

平成 23 年度 環境経済の政策研究

日本における環境政策と経済の関係を統合的に  
分析・評価するための経済モデルの作成

最終研究報告書

平成 24 年 3 月

大阪大学

東京大学 名古屋大学 関東学園大学

日本経済研究センター 国立環境研究所



## 目次

I	研究の成果及び進捗状況	
1.	研究の成果	1
1.1	研究の背景と目的	1
1.2	3カ年における研究計画と実施方法	3
1.3	本研究の成果	9
1.4	行政ニーズとの関連・位置づけ	10
1.5	政策的インプリケーション	11
2.	3カ年における進捗結果	12
2.1	3カ年における実施体制	12
2.2	3カ年における進捗状況	14
2.3	ミーティング開催や対外的発表等の実施状況	20
II	研究の内容	
	要約	31
1章	環境政策を評価するための経済モデル	39
	要旨	39
1.	温暖化防止のための環境政策の影響評価モデルのあり方	40
2.	分析目的に応じた経済モデルの選択	47
3.	まとめ	54
	参考文献	55
2章	環境政策を評価するためのCGEモデル	59
	要旨	59
1.	社会会計表とCGEモデルの基本構造	60
2.	ハイブリッド型技術選択モデル	70
3.	動学モデル	74
4.	まとめ	82
	参考文献	83

3章	日本 CGE モデルによる環境政策評価	85
	要旨	85
	1. はじめに	86
	2. 2020 年に 1990 年比 25%削減の経済的影響	87
	3. 三施策（炭素税・全量固定買取制度・国内排出量取引）の経済的影響	100
	4. 原子力発電再稼働の遅れの経済的影響	106
	5. 2050 年までのエネルギー・環境シナリオの経済的影響	111
	6. まとめ	121
	参考文献	122
4章	世界 CGE モデルによる環境政策評価	125
	要旨	125
	1. はじめに	126
	2. 世界モデルのデータと構造	128
	3. BAU(Business as Usual)シナリオ	134
	4. コペンハーゲン合意の効果とその経済的影響	137
	5. 日本と中国の政策オプション	145
	6. まとめ	148
	参考文献	149
5章	地域間 CGE モデルによる環境政策評価	151
	要旨	151
	1. はじめに	152
	2. モデルの概要	153
	3. シミュレーション	164
	4. まとめ	173
	付録 A 地域別発電量の推計	174
	参考文献	177
6章	環境政策を評価するためのマクロ計量経済モデル	179
	要旨	179
	1. 分析のねらい	180
	2. JCER 環境経済マクロモデルの概要	180
	3. ベースラインとシミュレーション	196
	4. おわりに	222
	参考文献	223

7章 環境政策を評価するための産業連関モデル	225
要旨	225
1. はじめに	226
2. 政策評価のための産業連関分析	227
3. 日本版グリーンニューディール政策の評価	235
4. 炭素税の所得階層別・地域別負担	241
5. シナリオ付レオンチェフ逆行列の考え方：電力産業を例にとって	246
6. 災害による間接被害の分析モデル	253
7. 結びにかえて	264
参考文献	266
補論1 CGEモデルにおける技術進歩の内生化	269
要旨	269
1. はじめに	270
2. 技術変化のタイプ	270
3. 外生的な技術変化（技術進歩）	271
4. 内生的な技術変化（ETC）	272
5. 習熟効果（Learning by doing）を導入したCGEモデル	278
6. R&D投資を導入したCGEモデル	288
7. 終わりに	298
参考文献	298
補論2 モデルパラメータの推定	301
要旨	301
1. はじめに	302
2. 推定モデルとデータ	304
3. 推定結果	310
4. まとめ	310
参考文献	310



## I 研究の成果及び進捗結果





## 1. 研究の成果

### 1.1 研究の背景と目的

#### 研究の背景

人口・資源価格・世界経済などの社会情勢の変化やそれを踏まえた環境政策が経済活動に与える影響と経済活動が環境に与える影響を相互に評価することが重要な政策課題となっている。3カ年の研究計画の初年度である2009年は、デンマークのコペンハーゲンにおけるCO15において、ポスト京都の温暖化ガス削減のための国際的枠組みを決定する重要な年であった。しかし、2050年までに温室効果ガス排出量を世界全体で半減する目標については暗黙裏に合意されているものの、それに至る経路について先進諸国と発展途上国との間で鋭い対立があり、合意には至らなかった。この状況は、2010年のメキシコ・カンクンのCOP16、2011年の南アフリカ・ダーバンのCOP17においても変わらず、COP17においては、将来の枠組みについては、2015年までに合意形成を行い、2020年に発効を目指す道筋は合意されたが、京都議定書の第二約束期間の設定に向けた合意が採択されたものの、日本は第二約束期間に参加しないことを明らかにした。

その中で、2009年に我が国は2020年の二酸化炭素排出量を1990年比25%削減する目標に掲げ、低炭素社会に向けた取り組みを促進する道筋を選択する意欲的な政策を決定したが、その一方で日本経済の成長力や産業構造に与える影響が強く懸念されている状況にある。低炭素社会の実現には、技術開発の促進や産業構造の転換が必要とされるが、そのための費用負担が避けられない。ただ、その費用にはエネルギー効率が高く炭素排出量の少ない設備への投資や研究開発投資が含まれ、イノベーションにより新たな産業を創出することで雇用を増やし、環境立国としての競争力を高めることで、我が国の潜在成長力を高める可能性も秘めている。グリーン成長とよばれるものである。その意味で、環境政策のあり方が日本経済の将来を左右する重要な問題となっている。

さらに、2011年3月11日の東日本大震災と福島第一原子力発電所の事故が、日本のエネルギー政策に深刻な影響を投げかけており、環境政策との両立に大きな懸念がもたれている。原子力発電の停止が相次ぎ、電力不足が日本経済に深刻な影響を与えているが、深刻な放射能汚染の問題を考えれば、原子力発電の安全性に対する信頼の回復が遅れば、火力発電による代替は必然である。しかし、その一方で二酸化炭素排出量は急増することになる。もちろん、再生可能エネルギーの利用拡大は最も期待される場所であるが、普及には時間と努力を必要とする。今ほど、日本経済に与える短期・中期・長期の影響を十分に考慮した上でエネルギー政策と環境政策との両立が求められたことはない。

このような状況の中で、エネルギー・環境政策が日本経済に与える影響を分析するための経済モデルを開発し、政策決定の判断材料を提供することが求められている。経済モデ

ルを用いた影響評価は、2008年12月から2009年3月にかけて開催された「中期目標検討委員会」や2009年10月から11月にかけて開催された「地球温暖化に関する閣僚委員会タスクフォース会合」において、様々な経済モデルを用いて温室効果ガス排出抑制が日本経済に与える影響評価が行われ、その結果が我が国の削減目標決定のための参考資料として用いられてきた経緯がある。経済モデルによる政策評価は、これまでも IPCC の報告書で大きな役割を果たしているが、技術選択の扱い・分析対象と範囲の違いに起因する経済モデル間の差異により、影響表に大きな差異が出ることが知られている。このような状況に対して、経済モデル研究の最先端の分野では、エネルギー・環境と経済活動をより広範な立場から分析することのできる次世代統合型経済モデルが脚光を浴びつつあり、我が国においても、それを取り入れた経済モデルを開発して政策決定に供することが緊急の課題となっている。

## 研究目的

人口・資源価格・世界経済などの社会情勢の変化やそれを踏まえた環境政策が経済活動に与える影響と経済活動が環境に与える影響を相互に評価できる環境統合型経済モデルの構築を目的とする。本研究で開発される経済モデルは、計算可能な一般均衡モデル(CGE: Computable General Equilibrium Model)を中心とし、計量経済モデルと産業連関モデルをサテライトモデルとするソフトリンク型モデルである。

本研究が目的とするのは、環境政策の変更に対して頑健性の高い経済モデルであり、さらに、ボトムアップ型技術選択モデルを取り入れることで新技術の採択や新市場の創出などを一般均衡の枠組みで分析できる経済モデルを構築し、我が国の低炭素社会への移行シナリオを可視化することである。

本研究の中心となる CGE モデルは、企業や家計などの経済主体の行動をミクロ経済学の理論に基づいてモデルを構築するとともに、数多く存在する市場での取引と市場間の取引を一般均衡の枠組みで分析することができる。さらに、CGE モデルは経済モデルを相補問題として構築することで、二酸化炭素排出に制約がなければ排出費用は発生しないが、排出制約を設けることで排出費用が発生するメカニズムをモデル化できる。

計量経済モデルはマクロ経済学の理論に基づいて構築され、経済成長や景気循環を分析するのに貢献している。ただ、マクロ計量経済モデルの場合、資源制約や温暖化ガス削減の影響を産業部門について見るのが難しい。また、環境政策を評価するために技術選択の果たす役割の重要性が高まっているが、マクロ計量経済モデルで分析することは難しい。

産業連関モデルでは価格と数量が分離され、技術が固定係数で表されることによる制約があるものの、詳細な産業・財区分で分析できることから、製品ベースでの最終需要の増加が経済全体にどのように波及するかを評価することができる。

もちろん、CGE モデルのような経済モデルでは、トップダウン型技術選択モデルが主流

であり、詳細に技術情報に基づいて技術選択を扱っているわけではない。そこで、本研究では、詳細な技術情報に基づくボトムアップ型技術選択モデルを経済モデルの中に明示的に取り入れたハイブリッド型技術選択モデルを構築し、環境政策がイノベーションや技術選択にどのような影響を与え、それが新産業の創成や雇用の拡大につながるかを評価するためのモデル構築を目指す。

本研究で構築される経済モデルは、社会情勢の変化や環境政策が経済活動にどのように影響するかを評価することが可能であり、人口・資源価格・世界経済・環境政策（例えば、環境税、排出量取引、補助金など）が、日本の国内総生産、雇用、貿易、産業構造に与える影響を評価するだけでなく、産業間や所得階層別家計の間での直接的・間接的費用便益の差異を明らかにすることで、環境政策の合意形成に貢献する。

最後に、開発されたモデルはブラックボックスではなく、透明性の確保を目指す。そのために、経済モデル開発で広く用いられるプラットフォームである GAMS(The General Algebraic Modeling System)システム上でモデル開発を進める。

## 1.2 3カ年における研究計画および実施方法

人口・資源価格・世界経済などの社会情勢の変化やそれを踏まえた環境政策が経済活動に与える影響と、経済活動が環境に与える影響を相互に評価できる経済モデルを構築する。本研究の基礎となる経済モデルは、計算可能な一般均衡(以下では CGE)モデルを中心とし、計量経済モデル、産業連関モデルとも連携でき、時間的視野と空間的視野に応じて選択できる経済モデル群を構築する。

環境・エネルギー政策と経済社会の相互関係を分析するモデルは、技術情報について詳細なボトムアップ型技術選択モデルと経済社会を描写するトップダウン型経済モデルの二つの異なるモデルがあり、両者をソフトリンクして用いられることが多い。

トップダウン型技術選択モデルとしては、国際エネルギー機関(IEA)の ETSAP (Energy Technology Systems Analysis Program)により開発された MARKAL/ TIMES モデル、国立環境研究所で開発された AIM/Enduse モデル、地球環境産業技術研究機構 (RITE) で開発された DNE+21 モデルなどがある。技術選択モデルモデルでは、経済活動量や価格体系が所与とされ、費用最小化原理に基づいてエネルギー供給、エネルギー価格や二酸化炭素排出量が決まる。もし二酸化炭素排出量に制約が加わると、選択されるエネルギー技術が変化し、新たなエネルギー供給量とエネルギー価格が決定される。

それに対して、トップダウン型経済モデルとしては、国際エネルギー機関の IMACLIM-R モデル、ETSAP の MARKAL-MACRO、国立環境研究所の AIM/CGE モデル、地球環境産業技術研究機構の DEARS モデルがある。経済モデルでは、技術選択モデルから得られるエネルギー供給量やエネルギー価格を参考にして経済活動量や価格体系が決まる。

ただ、IMACLIM-R モデル、AIM/CGE モデルや DEARS モデルなどの CGE モデルを除

けば、これまでの経済モデルは、MARKAL-MACRO に代表されるように、単一部門のマクロモデルからなる簡略化されたモデルであり、二酸化炭素価格の変化によって生じる相対価格の変化が資本や労働などの生産要素の移動を引き起こし、技術進歩を誘発し産業構造が変化する経路を十分に分析できていない。また、これまでの経済モデルは長期の動学的均衡経路の分析には適しているが、政策的に必要となる短期・中期の不均衡経路の分析は難しい。そのため、本研究では、技術選択を重視し、長期的均衡経路を重視した動学的CGEモデルを中心として据え、均衡経路に影響するショックを取り入れる分析が可能となる経済モデルを構築する。さらに、短期・中期の不均衡を視野に入れた計量経済モデルや産業連関モデルをソフト的に統合することで、時間的視野と空間的視野に応じて選択できる経済モデルを構築する。

なお、本研究で構築する環境政策を評価するための経済モデルにおいては、次の条件を配慮したものとする。

- (1). 経済を取り巻く社会環境の変化に対して頑健性が高い。(頑健性)
- (2). 産業部門を必要に応じて詳細に分析できる。(多部門)
- (3). ボトムアップ型技術選択を取り入れることができる。(技術選択)
- (4). 研究開発投資を取り入れることで、技術進歩を内生化する。(内生的技術進歩)
- (5). 相補問題(Complementarity Problem)を取り入れることができる。(相補問題)
- (6). 経済を一般均衡の枠組みで分析できる。(一般均衡モデル)
- (7). 長期の時間的波及効果を評価できる動学モデルである。(動学モデル)
- (8). 不確実性や不均衡問題について扱うことができる。(不確実性・不均衡)
- (9). 理論的に一貫したモデルであること。(一貫性)
- (10). 政策ニーズに対応して柔軟であること。(柔軟性)

経済モデルは、社会情勢の変化や環境政策の変化に対して頑健でなければ影響評価に用いることは難しい。頑健性を高めるには、経済を構成する企業や家計の行動について、生産技術や効用関数を明示的に取り扱い、最適化行動の原則に基づいて経済モデルの構造方程式を導出してモデルを構築することが求められる。CGEモデルはその原則に基づいて構築されるものであり、頑健性の高さから税制改革や貿易自由化政策が経済活動に与える影響を評価するために用いられてきた実績がある。さらに、CGEモデルにおいては、マクロ1部門ではなく、産業部門ごとに生産、価格、資本・労働などの生産要素需要を決定し、さらに産業間の取引を詳細に分析できる。一方、産業連関モデルやマクロ計量経済モデルも、詳細な市場モデルを構築することが可能であり、これまでも社会情勢や環境政策の変化の影響を評価してきた実績がある。

一つの問題は、これまでの経済モデルは技術選択について生産関数を前提とするトップダウン型に依存していることにある。環境・エネルギー分野における技術選択を分析する

場合、詳細な技術情報が利用可能であることが多く、その場合には積み上げ方式によるボトムアップ型技術選択モデルが有用であることが知られている。そこで、本研究では、環境・エネルギー分野における技術情報に関するデータベースに基づいて、ボトムアップ型技術選択モデルを取り入れた経済モデルの構築を目指す。すなわち、技術情報に基づいた環境政策の影響評価を行うことができる経済モデルの構築を目的とする。

経済モデルは、多くの場合収穫一定の仮定に基づいて構築される。すなわち、経済構造や価格体系は規模が変化しても不変とされる。しかし、生産費用は経済規模が拡大するにつれて長期的に低下する傾向にあり、収穫逓増あるいは規模の経済性とよばれる。コンピュータや太陽光発電の単価は、規模の拡大とともに価格が大幅に低下している。このような環境・エネルギー技術の低廉化は、研究開発投資だけでなく、需要の拡大による資本コストの低下によるところも大きい。本研究で構築する経済モデルでは、規模の経済性について、技術革新をとともなう設備規模の拡大が投資費用を低廉化させるメカニズム取り入れることを試みる。したがって、技術革新は、外生的なパラメータとしてだけでなく、規模拡大や設備投資・研究開発投資の蓄積の結果として内生的に決まるモデルを目指す。そのことにより、環境保全のための直接的支出だけでなく、環境保全活動から直接・間接に得られる便益についても十分考慮しながら政策評価を行うことを目的としている。

相補問題とは、元々価格がゼロの自由財・サービスについて、環境制約を強化することで新たに価格がつき、市場取引が始まるメカニズムを経済モデルとして扱うための方法である。二酸化炭素排出について言えば、排出量に制約がなければタダで排出できるが、排出量に制約を課すことで排出量に価格がつき、市場での取引が始まる。その意味で、制度変更を伴う環境政策の実施が経済に与える影響を評価するには、相補問題を扱う経済モデルが必須となる。

一般均衡の枠組での分析も必須である。環境政策の取り組みが特定の産業部門や財・サービスに影響するものであっても、経済は複数の市場を通じて互いに密接に関係することから、当該産業部門や財・サービスへの直接的な影響だけでなく、市場を経由した間接的影響も考慮する必要がある。

環境政策は経済の潜在成長力にも影響を与え、その効果が長期にわたって持続的に現れることから、動学的経路について明らかにすることが求められる。ところが、動学的経済モデルが解を持つために、方程式のパラメータに強い制約条件が課されるが、伝統的な計量経済学的方法ではパラメータに関する制約条件を満たす推定(Estimation)結果を得ることが難しい。一方、CGEモデルでは、理論的制約を重視しつつ、カリブレーション(Calibration)によるパラメータを決定するが、実証的モデルとして議論のあるところでもある。そこで、Estimation と Calibration の二つの方法について比較するとともに、理論的制約条件を先験的情報とするベイジアン的方法によるパラメータ推定についても試みる。

最後に、経済現象に存在する不確実性と不均衡の問題についても、経済モデルの枠組みで分析する。前者については確率的シミュレーション手法を取り入れることで影響評価を

確率的に表現する手法を開発し、後者については、不均衡が一時的な現象であり、予期しないショックが発生しても均衡に回帰するメカニズムを内在させた経済モデルを構築し、シミュレーション技法により復帰に至る時間経路について明らかにする試みを行う。すなわち、本研究で構築される経済モデルは、アドホックな複数のモデルを統合するものではなく、理論的に想定されている動学的長期動学均衡モデルと、均衡からの一時的な乖離をも許容する短期・中期モデルを統合するものである。マクロ経済学では DSGE (Dynamic Stochastic General Equilibrium Model) が主流となっているが、本研究で構築されるモデルは、ボトムアップ型技術選択を取り入れた多部門動学モデルであり、短期から長期まで時間的視野を連続的に扱うことのできるモデルを構築し、環境政策の評価を行う。

### 1.2.1 平成 21 年度

- (1). CGE モデル、産業関連モデル、計量経済モデルの基礎となるデータベースを整備し、研究チームで共有できる体制を構築する。さらに、産業関連表とエネルギー統計をマッチングさせ、産業部門毎の二酸化炭素排出係数を算出し、電力、鉄鋼、運輸などの炭素集約型産業分門を中心にしてエネルギー源別・技術別の投入産出アクティビティを計測し、産業・環境統合型社会会計マトリックス (Social Accounting Matrix) を作成する。
- (2). これまで環境政策の評価に使われてきた経済モデルについてレビューし、不確実性や不均衡の扱いやシミュレーション結果の差異について比較し、各経済モデルの長所と問題点について明らかにする。
- (3). ボトムアップ型技術選択を陽表的に取り入れた応用一般均衡モデルのプロトタイプモデルを構築し、トップダウン型モデルとの結果の違いについて比較検討する。さらに、世界で用いられる最先端の経済モデルについて調査し、モデル構築の参考とする。
- (4). プロトタイプモデルを用いて、環境投資や内需主導型の低炭素促進型政策（グリーンニューディール政策）が日本経済に与える影響を試算する。
- (5). 整備された基礎データベースを用い、経済モデルのパラメータの決定方式、すなわち、Calibration による方法と Estimation による方法が政策評価分析に対してどのような違いをもたらすかを明らかにする。

### 1.2.2 平成 22 年度

- (1). 整備された社会会計マトリックスを用い、ボトムアップ型技術選択を取り入れた CGE モデルを作成する。さらに、Intertemporal Optimization に基づく Forward Looking 型動学的 CGE モデルを作成し、二酸化炭素排出削減が経済に与える影響を評価する。特に、温暖化対策基本法案にもられた 2020 年に 1990 年比 25%削減目標と、それを実現するための施策、地球温暖化対策のための税、再生可能性エネルギーに関わる全量固定価格買取制度、国内排出量取引制度の導入の効果、及びそれが経済に与える影響を評価する。
- (2). Forward Looking 型動学的 CGE モデルの計算期間を 2050 年まで延長するために、長期的な分析に応じるための技術開発の可能性を探り、それらを新たな技術アクティビティとして整備してモデルに取り入れ、ボトムアップ型技術選択が可能となるようにモデルを拡張する。
- (3). 経済のグローバル化の中で、二酸化炭素排出削減政策が日本の国際競争力に与える影響が懸念されていることから、日本一国モデルだけでなく、日本の環境政策や国際的な地球環境への取り組みが、日本経済だけでなく、国際的にどのような影響を持つかについて評価できる国際モデルを構築する。
- (4). 地域的視点から、地域間産業連関表に基づいて地域間社会会計表を構築し、地域間 CGE モデルを構築し、環境政策が地域経済に与える影響について分析する。
- (5). 環境・エネルギー分野について詳細な計量経済モデルを作成し、応用一般均衡モデルでは捉えることのできない短期的な視野から、社会情勢の変化や環境政策がマクロ経済や産業構造にどのような影響を与えるかを分析する。さらに、時間的視野の差異に基づいて、CGE モデルと計量経済モデルのハイブリッド的リンケージの可能性について研究する。
- (6). 環境政策が地域や所得階層に異なった影響を与えることから、地域の視点、所得階層の視点から、環境施策がどのような影響を与えるかを分析する。
- (7). 技術選択を重視した産業連関表を構築し分析に供する。
- (8). 経済モデルの最先端の稼働状況を把握すると共に、海外から著名な経済モデル開

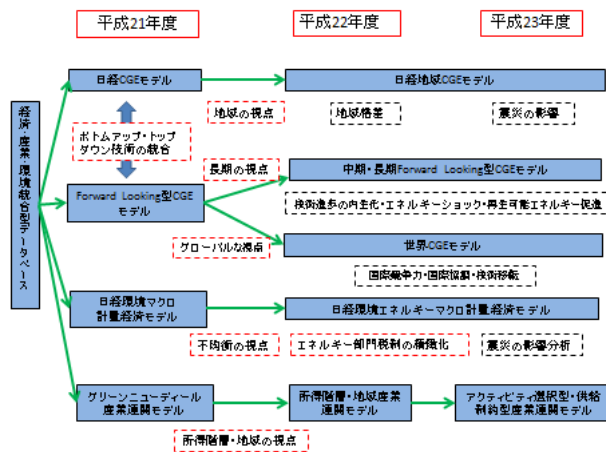
発の研究者を招聘する。

### 1.2.3 平成 23 年度

- (1). 3月11日の東日本大震災と福島第一原子力発電所の事故によって新たに生じた状況に対応し、環境・エネルギーシナリオの再構築と、環境・エネルギー政策の経済に対する影響を分析する。そのために、時間的視野に基づいて、これまでに開発された動学的 CGE モデル、計量経済モデル、産業連関モデルの組み合わせた利用について再構築をはかる。
- (2). 動学的 CGE モデルでは、2020 年までの中期的な視野、2050 年の長期的な視野に基づいて、新たな環境下で低炭素社会を目指す環境政策の影響評価を行うために、研究開発を明示的に取り入れた内生的な技術進歩を取り入れる。さらに、2050 年までのモデル分析では、二酸化炭素回収・貯留技術を取り入れて対応する。
- (3). また、世界 CGE モデルおよび地域 CGE モデルの整備を行い、グローバルな視点・ローカルな視点を重視しつつ、低炭素社会を目指す環境政策の影響評価を行う。特に、地域 CGE モデルでは、原子力発電の停止が地域経済に与える影響について評価する。
- (4). 計量経済モデルでは、原子力発電の停止などの不確実性を起因とするショックで発生する不均衡と、不均衡から長期的均衡への回復する時間経路を分析する。

3カ年の実施状況は、図1のようにまとめることができる。

図1 研究計画の実施状況

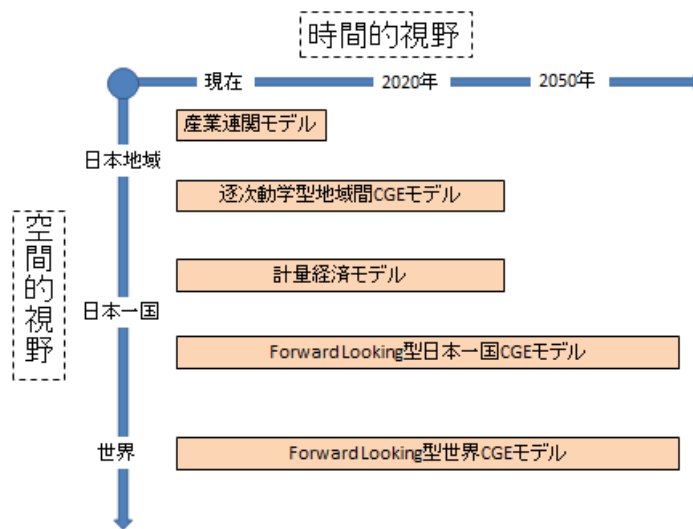




### 1.3 本研究の成果

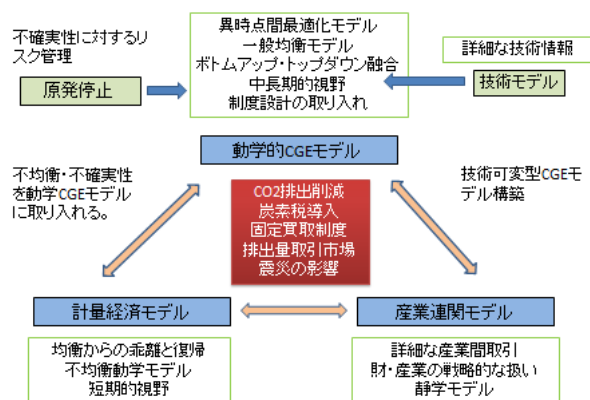
本研究で構築されたモデルは、図 2 で示されるように、現在・2020 年・2050 年といった時間的視野と、地域、日本一国、世界といった空間的視野に基づいて適宜に利用可能な 5 つのモデルから構築される。

図 2 構築された経済モデル群



モデル群は、基本的に(a) 動学的 CGE モデル、(b) 計量経済モデル、(c) 産業関連モデルからなり、モデル間の連携関係は図 3 に示される。

図 3 経済モデル群の連携



構築された経済モデルで分析された内容は、以下の通りである。

- (1). 炭素税導入の影響評価
- (2). 再生資源エネルギーの固定買取制度導入の影響評価
- (3). 排出量取引制度導入の影響評価
- (4). 低炭素化推進が経済成長と産業構造に与える影響評価
- (5). 日本単独の低炭素化政策がもたらす国際競争力への影響評価
- (6). 原発停止の影響評価
- (7). 長期的なエネルギー・環境政策の変更が経済に与える効果

#### 1.4 行政ニーズとの関連・位置づけ

政策を立案する場合、経済モデルを用いた影響評価を事前に行うことが求められているが、本研究で構築したモデルは、その要求に供するために作成されている。本研究で扱う環境政策は、温室効果ガス、特に経済活動にともなって発生する二酸化炭素削減のための諸政策が中心となるが、それらが経済活動に与える影響を分析することが目的である。本研究プロジェクトに参加する研究者は、中期目標検討委員会、地球温暖化に関する閣僚委員会タスクフォース、中央環境審議会・地球環境部会・ロードマップ小委員会、同 2013 年以降の対策・施策に関する検討小委員会などにおいて、研究成果を資料として提出することで、議論に資することに努めてきた。なお、審議会等への資料提出は以下の通りである。

- (1) 地球温暖化に関する閣僚委員会タスクフォース会合(平成 21 年 10 月 23 日から同年 11 月 19 日)において、2020 年の二酸化炭素排出量を 1990 年比 25%削減する場合の経済的影響について、日経 CGE モデルを用いて評価し、その中間取りまとめが平成 21 年 12 月 11 日に開催された第 4 回地球温暖化問題に関する閣僚委員会に提出された。
- (2) 平成 22 年 3 月 26 日に開催された環境省・地球温暖化対策に係る中長期ロードマップ検討会全体検討会(第 5 回)において、本研究プロジェクトで構築された **Forward Looking** 型動学的 CGE モデルによる分析結果が資料 4『中長期ロードマップに基づく二酸化炭素排出量削減の経済分析』、産業連関モデルによる分析結果が参考資料 2『温暖化対策(グリーン投資)の経済効果』として提出され、二酸化炭素排出削減政策が日本経済に与える影響についての議論に資された。この二つの資料は、平成 22 年 3 月 31 日に発表された『地球温暖化対策に係る中長期ロードマップの提案～環境大臣 小沢鋭仁 試案～』にも引用された。
- (3) 平成 22 年 4 月 27 日に開催された第 174 国会・衆議院環境委員会に参考人として招致され、資料『中長期ロードマップに基づく二酸化炭素排出量削減の経済分析』に基づ

いて意見陳述を行った。

- (4) 平成 22 年 7 月 15 日に開催された中央環境審議会・地球環境部会・ロードマップ小委員会（第 9 回）において、Forward Looking 型動学的 CGE モデルによる分析結果が資料 2『日本の中期目標 25%削減の経済・産業への影響』、産業連関モデルによる分析結果が資料 4『温暖化対策(グリーン投資)の経済効果』、計量経済モデルによる分析結果が資料 5『マクロモデルによる炭素税の分析』として提出され、二酸化炭素排出削減政策が日本経済に与える影響についての議論に資された。
- (5) 平成 22 年 10 月 29 日に開催された中央環境審議会・地球環境部会・ロードマップ小委員会（第 15 回）において、Forward Looking 型動学的 CGE モデルによる分析結果が資料 3『中長期ロードマップ経済試算』として提出され、二酸化炭素削減のための三施策（温暖化対策税、全量固定価格買取制度、国内排出量取引制度）の効果と経済的影響についての議論に資された。

## 1.5 政策的インプリケーション

経済活動にともなって排出される二酸化炭素の削減は、地球温暖化防止のための懸案であるが、その一方で、経済活動を阻害する可能性が懸念されている。本研究は、一般均衡の枠組みを持つ経済モデルにより、二酸化炭素削減のための環境政策の影響評価を行うことである。

二酸化炭素の排出の削減は、経済活動に対する制約条件であるが、新たなビジネスを生み出し、成長に寄与することも期待されている。低炭素化のための技術は、高効率発電設備の新設、太陽光・風力発電など利用拡大、スマートグリッドの普及、ハイブリッド車や LED などによる高効率照明の普及などの形で新たな需要を生み出している。その一方で、旧来の技術に基づく財・サービスに対する需要を減少させている。本研究で開発された経済モデルは、低炭素社会への移行が、最終的に経済にどのような影響を与えるかを、一般均衡の枠組みで分析するものである。

ここで、一般均衡とは、経済社会における全取引を網羅することで、政策変更が経済社会に与える直接的効果だけでなく、無数の市場取引を通じた間接的影響についても明らかにすることができる。すなわち、低炭素化を目指す政策が、需要構造だけでなく生産構造を変えることで、経済社会をどのように変容させるかを示すことができる。低炭素化の費用は、一面から見れば経済社会にとって負担であるが、その一方で、新たな投資や消費を生み出す力を持っており、経済社会を新たな成長過程に移行させる原動力となる。

本研究で開発される経済モデルは、環境政策が経済社会に与える影響を可視化すること

で政策合意に資する重要な役割を持っている。

## 2. 3カ年における進捗結果

### 2.1 3カ年における実施体制

#### 2.1.1 平成21年度

7機関が研究に参画し、研究参画者は下記の8名である。

伴	金美	大阪大学大学院経済学研究科教授
後藤	則行	東京大学大学院総合文化研究科教授
鷺田	豊明	上智大学大学院地球環境科学研究科教授
藤川	清史	名古屋大学大学院国際開発研究科教授
武田	史郎	関東学園大学経済学部准教授
猿山	純夫	日本経済研究センター主任研究員
川崎	泰史	日本経済研究センター主任研究員
岡川	梓	国立環境研究所研究員

研究項目は、9項目からなり、各項目の担当は次の通りである。

- (1). 経済データベースと社会会計マトリックス整備：川崎、伴
- (2). 技術選択を重視した応用一般均衡モデル構築：武田、川崎、伴、後藤
- (3). 資源・環境を重視した計量経済モデル構築：猿山
- (4). 資源・環境を重視した産業連関モデルの構築：藤川
- (5). Calibration と Estimation に関する研究：岡川、伴
- (6). 不確実性と不均衡を考慮した経済モデル構築：伴、後藤
- (7). 経済モデルの解法アルゴリズムの研究：武田、伴
- (8). 温暖化被害を考慮した経済モデル構築：鷺田

#### 2.1.2 平成22年度

上智大学を除く次の6機関が研究に参画している。各機関の研究参画者は計10名である。

伴	金美	大阪大学大学院経済学研究科教授
後藤	則行	東京大学大学院総合文化研究科教授
藤川	清史	名古屋大学大学院国際開発研究科教授
武田	史郎	関東学園大学経済学部准教授

猿山	純夫	日本経済研究センター主任研究員
川崎	泰史	日本経済研究センター主任研究員
小林	辰男	日本経済研究センター主任研究員
落合	勝昭	日本経済研究センター副主任研究員
白井	大地	日本経済研究センター研究員
佐倉	環	日本経済研究センター研究員
岡川	梓	国立環境研究所研究員

- (1). 資源・環境・技術を重視した CGE モデルの構築：伴、後藤、武田
- (2). 資源・環境・技術を重視した地域 CGE モデルの構築：白井、落合
- (3). 資源・環境・技術を重視した計量経済モデルの構築：猿山、佐倉
- (4). 資源・環境・技術を重視した産業連関モデルの構築：藤川
- (5). Calibration と Estimation：岡川

22 年度は、上智大学が参画できなくなり、また、川崎泰史が 9 月に内閣府に帰任したことにより、研究参画者の変更があった。また、環境政策が地域と密接に関わることが多く、当初の研究計画になかった地域間 CGE モデルを構築することとし、日本経済研究センターに研究者の追加的な参画を求めた。

研究計画作成段階において強調していたハイブリット型モデルが、技術選択についてボトムアップ型モデルとトップダウン型モデルのハイブリッド型モデルであることが十分に理解されず、性質の異なる CGE モデル、計量経済モデルと産業連関モデルについてハードリンク型モデルと誤解されることが多く、時間的視野と空間的視野に基づいた政策目標に柔軟に対応できる経済モデル群の構築とすることとした。

### 2.1.3 平成 23 年度

次の 6 機関が研究に参画している。各機関の研究参画者は以下の通りである。

伴	金美	大阪大学大学院経済学研究科教授
後藤	則行	東京大学大学院総合文化研究科教授
藤川	清史	名古屋大学大学院国際開発研究科教授
武田	史郎	関東学園大学経済学部准教授
猿山	純夫	日本経済研究センター主任研究員
小林	辰男	日本経済研究センター主任研究員
落合	勝昭	日本経済研究センター副主任研究員
舘	祐太	日本経済研究センター研究員

佐倉 環 日本経済研究センター研究員  
岡川 梓 国立環境研究所研究員

- (1). 資源・環境・技術を重視した CGE モデルの構築：伴、後藤、武田
- (2). 資源・環境・技術を重視した地域 CGE モデルの構築：舘、落合、小林
- (3). 資源・環境・技術を重視した計量経済モデルの構築：猿山、佐倉
- (4). 資源・環境・技術を重視した産業連関モデルの構築：藤川
- (5). Calibration と Estimation に関する研究：岡川

日本経済研究センターの研究参画者のうち、白井大地の退職により、舘 祐太に交代した。地域 CGE モデルによる分析は、当初の計画にはなかったが、エネルギー・環境政策が地域に与える影響が懸念されることから今年度も継続することとした。

3 月 11 日の東日本大震災と福島第一原子力発電所の事故は、日本におけるエネルギー・環境政策に大きな影響を与えることが確実であるが、それを経済モデルで分析することができるかどうか最終年度の大きな課題となった。本研究で開発された経済モデルは、動学的一般均衡の枠組みを重視するものであるが、東日本大震災と福島第一原子力発電所の事故は経済モデルに対する大きなショックであり、それにどのように扱うかが問題となった。しかし、動学的一般均衡に対するショックは、様々なシミュレーションを行うことで、一時的なショックだけでなく、恒常的にショックに対しても頑健性眼の高いことが示されたことから、十分に利用に耐えることが確認され、エネルギー・環境政策の大きな変革についても分析対象とすることとした。

## 2.2 3カ年における進捗状況

### 2.2.1 平成 21 年度

#### データベースの整備と共有体制

CGE モデル、産業連関モデル、計量経済モデルで用いられるデータベースとして、2005 年産業連関表基本表、物量表及び雇用マトリックス、国立環境研究所の産業連関表による環境負荷原単位データ部区(3EID)をマッチングさせ、任意の財・産業分類に集計し、それに基づいた社会会計表作成システムを構築し、それが共有できる体制を整備した。本システムは、本年度の研究成果の日本経済研究センターCGE モデルと Forward Looking 型 CGE モデルの基礎データとして利用された。さらに、日本経済のマクロ統計および産業統計データベースを整備しオンラインで共有することで実証データに基づく分析体制を整備した。日経センターマクロ計量経済モデルをはじめとする多くの研究で利用に供された。

なお、本年度の特別事業として、技術情報データの収集と家計調査を実施した。技術情

報データについては、MARKAL モデルの技術情報を参考にし、電力、鉄鋼、セメント産業における詳細な技術情報、自動車の燃費効率についての詳細な車種別情報を収集している。家計調査では、家庭内における電力・ガス消費量・金額と関連設備の設置状況、自動車の保有状況と利用状況を、東京・埼玉、千葉、神奈川の 2000 世帯について調査を行い、平成 22 年度の研究で利用する体制を整えた。

## 経済モデルの比較

環境政策の影響評価に利用されてきた CGE モデル、産業連関モデル、計量経済モデルについて専門家としての比較評価を行った。比較対象となるモデルは、本研究参画者が作成したものであるが、中期目標検討委員会、地球温暖化に関する閣僚委員会タスクフォース、ロードマップ検討委員会等で用いられている。その中で、コスト負担の試算、雇用創出効果、新産業育成効果など、我が国のグリーンニューディール政策が日本経済全体及び環境に与える影響を評価することが求められた。その中で、各モデルにそれぞれ限界があり、それを踏まえた上で目的に応じたモデルの使い方のあるとの認識が共有された。

## ボトムアップ型技術選択を採り入れた CGE モデルの構築

経済モデルで主流となっている生産関数に基づくトップダウン型技術選択に対して、個々の技術情報に基づいたアクティビティベースの技術をモデルの中に選択可能な形で置き、相対価格の変化や技術革新による低廉化により、新たな技術として選択されるメカニズムを動学的 CGE モデルの中に組み入れた。具体的には、太陽光や風力など自然エネルギーによる発電アクティビティを選択可能な新エネルギー発電としてモデルに組み込み、どのような状況の下で新エネルギー発電技術が採択されるかを分析した。本年度は、選択可能なアクティビティとして新エネルギー発電を組み入れたが、二酸化炭素を排出しないが、資本をとり多く必要とするものとして定式化されている。したがって、二酸化炭素排出制約が課せられなければ選択されないが、排出制約が課せられると二酸化炭素を排出しないことから生産費用が相対的に低廉化することで、採択されるメカニズムを示すことができた。ただ、普及の早さについては二酸化炭素排出価格の上昇だけでは不十分であり、技術開発による設備費用の低廉化、新エネルギー発電設備の設置の義務化、固定買い取り制度などの追加的政策の実施が必要であることも明らかにできた。また、技術選択による新産業育成が雇用創出につながる波及効果を持つことを示すことができた。

## 技術革新取り扱い

技術革新による費用の低廉化は、当該技術が採択される必要条件である。このような技

術革新のプロセスをモデルに採り入れるためにいくつかの方法がとられてきた。

- (1). 外生的に効率化係数を組み込む。
- (2). 普及の程度に応じた効率上昇を習熟曲線として組み込む。
- (3). 研究開発資本あるいは知的資本をモデルに明示的に組み込む。
- (4). 固定費用の存在を仮定し、規模の経済性を明示的に組み込む。

本年度は、主に外生的な効率化係数や習熟曲線をモデルに組み込むことで技術革新の効果を分析した。なお、効率化係数や習熟曲線についての想定は、観測されたデータに基づいて、データと整合性を保つように効率係数や習熟曲線のパラメータを設定している。ただ、先行きについてはこれまでの動向を単純に外挿している。

## Calibration と Estimation

CGE モデルに対する批判として、パラメータの決定が観測されたデータに基づいておらず、実証的背景に欠けるとの批判がある。本年度は、CGE モデル構築の主流であった Calibration によるパラメータ決定とデータに基づく Estimation によるパラメータ決定の二つのモデルを比較し、Calibration パラメータモデルと Estimation パラメータモデルに大きな差がなく、Estimation された係数の分散を用いた確率シミュレーションによれば、Calibration のシミュレーション結果は、Estimation によるパラメータの確率分布の範囲内にあることが明らかにされた。

### 2.2.2 平成 22 年度

#### 資源・環境・技術を重視した CGE モデルの構築

Intertemporal Optimization に基づく Forward Looking 型動学的 CGE モデルを構築し、二酸化炭素排出量を 2020 年に 1990 年比 25%削減が、日本経済にどのような影響を与えるかを試算し、排出量削減と経済成長が両立する可能性のあること示すとともに、多くの経済モデルと異なりプラスの効果を持つ理由について検討し、Forward Looking の中でイノベーションが生じることが重要であることを明らかにした。さらに、温暖化対策基本法案にある地球温暖化対策のための税の導入、再生可能性エネルギーに関わる全量固定価格買取制度の創設、国内排出量取引制度の創設が、二酸化炭素排出削減に効果があるかどうか、経済に対する影響がどの程度かを試算し、その成果を中央環境審議会地球環境部会中長期ロードマップ小委員会に資料として提出している。

また、二酸化炭素削減が、地域経済にどのような影響を与えるかを分析するために、地域間 CGE モデルを開発し、経済影響評価を行った。分析の結果、地域への影響の度合いが産業構造と電力源構成に大きく依存することが明らかにされた。一方、グローバルな視点



から日本の環境政策を評価するため動学的 CGE 世界経済モデルを構築し、25%削減目費用が日本企業の国際競争力に与える影響を明らかにした。

さらに、2050 年を視野に入れた日本経済の動学的 CGE モデルを構築し、1990 年比 80%削減の可能性について分析した。長期にわたる経済影響を評価する場合、技術に関する想定が大きな役割を果たすが、内生的な技術進歩を考慮した CGE モデルの成果を基礎にモデルを構築し、長期のシミュレーションを実施した。

### 資源・環境・技術を重視した計量経済モデルの構築

計量経済モデルは、経済構造に大きな変化がなければ、データに基づいてモデルのパラメータが統計的に推定され、長期的な均衡からの一時的乖離となる不均衡状態の分析も分析できる誤差修正(Error Correction)型経済モデルである。今年度は、エネルギー部門とエネルギー税制の精緻化を行い、温暖化対策基本法案にある地球温暖化対策のための税の導入が日本経済に対してどのような影響を及ぼすかを明らかにした。これらの成果の一部は、中央環境審議会地球環境部会中長期ロードマップ小委員会に資料として提出している。

### 資源・環境・技術を重視した産業連関モデルの構築

伝統的な産業連関分析では、1 種類の財生産に 1 種類のアクティビティがあると想定されている。言い換えると、財の数と産業の数が等しいことが前提である。本研究課題で構築された CGE モデルのように、一つの財に複数のアクティビティが存在し、一つのアクティビティで複数の財を生産することは考えられていない。そこで、複数のアクティビティが存在する電力を中心にして、複数アクティビティが存在する産業連関モデルを構築し、アクティビティ構成の変化が環境負荷にどのような影響を分析するために、シナリオ付きレオンチェフ逆行列の考え方に基づく新たな産業連関モデルを構築した。

産業連関モデルは、所得階層別・地域別の詳細な情報を付加することが容易であり、温暖化対策基本法案にある地球温暖化対策のための税の導入が、所得階層別家計・地域別家計にどのような影響を与えるかを明らかにした。

### Calibration と Estimation

経済モデルでは、パラメータをどのように決定するか重要となる。CGE モデルは Calibration、計量経済モデルは Estimation によるが、両者は密接な関係にある。本年度は、家計のエネルギー利用の実態調査を踏まえて、エネルギー設備の保有実態とその利用状況との関係について Estimation を行い、CGE モデルで使われている Calibration 値との整合性を図った。

### 2.2.3 平成 23 年度

#### 資源・環境・技術を重視した CGE モデルの構築

内生的技術進歩を取り入れるために、研究開発投資とその蓄積である知識ストックを CGE モデルに導入し、研究開発投資が経済成長に寄与することを明らかにした。

平成 23 年 3 月 11 日の東日本大震災と福島第一原子力発電所事故は、我が国のエネルギー・環境政策を根底から揺さぶるものであるが、構築された Forward Looking 型 CGE モデルを用いて、2020 年までの中期的視野と 2050 年までの長期的視野のエネルギー・環境政策を評価している。放射能汚染の深刻さから原子力発電量の低下はやむを得ないことであるが、再生可能性エネルギーによる代替はすぐには難しく、火力による代替となる。原子力発電所の再稼働が遅れることで、二酸化炭素排出の増加だけでなく、化石燃料の輸入増による国富の流出による GDP 損失が避けられないことが明らかにされた。

しかし、中期的視野では原子力発電は必要であるが、長期的視野からすれば、再生可能性エネルギーによる代替も十分に可能となることを示している。ただし、二酸化炭素排出という視点からすれば、二酸化炭素排出に価格をつけることで、低炭素社会を実現することが必要となる。その場合、二酸化炭素回収・貯留技術のような新たな技術の出現が必要不可欠となることが示している。

#### 資源・環境・技術を重視した地域 CGE モデルの構築

昨年構築された JCER 地域 CGE モデルを原子力発電全停止の影響を分析できるように拡張した。原子力発電の停止は火力発電への依存度が高い地域にとっては影響が小さいが、CO<sub>2</sub>削減制約は火力発電の比率が高い地域で影響が大きい。今回の試算によって、CO<sub>2</sub>削減制約のみによる影響は、日本全体の実質国内総生産（GDP）を基準均衡（BAU）対比で 1.66%減少させる。地域別では、影響の強い中国地方で 2.96%の減少、中部地方で 1.99%の減少となる。原子力発電の全停止は日本全体の GDP を 0.40%押し下げるという結果が得られた。地域別では、一番影響の大きい東北地方で 1.26%の減少、一番影響の少ない中部地方では 0.01%の増加となっている。また、原子力発電停止と排出制約の両方を考慮すると日本全体の GDP を 3.96%押し下げる。原子力発電比率が高く電力部門の影響が大きく出やすい東北地方では 5.30%の減少、火力発電比率が高くエネルギー多消費型産業の比率が高い中国地方では 5.79%の減少となった。エネルギー政策、温暖化対策は地域の特色の違いによってその影響が異なることが確認された。原子力政策の見直しがせまられている中の温暖化対策を議論する際には、地域への影響という視点が重要という結論が得られた。

## 資源・環境・技術を重視した計量経済モデルの構築

本研究で構築されたマクロ計量モデルは、エネルギー・バランス表をベースに、現行の主なエネルギー・環境課税を組み込んだところに特長がある。当初は一次エネルギーベースのみだったエネルギー利用の把握を、転換部門と最終消費（産業、民生、運輸）部門にも広げ、合わせて関連税制を現行の石油石炭税のような川上（輸入）段階だけでなく、ガソリン・軽油課税や電源促進税のような川中・川下段階についても織り込んだ。CO<sub>2</sub>排出量は、部門別にエネルギー・バランス表とインベトリオフィス公表値を対応付け、モデル内に組み込んだ。原子力発電所の稼働停止や再生エネルギーの全量買取制度など、足元で生じている変化についても、部分的な評価ができるよう工夫を加えた。

さらに、2030年までのCO<sub>2</sub>排出量とエネルギー需要見通し（ベースライン）を設定した上で、炭素税と既存税でエネルギー需要などに及ぼす影響がどう異なるか、原発の停止が火力発電への代替を通じ電力料金の引き上げにつながる場合、エネルギー需要にどのような影響が及ぶか、などを試算した。原発停止は同時に太陽光・風力など再生エネルギーの導入を促す。これらの導入量を外生的に設定した上で、フィードインタリフを通じて既存の電気料金が上昇する側面についてもモデルに織り込んだ。

## 資源・環境・技術を重視した産業連関モデルの構築

産業連関分析を用いて、環境政策の政策評価を行っている。第一に、2009年末に発表された温室効果ガス25%削減を成長のエンジンとみなした「新成長戦略」（日本版グリーンニューディール）の経済効果を試算した。第二に、化石燃料消費に対して温暖化対策税が炭素含有量に比例する形で課税された場合（炭素税）、各家計にはどの程度の負担になるかを、所得階層別・地域別に推計した。第三に、産業連関分析の基本は、生産技術は産業ごとに固定的であると想定し、需要量が供給量が規定するフレームワークであるが、そういう制約を緩和する試みもおこなっている。電力を例にとり、発電技術（電源）が変化したときの、経済全体での環境負荷の大きさを推定する方法を示し、さらに、東日本大震災で起こったような供給制約がある場合の影響を分析する方法を提案している。

## Calibration と Estimation

EU-KLEM データを用い、本研究における CGE モデルの生産技術構造を表すための多重 CES 型費用関数を中心に再推定を実施し、エネルギーと資本の代替弾力性、エネルギー・資本結合物と労働との代替弾力性パラメータを得た。得られたパラメータは、CGE モデルにおいて利用されている。

## 2.3 研究会開催と対外的発表の実施状況

### 2.3.1 研究会開催状況

#### 平成 21 年度

##### 環境経済モデル研究会（事前会合）

日時 平成 21 年 10 月 7 日（水）18:00～20:00  
場所 日本経済研究センター会議室  
講演 村田晃伸、産業技術総合研究所  
エネルギー技術情報データベース：MARKAL モデルを中心として

##### 第 1 回 環境経済モデル研究会

日時 平成 21 年 10 月 24 日（土）14:00～17:00  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
議題 経済モデル研究プロジェクトの課題と進め方  
研究分担者の研究方針・研究計画について  
その他

##### 第 2 回 環境経済モデル研究会

日時 平成 21 年 11 月 11 日（水）18:00～20:00  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
講演 日比野 剛、みずほ情報総研  
AIM/Enduse モデル（技術選択モデル）とデータベース

##### 第 3 回 環境経済モデル研究会

日時 平成 21 年 11 月 28 日（土）14:00～17:00  
場所 日本経済新聞社ビル 7 階会議室  
報告 藤川清史  
産業連関モデル分析

##### 第 4 回 環境経済モデル研究会

日時 平成 21 年 12 月 3 日（木）18:00～20:00  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
講演 伊藤浩吉、日本エネルギー経済研究所  
日本エネルギー経済研究所におけるモデル分析

第5回 環境経済モデル研究会

日時 平成21年12月26日(土) 14:00~17:00  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
報告 川崎泰史、武田史郎  
JCER-CGE モデルによる温暖化対策の分析

第6回 環境経済モデル研究会

日時 平成22年1月15日(金) 18:00~20:00  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
報告 武田史郎、川崎泰史  
JCER-CGE モデルにおける技術の扱いについて

第7回 環境経済モデル研究会

日時 平成22年1月30日(土) 14:00~17:00  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
報告 岡川 梓  
投入要素間の代替弾力性のパネル推定  
報告 猿山純夫  
マクロモデルによる環境と経済の分析  
報告 伴 金美、武田史郎、川崎泰史  
Forward Looking 型動学 CGE モデルによる試算  
議題 成果報告書目次(案)について

第8回 環境経済モデル研究会

日時 平成22年2月11日(木) 14:00~17:00  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
報告 鷺田豊明  
温暖化被害評価の経済モデルへの組み込み  
報告 伴 金美  
Forward Looking 型 CGE モデルによる政策評価

第9回 環境経済モデル研究会

日時 平成22年2月27日(土) 14:00~17:00  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
議題 研究成果報告書の取りまとめについて

## CGEモデル・産業連関モデル・計量経済モデルの使い方について

### 平成22年度研究会

#### 第1回 環境経済モデル研究会

日時 平成22年5月22日(土) 14:00~17:00  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
議題 昨年度研究成果について審査・評価会からのコメントについて  
今年度の研究の進め方について  
今年度の研究計画について  
小沢環境大臣試案(3/27)と衆議院環境委員会での配付資料(4/27)について

#### 第2回 環境経済モデル研究会

日時 平成22年6月11日(金) 18:00~20:00  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
講演 江守正多、国立環境研究所  
いわゆる温暖化懐疑論の話

#### 第3回 環境経済モデル研究会

日時 平成22年6月19日(土) 14:00~17:00  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
報告 武田史郎  
CGEモデルによる排出量取引国際リンクの分析  
報告 川崎泰史  
GTAP7による試算について  
報告 藤川清史  
排出量取引の定量分析

#### 第4回 環境経済モデル研究会

日時 平成22年7月7日(水) 18:00~20:00  
場所 日本経済新聞本社ビル 7F 会議室  
講演 秋元 圭吾、(財)地球環境産業技術研究機構  
RITEのモデル分析および中期目標一分析に対する論点とそれに対する  
見解一

#### 第5回 環境経済モデル研究会

日時 平成 22 年 7 月 31 日 (土) 14 : 00 ~ 17 : 00  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
報告 伴 金美  
家計のエネルギー需要—マイクロデータによる分析  
報告 川崎泰史  
エネルギー課税と CGE モデル

#### 第 6 回 環境経済モデル研究会

日時 平成 22 年 8 月 6 日 (金) 18:00~20:00  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
講演 脇岡靖明、国立環境研究所  
地球温暖化「日本への影響」

#### 第 7 回 環境経済モデル研究会

日時 平成 22 年 9 月 14 日 (火) 18:00~20:00  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
講演 武藤慎一、山梨大学  
動学的応用一般均衡モデルによる日本の自動車環境政策評価

#### 第 8 回 環境経済モデル研究会

日時 平成 22 年 9 月 25 日 (土) 14 : 00 ~ 17 : 00  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
報告 岡川梓  
ヘドニック・アプローチによる洪水被害額の計測

#### 第 9 回 環境経済モデル研究会

日時 平成 22 年 10 月 8 日 (金) 18:00~20:00  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
講演 濱崎博、富士通総研経済研究所  
温室効果ガス 25%削減と企業競争力維持の両立は可能か？

#### 第 10 回 環境経済モデル研究会

日時 平成 22 年 11 月 9 日 (火) 18:00~20:00  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
報告 澤田康幸、東京大学  
自然災害・人的災害と家計行動

第 11 回 環境経済モデル研究会

日時 平成 22 年 11 月 27 日 (土) 14 : 00 ~ 17 : 00  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
報告 武田史郎  
内生的な技術進歩を考慮した CGE モデル  
報告 白井大地  
地域間 CGE モデルによる温暖化対策の影響分析  
報告 伴 金美  
CO2 削減の経済的影響—世界モデルによる試算

第 12 回 環境経済モデル研究会

日時 平成 22 年 12 月 17 日 (金) 18:00 ~ 20:00  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
講演 大橋弘、東京大学  
太陽光大量導入にかかわる経済学的な課題

第 13 回 環境経済モデル研究会

日時 平成 22 年 12 月 25 日 (土) 14 : :00 ~ 17 : 00  
場所 日本経済新聞社 7F 会議室  
報告 藤川清史  
炭素税の所得階層別・地域別家計の負担  
報告 藤川清史  
シナリオ付レオンチェフ分析  
報告 猿山純夫  
既存エネルギー税を織り込んだマクロモデルの試み

第 14 回 環境経済モデル研究会

日時 平成 23 年 1 月 29 日 (土) 14 : :00 ~ 17 : 00  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
報告 岡川梓  
家計エネルギー需要の要因分析  
報告 伴金美  
2050 年を視野に入れた日本経済の動学的 CGE モデル

第 15 回 環境経済モデル研究会



日時 平成 23 年 2 月 15 日 (土) 14 : :00~17 : 00  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
報告 Christoph Böhringer, Oldenburg University.  
Combining bottom-up and top-down for integrated energy policy  
assessment

## 平成 23 年度

### 第 1 回 環境経済モデル研究会

日時 平成 23 年 6 月 25 日 (土) 14:00~17:00  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
報告 山崎雅人、独立法人産業総合技術研究所  
東日本大震災および関東地方における電力制約の経済分析：地域応用  
一般均衡モデルによるシミュレーション分析  
報告 伴 金美  
エネルギーシナリオと日本経済

### 第 2 回 環境経済モデル研究会

日時 平成 23 年 9 月 12 日 (月) 18:00~20:00  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
講演 山地憲治、財団法人地球環境産業技術研究機構研究所  
エネルギー政策の論理と心理

### 第 3 回 環境経済モデル研究会

日時 平成 23 年 10 月 1 日 (土) 12:30~16:30  
場所 四国電力伊方ビジターズハウス多目的ホール  
報告 伴 金美  
エネルギー・環境政策  
報告 舘祐太  
原子力発電全停止による地域・産業別影響の試算  
報告 蓮見亮  
JCER 環境経済マクロモデル予測値改訂  
報告 藤川清史  
産業連関モデルと東日本大震災による供給制約  
報告 岡川梓  
寒冷地家計のエネルギー需要

報告 武田史郎  
R&D 投資を導入した CGE モデルによる温暖化対策の評価

第 4 回 環境経済モデル研究会

日時 平成 23 年 10 月 14 日 (金) 18:00~20:00  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
講演 鈴木達二郎、原子力委員会  
福島事故の教訓と今後のエネルギー・原子力政策について

第 5 回 環境経済モデル研究会

日時 平成 23 年 11 月 9 日 (水) 18:00~20:00  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
講演 戒能一成・独立行政法人・産業経済研究所  
福島第一事故後のエネルギー・環境政策について

第 6 回 環境経済モデル研究会

日時 平成 23 年 11 月 26 日 (土) 14:00~17:00  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
講演 田中一成、資源エネルギー庁  
エネルギー政策における最近の動き  
報告 伴 金美  
2050 年までのエネルギー・環境シナリオ

第 7 回 環境経済モデル研究会

日時 平成 23 年 12 月 2 日 (金) 18:30~20:30  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
講演 飯田哲也、環境エネルギー政策研究所  
3.11 後のエネルギー戦略の方向性

第 8 回 環境経済モデル研究会

日時 平成 23 年 12 月 26 日 (月) 14:00~17:00  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
報告 武田史郎  
R&D 投資を導入した CGE モデルによる温暖化対策の評価  
報告 藤川清史  
産業連関モデルによる東日本大震災による供給制約

#### 第9回 環境経済モデル研究会

日時 平成24年1月6日(金) 18:00~20:00  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
講演 朝野賢司、電力中央研究所  
再生可能エネルギーの可能性と限界

#### 第10回 環境経済モデル研究会

日時 平成24年1月28日(土) 14:00~17:00  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
報告 岡川 梓  
報告 猿山純夫、佐倉 碧

#### 第11回環境経済モデル研究会

日時 平成24年2月3日(金) 18:00~20:00  
場所 日本経済新聞社ビル 7F 会議室  
講演 横山明彦、東京大学  
スマートグリッドの現状と課題

### 2.3.2 対外発表の状況

#### 論文

- (1). 武田史郎、川崎泰史、落合勝昭、伴金美、日本経済研究センターCGEモデルによるCO<sub>2</sub>削減中期目標の分析、環境経済・政策研究 3、31-42, 2010年1月.
- (2). 伴金美、経済モデルによる環境政策の影響評価、季刊環境研究 161号、135-140, 2010年5月.

#### ディスカッションペーパー

- (1). 武田史郎・川崎泰史・落合勝昭・伴金美、日本経済研究センターCGEモデルによるCO<sub>2</sub>削減策の分析―「中期目標検討委員会」で用いたモデルと試算の解説、日本経済研究センター Discussion Paper 121、2009年9月.
- (2). 川崎泰史・落合勝昭・武田史郎・伴金美、日本経済研究センターCGEモデルによ

る CO2 削減策の分析—「温暖化タスクフォース」で用いたモデルに関する技術ノ  
ート、日本経済研究センター Discussion Paper 126、2009 年 12 月。

- (3). 猿山純夫・蓮見亮・佐倉環、JCER 環境経済マクロモデルによる炭素税課税効果の  
分析、日本経済研究センター Discussion Paper 127、2010 年 4 月。
- (4). 伴 金美、CO2 削減における日本と中国の役割:世界モデルによる分析、内閣府経  
済社会総合研究所 Discussion Paper Series 266、2011 年 6 月
- (5). 舘祐太・落合勝昭、原子力発電全停止による地域・産業別影響の試算—火力代替  
可能な中部・中国では影響軽微も、東北地方では打撃大きく、日本経済研究セン  
ター Discussion Paper 132、2011 年 9 月

#### 雑誌等への寄稿

- (1). 伴 金美、**経済モデルから見た低炭素社会**  
第 1 回経済モデルとは、地球温暖化 平成 23 年 5 月号、38-39.  
第 2 回技術選択、地球温暖化 2011 年 7 月号、46-47.  
第 3 回プライスメカニズム、地球温暖化 平成 23 年 9 月号、46-47.  
第 4 回制約のある経済社会、地球温暖化平成 23 年 11 月号、46-47.  
第 5 回動学的資源配分、地球温暖化平成 24 年 1 月号、54-55.  
第 6 回エネルギー・環境シナリオ、地球温暖化平成 24 年 3 月号、50-51.
- (2). 小林辰男、落合勝昭、舘祐太、電力不足による産業構造変化、マイナス影響を緩  
和 —経常赤字避け、機械産業へシフト、日本経済研究センターレポート、2011  
年 9 月 26 日

#### 学会・セミナー等での報告

- (1). 伴 金美、地球温暖化対策に伴う雇用・新市場について地球温暖化対策に係る中  
長期ロードマップ検討会公開シンポジウム、国連大学ウ・タント国際会議場、平  
成 22 年 3 月 31 日
- (2). 伴 金美、日本の中期目標：25%削減の経済・産業への影響、新環境エネルギー科  
学創成特別部門セミナー、東京大学先端科学技術研究センター、平成 22 年 5 月 28  
日
- (3). 伴 金美、中長期ロードマップにおける経済モデル分析 25%削減の経済産業への

- 影響、クライメイトデザイン研究会、日本エネルギー経済研究所、平成 22 年 9 月 7 日
- (4). 伴 金美、Forward Looking 型 CGE モデル:25%削減の経済・産業への影響環境、経済・政策学会 2010 年大会、名古屋大学、平成 22 年 9 月 11 日
  - (5). 猿山純夫・落合勝昭、日経マクロモデルによる炭素税の分析環境、経済・政策学会 2010 年大会、名古屋大学、平成 22 年 9 月 11 日
  - (6). 伴 金美、地球環境問題における日本と中国の役割、国際東アジア研究センター、平成 23 年 5 月 18 日
  - (7). 伴 金美、グリーンイノベーションは経済成長をもたらすか、エネルギー政策懇話会、資源・エネルギー学会、平成 23 年 7 月 15 日
  - (8). 伴 金美、エネルギー・環境経済モデルで重要となる視点、豊かな持続社会構築のためのエネルギーモデルワークショップ、科学技術振興機構・研究開発戦略センター、平成 23 年 10 月 21 日
  - (9). 伴 金美、日本のエネルギー・環境政策：中長期的視点から、マクロモデル研究会、日本経済研究センター、平成 23 年 11 月 12 日

#### 審議会等への提出資料

- (1). **地球温暖化問題に関する閣僚委員会 タスクフォース会合**
  - 第 1 回平成 21 年 10 月 23 日  
武田史郎、川崎泰史、落合勝昭、伴金美、資料 4-4：日本経済研究センターCGE モデルによる CO2 削減策の分析－「中期目標検討委員会」で用いたモデルと試算の解説－
  - 第 2 回平成 21 年 10 月 27 日  
日本経済研究センター、資料 1-4：既存モデル分析と今後の分析対象について
  - 第 3 回平成 21 年 11 月 2 日  
日本経済研究センター、資料 2-4：政策シナリオの策定について
  - 第 4 回平成 21 年 11 月 16 日  
日本経済研究センター、資料 1-4：日本経済研究センターの一般均衡モデルによる再試算
  - 第 5 回平成 21 年 11 月 19 日  
日本経済研究センター、資料 2-4：日本経済研究センターの一般均衡モデルによる再試算（改訂版）
- (2). **環境省 地球温暖化対策に係る中長期ロードマップ検討会**
  - 第 5 回全体検討会平成 22 年 3 月 26 日

伴 金美、資料 4：中長期ロードマップに基づく二酸化炭素排出量削減の経済分析

藤川清史、参考資料 2：温暖化対策(グリーン投資)の経済効果

(3). **第 174 国会 衆議院 環境委員会**

平成 22 年 4 月 27 日

伴 金美、中長期ロードマップに基づく二酸化炭素排出量削減の経済分析

(4). **中央環境審議会 地球環境部会 中長期ロードマップ小委員会**

第 9 回平成 22 年 7 月 15 日

伴 金美、資料 2：日本の中期目標 25%削減の経済・産業への影響

藤川清史、資料 4：温暖化対策(グリーン投資)の経済効果

猿山純夫、資料 5：マクロモデルによる炭素税の分析

第 10 回平成 22 年 7 月 29 日

伴 金美、参考資料 1：平成 22 年 7 月 15 日ロードマップ小委員会での質問に対する回答

第 15 回平成 22 年 10 月 29 日

伴 金美、資料 3：中長期ロードマップ経済試算

(5). **中央環境審議会 地球環境部会 2013 年以降の対策・施策に関する検討小委員会**

第 14 回平成 24 年 5 月 9 日（予定）

伴 金美、複数のシナリオ選択肢の評価（仮題）

## II 研究の成果及び進捗状況





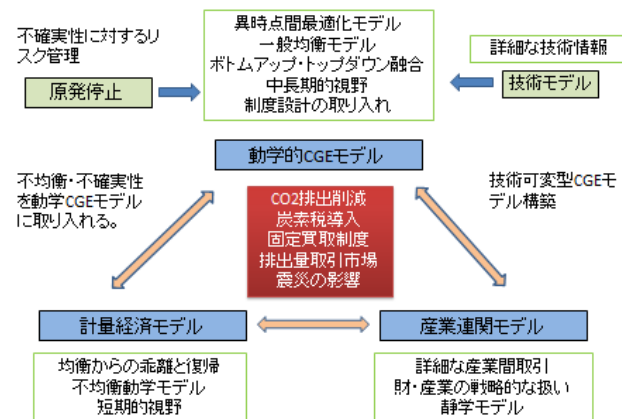
## 要約

### 環境政策を評価するための経済モデル

本研究の目的は、環境政策が経済に与える影響を評価するための経済モデルの構築である。この目的に沿った経済モデルの代表的なものは、経済活動によって発生する二酸化炭素排出削減を目的とする環境政策の経済的影響評価モデルであり、IPCCの数次にわたる評価報告書にも取り上げられている。そこで、経済モデルのあり方と役割について考える。

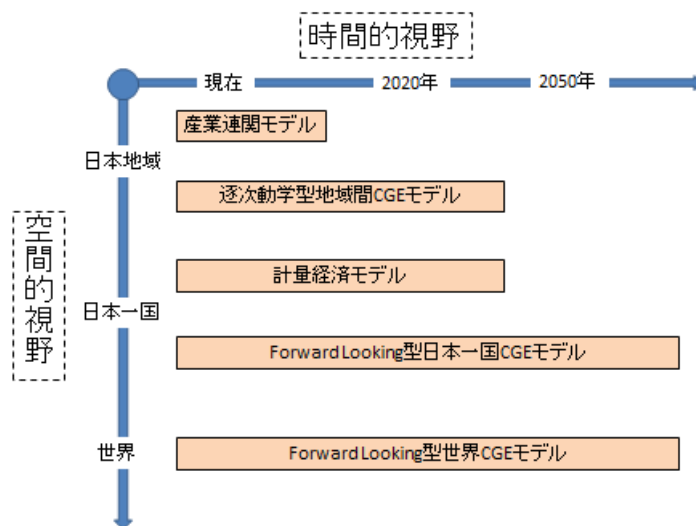
二酸化炭素削減の影響評価を行う経済モデルの類型としては、動学的最適化モデル・動学的CGE(Computable General Equilibrium)モデル・計量経済モデル・産業連関モデルが知られている。しかし、2007年に公表されたIPCCの第四次評価報告書で引用されているモデルの多くが、動学的最適化モデルか動学的CGEモデルであり、計量経済モデルはEM3Gの一つに限られる。なお、EM3Gは、技術選択モデルを別途持っており、本研究と同様にトップダウン型経済モデルとボトムアップ型技術選択モデルのハイブリッド型モデルとなっている。

本研究では、トップダウン型技術選択モデルとボトムアップ型技術選択モデルを融合した動学的CGEモデルを中心に据え、伝統的な計量経済モデルと産業連関モデルで補いながら複合的なモデル群で環境政策の経済に与える影響を評価している。各モデルの特徴と関連を図示すれば以下の通りである。



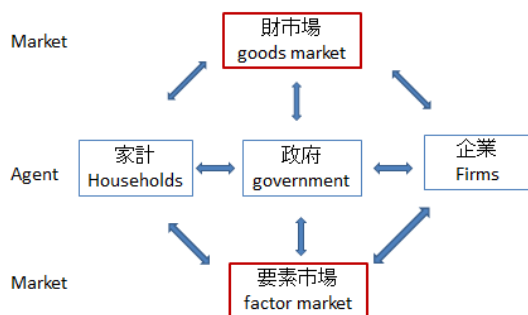
複合的経済モデル群を構築した理由は、環境政策を評価するのに重要な役割を果たす時間的視野と空間的視野の多様性である。時間的視野では、長期の動学的経路への影響だけでなく、短期的な影響も政策評価において重要となる。さらに、空間的視野では、地域経済・日本経済・世界経済に対する様々な影響評価が求められる。本研究では、時間的視野と空間的視野を統合した単一のモデルではなく、政策評価目的に応じた複数のモデル群を

構築することで、多面的な要求に応えることができることを示す。本研究で構築した時間的視野と空間的視野に応じた経済モデルは次の通りである。



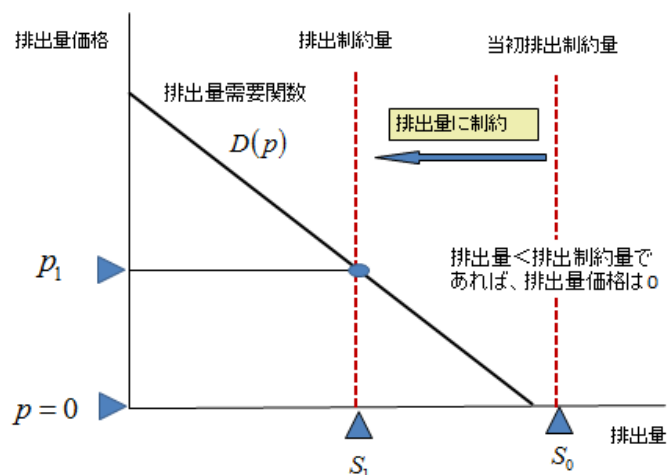
### 環境政策を評価するための CGE モデル

環境政策を評価するための経済モデルとして、本研究で構築された CGE(Computable General Equilibrium)モデルについてまとめている。CGE モデルは、家計・企業・政府などの多くの経済主体が財市場や要素市場など数多くの市場を通じて相互に取引する経済社会を表現する社会会計表をベースとしており、社会会計表の各セルの数値を一般均衡の枠組みで構築された方程式体系により再現しようとするものである。環境政策が経済社会全体に大きく影響する可能性の高いことを考慮すれば、環境政策を評価する経済モデルとして一般均衡の枠組みでモデルを構築することが重要となるが、CGE モデルはそれに適うものである。



環境政策の影響を評価する場合、経済モデルは環境政策の変更に対して頑健性の高いこ

とが求められる。環境政策の変更によって影響されないモデル構築のために、CGE モデルは、生産関数・費用関数・効用関数とそれから導出される需要関数・供給関数を一対一に対応させることで頑健性を確保している。それにより、例えば、次の排出量取引市場のように、現に存在しないが、創設することで、どのような取引が行われ、経済社会にどのような影響を与えるかを事前に評価することができる。



さらに、本研究で構築される CGE モデルは、現に採択されている技術だけでなく、採択される可能性のある技術についても明示して取り入れるボトムアップ型技術選択も取り入れたハイブリッド型技術選択を基本としており、新たな低炭素技術の採択可能性についても評価することが可能となっている。

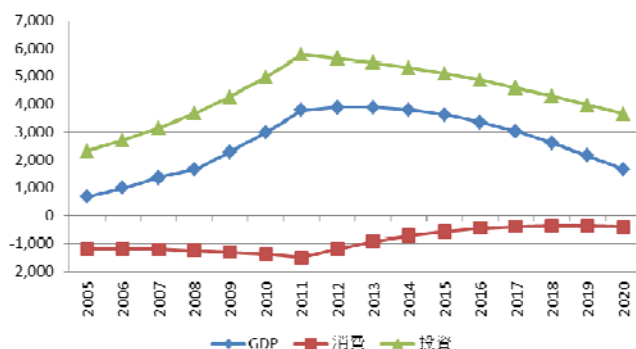
最後に、本研究で構築された CGE モデルは Forward Looking 型の動的的最適成長モデルに基づいており、家計や企業が将来を見越して行動する可能性を評価することができる。例えば、温暖化防止を実現するための環境政策は、温暖化防止のための投資費用が負担となるが、温暖化防止のための投資とそれを賄う貯蓄は、Forward Looking で行動する家計や企業が決めることから、環境政策も将来を見据えた家計や企業の行動に影響を与えることが必要となる。本研究で構築された CGE モデルでは、温暖化防止のために低炭素化を促進する環境政策についても、将来の期待に影響することで政策効果が発揮できるかどうかについて事前に評価することができる。

## 日本 CGE モデルによる環境政策評価

環境政策の様々な課題に対応するために、日本経済の Forward Looking 型動的 CGE モデルを構築し、4 つの政策課題への対応についてまとめている。

第一の政策課題は、温暖化防止のため中期目標である 2020 年における二酸化炭素排出量

を 1990 年比 25%削減することが、日本経済にプラスに影響する可能性を明らかにすることである。次図は一つの可能を示している。



縦軸は、削減しない場合と比較して、消費・投資・GDP がどのように変化するかを 2005 年価格 10 億円で示している。静学モデルの視点からすれば、排出制約は経済にとってマイナスとなるが、動学モデルの視点からすれば、25%削減目標が新たな投資を生み出す可能性がある。温暖化防止のための新たな投資は費用であるが、それが将来の豊かな果実となるということを家計や企業が知っており、消費を減らしてでも投資を増加させ、それが成長を加速させる可能性のあることを Forward Looking 型動学的 CGE モデルを用いて示している。

第二の政策課題は、環境政策は具体的な施策の集まりであるが、それを個別またはパッケージとして評価できるモデルである必要がある。本章では、地球温暖化対策基本法に盛り込まれた施策である、環境税・全量固定買取制度・排出量取引制度導入が経済に与える影響について評価をしている。そこでは、特定業種に対する非課税措置、買い取り価格の設定、排出量取引に参加する業種区分について、法案策定の一助となる分析をしている。

第三の政策課題は、福島第一原子力発電所事故による原子力発電所の再稼働の問題について、2020 年までの中期的視野で分析している。放射能汚染の状況を見れば、原子力発電量の減少はやむを得ないことであるが、電力不足という問題は避けられない。また、再生可能エネルギーによる代替もすぐには難しく、火力による代替となる。その結果、二酸化炭素排出の増加だけでなく、化石燃料の輸入増による国富の流出で GDP 損失が避けられない。

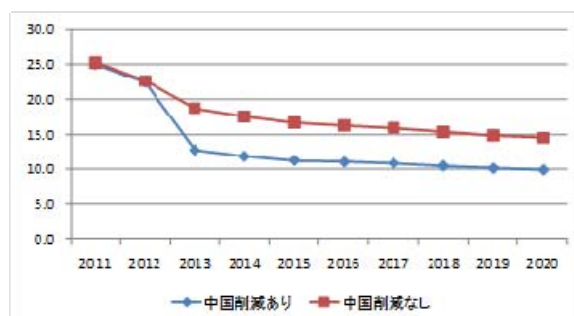
第四の政策課題は、長期的なエネルギー・環境政策のあり方である。試算結果によれば、中期的な視野で見れば原子力発電は必要不可欠であるが、長期的な視野からすれば、再生可能エネルギーによる代替も十分に可能となることが示されている。ただ、二酸化炭素排出という視点からすれば、二酸化炭素排出に価格付けを行い、低炭素社会を実現することが必要となるが、その場合、二酸化炭素回収・貯留技術のような新たな技術の出現にも期待がかかることが明らかにされる。

## 世界 CGE モデルによる環境政策評価

2009年12月に開催されたCOP15におけるコペンハーゲン合意に基づいて、各国は2020年までの削減目標を国連気候変動枠組条約事務局に報告する義務を負った。それに対して日本政府は1990年比25%削減という目標を示した。しかし、意欲的な目標に対しては懐疑論が強い。特に、日本の産業の国際競争力への悪影響が懸念されている。

第一の分析では、コペンハーゲン合意に基づいて各国が示した2020年までの削減目標を履行したとき、各国の経済に対してどのような影響を与えるかについて、動学的国際多地域CGEモデルを構築して分析した。明らかになったのは次の点である。

- (1). 中国を含めた主要排出国が目標を達成すれば、世界全体のCO<sub>2</sub>排出量は3.6%減少し、懸念されている炭素リーケージは9.9%にとどまる。しかし、中国が目標を持たない場合、CO<sub>2</sub>排出量は3.4%減にとどまり、炭素リーケージは14.5%となる。その意味で、コペンハーゲン合意における中国の役割は大きい。下図の縦軸はリーケージの大きさを%で表したものである。



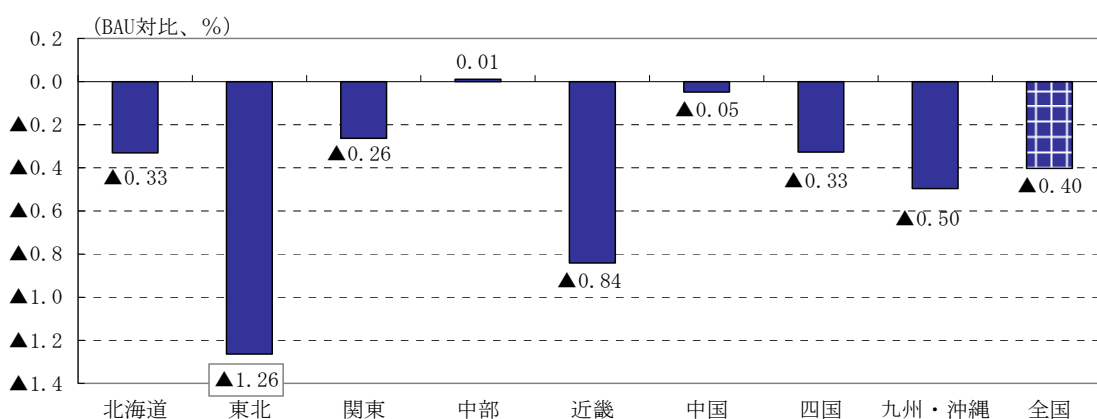
- (2). コペンハーゲン合意がGDPに与える影響は、BAUと比較し、日本マイナス1.4%、米・EUマイナス0.3%に対して、中国はプラス0.3%となる。
- (3). 日本の鉄鋼業は、BAUと比較し、鉄鋼業生産は11%減で強い影響を受けるが、機械機器・輸送機器生産への影響は軽微であり、輸出も増加する。さらに、排出量収入を資本所得減税に充当すれば、GDPロスをマイナス0.6%に軽減することができる。

第二の分析では、日本の国内での削減を15%にとどめ、残りの10%を日本と中国の二国間クレジットで削減し、両国が排出量収入の一部を資本所得減税に充当すれば、日本のGDPロスはさらに小さくなり、また中国のGDPはさらに増加する。その意味において、日中間の環境分野での協力関係の強化は、両国にとって望ましい結果をもたらすと言える。

## 地域間 CGE モデルによる環境政策評価

地域間 CGE モデルを構築する目的は、地域ごとに産業構造や電源構成が異なることから、一国を対象とする CGE モデルでは得られない地域別の CO<sub>2</sub> 排出削減制約の影響評価を行うことである。さらに、東日本大震災とそれに続く福島第 1 原子力発電所での事故を受け、原子力発電所の再稼動が難しい現状において、地域ごとに異なる原子力発電全停止の影響を CO<sub>2</sub> 排出の観点も踏まえて試算を行うことが必要となっている。そこで、JCER 地域 CGE モデルを原子力発電全停止の影響を分析できるように拡張し、1) CO<sub>2</sub> 排出の削減制約（1990 年比 25%削減）、2) 原子力発電全停止、3) 原子力発電が停止した状態での CO<sub>2</sub> 削減制約、の 3 つのシミュレーションを行った。原子力発電全停止のシミュレーションに際しては、日本経済研究センターが 2011 年 6 月に試算・公表した「第 37 回改訂中期経済予測」における電力会社ごとの電力不足率を基に発電電力量の調整を行った。

分析結果によれば、原子力発電の停止は火力発電への依存度が高い地域にとっては影響が小さいが、CO<sub>2</sub> 削減制約は火力発電の比率が高い地域で影響が大きい。今回の試算によって、CO<sub>2</sub> 削減制約のみによる影響は、日本全体の実質国内総生産（GDP）を基準均衡（BAU）対比で 1.66%減少させる。地域別では、影響の強い中国地方で 2.96%の減少、中部地方で 1.99%の減少となる。原子力発電の全停止は日本全体の GDP を 0.40%押し下げるという結果が得られた。地域別では、下図に示されるように一番影響の大きい東北地方で 1.26%の減少、それに対して中部地方では 0.01%の増加となっている。また、原子力発電停止と排出制約の両方を考慮すると日本全体の GDP を 3.96%押し下げる。原子力発電比率が高く電力部門の影響が大きく出やすい東北地方では 5.30%の減少、火力発電比率が高くエネルギー多消費型産業の比率が高い中国地方では 5.79%の減少となった。

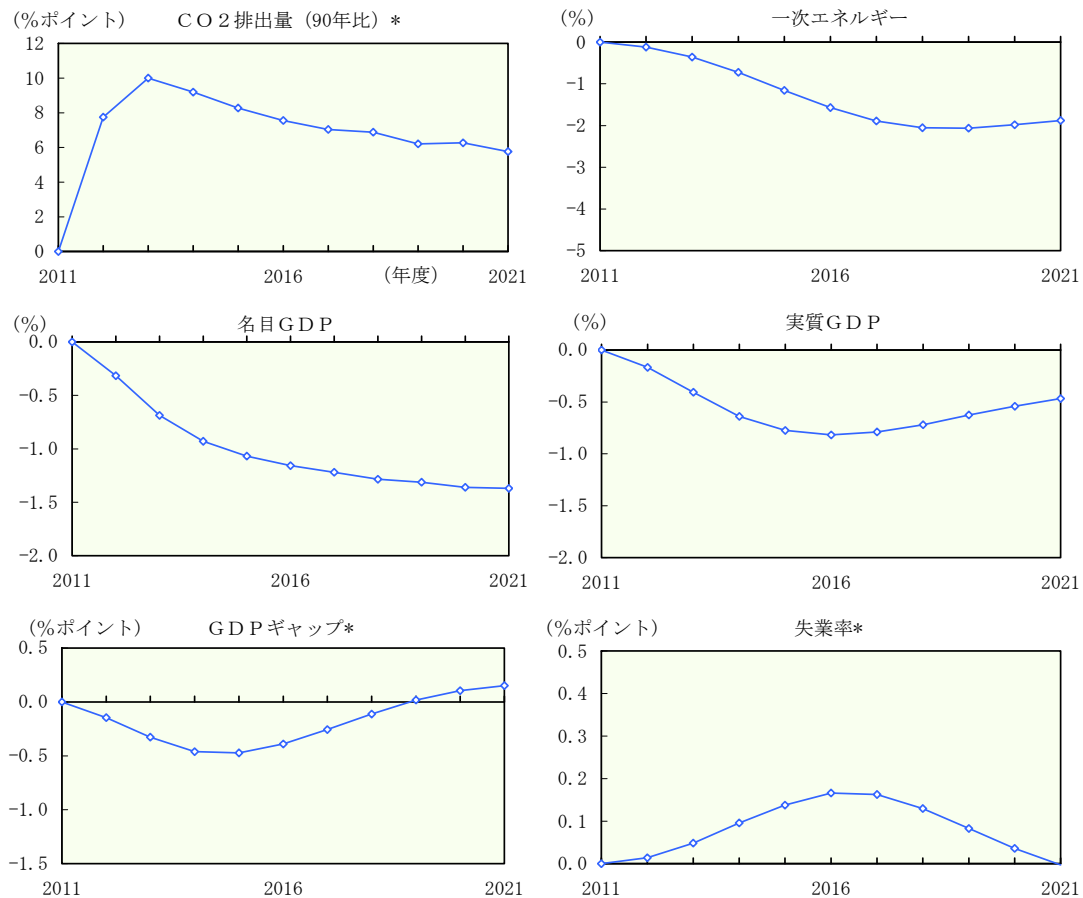


分析結果から、エネルギー政策、温暖化対策は地域の特色の違いによってその影響が異なることが確認された。原子力政策の見直しがせまられている中での温暖化対策を議論する際には、地域への影響という視点が重要という結果となった。

## 環境政策を評価するためのマクロ計量経済モデル

エネルギー・バランス表をベースに、現行の主なエネルギー・環境課税を組み込んだマクロ計量経済モデルを構築した。エネルギー利用の把握についても、転換部門と最終消費（産業、民生、運輸）部門にも拡張した。さらに、関連税制を現行の石油石炭税のような川上（輸入）段階だけでなく、ガソリン・軽油課税や電源促進税のような川中・川下段階についても織り込んだ。CO<sub>2</sub>排出量は、部門別にエネルギー・バランス表とインベトリオフィス公表値を対応付けることでモデルに組み込んだ。原子力発電所の稼働停止や再生エネルギーの全量買取制度など、足元で生じている変化についても評価ができるよう改良した。

シミュレーションでは、2030年までのCO<sub>2</sub>排出量とエネルギー需要見通し（ベースライン）を設定した上で、炭素税と既存税でエネルギー需要などに及ぼす影響がどう異なるか、原発の停止が火力発電への代替を通じ電力料金の引き上げにつながる場合、エネルギー需要にどのような影響が及ぶかについて試算した。図は、原発停止が二酸化炭素排出量・一次エネルギー供給・マクロ経済に与える影響を示している。



## 環境政策を評価するための産業連関モデル

産業連関表は、理論モデルであった一般均衡モデルに数値例を与えるべく考案された統計表である。レオンチェフがアメリカ経済を対象にした1919年表が最初の表とされており、100年余りの歴史を持つ。今日では、計算可能な一般均衡モデル(CGEモデル)の開発のための重要な統計の1つになっている。産業連関分析は、広義には、産業連関表を用いた分析全般を指すが、狭義には生産構造に関して固定係数の仮定を置いた分析手法を指す。生産構造の固定係数の仮定により、モデルが線形になり、同時に数量決定と価格決定が分離されることで、産業間や国際間に相互依存関係を組み込んでも、政策効果の分析がきわめて簡単になるという特徴がある。モデルが線形であるという点は、経済学理論面の要請には完全には応えられていないのだが、理解しやすさと計算の簡便性という点では、説明責任が求められる政策効果の分析には適している側面もある。

そうした産業連関分析を用いて、環境政策の影響評価を行った。第一は、民主党政権が2009年末に発表した温室効果ガス25%削減を成長のエンジンとみなした「新成長戦略」(日本版グリーンニューディール)の経済効果を試算している。第二は、化石燃料消費に関して、温暖化対策税が炭素含有量に比例する形で課税された場合(炭素税)、各家計にはどの程度の負担になるかを所得階層別・地域別に推計している。

最後に、産業連関分析では生産技術は産業ごとに固定的であると想定し、需要量が供給量を決める枠組みであるが、そのような制約を緩和する試みもおこなっている。第一に、発電技術(電源)が変化したときの、経済全体での環境負荷の大きさを推定する方法を提案する。第二に、東日本大震災で起こったような供給制約がある場合の影響を分析する方法を提案している。



## 1章 環境政策を評価するための経済モデル

### 要旨

本研究の目的は、環境政策が経済に与える影響を評価するための経済モデルの構築である。この目的に沿った経済モデルの代表的なものは、経済活動によって発生する二酸化炭素排出削減を目的とする環境政策の経済的影響評価モデルであり、IPCCの数次にわたる評価報告書にも取り上げられている。そこで、経済モデルのあり方と役割について考える。

二酸化炭素削減の影響評価を行う経済モデルの類型としては、動学的最適化モデル・動学的CGE(Computable General Equilibrium)モデル・計量経済モデル・産業連関モデルが知られている。しかし、2007年に公表されたIPCCの第四次評価報告書で引用されているモデルの多くが、動学的最適化モデルか動学的CGEモデルであり、計量経済モデルはEM3Gの一つに限られるが、その理由について考える。なお、EM3Gは、技術選択モデルを別途持っており、本研究と同様にトップダウン型経済モデルとボトムアップ型技術選択モデルのハイブリッド型モデルとなっている。

さらに、環境政策を評価するのに重要な役割を果たす時間的視野と空間的視野について考察している。時間的視野では、長期の動学的経路への影響だけでなく、短期的な影響も政策評価において重要となる。さらに、空間的視野では、地域経済、日本経済、世界経済に対する様々な影響評価が求められる。本研究では、時間的視野と空間的視野を統合した単一のモデルではなく、政策評価目的に応じた複数のモデル群を構築することで、多面的な要求に応えることができることを示す。

担当者            伴 金美、後藤則行

## 1 温暖化防止のための環境政策の影響評価モデルのあり方

温暖化防止のための環境政策の影響を評価するモデルの代表的なものが、IPCC(2007)の第四次評価報告書の第三作業部会報告書に引用<sup>1</sup>されている。引用されているモデルは 17 あり、共通する特徴は、ボトムアップ型技術選択モデルをトップダウン型経済モデルに内包する形でハイブリッド型モデルを構築し、内生的技術進歩を取り入る試みを行っていることである。それは、本研究で構築する経済モデルの目標とも合致している。17 モデルを類型別に区分すれば、動学的最適化モデルが 9、動学的 CGE モデルが 6、計量経済モデル EM3G<sup>2</sup>モデルが 1 である。各モデルの詳細は、Weyant and et. al. (2006) に詳しく紹介されている。

本節では、動学的最適化モデルや動学的 CGE モデルが、環境政策の影響評価のための経済モデルの中心となる理由について考える。

### 1.1 経済を取り巻く環境の変化・政策の変更に対する頑健性

計量経済モデルの発展に貢献したコウルズ財団の研究グループは、Koopmans(1947)に代表されるように「理論なき計測(Measurement without Theory)」に対する強い批判に基づき、マクロ経済学の理論に立脚した経済モデルの構築を主張した。その中核を担うのが消費関数や投資関数などであり、効用関数や生産関数に基づいて家計や企業の最適化行動から導かれる関数である。したがって、消費関数や投資関数には、家計や企業をとりまく経済環境、政策的対応、効用関数や生産関数、さらにそのパラメータ等が暗黙裏に含まれている。そのため、経済環境や政策が変化すれば、あるいは嗜好や技術が変化すれば、消費関数や投資関数の形状とパラメータも変化する。初期の研究者はその問題を十分理解していたにも関わらず、計量経済モデル開発の後継者は、その点を忘れがちとなった。例えば、計量経済モデルの簡単な例として、消費関数と所得定義式からなる 2 本の方程式で構成されるモデルについて考える。

$$C_t = \alpha + \beta Y_t + \gamma A_t \quad (1)$$

$$Y_t = C_t + G_t \quad (2)$$

ここで、 $C_t$  消費、 $Y_t$  所得、 $A_t$  期首資産、 $G_t$  政府支出、 $\alpha$  と  $\beta$  パラメータである。この二本の式を  $Y_t$  について解けば、

$$Y_t = \frac{\alpha}{1-\beta} + \frac{\gamma}{1-\beta} A_t + \frac{1}{1-\beta} G_t \quad (3)$$

となるが、これより次の関係式が得られる。

<sup>1</sup> Table 11.15 in Working Group III Report, *Mitigation of Climate Change*, 654-655.

