

IR-1 持続的発展のための環境と経済の統合評価手法に関する研究

(1) 環境経済統合目標の設定のための経済モデルの開発に関する研究

②環太平洋地域経済モデルの開発に関する研究

研究代表者 国立環境研究所社会環境システム部環境経済研究室 日引 聡

環境庁国立環境研究所

社会環境システム部環境経済研究室 日引 聡・森田恒幸

(共同研究) Battelle Pacific Northwest National Laboratory James Edmonds

Ronald D. Sands

平成8-9年度合計予算額 20,993 千円

[要旨] 温暖化対策の導入による経済影響を分析する際に、省エネ技術の導入や開発に及ぼす影響を明示的に考慮することにより、長期的な経済発展と地球環境の保全のための政策効果をより詳細に分析する必要がある。このため、ボトムアップ・モデルのもつ技術選択の情報を、トップダウン・モデルに反映させるために、トップダウン・モデルとボトムアップ・モデルをリンクさせることが必要になる。本研究は、ボトムアップ・モデルとトップダウン・モデルの統合のための手法開発およびモデル化を目的としている。

本研究では、まず、ボトムアップモデルとしてEdmonds Reilly Barns(以下では、ERBと略す。)モデルを、ボトムアップモデルとして AIM を使い、これらのモデルを統合し、モデル化した。次いで、より詳細なリンクモデルを開発するための準備として、ボトムアップモデルであるSGMをより詳細に部門分割したモデルを開発した。さらに、このモデルを用いて、炭素税の導入が日本のマクロ経済に及ぼす影響について分析した。

[キーワード]

ボトムアップ・モデル、トップダウン・モデル、AIM、ERB、SGM

1. 研究目的

これまで、温暖化対策の導入による経済の影響を分析するために、数々の経済モデルが開発されてきた。それらのモデルは、大別して、ボトムアップモデルとトップダウンモデルに分類される。ボトムアップモデルは、収集された多数の技術情報に基づいて構成される費用を最小することによって技術選択が行われる様なモデルである。また、トップダウンモデルは、各経済主体(各産業の生産者、消費者、政府など)の行動を最適化条件から導出し、市場均衡の概念を用いて、経済を記述するモデルである。ボトムアップモデルは、生産要素の変化に伴って生じる技術選択の変化が、具体的に表すことができるという長所をもつ一方で、経済全体の構造の変化(産業構造の変化など)を記述することができないという短所をもっている。逆に、トップダウンモデルは、経済の構造を詳細に記述できるという長所をもっているが、生産用その変化にともなう生じる技術選択の変化が具体的にどのような技術選択を意味するのかということを記述できないという短所をもっている。したがって、ボトムアップモデルとトップダウンモデルの統合によって、両者の短所を補い、両者の長所を生かすことができ、政策の効果を分析する際に、より具体的な分析が可

能になる。

現在、直面している温暖化問題に対処するために、温暖化対策の導入による経済影響を分析する際に、省エネ技術の導入や開発に及ぼす影響を明示的に考慮することにより、長期的な経済発展と地球環境の保全のための政策効果をより詳細に分析する必要がある。このため、トップダウン・モデルとボトムアップ・モデルをリンクさせることによって、ボトムアップ・モデルのもつ技術選択の情報を、トップダウン・モデルに反映させることが求められている。

このような先行研究は、世界的にもあまり例がなく、表1-1 に示される程度の研究が行われているに過ぎない。これまで、国立環境研究所はボトムアップモデル(AIM エンドユースモデル)を開発するとともに、米国の国立太平洋北西研究所の SGM プロジェクト(トップダウン経済モデル(SGM)開発プロジェクト)に参加し、トップダウンの経済モデルを開発してきた。本研究プロジェクトは、米国の国立太平洋北西研究所との共同研究により、ボトムアップ・モデルとトップダウン・モデルの統合のための手法開発およびモデル化を目的としている。

表1-1 ボトムアップモデルとトップダウンモデルの統合

研究機関	モデル名称	統合されるモデル (トップダウン／ボトムアップ)
Brookhaven National Laboratory	BEEAM MARKAL-MACRO	I-O Table / Energy Model MACRO / MARKAL (Global 2100)
Stockholm Environmental Institute	Greenpeace Model	Edmonds-Reilly / LEAP
Pacific Northwest National Laboratories & National Institute for Environmental Studies	SGM-AIM	SGM / AIM
Pacific Northwest National Laboratories & IIM	SGM-MARKAL	SGM / MARKAL

2. リンケージによるモデルの統合

ここでは、ボトムアップモデルとトップダウンモデルの統合を行うために検討した理論的フレームワークとそのための手法について簡単に説明し、統合したモデルを用いた試算例を示す。ただし、ここで用いるトップダウンモデルは、部分均衡モデルであり、炭素税導入による税収還流の効果や部門間の間接的な影響も含めた総合的な影響を評価できるものではないため、ここでのモデルの統合例は、完全なものではなく、理論的フレームワークとその手法を構築するために行ったものである。より完全なモデルの統合を進めるためには、次の節で説明している一般均衡モデル(SGMモデル)とボトムアップモデルの統合を進める必要があるが、本研究は、最終的な統合モデルを完成し、モデル分析を行うための、基礎的、準備的研究となっている。

