

技術選択を考慮したわが国の二酸化炭素排出量 の予測モデルの開発

An Energy-technology Model for Forecasting
Carbon Dioxide Emissions in Japan

AIM/Japan開発チーム
AIM/Japan Project Team

森田 恒幸¹・松岡 譲²・甲斐沼 美紀子¹・李 東根¹・甲斐 啓子¹
山辺 功二³・吉田 雅哉³・日比野 剛³

Tsuneyuki Morita¹・Yuzuru Matsuoka²・Mikiko Kainuma¹・Lee Dong-Kun¹・Keiko Kai¹
Kouji Yamabe³・Masaya Yoshida³・Goh Hibino³

¹国立環境研究所 (National Institute for Environmental Studies)
²京都大学 (Kyoto University)
³富士総合研究所 (Fuji Research Institute Corporation)

NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

環境庁 国立環境研究所

序 文

この報告書をまとめた温暖化影響・対策研究チームは、当研究所の地球環境研究グループにおいて、もっぱら問題解決に重点を置いた特徴のある研究チームである。このチームの主たる研究対象は、「アジア太平洋圏温暖化対策分析モデル (AIM)」と呼ばれる総合的な政策分析用のシミュレーションモデルを開発することであり、この一連のモデル開発プロジェクトの一端をまとめたものが本報告である。

本報告は、わが国の温暖化対策の基本方向を検討する目的で、二酸化炭素排出量の子測モデルを開発し、いくつかのシミュレーションを実施した結果をまとめたものである。

ここで開発したモデルは、いわゆるボトムアップ型のエンドユース・エネルギー需要モデルであるが、詳細な技術選択を考慮している点に大きな特徴がある。すなわち、産業や民生等のセクター別に導入可能な100種類以上の省エネ技術を考慮して、これらの技術がエネルギー価格との関係で導入されるか否かを決定し、将来のエネルギー効率を予測するという、現実的なエネルギー需要の決定過程を忠実に再現している。このようなエンドユースモデルは、今のところ世界的に例がない。

本報告書においては、開発したモデルを中心にとりまとめたものであり、実施しているシミュレーションについては、モデルの特性と有効性を検討することにとどめた。従って、この報告書で予測したわが国の二酸化炭素の排出量及び炭素税の効果は、一つの試算であり、今後、行政において種々の前提条件のもとでシミュレーションが行なわれる時にこのモデルが基本モデルとして使われることが期待できる。また、個々の技術データの中には、未だ十分な吟味ができていないものも含まれているため、いろいろな角度からのご指摘を頂ければ幸いである。

地球環境研究グループ
統括研究官 安野 正之

謝 辞

本研究は、環境庁地球環境研究総合推進費による研究プロジェクト「アジア太平洋地域における温暖化対策分析モデルの開発に関する研究」の一環として実施したものであり、環境庁地球環境部研究調査室の方々には研究遂行に種々ご尽力いただいた。

また、本研究で用いた技術データの多くは、環境庁地球環境部環境保全対策課のご好意により提供いただいたものであり、同課の方々には本モデルの作成に当たって種々のご助言をいただいた。

さらに、モデル開発に際して、環境庁地球温暖化経済システム検討会（座長：佐和隆光京都大学経済研究所教授）及び地球環境研究センター地球環境経済モデル研究会（座長：天野明弘神戸大学経営学部教授）において種々のご助言を賜った。特に、佐和、天野両座長、伊藤浩吉、後藤則行、鈴木利治、槌屋治紀、中上英俊、藤井美文、森俊介、山地憲治の各委員のご助言は大変有益なものだった。また、電力中央研究所経済社会研究所の永田豊氏及び東京水産大学の石川雅紀氏からも貴重なご助言をいただいた。

最後になったが、データ収集の過程で省エネ技術のメーカーの担当者、対象とした産業部門の企業あるいは業界団体の方々、関係する官庁の行政担当者の方々等、多くの方々の協力を得た。

ここに記して深甚の謝意を表す次第である。

目 次

序文	i
謝辞	ii
ABSTRACT	v
要約	vii
第1章 序論	1
1.1 本研究の背景	1
1.2 本研究の目的	2
1.3 本報告書のねらい	2
第2章 AIM エンドユースモデルの基本構造	3
2.1 モデルの構成	3
2.1.1 AIM エンドユースモデルの概要	3
2.1.2 AIM エンドユースモデルの特徴と限界	3
2.1.3 エンドユースモデルの諸元	8
2.2 AIM エンドユースモデルの計算手順	12
2.2.1 全体手順	12
2.2.2 入出力部	12
2.2.3 技術選択部	14
2.2.4 技術選択の経済性基準とその問題点	17
第3章 各部門の構成と入力データ	19
3.1 概要	19
3.2 産業部門	20
3.2.1 鉄鋼業	20
3.2.2 セメント工業	27
3.2.3 石油化学工業	32
3.2.4 紙パルプ工業	38
3.3 家庭部門	42
3.4 業務部門	49
3.5 運輸部門	52
第4章 シミュレーション結果	57
4.1 入力条件の設定	57
4.2 産業部門	58
4.2.1 鉄鋼業	58

4.2.2 セメント工業	62
4.2.3 石油化学工業	64
4.2.4 紙パルプ工業	67
4.3 家庭部門	70
4.4 業務部門	75
4.5 運輸部門	78
4.6 シミュレーション結果のまとめ	82
第5章 結論と今後の課題	87
5.1 結論	87
5.2 今後の課題	87
参考文献	89

ABSTRACT

The objective of this work is to develop the Japan module of 'the Asia-Pacific Integrated Model for Evaluating Policy Options to Reduce Greenhouse Gas Emissions and Global Warming Impacts (AIM/Japan)'.

We have used this model to try to answer two questions in relation to Japan:

1) What would be the effect of introducing a carbon tax on energy conservation technologies and the size of consequent reductions of CO₂ emissions?

2) What would be the effect of combining a carbon tax and subsidies using recycled revenues from such a tax on energy conservation technologies and CO₂ emissions?

This model is classified as a 'Bottom-Up, End-use, Energy-technology Model'. It combines an end-use energy demand model and a technology selection model to analyze the relationships between energy efficiency improvements and a carbon tax.

This model is comprised of 3 modules (as shown in the attached Figure)- an energy service estimate module, an energy efficiency estimate module and a technology selection module. Energy demand is calculated by multiplying the Energy Service (calculated by the energy service sub-module) by an energy efficiency factor. This factor is calculated by the energy efficiency sub-module, and is the product of assumptions made about the introduction of new technologies for energy conservation as influenced by energy prices. The technology selection sub-module decides which technologies will be introduced.

We applied this model to the Japanese situation. More than 100 technologies for energy conservation used in the industrial, residential, commercial and transport sectors were examined, and their purchase price, maintenance cost, market share, energy conservation potential, pay-back time, etc. were input into the model. Scenarios were made until the year 2010 of population growth, industrial production, as well as the expansion of the average home area and office floor space, and used as assumptions for predicting Energy Service demand.