<sup>2</sup> Kohler J., T. Barker, D. Anderson and H. Pan (2006)

$$\frac{\Delta Y_t}{\Delta G_t} = \frac{1}{1-\beta} \quad (4)$$

は、政府支出を 1 単位増加させたとき所得がどれだけ増えるかを表し、乗数効果とよばれる。 $\beta$  は限界消費性向とよばれ、所得が 1 単位増加したとき消費がどれだけ増加するかを表す。それが 0.5 であれば、乗数効果は 2 となる。計量経済モデルを使うことで、政府支出やその他の要因を変化させれば、所得がどれだけ増加するかを簡単に評価できることから、政策評価のためのツールとして重宝されてきた。

ところが、経済理論を重視する立場からすれば、消費と所得の関係を表す消費関数は家計の最適化行動から導かれるものであり、経済環境が変化すれば、消費関数も変化する可能性がある。経済理論によれば、家計は次のような動学的最適化問題を解いて各期の消費を決定すると考えられている。

$$\begin{aligned} \max_{C_t} \sum_{t=0}^{\infty} \left( \frac{1}{1+\rho} \right)^t u(C_t) \\ \text{s.t. } A_{t+1} = (1+r)(A_t + Y_t - C_t) \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、 $C_t$  消費、 $Y_t$  所得、 $A_t$  資産、 $\rho$  割引率、 $r$  利子率、 $u(\cdot)$  は効用関数である。このとき、効用関数を  $u(C_t) = \ln(C_t)$ 、所得の生成過程を  $Y_{t+h+1} = (1+\eta)Y_{t+h}$  とすれば、消費関数は次のように表される。

$$C_t = \frac{\rho}{1+\rho} \left( \left( 1 - \frac{1+\eta}{1+r} \right)^{-1} Y_t + A_t \right) = \beta Y_t + \gamma A_t \quad (6)$$

ここで、サブプライム問題やギリシャなどの南欧問題で世界経済が後退すると家計が考えると  $\eta$  は低下し、その結果として、限界消費性向も低下する。限界消費性向が低下すれば、乗数効果も低下し、政府が減税を行うことで可処分所得を増加させても、消費支出はこれまで通りに増加しないことになる。さらに、家計が割引率  $\rho$  を引き下げれば、限界消費性向  $\beta$  だけでなく資産効果  $\gamma$  も低下し、所得や資産が変わらなくても消費は減少する。すなわち、家計は経済環境の動向や政策を見ながら消費を決定することから、消費関数のパラメータ自体も変化する可能性がある。しかし、計量経済モデルの後継者はそれを忘れ、Lucas (1976) による計量経済モデルへの批判とつながった。その反省から、最近の経済モデルの研究においては、消費関数や投資関数などの最適化行動から導出される行動方程式を使うのではなく、効用関数や生産関数を明示的にモデルに取り入れ、最適化行動を陽表的に取り入れたモデルを構築する方向が主流となっている。

温室効果ガス排出削減の経済的影響を評価に広く用いられる動学的最適化モデルのコア部分を形作っているのは、Ramsey(1928)に基づくラムゼイ型動学的最適成長モデルである。

$$\begin{aligned}
& \max_{C_t} \sum_{t=0}^{\infty} \left( \frac{1}{1+\rho} \right)^t u(C_t) \\
& Y_t = f(K_t, L_t) \\
& Y_t = C_t + I_t \\
& K_{t+1} = I_t + (1-\delta)K_t
\end{aligned} \tag{7}$$

ここで、 $K_t$  資本、 $L_t$  労働、 $I_t$  投資、 $\delta$  資本減耗率、 $\rho$  割引率である。計量経済モデルの(1)式や(2)式と異なり、消費・貯蓄・投資は(7)式の動学解として計算される。すなわち、各期の消費と投資は今期の所得だけでなく、計画期間のすべての状況を考慮して決定される。消費を減らすことは今期の効用を低下させるが、貯蓄が投資となり、資本として蓄積されれば、将来の所得を増加させることになり、結果において将来の消費が拡大することで、効用の割引現在価値が増加する可能性を示している。

(7)式の利点は、将来の技術変化・政策変化・一時的および恒久的ショックを明示的に取り入れることで、それらの影響についても評価できる点にある。動学的最適化モデルは、Nordhaus(1994)の DICE モデル、Manne, Mendelsohn and Richels (1995)の MERGE モデルの Global 2200 モデルとしても使われており、環境政策の影響評価に必要不可欠なモデルとなっている。

動学的最適化モデルの一つの問題は、経済が一つの部門からなるマクロ経済を扱うことである。温室効果ガス排出削減の経済への影響を評価するとき、経済が1財しか存在しないマクロモデルであれば大きな問題を引き起こす。何故なら、温室効果ガス排出は化石燃料の燃焼によるものが大部分であるが、それを取り扱う部門は、電力、鉄鋼、輸送部門など特定の部門に限られており、1財からなるマクロモデルでは、産業構造の変化まで捉えることができない。産業間あるいは国際間の利害対立が鮮明となる中で温室効果ガス排出削減政策の経済効果の評価するには、産業毎に細分化したモデルが必要不可欠である。

それに対して、本研究で構築する CGE モデル(Computable General Equilibrium Model: 計算可能な一般均衡モデル)は、産業連関表をベースとして作成される社会会計表で表される現実経済をモデルとして表したものであり、温暖化防止のための政策が、特定の財・サービスあるいは産業に対して大きな制約を加えることから、環境政策の影響評価には欠かせないモデルとなっている。CGE モデルは、資本ストックを所与とする静学モデルという誤解があるが、本研究で構築するモデルは、ラムゼイ型最適成長モデルの多部門化であり、財・サービスと産業を区分する Forward Looking 型動学的 CGE モデルである。

## 1.2 相補問題(Complementarity Problem)の扱い

一般均衡モデルは、ミクロ経済学の理論分野で発展したものである。モデルには、企業・家計・政府・外国という複数の経済主体と、多数の財・サービスとそれを取引する市場が

存在する。各市場には経済主体が需要者あるいは供給者として登場し、需給が均衡すれば、それと整合的な非負の価格体系が成立し、資源配分がパレート最適となることが証明されている。一般均衡モデルは、これまで理論レベルの話であったが、コンピュータの高速化とアルゴリズムの発展により、現実経済を説明するために用いられるようになり、CGE（：計算可能な一般均衡）モデルとして結実したものである。

ところで、CGE モデル開発に大きく貢献しているソフトウェアとして、Rutherford (1999) の開発した GAMS/MPSGE がある。このソフトウェアで用いられるアルゴリズムは、Mathiesen (1987) の考え方にに基づき、Arrow-Debreu 型一般均衡モデルで重要な役割を果たす 3 つの条件、すなわち、ゼロ利潤条件、市場均衡条件、所得収支条件を混合相補問題 (Mixed Complementarity Problem) としてモデルを構築し、それを解くものである。ここで、 $p$  を非負  $n$  次元価格ベクトル、 $y$  を  $m$  次元アクティビティベクトル、 $M$  を所得とすれば、CGE モデルは以下のように表される。

ゼロ利潤条件（供給価格  $\geq$  需要価格）

$$\Pi_j(p) \leq 0 \tag{8}$$

市場均衡条件（供給量  $\geq$  需要量）

$$\sum_j y_j \frac{\partial \Pi_j(p)}{\partial p_i} + \omega_i \geq d_i(p, M) \tag{9}$$

所得収支条件

$$M = \sum_i p_i \omega_i \tag{10}$$

ここで、 $\Pi_j(p)$  はアクティビティ  $j$  を 1 単位生産するときの利潤関数であり、それを  $p_i$  で微分すれば、ホテリングの補題から  $i$  財の純供給量となる。 $d_i(p, M)$  は、価格  $p$  所得  $M$  のときの  $i$  財に対する需要、 $\omega_i$  は  $i$  財の初期賦存量である。

市場均衡において  $\Pi_j(p) < 0$ 、すなわち利潤が負であれば、 $y_j = 0$  となり、アクティビティ  $j$  は使用されない。また、 $\sum_j y_j \frac{\partial \Pi_j(p)}{\partial p_i} + \omega_i > d_i(p, M)$ 、すなわち、供給が需要を上回れば  $p_i = 0$ 、タダとなる。

(8)式と(9)式で表される混合相補問題は、温室効果ガス排出削減や環境制約の強化が経済に与える影響を評価する上で重要な役割を果たしている。すなわち、温室効果ガス排出に制約がなければ、だれもがタダで排出できる。これは排出制約（供給）が排出需要を上回るため、排出価格がゼロとなる状況にあると言える。ところが、排出制約が強まることで供給量に制約が生じると、排出に価格がつくことになる。すなわち、CGE モデルで使われる相補問題の枠組みを用いることで、環境制約の強化により排出行為がタダから有料へ変

化するレジームの移行を忠実に描写することができる。

### 1.3 技術選択の取り扱い

温室効果ガス排出削減は、技術選択の問題でもある。したがって、排出削減を評価する経済モデルにおいても技術選択の取り扱いは重要である。ところが、経済学では技術選択問題を、個々の削減技術を次のような生産関数として扱うことが多い。

$$d = f(y_1, y_2, \dots, y_N) \quad (11)$$

ここで、 $d$  は削減量、 $y_i$  は削減技術である。個々の削減技術を包絡線として関数を定義する生産関数はトップダウン型技術選択モデルとよばれるが、工学的な視点からしばしば批判される。工学的な視点からの温室効果ガス排出削減の選択モデルは、アクティビティ分析として構築されており、MERGE モデルや AIM/Enduse モデル<sup>3</sup>で用いられている。モデルは次のような問題として表される。

$$\begin{aligned} \min_{y_i} \quad & \sum_i c_i y_i \\ \text{s.t.} \quad & \sum_i y_i \geq d \\ & a_i y_i \leq b_i \end{aligned} \quad (12)$$

ここで、 $y_i$  は削減技術アクティビティ、 $c_i$  は単位費用、 $d$  は削減量、 $a_i$  は削減に使用される単位資源量、 $b_i$  は資源量である。(12)式の解法には線形計画法が用いられる。このとき、単位費用について、 $c_1 < c_2 < c_3 < \dots$  とすれば、削減量  $d$  の増加に従って、より高い費用を必要とする技術の採択が必要となり、限界削減費用も  $c_1 \rightarrow c_2 \rightarrow c_3 \rightarrow \dots$  と高くなる。ここで必要とされる技術の単位費用  $c_i$  や技術の特性パラメータ  $a_i, b_i$  は詳細な技術情報に基づいており、ボトムアップ型技術選択モデルとよばれる。

トップダウン型技術選択モデルとボトムアップ型技術選択モデルは、エネルギーモデルの分野で頻繁に議論の対象とされている。ただ、経済モデルである CGE モデルはトップダウン技術選択モデルが一般的であることが多いが、アクティビティ分析を基本としていることから、ボトムアップ型技術選択をモデルに容易に取り入れることができ、ハイブリット型 CGE モデルとして知られている。Boehringer and Rutherford (2008) はその好例である。

### 1.4 部分均衡モデルか、一般均衡モデルか

部分均衡モデルは、全体の一部を取り出し、他の部分を所与としてモデルを構築するものである。部分均衡モデルは、システムの一部について詳細な分析ができる点で優れている。

---

<sup>3</sup> Hibino and et. al., (2003)

るが、部分市場で決定される均衡がシステム全体に波及し、それが部分市場に再び影響を与えるフィードバックループを考慮することができない。例えば、技術選択モデルは、部分均衡モデルの典型的な例であるが、技術選択モデルで決まる限界削減費用は、経済全体に対して大きな影響を与える。ところが、技術選択モデルで固定パラメータとされる  $c_i, a_i, b_i$  の多くは、経済活動にも依存することから、限界削減費用が変化すれば、固定とされたパラメータも大きく変化する可能性が高い。詳細な技術情報に基づく技術選択モデルが生み出す数値情報の信頼性は高いと考えられているが、経済とのフィードバックループを考慮しなければ、限界削減費用の評価に問題が生じる。

IEA (2008)は、技術情報に基づき、2050年の排出量を現状のままとするためには、二酸化炭素の限界削減費用が50ドル、投資総額が17兆ドル、半減するには限界削減費用が200ドル、投資総額が45兆ドルになると試算している。工学的な技術選択モデルの立場からすれば費用の高さに驚愕することになる。しかし、経済モデルでは、部分均衡モデルではなく一般均衡モデルとして構築されることから、投資を単なる費用と見なす立場はとらない。経済モデルにおいて、投資は資本設備や知識の蓄積であり、資本や知識は経済成長を促し、新たな所得の源泉にもなるからである。

## 1.5 推定か、カリブレーションか

経済モデルでは、変数だけでなくパラメータも大きな役割を果たしている。計量経済モデルで用いられるパラメータは、観測されるデータに基づいて統計的に推定される。計量経済学の発展は、計量経済モデルのパラメータを如何に推定するかが発端である。(1)式で表される計量経済モデルのパラメータの推定は、当初、最小二乗推定量によっていたが、限界消費性向  $\beta$  が過大あるいは過小に推定されることが問題視された。同時方程式バイアスとして知られている問題であるが、そのことが同時方程式体型を前提とする完全情報最尤法、制限情報最尤法、二段階最小二乗法などの新たな推定方法の開発にもつながった。すなわち、計量経済モデルで用いられるパラメータは、観測されるデータと整合的であり、確率統計的な裏打ちも十分に行われている。

それに対して、CGEモデルでは、パラメータはデータから推定するのではなく、カリブレーションとよばれる方法で推定している。例えば、 $K_t$  を資本、 $L_t$  を労働とし、一次同次のコブ・ダグラス生産関数について考える。

$$Y_t = AK_t^\beta L_t^{1-\beta} \quad (13)$$

のパラメータについて、計量経済モデルであれば、生産関数を線形対数で表し、データに基づいて、次式からパラメータが推定される。

$$\ln\left(\frac{Y_t}{L_t}\right) = \ln A + \beta \ln\left(\frac{K_t}{L_t}\right) \quad (14)$$

ところが、CGE モデルでは、 $pk_t$  を資本価格とし、企業の最適化行動を前提とすれば、

$$\beta = \frac{pk_t K_t}{Y_t} \quad (15)$$

なることから、1 時点の資本分配率が分かれば、それを  $\hat{\beta}$  とし、(14)式が成立するように  $\hat{A}$  を決めればよい。CGE モデルでしばしば用いられる CES(Constant Elasticity of Substitution)型生産関数の場合でも、代替弾力性を実証分析の蓄積を利用し、その中から適当な値を採用すれば、残りのパラメータは 1 時点のデータがあれば決定できる。カリブレーションと計量経済学的推定との関連については Pagan (1994)に詳しいが、カリブレーションは経済モデル開発において大きな役割を占めている。

CGE モデルは、1 時点のデータが利用可能であればパラメータを決定することができるが、計量経済モデルのパラメータ推定には長期にわたるデータが必要となる。一般に、発展途上国では統計整備が遅れており、長期にわたりデータが利用できる可能性が限られており、計量経済モデル作成は困難に直面する。ところが、貿易の自由化や財政政策のあり方などが発展途上国の経済産業構造に与える影響を評価することが緊急に重要な課題となっていることから、データの蓄積を待つことができない。発展途上国で CGE モデルが広く使われるようになった理由でもある。

パラメータの決定にカリブレーションが使われるようになったもう一つの理由は、モデルの動学化である。もちろん、計量経済モデルも動学モデルの範疇に含まれるが、経済理論で用いられるのは、(7)式で表される動学的最適化モデルである。この動学的最適化モデルにおいては、モデルが最適解を持つための条件が厳しい。動学モデルが最適解を持つ条件として、Blanchard and Kahn (1980)の条件が知られている。これは動学モデルが定常均衡解を持つための必要条件を示したものであるが、推定されたパラメータがその条件を満たさないことが多い。その場合、条件を満たすようにパラメータをカリブレーションする必要が生じる。経済モデルが動学解を持つかどうかは、モデルを長期間にわたって解くことで分かることが多い。計量経済モデルで動学解が存在する条件に注意が向かないのは、短期間のシミュレーションにとどまることが多いからとも言える。

## 1.6 均衡モデルか、不均衡モデルか

経済モデルに関する最後の問題として、均衡モデルか、不均衡モデルかの問題がある。失業は労働の需要が供給を下回ることで発生するが、CGE モデルの相補問題からすれば賃金はゼロとなる。ところが、現実には失業と正の賃金が並行して存在している。すなわち、



CGE モデルや動学的最適化モデルにおいては均衡が仮定されているため、不均衡は視野の外側にある。そのため、CGE モデルでは、観測される失業などの不均衡をスラック変数として外生的に取り扱うことが多い。

それに対して、計量経済モデルでは、経済理論から導かれる均衡モデルが基本にあるものの、短期的に均衡経路からの乖離を扱うことができる。計量経済モデルでは、エラー・コレクション型の方程式が組み入れられていることが多いが、その考え方は、経済変数の間には、長期的な均衡関係が存在し、短期的にそれから乖離するショックに見舞われたとしても、時間とともに均衡関係に復帰する力が働くというものである。実際、個々の経済変数は非定常であっても、それらの関係が定常となる変数群が存在することが知られており、共和分関係とよばれる。

もちろん、CGE モデルにおいてもスラック変数に定常性を持つショックを与えることで、均衡経路からの乖離と復帰を分析することができる。マクロ経済学の領域で、CGE タイプの DSGE(Dynamic Stochastic General Equilibrium) モデルが広く使われるようになったのは、動学的定常均衡の世界だけでなく、不均衡を引き起こすショックに着目する必要性に迫られたためである。

## 2 分析目的に応じた経済モデルの選択

### 2.1 本研究で構築する経済モデルの特徴

日本における環境政策と経済の関係を統合的に分析・評価するために、本研究では、CGE モデルを中心として、それを補完するモデルとして計量経済モデルと産業連関モデルの 3 種類の経済モデルを構築し、時間的視野と空間的視野の組み合わせに応じて、二酸化炭素排出削減政策が日本経済に与える影響を評価しようとするものである。さらに、平成 23 年 3 月 11 日の東日本大震災やそれによって生じた原子力発電の停止などの大きなショックが日本経済に与える影響についても評価できる経済モデルの構築を目指している。

政策評価に用いられる経済モデルとして、産業連関モデルと計量経済モデルは長い歴史がある。Leontief(1936)は、米国経済を 41 産業の投入産出表、最終需要と付加価値生産からなるマトリックス表として表現する産業連関モデルを構築し、実証的なデータに基づく産業構造分析を飛躍的に発展させた。一方、Klein(1950)は、計量経済学基礎となったコウルズ財団グループによる統計理論に基づいて精緻化された同時方程式体系の推定方法を用いることで、米国経済を分析する計量経済モデルを構築した。計量経済モデルは、当初は一部門のマクロ経済が対象であったが、産業部門にディスアグリゲートされたデータが整備されるにしたがって多部門モデルに拡張された。それを代表するのが Johansen (1960)による多部門モデルである。

一方、CGE モデルは Arrow-Debreu 型の一般均衡理論<sup>4</sup>に基づく理論モデルが、Scarf (1981)らの解法アルゴリズムの発展により数值的に解くことができるようになり、急速に普及した経緯がある。産業連関モデル、計量経済モデルと CGE モデルは経済モデルとして広く用いられているが、それらを使い分ける、あるいは統合するには、各モデルの特徴を理解することが必要である。表 1 に各モデルの特徴をまとめている。

経済モデルでは生産技術は生産関数あるいは双対関係にある費用関数として表されるが、産業連関モデルでは固定係数を前提とする線形関数に基づいている。それに対して、計量経済モデルや CGE モデルではコブ・ダグラス型関数、CES 型関数、多段型 CES 関数など、連続で微分可能な関数が用いられている。ただ、生産関数あるいは費用関数から導出される中間投入、労働及び資本に対する需要関数は、CGE モデルでは生産関数あるいは費用関数に基づく費用最小化行動を仮定して導出された式が用いられる。それに対して、計量経済モデルでは、中間投入、労働及び資本に対する需要関数が生産関数あるいは費用関数と対応しているとは限らず、需要関数のパラメータと生産関数あるいは費用関数のパラメータと整合性はない。

計量経済モデルでは企業の設備投資需要が関数として存在し、資本はそれを積み上げたものとして扱われるが、CGE モデルでは資本需要関数はあるが投資関数は存在しない。動学的 CGE モデルでは、投資は貯蓄によって決まり、資本は投資の積み上げで決まる。これはラムゼイ型最適成長モデルに由来することによる。生産要素市場では、そのようにして決まる資本供給と、生産関数あるいは費用関数から導出される資本需要が一致する点で資本価格が決まる。貯蓄・投資は、投資によって将来得られる収益の割引現在価値が資本価格を上回るときに実施される。それに対して、産業連関モデルでは、投資は最終需要に含まれるが外生的に決まる変数である。

---

<sup>4</sup> Debreu (1959)

表 1.1 経済モデルの特徴

モデルの基本構造	CGEモデル	計量経済モデル	産業連関モデル
生産関数・費用関数	多段CES型関数	CES型生産関数	レオンチェフ型
中間投入需要	多段CES型関数と整合的に導出	アドホックな需要関数か固定係数	固定係数
労働需要	多段CES型関数と整合的に導出	アドホックな需要関数	固定係数
資本需要	多段CES型関数と整合的に導出	投資の蓄積	固定係数
投資	貯蓄によって決まる	アドホックな投資関数	外生
効用関数・支出関数	多段CES型関数	Stone-Geary型関数	考慮しない。
消費支出	多段CES型関数と整合的に導出	LESまたはアドホック	外生
労働供給	多段CES型関数と整合的に導出	LESまたはアドホック	外生
パラメータの決定	1時点のデータでCalibration	長期のデータによるEstimation	1時点のデータでCalibration
価格と数量	同時決定	同時決定	完全分離
不均衡			
需給ギャップ	考慮できない。	考慮できる。	考慮できる。
失業	考慮できない。	考慮できる。	考慮できる。
財政赤字	外生的スラック変数	考慮できる。	考慮できる。
経常収支	外生的スラック変数	考慮できる。	考慮できる。
静学的予算制約			
企業	考慮できる。	考慮できる。	考慮できない。
家計	考慮できる。	考慮できる。	考慮できない。
政府	考慮できる。	考慮できる。	考慮できない。
動学的予算制約			
企業	考慮できる。	考慮できない。	考慮できない。
家計	考慮できる。	考慮できない。	考慮できない。
政府	考慮できる。	考慮できない。	考慮できない。
非線形制約	考慮できる。	考慮できない。	考慮しない。
金融市場	考慮しない。	考慮できる。	考慮できない。

ここで注意すべきは、産業連関モデルの生産関数が固定係数型であるからと言って、技術選択問題に対して弱点があるわけではないことである。産業連関モデルでは、列で表される投入構造は、市場で選択された一つの技術をアクティビティとして表したものである。元々、同じ財を生産するアクティビティは複数存在するが、価格体系を所与してその中の一つが選択されたという事実を表しているだけである。すなわち、産業連関モデルにおいては、計量経済モデルや CGE モデルのように個々の技術を特定化せず無数の技術の包絡線として生産関数を考えているわけではない。その意味で、本研究が目指すボトムアップ型技術選択モデルとトップダウン型経済モデルのハイブリッド型モデルでは、独立した複数のアクティビティから一つの技術が選択される産業連関モデルと考え方は同じである。両者の違いは、ハイブリッド型モデルでは、相対価格の変化により、選択される技術アクティビティが異なってくることである。

家計の行動に関して、産業連関モデルにおける消費は最終需要として扱われるが、外生的に決まる変数である。マクロ計量経済モデルではアドホックな消費関数が用いられることが多いが、多部門計量経済モデルでは Stone-Geary 型効用関数から導かれる LES(Linear Expenditures System)型消費関数が広く使われている。CGE モデルにおいても LES 型効用関数が使われることもあるが、最近は多段 CES 型効用関数、あるいはそれと双対関係にある支出関数が用いられることが多い。ここで支出関数とは、効用を所与とするとき支出の最小値であり、効用と価格で表され、価格で微分することで消費需要関数が導出される。多部門計量経済モデルや CGE モデルでは、効用関数あるいは支出関数を前提に消費支出が決まり、両者は整合性を持っている。

モデルのパラメータの決定について、前節でも述べたように、計量経済モデルは観測されたデータ、特に時系列データを必要とする。したがって、長期の時系列データが利用可能できなければモデルを構築することができない。ところが、産業連関モデルと CGE モデルは、1 時点の投入産出表や社会会計表が存在すればパラメータを Calibration で決定することができる。CGE モデルが発展途上国の開発モデルとして広く使われてきた理由でもある。さらに、CGE モデルでは経済理論に基づいてパラメータに制約を課すことが容易にできるが、計量経済学的方法で Estimation する場合、制約を満たさないことが多い。特に、動学モデルにおいては動学的な定常均衡の存在がモデルを解く上で重要であることから、パラメータについての制約条件が厳しくなり、パラメータに制約を置くことのできる Calibration に利点がある。なお、観測されるデータがモデルのパラメータを識別する能力が低いことや、Estimation と Calibration の間にシミュレーション結果に大きな差がないことも知られている。ベイズ推定量のように、事前分布を前提とする推定量が用いられるようになった理由でもある。

また、環境政策を評価するための経済モデルとして、価格と数量が同時に決定できる必要がある。特に、環境政策は特定の財の価格を他の価格と比較して変化させることで目的を実現するものが多いことから、価格と数量の同時決定は重要である。計量経済モデル CGE

モデルは同時決定であるが、産業連関モデルでは分離されている。すなわち、産業連関モデルでは、特定の財の需要が大きく変化しても、価格体系には影響しない。また、価格体系に大きな変化があっても、数量は変化しない。

経済が不均衡状態にあるかどうかは経済学でも重要な問題であるが、それを考慮できるのは計量経済モデルである。計量経済モデルで使われる **Estimation** は確率的誤差項の存在を必要とするが、不均衡の象徴である。他にも、需給ギャップや失業なども不均衡を表すが、計量経済モデルでは重要な変数として扱われている。財政バランスや経常収支バランスも計量経済モデルの得意とする対象である。ところが、**CGE** モデルでは均衡が前提とされており、不均衡の存在を前提とした分析をすることが難しい。もちろん、外生的なスラックとして扱うことはできるが十分でない。産業連関モデルも均衡を前提とするが、同時に経済が不均衡のため需要が供給を下回り、供給に制約のない状態を前提としている。

経済モデルにおいて所得制約、すなわち、所得・支出のバランスは家計・企業・政府などの経済主体の行動を分析する上で重要な役割を持つ。支出を増加させようとするれば、他の支出を削減するか、所得を増やす必要がある。産業連関モデルでは所得と支出が分離されており、予算制約の概念はなく、最終需要を無制限に変えることができる。それに対して、計量経済モデルと **CGE** モデルでは予算制約は重要である。ただ、予算制約は計量経済モデル構築の必要条件でないため、それを考慮しない計量経済モデルも多く存在しており、予算制約が組み込まれているかどうかを峻別する必要がある。それでも、計量経済モデルでは、一時点の予算制約は考慮できるが、多期間にわたる動学的予算制約を課すことは、**Backward Looking** 型計量経済モデルであれば難しい。それに対して、動学的 **CGE** モデルでは、静学的予算制約だけでなく、動学的な予算制約を扱うことができる。

二酸化炭素排出削減政策の影響評価など、環境を保全するための何らかの制約が経済に与える影響を分析する場合、非線形制約を課すことが必要となる。しかし、計量経済モデルでは非線形制約をモデルに組み込むことは難しい。産業連関モデルの場合は組み込むことは可能であるが、組み込む例は少ない。それに対して、**CGE** モデルでは、相補問題として解くことが一般的であることから、組み込むことが容易である。

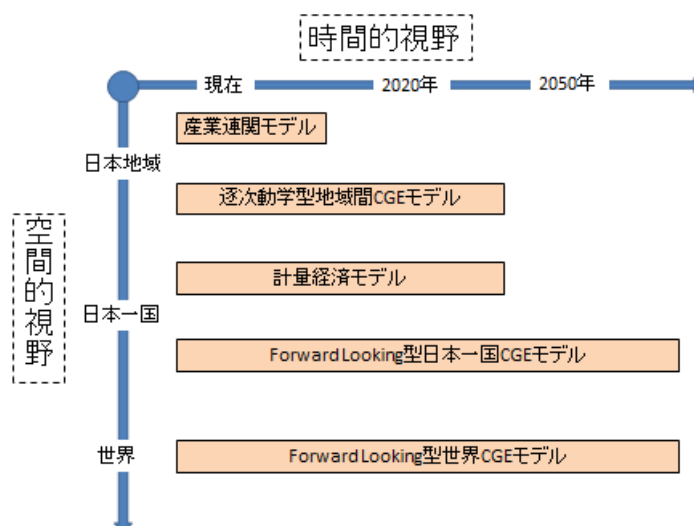
金融市場は、経済社会において重要な役割を持っており、日本における 1990 年のバブル崩壊がその後の日本経済に大きな影響を与えている。また、米国のサブプライローンに端を発し、リーマンショックで追い打ちをかけられた世界経済は大きな影響を受けている。その意味で、金融市場のショックは実物市場に大きな影響を与えている。その意味で、金融市場をモデルに組み入れることは経済モデルにとって重要である。計量経済モデルでは、金融市場も大きな役割を果たしている。しかし、産業連関モデルと **CGE** モデルでは金融市場を組み入れることは難しい。産業連関モデルと **CGE** モデルに金融市場を組み入れることが難しいのは、金融取引については投入産出表に相当する資金循環表が存在するが、モデル構築時に問題となるのは、名目の金融取引を価格と量に分離することが難しいことによる。金融市場のデータとして名目の取引額と金利があるが、実物経済モデルとは異なる変

数の扱いが必要となるためである。この分野での経済理論研究の進展が望まれるところでもある。

## 2.2 分析目的や時間的視野・空間的視野に応じて選択可能な経済モデル群

本研究で構築された経済モデル群は、動学的 CGE モデル、計量経済モデルと産業関連モデルの三類型からなり、Forward Looking 型日本一国 CGE モデル、Forward Looking 型世界 CGE モデル、逐次動学型地域間 CGE モデル、計量経済モデル、産業関連モデルの 5 つの経済モデルである。時間的視野と空間的視野に基づいて、図 1.1 のようにまとめることができる。

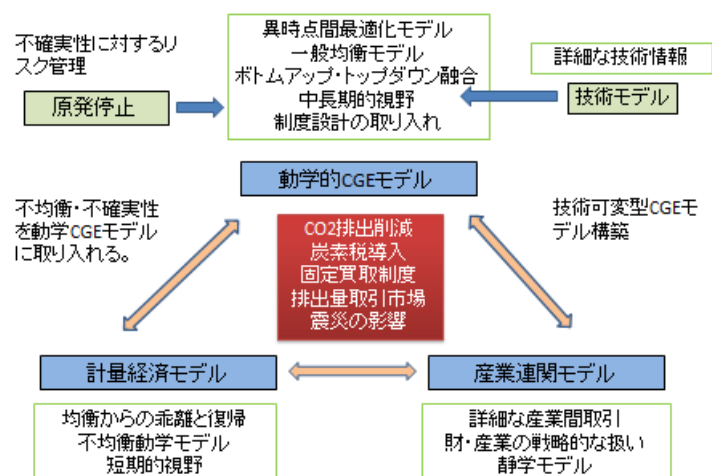
図 1.1 時間的視野と空間的視野の視点から構築された経済モデル



時間的視野とは、環境政策の影響評価を時間軸に沿って見たものである。環境政策の影響評価は、即時的な効果だけでなく、長期的な視野での評価が必要となる。本研究では、現時点、2020年までの中期的視野、2050年までの長期的視野に区分している。それに対して、空間的視野は、対象とする経済社会の範囲である。本研究では、地域経済、日本一国経済、世界経済に区分している。

動学的 CGE モデル、計量経済モデルと産業関連モデルの三類型からなる経済モデル群の関係は、図 1.2 のように表される。

図 1.2 経済モデル群の連携関係



CGE モデルは経済理論との整合性が高く、特に、Forward Looking 型 CGE モデルは、異時点間の多部門動学的最適化モデルであり、将来にわたる社会環境の変化や政策変更についても織り込んで影響評価することができる。各方程式は、生産関数や消費関数と整合的に導出されたものであり、パラメータも共通であり、政策変更に対して頑健性の高い経済モデルとして考えられている。環境政策と経済の関係を統合的に分析・評価するための経済モデルの作成を目的とする本研究において、二酸化炭素排出削減政策のような産業構造の変革や技術革新を引き起こす可能性のある政策の影響評価が重要となるが、その場合、政策変更に対する頑健性の確保は必須の要件となる。頑健性を高める試みは、技術選択問題においても重要である。そのための有力な方法として、ボトムアップ型技術選択モデルをトップダウン型 CGE モデルに組み入れる方向があり、個別の技術に関する利用可能な情報をモデルに明示的に組み入れることは大きな意味を持つ。

計量経済モデルは、観測されたデータに基づいて統計的に推定されたモデルである。したがって、ランダムに変動する確率的ショックは攪乱項として扱うことができる。さらに、需給ギャップ、失業、財政収支、経常収支などの不均衡を象徴する変数もモデルの中で大きな役割を果たしている。しかし、多部門計量経済モデルの構築には、長期間観測された膨大な時系列データを必要とするが、データが存在したとしても、推定結果がモデルの制約条件を満たさないことも多い。そのため、モデルの基礎となる経済理論と整合的でないアドホックな関係をモデルに組み込むことになる。特に、動学モデルでは、長期的な定常均衡の存在が前提となり、それがパラメータに対する制約条件となるが、推定結果がそれを満たすとは限らない。アドホックな方程式のパラメータは、社会環境の変化や政策変更により変わることが知られており、モデルの頑健性を低下させる原因となる。

しかし、計量経済モデルの予測力は高いことが知られている。伴(1991, 2004)によれば、計量経済モデルを用いた事前予測の誤差は、データが出揃った後で行われる事後予測の誤差よりも小さいことが指摘されている。計量経済モデルは、方程式として表される変数間の長期的均衡関係だけでなく、定数項修正などで均衡から乖離する誤差項についても予測の対象とすることができることが予測の予測精度を高める要因と考えられる。均衡から乖離する誤差項を予測する定数項修正は恣意性を高めるとの批判があるが、現実問題として、事前予測の精度を高める有効な手段となっている。また、社会環境の変化や経済政策変更がアドホックな方程式のパラメータに大きな影響を与えない範囲であれば、計量経済モデルも影響評価に用いることができる。もちろん、社会環境の変化や経済政策変更がアドホックな方程式のパラメータに大きな影響を与えないことを確認する必要がある。

産業連関モデルは、所得と支出の関係が分離されており、予算制約を考慮する必要がなく、最終需要の構成や大きさを自由に変えることができる。しかし、量と価格の決定が完全に分離されており、相対価格を変化させるような経済政策の影響を評価することができない。また、生産要素や資源に供給制約がないことから、需要が増加しても、価格一定の状態生産を無限に増加させてしまう。すなわち、供給制約を考慮する必要がないことから、産業連関モデルは経済効果を過大に評価する傾向にある。

その一方で、産業連関モデルは、産業部門を詳細な基本表レベルで行うことができることから、詳細な財レベルでの需要変化が持つ経済波及効果を評価できる利点がある。さらに、産業連関モデルが供給制約を考慮しないモデルであったとして、需要が供給を大きく下回っている不均衡経済では、供給制約に縛られない産業連関モデルの利用価値は大きい。その意味で、産業連関モデルは需要が供給を下回る経済における短期的な需要創造が持つ経済への波及効果を評価するのに適している。

### 3 まとめ

本章は、最初に環境政策を評価するための経済モデルのあり方を示している。経済モデルは、経済現象を方程式群で表したものであるが、企業や家計などの経済主体の行動を表した方程式体系やパラメータが重要な役割を持っており、さらに、政策を含めた外部環境をモデルに陽表的に取り入れることで、政策や外部環境の変化が経済社会にどのような影響を与えるかを評価する。したがって、経済モデルを用いて政策評価を行う場合、方程式体系やパラメータが、政策変更に対して頑健であることが求められる。政策変更に対して頑健な経済モデルとは、生産技術を表す生産関数や費用関数、また家計の効用を表す効用関数と、それから導出される供給関数や需要関数などの方程式体系とパラメータが、政策の変化に依存しないことが求められる。そのためには、生産関数、費用関数、効用関数などとそのパラメータと、それから導出される供給関数や需要関数とパラメータが一对一の関係にあることが必要とされる。



次に、経済全体が相互に密接に関わることから、政策の影響評価を行うための経済モデルは、部分均衡の枠組みだけでなく、一般均衡の枠組みで構築されることが求められる。なお、一般均衡の枠組みは、時間的視野や空間的視野にまたがって構築されなければ、政策評価に用いることは難しい。例えば、動学的な予算制約や、地域格差や国際競争力への影響を考慮することができなければ、政策評価に用いることはできない。

もちろん、政策の目標が時間的あるいは空間的に限られたものであるならば、それに応じることも、経済モデルの開発の費用面から重要である。本研究では、単一のモデルではなく、時間的視野および空間的視野に応じて、柔軟に対応できる経済モデル群を構築し、政策目標に応じてモデルを使い分けることを提案している。

### 参考文献

伴金美、1991、『マクロ計量モデル分析：モデル分析の有効性と評価』、有斐閣。

伴金美、斉藤誠、2004、「マクロ計量モデルによるインフレ率予測誤差の分析」、福田慎一・粕谷宗久編『日本経済の構造変化と経済予測』、東京大学出版会、47-75、2004。

Blanchard, O.J., and C.M. Kahn, 1980, The Solution of Linear Difference Models Under Rational Expectations, *Econometrica* 48, 1305-1311.

Boehringer, C., and T.F. Rutherford, 2008, Combining Bottom-Up and Top-Down, *Energy Economics* 30, 574-596.

Debreu, G. (1959), *Theory of Value*, Cowles Foundation Monograph 17, John Wiley & Sons.

Hibino and et. al., 2003, A guide to AIM/Enduse Model, in Kainuma, Matsuoka and T. Morita eds., *Climate Policy Assessment*, Springer.

IEA, 2008, *Energy Technology Perspectives 2008: Scenario and Strategy to 2050*.

IPCC, 2007, *Mitigation of Climate Change*, in Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report.

Johansen L. (1960), *A Multi-Sector Study of Economic Growth*, North-Holland.

Klein, L.R. (1950), *Economic Fluctuations in the United States, 1921-1941*, Cowles Foundation Monograph 11, John Wiley and Sons.

Kohler J., T. Barker, D. Anderson and H. Pan, 2006, Combining Energy Technology Dynamics and Macroeconometrics: The E3MG Model, *The Energy Journal Special issue*, 113-133.

Koopmans, T.C., 1947, Measurement without Theory, *The Review of Economic Statistics* 29, 161-172.

Leontief, W.W. (1936), "Quantitative Input and Output Relations in the Economic Systems of the United States", *The Review of Economics and Statistics* 18, 105-125.

Lucas, R., 1976, *Econometric Policy Evaluation: A Critique*, *Journal of Monetary Economics* 1, 19-46.

Manne, A., R. Mendelsohn and R. Richels (1995), "MERGE A Model for Evaluating Regional and Global Effects of GHG Reduction Policies", *Energy Policy* 23, 17-34.

Mathiesen, L., 1987, An Algorithm Based on a Sequence of Linear Complementarity Problems Applied to a Walrasian Equilibrium Model: an Example, *Mathematical Programming* 37, 1-18.

Nordhaus, W.D., 1994, *Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change*, MIT Press.

Pagan, A., 1994, Introduction to Calibration and Econometric Research: an Overview, *Journal of Applied Econometrics* 9, S1-S10.

Ramsey, F.P., 1928, A Mathematical Theory of Saving, *The Economic Journal* 38, 543-559.

Rutherford, T.F., 1999, Applied General Equilibrium Modeling with MPSGE as a GAMS Subsystem: an Overview of the Modeling Framework and Syntax, *Computational Economics* 14, 1-46.

Scarf, H.E. (1981), "The Computation of Equilibrium Prices: A Exposition", in K.J. Arrow and M.D. Intrilligator eds., *Handbook of Econometrics* 2, 1007-10061, North-Holland.

Weyant J.P. and et. al., 2006, "Overview of EMF-21: Multi-Greenhouse Gas Mitigation and Climate Policy", *The Energy Journal Special Issues*, 1-32.



## 2章 環境政策を評価するためのCGEモデル

### 要旨

環境政策を評価するための経済モデルとして、本研究で構築されたCGE(Computable General Equilibrium)モデルについてまとめている。CGEモデルは、数多くの経済主体が数多くの市場を通じて相互に取引する経済社会を表現する社会会計表をベースとしており、社会会計表の各セルの数値を一般均衡の枠組みで構築された方程式体系を用いて再現しようとするものである。環境政策が経済社会全体に大きく影響する可能性の高いことを考慮すれば、環境政策を評価する経済モデルとして一般均衡の枠組みでモデルを構築することが重要となるが、CGEモデルはそれに適うものである。

環境政策の影響を評価する場合、経済モデルは環境政策の変更に対して頑健性の高いことが求められる。環境政策の変更によって影響されないモデル構築のために、CGEモデルは、生産関数・費用関数・効用関数とそれから導出される需要関数・供給関数を一対一に対応させることで頑健性を確保している。それにより、例えば、排出量取引市場のように、現に存在しないが、創設することで、どのような取引が行われ、経済社会にどのような影響を与えるかを事前に評価することができる。さらに、本研究で構築されるCGEモデルは、現に採択されている技術だけでなく、採択される可能性のある技術についても明示して取り入れるボトムアップ型技術選択も取り入れたハイブリッド型技術選択を基本としており、新たな低炭素技術の採択可能性についても評価することが可能となっている。

最後に、本研究で構築されたCGEモデルは、Forward Looking型の動学的最適成長モデルに基づいており、家計や企業が将来を見越して行動する可能性を評価することができる。例えば、温暖化防止を実現するための環境政策は、温暖化防止のための投資費用が負担となるが、温暖化防止のための投資とそれを賄う貯蓄は、Forward Lookingで行動する家計や企業が決めることから、環境政策も将来を見据えた家計や企業の行動に影響を与えることが必要となる。本研究で構築されたCGEモデルでは、温暖化防止のために低炭素化を促進する環境政策についても、将来の期待に影響することで政策効果が発揮できるかどうかについて事前に評価することができる。

担当者 伴 金美

## 1 社会会計表と CGE モデルの基本構造

CGE(Computable general Equilibrium)モデルは、租税政策の変更や貿易自由化のような重要な政策決定において、一般均衡の枠組みで政策変更が経済に与える影響を評価するための経済モデルとして、これまでも大きな役割を果たしてきた。

CGE モデルの特徴である一般均衡モデルとは、経済社会に存在する無数の市場における経済取引を網羅し、各市場だけでなく市場間の相互取引の関係を把握した上で分析できることから大きな力を発揮する。例えば、二酸化炭素排出する財・サービスに対する炭素税の賦課は、二酸化炭素を排出する財・サービスの価格や取引量だけでなく、二酸化炭素排出とは無縁の財・サービスの価格や取引量にも影響する。CGE モデルは、経済社会の密接な連関を経済モデルの基本としており、政策変更の直接・間接の影響を総合的に評価することができる。

CGE モデルのもう一つの特徴は、産業区分が詳細な多部門モデルであることにある。特に、政策が特定の財や特定の産業部門に大きな影響を与える場合、経済モデルは当該産業を明示的に扱うことが求められる。本研究の主題でもある、経済活動にともなう二酸化炭素削減のための環境政策が、経済活動に与える影響を評価する場合、二酸化炭素排出が化石燃料の燃焼により生じることから、化石燃料の生産と需要について詳細な分析が求められる。

### 1.1 社会会計表

表 1 は、CGE モデルの基本となる 2005 年の日本経済の取引関係を、財・サービスと生産部門を農業・製造業・サービス・エネルギーの 4 部門に簡略化して表したものであり、社会会計表 (SAM: Social Accounting Matrix) とよばれるものである。経済主体としては、企業・家計・政府・外国が想定されている。経済取引の単位は兆円であり、排出量は二酸化炭素の排出量で、単位は二酸化炭素換算百万トンである。

社会会計表の経済取引の各数値は、財・サービス部門を横に見れば、生産された財・サービスの支出の流れが表されている。製造業についてみれば、農業に 2 兆円、製造業に 129 兆円、サービスに 55 兆円、エネルギーに 6 兆円が中間投入として需要されている。さらに、消費に 55 兆円、政府支出に 2 兆円、投資に 33 兆円、輸出に 55 兆円が最終需要されている。中間投入と輸出を除く最終需要には、国内生産だけでなく関税を含めた輸入 43 兆円が含まれているため、その分を控除すれば、国内生産額は 290 兆円となる。一方、生産部門を縦に見れば、国内生産額 290 兆円の投入構造が表されている。製造業は、農業から 8 兆円、製造業から 129 兆円、サービスから 56 兆円、エネルギーから 9 兆円を中間投入しており、さらに生産要素として労働 51 兆円、資本 28 兆円が投入され、間接税 9 兆円を含めて計 88

兆円の付加価値を生み出している。

表 1 において、日本経済をマクロ経済として見れば、総需要は財・サービスに対する最終需要の合計である 506 兆円、総所得は生産部門から生み出される付加価値の合計 506 兆円となり、両者は一致し、GDP (国内総生産 : Gross Domestic Products) となる。すなわち、生産活動により付加価値として生み出された所得が、全額総需要に費やされることを意味する。もちろん、経済主体毎に見れば、家計は 131 兆円の貯蓄超過、政府は 35 兆円の赤字、貿易黒字が 6 兆円となる。なお、貿易黒字は外国への貯蓄として扱われる。家計・政府・外国の貯蓄額の合計は 90 兆円となるが、投資額 90 兆円と一致する。すなわち、社会会計表を用いれば、三面等価の原則 (生産 = 所得 = 支出) と貯蓄・投資バランス (貯蓄 = 投資) の関係が一望できる。

二酸化炭素排出量は、生産部門と消費が需要するエネルギーの消費に起因するものである。

表 1 社会会計表 (2005 年の日本経済)<sup>5</sup>

	生産部門				生産要素			最終需要					合計	
	農業	製造業	サービス	エネルギー	労働	資本	間接税等	消費	政府支出	投資	輸出	輸入		関税
財・サービス	2	8	1	0				4		0	0	-2	0	13
農業	2	129	55	0				55	2	33	55	-40	-3	290
製造業	2	56	165	6				229	113	56	17	-11	0	634
サービス	0	9	15	16				11			1	-15	-1	36
エネルギー	1	51	220	3										276
付加価値	5	28	158	5										196
労働	0	9	19	6										34
資本					251	179		75						506
間接税					25	17	34						5	80
家計								131	-35	-90	-6			0
政府														
貯蓄														
合計	13	290	634	36	276	196	34	506	80	0	68	-68	0	

単位: 兆円

排出量	15	282	289	446				171						1,203
-----	----	-----	-----	-----	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	-------

単位: 百万CO2トン

## 1.2 社会会計表の恒等関係

CGE モデルは、表 1 で表される社会会計表の数値を、経済モデルとして再現するものである。社会会計表に含まれる各変数は、次の恒等式 (会計式) にしたがう。

生産 = 需要

$$Q_i = \sum_{j=1}^N X_{ij} + C_i + G_i + I_i + E_i - M_i - Tm_i \quad (1)$$

生産 = 投入

<sup>5</sup> 数値は兆円に揃えるために四捨五入しており、合計と一致しないことがある。また、0 はまたは 5 千億円未満の数値を意味している。

$$Q_j = \sum_{i=1}^N X_{ij} + L_j + K_j + Ti_j \quad (2)$$

労働需要=労働供給

$$\sum_{j=1}^N L_j = L \quad (3)$$

資本需要=資本供給

$$\sum_{j=1}^N K_j = K \quad (4)$$

家計収支バランス

$$L + K = \sum_{i=1}^N C_i + S_h + Ty \quad (5)$$

政府収支バランス

$$Ty + \sum_{i=1}^N Ti_i + \sum_{i=1}^N Tm_i = \sum_{i=1}^N G_i + S_g \quad (6)$$

貯蓄・投資バランス

$$S_h + S_g - \sum_{i=1}^N E_i + \sum_{i=1}^N M_i = \sum_{i=1}^N I_i \quad (7)$$

記号は以下の通りである。

$i$  : 財・サービス、 $j$  : 産業部門、

$Q_j$  : 生産量、 $X_{ij}$  : 中間投入、 $C_i$  : 消費、 $G_i$  : 政府支出、 $I_i$  : 投資、

$E_i$  : 輸出、 $M_i$  : 輸入、 $L_i, L$  : 労働、 $K_i, K$  : 資本、

$Tm_i$  : 関税、 $Ti_j$  : 間接税、 $Ty$  所得税、 $S_h$  : 家計貯蓄、 $S_g$  : 政府貯蓄

(1)式～(6)式から、貯蓄・投資バランス(7)式が得られる。CGEモデルは、(1)式から(7)式の恒等関係にある各変数を、企業・家計・政府の最適化行動から決めることである。もしそれができれば、二酸化炭素排出量がエネルギー投入量に依存することから、排出量に制約を課せば、CGEモデルは変数間の関係について新たな解を計算する。両者を比較すれば、二酸化炭素排出削減が日本経済に与える影響を数値的に示すことができる。これが本研究の目的である。

### 1.3 企業の行動原理



企業は生産量 $Q_j$ ・投入する財サービス価格・賃金・資本財価格所与として、投入費用を最小化するように行動すると考える<sup>6</sup>。ここでは、完全競争の仮定が置かれる。

$$\min_{X_{ij}, L_j, K_j} \sum_{i=1}^N p_i X_{ij} + wL_j + rK_j, \quad s.t. \quad Q_j = f(X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{Nj}, L_j, K_j) \quad (8)$$

ここで、 $p_i$  : 財・サービス価格、 $w$  : 賃金、 $r$  : 資本財価格である。このとき、中間投入・労働・資本に対する需要は次のように表される。

$$\begin{aligned} X_{ij} &= \phi_{ij}(p_1, p_2, \dots, p_N, w, r, Q_j) \\ L_j &= \phi_{Lj}(p_1, p_2, \dots, p_N, w, r, Q_j) \\ K_j &= \phi_{Kj}(p_1, p_2, \dots, p_N, w, r, Q_j) \end{aligned} \quad (9)$$

(9)式の関数型とパラメータは、(8)式の生産関数  $Q_j = f(X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{Nj}, L_j, K_j)$  と投入価格  $(p_1, p_2, \dots, p_N, w, r)$  によって決まる。なお、(8)式で決まる最小費用を

$$\Pi_j(p_1, p_2, \dots, p_N, w, r, Q_j) = \min_{X_{ij}, L_j, K_j} \sum_{i=1}^N p_i X_{ij} + wL_j + rK_j \quad (10)$$

と表せば、(10)式は費用関数となる。(8)式の前生産関数と(10)式の費用関数は、生産技術を表すもので、双対定理により一対一に対応する。このとき、中間投入・労働・資本に対する需要関数は、シェファードの定理から

$$\begin{aligned} X_{ij} &= \frac{\partial \Pi_j(p_1, p_2, \dots, p_N, w, r, Q_j)}{\partial p_i} \\ L_j &= \frac{\partial \Pi_j(p_1, p_2, \dots, p_N, w, r, Q_j)}{\partial w} \\ K_j &= \frac{\partial \Pi_j(p_1, p_2, \dots, p_N, w, r, Q_j)}{\partial r} \end{aligned} \quad (11)$$

と表すことができる。すなわち、CGE モデルでは、中間投入・労働・資本に対する需要は、

<sup>6</sup> 企業行動と家計行動については、簡単化のために税を省略している。

投入される財の価格と生産量で決まるとして定式化される。

#### 1.4 家計の行動原理

家計の行動の基本となるのは、財・サービスを消費することで得られる効用である。経済理論では、効用は観測できず、序数的意味しか持たず、基数的な意味はないとされている。しかし、CGE モデルでは、消費する財・サービスの関数として次のように表すことができ、基数的に意味を持つとされている。

$$U = u(C_1, C_2, \dots, C_N) \quad (12)$$

次に、家計の行動原理を次のように定式化する。所得を  $y$  とするとき、所得制約の中で効用が最大となるように消費を決定すると考える。

$$\max_{C_1, C_2, \dots, C_N} u(C_1, C_2, \dots, C_N), \quad s.t. \quad \sum_{i=1}^N p_i C_i \leq Y \quad (13)$$

このとき、最大効用は、財・サービス価格と所得の関数として表される。

$$v(p_1, p_2, \dots, p_N, Y) = \max_{C_1, C_2, \dots, C_N} u(C_1, C_2, \dots, C_N) \quad (14)$$

(14)式は間接効用関数とよばれるものである。

家計の行動原理として、効用  $u$  を得るために費用が最小となるように消費  $(C_1, C_2, \dots, C_N)$  を決めるという考え方もある。

$$\min_{C_1, C_2, \dots, C_N} \sum_{i=1}^N p_i C_i, \quad s.t. \quad u(C_1, C_2, \dots, C_N) \geq U \quad (15)$$

このとき、最小費用は、財・サービス価格と効用の大きさの関数として表される。

$$e(p_1, p_2, \dots, p_N, U) = \min_{C_1, C_2, \dots, C_N} \sum_{i=1}^N p_i C_i \quad (16)$$

(16)式は支出関数とよばれるものである。

ロイの恒等式から、支出関数は次のように表される。

$$\begin{aligned}
C_i = c_i(p_1, p_2, \dots, p_N, Y) &= \frac{\partial e(p_1, p_2, \dots, p_N, U)}{\partial p_i} \\
&= \frac{\partial v(p_1, p_2, \dots, p_N, Y)}{\partial p_i} \\
&= - \frac{\partial v(p_1, p_2, \dots, p_N, Y)}{\partial y}
\end{aligned} \tag{17}$$

と表すことができる。すなわち、CGE モデルでは、消費財需要は、消費財価格と所得で決まるように定式化される。

本節は、家計の行動原理について述べているが、政府の行動原理についても同様に考えて定式化されている。

### 1.5 一般均衡解と混合相補問題

本研究で構築される CGE モデルは、Mathiesen (1987) と Rutherford (1999) に基づき、次の三つの不等式群からなる混合相補問題(MCP: Mixed Complementarity Problem)として定式化されている。

#### ゼロ利潤条件

CGE モデルでは完全競争を仮定しており、過剰利潤は想定されていない。したがって、生産費用が販売額を下回ることはない。すなわち、

$$\Pi_j(p_1, p_2, \dots, p_N, w, r, Q_j) \geq p_j Q_j, \quad Q_j \geq 0 \tag{18}$$

ここで、 $\Pi_j(p_1, p_2, \dots, p_N, w, r, Q_j) > p_j Q_j$  であれば生産費用が販売額を上回ることから、

利潤は負となる。この場合、企業は生産を行わず、 $Q_j = 0$  となる。生産が行われる、すな

わち、 $Q_j > 0$  となるのは、生産費用が販売額と一致し、利潤がゼロとなる場合に限られる。

ゼロ利潤条件は、家計支出の決定においても適用される。

$$e(p_1, p_2, \dots, p_N, U) \geq p_u U, \quad U \geq 0 \tag{19}$$

(19)式は、効用水準 $U$ を所与とするときの最小費用である支出額が、効用の価額を下回ることはないと考えている。企業と同様に、支出額が効用の価額を上回るのであれば、すなわち、 $e(p_1, p_2, \dots, p_N, U) > p_u U$ であれば、支出は行われず、 $U = 0$ となる。支出が行われるのは、すなわち $U > 0$ となるのは、支出額が効用の価額と一致する場合に限られる。

ゼロ利潤条件とは、生産や消費支出が行われるか否かを定める条件となる。

### 市場均衡条件

市場には、需要は供給を上回ることができないという厳然とした事実がある。この考え方に沿えば、財・サービスや生産要素の市場で次の各式が成立する。

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^N \frac{\partial \Pi_j}{\partial p_j} + \frac{\partial e}{\partial p_i} &\leq Q_i, & p_i &\geq 0 \\ \frac{Y}{p_u} &\leq U, & p_u &\geq 0 \\ \sum_{j=1}^N \frac{\partial \Pi_j}{\partial w} &\leq L, & w &\geq 0 \\ \sum_{j=1}^N \frac{\partial \Pi_j}{\partial r} &\leq K, & r &\geq 0 \end{aligned} \tag{20}$$

(20)式の左辺は需要であり、右辺は供給である。このとき、需要が供給を下回れば、対応する財・サービス価格・賃金・資本価格はゼロとなる。価格がプラスとなるのは、需要と供給が一致する場合に限られる。

### 所得収支条件

所得は、生産要素である労働と資本の本源的な持ち主である家計に帰属して、次のように表される。

$$Y = wL + rK \tag{21}$$

### 混合相補問題

ゼロ利潤条件・市場均衡解・所得収支条件からなる一般均衡モデルは、結局は、次の超

過需要関数として表すことができる。

$$z(p) = d(p) - s(p) \leq 0 \quad (22)$$

ここで、 $p$  : 価格ベクトル、 $z(p)$  : 超過供給ベクトル、 $d(p)$  : 需要ベクトル、 $s(p)$  : 供給ベクトルである。その一方で、次のワルラス法則が成立する。

$$p'z(p) = p'd(p) - p's(p) = 0 \quad (23)$$

一般均衡解とは、

$$p'z(p) = 0, \quad p \geq 0 \quad (24)$$

を解くことにほかならない。この問題は、混合相補問題(MCP: Mixed Complementarity Problem)として、次のような書くことができる。

$$p \geq 0 \perp z(p) \quad (25)$$

## 解法のためのソフトウェア

本研究では、CGE モデルの記述するソフトウェアとして、GAMS/MPSGE を用いる。GAMS/MPSGE は、地球環境問題を分析するための経済モデルを記述するソフトウェアとして世界的に広く使われている。また、混合相補問題の解法には、GAMS/PATH を用いる。GAMS/PATH は、GAMS/MPSGE で記述された一般均衡モデルの解法に優れた能力を発揮する。

### 1.6 CGE モデルにおける関数型

これまで、生産関数・費用関数や効用関数について一般的な関数型を想定してきたが、本節では本研究で構築した CGE モデルで使われている具体的な関数型について説明する。本研究で用いる CGE モデルは、生産量を所与とするとき、生産費用を最小にする企業の行動原理に基づいて、 $j$  番目の生産部門の費用関数を多段 CES (Constant Elasticity of Substitution) 型関数とよばれる次のように定義される関数型<sup>7</sup>を用いる。

---

<sup>7</sup> 簡単化のために、中間投入については固定係数型生産関数を仮定しているが、中間投入についても多段 CES 型で用いることもある。

$$\begin{aligned} \Pi_j(p_1, p_2, \dots, p_N, w, r, Q_j) = & \\ & \left( \theta_{KEL,j} w^{1-\sigma_{KEL,j}} + (1-\theta_{KEL,j}) \left( \theta_{KE,j} p_E^{1-\sigma_{KE,j}} + (1-\theta_{KE,j}) r^{1-\sigma_{KE,j}} \right)^{\frac{1-\sigma_{KEL,j}}{1-\sigma_{KE,j}}} \right)^{\frac{1}{1-\sigma_{KEL,j}}} Q_j \quad (26a) \\ & + \sum_{i \in E}^N \theta_{i,j} p_i Q_j \end{aligned}$$

ここで、費用関数に一次同次性を仮定すれば、次の単位費用関数が定義できる。

$$\begin{aligned} \pi_j(p_1, p_2, \dots, p_N, w, r) = & \\ & \left( \theta_{KEL,j} w^{1-\sigma_{KEL,j}} + (1-\theta_{KEL,j}) \left( \theta_{KE,j} p_E^{1-\sigma_{KE,j}} + (1-\theta_{KE,j}) r^{1-\sigma_{KE,j}} \right)^{\frac{1-\sigma_{KEL,j}}{1-\sigma_{KE,j}}} \right)^{\frac{1}{1-\sigma_{KEL,j}}} \quad (26b) \\ & + \sum_{i \in E}^N \theta_{i,j} p_i \end{aligned}$$

ここで、 $\sigma_{KEL,j}$ ：労働と資本・エネルギー結合投入の代替弾力性、 $\sigma_{KE,j}$ ：資本とエネルギーの代替弾力性、 $\theta_{KEL,j}$ 、 $\theta_{KE,j}$ 、 $\theta_{i,j}$ ：パラメータである。

このとき、中間投入財需要関数、労働需要関数、資本需要関数とエネルギー需要関数は各々次のように表される。

$$X_{ij} = \frac{\partial \pi_j}{\partial p_i} Q_j = \theta_{i,j} Q_j \quad (27)$$

$$L_j = \frac{\partial \pi_j}{\partial w} Q_{KEL,j} = \theta_{KEL,j} \left( \frac{w}{p_{KEL,j}} \right)^{-\sigma_{KEL,j}} Q_{KEL,j} \quad (28)$$

$$K_j = \frac{\partial \pi_j}{\partial r} Q_{KE,j} = \theta_{KE,j} \left( \frac{r}{p_{KE,j}} \right)^{-\sigma_{KE,j}} Q_{KE,j} \quad (29)$$

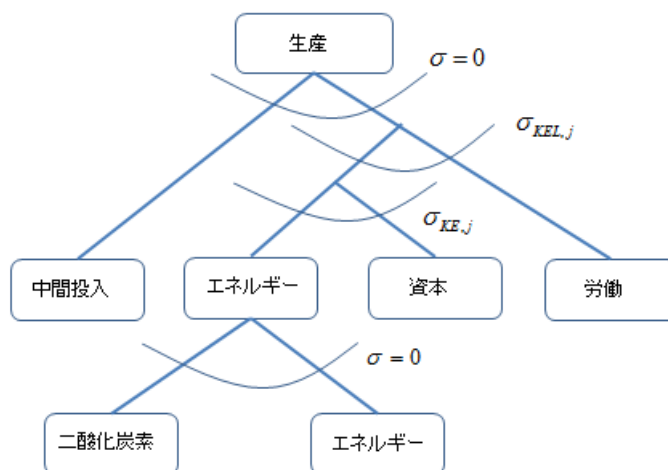
$$E_j = \frac{\partial \pi_j}{\partial p_e} Q_{KE,j} = (1-\theta_{KE,j}) \left( \frac{p_e}{p_{KE,j}} \right)^{-\sigma_{KE,j}} Q_{KE,j} \quad (30)$$

ここで、 $p_{KEL,j}$ ：資本・エネルギー・労働の結合投入価格、 $Q_{KEL,j}$ ：資本・エネルギー・労

働の結合投入量、 $p_{KE,j}$ ：資本・エネルギーの結合投入価格、 $Q_{KE,j}$ ：資本・エネルギーの結合投入量である。CGE モデルにおいて、多段 CES 型関数が頻繁に用いられるのは、投入量が相対価格の比の対数線形で表され、その係数パラメータが投入要素間の代替弾力性となることによる。

多段 CES 型生産関数は、図 1 のように表すこともできる。すなわち、第 1 段階では労働・資本・エネルギーの結合投入と中間投入が、レオンチェフ型の固定係数関係で結合され、第 2 段階では、労働と資本・エネルギーの結合投入が CES 型で結合され、第 3 段階では、資本とエネルギーが CES 型技術で結合されている。図 1 の最下段にある第 4 段階は、(26) 式にはないがエネルギーと二酸化炭素がレオンチェフ型の固定係数関係にあることを意味している。すなわち、CGE モデルでは、生産にともなって排出される二酸化炭素は、エネルギー投入量に一对一の関係で排出されると想定されている。

図 1 生産構造の表記



### 1.7 排出量市場：相補問題としての定式化

二酸化炭素削減のための環境政策を考える上で、排出量取引が重要な役割を持っている。しかし、排出量取引市場は存在しない。その一方で、排出制約を課したとき、排出量価格がどの程度の水準となり、それが経済にどのような影響を与えるかを評価することが求められる。

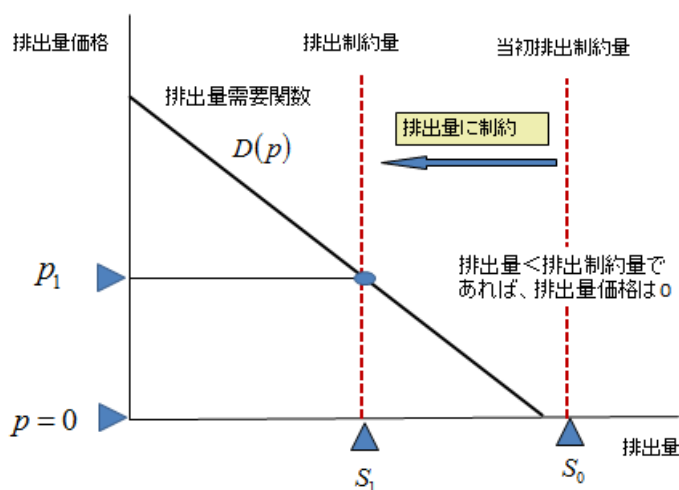
本研究で構築される経済モデルでは、二酸化炭素排出量は図 1 に示されるように、化石燃料の消費に付随して発生すると想定している。その結果、生産量と相対価格を所与とすれば、二酸化炭素排出量が計算される。ここでは、それを二酸化炭素排出需要とする。こ

のとき、二酸化炭素排出量需要関数  $D(p)$  は図 2 で示されように右下がりの曲線として表される。それに対して、排出制約量が供給側の制約となる。

もし排出制約量が  $S_0$  であれば、排出量需要はそれ以下であり、価格が付かず、 $p = 0$  となる。一方、排出制約量を  $S_1$  と厳しくすれば、排出量需要と排出制約量が一致する点で、排出量価格  $p_1 > 0$  が決まる。これは、1.5 で説明した混合相補問題 (MCP: Mixed Complementarity Problem) にほかならない。

$$pD(p) = 0, \quad p \geq 0 \quad (31)$$

図 2 排出量取引市場



## 2 ハイブリット型技術選択モデル

環境政策を評価するためのモデルは、国際エネルギー機関のエネルギー技術システム分析グループを中心に開発を進められている MARKAL/TIMES<sup>8</sup>モデル、Manne, Mendelsohn and Richel (1995)による MERGE モデルに見られるように、詳細な技術情報に基づくボトムアップ型技術選択モデルと MARKAL-MACRO あるいは Global2200 とよばれるマクロ 1 部門からなるトップダウン型の経済モデルが構築され、経済活動を所与として費用最小化原理に基づいて技術が選択され、その結果が、トップダウン型経済モデルに入力される。このとき、二酸化炭素排出量に制約が加われば、より高価な低炭素化技術が選択されることになるが、その一方でエネルギー価格や供給量が変化することで、マクロの生産、投資、消費だけでなく、相対価格や産業構造そのものの変化にもつながる。したがって、トップダウン型経済モデルの結果をボトムアップ型技術選択モデルにフィードバックさせる必要があるが、その例は少ない。そこで、Boehringer(1998)、Boehringer and

<sup>8</sup> Zonooz, Nopiah, Yusof and Sopian (2009)



Rutherford(2008)は、ボトムアップ型技術選択モデルとトップダウン型経済モデルを統合したハイブリッド型モデルの構築を提案している。本研究で構築する CGE モデルは、この方向に沿ったものである。

CGE モデルにおける生産技術は、(8)式で表されるトップダウン型の生産関数として表されることが多い。トップダウン型技術選択モデルにおいて、生産技術は、図 3 で示されるように、生産量  $Q$  を所与としたとき、必要とされる投入要素である資本  $K$  とエネルギー  $E$  の組み合わせ（等生産量曲線）が、連続的な生産関数として表される。

図 3 連続関数で表されるトップダウン型生産関数

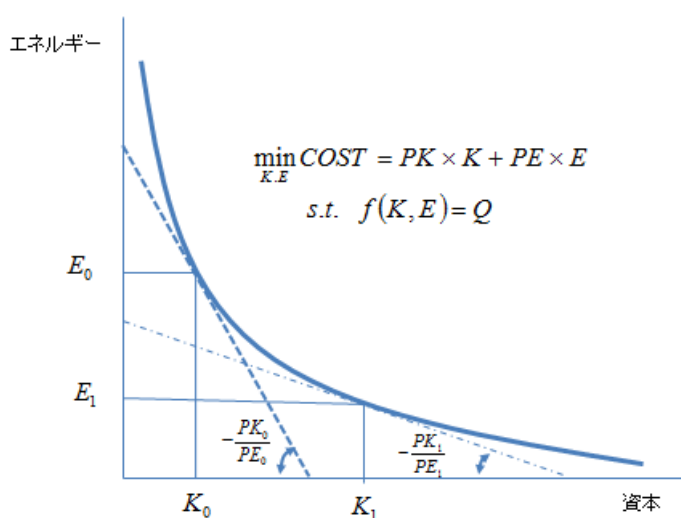


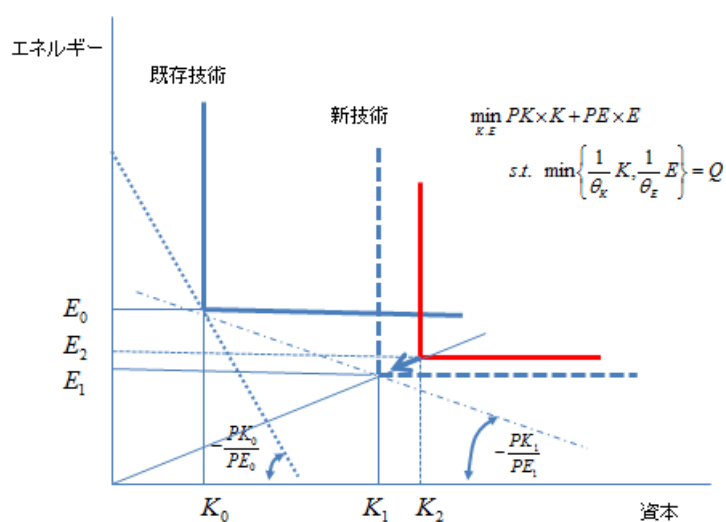
図 3 では、投入要素として資本とエネルギーの二つを想定し、企業は生産量  $Q$  を所与とし、費用が最少となるように資本  $K$  とエネルギー  $E$  の組み合わせを選択する。投入要素価格が  $(PK_0, PE_0)$  であれば、最適投入量の組み合わせは  $(K_0, E_0)$  となる。ここで、投入要素価格が  $(PK_1, PE_1)$  へ変化すれば、すなわち、資本価格に比してエネルギー価格が上昇すれば、最適投入量は  $(K_1, E_1)$  に移動し、エネルギーが資本で代替されることを意味している。このとき、最適点における接線の傾きは、資本価格とエネルギー価格の相対比となる。すなわち、炭素制約を課すために炭素税を導入し、エネルギー価格を資本価格に比して高くすれば、最適投入量は生産関数上を  $(K_0, E_0)$  からエネルギー節約型の  $(K_1, E_1)$  に移動する。ここで、生産量は所与とされているので、必要とするエネルギー投入量は減少し、低炭素化が進むことになる。このようなトップダウン型生産関数では、投入要素の相対価格の変化により技術選択がスムーズに行われると想定している。

しかし、生産量  $Q$  を所与とするとき、相対価格の変化で  $(K, E)$  が連続的に変化することは、技術を重視するボトムアップ型技術選択モデルからすれば理解し難いところでもある。ボトムアップ型技術選択モデルによれば、個々の技術は独立した離散的な存在であり、連続

的な包絡線で表される生産関数は考えられてはいない。

技術を非連続的なものと理解するための一つの方法は、図 4 で表されるような固定係数で表される複数のアクティビティの集まりと考えることである。図 4 では、生産量  $Q$  を所与として生産可能な技術は、既存技術と新技術の二つが存在すると想定されている。ここで、 $\theta_K$  と  $\theta_E$  はボトムアップ型技術選択で用いられる個々の技術情報である。このとき、エネルギーと資本の相対価格が  $(PK_0, PE_0)$  であれば、エネルギーと資本の最適投入量は  $(K_0, E_0)$  であるが、相対価格が  $(PK_1, PE_1)$  に変化しても、新技術の費用が依然として高いことで、既存技術はそのまま使われることになる。新技術が採択されるには、エネルギー価格が資本価格に比してさらに高くなる必要がある。

図 4 固定係数で表されるアクティビティ型生産技術



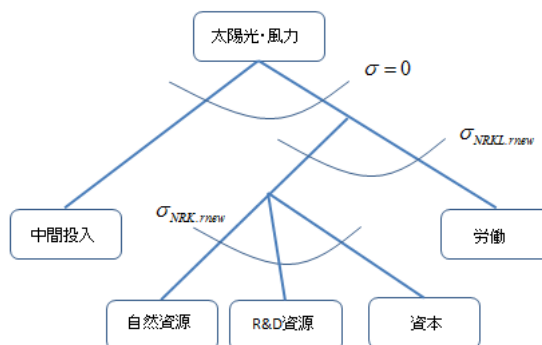
ここで重要なことは、新技術が少ないエネルギーで生産可能な技術であり、利用することが望ましいとしても、エネルギー価格がある程度高くならなければ採択されないということである。エネルギーと資本の相対価格が  $(PK_1, PE_1)$  のとき、新技術の採択を行うには  $Q$  を生産するために必要となる資本とエネルギーの必要量が  $(K_2, E_2)$  から  $(K_1, E_1)$  に減るような技術革新が生じることが必要となる。すなわち、エネルギー節約型新技術が採択されるには、エネルギー価格が十分に高くなるか、新技術を低廉化するための補助金、あるいはイノベーション（技術革新）が必要となる。

本研究では、ボトムアップ型技術として太陽光発電と風力発電の二つを新エネルギー発電技術として別々のアクティビティとして想定している。なお、ボトムアップ型技術選択を重視する立場から、太陽光発電については住宅用とメガソーラ、風力発電については、陸上風力と養生風力などに細分化する必要があるが、本研究では、細分化していない。

太陽光発電と風力発電は、二酸化炭素排出制約が緩く、二酸化炭素価格が十分に高くなければ採択されないが、二酸化炭素排出制約が厳しくなるに従って二酸化炭素価格が上昇

することで、火力発電の単価が上昇すれば採択されるメカニズムを取り入れている。もちろん、設置費用に対する補助金や全量買い取り制度が実施されれば、太陽光発電・風力発電費用の低下がとなり、採択されるメカニズムが働く。太陽光・風力発電は、図 5 に示されるような生産構造を持つと想定している。

図 5 太陽光・風力発電の生産構造



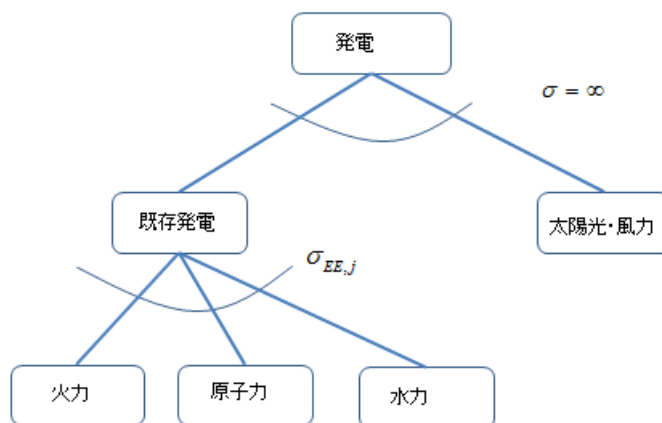
ここで、太陽光・風力発電などの新エネルギー発電アクティビティにおいては、中間投入・資本・労働以外に、自然資源と R&D 資源が生産要素として重要な役割を持つ。自然資源は、太陽照射量・風力量・設置場所を総合的に勘案したものである。この中で太陽照射量・風力量は経済社会では所与と考えられるが、設置場所である土地・建物については、規制緩和などの政策的手段を用いて増加させることができると想定している。また、R&D 資源は、新エネルギー技術開発に対する研究開発投資が、生産の効率性を高める有力な生産要素としての役割を果たすと想定している。図 5 で示されるように、第一段階で、中間投入と自然資源・R&D 資源・資本・労働の結合投入量がレオンチェフの固定係数型技術で結合されており、第二段階で、自然資源・R&D 資源・資本の結合投入量と労働が CES 型生産技術で結合され、第三段階で、自然資源、R&D 資源と資本が、CES 型生産技術で結合される構造となっている。

火力・原子力・水力などの既存発電技術と太陽光・風力などの自然エネルギー発電技術は、同じ電力を生産するが、本研究で構築される CGE モデルでは、図 6 で示されるような構造を想定している。すなわち、火力・原子力・水力などの既存発電技術<sup>9</sup>は、CES 型生産構造を持ち、結合生産物として既存技術による発電量と発電価格が決定される。その上で、既存発電技術による発電価格が、太陽光・風力発電価格にも適用される。代替の弾力性が無限と想定されている。なお、ここでの太陽光・風力発電価格は、補助金や全量買い取り

<sup>9</sup> 水力については、太陽光・風力発電と同様に燃料を必要としないが、自然資源として立地資源が重要な役割を持つことから重要な生産要素の一つとなっている。

制度などで実際の発電費用を大きく下回ることによって、市場ではじめて採択される。

図 6 既存発電と太陽光・風力発電



本研究で構築される 2050 年までのより長期の CGE モデルにおいては、二酸化炭素回収・貯留 (CCS: Carbon Capture and Storage) 技術も有力なアクティビティとして登場し、バック・ストップ技術としての役割を果たす。

### 3 動学モデル

#### 3.1 静学モデルと動学モデル

CGE モデルでは、当初は静学モデルが中心であった。すなわち、各変数は時間的要素を持たず、政策変更による調整も瞬時にされると想定されることが多かった。静学モデルで CGE モデルを構築する場合、生産要素である資本・労働・自然資源の初期賦存量が固定されており、それが上限となり(20)式で表される市場均衡条件から経済の規模が決まる。したがって、二酸化炭素排出抑制のような環境政策の影響を評価しようとする場合、生産要素の賦存量の変化を引き起こすことが想定されないとすれば、環境政策の影響評価には限界が生じてしまう。その場合、静学 CGE モデルで分析できるのは、生産要素が産業部門間で再配置されることで生じる影響を評価することに限られる。例えば、二酸化炭素排出抑制のような環境政策は、既存の生産設備だけで対応することは難しく、新たな設備投資が必要とされる。しかし、静学モデルでは最終需要として設備投資を扱うことはできるが、設備投資が資本に加わることはなく、したがって、設備投資が生産能力を変化させる効果を持たない。

政策評価を行う場合、経済社会全体への影響を測る指標が求められる。静学 CGE モデルで分析する場合、資本・労働・自然資源が固定されているため、生産要素を源泉とする所

得の総和である GDP はあまり変化しない。経済全体への影響を評価する場合、GDP は評価指標としてしばしば使われるが、各生産要素が固定され、完全雇用が前提とされていることから、GDP は相対価格の変化による部分を除いてわずかとなるためである。それに対して、ミクロ経済学の立場から経済的影響を評価する指標として、家計の消費から生まれる効用の大きさに着目し、それを経済厚生とよび、影響評価の指標としている。

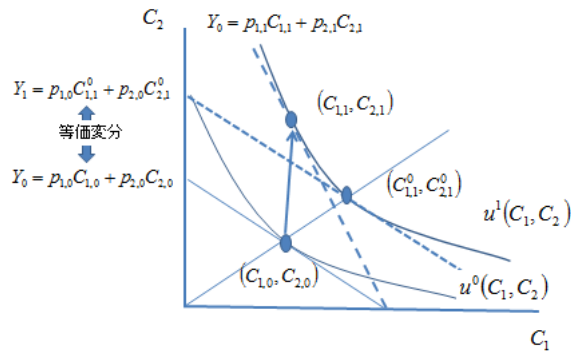
## 等価変分

経済厚生の指標である効用の変化を所得の変化に置き換えることで、影響評価をより分かりやすく表現するための指標として、等価変分 (EV: Equivalent Variation) が知られている。図 7 は、消費財が二財のケースについて、等価変分の考え方を表している。まず、初期状態において、所得制約  $Y_0 = p_{1,0}C_{1,0} + p_{2,0}C_{2,0}$  と財の価格  $(p_{1,0}, p_{2,0})$  を所与として、最適な消費の組み合わせ  $(C_{1,0}, C_{2,0})$  が選択され、そのときの効用が  $u^0(C_{1,0}, C_{2,0})$  で表される。次に、何らかの政策を実施することで、財の価格体が  $(p_{1,1}, p_{2,1})$  に変化し、所得制約  $Y_0 = p_{1,0}C_{1,1} + p_{2,0}C_{2,1}$  に基づいて最適適な消費の組み合わせが  $(C_{1,1}, C_{2,1})$  に変化し、効用が  $u^1(C_{1,1}, C_{2,1})$  に増加したとする。効用が  $u^0(C_{1,0}, C_{2,0})$  から  $u^1(C_{1,1}, C_{2,1})$  へ増加することは、政策の実施による経済厚生の改善の大きさを表している。この効用改善の大きさを、初期の価格  $(p_{1,0}, p_{2,0})$  が変化しないと仮定し、その価格で改善後の効用と同値、すなわち、 $u^1(C_{1,1}, C_{2,1}) = u^1(C_{1,1}^0, C_{2,1}^0)$  となる消費の組み合わせ  $(C_{1,1}^0, C_{2,1}^0)$  を選択するとき、政策の実施前の価格体系で見れば、それを購入するに必要となる所得は  $Y_1 = p_{1,0}C_{1,1}^0 + p_{2,0}C_{2,1}^0$  となることから、政策の実施により、所得が  $Y_0$  から  $Y_1$  に増加したこゝと同値となる。これが等価変分の考え方であり、次のように表すことができる。

$$EV = Y_1 - Y_0 = \left( \frac{u^1(C_{1,1}, C_{2,1}) - u^0(C_{1,0}, C_{2,0})}{u^0(C_{1,0}, C_{2,0})} \right) Y_0 \quad (32)$$

すなわち、等価変分は、初期状態の所得水準に効用の増加率を乗じたものとなる。

図7 静学モデルでの等価変分



### 動学モデルにおける貯蓄と投資

動学モデルで最も重要な役割を果たすのは、貯蓄・投資である。表1の社会会計表によれば、貯蓄と投資は一致することから、貯蓄をだれがどのようにして決めるかが重要となる。CGEモデルにおいて貯蓄を決めるのは家計である。貯蓄が決まれば、投資が決まり、

$$\begin{aligned} I_t &= S_t \\ K_{t+1} &= I_t + (1 - \delta)K_t \end{aligned} \tag{33}$$

にしたがって資本が蓄積される。ここで、 $I_t$  : 投資、 $S_t$  : 貯蓄、 $K_t$  : 資本ストック、 $\delta$  : 資本減耗率である。

CGEモデルでは、投資の源泉となる貯蓄を家計が決定すると考えるが、その点について、資本の所有者が家計という点と同じく違和感を指摘する意見もある。現実に貯蓄をしているのは家計だけでなく、企業も貯蓄しており、また、投資を決定するのは企業である。しかし、資本主義社会においては、企業の所有者である株主は最終的には家計であり、その意味で、企業の貯蓄や投資は家計が決定するということは十分に妥当性がある。

### 3.2 逐次動学型モデル

家計が貯蓄を決めるモデルの一つは、貯蓄を将来に備えるための財と見なし、次のような家計の消費行動原理から導出するものである。

$$\max_{C_t, S_t} u(C_t, S_t), \quad \text{s.t. } C_t + S_t = Y_t \tag{34}$$

(34)式は、貯蓄・投資という動学的な行動を、静学モデルで考えていることを意味している。もちろん、貯蓄・投資は明日への備えであり、効用関数の枠組みで決定するのも一つの考え方である。問題は、経済社会には、投資を積み重ねた資本ストックが資産として蓄積されており、資本ストックは生産に供されることで新たな所得を生む。しかし、(34)式によれば、貯蓄・投資の決定に、資本ストックあるいは資産の水準は関係しない。

ここで、 $u(C_t, S_t) = C_t^\beta S_t^{1-\beta}$  とすれば、貯蓄と投資の最適解は

$$\begin{aligned} C_t &= \beta Y_t \\ S_t &= (1 - \beta) Y_t \end{aligned} \tag{35}$$

となる。すなわち、貯蓄率が一定となる貯蓄関数が得られる。動学的 CGE モデルの多くが、(35)式で表されるような貯蓄率一定を想定しており、逐次動学モデルとよばれる。逐次動学モデルとよばれるのは、初期資本ストックを所与として静学モデルを解き、得られた所得の一定割合を貯蓄・投資とすることで、次の時点の初期資本を再定義し、次期の静学モデルを逐次的に解くことで、動学的な経路が得られることによる。計算が容易となることで、より複雑なモデルを構築することができる。

その一方で、逐次動学モデルは、各時点で利用可能な情報しか利用しないことから、低炭素化を目指す環境政策の導入を決定しても、政策が施行されるは経済に対して影響することはない。Backward Looking モデルと言われる所以である。しかし、多くの家計や企業は、将来の政策変更を見越して行動する。本研究では、家計や企業が将来を見越して行動する Forward Looking 型モデルを構築する。

### 3.3 動学的最適成長モデル

Forward Looking モデルの基本となるのは、貯蓄・投資の決定を家計の動学的最適化行動から導出するモデルとして知られている Ramey 型最適成長モデル<sup>10</sup>である。このモデルは 1 財からなるマクロモデルであるが、Nordhaus(1994)の DICE モデル、Manne, Mendelsohn and Richels (1995)の MERGE モデルの Global 2200 モデルとしても使われており、次のような動学的最適化問題として定式化される。

---

<sup>10</sup> Ramsey (1928)

$$\begin{aligned}
& \max_{C_t} \sum_{t=0}^{\infty} \left( \frac{1}{1+\rho} \right)^t u(C_t) \\
& \text{s.t.} \quad Y_t = f(K_t, L_t) \\
& \quad \quad I_t = Y_t - C_t \\
& \quad \quad K_{t+1} = I_t + (1-\delta)K_t \\
& \quad \quad L_t = (1+n)^t L_0
\end{aligned} \tag{36}$$

ここで、 $Y_t$  : 所得、 $C_t$  : 消費、 $I_t$  : 投資、 $K_t$  : 資本、 $L_t$  : 労働、 $\rho$  : 割引率、 $\delta$  : 資本減耗率、 $n$  : 労働増加率である。このとき、制約付き動学的最適化を解くために、次のラグランジュ式を用いる。

$$\begin{aligned}
\Psi = & \left( \frac{1}{1+\rho} \right)^t u(C_t) + \lambda_1 (f(K_t, L_t) - I_t - C_t) \\
& + \lambda_2 (I_{t-1} + (1-\delta)K_{t-1} - K_t) + \lambda_3 (I_t + (1-\delta)K_t + K_{t+1})
\end{aligned} \tag{37}$$

このとき、最適化のための1階の条件は次のように表される。

$$\frac{\partial \Psi}{\partial C_t} = \left( \frac{1}{1+\rho} \right)^t \frac{\partial u(C_t)}{\partial C_t} - \lambda_1 = 0 \tag{38}$$

$$\frac{\partial \Psi}{\partial K_t} = \lambda_1 \frac{\partial f(K_t, L_t)}{\partial K_t} - \lambda_2 + \lambda_3 (1-\delta) = 0 \tag{39}$$

$$\frac{\partial \Psi}{\partial I_t} = -\lambda_1 + \lambda_3 = 0 \tag{40}$$

ここで、 $\lambda_1 = p_t$ 、 $\lambda_2 = pk_t$ 、 $\lambda_3 = pk_{t+1}$  とすれば、

$$p_t = \left( \frac{1}{1+\rho} \right)^t \frac{\partial u(C_t)}{\partial C_t} \tag{41}$$

$$pk_t = (1-\delta)pk_{t+1} + p_t \frac{\partial f(K_t, L_t)}{\partial K_t} = (1-\delta)pk_{t+1} + p_t rk_t \tag{42}$$

$$p_t = pk_{t+1} \tag{43}$$

ここで、 $p_t$  : 生産物価格、 $pk_t$  : 資本価格、 $rk_t$  : 資本の限界収益率である。(42)式で表される漸化式を解けば、



$$pk_t = \sum_{j=0}^{\infty} (1-\delta)^j p_{t+j} rk_{t+j} \quad (44)$$

となるが、資本価格は投下した資本から将来得られる資本収益の割引現在価値となる。

### 混合相補問題

Paltsev (2004) は、動学的最適化行動から導出される条件式を、CGE モデルを構築するために重要な役割を果たす、ゼロ利潤条件、市場均衡条件、所得収支条件の3つに整理し、混合相補問題として定式化できることを示している。

(1). ゼロ利潤条件

$$c(rk_t, w_t) \geq p_t \perp Y_t \geq 0 \quad (45)$$

$$p_t \geq pk_{t+1} \perp I_t \geq 0 \quad (46)$$

$$pk_t \geq (1-\delta)pk_{t+1} + rk_t \perp K_t \geq 0 \quad (47)$$

(2). 需給均衡条件

$$Y_t \geq C_t + I_t \perp p_t \geq 0 \quad (48)$$

$$K_t \geq Y_t \frac{\partial c(rk_t, w_t)}{\partial rk_t} \perp rk_t \geq 0 \quad (49)$$

$$L_t \geq Y_t \frac{\partial c(rk_t, w_t)}{\partial w_t} \perp w_t \geq 0 \quad (50)$$

(3). 所得収支条件

$$M = pk_0 K_0 + \sum_{t=0}^{\infty} w_t L_t \quad (51)$$

ここで、 $c(rk_t, w_t)$  : 単位生産費用、 $w_t$  : 賃金、 $M$  : 生涯所得である。単位生産費用は、次の費用最小化問題の解である。なお、生産関数について一次同次を仮定している。

$$c(rk_t, w_t) = \min_{K_t, L_t} rk_t K_t + w_t L_t, \quad s.t. \quad f(K_t, L_t) = 1 \quad (52)$$

(45)式から(51)式で表される混合相補問題の経済的意味は、

- 生産物の市場価格が生産費用を下回る時は生産されない。生産されるのは、市場

価格と生産費用が一致したときに限られる。

- 投資によって得られる資本収益の割引現在価値が投資財費用を下回る時は投資されない。投資が行われるのは、資本収益の割引現在価値が投資財費用と一致するときに限られる。
- 市場において、需要が供給を下回れば、市場価格はゼロとなり、正となるのは需要が供給と一致するときである。
- 生涯所得は、初期時点の資産と、それ以降に労働で産みだした所得の和である

動学モデルでの投資決定のメカニズムは重要であり、投資はペイすることが分かって初めて投資されるということであり、Forward Looking 型 CGE モデルにそのメカニズムが明示的に組み込まれている。また、貯蓄・投資で蓄積された資本から生じる所得も、消費を控えて生み出されたものであることから、所得の繰り延べと同じであり、最終的には、生涯所得は初期資産とそれ以降の総労働所得の総和で表される。

#### 均斉成長経路と終端条件

動学モデルでは、貯蓄・投資の決定が大きな役割を持つが、モデルを構築する上で追加的な制約条件が様々課される。動学的均衡の存在もその一つである。動学的均衡とは一人当たり資本、一人当たり生産が一定となる均衡の存在である。もちろん、初期時点によっては、均衡へ収束せず発散する可能性も高い。動学的均衡に到達できるのは鞍点経路とよばれる特殊な経路に沿って経済が動く場合に限られる。なお、経済が動学的均衡点に達すれば、資本や生産は技術進歩を体化した労働成長率と同じ率で成長を続けることになる。これは均斉成長(balanced growth)とよばれる。数値動学モデルの場合、便宜的に初期時点から均斉成長を仮定することが多く、本研究で構築される Forward Looking 型動学モデルでもそれを仮定する。

均斉成長の下では、次の関係が成立している。

$$L_t = (1+n)L_{t-1} \quad (53)$$

$$K_{t+1} = (1+n)K_t \quad (54)$$

さらに、 $r$ ：金利が固定されておれば、異時点間の価格について次のような関係式が成立する。

$$p_{t+1} = \frac{p_t}{1+r} \quad (55)$$

すなわち、次期の価格は現在の価格を利子率で割り引いたものとなる。(54)式が成立すれば、

$$K_{t+1} = (1+n)K_t = I_t + (1-\delta)K_t$$

より、

$$(n + \delta)K_t = I_t \quad (56)$$

が成立する。すなわち、投資率は技術進歩率が体化された労働増加率と資本減耗率の和に等しくなる。さらに、

$$\begin{aligned} pk_t &= (1 - \delta)pk_{t+1} + rk_t \\ pk_{t+1} &= p_t = (1 + r)p_{t+1} \end{aligned}$$

より、

$$(r + \delta)p_t = rk_t \quad (57)$$

となる。すなわち、実質資本収益率が利子率と資本減耗率の和に等しくなる。

もし終端期だけでなく、初期時点も均斉成長経路上にあれば、計画期間の全てが均斉成長経路にあることから、本来は無限期間の最適化問題である(36)式を、次のような有限期間の問題と無限期間の問題の二つに分割して考えることができる。

$$\begin{aligned} \max_{C_t} \sum_{t=0}^T \left( \frac{1}{1 + \rho} \right)^t u(C_t) \\ \text{s.t.} \quad \sum_{t=0}^T p_t C_t = \sum_{t=0}^T w_t L_t + pk_0 K_0 - pk_{T+1} K_{T+1} \end{aligned} \quad (58)$$

$$\begin{aligned} \max_{C_t} \sum_{t=T+1}^{\infty} \left( \frac{1}{1 + \rho} \right)^t u(C_t) \\ \text{s.t.} \quad \sum_{t=T+1}^{\infty} p_t C_t = \sum_{t=T+1}^{\infty} w_t L_t + pk_{T+1} K_{T+1} \end{aligned} \quad (59)$$

二つの期間に分割したことで問題となるのは、第一期間の終端条件である  $K_{T+1}$  が無限期間の解と同じとなることが必要となる。そのために、Lau, Pahlke and Rutherford (2002) は終端期について、次の条件を課すことを提案している。

$$\frac{I_T}{I_{T-1}} = \frac{Y_T}{Y_{T-1}} \quad (60)$$

実際、全ての期間で均斉成長経路上にあれば、(60)式を制約条件とした(58)式の解は、無限期間について最適化問題を解いた値と一致する。(60)式を終端条件とすることの利便性は、T期以降において均斉成長が続くという条件を置くにとどめていることであり、T期における均衡解の水準については制約を置いていない。

残された問題は、初期時点が均斉成長経路上にあるかどうかである。初期時点が鞍点経路上にあれば、均斉成長経路になくても、期間 T を十分長くすれば良い。しかし、数値動

学モデルの場合、 $T$  を十分に長くすれば計算時間が累積的に拡大する問題がある。もう一つの解決策は、初期時点を均斉経路上に変更することである。そのために、投資を調整することが必要となる。もし初期時点が均斉成長経路上にあれば、(56)式と(57)式から、初期時点において次の関係が成立する。なお、 $p_0 = 1$  を仮定する。

$$\begin{aligned} (n + \delta)K_0 &= I_0 \\ (r + \delta)K_0 &= rk_0K_0 = VK_0 \end{aligned} \tag{61}$$

ここで、 $VK_0$  : 資本所得である。そこで、次の関係式から初期時点の資本と投資を計算する。

$$\begin{aligned} K_0 &= \frac{VK_0}{r + \delta} \\ I_0 &= (n + \delta)K_0 \end{aligned} \tag{62}$$

(62)式から計算される投資  $I_0$  は観測される投資額とは異なる。もし異なるとすれば、その差額を消費で調整することで初期時点での需給均衡を成立させる。本章のモデルでも、この方法を用いることで、初期時点から終期時点まで均斉成長経路となるようにデータを調整している。

#### 4 まとめ

本章では、本研究で構築された環境政策を評価するための CGE (Computable General Equilibrium) モデルの基本構造、技術選択と動学モデルについて述べた。

CGE モデルは経済社会を一般均衡の枠組みで分析するための有力な方法であるが、政策の変更に対しても頑健性の高いモデルでもある。CGE モデルの頑健性が高いと言えるのは、市場取引の基本となる需要関数と供給関数が、生産技術を表す生産関数・費用関数や家計の嗜好を表す効用関数を特定化し、企業や家計の行動原理に基づいて導出され、関数型やパラメータについて一対一の関係が保たれることである。それにより、新たな生産技術の登場や嗜好の変化についても明示的に取り扱うことができる。また、排出量取引市場のように、環境政策の一環として規定される制度に基づいて新たに創設される可能性のある市場についても、事前に評価することができる利点がある。

モデルの頑健性を高めるもう一つの要素は、時間的要素を取り入れ、Forward Looking に基づく動学的最適化行動に基づいてモデルが構築されていることである。環境政策が将来を見越して設計されるとすれば、家計や企業も将来を見越して行動することを前提にモデルを構築する必要がある。本研究で構築されたモデルを用いることで、例えば、温暖化

防止に備えるための投資とそれを賄う貯蓄の可能性について、動学的一般均衡の枠組みで評価することができる。その上で、経済社会の温暖化防止を促進するための環境政策についても政策提言することが可能となる。

#### 参考文献

Boehringer, C. (1998), “The Synthesis of Bottom-Up and Top-Down in Energy Policy Modeling”, *Energy Economics* 20, 233-248.

Boehringer, C. and T.F. Rutherford (2008), “Combining Bottom-Up and Top-Down”, *Energy Economics* 30, 574-596.

Lau, M.I., A. Pahlke and T.F. Rutherford (2002), “Approximating Infinite-Horizon Models in a Complementarity Format: A Primer in Dynamic General Equilibrium Analysis”, *Journal of Economic Dynamic & Control* 26, 577-609.

Manne, A., R. Mendelsohn and R. Richels (1995), “MERGE A Model for Evaluating Regional and Global Effects of GHG Reduction Policies”, *Energy Policy* 23, 17-34.

Mathiesen, L., 1987, An Algorithm Based on a Sequence of Linear Complementarity Problems Applied to a Walrasian Equilibrium Model: an Example, *Mathematical Programming* 37, 1-18.

Nordhaus, W.D., 1994, *Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change*, MIT Press.

Paltsev, S., 2004, Moving from Static to Dynamic General Equilibrium Economic Models (Notes for a beginner in MPSGE), Technical Note 4, Joint Program on the Science and Policy of Global Change, MIT.

Rutherford, T.F., 1999, Applied General Equilibrium Modeling with MPSGE as a GAMS Subsystem: an Overview of the Modeling Framework and Syntax, *Computational Economics* 14, 1-46.

Zonooz, M.R.F., Z.M. Nopiah, A.M. Yusof and K. Sopian, 2009, A Review of MARKAL Energy Modeling, *European Journal of Scientific Research* 26, 532-361.



