial Technology Research Institute (台湾)

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) 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 CO2 Emissions by 2050”
- 2) A. Pattanapongchai, B. Limmeechokchai, Y. Matsuoka, M. Kainuma, J. Fujino, O. Akashi and Y. Motoki: GMSARN International Journal, 5 (3), 189-194 (2011)
“The AIM/Enduse Modeling. Subsidy for Clean Power Generation and CO2 Mitigation in Thailand”

<査読付論文に準ずる成果発表> (対象: 社会・政策研究の分野)

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) アジア低炭素社会研究プロジェクト (2012)「低炭素アジアに向けた10の方策」
(日本語版) http://2050.nies.go.jp/file/ten_actions_j.pdf
(英語版) http://2050.nies.go.jp/file/ten_actions.pdf

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) G. Kayo, T. Ikegami, T. Ehara, K. Oyamada, S. Ashina and J. Fujino: World Renewable Energy Congress 2011, Linkoping Electronic Conference Proceedings of World Renewable Energy Congress 2011, 732-739, Linkoping, Sweden (2011)
“Diversified analysis of renewable energy contribution for energy supply in Asian regions”

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) シンポジウム、セミナー等の開催(主催のもの)

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) The Nation 2013年6月9日報道
<http://www.nationmultimedia.com/business/Road-map-for-a-low-carbon-Thailand-30207310.html>
- 2) Asia News Network 2013年6月9日報道
<http://www.asianewsnet.net/Study-sets-roadmap-for-low-carbon-Thailand-47706.html>

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

(4) 低炭素社会の実現に向けたエネルギーシナリオの開発

一般財団法人日本エネルギー経済研究所

研究顧問 伊藤 浩吉
 理事 山下 ゆかり (2012年度～)
 計量分析ユニット 需給分析・予測グループ

森田 裕二 (～2011年度)・松尾 雄司・永富 悠・
 小宮山 涼一 (2009年度)・柴田 善朗 (2010年～)・
 末広 茂 (～2012年度)・柳澤 明 (2013年度)
 地球環境ユニット 沈 中元

<研究協力者>

東京大学大学院工学系研究科 小宮山 涼一 (2010年度～)

平成21～25年度累計予算額：70,995千円

(うち、平成25年度予算額：13,595千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

温室効果ガス排出量においてエネルギー起源CO₂は大きな比率を占める。アジア途上国を中心として世界の一次エネルギー消費は急増を続けており、それは二酸化炭素排出のみならず、資源面・政治面等においてさまざまな問題をもたらしている。将来のエネルギー需給や技術開発・普及等を詳細に検討し、長期にわたるエネルギーシナリオを描くことは、今後長期にわたり安定的な低炭素社会を実現することの可能性を評価する上で不可欠であると言える。この目的のため、本サブテーマでは詳細なエネルギーバランス表に基づき、長期のエネルギー需給状況を広域かつ詳細に評価することを可能とする計量経済モデルを作成し、アジアを中心とする世界各国・地域のエネルギー資源開発動向・政策動向や計画等に関する最新の情報を踏まえた上で、2050年までのエネルギーシナリオを素描した。世界各国が特段の環境・省エネ対策を行わないレファレンスケースでは、アジア諸国を中心として世界のエネルギー消費は増大を続け、それに伴って2050年のCO₂排出量は2008年に比べて世界では1.8倍、アジアでは2.5倍にまで増大する。このケースでは世界の石油・天然ガス消費は急速な増加を続け、需給の逼迫に伴うエネルギー価格の急高騰も想定される。それに対し、世界各国がより一層のエネルギー・環境政策を実施し、また今後革新的技術の開発・導入が加速すると想定した技術進展ケースでは、化石燃料の消費量は2035年頃にピークを迎え、需給は大幅に緩和される。また世界のエネルギー起源CO₂の排出量は2008年比で41%減(1990年比で19%減)となっており、「世界全体で2050年に半減」の目標には達しない。これを達成するためには更なる追加対策が必要であり、具体的には原子力発電、再生可能エネルギー、CCS、蓄電池、その他の省エネルギー技術等の各分野において更なる研究開発投資を行い、革新的な技術のブレイクスルーを実現することが求められる。また、近年開発が進められている非在来型資源が低炭素社会構築にもたらす影響や、低炭素社会の実現がエネルギー安全保障に及ぼす影響について、開発したモデルを用いて考察を行い、非在来型資源の普及は再生可能資源開発を阻害する可能性があること、エネルギー安全保障面からも低炭素社会は有効であることを示した。また、サブテーマ(1)で定量化された低炭素社会の結果と比較を行った。

[キーワード]

アジア、エネルギー、低炭素社会、非在来型資源、エネルギー安全保障

1. はじめに

アジア地域は、急速な経済発展に伴って、エネルギー消費量も急速に増大している。こうした状況の中、低炭素社会の構築においては、アジアのエネルギー需給を適切にとらえる必要があるとともに、低炭素社会の構築に向けて、既存の省エネや再生可能エネルギーの導入以外にどのような技術が必要となるかを適切にとらえる必要がある。また、近年開発が進められている非在来型資源の利用が可能となった場合の影響や、増大する化石資源の供給をめぐる様々な問題に対して低炭素社会の構築がどこまで貢献できるかについても検討する必要がある。

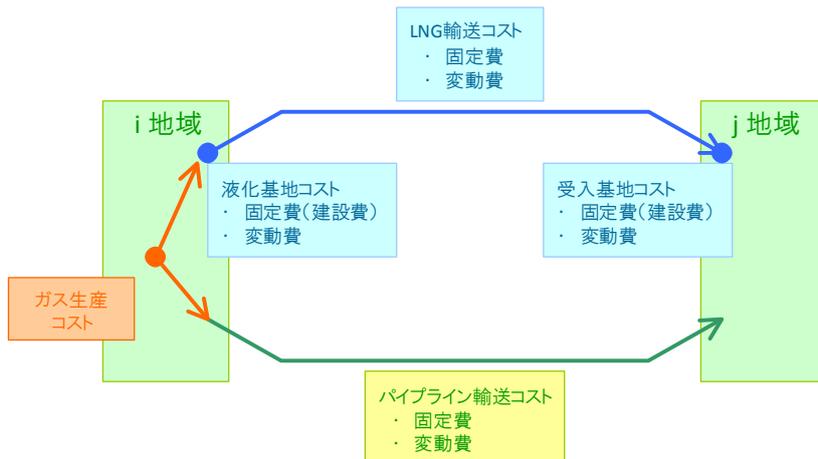
2. 研究開発目的

本サブテーマでは低炭素社会に向けたエネルギーシナリオの開発に資するため、まずアジアを中心とする世界各国のエネルギー需給の動向や政策動向等を網羅的に調査・整理し、それをふまえてIEA（国際エネルギー機関）のエネルギー・バランス表に基づく計量経済モデルを作成した。しかし世界のエネルギー需給を巡る状況は急速に変化を続けている。特に北米においてシェールガス・シェールオイルを中心とした非在来型資源の開発が進み、世界のエネルギー需給の姿を大きく変えようとしており、更に近年になって中国をはじめとするアジア諸国でも積極的な非在来型資源開発が目指されるようになった。中国は米国を抜く世界第一位のシェールガス埋蔵量を有すると言われ、その将来の開発動向はエネルギー利用のあり方を大きく変化させることになる。このような観点から、非在来型資源開発に焦点を当て、それが今後最大限進展した場合にアジア及び世界のエネルギー需給、ひいては低炭素社会の実現シナリオに対してどのような影響を与えられるかを分析した。また、計量経済モデルを用いた分析結果をAIM-CGEモデルによる結果やその他の試算例と比較することにより、低炭素社会実現に向けたエネルギーシナリオの側面からのインプリケーションを導出した。

3. 研究開発方法

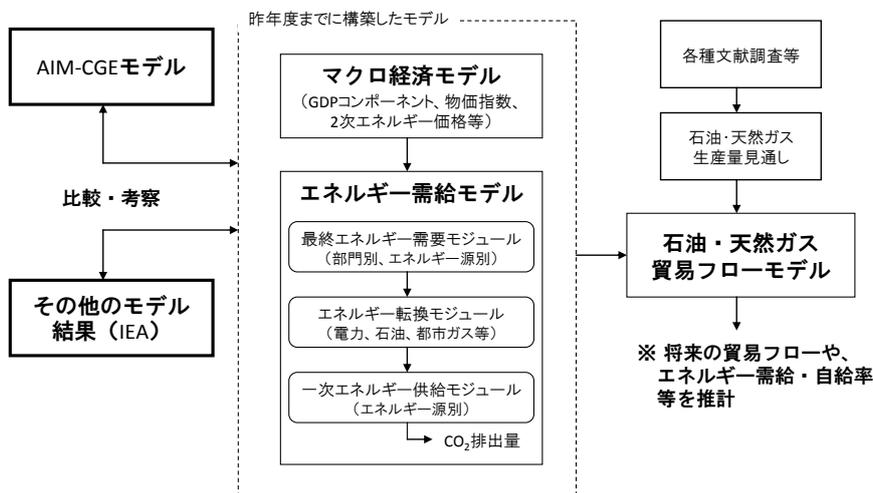
まずIEAのエネルギーバランス表をもとに、将来にわたる詳細なエネルギー需給構造の変化を予測し得る計量経済モデル（マクロ経済モデル及びエネルギー需給モデル）を、アジアを中心とする世界各地域について構築した。その上で、世界及びアジアにおけるエネルギー需給の状況や政策等の動向等を網羅的に調査・評価し、積み上げ式のモデル化により省エネルギー機器の普及見通し、化石燃料やウラン資源の生産見通し、原子力発電や再生可能エネルギー発電の進展見通し等を作成した。これらのモデル化をもとに、2050年までのアジア・世界各地域におけるエネルギー消費量やエネルギー起源CO₂排出量のみならず、石油・天然ガス・ウラン資源等の需給の見通しや貿易フロー、エネルギー自給率等の推計を行った。

ケース設定としては、既存の省エネ・低炭素化政策が将来にわたって継続すると想定した「レファレンスケース」の他に、世界各国が低炭素社会に向けて最大限の努力を行い、各種技術の導入が進展するとした「技術進展ケース」を設定し、その影響を評価した。またその他に、昨今非常に注目を集めている非在来型資源開発がアジア及び世界の低炭素化社会実現に向けたエネルギーシナリオに対して与える影響を評価するため、「非在来型資源開発促進ケース」の推計を行うとともに、各種文献調査による資源埋蔵量・生産量動向や、将来の開発計画等をもとに化石燃料（特に石油及び石炭）の生産量見通しを作成し、更に石油・天然ガス貿易フローモデルを作成して将来の貿易フローやエネルギー需給・自給率等を推計した。このモデルは石油及び天然ガスについて、世界を20地域程度に分割し、生産・国内輸送段階、出荷（液化）段階、輸送段階、受入（再ガス化）段階の各段階でのコストを考慮した上で、世界の生産量・需要量見通しに応じて、線形計画法（Linear Programming: LP）によりコストを最小とするようなフローを整合的に見出すモデルである。図(4)-1に例として天然ガス貿易フローモデルの概要を示す。ここに示すように天然ガス貿易についてはLNGとパイプラインを同時に扱うことを可能としている。また石油については、各地域の石油精製能力（常圧蒸留装置及び各種二次装置）を前提条件として与えることにより、原油生産・輸送、石油精製、石油製品輸送等を統合的に扱うことを可能としている。



図(4)-1 天然ガス貿易フローモデルの概要

また、本サブテーマで推計したシナリオをAIM-CGEモデルの結果等と比較することにより、低炭素社会実現に向けたエネルギーシナリオの側面からのインプリケーションを導出した。検討の全体像を図(4)-2に示す。



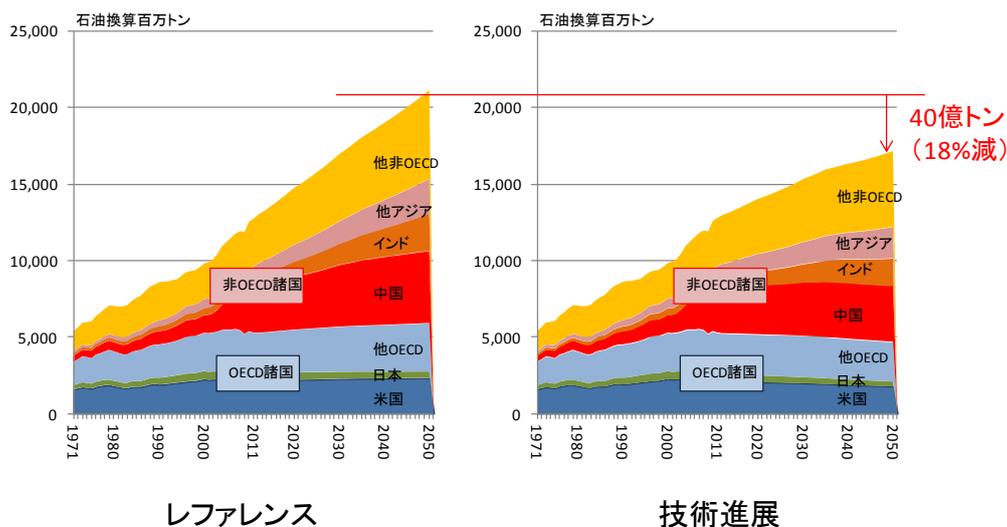
※ 最新実績値を踏まえ、モデル式を修正・更新
 ※ 新たなシナリオのもとに需給を推計

図(4)-2 検討の全体像

4. 結果及び考察

(1) 世界・アジアのエネルギー需給見通しと低炭素化の可能性

世界の一次エネルギー消費は図(4)-3に示す通り、2011年の石油換算131億トンから2050年には同219億トン（2008年比1.7倍増）へ88億トン拡大する。増加量88億トンの内、非OECD諸国が78億トンを占めることから、世界のエネルギー消費の大部分がこれらの国で増加すると言える。中でも中国・インドを中心とするアジア地域の増加が52億トンと、世界のエネルギー消費増加量の6割を占める。技術進展ケースでは、2050年にレファレンスケースに比べて40億トン（18%）の削減となる。うちアジアでの削減は21億トンにのぼり、世界の削減量全体の半分以上を占めることとなる。



図(4)-3 エネルギー需給モデルによる世界・アジアの一次エネルギー消費の見通し

特にアジアにおいては、発電用を中心に廉価な石炭の消費増加が進む。化石燃料のシェアは世界及びアジアで67%及び68%まで低減するが、それでも一次エネルギーの半分以上を化石燃料に依存する構造自体に変化はなく、化石燃料の有効利用は2050年までの期間を通じて必須であることに変わりはない。

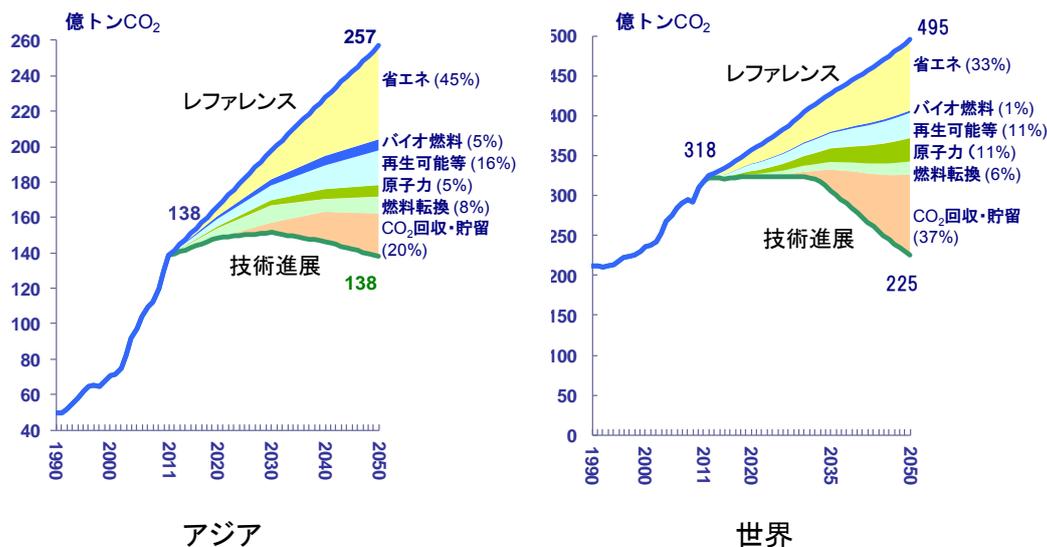
所得の向上に伴う電化の進展や、現在配電網が整備されていない地域への電力供給が進むことにより、電力需要はエネルギー消費全体の伸び率を上回る勢いで増大する。2011年から2050年にかけて、レファレンスケースでは世界の発電量は2.2倍、アジアの発電量は2.8倍に拡大するものと試算される。特に廉価な石炭火力を中心として、化石燃料の利用が拡大し続ける。

技術進展ケースでは、火力比率は世界で44%、アジアで51%まで低減されることとなる。このケースにおいては、2050年には非化石燃料及びCCS付の化石燃料により、アジア・世界の発電部門はほぼ完全にゼロ・エミッション化されることとなる。「電源をゼロ・エミッション化に近づけた上でエネルギー消費の電力化を進める」ということは、先進国・途上国の別を問わずCO₂の大幅削減のために必須な手段であり、このため発電部門における対策の進展は低炭素社会の実現を目指す上で極めて重要な位置を占めると考えられる。

エネルギー起源CO₂排出量は、レファレンスケースでは2011年から2050年までアジアで2.2倍、世界で1.6倍に増大する。一方で技術進展ケースでは、レファレンスケースに比べて2050年にアジアで119億トンの削減（2011年比-1%）、世界で271億トンの削減（2011年比-29%）となる。

2050年のCO₂削減ポテンシャル（レファレンスと技術進展ケースの差分）において、途上国の削減ポテンシャルは先進国に比較して大きいことから、途上国における気候変動対策の強化が重要となることがわかる。なかでも、アジア途上国や中国における削減ポテンシャルが大きい。

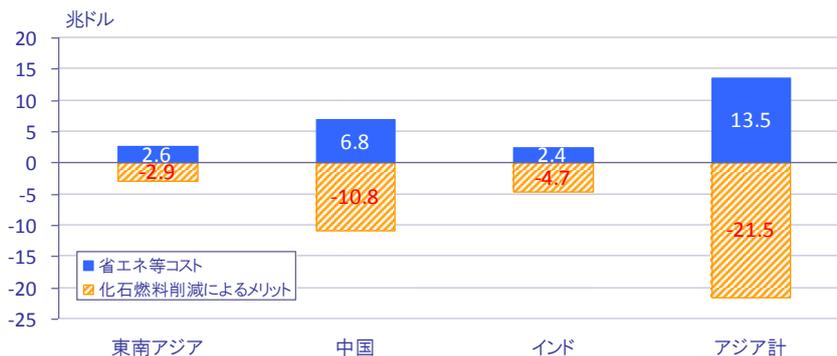
図(4)-4に示すように、技術別には、省エネルギーの促進がCO₂排出量の削減に大きく貢献する（89億トン削減、2050年の総削減量の33%）。再生可能エネルギー導入拡大や、石炭や石油からの天然ガスへ消費をシフトさせる燃料転換（2050年の総削減量の29%）、CCS（2050年の総削減量の37%）も重要な役割を担う。