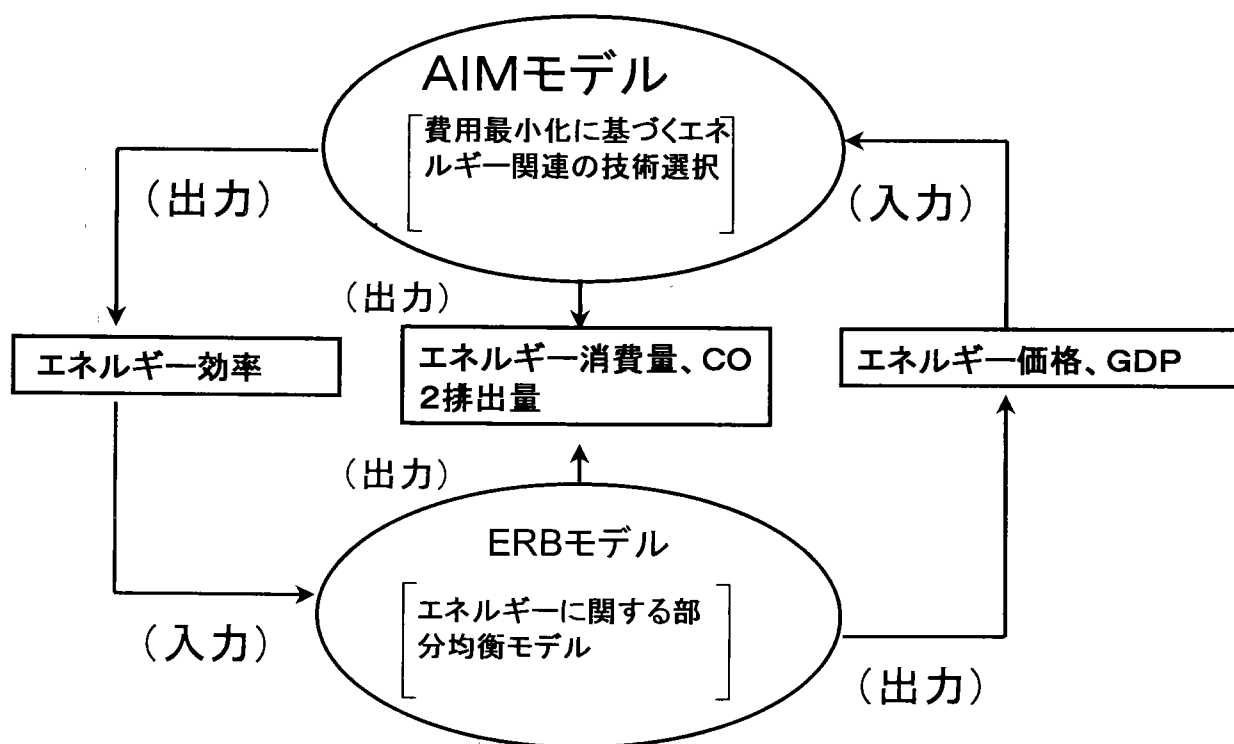
本研究においては、国立環境研究所で開発されている AIM モデルと国立太平洋北西研究所で開発さ

れている ERB モデル(世界経済モデル)の統合を考える。AIM は、エネルギー価格を所与として、費用が最小になるような技術選択を決定するモデルである。したがってエネルギー価格の上昇は、よりエネルギー効率のよい技術の選択を通して、エネルギー効率を改善する。一方、ERB モデルは、エネルギー部門のみの均衡を考えた部分均衡モデルであり、エネルギー効率を所与として、将来の各地域の GDP、エネルギー価格、エネルギー消費量、二酸化炭素排出量などを推定するシミュレーションモデルである。

トップダウン・モデル(ERB モデル)とボトムアップ・モデル(AIM モデル)の統合方法の理論的なフレームワークを図で示すと、図 2-1 のようになる。

AIM モデルのもつ技術情報は、大別して産業部門(エネルギー転換部門を含む)、民生部門(家庭、業務)、運輸部門に分けられる。ERB モデルと AIM モデルを統合するためには、ERB モデルの最終エネルギー需要の部門を AIM のもつ技術情報の部門分割にあわせる必要がある。このため、本研究では、ERB モデルの最終需要の部門分割を行い、産業部門、民生部門、運輸部門からなるモデルに修正し、AIM モデルによって計算される、各部門のエネルギー効率を、ERB のインプットとなるようにリンクした。また、ERB モデルによって計算されるエネルギー価格を AIM モデルのインプットとなるようにリンクした。すなわち、図からわかるように、エネルギー効率とエネルギー価格の変数に関して両モデルがリンクされる。ここでは、ERB によって計算されるエネルギー価格が、1ステップ前の AIM モデルの入力エネルギー価格と一致するまで、両モデル間で繰り返してデータの入力が行われる。

