

MPRA

Munich Personal RePEc Archive

A Regional CGE Analysis of Greenhouse Gas Emissions Regulations

Shirai, Daichi; Takeda, Shiro and Ochiai, Katsuaki

19. December 2011

Online at <http://mpra.ub.uni-muenchen.de/35273/>

MPRA Paper No. 35273, posted 18. February 2012 / 03:46

A Regional CGE Analysis of Greenhouse Gas Emissions Regulations¹

Daichi Shirai^{a*}, Shiro Takeda^b, Katsuaki Ochiai^c

a The Canon Institute for Global Studies,

b Department of Economics, Kanto Gakuen University,

c Japan Center for Economic Research

19 December 2011

Abstract

Although many CGE models have already been developed for analyzing the climate policy in Japan, most of them only investigate national level impacts. However, impacts of emissions regulations are likely to vary considerably by region because there are large regional differences in household expenditure pattern and industry structure. To investigate regional impacts of greenhouse gas (GHG) emissions regulations in Japan, we construct a new multi-regional CGE model with 9 regions in Japan and estimate regional GHG emissions. We analyze impacts of 10% reduction of GHG on regional GDP, welfare and production. Our simulation shows that regions with the higher share of energy-intensive industries and thermal power generation incur the larger loss in GDP.

Keyword: Computable General Equilibrium Model, Regional Input-Output Table, Climate Change Measure, Regional Economy

JEL classification: D58, R13, Q54

¹We would like to thank Kanemi Ban, Hirofumi Kawasaki, Toshi Arimura, Makoto Sugino, Tetsuya Horie, Kohei Nagamachi, Shotaro Kumagai, Naotaka Eguchi, Tatsuya Urita, Yuriko Aoyanagi, Japan Center for Economic Research staffs and the seminar participants at the Conference of Environment Economy Policy studies for their helpful comments and suggestions. Takeda acknowledges financial support from the Mitsui & Co., Ltd. Environment Fund. We also thank Ikki Watanabe, Takamasa Ohki and Akihisa Kato for good research assistants. Of course, all remaining errors are our own.

* Shin-Marunouchi Building 11th Floor, 1-5-1 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-6511, Japan.

Email: shirai.daichi@canon-igs.org

温室効果ガス排出規制の地域間 CGE 分析²

白井大地^{a*}、武田史郎^b、落合勝昭^c

a キヤノングローバル戦略研究所,

b 関東学園大学経済学部/上智大学・環境と貿易研究センター,

c 日本経済研究センター

2011 年 12 月 19 日

要旨

エネルギー政策や温暖化対策などの政策評価のために多くの応用一般均衡モデル (CGE モデル) が開発されてきた。その多くが国内全体を一括して分析したものである。しかし、地域毎に家計の消費支出の構成や産業構造は大きく異なることから、同じ政策を実施するとしても影響は地域毎に大きく差異が生じると考えられるため、政策を検討するに当たって一国規模の影響のみを見るのでは不十分である。これまで、多地域 CGE モデルを用いて排出規制の影響を評価した例はほとんどないことから、本稿では地域間産業連関表と統合的な地域別のエネルギー投入量、温室効果ガス排出量を推計し、新たに多地域 CGE モデル (JCER 地域 CGE モデル) を開発した。温室効果ガス 10% 削減を課すシミュレーションの結果からは、鉄鋼や化学などのエネルギー多消費型産業を多く抱える地域や火力発電比率が高い地域でマイナスの影響が大きいことが分かった。

Keyword: 応用一般均衡分析、地域間産業連関表、日本の温暖化対策、地域経済

JEL classification: D58, R13, Q54

²本稿は日本経済研究センターの 2010 年度「25%削減時代の日本経済」プロジェクトを通して作成したものである。モデルの開発途上で試算した結果はすでに、日本経済研究センター (2010) で公表している。これらの過程で日本経済研究センターの「25%削減時代の日本経済」研究班メンバー、大阪大学大学院経済学研究科委託の環境経済の政策研究 研究会の参加者より有益なコメントを頂いた。本稿の作成に当たって、大阪大学経済学研究科 伴金美氏、内閣府 川崎泰史氏、上智大学環境と貿易研究センター 有村俊秀氏、杉野誠氏、堀江哲也氏に大変お世話になった。東京大学経済学研究科 長町康平氏、日本総研 熊谷章太郎氏、大和証券 江口尚孝氏、キヤノン 瓜田達也氏、キヤノングローバル戦略研究所 青柳由里子氏より有益なコメントを頂いた。また、武田は三井物産環境基金による助成を受けている。また、データの作成に当たっては、慶應義塾大学 渡邊一輝氏 (現 JFE スチール株式会社)、大木崇正氏 (現 新日鉄ソリューションズ株式会社)、東京大学経済学部 加藤明久氏にお世話になった。以上の方々には深く感謝したい。本稿に残された誤りは筆者に帰すものである。

* 連絡先: Email: shirai.daichi@canon-igs.org, 〒100-6511 東京都千代田区丸の内 1-5-1 新丸ビル 11F

1 はじめに

東日本大震災を受けて、エネルギー政策は大きな見直しに迫られている。原子力発電所(以下、原発)のあり方に関しては様々な見方があるが、いずれも省エネルギー化を進めていく方向性には変わらない。極端なケース、原発の廃止を進めていく場合でも、現状では太陽光などの自然エネルギーの出力は限定的かつ高コストなので、短期的には火力発電で代替していかざるを得ない。さらに過剰発電も相対的に発電コストが高いことや環境への負荷を考慮すると省エネを進めていくのは自然の姿と言えよう。そのため、従来からの温暖化対策の議論である排出規制や炭素税の分析は、市場メカニズムを取り入れた省エネ化の推進方法として今後も有益であり、研究を進めていく必要があるのは言うまでもない。

温暖化政策の影響を分析するに当たって、CGE モデル(computable general equilibrium model, 応用一般均衡モデル)は一般的な分析ツールになりつつある。制度変更の影響をミクロ経済学の基礎付けがあるモデルを用いて数量評価することができる点に強みがあるため、近年、CGE モデルを用いた研究が進んできた。

温暖化対策を対象とした CGE モデルの分析は、京都議定書採択、京都議定書に続く 2013 年以降の国際的な枠組みを決めるために 2009 年に開かれた COP15 およびそれ以降の議論のために、研究者や研究機関(例えば、日本経済研究センターの JCER CGE モデル、国立環境研究所の AIM モデル³など)を中心に多くの分析が蓄積されてきた。本稿でも参考にしている JCER CGE モデルを開発した武田・川崎・落合・伴(2010)は COP15 における日本の温暖化ガス排出目標設定のために開催された中期目標検討委員会において温室効果ガス 25%削減目標を実施した場合の日本経済への影響を試算している。

これらの研究は、京都議定書など国際間の協定の分析を主眼とした多国間の分析や、国内の影響を詳細に見るために一国(日本全体)にフォーカスして見るかの二通りに大別できる。しかし、一国と言っても地域によって家計の支出構成、産業構造には大きな違いがあるため、同じ制度を導入するとしても地域によって影響に温度差が生じると考えられる。温暖化対策の影響を詳細に評価するには、一国全体の分析だけでは不十分であり地域別の分析が重要だが、温暖化対策の分析には多地域 CGE モデルによって評価した例がほとんどみられない。

これまで、日本国内の産業連関表やエネルギーバランス表などの統計の整備が進んだことを受けて一国モデルでは詳細な分析が可能となった。その一方で、多地域 CGE モデルの分析が十分進んでこなかった理由には、地域別データの不足が考えられる。そこで、本稿では温暖化対策やエネルギー政策が分析可能な多地域 CGE モデル(JCER 地域 CGE モデル)を開発するとともに、利用した経済産業省の「地域間産業連関表」と統合的な地域別のエネルギー消費量や CO2 排出量を推計した。

環境分野では輸送費を考慮した空間 CGE モデルの Pongsunand and Taguchi(2011)を除いてほとんど研究が見られないが、環境以外の分野では多地域 CGE モデルを開発した例が少ないなが

³ AIM Project Team (2002) 参照

ら幾つかみられる。伴(2007)は Ramsey 型の動学的一般均衡モデルで、CGE モデルで一般的な逐次動学ではなく、理論分析で一般的な通時的な最適化の分析を可能としている。伴(2007)をベースに構築された Takeda and Ban(2010)は完全競争の静学モデルで貿易自由化の影響を地域別に分析にした研究である。本稿のモデルも Takeda and Ban(2010)を参考にしてしている。以上が国内の分析で代表的な多地域 CGE モデルの先行研究であるが、多地域 CGE モデルで温暖化対策を分析した研究は極めて少ない。

本稿と同様の問題意識で、産業連関分析による研究には、藤川・渡邊(2004)や下田・渡邊(2006)がある。全国版の産業連関表によって価格上昇を求めた後、家計調査の財分類に組み替え、地域別・所得階層別の家計負担額を分析している。これらの結果からは、暖房費のかかる寒冷な地域ほど家計負担が高まるとの結果が得られている。産業連関分析も多数の財・部門のフレームワークで行われているが、価格変化に伴う代替効果が考慮されていないこと、価格への効果のみで生産、需要に対する影響が分離されているため分析されていないこと、炭素税収の還流の効果が考慮されていないこと等の欠点がある。これに対し、CGE モデルを用いた本稿の分析では、価格変化に伴い生産、消費で生じる代替効果を考慮している、価格への効果のみならず、生産、需要への効果も分析できる、炭素税(排出権収入)の還流による効果も考慮している、個々の地域を明示的にモデルに組み込むことで、各地域への影響を直接評価しているという違いがある。

