

課題名	B-052 アジア太平洋統合評価モデルによる地球温暖化の緩和・適応政策の評価に関する研究		
課題代表者名	甲斐沼美紀子（独立行政法人国立環境研究所 地球環境研究センター 温暖化対策評価研究室）		
研究期間	平成17-19年度	合計予算額	207,092千円（うち19年度 67,706千円） ※上記の合計予算額には、間接経費47,791千円を含む

研究体制

- (1) 国別モデルの開発と政策評価及び比較分析に関する研究（独立行政法人国立環境研究所）
- (2) 緩和・適応政策評価のための世界モデルの開発に関する研究（京都大学大学院）

1. 序（研究背景等）

地球温暖化問題の解決のためには、今後100年を超える長期的な視点のもとでの対策の策定が求められている。これまで、温室効果ガスを削減するという緩和策が議論の中心であったが、すでに温暖化の影響が見られる地域については温暖化への適応策の検討・実施が必要となってきた。また、今後大幅な温室効果ガス削減対策および有効な適応策を実施していくためには、途上国と協力した温暖化対策の実施が必要である。

韓国、中国、インド、タイ等のアジアの研究者と共同で開発してきたアジア太平洋統合評価モデル（AIM）は、地球温暖化問題の解決に向けて、エネルギー起源の温室効果ガス排出量の予測や、地球温暖化対策の副次的効果としての大気汚染物質の排出量の推計、地球温暖化の影響に関する分析に用いられてきた。IPCC第四次評価報告書では、緩和策を講じた場合の温室効果ガス排出量の経済的な潜在削減量や経済活動への影響の予測、温室効果ガス排出量の削減のための政策、措置、手法についてレビューしており、AIMによる温室効果ガス排出量の予測やモデルの比較検討などが重要な情報を提供すると期待されている。また、2007年に出版予定のUNEP/GEO4においても、GEO3と同様にアジアにおける水環境や土地利用の変化などについての研究成果の入力がAIMに期待されている。

一方、国連のミレニアム開発目標に見られるように、発展途上国を中心にここ10年程度の期間において解決すべき課題として、水資源、土地、農業、森林などに関わる環境問題が注目されている。途上国では、今後の経済発展により、こうした環境問題はさらに深刻化することが予想され、経済発展そのものへの影響も懸念される。このことから、経済発展を損なうことのない、緩和策、適応策両面を考慮に入れた長期的な地球温暖化対策の実施と、短・中期的な環境保全や経済発展の関係を分析し、それらを統合的に実現させる道筋を示し、効率的に実現させるような政策を明らかにすることは、持続可能な発展を実現する上で必要不可欠である。