### 3章 日本 CGE モデルによる環境政策評価

#### 要旨

環境政策の様々な課題に対応するために、日本経済の Forward Looking 型動学的 CGE モデルを構築し、4つの政策課題への対応についてまとめている。

第一の政策課題は、温暖化防止のため中期目標である 2020 年における二酸化炭素排出量を 1990 年比 25%削減することが、日本経済にプラスに影響する可能性を明らかにすることである。静学モデルの視点からすれば、排出制約は経済にとってマイナスとなるが、動学モデルの視点からすれば、25%削減目標が新たな投資を生み出す可能性がある。温暖化防止のための新たな投資は費用であるが、それが将来の豊かな果実となるということを家計や企業が知っており、消費を減らしてでも投資を増加させ、それが成長を加速させる可能性のあることを Forward Looking 型動学的 CGE モデルを用いて示している。

第二の政策課題は、環境政策は具体的な施策の集まりであるが、それを個別またはパッケージとして評価できるモデルである必要がある。本章では、地球温暖化対策基本法に盛り込まれた施策である、環境税・全量固定買取制度・排出量取引制度導入が経済に与える影響について評価をしている。そこでは、特定業種に対する非課税措置、買い取り価格の設定、排出量取引に参加する業種区分について、法案策定の一助となる分析をしている。

第三の政策課題は、福島第一原子力発電所事故による原子力発電所の再稼働の問題について、2020 年までの中期的視野で分析している。放射能汚染の状況を見れば、原子力発電量の減少はやむを得ないことであるが、電力不足という問題は避けられない。また、再生可能エネルギーによる代替もすぐには難しく、火力による代替となる。その結果、二酸化炭素排出の増加だけでなく、化石燃料の輸入増による国富の流出で GDP 損失が避けられない。

第四の政策課題は、長期的なエネルギー・環境政策のあり方である。試算結果によれば、中期的な視野で見れば原子力発電は必要不可欠であるが、長期的な視野からすれば、再生可能エネルギーによる代替も十分に可能となることが示されている。ただ、二酸化炭素排出という視点からすれば、二酸化炭素排出に価格付けを行い、低炭素社会を実現することが必要となるが、その場合、二酸化炭素回収・貯留技術のような新たな技術の出現に期待がかかることが示される。

担当者 伴 金美

別添資料 GAMS プログラム一式

## 1 はじめに

平成 22 年第 174 回国会に提出された地球温暖化対策基本法案において、すべての主要国による公平かつ実効性のある国際的な枠組みの構築及び意欲的な目標の合意を前提として、温室効果ガス排出量を、2020 年までに 1990 年比 25%削減、2050 年まで同 80%削減とする目標が掲げられた。さらに、再生可能エネルギーの供給量の割合を、2020 年までに一次エネルギー供給量の 10%に達することも盛り込まれている。同法案においては、政府は地球温暖化対策の総合的かつ計画的な推進を図るための基本計画の策定が求められている。目標を実現するための基本施策として、国内排出取引制度の創設、炭素税の導入、再生可能エネルギーの全量固定買取制度の創設などが盛り込まれている。しかしながら、地球温暖化対策基本法案は未だ成立しておらず、さらに、東日本大震災による福島第一原子力発電所事故は、我が国のエネルギー・環境政策のシナリオの大幅な変更を迫っている。その中で、再生可能エネルギー買取法（電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法）が成立したことは一つの光明と言える。

本章は、第一に温暖化対策基本法案に盛り込まれた温室効果ガス排出量の削減目標の実現が日本経済に与える影響を CGE モデルで試算する。なお、温室効果ガスとは、二酸化炭素、メタン、一酸化窒素、ハイドロフルオロカーボン及びパーフルオロカーボン、六フッ化硫黄であるが、本章では、2 節を除けば、燃料の燃焼により発生する二酸化炭素に限定している。

二酸化炭素の排出は経済活動と密接に関係することから、排出削減が経済活動にどのように影響するかを試算することは緊急の課題とされている。排出削減が経済に与える影響をモデルで試算した結果は、IPCC の数次にわたる報告書でも大きく取り上げられている。我が国でも、平成 20 年 11 月から平成 21 年 4 月にかけて地球温暖化問題に関する懇談会の下に中期目標検討委員会が設置され、複数のモデルを用いて二酸化炭素排出削減が経済に与える影響を試算し、複数の選択肢の中から、平成 21 年 6 月麻生政権は 2020 年の削減目標を 2005 年比 15%減（1990 年比 8%減）とした。その際、1990 年比 8%と低くした理由として、経済的負担を一世帯当たりの家計負担が、所得の減少 4 万円と電気代など光熱費の増加を 3 万円の計 7 万円の増加と表現した。ちなみに、1990 年比 25%の場合、所得の減少 22 万円と電気代など光熱費の増加を 14 万円の計 36 万円の増加と表現した。

その後、平成 21 年 8 月の総選挙で誕生した鳩山政権は 1990 年比 25%削減という意欲的な政策を決定し、経済モデルによる 25%削減の経済に与える影響の再試算を行うこととなった。その結果、平成 21 年 10 月から 11 月から 12 月にかけて地球温暖化問題に関する閣僚委員会の下にタスクフォース会合が設置され、中期目標委員会で用いられた複数のモデルを用いた再試算が行われた。

タスクフォース会合の一つの成果は、家計負担が二重計算となっており、本来の負担は所得の減少とすべきところを電気代などの光熱費が加えられて過大評価となっているとの



認識が共有されたことである。経済的厚生を測る手段として、ミクロ経済学では等価変分 (Equivalent Variation) が用いられる。家計負担の出所は、中期目標検討委員会で用いられた日経 CGE (Computable General Equilibrium) モデルであるが、このモデルでは、家計の所得の減少が等価変分と一致する。したがって、電気代などの光熱費を加えることは負担を二重計算することになる。それでも、25%削減の場合は1世帯当たりの家計所得が22万円の減となることから、25%削減目標に対する批判は収まることはなかった。もちろん、タスクフォース会合で使われたモデルは中期目標委員会でも使われたモデルであり、試算結果が大きく異なる可能性は元々低かったと言える。

このような状況の中で、平成21年度『環境経済の政策研究』で採択された研究課題『日本における環境政策と経済の関係を統合的に分析・評価するための経済モデルの作成』において、これまでのモデルとは異なる Forward Looking 型 CGE モデルを開発に着手し、それを実践した。Forward Looking 型 CGE モデルとは、異時点間最適化 (Intertemporal Optimization) モデルである。なお、基本となる社会会計表データは中期目標委員会とタスクフォースで試算に用いられた日経 CGE モデルと同じである。日経 CGE モデルとシミュレーション結果は、武田・川崎・落合・伴金美 (2010) にある。なお、日経 CGE モデルは、逐次動学型モデルである。

本章の2節と3節は、二酸化炭素排出量削減の経済影響分析について、中央環境審議会地球環境部会中長期ロードマップ小委員会に提出された資料に基づいている。2節は平成22年7月15日に開催された第9回中長期ロードマップ小委員会・提出資料2をまとめたものであり、3節は平成22年10月29日に開催された第15回中長期ロードマップ小委員会・提出資料3をまとめたものである。

さらに、4節と5節は、東日本大震災以後の日本のエネルギー・環境シナリオを再考する一助として、CGE モデルを用いたシナリオ分析を行う。

## 2 2020年までに1990年比25%削減の経済的影響

平成21年9月、鳩山首相が中期目標として宣言した1990年比25%削減は、国際的にも大きな反響を呼んだ。これは当時のEUの削減目標である20%削減を上回るものであり、日本が低炭素社会実現に向けて本格的に始動するというシグナルでもあった。折しも、サブプライムショック、リーマンショックと続く世界的な不況の中で我が国の輸出や鉱工業生産が大幅に落ち込んだ。その中で、エコカー減税やエコポイントによる自動車や家電製品の需要創出は不況対策として大きな役割を担った。それに対して、企業もハイブリッド車をはじめとする低燃費車や液晶テレビの品揃えで応えた。さらに、電気自動車などの次世代自動車も商品化されるに至った。また、ハイブリッド車や電気自動車の普及は、リチウム電池の生産増のための投資を拡大させ、裾野となる多くの産業に対して恩恵を与えた。これは環境省による環境経済観測調査においても、環境配慮型自動車産業や省エネルギー

型家電製品産業の業況判断が、日銀短期経済観測調査の業況判断よりも数十ポイントのプラスとなっていることが確認できている。なお、環境経済観測調査とは平成 21 年度より始められた調査であり、太陽光発電、エコカー、水処理装置などの環境技術を開発する企業を選び出し、アンケートを中心に景況感を把握するものである。

低炭素社会実現のに向けて動き出すことで、それが新たな需要を生みだし、経済活動を活性化させる可能性があることはだれしも理解できるところであるが、経済モデルがその動きを十分に織り込むことができるかが問題である。

表 1 は、1990 年比 25%削減の 2020 時点の経済社会への影響をタスクフォースで用いられた 3 モデルと Forward Looking 型 CGE(以下では FL-CGE)モデルで試算したものである。

表 1 1990 年比 25%削減の経済・社会への影響評価

		KEO	AIM CGE	日経 CGE	FL-CGE
GDP (実質)	%	▲6.1	▲3.2	▲3.1	0.2
雇業者所得 (実質)	%	▲21.4	▲11.2	▲11.4	0.6
消費	%	▲12.2	▲4.0	▲4.4	▲0.1
投資	%	3.9	▲0.4	▲0.7	1.3
輸出	%	▲10.2	▲2.3	▲7.2	▲1.8
輸入	%	▲15.4	▲4.0	▲4.9	▲1.8
消費者物価	%	2.2	5.9		5.2
電力価格	%	93.7	113.6	117	14.2
限界削減費用 (円)	円	87,917	52,438	63,180	68,227

KEO モデルは慶応大学野村浩二准教授、AIM-CGE モデルは国立環境研究所、日経 CGE モデルは日本経済研究センターが開発したものである。3 モデルの試算結果の出所は、平成 21 年 12 月のタスクフォース会合・中間取りまとめの参考資料 8 である。それに対して、FL-CGE モデルは、『環境経済の政策研究』の政策課題である『日本における環境政策と経済の関係を統合的に分析・評価するための経済モデルの作成』において開発されたもので、試算結果の出所は平成 22 年 7 月ロードマップ小委員会(第 9 回)に提出された資料 2 である。なお、3 モデルでは、二酸化炭素は化石燃料の燃焼によるものに限定されているが、FL-CGE モデルは、工業プロセスと廃棄物起源の二酸化炭素も含まれている。

FL-CGE モデルは、KEO モデル、AIM-CGE モデルと日経 CGE モデルが、25%削減が経済に対してマイナスの影響を与えるのに対して、経済にプラスに働く可能性のあることを示している。当然、二酸化炭素削減が経済にプラスに働くことに多くのコメントが寄せられた。

第一のコメントは、IPCC(2007)の第 4 次評価報告書に引用されている多くのモデルが、二酸化炭素排出削減が経済に対してマイナスに働くと試算とっており、プラスに働くという

FL-CGE モデルの試算は、例外的なものとの指摘である。二酸化炭素削減が経済にプラスに働く試算結果は、E3MG モデルと FEEM-RICE-FAST モデルの二つである。E3MG モデルは収穫逓増型生産技術、FEEM-RICE-FAST は内生的な研究開発投資が大きな役割を果たしており、これらの要因を考慮することでマイナスがプラスに転じる可能性のあることを知ることは重要である。

第二のコメントは、ベースライン(BAU: Business as Usual)シナリオが問題ではないという点である。表 1 の FL-CGE モデルによる試算では、2005 年から 2020 年までの経済成長率を 1.2%としている。また、労働力人口の伸び率を▲0.3%とする一方、労働に体化した技術進歩を 1.5%としている。また、市場金利と割引率は同じ 5.0%と仮定している。また、資本減耗率は 8%であり、資本設備の耐用年数は平均で 11.5 年としている。これらのマクロ経済のフレームワークは、他の 3 モデルと大きな差異はない。また、GDP 当たりの二酸化炭素排出量は年率 1.6%での改善を見込んでいるが、AIM-CGE モデルとほぼ同じ程度にある。当初、AEEI(Autonomous Energy Efficient Improvement)が過大だとの指摘があったが、AEEI は産業・技術やエネルギー源で異なりこと、批判する側も『茅方程式』のマクロの数値で議論するため、二酸化炭素排出量対 GDP の改善率で表記することとした。モデルのパラメータは、マクロの改善率が 1.6%になるように各部門、エネルギー源毎に細かく設定されている、ということである。また、ベースラインにおける 2020 年の排出量も、『エネルギー需給見通し』の『努力ケース』である 1990 年比プラス 4%とし、炭素価格はゼロとなるようにパラメータを決めている。

第三のコメントは、限界削減費用が 68,227 円/CO<sub>2</sub> トンと他の 3 モデルと大差がないのに、電力料金の上昇率が 14.2%と著しく低いことが指摘された。タスクフォースでの検討における各モデルにおいて、25%削減の場合に電力料金が倍になるのは、排出量収入を企業から徴収して、家計に一括還付する定式化をとっているためである。しかし、排出量収入を家計に一括還付することで家計の収入は増加するが、高い電気料金を支払うこととなり、結局は収入の増加は見かけ上のものとなる。それに対して、FL-CGE モデルでは、排出量として支払った部分が、徴収企業にそのまま還付される。その場合、企業が還付分をどのように使うかが問題となるが、還付された排出量に相当する金額を、生産物価格引き下げに充当すると仮定している。その部分を価格評価すれば、電力価格の上昇は 50%の高い水準となる。

以下では、FL-CGE モデルにおいて二酸化炭素削減が経済にプラスに働く要因について考える。

## 2.1 財・産業分類

FL-CGE モデルは、日本経済の異時点間最適化多部門動学 CGE モデルである。財は 40 財、アクティビティに相当する産業部門は 38 部門である。なお、新エネルギー部門は、太

陽光や風力発電を想定した新たなアクティビティであるが、2005年表には存在しない。この新エネルギー発電が採択されるのは、二酸化炭素削減のために二酸化炭素に価格付けや全量買取制度などの後押しで、初めて市場に登場するものと考えられている。

表2 財分類

番号	記号	財	番号	記号	財
1	agr	農林水産業	21	omf	その他製造業
2	coal	石炭	22	cns	建設
3	oil	原油	23	ely	電力
4	gas	天然ガス	24	g_h	ガス・熱供給
5	fdp	食料品・飲料	25	wts	水道
6	tex	繊維製品	26	wst	廃棄物処理
7	wpp	パルプ・紙・木製品	27	trd	卸売・小売
8	chm	化学製品	28	fin	金融・保健
9	o_gas	ガソリン・軽油	29	ttp	鉄道輸送
10	o_ker	灯油	30	rtp	道路輸送
11	o_lpg	LPG	31	otp	自家輸送
12	o_hev	その他石油製品	32	wtp	水運
13	c_p	石炭製品	33	atp	航空輸送
14	plr	プラスチック・ゴム	34	ots	その他輸送サービス
15	gsc	窯業・土石	35	cmn	通信・放送・情報サービス
16	i_s	鉄鋼	36	e_r	教育・研究
17	mtl	非鉄金属・金属製品	37	mhs	医療・保健・福祉
18	ome	一般機械	38	bsrv	対事業所サービス
19	ele	電気機械	39	psrv	対個人サービス
20	trn	輸送機械	40	gsrv	政府サービス

表3 産業(アクティビティ)分類

番号	記号	産業	番号	記号	産業
1	agr	農林水産業	20	e_h	水力・その他発電
2	f_f	石炭・原油・天然ガス	21	g_h	ガス・熱供給
3	fdp	食料品・飲料	22	wts	水道
4	tex	繊維製品	23	wst	廃棄物処理
5	wpp	パルプ・紙・木製品	24	trd	卸売・小売
6	chm	化学製品	25	fin	金融・保健

7	p_p	石油製品	26	ttp	鉄道輸送
8	c_p	石炭製品	27	rtp	道路輸送
9	plr	プラスチック・ゴム	28	otp	自家輸送
10	gsc	窯業・土石	29	wtp	水運
11	i_s	鉄鋼	30	atp	航空輸送
12	mtl	非鉄金属・金属製品	31	ots	その他輸送サービス
13	ome	一般機械	32	cmn	通信・放送・情報サービス
14	ele	電気機械	33	e_r	教育・研究
15	trn	輸送機械	34	mhs	医療・保健・福祉
16	omf	その他製造業	35	bsrv	対事業所サービス
17	cns	建設	36	psrv	対個人サービス
18	e_f	火力発電	37	gsrv	政府サービス
19	e_n	原子力発電	38	nely	新エネ発電

## 2.2 イノベーション

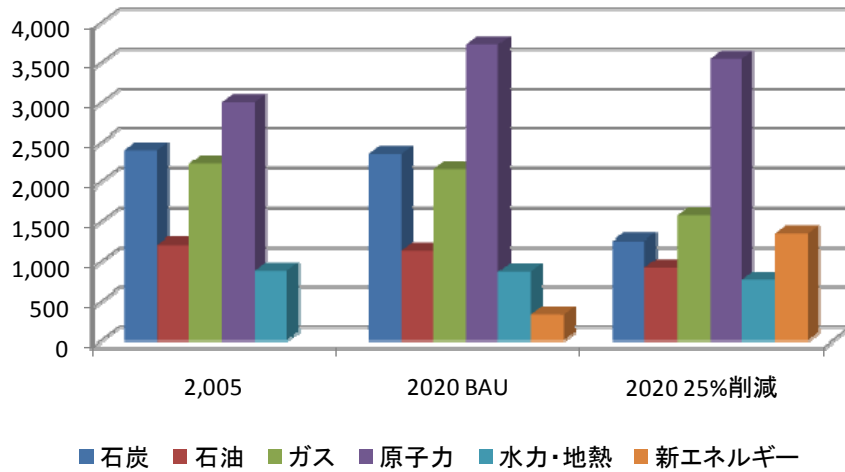
FL-CGE モデルの特徴は、技術情報に基づいたボトムアップ型技術選択と消費者の嗜好の変化を明示的な取り入れて二酸化炭素削減が経済に対する影響評価できるモデルとなっていることである。表 1 の 1990 年比 25%削減の経済・社会への影響費用か試算では、新エネルギーについては、以下の想定を置いている。

- (1). 生産価格の 50%相当の補助金で全量を買い取る。
- (2). 設置費用が年率 8%程度低減する。
- (3). 自然資源が年率 32.5%で増加する。

その結果、2020 年時点での発電量は BAU では 336 億 KWh(総発電量の 3%)が、1,347 億 KWh(総発電量の 7%)に増加することが見込まれている。

図 1 は、25%削減が電源構成に与える影響を示している。それによれば、石炭火力などの化石燃料による発電比率が低下し、原子力や水力の比重も若干低下するのに対して、新エネルギーの増加が著しくなる。

図1 25%削減が電源構成に与える影響



イノベーションのもう一つは、消費者が低炭素型消費財へ嗜好を変化させることである。現在でも、ハイブリッド車や低燃費車の人気は高く、新設住宅の中では、エコキュートなどの低炭素型給湯機や高気密・高断熱住宅の比率が高まっており、それが経済を牽引しつつある。低炭素型消費財への嗜好の変化は、モデルに次のような方法で取り入れられている。FL-CGE モデルの消費支出は、次の支出関数が基本となる。支出関数とは、価格体系  $(p_1, p_2, \dots, p_n)$  の下で一定の効用を得るための最小となる消費支出であり、次のように表される。

$$e_t = \left( \sum_{i=1}^n \theta_{it} p_{it}^{1-\sigma} \right)^{\frac{1}{1-\sigma}} y_t \quad (1)$$

ここで、 $e_t$  : t 時点の支出、 $y$  : t 時点の所得、 $P_{it}$  : t 時点の i 財の価格、 $\theta_{it}$  : t 時点の i 財への支出比率である。このとき、t 時点の i 財への支出は次のように表される。

$$c_{it} = -\frac{\partial e_t}{\partial p_{it}} = (1-\sigma)\theta_{it} \left( \frac{p_{it}}{p} \right)^{-\sigma} y_t \quad (2)$$

となる。ここで、 $p$  は次の式で定義される一般物価水準である。

$$p_t = \left( \sum_{i=1}^n \theta_{it} p_{it}^{1-\sigma} \right)^{\frac{1}{1-\sigma}} \quad (3)$$

表4は、財別の消費支出比率  $\theta_{it}$  である。2005年は実績であり、BAUでは2020年まで一定としている。それに対して、イノベーション促進ケースでは、消費者が低炭素型消費財へ嗜好をシフトさせると仮定している。表4で示される嗜好の変化はわずかなものであるが、それがイノベーションを促進する効果は予想外に大きくなっている。

表 4 消費財毎の支出パラメータの変化

財	2005 年	2020 年	財	2005 年	2020 年
農林水産業	0.0208	0.0199	その他製造業	0.0249	0.0238
石炭	0.0000	0.0000	建設	0.2008	0.2229
原油	0.0000	0.0000	電力	0.0151	0.0144
天然ガス	0.0000	0.0000	ガス・熱供給	0.0044	0.0042
食料品・飲料	0.1484	0.1419	水道	0.0063	0.0060
繊維製品	0.0281	0.0269	廃棄物処理	0.0008	0.0008
パルプ・紙・木製品	0.0047	0.0045	卸売・小売	0.0025	0.0024
化学製品	0.0191	0.0182	金融・保健	0.0410	0.0392
ガソリン・軽油	0.0215	0.0205	鉄道輸送	0.0136	0.0130
灯油	0.0052	0.0050	道路輸送	0.0142	0.0136
LPG	0.0035	0.0033	自家輸送	0.0000	0.0000
その他石油製品	0.0006	0.0006	水運	0.0004	0.0004
石炭製品	0.0000	0.0000	航空輸送	0.0071	0.0068
プラスチック・ゴム	0.0052	0.0050	その他輸送サービス	0.0067	0.0064
窯業・土石	0.0015	0.0014	通信・情報サービス	0.0433	0.0414
鉄鋼	0.0000	0.0000	教育・研究	0.0263	0.0252
非鉄金属・金属製品	0.0026	0.0025	医療・保健・福祉	0.0440	0.0421
一般機械	0.0006	0.0006	対事業所サービス	0.0159	0.0152
電気機械	0.0493	0.0548	対個人サービス	0.1844	0.1763
輸送機械	0.0345	0.0383	政府サービス	0.0027	0.0026

### 2.3 25%削減の経済的影響試算

本節では、二酸化炭素排出量を 2020 年までに 1990 年比 25%削減することが経済にどのような影響を与えるかを評価する。試算結果は、平成 21 年 7 月 15 日に開催された中央環境審議会地球環境部会中長期ロードマップ小委員会(第9回)に提出された資料に基づくものである。

表 5 は、2020 年までの二酸化炭素排出量についての BAU シナリオ、1990 年比 25%削減シナリオするとそのときの排出量価格を示している。FL-CGE モデルでは、京都議定書に基づいて、企業や家計が第一約束期間の 2008 年から排出量制約が強化されることを 2005 年時点で知っているという前提を置いている。

表 5 25%削減シナリオと排出量価格

	BAU	25%削減	排出量価格
2005	1,286	1,286	0
2006	1,300	1,300	0
2007	1,315	1,314	0
2008	1,330	1,281	4,818
2009	1,315	1,239	8,704
2010	1,303	1,199	13,004
2011	1,291	1,159	17,714
2012	1,282	1,121	22,655
2013	1,272	1,084	27,910
2014	1,262	1,049	33,450
2015	1,252	1,014	39,232
2016	1,243	981	45,190
2017	1,233	949	51,227
2018	1,224	917	57,204
2019	1,214	887	62,922
2020	1,205	858	68,103

CO2 百万トン 円

排出量制約が実施されれば、仮想的な排出量取引市場が組み込まれていることから二酸化炭素に価格が付き、排出抑制の大きな力となる。表 1 によれば、CO2 トン当たりの二酸化炭素価格は、炭素制約が始まる 2008 年に 4,818 円となり、排出量制約の強化と経済成長による排出量増大圧力から二酸化炭素価格は上昇し、2020 年には 68,103 円<sup>11</sup>となる。

表 5 に示される BAU シナリオと 25%削減シナリオの二つの削減シナリオの下での GDP の経路とその差を表 6 に表している。それによれば、BAU シナリオでは、2005 年価格で評価すれば、GDP は 2005 年 506 兆円から 2020 年 605 兆円へ年率 1.2%で増加する。それに対して、25%削減シナリオでも GDP は 2005 年で 507 兆円から 2020 年には 606 兆円へ年率 1.2%で増加する。いずれの年も 25%削減シナリオで GDP は増加しており、2011 年から 2013 年にかけて 4 兆円上回り、2014 年から 2018 年は 3 兆円、2019 年は 2 兆円、2020 年は 1 兆円上回る。ただ、増加幅は比較的小さく、25%削減は GDP には大きな影響を与え

<sup>11</sup>この水準は、表 1 の他の 3 モデルと同程度となるように代替弾力性のパラメータを調整している。しかし、参考とした技術モデルの限界削減費用が過大である可能性があることから、代替弾力性のパラメータ等を修正することで、2020 年における二酸化炭素価格は 26,600 円となっている



ないと理解することが望ましい。

表 6 2020 年 25%削減が GDP に与える影響

	BAU	25%削減	階差
	2005 年価格兆円		
2005	506	507	1
2006	511	512	1
2007	517	518	1
2008	523	524	1
2009	529	531	2
2010	535	538	3
2011	541	545	4
2012	548	552	4
2013	555	559	4
2014	562	565	3
2015	569	572	3
2016	576	579	3
2017	583	586	3
2018	590	593	3
2019	597	599	2
2020	605	606	1

図 2 2020 年 25%削減が GDP、消費と投資に与える影響  
BAU からの乖離 (2005 年価格 10 億円)

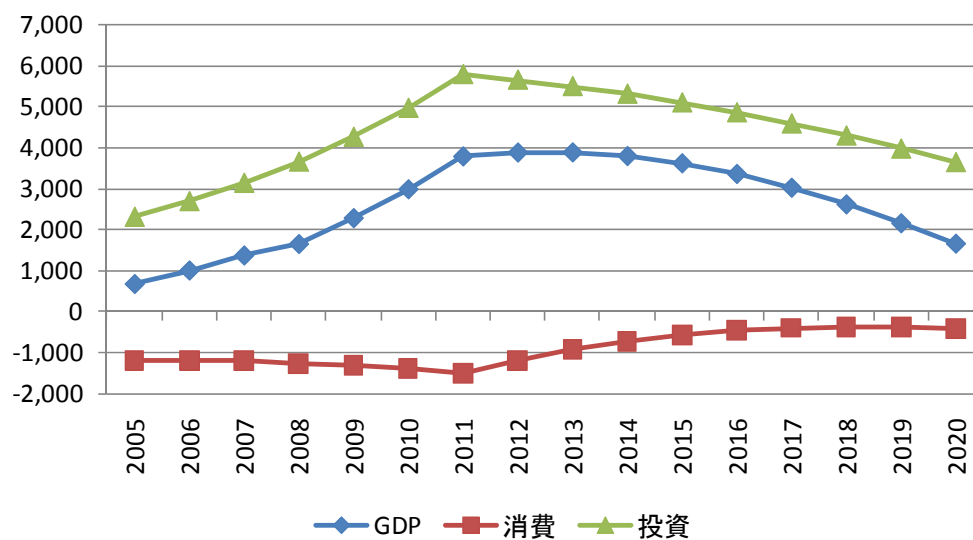


図 2 は、25%削減がマクロ経済変数である GDP が増加した理由について、消費と投資の動きから説明するものである。第一に重要なことは、排出量制約が実施されるのは 2008 年であるにも関わらず、マクロ経済に対する影響は 2005 年から現れていることである。これは将来を見据えて家計や企業が事前に行動する Forward Looking 型モデルによる試算の特徴となる。排出量制約の強化により消費が減少して投資が増加するのは、二酸化炭素価格の上昇が予測され、早めの低炭素技術への投資の収益率が投資費用を上回ることによって、消費を減らしてでも投資が実行されるためである。投資の増加は、資本の増加となり、供給力が高まることを意味しており、それが GDP の増加する理由である。

25%削減シナリオでは、資本ストックも増加し、2020 年時点で BAU シナリオと比較して 31 兆円上回る。資本の多くは、低炭素型社会を実現する産業部門、すなわち、非鉄金属・一般機械・電気機械・輸送機械・建設業及びその関連産業に振り向けられる。なお、FL-CGE モデルでは資本ストックは産業間で移動可能を前提としており、モデルでは資本収益率は各産業間で同じである。したがって、資本ストックの純増だけでなく、二酸化炭素排出の多い部門から低炭素社会を実現する部門への資本移動もある。もちろん、移動の範囲は、資本減耗の範囲にとどまる。

一方、就業者数への影響もプラスであり、試算によれば、就業者も 2020 年時点で 25 万人増加する。これは低炭素型社会に産業構造が転換すれば、新たな雇用の増加が生まれることを意味している。

表 7 は、2020 年時点における産業別生産・就業者数に与える影響を表したものである。生産額で見ると、石油・原油・天然ガス、石油製品、石炭製品、火力発電、水運の落ち込みが大きい。原子力発電や水力・その他発電が減少するのは、電気料金の価格が上昇することで電力需要が低迷する影響が大きい。その一方で、全量固定価格買取制度などの補助金効果と施設費用の低廉化により、新エネルギー発電が大幅に増加している。しかし、新エネルギー発電部門での就業者の増加は 9 千人程度にとどまっており、既存発電での就業者の減少をカバー仕切れていない。また、グリーン革命の中で受け皿となると考えられる農林水産業の就業者数も微減であり、低炭素社会に向けて、地域の活性化を図る状況にない。

表 7 2020 年の産業別生産・就業者数に与える影響

産業	生産額(10 億円)		変化率	就業者(万人)		変化率
	BAU	25%削減		BAU	25%削減	
農林水産業	15,441	15,332	-0.7%	471.9	469.1	-0.6%
石炭・原油・天然ガス	121	113	-6.0%	0.2	0.2	-5.1%
食料品・飲料	41,593	41,161	-1.0%	134.9	133.8	-0.8%
繊維製品	5,045	5,108	1.3%	40.1	41.1	2.4%
パルプ・紙・木製品	15,180	15,305	0.8%	51.9	53.5	3.1%

化学製品	34,947	35,637	2.0%	28.4	29.6	4.0%
石油製品	13,289	11,852	-10.8%	0.8	0.8	0.8%
石炭製品	1,177	805	-31.6%	0.6	0.5	-26.5%
プラスチック・ゴム	16,241	16,713	2.9%	48.5	50.2	3.4%
窯業・土石	8,821	8,536	-3.2%	15.1	15.8	4.5%
鉄鋼	32,055	31,633	-1.3%	23.6	25.6	8.7%
非鉄金属・金属製品	22,976	24,545	6.8%	86.7	93.3	7.6%
一般機械	33,229	34,324	3.3%	97.9	101.2	3.3%
電気機械	46,316	48,245	4.2%	114.2	119.4	4.5%
輸送機械	57,302	56,580	-1.3%	86.6	85.9	-0.7%
その他製造業	17,975	18,148	1.0%	91.8	92.7	1.0%
建設	151,430	154,579	2.1%	486.4	494.3	1.6%
火力発電	9,597	7,505	-21.8%	4.8	4.3	-10.9%
原子力発電	5,398	5,129	-5.0%	2.1	1.7	-18.8%
水力・その他発電	1,244	1,095	-12.0%	1.2	1.0	-12.3%
新エネ発電	479	1,919	301.1%	0.5	1.4	207.1%
ガス・熱供給	2,618	2,329	-11.1%	2.7	2.4	-10.6%
水道	5,800	5,767	-0.6%	7.8	7.8	0.0%
廃棄物処理	4,332	4,310	-0.5%	26.2	26.3	0.2%
卸売・小売	120,356	120,384	0.0%	947.5	946.4	-0.1%
金融・保健	50,106	50,135	0.1%	152.4	151.7	-0.5%
鉄道輸送	7,565	7,504	-0.8%	19.0	18.9	-0.7%
道路輸送	19,726	19,673	-0.3%	220.2	221.6	0.6%
自家輸送	42,960	43,094	0.3%	602.6	609.0	1.1%
水運	6,537	5,598	-14.4%	12.4	11.0	-10.7%
航空輸送	3,519	3,359	-4.6%	4.2	4.2	0.1%
その他輸送サービス	10,826	10,735	-0.8%	57.3	56.8	-0.9%
通信・放送・情報サービス	52,991	53,067	0.1%	169.7	169.4	-0.2%
教育・研究	42,354	42,571	0.5%	261.9	263.9	0.8%
医療・保健・福祉	59,152	59,025	-0.2%	533.3	532.7	-0.1%
対事業所サービス	81,816	82,048	0.3%	599.5	599.6	0.0%
対個人サービス	64,683	64,021	-1.0%	812.5	805.3	-0.9%
政府サービス	44,836	44,903	0.1%	149.1	149.1	0.0%

## 2.4 経済モデルの構造と試算結果

FL-CGE モデルの特徴は Forward Looking 型モデルであること、全量固定価格買取制度や嗜好の変化がイノベーションを促進するメカニズムが取り入れられていることである。そこで、これらの構造を取り払うと試算結果がどのように変化するかを見ることにする。表 8 はその結果をまとめたものである。なお、データとパラメータはすべてのモデルで同じとしている。

表 8 経済モデルの構造と影響評価の比較:2020 年における BAU からの乖離

シナリオ	変数	Forward Looking	Recursive Dynamic
固定シナリオ	GDP	▲3.3 兆円 (0.55%)	▲6.3 兆円 (1.04%)
	就業者	▲10 万人 (0.15%)	▲50 万人 (0.83%)
促進シナリオ	GDP	1.7 兆円 (0.28%)	▲3.8 兆円 (0.63%)
	就業者	25 万人 (0.39%)	▲13 万人 (0.20%)

Recursive Dynamic モデルは、表 1 の KEO モデル、AIM モデルと日経 CGE モデルで使われている動学メカニズムである。日経 CGE モデルと FL-CGE モデルは、産業分類が異なり、資本が日経 CGE モデルでは Vintage 型、FL-CGE モデルは非 Vintage 型の違いがあるが、基礎となるデータは共通である。Recursive Dynamic の日経 CGE モデルでは、貯蓄率を一定として試算している。そこで、FL-CGE モデルを Intertemporal Optimization ではなく、貯蓄率を一定とする Recursive Dynamic モデルに変えて解いている。試算結果によれば、Forward Looking 型モデルの試算結果は、Recursive Dynamic 型モデルよりも 25%削減による影響評価が小さくなっている。Forward Looking 型モデルが影響評価を低く試算する傾向にあることは、経済試算モデルによる多くの試算結果の違いについて要因分析を行った Kuik, Brander and Tol (2009)によっても指摘されている。

第二の要因は、技術シナリオである。FL-CGE モデルは、新エネルギー発電施設の低廉化、設置規模の拡大、全量固定価格買取制度の導入、家計の嗜好の変化などにより、新たなイノベーションが生まれることで経済に好影響を与えるメカニズムが取り入れられている。そこで、Forward Looking 型 FL-CGE と Recursive Dynamic 型 FL-CGE モデルの二つについて、イノベーションを仮定しない固定シナリオとイノベーションを仮定した促進シナリオの二つシナリオについて経済影響を試算している。それによれば、イノベーションを取り入れることで、25%削減が経済に与える影響が緩和されることが分かる。特に Forward Looking 型モデルでは、25%削減が経済に対してプラスに働くことが分かる。

次に、Forward Looking 型 FL-CGE モデルの促進シナリオについて、感応度分析を行う。

表 9 はその結果<sup>12</sup>である。

表 9 パラメータ・シナリオ感応度:2020 年における BAU からの乖離

シナリオ	GDP	民間消費	投資	就業者
	10 億円			万人
25%削減・技術促進シナリオ	1,659	-400	3,650	25
割引率:2%	3,514	-934	4,097	31
新エネルギー:BAU 並	1,985	-768	2,519	26
家計の嗜好:BAU 並	-1,165	-1,653	639	14
弾力性:BAU の半分	2,662	73	2,038	34
参考 BAU 2020 年	601,344	336,518	145,165	6,367

割引率はすべてのシナリオで 5%とされているが、高すぎるのではないかと指摘がある。そこで 5%から 2%に低くしたときにならぬかを見ると、25%削減による 2020 年の GDP を押し上げる効果が 1 兆 6590 億円から 3 兆 5140 億円に増加する。すなわち、割引率を低下させれば、25%削減による 2020 年の GDP をさらに押し上げることとなる。これは割引率の低下が資本コストを低下させ、投資をさらに低下させるためである。投資が増加するには、それを支えるために消費が抑えられ、貯蓄が増加するメカニズムが働く。

新エネルギーに対する諸施策を BAU 並にした場合はどうであろうか。具体的には、新エネルギー施設の価格低下や固定価格買取制度の補助金を減少させると 25%削減による 2020 年の GDP を押し上げる効果が 1 兆 6590 億円から 1 兆 9850 億円に増加する。すなわち、新エネに対する手厚い扱いを BAU 並にすることで、新エネルギー発電量は低下するが、2020 年の GDP を 3260 億円押し上げることとなる。しかし、投資は 1 兆 1310 億円減少し、消費も 3680 億円減少する。すなわち、新エネルギー発電の促進は、経済にとって少しコスト高となるが、投資を増やしイノベーションを加速させる効果のあることはそのままである。

家計が低炭素に繋がる財・サービスへの嗜好が変化せず、BAU のままであったらどうであろうか。表 9 によれば、2020 年の GDP の押し上げ効果がマイナス 1 兆 1650 億円となる。消費も減少し 1 兆 6530 円の押し下げとなり、投資の押し上げも 6390 億円の低い水準にとどまる。その意味で、25%削減による 2020 年の GDP 押し上げ効果は、家計が低炭素社会に向けて嗜好を変化することが大きな役割を持っていると言える。しかし、25%削減が経済に対して好影響するのが、家計の嗜好の変化だけではない。

最後に、生産関数や消費関数で大きな役割を果たす代替弾力性の値を小さくしたらどう

<sup>12</sup> 排出量削減が GDP を増加させる他の要因として、異時点間の代替弾力性の大きさがあり、本研究では、0.5 としているのがプラスの要因とはならないが、これが小さくなり 0.2 を下回るとプラスに働く。

なるであろうか。そこで、全ての弾力性の値を半分としたときの試算を行うと、2020年 GDP の押し上げ効果は、2兆7850億円と大きくなる。代替弾力性は、相対価格の変化に対する家計や企業の行動変化の感応度を低下させる機能を果たすが、GDP に対してはプラスに働くことを意味する。ただ、投資の押し上げ効果は弱まり、その結果、消費が押し下げ効果が弱まり、2020年の消費は1060億円のプラスとなる。

### 3 三施策（炭素税・全量固定価格買取制度・国内排出量取引）の経済的影響

本節では、地球温暖化対策基本法案に盛り込まれた主要三施策、すなわち、地球温暖化対策のための税(第14条)、再生可能エネルギーに関わる全量固定価格買取制度(第15条)、国内排出取引制度(第13条)の導入を前提として、三施策の効果と経済的影響について分析する。分析にあたっては、国立環境研究所 AIM プロジェクトチーム(2010)の AIM 技術モデルで想定している対策を極力反映することとした。なお、地球温暖化対策のための税については平成23年度環境省税制改正要望における「地球温暖化対策のための税」の骨子をもとに設定を行い、税率は、石油石炭税の税収を参考にした2000円/t-C及びその半額の1000円/t-Cとして分析を行っている。また、再生可能エネルギーに係る全量固定価格買取制度についても内容が固まっていないことから、大規模水力を除く再生可能エネルギー電力(太陽光、風力、水力(3万kW以下)、地熱、バイオマス)が発電コストに応じて20年間全量固定価格で買取されるものとして分析を行っている。さらに、国内排出量取引制度についても、中央環境審議会地球環境部会国内排出量取引制度小委員会における検討内容を参考にしつつ、経済モデルが過度に複雑にならないよう簡略化して分析を行うものとした。

#### 3.1 BAU ケースの見直し

三施策の効果と経済的影響を試算するにあたって、中長期ロードマップ小委員会での議論を踏まえ、前節で用いられた経済モデルについて、BAU シナリオを含めていくつかの見直しを行った。

第一の見直しは、対象となる二酸化炭素について、燃料の燃焼による二酸化炭素に限定している。第二の見直しは、前節の試算では、低炭素社会に向けてエコ製品への嗜好の変化や、新エネルギーの設置領域の拡大による普及促進による「促進シナリオ」を中心に試算したが、「なりゆきシナリオ」を中心に試算することとした。したがって、嗜好の変化は想定せず、また、自然エネルギーについてもこれまでのなりゆき程度にとどめ、設置領域の拡大は年率で10%（促進シナリオでは15%）を想定し、BAU シナリオにおける2020年における新エネルギー発電量も198億KWh（促進シナリオでは336Kwh）としている。

第三の見直しは、技術モデルから得られる限界削減費用について精査を行い、経済モデ

ルの限界削減費用について見直したことである。本節の試算では、パラメータを含めたモデルの見直しを行い、2020年における25%削減時の限界削減費用が、26,600円程度に収まるような見直しを行った。それでも、EU Commission (2010)が行った経済モデルによる分析よれば、2020年における25%削減シナリオで二酸化炭素トンあたり30ユーロ、30%削減シナリオでも二酸化炭素トンあたり55ユーロと試算されており、我が国がこれまで省エネに努めたことで限界削減費用が高いとしても、日本とEUの限界削減費用には大きな隔りがあるのも事実である。

### 3.2 三施策の導入プロセスとその経済影響試算

三施策とは、地球温暖化対策基本方案に盛り込まれた次の施策である。

- (1). 地球温暖化対策のための税
- (2). 全量固定価格買取制度
- (3). 国内排出取引制度

地球温暖化対策のための税は、生産と消費全ての部門が対象であるが、ナフサ、鉄鋼用石炭・コークス、セメント用石炭、農林業向けA重油は非課税とされる。税収の用途は、エコ家電製品、エコ自動車及びエコ住宅改修等への補助金に充当される。税率は炭素トンあたり1,000円（二酸化炭素トンあたり273円）と2,000円（同545円）の二つのシナリオについて試算している。なお、経済モデルでは、燃料の燃焼に伴って生じる二酸化炭素に価格付けを行い、排出量収入を全て政府に帰属させ、同額をエコ家電製品、エコ自動車及びエコ住宅改修等に関わる産業に補助金として交付している。もちろん、ナフサ、鉄鋼用石炭・コークス、セメント用石炭、農林業向けA重油は非課税である。実施年は2011年とする。

全量固定価格買取制度は、事業用大規模水力・地熱発電を除く再生可能エネルギー発電が対象であり、家庭部門及び業務部門を含む全ての部門が対象となる。経済モデルでは、政府が介在し、再生可能エネルギー発電部門に補助金(補助率は4~5割)を交付し、事業用電力部門に対して補助金と同額の間接税を課すものとしている。なお、AIM技術モデルの試算結果を参考にして、2020年の発電量を、真水15%削減目標では887億KWh、真水20%削減目標では1,063億KWh、真水25%削減目標では1,269億KWhを想定している。実施年は2012年とする。

国内排出量取引制度は、鉄鋼・化学・紙パルプ・セメントの素材4業種における二酸化炭素の直接排出量と使用電力量に応じた二酸化炭素の間接排出量の総計を対象とし、4業種以外の産業部門、業務部門、家庭部門及び運輸部門における二酸化炭素の直接・間接排出量は対象外である。なお、4業種に対する排出枠はAIM技術モデルで試算される排出量

に基づいて初期配分が決定され、対象業種に無償で割り当てられる制度としている。経済モデルでは、オークション方式で割り当たられ、オークション収入が排出枠購入比率に応じて生産物補助金として還付されるとしている。また、経済モデルでは、電力については電力部門が発電により二酸化炭素を直接排出するものとして組み立てられており、4業種が利用する電力と他の産業部門・業務・運輸・家庭部門が利用する電力を区別することが難しい。そこで、電力についても電力全部を排出量取引の対象とし、オークション収入を電力部門への生産物補助金として還付している。なお、4業種の排出取引市場と電力の排出取引市場は別々に存在し、裁定取引もないものとしている。すなわち、二つの取引市場で成立する二酸化炭素の取引価格は別々に存在しているものとしている。電力の扱いのため、経済モデルによる国内排出量取引制度は、三施策が想定している国内排出量取引制度と比べて若干広くなっている。なお、実施年は2013年とする。

表10は、三施策を導入年に応じて段階的に導入したとき、2020年における二酸化炭素排出量を示したものである。

表10 三施策を段階的に導入した場合の2020年のCO2排出量

税率	削減目標	1990年	BAU	税	税+FIT	税+FIT+ET
1000円/t-C	▲15%	1059	1,104	1,090	1,069	1,028
			4.2%	2.9%	1.0%	-2.9%
	▲20%	1059	1,104	1,090	1,062	1,021
			4.2%	2.9%	0.3%	-3.6%
	▲25%	1059	1,104	1,090	1,055	1,014
			4.2%	2.9%	-0.4%	-4.3%
2000円/t-C	▲15%	1059	1,104	1,083	1,062	1,021
			4.2%	2.3%	0.3%	-3.6%
	▲20%	1059	1,104	1,083	1,056	1,015
			4.2%	2.3%	-0.3%	-4.2%
	▲25%	1059	1,104	1,083	1,047	1,006
			4.2%	2.3%	-1.1%	-5.0%

上段:百万CO2トン 下段:1990年比%

削減目標の意味は、削減目標に応じてAIM技術モデルの試算から得られる全量固定価格買取制度を実施することで実現可能な2020年における自然エネルギーの発電量である。自然エネルギーについては、真水15%削減目標では887億KWh、真水20%削減目標では1,063億KWh、真水25%削減目標では1,269億KWhである。ちなみに、BAUシナリオでは198億KWh、温暖化対策税の導入シナリオでは336億KWhである。また、国内排出量取引における排出枠は、削減目標に関わらず、2020年のBAUの排出量を100とするとき、素材



4業種の排出枠は78、電力の排出枠は86としている。試算結果によれば、三施策を導入して削減できるのは6.8%~8.8%程度であり、1990年比で2.9%~5.0%の削減にとどまり、15%削減に遠く及ばない。

なお、温暖化対策税の導入による削減幅は、1000円/t-Cでは1.2%であるが、2000円/t-Cとしても1.9%であり、税率を2倍しても削減できるのは0.7%程度の増加にとどまる。すなわち、価格効果に伴う二酸化炭素削減効果は、線形ではなく、価格を高くすればするほど削減効果は低減するということである。その意味で、表8では、炭素税導入の効果が比較的大きく出ているのは、削減政策として一番目に用いられたことによる。したがって、政策を導入年に基づいて段階的に累積的效果として見ているが、削減を推し進める順序により、同一政策を行っても削減量は異なることに留意が必要である。

ところで、表11は三施策に関わるお金の流れを示している。それによれば、温暖化対策税の場合、1000円/t-Cの課税では、税収は当初3,000億円であるが、排出量の削減により2020年には2,500億円程度となる。全量固定価格買取制度では、2020年における自然エネルギーの目標値により変わるが、500億円から8,000億円程度である。また、素材4業種における排出量取引は2020時点では3,040億円、電力については同8,840億円の規模となる。

表 11 三施策で動く金額

政策	シナリオ	価額(年)
温暖化対策税	1000円/tC	3,000億円~2,500億円
	2000円/tC	6,000億円~5,000億円
全量固定買取制度	15%削減目標	520億円~4,450億円
	20%削減目標	570億円~5,860億円
	25%削減目標	620億円~7,700億円
国内排出量取引	素材4業種	870億円~3,030億円
	電力	2,070億円~8,840億円

今般、平成24年度税制改正大綱（平成23年12月10日閣議決定）において、政府は温暖化対策税の一環として平成24年10月から石油石炭税を3年半かけて現行の5割増しとする方針であるが、1000円/t-Cに近い税率である。表10は、2020年の新エネルギーの導入について削減目標を15%とするシナリオについて、1000円/t-Cを2011年から導入した場合、2010年から2020年までのGDP・消費・投資についてBAUシナリオからの乖離を示している。それによれば、2011年以降、GDP・消費・投資のいずれも増加している。炭素税収は3,000億円から2,500億円程度であるが、低炭素化に役立つエコ家電製品、エコ自動車及びエコ住宅改修等への補助金に充当されることから、この分野での消費や投資が活発化し、それが経済全体に好影響を与えることが分かる。その規模は、GDPで見れば

ば 7,000 億円を上回り、日本経済の成長力を高める効果のあることが歴然としている。

表 12 炭素税(1000 円/t-C)導入の効果

	GDP	消費	投資
2010	259	233	-38
2011	541	217	277
2012	572	245	278
2013	600	271	283
2014	622	298	259
2015	643	317	261
2016	659	336	265
2017	675	353	249
2018	688	365	254
2019	702	374	254
2020	712	386	261

単位 10 億円

### 3.3 25%削減のための追加的施策の必要性について

地球温暖化対策基本法案に盛り込まれた主要三施策を総動員しても、2020 年における二酸化炭素排出量は 1990 年比 2.9%~5.0%減程度にとどまり、目標とする 25%に届かない。そこで、本節では、25%削減するための追加的施策について考える。

二酸化炭素削減に最も有効な方法は、炭素税を導入するか、排出量取引を広範に行うことなどで二酸化炭素価格を高めることである。前節では、排出量取引のみによる二酸化炭素の価格付けで 2020 年の排出量を 25%削減するシナリオを描いた。本節では、三施策を導入した上で、二酸化炭素価格をさらに上昇させることで 25%削減シナリオを分析する。試算にあたり、2020 年における国内での削減（真水）を 15%とし、不足する 10%は海外からの排出量購入で手当てするシナリオとする。海外の排出量単価は二酸化炭素トンあたり 10 ユーロとしている。本節で試算に用いた経済モデルでは、不足する購入分は経常収支の減少で補填されるが、具体的には国内貯蓄の減少として扱われる。

試算にあたっては、三施策を超える排出量の削減は、三施策で想定された素材 4 業種からなる国内排出量取引制度だけでなく、全ての部門が参加できる排出量取引制度を想定する。さらに、排出量取引から派生する収入は家計と政府で折半するものとする。また、政府は排出量取引収入の用途について次の二つのシナリオを試算する。

- (1). シナリオ 1：政府収入の全てを政府支出に振り向ける。
- (2). シナリオ 2：政府収入の一部を資本所得の減税に振り向け、残余を政府支出に振り向ける。

表 13 は、追加的施策による二酸化炭素価格と電力料金の変化・シナリオ 2 における資本減税額の規模を示している。それによれば、二酸化炭素価格は 1 万 1 千円から 1 万 3 千円程度上昇する必要がある。今般、政府が決定した温暖化対策税は二酸化炭素トン当たり 270 円程度であり、不十分な水準であることは明らかである。二酸化炭素価格の上昇は電力料金の上昇となり、34%から 38%上昇<sup>13</sup>することになる。法人税の減税は 4 兆円規模であり、法人税率に換算すれば 10%程度の引き下げとなる。

表 13 追加的施策による 2020 年 15%削減シナリオ

	二酸化炭素価格		電力料金		資本減税額
	シナリオ 1	シナリオ 2	シナリオ 1	シナリオ 2	シナリオ 2
2010			100	100	3,880
2011	419	745	100	100	3,940
2012	536	929	101	101	4,002
2013	1,066	1,549	102	103	4,058
2014	1,490	2,063	104	104	4,116
2015	1,984	2,656	105	106	4,174
2016	2,725	3,518	108	109	4,230
2017	3,635	4,570	111	112	4,283
2018	5,223	6,360	116	118	4,328
2019	7,462	8,858	122	125	4,366
2020	11,317	13,103	134	138	4,385

単位 円

単位 10 億円

表 14 は、追加的政策の経済的影響について示している。それによれば、シナリオ 1 とシナリオ 2 では正反対の結果となる。シナリオ 2 で経済にプラスに働くのは、資本所得減税による投資が刺激されることによる。本試算に用いた経済モデルでは、資本所得減税が実施されれば、投資から得られる収益率が高くなることで投資するインセンティブが高まり、投資が実行される。投資が行われれば資本が増加し、低炭素技術実現のためのイノベーションが生まれることで、GDP が逆に増加する可能性を示している。すなわち、この試算結果は、二酸化炭素削減は経済に対して下押し圧力となるものの、適切な政策的対応をすれ

<sup>13</sup> 前節の 25%削減ケースと比較して電力料金の上昇が大きい理由は、無償配布ではなく、有償配布のため、二酸化炭素価格の上昇が電力料金に直接転嫁されるためである。

ば、経済に対してプラスに働くように変えることができることを示している。

表 14 追加的施策による 2020 年 15%削減の経済的影響

	GDP		消費		投資	
	シナリオ 1	シナリオ 2	シナリオ 1	シナリオ 2	シナリオ 1	シナリオ 2
2010	-340	2,750	620	1,044	-1,135	4,545
2011	-229	3,576	608	1,150	-884	5,095
2012	-365	4,158	645	1,282	-1,081	5,392
2013	-492	4,804	607	1,304	-1,297	5,502
2014	-661	5,430	578	1,289	-1,578	5,716
2015	-857	6,080	521	1,208	-1,844	6,003
2016	-1,073	6,777	409	1,028	-2,136	6,267
2017	-1,310	7,509	256	764	-2,442	6,551
2018	-1,563	8,297	-20	319	-2,830	6,615
2019	-1,835	9,105	-435	-320	-3,166	6,629
2020	-2,142	9,904	-1,107	-1,289	-3,637	6,122

単位 10 億円

#### 4 原子力発電再稼働の遅れの経済的影響

2011 年 3 月 11 日の東日本大震災は、福島第一原子力発電所事故を引き起こし、東北から関東の広範囲にわたって放射能で汚染される事態となった。地球温暖化防止の立場からすれば、二酸化炭素を排出しない原子力発電は期待される発電技術であったが、放射能汚染という別の環境汚染を引き起こす結果となった。さらに、原子力発電技術の安全性に対する疑問から、定期点検を終えた原子力発電設備の再稼働ができなくなり、表 15 に示される電源別発電実績から分かるように、原子力発電の発電量が急速に減少している。原子力発電の停止による電力供給の減少は、電気事業法第 27 条による電気の使用制限の実施や節電への呼びかけが行われることとなった。表 16 は、2011 年 4 月から 2011 年 11 月までの対前年同月からの発電量の増減を示している。それによれば、原子力発電の減少分が、火力への代替と電力需要の減少、すなわち、節電の二つで行われていることが分かる。夏場は、電気需要の制限を実施することでしのいだが、10 月以降は火力発電への代替が顕著である。それは同時に、二酸化炭素の排出増を意味している。

表 15 発電実績 GWh (2011 年 1 月～2011 年 11 月)

	火力	原子力	水力・地熱	風力	太陽光	計
2011 年 1 月	56,903	24,035	4,775	26	1	85,739
2011 年 2 月	47,140	23,247	3,999	14	1	74,401
2011 年 3 月	48,930	21,236	4,909	18	2	75,096
2011 年 4 月	40,889	17,959	5,573	18	2	64,441
2011 年 5 月	41,727	14,883	8,460	15	1	65,086
2011 年 6 月	47,389	12,959	8,787	9	2	69,146
2011 年 7 月	56,213	12,347	8,261	10	2	76,832
2011 年 8 月	60,278	9,632	7,599	8	3	77,520
2011 年 9 月	54,716	7,261	7,907	9	3	69,896
2011 年 10 月	53,057	6,725	5,441	13	3	65,239
2011 年 11 月	54,375	7,092	4,554	14	3	66,039

表 16 前年同月からの発電量増減 GWh (2011 年 4 月～2011 年 11 月)

	火力	原子力	水力・地熱	風力	太陽光	計
2011 年 4 月	2,539	-5,557	-2,455	15	2	-5,457
2011 年 5 月	5,847	-7,682	-73	12	1	-1,894
2011 年 6 月	6,930	-10,290	598	8	1	-2,753
2011 年 7 月	7,155	-13,078	-1,238	8	2	-7,151
2011 年 8 月	4,020	-15,864	-246	7	3	-12,080
2011 年 9 月	4,960	-16,197	1,936	7	3	-9,291
2011 年 10 月	13,166	-19,533	353	11	3	-6,000
2011 年 11 月	12,528	-17,978	12	12	3	-5,423

#### 4.1 CGE モデルにおける原子力発電減少ショックの扱い

一般均衡モデルである CGE モデルで、原子力発電の突然の減少をどのように分析するかが問題となる。本研究で構築している Forward Looking 型 CGE モデルでは、原子力発電は一つのアクティビティとして独立して扱われている。この原子力発電アクティビティを変化させる方法は二つあり、一つはアクティビティに上限を設ける方法である。この場合、上限がシャドー・プライスの役目をし、原子力発電コストが引き上げられ、2 章図 6 で表されているように、既存電力発電である火力や水力への代替が生じることで原子力発電の比重を下げるものである。もう一つは、原子力発電の生産性を落とすことで原子力発電コストを引き上げ、同様のメカニズムで原子力発電の比重を下げるものである。前者は、アクティビティを直接減少させる有効な方法であるが、上限がシャドープライスの役目を果たす

ことで、CGE モデルにおいては制約上限が新たな所得を発生させることになる。そこで、本節では、原子力発電の生産性を落とすことでアクティビティを低下させる方法を用いる。生産性に外生的なショックを与えることで生産を減少させる方法は、マクロモデルの確率動的的一般均衡(DSGE: Dynamic Stochastic General Equilibrium)でも用いられている方法である。

## 4.2 原子力発電再稼働の遅れの影響

福島第一原子力発電所事故により、定期点検を終えた原子力発電所の再稼働が行われなくなることにより、原子力発電量が急速に減少しており、その経済的影響について分析する。ここでは、原子力発電量について福島第一原子力発電所事故がなかったケースを BAU ケースとし、早期再稼働シナリオ、遅延再稼働シナリオとその中間の三つのシナリオについて分析する。

表 17 は、三つのシナリオにおける原子力発電量を示している。再稼働ゼロのシナリオもありうるが、その影響は非常に大きく、ここでは想定していない。ただ、遅延再稼働シナリオと中間シナリオでは、再稼働できる原子力発電所について低い想定を置いている。2020 時点で稼働できる原子炉数は、遅延再稼働ケースで半分、中間シナリオで三分の二を想定している。

表 17 原子力発電量（億 kWh）

	BAU	早期再稼働	中間	遅延再稼働
2010	2,860	2,861	2,861	2,861
2011	2,857	818	818	818
2012	2,937	1,395	1,099	557
2013	3,019	1,979	1,376	816
2014	3,066	2,551	1,960	1,372
2015	3,114	2,826	2,234	1,653
2016	3,162	2,803	2,214	1,638
2017	3,211	2,780	2,195	1,623
2018	3,260	2,756	2,175	1,607
2019	3,309	2,731	2,154	1,591
2020	3,357	2,705	2,133	1,574

表 18 は総発電量を表しているが、BAU との差は節電によるものと考えることができる。CGE モデルにおける節電のメカニズムは、電力価格の上昇による代替効果により引き起こされるものである。

表 18 総発電量（億 KWh）

	BAU	早期再稼働	中間	遅延再稼働
2010	9,159	9,159	9,159	9,159
2011	9,238	8,832	8,834	8,835
2012	9,425	9,242	9,097	8,931
2013	9,605	9,370	9,188	9,093
2014	9,584	9,421	9,324	9,252
2015	9,569	9,469	9,318	9,282
2016	9,559	9,435	9,283	9,244
2017	9,554	9,404	9,252	9,211
2018	9,553	9,377	9,223	9,180
2019	9,558	9,353	9,199	9,153
2020	9,567	9,333	9,178	9,130

原子力発電の再稼働の遅れは、節電と火力発電への代替を引き起こす。表 19 は三つのシナリオについて火力発電への代替の大きさを示している。

表 19 火力発電量（億 KWh）

	BAU	早期再稼働	中間	遅延再稼働
2010	5,518	5,518	5,518	5,518
2011	5,588	7,041	7,042	7,044
2012	5,681	6,855	7,003	7,373
2013	5,763	6,444	6,801	7,251
2014	5,687	5,964	6,392	6,836
2015	5,612	5,737	6,118	6,589
2016	5,536	5,693	6,069	6,532
2017	5,460	5,647	6,018	6,474
2018	5,383	5,600	5,964	6,414
2019	5,304	5,549	5,908	6,350
2020	5,222	5,495	5,848	6,282

その結果、表 20 に示されるように、二酸化炭素排出量が増加することになる。

表 20 二酸化炭素排出量 (CO2 百万トン)

	BAU	早期再稼働	中間	遅延再稼働
2010	1,162	1,162	1,162	1,162
2011	1,162	1,259	1,259	1,260
2012	1,170	1,248	1,258	1,285
2013	1,176	1,220	1,243	1,277
2014	1,170	1,187	1,215	1,248
2015	1,164	1,171	1,196	1,227
2016	1,158	1,168	1,192	1,222
2017	1,153	1,164	1,188	1,217
2018	1,148	1,161	1,184	1,213
2019	1,142	1,157	1,180	1,208
2020	1,137	1,154	1,176	1,203

期待される風力・太陽光発電は、表 21 に示されるように、原子力の再稼働が遅れるほど、増加する傾向にあるが、原子力発電の減少分を補うことは難しい。

表 21 風力・太陽光 (億 KWh)

	BAU	早期再稼働	中間	遅延再稼働
2010	58	58	58	58
2011	71	90	90	90
2012	85	101	104	110
2013	101	113	119	125
2014	120	126	133	141
2015	143	146	154	162
2016	169	173	182	191
2017	201	206	216	226
2018	239	246	256	268
2019	283	292	304	317
2020	337	348	361	375

表 22 は電力価格と GDP への影響を示している。それによれば、2011 年の電力価格は BAU シナリオと比較して 25%上昇する。しかし、2011 年の段階では電力価格は上昇していない。これは計画停電・電気使用制限・節電などで実際に負担した額がシャドー価格として表面化したものである。2012 年は、再稼働の遅れの状況により、BAU シナリオと比較



して 18%～30%上昇する。2014 年以降も、4%～18%上昇する。

GDP への影響は、2011 年では 2 兆 5 千億円程度のマイナス要因となる。2012 年は、再稼働の状況により 2 兆 1 千億円～3 兆 1 千億円のマイナスとなる。影響はそれ以降も続き、5 千億円～2 兆 5 千億円のマイナスとなる。2011 年から 2012 年までの GDP 損失の合計は、早期再稼働シナリオで 10 兆円、中間シナリオで 16 兆円、遅延再稼働ケースで 26 兆円に達する。

表 22 電力価格と GDP への影響

	電力価格 (BAU=100)			GDP (2005 年価格 10 億円)		
	早期再稼働	中間	遅延再稼働	早期再稼働	中間	遅延再稼働
2010	100	100	100	0	0	0
2011	125	125	125	-2,596	-2,504	-2,398
2012	118	121	130	-2,101	-2,347	-3,133
2013	110	117	126	-1,403	-2,043	-2,874
2014	104	111	118	-769	-1,477	-2,281
2015	102	108	115	-494	-1,189	-2,049
2016	103	109	116	-520	-1,253	-2,157
2017	103	109	117	-550	-1,319	-2,265
2018	104	110	117	-582	-1,387	-2,372
2019	104	110	118	-617	-1,455	-2,479
2020	105	111	118	-651	-1,522	-2,583

## 5 2050 年までのエネルギー・環境シナリオの経済的影響

2020 年までの中期的な視野で見るとき、原子力発電の急速な縮小は、日本経済に対して大きな影響を与える可能性が高い。原子力発電に代わるのは火力発電であり、風力・太陽光などの再生可能エネルギーの急速な普及ができたとしても力不足である。しかし、より長期の視野で見れば、再生可能エネルギーが原子力発電に代替できる余地がある。本節では、その可能性を示すことである。さらに、二酸化炭素排出量を 2050 年まで 1990 年比 80% 削減の可能性についても明らかにする。

### 5.1 長期モデルへの対応と BAU シナリオ

2020 年までの中期 CGE モデルの場合、1 年を 1 期間として解いていたが、2050 年までの長期にわたって CGE モデルを解くために、5 年を 1 期として解くことにする。なお、各

時点の数値は、5年間の平均ではなく、各時点の数値としている。また、代替の弾力性は上方修正され、割引率、利子率と資本減耗率も5年を単位とするように変換される。さらに、再生可能性エネルギーである太陽光発電と風力発電以外の新たな生産技術として、炭素回収・貯留(CCS: Carbon Capture and Storage)が取り入れられている。それが、二酸化炭素排出制約を課したときのバックストップテクノロジーの役割を果たす。

BAU シナリオとして表 23 のマクロ・フレームワークが用いられる。労働供給は人口減少により、2010年 6,576 万人から、2050年 4,500 万人へ 2,000 万人減少すると想定されている。一方、成長率は 1%~1.2%が確保され、2010年 511 兆円から 2050年 794 兆円に増加する。その背景にあるのが TFP(Total Factor Productivity)とよばれる全要素生産性の改善であり、年率 1.5%~2.3%と想定している。なお、BAU シナリオでは、二酸化炭素排出量に制約を置かず、二酸化炭素価格はゼロとしている。それでも、GDP あたりの二酸化炭素排出量は年率 1.45%の改善を見込んでいる。なお、人口と TFP 成長率は外生変数であるが、労働供給・GDP・成長率・CO2 排出量は内生変数である。

表 23 BAU シナリオ

	労働供給	GDP	成長率	TFP 増加率	CO2 排出量
	万人	兆円	%	%	百万トン
2010	6,576	511	0.2	1.5	1,171
2015	6,477	541	1.2	1.6	1,150
2020	6,353	574	1.2	2.0	1,132
2025	6,087	609	1.2	2.1	1,115
2030	5,792	645	1.1	2.1	1,097
2035	5,488	681	1.1	2.2	1,077
2040	5,137	716	1.0	2.2	1,054
2045	4,814	754	1.0	2.3	1,034
2050	4,502	794	1.1	2.3	1,014

表 24 は、BAU シナリオにおける発電量とその構成比である。原子力発電量は 3,000 億 KWh の水準で推移、総発電量に占める比率である構成比も 30%で推移する。ガス火力発電量も若干の減少傾向にあるものの、構成比は 29%~28%で推移する。それに対して、石炭火力発電量は半減し、構成比も 29%から 15%に低下する。また、石油火力発電は三分の一に減少し、構成比も 9%から 3%に低下する。一方、再生可能性エネルギーである水力・自滅発電量は若干増加傾向にあり、構成比も 7%から 10%に上昇する。太陽光・風力発電量は増加し、構成比で見れば 2050 年に 12%程度まで上昇する。発電部門では、石炭・石油から再生可能エネルギー発電にシフトすることで低炭素化が進むとしているが、非電力エネルギー

ギーの増加により、二酸化炭素排出量は 2050 年においても 10 億トンの規模であり、二酸化炭素排出抑制の道筋の厳しさを示す BAU シナリオとなっている。二酸化炭素排出抑制を進まないのは、二酸化炭素排出に対する制約を課していないことによる。

表 24 BAU シナリオ：発電量とその構成

発電量 (億KWh)							
	石炭	石油	ガス	原子力	水力・地熱	太陽光	風力
2010	3,088	946	2,919	2,846	765	32	38
2015	2,840	834	2,934	2,851	804	58	71
2020	2,604	733	2,940	2,870	825	97	119
2025	2,377	641	2,932	2,894	847	146	182
2030	2,156	557	2,907	2,919	869	200	250
2035	1,938	479	2,855	2,928	887	272	343
2040	1,730	410	2,786	2,936	904	336	426
2045	1,539	349	2,708	2,938	920	414	527
2050	1,357	295	2,610	2,925	932	509	651
発電構成 (%)							
	石炭	石油	ガス	原子力	水力・地熱	太陽光	風力
2010	29	9	27	27	7	0	0
2015	27	8	28	27	8	1	1
2020	26	7	29	28	8	1	1
2025	24	6	29	29	8	1	2
2030	22	6	29	30	9	2	3
2035	20	5	29	30	9	3	4
2040	18	4	29	31	9	4	4
2045	16	4	29	31	10	4	6
2050	15	3	28	32	10	5	7

## 5.2 シナリオ

本節では次の 3 つのシナリオを試算し、その経済的影響を見る。

- (1). 原子力発電の段階的縮減
- (2). 再生可能エネルギー（太陽光発電・風力発電）の普及促進
- (3). 2050 年の二酸化炭素排出量を 1990 年比 80%減+CCS 技術

原子力発電量について、BAU シナリオでは 2050 年まで 2,900 億 KWh 前後で推移するが、原子力発電の段階的縮減シナリオでは、2050 年の発電量が三分の一の 723 億 KWh まで減少すると想定している。CGE モデルにおける原子力発電量の低下は、原子力アクティビティの生産性を落とすことで実現している。原子力発電以外の発電については、市場メカニズムの成り行きに任されている。

本研究で構築した CGE モデルに取り入れられている再生可能エネルギーは太陽光発電と

風力発電の二つである。また、再生可能エネルギーの普及促進策として想定されているのは、固定価格買取制度と立地規制の緩和である。固定価格買取制度で問題となるは買取価格の水準であるが、表 25 に平均買取価格<sup>14</sup>として示している。なお、固定価格買取制度は 2012 年から開始されると思われるが、長期 CGE モデルでは 5 年を 1 期としている関係で、2015 年から開始されると想定している。2015 年の買取価格は太陽光で 25 円/KWh、風力で 14 円/KWh の買い取り価格である。固定買取制度は、風力で 2040 年、太陽光でも 2050 年には役割を終えるとしている。

表 25 平均固定買取価格（円/KWh）

	太陽光	風力
2015	25	14
2020	24	11
2025	21	9
2030	16	7
2035	11	5
2040	8	2
2045	5	
2050	3	

再生可能エネルギーの普及促進には、固定価格買取だけでなく、立地資源を拡大するための規制緩和による支援も必要と考えている。特に、メガソーラ発電施設や風力発電設備の立地には大規模な土地を必要としており、工場立地法の規制緩和・環境アセスメントによる規制の緩和・土地所有権の制限などの制度改正が必要となろう。表 26 では、CGE モデルで用いられている促進政策の一つである立地資源の増加率を示している。それによれば、促進シナリオでは、BAU と比較して 2015 年～2025 年は年率で 4%、2030 年～2035 年は年率 2%の追加的上昇を想定している。特に、早い時期での普及促進が肝要であり、買取価格を引き下げる効果も期待できる。なお、立地資源の増加率は外生変数である。

表 26 規制緩和による立地資源の増加率（年率 %）

	太陽光		風力	
	BAU	再生促進	BAU	再生促進
2015	10	14	10	14
2020	8	12	8	12

<sup>14</sup> モデルでは、太陽光発電および風力発電について、建設年ごとにビンテージで区別していないため、買取費用総額を発電量で除した平均価格で表している。

2025	6	10	6	10
2030	4	6	4	6
2035	4	6	4	6
2040	2	2	2	2
2045	2	2	2	2
2050	2	2	2	2
2050	2	2	2	2

ところで、原子力発電の段階的縮減と再生可能エネルギー促進は、二酸化炭素排出削減という大きな目標について十分に考慮していない。試算結果からすると、原子力発電の段階的縮減によって増大する二酸化炭素排出量を再生可能エネルギーの普及促進で相殺するのがやっとなのである。もし2050年までに二酸化炭素排出量を1990年比で80%削減する制約条件を加えるとすれば、それが日本経済にどのような影響を与えるかを評価することが必要となる。具体的には、二酸化炭素排出に価格をつけて、排出を抑制しようとする試みである。なお、現行の技術のみでは80%削減を実現するための二酸化炭素価格は非常に高価となることから、目標の削減は非常に難しくなる。そこで、新たな技術として、二酸化炭素回収・貯留(CCS: Carbon Capture and Storage)の登場を想定している。

シナリオ分析では、個々のシナリオを独立してBAUシナリオと比較するのではなく、第一に、原子力発電の段階的縮減シナリオを試算し、第二に、原子力発電の段階的縮減シナリオを前提として再生可能エネルギー普及促進を追加したシナリオを試算する。第三に、原子力発電の段階的縮減と再生可能エネルギー普及促進を前提に、2050年の二酸化炭素排出量を1990年比80%削減するシナリオを試算して比較する。80%削減シナリオでは、CCS技術がバックストップテクノロジーとしての役割を果たす。

### 5.3 発電量と発電構成への影響

表27は、原子力発電の段階的縮減シナリオにおける発電量とその構成比を示している。2050年の原子力発電は723億KWh、構成比で8%に低下している。表24のBAUシナリオと比較して、原子力発電の段階的縮減は、ガス火力発電と石炭火力発電への代替を引き起こす。構成比は、原子力発電が2010年31%から8%に減少するのに対して、ガス火力発電は2010年27%から2050年40%(BAUシナリオ)へ上昇し、石炭火力発電も2010年29%から2050年21%に戻る。化石燃料への回帰により、二酸化炭素排出を増加する。一方、水力・地熱は地熱を中心に増加し、2010年7%から2050年13%に上昇する。太陽光・風力発電は、原子力発電を段階的縮減しても2050年の構成比はBAUシナリオ12%から14%に上昇する程度である。

表 27 原子力発電段階的縮減シナリオ：発電量と構成比

発電量 (億KWh)							
	石炭	石油	ガス	原子力	水力・地熱	太陽光	風力
2010	3,088	946	2,920	2,846	765	32	38
2015	2,967	871	3,065	2,423	804	59	72
2020	2,830	796	3,195	2,063	845	98	122
2025	2,679	722	3,306	1,754	888	148	187
2030	2,517	650	3,394	1,487	934	203	258
2035	2,334	577	3,440	1,250	981	276	354
2040	2,147	509	3,458	1,048	1,031	341	438
2045	1,961	445	3,452	875	1,084	420	542
2050	1,770	384	3,405	723	1,139	516	668
発電構成 (%)							
	石炭	石油	ガス	原子力	水力・地熱	太陽光	風力
2010	29	9	27	27	7	0	0
2015	29	8	30	24	8	1	1
2020	28	8	32	21	8	1	1
2025	28	7	34	18	9	2	2
2030	27	7	36	16	10	2	3
2035	25	6	37	14	11	3	4
2040	24	6	39	12	11	4	5
2045	22	5	39	10	12	5	6
2050	21	4	40	8	13	6	8

表 28 は、太陽光・風力発電の促進シナリオにおける発電量とその構成比を示している。表 27 の原子力発電の段階的縮減シナリオと比較すれば、2050 年における太陽光・風力発電の構成比は 14%から 30%に倍増している。当然のことながら、原子力発電縮減で一端上昇したガス火力発電の構成比が 2050 年で 40%から 32%へ、同石炭火力発電が 21%から 16%へ低下している。水力・地熱発電の構成比も 13%から 11%へ、原子力発電の構成比も 8%から 7%へわずかに低下している。すなわち、太陽光・風力発電の促進シナリオは、火力発電の比重低下に貢献する。

表 29 は、CCS 技術の登場を前提に、2050 年の二酸化炭素排出量を 1990 年比 80%削減シナリオにおける発電量とその構成比を表している。原子力の段階的縮減シナリオ・再生可能エネルギー促進シナリオと 80%削減シナリオの違いは、二酸化炭素排出量に対して制約をかけるかどうかである。二酸化炭素排出量に制約をかけると、二酸化炭素に価格が付くことで、価格体系が大きく変化し、経済に対して影響する。二酸化炭素排出に対する制約は、化石燃料による発電に対する大きな制約となる。2050 年における石炭・石油・ガス発電の構成比は、BAU シナリオで 46%、原子力発電の段階的縮減シナリオで 65%、再生可能エネルギー促進シナリオで 52%、80%削減シナリオで 24%となる。それに対して、2050 年における水力・地熱発電の構成比は、BAU シナリオで 10%、原子力発電の段階的縮減シナリオで 13%、再生可能エネルギー促進シナリオで 11%、80%削減シナリオで 19%となる。一方、2050 年における太陽光・風力発電の構成比は、BAU シナリオで 12%、原子力発電

の段階的削減シナリオで 14%、再生可能エネルギー促進シナリオで 24%、80%削減シナリオで 46%となる。水力を含めた再生可能エネルギーによる発電は 65%に達する。

表 28 再生可能エネルギー促進シナリオ：発電量と構成比

発電量 (億KWh)							
	石炭	石油	ガス	原子力	水力・地熱	太陽光	風力
2010	3,088	946	2,919	2,846	765	32	38
2015	2,945	865	3,043	2,405	804	76	98
2020	2,772	780	3,129	2,020	845	150	192
2025	2,552	688	3,149	1,669	888	268	343
2030	2,319	599	3,127	1,369	934	397	511
2035	2,039	504	3,004	1,090	934	588	760
2040	1,811	429	2,917	883	947	721	923
2045	1,577	358	2,776	702	943	883	1,130
2050	1,330	289	2,557	542	912	1,080	1,394
発電構成 (%)							
	石炭	石油	ガス	原子力	水力・地熱	太陽光	風力
2010	29	9	27	27	7	0	0
2015	29	8	30	23	8	1	1
2020	28	8	32	20	9	2	2
2025	27	7	33	17	9	3	4
2030	25	6	34	15	10	4	6
2035	23	6	34	12	10	7	9
2040	21	5	34	10	11	8	11
2045	19	4	33	8	11	11	14
2050	16	4	32	7	11	13	17

表 29 2050年8割削減+CCS導入シナリオ：発電量と構成比

発電量 (億KWh)							
	石炭	石油	ガス	原子力	水力・地熱	太陽光	風力
2010	2,767	870	2,673	2,839	765	32	40
2015	2,293	706	2,468	2,438	804	77	100
2020	1,880	563	2,241	2,094	845	152	196
2025	1,199	353	1,594	1,798	888	274	358
2030	773	220	1,133	1,544	934	408	536
2035	497	136	800	1,326	981	604	796
2040	458	120	804	1,138	1,031	736	964
2045	428	107	820	893	1,084	897	1,171
2050	400	95	835	612	1,041	1,094	1,431
発電構成 (%)							
	石炭	石油	ガス	原子力	水力・地熱	太陽光	風力
2010	28	9	27	28	8	0	0
2015	26	8	28	27	9	1	1
2020	24	7	28	26	11	2	2
2025	19	5	25	28	14	4	6
2030	14	4	20	28	17	7	10
2035	10	3	16	26	19	12	15
2040	9	2	15	22	20	14	18
2045	8	2	15	17	20	17	22
2050	7	2	15	11	19	20	26

表 30 は、シナリオ毎の総発電量である。2050 年の発電量は、BAU シナリオ 9,278 億 KWh、原子力の段階的縮減シナリオ 8,605 億 KWh、再生可能エネルギー促進シナリオ 8,104 億 KWh、80%削減シナリオ 5,508 億 KWh となる。総発電量の減少は、需要の減少、すなわち節電効果と考えることができる。その大きさは、BAU シナリオと比較して、原子力の段階的縮減シナリオ 7%、再生可能エネルギー促進シナリオ 13%、80%削減シナリオ 41%、節電が行われることを意味している。

表 30 総発電量 (億 KWh)

	BAU	原子力縮減	再生促進	80%削減
2010	10,635	10,635	10,635	9,986
2015	10,392	10,261	10,236	8,887
2020	10,188	9,948	9,887	7,971
2025	10,018	9,685	9,558	6,462
2030	9,858	9,441	9,256	5,546
2035	9,703	9,212	8,920	5,141
2040	9,529	8,972	8,631	5,251
2045	9,395	8,777	8,369	5,399
2050	9,278	8,605	8,104	5,508

表 31 は、電気料金の価格を BAU シナリオと比較して示したものである。2050 年における電気料金は、原子力発電の段階的縮減シナリオ 1.33 倍、再生可能エネルギー促進シナリオ 1.32 倍、80%削減シナリオ 2.18 倍、上昇する。再生可能エネルギー促進シナリオは、原子力発電の段階的縮減シナリオを前提として再生可能エネルギーを促進するシナリオであるが、原子力発電の段階的縮減のみと比較しても電気料金が低下するが、再生可能エネルギーの促進による化石燃料による発電コストの低下によるところが大きい。

表 31 電気料金 (BAU=100)

	原子力縮減	再生促進	80%削減
2010	100	100	105
2015	104	104	120
2020	108	108	136
2025	113	112	181
2030	117	116	233
2035	121	120	268
2040	125	124	248
2045	129	128	231
2050	133	132	218



#### 5.4 二酸化炭素排出量と経済的影響

表 30 は二酸化炭素排出量の推移を示している。BAU シナリオにおいても、2050 年の排出量は 10 億 14 百万トンと高い水準にあるが、これは二酸化炭素排出に対して何らの制約を置いておらず、政策的な措置も行われぬという前提に基づくものである。これは、原子力発電の段階的縮減シナリオと再生可能エネルギー促進シナリオでも同じである。試算結果から、原子力発電の段階的縮減による化石燃料による発電への代替は二酸化炭素排出量を増加させるが、再生可能エネルギーを促進しても、原子力発電の段階的縮減による増加分を相殺する程度にとどまることである。

二酸化炭素排出削減を削減するには、排出量に制約をつけて、二酸化炭素に価格付けをすることで削減する必要がある。表 32 の 80%削減シナリオによれば、二酸化炭素価格は、2020 年 8,405 円、2030 年 41,545 円、2040 年 50,214 円、2050 年 32,599 円となる。CCS 技術は 2030 年に登場する。表 30 において 80%削減シナリオにおける 2050 年における排出量が 5 億 48 百万トンとなっているが、CCS による回収・貯留が 3 億 36 百万トンあることから、実排出量は 2 億 12 百万トンとなる。

表 32 二酸化炭素排出量(CO2 百万トン)と CO2 価格(円/t-CO2)

	BAU	原発縮減	再生促進	80%削減	(内)CCS	CO2 価格
2010	1,171	1,171	1,171	1,092	0	1,858
2015	1,150	1,166	1,163	991	0	4,816
2020	1,132	1,160	1,151	900	0	8,405
2025	1,115	1,153	1,134	707	0	22,606
2030	1,097	1,143	1,113	571	15	41,545
2035	1,077	1,129	1,084	485	48	58,946
2040	1,054	1,110	1,056	499	156	50,214
2045	1,034	1,091	1,028	521	251	41,281
2050	1,014	1,071	997	548	336	32,599

表 33 は各シナリオについて GDP を示している。BAU シナリオと比較して、原子力発電の段階的縮減シナリオと再生促進シナリオは、発電構成を大きく変化させる内容であるが、GDP に対する影響は軽微である。前節において、2020 年までの中期的試算で、原発再稼働の遅れが GDP を大きく損なう可能性を指摘したが、原子力発電の急激な減少に経済が対応できないことが主因である。それに対して、40 年という長い期間をかけて原子力発電を縮減する場合、経済の対応が可能となることで、GDP 損失を避けることができることを意味している。

表 33 GDP (2005 価格兆円)

	BAU	原発縮減	再生促進	80%削減
2010	510	510	510	509
2015	542	541	541	539
2020	575	574	574	570
2025	611	609	609	601
2030	647	645	644	630
2035	684	681	681	660
2040	719	716	716	690
2045	757	754	754	726
2050	798	794	794	766

なお、80%削減シナリオでは GDP はいずれの時点においても再生可能エネルギー促進シナリオと比較しても低下している。2050 年時点では、28 兆円 (3.5%) 減少する。すなわち、二酸化炭素削減は GDP を押し下げる方向に働く。

表 34 と表 35 は、主要業種における生産量の推移を示している。

表 34 産業部門別生産量 (2005 年価格 10 億円)

	石油製品				化学			
	BAU	原発縮減	再生促進	80%削減	BAU	原発縮減	再生促進	80%削減
2010	14,353	14,353	14,353	13,952	26,708	26,709	26,709	26,676
2015	14,459	14,448	14,445	13,487	28,448	28,435	28,431	28,305
2020	14,605	14,577	14,570	13,032	30,332	30,301	30,291	30,012
2025	14,776	14,729	14,717	11,535	32,361	32,308	32,288	31,540
2030	14,923	14,855	14,840	10,175	34,428	34,350	34,320	32,860
2035	15,059	14,971	14,952	9,291	36,582	36,476	36,430	34,211
2040	15,091	14,985	14,966	9,693	38,556	38,423	38,369	35,879
2045	15,162	15,038	15,019	10,242	40,744	40,583	40,518	38,002
2050	15,238	15,097	15,078	10,887	43,061	42,871	42,793	40,416
	鉄鋼				非鉄金属			
	BAU	原発縮減	再生促進	80%削減	BAU	原発縮減	再生促進	80%削減
2010	24,717	24,728	24,722	24,040	18,830	18,837	18,833	18,668
2015	26,198	26,190	26,172	24,686	19,883	19,886	19,877	19,544
2020	27,799	27,764	27,729	25,401	21,012	21,006	20,990	20,456
2025	29,488	29,419	29,360	25,102	22,198	22,181	22,156	21,170
2030	31,231	31,122	31,035	25,121	23,403	23,373	23,337	21,864
2035	33,013	32,860	32,743	25,642	24,630	24,585	24,542	22,684
2040	34,853	34,652	34,512	27,493	25,845	25,785	25,733	23,922
2045	36,841	36,590	36,426	29,622	27,169	27,093	27,033	25,321
2050	38,964	38,661	38,476	31,993	28,578	28,487	28,423	26,817

表 35 産業部門別生産量 (2005 年価格 10 億円)

	一般機械				電気機械			
	BAU	原発縮減	再生促進	80%削減	BAU	原発縮減	再生促進	80%削減
2010	28,420	28,445	28,431	28,003	40,433	40,444	40,438	40,264
2015	29,925	29,945	29,914	29,167	42,416	42,441	42,422	42,130
2020	31,499	31,507	31,452	30,312	44,530	44,557	44,519	44,083
2025	33,075	33,066	32,983	31,065	46,749	46,772	46,706	46,101
2030	34,682	34,654	34,538	31,815	48,975	48,987	48,891	48,108
2035	36,253	36,203	36,067	32,785	51,235	51,231	51,106	50,233
2040	38,075	38,002	37,838	34,838	53,381	53,357	53,211	52,343
2045	39,988	39,892	39,705	36,945	55,760	55,715	55,548	54,712
2050	42,037	41,920	41,725	39,094	58,300	58,233	58,049	57,206
	輸送機械				建設			
	Baseline	原発縮減	再生促進	80%削減	Baseline	原発縮減	再生促進	80%削減
2010	50,179	50,191	50,184	49,614	125,978	126,029	126,001	125,040
2015	52,716	52,742	52,714	51,506	133,429	133,418	133,346	131,459
2020	55,417	55,442	55,381	53,503	141,443	141,343	141,215	138,101
2025	58,252	58,267	58,153	54,518	149,869	149,663	149,468	143,863
2030	61,092	61,090	60,921	55,590	158,499	158,175	157,909	149,366
2035	63,975	63,947	63,713	57,248	167,297	166,854	166,544	155,464
2040	66,694	66,637	66,367	60,625	176,215	175,649	175,291	164,038
2045	69,707	69,618	69,307	64,326	185,868	185,183	184,786	173,736
2050	72,918	72,794	72,445	68,178	196,147	195,354	194,954	184,162

## 6 まとめ

本章では、環境政策の様々な課題に対応するために日本経済の Forward Looking 型動学的 CGE モデルを構築し、4つの政策課題への対応について分析を行った。本研究の当初の目的は、地球温暖化対策基本法案に盛り込まれた施策が、中長期的視野で日本経済に与える影響を評価することであった。しかし、平成 23 年 3 月 11 日の東日本大震災と福島第一原子力発電所事故は、我が国のエネルギー・環境政策を根底から見直す事態となったことから、地球温暖化対策基本法案に盛り込まれた施策の経済的影響だけでなく、エネルギー・環境政策に踏み込んだ分析を行った。

第一に、温暖化防止のため中期目標である 2020 年における二酸化炭素排出量を 1990 年比 25%削減することが、日本経済にプラスに影響する可能性を明らかにしたことである。静学モデルの視点からすれば、排出制約は経済にとってマイナスとなるが、動学モデルの視点からすれば、25%削減目標が新たな投資を生み出す可能性がある。温暖化防止のための新たな投資は費用であるが、それが将来の豊かな果実となるということの家計や企業が知っており、消費を減らしてでも投資を増加させ、それが成長を加速させる可能性のあることを Forward Looking 型動学的 CGE モデルは示している。

第二に、地球温暖化対策基本法に盛り込まれた施策である、環境税・全量固定価格買取制度・排出量取引制度導入が経済に与える影響について評価した。ここでは、特定業種に対する非課税措置、買い取り価格の設定、排出量取引に参加する業種区分について、法案策定の一助となる分析をしている。

第三に、福島第一原子力発電所事故による原子力発電所の再稼働の問題について、2020年までの中期的視野で分析している。放射能汚染の状況を見れば、原子力発電量の減少はやむを得ないことであるが、電力不足という問題は避けられない。また、再生可能性エネルギーによる代替もすぐには難しく、火力による代替となる。その結果、二酸化炭素排出の増加だけでなく、化石燃料の輸入増による国富の流出でGDP損失が避けられないことを示した。

第四は、長期的なエネルギー・環境政策のあり方である。試算結果によれば、中期的な視野で見れば原子力発電は必要不可欠であるが、長期的な視野からすれば、再生可能エネルギーによる代替も十分に可能となることが示されている。ただ、二酸化炭素排出という視点からすれば、二酸化炭素排出に価格付けを行い、低炭素社会を実現することが必要となるが、その場合、二酸化炭素回収・貯留技術のような新たな技術の出現に期待がかかることが示される。

#### 参考文献

武田史郎、川崎泰史、落合勝昭、伴金美、2010、日本経済研究センターCGEモデルによるCO2削減中期目標の分析、環境経済・政策研究 3、31-42.

国立環境研究所 AIM プロジェクトチーム(2009)、AIM モデルによる分析 - 2020年排出量選択肢候補に関する検討、平成21年3月27日開催中期目標検討委員会提出資料 2-4,

国立環境研究所 AIM プロジェクトチーム(2010)、中長期ロードマップを受けた温室効果ガス排出量の試算(再計算)、平成22年10月15日開催中長期ロードマップ小委員会(第14回)提出資料 2

地球環境産業技術研究機構(RITE)(2009)、モデル分析概要、平成21年3月27日開催中期目標検討委員会提出資料 2-2,

伴 金美 (2010) 日本の中期目標 25%削減の経済・産業への影響、中央環境審議会地球環境部会中長期ロードマップ小委員会(第9回)提出資料 2

伴 金美 (2010) 中長期ロードマップ経済試算、中央環境審議会地球環境部会中長期ロードマップ小委員会(第15回)提出資料 3

南斉規介、森口祐一(2009)、産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID): 2005

年表（β版），独立行政法人国立環境研究所 地球環境研究センター

EU Commission (2010), Analysis of Options to Move Beyond 20% Greenhouse Gas Emission Reductions and Assessing the Risk of Carbon Leakage: Background Information and Analysis.

IPCC (2007), Mitigation of Climate Change in IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change.

Kuik, O., L. Brander and R.S.J. Tol (2009), Marginal Abatement Costs of Greenhouse Gas Emissions: A Meta-Analysis, Energy Policy 37, 1395-1403.