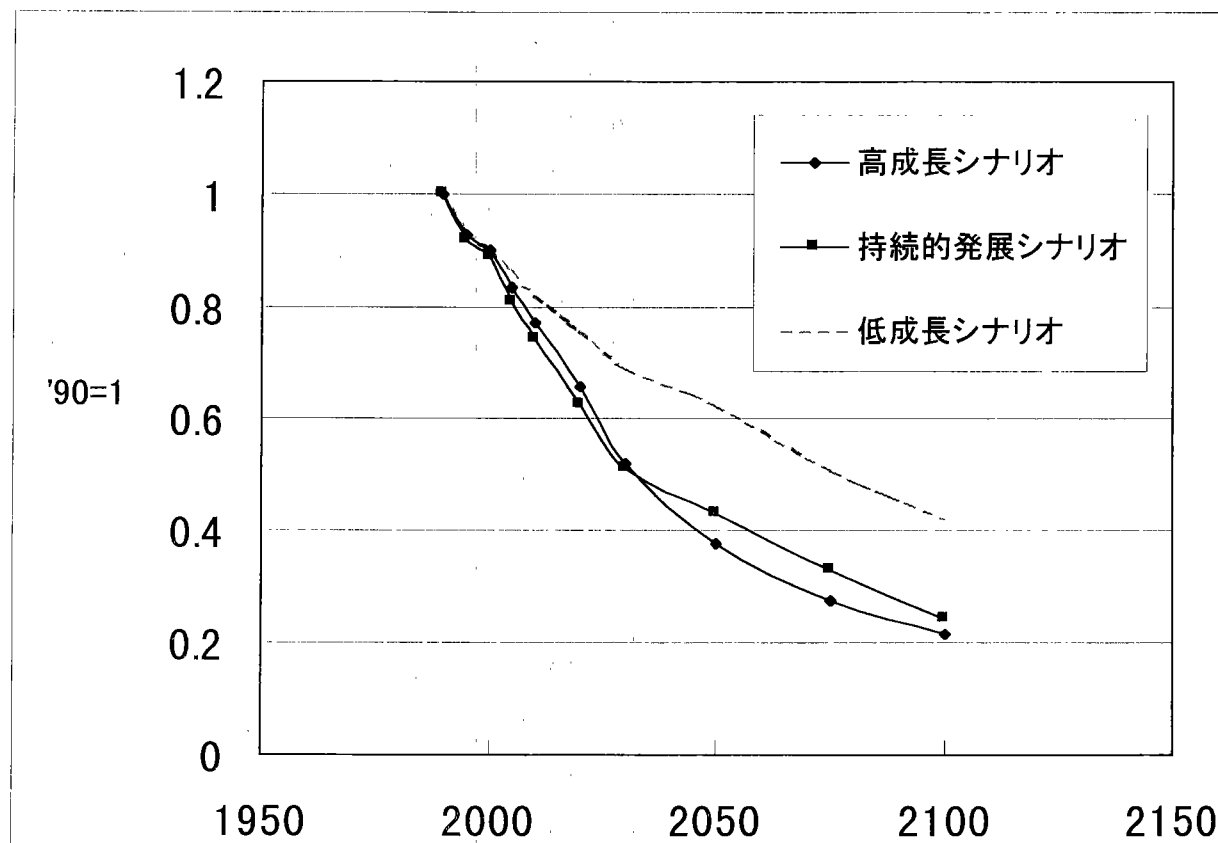
図 2-1 ERB モデルと AIM モデルのリンケージの概念図



AIM モデルと ERB モデルを統合したモデル(ERB-AIM モデル)を使って、シミュレーションの例が、図 2-1 に示されている。これは、世界経済が高成長をとげる場合(高成長シナリオ)、持続的発展を充たすような成長をとげる場合(持続的発展シナリオ)、低成長をとげる場合(低成長シナリオ)について、1990年

における対世界GDPエネルギー投入比率の推移を描いたものである。この図からわかるように、高成長シナリオにおいてエネルギー投入比率の下落が大きく、次いで、持続的发展シナリオ、低成長シナリオの順になっている。これは、成長率が高いほど、エネルギー需要が大きくなるため、エネルギー価格が大きく上昇する結果、よりエネルギー効率の高い技術が市場に導入され、エネルギー投入比率が低下することを意味している。

図 2-2 ERB-AIM モデルによるシミュレーション例(対世界GDPエネルギー投入比率)