Computer simulations were made of 5 different situations:

- 1) No changes in technology; no carbon tax or subsidies
- 2) Technology selection with no carbon tax or subsidies-the Base Case
- 3) Base case with a carbon tax of ¥30,000/tC
- 4) Base case with a carbon tax of ¥30,000/tC, and a subjective extended period of pay back over a maximum of 20 years
- 5) Base case with a carbon tax of ¥3,000/tC, and recycling of the carbon tax revenue as a subsidy for the introduction of energy conservation technologies.

These simulations provided the following results:

-If the Japanese people come to understand the economic benefits of energy conservation, then energy conservation technologies will be able to be promoted and introduced without any tax or sub-

sider. As a result, it would be possible to stabilize CO₂ emissions in the industrial sectors, but impossible to stabilize them in other sectors without a carbon tax and subsidies, because of the rapid increase of energy service demand.

-If Japan introduces a carbon tax of about ¥20,000-30,000/tC, then energy consumption in the residential, commercial and transport sectors would be reduced, but this alone cannot stabilize total CO₂ emissions.

-To stabilize CO₂ emissions in the residential and commercial sectors, the subjective period of payback must be extended by specific countermeasures such as public awareness, soft loans and government subsidies.

-In spite of the rapid growth of energy consumption in the transport sector, effective strategies to promote the introduction of energy conservation technologies could not be found. This sector will be the most severe obstacle to the stabilization of CO₂ emissions.

-The combination of a carbon tax and a subsidy from recycling tax revenue would have a significant effect over the short term. Even a ¥3,000/tC carbon tax with a recycled subsidy would be as effective as a ¥20,000-30,000/tC carbon tax with no subsidy. However, the potential conflict with the 'Polluter Pays Principle' needs to be considered.

-In summary, to stabilize CO₂ emissions in Japan, we must introduce mutually-reinforcing policies, such as a combination of a carbon tax, payback period extensions and subsidies.

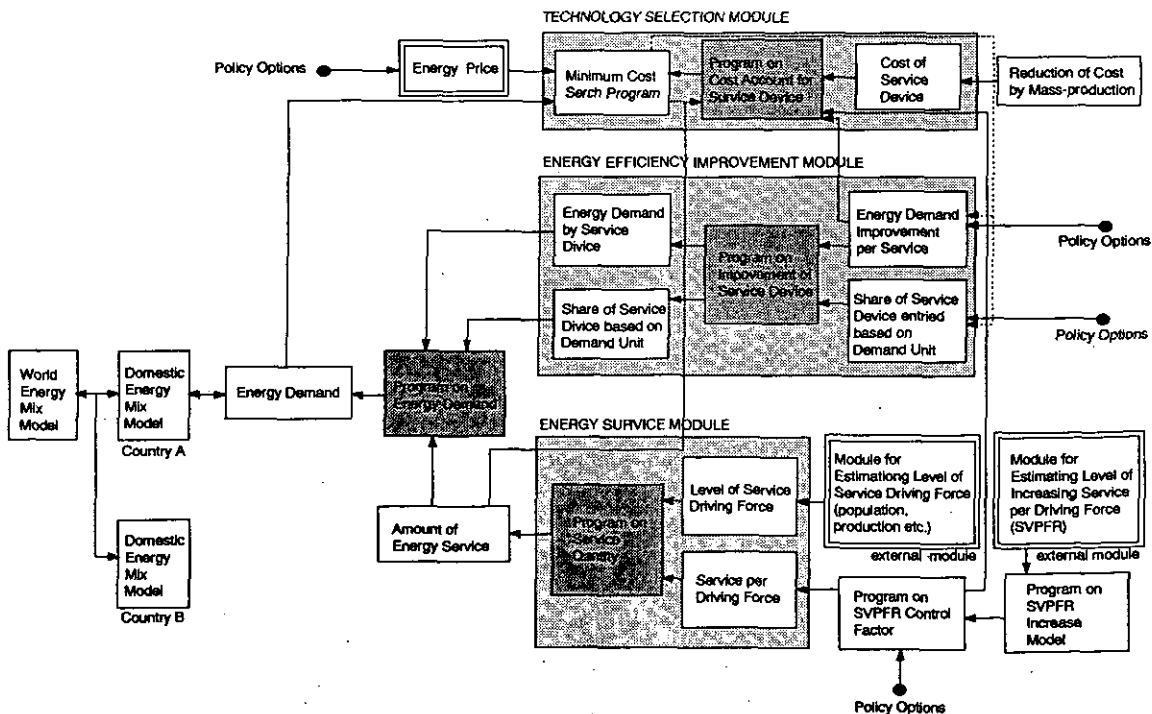


Fig. Outline of the AIM End-use Energy Model

要 約

研究の目的

本研究は、「わが国において、環境税が省エネ技術等の個別対策技術を普及させるためにどの程度の効果があり、結果としてどの程度の二酸化炭素が削減できるか」、また「環境税とともに補助金等の各種政策手段を組み合わせることによって、これらの効果がどの程度増加するか」を明らかにするため、「アジア太平洋圏温暖化対策分析日本モデル (AIM/JAPAN)」を開発することを目的としている。そして、ここで開発したモデルを用いて、第一に、エネルギーのエンドユースの側面に焦点を当てて、各種の省エネルギー技術のメニューが採用される条件を、一定のシナリオに基づいた炭素税の税率や補助金との関係で明らかにし、第二に、これらの技術のメニューの導入とそれによって削減される二酸化炭素の排出総量との関係を、各種の社会経済的シナリオのもとで明らかにした。さらに第三に、炭素税とその税収を積極的に還元する補助金を組み合わせた効果について分析した。

AIM エンドユースモデルの概要

ここで開発したモデルは、アジア太平洋圏温暖化対策分析モデル (AIM: Asian-Pacific Integrated Model for Evaluating Policy Options to Reduce GHG Emissions and Global Warming Impacts) の日本国内モデルのうち、主に「エンドユース (エネルギー最終消費) モデル」の部分である。AIM はもともと、アジア太平洋地域を中心に温室効果ガスの発生及び削減対策とその結果としての気候変動による環境影響を評価する目的で開発されているもので、今回開発したエンドユース・モデルは、この温室効果ガス排出モデルの一部であり、エネルギーサービスとその機器に関して詳細な条件設定を行い、それを前提にして省エネのメカニズムをシミュレートすることを目的としている。

このエンドユースモデルは、図1に示したように、3つのモジュールから構成されている。第一は、エネルギーに依ってサービスされるべき各種需要 (エネルギーサービス) を見積る「エネルギーサービス量算出モジュール」である。ここでは、経済・社会の諸変数を決定する外部のモデルやシナリオからフォーワード・リンケージを受け取り、ライフスタイルや環境保全意識の変化を反映させた原単位をもとにエネルギーサービス需要量を推定する。第二は、エネルギー効率の改善を計算する「エネルギー効率算出モジュール」である。ここでは、二次エネルギー段階からのエネルギー供給を一方の端として、これとエネルギーサービス需要端を結ぶ「レファレンス・エネルギー・システム (RES)」を構成し、これとエネルギー機器の技術情報とを結びつける部分である。第三は、エネルギー効率を決定する各種サービス技術を選択するモジュールである。ここでは、サービス機器の優劣を経済性などの基準により評価して、各時点でサービス種ごとに最適な機器が選択される。さらに、これら三つのモジュールを統合して、部分的な最適化計算を行うモジュールも用意されている。そして、これらの機能はモジュール化されており、時点、国、部門に共通して単一のサブプログラムで処理され、エネルギー・マクロ経済・リンケージなど AIM の他のモデルとの連動を図るように設計されている。