## 4章 世界 CGE モデルによる環境政策評価

### 要旨

2009年12月に開催されたCOP15におけるコペンハーゲン合意に基づいて、各国は2020年までの削減目標を国連気候変動枠組条約事務局に報告する義務を負った。それに対して日本政府は1990年比25%削減という目標を示した。しかし、意欲的な目標に対しては懐疑論が強く、日本の産業の国際競争力への悪影響が懸念されている。

前半では、コペンハーゲン合意に基づいて各国が示した2020年までの削減目標を履行したとき、各国の経済に対してどのような影響を与えるかについて、国際多地域動学CGEモデルを用いて分析した。明らかになったのは次の点である。

- (4). 中国を含めた主要排出国が目標を達成すれば、世界全体のCO<sub>2</sub>排出量は3.6%減少し、懸念されている炭素リーケージは9.9%にとどまる。しかし、中国が目標を持たない場合、CO<sub>2</sub>排出量は3.4%減にとどまり、炭素リーケージは14.5%となる。その意味で、コペンハーゲン合意における中国の役割は大きい。
- (5). コペンハーゲン合意がGDPに与える影響は、BAUと比較し、日本マイナス1.4%、米・EUマイナス0.3%に対して、中国はプラス0.3%となる。
- (6). 日本の鉄鋼業は、BAUと比較し、鉄鋼業生産は11%減で強い影響を受けるが、機械機器・輸送機器生産への影響は軽微であり、輸出も増加する。さらに、排出量収入を資本所得減税に充当すれば、GDPロスをマイナス0.6%に軽減することができる。

後半では、日本の国内での削減を15%にとどめ、残りの10%を日本と中国の二国間クレジットで削減し、両国が排出量収入の一部を資本所得減税に充当すれば、日本のGDPロスはさらに小さくなり、また中国のGDPはさらに増加する。その意味において、日中間の環境分野での協力関係の強化は、両国にとって望ましい結果をもたらすと言える。

担当者            伴 金美

別添資料            GAMS プログラム一式

## 1 はじめに

日本の二酸化炭素削減目標の達成が経済に与える影響を評価する場合、我が国の国際競争力に与える影響や製造業などの海外への流出懸念が問題視される。したがって、日本一国モデルで二酸化炭素削減の経済への影響を試算することには限界があることも事実である。本論文では、世界を8国・地域に分割した多部門動学的最適化CGEモデルを構築し、日本の環境政策が経済に与える影響を国際的な視点から分析する。

図1は、IEAのCO2 Emissions from Fuel Combustion統計2010年版における2008年における二酸化炭素排出量を国別に見たものである。総排出量は293億8千万トンである。最大の排出国は中国であり、世界の22%占め、米国の19%を上回っている。次いでEU27カ国の13%、旧ソ連5%、インド5%と続き、日本は4%であり6番目の排出国となっている。注目すべきは、途上国に分類される中国とインドの排出量の合計で世界の27%を占めており、京都議定書に参加していない米国を含めれば46%にも達している。2010年12月にメキシコ・カンクンで開催された国連の気候変動枠組条約機構締結国会議（第16回）において、2013年以降の枠組みを議論する中で、京都議定書の延長問題が取り上げられたが、削減義務を負う国がEUと日本に実質的に限られ、世界全体の排出量の中で17%にとどまることから、単純延長が世界全体の削減に繋がるかどうか疑問視されたのも当然であろう。

図1 燃料の燃焼起源二酸化炭素排出量(2008)

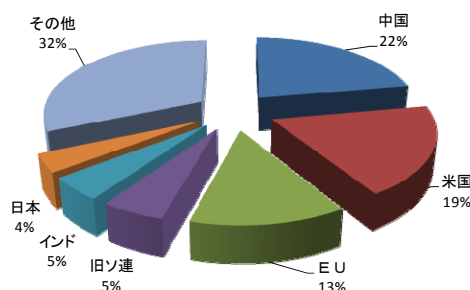
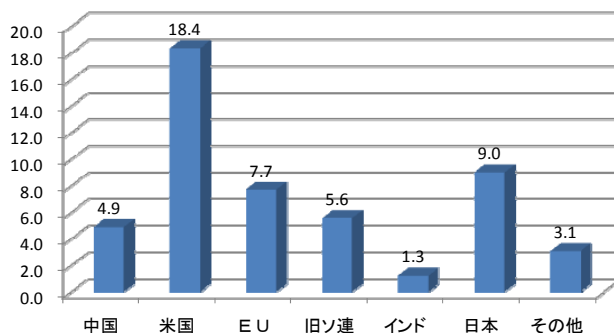


図2 一人当たり燃料の燃焼起源二酸化炭素発生量(トン、2008年)

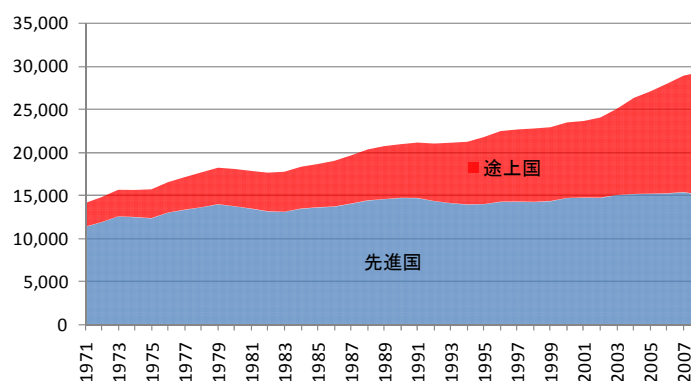




一方、図 2 は IEA の同統計による一人当たりの燃料の燃焼起源二酸化炭素排出量を表したものである。それによれば、最大の排出量は米国で 18.4 トン、次いで日本で 9 トンである。日本が環境先進国を自慢しても、一人当たり排出量で見れば、日本は中国の 2 倍、インドの 7 倍も排出していることになる。そのような日本が、中国やインドに排出削減を要求することは難しい。

その一方で、図 3 によれば、先進国の排出量は、1971 年 113 億 3 千万トンが 2008 年には 150 億 5 千万トンに 33% の増加であったが、途上国は 1971 年 27 億 7 千万トンが 2008 年には 143 億 3 千万トンに 518% 増加している。途上国の増加は当面続くことが予想され、IEA の最近の予測によれば、2020 年における途上国の排出量は 205 億 7 千万トンに達し、同年の先進国の排出量 148 億 7 千万トンの 1.5 倍に達する。

図 3 燃料の燃焼起源二酸化炭素排出量（百万トン）



IPCC によれば、今世紀末の温度上昇を 2 度以下とするには、二酸化炭素濃度を 450ppm で安定化させるためには、世界全体での排出量が 2020 年をピークとし、2050 年までに半減することが必要とされている。その実現に向けて、各国のこれまでの排出量、一人当たり排出量、経済の技術水準や発展段階を総合的に勘案しながら、国際協調を進めることが肝要となる。その場合、これまでの省エネに努めたから、これ以上の削減は無理であるとの主張が世界で受け入れられるは難しい。

本章の目的は、日本を含めた各国がエネルギー起源 CO2 削減を行うとき、その経済的影響を国際的視点から明らかにするとともに、日本と中国が環境問題でどのような役割を果たすことが出来るか明らかにしようとする事である。そのために世界経済モデルを構築し、各国の二酸化炭素排出削減が各国経済にどのような影響を与えるかを国際的視点から分析する。特に、我が国では二酸化炭素排出削減の取り組みが国際競争力に与える影響が懸念され、日本が削減しても中国など海外で炭素排出量が増加する炭素リーケージの可能性が指摘され、二酸化炭素排出削減に対する強い反対の根拠となっているが、その問題についても国際経済モデルを用いて分析を行う。

## 2 世界モデルのデータと構造

世界経済モデルの構築に利用する基礎データは、GTAP (Global Trade Analysis Project, 2008)のデータ 7 版である。GTAP7 は、世界を 113 の国・地域に分類し、57 の産業部門からなる国際的な多地域・多部門データベースであり、国際的な貿易・投資の自由化や国際的な環境問題を分析するための経済モデルの基礎データベースとして広く使われている。また、GTAP7 は、2004 年を基準とするデータとなっている。GTAP7 に対応する経済モデルとしては GTAP モデルがあるが、本論文では、日本一国モデルと同様に、GAMS でモデルをコード化<sup>15</sup>しており、2004 年から 2020 年までの 17 年間について、動学的最適化手法に基づく多地域・多部門の動学的 CGE モデルを構築している。

### 2.1 データ

本論文では、GTAP データ 7 版を、表 1 に示される 8 つの国・地域、15 産業に集計してモデルを構築している。産業分類のうち、新エネルギー(太陽光、風力)部門は、GTAP データにはないが、新たなアクティビティとして追加したもので、BAU(Business as Usual)シナリオでは存在しないが、二酸化炭素排出削減を強化することで採択されることで、非化石エネルギー源として大きな役割を果たすとともに、新たな雇用を生み出す部門となる。また、GTAP データ 7 版に準拠した燃料の燃焼に伴う二酸化炭素排出の基礎データベースとして、Lee(2008)のデータ<sup>16</sup>を用いている。

表 1 世界経済モデルの国・地域と産業分類

記号	国・地域	記号	産業分類
jpn	日本	col	石炭
chn	中国	oil	石油
eas	東アジア	gas	ガス
anz	オセアニア(豪州、ニュージーランド)	p_c	石油・石炭製品
nam	北米(アメリカ、カナダ)	ely	電力
eu	EU	nely	新エネルギー(太陽光、風力)

<sup>15</sup> Rutherford (2006)に拠っている。

<sup>16</sup> ただ、武田(2010)によれば、Lee による CO<sub>2</sub> 排出量は石油石炭製品を一つに集計しているため、エネルギーCO<sub>2</sub> 原単位のデータ作成に問題があり、特に、日本の CO<sub>2</sub> 排出量について乖離が大きい。そこで、武田(2010)は実績データに合うように修正しているが本モデルでもそれを用いている。また、GTAP データ 7 版の集計プログラムも武田(2010)に拠っている。

rus ロシア(バルト3国を除く旧ソ連)  
row その他

agr 農業  
i\_s 鉄鋼  
mtl 非鉄金属  
mch 機械(輸送機器を除く)  
teq 輸送機器  
mfg その他製造業  
cns 建設  
trn 運輸  
srv サービス

GTAP7 データを2地域1部門の国際産業連関表として表せば、表2のように表すことができる。各国の産業は、自国あるいは他国から中間投入を購入し、自国の労働・資本・土地・天然資源を投入し生産を行い、自国又は他国の産業の中間投入や最終需要に販売する。GTAP データは、表2の産業連関表をベースとしつつ、CGE (Computable General Equilibrium)の基礎データとなる社会会計表(Social Accounting Matrix)となっている。本論文の経済モデルでは、労働・資本・土地・天然資源などの生産要素については国際間の移動はないものとしている。すなわち、生産要素価格は各国で異なることになる。しかし、経常収支は内生的に決まることから、資本の国際間移動は仮定されており、経常収支黒字国は、貯蓄を海外に振り向けることで、海外での資本蓄積に貢献することになる。すなわち、製造業の海外移転も、経済の動学的な推移の中で行われることになる。

表2 データ構造(2地域1部門)

		生産		消費		投資		生産
		a国	b国	a国	b国	a国	b国	
生産	a国	Xaa	Xab	Caa	Cab	Iaa	Iab	OUTa
	b国	Xba	Xbb	Cba	Cbb	Iba	Ibb	OUTb
付加価値	労働	La	Lb					
	資本	Ka	Kb					
	土地	Ra	Rb					
	天然資源	Na	Nb					
投入計		INPUTa	INPUTb	Ca	Cb	Ia	Ib	
CO2 排出量		CO2a	CO2b	CO2c,a	CO2c,a	CO2i,a	CO2i,a	
								輸出入

## 2.2 モデルの基本構造

世界経済モデルの取引主体は、各国の企業、家計及び政府である。一般的な企業の生産構造は図4に示される。すなわち、生産に関わる投入物は、中間投入・エネルギー・資本・労働・土地・天然資源としている。この中で、エネルギー・資本・労働は一つに統合され、それと中間投入及び土地・天然資源の組み合わせ、代替弾力性  $\sigma$  の CES(Constant Elasticity of Substitution)型生産関数として生産に寄与する。また、エネルギー・資本は一つに統合され、労働を組み合わせ、代替弾力性  $\sigma_{KEL}$  の CES 型関数として生産に寄与する。さらに、エネルギーと資本を組み合わせ、代替弾力性  $\sigma_{KE}$  の CES 型関数として寄与する。エネルギーは、石炭・石油・天然ガスの化石燃料と電力からなるが、両者について代替弾力性  $\sigma_{EE}$  の CES 型関数として寄与する。すなわち、企業の生産は、図4に示されるように、多段 CES 型生産関数で表される構造を持っている。なお、中間投入とエネルギーについて、国内財と輸入財がアーミントンの仮定に基づき、国内財価格と輸入財価格の相対価格に依存して購入比率が決定される構造となっている。

図5は新エネルギー発電の生産構造を表しているが、エネルギーを利用しないことを除けば一般企業の生産構造と同じである。また、図6は家計による消費財の支出構造を表しており、ここでも CES 型関数が用いられる。なお、消費財の合計量は、家計の動学的最適化行動に基づいて決まる。

図4 企業（新エネルギー発電を除く）の生産構造

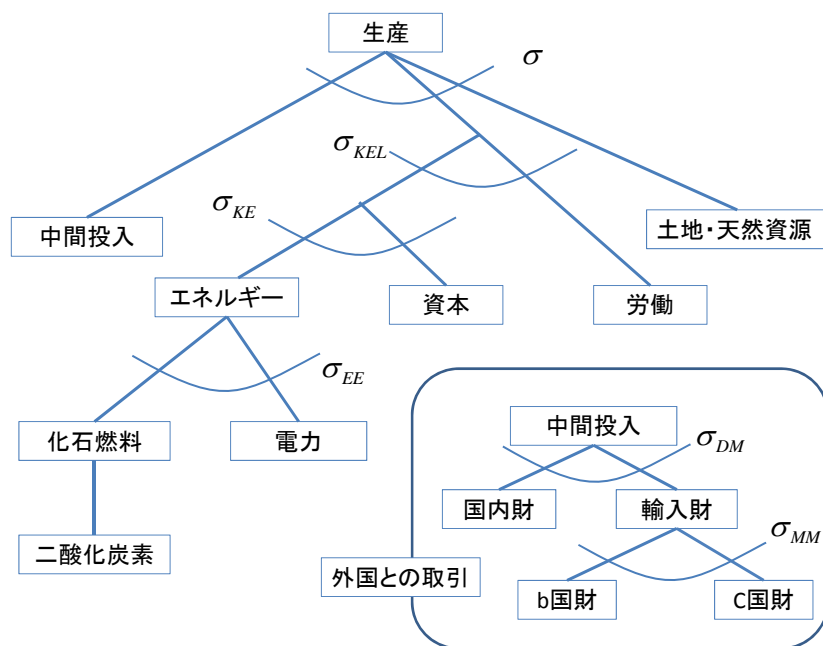


図5 新エネルギー発電の生産構造<sup>17</sup>

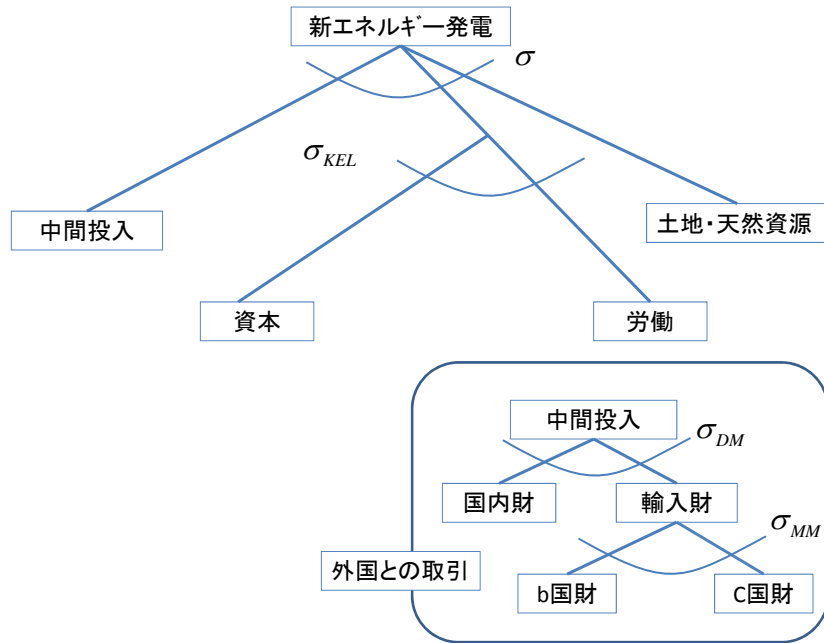
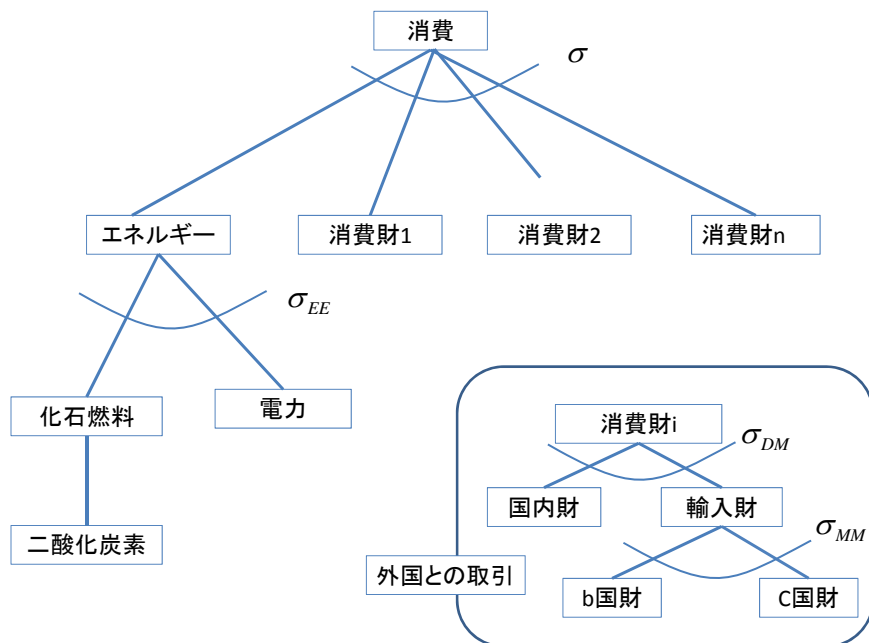


図7 家計消費



<sup>17</sup> 本論文では、新エネルギー発電の拡大に伴うシミュレーション結果は扱っていない。BAUシナリオにおける2020年までの各国の新エネルギー発電は、IEA(2008)のWorld Energy Outlook 2008を参考にしている。

### 2.3 モデルの動学メカニズム

本章の世界モデルは、Intertemporal Optimization に基づく Forward Looking 型モデルであり、経済主体は将来を予見し、動学的な予算制約式の下で効用の割引現在価値が最大となるように行動すると仮定される。したがって、将来の予見が変われば、それ以前の意志決定の時点に遡って影響する。世界が低炭素社会へ移行するとの見通しがあれば、Forward Looking 型モデルは、低炭素化を促す投資や消費行動を誘発する。Intertemporal Optimization に基づく Forward Looking モデルの基本は、貯蓄・投資の決定を消費者の動学的最適化行動から分析するモデルである。なお、添え字  $r$  は、国・地域を表す。

$$\begin{aligned} \max_{C_{r,t}} \quad & \sum_{t=0}^{\infty} \left( \frac{1}{1+\rho} \right)^t u(C_{r,t}) \\ \text{s.t.} \quad & Y_{r,t} = f(K_{r,t}, L_{r,t}) \\ & I_{r,t} = Y_{r,t} - C_{r,t} \\ & K_{r,t+1} = I_{r,t} + (1-\delta)K_{r,t} \\ & L_{r,t} = (1+n_r)^t L_{r,0} \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $Y_{r,t}$  : 所得、 $C_{r,t}$  : 消費、 $I_{r,t}$  : 投資、 $K_{r,t}$  : 資本、 $L_{r,t}$  : 労働、 $\rho$  : 割引率、 $\delta$  : 資本減耗率、 $n_r$  : 労働増加率である。このとき、

$$P_{r,t} = \left( \frac{1}{1+\rho} \right)^t \frac{\partial u(C_{r,t})}{\partial C_{r,t}} \quad (2)$$

$$PK_{r,t} = (1-\delta)PK_{r,t+1} + P_{r,t} \frac{\partial f(K_{r,t}, L_{r,t})}{\partial K_{r,t}} = (1-\delta)PK_{r,t+1} + P_{r,t} RK_{r,t} \quad (3)$$

$$P_{r,t} = PK_{r,t+1} \quad (4)$$

ここで、 $P_{r,t}$  : 生産物価格、 $PK_{r,t}$  : 資本価格、 $RK_{r,t}$  : 資本の限界収益率である。(3)式で表される漸化式を解けば、

$$PK_{r,t} = \sum_{j=0}^{\infty} (1-\delta)^j P_{r,t+j} RK_{r,t+j} \quad (5)$$

となるが、資本価格は投下した資本から将来得られる資本収益の割引現在価値となる。(4)式から、資本財価格が投下した資本から将来得られる資本収益の割引現在価値を下回ると投資は実行されず、両者が一致して初めて投資が実行される。

一国モデルと違い、世界モデルのような多地域モデルでは、(1)式で表される代表的家計

が複数存在する。いずれのモデルにおいても、代表的家計は無限に生き、無限期間について効用の割引現在価値を最大とするように行動する仮定されている。しかし、実際の計算期間は有限であり、その場合、有限期間以降について均斉成長が持続することを前提とし、有限で終わる終末期において、資本である資産の保有量について一定の条件を賦与する。世界モデルの場合、Lau, Pahlke and Rutherford (2002)は、無限の最適問題を二つの期間に分けて解くことで、終末期の資本である資産に対して賦与する追加的条件を示している。ここで、二つの期間に分割された問題の一つは

$$\begin{aligned} \max_{C_{r,t}} \sum_{t=0}^T \left( \frac{1}{1+\rho} \right)^t u(C_{r,t}) \\ \text{s.t.} \quad \sum_{t=0}^T P_{r,t} C_{r,t} = \sum_{t=0}^T w_{r,t} L_{r,t} + A_{r,0} - A_{r,T+1} \end{aligned} \quad (6)$$

である。ここで、 $w_{r,t}$  : t期の賃金、 $A_{r,0}$  : 初期資産、 $A_{r,T+1}$  : T期末資産である。それに対し、二つ目の問題は、

$$\begin{aligned} \max_{C_{r,t}} \sum_{t=T+1}^{\infty} \left( \frac{1}{1+\rho} \right)^t u(C_{r,t}) \\ \text{s.t.} \quad \sum_{t=T+1}^{\infty} P_{r,t} C_{r,t} = \sum_{t=T+1}^{\infty} w_{r,t} L_{r,t} + A_{r,T+1} \end{aligned} \quad (7)$$

である。(7)式の制約式から、T期末の資産 $A_{r,T+1}$ は、T+1期以降について均斉成長となることから、次のように表すことができる。

$$\begin{aligned} A_{r,T+1} &= \sum_{r=T+1}^{\infty} P_{r,t} C_{r,t} - \sum_{r=T+1}^{\infty} w_{r,t} L_{r,t} \\ &= \sum_{t=T+1}^{\infty} (P_{r,t} C_{r,t} - w_{r,t} L_{r,t}) \left( \frac{1+g_T}{1+r_T} \right)^{t-T} \\ &= (P_{r,T} C_{r,T} - w_{r,T} L_{r,T}) \left( \frac{\Gamma}{1-\Gamma} \right) \end{aligned} \quad (8)$$

ここで、 $g_T$ と $r_T$ は終末期以降の均斉成長率と利子率であり、これより $\Gamma = \frac{1+g_T}{1+r_T}$ である。

このとき、均斉成長率と利子率が依存しないように、各地域の終末期の資産が世界各国の資産の総計の一定割合とする。

$$\theta_r = \frac{A_{r,T+1}}{\sum_s A_{r,T+1}} = \frac{P_{r,T} C_{r,T} - w_{r,T} L_{r,T}}{\sum_s (P_{s,T} C_{s,T} - w_{s,T} L_{s,T})} \quad (9)$$

このとき、終端期の資産の総計は、終端期における資本価値総計と一致することから

$$\sum_s A_{s,T+1} = \sum_s PK_{s,T+1} K_{s,T+1} \quad (10)$$

r 地域における期末資産を

$$A_{r,T+1} = \theta_r \sum_s PK_{s,T+1} K_{s,T+1} \quad (11)$$

となるとする。すなわち、(9)式の比率に基づき、終端期の資産が(11)式となるように制約を加えることで、複数の家計が別々に最適問題を解いても一般均衡解が得られるアルゴリズムを用いている。

### 3 BAU(Business as Usual) シナリオ

BAUシナリオの基本諸元は、表3にまとめられている。地域別の数値は、IEA(2008) World Energy Outlook 2008 の参照ケースを参考にしてている。モデルは2004年から2020年までの17年について解いているが、表3は、2005年から2020年までのGDPとCO2について、年平均の伸び率を表している。CO2/GDPは、GDP当たりのCO2排出量である二酸化炭素強度の変化率を示している。

表3 BAUシナリオ

	GDP	CO2	CO2/GDP
日本	1.4	-0.5	-2.0
中国	9.4	5.5	-3.9
東アジア	5.2	3.6	-1.6
オセアニア	2.2	0.0	-2.2
北米	2.6	-0.2	-2.8
EU	2.1	-0.5	-2.6
ロシア	3.6	2.5	-1.1
その他	5.1	3.3	-1.7

表4は、BAUシナリオにおける国・地域別の二酸化炭素排出量の推移を表している。また、表5は、BAUシナリオにおける二酸化炭素価格の推移を表している。日本一国モデルでは、2020年の排出量を1990比プラス4%が二酸化炭素価格0で実現するシナリオをBAUシナリオとすることが多いが、世界モデルではそのようなBAUシナリオの策定が困難であ



り、日本も含めて、各国で二酸化炭素価格が正となるシナリオを BAU としている。2020年における日本の二酸化炭素価格が EU よりも低くなっているのは、EU の経済成長率を 2.1% と高めに想定していることによる。なお、表 6 は、各国・地域別の GDP の推移を表している。なお、本論文では、二酸化炭素排出に価格が付くとき、排出量収入が発生するが、家計と政府で収入を等分割するものとしている。

表 4 国・地域別二酸化炭素排出量（百万トン）

	日本	中国	東アジア	オセアニア	北米	EU	ロシア	その他
2005	1,194	5,354	1,873	404	6,341	3,892	2,177	6,355
2006	1,202	5,823	1,982	415	6,236	3,979	2,244	6,673
2007	1,236	6,405	2,089	425	6,342	3,926	2,319	6,983
2008	1,225	6,828	2,202	430	6,325	3,903	2,396	7,331
2009	1,215	7,276	2,315	427	6,308	3,879	2,473	7,680
2010	1,204	7,709	2,395	425	6,291	3,856	2,536	7,929
2011	1,193	8,170	2,478	423	6,274	3,833	2,601	8,186
2012	1,183	8,574	2,564	421	6,257	3,810	2,668	8,454
2013	1,172	9,001	2,641	419	6,240	3,787	2,735	8,692
2014	1,162	9,414	2,718	417	6,223	3,764	2,798	8,926
2015	1,151	9,842	2,796	415	6,207	3,742	2,861	9,163
2016	1,141	10,228	2,874	413	6,190	3,719	2,922	9,404
2017	1,131	10,629	2,954	411	6,173	3,697	2,983	9,648
2018	1,121	11,049	3,036	409	6,156	3,675	3,044	9,895
2019	1,111	11,489	3,118	407	6,140	3,653	3,106	10,145
2020	1,101	11,955	3,202	404	6,123	3,631	3,169	10,399

表 5 二酸化炭素価格（2004US\$）

	日本	オセアニア	北米	EU
2005			5	
2006	2		10	
2007	1		11	5
2008	6	0	14	10
2009	10	2	17	14
2010	13	3	19	17
2011	16	4	21	19
2012	18	5	23	22

2013	21	6	25	25
2014	24	7	27	28
2015	27	8	29	31
2016	30	8	32	34
2017	33	9	35	37
2018	36	10	38	39
2019	39	11	41	42
2020	42	12	46	44

表 6 GDP (2004 年価格 10 億ドル)

	日本	中国	東アジア	オセアニア	北米	EU	ロシア	その他
2005	4,698	2,003	1,891	745	12,987	13,690	733	5,283
2006	4,765	2,213	1,998	761	13,299	13,987	758	5,570
2007	4,834	2,473	2,112	778	13,621	14,283	784	5,875
2008	4,903	2,766	2,232	795	13,949	14,590	812	6,198
2009	4,973	3,095	2,358	813	14,285	14,904	841	6,538
2010	5,043	3,420	2,490	831	14,629	15,222	872	6,890
2011	5,115	3,775	2,629	850	14,986	15,548	904	7,262
2012	5,188	4,120	2,774	869	15,355	15,885	937	7,653
2013	5,263	4,489	2,912	889	15,740	16,231	971	8,027
2014	5,340	4,881	3,056	909	16,143	16,584	1,007	8,417
2015	5,419	5,300	3,205	930	16,565	16,945	1,044	8,824
2016	5,498	5,718	3,361	951	17,007	17,311	1,083	9,247
2017	5,579	6,164	3,522	972	17,471	17,682	1,123	9,687
2018	5,660	6,639	3,690	994	17,959	18,056	1,164	10,145
2019	5,740	7,145	3,864	1,016	18,471	18,432	1,206	10,620
2020	5,820	7,685	4,043	1,038	19,030	18,808	1,250	11,112

図 8 中国の二酸化炭素排出量対 GDP 比の推移

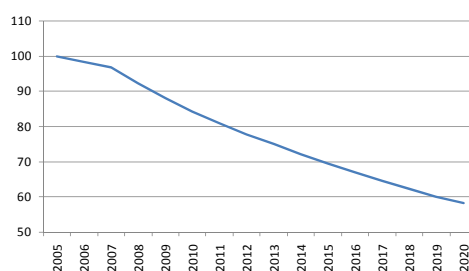


図 8 は、中国における BAU シナリオにおける二酸化炭素排出量の対 GDP の推移を表したものである。それによれば、2005 年を 100 とすれば、2020 年には 58 となり、BAU シナリオにおいても CO2 排出強度の低下が分かる。

#### 4 コペンハーゲン合意の効果とその経済的影響

2009 年 10 月デンマークのコペンハーゲンで開催された国連気候変動枠組条約第 15 回締約国会議(COP15)では、コペンハーゲン合意が留意された。その中で、先進国は 2020 年までに削減すべき目標を、途上国は削減のための行動をそれぞれ決め、2010 年 1 月末までに提出することが求められた。表 7 はコペンハーゲン合意に基づく削減目標と行動をまとめたものである。削減目標や行動には条件が付けられていたり、削減目標に幅があったりする。日本も、すべての主要国による公平かつ実効性のある枠組みの構築と意欲的な目標の合意を前提に、2020 年までに 1990 年比で 25%の削減を国連気候変動枠組機構に提出している。コペンハーゲン合意に基づいて削減目標や行動は、2010 年 12 月メキシコのカンクンで開催された国連気候変動枠組条約第 16 回締約国会議(COP16)で採択され文書に記載されている。なお、表 7 は、条件については記載しておらず、また日本を除く他の諸国の削減目標や行動については、最も緩やかな数値を記載している。

表 7 コペンハーゲン合意

国	削減目標	基準年
日本	25%削減	1990
中国	GDP 比 40%削減	2005
オーストラリア	5～15%	2000
ニュージーランド	10%削減	1990
米国	17%削減	2005
カナダ	17%削減	2005
EU	20%削減	1990
ロシア	15%削減	1990

本節では、表 7 にしたがって主要国が行動するとき、削減効果と各国経済に対する影響を世界モデルで試算する。

##### 4.1 二酸化炭素排出量への影響

表 8 は、コペンハーゲン合意に基づいて各国が行動したときの BAU シナリオからの二酸

化炭素排出の削減量の推移を表している。各国の削減行動は、2013年から始まるものとしているが、削減はそれ以前から始まる。削減幅は、日本 3 億 7 百万トン、オセアニアは 18 百万トン、北米 8 億 6 千万トン、EU 3 億 84 百万トンである。それに対して、削減目標を持つロシアは、削減目標が緩いこともあり 51 百万トン増加する。一方、東アジアは 28 百万トン増加し、その他の地域も 76 百万トン増加する。中国の排出削減量は、BAU シナリオにおいて 2020 年における二酸化炭素排出量対 GDP 比が 2005 年を 42% 下回っていることから、BAU のシナリオにおける二酸化炭素排出量を上限とすることで、削減量は 0 としている。

その結果、2020 年における削減国が 15 億 69 百万トンに削減するのに対して、非削減国が 1 億 56 百万トン増加することから、世界全体で 14 億 13 百万トンの削減となる。BAU の総排出量が 399 億 83 百万トンであることから、削減率は 3.6% となる。削減国の削減が非削減国の増加で相殺されているが、非削減国での排出増加量を削減国の排出減少量で除したものが炭素リーケージとして知られているが、9.9% の水準にとどまる。

もちろん、中国の行動目標は、二酸化炭素排出量対 GDP 比であるが、2020 年における目標は 2005 年と比べて 40% の改善であるが、BAU シナリオで既に達成されているが、その排出量を上限とすることで、世界全体の削減及び炭素リーケージに対して好影響を与えている。

表 8 二酸化炭素排出削減量 (BAU からの乖離 百万トン)

	日本	中国	東アジア	オセアニア	北米	EU	ロシア	その他
2011	-114	38	18	-7	-286	-130	29	50
2012	-140	42	20	-8	-354	-160	32	54
2013	-164	0	20	-10	-421	-190	31	49
2014	-188	0	21	-12	-487	-219	34	53
2015	-210	0	23	-13	-553	-249	34	58
2016	-231	0	24	-14	-616	-277	38	63
2017	-252	0	26	-16	-679	-304	42	68
2018	-271	0	27	-17	-740	-332	45	71
2019	-289	0	28	-18	-801	-358	47	73
2020	-307	0	28	-18	-860	-384	51	76

シミュレーションでは、国際間での排出取引市場の存在は仮定されておらず、各国が単独で削減することが前提である。したがって、表 9 の二酸化炭素価格は各国・地域で異なる。それによれば、2020 年の日本の二酸化炭素価格は 150US\$ (2004 年価格) であるのに対して、EU は 73US\$、米国は 76US\$ である。中国も 2013 年以降二酸化炭素に価格が付き、2020 年には 0.13US\$ となる。現在、中国は環境税の導入を検討しており、本シミュレ

ーションの結果とも整合的である。

表 9 二酸化炭素価格 (2004 年 US\$)

	日本	中国	オセアニア	北米	EU
2011	36		5	27	27
2012	46		7	31	32
2013	56	0.13	8	35	37
2014	68	0.14	9	40	42
2015	80	0.14	11	44	47
2016	93	0.14	12	49	53
2017	107	0.14	13	55	58
2018	121	0.14	14	60	63
2019	135	0.13	15	67	68
2020	150	0.13	16	76	73

これまでシミュレーションでは、コペンハーゲン合意に基づいて、中国が二酸化炭素排出量対 GDP 比について、2005 年を基準とし、2020 年までに 40%改善する目標を前提としてきたが、中国がコペンハーゲン合意の削減目標を放棄したらどうなるであろうか。表 10 は、その結果を示している。

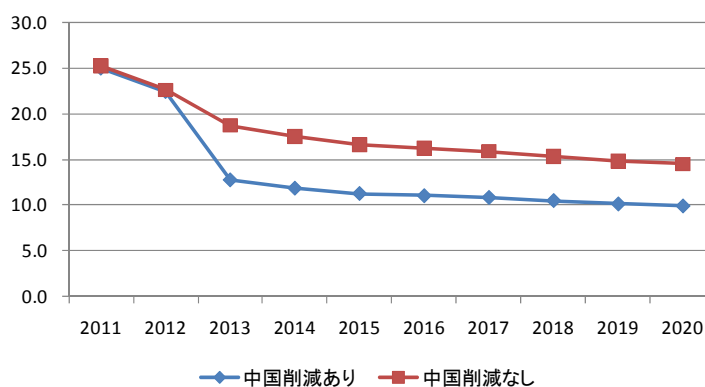
表 10 二酸化炭素排出量 (BAU からの乖離 百万トン) 中国削減なし

	日本	中国	東アジア	オセアニア	北米	EU	ロシア	その他
2011	-114	40	18	-7	-286	-130	29	50
2012	-140	44	20	-8	-354	-160	32	54
2013	-164	47	20	-10	-421	-190	31	49
2014	-188	52	21	-12	-487	-219	33	52
2015	-210	55	23	-13	-553	-249	34	58
2016	-231	60	24	-14	-616	-277	37	63
2017	-252	64	26	-16	-679	-304	41	68
2018	-271	67	27	-17	-740	-332	44	71
2019	-289	70	28	-18	-801	-358	47	73
2020	-307	73	28	-18	-860	-384	51	76

表 10 によれば、2020 年時点の中国の排出量は、BAU と比較し 73 百万トン増加となる。この場合、2020 年における世界全体での二酸化炭素削減量は BAU と比較して、3.6%から

3.4%に低下する。また、炭素リーケージは、図9に示されるように、2020年における炭素リーケージは9.9%から14.5%に5%程度高まる。したがって、中国が削減目標を持つかどうかは、世界全体の二酸化炭素排出削減量だけでなく、炭素リーケージに対して大きな影響を持つ。その原因は、中国が世界の製造工場の役割を担っており、中国が削減目標を持たない場合、削減国が中国に製造工場を移転することで、削減努力が損なわれる可能性を示唆している。現在、国連気候変動枠組条約に基づく国際交渉の中で、削減の枠組みに途上国を参加させることが重要な課題となっているが、二酸化炭素排出量の絶対量の削減に対しては中国をはじめとした発展途上国からの抵抗感が強い。本論文の一つの結論は、二酸化炭素排出量対GDP比の改善を目標とし、経済発展と二酸化炭素排出を両立させることを認めることが、地球規模での排出削減に貢献する可能性の高いことを示唆している。

図9 炭素リーケージ (%)



## 4.2 各国・地域のGDPへの影響

表11は、コペンハーゲン合意が各国経済に与える影響をGDPのBAUシナリオからの乖離幅で示している。それによれば、2020年時点のGDPの減少幅の最も大きいのは日本であり、マイナス1.4%である。同じ削減国でも、北米とEUはマイナス0.3%にとどまり、オセアニアは逆に0.1%のプラスとなる。ロシアも削減目標が低く、0.6%プラスとなる。

それに対して、削減目標を持つ中国もプラス0.3%増加する。また、非削減国の東アジアは0.4%プラス、その他地域は0.3%プラスになる。すなわち、削減国のGDPに対しては下押し圧力があるものの、非削減国のGDPが著しく増える状況にない。その原因は、削減国である先進工業国のGDPが低下することで、先進工業国の輸入が減ることで、非削減国からの削減国への輸出が減少することによる。その意味で、非削減国であっても、削減の影響を受けることになる。

表 11 GDP に与える影響 (BAU からの乖離率 %)

	日本	中国	東アジア	オセアニア	北米	EU	ロシア	その他
2011	-0.4	0.1	0.3	0.2	0.0	0.0	0.2	0.1
2012	-0.5	0.2	0.3	0.2	-0.1	0.0	0.3	0.1
2013	-0.6	0.2	0.3	0.2	-0.1	-0.1	0.3	0.1
2014	-0.7	0.2	0.4	0.1	-0.1	-0.1	0.4	0.1
2015	-0.8	0.2	0.4	0.1	-0.1	-0.1	0.5	0.2
2016	-0.9	0.2	0.4	0.1	-0.2	-0.2	0.5	0.2
2017	-1.0	0.3	0.4	0.1	-0.2	-0.2	0.5	0.2
2018	-1.2	0.3	0.4	0.1	-0.2	-0.3	0.6	0.2
2019	-1.3	0.3	0.4	0.1	-0.3	-0.3	0.6	0.2
2020	-1.4	0.3	0.4	0.1	-0.3	-0.3	0.6	0.3

#### 4.3 日本 25%削減の日本経済への影響

表 12 は、世界各国がコペンハーゲン合意にしたがって二酸化炭素削減に取り組むとき、日本の GDP とその構成要素である民間消費、政府消費、投資、輸出及び輸入に与える影響を、BAU シナリオからの乖離幅 (2004 年価格 US10 億ドル) で示したものである。

表 12 GDP の構成 (BAU からの乖離 2004 年価格 US10 億ドル)

	GDP	民間消費	政府消費	投資	輸出	輸入
2011	-20	-61	3	-22	43	-17
2012	-24	-63	5	-25	40	-19
2013	-30	-66	7	-28	36	-21
2014	-36	-69	9	-32	33	-23
2015	-42	-72	11	-36	29	-25
2016	-49	-75	13	-39	25	-27
2017	-57	-79	15	-43	20	-29
2018	-65	-82	17	-46	15	-30
2019	-74	-86	20	-49	9	-31
2020	-84	-90	22	-51	2	-32

それによれば、民間投資と投資は大きく減少する。それに対して、政府消費が増加するのは、排出量収入の 50%が政府の収入となるが、それがすべて政府消費として支出されることによる。

日本が 25%削減目標を達成しようとするれば、日本の輸出競争力を低下させ、経済に対して悪影響を及ぼすとの批判が根強い。しかし、表 12 によれば、輸出は当初は大幅に増加し、2020 年に近づくにしたがって増加幅は減少するものの BAU シナリオと比較し増加している。それに対して、輸入は国内需要の減少により、当初から減少し、減少幅も拡大している。その結果、純輸出で見れば、BAU シナリオと比較し、2004 年価格で 300 億ドルから 500 億ドルのプラスとなり、国内需要の減少を補っている。

2020 年 25%削減にも関わらず輸出が増加するのは、機械機器や輸送機器の輸出増によるところが大きい。表 13.A から表 13.C に、日本の鉄鋼・機械機器・輸送機器の地域別輸出に与える影響を示している。それによれば、鉄鋼業は中国・東アジア向け輸出が大幅に落ち込む。それに対して、機械機器は、中国・東アジア・北米・EU・その他地域への輸出が大きく増加している。また、輸送機器についても、東アジア・北米・EU・その他の地域への輸出が増加している。機械機器・輸送機器の輸出の増加を見れば、世界が低炭素社会実現に向けて動き始めることで、国際競争力への影響は軽微であり、日本の高度な機械機器・輸送機器への需要が世界的に高まることが分かる。もちろん、2020 年に近づくにしたがって輸出の増加幅も低下することから、25%削減が輸出に影響しないとは言えないが、当初は好影響を与えることは確実である。

表 13.A 鉄鋼 地域別輸出増減 (BAU からの乖離 2004 年価格 US10 億ドル)

	中国	東アジア	オセアニア	北米	EU	ロシア	その他
2011	-0.8	-1.2	0.0	-0.2	-0.1	0.0	-0.3
2012	-1.1	-1.7	-0.1	-0.2	-0.1	0.0	-0.4
2013	-1.4	-2.1	-0.1	-0.3	-0.2	-0.1	-0.5
2014	-1.7	-2.5	-0.1	-0.3	-0.2	-0.1	-0.5
2015	-2.1	-3.0	-0.1	-0.4	-0.2	-0.1	-0.6
2016	-2.4	-3.4	-0.1	-0.4	-0.3	-0.1	-0.7
2017	-2.7	-3.8	-0.1	-0.5	-0.3	-0.1	-0.8
2018	-3.0	-4.2	-0.2	-0.5	-0.3	-0.1	-0.8
2019	-3.4	-4.6	-0.2	-0.6	-0.3	-0.1	-0.9
2020	-3.7	-5.0	-0.2	-0.6	-0.3	-0.1	-0.9

表 13.B 機械機器 地域別輸出増減 (BAU からの乖離 2004 年価格 US10 億ドル)

	中国	東アジア	オセアニア	北米	EU	ロシア	その他
2011	8.0	7.1	0.4	6.3	4.4	0.1	2.1
2012	7.8	6.9	0.3	5.9	4.1	0.1	2.0
2013	7.4	6.6	0.3	5.5	3.7	0.1	1.8
2014	7.1	6.3	0.3	5.0	3.2	0.1	1.7



2015	6.6	5.8	0.3	4.6	2.7	0.1	1.5
2016	6.0	5.3	0.2	4.1	2.2	0.1	1.4
2017	5.3	4.7	0.2	3.6	1.7	0.1	1.2
2018	4.4	4.0	0.2	3.0	1.2	0.1	1.0
2019	3.4	3.1	0.1	2.2	0.6	0.1	0.7
2020	2.2	2.1	0.1	1.2	0.0	0.0	0.4

表 13.C 輸送機器 地域別輸出増減 (BAU からの乖離 2004 年価格 US10 億ドル)

	中国	東アジア	オセアニア	北米	EU	ロシア	その他
2011	0.6	1.1	0.4	3.5	1.5	0.2	1.8
2012	0.6	1.0	0.4	3.3	1.4	0.2	1.7
2013	0.6	1.0	0.3	3.2	1.3	0.2	1.6
2014	0.5	1.0	0.3	3.0	1.1	0.2	1.5
2015	0.5	0.9	0.3	2.8	1.0	0.2	1.4
2016	0.5	0.8	0.3	2.6	0.8	0.1	1.3
2017	0.4	0.8	0.2	2.4	0.7	0.1	1.1
2018	0.4	0.7	0.2	2.1	0.5	0.1	1.0
2019	0.3	0.6	0.2	1.8	0.3	0.1	0.8
2020	0.2	0.5	0.1	1.2	0.1	0.1	0.6

25%削減目標が鉄鋼・機械機器・輸送機器の各産業の国際的な価格競争力に与える影響を表 14 に示している。ここで、価格競争力とは、輸入価格を生産価格で除したものと定義している。もし、生産価格が輸入価格に比して上昇すれば、価格競争力は低下することになる。表 14 では、BAU シナリオと 25%削減シナリオの二つのシナリオにおける価格競争力の推移を示している。なお、各数値は、2011 年における BAU シナリオの輸入価格対生産価格比を 100 として基準化している。BAU シナリオにおいても、鉄鋼業の場合、価格競争力が 12%程度低下している。それに対して、機械機器及び輸送機器においては各々5%、3%低下している。それに対して、25%削減シナリオの場合、二酸化炭素価格は表 9 に示されるように高騰するが、その時の価格競争力の推移が 25%削減シナリオとして表されている。それによれば、鉄鋼業の価格競争力が BAU シナリオの 88 から 25%削減シナリオの 79 に大幅に低下している。すなわち、25%削減シナリオは、鉄鋼業の価格競争力を損なう影響を持つことが分かる。しかし、機械機器及び輸送機器の価格競争力に対してはほとんど影響しない。すなわち、25%削減が価格競争力に影響するのは、鉄鋼業などの二酸化炭素を相対的に多く排出する産業に限られる。

表 14 価格競争力 (2010 年 BAU=100)

	BAU シナリオ			25%削減シナリオ		
	鉄鋼	機械機器	輸送機器	鉄鋼	機械機器	輸送機器
2011	100	100	100	98	101	101
2012	98	99	100	95	100	100
2013	97	99	99	93	99	100
2014	95	98	99	91	99	99
2015	94	97	98	89	98	99
2016	93	97	98	86	97	99
2017	91	96	98	84	97	98
2018	90	96	98	82	96	98
2019	89	96	97	81	96	98
2020	88	95	97	79	95	97

表 15 は、鉄鋼・機械機器・輸送機器の生産の推移を表したものである。各数値は、2011年の BAU シナリオにおける生産をベースとして基準化している。それによれば、鉄鋼業の生産は、BAU シナリオの 112 から 25%削減シナリオの 101 に大幅に低下している。すなわち、25%削減シナリオは、鉄鋼業の生産を減少させる。それに対して、機械機器の生産は 120 から 116、輸送機器の生産は 122 から 120 の減少にとどまる。これらの産業では輸出が増加していることから、減少の原因は国内需要の低下によるものと言える。

表 15 生産 (2010 年 BAU=100)

	BAU シナリオ			25%削減シナリオ		
	鉄鋼	機械機器	輸送機器	鉄鋼	機械機器	輸送機器
2011	100	100	100	100	100	100
2012	101	102	102	100	101	102
2013	102	103	104	100	103	104
2014	103	105	106	99	104	105
2015	104	107	109	99	106	108
2016	105	109	111	99	107	110
2017	107	112	114	100	109	113
2018	108	114	118	100	112	116
2019	110	117	122	101	114	120
2020	112	120	126	101	116	123

## 5 日本と中国の政策オプション

4.3 節では、コペンハーゲン合意に基づき、各国が提出した削減目標を履行する中で、日本が 1990 年比 25%削減を日本国内で実施した場合の日本経済への影響についてマクロと産業の両面から分析した。そのシミュレーションでは、排出量収入を政府と家計で折半し、政府は排出量収入を政府消費として全額支出すると仮定している。

本節では、新たな政策オプションとして、

(1) 国内で 25%削減するが、政府の排出量収入を資本所得税減税に充当する

(2) 国内削減は 15%にとどめ、10%相当の排出量を中国から購入する

の二つのシナリオについて考える。なお、15%削減シナリオにおいては、政府の排出量収入を政府消費に充当するシナリオと資本所得税減税に充当するシナリオの二つについて考える。資本所得税減税を政策オプション<sup>18</sup>とするのは、資本収益の割引現在価値を高くすることで設備投資を刺激する効果を持つためである。設備投資が増加すれば、エネルギー効率の高い資本設備が導入され、新たなイノベーションが促進される。

### 5.1 国内で 25%削減・排出量収入で資本所得税減税

2020 年において 1990 年比 25%削減するシナリオにおける二酸化炭素の排出経路は、表 4 の BAU シナリオの排出量から表 8 の削減量を減じた量であり、それによれば、2013 年排出量は 10 億 8 百万トン、2020 年の排出量は 7 億 94 百万トンである。排出量価格は 2013 年 56 ドル、2020 年 150 ドルとなる。このとき、排出量収入の 50%を政府が取得し、政府消費に充当したのが 4.3 節のシミュレーション結果である。本節では、それを資本所得税減税に充当するシミュレーションを行う。ただし、資本所得税減税の開始期は 2013 年とし、それまでの排出量収入については政府消費に充当するものとする。

表 16 に、25%削減を日本国内で実施し、政府の排出量収入を政府消費に充当する 4.3 節のシナリオと、政府の排出量収入を 2013 年から資本所得税減税に充当する二つのシナリオについて、GDP と主要な国内需要項目の BAU シナリオからの乖離幅を比較したものである。それによれば、2020 年の GDP は、排出量収入を政府消費に充当する場合 2004 年価格で 840 億ドル減少するが、資本所得税減税に充当すれば GDP の減少幅は 350 億ドル程度にとどまる。GDP 減少率で見れば、政府消費に充当するシナリオではマイナス 1.4%であるが、資本所得税減税に充当するシナリオではマイナス 0.6%の減少にとどまる。

---

<sup>18</sup> 排出量収入を低炭素財に対する補助金に使うことも経済にとってはプラスとなる。この問題は、環境省の中長期ロードマップ小委員会において既に扱われており、地球温暖化対策基本法案に盛り込まれた三施策のうちの地球温暖化対策のための税の使途として低炭素財への補助金に充当することで、二酸化炭素排出削減と GDP 増が両立できることを明らかにしている。ただ、本論文の排出量収入は規模も大きいので、使途としては法人税減税に充当する方が望ましいと考えている。

GDP の需要項目で見れば、2020 年の投資は、政府消費に充当する場合減少幅が 510 億ドルであるのに対して、資本所得税減税に充当する場合 100 億ドルの減少にとどまっている。資本所得税の減税額は、2013 年に 143 億ドル、2020 年に 238 億ドルであるが、投資の増加は資本所得税減税の 2 倍程度に達している。2020 年における政府消費は、排出量収入を政府消費に充当する場合 220 億ドル増である一方で、資本所得税減税に充当しても 100 億ドルの増となるのは、投資の増加で GDP が増加し、政府の税収が増加することで政府消費が増加に転じることによる。

表 16 25%削減シナリオ比較 (2004 年価格 10 億ドル)

	政府消費に充当				資本所得税減税に充当			
	GDP	民間消費	政府消費	投資	GDP	民間消費	政府消費	投資
2011	-20	-61	3	-22	-12	-39	6	-6
2012	-24	-63	5	-25	-15	-41	8	-6
2013	-30	-66	7	-28	-19	-43	-2	5
2014	-36	-69	9	-32	-20	-46	-1	3
2015	-42	-72	11	-36	-21	-49	1	1
2016	-49	-75	13	-39	-23	-52	2	-1
2017	-57	-79	15	-43	-25	-55	4	-4
2018	-65	-82	17	-46	-28	-59	6	-6
2019	-74	-86	20	-49	-31	-63	8	-8
2020	-84	-90	22	-51	-35	-67	10	-10

## 5.2 国内で 15%削減、中国から 10%排出量購入

25%削減のうち、全量を国内で削減するのではなく、一部を海外から購入するシナリオが考えられている。ここでは、国内削減を 15%にとどめ、10%を中国との二国間クレジット方式で購入するシナリオについて考える。なお、二国間クレジットの開始時期は 2013 年とし、クレジット価格は、日本における二酸化炭素価格と同じとする。すなわち、中国がクレジットを日本市場に提供し、日本における排出量の供給者となることを前提としている。中国が二国間クレジットで日本に供与する排出量とすることで、それに相当する量について中国の排出枠は減るものとしている。その結果、2013 年における日本の排出量は 10 億 7 百万トン、2020 年の排出量は 9 億トンに増加し、日本の排出量価格は 2013 年 43 ドル、2020 年 106 ドルとなる。なお、国内削減分に関わる排出量収入は、これまでと同様に日本の家計と政府で折半し、中国から購入するクレジットの総額は、2013 年 25 億ドル、2020 年 109 億ドルとなるが、排出量を購入する家計と企業が、排出量に応じて負担するものとする。さらに、中国のクレジット収入は政府に全額帰属するものとする。

表 17 に、15%国内で削減し、10%を中国から二国間クレジットで購入することを前提にして、政府の排出量収入を政府消費に充当するシナリオと、政府の排出量収入を 2013 年から資本所得税減税に充当する二つのシナリオについて、GDP と主要な国内需要項目の BAU シナリオからの乖離幅を比較したものである。それによれば、2020 年の GDP は、排出量収入を政府消費に充当する場合 2004 年価格で 460 億ドル減少するが、資本所得税減税に充当すれば GDP の減少幅は 180 億ドル程度にとどまる。GDP 減少率で見れば、政府消費に充当するシナリオではマイナス 0.8%であるが、資本所得税減税に充当するシナリオではマイナス 0.3%の減少にとどまる。25%削減と比較すれば、GDP の減少幅は、概ね半分程度にとどまることが分かる。

GDP の需要項目で見れば、2020 年の投資は、政府消費に充当する場合減少幅が 300 億ドルであるのに対して、資本所得税減税に充当する場合 40 億ドルの減少にとどまっている。資本所得税の減税額は、2013 年に 112 億ドル、2020 年に 179 億ドルであるが、投資の増加は資本所得税減税の 2~1.5 倍程度に達している。2020 年における政府消費は、排出量収入を政府消費に充当する場合 70 億ドル増である一方で、資本所得税減税に充当すれば 40 億ドルの減にとどまるのは、15%削減シナリオでも、投資の増加により GDP が増加し、政府の税収が増加することで政府消費の減少が下支えされることによる。

表 17 15%削減シナリオ比較 日本 (2004 年価格 10 億ドル)

	政府消費に充当				資本所得税減税に充当			
	GDP	民間消費	政府消費	投資	GDP	民間消費	政府消費	投資
2011	-10	-34	2	-11	-6	-21	4	-2
2012	-13	-35	3	-14	-8	-22	5	-3
2013	-16	-37	3	-16	-9	-23	-4	6
2014	-19	-38	4	-18	-10	-24	-4	5
2015	-23	-40	5	-20	-10	-26	-4	3
2016	-27	-42	5	-22	-11	-28	-4	1
2017	-31	-44	6	-24	-12	-30	-4	0
2018	-36	-47	6	-26	-14	-32	-4	-2
2019	-40	-49	6	-28	-15	-34	-4	-3
2020	-46	-51	7	-30	-18	-36	-4	-4

表 18 は、日本が 15%国内で削減し、10%を中国から二国間クレジットで購入する場合、中国経済に与える影響を見たものである。なお、中国の取得するクレジット収入は全額政府の収入となるが、それを政府消費に充当するシナリオと、2013 年から中国における資本所得税減税に充当する二つのシナリオについて、中国の GDP と主要な国内需要項目の BAU シナリオからの乖離幅を比較したものである。それによれば、2020 年の中国の GDP は、

クレジット収入を政府消費に充当する場合 2004 年価格で 240 億ドル増加するが、資本所得税減税に充当すれば GDP は 270 億ドル増加する。GDP 増加率で見れば、政府消費に充当するシナリオではプラス 0.32%であるが、資本所得税減税に充当するシナリオではプラス 0.35%の増となる。

GDP の需要項目で見れば、投資は、クレジット収入を政府消費に充当する場合 280 億ドルの増に対して、資本所得税減税に充当する場合 340 億ドルの増となる。資本所得税の減税額は、2013 年に 25 億ドル、2020 年に 106 億ドルであることから、日本とは異なり、投資の増加は資本所得税減税の半分程度にとどまる。2020 年における政府消費が、クレジット収入を政府消費に充当する場合 150 億ドル増である一方で、資本所得税減税に充当すれば 60 億ドルの増にとどまり、政府消費の減と比較して投資の増が少ないのに GDP が増加するのは、消費の増加によるところが大きい。

いずれのシナリオにおいても、日本が二国間クレジットで排出量を中国から購入すれば、日本ととっても中国にとっても望ましい結果となる。

表 18 15%削減シナリオ比較 中国 (2004 年価格 10 億ドル)

	政府消費に充当				資本所得税減税に充当			
	GDP	民間消費	政府消費	投資	GDP	民間消費	政府消費	投資
2011	6	11	3	14	5	13	3	14
2012	7	12	3	16	7	14	3	16
2013	9	12	6	17	9	14	3	19
2014	11	12	7	18	11	15	3	21
2015	13	13	8	20	13	15	4	23
2016	15	13	9	22	15	16	4	25
2017	17	13	11	24	18	16	4	28
2018	19	13	12	25	21	17	5	30
2019	22	13	14	27	24	18	5	32
2020	24	13	15	28	27	18	6	34

## 6 まとめ

本論文では、世界経済モデルを構築し、主要排出国がコペンハーゲン合意に基づく排出削減目標を履行するとき、世界経済にどのような影響があるかについて分析した。それによれば、排出目標を持つ日本・北米・EUでは GDP を押し下げるが、排出目標のある中国・オセアニア・ロシアは増加する。排出目標を持たない東アジアやその他地域の GDP は増加するが、それらの地域での GDP 増加もわずかであり、排出目標を持たない国・地域に産業が移転する兆候はない。炭素リーケージも、2020 年で 10%程度にとどまり、コペンハーゲン

ン合意は世界規模での排出削減に貢献する可能性のあることが示された。

日本では、排出量の削減が企業の海外流失を招くことが懸念されているが、日本の輸出はむしろ増加する。産業別の国際競争力に対する影響を見ると、鉄鋼は国際競争力の低下と生産の減少が見られるが、機械機器・輸送機器などの輸出を牽引する産業の国際競争力に与える影響はなく、むしろ低炭素社会に世界経済が転換する流れの中で、輸出の増加に貢献することが明らかにされた。もちろん、2020年の日本のGDPの減少は1.4%であり、北米やEUの0.3%減と比較して大きい。

日本の政策オプションとして、25%削減時に得られる政府の排出量収入を資本所得減税に充当するシナリオと、日本国内での削減を15%削減程度にとどめ、10%分の排出量を二国間クレジットにより中国から購入するシナリオの二つを検討した。分析結果によれば、25%削減を国内で行う場合、政府の排出量収入は資本所得減税に充当することで、2020年のGDPの減少幅は、1.4%減から0.6%減に緩和される。

日本国内での削減を15%にとどめ、10%分を二国間クレジットで日本の排出量価格で中国から購入する場合、2020年の日本のGDPは、政府の排出量収入を資本所得減税に充当しない場合は0.8%減、資本所得減税に充当する場合は0.3%減となる。一方、二国間クレジット収入の得られる中国のGDPは、中国政府の排出量収入を政府の排出量収入を資本所得減税に充当しない場合は0.32%増、資本所得減税に充当する場合は0.35%増となる。中国における資本所得減税の効果は日本と比較して小さいものの、日中間の二国間クレジットの実行は、日中双方にとってプラスとなることが分かる。

日本では、外国から排出量を購入することを国富の流出と非難する意見もあるが、海外特に中国やアジアでの二酸化炭素削減も日本の役割であり、それが中国や東アジア経済にとってもプラスとなり、さらにその収益として日本の輸出増にもつながる可能性があることを本論文の分析結果は示唆している。

## 参考文献

武田史郎氏 (2010)、CGE モデルによる排出量取引国際リンクの分析、2010年6月19日環境経済モデル研究会、日本経済研究センター (上智大学 杉野誠氏・有村俊秀氏と共著)

GTAP (2008), The GTAP 7 Data Base, Center for Global Trade Analysis, Department of Agricultural Economics, Purdue University.

IEA (2010), CO2 Emissions from Fuel Combustion, 2010 edition, International Energy Agency.

IEA (2010), World Energy Outlook 2010, International Energy Agency.

Lau, M.I., A. Pahlke and T.F. Rutherford (2002), Approximating Infinite-Horizon Models in a Complementarity Format: A Primer in Dynamic General Equilibrium Analysis, *Journal of Economic Dynamics & Control* 26, 577-609.

Lee, H, 2008, The Combustion-based CO2 Emissions Data for GTAP Version 7 Data Base, Department of Economics, National Chengchi University.

Rutherford, T.F. (2006), GTAP6inGAMS, <http://www.mpsge.org/gtap6/>



## 5章 地域間 CGE モデルによる環境政策評価<sup>19</sup>

### 要旨

地域ごとに電源構成や産業構造などが異なるため、一国を対象とする CGE モデルでは得られない地域別の CO<sub>2</sub> 排出の削減制約を課した場合の影響度合いを把握できることが地域間 CGE 作成の動機である。また、東日本大震災とそれに続く福島第 1 原子力発電所での事故を受け、原子力発電所の再稼動が難しい現状において、地域ごとに異なる原子力発電全停止の影響を CO<sub>2</sub> 排出の観点も踏まえて試算を行うことが本論文の目的である。

試算には、昨年の本研究会で作成した白井・武田・落合（2011）による JCER 地域 CGE モデルを原子力発電全停止の影響を分析できるように拡張したものを使用する。原子力発電全停止のシミュレーションに際しては、日本経済研究センターが 2011 年 6 月に試算・公表した「第 37 回改訂中期経済予測」における電力会社ごとの電力不足率を基に発電電力量の調整を行った。東日本大震災による資本ストックの毀損等の影響は考慮しておらず、あくまで原子力発電が全て止まった場合の日本経済への影響に分析を限定している。

原子力発電の停止は火力発電への依存度が高い地域にとっては影響が小さいが、CO<sub>2</sub> 削減制約は火力発電の比率が高い地域で影響が大きい。今回の試算によって、CO<sub>2</sub> 削減制約のみによる影響は、日本全体の実質国内総生産（GDP）を基準均衡（BAU）対比で 1.66% 減少させる。地域別では、影響の強い中国地方で 2.96% の減少、中部地方で 1.99% の減少となる。原子力発電の全停止は日本全体の GDP を 0.40% 押し下げるという結果が得られた。地域別では、一番影響の大きい東北地方で 1.26% の減少、一番影響の少ない中部地方では 0.01% の増加となっている。また、原子力発電停止と排出制約の両方を考慮すると日本全体の GDP を 3.96% 押し下げる。原子力発電比率が高く電力部門の影響が大きく出やすい東北地方では 5.30% の減少、火力発電比率が高くエネルギー多消費型産業の比率が高い中国地方では 5.79% の減少となった。

分析結果から、エネルギー政策、温暖化対策は地域の特色の違いによってその影響が異なることが確認された。原子力政策の見直しがせまられている中での温暖化対策を議論する際には、地域への影響という視点が重要という結果となった。

担当者 小林辰男、落合勝昭、舘祐太

---

<sup>19</sup> 本章で扱うモデルを用いた原子力発電所停止の影響については、小林辰男、落合勝昭、舘祐太（2011）、舘祐太・落合勝昭（2011）として公表されている。

## 1 はじめに

東日本大震災とそれに続く福島第 1 原子力発電所での事故を受け、国のエネルギー政策全般の見直しが迫られている。日本原子力産業協会によると、2011 暦年での原子力発電所の設備利用率は前年比 30.3 ポイント減の 38.0%となっており<sup>20</sup>、今後再稼働の認可が下りなければ、2012 年春には原子力発電が全て停止する可能性がある。原子力発電が停止することによる電力の供給制約は、それだけでも経済に悪影響を及ぼすが、原子力発電の火力代替は、CO<sub>2</sub> 排出の観点から問題がある。条件付ではあるが鳩山前首相が示した 2020 年に温室効果ガスを 1990 年比で 25%削減目標のためには、早急な対策が必要である。

本論文では、以上の問題意識の下で、日本の地域間 CGE モデルを用い、これまでほとんど分析されてこなかった温暖化対策の地域への影響分析に焦点を当て、1) CO<sub>2</sub> 排出の削減制約、2) 原子力発電全停止、3) 原子力発電が停止した状態での CO<sub>2</sub> 削減制約、の 3 つのシミュレーションを行い、原子力発電全停止の影響を CO<sub>2</sub> 排出の観点も踏まえて試算を行う。同じ排出制約・電力制約といっても、電源構成や産業構造などが地域で異なるため、一国を対象とする CGE モデルでは得られない地域別の影響度合いを把握できることが本論文の特徴となっている。

本論文で使用するモデルは、白井・武田・落合（2011）による JCER 地域 CGE モデルを原子力発電全停止の影響を分析できるように拡張したものを使用する<sup>21</sup>。試算では、東日本大震災による資本ストックの毀損や人的資本への影響等は考慮せず、原子力発電が全て止まった場合の日本経済への影響のみを考察した。原子力発電全停止のシミュレーションに際しては、日本経済研究センターが 2011 年 6 月に試算・公表した「第 37 回改訂中期経済予測」における電力会社ごとの電力不足率を基に発電電力量の調整を行い、排出制約としては 90 年比温暖化ガス 25%削減を仮定する。カリブレーションに使用する地域間産業連関表が 2005 年であることを踏まえると、1990 年比で 34%の削減となる。

本論文の構成は以下の通りである。まず、分析に用いた CGE モデルとデータを第 2 節で解説する。白井・武田・落合（2011）から変更を施した部分とともにまとめている。第 3 節では、各シミュレーションの内容とその結果についてまとめ、最後の第 4 節で、残された課題などについて触れる。付録として本論文で用いた地域別発電量の推計方法の解説を付けた。

---

<sup>20</sup> 社団法人日本原子力産業協会 2012 年 1 月 18 日 国内の原子力ニュース ([http://www.jaif.or.jp/ja/news/news\\_detail.php](http://www.jaif.or.jp/ja/news/news_detail.php))

<sup>21</sup> 本論文の原発停止に関するモデルの修正には、山崎・落合（2011）による原発停止の分析を参考にした。山崎・落合では東日本大震災による資本・労働の減少が経済へもたらす影響、計画停電による電力制約の影響も合わせて試算している。その際、震災に起因する突発的な計画停電を電力価格が変化しない電力制約としてモデル化している。本論文では、原子力発電の火力発電への代替は燃料コストの増大を招き、影響も長期にわたるため、電力価格の上昇を考慮した電力需給の調整が適切と考え、電力価格の変動を通じて電力需給の調整が行われるモデルとなっている。

## 2 モデルの概要

### 2.1 利用データと地域・産業分類

JCER 地域 CGE モデルは日本を 8 地域・18 産業に分割した多地域 CGE モデルであり、モデルのパラメータは平成 17 年地域間産業連関表<sup>22</sup>を基にカリブレーションを行っている。同地域間産業連関表では日本は最大 9 地域に分割され、それぞれの地域内の産業分類は最大で 53 部門（金属屑、古紙を含むと 55 部門）に分割されており、今回のモデルとの対応関係を表 1・表 2 に示している。なお、電力については、地域間産業連関表では電力部門計しかなく、原子力と火力に分かれていないため、モデルでは発電割合<sup>23</sup>（表 3）に応じて地域間産業連関表における各地域の「電力」を「原子力・水力発電」と「火力発電」に分割して扱っている。ただし、原子力・水力発電の中間投入部分については、「石炭・原油・天然ガス」、「石油・石炭製品」、「ガス」の投入はゼロにし、火力発電のほうに全て計上している。これは、全国集計の産業連関表における「事業用原子力発電」産業では、中間投入にこれらがほとんど含まれていないためであることと、原子力発電を停止した際に各種燃料の輸入量が減少するといった結果にならないようにしている。また、燃料投入がゼロになるため、水力・原子力発電の CO2 排出量はゼロとなる。

表 1 モデルの地域分類

地域	都道府県
北海道	北海道
東北	青森、岩手、宮城、秋田、山形、福島
関東	茨城、栃木、群馬、埼玉、千葉、東京、神奈川、新潟、山梨、長野、静岡
中部	富山、石川、岐阜、愛知、三重
近畿	福井、滋賀、京都、大阪、兵庫、奈良、和歌山
中国	鳥取、島根、岡山、広島、山口
四国	徳島、香川、愛媛、高知
九州・沖縄	福岡、佐賀、長崎、熊本、大分、宮崎、鹿児島、沖縄

<sup>22</sup> 経済産業省平成 17 年地域間産業連関表 ([http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/tiikiio/result/result\\_02.html](http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/tiikiio/result/result_02.html))

<sup>23</sup> 発電電力量の試算方法に関しては、文章末付録 A を参照。

表 2 モデルの産業分類

18産業	55産業（地域間産業連関表）
農林水産業	農林水産業
鉱業	鉱業
石炭・原油・天然ガス	石炭・原油・天然ガス
飲食料品	飲食料品
その他製造業	繊維工業製品、衣服・その他の繊維既製品、製材・木製品・家具、窯業・土石製品、精密機械、その他の製造工業製品、再生資源回収・加工処理、プラスチック製品、印刷・製版・製本、パルプ・紙・板紙・加工紙
化学	化学基礎製品、合成樹脂、化学最終製品、医薬品
石油・石炭製品	石油・石炭製品
鉄鋼	鉄鋼
非鉄金属	非鉄金属、金属製品
一般機械	一般機械、事務用・サービス用機器
電気機械	産業用電気機器、その他の電気機械、民生用電気機器、通信機械・同関連機器、電子計算機・同付属装置、電子部品
輸送機械	乗用車、その他の自動車、自動車部品・同付属品、その他の輸送機械
建設	建設
電力	電力（⇒モデル内で火力発電と原子力・水力発電に分割）
ガス	ガス・熱供給
商業	商業
運輸	運輸
その他サービス	金融・保険、不動産、住宅賃貸料（帰属家賃）、その他の情報通信、情報サービス、公務、教育・研究、医療・保健・社会保障・介護、広告、物品賃貸サービス、古紙、金属屑、その他の対事業所サービス、対個人サービス、その他、水道・廃棄物処理

表 3 地域別発電量（電源別割合%、2005 年度）

	火力	水力	原子力	水力・原子力比率
北海道	57.1%	12.4%	30.5%	42.9%
東北	43.2%	8.6%	48.2%	56.8%
関東	60.7%	7.3%	32.0%	39.3%
中部	82.4%	13.9%	3.7%	17.6%
近畿	35.2%	7.9%	56.9%	64.8%
中国	78.1%	5.6%	16.3%	21.9%
四国	62.2%	4.3%	33.5%	37.8%
九州・沖縄	57.5%	3.2%	39.3%	42.5%

## 2.2 エネルギー消費と CO2 排出量の推計

温暖化対策の効果を計るためには、地域別のエネルギー消費量や CO2 排出量のデータが必要である。日本全体であれば、国立環境研究所の 3EID（産業連関表による環境負荷原単位データブック）など産業別に細かく排出量がまとめられている。しかし、地域別や都道府県別かつ産業別のエネルギー消費量や CO2 排出量のデータはまとめられていない。そこで本論文では、地域間表の中間投入や最終消費のエネルギー財の消費量から CO2 排出量を推計した。

本モデルでは、地域間表のデータ制約からエネルギー財である「石炭・原油・天然ガス」、「石油・石炭製品」、「ガス」の 3 種類の財のエネルギー利用（燃焼）から、各地域の産業および家計の CO2 排出量を計算している。これらを生産段階で中間投入のエネルギーとして燃焼させると CO2 が発生する。ただし、エネルギー財の全てが中間投入や最終消費される際に、燃焼目的で利用されるわけではない。例えば、ナフサは石油・石炭製品等を投入して生産される化学工業の財だが、ポリエチレンなどのプラスチック製品の原料にも用いられる。

CO2 排出量は 3 種類のエネルギー財のうち、燃焼分の中間投入量の金額に、金額当たりどれくらいの CO2 を排出するかという排出係数を掛けることで計算している。しかし、集計されたデータでは、例えば「石炭・原油・天然ガス」は、「石炭」、「原油」、「天然ガス」それぞれ CO2 の排出係数も異なれば、産業毎にそれぞれの財の投入比率も異なる。そのため、同じ「石炭・原油・天然ガス」で同じ投入金額であっても排出係数は各産業で異なる。「石油・石炭製品」、「ガス」でも同様である。

そこで、全国版の産業連関表からより詳細なデータを用いて中間投入構造を確認し、3 種類の財をより詳細な分類にわけ、各産業、家計により異なる金額あたり CO2 の排出係数を算出している（表 4）。

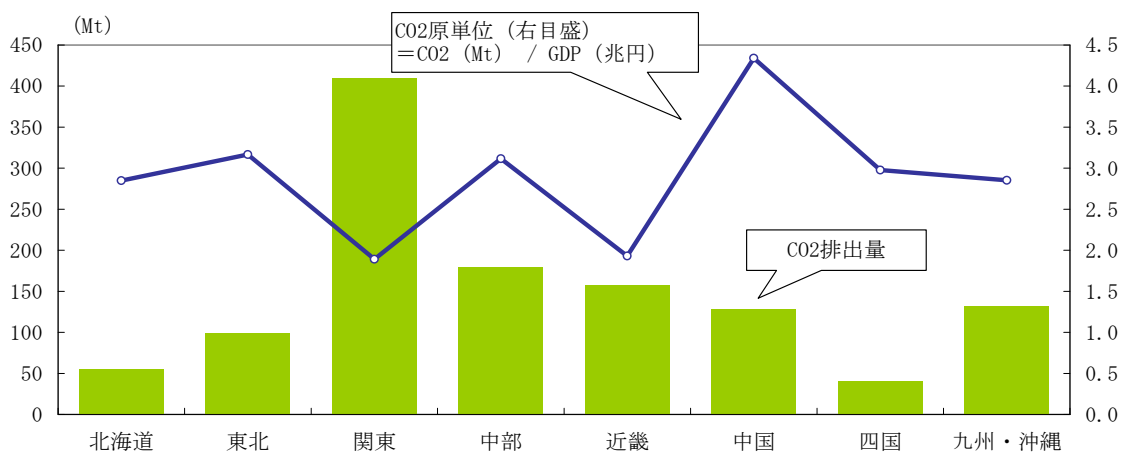
表 4 産業別 CO2 原単位 (CO2-t/100 万円)

	(CO2-t/100万円)			
	石炭・原油・天然ガス	石油・石炭製品	ガス熱供給	平均
農林水産業	NA	59.74	32.51	59.71
鉱業	NA	46.13	32.51	46.08
石炭・原油・天然ガス	NA	53.26	32.48	52.02
飲食料品	23.54	65.62	52.40	61.76
その他の製造業	283.21	63.79	49.93	110.73
化学	163.36	18.13	60.82	77.37
石油・石炭製品	83.56	50.98	48.97	53.37
鉄鋼	180.32	202.16	48.97	183.21
非鉄金属	153.00	64.95	48.97	62.72
一般機械	73.74	58.79	48.97	56.32
電気機械	73.74	58.56	48.97	53.92
輸送機械	73.75	57.86	48.97	54.57
建設	235.44	35.17	34.08	35.04
電力	139.99	63.62	32.39	117.70
ガス・熱供給	235.59	74.36	34.63	43.37
その他サービス	235.43	49.06	20.56	40.76
商業	NA	56.92	24.56	40.08
運輸	235.51	46.10	31.39	45.98
家計部門	235.48	29.34	17.87	27.19

具体的には、1) 産業連関表の基本表および物量表を用い、「石炭・原油・天然ガス」については、石炭、原油、天然ガスの3財、「石油・石炭製品」については、ガソリン、ジェット燃料、灯油、軽油、A重油、B・C重油、ナフサ、液化天然ガス、その他の石油製品、コークス、その他の石炭製品、舗装材料の12財、「ガス」については、都市ガス、熱供給業の2財の投入金額を産業別に集計する。2) 3EIDなどのデータを参考に、それぞれの財の、各産業、家計における投入量のうち燃焼に用いられる比率を計算する。3) それぞれの財の単位あたり排出係数を基に、改めて各産業、家計の3種類のエネルギー財の排出係数を作成する<sup>24</sup>。

以上のように、地域共通の排出係数や燃焼比率を求めることで、地域別・産業別のCO<sub>2</sub>排出量が計算できる。地域別の集計結果は図1で、それを見ると人口が最も多い関東で排出量も最も多くなっているが、産業構造はサービス業中心のため、CO<sub>2</sub>原単位は最も低い。一方、中国地方は原単位が最も大きい。火力発電比率が高く、鉄鋼や化学工業が集積しているためと見られる。

図1 地域別CO<sub>2</sub>排出量とCO<sub>2</sub>原単位



(資料) 経済産業省「平成17年地域間産業連関表」、総務省「全国産業連関表」、国立環境研究所「3EID」をもとに独自に推計

### 2.3 モデルの関数形

JCER 地域 CGE モデルでは、地域ごとに家計と地方政府が1つずつと、産業が18部門存在するほか、経済全体では中央政府が1つ存在する。海外経済については明示的に考慮されていないため、交易条件一定、経常収支一定という条件下で、輸出入の量が変化する。また、コンセンサスが得られるような地域別の成長率やエネルギー投入の効率性の改善度などの設定が難しいため、動学モデルではなく静学モデルを採用している。以下、それぞれについて解説する。

<sup>24</sup> 3種類のエネルギー財の各産業、家計の排出係数は1国ベースの産業連関表から作られているため、同一産業であれば地域が異なっても、同じエネルギー財の排出係数は等しいという仮定を置いている。

### 2.3.1 生産関数

各地域の産業の生産関数は、電力部門以外は同じになっている（図 2）。入れ子型の CES（Constant Elasticity of Substitution）関数で、それぞれの段に並列で記載されている財や生産要素、合成財同士が代替可能となっており、その代替の弾力性が図中の数字である。ただし、エネルギー・資本・労働からなる合成財はその他の中間投入物に対して互いに代替不可能であり、常にその産業の生産量に比例して投入される。また、産業固有の生産要素として、農林水産業には土地を、石炭・原油・天然ガス部門には天然資源の存在を仮定している。それぞれ GTAP6 のデータより、資本投入量に対する比率を割り出し、土地は約 25.6%、天然資源は約 57.3%と設定している。

生産された財は CET(Constant Elasticity of Transformation)関数によって、国内向け製品と輸出向け製品に分けられる（図 2 の上部）。CET 関数の変形の弾力性（ $\epsilon_{tra(j)}$ ）の値は 2.3.3 節の表 5 にまとめてあり、地域間の移出入と併せてその節で説明を行う。モデルでは全ての財・生産要素市場で完全競争が仮定されており、各産業はプライステイカーとして行動する。上で述べた生産の構造を所与とし、1 単位当たりの生産費用が最小となり、得られる利潤が最大となるよう、中間投入財および生産要素の投入の組み合わせを選択する（利潤最大化行動）。また、全ての部門の生産は「規模に関して収穫一定（CRTS : Constant Returns To Scale）」の技術の下で行われる。

電力部門の生産関数は、原子力・水力発電と火力発電が CES 関数によって「電力」に合成されている。今回、原子力発電の全停止と火力発電による代替を考慮するために、電力部門の生産関数を変更している。本モデルでは、各地域の代表的家計が一定量保有する特殊生産要素を電力の生産関数にレオンチェフ型で投入することで、地域ごとに発電方法別の発電量の上限値を設定している。原子力停止下の発電量をコントロールするため、これまではベース電源である原子力・水力発電に投入していた特殊生産要素を、火力発電にも投入されると仮定した<sup>25</sup>（図 3）。また、原子力・水力発電と火力発電の間の代替の弾力性と、火力発電の中間投入における代替の弾力性にも変更を加えた。従来では、原子力・水力発電と火力発電の間の代替の弾力性は「1」とされていたが、原子力発電停止と言う特殊な状況でこの値をそのまま使用すると、シミュレーションを行った際に電力価格が上昇しすぎてしまう。代替の弾力性の値が比較的小さい値であるため、火力と水力・原子力の代替が効きにくく、結果として原子力発電停止の状況でも価格上昇が起こらなければ火力代替による電力の総供給が増えないためである。そのため、弾力性の値を決めるに当たっては、電力価格の上昇が化石燃料の輸入量の増加と整合的になるように調整した<sup>26</sup>。

<sup>25</sup> 水力・原子力発電における特殊生産要素は、水源やプルトニウムの賦存量などに依存し、データの制約から便宜的に資本の 70%と設定している（火力発電においても同様に資本の 70%と設定）。

<sup>26</sup> 日本エネルギー経済研究所が 2011 年 6 月に公表した、火力代替による電力価格上昇率の試算結果を参考にした（日本エネルギー経済研究所「原子力発電の再稼働の有無に関する

図2 モデルにおける生産の構造

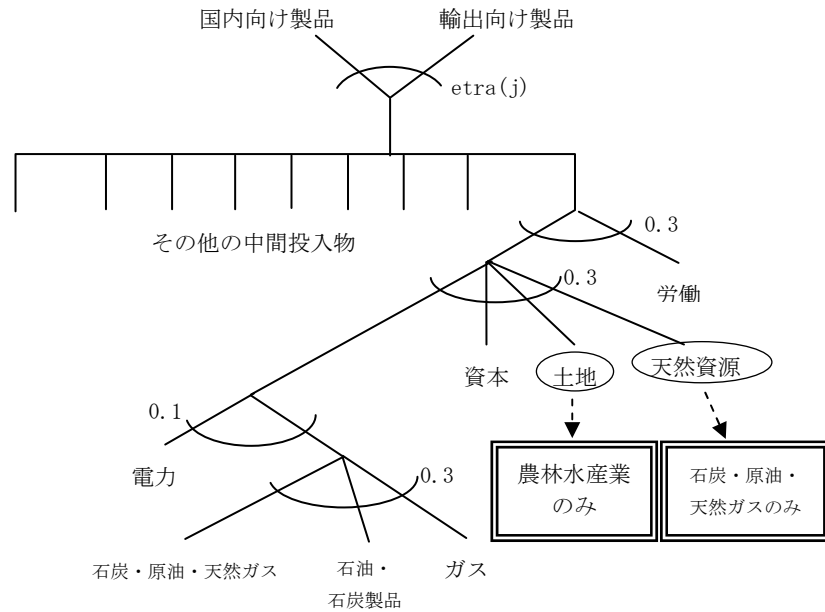
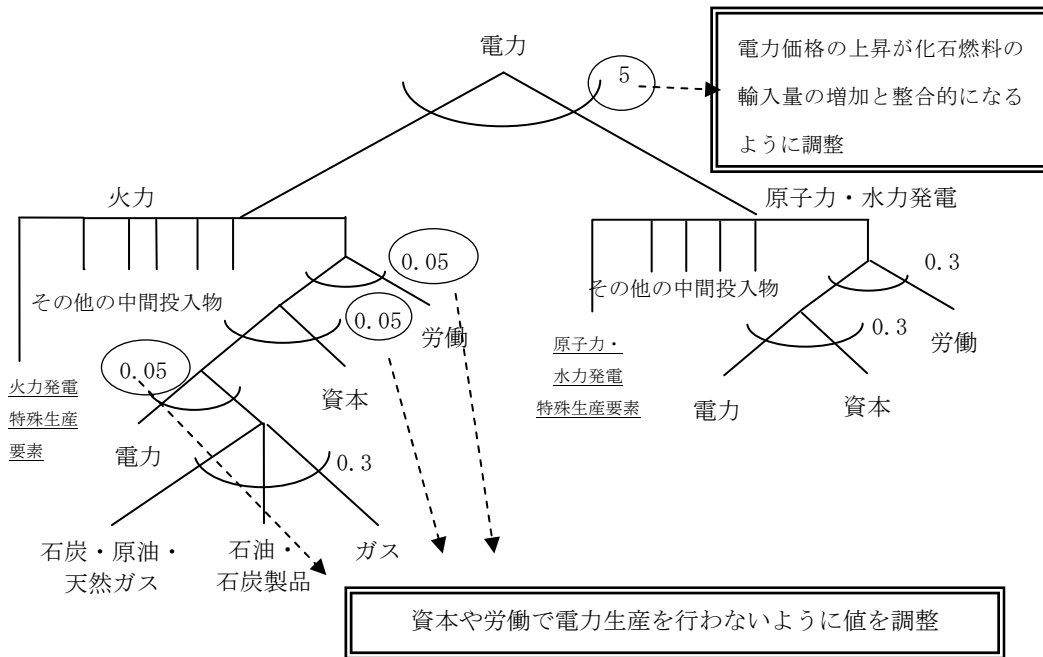


図3 モデルにおける電力生産の構造



2012年度までの電力需給分析」(<http://eneken.teej.or.jp/data/3880.pdf>)。日本エネルギー経済研究所では、産業用電気料金が36%上昇すると試算しているが、この値は電力価格の上昇が電力需要に及ぼす影響を考慮していない。そのため、CGEモデルでは電力価格の上昇が経済の縮小などを通じて電力需要の減少をもたらすことを考慮し、地域別の発電電力量で加重平均した電力価格の上昇幅が36%未満となるように調整した。



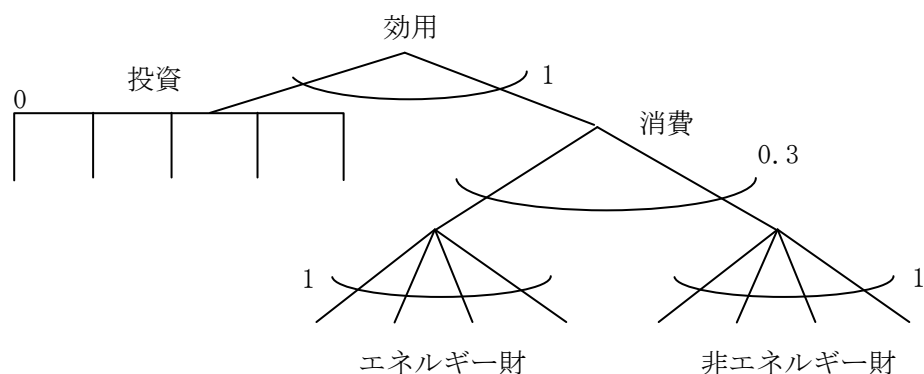
火力発電における資本や労働などの代替の弾力性については、ゼロに近い値へと変更している。これは、火力代替に伴う電力生産の増加が、石炭・原油・天然ガスなどのエネルギー財の投入の増加ではなく、資本や労働の増加によって行われてしまうのを防ぐためである<sup>27</sup>。

### 2.3.2 消費の構造

各地域の代表的家計は、初期保有している生産要素（土地、天然資源、特殊生産要素、労働、資本）をその地域の各産業に供給することで要素所得を得るのに加え、中央政府からの所得移転を受ける。所得総額の一定割合は貯蓄に充てられるが、このモデルでは貯蓄と投資が等しいと仮定している。消費と貯蓄（投資）は、代替の弾力性 1 の CES 関数で効用を生み出し（図 4）、所得制約の下、価格を所与（プライス・テイカー）として、自らの効用を最大化する消費財の組み合わせを選択する（効用最大化行動）。

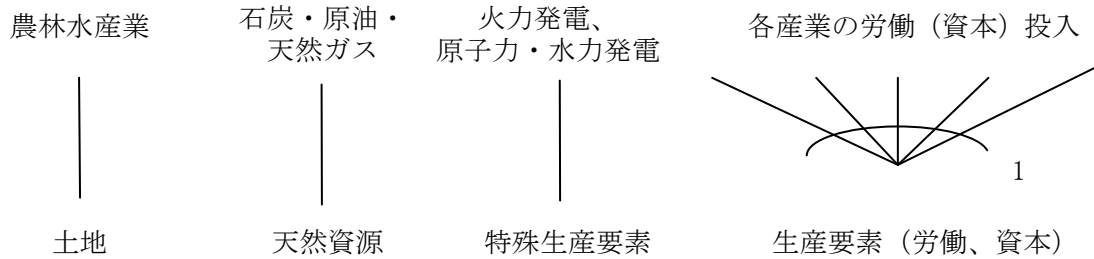
電力制約・排出制約による地域ごとの影響をみるため、生産要素は地域間で移動できないと仮定している。また、土地は農林水産業にのみ利用され、天然資源は石炭・原油・天然ガス産業、特殊生産要素は火力、原子力・水力産業にのみ利用される。労働と資本は地域内の産業間で移動可能であるが、完全に自由な移動が可能ではなく、変形の弾力性 1 の CET 関数によって各産業に配分される（図 5）。

図 4 代表的家計の消費構造



<sup>27</sup> 厳密には特殊生産要素で決められる発電量を生成する際に、資本や労働が使用されないようにしている。

図5 代表的家計による生産要素の供給



### 2.3.3 財の供給構造

JCER 地域 CGE モデルでは、家計や産業が需要する財は、自地域で生産された財と他地域から移入する財が代替の弾力性  $elas\_dd(i)$  の CES 型関数によって合成され、その合成財がさらに、海外から輸入された財と代替の弾力性  $elas\_dm(i)$  の CES 関数によって合成されることによって供給されている（図 6、それぞれの弾力性の値は表 5）。

電力に関しても地域間の移出入があり、その弾力性の値を「0.5」としている。そのため、各地域の電力産業ごとに火力代替できる量が異なるため、電力供給に余裕がある地域は他の地域に融通することができる。ただし、ここで想定している電力融通は、実際にみられるような、各地域の電力産業が最大限発電できる分を生産し、足りない分を電力が余っている地域から融通するというものではない。電力生産にかかる追加的なコストと他地域から融通してもらえる追加的な電力のコストを比較し、後者の方が低ければその地域の電力産業は生産を行わなくなる、という点において現実の世界と異なっている。

### 2.3.4 海外経済

本来は、GTAP モデルのように日本以外の地域・国も明示的・対等に扱う方法が望ましいが、日本国内を複数の地域に分けつつ、海外も複数の地域で扱うことは、モデル、データともに複雑化するため、海外経済は明示的には扱っていない。ここでは、交易条件（輸出財と輸入財の交換比率）を一定とする小国モデルを想定しており、各財の輸出入は変化するが、収支で見た時には基準均衡の値に等しくなるように為替レートが調整されると仮定している。また、国内の貯蓄・投資差額が一定に保たれるために、経常収支は一定となっている。同じ財であっても国内財と輸入財は不完全代替であるという Armington 仮定を置き、国内財と輸入財は CES 型関数を通じて統合する（図 6）。

図6 モデルの移入と輸入の構造

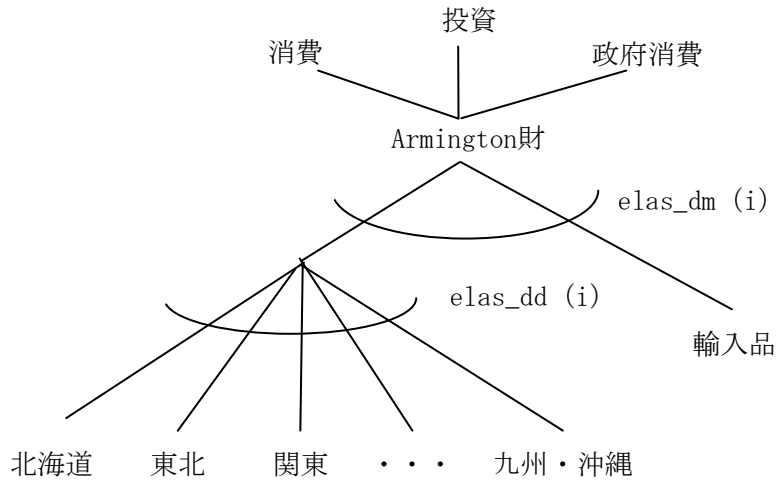


表5 変形の弾力性と代替の弾力性

	国内向け - 輸出向けの 変形の弾力性 etra (j)	地域間の代替の弾 力性 elas_dd (j)	国産品 - 輸入品間の 代替の弾力性 elas_dm (j)
農林水産業	1.00	8.00	1.20
鉱業	1.00	8.00	0.45
石炭・原油・ 天然ガス	0.10	8.00	4.23
飲食料品	1.00	8.00	1.25
その他 製造業	1.00	8.00	1.80
化学	1.00	8.00	1.65
石油・石炭 製品	1.00	8.00	1.05
鉄鋼	1.00	1.00	1.50
非鉄金属	1.00	8.00	2.00
一般機械	1.00	8.00	2.05
電気機械	1.00	8.00	2.20
輸送機械	1.00	8.00	1.55
建設	1.00	8.00	0.95
電力	0.00	0.50	0.00
ガス	0.00	0.50	0.00
商業	0.50	0.50	0.25
運輸	0.50	0.50	0.25
その他 サービス	0.50	8.00	0.39

### 2.3.5 税

モデルでは、産業連関表に含まれる間接税、関税に加え<sup>28</sup>、資本所得税と労働所得税を扱っている。資本所得税と労働所得税は、要素所得に課される税だが、地域間表では厳密に対応するデータがない。そこで、労働所得税は SNA 上の「家計の所得・富等に課される経常税（支払）」、資本所得税は同じく SNA 上の「一般政府の所得・富等に課される経常税（受取）」から労働所得税を差し引いた残差を用いて税率を定義した。このように定義した労働所得税には個人企業の営業余剰に対する所得税も含まれているが、その影響は大きくないと考えそのまま利用している。税率は、資本所得、労働所得それぞれ、税／所得で定義している。

### 2.3.6 政府部門

中央政府が徴収した税金などの家計への再配分は、地方政府が政府支出の主体となっており、この地方政府による「政府支出」財の水準は、外生的にベンチマークである 2005 年の水準で一定と仮定している。支出水準を一定とすることで、政府の行動はシミュレーション分析において中立的となる。

政府の収入として、関税、間接税、資本・労働所得税の税収がある。政府はこの収入に加え、不足する部分を家計から一括税（lump-sum tax）で徴収し、政府支出をファイナンスする。収入が政府支出の水準を上回る場合には、超過分を一括の形で各地域の家計に再分配する<sup>29</sup>。地方への配分比率は、地域間表が持つ実績値に依拠している。また、排出権収入も政府が受け取り、地域へ再分配する。本論文のモデルでは、政府自身がグリーン投資などをせず、排出権収入は全て再分配で家計に戻すとしている。

### 2.3.7 排出規制

排出規制は、国内でのオークション方式によるキャップ・アンド・トレード政策（排出量取引制度）を想定している。政府は CO<sub>2</sub> 排出量に上限を設定し、それに等しいだけの排出権をオークションで販売する。企業、家計はエネルギー財（化石エネルギー）を投入、消費する際に、そこから排出される CO<sub>2</sub> の量に応じて、排出権を購入する。よって、企業・家計が直面するエネルギー財  $i$  の価格  $p_i$  は

$$p_i = \tilde{p}_i + \varepsilon_i p^{\text{CO}_2} \quad (1)$$

となる<sup>30</sup>。ただし、 $\tilde{p}_i$  はエネルギー財  $i$  の元々の価格、 $p^{\text{CO}_2}$  は排出権価格、 $\varepsilon_i$  はエネルギー

<sup>28</sup> モデル上では、「間接税」は生産物に対する税として扱っている。

<sup>29</sup> つまり、一括の税（トランスファー）は、政府支出を一定に保つという条件の下で、財政収支を均衡させる調整弁の役割を果たしている。

<sup>30</sup> 排出係数  $\varepsilon$  はエネルギーのユーザーによって変わってくるので、厳密には  $p_i$  もユーザーによって変わってくる。

一財 i の排出係数である。排出権市場において企業、家計はプライステイカーと仮定するので、排出権の価格は排出権に対する需要が供給に等しくなるように決まり、しかも排出権価格＝企業・家計の限界削減費用が成立する。オークション方式のため、排出権の売却収入が生じ、それは全て一旦政府の収入となるが、そのまま家計に還流されると仮定している。ベンチマークでは排出規制が課されていないので、排出権価格はゼロであるが、排出規制が課されると、

$$\text{政府の排出権収入} = \text{排出権価格} \times \text{排出規制の量} \quad (2)$$

だけ、政府に排出権収入が発生する。還流のオプションとしては、1) 一人当たりの排出権収入を同じにして還付、2) 排出権の支払があった地域にそのまま還付、の2つが考えられるが、ここでは1)を採用する。排出権収入を一人当たりの額を同じにして各地域に還付することは、地域毎の人口比率に応じて排出権収入を還付することに等しく、人口は表6に示す通りである。

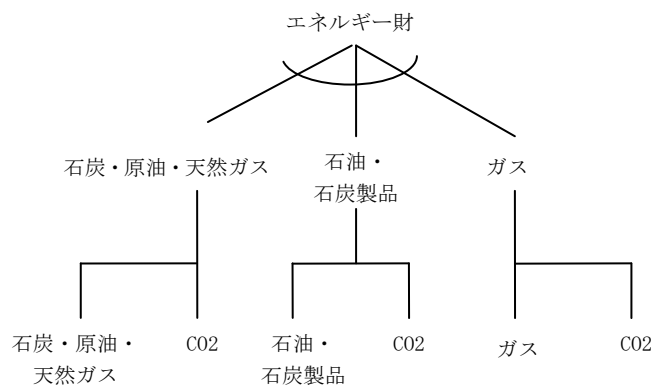
表6 人口（万人、2005年）

北海道	563
東北	963
関東	5,080
中部	1,351
近畿	2,171
中国	768
四国	409
九州	1,471

（資料）総務省「国勢調査」

また、排出規制によりCO<sub>2</sub>に価格が付くと、エネルギー投入部分は図7のように書き換えられる。

図7 エネルギーの投入構造



### 3 シミュレーション

シミュレーションの計算は、GAMS の Solver MPSGE、Solver PATH を利用して行われる<sup>31</sup>。シミュレーションは、1) CO<sub>2</sub> 排出の削減制約、2) 原子力発電全停止、3) 原子力発電が停止した状態での CO<sub>2</sub> 削減制約、の 3 つを行う。

#### 3.1 シミュレーションの設定

##### 3.1.1 CO<sub>2</sub> 排出の削減制約のシミュレーション

排出規制は、温室効果ガスを 1990 年比で 25%削減とした。カリブレーションに用いる地域間産業連関表が 2005 年であることを踏まえると、34%の削減となっている。規制の方法には、1) 地域別に温室効果ガス 25%削減、2) 日本全体の温室効果ガス 25%削減、の 2 つが考えられるが、ここでは日本全体の温室効果ガスを 25%削減することとする。前述したように、排出権収入は政府の収入となり、地域ごとに人口 1 人あたりの還付額が同じになるように家計へ配分される。

##### 3.1.2 原子力発電全停止のシミュレーション

原子力発電全停止をモデル上で表現するには、第 2 節で説明した特殊生産要素を用いている。すなわち、原子力・水力発電における特殊生産要素の投入を減らす一方で、火力発電では投入を増やすという操作を行った。特殊生産要素はレオンチェフ型の生産関数であるので、特殊生産要素の 1%の減少は、電力発電を 1%減少させることになる。

原子力発電を減らす際には、部門で見ると水力発電を含んでいるため、前掲表 3 での水力発電量を考慮して特殊生産要素の投入を減らしている。また、火力発電量をどこまで増やすかが問題となるが、この点については、日本経済研究センターが改訂中期経済予測の中で公表している各電力会社別の不足率を使用した。各電力会社の電力不足率をモデルの地域区分に合わせ、各地域の電力不足率を算出することで、その分を除いた電力量が火力代替されるとして計算を行った (表 7)。

##### 3.1.2 原子力発電全停止下の CO<sub>2</sub> 排出の削減制約のシミュレーション

原子力発電全が停止した状態で、温室効果ガスを 90 年比 25%削減した場合のシミュレーションを行った。

---

<sup>31</sup> GAMS については、GAMS のウェブサイト <http://www.gams.com> を参照されたい。

表 7 各地域の電力不足率

電力会社	代替すべき出力 (万kw)	代替できる出力 (万kw)	電力不足分 (万kw)	不足率 (%)
北海道電力	115.8	22.7	93.1	17.0
東北電力	244.9	105.5	139.4	9.5
東京電力	1,322.4	398.9	923.5	15.4
中部電力	299.6	299.6	0.0	0.0
北陸電力	120.6	51.9	68.7	12.6
関西電力	852.6	493.7	358.9	11.7
中国電力	36.0	0.0	36.0	3.1
四国電力	89.0	57.0	32.0	5.6
九州電力	469.9	270.6	199.3	11.8
合計	3,550.7	1,699.8	1,850.9	10.7

各地域の電力不足率	
北海道	17.01
東北	9.51
関東	15.36
中部	0.00
近畿	11.80
中国	3.08
四国	5.55
九州・沖縄	11.76

(注) 北陸電力の不足分は近畿地方に計上している。

### 3.2 シミュレーション結果

#### 3.2.1 CO2 排出規制のシミュレーション結果

産業の影響を見ると、石油・石炭製品、電力、鉄鋼で大きな影響が出ていることが確認でき (図 8)、GDP で地域別の影響を見ると、最も打撃が大きい中国と、軽くて済む関東や近畿の間には、影響に 2 倍を超える差が生じていることがわかる (図 9)。このような差が生じる理由は、1 つは重厚長大型の産業を多く抱える地域ほど、エネルギー価格の上昇を通じて影響が色濃くなるためと考えられる。もう 1 つには、化石燃料を使う火力発電への依存度が異なるため、電気料金に差が生じることである (図 10)。

図 8 産業 (粗生産) への影響

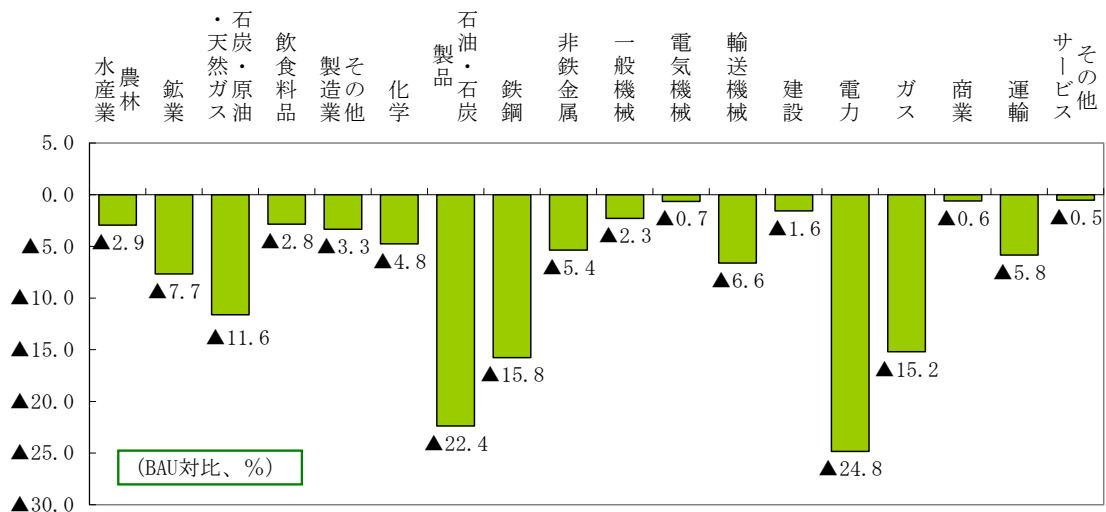


図9 温暖化ガス25%削減の影響

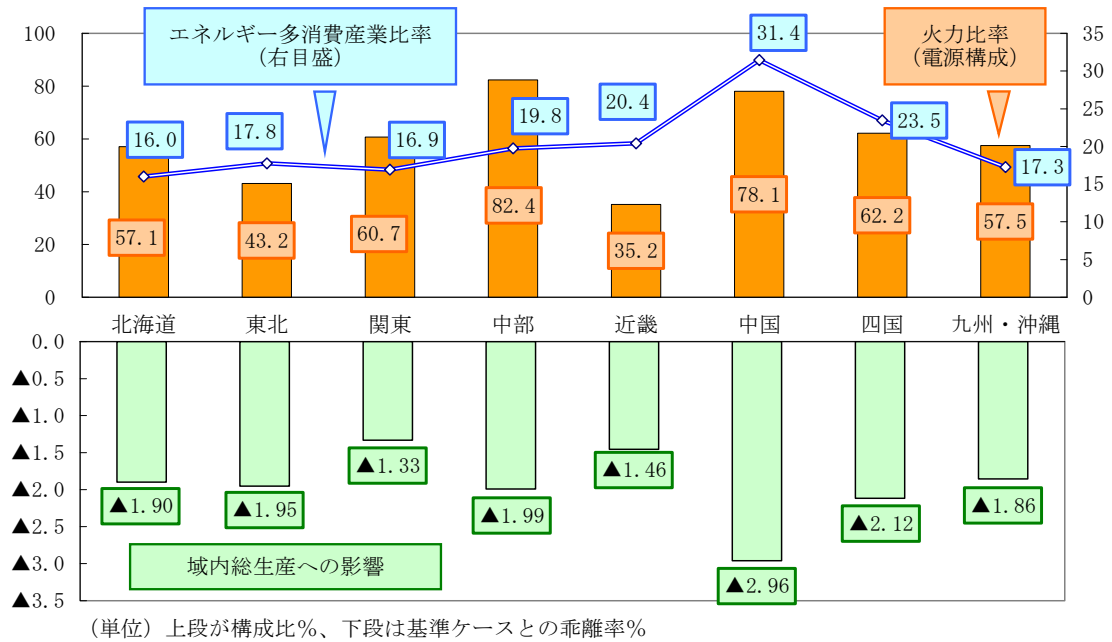
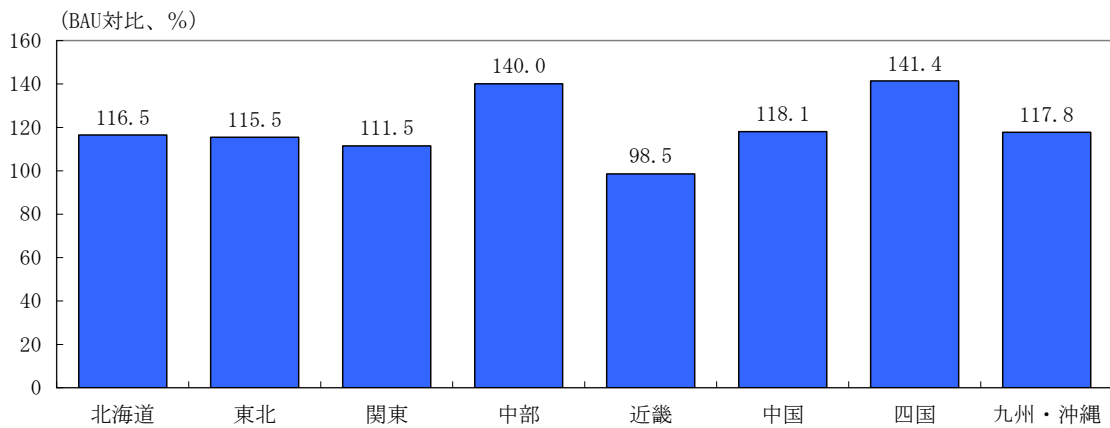


図10 電力料金上昇率



産業構造を詳細に見るために、エネルギー関連産業（鉄鋼、化学、その他製造業[紙パルプ、セメントが含まれる]、電力）を中心に粗生産量（中間投入を含む生産量）の変化を見たのが図11である。さらに、エネルギー供給あるいは同関連産業として石油・石炭製品と運輸に注目している。これを見ると中国地方にはエネルギー関連産業が集中している。逆に関東や東北、北海道は、鉄鋼や化学、石油・石炭製品などのシェアは小さい。エネルギー多消費あるいは同供給産業では、中間投入の費用がかさみ、それをある程度製品やサービス価格に転嫁せざるを得ない。このため割高になった財・サービスが需要家から敬遠され、生産量が落ちる。



各地域の電源構成によっても地域差が生じている（図9上段）。その地域に原子力や水力など非化石燃料の電源が多いほど電力料金が上がりにくく、火力に依存しているほど上がりやすくなる。この点で不利なのは中部、中国、四国となり、域内総生産の落ち込み幅が大きく、電力価格の上昇幅も大きい。これに対し、近畿や東北は原子力で半分以上の電源を賄っており、CO2 制約の影響を受けにくい。例えば中部地方は自動車を中心とした組み立て・加工、電子部品など CO2 制約を受けにくい産業が多いが、電源構成で不利になっている影響が出ている。

図11 産業構造で生産への影響に濃淡

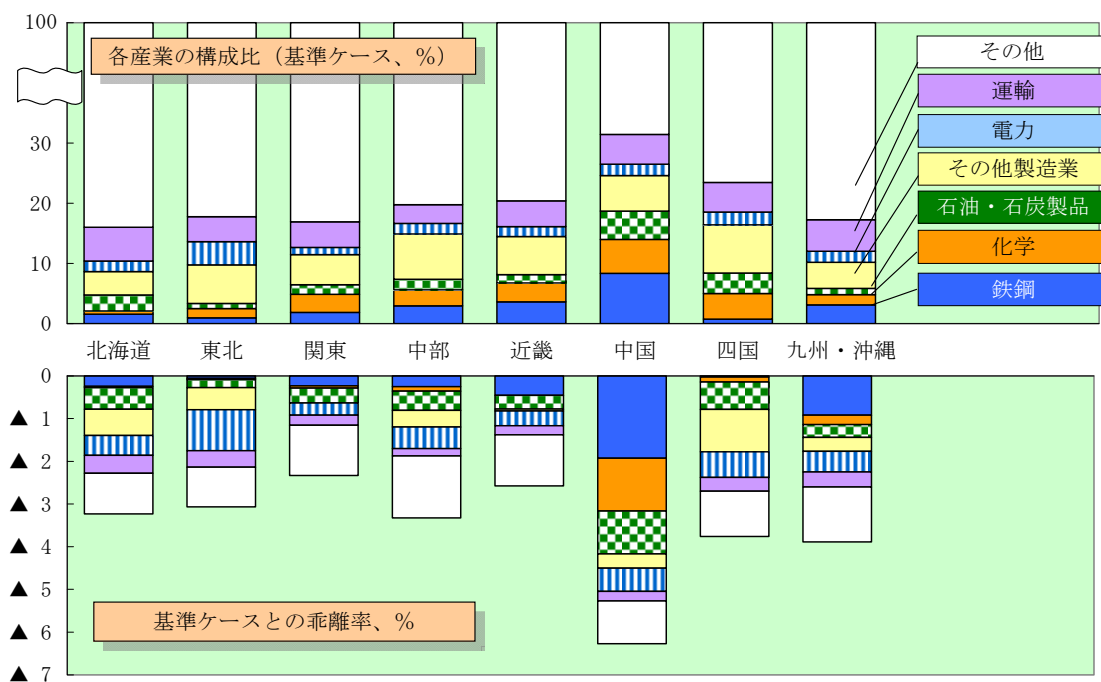


表 8 地域・産業別の粗生産額の変化率

(BAU対比、%)