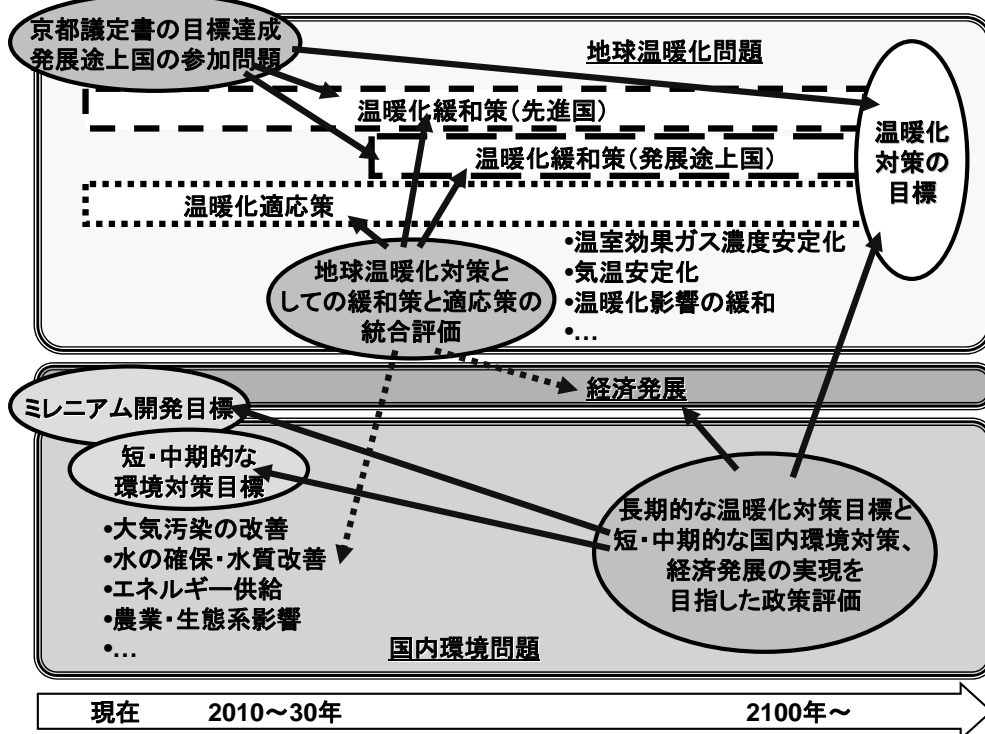


図1 本研究で対象とする環境問題と政策評価

2. 研究目的

地球温暖化のみならず様々な環境問題の解決を目指した持続可能な発展を実現するためには、様々な視点に基づいた分析が必要である。本研究では、従来のエネルギーを中心としたモデル開発から、水や土地など他の環境問題と経済発展の両面を分析できるモデルへと拡張することを、第一の目的とする。また、ミレニアム開発目標に示されるような短・中期的な環境保全、開発目標と、経済発展を損なわない長期的な温暖化対策としての緩和策、適応策の整合的な政策の評価を、中国、インド、タイといったアジアの途上国および世界全体の両面から行うことを、本研究の第二の目的とする。さらに、日本との関係を定量的に分析するために、日本からのCDM（クリーン開発メカニズム）をはじめとする技術支援等の政策が、受け入れ国の経済発展、環境保全に及ぼす影響について評価することを第三の目的とする。

3. 研究方法

本研究では、図2に示すように、国及び世界を対象に分析を行い、それぞれの領域を対象に、エネルギー、水、大気といった個別の問題を取り扱う環境要素モデルの開発と、環境対策の効果やそれによる経済活動への影響を評価することを目的とした環境政策評価モデルの開発を行った。開発したモデルを用いて、個々の環境政策の評価を行うとともに、複数のモデルを統合した上で解析を行い、温暖化における緩和策と適応策、温暖化対策とその副次的な効果等について分析を行った。

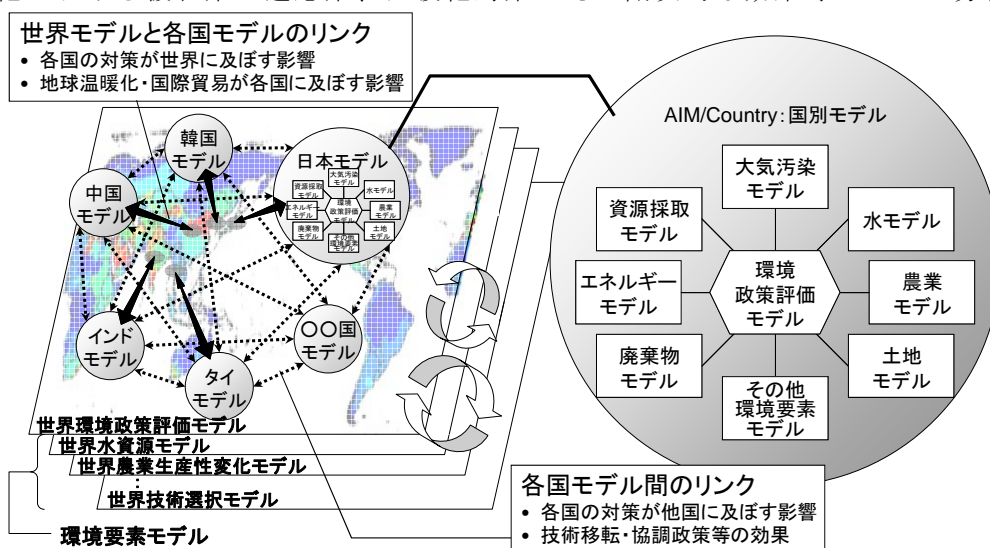
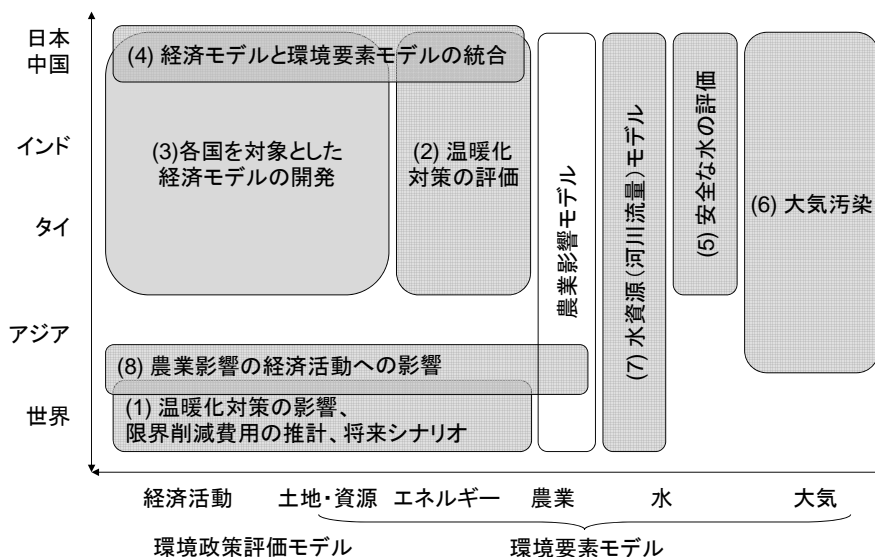