本稿のモデルは、多地域 CGE モデルの Takeda and Ban(2010)をもとに、温暖化対策の分析が可能なように修正・拡張している。経済産業省の「2005 年版地域間産業連関表」を基礎データとして、温暖化の分析に当たっては、武田・川崎・落合・伴(2010)、川崎・落合・武田・伴(2009)を参考にモデルを構築している。また、本稿のモデルを拡張することで、いくつかの応用が可能である。本稿のモデルをベースに、山崎・落合(2011)による東日本大震災を受けて夏季に計画停電が実施された場合の影響、館・落合(2011)による原子力発電所がすべての発電所で停止させた場合の影響が試算されている。

東日本大震災を受けて、海外諸国でも原発の安全性の見直しを進めているが、地球温暖化の問題自体がなくなったわけではない。これまでは、エネルギー安定供給、経済性、環境(Energy, Economy, Environment, 3E)が重視されてきたが、今後は安全性(safety)により重点を置きつつ温暖化対策を進めていくことになると思われる(3E-S)。国際的に温室効果ガスの削減を進めていく中で、今回の震災があつたとしても日本は長期的に全く削減をしない、というのは考えにくい。したがって、日本は諸外国が納得するレベルで削減を進め、国際的な温室効果ガス削減に協力をしていくことになるであろう。そこで本稿では、京都議定書よりやや厳しい目標として 90 年比 10%の温室効果ガス削減シミュレーションを実施した。

シミュレーション分析の結果、1)鉄鋼や化学などのエネルギー多消費型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生産が落ち込む、2)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が分かった。従来の産業連関分析では寒冷地ほど、家計への負担が増加するという結果であつたが、本稿のシミュレーションでは気候よりも産業構造の

違いが温暖化対策の影響を左右することが明らかになった。

本稿の構成は以下の通りである。2 節では基礎データとして利用した地域間産業連関表や地域区分、産業区分、エネルギーデータの推計方法に関してまとめている。エネルギーデータは詳細な情報が入手可能である全国版の産業連関表や、各電力会社の有価証券報告書をベースに推計している。3 節はモデルの構造で、生産関数を中心に関数の特定化に関してまとめている。4 節はシミュレーションのシナリオの設定、5 節は基本ケースの試算結果、6 節は感応度分析の結果をまとめている。感応度分析では代替の弾力性の各種パラメータの変更の他、政府の移転所得の分配方法の変更、原発の稼働率の変更、電力取引の自由化などの影響も考察している。7 節で今後の課題と本稿のまとめをしている。

2 データ

2.1 産業連関表

ベンチマークとして利用するデータは主に経済産業省の 2005 年版「地域間産業連関表」(以下、地域間表)を用いている。地域間表は 9 地域、53 部門となっており、地域区分は経済産業省の各経済産業局の管轄する都道府県に準拠している。本分析の地域区分は九州と沖縄を統合し 8 地域とした。各地域と都道府県の対応は表 1 の通りである。

表 1 地域区分

地域	域内都道府県
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	福岡、佐賀、長崎、熊本、大分、宮崎、鹿児島、沖縄

(注)地域間産業連関表では、沖縄と九州とは別の地域として扱われている。本稿では、九州と沖縄は統合した地域区分を採用した。

地域間表の他に、都道府県別に各自治体が独自に推計した産業連関表も存在する。これらの産業連関表は、各都道府県が独自に推計し公表しているため分析にはデータを統合する必要があるが、統一した推計方法を採用していないこと、地域間の財・サービスの輸出入を表す移出入のデータが不完全なため、本稿では採用しなかった。特に、移出入は取引相互の地域のデータが必要だが、各都道府県別の産業連関表では、県外への移出や県外からの移入といったように、集計された結果のみが記録されており都道府県別の記録がされていない。例えば、千葉県から神奈川県への移出、といったように統計は取られておらず、千葉県から県外への移出というようにその他の都道府県とまとめた集計値になっている。このように集計値のみの公表となっているのは、都道府県別の移出入を扱う基礎統計が存在しないためとみられる。

2.2 産業分類

地域間表は56産業だが、分析では18産業に集計している(表2)。基本的には、1部門(産業)が1財を生産するという対応関係だが、「電力」に関しては、「火力発電」と「火力以外(水力・原子力)発電」の2つの部門によって生産されるとしている。電力のモデル上の扱いは3.4節で後述する。地域間表は産業分類が粗く、温暖化分析で注目される「原油・石炭・天然ガス」、「石油・石炭製品」、「電力」などの産業に関して、詳細なデータを得ることができない。例えば電力は、全国の産業連関表であれば、火力、水力、原子力と電力の内訳の生産量や中間投入量の実績値を得ることができるが、地域間表ではそのような内訳は得られない。特に、電力業のCO₂排出量は、全産業中、最も多いため、温暖化対策を検討するに当たって詳細な分析が必要となる。このようにベースとなる地域間表のデータが粗いことから、本稿のモデルは産業への影響やエネルギーの代替などを精緻に追うにはそれほど適していない。あくまでより詳細なデータを用いた武田等(2010)のJCER-CGEモデルのような一国モデルと補完的な関係にあり、地域別の影響にどの程度の差異が生じ得るかなどを検討するのが主眼となる。

そこで本稿では、「電力」産業を「火力」と「水力・原子力」に分離するために地域間表の電力の中間投入、資本投入、労働投入のデータを火力発電比率(電源構成)で分割することとした。火力発電比率は、各電力会社の有価証券報告書などから、火力、水力、原子力別に各発電所の発電の定格出力データを集計し、それに設備利用率を乗じることで推計した(表3)。電力会社の地域区分と本稿の地域区分が異なるので、所在地をもとに発電量を本分析の地域分類別(表1)に集計している。集計の詳細は付録Aを参照されたい。

火力発電比率で「電力」を「火力」と「水力・原子力」に分割する際に、中間投入は全国版の産業連関表を見ると、水力・原子力発電には石油・石炭製品などの化石燃料は投入されていないので、水力・原子力の石油・石炭製品の投入量をゼロとした。その結果、電力の水力・原子力のCO₂排出量もゼロとなる。

表 2 産業区分

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

表 3 発電比率(%、2005 年度)

地域名	火力	水力	原子力	水力+原子力
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

(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

2.3 エネルギー消費と CO2 排出量の推計

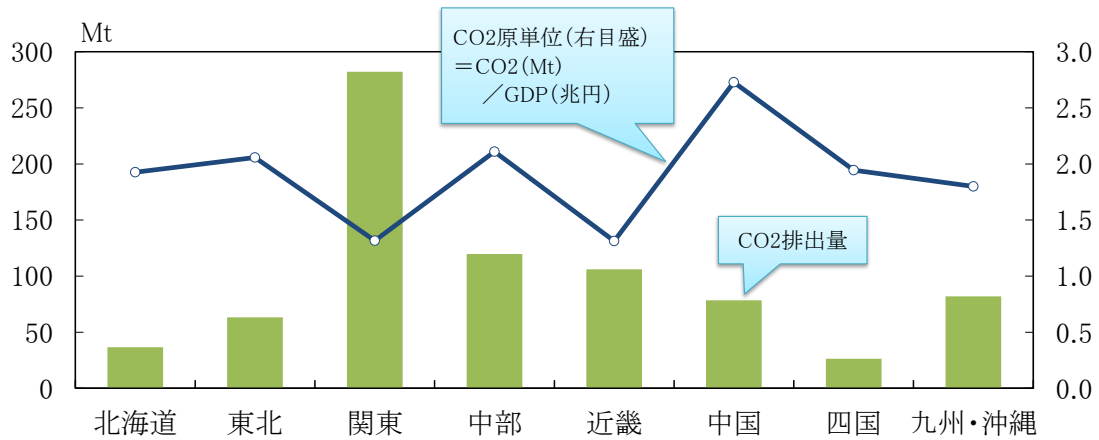
温暖化対策の効果を計るためには、地域別のエネルギー消費量や CO2 排出量のデータが必要である。日本全体であれば、国立環境研究所の「日本国温室効果ガスインベントリ報告書」や「3EID(産業連関表による環境負荷原単位データブック)」など産業別に細かく排出量がまとめられている。しかし、これらの統計には地域別や都道府県別かつ産業別ではまとめられていない。そこで本稿では、地域間表の中間投入や最終消費のエネルギー財の消費量から CO2 排出量を推計した。

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。これらを最終消費や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。このような場合は、CO2 は排出されない。

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「石油・原油・天然ガス」は、「石油」、「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「石油・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。

図 1 地域別 CO2 排出量と CO2 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「日本国温室効果ガスインベントリ報告書」、「3EID」を基に独自に推計

具体的には、1) 全国版の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、「石炭・石油製品」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) 「日本国温室効果ガスインベントリ報告書」や 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⁴。

以上のように、排出係数や燃焼比率を求めることで、地域別・産業別の CO2 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、CO2 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。

