

I R-1 持続可能な国際社会に向けた環境経済統合分析手法の開発に関する研究

(1) 国際経済モデルの開発とアジアへの適用、及び国際公共財の貨幣価値の計測に関する研究

環境省国立環境研究所

社会環境システム部 環境経済研究室／環境計画研究室 森田恒幸，日引 聡，原沢英夫，
川島康子，高橋 潔

地球環境研究グループ 温暖化影響対策研究チーム 甲斐沼美紀子，増井利彦

関西学院大学総合政策	天野 明弘	東京大学教養学部	後藤 則行
大阪大学経済学部	伴 金美	東京大学大学院工学系研究科	藤井 康正
東京理科大学理工学部	森 俊介	東京大学大学院新領域創成科学研究科	山地 憲治
東京工業大学工学部	肥田野 登	環境情報科学センター	

平成10-12年度合計予算額 105,349 千円
(うち、平成12年度予算額 34,245 千円)

〔要旨〕

本研究は、地球温暖化、酸性雨、地域大気汚染、水質汚濁、廃棄物問題、自然環境保線などの主要な環境問題に関して、それぞれのサブモデルと多国間経済モデルを統合した、多国間経済汎用モデルを開発することを目的としている。また、国際公共財の価値の推計およびアジア主要国のケーススタディーから得られた知見を取り入れながら、アジアの発展途上国における持続可能な発展のための方策についても検討することも目的とする。3年間の研究によって、今までに開発してきた経済モデルをさらに拡張し、中国などのアジアの発展途上国における経済発展と地球温暖化、酸性雨、地域大気汚染、その他の環境問題との関係を分析した。また、国際公共財の評価手法については、予備調査により税金および寄付の2種の支払い手段それぞれにおけるCVMでの特徴を明らかにし、インターネットを用いた調査等により調査票の表現など方法論上の改善方向を明らかにした。さらに、アジアの持続可能な発展のための方策については、今後急速な発展が予想される中国、インド及びインドネシアに焦点を当て、人口増加と経済成長、それに伴う自然資源の消費と環境質の悪化、エネルギー消費とCO₂の排出、都市化に伴う環境面への影響など、主要なセクターの現状と課題をレビューするとともに、グリーンGDPの推計及びアジア太平洋地域のサブリージョナル機関の実態調査を実施した。

〔キーワード〕 持続可能な発展，経済モデル，国際公共財，CDM，アジアの環境問題

1. 研究の背景と目的

環境保全と経済発展を両立させることは、地球サミットにおけるリオ宣言を引用するまでもな

く、地球環境政策の基本的目標として世界共通に認識されており、具体的にどのような目標を設定し、どのような方法でこの目標に到達するかについての検討が緊急な政策課題となっている。とりわけ、エコ・アジア長期予測プロジェクトや国連大学のエコ・リストラクチャリング・プロジェクトなどの国際プロジェクトのみならず、わが国の環境基本計画においてもこの種の目標設定とその達成方策が大きな検討課題となっている。

本研究は、過去3年間の経済モデル開発の研究成果をベースとして、地球温暖化、酸性雨、地域大気汚染、水質汚濁、廃棄物問題、自然環境保線などの主要な環境問題に関して、それぞれのサブモデルと多国間経済モデルを統合した、多国間経済汎用モデルを開発することを目的としている。また、国際公共財の価値の推計およびアジア主要国のケーススタディーから得られた知見を取り入れながら、アジアの発展途上国における持続可能な発展のための方策についても検討することも目的とする。

2. 国際経済モデルの開発とアジア地域への適用

本研究は、今までに開発してきた各種の経済モデルを発展途上国に適用できるように改良し、さらに国際的な相互作用を再現できるように世界モデルに拡張することによって、地球環境問題と経済発展とのかかわり合いをより体系的に分析することを目的とする。このため、次の3種類の経済モデルを基礎にして、新しいモデルを開発しアジア地域へ適用した。

(A) 動学的最適化モデル：スタンフォード大学で開発されたMERGEモデル、イェール大学で開発されたDICEモデル、東京理科大学で開発されたMARIAモデル、東京大学で開発されたGDMEEMモデル。

(B) 一般均衡モデル：国立太平洋北西研究所（PNNL）で開発されたSGMモデル、パデュー大学で開発されたGTAPモデル。

(C) ボトムアップ・モデル：東京大学で開発されたNE21モデル

研究成果を以下にまとめる。

2-1 動学的最適化モデルを用いた中国のクズネッツ曲線の解明（国立環境研究所）

(1) はじめに

開発途上国は現在、公害の深刻化、自然の破壊、地球環境問題への対応など、かつて先進国が半世紀以上にわたって順々に経験してきた問題に一度に直面し、環境保全と経済発展の両立という難問に苦悩している。そしてこれらの途上国は、先進国の過去の経験からより汚染の少ない発展の道を模索している。その手がかりを与えるものに「環境クズネッツ曲線」（以下に'EKC'と略す）がある。

EKCは、横軸に経済発展の指標、縦軸に環境汚染の指標をとった平面状に現れる逆U字型の曲線である。この関係は、所得が増加するにつれて当初は環境が悪化するが、ある時ピークを迎え、その後は経済の発展に従って環境が改善する、という仮説に基づいている。EKCが初めて本格的に取り上げられたのは世界銀行の1992版World Development Reportであり、その後多くの実証分析や理論的検証を経て、経済発展と環境負荷の関係を考える上で重要な概念となりつつ

ある。

これまで、様々な環境指標や定式化を用いて EKC の成立の有無が研究され、どのような環境指標について EKC が成り立つのか、あるいは成り立たないのかが明らかにされてきた。また、1 人あたり GDP 以外の変数の影響を調べることにより、EKC が成立する決定要因が分析されてきた。しかしながら、経済の発展段階を異にする国々の非常に限られたデータを用いて分析しているため、1 国の経済発展に伴って本当に EKC が成り立つのかどうかは実証されていない。また、汚染がピークを迎える要因を探る研究は行われているが、途上国の今後の発展経路を考察する、あるいは汚染のピークを低める方策について分析している研究はほとんどない。

そこで本研究では、先進国における経済の発展段階と環境汚染の歴史的な関係を明らかにし、さらに、途上国が環境汚染のより少ない経済発展を遂げるための方策を考えることを目的とする。対象としては SO_2 排出量を取り上げる。

以下では、まず EKC に関する既存研究のレビューにより既存研究の未解明点を整理する。次に各国の過去 1 世紀の時系列データを用いて先進 17 カ国について EKC の成立を実証する。また、各国のピークと社会・経済データとの関係から、各国のピークの違いを生み出している要因を推計する。さらにモデル分析により、環境汚染のピークを低くするためには、人々の環境意識の向上や先進国からの最新技術の移転が有効であることを示す。

(2) EKC に関する既存研究のレビューと本研究の分析枠組み

1992 年以降、経済発展と環境問題との関係を扱う研究領域では EKC に関する研究が活発に行われ、1998 年には学術雑誌 *Ecological Economics* で特集が組まれたこともある。これまでの研究は、(i) EKC が成立するか否かを検証するもの、(ii) EKC が成立する要因を探るもの、に大きく分けられる。

Shafik (1994)、Selden & Song (1994)、Grossman & Krueger (1995)、Grossman (1995)、Holtz-Eakin & Selden (1995)らは、EKC の成立の有無を検証するために、環境指標を 1 人あたり GDP あるいは 1 人あたり GDP を説明変数とする 1 次式、2 次式、3 次式に回帰させ、どの関数形が適合するかを分析している。環境指標としては、大気汚染や水質汚濁を対象として、各種汚染物質の濃度や排出量に取り扱われている。いずれの研究においても、異なる国々について幾つかの時点で推計したデータが組み合わされて用いられてきた。

一方で、EKC は環境の質について一般化できるものではない、とする批判的な研究も行われている。Ekins (1997)は、統合された総合的な環境指標を用いると EKC は成立しないと主張した。Arrow et al. (1995)は環境容量や生態系の不可逆性という観点から、Rothman (1998)は貿易や消費の側面から、それぞれ EKC の成立を否定した。また、クロスセクションデータを用いて EKC 仮説が成立するからといって、個別の国について EKC 仮説が成り立ったり、またその曲線の形が同じになるとは限らないことが指摘されている(de Bruyn et al., 1998)。しかしながら個別の国の長期間にわたる時系列データを用いて、国別の EKC の成立の有無やその違いは今のところ明らかにされていない。

なぜ EKC が現れるかについては、社会の不平等性(Torras & Boyce, 1998)や経済成長率(de Bruyn et al., 1998)、工業製品の輸出入割合(Suri & Chapman, 1998)などによる説明が試みられてきた。国際マーケットの状況や国際価格の影響を受けて、経済成長と汚染との関係が変わって

くことも論じられている(Saint-Paul, 1995)。Munasinghe (1999)は、経済発展に伴う限界費用曲線と限界便益曲線のシフトの違いから EKC を説明した。これまでの研究の考察をまとめると、産業構造の変化、効率性の向上、環境政策の実施や環境対策技術の発展、環境に対する価値の変化などが EKC の成立を説明する要因として挙げられている。しかしながらいずれもごく一部の分析にとどまっていた、汚染のピークを低くするためにはどうすればよいのかという政策の議論には至っていない。

以上のレビューにより、残された主要な 2 つの課題を本研究の分析対象とする。即ち、過去 1 世紀にわたる長期時系列データを用いて一国ごとの EKC の成立の有無を検証し、実証データからその違いを推計すること、及び、モデル分析によって汚染のピークを低くするための方策を検討することである。環境指標としては、典型的に EKC が成り立つとされている 1 人あたり SO₂ 排出量を取り上げる。

(3) 実証分析

まず、1 人あたり SO₂ 排出量と 1 人あたり GDP の関係を国ごとに描き、EKC の成立の有無を検証した。また、この関係が国ごとにどのように違うのかに着目し、各国のピークのデータとその他の社会・経済データを用いて、帰納的な実証分析によって EKC のピークの違いを生み出す要因の解明を試みた。

実証に用いたデータ

SO₂ 排出量のデータは、CAPITA (Center for Air Pollution Impact and Trend Analysis)が推計したものを使用した(ASL & Associates, 1996)。このデータは 1850 年から 1990 年まで整備されている。SO₂ 排出量は化石燃料の消費量と鉱石の精錬量に排出原単位を乗じて求められている。排出原単位は燃料や鉱石中の硫黄含有率に排出要素を掛け合わせて算出されたもので、各国、各時点の排煙脱硫技術や燃料の低硫黄化の効果が反映されている。このような長期時系列データは、これまでその存在があまり知られてこなかったため、EKC の分析に用いられた例は少ない。

各国の GDP のデータならびに人口のデータは、Maddison (1995) Monitoring the World Economy 1820-1992 を使用した。ここでの GDP のデータは、Geary-Khamis 法を用いて異時点間・異国間の比較を可能にしたものである。Geary-Khamis 法では、各国の GDP 規模に応じたウェイトを用いているため、アメリカの

表 2-1-1. 各国のピーク

国	年	1人当たりGDP (1990年US\$)	1人当たり排出量 (t Sulfur)
ニュージーランド	1910	5,343	0.02398149
イギリス	1916	5,506	0.07921458
アメリカ	1918	5,666	0.12011821
ベルギー	1929	4,947	0.04817304
ノルウェー	1939	4,108	0.03165584
スイス	1939	6,273	0.01412260
カナダ	1943	6,881	0.09003785
スウェーデン	1948	6,293	0.02427380
オランダ	1956	7,317	0.04062232
ハンガリー	1964	4,390	0.08475752
旧西ドイツ	1964	9,697	0.04137560
日本	1974	10,800	0.01875908
イタリア	1974	10,905	0.01644719
フランス	1980	14,979	0.02403922
フィンランド	1981	12,840	0.03654105
スペイン	1983	9,601	0.02306187
デンマーク	1985	16,724	0.03377081

ような大国の影響が大きく現れる。

人口のデータは、1950 年以降に関しては主に OECD の Labour Force Statistics を、それ以前に関しては各国の統計や推計を使用している。歴史的に領土の変更があった国については、現在の領土範囲内の人口に調整済みである。

その他の社会・経済データは、World Bank (1999) World Development Indicators 1999 on CD-ROM から採用した。

国別の EKC の導出

上記のデータを用いて、先進国として 1999 年現在の OECD 加盟国 29 カ国と旧ソ連を対象に、1850 年から 1990 年までの SO_2 1 人あたり排出量と 1 人あたり GDP を散布図にプロットした。1 人あたり排出量が最大になった時をピークと定め、その時の 1 人あたり排出量と 1 人あたり GDP を求めた。その結果 17 カ国について EKC の成立が確かめられた。それらの国のピークは表 2-1-1 の通りである。

先進資本主義国の中でも逆 U 字型にならなかった国は、オーストラリア、ギリシャ、アイルランド、韓国、メキシコ、ポルトガル、トルコである。韓国は 1988 年以降排出量が減少しているが、1990 年までのデータしかないため、この減少傾向が明らかなものであり 1988 年がピークであることは、他の国に比べて明確ではない。オーストラリアを除くまだピークを迎えていない国は、OECD 加盟国のうちでも比較的 1 人あたり GDP の低い国である。例えばトルコ、メキシコは、世界銀行の分類では高所得国ではなく上位中所得国に分類されている。

旧社会主義国である旧チェコスロバキア、ポーランド、旧ソ連はピークを迎えてない。一般に旧社会主義国においては共産党一党支配のもとで独裁的な政治が行われてきており、民主的な選挙が実施されなかった、閉鎖的な政治体制であった、など、一般市民の声が政治に十分反映されてきたとは言いがたい。また計画経済体制のもとでは、環境汚染型産業が保護されたことや汚染に対して十分な対策が取られてこなかったことも起こり得る。このような特徴を持つ社会主義統治体制のもとでは、 SO_2 排出量が多くなりピークが遅くなる傾向がある。例外的にハンガリーは、社会主義国でありながら 1964 年にピークになった。ハンガリーは、1956 年の動乱以降経済改革が行われ企業の自主性が強化されてきており、東欧の中では生活水準が高い国である。

オーストラリア、アイスランド、ルクセンブルグに関しては、はっきりとした関係が見出せなかった。

EKC の成立が確かめられた国についても、1 人あたり GDP と 1 人あたり排出量の関係の形は大きく異なっている(図 2-1-1)。また、ピークを迎えた時の 1 人あたり GDP や SO_2 1 人あたり排出量にも大きな差がある。このような差は、

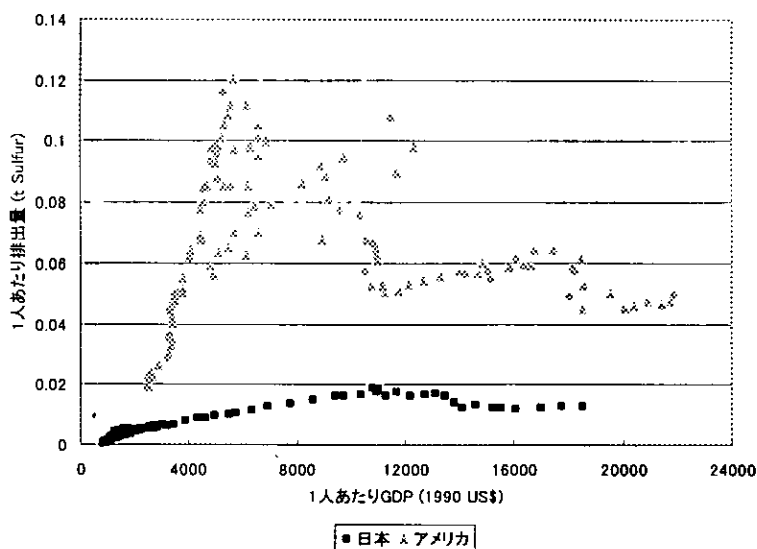


図 2-1-1 日本とアメリカの EKC

その国の社会・経済的要因の影響を受けて生じているものと考えられる。

曲線のどこでピークを迎えているかは、どんな産業が中心となって発展してきたかによって分類することができる。ベルギー、スイス、イギリス、アメリカと言った早くから工業化していた国は、曲線の前半部でピークを迎えている。同じく曲線の前半部でピークを迎えた国のうち、カナダ、ニュージーランド、ノルウェーは、戦前から現在まで一貫して農業を中心として発展してきたという特徴を持っている。一方、戦前は農業国で戦後になってから工業化した、後発工業国であるフィンランド、イタリア、日本、スペインは、曲線の後半部でピークを迎えている。

ベルギー、フランスの EKC は台形型である。この 2 国に共通していることは原子力発電を推進していることである。原子力発電の割合の増加によって SO_2 排出が抑制された結果であると推測される。

以上のように、1 人あたり GDP と SO_2 1 人あたり排出量の関係は、その国の経済発展のパターンとエネルギー利用、エネルギー政策に大きく依拠している。

ピークを決定する社会・経済的要因

次に、 SO_2 1 人あたり排出量のピークの違いをもたらしている要因について定量的な解析を進める。グラフの形状の分析から、主に工業によって経済発展してきた工業国と、農業や第三次産業を中心に発展してきた工業国以外の国では、排出量推移の軌跡が異なっていることがわかった。そこで、EKC の成立が確かめられた先進資本主義国 16 ヶ国を、工業国 6 ヶ国（ベルギー、旧西ドイツ、日本、スイス、イギリス、アメリカ）とそれ以外 10 ヶ国（カナダ、デンマーク、フィンランド、フランス、イタリア、オランダ、ニュージーランド、ノルウェー、スペイン、スウェーデン）に分類した。工業国のピーク時排出量の平均値は工業国以外のものよりも高い。それぞれの国分類ごとに、ピーク時の 1 人あたり排出量と社会・経済データとの分布図を描いた結果、次のような関係が得られた。

- (1) ピークを迎えた時期が遅いほどピーク時の排出量が少ない傾向が見られる。これは、年を経るごとに技術が進歩しているからであると理解される。
- (2) 人口密度が高い国の方がピーク時の排出量が少なくなると推測される。人口密度が高い国では、同じ 1 人あたり排出量でも人口密度の低い国よりも濃度が高くなるため、1 人あたり排出量が低い時点で対策が取られるからである。
- (3) 化石燃料生産に占める石炭の割合が低いと、概してピーク時の排出量が低い傾向にある。逆に硫黄含有率の高い燃料である石炭が自国内で産出されれば必然的に石炭を多く使用することになり、 SO_2 排出量が多くなると考えられる。
- (4) 化石燃料の生産量が多く自給率が高い国は、ピーク時の排出量が多いことが観察される。この傾向は、自国内でエネルギー資源が多く産出されればエネルギー資源を節約的に使用しようというインセンティブが起りにくくなるからである、と説明できる。
- (5) 観光業が盛んな国では排出量は少なくなる傾向がうかがえる。 SO_2 による大気汚染は観光産業に悪影響を与えるからであることが一因であると考えられる。

これまでの実証分析で得られた関係から、 SO_2 1 人あたり排出量のピークの違いは、以下の要因の違いで説明することができる。

第 1 は、国の規模の違いである。面積が小さい国や人口密度が高い国では、同じ 1 人あたり排

出量でも、面積が大きい国や人口密度が低い国に比べて濃度が高くなる。そのため、面積が小さい国や人口密度が高い国では、1人あたり排出量が比較的低い時点で対策が取られるようになる。

第2に、その国で採取される化石燃料の質の違いがある。自国内で採取される化石燃料資源が、硫黄含有量の多い石炭であればピークが高くなり、逆に硫黄含有量の少ない石油や天然ガスであればピークが低くなる。また、自国内で化石燃料資源が多く採取される国ほど、ピークが高くなると考えられる。

第3に、発展の中心となる産業部門の違いが挙げられる。工業を中心に発展するとピークが高くなり、農業・サービス業を中心に発展すると、ピークが低くなるということである。また、観光が盛んな国ほど、ピークが低くなる。

第4は、政治体制・民主化の度合いの違いである。民主的な政治体制で、情報公開や公正な選挙が行われていると、ピークが低くなる。

第5に、利用可能な技術の違いがある。年を経るごとにその時点で利用可能な技術が進歩するので、ピークを迎えた年が後になるほど、ピークが低くなる。

(4) モデル分析

以上の帰納的なアプローチでは、データ上の制約からピーク排出量の違いを明確かつ体系的に説明することは難しい。またこれらの関係は低公害型発展のための方策を論じるほどには確実ではない。従って次にエネルギー・経済モデルを用いてより体系的な分析を試みる。実証分析で得られたEKCのピークの違いを生み出している要因を、政策によって変更するシナリオを描いた。それらのシナリオをもとにシミュレーションを行うことで、要因の妥当性を確かめ、さらに、ピーク時排出量を低くかつピークを迎えるタイミングを早くする方策を考察した。

モデル分析では途上国として特に中国に焦点を当てる。

使用したモデルの概要

本分析にはMERGEモデルを用いた。MERGEでは全世界を、アメリカ、その他OECD諸国、旧ソ連と東欧、中国、および、その他途上国、の5地域に分割している。基準年を1990年とし、2100年まで10年毎に計算される。資源埋蔵量等の制約のもと、エネルギー等の需給を均衡させながら、各地域の消費から求められる経済的効用の総和を最大化するように、投資やエネルギーミックスが決定される。MERGE全体は4つのサブモデルから構成されている。本分析ではその4つのサブモデルのうち、ETAモデルとMACROモデルから成るglobal 2100モデルを用いて分析を行った。ETAモデルはエネルギー供給部門で、MACROモデルはエネルギー供給以外の経済部門である。ボトムアップ型のエネルギー技術モデルであるETAにおいて種類別のエネルギー供給量が決定され、トップダウン型のMACROでエネルギー消費等の経済成長を記述している。この2つのサブモデルは、総生産の支出への配分とエネルギー需給で統合されている(Manne & Richels 1992)。

本研究では、MERGEにSO₂排出モジュールを追加して改良したものをを用いた。

まず5地域のうち「その他OECD諸国」から日本を分離し、分離した日本について、過去の日本のSO₂排出量と排煙脱硫投資が再現できるように、SO₂排出モジュールと排煙脱硫投資モジュールを追加した。SO₂排出量は、燃料種ごとに定めた硫黄排出原単位と燃料消費量を掛け合わ

せて求められる。また排煙脱硫投資を総生産分配の式に組み込み、脱硫投資によって決定される脱硫資本が SO_2 排出の削減量を決定するものとする（島崎・森田, 1995）。

さらに、脱硫投資モジュールにおいて、 SO_2 排出量に対する制約が排出制約値として与えられていたものを、被害関数を国民経済勘定の中に組み込むように改良されている。被害関数は 1 人あたり GDP と SO_2 排出量の関数で、患者 1 人あたりの被害額に SO_2 排出量 1t あたりの患者数および SO_2 排出量を掛けたものである。公害患者 1 人あたりの被害額は日本の公害健康被害補償制度の実績値から推定されている。また、1979 年から 1993 年までの日本のデータの平均値から、 SO_2 排出量 1t あたりの患者数を 0.0978 人とした（小林ら, 1999）。

日本の実績値から求められた被害関数を中国に適用する。その際に、被害関数を説明する 1 人あたり GDP を中国全土平均の 1 人あたり GDP ではなく都市部の平均 1 人あたり GDP に一致するように変更した。中国全土の GDP に都市部での生産割合を掛けたものを都市人口で除したものを、都市部の 1 人あたり GDP とした。被害を受けている都市住民の生活水準を反映させることにより、中国の SO_2 被害と汚染に対する対策をより精度良くシミュレーションすることができる。本研究では、都市部の 1 人あたり GDP を用いたケースを標準ケースとして設定した。この標準ケースにおける 1 人あたり SO_2 排出量は、1 人あたり GDP が 6,500 ドルの時に 0.27t となりピークを迎える。

シミュレーション・ケースの設定

各国の SO_2 排出量のピークの違いを生み出す 5 つの要因のうち、その国で採取される化石燃料の質の違い、政治体制・民主化の度合い、利用可能な技術の違い、の 3 つの要因の効果を分析する。 SO_2 排出のピークを低く、早くするためにこれらの要因を政策によって変更するというシナリオを描き、5 つのシミュレーション・ケースを設定した。

新エネルギー補助金ケース；このケースでは、優先的に採取、使用する化石燃料やエネルギー供給形態を変更させるため、各種新エネルギー供給に補助金を導入する。資源採取については天然ガスに対して、電力エネルギー供給については自然エネルギー発電に対して、非電力エネルギー供給については水素燃料のような革新的エネルギー技術に対して、それぞれ生産・供給価格の 5% の補助金を導入する。各エネルギーの生産価格を、補助金分だけ下げ、エネルギー生産 1 単位あたりの補助金にエネルギー生産量を掛けた金額を、補助金総額として総生産から分配し、国民経済勘定に統合する。

環境意識啓発ケース；民主的な政治体制のもとで公害に関する情報が公開され、各種の環境教育プログラムが実践されれば、1 人あたり GDP が同じであっても、人々が環境汚染の被害をより深刻に認識する可能性がある。このことをシミュレーションの中では、環境汚染の被害曲線を発展の初期段階の方向にシフトさせることによって表現する。1 人あたり GDP で 500 ドル分、及び、1000 ドル分被害関数をシフトさせるケースを想定した。日本の過去の経験に対応させると、これは、人々の環境汚染被害への認識が 1.5 年および 3 年ほど早まることを意味する。

従来型省エネルギー技術普及ケース；このケースでは、補助金の導入や法制度の整備によって既存の省エネルギー技術の普及を図る政策を再現するため、資本-労働間および電力-非電力間の代替弾力性（ESUB）を変化させる。

最新技術導入ケース；技術開発投資や最新技術の先進国から途上国への移転促進により、最先

端技術の導入や技術水準全体の向上を目指す政策を再現するため、自律的エネルギー効率改善率（AEEI）を変更する。AEEI が全期間 0.5 だったものを 2000 年から 1.0 ならびに 1.25 に変更。

脱硫技術移転ケース；厳しい排出規制の導入や脱硫技術の移転により、脱硫装置の能力が向上して、脱硫コストが低下した場合を検討する。1 ドルで SO₂ を 0.000217t 脱硫することが可能であったところを、10%向上（1 ドルあたり 0.000238t）に変更する。