図(4)-4 エネルギー需給モデルによるCO₂排出量の見通し

レファレンスケースでは世界・アジアの二酸化炭素の排出量は増加を続け、また石油・天然ガス等の資源消費量も増大することから、温室効果ガス削減及び資源制約の両面から、このケースは持続可能ではなく、省エネルギー・CO₂削減のためのより大きな努力が求められると言える。

一方で、現在見通すことのできる先進技術の普及拡大下（技術進展ケース）では、化石燃料の消費量は2035年にピークアウトする。しかし、化石燃料は依然として、2050年の世界のエネルギー消費の大半を占めるため、化石燃料の有効利用、安定供給確保が重要となることに変わりはない。このケースでは省エネ・再生可能エネルギー・原子力・CCS等全ての技術が大きく貢献するため、今後これら全てについて最大限の導入促進を図ることが必須となる。またこのケースにあっても「2050年に世界のCO₂排出量半減」という目標は達成されず、その達成のためには更なる追加対策が必要であり、具体的には原子力発電、再生可能エネルギー、CCS、蓄電池、その他の省エネルギー技術等の各分野において更なる研究開発投資を行い、革新的な技術のブレークスルーを実現することが求められる。

図(4)-5にアジア諸国における省エネ・低炭素化のコスト負担を示す。省エネルギーは機器の買い替え等の費用を必要とする一方で、使用するエネルギー量の減少に伴う調達コストの減少という利益をもたらす。その両者を合わせたネットでの削減費用は対策ごとに異なり、それが正のもの・負のもの両方が存在するが、それらを全体として、長期の視点で捉えた場合には、ここに示すように利益が負担を上回り、ネットで負のコストとなる。このため、一般論としては省エネルギー対策は、経済合理性の上からも、上記の自給率低下の問題に対処し得る有力な手段となる、と行うことができる。但し個々の対策の全てがネットでコスト減となるわけではない上に、コスト減となる省エネ対策についても、その最大限の実現のためには強い政策的支援が必要である。特別な政策的措置なしに省エネルギーの十分な進展は不可能であり、国際的な情報の共有や技術的な支援を含めた持続的な取組みが求められる。



図(4)-5 省エネ・低炭素化対策によるコスト負担（2050年までの累積）

(2) 非在来型資源開発の影響

地球環境問題や省エネルギーの重要性は多くの人が認識しているにもかかわらず、現実として世界のエネルギー需要は予測を上回る勢いで増加を続けている。但し、エネルギー生産の側でも顕著な増加要因が発生している。それは北米を中心として進むシェールガス・シェールオイルの生産拡大である。従来増加に歯止めがかかっていた同国の天然ガス生産量は2006年から、また低下傾向を隠せなかった原油生産量は2009年から、それまでの趨勢を一転して生産量を拡大しており、それにより世界のエネルギー需給に大きな影響を与えている。

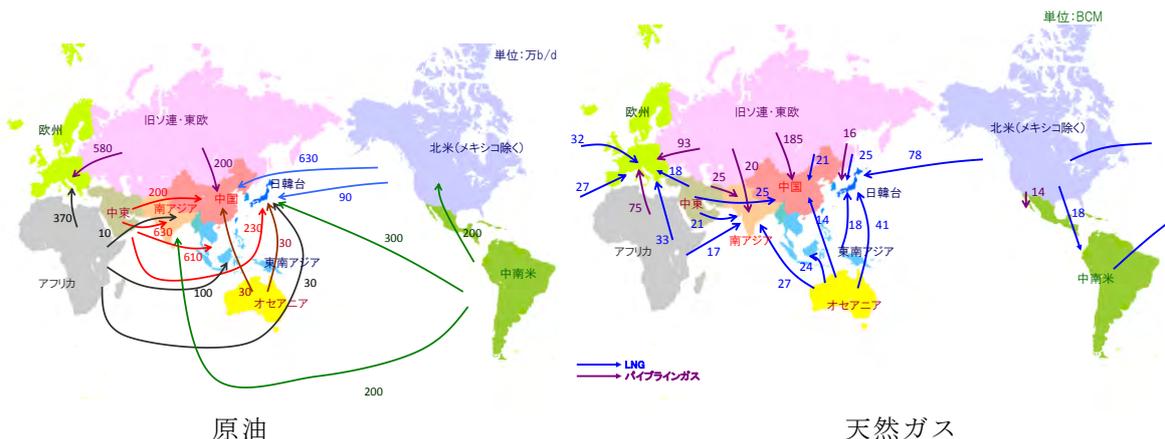
北米においては今後も引き続きシェールガス・シェールオイルを中心とした非在来型天然資源の開発が見込まれると同時に、それ以外の地域においても生産の拡大が目指されている。例えば中国には米国（665Tcf）を遥かに上回る1,115Tcfのシェールガスが埋蔵されていると言われ、政府は2020年までにシェールガスの生産量を1,000億 m^3 まで拡大することを目標としている。但し生産地が需要地から遠く、生産・輸送に大規模なインフラが必要になること、シェールガス生産に必要な水資源の調達に課題があることなどから、計画通り生産量が拡大するか否かは未だ不明である。

表(4)-1に示す通り、非在来型資源開発の最大限の進展を想定した開発促進ケースでは、2040年にシェールオイル等の非在来型石油資源の生産量は2,370万b/d、シェールガス等の非在来型天然ガス資源の生産量は2,211 Bcm（billion cubic metres）まで拡大する。特に、アジアでのシェールガスの生産拡大余地が大きいのが特徴である。

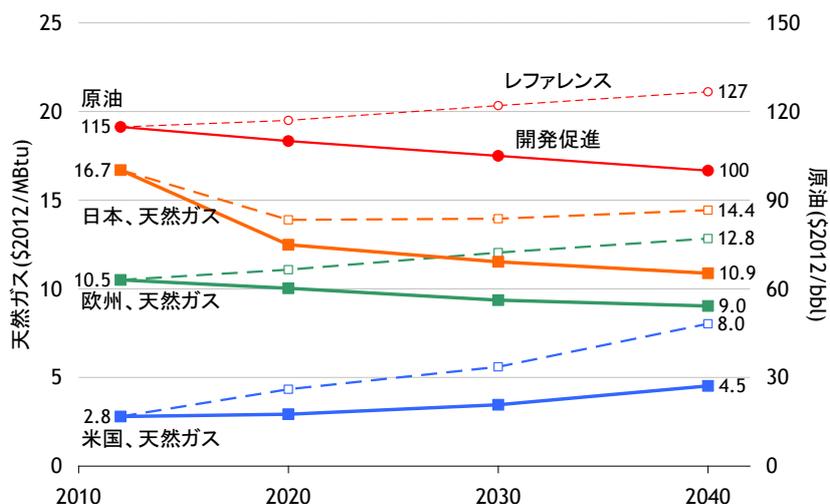
しかしアジアで最大限シェールガスの生産拡大が進んだとしても、域内の需要増加をそれで賄うことはできない。このため、開発促進ケースにあってもアジアへの輸入は拡大を続ける。但しその調達先は大きく変化し、図(4)-6に示す通り原油・天然ガスともに北米からアジアへの貿易が拡大することになる。世界的な生産量の拡大と供給元の多様化は、アジアへのエネルギー輸入価格を低減させる。即ち図(4)-7に示す通り、レファレンスケースでは2040年の原油輸入価格は127ドル/bbl、LNG輸入価格は14.4ドル/MBtu（共に2012年価格）と見込まれるのに対し、非在来型資源開発促進ケースでは原油は21%低い100ドル/bbl、LNGは24%低い10.9ドル/MBtuと予測される。

表(4)-1 世界の石油・天然ガス生産量見通し
 石油, Mb/d 天然ガス, Bcm

	2011	2040		2011	2040	
		レファレンス	開発促進		レファレンス	開発促進
OPEC	35.5	53.2	42.6	北米	808	1,043
中東	25.9	37.7	29.2	内非在来	364	782
中東以外	9.6	15.5	13.4	中南米	218	449
内非在来	0.0	0.4	2.0	内非在来	0	127
非OPEC	48.2	61.9	71.1	中東	523	871
北米	11.5	17.0	25.6	内非在来	0	24
内非在来	0.0	3.5	12.0	欧州	287	300
中南米	7.1	10.8	12.7	内非在来	0	19
内非在来	0.0	0.8	4.5	旧ソ連	868	1,229
中東	1.6	1.6	1.3	内非在来	0	66
欧州・旧ソ連	17.4	20.6	18.0	アフリカ	200	420
内非在来	0.0	1.0	3.0	内非在来	0	80
アフリカ	2.4	3.0	3.0	アジア	427	907
アジア	7.8	8.0	9.0	内非在来	0	241
内非在来	0.0	1.2	1.2	豪州	51	193
豪州	0.5	1.0	1.5	内非在来	6	103
内非在来	0.0	0.5	1.0	世界計	3,384	5,411
プロセスケイン	2.1	3.5	3.4	内非在来	370	1,442
世界計	85.8	118.5	117.0			2,211
内非在来	0.0	7.4	23.7			



図(4)-6 非在来型資源開発促進シナリオにおける原油・天然ガス貿易フロー（アジア：2040年）



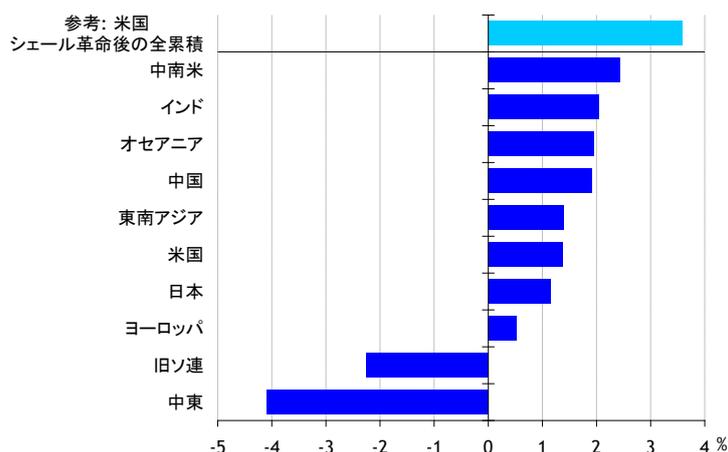
図(4)-7 非在来型資源開発促進シナリオにおける原油・天然ガス価格の変化

非在来型資源の開発促進による経済効果を、開発促進ケースとレファレンスケースとの差として示すと図(4)-8の通りとなる。但しここで、レファレンスケースでも北米ではかなりの、それ以外の地域でも一定程度の非在来型資源の開発が進むが、その分の経済効果は評価の外に置かれることに注意する必要がある。

天然ガス、石油の潤沢な生産とそれに伴う国際エネルギー価格の低廉化により、輸入国の経済的負担は軽減される。例えば、米国は2011年において石油・天然ガス純輸入に3,300億ドル（2012年価格）を費やしていたが、純輸出ポジションを確立する2040年には1,800億ドル以上の受取に転じる。中国の2040年の石油・天然ガス純輸入額は、レファレンスケースの7,800億ドルから開発促進ケースでは5,400億ドルに低下する。日本では非在来型資源の開発はほとんど見込めないが、天然ガス需要の増大を考慮しても、国際エネルギー価格の下落により、石油・天然ガス純輸入額は同じく2,000億ドルから1,600億ドルへ低減する。

非在来型資源の開発は、石油・天然ガス業とそれらの関連産業の拡大につながる。こうした産業の勃興は所得の増大を通じて、当該国の消費・投資を喚起し、さらに乗数効果により国内生産額は石油・天然ガスの増産額を上回る増加となる。エネルギー価格の低減は、化学工業・鉄鋼業などエネルギー多消費型産業を中心に国際競争力の強化に寄与する。外需の取り込みによる生産拡大、製造拠点の拡張・国外からの移転もまた、経済を拡大させる効果を持つ。すなわち、非在来型資源の開発促進国においては、エネルギー純輸入額の減少に加えて、石油・天然ガス産業および関連産業の拡大、国内エネルギー価格低廉化という3重のメリットを起点とする好循環が見込まれる。

一方、今回の試算ではメタンハイドレートの大規模生産を見込んでいない日本のような国においても、程度は相対的に小さいとはいえエネルギー輸入価格の低廉化と、米国などの非在来型資源開発国の経済・産業活動上ぶれに伴う輸出拡大という間接的な効果は期待できる。これらのことから、非在来型資源の開発促進は主要地域の実質GDPを2040年において1~2%拡大させる。非在来型資源の開発促進が追加的に大きい国・地域、非OECD諸国などエネルギー効率が悪くエネルギーコストのウェイトが大きい国・地域での押し上げ効果が大きい。米国のGDPは1.4%押し上げられる。間接的な効果を主たる出発点とする日本のGDPの拡大は、これより小さい1.1%である。一方、石油・天然ガスの輸出先の一部喪失と価格下落により、伝統的なエネルギー生産国である中東、旧ソ連のGDPはそれぞれ4.1%、2.3%下押しされる。その中東、旧ソ連の外需減少の影響が相対的に大きいヨーロッパは、GDPの拡大が0.5%に減殺される。世界全体のGDPとしては、1%程度の上ぶれとなる。



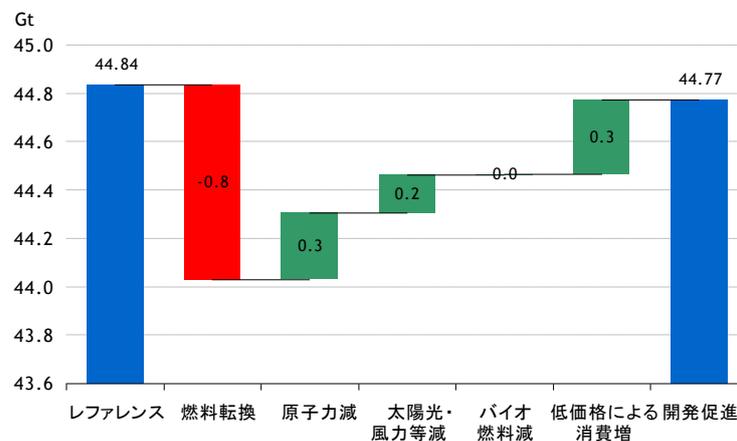
図(4)-8 非在来型資源増産による経済影響（開発促進ケース）

このように非在来型資源開発によって、一部の伝統的生産国を除き正の経済効果が見込まれる。それとともに、米国の例ではシェールガスの開発によって石炭火力発電が天然ガス火力発電に代替され、エネルギー起源CO₂排出量を低減させる効果が見られている。このため、非在来型資源開発は少なくとも短期的には、経済合理性と地球温暖化対策との二兎を追うことのできる技術開発として、好意的に受け止められることが多い¹⁾。では、2050年までの長期にわたるアジアでの低炭

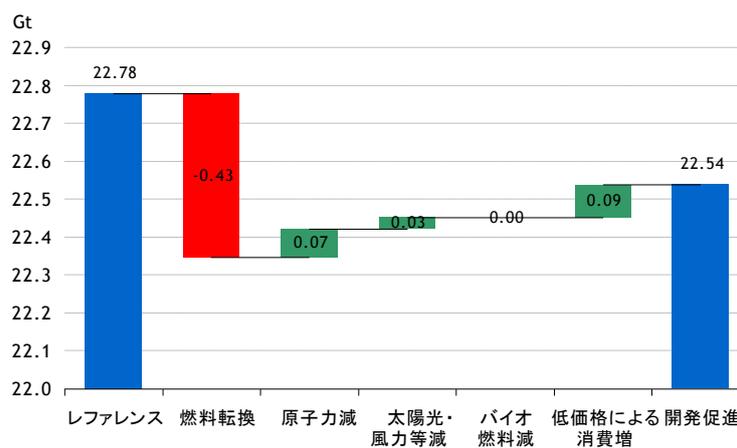
素社会実現という観点から見た場合、非在来型資源開発の促進はどのように捉えられるであろうか。

図(4)-9及び図(4)-10は2040年の世界・アジアのエネルギー起源CO₂排出量の変化を示したものである。基準となるレファレンスケースに比べ、非在来型資源開発促進ケースでは石炭の利用が天然ガスに代替されることにより、世界で800万トン、アジアで430万トンのCO₂排出量が削減される。しかし一方で原子力や再生可能エネルギー等の導入が阻害され、またエネルギー価格の低下により需要そのものが増加するために、実際のCO₂排出量削減はアジアでは240万トン程度に止まる。世界全体ではアジアほど石炭火力の比率が高くないため、燃料転換によるCO₂排出削減の効果は更に小さく、削減分の9割以上が反動増によって帳消しにされる。

米国ではシェールガス・シェールオイルの開発促進により特に国内の天然ガス価格が極度に低減し、既存の原子力発電所の幾つかが経済合理性を失って廃炉とされると同時に、オバマ政権発足時の野心的な再生可能エネルギー導入計画が大幅に遅延している。このように非在来型資源開発の進展に伴い低炭素電源の導入が阻害される可能性があることは、米国の事例からみて明白である。また非在来型資源の開発により短期的にエネルギー需給が緩和するため、各国政府は省エネルギー技術普及促進の努力を緩める危険性がある。このように、一見すると各国に大きな利益をもたらす非在来型資源開発は、低炭素社会実現の観点からは逆に障害の一つとなり得るものであると言える。



図(4)-9 非在来型資源開発によるCO₂排出量への影響（世界：2040年）



図(4)-10 非在来型資源開発によるCO₂排出量への影響（アジア：2040年）

(3) 低炭素化によるエネルギー・セキュリティ向上効果

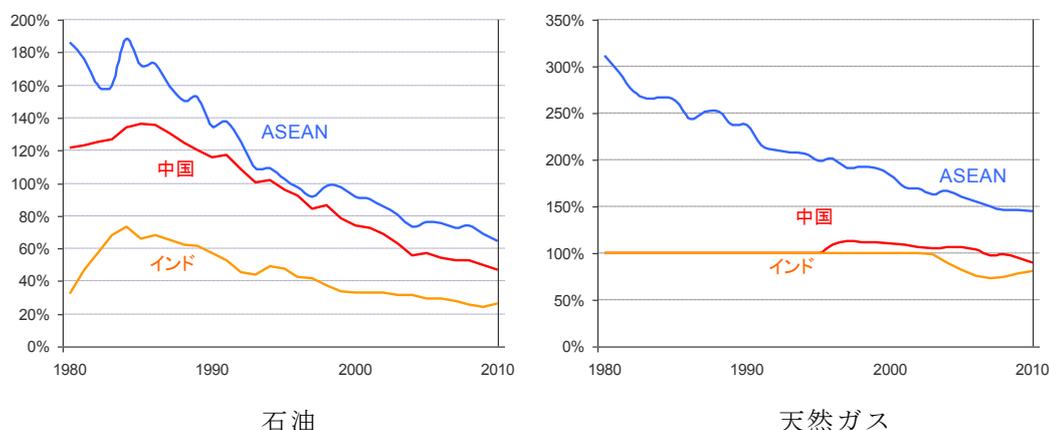
1) アジアの化石燃料消費とエネルギー・セキュリティ

エネルギー供給の脱炭素化は、温室効果ガス排出量削減のみでなく、エネルギー・セキュリティ

イ確保の観点からも重要である。アジア各国の政府が脱炭素化に向けた政策を積極的に進める背景として、このエネルギー安定供給の問題があることは注目に値する。

従来、アジアでは石油はインドネシア・中国・ブルネイなどを中心に生産が行われ、その自給率は高い水準にあった。しかし需要が急速に増加する一方で生産は大幅には増加せず、中国は1990年代前半に、インドネシアは2000年代に入ってすぐに石油の純輸入国に転落した(図(4)-11)。2000年から2010年までの10年の間にその自給率は中国で72%から47%、インドで33%から26%、インドネシアで124%から72%まで急低下している。石油の純輸出国は既にブルネイ・マレーシアの二カ国のみとなっており、そのマレーシアにおいても国内需要の増加により石油の自給率は2000年の169%から2010年に132%と、着実に低下を続けている。