	北海道	東北	関東	中部	近畿	中国	四国	九州・沖縄
農林水産業	▲1.86	▲3.20	▲3.59	▲4.18	▲2.21	▲1.21	▲4.42	▲2.66
鉱業	▲8.36	▲7.71	▲5.73	▲7.72	▲9.65	▲4.49	▲5.28	▲11.37
石炭・原油・天然ガス	▲11.08	▲20.42	▲10.24	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	▲7.90
飲食料品	▲3.37	▲3.07	▲2.93	▲4.13	▲3.44	▲0.24	▲1.75	▲1.64
その他製造業	▲15.82	▲8.05	▲0.02	▲5.18	▲0.70	▲5.69	▲12.42	▲7.58
化学	▲5.43	▲1.96	▲1.77	▲3.89	0.95	▲21.89	▲2.66	▲13.10
石油・石炭製品	▲19.17	▲21.48	▲21.66	▲25.84	▲22.98	▲21.33	▲18.82	▲28.27
鉄鋼	▲15.60	▲5.93	▲12.74	▲8.48	▲12.62	▲23.06	▲3.85	▲29.59
非鉄金属	▲6.27	▲3.89	▲5.35	▲2.02	▲6.64	▲9.70	0.50	▲14.16
一般機械	▲1.92	▲0.31	▲2.46	▲0.70	▲3.49	▲3.18	▲0.25	▲3.84
電気機械	▲2.05	▲1.16	▲0.44	▲0.91	▲1.37	1.76	▲0.44	▲0.53
輸送機械	▲10.82	▲6.73	▲5.79	▲4.31	▲8.99	▲8.81	▲33.68	▲14.77
建設	▲1.94	▲0.21	▲1.60	▲2.42	▲0.76	▲2.90	▲1.58	▲1.92
電力	▲26.31	▲25.05	▲23.31	▲28.42	▲20.98	▲28.94	▲28.17	▲25.90
ガス	▲14.18	▲13.81	▲15.39	▲16.56	▲14.43	▲17.11	▲16.57	▲14.18
商業	▲0.94	▲0.71	▲0.68	▲0.37	▲0.65	▲0.06	▲0.92	▲0.46
運輸	▲7.51	▲9.30	▲5.53	▲5.60	▲5.01	▲4.53	▲6.60	▲6.65
その他サービス	▲0.24	▲0.51	▲0.72	▲0.76	▲0.64	0.34	▲0.03	0.02

### 3.2.2 原子力発電全停止のシミュレーション結果

原子力発電の停止により、日本全体でみて GDP が 0.40%減少するとの結果が得られた。地域別に見ると、中部地方の+0.01%から東北地方の▲1.26%までばらつきが生じている(図 12)。このばらつきが生じた理由としては、図 13 で示されているように、地域ごとの発電量に占める原子力発電比率が異なることや、産業構造として電力産業が地域経済に占める比重に差があることが影響していると考えられる。東北地方では、原子力発電比率が高いだけでなく、産業に占める電力の割合が大きいために、GDP の落ち込み幅が、8 地域中で一番大きくなっている。その反面、中部地方や中国地方では、火力代替によって電力制約を緩和、もしくは、電力制約がほとんど起こらない状態にできるため、GDP への影響や電力価格への影響は軽微となっている。原子力発電停止による電力価格上昇の地域による違い(図 14)も原子力発電の比率や産業構造の影響によって異なっている。

火力代替の結果による燃料輸入に関しては、基準均衡時よりも約 1 兆円増加した。この値は 2005 年時点を基準としているため、2005 年の原油価格(56.7 ドル/バレル)と為替レート(1 ドル=110 円)を考慮すると、現時点では約 2 兆円の燃料コストとなる。政府試算や改訂中期経済予測などでは、全原発停止を全て火力代替すると、約 3 兆円のコストがかかるという結果が示されているが、本論文での試算結果では、電力価格の上昇によって省電力な産業構造への転換が進んでいるため、政府試算などの想定よりも燃料コストがかからない結果となっている。また、輸入が増加する一方で、石炭・原油・天然ガス産業の

国内生産は基準均衡対比でマイナスとなっているが、これは同産業の中間投入に電力の占める割合が大きく、国内生産が輸入に代替されているとみられる。

産業別の粗生産額の変化（図 15）を見てみると、ほとんど全ての産業でマイナスとなっているが、その中で、石油・石炭製品と機械産業でのプラスが目立っている。石油・石炭製品に関しては、火力発電の増加に伴う燃料需要の増加が直接的な原因となっている。一般・電気・輸送の機械産業の増加に関しては、生産に対して電力の投入が比較的少なく、これらの産業の比率が高い中部地方で電力制約が小さかったことが影響している（表 9）。また試算に用いたモデルが、経常収支を一定（2005 年水準を実質レベルで維持）としていることも影響している可能性がある。産業別の輸出を見ると、機械産業の輸出が増加しており、火力代替による輸入の増加に対し、経常収支を一定とするために生じた輸出増が機械産業の生産額の増加に結びついている可能性が考えられる。

図 12 GDP 変化率

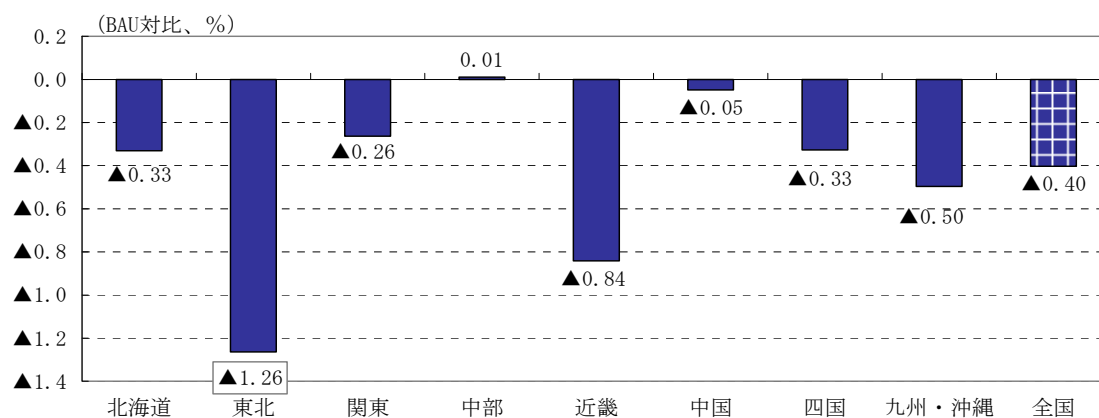


図 13 電力生産額の対域内粗生産額比率と発電量に占める原子力発電比率

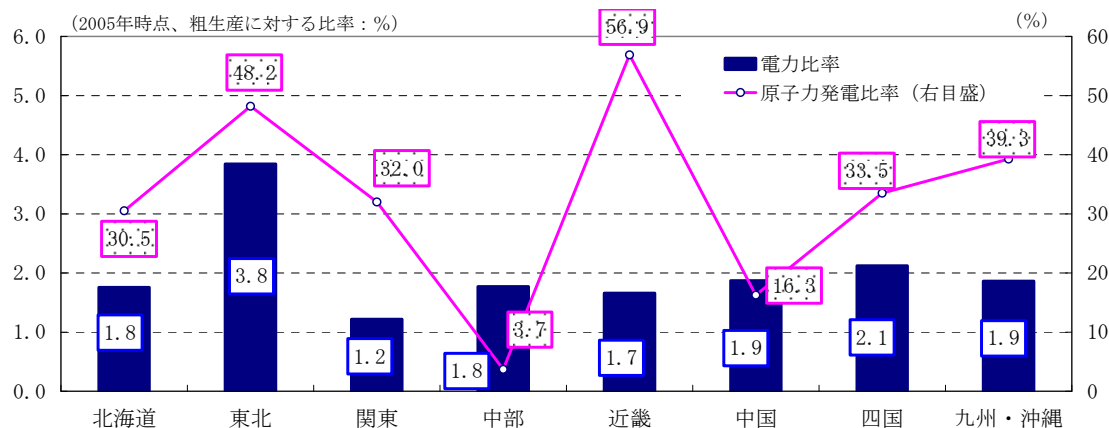


図14 電力価格上昇率

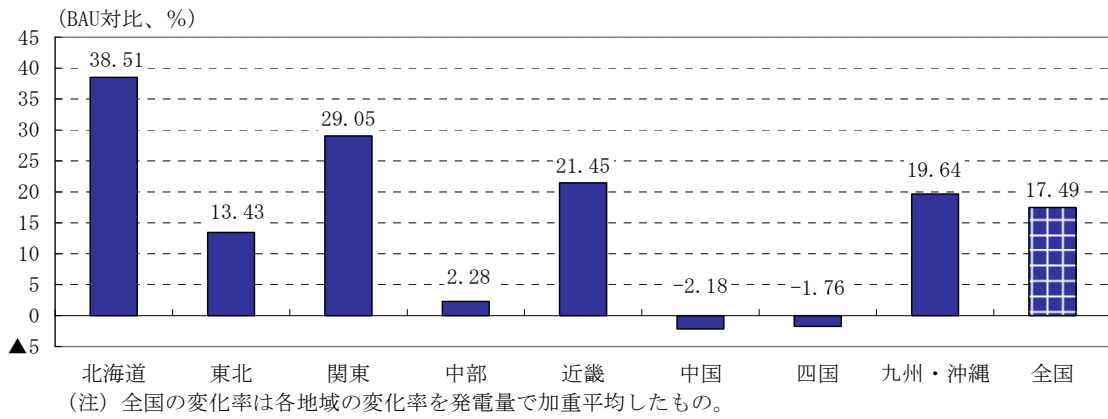


図15 産業別の粗生産額の変化率

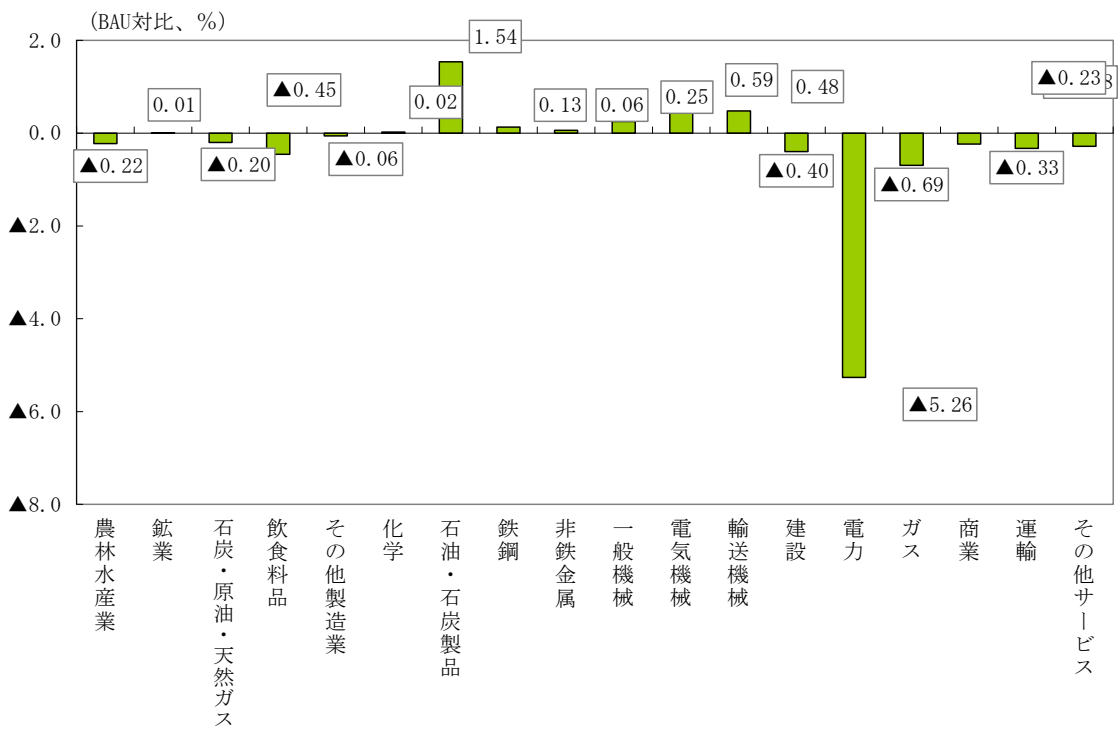


表9 地域・産業別の粗生産額の変化率

(BAU対比、%)

	北海道	東北	関東	中部	近畿	中国	四国	九州・沖縄
農林水産業	0.00	▲0.33	▲0.24	▲0.28	▲0.33	▲0.26	▲0.20	▲0.24
鉱業	▲1.38	0.17	▲0.15	0.74	▲0.36	1.10	1.23	▲0.38
石炭・原油・天然ガス	▲0.88	2.50	▲0.42	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	1.13
飲食料品	▲0.51	▲0.44	▲0.47	▲0.30	▲0.67	▲0.21	▲0.10	▲0.41
その他製造業	▲2.31	▲0.36	▲0.09	0.25	▲0.14	0.56	0.66	▲0.37
化学	▲3.01	0.20	▲0.44	0.63	▲0.04	1.34	1.29	▲1.08
石油・石炭製品	0.73	3.13	0.92	1.72	2.29	2.14	2.57	0.89
鉄鋼	▲0.45	▲0.28	▲0.28	0.64	▲0.26	0.90	0.84	0.07
非鉄金属	0.46	▲0.22	▲0.20	0.50	▲0.11	0.73	0.69	▲0.09
一般機械	0.14	0.23	0.29	0.21	0.13	0.38	0.47	0.49
電気機械	▲0.37	0.57	0.52	0.77	0.45	0.85	1.30	0.70
輸送機械	▲1.35	▲0.14	▲0.00	0.77	▲0.21	1.07	1.65	1.63
建設	▲0.21	▲0.85	▲0.32	▲0.11	▲0.70	▲0.23	▲0.43	▲0.42
電力	▲10.11	▲2.70	▲9.71	1.36	▲7.39	1.36	0.81	▲5.66
ガス	▲0.29	▲0.80	▲0.99	▲0.01	▲0.67	0.32	0.72	▲0.38
商業	▲0.28	▲0.44	▲0.18	▲0.13	▲0.38	▲0.13	▲0.16	▲0.27
運輸	0.01	▲0.28	▲0.43	▲0.10	▲0.62	▲0.12	▲0.07	▲0.08
その他サービス	▲0.13	▲0.65	▲0.17	▲0.27	▲0.52	▲0.28	▲0.29	▲0.31

### 3.2.3 原子力発電全停止+CO2 排出規制のシミュレーション結果

原子力発電の停止は原子力発電への依存が高い地域へ影響を及ぼし、排出規制は火力発電への依存が高い地域へ影響を及ぼす。この2つを同時に達成する場合には原子力発電の停止によりCO2排出量が増加した状態からの削減となるため、表10にあるように個々の影響を足し合わせた以上の影響が経済にもたらされる。結果として、域内総生産でみて、関東(▲3.21%)以外では4%以上の落ち込みとなり、全国平均で3.96%の減少となった。

関東への影響が比較的小さいのは、エネルギー多消費産業の比率が低いことと、火力発電と原子力発電のバランスが他地域と比べて中程度に位置していることによる。しかし、原子力発電比率が高く、電力部門の影響が大きく出やすい東北地方(▲5.30%)と、火力発電比率が高く、エネルギー多消費型産業の比率が高い中国地方(▲5.79%)では、大幅な落ち込みが予想される。一国で同じエネルギー政策、温暖化政策を行うとしても、地域によって異なる影響を及ぼすことには留意する必要がある。

表 10 主要指標のシナリオ別比較

(BAU対比%、fuel輸入量は億円)

項目	シナリオ	北海道	東北	関東	中部	近畿	中国	四国	九州・沖縄	全国
GDP	排出規制シナリオ	▲1.90	▲1.95	▲1.33	▲1.99	▲1.46	▲2.96	▲2.12	▲1.86	▲1.66
	原子力停止シナリオ	▲0.33	▲1.26	▲0.26	0.01	▲0.84	▲0.05	▲0.33	▲0.50	▲0.40
	原子力停止+排出規制シナリオ	▲4.30	▲5.30	▲3.21	▲4.11	▲4.13	▲5.79	▲4.80	▲4.52	▲3.96
電力価格	排出規制シナリオ	116.50	115.46	111.50	140.05	98.54	118.06	141.42	117.77	117.01
	原子力停止シナリオ	38.51	13.43	29.05	2.28	21.45	▲2.18	▲1.76	19.64	17.49
	原子力停止+排出規制シナリオ	278.98	321.47	281.75	291.47	310.57	258.79	332.88	300.97	296.39
CO2 排出量	排出規制シナリオ	▲33.76	▲37.36	▲31.22	▲32.43	▲34.38	▲37.85	▲35.42	▲37.24	▲33.95
	原子力停止シナリオ	5.84	42.77	7.51	2.20	31.13	5.42	18.31	14.97	13.60
	原子力停止+排出規制シナリオ	▲37.71	▲20.79	▲32.96	▲42.04	▲22.67	▲45.68	▲34.90	▲36.06	▲33.95
地域内 生産額	排出規制シナリオ	▲3.23	▲3.07	▲2.33	▲3.33	▲2.55	▲6.27	▲3.76	▲3.89	▲3.01
	原子力停止シナリオ	▲0.43	▲0.49	▲0.26	0.19	▲0.46	0.32	0.14	▲0.26	▲0.20
	原子力停止+排出規制シナリオ	▲5.62	▲5.85	▲4.13	▲5.49	▲4.94	▲10.03	▲6.45	▲6.77	▲5.28
fuel 輸入量	BAU	548.2	552.9	4511.7	1764.0	1621.9	1917.7	592.4	815.7	12324.5
	排出規制シナリオ	417.9	359.8	3422.1	1259.3	1202.6	1450.9	453.7	548.7	9115.1
	原子力停止シナリオ	570.0	789.9	4712.0	1805.7	1908.7	1983.1	642.5	931.1	13343.0
	原子力停止+排出規制シナリオ	398.1	452.8	3212.8	1089.6	1235.1	1318.5	439.3	541.8	8688.0

## 4 まとめ

本論文では、地域間 CGE モデルを使って、1) CO<sub>2</sub> 排出の削減制約、2) 原子力発電全停止、3) 原子力発電が停止した状態での CO<sub>2</sub> 削減制約、の 3 つのシミュレーションを行った。

試算の結果、1990 年比 25%削減の排出規制は全国で GDP を▲1.7%引き下げ、火力発電への依存度の高い中国地方 (▲3.0%) で影響が大きく、原子力発電の停止は全国で GDP を▲0.4%引き下げ、原子力発電への依存度が高い東北地方 (▲1.3%) で影響が大きいことが判明した。また、原子力発電全停止下での温暖化対策は、原子力発電停止により増加した CO<sub>2</sub> を引き下げなければならないため、全国で GDP を▲4.0%引き下げ、東北地方 (▲5.3%) と中国地方 (▲5.8%) では 5%を超える影響が生じることが確認された。

今回の分析からは、地域の電源構成、産業構造と言った特色の違いによってエネルギー政策、温暖化対策の影響度合いが異なることが示されており、脱原発依存と温暖化対策の両立のためには、地域の視点をより重視した政策立案が重要であることが確認された。

今後の課題としては、本論文のモデルは温暖化対策による地域間の影響の違いを分析することが主眼であり、比較静学のモデルを採用した。モデルの拡張としては、1) 完全動学モデルの開発、2) エネルギー税制、地方交付税などの既存税制やトランスファーのモデル化、3) 2) に則した排出権収入 (環境税収) の還付ルールの分析、4) モデルの経常収支一定の仮定の緩和が挙げられる。

1) 完全動学のモデルであれば、環境税による法人税の代替などの税制の企業行動の変化を扱うことが可能となる。2) 既存税制のモデルへの組み込みにより、環境税を導入するとともに法人税を廃止した際の産業および地域経済へ及ぼす影響などが分析可能となる。3) 排出権収入 (環境税収) の還付方法についても、地方交付税の代わりにエネルギー多消費型産業が多く立地する地域へ制度導入当初は経過措置として影響を緩和する補助金の支給をモデルに組み込むことなどにより、より現実の政策に近いケースを検討することが可能となる。4) 今回のモデルで扱った原子力発電の停止のように代替的にエネルギー財の輸入が拡大する状況では、経常収支一定の仮定を満たすようにモデル内で輸出が拡大するという調整を生じてしまう。そのため経済へのマイナスの影響を過小評価する可能性がある。為替レートなどを与えた上で経常収支は変動可能なようにモデルの制約を変更することで、経済への影響をより適切に捉えられる可能性がある。これらについては今後の課題とした。

## 付録 A 地域別発電量の推計

温室効果ガス削減の影響を地域別に分析するに当たって、電力、とりわけ火力発電は CO<sub>2</sub> の排出量が多いため重要である。排出制約を課すと、石油や石炭の価格が上昇し、その分、電力価格に転嫁される。原子力発電の場合、CO<sub>2</sub> を排出しないので排出制約の影響を受けず電力価格は変わらない。本来であれば、地域間表に電力の内訳として、火力、原子力、水力の中間投入量や生産量が利用できることが望ましい。しかし、電力の内訳は地域間表には記載されていないため、電源構成を推計し、火力発電比率で地域間表の電力データを分割した。各電力会社は都道府県別の発電量を公表していないため、有価証券報告書などの発電所別の定格出力<sup>32</sup>から独自に発電量を推計し地域データに集計した。尚、地域間表の実績値は 05 暦年であるが、有価証券報告書のデータは 05 年度のデータで時期にずれが生じる点に注意を要する。

### A.1 定格出力の集計

2005 年度時点における発電所ごとの定格出力を集計する際には日本国内にある一般電気事業者 10 社（北海道電力、東北電力、東京電力、北陸電力、関西電力、中部電力、中国電力、四国電力、九州電力、沖縄電力）及び卸電気事業者 2 社（電源開発、日本原子力発電）が 2006 年に発行した 05 年度の「有価証券報告書」内に記載される「主要な発電所一覧」を利用した。

また、有価証券報告書には一定規模の定格出力を持つ発電所でなければ記載されないため、未記載の小規模な水力発電所に関しては社団法人電力土木技術協会 HP 内の「水力発電所データベース」を利用した。

「有価証券報告書」などを用いて各発電所の定格出力量を独自に集計した結果と有価証券報告書に記載されている定格出力の総和には若干の誤差が生じる。水力発電において 0～1.5%、火力発電において 0～2.1%の誤差がある。これには小規模発電所を完全に網羅されていないためと考えられる。例えば、離島では島内に主に重油を使用する内燃力発電所が設置されているケースが散見されるが、こうした発電所は規模が非常に小さく、データが十分でないため、有価証券報告書の集計値と完全に一致しない。また、離島ではなくとも小規模な汽力発電所なども一部、捕捉されていないとみられる。

北海道、四国、九州では誤差が生じない。モデルで設定している地域区分と、電力事業者の生産地域、供給地域が一致しているためである。一般電気事業者及び卸電気事業者の有価証券報告書に記載されている総和をそのまま地域の総和として計上できる。本州においてはそれが成り立たないため、誤差が生じる。

---

<sup>32</sup> 原子力発電以外は、発電所別の発電量も公表されていない。



## A.2 発電量の集計

公表されていない発電所別の発電量は、

$$\text{発電量} = \text{定格出力} \times \text{設備利用率} \quad (3)$$

から求められ、定格出力と設備利用率の値が必要である。定格出力とは連続運転できる最大の出力であり、各発電機の値が決まっている。また、設備利用率とはある期間において実際に作り出した電力量と、その期間休まずフルパワーで運転したと仮定したときに得られる電力量（定格出力とその期間の時間との掛け算）との百分率比である。設備利用率の発電所別のデータが得られないため、同一の電力事業者の発電所は同一の設備利用率であると仮定している。

定格出力に関しては先に集計したデータを使用し、火力発電、水力発電の設備利用率については資源エネルギー庁で公開されている電力統計を利用した。原子力発電所は、発電所別に公表されている発電量を用いた。また、資源エネルギー庁の統計には一般電気事業者のデータのみ記載されているため、卸電気事業者 2 社の電源開発及び日本原子力発電については別途算出した。

設備利用率は以下の式で表せる。

$$\begin{aligned} & \text{年間の設備利用率 (\%)} \\ & = \left[ \text{年間の発電電力量 (kwh、実績値)} \div (\text{定格出力 (kw)} \times 365 \text{ 日} \times 24 \text{ 時間}) \right] \times 100 \end{aligned} \quad (4)$$

この算出式を用い、電源発電の水力発電所及び火力発電所の設備利用率はそれぞれ 13.6%、84.2%と求めた。同様に日本原子力発電の原子力発電所は 77.5%である。

定格出力と設備利用率を用い、以下のように各発電所の年間発電量を求める。

$$\text{発電量 (kwh)} = \text{定格出力 (kw)} \times 365 \text{ 日} \times 24 \text{ 時間} \times \text{設備利用率} \quad (5)$$

水力発電に関しては、上記の方法でそのまま当てはめて集計した結果と、有価証券報告書の集計値との乖離は大きくなる。この乖離は渇水期と豊水期の取水量の相違や揚水式に見られる夜間発電の停止が原因となり、引き起こされると考えられる。これらを調整するために電気事業者ごとに乖離がゼロになるように調整係数を求め乗じた。この場合でも設備利用率と同様に、地域に再区分する際には所属する電気事業者の調整係数を優先させることとする。

電気事業者ごとの調整係数は以下のように算出している。

$$\text{調整係数} = \frac{\text{水力発電による発電量（電気事業連合会 HP 統計の記載値）}}{\text{（定格出力} \times 365 \text{ 日} \times 24 \text{ 時間} \times \text{設備利用率）}} \quad (6)$$

したがって、水力発電における発電電力量（kwh）を表す式は以下のようになる。

$$\text{発電量(kwh)} = \text{定格出力（kw）} \times 365 \text{ 日} \times 24 \text{ 時間} \times \text{設備利用率} \times \text{調整係数} \quad (7)$$

以上のように求めた発電量を表 11 にまとめた。

表 11 地域別発電量（万 Kw、2005 年度）

地域	火力発電	水力発電	原子力発電	計
北海道	16,604.4	3,609.4	8,879.8	29093.7
東北	53,461.8	10,677.4	59,668.1	123807.3
関東	160,278.1	19,184.0	84,559.6	264021.6
中部	103,943.2	17,578.1	4,688.5	126209.8
近畿	47,548.4	10,721.9	76,868.9	135139.2
中国	44,638.0	3,224.3	9,297.1	57159.3
四国	28,241.4	1,940.1	15,210.3	45391.8
九州・沖縄	58,538.1	3,271.6	39,990.7	101800.5

（資料）電力会社別「有価証券報告書」、電力土木技術協会「水力発電所データベース」などをもとに独自に推計

## 参考文献

日本経済研究センター（2010）「温暖化対策、寒冷地ほど影響大と限らず―産業構造・電源立地で明暗、中国地方が最もマイナスに」

<http://www.jcer.or.jp/environment/pdf/rep101125.pdf>

白井大地・武田史郎・落合勝昭（2011）「地域間 CGE モデルによる環境政策の影響評価」、『日本における環境政策と経済の関係を統合的に分析・評価するための経済モデルの作成と政策評価』（2010 年度環境経済の政策研究、環境省受託）、第 4 章

日本経済研究センター（2011）「第 37 回改訂中期経済予測」

<http://www.jcer.or.jp/research/middle/detail4188.html>

日本エネルギー経済研究所（2011）「原子力発電の再稼働の有無に関する 2012 年度までの電力需給分析」

<http://eneken.ieej.or.jp/data/3880.pdf>

山崎雅人・落合勝昭（2011）「東日本大震災および関東地方における電力制約の経済影響―日本の多地域 CGE（応用一般均衡）モデルによる分析―」JCER Discussion Paper No.131

<http://www.jcer.or.jp/report/discussion/detail4197.html>

小林辰男、落合勝昭、舘祐太（2011）「電力不足による産業構造変化、マイナス影響を緩和―経常赤字避け、機械産業へシフト」日本経済研究センター

[http://www.jcer.or.jp/policy/pdf/pe\(JCER20110926\).pdf](http://www.jcer.or.jp/policy/pdf/pe(JCER20110926).pdf)

舘祐太・落合勝昭（2011）「原子力発電全停止による地域・産業別影響の試算―火力代替可能な中部・中国では影響軽微も、東北地方では打撃大きく―」JCER Discussion Paper No.132

<http://www.jcer.or.jp/report/discussion/detail4226.html>



## 6章 環境政策を評価するためのマクロ計量経済モデル

### 要旨

本研究で構築したマクロ計量モデルは、エネルギー・バランス表をベースに、現行の主なエネルギー・環境課税を組み込んだところに特長がある。当初は一次エネルギーベースのみだったエネルギー利用の把握を、転換部門と最終消費（産業、民生、運輸）部門にも広げ、合わせて関連税制を現行の石油石炭税のような川上（輸入）段階だけでなく、ガソリン・軽油課税や電源促進税のような川中・川下段階についても織り込んだ。CO<sub>2</sub>排出量は、部門別にエネルギー・バランス表とインベトリオフィス公表値を対応付け、モデル内に組み込んだ。原子力発電所の稼働停止や再生エネルギーの全量買取制度など、足元で生じている変化についても、部分的な評価ができるよう工夫を加えた。

2030年までのCO<sub>2</sub>排出量とエネルギー需要見通し（ベースライン）を設定した上で、炭素税と既存税でエネルギー需要などに及ぼす影響がどう異なるか、原発の停止が火力発電への代替を通じ電力料金の引き上げにつながる場合、エネルギー需要にどのような影響が及ぶか、などを試算した。原発停止は同時に太陽光・風力など再生エネルギーの導入を促す。これらの導入量を外生的に設定した上で、フィードインタリフを通じて既存の電気料金が上昇する側面についてもモデルに織り込んだ。

担当者 猿山純夫、佐倉 環、小林辰男

別添資料 モデルの方程式リスト一覧

## 1 分析のねらい

環境政策分析にマクロ計量経済モデルを生かすため、本研究では以下の2点を目指した。(1)エネルギー需要やCO<sub>2</sub>排出量を部門別に把握すること、(2)環境・エネルギー税を川上(輸入)段階に加え、川中・川下段階についても織り込み、既存税を含めた税の改廃効果を分析すること——の2点である。本研究の土台となった以前のJCER環境経済モデルが一次エネルギーベースで構築されており、課税効果については川上型炭素税しか扱えなかった反省に立っている。

マクロ計量経済モデルは、基礎データとして産業連関表に制約されることがなく、時系列データがあればモデルは比較的自由に組むことができる。本研究では、「エネルギー・バランス表」(資源エネルギー庁)を用いてモデルの拡充を図った。同表を用いると、エネルギーの最終消費を満たすために、転換部門(発電や石油精製など)を介して一次供給を主として輸入に仰ぐという、エネルギー利用の3層構造(最終消費、転換、一次供給)を捉えることができる。ここに、輸入→卸売→小売のような価格の転嫁構造も組み込み、その過程で課されるガソリン・軽油課税や電源促進税なども絡ませる。これによって、各層・各部門でのエネルギー需要を描きつつ、環境政策分析に生かすことが可能となる。エネルギー・バランス表は、温室効果ガスの測定の精度向上のため、2001年度以降、統計の改定がなされた。同表を用いることで、CO<sub>2</sub>排出量が捉えやすくなる利点もある。

2012年度税制改正では、石油石炭税を小幅拡充する形で環境税(地球温暖化対策のための税)の導入が盛り込まれた<sup>33</sup>。同税の税率はガソリン価格換算で1リットル当たり1円未満と低く、実質的な影響は小さいとみられるが、今後税率を高めようとするれば、既に多くの税がかかっている燃料・自動車課税との関係を整理する必要がでてくると考えられる。そのような場合に、本モデルが生かせるようになるだろう。

税だけでなく、本研究では東日本大震災による原子力発電所の稼働停止の影響についても検討した。電力需要を賄うには化石燃料を用いた火力発電への代替が必要になる。それが燃料費の増加を通じて電気料金引き上げにつながれば、各部門のエネルギー選択に影響を与えることも予想される。そうした側面についても1つの試算を示した。

同時に、原発停止は太陽光・風力など再生エネルギーの導入を促す。本モデルには、これらの導入量を外生的に設定した上で、全量買取制度(フィードインタリフ)を通じて既存の電気料金に付加料金(サーチャージ)がかかる仕組みを織り込んだ。

## 2 JCER環境経済マクロモデルの概要

本モデルは、2008年度の中期目標検討委員会で用いたマクロ計量モデルが土台になっている(日本経済研究センター、2009)。応用一般均衡(CGE)モデルと異なり需給ギャッ

<sup>33</sup> 11年度の実施が国会審議の結果、見送りとなったため、12年度改正に再度盛り込まれた。

プの存在を前提に経済の推移を描くところに特徴がある。エネルギーブロックでは、マクロブロックで決まるGDP（国内総生産）などの経済活動量にエネルギー需要が規定される一方、原油価格や環境・エネルギー税による相対価格の変化も需要を左右する。その結果としてCO<sub>2</sub>（二酸化炭素）排出量の変動する（図1）。

## 2.1 モデルの基本的な構造

モデルの基本的な特徴や考え方は以下のとおりである。エネルギーブロックについては後述する。

①構造・用途——需要サイドを中核とする標準的なマクロ計量経済モデルである。同種のモデルは、政府や民間の調査機関で、経済見通しの作成や景気対策の効果試算などに利用されている。

②GDPと需給ギャップ——GDPは、家計の消費や企業の設備投資、政府支出、輸出入などを合わせたものとして決まる（通常の恒等式）。別途、日本経済全体の供給能力（潜在GDP）を資本、労働、（+エネルギー）を基本要素とする生産関数で推計しており、両者の差が需給（GDP）ギャップになる（CGEモデルとの違い）。

③規模——方程式数は449本、うちマクロ関係が167本、エネルギー関係が282本である。

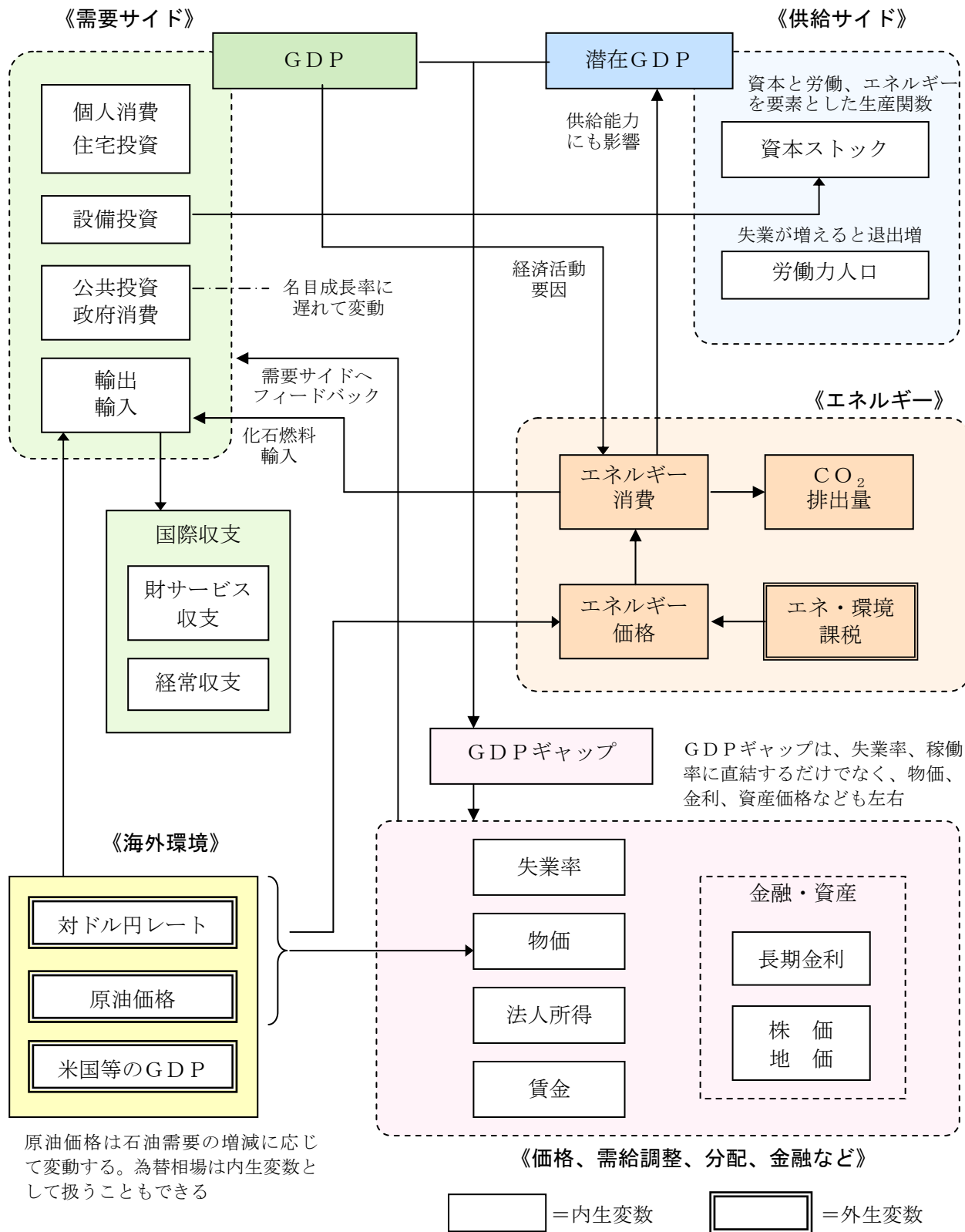
④方程式の推計——原則として1980年代以降のデータでパラメーターを計測している。利用データのうち、GDP統計は2005年基準値が2012年1月末に公表されたが、今回は時間的制約により採用を見送った。ただし、実質と名目のGDP、同デフレーターとの3系列については、旧基準とのブリッジ式を設けることで、モデルから出力できるようにした。また、方程式の推計期間は、08年に起きたリーマンショックで前例のない大きさの変動が生じている場合があるため、07年度までにとどめている場合がある。

⑤不均衡からの調整——②のように、マクロモデルでは需給ギャップ（例えば失業）が常に存在する。ギャップがあると価格や賃金、雇用、金利などに調整圧力がかかるが、CGEモデルと異なり調整は期中には完了せず、実測したパラメーター（経験則）に基づいて徐々に進む。

⑥データに大きく依存——基礎となるデータセットを更新すると、式の再推計や説明変数の選択によって、式のパラメーターとシミュレーション結果が変化する。厳密には1年データを追加するごとに、モデルの挙動は変化していくことに留意が必要である。

⑦解の「経路」——マクロモデルは、基本的に「動学」のモデルであり、シミュレーション結果は時間とともに変化していく。調整経路としては、需給ギャップから価格へという経路のほか、労働分配率から賃金、雇用へ、企業の債務比率（バランスシート）から設備投資、賃金へなど、様々なものが存在し得る。このため、シミュレーション解が描く「経路」に注意する必要がある。10年目といった特定の断面だけに注目して結果を判断するのは危険な場合がある。

図1. モデルの構造（主な因果関係のみ）



原油価格は石油需要の増減に応じて変動する。為替相場は内生変数として扱うこともできる



## 2.2 エネルギー・バランス表に沿ったモデル化

エネルギーブロックの構築にはエネルギー・バランス表を用いている。同表を用いたモデル化は、稲田・下田（2010）から着想を得た。

エネルギー・バランス表は、資源エネルギー庁が公表する統計で、川上（主に輸入）から転換、最終需要まで各段階のエネルギー消費を記述し、エネルギーを使う「部門」と、そこで利用する「燃料」の組み合わせを行列形式で表記したものである（図2）。

同表を縦方向に見ると、川上から転換部門を経て川下へというエネルギーの流れを読み取ることができ、横方向には各部門内での燃料選択を読み取ることができる。

各セルには同部門で消費したエネルギー（ここでは熱量）が記載されるが、1つ注意を要するのは、転換部門である。同部門で生まれたエネルギーはプラス、投入・消費したエネルギーをマイナスで表記する。例えば「事業用発電」部門についてみると（図2の下）、石炭から原子力、その他までの燃料投入がマイナス、産出した「電力計」（最終需要部門に供給したエネルギー）がプラス（図2では78.9Mtoe）、さらに一番右端の数値（同、-112.4Mtoe）が転換ロスになる。これらの数値から、同部門での転換効率（投入した一次エネルギーに対する産出エネルギー）は約41%という読み取りもできる。

エネルギー・バランス表を内包する「総合エネルギー統計」には2001年度に大きな改定が加えられた。それまで、主に供給側（電力・ガスや石油精製など）からエネルギー利用を把握していたのを改め、消費側統計（石油消費動態統計、家計調査、自動車輸送統計など）を算定基礎として採用した。供給側統計は総量の捕捉率は高いものの、販売先がエネルギー財をどのように利用しているのかを十分明らかにできなかった。京都議定書への参加で、温室効果ガス排出の測定精度を高める必要があったことが、この改定の背景にある。このほか、改定では、産業内エネルギー転換（自家発電、産業用蒸気）や石油製品の非エネルギー利用が明確にされた。

ただ、新基準のエネルギー・バランス表は1990年度までしか遡ることができないため、本研究では、必要に応じて日本エネルギー経済研究所が継続公表する旧基準値で、それ以前を接続して推計に用いている。

同表に基づくエネルギーブロックは、大きく3つの因果関係で規定される。1つは、エネルギーの最終消費がまずあり、それを受けて転換部門が石油製品や電力を供給、その所要量を輸入に求めるという川下が川上をボトムアップ的に規定する流れである。もう1つは、国際市場で決まる原油などの化石燃料価格がコストプッシュ的に国内のエネルギー価格に響いてくる川上から川下への流れである。その過程では、様々な課税が賦課されてくる。さらに、3つめとして、各利用部門では、割安な燃料を多目に使うという「裁定」的な燃料選択（横方向の代替関係）の関係が織り込まれている。

本モデルでは、エネルギー・バランス表上の「転換」「産業」「家庭」「業務」「運輸」各部門のエネルギー需要をベースに、インベトリオフィス公表のCO<sub>2</sub>排出量を導いた。この

際、インベトリオフィス側では、自家発電と産業用蒸気を「産業」として扱っていることに注意が必要である。また、本モデルのCO<sub>2</sub>排出量はいわゆる「直接排出」ベースである。電力など転換部門での排出量を、「家庭」など最終消費部門の排出量に振り分ける「間接排出」ベースは、転換部門のエネルギー消費をより詳細に把握する必要があり、今回は見送った。

本モデルでのエネルギー・バランス表利用の特徴を整理したのが、BOX 1 である。

#### <BOX 1> 本モデルでのエネルギー・バランス表の利用

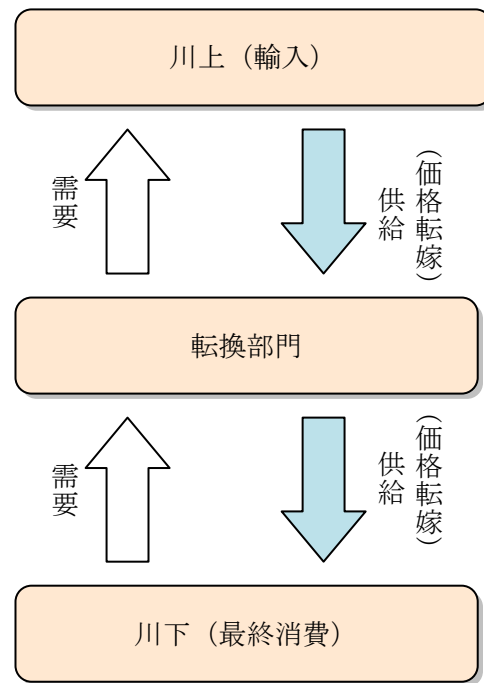
- 原則として「総合エネルギー統計」（資源エネルギー庁）ベースを採用
- 「総合エネルギー統計」は2001年度に大きな改訂
- 旧統計は主に供給側（電力・ガス・石油精製など）から把握  
——総量の捕捉率は高いが、販売先の利用実態が明らかにできず
- 新統計の特徴
  - （1）石油消費動態統計、家計調査、自動車輸送統計など消費側統計を算定基礎に
  - （2）産業内エネルギー転換（自家発電、産業用蒸気）の整備  
「産業用蒸気」＝蒸気ボイラーやコージェネからの回収蒸気利用（発電）
  - （3）非エネルギー利用（ナフサなど）の明確化
  - （4）温室効果ガス測定の精度向上（政策目的としてはこれが大）
- エネ・バラ表を「転換」「産業」「家庭」「業務」「運輸」に仕分け  
——インベトリオフィス公表のCO<sub>2</sub>排出量と整合させる  
（自家発電、産業用蒸気は「産業」扱い）  
——直接排出ベースのCO<sub>2</sub>排出量と接続  
（間接排出は転換部門の仕分けが難しい）
- 新統計は1990年度以降のデータが利用可  
——今回は、必要に応じて旧統計で接続・遡及し、推計期間を長めに  
（旧統計は日本エネルギー経済研究所が継続公表）
- 再生可能エネルギー  
——「総合エネルギー統計」では1000kw未満の自家用発電は含まれず  
——太陽光発電の「予測値」については、枠外で足し上げた

図2. エネルギーブロックの構造——エネルギー・バランス表に即してモデル化

(単位：Mtoe)

エネルギーバランス表 (2009年度)			燃料・エネルギー源							合計
			石炭	石油	ガス	水力	原子力	その他	電力計	
			CC	PT	GS	HD	NC	OT	EL	
一次エネルギー総供給	DT	105.3	234.9	90.3	15.8	57.6	15.6		519.5	
輸出・在庫変動	EJ	0.5	24.8	-4.7					20.5	
一次エネルギー国内供給計	DD	104.8	210.1	95.0	15.8	57.6	15.6		499.0	
事業者・部門 エネルギー 転換部門	事業用発電	EP	-51.3	-11.8	-55.2	-13.9	-57.6	-1.6	78.9	-112.4
	自家用発電	ES	-8.3	-6.9	-2.4	-1.9			10.5	-14.8
	産業用蒸気	IS	-5.7	-6.4	-2.0				10.4	-3.6
	地域熱供給	HP		0.0	-0.4				0.4	-0.1
	一般ガス製造	GP		-1.1	1.0					-0.1
	石炭製品製造	KP	-1.5	-0.4						-1.9
	石油製品製造	RE		2.2	0.1					-1.2
	他転換・品種振替	OC	0.4	-0.5	0.5					0.4
	自家消費・送配損失	LO	-3.0	-6.6	-3.5				-0.1	-9.1
	他転換増減	OI		-0.6						-0.6
	消費在庫変動	SC	2.2	0.2	0.3				0.0	2.7
統計誤差	SD	1.3	0.3	-0.3				0.0	1.3	
最終エネルギー消費計	DF	36.2	178.0	33.8				15.5	80.2	343.8
産業	ID	35.6	65.3	6.5				14.5	25.0	147.0
民生	CV	0.5	33.1	27.3				1.0	53.6	115.5
家庭	HH		13.5	10.0				0.5	24.6	48.7
業務他	BZ	0.5	19.5	17.3				0.5	29.0	66.9
運輸	TR		79.6						1.7	81.3
旅客	PS		49.2						1.6	50.8
貨物	FR		30.4						0.1	30.5

転換部門では  
生まれたエネルギーは+  
投入・消費したエネは-  
で表示



● 転換部門の見方 (例)

		石炭	石油	ガス	水力	原子力	その他	電力計	合計
事業用発電	EP	-51.3	-11.8	-55.2	-13.9	-57.6	-1.6	78.9	-112.4

一次エネルギー投入 =  $\boxed{-191.4}$  ③

産出エネ ①      ↑      ② 転換ロス

転換効率 =  $\text{①} / (-\text{③}) \times 100 = \boxed{41.2\%}$

図3. 既存エネルギー課税を組み込み

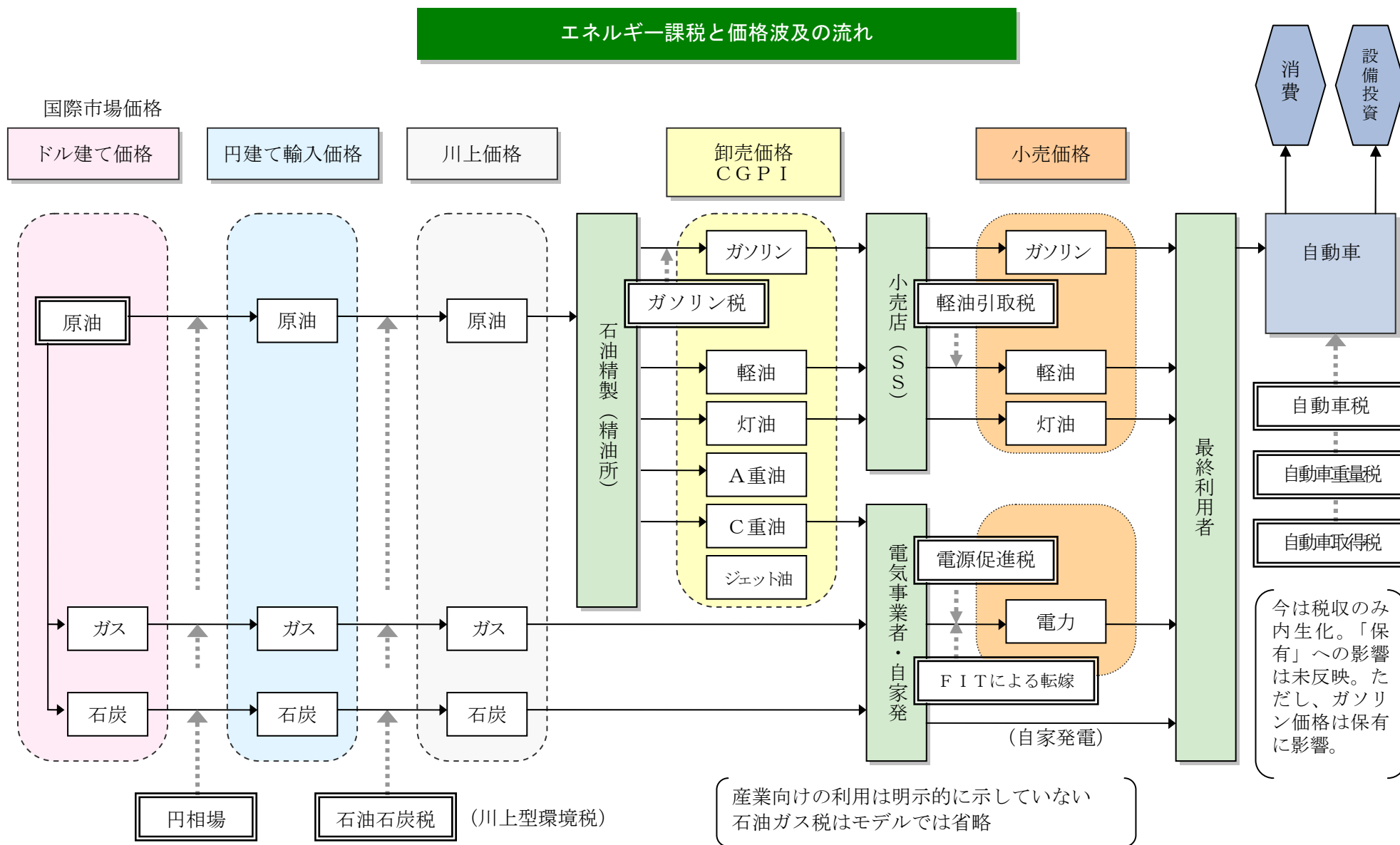


表 1. 現行の主なエネルギー・自動車課税

		課税対象	減税、免税措置	税率	納める先	税収 09年度 兆円	本 モデル
燃料・エネルギー	石油石炭税 (原油・石炭)	原油、輸入石油製品、石炭に対して課税。 採取者または輸入者が納税義務を負う。	ナフサ、農林漁業用A重油、アンモニア等製造用輸入LPG、鉄鋼・セメント製造用輸入石炭、アスファルトーは免税または還付	2,040円/k1 700円/t(石炭)	国	0.5	○
	石油石炭税 (ガス)	輸入LPG、国産天然ガス、輸入LNGに対して課税。 採取者または輸入者が納税義務を負う。		1,080円/k1	国		
	ガソリン税 揮発油税 地方道路税	ガソリンの製造者(精油所)または輸入者が納税義務を負う。	ガソリン：工業用は免税 灯油：燃料用・工業用とも免税	53,800円/k1 うち5200円が 地方道路税	国	3.0	○
	軽油引取税	主にガソリンスタンドが納税義務を負う。 元売業者や特約業者が軽油の購入者から代金と一緒に税金を預かり、1ヵ月分をまとめて納税。	工業用は免税	32,100円/k1	都道府県	0.9	○
	石油ガス税	自動車(タクシー・ハイヤー)用の石油ガス(LPガス)に課税。納税義務者はスタンド業者、または課税石油ガスを保税地域から引き取る者。		9,800円/k1	国	0.02	
	航空機燃料税	航空機に積み込まれた航空機燃料に対して課税。 納税者は航空機の所有者又は使用者。		26,000円/k1	国	0.1	
	電源開発促進税	一般電気事業者の販売電気に対して課税。		375円/1,000kWh	国	0.3	○
自動車	自動車重量税	車検の際に課税。納税義務者は自動車検査証の交付等を受ける人、及び車両番号の指定を受ける人。支払いは有効期間分を先払い。	エコカー減税：09年4月から12年4月1日までに、新車登録及び初回の継続車検を受ける場合、期間内1回のみ。	0.5t/12,600円 減税前、車検2年の乗用車の場合	国	1.0	税収のみ
	自動車税	自動車の保有にかかる税。	エコカー減税：09年4月から12年3月末までの新車登録車が対象(購入の翌年度に適用)。	排気量に応じ課税	都道府県	1.7	税収のみ
	自動車取得税	軽自動車及び小型自動車と、普通自動車の取得に対して課される。二輪車、特殊車両には課税されない。	エコカー減税：09年4月から12年3月末までの間に、新車登録・届出した場合。	取得価額の5% 自家用車の場合	都道府県	0.2	
	軽自動車税	軽自動車等の所有者に対して課税。		7,200円/年 (自家用車)	市町村	0.2	

※税収データは、財務省「財政金融統計月報712号」2011年8月号より(租税特集)

○は価格面への波及など二次的効果を加味しているもの。「税収のみ」は税収だけが内生化されていることを示す。

表2. エネルギー税と価格データとの対応

			RVAT	TXFSL_OIL	TXFSL_GAS	TXGSL	TXLIT	TXPG	TXJET	TXELC	PFIT_ADD	備考
			消費税	石油 石炭税 (原油)	石油 石炭税 (ガス)	ガソリン税 (揮発油+ 地方道路)	軽油 引取税	石油 ガス税	航空機 燃料税	電源 開発 促進税	全量買取 サー チャージ	
日銀 企業物価指数 (基準年100)	ガソリン	CGPIGSL	○	○		○						工業用はガソリン税免税
	灯油	CGPIKER	○	○								灯油は燃料用・工業用ともガソリン税免税
	軽油	CGPILIT	○	○			×					
	A重油	CGPIHA	○	○								
	C重油	CGPIHC	○	○								
	ジェット燃料	CGPIJET	○	○					×			
	LPガス	CGPILPG	○		○			×				石油ガス税は含まれず(日銀に確認)
	電力	CGPIELC	○							○	○	
EDMC 卸売価格 (物量単位ベース)	ガソリン	PWS_GSL	○	○		○						
	灯油	PWS_KER	×	○								
	軽油	PWS_LIT	○	○			○					軽油引取税がかかるのは自動車用のみ
	A重油	PWS_HA	○	○								
	C重油	PWS_HC	○	○								
	ジェット燃料	なし	-	-	-	-	-	-	-	-	-	卸売価格なし
	LPガス	PWS_LPG	○		○			×				石油情報センターの卸売価格は「小売店所有の容器で小売店店頭を持ち届ける場合の価格」のため、このデータは家庭用。交通用ではないため、石油ガス税は含まない。
	電灯総合単価 (10社)	PELC	○							○	○	

○=含む、×=含まない。石油ガス税、航空機燃料税は本モデルに織り込まず。  
EDMCは日本エネルギー経済研究所のデータベース

## 2.3 エネルギー・自動車課税

本モデルには、既存の主なエネルギー課税を織り込んでいる。エネルギー関係税は大別すると、燃料や電気など狭義のエネルギーにかかる税と、それを利用する自動車の車体にかかる税に分かれる（表1）。

燃料・エネルギー税は、課税段階に注目すると、化石燃料については、(1)川上（輸入）段階でかかる石油石炭税、(2)精製・流通段階でかかるガソリン税や軽油引取税<sup>34</sup>、石油ガス税、(3)ユーザー段階でかかる航空機燃料税——の3種類に分けることができる。さらに、電気については、電源開発促進税が電気事業者の販売電気にかかっている。今後始まるフィードインタリフによる付加料金（サーチャージ）も電気事業者の販売電気に上乗せされる。税収規模としては、ガソリン税と軽油引取税の比重が大きい。

自動車の車体にかかる税は、初期登録・車検時に課税される自動車重量税、保有に対して課税される自動車税や軽自動車税、購入時にかかる自動車取得税などが、重層的にかかっている。税収規模は車体課税だけで3兆円強、燃料・エネルギー課税も合わせると8兆円に達する。

各価格データの概念や税の包含関係、さらにエネルギー課税と価格波及の流れ（イメージ）を図3と表2で示した。

## 2.4 エネルギー課税の組み込み

エネルギー価格を把握するデータとしては企業物価指数や消費者物価指数があるが、「指数」は2005年=100といった形で表示されるため、1リットル当たりX円といった「税率」を直接織り込むことができない。そのため今回は、まず物量単位の価格データ（ここでは、日本エネルギー研究所の卸売価格データ）を用いて、同卸売価格の推計式に税率を明示的に導入することを試みた。次にその卸売価格を用いて、企業物価や消費者物価指数を推計するという手順を踏んでいる。卸売価格は例えば、次のような形で推計する。

<p>○卸売価格・ガソリン（円/KL）</p> $(200) \text{ EQPWS\_GSL } ( \text{ sample} = 1980 \text{ } 2008, \text{ obs} = 29 )$ $D(PWS\_GSL / (1 + RVAT / 100 * DVATCGPI / 100) - TXGSL * (1 - SWTGSL)) =$ $-226.0894$ $(-0.43)$ $+ 0.8790 * D(POIL)$ $(13.02)$ $R * R \text{ adj} = 0.858 \quad D.W. = 1.43 \quad S.E. = 2780.156$ <p>・・・消費税、ガソリン税抜き価格を推計。右辺の石油価格（川上価格）には石油石炭税が含まれている。SWTGSLを1とすると、ガソリン税を賦課しない形になる</p>
--

<sup>34</sup> ガソリンは精油所が国に収める税（国税）であるのに対し、同じ自動車燃料でも軽油引取税は地方税で小売店（ガソリンスタンド）が都道府県に収める税で課税段階が異なる。

左辺の PWS\_GSL がガソリンの卸売価格（キロリットル当たり円）である。概念上、ガソリン税 TXGSL（同、精油所で課税）と消費税（税率が RVAT、転嫁率が DVATCGPI）を含んでおり、ここでは左辺からそれらを除いた形に変換して推計している。右辺は原油の輸入価格（POIL）で、輸入段階で賦課される石油石炭税を含んでいる（本式に同税は表れない）。結果として、この式は、税抜き（消費税とガソリン税）の卸売価格が、石油石炭税転嫁後の原油輸入価格に連動するという形になっている。

上式で決まる卸売価格 PWS\_GSL を踏まえて、ガソリンの企業物価指数 CGPIGSL や、消費者物価指数 CPIGSL を決定する構造になっている。ガソリンについては、一度小売価格 PGS�（ガソリンスタンドでの販売価格、1リットル当たり円、次式）を經由して消費者物価指数を推計する。

○ガソリン小売価格（東京都）（円/ℓ）  
 (217) EQPGSL ( sample = 2000 2008, obs = 9)  
 PGS�=  
     17.2090  
     ( 8.48)  
   + 0.9790\*PWS\_GSL/1000  
     ( 51.95)  
  
 R\*R adj= 0.997   D.W. = 2.22   S.E. = 0.919

・・・ガソリンの卸売価格に連動する。ガソリン税（揮発油税と地方道路税）はすでに卸売段階で課税されているため（製油所からの移出時に製造業者に課税）、本式には同税は陽表的には現れない。小売価格は1リットル当たり、卸売価格は1キロリットル当たりの価格である

他の石油製品（灯油、軽油、重油）も同様に、卸売価格を起点に物価指数を推計している。

電力については一工夫必要である。物量ベースの価格で時系列データとして利用できるものが少ないためだ。エネ研の「エネルギー・経済統計要覧」では、小売価格として「電灯総合単価 10社平均価格」が利用可能だが、これはほぼ「家庭用」に相当しており、企業向けは単価がかなり異なる（安い）とみられる。電源開発促進税は電気事業者の販売電力に幅広くかかる税であるため、企業向け価格にも、同税を反映させる必要がある。

今回は、企業向け電力料金（電力価格、PELP）のデータを以下の方法で設定した。経済産業省・資源エネルギー庁が事業所を対象に調べている「電力需要調査」から、2009年の平均単価を取り出す（元は四半期調査）。これに、「国内企業物価指数・電力」を09年=1に変換したものを掛け合わせる。時系列的な変動は国内企業物価指数から借用、水準は「電力需要調査」に合わせるという考え方である。PELPの推計式は以下のようになる。家庭用の「電灯価格」PELCも同様の考え方で推計している。



○電力価格（円/kwh）

(195) EQPELP ( sample = 1990 2008, obs = 19)  
 $DLOG(PELP*(1+RVAT/100*DVATCGPI/100)-TXELC*(1-SWTXELC)/1000-PFIT\_ADD)=$   
 -0.0141  
 (-1.88)  
 + 1.1467\*@MOVAV(DLOG(YWH1), 3)  
 ( 2.30)  
 + 0.0585\*PDL01  
 ( 3.00)

R\*R adj= 0.286 D.W. = 2.42 S.E. = 0.028

Lag Distribution of DLOG(CGPI\_Z\_EP2)

lag	Coeff	t-Stat
( 0)	0.05013	( 3.00043)
( 1)	0.08355	( 3.00043)
( 2)	0.10026	( 3.00043)
( 3)	0.10026	( 3.00043)
( 4)	0.08355	( 3.00043)
( 5)	0.05013	( 3.00043)
Sum of Lags = 0.46788		

- ・・・消費税と電源開発促進税を除いた価格を推計。電気事業者の投入エネルギーコストの平均(CGPI\_Z\_EL2)と人件費(1人当たり雇用者報酬)に連動する。CGPI\_Z\_EL2は、水力・原子力による発電量も加味した平均コスト。SWTXELCを1とすると、電源税を賦課しない形になる。PFIT\_ADDはフィードインタリフによる転嫁分

推計式中のRVATは消費税、TXELCが電源開発促進税、PFIT\_ADDがフィードインタリフの付加料金(サーチャージ)を表す。PFIT\_ADDは、太陽光と風力発電の導入量を外生的に設定すると、買い取り電力量と買い取り単価の積として算出する買い取り額を、電気事業者の販売電力量で割ることで求める。

燃料の平均投入コストCGPI\_Z\_EP2は水力・原子力による発電量も加味した平均コストになっており、次式で定義される。

○事業用電気の平均エネルギー投入価格(原子力・水力込み) (05年=100)

(308) EQCGPI\_Z\_EP2  
 $CGPI\_Z\_EP2 = (PCOAL / @mean(PCOAL, "2005 2005")) * 100 * Z\_EP\_CC + CGPIPET2 * Z\_EP\_PT + CGPIGAS * Z\_EP\_GS) / (Z\_EP\_CC + Z\_EP\_PT + Z\_EP\_GS + Z\_EP\_HD + Z\_EP\_NC)$

- ・・・各エネルギーの価格を投入エネルギー量で加重平均、分母には原子力・水力を加味している

仮に原子力発電所が稼働停止に追い込まれると、上式で定義される電気事業者の投入費用が上昇、それが電力価格押し上げに働く構造になっている。

これらの定式化では、エネルギー税は原則として買い手に全額転嫁される想定をとっている点に留意が必要である。買い手側の価格弾力性が大きいと、実際にはフル転嫁が難しく、供給側が税抜き出荷価格を下げて対処する可能性もある。

## 2.5 自動車課税（車体課税）の組み込み

自動車の取得や保有にかかる税（車体課税）は、エネルギー税に比べると複雑である。燃料であれば1リットル当たりX円といった「税率」に課税情報が集約できるが、車体課税は車種や排気量によって税率が細かく定められており、一律に税率や税額を算出することが難しい。そこで本モデルでは、車体課税の税収（自動車税と自動車重量税の合計）を、走行距離を勘案してガソリン消費1リットル当たりに換算し、その負担が自動車の保有や走行距離に影響するという考え方をとった。

自動車の走行距離（VTRIP）と燃費（XKM\_L）から何リットルの燃料を消費したかが分かるため、自動車税と自動車重量税の税収合計（TICAR）をそれで割れば、車体課税がユーザーにとって1リットル当たりいくらに相当しているか（TICAR1）が分かる（次式）。ここでは、すべてガソリン換算で計算しており、軽油は捨象している。

○自動車車体課税・税収（自動車税+自動車重量税）（10億円）  
 (406) EQTICAR  

$$TICAR = (TLCAR + TCW) * (1 - SWTICAR)$$

・・・ここでは自動車税と自動車重量税の和として定義している。SWTICARを1にすると、同税を賦課しない

○自動車車体課税（自動車税+自動車重量税）・ガソリン1リットル当たり（円/L）  
 (398) EQTICAR1  

$$TICAR1 = TICAR / (VTRIP / XKM\_L)$$

・・・税収を消費したガソリン容量（走行距離/燃費）で割っている

この車体課税負担（TICAR1）が、自動車保有台数と走行距離に影響を与える（次式）。

○自動車保有台数・旅客（万台）  
 (367) EQKCAR\_PS (sample = 1985 2008, obs = 24)  

$$DLOG(KCAR\_PS/N) =$$

-0.0589  
 (-3.97)  
 + 0.0198\*@MOVAV((KLANDH+KSTOCKH+KDEPH)/GDPXT, 3)  
 (5.26)  
 -0.1190\*@MOVAV(DLOG((PGSL+TICAR1)/CPIOTH), 5)  
 (-2.84)  
 + 0.7528\*@MOVAV(DLOG(LEYED), 6)  
 (2.70)

R\*R adj= 0.870 D.W. = 1.37 S.E. = 0.006

・・・1人当たりの保有台数を推計。家計の資産や就業者数に応じて保有台数が増え、ガソリン価格が割高になると保有を抑えると考えている。ここでは、自動車の車体課税（自動車税+自動車重量税負担を走行距離を加味してガソリン1リットル当たりに換算したもの）が高くなると、車の保有を手控えると想定している

```

○自動車1台当たり走行キロ・旅客（キロ）
(368) EQVTRIP1_PS （ sample = 1988 2008, obs = 21）
DLOG(VTRIP1_PS)=
    -0.0091
      (-3.56)
    -0.1763*@MOVAV(DLOG((PGSL+TICAR1)/CPIOTH), 5)
      (-2.45)

R*R adj= 0.200   D.W. = 2.22   S.E. = 0.011

```

・・・ガソリンが割高になると走行量を減らす。活動量は有意にならず。ここでは、自動車の車体課税（自動車税＋自動車重量税負担を走行距離を加味してガソリン1リットル当たり換算したもの）が高くなると、車の利用を節約すると考えている

ここでは、「保有」も「走行」も、ともに「ガソリン価格＋車体課税」を価格シグナルとして動くとの想定をとっている。これはあくまで1つの便法である。実際には、車体課税は自動車ユーザーにとって固定費であり、走行段階ではユーザーの判断を左右しない可能性がある。逆に、保有判断にはガソリン価格より車体課税が響く可能性がある。

もう1つここで重要な点は、保有はモデル上「購入」を経由してマクロの最終需要につながっている点である。前掲図3（右端）で、矢印が消費や設備投資に流れているのはこのためである。自動車の最終需要は、2000年産業連関表によれば15.63兆円（購入者価格ベース）規模であり、自動車需要はマクロ経済にも大きな影響がある。後述するシミュレーションでも、この経路でGDPに影響が表れている<sup>35</sup>。

## 2.6 フィードインタリフ

全量買取制度に基づくフィードインタリフの仕組みを部分的に組み込んだ。太陽光・風力の累積導入量を外生的に与え、買い取り対象の設備量や買い取り価格などを導く。その上で、買い取り費用を電気事業者の販売電気に付加料金（サーチャージ）として転嫁する仕組みを組み込んだ。

現実には、様々なインセンティブの与え方によって、再生可能エネルギーの導入量が内生的に決まっていくはずだが、太陽光や風力発電など設備機器の価格がどの程度、低下していくかを予測するのが難しく、それに対して家計や新規事業者がどのように反応するかを推し量る実績データも乏しいため、導入量を先決する形のモデルとしている。

サーチャージの算定には、既存電源の発電コストに比べて再生エネルギーがどの程度割高かを弾く必要がある。既存電源の費用は「回避可能原価」と呼ばれる。同原価は概念的には「全電源平均可変費」とされ、現在ほぼ6円/kwhとされる。同原価は今後、化石燃料

<sup>35</sup> 日本の統計では、自動車の「台数」は把握できるものの、国民所得統計に即した自動車の「最終需要額」を時系列データとして取得することができない。このため、今回は5年ごとの接続産業連関表をベンチマークに「台数」で補間するような手法で、民間消費と設備投資のデータを仮に推計した。

価格が上昇に向かった場合、連動して上昇する可能性がある。このため、本モデルでは、同原価の算定にあたって各化石燃料価格の動きを反映させるようにした。本来はここに原子力発電も加味すべきであるが、原子力は事故処理や賠償費用、立地交付金といった多様な費用が考えられること、今後の稼働見通しが不透明なことから、算定基礎に加えなかった。

#### (太陽光とサーチャージ関連の方程式)

( 421 ) 太陽光発電・設備出力・新規導入量 ( 万 kW )

(421) EQK1\_PV  
 $K1\_PV = D(K\_PV)$

・・・最初に設備ストックを設定し、新規導入量はその差分として求める

( 423 ) F I Tによる買い取り価格・太陽光 ( 円/kwh )

(423) EQPFIT\_PV  
 $PFIT\_PV = PFIT\_PV(-1) * (K\_PV / K\_PV(-1))^{(-0.3219281)} * DUM12 + 42 * (1 - DUM12)$

・・・累積導入量 (K\_PV) に応じて習熟効果が働き、次第に低減する。低減率は導入量に対して弾性値 0.2 と想定 (指数に置き換えて表現)

( 425 ) F I T買い取り対象の設備・太陽光 ( 万 kW )

(425) EQKFIT\_PV  
 $KFIT\_PV = @MOVSUM(K1\_PV * DUM11, 10)$

・・・新規導入量の過去 10 年分の合計。DUM11 を掛けて 2011 年度以降の分に限っている

( 427 ) F I Tによる買い取り電力量・太陽光 ( GWh )

(427) EQELFIT\_PV  
 $ELFIT\_PV = KFIT\_PV * (365 * 24) * 0.12 / 10^5$

・・・買い取り対象の設備出力を年換算し稼働率 (0.12) を掛ける

( 429 ) F I Tによる買い取り電力量 ( GWh )

(429) EQELFIT  
 $ELFIT = ELFIT\_PV + ELFIT\_WD$

・・・太陽光と風力の和

( 430 ) F I Tによる買い取り額・太陽光 (回避可能原価を上回る分) ( 億円 )

(430) EQVFIT\_PV  
 $VFIT\_PV = ELFIT\_PV * (PFIT\_PV - PFIT\_BASE) * 10 * 0.6$

・・・買い取り電力量に (価格－回避可能原価) を掛けている。0.6 は「余剰」買い取りの比率を示す

( 432 ) F I Tによる買い取り額 (回避可能原価を上回る分) ( 億円 )

(432) EQVFIT  
 $VFIT = VFIT\_PV + VFIT\_WD$

・・・太陽光と風力の和

( 433 ) F I Tによる電気事業者販売電気の値上げ幅 ( 円/kwh )

(433) EQPFIT\_ADD  
 $PFIT\_ADD = VFIT / 10 / (ELE\_EP)$

また、今後全量買取制度が広がっていくと、例えば太陽光発電の売り手になる家庭にとっては、電気が2種類存在することになる。エネルギーを選ぶ場合に、電気対灯油といった単純な図式が成り立たなくなる。本モデルでは電気は各部門にとって1種類しか存在しない形になっており、その意味で全量買取制度を十分に描いたものとはなっていない。そういう意味で「部分的」な組み込みにとどまっていることに留意が必要である。

#### (回避可能原価・石炭火力のケース)

( 434 ) 発電費用・石炭火力・燃料費 ( 円/kwh )

(434) EQPC\_COAL\_FUEL

$$PC\_COAL\_FUEL = PC\_COAL\_FUEL\_AT10 * PCOAL\_10 / 100$$

・・・2010年のベンチマーク値に石炭価格(指数値)を掛ける

( 435 ) 発電費用・石炭火力・運転維持費 ( 円/kwh )

(435) EQPC\_COAL\_OTH

$$PC\_COAL\_OTH = PC\_COAL\_OTH\_AT10 * GDPBY05\_10 / 100$$

・・・2010年のベンチマーク値に名目GDP(指数値)を掛ける

( 436 ) 発電費用・石炭火力・CO2対策費用 ( 円/kwh )

(436) EQPC\_COAL\_CO2

$$PC\_COAL\_CO2 = PC\_COAL\_CO2\_AT10 * PC\_CO2\_10 / 100$$

・・・2010年のベンチマーク値にCO2対策費用(指数値)を掛ける

( 437 ) 発電費用・石炭火力 ( 円/kwh )

(437) EQPC\_COAL

$$PC\_COAL = PC\_COAL\_FUEL + PC\_COAL\_OTH + PC\_COAL\_CO2$$

#### (回避可能原価・平均値)

( 447 ) 発電費用・平均値 ( 円/kwh )

(447) EQPC\_EP

$$PC\_EP = (PC\_COAL * Z\_EP\_CC + PC\_OIL * Z\_EP\_PT + PC\_GAS * Z\_EP\_GS + PC\_HYD * Z\_EP\_HD) / (Z\_EP\_CC + Z\_EP\_PT + Z\_EP\_GS + Z\_EP\_HD)$$

・・・石炭火力、LNG火力、石油火力、水力の加重平均値。原子力はここでは除いた

( 448 ) 発電費用・平均値・指数値 ( 10年=100 )

(448) EQPC\_EP\_10

$$PC\_EP\_10 = PC\_EP / @MEAN(PC\_EP, "2009 2009") * 100$$

・・・1つ上で求めた費用を指数値に置き換え。2010年の実績値が判明していないため、09年値を暫定利用

( 449 ) FIT買い取り時の回避可能原価 ( 円/kwh )

(449) EQPFIT\_BASE

$$PFIT\_BASE = 6 * PC\_EP\_10 / 100$$

・・・2010年を100とした発電費用に、ベンチマークの6円/kwhを掛ける

### 3 ベースラインとシミュレーション

#### 3.1 ベースライン（B a U）

シミュレーションに先立ち、2030年度までのB a U（Business as Usual、自然体の成長シナリオ）を設定した。主な前提条件（外生変数）は以下のとおりである。

##### （1）エネルギー

- ・原子力は新設を凍結し、2050年に全廃する「脱原発」の想定
- ・再生エネルギーは、日本経済研究センター（2011）「第38回中期経済予測」で見込んだ数値を利用した。2030年に太陽光と風力の合計が、事業者発電量の5%台になる
- ・原油価格も同様に日経センターの中期予測に準拠した。中国などの経済成長から原油需要が拡大し、2020年に1バレル146ドル、2030年に239ドルに達する

##### （2）税制

- ・エネルギー・環境税は現行で横ばい
- ・消費税は民主党案に沿い2014年4月に8%、2015年10月に10%に引き上げると想定

##### （3）マクロ

- ・成長率の制約は特に設けず
- ・円相場は1ドル80円で横ばい
- ・中国の成長率は徐々に減速し、2016年以降7%、2020年以降6%と想定した

予測結果は、表3-1から3-5のとおりである。

実質成長率は2010年代が年率1.2%、2020年代が0.7%となった（表3-1）。この間、供給面からみた日本経済の生産能力を示す潜在GDPの伸び率は、それぞれ0.7%、0.6%である（同）。2010年代は、リーマンショックからの立ち直りでGDPギャップが均衡に向かうため、需要サイド（実際のGDP）がやや高めの伸びを示す。

原子力発電所の段階的な縮小を織り込んでいることと、原油価格が上昇を続けると想定しているため、次第に化石燃料の輸入が増え、経常収支は赤字に振れていく（表3-2）。

CO<sub>2</sub>排出量は、90年GHG比で2020年が3.1%、2020年が1.7%となった。この見通しは、マクロ経済の成長率に加え、化石燃料価格の想定に依存している。今回は、石炭価格が原油価格に連れてある程度上昇していくと見込んでおり、これが排出量を抑える1つの要因となっている。部門別には、直接排出ベースで、産業部門の排出がさらに減少するのに加え、運輸の排出も漸減傾向となる。これに対し、家庭と業務という民生部門は横ばい微増となる。転換部門は緩やかな増加傾向をたどる姿となる（表3-6）。

全量買取制度のフィードインタリフに基づく電気の付加料金は、2020年に0.26円/kWhとなるものの、化石燃料価格の上昇が続き「回避可能原価」が底上げされるため、2030年には0.18円/kWhとやや下がる見通しになった。

表3-1 ベースライン（B a U）（マクロ1）

(・は外生変数)								—平均伸び率（*は平均値）—					
	1980	1990	2000	2005	2010	2020	2030	1980 ~1990	1990 ~2000	2000 ~2010	2010 ~2020	2020 ~2030	2005 ~2020
<b>&lt; GDPと需要項目 &gt; (2000年基準)</b>													
実質GDP (兆円)	287.4	453.6	505.6	540.0	538.5	604.0	647.5	4.7	1.1	0.6	1.2	0.7	0.7
実質民間最終消費 (兆円)	167.8	249.5	283.8	302.2	306.5	328.3	336.0	4.0	1.3	0.8	0.7	0.2	0.6
実質民間住宅投資 (兆円)	18.4	25.9	20.4	18.4	12.5	13.9	11.7	3.5	-2.4	-4.7	1.0	-1.7	-1.9
実質民間設備投資 (兆円)	35.4	82.4	73.0	83.2	73.6	93.3	100.8	8.8	-1.2	0.1	2.4	0.8	0.8
実質政府最終消費 (兆円)	43.7	63.5	85.7	94.6	102.9	108.0	103.1	3.8	3.1	1.8	0.5	-0.5	0.9
実質公的固定資本形成 (兆円)	25.7	28.4	34.4	23.2	18.9	22.1	22.7	1.0	2.0	-5.8	1.5	0.3	-0.3
実質輸出 (兆円)	20.8	35.8	55.3	75.8	85.1	123.5	180.0	5.6	4.5	4.4	3.8	3.8	3.3
実質輸入 (兆円)	18.5	33.4	49.0	58.7	58.3	82.3	104.0	6.1	3.9	1.7	3.5	2.4	2.3
<b>&lt; GDPと需要項目 &gt; (2005年基準)</b>													
実質GDP (兆円)	272.1	429.5	476.7	507.2	511.0	572.5	615.3	4.7	1.0	0.7	1.1	0.7	0.8
名目GDP (兆円)	251.5	457.4	510.8	505.3	479.2	490.2	500.8	6.2	1.1	-0.6	0.2	0.2	-0.2
GDPデフレーター (05年=100)	92.4	106.5	107.2	99.6	93.8	85.6	81.4	1.4	0.1	-1.3	-0.9	-0.5	-1.0
<b>&lt; 物価 &gt;</b>													
消費者物価指数 (05年=100)	78.1	95.0	102.1	100.0	99.6	100.7	109.8	2.0	0.7	-0.2	0.1	0.9	0.0
企業物価指数 (00年=100)	117.7	111.3	101.9	100.5	103.3	102.8	106.7	-0.6	-0.9	0.1	-0.1	0.4	0.1
1人当たり賃金 (万円)	295.2	408.6	431.8	412.1	399.0	418.8	491.4	3.3	0.6	-0.8	0.5	1.6	0.1
<b>&lt; 労働・資本 &gt;</b>													
人口 (万人)	11706	12361	12693	12777	12729	12285	11534	0.5	0.3	0.0	-0.4	-0.6	-0.3
労働力人口 (万人)	5671	6414	6772	6654	6579	6198	5620	1.2	0.5	-0.3	-0.6	-1.0	-0.5
・所定内労働時間 (時間)	1943	1859	1714	1682	1650	1617	1585	-0.4	-0.8	-0.4	-0.2	-0.2	-0.3
失業率 (%)	2.1	2.1	4.7	4.3	5.0	4.4	5.5	2.5	3.4	4.7	4.6	4.9	4.5*
純資本ストック (兆円)	203.8	391.2	551.4	583.8	602.6	647.2	728.4	6.7	3.5	0.9	0.7	1.2	0.7
同・減失 (兆円)	—	48.2	61.8	72.9	76.3	83.6	94.4	—	2.5	2.1	0.9	1.2	0.9
潜在(平均)GDP (兆円)	—	429.8	517.3	541.7	560.3	603.3	643.2	—	1.9	0.8	0.7	0.6	0.7
GDPギャップ (%)	—	5.5	-2.3	-0.3	-3.9	0.1	0.7	3.1	-0.9	-2.6	-1.7	0.2	-2.0*
<b>&lt; 金利・市場 &gt;</b>													
10年物国債利回り (%)	9.2	7.3	1.6	1.4	1.2	2.2	2.5	6.5	3.2	1.4	1.6	2.4	1.6*
日経平均株価 (円)	6999	26872	15597	13565	9961	9167	8435	14.4	-5.3	-4.4	-0.8	-0.8	-2.6
市街地地価(全国全用途) (00.3=100)	75.5	145.8	95.3	66.4	56.7	56.6	58.4	6.8	-4.2	-5.1	0.0	0.3	-1.1

(平均値は各期間の開始年を除いて計算)

表3-2 ベースライン（マクロ2）

(・は外生変数)		1980	1990	2000	2005	2010	2020	2030	-平均伸び率（*は平均値）-					2005 ~2020
									1980 ~1990	1990 ~2000	2000 ~2010	2010 ~2020	2020 ~2030	
<b>&lt;国民所得の分配&gt;</b>														
国民所得	(兆円)	203.9	346.9	371.8	365.9	355.2	366.0	377.6	5.5	0.7	-0.5	0.3	0.3	0.0
雇業者報酬	(兆円)	131.9	231.3	271.3	259.6	253.8	255.9	269.1	5.8	1.6	-0.7	0.1	0.5	-0.1
個人企業所得	(兆円)	27.4	28.9	38.3	38.6	34.2	35.2	36.1	0.5	2.9	-1.1	0.3	0.3	-0.6
民間法人所得	(兆円)	30.1	38.4	46.1	51.0	49.9	48.4	40.6	2.5	1.9	0.8	-0.3	-1.8	-0.3
家計利子所得	(兆円)	11.8	35.0	12.5	3.8	5.1	13.4	16.9	11.5	-9.8	-8.7	10.2	2.4	8.7
<b>&lt;家計&gt;</b>														
可処分所得	(兆円)	159.4	265.0	299.0	291.8	292.7	299.3	313.2	5.2	1.2	-0.2	0.2	0.5	0.2
貯蓄率	(%)	17.5	12.6	7.9	3.7	5.6	2.5	-2.2	15.3	11.9	4.1	4.1	0.2	4.0*
就業者数	(万人)	5552	6280	6453	6365	6250	5928	5313	1.2	0.3	-0.3	-0.5	-1.1	-0.5
労働分配率	(%)	64.7	66.7	73.0	71.0	71.5	69.9	71.3	67.1	72.0	72.0	71.1	70.6	71.4*
<b>&lt;企業&gt;</b>														
稼働率指数	(00年=100)	104.9	110.8	95.9	100.5	88.0	95.4	96.3	104.5	96.9	93.9	91.7	95.6	92.0*
実質キャッシュフロー	(兆円)	34.9	53.4	94.2	108.9	115.1	119.1	126.4	4.3	5.8	2.0	0.3	0.6	0.6
法人分配率	(%)	14.8	11.1	12.4	13.9	14.0	13.2	10.7	12.6	10.0	13.1	13.2	11.8	13.1*
貯蓄投資差額 (GDP比)	(%)	-1.6	-12.1	3.5	6.6	6.3	2.3	2.1	-5.9	0.0	5.0	3.5	2.1	3.4*
長期債務比率	(%)	25.6	28.4	44.5	35.5	47.0	39.4	34.2	25.4	40.0	42.5	43.8	36.5	43.3*
<b>&lt;貿易・国際収支&gt;</b>														
貿易・サービス収支	(兆円)	-1.2	4.3	6.4	7.4	5.2	-6.6	-19.0	7.1	7.7	6.3	-0.5	-13.1	1.4*
経常収支	(兆円)	-1.5	5.6	12.4	19.1	16.1	4.3	-8.1	8.2	12.4	17.0	10.4	-2.2	12.9*
・対ドル円レート	( $F_{\$/\text{円}}$ )	217.3	141.3	110.5	113.3	85.7	80.0	80.0	-4.2	-2.4	-2.5	-0.7	0.0	-2.3
・米国・実質GDP	(10億 $F_{\$/}$ )	5834	8027	11216	12623	13088	16769	21466	3.2	3.4	1.6	2.5	2.5	1.9
・中国・実質GDP	(10億 $F_{\$/}$ )	183	444	1198	1909	3244	6591	11803	9.3	10.4	10.5	7.3	6.0	8.6
実質世界輸出	(10億 $F_{\$/}$ )	2011	3052	6494	8768	10698	16789	25756	4.3	7.8	5.1	4.6	4.4	4.4
世界輸出価格指数	(00年=100)	97.0	115.2	99.1	122.0	147.6	192.0	257.4	1.7	-1.5	4.1	2.7	3.0	3.1
・世界輸出価格・原油以外	(00年=100)	90.5	123.8	98.9	103.1	109.9	109.9	109.9	3.2	-2.2	1.1	0.0	0.0	0.4
・原油通関輸入価格	( $F_{\$/\text{ハレル}}$ )	34.8	22.8	28.2	55.8	84.2	146.9	239.2	-4.1	2.1	11.5	5.7	5.0	6.7
<b>&lt;財政&gt;</b>														
税収計	(兆円)	45.1	95.8	88.9	86.9	74.8	82.4	82.7	7.8	-0.7	-1.7	1.0	0.0	-0.4
家計への直接税	(兆円)	15.2	36.1	29.5	25.1	25.6	27.7	30.2	9.0	-2.0	-1.4	0.8	0.9	0.7
法人税	(兆円)	11.2	24.5	15.5	18.2	10.5	14.3	10.6	8.2	-4.5	-3.9	3.2	-2.9	-1.6
間接税	(兆円)	17.8	34.9	42.6	43.1	38.1	39.6	40.8	7.0	2.0	-1.1	0.4	0.3	-0.6
政府最終消費	(兆円)	34.9	60.2	85.7	90.6	96.4	102.7	106.2	5.6	3.6	1.2	0.6	0.3	0.8
公的固定資本形成	(兆円)	23.4	29.2	34.3	23.0	19.3	21.3	21.9	2.2	1.6	-5.6	1.0	0.3	-0.5

(国民経済計算関連は2000年基準)

(平均値は各期間の開始年を除いて計算)



表3-3 ベースライン（エネルギー・CO2概要）

(・は外生変数)		1980	1990	2000	2005	2010	2020	2030	平均伸び率（*は平均値）					2005 ~2020
									1980 ~1990	1990 ~2000	2000 ~2010	2010 ~2020	2020 ~2030	
<b>&lt;1次エネルギー需要&gt;</b>														
合計	( Mtoe )	391.9	482.1	564.2	568.1	547.6	512.9	488.5	2.1	1.6	-0.3	-0.7	-0.5	-0.7
石油	( Mtoe )	254.7	275.1	286.8	278.1	241.2	209.3	178.2	0.8	0.4	-1.7	-1.4	-1.6	-1.9
石炭	( Mtoe )	66.9	80.3	102.4	115.3	119.0	109.6	104.8	1.8	2.5	1.5	-0.8	-0.4	-0.3
天然ガス	( Mtoe )	24.1	49.2	73.1	78.5	96.0	124.0	153.6	7.4	4.0	2.8	2.6	2.2	3.1
・原子力	( Mtoe )	18.4	45.1	68.6	63.9	59.3	39.0	18.9	9.4	4.3	-1.4	-4.1	-7.0	-3.2
・水力	( Mtoe )	19.9	19.9	18.6	16.0	15.8	15.9	15.8	0.0	-0.7	-1.6	0.1	-0.1	0.0
<b>&lt;1次エネルギー・構成比&gt;</b>														
石油	( % )	65.0	57.1	50.8	48.9	44.1	40.8	36.5	57.8	54.1	47.5	43.3	38.4	44.2 *
石炭	( % )	17.1	16.7	18.1	20.3	21.7	21.4	21.5	18.2	16.7	20.6	21.4	21.5	21.3 *
天然ガス	( % )	6.2	10.2	13.0	13.8	17.5	24.2	31.4	8.9	11.5	15.2	21.8	28.4	20.1 *
原子力	( % )	4.7	9.4	12.2	11.3	10.8	7.6	3.9	8.1	11.6	10.7	7.6	5.3	8.6 *
水力	( % )	5.1	4.1	3.3	2.8	2.9	3.1	3.2	4.5	3.6	3.1	3.1	3.2	3.1 *
<b>&lt;CO2排出量&gt;</b>														
合計	( MtCO2 )	924.6	1059.1	1166.9	1202.6	1122.5	1098.7	1081.1	1.4	1.0	-0.4	-0.2	-0.2	-0.6
同・90年GHG比	( MtCO2 )		0.0	8.5	11.4	5.0	3.1	1.7			8.7	3.8	2.7	4.9 *
同・05年GHG比	( MtCO2 )				0.0	-5.9	-7.6	-8.9			-2.5	-7.0	-8.0	-6.0 *
<b>&lt;燃料価格（ドル建て・名目）&gt;</b>														
・原油	( $\text{ドル}/\text{バレル}$ )	35	23	28	56	84	147	239	-4.1	2.1	11.5	5.7	5.0	6.7
原油	( $\text{ドル}/\text{toe}$ )	236	155	192	379	572	999	1626	-4.1	2.1	11.5	5.7	5.0	6.7
石炭	( $\text{ドル}/\text{toe}$ )	89	81	56	124	218	276	340	-1.0	-3.7	14.7	2.4	2.1	5.5
天然ガス	( $\text{ドル}/\text{toe}$ )	222	156	192	253	448	910	1441	-3.4	2.1	8.8	7.3	4.7	8.9
化石燃料平均	( $\text{ドル}/\text{toe}$ )	207	141	162	296	454	795	1252	-3.8	1.4	10.9	5.8	4.6	6.8
<b>&lt;燃料価格（円建て・名目）&gt;</b>														
原油	(万円/toe)	5.4	2.4	2.3	4.5	5.1	8.2	13.2	-7.7	-0.3	8.2	4.8	4.9	4.1
化石燃料平均	(00年=100)	241.2	110.9	100.0	181.2	209.0	336.4	525.1	-7.5	-1.0	7.6	4.9	4.6	4.2
ガソリン	(円/L)	152.9	133.2	106.5	127.3	134.6	156.0	199.1	-1.4	-2.2	2.4	1.5	2.5	1.4
電灯	(円/kwh)	27.5	25.6	24.2	21.8	21.6	21.8	24.3	-0.7	-0.6	-1.1	0.1	1.1	0.0
<b>&lt;活動量など&gt;</b>														
鉱工業生産指数	(05年=100)	67.0	100.4	99.2	100.7	93.8	103.0	100.8	4.1	-0.1	-0.6	0.9	-0.2	0.1
鉱工業生産指数（化学）	(05年=100)	57.9	85.3	97.2	99.5	92.5	88.6	78.5	4.0	1.3	-0.5	-0.4	-1.2	-0.8
オフィス延べ床面積	(100万㎡)	936	1285	1656	1759	1843	1881	1796	3.2	2.6	1.1	0.2	-0.5	0.4

(平均値は各期間の開始年を除いて計算)

表3-4 ベースライン（エネルギーバランス表1）

(・は外生変数)	1980 1990 2000 2005 2010 2020 2030							平均伸び率（*は平均値）					2005 ~2020	
	1980	1990	2000	2005	2010	2020	2030	1980 ~1990	1990 ~2000	2000 ~2010	2010 ~2020	2020 ~2030		
<b>&lt;エネルギーバランス表&gt;</b>														
一次エネルギー総供給（再掲）	391.9	482.1	564.2	568.1	547.6	512.9	488.5	2.1	1.6	-0.3	-0.7	-0.5	-0.7	
石炭	66.9	80.3	102.4	115.3	119.0	109.6	104.8	1.8	2.5	1.5	-0.8	-0.4	-0.3	
石油	254.7	275.1	286.8	278.1	241.2	209.3	178.2	0.8	0.4	-1.7	-1.4	-1.6	-1.9	
ガス	24.1	49.2	73.1	78.5	96.0	124.0	153.6	7.4	4.0	2.8	2.6	2.2	3.1	
・水力	19.9	19.9	18.6	16.0	15.8	15.9	15.8	0.0	-0.7	-1.6	0.1	-0.1	0.0	
・原子力	18.4	45.1	68.6	63.9	59.3	39.0	18.9	9.4	4.3	-1.4	-4.1	-7.0	-3.2	
その他	7.9	12.5	14.7	16.2	16.3	15.0	17.2	4.8	1.6	1.0	-0.8	1.4	-0.5	
一次エネルギー国内供給計	383.1	469.5	543.6	543.5	504.0	493.7	470.5	2.1	1.5	-0.8	-0.2	-0.5	-0.6	
転換部門														
電気事業者・発電量	44.0	64.3	79.6	82.2	80.9	84.4	82.1	3.9	2.2	0.2	0.4	-0.3	0.2	
同・転換ロス	-72.1	-103.0	-119.5	-121.1	-114.6	-112.0	-101.7	3.6	1.5	-0.4	-0.2	-1.0	-0.5	
自家発・発電量	4.6	7.3	10.1	11.1	11.6	11.1	10.2	4.6	3.4	1.4	-0.4	-0.9	0.0	
同・転換ロス	-8.8	-13.6	-16.3	-16.4	-16.2	-14.6	-12.5	4.5	1.8	-0.1	-1.0	-1.5	-0.8	
最終エネルギー消費	272.6	331.7	381.6	382.1	349.5	340.2	323.5	2.0	1.4	-0.9	-0.3	-0.5	-0.8	
産業部門計	151.8	167.0	172.5	168.7	150.4	137.4	119.9	1.0	0.3	-1.4	-0.9	-1.4	-1.4	
石炭	42.9	45.3	40.2	41.5	37.2	36.1	32.4	0.5	-1.2	-0.8	-0.3	-1.1	-0.9	
石油	69.8	72.1	78.5	75.1	66.6	51.9	37.5	0.3	0.8	-1.6	-2.5	-3.2	-2.4	
ガス	2.1	4.0	5.0	6.1	6.8	9.3	12.4	6.6	2.2	3.2	3.2	3.0	2.8	
電力	22.6	29.1	31.2	29.4	25.4	25.6	23.1	2.6	0.7	-2.0	0.1	-1.1	-0.9	
民生部門														
家庭用	28.1	39.5	50.5	52.1	49.1	49.2	46.8	3.5	2.5	-0.3	0.0	-0.5	-0.4	
業務用	34.9	48.3	64.8	71.5	66.5	78.2	90.9	3.3	3.0	0.3	1.6	1.5	0.6	
運輸部門														
旅客用	26.8	39.9	56.1	55.1	52.1	46.5	40.2	4.1	3.5	-0.7	-1.1	-1.5	-1.1	
貨物用	31.0	36.9	37.7	34.6	31.3	28.9	25.9	1.8	0.2	-1.8	-0.8	-1.1	-1.2	
太陽光+風力	-	-	-	-	0.8	2.7	4.4	-	-	-	13.4	5.0	-	
太陽光	-	-	-	-	0.3	1.4	2.3	-	-	-	16.0	4.9	-	
風力	-	-	-	-	0.4	1.3	2.1	-	-	-	11.1	5.1	-	
<b>&lt;参考&gt;</b>														
F I T 買取価格・太陽光	(円/kWh)	-	-	-	-	42.0	27.4	23.5	-	-	-	-4.7	-1.5	-
同	・風力	(円/kWh)	-	-	-	20.0	20.0	20.0	-	-	-	0.0	0.0	-
F I T サーチャージ	(円/kWh)	-	-	-	-	0.02	0.26	0.18	-	-	-	30.5	-3.4	-
F I T 回避可能原価	(円/kWh)	-	-	-	-	6.6	9.4	13.3	-	-	-	3.9	3.6	-

(単位は明記のあるものを除きMtoe)

(平均値は各期間の開始年を除いて計算)

表3-5 ベースライン（エネルギーバランス表2）

(・は外生変数)		1980	1990	2000	2005	2010	2020	2030	平均伸び率（*は平均値）					2005 ~2020
									1980 ~1990	1990 ~2000	2000 ~2010	2010 ~2020	2020 ~2030	
<b>&lt;運輸：詳細&gt;</b>														
運輸部門	( Mtoe )	57.8	76.8	93.8	89.7	83.5	75.4	66.1	2.9	2.0	-1.2	-1.0	-1.3	-1.2
旅客用	( Mtoe )	26.8	39.9	56.1	55.1	52.1	46.5	40.2	4.1	3.5	-0.7	-1.1	-1.5	-1.1
自動車	( Mtoe )	22.2	34.6	51.5	48.6	46.3	40.6	34.3	4.5	4.1	-1.1	-1.3	-1.7	-1.2
国内航空	( Mtoe )	1.8	2.1	3.2	3.3	2.9	3.4	3.7	1.9	4.3	-0.9	1.3	1.0	0.2
その他	( Mtoe )	2.6	3.2	3.6	3.4	3.1	2.8	2.4	2.1	1.1	-1.4	-1.0	-1.7	-1.3
貨物用	( Mtoe )	31.0	36.9	37.7	34.6	31.3	28.9	25.9	1.8	0.2	-1.8	-0.8	-1.1	-1.2
自動車	( Mtoe )	24.8	33.2	37.2	31.8	28.9	26.5	23.8	2.9	1.1	-2.5	-0.9	-1.1	-1.2
船舶	( Mtoe )	5.0	3.1	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0	-4.7	0.5	-3.1	-0.6	-1.2	-1.5
その他	( Mtoe )	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.6	1.8	-0.2	1.1	0.2	0.8
旅客・自動車														
同・走行キロ	(10億キロ)	-	373	515	527	514	468	410	-	3.3	0.0	-0.9	-1.3	-0.8
同・同・1台当たり	( キロ )	-	9772	9243	8683	8314	7445	6608	-	-0.6	-1.1	-1.1	-1.2	-1.0
同・保有台数	( 万台 )	2489	3814	5571	6067	6188	6286	6201	4.4	3.9	1.1	0.2	-0.1	0.2
同・燃費	( km/L )	-	9.1	8.3	9.0	9.2	9.5	9.9	-	-0.9	1.1	0.4	0.4	0.4
貨物・自動車														
同・走行キロ	(10億キロ)	-	256	261	242	224	213	198	-	0.2	-1.5	-0.5	-0.7	-0.8
同・同・1台当たり	( キロ )	-	12100	14440	14490	14775	15929	16714	-	1.8	0.2	0.8	0.5	0.6
同・保有台数	( 万台 )	1330	2115	1806	1671	1514	1337	1187	4.7	-1.6	-1.8	-1.2	-1.2	-1.5
同・燃費	( km/L )	-	6.5	5.8	6.3	6.4	6.6	6.9	-	-1.1	1.0	0.4	0.4	0.4
<b>&lt;エネルギー関連税収&gt;</b>														
ガソリン税	( 兆円 )	1.8	2.4	3.1	3.2	3.0	2.8	2.6	2.6	2.6	-0.2	-0.6	-0.9	-0.9
軽油引取税	( 兆円 )	0.4	0.8	1.2	1.1	0.9	0.7	0.6	6.4	3.8	-2.8	-2.1	-2.5	-2.5
石油石炭税	( 兆円 )	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.9	0.0	0.3	-0.2	-0.3	0.0
電源開発促進税	( 兆円 )	0.1	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	10.5	2.4	-0.7	0.5	-0.1	0.2
自動車税	( 兆円 )	0.8	1.3	1.8	1.8	1.6	1.6	1.5	5.0	3.3	-0.7	-0.5	-0.7	-0.7
自動車重量税	( 兆円 )	0.5	0.9	1.1	1.1	0.8	1.1	1.0	5.3	2.6	-4.0	3.8	-0.5	-0.2
ガソリン販売量	( 100万k1 )	34.5	44.8	58.4	61.4	56.8	53.3	48.6	2.6	2.7	-0.3	-0.6	-0.9	-0.9
軽油販売量	( 100万k1 )	21.6	37.7	41.7	37.1	31.5	25.6	19.9	5.7	1.0	-2.8	-2.0	-2.5	-2.4
<b>&lt;参考&gt;</b>														
炭素税換算税率 \$	( 円/tCO2 )	4026	5636	6991	6673	6823	6457	6050	3.4	2.2	-0.2	-0.5	-0.6	-0.2