シミュレーション結果

以上のそれぞれのケースについてシミュレーションを行ったところ、次のような結果が得られた（図 2-1-2～図 2-1-6）。

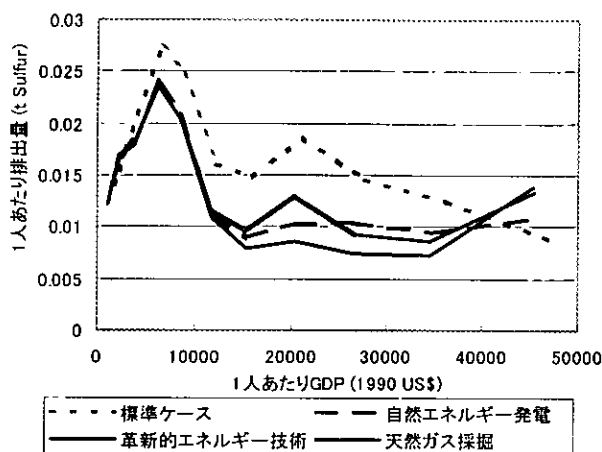


図 2-1-2 新エネルギー補助金ケース

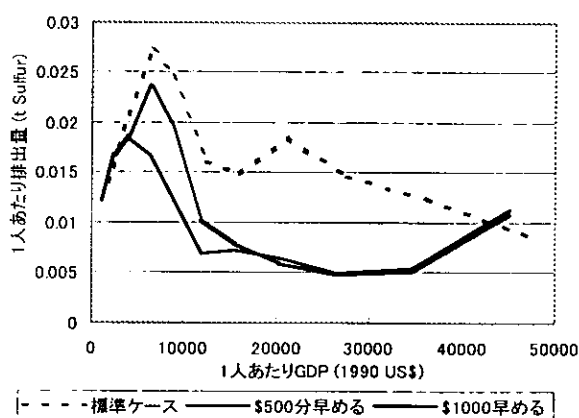


図 2-1-3 環境意識啓発ケース

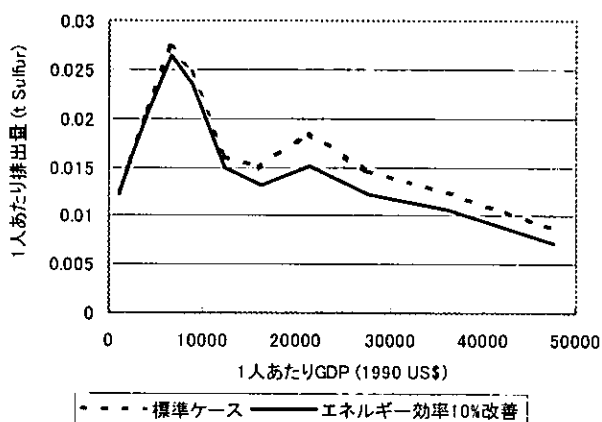


図 2-1-4 従来型省エネルギー普及ケース

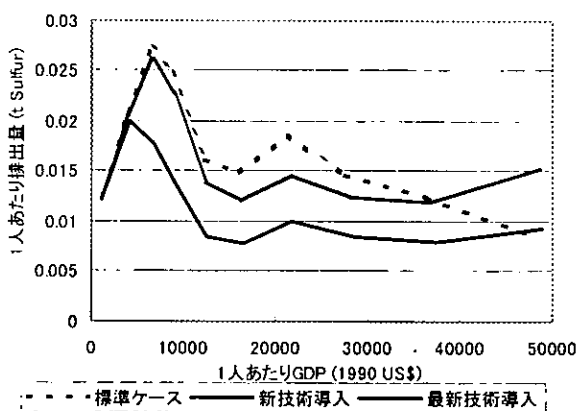


図 2-1-5 最新技術導入ケース

新エネルギー補助金ケースでは、クリーンなエネルギーに補助金を与えると、ピーク時の SO₂ 排出量が約 12%低減している。補助金の額は最大でも GDP の 1%程度である。新エネルギーに補助金

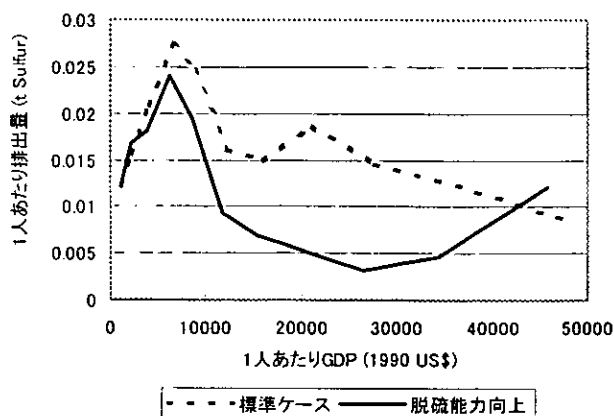


図 2-1-6 脱硫技術移転ケース

を掛けると、わずかな額でピーク時の排出量を削減できることがわかる。

環境意識啓発ケースでは、被害に対する反応を 1 人あたり GDP にして 500 ドル分早くすることができれば、ピーク時の 1 人あたり排出量を標準ケースから 13%削減できることになる。さらに、1 人あたり GDP にして 1,000 ドル分早めることができれば、ピークを迎えるタイミングが早まり、1 人あたり排出量も標準ケースに対して 37%低減させることができる。ピーク後も排出量は低く推移する。環境意識の啓発は SO₂ 排出量抑制に大変効果的である。

従来型省エネルギー技術普及ケースは、ピーク時排出量を全く低減させないわけではないが、目立った効果は見られない。従来型の省エネルギー対策のみの普及推進では、ピークを低下させることは難しい。

最新技術導入ケースでは、最先端の技術を導入すると、SO₂ 排出量のピークを迎えるタイミングを早めることができピーク時の排出量も 26%減少する。技術移転や最新技術の開発は非常に効果的であると言える。

脱硫技術移転ケースでは、脱硫能力を 10%高めるとピーク時の排出量の 11%削減が可能になる。脱硫のみに焦点を当てた技術開発や技術移転は、SO₂ 汚染対策には有効である。

以上のモデル分析の結果から、新エネルギーに対する補助金や人々の環境意識の向上、技術革新や先進国からの最新技術の移転、脱硫技術の導入は、いずれも SO₂ 排出量ピークの低下に効果をもたらすことがわかった。特に、人々の環境意識の向上と技術革新や先進国からの最新技術の移転の方策に関しては、ピーク時の排出量を低下させるだけでなく、ピークを迎えるタイミングも早めることができるという結果が得られた。

(5) 結論

本研究により解明された点は以下の事柄である。

国ごとの時系列データを用いた分析においても、先進国 17 ヶ国について SO₂ 排出量の EKC が成立する。しかしながら、EKC の成立が確認された国についても、その軌跡の形やピークの高さ、タイミングは大きく異なっている。その違いを説明する要因として、国の規模、その国で採取される化石燃料の質、発展の中心となる産業部門、政治体制・民主化の度合い、利用可能な技術、の 5 点が、実証分析から導き出された。そのうち、化石燃料の質、政治体制・民主化の度合い、利用可能な技術の違いについては、モデル分析でもその効果が確かめられた。特にモデル分析においては、ピークを下げるために、人々の環境意識の向上と技術革新や先進国からの最新技術の移転の方策に関して高い有効性が確認された。

以上の解明点をもとに、以下の結論を導いた。

- 1) SO₂ による大気汚染については、EKC が確かに観察される。
- 2) 各国の硫黄排出量ピークは、複雑な要因が絡み合って決定されており、汚染のピークを低くするような発展に持ち込む方法も単純ではない。
- 3) しかしながら、ピークの低い発展を誘導するための共通の方策として、新エネルギーに対する補助金や脱硫技術の導入、技術革新や途上国への最新技術の移転、人々の環境意識の向上、の効果が高いことがわかった。
- 4) 特に、民主化の促進や情報公開等による人々の環境意識の向上や、技術開発や先進国から途上国への技術移転による技術革新は、汚染のピークを低くするための方策として有効である。

5) 実証分析では EKC を戦略的に変化させるための方策の検討には限界があり、低公害型発展への誘導策を見出すためにはモデル分析が有効である。

今後の課題としては、ピークの違いを決定している要因について、まだピークを迎えていない国の条件も考慮しさらに多面的な角度から検討を加えることが挙げられる。また、ピークを生み出す要因のうち発展の中心となる産業部門や国際マーケットの状況の効果をシミュレーションによって検証するために、さらなるモデルの改良が求められている。そして、途上国において低公害型の発展を実現するためには、本研究でシミュレーションしたピークを低めるような政策シナリオの具体化も必要であろう。

2-2 動学的最適化モデル等によるエネルギー技術及び温暖化対策の分析(東京大学教養学部)

(1) はじめに

本研究は、GDMEEMモデル等を改良してエネルギー技術及び地球温暖化対策のシミュレーションに適用したものである。

平成10-12年度の3年間にわたる一連の研究において試みたことは、今後一層の推進が不可避であると予想される地球温暖化対策の実施に向けて、多様な対策シナリオおよび諸政策の社会・経済的有効性を評価し、望ましい政策策定への有用な情報を提供することを意図したエネルギー経済・技術シミュレーション・モデルの開発とその適用である。

温暖化対策の中心は、社会・経済活動に伴うエネルギー（化石燃料）消費、その結果としての人為的な二酸化炭素（CO₂）の大気中への排出量をいかに低減するか、ということに帰着する。そのためには、適切な削減目標の設定もさることながら、与えられた目標を達成する多くの物理的にはフィジブルなシナリオ（経済活動の縮小やエネルギー消費量の直接的低減から低炭素資源への代替、さらに完全な非炭素型新エネルギー技術による代替まで）のうち経済的な効率性に優れ、かつ社会的に受け入れ可能な候補を見出し、その実現に向けた諸政策との統合化を模索することが求められる。

こうした問題認識に基づき、主として経済活動とエネルギー消費の関係、諸エネルギー間および非エネルギー生産要素との代替関係、諸技術代替による効果、などを明示化、クローズ・アップすべく、従来の経済モデルの拡張を試みた。また、一連のモデル化の作業に平行して、当初から「不確実性下の政策決定」を本研究の主要な一課題として掲げ、多くの類似の試みでは決定論的な観点から最適戦略が議論の主たる対象になるが、不安定な最適戦略に対して安定的な次善策の有効性を評価する方法についても検討を試みた。

以下、研究の概要と主な成果を要約する。

(2) 不確実性下での環境政策の評価とトランス・ログ型生産（費用）関数の検討

平成10年度には、(1)新古典派的マクロ計量経済モデルを中心とする多部門一般均衡モデルの開発と構築されたモデルへのモンテカルロ・シミュレーション手法の適用による不確実性下での環境政策の評価、ならびに(2)上記課題の部分的詳細化と位置付けられる、トランス・ログ型生産（費用）関数による生産構造の推計、を試みた。

モデル開発の主眼点は、(1)一般均衡モデルの一形態である産業連関モデルにおける投入産出

```

graph TD
    Title[マクロ経済成長モデル]
    1[1. 一次価格  
輸入価格 (PRI)  
資本価格 (PK)  
労働価格 (PL)]
    2[2. 生産効率  
ヒックス技術水準指数 (AI) AI は外生]
    3[3. 生産モデル  
AI*PI=GI (P1, P2, ..., P9; PK, PL, PRI)  
GI はトランスログ生産関数 (3)  
P1~P4, PRI が M1~M5 に対応し、  
P5~P9 が E1~E5 に対応する。]
    4[4. 価格決定  
1. 2. に 3. を代入。P1, P2, P3, ..., P9 を同時に導出。]
    5[5. 投入-産出係数  
∂lnPI / ∂lnPJ = (PJ × XJI) / (PI × XI) = (PJ / PI) × AIJ (4)  
より AIJ を導出。  
KI / XI = AKI, LI / XI = ALI, RI / XI = ARI (6)]
    6[6. 総支出  
個人消費支出の総価値 (PC*C)  
投資支出の総価値 (PI*I)  
政府購入支出の総価値 (PG*G)]
    7[7. 消費モデル  
lnV = lnV(P1 / (PC*C), P2 / (PC*C), ..., P9 / (PC*C))]
    8[8. 投資と政府  
PI*I = ∑ PI*II, PG*G = ∑ PI*GI]
    9[9. 輸出  
PZ*Z = ∑ PI*ZI (8)]
    10[10. 最終需要  
XI = ∑ AIJ*XI + CI + II + GI + ZI (11)]
    11[11. 投入-産出モデル  
x = Ax + y (12) より x をもとめる  
KI, LI, RI を XI から求める (14)]

    Title --> 1
    Title --> 2
    Title --> 3
    Title --> 4
    Title --> 5
    Title --> 6
    Title --> 7
    Title --> 8
    Title --> 9
    Title --> 10
    Title --> 11

    1 --> 2
    2 --> 3
    3 --> 4
    4 --> 5
    5 --> 6
    6 --> 7
    7 --> 8
    8 --> 9
    9 --> 10
    10 --> 11
  
```

マクロ経済成長モデル

1. 一次価格
輸入価格 (PRI)
資本価格 (PK)
労働価格 (PL)

2. 生産効率
ヒックス技術水準指数 (AI) AI は外生

3. 生産モデル
 $AI \cdot PI = GI (P1, P2, \dots, P9; PK, PL, PRI)$
GI はトランスログ生産関数 (3)
P1~P4, PRI が M1~M5 に対応し、
P5~P9 が E1~E5 に対応する。

4. 価格決定
1. 2. に 3. を代入。P1, P2, P3, ..., P9 を同時に導出。

5. 投入-産出係数
$$\frac{\partial \ln PI}{\partial \ln PJ} = \frac{PJ \times XJI}{PI \times XI} = \frac{PJ}{PI} \times AIJ \quad (4)$$

より AIJ を導出。
$$\frac{KI}{XI} = AKI, \frac{LI}{XI} = ALI, \frac{RI}{XI} = ARI \quad (6)$$

6. 総支出
個人消費支出の総価値 (PC*C)
投資支出の総価値 (PI*I)
政府購入支出の総価値 (PG*G)

7. 消費モデル
$$\ln V = \ln V\left(\frac{P1}{PC \cdot C}, \frac{P2}{PC \cdot C}, \dots, \frac{P9}{PC \cdot C}\right)$$

8. 投資と政府
$$PI \cdot I = \sum PI \cdot II, PG \cdot G = \sum PI \cdot GI$$

9. 輸出
$$PZ \cdot Z = \sum PI \cdot ZI \quad (8)$$

10. 最終需要
$$XI = \sum AIJ \cdot XI + CI + II + GI + ZI \quad (11)$$

11. 投入-産出モデル
 $x = Ax + y \quad (12)$ より x をもとめる
KI, LI, RI を XI から求める (14)

は価格に対して大きく負に反応する。これは、炭素税などの経済的措置がエネルギー需要を相当規模で減少させる可能性を示している。

2) エネルギーの自己価格弾力性を業種別にみると、エネルギー多消費産業において負の絶対値が大きい ($\sigma_{EE} = -0.72$)。エネルギー産業の場合、エネルギー投入を他の生産要素に変えることは困難である。そのため、エネルギーの自己価格弾力性が負であることは、エネルギー価格が上昇した場合、エネルギー産業の産出物であるエネルギー製品自体に対する需要が減少し、その派生需要であるエネルギー投入が減少すると解釈できる。

3) サービス業においてはエネルギーの自己価格弾力性は小さく ($\sigma_{EE} = -0.17$)、エネルギー価格の変化に対してエネルギー投入物に対する需要が非弾力的であることを意味する。

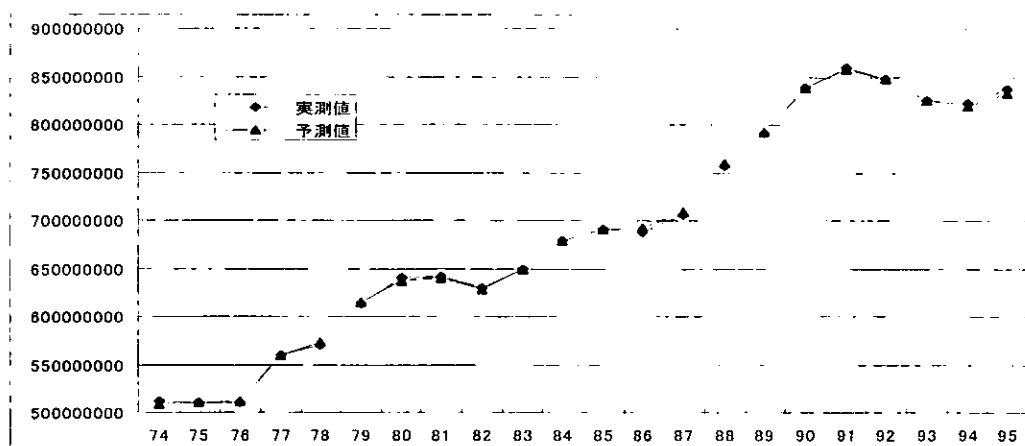
4) ほとんどすべての産業においてエネルギーと労働は補完的である。ところが、エネルギーと資本については、エネルギー産業では概ね代替的、その他の産業は補完的との結果が得られた。これらから、エネルギー価格が上昇した場合、エネルギー産業はより資本集約的な方向に向かうことが推察される。

表 2-2-1 産業別エネルギー価格弾力性の推計結果

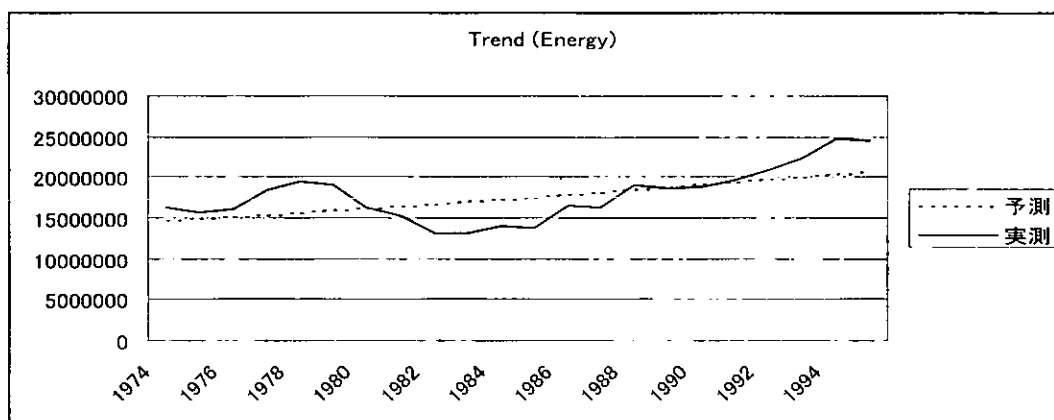
	自己価格弾力性	価格弾力性	価格弾力性	価格弾力性
全産業	-0.40	-0.01	0.03	0.03
農林・水産・鉱業・建設	-0.43	-0.03	-0.02	0.04
エネルギー多消費製造業	-0.72	-0.13	0.09	0.10
その他製造業	-0.24	-0.05	-0.02	0.02
運輸	-0.50	0.13	0.04	0.02
サービス	-0.17	0.03	0.02	-0.03

(B) 当初から予想されたことではあるが、モデルの理論的側面（代替関係にきわめて柔軟な構造を有するトランス・ログ型生産関数の採用など）と詳細な現実的記述性（産業連関モデルの拡張など）を重視したことにより、現実データを用いた係数推定には多くの困難が伴った。ただし、これらはデータの不十分性というより、むしろモデルの理論的要請が強すぎるためであると判断される（事実、同生産関数は一時の流行が終わり、昨今ではあまり見られない）。多くの試行錯誤的推計も含め最大限の努力を費やしたが、研究の一つの目的である環境政策の実施に伴う各産業部門間の相互作用の明示的な分析と評価、マクロ経済成長モデルとの厳密な統合を推進するには問題（よって、躊躇）が残された。

ただし、マクロ的な観点からのみ見るならば、試験段階として試みた統合モデルの動作は一定の妥当性を有すると判断でき（図 2.2.2 参照）、その多部門相互依存構造への詳細化の方向性が継続的努力目標として研究プロジェクト内で確認された。



注：国民総生産（実質）の実測値と予測値。横軸は年、縦軸は金額（円）を表す。



注：エネルギー消費トレンド

図 2-2-2 マクロ経済成長モデルの予測値と実測値の比較（例）

(3) 統合モデルの開発と不確実性下の決定分析

平成 11 年度には、前年度に未達成であった点を中心に継続して多部門一般均衡型の統合モデルの開発を目指した。理論的な側面では、一般均衡モデルのさらなる検討と詳細化に加えて（図 2-2-3 参照）、主として「不確実性」に焦点を当て、その経済学的解釈と評価方法の詳細な吟味も平行して行った。特に後者は、当初からの本研究の一つの目的である「不確実性下の政策決定」、即ち、決定論的な観点から評価した最適戦略を基礎にしながらも、その不安定性によっては最適戦略に替わる安定的な次善策の可能性を模索することを視野に入れてのものである。

こうした一連の作業の結果、経済構造に関する理論的認識の向上、分析手法の緻密化の方向性に関する有益な知見の収穫、そして一応の水準の統合モデルの構築にまで到達できたが、反面モデルの構造が高度に複雑化し、数値結果の解釈における透明性や政策的含意への説明能力が多少なりとも犠牲になったことは認めざるを得ない。

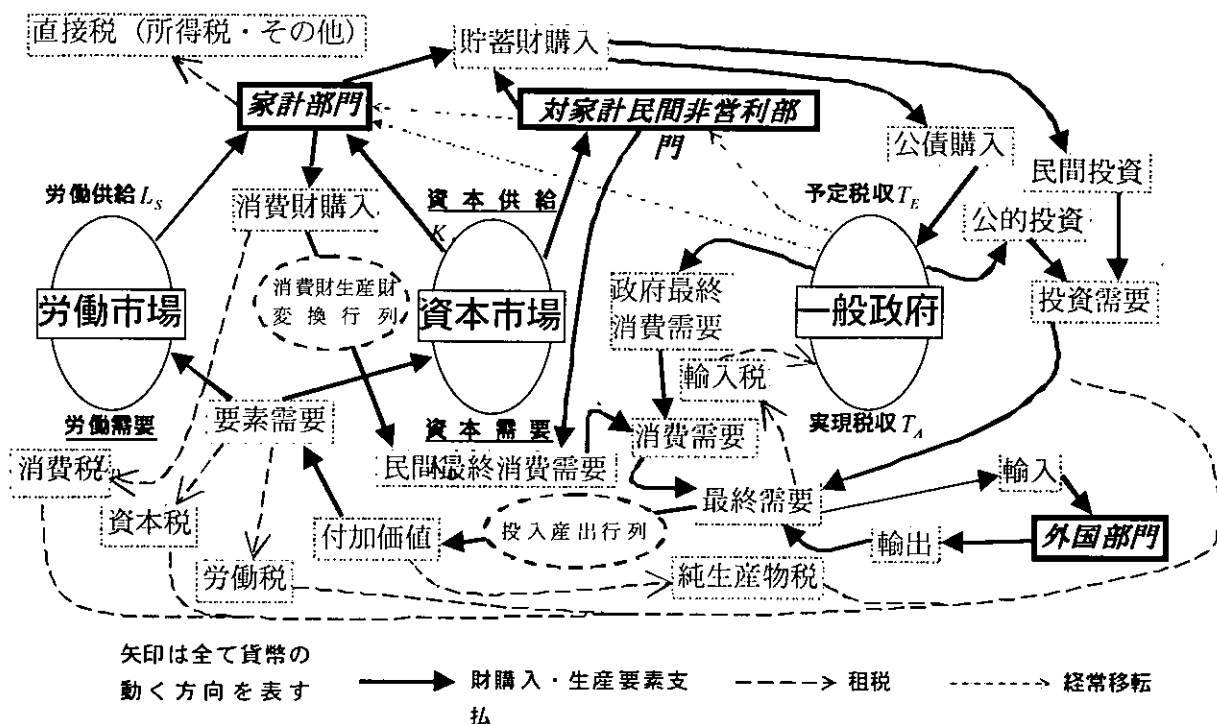


図 2-2-3 一般均衡モデルの概念図

成果

理論的にもかなり厳密であり、かつ実体経済の記述性についても高度な詳細性を有するモデルの開発を目指したため、数値結果の解釈とそれらの政策的提言への妥当性については未だ解決すべき問題が残るものの、具体的に一定の水準のモデルの構築とシミュレーション解の提示にまで至ったことは一応の成果と考えている。現段階でも、他のより透明性の高いモデルの結果と相互比較するなど、間接的検証や問題提起としての有用性は大きいであろう。

以下、ベンチマークのデータを用いていくつかの静学的均衡分析を行った結果を、主要な論点について簡単に要約する。

(ア) 生産段階における炭素税の課税：

各産業部門にその部門が排出している二酸化炭素の量に比例する額の純生産物税をかけた場合の効果を分析した。税率は炭素トンあたりそれぞれ 3,000 円、10,000 円、30,000 円とし、課税しないケース（ベースケース）と比較した。参考に、各炭素税額に相当する各部門の純生産物税率（各部門のエネルギー集約度を反映）を表 2-2-3 に示す。

これにより、それぞれの場合に、7,300 億円、2 兆 5 千億円、7 兆 3 千億円程度の政府への歳入となることが予想される。このうち例えば、10,000 円/tC の課税の場合、一般均衡的相互依存関係による価格・数量調整の結果、それぞれの部門は生産額について表 2-2-4 に示される経済的影響を受ける（対「ベース・シナリオ」）と推定された。

表 2-2-3 各炭素税額に相当する各部門の純生産物税率（各部門のエネルギー集約度を反映）

炭素税額	農林水産	鉱業建設	食料	繊維	紙パ	化学
¥3,000/tC	0.302%	0.023%	0.103%	0.457%	0.760%	0.369%
¥10,000/tC	1.007%	0.077%	0.343%	1.522%	2.534%	1.228%
¥30,000/tC	3.021%	0.231%	1.027%	4.567%	7.602%	3.685%
炭素税額	窯業土石	一次金属	金属機械	その他	民生部門	運輸
¥3,000/tC	0.833%	0.931%	0.061%	0.293%	0.072%	0.696%
¥10,000/tC	2.775%	3.104%	0.205%	0.975%	0.241%	2.320%
¥30,000/tC	8.325%	9.312%	0.614%	2.925%	0.723%	6.960%

表 2-2-4 炭素税による経済的影響（10,000 円/tC の場合；純生産額変化率、対「ベースケース」）

農林水産	鉱業建設	食料	繊維	紙パ	化学
-0.77%	-0.05%	-0.21%	-0.85%	-1.73%	-0.84%
窯業土石	一次金属	金属機械	その他	民生部門	運輸
-1.83%	-2.11%	0.14%	-0.66%	-0.18%	0.16%

（イ）消費段階における炭素税の課税：

税率は 10,000 円/tC の場合ケースに得られた税率を、消費財合成財変換行列を用いることで想定した。この場合、平均ですべての財にかかる税率が 2.5 ポイント程度上昇し、10 兆円を超える税収が見込まれる。また、可処分所得ベースのジニ係数は 1 ポイント程度の改善が見られた。炭素税の導入によって可処分所得ベースのジニ係数が改善するのは多少直感と反するが、税収が増えた時点での均衡点においては低所得者層の方が相対的に可処分所得上の負担は少ないということ意味し、低所得者層は相対的に労働を増やし、他方で所得の高い層は相対的に減らす結果、という解釈も成り立つ。

（ウ）モデルの動学化とモンテカルロ・シミュレーション手法の適用：

構築したモデルの理論的かつ記述的複雑性、自力での解法アルゴリズムの開発（スカーフ・アルゴリズムの応用）などにより、計算時間の制約とともに解釈的調整に手間取り十分な成果（数値結果）を得るには至らなかった。

ここでは一例として、詳細なパラメータの想定は省略し（いくつかの主要な不確実パラメータの平均と分散を過去のデータより推計し、それらの確率分布を想定。これらを正規分布近似により乱数を発生させた。）、簡易版モデルを利用したモンテカルロ・シミュレーションによる将来の GDP 予測を意図した実行結果を示す（図 2-2-4）。

