

平成 23 年度 環境経済の政策研究  
温室効果ガス排出削減政策評価のための  
GTAP-E 連動型 SCGE モデルの開発

最終研究報告書

平成 24 年 3 月

東北大学・南山大学・東北文化学園大学・兵庫県立大学

## 目 次

I. 研究の実施経過	
1. 研究計画	… 3
1.1 研究の背景と目的	… 3
1.2 3か年における研究計画および実施方法	… 4
(1) 平成21年度の研究計画および実施方法	… 5
(2) 平成22年度の研究計画および実施方法	… 6
(3) 平成23年度の研究計画および実施方法	… 7
1.3 本研究で目指す成果	… 7
1.4 行政ニーズとの関連・位置づけ	… 7
1.5 政策インプリケーション	… 8
2. 3か年における進捗状況	… 8
2.1 3か年の実施体制（研究参画者と分担項目）	… 8
2.2 3か年の進捗状況（研究成果の概要）	… 8
2.3 ミーティング開催や対外的発表等の実施状況	… 9
2.4 研究実施上の課題と対応策	…10
II. 研究の実施内容	
要約	…11
1. 序論	…20
2. 47都道府県 Multi-Regional CGE による GHG 排出削減政策の評価	…20
2.1 はじめに	…20
2.2 既存研究の整理と本研究の位置づけについて	…21
2.3 MRCGE の構造	…23
2.3.1 47都道府県地域間産業連関表と社会会計表	…23
2.3.2 MRCGE の構造と連立方程式体系	…25
2.4 産業部門分類	…34
2.5 MRCGE による政策シミュレーションの実行	…35
2.5.1 GHG 排出削減シナリオ設定とその考え方	…35
2.5.2 政策シミュレーションの結果とその解釈	…36
2.6 結論	…43
3. GHG 排出削減政策評価のための MRCGE-GTAP の開発：国際的排出量取引制度の導入	…45
3.1 はじめに	…45
3.2 モデル構造	…46
3.2.1 MRCGE の構造と連立方程式体系	…46
3.2.2 GTAP(MGTAP)の構造と連立方程式体系	…54
3.2.3 MRCGE と MGTAP の連動	…62
3.2.4 MRCGE-GTAP における国・地域区分	…62
3.3 MRCGE-GTAP による政策シミュレーション	…63
3.3.1 仮想的な「国際排出量取引制度」の設定	…63
3.3.2 シナリオ設定およびシミュレーションの実行	…64
(1) シナリオの設定	…64

(2) MRCGE-GTAP における排出量取引制度の設定	…65
(3) シミュレーションの実行	…65
3.4 結論	…68
4. 結論	…69
III. 付録	
1. 多地域応用一般均衡モデルによる東日本大震災のマクロ経済的被害	…70
1.1 はじめに	…70
1.2 既存調査研究における試算結果とその前提	…70
1.3 MRCGE の構造	…72
1.3.1 47 都道府県地域間産業連関表と社会会計表	…72
1.3.2 MRCGE の構造と連立方程式体系	…74
1.4 シミュレーションの前提と分析枠組み	…81
1.4.1 分析対象地域	…81
1.4.2 資本ストック毀損額に関するデータ	…81
1.4.3 民間企業設備毀損額の算出	…82
1.4.4 分析対象とする影響の想定	…83
1.5 シミュレーション結果とその解釈	…85
1.5.1 民間企業設備の毀損による供給制約	…85
1.5.2 サプライチェーンの寸断による供給制約	…88
1.6 おわりに	…91
2. 付表	…93
3. 参考文献	…95

# I. 研究の成果及び進捗結果

## 1. 研究の背景と目的

### 1.1 研究の背景と目的

2009年に開催された主要国首脳会議(ラクイラ・サミット)では、地球温暖化対策として主要8カ国(G8)は、温室効果ガス(Green House Gases, 以下、GHGと略す)の削減で2050年までに先進国が80%以上削減(基準年は不明)する目標を明記した首脳宣言を採択した。また、我が国においてはこれに先立って、2020年時点のGHG削減の中期目標を国外から購入する排出枠などを除いて05年比15%削減(1990年比8%減)にすると表明した。さらに、政権交代後、鳩山由紀夫首相(当時)は国連総会の一環として開かれた気候変動首脳会合で演説し、GHG削減目標について「世界の中で相対的に高い技術開発力と資金力を持つわが国が率先して目標を掲げ、実現していくことが国際社会で求められている」と指摘し、中期目標として「1990年比で2020年までに25%削減することを目指す」と表明した。演説で首相は「あらゆる政策を総動員して実現を目指す」とし、「鳩山イニシアチブ」を提唱した。このようなGHGの削減目標は、我が国が既に世界トップレベルの環境技術先進国であることを鑑みると極めて厳しいものであると解釈せざるを得ない。このことは、目標達成のためには、世帯・企業・行政に相当規模の負担が求められることを意味しており、技術革新に依存する以外に、環境税の導入を含めた税制改革といったポリシー・ミックスに言及する必要がある。

一方、上記のような税制改革を行う際には、空間的(地域別)や産業部門別の負担割合の問題のみならず公平性を担保するための補助金制度の創設等といった複数の政策代替案を想定し、社会的厚生基準に基づく損失死加重(Dead Weight Loss)を比較することにより、ベスト・ミックスな政策を決定する必要がある。さらに、政策決定の際には、地域別かつ産業部門別の損失死加重、換言すれば、地域別産業部門別に細分化した影響度を把握することは必要不可欠である。このような背景の下、米国においては、図-I-1に示すような経済循環を表現した応用一般均衡モデル(Computable General Equilibrium Model, 以下、CGEと略す)を構築し、GHG排出削減政策の評価を行っている。

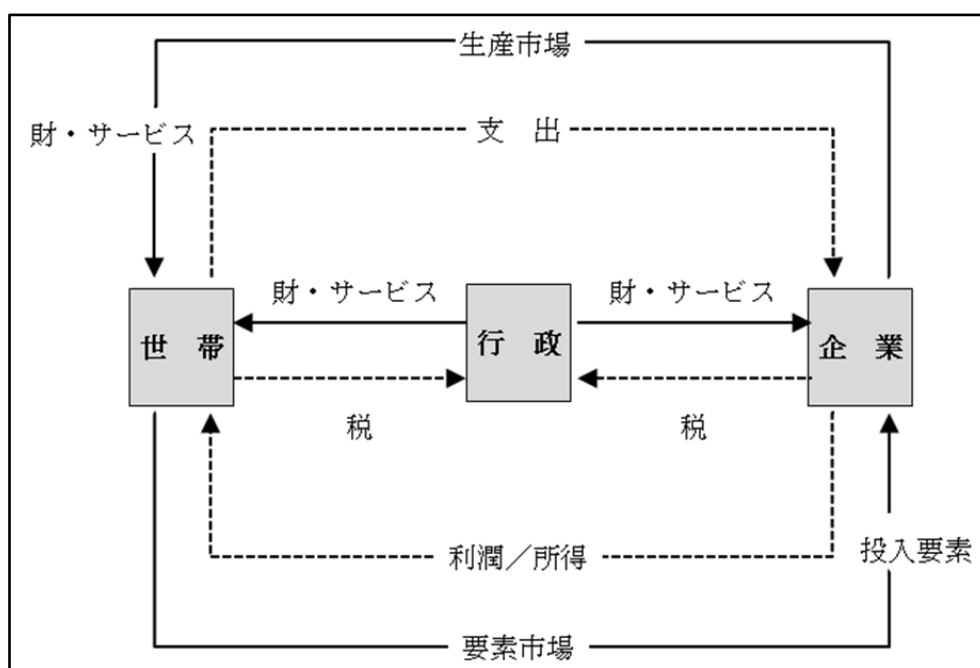


図-I-1 経済循環

上記の背景を踏まえ、本研究では、我が国の GHG 削減目標を達成するための削減政策が、地域別産業部門別の費用と便益の帰着を明らかにし得る空間的応用一般均衡モデル(Spatial Computable General Equilibrium Model, 以下、SCGE と略す)を構築することを第1の目的とする。ここで、SCGE とは、現実の経済主体である世帯、企業などの最適化行動(効用最大化や費用最小化)に基づく市場での取引、或いは、市場間での取引を分析することに優れており、地域間産業連関表と連動することで、経済政策(ここでは、GHG 排出削減政策)の変更が、相対価格の変化に基づき、それに呼応する経済主体の行動変化を通して、産業構造、資源配分、所得分配などに及ぼす影響を定量的に評価することができるという利点を有する。なお、本研究における SCGE は本研究独自に作成する 47 都道府県間産業連関表(45 産業部門)を用いることから、GHG 排出削減政策による地域別産業部門別の費用および便益の帰着を明らかにすることができるという特徴を有しており、既存研究においては、本研究のように細分化された地域分類および産業分類において GHG 排出削減政策に特化した SCGE は見あたらない。

また、我が国における抑制政策によっては、国内資本が国外に流出する可能性が考えられる。そのため、国外については、GHG 排出削減政策が経済に与える影響を分析する多国間・多産業部門間経済モデルとして、世界的に広く用いられている GTAP-E(An Energy-Environmental Version of the GTAP(The Global Trade Analysis Project) Model)と本研究で構築する SCGE を連動することにより、世界各国の経済構造の変化と統合的なモデルに拡張することが、本研究の第2の目的である。

さらに、本研究では、複数の GHG 排出削減政策の代替案を設定し、SCGE と GTAP-E を連動したモデルにおいて政策シミュレーションを実行する。この結果に基づき、代替案別の我が国における地域別産業部門別に与える影響を相互比較することにより、効率性の観点から望ましい抑制政策、一方、公平性の観点から望ましい抑制政策を評価する。また、地域別産業部門別に著しい格差が生じるといった結果が計測された場合には、それを是正する方策を検討することを第3の目的であり、このことが我が国における GHG 排出削減政策の立案に資するものと考えられる。

## 1.2 3か年における研究計画及び実施方法

まず、本研究の研究計画の概念図を図-I-2に示す。

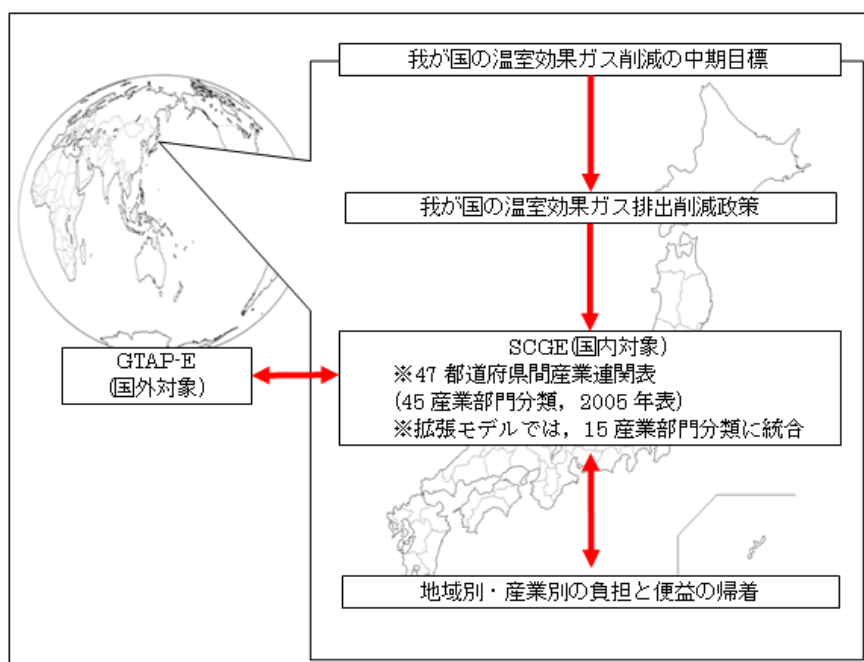


図-I-2 本研究計画の概念図

以下、図-1-2に示した本研究計画の概念図に沿って、3カ年に渡る研究計画を示す。なお、各分担項目における担当者は、主担当であることを意味しており、研究参画者間におけるコミュニケーションを通じて相互協力することを前提としている。また、年度毎に研究成果が得られた際には、適宜、学会等を通じて国内のみならず国外へ発信するものとする。

#### (1) 平成21年度の研究計画および実施方法

##### ①GHG 排出削減政策代替案の設定

自民党・麻生政権時に発表された我が国のGHG 排出削減の中期目標は、国外から購入する排出枠などを除いて05年比15%削減(1990年比8%減)にすると表明された。これに対して、経団連の御手洗会長(当時)は「極めて厳しい目標と言わざるを得ない」、電力総連の南雲会長(当時)は「政府6案のうち、最も緩い05年比4%減とすべきである」、また、連合の高木会長は「厳しい目標設定で雇用が悪化する可能性がある」としており、極めてGHG 排出削減目標に対してネガティブなコメントが産業界から寄せられた。さらに、政権交代後、鳩山由紀夫首相は国連総会の一環として開かれた気候変動首脳会合においてGHG 排出削減目標について「世界の中で相対的に高い技術開発力と資金力を持つわが国が率先して目標を掲げ、実現していくことが国際社会で求められている」と指摘し、中期目標として「1990年比で2020年までに25%削減することを目指す」と表明している。このことは、我が国は主要先進国であり、世界全体の環境政策をリードする必要性があることから、この削減目標を達成する責務があることは言うまでもない。

そこで、ここでは、世帯・企業・行政に負担を強いる可能性もあるGHG 排出削減政策を複数検討することを目的とする。すなわち、環境税の導入、それに伴う税制改革等、具体的に言及するならば、現行の道路特定財源の使途やその水準の検討に加えGHG 排出による限界被害費用(Marginal Damage Cost)の上乗せ、セクター別アプローチ(エネルギー利用効率の改善を目標とし、電力や鉄鋼、セメントといったGHG 排出量が多い産業分野別に、エネルギー利用効率などの改善を目指す)と呼ばれている産業部門別への制約条件およびキャップ&トレード型国内排出量取引市場(規制される主体の排出可能量全体に制限が課され、それを割当たうえ取引ができる制度)の制度設定等を複数組み合わせ合わせたポリシー・ミックス的なGHG 排出削減政策の代替案を設定する。そのため、国際排出量取引市場を先導しているEU諸国およびポスト京都に向けて戦略的に行動している米国等の現地調査を中心にサーベイし、現時点において考えられるGHG 排出削減政策メニューを設定する。

##### ②47都道府県間産業連関表の作成

地域間産業連関表を作成する手法としては、一般にSurvey手法、Non-Survey手法およびSemi-Survey手法(Hybrid手法)と呼ばれる3つの手法がある。まず、Survey手法によって作成される産業連関表は、企業の生産に関する調査やその他のデータを用いて作成され、精度は高いもののその作成費用と時間的労力が膨大であるといった問題がある。一方、Non-Survey手法は、国レベルの産業連関表など、Survey手法によって得られた産業連関表を基にそれを何らかの方法を介することによって得られるものであり、地域内表を想定する場合は、地域間取引の推計にLocation Quotient Approachなどの方法が用いられる。また、Semi-Survey手法はSurvey手法とNon-Survey手法を併用した手法であり、現在各所で準備されている地域間産業連関表はこの手法によるものが多い。本研究では、既に調査された取引データと各都道府県の地域内産業連関表を用いるという点では、Survey手法による構築とも言える。しかし、既存の産業連関表の生産額に合うようにIterative手法を用いて地域間取引係数を調整しているため、Hybrid手法に位置づけられる。

本研究の研究参画者である石川良文は、既に47都道府県間産業連関表(1995年表)を作成しており、この知見を活かし、上記手法を用いて2005年表を作成する。このことは、我が国のGHG 排出削減に関する研究で基準年として多用される2005年と同一年であることから、2005年時点における社会経済構造をベースとした政策シミュレーションを実行することが可能となり、我が国のGHG 排出削減政策の影響が、より解釈し易いものとなり得ることを意味している。

### ③空間的応用一般均衡モデルの構築

本研究において構築する SCGE は、世帯、企業および行政の行動を定式化し、特に、GHG が大量に排出される生産構造の部分については多段入れ子型 CES(Constant Elasticity of Substitution) 関数を仮定し、図-I-3 のように概念的に表現される。

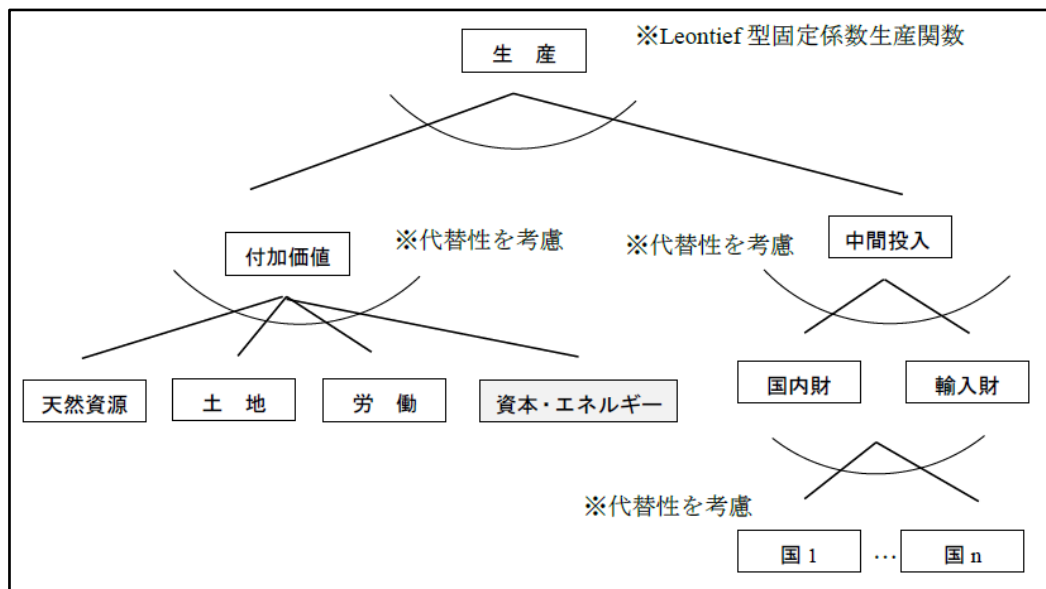


図-I-3 SCGE における生産構造の例

また、本研究における SCGE は、上記②において作成した 47 都道府県間産業連関表(45 部門、2005 年表)と連動することから、地域別(47 地域)産業部門別(45 部門)における GHG 排出削減政策による費用と便益の帰着が明らかになる。

#### (2) 平成 22 年度の研究計画および実施方法

##### ④GTAP-E と空間的応用一般均衡モデルの連動

GTAP-E は、米国 Purdue 大学を中心として国際貿易が世界各国に与える影響と評価することを目的として構築された CGE であり、エネルギーデータベースと結合することで GHG 排出削減政策の経済効果を分析することができることから、世界的に広く用いられている。GTAP データベース(GTAP7.1)は、世界 112 カ国・地域の 57 産業部門であることから、上記②および③において構築した我が国における SCGE の産業分類と対応していない。そこで、本研究では、GTAP データベースにおける産業部門を集計・統合し、さらに、理論構造的においても③において構築した SCGE との整合性が確保された SCGE に拡張する。

##### ⑤政策シミュレーションの実行

ここでは、上記④において拡張した GTAP-E 連動型 SCGE を用いて、上記①で設定した GHG 排出削減政策の代替案をインプットし、感度分析を行った上で、政策シミュレーションを実行する。この政策シミュレーションのアウトプットは、GHG 排出削減政策毎の地域別(47 地域)産業部門別(45 部門)の生産額および総生産等である。なお、GTAP-E 連動型 SCGE のデータセットの作成およびキャリブレーションは、この研究項目で行うものとする。

#### (3) 平成 23 年度の研究計画および実施方法

##### ⑥シミュレーション結果に基づく政策評価

上記⑤において行った政策シミュレーション結果に基づき、厚生経済学に依拠した便益定義である等価変分(Equivalent Variation, EV)を定義し、GHG 排出削減政策毎の地域別(47 地域)産業部門別(45 部門)の費用と便益の帰着を明らかにし、便益帰着構成表にとりまとめる。さらに、

効率性の観点から望ましい削減政策、一方、公平性の観点から望ましい抑制政策を評価する。また、地域別産業部門別に著しい格差が生じるといった結果が計測された場合には、それを是正する方策を検討する。これらの検討結果は、再度⑤にフィードバックし、政策シミュレーションを実行する。

#### ⑦公表を含めたとりまとめ

本年度は研究期間の最終年度であることを鑑み、3カ年の成果をとりまとめるとともに、学会発表およびシンポジウムの開催を企画し、GHG 排出削減政策の有効性を広く国民にアピールすることを試みる。

### 1.3 本研究の成果

本研究においては、政策的な研究成果および学術的な研究成果に大別される。

まず、政策的な研究成果としては、本研究は、我が国の GHG 排出削減の 2020 年の中間目標を達成するための GHG 排出削減政策が及ぼす影響を地域別(47 地域)産業部門別(45 部門)に明らかにすることができる。これにより、効率的かつ公平な GHG 排出削減政策の立案が可能となる。また、本研究におけるモデルは、我が国において温暖化対策評価のための代表的モデルである AIM モデル(Asian-Pacific Integrated Model)に比べて小規模なモデルであることから、比較的簡便な政策シミュレーションモデル、すなわち、簡便なマン・マシン・インターフェイスであると言えよう。

さらに、本研究の研究過程において作成した 47 都道府県間産業連関表(45 部門、2005 年表)は、環境政策のみならず様々な社会資本整備においても適用可能である。例えば、現在検討されている国土形成計画法に基づいた国土形成計画(全国計画)を作成する上で、戦略的目標や各分野別施策の基本的方向を定めることに資することができる。

次に学術的な研究成果としては、本研究において構築する GTAP-E 連動型 SCGE は、細分化された地域分類および産業分類において GHG 排出削減政策に特化した理論モデルであり、国内のみならず国外においても学術的意味は大きいものと考えられる。

### 1.4 行政ニーズとの関連・位置づけ

本研究においては、国内における環境政策への貢献と海外における環境政策への貢献を挙げることができる。

まず、国内における環境政策への貢献としては、GHG 排出削減目標達成のためには、世帯・企業・行政に相当規模の負担が求められることが想定される。これに対して本研究では、複数の GHG 排出削減政策をシミュレートし、我が国における地域別産業部門別に与える費用と便益の帰着を明らかにすることができることから、効率性の観点から望ましい政策、一方、公平性の観点から望ましい政策を示すことができる。したがって、第 1 に、我が国における GHG 排出削減政策の立案に資するものと考えられる。さらに、第 2 に、シミュレーション分析結果を開示することにより、世帯・企業・行政に対して GHG 排出削減政策の実施のための合意形成を図るための基礎資料となり得るものと考えられる。

次に、海外における環境政策への貢献として、Stern(2006)により公表された通称 Stern Review のインパクトは大きく、Stern の呼びかけで開催され、研究参画者である中畠一憲が参加した Regional Economics of Climate Change Studies Workshop, at Hong Kong, 26-27 Oct. 2008.(別名、Stern Workshop)においては、世界各国毎に GHG 排出削減政策をシミュレートし、それをフィードバックすることにより、包括的な経済成長を目的とした持続的開発のための世界戦略を検討する旨の合意がなされた。この観点からするならば、本研究の意図は Stern Workshop と合致しており、本研究の成果を世界にフィードバックすることにより世界全体の GHG 排出削減政策の立案や世界的な政策合意に資するものであると考えられる。



## 1.5 政策インプリケーション

本研究が持つ政策に対するインプリケーションは、前述のように、今後の日本、或いは国内の各地域・都道府県における環境政策の立案のためのシミュレーションモデルとなるということである。本研究で構築する国内モデルおよびGTAP連動モデルにより、GHG排出削減政策の影響を47都道府県別に捉えることができるということは、国家的政策はもとより、経済環境の異なる日本の各地域・都道府県別に効率的なGHG排出削減政策を立案する際にも有益な情報を与えると言えるだろう。

また、本研究で構築するモデルは、GHG排出削減政策だけでなく、租税政策や貿易政策等の分析にも応用することが可能であり、さらには、地域区分が47都道府県という長所を活かし、東日本大震災のような大規模災害の被害のピンポイント計測も可能である。このように、GHG排出削減政策以外の幅広い政策の影響を分析することができるということは、今後の様々な政策立案に寄与する可能性を持つという意味で重要であると言える。

## 2. 3カ年における進捗状況

### 2.1 3カ年における実施体制（研究参画者と分担項目、前年度からの改善事項等）

本研究は、表-I-1に示す6名からなる研究実施体制を敷いている。

表-I-1 研究参画者と分担項目

氏名	所属機関名・部局・役職名	分担項目
林山 泰久	東北大学・大学院経済学研究科・教授	① GHG 排出削減政策代替案の検討 ② 拡張 SCGE の改良・改変 ③ 政策シミュレーションの実行とその評価 ④ 研究成果の公表
河野 達仁	東北大学・大学院情報科学研究科・准教授	① GHG 排出削減政策代替案の検討 ④ 研究成果の公表
石川 良文	南山大学・総合政策学部総合政策学科・教授	① GHG 排出削減政策代替案の検討 ② 拡張 SCGE の改良・改変
坂本 直樹	東北文化学園大学・総合政策学部総合政策学科・専任講師	② 拡張 SCGE の改良・改変 ③ 政策シミュレーションの実行とその評価
中嶋 一憲	兵庫県立大学・環境人間学部・専任講師	
阿部 雅浩	東北大学・大学院経済学研究科・博士課程後期課程	

### 2.2 3カ年における進捗状況

平成23年度における進捗状況は下記の通りである。

#### ①GHG 排出削減政策代替案の検討

ここでは、コペンハーゲン合意、カンクン合意および環太平洋戦略的経済連携協定といった世界的な潮流を我が国におけるGHG排出削減シナリオの前提として位置づけた上で、我が国におけるGHG排出削減政策代替案を検討する。

#### ②拡張 SCGE の改良・改変

昨年度構築した拡張 SCGE を、上記(1)で検討した GHG 排出削減政策の政策シミュレーションを実行し得るように、サブ・モデルを構築し、拡張 SCGE を改良・改変し、具体的な政策代替案の効果を把握することに対応させる。

### ③政策シミュレーションの実行とその評価

上記①および②の成果を踏まえて、GHG 排出削減政策の複数代替案に対する政策シミュレーションを実行し、その結果を効率性および公平性の観点から評価する。

### ④研究成果の公表

本年度研究を含む3カ年の成果を取りまとめるとともに、学会発表およびシンポジウムの開催を企画し、GHG 排出削減政策の有効性を広く国民にアピールすることを試みる。

## 2.3 ミーティング開催や対外的発表等の実施状況

研究分担者は、林山(東北大学)、河野(東北大学)、石川(南山大学)、坂本(東北文化学園大学)、中畠(兵庫県立大学)、阿部(東北大学)であり、6人中4人が仙台市在住であることから、石川および中畠を除く分担者は、二週間に一回程度を目安に、個々の作業の進捗状況および今後の展望等について議論を行っている。なお、この議論には、研究協力者である森杉壽芳(日本大学)および生川雅紀(東北大学)も同席している。また、石川および中畠については、契約上の問題があり、仙台でのミーティングに参加し難いことが多かったことからメール等による議論を行った。

これまでのミーティング開催については、表- I - 2 に示す通りである。

表- I - 2 ミーティング開催状況

日時	場所	主な議題	参加者
6月1日～2日	東北大学	・拡張 SCGE の改良・改変 ・政策シミュレーションの実行とその評価	林山, 河野, 坂本, 中畠, 阿部
7月21日～22日	東北大学	・GHG 排出削減政策代替案の検討	林山, 坂本, 阿部
9月15日～16日	(財)日本総合研究所 (東京)	・拡張 SCGE の改良・改変 ・政策シミュレーションの実行とその評価	林山, 河野, 中畠, 阿部
11月21日～22日	東北大学	・とりまとめの方向性について	林山, 坂本, 阿部
1月20日～21日	(財)日本総合研究所 (東京)	・最終とりまとめと公表について	林山, 河野, 坂本, 中畠, 阿部

対外的発表については、平成21年度、平成22年度および平成23年度の研究成果を国内および海外の学術雑誌への投稿、国内学会及び国際会議での成果発表として、それぞれ行う予定であり、現在それらのための準備を進めている。その一例を下記に示す。

- 1) Hayashiyama, Y. and Abe, M.: Formulization of MRCGE-GTAP for GHG Discharge Reduction Policy Evaluation: Simulation of Global Emissions Trading Scheme, Environmental Economics, Vol.2, No.4, 2011. (in Press)
- 2) 林山泰久・阿部雅浩・坂本直樹: 多地域応用一般均衡モデルによる東日本大震災のマクロ経済的被害, 総合政策論集, 2012. (印刷中)
- 3) 林山泰久・阿部雅浩・武藤慎一: 47都道府県Multi-Regional CGEによるGHG排出削減政策の評価, 応用地域学研究, 2012. (印刷中)
- 4) Abe, M., Hayashiyama Y. and Muto, S.: Evaluation of GHG Discharge Reduction Policy by Multi-Regional CGE in Japan, International Journal of Computational Economics and Econometrics, 2012. (Submitted)
- 5) Pu, Z. and Y. Hayashiyama: Energy Resource Tax Effects on China's Regional Economy by Multi-Regional CGE Model, Paper for ACESA 2011 Annual Meeting, 2012. (Submitted)
- 6) Pu, Z. and Y. Hayashiyama: Effects of Carbon Dioxide Control Policy in China by Multi-Regional CGE Model, Pacific Economic Review, 2012. (Submitted)
- 7) 林山泰久・阿部雅浩: GHG排出削減政策評価のためのMRCGE-GTAPの開発: 国際的排出量取引制度の導入, 地球環境論文集, 2012. (Pre-Submission)

以下は、一部重複するものの、既に公表済みのディスカッション・ペーパーであり、これらを各所で口頭発表等を行い、上記の審査付き論文に改善した。

- 1) Pu,Z. and Y.Hayashiyama: A Study on China's Energy Tax Policy using the SCGE Model, Tohoku Economics Research Group, Discussion Paper, No.264, pp.1-18, 2011.
- 2) Hayashiyama,Y. and M.Abe: Development of GTAP-E Linkage Type SCGE for Evaluating GHG Reduction Policy, Tohoku Economics Research Group, Discussion Paper, No.265, pp.1-25, 2011.
- 3) 阿部雅浩・林山泰久・武藤慎一: 47都道府県Multi-Regional CGEによるGHG排出削減政策の評価, Tohoku Economics Research Group, Discussion Paper, No.269, pp.1-15, 2011.
- 4) 阿部雅浩・林山泰久・坂本直樹: 多地域応用一般均衡モデルによる東日本大震災のマクロ経済的被害, Tohoku Economics Research Group, Discussion Paper, No.272, pp.1-11, 2011.
- 5) 阿部雅浩・林山泰久: GHG排出削減政策評価のためのMRCGE-GTAPの開発: 国際的排出量取引制度の導入, Tohoku Economics Research Group, Discussion Paper, No.277, pp.1-16, 2011.

#### 2.4 研究実施上の課題と対応策

本研究の実施上の課題として、まず、地域分類によって計算量が膨大となるという問題があった。本研究では日本を47都道府県に細分化したままモデル化しているため、変数およびパラメータ数が膨大となってしまう、産業部門を地域間産業連関表の45産業部門のままでは本研究で用いたコンピュータの処理能力を超えてしまい、計算が不可能となってしまった。

この問題の対応策として、45産業部門を15産業に集約し、解く変数の数を減らすことで対処している。また、15産業部門はGTAP7.1における産業部門と整合性を保てる最大の産業部門分類である。言い換えれば、どの部門においても生産財や輸出入財の内容がSCGEのものとGTAPのものと同じであるということである。この条件は本研究におけるモデルの連動に不可欠な条件であり、同時に解決すべき課題であったため、産業部門の集約で2つの課題に対応したことになる。

## II. 研究の実施内容

### 要約

#### 1. 序論

我が国の GHG 排出削減に関する中期目標は「1990 年比で 2020 年までに 25%削減することを目指す」である。このような高い目標達成のためには、技術革新に依存する以外に、環境税の導入を含めた税制改革といったポリシー・ミックスに言及する必要がある。さらに、政策決定の際には、地域別かつ産業部門別の損失死加重、換言すれば、地域別産業部門別に細分化した影響度を把握することは必要不可欠である。

本研究では、我が国の GHG 排出削減目標を達成するための政策について、地域別産業部門別の費用と便益の帰着を明らかにし得る多地域応用一般均衡モデル(Multi-Regional CGE Model, 以下 MRCGE とする)を構築することを第 1 の目的とする。また、この MRCGE を用いて GHG 排出削減政策に関するシミュレーション分析を行うことを第 2 の目的とする。この時、特に GHG 排出削減政策の効率性の評価のみならず、公平性の観点からもシミュレーション結果を分析する。さらに、我が国における GHG 排出削減政策によっては、国内資本が国外に流出する可能性が考えられる。そのため、GHG 排出削減政策が国際経済に与える影響を分析する多国間・多産業部門間経済モデルとして GTAP モデルと本研究で構築する MRCGE を連動させることにより、世界各国の経済構造の変化と統合的なモデルである拡張 MRCGE を構築し、GHG 排出削減政策に関するシミュレーション分析を行うことが、本研究の第 3 の目的である。

#### 2. 47 都道府県 Multi-Regional CGE による GHG 排出削減政策の評価

今日、我が国における温室効果ガスの排出量は 1990 年以降増加を続けており、今後の GHG 排出削減政策の導入は必要不可欠であろう。さらに、日本の中期目標(GHG 排出量を 2020 年までに 1990 年比で 25%削減)のような高い排出削減目標の達成のためには、炭素税やキャップ&トレード型排出量取引などの導入は避けられないものと思われる。ただし、このような GHG 排出削減政策に関するこれまでの研究では、日本一国としての影響にのみ焦点が当てられ、地域別の分析は為されてこなかった。また、政策の効率性にのみ影響分析の焦点が当てられている一方で、地域間の公平性に関する議論はほとんどなされていないと言ってよい。そこで、本研究では、我が国の GHG 排出削減目標を達成するための環境政策に関して、都道府県別・産業部門別の費用と便益の帰着を明らかにするための MRCGE を構築することを第 1 の目的とする。さらに、構築した MRCGE によって炭素税導入に関する複数のシナリオについて政策シミュレーションを行い、産業部門別・都道府県別に影響を明らかにすることを第 2 の目的とする。

MRCGE は、一般的に地域間の経済的取引や労働・資本の移動および移動に伴うコスト等、空間的要素をモデルに組み込んだ CGE モデルである。MRCGE の特徴は、地域間の経済取引をモデル上で表現することで、政策的な外生的ショックを地域別に与えたり、政策の影響を地域別に捉えたりする事が可能であるという点にある。日本における MRCGE の既存研究は数多く存在するものの、炭素税に関しては、GTAP などの国際貿易モデルによる分析が存在する程度であり、多くは日本一国の経済を表現したモデルである。

本研究の MRCGE における国内生産部門は Nested 構造を仮定しており、各生産部門は労働と資本、中間投入財を生産要素として財を生産する。この時、労働・資本間および中間投入財の生産地間で不完全代替性を仮定することで、政策導入による相対価格の変化を捉えることができる。また、家計消費・政府支出・投資の各部門においても、CES 型効用関数を仮定し、財の種類と生産地間で不完全代替性を仮定し、財の相対価格変化による代替を表現している。輸出・国内変形については CET 型変形関数を、輸入・国内代替においては CES 型生産関数を仮定し、ここでも財の不完全代替性を仮定している。各経済主体の利潤最大化・効用最大化行動を仮定することで需要関数、供給関数を導出し、それらと生産/変形関数および市場均衡条件を加えた方程式群により

モデルは構築される。

モデル構築に用いる基準均衡データは、本研究プロジェクトで構築した47都道府県地域間産業連関表である。本データの産業部門分類は45部門であるが、計算能力の制約のため、15産業部門(農林水作業、鉱業、石油・石炭製品、化学製品、窯業・土石製品、鉄鋼製品、非鉄金属製品、機械、自動車、その他製造業、建築・土木、電力、ガス・熱供給、運輸、サービス)に部門統合してモデルを構築する。

次に、本研究では、GHG排出削減政策として、炭素税導入によるGHG排出削減に関する4つのシナリオを設定する。まず、シナリオ①は、地球温暖化対策税を想定したシナリオである。次に、シナリオ②～④は、我が国の京都議定書における目標および2020年までの中期目標を想定したシナリオである。ただし、本研究では非エネルギー起源のGHG排出削減について表現することが困難であるため、削減対象をエネルギー起源のCO<sub>2</sub>のみとする。よって本研究では、京都議定書の目標である-6%に、全GHG排出量に占めるエネルギー起源CO<sub>2</sub>の割合(基準年では83.6%)を乗じた5.04%を削減目標とする。これを47都道府県地域間産業連関表の基準年である2005年に達成しようとする場合、11.87%のCO<sub>2</sub>排出削減が必要となる。シナリオ③は、この11.87%を全て炭素税によって削減するものである。しかしながら、全てを炭素税によって削減するというシナリオは非現実的であり、炭素税のほかに自然エネルギーや省エネルギー技術、排出量取引制度の導入など、ポリシー・ミックスによる排出削減が考えられる。そこで、前述の11.87%の半分の5.94%を炭素税で削減する場合をシナリオ②として分析する。最後に、シナリオ④は、「2020年までにGHG排出量を90年比で25%削減する」という、我が国のGHG排出削減中期目標を2005年時点で達成するために必要なCO<sub>2</sub>排出削減率である25.9%の半分の12.95%を炭素税によって削減するという仮想的な状況を想定したものである。

以下の表および図にシミュレーションの結果を示す。

表 シナリオ別シミュレーション結果

05年比 CO <sub>2</sub> 削減シナリオ (2005年価格)	①地球温暖化対策税	②5.94%削減 シナリオ	③11.87%削減 シナリオ	④12.95%削減 シナリオ
炭素税率(円/tCO <sub>2</sub> )	289	6,375	15,565	17,680
CO <sub>2</sub> 排出削減率(%)	0.32	5.94	11.87	12.95
CO <sub>2</sub> 排出削減量 (百万tCO <sub>2</sub> )	3.84	71.42	142.85	155.84
炭素税収(億円)	3,402.87	70,791.78	162,057.95	181,575.66
炭素税収当たり CO <sub>2</sub> 排出削減量 (tCO <sub>2</sub> /億円)	1,128.46	1,008.87	881.47	858.27

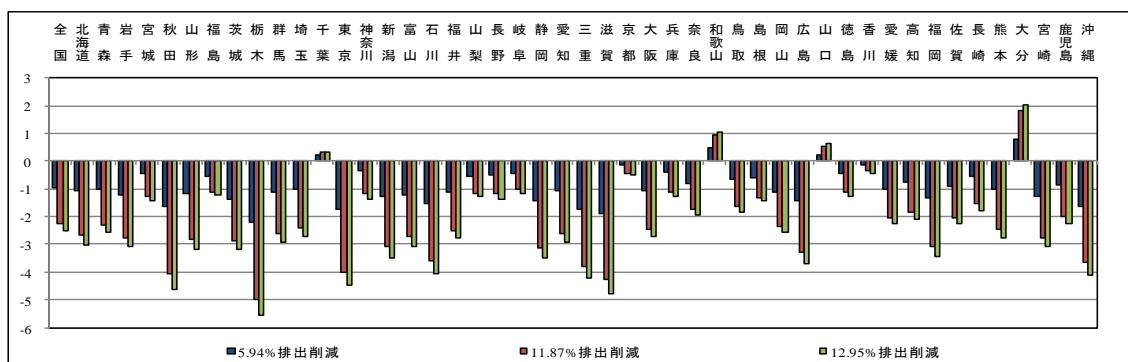


図 シナリオ別都道府県別一人当たり社会厚生の変化額(万円/人)

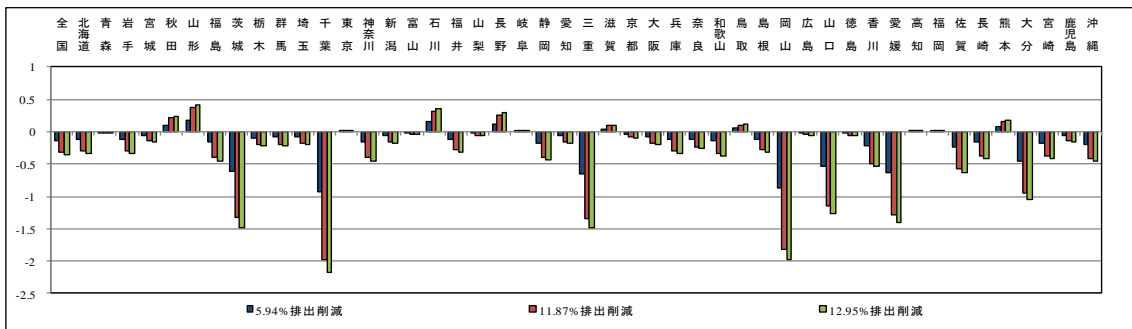


図 シナリオ別都道府県別実質 GRP の変化率(%)

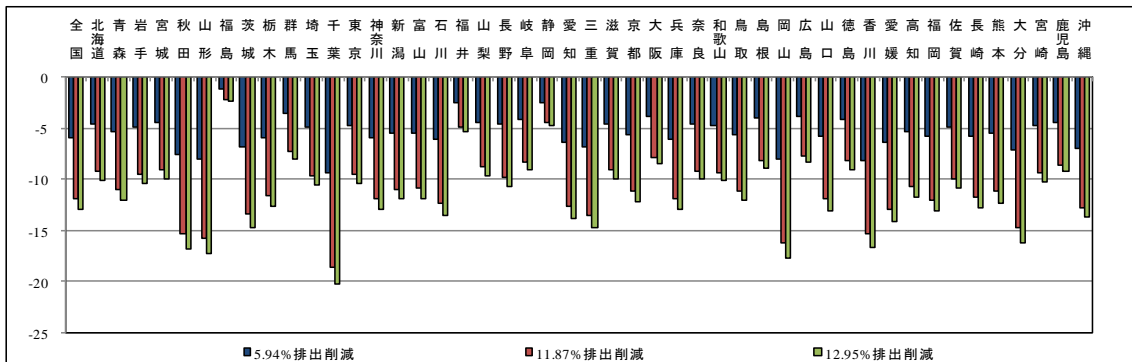


図 シナリオ別都道府県別 CO<sub>2</sub> 排出削減率(%)

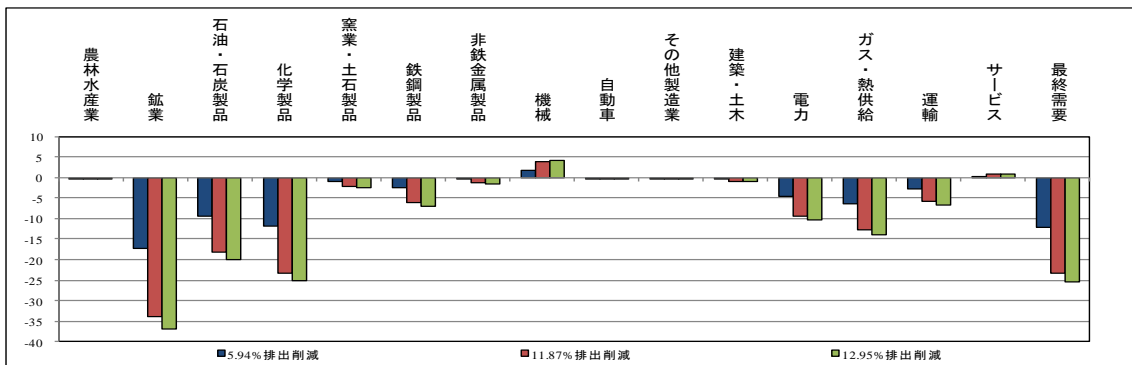


図 シナリオ別産業部門別 CO<sub>2</sub> 排出削減率(%)

まず、シナリオ①～④全体を概観すると、炭素税率と CO<sub>2</sub> 排出削減率は明らかな正の相関関係があることが分かる。しかし、CO<sub>2</sub> 排出削減率が大きくなるにつれて、炭素税収当たりの CO<sub>2</sub> 排出削減量は小さくなっており、このことから、炭素税率に対して CO<sub>2</sub> 排出削減率は逡減していることが分かる。換言すれば、CO<sub>2</sub> の限界排出削減費用は排出削減目標の高まりとともに逡増するということである。さらに、本研究における政策シミュレーション結果の傾向および結果が特異か否かを検討するために、既存研究と比較検討した結果、本研究の結果はある程度の妥当性を有するものと解釈できる。

次に、生産量について分析すると、炭素税課税によって多くの産業部門において生産水準が低下している一方で、機械やサービスなどの部門では、生産水準が上昇している都道府県が多い。これは、炭素税の課税によって、相対的に価格が上昇した鉱業財や石油・石炭製品財およびそれらの財を多く投入するエネルギー集約的な財から、サービス財や農林水産業財など、非エネルギー集約的な財へ生産がシフトしたものと解釈することができる。