3 モデルの構造

3.1 モデルの特徴

モデルの構造については、武田等(2010)や川崎等(2009)らの JCER-CGE モデルを参考にしている部分が多い(表 4)。相違点としては、まず、JCER-CGE モデルでは部門によって複数のタイプの生産関数を利用していたが、複数の関数形を利用する場合にはパラメータ設定の作業が繁

⁴ 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。

雑になることから、本研究では全ての部門で同じタイプの生産関数を利用している。また、一国全体ではなく地域を扱っていること、データの制約から部門分類が粗いこと、逐次動学モデルではなく静学モデルであるといった相違点もある。JCER-CGE モデルは逐次動学で、1 期間 1 年として 2005 年から 2020 年まで 1 期間ずつ繰り返し解いている。逐次動学モデルを解くには、BaU の設定として、毎年の成長率の設定や技術進歩率、エネルギー投入の効率性の改善などの設定が必要である。シミュレーションの分析結果は、BaU の設定に大きく依存するため、コンセンサスが得られる設定が必要である。今回の地域間のモデルでは、地域別の影響度合いを評価するのが目的のため逐次動学モデルではなく、静学モデルを採用した。地域別の影響度合いが主眼であれば、2020 年の経済を想定する必要がない。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非常に難しいことも、静学モデルを採用した理由である。静学モデルを採用していることから、JCER-CGE モデルにおいて考慮されていた新エネルギーや新技術といった要素はここでは考慮していない。

3.2 生産関数の構造

生産関数の構造は基本的にいずれの産業も、図 2 の CES 型生産関数を仮定する。それぞれの弾力性は、表 5 を参照。図 2 の CES 関数では、まず電力と電力以外のエネルギーが CES 関数で統合される。その後、資本と統合される。さらに農業、鉱業の産業は資本とともに特殊要素が統合される。それが労働と CES 関数で統合され、合成エネルギー・本源的要素 (EVA) となる⁵。排出規制の下では、エネルギーは投入量に応じて排出権を政府から購入する必要がある。最後に合成エネルギー・本源的要素がその他の非エネルギー中間財とともに Leontief 型で投入されるという形で生産が行われる。以上の構造により、その他部門の生産においては、エネルギー（電力含む）、資本、労働の間には代替が働くが、「非エネルギー中間財の間」、及び「非エネルギー中間財とエネルギー・資本・労働の間」には代替が働かないことになる。JCER-CGE モデルでは、資本と労働が先に統合され本源的生産要素となり、そのあとエネルギーと統合されており、構造がやや異なる。

⁵ JCER-CGE モデルを含め多くの温暖化対策分析用 CGE モデルでは、資本と労働が統合された後に、それがエネルギーと統合されると仮定している。しかし、一般にエネルギーと資本は代替しやすいのに対し、エネルギーと労働は代替しにくいと考えられることから、本研究では、資本とエネルギーが統合された後に、それが労働と統合されるという形式を仮定している。

表 4 JCER 地域 CGE モデルの基本的特徴

特徴	説明
18 部門・21 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)は地域別の代表的家計の行動から導かれる。
静学モデル	2005 年の地域間表をベンチマークに、制約を課した結果と比較。2020 年を明示的に扱っていない。
小国モデル	交易条件(輸出価格と輸入価格の比率)が一定な小国モデル。海外を明示的には扱わない。

図 2 生産関数の構造

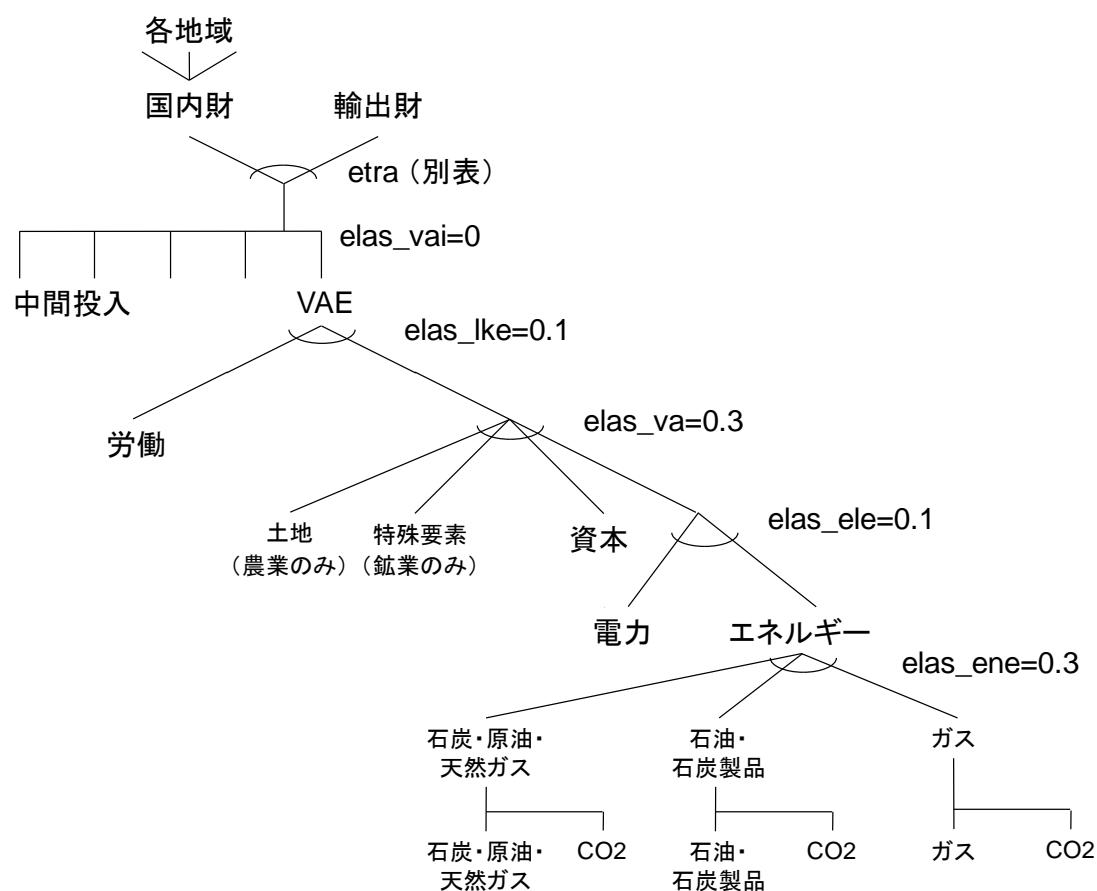


表 5 パラメータの設定

代替の弾力性	記号	数値
資本・エネルギー、電力、特殊要素	elas_va	0.3
VAEと中間投入の代替	elas_vai	0
資本・エネルギーと労働	elas_lke	0.1
電力と電力以外のエネルギー	elas_ele	0.1
電力以外のエネルギー間	elas_ene	0.3
電力(火力と水力・原子力)統合における代替の弾力性		1
効用関数		
消費と貯蓄	elas_u	1
上記以外の各財	elas_c	0.3
国内財の地域間の代替の弾力性 (elas_dd)		
鉄鋼		1
電力		0
ガス		0
商業		0
上記以外		8
	国内財と輸出財の 変形の弾力性, etra	国内財と輸入財の合成の 弾力性, elas_dm
農林水産業	1	1.2
鉱業	1	0.45
石炭・原油・天然ガス	0.1	4.23
飲食料品	1	1.25
その他製造業	1	1.8
化学	1	1.65
石油・石炭製品	1	1.05
鉄鋼	1	1.5
非鉄金属	1	2
一般機械	1	2.05
電気機械	1	2.2
輸送機械	1	1.55
建設	1	0.95
電力(原子力・水力+火力)	0	0
ガス	0	0
商業	0.5	0.25
運輸	0.5	0.25
その他サービス	0.5	0.39

生産関数においてエネルギー中間財と非エネルギー中間財に分けているが、エネルギー財である「原油・石炭・天然ガス」、「石油・石炭製品」、「ガス」であっても、用途が非燃焼の分については生産関数において非エネルギー中間財として扱っている。分割の方法は2.2節で議論した通りである。また、非燃焼用途でのエネルギー投入に関しては当然 CO2 の排出はないと仮定している。

生産された財は国内に供給されるか輸出されることになる。生産された財の国内供給、輸出への配分の決定は、CET 関数(constant elasticity of transformation 関数)に従って行われると仮定している。これは、国内向けの財と輸出向けの財が不完全代替であることを意味している(変形の弾力性は表5の ϵ_{tra})。

3.3 特殊要素

農業、鉱業、水力・原子力の生産には特殊要素が必要としている。これらの要素を入れることで炭素制約を課しても生産のシフトは資源制約が特殊要素のないモデルの結果よりも緩やかになると考える。特に、農業は土地、水力・原子力発電は水源や発電所の最大出力といった賦存量などに依存する。ほとんど輸入に依存する鉱業も、わずかながら国内で生産しているが、天然資源埋蔵量に依存するため資源制約を課している⁶。

農業はエネルギー投入比率が低いため、炭素制約を課すと生産が農業に過剰にシフトし過ぎてしまう。農業へ生産の過剰シフトを防ぐために、農業部門の生産には特殊要素として「土地」が必要であるとした。