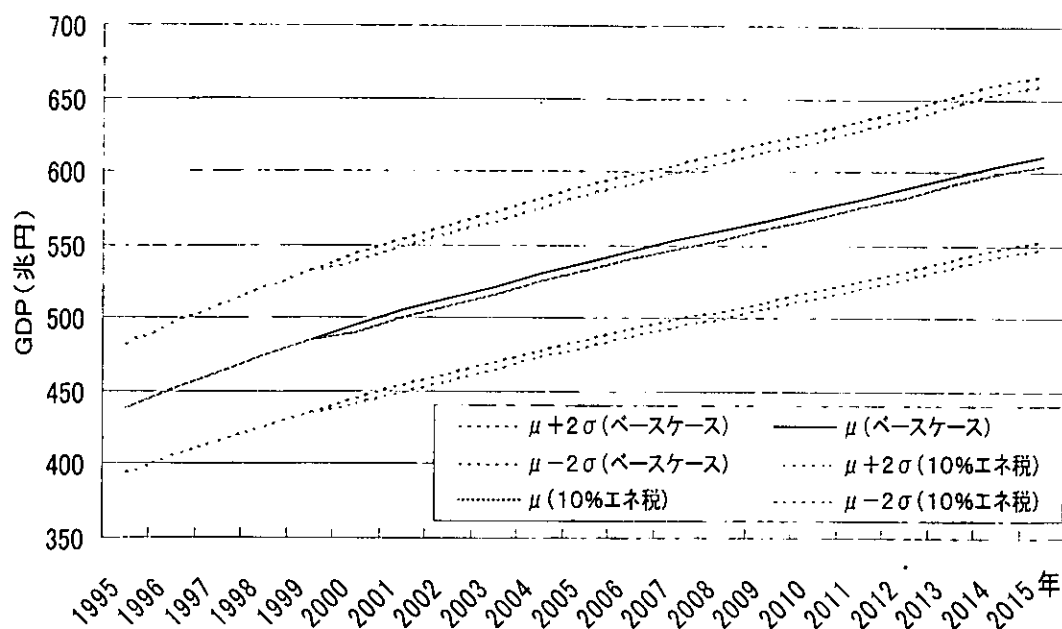


図 2-2-4 モンテカルロ法を用いた計算結果例

(4) 動態的市場均衡モデルによる政策統合の効果分析

前年度までのエネルギー・マクロ経済構造に関する、どちらかと言えば多分にミクロ的視点を重視した分析を意図したモデル開発を試みてきた。平成12年度は、これらの経験と得られた諸知見を踏まえながらも、やや視点を変えより現実的な観点から、状況の急変（米国の離脱問題）により慌ただしさが増しつつあるとは言え、時間的に対応を迫りつつある温暖化対策「京都シナリオ」の達成に向けた政策統合（ポリシー・ミックス）の有効性評価を目的とするモデル構築（拡張）とシミュレーション分析を目的とした。

本報告者にとっては古巣に戻った感が無きにも非ずであるが、本研究における分析の方法論として、マクロ経済（トップダウン型エネルギー需要モデル；産業部門プラス民生部門；部門分割）、およびそれとリンクしたエネルギー市場（ボトムアップ型エネルギー供給モデル）からなるシステムを対象とした動態的市場均衡モデル（GDMEEM: Goto's Dynamic Macroeconomic-Energy Equilibrium Model: version 8）による数値シミュレーションを基礎とするシナリオ分析を選択した。

これまでも同モデルによって様々な評価を行ってきたが、今回検討の対象としたのは基本的には以下の諸政策の比較評価であり、とりわけ国内排出権取引制度の有効性に焦点を当てたモデルの拡張、ならびに数値シミュレーションを試みた。

評価対象の諸政策

- (ア) 炭素税
- (イ) 国内排出権取引制度
- (ウ) 国際排出権取引制度
- (エ) 上記の組み合わせ（例：炭素税＋国際排出権取引制度；税収財源等）

上に挙げた諸温暖化対策オプションについて、理論的観点からは（一定の規範的簡略化、前提条件の下で）以下のように各々の経済的影響が特徴付けられるが、諸前提条件の吟味も含め、実施に向けた政策導入の選択・評価に関する議論の対象となっている。これに多少の寄与を試みる事が、本研究の主要な目的である。

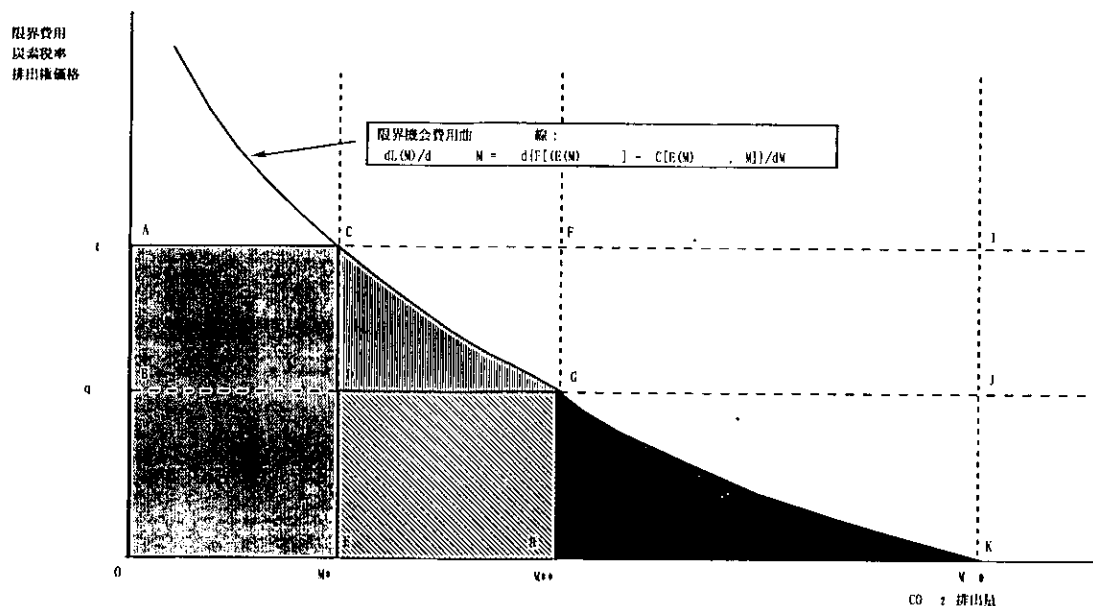
ただし、ここでは分析の焦点を絞るため、一定の簡略化が講じられている。議論のポイントは、炭素税と国内排出権取引制度（炭素税の過重負担問題）、国内抑制と国際排出権購入（排出権購入によるCO₂排出削減の限界費用緩和（+）と所得流出（?）の間のバランス）の社会的（公平性）・経済的（効率性）相互比較、およびこれらの組み合わせの有効性等である。よって、本研究はあくまで想定された状況下および限定的な評価の枠組み内でのシナリオ分析であり、将来予測ではない。

なお、上記目標に合わせて、モデルの構造的拡張はもとより、全般的なインプット・データの更新、各エネルギー需要部門（産業、民生とも）における實際上、および近い将来潜在的に利用可能な省エネ技術オプションのメニューの詳細化を行った（これに関しては、国環研のAIMプロジェクトの多大な好意に感謝したい）。

表 2-2-5 に、本研究の意図の根底にある、各政策の規範的特性をいくつかの評価基準によって概念的に比較したものを要約して示す。また、図 2-2-3 において、各政策に伴う産業部門とマクロ経済全体における影響評価の差異を図示する。これらの概念的想定（類推）の数量的認識が研究の主たる目的である。

表 2-2-5 各政策の概念的比較評価

	a. 資源配分	b. 費用負担、所得分配	c. マクロ経済
(1) 炭素税	・費用最小化（抑制の限界費用 = 炭素税率；同抑制水準の下で、国内排出権取引制度と同値）	・高い炭素税率（＝限界費用） ・（非エネルギー）産業部門への過重負担（国内排出権取引制度と比較して） ・税込還流（影響緩和、所得再分配）の効果	・エネルギー費用増大（価格上昇）による機会損失 ・環境技術産業へのプラス（誘発）効果
(2) 国内排出権取引	・費用最小化（抑制の限界費用 = 排出権価格；同抑制水準の下で、炭素税と同値）	・高い排出権価格（＝限界費用） ・（非エネルギー）産業部門への負担軽減（炭素税と比較して）	・エネルギー費用増大（価格上昇）による機会損失 ・環境技術産業へのプラス（誘発）効果
(3) 国際排出権取引	・費用最小化（抑制の限界費用 = 排出権価格）	・（相対的に）低い排出権価格（＝限界費用） ・（非エネルギー）産業部門への負担軽減（上記の2政策と比較して）	・エネルギー費用増大（価格上昇）の緩和による機会損失の低減（上記の2政策と比較して） ・環境技術産業へのプラス（誘発）効果の減少（上記の2政策と比較して） ・所得の海外流出



産業界の経済的負担：

- (1) 炭素税 (2) 国内排出権取引 (3) 国際排出権取引

マクロ経済的機会損失：

- (1) 炭素税： $G(M^*) = \{F[E_0(M_0)] - Z[E_0(M_0)]\} - \{F[E^*(M^*)] - Z[E^*(M^*)]\}$
 (2) 国内排出権取引： $G(M^*) = \{F[E_0(M_0)] - Z[E_0(M_0)]\} - \{F[E^*(M^*)] - Z[E^*(M^*)]\}$
 (3) 国際排出権取引： $G(M^{**}) = \{F[E_0(M_0)] - Z[E_0(M_0)]\} - \{F[E^{**}(M^{**})] - Z[E^{**}(M^{**})]\} - q(M^{**} - M^*)$

ここで、

$E(M)$ = CO₂ 排出量が M 以下に制約された場合の最適対応後のエネルギー消費量

$F(E)$ = エネルギー投入量 E による付加価値生産額

$C(E, M)$ = CO₂ 排出量が M 以下に制約された場合の最適対応後の費用関数

$Z(E)$ = エネルギー輸入関数

q = 国際排出権価格

図 2-2-3 諸政策の理論的帰結

成果

以下のシナリオ分析を行った。

想定シナリオ：

- ・ CO₂ 排出量制約：2010 年以降 278 百万 tC（1990 年比 2%減）以下に安定。
- ・ 諸インプット・データ、および前提条件の想定に関しては、2001 年 6 月に行った環境省との作業と提出報告（中央環境審議会向け試算）に譲る。

試算結果の概要については上記報告、あるいは国際排出権制度への参加の経済的有効性をも含めて評価を試みた既刊報告書（「温暖化対策税を活用した新しい政策展開」、環境政策における経済的手法活用検討会報告書、環境庁企画調整局、平成 12 年 6 月）に譲り、ここでは本研究の主目的である炭素税と国内排出権取引制度の比較のみに止める（末梢の数値結果に僅かな

差違があるが、得られた諸知見にほとんど変化はない。

今、非エネルギー製造部門（運輸、サービスを除く）が炭素税を支払う代わりに国内排出権制度に参加し同水準の CO₂ 排出量抑制を達成する、ただし同制度内で排出権初期配分量（あるいは、ある機関が一手に排出権を売却するとすれば、売却収入の再分配方法）は何らかの形で決定されていると仮定する。そして、各産業部門への相対的影響を無視した、当製造部門全体における付加価値生産額（税控除を含む）の変化を表 2-2-6、および図 2-2-4 に示す。

（ア）図 2-2-3 において簡単にその構造を説明したが、炭素税から国内排出権制度への移行（本研究で想定したメカニズムでは、産業界が強く主張している自主的取り組みとも基本的に同じ構造になるが）によって、産業部門は大きな便益を受けることが示されている。例えば、2010 年時点で炭素税導入による経済的負担は約 3 兆 3 千億円（対「ベース・シナリオ」比、-1.40%）にのぼるのに対して、約 7 千 4 百億円（対「ベース・シナリオ」比、-0.31%）へと 78%もの費用節約になる。それ以降の各時点においても、概ね 3 兆円程度の負担減となることが分かる。

（イ）ただし、急いで断っておきたいが、このシナリオが現実的に可能かどうかは定かではない。すなわち、システムがうまく機能するかどうかは、排出権の初期配分（あるいは、ある機関が内部で設立され一手に排出権の売却を請け負う場合には、排出権売却収入の再分配）の方法が首尾良く考案できるかに依存する。表（資源配分上）の問題としては、あくまで費用効果的に（すなわち、限界費用の小さい順に）抑制が実施されることが前提であり、これはエネルギー（炭素燃料）集約的な産業が相対的に高負担（機会費用的を含めて）を被ることの不可避免性を意味する。しかし、初期配分（再分配）の方式を逆に負担の公平性を維持するべく企図されるならば、合理的な生産者はそれを見越して対策努力を緩和しようとの誘因を持つであろうことは必然である。

（ウ）とは言え、費用効果性と負担の公平性はどちらも比較し難い重要な政策的評価基準であり（概ね、トレード・オフ関係にあると理解される）、ここで示した両ケースのどこか中間点に社会的に望ましい現実解が存在するのであろう。ただし、少なくともその決定権を持つという意味で、国内排出権取引制度は炭素税導入よりも産業界にとって魅力的なオプションでありうる、と結論される。

表 2-2-6 炭素税と国内排出権取引制度による非エネルギー製造部門への経済的影響比較

2010	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100	2110	2120	2130	2140	2150	2160	2170	2180	2190	2200	年平均（%） 2010/20
製造部門付加価値生産額（10億円） （ベース・シナリオ）	192,836	199,781	208,829	217,985	227,878	238,249	249,384	261,213	273,925											2.11
対（炭素税ケース、税控除前）	192,835	199,718	208,989	217,693	227,332	234,925	245,341	256,591	268,485											1.97
対「ベース」（10億円）	0	-63	161	-292	-545	-3,324	-4,043	-4,622	-5,440											
対「ベース」（%）	(▲0.00)	(▲0.03)	(0.08)	(▲0.13)	(▲0.24)	(▲1.40)	(▲1.62)	(▲1.77)	(▲1.99)											
対（国内排出権取引ケース）	192,835	199,718	208,989	217,693	227,332	237,505	248,150	259,582	271,838											2.08
対「ベース」（10億円）	0	-63	161	-292	-545	-744	-1,234	-1,631	-2,087											
対「ベース」（%）	(▲0.00)	(▲0.03)	(0.08)	(▲0.13)	(▲0.24)	(▲0.31)	(▲0.49)	(▲0.62)	(▲0.76)											
対「炭素税ケース」（10億円）	0	0	0	0	0	2,580	2,809	2,991	3,353											
対「炭素税ケース」（%）	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(77.62)	(69.48)	(64.71)	(61.63)											

注：製造部門＝エネルギー、運輸、サービスを除く産業部門

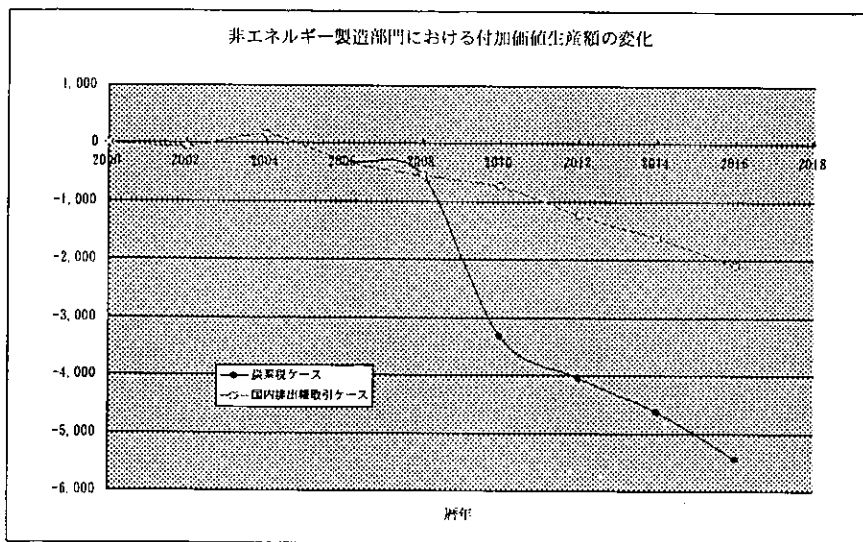


図 2-2-4 炭素税と国内排出権取引制度による非エネルギー製造部門への経済的影響比較

2-3 動学的最適化モデルを用いた地球温暖化対策及びエコシステムの分析（東京理科大学理工学部）

(1) はじめに

本研究は、1990年に W. Nordhaus によって開発された世界 1 地域の温暖化評価モデル DICE に、筆者がエネルギー・化石燃料資源ブロックを加えた DICE+e モデル(平成 6 年)、さらに 3 地域に拡張したモデル(平成 6 年)を経て、さらに土地利用と食糧需給、炭素回収隔離技術評価ブロックを加えた地球温暖化対策評価のための統合評価モデル MARIA(Multiregional Analysis for Resource and Industry Allocation)を基礎とし、さらに拡張を続けた研究活動である。平成 10 年度から平成 12 年度にかけての研究成果は、以下のようにまとめられる。

① IPCC の要請によって開始された IS92 シリーズに代わる新排出シナリオ策定作業においては、従来の 1 モデル評価に替わり、前提条件をそろえた上で複数のモデル結果を相互比較するマルチモデルアプローチが取られた。これに参加するため、地域数を 8 地域に拡張すると共に、原子力技術を明示的に評価するため核燃料サイクルブロックを導入した。

② 本拡張 MARIA モデルは IPCC-SRES および IPCC-TAR の Post-SRES 研究に参加しシミュレーション結果を提供した。

③ 1990 年代に大きな進歩を見せた気候変動モデル研究の成果を反映するため、Bern 炭素循環モデルを導入した。これにより、IPCC の最新の気候変動研究成果と高い整合性を示すに至った。

④ 温暖化対策としての流体燃料として近年注目されている水素利用技術の一つとして、低温(約 500℃)メタンベース水蒸気改質技術評価を導入した。本研究においては、FBR との組み合わせを取り入れている。

⑤ 土地利用と食糧需給への温暖化影響をより具体的に見るため、GIS を利用し、筑後モデルによる光合成効率を評価するモデルを MARIA モデルを補完する意味で開発した。

⑥ アジア地域、特に中国やインドにおいては、国が広いだけに国内の地域性がエネルギー需給に重要内を持つと考えられるので、アジア途上国地域を 15 (うち中国を 7, インドを 5) に分割して

エネルギー輸送と化石燃料資源の質の差を評価するモデルを開発した。

以上は、図 2-3-1 のようにまとめることができる。本稿では、MARIA の拡張とそのシミュレーション結果の記述を主とし、GIS による土地利用と食糧需給への温暖化影響とアジア地域分割モデルは簡単な記述とする。

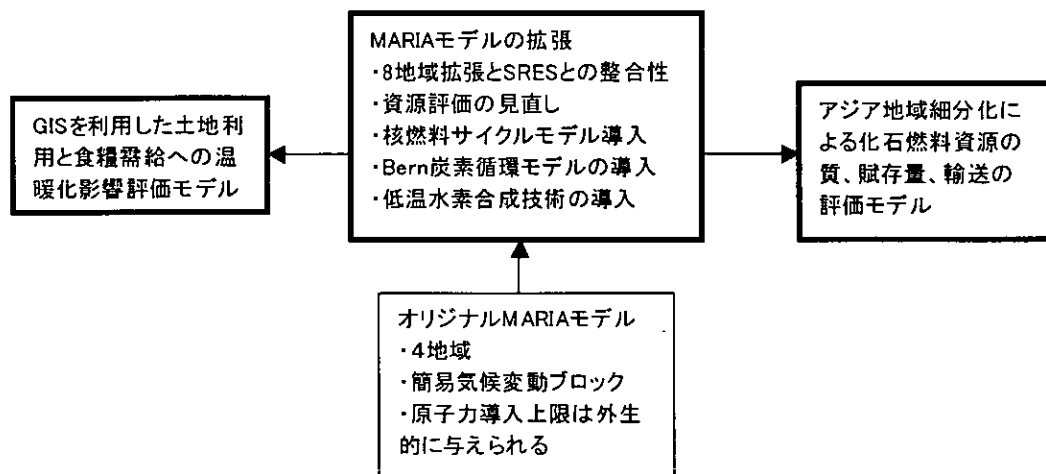


図 2-3-1 研究成果の構成

(2) MARIA の拡張

地球環境統合モデル MARIA(Multiregional Approach for Resource and Industry Allocation) モデルは、平成 6 年度の DICE+e 以来、拡張を受けつつ現在に至っている。現在では、世界を日本、米国、他 OECD、中国、東南アジア地域 8 カ国（韓国、台湾、香港、シンガポール、インドネシア、マレーシア、フィリピン、タイ）、旧ソ連・東欧、南アジア、その他地域(ROW)の 8 地域から構成される。エネルギー／資源／経済活動／地球温暖化／食糧供給／土地利用変化を単純化して定式化し、2100 年までの一人当たり消費から導かれる効用の最大化を行う非線形最適化モデルである。世界貿易も考慮され、各財、技術の国際取引価格が導かれる構成となっている。変数は約 18,000 個、制約式は約 15,000 本に達する。この規模の情報と相互関係を扱うには、どうしても計算機モデルに頼らざるを得ない。

まず、このモデルの基本的な構成を図 2-3-2 に示す。図はある地域の相互関係を示すものであるが、このように経済活動を介して、気候変動や食糧需給、土地利用などが相互に結びついている点に特徴がある。

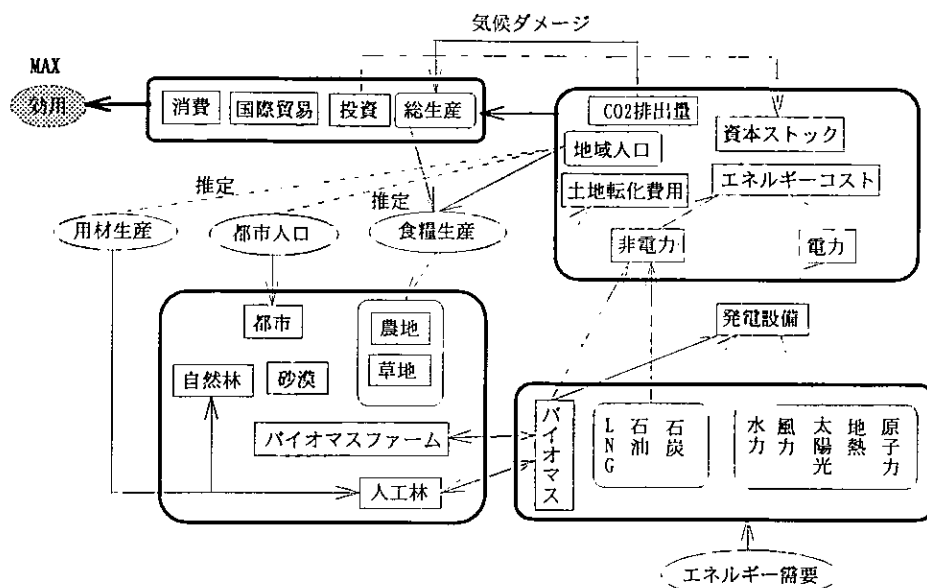


図 2-3-2 MARIA モデルの基本的構成(1 地域)

地域数の拡大

表 2-3-1 のように地域数を分割した。これにより、IPCC-SRES の地域分割と対応を付けることが可能となった。

表 2-3-1 MARIA-8 モデルにおける地域分割

地域略号	国
NAM	USA, Canada
JPN	Japan
DC	Other OECD member countries in 1990
FSU	former USSR and eastern European countries
ANS	Indonesia, Malaysia, Philippines, Singapore, South-Korea, Thailand, Taiwan
CHN	China
SAS	India, Bangladesh, Pakistan, Sri-Lanka
ROW	Other countries

簡易核燃料サイクルの導入

原子力は温暖化対策としてはクリーンかつ資源量も豊富であり、技術的には長所の多いオプションである。しかし、事故時の汚染への懸念、核拡散条約との関係、高レベル廃棄物最終処分への不安等の理由のため、世界的には導入を推進する国は少数派になりつつあることは周知である。ことに、近年はガスタービン発電技術のコスト低下と効率向上のため、原子力発電のコスト優位性にも影が差す状況となっている。少なくとも、資本費の高価な原子力発電は、投資回収までに長期かつ安定した金融市場を必要とする。この意味で、短期的な収益性とキャッシュフローに着目する民間の投資行動から不利になる点は否めないと言えよう。

しかしながら、超長期的に見れば再生可能エネルギーのみでどこまで世界全体のエネルギー需

要を賄えるか、また大気中の炭素濃度を安定化する際、なお核燃料サイクルを含む原子力開発なしでエネルギー供給が可能なのかという疑問に答えるには、原子力技術を導入したモデルの中で評価する必要がある。ことに、もし社会が長期的に脱原子力路線を選択するとするなら、それはどのような社会費用を意味するのかは重要な視点と考えられる。

今回導入した核燃料サイクルは図 2-3-3 のようにきわめて単純化したものである。ワンスルー型の軽水炉（LWR）、プルトニウムを利用するプルサーマル炉（LWR-Pu）、高速増殖炉（FBR）の 3 種類を考える。ここで、単純化のため LWR への投入はウランニウムバランスを考えるが、LWR からの取り出し燃料、LWR-Pu と FBR に関しては基本的にプルトニウムバランスのみで定式化を行っている。LWR-Pu、FBR には当然ウランニウムも必要であるが、これらは劣化ウランでよく濃縮が不要であり、また量的にもこれが制約となることはないと考えられるため、モデルからは省略している。

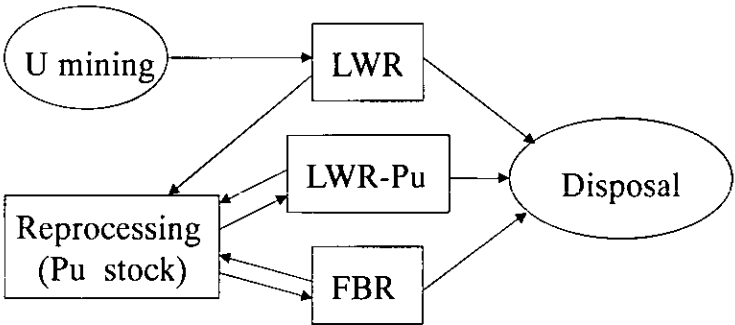


図 2-3-3 簡易核燃料サイクルモデル

気候変動セクター

本研究の大きな拡張として、Bern 炭素循環モデルの導入について述べる。従来の MARIA モデルでは、DICE モデルの簡易炭素放出-蓄積ブロックを有していたが、最新の気候変動モデル研究の知見を反映させるため、簡易気候変動モデルであるが精度が高いとされる Bern モデルを導入した。また、温室効果ガスの影響をモデルに反映させる上で、繰り返し計算による放射強制力評価モデルも新しく導入した。

Bern 炭素循環モデルは海洋による CO₂ 吸収と地表植生における炭素バランスとを考慮した簡易的な炭素循環モデルであり、混合層応答+生物圏炭素循環応答モデルで近似し、その精度は高いとされ、IPCC の最新の WG1 でも使われている。そこで今回、MARIA モデルの気候変動ブロックに、この Bern 炭素循環モデルを導入した。Bern モデルでは生物圏と大気圏の二つの炭素バランスと生物圏での肥沃効果による炭素吸収も考慮に入れた上で、MARIA モデル内で内生的にその値を求めるようになっている。この時、MARIA モデルとは人為的な CO₂ 排出でリンクしている。その概要は図 2-3-4 に示される。

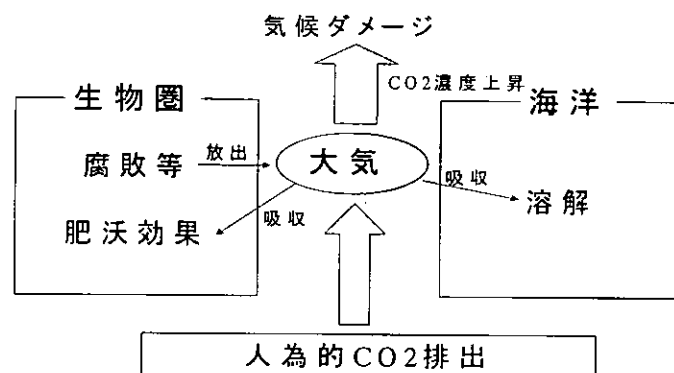


図 2-3-4 Bern モデルの概要

CO₂ 以外の温室効果ガスについては、CH₄、H₂O、N₂O、CFC による温暖化効果と SO_x による冷却効果を考慮した。その放射強制力計算フローを図 2-3-5 に示す。