一人当たり社会厚生については、多くの都道府県において社会厚生は負値、すなわち、悪化している一方で、千葉県や和歌山県で厚生が改善している。また、実質 GRP の変化率については、全国計では、炭素税の導入によって実質 GDP は減少し、CO<sub>2</sub> 排出削減率が高くなるに従って、実質 GDP の低下率が拡大していることが分かる。都道府県別に見ると、秋田県、山形県および石川県などで実質 GRP は小幅に上昇し、一方、茨城県や千葉県などで大きく減少している。

最後に、CO<sub>2</sub> 排出削減率について見ると、全ての都道府県において、全体の CO<sub>2</sub> 排出削減率が大きくなるに従って、各都道府県の CO<sub>2</sub> 排出削減が大きくなっている。また、この傾向は、産業部門の CO<sub>2</sub> 排出削減率についても、機械部門およびサービス部門を除いて同様である。

以上は、ある意味で効率性(Efficiency)の観点からの分析であったのに対して、本研究では、地域間・産業間の公平性(Fairness)を測る指標として、47 都道府県間の就業者一人当たり所得(労働所得+資本所得)および 15 産業部門間の就業者一人当たり所得のジニ係数及び変動係数を算出し、分析を行う。以下の表にシナリオごとの値を示す。

表 地域間・産業間格差

		基準均衡 (炭素課税前)	①地球温暖化 対策税	②5.94%削減シ ナリオ	③11.87%削減 シナリオ	④12.95%削減 シナリオ
地域 間 格 差	ジニ係数	0.08797	0.08804	0.08805	0.08808	0.08842
	※基準均衡か らの変化率(%)	-	0.07061	0.08596	0.11813	0.50262
	変動係数	0.19952	0.1996	0.2004	0.20162	0.20417
	※基準均衡か らの変化率(%)	-	0.03898	0.44011	1.05053	2.3312
産業 間 格 差	ジニ係数	0.37618	0.37578	0.37265	0.36939	0.36498
	※基準均衡か らの変化率(%)	-	-0.1053	-0.93855	-1.80365	-2.97546
	変動係数	0.78512	0.78481	0.78248	0.78114	0.78087
	※基準均衡か らの変化率(%)	-	-0.03982	-0.33667	-0.5064	-0.54148

まず、地域間格差について見ると、両指標ともにすべてのシナリオにおいて値が上昇している。また、炭素税課税前の基準均衡の値からの変化率について見ると、GHG 排出削減目標が大きくなるにつれて上昇率も大きくなっている。つまり、炭素税の課税によって就業者一人当たり所得の地域間格差は拡大し、GHG 排出削減目標(炭素税率)が高くなるほど格差の拡大率が大きくなっている。一方、産業間格差は両指標ともにすべてのシナリオにおいて値が低下している。また、炭素税課税前の基準均衡の値からの変化率について見ると、GHG 排出削減目標(炭素税率)が大きくなるにつれて下落率も大きくなっている。つまり、炭素税の課税によって就業者一人当たりの所得の産業間格差は縮小し、GHG 排出削減目標(炭素税率)が高くなるほど格差の縮小率が大きくなっている。

以下、MRCGE による CO<sub>2</sub> 排出削減シナリオに基づいた政策シミュレーション結果から得られた知見を示す。

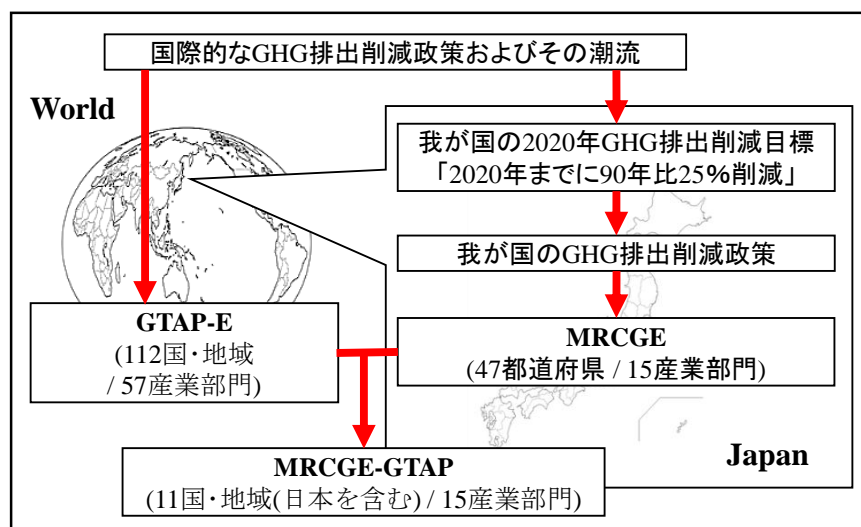
- ① 日本を一国で見た場合に、炭素税率を高くすることで、CO<sub>2</sub> 排出削減率および炭素税収は大きくなる。その一方で、炭素税収一単位当たりの CO<sub>2</sub> 排出削減量は逡減するという結果となった。この結果は、CO<sub>2</sub> 排出削減率が高くなることに伴い、CO<sub>2</sub> 排出削減効率性が低くなる、或いは、限界削減費用が逡増することを示していると言える。
- ② 産業部門毎の炭素税の影響は、産業部門毎の投入要素の構成に依存し、炭素税の課税対象で

ある財を多く投入する産業部門およびそれらエネルギー集約的産業の生産財を多く投入する産業部門が大きな影響を受けることが分かった。

- ③ 産業部門毎に炭素税の影響が大きく異なるため、産業構造の異なる各都道府県の影響にも大きな差異が発生することが分かった。また、地域間の影響の差異を生む原因として、産業構造の相違に加え、特に、電力部門などにおいて、産業部門あるいは最終需要部門における財の地域間代替の効果が大きいことが示された。
- ④ 公平性の観点からは、GHG 排出削減目標(炭素税率)が高くなるにつれて、地域間格差が拡大している。その原因として、一人当たり所得が突出して高い東京や愛知、大阪といった都市部では炭素税の影響をあまり受けないサービス部門などの産業部門の割合が高いために、一人当たり所得の減少が小さく、逆に一人当たり所得が比較的小さい他の道府県において比較的大きく所得が減少したためであると言える。このような結果は、炭素税率や所得の地域間再分配といった公平性に配慮した政策の必要性を示すものと言える。
- ⑤ 産業間公平性について見ると、格差が縮小するという結果となった。その原因として、一人当たり所得が高い産業部門と炭素税の影響を強く受ける産業が重複しており、一人当たり所得が高いエネルギー集約産業において所得が大きく減少したためであると言える。この結果は、特定のエネルギー集約産業に GHG 排出削減費用の大部分を負担させることで現れたものであり、必ずしも望ましい結果とは言えず、実質的な費用負担について産業界の合意形成が必要であると言えるだろう。

### 3. GHG 排出削減政策評価のための MRCGE-GTAP の開発: 国際的排出量取引制度の導入

本研究では、GTAP との連動により海外との相互関係を明示的に表現した MRCGE(MRCGE-GTAP)を開発し、国際市場における GHG 排出量取引といった世界的な GHG 排出削減政策の評価を行うことを目的としている。



まず、MRCGE-GTAPにおける国内を対象とする部分、すなわち、我が国47都道府県15産業部門間の経済取引を再現するMRCGEの構造とモデルを構成する連立方程式体系については、第2章の方程式体系から炭素税の要素を除いたものと同じである。また、本研究で構築する世界モデル(GTAP)は、MRCGEと連動させるという制約から、基本的なGTAPの構造を簡素化し、本研究におけるMRCGEと同様の手法・手順で構築している。

最後に、MRCGEとMGTAPを連動させるため、以下の均衡条件を設定する。まず、MRCGEにおける日本の47都道府県の輸出量の合計が、MGTAPにおける世界各国の日本からの輸入量の合



計値に常に等しくならなければならない、というものである。次に、日本の47都道府県の輸入量の合計が、MGTAPにおける世界各国の日本への輸出量の合計値に常に等しくならなければならない、とする。また、上記2つの条件が、MGTAPにおける世界各国間でも互いに成立するようにする。さらに、日本から見た場合の国際輸出財価格が、c国から見た場合の国際輸入財価格に等しくなるように、また、日本から見た場合の国際輸入財価格が、c国から見た場合の国際輸出財価格に等しくする。さらに、これら国際価格輸出入財価格の関係がMGTAPにおける世界各国間でも成立するように設定する。

本研究では、仮想的な環境政策として「国際間でリンクさせた排出量取引制度の運用」を対象とし、当該制度運用による影響についてシミュレーションを実行するものとする。仮想的な「国際的排出量取引制度(GETS)」を想定するにあたり、以下のような3通りのシナリオを設定した。まず、シナリオ①は、本研究が想定している国際的制度が無い場合であり、これは我が国におけるJ-VETSが本格稼働したという前提の下で、各々の国・地域における国内排出量取引制度が運用されている場合を意味している。次に、シナリオ②は、本研究が想定している国際的制度が運用された場合であり、MACが世界の各市場において共通の値となることから、死加重損失がゼロとなり、最も費用効率性に優れた政策を意味する。最後に、シナリオ③は、日本のみが本研究が想定している国際的制度に不参加を表明した場合であり、日本国内とその他市場における取引価格であるMACが乖離する状況を示している。

シミュレーション結果を以下の表および図に示す。

表 シミュレーション結果の総括

ケース設定・指標 (2005年価格)		シナリオ			
		シナリオ①： 国際的制度が 無い場合	シナリオ②： 国際的制度が ある場合	シナリオ③： 日本のみ国際制度 に不参加の場合	
90年比 GHG排出量 ▲25%ケース (05年比 ▲26.7%)	日本のGHG取引量 (百万tCO <sub>2</sub> )	—	191.72	—	
	限界削減 費用 (MAC) (円/tCO <sub>2</sub> )	他市場 における 最大値	30,699 (豪州・NZ市場 価格)	11,622 (国際市場価格)	10,306 (国際市場価格)
		日本	93,194 (日本市場価格)	11,622 (国際市場価格)	92,097 (日本市場価格)
		他市場 における 最小値	12,937 (米国市場価格)	11,622 (国際市場価格)	10,306 (国際市場価格)

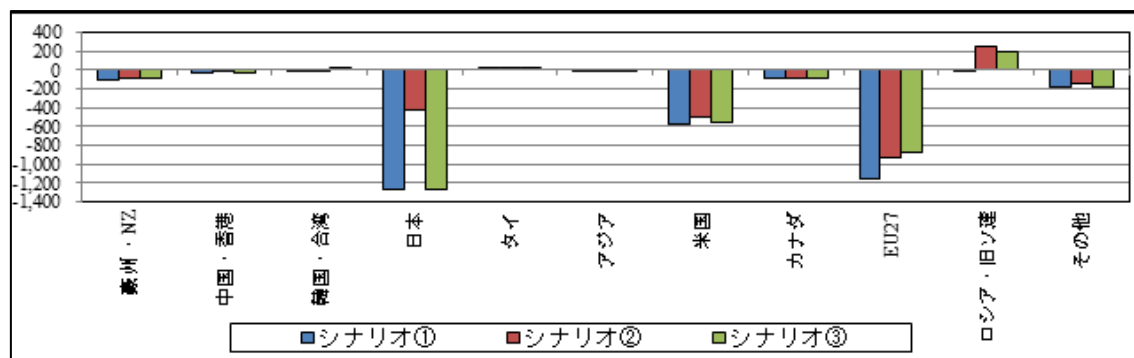


図 国・地域別社会厚生(EV)の変化(百億円)

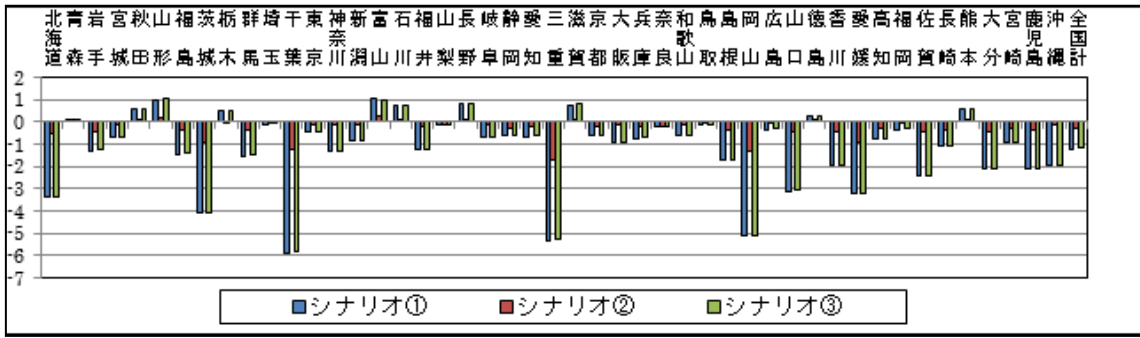


図 都道府県別実質 GRP の変化率(%)

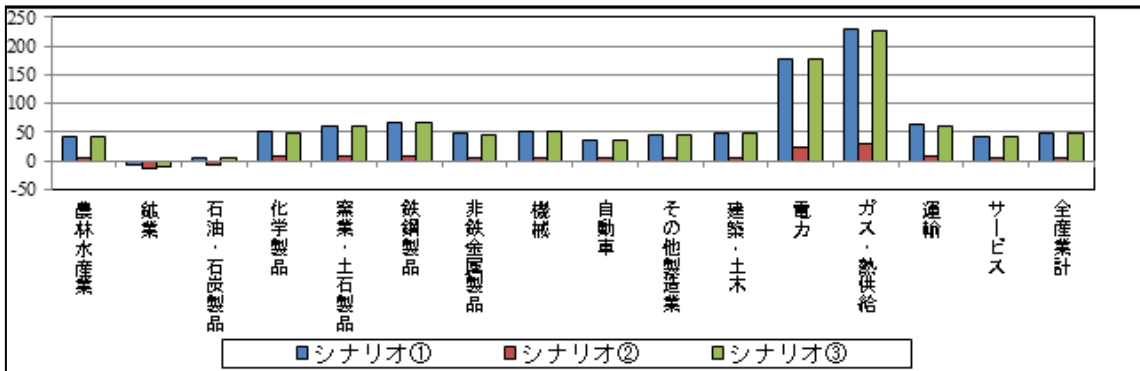


図 産業部門別国内生産額の変化率(%)

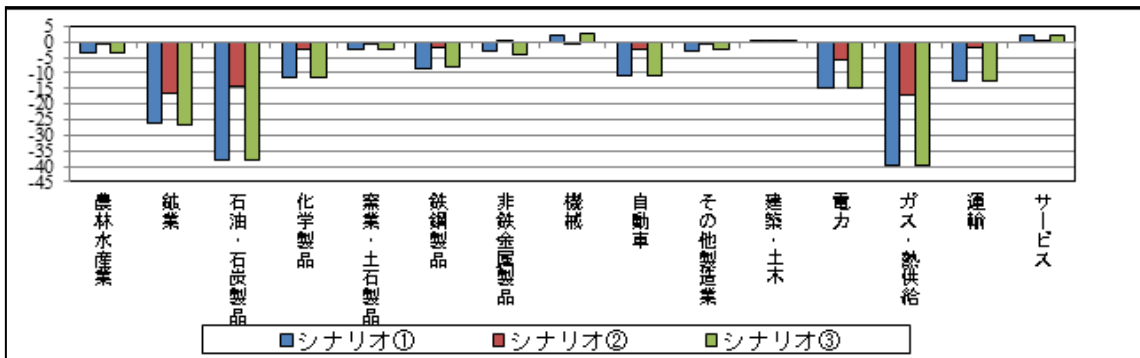


図 産業部門別国内生産量の変化率(%)

シナリオ②では国際的制度の運用によってMACが最適な国際市場価格である約12(千円/tCO<sub>2</sub>)が取引価格となり、社会的余剰が発生することを意味している。一方、シナリオ①は、各国・地域が単独でコペンハーゲン合意に基づくGHG排出量削減目標を達成するためには、各々の地域における産業構造や貿易構造によってMACに差が生じ、我が国は約93(千円/tCO<sub>2</sub>)、他の市場の最大値は豪州・NZ市場の約31(千円/tCO<sub>2</sub>)、最小値は米国市場の約13(千円/tCO<sub>2</sub>)と試算された。また、シナリオ③では、我が国は約92(千円/tCO<sub>2</sub>)であり、他の国・地域で構成されている国際制度では約10(千円/tCO<sub>2</sub>)で取引されることになる。すなわち、最高水準の環境技術を有する我が国は、MACが極めて高いことから、日本が本研究で想定した国際的制度に参加した場合には、市場メカニズムにより負の社会的便益を享受する国・地域が発生することになる。

次に社会厚生の変化を見ると、日本や米国の厚生水準については「シナリオ①<シナリオ③<シナリオ②」の順序が成立している。その一方で、豪州・NZやEU27、ロシアおよびFSUでは、「シナリオ①<シナリオ②<シナリオ③」という順序になっていることが分かる。このことは、

MACの高い日本が、シナリオ②において国際的制度に加入したことにより、世界共通のMACが上昇した影響であると考えられる。

最後に、実質GRP変化率および我が国の産業部門別生産額および生産量の変化率をみると、実質GRP変化率については、特に北海道、茨城県などで大きく低下しており、その他の多くの県の実質GRPも減少している。その一方で、山形県や栃木県など、実質GRPが増加している県も存在するものの、その上昇率は下落率に比べて絶対値で小さい。また、全ての都道府県で共通して、シナリオ②の場合にその増減の幅が小さくなっている。さらに、我が国の産業部門別生産額の変化率については、何れの場合も「シナリオ②<シナリオ③<シナリオ①」の順序が成立していることが分かる。

以下に、本研究で得られた知見と今後の課題について示す。

- ① 本研究では、海外11国・地域別(日本を含む)15産業分類別、国内47都道府県別15産業分類別に、国内外を問わず環境政策の実施によるGRP、生産額および社会厚生を算出することが可能であるMRCGE-GTAPを開発した。すなわち、このことは、世界各国の経済構造の変化と整合的に環境政策を分析することが可能となったことを意味している。
- ② MRCGE-GTAPにより仮想的な国際的排出量取引制度に関するシミュレーションを実施した結果、「国際的排出量取引制度」に世界全ての国・地域が参加した場合の社会厚生が最も大きくなることが確認された。一方、この国際的制度が存在しない場合、すなわち、各国が独自に国内GHG排出量取引制度を運用する場合には、社会厚生が最も小さくなることが明らかになった。
- ③ これらのことより、世界全体で持続可能なGHG排出量削減政策を推進するためには、国際間で連携した取り組みが必要不可欠であることが明らかになった。

また、今後の課題としては、本研究で開発したMRCGE-GTAPの感度分析を含めた調整・変更を行う必要がある。さらに、今回のシミュレーション結果では、GHG排出量の売り手、或いは、買い手の立場により、制度の運用によってもたらされる取引価格の変化が、所謂、課税ベース効果(Tax-Base Effect)および税の相互作用効果(Tax-Interaction Effect)的な影響をもたらしているものと考えられることから、より詳細な検討が必要であることは言うまでもない。

#### 4 結論

本研究では、平成21年度において2005年を基準年とした47都道府県地域間産業連関表を構築し、また地球温暖化問題に関するCGEモデルについてレビューを行うなど、本研究の基礎となる部分を実施した。続く平成22年度においては、平成21年度に構築した47都道府県地域間産業連関表を主たる基準均衡データベースとする国内47都道府県MRCGEを構築した。また、構築したMRCGEを用い、炭素税が経済に与える影響について複数のシナリオに基づいたシミュレーション分析を行った。さらに、国内MRCGEとGTAPを連動させたMRCGE-GTAPを構築した。

最終年である今年度(平成23年度)においては、学会発表や研究会等で諸研究成果を報告した際に頂いた意見や質問等の内容を考慮し、モデルの修正・拡張を実施した。国内47都道府県MRCGEによる分析においては、炭素税の課税によって日本全体としての経済厚生(実質GDP、一人当たりEV)は大きく低下するものの、都道府県別・産業部門別に見れば、その影響は都道府県・産業部門ごとに大きく異なる結果となり、各地域の産業構造等を考慮したGHG排出削減政策の必要性を示す結果となった。また、公平性の観点からの分析においては、一人当たり所得について地域間公平性は悪化し、産業間公平性は改善するという結果となった。この結果は、炭素税の導入が、一人当たり所得で見た場合の地域間の不公平感を高める恐れがあり、それらに配慮した政策導入の必要性を示したものであると言える。

さらに、47都道府県MRCGEとGTAPデータベースver.7.1を基準均衡データとしたGTAPモデルを連動させたMRCGE-GTAPを用いて国家間GHG排出量取引が経済に及ぼす影響を分析した。具体的に本研究では、排出量取引市場に関する3つのシナリオ(国際的制度が無い場合・国際的制度がある場合・日本のみ国際的制度に不参加の場合)についてシミュレーション分析を行った。そ

の結果として、日本全体の経済厚生については、国際的制​​度がある場合>日本のみ国際的制​​度に不参加の場合>国際的制​​度が無い場合という結果となり、排出量取引による限界削減費用均等化の重要性を改めて示す結果となった。また、日本が国際的制​​度に参加していない場合も、国際的制​​度参加国間の限界削減費用均等化によって各国の GHG 排出削減費用が緩和され、国際貿易を通じてその影響を日本も間接的に受けるため、上記のような経済厚生​​の順になったものと思われる。このような分析は日本一​​国のモデルでは不可能であり、本研究のモデル拡張が意義有​​るものであることを物語る結果と言えよう。また、GHG 排出削減の影響を都道府県別・産業部門別に見ても、国際的制​​度の創設によって経済厚生​​の低下が緩和されていることがわかる。ただし、前述の国内モデルによる分析の結果と比較すれば、鉱業部門あるいは石油・石炭製品部門と、それら産業部門の占める割合が大きい都道府県が特に負の経済的影響が強く出るとい​​う大きな傾向は一致するものの、その他の都道府県あるいは産業部門における影響の出方は異なっている部分も多い。この点については、海外を輸出入部門のみでモデル化した国内モデルと、世界を 11 ヶ国に分割し、輸出入に加えて各国の生産や消費行動をモデル化した MRCGE-GTAP の構造相違によるものと言えよう。

このように、平成 23 年度研究においては、3 年間を通じて本研究の最終目標であった GTAP 連動型 MRCGE(MRCGE-GTAP)による分析を行った。MRCGE-GTAP は、47 都道府県を地域区分とした国内 MRCGE および国際貿易モデル GTAP を基礎としているため、国際的な GHG 排出削減政策が経済に与える影響について、15 の産業部門別に分析できるのは勿論のこと、日本や世界各国といった国レベルだけでなく都道府県レベルにまで詳細に影響を分析することができるものであるという点で、大変重要な研究成果であると言えるだろう。また、構築したモデルは様々なシナリオについてのシミュレーション分析に耐えうる構造であり、今後 GHG 排出削減政策以外の貿易政策や租税政策、あるいは道路整備といった社会資本整備事業などの分析にも応用することが期待される。

## 1. 序論(平成23年度の研究にあたって)

我が国では、鳩山由紀夫首相が気候変動首脳会合で演説し、GHG 排出削減に関する中期目標として「1990年比で2020年までに25%削減することを目指す」と表明した。このようなGHG 排出削減目標は、我が国が既に世界トップレベルの環境技術先進国であることを鑑みると極めて厳しいものであると解釈せざるを得ない。このことは、目標達成のためには、世帯・企業・行政に相当規模の負担が求められることを意味しており、技術革新に依存する以外に、環境税の導入を含めた税制改革といったポリシー・ミックスに言及する必要がある。

一方、上記のような税制改革を行う際には、空間的(地域別)や産業部門別の負担割合の問題のみならず公平性を担保するための補助金制度の創設等といった複数の政策代替案を想定し、社会的厚生基準に基づく損失死加重(Dead Weight Loss)を比較することにより、ベスト・ミックスな政策を決定する必要がある。さらに、政策決定の際には、地域別かつ産業部門別の損失死加重、換言すれば、地域別産業部門別に細分化した影響度を把握することは必要不可欠である。このような背景の下、世界各国では、経済循環を表現した応用一般均衡モデル(Computable General Equilibrium Model)を構築し、GHG 排出削減政策の評価を行っている。

本研究では、我が国のGHG 排出削減目標を達成するための政策について、地域別産業部門別の費用と便益の帰着を明らかにし得る多地域応用一般均衡モデル(Multi-Regional CGE Model, 以下MRCGEとする)を構築することを第1の目的とする。なお、本研究におけるMRCGEは本研究独自に作成した47都道府県間産業連関表(45産業部門分類)を用いることから、GHG 排出削減政策による地域別産業部門別の費用および便益の帰着を明らかにすることができるという特徴を有しており、既存研究においては、本研究のように細分化された地域分類および産業分類においてGHG 排出削減政策に特化したMRCGEは見あたらない。また、このMRCGEを用いてGHG 排出削減政策に関するシミュレーション分析を行うことを第2の目的とする。この時、特にGHG 排出削減政策の効率性の評価のみならず、公平性の観点からもシミュレーション結果を分析する。さらに、我が国におけるGHG 排出削減政策によっては、国内資本が国外に流出する可能性が考えられる。そのため、国外については、GHG 排出削減政策が経済に与える影響を分析する多国間・多産業部門間経済モデルとして、世界的に広く用いられているGTAPモデル(The Global Trade Analysis Project Model, 以下、GTAPとする)と本研究で構築するMRCGEを連動することにより、世界各国の経済構造の変化と整合的なモデルである拡張MRCGEを構築し、GHG 排出削減政策に関するシミュレーション分析を行うことが、本研究の第3の目的である(例えば、Burniaux and Truong(2002)<sup>1)</sup>を参照のこと)。

## 2. 47都道府県 Multi-Regional CGE による GHG 排出削減政策の評価

### 2.1 はじめに

今日、我が国における温室効果ガス(Greenhouse Gas, 以下、GHGと略す)の排出量は、環境省(2011)<sup>2)</sup>によれば、表Ⅱ-2-1に示すように1990年以降増加を続け、2007年には1990年に比べて8.3%排出量が増加している。これは、仮に京都議定書の削減目標である1990年比マイナス6%を2007年に達成する場合、14.5%もの削減が必要になることを意味しており、目標達成には多くの負担が伴うものと考えられる。また、2008年以降については、金融危機による景気後退の影響で国内生産が低下したことにより、GHG排出量は減少傾向にあるものの、国内経済が回復すれば2007年以前の水準に戻る恐れもあり、今後のGHG排出削減政策の導入は必要不可欠であろう。

表－Ⅱ－２－１ 日本におけるGHG排出量の推移

年	1990 (基準年)	2004	2005	2006	2007	2008	2009
GHG排出量 (百万tCO <sub>2</sub> )	1,261	1,349	1,351	1,333	1,365	1,281	1209
対90年比	1.000	1.070	1.071	1.057	1.083	1.016	0.959

さらに、2009年に開催された気候変動首脳会合(The United Nations Summit on Climate Change)において、鳩山由紀夫首相(当時)は、日本の中期目標としてGHG排出量を2020年までに1990年比で25%削減する意向を表明したものの、このような高い排出削減目標の達成は、これまでの京都議定書のGHG排出削減目標達成に向けた取組だけでは困難である。すなわち、更なる排出削減のためには、我が国においても抜本的なエネルギー税制改革や炭素税(Carbon Tax)の導入および欧州連合域内排出量取引制度(European Union Emission Trading Scheme, EU-ETS)のようなキャップ&トレード型排出量取引(Cap and Trade)などの導入が避けられないということを意味していると言えよう。それに呼応して、平成23年度の税制度改正において、2011年10月から「地球温暖化対策のための税」(以下、地球温暖化対策税)の導入が閣議決定された。日本においては、環境省が平成16年度より炭素税導入に向けた税制改正要望を作成し続けており、導入に実に8年を要したことになる。ただし、この地球温暖化対策税は、石炭石油税に上乗せする形での課税であり、実質的にはエネルギー税の増税と言うべきものである。他方、このような地球温暖化対策税を始め、自主参加型国内排出量取引制度(Japan's Voluntary Emissions Trading Scheme, J-VETS)など、GHG排出削減に向けた政策の導入が進んでいる。

一般的に、環境分野のみならず、このような新たな政策導入の際には、導入前に経済社会に与えるインパクトを定量的に評価し、政策導入の必要性や有効性を明らかにすることで、政策導入への合意形成を行う必要がある。しかしながら、このようなGHG排出削減政策の議論の多くは、日本一国としての総合的な影響に論点が絞られており、地域別の影響に関する議論は数少ない。例えば、我が国の中長期的GHG排出削減の影響と目標実現のための具体的施策について検討する環境省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で用いられた複数の経済モデルは全て日本一国モデルであり、地域別の影響に関する議論はほとんど見られない。また、前述の地球温暖化対策税に関する資料(環境省(2010)<sup>3)</sup>など)においても、地域別の影響についての具体的な記述は見られず、このことは政府刊行物のみならず、後述するように学術研究においてもほとんど言及されていないのが現状であると言えよう。しかしながら、日本経済は都道府県毎、或いは、地域ブロック毎に産業構造が異なり、エネルギー依存度も地域毎に変わることから、政策導入による影響度合いに大きな違いが生じると考えられる。したがって、都道府県別・産業部門別の影響を明らかにすることは、今後の環境政策の立案および合意形成に寄与し、さらに、都道府県別・産業部門別の影響度合いから、様々な環境政策の効率性のみならず、小林(2000)<sup>4)</sup>による伝統的公平論および地域間の公平性に関する議論に資することになる。

そこで、本研究では、我が国のGHG排出削減目標を達成するための環境政策に関して、都道府県別・産業部門別の費用と便益の帰着を明らかにするための多地域応用一般均衡モデル(Multi-Regional Computable General Equilibrium Model, MRCGE)を構築することを第1の目的とする。なお、本稿において対象とするGHG排出削減政策は、炭素税の導入のみに論点を絞るものとする。さらに、本研究では、構築したMRCGEによって炭素税導入に関する複数のシナリオについて政策シミュレーションを行い、産業部門別・都道府県別に影響を明らかにすることを第2の目的とする。

## 2.2 既存研究の整理と本研究の位置づけについて

MRCGEは、一般的に地域間の経済的取引や労働・資本の移動および移動に伴うコスト等、空間的要素をモデルに組み込んだCGEモデルである。MRCGEの特徴は、地域間の経済取引をモ

デル上で表現することで、政策的な外生的ショックを地域別に与えたり、政策の影響を地域別に捉えたりする事が可能であるという点にある。ただし、これらの特徴を持つ MRCGE を構築するためには、モデル規模に比例して社会経済データおよび地域間交易データが必要となることから、MRCGE に関する既存研究や政策への利用は、主にデータ蓄積が豊富な先進国が中心である。

MRCGE の中でも、一国や EU などの経済圏を地域の最小単位とし、主に国際貿易政策の分析のために開発されたモデルは、特に国際貿易モデルと呼ばれており、代表的なモデルとして Purdue University において開発された GTAP (Hertel and Tsigas(1997)<sup>5)</sup>) が著名である。GTAP は、同じく Purdue University が作成している国際的な生産・消費・貿易データを収める GTAP データベースを基準均衡データとしており、最新版の GTAP7.1 では最大 112 国・地域および 57 産業部門の間の取引を表現し、政策シミュレーションを行うことが可能である。

MRCGE に分類されるものとして、国際貿易モデルの他には、一国や地域を複数のゾーンに分割し、地域間の経済交易を表現した CGE モデルがある。また、輸送コストや道路の混雑率などの空間的要素を考慮したモデルは、特に、SCGE(Spatial CGE)モデルと呼ばれており、道路や鉄道などの社会資本整備事業に関する分析に多く用いられている。ただし、MRCGE と SCGE モデルの定義に絶対的な相違は存在しないことから、以下では、MRCGE と総称する。MRCGE については、Monash University の Impact Project が開発した ORANI モデルが先駆的である(Dixon *et al.*(1982)<sup>6)</sup>)。ORANI モデルは、オーストラリア経済を 56 地域、112 産業部門に分割した大規模モデルであり、ORANI モデルをより一般化したモデルとして ORANI-G モデルがある(Horridge *et al.*(2000)<sup>7)</sup>)。近年開発されたモデルとして、MONASH-MRF(Peter *et al.*(1996)<sup>8)</sup>)、MONASH-MRF を逐次動学化した MMRF-GREEN(Philip *et al.*(2000)<sup>9)</sup>)などがあり、これらは交通政策、環境政策および国際貿易政策の分析に適用されている。

一方、我が国においては、社会資本整備や運輸政策など、土木や都市計画などの分野で多くの既存研究が存在しており、宮城・本部(1993)(1994)<sup>10,11)</sup>などの先駆的研究や、小池ほか(2003)<sup>11)</sup>、孟・安藤(2006)<sup>13)</sup>、檜垣ほか(2008)<sup>14)</sup>などがある。一方、久武・山崎(2006)<sup>15)</sup>、伴(2007)<sup>16)</sup> および武田・伴(2008)<sup>17)</sup>などは、これまで多くの CGE モデルの研究で対象とされてきた租税政策や貿易政策などの影響を地域別に分析することを目的としている。

本研究では、MRCGE による炭素税の影響を都道府県別に明らかにすることを目的としている。しかしながら、日本における MRCGE の既存研究は数多く存在するものの、炭素税に関しては、GTAP などの国際貿易モデルによる分析が存在する程度であり(例えば、濱崎(2001)<sup>18)</sup>など)、日本を複数地域に分けた場合の MRCGE による研究は見られず、多くは日本一国の経済を表現したモデルである。MRCGE 以外の CGE モデルによる炭素税の既存研究として、朴(2002)<sup>19)</sup>および鷲田(2005)<sup>20)</sup>などがある。また、経済理論的に炭素税率(=限界削減費用、Marginal Abatement Cost(MAC))と等しい排出量価格(排出量取引)に関する研究も多く発表されている。そこで、これら既存研究において分析されている炭素税率(排出量価格、MAC)を以下に示す。

表－Ⅱ－２－２ 炭素税導入に関する既存研究の比較

既存研究		税率	GHG排出削減率	厚生変化	GDP変化
濱崎(2001)	CGE (GTAP-E)	11.02\$/tCO <sub>2</sub> (95年価格)	-13.3% (90年比95年時点)	-2.649百万\$ (限界効用)	-0.07
Burniaux <i>et al.</i> (2002)	CGE (GTAP-E)	63.4\$/tCO <sub>2</sub> (97年価格)	-32% (97年比97年時点)	-0.61% (効用変化率)	—
朴(2002)	CGE	3,843円/tCO <sub>2</sub>	-20% (95年比95年時点)	—	-1%
鷺田(2005)	CGE (静学)	10,000円/tCO <sub>2</sub>	-7.9% (00年比00年時点)	—	—
Kasahara <i>et al.</i> (2007) <sup>21)</sup>	CGE (EPPA)	7.63\$/tCO <sub>2</sub> (05年価格)	-5.2% (05年比05年時点)	-0.07% (消費変化率)	-0.17%
武田ほか (2009) <sup>22)</sup>	CGE (動学)	14,519円/tCO <sub>2</sub> 33,684円/tCO <sub>2</sub> 81,555円/tCO <sub>2</sub> (90年価格)	-5% -13% -23% (90年比20年時点)	GDP成長率: -0.6% GDP成長率: -1.4% GDP成長率: -3.2%	

表－Ⅱ－２－２から、それぞれの既存研究毎に前提条件やシナリオは異なり、結果にも大きなばらつきがあるため単純な比較は困難であるが、本研究では、表－Ⅱ－２－２の中から比較的条件に近いものと考えられる鷺田(2005) および Kasahara *et al.*(2007)と本研究のシミュレーション結果を比較し、その妥当性についても検証することとする。

## 2.3 MRCGE の構造

### 2.3.1 47 都道府県地域間産業連関表と社会会計表

ここでは、MRCGE の主な基準均衡データとして用いる 47 都道府県地域間産業連関表について解説するとともに、社会会計表(Social Accounting Matrix, SAM)の作成手順を示す。

2005 年 47 都道府県地域間産業連関表(45 産業部門分類)は、非競争移入型・競争輸入型であり、総務省(2010)<sup>23)</sup>による 2005 年における各都道府県の地域内産業連関表および地域間交易係数を用いて、これらを統合し、縦計と横計が一致するように収束計算を行い作成されている。なお、非競争移入型とは、域内産業と域外産業とが「異なった財」を生産していると考え、産業連関表の取引を区分することを言う。また、競争輸入型とは、国内産業と国外産業とが「競争的な製品」を供給している場合には、産業連関表の各取引において国内製品と国外製品とを区分しないことを言う。

47 都道府県地域間産業連関表の詳細については、宮城・石川ほか(2003)<sup>24)</sup>、石川・宮城(2004)<sup>25)</sup>および石川(2005a)(2005b)<sup>26)27)</sup>を参照されたい。また、本研究で用いた非競争移入型・競争輸入型 2005 年 47 都道府県地域間産業連関表(45 産業部門分類)およびその詳細について、林山ほか(2010)<sup>28)</sup>に記載されている。

次に、直接 MRCGE の基準均衡データとなる社会会計表を作成する。SAM は、経済のある期間(通常は一年)における資金循環を行列表示したものであり、経済における取引の全体が記録されている。この SAM を連立方程式体系で表現したものが本研究で構築する MRCGE であると言える。以下、①～⑦に SAM 構築の手順を示す。

#### ①中間投入部門

中間投入については、47 都道府県地域間産業連関表の内生部門の値をそのまま用いている。ただし、Takeda(2007)<sup>29)</sup>の手法を参考に、負値の場合にはゼロとし、また、全ての値について小数点以下(本研究では一億円を 1.0 に基準化しているため、一億円以下)を切り捨てた。これは、中間



投入財の最も大きい金額の桁数と最も小さい金額の桁数が大きく異なった場合には、計算作業が困難になることに起因する。このような処理の結果、行列のバランスは大きく崩れることから、行列バランスを担保するため、RAS 法によって行列調整し、これを社会会計表の中間投入部門とした。なお、RAS 法については、金子(1971)<sup>30</sup>を参照のこと。

#### ②付加価値部門

付加価値部門については、47 都道府県地域間産業連関表の付加価値部門を労働、資本および生産税の3つの部門に統合している。付加価値部門統合の内訳は、「労働 = 家計外消費支出(行) + 雇用者所得」、「資本 = 営業余剰 + 資本減耗引当」、「生産税 = 間接税(生産税) + 控除補助金」である。また、計算を簡素化させるため、中間投入部門と同様に小数点以下を切り捨て、差を生産税で調整した。

#### ③最終需要部門

最終需要は、家計消費・政府支出・投資から成るものとした。その内訳は、「家計消費 = 家計外消費支出(列) + 民間消費支出」、「政府支出 = 一般政府消費支出」、「投資 = 総固定資本形成 + 在庫純増」である。また、中間投入と同様、最終需要における負値を MRCGE の枠組みで表現することは難しいことから、負値はゼロに置き換え、また小数点以下は切り捨てるものとし、外国部門の輸入に生じた差を加えることでバランス調整した。

#### ④外国部門(輸出入および外国貯蓄)

外国部門は、47 都道府県地域間産業連関表における輸出および輸入をそのまま用い、輸入から輸出を差し引いた額を外国貯蓄とした。本研究で構築するモデルにおいては、この外国貯蓄を外生変数とし、為替レートを内生変数とすることでモデルを閉じている。最終需要部門における負値の調整によって輸入の値は少なからず変化しており、このことが計算結果に影響を及ぼす可能性は否定できない。しかしながら、現状においてはこのような問題を回避する方法は見当たらないため、今後の課題としたい。

#### ⑤要素賦存部門

要素賦存については、各都道府県における労働と資本の投入から算出した。47 都道府県地域間産業連関表において、労働と資本の地域間移動が無いことから、各地域において労働と資本は自給率 1.0 である。したがって、各地域の産業部門に投入される労働投入および資本投入の和が、各要素賦存量に等しいことになる。しかしながら、現実の経済では労働・資本の移動が存在しており、また多くの MRCGE ではこの本源的生産要素の地域間移動を仮定している。この点については、今後のデータおよびモデルの改善が必要である。

#### ⑥直接税部門・家計貯蓄部門・政府貯蓄部門

①～⑤については、既存データを用いて対応する行和と列和が等しいという SAM の定義から値を導出することができた。しかしながら、直接税、家計貯蓄および政府貯蓄については、産業連関表の情報だけでは値を導出することができず、他のデータから外生的に決定する必要がある。そこで本研究では、伴(2007)の手法を用い、直接税率を外生的に与えることで直接税を求めるものとした。伴(2007)では、直接税率を全国一律とし、直接税率を国民経済計算から求め、各地域の家計の労働・資本所得に乗ずることで直接税額を算出している。そこで、本研究においても同様に、日本全体の総直接税額を、国民経済計算の「制度部門別所得支出勘定一般政府支出」の平成 17 暦年における「所得・富等に課される経常税(受取)」とし、これを 47 都道府県地域間産業連関表における総労働・資本所得で除すことにより全国一律の直接税率(=0.09)を算出した。したがって、各都道府県の直接税額の総和は、国民経済計算の直接税額と一致することになる。

さらに、直接税を算出したことから、行和と列和が一致するという性質を利用し、家計貯蓄は「家計貯蓄 = 要素所得 - 家計消費 - 直接税」、政府貯蓄は「政府貯蓄 = 直接税 + 生産税 - 政府支出」によって求めた。

#### ⑦所得移転部門

最後に、各地域の所得移転は「移入額 - 移出額」から決定し、この純移出入額が域内の投資部門に帰着すると仮定することにより、「所得移転 = 投資支出 - 家計貯蓄 - 政府貯蓄 - 外国貯蓄」という関係式が成立する。このように、MRCGE における所得移転は、国際収支式における外国貯

蓄と同様にモデルを閉じるために導入するものである。そのため、その帰着先についても Hosoe *et al.*(2010)<sup>31)</sup>における外国貯蓄の扱いと同様に投資部門の収入としている。このように、本研究における所得移転は、地方交付金や社会保障給付のような一般的な経済学における地域間の所得再分配とは異なることに注意されたい。

### 2.3.2 MRCGE の構造と連立方程式体系

ここでは、本研究で構築する MRCGE の構造とその連立方程式体系について、①国内生産部門、②家計消費部門、③政府支出部門、④投資部門、⑤輸出・国内変形および輸入・国内代替、⑥市場均衡条件の順に示す。本研究の MRCGE の構造は、Hosoe *et al.*(2010)および伴(2007)に依拠している。Hosoe *et al.*(2010)では、数値解析ソフト GAMS による CGE モデルのプログラミングについて解説しており、基本的な一国モデルや二国間モデル、不完全競争モデルについて扱っている。本研究では、スケールパラメータやシェアパラメータ等のキャリブレーションおよび方程式群の導出方法については、Hosoe *et al.*(2010)の手法を応用している。ただし、Hosoe *et al.*(2010)においては、MRCGE が考慮されていないことから、地域間に関する部分については伴(2007)のモデル構造を参考としている。伴(2007)は日本の多地域動学的 CGE モデルであり、MONASH-MRF をベースとしている。なお、本研究における MRCGE は静学モデルであり、伴(2007)の静学的部分のみを参考としている。

#### ①国内生産部門

国内生産部門については、図-Ⅱ-2-1 のような Nested 構造としている。

まず、 $s(s \in S)$  地域  $j(j \in J)$  部門は、労働  $L_j^s$  および資本  $K_j^s$  を投入し、利潤最大化の仮定の下、仮想的に合成生産要素  $Y_j^s$  を生産するものとする。同様に、中間投入についても、利潤最大化の仮定の下、仮想的に地域間合成中間投入財  $X_{ij}^s$  を生産すると仮定する。また、 $Y_j^s$  および  $X_{ij}^s$  の生産関数は、CES(Constant Elasticity of Substitution)型生産関数を仮定する。さらに、 $s$  地域  $j$  部門は、仮想的に生産された合成生産要素  $Y_j^s$  と合成中間投入財  $X_{ij}^s$  を投入し、 $s$  地域  $j$  部門の生産財  $Z_j^s$  を生産する。このとき、 $Z_j^s$  の生産関数は、投入係数パラメータ一定のレオンチェフ型(Leontief)生産関数を仮定し、生産要素間の完全非代替性を表現する。このように、地域間の代替関係と合成生産要素を含む中間投入間の代替関係を分離して考慮することによって、より地域別の影響を捉える事を可能としている。

なお、本研究のように炭素税や排出量取引といった環境政策やエネルギー政策に関する分析を行うモデルの多くでは、石炭や石油、天然ガス、或いは石炭石油製品や電気およびガス等のエネルギー財の代替関係を仮定し、さらに、GTAP-E のようにこれらエネルギー財と資本の代替関係を仮定する場合が多い。このような代替関係を仮定することにより、エネルギー財の中でも石炭から石油というように、より炭素含有率の低いエネルギーへの移行などを表現することができる。一方、前述のように本研究では、用いたデータの制約から、このような代替関係は仮定しておらず、エネルギー財は非エネルギー財と同様に代替不可能性を仮定している。このような仮定の下では、モデルが簡素化され、均衡解が得やすくなるというメリットがある。一方、エネルギーの代替関係を仮定した場には、特に、エネルギーに関わる政策において分析の精度に劣るというデメリットがあるものと思われる。この点については、使用データのエネルギー財の細分化が今後必要であろう。