いずれの特殊要素も資本投入量を分割してデータを定義している。農業の土地に関しては、GTAP 6 データの土地の投入額を利用して資本ストックに占める土地の投入比率を計算した。それによると資本投入額が2.2兆ドル、土地の投入額0.75兆ドルのため、資本ストックに占める土地の投入比率 $=0.75 \text{ 兆ドル} / (2.2 \text{ 兆ドル} + 0.75 \text{ 兆ドル}) = 26\%$ となる。この比率で、資本投入量を分割した。

同様に、鉱業の特殊要素の比率は57.3%、水力・原子力は70%とした。これらの設定は、JCER-CGE モデルと共通である。なお、水力・原子力の特殊要素に関しては、非エネルギー中間財と同様に生産関数の第1段階で投入されると仮定している。これは特殊要素の量によって水力・原子力の発電量を外生的に設定するためである。

⁶日本は原油、石炭、天然ガスのほとんどを輸入に頼っており、鉱物燃料採掘部門の生産は極めて小さい。資源の量に生産が制約されるので、輸入鉱物燃料の価格が上昇しても国内生産は大きく変化しない。

図3 電力の統合

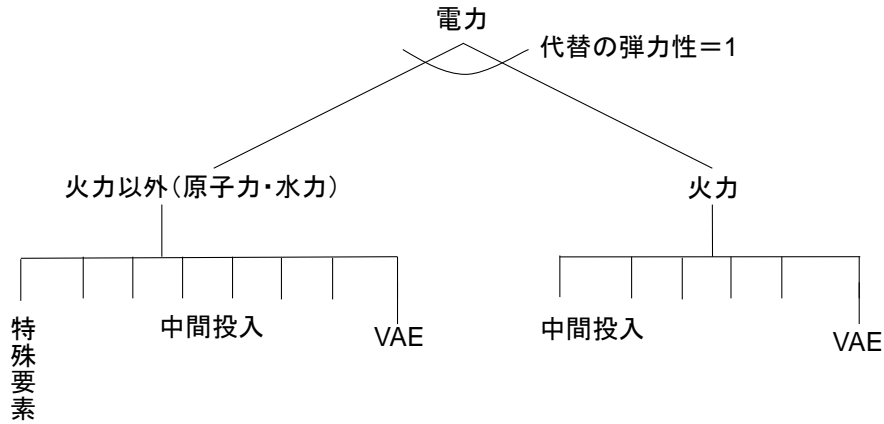
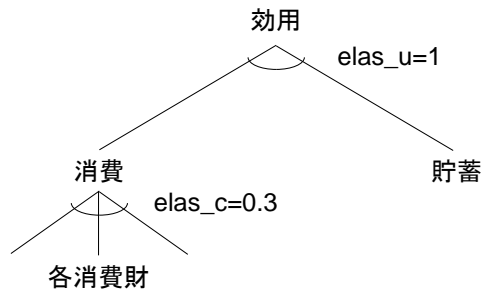


図4 効用関数



3.4 電力の統合

電力は「火力」、「水力・原子力」の2つの部門によって生産・供給される。どの方式によって発電されても電力に変わりはないが、ここでは2つの方法によって生産された電力は不完全代替であり、図3のCES関数によって統合されると仮定する。このような仮定を置く理由は、完全代替と仮定した場合、「水力・原子力」による電力供給が固定されていることもあり、火力発電の費用条件だけで電力価格が決まってしまう、その結果、排出規制導入によって電力価格が極端に大きく変化してしまうからである。このように極端に電力価格が変化するという結果を避けるため、異なる電源による電力の間に不完全代替を仮定している。

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⁷、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、地域間表では対応するデータがない。そこで、労働所得税は「家計の所得・富等に課される経常税(支払)」と定義し、資本所得税は「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と定義した。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、

⁷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。

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。

3.6 家計

モデルでは地域ごとに代表的家計が存在すると想定する。この代表的家計の行動により、各地域の最終消費、貯蓄(投資)が決まることになる。家計の効用関数には図4のCobb-Douglas関数を仮定している。Cobb-Douglas型であるので、貯蓄率は一定となる。この貯蓄は投資をファイナンスするために利用される。

家計は、資本、労働、特殊要素(土地など)を所有し、その賦存量は一定とする。家計より企業にレンタルし、企業から家計へ要素所得が支払われる。資本と労働は地域間で移動しないと仮定している⁸。家計の所得は、要素所得、税のトランスファー、排出権収入の還付がある。

3.7 政府

政府は本来であれば、中央政府と地方政府を分けて、モデル化することが、現実的かもしれないが、データが限られている上、モデルが複雑化することから、単一の政府のみを想定する。政府の役割は、各地域から税収を受け取り、各地域に税の再分配をするとともに政府支出をすることのみである。

政府の行動には支出側と収入側がある。各地域の「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、政府支出はシミュレーション分析において中立的となる。

次に、政府の収入であるが、収入には関税、間接税、資本・労働所得税の税収がある。政府はこの収入から、政府支出を支払い、残りを家計に一括でトランスファーする⁹。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。本稿のモデルでは、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。還付方法はシミュレーションの4節で詳述する。

⁸現実には地域間での労働、資本の移動は存在する。しかし、生産要素の移動は財の移動程はスムーズに行われず、しかもそれは要素価格のみならず、行政サービスの水準等、複雑な要因に依存して決まってくる。適切な形で生産要素移動をモデルに導入することは容易ではなく、さらに静学モデルを利用していることから、本稿では生産要素の地域間の移動は行われないと仮定している。要素移動を考慮することは今後の課題としたい。

⁹ 総税収を T 、地域 r の政府支出額を G_r 、地域 r の家計へのトランスファーを TRN_r とすると、

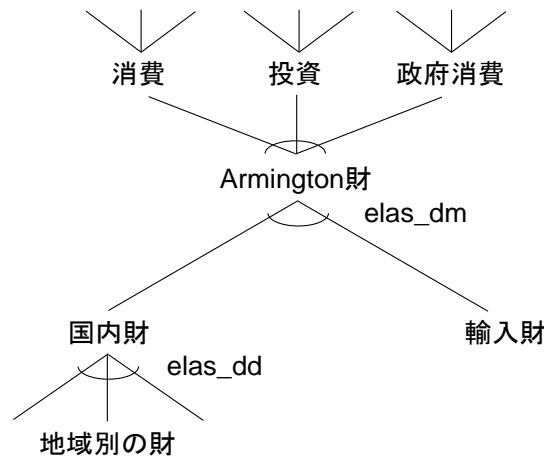
$$\sum_r TRN_r = T - \sum_r G_r$$

という関係が成立する。ベンチマークにおける各地域に対するトランスファーの額は

$$TRN_r = \text{消費支出} + \text{投資支出} + \text{純輸出} - \text{要素所得}$$

という関係により導出している。シミュレーションでは政府収入の変化に伴い、このトランスファーの額も変化することになるが、トランスファーの額のシェアが一定に保たれると仮定している。排出権収入については、以上のトランスファーとは別に第4節で説明する方法により各地域の家計に分配している。

図 5 国内財・輸入財の統合 (Armington 統合)



(注) 代替の弾力性である $elas_dd$ 、 $elas_dm$ の設定値は表 5 参照

3.8 貿易

本稿は、日本の温暖化対策が国内の個々の地域にどの程度、影響を与えるかを分析するのが目的であるため、本稿では JCER-CGE モデルと同様に、海外を一括りに扱い、交易条件 (輸出財と輸入財の交換比率) を外生的、かつ一定とする小国モデルを想定している。

各財の輸出入の量・額はともに変化するが、多くの小国 CGE モデルと同様に、貿易収支がベンチマークにおける値に常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 (これは国内の貯蓄・投資の差額が一定に保たれるということを意味する)。また、多くの CGE モデルと同様に、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 仮定を置いている。国内財と輸入財は CES 型関数を通じて統合する (図 5)。この Armington 財は、中間投入、最終消費、政府支出、投資のために利用されることになる。

3.9 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 CO₂ 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 CO₂ 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

$$p_i = \tilde{p}_i + \varepsilon_i p^{\text{CO}_2}$$

となる¹⁰。ただし、 \tilde{p}_i はエネルギー財 i の元々の価格、 p^{CO_2} は排出権価格、 ε_i はエネルギー財 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

¹⁰排出係数 ε 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。

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。オークション方式であるので、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。

なお、本稿のモデルの性質上、炭素税と排出権取引は同じ効果を持つ。

4 シミュレーションのシナリオ

本稿のモデルでは、CO2 削減量の設定の他に、表 6 で挙げたシミュレーションが可能となっている。政府案には、現在のところ地域毎の排出権の還流方法、排出規制の具体案は無いが、地域間でエネルギー多消費型産業シェア、景気動向の違いもあることから、実際に排出規制が施行される段階で、地域間で異なる政策オプションが検討される可能性がある。シミュレーションの計算は、GAMS の Solver PATH と Solver MPSGE を利用して行われる¹¹。以下、シミュレーションの内容に関して詳述する。

表 6 シミュレーションのオプション

排出権収入の地域への移転	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
排出規制	①地域別に温室効果ガス 10%削減 ②日本全体の温室効果ガス 10%削減
電力価格	①地域別に異なる電力価格 ②全国同一の電力価格