図2 本研究で対象としたモデル群とその関係

4. 結果・考察

本研究では、図3に示すような地域、分野を対象に、モデルの開発や開発したモデルを用いた分析を行ってきた。以下では、その概要を示す。



注：()内の数値は、以下に示す説明の番号と一致する。

図3 研究対象とした地域及び分野

(1) 世界モデルの開発・改良

世界を21の地域に分割し、温室効果ガスの排出量の予測とともに、個別の対策技術による温室効果ガスの潜在的削減量および削減費用を評価するために、技術選択モデル（AIM/Enduse[Global]）の開発とそれを用いた2020年における温室効果ガス排出の削減量を推計した。図4に示すように、世界全体の2020年における温室効果ガスの削減量は、削減費用が100ドル/tCO₂以下の場合、世界全体で88～113億tCO₂、先進国で25～36億tCO₂、途上国で64～77億tCO₂と推計された。

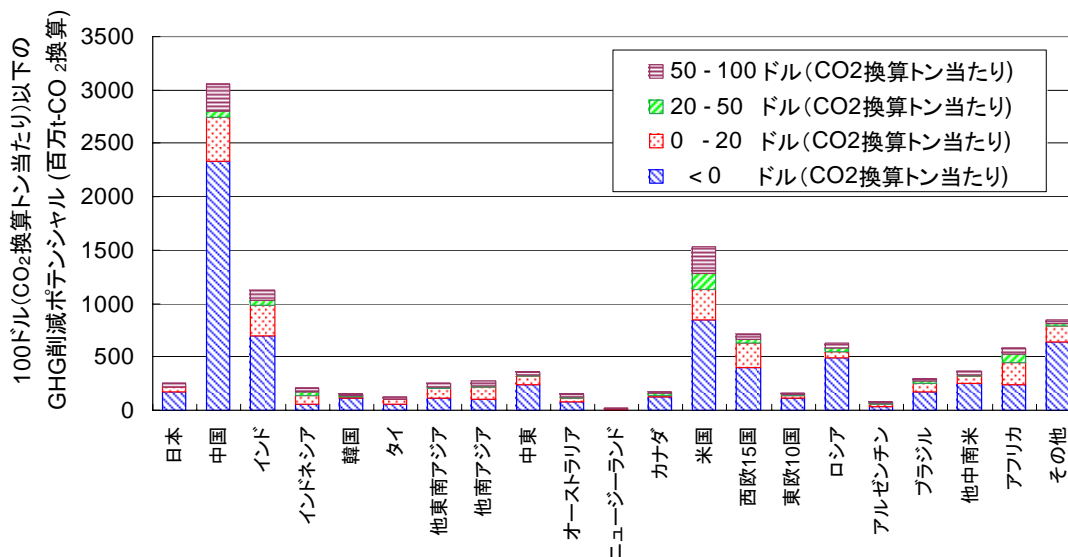


図4 2020年における費用別地域別削減ポテンシャル（削減費用100US\$/tCO₂）

また、世界を24の地域に分割した経済モデルの開発も行い、IPCC新シナリオに向けた定量化作業を開始した。また、トップダウンモデルにおける1tCO₂あたり100ドルの税を課した場合の温室効果ガス排出量の削減についても評価を行った。