また、本研究においては、生産関数に弱分離型を仮定しているため、 $Z_j^s$  の生産における各合成生産要素の最適化のみにより、それ以下の段階においても最適な値が導出されることになる。しかしながら、Hosoe *et al.*(2010)で採用されているように、各合成財の生産に仮想的な企業による利潤最大化行動を仮定することにより、MRCGE における各々の方程式を簡素化することができることから、上記のような定式化を行っていることに注意されたい。また、本研究における MRCGE の国内生産部門の経済行動は、下記の最適化問題(P.1-1)~(P.1-3)で表現される。

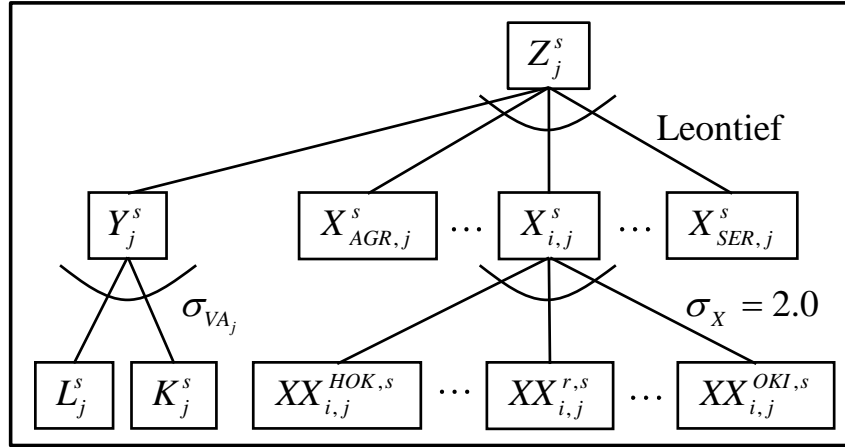


図-Ⅱ-2-1 国内生産部門の構造

$$\left( \begin{array}{l} \max. P_{Y_j^s} Y_j^s - P_{L_j^s} L_j^s - P_{K_j^s} K_j^s \\ \text{s.t. } Y_j^s = \alpha_{LK_j^s} \left[ \beta_{L_j^s} L_j^s \frac{\sigma_{VA_j}-1}{\sigma_{VA_j}} + \beta_{K_j^s} K_j^s \frac{\sigma_{VA_j}-1}{\sigma_{VA_j}} \right]^{\frac{\sigma_{VA_j}}{\sigma_{VA_j}-1}} \end{array} \right) \quad (\text{P.1-1})$$

$$\left( \begin{array}{l} \max. P_{X_{ij}^s} X_{ij}^s - \sum_{r \in R} P_{Q_r^s} XX_{ij}^{rs} - \tau_{CO_2} \sum_{r \in R} [\gamma_j \phi_{MIN} XX_{MIN,j}^{rs} + \phi_{PET} XX_{PET,j}^{rs}] \\ \text{s.t. } X_{ij}^s = \alpha_{XX_{ij}^s} \left[ \sum_{r \in R} \beta_{XX_{ij}^{rs}} XX_{ij}^{rs} \frac{\sigma_X-1}{\sigma_X} \right]^{\frac{\sigma_X}{\sigma_X-1}} \end{array} \right) \quad (\text{P.1-2})$$

$$\left( \begin{array}{l} \max. P_{Z_j^s} Z_j^s - P_{Y_j^s} Y_j^s - \sum_i P_{X_{ij}^s} X_{ij}^s \\ \text{s.t. } Z_j^s = \min. \left[ \frac{Y_j^s}{\alpha_{Y_j^s}}, \frac{X_{AGR,j}^s}{\alpha_{X_{AGR,j}^s}}, \dots, \frac{X_{SER,j}^s}{\alpha_{X_{SER,j}^s}} \right] \end{array} \right) \quad (\text{P.1-3})$$

なお、産業部門を示す*i, j*の略記については、表-Ⅱ-2-3、或いは、表-Ⅱ-2-6を参照されたい。また、次の式(1-1)~(1-10)は国内生産部門を構成する方程式群である。

$$Y_j^s = \alpha_{LK_j^s} \left[ \beta_{L_j^s} L_j^s \frac{\sigma_{VA_j}-1}{\sigma_{VA_j}} + \beta_{K_j^s} K_j^s \frac{\sigma_{VA_j}-1}{\sigma_{VA_j}} \right]^{\frac{\sigma_{VA_j}}{\sigma_{VA_j}-1}} \quad (1-1)$$

$$L_j^s = \left[ \frac{\alpha_{LK_j^s} \beta_{L_j^s} P_{Y_j^s}}{P_{L_j^s}} \right]^{\sigma_{VA_j}} \frac{Y_j^s}{\alpha_{LK_j^s}} \quad (1-2)$$

$$K_j^s = \left[ \frac{\alpha_{LK_j^s} \beta_{K_j^s} P_{Y_j^s}}{P_{K_j^s}} \right]^{\sigma_{VA_j}} \frac{Y_j^s}{\alpha_{LK_j^s}} \quad (1-3)$$

$$X_{ij}^s = \alpha_{XX_{ij}^s} \left[ \sum_{r \in R} \beta_{XX_{ij}^{rs}} XX_{ij}^{rs} \frac{\sigma_X-1}{\sigma_X} \right]^{\frac{\sigma_X}{\sigma_X-1}} \quad (1-4)$$

$$XX_{MIN,j}^{rs} = \left[ \frac{\alpha_{XX_{MIN,j}^s} \beta_{XX_{MIN,j}^s} P_{X_{MIN,j}^s}}{P_{Q_{MIN}^r} + \tau_{CO_2} \gamma_j \phi_{MIN}} \right]^{\sigma_x} \frac{X_{MIN,j}^s}{\alpha_{XX_{MIN,j}^s}} \quad (1-5)$$

$$XX_{PET,j}^{rs} = \left[ \frac{\alpha_{XX_{PET,j}^s} \beta_{XX_{PET,j}^s} P_{X_{PET,j}^s}}{P_{Q_{PET}^r} + \tau_{CO_2} \phi_{PET}} \right]^{\sigma_x} \frac{X_{PET,j}^s}{\alpha_{XX_{PET,j}^s}} \quad (1-6)$$

$$XX_{ij}^{rs} = \left[ \frac{\alpha_{XX_{ij}^s} \beta_{XX_{ij}^s} P_{X_{ij}^s}}{P_{Q_i^r}} \right]^{\sigma_x} \frac{X_{ij}^s}{\alpha_{XX_{ij}^s}} \quad i \neq PET, MIN \quad (1-7)$$

$$Y_j^s = \alpha_{Y_j^s} Z_j^s \quad (1-8)$$

$$X_{ij}^s = \alpha_{X_{ij}^s} Z_j^s \quad (1-9)$$

$$P_{Z_j^s} = P_{Y_j^s} \alpha_{Y_j^s} + \sum_{i \in I} P_{X_{ij}^s} \alpha_{X_{ij}^s} \quad (1-10)$$

ここで、 $P_{Y_j^s}$  は  $s$  地域  $j$  部門の合成生産要素価格、 $P_{L_j^s}$  は  $s$  地域の労働価格(本研究では、北海道の労働価格を価値基準財としてモデルを解く)、 $P_{K_j^s}$  は  $s$  地域の資本価格、 $\sigma_{VA_j}$  は代替弾力性(Elasticity of Substitution)である。ただし、 $\sigma_{VA_j}$  は GTAP データベース(GTAP7.1)の値を用いている(表-Ⅱ-2-3 参照)。

表-Ⅱ-2-3  $\sigma_{VA_j}$  の設定値

農林水産業 (AGR)	鉱業 (MIN)	石油・石炭製品 (PET)	化学製品 (CHE)	窯業・土石製品 (CER)
0.2	0.2	1.3	1.3	1.3
鉄鋼製品 (STL)	非鉄金属製品 (OSTL)	機械 (MCH)	自動車 (CAR)	その他製造業 (MAN)
1.3	1.3	1.3	1.3	1.2
建築・土木 (CON)	電力 (ELE)	ガス (GAS)	運輸 (TRA)	サービス (SER)
1.4	1.3	1.3	1.7	1.3

また、 $\alpha_{LK_j^s}$  はスケールパラメータ、 $\beta_{L_j^s}$  は  $s$  地域  $j$  部門の労働投入のシェアパラメータ、 $\beta_{K_j^s}$  は  $s$  地域  $j$  部門の資本投入のシェアパラメータ(ただし、 $\beta_{L_j^s} + \beta_{K_j^s} = 1$ )、 $P_{Q_i^r}$  は  $r(r \in R)$  地域産アーミントン合成財(Armington Composite Goods)  $Q_i^r$  の価格、 $\beta_{XX_{ij}^s}$  は中間投入シェアパラメータ(ただし、 $\sum_{r \in R} \beta_{XX_{ij}^s} = 1$ )、 $P_{X_{ij}^s}$  は合成中間投入財価格、 $\alpha_{XX_{ij}^s}$  はスケールパラメータ、 $\sigma_x (= 2.0)$  は代替弾力性、 $P_{Z_j^s}$  は  $s$  地域  $j$  部門の国内生産財価格、 $\alpha_{Y_j^s}$  および  $\alpha_{X_{ij}^s}$  は投入パラメータである。ただし、 $S(s \in S)$  は財の消費地集合(47 都道府県)、 $R(r \in R)$  は財の生産地集合(47 都道府県)、 $I(i \in I)$  は財の種類集合(15 財)、 $J(j \in J)$  は産業部門集合(15 産業部門)である。ここで、アーミントンの仮定とは、同一財であっても移輸出入においては、別々の財と見なすという仮定を意味する(Armington(1969)<sup>32</sup>)。

次に、本研究では、炭素税は中間投入財・家計消費財・政府支出財・投資財における鉱業財と石油・石炭製品財に含まれるエネルギー起源の  $CO_2$  に対して課税されるものとする。ここで、 $\tau_{CO_2}$  は炭素税率(=MAC)、 $\phi_{MIN} (= 12,495)$  および  $\phi_{PET} (= 4,195)$  は、国立環境研究所(2005)<sup>33</sup>から導出した鉱業財(MIN)および石油・石炭製品財(PET)の単位当たり GHG 含有量(家計消費財・政府支出財・

投資財で共通),  $\gamma_j$  は  $j$  部門に投入される鉱業財に含まれる石炭・原油・天然ガスの比率である。なお,  $\varphi_i = 0 (i \in I, i \neq MIN, PET)$  であることに注意されたい。このような係数を用いる理由には, 本研究で用いる 47 都道府県地域間産業連関表における鉱業財の性質がある。本研究で構築した MRCGE における鉱業部門は, CO<sub>2</sub> 排出源である「石炭・石油・天然ガス」部門と CO<sub>2</sub> を排出しない「金属鉱物」部門等を統合したものであることから, 投入, 或いは, 消費される鉱業財の CO<sub>2</sub> 含有量が需要する産業部門や最終需要部門によって異なるため, 鉱業財のアーミントン合成財に対する課税段階において, 本来炭素税の対象ではない「金属鉱物」に対しても同じく課税してしまうという問題が発生する。この問題を回避するために, 本研究では, 課税段階を既存研究のようなアーミントン合成財生産時ではなく, 中間投入と家計消費に分配した後とし, さらに, 需要する産業部門, 或いは, 最終需要部門毎の鉱業財に占める石炭・石油・天然ガスの割合を我が国の平成 17 年産業連関表(総務省(2010))および国立環境研究所(2005)から算出し(全都道府県共通と仮定), 課税段階においてその割合を乗ずるという方法を用いるものとした(表-Ⅱ-2-4 参照)。

表-Ⅱ-2-4  $\gamma_j$  の設定値

農林水産業 (AGR)	鉱業 (MIN)	石油・石炭製品 (PET)	化学製品 (CHE)	窯業・土石製品 (CER)
0.00	0.04	0.00	0.48	0.11
鉄鋼製品 (STL)	非鉄金属製品 (OSTL)	機械 (MCH)	自動車 (CAR)	その他製造業 (MAN)
0.23	0.00	0.50	1.00	0.64
建築・土木 (CON)	電力 (ELE)	ガス (GAS)	運輸 (TRA)	サービス (SER)
0.00	1.00	1.00	1.00	1.00

これにより, 需要する産業部門, 或いは, 最終需要部門によって異なる鉱業財の CO<sub>2</sub> 排出量に対して適切に課税することが可能となる。ただし, 石油石炭製品に投入される鉱業財は, ほぼ全て原材料として投入されることから, 二重課税を回避するために石油石炭製品部門への投入については非課税( $\gamma_{PET} = 0$ )としている。

また, 本研究では  $s$  地域政府に対して支払われた炭素税収は,  $s$  地域の家計に一括で還元されると仮定している。そのため, 本研究における炭素税は地方税的性質の強いものと言える。

#### ②家計部門

家計消費部門の構造は, 図-Ⅱ-2-2 のように表現される。本研究においては, 各地域に代表的家計が一つ存在し, 消費を行うと仮定している。 $s$  地域の家計は, 効用最大化条件に基づいて家計消費財  $XH_i^s$  を消費し, 効用水準  $UH^s$  を得る。ここで, 効用関数は, 代替弾力性  $\sigma_H (= 0.5)$  の CES 型効用関数を仮定している。また, 家計は, 所得の一定割合を直接税  $TD^s$  と貯蓄  $HS^s$  として支出すると仮定する。ここで,  $\beta_{XH_i^s}$  は  $s$  地域家計の  $r$  地域産家計消費財  $i$  のシェアパラメータ(ただし,  $\sum_{r \in R} \sum_{i \in I} \beta_{XH_i^s} = 1$ ),  $F_L^s$  は  $s$  地域家計の労働初期賦存量,  $F_K^s$  は  $s$  地域家計の資本初期賦存量,

$TD^s$  は  $s$  地域家計の直接税支払,  $\tau_D (= 0.09)$  は直接税率,  $HS^s$  は  $s$  地域家計の貯蓄,  $\delta_{HS}^s$  は  $s$  地域家計の貯蓄率である。 $TX_{CO_2}^s$  は  $s$  地域家計が生産部門から受け取る炭素税収入,  $TF_{CO_2}^s$  は  $s$  地域家計が最終需要部門から受け取る炭素税収入, ただし,  $\tau_D$  は全地域共通で, 外生的に与えている。また, 家計消費に対しても, 炭素税  $\tau_{CO_2}$  を課税している。

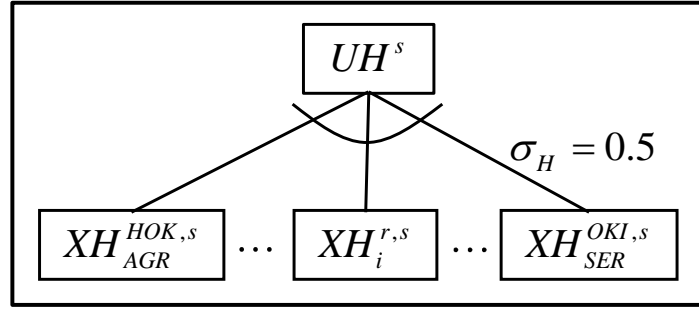


図-Ⅱ-2-2 家計消費部門の構造

以上の本研究における MRCGE の家計消費部門の経済行動は、下記の最適化問題(P.1-4)によって表現することができる。

$$\left( \begin{array}{l} \max_{XH_i^{rs}} .UH^s = \left[ \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} \beta_{XH_i^{rs}} \frac{1}{\sigma_H} XH_i^{rs} \frac{\sigma_H - 1}{\sigma_H} \right]^{\frac{\sigma_H}{\sigma_H - 1}} \\ \text{s.t. } P_L^s F_L^s + P_K^s F_K^s + TX_{CO_2}^s + TF_{CO_2}^s - TD^s - HS^s = \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} (P_{Q_i^r} + \tau_{CO_2} \varphi_i) XH_i^{rs} \end{array} \right) \quad (P.1-4)$$

また、式(1-11)～(1-15)は、MRCGE の連立方程式体系において、家計消費部門に関する部分を構成する方程式である。

$$XH_i^{rs} = \frac{\beta_{XH_i^{rs}} \left[ P_L^s F_L^s + P_K^s F_K^s + TX_{CO_2}^s + TF_{CO_2}^s - TD^s - HS^s \right]}{\left( P_{Q_i^r} + \tau_{CO_2} \varphi_i \right)^{\sigma_H} \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} \beta_{XH_i^{rs}} \left( P_{Q_i^r} + \tau_{CO_2} \varphi_i \right)^{(1-\sigma_H)}} \quad (1-11)$$

$$TD^s = \tau_D \left[ P_L^s F_L^s + P_K^s F_K^s + TX_{CO_2}^s + TF_{CO_2}^s \right] \quad (1-12)$$

$$HS^s = \delta_{HS}^s \left[ P_L^s F_L^s + P_K^s F_K^s + TX_{CO_2}^s + TF_{CO_2}^s \right] \quad (1-13)$$

$$TX_{CO_2}^s = \tau_{CO_2} \left[ \sum_{r \in R} \sum_{j \in J} \gamma_j \varphi_{MIN} XX_{MIN,j}^{rs} + \sum_{r \in R} \sum_{j \in J} \varphi_{PET} XX_{PET,j}^{rs} \right] \quad (1-14)$$

$$TF_{CO_2}^s = \tau_{CO_2} \varphi_{PET} \sum_{r \in R} \left[ XH_{PET}^{rs} + XG_{PET}^{rs} + XI_{PET}^{rs} \right] \quad (1-15)$$

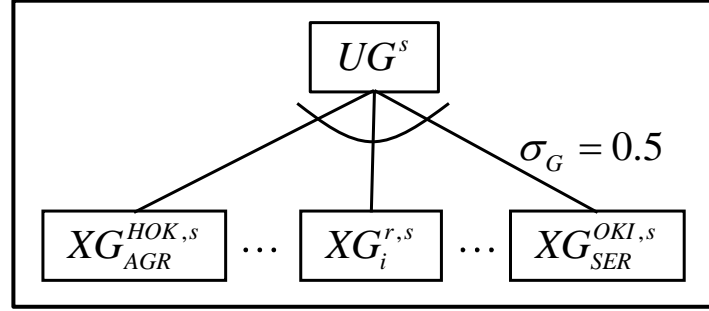
なお、本研究における社会厚生は、等価変分(Equivalent Variation, EV)、すなわち「変化後の効用水準を維持するという条件下で状態変化を諦めるために家計が必要と考える最小補償額(Willingness to Acceptance, WTA)」で定義しており、式(1-16)および(1-17)で表現される。ここで、 $E^s(\mathbf{p}_t^s, \overline{UH}_t^s)$  は  $s$  地域の家計の支出関数(Expenditure Function)、 $\overline{UH}_t^s$  は政策実施有無  $t$  における  $s$  地域の家計の効用水準(外生)、 $\mathbf{XH}_t^s$  は  $t$  期における  $s$  地域の合成消費財ベクトル、 $\mathbf{p}_t^s$  は  $t$  期における  $s$  地域の合成消費財価格ベクトルを意味する。なお、 $t=0,1$  は、GHG 排出削減政策の実施有無である。

$$E^s(\mathbf{p}_t^s, \overline{UH}_t^s) \equiv \min_{XH_t^s} \left[ \mathbf{p}_t^s \cdot \mathbf{XH}_t^s \mid UH_t^s(\mathbf{XH}_t^s) \geq \overline{UH}_t^s \right] \quad (1-16)$$

$$EV^s \equiv E^s(\mathbf{p}_0^s, UH_1^s(\mathbf{XH}_1^s)) - E^s(\mathbf{p}_0^s, UH_0^s(\mathbf{XH}_0^s)) \quad (1-17)$$

③政府支出部門

政府支出部門の構造は、図－II－2－3のように、政府の仮想的効用 $UG^s$ を最大化するよう各財への支出を決定するものとする。本モデルでは、伴(2007)の仮定を参考に、中央政府は存在せず各都道府県に存在する政府支出部門が仮想的な政府効用を最大化するよう政府支出 $XG_i^{rs}$ を決定するものとした。また、家計消費部門と同様に、政府支出部門は税收の一定割合を貯蓄するものとしている。本研究におけるMRCGEの政府支出部門の行動は、下記の最適化問題(P.1-5)で表現される。



図－II－2－3 政府支出部門の構造

$$\left( \begin{array}{l} \max_{XG_i^{rs}} . UG^s = \left[ \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} \beta_{XG_i^{rs}} \frac{1}{\sigma_G} XG_i^{rs} \frac{\sigma_G - 1}{\sigma_G} \right]^{\frac{\sigma_G}{\sigma_G - 1}} \\ \text{s.t. } \sum_{j \in J} TZ_j^s + TD^s - GS^s = \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} (P_{Q_i^r} + \tau_{CO_2} \phi_i) XG_i^{rs} \end{array} \right. \quad (P.1-5)$$

また、式(1-18)～(1-20)は政府支出部門に関する方程式群である。

$$XG_i^{rs} = \frac{\beta_{XG_i^{rs}} \left( \sum_{j \in J} TZ_j^s + TD^s - GS^s \right)}{\left( P_{Q_i^r} + \tau_{CO_2} \phi_i \right)^{\sigma_G} \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} \beta_{XG_i^{rs}} \left( P_{Q_i^r} + \tau_{CO_2} \phi_i \right)^{(1-\sigma_G)}} \quad (1-18)$$

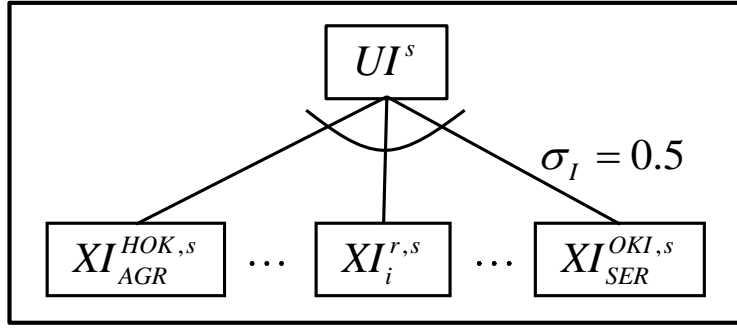
$$TZ_j^s = \tau_{Z_j} P_{Z_j} Z_j^s \quad (1-19)$$

$$GS^s = \delta_{GS}^s \left[ \sum_{j \in J} TZ_j^s + TD^s \right] \quad (1-20)$$

ここで、 $\sigma_G (= 0.5)$ は代替弾力性パラメータ、 $\beta_{XG_i^{rs}}$ はシェアパラメータ(ただし、 $\sum_{r \in R} \sum_{i \in I} \beta_{XG_i^{rs}} = 1$ )、 $TZ_j^s$ は $s$ 地域 $j$ 部門の生産税支払、 $\tau_{Z_j}$ は $s$ 地域 $j$ 部門に課される生産税率、 $GS^s$ は $s$ 地域政府の貯蓄、 $\delta_{GS}^s$ は $s$ 地域政府の貯蓄率である。

④投資部門

投資部門は、図－II－2－4に示すように、各地域に一つ存在し、仮想的な効用 $UI^s$ を最大化させるように投資財への支出を行うものとする。本研究におけるMRCGEの投資部門の経済行動は、下記の最適化問題(P.1-6)で表現することができる。



図－Ⅱ－２－４ 投資部門の構造

$$\left( \begin{array}{l} \max_{XI_i^{rs}} . UI^s = \left[ \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} \beta_{XI_i^{rs}} \frac{1}{\sigma_i} XI_i^{rs} \right]^{\frac{\sigma_i}{\sigma_i - 1}} \\ \text{s.t. } HS^s + GS^s + \varepsilon SF^s + TR^s = \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} (P_{Q_i^r} + \tau_{CO_2} \varphi_i) XI_i^{rs} \end{array} \right. \quad (P.1-6)$$

また、式(1-21)および(1-22)は投資部門に関する方程式群である。

$$XI_i^{rs} = \frac{\beta_{XI_i^{rs}} (HS^s + GS^s + \varepsilon SF^s + TR^s)}{(P_{Q_i^r} + \tau_{CO_2} \varphi_i)^{\sigma_i} \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} \beta_{XI_i^{rs}} (P_{Q_i^r} + \tau_{CO_2} \varphi_i)^{(1-\sigma_i)}} \quad (1-21)$$

$$SF^s = \sum_{j \in J} (PW_{M_j} M_j^s - PW_{E_j} E_j^s) \quad (1-22)$$

ここで、 $\sigma_i (= 0.5)$  は代替弾力性パラメータ、 $\beta_{XI_i^{rs}}$  は  $s$  地域投資部門の  $r$  地域産投資財  $i$  のシェアパラメータ(ただし、 $\sum_{r \in R} \sum_{i \in I} \beta_{XI_i^{rs}} = 1$ )、 $SF^s$  は  $s$  地域の外国貯蓄(外生)、 $E_j^s$  は  $s$  地域  $j$  部門の輸出、 $M_j^s$  は  $s$  地域  $j$  部門の輸入、 $PW_{E_j}$  は国際輸出財  $j$  の価格(外生)、 $\varepsilon$  は外貨建て為替レート、 $PW_{M_j}$  は国際輸入財  $j$  の価格(外生)、 $TR^s$  は  $s$  地域が受け取る所得移転であり、前述したように、「移入額－移出額」により計算される。

#### ⑤輸出・国内変形、輸入・国内代替

輸出・国内変形および輸入・国内代替部門の構造は、図－Ⅱ－２－５により示すことができる。本モデルでは、図－Ⅱ－２－５に示すように、アーミントンの仮定によって、国内で生産した財  $Z_i^r$  を仮想的企業が国内供給  $D_i^r$  と輸出  $E_i^r$  に変形するものとする。ここで、本研究では、総生産高を対外輸出と国内供給に変換する最適配分手法として変形関数(Transformation Function)の概念を用いるものとし、変形弾力性一定である CET 型(Constant Elasticity of Transformation)変形関数を仮定する。

さらに、仮想的企業は利潤最大化条件に基づいて行動するものと仮定すると、この仮想的企業の行動は最適化問題(P.1-7)で表現される。



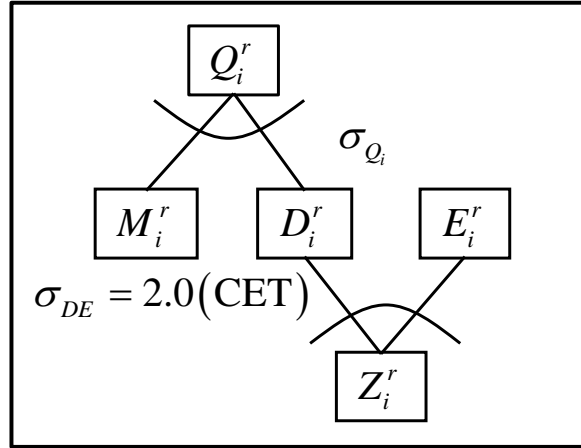


図-Ⅱ-2-5 輸出・国内変形および輸入・国内代替の構造

$$\left( \begin{array}{l} \max_{D_i^r, E_i^r} P_{D_i^r} D_i^r + P_{E_i^r} E_i^r - (1 + \tau_{Z_i^r}) P_{Z_i^r} Z_i^r \\ \text{s.t. } Z_i^r = \alpha_{DE_i^r} \left[ \beta_{D_i^r} D_i^r \frac{\sigma_{DE}+1}{\sigma_{DE}} + \beta_{E_i^r} E_i^r \frac{\sigma_{DE}+1}{\sigma_{DE}} \right]^{\frac{\sigma_{DE}}{\sigma_{DE}+1}} \end{array} \right) \quad (\text{P.1-7})$$

輸入・国内代替については、国内供給財と輸出財の関係と同様に、国内供給財と輸入財の間にもアーミントンの仮定を置くものとする。アーミントン合成財生産関数は国内供給財と輸入財を投入要素とするCES型生産関数であり、アーミントン合成財を生産する仮想的企業の利潤最大化行動により生産される。この仮想的企業の行動は、最適化問題(P.1-8)で表現される。

$$\left( \begin{array}{l} \max_{D_i^r, M_i^r} P_{Q_i^r} Q_i^r - P_{D_i^r} D_i^r - P_{M_i^r} M_i^r \\ \text{s.t. } Q_i^r = \alpha_{DM_i^r} \left[ \beta_{DD_i^r} D_i^r \frac{\sigma_{Q_i}-1}{\sigma_{Q_i}} + \beta_{M_i^r} M_i^r \frac{\sigma_{Q_i}-1}{\sigma_{Q_i}} \right]^{\frac{\sigma_{Q_i}}{\sigma_{Q_i}-1}} \end{array} \right) \quad (\text{P.1-8})$$

また、式(1-23)～(1-30)は輸出・国内変形および輸入・国内代替に関する方程式群である。

$$Z_i^r = \alpha_{DE_i^r} \left[ \beta_{D_i^r} D_i^r \frac{\sigma_{DE}+1}{\sigma_{DE}} + \beta_{E_i^r} E_i^r \frac{\sigma_{DE}+1}{\sigma_{DE}} \right]^{\frac{\sigma_{DE}}{\sigma_{DE}+1}} \quad (1-23)$$

$$E_i^r = \left[ \frac{\alpha_{DE_i^r} \beta_{E_i^r} (1 + \tau_{Z_i^r}) P_{Z_i^r}}{P_{E_i^r}} \right]^{-\sigma_{DE}} \frac{Z_i^r}{\alpha_{DE_i^r}} \quad (1-24)$$

$$D_i^r = \left[ \frac{\alpha_{DE_i^r} \beta_{D_i^r} (1 + \tau_{Z_i^r}) P_{Z_i^r}}{P_{D_i^r}} \right]^{-\sigma_{DE}} \frac{Z_i^r}{\alpha_{DE_i^r}} \quad (1-25)$$

$$Q_i^r = \alpha_{DM_i^r} \left[ \beta_{DD_i^r} D_i^r \frac{\sigma_{Q_i}-1}{\sigma_{Q_i}} + \beta_{M_i^r} M_i^r \frac{\sigma_{Q_i}-1}{\sigma_{Q_i}} \right]^{\frac{\sigma_{Q_i}}{\sigma_{Q_i}-1}} \quad (1-26)$$

$$D_i^r = \left[ \frac{\alpha_{DM_i^r} \beta_{DD_i^r} P_{Q_i^r}}{P_{D_i^r}} \right]^{\sigma_{Q_i}} \frac{Q_i^r}{\alpha_{DM_i^r}} \quad (1-27)$$

$$M_i^r = \left[ \frac{\alpha_{DM_i^r} \beta_{M_i^r} P_{Q_i^r}}{P_{M_i^r}} \right]^{\sigma_{Q_i}} \frac{Q_i^r}{\alpha_{DM_i^r}} \quad (1-28)$$

$$P_{E_i^r} = \varepsilon PW_{E_i} \quad (1-29)$$

$$P_{M_i^r} = \varepsilon PW_{M_i} \quad (1-30)$$

ここで、 $D_i^r$  は  $r$  地域産国内財  $i$  の供給量、 $\beta_{D_i^r}$  は  $r$  地域産国内財  $i$  のシェアパラメータ、 $\beta_{E_i^r}$  は  $r$  地域産輸出財  $i$  のシェアパラメータ(ただし、 $\beta_{D_i^r} + \beta_{E_i^r} = 1$ )、 $\alpha_{DE_i^r}$  はスケールパラメータ、 $P_{E_i^r}$  は  $r$  地域産輸出財  $i$  の価格、 $\sigma_{DE}$  ( $= 2.0$ ) は代替弾力性、 $P_{D_i^r}$  は  $r$  地域産国内財  $i$  の価格を意味する。 $Q_i^r$  は  $r$  地域産アーミントン財  $i$  の供給量、 $\beta_{DD_i^r}$  は  $r$  地域産国内供給財  $i$  のシェアパラメータ、 $\beta_{M_i^r}$  は  $r$  地域産輸入財  $i$  のシェアパラメータ(ただし、 $\beta_{DD_i^r} + \beta_{M_i^r} = 1$ )、 $\alpha_{DM_i^r}$  はスケールパラメータ、 $\sigma_{Q_i}$  は代替弾力性を意味する。ただし、 $\sigma_{Q_i}$  は GTAP7.1 の値を用いている(表-Ⅱ-2-5参照)。また、本研究では小国の仮定を採用するため、輸出財価格および輸入財価格と国際輸出財価格および国際輸入財価格の関係式である式(1-29)および(1-30)を設定している。

表-Ⅱ-2-5  $\sigma_{Q_i}$  の設定値

農林水産業 (AGR)	鉱業 (MIN)	石油・石炭製品 (PET)	化学製品 (CHE)	窯業・土石製品 (CER)
2.4	5.7	2.1	3.3	2.9
鉄鋼製品 (STL)	非鉄金属製品 (OSTL)	機械 (MCH)	自動車 (CAR)	その他製造業 (MAN)
3.0	4.2	4.2	2.8	3.2
建築・土木 (CON)	電力 (ELE)	ガス (GAS)	運輸 (TRA)	サービス (SER)
1.9	2.8	2.8	1.9	1.9

#### ⑥市場均衡条件

最後に、財および生産要素の需要と供給が各市場で均衡するための条件式として式(1-31)～(1-34)を仮定する。

$$Q_i^r = \sum_{s \in S} \sum_{j \in J} XX_{ij}^{rs} + \sum_{s \in S} XH_i^{rs} + \sum_{s \in S} XG_i^{rs} + \sum_{s \in S} XI_i^{rs} \quad (1-31)$$

$$\sum_{j \in J} L_j^s = F_{L^s} \quad (1-32)$$

$$\sum_{j \in J} K_j^s = F_{K^s} \quad (1-33)$$

$$\sum_{s \in S} TR^s = 0 \quad (1-34)$$

まず、式(1-31)はアーミントン合成財(供給)が家計消費財と政府支出財、投資財および中間投入財の合計(需要)に等しいことを意味し、これによって財市場の均衡を表現している。また、式(1-32)は労働市場の需給均衡を、式(1-33)は資本市場の需給均衡を表現している。さらに、式(1-34)は、所得移転の合計がゼロであることを意味する。

以上により、本研究における MRCGE を構成する全ての連立方程式体系が示された。これらの連立方程式体系において外生値としたスケールパラメータ、シェアパラメータ、投入パラメータ、貯蓄率および生産税率については、キャリブレーション(Calibration)によって導出する。一方、代替・変形弾力性については、キャリブレーションでは推定が困難であるため、多くの既存研究においては、過去の同様な研究、或いは、ベースとしたモデルにおいて用いられた値などをアドホックに用い、感応度分析によってモデルの信頼性を保つという方法を採用している。したがって、本研究も同様に、モデル構築において参考にした Hosoe *et al.*(2010) および伴(2007)の値を参考とした。

## 2.4 産業部門分類

ここでは、本研究で構築する MRCGE の産業部門分類について解説する。MRCGE の基準均衡データである 47 都道府県地域間産業連関表の産業部門分類は 45 部門である。そのため、技術的には 47 地域 45 部門の MRCGE を構築することが可能である。しかしながら、そのような細かな地域・産業部門分類では変数やパラメータ数、そして計算回数が膨大となり、大規模な計算能力が必要となる。よって、本研究では、45 産業部門を計算可能な範囲まで部門統合する。このとき、部門統合の条件として、GTAP データベースにおける部門分類との整合性を考慮する。これは、今後、発展的研究として、本研究における MRCGE と国際貿易モデルである GTAP-E を連動させた複合モデルの開発を念頭に置いているためである。GTAP-E は GTAP を改良したものであり、その特徴として、エネルギーと資本の間の代替性を考慮しており、環境政策、特に、炭素税や排出量取引などの地球温暖化に関する政策の分析に広く応用されている。

表－Ⅱ－２－６ MRCGE における産業部門分類

MRCGE における 15 産業部門分類	47 都道府県地域間産業連関表における 45 産業部門分類
(1) 農林水産業 (AGR)	農業、林業、漁業
(2) 鉱業 (MIN)	鉱業
(3) 石油・石炭製品 (PET)	石油・石炭製品
(4) 化学製品 (CHE)	化学製品、プラスチック製品、ゴム製品
(5) 窯業・土石製品 (CER)	窯業・土石製品
(6) 鉄鋼製品	鉄鋼製品
(7) 非鉄金属製品 (OSTL)	非鉄金属製品
(8) 機械 (MCH)	電子・通信機器、事務用・サービス用機器、民生用電気機械・一般機械・その他電気機械、精密機械
(9) 自動車 (CAR)	自動車
(10) その他製造業 (MAN)	食料品・たばこ、繊維製品、製材・木製品、パルプ・紙・紙加工品、印刷・出版、皮革・同製品、金属製品、その他の製造業、家具・装飾品
(11) 建築・土木 (CON)	建築・建設補修、土木
(12) 電力 (ELE)	電力
(13) ガス・熱供給 (GAS)	ガス・熱供給
(14) 運輸 (TRA)	運輸
(15) サービス (SER)	金融・保険、通信・放送、公務、医療・保険・社会保障、その他公共サービス、教育・研究、水道・廃棄物処理、対事業所サービス、不動産、対個人サービス、商業、その他

GTAP-Eの基準均衡データとなるGTAP7.1の産業部門分類は57部門であり、本研究において用いる47都道府県地域間産業連関表とGTAP7.1の産業部門分類が異なることから、双方が整合的になるように部門統合する必要がある。そこで、本研究ではこの点を考慮し、表-Ⅱ-2-6に示した15産業部門分類に統合した。また、GTAP7.1の基準年は2004年であり、本研究において作成した47都道府県地域間産業連関表の基準年である2005年と一致していないことから、何らかの修正が必要となる。

## 2.5 MRCGEによる政策シミュレーションの実行

### 2.5.1 GHG 排出削減シナリオ設定とその考え方

本研究では、GHG 排出削減政策として、炭素税導入によるGHG 排出削減シナリオ(GHG Discharge Reduction Scenario)を設定した。その概要を表-Ⅱ-2-7に示す。

表-Ⅱ-2-7 GHG 排出削減シナリオの設定

GHG 排出削減シナリオ	炭素税率(≡MAC)	課税対象
①地球温暖化対策税	「地球温暖化対策のための税」の平均税率 (2015年4月以降の税率を用いる)	中間投入財・家計消費財・政府支出財・投資財のうち、鉱業財および石油・石炭製品財に含まれるCO <sub>2</sub>
②5.94%排出削減 (議定書目標50%達成)	05年比CO <sub>2</sub> 排出削減率が-5.94%となる水準	
③11.87%排出削減 (議定書目標100%達成)	05年比CO <sub>2</sub> 排出削減率が-11.87%となる水準	
④12.95%排出削減 (中期目標50%達成)	05年比CO <sub>2</sub> 排出削減率が-12.95%となる水準	

シナリオ①は、前述した地球温暖化対策税を想定したシナリオである。ただし、地球温暖化対策税は実質的にはエネルギー税の増税であり、原油および石油製品(760円/kl)、ガス状炭化水素(780円/t)、石炭(670円/t)と各々課税額が異なる。一方、本研究では、これらを同一部門として取り扱っていることから、モデル上では各々の税率を課税することは困難である。そこで、本研究では、国立環境研究所(2005)からこれらの部門の単位当たりCO<sub>2</sub>含有量を算出し、課税額をCO<sub>2</sub>当たりの課税額に換算した後、その平均値を課税率とした。その結果、地球温暖化対策税は平均的に288.67円/tCO<sub>2</sub>となった。ただし、地球温暖化対策税は平成27年までに段階的に引き上げられるという経過措置をとっているものの、ここでは平成27年4月から適用される最終的な税率にのみ基づいていることに注意されたい。

次に、シナリオ②～④は、我が国の京都議定書における目標および2020年までの中期目標を想定したシナリオであり、CO<sub>2</sub>排出削減率を所与としている。まず、我が国の京都議定書における目標は、「2008年から2012年までの5年間の平均GHG排出量を1990年比で-6%の水準に安定化させる」というものである。この目標達成のためのシナリオを設定する。ただし、この目標は全てのGHGが削減対象であるが、本研究では非エネルギー起源のGHG排出削減について表現することが困難であるため、削減対象をエネルギー起源のCO<sub>2</sub>のみとする。よって本研究では、全GHG排出量に占めるエネルギー起源CO<sub>2</sub>の割合(基準年では83.6%)を乗じた5.04%を削減目標とする。これを47都道府県地域間産業連関表の基準年である2005年に達成しようとする場合、11.87%のCO<sub>2</sub>排出削減が必要となる。これは、2005年のエネルギー起源のCO<sub>2</sub>排出量は1,203百万tCO<sub>2</sub>であり、1990年の1,059百万tCO<sub>2</sub>に比べ+13.6%であった。2005年に1990年比-5.04%を達成するには2005年比16.4%の削減が必要であるものの、2001年のマラケシュ合意によって森林吸収源対策として90年比3.8%分がGHG排出削減量として認められ、また、京都メカニズム利用により90年比1.6%の削減が見込まれている。これらはすべてのGHGが対象であるから、このうちエネルギー起源のCO<sub>2</sub>分4.53%を差し引いた値が前述の11.87%である。シナリオ③は、この11.87%を全

て炭素税によって削減するものである。しかしながら、全てを炭素税によって削減するというシナリオは非現実的であり、炭素税のほかに自然エネルギーや省エネルギー技術、排出量取引制度の導入など、ポリシー・ミックスによる排出削減が考えられる。そこで、前述の 11.87%の半分の 5.94%を炭素税で削減する場合をシナリオ②として分析する。

最後に、シナリオ④における 12.95%という排出削減率は、「2020年までに GHG 排出量を 90年比で 25%削減する」という、我が国の GHG 排出削減中期目標を 2005年時点で達成するために必要な CO<sub>2</sub> 排出削減率である 25.9%の半分を炭素税によって削減するという仮想的な状況を想定したものである。

本研究では、シナリオ①については地球温暖化対策税の影響を検証するため、また、シナリオ②～④については、京都議定書の排出削減に関する影響の分析および京都議定書以上の削減を実施するという仮想的な状況における影響の分析を行うという意図がある。また、シナリオ①～④という炭素税率の異なるシミュレーション結果を比較し、税率変化に伴って経済に与える影響がどの様に変化するかについて分析する。

## 2.5.2 政策シミュレーションの結果とその解釈

ここでは、本研究において設定した CO<sub>2</sub> 排出削減シナリオに基づいた政策シミュレーション結果の一部を示す。なお、本研究では、数値解析ソフト GAMS(The General Algebraic Modeling System)を用いた。

表Ⅱ-2-8には、炭素税率、CO<sub>2</sub> 排出削減率、炭素税収、炭素税収一億円当たりの CO<sub>2</sub> 排出削減量を示す。ただし、*s* 地域 *j* 部門の CO<sub>2</sub> 排出量および *s* 地域の CO<sub>2</sub> 排出量は下記の式(1-35)および(1-36)のように導出される。これらを式(1-37)のように総合したものが日本全体の総 CO<sub>2</sub> 排出量である。基準均衡における各都道府県については付録の表Ⅲ-2-1を参照されたい。

$$CO_{2j}^s = \sum_{r \in R} \gamma_j \varphi_{MIN} XX_{MIN,j}^{rs} + \sum_{r \in R} \varphi_{PET} XX_{PET,j}^{rs} \quad (1-35)$$

$$CO_2^s = \sum_{j \in J} CO_{2j}^s + \varphi_{PET} \sum_{r \in R} [XH_{PET}^{rs} + XG_{PET}^{rs} + XI_{PET}^{rs}] \quad (1-36)$$

$$\text{総}CO_2\text{排出量} = \sum_{s \in S} CO_2^s \quad (1-37)$$

まず、地球温暖化対策税を想定したシナリオ①について取り上げると、CO<sub>2</sub> 排出削減率は 2005年比で 0.32%(3.84 百万 tCO<sub>2</sub>)、炭素税収は約 3,402 億円であった。ただし、ここでは、シナリオ①の炭素税率は経過措置終了後の最も高い税率を参考としていることに注意されたい。

次に、シナリオ①～④全体を概観すると、炭素税率と CO<sub>2</sub> 排出削減率は明らかな正の相関関係があることが分かる。しかし、CO<sub>2</sub> 排出削減率が大きくなるにつれて、炭素税収当たりの CO<sub>2</sub> 排出削減量は小さくなっており、このことから、炭素税率に対して CO<sub>2</sub> 排出削減率は逡減していることが分かる。換言すれば、CO<sub>2</sub> の限界排出削減費用は排出削減目標の高まりとともに逡増する。また、福井(2010)<sup>34)</sup>によれば、中長期ロードマップ小委員会ワーキンググループで用いられた日経センターCGE モデルでは、2020年の GHG 排出量を 13.3%削減するというシナリオに対して、炭素税率は 16,448 円/tCO<sub>2</sub> と試算しており、前提条件に相違があるものの本研究におけるシナリオ③にほぼ対応していることが分かる。

表-Ⅱ-2-8 シナリオ別シミュレーション結果

05年比 CO <sub>2</sub> 削減シナリオ (2005年価格)	①地球温暖化対 策税	②5.94%削減 シナリオ	③11.87%削減 シナリオ	④12.95%削減 シナリオ
炭素税率(円/tCO <sub>2</sub> )	289	6,375	15,565	17,680
CO <sub>2</sub> 排出削減率(%)	0.32	5.94	11.87	12.95
CO <sub>2</sub> 排出削減量 (百万tCO <sub>2</sub> )	3.84	71.42	142.85	155.84
炭素税収(億円)	3,402.87	70,791.78	162,057.95	181,575.66
炭素税収当たり CO <sub>2</sub> 排出削減量 (tCO <sub>2</sub> /億円)	1,128.46	1,008.87	881.47	858.27

