

B-54 アジア太平洋地域統合モデル（AIM）を基礎とした気候・経済発展統合政策の
評価手法に関する途上国等共同研究

（１）持続的発展に向けた地域詳細研究とモデルの普及

① 地域レベルの気候・経済発展政策の統合評価に関する研究

独立行政法人国立環境研究所

社会環境システム研究領域	統合評価モデル研究室	甲斐沼美紀子・増井利彦・藤野純一
	前領域長	森田恒幸 ¹
	領域長	原沢英夫
	環境経済研究室	日引聡・亀山康子
	環境計画研究室	肱岡靖明・高橋潔

京都大学大学院地球環境学堂

松岡 譲

<研究協力者>	（独）国立環境研究所社会環境システム研究領域	花岡達也
	京都大学大学院地球環境学堂	藤原健史・河瀬玲奈
	中国エネルギー研究所	Xiulian Hu・Kejun Jiang・ Hongwei Yang
	インド経営大学院アーメダバード校	P.R. Shukla
	ソウル大学	Dong Kun Lee
	韓国環境研究所	Seong Woo Jeon・Hui Cheul Jung
	中国科学院地理科学天然資源研究所	Zehui Li・Jiulin Sun・Songcai You
	アジア工科大学	Ram M. Shrestha
	マレーシアプトラ大学	Azman Zainal Abidin
	インド経営大学院ラックナウ校	Rahul Pandey
	マウラナ・アザド国立工科大学	Manmohan Kapshe
	（株）リアイアンス産業、インド	Ashish Rana

平成12～16年度合計予算額	1 5 1, 7 2 9 千円
（うち、平成16年度予算額	3 1, 4 3 2 千円）

〔要旨〕 グローバルな温暖化問題と地域の環境問題を統合して分析するために改良されたアジア太平洋地域統合モデル（AIM）の地域詳細モデルを適用して、アジア地域の温室効果ガス削減政策や地域環境政策との統合政策を評価した。アジア主要国（日本、中国、インド、韓国、タイ、インドネシア、ベトナムなど）のモデルの開発を行い、温室効果ガス削減のための対策シナリオが地域環境に及ぼす影響について分析した。日本については、京都議定書で定められたCO₂排出量の削減目標を達成するために必要なわが国における温暖化対策税の税率や、その効果と影響について、技術的、経済的に整合した評価を行うとともに、マクロ経済的影響を回復するための施策について検討した。日本を除くアジア地域ではCO₂以外の温室効果ガス排出量の割合が大きいため、

¹ AIMモデルの創始者である森田恒幸前領域長は平成15年9月4日逝去。

CH₄、N₂O排出量を扱えるように拡張したモデルを適用し、CO₂以外の温室効果ガスを含めた対策シナリオについて検討した。また、評価対象ガスを大気汚染物質であるSO₂、NO_xおよびPM10をCO₂排出量と同時に予測するモデルを適用し、温室効果ガス削減による大気汚染物質削減の副次的効果について国別に検討した。さらに、エンドユースモデルを世界21地域に拡張し、地域別の限界削減費用を推計することにより、有効な削減技術について、地域別に集計した。これらのシミュレーション分析を通じて、アジア地域の温暖化対策と地域環境対策の統合政策について、中国、インド、韓国、タイ等の研究機関と共同して検討した。また、COP8のサイドイベントやAIM国際ワークショップを開催し、各国のシミュレーション結果を比較・検討した。

[キーワード]地球温暖化、アジア太平洋地域、温室効果ガス、シミュレーション、統合政策評価

1. はじめに

アジア地域の発展途上国では、高い経済成長のポテンシャルがある一方で、国内における公害などの深刻な環境問題を抱えている。そのため、効率的な気候安定化政策の実現のためには、気候政策だけでなく、気候政策と地域環境政策等を組み合わせた国内政策、あるいは気候政策と経済政策を同時に実施していくことが不可欠な状況にある。また我が国においては、政府からは京都議定書で定められた温室効果ガス削減目標達成するために必要な政策の分析や、第二約束期間に向けた途上国の対策の評価分析が求められている。したがって、このような政策ニーズを背景として、気候政策と国内環境政策、さらに経済政策とを統合的に評価するモデルを開発し、アジア地域における温室効果ガス削減政策やその適応政策について分析する。本研究では、アジア地域の主要国（日本、中国、インド、韓国、タイ、インドネシア、ベトナムなど）を対象として、気候政策を詳細に検討するため、経済発展や技術進歩などの要因と温暖化対策との関係を調査し、アジア地域における将来の経済発展及び環境負荷の関係を定量的に評価するシミュレーションを行う。

2. 研究目的

アジア地域の温室効果ガス削減政策およびその適応政策による、アジア地域の環境保全に及ぼす総合的な効果を分析し、アジア地域における気候安定化政策と経済発展政策の統合の可能性を明らかにする。このため、アジア地域の発展途上国の研究機関と協力して地域レベルの温室効果ガス削減方策及び対策の副次的効果について検討する。発展途上国においては温暖化対策の優先度が低いため、他の優先順位の高い国内政策と組み合わせて温暖化対策をデザインする必要がある。したがって、開発したモデルを適用して温暖化対策と地域環境対策との統合効果を分析することを目的とする。

3. 研究方法

アジア地域の主要国を対象として、温室効果ガス排出対策について検討する。地域詳細モデルを適用して、CO₂削減のためのエネルギー対策が地域の大気環境に与える副次的な影響を分析するために、SO₂、NO_x、PM10の排出量について考慮し、さらにCO₂以外の温室効果ガスとしてCH₄、N₂Oの削減可能性についても分析する。また、我が国におけるCO₂削減の可能性については、最新

データを用いて、エンドユースモデルと応用一般均衡モデルを相互に関連づけるシミュレーションを行い、技術的、経済的に整合性のある結果を推計する。また、世界エンドユースモデルを用いてアジア地域の温暖化対策の必要性和対策に有効な技術メニューについて検討する。

4. 結果・考察

(1) 我が国の地球温暖化対策税率とその経済影響の分析

京都議定書で定められたCO₂排出量の削減目標を達成するために必要な温暖化対策税の税率や、それに伴う我が国の経済活動への影響、国際競争力の変化を定量的に評価した。試算に用いたモデルは、エネルギーサービス需要を駆動力としてエネルギー需要技術（設備）を積み上げる技術選択モデル（AIM/Emduseモデル）、我が国の経済活動を詳細に表現した国内トップダウンモデル（AIM/Materialモデル）、世界を21地域に分割することで国際的な枠組みにおけるCO₂削減対策の影響を評価する世界トップダウンモデル（AIM/Top-downモデル）である。対象とする温室効果ガスはエネルギー起源のCO₂が中心であり、地球温暖化対策推進大綱に基づいてCO₂排出削減目標を定めた。CO₂以外の温室効果ガスについては一部を世界トップダウンモデルで勘案した。

① 技術選択モデルによる温暖化対策の効果分析

わが国のCO₂排出量の予測をいくつかのシナリオについて行った。将来の社会や経済に関するシナリオについては、表1に示すように、政府見通し及びその根拠となった資料等の推測値を用いた。これらをベースにして各部門のエネルギーサービス量を想定した。

表1 経済・社会シナリオの想定

		2000	2010	2012	
実質経済成長率 (年増加率)		0.9%	1.9%	1.9%	*1
素材製品 生産量	粗鋼生産量 (百万トン)	106.9	95.9	94.8	*2
	セメント生産量 (百万トン)	79.3	70.3	69.8	*2
	エチレン生産量 (百万トン)	7.6	6.7	6.7	*2
	紙板紙生産量 (百万トン)	31.8	36.0	36.7	*2
世帯数 (百万世帯)		46.8	49.1	49.2	*3
業務部門床面積 (百万m ²)		1,655	1,793	1,844	*4
旅客輸送量 (兆人・km)		1.42	1.51	1.53	*5
貨物輸送量 (兆t・km)		0.56	0.57	0.57	*5
原子力発電 (2002年以降の新設基数)		—	8基	8基	*6

*1：経済財政諮問会議「改革と展望－2002年度改定」（2003年）

*2：(財)日本エネルギー経済研究所「わが国の長期エネルギー需給展望」（2002年）

*3：国立社会保障・人口問題研究所（1998年）

*4：第三次産業の実質生産額伸び率と弾性値より推計

*5：運輸政策審議会（2000年）経済成長率の想定などより補正

*6：電力供給計画（2002年、2010年まで）

また、シミュレーションケースとしては、技術のシェアや効率が将来にわたり変化しないと想定した「技術一定ケース」、各主体が合理的な選択を行う「市場選択ケース」、炭素税によりCO₂排出量の削減を図る「炭素税ケース」さらに炭素税を導入しその税収を省エネルギー設備導入のための補助金として還流させる「補助金ケース」を対象とし、これらについてCO₂排出量の推計を行った。図1は2012年までの推計結果である。

2010年におけるCO₂排出量(森林吸収除く)は1990年と比較して、3,000円/tCケースで5.8%増、15,000円/tCケースで3.8%増、30,000円/tCケースでは0.6%増となった。部門別では30,000円/tCケースにおいて、産業部門11%減、家庭部門8%増、業務部門10%増、運輸部門18%増、エネルギー転換部門7%増となった。市場選択ケースと比較すると、家庭部門と業務部門において大きな削減効果が現れている。

補助金ケースでは、2010年において1990年比2%減を達成するために必要な補助金額を推計した。炭素税の課税のみ(補助金還流なし)によって、このケースに相当する削減量を達成するためには、45,000円/tC程度の課税が必要と推計された。

部門別では、産業部門12%減、家庭部門0%増、業務部門4%増、運輸部門16%増、エネルギー転換部門5%増となった。家庭部門と業務部門では、炭素税30,000円/tCケースよりも削減量が大きく上積みされている。これらの部門では、限界費用が30,000円/tCを上回るものの、補助金を利用することで導入が促進される技術による削減ポテンシャルが大きいことが示唆される。

主な補助金の還流先は、産業部門では「バイオマス発電」「高炉廃プラ利用施設」「ボイラ燃料管理」、家庭部門では「太陽熱温水器」「断熱材」「潜熱回収給湯器」「高効率冷蔵庫」、業務部門では「建築物の省エネ構造化」「太陽熱温水器」「VAV制御/低圧損空調搬送動力」、運輸部門では「ガソリン自家用乗用車・エンジン効率改善/摩擦抵抗削減」「ディーゼル自家用乗用車・エンジン効率改善/摩擦抵抗削減」である。補助金を充足するために必要な炭素税は約3,400円/tCと推計された。

② 国内トップダウンモデルによる経済影響の分析

AIM/Materialモデルでは、技術水準及び財の国際価格や輸入シェアを前提として、温暖化対策導入時の経済的な影響を計算することができる。このうち、温暖化対策税の導入により変化するエネルギー効率の水準とそれに伴うコストの増加(より効率的な設備の導入に伴う追加的費用負担)についてはAIM/Enduseモデルの結果を、国際的な市場の変化の影響についてはAIM/Top-downモデルの結果をそれぞれAIM/Materialの前提条件に反映させて、シミュレーションを実施した。

AIM/Materialモデルを用いたシミュレーションでは、AIM/Enduseモデルの結果と比較することを念頭に置き、AIM/Enduseモデルの「市場選択ケース(各主体が設備費用と3年分のエネルギー費用の合計を基準に、経済的に合理的な選択を行うケース)」に相当する「現状推移シナリオ」、温暖化対策税の税収を補助金として返還せず、代わりに税収中立に基づいて所得税減税を行う「炭素税シナリオ(AIM/Enduseモデルの「炭素税ケース(エネルギー費用を上昇させて効率的な技術の導入を図るケース)」に相当)」、および温暖化対策税の税収を機器購入の補助金として還元

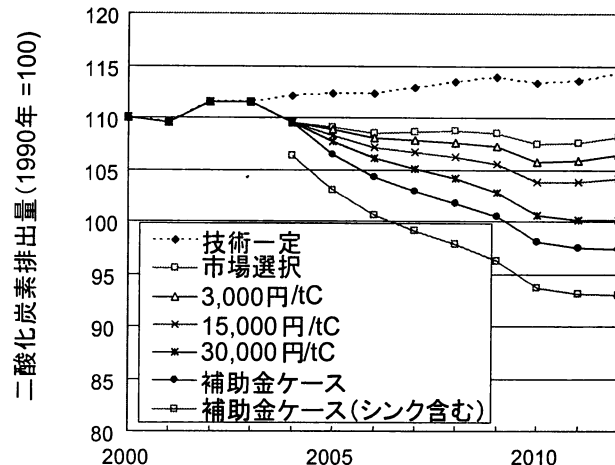


図1 二酸化炭素排出量の予測（日本）

する「補助金シナリオ（AIM/Enduseモデルの「補助金ケース（エネルギー費用の上昇と効率的な機器の価格低下により効率的な機器の普及を促進させるケース）」に相当）」の3つのシナリオを想定した。図2は、AIM/Materialモデルを用いて計算した現状推移シナリオに対する温暖化対策税導入時におけるGDPの変化を示したものである。現状推移シナリオにおける経済成長率は、2010年には1.8%/年となり、2000年から2012年までの平均成長率は毎年