4.1 排出権収入の地域への移転

政府が徴収した排出権収入の利用方法はいくつか考えられる。例えば、家計に還付する、政府支出に利用する、何らかの補助金に利用する等である。排出権収入の用途によって排出規制の効果が変わってくる可能性が高い。その意味で、排出権収入の用途をどう設定するかは分析において重要な意味を持つ。しかし、現時点では排出権取引を導入した際の収入の用途が明確にはなっていないことから、本研究では、他の多くの分析と同様に家計に一括 (lump-sum) で還付するという方法を選択する。さらに、家計に一括で還付するといっても、多地域のモデルであることから、どのように各地域の家計の間の配分を決定するかを選択がある。ここでは、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するという 2 つを用意している。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。排出規制が課されると、

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

¹¹ 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。

だけ、政府に排出権収入が発生する。①のように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ということは、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い。人口は表 7 にまとめた。②は、文字通り排出権収入が発生した地域の家計にそのまま還付している。

表 7 人口(2005 年)

	万人	全国比(%)
北海道	563	4.4
東北	963	7.5
関東	5,080	39.8
中部	1,351	10.6
近畿	2,171	17.0
中国	768	6.0
四国	409	3.2
九州	1,471	11.5

(資料)総務省「国勢調査」

4.2 排出規制

温室効果ガス削減目標を①地域別に課すか、②日本全体に課すか、と2通りのオプションがある。②の場合、限界削減費用が低い地域で大きく削減し、すでに限界削減費用が高い地域はあまり削減しない、という調整が可能である。①は限界削減費用の大きさに依らず、地域に対して一律に排出規制を課す。②は限界削減費用が各地域で等しくなる。

4.3 電力価格

電源構成によって、排出規制による電力部門への影響が地域毎に異なる。火力の発電比率が大きい地域ほど排出規制によって電力価格が上昇しやすくなる。電力価格の影響をみるために、①地域別に異なる電力価格と、②全国同一の電力価格のシミュレーションができるようにした。①のケースは②よりも現実的で、電力は電力会社相互間での融通は限定的であり、消費者や企業は自分のいる地域の電力会社から電力を購入することになる。実際、電力価格は、電力会社毎に異なる設定がされている。②のケースでは、火力の発電比率が高い地域の負担が水力や原発の発電比率の高い地域に転嫁されることとなる。

5 メインシナリオのシミュレーション結果

ここではメインシナリオとして、

- (a). 日本全体の CO2 を基準ケースから排出規制によって 05 年比 21%削減(90 年比

10%削減に相当)

- (b). 一人当たりの額が同額となるように、各地域の家計に排出権収入を還元
- (c). 排出規制は日本全体に課す。地域別に削減率が異なることを許容
- (d). 電力価格は地域毎に異なる。

と設定して分析した結果を主に紹介する。その他のオプションは、感応度分析で影響を確認する。

下記ではシミュレーションの結果とBaUである2005年地域間表のベンチマークデータを比較する。まず、地域別の結果を集計した全国の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る(図6)。JCER-CGEモデルなどの結果と、ほぼ同様である。

次に地域別にGDPの影響を見ると(図7)、エネルギー多消費産業の生産比率が高い地域や化石燃料を使う火力発電の発電比率の高い地域ほど、GDPの落ち込みが大きいことが分かった。これらの比率が高い地域ほど、エネルギー価格や電力価格の上昇によって生産コストが高まるためと考えられる。

図6 産業(粗生産)への影響(全国)

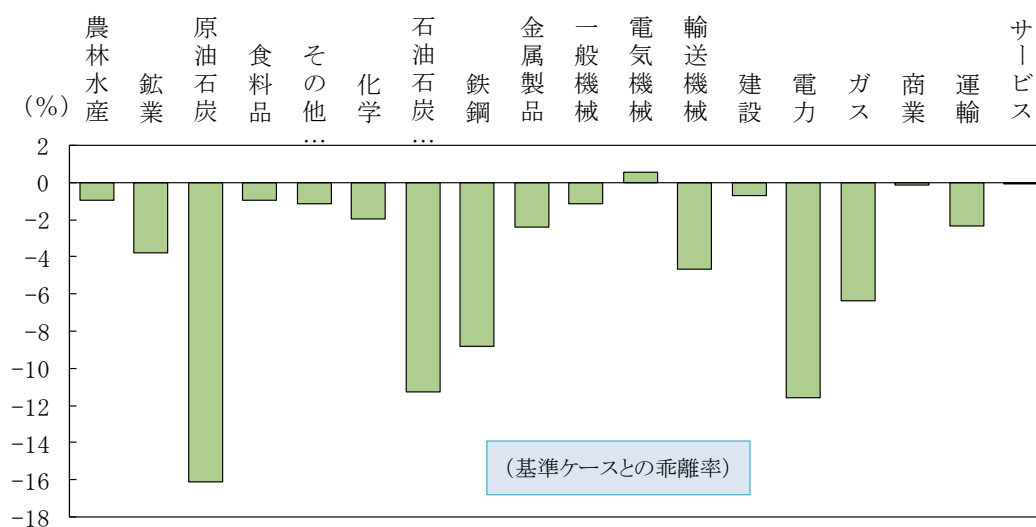
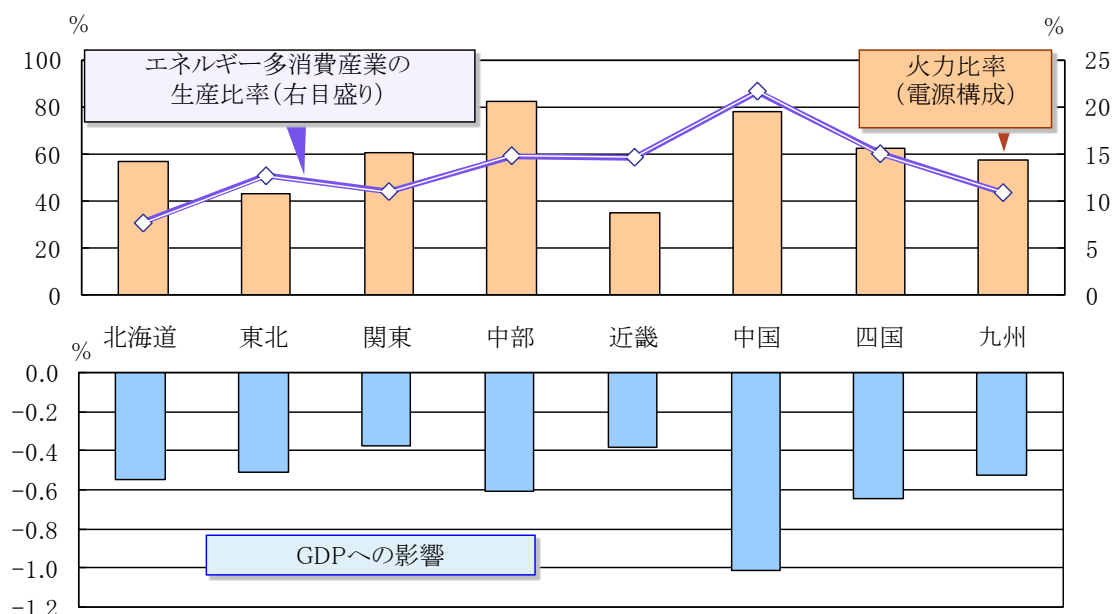


図 7 排出規制の地域別 GDP への影響とエネルギー多消費産業の関係



(注) 上段が構成比(%)、下段が基準ケースとの乖離率(%)。

エネルギー多消費型比率=鉄鋼、化学、電力、その他製造業

(資料)経済産業省「地域間産業連関表」、電力会社別「有価証券報告書」を元に筆者作成

産業構造を詳細に見るために、エネルギー多消費産業(鉄鋼、化学、電力、その他製造業)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 8 である。

これを見ると中国地方にはこれらのエネルギー多消費型の産業が集中している。逆に関東や東北、北海道はシェアが小さい。エネルギー多消費産業では、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。

もう 1 つの地域差が生じる要因が各地域の電源構成である(図 7 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気料金が上がりやすく、火力に依存しているほど上がり易くなる(図 9)。本分析では電力会社相互間での融通は限定的であり、消費者や企業は自分のいる地域の電力会社から電力を購入するとの想定を置いている。この点で原子力発電所が少なく、石炭などを燃料とする火力発電への依存度が高い地域ほどは不利になる。したがって、日本全体では、エネルギー多消費産業のウエート低下や、電源の非火力シフトによって、CO2 効率が高まる。

現状では電力は、地域独占状態だが仮に電力の自由取引が実現することで電気料金が全国同一になれば、地域差はならされる可能性がある。電力会社間で電気を自在に融通できるようにする次世代送電網(スマートグリッド)の整備などで、CO2 効率の高い電力会社がより多くの需要を満たすことができれば、日本全体の負担軽減につながる。電気料金を同一にしたシミュレーションは、6 節の感応度分析で影響を確認している。