さらに、本研究における政策シミュレーション結果の傾向および結果が特異か否かを検討するために、既存研究においてモデルの前提条件等が比較的近いと考えられる鷲田(2005)およびKasahara *et al.*(2007)と比較検討することとした。まず、鷲田(2005)の場合には、2000年において1万円/tCO<sub>2</sub>の課税で1.6百万tCO<sub>2</sub>のCO<sub>2</sub>が削減されるとなっていることから、本研究に比べ、高い炭素税率が設定されていることを意味している。一方、Kasahara *et al.*(2007)では、7.63\$/tCO<sub>2</sub>の課税で5.2%のGHG排出削減としている。また、財務省貿易統計による1997年平均対米ドル為替レート120.41円/\$を用いて円換算すると、918.72円/tCO<sub>2</sub>となり、本研究に比べ、極めて低い炭素税率でGHG排出削減が可能であることを意味している。これらの比較から、前提条件やモデル構造、シナリオ設定などの点で相違は存在するものの、本研究の結果は、これら両研究における試算値の範囲内に収まっていることから、ある程度の妥当性を有するものと解釈できよう。

次に、表-Ⅱ-2-9は都道府県別産業部門別生産量( $Z_j^s$ )の変化率(11.87%削減シナリオのみ)を、また、図-Ⅱ-2-6～図-Ⅱ-2-9には、シナリオ別都道府県別一人当たり社会厚生変化額、シナリオ別都道府県別実質GRP(Gross Regional Product)変化率シナリオ別都道府県別CO<sub>2</sub>排出削減率およびシナリオ別産業部門別CO<sub>2</sub>排出削減率を示す。ただし、地球温暖化対策税シナリオは他のシナリオに比べ変化が微小であるため、割愛した。ここで、実質GRPは、『実質GRP= $\Sigma\{(\text{政策無し価格}) \times (\text{自地域財に対する最終需要})\} + \Sigma\{(\text{政策無し価格}) \times (\text{移出}-\text{移入})\} + \Sigma\{(\text{政策無し価格}) \times (\text{輸出}-\text{輸入})\}$ 』で定義している。よって、EVが家計の経済厚生の変化を表す指標であるのに対して、実質GRPは全ての経済主体を含めた経済厚生の変化を表す経済指標であると言えよう。ただし、政策無の場合の価格は1.0に基準化している。

表－Ⅱ－２－９ 都道府県別産業部門別生産量( $Z_j^s$ )変化率(11.87%削減シナリオ)

	農 林 水 産 業	鉱 業	石 油 ・ 石 炭 製 品	化 学 製 品	窯 業 ・ 土 石 製 品	鉄 鋼 製 品	非 鉄 金 属 製 品	機 械	自 動 車	そ の 他 製 造 業	建 築 ・ 土 木	電 力	ガ ス ・ 熱 供 給	運 輸	サ ー ビ ス
北海道	-0.31	-31.25	-13.80	-7.53	-1.23	-3.90	0.72	2.09	-0.50	-0.83	1.33	-5.84	-12.69	-0.92	0.38
青森	-0.70	-16.47	-37.43	1.76	-7.09	-5.96	1.91	4.15	4.28	-1.81	0.94	-9.89	-24.93	-4.42	0.48
岩手	-0.25	-13.12	-31.15	2.60	-1.05	3.14	1.39	1.94	-2.35	-0.50	-1.41	13.59	-1.18	-3.09	-0.05
宮城	-2.42	-24.37	-10.34	-1.70	1.04	0.29	-0.58	1.04	-1.71	-0.65	3.51	-2.70	-20.75	-3.61	0.15
秋田	1.09	-22.37	-18.95	-1.42	0.58	-5.33	-5.68	1.50	-2.20	-0.37	2.05	-17.07	-19.48	-4.35	0.57
山形	0.31	-24.43	-18.04	2.74	0.51	3.60	-7.72	1.70	-1.64	-0.45	4.00	-23.24	-19.32	-3.98	-0.07
福島	-0.37	-19.52	-26.57	-0.64	-2.38	-3.15	-6.66	0.46	-1.60	-0.87	-7.47	1.84	12.16	-2.41	0.85
茨城	0.35	-25.82	-25.24	-20.67	1.13	-3.36	3.52	9.22	1.48	0.95	-7.40	5.01	5.07	-14.27	2.12
栃木	-1.89	-25.89	-20.41	4.56	-0.49	-0.99	0.01	3.42	1.46	-1.11	-0.14	18.34	—	-19.27	-0.53
群馬	-0.04	-28.31	-21.58	3.29	0.37	1.19	-0.19	0.99	-0.79	-0.04	-2.65	1.51	-12.04	-3.95	0.20
埼玉	-0.93	-20.99	-27.49	3.19	4.46	-1.73	-3.60	1.85	-2.08	-0.64	-0.20	-2.53	-12.82	-2.13	0.14
千葉	4.91	-23.63	-23.12	-35.48	-1.79	-10.14	-3.62	16.35	2.45	3.26	-6.19	-16.14	-10.01	-13.76	4.16
東京	-2.87	-3.22	-6.97	5.08	2.21	4.80	3.07	2.79	-0.48	0.37	2.16	-3.64	-14.57	-3.48	-0.06
神奈川	-0.70	-18.90	-11.03	-10.05	0.37	-6.04	-4.08	2.52	-0.61	-0.70	5.11	-11.45	-15.79	-2.76	0.43
新潟	0.81	-16.04	-14.50	-8.95	-2.96	-3.22	-3.22	3.19	-1.22	-0.30	-0.56	-8.56	-17.34	-3.68	1.23
富山	-1.89	-59.80	-14.83	5.43	-4.54	-1.11	-0.82	3.11	-4.22	-1.09	-2.42	-8.46	-12.22	-7.36	0.54
石川	-1.35	-21.18	-30.93	-0.89	-0.60	-3.49	-1.15	2.27	-2.17	-1.08	3.42	-12.56	-27.94	-5.43	0.30
福井	-0.14	-7.81	-24.72	2.53	-2.37	2.47	0.67	3.54	0.77	-0.55	-6.59	4.41	-21.70	-7.87	-0.04
山梨	-1.14	-9.66	-28.65	1.99	0.70	2.04	-0.42	0.76	-1.15	-1.17	-0.62	26.29	-13.55	-3.87	-0.30
長野	-0.70	-19.30	-14.80	2.66	-2.08	0.06	-1.89	1.04	-2.08	-0.98	2.89	-10.97	-9.86	-2.22	0.09
岐阜	-0.60	-19.12	-24.57	5.07	-1.95	1.33	0.61	1.38	-1.14	-0.55	-2.51	11.79	-1.58	-4.90	0.01
静岡	-1.65	-4.11	-21.80	3.57	-2.56	1.77	-0.35	0.63	-0.02	-0.84	-5.74	24.71	9.45	-1.54	-0.15
愛知	-1.17	-23.71	-11.09	2.04	-3.52	-5.03	-1.61	2.65	-0.68	-0.66	0.44	-16.67	-11.60	-5.35	0.65
三重	-0.80	-23.84	-15.15	-6.75	0.13	1.23	0.75	2.38	0.40	0.03	-2.57	-4.24	0.58	1.13	0.85
滋賀	-0.02	-12.34	-7.63	5.13	-7.08	-1.36	-0.89	1.43	0.13	-0.33	-0.84	3.33	-18.77	-3.08	-0.35
京都	0.59	-18.89	-22.25	0.46	-0.67	-7.24	-3.83	0.74	-1.52	-0.32	0.17	-12.28	-12.21	-1.95	0.38
大阪	-1.38	-11.70	-11.42	-0.91	0.32	1.31	-1.86	1.70	0.58	-0.28	1.58	3.06	-8.82	-3.70	0.11
兵庫	-0.88	-33.97	-13.81	-0.08	-4.59	-6.25	-2.92	2.62	-0.34	-0.58	-2.27	-12.90	-14.39	0.32	0.63
奈良	-0.80	-9.39	-12.02	3.70	-2.96	1.15	2.05	1.65	3.86	-0.42	-3.37	15.87	-10.83	-9.50	0.23
和歌山	-0.94	-21.55	-11.70	-3.03	0.72	0.64	0.48	4.07	1.59	-4.43	14.42	-0.60	-8.85	-9.02	-0.25
鳥取	-2.24	-15.85	-39.21	0.80	-2.04	-2.59	8.15	2.64	0.24	-1.02	1.31	-6.36	-12.08	-7.22	0.31
島根	-0.23	-14.44	-35.36	0.31	-4.31	1.99	5.62	3.08	1.10	0.30	-5.80	-1.79	-12.33	-13.50	1.32
岡山	4.61	-8.89	-12.95	-29.32	2.64	-6.01	0.86	10.25	3.30	2.68	-1.43	-10.58	-9.99	-6.35	2.25
広島	-0.39	-18.91	-16.82	-1.64	-0.22	-1.17	-1.61	4.09	2.31	-0.36	-0.97	-3.63	-12.85	-5.68	0.53
山口	2.13	-13.62	-11.97	-16.48	-2.97	3.38	2.35	15.06	8.84	2.18	1.22	-11.00	-9.44	-6.76	1.95
徳島	-1.17	-20.70	-43.50	1.89	0.04	-9.75	—	2.16	7.26	-1.72	-0.63	-4.20	-7.63	-6.08	0.51
香川	-0.06	-32.21	-23.93	-1.90	-2.43	-6.18	-5.05	6.30	2.91	0.18	6.33	-4.43	-3.55	-6.64	0.29
愛媛	-1.32	-12.12	-12.95	-26.65	-1.00	2.12	2.23	13.86	5.00	-1.16	-0.84	-4.17	—	-5.93	1.60
高知	-0.56	-19.93	-16.90	-2.01	-9.02	0.92	1.07	5.79	2.06	0.02	1.52	-7.73	-22.22	-8.91	0.62
福岡	0.35	-17.79	-15.93	-1.33	-1.58	-4.43	1.73	3.78	2.25	0.42	1.38	-18.25	-11.68	-3.39	0.35
佐賀	-1.82	-12.58	-40.34	4.94	-6.90	1.34	0.73	0.24	1.05	-1.44	-13.48	26.87	-8.16	-5.61	-0.33
長崎	-0.50	-14.41	-36.72	2.91	-1.79	0.15	-2.35	0.47	15.76	-1.24	-3.51	-13.21	-8.53	-5.81	1.35
熊本	-1.34	-23.14	-23.81	3.26	0.32	-2.48	-1.08	2.44	-0.17	-1.54	3.53	-15.87	-16.06	-4.20	0.28
大分	1.47	-34.76	-15.22	-28.37	-9.15	-11.53	-6.60	13.88	0.91	0.79	4.03	-9.66	-12.73	-8.14	1.55
宮崎	-0.33	-14.14	-11.01	-3.58	0.68	-7.42	46.67	4.97	3.87	-0.03	-2.52	17.84	-18.84	-6.14	0.27
鹿児島	-0.59	-6.52	-16.48	3.07	-0.11	-41.58	2.53	2.02	0.40	-0.20	-2.96	10.78	-17.56	-2.77	0.15
沖縄	-0.24	-40.07	-12.81	1.94	-0.72	-2.88	-4.57	3.74	—	0.30	0.04	-15.09	-10.55	-2.94	0.69
全国	-0.27	-21.86	-15.03	-6.59	-1.86	-4.01	-1.07	3.05	-0.05	-0.27	-0.05	-4.47	-12.08	-4.69	0.45

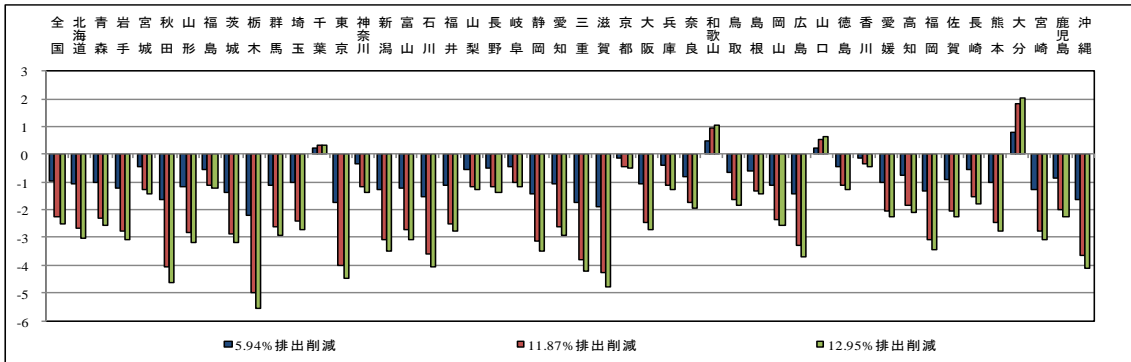


図-Ⅱ-2-6 シナリオ別都道府県別一人当たり社会厚生の変化額(万円/人)

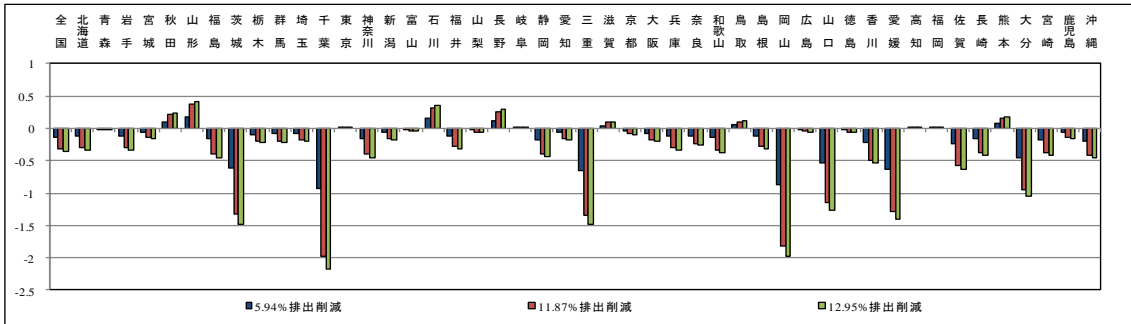


図-Ⅱ-2-7 シナリオ別都道府県別実質 GRP の変化率(%)

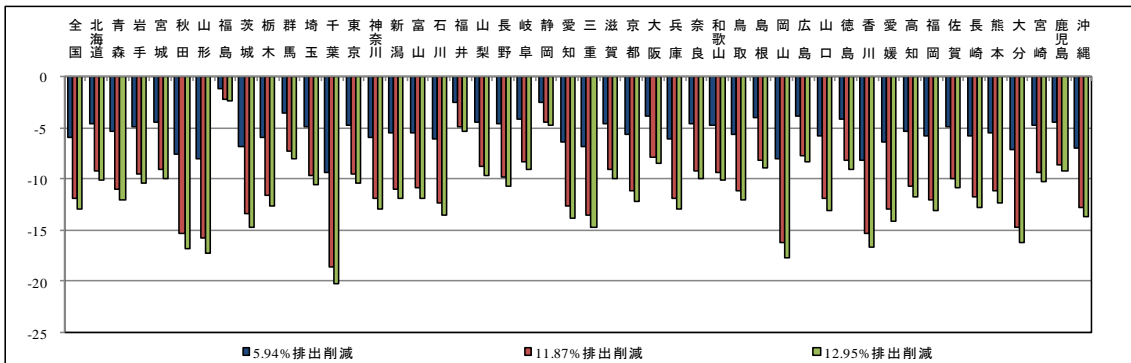


図-Ⅱ-2-8 シナリオ別都道府県別 CO<sub>2</sub> 排出削減率(%)

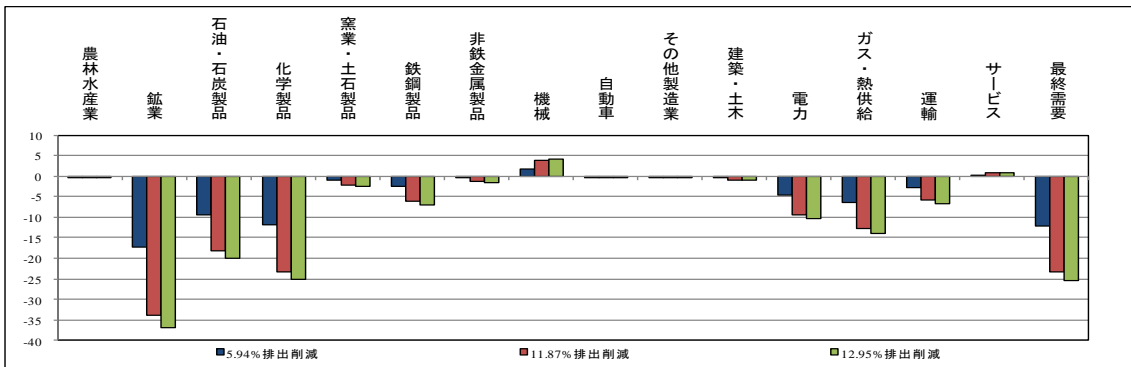


図-Ⅱ-2-9 シナリオ別産業部門別 CO<sub>2</sub> 排出削減率(%)



まず、表－Ⅱ－２－９の都道府県別産業部門別の生産量変化率について見る。なお、CO<sub>2</sub> 排出削減率(炭素税率)と生産量の間には線形の関係が成立していることから、表－Ⅱ－２－９では代表してシナリオ③の値のみ記載していることに注意されたい。表－Ⅱ－２－９から、炭素税課税によって多くの産業部門において生産水準が低下している一方で、機械やサービス、自動車などの部門では、生産水準が上昇している都道府県が多いことが分かる。生産水準が低下している産業部門の中でも、特に炭素税の課税対象である鉱業財および石油・石炭製品財の生産部門および鉱業財を中間投入財として多く投入するガス・熱供給部門の生産低下が著しい。その一方で、農林水産業部門やその他製造業部門などにおいては、生産水準の低下は小幅に留まっている。このような変化の背景として、炭素税支払による直接的な影響と、代替効果による間接的な影響があると思われる。まず、炭素税の課税によって鉱業財および石炭・石油製品財への需要が減衰し、これらの産業部門の生産水準が低下する。また、炭素税の課税によって鉱業財および石炭・石油製品財の価格が上昇し、他の産業部門の生産水準が低下する。これらが直接的に最も大きな影響であると言えよう。次に、本研究では、国内生産における財の地域間不完全代替および最終需要部門における地域間・財間の不完全代替を仮定していることから、財の相対価格が変化した場合に、財の代替を容認していることを意味する。すなわち、炭素税の課税によって、相対的に価格が上昇した鉱業財や石油・石炭製品財およびそれらの財を多く投入するエネルギー集約的な財から、サービス財や農林水産業財など、非エネルギー集約的な財へ生産がシフトしたものと解釈することができる。

図－Ⅱ－２－６には、シナリオ別都道府県別一人当たり社会厚生の変化額を示す。これを見ると、まず、多くの都道府県において社会厚生は負値、すなわち、悪化している一方で、千葉県や和歌山県、山口県、大分県で厚生が改善していることが分かる。また、全ての都道府県においてCO<sub>2</sub> 排出削減目標と社会厚生の間には線形的な関係があり、CO<sub>2</sub> 排出削減率が高くなるにつれて厚生は更に悪化(改善)している。ただし、都道府県毎に社会厚生は大きく異なっており、特に、栃木県や滋賀県、東京都および秋田県で社会厚生が大きく悪化している。その一方で、福島県、京都府および香川県では社会厚生は低下はさほど大きくはなっていない。

図－Ⅱ－２－７には、シナリオ別都道府県別実質 GRP の変化率を示す。これを見ると、まず、全国計では、炭素税の導入によって実質 GDP は減少し、CO<sub>2</sub> 排出削減率が高くなるに従って、実質 GDP の低下率が拡大していることが分かる。ただし、都道府県別に見ると、秋田県、山形県および石川県などで実質 GRP は小幅に上昇し、一方、茨城県、千葉県、三重県および岡山県などで大きく減少している。実質 GRP が増加、あるいは減少幅が低い県は、主に機械などの製造業の生産水準の高い県であり、これらは、炭素税によって発生した財の代替による生産増加が貢献しているものと解釈することができる。一方、実質 GRP が減少している県は全て鉱業部門や石油・石炭製品部門、あるいはそれらの部門の財を多く投入する産業であることから、炭素税の負担により実質 GRP が低下したものとと言える。ただし、MRCGE では都道府県毎に地域間・財間の複雑な代替が発生しており、炭素税以外に各都道府県の実質 GRP の正負の直接的な原因を特定することは困難である。この点については、今後のモデルの改良、或いは、分析方法の改善が必要と言える。

最後に、図－Ⅱ－２－８のシナリオ別都道府県別 CO<sub>2</sub> 排出削減率および図－Ⅱ－２－９のシナリオ別産業部門別 CO<sub>2</sub> 排出削減率について見てみる。まず、図－Ⅱ－２－８から、全ての都道府県において、全体の CO<sub>2</sub> 排出削減率が大きくなるに伴い、各都道府県の CO<sub>2</sub> 排出削減が大きくなっている。また、この傾向は、図－Ⅱ－２－９においても、機械部門およびサービス部門を除いて同様であることが分かる。機械部門およびサービス部門の CO<sub>2</sub> 排出量については、全体の CO<sub>2</sub> 排出削減目標が大きくなるに伴って逆に増加しているものの、シナリオ間の関係性は保たれている。これらの結果は、MRCGE のある意味での頑健性を示していると言えよう。また、図－Ⅱ－２－８から、都道府県別の CO<sub>2</sub> 排出削減率を比較すると、特に千葉県、岡山県、大分県および香川県などで大きくなっており、逆に福島県や福井県で削減率が小さくなっている。炭素税が課される鉱業財および石油・石炭製品財の生産部門およびそれらの財を多く投入するガス・熱供給部門および化学製品部門の CO<sub>2</sub> 排出削減率が大きく、最終需要(家計消費財、政府支出財および投資財

を合計)の削減率が非常に高くなっていることが分かる。これら CO<sub>2</sub> 排出削減率は、生産水準の変化と大きく関係しており、都道府県毎の CO<sub>2</sub> 排出削減率の大小を決定する要因は、各都道府県の産業構造および財の代替可能性の問題であると思われる。排出削減率の高い都道府県の多くは、課税対象である鉱物財および石油・石炭製品財の投入割合の大きいエネルギー集約型産業の生産割合が大きい県であり、表-Ⅱ-2-9および図-Ⅱ-2-9から分かるように、これらの産業部門は生産水準の低下率と CO<sub>2</sub> 排出削減率は大いに関係していると言える(参考として、各都道府県の生産構造を付録の表-Ⅲ-2-2に示す)。したがって、このように高い CO<sub>2</sub> 排出削減率は、炭素税による生産水準の低下という直接的な影響によるものと言えよう。一方で、エネルギー集約型である電力部門の生産が大きい福島県や福井県では、CO<sub>2</sub> 排出削減率は小さいにも関わらず、同じく電力部門の生産水準が高い秋田県については、CO<sub>2</sub> 排出削減率が高くなっている。この理由として、本研究の MRCGE においては財の地域間代替が可能となっており、炭素税によって相対価格が変化し、電力の地域間代替が発生したためであり、地域間で電力部門の生産水準および電力部門の排出削減量に相違が生じたものと解釈することができる。したがって、炭素税の課税によって、秋田県の電力よりも福島県の電力が相対的に安くなり、福島県の電力への需要が増加し、秋田県の電力への需要が減少したため、秋田県の CO<sub>2</sub> 排出削減率が高くなり、逆に福島県の排出削減率が低くなったとも考えられる。実際に都道府県別に産業からの電力部門への需要の変化を見ると、シナリオ②では、秋田県の電力に対する需要は平均 5.8%の低下に対して、福島県の電力に対する需要は平均約 1%の上昇となっている。また、福井県については、同じ北陸電力管内である富山県および石川県が各々 2%および 4%の低下であるのに対して、福井県の電力に対する需要は 2%の上昇となっている。このような代替の原因は、財や生産要素の投入割合(生産技術)や他の産業の生産水準などが考えられる。ただし、前述のように、正の効果と負の効果の大小関係を決定する要因を一つに特定することは、MRCGE では困難であり、モデルや分析手法の改善が必要であろう。

以上は、ある意味で効率性(Efficiency)の観点からの分析であったのに対して、本研究では、地域間・産業間の公平性(Fairness)を測る指標として、47 都道府県間の就業者一人当たり所得(労働所得+資本所得)および 15 産業部門間の就業者一人当たり所得のジニ係数及び変動係数を算出し、分析を行う。ジニ係数(Gini Coefficient)とは、平均差(Mean difference)を算術平均(arithmetic mean)で除した値で、0 から 1 の値をとり、1 に近いほど不平等度が高い、つまり格差が大きいことを示す。ジニ係数は以下の式(1-38)で導出できる。ここで、 $\mu$  は母集団の単純平均、 $y_s$  は就業者一人当たり所得、 $s, s'$  は地域あるいは産業部門を表し、母集団  $S$  (47 都道府県あるいは 15 産業部門)に属す。

$$GINI = \frac{2}{S^2 \mu} \sum_{s, s' \in S} |y_s - y_{s'}| \quad (1-38)$$

ジニ係数は世帯数の累積相対度数と所得の累積相対度数の関係を表すローレンツ曲線(Lorenz Curve)と 45 度線の間の面積を 2 倍した値に等しく、主に所得階層間の不平等度を測る尺度として広く用いられている(大竹(2000)<sup>35)</sup>、宮沢(2008)<sup>36)</sup>など)。

一方、変動係数(Coefficient of Variation, CV)は標準偏差(Standard Deviation)を算術平均で除した値であり、値が大きいほど格差が大きいことを示す。変動係数は以下の式(1-39)で導出できる。

$$CV = \frac{1}{\mu} \sqrt{\frac{\sum_{s \in S} (y_s - \mu)^2}{S}} \quad (1-39)$$

変動係数は所得の不平等度や地域間格差を測る尺度として用いられることが多い(岳(1995)<sup>37)</sup>、林(2004)<sup>38)</sup>など)。これら 2 つの指標は、いずれも相対的格差を表す指標である。2 つの指標の関係性については、豊田(2005)<sup>39)</sup>を参照されたい。

地域間格差と産業間格差について、シナリオごとにジニ係数と変動係数の値を算出したものを

表－Ⅱ－２－１０に示す。

表－Ⅱ－２－１０ 地域間・産業間格差

		基準均衡 (炭素課税前)	①地球温暖化 対策税	②5.94%削減シ ナリオ	③11.87%削減 シナリオ	④12.95%削減 シナリオ
地域 間 格 差	ジニ係数	0.08797	0.08804	0.08805	0.08808	0.08842
	※基準均衡か らの変化率(%)	-	0.07061	0.08596	0.11813	0.50262
	変動係数	0.19952	0.1996	0.2004	0.20162	0.20417
	※基準均衡か らの変化率(%)	-	0.03898	0.44011	1.05053	2.3312
産業 間 格 差	ジニ係数	0.37618	0.37578	0.37265	0.36939	0.36498
	※基準均衡か らの変化率(%)	-	-0.1053	-0.93855	-1.80365	-2.97546
	変動係数	0.78512	0.78481	0.78248	0.78114	0.78087
	※基準均衡か らの変化率(%)	-	-0.03982	-0.33667	-0.5064	-0.54148

まず、地域間格差について見ると、両指標ともにすべてのシナリオにおいて値が上昇している。また、炭素税課税前の基準均衡の値からの変化率について見ると、GHG 排出削減目標が大きくなるにつれて上昇率も大きくなっている。つまり、炭素税の課税によって就業者一人当たり所得の地域間格差は拡大し、GHG 排出削減目標(炭素税率)が高くなるほど格差の拡大率が大きくなっている。

一方、産業間格差は両指標ともにすべてのシナリオにおいて値が低下している。また、炭素税課税前の基準均衡の値からの変化率について見ると、GHG 排出削減目標(炭素税率)が大きくなるにつれて下落率も大きくなっている。つまり、炭素税の課税によって就業者一人当たりの所得の産業間格差は縮小し、GHG 排出削減目標(炭素税率)が高くなるほど格差の縮小率が大きくなっている。

まず、縮小している産業間格差について分析を行う。基準均衡における一人当たり所得を見ると、石油石炭製品部門や鉱業部門、化学製品部門、電力部門、ガス・熱供給部門という5つのエネルギー集約産業でとても高い値を示しており(就業者一人当たり所得の産業間単純平均は約1,345万円、上記5産業部門間平均は約2,329万円)、また、炭素税課税によってこれらの産業の一人当たり所得が特に大きく減少している(基準均衡と③11.87%削減シナリオを比較した場合、全体の平均下落率が約▲9.67%であるのに対して5産業部門間平均下落率が約▲14.31%)。つまり、一人当たり所得の高い産業と炭素税の影響を強く受ける産業が重複し、これら産業の一人当たり所得減少率が大きいために産業間格差が縮小したと言える。

次に、上記の産業間格差縮小の分析を踏まえて、地域間格差が拡大した理由について分析する。一人当たり所得は、炭素税の影響を強く受ける産業で減少し、サービス部門や機械部門、自動車部門などでは相対的に減少幅は小さくなっているが、一人当たり所得が突出して高い東京や愛知、大阪(全国単純平均が約693万円、3都府県単純平均が約1062万円)においては、サービス部門や自動車部門などが全産業に占める割合が高く、これら地域の一人当たり所得の減少幅は特に小さい(基準均衡と③11.87%GHG 排出削減シナリオの結果を比較した場合、全国平均減少率が約▲4.07%、3都府県の平均減少率が約▲2.92%)。よって、基準均衡において一人当たり所得が比較的大きな都市部において減少幅が小さいため、産業間格差とは逆に地域間格差が拡大したと言える。

これらが持つ含意として、これら地域間格差拡大および産業間格差縮小は炭素税の影響によるものであり、効率性の観点からはやむを得ない差異であると考えられる。しかしながら、地域間格差の拡大は都市部以外の地域の所得減少によるものであり、公平性の観点から望ましいものとは言えず、炭素税収や所得の再分配の必要性を示している。また産業間については、格差は縮小しており、一見望ましいように思われる。しかしながら、この格差縮小はエネルギー集約産業がGHG排出削減費用を特に多く負担するために実現したものである。このような特定産業に過度な負担を強いることは産業界の反発を招きかねず、政策の合意が困難なものになる可能性がある。よって、なんらかの配慮が必要になるだろう

## 2.6 結論(行政ニーズと政策インプリケーション)

本研究は、我が国のGHG削減目標を達成するためのGHG排出削減政策について、国内の都道府県別産業部門別の負担と便益の帰着を明らかにし得るMRCGEを構築し、GHG(エネルギー起源のCO<sub>2</sub>)排出削減政策として炭素税導入を想定したシミュレーション分析を実行した。以下では、MRCGEによるCO<sub>2</sub>排出削減シナリオに基づいた政策シミュレーション結果から得られた知見を示す。

- ⑥ 日本を一国で見た場合に、炭素税率を高くすることで、CO<sub>2</sub>排出削減率および炭素税収は大きくなる。その一方で、炭素税収一単位当たりのCO<sub>2</sub>排出削減量は逡減するという結果となった。この結果は、CO<sub>2</sub>排出削減率が高くなることに伴い、CO<sub>2</sub>排出削減効率性が低くなる、或いは、限界削減費用が逡増することを示していると言える。
- ⑦ 産業部門毎の炭素税の影響は、産業部門毎の投入要素の構成に依存し、炭素税の課税対象である財を多く投入する産業部門およびそれらエネルギー集約的産業の生産財を多く投入する産業部門が大きな影響を受けることが分かった。
- ⑧ 産業部門毎に炭素税の影響が大きく異なるため、産業構造の異なる各都道府県の影響にも大きな差異が発生することが分かった。また、地域間の影響の差異を生む原因として、産業構造の相違に加え、特に、電力部門などにおいて、産業部門あるいは最終需要部門における財の地域間代替の効果が大きいことが示された。
- ⑨ 公平性の観点からは、GHG排出削減目標(炭素税率)が高くなるにつれて、地域間格差が拡大している。その原因として、一人当たり所得が突出して高い東京や愛知、大阪といった都市部では炭素税の影響をあまり受けないサービス部門などの産業部門の割合が高いために、一人当たり所得の減少が小さく、逆に一人当たり所得が比較的小さい他の道府県において比較的大きく所得が減少したためであると言える。このような結果は、炭素税収や所得の地域間再分配といった公平性に配慮した政策の必要性を示すものと言える。
- ⑩ 産業間公平性について見ると、格差が縮小するという結果となった。その原因として、一人当たり所得が高い産業部門と炭素税の影響を強く受ける産業が重複しており、一人当たり所得が高いエネルギー集約産業において所得が大きく減少したためであると言える。この結果は、特定のエネルギー集約産業にGHG排出削減費用の大部分を負担させることで現れたものであり、必ずしも望ましい結果とは言えず、実質的な費用負担について産業界の合意形成が必要であると言えるだろう。

最後に、本研究の今後の課題と発展について述べる。まず、本研究の課題として、GHG排出削減政策分析の精度を上げるためにも、エネルギーを扱う一般的なCGEで採用されているエネルギー財の代替関係を表現することが必要であろう。また、一般的なMRCGEで仮定されている労働・資本の移動を再現することも、より現実の経済的影響を分析するうえで重要である。そのためにはデータの加工方法の改善が必要であることは言うまでもない。

次に、炭素税の配分について、本研究ではエネルギー財投入地の家計に還元されていたが、現実的には中央政府に集めてから何らかの指標に基づいて再配分するなどといったシナリオも想定されることから、このような代替シナリオについても分析の必要があるだろう。これらの他にも、

エネルギー起源以外の CO<sub>2</sub> をモデルに如何に取り込むか、あるいは CO<sub>2</sub> 排出量の計測を上流で行うか下流で行うかといった問題も残されている。

さらに、MRCGE 特有の課題として、地域間代替弾力性にどのような値を用いるかという問題がある。現状では確固たる値や設定方法が見出されてはおらず、本研究のようにアドホックに与えるか、あるいは統計的な推定を分析の都度、実施せざるを得ないのが現状である。この点については、より信頼性の高く簡便な推定方法の開発などが求められるであろう。

最後に、本研究の今後の発展として、本研究において構築した MRCGE と国際貿易モデルの GTAP-E とを連動させ、政策シミュレーションを実行することが一連の本研究の最終的な目標である。このことは、GTAP-E により諸外国の外生的経済ショックおよび国際的環境政策が及ぼす諸財の価格変化を MRCGE に内生化することにより、国際的な GHG 排出削減政策が日本の各都道府県に与える影響の分析、或いは、我が国の GHG 排出削減政策が世界経済に与える影響等の分析が可能になるものと期待することができる。

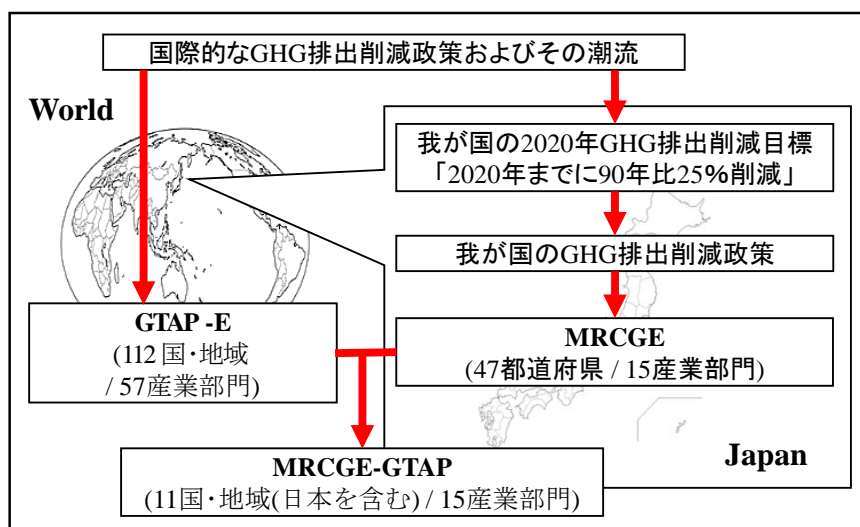
### 3. GHG 排出削減政策評価のための MRCGE-GTAP の開発: 国際的排出量取引制度の導入

#### 3.1 はじめに

2009年に開催された気候変動首脳会合(The United Nations Summit on Climate Change)において鳩山由紀夫首相(当時)は、温室効果ガス(Greenhouse Gas, GHG)排出量を2020年までに1990年比で25%削減する意向を表明した。しかしながら、このようなGHG排出削減目標は、我が国が既に世界トップレベルの環境技術先進国であることを鑑みると極めて厳しいものであると解釈せざるを得ない。このことは、目標達成のためには、世帯・企業・行政に相当規模の負担が求められることを意味しており、技術革新に依存する以外に、環境税の導入を含めた税制改革といったポリシー・ミックスに言及する必要がある。

一方、上記のような税制改革を行う際には、地域別や産業部門別の負担割合の問題のみならず公平性を担保するための補助金制度の創設等といった複数の政策代替案を想定し、社会的厚生基準に基づく死加重損失(Dead Weight Loss)を比較することにより、ベスト・ミックスな政策を決定する必要がある。さらに、政策決定の際には、地域別かつ産業部門別の死加重損失、換言すれば、地域別産業部門別に細分化した影響度を把握することは必要不可欠である。このような背景の下、世界各国では、経済循環を表現した応用一般均衡モデル(Computable General Equilibrium Model, CGE)を構築し、GHG排出削減政策の評価を行っている。

上記の背景を踏まえ、本研究これまでの研究過程において、我が国47都道府県15産業部門を対象とした多地域一般均衡モデル(Multi-Regional CGE, MRCGE)を構築している(例えば、阿部・林山・武藤(2011)<sup>40</sup>および林山・阿部・武藤(2012)<sup>41</sup>)。このMRCGEは、国内を対象とした政策分析ツールであったのに対して、本稿では、海外との相互関係を明示的に表現したMRCGEを開発し、国際市場におけるGHG排出量取引といった世界的なGHG排出削減政策の評価を行うことを目的としている。そのため、国外については、GHG排出削減政策が経済に与える影響を分析する多国間・多産業部門間経済モデルとして、世界的に広く用いられているGTAP-E(An Energy-Environmental Version of the GTAP(The Global Trade Analysis Project) Model)と本研究で構築するMRCGEを連動することにより、国際市場におけるGHG排出削減に関する環境政策の評価可能なモデルに拡張することが、本研究の第1の目的である。なお、Burniaux and Truong(2002)によるGTAP-Eは、Purdue Universityにおいて開発されたHertel and Tsigas(1997)によるGTAP(The Global Trade Analysis Project Model)をベースとした環境政策分析に特化したモデルである。また、この分野の代表的な研究として、静学モデルであったGTAPを動学化したIanchovichina and McDougall(2000)<sup>42</sup>によるDynamic GTAP、Rutherford and Paltsev(2000)<sup>43</sup>およびFischer and Fox(2007)<sup>44</sup>などを挙げることができる。これら一連の本研究の考え方を概念的に示したものが図-Ⅱ-3-1である。なお、本研究では、MRCGEとGTAP-Eを連動したモデルを、MRCGE-GTAPと呼称するものとする。



図－II－3－1 本研究の概念図

また、開発した MRCGE-GTAP は、エネルギーと資本の間の代替性を考慮しており、環境政策、特に、炭素税や GHG 排出量取引などの地球温暖化に関する政策の分析に広く適用できる可能性を秘めている。そこで、本研究の第 2 の目的は、現実的に議論されてつつある国際的な環境政策として、国際的な排出取引制度を評価するために、仮想的なシミュレーションを実行し、その社会的効率性を評価するものとする。

MRCGE-GTAP は、国内市場を対象とした MRCGE および海外市場を対象とした GTAP-E から構成されており、個々の特徴がある。したがって、これらを統合的に連動させるためには、幾つかの前提および仮定を置く必要が生ずる。そこで、まず、3.2 では、MRCGE-GTAP の全体像を明らかにするために、MRCGE の部分および GTAP-E の部分の構造を個々に示すものとする。さらに、MERGE と GTAP-E との連結方法と MRCGE-GTAP における国・地域区分および産業部門分類の統合について示す。さらに、3.3 では、MRCGE-GTAP を用いて、仮想的な「国際的排出量取引制度(Global Emission Trading Scheme, GETS)」に関するシミュレーションを実行し、その社会的効率性を評価する。最後に、3.4 では、本研究で得られた知見および今後の課題について示すものとした。

## 3.2 モデル構造

### 3.2.1 MRCGE の構造と連立方程式体系

まず、ここでは、MRCGE-GTAP における国内を対象とする部分、すなわち、我が国 47 都道府県 15 産業部門間の経済取引を再現する MRCGE の構造とモデルを構成する連立方程式体系について、①国内生産部門、②家計消費部門、③政府支出部門、④投資部門、⑤輸出・国内変形部門および輸入・国内代替部門、⑥市場均衡条件を示す。なお、 $r(r \in R)$  および  $s(s \in S)$  は地域、 $i(i \in I)$  および  $j(j \in J)$  は産業部門分類として記号法を用いる。ただし、 $S$  は財の消費地集合(47 都道府県)、 $R$  は財の生産地集合(47 都道府県)、 $I$  は財の種類集合(15 財)、 $J$  は産業部門集合(15 産業部門)である。

#### ①国内生産部門

国内生産部門は、図－II－3－2 に示す Nested 構造を仮定している。まず、 $s$  地域  $j$  部門は、労働  $L_j$  および資本  $K_j^s$  を投入し、利潤最大化の仮定の下、仮想的に合成生産要素  $Y_j^s$  を生産するも

のとする。同様に、中間投入についても、利潤最大化の仮定の下、中間投入財  $XX_{ij}^s$  を地域  $r$  について合成した合成中間投入財  $X_{ij}^s$  を生産すると仮定する。  $Y_j^s$  および  $X_{ij}^s$  の生産関数は、CES(Constant Elasticity of Substitution)型生産関数を仮定する。さらに、  $s$  地域  $j$  部門は、仮想的に生産された合成生産要素  $Y_j^s$  と合成中間投入財  $X_{ij}^s$  を投入し、  $s$  地域  $j$  部門の生産財  $Z_j^s$  を生産する。このとき、  $Z_j^s$  の生産関数は、投入係数パラメーター一定のレオンチェフ型(Leontief)生産関数を仮定し、生産要素間の完全非代替性を表現する。

このように、地域間の代替関係と合成生産要素を含む中間投入間の代替関係を分離して考慮することによって、より地域別の影響を捉える事を可能としている。なお、本研究においては、生産関数に弱分離型を仮定しているため、  $Z_j^s$  の生産における各合成生産要素の最適化のみにより、それ以下の段階においても最適な値が導出されることになる。しかしながら、Hosoe *et al.*(2010)で採用されているように、合成財の生産に仮想的な企業による利潤最大化行動を仮定することにより、MRCGEにおける各々の方程式を簡素化することができることから、上記のような定式化を行っていることに注意されたい。本研究におけるMRCGEの国内生産部門の経済行動は、下記の最適化問題(P2-1)~(P2-3)で表現される。

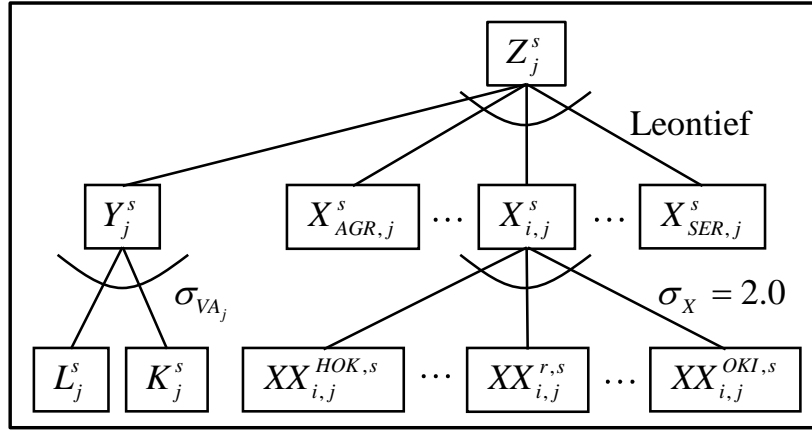


図- II - 3 - 2 国内生産部門の構造

$$\begin{cases} \max_{L_j^s, K_j^s} P_{Y_j^s} Y_j^s - P_{L_j^s} L_j^s - P_{K_j^s} K_j^s \\ \text{s.t. } Y_j^s = \alpha_{LK_j^s} \left[ \beta_{L_j^s}^{\frac{\sigma_{VA_j}-1}{\sigma_{VA_j}}} L_j^s + \beta_{K_j^s}^{\frac{\sigma_{VA_j}-1}{\sigma_{VA_j}}} K_j^s \right]^{\frac{\sigma_{VA_j}}{\sigma_{VA_j}-1}} \end{cases} \quad (\text{P2-1})$$

$$\begin{cases} \max_{XX_{ij}^{rs}} P_{X_{ij}^s} X_{ij}^s - \sum_{r \in R} P_{Q_r^s} XX_{ij}^{rs} \\ \text{s.t. } X_{ij}^s = \alpha_{XX_{ij}^s} \left[ \sum_{r \in R} \beta_{XX_{ij}^{rs}}^{\frac{\sigma_X-1}{\sigma_X}} XX_{ij}^{rs} \right]^{\frac{\sigma_X}{\sigma_X-1}} \end{cases} \quad (\text{P2-2})$$

$$\begin{cases} \max_{Y_j^s, X_{ij}^s} P_{Z_j^s} Z_j^s - P_{Y_j^s} Y_j^s - \sum_i P_{X_{ij}^s} X_{ij}^s \\ \text{s.t. } Z_j^s = \min \left[ \frac{Y_j^s}{\alpha_{Y_j^s}}, \frac{X_{AGR,j}^s}{\alpha_{X_{AGR,j}^s}}, \dots, \frac{X_{SER,j}^s}{\alpha_{X_{SER,j}^s}} \right] \end{cases} \quad (\text{P2-3})$$