1.4%である。それに対して、温暖化対策税の導入によりGDPは低下するが、税収は所得税減税を通じて国内に還流されるため、2008年から2012年におけるGDPロスの平均は9,400億円（現状推移シナリオのGDPに対して平均0.16%）となる。また、税収を省エネルギー設備購入の補助金として還流する場合には、同期間におけるGDPロスは約3,600億円（現状推移シナリオのGDP比0.061%）とさらに小さくなる。このGDPロスは、炭素排出制約により生じる石油・石炭製品及び火力発電部門における活動水準の低下が主たる要因であるが、省エネルギー機器の導入促進に伴って、電気機械部門の生産活動は増大する。

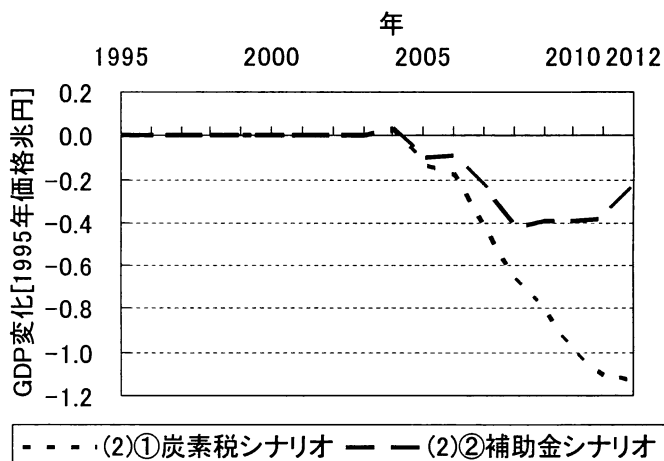


図2 日本におけるGDP変化（対現状推移シナリオ）

③ 世界トップダウンモデルによる国際影響の分析

AIM/Top-downモデルは世界を21地域に分割し、各地域において生産活動を9セクタに統合した応用一般均衡モデルであり、「京都議定書発効による温暖化防止効果」など国際的な枠組みがわが国にもたらす影響を定量的に評価するために開発されたトップダウンモデルである。基準年は1992年であり、以下に示す価格は1992年価格で表示されている。CO2排出量の制約を想定しない現状推移シナリオと表2に示す4つのシナリオについての検討結果を示す。

2010年までの経済への影響（炭素税、GDP、国内産業の生産量の変化など）について推計を行った。4つのシナリオを現状推移シナリオと比較した場合のGDPの変化率を図3に示す。

日本における炭素税率は、国際排出量取引を行わない場合で約350\$/tCとなった。1990年比1.6%（約4MtC）の国際排出量取引を行う場合、炭素税率は50\$/tC程度減少し、300\$/tCとなった。さらに、現状推移ケースと排出目標量との差分の2分の1の国際排出量取引が認められることで、炭素税率は150\$/tC程度にまで減少することがわかった。

なお、米豪が独自政策を行う場合、国際排出量取引が行われると、AnnexB国の炭素税率は低下し、東欧・CIS地域内における炭素税率はHot air²のため0\$/tCとなる。米豪復帰ケースでは、米国の炭素税率が約3倍に上昇し、国際排出量取引市場における需要の拡大により、炭素量を供給する東欧・CIS地域内にも炭素税率が発生した。豪州は国際炭素取引に参加しないと炭素税率が300\$/tC

² 現状推移シナリオでの温室効果ガス発生量が京都議定書の目標より下回る時の目標達成余剰分

程度、参加するとその半分以上の約130\$/tCに抑えることができることがわかった。

GDPの変化を比較すると、日本の二酸化炭素削減に伴う経済影響はどのシナリオも0.5%以下となった。技術選択モデルや国内トップダウンモデルに比べて経済的影響が大きめに推計されている主たる理由は、モデルの単純化のために産業部門を詳細に分割しておらず、課税の影響を緩和するための産業部門間の調整過程が適切に表現できないことと、電力部門が1つに集約されているため、石炭火力から天然ガス火力といった発電のシフトが再現できないことがあげられる。

なお、米豪復帰シナリオで東欧・CISのGDPが約3%増加しているのは、米国による二酸化炭素の購入量が増加するためである。

表2 想定したシナリオ（すべてのシナリオにおいて2005年より排出削減を開始）

	米豪挙動	日本における排出量取引
米豪独自+炭素取引無	独自政策 ^{注)} + 国際排出量取引無	なし
米豪独自+日本 1.6%	独自政策+国際排出量取引有（BaU の排出量と排出目標量の差分の2分の1）	1990 年比の 1.6%
米豪復帰+日本 1.6%	2007 年まで独自政策、2008 年から京都復帰+国際排出量取引有	1990 年比の 1.6%
米豪独自+日本 1/2	独自政策+国際排出量取引有	BaU の排出量と排出目標量の差分の2分の1

注) 米豪独自政策：2005 年から削減を開始する。米国は 2002 年における GDP あたりの二酸化炭素排出量を、2012 年に 18%削減させるため、2005 年から 2012 年までの 8 年間に同じ比率で GDP 集約度を削減させていくと想定する。豪州は 2005 年における二酸化炭素排出量と 2010 年の排出目標量の差分を 6 年かけて等量ずつ削減していくと想定する。

日本国内の各産業の生産量の変化を比較すると、全体的にみて、京都議定書の目標達成による生産量への影響は軽微である。大きな影響が予想されるエネルギー集約産業（鉄鋼・化学・セメント・紙パルプ）でさえ、その影響は1.5%以下にとどまる。その他の産業については影響はほとんどみられない。唯一の例外は、エネルギー関連産業（石炭、石油精製、ガス、電力）であり1.5%から30%の生産量を減少させる可能性はあるが、わが国の経済全体に占める割合からみてその波及影響は小さい。

なお、炭素制約のない地域ではエネルギー集約産業の生産量は一般的に増加する。ただし、米豪復帰シナリオにおける東欧・CIS地域は、二酸化炭素の売却量を増加させるため、エネルギー集約産業の生産量を減少させる。豪州は国際炭素取引に参加しないとエネルギー集約産業の生産量が8%程度減少する。

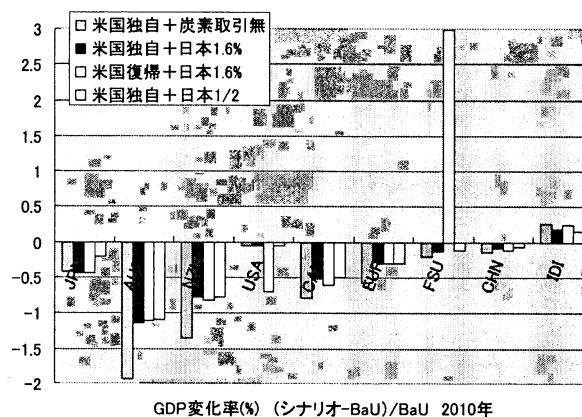


図3 GDP変化率（対現状推移シナリオ、2010年）

（２）環境制約による経済損失と環境投資及び技術革新による経済回復の分析

京都議定書の目標達成のための対策を実施すると経済影響が予想される。この経済影響が環境投資を活発化することでどの程度回復できるかを推計した。環境投資や環境産業の育成により以下の効果が期待できる。

- ・ 環境投資による誘発効果や環境産業による新たな需要を創出する。
- ・ 環境保全に関する技術開発が進む。
- ・ 環境負荷が低減され、環境制約が緩和される。

最初の効果は、投資そのものがもつ波及効果とともに、環境保全に関する新たな財やサービスが生み出され、それらが今までにはない新たな市場を形成するというものである。第２の効果は、環境産業の育成を通じて技術水準が向上し、国際的に優位に立てるというものである。この効果については、ポーター仮説として知られている。第３の効果は環境投資や環境産業の育成を通じて環境負荷が削減されるようになると、汚染の排出に対する生産性が向上し、より少ない汚染で生産することが可能となり、環境制約が緩和され、その結果、経済活動全体が活性化されるというものである。

以上のような効果が実際にどの程度の効果になるのかを、日本を例にAIM/Materialモデルを用いて定量的に評価した。環境投資及び環境産業の効果を分析するために、以下のようなシナリオを想定した。

- ・ シナリオ１：現状推移シナリオ
- ・ シナリオ２：環境制約シナリオ
- ・ シナリオ３：環境制約＋対策シナリオ

なお、2000年までについてはこれまでの実績値を反映させるように技術進歩率を調整している。また、2010年までの経済活動や二酸化炭素排出量の推移が、これまでに報告されている予測値にあうように、貯蓄性向や技術進歩率を調整したものを、現状推移シナリオと定義している。

シナリオ２の環境制約とは、2010年までに二酸化炭素排出量の削減と廃棄物最終処分量の削減を導入したシナリオである。二酸化炭素排出量の削減については京都議定書の水準を、廃棄物最終処分量の削減については政府のダイオキシン対策推進基本指針に基づく目標量（2010年度の廃棄物最終処分量を1996年度の最終処分量に対して半減させる）をそれぞれ想定している。これらの制約を緩和させる政策はシナリオ２では導入しない。シナリオ３では、シナリオ２で示した環境制約を緩和させるような対策を導入するシナリオであり、環境産業の育成と環境投資の拡張（現状で想定している投資に占める環境投資のシェアを向上させるシナリオ）や技術進歩（廃棄物処理効率の改善が実現）、減税（廃棄物発電に関する費用の低減）、さらにはグリーン購入の拡張を想定している。シナリオ３から、環境産業の育成や環境投資の拡大によるマクロ経済への影響とともに、そうした活動を支援する政策や消費者行動の変化が環境産業育成と一体となったときの効果が分析される。

図４は、シナリオ１を基準を基準として比較したシナリオ２、シナリオ３の変化を示す。シナリオ１とシナリオ２の比較から、環境制約の導入は経済活動にマイナスの影響を及ぼす（2010年でGDPの0.5%）。しかしながら、環境制約による経済のロス、シナリオ３の対策である環境産業育成や環境投資の拡張、技術革新によって改善される。これにさらに減税政策やグリーン購入といった対策を加えることで、環境制約により発生する経済損失の半分以上は緩和させることが可能となる。

グリーン購入や減税政策のみの対策では、環境改善に寄与する財やサービスの生産の潜在能力を向上させることができないために、図4に示したGDPロスの回復は見られない。また、環境産業育成や環境投資のシェア拡大のみでも図4に示すように大幅なGDPロスの改善は見られない。環境産業の育成や環境投資の拡大、技術開発を通じて潜在的な環境改善能力を拡大するとともに、そうした潜在能力を活かす政策や取り組みが組み合わせられることで、大幅なGDPロスの回復という経済的効果が発揮されることが示された。

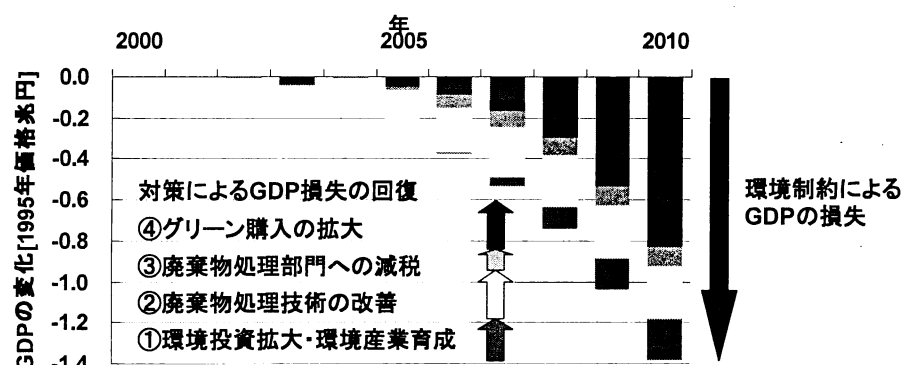


図4 環境制約によるGDPの損失と、環境投資等の対策によるGDPロスの回復

(3) AIMエンドユースモデルの中国への適用

AIMエンドユースモデルを中国に適用し、県ごと及び大規模発生源ごとの2000年から2030年までのエネルギー消費量、CO₂排出量、SO₂排出量、PM排出量を推計した。また炭素税の導入をシナリオとして与え、そのCO₂削減効果とともにSO₂排出量、PM排出量に与える副次的効果を定量的に分析した。