3. SGM の部門分割と炭素税の産業への影響の分析

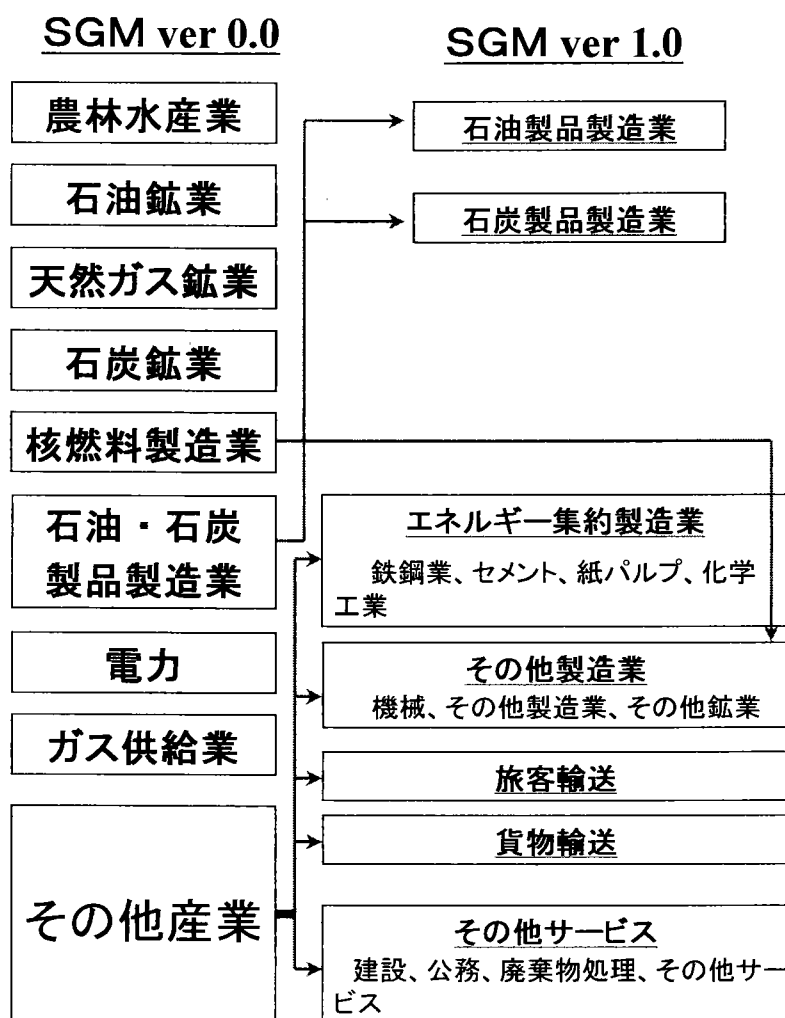
ボトムアップモデルとトップダウンモデルの統合において使われた ERB モデルは、部分均衡経済モデルであるため、温暖化対策によって各部門が互いに及ぼす間接的な影響を考慮することはできない。このため、炭素税導入による税収還流の効果や部門間の間接的な影響も含めた総合的な影響を評価するためには、一般均衡モデルを用いる必要がある。これまで、私たち研究グループが開発してきたSGM (ver. 0.0) は一般均衡モデルであるが、図 3-1 に示すように、エネルギー関連部門を詳細に分割したモデルとなっており、温暖化対策が各産業部門に及ぼす影響を検討するには不十分である。したがって、本研究においては、

- ① 温暖化対策が各産業に及ぼす影響を分析する
- ② 今後、AIM とのリンケージを行い、より詳細な分析が可能な統合モデルを開発する

ために、従来のSGMを改良し、より詳細な部門に分割されたモデルを開発し、温暖化対策の経済への影響について分析する。

従来のSGM(ver. 0.0)における部門のうち、改良されるSGM(ver. 1.0)においてさらに分割される部門について、対応関係を図示すると、図3-1の通りである。

図3-1 SGMの部門分割



以下では、まず、SGM モデルについて簡単に説明し、SGMで想定される基準ケース(すなわち、温暖化対策が実施されない場合の将来の日本経済)について述べる。次いで、2010年以降のCO₂排出量を1990年レベルの6%削減に安定化させために炭素税を導入した場合に生じる日本のマクロ経済および各産業への影響について分析する。

(1)SGM日本モデルの概要

SGM では、経済主体は、家計、企業、政府、外国部門の4主体に分けられる。

家計は、労働サービス、土地サービス、資金(貯蓄)を他の主体に供給することによって所得を得、それを消費と貯蓄に配分する。

産業は、農林水産業、原油鉱業、天然ガス鉱業、石炭鉱業、石油製品製造業、石炭製品製造業、都市ガス、電力業、エネルギー集約型製造業、その他製造業(ただし、その他鉱業含む)、旅客輸送業、貨物輸送業、その他産業の計13部門に部門分割される。さらに、電力業については、石油火力発電、LNG火力発電、石炭火力発電、原子力発電、水力発電の5つの小部門に、エネルギー集約型製造業については、紙・パルプ産業、化学工業、セメント製造業、鉄鋼業の4つの小部門に分割される。企業(あるいは、産業)は労働、土地、資本に加え、各企業が生産した財を生産要素として投入して財を生産する。生産によって生じた収入は、各種税金を支払った後に、各企業から購入した生産要素と家計から購入した労働サービス及び土地サービスに対する支払いにあてる。残った企業利潤のうち、一部は企業貯蓄に回され、残りは企業の所有者に分配される。企業の所有者は最終的には家計であるから、家計に分配される企業利潤は家計貯蓄に対する対価になっている。ここで、各部門・小部門の生産関数は、労働、土地、資本及び各企業が生産した財を生産要素とする CES 関数であり、各生産要素の技術進歩による生産性上昇率を外生的に仮定している。

政府は家計や企業からの税收を財源として、政府支出を決定する。政府が徴収する税金は、所得税、法人税、間接税、社会保障税である。政府支出による各財へ需要は、固定係数の需要関数によって決定されるものと仮定する。基準ケースを設定する際には、財政収支をゼロと仮定する。

外国部門は、世界モデルに統合された時点では、内生変数として扱われるが、現段階では日本の1国モデルであるため、外生変数として扱われる。すなわち、後に示すように、各企業ごとの純輸出(輸出－輸入)は外生的に与えられる。

CO₂の排出には、化石燃料の燃焼によって排出されるものとセメント産業やパルプ産業(ETE部門に含まれる。)等におけるCaCO₃・黒液起源のCO₂がある。したがって、CO₂排出量はこれらの合計によって求められる。前者については、各化石燃料の排出係数を各化石燃料国内消費量に掛けて求められる。後者については、CaCO₃・黒液起源のCO₂についての排出係数を紙・パルプ、セメント部門の生産量に掛けて求められる。