また、式(2-1)~(2-8)は、国内生産部門を構成する方程式群である。



$$Y_j^s = \alpha_{LK_j^s} \left[ \beta_{L_j^s} L_j^s \frac{\sigma_{VA_j} - 1}{\sigma_{VA_j}} + \beta_{K_j^s} K_j^s \frac{\sigma_{VA_j} - 1}{\sigma_{VA_j}} \right]^{\frac{\sigma_{VA_j}}{\sigma_{VA_j} - 1}} \quad (2-1)$$

$$L_j^s = \left[ \frac{\alpha_{LK_j^s} \beta_{L_j^s} P_{Y_j^s}}{P_{L_j^s}} \right]^{\sigma_{VA_j}} \frac{Y_j^s}{\alpha_{LK_j^s}} \quad (2-2)$$

$$K_j^s = \left[ \frac{\alpha_{LK_j^s} \beta_{K_j^s} P_{Y_j^s}}{P_{K_j^s}} \right]^{\sigma_{VA_j}} \frac{Y_j^s}{\alpha_{LK_j^s}} \quad (2-3)$$

$$X_{ij}^s = \alpha_{XX_{ij}^s} \left[ \sum_{r \in R} \beta_{XX_{ij}^{rs}} XX_{ij}^{rs} \frac{\sigma_X - 1}{\sigma_X} \right]^{\frac{\sigma_X}{\sigma_X - 1}} \quad (2-4)$$

$$XX_{ij}^{rs} = \left[ \frac{\alpha_{XX_{ij}^s} \beta_{XX_{ij}^{rs}} P_{X_{ij}^s}}{P_{Q_i^r}} \right]^{\sigma_X} \frac{X_{ij}^s}{\alpha_{XX_{ij}^s}} \quad (2-5)$$

$$Y_j^s = \alpha_{Y_j^s} Z_j^s \quad (2-6)$$

$$X_{ij}^s = \alpha_{X_{ij}^s} Z_{ij}^s \quad (2-7)$$

$$P_{Z_j^s} = P_{Y_j^s} \alpha_{Y_j^s} + \sum_{i \in I} P_{X_{ij}^s} \alpha_{X_{ij}^s} \quad (2-8)$$

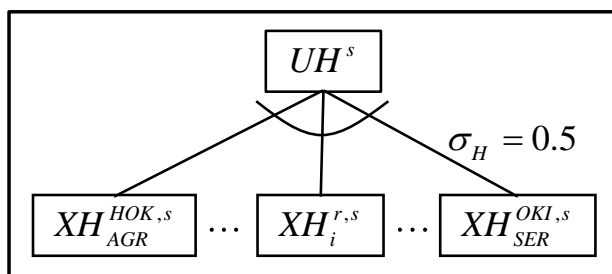
ここで、 $P_{Y_j^s}$  は  $s$  地域  $j$  部門の合成生産要素  $Y_j^s$  の価格、 $P_{L_j^s}$  は  $s$  地域の労働  $L_j^s$  の価格、 $P_{K_j^s}$  は  $s$  地域の資本  $K_j^s$  の価格、 $\sigma_{VA_j}$  は合成生産要素  $Y_j^s$  の生産関数における代替弾力性(Elasticity of Substitution)であり、表-Ⅱ-3-1に示したGTAPデータベースにおける日本の値を用いている。 $\alpha_{LK_j^s}$  はスケールパラメータ、 $\beta_{L_j^s}$  は  $s$  地域  $j$  部門の労働投入  $L_j^s$  のシェアパラメータ、 $\beta_{K_j^s}$  は  $s$  地域  $j$  部門の資本投入  $K_j^s$  のシェアパラメータ(ただし、 $\beta_{L_j^s} + \beta_{K_j^s} = 1$ )、 $P_{Q_i^r}$  は  $r$  地域産アーミントン合成財(Armington Composite Goods)  $Q_i^r$  の価格、 $\beta_{XX_{ij}^{rs}}$  は中間投入財  $XX_{ij}^{rs}$  のシェアパラメータ(ただし、 $\sum_{r \in R} \beta_{XX_{ij}^{rs}} = 1$ )、 $P_{X_{ij}^s}$  は合成中間投入財  $X_{ij}^s$  の価格、 $\alpha_{XX_{ij}^s}$  はスケールパラメータ、 $\sigma_X (= 2.0)$  は代替弾力性、 $P_{Z_j^s}$  は  $s$  地域  $j$  部門の国内生産財  $Z_j^s$  の価格、 $\alpha_{Y_j^s}$  および  $\alpha_{X_{ij}^s}$  は投入パラメータである。ここで、アーミントンの仮定とは、同一財であっても移輸出入においては、別々の財と見なすという仮定を意味している(Armington(1969))。

表-Ⅱ-3-1 代替弾力性  $\sigma_{VA_j}$  の設定値

農林水産業 (AGR)	鉱業 (MIN)	石油・石炭製品 (PET)	化学製品 (CHE)	窯業・土石製品 (CER)
0.2	0.2	1.3	1.3	1.3
鉄鋼製品 (STL)	非鉄金属製品 (OSTL)	機械 (MCH)	自動車 (CAR)	その他製造業 (MAN)
1.3	1.3	1.3	1.3	1.2
建築・土木 (CON)	電力 (ELE)	ガス (GAS)	運輸 (TRA)	サービス (SER)
1.4	1.3	1.3	1.7	1.3

②家計消費部門

家計消費部門の構造は、図－Ⅱ－3－3のように表現される。本研究においては、各地域に代表的家計が一つ存在し、消費を行うと仮定している。s 地域の家計は、効用最大化条件に基づいて家計消費財  $XH_i^{rs}$  を消費し、効用水準  $UH^s$  を得る。ここで、効用関数は、代替弾力性  $\sigma_H (=0.5)$  で固定とした Constant Elasticity of Substitution(CES)型効用関数を仮定している。また、家計は、所得の一定割合を直接税  $TD^s$  と貯蓄  $HS^s$  として支出すると仮定する。ここで、 $\beta_{XH_i^{rs}}$  は家計消費財  $XH_i^{rs}$  のシェアパラメータ(ただし、 $\sum_{r \in R} \sum_{i \in I} \beta_{XH_i^{rs}} = 1$ )、 $F_L^s$  は s 地域家計の労働初期賦存量、 $F_K^s$  は s 地域家計の資本初期賦存量、 $TD^s$  は s 地域家計の直接税支払、 $\tau_D (=0.09)$  は直接税率、 $HS^s$  は s 地域家計の貯蓄、 $\delta_{HS}^s$  は s 地域家計の貯蓄率である。ただし、 $\tau_D$  は全地域共通で、外生的に所与をしている。以上、本研究における MRCGE の家計消費部門の経済行動は、下記の最適化問題(P.2-4)によって表現することができる。



図－Ⅱ－3－3 家計消費部門の構造

$$\left( \begin{array}{l} \max_{XH_i^{rs}} UH^s = \left[ \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} \beta_{XH_i^{rs}} \frac{1}{\sigma_H} XH_i^{rs} \frac{\sigma_H - 1}{\sigma_H} \right]^{\frac{\sigma_H}{\sigma_H - 1}} \\ \text{s.t. } P_L^s F_L^s + P_K^s F_K^s - TD^s - HS^s = \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} P_{Q_i^r} XH_i^{rs} \end{array} \right) \quad (\text{P.2-4})$$

また、式(2-9)～(2-11)は、MRCGE の連立方程式体系において、家計消費部門に関する部分を構成する方程式群である。

$$XH_i^{rs} = \frac{\beta_{XH_i^{rs}} [P_L^s F_L^s + P_K^s F_K^s - TD^s - HS^s]}{P_{Q_i^r}^{\sigma_H} \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} \beta_{XH_i^{rs}} P_{Q_i^r}^{(1-\sigma_H)}} \quad (2-9)$$

$$TD^s = \tau_D [P_L^s F_L^s + P_K^s F_K^s] \quad (2-10)$$

$$HS^s = \delta_{HS}^s [P_L^s F_L^s + P_K^s F_K^s] \quad (2-11)$$

なお、本研究における社会厚生は、等価変分(Equivalent Variation, EV)、すなわち「変化後の効用水準を維持するという条件下で状態変化を諦めるために家計が必要と考える最小補償額(Willingness to Acceptance, WTA)」で定義しており、式(2-12)および(2-13)で表現される。ここで、 $E^s(\mathbf{p}_0^s, \overline{UH}_t^s)$  は s 地域の家計の支出関数(Expenditure Function)、 $\overline{UH}_t^s$  は t 期における s 地域の家計の効用水準(外生)、 $\mathbf{XH}_t^s$  は t 期における s 地域の合成消費財ベクトル、 $\mathbf{p}_t^s$  は t 期における s 地域の合成消費財価格ベクトルであり、 $t = 0, 1$  は環境政策の実施有無を意味する。

$$E^s \left( \mathbf{p}_t^s, \overline{UH}_t^s \right) \equiv \min_{\mathbf{XH}_t^s} \left[ \mathbf{p}_t^s \cdot \mathbf{XH}_t^s \mid UH_t^s \left( \mathbf{XH}_t^s \right) \geq \overline{UH}_t^s \right] \quad (2-12)$$

$$EV^s \equiv E^s \left( \mathbf{p}_0^s, UH_1^s \left( \mathbf{XH}_1^s \right) \right) - E^s \left( \mathbf{p}_0^s, UH_0^s \left( \mathbf{XH}_0^s \right) \right) \quad (2-13)$$

### ③政府支出部門

政府支出部門の構造は、図-Ⅱ-3-4のように表現され、政府の仮想的効用を最大化するように各財への支出を決定するものとする。本モデルでは、伴(2007)<sup>10</sup>の仮定を参考に、中央政府は存在せず、各都道府県に存在する政府が仮想的な政府効用を最大化するよう政府支出を決定するものとした。また、家計消費部門と同様に、政府支出部門は税収の一定割合を貯蓄するものとしている。本研究におけるMRCGEの政府支出部門の行動は、下記の最適化問題(P.2-5)で表現される。

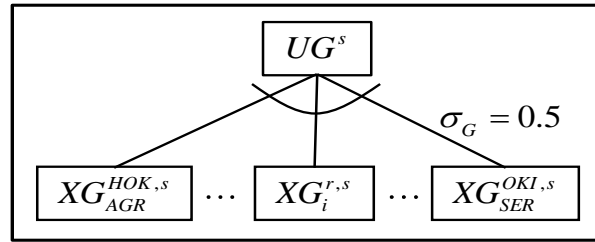


図-Ⅱ-3-4 政府支出部門の構造

$$\begin{cases} \max_{XG_i^{rs}} UG^s = \left[ \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} \beta_{XG_i^{rs}} \frac{1}{\sigma_G} XG_i^{rs \frac{\sigma_G-1}{\sigma_G}} \right]^{\frac{\sigma_G}{\sigma_G-1}} \\ \text{s.t. } \sum_{j \in J} TZ_j^s + TD^s - GS^s = \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} P_{Q_i^r} XG_i^{rs} \end{cases} \quad (P.2-5)$$

また、式(2-14)～(2-16)は、政府支出部門に関する方程式群である。

$$XG_i^{rs} = \frac{\beta_{XG_i^{rs}} \left( \sum_{j \in J} TZ_j^s + TD^s - GS^s \right)}{P_{Q_i^r}^{\sigma_G} \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} \beta_{XG_i^{rs}} P_{Q_i^r}^{(1-\sigma_G)}} \quad (2-14)$$

$$TZ_j^s = \tau_{Z_j^s} P_{Z_j^s} Z_j^s \quad (2-15)$$

$$GS^s = \delta_{GS^s}^s \left( \sum_{j \in J} TZ_j^s + TD^s \right) \quad (2-16)$$

ここで、 $\sigma_G (= 0.5)$  は代替弾力性パラメータ、 $\beta_{XG_i^{rs}}$  はシェアパラメータ(ただし、 $\sum_{r \in R} \sum_{i \in I} \beta_{XG_i^{rs}} = 1$ )、 $TZ_j^s$  は  $s$  地域  $j$  部門の生産税支払、 $\tau_{Z_j^s}$  は  $s$  地域  $j$  部門に課される生産税率、 $GS^s$  および  $\delta_{GS^s}^s$  は  $s$  地域政府の貯蓄および貯蓄率である。

### ④投資部門

投資部門は、家計消費部門および政府支出部門と同様に、各地域に一つだけ存在し、仮想的な効用  $UI^s$  を最大化させるよう投資財  $XI_i^{rs}$  への支出を行う。その構造は、図-Ⅱ-3-5で表現され、本研究におけるMRCGEの投資部門の経済行動は、下記の最適化問題(P.2-6)で表現することができる。

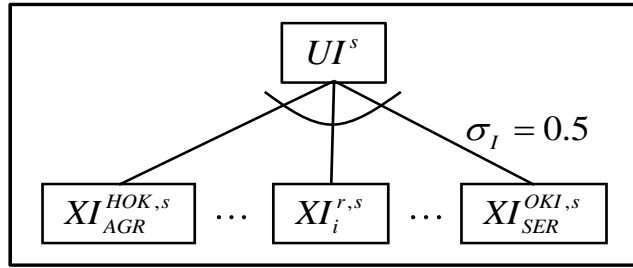


図-Ⅱ-3-5 投資部門の構造

$$\left( \begin{array}{l} \max_{XI_i^{rs}} .UI^s = \left[ \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} \beta_{XI_i^{rs}} \frac{1}{\sigma_I} XI_i^{rs} \frac{\sigma_I - 1}{\sigma_I} \right]^{\frac{\sigma_I}{\sigma_I - 1}} \\ \text{s.t. } HS^s + GS^s + \varepsilon SF^s + TR^s = \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} P_{Q_i^r} XI_i^{rs} \end{array} \right) \quad (\text{P.2-6})$$

また、式(2-17)および式(2-18)は、投資部門に関する方程式である。

$$XI_i^{rs} = \frac{\beta_{XI_i^{rs}} (HS^s + GS^s + \varepsilon SF^s + TR^s)}{P_{Q_i^r}^{\sigma_I} \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} \beta_{XI_i^{rs}} P_{Q_i^r}^{(1-\sigma_I)}} \quad (2-17)$$

$$SF^s = \sum_{j \in J} (PW_{M_j^s} M_j^s - PW_{E_j^s} E_j^s) \quad (2-18)$$

ここで、 $\sigma_I (= 0.5)$  は代替弾力性パラメータ、 $\beta_{XI_i^{rs}}$  はシェアパラメータ(ただし、 $\sum_{r \in R} \sum_{i \in I} \beta_{XI_i^{rs}} = 1$ )、 $SF^s$  は  $s$  地域の外国貯蓄(外生)、 $E_j^s$  は  $s$  地域  $j$  部門の輸出、 $M_j^s$  は  $s$  地域  $j$  部門の輸入、 $PW_{E_j^s}$  は国際輸出財  $j$  の価格(外生)、 $\varepsilon$  は外貨建て為替レート(外生)、 $PW_{M_j^s}$  は国際輸入財  $j$  の価格(外生)、 $TR^s$  は  $s$  地域が受け取る所得移転であり、前述したように、「移入額-移出額」により計算される。

⑤輸出・国内変形部門および輸入・国内代替部門

輸出・国内変形および輸入・国内代替部門の構造は、図-Ⅱ-3-6に示すことができる。

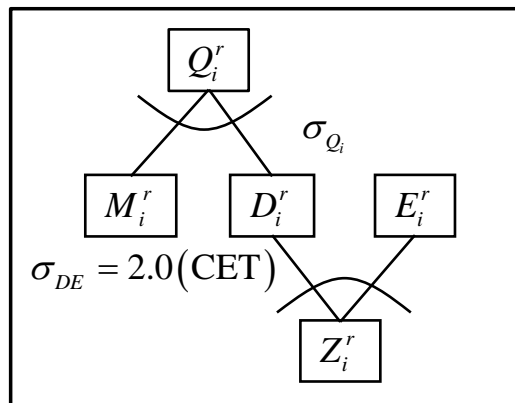


図-Ⅱ-3-6 輸出・国内変形および輸入・国内代替の構造

本モデルでは図-Ⅱ-3-6に示すように、アーミントンの仮定によって、国内で生産した財  $Z_i^r$  を仮想的企業が国内供給  $D_i^r$  と輸出  $E_i^r$  に変形するものとする。ここで本研究では、総生産高を対外輸出と国内供給に変換する最適配分手法として変形関数(Transformation Function)の概念を用

いるものとし、変形弾力性一定である CET 型(Constant Elasticity of Transformation)変形関数を仮定する。さらに、仮想的企業は利潤最大化条件に基づいて行動するものと仮定すると、この仮想的企業の行動は最適化問題(P.2-7)で表現される。

$$\begin{cases} \max_{D_i^r, E_i^r} . P_{D_i^r} D_i^r + P_{E_i^r} E_i^r - (1 + \tau_{Z_i^r}) P_{Z_i^r} Z_i^r \\ \text{s.t. } Z_i^r = \alpha_{DE_i^r} \left[ \beta_{D_i^r} D_i^r \frac{\sigma_{DE}+1}{\sigma_{DE}} + \beta_{E_i^r} E_i^r \frac{\sigma_{DE}+1}{\sigma_{DE}} \right]^{\frac{\sigma_{DE}}{\sigma_{DE}+1}} \end{cases} \quad (\text{P.2-7})$$

輸入・国内代替については、国内供給財と輸出財の関係と同様に、国内供給財  $D_i^r$  と輸入財  $M_i^r$  の間にもアーミントンの仮定を置くものとする。アーミントン合成財  $Q_i^r$  の生産関数は国内供給財  $D_i^r$  と輸入財  $M_i^r$  を投入要素とする CES 型生産関数であり、アーミントン合成財を生産する仮想的企業の利潤最大化行動により生産される。この仮想的企業の行動は、最適化問題(P.2-8)で表現される。

$$\begin{cases} \max_{D_i^r, M_i^r} . P_{Q_i^r} Q_i^r - P_{D_i^r} D_i^r - P_{M_i^r} M_i^r \\ \text{s.t. } Q_i^r = \alpha_{DM_i^r} \left[ \beta_{DD_i^r} D_i^r \frac{\sigma_{Q_i}-1}{\sigma_{Q_i}} + \beta_{M_i^r} M_i^r \frac{\sigma_{Q_i}-1}{\sigma_{Q_i}} \right]^{\frac{\sigma_{Q_i}}{\sigma_{Q_i}-1}} \end{cases} \quad (\text{P.2-8})$$

また、式(2-21)～(2-28)は、輸出・国内変形および輸入・国内代替に関する方程式群である。

$$Z_i^r = \alpha_{DE_i^r} \left[ \beta_{D_i^r} D_i^r \frac{\sigma_{DE}+1}{\sigma_{DE}} + \beta_{E_i^r} E_i^r \frac{\sigma_{DE}+1}{\sigma_{DE}} \right]^{\frac{\sigma_{DE}}{\sigma_{DE}+1}} \quad (2-21)$$

$$E_i^r = \left[ \frac{\alpha_{DE_i^r} \beta_{E_i^r} (1 + \tau_{Z_i^r}) P_{Z_i^r}}{P_{E_i^r}} \right]^{-\sigma_{DE}} \frac{Z_i^r}{\alpha_{DE_i^r}} \quad (2-22)$$

$$D_i^r = \left[ \frac{\alpha_{DE_i^r} \beta_{D_i^r} (1 + \tau_{Z_i^r}) P_{Z_i^r}}{P_{D_i^r}} \right]^{-\sigma_{DE}} \frac{Z_i^r}{\alpha_{DE_i^r}} \quad (2-23)$$

$$Q_i^r = \alpha_{DM_i^r} \left[ \beta_{DD_i^r} D_i^r \frac{\sigma_{Q_i}-1}{\sigma_{Q_i}} + \beta_{M_i^r} M_i^r \frac{\sigma_{Q_i}-1}{\sigma_{Q_i}} \right]^{\frac{\sigma_{Q_i}}{\sigma_{Q_i}-1}} \quad (2-24)$$

$$D_i^r = \left[ \frac{\alpha_{DM_i^r} \beta_{DD_i^r} P_{Q_i^r}}{P_{D_i^r}} \right]^{\sigma_{Q_i}} \frac{Q_i^r}{\alpha_{DM_i^r}} \quad (2-25)$$

$$M_i^r = \left[ \frac{\alpha_{DM_i^r} \beta_{M_i^r} P_{Q_i^r}}{P_{M_i^r}} \right]^{\sigma_{Q_i}} \frac{Q_i^r}{\alpha_{DM_i^r}} \quad (2-26)$$

$$P_{E_i^r} = \varepsilon P W_{E_i} \quad (2-27)$$

$$P_{M_i^r} = \varepsilon P W_{M_i} \quad (2-28)$$

ここで、 $D_i^r$  は  $r$  地域産国内財  $i$  の供給量、 $\beta_{D_i^r}$  は国内供給財  $D_i^r$  のシェアパラメータ、 $\beta_{E_i^r}$  は輸出財  $E_i^r$  のシェアパラメータ(ただし、 $\beta_{D_i^r} + \beta_{E_i^r} = 1$ )、 $\alpha_{DE_i^r}$  はスケールパラメータ、 $P_{E_i^r}$  は  $E_i^r$  の価格、 $\sigma_{DE} (= 2)$  は変形弾力性、 $P_{D_i^r}$  は  $D_i^r$  の価格を意味する。また、 $Q_i^r$  は  $r$  地域産アーミントン財  $i$  の供給量、 $\beta_{DD_i^r}$  は国内供給財  $D_i^r$  のシェアパラメータ、 $\beta_{M_i^r}$  は輸入財  $M_i^r$  のシェアパラメータ(ただし、 $\beta_{DD_i^r} + \beta_{M_i^r} = 1$ )、 $\alpha_{DM_i^r}$  はスケールパラメータ、 $\sigma_Q$  は代替弾力性であり、表-Ⅱ-3-2に示した GTAP データベースの値を用いるものとした。また、本研究では、自国の経済規模が相対的に小さいために、経済活動が外国の経済活動に大きな影響を与えることは無いという小国の仮定(Small Country Assumption)を採用するため、輸出財価格および輸入財価格と国際輸出財価格および国際輸入財価格の関係式である式(2-27)および(2-28)を設定している。

表-Ⅱ-3-2 代替弾力性  $\sigma_Q$  の設定値

農林水産業 (AGR)	鉱業 (MIN)	石油・石炭製品 (PET)	化学製品 (CHE)	窯業・土石製品 (CER)
2.4	5.7	2.1	3.3	2.9
鉄鋼製品 (STL)	非鉄金属製品 (OSTL)	機械 (MCH)	自動車 (CAR)	その他製造業 (MAN)
3.0	4.2	4.2	2.8	3.2
建築・土木 (CON)	電力 (ELE)	ガス (GAS)	運輸 (TRA)	サービス (SER)
1.9	2.8	2.8	1.9	1.9

#### ⑥市場均衡条件

最後に、財および生産要素の需要と供給が各市場で均衡するための条件式として、式(2-29)～(2-32)を仮定する。

$$Q_i^r = \sum_{s \in S} \sum_{j \in J} XX_{ij}^{rs} + \sum_{s \in S} XH_i^{rs} + \sum_{s \in S} XG_i^{rs} + \sum_{s \in S} XI_i^{rs} \quad (2-29)$$

$$\sum_{j \in J} L_j^s = F_L^s \quad (2-30)$$

$$\sum_{j \in J} K_j^s = F_K^s \quad (2-31)$$

$$\sum_{s \in S} TR^s = 0 \quad (2-32)$$

まず、式(2-29)は、アーミントン合成財(供給)が家計消費財と政府支出財、投資財および中間投入財の合計(需要)に等しいことを意味し、これによって財市場の均衡を表現している。また、式(2-30)は労働市場の需給均衡を、式(2-31)は資本市場の需給均衡を表現している。さらに、式(2-32)は、所得移転の合計がゼロであることを意味する。

以上が、本研究における MRCGE を構成する全ての連立方程式体系である。これらの連立方程式体系において外生値としたスケールパラメータ、シェアパラメータ、投入パラメータ、貯蓄率および生産税率については、キャリブレーション(Calibration)によって導出する。一方、代替・変形弾力性については、キャリブレーションでは推定が困難であるため、多くの既存研究においては、過去の同様な研究、或いは、ベースとしたモデルにおいて用いられた値などをアドホックに用い、感度分析によってモデルの信頼性を保つという方法を採用している。本研究では、GTAP データベースおよび GTAP モデルで用いられている値およびモデル構築において参考にした Hosoe et al.(2010)および伴(2007)の値を用いるものとした。

以上が、本研究における MRCGE を構成する全ての連立方程式体系である。これらの連立方程式体系において外生値としたスケールパラメータ、シェアパラメータ、投入パラメータ、貯蓄率および生産税率については、キャリブレーション(Calibration)によって導出する。一方、代替・変形弾力性については、キャリブレーションでは推定が困難であるため、多くの既存研究においては、過去の同様な研究、或いは、ベースとしたモデルにおいて用いられた値などをアドホックに用い、感度分析によってモデルの信頼性を保つという方法を採用している。本研究では、GTAP データベースおよび GTAP モデルで用いられている値およびモデル構築において参考にした Hosoe *et al.*(2010)および伴(2007)の値を用いるものとした。

### 3.2.2 GTAP(MGTAP)の構造と連立方程式体系

ここでは、MRCGE と内生的に連動させることを前提として、GTAP データベースを基準均衡とした世界モデルを構築し、その構造およびモデルの連立方程式体系を明らかにする。以下、本研究で構築する世界モデルは、MRCGE と連動させるという制約的な面から、基本的な GTAP の構造を簡素化している点に注意されたい。その意味では、本研究で取り扱う GTAP は「修正 GTAP(Modified GTAP, MGTAP)」と称した方が適切であろう。例えば、本来 GTAP では国際運輸部門(Global Transportation Sector)を設定し、各貿易国相手国間を輸送する各品目について、FOB(Free on Board)価格(本船甲板渡し価格)と CIF(Cost, Insurance and Freight)価格(運賃・保険料込み渡し価格)の差で表現されるサービスを提供するものとしているものの、本研究では考慮していない。これは、暗黙裏に国際運輸価格は固定であると仮定していることになる。なお、基本的な GTAP の構造は、Hertel and Tsigas(1997)を参照されたい。

以下、MGTAP の構造を MRCGE の場合と同様に、①国内生産部門、②家計消費部門、③政府支出部門、④投資部門、⑤輸出・国内変形部門および輸入・国内代替部門、⑥市場均衡条件について示す。なお、以下では、表現を簡素化するために、「国・地域」を「国」と略記し、 $c(c \in C, JPN \notin C)$  国、 $i(i \in I)$  部門および  $j(j \in J)$  部門の記号法を用いる。ただし、 $C$  は国集合(112 国)、 $I$  は財の種類集合(15 財)、 $J$  は産業部門集合(15 産業部門)である。ここで、国集合  $C$  には、日本は含まれていないことに注意されたい。

#### ① $c$ 国の国内生産部門

$c$  国の国内生産部門については、図- II - 3 - 7 のような Nested 構造としている。

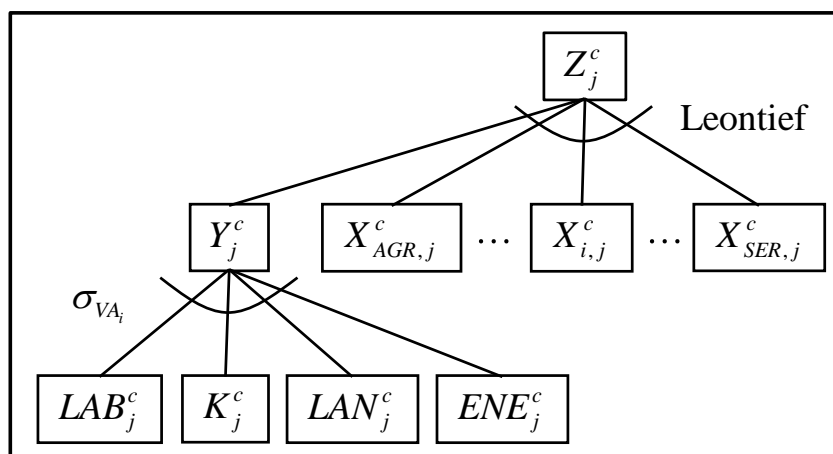


図- II - 3 - 7  $c$  国の国内生産部門の構造

まず、 $c$  国  $j$  部門は、労働  $LAB_j^c$ 、資本  $K_j^c$ 、土地  $LAN_j^c$ 、およびエネルギー資源  $ENE_j^c$  投入し、利潤最大化の仮定の下、仮想的に合成生産要素  $Y_j^c$  を生産するものとする。  $Y_j^c$  の生産関数は、CES 型生産関数を仮定する。このとき、 $c$  国  $j$  部門の各要素投入には、税率  $\tau_{LAB_i^c}$  の労働税  $TLAB_i^c$ 、税

率 $\tau_{K_j^c}$ の資本税 $TK_i^c$ ，税率 $\tau_{LAN_j^c}$ の土地税 $TLAN_i^c$ ，税率 $\tau_{ENE_j^c}$ のエネルギー資源税 $TENE_i^c$ が課せられるものとする．さらに， $c$ 国 $j$ 部門は，仮想的に生産された合成生産要素 $Y_j^c$ と中間投入財 $X_{ij}^c$ を投入し， $c$ 国 $j$ 部門の生産財 $Z_j^c$ を生産する．このとき， $Z_j^c$ の生産関数は，投入係数パラメータ一定のレオンチェフ型生産関数を仮定する．

MGTAP における $c$ 国の国内生産部門は，最適化問題(P.2-9)および(P.2-10)で表現される経済行動を行うものとする．

$$\left( \begin{array}{l} \max_{LAB_j^c, K_j^c, LAN_j^c, ENE_j^c} \left[ P_{Y_j^c} Y_j^c - (1 + \tau_{LAB_j^c}) P_{LAB^c} LAB_j^c - (1 + \tau_{K_j^c}) P_{K^c} K_j^c - (1 + \tau_{LAN_j^c}) P_{LAN^c} LAN_j^c - (1 + \tau_{ENE_j^c}) P_{ENE^c} ENE_j^c \right] \\ \text{s.t. } Y_j^c = \alpha_{VA_j^c} \left[ \beta_{LAB_j^c} LAB_j^c \frac{\sigma_{VA_j^c} - 1}{\sigma_{VA_j^c}} + \beta_{K_j^c} K_j^c \frac{\sigma_{VA_j^c} - 1}{\sigma_{VA_j^c}} + \beta_{LAN_j^c} LAN_j^c \frac{\sigma_{VA_j^c} - 1}{\sigma_{VA_j^c}} + \beta_{ENE_j^c} ENE_j^c \frac{\sigma_{VA_j^c} - 1}{\sigma_{VA_j^c}} \right] \end{array} \right) \quad (\text{P.2-9})$$

$$\left( \begin{array}{l} \max_{Y_j^c, X_{ij}^c} P_{Z_j^c} Z_j^c - P_{Y_j^c} Y_j^c - \sum_i (1 + \tau_{X_{ij}^c}) P_{X_{ij}^c} X_{ij}^c \\ \text{s.t. } Z_j^c = \min \left[ \frac{Y_j^c}{\alpha_{Y_j^c}}, \frac{X_{AGR,j}^c}{\alpha_{X_{AGR,j}^c}}, \dots, \frac{X_{SER,j}^c}{\alpha_{X_{SER,j}^c}} \right] \end{array} \right) \quad (\text{P.2-10})$$

また，以下の式(2-33)～(2-45)は， $c$ 国の国内生産部門を構成する方程式群である．

$$Y_j^c = \alpha_{VA_j^c} \left[ \beta_{LAB_j^c} LAB_j^c \frac{\sigma_{VA_j^c} - 1}{\sigma_{VA_j^c}} + \beta_{K_j^c} K_j^c \frac{\sigma_{VA_j^c} - 1}{\sigma_{VA_j^c}} + \beta_{LAN_j^c} LAN_j^c \frac{\sigma_{VA_j^c} - 1}{\sigma_{VA_j^c}} + \beta_{ENE_j^c} ENE_j^c \frac{\sigma_{VA_j^c} - 1}{\sigma_{VA_j^c}} \right] \quad (2-33)$$

$$LAB_j^c = \left[ \frac{\alpha_{VA_j^c} \beta_{LAB_j^c} P_{Y_j^c}}{(1 + \tau_{LAB_j^c}) P_{LAB^c}} \right]^{\sigma_{VA_j^c}} \frac{Y_j^c}{\alpha_{VA_j^c}} \quad (2-34)$$

$$K_j^c = \left[ \frac{\alpha_{VA_j^c} \beta_{K_j^c} P_{Y_j^c}}{(1 + \tau_{K_j^c}) P_{K^c}} \right]^{\sigma_{VA_j^c}} \frac{Y_j^c}{\alpha_{VA_j^c}} \quad (2-35)$$

$$LAN_j^c = \left[ \frac{\alpha_{VA_j^c} \beta_{LAN_j^c} P_{Y_j^c}}{(1 + \tau_{LAN_j^c}) P_{LAN^c}} \right]^{\sigma_{VA_j^c}} \frac{Y_j^c}{\alpha_{VA_j^c}} \quad (2-36)$$

$$ENE_j^c = \left[ \frac{\alpha_{VA_j^c} \beta_{ENE_j^c} P_{Y_j^c}}{(1 + \tau_{ENE_j^c}) P_{ENE^c}} \right]^{\sigma_{VA_j^c}} \frac{Y_j^c}{\alpha_{VA_j^c}} \quad (2-37)$$

$$Y_j^c = \alpha_{Y_j^c} Z_j^c \quad (2-38)$$

$$X_{ij}^c = \alpha_{X_{ij}^c} Z_j^c \quad (2-39)$$

$$P_{Z_j^c} = P_{Y_j^c} \alpha_{Y_j^c} + \sum_{i \in I} (1 + \tau_{X_{ij}^c}) P_{Q_i^c} \alpha_{X_{ij}^c} \quad (2-40)$$

$$TLAB_j^c = \tau_{LAB_j^c} P_{LAB^c} LAB_j^c \quad (2-41)$$



$$TK_j^c = \tau_{K_j^c} P_{K^c} K_j^c \quad (2-42)$$

$$TLAN_j^c = \tau_{LAN_j^c} P_{LAN^c} LAN_j^c \quad (2-43)$$

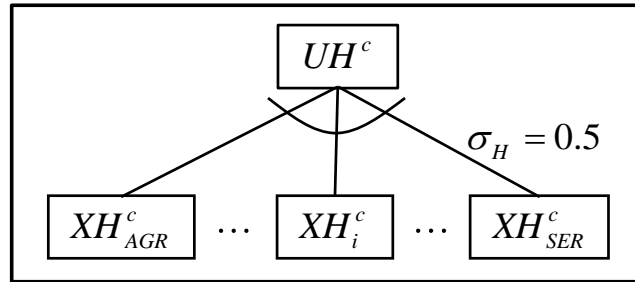
$$TENE_j^c = \tau_{ENE_j^c} P_{ENE^c} ENE_j^c \quad (2-44)$$

$$TX_{ij}^c = \tau_{X_{ij}^c} P_{Q_i^c} X_{ij}^c \quad (2-45)$$

ここで、 $P_{Y_j^c}$  は  $c$  国の合成生産要素  $Y_j^c$  の価格、 $P_{LAB^c}$  は  $c$  国の労働価格、 $P_{K^c}$  は  $c$  国の資本価格、 $P_{LAN^c}$  は  $c$  国の土地価格、 $P_{ENE^c}$  は  $c$  国のエネルギー資源価格、 $\sigma_{VA_j}$  は合成生産要素  $Y_j^c$  の生産関数における代替弾力性であり、表Ⅱ-3-1の値に等しい。また、 $\alpha_{VA_j^c}$  はスケールパラメータ、 $\beta_{LAB_j^c}$  は労働投入  $LAB_j^c$  のシェアパラメータ、 $\beta_{K_j^c}$  は資本投入  $K_j^c$  のシェアパラメータ、 $\beta_{LAN_j^c}$  は土地投入  $LAN_j^c$  のシェアパラメータ、 $\beta_{ENE_j^c}$  はエネルギー資源投入  $ENE_j^c$  のシェアパラメータ(ただし、 $\beta_{LAB_j^c} + \beta_{K_j^c} + \beta_{LAN_j^c} + \beta_{ENE_j^c} = 1$ )、 $P_{Q_i^c}$  は  $c$  国アーミントン合成財  $Q_i^c$  の価格、 $P_{Z_j^c}$  は  $c$  国  $j$  部門の生産財  $Z_j^c$  の価格、 $\alpha_{Y_j^c}$  および  $\alpha_{X_{ij}^c}$  は投入パラメータである。また、 $TLAB_j^c$  は  $c$  国  $j$  部門の労働税支払、 $TK_j^c$  は  $c$  国  $j$  部門の資本税支払、 $TLAN_j^c$  は  $c$  国  $j$  部門の土地税支払、 $TENE_j^c$  は  $c$  国  $j$  部門のエネルギー資源税支払である。

#### ② $c$ 国の家計消費部門

$c$  国の家計消費部門の構造は、図Ⅱ-3-8のように表現される。



図Ⅱ-3-8  $c$  国の家計消費部門の構造

$c$  国の代表的家計は、効用最大化条件に基づいて消費財  $XH_i^c$  を消費し、効用水準  $UH^c$  を得る。ここで、効用関数は、代替弾力性が  $\sigma_H (=0.5)$  の CES 型効用関数を仮定している。ただし、家計の消費には税率  $\tau_{H_i^c}$  の消費税が課せられるとする。また、家計は、労働所得の一定割合を貯蓄  $HS^c$  として支出すると仮定する。ここで、 $\beta_{XH_i^c}$  は  $c$  国の消費財  $XH_i^c$  のシェアパラメータ(ただし、 $\sum_{i \in I} \beta_{XH_i^c} = 1$ )、 $F_{LAB^c}$  は  $c$  国の家計の労働初期賦存量、 $F_{K^c}$  は  $c$  国の家計の資本初期賦存量、 $F_{LAN^c}$  は  $c$  国の家計の土地初期賦存量、 $F_{ENE^c}$  は  $c$  国の家計のエネルギー資源初期賦存量、 $HS^c$  は  $c$  国の家計貯蓄、 $\delta_{HS^c}$  は  $c$  国の家計の貯蓄率である。

本研究における MGTAP の家計消費部門の経済行動は、最適化問題(P.2-11)によって表現することができる。

$$\left( \begin{array}{l} \max_{XH_i^c} .UH^c = \left[ \sum_{i \in I} \beta_{H_i^c} \frac{1}{\sigma_H} \frac{\sigma_H - 1}{\sigma_H} XH_i^c \right]^{\frac{\sigma_H}{\sigma_H - 1}} \\ \text{s.t. } P_{LAB^c} F_{LAB^c} + P_{K^c} F_{K^c} + P_{LAN^c} F_{LAN^c} + P_{ENE^c} F_{ENE^c} - HS^c = \sum_{i \in I} (1 + \tau_{H_i^c}) P_{Q_i^c} XH_i^c \end{array} \right) \quad (P2-11)$$

また、式(2-46)～(2-49)は、GTAPの連立方程式体系において、 $c$ 国の家計消費部門に関する部分を構成する方程式群である。

$$XH_i^c = \frac{\beta_{H_i^c} \left[ P_{LAB^c} F_{LAB^c} + P_{K^c} F_{K^c} + P_{LAN^c} F_{LAN^c} + P_{ENE^c} F_{ENE^c} - HS^c \right]}{\left( (1 + \tau_{H_i^c}) P_{Q_i^c} \right)^{\sigma_H} \sum_{i \in I} \beta_{H_i^c} \left( (1 + \tau_{H_i^c}) P_{Q_i^c} \right)^{(1 - \sigma_H)}} \quad (2-46)$$

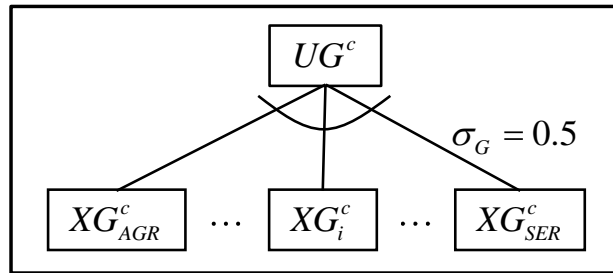
$$HS^c = \delta_{HS^c} \left[ P_{LAB^c} F_{LAB^c} + P_{K^c} F_{K^c} + P_{LAN^c} F_{LAN^c} + P_{ENE^c} F_{ENE^c} \right] \quad (2-47)$$

$$TD^c = \tau_{D^c} \left[ P_{LAB^c} F_{LAB^c} + P_{K^c} F_{K^c} + P_{LAN^c} F_{LAN^c} + P_{ENE^c} F_{ENE^c} \right] \quad (2-48)$$

$$TH_i^c = \tau_{H_i^c} P_{Q_i^c} XH_i^c \quad (2-49)$$

### ③ $c$ 国の政府支出部門

$c$ 国の政府支出部門の構造は、図－II－3－9に示すように、政府の仮想的効用 $UG^c$ を最大化するように各財への支出を決定するものとする。また、家計消費部門と同様に、政府支出部門は税収の一定割合を貯蓄するものとしている。本研究におけるMGTAPの $c$ 国の政府支出部門の行動は、最適化問題(P2-12)で表現される。



図－II－3－9  $c$ 国の政府支出部門の構造

$$\left( \begin{array}{l} \max_{XG_i^c} .UG^c = \left[ \sum_{i \in I} \beta_{G_i^c} \frac{1}{\sigma_G} \frac{\sigma_G - 1}{\sigma_G} XG_i^c \right]^{\frac{\sigma_G}{\sigma_G - 1}} \\ \text{s.t. } \sum_{j \in J} (TLAB_j^c + TK_j^c + TLAN_j^c + TENE_j^c + TZ_j^c) + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} TX_{ij}^c + TD^c \\ + \sum_{i \in I} (TH_i^c + TEJ_i^c + TMJ_i^c) + \sum_{fc \in C} \sum_{i \in I} (TE_i^{c,fc} + TM_i^{c,fc}) - GS^c \\ = \sum_{i \in I} P_{Q_i^c} XG_i^c \end{array} \right) \quad (P2-12)$$

また、式(2-50)～式(2-52)は、 $c$ 国の政府支出部門に関する方程式群である。

$$XG_i^c = \frac{\beta_{G_i^c}}{P_{Q_i^c}^{\sigma_G} \left( \sum_{i \in I} \beta_{G_i^c} P_{Q_i^c}^{(1-\sigma_G)} \right)} \left[ \begin{aligned} & \sum_{j \in J} (TLAB_j^c + TK_j^c + TLAN_j^c + TENE_j^c + TZ_j^c) \\ & + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} TX_{ij}^c + TD^c + \sum_{i \in I} (TH_i^c + TEJ_i^c + TMJ_i^c) \\ & + \sum_{j \in C} \sum_{i \in I} (TE_i^{c,jc} + TM_i^{c,jc}) - GS^c \end{aligned} \right] \quad (2-50)$$

$$TZ_j^c = \tau_{Z_j^c} P_{Z_j^c} Z_j^c \quad (2-51)$$

$$GS^c = \delta_{GS^c} \left[ \begin{aligned} & \sum_{j \in J} (TLAB_j^c + TK_j^c + TLAN_j^c + TENE_j^c + TZ_j^c) + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} TX_{ij}^c + TD^c \\ & + \sum_{i \in I} (TH_i^c + TEJ_i^c + TMJ_i^c) + \sum_{j \in C} \sum_{i \in I} (TE_i^{c,jc} + TM_i^{c,jc}) \end{aligned} \right] \quad (2-52)$$

ここで、 $\sigma_l (=0.5)$  は代替弾力性パラメータ、 $\beta_{G_i^c}$  は $c$ 国の政府支出財のシェアパラメータ(ただし、 $\sum_{i \in I} \beta_{G_i^c} = 1$ )、 $TZ_j^c$  は $c$ 国 $j$ 部門の生産税支払、 $\tau_{Z_j^c}$  は $c$ 国 $j$ 部門に課される生産税率、 $GS^c$  は $c$ 国の政府の貯蓄、 $\delta_{GS^c}$  は $c$ 国の政府の貯蓄率である。