① 中国の現状推移シナリオ

将来の社会・経済シナリオについては、いくつかのパターンが想定できるが、表3の将来想定に基づいたシナリオの検討結果を示す。発電部門、産業部門、家庭部門、サービス部門、運輸部門、その他部門の6つの部門について計26種のサービスを想定した。また、発電部門と産業部門につい

表3 将来パラメーターの想定

		2000	2010	2020	2030
人口	合計 (100万人)	1,284	1,393	1,472	1,539
	都市部 (100万人)	413	531	633	754
	農村部 (100万人)	872	862	839	785
GDP成長率 (%)			7.8%	6.6%	5.6%
世帯数	合計 (100万世帯)	343	389	437	473
	都市部 (100万世帯)	116	156	198	243
	農村部 (100万世帯)	227	233	239	230
輸送量	貨物 (100万トン-km)	3,964,696	5,401,696	5,914,963	6,111,734
	旅客 (100万人-km)	1,548,202	3,453,129	5,371,455	7,820,063

ては計474の大気汚染物質の大規模発生源データを整備した。なお、地域分類は県ごとの2,347分類とした。

現状推移シナリオにおける一次エネルギー供給量を図5に示す。将来の人口増加や経済成長に伴い、2030年の一次エネルギー供給は38.5億toeと、2000年と比較し3倍以上の増加となった。2000年から2030年にかけて天然ガスのシェアが4%から17%へと大きく増加しているが、依然として中国の主要な燃料は石炭となっている。現状推移シナリオでの2010年におけるCO₂排出強度を図6に示す。

② 中国の温室効果ガス削減対策の分析

CO₂税及びSO₂税を想定した場合のシミュレーションを行い、CO₂削減の限界費用に関する分析を行った。

図7は各シナリオ下におけるCO₂排出量の結果を示したものである。2030年において、現状推移シナリオ

におけるCO₂排出量は9,799Mt- CO₂、0.5元/kg- CO₂の温暖化対策税を課した場合は、現状推移シナリオ比23.2%減の7,526Mt- CO₂となった。また税率別に見ると、0.1~0.3元/kg- CO₂の場合は、税率の上昇に応じて排出削減量も増加するが、0.3元/kg- CO₂以上に高い税率を課しても、排出量の削減にはほとんど影響しなくなることが示された。

図8に部門別CO₂削減の限界費用を示す。図8より、同じ削減コストを投入した場合、産業部門における削減量は他の部門と比べて最も大きく、家庭（都市部）、家庭（農村）と続き、一方で、運輸部門における効果が非常に小さいことがわかる。

また、地球温暖化対策による大気汚染対策への副次的効果の定量的な分析を行うために、CO₂、SO₂、NO_x、PM10の4つのガス排出量の予測を行った。図9は、各シナリオ、部門ごとに、CO₂税導入時のCO₂と大気汚染物質の削減率を、図10はSO₂税導入時のSO₂と他の物質の削減率を、それぞれ示したものである。図9において、CO₂削減率とそれぞれの大気汚染物質の削減率とに高い相関関係が示され、地球温暖化対策がSO₂やPM10などの大気汚染対策としても有効であることが明らかになった。これは主に石炭から天然ガスやLPGへのエネルギー転換が寄与していることによる。

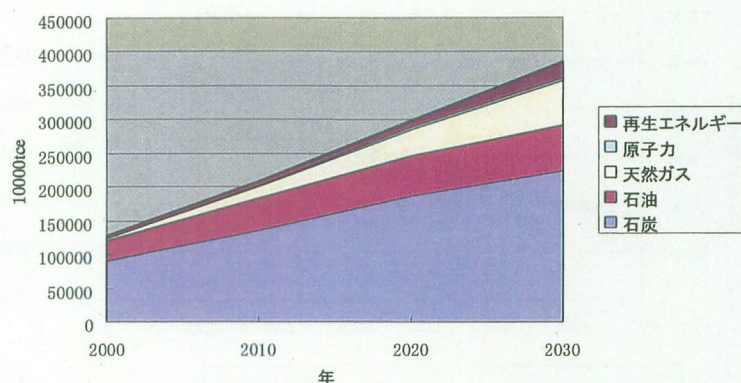


図5 一次エネルギー供給量（現状推移シナリオ）

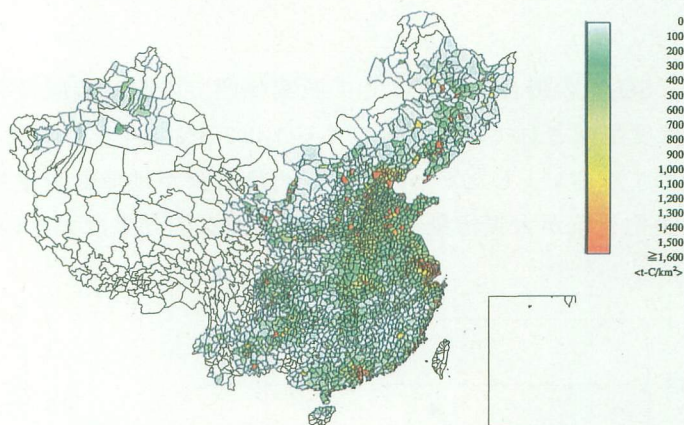


図6 中国におけるCO₂発生強度

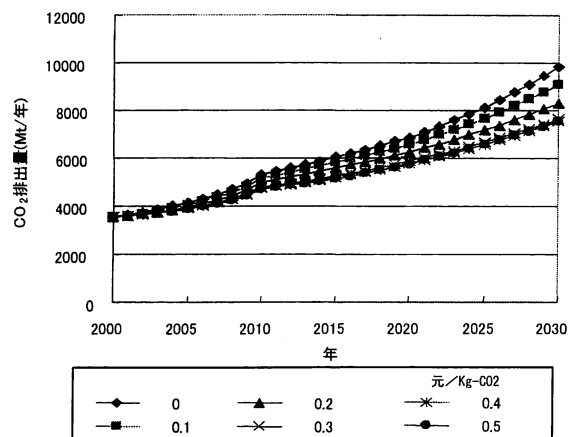


図7 中国における温暖化対策税導入の対策ケースにおけるCO₂の排出量将来推計

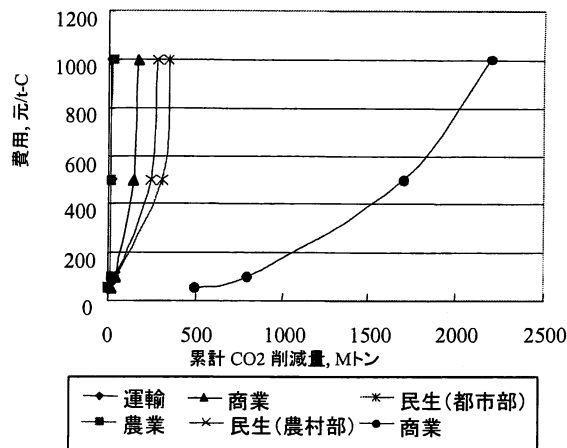


図8 中国における部門別CO₂限界削減費用

一方で、SO₂税の場合は、主として産業部門での脱硫装置の導入によりSO₂が削減されるため、SO₂が90%程度削減されている場合でもCO₂は2-3%程度しか削減されず、さらにNO_xやPM10の削減効果も極めて小さい。したがって、大気汚染対策が地球温暖化対策に及ぼす副次的効果は小さいが、地球温暖化対策が大気汚染対策に及ぼす副次的効果は大きいことが示された。

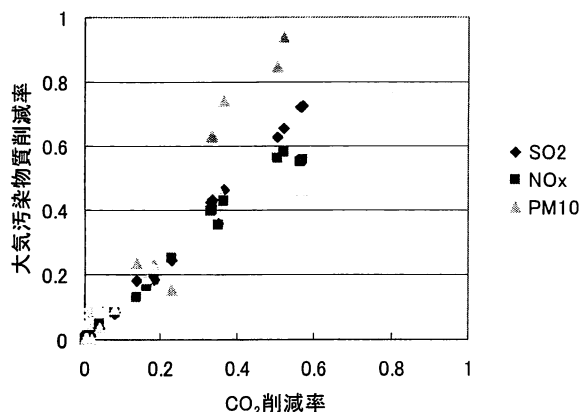


図9 中国におけるCO₂税対策ケースのCO₂と大気汚染物質の削減率

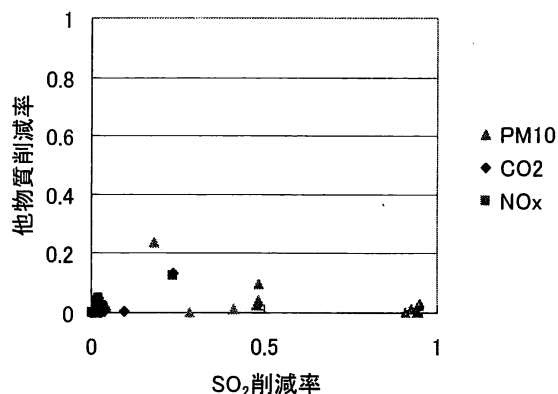


図10 中国におけるSO₂税対策ケースのSO₂と他の物質の削減率

③ 大気汚染発生量の推計と環境濃度予測との統合

大気汚染による健康影響を推計するためには、大気汚染物質発生量と環境中の大気濃度との関係を明らかにする必要がある。また、健康影響との相関を明らかにするには空間変動、時間変動を詳細に推計するモデルを適用する必要がある。本研究では、AM/Airを北京市、上海市、重慶市に適用して大気汚染濃度を推計した。

図11にSO₂濃度の日変動の推計値を図12に分野別の寄与率を示す。図11からSO₂濃度の季節変動は大きく、特に冬場に高濃度の日が出現することがわかった。また、北京市におけるSO₂濃度へ

の寄与は商業部門と発電部門がほとんどを占めており、産業部門からの寄与が少ないことがわかった。

図13は上海市の、図14は重慶市のSO₂ 濃度の日変動の推計値である。共に発電部門からの寄与率が高いことがわかった。上海市では、鉄鋼部門などの産業部門からの排出量が北京と比較して大きな寄与率を占めた。重慶においては、北京や上海と比較して、SO₂濃度へのセメント部門からの寄与率が大きかった。上海氏では、日平均濃度の季節変動は、ほとんど見られなかった。また、重慶市では、北京ほど明確でないものの、季節変動が確認された。

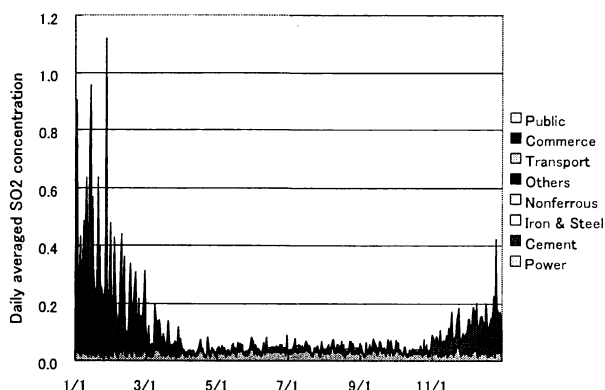


図11 北京市のSO₂ 濃度の日変動

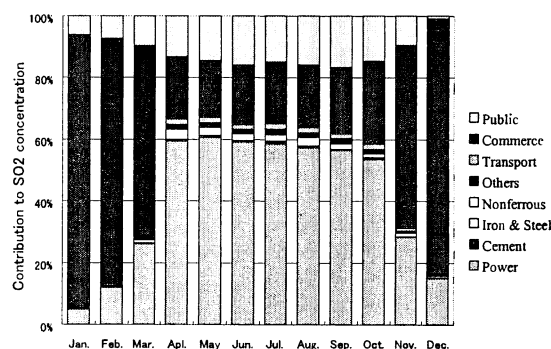


図12 北京市のSO₂ 濃度への分野別寄与率

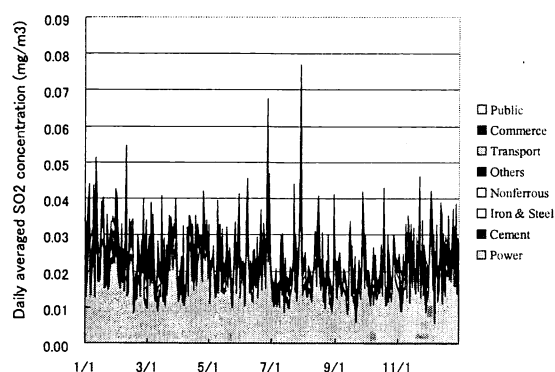


図13 上海市のSO₂ 濃度の日変動

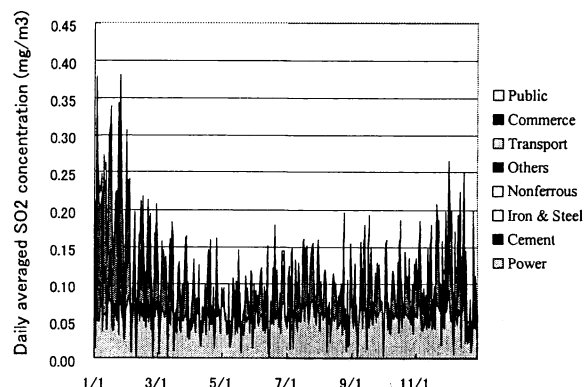


図14 重慶市のSO₂ 濃度の日変動

(4) AIM/エンドユースモデルのインドへの適応

AIMエンドユースモデルをインドに適用し、州ごと及び大規模発生源ごとの2001年から2030年までのエネルギー消費量、CO₂排出量、SO₂排出量を推計した。また炭素税の導入をシナリオとして与え、そのCO₂削減効果とともにSO₂排出量に与える副次的効果を定量的に分析した。