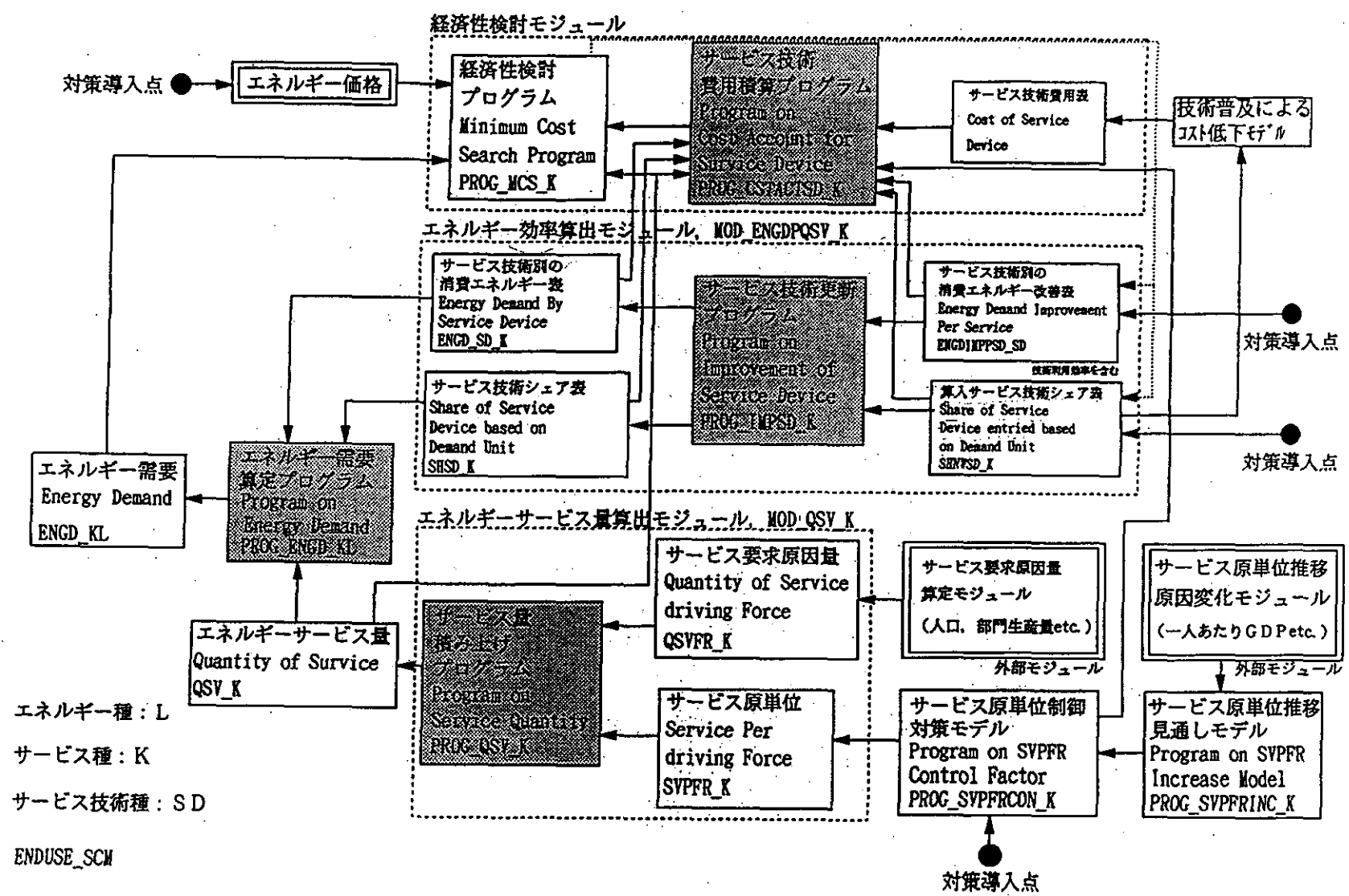


図1 AIMエンドユースモデルの構造

AIM エンドユースモデルの特徴と限界

このモデルは、ボトムアップ型のエネルギー技術モデルに属している。エネルギー消費起源の温室効果ガス排出モデルは今までに数多く開発されているが、大きく2つのタイプに分類することができる。第一は、経済学的なモデルを出発点とするものであり、価格と弾力性を主たる経済的指数として、それらとエネルギーの消費や生産との関係を集約的に表現するモデルで、トップダウン型モデルと呼ばれる。第二は、エネルギーの消費や生産をつかさどる人々の活動やそこで使われる技術の変化に焦点を置き、これらの詳細な記述から全体としてのエネルギー消費や生産を積み上げ方式で予測していくモデルで、ボトムアップ型モデルと呼ばれる。ボトムアップ型モデルの長所は種々論じられてきているが、最も大きな長所は、人間活動や技術の変化の詳細な記述を基礎に予測するため、予測結果が具体性を持って解釈できることにある。新たな政策を導入する際に、政策の具体的展開の方向とその効果を政策決定者や政治家に対して説明するには、具体性と説得性を持ったこの種のボトムアップ型モデルが不可欠となる。

次に、ボトムアップ型モデルは、今まで二つの方向で開発されてきた。一つは、エネルギーの供給・転換の側面に焦点を当てて、より効率の高い技術やその組み合わせを分析するためのモデルで、国際エネルギー機関が中心となって開発した MARKAL やフランスで開発された EFOM などがこの分野の代表的なものである。もう一つは、エネルギーの需要・消費の側面に焦点を当てて、各セクター毎に人間活動の変化がエネルギー需要をどう変化させるかについて詳細な積み上げ計算を行うモデルで、通常「エンドユース・モデル」と呼ばれている。この種のモデルとしては、フランスの MEDEE やストックホルム環境研究所が開発した LEAP が有名である。しかし、エネルギー需要・消費の側面に焦点を当ててより効率の高い技術やその組み合わせを分析する「エンドユース・エネルギー技術モデル」については、今のところ開発が大きく遅れている。

わが国の二酸化炭素排出量を減らすには、このエンドユースの側面で、どのような省エネ技術をどこまで導入できるかが大きな鍵を握っており、この意味からエンドユース・エネルギー技術モデルの開発が必要となってきている。AIM エンドユースモデルは、まさにこの新しいタイプのモデルであり、これまでのボトムアップ型モデルに新しい方向を与えるものである。AIM エンドユース・モデルでは、エネルギー価格の変化により技術代替が生じる現象を中心にして、エネルギー消費の変化を積み上げ方式により推定できる。従って、個々の具体的な政策の有効性を評価したり、種々の政策を組み合わせた場合の効果を評価することが可能である。また、エネルギー需要モデルに技術選択モデルをつなぐことによって、個別の技術の実態を踏まえたエネルギー効率改善の予測を可能にしている。さらに、このモデルは既に完成している AIM 世界モデルとつなぐことができるため、将来、国際的要因の影響についての分析や、共同実施などの国際協調の効果を勘案した分析が可能になる。