#### ④ $c$ 国の投資部門

$c$ 国に各々一つ存在する投資部門は、仮想的な効用 $UI^c$ を最大化させるように投資財への支出を行う。その構造は、図-Ⅱ-3-10で示され、本研究におけるMGTAPの $c$ 国の投資部門の経済行動は、最適化問題(P2-13)で表現することができる。

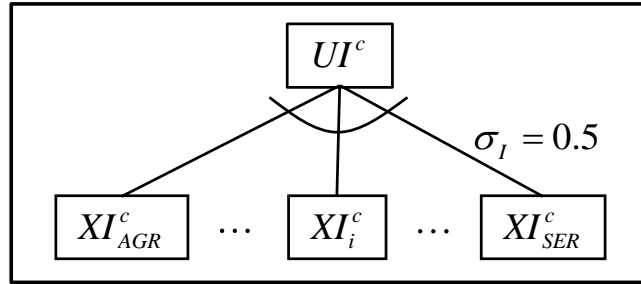


図-Ⅱ-3-10  $c$ 国の投資部門の構造

$$\left( \begin{aligned} \max_{XI_i^c} UI^c &= \left[ \sum_{i \in I} \beta_{I_i^c}^{\frac{1}{\sigma_l}} XI_i^c \right]^{\frac{\sigma_l}{\sigma_l-1}} \\ \text{s.t. } HS^c + GS^c + \varepsilon^c SF^c &= \sum_{i \in I} P_{Q_i^c} XI_i^c \end{aligned} \right) \quad (P2-13)$$

また、式(2-53)および(2-54)は、 $c$ 国の投資部門に関する方程式群である。

$$XI_i^c = \frac{\beta_{I_i^c} (HS^c + GS^c + \varepsilon^c SF^c)}{P_{Q_i^c}^{\sigma_l} \left( \sum_{i \in I} \beta_{I_i^c} P_{Q_i^c}^{(1-\sigma_l)} \right)} \quad (2-53)$$

$$SF^c = \sum_{i \in I} \sum_{j \in C} \left( P_{WMM_i^{c,jc}} MM_i^{c,jc} - P_{WEE_i^{c,jc}} EE_i^{c,jc} \right) + \sum_{i \in I} \left( P_{WMM_i^c} MM_i^c - P_{WEE_i^c} EE_i^c \right) \quad (2-54)$$

ここで、 $\beta_{I_i^c}$  は  $c$  国の投資財  $i$  のシェアパラメータ(ただし、 $\sum_{i \in I} \beta_{I_i^c} = 1$ )、 $SF^c$  は  $c$  国の外国貯蓄(外生)、 $E_i^c$  は  $c$  国の合成輸出財、 $M_i^c$  は  $c$  国の合成輸入財、 $PW_{E_i^c}$  は  $c$  国の国際輸出財の価格、 $\varepsilon^c$  は  $c$  国の外貨建て為替レート、 $P_{WM_i^c}$  は  $c$  国の国際輸入財の価格である。

⑤  $c$  国の輸出・国内変形部門および輸入・国内代替部門

$c$  国の輸出・国内変形および輸入・国内代替部門の構造は、図-Ⅱ-3-1 1により示すことができる。本研究における MGTAP では、図-Ⅱ-3-1 1に示すように、アーミントンの仮定を置き、仮想的企業によって  $c$  国の財  $Z_i^c$  が国内供給  $D_i^c$  と合成輸出  $E_i^c$  に変形されるものとする。このとき、CET 型変形関数を仮定する。さらに、合成輸出は、CET 型変形関数によって  $c$  国から他国  $fc$  ( $fc \in C, c \neq fc$ ) への輸出  $EE_i^{c,fc}$  と  $c$  国から日本への輸出  $EEJ_i^c$  に変形される。したがって、仮想的企業の利潤最大化行動は、最適化問題(P.2-14)および(P.2-15)で表現される。

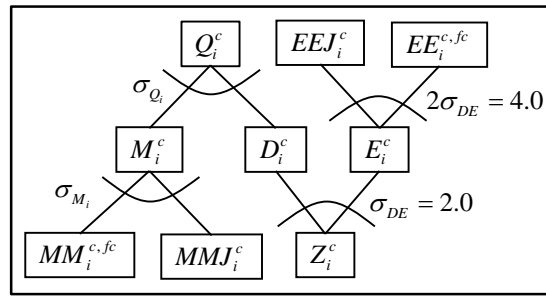


図-Ⅱ-3-1 1  $c$  国の輸出・国内変形／輸入・国内代替の構造

$$\left( \begin{array}{l} \max_{D_i^c, E_i^c} P_{D_i^c} D_i^c + P_{E_i^c} E_i^c - (1 + \tau_{Z_i^c}) P_{Z_i^c} Z_i^c \\ \text{s.t. } Z_i^c = \alpha_{DE_i^c} \left[ \beta_{D_i^c} D_i^c \frac{\sigma_{DE} + 1}{\sigma_{DE}} + \beta_{E_i^c} E_i^c \frac{\sigma_{DE} + 1}{\sigma_{DE}} \right]^{\frac{\sigma_{DE}}{\sigma_{DE} + 1}} \end{array} \right) \quad (\text{P.2-14})$$

$$\left( \begin{array}{l} \max_{EE_i^{c,fc}, EEJ_i^c} \sum_{fc \in C} (1 - \tau_{EE_i^{c,fc}}) P_{EE_i^{c,fc}} EE_i^{c,fc} + (1 - \tau_{EEJ_i^c}) P_{EEJ_i^c} EEJ_i^c - P_{E_i^c} E_i^c \\ \text{s.t. } E_i^c = \alpha_{E_i^c} \left[ \sum_{fc \in C} \beta_{EE_i^{c,fc}} EE_i^{c,fc} \frac{2\sigma_{DE} + 1}{2\sigma_{DE}} + \beta_{EEJ_i^c} EEJ_i^c \frac{2\sigma_{DE} + 1}{2\sigma_{DE}} \right]^{\frac{2\sigma_{DE}}{2\sigma_{DE} + 1}} \end{array} \right) \quad (\text{P.2-15})$$

$c$  国の輸入・国内代替については、まず、 $fc$  国からの輸入  $MM_i^{c,fc}$  および日本からの輸入  $MMJ_i^c$  を合成し、 $c$  国の合成輸入財  $M_i^c$  を生産する。次に、国内供給財  $D_i^c$  と合成輸入財  $M_i^c$  からアーミントン合成財  $Q_i^c$  を生産する。関数形はいずれも CES 型生産関数を仮定している。輸入合成財  $M_i^c$  およびアーミントン合成財  $Q_i^c$  を生産する仮想的企業の利潤最大化行動は、最適化問題(P.2-16)および(P.2-17)で表現される。

$$\left( \begin{array}{l} \max_{MM_i^{c,fc}, MMJ_i^c} P_{M_i^c} M_i^c - \sum_{fc \in C} P_{MM_i^{c,fc}} MM_i^{c,fc} - P_{MMJ_i^c} MMJ_i^c \\ \text{s.t. } M_i^c = \alpha_{M_i^c} \left[ \sum_{fc \in C} \beta_{MM_i^{c,fc}} MM_i^{c,fc} \frac{\sigma_{M_i} - 1}{\sigma_{M_i}} + \beta_{MMJ_i^c} MMJ_i^c \frac{\sigma_{M_i} - 1}{\sigma_{M_i}} \right]^{\frac{\sigma_{M_i}}{\sigma_{M_i} - 1}} \end{array} \right) \quad (\text{P.2-16})$$

$$\begin{cases} \max. P_i^c Q_i^c - P_{D_i^c} D_i^c - P_{M_i^c} M_i^c \\ \text{s.t. } Q_i^c = \alpha_{DM_i^c} \left[ \beta_{DD_i^c} D_i^c \frac{\sigma_{Q_i} - 1}{\sigma_{Q_i}} + \beta_{M_i^c} M_i^c \frac{\sigma_{Q_i} - 1}{\sigma_{Q_i}} \right]^{\frac{\sigma_{Q_i}}{\sigma_{Q_i} - 1}} \end{cases} \quad (\text{P2-17})$$

また、以下の式(2-55)～(2-70)は、 $c$ 国の輸出・国内変形および輸入・国内代替に関する方程式群である。

$$Z_i^c = \alpha_{DE_i^c} \left[ \beta_{D_i^c} D_i^c \frac{\sigma_{DE} + 1}{\sigma_{DE}} + \beta_{E_i^c} E_i^c \frac{\sigma_{DE} + 1}{\sigma_{DE}} \right]^{\frac{\sigma_{DE}}{\sigma_{DE} + 1}} \quad (2-55)$$

$$E_i^c = \left[ \frac{\alpha_{DE_i^c} \beta_{E_i^c} (1 + \tau_{Z_i^c}) P_{Z_i^c}}{P_{E_i^c}} \right]^{-\sigma_{DE}} \frac{Z_i^c}{\alpha_{DE_i^c}} \quad (2-56)$$

$$D_i^c = \left[ \frac{\alpha_{DE_i^c} \beta_{D_i^c} (1 + \tau_{Z_i^c}) P_{Z_i^c}}{P_{D_i^c}} \right]^{-\sigma_{DE}} \frac{Z_i^c}{\alpha_{DE_i^c}} \quad (2-57)$$

$$E_i^c = \alpha_{E_i^c} \left[ \sum_{jc \in W} \beta_{EE_i^c, jc} EE_i^{c, jc} \frac{2\sigma_{DE} + 1}{2\sigma_{DE}} + \beta_{EEJ_i^c} EEJ_i^c \frac{2\sigma_{DE} + 1}{2\sigma_{DE}} \right]^{\frac{2\sigma_{DE}}{2\sigma_{DE} + 1}} \quad (2-58)$$

$$EE_i^{c, jc} = \left[ \frac{\alpha_{E_i^c} \beta_{EE_i^c, jc} P_{E_i^c}}{(1 - \tau_{EE_i^c, jc}) P_{EE_i^c, jc}} \right]^{-2\sigma_{DE}} \frac{E_i^c}{\alpha_{E_i^c}} \quad (2-59)$$

$$EEJ_i^c = \left[ \frac{\alpha_{E_i^c} \beta_{EEJ_i^c} P_{E_i^c}}{(1 - \tau_{EEJ_i^c}) P_{EEJ_i^c}} \right]^{-2\sigma_{DE}} \frac{E_i^c}{\alpha_{E_i^c}} \quad (2-60)$$

$$M_i^c = \alpha_{M_i^c} \left[ \sum_{jc \in W} \beta_{MM_i^c, jc} MM_i^{c, jc} \frac{\sigma_{M_i} - 1}{\sigma_{M_i}} + \beta_{MMJ_i^c} MMJ_i^c \frac{\sigma_{M_i} - 1}{\sigma_{M_i}} \right]^{\frac{\sigma_{M_i}}{\sigma_{M_i} - 1}} \quad (2-61)$$

$$MM_i^{c, jc} = \left[ \frac{\alpha_{M_i^c} \beta_{MM_i^c, jc} P_{M_i^c}}{(1 + \tau_{MM_i^c, jc}) P_{MM_i^c, jc}} \right]^{\sigma_{M_i}} \frac{M_i^c}{\alpha_{M_i^c}} \quad (2-62)$$

$$MMJ_i^c = \left[ \frac{\alpha_{M_i^c} \beta_{MMJ_i^c} P_{M_i^c}}{(1 + \tau_{MMJ_i^c}) P_{MMJ_i^c}} \right]^{\sigma_{M_i}} \frac{M_i^c}{\alpha_{M_i^c}} \quad (2-63)$$

$$Q_i^c = \alpha_{DM_i^c} \left[ \beta_{DD_i^c} D_i^c \frac{\sigma_{Q_i} - 1}{\sigma_{Q_i}} + \beta_{M_i^c} M_i^c \frac{\sigma_{Q_i} - 1}{\sigma_{Q_i}} \right]^{\frac{\sigma_{Q_i}}{\sigma_{Q_i} - 1}} \quad (2-64)$$

$$D_i^c = \left[ \frac{\alpha_{DM_i^c} \beta_{DD_i^c} P_{Q_i^c}}{P_{D_i^c}} \right]^{\sigma_{Q_i}} \frac{Q_i^c}{\alpha_{DM_i^c}} \quad (2-65)$$

$$M_i^c = \left[ \frac{\alpha_{DM_i^c} \beta_{M_i^c} P_{Q_i^c}}{P_{M_i^c}} \right]^{\sigma_{Q_i}} \frac{Q_i^c}{\alpha_{DM_i^c}} \quad (2-66)$$

$$P_{EE_i^c,fc} = \varepsilon^c P_{WE_i^c} \quad (2-67)$$

$$P_{EEJ_i^c} = \varepsilon^c P_{WE_i^c} \quad (2-68)$$

$$P_{MM_i^c,fc} = \varepsilon^c P_{WM_i^c} \quad (2-69)$$

$$P_{MMJ_i^c} = \varepsilon^c P_{WM_i^c} \quad (2-70)$$

ここで、 $D_i^c$  は  $c$  国の国内財  $i$  の供給量、 $E_i^c$  は  $c$  国の合成輸出財  $i$  の供給量、 $\beta_{D_i^c}$  は  $c$  国の国内財  $D_i^c$  のシェアパラメータ、 $\beta_{E_i^c}$  は  $c$  国の合成輸出財  $E_i^c$  のシェアパラメータ(ただし、 $\beta_{D_i^c} + \beta_{E_i^c} = 1$ )、 $\alpha_{DE_i^c}$  は  $c$  国のスケールパラメータ、 $P_{E_i^c}$  は  $c$  国の輸出財  $i$  の価格、 $\sigma_{DE} (= 2)$  は変形弾力性、 $P_{D_i^c}$  は  $c$  国の国内財  $i$  の価格を意味する。また、 $\beta_{EE_i^c,fc}$  は  $c$  国から  $fc$  国への輸出財  $EE_i^{c,fc}$  のシェアパラメータ、 $\beta_{EEJ_i^c}$  は  $c$  国から日本への輸出財  $EEJ_i^c$  のシェアパラメータ(ただし、 $\beta_{EEJ_i^c} + \sum_{fc \in C} \beta_{EE_i^c,fc} = 1$ )、 $\alpha_{E_i^c}$  はスケールパラメータ、 $P_{EE_i^c,fc}$  は  $c$  国から  $fc$  国への輸出財  $EE_i^{c,fc}$  の価格、 $P_{EEJ_i^c}$  は  $c$  国から日本への輸出財  $EEJ_i^c$  の価格である。次に、 $\beta_{MM_i^c,fc}$  は  $fc$  国から輸入される  $c$  国の輸入財  $MM_i^{c,fc}$  のシェアパラメータ、 $\beta_{MMJ_i^c}$  は日本から輸入される  $c$  国の輸入財  $MMJ_i^c$  のシェアパラメータ(ただし、 $\beta_{MMJ_i^c} + \sum_{fc \in C} \beta_{MM_i^c,fc} = 1$ )、 $P_{MM_i^c,fc}$  は  $fc$  国からの輸入財  $MM_i^{c,fc}$  の価格、 $P_{MMJ_i^c}$  は日本からの輸入財  $MMJ_i^c$  の価格、 $\alpha_{M_i^c}$  はスケールパラメータ、 $M_i^c$  は  $c$  国の合成輸入財  $i$  の需要量、 $Q_i^c$  は  $c$  国のアーミントン財  $i$  の供給量、 $\beta_{DD_i^c}$  は  $c$  国の国内供給財  $i$  のシェアパラメータ、 $\beta_{DE_i^c}$  は  $c$  国の合成輸入財  $M_i^c$  のシェアパラメータ、 $\alpha_{DM_i^c}$  はスケールパラメータ、 $\sigma_{M_i^c}$  は代替弾力性であり、表-Ⅱ-3-3 に示される。

表-Ⅱ-3-3 代替弾力性  $\sigma_{M_i^c}$  の設定値

農林水産業 (AGR)	鉱業 (MIN)	石油・石炭製品 (PET)	化学製品 (CHE)	窯業・土石製品 (CER)
4.8	12.1	4.2	6.6	5.8
鉄鋼製品 (STL)	非鉄金属製品 (OSTL)	機械 (MCH)	自動車 (CAR)	その他製造業 (MAN)
5.9	8.4	8.4	5.6	6.8
建築・土木 (CON)	電力 (ELE)	ガス (GAS)	運輸 (TRA)	サービス (SER)
3.8	5.6	5.6	3.8	3.8

また、 $\sigma_{Q_i}$  は表-Ⅱ-3-2 の値に等しいことに注意されたい。本研究では小国の仮定を採用しているため、輸出財価格および輸入財価格と国際輸出財価格および国際輸入財価格の関係式である式(2-67)~(70)を設定している。最後に、式(2-58)の変形関数の変形弾力性を  $\sigma_{DE}$  の 2 倍の値を用いている根拠として、Hosoe *et al.* (2010) による、「一般的に類似性の高さから、輸出財間・輸入財間の変形弾力性・代替弾力性は、国内財との間の弾力性よりも高い」との指摘に依拠している。

⑥  $c$  国の市場均衡条件

最後に、 $c$  国における財および生産要素の需要と供給が各市場で均衡するための条件式として式(2-71)～(2-75)を仮定する。

$$Q_i^c = \sum_{j \in J} X_{ij}^c + XH_i^c + XG_i^c + XI_i^c \quad (2-71)$$

$$\sum_{j \in J} LAB_j^c = F_{LAB}^c \quad (2-72)$$

$$\sum_{j \in J} K_j^c = F_{K}^c \quad (2-73)$$

$$\sum_{j \in J} LAN_j^c = F_{LAN}^c \quad (2-74)$$

$$\sum_{j \in J} ENE_j^c = F_{ENE}^c \quad (2-75)$$

まず、式(2-71)は、 $c$  国のアーミントン合成財(供給)が $c$  国の家計消費財と政府支出財、投資財および中間投入財の合計(需要)に等しいことを意味し、これによって各財市場が均衡していることを表現している。また、式(2-72)～(2-75)は、各々、労働市場、資本市場、土地市場およびエネルギー資源市場の需給均衡を意味する。

### 3.2.3 MRCGE と MGTAP の均衡条件

本研究では、国際貿易に関する以下の式(2-76)～(2-81)により、MRCGE と MGTAP を連動させるものとした。

$$\sum_{r \in R} E_i^r = \sum_{c \in C} MMJ_i^c \quad (2-76)$$

$$\sum_{r \in R} M_i^r = \sum_{c \in C} EEJ_i^c \quad (2-77)$$

$$MM_i^{c,fc} = EE_i^{fc,c}, \forall c \neq fc, JPN \notin C \quad (2-78)$$

$$P_{WE_i} = P_{WM_i^c} \quad (2-79)$$

$$P_{WM_i} = P_{WE_i^c} \quad (2-80)$$

$$P_{WM_i^c} = P_{WE_i^{fc}}, \forall c \neq fc, JPN \notin C \quad (2-81)$$

まず、式(2-76)は、MRCGE における日本の 47 都道府県の輸出量の合計が、MGTAP における世界各国の、日本からの輸入量の合計値に常に等しくなることを意味する。次に、式(2-77)は、日本の 47 都道府県の輸入量の合計が、MGTAP における世界各国の日本への輸出量の合計値に常に等しくなることを意味する。また、式(2-78)は、式(2-77)および同じ条件が、MGTAP における世界各国間でも互いに成立することを表している。さらに、式(2-79)は、日本から見た場合の国際輸出財価格が、 $c$  国から見た場合の国際輸入財価格に等しくなることを意味する。同様に、式(2-80)は日本から見た場合の国際輸入財価格が、 $c$  国から見た場合の国際輸出財価格に等しくなることを意味する。最後に、式(2-81)は、式(2-79)および(2-80)の関係が MGTAP における世界各国間でも成立することを意味する。

### 3.2.4 MRCGE-GTAP における国・地域区分

本研究では、表－Ⅱ－3－4に示す国・地域区分を設定した。これは、後述する仮想的な「国際的排出量取引制度」の基本のベースとなる、各々の国・地域で実施されている国内 GHG 排出量取引制度(Domestic Emissions Trading Scheme)を考慮するためである。なお、Purdue University の The Center for Global Trade Analysis が作成している GTAP データベースの最新版である GTAP7.1 に

おける国・地域区分は、112 国・地域である(詳しくは、Narayanan and Walmsley (2008)<sup>45)</sup>および GTAP ウェブサイト <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/v7/default.asp> を参照されたい)。

表-Ⅱ-3-4 MRCGE-GTAP における国・地域区分

記号法	国・地域名
(1) ANZ	豪州, ニュージーランド
(2) CHN	中国, 香港
(3) JPN	日本
(4) KTW	韓国, 台湾
(5) THA	タイ
(6) ASA	インドネシア, マレーシア, フィリピン, シンガポール, ベトナム, バングラデシュ, インド, スリランカ, 南アジア
(7) USA	米国
(8) CAN	カナダ
(9) EU27	EU27 カ国(ベルギー, ブルガリア, チェコ, デンマーク, ドイツ, エストニア, ギリシャ, スペイン, フランス, アイルランド, イタリア, キプロス, ラトビア, リトアニア, ルクセンブルク, マルタ, ハンガリー, オランダ, オーストリア, ポーランド, ポルトガル, ルーマニア, スロヴァキア, スロヴェニア, フィンランド, スウェーデン, 英国)
(10) FSU	ロシア, その他旧ソ連諸国(ウクライナ, ベラルーシ, カザフスタン, タジキスタン, ウズベキスタン, キルギス, トルクメニスタン, アルメニア, アゼルバイジャン, モルドバ, グルジア)
(11) ROW	その他

### 3.3 GTAP 連動モデルによる政策シミュレーション

#### 3.3.1 仮想的な「国際的排出量取引制度」の設定

日本政府の「2020 年までに 1990 年比で GHG 排出量を 25%削減する」という高い目標値を達成するためには、この制約条件の下で、それを達成するために必要な費用を抑え、持続可能な取り組みを推進する政策が望まれる。このような政策の一つが、排出量取引制度であり、既に EU では欧州連合域内排出量取引制度(European Union Emission Trading Scheme, EU-ETS)のようなキャップ & トレード型排出量取引制度(Cap and Trade Type Emission Trading Scheme, C&T-ETS)が実施されている。また、米国では、オバマ大統領のリーダーシップの下、連邦レベルでの GHG 排出量取引制度の導入に向けた法案が上院下院に提出されたものの、第 111 議会(2009~2010 年の 2 年会期)の閉会に伴い廃案となり、法案成立には至っていない。一方、州レベルでは、2009 年に開始しており、これは米国北東部 10 州における発電所を対象とした GHG 排出量取引制度導入のイニシアチブである。参加州は、2020 年までに GHG 排出量を現在比 20%削減することを約束しており、この制度の特徴はオークション(Auction)により排出枠の割当がなされる点である。また、2007 年に、2007 年に発表され、参加地域全体(米国とカナダから計 11 州)の GHG 排出量削減目標として、2020 年までに 2005 年比 15%削減を掲げ、C&T-ETS の導入を目指している。さらに、カナダ政府は、2007 年に発表している。また、我が国においても、自主参加型国内排出量取引制度(Japan's Voluntary Emissions Trading Scheme, J-VETS)を運用し、排出量取引の国内統合市場の試行的実施を開始している。

しかしながら、これらの排出量取引制度は、基本的に国内の範囲に留まることから、費用効率性(Cost Efficiency)の観点から見ると、各制度間において限界削減費用(Marginal Abatement Cost, MAC)の差が大きく、非効率であることが直感的に分かる。したがって、この制度の非効率性から発生する死加重損失をゼロになるような国際的排出量取引制度の運用が望まれよう。そこで、本



研究では、仮想的な環境政策として「国際間でリンケージした排出量取引制度の運用」を対象とし、当該制度運用による影響についてシミュレーションを実行するものとする。

### 3.3.2 シナリオ設定およびシミュレーションの実行

#### (1) シナリオの設定

本研究では、仮想的な「国際的排出量取引制度(GETS)」を想定するにあたり、表-II-3-6に示すような3通りのシナリオを設定した。ここで、本研究において想定しているC&T-ETSとは、日本、米国、EU27、カナダ、豪州・ニュージーランドの5国・地域において個々に運用されている場合を基本としている。

まず、シナリオ①は、本研究が想定している国際的制度が無い場合であり、これは我が国におけるJ-VETSが本格稼働したという前提の下で、各々の国・地域における国内排出量取引制度が運用されている場合を意味している。次に、シナリオ②は、本研究が想定している国際的制度が運用された場合であり、MACが世界の各市場において共通の値となることから、死加重損失がゼロとなり、最も費用効率性に優れた政策を意味する。最後に、シナリオ③は、日本のみが本研究が想定している国際的制度に不参加を表明した場合であり、日本国内とその他市場における取引価格であるMACが乖離する状況を示している。すなわち、これは、式(2-82)および図-II-3-12で表現されることになり、死加重損失が発生することを意味している。

表-II-3-6 国際的排出量取引制度のシナリオ設定

シナリオ	備考
①国際的制度が無い場合	各々の国・地域における国内排出量取引制度のみが運用されている場合。MACが市場毎に異なる値となる場合。
②国際的制度がある場合	各々の国内排出量取引制度が、相互に国際市場においてリンケージし、MACが世界共通値となる場合。
③日本のみ国際的制度に不参加の場合	日本以外の国内排出量取引制度が、相互に国際市場においてリンケージしている場合。

$$MAC_{JPN} \neq MAC_c, \forall c \in C, c \neq JPN \quad (2-82)$$

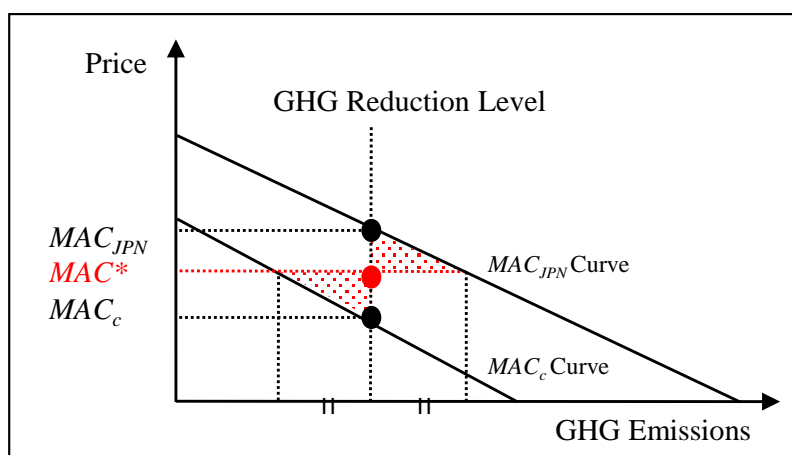


図-II-3-12 国際的排出量取引制度による社会的余剰

図-II-3-12は、限界削減費用曲線(MAC Curve)の一例である。図中の黒点においては式(2-82)が成立していることが分かり、仮に、我が国が仮想的な「国際的排出量取引制度」に参加を

表明した場合には、MAC\* が最適な取引価格となり、網掛部分で示した社会的余剰(Social Surplus)が発生することになる。

表－Ⅱ－3－7 本モデルにおける排出量取引制度の設定

項目	MRCGE-GTAP における設定
排出枠の設定対象	化学製品、鉄鋼製品、その他製造業の素材 3 産業部門と電力の直接排出を対象。
電力の扱い	間接排出(モデル上では直接排出されるため、直接排出の取引市場を設定するものの、各産業部門において独立した市場を設定することにより、電力を間接排出で取り扱う)
排出枠の設定方法	無償割り当て(モデル上ではオークション方式として、オークション収入を排出枠の購入比率に応じて各産業部門に生産物補助金として還付)
排出枠の数量 (シミュレーション・ケース)	※日本の 90 年比 GHG 排出量が▲25%(05 年比▲26.7%), ※他国・地域は、コペンハーゲン合意ベース 豪州・NZ：00 年比 15%(05 年比 25.8%) 米国：05 年比 17% カナダ：05 年比 17% EU27：90 年比 20%(05 年比 14%) ロシア・FSU：05 年比 0%(ただし、排出量取引市場には参加)
実施年(基準年)	2005 年

### (2) MRCGE-GTAP における排出量取引制度の設定

現時的において、我が国における国内排出量取引制度の具体的内容は、決定していない。そこで、本研究では、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(環境省(2010)<sup>46</sup>)における検討内容をもとに、MRCGE-GTAP への導入が過度に複雑にならないように表－Ⅱ－3－7 のように設定するものとした。このシミュレーション・ケースの設定については、2010 年段階において気候変動に関する国際連合枠組条約(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)におけるコペンハーゲン合意(Copenhagen Accord)に基づいている(例えば、GHG 排出量削減目標値については、日本は 90 年比▲25%、EU は 90 年比▲20-30%、米国は 05 年比 17%等)。なお、表－Ⅱ－3－7 において、「GHG 排出量が▲25%」とは、「2020 年までに GHG 排出量を 90 年比で 25%削減する」という政府目標を指し示している。これを 2005 年時点で達成するために必要な GHG 排出削減率に換算すると、26.7%に換算されることに注意されたい。

### (3) シミュレーションの実行

本研究において開発した MRCGE-GTAP は、海外 11 国・地域別(日本を含む)15 産業分類別、国内 47 都道府県別 15 産業分類別に、環境政策有無における GRP、生産額および社会厚生(Social Welfare)を算出することが可能である。なお、本研究における社会厚生は、等価変分(Equivalent Variation)で定義しており、式(2-12)および(2-13)を参照されたい。

ここで実行したシミュレーション結果の総括を表－Ⅱ－3－8 に示す。これを見ると、シナリオ②は、図－Ⅱ－3－1 2 において概説したように、国際的制度の運用によって MAC は、最適な国際市場価格である約 12(千円/tCO<sub>2</sub>)が取引価格となり、社会的余剰が発生することを意味している。一方、シナリオ①は、各国・地域が単独でコペンハーゲン合意に基づく GHG 排出量削減目標を達成するためには、各々の地域における産業構造や貿易構造によって MAC に差が生じ、我が国は約 93(千円/tCO<sub>2</sub>)、他の市場の最大値は豪州・NZ 市場の約 31(千円/tCO<sub>2</sub>)、最小値は米国市場の約 13(千円/tCO<sub>2</sub>)と試算された。また、シナリオ③では、我が国は約 92(千円/tCO<sub>2</sub>)であり、他の国・地域で構成されている国際制度では約 10(千円/tCO<sub>2</sub>)で取引されることになる。すなわち、最高水準の環境技術を有する我が国は、MAC が極めて高いことから、日本が、本研究で想定した

国際的制度に参加した場合には、市場メカニズムにより負の社会的便益を享受する国・地域が発生することになる。

次に、図－Ⅱ－3－13には、シナリオ別に国・地域別社会厚生の変化を示す。これを見ると、日本や米国では、厚生水準は、「シナリオ①<シナリオ③<シナリオ②」の順序が成立している。その一方で、豪州・NZやEU27、ロシアおよびFSUでは、「シナリオ①<シナリオ②<シナリオ③」という順序になっていることが分かる。このことは、MACの高い日本が、シナリオ②において国際的制度に加入したことにより、世界共通のMACが上昇した影響であると考えられる。

最後に、図－Ⅱ－3－14～16には、各々、シナリオ別に都道府県別実質GRP変化率および我が国の産業部門別生産額および生産量の変化率を示す。まず、都道府県別実質GRP変化率については、特に、北海道、茨城県、千葉県、三重県、岡山県などで大きく低下しており、その他の多くの県の実質GRPも減少している。その一方で、山形県や栃木県、富山県、長野県など、実質GRPが増加している県も存在するものの、その上昇率は下落率に比べて絶対値で小さい。また、全ての都道府県で共通して、シナリオ②の場合にその増減の幅が小さくなっている。シナリオ①とシナリオ③で影響の大きさが都道府県毎に異なるのは、国際貿易の環境変化の影響が異なるためである。ここで、実質GRPの変化の要因について分析するため、特に変化の大きい都道府県に注目すると、全て「鉱業」部門や「石油・石炭製品」部門、「化学製品」部門の生産割合が他県に比べ大きい県である。また、実質GRPが増加している県、或いは、減少が微少な県は、「サービス」部門や「機械」部門、「建築・土木」部門、「その他製造業」部門などの非エネルギー集約的な産業が経済に占める割合の大きいことから、GHG排出削減政策が各都道府県の実質GRPに与える影響は、各都道府県の産業構造に依存しており、エネルギー集約的な産業の生産割合が大きい都道府県ほど負の影響を強く受けることが裏付けられた。また、エネルギー集約的な産業部門の生産割合がそれほど大きくない県においても実質GRPは減少しているものの、その原因として、エネルギー集約的な財の価格上昇による生産コストの増大や財の需要の減退があることは、図－Ⅱ－3－13や図－Ⅱ－3－15を見れば明らかであろう。さらに、直接的な影響に比べて大きくはないものの、生産(財)の地域間代替も実質GRPに影響を及ぼしていると考えられる。このように、GHG排出削減政策の実施は多くの都道府県の経済に多大な影響を及ぼすことが分かった。しかしながら、国際的制度のある場合を想定したシナリオ②における実質GRP変化率の絶対値が、他のシナリオに比べ大きく縮小していることから、国際的制度の創設は各都道府県の経済に及ぶ負の影響を大きく軽減することが期待できると言える。

次に、我が国の産業部門別生産額の変化率については、何れの場合も「シナリオ②<シナリオ③<シナリオ①」の順序が成立していることが分かる。また、図－Ⅱ－3－15および図－Ⅱ－3－16から、多くの産業部門、特に電力やガス・熱供給等のエネルギー集約的な産業の生産額が上昇した理由は、生産量以上に生産物価格の大幅な上昇によるものである。このような生産物価格の大幅な上昇は、消費財価格を上昇させ、家計の実質所得の減少、すなわち、家計の厚生を低下させることになる。このことは、図－Ⅱ－3－13に示したように、我が国の社会厚生の変化に対する大きな負の要因であるものと考えられる。

表-Ⅱ-3-8 シミュレーション結果の総括

ケース設定・指標 (2005年価格)		シナリオ			
		シナリオ①: 国際的制度が 無い場合	シナリオ②: 国際的制度が ある場合	シナリオ③: 日本のみ国際制度 に不参加の場合	
90年比 GHG 排出量 ▲25%ケース (05年比 ▲26.7%)	日本の GHG 取引量 (百万 tCO <sub>2</sub> )	—	191.72	—	
	限界削減 費用 (MAC) (円/tCO <sub>2</sub> )	他市場 における 最大値	30,699 (豪州・NZ 市場 価格)	11,622 (国際市場価格)	10,306 (国際市場価格)
		日 本	93,194 (日本市場価格)	11,622 (国際市場価格)	92,097 (日本市場価格)
		他市場 における 最小値	12,937 (米国市場価格)	11,622 (国際市場価格)	10,306 (国際市場価格)

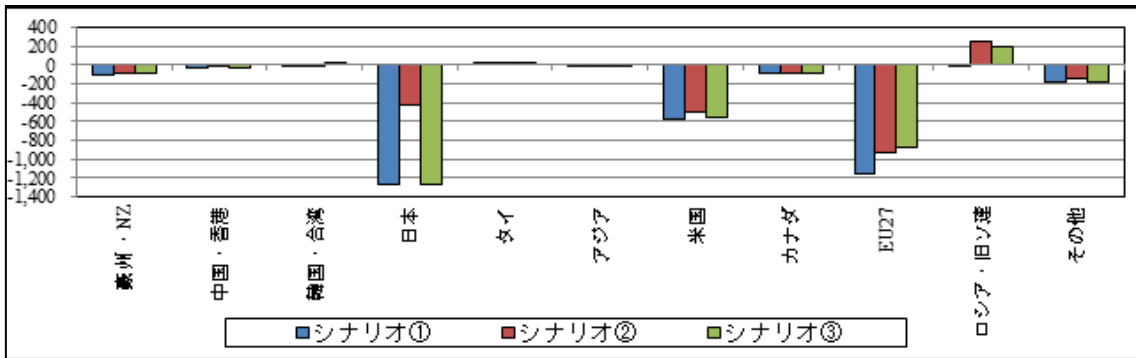


図-Ⅱ-3-13 国・地域別社会厚生(EV)の変化(百億円)



図-Ⅱ-3-14 都道府県別実質 GRP の変化率(%)

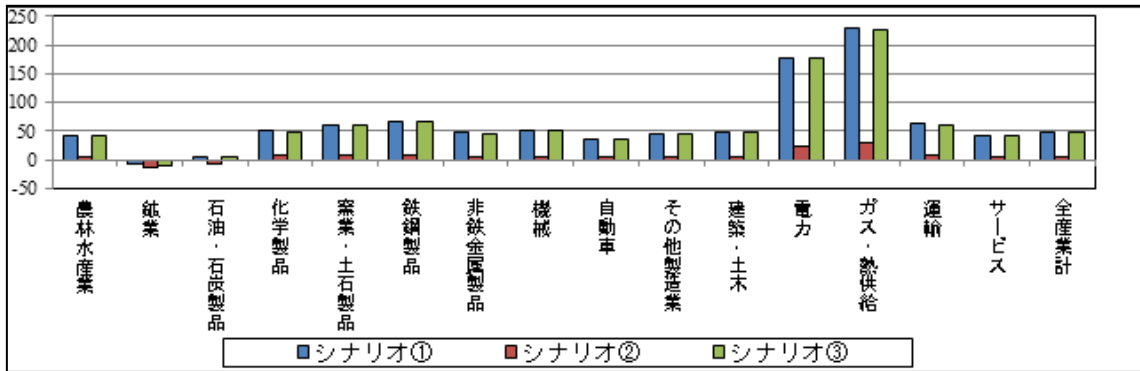


図-Ⅱ-3-15 産業部門別国内生産額の変化率(%)

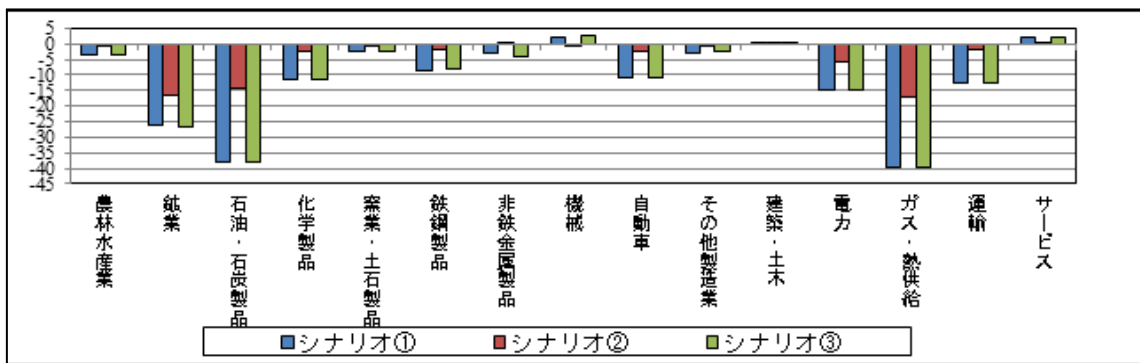


図-Ⅱ-3-16 産業部門別国内生産量の変化率(%)

### 3.4 結論

本研究は、我が国と国外との相互関係を明示的に表現し得る MRCGE-GTAP を開発した。さらに、MRCGE-GTAP を用いて、国際市場における GHG 排出削減に関する環境政策として、仮想的な「国際的排出量取引制度」を対象としたシミュレーションを実施し、この制度の国際的な影響および経済的効率性を検討した。

以下に、本研究で得られた知見と今後の課題について示す。

- ④ 本研究では、海外 11 国・地域別(日本を含む)15 産業分類別、国内 47 都道府県別 15 産業分類別に、国内外を問わず環境政策の実施による GRP、生産額および社会厚生を算出することが可能である MRCGE-GTAP を開発した。すなわち、このことは、世界各国の経済構造の変化と整合的に環境政策を分析することが可能となったことを意味している。
- ⑤ MRCGE-GTAP により仮想的な国際的排出量取引制度に関するシミュレーションを実施した結果、「国際的排出量取引制度」に世界全ての国・地域が参加した場合の社会厚生が最も大きくなることが確認された。一方、この国際的制度が存在しない場合、すなわち、各国が独自に国内 GHG 排出量取引制度を運用する場合には、社会厚生が最も小さくなることが明らかになった。
- ⑥ これらのことより、世界全体で持続可能な GHG 排出量削減政策を推進するためには、国際間で連携した取り組みが必要不可欠であることが明らかになった。

また、今後の課題としては、本研究で開発した MRCGE-GTAP の感度分析を含めた調整・変更を行う必要がある。さらに、今回のシミュレーション結果では、GHG 排出量の売り手、或いは、買い手の立場により、制度の運用によってもたらされる取引価格の変化が、所謂、課税ベース効果(Tax-Base Effect)および税の相互作用効果(Tax-Interaction Effect)的な影響をもたらしているものと考えられることから、より詳細な検討が必要であることは言うまでもない。

#### 4. 結論

本研究では、平成 21 年度において 2005 年を基準年とした 47 都道府県地域間産業連関表を構築し、また地球温暖化問題に関する CGE モデルについてレビューを行うなど、本研究の基礎となる部分を実施した。続く平成 22 年度においては、平成 21 年度に構築した 47 都道府県地域間産業連関表を主たる基準均衡データベースとする国内 47 都道府県 MRCGE を構築した。また、構築した MRCGE を用い、炭素税が経済に与える影響について複数のシナリオに基づいたシミュレーション分析を行った。さらに、国内 MRCGE と GTAP を連動させた MRCGE-GTAP を構築した。

最終年である今年度(平成 23 年度)においては、学会発表や研究会等で諸研究成果を報告した際に頂いた意見や質問等の内容を考慮し、モデルの修正・拡張を実施した。国内 47 都道府県 MRCGE による分析においては、炭素税の課税によって日本全体としての経済厚生(実質 GDP, 一人当たり EV)は大きく低下するものの、都道府県別・産業部門別に見れば、その影響は都道府県・産業部門ごとに大きく異なる結果となり、各地域の産業構造等を考慮した GHG 排出削減政策の必要性を示す結果となった。また、公平性の観点からの分析においては、一人当たり所得について地域間公平性は悪化し、産業間公平性は改善するという結果となった。この結果は、炭素税の導入が、一人当たり所得で見た場合の地域間の不公平感を高める恐れがあり、それらに配慮した政策導入の必要性を示したものであると言える。

さらに、47 都道府県 MRCGE と GTAP データベース ver.7.1 を基準均衡データとした GTAP モデルを連動させた MRCGE-GTAP を用いて国家間 GHG 排出量取引が経済に及ぼす影響を分析した。具体的に本研究では、排出量取引市場に関する 3 つのシナリオ(国際的制度が無い場合・国際的制度がある場合・日本のみ国際的制度に不参加の場合)についてシミュレーション分析を行った。その結果として、日本全体の経済厚生については、国際的制度がある場合>日本のみ国際的制度に不参加の場合>国際的制度が無い場合という結果となり、排出量取引による限界削減費用均等化の重要性を改めて示す結果となった。また、日本が国際的制度に参加していない場合も、国際的制度参加国間の限界削減費用均等化によって各国の GHG 排出削減費用が緩和され、国際貿易を通じてその影響を日本も間接的に受けるため、上記のような経済厚生の順になったものと思われる。このような分析は日本一国のモデルでは不可能であり、本研究のモデル拡張が意義有るものであることを物語る結果と言えよう。また、GHG 排出削減の影響を都道府県別・産業部門別に見ても、国際的制度の創設によって経済厚生の低下が緩和されていることがわかる。ただし、前述の国内モデルによる分析の結果と比較すれば、鉱業部門あるいは石油・石炭製品部門と、それら産業部門の占める割合が大きい都道府県が特に負の経済的影響が強く出るといった大きな傾向は一致するものの、その他の都道府県あるいは産業部門における影響の出方は異なっている部分も多い。この点については、海外を輸出入部門のみでモデル化した国内モデルと、世界を 11 ヶ国に分割し、輸出入に加えて各国の生産や消費行動をモデル化した MRCGE-GTAP の構造相違によるものと言えよう。

このように、平成 23 年度研究においては、3 年間を通じて本研究の最終目標であった GTAP 連動型 MRCGE(MRCGE-GTAP)による分析を行った。MRCGE-GTAP は、47 都道府県を地域区分とした国内 MRCGE および国際貿易モデル GTAP を基礎としているため、国際的な GHG 排出削減政策が経済に与える影響について、15 の産業部門別に分析できるのは勿論のこと、日本や世界各国といった国レベルだけでなく都道府県レベルにまで詳細に影響を分析することができるものであるという点で、大変重要な研究成果であると言えるだろう。また、構築したモデルは様々なシナリオについてのシミュレーション分析に耐えうる構造であり、今後 GHG 排出削減政策以外の貿易政策や租税政策、あるいは道路整備といった社会資本整備事業などの分析にも応用することが期待される。

### Ⅲ 添付資料(参考文献, 略語表, 調査表, 付録 等)

#### 1. 多地域応用一般均衡モデルによる東日本大震災のマクロ経済的被害

##### 1.1 はじめに

2011年3月11日14時46分頃に三陸沖を震源とするマグニチュード9.0の巨大地震が発生し, この地震により東北地方の広い範囲で強い揺れおよび太平洋沿岸を中心に高い津波を観測し, 甚大なる被害があった. 気象庁は, この地震を「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」と命名し, 東北地方太平洋沖地震およびこれに伴う原子力発電所事故による災害については「東日本大震災(Great East Japan Earthquake)」と呼称するものとした.