① インドの現状推移シナリオ

発電部門、産業部門、家庭部門、民生部門、農業部門の5部門を分析の対象とした。将来の人口

は、国連予測をもとに、2000年の10億人から2030年には13.5億人にまで増加、GDP成長率については政府のマクロ経済予測をもとに、2000年から2030年まで年平均で約5%の割合で増加すると想定した。なお、将来の大規模発生源の数については、2010年までは新規建設計画や改築計画に基づいて想定し、それ以降は過去のトレンドから想定した。

現状推移シナリオで考慮した大規模発生源の数、及びCO₂及びSO₂排出量は表4のような結果となった。CO₂排出量は一定の割合で増加し続け、2000年の983Mt-CO₂から2030年2,945Mt-CO₂へと3倍以上に増加した。一方SO₂排出量については、脱硫装置とクリーンコールテクノロジーの普及により2020年以降減少傾向となり、2000年と比較すると2030年は約1.15倍の伸びに留まることが示された。また、CO₂、SO₂共にいずれの年においても、排出量の60%以上を大規模発生源が占めており、主要な排出源であることが示された。州ごと及び大規模発生源ごとの、CO₂排出量を図15に、SO₂排出量を図16に示す。

表4 CO₂及びSO₂排出量（現状推移シナリオ）

排出源		2000	2010	2020	2030
CO ₂	大規模発生源（LPS）の数	303	374	435	495
	LPS からの排出量 (Mt-CO ₂)	630	989	1,418	1,912
	インド全域の排出量 (Mt-CO ₂)	983	1,556	2,189	2,945
	LPS 排出量の占める割合 (%)	64	64	65	65
SO ₂	大規模発生源（LPS）の数	368	437	499	559
	LPS からの排出量 (Mt-SO ₂)	3.12	3.96	4.35	3.83
	インド全域の排出量(Mt-SO ₂)	5.02	5.87	6.25	5.77
	LPS 排出量の占める割合 (%)	62	67	70	66

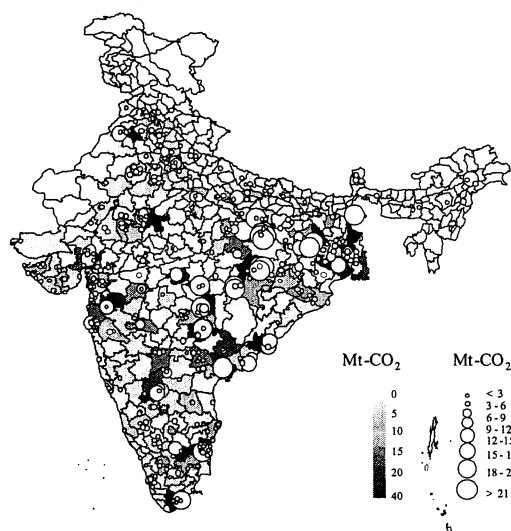


図15 インドにおけるCO₂排出量の推計
(2030年)

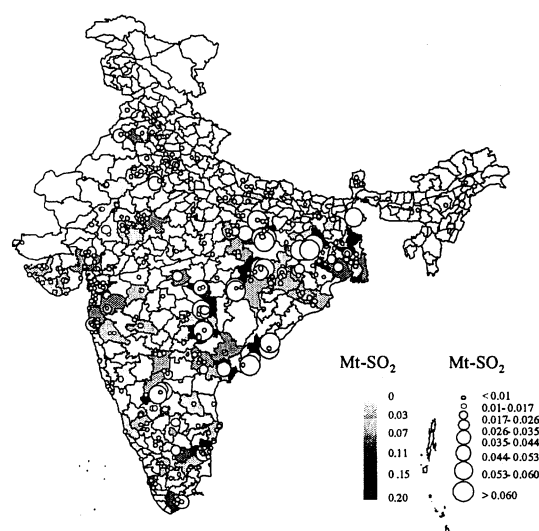


図16 インドにおけるSO₂排出量の推計
(2030年)

③ インドの温室効果ガス削減対策の副次効果の分析

炭素トン当たりUS\$50、\$100 \$200という3通りの炭素税を2010年以降に導入すると仮定したシナリオについて分析した。図17は現状推移シナリオ及び炭素1トン当たり\$200の炭素税を導入した場合の一次エネルギー供給量を示したものである。炭素税の導入の結果、石炭から天然ガス、再生可能エネルギーへと燃料転換が起きていることが伺える。これは主に発電部門での天然ガス発電、再生可能エネルギー発電の増加、鉄鋼部門における電炉、直接還元プロセスの普及、紙パルプ部門におけるコージェネレーションの普及によるものである。またその結果、図18のようにSO₂排出量も削減された。このように、炭素税の導入は地球温暖化対策としてだけでなく、大気汚染問題に対しても効果的であることが示された。

③ 非CO₂ガスの分析

日本を除くアジア各国ではCO₂以外の温室効果ガス排出量のシェアが大きい。1995年におけるシェアは、中国においてはCH₄が20%、N₂Oが11%、インドにおいてはCH₄が31%、N₂Oが6%である。このためCH₄、N₂Oの排出量及び対策効果を推計した。図19はインドにおけるメタンの発生量のなりゆきシナリオの推計である。石油、ガス供給部門での増加率が非常に高く、次いで、石炭生産部門での増加率が高い。これら2部門と施肥管理、一般廃棄物部門の4部門について対策シナリオを検討した。図20はメタン税を導入した場合の検討結果である。メタン1トン当たり50ドルのメタン税を導入することにより、2030年において約2.6Mt-CH₄の削減が可能であり、100ドルのメタン税によりさらに3.5 Mt-CH₄の削減の可能性があることが示された。

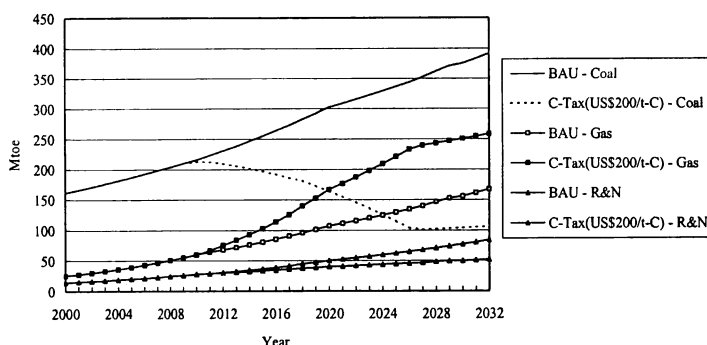


図17 一次エネルギー供給量（現状推移シナリオ、炭素税シナリオ）

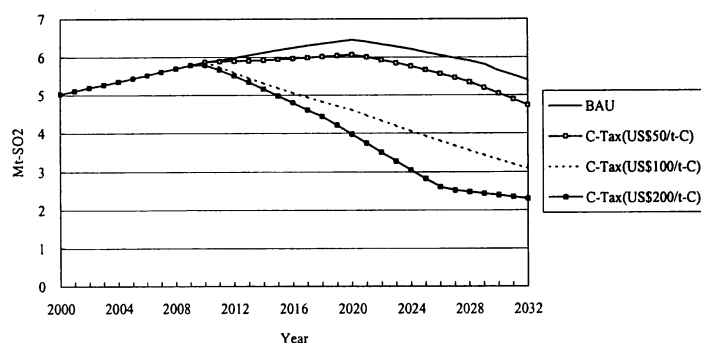


図18 SO₂排出量（現状推移シナリオ、炭素税シナリオ）

（5）AIMエンドユースモデルの韓国への適用

AIMエンドユースモデルを韓国に適用し、2000年から2020年までのCO₂排出量を部門別に予測するとともに、炭素税、補助金がCO₂排出量に与える影響を分析した。また、ソウル市を含む京畿道と仁川廣域市を対象に2001年から2030年までのエネルギー消費量、CO₂排出量、SO₂排出量、NO_x

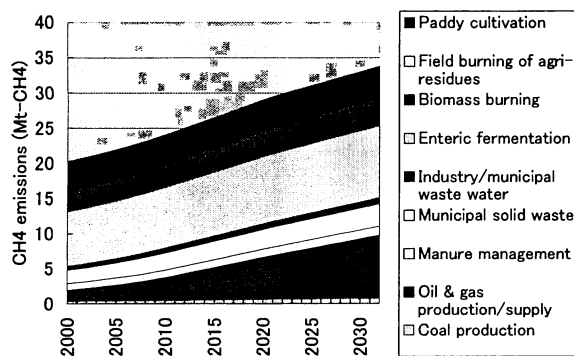


図19 インドにおけるCH₄排出量の将来推計

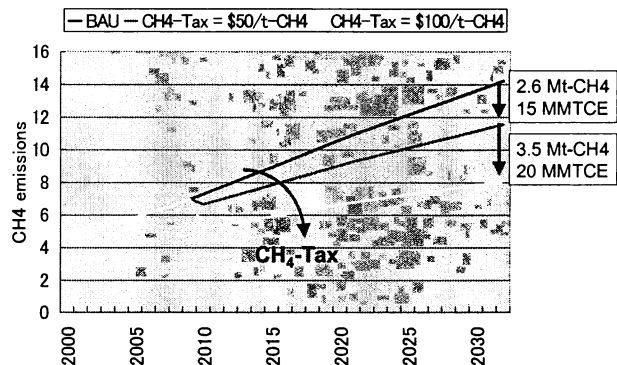


図20 インドにおけるメタン税導入効果の推計

排出量、PM排出量などを推計した。

① 韓国の現状推移シナリオ

1995年のデータをもとに、2020年までのCO₂排出量を予測した。図21に部門別のCO₂排出量を示す。

1995年におけるCO₂排出量は104.8百万炭素トンであったが、2020年には177.6百万炭素トンと推計された。1998年のGDP成長率は-5.9%であったが、1999年には7%以上に回復した。民生部門のCO₂排出量は1995年の18.2百万炭素トンから2020年の32.2百万炭素トンと1.77倍に増加し、総排出量に占める割合も17.4%から18.1%と増加

すると推計された。商業部門からのCO₂排出量は1995年の8.72百万炭素トンから2020年には19.73百万炭素トンと2.26倍に増加すると推計された。運輸部門からのCO₂排出量は1995年の20.1百万炭素トンから2020年には39.3百万炭素トンと1.96倍となった。産業部門からのCO₂排出量の伸びの推計が一番小さく、1995年の57.7百万炭素トンから2020年の86.44百万炭素トンと1.5倍であった。