図8 エネルギー多消費産業の生産比率と温暖化対策と基準ケースの生産の乖離率

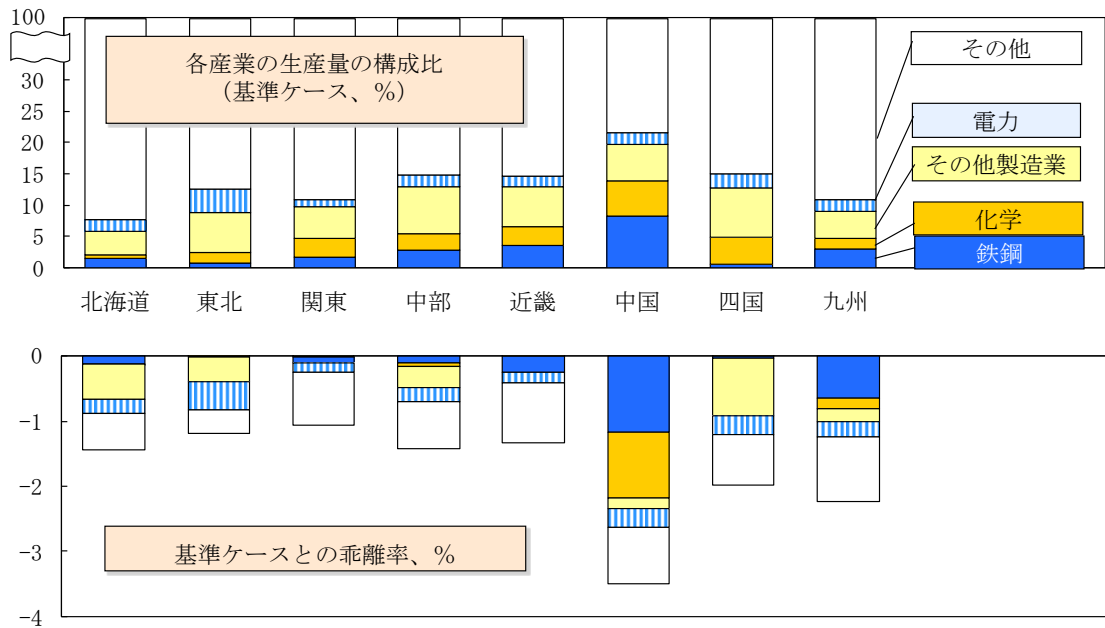
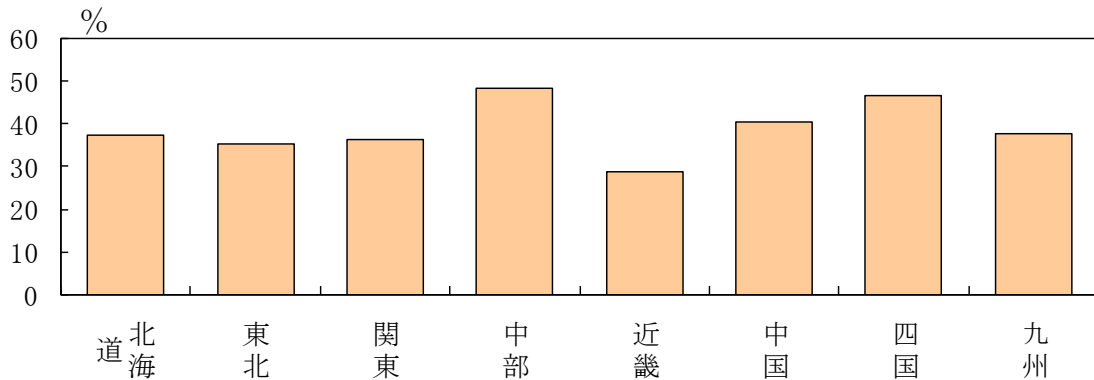


図9 電力料金上昇率



直感的には、暖房費がかさむ寒冷地の影響が大きくなると考えられるが、これらの結果を見ると、温暖化対策は家計支出の構成よりも各地域の産業構造に依存するということが分かる。産業構造は温暖化対策による生産コストの上昇を通して、生産自体に影響を及ぼすだけでなく、賃金を通して家計にも大きな影響を及ぼすと考えられる。また、年間を通じた家計支出の構成において、地域差がさほど大きくないことも要因に挙げられる。産業連関表の価格分析では、財の生産と価格決定のプロセスが分離されているため、財の価格への影響しか捉えられず、以上のような価格上昇に応じた需要や生産の影響を分析できない。

図 10 家計所得・支出の主な変動要因(1 世帯当たり)

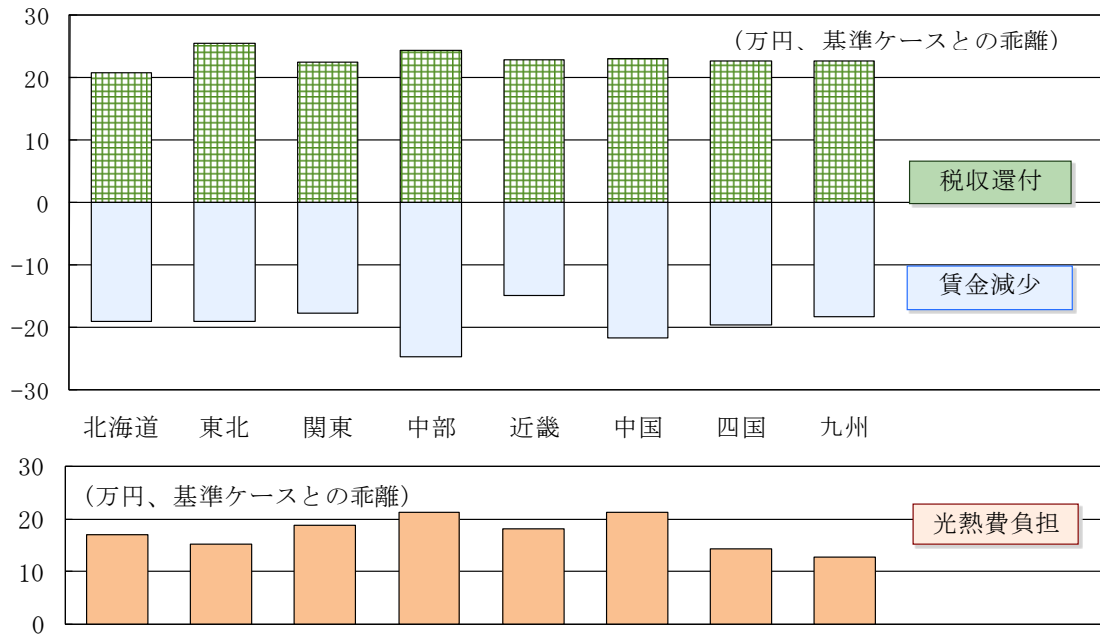


図 10 は、本モデルの結果を他の統計データも加味して¹²1 世帯当りに換算したものである。賃金の減少は地域によって差があるが、15 万円台から 25 万円弱となる。これに対し、光熱費の負担増は 13～21 万円程度にとどまる。賃金の減少は中部、中国で厳しいのに対し近畿で相対的に軽く、これは前述の生産構造や電力料金の違いを映している。光熱費負担はやはり中部、中国で大きく、北海道、東北という寒冷地では逆に少なめになる。電源構成に起因する電力料金上昇率の差がここでも効いている。

政府が徴収した排出権収入は一括給付金の形で家計に還元すると想定している。国民 1 人ずつ均等割で還付すると、1 人 9 万円となり、1 世帯あたりでは 21 万円から 27 万円に相当する。地域間の差は、世帯人員数が地域により異なるためである。

以上の効果を等価変分で確認すると(表 8)、家計にとっても寒冷地で負担が高まるというよりは、産業構造の違いによる効果の方が大きいことが分かる。分析結果の詳細は、表 8 でまとめている。

¹²世帯数は国勢調査を分析の地域区分に合わせて集計。賃金はモデルの雇用者報酬の値を世帯数で除した。光熱費はモデルの「原油・石炭・天然ガス」「石油・石炭製品」「電力」「ガス」への民間消費(地域内の額で移入、輸入を除く)を世帯数で割ったもの。

表 8 温暖化ガス 10%削減の影響

	全国	北海道	東北	関東	中部	近畿	中国	四国	九州
域内総生産(GDP)	-0.5	-0.5	-0.5	-0.4	-0.6	-0.4	-1.0	-0.6	-0.5
家計消費	-0.7	-1.4	-0.3	-0.7	-1.5	0.0	-1.6	-1.0	-0.6
設備投資	-0.2	-0.7	0.8	-0.2	-0.7	0.3	-1.2	-0.5	-0.5
粗生産(全産業)	-1.4	-1.4	-1.1	-0.9	-1.4	-1.1	-3.5	-1.9	-2.2
粗生産(製造業)	-3.1	-8.6	-1.3	-1.5	-1.9	-2.2	-8.5	-6.1	-10.0
粗生産(エネ多消費産業)	-4.3	-11.3	-6.2	-1.1	-4.7	-0.9	-12.1	-7.4	-11.3
電力価格	35.9	37.5	35.5	36.3	48.4	28.7	40.3	46.5	37.8
電力生産	-11.6	-12.5	-10.9	-10.9	-13.0	-9.6	-15.3	-13.5	-12.2
家計エネ消費(支出額)※	25.5	24.7	26.6	24.7	26.9	23.0	24.7	28.2	25.2
家計エネ消費(価格)	38.5	39.4	39.9	37.9	43.0	33.9	40.1	44.3	38.9
家計エネ消費(数量)※	-10.1	-10.5	-9.5	-9.6	-11.2	-8.2	-11.0	-11.2	-9.9
賃金	-3.5	-4.6	-4.0	-3.1	-4.0	-2.9	-4.2	-4.4	-4.3
CO2削減量(05年比)	-20.7	-20.0	-21.8	-18.7	-20.5	-20.0	-24.5	-21.9	-23.7
CO2削減費用(万円/1トン)	1.2	--	--	--	--	--	--	--	--
等価変分(マクロ、10億円)	-2367	-204	-16	-971	-563	45	-333	-98	-227
等価変分(1人当たり、万円)	-1.9	-3.6	-0.2	-1.9	-4.2	0.2	-4.3	-2.4	-1.5