この震災では, 多くの国民の生命および財産のみならず, 公的資本ストック, 民間資本ストックおよび住宅資本ストックが大きく毀損したことにより, 著しい供給制約が生じ被災地の生産額に多大なる影響を与えた. さらに, 被災地以外ではサプライチェーン(Supply Chain)の寸断による影響および電力供給制約の問題が発生した. このように, 東日本大震災は被害の範囲および規模が極めて広範に及んでいる. したがって, 今後, 我が国の国土計画の観点から産業配置を含めた防災対策を議論する上で, 今回の震災による影響をできる限り細かく把握しておくことは極めて重要であろう.

そこで, 本研究では, 阿部・林山・武藤(2011)および林山・阿部・武藤(2011)により開発された47都道府県別・15産業部門別に影響を定量的に把握することが可能な多地域応用一般均衡モデル(Multi-Regional Computable General Equilibrium Model, MRCGE)を用いて, 東日本大震災がもたらしたマクロ経済的被害額を算出することを目的とする.

##### 1.2 既存調査研究における試算結果とその前提

東日本大震災の発生後, 直ちに, 政府, 銀行およびシンクタンクでは, 被災による被害額の試算値およびそのマクロ経済的影響を分析したレポートを公開している. これらの概要を表Ⅲ-1-1に示す.

表-III-1-1 既存研究における試算結果の概要

既存調査研究	分析の枠組み	試算結果		
		直接的	間接的	
内閣府(2011a)	<ul style="list-style-type: none"> <li>※生産関数アプローチ</li> <li>※資本ストック(社会資本, 住宅資本, 民間企業設備)の毀損額</li> <li>※民間企業設備の毀損による供給制約, サプライチェーンの寸断による供給制約, 電力供給制約を対象</li> <li>※資本ストック再建による生産増</li> </ul>	○	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>※被災地全域の資本ストック毀損額は約16~25兆円</li> <li>※民間企業設備の毀損による供給制約がもたらしたGDP減少額は, 年間1.25~2.25兆円程度</li> <li>※サプライチェーンの寸断によるGDP減少額は, 2011年度前半に0.25兆円程度</li> <li>※電力供給制約の影響は不確実性が高いため, 数値の算出は困難</li> <li>※資本ストックの再建によるGDP増加額は, 2011年度5~7兆円, 2012年度6~9兆円程度</li> </ul>
山崎・落合(2011)	<ul style="list-style-type: none"> <li>※多地域応用一般均衡モデル(8地域17業種)</li> <li>※電力供給制約およびサプライチェーンの寸断による供給制約を対象</li> </ul>	○	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>※震災に加え関東地方の10%の電力不足を電力割当てで対処した場合, 関東地方の実質GDPは▲8.0%(通年で約▲2.0%)</li> <li>※上記の厚生損失は, 東北地方は年間約4.2兆円, 関東地方は年間約4.3兆円</li> </ul>
長内(2011)	<ul style="list-style-type: none"> <li>※生産関数アプローチによるGDPギャップの算出</li> <li>※資本ストック毀損率は5%, 2.5%, 1%を想定</li> <li>※稼働率低下は20%, 10%, 5%を想定</li> </ul>	△	△	<ul style="list-style-type: none"> <li>※資本ストック毀損によるGDPギャップは限定的</li> <li>※稼働率低下の影響は大きい</li> <li>※供給制約は中長期的課題にはならない (感度分析的なケース設定のため左列は「△」とした)</li> </ul>
石丸(2011)	<ul style="list-style-type: none"> <li>※供給サイドの分析</li> <li>※生産関数アプローチ</li> <li>※資本ストック毀損額</li> <li>※サプライチェーンの寸断による供給性悪, 電力供給制約を対象</li> </ul>	○	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>※資本ストック毀損額は, 被災11道県で合計20兆円超(民間企業設備は約8兆円)</li> </ul>
石丸・高山(2011)	<ul style="list-style-type: none"> <li>※需要サイドの分析</li> </ul>	×	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>※消費マインド悪化により, 不透明感が根強く, 先行き回復が遅れるリスクが生じる</li> <li>※投資は復旧需要で持ち直す</li> <li>※輸出は生産力低下から輸出が暫く停滞</li> </ul>
日本政策投資銀行(2011)	<ul style="list-style-type: none"> <li>※既存統計と阪神・淡路大震災を参考に算出</li> </ul>	○	×	<ul style="list-style-type: none"> <li>※東北地方の資本ストック毀損額は総計約16.4兆円</li> </ul>

まず, 内閣府(2011a)<sup>47)</sup> は, 基本的に生産関数アプローチであり, ストックに関する分析として被災地における資本ストック(社会資本, 住宅, 民間企業設備)の毀損額を算出しており(後述する



表-III-1-3を参照のこと), 一方, フローに関する分析として被災地における民間企業設備の毀損による生産減, 被災地外でのサプライチェーンの寸断による生産減および電力供給制約による生産減を算出している. さらに, この調査では, 3年間でストックが再建されるという想定で生産増の影響も試算している.

山崎・落合(2011)<sup>48)</sup>は, 8地域17業種多地域応用一般均衡モデルにより電力供給制約によるGDP減やその厚生損失を計測している. また, 長内(2011)<sup>49)</sup>は, 潜在資本投入量, 潜在労働投入量および全要素生産性から構成される生産関数を想定し, GDPギャップを計測している. さらに, 石丸(2011)<sup>50)</sup>および石丸・高山(2011)<sup>51)</sup>は, 各々, 前者が供給サイドの分析, 後者は需要サイドの分析であり, 一連の研究であると位置づけることができる. ここでは, 生産関数アプローチにより, 資本ストックの毀損, サプライチェーンの寸断および電力供給制約について試算を行っている.

最後に, 日本政策投資銀行(2011)<sup>52)</sup>は, 県民経済計算の固定資本形成をベースに, 県別資本ストックの先行研究を時点延長し, 県別に産業構成比および市町村内総生産等の統計データから, 県別内陸部・沿岸部別の推定社会資本ストックを求めている. さらに, 阪神・淡路大震災における被害率を参考に, 県別内陸部・沿岸部別資本ストック毀損額を推計している(表-III-1-4を参照のこと).

なお, 東日本大震災のような巨大災害がもたらす経済被害の考え方をとりまとめた文献として, 上野山・荒井(2007)<sup>53)</sup>を挙げるができる.

### 1.3 MRCGE の構造

#### 1.3.1 47都道府県地域間産業連関表と社会会計表

ここでは, MRCGE の主な基準均衡データとして用いる 47 都道府県地域間産業連関表について解説するとともに, 社会会計表(Social Accounting Matrix, SAM)の作成手順を示す. 図-III-1-1 には, 47 都道府県地域間産業連関表の概念図を示す.

2005 年 47 都道府県地域間産業連関表(45 産業部門分類)は, 非競争移入型・競争輸入型であり, 総務省(2010)による 2005 年における各都道府県の地域内産業連関表および地域間交易係数を用いて, これらを統合し, 縦計と横計が一致するように収束計算を行い作成されている. なお, 非競争移入型とは, 域内産業と域外産業とが「異なった財」を生産していると考え, 産業連関表の取引を区分することを言う. また, 競争輸入型とは, 国内産業と国外産業とが「競争的な製品」を供給している場合には, 産業連関表の各取引において国内製品と国外製品とを区分しないことを言う.

47 都道府県地域間産業連関表の詳細については, 宮城・石川ほか(2003), 石川・宮城(2004)および石川(2005a)(2005b)を参照されたい. また, 本研究で用いた非競争移入型・競争輸入型 2005 年 47 都道府県地域間産業連関表(45 産業部門分類)およびその詳細については, 林山ほか(2010)に記載されている.

次に, 直接 MRCGE の基準均衡データとなる社会会計表を作成する. SAM は, 経済のある期間(通常は一年)における資金循環を行列表示したものであり, 経済における取引の全てが記録されている. この SAM を連立方程式体系で表現したものが本研究で構築する MRCGE であると言える. 以下, ①~⑦に SAM 構築の手順を示す. なお, MRCGE においては, 計算作業等の煩雑さを緩和するために, 表-III-1-2に示すように, 産業部門分類を 45 産業部門分類から 15 産業部門分類に集約・統合した.

##### ①中間投入部門

中間投入については, 47 都道府県地域間産業連関表の内生部門の値をそのまま用いている. ただし, Takeda(2007)の手法を参考に, 負値の場合にはゼロとし, また, 全ての値について小数点以下(本研究では一億円を 1.0 に基準化しているため, 一億円以下)を切り捨てた. これは, 中間投入財の最も大きい金額の桁数と最も小さい金額の桁数が大きく異なった場合には, 計算作業が困難になることに起因する. このような処理の結果, 行列のバランスは大きく崩れることから, 行

列バランスを担保するため、RAS 法によって行列調整し、これを社会会計表の中間投入部門とした。なお、RAS 法については、金子(1971)を参照のこと。

### ②付加価値部門

付加価値部門については、47 都道府県間表の付加価値部門を労働、資本および生産税の3つの部門に統合している。付加価値部門統合の内訳は、「労働 = 家計外消費支出(行) + 雇用者所得」、  
「資本 = 営業余剰 + 資本減耗引当」、「生産税 = 間接税(生産税) + 控除補助金」である。また、  
計算を簡素化させるため、中間投入部門と同様に小数点以下を切り捨て、差を生産税で調整する  
という方法を用いた。

	北海道			沖縄			北海道					沖縄			輸出	輸入 (控除)	計
	農林水 産業	...	サービス	農林水 産業	...	サービス	家計外消費 支出(列)	民間消費 支出	一般政府 消費支出	総固定 資本形成	在庫 純増	...	家計外消費 支出(列)	...			
北海道	農林水産業	...	サービス	内生部門			外生部門					輸出	輸入 (控除)	計			
	...	サービス															
沖縄	農林水産業	...	サービス	付加価値部門										列和に 等しい			
	...	サービス															
	家計外消費支出(行)			付加価値部門													
	雇用者所得																
	営業余剰			付加価値部門													
	資本減耗引当																
	間接税(生産税)			付加価値部門													
	控除補助金																
	計			列和(行和に等しい)													

図-III-1-1 47 都道府県地域間産業連関表の概念図

### ③最終需要部門

最終需要は、家計消費・政府支出・投資から成るものとした。その内訳は、「家計消費 = 家計外消費支出(列) + 民間消費支出」、「政府支出 = 一般政府消費支出」、「投資 = 総固定資本形成 + 在庫純増」である。また、中間投入と同様、最終需要における負値を MRCGE の枠組みで表現することは難しいことから、負値はゼロに置き換え、また小数点以下は切り捨てるものとし、外国部門の輸入に生じた差を加えることでバランス調整した。

### ④外国部門(輸出入および外国貯蓄)

外国部門は、47 都道府県地域間産業連関表における輸出および輸入をそのまま用い、輸入から輸出を差し引いた額を外国貯蓄とした。本研究で構築するモデルにおいては、この外国貯蓄を価値基準財とすることでモデルを閉じている。最終需要部門における負値の調整によって輸入の値は少なからず変化しており、このことが計算結果に影響を及ぼす可能性は否定できない。

### ⑤要素賦存部門

要素賦存については、各都道府県における労働と資本の投入から算出した。47 都道府県地域間産業連関表において、労働と資本の地域間移動が無いことから、各地域において労働と資本は自給率 1.0 である。したがって、各地域の産業部門に投入される労働投入および資本投入の和が、各要素賦存量に等しいことになる。しかしながら、現実の経済では労働・資本の移動が存在しているにも関わらず、多くの MRCGE ではこのような前提を置いており、今後の改善が必要な課題であろうと考えられる。

### ⑥直接税部門・家計貯蓄部門・政府貯蓄部門

①～⑤については、既存データを用いて対応する行和と列和が等しいという SAM の定義から値を導出することができた。しかしながら、直接税、家計貯蓄および政府貯蓄については、行和と列和が共に決定しないことから、SAM の定義を利用することが困難である。したがって、行和、或いは、列和の何れか一方を外生値とする必要があることから、本研究では、伴(2007)の手法を用い、直接税率を外生的に与えることで直接税を求めるものとした。伴(2007)では、直接税率を全国一律とし、直接税率を国民経済計算から求め、各地域の家計の労働・資本所得に乗ずることで直接税額を算出している。そこで、本研究においても同様に、日本全体の総直接税額を、国民経済計算の「制度部門別所得支出勘定一般政府部門」の平成 17 暦年における「所得・富等に課される経常税(受取)」とし、これを 47 都道府県地域間産業連関表における総労働・資本所得で除

すことにより全国一律の直接税率(=0.09)を算出した。したがって、各都道府県の直接税額の総和は、国民経済計算の直接税額と一致することになる。

さらに、直接税を算出したことから、行和と列和が一致するという性質を利用し、家計貯蓄は「家計貯蓄 = 要素所得 - 家計消費 - 直接税」、政府貯蓄は「政府貯蓄 = 直接税 + 生産税 - 政府支出」によって求めた。

#### ⑦所得移転部門

最後に、各地域の所得移転は「移入額 - 移出額」から決定し、この純移出入額が域内の投資部門に帰着すると仮定することにより、「所得移転 = 投資支出 - 家計貯蓄 - 政府貯蓄 - 外国貯蓄」という関係式が成立する。このように、MRCGEにおける所得移転は、国際収支式における外国貯蓄と同様にモデルを閉じるために導入するものである。そのため、その帰着先についても Hosoe *et al.*(2010)における外国貯蓄の扱いと同様に投資部門の収入としている。このように、本研究における所得移転は、地方交付金や社会保障給付のような一般的な経済学における地域間の所得再分配とは異なることに注意されたい。

表-III-1-2にはMRCGEにおける産業部門分類を示す。

表-III-1-2 MRCGEにおける産業部門分類

MRCGEにおける 15 産業部門分類	47 都道府県地域間産業連関表における 45 産業部門分類
(1) 農林水産業 (AGR)	農業, 林業, 漁業
(2) 鉱業 (MIN)	鉱業
(3) 石油・石炭製品 (PET)	石油・石炭製品
(4) 化学製品 (CHE)	化学製品, プラスティック製品, ゴム製品
(5) 窯業・土石製品 (CER)	窯業・土石製品
(6) 鉄鋼製品 (STL)	鉄鋼製品
(7) 非鉄金属製品 (OSTL)	非鉄金属製品
(8) 機械 (MCH)	電子・通信機器, 事務用・サービス用機器, 民生用電気機械・一般機械・その他電気機械, 精密機械
(9) 自動車 (CAR)	自動車
(10) その他製造業 (MAN)	食料品・たばこ, 繊維製品, 製材・木製品, パルプ・紙・紙加工品, 印刷・出版, 皮革・同製品, 金属製品, その他の製造業, 家具・装飾品
(11) 建築・土木 (CON)	建築・建設補修, 土木
(12) 電力 (ELE)	電力
(13) ガス・熱供給 (GAS)	ガス・熱供給
(14) 運輸 (TRA)	運輸
(15) サービス (SER)	金融・保険, 通信・放送, 公務, 医療・保険・社会保障, その他公共サービス, 教育・研究, 水道・廃棄物処理, 対事業所サービス, 不動産, 対個人サービス, 商業, その他

#### 1.3.2 MRCGE の構造と連立方程式体系

ここでは、本研究で構築する MRCGE の構造とその連立方程式体系について、①国内生産部門、②家計消費部門、③政府支出部門、④投資部門、⑤輸出・国内変形および輸入・国内代替、⑥市場均衡条件の順に示す。本研究の MRCGE の構造は、Hosoe *et al.*(2010)および伴(2007)<sup>20)</sup>に依拠している。Hosoe *et al.*(2010)では、数値解析ソフト GAMS による CGE モデルのプログラミングについて解説しており、基本的な一国モデルや二国間モデル、不完全競争モデルについて扱っている。本研究では、スケールパラメータやシェアパラメータ等のキャリブレーションおよび方程式群の

導出方法については、Hosoe *et al.*(2010)の手法を応用している。ただし、Hosoe *et al.*(2010)においては、MRCGE が考慮されていないことから、地域間に関する部分については伴(2007)のモデル構造を参考としている。伴(2007)は日本の多地域動学的 CGE モデルであり、Peter *et. Al.*(1996)による MONASH-MRF をベースとしている。なお、本研究における MRCGE は静学モデルであり、伴(2007)の静学的部分のみを参考としている。

①国内生産部門

国内生産部門については、図-III-1-2のようなNested 構造としている。

まず、 $s(s \in S)$  地域  $j(j \in J)$  部門は、労働  $L_j^s$  および資本  $K_j^s$  を投入し、利潤最大化の仮定の下、仮想的に合成生産要素  $Y_j^s$  を生産するものとする。同様に、中間投入についても、利潤最大化の仮定の下、仮想的に地域間合成中間投入財  $X_{ij}^s$  を生産すると仮定する。また、 $Y_j^s$  および  $X_{ij}^s$  の生産関数は、CES(Constant Elasticity of Substitution)型生産関数を仮定する。さらに、 $s$  地域  $j$  部門は、仮想的に生産された合成生産要素  $Y_j^s$  と合成中間投入財  $X_{ij}^s$  を投入し、 $s$  地域  $j$  部門の生産財  $Z_j^s$  を生産する。このとき、 $Z_j^s$  の生産関数は、投入係数パラメータ一定のレオンチェフ型(Leontief)生産関数を仮定し、生産要素間の完全非代替性を表現する。このように、地域間の代替関係と合成生産要素を含む中間投入間の代替関係を分離して考慮することによって、より地域別の影響を捉える事を可能としている。なお、本研究においては、生産関数に弱分離型を仮定しているため、 $Z_j^s$  の生産における各合成生産要素の最適化のみにより、それ以下の段階においても最適な値が導出されることになる。しかしながら、Hosoe *et al.*(2010)で採用されているように、合成財の生産に仮想的な企業による利潤最大化行動を仮定することにより、MRCGE における各々の方程式を簡素化することができることから、上記のような定式化を行っていることに注意されたい。

本研究における MRCGE の国内生産部門の経済行動は、下記の最適化問題(P3-1)~(P3-3)で表現される。

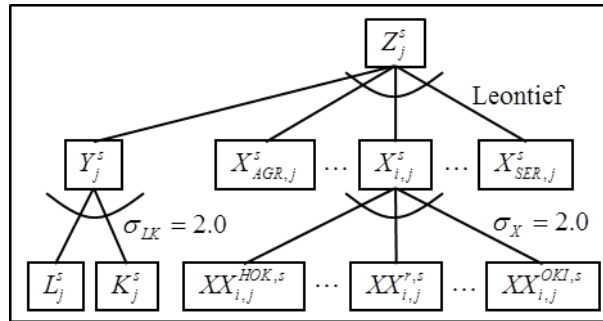


図-III-1-2 国内生産部門の構造

$$\begin{cases} \max_{L_j^s, K_j^s} P_{Y_j^s} Y_j^s - P_{L^s} L_j^s - P_{K^s} K_j^s \\ \text{s.t. } Y_j^s = \alpha_{LK^s} \left[ \beta_{L_j^s} \frac{\sigma_{LK}^{-1}}{\sigma_{LK}} L_j^s + \beta_{K_j^s} \frac{\sigma_{LK}^{-1}}{\sigma_{LK}} K_j^s \right]^{\frac{\sigma_{LK}}{\sigma_{LK}-1}} \end{cases} \quad (\text{P3-1})$$

$$\begin{cases} \max_{XX_{ij}^s} P_{X_{ij}^s} X_{ij}^s - \sum_{r \in R} P_{Q_i^r} XX_{ij}^{rs} \\ \text{s.t. } X_{ij}^s = \alpha_{XX_{ij}^s} \left[ \sum_{r \in R} \beta_{XX_{ij}^s} \frac{\sigma_X^{-1}}{\sigma_X} XX_{ij}^{rs} \right]^{\frac{\sigma_X}{\sigma_X-1}} \end{cases} \quad (\text{P3-2})$$

$$\begin{cases} \max_{Y_j^s, X_{ij}^s} P_{Z_j^s} Z_j^s - P_{Y_j^s} Y_j^s - \sum_i P_{X_{ij}^s} X_{ij}^s \\ \text{s.t. } Z_j^s = \min \left[ \frac{Y_j^s}{\alpha_{Y_j^s}}, \frac{X_{AGR,j}^s}{\alpha_{X_{AGR,j}^s}}, \dots, \frac{X_{SER,j}^s}{\alpha_{X_{SER,j}^s}} \right] \end{cases} \quad (\text{P3-3})$$

なお、産業部門を示すの略記については、表－Ⅲ－１－２を参照されたい。また、式(3-1)～(3-8)は、国内生産部門を構成する方程式群である。

$$Y_j^s = \alpha_{LK_j^s} \left[ \beta_{L_j^s} L_j^{\frac{\sigma_{LK}-1}{\sigma_{LK}}} + \beta_{K_j^s} K_j^{\frac{\sigma_{LK}-1}{\sigma_{LK}}} \right]^{\frac{\sigma_{LK}}{\sigma_{LK}-1}} \quad (3-1)$$

$$L_j^s = \left[ \frac{\alpha_{LK_j^s} \beta_{L_j^s} P_{Y_j^s}}{P_{L_j^s}} \right]^{\sigma_{LK}} \frac{Y_j^s}{\alpha_{LK_j^s}} \quad (3-2)$$

$$K_j^s = \left[ \frac{\alpha_{LK_j^s} \beta_{K_j^s} P_{Y_j^s}}{P_{K_j^s}} \right]^{\sigma_{LK}} \frac{Y_j^s}{\alpha_{LK_j^s}} \quad (3-3)$$

$$X_{ij}^s = \alpha_{XX_{ij}^s} \left[ \sum_{r \in R} \beta_{XX_{ij}^{rs}} X_{ij}^{rs} \right]^{\frac{\sigma_X}{\sigma_X-1}} \quad (3-4)$$

$$XX_{ij}^{rs} = \left[ \frac{\alpha_{XX_{ij}^s} \beta_{XX_{ij}^{rs}} P_{X_{ij}^s}}{P_{Q_i^r}} \right]^{\sigma_X} \frac{X_{ij}^s}{\alpha_{XX_{ij}^s}} \quad (3-5)$$

$$Y_j^s = \alpha_{Y_j^s} Z_j^s \quad (3-6)$$

$$X_{ij}^s = \alpha_{X_{ij}^s} Z_j^s \quad (3-7)$$

$$P_{Z_j^s} = P_{Y_j^s} \alpha_{Y_j^s} + \sum_{i \in I} P_{X_{ij}^s} \alpha_{X_{ij}^s} \quad (3-8)$$

ここで、 $P_{Y_j^s}$  は  $s$  地域  $j$  部門の合成生産要素  $Y_j^s$  の価格、 $P_{L_j^s}$  は  $s$  地域  $j$  部門の労働価格、 $P_{K_j^s}$  は  $s$  地域  $j$  部門の資本価格、 $\sigma_{LK}$  ( $=2$ ) は代替弾力性(Elasticity of Substitution)、 $\alpha_{LK_j^s}$  はスケールパラメータ、 $\beta_{L_j^s}$  は  $s$  地域  $j$  部門の労働投入のシェアパラメータ、 $\beta_{K_j^s}$  は  $s$  地域  $j$  部門の資本投入のシェアパラメータ(ただし、 $\beta_{L_j^s} + \beta_{K_j^s} = 1$ )、 $P_{Q_i^r}$  は  $r$  ( $r \in R$ ) 地域産アーミントン合成財(Armington Composite Goods)  $Q_i^r$  の価格、 $\beta_{XX_{ij}^{rs}}$  は中間投入シェアパラメータ(ただし、 $\sum_{r \in R} \beta_{XX_{ij}^{rs}} = 1$ )、 $P_{X_{ij}^s}$  は合成中間投入財価格、 $\alpha_{XX_{ij}^s}$  はスケールパラメータ、 $\sigma_X$  ( $=2$ ) は代替弾力性、 $P_{Z_j^s}$  は  $s$  地域  $j$  部門の国内生産財価格、 $\alpha_{Y_j^s}$  および  $\alpha_{X_{ij}^s}$  は投入パラメータである。ただし、 $S$  ( $s \in S$ ) は財の消費地集合(47都道府県)、 $R$  ( $r \in R$ ) は財の生産地集合(47都道府県)、 $I$  ( $i \in I$ ) は財の種類集合(15財)、 $J$  ( $j \in J$ ) は産業部門集合(15産業部門)である。ここで、アーミントンの仮定とは、同一財であっても移輸出入においては、別々の財と見なすという仮定を意味している(Armington(1969))。

## ②家計消費部門

家計消費部門の構造は、図－Ⅲ－１－３のように表現される。本研究においては、各地域に代表的家計が一つ存在し、消費を行うと仮定している。 $s$  地域の家計は、効用最大化条件に基づいて家計消費財  $XH_i^{rs}$  を消費し、効用水準  $UH^s$  を得る。ここで、効用関数は、代替弾力性  $\sigma_H$  ( $=0.5$ ) の

CES 型効用関数を仮定している。また、家計は、所得の一定割合を直接税  $TD^s$  と貯蓄  $HS^s$  として支出すると仮定する。ここで、 $\beta_{XH_i^s}$  は  $s$  地域家計の  $r$  地域産家計消費財  $i$  のシェアパラメータ(ただし、 $\sum_{r \in R} \sum_{i \in I} \beta_{XH_i^s} = 1$ )、 $F_L^s$  は  $s$  地域家計の労働初期賦存量、 $F_K^s$  は  $s$  地域家計の資本初期賦存量、 $TD^s$  は  $s$  地域家計の直接税支払、 $\tau_D (=0.09)$  は直接税率、 $HS^s$  は  $s$  地域家計の貯蓄、 $\delta_{HS}^s$  は  $s$  地域家計の貯蓄率である。ただし、 $\tau_D$  は全地域共通で、外生的に与えている。以上の本研究における MRCGE の家計部門の経済行動は、下記の最適化問題(P.3-4)によって表現することができる。

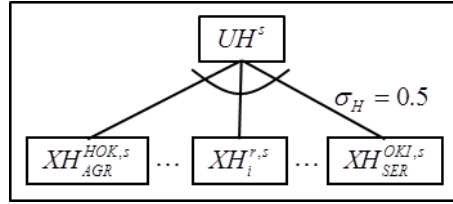


図-III-1-3 家計消費部門の構造

$$\left( \begin{array}{l} \max_{XH_i^s} .UH^s = \left[ \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} \beta_{XH_i^s} \frac{1}{\sigma_H} \frac{\sigma_H - 1}{\sigma_H} XH_i^s \right]^{\frac{\sigma_H}{\sigma_H - 1}} \\ \text{s.t. } P_L^s F_L^s + P_K^s F_K^s - TD^s - HS^s = \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} P_{Q_i^s} XH_i^s \end{array} \right) \quad (\text{P.3-4})$$

また、式(3-8)~(3-10)は、MRCGE の連立方程式体系において、家計部門に関する部分を構成する方程式である。

$$XH_i^s = \frac{\beta_{XH_i^s} [P_L^s F_L^s + P_K^s F_K^s - TD^s - HS^s]}{P_{Q_i^s}^{\sigma_H} \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} \beta_{XH_i^s} P_{Q_i^s}^{(1-\sigma_H)}} \quad (3-8)$$

$$TD^s = \tau_D [P_L^s F_L^s + P_K^s F_K^s] \quad (3-9)$$

$$HS^s = \delta_{HS}^s [P_L^s F_L^s + P_K^s F_K^s] \quad (3-10)$$

なお、本研究における社会厚生は、等価変分(Equivalent Variation)、すなわち「変化後の効用水準を維持するという条件下で状態変化を諦めるために家計が必要と考える最小補償額(Willingness to Acceptance)」で定義しており、式(3-11)および(3-12)で表現される。ここで、 $E^s(\mathbf{p}_0^s, \overline{UH}_t^s)$  は  $s$  地域の家計の支出関数(Expenditure Function)、 $\overline{UH}_t^s$  は  $t$  期における  $s$  地域の家計の効用水準(外生)、 $\mathbf{X}H_t^s$  は  $t$  期における  $s$  地域の合成消費財ベクトル、 $\mathbf{p}_t^s$  は  $t$  期における  $s$  地域の合成消費財価格ベクトルを意味する。なお、 $t=0,1$  は、震災の有無である。

$$E^s(\mathbf{p}_t^s, \overline{UH}_t^s) \equiv \min_{\mathbf{X}H_t^s} [ \mathbf{p}_t^s \cdot \mathbf{X}H_t^s \mid UH_t^s(\mathbf{X}H_t^s) \geq \overline{UH}_t^s ] \quad (3-11)$$

$$EV^s \equiv E^s(\mathbf{p}_0^s, UH_1^s(\mathbf{X}H_1^s)) - E^s(\mathbf{p}_0^s, UH_0^s(\mathbf{X}H_0^s)) \quad (3-12)$$

### ③政府支出部門

政府支出部門の構造は、図-III-1-4に示すように、政府の仮想的効用を最大化するよう各財への支出を決定するものとする。本モデルでは、伴(2007)の仮定を参考に、中央政府は存在せず、各都道府県に存在する政府支出部門が仮想的な政府効用を最大化するよう政府支出支出  $XG_i^{rs}$  を決

定するものとした。また、家計消費部門と同様に、政府支出部門は税収の一定割合を貯蓄するものとしている。本研究における MRCGE の政府支出部門の行動は、下記の最適化問題(P.3-5)で表現される。

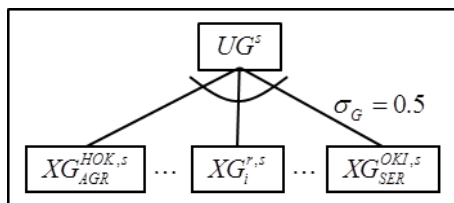


図-III-1-4 政府支出部門の構造

$$\begin{cases} \max_{XG_i^s} UG^s = \left[ \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} \beta_{XG_i^s} \frac{1}{\sigma_G} XG_i^{rs} \frac{\sigma_G - 1}{\sigma_G} \right]^{\frac{\sigma_G}{\sigma_G - 1}} \\ \text{s.t.} \sum_{j \in J} TZ_j^s + TD^s - GS^s = \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} P_{Q_i^s} XG_i^{rs} \end{cases} \quad (\text{P.3-5})$$

また、式(3-13)~(3-15)は、政府支出部門に関する方程式群である。

$$XG_i^{rs} = \frac{\beta_{XG_i^s} \left( \sum_{j \in J} TZ_j^s + TD^s - GS^s \right)}{P_{Q_i^s}^{\sigma_G} \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} \beta_{XG_i^s} P_{Q_i^s}^{(1-\sigma_G)}} \quad (3-13)$$

$$TZ_j^s = \tau_{Z_j^s} P_{Z_j^s} Z_j^s \quad (3-14)$$

$$GS^s = \delta_{GS^s}^s \left( \sum_{j \in J} TZ_j^s + TD^s \right) \quad (3-15)$$

ここで、 $\sigma_G (= 0.5)$  は代替弾力性パラメータ、 $\beta_{XG_i^s}$  はシェアパラメータ(ただし、 $\sum_{r \in R} \sum_{i \in I} \beta_{XG_i^s} = 1$ )、 $TZ_j^s$  は  $s$  地域  $j$  部門の生産税支払、 $\tau_{Z_j^s}$  は  $s$  地域  $j$  部門に課される生産税率、 $GS^s$  は  $s$  地域政府の貯蓄および  $\delta_{GS^s}^s$  は  $s$  地域政府の貯蓄率である。

#### ④投資部門

投資部門は、図-III-1-5に示すように、家計消費部門および政府支出部門と同様に、各地域に一つ存在し、仮想的な効用  $UI^s$  を最大化させるよう投資財への支出を行う。本研究における MRCGE の投資部門の経済行動は、下記の最適化問題(P.3-6)で表現することができる。

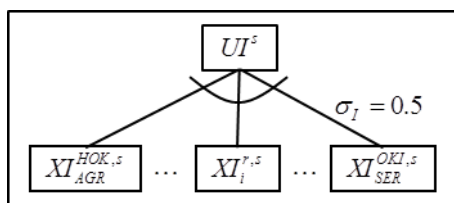


図-III-1-5 投資部門の構造

$$\left( \begin{array}{l} \max_{X_i^s} . UI^s = \left[ \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} \beta_{X_i^s} \frac{1}{\sigma_i} X_i^s \right]^{\frac{\sigma_i}{\sigma_i - 1}} \\ \text{s.t. } HS^s + GS^s + \varepsilon SF^s + TR^s = \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} P_{Q_i^r} X_i^s \end{array} \right) \quad (\text{P.3-6})$$

また、式(3-16)および式(3-17)は、投資部門に関する方程式である。

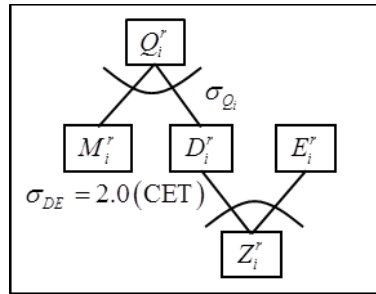
$$X_i^s = \frac{\beta_{X_i^s} (HS^s + GS^s + \varepsilon SF^s + TR^s)}{P_{Q_i^r}^{\sigma_i} \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} \beta_{X_i^s} P_{Q_i^r}^{(1-\sigma_i)}} \quad (3-16)$$

$$SF^s = \sum_{j \in J} (PW_{M_j} M_j^s - PW_{E_j} E_j^s) \quad (3-17)$$

ここで、 $\sigma_i$  ( $\sigma_i = 0.5$ ) は代替弾力性パラメータ、 $\beta_{X_i^s}$  は  $s$  地域投資部門の  $r$  地域産投資財  $i$  のシェアパラメータ(ただし、 $\sum_{r \in R} \sum_{i \in I} \beta_{X_i^s} = 1$ )、 $SF^s$  は  $s$  地域の外国貯蓄(外生)、 $E_j^s$  は  $s$  地域  $j$  部門の輸出、 $M_j^s$  は  $s$  地域  $j$  部門の輸入、 $PW_{E_j}$  は国際輸出財  $j$  の価格(外生)、 $\varepsilon$  は外貨建て為替レート、 $PW_{M_j}$  は国際輸入財  $j$  の価格(外生)、 $TR^s$  は  $s$  地域が受け取る所得移転であり、前述したように、「移入額－移出額」により計算される。

⑤輸出・国内変形および輸入・国内代替

輸出・国内変形および輸入・国内代替部門の構造は、図－Ⅲ－１－６により示すことができる。



図－Ⅲ－１－６ 輸出・国内変形および輸入・国内代替の構造

本モデルでは、図－Ⅲ－１－６に示すように、アーミントンの仮定によって、国内で生産した財  $Z_i^r$  を仮想的企業が国内供給  $D_i^r$  と輸出  $E_i^r$  に変形するものとする。ここで、本研究では、総生産高を対外輸出と国内供給に変換する最適配分手法として変形関数(Transformation Function)の概念を用いるものとし、変形弾力性一定である CET 型(Constant Elasticity of Transformation)変形関数を仮定する。さらに、仮想的企業は利潤最大化条件に基づいて行動するものと仮定すると、この仮想的企業の行動は最適化問題(P.3-7)で表現される。

$$\left( \begin{array}{l} \max_{D_i^r, E_i^r} . P_{D_i^r} D_i^r + P_{E_i^r} E_i^r - (1 + \tau_{Z_i^r}) P_{Z_i^r} Z_i^r \\ \text{s.t. } Z_i^r = \alpha_{DE_i^r} \left[ \beta_{D_i^r} D_i^r \frac{\sigma_{DE} + 1}{\sigma_{DE}} + \beta_{E_i^r} E_i^r \frac{\sigma_{DE} + 1}{\sigma_{DE}} \right]^{\frac{\sigma_{DE}}{\sigma_{DE} + 1}} \end{array} \right) \quad (\text{P.3-7})$$

輸入・国内代替については、国内供給財と輸出財の関係と同様に、国内供給財と輸入財の間に



もアーミントンの仮定を置くものとする。アーミントン合成財生産関数は国内供給財と輸入財を投入要素とする CES 型生産関数であり、アーミントン合成財を生産する仮想的企業の利潤最大化行動により生産される。この仮想的企業の行動は、最適化問題(P3-8)で表現される。

$$\begin{cases} \max_{D_i^r, M_i^r} P_{Q_i^r} Q_i^r - P_{D_i^r} D_i^r - P_{M_i^r} M_i^r \\ \text{s.t. } Q_i^r = \alpha_{DM_i^r} \left[ \beta_{DD_i^r} D_i^r \frac{\sigma_{DM}^{-1}}{\sigma_{DM}} + \beta_{M_i^r} M_i^r \frac{\sigma_{DM}^{-1}}{\sigma_{DM}} \right]^{\frac{\sigma_{DM}}{\sigma_{DM}-1}} \end{cases} \quad (\text{P3-8})$$

また、式(3-18)～(3-25)は、輸出・国内変形および輸入・国内代替に関する方程式群である。

$$Z_i^r = \alpha_{DE_i^r} \left[ \beta_{D_i^r} D_i^r \frac{\sigma_{DE}+1}{\sigma_{DE}} + \beta_{E_i^r} E_i^r \frac{\sigma_{DE}+1}{\sigma_{DE}} \right]^{\frac{\sigma_{DE}}{\sigma_{DE}+1}} \quad (3-18)$$

$$E_i^r = \left[ \frac{\alpha_{DE_i^r} \beta_{E_i^r} (1 + \tau_{Z_i^r}) P_{Z_i^r}}{P_{E_i^r}} \right]^{-\sigma_{DE}} \frac{Z_i^r}{\alpha_{DE_i^r}} \quad (3-19)$$

$$D_i^r = \left[ \frac{\alpha_{DE_i^r} \beta_{D_i^r} (1 + \tau_{Z_i^r}) P_{Z_i^r}}{P_{D_i^r}} \right]^{-\sigma_{DE}} \frac{Z_i^r}{\alpha_{DE_i^r}} \quad (3-20)$$

$$Q_i^r = \alpha_{DM_i^r} \left[ \beta_{DD_i^r} D_i^r \frac{\sigma_{DM}^{-1}}{\sigma_{DM}} + \beta_{M_i^r} M_i^r \frac{\sigma_{DM}^{-1}}{\sigma_{DM}} \right]^{\frac{\sigma_{DM}}{\sigma_{DM}-1}} \quad (3-21)$$

$$D_i^r = \left[ \frac{\alpha_{DM_i^r} \beta_{DD_i^r} P_{Q_i^r}}{P_{D_i^r}} \right]^{\sigma_{DM}} \frac{Q_i^r}{\alpha_{DM_i^r}} \quad (3-22)$$

$$M_i^r = \left[ \frac{\alpha_{DM_i^r} \beta_{M_i^r} P_{Q_i^r}}{P_{M_i^r}} \right]^{\sigma_{DM}} \frac{Q_i^r}{\alpha_{DM_i^r}} \quad (3-23)$$

$$P_{E_i^r} = \varepsilon P W_{E_i} \quad (3-24)$$

$$P_{M_i^r} = \varepsilon P W_{M_i} \quad (3-25)$$

ここで、 $D_i^r$  は  $r$  地域産国内財  $i$  の供給量、 $\beta_{D_i^r}$  は  $r$  地域産国内財  $i$  のシェアパラメータ、 $\beta_{E_i^r}$  は  $r$  地域産輸出財  $i$  のシェアパラメータ(ただし、 $\beta_{D_i^r} + \beta_{E_i^r} = 1$ )、 $\alpha_{DE_i^r}$  はスケールパラメータ、 $P_{E_i^r}$  は  $r$  地域産輸出財  $i$  の価格、 $\sigma_{DE} (=2)$  は代替弾力性、 $P_{D_i^r}$  は  $r$  地域産国内財  $i$  の価格を意味する。 $Q_i^r$  は  $r$  地域産アーミントン財  $i$  の供給量、 $\beta_{DD_i^r}$  は  $r$  地域産国内供給財  $i$  のシェアパラメータ、 $\beta_{M_i^r}$  は  $r$  地域産輸入財  $i$  のシェアパラメータ(ただし、 $\beta_{DD_i^r} + \beta_{M_i^r} = 1$ )、 $\alpha_{DM_i^r}$  はスケールパラメータ、 $\sigma_{DM} (=2)$  は代替弾力性を意味する。また、本研究では小国の仮定を採用するため、輸出財価格および輸入財価格と国際輸出財価格および国際輸入財価格の関係式である式(3-24)および(3-25)を設定している。

#### ⑥市場均衡条件

最後に、財および生産要素の需要と供給が各市場で均衡するための条件式として、式(3-26)～(3-29)を仮定する。

$$Q_i^r = \sum_{s \in S} \sum_{j \in J} XX_{ij}^{rs} + \sum_{s \in S} XH_i^{rs} + \sum_{s \in S} XG_i^{rs} + \sum_{s \in S} XI_i^{rs} \quad (3-26)$$

$$\sum_{j \in J} L_j = F_L \quad (3-27)$$

$$\sum_{j \in J} K_j^s = F_{K^s} \quad (3-28)$$

$$\sum_{s \in S} TR^s = 0 \quad (3-29)$$

まず、式(3-26)はアーミントン合成財(供給)が家計消費財と政府支出財、投資財および中間投入財の合計(需要)に等しいことを意味し、これによって財市場の均衡を表現している。また、式(3-27)は労働市場の需給均衡を、式(3-28)は資本市場の需給均衡を表現している。さらに、式(3-29)は、所得移転の合計がゼロであることを意味する。

以上により、本研究における MRCGE を構成する全ての連立方程式体系が示された。これらの連立方程式体系において外生値としたスケールパラメータ、シェアパラメータ、投入パラメータ、貯蓄率および生産税率については、キャリブレーション(Calibration)によって導出する。一方、代替・変形弾力性については、キャリブレーションでは推定が困難であるため、多くの既存研究においては、過去の同様な研究、或いは、ベースとしたモデルにおいて用いられた値などをアドホックに用い、感度分析によってモデルの信頼性を保つという方法を採用している。したがって、本研究も同様に、モデル構築において参考にした Hosoe *et al.*(2010) および伴(2007)の値を用いるものとした。

#### 1.4 シミュレーションの前提と分析枠組み

##### 1.4.1 分析対象地域

本研究における被災地(Disaster Stricken Area, DSA)は、岩手県、宮城県、福島県および茨城県の太平洋岸4県とし、当該地域に直接的被害が発生し、この影響が、47都道府県・15産業部門に波及するものとした。

##### 1.4.2 資本ストック毀損額に関するデータ

資本ストックの直接的被害額は、内閣府(2011a)より16.9兆円にのぼるとの結果が示されている。この内閣府による推計は、対象地域を北海道、青森、岩手、宮城、福島、茨城および千葉の7道県とし、資本ストックの内訳を建築物(住宅、民間企業設備等)、電気・ガス・水道、社会基盤(道路、港湾、空港等)、その他(都市公園等)として、各々、2010年度時点の道府県別資本ストック額に阪神大震災時の損壊率を乗じて毀損額を求めたものである。これを表Ⅲ-1-3に示す。なお、表Ⅲ-1-3は、何れも内閣府による試算であり、若干、数値が異なっているものの、内閣府(2011b)<sup>54</sup>のプレス発表は同年6月24日であり、これが最新の政府公表値であると判断することができる。

また、日本政策投資銀行(2011)は、表Ⅲ-1-4に示すような資本ストック毀損額を算出している。これらを見ると、多少の対象範囲の相違があるものの、何れの算出結果においても、東日本大震災がもたらした資本ストック毀損額は16兆円程度(特に、東北3県では何れも14兆円程度)であることが分かる。なお、これらの算出結果は、何れも、福島第一原子力発電所事故による様々な被害は含んでいないことに注意されたい。

表-III-1-3 内閣府による資本ストック毀損額

資本ストックの分類項目	資本ストック 毀損額(兆円)	
	内閣府(2011a)	内閣府(2011b)
建築物等 (住宅・宅地, 店舗・事務所, 工場, 機械等)	11~20	10.4
ライフライン施設 (水道, ガス, 電気, 通信・放送施設)	1.0	1.3
社会基盤施設 (河川, 道路, 港湾, 下水道, 空港等)	2.0	2.2
農林水産関係 (農地・農業用施設, 林野, 水産関係施設等)	2.0	1.9
その他 (文教施設, 保険医療・福祉関係施設, 廃棄物処理施設, その他公共施策)		1.1
総計 注: 括弧内は岩手県, 宮城県, 福島県の内計	16~25 (14~23)	16.9