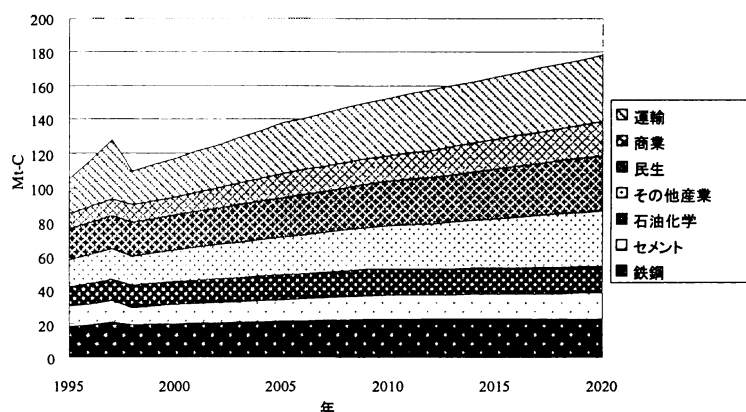


図21 韓国における部門別CO₂排出量の予測

③ 韓国の二酸化炭素削減対策の分析

表5に示す4つのシナリオについて、民生、商業、運輸、鉄鋼、セメント、石油化学を対象としてCO₂排出量削減対策について検討した。シナリオ0は現状推移シナリオである。シナリオ1は技術の進展がないと仮定した場合である。シナリオ2は2000年から1炭素トン当たり3万ウォンの炭素税を2000年から導入するというものである。シナリオ3は2000年から1炭素トンあたり3万ウォンの炭素税を導入し、その税収を2001年から省エネルギー機器の導入促進に補助するシナリオである。

図22に運輸部門での推計結果を示す。2020年の運輸部門からのCO₂排出量は1995年の約2倍と年率約2.7%増加すると予想される。CO₂対策に有効な車として、ハイブリッド車と電気自動車を考慮した。1炭素トン当たり3万ウォンの炭素税では、省エネルギー車の導入は進まなかった。税収を省エネルギー車の導入促進のための補助金として使うと、2020年において5.9百万炭素トンのCO₂排出量の削減が可能となった。シナリオ2では民生、商業部門においても効果はなかったが、シナリオ3では、2020年に現状推移シナリオと比較して、民生部門で、7.4百万炭素トンが、民生部門で、1.9百万炭素トンの削減が見込まれた。

図23にセメント部門での推計結果を示す。1995年のセメント部門からのCO₂排出量は11.59百万トンであり、韓国のCO₂排出量の11.1%を占めていた。2020年のCO₂排出量は15.0百万トンであり、全体の8.4%である。1995年から2020年の年平均増加率は1.03%であり、全体に占める割合は生産量の伸びが鈍化すると予想されるため減少する。炭素税のみのケースではCO₂排出量は変化しないが、補助金ケースでは2020年に1.18百万トンの削減が見込まれる。鉄鋼部門、石油化学部門においては、シナリオ2、シナリオ3ではCO₂排出量は変化しない。

1炭素トンあたり3万ウォンの炭素税をでは、各部門においてCO₂排出量削減は認められなかったが、税収を省エネルギー機器の普及に使用する補助金ケースでは効果は認められた。炭素税のみで削減効果を見込むためには、税率を高くする必要がある。一方、効率の税金は経済的影響が大きいところから補助金制度を導入することが有効である。しかし、補助金制度は汚染者負担の原則とは一致しないので、今後、省エネルギー機器の開発に税収を導入した場合の効果なども検討する必要がある。

表5 韓国における分析に用いたCO₂排出量削減対策シナリオ

シナリオ	説明	略号
シナリオ0	現状推移シナリオ	BaU
シナリオ1	技術一定シナリオ	FIX
シナリオ2	炭素税：3万ウォン/t・C（2000年から） （1\$ = 1,200ウォン）	TAX
シナリオ3	炭素税：3万ウォン/t・C（2000年から） 税収を補助金として活用（2001年から）	SUBSIDY

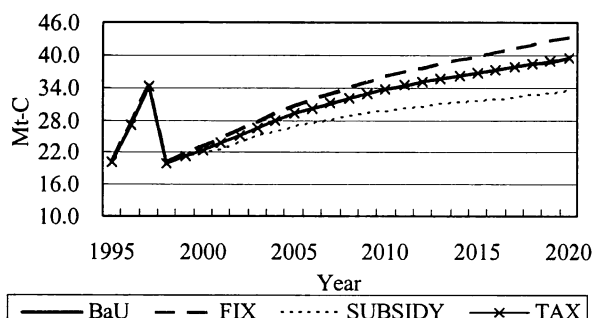


図22 韓国における運輸部門のCO₂排出量の予測

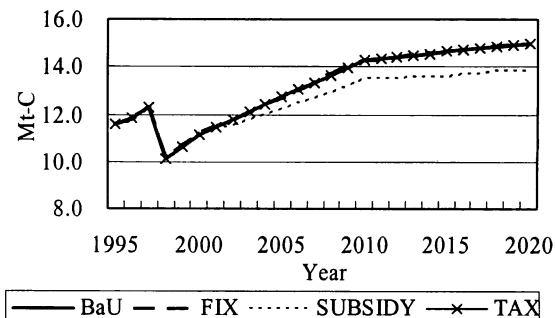


図23 韓国におけるセメント部門のCO₂排出量の予測

③ ソウル市を含む京畿道と仁川廣域市の推計

産業部門、家庭部門、業務部門、運輸部門の4部門について計15種のエネルギーサービスを想定した。将来の人口は、韓国総務庁の地域別予測値を用い、将来の地域別GDPについては人口等を説明変数とし計量経済モデルを構築し推計した（図24）。

地域別の自動車の登録台数についても地域別一人当たりGDP、一人当たり自動車登録台数などを説明変数とし、計量経済モデルを用いて推計した（図25）。

これらのデータおよびエンドユースモデルを用いて推計した首都圏全体のCO₂排出量を図26に示す。2001年の約35億トンから2030年 約 58億トンへ約1.7倍に増加すると予測された。特に産業部門での増加が著しい。

部門別のシェアで見ると、産業部門は2001年の30%から2030年には39%に増加する一方、運輸部門は31%から25%へと減少している。家庭・商業部門のシェアはほとんど変化しない。

図27は首都圏地域の運輸部門起源のPM排出量をGISを用いて地図上に示したものである。2006年からの排出ガス規制(Euro4)の適用により、2030年におけるPM排出量は2000年と比較し39%減少する結果になった。また、NOx排出量についても2030年の排出量は2000年と比較し33%の減少結果になった。以上より、Euro4は大気汚染対策としては有効であるが、地球温暖化対策としては効果が見られないことが示された。

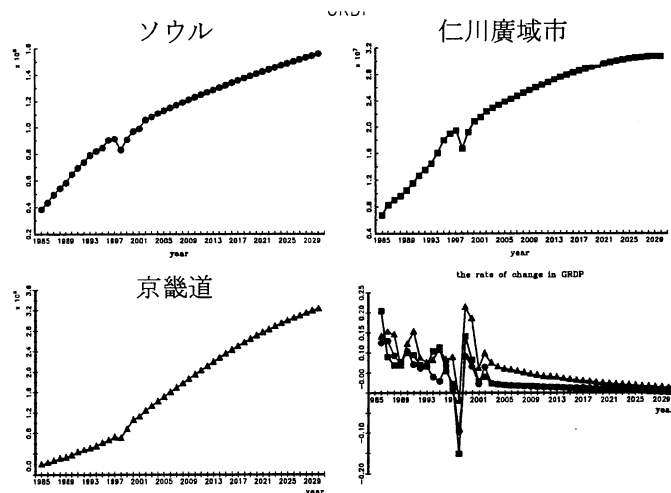


図 24 地域別 GDP と GDP 変化率の推移

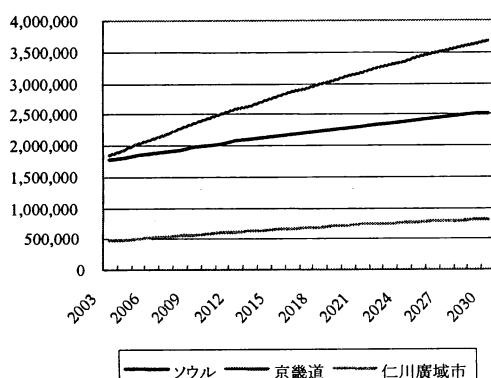


図25 地域別自動車登録台数の予測

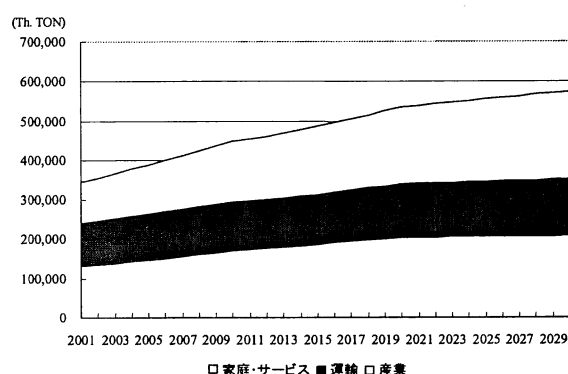


図26 ソウルを含む都市部の部門別CO₂排出量の予測

2001 年

2015 年

2030 年

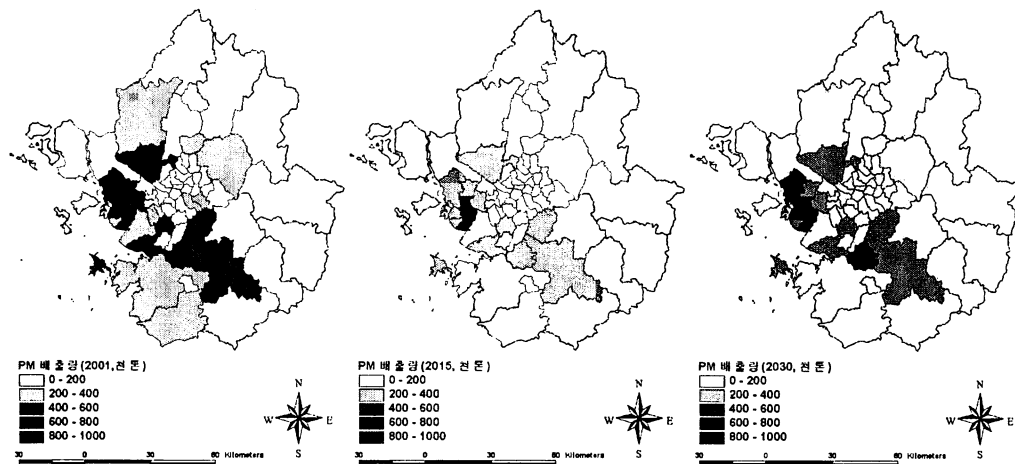


図27 首都圏地域別 運輸部門起源のPM排出量

(6) AIMエンドユースモデルのASEAN諸国への適用

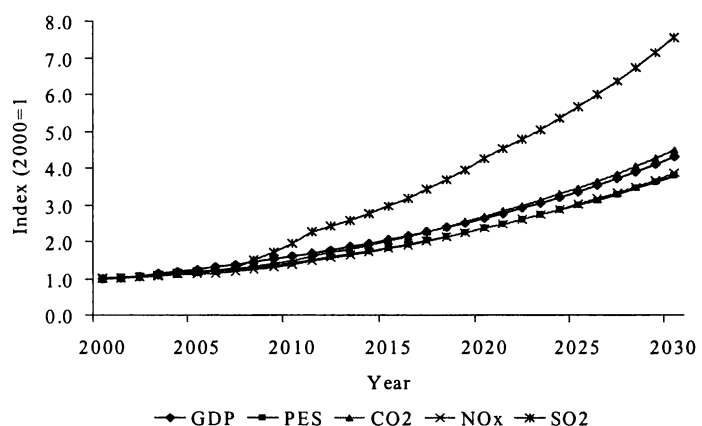
AIMエンドユースモデルをタイに適用し、2000年から2030年までの県ごと及び大規模発生源ごとのエネルギー消費量、CO₂排出量、SO₂排出量、NO_x排出量を推計した。また、CO₂排出量に制約を課した場合のSO₂排出量、NO_x排出量に与える副次的効果について分析を行った。

① タイへの適用

ア. 現状推移シナリオ

発電部門、産業部門、家庭部門、サービス部門、運輸部門、農業部門の6部門を分析の対象とした。発電部門と産業部門についてはセメント、鉄鋼、紙パルプなどのサブ部門を設定するとともに、サブ部門ごとに2000年において計120個、2020年において計169個の大気汚染物質の大規模発生源を想定した。なお、地域分類は76分類とした。

図28のように、2000年から2030年にかけてのGDPの伸びは4.3倍であるのに対し、一次エネルギー供給量の伸びは3.8倍とGDPの伸びを下回った。同様にSO₂については、価格の安い石炭が多く消費されるため、7.6倍とGDPの伸び率を大き

図28 タイにおけるGDP、一次エネルギー供給量、CO₂、NO_x、SO₂の推計 (2000年=1)