(注) 単位の明記がないものは、基準ケースからの乖離率%。実質化は全国のCPIを利用。

エネルギー「多消費」産業は鉄鋼、化学、その他製造業、電力の4業種。

粗生産は中間投入を含んだ生産量。域内総生産(GDPに相当)は付加価値部分のみを計測。

等価変分とは、消費量・パターンの変化が(価格が仮に元のままだと想定した場合)どの程度の所得変化に対応しているかを計算したもの。

6 感応度分析

6.1 シミュレーションの設定

本稿の主な分析結果は、エネルギー多消費産業の生産比率や火力発電比率が高い地域ほどエネルギー価格を通じて、生産への影響が大きく出ることである。本節では3節で設定した代替の弾力性(EOS)や4節のシミュレーションの設定がどれだけ以上のような結果に影響を与えているかを分析する。特に、代替の弾力性は、参照に適した実証分析の例が少なく、恣意的に設定したものが多く存在するので、設定の影響を確認する必要がある。具体的な設定は下記の通り。

- A. 主要なEOSすべて (A1=0.5倍、A2=2倍)
- B. 国内財と輸入財のEOS (B1=0.5倍、B2=2倍)
- C. 電力とその他エネルギーのEOS (C1=0.5倍、C2=2倍)
- D. エネルギー間のEOS (D1=0.5倍、D2=2倍)

- E. 資本と労働の地域内の産業間の EOS (E1=1, E2=2, E3=8 に設定)¹³
- F. 政府の分配を同額に移転
- G. 地域毎に温暖化ガスを 90 年比 10%削減
- H. 原子力の稼働率 (H1=0%、H2=50%)
- I. 電力価格平準化

以下、シミュレーションの内容に関して簡単に説明し、感応度分析の結果をまとめる。

A では主要な EOS を一律、0.5 倍、2 倍に設定した影響を考察している。変更する EOS は elas_va(資本、特殊要素、電力・エネルギーの EOS)、elas_ele(電力とエネルギーの EOS)、elas_ene(エネルギー間の EOS)、elas_lke(労働と資本・エネルギーの EOS)、elas_ene(エネルギー間の EOS)、elas_dd(地域間の EOS)、elas_dm(国内財と輸入財の EOS)、etra(輸出財と国内財の EOS) である。

B～E はそれぞれ単一の EOS のみを変更したケースを扱っている。特に、C、D は電力とその他エネルギーの EOS とエネルギー間の EOS であり温暖化対策を考察しているため直接関係するパラメータである。エネルギー毎に炭素排出量は異なるので、排出規制が実施された場合、生産者は排出量が少ないエネルギーに代替するが、その代替の度合が C、D の値に左右されるためである。

温暖化対策を実施する場合、規制や排出権収入の還付方法の具体案が提示されていないため、F と G に関しては仮想的な方法を考察することでメインシナリオとの違いを考察するのが目的である。F は 4.1 節で論じた排出権収入の政府から家計への移転方法の設定である。メインシナリオでは、排出権収入は人口比に応じて(＝一人当たり排出権収入が同額で)地域に還付され、エネルギー多消費産業や火力発電比率が高い地域では、生産や効用のマイナス幅が大きくなる。F の方法では排出権収入の支払があった地域にそのまま還付することになり、メインシナリオと比べて効用の落ち込みの相殺が見込まれる。

全国で同一の削減率を仮定するメインシナリオではエネルギー効率の悪い地域や産業を優先して効率化を進める方式であるが、G の場合、地域間の産業構造を考慮に入れずに一律で削減を進める方式である。この方法だと、限界削減費用が小さいエネルギー多消費産業の削減幅は小さく、限界削減費用が大きいサービス産業の立地が多い地域程、相対的に削減幅が大きくなる。

H は原子力発電の稼働率に関して見ている。東日本大震災を受けて、今後のエネルギー政策によっては、原発の稼働率が低い状態が続いたり、原発の廃炉を進めていく可能性がある。ここでは低稼働率の状態が続いたケースを検討する。具体的には、水力・原子力発電の特殊要素を減らすことで稼働率を調整している¹⁴。特殊要素は中間投入と同様、代替の弾力性がゼロである

¹³基準ケースでは無限と設定している。尚、資本と労働は、3.6 節で論じたように地域間の代替(移動)は一切認めしていない。

¹⁴ 原発のみを分離して扱った方がより厳密だが、地域間表の分類が粗いため水力・原子力は分離しない扱いにしている。

ので、特殊要素なしでは発電できない。特殊要素が減ると比例して水力・原子力の発電量が減少することになる。

I は 4.3 節で論じた電力価格を全国で同一化のシミュレーションである。メインシナリオでは、地域毎に異なる電力価格を仮定している。このオプションでは全国同一の価格は政府による価格規制によってではなく、電力の自由取引により実現するものである¹⁵。発電コストが高い地域は、より発電コストが安い地域から電力を購入できるので、より効率的な状態が期待できる。

6.2 感応度分析の結果

結果は表 10、メインシナリオとの差は表 11 にまとめてある。A のケースでは水準に大きな差が生じているものの、それ以外のケースではメインシナリオと比べて大きな差はない。また、すべてのケースに関して、本稿の結論が変わるほどの定性的な影響はないため、本稿の結果は一定の頑健性を有することが確認された。特に、温暖化対策の分析で関係が強いとみられるパラメータである、C や D の代替の弾力性の影響は軽微であることが確認された。H では原発の稼働率の影響をみているが、メインシナリオとの差は稼働率が 10%でも▲0.04 程度と軽微となっている。

排出権収入の政府から家計への還元方法は GDP への影響はほとんどないが、効用に大きな影響を与えるため、別途、表 11 で影響を分析した¹⁶。メインシナリオをみると、効用水準の減少幅は GDP の減少幅と平行であるが、還流方法を変更すると、エネルギー多消費産業が多く立地する中国では最大のマイナス幅からプラスに転じている。排出権が 1 トン当たり 1.2 万円と非常に高額になるため、家計に還付される金額も高額になるためとみられる。排出権収入の再分配方法は効用水準に大きな影響を与えるので、慎重な検討が必要となる。

¹⁵ 東日本と西日本では電力の周波数が異なるが、ここでは周波数の問題は無視している。

¹⁶F を除いて効用と GDP の影響はほぼ平行であるため F 以外のケースでは効用の感応度分析は省略した。

表9 GDPに対する感応度分析（基準ケースとの乖離率）

	主要なEOSすべて×0.5		主要なEOSすべて×2		国内財と輸入財の弾力性×0.5	国内財と輸入財の弾力性×2	電力とその他エネルギーのEOS×0.5	電力とその他エネルギーのEOS×2	エネルギー間のEOS×0.5	エネルギー間のEOS×2
	メインシナリオ	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	
北海道	-0.54	-0.93	-0.35	-0.55	-0.54	-0.55	-0.53	-0.56	-0.51	
東北	-0.51	-0.87	-0.31	-0.51	-0.50	-0.52	-0.49	-0.52	-0.48	
関東	-0.37	-0.63	-0.24	-0.37	-0.37	-0.38	-0.36	-0.38	-0.35	
中部	-0.61	-0.96	-0.42	-0.61	-0.60	-0.62	-0.59	-0.63	-0.57	
近畿	-0.38	-0.66	-0.24	-0.39	-0.38	-0.39	-0.38	-0.40	-0.36	
中国	-1.01	-1.49	-0.72	-1.01	-1.01	-1.02	-0.99	-1.04	-0.95	
四国	-0.64	-1.04	-0.43	-0.64	-0.64	-0.65	-0.62	-0.66	-0.60	
九州	-0.53	-0.89	-0.34	-0.53	-0.52	-0.54	-0.51	-0.54	-0.50	
全国	-0.48	-0.79	-0.31	-0.48	-0.47	-0.48	-0.46	-0.49	-0.45	