しかし、その一方で、このエンドユースモデルにはいくつかの限界がある。第一に、今のところトップダウンの経済モデルと連動しておらず、エネルギーサービス需要をシナリオによって与えている。このため、エネルギー価格上昇の直接的な需要抑制効果や消費の抑制や貯蓄の減少を通じた間接的な経済影響を考慮していないため、マクロ経済的なロスや推定するには不向きである。第二に、技術選択の際に制度面の障害等の社会的なコストを考慮していないので、個々の技術選択による二酸化炭素排出削減が大きめに見積もられる可能性がある。第三に、現在実用化されていない技

術を対象としていない等、対象とした技術が包括的ではないために、全体として二酸化炭素排出の削減量が小さめに見積もられる可能性がある。これらの限界は、エネルギー技術モデルの本質的制約に基づくものもあり、また、本モデルが開発途上にあることに起因するものもある。したがって、本研究結果を解釈する際にもこれらの点に注意する必要がある。しかし、これらを勘案してもなお個々の具体的な政策の有効性を評価したり、種々の政策を組み合わせた場合の効果を評価するツールとしては、経済学的パラダイムの再現に固執する通常の経済学的モデルに比べ、具体性と政策支援能力において、優っている。

モデルの構成

ここで用いた AIM エンドユースモデルの対象部門と分野を表1に示した。これらの各部門・分野ごとにエネルギーサービス量や技術選択を決定し、エネルギー消費量や二酸化炭素排出が算定されることになる。このため、これらの部門・分野ごとにエネルギー消費量や単位サービス量当たりのエネルギー消費量などの基礎的データがまず整備された。次に、これらの部門・分野、さらに産業部門にあってはそれぞれの生産工程ごとにサービス技術を調査し、表2に示した百種類以上の省エネ技術を本分析の対象とした。そして、これらの全技術について、初期導入コスト、年次別普及基数、省エネ効果量、技術コーホート、投資回収期間等の基礎データを詳細に調査し、データベース化した。なお、本分析で対象とする燃料の種類、発熱量、価格、二酸化炭素排出係数は表3のように設定した。石灰石は燃料として使用されることはないが、セメント工業や鉄鋼業において原料や不純物除去として使用される際に二酸化炭素を排出するため、検討に含めた。

以上の前提やデータを基礎にして、AIM エンドユースモデルでは次に示す手順によってエネルギー消費量及び二酸化炭素排出量を算定する。

(1)シナリオ及びモデルによってエネルギーサービス量（製品生産量、輸送量、冷房需要量等）が計算される。

(2)このサービス量を満たすよう、サービス生産技術が選択される。この際、各階層（工程、手段）毎に、より経済性の高い技術への置換や増設が行なわれる。

(3)技術の稼働に必要なエネルギー量が計算される。

(4)(3)で算出されたエネルギー量のうち電力と蒸気については、二次エネルギーとして使用するために、経済性の高いエネルギー転換用技術が選択され、その稼働に必要なエネルギー量が算定される。

(5)以上で求めた燃料種別エネルギー消費量をもとにして、二酸化炭素排出量を推定する。

以上の手順において大変重要な判断プロセスは、サービス生産技術の選択過程である。この選択基準は、その時点で利用している技術が交換時期にきている場合と交換年数にまだ達しない場合とで異なる。利用している技術が交換年数に達している場合には、サービス量の需要に応じるために再度従来型の技術を導入するか、コストが高くても省エネ型の技術を導入するかを決定しなければならない。このため、技術導入の初期コストの違いと省エネに伴う燃費の節約額の双方を勘案して、従来型技術と省エネ型技術を比較し、経済性の高い方を選ぶことになる。一方、今利用している技術が交換年数にまだ達しない場合には、省エネを図るために今の技術を全部交換する必要がある場合と一部の改良だけで間に合う場合とが考えられるが、いずれの場合でも、代替技術の導入費用や

表1 対象部門と分野

部門	①産業部門	②家庭部門	③業務部門	④運輸部門
分野	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄鋼業 ・セメント工業 ・石油化学工業 ・紙パルプ工業 	<ul style="list-style-type: none"> ・給湯/炊事 ・冷暖房 ・動力等 	<ul style="list-style-type: none"> ・給湯/炊事 ・冷暖房 ・動力等 	<ul style="list-style-type: none"> ・旅客輸送 ・貨物輸送

表2 サービス技術の範囲

部門	分野	サービス技術
産業	鉄鋼	コークス炉調湿装置 スクラップ予熱装置 交流式電気炉 直流式電気炉 鋳造装置 連続鋳造装置 従来型加熱装置 直送圧延/熱片装入 焼鈍装置 連続焼鈍装置 コークス乾式消火設備 コークス湿式消火設備 湿式高炉炉頂圧発電設備 乾式高炉炉頂圧発電設備
	セメント	チューブミル 予備粉砕機 NSP/SP以外 NSP/SP 高効率クリンカクーラ 整型ミル ディーゼル発電 廃熱発電
	石油化学	分解反応装置 高性能分解反応装置 ポリエチレン製造装置 高性能ポリエチレン製造装置 ポリプロピレン製造装置 高性能ポリプロピレン製造装置 重油ボイラー 低空気比重油ボイラー
	紙パルプ	従来型蒸解装置 予備浸透型連続蒸解装置 従来型洗浄装置 高性能パルプ洗浄装置 従来型脱リグニン装置 酸素脱リグニン装置 ディフューザー漂白装置 従来型蒸発缶 液膜流下型蒸発缶 従来型サイズプレス装置 高性能サイズプレス装置 従来型脱水装置 高性能面圧脱水装置 石炭ボイラー 重油ボイラー 低空気比重油ボイラー バークボイラー 黒液ボイラー
家庭	冷房	ルームクーラ
	冷房・暖房	冷暖房兼用ルームクーラ(電気) 冷暖房兼用ルームクーラ(ガス) 冷暖房兼用ルームクーラ(石油)
	暖房	石油ストーブ 石油ファンヒーター 石油温風暖房機 ガスファンヒーター ガス温風暖房機 電気ストーブ 電気セラミックファンヒーター 断熱材(新設戸建住宅) 断熱材(新設集合住宅) 断熱材(既存戸建住宅) 断熱材(既存集合住宅)
	給湯	ガス給湯機 石油給湯機 電気温水機 ソーラーシステム 太陽熱温水器
	冷房・暖房・給湯	電力多機能ヒートポンプ ガスヒートポンプ 石油ヒートポンプ
	照明	白熱灯 蛍光灯 インバータ照明
	動力他	テレビ 冷凍冷蔵庫 洗濯機 掃除機 電子レンジ その他
業務	冷房	電気冷房空調
	冷房・暖房	ガスヒートポンプ
	暖房	電気暖房 石油暖房 ガス暖房 保温構造化
	給湯	石油ボイラー給湯 ガスボイラー給湯 太陽熱温水器
	電力・冷房	コージェネガスエンジン コージェネガスタービン
	暖房・給湯	コージェネディーゼルエンジン
	照明	蛍光灯 インバータ照明
動力他	複写機 計算機 昇降機 その他動力	
運輸	旅客輸送	ガソリン新型車(軽/小型/普通/営業/自家バス) ガソリン低燃費車(軽/小型/普通/営業) ディーゼル新型車(小型/普通/営業/自家バス/営業バス) LPG新型車(営業) CNG車(小型/営業) 電気自動車(軽/小型/営業) H1MR車(自家用バス/営業バス) 鉄道 旅客船 航空
	貨物輸送	ガソリン新型車(軽/小型/普通) ガソリン低燃費車(軽/小型/普通) ディーゼル新型車(小型/普通) 電気自動車(軽/小型) CNG車(小型) 鉄道 貨物船 航空