天然ガスについては、従来ほぼ天然ガスの自給を続けていた中国は2005年から純輸入を拡大しており、2010年までの5年間で既に自給率は87%まで低下した。インドも2003年から天然ガスの輸入を開始し、2010年の自給率は既に80%まで低下している。ASEAN諸国は豊富な国内資源により日本や韓国への輸出を続けており、2011年における日本のLNG輸入量のうちマレーシア・インドネシア・ブルネイの三カ国が40%近くを占めるが、そのASEAN諸国においても天然ガスの自給率は1990年の238%から2010年に145%と着実な低下を示している。



図(4)-11 アジアの石油・天然ガス自給率の推移

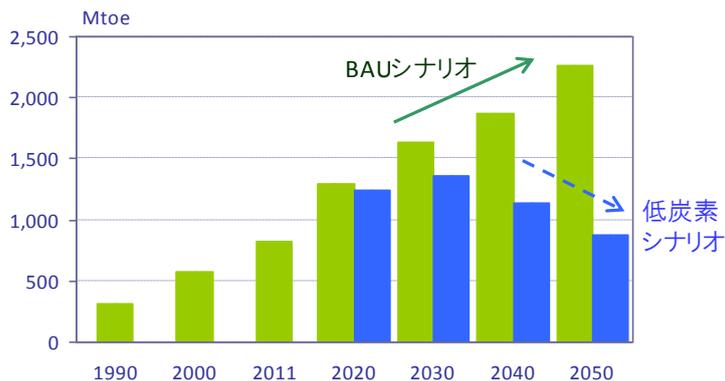
即ち現在は、かつてエネルギー輸出地域であったアジアが一転して世界最大のエネルギー輸入地域に変貌しつつある時代であり、この観点から各国は化石燃料の利用を抑えるためにあらゆる努力を行っている。この観点から以下、低炭素化(脱化石化)がアジアのエネルギー・セキュリティに与える影響を評価する。

ここで評価対象とするシナリオは、AIM-CGEモデルによるBAUシナリオ・低炭素化シナリオと、BAUに対して非在来型資源開発促進を想定したシナリオである。この非在来型資源開発促進シナリオでは、エネルギー需要はBAUと同等のままで、エネルギー供給側において前節に述べた非在来型資源開発促進ケースと同等まで原油・天然ガス生産が拡大するものと想定し、低炭素化による効果と非在来型資源開発による効果とを比較した。

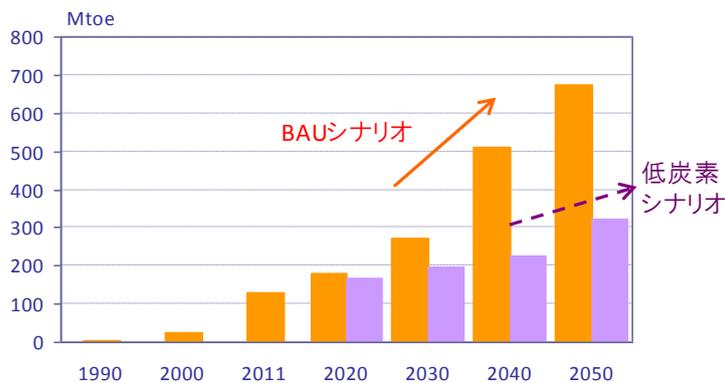
2) アジアのエネルギー純輸入量見通し

アジアへの石油・天然ガス純輸入量見通しを図(4)-12及び図(4)-13に示す。アジアの石油純輸入量は1990年の320Mtoeから、2011年には820Mtoeまで拡大している。BAUシナリオでは需要の急増に伴い、2050年にはこれが2,260Mtoeまで増加する。同様に天然ガスの純輸入量は、1990年の5Mtoe、2011年の130Mtoeから、2050年には680Mtoeまで拡大する。これに対し、低炭素シナリオでは石油消費量の劇的な削減によりアジアへの純輸入量は2030年代から減少に転じ、2050年には2011年レベルを若干上回る程度の880Mtoeとなる。天然ガスについては低炭素シナリオでも需要が急増するため純輸入量は減少には転じないが、2050年の純輸入量はBAUシナリオの半分弱の320Mtoeとなる。

このように、低炭素化の進展はアジアのエネルギー輸入量減少に顕著な影響を及ぼし得る。ただしその実現のためには、後述する通り、省エネルギー技術の普及拡大のみならずエネルギーサービス需要側での抜本的な変革が必要であることを忘れてはならない。

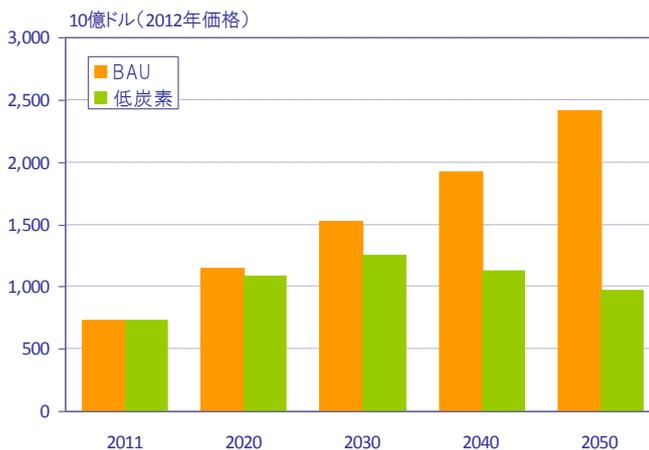


図(4)-12 アジアの石油純輸入量見通し



図(4)-13 アジアの天然ガス純輸入量見通し

図(4)-14は2050年までの年間化石燃料輸入額を示したものである。BAUシナリオでは年間の化石燃料輸入額は2050年まで増加を続け、2.4兆ドル（2012年実質価格）に達する。これは、概ねGDPの4%程度にも相当する規模である。それに対し、低炭素シナリオでは2050年の輸入額は1兆ドル弱となる。



図(4)-14 アジアの化石燃料輸入額（年間）

3) アジアのエネルギー自給率見通し

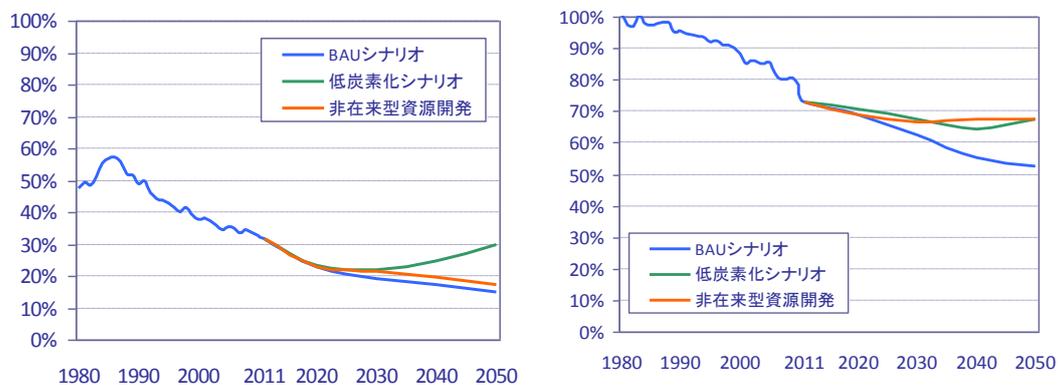
アジアの石油及び天然ガスの自給率見通しを図(4)-15及び図(4)-16に示す。石油自給率は1980年代には50%強であったがその後低下を続け、2011年には31%となっている。今後も需要が拡大する一方で生産の大幅増加は見込みにくく、BAUシナリオでは2050年の石油自給率は15%まで低下する。天然ガスについては1980年頃にはほぼ自給の状態にあったが、やはり低下を続けて2011年には73%

となり、BAUシナリオでは今後も急速に低下が続くことにより2050年には53%となる。

これに対して、シェールガス・シェールオイルの開発が促進されることによって自給率の向上を期待することができる。シェールガス・シェールオイルの生産量が最大限拡大すると想定した開発促進シナリオでは、2050年の石油自給率はBAUシナリオの15%から17%まで上昇する。但しそれでも、現状から更に自給率低下が進む状況には変りはない。

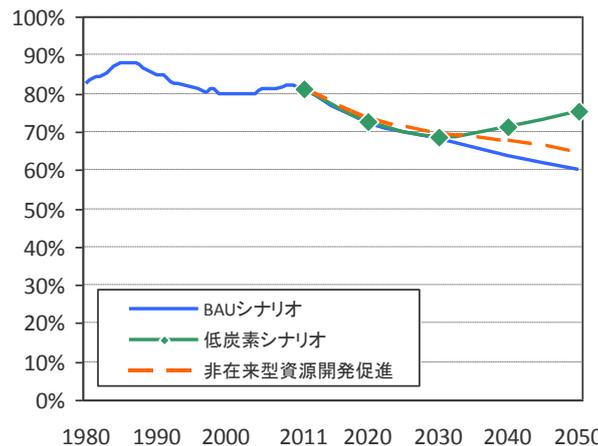
一方で、非在来型資源の開発を行わずとも、低炭素化の進展により需要が削減されれば、自給率向上が果されることになる。上記のように低炭素化シナリオでは2030年代に石油の純輸入量は減少に転じる。これに伴い、石油自給率は2030年の22%程度を極小値として上昇に転じ、2050年には2011年を若干のみ下回る30%まで回復することになる。即ち、非在来型資源開発の影響よりも、省エネルギー・低炭素化の影響の方がはるかに大きい。このことから、仮に気候変動の問題がなかったとしてもアジア各国が低炭素化に向けた施策を実行するインセンティブは十分にあると言える。

天然ガスについては、2050年にBAUシナリオの53%に対し、低炭素化シナリオで67%、非在来型資源開発促進シナリオで68%まで自給率が上昇する。特に中国のシェールガスは米国を越える世界の埋蔵量を有すると言われ、その資源を最大限利用した場合の自給率向上効果は大きい。但しそれと同等レベルの自給率向上が低炭素化によって見込まれることは重要であり、その努力の継続が望まれる。



図(4)-15 アジアのエネルギー自給率(石油) 図(4)-16 アジアのエネルギー自給率(天然ガス)

図(4)-16はアジアにおける一次エネルギー供給全体の自給率である（ここでは原子力及び再生可能エネルギーは全て自給率100%としてカウントしている）。アジアではエネルギー利用に占める石炭の比率が高く、そのために1980年代には80～90%、2011年時点でも81%と高い利用比率を維持している。しかし今後、気候変動問題や中国における天然ガスへの燃料転換政策などから石炭のシェアは減少し、更に上述のように石油や天然ガスの自給率自体も低下することから、BAUシナリオでは2050年に自給率が60%まで低下する見通しである。巨大なエネルギー純輸入国として現れるのは従来の日本・韓国といったOECD諸国ではなく、中国・インド・インドネシア等の本来豊富なエネルギー資源を有しているはずだった諸国であり、日本や韓国はアジア域内からのエネルギー調達が難しくなるとともに、中東・アフリカ・豪州等のエネルギー資源をめぐってアジア各国が争奪を行う状況となる。



図(4)-16 アジアのエネルギー自給率 (一次エネルギー計)

非在来型資源開発促進が最大限進んだ場合、2050年のエネルギー自給率は64%まで上昇する。しかしそれよりも大きな自給率向上は、省エネルギー・低炭素化の実現によって行われ得る。即ち、低炭素化シナリオにおいては非在来型資源の更なる開発を前提としなくても、2050年に75%のエネルギー自給率を維持することができる。

現在安価な石炭を多く利用するアジア諸国にとって、低炭素化への努力はエネルギーコストを上昇させ、自給率の維持を脅かす一因として受け取られることもある。しかし長期の目を見た場合には、低炭素化なくしてエネルギー自給率の維持はあり得ない。

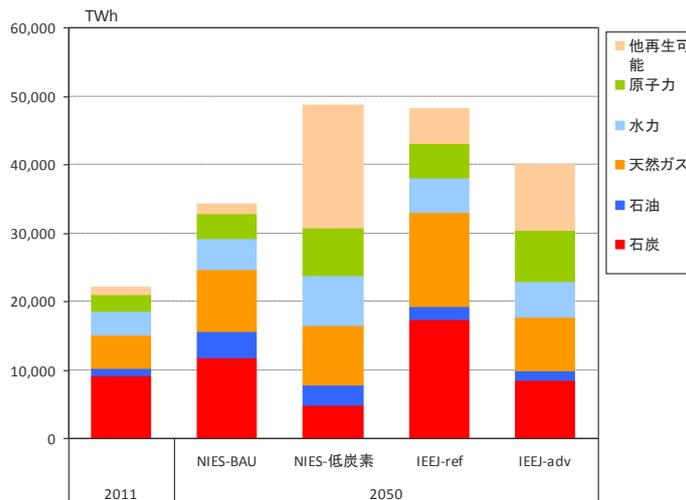
前節で述べた非在来型資源開発促進ケースのように、アジア各国が短期的視野のもとにエネルギー政策を進めた場合、低炭素社会実現への道のりは遠ざかることが懸念される。ここで必要となるのは、より長期的な視点である。アジア諸国におけるレファレンスケース相当の自給率低下はアジアを中心に世界各国によるエネルギー争奪競争が激化することを意味しており、その回避は大きな政策的課題であると言える。

非在来型資源開発促進シナリオでは2050年のアジアのエネルギー自給率は64%まで向上するが、それを遥かに上回る自給率の向上が、世界でCO₂半減を達成するシナリオによってもたらされる。このように、長期の視点に立って初めて、エネルギー政策と地球環境対策とが同一の方向を向くものとなる。アジア各国が決して目先の動向に捉われることなく、冷静かつ大胆な政策を着実に進めることが求められる所以である。

(4) モデル間の比較と低炭素社会実現に向けたエネルギー利用のあり方

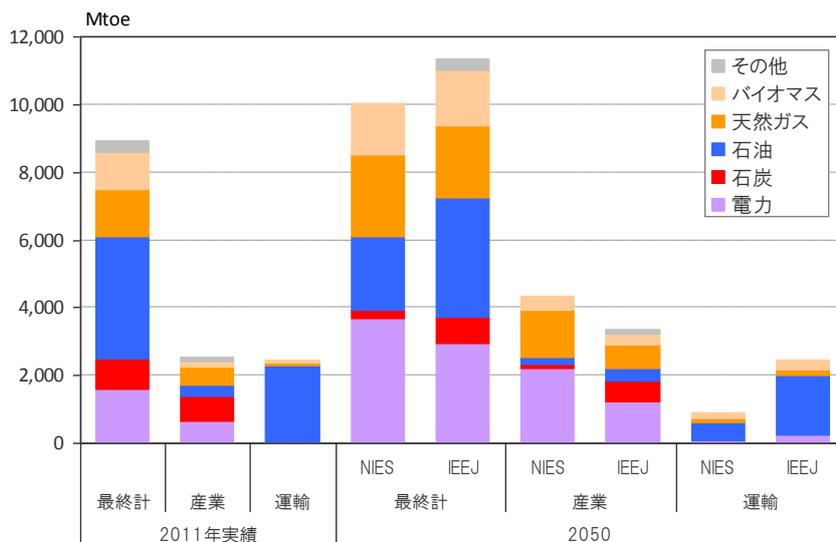
上述のように、計量経済モデルによる試算結果では、「2050年に世界で半減」の目標達成には及ばない。一方で、AIM/CGEモデルの結果からは、2050年に世界でGHGを半減する姿がバックキャスト的に描かれている。これらの試算の比較を行うことにより、2050年半減を達成するために何が必要であるかについて、インプリケーションを得ることができる。

図(4)-17は世界の発電構成を示したものである。図中、「NIES-BAU」及び「NIES-低炭素」はAIM-CGEモデルによる試算結果、「IEEJ-ref」及び「IEEJ-adv」は計量経済モデルによる試算結果(レファレンスケース及び技術進展ケース)を示している。NIES-BAU及びIEEJ-refではともに、2050年における火力発電比率が70%程度となっている。それに対し、NIES-低炭素及びIEEJ-advでは再生可能エネルギー及び原子力の発電量が増加することにより、火力シェアはそれぞれ34%及び44%まで低下している。更に重要なことは、これらのケースでは火力発電もほぼ完全にCCS技術によりゼロエミッション電源となっていることが想定されていることである。即ち、2050年に世界半減は勿論のこと、2011年比29%減程度の削減目標を達成しようとした場合でも、原子力発電・再生可能エネルギー発電及びCCS付き火力発電によって電源のほぼ100%を賄うことが求められる。BAUケースでは7割が火力発電(CCSなし)のままであることを考えると、この実現は容易であるとは言えない。

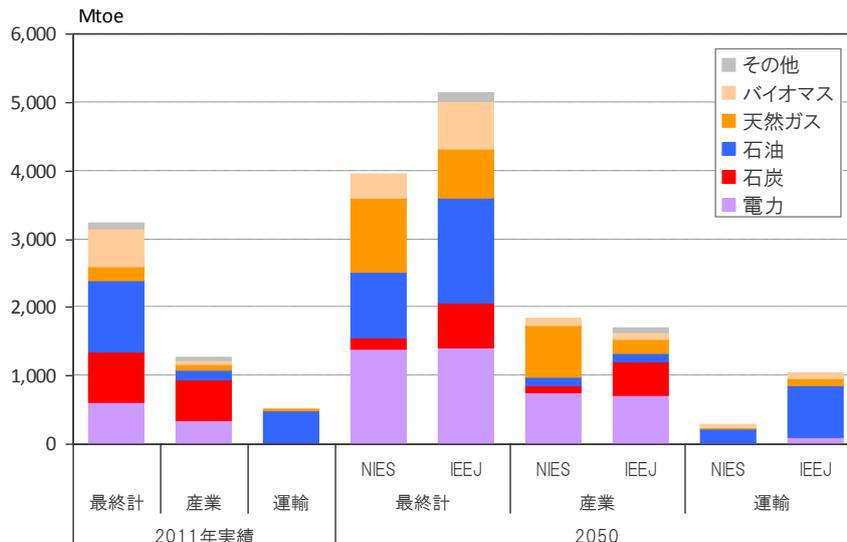


図(4)-17 世界の発電構成

図(4)-18及び図(4)-19は、世界とアジアの最終エネルギー消費構成を示したものである。ここで「NIES」はAIM/CGEモデルによる低炭素シナリオの試算結果、「IEEJ」は計量経済モデルによる技術進展ケースの試算結果を示している。