く上回っている。CO₂、NO_xについてはそれぞれGDP、一次エネルギー供給とほぼ同様の伸び率となった。

また、現状推移シナリオにおける2020年のCO₂排出量を図29にSO₂排出量を図30に示す。なお、CO₂及びSO₂の排出量のうちLPSの占める割合はCO₂は2000年では38%、2020年では42%、SO₂は2000年では51%、2020年では53%である。

イ．CO₂排出量制約ケースの分析

現状推移シナリオと比較し5%削減（ER5）、10%削減（ER10）、15%削減（ER15）という3つのCO₂排出量制約を設定した場合の分析を行った。その結果、図31に示されるように、CO₂排出量制約下においては、石炭からバイオマス、天然ガスへの燃料転換が起こっている。例えば、石炭については、現状推移シナリオと比較しER5シナリオでは31%、ER15シナリオでは57%も減少する。一方、バイオマスはER5では40%、ER15では55%増加する。また、天然ガスはER5では22%、ER15では39%増加する。

CO₂排出制約シナリオ下における部門別のCO₂削減量を示したものが図32である。ER5及びER10においてはCO₂排出量の削減は主として発電部門によるものである。これは、他の部門と比較し、発電部門における燃料転換が比較的容易なためである。一方、ER15においては産業部門や運輸部

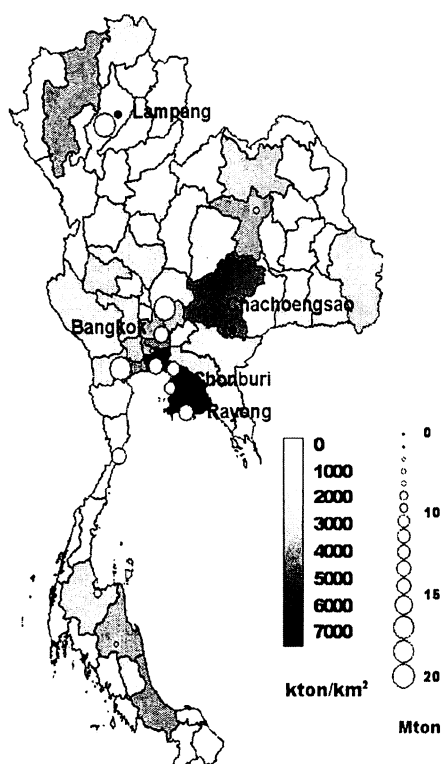


図29 タイにおけるCO₂排出量の推計
(2020年)

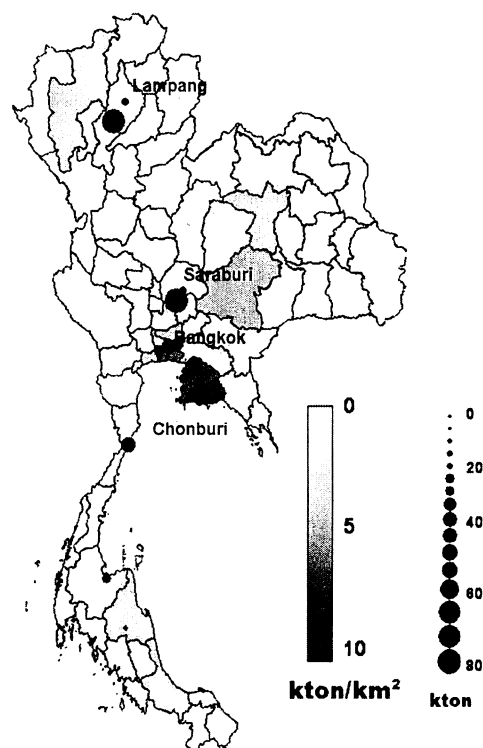


図30 タイにおけるSO₂排出量の推計
(2020年)

門での効率改善によってもCO₂が削減されている。

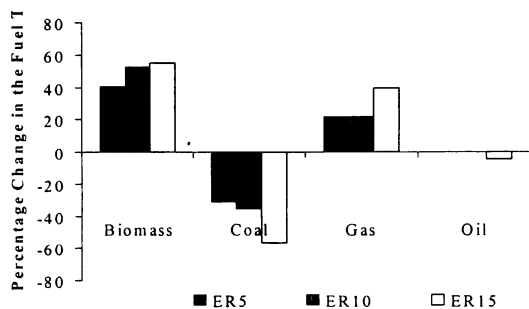


図31 対策シナリオ時の燃料の変化

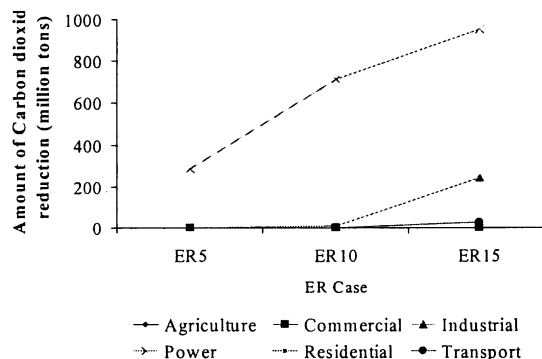


図32 部門別CO₂の削減量

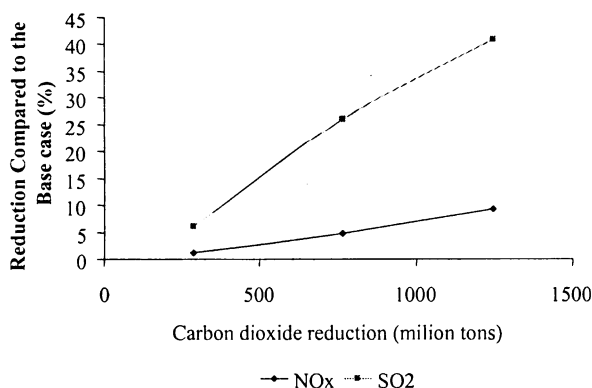


図33 現状推移シナリオと比較した削減率

また、CO₂削減量とSO₂やNO_xの削減量との関係を示したものが図33である。CO₂排出量削減に応じて、燃料転換やエネルギー効率の改善によりSO₂及びNO_xも削減されている。このように、CO₂排出量の制約は、SO₂やNO_xなど大気汚染問題に対しても有効であることが明らかになった。

② ベトナムへの適用

AIMエンドユースモデルをベトナムに適用し、2000年から2020年までのエネルギー消費量、CO₂排出量、SO₂排出量、NO₂排出量を推計した。また、CO₂排出量に制約を課した場合のエネルギーミックス、SO₂排出量、NO₂排出量に与える副次的効果について分析を行った。

家庭部門、業務部門、産業部門、運輸部門の4部門について計17種のエネルギーサービスを想定した。将来のエネルギーサービス需要データはベトナムエネルギー研究所の推計値を使用し、技術データについてはベトナムエネルギー研究所やIEA、ADBの報告書を参照した。

表6に示されるように、現状推移シナリオ (BaU)において、2020年における一次エネルギー供給量は、2000年の866PJから2,170PJへと約3倍に増加した。特に天然ガスの供給量増加が著しい。次に現状推移シナリオと比較し5%削減 (ER5)、10%削減 (ER10)、15%削減 (ER15) という3つのCO₂排出量制約シナリオについて検討を行った。その結果、現状推移シナリオと比較し、CO₂排出量制約シナリオでは、天然ガス、水力発電、原子力発電の供給量が増加する一方、石炭と石油については減少する結果になった。

表6 一次エネルギー供給

Energy Resource	2000		2020		
	BaU scenario	BaU scenario	ER5	ER10	ER15
Biomass	7.1	3.5	3.5	3.6	3.6
Coal	37.8	36.5	31.3	29.4	28.2
Natural gas	8.2	21.9	27.7	28.4	29.1
Crude oil for refinery	-	29.3	25.9	23.2	21.3
Hydro energy	7.1	5.7	5.6	5.8	6.6
Nuclear	-	2.6	2.6	2.7	3.1
Geothermal	-	0.2	0.2	0.2	0.2
Solar	-	0.2	0.2	0.2	0.2
Wind energy	-	0.1	0.1	0.1	0.1
Import of oil product	39.6	-	2.8	5.8	5.4
LPG import	0.1	-	-	-	0.4
Electricity import	-	-	-	0.7	1.9
Total, PJ	866	2,170	2,199	2,163	2,145

表7に最終エネルギー消費量の推移を示す。現状推移シナリオにおいて、2020年における最終エネルギー消費量は、2000年の554PJから1,648PJへと約3倍に増加した。部門別に見ると2000年においては運輸部門が最大のエネルギー最終消費部門であるが、2000年以降の伸びが著しい産業部門が2020年においては最大のエネルギー最終消費部門となる。表8にCO₂排出量の部門別シェアを示す。表8のBaUシナリオとER5、ER10、ER15シナリオの結果を比較すると、発電部門からのCO₂削減量が他の部門と比べて大きいことから、CO₂削減には発電部門が大きく貢献しうることが示された。

表9はSO₂排出量や表10はNO₂の排出量の推移である。現状推移シナリオとER5、ER10、ER15シナリオとを比較すると、CO₂排出量の削減と同時にSO₂やNO₂の排出量も削減されることが示された。このように、CO₂排出量の制約は大気汚染問題に対して副次的効果を有することがわかった。

表7 最終エネルギー消費 (PJ)

Sector	2000		2020		
	BaU scenario	BaU scenario	ER5	ER10	ER15
Commercial	38	125	125	125	125
Industry	189	775	775	774	762
Residential	98	270	268	268	268
Transport	229	478	478	478	478
Total	554	1,648	1,646	1,645	1,633

表8 CO₂排出量の部門別シェア (%)

Sector	2000		2020		
	BaU scenario	BaU scenario	ER5	ER10	ER15
Commercial	2.6	1.2	1.2	1.3	1.3
Industry	30.5	46.1	47.8	48.1	48.4
Residential	2.1	1.5	1.3	1.3	1.4
Transport	38.8	26.0	27.0	27.6	29.5
Power generation	26.0	25.2	22.7	20.7	19.4
Total, 10 ³ tons (C)	10,993	34,099	32,394	30,689	28,984

表9 SO₂排出量の部門別シェア (%)

Sector	2000	2020			
	BaU scenario	BaU scenario	ER5	ER10	ER15
Commercial	3.0	1.0	1.1	1.2	1.3
Industry	43.5	62.3	70.5	75.6	78.2
Residential	2.6	0.5	0.3	0.4	0.4
Transport	24.0	14.2	16.0	17.2	18.8
Power generation	26.9	22.1	12.0	5.6	1.3
Total, 10 ³ tons	198.4	648.6	572.7	533.1	489.0

表10 NO₂排出量の部門別シェア (%)

Sector	2000	2020			
	BaU scenario	BaU scenario	ER5	ER10	ER15
Commercial	1.9	0.6	0.7	0.7	0.7
Industry	31.7	48.1	50.1	51.1	51.3
Residential	1.9	0.4	0.2	0.2	0.2
Transport	37.8	24.7	25.7	27.2	28.2
Power generation	26.7	26.2	23.3	20.8	19.6
Total, 10 ³ tons	120.5	377.8	362.2	347.8	330.9

③ マレーシアへの適用

マレーシアについては運輸部門と民生部門の推計を行った。運輸部門については、道路旅客輸送（自家用乗用車、オートバイ、タクシー、バス、貨客車）からのCO₂排出量を、民生部門では、家電製品からのCO₂排出量を推

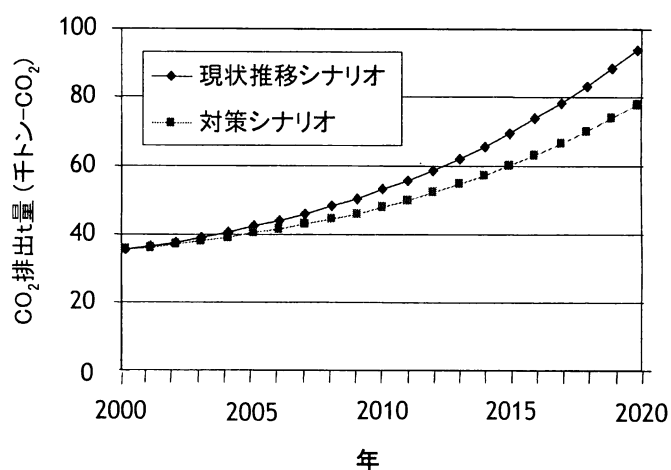
計した。マレーシアにおける道路旅客輸送手段は自家用乗用車とオートバイである。乗用車によるサービス需要は2000年から2020年にかけて年率約8%で増加すると予想される。現状ではオートバイ保有台数50.5%と乗用車の39.1%より多いが、2020年には、乗用車の割合が59.3%、オートバイが39.0%となることが予想される。