(2) 国別エネルギー技術選択モデルの改良

アジアの主要国を対象に、国別のエネルギー技術選択モデル開発・改良、技術データの更新、シミュレーションを、中国、インド、タイ、韓国の研究協力機関と共同で実施し、各国で検討されている温暖化対策の評価を行った。

中国では、これまで開発した鉄鋼、セメント、非鉄金属モデルに加えて、エチレン製造、アンモニア製造、石油精製についてのモデル化を行った。また、発電部門、産業部門、家庭部門、サービス部門、運輸部門などのモデルと統合して、エネルギー税、炭素税を導入した際のCO₂排出量の削減効果について分析した。また、中国の主要なCO₂の排出源である石炭を対象に、2030年までの石炭消費量や、対策時における石炭関連技術の導入率を推計した。

インドでは、CO₂以外のガス排出量も多いことから、複数のガスについてのモデルの更新を行い、IPCCのSRESに対応するインドのシナリオとして、将来の温室効果ガス排出量を推計した。また、発電、セメント等の部門を対象とした2005年のCO₂排出量のインベントリの改訂や、副次効果としてCO₂とSO_xの排出削減について評価した。

タイでは、バイオ燃料の導入シナリオによるCO₂排出量の削減効果について、分析を行った。また、2050年のCO₂排出量をBaU比15%削減するような目標を達成するような対策がもたらす大気汚染物質の削減という副次的効果についても評価を行った。さらには、タイの研究協力機関と共同でインドネシアモデルの開発に着手した。

韓国においては、運輸部門や家庭部門を対象としてCO₂排出量削減の可能性について検討した。2030年の家庭部門では、照明において高い削減ポテンシャルがあるとともに、照明や冷蔵庫では追加的な費用をかけることなくCO₂排出量が削減可能となることを示した。

(3) 国別の環境政策評価モデルの開発

中国、インド、タイを対象に、各国の環境政策を統合的に評価することを目的とした環境政策評価モデルのコアモデルである応用一般均衡モデル（AIM/Material）を、トレーニングワークショップを通じて各国の研究者と共同で開発した。各国の産業連関表、エネルギーバランス表等のデータをもとに、中国モデルでは40部門・財、インドモデルでは35部門・財、タイモデルでは27部門・28財からなるデータセットを作成し、各国の産業連関表が公表されている年次を対象としたモデルを構築した。さらに、潜在的成長率、人口、技術変化、国際価格について将来シナリオを作成し、動的なモデルに拡張し、基本的なシミュレーションを行った。中国を対象とした分析では、温暖化対