図(4)-18 最終エネルギー消費構成（世界）



図(4)-19 最終エネルギー消費構成 (アジア)

NIES、IEEJともに2050年には、特に産業部門において電化が大幅に進展していることが特徴として挙げられる。即ち2011年の産業部門の電化率は世界で26%、アジアで27%であったのに対し、2050年には世界ではNIES 51%、IEEJ 36%、アジアではNIES 42%、IEEJ 42%まで上昇している。これは、上述の通り発電部門がほぼ完全にゼロ・エミッション化されていることと関連していると考えられる。即ち、発電部門をゼロ・エミッション化した上で電化を進展させ、最終消費における電力比率を可能な限り高めることが、低炭素社会実現のための大きな手段であることが明確にわかる。

NIESとIEEJとの差について言えば、産業部門での発電以外のエネルギー消費構成の差と、運輸部門のエネルギー消費量の差が顕著な相違として挙げられる。

まず産業部門については、2011年実績での石炭消費比率世界29%、アジア48%に対し、2050年にNIESでは世界で2%、アジアで5%と、石炭の比率が極度に小さくなっている（IEEJでは世界19%、アジア29%）。これは、IEEJ（計量経済モデルによる分析）では既存技術及び将来の普及を概ね見込み得る技術のみの導入を想定し、それによる省エネルギーの進展を考慮しているのに対し、NIES（AIM/CGEモデルによる分析）ではエネルギーサービス需要側での変化、即ち資源の循環的利用や、鉄鋼部門における電炉比率の向上などを明示的に織り込んでいるためであると思われる。

より顕著な相違は運輸部門において見られる。運輸部門は自動車用燃料をはじめとする石油消費比率が高いことが大きな特徴であり、そのシェアは2011年実績では世界で93%、アジアで94%となっている。NIES、IEEJともに将来にわたる次世代自動車の急速な進展を想定しているものの、依然として高い石油比率が継続する状況に相違はなく、2050年にNIESでは世界で59%、アジアで73%、IEEJでは世界で71%、アジアで72%となっている。大きな相違はエネルギー消費量そのものの差である。即ち、IEEJでは輸送需要は変化せず、技術導入による燃費等の最大限の改善を見込んでいるのに対し、NIESでは輸送需要が大きく低下していることが大きな相違であると考えられる。ここでも産業部門と同じように、単に先進技術の導入による省エネルギー効果のみでなく、都市のコンパクト化やモーダルシフト等、エネルギーサービス需要側での抜本的な改革が可能となるか否かが、「CO₂を世界で半減」という目標を達成できるかどうかを左右するものと考えられる。現状でエネルギー消費量の増加を続けている世界及びアジアがいかにして低炭素化へのパスへと転換するかは大きな課題であり、今後も最新の状況を踏まえつつ、その実現可能性に関する評価を続けることが必要であると思われる。

なお、2011年のエネルギー消費量の実績値は、2005年を基準年としたAIM/CGEモデルによる分析の2011年予測値よりも高い傾向が見られる。即ち、アジア及び世界のエネルギー消費量は従来の予想を上回る勢いで増加している。このことはモデル分析上の課題を提示するとともに、低炭素社会実現のためにはこれまでにない対策の深化により、エネルギー需給構造の低炭素化を早急に進める努力が必要であることを示している。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

世界各地域の詳細なエネルギーバランス表に基づいた2050年までの長期の定量モデルを開発することにより、低炭素社会実現のためのエネルギーシナリオに特化した定量的検討を行うことを可能とした。また、そのモデルを用いて世界各国・地域別に2050年のエネルギー需給の姿を描くことで低炭素社会実現のためのエネルギーシナリオを考察し、今後の検討のための課題を整理した。

今後の世界各国の環境政策・技術進展を織り込んだケースでも、CO₂排出量は2008年比で41%減（1990年比では19%減）に止まり、現在国際的な合意の一つとされている「2050年に世界全体で半減」には及ばない。このケース相当の想定で世界で半減をするためには、CCSの導入量を電力部門のみならず産業部門にまで大幅に広げ、年間170億tCO₂以上まで拡大する必要があると試算された。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

環境省「火力発電所の審査高度化に係る検討会」において、本研究の成果の一部である日本の2050年までの発電構成見通しの試算結果が提示された（「火力発電所の審査高度化に係る検討会報告書」の3.1.1(2)「日本エネルギー経済研究所の削減シナリオ」に記載されている）。

<行政が活用することが見込まれる成果>

CCS等の1つの対策に過度に依存するシナリオは、全体の削減対策やエネルギー需給のバランスを歪めるものになると同時に、万一その対策が順調に導入されなかった場合に他の手段による代替が効かなくなる、という危険性を有している。このため、低炭素社会の実現のためには、上記ケースで見込んだ以上に環境対策・技術の進展を積極的に促す必要がある。具体的には、水素還元製鉄等、新しいさまざまな技術の開発・導入を促進し、アジア地域を中心とした世界におけるその普及に努めるとともに、需要面においても循環型社会の構築等、更に抜本的な変革を図る必要がある。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき項目はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 松尾雄司・小宮山涼一・永富悠・末広茂・沈中元・森田裕二・伊藤浩吉：エネルギー・資源, 32 (5) (2011)
「2050年の低炭素社会実現に向けたアジア・世界のエネルギー需給見通しに関する分析」
- 2) 松尾雄司・村上朋子：日本原子力学会和文論文誌, 11(4) (2012)
「福島第一原子力発電所事故後の世界の天然ウラン・ウラン濃縮役務貿易フローの長期見通し」
- 3) Y. Matsuo and K. Ito: Global Environ. Res., 17(1), 89-98 (2013)
“Energy Scenario Development toward a Low-Carbon Society”
- 4) Y. Matsuo, A. Yanagisawa and Y. Yamashita: Energy Strategy Rev., 2, 79-91 (2013)
“A global energy outlook to 2035 with strategic considerations for Asia and Middle East energy supply and demand interdependencies”

<査読付論文に準ずる成果発表>（対象：社会・政策研究の分野）

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) 松尾雄司・小宮山涼一・永富悠・柴田善朗・末広茂・沈中元・森田裕二・伊藤浩吉:第 27 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 東京 (2011)
「2050 年までの低炭素社会に向けたエネルギー需給シナリオ」
- 2) 松尾雄司・永富悠・柴田善朗・柳澤明・山下ゆかり・伊藤浩吉:第 29 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 東京 (2013)
「アジアのエネルギーミックスと長期需給見通し」
- 3) 松尾雄司・柳澤明・山下ゆかり・伊藤浩吉:第 30 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 東京 (2014)
「2040 年までの世界のエネルギー需給見通しと非在来型資源開発のインパクト」

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) シンポジウム、セミナー等の開催 (主催のもの)

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) G.Prins et al., "The Vital Spark - innovating clean and affordable energy for all-"
<http://www.lse.ac.uk/newsAndMedia/news/archives/2013/07/TheVitalSpark.aspx>

(5) インドにおける低炭素社会シナリオの開発と政策支援に関する国際交流研究 (EFF)

(独) 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
(Maulana Azad National Institute of Technology, Bhopal, India)

Aashish Deshpande

< 研究協力者 >

Indian Institute of Management, Ahmedabad, India
School of Planning and Architecture, Bhopal, India

P.R.Shukla
Manmohan Kapshe

平成22～23年度累計予算額：5,000千円

(うち、平成25年度予算額：0千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

世界中の都市における活動は温室効果ガス排出の主要な要因となっており、インドの都市も例外ではない。低炭素化への道を切り開くことによって、インドの都市は気候変動の緩和に大いに寄与できる。本研究は、インド中央部に位置し、100万人超の人口を有する都市で、中規模都市を代表するボパールを対象に、民生、運輸および産業の各部門について低炭素社会シナリオを開発することを目指すものである。本研究では、ボパールの将来シナリオを記述する際に影響をもたらすドライビングフォースについて、その傾向と今後の気候変動緩和策に関する課題を把握し、経済、環境、技術、社会および統治について分析を行い、2035年を対象としたなりゆきシナリオと低炭素社会シナリオの2つを開発した。特に、民生、運輸、および産業の各部門における急速な成長、生活様式の変化、環境保全の必要性、教育、使用者に優しい技術の適用と持続可能性について検討を行うとともに、低炭素社会の実現に資する施策の検討を、本テーマで開発されたExSS（拡張型スナップショットツール）を用いて行った。その結果、ボパールにおける二酸化炭素排出量は、2005年の250万tCO₂から2035年にはなりゆきシナリオで1200万tCO₂へと増加するが、低炭素社会シナリオでは700万tCO₂となると計算された。

[キーワード]

ボパール市、低炭素社会、緩和策、シナリオ開発、シミュレーション

1. はじめに

世界は20世紀初頭以来、急速な都市化を経験してきた。1950年と2007年の間に、世界の都市人口は7億人から33億人に増大し、世界人口に占める都市人口の比率は、1950年に29%であったが2007年には49%へと増加した。この傾向は今後も続くと予想され、2050年までに、世界の人口の70%が都市部に住むと予想されている。こうした都市化は、一方では経済発展の原動力であったが、他方では複数の環境問題の原因となってきた。インドの都市も、環境を犠牲にしながら急速な産業化、都市化および交通網の発展を遂げてきた。インドでは民生家庭部門が最大のエネルギー消費主体であり、さらにクリーンで効果的な技術がほとんど浸透していない中で、消費パターン、収入水準および技術の選択は多様であるため、状況がより複雑化している。この状況は、都市地域への多大な人口流入、消費パターンの変化および無計画な都市開発と産業開発によって、一層悪化することが見込まれている。こうした状況の中、都市を対象に将来の経済活動に対するエネルギー消費量や、二酸化炭素排出量などを定量的に明らかにするとともに、より積極的な温暖化対策による効果を定量化することは、地方自治体の政策決定者が政策を立案する上で重要な情報となりうる。

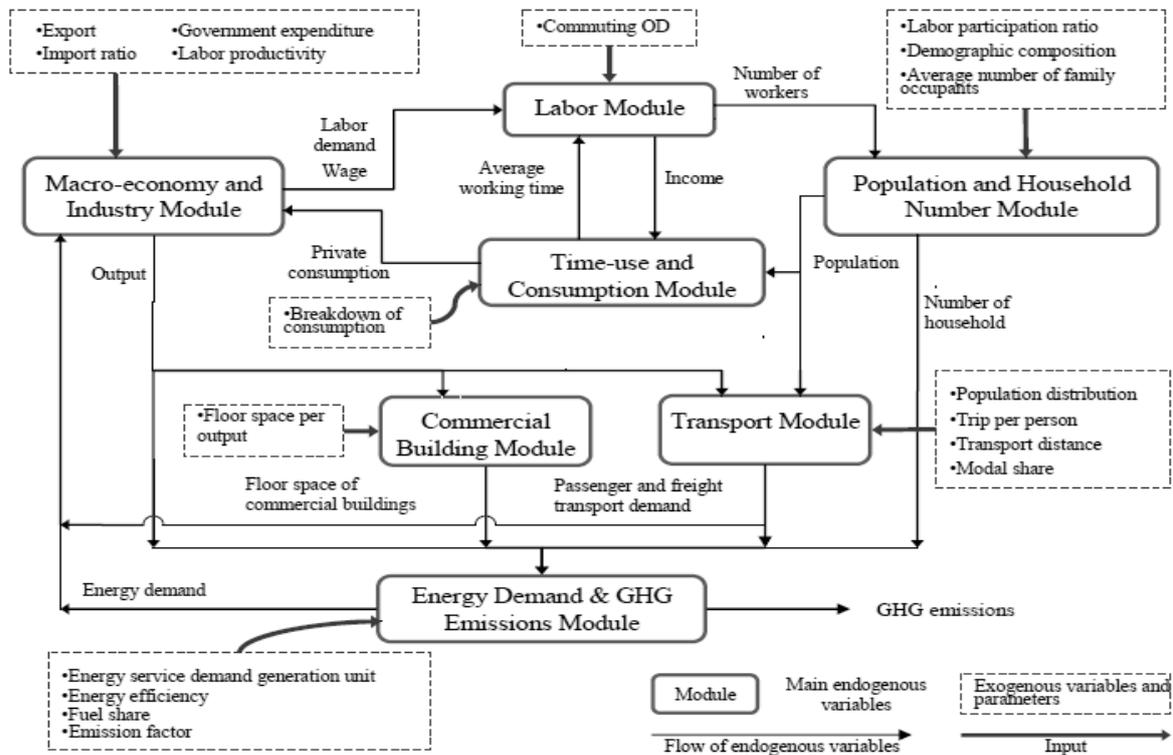
2. 研究開発目的

本サブテーマは、これまでに明らかになっているエネルギー消費量および二酸化炭素排出量の傾向を都市レベルで分析し、個別の都市が二酸化炭素排出量の削減にどの程度貢献できるかを明らかにするものである。対象とする都市は、インド中央部に位置し、100万人超の人口を有する中規模都市ボパールである。ボパールを対象に、S-6-1で開発している拡張型スナップショットツ

ル（ExSS）を適用し、なりゆきシナリオ（BaU）および低炭素社会シナリオ（LCS）について、エネルギー消費量や二酸化炭素排出量を分析し、低炭素社会に移行するための枠組みを明らかにすることを本サブテーマの研究目的とする。

3. 研究開発方法

本研究では、分析ツールとしてExSSを用いて、ボパールの低炭素社会実現に向けたシナリオを定量化する。図(5)-1にExSSの計算のフローを示す。



図(5)-1 ExSSモデルにおける計算のフロー

はじめに、本研究を行うにあたって、対象都市であるボパールについて、地理的特性や人口・世帯構成、経済活動の状況（主要産業、土地利用、自動車普及率、エネルギー消費構造など）のトレンドを把握し、現状のエネルギー消費量、二酸化炭素排出量の構造を定量化する。次に、ボパールの将来像を明らかにするために、将来の社会経済活動についての定性的なシナリオが描写される。こうした叙述にあわせて、経済成長率、人口、産業構造、輸出額等に関する定量的な値が想定され、これらをExSSの外生変数として、なりゆきシナリオ下におけるエネルギー消費量や二酸化炭素排出量が推計される。

これに対して、低炭素社会シナリオにおける二酸化炭素排出量を推計するために、温暖化対策として将来に導入が検討されている様々な対策が、政策担当者との議論を通じて収集された。それには、省エネルギー技術、モーダルシフト、再生可能エネルギーの利用増加、省エネルギー行動、二酸化炭素排出量の吸収源などが含まれる。政策および対策を適切に確実に組み合わせるために、規制、利害関係者らの受容性、および技術的実行可能性が考慮される。これらの政策についてもExSSの入力情報として定量化され、温暖化対策の効果が明らかになる。

インドのボパール市を対象に、サブテーマ（1）で開発された国別の応用一般均衡モデルを適用するために、各種統計資料から生産部門を14部門に分割した2005年社会会計表の推計作業を行うとともに、そのデータを使用した応用一般均衡モデルを開発した。開発したモデルを用いて2035年のボパール市の経済活動と二酸化炭素排出量の推計を、なりゆきケース、低炭素社会ケースそれぞれについて行った。また、その結果を基にボパール市の政策決定者との温暖化対策に関する対話も行うことで、ボパール市における低炭素政策の効果、影響について定量的な検討を行った。

4. 結果及び考察

(1) 将来シナリオの設定

本研究では、2035年を対象に、なりゆきシナリオと低炭素社会シナリオが定量化される。

ボパールにおける将来の二酸化炭素排出予想に関するなりゆきシナリオでは、現在の政策が継続されることを想定して、経済、人口、土地利用およびエネルギー利用指標に関する予測を行っている。なりゆきシナリオでは、大気汚染水準は、予想される30年間を通じて増加し続ける。運輸部門および民生部門においては、歴史的トレンドを考慮し、過去の成長率が将来も続くものと仮定して、2035年までのエネルギー消費量および二酸化炭素排出量のなりゆきシナリオが描かれた。

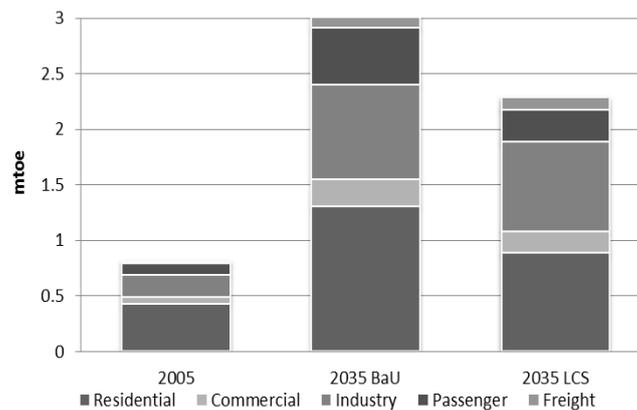
将来の温室効果ガス排出量の削減可能性を低炭素社会シナリオとして分析するために、ボパールにおいて低炭素社会に向うために取られると予想される様々な施策を、政策担当者との議論を通じて収集した。このシナリオでは、市は効果的な土地利用開発政策を理解し、すべての計画について、効果的な公共交通システムおよびエネルギー利用と組み合わせられた戦略的な環境アセスメントを取り入れる。具体的には次のことを想定する。

- ・市民が民生家庭部門および運輸（旅客）部門におけるエネルギー利用を自発的に管理する。
- ・市の開発計画者らは住宅、娯楽、商業および産業のための土地利用をエネルギー利用および交通需要を削減するような方法で開発する。
- ・市民および政策決定者が汚染の少ないエネルギー、汚染のないエネルギーおよび省エネルギー技術の利用を促進し確実に行う。

これらに対して、既存統計や計画から、ExSSにおける外生変数を設定し、これらの二酸化炭素排出量の削減効果を定量的に明らかにし、2035年を対象としたボパールの低炭素社会シナリオとした。