図34にCO₂排出量の推計を示す。

現状推移シナリオでのCO₂排出量は2000年の35千トン-CO₂から

2020年には94千トン-CO₂に増加すると推計された。対策シナリオとして、乗用車とタクシーに天然ガス車、貨客車とバスにバイオディーゼル車が導入されると仮定すると、2020年のCO₂排出量は78千トンCO₂まで下げることが示された。

民生部門の家電製品からのCO₂排出量は2000年の2.02千トン-CO₂から2020年には2.79千トン

図34 運輸部門の陸上旅客部門からのCO₂排出量の予測

-CO₂に増加すると推計された。冷蔵庫が22.1%とCO₂排出量の割合が一番大きく、炊飯器が9.6%、天井扇風機が7.7%、電気湯沸かし器が7.6%であった。冷蔵庫、扇風機などの効率の良い機器の導入が促進されるとすると、2020年のCO₂排出量は2.68千トンCO₂まで下げることが示された。

② タイ、インドネシア、ベトナムの推計結果の比較

2000年におけるCO₂排出量は3カ国の中でインドネシアが一番大きく約281Mt-CO₂であり、タイの1.7倍、ベトナムの6.3倍であったが、タイのCO₂排出量は年率5.1%の割合で増加し、インドネシアの年率増加率3.5%より大きいいため、2030年にはインドネシアとタイのCO₂排出量の比は1.07と小さくなる。（図35参照）

インドネシアでは、発電部門の寄与率が27%から29%に、産業部門の寄与率が3%から36%に2000年から2030年にかけて増加し、運輸部の寄与率は31%から21%に減少すると予想される。タイの発電部門の2000年の寄与率は36%であるが、2030年には31%に減少し、産業部門が20%から24%に増加し、運輸部門の排出量は36%のままと予想される。ベトナムでは、発電部門が22%から19%に減少し、産業部門が28%から36%に、運輸部門が36%から38%に増加すると予想された。タイとベトナムの2030年においては、運輸部門が最大のCO₂排出部門となる。（図36参照）

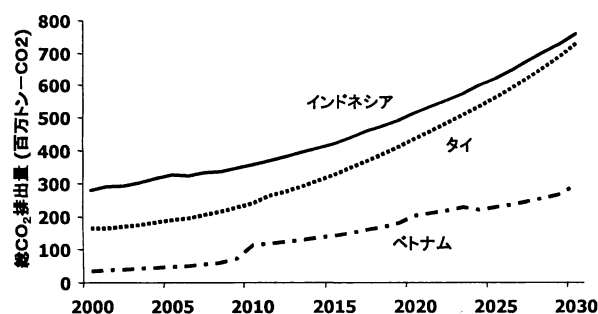


図35 インドネシア、タイ、ベトナムの総CO₂排出量

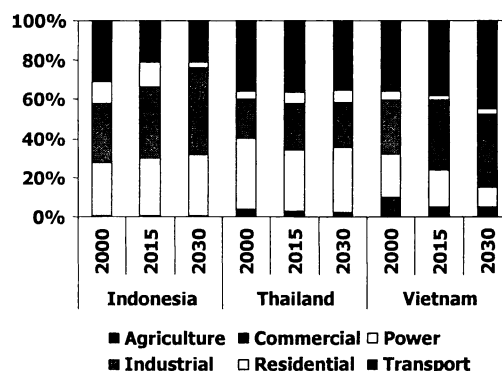


図36 インドネシア、タイ、ベトナムの部門別CO₂排出量

対策シナリオとして、現状推移シナリオと比較して5%削減（ER5）、10%削減（ER10）、15%削減（ER15）という3つのCO₂排出量制約シナリオについて比較した。インドネシアにおける一次エネルギー供給量の変化を図37に、ベトナムの変化を図38に示す（タイについては図31参照）。CO₂排出量制約の下では、インドネシアの一次エネルギーは石炭、石油からバイオマス、天然ガスへの転換が起きる。タイのER5シナリオでは、石炭からバイオマスへ、ER10、ER15シナリオでは、石炭からバイオマスと天然ガスへの転換がおきる。タイの現状推移シナリオでは、エネルギーの輸入が2010年の46%から2030年には86%に伸びる。タイの現状推移シナリオでは、2000年から2030年のエネルギー輸入の平均割合は74%であるが、ER5シナリオでは国内バイオマスの増加により68%に減少し、ER15シナリオでは輸入天然ガスの伸びのため、

73%になると推計される。

2010年から2030年までの累計SO₂排出量を、現状推移シナリオとER15シナリオで比較すると、インドネシアは14%であったが、タイでの削減率が一番大きく41%となった。また、NO_x削減率は、ER15シナリオで、インドネシアが13%、タイが9%、ベトナムが6%であった。どちらの場合も、CO₂排出量削減政策がSO₂排出量、NO_x排出量削減に有効であることがわかった。

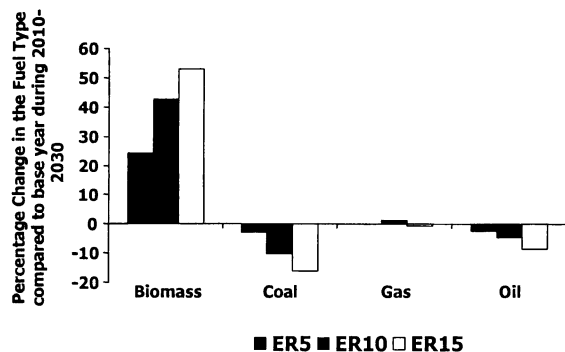


図37 CO₂排出量制約下でのエネルギー供給構造の変化（インドネシア）

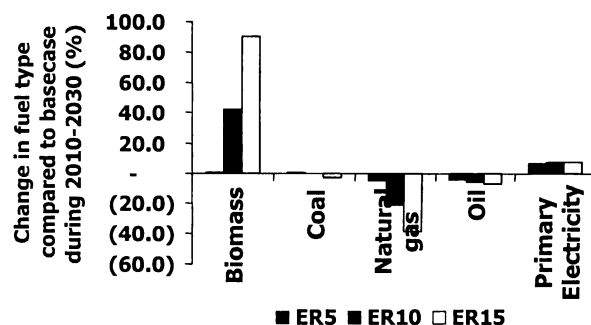
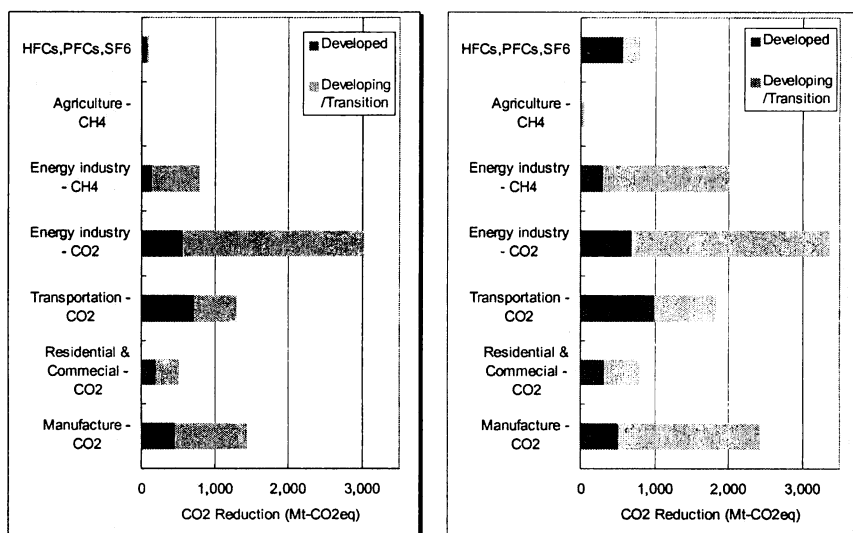


図38 CO₂排出量制約下でのエネルギー供給構造の変化（ベトナム）

（7）世界エンドユースモデルによる対策技術の検討

国別詳細モデルに加えて、世界エンドユースモデルを適用して、分野別、地域別の温室効果ガス削減ポテンシャルを推計し、先進国、経済移行国、途上国において温暖化対策に有効な技術を検討した。技術一定ケースと比較した削減ポテンシャルを図39に示す。図39(a)は価格の安いものが市場で選択されると想定した場合の温室効果ガス排出量と、技術一定ケースの場合を比較したものである。経済移行国、途上国では、市場経済に基づいて安い技術が導入されることによる削減ポテンシャルが大きいことがわかる。図39(b)は限界削減費用がUS\$100以下の技術が導入される



(a) 市場ケースでの技術一定ケースと比較した削減ポテンシャル

(b) 限界削減費用がUS\$100以下の場合

図39 2020年における技術一定ケースと比較した温室効果ガス削減ポテンシャル

と仮定した場合の温室効果ガス削減ポテンシャルである。エネルギー産業のCO₂、CH₄、運輸部門のCO₂、産業部門のCO₂の削減可能性が大きいことがわかった。

図40は先進国と経済移行国/途上国別に削減ポテンシャルの大きい技術を表示したものである。先進国では、運輸部門の高効率のガソリンエンジン車、火力発電のリブレース（石炭、ガス）、タのインバータ制御などが有効な技術である。途上国においては、火力発電のリブレース（石炭、ガス）、ガスパイプライン・ガス井からの漏洩ガスの回収、高性能工業炉（ガス）などが有効と認められた。現状の高効率な技術を適用することが大幅な温室効果ガスの削減が可能であることがわかった。

先進国	(MtCO ₂)	経済移行国・発展途上国	(MtCO ₂)
高効率ガソリンエンジン(連続可変パルプ、直噴ガソリンエンジン等)	632	火力発電のリブレース(石炭・ガス)	2,462
火力発電のリブレース(石炭・ガス)	546	ガスパイプライン・ガス井からの漏洩ガスの回収	676
モーターのインバータ制御	216	高性能工業炉(ガス)	449
白熱灯型蛍光灯	143	モーターのインバータ制御	431
家庭用冷凍冷蔵庫の冷媒回収	129	炭坑メタンガスの回収・熱利用	232

図40 削減ポテンシャルの大きい技術

5. 本研究により得られた成果

わが国のCO₂の将来の推定排出量に対して、京都議定書で定められたCO₂排出量の削減目標を達成するために必要な温暖化対策税の税率や、温暖化対策税の導入に伴うわが国経済への影響を検討した。また、地域詳細モデルを日本、中国、インド、韓国、タイ、インドネシアなどのアジアの主要国に適用し、省エネ技術の普及、燃料転換の可能性、大規模プラントの将来立地による地域、地球環境への影響などについて検討した。特に、アジア地域の各国における温暖化対策が、大気汚染対策に対しても大きな副次的効果を有することを定量的に示した。

6. 国際共同研究等の状況

中国エネルギー研究所、インド経営大学院、アジア工科大学、ソウル大学、韓国環境研究所、中国科学院地理科学天然資源研究所、マレーシアプトラ大学、インド(株)リアイアンス産業(株)、マウラナ・アザド国立工科大学と共同で、地域版統合政策評価モデルを各地域に適用し、温暖化対策の地域シナリオを検討した。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

〈論文（査読あり）〉

- ① 島田幸司、溝口真吾、松岡譲、日比野剛：環境システム研究論文集、28、77-84（2000）

「地球温暖化対策が地域大気環境に及ぼす影響について」

- ② M.Kainuma, Y.Matsuoka, and T.Morita: Operatoinal Research Society of India, 38, 1, 109-125 (2001)

"CO₂ Emission Forecast in Japan by AIM/End-use Model"

- ③ 松岡譲、島田幸司、溝口慎吾：土木学会論文集、685/VII-20, 135-146 (2001)

「地球温暖化対策の副次的効果に関する研究」

- ④ 入江康子、小林由典、森田恒幸：環境経済・政策学会年報第6号、114-130 (2001)

「環境クズネッツ曲線を用いた低公害型経済発展の政策分析-SO₂の長期時系列データによる実証とモデルによるシミュレーション分析」

- ⑤ 増井利彦、松岡譲、甲斐沼美紀子：環境経済・政策学会年報、第9号、57-67 (2004)

「日本を対象とした経済モデルによる炭素税導入の影響分析」

- ⑥ 日比野剛、松岡譲、甲斐沼美紀子：環境経済・政策学会年報、第9号、68-79 (2004)

「技術選択モデルによる京都議定書達成に要する炭素税と政策分析」

- ⑦ 西本裕美、松岡譲、藤野純一、甲斐沼美紀子：環境経済・政策学会年報、第9号、80-92 (2004)