策と大気汚染問題（SO_xとNO_xの排出）を取り上げた。図5は、構築した中国を用いた大気汚染物質の排出量の推移を示したものである。

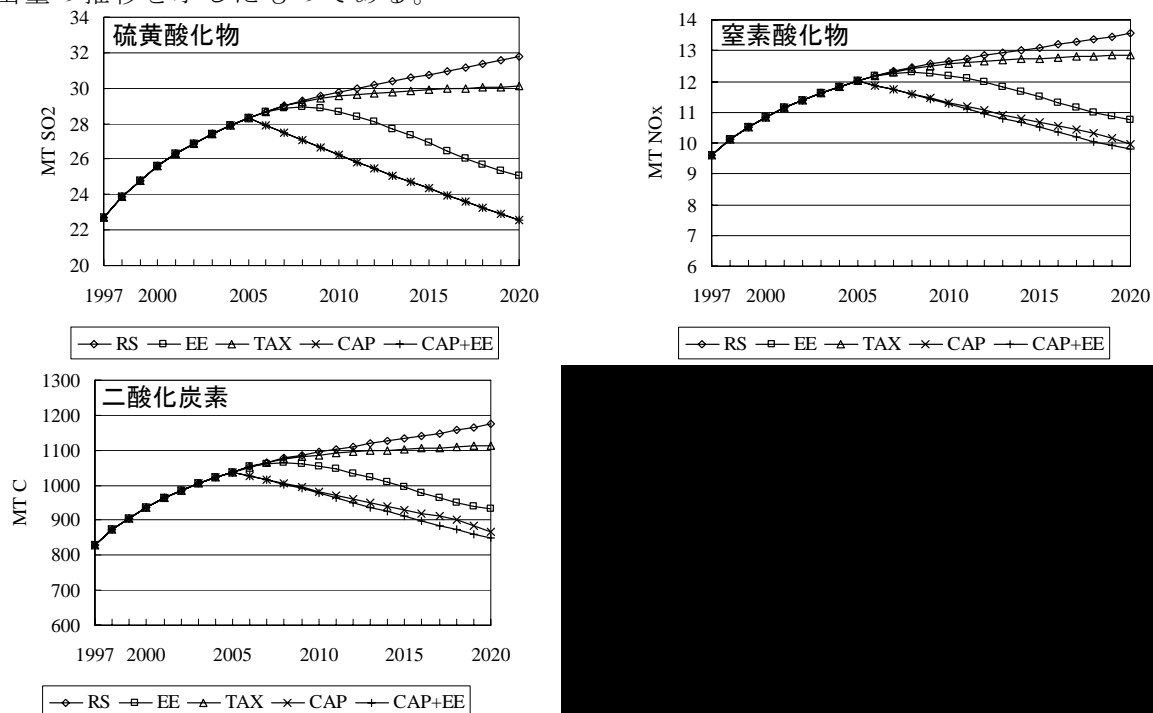


図5 中国モデルを用いた大気汚染物質の排出量の推移

(4) 各国を対象とした環境政策評価モデルと環境要素モデルの統合

本研究で開発、改良した国別の経済モデルと技術選択モデルの統合を日本及び中国を対象に行った。日本を対象とした分析では、京都議定書の目標達成を目的とした炭素税の効果と影響について評価を行った。また、中国を対象とした分析では、中国政府が示したGDPあたりのエネルギー消費量の目標達成の可能性について分析した。いずれの分析でも、技術選択モデルを用いて、将来想定される社会経済や政策に対応して導入される技術メニューを明らかにし、その結果から計算される、エネルギー効率改善や新たな技術を導入するために必要な費用を経済モデルに組み込んで、想定した各施策の効果を評価した。

日本を対象とした分析では、目標達成は可能であるが、これまでの結果と比較して第一約束期間までに残された期間が短くなったことから、より費用の高い技術を導入することが必要となることを示した。また、中国を対象とした分析では、技術選択モデルで想定されている技術メニューでは目標達成は困難であり、より先進的な技術を積極的に導入する必要があることを示唆した。

(5) 安全な水の評価

2000年を基準年に、将来の国際開発目標を達成した場合の、投資・運転管理費用、下痢死亡率の軽減効果（対2000年比での下痢による死亡可能性）を国単位で推計するAM/Waterを開発した。高度な技術である上下水道のアクセスが100%になると下痢による死亡可能性は大幅に低減するものの、廉価な技術である井戸や便槽式トイレが普及したり、現状の技術普及で変化しない場合と比較して費用が4倍になる国があることを示した。また、開発したモデルを用いて、アジア全体を対象として、UNEP/GEO4で想定されている4つのシナリオを対象に、2015年における安全な水、安全な衛生設備へのアクセスを評価し、環境政策が進む社会では、ほとんどの地域でミレニアム開発目標の目標7ターゲット10（2015年までに、安全な飲み水と基本的な衛生設備を持続可能な形で利用できない人々の割合を1990年と比較して半減させる）が達成できる一方、地域がブロック化するシナリオでは、現状と比較して後退する地域も見られる。

(6) 大気汚染モデルの開発

急速に経済成長するアジア各国からの大気汚染物質の排出を起源とした長距離輸送による環境影響を把握し、温暖化対策の副次効果としての大気汚染軽減効果を推計することを目的として、エネルギー消費技術選択モデルと連携したAIM/Airモデルを開発した。都市を対象とした汚染物質濃度の変化や、アジア全域を対象とした長距離輸送などを推計するとともに、これらの結果を評価するために観測データとの比較を行い、概ね現状を再現していることを確認した。

(7) 水資源（河川流量）モデルの開発

統合的で持続的な水管理システム構築に向けた基礎情報の整備・提供を目的とした河川流量計算モデルの基礎となる世界流域データベースを作成し、これを用いて、図6に示すような全球を対象に詳細な空間単位での月単位水不足頻度（各月の水消費量が水供給量（河川流量）を上回った月数）から水不足を評価した。その結果、一つの流域内であっても、人口分布や地形に左右され、水不足頻度は空間的に非一様であることが明らかとなった。