表3 対象燃料

Code	燃料等名称	平均発熱量 (単位)	1990年価格 (円/kcal)	CO ₂ 排出原単位 (1.0E-10 t-C/kcal)	炭素税 ³ 万円/t-C (円/kcal)	倍率
1	石炭(輸入一般炭)	6,200 (kcal/kg)	0.00116	1042.2	0.00457	3.93
2	コークス	7,200 (kcal/kg)	0.00337*	1061.2	0.00706	2.10
3	炬ガス	2,000 (kcal/m ³)	0.00337*	1061.2	0.00706	2.10
4	ガソリン	8,400 (kcal/l)	0.01321	765.8	0.01551	1.17
5	灯油	8,900 (kcal/l)	0.00481	777.5	0.00713	1.48
6	軽油	9,200 (kcal/l)	0.00662	783.9	0.00897	1.36
7	重油(C重油)	9,800 (kcal/l)	0.00259	818.0	0.00495	1.91
8	その他石油製品	10,100 (kcal/kg)	0.01321	773.7	0.01512	1.14
9	LPG	12,000 (kcal/kg)	0.00730	688.3	0.00935	1.28
10	ガス	10,000 (kcal/m ³)	0.01071	563.9	0.01246	1.16
11	太陽熱	-	0.00000	0.0	0.00000	1.00
12	電力(電灯家庭)	860 (kcal/kWh)	0.02894	1212.8	0.03257	1.13
"	電力(電力業務)	"	0.02000	1212.8	0.02363	1.18
"	電力(大口産業)	"	0.01538	1212.8	0.01901	1.24
13	蒸気	639 (kcal/kg)	0.02758*	-	0.02758	1.00
14	ジェット油	8,700 (kcal/l)	0.00777*	766.5	0.01007	1.30
15	石油コークス	8,500 (kcal/kg)	0.00220	1061.2	0.00538	2.43
16	ナフサ	8,000 (kcal/l)	0.00289	760.5	0.00517	1.79
21	黒液	3,000 (kcal/kg)	0.00000	1075.1	0.00323	-
22	パーク	4,000 (kcal/kg)	0.00000	1075.1	0.00242	-
23	石油(原油)	9,250 (kcal/l)	0.00220	781.1	0.00454	2.07
29	石灰石	-	-	0.12(t-C/t)	-	-
30	庶熱	-	0.00000	-	-	-

出典：エネルギー・経済統計要覧(1993年版)/EDMC
 二酸化炭素排出量調査報告書(1992.5)/環境庁
 (但し、*印は、昭和60年産業連関表/総務庁(1985年価格)より算定)

改良に要する費用が省エネによる燃費節約額よりも小さい場合にのみ、技術が交換または改良されることになる。

このような判断過程が組み込まれているために、炭素税や補助金の導入によって技術選択が変化し、その結果としてエネルギー消費量や二酸化炭素排出量に変化することになる。例えば、炭素税が導入されるとエネルギー価格が上昇し、省エネによる燃費節約額が増加するため、比較的価格の高い省エネ技術が導入できることになる。また、補助金を導入することにより省エネ技術の初期コストが安くなれば、この技術の導入は促進されることになる。

なお、家庭部門および業務部門においては、一つのサービス機器が複数の種類のサービスを同時に提供したり、また、産業部門においても複数工程の処理が行なえる省エネ機器がある。このような場合には、以上のような二者択一型の選択が必ずしも最適な機器の組み合わせを保証することにはならない。このため、複数のサービス技術が最も効率よく複数のサービスを供給するよう、技術の組み合わせを決定するため、線形計画法を用いた技術の最適選択サブモジュールも開発し、適用可能な状態になっている。家庭部門および業務部門のシミュレーションは、この最適選択サブモジュールを用いて実施したものである。

入力条件の設定

シミュレーションの前提として、エネルギーサービス需要量の伸びを設定するシナリオの一覧を、表4に示した。このシナリオの想定のもとでエネルギーサービス量を与え、技術選択、エネルギー消費量推定、二酸化炭素排出量推定の一連の計算を、1985年度を開始年として1年度ごとに2010年

表4 シミュレーションの主要な前提

セクター	想 定	根 拠
鉄 鋼	<ul style="list-style-type: none"> 粗鋼年生産量が1.12億t(1990)から1.05億t(2000)になり安定 電気炉のシェアは31.6%(1990)から35.0%(2000)になり安定 	鉄鋼統計年報 環境庁想定
セメント	<ul style="list-style-type: none"> セメント生産量は8.4万t(1990)から8万t(2000)になり安定 混合セメントのシェアは18.2%(1990)から22%(2000)になり安定 	セメントハン ドブック セメント年鑑 環境庁想定
石油化学	<ul style="list-style-type: none"> エチレン年生産量は581万t(1990)から660万t(2000)になり安定 ポリエチレン、ポリプロピレン、BTX等の生産量の占め割合は変化せず 	石油化学工業 の現状 環境庁想定
紙パルプ	<ul style="list-style-type: none"> 紙及び板紙生産量は2,809万t(1990)から3,450万t(2000)、3,810万t(2010)となる パルプ生産量に占める古紙パルプのシェアは51.4%(1991)から55.0%(2000)、60.0%(2010)となる 	紙・パルプ統 計年報 環境庁想定
家 庭	<ul style="list-style-type: none"> 世帯数は2000年までは年0.6%、その後は年0.1%と想定 世帯面積は46㎡(1985)から48.5㎡(2010)と想定 冷房強度は20年間に2.77倍になると想定 暖房強度は20年間に1.37倍になると想定 給湯・厨房強度は20年間に1.27倍になると想定 明るさは20年間に1.17倍になると想定 テレビの保有率は174.7(1985、台/百世帯)から254.0(2010)になると想定 テレビの高性能化は25年間(1985より)に1.8倍と想定 冷蔵庫の保有率は114.3(1985、台/百世帯)から130.1(2010)になると想定 冷蔵庫の高性能化は25年間(1985より)に1.4倍と想定 洗濯機の保有率は106.5(1985、台/百世帯)から113.0(2010)になると想定 掃除機の保有率は124.8(1985、台/百世帯)から149.2(2010)になると想定 電子レンジの保有率は46.0(1985、台/百世帯)から89.8(2010)になると想定 	第六期住宅建 設五箇年計画 省エネルギーハ ンドブック 日本工業規格 地球温暖化防 止対策ハンド ブック 日本照明協会 地球温暖化経 済システム検討 会 国民実態調査 報告 日本電子機械 工業会ほか
業 務	<ul style="list-style-type: none"> 床面積は2000年までは年2.4%、その後は年1.4%と想定 複写機の電力消費量は25年間(1985より)に2.2倍と想定 計算機の電力消費量は25年間(1985より)に3.0倍と想定 中高層以上の割合は1.5倍(2000)、1.8倍(2010)と想定 	地球温暖化防 止対策ハンドブ ック 日本電子工業 振興協会ほか
運 輸	<ul style="list-style-type: none"> 軽乗用車は年率1.8%、小型及び普通乗用車は年率2.5%で増加 営業乗用車は年率-0.2%、営業バスは年率1.8%で増加 軽貨物車及び普通貨物車は年率1.6%、小型貨物は年率-1.3%で増加 鉄道(旅客)は1.9%、鉄道(貨物)は3.5%で増加 	運輸政策審議 会ほか