(2)SGMの仮定と基準ケースの設定

①SGMの仮定

基準ケースを設定する上で必要となる仮定は、4つある。すなわち、将来の日本人口、原油、天然ガス、石炭の将来の輸入価格、将来の技術進歩に基づく生産要素の生産性上昇率、将来の経常収支である。

(a)将来の日本人口の仮定

全人口は平均年率0.2%で増加し、2010年にピークに達した後、2030年まで平均年率0.2%で減少すると仮定する。他方、15～65才人口は1995年まで平均年率0.2%で増加した後、2030年まで平均年率0.6%で減少するものと仮定している。

(b)原油、天然ガス、石炭の将来の輸入価格の仮定

原油、天然ガス、石炭の価格は、1990年の水準のまま変化しないものとする。

(c)将来の生産要素生産性上量率の仮定

各部門の技術進歩による生産性上昇率の仮定は表3-1に示す通りである。

表 3-1 部門別の技術進歩による生産性上昇率(年率)の想定値

部 門		労 働	エネルギー	その他生産要素 (資本除く)
1 農林水産業		2%	0.5%	1%
2 その他産業		2%	0.5%	1%
3 石油鉱業		2%	0.5%	1%
4 天然ガス鉱業		2%	0.5%	1%
5 石炭鉱業		2%	0.5%	1%
6 石炭製品		2%	0.5%	1%
7 電力	(1)石油火力	2%	0.1%	1%
	(2) LNG 火力	2%	0.1%	1%
	(3)石炭火力	2%	0.1%	1%
	(4)原子力	2%	0.1%	1%
	(5)水力	2%	0.1%	1%
8 石油製品		2%	0%	1%
9 ガス		2%	0%	1%
10 エネルギー 集約型産業	(1)紙・パルプ	2%	0.5%	1%
	(2)化学工業	2%	0.5%	1%
	(3)セメント	2%	0.5%	1%
	(4)鉄鋼業	2%	0.5%	1%
11 その他製造業		2%	0.5%	1%
12 旅客輸送		2%	0.5%	1%
13 貨物輸送		2%	0.5%	1%

(d)貿易

すでに述べたように、SGM 日本モデルは1国モデルであるため、経常収支に関して仮定を置く必要がある。ここでは、シミュレーション期間における各期の経常収支は、1990 年のそれと同額で推移するものと仮定する。

②基準ケースの設定

以上の仮定に基づいて、5年を1期間として、1990 年を基準年に、2030 年までの計 8 期間について設定される将来の日本経済の基準ケースについてのシミュレーション結果を要約すると以下ようになる。ここで、図 3-2～3-4 は、シミュレーション結果をグラフに表したものである。