図6 月単位水不足頻度（1986～1995年：120ヶ月）

(8) 温暖化影響、適応策の評価

世界経済モデルを農業生産性変化モデルや簡易気候モデルと統合することで、温暖化によるコメ、コムギの生産性の変化がマクロ経済にもたらす影響と、適応策の重要性を明らかにした。温暖化による農業影響がマクロ経済に及ぼす影響は、気温の上昇とともに拡大する結果となった。一方、適応策（作付品種や植え付け時期の変更）の導入により、気温上昇が大きい場合には、影響を抑え、むしろ経済的な便益をもたらす可能性があるものの、気温上昇が大きくなると、適応策を導入しても経済活動への影響は避けられない結果となった。

また、世界モデルとともに中国を8つの地域に分割したモデルを用いて上記と温暖化による同様の農業影響を分析した。その結果、地域的な差が大きく、(7)で示した水不足と同様に詳細に検討することの重要性を明らかにした。

(9) その他

家計生産モデルや鉄のストック・フローモデルなど新たな環境要素モデルの開発、日本と中国の経済モデルを統合し、技術移転の効果や影響を評価するなど、新たなモデルの開発や分析を進めてきた。また、IMCP（イノベーションモデル比較プロジェクト）に参加し、温暖化政策による誘発的な技術変化の効果についてのモデル比較研究や、IPCC第四次評価報告書に示された限界削減費用を評価するためのモデル比較の国際研究、EMF（エネルギーモデリングフォーラム）、IPCC次期シナリオ作成のための会合等に参加し、本研究で開発してきたモデルを用いた計算結果を提供した。

また、IPCC第四次評価報告書作成時において、大気中の温室効果ガス濃度を安定化させる目標に対して、対策毎の温室効果ガス排出削減量の計算結果が、本研究で開発した世界モデルから提供され、図7に示すように他のモデル結果とともに第四次評価報告書に引用された。

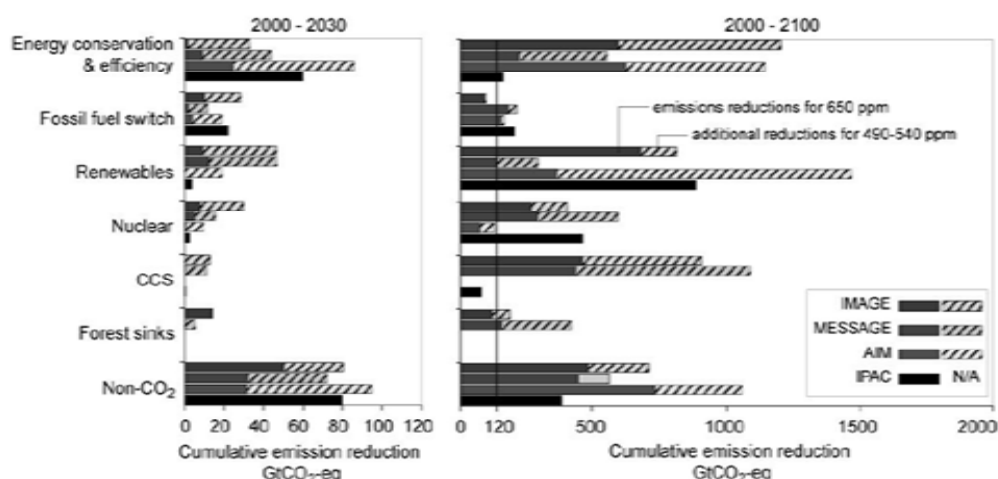


図7 温室効果ガス削減目標と対策別の削減量

このほか、IPCC第四次評価報告書でレビューされた気候安定化に向けた長期シナリオ研究の整理を行い、温室効果ガス排出削減量や削減費用、エネルギー集約度および炭素集約度などに注目し、定量的な分析をおこなった。放射強制力を $4.0\sim 4.5\text{W/m}^2$ に安定化する場合について、2050年の基準シナリオからの削減率と対策費用の関係を各排出主要国別に分析した結果を図8に示す。図8より、同程度の対策費用を課した場合でも CO_2 排出削減の効果は地域によって大きく異なるが、途上国の方が比較的較的安い対策費用で大きな削減量が見込まれ、高い対策費用でも、中国やインドにおいて、先進国よりも大きな削減効果が期待されている。