	KとLの地域内・産業間のEOS			政府の分配を同額に移転	地域毎に25%削減	原子力の稼働率10%	原子力の稼働率50%	電力価格平準化	
	E1	E2	E3						F
北海道	-0.54	-0.54	-0.54	-0.54	-0.54	-0.57	-0.59	-0.57	-0.63
東北	-0.51	-0.50	-0.50	-0.51	-0.51	-0.42	-0.56	-0.54	-0.46
関東	-0.37	-0.38	-0.37	-0.37	-0.37	-0.45	-0.40	-0.39	-0.57
中部	-0.61	-0.61	-0.61	-0.61	-0.61	-0.62	-0.67	-0.64	0.77
近畿	-0.38	-0.38	-0.39	-0.39	-0.38	-0.41	-0.41	-0.40	-0.73
中国	-1.01	-0.99	-0.99	-1.00	-1.02	-0.71	-1.10	-1.06	-1.03
四国	-0.64	-0.63	-0.63	-0.64	-0.64	-0.57	-0.70	-0.67	-0.20
九州	-0.53	-0.52	-0.52	-0.53	-0.53	-0.41	-0.57	-0.55	-0.64
全国	-0.48	-0.48	-0.48	-0.48	-0.48	-0.48	-0.51	-0.50	-0.46

表10 メインシナリオとの差

	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
北海道	-0.39	0.20	0.00	0.01	-0.01	0.02	-0.02	0.04
東北	-0.37	0.19	-0.01	0.01	-0.01	0.02	-0.02	0.03
関東	-0.26	0.13	0.00	0.00	-0.01	0.01	-0.01	0.02
中部	-0.35	0.19	0.00	0.01	-0.01	0.02	-0.02	0.04
近畿	-0.28	0.15	0.00	0.00	0.00	0.01	-0.01	0.02
中国	-0.48	0.28	0.00	0.00	-0.01	0.02	-0.03	0.06
四国	-0.40	0.21	0.00	0.00	-0.01	0.02	-0.02	0.04
九州	-0.36	0.19	-0.01	0.01	-0.01	0.02	-0.02	0.03
全国	-0.31	0.17	0.00	0.00	-0.01	0.01	-0.02	0.03

	E1	E2	E3	F	G	H1	H2	I	
北海道	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	-0.05	-0.03	-0.08
東北	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	-0.06	-0.03	0.05	
関東	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.08	-0.02	-0.01	-0.20	
中部	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.06	-0.03	1.38	
近畿	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	-0.02	-0.01	-0.35	
中国	0.02	0.02	0.01	-0.01	0.30	-0.09	-0.05	-0.02	
四国	0.01	0.01	0.00	0.00	0.08	-0.06	-0.03	0.44	
九州	0.01	0.01	0.00	0.00	0.12	-0.05	-0.03	-0.11	
全国	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.04	-0.02	0.02	

表 11 効用の感応度分析

	メイン シナリオ	F
北海道	-1.26	-1.11
東北	-0.07	0.22
関東	-0.57	-0.91
中部	-1.30	-0.05
近畿	0.07	-0.65
中国	-1.53	0.79
四国	-0.89	-0.71
九州	-0.60	-0.92
全国	-0.61	-0.61

7 終わりに

本稿では、これまでほとんど研究されてこなかった温暖化対策の地域への影響を、地域間表を用いて新たに CGE モデルを構築し分析を行った。さらに、地域間表に整合的な地域別のエネルギー関連統計が存在しないため、独自に地域別の発電量や CO2 排出量も推計を行った。分析によって、地域への影響度合いは、産業構造と電源構成に依存することが明らかになった。特に、エネルギー多消費型産業の生産比率や火力発電比率が高いほど、生産の落ち込みが大きくなることが分かった。

最後に今後の課題として、1) 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)の還付ルール分析、4) 地域間産業連関表以外の地域データを用いた分析が挙げられる。本分析では、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。今後は、動学モデルによる地域間の分析が求められよう。動学のモデルであれば、環境税による法人税の代替なども扱うことが可能である。法人税収は、各地域に地方交付税を通して再分配される。シミュレーションによって、環境税を導入するとともに、法人税を廃止したときに、地域経済にどのような影響があるかを分析することが可能となる。また、排出権収入(環境税収)の還付方法もより現実的なケースが検討可能となる。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ような補助金を支給するなどの設定も検討可能となる。大幅な温室効果ガス削減のために排出規制や炭素税の課税を実施した場合、莫大な税収が政府に入ってくることになる。本稿の分析では、10%削減ケースでは約 11 兆円の税収が見込まれることになる。消費税率に換算すると約 4.4%に相当する。このような大幅な政府収入が発生した場合、法人税や消費税など既存税制と代替することが考えられるが、本稿のような静学モデルでは既存税制との代替効果を計るのは難しい。また経済産業省の地域間表の他に、人見・Pongsun(2006)がまとめた電力中央研究所の「47 都道府県産業連関表」と、それに対応したエネルギーデータを推計した田口・Pongsun・人見(2010)がある。Pongsun and Taguchi(2011)はこれらのデータを用いたモデルとなっている。本稿のモデルを用いて、人見・Pongsun(2006)や田口・Pongsun・人見(2010)のデータを用いたときに結果がどの程度変わるかは、今後の課題とし

たい。以上が本稿の残された課題である。

付録 A 地域別発電量の推計¹⁷

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 CO₂ 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、CO₂ 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¹⁸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に当たって、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。水力発電において最大で 1.5%、火力発電において最大 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

¹⁷地域別発電量の推計に当たって、データの収集・整理は、慶應義塾大学商学部(現 JFE スチール株式会社)渡邊一輝氏、同大木崇正氏、東京大学経済学部加藤明久氏の協力を得た。

¹⁸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。

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。

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、

$$\text{発電量} = \text{定格出力} \times \text{設備利用率}$$

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。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)との比である。設備利用率も発電所別のデータが得られないので、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上記の通り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、発電所別に発電量が公表されているのでそのまま用いた。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、卸電気事業者の「電源開発」及び「日本原子力発電」については下記の式より求めた。

年間の設備利用率 (%)

$$= [\text{年間の発電電力量 (kwh、実績値)} \div (\text{定格出力 (kw)} \times 365 \text{ 日} \times 24 \text{ 時間})] \times 100$$

この結果、「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%であった。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。

$$\text{発電量 (kwh)} = \text{定格出力 (kw)} \times 365 \text{ 日} \times 24 \text{ 時間} \times \text{設備利用率}$$

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。

$$\text{調整係数} = \text{水力発電による発電量 (電気事業連合会 HP の統計より)} \\ \div (\text{定格出力} \times 365 \text{ 日} \times 24 \text{ 時間} \times \text{設備利用率})$$

したがって、水力発電における発電電力量(kwh)を表す式は以下ようになる。

表 9 地域別発電量(万 Kw、2005 年度)

地域名	火力	水力	原子力	計
北海道	25,097	3,352	17,752	46,201
東北	50,427	10,696	66,351	127,474
関東	160,278	19,165	82,809	262,252
中部	103,943	17,578	15,904	137,426
近畿	47,548	10,722	74,845	133,115
中国	44,638	3,224	9,304	57,166
四国	16,576	2,641	15,210	34,427
九州・沖縄	63,892	4,513	39,991	108,396

(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

$$\text{発電量(kwh)} = \text{定格出力(kw)} \times 365 \text{ 日} \times 24 \text{ 時間} \times \text{設備利用率} \times \text{調整係数}$$

以上のように求めた発電量は表 9 にまとめた。

参考文献

AIM Project Team (2002) “AIM/Trend Model”.

(available at: <http://www-iam.nies.go.jp/aim/index.htm>).

BunditsakulchaiPongsunandHiroshi Taguchi (2011)“Spatial CGE Model for Analyzing Impact of Carbon Tax Imposition on Regional Economies of Japan”, *CRIEPI Research Report*, No.Y10030, The Central Research Institute of Electric Power Industry, March.

<http://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/report/detail/Y10030.html>

Takeda, Shiro and Kanemi Ban (2010) “Regional Effects of Trade Liberalization in Japan,” April,

<http://shiro-takeda.org/>

Takeda, Shiro (2007) “The Double Dividend from Carbon Regulations in Japan,” *Journal of the Japanese and International Economies*, vol. 21, No.3, pp. 336-364, September.

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」『CO2 CO2 考える 25%削減時代の日本経済』, 11 月, 「25 %削減時代の日本経済」研究班.

<http://www.icer.or.jp/environment/pdf/rep101125.pdf>

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*, 第126号, 12月.

<http://www.jcer.or.jp/report/discussion/detail3932.html>

下田充・渡邊隆俊(2006)「産業連関分析による温暖化対策税の再検討：家計の所得階層別・地域別負担」『愛知学院大学論叢商学研究』, 第46巻第3号, 151-166頁.

田口裕史・BunditsakulchaiPongsun・人見和美(2010)「環境政策評価のための都道府県エネルギーデータの開発」, *CRIEPI Research Report*, No.Y9024, 電力中央研究所, 6月.

<http://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/report/detail/Y09024.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』, Vol.3 pp.31-42.

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」, *JCER DISCUSSION PAPER*, No.132, 9月.

<http://www.jcer.or.jp/report/discussion/detail4226.html>

人見和美・BunditsakulchaiPongsun(2008)「地域研究領域 47 都道府県多地域産業連関表の開発」, *CRIEPI Research Report*, No.Y7035, 電力中央研究所, 8月.

<http://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/report/detail/Y07035.html>

伴金美(2007)「日本経済の多地域動学的応用一般均衡モデルの開発」, *RIETI Discussion Paper Series*, No. 07-J-043, 9月.

<http://www.rieti.go.jp/jp/publications/summary/07110001.html>

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』, 東洋経済新報社.

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, 7月.

<http://www.jcer.or.jp/report/discussion/detail4197.html>