度まで実行した。

シミュレーションは次の5つのケースについて行った。

(1)技術が変更されないケース

技術の変更に経済的メリットがあるとしても、国民の理解が不足していたり技術変更に社会的制約があることにより、現状の技術のまま将来も推移する。炭素税や補助金等の対策無し。

(2)標準ケース

経済性に関する合理的な判断のもとに、技術選択が行われることを前提とした標準ケース。補助金等の対策無し。

(3)炭素税導入ケース

標準ケースに加えて、炭素税を導入する。税率はモデル全体の挙動を観察するために仮に炭素1トン当たり3万円と設定した。

(4)炭素税導入+主観的投資回収期間の延長ケース

炭素税導入ケースに加えて、国民が省エネの経済メリットを長期的に判断する場合を想定して、主観的な投資回収期間を最大20年に延長する。

(5)炭素税+補助金ケース

標準ケースに加えて、低い税率の炭素税を導入し、その税収の一部を省エネ技術導入を促進するための補助金として活用する。この場合、二酸化炭素の排出総量を最小化するように補助金の割当てを行い、税収の部門間の移転は行わないものとする。税率は(3)の十分の一程度をめどにして、仮に炭素1トン当たり3000円と設定した。

ここで、炭素税の導入時点は1995年からと設定したが、税のアナウンスメント効果が1990年から始まることを前提にして、投資回収期間の延長は1990年から始まると仮定した。このことは、今の時点で炭素税の導入を決めたとしても、その効果は本予測結果に比べてタイムラグをもつ可能性があることに留意する必要があることを示している。また、対策を導入しない場合の投資回収期間は、全ての部門において最大3年と設定したが、炭素税が導入される場合には主観的な投資回収期間が延びることを想定して、家庭部門で最大10年、業務部門では最大15年まで延長されることを想定した。運輸及び産業部門では、今の技術メニューの範囲では投資回収期間の感度が小さいためこのような想定は置かなかった。なお、家庭部門に比べて業務部門の回収期間延長の幅を大きく設定したのは、コージェネ・システム等の導入の際に、長期的な投資計画のもとで投資管理がより合理的に行われると考えられるからである。しかしながら、これらの主観的意識の実態については、いまのところ実証データがほとんど無く、不確実さが伴う。今後の研究によってはこれらの想定を見直す必要がある。

シミュレーション結果

以上の想定のもとで実施したシミュレーション結果について、ケース毎に以下に概説する。表5にはシミュレーション結果の一覧が、ケース毎及び部門毎にまとめて示してある。また、図2には2000年における二酸化炭素の総排出量が、さらに図3には2005年における二酸化炭素の総排出量が示した。

まず、技術の選択が合理的になされないケースにおいては、産業部門の二酸化炭素排出量の伸びは小さいものの、家庭部門では1990年レベルに比べて2000年で18%、業務部門では同22%、運輸部門では同16%の大幅な伸びが推定される。

これと比較して、各種の啓蒙活動等によって国民の省エネに対する理解が進み、規制緩和等により技術選択の障害が少なくなって、経済性に関する合理的な判断のもとに技術選択が行われることを前提とすると、標準ケースの結果に示す通り、産業部門の二酸化炭素が大幅に削減されることになる。産業部門では、1990年のレベルと比較して2000年では二酸化炭素の排出総量が下回り、炭素税等の導入をしなくても排出量が安定化する可能性がある。また、運輸部門でも低燃費型の軽乗用車と小型貨物自動車が普及することになり、わずかではあるが二酸化炭素の排出量の伸びが抑えら

表5 シミュレーション結果の一覧

(単位：百万トン、括弧内は1990年比伸び率(%))

部門	年	技術変更なし	標準(非課税)	炭素税30,000円	炭素税30,000円+回収年数延長	炭素税3,000円+補助金
産業計	1990	150.8	150.8	150.8	-	150.8
	1995	152.9 (1.4)	148.9 (-1.3)	148.5 (-1.5)	-	148.4 (-1.6)
	2000	153.1 (1.5)	144.9 (-3.9)	144.3 (-4.3)	-	144.1 (-4.4)
	2005	155.1 (2.9)	145.2 (-3.7)	144.5 (-4.2)	-	144.0 (-4.5)
	2010	156.8 (4.0)	145.3 (-3.6)	144.7 (-4.0)	-	143.8 (-4.6)
家庭	1990	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0
	1995	40.9 (7.5)	41.1 (8.2)	38.8 (2.1)	37.4 (-1.6)	41.6 (9.5)
	2000	44.8 (17.9)	45.5 (19.7)	39.0 (2.6)	36.1 (-5.0)	44.1 (16.1)
	2005	48.6 (27.9)	49.8 (31.1)	42.4 (11.5)	39.3 (3.4)	43.7 (15.0)
	2010	52.8 (38.9)	50.9 (33.9)	45.9 (20.8)	42.7 (12.4)	46.3 (21.8)
業務	1990	33.6	33.6	33.6	33.6	33.6
	1995	37.0 (10.1)	37.7 (12.2)	35.9 (6.9)	34.9 (3.9)	37.7 (12.2)
	2000	41.1 (22.3)	41.3 (22.9)	37.3 (11.0)	35.3 (5.1)	40.7 (21.1)
	2005	43.5 (29.5)	42.3 (25.9)	38.9 (15.8)	31.9 (-5.1)	40.1 (19.3)
	2010	46.2 (37.5)	42.5 (26.5)	38.1 (13.4)	32.5 (-3.3)	38.0 (13.1)
運輸	1990	58.5	58.5	58.5	-	58.5
	1995	60.7 (3.8)	60.7 (3.8)	60.6 (3.6)	-	60.7 (3.8)
	2000	67.7 (15.7)	67.3 (15.0)	65.4 (11.9)	-	65.3 (11.6)
	2005	75.9 (29.7)	75.4 (28.9)	72.3 (23.6)	-	72.0 (23.1)
	2010	85.8 (46.7)	85.2 (45.6)	81.8 (39.8)	-	81.4 (39.1)
計	1990	317.4	317.4	317.4	[317.4]	317.4
	1995	326.2 (2.8)	324.7 (2.3)	320.1 (8.9)	[317.7] (0.1)	324.6 (2.3)
	2000	338.9 (6.8)	335.2 (5.6)	322.1 (1.5)	[317.3] (0.0)	330.3 (4.1)
	2005	353.9 (11.5)	348.8 (9.9)	334.2 (5.3)	[324.1] (2.1)	335.9 (5.8)
	2010	370.7 (16.9)	360.0 (13.4)	346.5 (9.2)	[337.7] (6.4)	345.6 (8.9)