図 3-2 実質 GDP 成長率、1 次エネルギー消費伸び率、CO2 増加率、
15-65 才人口増加率（年率；基準ケース）

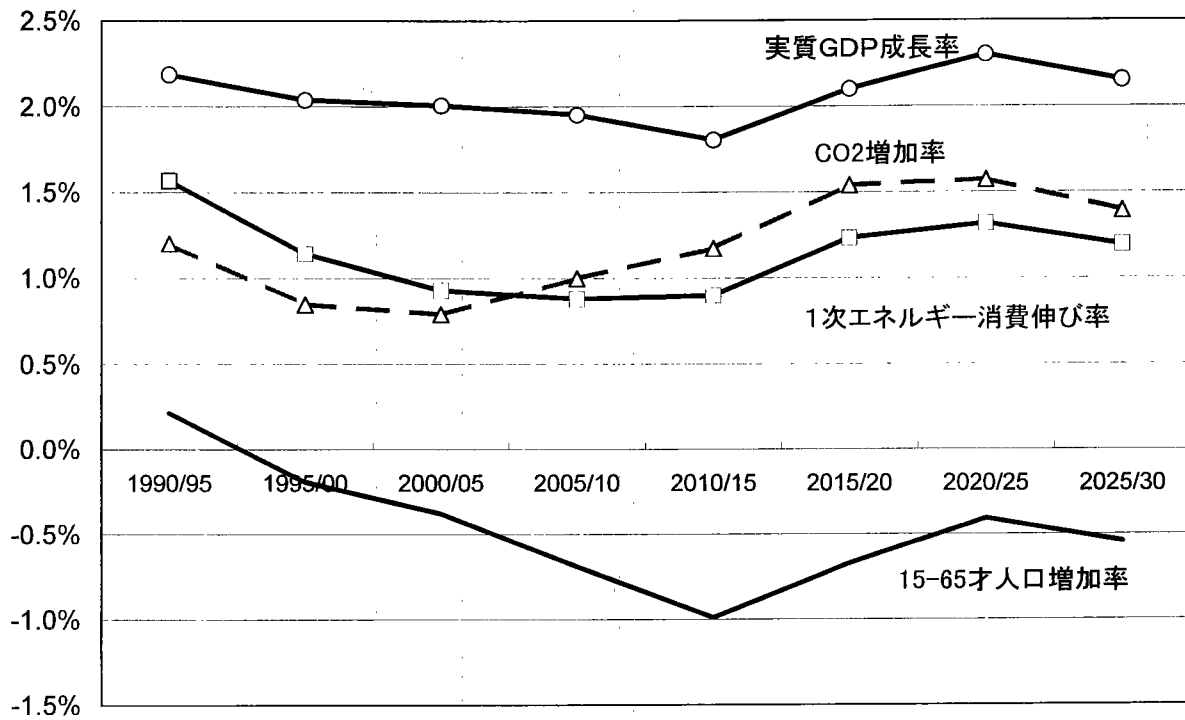


図3-3 CO2排出量

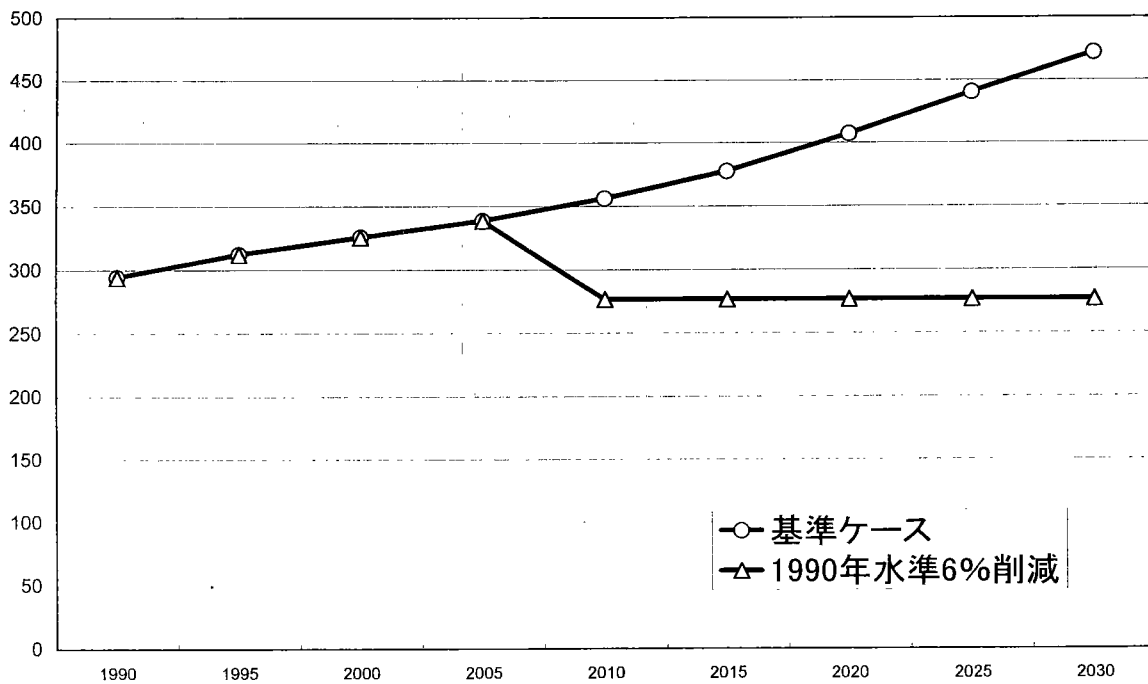


図 3-2 に示されるように、基準ケースで想定される実質 GDP 成長率は、年率平均2%で推移する。1次エネルギー消費や CO2 排出量は、実質 GDP の成長に応じて増加し、その増加率は、それぞれ、年率

1.2%および1.3%である。図からわかるように、実質 GDP 成長率の変動は、15-65 才人口の変動に呼応している。これは、15-65 才人口の増加率が低下している局面では、労働供給量の伸び率が低下するために実質 GDP 成長率が低下するのであり、15-65 才人口の増加率が上昇している局面では、労働供給量の伸び率が上昇するために実質 GDP 成長率が上昇するのである。

(2)炭素税導入による日本のマクロ経済への影響についてのシミュレーション分析

ここでは、「2010 年以降の CO₂ 排出量を 1990 年水準より6%減の水準で安定化させるために炭素税を導入する」場合に、経済への影響がどのようになるかについて分析しよう。ここでは、炭素税収は、政府消費支出拡大の財源に利用されるものとする。シミュレーション結果をまとめると、次のようになる。ただし、図 3-5 および 3-6 はシミュレーション結果をまとめたものである。

①経済成長に伴うエネルギー消費量の増加を反映して、排出される CO₂ は年々増加する。このため、90 年水準6%削減のために必要となる(対基準ケース)CO₂ 削減率は年々増加し、2010 年においては22%であるが、2030 年には55%となる。

②削減すべき CO₂ が年々増加することに対応して、6%削減のために課すべき炭素税の水準は年々上昇する。2010 年には34,000 円/炭素トンであるが、2030 年には229,000 円/炭素トンとなる。このとき、

③年々の炭素税の上昇によって、1次エネルギー消費量の減少率は年々上昇し、2010 年においては17%であるが、2030 年には45%となる。このとき、炭素税によって、原油、天然ガス、石炭価格は上昇するが、炭素集約度の最も高い石炭価格の上昇率が最も高く、次いで、原油価格、天然ガス価格になるので、化石燃料から非化石燃料への代替、及び、炭素集約度の高い化石燃料から低い化石燃料への代替が進む。このような代替の促進が、1次エネルギー削減率が CO₂ 削減率よりも小さくなる要因である。

④炭素税の年々の上昇にともなって、基準ケースと比較した場合の実質 GDP ロスは年々大きくなり、2010 年においては0.5%であるが、2030 年には2.7%となる。