( \$ 上記エネルギー4税・自動車2税の税収を炭素税に振り替えた場合の税率)

表3-6 CO2排出量

<CO2・直接排出量> (単位: MtCO2)

(寄与度は90年GHG比)

	1990 2000 2005			2010			2020			2030		
				90年比			90年比			90年比		
				増加量	寄与度	(%)	増加量	寄与度	(%)	増加量	寄与度	(%)
GHG (90年)	1261.3											
GHG (05年)			1358.1									
CO2排出量	1059.1	1166.9	1202.6	1122.5	63.3	5.0	1098.7	39.5	3.1	1081.1	21.9	1.7
転換 (直接排出)	317.8	348.5	397.8	398.4	80.6	6.4	411.7	94.0	7.5	436.7	118.9	9.4
石炭 (e)	93.7	169.4	221.6	211.8	118.1	9.4	219.2	125.5	10.0	206.9	113.2	9.0
石油 (e)	165.4	92.4	91.8	38.1	-127.3	-10.1	40.6	-124.8	-9.9	48.9	-116.4	-9.2
ガス (e)	68.0	98.9	97.0	121.1	53.1	4.2	162.4	94.4	7.5	192.0	124.0	9.8
産業 (直接排出)	390.1	388.9	379.5	344.6	-45.5	-3.6	318.0	-72.1	-5.7	283.3	-106.8	-8.5
石炭 (e)	222.8	218.5	226.0	205.4	-17.4	-1.4	197.5	-25.4	-2.0	190.2	-32.7	-2.6
石油 (e)	166.5	166.8	146.7	127.9	-38.6	-3.1	104.3	-62.2	-4.9	71.6	-95.0	-7.5
ガス (e)	10.2	14.8	20.4	24.2	14.0	1.1	28.9	18.7	1.5	34.9	24.7	2.0
家庭 (直接排出)	56.7	69.0	67.6	61.2	4.6	0.4	57.5	0.9	0.1	57.0	0.3	0.0
石油 (e)	40.9	50.1	48.0	39.5	-1.4	-0.1	37.3	-3.6	-0.3	35.3	-5.7	-0.4
ガス (e)	17.1	21.0	21.8	21.1	4.0	0.3	22.0	4.8	0.4	23.5	6.3	0.5
業務 (直接排出)	83.6	101.5	110.7	93.3	9.7	0.8	102.0	18.4	1.5	118.7	35.1	2.8
石炭 (e)	3.5	2.4	2.1	2.3	-1.1	-0.1	2.6	-0.9	-0.1	2.8	-0.6	-0.1
石油 (e)	71.6	79.5	80.1	54.3	-17.4	-1.4	41.8	-29.8	-2.4	30.8	-40.8	-3.2
ガス (e)	9.1	20.5	29.0	37.7	28.7	2.3	58.4	49.3	3.9	85.9	76.9	6.1
運輸 (直接排出)	211.1	259.1	247.0	225.0	14.0	1.1	205.2	-5.9	-0.5	178.9	-32.1	-2.5
旅客用 (e)	111.1	156.5	153.5	144.3	33.2	2.6	128.8	17.7	1.4	111.2	0.0	0.0
貨物用 (e)	106.2	108.1	98.8	89.3	-16.9	-1.3	82.2	-24.0	-1.9	73.8	-32.4	-2.6

(e)はエネルギー・バランス表からの推計値、ほかは「インベントリ・オフィス」の公表値。このため、各部門の内訳と合計が一致していない

シミュレーションとして、以下の4パターンを試算した。環境税（川上型）および既存税に関連した試算（Ⅰ～Ⅲ）と、原子力発電所の稼働停止の影響（Ⅳ）を検討した。後掲の図表は、マクロ効果をみたものと、エネルギー・CO<sub>2</sub>排出量の部門別効果をみたものに分かれている。

ケース	内容	検討した効果	
		マクロ効果	部門別効果
Ⅰ	環境税段階課税1万円	○	○
Ⅱ	既存税の影響 (既存税がなかった場合との比較)		○
Ⅲ	既存税と同税収の炭素税		○
Ⅳ	原子力発電所の再稼働がない場合	○	○

### 3.2 ケースⅠ：環境税段階課税1万円

CO<sub>2</sub>1トン当たり1万円の環境税（炭素税）を段階的に賦課するケースである。09年度末の「中長期ロードマップ委員会」向けに提供した試算と同じである。税率は2012年度に1,000円とし、2021年度までに段階的に1万円まで引き上げるものとしている。ここでの環境税は、2012年度税制改正に盛り込まれた石油石炭税型と同様、川上課税で、既存のエネルギー諸税はそのままと仮定している。

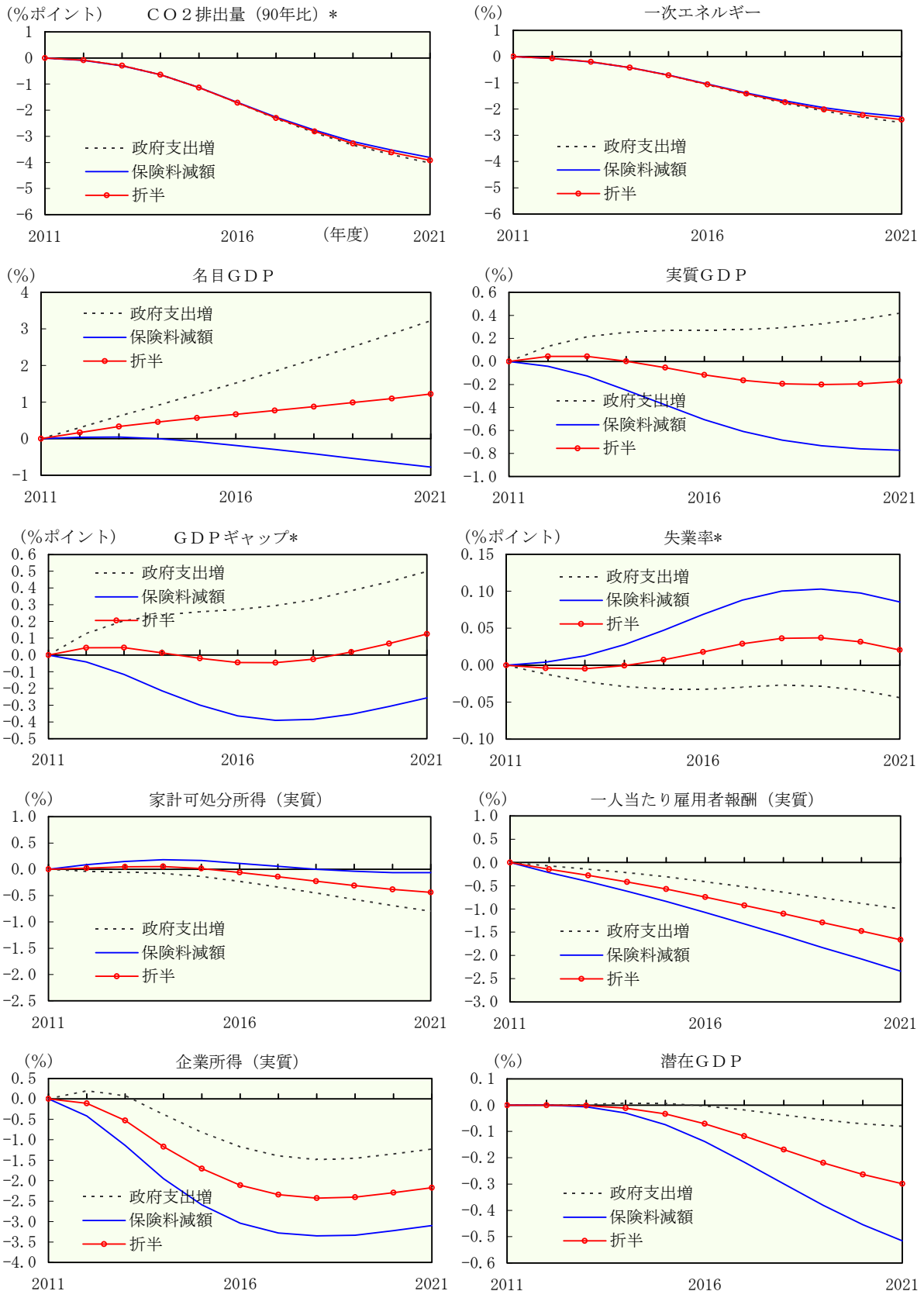
主にマクロ経済への影響を点検したのが図4-1、同4-2である。ここでは、環境税の税収を①政府支出（政府消費）として還元する、②年金保険料の減額に充てる、③政府支出と年金保険料減額を半分ずつ——の3通りで設定している。

これを、「中長期ロードマップ委員会」向け試算を詳説した猿山・蓮見・佐倉（2010）の結果と比較すると、以下のような違いがある。

- (1) CO<sub>2</sub>の抑制効果が小さくなっている。税収還元が③のタイプで比較すると、10年後のCO<sub>2</sub>排出量(90年比)への下押し効果が従来版では6.0ポイントであるのに対し、本モデルでは3.9ポイントにとどまっている。これは、今回、ベースラインの化石燃料価格が全般に高めになっているためと考えられる。ベースラインの燃料価格が高いと、「炭素税1万円」が相対的に小さくなる。特に石炭価格が高めになっていると、燃料代替効果が抑えられる傾向がある。
- (2) マクロ経済への下押し効果が大きくなっている。実質GDPへの影響が同じく0.1%減が0.2%減になった。本モデルには、課税が燃料価格の上昇が自動車の保有と購入を抑制するメカニズムが織り込まれている。自動車購入は国民経済計算上、民間消費か民間設備投資であり、こうした波及経路がなかった従来モデルと比べて、両項目への抑制効果が大きめに出ている。

図4-1

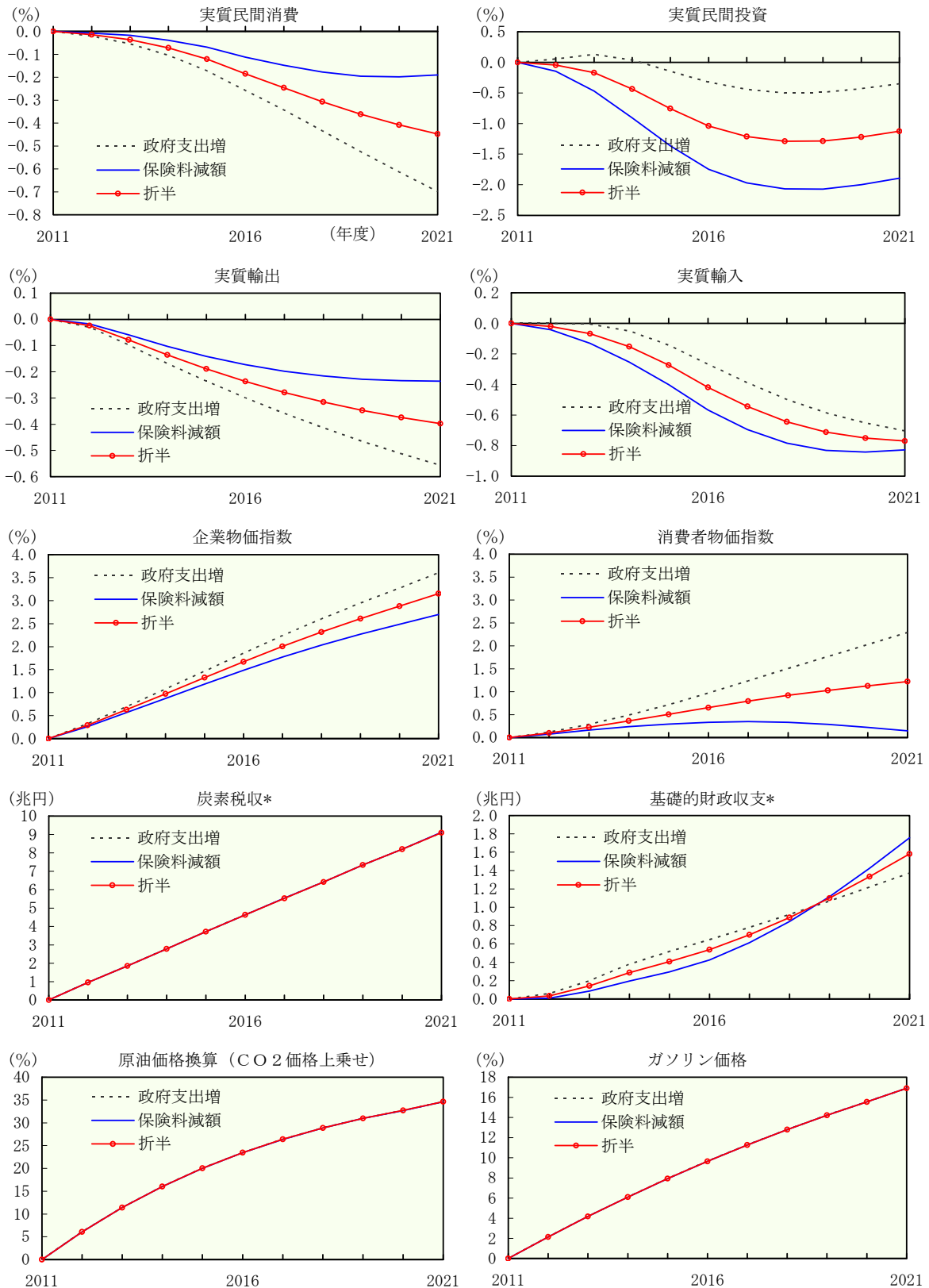
ケースⅠ 炭素税段階的課税 マクロ効果 (1)  
 2012年度に1,000円、21年度に10,000円 (いずれもtCO2当たり) まで引き上げ  
 (乖離率、\*印は乖離幅)



(注) ベースラインの化石燃料価格水準によって、炭素税1万円の影響は変わる点に注意

図4-2

ケース I 炭素税段階の課税 マクロ効果 (2)  
(乖離率、\*印は乖離幅)



(注) ベースラインの化石燃料価格水準によって、炭素税 1 万円の影響は変わる点に注意

部門別効果をみたのが、図5-1・5-2である。両図は、表側に石油、石炭あるいは

電気などのエネルギー源を、表頭に転換、家庭、業務、運輸といった部門を配置しており、エネルギー・バランス表を転置させたようなイメージで、シミュレーション効果をつかめるようにしている。

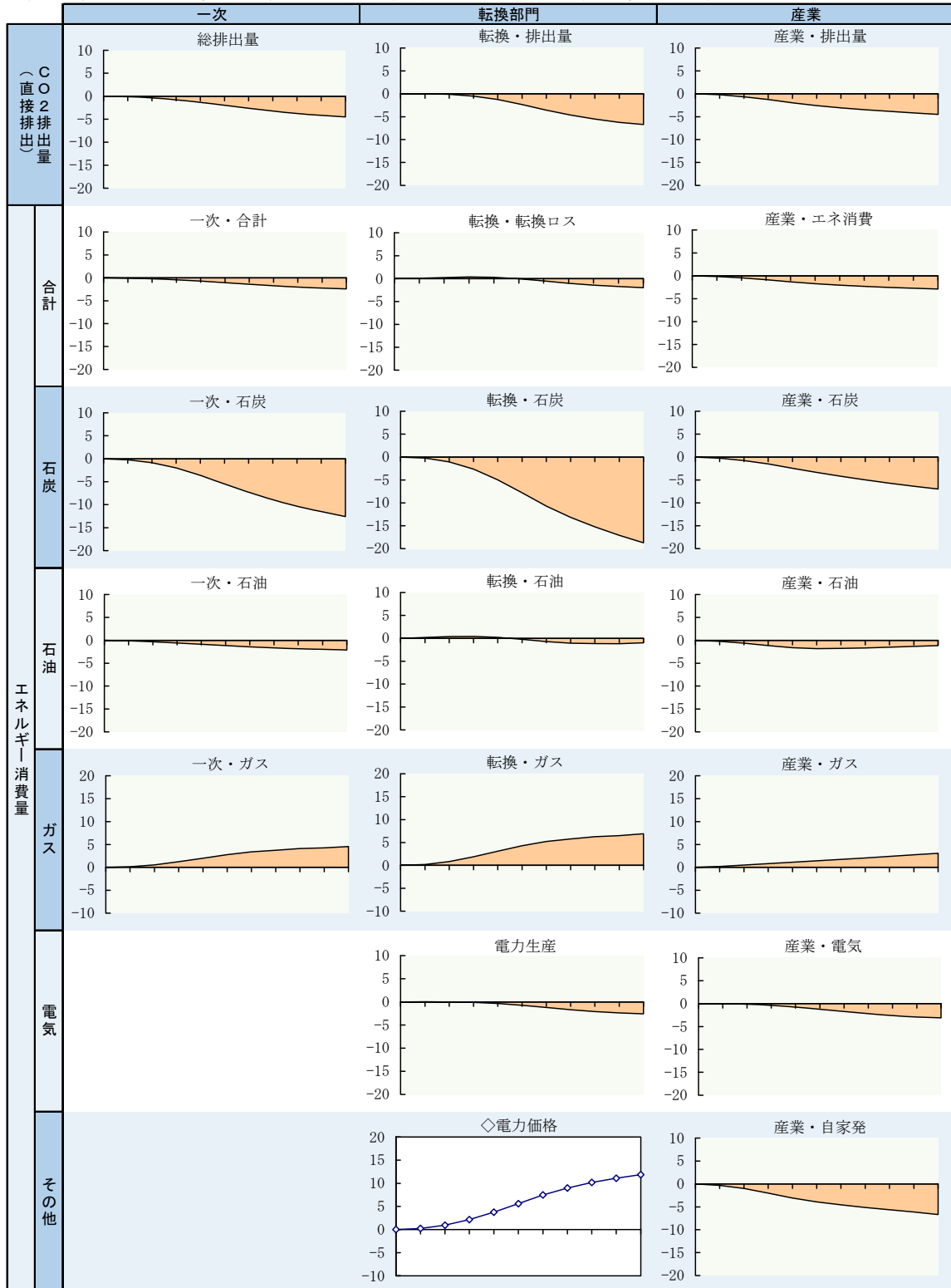
これをみると、炭素税は、(1)石炭から天然ガスへという燃料シフトを促す、(2)石油には中立的かやや抑制的、(3)電力料金の上昇で電力需要を抑制、(4)産業、家庭、運輸などにも薄く広く影響が及ぶ——などの効果を持つのが見て取れる。家庭については、ガスへのシフトが生じていないが、これは、家庭のエネルギー需要関数を推計してみると、燃料間の代替関係が希薄であり、各燃料と一般物価（C P I）との相対価格では価格効果が認められるためである。これにより、各燃料について全般的に節約が起きる結果となっている。



図5-1

ケース I 炭素税の段階的課税 部門別効果 (1)

(2012年度に1000円、2021年に10000円 (いずれもtco2当たり) に引き上げ)

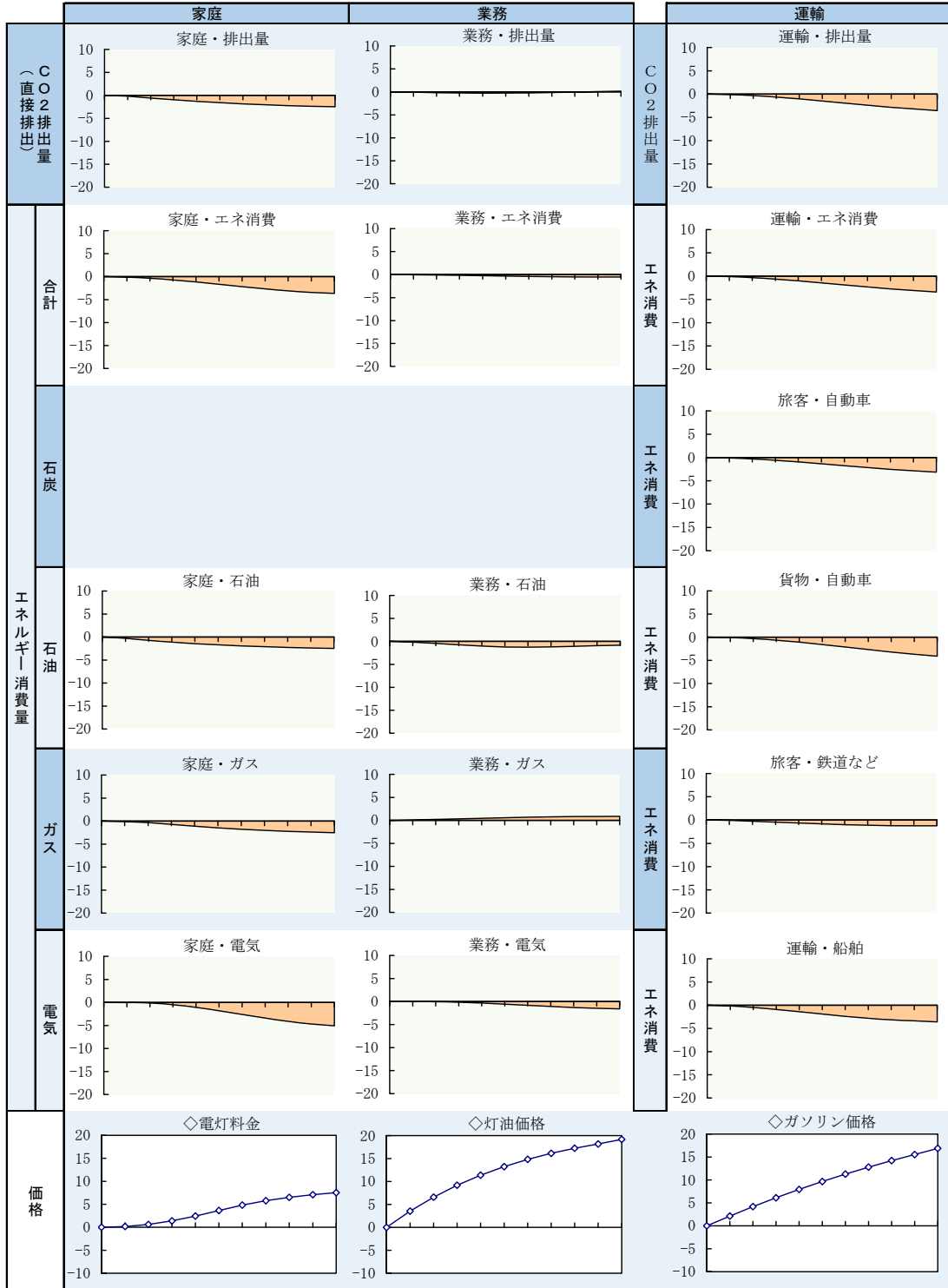


(注) エネルギーは熱量ベース、基準ケースとの乖離率%、期間は2012年から2021年  
ベースラインの化石燃料価格水準によって、炭素税1万円の影響は変わる点に注意

図5-2

ケース I 炭素税の段階的課税 部門別効果 (2)

(2012年度に1000円、2021年に10000円 (いずれもtco2当たり) に引き上げ)



(注) エネルギーは熱量ベース、基準ケースとの乖離率%、期間は2012年から2021年  
ベースラインの化石燃料価格水準によって、炭素税1万円の影響は変わる点に注意

### 3.3 既存税と環境税の比較（ケースⅡ・ケースⅢ）

次は、既存税に関するシミュレーションである。既存税については、重課されているガソリン課税のあり方が焦点の1つであるが、自動車走行の外部費用はガソリン1リットル当たり100円を上回っているとする先行研究もあり（BOX2）、現状もしくはそれ以上の課税が妥当とも考えられる。そこで、ここでは個別税の改廃ではなく、既存税が全体としてどの程度の影響をエネルギー消費に及ぼしているのかを探った（ケースⅡ）。併せて、同程度の環境税（税込規模が現行のエネルギー・車体課税と同じになる環境税）を課した場合を試算し（ケースⅢ）、既存税と環境税の影響を比較した。ここでは、エネルギー・CO<sub>2</sub>排出量関係の指標を中心に検討する。

まず、既存税の効果をみたのが図6-1・6-2である。既存税を取り去ったケースを一度計算し、それをベースにB a Uを比較対象として乖離率（乖離幅）を見ている。既存税を取り去る際には、減税のみでは環境税試算との比較が難しいため、税の減収分を政府支出の減額と年金保険料の引き上げで半分ずつ調整し財政中立を保っている。

これをみると、既存税は、(1)影響が運輸部門に集中する、(2)その結果エネルギー源としては石油消費を抑制、(3)電源開発促進税の影響で電力生産にも下押し効果、(4)運輸部門では相対的に安い鉄道利用を奨励——などの影響を与えていることがうかがえる。既存エネルギー税は、一言で言えば「石油・クルマ税」になっている。

これに対し、環境税の影響を見たのが図7-1・7-2である。税率は現在のエネルギー・自動車関係税と同規模の税込になる水準（CO<sub>2</sub>1トン当たり6000円台、年により異なる）である。この税を既存税に上乗せ課税している（B a Uと比較）。段階的な課税か、初年度からフル課税かという点を除けば、ケースⅠと同じ試算である。

環境税の効果を既存税と比べると、環境税は、(1)炭素含有量の多い石炭利用を抑制、(2)同効果は転換部門において大きい、(3)これまで課税が軽かった産業、民生部門のエネルギー消費を抑制、(4)自動車部門にも影響があるが既存税と比べると効果は小さい、(5)CO<sub>2</sub>排出量の削減率は既存税、環境税とも4.0%（2021年度）で同程度——などの違いがうかがえる。最後の点は、ベースラインの化石燃料価格に依存する。既存税は石油への、環境税は石炭への影響が大きいため、例えば石油価格が安め、石炭価格が高めだと既存税の効果が相対的に大きめに出やすく、逆に石油価格が高め、石炭価格が安めだと環境税の効果が大きめに出やすい。

## ＜BOX 2＞ ガソリンの外部費用について

ガソリン課税のあり方は、燃料消費や自動車走行から派生する外部費用を踏まえて考える必要がある。自動車利用は、温暖化以外にも、大気汚染、交通渋滞、事故、道路損傷などの弊害・費用をもたらす。金本（2007）のサーベイによると、自動車の外部費用は、幅をもって見る必要はあるものの、中位値でガソリン1リットル 124 円になる。現状ではまだ安い可能性があることになる。

半面、車体課税は検討余地がありそうだ。車体は保有しているだけなら、特段の外部費用を生じない。自動車税は2001年度からハイブリッド車（HV）や電気自動車（EV）の税を軽減、09年度からのエコカー減税も車体課税を大幅に減免した。これらの優遇策は、11年度末に一度期限を迎えるが、2012年度税制改正でさらに3年間延長される方向になっている。総務省は多層化している車体課税を「環境自動車税」という地方税に簡素化する案を示している（2010年11月2日公表資料）。

### 自動車の「外部費用」推計値

（ガソリン1リットル当たり、円）

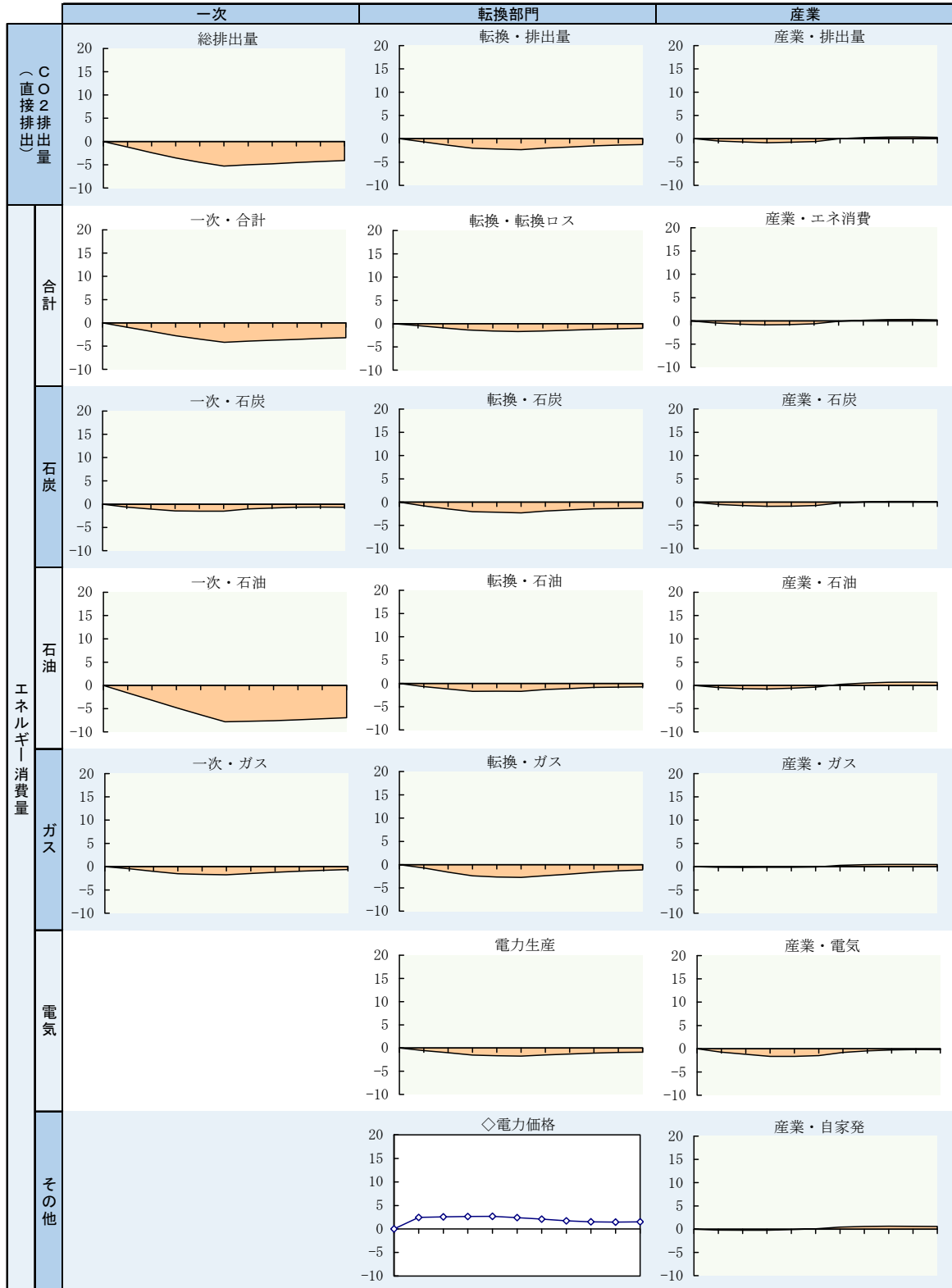
		中位値	範囲
燃料消費	温暖化	19.0	3 ～ 32
	原油依存	4.8	0 ～ 12
走行	大気汚染	10.0	1 ～ 30
	混雑	65.8	0 ～ 338
	事故	23.5	6.6 ～ 45
	道路損傷	0.9	
合計		124.0	10.6 ～ 457

（資料）金本（2007）から引用。内外の研究から自動車の外部費用をサーベイしたもので、上記は乗用車（ガソリン車）に関する推計値。「原油依存」は、エネルギー安全保障が脆弱になったり、産油国による価格つり上げなどの弊害を指す。

図6-1

ケースⅡ 既存エネルギー税の影響 部門別効果(1)

(既存税がなかった場合をベースラインとして、課税後=BAUと比較)

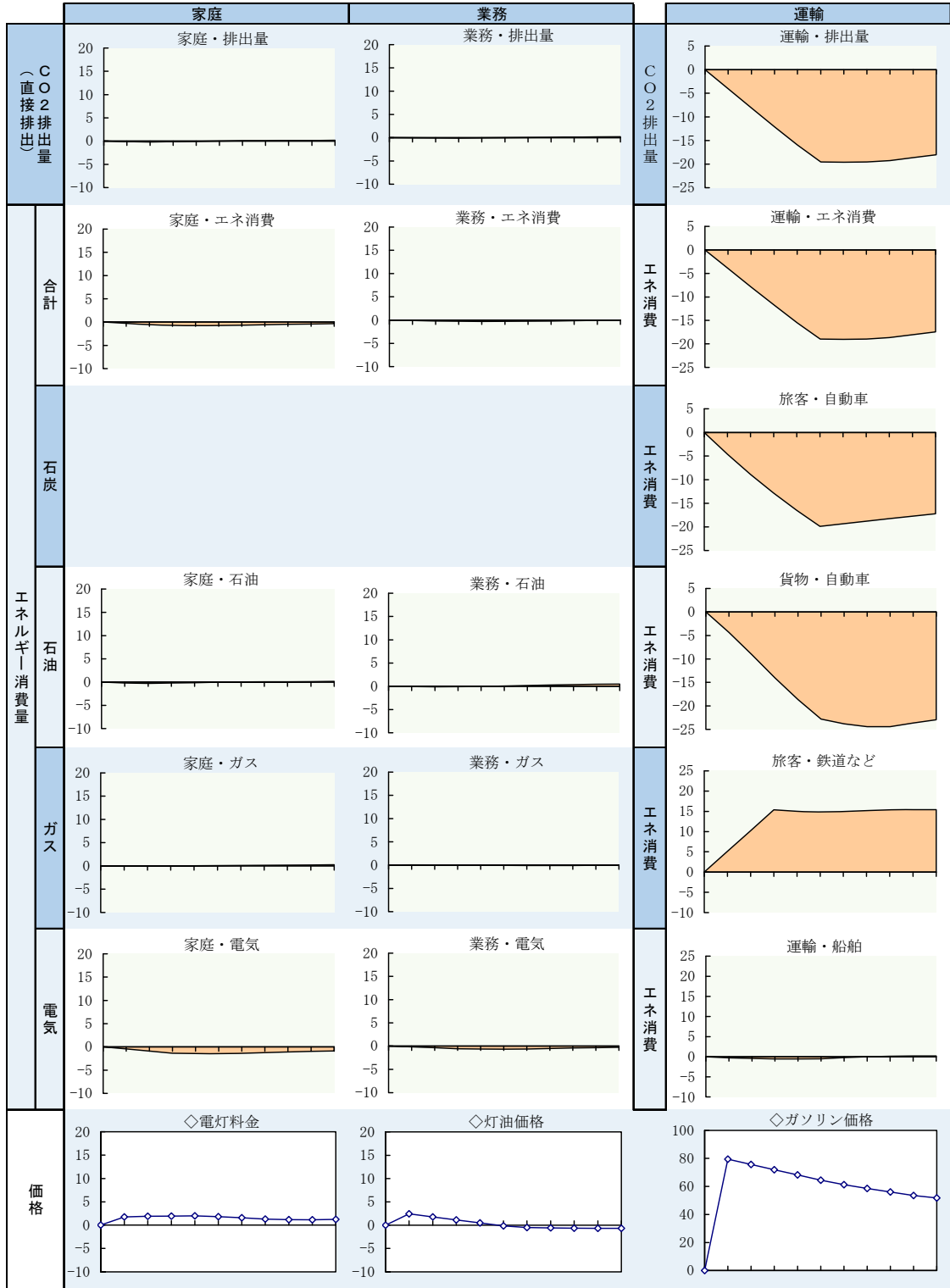


(注) エネルギーは熱量ベース、基準ケースとの乖離率%、期間は2012年から2021年

図6-2

ケースⅡ 既存エネルギー税の影響 部門別効果(2)

(既存税がなかった場合をベースラインとして、課税後=BAUと比較)

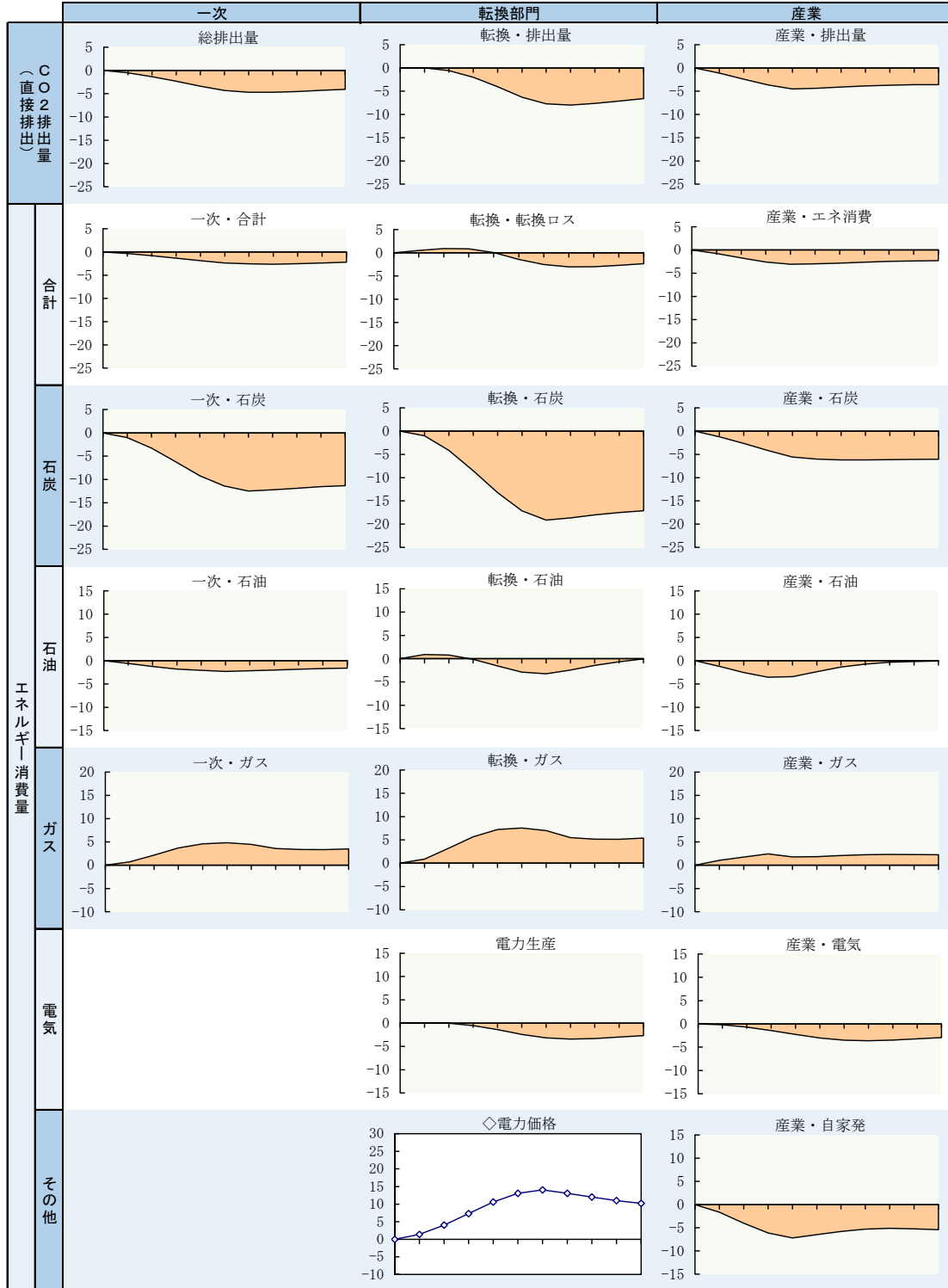


(注) エネルギーは熱量ベース、基準ケースとの乖離率%、期間は2012年から2021年

図7-1

ケースⅢ 炭素税（既存エネルギー税と同税率）を賦課 部門別効果（1）

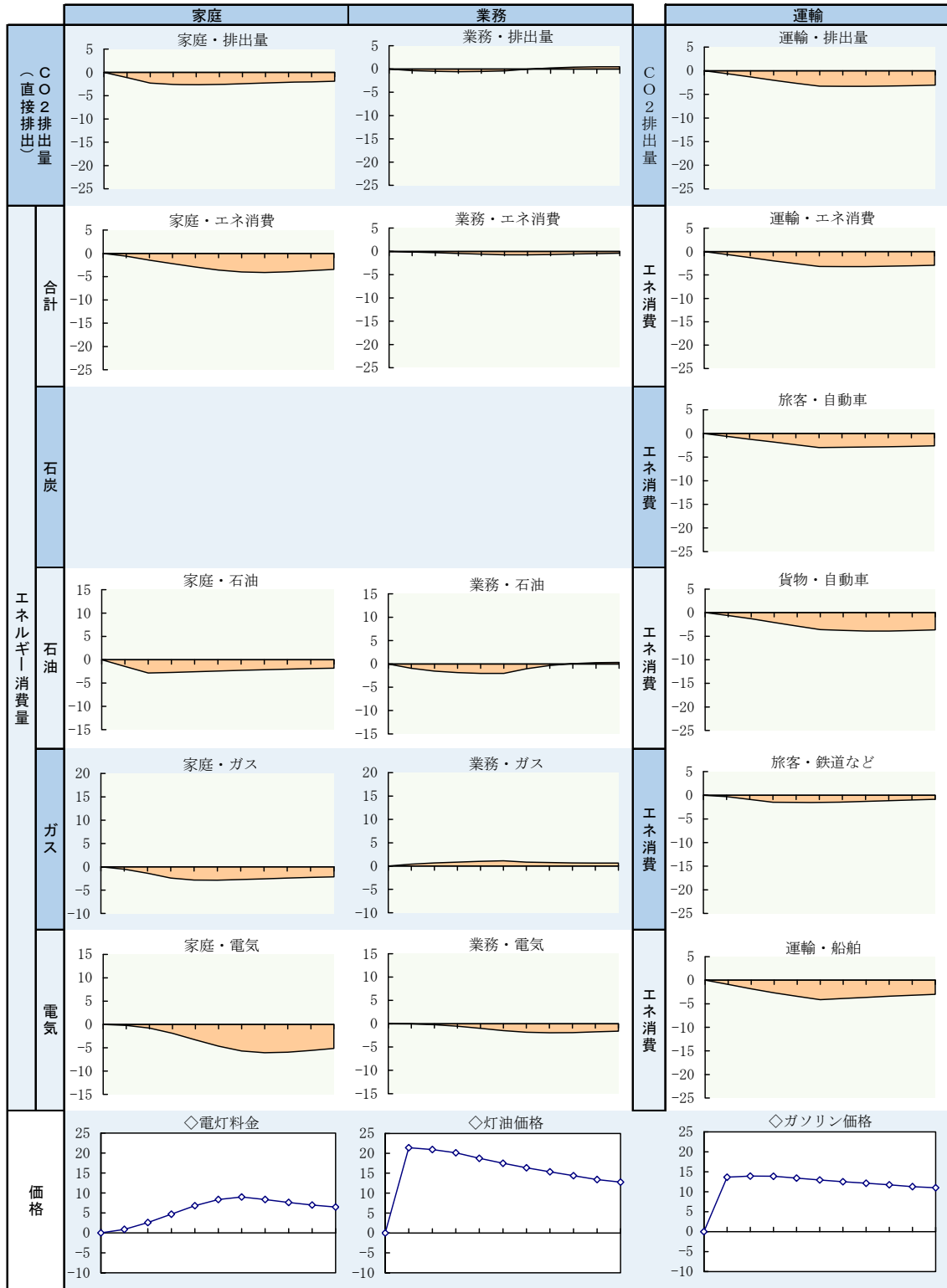
（既存税と同税率になる炭素税=1トンあたり6000～7000円=を課税）



(注) エネルギーは熱量ベース、基準ケースとの乖離率%、期間は2012年から2021年

図7-2

ケースⅢ 炭素税（既存エネルギー税と同税率）を賦課 部門別効果（2）  
 （既存税と同税率になる炭素税=1トンあたり6000~7000円=を課税）



(注) エネルギーは熱量ベース、基準ケースとの乖離率%、期間は2012年から2021年



### 3.4 原子力発電所の再稼働がない場合（ケースⅣ）

原子力発電について、ベースラインは「脱原発」の想定を置いている。現在、稼働を停止している原発は、暫定的な安全指針の策定を経て、2013年度から（一部は2012年度から）再稼働する。ただし、新設は凍結し、稼働後40年を経たものから順次停止するため、2050年にはすべての原発を廃止するとの前提である。2010年度時点で一次エネルギーの10.8%を賄っていた原子力は、2020年度に7.6%、2030年度には3.9%まで寄与を落とす（表3-3）。これに対し、再稼働がないまま、2012年度以降の原子力発電がゼロとなるケースを想定する。

この場合、不足する電力を火力発電によって賄うことになる。本モデルでは、火力発電の燃料は、割安なものの利用比率を高めるというシェア関数に基づき、石炭、ガスがそれぞれある比率を受け持ち、残りを石油で埋めるという構造になっている。いずれにしても、化石燃料の使用が増えるため、輸入の増加と、燃料費用の増加に伴う電気料金引き上げが生じる。

マクロ経済への波及効果を見ると（図8-1・8-2）、物価上昇により企業の実質所得が減少し、企業は設備投資や賃金、雇用の抑制を図る。このあおりを受け、家計も消費を控える。こうした内需の減少と輸入増の直接効果で実質GDPは低下、最大で0.8%程度ベースラインを下回る。ただし、内需の減退で輸入が反転（燃料以外の輸入が減少）、投資・賃金の抑制などにより、調整が進み始める。投資の減少は資本ストックを経由し潜在GDPを抑え、GDPギャップは次第に元に戻る。物価は景気悪化が押し下げ要因、電気料金の上昇が押し上げ要因と、2つの要因が入り交じる。企業物価は後者の影響から上振れし、消費者物価指数は前者の効果から上昇が弱めとなる。賃金が抑制されることも、消費者物価を抑える要因となる。経常収支は1～2兆円赤字方向に振れる。原油価格やガソリン価格がわずかに上昇しているのは、化石燃料へのシフトで国際市場の原油価格が上昇すると見込んでいるためである。

CO<sub>2</sub>排出量とエネルギー需要への影響を点検すると（図9-1・9-2）。転換（発電）部門では、化石燃料の消費が軒並み増加する。これによって、電力料金は15%程度押し上げられる。これにより、産業や家庭部門で電力の節約が起きる。産業部門ではわずかに自家発電も増える。これは、自家発電は事業者の電気と化石燃料価格を見比べて、燃料価格が割安なら自家発電を増やすと考えているためである。

電気料金の上昇により一次エネルギーは約2%抑制される。特に、石炭と天然ガスの増加率が大きい。石油は発電燃料としてのウェイトが小さく、民生や運輸部門で用いられる比率が高いため、比率としてみるとあまり増えない。CO<sub>2</sub>排出量は最大10%、10年後で6%程度ベースラインを上回る。

図8-1

ケースⅣ 原発の再稼働がない場合 マクロ効果(1)  
 (基準ケースは原発の新設を止め2050年に全廃する「脱原発」を想定)  
 (乖離率、\*印は乖離幅)

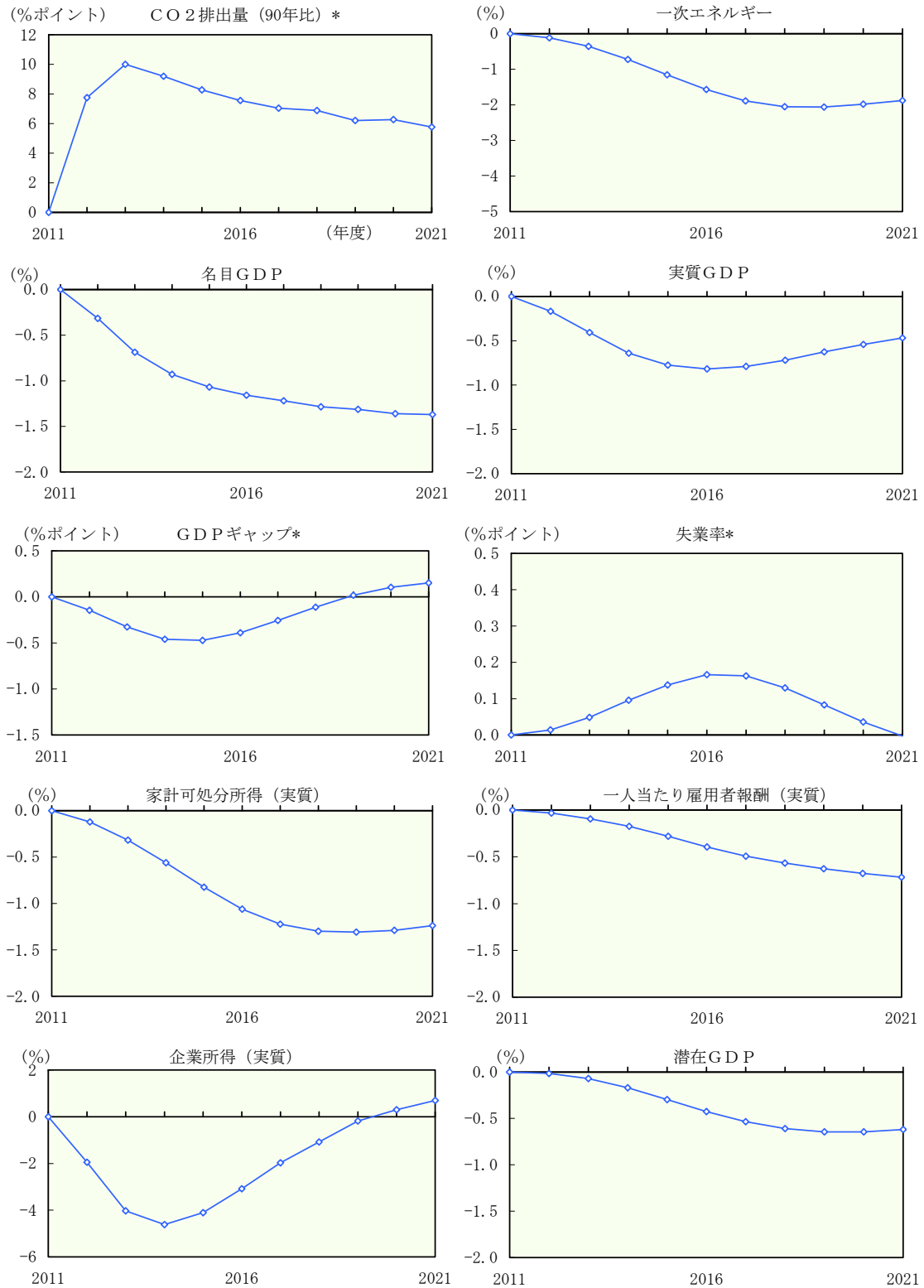


図8-2

ケースⅣ 原発の再稼働がない場合 マクロ効果(2)  
 (基準ケースは原発の新設を止め2050年に全廃する「脱原発」を想定)  
 (乖離率、\*印は乖離幅)

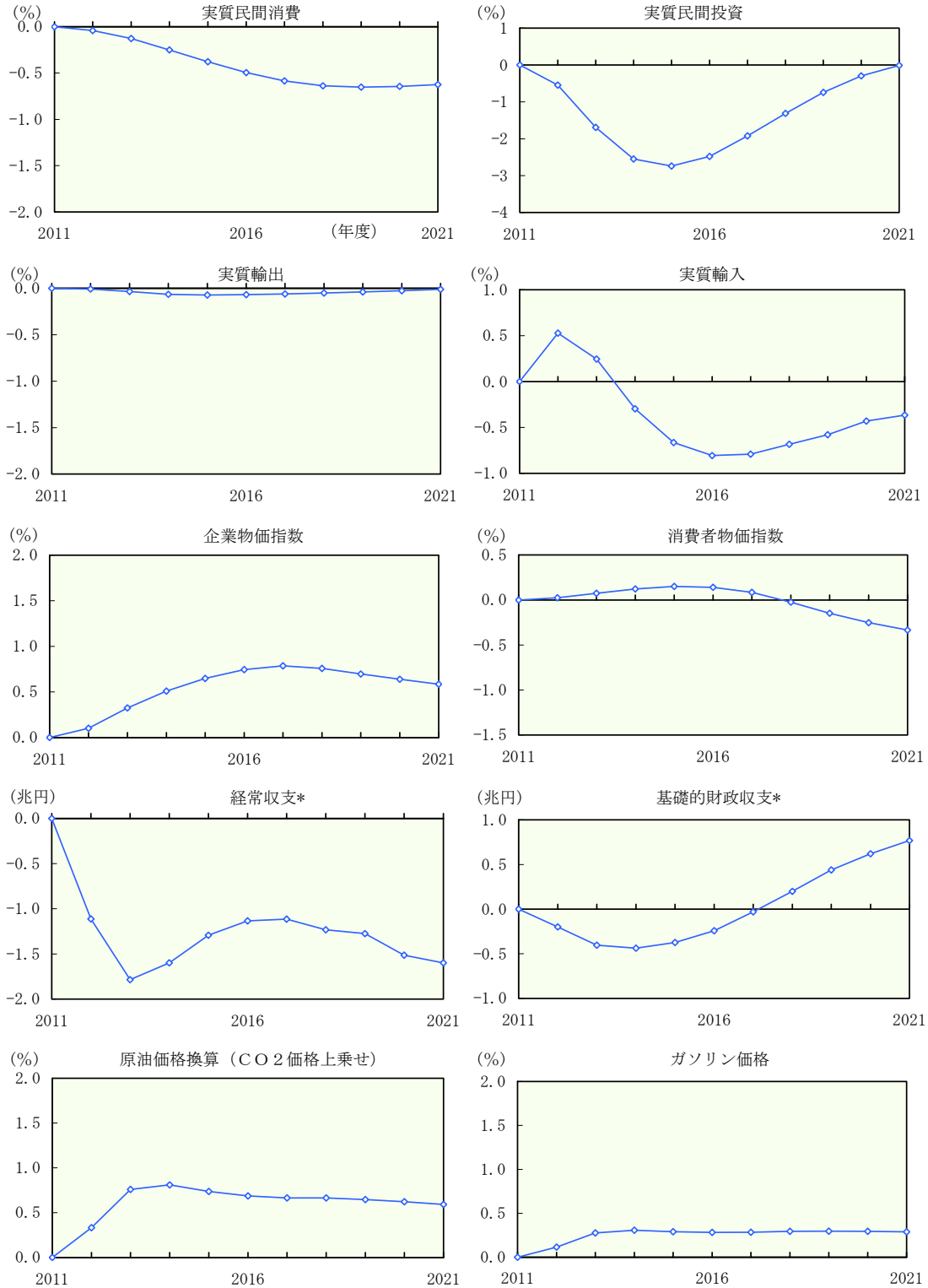
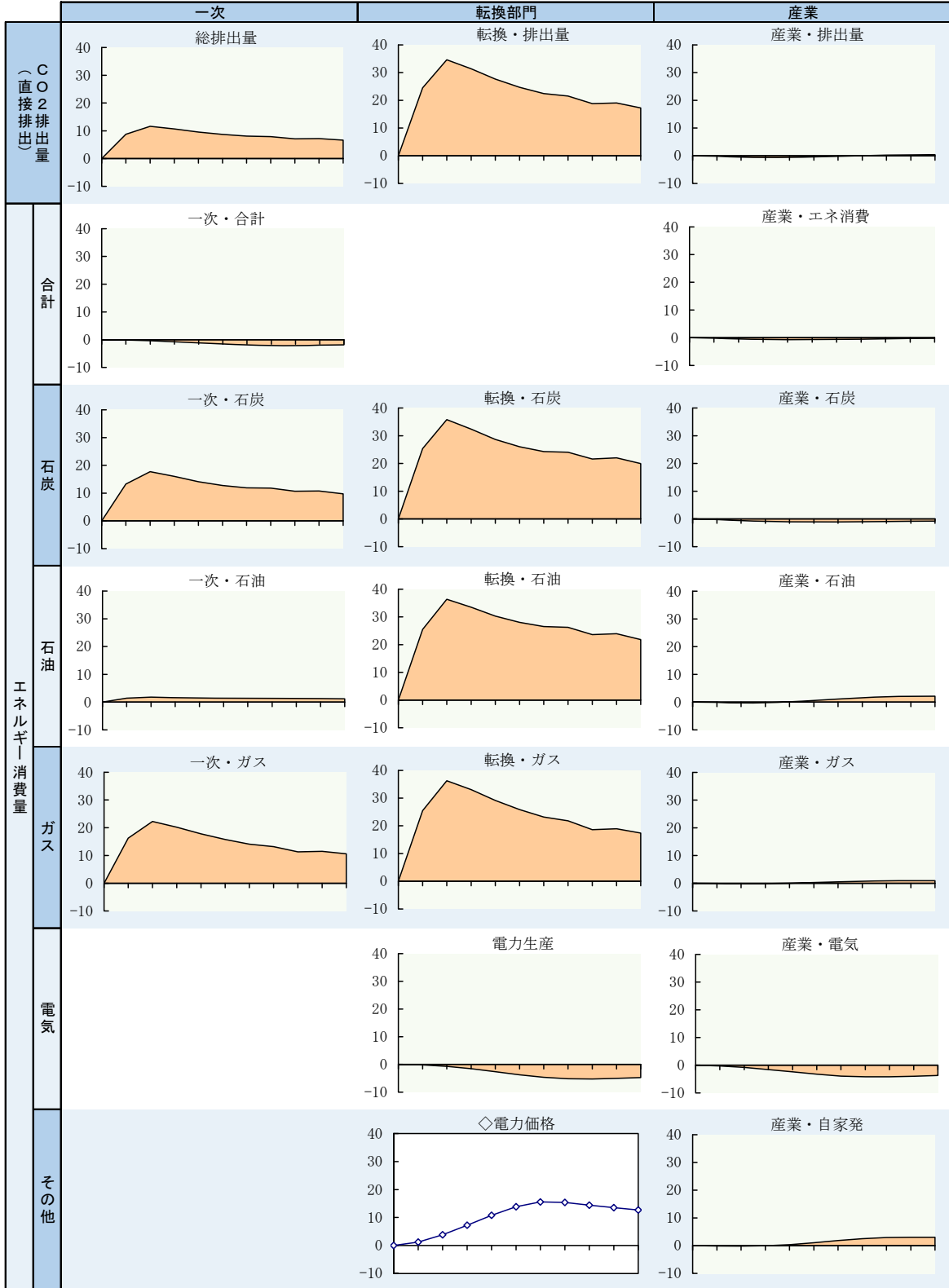


図9-1

ケースⅣ 原発の再稼働がない場合 部門別効果(1)

(基準ケースは原発の新設を止め2050年に全廃する「脱原発」を想定)

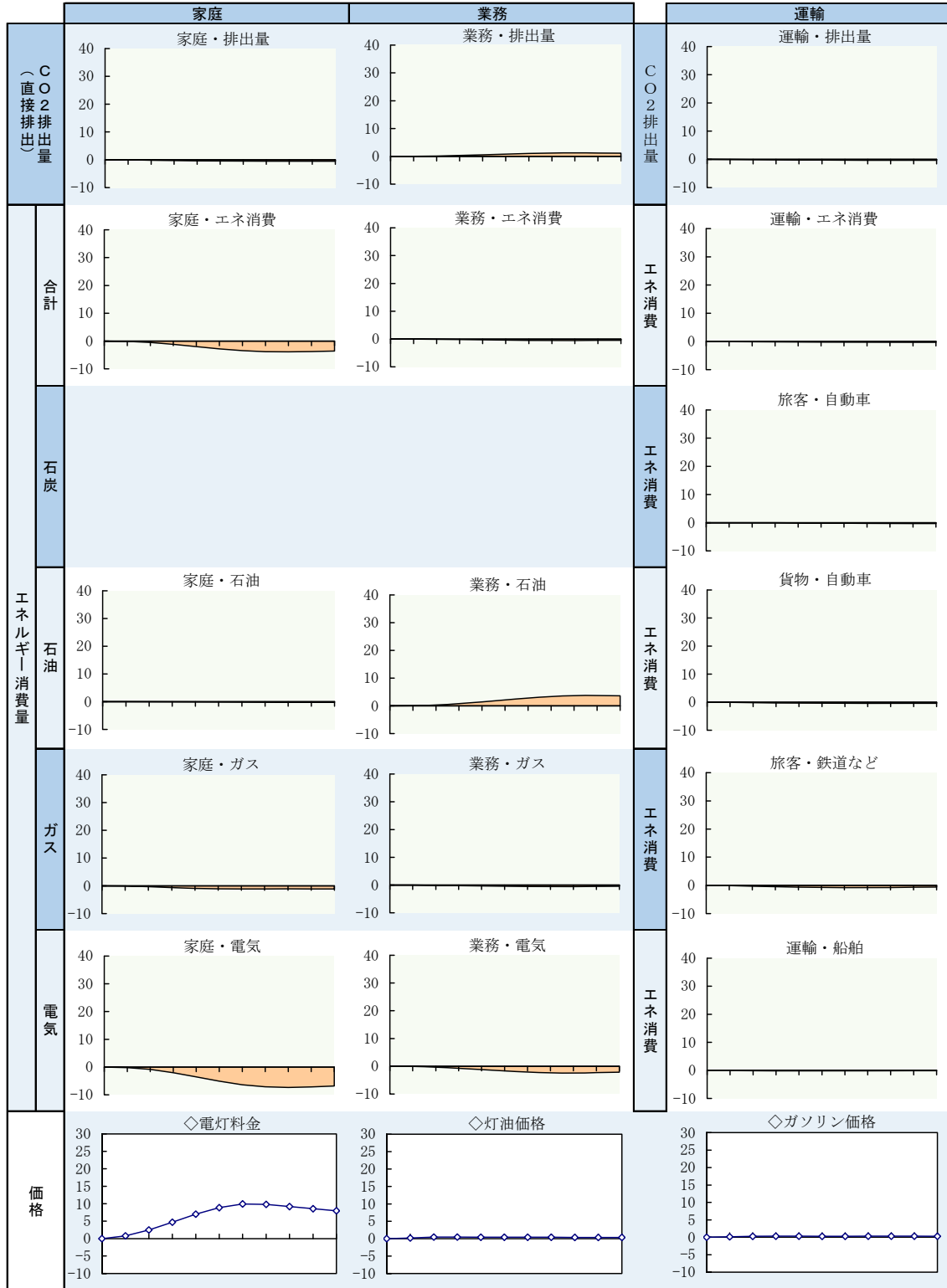


(注) エネルギーは熱量ベース、基準ケースとの乖離率%、期間は2012年から2021年

図9-2

ケースⅣ 原発の再稼働がない場合 部門別効果(2)

(基準ケースは原発の新設を止め2050年に全廃する「脱原発」を想定)



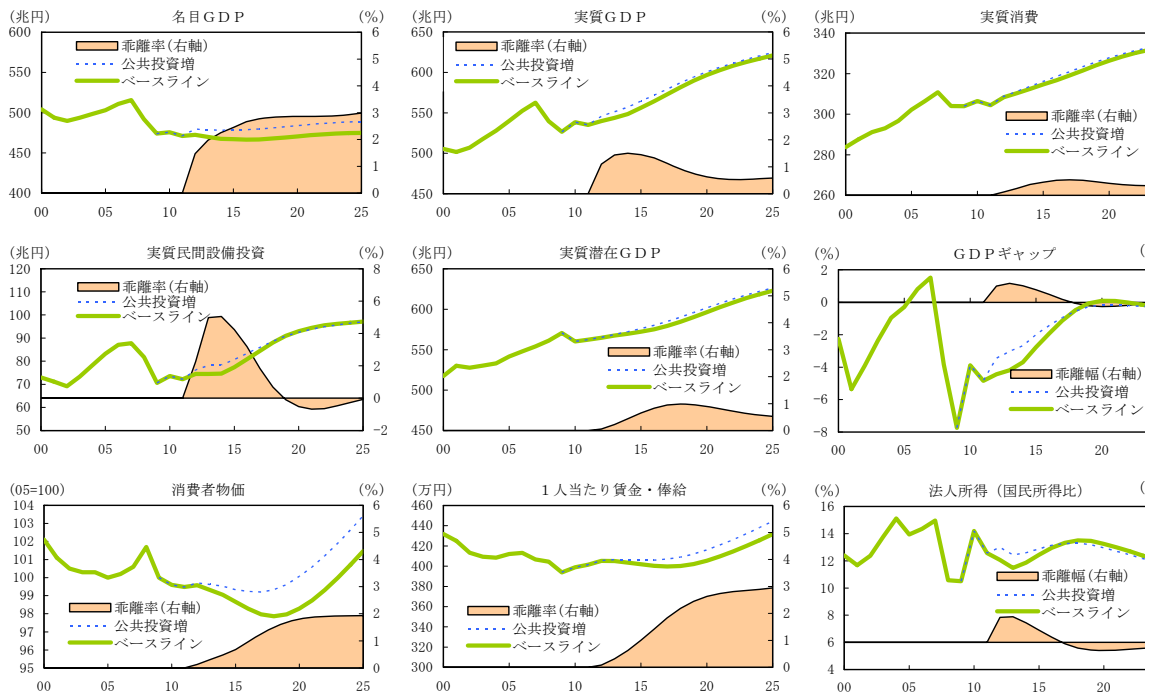
(注) エネルギーは熱量ベース、基準ケースとの乖離率%、期間は2012年から2021年

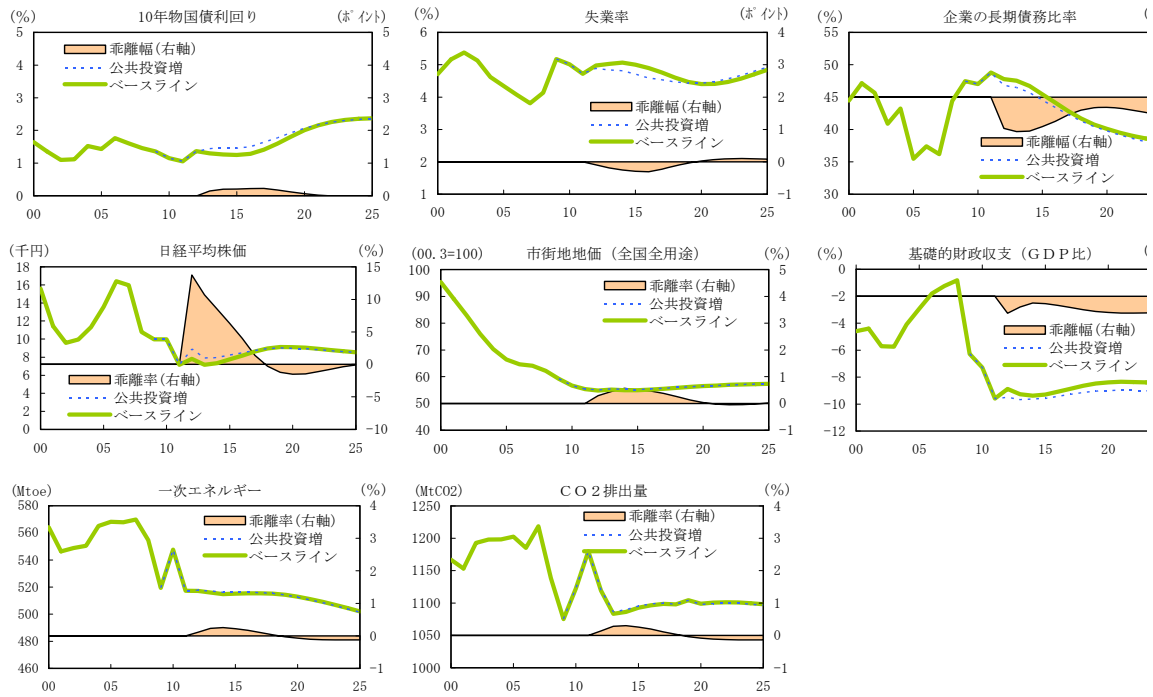
<参考>

本モデルの動学特性を示す1つの資料として、政府支出増額のシミュレーションを掲げておく。

2012年度以降、名目政府消費をGDPの1%分継続的に増額している。継続的に政府支出を増やすと物価が上昇していくため、名目GDPは増加傾向のまま推移するが、実質GDPは次第に減衰、GDPギャップは元の水準に戻っていく。

図 10. 政府支出を名目GDP比1%継続的に追加





## 4 おわりに

最後に、本モデルを環境政策分析に生かす上での利点と留意点について整理しておく。

第1に、本モデルを用いると主なエネルギー・環境課税の改廃効果を分析することができる。2012年度税制改正に盛り込まれた石油石炭税のような川上課税だけでなく、既存のガソリン、軽油、電気などへの川中・川下課税もモデルに組み込んでいる。現時点では既存税の見直しは俎上に上っていないが、今後、課税のあり方を検討する際には分析ツールとして活用できると考えられる。全量買取制度のようなフィードインタリフ型の制度についても、再生エネルギーの導入量を与えた上で、波及効果の部分的な評価ができるよう工夫を加えた。

第2に、本モデルのようなマクロ計量モデルは見通しの定期的な改訂に向いている。産業連関表をベースとしたCGEモデルと異なり、GDPなどマクロ経済統計をベースとしているため、逐次公表されるデータを織り込んで、見通しを改訂していくのに向いている。リーマンショックや東日本大震災といった大きな変動が生じた場合にも、マクロ経済とエネルギー需要に生じた不連続な変化を踏まえて見通しを描き直すことができる。内閣府では「経済財政モデル」を用いて、経済と財政の中期見通しやシミュレーションを定期的に公表している。環境・エネルギーの分野でも、マクロ計量モデルが同じような役割を担うことができるのではないかと。

第3は、「需給ギャップ」が扱えるという点である。マクロ計量モデルはCGEモデルと異なり、需要追加で失業率が改善するといった需給ギャップへの影響が分析できる。環境分野で政府支出を増やしたり、補助金による民間投資の積み増しが見込める場合には、景気への押し上げ効果が分析できる。ただし、これはあまり長期間の分析には向いていない。次項と関係するが、需要を短期間、特に不況期に追加するのであれば、大きな機会費用は生じないが、長期間継続すれば他が一定のままという想定は不自然になる。

このことから、第4にマクロ計量モデルの留意点として、利用できる経済資源の有限性を考慮していないことや、機会費用（ある用途に投資した時に他が犠牲になる）を考慮していないこと、供給余力のある経済を想定していること——などの点を踏まえる必要がある。財政赤字を増やして、政府支出を増やすことの弊害も評価しにくい。

第5に、「産業」や「技術」が取り込みにくいという点にも留意する必要がある。環境・エネルギー問題でカギとなる特定産業の技術構造や制約条件が、モデルに反映しにくい。

第6に、本モデルではCO<sub>2</sub>排出量の把握が「直接排出」にとどまっているという点も、実際の利用部門の動きを捉えきれていないという点で、課題として残っている。民生部門では電気の形態をとったエネルギー利用が増えており、その実態に迫る上でも、間接排出ベースでの把握もモデルに取り込むのが望ましいと考えられる。



## 参考文献

- 稲田義久・下田充 (2010) "3E Econometric Model for the Japanese Economy: An Energy Balance Approach", マクロモデル研究会 (日本経済研究センター、2010年7月) 提出論文、mimeo
- 金本良嗣 (2007) 「道路特定財源制度の経済分析」『道路特定財源制度の経済分析』日本交通政策研究会, pp. 1-32
- 猿山純夫・蓮見亮・佐倉環 (2010) 「JCER 環境経済マクロモデルによる環境税課税効果の分析」JCER Discussion Paper No.127
- 日本経済研究センター (2009) 「マクロモデルによる分析」、地球温暖化問題に関する懇談会、中期目標検討委員会、2009年3月27日
- 日本経済研究センター (2011) 「第38回中期経済予測 (2011年度-2020年度): エネルギー・国際分業、迫られる再構築-除染費用、国民に重い負担」、2011年12月



## 7章 環境政策を評価するための産業連関モデル

### 要旨

産業連関表は、理論モデルであった一般均衡モデルに数値例を与えるべく考案された統計表である。レオンチェフがアメリカ経済を対象にした1919年表が最初の表とされており、100年余りの歴史を持つ。今日では、計算可能な一般均衡モデル(CGEモデル)の開発のための重要な統計の1つになっている。産業連関分析は、広義には、産業連関表を用いた分析全般を指すが、狭義には、生産構造に関して固定係数の仮定を置いた分析手法を指す。生産構造の固定係数の仮定により、モデルが線形になり、同時に数量決定と価格決定が分離されることで、産業間や国際間に相互依存関係を組み込んでも、政策効果の分析がきわめて簡単になるという特徴がある。モデルが線形であるという点は、経済学理論面の要請には完全には応えられていないのだが、理解しやすさと計算の簡便性という点では、説明責任が求められる政策効果の分析には適している側面もある。

この章では、そうした産業連関分析を用いて、環境政策の政策評価の応用例を示す。第2節では産業連関分析の手法を概説する。3節では、民主党政権が2009年末に発表した、温室効果ガス25%削減を成長のエンジンとみなした「新成長戦略」(日本版グリーンニューDeal)の経済効果を試算する。4節では、化石燃料消費に関して、温暖化対策税が炭素含有量に比例する形で課税された場合(炭素税)、各家計にはどの程度の負担になるかを、所得階層別・地域別に推計する。

産業連関分析の基本は、生産技術は産業ごとに固定的であると想定し、需要量が供給量が規定するフレームワークである。ここでは、そういう制約を緩和する試みもおこなっている。5節では、電力を例にとり、発電技術(電源)が変化したときの、経済全体での環境負荷の大きさを推定する方法を提案する。6節では、東日本大震災で起こったような供給制約がある場合の影響を分析する方法を提案する。

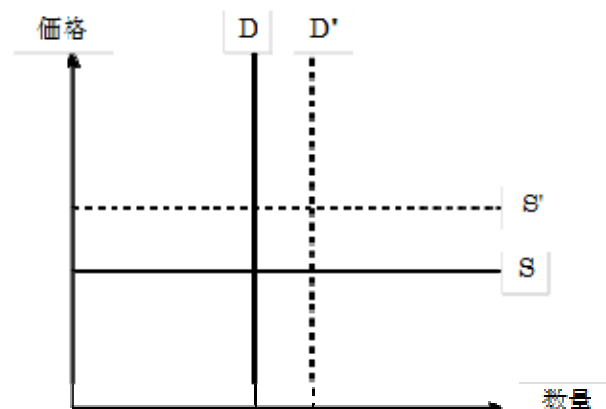
担当者 藤川清史、下田充

## 1 はじめに

われわれが暮らす社会は分業で成り立っている。どのような社会も、必要とする製品やサービスを 1 つの産業だけで提供することはできない。産業連関表とはこのような社会的分業のシステムを 1 枚の表で描いたものである。産業連関表を基礎にして、多産業の需給一致条件やゼロ利潤条件を連立方程式で体系化した分析手法を産業連関分析という。

産業連関分析は多産業(多生産物)を同時に扱うが、個々の生産物の市場を見ると、図 1 に示したように、需要曲線は垂直な直線として、供給曲線は水平な直線として表わされる。したがって、需要曲線へのショックは価格に影響を与えることはなく、供給曲線へのショックは数量に影響を与えることはない。確かにこの仮定は強いものではあるが、1~2 年の短期的な分析を行う限りでは、受け入れられない仮定でもなかろう。この仮定により、生産量の決定と価格の決定を分けて考えることができ、またモデルが線形で表わされるので、産業連関分析の構造はきわめて理解しやすいものになる。

図 1 産業連関分析の決定関係の概念図



資料：著者作成

産業連関分析のもう 1 つの特徴は、完全雇用を仮定しておらず、暗黙に余剰労働力があることを想定している。つまり、需要された財は必ず供給(生産)されることになる。この仮定も短期的な分析である限りは大きな違和感がないであろう。むしろ現在の日本のような経済状況では、受け入れやすい仮定かもしれない。

この章では、2 節で、産業連関分析には生産業決定モデルと価格決定モデルの二種類があるが、それぞれの分析フレームワークを紹介する。そして第 3 節では、環境政策の評価を行う。そこでは、「日本版グリーンニューディール政策」の経済効果の試算、環境税の所得階層別・地域別の 2 つの分析事例を紹介する。最後に第 4 節では、産業連関分析モデルの新たな分析手法を紹介する。そこでは、東日本大震災を例にとった供給制約モデルと発電の電源構成を例とした技術選択モデルを紹介する。

## 2 政策評価のための産業連関分析

### 2.1 産業連関表の基本構造

表1は、2005年の日本の産業連関表である。公表されている産業連関表は400以上にも及ぶ産業部門から構成されているが、この表は、それらを「農林水産業」、「鉱工業」、「電力・ガス」、「商業・運輸」、「その他」の5つの産業部門に統合して簡略化したものである。表の各行(横方向)は、対応する産業で生産された製品が「どこへ」、「どれだけ」販売されたかを示している。別の言葉で言えば、その製品に対する需要の発生源を示している。たとえば「鉱工業」に対応する第(2)行の数値を横に見れば、鉱工業製品が「農林水産業」へ2兆6200億円、自産業である「鉱工業」へ163兆6000億円、「電力・ガス」へ5兆6600億円、「商業・運輸」へ10兆9800億円、「その他」へ39兆9400億円販売されたことがわかる。さらに、家計と政府へ「消費」として、それぞれ59兆8700億円、3300億円、企業や政府へ「投資」として89兆9000億円販売され、海外へ「輸出」として56兆2800億円販売される。ところで、産業連関表を見る場合、その製品が「どこへ」、「どれだけ」販売されたかに加えて、それが「どのように」利用されたかを見ることも重要である。例えば、鉱工業製品のうち、「農林水産業」から「その他」までの5つの産業部門に販売された製品は、それらの産業の製品を生産するために原材料として利用されるものである。これに対して、「消費」、「投資」、「輸出」として販売された製品は、国内での生産の原材料として利用されない<sup>36</sup>。産業連関表では、前者を製品の生産の中間段階で原材料として利用するために需要されるという意味で「中間需要」、後者を最終製品として利用されるという意味で「最終需要」と呼んで区別する。これらは、それぞれ第(6)列と第(11)列に合計が記入されている。「鉱工業」の場合、中間需要と最終需要はそれぞれ、222兆8100億円、206兆3800億円であり、この2種類の需要の合計が第(12)列に示された国内の需要合計429兆1900億円となる。

---

36 海外に輸出されたものが、海外で原材料として使用されることはある。

表1 2005年の産業連関表(5部門統合表)(単位:100億円)

	1	2	3	4	5	6
	農林水産業	鉱工業	電力ガス	商業運輸	その他	中間需要合計
5部門統合表						
1 農林水産業	164	789	0	1	131	1,085
2 鉱工業	262	16,360	566	1,098	3,994	22,281
3 電力ガス	10	510	68	241	447	1,275
4 商業運輸	118	3,320	88	1,487	1,923	6,935
5 その他	66	3,779	332	3,167	7,693	15,037
6 中間投入合計	620	24,757	1,055	5,994	14,189	46,614
7 家計外消費	7	532	30	324	787	1,680
8 雇業者所得	137	6,940	206	5,681	12,918	25,882
9 営業余剰	376	1,488	154	2,141	5,800	9,958
10 固定資本減耗	133	1,725	309	988	6,509	9,664
11 間接税	57	1,597	121	599	1,378	3,753
12 補助金	-14	-59	-9	-25	-244	-351
13 付加価値合計	695	12,223	813	9,708	27,148	50,587
14 国内生産額	1,315	36,980	1,868	15,702	41,337	97,201

	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	民間消費	政府消費	投資	輸出	最終需要合計	需要合計	輸入	最終需要部門	国内生産額
356	0	92	6	455	1,540	-224	230	1,315	
5,987	33	8,990	5,628	20,638	42,919	-5,940	14,699	36,980	
589	0	0	3	593	1,868	0	592	1,868	
6,397	-7	1,385	1,429	9,204	16,139	-437	8,767	15,702	
16,438	7,643	2,555	311	26,946	41,984	-647	26,299	41,337	
29,768	7,669	13,022	7,377	57,836	104,450	-7,248	50,587	97,201	

資料：総務省統計局『平成17年産業連関表』を基礎に筆者が統合

ところで、製品に対する需要の中には、国内の産業で生産された国産品だけでなく、海外で生産された輸入品に対する需要も含まれている。したがって、産業連関表の需要の合計はその分だけ、国内で生産された額より大きい。そこで、表3の産業連関表では、需要のうち輸入で賄われた分を、一括して別に第(13)列に控除項目(負値)として掲げている。「鉱工業」の場合、59兆4000億円の製品が輸入されている。ただし、この表からは輸入品の販売先を個々に知ることは出来ない。輸入品の販売先の内訳を示す産業連関表も存在するが、それについては後に詳しく説明する。

さて、第(2)行の「鉱工業」の数値を、第(6)列目、第(11)列目、第(12)列目の合計項目を除いて、左から順にみると、次の等式が成立する。

$$262 + 16,360 + 566 + 1,098 + 3,994 + 5,987 + 33 + 8,990 + 5,628 - 5,940 = 36,980 \quad (1)$$

左辺は国内の産業で生産された国産品に対する需要額、右辺は国産品の供給額、すなわち

国内生産額を表している<sup>37</sup>。つまり、鉱工業製品の需給の均衡を示している。この式は、「鉱工業」だけでなく、他の4産業の製品についても成り立つことは、表から容易に確かめることができるであろう。

次に、表の数値を列(縦方向)に沿って見ることにしよう。各列は、その産業が、製品を生産するために必要なものを「どこから」、「どれだけ」購入したかを示している。ただしここでの数値は、購入の対価として支払った金額で表示されている。行の場合と同様、「鉱工業」に対応する第(2)列の数値を縦に見れば、この産業が、「農林水産業」へ7兆8900億円、自産業である「鉱工業」へ163兆6000億円、「電力・ガス」へ5兆1000億円、「商業・運輸」へ33兆2000億円、「その他」へ37兆7900億円支払ったことがわかる。これらはすべて、製品を生産するために用いた原材料購入の対価として支払われたものである。産業連関表では、これらを「中間投入」と呼ぶ。

ところで、産業が製品の生産のために用いるものは原材料だけではない。すなわち労働者を雇用し、機械・建物などの資本設備を利用する。これらを利用する対価として支払われる額が表の第(7)行から第(12)行までに示されたものである。「家計外消費」とは、旅費や交際費として雇用者に支給されるものである。これに「雇用者所得」を加えたものが、労働の対価として雇用者に支払われる金額となる。「家計外消費」は、中間投入と考えることもできるが、産業連関表ではこのように付加価値の一部として取り扱われる。「営業余剰」は、生産者の経営努力に対する報酬と考えられる。「資本減耗引当」は、生産活動によって摩耗した機械設備を補填するために将来に備えて積み立てられるものである。これらに、政府による政策的な価格調整のために存在する「間接税」を加え、控除項目である「補助金」を差し引いたものを付加価値と呼ぶ。すなわち、労働や機械設備、経営資源などを用いることによって、原材料の価値に新たな価値が付け加えられたわけである。「鉱工業」の場合、労働への支払いである「家計外消費」は5兆3200億円、「雇用者所得」は69兆4000億円、「営業余剰」は14兆8800億円、「資本減耗引当」は17兆2500億円であるが、これに政府に支払う「間接税」の15兆9700億円を加え、政府から受け取った補助金の5900億円を控除した額である122兆2300億円が付加価値となる。これを第(6)行に示された中間投入額247兆5700億円に加えると、国内生産額は最下行に示された369兆8000億円となる。この値は、第(2)行、第(15)列に示された国内生産額と一致していることがわかるであろう。ここでも、第(2)列の数値を、第(6)行目、第(13)行目の合計項目を除いて、上から順にみると、次の等式が成立する。

$$789 + 16,360 + 510 + 3,320 + 3,779 + 532 + 6,940 + 1,488 + 1,725 + 1,597 - 59 = 36,980 \quad (2)$$

左辺は、製品の生産に関わる費用項目への支払額、右辺は製品の販売による収入を表している。すなわち、生産に関わる支出と収入が等しいことを示している。この式の関係は、「鉱工業」だけでなく、他の4産業についても成り立つ。

---

37 輸入を右辺に移項して、左辺を工業製品への需要、右辺を鉱工業製品への供給といってもよい。

## 2.2 金額表と物量表

たとえば、 $789/36,980=0.0213$ 、 $16,360/36,980=0.4424$  はそれぞれ鉱工業製品 1 円あたり、農林水産業の製品が 0.0213 円、鉱工業製品が 0.4424 円分投入されていることを示している。このような係数を「投入係数」と呼ぶ。投入係数は、どのような製品をどれだけ投入すれば、どれだけの製品を生産することができるかを表すという意味で、製品の生産技術の特徴を示すものである。しかし、このように求められた投入係数の値は、物理的な原材料投入量と生産量の関係が一定であっても、製品の価格の変化に応じて変化してしまうという欠点を持っている。したがって、本来の意味での生産技術の特徴を見ようと思えば、産業連関表の数字を、金額ではなく生産される製品の物理的単位で測定する必要がある。たとえば、鉱工業が生産する鉄の生産量をトン単位で測定し、電力・ガス産業が生産する熱量をキロカロリーで測定するなどが考えられる。表 3 のように金額で表示された産業連関表が「金額表」と呼ばれるのに対し、トンやキロカロリーのよう物量単位で表した産業連関表は「物量表」と呼ばれる。物量表を用いて計算された投入係数は「1 キロワットの電力を生産するのに、何キロリットルの原油が必要か」という、まさに技術的な関係を表すことになる。

投入係数をこのように技術的關係と考えるならば、産業連関分析の基礎となる産業連関表は、物量表であると言える。しかしながら、利用の便利さという点で、物量表が実際の産業連関分析で用いられることは稀で、通常は表 3 のような金額表を物量表とみなして分析されることがほとんどである。すなわち、産業連関表が作成された時点の貨幣価値を物量の測定単位とし、金額表の数値を、貨幣価値 1 単位で購入できる量とみなすことによって、金額表を物量表として利用するわけである。表 1 の場合、「2005 年の貨幣 100 億円で購入できる物量を測定単位として表示した物量表」とみなすことができる。

以下では金額表を物量表とみなして用いることにする。ただし、異なる時点の金額表を同時に利用する場合には注意が必要である。投入係数の経年の変化は、技術構造の変化だけでなく、価格の変化も含んでいるからである。このため、基準年以外の年については、金額表を産業ごとのデフレーター(基準年の物価水準を 1 としたときの基準年以外の物価水準を表す指数)を用いて基準年の価格で評価したものが物量表として用いられる。このような意味での物量表は、価格の変化の影響を除去したという意味で、「不変価格表」あるいは「実質表」と呼ばれる。たとえば、最近のものでは、わが国では総務省から『平成 2-7-12 年接続産業連関表』が公表されている。これは 1990 年、1995 年の金額表を 2000 年の価格で評価したものである。不変価格で評価したからといって、産業連関表が金額表示であることに違いはない。



表 2 産業連関表の表示形式：物量表と金額表

(物量表)		中間需要				最終需要	輸入	国内生産
		第 1 産業	第 2 産業	…	第 $n$ 産業			
中間投入	第 1 産業	$x_{11}$	$x_{12}$	…	$x_{1n}$	$f_1$	$-im_1$	$x_1$
	第 2 産業	$x_{21}$	$x_{22}$	…	$x_{2n}$	$f_2$	$-im_2$	$x_2$
	⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	⋮
	第 $n$ 産業	$x_{n1}$	$x_{n2}$	…	$x_{nn}$	$f_n$	$-im_n$	$x_n$

(金額表)		中間需要				最終需要	輸入	国内生産
		第 1 産業	第 2 産業	…	第 $n$ 産業			
中間投入	第 1 産業	$p_1 x_{11}$	$p_1 x_{12}$	…	$p_1 x_{1n}$	$p_1 f_1$	$-p_1 im_1$	$p_1 x_1$
	第 2 産業	$p_2 x_{21}$	$p_2 x_{22}$	…	$p_2 x_{2n}$	$p_2 f_2$	$-p_2 im_2$	$p_2 x_2$
	⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮	⋮
	第 $n$ 産業	$p_n x_{n1}$	$p_n x_{n2}$	…	$p_n x_{nn}$	$p_n f_n$	$-p_n im_n$	$p_n x_n$
付加価値		$V_1$	$V_2$	…	$V_n$			
国内生産		$p_1 x_1$	$p_2 x_2$	…	$p_n x_n$			

資料：著者作成

ここで、今後の説明を一般的な形で進めるため、産業連関表の形式を、表 2 のように、よく用いられる記号で表しておくことにする。表では、第  $i$  産業から第  $j$  産業への製品の投入量を  $x_{ij}$ 、第  $i$  産業の製品の国内生産量を  $x_i$ 、第  $i$  産業の製品に対する最終需要を  $f_i$ 、第  $i$  産業の製品の輸入を  $im_i$ 、第  $i$  産業の付加価値を  $V_i$  と表記している。

### 2.3 生産量決定モデル

産業連関分析は、生産量と供給価格を多数の産業で同時に決定する。実際には、企業が生産量調整を行う場合は価格をにらみながらであり、価格調整は数量をにらみながら行うものである。しかし上述のように、短期的には「数量は数量だけの調整」、「価格は価格だけの調整」と仮定してもそれほど間違っていない。企業が導入している生産技術は、短期的には変更されないと考えられるからである。産業連関分析は「投入係数」という技術パラメータを導入する。各産業(例えば  $j$  産業)の生産物  $X_j$  の単位生産量あたりに、(例えば  $i$  産業から)投入される中間投入量  $X_{ij}$  量の比率は、短期的には固定的な技術係数であると仮定する。投入係数は、次のように表される。

$$a_{ij} = X_{ij} / X_j \quad (3)$$

投入係数を導入すれば、均衡生産量決定は、つぎの連立方程式で表すことができる。生産量については、需要された量だけ供給されると仮定される。

$$\begin{aligned} \mathbf{Ax} + \mathbf{f} &= \mathbf{x} \\ [\mathbf{I} - \mathbf{A}]\mathbf{x} &= \mathbf{f} \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 $\mathbf{A}$ は「投入係数行列」と呼ばれ、 $a_{ij}$ を第 $(i,j)$ 要素とする $n$ 行 $n$ 列の正方行列、 $\mathbf{x}$ 、 $\mathbf{f}$ はそれぞれ生産量 $x_i$ 、最終需要 $f_i$ を第 $i$ 要素とする $n$ 次の列ベクトルである。

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}, \quad \mathbf{f} = \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

均衡生産量は次の式で求めることができる。

$$\mathbf{x} = [\mathbf{I} - \mathbf{A}]^{-1}\mathbf{f} \quad (6)$$

右辺にある逆行列は、レオンチェフ逆行列と呼ばれ、産業連関分析では重要な役割を果たす。レオンチェフ逆行列は最終需要量とそれを供給するのに必要とされる生産量との橋渡しをする行列である。たとえば、自動車産業で輸出が急増したとしよう。自動車の増産のためには、ボディ鋼板、タイヤ、座席シート、窓ガラス、塗料が必要になる。そして、またその部品や半製品を生産するために、コークス、ゴム強化剤、化学繊維織物、といった原材料が必要になる。このように、自動車増産のために需要される財は極めて広い裾野をもっているが、レオンチェフ逆行列は、それらの全波及効果を含めた究極的に必要となる生産量の理論値を求めるための係数になる。

## 2.4 価格決定モデル

一方価格の側では各産業の価格は次の連立方程式であらわされる。価格は費用および利潤の積み上げで決定されると仮定する。

$$\begin{aligned} \mathbf{pA} + \mathbf{v} &= \mathbf{p} \\ \mathbf{p}[\mathbf{I} - \mathbf{A}] &= \mathbf{v} \end{aligned} \quad (7)$$

ここで、 $\mathbf{p}$ は価格行ベクトル、 $\mathbf{v}$ は付加価値率(生産量あたり必要な付加仮額)で、 $v_j$ を第 $j$ 要素とする行ベクトルである。雇用者所得率、利潤率、間接税率などは、この付加価値率の中に入っている。

$$\mathbf{p} = [p_1 \quad p_2 \quad \cdots \quad p_n], \quad \mathbf{v} = [v_1 \quad v_2 \quad \cdots \quad v_n] \quad (8)$$

(5)式の両辺にレオンチェフ逆行列を右から掛ければ、価格 $\mathbf{p}$ が付加価値率とレオンチェフ逆行列との積として解くことができる。このレオンチェフ逆行列は均衡生産量決定モデルで用いたのと同じである。

$$\mathbf{p} = \mathbf{v}[\mathbf{I} - \mathbf{A}]^{-1} \quad (9)$$

例えば、石油産業での賃金がなんらかの理由で突然上昇したとする。そうすると石油の価格が上昇するのはもちろんだが、ガソリン価格や電力価格も上昇するだろう。さらに、ガソリンを消費するタクシーの価格や宅配便運送業の価格、電力消費の多い鉄道の価格の上昇圧力にもなり、全産業の価格に影響を与えることになる。このように、レオンチェフ逆行列は、それら全波及効果を含めた究極的に決まる価格の理論値を求めるための係数になる。

## 2.5 輸入の扱い

これまで、輸入のことは明示的に書いてなかったが、現実には中間取引と最終需要の両方で、財には輸入財が含まれている。国内の生産物だけを取り扱うためには、輸入財を除去せねばならない。それには 2 つの方法がある。まずは、競争輸入型産業連関表を用いる方法である。第  $i$  産業の総供給に占める輸入の比率を  $m_i$  で表わし、第  $i$  行にはその共通比率で輸入品が含まれていると仮定する。

$$\hat{\mathbf{M}} = \begin{bmatrix} m_1 & & 0 \\ & m_2 & \\ & & \ddots \\ 0 & & & m_n \end{bmatrix}, \quad (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}})\mathbf{f} + \mathbf{e} = \mathbf{f}^d + \mathbf{e} = \begin{bmatrix} (1 - m_1)f_1 + e_1 \\ (1 - m_2)f_2 + e_2 \\ \vdots \\ (1 - m_n)f_n + e_n \end{bmatrix}$$

この仮定の下では、生産決定モデルは次のように変更される。経済産業省が公表している「延長表」は競争輸入型なので、同省はこのモデルを推奨している。

$$(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}})\mathbf{A}\mathbf{x} + (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}})\mathbf{f} + \mathbf{e} = \mathbf{x}$$

$$\mathbf{x} = [\mathbf{I} - (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}})\mathbf{A}]^{-1} [(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}})\mathbf{f} + \mathbf{e}] \quad (10)$$

ただ、このモデルでは、同じ行の升目は同じ比率で輸入品が含まれているというかなりきつい仮定が用いられている。したがって、産業連関表の縦の関係を扱う価格決定モデルの場合、こうした仮定を基礎にしたモデルは勧められない。

非競争輸入型の産業連関表を用いる方法もある。総務省が公表している「ベンチマーク表」では、非競争輸入型表が公表されている。非競争輸入型表では、国内財の表と輸入品の表があるので、それをそのまま使うことになる。財の需給均衡は、国内財と輸入財で次のように表わされる。

$$\mathbf{A}^d \mathbf{x} + \mathbf{f}^d + \mathbf{e} = \mathbf{x} \quad (11)$$

$$\mathbf{A}^m \mathbf{x} + \mathbf{f}^m = \mathbf{Import} \quad (12)$$

したがって、生産量決定モデルは次のように表わされる。

$$\mathbf{x} = [\mathbf{I} - \mathbf{A}^d]^{-1} [\mathbf{f}^d + \mathbf{e}] \quad (13)$$

国内財と輸入財について別枠扱いすると、投入係数の安定性が保たれないかもしれないという問題はあるが、それを除けばモデルとして誤差が少ないのは非競争輸入型表モデルである。また、非競争輸入型表を基礎にすると、輸入財の価格を(付加価値率の構成要素の一つとして)明示的に取り入れた価格モデルを作ることでもある。

$$\mathbf{p}^d \mathbf{A}^d + \mathbf{p}^m \mathbf{A}^m + \mathbf{v} = \mathbf{p}^d$$

$$\mathbf{p}^d = [\mathbf{p}^m \mathbf{A}^m + \mathbf{v}] [\mathbf{I} - \mathbf{A}^d]^{-1} \quad (14)$$

## 2.6 経済波及効果の分析

「経済波及効果」とは、何らかの経済イベントや需要増加事象に関して、究極的に次産業と他産業へ及ぶ需要増加のことを言う。計算の手順としては、産業ごとの最終需要の増加額を推計した上で、生産量決定モデルの最終需要ベクトルにそれを代入することで求められる。例として表3に共立総合研究所が2006年に公表したレポートを紹介する<sup>38</sup>。

表3 中日ドラゴンズ優勝の経済効果

項目	具体例	消費増加額	経済波及効果 (生産誘発額)
優勝セール	百貨店やスーパーでの売上増	61億円	102億円
日本シリーズ関係	入場料、飲食費、交通費、TV放映権、CM料等	36億円	59億円
公式戦の観客増加	入場料、飲食費、交通費等	10億円	17億円
その他	新聞等の売上増、関連グッズ等の売上等	13億円	22億円
合計		120億円	200億円

資料：共立総研 Web <http://www.okb-kri.jp/press/20060803.pdf>  
 利用した産業連関表は中部経済産業局の「平成12年東海地域産業連関表」の52部門表である。当初の「消費増加額」に比べて「生産誘発額」が1.7倍程度大きくなっていることが分かる。これがレオンチェフ逆行列による効果である。ただ、こうした産業連関分析の結果の数字を読むときには、次の諸点に注意を要する。