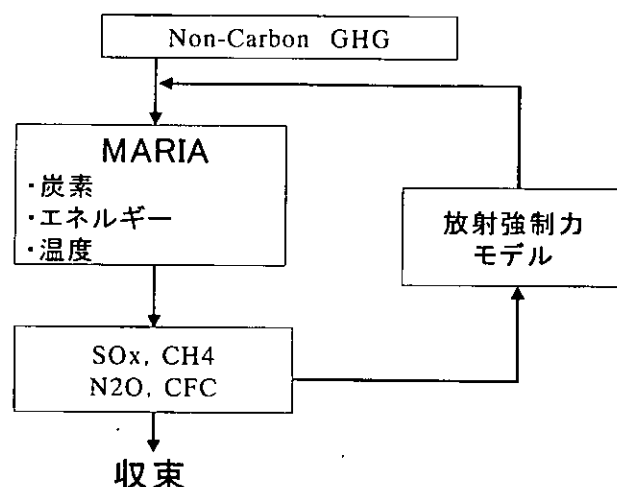


図 2-3-5 放射強制力計算フロー

(3) GIS を用いた将来の食糧生産・バイオマス資源に対する気候変動影響評価

本研究の目的は、GIS の一つである Arc/View を用いて、地球温暖化に伴う気候変動が将来の食糧生産に与える影響を分析・評価することである。また、バイオマス資源と土地利用・食糧等との関連性に着目し、バイオマス生産の土地利用競合とバイオマスエネルギー供給可能量を、GIS を用いて評価する。これは、MARIA の特徴の一つである土地利用と食糧需給を考慮した上でバイオマス利用技術評価を行う体系の中で、特に土地利用と食糧需給と温暖化の関係について着目したものと位置づけられる。

研究方法

本研究では、まず大気循環モデルから世界各地の気候データを求め、気候データから植生の純一次生産力を算出できる筑後モデル利用して、将来の潜在生産力の変化率を求める。また、主要作物の栽培可能気候帯分布図の作成には作物毎の生育要求温度及び代表的な生産地の積算気温および積算降水量を指標として用いた。以上のデータ及び世界土壌図や植生図等を組み合わせる(オ

ーバーレイ)ことによって、食糧生産及びバイオマス資源への気候変動の影響評価を可能とする。

大気循環モデル

大気循環モデルは、大気、海洋、陸面、生態系、氷雪圏に関する数学的な表現を様々な複雑さで組み込んだモデルであり、過去、現在、将来の気候及び気候変動を理解するための重要なツールである。

本研究では、MAGICC モデルと UIUC モデルを組み合わせることによって算出した気候データと、IPCC Data Distribution center からダウンロードした ECHAM4 モデル及び CGCM1 モデルのシミュレーション結果のデータ（1961 年～2099 年）を用いる。本論文では 1961～1990 年の平均値を現在の値、2070～2099 年の平均値を 2080 年の値とした。

温暖化シナリオは以下の 2 つを用いた。

シナリオ 1—大気中 CO_2 濃度年率 1 % 増加

シナリオ 2—大気中 CO_2 濃度及びエアロゾル濃度年率 1 % 増加

詳細な大気循環モデルの主なシミュレーション結果は、ウェブサイト公開されているので、これを利用する。これを、MAGICC のような簡易モデルで補間することで、様々なケースの気候変動、ここでは温度変化と降水量変化を推計し、これをもとに筑後モデルで潜在的な光合成による純一次生産を評価する。図 2-3-6 に本研究の主な流れを示す。

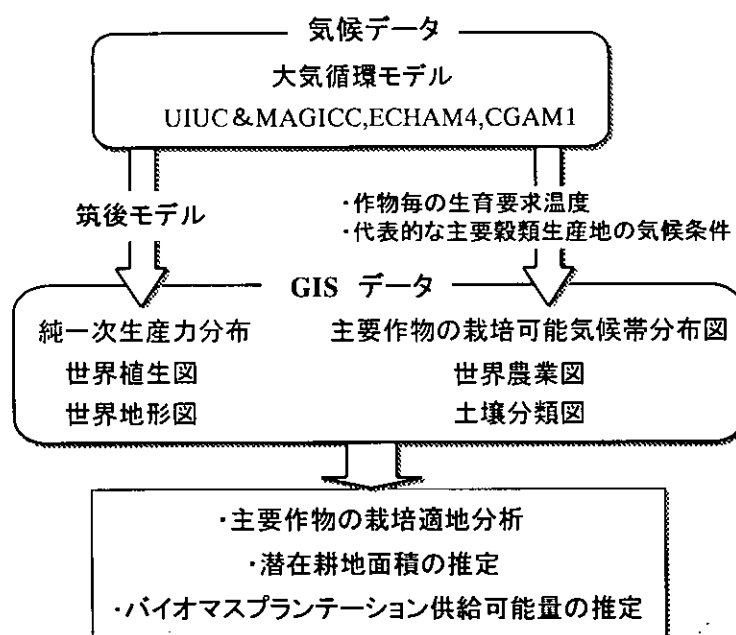


図 2-3-6 温暖化影響評価の流れ

主要作物の栽培適地変化

現在の気候条件下の栽培適地と 2080 年次の気候条件下の栽培適地分布を比較することによって、地球温暖化に伴う気候変動が主要作物の生産にあたる影響を調べた。栽培適地は、指標①の生育要求温度に加え土壌条件、地形条件を考慮した。また、NPP（純一次生産力）が 10 乾物 t/ha/年末満の地域は適地から除外した。

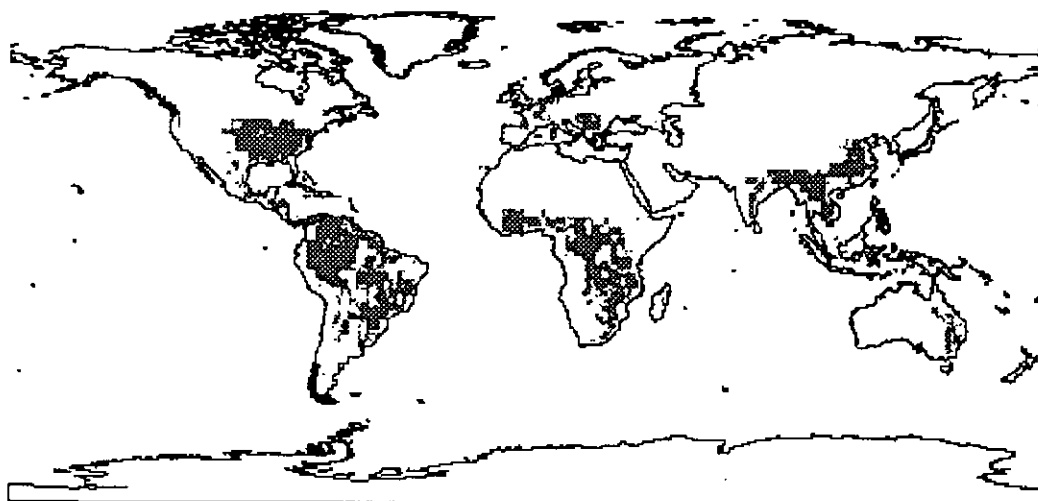


図 2-3-7 現在のコムギの栽培適地<指標①> (ECHAM4, シナリオ 1)

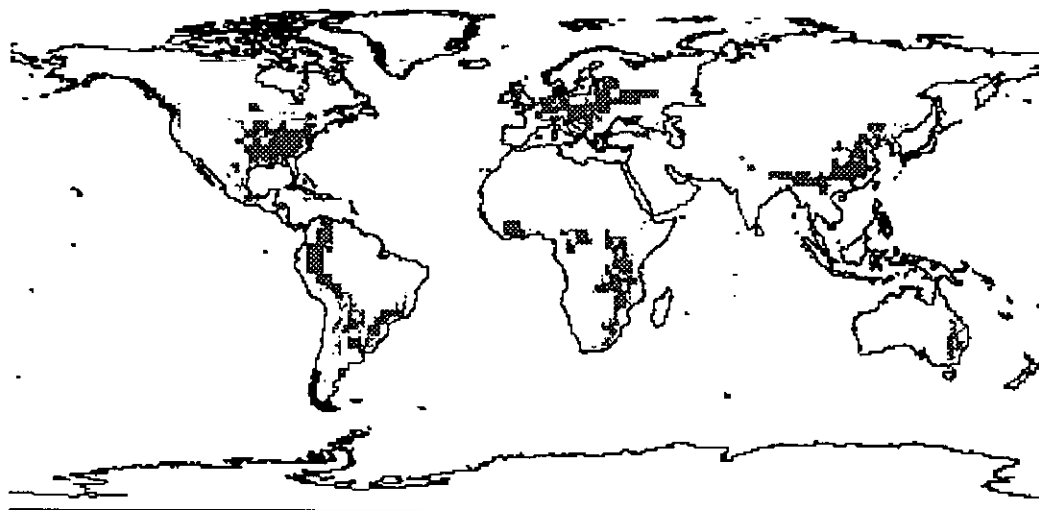


図 2-3-8 2080 年次のコムギの栽培適地 (ECHAM4, シナリオ 1)

図 2-3-7, 図 2-3-8 に示すよう、温暖化に伴ってコムギの栽培適地は南米、アフリカ、東南アジア地域で減少し、北部ヨーロッパで増加している。

表 2-3-2、2-3-3 は 1990 年に比べて 2080 年次主要作物の栽培適地面積がどのように変化したかを表したものである。温度条件のみを考慮した指標①では、温暖化によってほとんどの作物の栽培適地が増加する。指標②では将来の気候変動が影響して、モデルによって差が有るものの減少傾向にある。

表 2-3-2 主要作物の栽培適地変化<指標①> (1990～2080 年, ECHAM4)

	米	小麦	玉蜀黍	大豆
シナリオ 1	+40.8%	+7.1%	+45.9%	+45.0%
シナリオ 2	+16.8%	-5.0%	+20.9%	+20.3%

表 2-3-3 主要作物の栽培適地変化<指標②> (1990～2080 年, シナリオ 1)

	米	小麦	玉蜀黍	大豆
ECHAM4	-23.7%	-18.5%	-19.6%	-43.4%
CGCM1	+0.4%	-31.0%	+7.4%	-1.7%

<潜在耕地及びプランテーションバイオマスエネルギー供給可能量の推定>

現在農業利用されていないが、耕作に適した環境をもつ地域を潜在耕地と定義する。当然ながら将来の食糧生産の候補地であり、同時にプランテーションバイオマスエネルギー供給源とも成り得る。本研究では、土壌条件および地形条件に加えて、農業利用度 0%、NPP10t/ha/年以上の地域を潜在耕地とした。

図 2-3-9 は世界の潜在耕地の分布を示したものである。南米地域の潜在能力が非常に高いことがわかる。

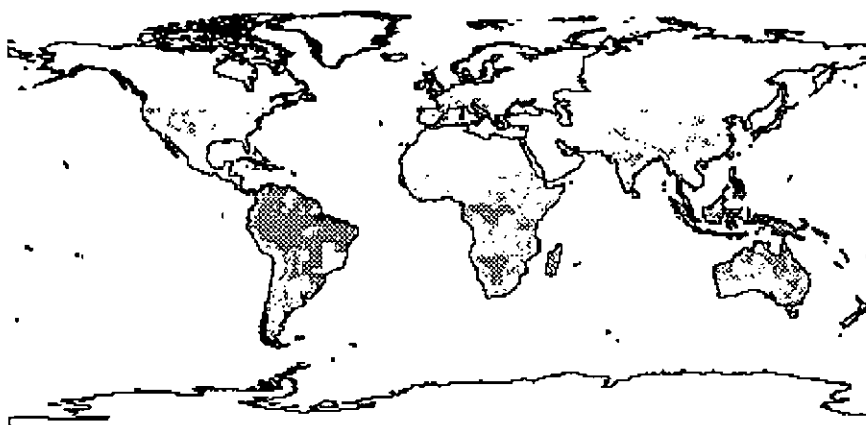


図 2-3-9 現在の世界の潜在耕地 (UIUC&MAGICC, シナリオ 1)

プランテーションバイオマスエネルギー供給可能地は、上記の潜在耕地の中で森林地帯を除いた低木地、草地地域のみを対象とした。結果を表 2-3-4 に示す。先進国の余剰耕地や休耕地等の面積は加算していない。

表 2-3-4 世界の潜在耕地面積及びプランテーション
バイオマスエネルギー供給可能面積の推定 (シナリオ 1)

	潜在耕地面積 (Mha)		プランテーション可能面積 (Mha)	
	現在*	2080 年	現在*	2080 年
UIUC&MAGICC	1263	1323	468	489
ECHAM4	1159	1187	322	329
CGCM1	980	1270	220	299

*前述の通り、この現在は 1961～1990 年の平均値である

まとめ

本研究では、GIS を用いた地球温暖化と土地利用変化及び食糧需給予測との相互関係の分析から、バイオマスエネルギー利用料の評価を行った。

気候モデルによって結果に若干の違いはあるものの、潜在耕地面積は約 1000Mha、プランテーション可能面積は約 300Mha と推定された。これらは、潜在耕地面積及びバイオマスプランテーション供給可能面積は、既存の推定量と比較的近い値になった。今後は、将来の食糧生産との土地利用競合や各国の食糧事情等を考慮して、その供給可能量をより詳細に推定していく必要が今後生じよう。

しかし、本研究での推定には現在放牧等に使用されている草地を多く含んでおり、実際に農地に転用できる面積は推定値の 6～7 割程度と考えられる。一方、温暖化によって世界全体の植生の潜在生産力は増加するので、将来的に潜在耕地面積は拡大する。しかし、将来の食糧生産との土地利用競合を考慮すると、プランテーションバイオマスエネルギー供給可能面積は推定値よりはるかに小さいものとなるかもしれない。

(4) アジア地域のエネルギー資源需給モデルの開発

アジア地域は近年の急激な経済発展により、エネルギー消費量が急速に増加している。そのため、アジア地域ではエネルギー消費に伴う環境問題が深刻な状況となっている。アジア地域のエネルギー需給の特徴は、域内に豊富に存在する石炭の依存度が極めて高いことである。現在、アジア地域全体で石炭が一次エネルギーを占める割合は、世界全体が 27% であるのに対し 45% に至っている。しかしながら、石炭は他の化石燃料に比べ環境への負荷が大きく、中国などでは石炭燃焼による二酸化硫黄排出などの深刻な大気汚染が生じている。また、石炭の生産地によって質が異なり、設備に制約がかかるだけでなく、その生産地自体が偏り、需要地と離れた内陸部に位置しているため、輸送部門に多大な負荷がかかっている状況となっている。

そこで、ここではエネルギー資源の編在性や質の差異、エネルギー輸送インフラを考慮するために、アジア地域（中国、インド、タイ、マレーシア、シンガポール）を 15 地域に分割した、多地域・長期エネルギー需給モデルを構築し、将来のアジア地域のエネルギー利用について検討するものである。モデルの中に環境制約（二酸化硫黄排出量）及び脱硫技術を組み込むことにより、同時にそれらの技術の評価も行う。これは、特にアジア地域および 2050 年前後の過渡期に着目するもので、先に述べた MARIA を補完するものである。

モデルの概要

本モデルでは、評価対象地域を中国・インド・タイ・マレーシア・シンガポールとし、中国（華北・東北・華東・中南・華南・西南・西北）、インド（南印・中央印・北印・東印・北東印）、タイ・マレーシア・シンガポールの 15 地域に分割する。分割した地域毎にエネルギー生産地と需要地を設定し、すべての生産地と需要地を鉄道、船舶、パイプラインによってリンクさせる。さらに、評価対象地域以外のエネルギー生産地として、インドネシア・オーストラリア・南アフリカ・ロシア・中東地域を設定する。この地域のエネルギー供給地と需要地を図 2-3-10 に示す。

<モデルの基本構成>

モデルの基本的な構成を図 2-3-11 に示す。エネルギーと経済の構成は基本的に MARIA と同様で

あるが、石炭、石油の産出地別の品質の差を明示的に扱い、これにより脱硫を行う場合とそうでない場合にどのような環境影響が発生するかを明示的に求めることができる。

本モデルは、総消費最大化を目的とする最適化モデルとして定式化する。具体的には、地域別に生産されるエネルギー資源を輸送容量を考慮しながら各需要地に輸送させ、輸送コスト・脱硫コスト含むエネルギー供給コスト、環境制約下（二酸化硫黄排出）で消費額の最大化を行う。消費額はエネルギー、人口、資本を投入要素とするコブ＝ダグラス型生産関数で決定される生産額から、投資額とエネルギーコストを除いたものとなる。

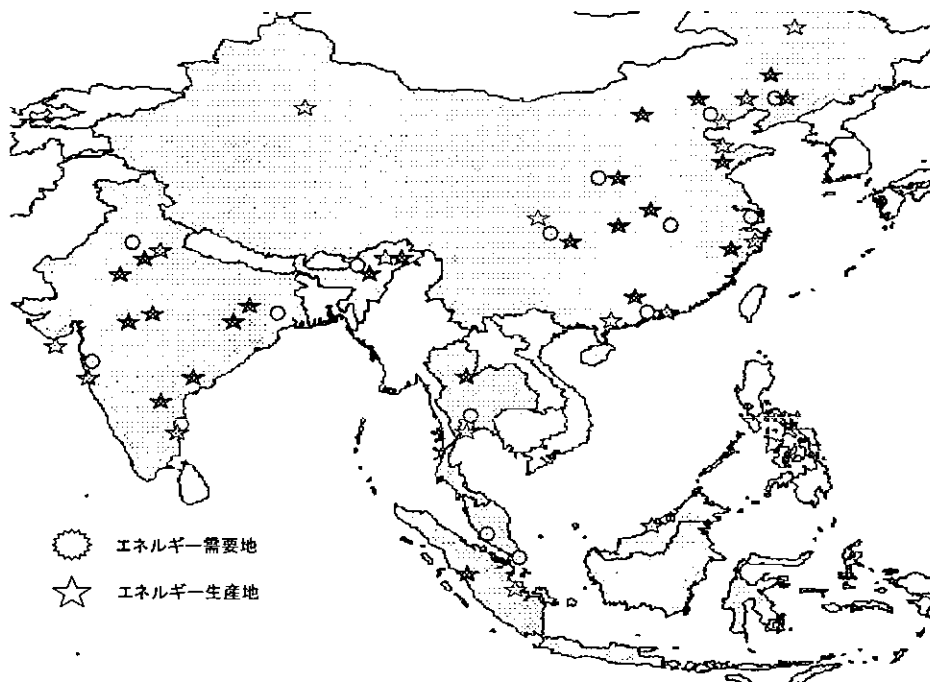


図 2-3-10 アジア地域のゾーニング

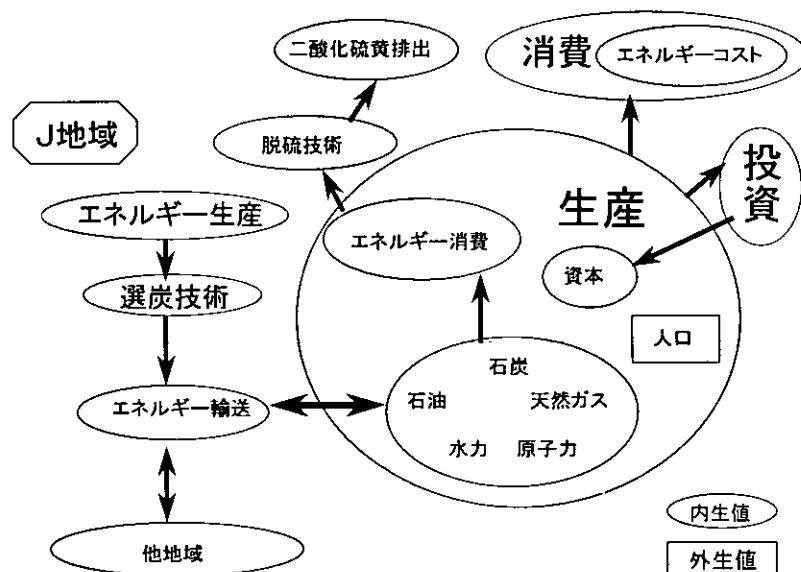


図 2-3-11 モデルのフロー

本モデルの特徴に、エネルギーの賦存量と質の地域性を明示した点がある。表 2-3-5 に、石炭と石油の硫黄含有率の地域性を示す。このように、SOX 排出量に制約を課す場合、どの資源を利用するかに大きな差が生じることが分かる。

表 2-3-5 硫黄含有量

(%)	石炭	石油
華北	0.58	0.40
東北	1.26	0.40
華東	1.62	0.40
中南	1.04	0.40
華南	1.04	0.40
西南	3.12	0.40
西北	1.76	0.40
南インド	0.60	-
中央インド	0.60	0.50
北インド	0.60	-
東インド	0.64	-
北東インド	4.10	0.50
タイ	2.40	0.50
マレーシア	-	0.50
シンガポール	-	-
インドネシア	0.50	0.50
オーストラリア	0.55	-
南アフリカ	0.50	-
中東	-	3.00

シミュレーション結果

ここでは、3 シミュレーションケースを設定した。すなわち、ケース 1：BAU シナリオ、ケース 2：環境制約シナリオ、ケース 3：環境制約＋脱硫技術導入シナリオである、モデルは 1995 年から 2035 年 1 期 10 年 5 期で計算を行う。

エネルギー供給量に関して、ケース 2 のエネルギー供給量は 2035 年時点でケース 1 の約 45%、ケース 3 の場合は、約 15% 減少する結果となった。エネルギー構成比を見ると、ケース 1 ではほぼ一定となるが、ケース 2 は石油が天然ガスと原子力に代替していく結果となった。ケース 3 の場合は、原子力が伸びる以外は、ケース 1 とほぼ同じ結果となった。ここでは、ケース 3 に着目し、その結果について示す。

図 2-3-12 に見られるよう、石炭生産地を比較すると、80% が中国で生産されていたものが、半分近くをオーストラリア産とインド産で占められる結果となった。さらに、中国・インドの生産地を見てみると、2035 年には華北地域と東インド地域で約 85% を占めるに至る(図 2-3-13)。これは、選炭と簡易式排煙脱硫技術だけでは限界があり、石炭を使用するにしても質が良いものへシフトせざるをえないことを示している。

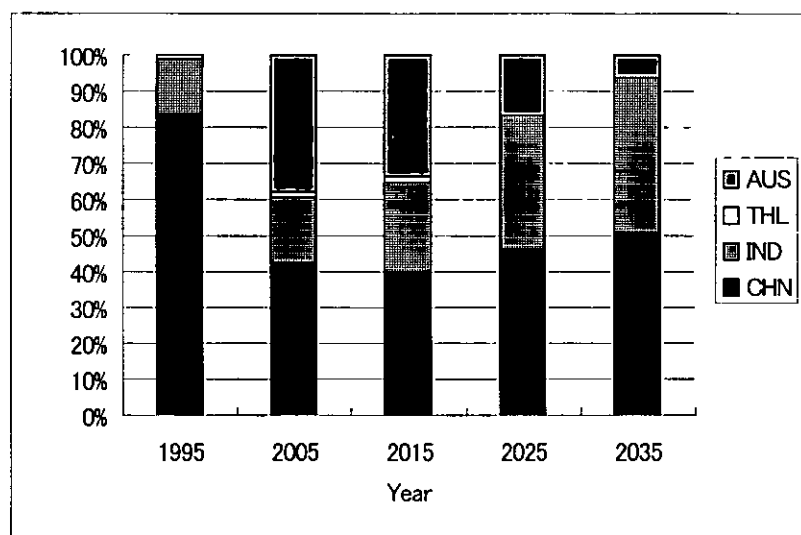


図 2-3-12 石炭生産地比較 (ケース 3)

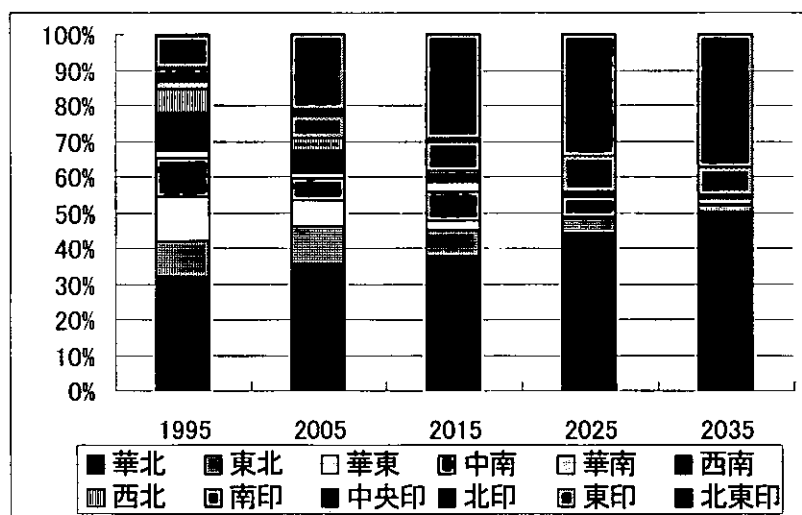


図 2-3-13 中国・インドにおける石炭生産地の比較 (ケース 3)

石油の生産地構成を見ると、図 2-3-14 に見られるよう、2015 年には 90% 近くを中東でまかなう結果となった。これは、2015 年前後には、評価対象地域の油田が枯渇するためである。この結果、中東依存度がきわめて高まるだけでなく、ここから供給される石油の大半を中国向けのものとなる結果となった。現在アジア地域は石油の中東依存度は非常に高いが、今後もこの傾向が続くことを示している。これは、エネルギーセキュリティ上大きな問題となりうる。

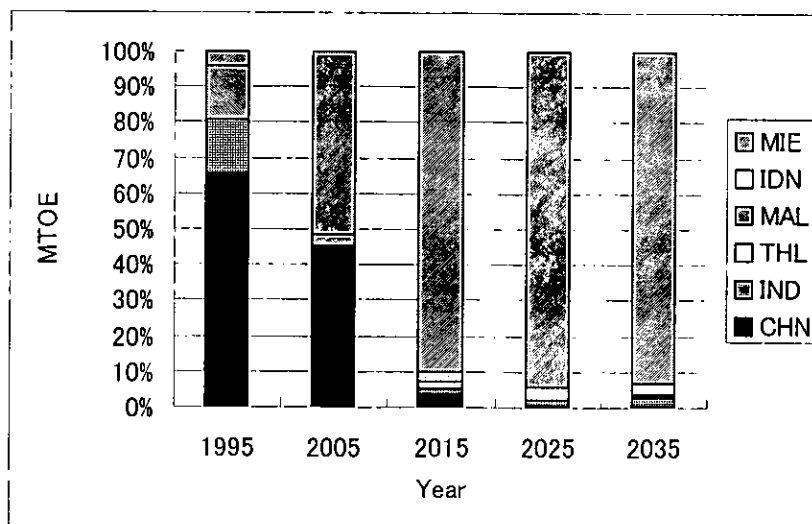


図 2-3-14 石油の生産地構成（ケース 3）

まとめ

本研究では、アジア地域の将来のエネルギー利用を評価するための、アジア地域の長期・エネルギー需給モデルを構築を行った。今後、本モデルの課題としては、バイオマスエネルギーの導入、電力輸送、地域拡張、他の脱硫技術導入のなどがあげられる。

アジア地域においては、石炭のクリーン利用と天然ガス利用の可能性がキーであることが示された。この多地域アジアモデルは、本年度開発が開始されたばかりのものであるので、なお今後パラメータ設定、とりわけ資源賦存量の調査や定式化について検討が必要である。しかしながら、MARIA が提示した統合評価モデルの今後の開発の方向性として重要な位置づけであると考えられる。

(5) 結論

本報告では、地球環境統合モデルである MARIA モデルを用い、その MARIA モデルに簡易的な炭素循環モデルである Bern 炭素循環モデルの拡張と、技術オプションの拡張として水素合成技術の導入、また温室効果ガス（CO₂、CO、CH₄、N₂O、NO_x、SO_x）についての影響評価、健康影響評価としての金銭的評価を導入した。また、特にアジア地域に着目し、資源の質と量の賦存の多様性を考慮したモデル構築を行った。

得られた主な知見としては、Bern 炭素循環モデルを導入した結果、植物の肥沃効果等が導入され、かつ IPCC での気候変動に関する最新の知見がよく反映できるモデル構成となった。