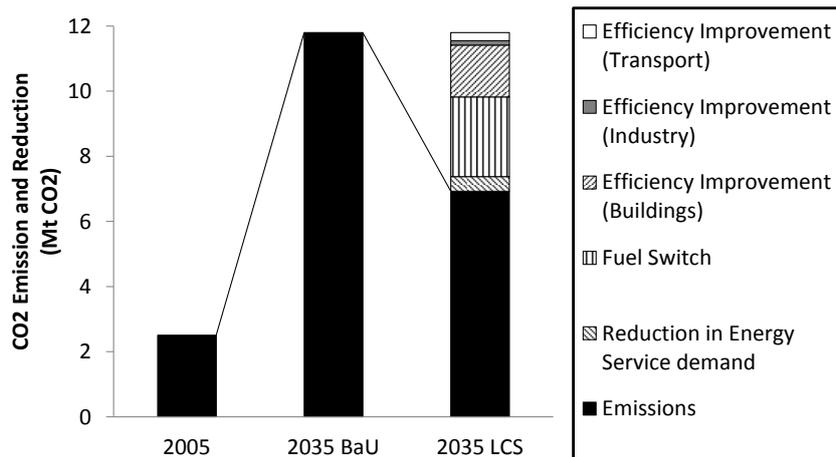
(2) ExSSを用いた将来シナリオの定量化と二酸化炭素排出量の変化

ボパールにおける最終エネルギー需要は、なりゆきシナリオにおいて2035年には3倍以上の300万toeにまで増加すると予想され、そのうち家庭部門の割合が43%、次いで産業部門が28%、運輸部門が21%である（図(5)-2）。2035年には、エネルギー需要の約80%は石炭および石油によって供給される。再生可能エネルギー、特に水力、原子力および太陽光の比率も増大するが、2005年に250万tCO₂であった二酸化炭素排出量は、2035年には1200万tCO₂に増加する。



図(5)-2 各シナリオによる部門別最終エネルギー需要

低炭素社会シナリオでは、エネルギー構成はよりクリーンな燃料へと移行し、再生可能エネルギーの割合は、なりゆきシナリオにおける12%から22%へと2倍近くになると予想される。このシナリオでは、石炭および石油の消費量は半減し、一方で天然ガスが再生可能エネルギーとともに増加する。こうしたエネルギー需要の変化により、ボパールの2035年の二酸化炭素排出量は、なりゆきシナリオの1200万tCO₂から、低炭素社会シナリオでは700万tCO₂となる（図(5)-3）。なお、一人当たりの二酸化炭素排出量は2005年に1.2tCO₂であり、2035年のなりゆきシナリオでは2倍以上の2.6tCO₂にまで増加するが、2035年の低炭素社会シナリオでは1.5tCO₂となった。



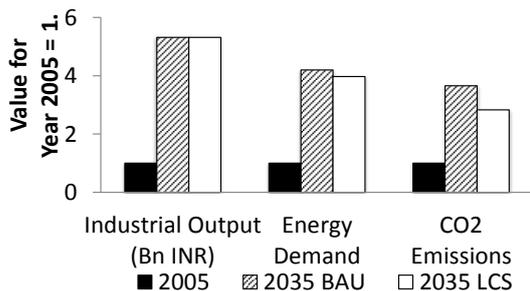
図(5)-3 各シナリオにおける二酸化炭素排出量と低炭素社会シナリオにおける削減量

図(5)-4から図(5)-6に、各部門におけるエネルギー消費量及び二酸化炭素排出量の変化を示す。各部門における低炭素社会シナリオで導入された施策は、以下の通りである。

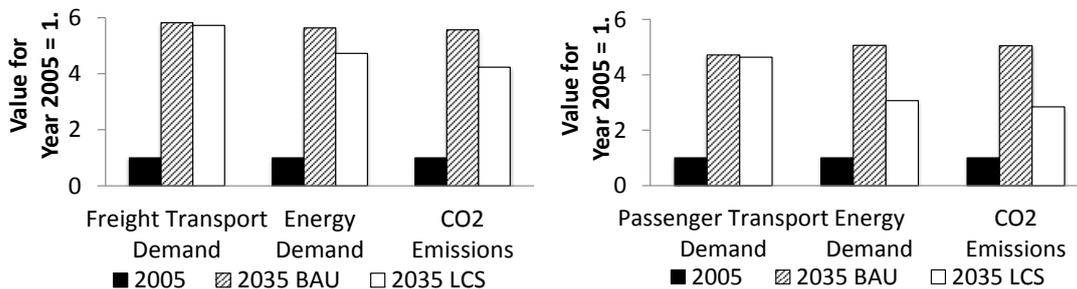
産業部門：エネルギー効率改善、燃料転換

運輸部門：エネルギー効率改善、燃料転換、公共交通への移行、運輸管理システムの改善

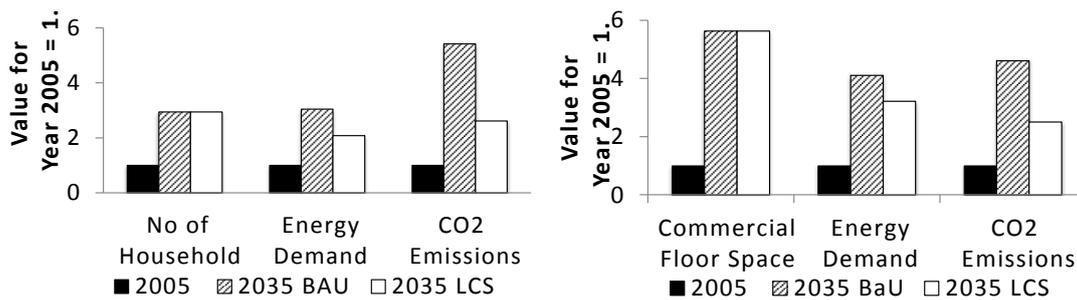
民生部門：エネルギー効率改善、燃料転換、消費行動の変化、建築物における物質効率の改善、再生可能エネルギーの導入



図(5)-4 産業部門における結果



図(5)-5 運輸部門における結果 (左：貨物 右：旅客)

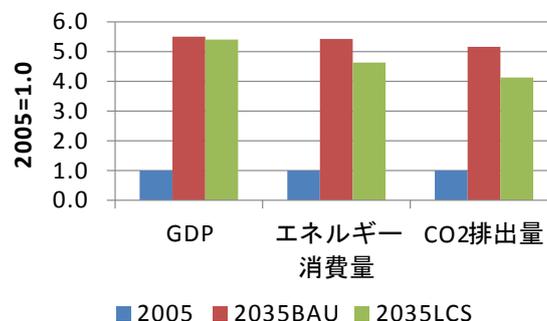


図(5)-6 民生部門における結果 (左：家庭 右：業務)

(3) 応用一般均衡モデルによる将来シナリオの定量化

ボパール市を対象とした応用一般均衡モデルを作成するために、ボパール市の社会会計表を作成した。対象年は2005年とし、部門数は14部門とした。インドの都市を対象とした社会会計表は作成されていないので、インドを対象としたSNA（国民経済計算）データや産業連関表、各産業における年次調査報告書（1997-98, 2004-05）、人口センサス（2001, 2011）、人口の将来見通し、ボパール市における開発計画（2007-08 etc.）、マディヤ・プラデーシュ州（ボパール市が所属する州）の域内総生産統計（1990-2010）、ボパール市におけるエネルギー供給統計等を参考に、統合的な社会会計表を作成した。

作成した社会会計表をもとに、ボパール市を対象とした応用一般均衡モデルを作成し、2035年を対象としたなりゆき社会（BaU）と低炭素社会（LCS）の各ケースを対象とした評価を行った。なお、LCSケースでは、550ルピー/tCO₂（=12\$/tCO₂）の炭素価格を想定している。図(5)-7に各ケースにおけるGDP、最終エネルギー消費、CO₂排出量の変化を示す。BaUにおいては、GDP、最終エネルギー消費、CO₂排出量は、それぞれ2005年の値と比較して、5.5倍、5.4倍、5.2倍となり、LCSケースでは、BaUケースと比較して、それぞれ2%、15%、20%減少する。



図(5)-7 各ケースにおけるGDP、最終エネルギー消費量、CO₂排出量

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本研究は、都市を対象に、導入される施策に対するエネルギー消費量や二酸化炭素排出量の削減効果を定量的に明らかにしたものである。これは、アジア途上国における取り組みの効果をより詳細に分析する上で重要であり、とりわけ、温室効果ガス排出量の増加が見込まれる都市レベルでの対策を示す上で重要となる。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき項目はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

本研究課題を行うにあたって、ボパールの政策担当者と議論を行い、政策担当者の意見も反

映させ、実現可能性の高いシナリオを定量化している。こうした分析は、環境政策の効果に対して科学的なバックグラウンドを与えるものであり、今後、大幅な温室効果ガス排出量の増加が見込まれるアジアの諸都市に対して有効な分析手法として世界全体の温暖化政策に貢献することが期待される。

6. 国際共同研究等の状況

本サブテーマは、EFF（エコ・フロンティア・フェロー）による課題である。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) K. Gomi, A. Deshpande and M. Kapshe: Global Environmental Research, 17, 1, 129-138 (2013)
“Aligning Low-Carbon Society Scenario with City Development Goals in Bhopal, India”

<査読付論文に準ずる成果発表>（対象：社会・政策研究の分野）

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) A. Deshpande and M. Kapshe: The 16th AIM International Workshop, Tsukuba, Japan (2011)
“LCS scenario in Bhopal, India”

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) シンポジウム、セミナー等の開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

(6) 中国・インドを中心とした低炭素社会シナリオ実現のための制度設計およびロードマップの開発研究

(公財) 地球環境戦略研究機関
気候変動グループ

明日香 壽川・田村 堅太郎・Eric Zusman・
Nanda Kumar Janardhanan・倉持 壮・金 振

平成24～25年度累計予算額：7,000千円
(うち、平成25年度予算額：3,500千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

中国・インドを中心に、2020～2050年の低炭素社会シナリオ、省エネシナリオ、再生可能エネルギー導入シナリオなどの実現に関わる具体的な温室効果ガス排出削減数値目標や制度設計を分析した。その結果、主に、1) 中国では中央が地方に課す省エネ目標達成責任制度や排出量取引制度などの制度設計は進んでいる、2) しかし、温室効果ガス排出削減数値目標が原単位であるという理由などから、地方への目標割り当て（負担分担）では公平で合理的な負担割り当て方法の策定が難しい、3) 排出量および排出削減量の計測・報告・検証（MRV）などの制度が未完成である、の3点が明らかになった。また、中国の現在の温暖化対策のみで世界全体での2度目標達成に必要な中国の温室効果ガスの排出削減が達成できるとは考えにくい。しかし、2013年から急激に進んでいる大気汚染対策、特に石炭消費削減が実現されれば温室効果ガス排出は大幅に減少し、世界全体での2℃目標達成に必要な「中国での温室効果ガス排出が2020年前後でのピークを迎えること」が実現される可能性がある。インドも同様に制度設計は未熟であり、大幅な能力向上が必要である。

[キーワード]

温暖化問題、エネルギー問題、中国、インド、低炭素発展

1. はじめに

世界の気候変動対策は喫緊の状況を迎えている。産業革命以降の世界平均気温上昇を2℃未満に抑えるという2℃目標達成のためには、世界の国の中でも温室効果ガス排出量を大幅に増加させているアジアでの排出削減が非常に重要である。したがって、アジアの大排出国である中国やインドなどの今後の動向を分析することが必要不可欠であり、その中でも国別では世界第一の温室効果ガス排出国であり、一人あたりの排出量も増加させている中国は最重要な分析対象だと言える。また、貿易の主要パートナーである日本は、中国のエネルギー政策、気候変動政策、そして大気汚染政策によって隣国という地理的な条件からも様々な影響を受ける。

現在、その中国のエネルギーや環境を巡る状況が大きく動いている。例えば、第12次5カ年計画（2011年～2015年）では、原単位目標ではあるものの、エネルギーおよび温室効果ガスの排出削減数値目標を設定し、排出量取引制度などの制度設計も進めている。また、周知のように、中国の多くの大都市がPM_{2.5}（微小粒子状物質）を含む煙霧（スモッグ）に悩まされている。例えば、2013年1月12日、北京市内の多くの観測地点でPM_{2.5}の観測値が700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過した。これは中国の環境基準値の約10倍、日本の環境基準値の約20倍にあたる。2013年3月16日の中国の全国人民代表大会（全人代）における環境・資源保護委員会委員を選ぶ投票では、環境政策への不満を示す反対、棄権の「批判票」が投票総数の約3分の1にのぼった。これは前代未聞のことであり、社会の安定をめざす中国政府にとっても環境問題は優先順位が高い政策課題となっている。そして言うまでもなく、石炭消費抑制などの大気汚染対策によって、温暖化対策も大きく進む可能性がある。

現在の日本と中国との間の緊張関係を考えた時に、政治的に困難な状況であるからこそ、環境やエネルギーの分野での協力メカニズムの構築が望まれる。ただし、そのような制度設計を行うためには、状況の適切な把握と制度の中身に関する具体的な提言が必要とされている。

2. 研究開発目的

「中国・インドを中心とした低炭素社会シナリオ実現のための制度設計およびロードマップの開発研究」という研究テーマに資するために、本サブテーマでは、アジア、特に、中国およびインドの低炭素社会への移行を考える際の重要な論点について分析し、具体的な政策を提言することを目的とする。具体的な研究対象あるいは研究トピックとしたのは、1) 中国における省エネ目標達成責任制度の実効性、2) 中国における排出量取引制度構築の課題、3) 中国における大気汚染対策が温暖化対策に与える影響、4) 温暖化対策および大気汚染対策における日中協力スキームの提案、5) インドにおける省エネ証書取引制度（PAT）の実効性である。

3. 研究開発方法

中国に関しては、省エネ目標達成責任制度、排出量取引制度、大気汚染対策の温暖化対策への影響を対象にし、文献調査や関係者への現地インタビュー調査などによって、その具体的な制度設計、特に中央政府と地方政府との調整などについて詳細に分析した。また日中協力メカニズムに関しては、既存の協力システムの課題をレビューし、温暖化対策と大気汚染対策に関する共利益（co-benefit）に関する最新の研究の参照しながら、新しいメカニズムの可能性を検討した。インドに関しては、目標達成のための経済的手法として注目される「省エネ証書取引制度（Perform, Achieve and Trade: PAT）」を中心に、文献調査や現地インタビュー調査などによって、特に測定・報告・検証（MRV）制度などに関する課題などを明らかにした。

4. 結果及び考察

個別のトピックに論じるまえに、まず中国における気候変動政策の全体像について明らかにしておく。表(6)-1は、現在の中国における気候変動政策の枠組みである。まず、最も中国にとっても世界にとっても重要なのが第12次5カ年計画で規定された温室効果ガス排出削減目標（2015年までに2005年比でCO₂原単位17%削減）の順守だが、現時点での実施状況は順調で、インタビュー調査によると、予定ではこれから削減はより早いペースで進むとされる。

表(6)-1 中国における気候変動・エネルギー政策の概要

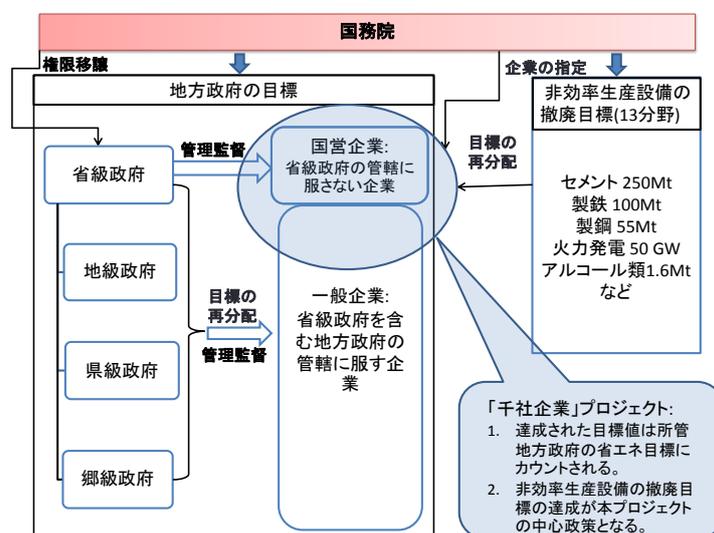
政策種類	政策目標（2015年まで）	重点政策
省エネ政策	GDP当たりエネルギー消費量を2010年比16%削減	<ul style="list-style-type: none"> 国家目標達成責任制度 一万社プロジェクト 非効率生産設備の強制淘汰(総量目標) <ul style="list-style-type: none"> 「上大庄小」制度 「同量置換」制度 「減量置換」制度 省エネ建築の推進 省エネ家電普及事業など
再生可能エネルギー政策	一次エネルギー消費量における非化石エネルギーの割合を2010年の8.6%から11.4%までに引き上げ	<ul style="list-style-type: none"> 太陽光発電容量の拡大 風力発電容量の拡大 バイオマス供給量の拡大など 固定価格買取制度の実施
産業	産業基盤のグレードアップ	<ul style="list-style-type: none"> 小規模生産設備の強制淘汰（総量目標） 工業製品エネルギー原単位規制制度
大気汚染	石炭消費総量の「ゼロ増+定額削減」規制	<ul style="list-style-type: none"> 北京市、天津市、河北省、山東省の4つの地域に対し、2012年の石炭消費量を基準に、2017年まで計8300万トンの石炭消費量の削減義務を賦課 今後、順次適用範囲を拡大
排出量およびオフセットクレジット取引制度	2省5市排出量取引制度パイロット事業	<ul style="list-style-type: none"> 2011年より、北京市、天津市、上海市、重慶市、広東省、河北省、深圳市、7つの地域にて、二酸化炭素を対象とした排出量取引制度を実験的に開始 2013年末まで、5つの地域においてすでに取引を開始
	カーボン・オフ・セット・クレジット取引制度	<ul style="list-style-type: none"> 2012年より、CO₂、CH₄、N₂O、HFCs、PFCs、SF₆の6種類の温室効果ガスを対象とした取引制度を開始

出典：IGES 作成

(1) 中国における省エネ目標達成責任制度

中国政府は温室効果ガス排出削減数値目標の確実な達成のため、国が定めた原単位目標を地方政府ごとに割り振り、その達成を地方政府の責任者に義務付ける「国家目標達成責任制度」を導入している。本制度は、第11次5ヵ年計画（2006年～2010年）期間において掲げた省エネ目標（単位GDP当たりエネルギー消費量を2010年まで2005年比20%削減）の達成政策として最初に導入されたものである。

図(6)-1に示すように、国レベルの省エネ目標は、まず31の省級政府目標に配分され、それを受けた省級政府は、更にもその目標を下位レベルの地方政府目標に細分化する。地方ごとの省エネ目標は地域の経済状況を考慮した中央政府と地方政府の調整結果が反映されるため、それぞれ異なっている。目標を持つ地方政府は、それぞれの地域目標を所管区域内の事業者に割り振る。また、国内エネルギー消費の3割を占める国直轄企業や一定規模以上の企業（約1,000社）は重点対策事業者として指定され、省エネ総量目標や非効率生産設備の強制撤廃目標などが割り振られると同時に、より厳しいエネルギー関連の計測・報告・検証（MRV）を受ける。特筆されるべきは、目標達成状況と政府責任者の人事評価をリンクさせ、目標不達成の場合の不利益措置を講ずることなどによって、政策の実効性を確保していることである。



出典：インタビュー調査などに基づきIGES作成
図(6)-1 中国における省エネ目標達成責任制度の仕組み

第11次5ヵ年計画期間において、本来の目標である20%には届かなかったものの19.1%の省エネ目標を実現し、中国政府発表によると、BAU（自然体）シナリオに比較して14.9億t-CO₂の削減に成功したとされる。しかし、2010年には、省エネ目標の達成が厳しくなった一部の地方政府では、強制停電措置を不当に発動した事例が多発し、大きな社会問題となった。その背景として、地方目標の配分方法における合理性の欠如や地域間公平性へ配慮不足などの問題があり、より細かい制度設計が必要とされる。