⑤図 3-5 において示されるように、炭素税の導入によって、各部門の生産量あたりのエネルギー投入比率が低下する。特に、エネルギー集約的産業(紙・パルプ、化学工業、セメント、鉄鋼業)の低下が最も大きく、石油製品製造業の低下が最も小さい。ただし、SGMは5年を1期間とする長期の影響を分析するモデルであるので、ここでの計算結果は長期の影響を反映するものであることに注意する必要がある。

⑥表 3-2 は、CO₂ 削減の要因を3つの要因、すなわち、単位エネルギー消費当りの CO₂ 排出比率の変化、エネルギー投入比率の変化、実質 GDP の減少に分解し、その寄与度を表したものである¹。この表からわかるように、エネルギー投入比率の低下、すなわち、エネルギーから非エネルギー生産要素への代

¹ CO₂ 排出量に関してつぎの恒等式が成立する。

$$CO_2 = (CO_2/E) \times (E/RGDP) \times RGDP$$

したがって、近似的に以下の式が成立する。

$$\Delta CO_2 / CO_2 = \Delta (CO_2/E) / (CO_2/E) + \Delta (E/RGDP) / (E/RGDP) + \Delta RGDP / RGDP$$

ただし、CO₂ : CO₂ 排出量、E : 1 次エネルギー消費量、RGDP : 実質 GDP である。

替、および、エネルギー節約的な産業構造への転換によって全 CO2 削減量の 74～75%が削減され、CO2 排出比率の低下、すなわち、炭素集約度の高いエネルギーから低いエネルギーへの代替によって 21～23%が削減される。実質 GDP の減少によっては 2～4%が削減される。

図3-4 炭素税率と炭素税導入による実質GDPロス、
1次エネルギー消費減少率、CO2削減率

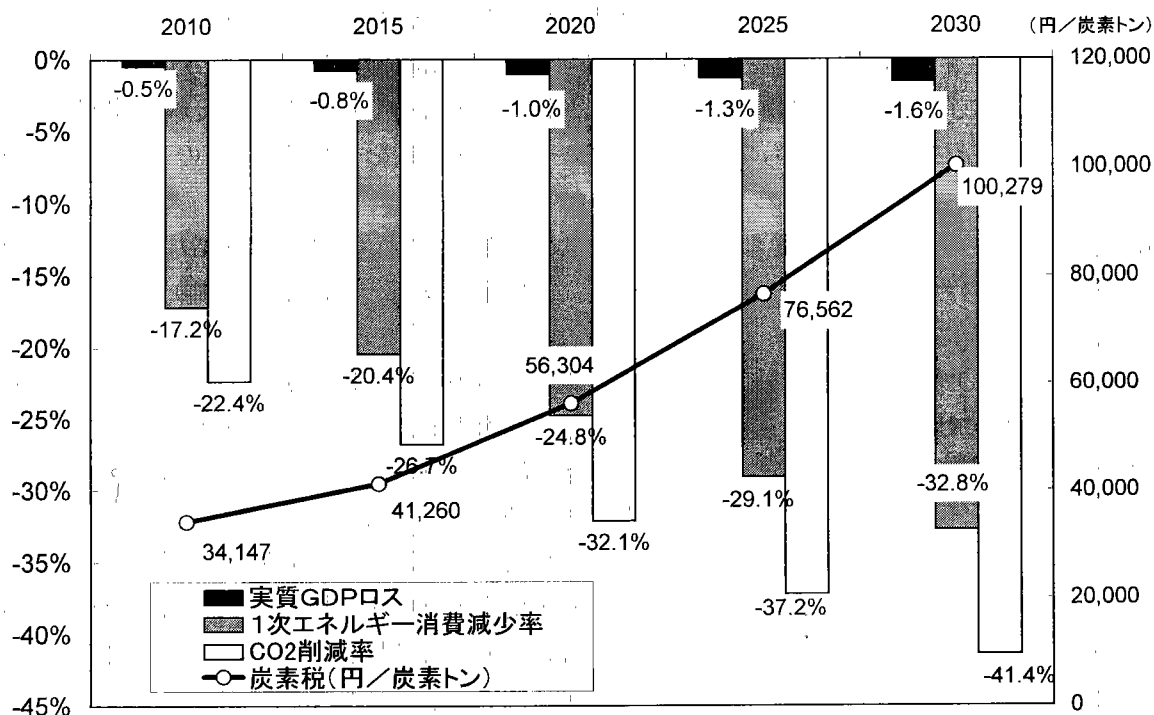


図3-5 炭素税導入による対生産量エネルギー投入比率の減少
の可能性(対基準ケース; 2010年)