非 CO₂ 温暖化ガスの放射強制力を MARIA の外生ループとして取り入れることができた。これにより、京都会議で採択されたマルチガスアプローチの評価を可能とすると共に、外生ループとすることで CO₂ 排出とそれ以外の温暖化ガス排出の計測の不確実性の差異を反映できるようにした。

新たな技術オプションとして水素合成技術を導入してみたが、今回の本研究の結果には使用されていなかった。二酸化炭素排出制約のない状態ではメタンから水素合成を行う必然性はやや欠けるものの、二酸化炭素排出制約が厳しくなるにつれ、流体燃料需要を賄うものとして水素への期待は次第に大きくなるものと考えられる。

SER 法の実現可能性についてはなお未知の要素が多いものの、500℃以下で水素合成が進むとすれば、核熱のみならずガスタービンの廃熱等様々な利用可能性が広がる。その意味で、この技術には今後着目が必要と考えられる。しかし、水素合成追加費用を 0 円にし、環境制約をかけると水素合成技術が導入されることがわかった。今回の本研究の条件では水素合成技術導入はなされなかったが、新エネルギー技術としての水素合成技術は将来、期待できるものであると思われる。

また、GIS を用いた地球温暖化と土地利用変化及び食糧需給予測との相互関係の分析から、バイオマスエネルギー利用料の評価を行った。食糧生産への温暖化の影響は、用いる指標や大気循環モデルによって結果に大きな差が有り、不確実性の高いものである。また、潜在耕地面積及びバイオマスプランテーション供給可能面積は、既存の推定量と比較的近い値になった。今後は、将来の食糧生産との土地利用競合や各国の食糧事情等を考慮して、その供給可能量をより詳細に推定していく必要が今後生じよう。

さらに、アジア地域においては、化石燃料資源の地域性に特に着目したモデル開発を行った。この結果、石炭のクリーン利用と天然ガス利用の可能性がキーであることが示された。この多地域アジアモデルは、開発が開始されたばかりのものであるので、なお今後パラメータ設定、とりわけ資源賦存量の調査や定式化について検討が必要である。しかしながら、MARIA が提示した統合評価モデルの今後の開発の方向性として重要な位置づけであると考えられる。

2-4 一般均衡モデルを用いた環境税の分析（国立環境研究所）

(1) はじめに

本研究の目的は、炭素税導入によって 2010 年以降の日本の CO₂ 排出量を 1990 年の 6%削減のレベルに安定化させる場合、それによって生じる経済への影響を分析し、炭素税収をどのように使えば、実質 GDP の減少を小さくできるかという点について考察することにある。このため、本研究では、第一に、17 産業部門からなる動学的一般均衡経済モデルを開発し、第二に、このモデルを使って、炭素税の導入とともに、望ましい炭素税収還流の在り方、また、エネルギー関連税制の改革が経済影響に及ぼす影響について分析した。この分析には、SGM（Second Generation Model）を改良して用いた。

SGM は、国民所得勘定をベースに構築された古典派型の動学的応用一般均衡モデルであり、4 つの経済主体（家計、企業、政府、外国部門）行動をモデル化し、炭素税導入によるエネルギー価格上昇が各部門に与える影響や、それによって新たに生じる財源の利用、すなわち、所得税還付や政府支出増加などの税収還流策が各部門の生産量や実質 GDP に及ぼす影響も考慮した分析を行うことができる。これにより経済への影響を最小にしつつ二酸化炭素排出量を削減するための炭素税と税収還流策のあり方について検討することができる。

(2) 炭素税の導入と税収還流策による経済への影響に関する比較分析

炭素税導入は、燃料間あるいはエネルギー間の代替、生産プロセスや産業構造の変化、さらには、環境保全型の技術導入の促進や技術開発投資の増加を通して、CO₂ 排出量を削減する効果をもつ。しかし一方で、各企業の生産費の上昇にともなって製品価格も上昇するため、企業の生産量は減少し、利潤も低下する結果、GDP は減少する。このとき、所得税還付や政府支出増加など

の方法で炭素税収を還流させることにより、GDP の減少を緩和することができる。

ここでは、炭素税導入によって 2010 年以降の日本の CO₂ 排出量を 1990 年の 6 %削減のレベルに安定化させる（COP3 京都会議（1997 年）において決定された日本の削減目標）ために必要な炭素税額や、それによって生じる実質 GDP への影響を検討し、炭素税収をどのように使えば、実質 GDP の減少を小さくできるかという点について分析する。

以下では、2010～20 年の CO₂ 排出量を排出削減目標まで抑制するために、2010 年時点で炭素税を導入した場合、次の三つの炭素税収還流ケースについて、炭素税の効果をシミュレーションし、税収還流策の違いによる政策効果の違いを比較する。

検討する税収還流策は、

- ①炭素税収の分だけ財政収支を黒字にするケース（以下では、財政赤字削減ケースと呼ぶ）
 - ②炭素税収による増収分だけ政府支出を増加させるケース（以下では、政府支出増加ケースと呼ぶ）
 - ③炭素税収による増収分を、所得税還付による、家計への税収還流の財源にあてるケース（以下では、所得税還付ケースと呼ぶ）
- である。

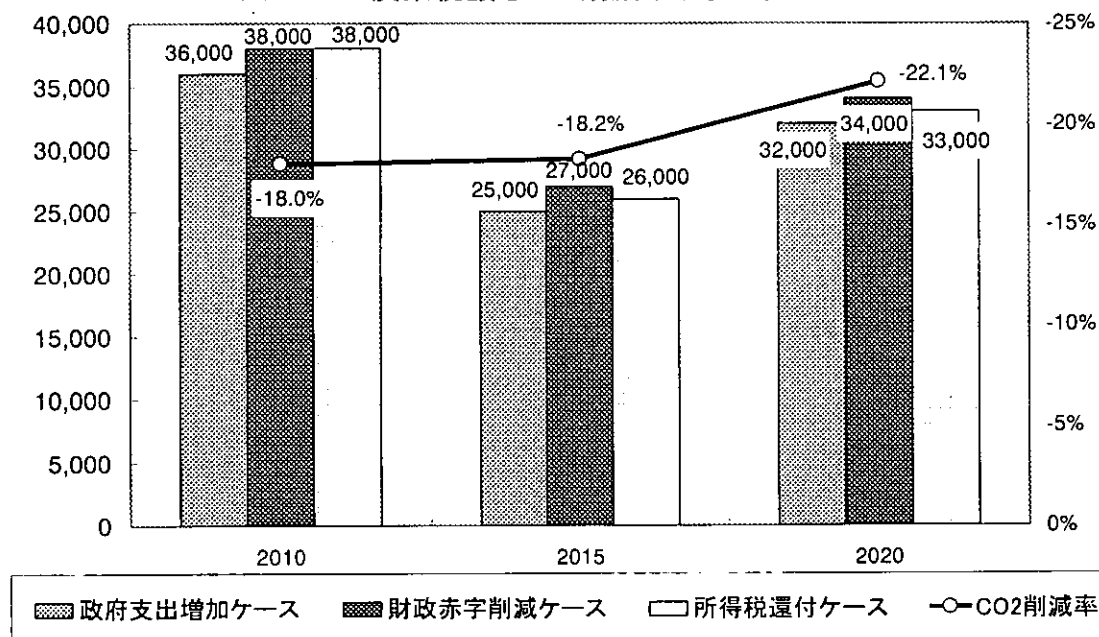
実質 GDP や実質消費への影響～シミュレーション結果と分析

図 2-4-1～2-4-4 は、2010 年以降における炭素税の導入によって CO₂ 排出量を排出目標に抑制するために必要な炭素税額、実質 GDP ロス、実質消費ロスなど主要なマクロ変数について、シミュレーション結果をまとめたものである。シミュレーション結果から分析結果を要約すると次のようになる。

- ① 2010 年から 2020 年において、1990 年レベルの 6 %削減のために 18～22%の CO₂ 排出量の削減（対基準ケース）が必要である。（図 2-4-1）

円／炭素トン

図2-4-1 炭素税額とCO2削減率(対基準ケース)



- ② このとき、炭素税収を政府支出増加のために使うと、課すべき炭素税額は25,000～36,000 円／炭素トンとなり、実質 GDP および実質消費は、それぞれ、0.05～0.2%、および、0.7～1.5% 減少する。(図 2-4-2、図 2-4-2、図 2-4-3)

図2-4-2 炭素税収還流方法の違いと実質GDPロス(対基準ケース)

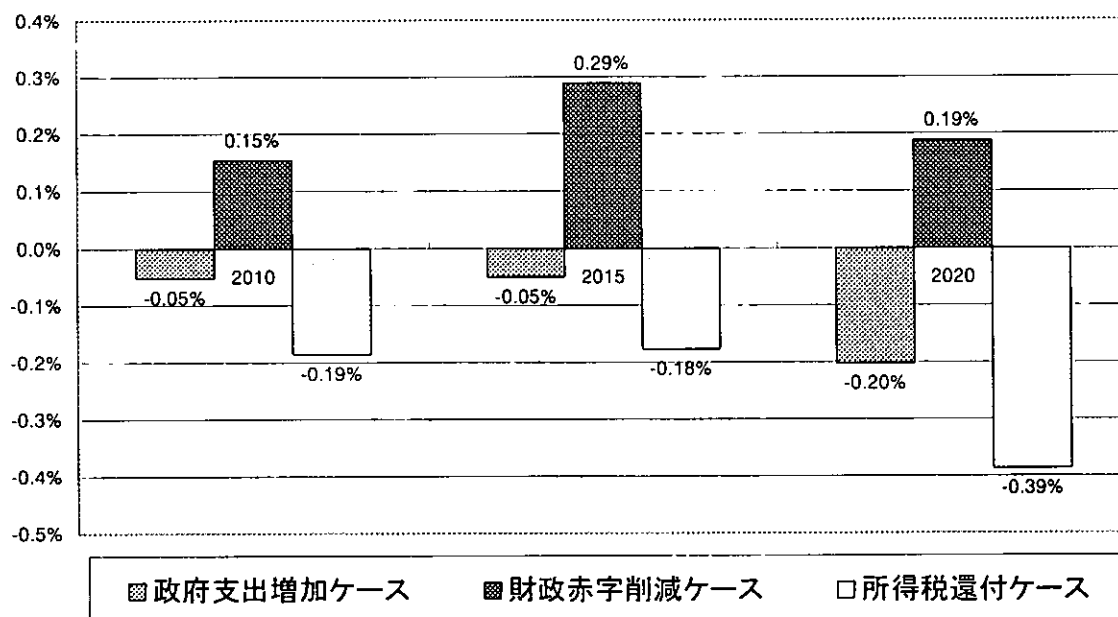
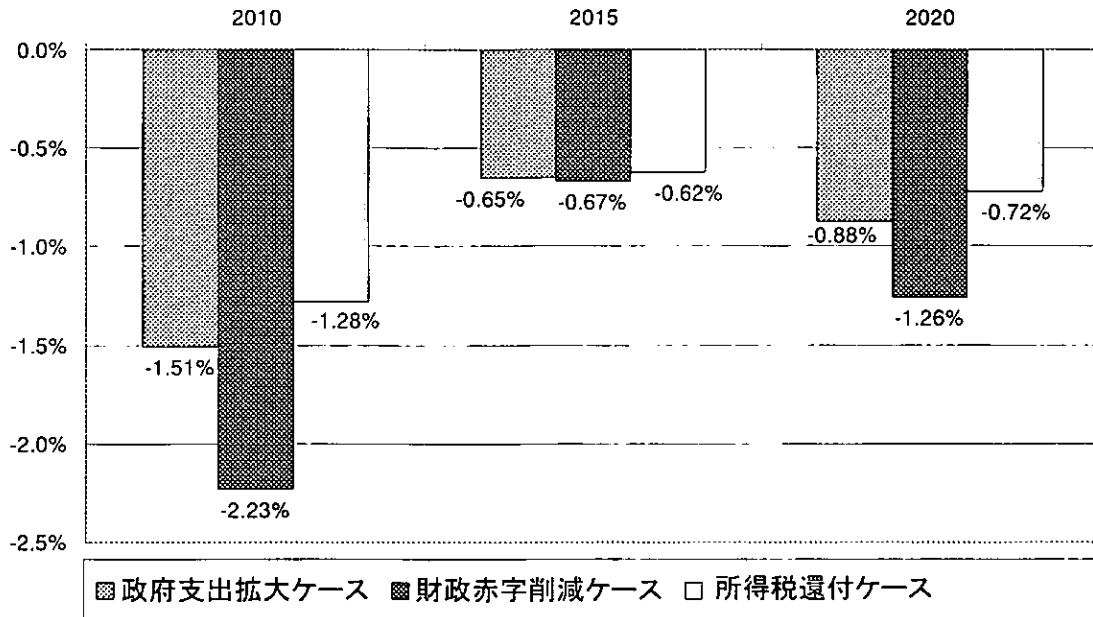
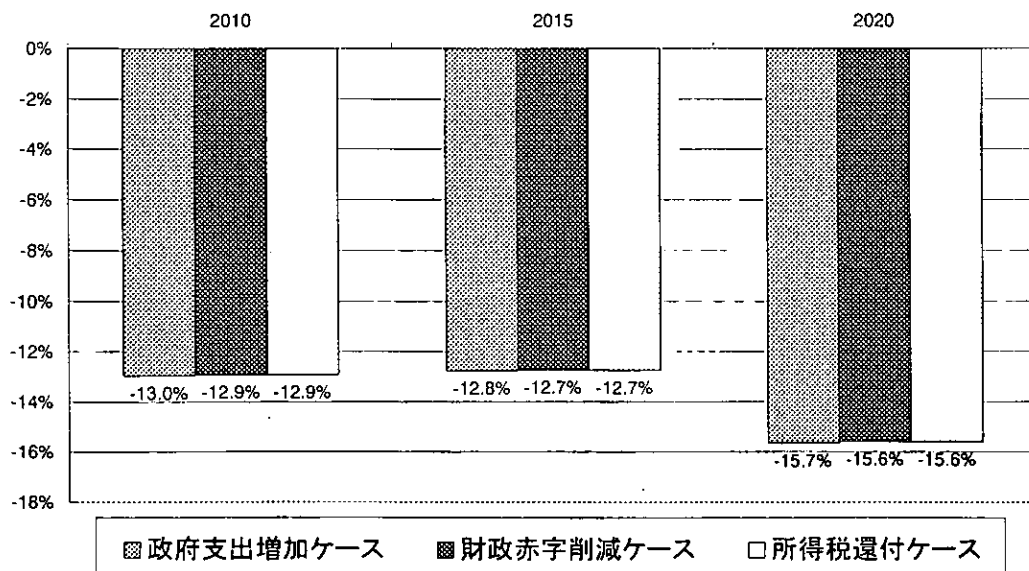


図2-4-3 炭素税収還流方法の違いと実質消費支出のロス(対基準ケース)



- ③ 炭素税収を所得税基礎控除の引き上げによる税還付に使うと、税額は26,000～38,000円／炭素トンとなり、実質GDPおよび実質消費は、それぞれ、0.2～0.4%、および、0.6～1.3%減少する。
- ④ 炭素税収の分だけ政府の財政収支の赤字を削減させるならば、炭素税額は27,000～38,000円／炭素トンとなり、実質GDPは0.15～0.3%増加し、実質消費は0.7～2.2%減少する。
- ⑤ 炭素税導入による一次エネルギー消費の減少(対基準ケース)は13～16%であり、税収還流方法による違いはない。(図2-4-4) これは、ケースに関係なく、同じ量のCO₂を削減しなければならないからである。

図2-4-4 炭素税導入による一次エネルギー消費の減少



(3) エネルギー関連税制の改革と炭素税導入による経済への影響

環境保全の観点から最適資源配分を実現するための最適な税制のあり方は、経済活動から発生する汚染物質によって生じる限界外部費用に等しい課徴金を、その排出量に応じて課税することにある。したがって、温暖化防止の観点から最適税制を考えると、各種燃料、エネルギーに含まれる単位炭素あたりの課税がすべての燃料、エネルギー間で均等化する必要がある。すなわち、単位エネルギー（熱量）あたりの炭素含有量の多いものほど、含有量に比例してその課税額を重くする必要がある。

しかし、現在の税制のもとでは、エネルギー関連の税額は炭素含有量を反映して設定されていない。すなわち、表 2-4-1 に示すとおり、1 炭素トンあたりに換算した場合の税額は燃料間で均等化しておらず、石炭に対するそれが最も重く、次いで LNG となっており、石油関連エネルギーに対する税額、特に、ガソリンに対する税額が最も高くなっている。このため、単位エネルギー当たり相対的に CO₂ を多く排出する石炭の使用を過度に促進し、そうでない石油関連の燃料を過度に抑制する税構造になっており、超過負担が生じていることがわかる。

超過負担が生じるような税構造を前提とした炭素税の導入は、そうでない場合と比較して実質 GDP ロスを大きくしている可能性がある。したがって、現在の税制を改革し、エネルギーに課す税額を CO₂ 排出量、あるいは、炭素含有量に応じたものにより、より小さい GDP ロスで同じ排出目標を達成することができる。

ここでは、前節(2)と同様に、炭素税導入によって 2010 年以降の日本の CO₂ 排出量を 1990 年の 6 %削減のレベルに安定化させる場合、現在のエネルギー関連税制のの廃止という税制改革の実施をとともなう炭素税の導入（以下では、税制改革ケースとよぶ）が及ぼす実質 GDP への影響についてシミュレーションし、税制改革なしの炭素税導入（以下では、税制改革なしケースと呼ぶ）と比較した場合の経済への影響について比較分析する。ただし、以下では、炭素税収は政府支出増加のために使われるものとし、(2)節における政府支出増加ケースの結果と比較する。

表 2-4-1 主要エネルギーに対する各種税額および炭素トン当たりの税額

	輸入一般炭	原油	ガソリン	軽油	A重油	LNG
単位	kg	リットル	リットル	リットル	リットル	kg
関税(円)		0.315	0.315	0.315	0.315	
石油税(円)		2.04	2.04	2.04	2.04	0.72
ガソリン税(円)			53.8			
軽油引取税(円)				32.1		
消費税(円)	0.265	0.791	5.25	4.1	1.45	0.898
課税合計(円)	0.265	3.146	61.405	38.555	3.805	1.618
炭素含有量(炭素kg)	0.641	0.723	0.643	0.721	0.736	0.733
炭素トン当たりの課税額(円／炭素トン)	413	4,351	95,498	53,474	5,170	2,207

(出典) 環境庁資料より作成

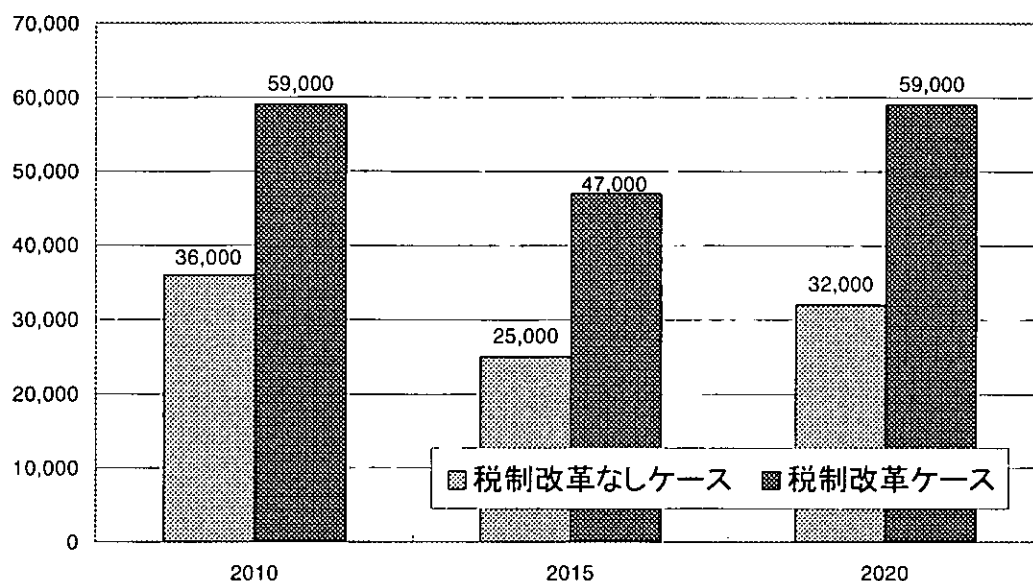
実質 GDP や実質消費への影響～シミュレーション結果と分析

図 2-4-5～2-4-8 は、税制改革ケースについてのシミュレーション結果を示している。

① 図 2-4-5 からわかるように、税制改革なしケースにおける炭素税額は、25,000～36,000 円／

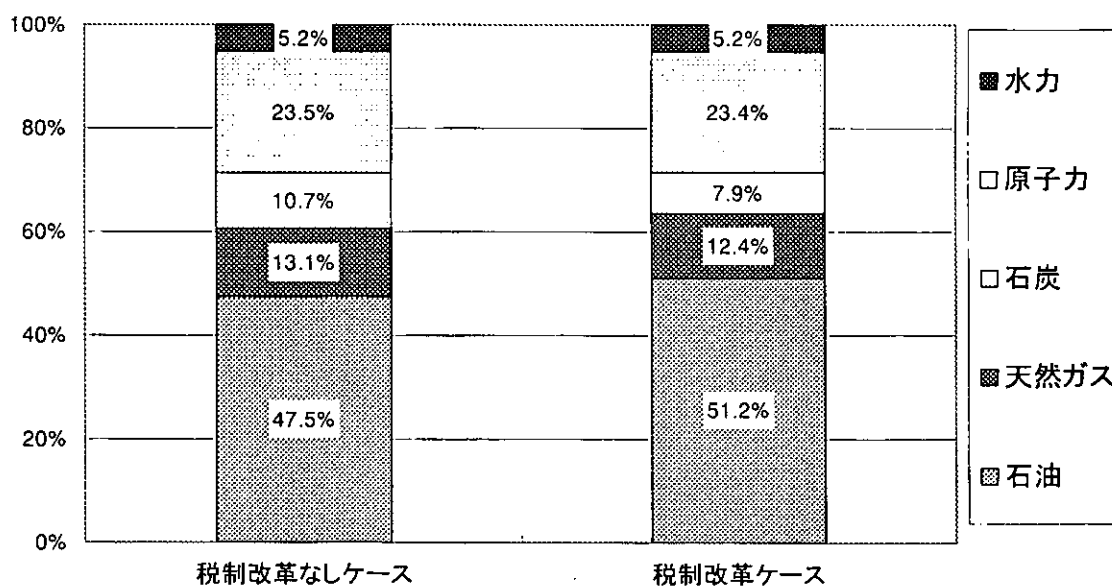
炭素トンであるが、税制改革ケースにおける炭素税額は、47,000～59,000 円／炭素トンとなる。すなわち、税制改革ケースにおいては、税制改革なしのケースと比較して炭素税額を 1.5～2 倍程度高く設定する必要がある。これは、税制改革によるエネルギー関連の税の廃止がエネルギー消費を増加させる効果を相殺する必要があるからである。

図 2-4-5 炭素税額(円／炭素トン)の比較



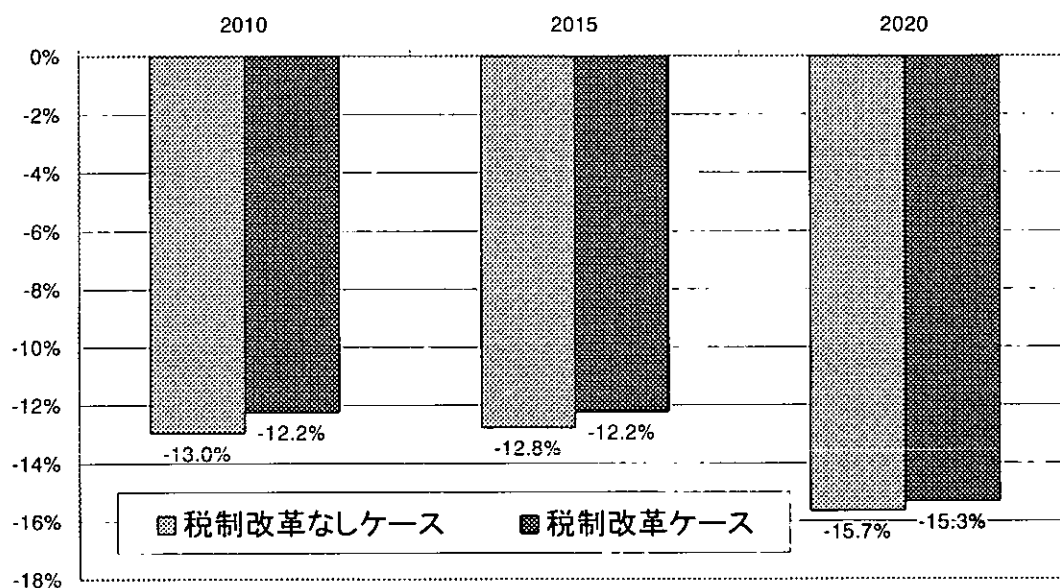
- ② 税制改革をともし炭素税の導入によって、これまで過度に促進されていた石炭や LNG の消費が抑制され、過度に抑制されていた石油の消費が促進される結果、LNG と石炭のシェアは、改革をともしない炭素税の導入に比較して低下する一方、石油のシェアは拡大する。

図2-4-6 2010年における一次エネルギー消費におけるエネルギー源別シェアの比較



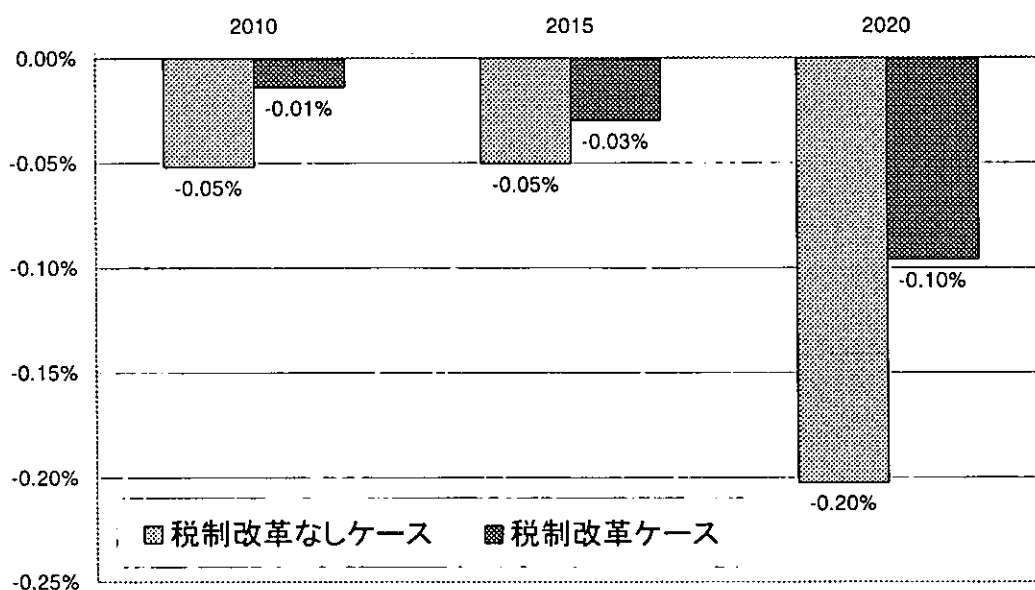
- ③ 図 2-4-7 に示すように、税制改革ケースでは、税制改革なしケースと比較して 1 次エネルギー消費を税制改革なしケースほど削減しなくても、同じ CO₂ 排出目標を達成することができる。また、このことは、税制改革ケースにおいては、税制改革なしケースと比較して、エネルギー全体が負担する税を小さくすることができることを意味している。

図 2-4-7 一次エネルギー消費の減少(対基準ケース)