また、エネルギー関連の統計に比べ、温室効果ガス排出に関する統計の制度設計はまだ不十分である。特に、省級政府レベルにおいて、統計の指針は確立されているものの、運用レベルの実践ノウハウが欠けている。地域、企業レベルでの指針は確立されておらず、計測・報告・検証（MRV）が制度として充分には成立していないのが現状である。すなわち、排出量取引制度や温室効果ガス排出量の割当などを実施する際のMRV関連のインフラ構築が今後の大きな課題である。

(2) 中国における排出量取引制度構築の課題

現時点において、中国には国レベルの排出量取引制度（ETS）は存在しない。しかし、第12次5ヵ年計画において掲げた国レベルのETS制度の確立目標の実現に向けて、現在、2省5市（北京市、天津市、上海市、重慶市、広東省、湖北省、深圳市）ETSパイロット事業（以下、パイロット事業）が活発に展開されている。各パイロット事業の進捗状況は表(6)-2、表(6)-3の通りである。

表(6)-2 各地域での取引情報

	深セン市	北京市	上海市	広東省	天津市
取引開始日 (2013年)	6月18日	11月26日	11月28日	12月19日	12月26日
初日取引量 (tCO ₂ e)	21,112	40,800(場外 取引 40,000)	12,000	120,029	49,400
排出量平均取 引価格 (元/t)	70~80 (1200~ 1260円)	50~55 (750~935 円)	25~32 (425~544 円)	60~61 (1020~ 1037円)	26~28 (442~476 円)
※1元=17円					

出典：IGES作成

表(6)-3 各地域での排出量取引制度の概要

		北京市	上海市	天津市	深セン市	広東省	湖北省	重慶市
対象事業者	事業者数	490	191	130	832	242	153	300
	製造業(発電、供热)	150前後	140前後	130	635	202	153	300
	非製造業	340前後	50前後					
	ビル				197			
基準	2009年~2011年の平均年排出量1万トン以上の企業	2009年~2011年の内、年排出量1万トン以上の非製造企業と2万トン以上の製造企業	2009年~2011年の内、年排出量2万トン以上の製造企業	2009年~2011年の内、年排出量5,000トン以上の製造企業、建築面積2万m ² 以上の建築物	2011年~2012年、年排出量2万トン以上の製造企業	2010年~2011年の年間エネルギー消費量6万tce以上の製造企業	年排出1万トン以上の工業企業	
	取引開始時期	2013年11月28日	2013年11月26日	2013年12月26日	2013年6月18日	2013年12月19日		
取引	取引期間	2013年~2015年	2013年~2020年	2013年~2015年	2013年~2015年	2013年~2015年	2015年まで	2015年まで
	取引対象ガス	二酸化炭素	二酸化炭素	二酸化炭素	二酸化炭素	二酸化炭素	二酸化炭素	二酸化炭素
	取引種類	割当量、CCER	割当量、CCER(TBD)	割当量、CCER	割当量、CCER	割当量、CCER	割当量、CCER	割当量
割当量	カバー率	40%	50%	60~70%	54%	42%	35%	
	割当方法	無償&競売	無償&競売	無償&競売	無償&競売	無償(90%)&競売(10%)	無償&競売(10%)	
	年度調整	毎年の調整あり	TBD	毎年の調整あり	毎年の調整あり	毎年の調整あり	毎年の調整あり	3年分の割当量を一括給付
義務履行	義務履行方式		排出総量に当たる割当量の返上	排出総量に当たる割当量の返上		排出総量に当たる割当量の返上	排出総量に当たる割当量の返上	
	オフセットクレジット	CCER(5%)	CCER(TBD)	CCER(10%)	CCER(TBD)	CCER(10%)	CCER(10%)	
	バンキング、ポーリング	バンキング可	バンキング可		バンキング可	バンキング可	バンキング不可	

出典：インタビュー調査などに基づきIGES作成

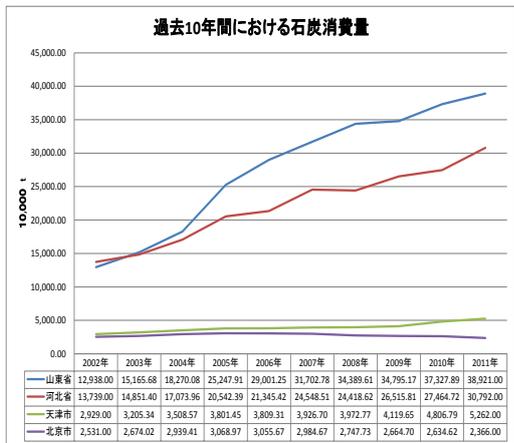
表(6)-3に示したように、2013年12月31日時点で、5つのパイロット事業地における取引総量は44.55万tCO₂に達し、取引総額は2491万元となった。表(6)-2に見るように、各地域の取引平均価格はそれぞれ異なっており、平均取引価格が一番高い深圳市の1200円/tCO₂に対し、上海市と天津市はその1/3に当たる400~550円/tCO₂である。深圳市の取引価格は、一時2500円/tCO₂までに高騰したこともあるが、現在は1200円前後の水準を維持している。

現在の最大の課題は、MRVの制度設計が圧倒的に遅れていることである。また、国の目標が原単位目標であるため、絶対量となる排出割当量と整合させるのが困難である。各地域での制度設計も異なり(例：バンキングの可否)、実際の取引はあったものの市場は流動性を欠如している。国レベルへの拡大は、少なくとも3~4年先であり、現在、炭素税との併存も議論されている(国家発展改革委員会は排出量取引制度を支持。一方、中国環境保護部や中国財務部は炭素税を支持)。パイロット・スキーム構築中の各地域は、後述する新たなPM_{2.5}規制による石炭消費上限設定によって、これまで想定していた排出上限の大幅改定(引き下げ)を迫られている。

(3) 中国における大気汚染対策が温暖化対策に与える影響

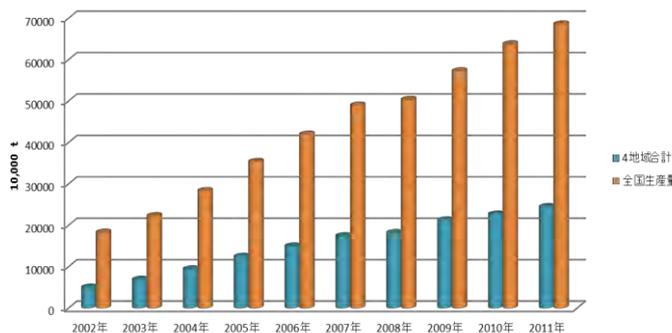
中央政府は、2011年からの大気汚染の深刻化を受けて、北京市などでの2017年におけるPM_{2.5}濃度の25%削減(2012年比)を策定した。その実現のために、北京市などに対して2017年まで計8300万トンの石炭消費量の削減義務を賦課し、今後、大気汚染対策重点区域は順次拡大される(13地域115都市を予定)。このような石炭消費量のキャップは、製鉄業や発電事業に大きな影響を与える。たとえば、規制対象となった4地域における鉄鋼生産量は全国の約35%であり、実質的に大都市お

よび中都市での石炭火力発電所建設が禁止された。この石炭規制が実施されれば、（世界全体での2℃目標達成に必要とされる）中国全体でのCO₂排出量の2020年ピークの可能性がある。



出典：国家統計局データベース

図(6)-2 石炭消費の推移



出典：中国国家统计局「大気汚染行動計画」（2013年9月）

図(6)-3 石炭消費量上限値

表(6)-4 石炭消費量上限値

削減目標値および2017年石炭消費量上限			単位：10,000t
地域	2012年消費量	削減目標値	2017年消費量上限
北京市	2,300	1,300	1,000
天津市	5,500(推定値)	1,000	4,500
河北省	32,000(推定値)	4,000	28,000
山東省	40,000(推定値)	2,000	38,000

出典：中国国家统计局データベース

すでに北京市などは、補償・補助金による強制的な石炭火力発電から天然ガス発電へのシフト、地方家庭の石炭から天然ガス利用へのシフト、ガソリンの使用規制等の多くの政策を進めている。地方での石炭火力の新設の可否はまだ曖昧であるものの、すでに2011年2012年と比べてもほとんど中国における石炭需要はほとんど横ばいだった。したがって、そのスピードは不明なものの、2020年までには中国の石炭需要はある程度は下がっていくと予想される。

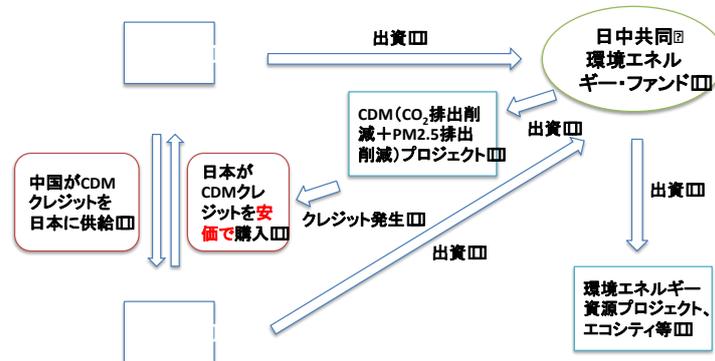
また、現在、多くの研究者が、様々な既存研究の結果を整理する形で、複数の公平性ルールにおける各国の具体的な許容排出量を細かく定量的に議論している。例えば、Höhne et al. (2013)¹⁾によると、中国は歴史的責任が入っている分配方法（累積の一人あたり排出量均等）でも、国際社会全体が2度目標を達成するためには、中国の2030年の温室効果ガス排出量は2010年レベルより下げることが必要である。

ちなみに、中国がCO₂排出量を2030年に2010年レベルにするためには、2020年ピークが必要である。一方、現時点の中国国内での議論は2025-30年にピークが主流となっている。そして、中国の場合、前述のPM_{2.5}濃度目標が達成できれば、CO₂排出量の2020年ピークも同時に達成される可能性が高い。すなわち、大気汚染対策を目的とした石炭政策が世界の気候変動対策の進展に非常に大きな影響を与える。

(4) クリーン開発メカニズムを用いた日中協力スキーム

このような状況において、本研究では、図(6)-4に示したような温暖化対策と大気汚染対策の両方を考慮した具体的な仕組みを提案したい。これは、日本が中国からPM_{2.5}排出を削減するようなクリーン開発メカニズム(CDM)のクレジットを市場価格よりも安く購入し、中国はそれで得た収入を「日中環境エネルギー・ファンド」への原資とするというものである。このファンドは、中国での環境エネルギー・資源プロジェクトへの投資を目的とし、プロジェクト実施に対しては日本企業と中国企業に優先権を与える。CDMクレジットの価格が安い理由は、大気汚染被害の低減という共便益が中国で発生するからである。これは、いままでCDMにおける“ゴールド・スタ

ンダード”のようなホスト国の持続可能な発展に資するクレジットはより高価であったことは全く逆であり、発想の転換を必要とする。



出典：IGES作成

図(6)-4 CDMを利用した日中の協力メカニズム

この仕組みの課題としては、CDMクレジットの価格が低い現時点では、通常のCDMクレジット価格よりも安い価格で日本が購入するのが現実的には難しいことがある。しかし、クレジット価格はいずれ上昇することが予想される。また、何らかのお金と技術が流れる仕組みがなければ効果的な枠組みの構築は不可能である。日中共同環境エネルギー・ファンドの原資としては、多くの議論が必要だと思われるものの、対中円借款の返済金（年間の金利分が800億円、元本分が2000億円）も選択肢としては考えられる。いずれにしる日中間の様々な懸案を束ねたパッケージでの交渉となる。

具体的な政治的プロセスとしては、例えば、両国トップの指示のもと、まず日中両国で自主的な国内削減目標（例：北京市の排出削減目標）を確認すると同時に、日中共同で環境ファンドを構築したり、エネルギー・資源の共同開発・備蓄問題と関連づけたりすることが考えられる。

（５）インドの省エネ証書取引制度

インドの気候変動に関する国家行動計画では、国家エネルギー効率向上事業（National Mission on Enhanced Energy Efficiency: NMEEE）を通じて実施される省エネ証書取引制度（Perform, Achieve and Trade: PAT）が規定されている。このPATは、このNMEEEの一環であり、国内の主要産業施設のエネルギー効率改善を目的とする。

PATでは、まず対象となった産業施設は、一定の時間枠での所定基準に対するエネルギー原単位を改善するために法的拘束力のある目標値を割り当てられ、達成できない場合は罰金を科される。次に、目標を達成した産業施設は、報告及び検証の手続きを経て省エネ証書を授与される。更に、省エネ目標値と各施設が達成可能な目標との間にミスマッチが生じた場合、施設は特定サイクルにおける各々の規定目標値を達成するために省エネ証書を売買することができる。実施機関である電力省傘下のエネルギー効率局は、プログラムの目的や目標の達成のために十分な法的権限も与えられている。すなわち、PATはエネルギー効率改善のための強制的な一定の期限付き目標を個々の産業施設に課すのみならず、かかる施設がコスト効率性に関して抱く懸念に配慮し、この命令への遵守に柔軟に対応できる制度的余地を提供している。

プログラムの有効性や信頼性を確保するため、PATは多層構造の測定・報告・検証（MRV）メカニズムを持つ。具体的には、産業施設や指定消費者に対し、年間エネルギー消費や共通の情報プラットフォームによって提示される量に関する報告を義務付けている。

PATの課題あるいは懸念としては、第一に、NMEEEや2001年エネルギー節約法の中核的な基本方針に関し、最初のサイクル終了後の継続的な省エネやエネルギー効率改善の目標が依然、曖昧で不明確なことである。第二に、スキームのMRVの枠組みは明確ではあるものの、まだ具体的な実施には至っていないことである。そのため、既存の指定消費者の実績やMRVの課題については不確実なままである。第三に、エネルギー効率目標の達成に対するインセンティブの不足および罰則制度の有効性に対する懸念がある。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

中国およびインドの温暖化対策の現状と課題について、より詳細な情報を提供した。特に、ダイナミックに政策が変化している中国においては、その政策の実施体制や効果などの検証がこれまでは不十分であった。本研究では、現地で詳細なインタビュー調査などを実施することによって、大気汚染問題との関係も検討しながら、より詳細な情報を提供した。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

日本の温暖化対策や温室効果ガス排出削減目標を考える際には、他国、特に中国の温暖化政策の制度設計の課題や温室効果ガス排出削減目標の順守状況などの正確な把握は不可欠である。また、クリーン開発メカニズムを用いた日中協力の具体的なスキームは、今後の両国間の政治的緊張関係を打開するきっかけとして検討に値すると思われる。

6. 国際共同研究等の状況

下記の中国およびインドの研究者に対して、両国のエネルギー環境問題の詳細な制度設計に関して現地でインタビューを実施した。また、メールや電話などで頻繁に情報交換も行った。

中国：

中国国家発展改革委員会 能源研究所 Jian Kejun

清華大学 エネルギー環境研究所 Teng Fei

天津環境科学研究院 Wang Wengmin

インド：

エネルギー研究所 (TERI) 気候変動グループ Neha Pahuja

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文 (査読あり) >

- 1) Z. Jin, T. Kuramochi and J. Asuka: Global Environmental Research, 17(1), 75-88 (2013)
“Energy- and CO2-intensity reduction policies in China: Targets and Implementation”,

<査読付論文に準ずる成果発表> (対象：社会・政策研究の分野)

- 1) 明日香壽川：環境と公害, Vol.43 No.1 Summer, p.56-59 (2013)
「中国の大気汚染問題と日本の協力のあり方」
- 2) 金振：中国総合研究センター (2012)
「中国の環境法の概要(1)」
http://www.spc.jst.go.jp/exchange/about_chinese_law/12007.html
- 3) 金振：中国総合研究センター (2012)
「中国の環境法の概要(2)」
http://www.spc.jst.go.jp/exchange/about_chinese_law/12012.html
- 4) 金振：中国総合研究センター (2012)
「中国の大気汚染防止の法制度および関連政策 (I)」
http://www.spc.jst.go.jp/exchange/about_chinese_law/12019.html

<その他誌上発表 (査読なし) >

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) 明日香壽川：環日本海国際学術交流協会公開講演会、金沢 (2014)
「中国の大気汚染問題と日本の協力のあり方」
- 2) 明日香壽川：環境経済・政策学会2013年大会、神戸 (2012)

「中国の大気汚染問題と日本の協力のあり方」

- 3) 金振・明日香・壽川・倉持壮：環境経済・政策学会2012年大会、仙台（2012）
「中国における省エネ政策について—目標再分配制度を中心に」
- 4) 金振：慶応義塾大学法学部特別講演、東京（2012）
「中国におけるエコシティ政策について」
- 5) 金振：法政大学大学院公共政策研究科特別講演、東京（2012）
「中国における環境配慮型都市政策について—政策の実効性確保の手法を中心に」

（3）出願特許

特に記載すべき事項はない。

（4）シンポジウム、セミナー等の開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない。

（5）マスコミ等への公表・報道等

- 1) 金振：くらしナビ・環境：中国・環境政策の現状/上「石炭消費量に上限設定」（毎日新聞 2013年11月22日）
- 2) 金振：くらしナビ・環境：中国・環境政策の現状/下「「生態文明」掲げエコ経済促進」（毎日新聞 2013年11月29日）

（6）その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) N. Höhne, Michel den Elzenc Donovan Escalantea (2013) “Regional GHG reduction targets based on effort sharing: a comparison of studies”, Climate Policy, Volume 14, Issue 1, 2014 p.122-147.