- 1)付加価値の増加は当初の消費増加度と同額である。誘発効果とは中間需要も含めた生産額の増加を示すので、GDPが増加したわけではない。

<sup>38</sup> 藤原(2007)は県別の産業連関表を用いている。神奈川県にも自動車産業の集積があるが、愛知県の自動車産業に比べると域内完結的ではなく、需要が県外に多く漏れることを述べている。

- 2)在庫が多い産業では、在庫処分して需要の増加に対応するため、生産波及効果が中断する可能性がある。
- 3)産業連関モデルは静学分析であるので、生産波及効果が最終的に達成される時期が明確ではない。
- 4)域内の生産能力を上回る需要が生じた場合に、需要超過分は移輸入される。

### 3 日本版グリーンニューディール政策の評価

#### 3.1 経済効果の計算方法

日本政府は2009年末に「新成長戦略」を発表し、そこでは、環境分野と医療・介護分野がリーディング・インダストリーに挙げられている。環境分野で重要なのが温暖化対策である。鳩山民主党政権(当時)は、GHGの2020年までの25%削減と、1950年までの80%削減を目標としている。そのためには、産業部門・発電部門・業務部門・運輸部門が新エネルギーに対応した設備投資を行い、家計部門が太陽光発電の導入や省エネ家電への買い替えを行い、建物も断熱補強工事を行うことが想定されている。こうしたグリーンイノベーションやグリーン投資を「日本版グリーンニューディール政策」と呼んでいる。ここでは、「日本版グリーンニューディール政策」にはどの程度の経済効果・雇用効果があるかを2005年の産業連関表を基礎に試算する。

国立環境研究所の試算によると、日本版グリーンニューディール政策の規模は表5のようになると予想している。表4の数字は、GHG排出量のマイナス15%あるいはマイナス20%を達成するために、「一年間に必要な投資額」であり、(2010年から2020年までの)11年間、毎年この額の投資が実施されると想定しており、それぞれ約7兆円と9兆円の投資規模である<sup>39</sup>。産業部門での投資額が比較的少なく、しかも15%削減と20%削減との規模が同じであることは注目される。家計や業務部門でのエネルギー効率改善にバイアスがかかった政策になっている。

また、この想定在省エネ投資では、その「純増分」のみしか対象にしていない点に注意されたい。具体的には、ハイブリッド自動車への需要の増加は、そのまま全体を投資額とするのではなく、通常のエンジン車とハイブリッド自動車の差額分だけを追加的な投資額としている。また、ヒートポンプ型の給湯機を導入する際には、従来型の給湯機への需要が減少することも想定の中に入れていいる。

表4 日本版グリーンニューディール政策の投資額 (10億円)

投資実施部門	GHG▲15%ケース	GHG▲20%ケース
--------	------------	------------

39 みずほ情報総研(日比野剛主任研究員)からの情報提供による。GHGの削減量が(25%ではなく)15%と20%になっているのは、国内対策分(いわゆる真水)が6割の場合と8割の場合を想定しているからである。

産業部門	247	247
家庭部門	3,776	4,383
業務部門	1,754	2,287
運輸部門	697	882
新エネルギー	350	1,060
合計	6,825	8,859

資料：国立環境研究所内部資料

生産誘発に用いたモデルは、すでに紹介した次の式である。

$$\mathbf{x} = [\mathbf{I} - (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}})\mathbf{A}]^{-1} [(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}})\mathbf{f} + \mathbf{e}] \quad (15)$$

雇用誘発は、生産誘発に雇用係数の対角行列  $\mathbf{L}$  を乗じることで求められる。労働者の分類には、雇用のほかに、役員、個人業主、および家族従業者があるが、ここでは、生産額との対応がより明確である雇用に限っている。

$$\mathbf{l} = \mathbf{L}\mathbf{x} = \mathbf{L}[\mathbf{I} - (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}})\mathbf{A}]^{-1} [(\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}})\mathbf{f} + \mathbf{e}] \quad (16)$$

また、最終需要額の与え方にも注意を要する。投資額や消費額は市場価格で評価されている。しかし、産業連関表での価格基準は工場出荷価格(生産者価格)である。たとえば、自動車を購入しようとする、自動車産業への需要はその本体価格分だけで、運輸産業の取り分や商業の取り分はそこから取り除き、運輸へ需要や商業への需要とせねばならない。本章では、そうした調整を行ったうえで、最終需要ベクトルを設定している。

上記の式で示した効果は、一次波及効果とよばれる。増加した最終需要を生産するために直接間接に必要な生産量を計算するモデルであるが、誘発された付加価値額(つまりGDP)は、国民所得の三面等価の原則により、当初の最終需要の増加と同額である。

本研究では、一次波及効果のみならず、二次波及効果も考慮している。二次波及効果とは、次のルートでの生産の拡大である。一次波及の結果、雇用が増加する。雇用が増加すると、賃金支払い(雇員所得)が増加する。雇員所得が増加すると、その一部が最終消費の拡大になる。その比率を「消費転換率」というが、消費転換率は平成17年家計調査より0.744と想定した。このように(二次的な)最終需要の増加と考えた場合の生産誘発のことを、二次波及効果と呼ぶ。もちろん、三次波及、四次波及と続くことも想定される。恣意的な判断ではあるが、数年の時間軸で考えると、二次波及までであろうとするのが、一般的な了解である。

ところで、財の価格には、生産者価格表示と購入者価格表示がある。「購入者価格＝生産者価格＋商業マージン＋運輸マージン」という関係である。われわれが通常用いている産業連関表は生産者価格表である。投入係数を計算する場合、生産物と投入量に技術的に安定的な関係を想定するには、生産者価格表示の方が適当であると考えられるからである。

表 4 に示した日本版のグリーンニューディール政策で想定されている「グリーン投資」は、市場での価格表示、つまり購入者価格表示であるから、産業連関モデルで用いるためには、購入者価格を生産者価格、商業マージン、運輸マージンに分けなければならない。今回の試算では、購入者価格表示から生産者価格表示に組みかえて計算している。

### 3.2 経済効果の計算結果

表 5 は「日本版グリーンニューディール政策」の経済効果を、当初需要が発生する産業の側から見たものである。上段が GHG を 15%削減するケース、下段が GHG を 20%削減するケースである。ここでの「追加投資」とは、GHG を削減するために必要な投資を、(2010 年から 2020 年の)11 年間で均等に支出した際の、一年あたりの投資額である。そういう意味で、この表の経済効果は一年間の効果であり、「日本版グリーンニューディール政策」の実施が、それが実施されなかった場合に比較して、増加する生産額および雇用量である。生産額については、上記の金額を 11 倍することで GHG15%削減(あるいは 20%削減)の政策実施期間中の全効果といえることができるが、雇用は一種のストック変数であるので、表の数字を 11 倍することは適当でない。雇用に関しては「今後 11 年間にわたって、これだけの水準の雇用増加の維持が期待できる」という意味に理解されたい。

表 5 日本版グリーンニューディール政策の生産誘発効果 (需要を誘発する側)

GHG▲15%のケース	追加投資 (10 億円)	生産波及効果(10 億円)			雇用波及効果(人)		
		一次波及	二次波及	合計	一次波及	二次波及	合計
プラスチック製品	474	896	275	1,171	53,287	14,973	68,259
板ガラス・安全ガラス	1,269	2,134	711	2,844	153,926	38,695	192,621
ガス・石油機器、暖厨房機器	-121	-258	-69	-327	-12,985	-3,750	-16,735
原動機・ボイラ	53	101	26	127	3,505	1,410	4,915
その他の一般産業機械	175	321	93	414	13,365	5,081	18,446
化学機械	16	28	8	36	1,134	428	1,562
産業用電気機器	181	321	91	412	13,687	4,977	18,664
その他の電気機器	1,063	1,784	520	2,304	92,792	28,285	121,078
民生用電気機器	2,364	4,077	1,245	5,322	250,644	67,771	318,415
民生用電子機器	208	318	100	418	19,535	5,463	24,998
乗用車	633	1,407	351	1,758	64,641	19,113	83,754
トラック・バス・その他自動車	60	146	34	180	5,666	1,860	7,526
住宅建築	410	795	273	1,068	43,076	14,865	57,941
非住宅建築	40	80	27	107	4,228	1,461	5,688
合計	6,825	12,151	3,685	15,836	706,501	200,632	907,134

GHG▲20%のケース	追加投資 (10億円)	生産波及効果(10億円)			雇用波及効果(人)		
		一次波及	二次波及	合計	一次波及	二次波及	合計
プラスチック製品	490	925	284	1,209	55,011	15,457	70,469
板ガラス・安全ガラス	1,317	2,213	737	2,951	159,678	40,141	199,820
ガス・石油機器、暖厨房機器	-94	-201	-54	-254	-10,115	-2,921	-13,036
原動機・ボイラ	53	101	26	127	3,505	1,410	4,915
その他の一般産業機械	175	321	93	414	13,365	5,081	18,446
化学機械	16	28	8	36	1,134	428	1,562
産業用電気機器	295	522	149	671	22,277	8,100	30,377
その他の電気機器	2,520	4,228	1,231	5,459	219,857	67,017	286,875
民生用電気機器	2,514	4,337	1,324	5,661	266,628	72,093	338,721
民生用電子機器	235	360	114	473	22,124	6,187	28,311
乗用車	801	1,780	444	2,224	81,795	24,186	105,981
トラック・バス・その他自動車	71	175	41	216	6,771	2,223	8,994
住宅建築	427	828	284	1,113	44,867	15,483	60,349
非住宅建築	40	80	27	107	4,228	1,461	5,688
合計	8,859	15,698	4,709	20,407	891,126	256,346	1,147,472

資料：著者作成

産業ごとにみると、民生用電気機器(空調、ヒートポンプ給湯機など)で最も大きく、15%削減ケースでは31.8万人の雇用を創出、20%削減ケースでは33.9万人の雇用を創出する。20%削減ケースでは、電気機器(太陽光発電器等)への投資需要が大きく、当該産業は28.7万人の雇用を創出する。その次に雇用創出効果大きいのは、建物の断熱改修を行うための板ガラスへの投資需要である。当該産業は(15%削減、20%削減のいずれのケースも)約20万人の雇用を創出する。建築産業そのものは、15%削減ケースでは6.3万人、20%削減ケースでは6.6万人の雇用を創出する。乗用車では省エネカーの部門での需要増加が見込まれるが、それにより、15%削減ケースでは8.4万人、20%削減ケースでは6.6万人の雇用を創出する。

同じことであるが、「日本版グリーンニューディール政策」の経済効果について、誘発効果を受ける産業の側から見たのが表6a(生産誘発効果)と表6b(雇用効果)である。つまり、生産誘発効果も雇用誘発効果も合計では同じであるが、産業ごとの数字は異なる。

印象的なのは、商業や運輸といった流通業での雇用の増加が多くなることである。商業では、15%削減ケースで45.0万人、20%削減ケースで56.3万人の雇用増加、運輸では、15%削減ケースで4.8万人、20%削減ケースで6.1万人の雇用増加が見込まれる。また、サービス産業への波及効果も大きく、対事業所サービスでは、15%削減ケースで7.2万人、20%削減ケースで9.3万人の雇用増加、対個人サービスでは、15%削減ケースで4.2万人、20%削減ケースで5.5万人の雇用増加が見込まれる。経済のサービス化を反映した数字となっている。



る。製造業では、電気機械産業での雇用増加が大きく、15%削減ケースで4.5万人、20%削減ケースで7.1万人の雇用増加が見込まれる。建設業では、15%削減ケースで3.5万人、20%削減ケースで3.8万人の雇用増加が見込まれる。

表 6a 日本版グリーンニューディール政策の生産誘発効果 (被誘発側)

	2005年の 生産額 (10億円)	生産波及効果(10億円)			
		▲15%のケース		▲20%のケース	
		増加額	増加率	増加額	増加率
01 農林水産業	13,155	97	0.7%	122	0.9%
02 鉱業	1,008	30	3.0%	33	3.2%
03 飲食料品	35,889	277	0.8%	354	1.0%
04 繊維製品	4,375	51	1.2%	64	1.5%
05 パルプ・紙・木製品	12,830	220	1.7%	275	2.1%
06 化学製品	27,487	339	1.2%	429	1.6%
07 石油・石炭製品	16,920	215	1.3%	272	1.6%
08 窯業・土石製品	7,156	664	9.3%	711	9.9%
09 鉄鋼	25,314	316	1.2%	416	1.6%
10 非鉄金属	7,330	162	2.2%	264	3.6%
11 金属製品	12,484	86	0.7%	144	1.2%
12 一般機械	30,378	289	1.0%	307	1.0%
13 電気機械	15,832	1,833	11.6%	2,784	17.6%
14 情報・通信機器	11,012	98	0.9%	116	1.0%
15 電子部品	16,212	175	1.1%	208	1.3%
16 輸送機械	53,016	827	1.6%	1,043	2.0%
17 精密機械	3,723	10	0.3%	12	0.3%
18 その他の製造工業製品	25,595	710	2.8%	875	3.4%
19 建設	63,237	572	0.9%	624	1.0%
20 電力・ガス・熱供給	18,677	297	1.6%	384	2.1%
21 水道・廃棄物処理	8,306	82	1.0%	104	1.3%
22 商業	106,275	3,894	3.7%	4,966	4.7%
23 金融・保険	41,587	653	1.6%	835	2.0%
24 不動産	66,206	680	1.0%	871	1.3%
25 運輸	50,744	755	1.5%	951	1.9%
26 情報通信	45,936	570	1.2%	736	1.6%
27 公務	38,538	26	0.1%	33	0.1%
28 教育・研究	36,293	359	1.0%	489	1.3%

29	医療・保健・社会保障・介護	50,211	83	0.2%	105	0.2%
30	その他の公共サービス	5,031	38	0.8%	49	1.0%
31	対事業所サービス	63,749	967	1.5%	1,240	1.9%
32	対個人サービス	52,022	363	0.7%	464	0.9%
33	事務用品	1,518	31	2.0%	39	2.6%
34	分類不明	3,968	68	1.7%	87	2.2%
	合計	972,015	15,836	1.6%	20,407	2.1%

資料：著者作成

表 6b 日本版グリーンニューディール政策の雇用効果

	2005年の 雇用者数 (人)	雇用波及効果(人)				
		▲15%のケース		▲20%のケース		
		増加額	増加率	増加額	増加率	
01	農林水産業	505,802	3,858	0.8%	4,881	1.0%
02	鉱業	29,176	1,034	3.5%	1,116	3.8%
03	飲食料品	1,334,452	10,277	0.8%	13,130	1.0%
04	繊維製品	273,478	3,234	1.2%	4,052	1.5%
05	パルプ・紙・木製品	461,210	7,990	1.7%	9,842	2.1%
06	化学製品	371,385	3,852	1.0%	4,913	1.3%
07	石油・石炭製品	27,816	318	1.1%	404	1.5%
08	窯業・土石製品	284,579	18,728	6.6%	20,267	7.1%
09	鉄鋼	292,687	3,854	1.3%	4,997	1.7%
10	非鉄金属	130,686	2,923	2.2%	4,629	3.5%
11	金属製品	661,954	6,791	1.0%	9,724	1.5%
12	一般機械	1,007,531	10,032	1.0%	10,686	1.1%
13	電気機械	507,874	45,330	8.9%	71,004	14.0%
14	情報・通信機器	215,626	2,197	1.0%	2,573	1.2%
15	電子部品	504,279	5,490	1.1%	6,532	1.3%
16	輸送機械	943,928	13,057	1.4%	16,463	1.7%
17	精密機械	156,733	404	0.3%	512	0.3%
18	その他の製造工業製品	1,190,530	32,165	2.7%	39,722	3.3%
19	建設	3,819,829	35,252	0.9%	38,448	1.0%
20	電力・ガス・熱供給	210,422	3,308	1.6%	4,284	2.0%
21	水道・廃棄物処理	372,894	3,007	0.8%	3,828	1.0%
22	商業	9,747,630	450,133	4.6%	562,883	5.8%
23	金融・保険	1,551,787	22,291	1.4%	28,539	1.8%
24	不動産	279,290	4,968	1.8%	6,415	2.3%
25	運輸	3,034,473	48,424	1.6%	60,715	2.0%
26	情報通信	1,790,756	21,087	1.2%	27,281	1.5%
27	公務	1,874,764	1,262	0.1%	1,620	0.1%
28	教育・研究	2,866,234	20,924	0.7%	28,280	1.0%
29	医療・保健・社会保障・介護	5,240,738	6,228	0.1%	7,958	0.2%
30	その他の公共サービス	396,074	3,012	0.8%	3,844	1.0%
31	対事業所サービス	5,037,125	72,450	1.4%	92,641	1.8%
32	対個人サービス	6,380,099	42,979	0.7%	54,931	0.9%
33	事務用品		0		0	
34	分類不明	16,127	277	1.7%	355	2.2%

合計	51,517,968	907,134	1.8%	1,147,472	2.2%
----	------------	---------	------	-----------	------

資料：著者作成

### 3.3 小括

表7に、今回の「日本版グリーンニューディール政策」の経済効の要約を示す。GHG排出のマイナス15%ケースでは、当初の投資額(負担額)約6.8兆円に対して、生産誘発効果約15.8兆円、雇用誘発効果は約91万人となった。GHG排出のマイナス20%ケースでは、当初の投資額(負担額)約8.9兆円に対して、生産誘発効果約20.4兆円、雇用誘発効果は約115万人が予想される。

表7 「日本版グリーンニューディール政策」の経済効果のまとめ

GHG削減	経済効果	一次効果	二次効果	合計
▲15%ケース	生産誘発効果(10億円)	12,151	3,685	15,836
▲20%ケース	生産誘発効果(10億円)	15,698	4,709	20,407
▲15%ケース	雇用誘発効果(人)	706,501	200,632	907,134
▲20%ケース	雇用誘発効果(人)	891,126	256,346	1,147,472

資料：筆者作成

## 4 炭素税の所得階層別・地域別負担

### 4.1 計算方法

間接税賦課と産業別の価格変化の関係については、CGEモデルが用いられる場合が多い。しかし、産業分類(商品分類)が多くなると、CGEモデルの構築は必ずしも容易ではない。そこで、ここでは、われわれは、実証分析のツールとしてより広く利用されており、エクセル等の表計算ソフトでも容易に結果が出せる産業連関分析モデルを用いる。

本章での炭素税の家計負担の計算は次のステップにしたがう。

#### (1) 第1段階：課税産業と課税額の決定

エネルギーバランス表を用いると、化石燃料の消費量をどの部門がどんな化石燃料をどれだけ消費しているかがわかる。その情報と化石燃料の炭素含有率を基礎に各燃料への炭素税率と炭素税額を計算する。

#### (2) 第2段階：産業別価格上昇率の試算

課税によって価格が上昇するのは、化石燃料から転換されるエネルギー(ガソリンや電力など)ばかりではない。どんな産業でも必ずエネルギーを使うので、各産業で多かれ少なかれコストが上昇する。コスト上昇を販売価格に転嫁すれば、各産業の販売価格も上昇し、その財を投入する産業のコストはさらに上昇する。

このような考え方は産業連関分析と呼ばれているが、この分析手法を援用し、ステップ1

で推計した炭素税額を基礎に、各産業の価格上昇率を試算する。

### (3) 第3段階：家計消費額への影響の試算

産業連関表ベースの消費者の各消費財への支出額に応じて、総生計費の上昇(つまり、炭素税の負担)を試算する。家計の支出パターンは地域別や所得階層別に異なるので、炭素税の負担も異なることになる。

しかしながら、産業連関分析の枠組みでは、財の生産と価格の決定が分離されている。価格決定においては、付加価値率の変化に応じて供給価格が調整されるのみである。図 1 にその様子を図示したが、需要関数と供給関数が十字に交差している。このため、間接税の賦課は、供給曲線を上方にシフトさせ、均衡点を  $E$  から  $E'$  へと移動させるが、需要量には影響しない。つまり、ミクロ経済学で説明される「供給ショックによる価格上昇は均衡生産量を減少させる」という状況を、産業連関モデルでは想定しない。

確かに、こういう想定は、現実的ではないかもしれない。しかし、産業ごとに X 字型に交差する需給関数を想定し、一般均衡モデルを構築しての予測をするにしても、需要と供給の価格弾力性となると別の意味での恣意性が入らざるを得ないし、モデルの構造が複雑になりすぎるという問題もある。本稿の目的のひとつは、わかりやすい形での数値情報の提供ということもあり、モデルの構造に多少問題があるとしても、産業連関分析による推計は、一次接近として十分意味があると考えている。図からわかるように、産業連関分析では課税による価格上昇が高めに現れることになるので、本稿で試算する価格上昇は、予想される上昇の上限、もしくは超短期の価格上昇と考えていただきたい。

次に、課税産業と課税額について述べる。環境省が 2008 年まで「環境税の具体案」として示していたは、炭素 1 トンあたり 2,400 円の課税で、税収は温暖化対策の補助金に使うというものである<sup>40</sup>。そこで、本稿もこれと同率の課税を想定する<sup>41</sup>。2005 年で課税総額を計算すると 8,123 億円程度になるが、その内訳は以下のとおりである。

石炭：117.1(100 万 ton-C)×2,400(炭素税率、円/tC)≒2,811 億円

原油：175.6(100 万 ton-C)×2,400(炭素税率、円/tC)≒4,213 億円

天然ガス：45.8(100 万 ton-C)×2,400(炭素税率、円/tC)≒1,099 億円

本稿では、石炭、原油、天然ガスの化石燃料が最初に投入される産業に課税する方式とした。つまり、上記の課税額を、各産業の各化石燃料の投入量に応じて比例配分した<sup>42</sup>。

---

40 [http://www.env.go.jp/policy/tax/plans/past\\_plans.html](http://www.env.go.jp/policy/tax/plans/past_plans.html)

41 今回の試算では、免税措置等も考慮していない。2011 年改正により正確に対応した税率での試算については稿を改めて行うことにしたい。

42 2005 年の産業連関表では、石炭、原油、天然ガスが独立した産業部門となっているのでこの方式が使えるようになった。

## 4.2 炭素税による価格上昇と家計費の上昇

### (1) 産業別価格上昇率

産業連関表ベースでの価格上昇率を表8に示す。計算に用いた産業連関表は、2005年表の190部門であるが、表中には価格上昇の大きかった40産業のみを掲げた。

当然のことながら、エネルギー関連産業の価格上昇率が高い。上昇率が最も高いのは、石炭製品の8.23%、次いで石油製品の2.69%である。エネルギー多消費産業である、セメント(1.91%)、都市ガス(1.88%)、電力(1.63%)、銑鉄・粗鋼(1.27%)も高い価格上昇となった。また、自家輸送(旅客自動車)、自家輸送(貨物自動車)、沿海・内水面輸送といった運輸部門でも価格上昇が比較的大きい。

表8 炭素税課税後の産業別価格上昇率

	産業名	価格上昇率		産業名	価格上昇率
1	石炭製品	8.23%	21	生コンクリート	0.48%
2	石油製品	2.69%	22	その他の非金属鉱物	0.48%
3	セメント	1.91%	23	鑄鍛造品	0.47%
4	都市ガス	1.88%	24	その他の鉄鋼製品	0.47%
5	電力	1.63%	25	化学繊維	0.44%
6	銑鉄・粗鋼	1.27%	26	合成樹脂	0.40%
7	熱間圧延鋼材	0.96%	27	沿海・内水面輸送	0.38%
8	自家輸送(旅客自動車)	0.93%	28	砂利・碎石	0.35%
9	自家輸送(貨物自動車)	0.80%	29	窯業原料鉱物	0.34%
10	石油化学基礎製品	0.76%	30	金属鉱物	0.33%
11	熱供給業	0.64%	31	ガラス繊維・同製品	0.32%
12	化学肥料	0.64%	32	その他の無機化学工業製品	0.31%
13	冷延・めっき鋼材	0.64%	33	公共事業	0.31%
14	鋼管	0.62%	34	建設用金属製品	0.30%
15	パルプ	0.61%	35	その他の窯業・土石製品	0.30%
16	脂肪族中間物・環式中間物	0.57%	36	海面漁業	0.29%
17	ソーダ工業製品	0.53%	37	特用林産物	0.26%
18	合成ゴム	0.51%	38	加工紙	0.25%
19	紙・板紙	0.50%	39	染色整理	0.25%
20	その他の有機化学工業製品	0.50%	40	船舶・同修理	0.24%

資料：著者計算

### (2) 消費財別価格上昇率

上述した産業連関表ベースの価格上昇を、家計調査での調査品目に組み替え、消費財別の価格上昇を推計した。ただ、家計調査での品目分類は、その機能を基準に行われているので、産業連関表ベースの産業分類とは厳密に対応させることはできない。したがって、次に示す方法で消費品目と産業とを対応させた。

表9の表頭(列項目)には産業連関表の生産額を示し、表側(行項目)には、家計調査の消費額を示している。左の表には、産業連関表と家計調査の対応を示した。IO表の産業番号に対応して100、300、100、200とあるのは各産業の生産量である。家計調査の商品番号に

対応して 10、20、10、30 とあるのは各商品の消費額である。産業連関表と家計調査とに対応する商品がある場合には表中に数字 1 を記入している。

次に中央の表では、産業連関表ベースの数字を家計調査の消費額シェアで縦に割り振る作業をしている。産業連関表の第 2 産業は家計調査の第 2 商品と第 3 商品に対応しているが、第 2 商品の消費額が 20、第 3 商品の消費額が 10 であるので、その比率に従って、200、100 と割り振る。また、産業連関表の第 3 産業は家計調査の第 1 商品と第 4 商品に対応しているが、第 1 商品の消費額が 10、第 3 商品の消費額が 30 であるので、その比率に従って、25、75 と割り振る。

表 9 産業連関表と家計調査の価格コンバータ

	IO	1	2	3	4
家調		100	300	100	200
1	10	1	0	1	0
2	20	0	1	0	0
3	10	0	1	0	1
4	30	0	0	1	0
IO と家計調査の対応					

	IO	1	2	3	4
家調		100	300	100	200
1	10	100	0	25	0
2	20	0	200	0	0
3	10	0	100	0	200
4	30	0	0	75	0
IO 表データの割り振り					

	IO	1	2	3	4
家調		100	300	100	200
1	10	4/5	0	1/5	0
2	20	0	1	0	0
3	10	0	1/3	0	2/3
4	30	0	0	1	0
価格のコンバータ					

資料：著者作成

右の表では、家計調査の商品が産業連関表ベースのどの産業の影響を受けるかを定めるために、中央の表の横の比率を計算する。第 1 商品を横に見ると第 1 産業 100 と第 3 産業が 25 であるから、第 1 産業の価格に 4/5 の影響を受け、第 3 産業の価格に 1/5 の影響を受ける。同様に、第 3 産業を横に見ると第 2 産業 100 と第 4 産業が 200 であるから、第 2 産業の価格に 1/3 の影響を受け、第 4 産業の価格に 2/3 の影響を受ける。

産業連関表ベースの価格ベクトルを  $P_{IO}$ 、家計調査ベースの価格を  $P_H$  とすると、こうして作成されたコンバータ  $\Phi$  がこれらの橋渡しになる。

$$P_H = \Phi P_{IO} \tag{17}$$

本稿では、こうして推計された消費財ベースでの価格上昇が、どの程度家計費の上昇となるのかを、地域別と所得階層別の 2 つの視点から推計した。

### (3) 所得階層別の家計費への影響

2005 年の全国の平均で見た炭素税の家計費への影響は、1 家計あたり年額 7,608 円、比率にすると 0.249% の増加と推計された。上述のとおり、本稿の分析では商品価格の上昇がその消費量を減少させる効果を考慮していないので、消費者の負担が高めに推計されることが予想されるため、実際には、この負担額よりも少なめになる。

所得階層別に負担増加をみると、第 1 五分位で 0.249%、第 5 五分位 0.233% であり若干で

はあるが、逆進性があることが確認された。光熱費は比較的価格弾力性が小さいと考えられるので、低所得層での家計費上昇率が高くなった要因であろう。

表 10 所得階層別の家計負担

	年間消費支出(円)	課税後家計費(円)	家計費上昇額(円)	家計費上昇率
平均	3,050,078	3,057,686	7,608	0.249%
第1五分位	1,710,077	1,714,548	4,471	0.261%
第2五分位	2,408,026	2,414,362	6,336	0.263%
第3五分位	2,957,867	2,965,418	7,551	0.255%
第4五分位	3,536,996	3,545,859	8,863	0.251%
第5五分位	4,637,443	4,648,260	10,817	0.233%

資料：著者作成

#### (4) 地域別の家計費への影響

次に、地域別の推計結果について見よう。気候の差異がエネルギー消費の地域的差異をもたらすと考えられるが、予想どおり、冬季のエネルギー消費の多い北国では家計費上昇が大きく、北海道で0.309%、東北0.307%、北陸では0.284%と、全国平均の0.249%を上回った。沖縄では、夏季の冷房代の影響も大きいため、負担増加は0.291%と高めになった。一方、大都市圏では比較的低く推計され、公共交通機関の発達している関東地方では0.225%。関西地方ではそれぞれ0.234%と全国平均を下回った。

表 11 地域別の家計負担

	年間消費支出(円)	課税後家計費(円)	家計費上昇額(円)	家計費上昇率
全国平均	3,050,078	3,057,686	7,608	0.249%
北海道	2,637,250	2,645,391	8,141	0.309%
東北	2,872,157	2,880,979	8,822	0.307%
関東	3,213,953	3,221,192	7,239	0.225%
北陸	3,181,097	3,190,139	9,042	0.284%
東海	3,159,628	3,167,703	8,075	0.256%
近畿	3,006,639	3,013,663	7,024	0.234%
中国	3,040,596	3,048,583	7,987	0.263%
四国	2,973,161	2,981,110	7,949	0.267%
九州	2,879,910	2,887,421	7,511	0.261%
沖縄	1,886,064	1,891,549	5,485	0.291%

資料：著者作成

#### 4.4 小括と今後の課題

税には「公平・中立・簡素」の基本原則に則る必要がある。このうち、本稿では「公平」という観点に着目し、家計の地域別・所得階層別に負担の程度を推計した。ぴったりの比喩ではないが、国民年金負担の議論での「標準モデルケース」的な情報だけでなく、より詳細な枠組みでの情報提供を試みたわけである。この試算は、詳細な産業分類での推計結果を示す一方で、入手が簡単なデータを用い、計算が簡単な産業連関分析を応用することで、情報の透明性も高い。

OECD はレポートの中で、環境関連税制の障害となるのは、国際競争力と所得分配に関する懸念だとしたうえで、その対策として、税の減免などの「緩和措置」と事後的に援助を与える「補償措置」があると述べている(OECD(2002))。本稿での試算では、エネルギー関連産業の他、鉄鋼産業などの価格上昇が大きいことが分かった。確かに、国際競争力に影響が出る可能性がある。こうした産業については国境税調整などの緩和措置の導入が必要かもしれない。ただ、本稿の試算では、企業の間需要曲線が垂直だという短期での効果を見ているにすぎない。長期には、相対価格の変化が燃料代替や技術進歩を促進するという側面を過小評価してはいけないだろう。

われわれがより重視したのは、家計の税負担である。われわれの試算では、平均的な家計の税負担額は年額 7,608 円と推計された。所得階層別に見ると、炭素税は所得に対して逆進性を持つことが確認された。神経質になる必要はない程度のことかもしれないが、今後さらに税率を引き上げていくことになると、所得の垂直的公平の観点と低所得者に対する新税の受容性の観点からは、炭素税収の一部を低所得者への所得税減税の財源とするなどの補償措置が必要となろう。また、地域別に見ると、寒冷地ほど炭素税の負担が重くなることが確認された。こうした地域でも、新税導入に対する受容性を高めるためには、光熱費の一部を所得税の所得控除の対象にするなどの補償措置の導入が考えられる。大都市圏では北海道や東北など他の地域に比べて家計負担は低く推計された。公共交通機関の発達した都市部と、自動車に頼らざるを得ない地方との公平性も議論する必要がある。

最後に今後の課題を述べたい。本稿では、家計需要についても垂直な需要関数を想定した。しかしこれは現実的ではない。家計に何らかの効用関数を仮定することで価格への反応を想定し、より現実的な意味での「負担の増加」(例えば等価変分)を試算したい。また、日本経済のエネルギー集約度は 1970 年代以降急速に低下している。同じ炭素税率でも、製品の価格上昇へのインパクトは異なるはずである。炭素税の家計負担への影響の時系列変化を追い、今後を占うのも興味深いと考えている。

## 5. シナリオ付レオンチェフ逆行列の考え方：電力産業を例にとって

### 5.1 複数アクティビティモデル

伝統的な産業連関分析では、1 種類の生産物に 1 種類のアクティビティがある、と想定されている。言い換えると、生産物の数と産業(企業活動の種類)の数が等しいことを前提とし



て、連立方程式が構成されている。しかし現実には、1つの生産物が複数のアクティビティから生産されることがある。電力産業がその典型であり、原子力発電・火力発電・水力発電は、その生産構造は随分と異なるのであるが、生産物は同一の「電力」である。このような場合、異なったアクティビティでどれだけの発電を行うかによって(実際これが今後の環境対策の柱の一つ)、エネルギー消費やCO<sub>2</sub>排出などの環境負荷も異なる。

1つの生産物が複数のアクティビティで生産されることを前提としたモデル分析の先行研究としては、慶応義塾大学産業研究所の一連の研究、吉岡・菅(1997)、石川他(1998)、疋田浩一他(2000)等がある。本稿では、これらの先行研究に基づき、電力産業を例にとりて、電源構成を変化させることで、どのように環境負荷と経済効果が異なるかを検討することにしたい。ここで電力部門を原子力発電、火力発電、水力発電の3つのアクティビティに細分化する。その様子を図2に示す。

図2 電力部門のアクティビティの細分化

		通常部門	電力部門			最終 需要	生産額
		1, 2, 3, ……………, n	原子力	火力	水力		
通常部門	1, 2, · · n	$X_{ij}^{11}$	$X_{i1}^{12}$	$X_{i2}^{12}$	$X_{i3}^{12}$	$f_i^1$	$x_i^1$
電力部門		$X_j^{21}$	$X_1^{22}$	$X_2^{22}$	$X_3^{22}$	$f^2$	$x^2$
付加価値		$V_j^{21}$	$V_1^2$	$V_2^2$	$V_3^2$		
生産額		$x_j^1$	$z_1$	$z_2$	$z_3$		

これにより、電力部門の生産関数は次のように変更される。

$$z^j = \min \left[ \frac{X_{ij}^{12}}{a_{ij}^{12}}, \frac{X_j^{22}}{a_j^{22}} \right] \quad (i = 1, \dots, n, \quad j = 1, 2, 3) \quad (18)$$

ただし、

$z_j$  : 電力第  $j$  部門の生産量, ( $j=1$  : 原子力,  $j=2$  : 火力,  $j=3$  : 水力)

$X_{ij}^{12}$  : 電力第  $j$  部門への通常部門第  $i$  財投入量

$X_j^{22}$  : 電力第  $j$  部門への電力投入量

$a_{ij}^{12}$  : 電力第  $j$  部門への通常部門第  $i$  財投入係数

$a_j^{22}$  : 電力第  $j$  部門への電力投入係数

である。そして、販路構成の変更を行うと次式のようになる。

$$\left[ \mathbf{A}^{11} \mid \mathbf{A}^{12} \right] \begin{bmatrix} \mathbf{x}^1 \\ \mathbf{z} \end{bmatrix} + \mathbf{f}^1 = \mathbf{x}^1$$

$$\mathbf{A}^{11} \mathbf{x}^1 + \mathbf{A}^{12} \mathbf{z} + \mathbf{f}^1 = \mathbf{x}^1 \quad (19)$$

$$\left[ \mathbf{A}^{21} \mid \mathbf{A}^{22} \right] \begin{bmatrix} \mathbf{x}^1 \\ \mathbf{z} \end{bmatrix} + f^2 = x^2$$

$$\mathbf{A}^{21} \mathbf{x}^1 + \mathbf{A}^{22} \mathbf{z} + f^2 = x^2 \quad (20)$$

ただし、

$\mathbf{A}^{11}$  :  $a_{ji}^{11}$  を要素とする正方行列( $n \times n$ )

$\mathbf{A}^{12}$  :  $a_{ij}^{12}$  を要素とする行列( $n \times 3$ )

$\mathbf{A}^{21}$  :  $a_j^{21}$  を要素とするベクトル( $1 \times n$ )

$\mathbf{A}^{22}$  :  $a_j^{22}$  を要素とするベクトル( $1 \times 3$ )

$\mathbf{f}^1$  : 通常財への最終需要ベクトル( $n \times 1$ )

$f^2$  : 電力への最終需要

$\mathbf{x}^1$  : 通常財の生産ベクトル( $n \times 1$ )

$x^2$  : 電力の生産(電力供給)

$\mathbf{z}$  :  $z_1, z_2, z_3$  を要素とするベクトル( $3 \times 1$ )

である。

すると、未知数は全部で、 $\mathbf{x}_1$  が  $n$  個、 $x_2$  が 1 個、そして  $\mathbf{z}$  が 3 個となり、合計  $n+4$  個となる。しかし方程式の数は  $n+1$  本である。このままでは、方程式数が未知数を下回り、解くことができない。そこで「シナリオ」として次の 2 つを考える。

1) 原子力、火力、水力発電からの電力は余すところなく供給される。

$$z_1 + z_2 + z_3 = x^2$$

2) 電源構成をパラメータで与える。

$$z_1 = \alpha_1 x^2, \quad z_2 = \alpha_2 x^2, \quad z_3 = (1 - \alpha_1 - \alpha_2) x^2$$

ただし、 $\alpha_1$  は原子力発電の生産シェア、 $\alpha_2$  は火力発電の生産シェアを表す。

このように与えられたシナリオより、シナリオ行列を作成すると次のようになる。

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ 1 - \alpha_1 - \alpha_2 \end{bmatrix} x^2$$

ここで、行列を記号で書き換えると次のようになる。

$$\mathbf{Bz} - \mathbf{C}x^2 = \mathbf{0}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C} = \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ 1 - \alpha_1 - \alpha_2 \end{bmatrix} \quad (21)$$

この式が加わることにより方程式の数が 3 本増えるので、未知数の個数と方程式の数が一致する。これで解を得ることができる。このシナリオ行列の式を次のように書き換える。

$$\mathbf{z} = \mathbf{B}^{-1}\mathbf{C}x^2 \quad (22)$$

これを、需給均衡式に代入すると次の式が得られる。

$$\left[ \mathbf{A}^{11} \mid \mathbf{A}^{12} \right] \begin{bmatrix} \mathbf{x}^1 \\ \mathbf{B}^{-1}\mathbf{C}x^2 \end{bmatrix} + \mathbf{f}^1 = \mathbf{x}^1, \quad \left[ \mathbf{A}^{21} \mid \mathbf{A}^{22} \right] \begin{bmatrix} \mathbf{x}^1 \\ \mathbf{B}^{-1}\mathbf{C}x^2 \end{bmatrix} + f^2 = x^2 \quad (23)$$

したがって、次の式を得る。

$$\left[ \begin{array}{c|c} \mathbf{A}^{11} & \mathbf{A}^{12} \\ \mathbf{A}^{21} & \mathbf{A}^{22} \end{array} \right] \begin{bmatrix} \mathbf{x}^1 \\ \mathbf{B}^{-1}\mathbf{C}x^2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{f}^1 \\ f^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}^1 \\ x^2 \end{bmatrix}, \quad \text{つまり、} \quad \left[ \begin{array}{c|c} \mathbf{A}^{11} & \mathbf{A}^{12}\mathbf{B}^{-1}\mathbf{C} \\ \mathbf{A}^{21} & \mathbf{A}^{22}\mathbf{B}^{-1}\mathbf{C} \end{array} \right] \begin{bmatrix} \mathbf{x}^1 \\ x^2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{f}^1 \\ f^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}^1 \\ x^2 \end{bmatrix}$$

これより、最終的に次の式を得る。

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x}^1 \\ x^2 \end{bmatrix} = \left[ \begin{array}{c|c} \mathbf{A}^{11} & \mathbf{A}^{12}\mathbf{B}^{-1}\mathbf{C} \\ \mathbf{A}^{21} & \mathbf{A}^{22}\mathbf{B}^{-1}\mathbf{C} \end{array} \right]^{-1} \begin{bmatrix} \mathbf{f}^1 \\ f^2 \end{bmatrix} \quad (23)$$

本稿のシナリオはきわめて単純であり、行列  $\mathbf{B}$  は単位行列である。したがって、モデルは次のように簡単な式であらわされる。ここでは、電力産業の異なる 3 つのアクティビティの加重平均として電力の投入係数が計算されていることになる。

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x}^1 \\ x^2 \end{bmatrix} = \left[ \begin{array}{c|c} \mathbf{A}^{11} & \mathbf{A}^{12}\mathbf{C} \\ \mathbf{A}^{21} & \mathbf{A}^{22}\mathbf{C} \end{array} \right]^{-1} \begin{bmatrix} \mathbf{f}^1 \\ f^2 \end{bmatrix} \quad (25)$$

この式の右辺の最終需要  $\mathbf{f}^1, f^2$  を与えると  $\mathbf{x}^1, x^2$  が求められる。そして、求められ  $x^2$  を (15)式に代入された、異なる電源ごとの生産量  $\mathbf{z}$  が求められる。電力のように、多くのアクティビティで 1 つの財を生産している場合、そのアクティビティの構成(電源の構成)を現実のものとするれば産業連関表の集計と同じ結果が導かれる。そして、電源構成比を現実とは異なる比率に想定すれば、その電源構成比に対応した各産業への生産波及が計算できる。

$\text{CO}_2$  の総排出量を  $E$ 、非電力部門の生産量当たりの排出係数を  $\mathbf{e}_x$ 、電力部門の排出係数を  $\mathbf{e}_z$  とすると、 $\text{CO}_2$  の総排出量は次の式で求められる。ここでも、電源の構成を現実のものとするれば現状の  $\text{CO}_2$  排出量が計算され、電源構成比が現実とは異なると比率に想定すれば、その電源構成比に対応した、各産業の  $\text{CO}_2$  排出量が計算できる。

$$E = [\mathbf{e}_x \mid \mathbf{e}_z] \begin{bmatrix} \mathbf{x}^1 \\ \mathbf{z} \end{bmatrix} \quad (26)$$

## 5.2 複数アクティビティモデルによるシミュレーション

電源構成を変化させると、CO<sub>2</sub>の排出量が大きく変化することはよく知られている。2005年の数字(手元の計算)では、エネルギー起源のCO<sub>2</sub>排出は1,240.9(100万t)、そのうち発電部門は307.0(100万t)であるから、約4分の1が発電部門(言い換えると、火力発電)で排出されている。火力発電からの発電を原子力発電や新エネルギーで代替すると、経常的な部分については、日本のCO<sub>2</sub>排出は劇的に減少する。

本稿では、2005年の産業連関表(190部門統合表)を用いて、発電の電源構成の変化が、県境負荷および経済規模にどのような影響があるかを分析する。

表12には、発電の電源構成とCO<sub>2</sub>排出の変化の様子を示した。表12aが絶対量の変化(10億トン)、表12bが比率(%)である。2005年現在では、原子力発電が30.9%、火力発電が60.1%、水力その他の発電が10.0%であるから、表の中で太枠のセル目がほぼ現状ということになる。表を左から右に見ると、火力発電の比率( $\alpha_2$ )を固定して、原子力発電比率( $\alpha_1$ )を増加・水力等の発電比率( $1-\alpha_1-\alpha_2$ )を減少させた結果が見られる。表の同じ行では、数字がほとんど同じであることがわかる。つまり、原子力と水力等はともにCO<sub>2</sub>を発生させない発電方法であるので、これら間で代替してもCO<sub>2</sub>排出量はほとんど変わらないということである。一方、表12を上から下に見ると、原子力発電比率( $\alpha_1$ )を固定して、火力発電比率( $\alpha_2$ )を増加・水力等の発電比率( $1-\alpha_1-\alpha_2$ )を減少させた結果が見られる。この場合、同じ列の上方にある数字がマイナスであることから、火力発電比率を低下させると当然のことながらCO<sub>2</sub>発生量が減少することがわかる。火力発電比率を2割程度まで削減できたとするなら、CO<sub>2</sub>発生量は現状から20%程度削減される。

表 12a 電源構成の変化とCO<sub>2</sub>排出量の関係 (100万トン)

$\alpha_2 \backslash \alpha_1$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1	946.9	946.9	946.9	947.0	947.0	947.0	947.0	947.1	947.1
0.2	1,005.0	1,005.1	1,005.2	1,005.2	1,005.3	1,005.4	1,005.5	1,005.6	—
0.3	1,063.3	1,063.5	1,063.6	1,063.7	1,063.9	1,064.0	1,064.1	—	—
0.4	1,121.9	1,122.1	1,122.2	1,122.4	1,122.6	1,122.8	—	—	—
0.5	1,180.6	1,180.9	1,181.1	1,181.4	1,181.6	—	—	—	—
0.6	1,239.6	1,239.9	1,240.2	1,240.5	—	—	—	—	—
0.7	1,298.8	1,299.2	1,299.5	—	—	—	—	—	—
0.8	1,358.2	1,358.6	—	—	—	—	—	—	—
0.9	1,417.9	—	—	—	—	—	—	—	—

資料：著者作成

表 12b 電源構成の変化による CO2 排出量の変化(現状からの乖離%)

$\alpha_2 \backslash \alpha_1$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1	-23.7%	-23.7%	-23.7%	-23.7%	-23.7%	-23.7%	-23.7%	-23.7%	-23.7%
0.2	-19.0%	-19.0%	-19.0%	-19.0%	-19.0%	-19.0%	-19.0%	-19.0%	—
0.3	-14.3%	-14.3%	-14.3%	-14.3%	-14.3%	-14.3%	-14.2%	—	—
0.4	-9.6%	-9.6%	-9.6%	-9.5%	-9.5%	-9.5%	—	—	—
0.5	-4.9%	-4.8%	-4.8%	-4.8%	-4.8%	—	—	—	—
0.6	-0.1%	-0.1%	-0.1%	0.0%	—	—	—	—	—
0.7	4.7%	4.7%	4.7%	—	—	—	—	—	—
0.8	9.5%	9.5%	—	—	—	—	—	—	—
0.9	14.3%	—	—	—	—	—	—	—	—

資料：著者作成

ただ、ある炭素税の導入などの環境政策が電源構成を変化(つまり火力発電比率を低下)させ、大幅な CO<sub>2</sub> 削減を実現するとしても、例えば、雇用が激減するなどの経済的な影響が大きい場合には、そういう政策は採用されにくい。そこで、次に、最終需要が 2005 年の現状と同額であると仮定して、電源構成を変化させた場合に国内生産額がどの程度変化するかを試算する。表 13 にその結果を示す。表中の数字は現状と電源構成を変化させた場合の差であり、マイナスの数字は、国内生産量が現状より減少することを意味している。CO<sub>2</sub> の例と同様に、表 13 を左から右に見ると、火力発電の比率( $\alpha_2$ )を固定して、原子力発電比率( $\alpha_1$ )を増加・水力等の発電比率( $1-\alpha_1-\alpha_2$ )を減少させた結果が見られる。この例でも同じ行では数字がほとんど同じであるので、火力発電の比率を固定して、原子力と水力を代替しても、国内生産額はほとんど変わらないことが分かる。一方、表 13 を上から下に見ると、原子力発電比率( $\alpha_1$ )を固定して、火力発電比率( $\alpha_2$ )を増加・水力等の発電比率( $1-\alpha_1-\alpha_2$ )の減少させた結果がみられる。この場合、表の同じ列の上方にある数字がマイナスであることから、火力発電を削減すると国内生産額が減少することが分かる。火力発電のアクティビティでは、エネルギー産業や運輸産業等に対する後方連関効果が大きいいため、火力発電の削減は国内総生産額の減少を招くのである。本稿の試算は、現状の産業構造・技術構造を前提とすれば、CO<sub>2</sub> の排出削減のために火力発電の比率を削減すれば、最大 0.5%程度の経済規模の縮小がありうることを示している。

表 13a 電源構成の変化と国内生産額の関係 (兆円)

$\alpha_2 \backslash \alpha_1$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1	966.8	966.8	966.8	966.8	966.8	966.8	966.8	966.8	966.8
0.2	967.8	967.8	967.8	967.8	967.8	967.8	967.8	967.8	—
0.3	968.8	968.8	968.9	968.9	968.9	968.9	968.9	—	—
0.4	969.9	969.9	969.9	969.9	969.9	969.9	—	—	—
0.5	970.9	970.9	970.9	971.0	971.0	—	—	—	—
0.6	972.0	972.0	972.0	972.0	—	—	—	—	—
0.7	973.0	973.1	973.1	—	—	—	—	—	—

0.8	974.1	974.1	—	—	—	—	—	—	—
0.9	975.2	—	—	—	—	—	—	—	—

資料：著者作成

表 13b 電源構成の変化による国内生産額の変化 (%)

$\alpha 2 \backslash \alpha 1$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1	-0.54%	-0.54%	-0.54%	-0.54%	-0.54%	-0.54%	-0.54%	-0.54%	-0.54%
0.2	-0.43%	-0.43%	-0.43%	-0.43%	-0.43%	-0.43%	-0.43%	-0.43%	—
0.3	-0.33%	-0.33%	-0.33%	-0.33%	-0.32%	-0.32%	-0.32%	—	—
0.4	-0.22%	-0.22%	-0.22%	-0.22%	-0.22%	-0.22%	—	—	—
0.5	-0.11%	-0.11%	-0.11%	-0.11%	-0.11%	—	—	—	—
0.6	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	—	—	—	—	—
0.7	0.11%	0.11%	0.11%	—	—	—	—	—	—
0.8	0.22%	0.22%	—	—	—	—	—	—	—
0.9	0.32%	—	—	—	—	—	—	—	—

資料：著者作成

この結果をどう読むかについては、われわれは慎重であるべきだろう。本稿の試算は、「最終需要額が不変であれば」という想定で行っているので、GDPは不変と想定していることになる。ただ、既にみたように、中間投入構造の変化によって、国内の生産額総量は変化するのである。国内の雇用量は国内生産額に比例して決めらるとすれば、国内生産額の減少は何らかの意味での費用と言える。

この表 14 に、CO<sub>2</sub>を 1 トンだけ削減するために、マクロでの生産量がどの程度削減されるかを試算した。誤解を恐れず名付けるとすれば、この数字は「CO<sub>2</sub>の限界削減費用」ということになる。試算の結果では、CO<sub>2</sub>の限界削減費用は、トン当たりで 17,000 円から 18,000 円ということになった。

表 14 CO<sub>2</sub>削減トン当たりの国内総生産量の変化(1000 円)

$\alpha 2 \backslash \alpha 1$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1	17.844	17.840	17.837	17.834	17.831	17.828	17.825	17.821	17.818
0.2	17.845	17.841	17.837	17.833	17.829	17.825	17.821	17.817	—
0.3	17.848	17.843	17.837	17.832	17.827	17.822	17.816	—	—
0.4	17.853	17.846	17.838	17.830	17.822	17.814	—	—	—
0.5	17.869	17.854	17.838	17.823	17.807	—	—	—	—
0.6	19.304	18.830	17.956	15.796	—	—	—	—	—
0.7	17.803	17.819	17.835	—	—	—	—	—	—
0.8	17.820	17.828	—	—	—	—	—	—	—
0.9	17.826	—	—	—	—	—	—	—	—

資料：著者作成

### 5-3 小括と今後の課題

この節は、伝統的な産業分析にシナリオを想定することで、「同一生産物で複数アクティビティ」といった従来型の分析では扱えなかった課題を扱った。そして、同一生産内での複数アクティビティの比率が変化することによって、どの程度環境負荷が異なるのかを試算した。

試算の結果、現状の産業構造・技術構造を前提とすれば、CO<sub>2</sub> 排出削減のために火力発電の比率を極限まで削減すれば、CO<sub>2</sub> 排出を 4 分の 1 程度削減できることが分かった。しかし、その一方で、0.5%程度の経済規模の縮小がありうることを示している。誤解を招くかもしれない表現ではあるが、この比率は「CO<sub>2</sub> の限界削減費用」に相当する。本稿の試算では、CO<sub>2</sub> の限界削減費用は、トン当たりで 17,000 円から 18,000 円ということになった。

今回は、電力産業の電源構成に焦点を絞り、そのアクティビティ構成比の変化と環境負荷の関係を整理した。今後のこの種の研究の発展は、次の 2 つの方向になろう。

#### 1) 価格モデルへの応用

電力産業内の電源構成を変化させれば(つまり、アクティビティの構成比を変化させれば)、それは電力価格へも影響するであろう。アクティビティの構成比変化と価格の変化の関係を検討すること。

#### 2) 副産物モデルへの応用

鉄鋼の生産に伴って「高炉スラグ」が発生する。それは鉄鋼産業では廃棄物であるが、セメントの原料としても活用できる。つまり、鉄鋼産業の生産量とセメント産業の原料がリンクしているのである。そうした副産物の処理は、従来型の産業連関分析では難しかった。こうした副産物ケースについても、生産量と環境負荷、あるいは供給価格との関係を検討すること。

## 6. 災害による間接被害の分析モデル

### 6-1 先行事例

災害による間接被害の推計については、災害未発生時点における「被害想定」と災害発生後の推計とがある。前者の事例としては、内閣府の中央防災会議による被害想定や長谷部(2002)などがあり、後者の事例としては、国土交通省中国地方整備局(2005)などが挙げられる。内閣府の中央防災会議は、東海地震、東南海・南海地震、首都直下地震など、想定される震災ごとに「被害想定」や対策の検討を重ねてきた。例えば、「東南海、南海地震等に関する専門調査会」では、中部圏・近畿圏の内陸地震に関する経済被害を約 74 兆円(上町断層帯の地震のケース)と推計しており、内訳は直接被害が約 61 兆円、間接被害が約 13 兆円となっている<sup>43</sup>。間接被害の推計方法を大まかに述べると、第 1 段階として被災地域の生

43 中央防災会議(2008)「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定結果について～経済被

産関数を推計し、生産要素(資本と労働)の減少にともなう生産額の減少を産業別に計測する。次に生産関数から得られた生産額の減少を経済産業省の地域間産業連関表の最終需要にあてはめ、自地域及び他地域への波及を計算するという手順を経ている。波及効果の計算に用いられたのは、通常のレオンチェフ逆行列であり、ここでの波及の試算は、震災による生産停止の後方連関効果を計測していることになる。

長谷部(2002)では、東京都産業連関表に基づき、首都圏直下型地震災害が引き起こす生産減少額を推計している。その手順は、生産関数により東京都内の生産減少率を産業別に求めた上で、「調達不可能期間」を考慮した低下率を算出し、東京都外への被害額を推計するというものである。長谷部(2002)による生産波及モデルは、レオンチェフ型生産関数を前提としつつ、供給制約を考慮するために、生産要素の減少率、他地域・他国からの当該財の流入状況、部門間の配分に関するパラメーターを組み込んでいる点に特色がある。

国土交通省中国地方整備局(2005)は、2004年9月に中国地方に上陸した台風18号をモデルケースとして、間接被害を中心とした地域経済への影響を計測している。ここでの被害推計は、広島県内事業所へのアンケート調査を基礎としているが、間接被害については、広島県産業連関表を用いた産業連関分析により推計している。ここでの間接被害波及の推計は後方連関効果に限定されており、前方連関効果については「推計手法の確立が困難であったため」として推計は行われていない。

## 6-2 分析モデルの検討

### (1) 需要型モデル(モデル I)

本稿では、被災による生産減少の需要側への波及を計測するために、被災地の東北を外生化したモデルを用いる。いま、3つの地域からなる経済を考え、地域3を被災地とする。ここで地域3を「外生」地域とすれば、地域1と地域2の需給均衡式は次のようにあらわされる。

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A_{13}x_3 + f_1 \\ A_{23}x_3 + f_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (27)$$

ただし、 $A_{ij}$  は地域  $j$  による地域  $i$  からの投入係数行列であり、需要モデルではこれを固定と仮定する。 $x_i$  は地域  $i$  の生産ベクトル、 $f_i$  は地域  $i$  産品に対する最終需要ベクトルをあらわす。(1)式を  $x_1$ 、 $x_2$  について解くと、均衡生産量

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \left[ I - \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \right]^{-1} \begin{bmatrix} A_{13}x_3 + f_1 \\ A_{23}x_3 + f_2 \end{bmatrix} \quad (28)$$

を得る。ここで震災により、地域3の生産量が  $\Delta x_3$  だけ減少したとすると、地域1と地域

---

害～」



2 の生産量の変化は、次式で求められる。

$$\begin{bmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \end{bmatrix} = \left[ I - \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \right]^{-1} \begin{bmatrix} A_{13} \Delta x_3 \\ A_{23} \Delta x_3 \end{bmatrix} \quad (29)$$

この式の  $A_{i3} \Delta x_3$  は、地域 3 による地域  $i$  産品への需要の減少額であり、この式は被災地の生産減少がもたらす後方連関効果を計測している。

## (2) 供給型モデル(モデルⅡ)

レオンチェフモデルでは需要が供給を決定するが、供給が需要を決定するとの想定に立つモデル化も可能である。本稿では、Miller and Blair(2009)に倣い、これをゴースモデル(Ghosh Model)とよぶことにする。このゴースモデルでは、付加価値額が外生的に与えられ、生産は投入物(中間財と付加価値)の総和として決定される。このモデルで固定的であると考えるのは、ある産業から他産業への配分係数  $G$  である<sup>44</sup>。

本稿では、被災による生産減少の供給側への波及を計測するために、被災地の東北を外生化したゴースモデルを用いる。需要モデルと同様の 3 地域から成る経済を考え、地域 3 を外生とする。ここで配分係数を固定と仮定すると、地域 1 と地域 2 の生産は次式で与えられる。

$$\begin{bmatrix} x_1' & x_2' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1' & x_2' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} \\ G_{21} & G_{22} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_3' G_{31} + v_1' \\ x_3' G_{32} + v_2' \end{bmatrix} \quad (30)$$

ただし、 $G_{ij}$  は地域  $i$  から地域  $j$  への配分係数行列であり、 $v_i$  は地域  $i$  の付加価値ベクトルである。この式を  $x_1'$ 、 $x_2'$  について解くと、次の式が得られる。

$$\begin{bmatrix} x_1' & x_2' \end{bmatrix} = \left[ I - \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} \\ G_{21} & G_{22} \end{bmatrix} \right]^{-1} \begin{bmatrix} x_3' G_{31} + v_1' \\ x_3' G_{32} + v_2' \end{bmatrix} \quad (31)$$

震災により、地域 3 の生産が  $\Delta x_3$  だけ減少したとすると、地域 1 と地域 2 の生産量の変化は、次式で求められる。

$$\begin{bmatrix} \Delta x_1' & \Delta x_2' \end{bmatrix} = \left[ I - \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} \\ G_{21} & G_{22} \end{bmatrix} \right]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta x_3' G_{31} \\ \Delta x_3' G_{32} \end{bmatrix} \quad (32)$$

この式の  $\Delta x_3' G_{3j}$  は、地域  $i$  による地域 3 産品の投入の減少額であり、この式は被災地の生産減少がもたらす前方連関効果を計測している。

上で示したゴースモデルは、どこまで現実妥当性を有するであろうか。モデルの考案

44 通常は「産出係数」とよばれることが多いが、本稿では、「配分係数」で呼称を統一する。

者である Ghosh 自身は、このモデルが適用可能なケースとして、政府が配分を統制する、超過需要が生じている計画経済を念頭においていた<sup>45</sup>。しかしこれは特殊なケースであり、一般的な市場経済にはあてはまらない。長谷部(2002)は、ゴーシュモデルの問題点として、1)配分係数を一定と仮定しているがこれは非現実的、2)生産関数に完全代替性を仮定していることになり、理論的に産業連関論と相容れない、という 2 点を指摘している。また、Oosterhaven(1988)は、投入係数と配分係数の数学的関係を基に生産の成長率が部門間で均一であるならば、投入係数が安定的であるとき配分係数も安定的であることを示しつつも、需要が完全に供給サイドから決定されることの非現実性を指摘している。

### (3) 需要型・供給型ハイブリッド型モデル(モデルⅢ)

需要型モデルでは中間財の投入構造を固定係数とし、供給型のモデルでは中間財の販路構造を固定係数とする。しかし、販路のシェアは、中間財の生産時の技術的な関係と異なり、調整が可能であると考えられるので、(10)式で表された波及効果のステップが、長期にわたって続くことは現実的ではないという考えは一定の妥当性を有するであろう。そこで以下では、最初のステップにおいてゴーシュモデルで表現される前方連関効果が作用し、以後においてはレオンチェフモデルによる後方連関効果が働くモデルを考える。

これまでと同様に、地域 3 を外生とした 3 地域モデルを例にその考え方をみていこう。いま震災により地域 3 の生産が  $\Delta x_3$  だけ減少したとする。ここで最初のステップにおいて、ゴーシュモデルによる前方連関効果が働くとすると、地域 2 と地域 3 の生産の減少はそれぞれ  $G'_{31}\Delta x_3$ 、 $G'_{32}\Delta x_3$  となる。ゴーシュモデルでは、同様の(前方への)波及プロセスが更に持続すると考えた。しかしここでは、次のステップからはレオンチェフモデルによる後方連関効果が働くものと想定する。このとき地域 2 と地域 3 の生産減少は、 $G'_{31}\Delta x_3$  と  $G'_{32}\Delta x_3$  に逐次投入係数を乗じてそれらを累計した、次の式により求められる。

$$\begin{bmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \end{bmatrix} = \left[ I - \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \right]^{-1} \begin{bmatrix} G'_{31}\Delta x_3 \\ G'_{32}\Delta x_3 \end{bmatrix} \quad (33)$$

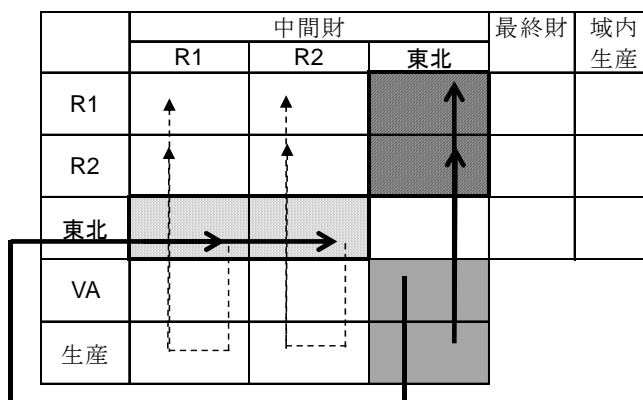
本稿では、この式によるモデルを「需要型・供給型ハイブリッド型モデル」、あるいは単純に「ハイブリッド型モデル」とよぶことにする。

ここで一旦、これまでに示した 3 つのモデルの波及経路を整理しておこう。図 3 は、各モデルの初期段階における波及の経路を図式化したものである。分析の出発点はいずれも東北地域の付加価値あるいは生産の減少(グレーのセル)である。レオンチェフモデルでは東北地域の生産減少が東北地域による地域 1 と地域 2 の中間財への需要を減少させ(上方向の実線の矢印)、これが更に地域 1 と地域 2 の需要を減少させていく。一方、ゴーシュモデルでは東北地域の付加価値および生産の減少が、地域 1 と地域 2 への中間財供給を減少させ(横方向の実線の矢印)、これが同額の生産減少を介して更に地域 1 と地域 2 への供給を減少さ

45 Ghosh(1958)による。

せていく。ハイブリッド型モデルでは、最初のステップで地域 1 と地域 2 への中間財供給が減少し、同額の生産が減少するところまではゴーシュモデルと同じである。ただし、次のステップにおいては、地域 1 と地域 2 の生産減少が同地域による中間需要を減少させ(縦方向の点線の矢印)、以後は同様の後方連関効果が持続することになる<sup>46</sup>。

図 3 各モデルの初期段階における波及経路



資料：著者作成

#### (4) 固定係数・地域代替型モデル(モデルIV)

東北大震災で現実にかきたことは、東北・北関東のマイコン製造工場の被災が全国の自動車生産をストップさせるというような、ボトルネックが強力に作用する完全非代替のイメージに近い現象であり、これまでに示した 3 つのモデルではこのような現象を適切に扱うことができない恐れがある。そこで、以下では、長谷部(2002)を参考に、生産要素に関する完全非代替の考え方を導入したモデルを考える。ただしここでは、同じ生産要素であれば、それを産出する地域については「完全代替」を想定する。

A と B の 2 地域と 2 財からなる世界を考え、各地域・部門の取引額は次の表のようにあらわされるとする。

表 15 2 財 2 地域の地域間表

		地域 A		地域 B	
		財 1	財 2	財 1	財 2
地域 A	財 1	$x_{11}^{AA}$	$x_{12}^{AA}$	$x_{11}^{AB}$	$x_{12}^{AB}$
	財 2	$x_{21}^{AA}$	$x_{22}^{AA}$	$x_{21}^{AB}$	$x_{22}^{AB}$
地域 B	財 1	$x_{11}^{BA}$	$x_{12}^{BA}$	$x_{11}^{BB}$	$x_{12}^{BB}$
	財 2	$x_{21}^{BA}$	$x_{22}^{BA}$	$x_{21}^{BB}$	$x_{22}^{BB}$

<sup>46</sup> ハイブリッド型モデルでは、生産波及を「一歩前に進めて後ろに戻す」方式で計測しており、ダブルカウントが発生する可能性があることにも留意が必要である。

VA	$v_1^A$	$v_2^A$	$v_1^B$	$v_1^B$	$v_2^B$
生産	$x_1^A$	$x_2^A$	$x_1^B$	$x_1^B$	$x_2^B$

資料：著者作成

完全非代替型の生産関数を想定すると、地域 A と地域 B の各財の生産関数は次のように表すことができる。ただし、 $\alpha$  は投入係数、 $\tau$  は付加価値係数である。

$$x_j^A = \text{Min} \left[ \frac{x_{ij}^{AA} + x_{ij}^{BA}}{a_{ij}^A}, \frac{v_j^A}{\tau_j^A} \right] \quad (i = 1, 2) \quad (34a)$$

$$x_j^B = \text{Min} \left[ \frac{x_{ij}^{AB} + x_{ij}^{BB}}{a_{ij}^B}, \frac{v_j^B}{\tau_j^B} \right] \quad (i = 1, 2) \quad (34b)$$

いま、地域 A において災害が発生し、労働や資本の投入が減少したとする。これにより、地域 A の第 1 財と第 2 財の付加価値がそれぞれ、 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  の率で減少したとすると、地域 A の付加価値の投入はそれぞれ  $v_1^A(1-\alpha_1)$ 、 $v_2^A(1-\alpha_2)$  となり、この式より、地域 A の生産は同率で減少し、それぞれ  $v_1^A(1-\alpha_1)/\tau_1^A$ 、 $v_2^A(1-\alpha_2)/\tau_2^A$  となる。地域 A による生産の減少は、これを中間財として投入する地域 B の生産に影響を与えるが、その変化の大きさは、地域 A による生産物がどのように配分されるかに依存する。仮に配分比率が災害前と同じであるとするならば、地域 B の生産はそれぞれ、

$$x_1^B = \text{Min} \left\{ \frac{b_{11}^{AB} v_1^A(1-\alpha_1)/\tau_1^A + x_{11}^{BB}}{a_{11}^B}, \frac{b_{21}^{AB} v_2^A(1-\alpha_2)/\tau_2^A + x_{21}^{BB}}{a_{21}^B}, \frac{v_1^B}{\tau_1^B} \right\} \quad (35a)$$

$$x_2^B = \text{Min} \left\{ \frac{b_{12}^{AB} v_1^A(1-\alpha_1)/\tau_1^A + x_{12}^{BB}}{a_{12}^B}, \frac{b_{22}^{AB} v_2^A(1-\alpha_2)/\tau_2^A + x_{22}^{BB}}{a_{22}^B}, \frac{v_2^B}{\tau_2^B} \right\} \quad (35b)$$

とあらわすことができる。ただし、 $b$  は配分係数であり、

$$b_{ij}^{AB} = x_{ij}^{AB}/x_i^A \quad (i, j = 1, 2) \quad (36)$$

として定義される。本稿では、この式によるモデルを「固定係数・地域代替型モデル」とよぶことにする。なお、次節で行うシミュレーションでは、表 3 に示す初期の生産減少額を  $v_1^A(1-\alpha_1)$  または  $v_2^A(1-\alpha_2)$  に置き換えて計算を行う。

### 6-3 シミュレーション

#### (1) シミュレーションの前提

##### 1) データ

分析には経済産業省の地域間産業連関表を使用する。この表は北海道から沖縄までの 9

地域から構成されているが、本稿では、沖縄を九州に含めた 8 地域で分析を行う。各地域の部門はオリジナルの 53 部門をそのまま使用する。

## 2) 輸入の扱い

経済産業省の地域間表は、「競争輸入・非競争移入型」であるが、域内生産がゼロで中間需要が全て輸入品である場合、ゴーストモデルは適用できない。そこで輸入品については、地域間表から予めこれを分離し、「非競争輸入・非競争移入型」の地域間表を作成し、これをモデル I からモデル IV までの分析に用いる。輸入品の分離は、同一行部門内のセルは輸入率が全て等しいと仮定して行った。

## 3) 初期段階での生産減少額の設定

前節での先行事例でも示したように、波及計算の出発点となる被災地域の生産減少額は労働や資本の減少を生産関数にインプットする、あるいは、各種の調査から事後的に被害状況が把握可能な場合はその情報を用いるなどの方法が採られることが多い。これに対して本稿では、間接被害額の推計そのものが主目的ではないこと、および、現時点における統計データや特別調査の蓄積が必ずしも十分でないこと等の理由により、初期段階の生産減少額の推計は、簡便な方法によっている。

具体的には、2011 年 3 月から 5 月までの東北地域の鉱工業生産指数の平均値をとり、震災直前の 2011 年 2 月時点からの下落率を算出する。その上で、東北地域については、この期間の鉱工業生産指数の低下が全て震災による供給能力の減少によるものとみなして、地域間産業連関表の当該部門の生産額に下落率を乗じて初期の生産減少額を推計した。なお、非製造業については、初期段階での生産減少はゼロとして扱っている。

## (2) シミュレーション結果の検討

表 16 は、上で説明した初期の生産減少額を前節のモデルにあてはめて計算した生産減少額である。左から第 3 列目の「初期生産減少額」は、2005 年地域間表と鉱工業生産指数より求めた東北地域に関する初期の生産減少額である。

はじめにレオンチェフモデル(モデル I)とゴーストモデル(モデル II)を全国・全産業について比較すると、初期段階の生産減少額約 4.9 兆円に対して、レオンチェフモデルから計算された減少額が約 7.6 兆円、ゴーストモデルが約 8.0 兆円となっている。その差は約 4,180 億円であり、オーダー的には両者はかなり近い値をとっている。製造業と非製造業の別に見ると、非製造業ではレオンチェフモデルとゴーストモデルの差は 740 億円であるのに対し、製造業ではその差は 3,440 億円に開いている。

製造業の品目別には、ゴーストモデルの方が生産減少効果は大きい傾向にある。例えば、乗用車では 1,610 億円、一般機械では 1,100 億円、飲食料品では 770 億円、ゴーストモデルの生産減少効果がより大きくなっている。一方、レオンチェフモデルの生産減少効果がより大きいのは、鉄鋼、石油石炭製品、化学基礎製品などであり、両者の差分はそれぞれ 1,250 億円、760 億円、710 億円である。前節で述べたようなレオンチェフモデルは「後方連関効果」、ゴーストモデルは「前方連関効果」を計測するとの解釈に立てば、レオンチェ

フモデルから求めた影響は素材関連で相対的に大きく、ゴージュモデルによる影響は最終製品でより大きく計測されることは、妥当な結果と言えるであろう。

2つのモデルを地域別に比較すると、関東でゴージュモデルによる生産減少効果が相対的に大きく計測されている。レオンチェフモデルによる関東の生産減少額は6,880億円にとどまるのに対し、ゴージュモデルによる減少額は1兆790億円であり、両者の間には3,910億円の開きがある。関東でゴージュモデルによる影響が大きいのは、東北が関東への最大の部材供給地であることを反映していると考えられる。表には示していないが、関東の品目の内訳を確認すると、両モデルの差分が大きいのは自動車部品、乗用車、一般機械などであり、差額はそれぞれ約957億円、770億円、715億円となっている。

次に、中部の生産シェアが大きな上位6品目についてみていこう。ゴージュモデルでより大きな影響が計測されているのは、飲食料品、一般機械、乗用車であり、反対にレオンチェフモデルでより影響が大きいのは、鉄鋼、自動車部品・同付属品である。特に乗用車については、ゴージュモデルによる減少額が490億円であるのに対し、レオンチェフモデルでは全く生産への影響が計測されていない。採用するモデルにより、品目ごとの波及額に大きな相違が生じるケースの一例である。

近畿についても、両モデルが導く傾向はこれまでに見てきたケースと同じである。中部の乗用車とは反対に、石油・石炭製品では、ゴージュモデルによる生産波及は計測されていない。

ハイブリッド型モデル(モデルⅢ)に目を転じると全国・全産業の生産減少額は約8.3兆円、製造業合計では約6.9兆円となっている。ただし品目別には、ハイブリッド型モデルによる減少額は乗用車のように、モデルⅠとモデルⅡの中間の値をとるケースも多い。

表16 間接被害の波及による生産減少効果(実額, 10億円)

地域	品目	域内生産額	域内生産の減少額				
			初期生産減少額	モデルⅠ レオンチェフ型	モデルⅡ ゴージュ型	モデルⅢ ハイブリッド型	モデルⅣ 固定係数地域代替
全国	飲食料品	35,937	987	1,054	1,131	1,099	2,650
全国	繊維工業製品	2,105	2	14	7	8	125
全国	衣服・繊維既製品	2,270	21	23	25	24	86
全国	製材・木製品・家具	4,926	112	125	138	143	238
全国	パルプ・紙加工紙	7,904	445	505	527	553	715
全国	印刷・製版・製本	6,296	67	87	129	136	474
全国	化学基礎製品	10,644	142	272	200	232	962
全国	合成樹脂	2,921	25	63	38	42	152
全国	化学最終製品	7,276	40	85	91	91	427
全国	医薬品	6,647	103	107	126	124	392
全国	石油・石炭製品	16,920	469	552	476	518	955
全国	プラスチック製品	10,635	106	207	156	183	523
全国	窯業・土石製品	7,156	120	154	138	152	419
全国	鉄鋼	25,757	337	611	486	577	1,865
全国	非鉄金属	7,330	215	299	281	309	485
全国	金属製品	12,484	196	251	250	261	505
全国	一般機械	26,380	141	182	291	262	775
全国	事務用機器	3,998	31	35	61	52	139

全国	産業用電気機器	6,856	40	65	78	77	264
全国	その他の電気機械	6,326	104	118	147	138	276
全国	民生用電気機器	2,651	9	9	23	17	64
全国	通信機械	7,330	112	114	165	148	450
全国	電子計算機	3,681	107	108	131	123	215
全国	電子部品	16,212	358	461	470	484	735
全国	乗用車	14,621	216	216	377	288	1,094
全国	その他の自動車	4,096	0	0	62	31	214
全国	自動車部品	28,649	234	502	503	554	792
全国	その他の輸送機械	5,650	30	38	63	53	215
全国	精密機械	3,723	49	51	69	63	144
全国	他製造工業製品	7,793	128	150	164	164	345
全国	製造業計	305,172	4,947	6,458	6,802	6,908	16,693
全国	非製造業計	643,021	0	1,101	1,175	1,370	28,120
全国	全産業計	948,193	4,947	7,559	7,977	8,278	44,813
北海道	製造業計	6,142	0	47	37	45	421
関東	製造業計	117,492	0	688	1,079	1,116	5,430
中部	製造業計	59,065	0	348	296	305	1,980
近畿	製造業計	48,682	0	182	211	228	1,448
中国	製造業計	27,124	0	139	126	153	1,415
四国	製造業計	7,894	0	32	21	31	250
九州	製造業計	22,114	0	75	85	83	803
東北	製造業計	16,659	4,947	4,947	4,947	4,947	4,947
中部	飲食料品	3,715	0	6	13	10	131
中部	鉄鋼	3,667	0	38	19	29	120
中部	一般機械	5,123	0	8	22	17	136
中部	電子部品	3,109	0	20	21	25	70
中部	乗用車	5,962	0	0	49	16	590
中部	自動車部品	11,908	0	159	62	77	142
近畿	飲食料品	5,589	0	5	17	12	267
近畿	石油・石炭製品	2,126	0	7	0	4	10
近畿	鉄鋼	5,489	0	38	22	37	197
近畿	金属製品	2,896	0	12	10	12	42
近畿	一般機械	5,905	0	10	24	19	61
近畿	電子部品	2,487	0	20	13	15	59

資料：著者作成

注：域内生産額は、2005年地域間産業連関表の値による。

固定係数・地域代替型モデル(モデルⅣ)では、全国・全産業の減少額は約 44.8 兆円と、他の 3 つのモデルに比べて格段に大きく計測されている。ただし、製造業合計では約 16.7 兆円の減少にとどまっている。モデルⅠからモデルⅢではいずれも製造業の減少額が非製造業を 5 倍から 6 倍程度上回っているのに対し、固定係数・地域代替型モデルでは、非製造業の減少額が約 28.1 兆円と製造業の 2 倍近くに達しており、非製造業による生産減少への寄与が非常に大きいことが分かる。具体的に減少額が大きな地域・品目を順に挙げると、関東の商業(約 2.3 兆円の減少、以下同じ)、関東の対個人サービス(約 1.9 兆円)、関東の医療・保険・社会保障・介護(約 1.9 兆円)、関東のその他の情報通信(約 1.3 兆円)などであり、東北を除く全 371 部門(=7×53)のうち上位 10 部門が関東の非製造業で占められている。

非製造業でこのような大きな生産の減少が計測されるのは、生産要素の完全非代替を仮定しているため、中間財投入の東北産品比率が高い場合、投入量の多寡にかかわらず中間財の減少率に近い割合で生産が減少してしまうことによる。加えて、輸入や他地域からの

代替調達が考慮されていないというモデルの問題も大きく影響していると考えられる。

製造業に関しては、固定係数・地域代替型モデルの生産減少額は、相対的にはあるが他の3つのモデルとの乖離が小さく、モデルⅢとの比較では、概ね2倍から4倍程度の範囲に収まる品目が多い。ただし、中部の乗用車などは、固定係数・地域代替型モデルによる減少額が5,900億円に達しており、モデルⅡの490億円、モデルⅢの160億円と比して格段に大きな波及が計測されている。これは、震災直後に中部の乗用車生産が激減した事実と整合的である。

固定係数・地域代替型モデルに関する評価を総合すると、乗用車を中心とする製造業では、生産減少の程度はある程度もっともらしいレベルに落ち着いていると考えられるが、非製造業では、その現実妥当性が疑われるケースが多い。

次に、各モデルから計測された生産波及の妥当性を、実際の鉱工業生産指数との対比により検討していく。表17は、生産減少額をもとに、震災後の生産水準を指数化したものである。表の第2列では2011年2月が100となるように変換した鉱工業生産指数の3月から5月までの3ヶ月間の平均をとっている。第3列から6列目までは、各モデルで計測された生産額を元の地域間表の値が100となるように指数化したものである。

まず全国の製造業全体についてみると、実際の鉱工業指数は、震災前から12.8ポイント低下しているのに対して、モデルⅠの計測による低下は2.1ポイント、モデルⅡでは2.2ポイント、モデルⅢでは2.3ポイントである。表では割愛しているが、品目別にみても、実際の鉱工業生産指数は、震災前に比べて5ポイント以上の低下を示している品目が大部分である。これに対して、モデルⅠ、モデルⅡ、モデルⅢから計測された生産水準は、ほとんどの品目で5ポイント未満にとどまっている。総じて、モデルⅠからモデルⅢまでの計測結果は、現実の生産動向を説明するには至っていない。一方、固定係数・地域代替型のモデルⅣでは、5ポイントから10ポイント程度の低下を示す品目が多数を占めており、製造業全体では、5.5ポイントの低下である。前の3つのモデルよりは、波及の強度という意味において、相対的に全体的の動きを追跡しているといえる。ただし品目別にみても、モデルⅣの「説明力」が一概に高いとも言えない。例えば、現実には、中部と近畿で飲食料品の生産は震災前を上回っているが、モデルⅣが示す変化の方向は全く逆である。現実の経済では、輸移入による部材・原料の代替調達や在庫の取り崩しにより、供給制約を緩和することが可能であるが、本稿のモデルではそのようなメカニズムは考慮していないことが、現実との乖離を生じる一因と考えられる。特に、被災地以外の地域では、部材・原料の調達さえ可能であれば、被災地の代替生産を行うことにより、生産水準はむしろ震災前よりも上昇することがある。



表 17 間接被害の波及による生産減少効果(指数化)

地域	品目	域内生産額	域内生産の減少額			
			モデルⅠ レオンチェフ型	モデルⅡ ゴーシュ型	モデルⅢ ハイブリッド型	モデルⅣ 固定係数地域代替
全国	製造業計	87.2	97.9	97.8	97.7	94.5
全国	全産業計	-	99.2	99.2	99.1	95.3
中部	飲食料品	110.4	99.8	99.6	99.7	96.5
中部	鉄鋼	84.5	99.0	99.5	99.2	96.7
中部	一般機械	99.9	99.9	99.6	99.7	97.4
中部	電子部品	84.5	99.4	99.3	99.2	97.7
中部	乗用車	40.0	100.0	99.2	99.7	90.1
中部	自動車部品	55.0	98.7	99.5	99.4	98.8
近畿	飲食料品	102.3	99.9	99.7	99.8	95.2
近畿	石油・石炭製品	95.7	99.7	100.0	99.8	99.5
近畿	鉄鋼	96.8	99.3	99.6	99.3	96.4
近畿	金属製品	99.1	99.6	99.7	99.6	98.6
近畿	一般機械	88.1	99.8	99.6	99.7	99.0
近畿	電子部品	91.6	99.2	99.5	99.4	97.6

資料：著者作成

(注 1) 鉱工業生産指数は、2011年2月の値を100としたときの3月から5月までの平均

(注 2) 地域内産業連関表の域内生産額を100として、波及計算後の生産額を指数化

### 6.3 小括と今後の課題

本稿では、震災による供給制約の間接被害を計測するための4種類のモデルを提示し、それぞれのモデルの特性、妥当性を検討した。本稿での検討とシミュレーションにより得られた主な結果を以下にまとめる。

第1に、後方連関効果を計測するレオンチェフモデルと前方連関効果を計測するゴーシュモデルでは、日本全体でみた経済被害の波及総額に大きな相違はない。しかし、個別の品目への影響は両モデルで結果は大きく異なる。従来の公的機関による間接被害推計では、レオンチェフモデルが多用されてきたが、今回の震災のような、供給制約が問題となる状況下においては、間接被害は正しく評価できない。特に、地域別・は産業部門別に被害推計を行う際には、この点に留意する必要がある。

第2に、固定係数地域代替型モデルを用いると、被害波及額は他のモデルよりも製造業で2倍以上大きく計測される。他のモデルでは、ボトルネックによる乗用車生産等の急減をほとんど説明することができなかったが、固定係数・地域代替型モデルでは、ある程度このような現象を追跡することが可能である。しかし固定係数・地域代替型モデルでは、特に非製造業において、必ずしも生産活動に必須かつ代替不可能とは思われない投入品目がボトルネックとして作用することがある。これは、完全非代替の仮定を全ての品目に適用することは危険であることを示唆している。

本研究は、供給制約下における間接被害の推計モデルを検討する第一歩であり、残された課題は多い。以下にそれらを記しておく。

第1に、本稿での方法論上の課題として、被災地域の定義に関する問題がある。本稿で

は、経済産業省の地域間表、および鉱工業生産指数を用いるということで、東北6県(青森、秋田、岩手、山形、宮城、福島)を被災地として想定した。しかし現実には、北関東に立地する半導体、電子部品等の工場の活動停止も全国の工業生産に大きな影響を与えたことは周知の通りであり、より現実を踏まえた検討を行う上では、東北以外の被災地における供給能力低下の影響も考慮しなければならない。このためには、工業統計や経済センサスなどの市区町村別データから、当該地域の生産能力と被災状況をきめ細かく推計するなどの作業を行うことが求められる。

第2に、本稿では初期の生産へのダメージは、製造業にのみ発生したものと分析を行ってきたが、被災による経済活動の支障は、農林水産業、店舗、レジャー施設、交通機関などに幅広く及んでいる。これらの非製造部門における活動能力の低下を分析の対象として取り込んでいくことは今後の課題である。特に、電力については、今冬、来夏もその供給不足が懸念されているところであり、これを分析対象とすることは重要である。

第3に、時間軸の扱いについても詳細な検討が必要と考えられる。産業連関分析が導く均衡生産量は、波及が行きついた先の姿であり、そこに至るまでには一定の期間を要する。本稿では、供給制約の影響評価に焦点を絞るために、敢えて震災直後の3ヶ月間を分析の対象期間としたが、これだけの短い期間に新たな均衡が達成されるかどうかについては、議論の余地があるであろう。また、前方連関効果と後方連関効果では、波及のスピードが異なることも考えられる<sup>47</sup>。

第4に、震災の中期的な影響という意味では、供給制約の問題のみならず、復興需要や経済構造の変化などを織り込んだ分析が求められる<sup>48</sup>。

本研究を通じて改めて認識させられたのは、モデルにより現実の生産動向を説明することの難しさである。供給制約と言いつつも、代替調達がどこまで可能であるかは部門・企業により異なり、また、販路構成の安定性や部材・原料の代替可能性も一様ではない。本稿の主目的は、供給制約下における間接被害の推計手法を検討することにあるが、次のステップとして被害額を推計する際には、今回の震災時における企業・事業所の行動を丹念に拾い上げ、モデルに反映させる作業が欠かせない。そのような作業の積み重ねが、より現実的な被害推計を可能にするであろう。

## 7. 結びにかえて

産業連関表モデルは、生産構造の固定係数の仮定を置いているために、モデルが線形になり、同時に数量決定と価格決定が分離されることで、政策効果の分析がきわめて簡単に

---

47 在庫の存在を無視すれば、部素材の供給停止は即座に川上への生産に影響を与えるであろう。この意味では前方連関効果の方が波及のスピードは速いと考えられる。

48 芦谷(2005)では、1990年、1995年、2000年の兵庫県産業連関表を用いて、阪神・淡路大震災前後における経済構造の変化を詳細に分析している。

なるという特徴がある。産業連関モデルは、経済学理論面の要請には完全には応えられていないのだが、理解しやすさと計算の簡便性という点では、説明責任が求められる政策効果の分析には適している側面もある。

この章では、そうした産業連関分析を用いて、環境政策の政策評価の応用例を示した。第2節では産業連関分析の手法を概説した。3節では、民主党政権が2009年末に発表した、温室効果ガス25%削減を成長のエンジンとみなした「新成長戦略」（日本版グリーンニューデール）の経済効果を試算した。従来環境対策は費用面のみが強調されてきたが、この戦略は需要創出の側面に着目したという点で、注目をあつめた。「新成長戦略」のために必要な設備投資は、みずほ情報総研が環境省の委託を受けて試算したが、25%削減のうち、真水部分は15%削減、あるいは20%削減を想定している。15%削減では6兆8250億円、20%削減では8兆8590億円の新規投資が必要であるとしている。15%削減ケースでは、生産誘発効果約15.8兆円、雇用誘発効果は約91万人となり、20%削減ケースでは、生産誘発効果約20.4兆円、雇用誘発効果は約115万人という試算結果を得た。

4節では、化石燃料消費に関して、温暖化対策税が炭素含有量に比例する形で課税された場合（炭素税）、各家計にはどの程度の負担になるかを、所得階層別・地域別に推計した。炭素税は炭素1トン当たり2400円課税されるものとした。その結果、本稿の試算では、平均的な家計の税負担額は年額7,608円と推計された。所得階層別に見ると、炭素税は所得に対して逆進性を持つことが確認された。この程度ではわずかな額であるが、税率を引き上げていくことになると、炭素税収の一部を低所得者への所得税減税の財源とするなどの補償措置が必要となろう。また、地域別に見ると、寒冷地ほど炭素税の負担が重くなることが確認された。こうした地域でも、光熱費の一部を所得税の所得控除の対象にするなどの補償措置の導入が考えられる。大都市圏では北海道や東北など他の地域に比べて家計負担は低く推計された。公共交通機関の発達した都市部と、自動車に頼らざるを得ない地方との公平性も議論する必要がある。

5節では、伝統的な産業分析にシナリオを想定することで、「同一生産物で複数アクティビティー」といった従来型の分析では扱えなかった課題を扱った。そして、同一生産内での複数アクティビティーの比率が変化することによって、どの程度環境負荷が異なるのかについて試算した。試算の結果、現状の産業構造・技術構造を前提とすれば、CO<sub>2</sub>排出削減のために火力発電の比率を極限まで削減すれば、CO<sub>2</sub>排出を4分の1程度削減できることが分かった。しかし、その一方で、0.5%程度の経済規模の縮小がありうることを示している。この比率は「CO<sub>2</sub>の限界削減費用」に相当するが、それは、炭素トン当たりで17,000円から18,000円ということになった。

6節では、東日本大震災で起こったような供給制約がある場合の影響を分析する方法として、4種類のモデルを提示し、それぞれのモデルの特性、妥当性を検討した。東北での製造業の被害（供給制約）が約5兆円程度と見積もられた。レオンチェフモデルとゴージュモデルでは、日本全体でみた経済被害の波及総額に大きな相違はなく、7.5兆円から8.0兆円程度

であった。両社のハイブリッドモデルではやや大きく、8.3兆円程度であった。しかし、個別の品目への影響は両モデルで結果は大きく異なる。従来の公的機関による間接被害推計では、レオンチェフモデルが多用されてきたが、今回の震災のような、供給制約が問題となる状況下においては、間接被害は正しく評価できない。特に、地域別・は産業部門別に被害推計を行う際には、この点に留意する必要がある。また、固定係数地域代替型モデルを用いると、被害波及額は他のモデルよりも格段に大きく計測されることがわかった。他のモデルでは、ボトルネックによる乗用車生産等の急減を説明することができなかったが、このモデルでは、ある程度このような現象を追跡することが可能である。しかしこのモデルでは、特に非製造業において、必ずしも生産活動に必須かつ代替不可能とは思われない投入品目がボトルネックとして作用することがあるので、注意が必要である。

### 参考文献

- 芦谷恒憲(2005)「兵庫県産業連関表から見た阪神・淡路大震災による経済構造変化」『産業連関』第13巻第1号。
- 天野明弘(2005)「わが国の温暖化対策とエネルギー需要の価格弾力性について」三田学会雑誌、第98巻第2号、7月、35-51ページ
- 天野明弘(2008)『持続可能社会と市場経済システム』関西学院大学出版会
- 石川雅紀・藤井美文・高橋邦雄・中野諭・吉岡完治(1998)「リサイクルを含む場合の環境負荷の産業連関表による分析方法：シナリオ・レオンティエフ逆行列の構想」應義塾大学産業研究所 未来開拓プロジェクト Discussion Paper No18(WG2-7)
- 環境省(2001)「温暖化防止のための税の論点」  
<<http://www.env.go.jp/earth/report/h13-05/index.html>>
- 環境省(2003)「温暖化対策税の具体的な制度の案～国民による検討・議論のための提案～」  
<[http://www.env.go.jp/policy/tax/pdf/mat\\_01.pdf](http://www.env.go.jp/policy/tax/pdf/mat_01.pdf)>
- 共立総研(2006)「中日ドラゴンズ優勝による東海地域への経済波及効果～総合効果は200億円～」2006年8月3日プレス発表。
- 経済産業省(2011a)「東日本大震災後の産業実態緊急調査」平成23年4月26日公表。  
<<http://www.meti.go.jp/press/2011/04/20110426005/20110426005.html>>
- 経済産業省(2011b)「東日本大震災後の産業実態緊急調査2」平成23年8月1日公表。  
<<http://www.meti.go.jp/press/2011/08/20110801012/20110801012.html>>
- 国土交通省中国地方整備局(2005)「災害の社会経済的影響に関する調査 -2004年・台風18号をモデルケースとして-」。  
<<http://www.cgr.mlit.go.jp/saigai/cyousa/keizaieikyo/index.htm>>
- 中央防災会議(2008)「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定結果について～経済被害～」中央防災会議「東南海、東海地震等に関する専門調査会(第34回)資料」。  
<<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai/34/siryou6.pdf>>

- 寺島実郎・飯田哲也(2009)『グリーン・ニューディール—環境投資は世界経済を救えるか』生活人新書.
- 内閣府(2011)『平成 23 年版経済財政白書』.
- 内閣府(2011)「東日本大震災における被害額の推計について」平成 23 年 6 月 24 日記者発表資料. <<http://www.bousai.go.jp/oshirase/h23/110624-1kisyu.pdf>>
- 中村慎一郎(2003)「日本経団連意見書「環境税導入反対」を巡って」  
<[http://www.kamakuranet.ne.jp/~yozaemon/comments/kankyozei\\_keidanren\\_npo.html](http://www.kamakuranet.ne.jp/~yozaemon/comments/kankyozei_keidanren_npo.html)>
- 日本経済団体連合会(2003)「環境税の導入に反対する」  
< <http://www.keidanren.or.jp/japanese/policy/2003/112.html>>
- 日本政策投資銀行(2011)「東日本大震災資本ストック被害金額推計」DBJ News, 2011 年 4 月 28 日. <[http://www.dbj.jp/ja/topics/dbj\\_news/2011/html/0000006633.html](http://www.dbj.jp/ja/topics/dbj_news/2011/html/0000006633.html)>
- 日本貿易振興機構(2011)『2011 年版ジェトロ世界貿易投資報告』.  
<<http://www.jetro.go.jp/world/gtir/2011/pdf/2011-3.pdf>>
- 長谷部勇一(2002)「災害の経済的評価—産業連関表による供給制約型モデル—」『環太平洋産業連関分析学会 13 回大会報告集』.
- 疋田浩一・石谷久・松橋隆治・吉田好邦・大橋永樹(2000)「ライフサイクルアセスメント分析に基づく環境評価システムの開発」應義塾大学産業研究所 未来開拓プロジェクト Discussion Paper No115(WG2-42)
- 藤川清史(1999)『グローバル経済の産業連関分析』創文社
- 藤川清史(2005)『産業連関分析入門』日本評論社.
- 藤川清史・渡邊隆俊(2004)「温暖化対策税の所得階層別・地域別負担」(環境経済・政策学会編『環境税』所収)、東洋経済新報社
- 藤原貞雄(2007)「大都市圏型自動車産業集積と京浜臨海地区 3 市」『立命館国際研究』19(3), pp. 113-130.
- 横山彰(2002)「環境税の設計」『フィナンシャル・レビュー』財務省財務総合政策研究所、65号. <[http://www.mof.go.jp/f-review/r65/r\\_65\\_126\\_147.pdf](http://www.mof.go.jp/f-review/r65/r_65_126_147.pdf)>
- 吉岡完治・菅幹雄(1997)「環境分析用産業連関表の活用—シナリオ・レオンチェフ行列の構想—」『経済分析』第 154 号, 経済企画庁経済研究所編.
- Ghosh, A.(1958), “Input-Output Approach in an Allocation System,” *Economica*, Vol.xxv, No.97, pp58-64.
- Miller, Ronald E. and Blair, Peter D.(2009), *Input-Output Analysis second edition*, Cambridge University Press.
- OECD[2002] (天野明弘監訳)『環境関連税制-その評価と導入戦略-』有斐閣
- Oosterhaven, J.(1988), “On the Plausibility of the Supply-Driven Input-Output Model,” *Journal of Regional Science*, Vol. 28, No. 2, pp203-217.