- ④ 図 2-4-8 に示すように、税制改革ケースにおける実質 GDP ロスは、税制改革なしケースと比較して、0.02～0.1%程度小さくなる。

図 2-4-8 実質GDPロス(対基準ケース)の比較



- ⑤ CO₂排出量削減の要因を、エネルギーから非エネルギー生産要素への代替、炭素含有量の多い燃料からそうでない燃料への代替、実質 GDP の低下の3つに分解すると、表 2-4-2 に示す通りになる。

表 2-4-2 CO₂排出量の要因分解

税制改革なしケース				
	CO ₂ 削減率	実質GDPロス (対基準ケース)	一次エネルギー消費の 対実質GDP比率の変化 (対基準ケース)	CO ₂ 排出の 対一次エネルギー消費比率の変化 (対基準ケース)
2010	-18.00%	-0.05%	-12.91%	-5.79%
2015	-18.24%	-0.05%	-12.72%	-6.28%
2020	-22.11%	-0.20%	-15.48%	-7.65%
税制改革ケース				
	CO ₂ 削減率	実質GDPロス (対基準ケース)	一次エネルギー消費の 対実質GDP比率の変化 (対基準ケース)	CO ₂ 排出の 対一次エネルギー消費比率の変化 (対基準ケース)
2010	-18.00%	-0.01%	-12.22%	-6.56%
2015	-18.24%	-0.03%	-12.20%	-6.86%
2020	-22.11%	-0.10%	-15.24%	-8.01%

表からわかるように、税制改革ケースにおいては、一次エネルギー消費の対実質GDP比率の低下は、税制改革なしケースと比較して小さいが、CO₂排出の対一次エネルギー消費比率の低下は、税制改革なしケースより大きい。この結果、税制改革ケースにおける実質GDPロスは、税制改革なしケースにおけるそれよりも小さくなっている。

(4) まとめ

結論とは次のように要約できる。

- ① 炭素税収を政府支出拡大によって還流させる場合には、課すべき炭素税額は 25,000～36,000 円／炭素トンとなり、実質 GDP は 0.05～0.2%減少する。所得税還付によって還流させる場合には、税額は 26,000～38,000 円／炭素トンとなり、実質 GDP は 0.2～0.4%減少する。財政赤字を削減する場合には、炭素税額は 27,000～38,000 円／炭素トンとなり、実質 GDP は 0.15～0.3%増加する。
- ② 所得税還付の場合において GDP ロスが最も大きくなるのは、資本ストックが最も大きく減少するからである。すなわち、税収還流によって資本ストックの減少が大きいケースほど、実質 GDP の低下は大きくなる。
- ③ 石油製品製造業部門、および、石炭製品製造業部門の生産への影響は非常に大きく、他のエネルギー転換部門への影響の3～5倍となる。一方、その他製造業・その他鉱業部門及びその他サービス業部門への影響は非常に小さい。
- ④ エネルギー税制を改革しつつ炭素税を導入する場合の経済への影響については、現在のエネルギー関連税制には、相対的にCO₂を多く排出する石炭使用を過度に促進し、そうでない石油関連の燃料を過度に抑制する問題点がある。したがって、このような税制を廃止した上で炭素税を導入することにより、税制改革をしない場合に比べて、実質 GDP への影響を半分程度小さくできる。

2-5 ボトムアップ技術モデルを用いた国際環境政策の分析(東京大学大学院工学系研究科)

(1) はじめに

1997 年の COP3 において京都議定書が採択され、今世界はようやく地球温暖化問題への取り組みを具体化しようとしている。しかし、様々な問題より、京都議定書並びに京都メカニズムの制度設計はいつこうに進まず、2008~2012 年の第一約束期間の動向は不透明な状況にある。本研究ではこの不透明な状況における指針を模索するために、第一約束期間における京都議定書、京都メカニズムの効果について解析を目指す。ここでは、世界各地の地域特性をより詳細に表現が可能となった世界地域細分化エネルギーモデルを用い、2000~2012 年の短期的なシミュレーションを行った。以下では、各京都メカニズム適用時の各地域での CO₂ 排出量、総対策費用および CO₂ 削減限界費用などに関するシミュレーション結果を示す。

(2) 世界地域細分化エネルギーモデルの概要

このモデルの基本的な構成は、動学的最適化型世界エネルギーモデル DNE21 (Dynamic New Earth 21) を継承している。複数時点に渡る複数地域のエネルギーシステムを対象とし、様々な排出対策を想定したシナリオの下で、システムコスト最小化によりエネルギーシステム総合評価を行う事を目的とした最適化型モデルである。なお DNE21 は評価関数中に非線形関数を含んでいたが、本モデルでは計算時間短縮のためそれらを線形関数で近似している。

本モデルでは世界を 54 地域に分割し (図 2-5-1 参照)、分割の基準は各地域の大都市におき、これを都市ノードと呼ぶことにした。またエネルギー需要は都市ノードに集約されると想定した。都市ノードより遠距離に位置する資源生産地を、生産のみを行う生産ノードとして 28 地点設定した。次に地理的特徴・現存のパイプラインの位置などを参考に隣接するノード間に陸上リンクを結び、海に接しているノードは港を持つし、港を持つ全てのノード間に海上リンクを設定した。そして輸送コストの計算のため、陸上・海上リンクの距離を測定した。本モデルは、以下のような特徴を持っている。

また、都市ノード内のエネルギー消費形態差およびエネルギー輸送の考慮のため、都市ノード内部に 3 つの都市類型 (A: 大都市—B: 中都市—C: 村落) を想定した (図 2-5-2 参照)。各都市類型はシステムの最小単位であり、エネルギー需要・エネルギーシステムを持つ。3 つの都市類型の区分は、世界の全ての都市 (人口 10 万人以上) に関するデータに基づき、以下のように行った。この人口の比率で、都市ノード全体のエネルギー需要を分配する。

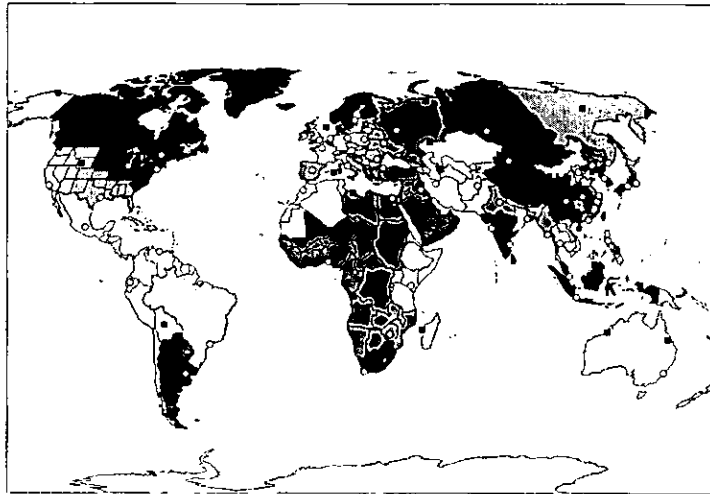
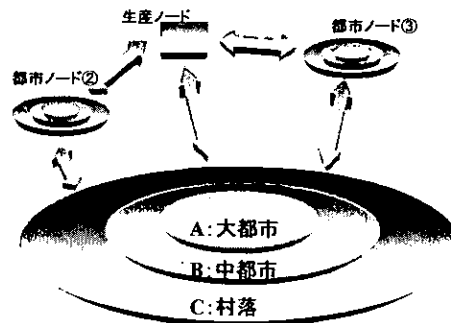


図 2-5-1. 世界地域細分化エネルギーモデルの地域分割と都市生産ノードの位置



A: 大都市…人口 100 万人以上の都市の総人口

B: 中都市…人口 10 万人以上の都市の総人口

C: 村落…都市ノードの総人口ー (A+B)

図 2-5-2. 都市ノードと 3 つの都市類型の相関概念図

次の図 2-5-3～図 2-5-11 には地域分割の様子を、そして表 2-5-1～表 2-5-9 にはそれぞれの地域におけるノードの特性（人口の大きさや京都議定書での取り扱いなど）を示す。

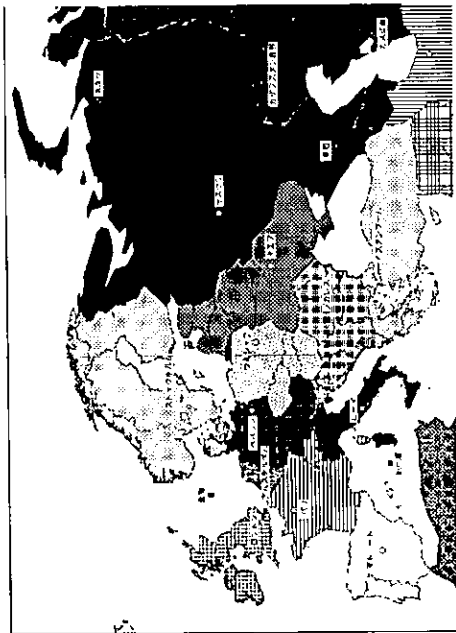


図 2-5-3. 地域分割 (ヨーロッパ)

表 2-5-1. 各ノードの特性 (ヨーロッパ)

ノード Name	No.	Class	地域	京都議定	人口(千)	都市類型人口比
ロンドン	1	都市	西欧	Annex I	60914	0.13:0.69:0.18
パリ	2	都市	西欧	Annex I	63447	0.21:0.20:0.59
ベルリン	3	都市	西欧	Annex I	87164	0.09:0.23:0.68
ローマ	4	都市	西欧	Annex I	58015	0.09:0.17:0.74
マドリード	5	都市	西欧	Annex I	48827	0.17:0.26:0.57
アムステル	6	都市	西欧	Annex I	25301	0.09:0.32:0.59
ワルシャワ	7	都市	東欧	Annex I	64267	0.08:0.20:0.72
ブカレスト	8	都市	東欧	Annex I	63237	0.07:0.20:0.73
イスタンブ	9	都市	西欧	非 Annex	66889	0.27:0.17:0.56
ストックホル	10	都市	西欧	Annex I	23273	0.06:0.24:0.70
キエフ	11	都市	旧ソ	Annex I	70097	0.16:0.26:0.58
北海	55	生産	西欧	Annex I	—	—
地中海	56	生産	西欧	Annex I	—	—

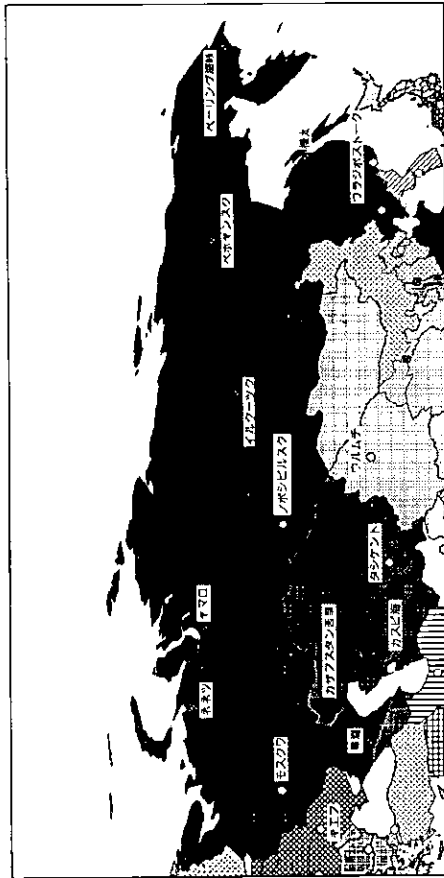


図 2-5-4. 地域分割 (ロシア)

表 2-5-2. 各ノードの特性 (ロシア)

ノード Name	No.	Class	地域	京都議	人口(千)	都市類型人口比
モスクワ	12	都市	旧ソ	Annex I	88809	0.24:0.35:0.41
ウラジボス	41	都市	旧ソ	Annex I	7561	0:067:0.33
ノボシビル	54	都市	旧ソ	Annex I	51892	0.10:0.14:0.76
黒海	57	生産	旧ソ	Annex I	—	—
ネネツ	60	生産	旧ソ	Annex I	—	—
ヤマロ	61	生産	旧ソ	Annex I	—	—
ベーリング	73	生産	旧ソ	Annex I	—	—
ベルホヤン	74	生産	旧ソ	Annex I	—	—
イルクーツ	75	生産	旧ソ	Annex I	—	—
樺太	76	生産	旧ソ	Annex I	—	—

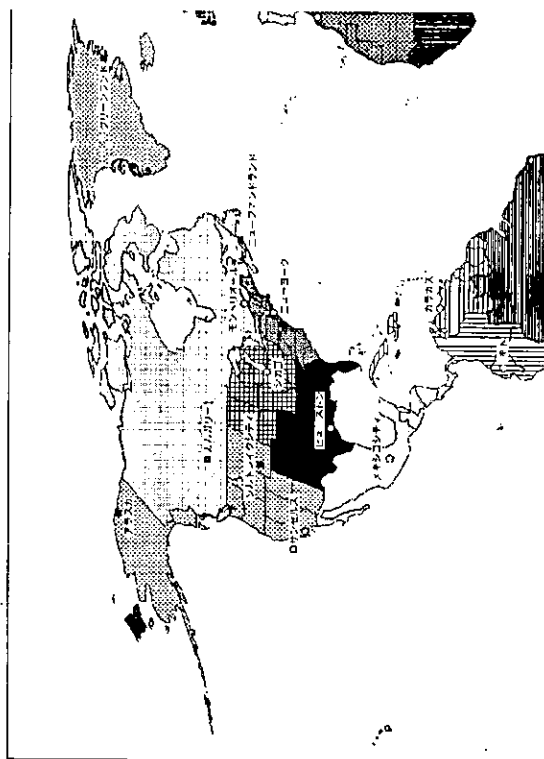


図 2-5-5. 地域分割 (北アメリカ)

表 2-5-3. 各ノードの特性 (北アメリカ)

ノードName	No.	Class	地	京都議	人口	都市類型人口比
ニューヨーク	13	都市	北	Annex I	73460	0.67:0.13:0.20
シカゴ	14	都市	北	Annex I	56447	0.53:0.20:0.27
ヒューストン	15	都市	北	Annex I	70758	0.38:0.23:0.39
ロサンゼルス	16	都市	北	Annex I	49705	0.69:0.27:0.04
モントリオール	17	都市	北	Annex I	26522	0.39:0.46:0.15
メキシコシティ	18	都市	中	非 Annex	110516	0.24:0.25:0.51
グリーニンラン	62	生産	西	Annex I	—	—
ニューフアン	63	生産	北	Annex I	—	—
カルガリー	64	生産	北	Annex I	—	—
アラスカ	65	生産	北	Annex I	—	—
ソルトレイク	66	生産	北	Annex I	—	—

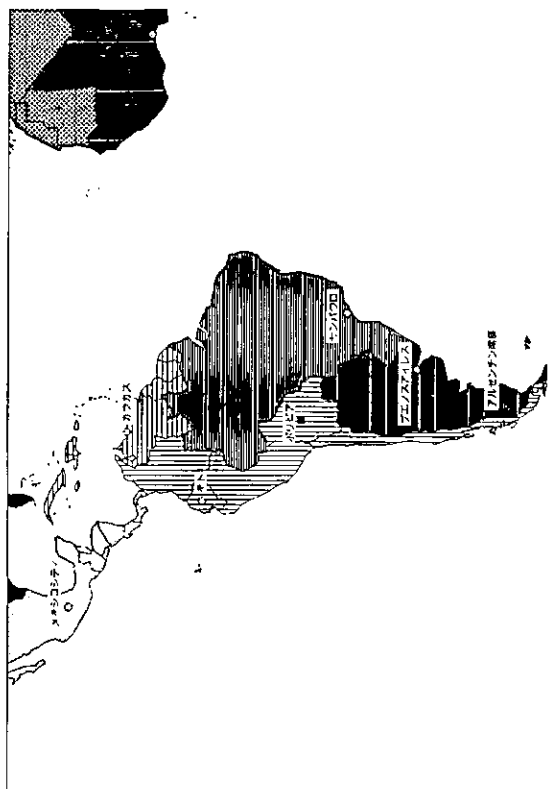


図 2-5-6. 地域分割 (ラテンアメリカ)

表 2-5-4. 各ノードの特性 (ラテンアメリカ)

ノードName	No.	Class	地域	京都議	人口	都市類型人口比
カラカス	19	都市	中南	非 Annex	53967	0.09:0.14:0.77
キト	20	都市	中南	非 Annex	71530	0.22:0.20:0.58
サンパウロ	21	都市	中南	非 Annex	149042	0.20:0.29:0.51
ブエノスアイ	22	都市	中南	非 Annex	52866	0.39:0.26:0.35
ボリビア	67	生産	中南	非 Annex	—	—
アルゼンチン	68	生産	中南	非 Annex	—	—

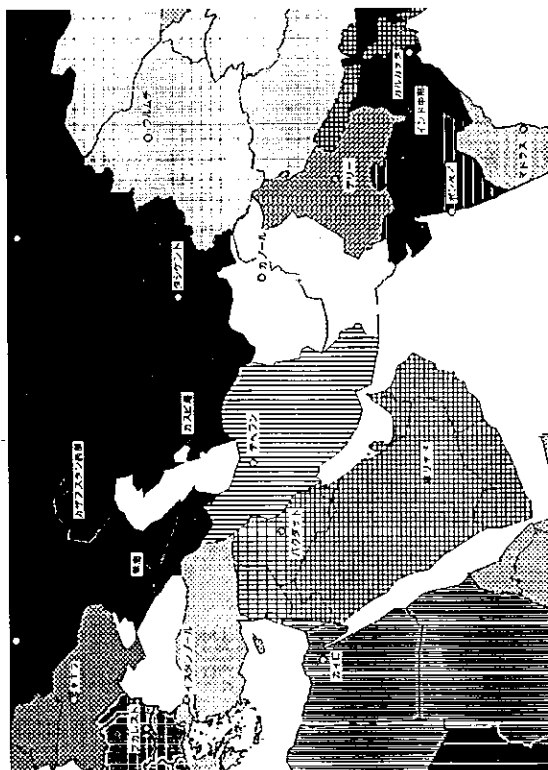


図 2-5-7. 地域分割 (中東と中央アジア)

表2-5-5. 各ノードの特性 (中東と中央アジア)

ノード	No.	Class	地域	京都議	人口	都市類型人口比
バクダツ	23	都市	中東・北	非Annex	71049	0.10:0.22:0.68
デヘラン	24	都市	中東・北	非Annex	55779	0.22:0.20:0.68
カブール	52	都市	中東・北	非Annex	132796	0.08:0.05:0.87
タシケン	53	都市	旧ソ連	非Annex	66786	0.10:0.18:0.72
カスピ海	58	生産	旧ソ連	非Annex	—	—
カザフス	59	生産	旧ソ連	非Annex	—	—
リヤド	69	生産	中東・北	非Annex	—	—

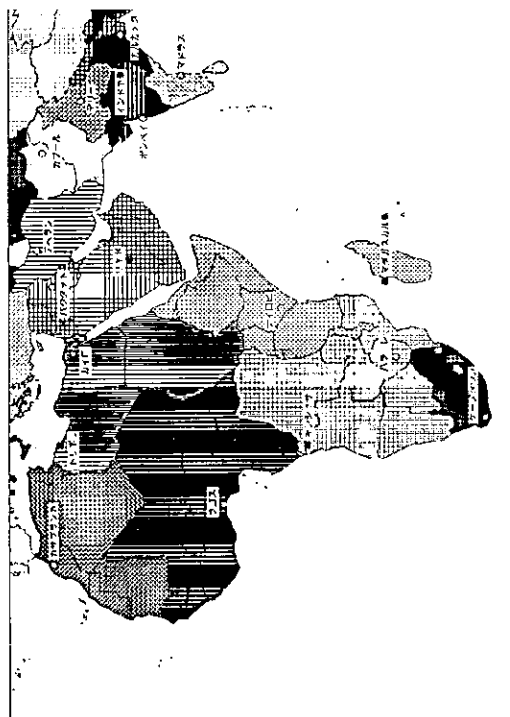


図2-5-8. 地域分割 (アフリカ)

表2-5-6. 各ノードの特性 (アフリカ)

ノード	No.	Class	地域	京都議	人口	都市類型人口比
カイロ	25	都市	中東・北	非 Annex	86734	0.14:0.14:0.72
カサブラ	26	都市	中東・北	非 Annex	60344	0.12:0.10:0.78
ラゴス	27	都市	アフリカ	非 Annex	202665	0.04:0.07:0.89
ナイロビ	28	都市	アフリカ	非 Annex	137344	0.03:0.02:0.95
ハラール	29	都市	アフリカ	非 Annex	107537	0.01:0.06:0.93
ケープタウン	30	都市	アフリカ	非 Annex	37959	0.04:0.23:0.73
トリポリ	70	生産	中東・北	非 Annex	—	—
キンシャ	71	生産	アフリカ	非 Annex	—	—
マダガス	72	生産	アフリカ	非 Annex	—	—

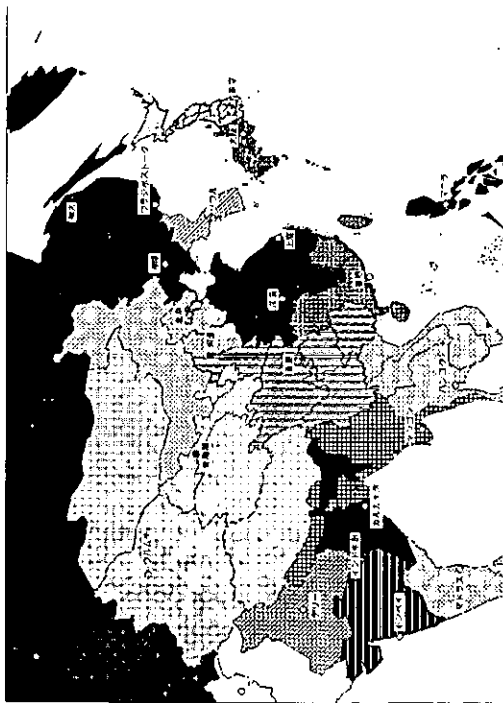


図 2-5-9 地域分割 (東アジア)

表 2-5-7 各ノードの特性 (東アジア)

ノード	No.	Class	地域	京都議定	人口(千)	都市類型人口比
東京	31	都市	日本	Annex I	63462	0.22:0.41:0.37
大阪	32	都市	日本	Annex I	60074	0.19:0.38:0.43
ソウル	33	都市	その他	非 Annex	64640	0.33:0.14:0.53
北京	34	都市	中国	非 Annex	136346	0.18:0.11:0.71
上海	35	都市	中国	非 Annex	201757	0.34:0.05:0.61
香港	36	都市	中国	非 Annex	189030	0.17:0.13:0.70
瀋陽	37	都市	中国	非 Annex	97236	0.28:0.21:0.51
武漢	38	都市	中国	非 Annex	235386	0.13:0.11:0.76
重慶	39	都市	中国	非 Annex	220976	0.11:0.09:0.80
ウルム	40	都市	中国	非 Annex	81430	0.05:0.09:0.86
河北	77	生産	中国	非 Annex	—	—
青海湖	78	生産	中国	非 Annex	—	—

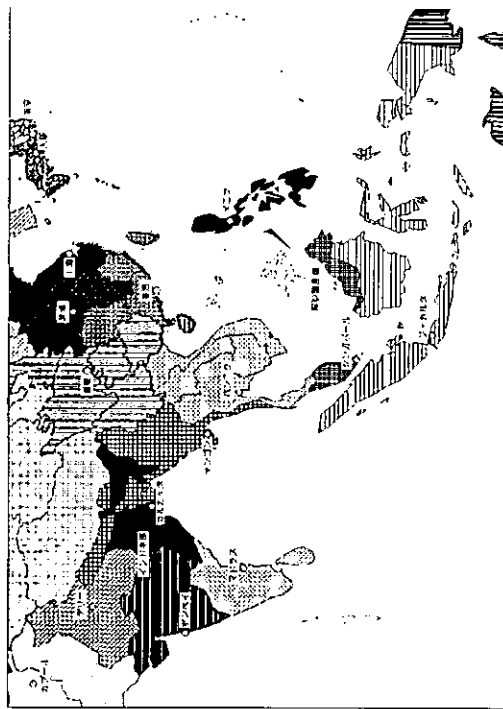


図 2-5-10 地域分割 (東南アジア)

表 2-5-8 各ノードの特性 (東南アジア)

ノード	No.	Class	地域	京都議	人口	都市類型人口比
マニラ	42	都市	その他ア	非 Annex	61480	0.28:0.16:0.56
バンコク	43	都市	その他ア	非 Annex	126676	0.08:0.05:0.87
ヤンゴン	44	都市	その他ア	非 Annex	171994	0.04:0.10:0.86
シンガポ	45	都市	その他ア	非 Annex	20725	0.20:0.15:0.65
ジャカル	46	都市	その他ア	非 Annex	178232	0.12:0.07:0.81
カルカツ	48	都市	その他ア	非 Annex	218894	0.07:0.08:0.85
デリー	49	都市	その他ア	非 Annex	243872	0.05:0.08:0.87
ボンベイ	50	都市	その他ア	非 Annex	188412	0.17:0.08:0.75
マドラス	51	都市	その他ア	非 Annex	215542	0.05:0.11:0.84
南沙諸島	79	生産	その他ア	非 Annex	—	—
インド中	82	生産	その他ア	非 Annex	—	—



図 2-5-11 地域分割 (オセアニア)

表 2-5-9 各ノードの特性 (オセアニア)

ノードName	No.	Class	地域	京都議定	人口(千)	都市類型人口比(A:B:C)
シドニー	47	都市	オセ	Annex I	26419	0.40:0.17:0.43
グレートバ	80	生産	オセ	Annex I	—	—
オーストラ	81	生産	オセ	Annex I	—	—

(3) 外生シナリオ設定

シミュレーションを行うにあたって、幾つかの入力データをシナリオとして外生的に与えた。

エネルギー需要シナリオ

エネルギー需要は SRES-B2 : IPCC 発行 (4 地域) を基に IIASA/WEC (11 地域) により地域分割した。(図 2-5-12、図 2-5-13 を参照) さらに将来の GDP の予測値や将来の人口予測データから 54 地域の需要シナリオを作成した。

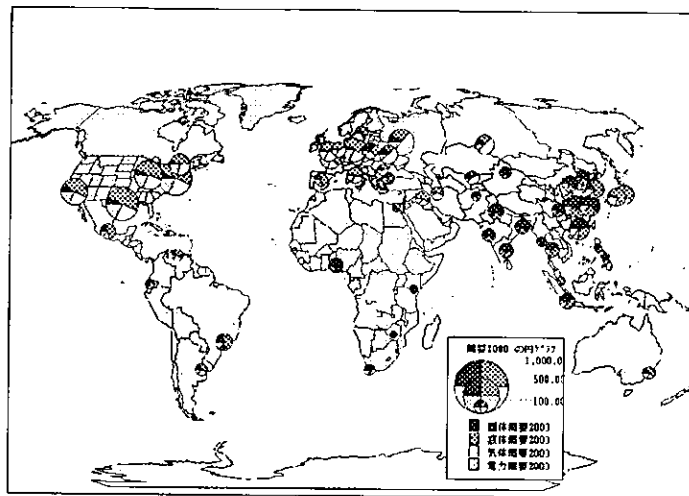


図 2-5-12 2000 年エネルギー需要

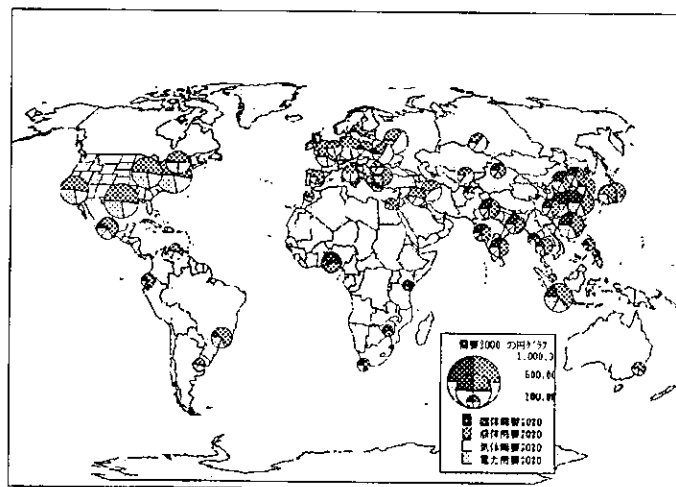


図 2-5-13 2020 年エネルギー需要

発電所電源構成シナリオ

現実の電源構成は、経済性・信頼性・エネルギーセキュリティ・環境への影響など様々な要素を考慮し、決定され、本質的に多目的である。一方、モデル上の電源構成はコスト最小化により