(注) なお、計には、その他として、転換部門における自家消費分、廃棄物部門等の排出量が含まれる。

れる。しかし、家庭部門や業務部門では、省エネ投資の回収期間に関する主観的判断が3年と短い場合には、白熱灯などの安価でエネルギー効率の低い製品のシェアが伸び、また、太陽熱温水器のようにエネルギー効率が高くコストも高い技術が選ばれなくなることから、二酸化炭素の排出量は技術選択が無い場合よりもかえって伸びる可能性がある。ただし、家庭部門及び業務部門が長期的な視点にたって回収期間を延長する場合には、標準ケースでもさらに二酸化炭素の排出量を削減できる可能性がある。

次に、3万円/炭素トンの炭素税を課したケースでは、標準ケースと比較して、産業部門での二酸化炭素排出量は対象とする技術メニューの範囲内では少ししか削減されない。しかし、家庭部門

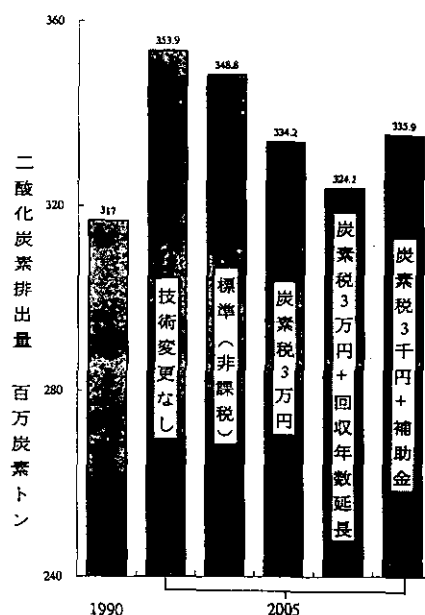
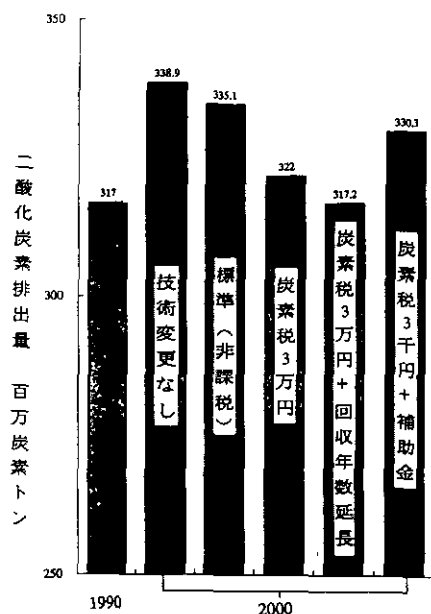


図2 2000年における二酸化炭素の総排出量の予測 図3 2005年における二酸化炭素の総排出量の予測

では2000年で標準ケースに比べて15%程度、業務部門では同10%程度、運輸部門では同3%程度の削減が見込まれる。そして、トータルとして2000年で標準ケースの4%程度の削減が見込まれるが、1990年レベルで安定化させるためにはさらに2%程度の削減が必要である。

このため、3万円/炭素トンの炭素税の導入に加えて、省エネの経済メリットを長期的に評価するよう国民の理解を求めるとともに、ソフトローンなどにより国民の負担感を和らげることにより、主観的な投資回収期間を最大20年に延長するケースについて分析した。この結果、表5に示すとおり、家庭部門及び業務部門の二酸化炭素排出量が、さらに抑制され、その結果、2000年のトータル排出量が概ね1990年レベルに安定化する可能性があることが分かった(図2参照)。ただし、2000年以降の総排出量の傾向としては、運輸部門の継続的な伸びによって1990年レベルでの安定化が難しい。このため、排出量の安定化のためにはモーダルシフトや自動車の選択に関する意識変化等、抜本的な方策が是非とも必要である。

もう一つ、標準ケースに加えて3000円/炭素トンの低い税率の炭素税を導入し、その税金の一部を省エネ技術導入を促進するための補助金として活用するケースについては、全部門において着実な二酸化炭素削減効果があることがわかった。このトータルとしての効果は、2000年においては3万円/炭素トンの炭素税の効果に及ばないが、2005年においてはこのような本格的な炭素税に匹敵する効果が得られる可能性があることがわかった(図2及び図3参照)。このような補助金は、汚染者負担の原則や市場参加者の増加による二酸化炭素排出量の増加、それに補助金の配分システムの非効率化等、いろいろな課題をかかえているが、短期的な適応手段としては検討する価値があると考えられる。

結論

本分析によって明らかになった点をまとめれば、以下のとおりである。

- (1)省エネの経済的メリットについて国民の理解が進めば、炭素税や補助金を導入しなくても省エネ技術の導入は進む可能性がある。これにより産業部門の二酸化炭素排出量の安定化は可能であるが、家庭、運輸及び業務部門の排出量の伸びが著しいため、トータルとして二酸化炭素排出量を安定化させることは難しい。
- (2)炭素トン当たり2万円から3万円程度の炭素税を導入すれば、家庭、業務及び運輸部門の省エネ技術の導入はさらに進む。しかし、これらの効果をもってしてもトータルとして二酸化炭素排出量を安定化できないおそれがある。
- (3)家庭部門及び業務部門の排出量を安定化するためには、追加的な方策を検討する必要がある。特に、主観的な投資回収期間の延長等の省エネ投資に対する理解の促進、補助金による初期投資の負担の軽減、ソフトローンや啓蒙による長期的視点での省エネ投資意識の助長、リサイクル技術の導入等の技術の検討範囲の拡大、などが不可欠である。このような方策を併せて講じれば、二酸化炭素排出量安定化は十分可能である。
- (4)今後、運輸部門では大きなエネルギー消費の伸びが予想されるにもかかわらず、有効な省エネ方策が見出せないため、この部門が二酸化炭素排出量の安定化にとって最大の障害になるおそれがある。モーダルシフトや自動車の選択に関する意識転換等、抜本的な方策の検討が求められる。
- (5)炭素税の税収を省エネ初期投資への補助金として活用する方策については、短期的には大きな効果が期待できる。炭素トン当たり3000円程度の低い税率を課した場合でも、その税収を補助金として活用すると、一定の条件のもとではトン2～3万円の炭素税に匹敵する効果が得られる可能性がある。ただし、汚染者負担の原則への抵触、市場参入者の増加による二酸化炭素排出の増加、補助金の配分システムの課題など、補助金導入のマイナス面も併せて検討する必要がある。
- (6)以上をまとめると、二酸化炭素排出量の安定化のためには、炭素税等の新たな対策を単独ではなく組み合わせて用いる必要があり、また、短期的には炭素税と補助金を組み合わせて用いることが効果的かつ効率的である。今後、中長期的な技術革新の効果、税のアナウンスメント効果、主観的な投資回収期間の延長策等に関する検討が特に急がれる。