## 補論 1 CGE モデルにおける技術進歩の内生化

### 要旨

技術の変化をどのように捉えるかが非常に重要な意味を持つ。第一に、技術の変化を考慮するかどうかで、温暖化対策の費用（負担）が大幅に変わってくる可能性がある。特に、本来、生じる可能性が高い技術の進歩を考慮せずに分析を行った場合、温暖化対策の費用を過大に見積もってしまうことになる。これは過小な水準の温暖化対策という誤った政策決定に繋がりがかねない。さらに、技術進歩を考慮するとしても、その技術進歩がどのような性質・特徴を持つかによって、やはり分析結果は影響を受ける。例えば、技術の進歩の動向が温暖化対策の実施と密接に結びついているようなときには、どのような形で温暖化対策を導入するかによって技術進歩のパスが変わり、そのパスの変化によって温暖化対策の費用も変わってくることになる。これは、温暖化対策をいつ導入するべきかというタイミングの問題に密接に関わってくる。以上のようにどのような形で技術進歩を考慮するかは、温暖化対策分析において非常に重要な意味を持っている

この補論では、既存の温暖化対策分析の CGE モデルにおいて技術進歩がどのように扱われているかを概観すると同時に、習熟効果、R&D を考慮した CGE モデルを構築し、温暖化対策の分析をおこなう。

担当者 武田史郎

別添資料 GAMS プログラム一式

## 1. はじめに

温暖化対策の分析においては、技術の変化をどのように捉えるかが非常に重要な意味を持つ。第一に、技術の変化を考慮するかどうかで、温暖化対策の費用（負担）が大幅に変わってくる可能性がある。特に、本来、生じる可能性が高い技術の進歩を考慮せずに分析を行った場合、温暖化対策の費用を過大に見積もってしまうことになる。これは過小な水準の温暖化対策という誤った政策決定に繋がりがねない。さらに、技術進歩を考慮するとしても、その技術進歩がどのような性質・特徴を持つかによって、やはり分析結果は影響を受ける。例えば、技術の進歩の動向が温暖化対策の実施と密接に結びついているようなときには、どのような形で温暖化対策を導入するかによって技術進歩のパスが変わり、そのパスの変化によって温暖化対策の費用も変わってくることになる。これは、温暖化対策をいつ導入するべきかというタイミングの問題に密接に関わってくる。以上のようにどのような形で技術進歩を考慮するかは、温暖化対策分析において非常に重要な意味を持っている。

近年、温暖化対策の経済的影響を評価する際に、応用一般均衡モデル（computable general equilibrium model, 以下 CGE モデル）が幅広く利用されるようになってきている。CGE モデルはデータと経済モデルを組み合わせたシミュレーションであり、温暖化対策が GDP、消費、厚生、雇用等に与える影響を分析することが可能である。また、CGE モデルは多部門・多数財のモデルを前提とすることから、温暖化対策が個々の産業、財に与える影響についても分析することができる。この CGE モデルによる分析において、技術変化をどのように捉えるかが重要な要素として認識されており、様々な研究者が CGE モデルに技術進歩を導入することを試みている。

この補論では、既存の温暖化対策分析の CGE モデルにおいて技術進歩がどのように扱われているかを概観すると同時に、習熟効果、R&D を考慮した CGE モデルを構築し、温暖化対策の分析を行う。

## 2. 技術変化のタイプ

まず、第 2～4 節で既存の CGE モデルにおいて、技術（変化）がどのように扱われているかを概観する<sup>49</sup>。既存の CGE モデルにおける技術変化は、次の二つのタイプに分類することができる。

- 「外生的な技術変化（exogenous technology change）」
- 「内生的な技術変化（endogenous technology change, 以下 ETC）」

---

<sup>49</sup> 温暖化対策の CGE モデルにおける技術の扱いについては、Löschel (2002)、Sue Wing (2006)、Gillingham et al. (2008)等が詳しい。



ここでの「外生的」、「内生的」の意味は、技術変化が政策に依存して変わってくるかどうかということである。すなわち、政策には依存しない形の技術変化が「外生的」な技術変化であり、政策に依存して変わってくる技術変化が「内生的」な技術変化である。温暖化対策の分析に CGE モデルが利用されるようになった当初は、技術変化といっても前者のタイプを想定しているものがほとんどであった。しかし、一般に技術変化は政策によって変わってくると考えられる。例えば、CO<sub>2</sub> の 25%削減というような大規模な排出削減策が実施された場合、企業は省エネ技術の開発に積極的に取り組むのが普通であろう。これは、政策が導入することで企業の行動が変化し、その結果、技術進歩が影響を受けるということである。このような内生的な技術変化はごく一般的に観察されるものであり、これを考慮しない分析は不十分であると言わざるを得ない。このような問題意識から近年の CGE モデルでは外生的な技術変化に加え、内生的な技術変化を組み入れようと試みるものが増加している。以下では、外生的な技術変化、内生的な技術変化についてそれぞれ既存の分析においてどのような形でモデル化されているかを見る。

### 3. 外生的な技術変化（技術進歩）

通常モデルでは、外生的な技術変化は生産関数（あるいは効用関数）のパラメータの変化で捉えられる。例として、ある部門の生産関数を考えよう。

$$Y = \varphi F(\alpha E, \beta M) \quad (1)$$

$Y$  は生産量、 $F(\cdot)$  は生産関数、 $E$  はエネルギー投入量、 $M$  はその他の投入物（非エネルギー投入物）、 $\varphi$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$  は生産性を表す外生的なパラメータである。実際に CGE モデルで利用される生産関数では、投入物は多数存在し、さらに関数形も多段階の CES 型のようにもっと複雑なものが仮定されるが、ここでは説明の便宜上、投入物は二つ（エネルギーと非エネルギー）のみとしている。右辺の  $\varphi$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$  の値の上昇は同じ投入量に対しより多くの生産量を実現できることを意味するので、技術進歩を表している。

$\varphi$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$  のどれが上昇したとしても技術進歩であるが、温暖化対策モデルでは特に  $\alpha$  の上昇という形の技術進歩を想定することが非常に多い。エネルギー投入の効率性が外生的に設定された率で改善していくという想定であるので、このタイプの技術進歩は「AEEI (autonomous energy efficiency improvement)」と呼ばれる。

AEEI によって技術進歩を表現するには、特にモデルを修正する必要はなく、AEEI パラメータ ( $\alpha$ ) の変化率さえ外生的に設定してやればよい。従って、単純で扱いやすいという利点がある。これもあり、多くの CGE モデルが AEEI による技術進歩を想定しているが、一方で問題点も多々存在する。まず、外生的な技術進歩全般に言えることだが、温暖化対策の有無にかかわらず一定の技術進歩が生じるという想定をするので、温暖化対策が技術進歩を誘発するという効果を捉えられない。さらに、パラメータ値の変化のみで技術進歩を捉える方法であるので、技術進歩の要因・メカニズムについては何も考慮・説明はしな

い・できない。第三に、生産関数のパラメータの変化によって技術進歩を表現するので、一般に漸進的・スムーズな形の技術進歩しか捉えられず、投入構造の大幅な変更を伴うような全く新しい技術の導入等は考慮しにくい。

#### 4. 内生的な技術変化 (ETC)

外生的な技術変化は扱いやすいという利点があるが、温暖化対策と技術変化の相互作用を考慮できないという大きな問題点もある。仮に温暖化対策の導入が技術進歩を加速・促進するような効果を持つとすると、外生的な技術進歩しか考慮しない分析は、温暖化対策の費用を過剰に見積もり、温暖化対策導入のタイミングを遅らせるという結果に繋がる可能性が高い。このような問題点を克服するため、近年内生的な技術変化 (ETC) を取り入れるような試みが増加している。

ETC をモデルへ組み込むには多様な方法が存在するが、代表的なものとして次の 3 つのアプローチが存在する。

- パラメータ変化による ETC。
- Learning-by-Doing (LBD) による ETC。
- 研究開発 (R&D) 投資による ETC。

以下、3 つのアプローチを説明する。

##### 4.1 パラメータ変化による ETC

これは生産関数のパラメータを政策と結びつけるアプローチである。結び付け方として最もオーソドックスなのは、パラメータの値がエネルギー価格に依存するような方法である。(1) 式の生産関数の例で言えば、

$$Y = \phi F(\alpha E, \beta M)$$
$$\alpha = \phi(P^E)$$

のようにパラメータ  $\alpha$  がエネルギー価格  $P^E$  に依存すると仮定することである (ただし、 $\phi' > 0$  である)。このようにすれば、「排出規制 → (排出権価格・炭素税込みの) エネルギー価格上昇 → 効率性・生産性向上」という効果を捉える事が出来る。しかも、このアプローチは、パラメータがエネルギー価格に依存するという点を除けば、AEEI による外生的な技術進歩と何ら変わることはなく、そのため AEEI のモデルと同様に非常に単純で扱いやすいというメリットもある。しかし、それにもかかわらず、このアプローチを利用している分析は非常に少ない。それは、AEEI と同様に技術進歩のメカニズム (エネルギー価格が生産性パラメータに影響を与えるメカニズム) を明示的には考慮していないという問題があるのと同時にエネルギー価格とエネルギー投入の効率性の関係を表す関数  $\phi$  の特定化が

難しいという問題があるからである。そもそも  $Y = \varphi F(\alpha E, \beta M)$  という関数では、投入物間の代替関係を通じた変化があり、そこにさらに  $\alpha$  の変化による  $E$  の変化も加わることになるので、関数  $\phi$  を特定化するのは容易ではない。

## 4.2 Learning-by-doing (LBD) による ETC

LBD による技術変化は Arrow (1962) で着目されて以来、多くの分析、特に内生的成長理論の分析で取り上げられている。LBD とは、「ある一定技術の下での経験が蓄積されるほど、効率性が上昇する」という考え方である。「経験」という指標を直接表す変数はなかなか存在しないので、通常は累積生産量、累積の導入量といった変数が代理変数として用いられる。再び (1) 式の例を使えば、 $C^Y$  を累積生産量としたとき、

$$Y = \varphi F(\alpha E, \beta M)$$
$$\alpha = \phi(C^Y)$$

というような関係を想定するということである（ただし、 $\phi' > 0$ ）。

LBD を考慮した場合、LBD が存在しない場合よりも大幅に削減費用が低下する可能性が出てくる。さらに、LBD を考慮した場合、「早めの対策を促進することで削減費用が低下する」という効果が生じうる。ただし、これはモデルの設定による。企業が LBD の効果を認識した上で行動しているとするならば、既に LBD の効果を考慮した上で最適な生産量が選択されていることになり、政府の介入により削減費用を低下させる余地はない。一方、企業が LBD の効果を認識・考慮せずに生産を決定しているとするのなら、均衡で実現する生産量は社会的にみて望ましい水準よりも過少になっており、その場合、政府の介入（例えば、生産補助金）によって状況を改善する余地が出てくる。

LBD を考慮した CGE 分析は数多くあり、第 1 章のモデルにおいても LBD (に近い効果) をモデルに組み込んでいる。しかし、LBD という形で ETC を考慮することには様々な問題もある。まず、均衡の安定性の問題がある。LBD を表現するパラメータ、関数の設定によっては、「生産量の増加→生産性の増加→生産を増加させるインセンティブの上昇→さらなる生産量の増加→・・・」というようなサイクルが働くことになり、均衡が安定的でなくなる場合がある。また、これと密接に関係することとして、均衡が複数存在するという問題もある。第二に、「経験と生産性の関係」の特定化は容易ではない。LBD のアイデア自体は非常に単純・明晰であり、現実にも幅広く観察される現象であるが、実際に経験と生産性の関係を特定化するのは必ずしも容易ではない。そして、特定化を誤るとすると、却って非現実的な結果をもたらしかねない。CGE 分析で LBD を導入しているモデルは多いが、それらの分析における LBD が十分な実証的基盤を有しているとは言えない。

第三に、技術進歩のメカニズムの解明がやはり十分とは言えない。人の手によってのみ行われるような単純な生産活動であれば、経験の蓄積がそのまま生産性の向上に結び付く

と考えても問題はないだろうが、大規模な資本設備も利用するような生産においては経験（累積生産量）のみによって生産性が上昇するとは考えにくく、新たな設備の導入、既存設備の改良等の行動と結びついている可能性が高い。しかし、通常の LBD による技術進歩ではそのような行動は考慮されていない。また、この問題と密接にかかわることとして、通常の LBD では、技術進歩のための費用を全く考慮しないという問題がある。上で指摘したように一部の例外を除き単純に経験のみで生産性が上昇するとは考えにくく、実際には経験の蓄積と同時に新たな設備の導入や、R&D 等の活動を伴うことで初めて生産性の上昇が実現すると考えられる。設備の導入や R&D 活動には当然費用がかかるので、そのような費用を考慮しないなら、LBD のプラスの効果を過剰に見積もりやすくなる。

### 4.3 R&D による ETC

これは R&D という活動を明示的に考慮するアプローチである。このアプローチにおいては、知識ストック (knowledge capital) という変数 (投入物) を導入することで、R&D を生産 (性) の上昇に関連付けることが多い。具体的には、R&D 活動が知識ストックの増加に繋がり、それが 生産 (性) の上昇に結び付くというメカニズムである。パラメータ変化や LBD による ETC とは異なり、技術進歩のための活動 (メカニズム) を明示的に考慮しているという特徴がある。また、R&D 活動は通常の生産活動と全く同じように扱うので、活動に必要な資源 (投入物) を考慮することになる。このため、同じ資源を必要とする他の活動との間に競合関係が生じることになる。

R&D 活動をモデルに導入する方法には様々な方法があり、標準的なものがあるわけではないが、例としてよく利用される定式化を紹介しよう。

#### □ 例 1

$$\alpha = \varphi(H)$$

$$dH = \chi(H, R)$$

このケースでは、生産関数は (1) 式と全く同じものを仮定している。エネルギー投入に関する効率性パラメータ  $\alpha$  が知識ストック  $H$  に依存しており、その知識ストックの変化  $dH$  が知識ストックの水準と R&D の水準  $R$  に依存するという定式化である。この定式化では、R&D により知識ストックが増加し、それがエネルギー効率を上昇させることになる。

#### □ 例 2

$$Y = F(H, E, M)$$

$$dH = \chi(H, R)$$

このケースでは、生産関数自体が (1) のケースとは異なっており、知識ストック自体がエネルギーやその他の投入物と同じように一つの投入物の役割を果たす。よって、R&D による知識ストックの増加が生産を増加させることになる。

R&Dによる技術進歩は、内生的成長理論においても幅広く扱われており、それらのモデルも含めれば、非常に多くのアプローチが存在している。

#### 4.3.1 R&DによるETCを考慮する際のポイント

上述の通り、R&Dをモデル化する方法は多々存在し、標準的な方法があるわけではない。しかし、R&Dを考える際に重要になる幾つかのポイントがある。まず、上で既に紹介したようにどのよう R&D 活動と生産（性）を関連付けるかという点がある。上の例で言えば、生産性パラメータに影響を与える形にするか、それとも知識ストックの量が直接生産に影響を与えるかという選択となる。第二に、R&D 活動、知識ストックにスピルオーバー効果があるかどうかという点がある。スピルオーバー効果とは、ある部門における R&D 活動が他の部門における知識ストックに影響を与えることを指す。もし、スピルオーバーが生じるとするのなら、R&D 活動の成果に対し他者がフリーライドすることができるので、社会的な観点から見て十分な水準の R&D 活動が行われない可能性が出てくる。これは R&D における市場の不完全性を意味し、政府の介入を正当化する要因となる。

第三に、R&D のクラウディングアウトがあるかどうかという点がある。仮に社会全体に共通の R&D 活動を考えるとするのなら、R&D 活動を増加させるほど社会全体での生産性の向上が生じることになるが、生産活動毎に R&D 活動がおこなわれるとすると、ある部門における R&D 活動の増加は、資源の競合により別の部門における R&D 活動を減らすことになり、社会全体でみて生産性の向上につながるとは限らなくなる。このようにある部門における R&D 活動の増加が別の部門における R&D 活動を抑制してしまう現象を R&D のクラウディングアウトと言う。

#### 4.3.2 R&DによるETCの長所・短所

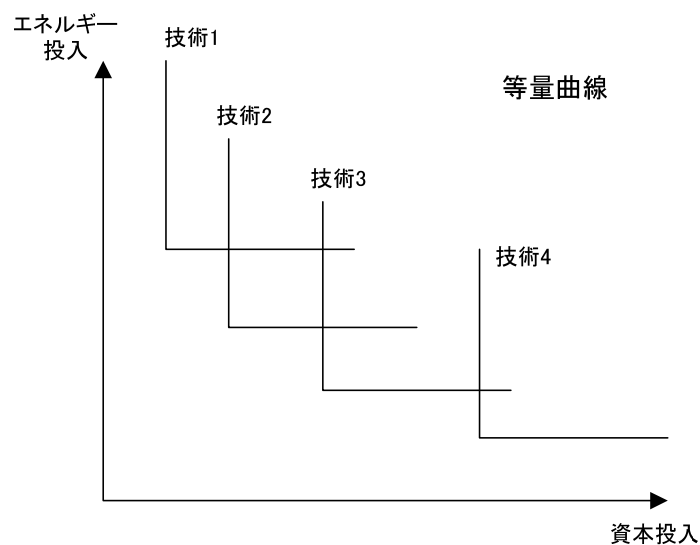
まず、長所としては、生産性向上に繋がる活動を明示的に扱っており、しかもその活動と他の活動との相互作用関係を考慮するという点で、これまで紹介したどのアプローチよりも、技術進歩のメカニズムを詳細に捉えようとするアプローチであるという点がある。特に、その他の活動との相互作用という点については、クラウディングアウトという現象を考慮することで、ある部門におけるエネルギー効率性の上昇が必ずしも経済全体での効率性の上昇に繋がらないケースも分析できる。

一方、短所としては、まず標準的なアプローチが今のところ存在しておらず、分析者によるモデルの差が大きいという問題がある。第二に、R&D と知識ストック、さらに知識ストックと生産性・効率性の関係の特定化が難しいという問題がある。理想的には計量分析による実証分析によって、これらの関係を導出するのが望ましいが、現在の CGE モデルで利用されている R&D 活動の特定化は必ずしも実証分析に基づいているわけではない。

#### 4.4 CGE モデルにおける技術選択

温暖化対策の分析を行うためのモデルには、MARKAL (Loulou et al. 2004) や AIM/Enduse のようないわゆる「ボトムアップ・モデル」もある。ボトムアップ・モデルでは、ある財を生産するのに多数の技術が存在する状況を想定し、その中からある一つの技術が選択され（あるいは多数の技術が組み合わせられ）生産がおこなわれる。これを等量線によって表すと図 1 のようになる。

図 1 ボトムアップ・モデルにおける技術

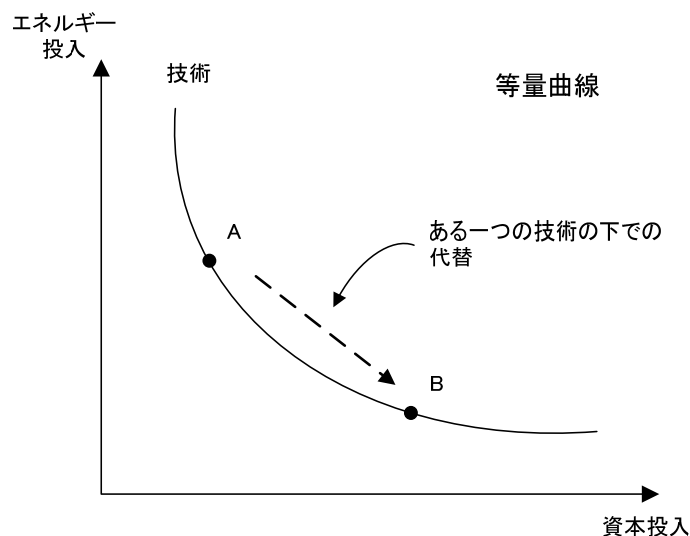


技術 1 から技術 4 はそれぞれ異なった技術（投入物の組み合わせ）を表しており、それらが組み合わせられて生産がおこなわれる。ここでは技術変化とは、技術 1 から技術 4 の間の組み合わせの変化として捉えられる。

一方、CGE モデルでは生産技術は生産関数により表現される。また、その生産関数は投入物間の代替を許容するものと仮定されることが多い。これを図で表したのが図 2 である。

ボトムアップ・モデルでは明示的に多数の技術を想定するのに対し、CGE モデルでは（それ以外の多くの経済モデルでも）明示的に個々の技術を考慮するのではなく、多数の技術の集合体としての生産関数によって技術を表現する。このため、図の A→B 点への投入物の組み合わせの変化は技術の変化とは言わず、同じ技術の下で代替が生じたという言い方をする。つまり、ボトムアップ・モデルと CGE モデルでは技術（変化）の概念に若干の違いがある。

図 2 CGE モデルにおける技術



ボトムアップ・モデルと CGE モデルは分析の前提、目的が違うことから直接その優劣を論じることはできないが、詳細な技術情報を元に個々の技術を明示的に考慮し、技術選択を分析するボトムアップ・モデルと比較し、CGE モデルでは多数の技術の集合体としての生産関数によって技術を捉えることから、どうしても技術の扱いが粗くなる。

この欠点を克服するため、ボトムアップ・モデルの要素を CGE モデルに組み込む試みが増えている。同じ財を生産するのに単一の技術（生産関数）を想定するのではなく、多数の技術（生産関数）を想定し、その間での選択という要素を組み込んだ分析であり、例えば、Bohringer and Loschel (2006)、Bohringer and Rutherford (2005,2008) 等の研究がある。また、既述の MIT EPPA モデルも同様の試みを行っている。これらの分析では、発電（電力の生産）において、再生可能エネルギーを含めた様々な技術を想定し、その間の選択が内生的におこなわれるような仕組みになっている。

技術選択の要素を入れたモデルが望ましい一つの理由は、全く異なった技術への変化を扱えるという点である。ここまで扱った技術変化は基本的にある特定の生産関数を前提とした上での生産性向上であった。このため漸進的な生産性向上は扱いやすいが、投入構造が大幅に変わるような技術へのシフトは扱えない。これに対し技術選択の要素を入れたモデルでは、全く異なる技術を利用した生産へのシフトという現象を考慮することができる。

異なった技術を明示的に考慮した CGE モデルが作成されるようになってきているが、まだ不十分な点も多い。特に問題なのは、現在のところ技術選択が導入されているのは主に電力部門が中心でその他の部分については、依然単一の生産関数による表現に留まっているという点である。例えば、CO<sub>2</sub> の主な排出源の一つである自動車については、今後これまでのガソリン自動車からハイブリッド自動車、電気自動車へのシフトが進んでいくと考えられるが、多くの CGE モデルでは自動車のタイプを明示的に考慮するようなことは行わ

れておらず、単に生産関数、効用関数におけるパラメータのシフトで表現している。様々なタイプの自動車のシフトの分析をおこなうには、自動車についても技術を明示的に考慮した分析が必要になる。

## 5 習熟効果 (Learning by doing) を導入した CGE モデル

第 4 節で説明したように、内生的な技術進歩を扱うための代表的な方法の一つに習熟効果がある。本節では、新エネルギーによる発電において learning by doing (以下、LBD) を通じた内生的な技術進歩が生じる CGE モデルを構築し、LBD の導入が温暖化対策の効果に対して与える影響を分析する。ベースとなるモデルには JCER-CGE モデルを利用し、そこに LBD という形式の技術進歩を導入することで、温暖化対策の効果がどう変化するかを分析する。

### 5.1 モデル

ベースとなるモデルには JCER-CGE モデルを利用する。以下で、JCER-CGE モデルについて簡単に説明をする。武田他 (2010、2009)、川崎他 (2010) において詳細な説明が提供されているので、詳しくはそちらを参照されたい。

JCER-CGE モデルは Takeda and Ban (2008) をベースとしており、生産関数や効用関数などの構造は MIT (マサチューセッツ工科大学) の EPPA (Emissions Predictions and Policy Analysis) モデルを参考にしている<sup>50</sup>。モデルの基本的な特徴は次の表の通りである。

表 1 にあげた特徴は、多くの温暖化対策分析用の一国 CGE モデルに共通しているものである。他のモデルとは異なる JCER-CGE モデルの特徴は、EPPA モデルにならい以下のような要素を取り入れているところである。

- ① 生産関数：投入構造の違いによって部門を幾つかのタイプに分類し、異なったタイプの部門には異なった生産関数を想定している。
- ② 資本の分類：新規に導入された資本と既存の資本を区別する。生産関数、技術進歩等について両者で異なった扱いをする。
- ③ 消費における輸送関係の支出：消費において同じ財であっても輸送関係への支出かどうかで異なった扱いをしている。

---

<sup>50</sup> EPPA モデルについては、Paltsev et al. (2005), Paltsev et al. (2004), Jacoby et al. (2004) 等を参照されたい。



表 1 JCER-CGE モデルの基本的特徴

特徴	説明
41 部門・41 財	多部門・多数財の一般均衡モデル
完全競争モデル	全ての経済主体がプライステイカーとして行動する完全競争モデル
収穫一定の技術	全ての部門の生産は「規模に関して収穫一定」の技術の下で行われる。これは生産関数が一次同次関数であるということ。
代表的家計	最終消費、貯蓄（投資）この代表的家計の行動から導かれる。労働供給は内生。
逐次動学モデル	1 期間 1 年とし、2005 年から 2020 年まで 1 期間ずつ繰り返し解く逐次動学モデル。
小国モデル	交易条件（輸出価格と輸入価格の比率）と貿易収支を一定とする小国モデル（一部例外あり）。海外は明示的に扱われない。

## 5.2 Learning by doing の導入方法

LBD については Arrow (1962) による先駆的な研究以来、経済学において多くの研究が行われてきた。特に、80 年代に始まった内生的成長理論では、経済成長における要素の一つとして LBD が特に重要な役割を果たすことになった (Helpman and Grossman 1991、Barro and Sala-i-Martin 1995)。温暖化対策の分析においても LBD は重要な要素として考えられており、Löschel (2002)、Sue Wing (2006)、Gillingham et al. (2008) 等が LBD を用いた研究を紹介している。本節では、新エネ発電部門において LBD による内生的な技術進歩が生じるモデルを構築する。以下で、本稿で用いる LBD アプローチについて説明を行う。

まず、 $t$  時点における生産量  $q_t$  が次のような生産関数によって決定されるとする。

$$q_t = \varphi_t f(v_t)$$

ただし、 $v_t$  は投入量、 $\varphi_t$  は生産性パラメータである。 $\varphi_t$  の上昇は、同じ量の投入物によってより多くの生産をもたらすことになるので、生産性の向上を意味する。LBD ではこの  $\varphi_t$  が次のような関係によって変化すると想定される。

$$\varphi_t = g(y_t) \quad g' > 0 \quad g'' < 0$$

ここで、 $y_t$  は  $t$  時点における「経験」を表す変数である。この「経験」を表す変数として、 $t$  時点までの累積の生産量、 $t$  時点までの累積の導入量を利用されることが多い。本研究では、太陽光、風力等の新エネ発電における LBD を考えるが、このケースにおいて、 $y_t$  に当てはめる値としては幾つか考えられる。仮に累積の生産量を用いるとすると、発電の場合には生産は発電量となるため、累積の発電量と生産性を結びつけることになるが、発電の

場合にはむしろ発電設備の導入量の方が適切な変数と考えられる。そこで、ここではモデル上の新エネルギー発電部門の資本ストックが発電設備の導入量を表すものとみなし、変数  $y_t$  に資本ストックの水準を適用することにする。

さらに、関数  $g(y_t)$  を特定化する必要があるが、多くの既存研究では以下のような形を想定することが多い。

$$g(y_t) = \left[ \frac{y_t}{y_0} \right]^\zeta \quad (1)$$

$$\zeta = \frac{\log(1 + \lambda)}{\log 2}$$

$y_0$  は初期時点での資本ストック、 $\lambda$  はラーニング率 (learning rate) と呼ばれるパラメータである。この特定化の下では、 $\lambda$  は導入量が 2 倍になる (つまり、 $y_t / y_0 = 2$  となる) 時点における  $\varphi_t$  の上昇率を表すことになる。

### 5.3 シミュレーション

シミュレーションでは、GHG 排出量 90 年比 25%削減 (エネルギー起源 CO2 排出量 90 年比 23%削減) という削減シナリオを想定し、前節で説明した LBD を導入することで、排出規制の経済への影響がどのように変化するかを分析する。

(1) 式の関係をモデルに導入し、シミュレーションするには、ラーニング率を特定化する必要があるが、ラーニング率の値については実証分析の結果にかなりの差がある。例えば、下記の表は 4 に掲載されている様々な技術、地域におけるラーニング率の値である。

以上のようにかなり幅があるため、以下では一つの値に特定化するのではなく、4 つの値、すなわち、0%、10%、20%、30% の 4 つのケースを計算している。ラーニング率が 0% のケースは、LBD が働かないケースを表している。

表 2 既存研究におけるラーニング率

技術	ヨーロッパ	USA	その他
太陽光発電	35	18	
風力発電	18	32	
バイオマス発電	15		20
エタノール生産			
超臨界石炭火力発電	3		
LNG コンバインドサイクル発電	4		

出所 : Löschel (2002)

## 5.4 分析結果

表 5、及び図 3～図 6 がシミュレーション結果である。各表、図ともラーニング率が 0%、10%、20%、30%のケースにおける 2015 年、及び 2020 年時点での影響を表している。

表 3 シミュレーション結果

ラーニング率 (%)	2015				2020			
	0	10	20	30	0	10	20	30
排出権価格 (千円/トン)	43.1	41.2	37.4	29.4	73.8	70.0	65.4	61.2
新エネ発電シェア (%)	7.3	9.2	13.2	20.0	10.7	13.7	18.0	24.3
電力価格 (円/kWh)	29.4	28.4	26.5	22.5	33.4	31.8	29.8	27.7
GDP	-2.2	-2.1	-1.9	-1.7	-3.4	-3.3	-3.0	-2.7
厚生	-1.0	-1.0	-0.9	-0.7	-1.7	-1.6	-1.4	-1.2
消費	-3.3	-3.2	-2.9	-2.5	-4.9	-4.7	-4.3	-3.7

図 3 新エネルギー発電シェア (%)

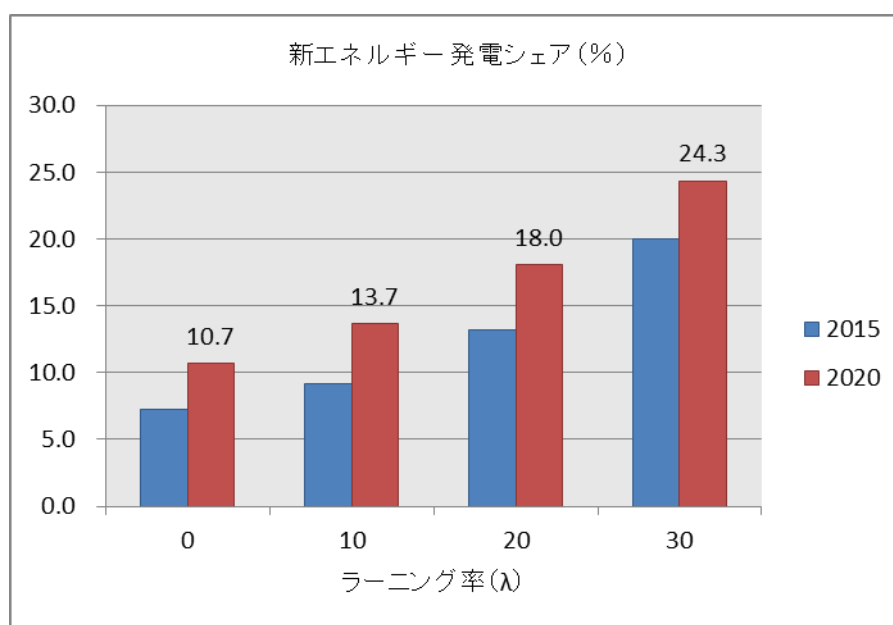


図4 排出権価格 (1,000円/tCO<sub>2</sub>)

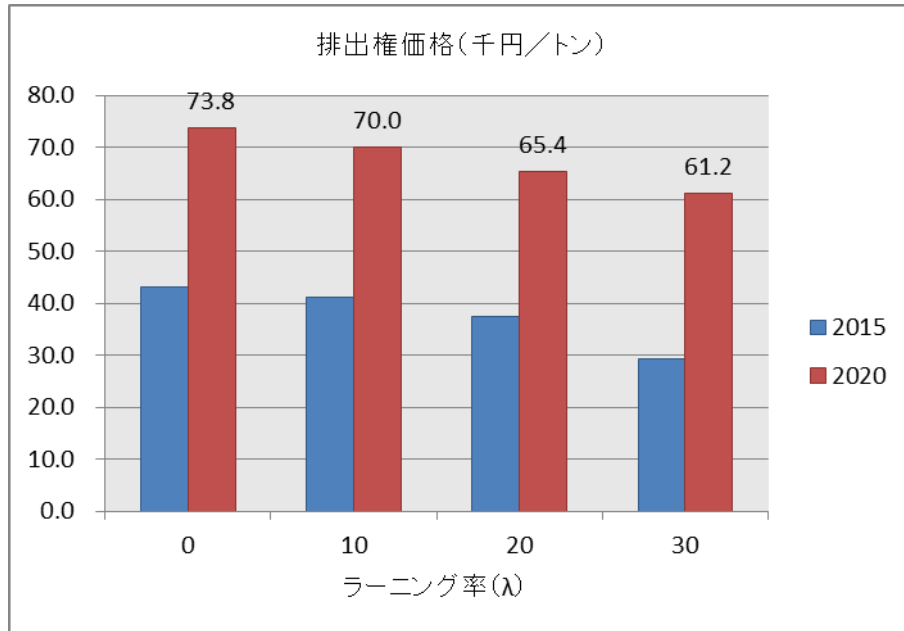


図5 電力価格 (円/kWh)

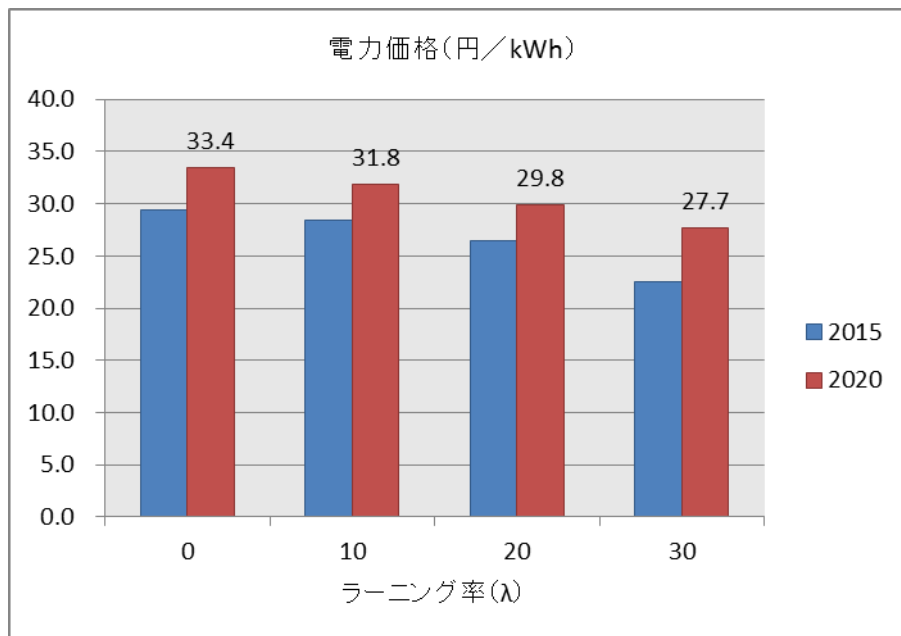


図 6 GDP への効果 (BaU からの乖離率、%)

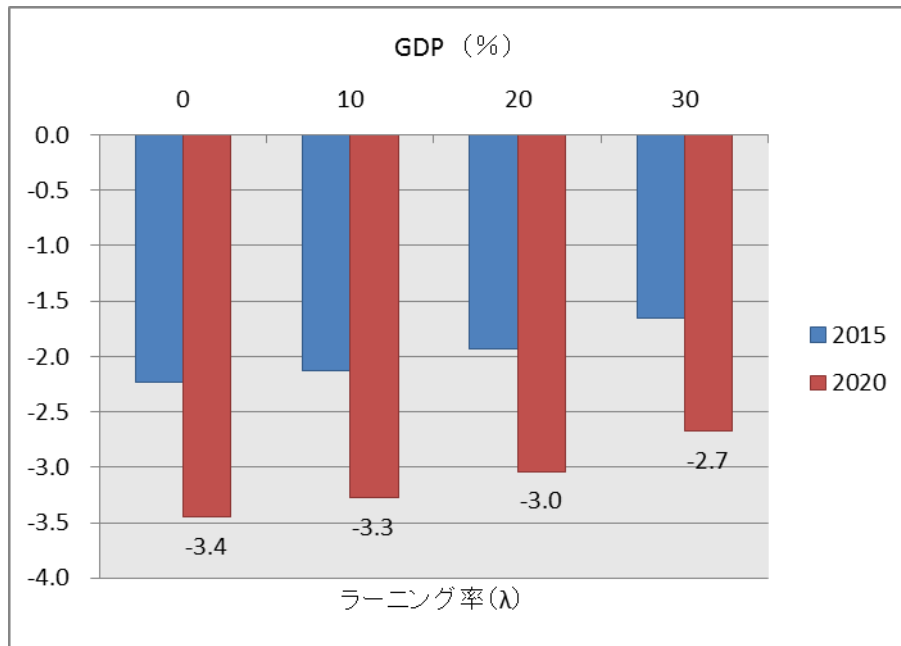


図 3 では、ラーニング率が高くなるほど、新エネ発電のシェアは高くなる。2020 年時点で、LBD が無いときには 10.7%のシェアにしかならないが、LBD 率が 30%ならシェアは 24.3%まで上昇する。これは LBD によって生産費用が低下するために新エネによる発電がより多く使われるようになるためである。ラーニング率の設定によって新エネ発電の供給が強い影響を受けることがわかる。

ラーニング率が高くなり、新エネ発電のシェアが上昇するほど、国内の排出権価格は低下することになる (図 4)。LBD が無いケースでは、排出権価格は 2020 年時点で 73,800 円 (tCO<sub>2</sub>) であるが、ラーニング率 30%のケースでは 61,200 円と 17%低下する。これは、ラーニング率が高いほど、新エネ発電を低いコストで供給することができるようになるからである。さらに、この排出権価格の低下を通じて、電力の価格も低下する (図 5)。LBD が無いケースでは 2020 年時点で 33.4 円 (kWh) にまで上昇するが、ラーニング率 30%では 27.7 円にとどまる。以上のような電力部門の変化を通じて、GDP も影響を受ける (図 6)。LBD が存在しないときには、GDP は 3.4%減少するのに対し、ラーニング率が上昇するほど GDP 減少率は小さくなり、ラーニング率 30%のときには GDP 減少率は 2.7%にとどまる。ラーニング率が 10%のケースでは、GDP への効果はほとんど変わらないが、30%程度の水準なら、GDP の減少率はそれなりに縮小することがわかる。

以上の結果より、LBD を考慮することで新エネ発電の供給がかなり大きく変わるということがわかる。これは新エネ発電の供給への効果を考える際に、LBD を考慮するかどうか非常に重要な意味を持つということを意味している。同様に LBD によって GDP への効

果も影響を受けるが、新エネ発電のエネルギー全体に占める割合が大きくなることはないこともあり、LBDによるGDPのマイナス効果の縮小はそれほど大きくはない。

## 5.5 補助金の役割

表4 補助金の効果（ラーニング率0%）

補助金率＝	2015				2020			
	0	10	20	30	0	10	20	30
排出権価格（千円/トン）	43.1	42.6	41.9	41.4	73.8	73.1	72.4	71.9
新エネ発電シェア（%）	7.3	7.9	8.8	9.5	10.7	11.4	12.2	12.9
電力価格（円/kWh）	29.4	29.1	28.8	28.5	33.4	33.1	32.8	32.5
GDP	-2.2	-2.2	-2.2	-2.2	-3.4	-3.4	-3.4	-3.4
厚生	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.7	-1.7	-1.7	-1.7
消費	-3.3	-3.3	-3.3	-3.3	-4.9	-4.9	-4.9	-4.9

表5 補助金の効果（ラーニング率10%）

補助金率＝	2015				2020			
	0	10	20	30	0	10	20	30
排出権価格（千円/トン）	41.2	40.6	40.2	39.6	70.0	40.6	40.2	39.6
新エネ発電シェア（%）	9.2	10.3	11.3	12.3	9.2	10.3	11.3	12.3
電力価格（円/kWh）	28.4	28.1	27.8	27.5	28.4	28.1	27.8	27.5
GDP	-2.1	-2.1	-2.1	-2.0	-2.1	-2.1	-2.1	-2.0
厚生	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
消費	-3.2	-3.1	-3.1	-3.0	-3.2	-3.1	-3.1	-3.0

表6 補助金の効果（ラーニング率20%）

補助金率＝	2015				2020			
	0	10	20	30	0	10	20	30
排出権価格（千円/トン）	37.4	35.8	34.4	33.2	65.4	64.5	63.7	63.1
新エネ発電シェア（%）	13.2	15.2	16.9	18.4	18.0	19.6	21.0	22.2
電力価格（円/kWh）	26.5	25.6	24.9	24.3	29.8	29.3	28.9	28.6
GDP	-1.9	-1.9	-1.8	-1.8	-3.0	-3.0	-2.9	-2.9
厚生	-0.9	-0.9	-0.8	-0.8	-1.4	-1.4	-1.4	-1.4
消費	-2.9	-2.8	-2.7	-2.7	-4.3	-4.2	-4.1	-4.1

表 7 補助金の効果（ラーニング率 30%）

補助金率＝	2015				2020			
	0	10	20	30	0	10	20	30
排出権価格（千円/トン）	29.4	27.5	25.8	24.4	61.2	60.4	59.9	59.3
新エネ発電シェア（%）	20.0	22.5	24.7	26.6	24.3	26.4	28.2	29.9
電力価格（円/kWh）	22.5	21.5	20.7	19.9	27.7	27.2	26.8	26.4
GDP	-1.7	-1.6	-1.5	-1.5	-2.7	-2.6	-2.5	-2.5
厚生	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-1.2	-1.1	-1.1	-1.0
消費	-2.5	-2.4	-2.3	-2.2	-3.7	-3.6	-3.5	-3.4

図 7 新エネルギー発電シェア（%）、LBD がないケース

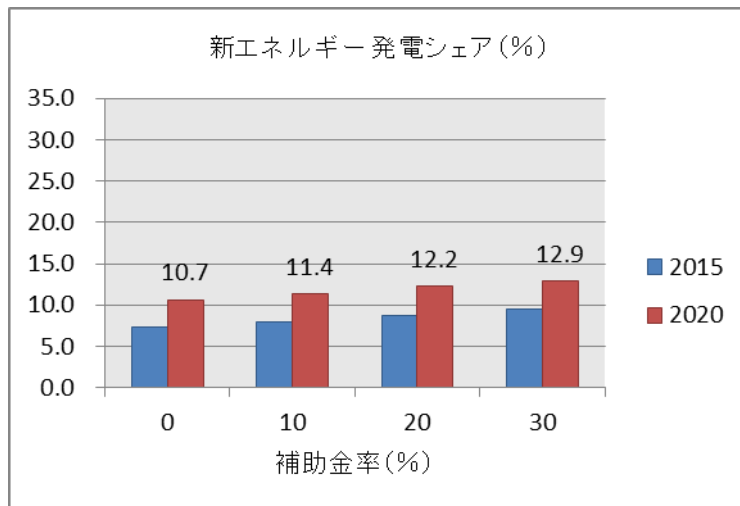


図 8 GDP への効果（BaU からの乖離率、%）、LBD がないケース

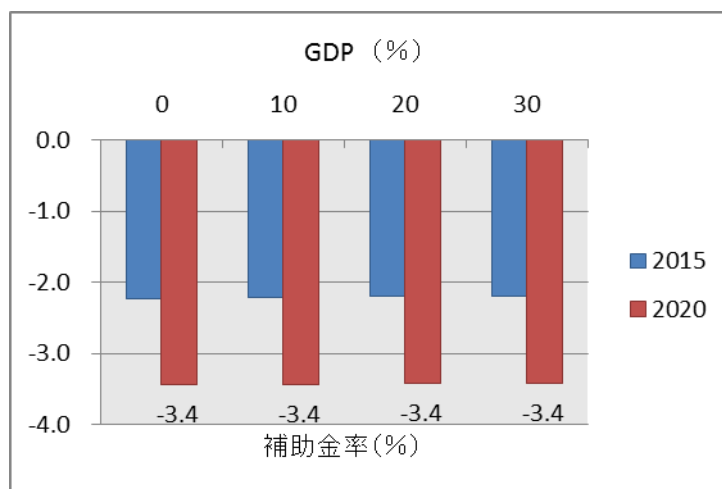


図9 新エネルギー発電シェア（%）、ラーニング率20%のケース

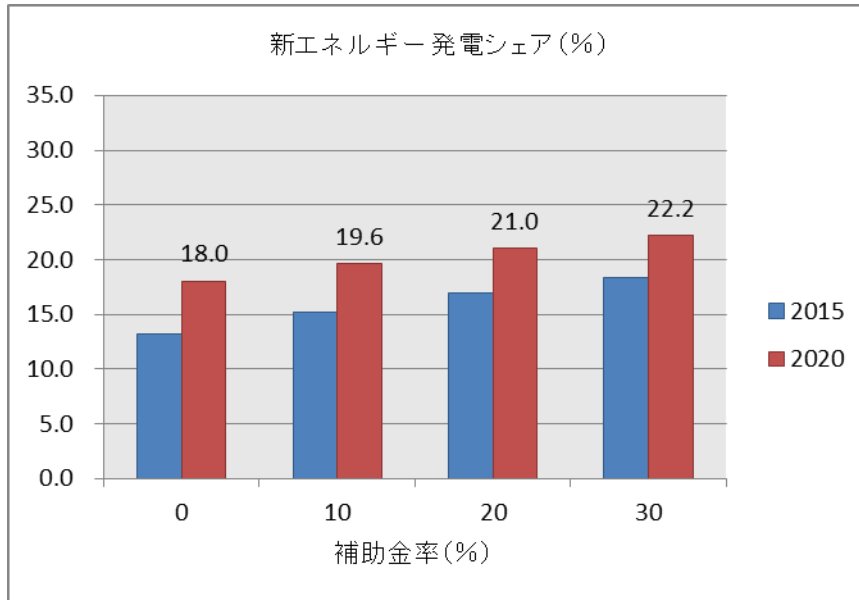
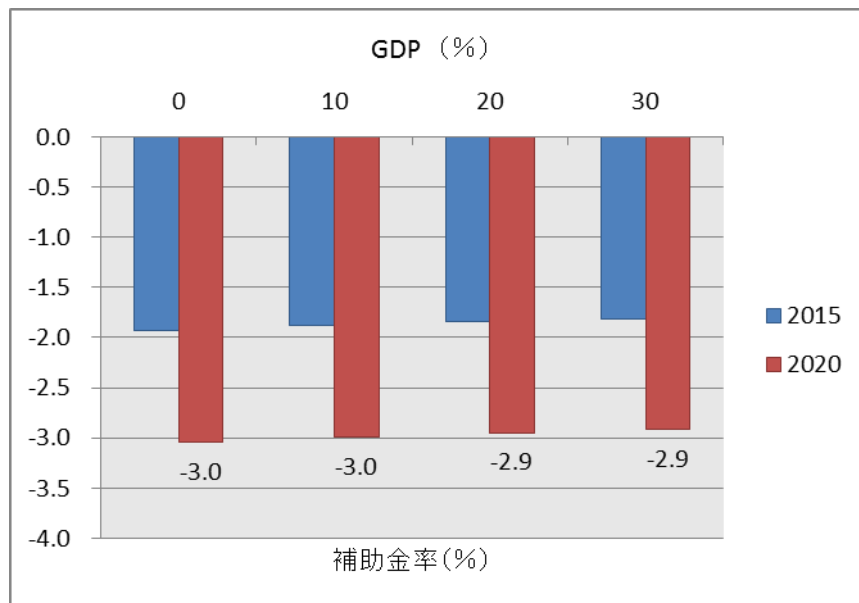


図10 GDPへの効果（BaUからの変化率、%）、ラーニング率20%のケース



内生的な技術進歩を分析する際の重要な論点の一つに政府の促進策がある。R&DやLBDを通じた内生的な技術進歩は正の外部性と結びついていることが多い。もし技術進歩が正の外部性を持つ場合には、その技術の導入を促進する政策をとることで経済全体での効率性が高まる可能性がでてくる。例えば、LBDのケースで言えば、LBDの存在を考慮すると、



本来は早めの導入を進めることで長期的に見て低いコストで技術を利用できるにもかかわらず、民間の企業、家計が LBD を読み込んで行動しないために新エネ発電の導入が進まないという状況である。本章のモデルにおいても LBD は一種の正の外部性を持つため、政府による新エネ発電の促進策が経済にプラスの影響をもたらす可能性がある。そこで、以下では、新エネ発電に対し補助金を拠出するケースを分析してみる。

表 6～9、図 7～10 が計算結果である。ここでは、補助金のシナリオとして、補助金率 0%、10%、20%、30% の 4 つのケースを考えている。まず、図 7 は LBD がいないケースにおける、補助金率に応じた新エネ発電シェアを表している。補助金率が上昇するにつれ新エネ発電のシェアが上昇していくことが確認できる。ただし、LBD がいないこともあり、補助金の差はシェアにはそれほど大きな違いをもたらさない。図 8 は同じケースにおける GDP への効果を表している。LBD がいないケースであるので、上述のような、外部性の是正による経済全体の効率性を改善する効果は働かないと考えられる。実際、補助金率が上昇するほど GDP の低下率は小さくなるが、補助金の影響は非常に小さく、ほとんど影響はないといってもよい。

図 9 はラーニング率が 20% の場合の、新エネ発電シェアを表している。まず、LBD が存在することもあり、新エネ発電のシェアは全体として高くなっているが、さらに補助金による変化も大きくなっている。補助金がない場合には、新エネ発電シェアは 18% だが、補助金率が 30% のときには 22.2% となる。LBD がいないケースでは 2 ポイント程度しか上昇しなかったのに対し、このケースでは補助金率が上昇することで 4 ポイントほど上昇する。

次に、補助金の GDP への影響を見てみよう (図 10)。このケースでは LBD があるので、補助金は外部性の是正の効果を持ち、効率性を高めることが期待できる。結果を見ると、確かに補助金の上昇により GDP のマイナス効果が縮小することが確認できる。ただし、補助金ありと補助金率 30% のケースで、わずか 0.1 ポイント程度の差しかなく、補助金の GDP への効果はこのケースでも極めて小さいと言える。外部性是正の効果は確かに観察できるが、新エネ発電の発電全体に占めるシェアが小さいこともあり、その大きさは非常に小さいということがわかる。

以上をまとめると、まず LBD がいないケースでは新エネ発電への補助金は、新エネ発電の供給についても、経済全体への効果についてもほとんど影響を与えないといつてよい。一方、LBD が強く働くケースでは、政府の新エネ発電への補助金によって、新エネ発電の供給に大きな影響が出てくる可能性が高い。ただし、LBD が強く働くケースでも、補助金の GDP への効果についてはやはり小さい。新エネ発電の供給に関しては、政府による普及促進策が大きな意味を持ちうるが、経済全体への効果 (GDP 効果) にはほとんど影響を持たないと言える。

## 5.6 結果のまとめ

本章では、新エネ発電において LBD を考慮することで温暖化対策の効果がどのように変わってくるか、また政府の新エネ発電促進策がどのような効果を持つかということ进行分析してきた。分析のベースには JCER-CGE モデルを利用し、新エネ発電部門に LBD を導入した上で、90 年比 25%削減という政策の効果を分析した。分析の結果は、以下の通りである。まず、LBD を考慮することで新エネ発電の供給量は大きく増加することがわかった。LBD がいないときには新エネ発電のシェアは 10%程度 (2,020 年時点) にすぎないが、ラーニング率が 30%の LBD が存在する場合には 24%に上昇する。さらに、新エネ発電の供給が増加することに応じて、GDP へのマイナス効果も低下する。つまり、LBD を考慮することで温暖化対策の経済全体への負担も小さくなるという結果が出た。ただし、GDP 低下率は LBD がいないときで 3.4%減、ラーニング率 30%の LBD があるときで 2.7%減と、それほど大きく縮小するわけではない。

さらに、政府による新エネ発電への補助金政策を分析し以下の結果を得た。まず、LBD がいないときには、補助金は新エネ発電の供給量へも GDP へもほとんど影響を与えないという結果となった。つまり、LBD を考慮しないのなら、新エネ発電への補助金政策はほとんど意味をもたないということになる。これに対し、LBD が存在するときには、補助金によって新エネ発電の供給量はそれなりに増加するという結果となった。これは LBD を考慮しているときには、補助金という政策が意味を持つてくるということを示唆している。ただし、LBD があるケースでも、補助金の GDP への効果はやはり非常に小さいという結果が出た。つまり、新エネ発電への補助金は、温暖化対策の経済全体への効果にはほとんど影響を与えないということになる。

以上の分析より、経済全体への効果については、LBD を考慮するか否かはそれほど大きな違いをもたらさないが、新エネ発電の供給については LBD を考慮することで結果が大きく変わりうるということがわかった。これは、温暖化対策のシミュレーション分析において、LBD を適切に導入していく必要があることを示唆している。

## 6 R&D 投資を導入した CGE モデル

第 5 節では、LBD による内生的な技術進歩を扱った。本節では、内生的な技術進歩のもう一つのアプローチである R&D 投資の CGE モデルを構築し、温暖化対策の分析をおこなう。R&D 投資のあるモデルは、技術進歩のプロセス、及び技術進歩に用いられる資源を明示的に考慮しているという利点を持つ。

一口に R&D のモデルと言っても、第 4.3 節で説明したように、多様なモデルが存在しており、どのモデルを用いるかで、分析の焦点が変わってくる。本節では、JCER-CGE モデ

ルをベースとし、R&DについてはSue Wing (2003)のアプローチに従うことにする。

## 6.1 モデル

JCER-CGE モデルについては、すでに第5節で説明をしているので、そちらを参照されたい。ただし、財・部門については元々の41財・41部門から、表?の21財・21部門に減らしている。

表8 財と部門

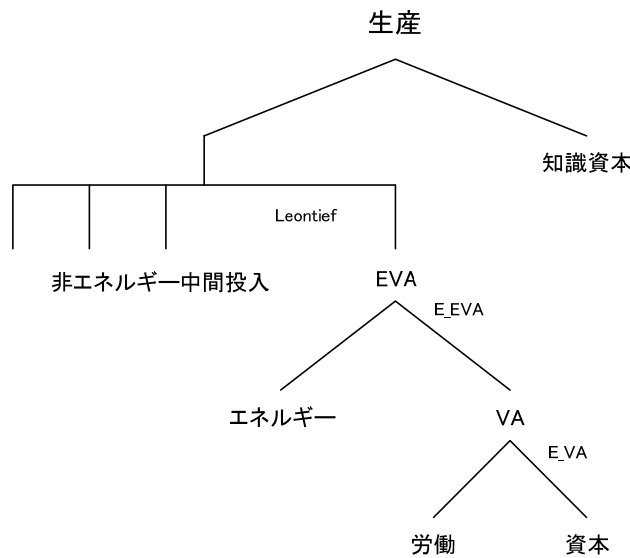
財		部門	
agr	農林水産	agr	
min	その他鉱業	min	
coa	石炭	f_f	化石燃料
oil	原油		
gas	天然ガス		
foo	食品	foo	
txt	繊維製品	txt	
ppp	紙・パルプ・木製品	ppp	
chm	化学	chm	
pet	石油製品	pet	
cop	石炭製品	cop	
csc	窯業・土石	csc	
i_s	鉄鋼	i_s	
nfm	非鉄金属	nfm	
met	金属製品	met	
man	その他製造業	man	
con	建設	con	
ele	電力	e_f	火力
		e_a	原子力
		e_w	水力・地熱
g_h	ガス・熱供給		
trs	輸送		
ser	その他サービス		

以下では、R&D投資の部分について説明をおこなう。Sue Wing (2003)は、第4.3節の例2のアプローチでR&Dをモデルに組み込んでいる。具体的には次のような定式化をしている。

- R&D 部門によって R&D 投資がおこなわれる。
- R&D 投資によって知識資本の蓄積がされる。

知識資本は生産要素と同様の形式で生産関数に導入され、知識資本の増加は生産を高める効果を持つ。

図 11 CGE モデルにおける技術



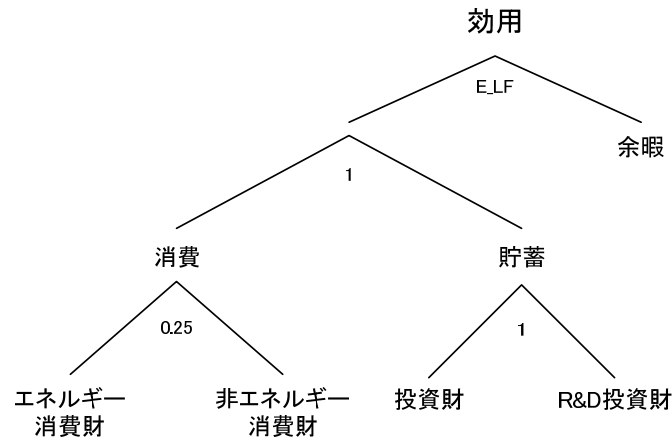
知識資本の生産関数への導入方法については、様々な想定がありうるが、ここでは Sue Wing に倣い生産関数のトップレベルに入ってくると仮定する。従って、生産関数は図 11 のような形になる。知識資本とその他の投入物の代替の弾力性は、Sue Wing (2003) と同じ 1 を仮定する。

t 期における R&D 投資の量を  $R_t$ 、t 期における知識資本ストックの量を  $H_t$ 、知識資本についての減耗率を  $\delta^R$  とすると、知識資本ストックは以下のような関係に従って推移していく。

$$H_{t+1} = (1 - \delta^R)H_t + R_t$$

また、一時点内における知識資本の部門間の配分は、労働等の生産要素が部門間で生産要素価格が均等化するように配分されるのと同様に、知識資本のレンタルプライスが均等化するように配分される。また、R&D 投資の水準は、通常の物的投資と同様に、貯蓄率一定の仮定によって決定されるものとする。この貯蓄率一定による R&D 投資の決定を導入するため、効用関数は以下のように修正される。

図 12 CGE モデルにおける技術



以上の Sue Wing のアプローチでは、R&D 投資、知識資本は、1) 蓄積効果、2) 代替効果の二つの効果を持つことになる。蓄積効果とは、R&D 投資の水準が変化し、それを通じて知識資本のストックが変化する効果である。排出規制がプラスの蓄積効果（R&D 投資を押し上げる効果）を持つのなら、排出規制によって生産性向上が促進されることになるが、逆にマイナスの蓄積効果を持つのなら、生産性向上は抑制されることになる。

代替効果とは、知識資本の部門間の配分が変わる効果を指す。排出規制の導入に伴い、排出規制の影響を受けやすい部門（エネルギー部門、エネルギー集約部門）により多くの知識資本が配分されるのなら、排出規制の負担は軽減される可能性が高い。逆に、排出規制の影響を受けやすい部門への知識資本の配分が減少するのなら、排出規制の負担は大きくなりやすい。以上の 2 つの効果がどう働くかによって、経済全体として技術進歩がどの程度促進され、排出規制の負担がどの程度軽減されるかが変わってくる。

なお、Sue Wing のアプローチには以下の問題点もある。まず、R&D 投資、知識資本を一括で扱っており、何のための R&D 投資、知識資本かを区別していない。排出規制を考える際に特に重要なのは省エネ用の投資であるが、ここでは省エネ用の投資を独立しては扱っていない。また、知識のスピルオーバーはないと仮定している。よって、知識資本の持つ公共財的な性質は考慮されない。

## 6.2 データ

基本的なデータについては、JCER-CGE モデルのデータをそのまま利用するが、さらに R&D 投資、知識資本のデータを新たに用意する必要がある。特に、Sue Wing のアプローチでは、知識資本を生産要素と同様に扱うため、生産要素のデータと同じような形式で知識資本のデータを SAM に導入する必要がある。このデータの作成についても、Sue Wing の

アプローチに従っておこなっている。以下で、データ作成の手順を説明する。

まず、産業連関表のデータから、R&D 投資額の部分を分離する。日本の連関表には、R&D 投資として支出されているデータが含まれているので、それから R&D 投資額を導出する。具体的には、連関表の以下の部門を統合し、R&D 投資部門として扱う。

表 9 R&D 投資部門に含む部門

行コード	中身
8221011	自然科学研究機関（国公立）★★
8221021	人文科学研究機関（国公立）★★
8221031	自然科学研究機関（非営利）★
8221041	人文科学研究機関（非営利）★
8221051	自然科学研究機関（産業）
8221061	人文科学研究機関（産業）
8222011	企業内研究開発

図 13 CGE モデルにおける技術

	agr	man	ser	rad	C	G	I
agr							
man							
ser							
rad							
K							
L							

図 13 は R&D 部門（rad）を分離した連関表である。それぞれ行と列が独立した扱いになる。次に、R&D 部門を内生部門から外へ出すという操作を行う。これにより連関表は図 14 のような形式になる。

図 14 CGE モデルにおける技術

	agr	man	ser	C	G	I	rad
agr							
man							
ser							
K							
L							
rad							

図 14 では、右下の部分にデータが存在する形となっており、連関表の形式に整合的になっていない。そこで次に、右下部分のデータを付加価値部門、及び最終需要部門に振り分けるという作業をおこなう。これにより連関表は図 15 のような形になる。

図 15 CGE モデルにおける技術

	agr	man	ser	C	G	I	rad
agr							
man							
ser							
K							
L							
rad							

右上の RAD が R&D 投資部門の投入を、左下の RAD が各部門の知識資本への支払いを表している。このように変形することで、R&D 投資と知識資本の関係は、物的投資 (I) と資本 (K) の関係と全く同じ形式になる。

表 10 は、以上のようにして作成した R&D 投資のデータである (図 15 の右上の列)。「額」は R&D 投資に利用される各財の投入額、シェアは R&D 投資に占める各財の投入額のシェアである。R&D 投資では、サービス財の投入が占める割合が際立って大きく、次いで電力、輸送、紙、化学の投入が多いということがわかる。

表 10 R&D 投資データ

	額 (10 億円)	シェア (%)
agr	22	0.4
min	0	0.0
coa	4	0.1
oil	0	0.0
gas	0	0.0
foo	26	0.5
txt	12	0.2
ppp	478	8.4
chm	313	5.5
pet	167	3.0
cop	0	0.0
csc	37	0.6
i_s	0	0.0
nfm	2	0.0

met	2	0.0
man	189	3.3
con	100	1.8
ele	428	7.6
g_h	44	0.8
trs	322	5.7
ser	3,515	62.1
合計	5,662	100

表 11 知識資本データ

	部門別シェア (%)	部門内シェア (%)
agr	0.1	0.1
min	0.0	0.2
foo	1.9	0.6
txt	0.2	0.6
ppp	0.7	0.4
chm	20.4	5.7
pet	0.3	0.2
cop	0.0	0.3
csc	2.2	3.5
i_s	1.7	0.8
nfm	1.3	2.1
met	1.0	0.9
man	58.0	5.0
con	0.6	0.1
g_h	0.3	1.4
trs	0.6	0.1
ser	7.4	0.2
f_f	0.0	1.9
e_f	1.7	2.0
e_a	1.1	2.9
e_w	0.4	3.4

「部門別シェア」は、各部門に配分される知識資本サービス利用のシェアを表している。化学、製造業、サービス部門での利用が多いことがわかる。また、電力部門もその規模に比較すると、知識資本投入は多いと言える。「部門内シェア」は、各部門の投入に占める知



識資本サービスのシェアを表している。化学、製造業を除くと小さい。多くの部門において、知識資本の投入は他の投入物と比較し少ないということがわかる。

### 6.3 シミュレーション

以下では、2030年においてCO2排出量をBAUから30%削減するというシナリオを分析する。表12は、2030年時点における各部門の知識資本投入量のBAUからの変化率の数値である（変化率が小さい部門は除いてある）。電力部門で非常に大きく伸びている一方、他の部門では減少している。排出規制を導入した場合、電力部門の知識資本を増加させる方向に代替効果が働き、電力部門の生産性が大きく上昇するということになる。

表12 各部門における知識資本の変化率

	foo	txt	ppp	chm	pet	csc	i_s	nfm	met	man	trs	ser	e_f	e_a	e_w
%	-1.0	-0.5	-0.6	-0.7	-15.1	0.1	-2.9	-1.5	1.1	-0.8	-0.5	-2.1	22.5	22.5	22.5

表13は、2030年時点における様々な変数への影響を表している。MACは1,000円/トン、その他の数値は全てBAU値からの変化率(%)を表している。R&D投資、知識資本とも減少している、つまり、蓄積効果はマイナスであることがわかる。これは、排出規制が経済全体としての生産性を低下させる方向に働くことを意味している。排出規制が導入されることで、限界削減費用（排出権価格）は17,300円程度となり、GDP、厚生はそれぞれBAU値から1.12%、0.62%低下している。

表13 排出規制の効果

	R&D投資	知識資本	MAC	GDP	厚生
2030年	-2.55	-0.38	17.3	-1.12	-0.62

以上の結果を基準のケースとし、次にモデルの設定を変更し、結果がどのように変化するかを確認する。取り上げるのは表14の4つのケースである。

表14 感応度分析のシナリオ

シナリオ	説明
NO_R&D	R&D投資、知識資本がないケース
R&D_SUB	R&D投資に10%の補助金を出すケース
H_Elas	知識資本とその他の投入物の代替の弾力性を2倍にするケース

表 15 は各ケースでの、各部門の知識資本変化率 (%) を表している。NO\_R&D ではそもそも知識資本が存在しないので、表からは除かれている。R&D への補助金があるケースでは、多くの部門において知識資本利用が増加していることがわかる。これは知識資本ストックが全体として増加するためだと考えられる。

代替の弾力性の上昇は、知識資本の変化率の絶対値を拡大させている。つまり、元々、知識資本利用が増加していた部門ではその増加率が拡大し、逆に知識資本利用が減少していた部門では減少率が拡大するという結果である。ただし、鉄鋼部門 (i\_s) については、基準ケースで知識資本の利用が減少しているのが、H\_Elas では大幅に増加することになっており、変化の方向が逆転する部門もある。L\_Elas では H\_Elas とは逆に全体として知識資本の変化率は縮小している。以上の結果より、知識資本とその他の投入物の間の代替の弾力性の値によって、代替効果の大きさが強い影響を受けることがわかる。

表 15 各部門における知識資本の変化率 (%)

	foo	txt	ppp	chm	pet	csc	i_s	nfm	met	man	Trs	ser	e_f	e_a	e_w
基準ケース	-1.0	-0.5	-0.6	-0.7	-15.1	0.1	-2.9	-1.5	1.1	-0.8	-0.5	-2.1	22.5	22.5	22.5
R&D_SUB	2.4	2.8	3.2	2.7	-12.1	3.6	0.4	1.7	4.7	2.7	3.0	1.5	27.6	27.6	27.6
H_Elas	-2.6	-1.8	-1.8	-1.6	-15.2	1.8	9.4	-2.1	2.4	-1.6	0.7	-5.0	85.6	43.7	28.0
L_Elas	-0.3	0.0	-0.1	-0.3	-15.1	-0.8	-8.1	-1.3	0.4	-0.4	-1.2	-0.7	0.0	13.6	19.6

表は各ケースの結果を表している。R&D 投資、知識資本は想定によって大きく変わってくる。まず、R&D\_SUB では、R&D に補助金が拠出されることから、R&D 投資、知識資本とも BAU から大きく増加している。つまり、蓄積効果はプラスに転じている。一方、H\_Elas、L\_Elas での R&D 投資、知識資本の変化率は基準ケースとそれほど変わらない。これは、蓄積効果が知識資本とその他の投入物の代替の弾力性にはあまり依存しないということの意味している。限界削減費用については、どのケースにおいてもそれほど大きな違いはない。

GDP については、まず R&D を考慮しないケースは基準ケースよりもマイナスが大きい。これは R&D を考慮することで GDP のマイナス効果が小さくなることを示唆している。R&D に補助金を出すケースでは、R&D 投資、知識資本は増加するが、GDP のマイナスは基準ケースよりも若干ではあるが大きくなっている。R&D 投資を促進することは、R&D

投資を増加させるが、それが必ずしも GDP の増加に結びつくとは限らないことを示唆している。本節のモデルでは、R&D 投資のためのリソースを明示的に考慮している。よって、R&D 投資の増加は、その他の活動に利用されるリソースの減少を意味することになる。この R&D 投資とその他の活動の間のトレードオフが全体としてマイナスに働き、GDP が減少していると考えられる。一方、知識資本とその他の投入物の間の代替の弾力性の上昇は GDP の低下を拡大させ、逆に弾力性の低下は GDP の低下を縮小させるという結果となっている。

厚生についても、R&D がないケースでは低下幅が大きくなり、R&D 補助金があるケースでは低下幅が小さくなっている。一方、代替の弾力性の大きさについては、弾力性が大きいほど厚生の低下幅が大きくなり、逆に弾力性が小さいほど厚生の低下幅は小さくなるというように、GDP の動きとは逆になっている。

表 16：感応度分析の結果

	R&D 投資	知識資本	MAC	GDP	厚生
基準ケース	-2.55	-0.38	17.3	-1.12	-0.62
NO_R&D	0.00	0.00	17.2	-1.14	-0.63
R&D_SUB	7.15	3.15	17.4	-1.13	-0.56
H_Elas	-2.66	-0.39	17.2	-1.15	-0.65
L_Elas	-2.52	-0.38	17.2	-1.10	-0.60

以上のように、R&D を考慮しないケースでは、R&D を考慮するケースよりも GDP、厚生ともマイナス効果が大きくなった。これは、R&D を考慮しないことにより、排出規制のマイナス効果を大きく見積もることになる可能性が高いことを示唆している。ただし、R&D を考慮するケース、考慮しないケースの結果の差はそれほど大きくはない。つまり、R&D、知識資本の効果があまり強くは出ていない。これには次のような理由が考えられる。まず、データにおいて R&D、知識資本の占めるシェアがそれほど大きくはないということがある。ベンチマークデータにおける知識資本の利用は CHM と MAN に集中しており、他の部門での利用は非常に少ない。また、各部門のコストに占める知識資本のシェアも CHM、MAN を除き非常に小さい。

第 2 に、蓄積効果がマイナスに働いているということがある。R&D に補助金を出すケースを除き、排出規制によって R&D 投資の水準自体が低下し、知識資本ストックが減少している。このマイナスの蓄積効果により経済全体としての生産性が低下することになる。第 3 に、代替効果は一方ではプラスに働くが、もう一方ではマイナスに働くということがある。排出規制から強い影響を受ける部門（電力等）では知識資本の利用が増加し、生産へのマイナス効果が大きく緩和されるが、これらの部門で知識資本利用が増加するということは、

もう一方でその他の部門の知識資本利用が減少するということを意味する。その他の部門において生産性は逆に低下することになり、経済全体の生産性を押し下げる効果を持つ。

以上のように、今回のシミュレーションでは、R&D 投資、知識資本を考慮することによるプラスの効果はそれほど大きくはないということになったが、これは前提としているモデルやデータによって変わってくる可能性が高い。特に、データについては、全ての R&D 投資を適切に捉えられていない可能性も高いことから、今後の改善が望まれる。

## 7. 終わりに

この補論では、既存の温暖化対策分析の CGE モデルにおいて技術進歩がどのように扱われているかを概観すると同時に、習熟効果、R&D 投資を考慮した CGE モデルを構築し、温暖化対策の分析を行った。分析により、習熟効果や R&D 投資を通じた内生的な技術進歩を考慮した場合には、温暖化対策の負担が軽くなるという結果が出た。温暖化対策の分析には内生的な技術進歩を考慮しない CGE モデルが利用されることが多いが、以上の結果は、そういった分析は温暖化対策の費用を過大に評価している可能性が高いことを示唆している。この補論で用いたモデルには、習熟効果、R&D 投資の特定化方法、R&D 投資のデータ作成方法等の部分で問題点もある。今後の研究では、それらの部分について改善をおこなうのが望ましい。

## 参考文献

- Arrow, K. J. (1962) "The Economic Implications of Learning by Doing," *Review of Economic Studies*, Vol. 29, pp. 155-173.
- Barro, R. J. and X. Sala-i-Martin (1995) *Economic Growth*, New York: McGraw-Hill.
- Grossman, G. M. and E. Helpman (1991) *Innovation and Growth*, Cambridge, MA: MIT Press.
- Bohringer, C., T. P. Mennel, and T. F. Rutherford (2009) "Technological change and uncertainty in environmental economics," *Energy Economics*, Vol. 31, pp. S1-S3.
- Bohringer, C. and A. Loschel (2006) "Promoting Renewable Energy in Europe: A Hybrid Computable General Equilibrium Approach," *The Energy Journal*, Vol. 0, No. Special I, pp. 135-150.
- Bohringer, C. and T. F. Rutherford (2005) "Integrating Bottom-Up into Top-Down: A Mixed Complementarity Approach," ZEW Discussion Papers 05-28, ZEW - Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung/Center for European Economic Research.
- Bohringer, C. and T. F. Rutherford (2008) "Combining bottom-up and top-down," *Energy Economics*, Vol. 30, No. 2, pp. 574-596, March.

- Gillingham, K., R. G. Newell, and W. A. Pizer (2008) "Modeling endogenous technological change for climate policy analysis," *Energy Economics*, Vol. 30, pp. 2734-2753.
- IEA (2000) *Experience Curves for Energy Technology*, Paris: IEA. International Energy Agency.
- Loschel, A. (2002) "Technological change in economic models of environmental policy: a survey," *Ecological Economics*, Vol. 43, No. 2-3, pp. 105-126, December.
- Loulou, R., G. Goldstein, and K. Noble (2004) "Documentation for the MARKAL Family of Models." <http://www.etsap.org/documentation.asp>.
- Paltsev, S., J. M. Reilly, H. D. Jacoby, R. S. Eckaus, J. McFarland, M. Sarofim, M. Asadoorian, and M. Babiker (2005) "The MIT Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model: Version 4." MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Report No. 125, August 2005,
- Sue Wing, I., (2003). "Induced Technical Change and the Cost of Climate Policy." MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, No.102.
- Sue Wing, I. (2006a) "Representing Induced Technological Change in Models for Climate Policy Analysis," *Energy Economics*, Vol. 28, pp. 539-562.
- Sue Wing, I. (2006b) "The Synthesis of Bottom-up and Top-down Approaches to Climate Policy Modeling: Electric Power Technologies and the Cost of Limiting US CO2 Emissions," *Energy Policy*, Vol. 34, No. 18, pp. 3847-3869.
- Sue Wing, I. and R. S. Eckaus (2004) "Explaining Long-Run Changes in the Energy Intensity of the US Economy." MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change Report No.116, Cambridge, MA.
- Sue Wing, I. and D. Popp (2006) "Representing Endogenous Technological Change in Models for Climate Policy Analysis: Theoretical and Empirical Considerations," in Hanneman, M. and A. Farrell eds. *Managing Greenhouse Gas Emissions in California*, Chap. 7. U.C. Berkeley California Climate Change Center Report.
- Wang, K., Wang, C. and Chen, J., (2009). "Analysis of the economic impact of different Chinese climate policy options based on a CGE model incorporating endogenous technological change." *Energy Policy*, Vol.37, pp.2930-2940.
- 川崎泰史・落合勝昭・武田史郎・伴金美(2009) 「日本経済研究センターCGE モデルによる CO2 削減策の分析:「温暖化タスクフォース」で用いたモデルに関する技術ノート」. JCER-Discussion Paper No.126,  
<http://www.jcer.or.jp/report/discussion/detail3932.html>.
- 武田史郎・川崎泰史・落合勝昭・伴金美(2009) 「日本経済研究センターCGE モデルによる CO2 削減策の分析: 中期目標検討委員会で用いたモデルと試算の解説」.

JCER-Discussion Paper No.121,

<http://www.jcer.or.jp/report/discussion/detail3875.html>.

武田史郎・川崎泰史・落合勝昭・伴金美(2010) 「日本経済研究センターCGE モデルによる CO2 削減中期目標の分析」, 『環境経済・政策研究』, 第3巻, 第1号, 31-42頁.

武田史郎・川崎泰史・伴金美, (2007), 「温暖化対策分析用 CGE モデルへの新技術・新エネルギーの導入方法」. New ESRI Working Paper Series No.5.

## 補論2 CGEモデルのパラメータ推定

### 要旨

CGEモデルのシミュレーション結果に大きな影響を持つ代替の弾力性パラメータのパネル推計を行った。推計結果から、代替弾力性パラメータの値は産業間でかなり異なることが示された。また、エネルギー集約的な産業・非エネルギー集約産業とひとくくりにはできず、エネルギー集約的な産業の代替弾力性が、その他の産業に比べて小さいとは必ずしも言えない。

担当者 岡川 梓

## 1 はじめに

応用一般均衡モデル（CGE モデル）は、政策導入の効果を定量的に把握することのできる有用なモデルであり、温暖化対策を含め、多くの分野の政策評価分析に使用されてきた。CGE モデルによる政策評価分析の結果は、モデルで使用されるパラメータに大きく影響されることが知られているが、パラメータの決定が実証分析に基づいていないことがしばしば問題として指摘されている。

CGE モデルでは、生産関数として入れ子型の CES 型関数を仮定することが多い。産業  $i$  が労働と資本を用いて生産しているとすると、産業  $i$  の CES 型生産関数は以下のように表される。

$$OUTPUT_i = \left[ \alpha_{XY,i} X^{\frac{1-\sigma_{XY,i}}{\sigma_{XY,i}}} + (1-\alpha_{XY,i}) Y^{\frac{1-\sigma_{XY,i}}{\sigma_{XY,i}}} \right]^{\frac{\sigma_{XY,i}}{1-\sigma_{XY,i}}}$$

$X, Y$  は要素投入量、 $\alpha$  は生産要素の分配パラメータ、 $\sigma$  は代替弾力性パラメータである。CGE モデルのパラメータ決定方法として、均衡データセットを所与とし（要素投入  $X, Y$ , 産出  $OUTPUT$ ）、CES 型生産関数の代替弾力性パラメータ  $\sigma$  を外生的に与えることで、生産要素の分配パラメータ  $\alpha$  を求める方法が一般的にとられている。こうしたパラメータ決定の方法は、「実証分析に基づかない」という意味で **Calibration** と呼ばれている。それに対して、時系列データやクロスセクションデータを用いたパラメータの統計的な推計は **Estimation** と呼ばれる。CGE モデルのパラメータ決定が「実証分析に基づかない」とはいうものの、実際には過去の代替弾力性パラメータの推計結果を参考にしたり、GTAP などの代表的な CGE モデルで頻りに設定されている値が採用されている。こうして決定されたパラメータの持つ不確実性に対しては、感度分析を行うことで対処されている。

炭素税や排出量取引といった温暖化対策制度の評価分析の結果にとくに大きな影響を持つのは、エネルギーと他の投入要素の代替弾力性パラメータであると言われている。炭素税や排出量取引は、炭素排出に費用を発生させることで、排出主体に削減のインセンティブを付与しようとする政策である。CGE モデルでは、化石燃料の燃焼をとまなう投入に比例して温室効果ガスが排出されると仮定される。そのため、燃料コストが増大した際の、高効率な生産設備を導入するインセンティブを決定づけるパラメータの値に直接的に依存するのである。

ただし、直接エネルギーに関わる代替弾力性のみが結果に影響を持っているわけではない。一般的に、温暖化対策評価に用いられる CGE モデルでは、炭素税導入による排出削減のメカニズムとして、以下の要因を取り込んでいる。1 つ目は、化石燃料間の代替である。化石燃料の燃焼に対して炭素税が賦課されると、炭素含有量に応じて化石燃料の相対価格が変化する。具体的には、炭素含有量の多い石炭の価格は、石油や天然ガスに比べて大きく上



昇することとなる。炭素税賦課に起因する燃料間の相対価格の変化により、炭素含有量のより少ない燃料への代替が促される。2つ目は、企業の生産における投入要素間の代替である。化石燃料価格が上昇することによって、エネルギー投入を伴う生産設備への需要もまた変化する。すなわち、エネルギー投入コストの上昇によって、導入コストの高い省エネ型の生産設備を導入して、エネルギーコストを抑えるインセンティブが発生する。3つ目は、財・サービスの需要段階における代替関係である。化石燃料価格が上昇することによって、化石燃料集約的な財・サービスの生産費用が上昇する。この財・サービス間の相対価格の変化によって、炭素集約的な財・サービスへの需要は減少し、非炭素集約的な財・サービスへの需要が増加する。(財・サービス間の代替) 以上のように、投入要素間の代替弾力性もモデルの結果に影響すると言えるが、本章で分析の対象とするのは、企業の生産関数に見られる投入要素間の代替弾力性とする。

CGE モデルのパラメータ決定については、モデル開発者の間では高い関心が寄せられている。輸入財と国内財の間に仮定されるアーミントン係数に関する文献は存在するが (Zhang and Verikios (2006)、Hertel et al.(2007))、エネルギーに関する先行研究は多くはない。得津 (1992) では、企業パネルデータを用いて KLEM 型の Nest-Translog 費用関数の推計が行われている。紙パルプ以外のエネルギー・資本の代替弾力性は負の値となり、補完関係にあることが示されている。奥島・後藤 (2001) では、KLEM 型の Nest-Translog 関数を用いて、エネルギーと他の生産要素との代替弾力性を計測している。計測の結果、エネルギーと資本は補完関係にあり、エネルギーと他の労働、原材料は代替関係にあることが示されている。また、エネルギー多消費型産業 (紙パルプ・鉄鋼・化学・窯業土石) において、エネルギーと資本はやや強く補完的であるという結果が出ている。最近では、Van der Werf (2008)において、CGE モデルにおける生産構造の推計が行われている。彼らは、OECD12 カ国の産業レベルのデータを使用し、CES 型関数の入れ子構造の検証まで行っており、入れ子の各段階でコブ・ダグラス型生産関数を棄却するという結果を得ている。また、Balisteri (2001)では、アメリカにおける資本と労働の代替弾力性が 28 産業について推計されているが、28 産業中 20 産業でコブ・ダグラス型生産関数を棄却できず、CGE モデルにおいてコブ・ダグラス型生産関数を仮定することを否定しないという結論が示されている。パラメータの推計方法には、3種類見られる。1つは、Van der Werf (2008)および Balisteri (2001)で用いられている伝統的な計量経済分析によるものである。2つ目の方法は Validation と呼ばれる方法である。これは、過去のデータの再現性によってパラメータを決定する方法であり、自然科学の分野ではよく取られる方法である。3つ目は、Maximum entropy approach と呼ばれるものであり、Arndt et al. (2001)や Nganou (2004)で用いられている。この方法は長期間の時系列データを必要としないため、途上国の CGE モデルにおけるパラメータ決定に向いていると言え、Arndt et al. (2001)はモザンビーク、Nganou (2004)はレソトを対象としている。また、Zhang and Verikios (2006)では、GTAP データベースを用いて、代替弾力性パラメータが推計されている。我が国でも産業連関表

や延長表を利用することができるが、欧州委員会によって整備されている EU-KLEMS という優れたデータセットから、国別・産業別の投入要素の時系列データが入手できることため、本章ではパネル推計を行うこととする。

## 2 推計モデルとデータ

### 2.1 推計モデル

推計モデルは、CGE モデルで実際に使用されている費用関数とする。実践的な CGE モデルでは、多段入れ子型 CES 型生産関数が仮定されることが多く、入れ子構造は、図 1 のように表わされる。代替弾力性パラメータはそれぞれの段階に定義される。どの投入要素がどの投入要素とどの段階で代替関係にあると仮定するかはモデルによって異なるが、本章では温暖化対策評価のための CGE モデルで広く利用されている KE-L 型の入れ子型 CES 型関数に注目する。

(1) (2) のような CES 型生産関数の下での費用最小化のための一階条件より、(3) (4) 式が導出される。

$$KEL_i = A_i \left[ \alpha_{KE-L,i} KE_i^{\frac{\sigma_{KE-L,i}-1}{\sigma_{KE-L,i}}} + (1 - \alpha_{KE-L,i}) L_i^{\frac{\sigma_{KE-L,i}-1}{\sigma_{KE-L,i}}} \right]^{\frac{\sigma_{KE-L,i}}{\sigma_{KE-L,i}-1}} \quad (1)$$

$$KE_i = \left[ \alpha_{KE,i} K_i^{\frac{\sigma_{KE,i}-1}{\sigma_{KE,i}}} + (1 - \alpha_{KE,i}) E_i^{\frac{\sigma_{KE,i}-1}{\sigma_{KE,i}}} \right]^{\frac{\sigma_{KE,i}}{\sigma_{KE,i}-1}} \quad (2)$$

$KL$ : 資本・労働の合成財

$E$ : エネルギー

$\sigma$ : 代替の弾力性パラメータ

$\alpha$ : 投入要素間の分配率パラメータ

$$\frac{L_i}{KE_i} = \left[ \frac{1 - \alpha_{KE-L,i}}{\alpha_{KE-L,i}} \right]^{\sigma_{KE-L,i}} \left[ \frac{PL_i}{PKE_i} \right]^{\sigma_{KE-L,i}} \quad (3)$$

$$\frac{E_i}{K_i} = \left[ \frac{1 - \alpha_{KE,i}}{\alpha_{KE,i}} \right]^{\sigma_{KE,i}} \left[ \frac{PE_i}{PK_i} \right]^{\sigma_{KE,i}} \quad (4)$$

(3) (4) の対数をとることで、推計式 (5) (6) が得られる。

$$\ln\left(\frac{L_i}{KE_i}\right)_t = \beta_{0,KE-L,i} + \sigma_{KE-L,i} \ln\left(\frac{PKE_i}{PL_i}\right)_t + u_{it} \quad (5)$$

$$\beta_{0,KE-L,i} = \sigma_{KE-L,i} \ln\left[\frac{1-\alpha_{KE-L,i}}{\alpha_{KE-L,i}}\right]$$

$$\ln\left(\frac{E_i}{K_i}\right)_t = \beta_{0,KE,i} + \sigma_{KE,i} \ln\left(\frac{PK_i}{PE_i}\right)_t + u_{it} \quad (6)$$

$$\beta_{0,KE,i} = \sigma_{KE,i} \ln\left[\frac{1-\alpha_{KE,i}}{\alpha_{KE,i}}\right]$$

ここで、CES 型生産関数の代替弾力性パラメータ  $\sigma$  は、投入要素間の相対価格が 1% 変化したときの、投入比（数量）の変化率（%）を表す。例えば、ある企業が、価格が高いことから導入を見合わせていた高度に自動かされた効率的な生産設備があるとする。いま、何らかの外的要因によって賃金のみが上昇したとすると、上昇した労働コストを抑えるために、相対的に安くなった効率的な生産設備を購入することを視野に入れ始めるだろう。代替弾力性が大きいほど、労働から資本への代替が容易であり、相対価格の変化によって生じた機会費用が小さいということを意味する。したがって、モデルで使用されている代替弾力性の値が大きいほど、政策導入による経済的影響の大きさは小さく評価されることとなる。

本章では、下層の要素需要関数から推計を始める。資本とエネルギーの合成財  $KE$  の単位費用  $PKE$  は、(7) のように計算される。

$$PKE_i = \left[ \alpha_{KE,i} PK^{\frac{1-\sigma_{KE,i}}{\sigma_{KE,i}}} + (1-\alpha_{KE,i}) PE^{\frac{1-\sigma_{KE,i}}{\sigma_{KE,i}}} \right]^{\frac{\sigma_{KE,i}}{1-\sigma_{KE,i}}} \quad (7)$$

## 2.2 データ

推計に用いるデータは、欧州委員会が整備している EU-KLEMS データとする。EU-KLEMS データは、EU 諸国に加えてアメリカ、カナダ、オーストラリア、ニュージーランド、韓国、日本の生産性要因分析に関する調査を目的として整備されたデータセットである。日本のデータは、独立行政法人経済産業研究所における JIP データベースから提供されている。最新のデータは、2009 年 11 月に公表されたものであるが、従来よりも産業分類が粗くなっている上に、現時点では欠損データが多い。そこで、2008 年 3 月に公表されたデータを使用する。推計対象とする産業分類は、温暖化対策を評価するための CGE

モデルでしばしば用いられる産業分類とし、本研究プロジェクトで開発する CGE モデルの産業分類に合うように配慮した。(表 1) 推計期間は、1970 年から 2005 年である。

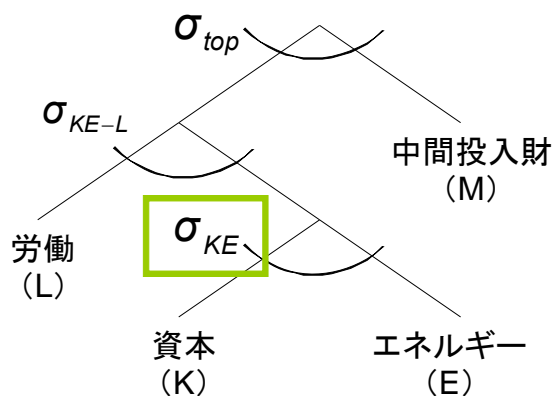
表 1 対象国

Number	Country	Availability
1	Australia	
2	Austria	○
3	Belgium	○
4	Canada	○
5	Cyprus	
6	Czech Republic	○
7	West Germany	○
8	Denmark	○
9	Spain	○
10	Estonia	
11	Finland	○
12	France	○
13	Germany	○
14	Greece	○
15	Hungary	○
16	Ireland	
17	Italy	○
18	Japan	○
19	Korea	○
20	Lithuania	
21	Luxembourg	○
22	Latvia	
23	Malta	
24	Netherland	○
25	Poland	
26	Protugal	○
27	Slovak Republic	
28	Slovenia	○
29	Sweden	○
30	United Kingdom	○
31	United States	○

表 2 対象産業

産業分類	EU共通分類(NACE)コード
Agriculture, hunting, forestry and fishing	AtB
Mining and quarrying	C
Food, beverages and tobacco	15t16
Textiles, textile, leather and footwear	17t19
Wood and of wood and cork	20
Pulp, paper, printing and publishing	21t22
Coke, refined petroleum and nuclear fuel	23
Chemicals and chemical	24
Rubber and plastics	25
Other non-metallic mineral	26
Basic metals and fabricated metal	27t28
Machinery, NEC	29
Electrical and optical equipment	30t33
Transport equipment	34t35
Manufacturing NEC; Recycling	36t37
Electricity, gas and water supply	E
Construction	F
Wholesale and retail trade	G
Hotels and restaurants	H
Transport and storage	60t63
Post and telecommunications	64
Financial intermediation	J
Real estate activities	70
Renting of m&eq and other business activities	71t74
Community social and personal services ++	LtQ
Public admin and defence; compulsory social security	LtQ
Education	M
Health and social work	N
Other community, social and personal services	O

図 1 KE-L 型構造



### 3 推計結果

推計結果を表4に示す。温暖化対策評価のためのCGEモデルでは、エネルギーと資本の代替弾力性の値を、産業ごとに細かく異なる値を設定することは少ない。(表3)また、エネルギー集約産業については小さめに、その他の産業では大きめに仮定することが多い。本章の推計結果から、代替弾力性パラメータの値は産業間でかなり異なることが示された。エネルギー集約的な産業・非エネルギー集約産業とひとくくりにはできず、例えば、同じサービス産業部門であっても、**Real estate activities** (不動産)、**Renting of m&eq and other business activities** (対事業所サービス)ではかなり異なる値となった。また、エネルギー集約的な産業の代替弾力性が、その他の産業に比べて小さいとは必ずしも言えないことがわかった。また、表5では、本章の推計結果とVan der Werf (2008)と比較している。本章の推計結果は、Van der Werf (2008)と比べて全体的に低い値を示している。この違いは、推計方法と使用しているデータの違いによるものと考えられる。

表3 先行研究の代替弾力性パラメータ参考値

<u>GREEN (OECD (1994))</u> KE: 0 or 0.8, (KE)L: 0.12 or 1.0 資本のvintageによって区別。古・新の順	<u>Gerlagh and vand der Zwaan (2003)</u> KL: 1, (KL)E: 0.4
<u>GTAP-EG (Rutherford and Paltsev (2000))</u> 化石燃料:ML: 0, (ML)K: 非化石燃料:KL: 0.5、(KL)E: 1	<u>Goulder and Schneider (1999)</u> KLEM: 1
<u>Takeda (2007)</u> (KL)E: 0.5	<u>Kemfert (2002)</u> (KLM)E: 0.5
<u>WITCH (Bosetti et al. (2006))</u> KL: 1.0, (KL)E: 0.5	<u>Man et al. (1995)</u> KL :1, (KL)E : 0.4
<u>GTAP-E (Burniaux and Truong (2002))</u> KE: 0 or 0.8, (KE)L: 0 or 0.12 or 1	<u>Paltsev et al. (2005)</u> KL : 1, (KL)E : 0.4 or 0.5
<u>Edenhofer et al. (2005)</u> KLE: 0.4	<u>Popp (2004)</u> KLE:1
<u>Sue Wing (2003)</u> KL: 0.68-0.94, EM: 0.7, (KL)(EM): 0.7	

表4 推計結果

SECTOR	KE	KE-L
Agriculture, hunting, forestry and fishing	0.093 *** ( 0.021 )	0.488 *** ( 0.025 )
Mining and quarrying	0.238 *** ( 0.041 )	0.535 *** ( 0.041 )
Food, beverages and tobacco	0.391 *** ( 0.037 )	0.706 *** ( 0.021 )
Textiles, textile, leather and footwear	0.258 *** ( 0.022 )	0.624 *** ( 0.022 )
Wood and of wood and cork	0.097 *** ( 0.025 )	0.426 *** ( 0.020 )
Pulp, paper, printing and publishing	0.574 *** ( 0.035 )	0.823 *** ( 0.024 )
Coke, refined petroleum and nuclear fuel	0.161 *** ( 0.017 )	0.461 *** ( 0.033 )
Chemicals and chemical	0.348 *** ( 0.031 )	0.814 *** ( 0.025 )
Rubber and plastics	0.347 *** ( 0.027 )	0.664 *** ( 0.021 )
Other non-metallic mineral	0.445 *** ( 0.036 )	0.781 *** ( 0.018 )
Basic metals and fabricated metal	0.168 *** ( 0.025 )	0.528 *** ( 0.015 )
Machinery, NEC	0.479 *** ( 0.027 )	0.647 *** ( 0.020 )
Electrical and optical equipment	0.474 *** ( 0.038 )	0.759 *** ( 0.027 )
Transport equipment	0.412 *** ( 0.028 )	0.594 *** ( 0.020 )
Manufacturing NEC; Recycling	0.1568 *** ( 0.0261 )	0.5434 *** ( 0.0167 )
Electricity, gas and water supply	0.237 *** ( 0.032 )	1.046 *** ( 0.033 )
Construction	0.408 *** ( 0.031 )	0.441 *** ( 0.020 )
Wholesale and retail trade	0.320 *** ( 0.030 )	0.634 *** ( 0.021 )
Hotels and restaurants	0.502 *** ( 0.029 )	0.382 *** ( 0.022 )
Transport and storage	0.177 *** ( 0.030 )	0.624 *** ( 0.026 )
Post and telecommunications	0.218 *** ( 0.052 )	0.723 *** ( 0.040 )
Financial intermediation	0.289 *** ( 0.032 )	0.616 *** ( 0.028 )
Real estate activities	0.129 *** ( 0.032 )	0.732 *** ( 0.026 )
Renting of m&eq and other business activities	0.778 *** ( 0.032 )	0.652 *** ( 0.020 )
Community social and personal services ++	0.448 *** ( 0.033 )	0.693 *** ( 0.024 )
Public admin and defence; compulsory social security	0.477 *** ( 0.027 )	0.519 *** ( 0.026 )
Education	0.576 *** ( 0.026 )	0.177 *** ( 0.020 )
Health and social work	0.420 *** ( 0.032 )	0.507 *** ( 0.018 )
Other community, social and personal services	0.514 *** ( 0.035 )	0.506 *** ( 0.018 )

++ Public admin-からOther community-までを含む。

\*, \*\*, \*\*\*はそれぞれ有意水準10%、5%、1%

表5 先行研究との比較

	KE		KE-L	
	Van der Werf (2008)	本章の推計結果	Van der Werf (2008)	本章の推計結果
Basic metals	0.88	0.168	0.83	0.528
Construction	0.99	0.408	0.95	0.441
Food and Tobacco	0.99	0.391	0.92	0.706
Transport equipment	1	0.412	0.98	0.594
Non-metal Mining	1	0.445	0.94	0.781
Paper	0.97	0.574	0.81	0.823
Textiles	1	0.258	1.04	0.624

#### 4 まとめ

本節では、CGE モデルのシミュレーション結果に大きな影響を持つ代替の弾力性パラメータのパネル推計を行った。推計結果から、代替弾力性パラメータの値は産業間でかなり異なることが示された。また、エネルギー集約的な産業・非エネルギー集約産業とひとくくりにはできず、エネルギー集約的な産業の代替弾力性が、その他の産業に比べて小さいとは必ずしも言えないことがわかった。

今後の課題を以下に指摘する。本章の推計結果は、先行研究とは異なる結果となった。Van der Werf (2008)では、推計式は大きく違わない。推計結果の違いをもたらしているのは、推計方法とデータの違いによると考えられるが、推計期間・推計方法を合わせて検証する必要がある。また、本章の推計結果を使って実際に温暖化対策制度の評価を行った場合と、表3で示されているような値を使って評価を行った場合の結果を比較するなどして、CGE モデルにおいてパラメータの値の持つ意味を明らかにする必要がある。

#### 参考文献

- Arndt, C., Robinson, S. and Tarp, F. (2001), "Parameter Estimation For A Computable General Equilibrium Model: A Maximum Entropy Approach", *Economic Modeling*, 19(3), pp. 375–398.
- Balistreri, E. J., McDaniel, C. A. and Wong, E. V. (2001), "An Estimation of U.S. Industry-Level Capital-Labor Substitution", *Computational Economics* 0303001, EconWPA, Washington University.
- Burniaux, J. M. and Truong P. T. (2002), "GTAP-E: An Energy-Environmental. Version of the GTAP Model", *GTAP Technical Paper* 16.



- Bosetti, V., Carraro, C., Galeotti, M., Massetti, E. And Tavoni M. (2006) "WITCH. A World Induced Technical Change Hybrid Model," *The Energy Journal*, volume 27, pp. 13-38, Special Issue No.2.
- Edenhofer, Ottmar, Nico Bauer, and Elmar Kriegler (2005) 'The impact of technological change on climate protection and welfare: insights from the model MIND.' *Ecological Economics* 54, 277–292.
- Gerlagh, Reyer, and Bob Van der Zwaan (2003) 'Gross world product and consumption in a global warming model with endogenous technical change.' *Resource and Energy Economics* 25, 35–57.
- Goulder, Lawrence H., and Stephen H. Schneider (1999) 'Induced technological change and the attractiveness of CO2 abatement policies.' *Resource and Energy Economics* 21, 211–253.
- Hertel, T., Hummels, D., Ivanic, M. and Keeney, R., (2007), "How confident can we be of CGE-based assessments of Free Trade Agreements?," *Economic Modelling*, Elsevier, 24(4), pp. 611-635.
- Kemfert, Claudia (2002) 'An integrated assessment model of economyenergy-climate - the model WIAGEM.' *Integrated Assessment* 3(4), 281–298.
- Manne, Alan, Robert Mendelsohn, and Richard Richels (1995) 'MERGE: a model for evaluating regional and global effects of GHG reduction policies.' *Energy Policy* 23(1), 17–34.
- Nganou, J. P. N. (2004), "Estimating the Key Parameters of the Lesotho CGE Model", International Conference "Input-Output and General Equilibrium: Data, Modeling, and Policy Analysis", Brussels (Belgium), September 2–4, 2004.
- OECD (1994), "GREEN: The Reference Manual", OECD, Paris.
- Paltsev, Sergey, John M. Reilly, Henry D. Jacoby, Richard S. Eckaus, James McFarland, Marcus Sarofim, Malcolm Asadoorian, and Mustafa Babiker (2005) 'The MIT Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA).model: Version 4.' MIT Joint

Program on the Science and Policy of Global Change Report No. 125 model: Version 4.' MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change Report No. 125.

Popp, David (2004) 'ENTICE: Endogenous technical change in the DICE model of global warming.' *Journal of Environmental Economics and Management* 48, 742–768.

Rutherford, T. F. and S. V. Paltsev (2000) "GTAPinGAMS and GTAP-EG: Global Datasets for Economic Research and Illustrative Models," September. Working Paper, University of Colorado, Department of Economics.

Sue Wing, I. (2003) 'Induced technical change and the cost of climate policy.' MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change Report 102.

Takeda, S. (2007) "The double dividend from carbon regulations in Japan", *Journal of the Japanese and International Economies*, Volume 21, Issue 3, September 2007, Pages 336-364.

Van der Werf, E. (2008), "Production functions for climate policy modeling: An empirical analysis," *Energy Economics*, Elsevier, vol. 30(6), pages 2964-2979, November.

Zhang, X. and Verikios, G. (2006), "Armington Parameter Estimation for a Computable General Equilibrium Model: A Database Consistent Approach", *Economics Discussion Working Papers*, No. 06–10, The University of Western Australia, Department of Economics.

奥島真一郎・後藤則行 (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” *日本経済研究* No.42, 2001 3.

得津一郎 (1992) “企業の生産技術構造の計量分析—パネルデータによるトランスログ費用関数の計測—”, 166(2) pp.49-63, *国民経済雑誌*, 神戸大学.