(7) アジア低炭素シナリオ下における産業別就業構造と都市化に関する研究

広島大学大学院国際協力研究科 金子 慎治・市橋 勝・後藤 大策
 <研究協力者>
 広島大学大学院国際協力研究科 藤原 章正・張 峻屹・小松 悟・Phetkeo Poumanyong
 北京師範大学資源学院 陳 晋
 東京大学・カーネギーメロン大学 力石 真

平成24～25年度累計予算額：7,000千円
 (うち、平成25年度予算額：3,500千円)

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

本サブテーマではアジア途上国における都市発展メカニズムや産業別就業構造、発展段階や多様性を考慮した低炭素型都市発展のパターンについて分析を行った。具体的には、(1) 都市化がもたらすエネルギー消費量・CO₂排出量への影響の推定、(2) 都市の発展段階の違いによるCO₂排出構造への影響評価、(3) 都市への住民移転とエネルギー消費・CO₂排出に関する研究、(4) 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に関する研究、(5) 電力消費に着目した、低炭素社会に向けた先行事例研究(バングラデシュ及びインドネシア)、の5つの領域に分けて実施した。

それぞれの領域での主要な研究成果を列挙する。(1) 国全体の都市化とエネルギー消費量・CO₂排出量との関係について、途上国では都市化に伴ってエネルギー消費量が減少する一方で、CO₂排出量は増加する。(2) GDP水準が高く且つGDPに占める第三次産業比率が高い国においては都市化の進行がCO₂排出量の緩和につながる、発展段階が進む前に適度な都市化が進むことがCO₂排出量削減という観点では望ましい。(3) 住民移転が、エネルギー消費量・CO₂排出量に対する影響を分析するモデルを作成し、ハノイにて分析したところ、農村部からの住民移転により都市化が進む場合と、その他の要因で都市化が進む場合では、エネルギー消費量・CO₂排出量の観点で異なる影響をもたらす。(4) 直接CO₂排出量と財の取引を通じた間接CO₂排出量の推計を通じた都市の責任排出量の分析を実施したところ、東京では2005年での電力や財の輸入に含まれるCO₂排出量を勘案したところ、間接排出量は直接排出量の4倍に上る。(5) バングラデシュでの太陽光発電を利用した農村電化事業を事例に、導入によるインパクト評価、導入の意思決定、満足度の要因分析により、再生エネルギー導入による効果を明らかにした。更にインドネシアでの電力消費実態に着目し、電力に違法接続する世帯の特徴と、電力補助金との関係について明らかにした。

[キーワード]

都市化、経済発展、産業構造、エネルギー、低炭素社会

1. はじめに

急速な都市化が進む一方で、都市化率が比較的低いアジア地域での低炭素社会に向けた中長期的政策オプションを検討する際に、エネルギー消費や温室効果ガスの発生と都市化との関連性を理解しておくことは重要である。本研究では都市化に着目し、アジア都市の将来の低炭素社会として構想していくための発展パターンと低炭素社会構築に向けたメカニズムを分析することを目的とした。

2. 研究開発目的

本サブテーマでは、都市化の進展の在り方がその国のエネルギー消費と二酸化炭素排出にどのように関係するかに関する理解を深め、低炭素社会を目指した都市発展の道筋を示すための知見を得ることを最終目標としている。とりわけ、アジア途上国における都市発展メカニズムや産業別就業構造や、発展段階や多様性を考慮した低炭素型都市発展のパターンについて分析を行う。

主要な研究領域として、1) 都市化がもたらすエネルギー消費量・CO₂排出量への影響の推定、2) 都市の発展段階の違いによるCO₂排出構造への影響評価、3) 都市への住民移転とエネルギ

一消費・CO₂排出に関する研究、4) 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に関する研究、5) 電力消費に着目した、低炭素社会に向けた先行事例研究(バングラデシュ及びインドネシア)、を設定した。得られた成果は、シナリオ開発(サブテーマ1)に貢献する形で、アジア地域の中長期的な気候変動政策策定に寄与することを目指した。

3. 研究開発方法

(1) 都市化がもたらすエネルギー消費量・CO₂排出量への影響の推定

途上国、先進国を含む世界約90カ国の35年間のパネルデータを用い、人口規模、発展段階、マクロ産業構造などを制御したうえで、都市化がもたらす環境影響をSTIRPATモデルと呼ばれる計量経済モデルを用いて抽出・定量化を実施した。先行研究では都市化によるエネルギー消費量・CO₂排出量への影響は、正負両方の結果が得られているが、発展段階への着目した研究は不十分であった。本研究では、国全体の都市化を発展段階ごとに分析するだけでなく、更にセクターごと(交通・世帯部門)の分析を通じて、都市化の進展に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量への影響を検証した。

(2) 都市の発展段階の違いによるCO₂排出構造への影響評価

国が都市化していく過程では、経済活動規模・インフラ・産業構造など社会のあらゆる構造も変化し、その結果としてCO₂が排出される。しかしこれまでの先行研究では都市内人口比率、都市面積、夜間の輝度など都市化に係る変数が直接CO₂排出量に影響すると想定しており、都市化にともなって変化する様々な社会経済の構造変化との分離は十分ではなかった。これに対して、都市化を調整変数(Moderator variable)として扱うことで、CO₂排出構造を集約的に表現し、現象をよりよく説明できる可能性を検討した。国全体のCO₂の排出構造が都市化の形態に依存するという仮説を、パネル潜在クラスモデルにより検証する。具体的には国全体のCO₂排出量はGDPや産業構造、人口といった要因が影響すると仮定し、この構造の違いを都市化に関する指標によって潜在クラスに分け、各国それぞれの潜在クラスの帰属確率の推移を検討することで、都市化に伴う複数のCO₂排出構造がどのような組み合わせで変化するかを明らかにする。

(3) 都市への住民移転とエネルギー消費・CO₂排出に関する研究

アジア途上国では都市化傾向は非常に顕著であり、多くの国で1950年には10数%にすぎなかった都市化率が、2050年には50%~70%になることが予測されている(UN, 2012)¹⁾。これらの国々での人口増加の要因として住民移転の影響は、世帯部門におけるエネルギー消費量や温室効果ガス排出量を検討する際に、決して無視できないものになりつつある。本研究では都市化の中でも人口増加に焦点を当て、都市内人口の社会増加(住民移転による人口増加)が自然増加(都市内部での人口増加)と比較して、エネルギー消費量・CO₂排出量へどの程度影響するのかを評価するモデルを構築する。更にベトナム・ハノイでの世帯調査データを利用して実証分析を行った。

(4) 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に関する研究

都市発展の流れの中で、第3次産業が盛んになると、CO₂排出量が大きい第2次産業が郊外に移転し、結果として都市のCO₂排出量が減少するケースが見られる。但し、都市は財やサービスの移転により財の取引を通じた間接的なCO₂の排出も行っている。本研究では都市・地域レベルで検討が進んでいる炭素勘定を利用して、都市の責任CO₂排出量の推計を行い、分析手法の確立を目指す。その上で、発展段階の異なる途上国都市において炭素勘定分析を適用する試みとして(1)東京及びその他日本、及び(2)産業構造の異なる北京市、上海市の2007年のデータに適用し、都市の責任排出量を分析した。

(5) 電力消費に着目した、低炭素社会に向けた先行事例研究

1) 太陽光発電を用いたバングラデシュでの農村電化事業の評価

農村・都市周辺部の無電化地域を対象とした低炭素社会構築の事例として、バングラデシュでNGOが実施中の太陽電池パネル(Solar Home System; SHS)普及に関して、住民調査を実施した。住民調査によって得られたデータから、(1)契約メニュー選択に影響する要因(世帯・収入・家電製品等)の分析、(2)導入によって生じた便益分析と将来需要の評価、(3)SHS導入による満足度とその規定要因、に関する分析を行った。

2) インドネシアにおける電力の違法接続世帯に関する研究

インドネシアでは経済発展に伴って家庭部門での電力消費が大幅に増大する反面、違法に電力設備に接続する盗電によって、多くの電力消費の無駄が生じている。効率的な電力供給は持続可能な発展と低炭素社会を目指すうえで欠かせない論点であることから、本研究では2004年・2008年の2時点を対象としたSUSENASと呼ばれる大規模な個票データベースを用いて、電力に違法接続する世帯の特徴を明らかにするとともに、電力補助金との関係について明らかにした。

4. 結果及び考察

(1) 都市化がもたらすエネルギー消費量・CO₂排出量への影響の推定

表(7)-1に、国全体のエネルギー消費量及びCO₂排出量を従属変数として設定し、都市化を含めた要因がそれらに対する影響分析を行ったものを示す。途上国では都市化にともなってエネルギー消費量が減少する一方で、先進国では都市化によってエネルギー消費は大幅に増加することが示された。1%都市化が進むことで途上国では0.296%エネルギー消費量が減少するが、先進国では0.595%増加する。途上国では伝統的なバイオマス燃料から化石燃料への燃料転換、また都市化による燃料の効率的利用により、エネルギー消費量減少につながるものと考えられる。それに対して先進国では都市化に伴い、娯楽需要の増加によるエネルギー消費増加、更に第三次産業の活発化や世帯人数の減少により、エネルギー消費が増加するものと考えられる。

次に、世帯部門のエネルギー消費量に絞った分析を実施した結果、都市化率が低い段階では、都市化はエネルギー消費量やCO₂排出にマイナスの影響を与えるものの、エネルギー消費量では都市化率39%、CO₂排出量では都市化率10%を境にプラスの影響に転じると示された。

表(7)-1 エネルギー消費量及びCO₂排出量に及ぼす要因の評価
(左図：エネルギー消費量、右図：CO₂排出量)

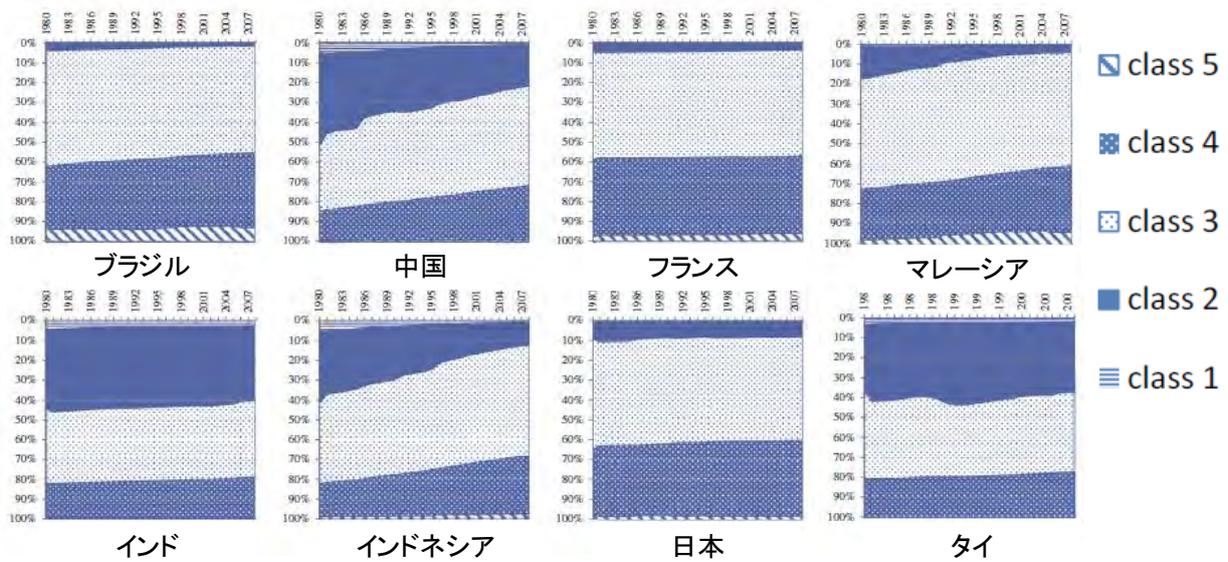
Variable	全ての国	途上国	中進国	先進国	変数	全ての国	途上国	中進国	先進国
lnP	1.435 ***	0.791 ***	1.935 ***	1.334 ***	lnP	1.649 ***	0.904 *	2.174 ***	1.501 ***
lnGDP	0.422 ***	-0.854 ***	0.450 ***	6.234 ***	lnGDP	0.576 ***	0.703 ***	0.578 ***	5.835 ***
(lnGDP) ²	-	0.073 ***	-	-0.301 ***	(lnGDP) ²	-	-	-	-0.279 ***
lnIND	0.074 ***	0.037 **	0.173 ***	0.091	lnIND	0.169 ***	0.121 *	0.254 ***	0.017
lnSV	0.096 ***	0.038	0.172 ***	0.040	lnSV	0.159 ***	0.020	0.176 ***	0.04
lnURB	-3.469 ***	-0.296 ***	-1.818 **	0.595 **	lnURB	-3.786 ***	-4.217 ***	0.491 ***	10.077 **
(lnURB) ²	0.507 ***	-	0.289 **	-	(lnURB) ²	0.597 ***	0.658 ***	-	-1.137 **
Observations	2,945	589	1,333	1,023	Observations	2,945	589	1,333	1,023
R ²	0.991	0.996	0.99	0.993	R ²	0.984	0.962	0.988	0.994
Turning point (GDP)	-	347 (US\$)	-	31,429 (US\$)	Turning point (GDP)	-	-	-	34,787 (US\$)
Turning point (URB)	30.60%	-	23.23%	-	Turning point (URB)	23.83%	24.64%	-	84.05%
URB elasticity	0.665	-0.296	0.521	0.595	URB elasticity	1.081	0.350	0.491	0.212

注: P は総人口、A は1人当たりGDP、URB は都市化率、IND は第2次産業比率、SV は第3次産業比率を示す。固定効果(国・年ダミー)は省略。*** p < 0.01; ** p < 0.05; * p < 0.1.

(2) 都市の発展段階の違いによるCO₂排出構造への影響評価

都市化を示す指標によって、国全体のCO₂排出量を説明する要因構造による分類を探索した結果、ベイズ情報量規準(BIC)が最小となる5つの潜在クラス(グループ)を導出した。この結果は、CO₂排出構造は都市化に依存するという仮説を支持するものである。CO₂排出構造は都市化に依存するという仮説を支持する結果を得た。都市化の初期段階では、人口増加がCO₂排出構造に強く影響する一方、都市化の段階が進むにつれて、排出構造を規定する要因がGDP、産業構造へと遷移することが示された。また、GDP水準が高く且つGDPに占める第三次産業比率が高い国においては都市化の進行がCO₂排出量の緩和につながることで、発展段階が進む前に適度な都市化が進むことがCO₂排出量削減という観点では望ましいと結論付けた。

推定結果から、主要国の帰属確率の時系列推移(すなわち、CO₂排出構造の変化の組み合わせ)を図(7)-1に示す。日本やフランス、アメリカでは、1990年~2008年の間で大きな変動はないものの、中国・インドネシア・マレーシアでは近年クラス4への帰属確率が高まってきており、段々と低開発型国の排出構造から脱却してきていることがわかる。



図(7)-1 主要国における都市化で分類したCO₂排出構造の組み合わせの時系列変化

(3) 都市への住民移転とエネルギー消費・CO₂排出に関する研究

都市内人口の社会増加（住民移転による人口増加）が自然増加（都市内部での人口増加）と比較して、エネルギー消費量・CO₂排出量への程度影響するのかを評価するモデルを構築し、途上国都市での調査結果を基に分析を実施した。ベトナム・ハノイにおける分析の結果、農村部からの移転住民は、非移転住民と比較してエネルギー消費量・CO₂排出量が大幅に少ない反面、他都市部からの移転住民では非移転住民と有意差が見られないと結論付けた。この結果は農村部からの住民移転により都市化が進む場合と、その他の要因で都市化が進む場合では、エネルギー消費量・CO₂排出量の観点で異なる示唆をもたらすことを意味している。

表(7)-2 移転住民が、化石燃料消費・CO₂排出量に与える影響の分析
(左：都市部からの移転、右：農村部からの移転)

Panel A: Probit regression				Panel A: Probit Regression			
	Model (4)	Model (5)	Model (6)		Model (7)	Model (8)	Model (9)
INC	1.40×10 ⁻⁴ *** (4.77×10 ⁻⁵)	8.28×10 ⁻⁵ * (4.34×10 ⁻⁵)	8.19×10 ⁻⁵ * (4.37×10 ⁻⁵)	INC	4.56×10 ⁻⁵ (4.02×10 ⁻⁵)		2.25×10 ⁻⁵ (4.10×10 ⁻⁵)
HH	-0.36 *** (6.07×10 ⁻²)	-0.38 *** (6.17×10 ⁻²)	-0.37 *** (6.28×10 ⁻²)	HH	-0.42 *** (4.00×10 ⁻²)	-0.43 *** (3.95×10 ⁻²)	-0.42 *** (4.08×10 ⁻²)
FLR	-1.75×10 ⁻² *** (5.05×10 ⁻³)	-1.91×10 ⁻² *** (5.20×10 ⁻³)	-1.95×10 ⁻² *** (5.25×10 ⁻³)	FLR	-1.15×10 ⁻² *** (2.77×10 ⁻³)	-1.23×10 ⁻² *** (2.80×10 ⁻³)	-1.25×10 ⁻² *** (2.81×10 ⁻³)
EDU		0.22 *** (4.86×10 ⁻²)	0.22 *** (5.00×10 ⁻²)	EDU		6.39×10 ⁻² * (3.32×10 ⁻²)	5.91×10 ⁻² * (3.44×10 ⁻²)
Dm_GEN			1.28×10 ⁻² (0.18)	Dm_DD		0.34 *** (0.13)	0.34 *** (0.13)
Dm_DD			0.11 (0.18)	Dm_HD		0.32 * (0.16)	0.31 * (0.16)
Dm_HD			7.85×10 ⁻² (0.24)	Cons.	1.46 *** (0.18)	1.10 *** (0.22)	1.07 *** (0.23)
Cons.	0.59 ** (0.26)	-0.29 (0.32)	-0.36 (0.34)	Pseudo R ²	0.26	0.27	0.27
Pseudo R ²	0.27	0.32	0.32	Prob>χ ²	0.00	0.00	0.00
Prob>χ ²	0.00	0.00	0.00	No. of observations	665	665	665
No. of observations	488	488	488				
Panel B: Estimation of average treatment effects on the treated (ATT)				Panel B: Estimation of average treatment effects on the treated (ATT)			
Residential energy consumption (per capita, MJ)	Kernel ^a -30.23 (49.77)	-1.25 (45.21)	1.65 (45.44)	Residential energy consumption (per capita, MJ)	Kernel ^a -143.80 *** (30.85)	-132.19 *** (37.66)	-133.65 *** (38.28)
	Radius ^b 25.13 (31.36)	-5.01 (33.58)	3.23 (32.60)		Radius ^b -103.18 *** (17.39)	-94.49 *** (19.41)	-95.45 *** (16.27)
CO ₂ emissions (per capita, kg)	Kernel ^a -3.02 (5.47)	0.28 (4.35)	0.54 (4.269)	CO ₂ emissions (per capita, kg)	Kernel ^a -14.86 *** (3.30)	-13.70 *** (3.90)	-13.84 *** (3.35)
	Radius ^b 1.91 (3.29)	-1.17 (2.79)	-0.57 (3.11)		Radius ^b -10.97 *** (1.74)	-10.12 *** (1.76)	-10.22 *** (1.82)

*, ** and *** denote significance at the 10%, 5% and 1% levels, respectively.

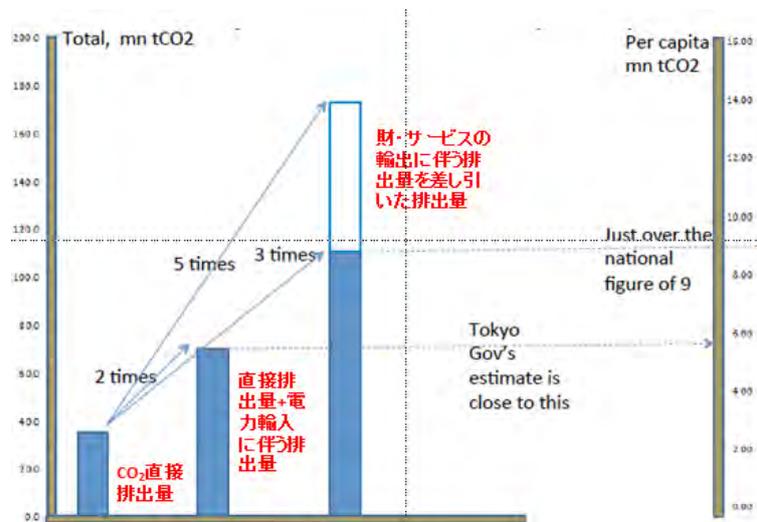
*and *** denote significance at the 10% and 1% levels, respectively.