「京都議定書が世界経済及び日本経済に及ぼす影響の評価」

- ⑧ T.Masui, G.Hibino, J.Fujino, Y.Matsuoka, and M.Kainuma: Environmental Economics and Policy Studies (accepted)

"CO₂ Reduction Potential and Economic Impacts in Japan: Application of AIM"

<その他誌上発表（査読なし）>

- ① 岩嶋順也、松岡譲：環境衛生工学研究、Vol. 15, No.3, 103-108 (2001)

「アジア・太平洋地域における環境負荷の将来推計に関する研究」

- ② 堀田卓、松岡譲：環境衛生工学研究、Vol. 15, No.3, 109-114 (2001)

「中国における地球温暖化対策の副次的効果の推計」

- ③ 森田恒幸：TROPICS 熱帯研究、11, 4, 213-219 (2002)

「二酸化炭素固定場としての熱帯林の経済評価」

- ④ M.Kainuma, Y.Matsuoka, G.Hibino, K.Shimada, H.Ishii, S.Matsui, and T.Morita: Climate Policy Assessment, Springer, 156-176 (2002)

"Application of AIM/Enduse Model to Japan"

- ⑤ 増井利彦：廃棄物研究財団財団だより、50, 12-17 (2002)

「環境保全と経済発展の両立に向けて」

- ⑥ 増井利彦：かんきょう、28, 12, 16-20 (2003)

「地球温暖化対策税制専門委員会報告における炭素税率と経済影響に関する試算」

- ⑦ 中央環境審議会 総合政策・地球環境合同部会 地球温暖化対策税制専門委員会：温暖化対策税制の具体的な制度の案～国民による検討・議論のための提案～（報告）、128-149 (2003)

「地球温暖化対策税の税率とその経済影響の試算（AIMプロジェクトチーム）」

- ⑧ 国立環境研究所：Asia-Pacific Integrated Model 国際シンポジウム報告書 (2003)

「Asia-Pacific Integrated Model 国際シンポジウム」

- ⑨ P.R.Shukla, A.Rana, A.Garg, M.Kapshe, and R.Nair : Universities Press (2004)

"Climate Policy Assessment for India, Application of Asia-Pacific Integrated Model (AIM)"

- ⑩ 福島武彦, 大島巖, 甲斐沼美紀子, 梶原成元, 関根雅彦, 西村修: 土木学会論文集, Vol. VII-31, 762, 1-14 (2004)
「研究展望 環境動態モデリングの現状と課題: モデルによって環境を救うために」
- ⑪ 甲斐沼美紀子: ESP (Economy Society Policy), 391, 22-26, (2004)
「気候変動政策の課題と現状についてー科学と政策の連携ー」
- ⑫ 村上正晃, 西本裕美, 松岡譲: 環境衛生工学研究, Vol. 18, No.3, 95-100 (2004)
「わが国における長期的な二酸化炭素削減の可能性についての研究」
- (2) 口頭発表
 - ① T.Morita: International Symposium on Green Tax Reform in Asian Countries, Seoul, Korea, 2000
"Policy Issues and Directions for Greening Tax System in Japan"
 - ② T.Morita: Toyota Conference, Mikkabi, Japan, 2000
"The Policy Making Process and the Integrated Assessment Model"
 - ③ J.Fujino, H.Yamamoto, and K.Yamaji: Bio RICH Beijing, Beijing, China, 2000
"Estimation of Bioenergy Resources in China with BBT (Biomass Balance Table)"
 - ④ 森田恒幸: 第3回地球温暖化対策オープンフォーラム (2000)
「炭素税を中心とした国内政策デザインの可能性について」
 - ⑤ 森田恒幸, 浜田充: 北東アジア経済会議2001イン新潟 (2001)
「北東アジアにおける環境産業の現状と展望」
 - ⑥ T.Masui and M.Morita: International Workshop on Climate Policy Dialogue, Seoul, Korea, 2001
"Cost Assessment for Kyoto Based on AIM Model"
 - ⑦ T.Masui: International Workshop on Climate Policy Dialogue, Seoul, Korea, 2001
"Recent AIM (Asian-Pacific Integrated Model) Results to Support Environmental Policies"
 - ⑧ T.Morita: The First tripartite Roundtable on Environmental Industry, Seoul, Korea, 2001
"Regional cooperation for environmental industry development in the Northeast Asia"
 - ⑨ T.Masui and H.Yang: 4th Sino-Korea-US Economic and Environmental Modeling Workshop, Beijing, China, 2001
"Results from AIM"
 - ⑩ J.Fujino: The Workshop on Environmental Indicators and Performance Review, Manila, Philippine, 2001
"Development of AIM-Trend model for assessing the future environmental performance indicators"
 - ⑪ J.Fujino: IFAC Workshop on Modeling and Control in Environmental Issues, Yokohama, Japan, 2001
"Development of AIM-trend model as a communication tool to enhance discussions about prospect of energy and environment in each Asia-Pacific Country"
 - ⑫ M.Kainuma, Y.Matsuoka, and T.Morita: IGES International Workshop on Climate Policy In Asia, Tokyo, Japan, 2001
"Future Climate Change and their Impacts in the Asia-Pacific Region -From the AIM Results-"
 - ⑬ T.Morita: Climate Policy and Sustainable Development -Measure for Global Participation-, Seoul, Korea, 2002

- “An economic analysis of Japanese and global participation in Kyoto Protocol”
- ⑭ T.Masui: International Workshop on Climate Policy Dialogue with Vietnam/Cambodia, Ho Chi Min City, Vietnam, 2002
- “AIM (Asian-Pacific Integrated Model) to Support Environmental Policies”
- ⑮ 藤野純一、甲斐沼美紀子、松岡譲、松井重和：第18回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス、東京（2002）
- 「AIM-Trendモデルを用いたアジア各国別エネルギー需給予測シナリオの開発」
- ⑯ 藤野純一：第21回エネルギー・資源学会研究発表会、大阪（2002）
- 「AIM-Trendモデルを用いた各国別バイオエネルギーポテンシャル見積もりーバイオマス需要に関する考察ー」
- ⑰ J.Fujino: Asia-Pacific Forum for Environment and Development, Bangkok, 2002
- “How can we Prospect Renewable energy Scenario in the Asia-Pacific region with Computer Simulation Model (AIM-Asia Pacific Integrated Model)”
- ⑱ M.Kainuma: The 12th Asia-Pacific Seminar on Climate Changes, Bangkok, 2002
- “Climate change impacts in the Asia-Pacific Region - outcomes from the AIM model -”
- ⑲ M.Kainuma: Asia-Pacific Forum for Collaborative Modeling of Climate Policy Assessment, New Delhi, India, 2002
- “Future Emissions and Mitigation Modeling”
- ⑳ T.Masui: 36th Development Finance Course 2002, Tokyo, Japan, 2002
- “Compatibility between environmental protection and economic development”
- ㉑ 森田恒幸：地球環境外交担当者会議、東京（2002）
- 「地球温暖化研究の最前線とわが国の戦略」
- ㉒ 森田恒幸：第二回トヨタステークホルダーダイアログ、神奈川（2002）
- 「グリーン市場の実現は可能かー問題提起ー」
- ㉓ 森田恒幸：エコデザイン2002ジャパンシンポジウム、東京（2002）
- 「地球温暖化防止と経済発展」
- ㉔ M.Kainuma, J.Fujino, and T.Masui : The 9th AIM International Workshop, Tsukuba, Japan, 2004
- “Carbon Tax, Carbon Reduction Potential, and Economic Impact in Japan -Application of AIM (Asia-Pacific Integrated Model)”
- ㉕ 西本裕美、松岡 譲、藤野 純一：環境経済・政策学会2003年大会（2003）
- 「環境税が産業構造及び貿易収支に及ぼす影響の評価」
- ㉖ 西本裕美、松岡 譲、藤野純一：環境経済・政策学会2003年大会（2003）
- 「炭素税が日本経済に及ぼす影響の評価」
- ㉗ T.Masui : The 3rd Tripartite Roundtable Meeting on Environmental Industry, Beijing, China, 2003
- “Impact of CO2 reduction policy on environmental industry in Japan--Modeling and simulation of carbon tax and environmental industry”
- ㉘ 増井利彦：日本租税研究協会地球環境問題検討会（2004）
- 「京都議定書で定められた二酸化炭素排出量削減のための地球温暖化対策税の税率とその経済影響の試算についてーAIM(アジア太平洋統合評価モデル)による試算」

㉔ T.Masui : Climate Policy in the U.S. and Japan, Washington DC, USA, 2004

“Carbon Tax, Carbon Reduction Potential, and Economic Impact in Japan -Application of AIM”

㉕ 甲斐沼美紀子, 増井利彦 : , 総合科学技術会議 地球温暖化研究イニシアティブ 平成 16 年度 第 1 回影響・リスク評価プログラム/抑制政策プログラム会合, 東京, 2004年4月、pp.19-23.

「温暖化防止対策：温暖化対策税と日本経済への影響」

㉖ M.Kainuma: Global Energy Technology Strategy Project Technical Review, Washington, May 2004

“Multi-gas analysis on stabilization scenarios using AIM model”

㉗ M.Kainuma, Y.Matsuoka, T.Masui, and J.Fujino: Annual Meeting of the International Energy Workshop, Paris, June 2004

“Carbon reduction potential and economic impacts in Japan: Application of AIM”

㉘ M.Kainuma, J.Fujino, T.Hanaoka, R.Nair, Y.Matsuoka, O.Akashi, G.Hibino, M.Miyashita, K.Shimada, and R.Pandey: The Informal Expert Meeting, Tokyo, September 2000

“The potential of future emission reductions and abatement costs in world regions”

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

- ① 第 6 回 AIM 国際ワークショップ、2001年3月27-28日、つくば
- ② 第 7 回 AIM 国際ワークショップ、2002年3月15-16日、つくば
- ③ AIM COP8 サイドイベント、2002年10月25日、ニューデリー
- ④ 第 8 回 AIM 国際ワークショップ、2003年3月13-14日、つくば
- ⑤ 第 9 回 AIM 国際ワークショップ、2004年3月12-13日、つくば
- ⑥ 第10回 AIM 国際ワークショップ、2005年3月10-12日、つくば

(5) 一般への公表・報道等

- ① 甲斐沼美紀子、温暖化を防ぐための社会構造の将来について考える、国立環境研究公開シンポジウム、東京国際フォーラム、2001年7月9日
- ② 甲斐沼美紀子、経済活動等からの温室効果ガスの発生、地球環境研究総合推進費公開シンポジウム、東京国際フォーラム、2001年12月5日
- ③ 国立環境研究所公開シンポジウム、増井利彦、現代文明最大のジレンマ環境と経済の両立、東京メルクパールホール、2002年6月19日
- ④ 環境省地球環境研究総合推進費一般公開シンポジウム2002年12月13日、「気候変動と経済政策との統合について」、於 JAホール
- ⑤ 温暖化対策税の税率及び経済影響の試算の結果は、以下の新聞雑誌で取り上げられた。
 - 読売新聞（2002年6月6日、夕刊、2頁）
 - 朝日新聞（2002年2月3日、全国版）
 - The Asahi Shimbun（April 5, 2002）
 - 日本経済新聞（2003年6月25日、7月18日）
 - 読売新聞（2003年7月17日）

朝日新聞・毎日新聞（2003年7月18日）

日経エコロジー（2003年9月号 日経BP社）

8. 成果の政策的な寄与・貢献について

- ① 環境省地球環境局：4つの社会・経済システムについて－温室効果ガス排出削減シナリオ策定調査報告書－（平成13年6月、AIMシナリオ分析結果引用、pp.4-10）
- ② 中央環境審議会地球環境部会「目標達成シナリオ小委員会」中間とりまとめ（平成13年7月、AIMエンドユースモデルの結果を引用、pp.25-26）
- ③ 平成13年度環境白書（アジア地域における二酸化炭素排出量の将来予測図紹介、p 87）
- ④ 平成13年度循環型社会白書（AIM試算結果紹介、p 37）
- ⑤ IPCC 第4次報告書執筆者に参画研究者から4名、研究協力者から5名選ばれ、プロジェクトを通じて途上国における若手研究者の育成に貢献した。
- ⑥ 環境省中央環境審議会地球温暖化対策税制専門委員会に、温暖化対策税の経済影響のシミュレーション結果を報告した。
- ⑦ 環境省中央環境審議会施策総合企画小委員会において、温暖化対策税の試算におけるモデルの枠組みと結果を報告した。
- ⑧ 経済団体連合会地球温暖化対策ワーキンググループにおいて、温暖化対策税の試算に関する報告を行った。