決定される。特に本稿のように、対象期間が 2000～2012 年という短期的な最適化解析では、エネルギー資源の枯渇などが考慮できないため、長期的な視点を欠いた結果になりがちである。そこで、より現実に近い状態での解析のため、現在稼働している発電所、また建設中・計画中的発電所より、予測可能な発電容量をシナリオとして織り込む。ただし、発電容量の下限値として与え、新規の設備建設の余地は残してある。

OPEC 原油生産量シナリオ

実際に低価格化防止のため OPEC 加盟国は原油の生産調整を行っている。そこで、より現実に即した解析を行うため、OPEC 加盟国を含む都市・生産ノードに対して、OPEC が現在行っていると同量の生産調整を行うと仮定し、上限制約を課すことにした。また 2020 年までは石油需要が年率 1.9% で増加するという予測より、各 OPEC ノードの石油生産量上限が、年率 1.9% で増加すると仮定し、OPEC ノードの石油生産量制約シナリオを作成した。(表 2-5-10 を参照)

表 2-5-10. OPEC 原油生産量シナリオ [単位: Mtoe/year]

ノード名	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012
カラカス	182.00	189.28	196.85	204.73	212.91	221.43	230.29
バグダッド	276.00	287.04	298.52	310.46	322.88	335.80	349.23
テヘラン	190.00	197.60	205.50	213.72	222.27	231.16	240.41
ラゴス	119.00	123.76	128.71	133.86	139.21	144.78	150.57
ジャカルタ	74.00	76.96	80.04	83.24	86.57	90.03	93.63
リヤド	676.00	703.04	731.16	760.41	790.82	822.46	855.36
トリポリ	140.00	145.60	151.42	157.48	163.78	170.33	177.14

(4) 京都議定書・京都メカニズムのモデル化

京都議定書・京都メカニズムは具体的な制度設計に伴い、多くの問題点が浮き彫りになっているが、本研究では様々な修正・仮定の上で、それらを簡略化した京都議定書・京都メカニズムのモデル化を行った。

京都議定書

京都議定書は、附属書 (Annex I) 締約国である「先進国+旧ソ連/東欧諸国」に対し、第一約束期間 (2008-2012 年) において、平均-5.2% (1990 年比) の温室効果ガス排出削減目標を定めた。また、京都議定書では、Annex I 国それぞれに排出目標が定められたが、同時に交渉ベースによる域内目標再割当 (いわゆるバブル) も認められた。実際に EU は EU バブルを組み、EU 全体による排出削減目標達成を目指している。そのような事実も反映させた上で、本研究では、モデル中の Annex I ノードを 9 つの排出国グループに分け、それぞれに京都議定書で定められた排出枠を設定し、モデルに制約式を追加した。なお以降の解析では排出グループ名を用いて説明していく。

排出量目標値 (排出枠) の設定は、1990 年時の CO₂ 排出量総量ではなく、1990 年時のエネルギー統計より算出したエネルギー由来の CO₂ 排出量総量を基準とする (表 2-5-11)。この理由は排出量総量には、エネルギーシステム外からの排出量が含まれているためである (植林など)。現実では、エネルギーシステム由来の排出量の超過分を、エネルギーシステム外の排出量削減で賄うこ

とや、その逆のパターンも十分考えられるが、本研究の目的はエネルギーシステムにおける温暖化対策評価であるので、ここでは簡単化のため、エネルギーシステム由来の CO₂ 排出量のみを削減の対象とみなし、エネルギーシステム外の排出量は考慮しないことにする。

表 2-5-11. Annex I 排出グループの第一約束期間の排出枠

Annex I 排出グループ	ID	Annex I ノード	排出枠(2008～2012)	
			年平均 [Mt-C/year]	総量 [Mt-C/5years]
EU バブル	1	ロンドン	695. 7	3478. 7
	2	パリ		
	3	ベルリン		
	4	ローマ		
	5	マドリッド		
	6	アムステルダム		
	10	ストックホルム		
東欧北部	8	ワルシャワ	153. 3	766. 3
東欧南部	9	ブカレスト	89. 5	447. 6
ウクライナ +バルト三国	11	キエフ	221. 7	1108. 7
ロシア	12	モスクワ	662. 8	3313. 9
	41	ノヴォシビルスク		
	54	ウラジボストーク		
アメリカ	13	ニューヨーク	1222. 8	6114. 1
	14	シカゴ		
	15	ヒューストン		
	16	ロサンゼルス		
カナダ	17	モントリオール	111. 3	556. 4
日本	31	東京	282. 0	1410. 1
	32	大坂		
オーストラリア+NZ	47	シドニー	82. 7	413. 7

排出目標制約

各 Annex I 排出グループの排出量（2008～2012 年の 5 年間）

≤京都議定書による各 Annex I 排出グループへの排出量割り当て（5 年分）

京都メカニズム

本モデルにおける京都メカニズムのモデル化の特徴は、CO₂削減限界費用が均衡するまで排出削減（排出取引）が行われるということである。京都メカニズムは、具体的な制度設計に伴い、ベースラインの設定、取引費用、補完性の考慮、シンク（森林吸収源）の取り扱いなど多くの問題点が浮き彫りになっているが、本研究では、これらを大幅に簡略化したモデル化を行う。これにより、本モデルの解析結果は、市場メカニズムが最大限に生かされた、最も効率的な場合における、京都メカニズムの排出削減ポテンシャルを示すことになる。諸前提を挙げると

- ◎排出許可証、CDM による削減クレジットの移転に伴う取引費用は考慮しない。
- ◎京都メカニズムの活用を最小限にとどめるべきという主張（補完性）は考慮しない。
- ◎非 Annex I ノードにおける CDM ベースラインは、Annex I ノードが国内対策のみで排出削減を行った際の非 Annex I ノードの排出量とする。
- ◎CO₂ 吸収源としての植林活動を考慮しない。
- ◎共同実施は別個に取り上げず、排出取引に含まれるものとみなす。

以上の前提を基に、以下のような京都メカニズムの定式化を行った。なお排出取引が機能せずに CDM が機能するとは考えられないので、CDM の定式化では排出取引が行われていることを前提とする。

1) 排出取引

Annex I 地域における CO₂ 排出削減限界費用が均衡するまで、排出取引が行われるものとする。これは、Annex I 地域全体で、排出量目標値の総和を達成することと同義である。

排出取引時の排出目標制約

Annex I の総排出量（2008～2012 年の 5 年間）

≤ Annex I 国への総排出量割り当て（5 年分）

2) 排出取引+CDM

Annex I 地域と非 Annex I 地域における CO₂ 排出削減限界費用が均衡するまで、CDM が行われるものとする。CDM のベースラインは Annex I 国内対策時の非 Annex I ノードの排出量であり、非 Annex I ノードがこの時の排出量分の排出許可証が与えられたということと同義である。予備期間（2000～2007）における CDM 活動は行われえないとする。

排出取引+CDM 時の排出目標制約

Annex I の総排出量（2008～2012 年の 5 年間）

≤ Annex I 国への総排出量割り当て（5 年分）

+ 非 Annex I からの削減クレジット総量（2008～2012 年の 5 年間）

ただし

非 Annex I からの削減クレジット総量（2008～2012 年の 5 年間）

= Annex I 国内対策時の非 Annex I の総排出量（2008～2012 年の 5 年間）

－ CDM 実施時の非 Annex I の総排出量（2008～2012 年の 5 年間）

3) 排出取引+CDM バンキング

第一約束期間では、予備期間（2000～2007 年）における CDM 削減クレジットのバンキング（繰越）が認められることになっている。このバンキングが認められるケースを排出取引+CDM バンキングと呼ぶことにする。

排出取引+CDM バンキング時の排出目標制約

Annex I の総排出量（2008～2012 年の 5 年間）

≤ Annex I 国への総排出量割り当て（5 年分）

+ 非 Annex I からの削減クレジット総量 (2000～2012 年の 13 年間)

ただし、

非 Annex I からの削減クレジット総量 (2000～2012 年の 13 年間)

= Annex I 国内対策時の非 Annex I の総排出量 (2000～2012 年の 13 年間)

- CDM 実施時の非 Annex I の総排出量 (2000～2012 年の 13 年間)

(5) 計算結果

以上のような所設定のもと世界地域細分化エネルギーモデルを用いて、対象期間 2000～2012 年、時点間隔 2 年の 7 時点の各ケースに関する最適化計算を行った。

CO₂ 排出量

1) BAU ケース

Annex I の第一約束期間における排出量平均は、3,872 [Mt-C/year] (1990 年比+4.3%) であった。京都議定書の排出枠が、3,522 [Mt-C/year] であるため、年間平均で 350 [Mt-C/year]、現状より約 9 % の削減が必要である。第一約束期間全体では、排出量は 19,359 [Mt-C/5year] であり、排出枠が 17,609 [Mt-C/5year] なため、1,750 [Mt-C/5year] の削減が必要である。

各 Annex I 地域の排出枠との排出量差は図 2-5-14 のようになっている。これを見ると旧ソ連、東欧諸国では、排出枠に達しておらず、現状のままで京都議定書目標達成は容易である。排出枠をオーバーする割合は、カナダ(43%)、EU(42%)、アメリカ(34%)、日本(15%)、オーストラリア(11%) の順で多い。また、2012 年の世界全体の排出量は 8376 [Mt-C] に達する。

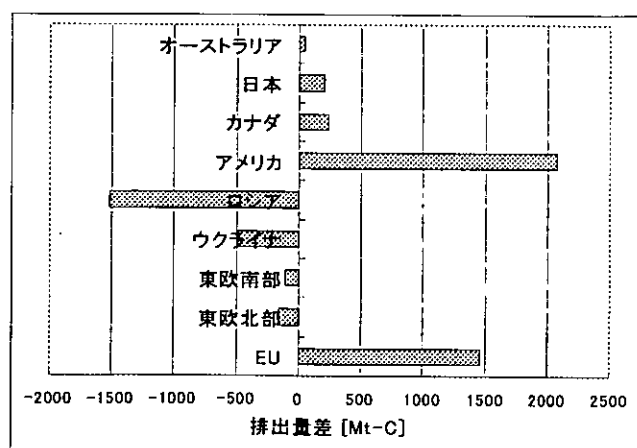


図 2-5-14. 各排出グループの排出量と排出枠の差 (BAU ケース)

2) 国内対策のみのケース

このケースは Annex I ノードにとって最も厳しい制約である。現実では京都メカニズム導入無し
の京都議定書批准は考えられないため、このようなケースはありえないと言える。各排出グループ
のみで京都議定書目標を達成し、旧ソ連や東欧諸国で対策なしで排出枠を大きく下回るため、
Annex I 全体では、目標より 2,286 [Mt-C/5years] の CO₂ の削減を行う。(図 2-5-15 参照)

3) 排出取引ケース

このケースでは Annex I 全体で京都議定書目標を達成すればよいので、旧ソ連、東欧諸国の排出枠からの余剰削減分の CO₂ は、他の Annex I 諸国へと売却される。売り手グループの中でロシアの売却量が飛び抜けていることから、ロシアが排出取引市場に大きな影響を持つ可能性がある。また、国内対策のみに比べ、旧ソ連、東欧諸国でさらに余剰削減量が増加している。まさに排出許可証売却収入を目指した排出削減が進んでいる証拠である。排出取引の導入は現状で排出目標達成の容易な旧ソ連/東欧諸国の排出削減のインセンティブとなっている。(図 2-5-16 参照)

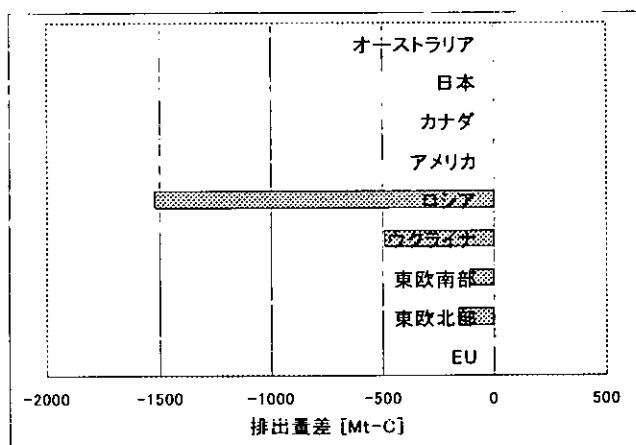


図 2-5-15. 各排出グループの排出量と排出枠の差
(国内対策のみのケース)

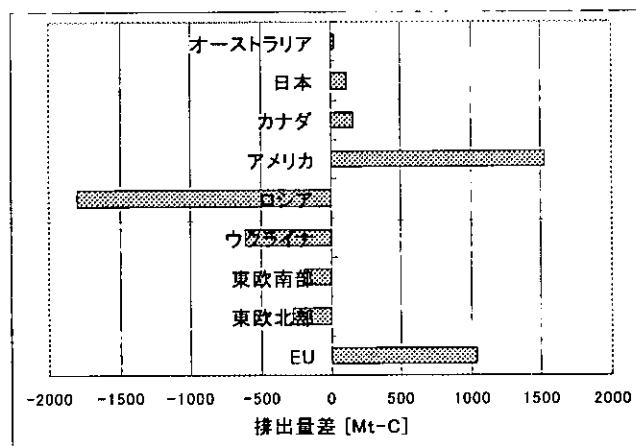


図 2-5-16. 各排出グループの排出量と排出枠の差
(排出取引ケース)

4) 排出取引+CDM ケース

このケースでは、旧ソ連、東欧諸国だけではなく、非 Annex I も排出取引に参加して来る。非 Annex I の中では、中国やインドなどアジア諸国の売却量が多くなっている(図 2-5-17)。非 Annex I が排出取引に参加する事で、旧ソ連、東欧諸国の排出削減意欲が多少薄れるが、将来的なことを考えると、非 Annex I の排出量を抑えられることは大きなメリットである。

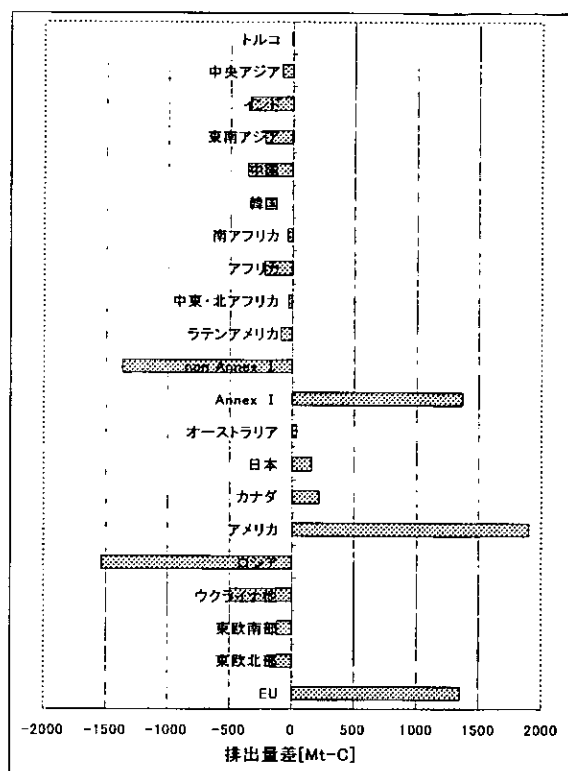
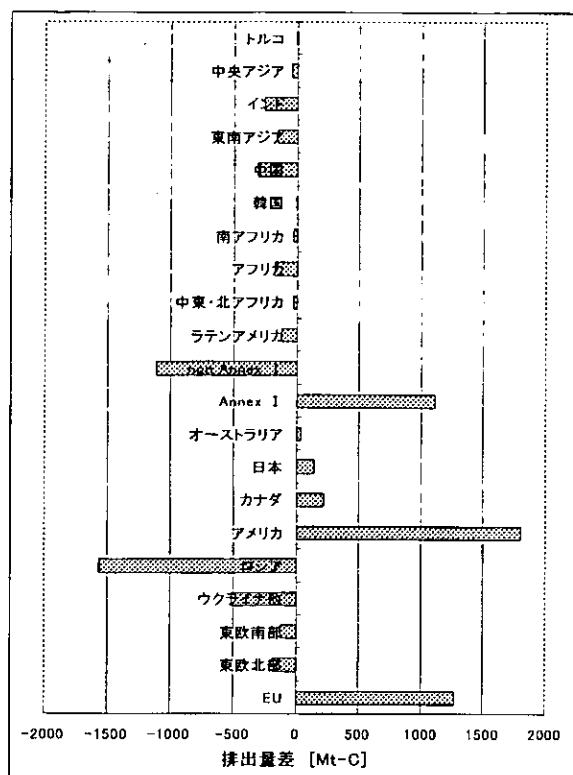


図 2-5-17. 各排出グループの排出量と排出枠の差 (排出取引+CDM ケース) 図 2-5-18. 各グループの排出量と排出枠の差 (排出取引+CDM バンキングケース)

5) 排出取引+CDM バンキングケース

このケースは、全ケース中で最も自由度の高いケースである。非 Annex I では、2000 年から排出削減が行われるため、非 Annex I 諸国では、排出取引+CDM ケースよりもさらに多くの排出削減が行われる(図 2-5-18)。このため、第一約束期間の Annex I の排出量は、京都メカニズム導入ケース中で最大となる。

CO₂削減量・削減率

排出取引導入後の各ケースにおける、買い手グループの国内対策による削減量を表 2-5-12 に示す。

京都メカニズムの導入が機能するにつれ、各排出グループの国内対策における削減量は減少していく。また、排出取引+CDM ケースにおいて、日本の国内削減率がオーストラリアを上回っているのは、日本の排出量は、オーストラリアに比べてかなり多いため、多少のシステム変更によって削減できる量が多いためである。

表 2-5-12. 各ケースにおける買い手グループの国内対策による排出削減量[Mt-C]

	排出取引	排出取引+CDM	排出取引+CDM バンキング
EU バブル	423. 6(28. 9%)	189. 4(12. 9%)	112. 2(7. 7%)

アメリカ	554.1 (26.6%)	276.9 (13.3%)	176.3 (8.5%)
カナダ	77.7 (32.3%)	18.1 (7.5%)	18.1 (7.5%)
日本	87.9 (42.4%)	59.8 (28.8%)	44.4 (21.4%)
オーストラリア	19.9 (45.4%)	4.8 (11.0%)	0.1 (0.2%)

括弧内は国内対策による排出削減率

総対策費用・CO₂削減限界費用

1) 総対策費用について

各ケースのエネルギーシステム総コストのBAU ケースからの増分を、CO₂排出抑制・削減に投じられる対策費と考えると、各ケースにおける総対策コストは図 2-5-19 のようになる。

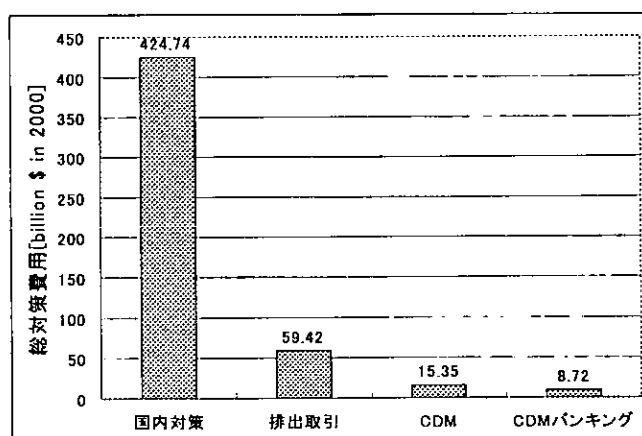


図 2-5-19. 各ケースの総対策費用

国内対策のみのケースの対策費用の高さが目に付く。京都メカニズムを導入すると、排出取引ケース以降、対策費用が7分の1程度まで抑えられる。これは旧ソ連/東欧諸国の原価ゼロの Hot Air 2,286 [Mt-C] が大量に放出されるためである。しかし、この対策費用のここまでの低下は非現実的だと思われる。これは、本モデルで設定したエネルギー需要が旧ソ連/東欧諸国のエネルギー需要の伸びを低めに与えているため、Hot Air を多めに見積もってしまうのが原因である。今後は旧ソ連/東欧諸国のエネルギー需要高成長ケースの解析も行い、比較する必要がある。排出取引ケース以降では、京都メカニズムの導入が進む、つまり京都メカニズムが機能していくにつれ、対策費用が低減されている。

2) CO₂削減限界費用について

2010 年における各ケースの CO₂削減限界費用を図 2-5-20 に示す。国内対策のみのケースでは、排出取引導入後の買い手排出グループらに削減限界費用が存在する。BAU ケースにおいて、排出枠をオーバーしている度合いに応じて、CO₂削減限界費用の高低が決まる傾向にある。日本の CO₂削減限界費用が EU や北米に比べて安いのは、直感と反する結果であるが、本研究では日本は EU・北米に比べると低成長というエネルギー需要設定のため、CO₂削減限界費用が安くなっていると考えられる。排出取引ケース以降、京都メカニズムが機能するにつれて、CO₂削減限界費用は低下し

ていく。

排出取引が行われる場合、CO₂削減限界費用は排出許可証価格としての性格を持つ。最も進んだ CDM バンキングケースでは約 13 [\$/t-C] で取引が行われる。ただしこれはポテンシャルの価格であり、実際このような低価格になるとは考えにくい。Hot Air を放出する旧ソ連/東欧諸国のエネルギー需要設定がやや低めで、Hot Air の量を増やしてしまうことが原因である。

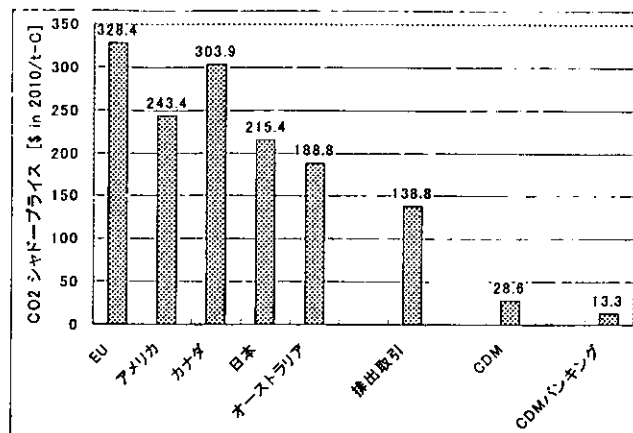


図 2-5-20. 各ケースの CO₂ シャドープライス

(6) 結論と今後の課題

- 1) CO₂削減対策を行わなければ、2012 年の排出量は世界全体で 8,736 [Mt-C/year] に達する。
- 2) 国内対策のみで、排出目標を達成しなければならない場合、先進国は CO₂ 排出量削減のため大きな負担を余儀なくされる。CO₂削減限界費用は BAU ケースで排出枠を越えている割合が多いほど高くなる。一方、旧ソ連/東欧諸国は、排出枠に達せず、多量の Hot Air が存在する。
- 3) 排出取引の導入は、先進国における削減費用を大幅に低減させる。ただし、大量の Hot Air が市場に流出する。
- 4) 排出取引市場では、ロシアの売却量が非常に大きくなると考えられ、ロシアが強い影響力を持つようになると予想される。
- 5) CDM の導入は、Annex I の削減費用を大幅に低減させる。また非 Annex I の排出量の伸びを抑制することができる。非 Annex I の中で主に排出削減を行う地域は、中国、インド、東南アジアなどのアジア諸国である。
- 6) CDM バンキングは対象期間中の全体的な削減になり、対策費用もより低減される。

今回は、ある 1 つのエネルギー需要シナリオについて解析を行ったが、将来のエネルギー需要は高成長ケース、低成長ケースなど複数考えられるため、複数のエネルギー需要シナリオを用いて、京都メカニズムを解析する必要がある。

3. 国際公共財の貨幣的価値を計測するための方法論の確立に関する研究(東京工業大学工学部)

(1) はじめに

現実の市場が存在しない国際公共財としての環境財については、人々の価値を貨幣タームで計測する手法に仮想市場法 (Contingent Valuation Method、以下CVMと略す)があり、米国を中心に用いられている。

本研究は、地球温暖化問題を取りあげつつ、CVM (仮想市場法、仮想評価法等と訳される) の調査手法としての特性を調べることを目的とする。特に、実際の調査状況下で回答者がどのような行動をとるか詳細に検討する。CVMは主に環境経済分野で研究がなされてきたが、被験者の行動全体を見据えた分析がなされているとは言い難い。費用便益分析への利用を前提とした場合、回答が満たすべき条件からのずれは、バイアスという形でひとつと整理されている (Carson 1991など)。しかしながら、そもそも仮想的にWTP (支払意思額) やWTA (受入補償額) を尋ねるだけの調査に、なぜ被験者が参加して回答を行うのかという観点が十分には整理されていない。調査参加を時間の消費という観点からみれば、被験者の効用水準を低下させる行為であると思われる。たとえば、Smith and Mansfield (1989) では、被験者は回答時間を費やす代償にお金を得たいと考えていることがわかる。あるいは、調査に参加しなければ不利益を被るような状態を仮定して理論が構築されているとも考えられるが、実際に行われるCVM調査でそのような条件を満たすものは少ない。

本研究の最大の着目点は、調査実施時の被験者の効用水準の変化を考慮することである。つまり、調査への時間の消費が効用水準を低下させるとしても、それを補って余りあるだけの効用増加があれば、被験者は調査に参加すると考える。効用水準を変化させる要素としては、たとえば以下の図に示すものが挙げられる。

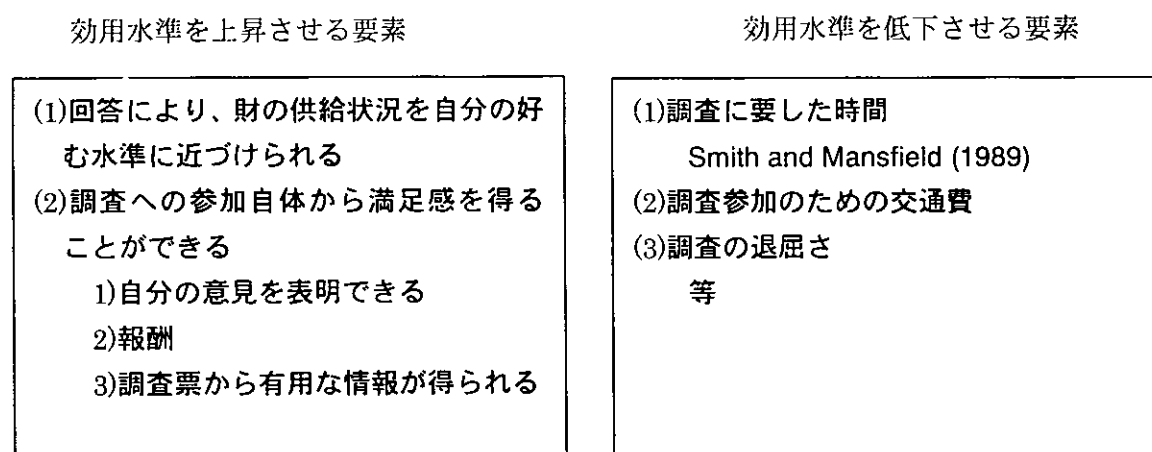


図 3-1 調査参加と被験者の効用水準の変化

以下、WTPを対象として記述を行う。二肢選択式のインセンティブコンパティビリティ研究 (Hoehn and Randall, 1987) など、従来のCVM方法論は回答によって財の供給水準を変化させるために被験者が調査に参加すると仮定してきた。これに対して、倫理的満足 (Warm glow of giving: Kahneman and Knetsch, 1992) などの財への支払に関わる要因、また調査を意見表明の機会とみなす (Carson, 1991) などの調査実施過程に関わる要因も調査者の回答に影響するとの指摘がなされてきた。