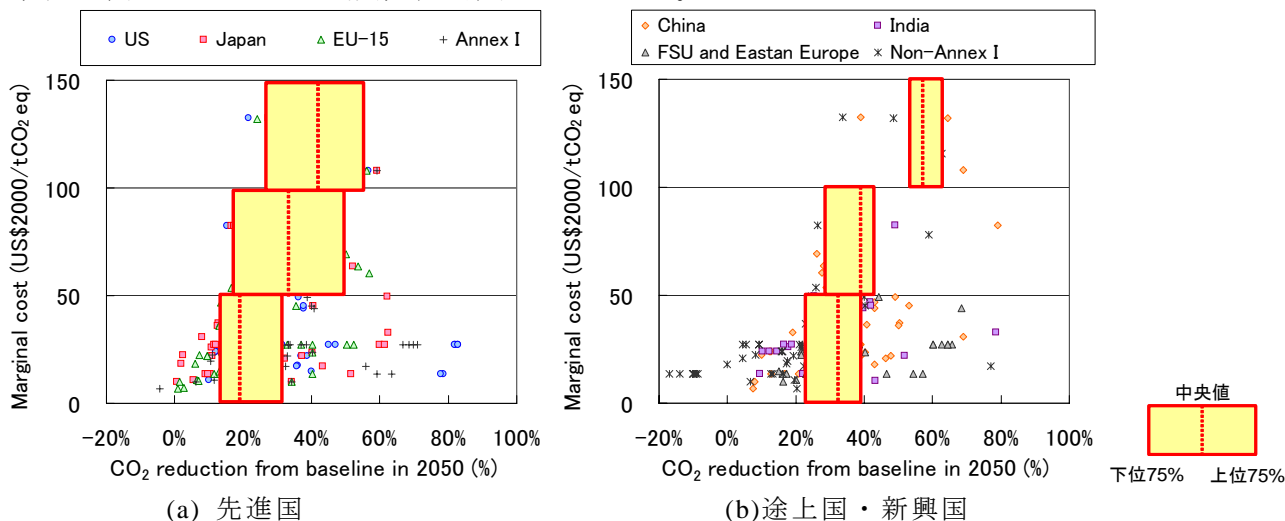


図8 放射強制力を $4.0\sim 4.5\text{W/m}^2$ に安定化する場合における排出主要国別の2050年の削減率と対策費用の関係

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

モデル開発と環境対策を評価するシミュレーションによって、温暖化対策の費用の見積もりと経済影響を評価することが可能となった。また、様々な環境目標について、現状の施策や社会経済の傾向において達成が可能なものと追加的な対策が必要となる項目を明らかにすることが可能となった。個別の詳細なモデル開発と分析の結果、これまで見落とされていた環境影響が明らかになったことは重要な進展である。また、温暖化対策として適応策の重要性を明らかにしたが、適応策のみによる対策では100年を超える温暖化の影響を抑えることは困難であり、適応策と緩和策を適切に組み合わせていくことの重要性を示唆した。

(2) 地球環境政策への貢献

環境税の評価や温室効果ガス排出量の削減ポテンシャルの推計結果については、中央環境審議会等において報告してきた。また、アジアの研究協力者は、各国政府の温暖化対策に深く関わっており、研究成果の一部が各国の環境対策に反映されている。このほかの計算結果の一部についてもIPCC第四次評価報告書やUNEP/GEO4等を作成するための入力情報として提供され、各報告書において引用されている。また、本研究に携わる多くの研究者がIPCC第四次評価報告書の著者として執筆に関わってきた。

6. 研究者略歴

課題代表者：甲斐沼美紀子

1950年生まれ、京都大学工学部卒業、工学博士、現在、独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センター温暖化対策評価研究室室長

主要参画研究者

(1)：甲斐沼美紀子 (同上)

(2)：松岡譲

1950年生まれ、京都大学工学部卒業、工学博士、現在、京都大学大学院工学研究科教授

7. 成果発表状況 (本研究課題に係る論文発表状況。)

(1)査読付き論文

- 1) T.Masui(2005) Policy Evaluations under Environmental Constraints Using a Computable General Equilibrium Model; European Journal of Operational Research, 166, 3, 843-855.