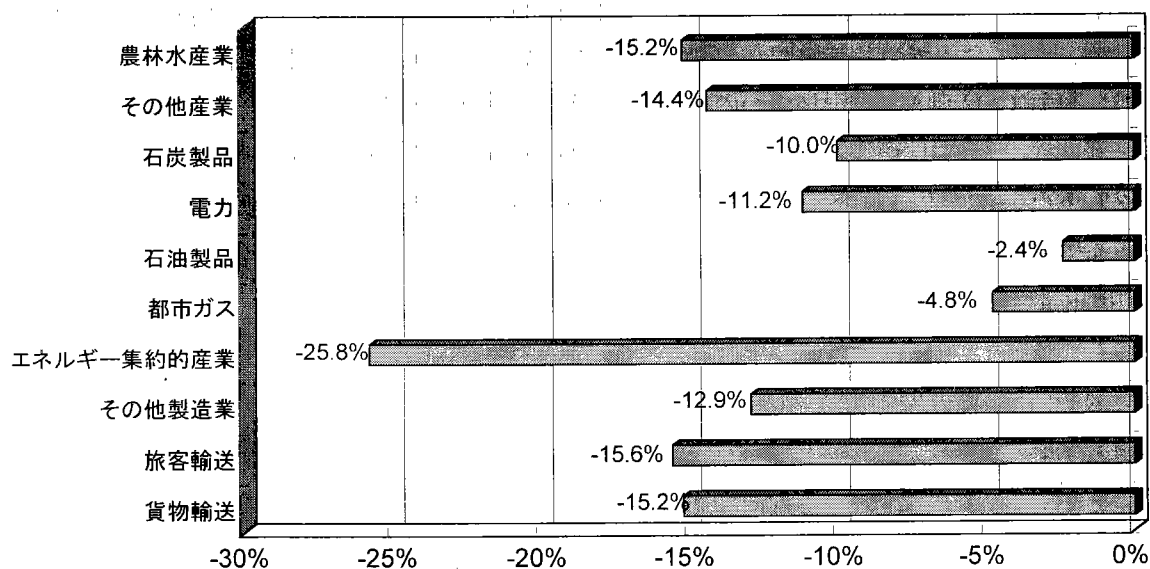


表 3-2 : CO2 削減に関する要因別寄与度

高炭素集約度の燃料から 低炭素集約度の燃料への 代替	エネルギーから非エネ ルギー生産要素への代替、 および 産業構造の転換	実質 GDP ロス
21～23%	74～75%	2～4%

4. まとめと今後の課題

本研究では、ボトムアップモデルとトップダウンモデルの統合のための理論的フレームワークとそのため
の手法を検討し、ボトムアップモデルとして AIM モデルを、また、トップダウンモデルとして ERB モデルを
用いて、両者の統合を試みた。

さらに、一般均衡モデルとボトムアップモデルとの統合を進めるための研究として、従来開発してきた、
一般均衡モデル (SGM モデル) を改良し、AIM の部門分割に対応した部門を有するモデルに拡張し、そ
れを使った、炭素税の効果を分析した。

先に示したボトムアップモデルとトップダウンモデルの統合において用いたトップダウンモデルは、部分
均衡モデルであり、炭素税導入による税収還流の効果や部門間の間接的な影響も含めた総合的な影響
を評価できるものではない。このため、ここでのモデルの統合例は、完全なものではない。今後、本研究に
おいて改良された SGM モデルを用いて、統合のための理論的フレームワークとその手法に基づいた完
全なモデルの統合を進める必要がある。

5. 成果発表

(1) 口頭発表

- ① 日引 聡: 社団法人石油学会／エネルギー・環境部会講演会 (1997)
「環境経済と炭素税導入の効果」
- ② Tsuneyuki Morita: JST/CREST International Workshop on the Technology Strategy 98 (1998)
“Long Range Projections on Technological Development”
- ③ Tsuneyuki Morita: Workshop on Integrated Assessment Modeling for Climate Change Policy Analysis
(1998):
”Energy-Economy Modeling: Top-down and Bottom-up Model Integration”

(2) 論文発表

- ① Hibiki, Akira and R. D. Sands (1996), “Estimating the Impact of Carbon Tax Using the
Second Generation Model of Greenhouse Gas Emissions for Japan”, in Global Warming,
Carbon Limitation and Economic Development (Amano, Akihiro ed.), CGER, pp23-3
- ② 日引 聡 (1996) 「地球温暖化と経済的手段の導入」、『環境概論報告書』、上智大学、pp84-95
- ③ 日引 聡、Sands, R. D. (1996) 「炭素税の導入が日本経済に及ぼす影響についてのシミュ
レーション分析～税収還流策についての比較分析」、『環境に係る税・課徴金等の経済的手
法研究会第 1 次報告書』、環境庁、pp67-76
- ④ 日引 聡、岩田規久男 (1997) 「地球環境保全のための炭素税の導入とその経済への影響」、
『環境管理』、Vol. 33, No. 1、pp22-29

- ⑤ 日引 聡、Sands, R. D. (1996) 「炭素税導入が日本経済へ及ぼす影響についてのシミュレーション分析」、『計画行政』、日本計画行政学会、Vol. 19、No. 4、pp71-81
- ⑥ 日引 聡、Sands, R. D. (1997) 「炭素税の導入による日本経済への影響～SGM 日本モデルによる長期シミュレーション分析」、『環境政策と税制』（環境庁監修）、ぎょうせい、pp98-116
- ⑦ 日引 聡、岩田規久男 (1997) 「CO₂ 排出抑制のための経済的手段の有効性と炭素税導入の効果」、日本エネルギー学会誌、No. 11、Vol. 76
- ⑧ 日引 聡 (1997) 「環境経済と炭素税導入の効果」、pp24-37、社団法人石油学会／エネルギー・環境部会講演会予稿集 (1997)

(3) 受賞等

- ① 日引 聡：1997 年 9 月 19 日、日本計画行政学会より、学会奨励賞授与。