1 章 序論

1. 1 本研究の背景

地球温暖化はアジア太平洋地域の社会経済に著しい影響を及ぼすとともに、温暖化防止の対策はこの地域に大きな経済的負担を強いるものと予想されている。しかも、この種の対策を怠ると、アジア太平洋地域からの温室効果ガス排出量は来世紀末に世界全体の半分まで増加するという予測もある。アジア太平洋地域の発展にとって地球温暖化問題は、最優先に解決すべき政策課題の一つと認識されつつある。さらに、同地域の温暖化対策において、環境ODA、技術移転、調査研究や対策の共同実施等、わが国に期待されている役割は大きい。

このため、国立環境研究所の温暖化影響・対策チームは京都大学の松岡譲助教授の参加のもと、平成3年度から3ヶ年をかけて「アジア太平洋圏温暖化対策分析モデル (AIM)」を開発してきた。このモデルは、人間活動に伴う温室効果ガスの排出、大気中の温室効果ガス濃度の増加による気候変化、気候変化による自然環境や社会経済への影響、の全プロセスを統合して、各種の温暖化対策の効果を総合的に評価するシミュレーション・モデルであり、途上国の共同研究によりアジア太平洋地域の各国の政策評価に適用すべく準備を進めているところである。

このモデルにはいくつもの特徴があるが、その第一は、温室効果ガス排出、気候変化、温暖化影響といった地球温暖化の全プロセスを統合した評価(integrated assessment)が可能である点にあり、この種のモデルとしては今のところ米国のバテル研究所が開発中のGCAMやオランダのRIVMが開発中のIMAGE2など、世界的にも数が少ない。第二の特徴としては、地球規模の現象を取り扱う世界モデルとともに、アジア太平洋地域の現象や対策について特に詳細に分析できる構造を有していることにある。そして第三の特徴として、温室効果ガス排出モデルの部分が、通常の経済モデルとエンドユース・エネルギーモデルを組み合わせた精緻な構造をしており、省エネ技術の導入等の個別具体的な対策の効果が評価できることがあげられる。

本研究は、AIMモデルの第三の特徴に着目して、わが国の二酸化炭素排出量の予測に適用するため、経済活動、エネルギー消費、技術革新、それに温室効果ガス排出量の関係を体系的に分析できるように、温室効果ガス排出モデルをさらに発展させたものである。このような発展が必要となった背景には、わが国における二酸化炭素排出削減についてのいくつかの特殊な背景がある。

第一に、わが国は1990年10月23日の閣議で「地球温暖化防止行動計画」を策定して、二酸化炭素の排出量を2000年以降に概ね1990年レベルに安定化させる目標を導入した。この目標の達成は決して容易ではなく、各種の技術の開発や普及を図るとともに、輸送システムや生活様式の変更などの方策を総合的に検討すべきであるとしている。

第二に、この行動計画は2000年までに二酸化炭素の排出抑制効果が上がることを求めており、対応期間が短いだけ対応手段は限られることになる。すなわち、エネルギー供給の側面から国のエネルギー供給計画を大幅に変更してエネルギーミックスを変化させ、二酸化炭素の排出の少ないエネルギー構成に導くには、短期間では自ずと限界がある。

第三に、従って、わが国の当面の二酸化炭素抑制対策は、エネルギーの最終消費部門における省エネ対策が中心となり、産業、運輸、過程、業務のそれぞれの部門で2000年から2010年にかけてど

の程度のエネルギー消費が抑制できるかに依存している。

第四に、しかも、エネルギー最終消費部門でエネルギー・サービスの需要量がライフスタイルの変更等によって短期的に減少することは考えにくく、省エネ対策の焦点はエネルギー効率を高めるための各種技術や機器がどの程度導入されるかに当てられる。

第五に、さらに、これらの省エネ技術や機器の導入は、エネルギー価格のレベルに大きく依存しており、最近の政策議論に上げられている炭素税の効果や、その税収の還元による省エネ補助金の効果は、これらの省エネ技術や機器が導入されるか否かに密接に関係してくる。

以上のことから、わが国の二酸化炭素の排出抑制対策を評価するためのモデルとしては、エネルギー最終消費部門における省エネルギー技術・機器の選択を中心にして、エネルギー価格、経済諸現象、それに二酸化炭素排出量との関係を体系的に分析できることが不可欠の要件となる。

1. 2 本研究の目的

本研究は、わが国の二酸化炭素排出量の抑制策を評価するため、「環境税が省エネ技術等の個別対策技術を普及させるためにどの程度の効果があり、結果としてどの程度の二酸化炭素が削減できるか」、また「環境税とともに補助金等の各種政策手段を組み合わせることによって、これらの効果がどの程度増加するか」を明らかにすることを目的としている。

このため、AIMのエネルギー需要モジュールを発展させて、技術選択、エネルギー効率、エネルギーサービス需要、それに関係する社会経済的諸変数、エネルギー消費量、および二酸化炭素排出量のそれぞれの変数の関係をシミュレートできる「エンドユース（エネルギー最終消費）モデル」を開発した。そして、このモデルを用いて、第一に、エネルギーのエンドユースの側面に焦点を当てて、各種の省エネルギー技術のメニューが採用される条件を、一定のシナリオに基づいた炭素税の税率や補助金との関係で明らかにし、第二に、これらの技術のメニューの導入とそれによって削減される二酸化炭素の排出総量との関係を、各種の社会経済的シナリオのもとで明らかにした。さらに第三に、炭素税とその税収を積極的に還元する補助金を組み合わせた効果について分析した。

1. 3 本報告書のねらい

本報告書は、AIM/JAPANのエンドユースモデルが概ね完成した今の時点で、このモデルの構造、入力データ、設定パラメータ、前提シナリオ等を公表し、種々の批判や助言を受けることを第一のねらいとしている。このため、本報告書に載せているデータやパラメータの中には、未だ十分吟味されていないものが含まれているとともに、ここで行っているシミュレーションも未だ試験的な段階にある。特に、炭素税率や補助金の還元方法については、モデル全体の挙動をみるために仮に設定したものであり、その妥当性については今後さらに検討を要する。

この報告書に寄せられた批判や助言をもとにモデルを改良するとともに、このモデルをアジア太平洋地域の途上国に適用すべく、これらの国々との共同研究を予定している。

この種のコンピュータ・モデルが、特定の組織や利益集団の弁護士になるのではなく、政策立案や合意形成のための共通の土俵として活用されることを願う次第である。