- 2) 花岡達也、河瀬玲奈、甲斐沼美紀子、松岡譲(2005) 温室効果ガス排出シナリオデータベースを用いたPost-SRESシナリオの地域別評価; 環境システム研究論文集、 33、 221-232.
- 3) 松岡譲(2005) 気候変動問題の統合評価モデリング; 国際経済、 56、 5-29.
- 4) 山下隆久、村上正晃、松岡譲(2005) わが国におけるエネルギー技術の革新に伴うCO2排出量削減効果の分析; 環境衛生工学研究、 19、 3、 114-119.
- 5) N.Nakicenovic, P.Kolp, K.Riahi, M.Kainuma, T.Hanaoka(2006) Assessment of emissions scenarios revisited; Environmental Economics and Policy Studies, 7, 3, 137-173.
- 6) T.Masui, G.Hibino, J.Fujino, Y.Matsuoka, M.Kainuma(2006) Carbon dioxide reduction potential and economic impacts in Japan: application of AIM; Environmental Economics and Policy Studies, 7, 3, 271-284.
- 7) T.Masui, Y.Matsuoka, M.Kainuma(2006) Long-term CO2 emission reduction scenarios in Japan; Environmental Economics and Policy Studies, 7, 3, 347-366.
- 8) T.Hanaoka, M.Kainuma, R.Kawase, Y.Matsuoka(2006) Emissions scenarios database and regional mitigation analysis: a review of post-TAR mitigation scenarios; Environmental Economics and Policy Studies, 7, 3, 367-389.
- 9) T.Masui, T.Hanaoka, S.Hikita, M.Kainuma(2006) Assessment of CO2 reductions and economic impacts considering energy-saving investments; The Energy Journal, Special Issue: Endogenous Technological Change and the Economics of Atmospheric Stabilisation, 175-190.
- 10) J.Fujino, R.Nair, M.Kainuma, T.Masui, Y.Matsuoka(2006) Multi-gas mitigation analysis on stabilization scenarios using AIM global model; The Energy Journal, Special issue: Multigas Mitigation and Climate Change, 343-353.
- 11) 島田幸司、田中吉隆、五味馨、松岡譲(2006) 低炭素社会に向けた長期的地域シナリオ形成手法の開発と滋賀県への先駆的適用; 環境システム研究論文集、 34、 143-154.
- 12) 藤森真一郎、河瀬玲奈、松岡譲(2006) 全世界における人間活動に伴う窒素フローの推計に関する研究; 環境システム研究論文集、 34、 209-220.
- 13) 金森有子、松岡譲(2006) Cross entropy法を用いた世帯分類別の環境負荷発生量に関する研究; 環境システム研究論文集、 34、 377-386.
- 14) Y.Matsuoka(2006) How much should we reduce greenhouse gas emissions in order to combat the global warming problem?; SANSUI An Environmental Journal for the Global Community, 1, 1-20.
- 15) K.Gomi, K.Shimada, Y.Matsuoka, M.Naito(2007) Scenario study for a regional low-carbon society; Sustainability Science, 2, 1, 121-131.
- 16) 増富祐司、花崎直太、高橋潔、肱岡靖明、松岡譲(2007) 季節変動を再現する河川流量計算モデルの開発と全球水不足評価; 水工学論文集、 51、 235-240.
- 17) S.Fujimori, Y.Matsuoka(2007) Development of estimating method of global carbon, nitrogen, and phosphorus flows caused by human activity; Ecological Economics, 62, 3/4, 399-418.
- 18) 明石修、松岡譲(2007) 都市構造と旅客交通からの大気環境負荷物質排出量の関連に関する横断的研究; 環境システム論文集、 35、 129-138.
- 19) 藤森真一郎、梶井洋志、松岡譲(2007) 全世界における鉄フローの定量化に関する研究; 環境システム論文集、 35、 343-354.
- 20) 長谷川知子、花岡達也、松岡譲(2007) 農業・廃棄物部門におけるCH4とN2Oの排出量とその削減ポテンシャルに関する評価; 環境システム論文集、 35、 491-498.
- 21) Y.Hijioka, Y.Matsuoka, H.Nishimoto, T.Masui, M.Kainuma(2008) Global GHG emission scenarios under GHG concentration stabilization targets; Journal of Global Environment Engineering, 13, 97-108.
- 22) Y. Xu, T.Masui(2008) Assessing the impacts of an oil products tax in China using a computable general equilibrium model; Environmental Economics and Policy Studies (in press).
- 23) 花岡達也、明石修、日比野剛、長谷川知子、藤野純一、松岡譲、甲斐沼美紀子(2008) 世界地域別の温室効果ガス排出削減量と削減費用の評価; エネルギー資源学会 (近刊).