^aKernel denotes use of the kernel matching method.

(4) 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に関する研究

東京都とその他日本で構成される2地域間産業連関表を用いて、直接CO₂排出量と財の取引を通じた間接CO₂排出量の推計を通じて、都市の責任排出量を分析した。1995年、2000年、2005年のデータを利用した推計を実施し、都市の責任排出量並びに電力供給（原発停止の影響）と産業構造の変化の影響を論じた。東京都での分析の結果、2005年での電力や財の輸入に含まれるCO₂排出量を勘案したところ、間接排出量は直接排出量の4倍に上ることを示した（図(7)-2参照）。

更に、上記分析手法を産業構造の異なる北京市、上海市の2007年のデータに適用した。その結果、依然として一定規模のエネルギー多消費産業を抱える上海市での直接、間接CO₂排出量は北京市のそれを大きく上回る一方で、一人あたり責任排出量に大きな差が無いことが判明した。



図(7)-2 東京での直接・間接CO₂排出量の推計結果

(5) 電力消費に着目した、低炭素社会に向けた先行事例研究

1) 太陽光発電を用いたバングラデシュでの農村電化事業の評価

SHS導入世帯のSHS導入前の世帯属性と、非導入世帯の現在の世帯属性を比較することで、SHSを導入するかどうかの意思決定モデルを作成した。プロビットモデルを用いた分析の結果、導入の意思決定に当たっては、世帯収入以外に住民の所持している充電バッテリーや灯油使用量、携帯電話所有台数が有意に影響していることが示された。また導入によって生じた便益分析と将来需要の評価を行った結果、SHS導入によりそれぞれの家庭で節約できる化石燃料消費量には限界があるものの、非電化世帯の数が膨大であるため、農村全体へのインパクトは非常に大きいことが示された。SHS導入による満足度に関する研究を通じて、SHS導入によって生じたライフスタイルへの影響と、機器の品質を向上させることが、満足度を向上させるのに貢献すると示された。

2) インドネシアにおける電力の違法接続世帯に関する研究

分析の結果、2004年から2008年の間で違法接続世帯は減少傾向にあるものの、2008年でも依然として約21%の世帯が違法に接続にされていることが示された。また、Tariff Blocks（契約電力量）が大きいグループにおいても多くの違法接続世帯が見られることが示唆された。更に違法接続世帯の特徴として、ジャワ島外・とりわけ農村部に居住する住民であること、収入や教育水準、住宅面積といった社会経済水準が、契約世帯よりも低レベルであることも示された。最後に電力補助金の大部分が貧困層以外によって利用されている実態を明らかにした。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

都市化とエネルギー消費量・CO₂排出量との関係について、国の発展段階や産業構造に配慮した計量経済モデルを用いて分析を行ったこと、更にCO₂排出構造と都市化の形態の分析を実施する

ことで、各国が都市政策を通じてどのように低炭素社会構築を目指すことが望ましいのか、実証的に検討することができた。発展段階の違いや、産業構造が国ごとに大きく異なることから、CO₂排出削減を目指すには、各国の都市化の形態の多様性に配慮する必要があることを示唆した。

ベトナムでの研究より、都市化が農村部からの住民移転により都市化が進む場合と、その他の要因で都市化が進む場合では、エネルギー消費量・CO₂排出量の観点で異なる意味をもたらすことを示唆した。都市内部のエネルギー消費量・CO₂排出量を分析する際には、住民移転の実態にも焦点を当てる必要があるとの提言を示した。更に、アジア大都市でのCO₂の責任排出量の変化を検討することにより、間接・直接のCO₂排出量と都市化・都市発展との関係を分析することができた。本研究により都市が長期的にCO₂責任排出量を減少するための知見を提供することができた。

最後に都市化の進展と低炭素社会構築の分析のための先進事例として、バングラデシュとインドネシアでの電力供給の事例を示し、民間・住民レベルでの取組みに関して教訓を得ることができた。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

本研究成果を学術論文及び学会にて報告することで、アジアの都市化と温暖化問題との関係性に関して専門的知見として提供することができた。これまで本研究成果の一部は、ワークショップ（サマーコース）・専門家会議・シンポジウムを通じて、各国の研究者・途上国政府（インドネシア・中国・バングラデシュ・フィリピン）・援助関係者（GTZ・UN・JICA）・民間企業・NGOと議論を行う中で、成果の広報・普及に努め、各国のエネルギー政策や援助政策や貢献することができたと考えている。この中にはIPCC第5次報告書の代表執筆者も含まれており、気候変動対策に向けて影響力のある人物に対して成果を普及するよう努めた。アジア途上国で開催した専門家会議やワークショップ（サマーコース）においても、研究者や政策担当者を招聘し議論を行うことで、途上国社会での研究成果の広報にも努めた。

<行政が活用することが見込まれる成果>

本研究成果は、都市化とアジアの気候変動対策に関して、途上国都市個別の温暖化対策立案だけではなく、将来的に様々な関連政策（都市計画・産業政策・エネルギー安全保障等）を実施するために生かすことができる。

6. 国際共同研究等の状況

- ・都市化とエネルギー消費量・CO₂排出量との関係に関する研究への知見の提供、論文の共著者
アジア工科大学准教授、IPCC第5次報告書（Group III）代表執筆者 Dr. Shobhakar Dhakal
Asian Institute of Technology 名誉教授 Ram Manohar Shrestha
- ・南アジアにおける都市化とエネルギー消費、CO₂排出量に関する知見の提供
Indian Institute of Management 教授 Dr. Priyadarshi R. Shukla
- ・地方分権化と低炭素型発展に関する財務データ収集や知見の提供
The University of Indonesia 教授 Dr. Mahi Benedictus Raksaka
- ・バングラデシュでの再生エネルギー普及に関する研究への知見の提供
Grameen Communications Mr. Partha Pratim Ghosh; Grameen Shakti（バングラデシュ）取締役（代理） Mr. Abser Kamal; Rural Electrification Board（バングラデシュ）議長 Mr. Bhuiyan Shafiqul Islam; University of Shaka 教授 Dr. Saiful Huque; Infrastructure Development Company Ltd.（バングラデシュ）CEO, Mr. Islam Sharif; GTZ Bangladesh, Senior Advisor, Dr. Mohammad Khaleq-uz-zaman
- ・インドネシアでの低炭素社会構築に向けた研究に対するインプット
JICA国際協力専門員（気候変動対策能力強化プロジェクト・チーフアドバイザー）川西正人；
（以下全てバングラデシュ）
Ministry of Transportation, Head of Research and Development, Dr. Elly Sinaga; Ministry of Energy and Mineral Resources, Director of Downstream Business Undertaking of Oil and Gas, Ir. Umi Asngadah MT; National Development Planning Agency, Director of Energy and Mineral resources, Dr. Montty Giriana; National Development Planning Agency, Director Housing and Settlement, Dr. Ir. Mesdin Simarmata; Bekasi City, Head of Waste Affairs and Sanitation, Kiswati.

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) P. Poumanyvong and S. Kaneko: *Ecological Economics*, 70(2), 434-444 (2010)
"Does urbanization lead to less energy use and lower CO₂ emissions? A cross-country analysis"
- 2) B. Yu, J. Zhang and A. Fujiwara: *Energy Policy*, 39(7), 4168-4177 (2011)
"Representing in-home and out-of-home energy consumption behavior in Beijing"
- 3) 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"
- 4) S. Komatsu, S. Kaneko, R. M. Shrestha and P. P. Ghosh: *Energy for Sustainable Development*, 15(3):284-292 (2011)
"Nonincome factors behind the purchase decisions of solar home systems in rural Bangladesh"
- 5) M. H. Sulistiyo, L. Banchongphanith and S. Kaneko: *Journal of International Development and Cooperation*, 18(1):31-44 (2011)
"Identifying Household Residential Electricity Un-subscribers under Two Electricity Subsidy Regimes in Indonesia"
- 6) M. H. Sulistiyo, L. Banchongphanith and S. Kaneko: *Journal of International Development and Cooperation*, 18(1):45-54 (2011)
"A Study on Characteristics of Household Electricity Un-subscribers in Indonesia."
- 7) S. Komatsu, A. Kalugin, S. Kaneko: *Transition Studies Review*, 19(2), 225-243, (2012)
"Allocating Costs of Environmental Management among Generations: A Case of Environmental Liabilities in Transition Economies"
- 8) P. Poumanyvong, S. Kaneko and S. Dhakal: *Energy Policy*, 46, 268-277 (2012)
"Impacts of urbanization on national transport and road energy use: Evidence from low, middle and high income countries"
- 9) S. Kaneko, S. Komatsu, P. Poumanyvong, L. Banchongphanith, M. Chikaraishi and A. Fujiwara: *Global Environmental Research*, 17(1), 29-38 (2013)
"Does Urbanization Matter for Developing Long-term Climate Scenario?"
- 10) S. Komatsu, S. Kaneko, P. Ghosh and A. Morinaga: *Energy*, 61, 52-58 (2013)
"Determinants of User Satisfaction with Solar Home Systems in Rural Bangladesh."
- 11) S. Komatsu, H. D. Ha and S. Kaneko: *Energy for Sustainable Development*, 17, 572-580 (2013)
"The Effects of Internal Migration on Residential Energy Consumption and CO₂ Emissions: A Case Study in Hanoi"
- 12) M. Chikaraishi, A. Fujiwara, S. Kaneko, P. Poumanyvong, S. Komatsu, A. Kalugin: *Technological Forecasting and Social Change*, accepted (2014)
"The Moderating Effects of Urbanization on Carbon Dioxide Emissions."

<査読付論文に準ずる成果発表> (対象: 社会・政策研究の分野)

- 1) 金子慎治・小松悟: 『東アジアへの視点』2010年6月号、pp.27-41 (2010)
「バングラデシュの農村電化と持続可能な発展」、

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) S. Komatsu, A. Kalugin and S. Kaneko: Hiroshima University Graduate School for International Development and Cooperation, Development Policy Discussion Paper Series, No.1-7 (2012)
"Allocating Costs of Environmental Management among Generations: A Case of Environmental Liabilities in Transition Economies"
- 2) P. Poumanyvong, S. Kaneko and S. Dhakal: Hiroshima University Graduate School for International Development and Cooperation, Development Policy Discussion Paper Series, No.2-2 (2012)
"Impacts of urbanization on national transport and road energy use: Evidence from low, middle and high income countries"
- 3) P. Poumanyvong, S. Kaneko and S. Dhakal: Hiroshima University Graduate School for International Development and Cooperation, Development Policy Discussion Paper Series, No.2-5 (2012)
"Impacts of urbanization on national residential energy use and CO₂ emissions: Evidence from

low-, middle- and high-income countries"

- 4) S. Komatsu, D. H. Ha and S. Kaneko: Hiroshima University Graduate School for International Development and Cooperation, Development Policy Discussion Paper Series, No.2-17 (2012)
"Effects of Internal Migration on Residential Energy Consumption and CO₂ Emissions in Hanoi"

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) 小松悟・森永茜・金子慎治・P. P. Ghosh : 環境経済・政策学会 2010 年大会、名古屋 (2010)
「太陽光発電を利用した分散型農村電化事業による受益者満足度の評価—バングラデシュ農村部での事例—」
- 2) S. Kaneko, S. Komatsu and D. H. Ha: 7th Scientific Conference of the University of Science, Vietnam National University, Ho Chi Minh City, Vietnam (2010)
"Effects of Urban-Rural Migration on Greenhouse Gases Emissions in Hanoi"
- 3) S. Komatsu, S. Kaneko and P. P. Ghosh: 4th Asian Energy Conference, Hong Kong Baptist University, Hong Kong, China (2010)
"Are Micro-benefits Negligible? The Implications of the Rapid Expansion of Solar Home Systems (SHS) in Rural Bangladesh for Sustainable Development"
- 4) 小松悟・金子慎治 : 国際開発学会第 21 回全国大会、東京 (2010)
「バングラデシュ農村部での住居用太陽光発電パッケージの需要の評価」
- 5) S. Kaneko, M. Ichihashi and S. Dhakal: International Society for Ecological Economics Conference, Windsor Guanabara Hotel, Rio de Janeiro, Brazil (2012)
"Change in carbon responsibility for Tokyo from 1990 to 2005: evidence from carbon accounting using inter-regional input-output environmental model"
- 6) S. Komatsu, S. Kaneko, P. P. Ghosh and A. Morinaga: 5th International Conference on Sustainable Energy and Environmental Protection, Dublin City University, Dublin, Ireland (2012)
"Determinants of User Satisfaction of Solar Home Systems in Rural Bangladesh"
- 7) M. Ichihashi, S. Kaneko and S. Komatsu: International Society for Ecological Economics Conference, Windsor Guanabara Hotel, Rio de Janeiro, Brazil (2012)
"Economy-wide impacts of consumer responses to environmental information disclosure in Tokyo and the other parts of Japan"
- 8) P. Poumanyvong and S. Kaneko: The 2nd Conference on Environmental Economics and Natural Resources Management in Developing and Transition Economies, Clermont University, Clermont-Ferrand, France (2012)
"Impact of urbanization on national residential energy use and its implications for climate change: Evidence from a panel data analysis"
- 9) 小松悟・J. Breit・金子慎治・P. P. Ghosh : 環境経済・政策学会 2012 年大会、仙台 (2012)
「バングラデシュ農村部における電力供給改善の便益評価」
- 10) S. Komatsu, D. H. Ha and S. Kaneko: The 9th International Conference on Environmental, Cultural, Economic and Social Sustainability, Hiroshima, Japan (2013)
"The Effects of Internal Migration on Residential Energy Consumption and CO₂ Emissions in Hanoi"
- 11) P. Poumanyvong and S. Kaneko: The 9th International Conference on Environmental, Cultural, Economic and Social Sustainability, Hiroshima, Japan (2013)
"The impact of urbanization on national residential CO₂ emissions and the implications for climate change: A panel data analysis for 132 countries"
- 12) 小松悟・金子慎治・P. P. Ghosh : 環境経済・政策学会 2013 年大会、神戸 (2013)
「住居用太陽光発電導入による生活改善効果の推計：バングラデシュ農村部を事例として」
- 13) S. Komatsu, S. Kaneko and P. P. Ghosh: The 10th International Conference on Environmental, Cultural, Economic and Social Sustainability, Split, Croatia (2014)
"The Implications of Living in an Urban Slum on Residential Energy Consumption: Case Study in Dhaka"

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない

(4) シンポジウム、セミナー等の開催（主催のもの）

- 1) International Workshop (Summer Course) on Development within Low Carbon World: Education for Promoting Green Innovations in Asia (2010年2月24日, 広島大学)
- 2) Summer Courses on Development Within a Low Carbon World: Preparing Professionals for Post-Kyoto Climate Negotiations and Sustainable Growth Policies (2009年8月5日-21日, 広島大学, 参加者数62名)
- 3) Summer Courses on Development Within a Low Carbon World: Preparing Professionals for Participatory Approaches in Planning and Implementing Climate Change Policies (2010年8月5日-13日、インドネシア・ボゴール農業大学との共同開催、インドネシア、参加者数67名)
- 4) Summer Courses on Development Within a Low Carbon World: Preparing Professionals for Policy and Planning Instruments for Green Innovation (2011年8月4日-14日、中国・北京師範大学との共同開催、中国、参加者数72名)
- 5) The 2nd expert meeting on Rural Electrification and Solar Energy (2011年9月28日、Bangladesh Institute of Administration and Management Foundation ; 参加者数25名)
- 6) Summer Courses on Development Within a Low Carbon World: Preparing Professionals for Disaster Risk Management and Climate Change Adaptation (2012年8月6日-16日、フィリピン・フィリピン大学ディリマン校にて開催、フィリピン、参加者数77名)
- 7) Summer Course on Preparing Professionals for Climate negotiations and Sustainable Growth Policies (2013年8月7日-20日、広島大学、参加者数約50名)

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない

(6) その他

特に記載すべき事項はない

8. 引用文献

- 1) UN (2012) World urbanization prospects: the 2011 revision highlights. United Nations

Scenario Development Study for Realizing Low-Carbon Society in Asia

Principal Investigator: Toshihiko MASUI

Institution: National Institute for Environmental Studies
16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506, Japan
Tel: +81-29-850-2524 / Fax: +81-29-850-2572
E-mail: masui@nies.go.jp

Cooperated by: Kyoto University, Hiroshima University, The Institute of Energy Economics, Japan, Institute for Global Environmental Strategies, Mizuho Information & Research Institute, Inc.

Abstract

Keywords: Low-carbon society, Asia, Scenario, Integrated assessment model, Energy system, Urbanization, Climate policy assessment

The objective of this research was to develop mid- to long-term future scenarios representing low-carbon societies (LCSs) in Asia, and to assess countermeasures for realizing LCSs in Asia by applying an integrated assessment model. Both qualitative and quantitative future scenarios toward the realization of LCSs in Asia were developed based on various scale models on the global, national, and local scale, and on various types of models including an input-out base model, computable general equilibrium (CGE) model, and enduse model. Moreover, training workshops on model and scenario development were held to enhance the capabilities of researchers in Asian countries.

Specifically, the goal of this research was to show the feasibility of achieving greenhouse gas (GHG) reductions in Asia in line with the global 2 degree target; that is, halving GHG emissions in 2050 compared with the 1990 level. The qualitative “Ten Actions toward Low Carbon Asia” were developed under the themes of urban and interregional transport, resources and materials, the buildings sector, biomass, energy systems, agriculture and livestock, forestry and land use, and the transboundary categories of technology and finance, and governance. The effectiveness of each action was also quantitatively assessed by a top-down CGE model. It was found that the major actions that will contribute to the achievement of LCSs in Asia are those related to energy systems, resources and materials, and buildings.

Bottom-up scenarios on the national, regional, and municipal scales were also developed in collaboration with policymakers and researchers in the targeted areas using the Extended Snapshot (ExSS) tool. We also applied an econometric type energy model to

assess energy security, nonconventional energy supplies, and energy saving in Asian countries, as well as an urbanization model and other models to assess countermeasures promoting LCS development.

The existing national GHG emission reduction targets in the Asian countries are insufficient to achieve the global 2 degree target. However, through this research program, in some countries, the national-scale LCS scenarios consistent with the global 2 degree target can be formulated.

From the qualitative and quantitative scenario analyses in this research project, it was clarified that achieving the target of reducing GHG emissions in 2050 to half compared with the 1990 level would be a difficult challenge, but feasible. Time-series measures and programs derived from the “Ten Actions toward Low Carbon Asia” show that early actions are necessary to achieve this target, and that leapfrogging development in Asia could lead to the realization of LCSs.