ここで従来の発想を大きく変えてみる。本研究は、地球温暖化対策へのWTPを尋ねるが、この調査への回答行為自体が直接、地球温暖化対策を促進ないし阻害するものではない。実施主体は東京工業大学の一研究室であり、環境庁（当時）などの環境政策の実施機関ではない。また、修士課程学生による調査という形態で行われており、成果の公表等による間接的な影響力にも限界が見込まれたであろう。このように財の供給水準との関連がうすい調査では、回答自体によってなんらかの効用水準増加が生じない限り、調査に参加する理由は弱いのではないだろうか。ここで、調査によってある被験者の効用水準が増加するということは、その被験者にとって一種の余剰が生じるということだが、それを回答結果の信頼性向上等に結びつけることはできないだろうか。本研究の平成11年度調査、また平成12年度調査はこの点を調べた。

CVM調査の評価軸としては、妥当性と信頼性がある。妥当性とは、真のWTPを示すということであり、費用便益分析に用いる観点から必要な特性である。一方、信頼性とは、WTPの変動の度合いを指す。費用便益分析を前提とするなら、妥当性のない値は無用である。しかしながら、現実のCVMの結果は費用便益分析だけに用いられるのではない。むしろ、清流や干潟など、ある財の価値、それも表現しがたい価値を簡潔に示す方法として使われる場合が多いと思われる。つまり、財の価値についての一つの表現方法として用いられている。この場合、上記の意味での妥当性よりも、得られるWTP値の変動幅が小さいことの方が重要となる。つまり、被験者のおかれた状況が変わらない限り、類似の回答が得られるという単純な対応性があることが望ましい。そうでないならば、このような表現手法という観点においてもCVMは無用である。よって、本研究では、信頼性の評価に着目する。

財の供給水準に影響を与えないようなCVM調査について、従来のCVM調査方法論では、調査結果の妥当性が保証されない。なぜなら、従来の枠組みにおいては、そもそも真のWTPを表明するインセンティブが生じないからである。ここで、たとえばスコープテストによりCVM調査内部の整合性を検証することはできるが、それが満たされたからといって真のWTPを反映している保証はない。ただし注意すべきは、従来の枠組みは、真のWTPが表明されないとも言っていない点である。つまり、本研究で注目するような調査参加の効用など、従来の枠組みの外側の構成によっては、真のWTPが表明される可能性は残されている。ただし、この点の検証には、CVM以外の便益計測手法との比較が必要であろう。

むしろ、CVM調査の枠内でできることは信頼性の検証である。信頼性にはいくつかの評価手法がある。平成11年度調査では、プロトコル分析法の採用により、被験者の思考過程を追跡することとした。また、パネル調査を実施することにより、同一世帯（あるいは個人）が表明する回答がどの程度変化するかCVM調査だけの結果をもとに論じることができる。本研究の平成12年度調査は、この手法を用いた。

以下、平成10年から12年にわたる年度別に結果の概要をまとめる。なお、平成13年度になって米国政府による京都議定書不参加表明など、地球温暖化問題をめぐる国際政治の状況が大きく変化した。ただし、本調査の実施期間中には、先進国が京都議定書全体を否定するような大きな変動は生じていなかった。

(2) 予備調査の実施

平成10年度年度は、次年度以降の準備を行った。

1) CVMで用いるシナリオの設定

環境科学および環境経済学に関する文献の調査、また国立環境研究所の研究者に対するヒアリングをもとに、日本国内における二酸化炭素削減策について妥当なシナリオを設定した。

2) 支払い行為の性質に関する文献調査

CVM調査結果の解釈を困難とする要因である、支払い行為に伴う効用に関して、国内外の文献を調査した。この結果として、CVM調査で用いられることの多い税金および寄付の2種の支払い手段それぞれにおける特徴を明らかにした。

また、上述の二酸化炭素削減シナリオの表現方法改善、および支払い行為に伴う効用と支払い手段の関連についての調査票作成のために、北海道札幌市、東京都大田区、埼玉県日高市の3カ所において実地調査を実施した。

(3) 本格的調査の実施

平成11年度の調査の目的は、調査参加に伴う効用水準の変化について基本的な知識を得ることにあった。また、2つのバイアス除去に関する実験を同時に行った。実験は、東京工業大学の大学生、大学院生、21名に対して行った。男性20名、女性1名であるが、東京工業大学では女子学生が少ないためにこのような比率となった。なお、支払に関わる予算制約を明確に意識させるために、自宅生は除いて下宿生のみを対象とした。調査は、コンピューター上にハイパーテキストで構成した調査票を用いて行われ、プロトコル分析手法を用いて、被験者の発話データを収集した。発話データの解釈に当たっては、2名の調査者が独立に得た解釈をつき合わせ、原則として一致したものを取り上げることとした。

調査参加による効用水準の変化

地球温暖化問題に関する調査は、WTP 設問に先立って被験者が多くの説明を読む必要があるなど、被験者の側に参加への意欲が必要となる。そこで、調査によって被験者が利益を得る場合に、調査への参加意欲が高まるか、また、調査による情報提供は被験者の利益となるかを調べた。

本実験をおこなったすべての被験者(21名)に対して、「調査をやった良かったと思うか」についての設問に回答を求め、その理由についての発話データより、被験者がどの部分で利益を感じたかまとめた(表3-1参照)。なお、このうち2名は、解釈者間での協議においても発話データの解釈内容が一致しなかったため、分析対象から除外した。この結果、14名の被験者が情報提供によって利益が得られたと述べた。これは、調査をすること自体に着目した利益(5名)や、報酬(3名)を上回っている。つまり、今回の被験者については、調査による情報提供がなんらかの利益をもたらしたと考えられる。

表 3-1 被験者の述べた利益と費用

着目する部分	内容	利益	費用
情報提供 (14 名)	知らないことが知れた	10	0
	新しいことが知れなかった	0	1

	自分の意見（知識）の確認ができた	4	0
	リンクで興味のあるページにいける	2	0
	自分の勉強が将来役に立ちそうなことがわかった	1	0
調査手法（3名）	プロトコル手法	2	1
調査をすること自体（7名）	自分の意見が調査に役に立つ	5	0
	自分の意見が調査に役に立つか不安	0	2
調査による報酬（3名）	お金がもらえる	3	0
その他（1名）	情報量にボリュームがあった	1	0

注：表は複数回答である。

つづいて、WTP 支払の確信度と、調査による利益の関係を分析する。WTP 支払の確信度の高さは、調査者がまじめに調査に取り組み、その結果として妥当性、ならびに信頼性の高い答えをしたことを意味すると考えられる。なお、ここで注目するのは支払確信度の大小であり、WTP の額の大小ではない。もちろん、本来的には実際に支払うか否かの検証が必要であるが、本調査はそこまでの仕組みをそなえていないために、表明された確信度に基づき議論を行う。

表 3-2 は、WTP の支払を行わないとした被験者 4 名を除いた 15 名について、調査による利益と WTP の支払確信度の関係をまとめたものである。調査による利益の程度としては、「調査をやった良かったと思いますか」という設問に対して、「強くそう思う」、「ややそう思う」を高いに、「強くそう思わない」、「ややそう思わない」を低いに、「どちらともいえない」をどちらともいえないに分類した。一方、WTP の支払確信度については、「あなたのご意志の確認です。あなたが記入された金額を本当に支払う意思がありますか？」という設問に対して、「確実に払う」、「たぶん払う」を高いに、「あまり支払うつもりはない」、「払うつもりはない」、「分からない」を低いに、無記入をどちらともいえないに区分した。

本節の課題は、調査による利益が高い場合に参加意欲が高まるかについて、WTP の支払確信度をもとに検討を行うことであったが、今回の結果をみるかぎり、この仮説は否定も肯定もされなかった。すなわち、調査による利益の高低にかかわらず、WTP の支払確信度が高い者が多かった。また、この比較を行うには、調査による利益の少ないものの割合が小さすぎた。

表 3-2 調査による効用と WTP 支払の確信度

		WTP の支払確信度		
		高い	どちらともいえない	低い
調査による利益	高い	11	0	1①
	どちらともいえない	2②	0	0
	低い	1③	0	0

ただし、WTP 支払確信度の高い者は、すべて、情報面での利益を得た、あるいは不足のなかった者である点には注目できる。得られたプロトコルをみると、②を付した者は情報面の利益は得ていないが判断に際して必要な情報はすでに持っていた。また、③を付した者は情報面では利益を得ていた。一方、①を付した者は情報面で不満を感じていた。つまり、情報面で不足を感じな

かった（あるいは少なくともなんらかの有用な情報の増大を感じた）者は、いいかげんな回答をすることも可能であったにもかかわらず、確信度の高い回答をしたという点である。これには、情報の増大が確信度の向上を可能としたという因果に加え、情報の増大による利益に応じて被験者がより真剣な回答をしたという影響も含まれる可能性が残る。ただし、本実験のみからは結論を導くことはできなかった。

ハイパーテキストのリンク機能による情報提供

地球温暖化問題に関する調査では、温暖化の程度、被害など多くの情報を提供する必要がある。しかし、これらを長大な調査票で与えると被験者が回答疲れを起こすおそれがある。そこで、「調査者側が温暖化関連情報へのインデックスを作成するが、それらの内容を見るか否かは被験者の判断に任せる」という着想を得た。この根拠は、現実的には、被験者は使える限りの情報使うのではなく、自分で必要だと思うだけの情報を用いた上で判断をくだすと考えられることにある。この考え方を具体化するために、本研究ではハイパーテキストのリンクを利用する。つまり、調査票を Web 上に構築し、さらに、インターネットを介していろいろな温暖化関連サイトを参照できるようにする。調査者側では、予備調査をもとに、どのような情報が必要とされているのかをつかんだ上で、関連するサイトのインデックスを作成する。なお、ハイパーテキストを利用した CVM 調査自体が少なく、本調査時点では、鷺田ら（1998）による瀬戸内海の価値の調査が目立った程度である。ただし、鷺田らによる調査はすべての被験者に同じ情報を与えるべく設計されていた。

本調査では、温暖化問題に関する被験者の疑問点や興味が多種多様であり、共通の調査票で多くの被験者を納得させることが困難であることが確認された。この対策として調査票（ハイパーテキスト形式）に他サイトへのリンクを設けることについては、調査票の表現に起因する疑問の解消に一定の役割を果たすことが明らかになった。また、被験者の興味を深める効果もあることがわかった。ただし、リンクの設計に当たってはいくつかの注意点があることが明らかになった。まず、被験者にリンク先の情報の内容や質に関して先入観を持たせない設計が必要である。また、被験者が事前に持っていた情報と大きく異なる情報（たとえば、地球温暖化説は科学的に否定されているとする説）については、被験者間での影響を統一するためにリンクではなく調査票本体に記載する必要があることがわかった。さらに、調査票に手がかりのない誤解については、リンクは解消の手段とならないことが明らかになった。

シンボリックバイアスと代替案の複数提示

調査に際しては、被験者に温暖化対策の手法を具体的に説明する必要がある。ここで、たとえば原子力発電のように安全性や立地に関する意思決定法など、温暖化対策とは別の意味で大きな社会的争点となっているものがある。このような対策案を評価する場合、たとえば原子力発電のみを対策案として挙げると、被験者によっては、調査自体が原子力発電の推進のために行われているかのような印象を与え、地球温暖化問題に対する素直な回答を引き出せないおそれがある（シンボリックバイアス：Mitchell and Carson, 1989）。

この難点について、複数の代替案を提示した上で最終的な対策案を提示すれば問題が軽減するとの仮説を立てた。このため、高速増殖炉「もんじゅ」のナトリウム漏れや JCO 東海事業所の臨界事故等、安全面での心配を引き起こす事故が続いていた原子力を対策案として取り上げ、一方

の被験者群についてはこの案のみを示し、他方の被験者群については複数の代替案を提示した上で原子力の利用を最終案として示した。被験者は無作為抽出により2群に割り当てた。この結果、被験者に温暖化対策の手法を複数提示することが、シンボリックバイアスの軽減、および調査の信憑性維持に役立つことが明らかになった。

(4) さらに体系的な方法論検討

平成12年度は、次の2つの仮説を念頭において研究を行った。

- ①財に関して適切な量の情報を与えると信頼性が向上する。
- ②（情報量とは関係なく）調査回答自体から効用を得た被験者の信頼性が向上する。

ここで、信頼性の指標としては、9月と12月の2回の調査時点でのWTPの一致率と、2回目の返信状況を用いた。調査は無作為抽出した杉並区居住世帯を対象として行われ、地球温暖化対策に対するWTPを支払カード式で尋ねた。被験者は無作為に4つの組に分けられ、うち2組（A型、B型）は2回の調査を受けた。このうち一方（A型）には、温暖化問題についての解説を載せた小冊子を添付した。残りの2組（AA型、BB型）は12月調査のみを受けたが、やはりうち一方（AA型）には、上記小冊子を添付した。

表 3-3 組ごとの標本数

組	再調査グループ		調整調査グループ	
	A型	B型	AA型	BB型
小冊子	あり	なし	あり	なし
9月調査	840	840	実施せず	実施せず
12月調査	311	325	670	670

数値は該当する被験者数

調査期間中の2000年11月13日から2週間、地球温暖化防止の方策を議論する気候変動枠組条約第六回締約国会議（COP6）がオランダのハーグで行われ、日本のマスメディアでも取り上げられた。しかし、被験者全体としては、調査期間中に環境問題、また地球温暖化問題への態度に変化が生じなかったことが確認された。この結果は、A型1回目とAA型、またB型1回目とBB型の比較により得られた。よって、特段の補正を講ずることなく、A型、B型の2回分の調査結果を利用することとした。各組のWTP推定結果を以下に示す。ここで、「上限x%削除」とは、WTPが高額の者x%を除いた結果である。

表 3-4 WTP の平均値と中央値 (単位は円)

		A-1	A-2	B-1	B-2	A	B	AA	BB
削除人数	削除なし	0	0	0	0	0	0	0	0
	上限3%削除	6	6	7	7	9	10	7	8
	上限5%削除	10	10	12	12	15	16	12	13
	上限10%削除	19	19	23	23	31	33	25	26
平均値	削除なし	8031.4	7109.9	9273.9	6891.3	7568.2	9204.6	10389.1	7553.4
	上限3%削除	6237.8	5286.5	6650.2	5044.8	5856.2	6639.7	6126.6	5035.4
	上限5%削除	5712.7	4740.3	5656.0	4472.5	5361.8	5797.7	5197.0	4534.1
	上限10%削除	4441.9	3680.2	4265.7	3478.3	3938.6	4114.7	3392.4	3555.1
中央値	削除なし	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
	上限3%削除	3000	2000	2000	2000	3000	2000	2000	3000
	上限5%削除	3000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
	上限10%削除	3000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000

さて、第一の仮説に関しては、調査票および小冊子によって得られた情報に関する被験者の主観的な評価と回収率、WTP一致率の関係を調べた。この結果、情報量の主観的な適不適とこれらの信頼性指標の間には明確な関連が見いだされなかった。ここまではクロス集計による検討であるが、回収率、WTP一致率についてロジスティック回帰を行っても、有意水準を5%とみて情報量関連変数は一つも有意にならなかった。むしろ、物理的な情報量の多いA型では、主観的な情報量の適不適にかかわらず、2回目返信確率が低下する現象が見られた。よって、第一仮説は成立するとは言い難い。

次に、第二の仮説に関しては、特にA型で調査の効用と信頼性指標の間に関連が見られた。ロジスティック回帰の結果をみると、表 3-5 で「調査全体に対する満足感」が高い者の2回目返信確率が高く、また、表 3-7 で調査に「社会的意義」を感じた者のWTP一致率が高い。さらに負の効用としてとりいれた項目である「1回目調査の所要時間」が長い者の返信確率が低下していた。一方、B型に関しては「調査全体に対する満足感」の高い者の返信確率が增大したが、WTP一致率については有意な変数がみられなかった。なお、表 3-7 と表 3-8 は、1回目と2回目のWTP一致の有無と個人属性のロジスティック回帰の結果であるが、個人属性については、2回の調査結果を合成する必要がある。本研究では5通りの合成法を用いたが、ここでは、2回のうちで大きな方の値を採用した結果(Max)のみを示す。

このように調査の効用と信頼性の関係についてA型とB型の差が示唆されたことは興味深い。回答条件としての両者の違いは添付小冊子の有無のみであるので、この条件が影響を与えたと思われる。上述の結果では、物理的な情報量が多いA型で2回目回収率が低下していたが、これを長大な調査票、小冊子によって被験者の負荷が高まったためと解釈するならば、特にこのような高負荷条件下で調査の効用の程度が信頼性に影響を与えられと考えられる。

表 3-5 2回目返信のロジスティック回帰（A型）

変数	係数推定値	t 値
年齢（10歳刻み）	0.0456	4.392
所得（100万円）	0.0011	3.432
地球温暖化対策は必要と思うか（五段階評価）	-0.4402	-1.953
生活態度（環境保全に役立つ商品を積極的に購入する）ダミー	-0.7773	-2.086
生活態度（給湯の温度を緩めに設定する）ダミー	-0.8646	-5.671
生活態度（その他記入）ダミー	1.4291	1.995
調査全体に対する満足度（五段階評価）	0.6841	4.435
調査時間（分）	-0.0167	-2.985
情報量（五段階評価）	-0.4023	-1.867
定数項	-0.4039	-0.325
標本の大きさ	290	
平均対数尤度	-0.523	
尤度比検定 p 値（自由度9）	0.001以下	

表 3-6 2回目返信のロジスティック回帰（B型）

パラメーター	推定値	t 値
年齢（10歳刻み）	0.0183	1.950
同居者数（人）	0.2058	2.073
生活態度（水道の水をこまめに止める）ダミー	-0.6371	-2.204
調査全体に対する満足度（五段階評価）	0.3501	2.539
定数項	-1.2088	-1.925
標本の大きさ	294	
平均対数尤度	-0.568	
尤度比検定 p 値	0.001以下	

表 3-7 WTP±0 一致率のロジスティック回帰 (A型、Max)

	推定値	t 値
同居者数	-0.3732	-2.646
本調査対策方法反対 (2回のいずれか) ダミー	-3.6524	-2.419
本調査対策増税反対 (2回のいずれか) ダミー	-0.9843	-1.776
本調査対策税額をみて判断 (2回のいずれか) ダミー	-0.7294	-1.659
WTP 記憶ダミー	1.0066	2.260
WTP (2回のMax+1の対数)	-0.4388	-4.717
関心度向上 (五段階評価 2回のMax)	-0.8621	-2.566
社会的意義 (五段階評価 2回のMax)	0.7281	2.094
定数項	4.5273	2.397
標本の大きさ	176	
平均対数尤度	-0.474	
尤度比検定 p 値	0.001以下	

表 3-8 WTP±0 一致率のロジスティック回帰 (B型、Max)

	推定値	t 値
本調査対策反対 (2回のいずれか) ダミー	-0.8516	-2.200
環境関心度 (環境問題について調べている) ダミー	-1.0662	-2.169
環境関心度 (その他に記入) ダミー	-1.6571	-2.841
WTP (2回のMax+1の対数)	-0.4448	-5.428
定数項	3.0588	4.288
標本の大きさ	203	
平均対数尤度	-0.541	
尤度比検定 p 値	0.001以下	

4. 発展途上国を対象とした事例研究

世界の人口の85%が居住し、今後急速な発展が予想される開発途上国に焦点を当て、人口増加と経済成長、それに伴う自然資源の消費と環境質の悪化、エネルギー消費、都市化に伴う環境面への影響などの主要なセクターの現状と課題を、中国を例にとりて、中国の研究者の協力を得て、レビューした。また、開発途上国の持続可能な開発の施策を展開するうえで重要な役割を担うと考えられるアジア太平洋地域の（サブ）リージョナル機関について、その現状と課題、地域機関との関係などについて分析した。

特に、各種のデータを用いてグリーン GDP を推計した。その結果、1993 年の中国のグリーン GDP は 3 兆 1,270 億元と推定され、

この年の GDP よりも 8.92% 少ない。言い換えれば、国連の環境・経済会計システム（SEEA）に基づく環境被害総額は、3,060 億元となることを明らかにした。

さらに、開発途上国の持続可能な開発の施策を展開するうえで重要な役割を担うと考えられるアジア太平洋地域の（サブ）リージョナル機関について、その現状と課題、地域機関との関係などについて分析した。対象とした機関またはプログラムは、北東アジア環境協力プログラム（NEASPEC）、ASEAN 環境問題上級会議（ASOEN）、南太平洋地域環境プログラム（SPREP）、南アジア環境協力プログラム（SACEP）及び南アジア地域連合（SAARC）、中央アジア持続可能な開発評議会（CoDoCA）である。

5. まとめ

3 年間の研究により、地球温暖化政策と大気汚染政策の評価に適用できる複数の環境－経済統合モデルを開発するとともに、これらをアジア地域に適用できる目処が立った。また、国際公共財の価値の推計およびアジア主要国のケーススタディーから得られた知見を取り入れながら、アジアの発展途上国における持続可能な発展のための方策についても検討することができた。ただし、水質汚濁、廃棄物問題、自然環境保線などの環境政策の評価に適用する経済モデルについては、基本的なモジュールは開発し得たものの、今後に残されている課題は多い。これらの課題は、個々の研究プロジェクトで取り組むことが可能なので、横断的な経済モデル研究はひとまず終了することが妥当である。

〔国際共同研究の状況〕

米国太平洋北西国立研究所のSGMモデル共同開発プロジェクト、スタンフォード大学のMERGEモデル共同開発プロジェクト、EMFモデル比較プロジェクト、及び国連大学高等研究所の持続的発展プロジェクトに参加。

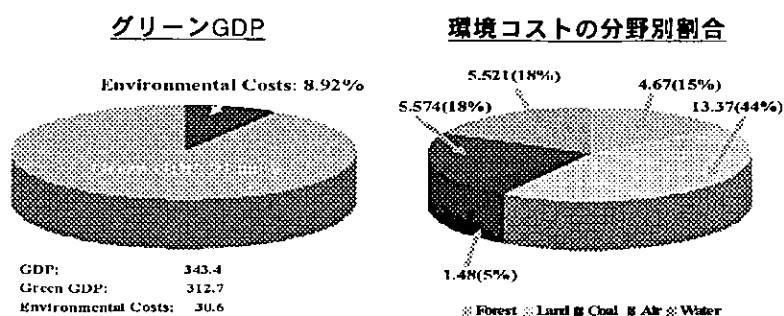


図4-1 中国のグリーンGDPの推計

〔研究発表の状況〕

(1) 誌上发表

①天野明弘：日本経済新聞社、(1998)

「地球温暖化の経済学」

②K. Yamaji, K. Sato, Y. Fujii, and K. Akimoto: International Journal of Global Energy Issues, Vol.11, No.1-4 pp.23-32 (1998)

"Simulation of tradable carbon dioxide emission permits with the New Earth 21 model"

③森俊介：電気学会論文誌C、Vol.118-c, No.11, 1577 - 1583(1998)

「拡張地球環境統合モデル MARIA による不確実な将来に対する意思決定遅延による地球温暖化対策オプションへの影響評価」

④秋元、松永、藤井康正、山地憲治：電気学会論文誌C、Vol.118-C, No.10, pp.1424-1431 (1998)

「最適化型世界エネルギーモデルに基づく多地域間 CO2 排出許可証取引のゲーム論的分析」

⑤ S.Mori and M.Takahashi : International Journal of Global Energy Issues, Vol.11, 1-18(1999) "An Integrated Assessment Model for the Evaluation of New Energy Technologies and Food Productivity",

⑥森俊介：三田学会雑誌、265-280, vol.92, No.3(1999)

「地球環境統合モデル MARIA-7 による持続可能性の超長期評価」

⑦T.Morita, N.Nakicenovic, and J.Robinson: Environmental Economics and Policy Studies, 3, 2, 65-88 (2000)

"Overview of Mitigation Scenarios for Global Climate Stabilization Based on New IPCC Emission Scenarios (SRES)"

⑧N.Nakicenovic, J.Alcamo, G.Davis, B.De Vries, J. Fehhann, S. Graffin, K. Gregory, A. Grubler, T.Y.Jung, and T.Morita: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, N. Nakicenovic et al (eds), Cambridge University Press (2000)

"Special Report on Emissions Scenarios"

⑨S.Mori : Technological Forecasting and Social Change, 63, 289-311 (2000)

"The Development of Greenhouse Gas Emissions Scenarios Using an Extension of the MARIA Model for the Assessment of Resource and Energy Technologies"

⑩S.Mori : Environment and Economics Policy Studies, Vol.3, No.2, 125-142 (2000)

"Effects of Carbon Emission Mitigation Options Under Carbon Concentration Stabilization Scenarios",

⑪T.Morita: The Sustainable Future of the Global System III, F.Lo et al. (eds), United Nations University (2000)

"Global Modeling and Future Scenario for Climate Stabilization based on SRES World - A Comparative Analysis on Development Paths and Climate Policies -"

⑫肥田野登、加藤尊秋：環境科学会誌、Vol.13, No.2, 167-180 (2000)

「CVM における面接法と郵送法の支払意志額推計値への影響」

⑬奥島真一郎、後藤則行：日本経済研究、No. 42、228-242（2001）

「日本経済の生産・代替構造分析：温暖化対策導入による経済的影響を評価するために」

（2）口頭発表

①小林由典、増井利彦、森田恒幸：環境経済・政策学会 1999 年大会（1999）

「中国における大気汚染対策と地球温暖化防止に対するクリーン開発メカニズム導入の効果に関する分析」

②藤井朋樹、山下英俊、奥島真一郎、後藤則行：環境経済・政策学会 1999 年大会（1999）

「多部門一般均衡モデルによる地球環境政策の経済的影響予測」

③藤井康正：電気学会電子・情報・システム部門大会（1999）

「世界エネルギーモデルに基づく京都メカニズムの評価」

④北島、西尾、山地憲治、藤井康正：第 16 回エネルギーシステム経済環境コンファレンス、（2000）

「世界エネルギーモデルによる京都メカニズムの評価」

⑤松永、藤井康正、栗田：第 16 回エネルギーシステム経済環境コンファレンス、（2000）

「CDM の解析を目的とした最適化型数理計画モデルとその基礎的検討」

⑥北島、西尾、山地憲治、藤井康正：平成 12 年電気学会全国大会、（2000）

「世界エネルギーモデルによる京都メカニズムの解析」

⑦K. Nishio, Y. Fujii and K. Yamaji : A joint meeting of the Energy Modeling Forum, The International Energy Agency and The International Energy Workshop, Stanford, June (2000)

“Analysis of the Kyoto Mechanisms Using a Global Energy System Model DNE21”

⑧西尾、北島、藤井康正、山地憲治：環境経済・政策学会 2000 年大会、（2000）

「世界エネルギーモデルによる京都メカニズム及び時点間取引の解析」

⑨北島、茂呂田、川合、藤井康正、山地憲治：第 17 回エネルギーシステム経済環境コンファレンス（2001）

「世界地域細分化エネルギーモデルの構築」

（3）出願特許 なし

（4）受賞等 なし

（5）一般への公表・報道等 なし