表-III-1-4 日本政策投資銀行による資本ストック毀損額

対象地域	推定資本 ストック (十億円)	推定資本ストック毀損額(十億円)					毀損率 (%)	
		インフラ	住宅	製造業	その他	合計		
岩手県	内陸部	26,369	457	22	64	211	754	2.9
	沿岸部	7,449	1,943	607	191	781	3,522	47.3
	合計	33,818	2,400	629	255	992	4,276	12.6
宮城県	内陸部	31,443	856	40	148	551	1,595	5.1
	沿岸部	23,182	2,031	1,446	290	1,130	4,897	21.1
	合計	54,625	2,887	1,446	438	1,681	6,492	11.9
福島県	内陸部	34,314	630	7	263	370	1,270	3.7
	沿岸部	15,941	1,244	145	151	319	1,859	11.7
	合計	50,254	1,874	152	414	689	3,129	6.2
茨城県	内陸部	47,827	460	40	175	318	993	2.1
	沿岸部	21,727	766	87	355	275	1,483	6.8
	合計	69,553	1,226	126	530	593	2,476	3.6
総計	内陸部	139,952	2,403	109	650	1,451	4,612	3.3
	沿岸部	68,299	5,985	2,285	987	2,504	11,781	17.2
	合計	208,251	8,387	2,394	1,637	3,955	16,373	7.9

#### 1.4.3 民間企業設備毀損額の算出

上記 1.4.2 に示した値は、あくまでもストックであり、一方、MRCGE はフローの概念であることから、まず、資本ストック毀損額(ストック概念)をフロー概念に変換しなければならない。そこで、本研究では、まず、資本ストック毀損額(産業部門計)を現状の資本ストック額(産業部門計)で除して、地域産業部門計の資本ストック毀損率を算出した(この値は、表-III-1-4 最右列と同一)。さらに、その毀損率を差し引き、この値を MRCGE における被災前を意味する状態の地域産業部門の民間企業設備投資額に乗じることにより、被災後を意味する状態の地域産業部門の民間

企業設備投資額を算出するものとした。この計算式と算出結果を、各々、式(3-30)および表-III-1-5に示す。この値は、MRCGEで言う総固定資本形成(Fixed Capital Formation)に相当する。なお、この過程を経たことは、本研究における東日本大震災の直接的影響である資本ストック毀損額16.4兆円(対GDP比3.15%)であり、表-III-1-4に示した日本政策投資銀行(2011)そのものを採用したことを意味する。

$$FCF_i^s|_{t=1} = (1 - \pi^s) FCF_i^s|_{t=0}, \forall i, s \quad (3-30)$$

表-III-1-5 MRCGEにおける民間企業設備投資額の想定

対象地域	①被災前の 民間企業設備投資額 (十億円)	②毀損率	③被災後の 民間企業設備投資額(十億円) (=①×(1.0-②))
岩手県	1,101.48	0.126	962.70
宮城県	1,672.05	0.119	1,473.08
福島県	1,956.62	0.062	1,835.31
茨城県	2,547.07	0.036	2,455.38
総計	7,277.23	0.079	6,726.47

#### 1.4.4 分析対象とする影響の想定

東日本大震災のような巨大災害が発生した場合の経済被害には、上野山・荒井(2007)が述べているように様々な項目が考えられる。また、今回の震災の特徴は、「被害が大規模であるだけでなく、様々な経路を通じて被災地以外にも影響」と言われていることを鑑み、本研究では表-III-1-6に示すような影響項目について検討した。

表-III-1-6 東日本大震災による影響項目

			マクロ経済構造	
			変化なし(短期的)	変化あり(長期的)
東日本大震災 の影響	被災地 の影響	直接的	※資本ストックの毀損額(=16.4兆円)	※震災による影響 の長期化
		間接的	※民間企業設備の毀損による供給制約(=①)	
	他地域 への影響	※サプライチェーンの寸断による供給制約(=②) ※電力供給制約		

まず、本研究におけるMRCGEは静学モデルであることから、東日本大震災による影響が長期化した場合に考慮しなければならないマクロ経済構造の変化に基づいた分析を行うことが不可能である。すなわち、この変化を捉えるためには、MRCGEにおける最適化問題を動学問題に置き換える必要があり、かつ、MRCGEにおいて用いる47都道府県地域間産業連関表の各係数も動的に取り扱う必要があることから、本稿では断念するものとし、今後の課題としたい。

また、電力供給制約による影響<sup>1</sup>は、既に山崎・落合(2011)において試算されており、さらには、

<sup>1</sup>電力供給制約による影響等(以下、内閣府(2011c)<sup>55</sup>より抜粋)。

- 半導体・電子部品、化学、非鉄金属、素形材、繊維、製紙等の産業の多くは、①24時間創業型、②設備の立ち上げ等に長時間を要す、③1つの生産工程が長時間に及ぶ、といった

石丸(2011)をはじめとして幾つかのレポートによれば、電力供給制約の影響は短期的ではあるものの大きいとの指摘がある。これらでは、概ね一ヶ月間ないしは4月までの東京電力管区内9都県(群馬県、栃木県、茨城県、埼玉県、東京都、千葉県、神奈川県、山梨県、静岡県)における生産への影響は対 GDP 比▲0.2~0.5%程度であるとされている。しかしながら、この影響は、東京電力管区内および東北電力管区内の大口需要家への電力使用制限令が、予定を前倒しして解除される等、様々な変動要因が考えられる。また、今回の電力供給制約の条件をモデルで表現するためには、まず、シナリオ設定が必要であり、例えば、山崎・落合(2011)による「東日本大震災に伴う供給制約により、関東地方で夏季に10%の電力不足が生じ、それを電力価格調整では無く、電力割当(Electric Power Allocation)が実施された場合」を想定するにしても、その際に、電力価格が上昇しない状態を再現する必要がある。そのためには、東京電力管区内9都県の代表的家計の資本保有量と労働保有量、家計の電力消費量を減少させる等の操作が必要であり、恣意性が伴うと言わざるを得ない。さらに、表Ⅲ-1-2に示したように、本研究における15産業部門分類では電力を一括して取り扱っていることから、電力生産を発電源毎に調整することが困難である。以上のことから、本研究では、電力供給制約による影響については、計測対象外とした。

したがって、本研究では、MRCGEを用いて間接的なマクロ経済的被害をシミュレーションする影響項目として、表Ⅲ-1-6における2点に論点を絞るものとした。なお、以下、①については毎年値であり、②については翌年にはサプライチェーンの寸断が解消する、或いは、代替供給地が確保されるものとし、単年値であるとする。

#### ①民間企業設備の毀損による供給制約

民間企業設備の毀損による供給制約がもたらす影響を算出するためには、外生値として表Ⅲ-1-5における③をMRCGEにインプットすれば良い。

#### ②サプライチェーンの寸断による供給制約<sup>II</sup>

サプライチェーンの寸断による供給制約については、東日本大震災の被災前における被災地から全国に供給されていた中間財の減少額(Damage of Intermediate Goods, DIG)を元にシミュレーションを実行する。内閣府(2011a)では、これを約0.5~1.25兆円としている。したがって、本研究におけるMRCGEでは地域間合成中間投入財として式(3-31)を用いるものとする。なお、ここでは、内閣府(2011a)の中央値である兆円を用いることとした。

---

特徴があり、自家発電非保有業者は短時間の停電でも設備を稼働させることができず、計画停電によって生産継続に支障が発生(2011年4月11日現在)。

- 食品製造工場等において、計画停電により操業の一時停止や短縮等の問題、とりわけ、一定の温度管理が必要な冷蔵冷凍施設や発酵等を伴うヨーグルト、納豆、パン等の製造業種に影響(2011年4月11日現在)。
- 飲食店等の営業短縮・中止、百貨店等の小売店舗の閉店時間の前倒し(2011年4月11日現在)。
- 計画停電開始当初、首都圏の鉄道の大半の路線で運休又は相当な運行本数の削減が行われたが、現在、全区間での運行が回復(2011年4月13日現在)。

#### <sup>II</sup> サプライチェーンの寸断による影響等(以下、内閣府(2011c)より抜粋)。

- 自動車：震災直後は、全国的に操業停止したが、基幹工場を中心に車種・創業日を限定して創業を再開する動き。ただし、部品供給の状況は、依然として不安定であり、今後の創業については、状況を見ながら慎重に実施(2011年4月11日現在)。
- 電気機械：被災地からの半導体・電子部品の供給が停滞。また、原材料の調達が一部困難になっているものもある(2011年4月11日現在)。
- 震災直後は、緊急交通路の指定に伴う規制やガソリンの供給不足により食料品や原材料等の物流が停滞したが、現在は回復(2011年4月11日現在)。
- 出荷制限や摂取制限がされている産地や品目以外の青果物について、卸売段階では、当初入荷量の減少や価格低迷がみられたが、現在は回復傾向、小売段階でも現在は回復傾向(

$$XX_{ij}^{rs} \Big|_{\substack{r \in DSA \\ s \in S}} = \left( 1 - \frac{DIG}{\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{s \in S} \sum_{r \in DSA} XX_{ij}^{rs}} \right) XX_{ij}^{rs} \Big|_{\substack{r \in DSA \\ s \in S}} \quad (3-31)$$

## 1.5 シミュレーション結果とその解釈

### 1.5.1 民間企業設備の毀損による供給制約

民間企業設備の毀損による供給制約がもたらした影響に関するシミュレーション結果を図-III-1-7～図-III-1-9および表-III-1-7に示す。

まず、図-III-1-7を見ると、東日本大震災による民間企業設備の毀損による供給制約がもたらした実質 GDP の変化額は、全国計で▲1.12 兆円/年程度であり、対 GDP 比 0.22%に相当する。また、被災地の実質 GDP の減少が顕著であり、被災地合計では▲1.37 兆円/年となっている。一方、高知県、佐賀県および宮崎県を除く都道府県では、本研究における生産関数の定式化における地域間の代替性により実質 GDP は微増する結果となったことから、被災地合計値が全国計を上待った数値を示している。

次に、図-III-1-8を見ると、厚生の変化は▲671億円/年であり、被災地合計では▲656億/円、また、図-III-1-9に示した一人当たり厚生の変化を見ると、宮城県が約▲11.53万円/人年、岩手県が約▲11.48万円/人年と、突出した値を示していることが分かる。また、表-III-1-7に示した都道府県別産業部門別生産額の変化を見ると、全国計で▲1.63兆円/年であり、被災地合計が▲1.81兆円/年となっている。一方、産業別では、サービス、その他製造業および建築・土木への影響が大きく、各々、▲0.809、▲0.174、▲0.170兆円/年となっている。さらに、表-III-1-7を詳細に検討すると、微少ながら正值および負値が散見される。これらは、生産量が基本的に家計消費変化率に依存するという要因および移輸出と家計消費の相対的大小関係に関する要因によって決定されているものと考えられる。

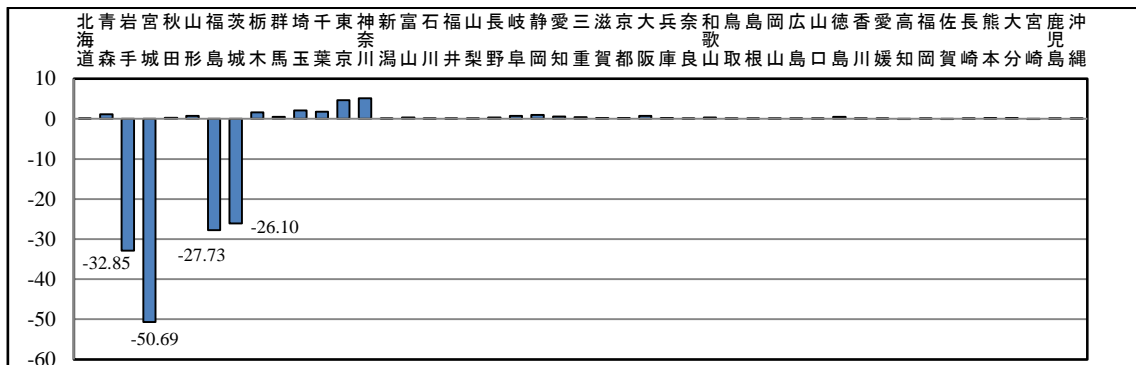
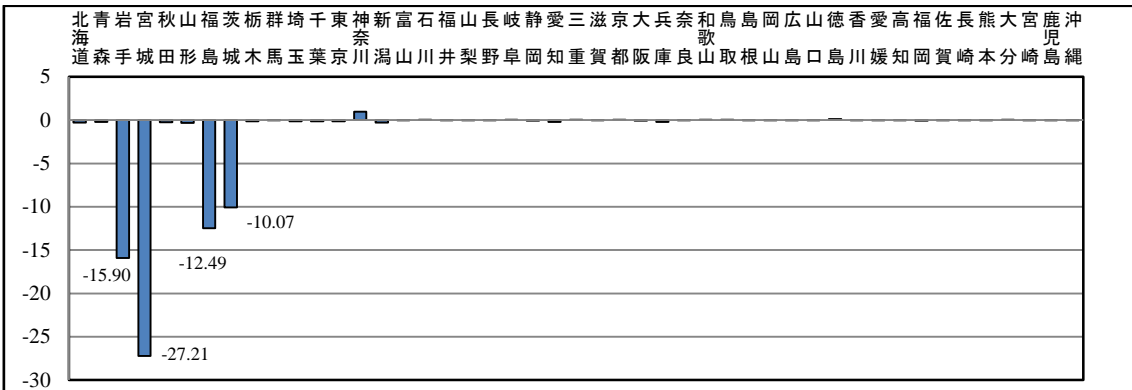
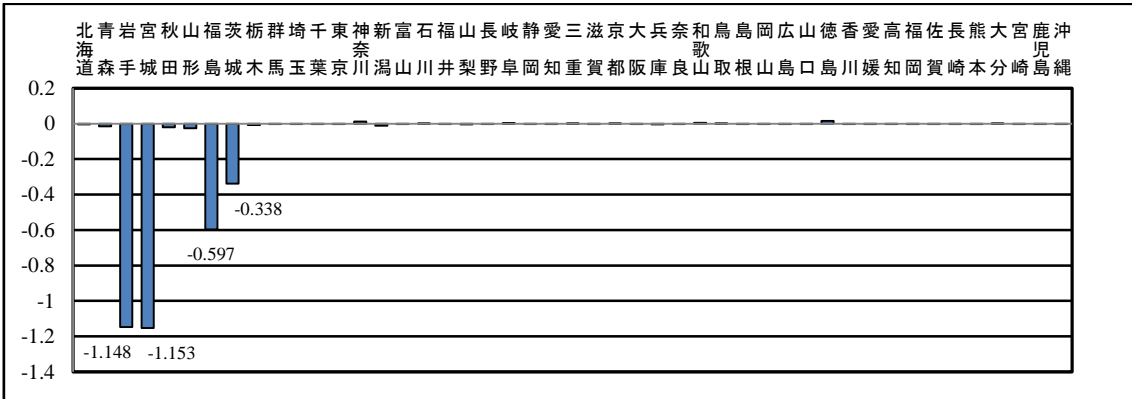


図-III-1-7 民間企業設備の毀損による供給制約がもたらした都道府県別実質GDP変化 (百億円/年)



図一Ⅲ一1一8 民間企業設備の毀損による供給制約がもたらした都道府県別厚生の変化 (十億円/年)



図一Ⅲ一1一9 民間企業設備の毀損による供給制約がもたらした都道府県別一人当たり厚生の変化(十万円/人年)

表-III-1-7 民間企業設備の毀損による供給制約がもたらした都道府県別産業部門別生産額の変化(十億円/年)

	農 林 水 産 業	鋁 業	石 油 ・ 石 炭 製 品	化 学 製 品	窯 業 ・ 土 石 製 品	鉄 鋼 製 品	非 鉄 金 属 製 品	機 械	自 動 車	そ の 他 製 造 業	建 築 ・ 土 木	電 力	ガ ス ・ 熱 供 給	運 輸	サ ー ビ ス	全 産 業 部 門 計
北海道	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4	0	0	0	-1	4
青森	1	0	0	-1	-2	0	0	-3	0	-3	22	0	0	-2	-5	7
岩手	-16	0	0	-3	-3	-2	-1	-17	-9	-29	-101	-4	0	-18	-203	-406
宮城	-10	0	-4	-5	-5	-7	-2	-25	3	-49	-157	-6	-1	-37	-358	-670
秋田	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	6	0	0	0	-2	2
山形	0	0	0	-2	1	0	0	-1	-1	-2	1	0	0	0	-5	-1
福島	-7	0	0	-9	-3	-1	-2	-27	-1	-23	-96	-24	0	-16	-157	-367
茨城	-4	0	-7	-16	-2	-18	-5	-27	-2	-26	-115	-5	0	-10	-130	-366
栃木	0	0	0	-3	-1	-1	0	1	-5	-8	24	0	0	-1	-5	0
群馬	0	0	0	-1	0	0	0	1	-1	-2	6	0	0	0	0	2
埼玉	0	0	0	-3	-1	-1	0	0	1	-4	25	0	0	-2	-4	11
千葉	0	0	-1	-5	0	-9	-1	2	0	0	24	0	0	-2	-4	2
東京	0	0	0	-5	1	0	-1	-4	2	-3	41	0	0	-2	24	53
神奈川	0	0	-14	-11	2	-2	0	-1	-1	-2	59	0	0	-4	14	37
新潟	0	0	0	-1	0	0	0	-8	-1	0	10	-1	0	0	-2	-5
富山	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	-2	4	0	0	0	0	0
石川	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	2
福井	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	0	0
山梨	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	0	0
長野	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	5
岐阜	0	0	0	-1	0	0	0	2	-2	-5	7	0	0	0	3	4
静岡	0	0	0	-2	0	0	0	3	2	-5	9	0	0	0	1	8
愛知	0	0	0	-1	-1	0	0	9	-10	-2	6	0	0	-1	0	-2
三重	0	0	0	-2	0	0	0	3	-1	-1	3	0	0	0	0	3
滋賀	0	0	0	0	1	0	0	-3	0	-1	4	0	0	0	0	0
京都	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	2	4
大阪	0	0	0	-2	0	-1	0	2	0	0	5	0	0	0	8	13
兵庫	0	0	0	-1	0	-1	0	-7	0	-1	6	0	0	0	-1	-3
奈良	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
和歌山	0	0	-1	0	0	-2	0	1	0	0	3	0	0	0	2	2
鳥取	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
島根	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
岡山	0	0	0	-1	0	-2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
広島	0	0	0	0	0	1	0	1	-1	0	1	0	0	0	1	3
山口	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2
徳島	0	0	0	-1	0	0	2	0	0	0	4	0	0	0	3	8
愛媛	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
高知	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
福岡	0	0	0	0	0	-2	0	1	1	0	1	0	0	0	2	3
佐賀	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
長崎	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
熊本	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-2	2	0	0	0	1	2
大分	0	0	0	0	0	-1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	2
宮崎	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
鹿児島	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
沖縄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
全国計	-37	-1	-28	-78	-8	-52	-12	-89	-34	-174	-170	-40	-2	-96	-809	-1,630



### 1.5.2 サプライチェーンの寸断による供給制約

サプライチェーンの寸断による供給制約がもたらした影響に関するシミュレーション結果を図-III-1-10～図-III-1-11および表-III-1-8に示す。なお、ここでのシミュレーションにおいては、「地域間代替弾力性2(被災地の生産減に伴う他地域の代替生産が行われた場合)」のケースと計算上できる限り他地域からの代替供給を排除するため代替弾力性( $\sigma_x$ )を調整した「地域間代替弾力性0.4」のケースを設定した。以下では、地域間代替弾力性0.4のケースを中心に検討する。

まず、図-III-1-10を見ると、東日本大震災がもたらしたサプライチェーンの寸断による実質GDPの変化額は、全国計で▲1.71兆円(地域間代替弾力性2の場合には、▲0.39兆円)程度であり、対GDP比0.33%に相当する。特に、茨城県は▲0.38兆円であり、被災地の中でも突出している。また、他地域における実質GDPは▲0.67兆円(同▲0.21兆円)である。これらの値は、内閣府(2011a)による「他地域の生産減による実質GDP減少額は2011年度前半に▲0.25兆円程度」という公表結果に対応しており、これを通年換算すると▲0.5兆円となり、本研究における試算値に近い値を示していることが分かる。さらに、サプライチェーンの寸断による供給制約による実質GDPの変化額は、民間企業設備の毀損による供給制約の値よりも大きく、関東地方を始めとする東日本全体に広がっていることが分かる。

次に、図-III-1-11を見ると、厚生の変化は▲1.04兆円であり、その他地域合計では▲0.32兆円と日本全体の30.82%であることが分かる。さらに、図-III-1-12に示した一人当たり厚生の変化を見ると、被災地4県における値が突出していることが分かる。

一方、表-III-1-8に示した産業部門別生産額の変化を見てみると、建築・土木、機械、その他製造業の減少額が大きく、各々、▲3.51、▲3.16、▲1.34兆円であり、サービスは8.06兆円の増加を示している。

以上の影響の中には、中間財の代替に要する費用が高い場合には、この要因が被災していない産業や地域に生産量が減少するというカスケード効果(Cascade Effect)が発生している場合が考えられる(例えば、中野・多々納(2008)(2009)<sup>56)57)</sup>。

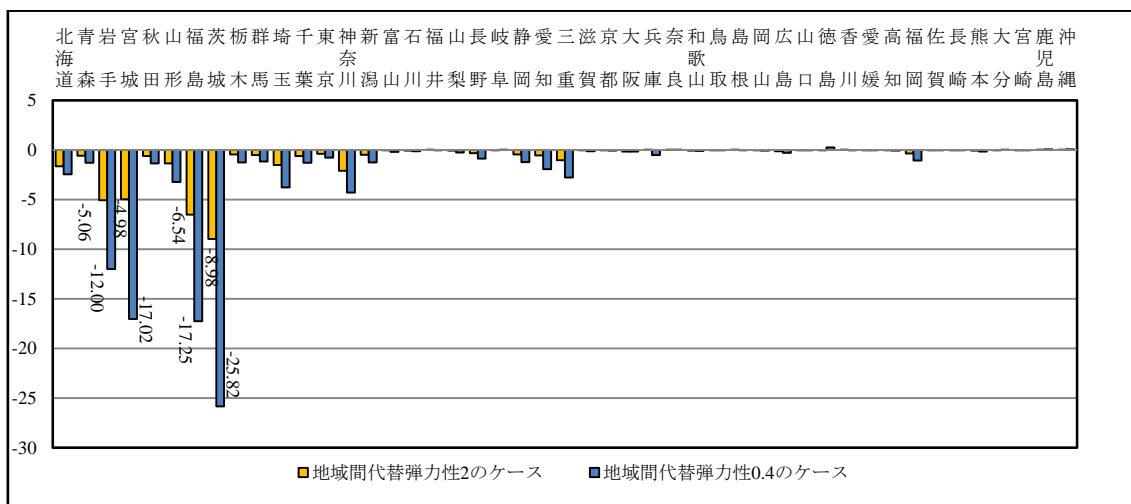


図-III-1-10 サプライチェーンの寸断による供給制約がもたらした都道府県別実質GDPの変化(百億円)

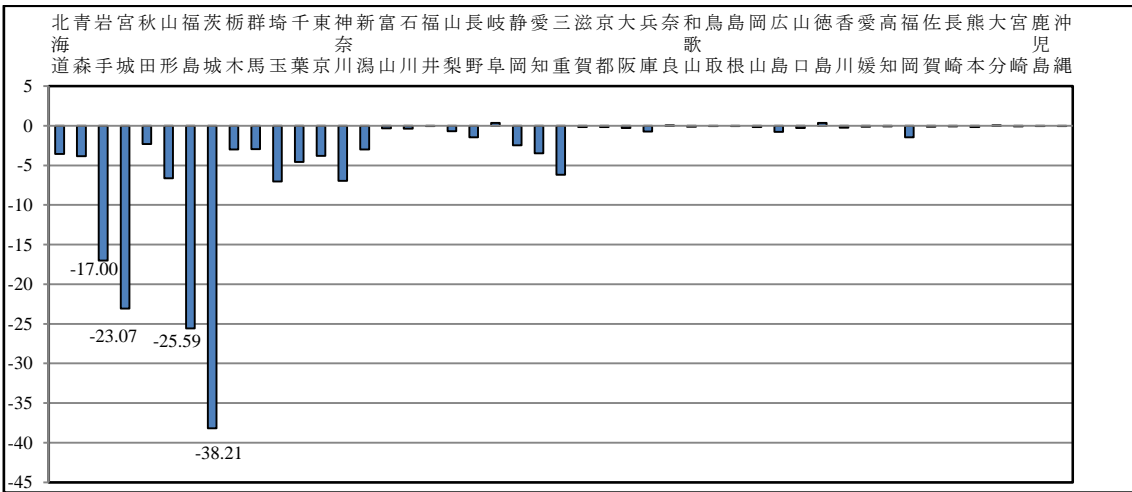


図-III-1-1-1 サプライチェーンの寸断による供給制約がもたらした都道府県別厚生の変化 (百億円)

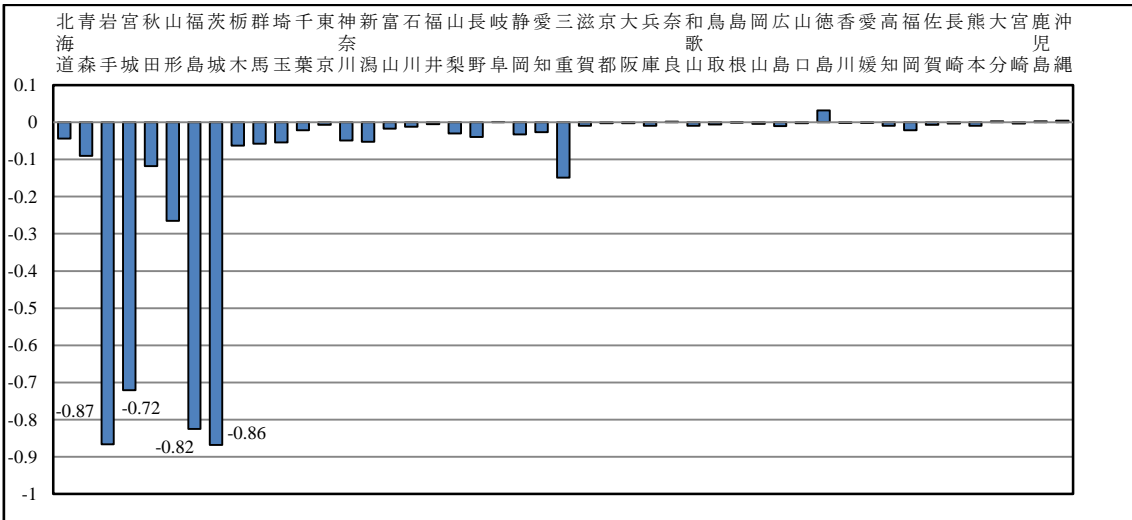


図-III-1-1-2 サプライチェーンの寸断による供給制約がもたらした都道府県別一人当たり厚生の変化(十万人/人)

表-Ⅲ-1-8 サプライチェーンの寸断による供給制約がもたらした都道府県別産業部門別生産額の変化(十億円)

	農 林 水 産 業	鉱 業	石 油 ・ 石 炭 製 品	化 学 製 品	窯 業 ・ 土 石 製 品	鉄 鋼 製 品	非 鉄 金 属 製 品	機 械	自 動 車	そ の 他 製 造 業	建 築 ・ 土 木	電 力	ガ ス ・ 熱 供 給	運 輸	サ ー ビ ス	全 産 業 部 門 計
北海道	10	2	34	10	-6	3	0	-3	1	52	-57	13	2	20	480	560
青森	-9	-2	0	0	-14	-9	-6	-107	0	-23	-266	-4	0	-24	213	-253
岩手	-203	-6	-2	-31	-37	-30	-10	-384	-278	-257	-998	-44	-3	-175	-595	-3,054
宮城	-98	-5	20	-52	-53	-106	-46	-423	-58	-343	-764	-34	-4	-222	80	-2,109
秋田	-19	0	0	0	-6	-1	-6	-87	-9	-31	-120	-3	-1	-16	30	-269
山形	-38	-1	0	-8	-37	-1	-8	-355	-12	-88	-319	-5	-1	-42	-155	-1,070
福島	-116	-6	-2	-163	-66	-33	-91	-729	-66	-316	-926	-408	-3	-215	-140	-3,279
茨城	-136	-5	-128	-519	-115	-548	-210	-619	-60	-634	-1,858	-177	-10	-248	-55	-5,323
栃木	-4	-8	0	16	-16	-16	-3	-36	-106	-72	90	0	0	6	164	14
群馬	2	2	0	11	-7	0	-2	-82	-96	-6	-26	-3	0	-4	74	-136
埼玉	1	-1	0	29	-19	-22	-9	-96	-105	9	-52	-1	-2	-32	-61	-360
千葉	0	1	16	63	2	-123	-24	-28	-2	26	99	3	0	39	293	363
東京	0	1	2	40	15	-6	-17	-119	6	94	617	27	13	190	3,032	3,893
神奈川	0	0	-50	14	13	-23	-21	-116	-81	20	279	2	-4	0	107	140
新潟	-4	1	-1	12	-1	-6	0	-150	-16	2	3	-1	0	9	185	31
富山	1	1	2	14	2	1	-4	-8	-2	0	20	0	0	4	63	93
石川	1	0	0	5	1	0	0	4	-1	10	1	3	0	9	95	129
福井	1	0	0	6	2	0	0	-3	-1	9	27	8	0	6	58	113
山梨	0	0	0	58	0	0	0	-29	-9	3	-9	0	0	1	59	23
長野	-3	1	0	7	0	-2	2	-7	-4	6	-8	-1	0	-1	12	2
岐阜	2	1	0	13	9	2	1	25	-36	-6	89	3	0	16	159	279
静岡	1	0	0	44	4	0	6	14	-49	15	53	-2	0	0	82	168
愛知	5	1	11	56	-13	36	2	94	-319	87	105	4	1	40	234	344
三重	-3	0	72	32	-7	-2	-1	-157	-49	-24	-148	0	0	-4	36	-255
滋賀	2	0	0	24	15	1	3	-23	-4	19	79	0	0	8	85	210
京都	2	0	0	8	4	1	0	27	-1	38	31	6	2	15	204	337
大阪	1	0	20	76	7	13	4	79	4	90	157	12	9	78	1,061	1,611
兵庫	6	1	2	35	7	16	3	-6	3	79	106	9	3	31	338	630
奈良	1	0	0	7	1	1	1	11	1	12	21	1	1	7	85	151
和歌山	3	0	6	14	1	8	0	9	0	9	29	2	0	5	75	160
鳥取	2	0	0	1	0	0	0	8	0	7	7	1	0	3	40	68
島根	2	0	0	1	1	3	0	5	1	6	13	4	0	4	56	97
岡山	4	0	25	39	3	5	2	17	0	32	33	3	0	20	137	320
広島	3	0	2	22	1	90	2	18	-2	34	10	5	1	22	197	405
山口	2	1	16	54	4	13	2	13	8	14	11	6	0	13	109	266
徳島	6	0	0	13	2	0	35	-2	0	21	40	9	0	8	129	262
香川	1	0	10	4	1	0	52	-4	0	9	14	5	0	19	94	200
愛媛	5	0	8	20	2	2	4	10	0	31	17	7	0	12	109	228
高知	3	0	0	0	2	0	0	1	0	4	5	1	0	4	53	75
福岡	4	1	2	2	5	9	1	15	6	35	-18	2	0	23	189	301
佐賀	2	0	0	6	1	0	0	7	-4	14	4	3	0	5	46	86
長崎	4	0	0	1	1	0	9	0	15	14	6	6	0	9	99	160
熊本	5	1	0	11	1	1	1	5	0	5	15	2	0	7	99	152
大分	4	1	10	22	2	2	5	32	1	9	25	4	0	11	95	224
宮崎	9	0	0	9	0	0	0	6	0	14	9	1	0	8	79	136
鹿児島	12	1	0	1	3	0	0	9	0	26	23	5	0	18	144	242
沖縄	3	0	4	0	1	1	0	0	0	8	15	4	0	13	103	152
全国計	-522	-15	79	-1	-284	-719	-322	-3,155	-1,339	-940	-3,508	-524	5	-304	8,075	-3,485

## 1.6 おわりに

本研究は、47 都道府県別・15 産業部門別に影響を定量的に把握することが可能な MRCGE を用いて、東日本大震災がもたらしたマクロ経済的影響を試算したものである。以下では、東日本大震災がもたらした民間企業設備の毀損、サプライチェーンの寸断および電力供給制約といった諸影響を MRCGE によるシミュレーションを実行した。それらの結果の総括表を表Ⅲ-1-10 に示し、得られた知見を以下に示す。

- ① 直接的なマクロ経済的影響である資本ストック毀損額は、4 県合計(岩手県、宮城県、福島県および茨城県)は、16.4 兆円程度であり、対実質 GDP 比 3.15% に相当している。なお、この値は、日本政策投資銀行(2011)を吟味した上で、採用している。
- ② 間接的なマクロ経済的影響を総括すると、2011 年では総額▲1.51~2.83 兆円であり、対 GDP 比 0.29~0.54% と試算された。また、2012 年以降は、▲1.12 兆円/年程度であり、対 GDP 比 0.22% に相当する。
- ③ 民間企業設備の毀損による供給制約がもたらした実質 GDP の変化額は、全国計で▲1.12 兆円/年程度であり、対 GDP 比 0.22% である。また、この厚生の変化は▲671 億円/年であり、一人当たり厚生の変化を見ると、宮城県および岩手県が共に約▲11.53 万円/人年と突出した値を示している。さらに、都道府県別産業部門別生産額の変化は、全国計で▲1.63 兆円/年であり、被災地合計が▲1.81 兆円/年となっている。
- ④ サプライチェーンの寸断による供給制約がもたらした実質 GDP の変化額は、全国計で▲0.39~1.71 兆円程度であり、対 GDP 比 0.07~0.33% に相当する。特に、茨城県は▲0.38 兆円であり、被災地の中でも突出している。また、他地域における実質 GDP は▲0.21~0.67 兆円である。さらに、サプライチェーンの寸断による供給制約による実質 GDP の変化額は、民間企業設備の毀損による供給制約の値よりも大きく、関東地方を始めとする東日本全体に広がっていることが分かる。次に、厚生の変化は▲1.04 兆円であり、その他地域合計では▲0.32 兆円と日本全体の 30.82% を占めている。さらに、厚生の減少は、資本ストックの毀損による供給制約がもたらした影響と比較すると、関東地方を始めとする東日本全体に広がっていることが示された。一方、都道府県別産業部門別生産額の変化は、全国計で▲3.49 兆円と試算された。

今後、東日本大震災の被害規模をより正確に算定することと同時に、国が如何なる財政スキームで復旧・復興を支援するのかについて、早急に方向づける必要があることは言うまでもない。このことは、いち早く、我が国をカラミティ・プルーフ(Calamity-Proof)の国(=「免災」構造の国=如何なる天災に見舞われても被害を最小化でき、何事もなかったかのように復興する国)を創造するための礎ともなろう。

表-III-1-10 東日本大震災のマクロ経済的影響<sup>注1)</sup>  
(2010年実質GDPベース、括弧内は対実質GDP比)

年		2011年	2012年	...	
直接的影響 (ストック)	資本ストック(社会資本・住宅・民間企業整備)の毀損額	▲16.4兆円 (3.15%)			
間接的影響 (フロー)	民間企業設備の毀損による供給制約	▲1.12兆円 (0.22%)	▲1.12兆円 (0.22%)	▲1.12兆円 (0.22%)	
	サプライチェーンの寸断による供給制約 <sup>注2)</sup>	被災地	▲0.18~1.04兆円 (0.03~0.20%)	—	—
		他地域	▲0.21~0.67兆円 (0.04~0.13%)	—	—
		合計	▲0.39~1.71兆円 (0.07~0.33%)	—	—
間接的影響の全国計		▲1.51~2.83兆円 (0.29~0.54%)	▲1.12兆円 (0.22%)	▲1.12兆円 (0.22%)	

注1)何れも、福島第一原子力発電所事故による様々な被害は含んでいない。

注2)数値幅は、「地域間代替弾力性2(被害最小)」と「地域間代替弾力性0.4(被害最大)」を意味する。

## 2. 付表

表一Ⅲ-2-1 都道府県別産業部門別CO<sub>2</sub>排出量(百万tCO<sub>2</sub>)

	農 林 水 産 業	鉱 業	石 油 ・ 石 炭 製 品	化 学 製 品	窯 業 ・ 土 石 製 品	鉄 鋼 製 品	非 鉄 金 属 製 品	機 械	自 動 車	そ の 他 製 造 業	建 築 ・ 土 木	電 力	ガ ス ・ 熱 供 給	運 輸	サ ー ビ ス	最 終 需 要
北海道	2.24	0.29	1.28	0.83	0.49	1.63	0.00	0.05	0.02	1.48	2.94	13.47	1.76	5.19	7.06	15.84
青森	0.29	0.02	0.05	0.04	0.10	0.63	0.01	0.01	0.00	0.26	0.34	2.68	0.33	1.98	0.69	2.61
岩手	0.14	0.01	0.07	0.04	0.08	0.03	0.00	0.03	0.02	0.12	0.38	0.14	0.19	1.64	0.50	1.88
宮城	0.34	0.00	0.79	0.15	0.11	0.06	0.01	0.04	0.01	0.30	0.42	2.50	1.35	3.65	1.08	3.13
秋田	0.07	0.01	0.01	0.06	0.06	0.01	0.01	0.03	0.00	0.09	0.33	4.48	0.99	1.35	0.43	2.60
山形	0.05	0.00	0.02	0.03	0.12	0.00	0.00	0.02	0.00	0.08	0.10	2.50	0.37	1.62	0.26	1.12
福島	0.13	0.00	0.05	0.43	0.22	0.03	0.05	0.09	0.03	0.20	0.43	14.21	0.13	2.92	0.74	2.88
茨城	0.60	0.02	6.95	11.82	0.55	2.36	0.23	0.25	0.04	1.20	1.05	8.21	0.39	9.61	2.79	8.49
栃木	0.21	0.03	0.03	0.11	0.11	0.21	0.05	0.08	0.05	0.29	0.39	1.36	0.00	3.42	0.83	3.28
群馬	0.08	0.01	0.03	0.13	0.11	0.06	0.02	0.08	0.12	0.24	0.25	3.41	0.80	2.37	0.85	3.03
埼玉	0.16	0.01	0.23	0.33	0.38	0.12	0.06	0.17	0.16	0.66	0.77	7.94	4.82	7.22	2.55	10.30
千葉	0.60	0.03	5.85	30.62	0.72	11.10	0.10	0.18	0.00	1.13	1.78	51.91	14.32	20.73	5.01	20.59
東京	0.12	0.00	0.05	0.13	0.18	0.04	0.00	0.08	0.05	0.42	1.46	26.75	22.38	24.86	7.89	22.37
神奈川	0.10	0.00	3.44	6.86	0.40	2.00	0.03	0.15	0.16	0.52	0.86	23.17	23.01	7.41	3.13	8.06
新潟	0.13	0.01	0.14	0.79	0.29	0.09	0.01	0.05	0.00	0.50	0.71	15.29	3.29	3.17	0.73	4.42
富山	0.18	0.22	0.45	0.40	0.21	0.41	0.12	0.27	0.08	0.64	0.86	2.68	0.57	1.29	1.89	3.81
石川	0.17	0.02	0.04	0.05	0.10	0.02	0.01	0.11	0.00	0.27	0.37	4.08	0.23	0.63	0.63	1.96
福井	0.04	0.00	0.02	0.16	0.10	0.06	0.01	0.03	0.00	0.14	0.23	1.92	0.20	1.21	0.26	0.78
山梨	0.04	0.00	0.02	0.03	0.07	0.00	0.00	0.04	0.00	0.08	0.23	0.06	0.21	1.20	0.36	0.97
長野	0.15	0.01	0.03	0.06	0.15	0.01	0.01	0.11	0.02	0.17	0.34	7.96	0.74	2.25	0.93	1.79
岐阜	0.05	0.01	0.07	0.07	0.45	0.04	0.01	0.05	0.03	0.27	0.45	0.26	0.58	3.38	0.74	2.38
静岡	0.27	0.00	0.12	0.39	0.21	0.04	0.06	0.11	0.20	0.83	0.69	2.10	0.44	4.65	1.63	4.95
愛知	0.33	0.01	0.70	0.62	1.10	4.98	0.10	0.21	0.78	1.02	1.07	33.74	12.19	11.05	3.13	9.70
三重	0.27	0.07	3.36	3.26	0.32	0.04	0.03	0.14	0.10	0.27	0.63	5.58	0.83	1.04	1.08	14.16
滋賀	0.02	0.00	0.00	0.24	0.54	0.03	0.02	0.14	0.08	0.24	0.24	0.14	0.53	1.38	0.57	1.36
京都	0.03	0.00	0.03	0.07	0.17	0.12	0.01	0.05	0.01	0.23	0.21	9.28	4.57	2.19	0.81	2.08
大阪	0.05	0.00	1.87	3.43	0.26	0.42	0.08	0.23	0.03	0.61	0.78	10.03	14.51	9.41	4.46	13.62
兵庫	0.24	0.14	0.26	0.71	0.60	4.48	0.04	0.28	0.03	1.10	1.34	17.27	7.44	2.75	4.04	7.89
奈良	0.03	0.00	0.00	0.07	0.06	0.00	0.00	0.04	0.00	0.15	0.29	0.54	0.90	1.72	0.49	1.50
和歌山	0.04	0.01	1.24	0.45	0.05	0.93	0.00	0.01	0.00	0.69	0.10	1.43	0.52	1.39	0.42	2.65
鳥取	0.13	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.00	0.02	0.00	0.09	0.19	1.13	0.17	0.89	0.28	1.36
島根	0.12	0.01	0.03	0.04	0.09	0.04	0.00	0.02	0.00	0.05	0.33	3.59	0.18	1.09	0.38	1.55
岡山	0.06	0.00	2.00	9.93	0.28	4.79	0.03	0.05	0.03	0.28	0.41	4.50	0.56	3.87	0.72	3.28
広島	0.14	0.01	0.37	0.38	0.15	3.74	0.03	0.11	0.11	0.46	0.66	7.29	1.90	6.49	1.77	4.93
山口	0.14	0.02	1.82	5.42	0.43	0.17	0.02	0.04	0.04	0.28	0.41	9.83	0.53	3.20	0.73	3.00
徳島	0.09	0.00	0.02	0.34	0.02	0.06	0.00	0.03	0.00	0.34	0.21	2.35	0.06	1.10	0.47	1.65
香川	0.09	0.01	4.13	0.16	0.12	0.08	0.22	0.01	0.00	0.16	0.26	0.88	0.08	2.30	0.45	2.04
愛媛	0.36	0.00	0.76	4.07	0.16	0.05	0.06	0.03	0.00	1.08	0.63	3.29	0.00	3.26	0.76	3.46
高知	0.22	0.02	0.00	0.01	0.15	0.03	0.00	0.00	0.00	0.03	0.30	1.16	0.10	1.33	0.36	1.19
福岡	0.21	0.02	0.19	0.54	0.64	3.86	0.01	0.05	0.06	0.26	0.53	11.28	3.45	7.28	2.03	6.15
佐賀	0.11	0.00	0.05	0.04	0.08	0.00	0.00	0.04	0.01	0.15	0.23	0.11	0.16	1.23	0.48	1.17
長崎	0.34	0.00	0.03	0.02	0.08	0.00	0.00	0.04	0.00	0.10	0.41	10.41	0.42	2.18	0.74	1.36
熊本	0.29	0.00	0.06	0.11	0.10	0.02	0.01	0.03	0.03	0.33	0.28	4.45	0.48	3.49	0.90	1.92
大分	0.14	0.03	0.94	4.63	0.20	4.16	0.03	0.02	0.00	0.07	0.27	5.73	0.35	2.58	0.43	1.87
宮崎	0.28	0.00	0.00	0.35	0.06	0.14	0.00	0.05	0.00	0.18	0.34	0.23	0.15	2.45	0.57	1.91
鹿児島	0.29	0.01	0.04	0.05	0.15	0.00	0.00	0.01	0.00	0.14	0.24	0.40	0.96	3.06	0.68	1.83
沖縄	0.17	0.09	0.10	0.01	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.08	0.62	5.10	0.09	1.22	1.46	2.77
全国	8.11	1.15	37.77	88.48	11.16	47.1	1.49	3.68	2.3	18.28	26.36	346.82	128.23	189.7	69.19	221.6

表-III-2-2 2005年都道府県別産業部門別生産割合(%)

	農 林 水 産 業	鉱 業	石 油 ・ 石 炭 製 品	化 学 製 品	窯 業 ・ 土 石 製 品	鉄 鋼 製 品	非 鉄 金 属 製 品	機 械	自 動 車	そ の 他 製 造 業	建 築 ・ 土 木	電 力	ガ ス ・ 熱 供 給	運 輸	サ ー ビ ス	全 産 業
北海道	5.3	0.4	2.2	0.7	0.6	1.7	0.0	1.1	0.7	10.3	8.7	1.6	0.2	5.2	61.2	100.0
青森	5.2	0.4	0.1	0.6	0.6	1.4	1.7	5.7	0.0	9.9	8.9	1.6	0.1	4.7	59.2	100.0
岩手	4.5	0.2	0.1	1.3	0.8	0.9	0.3	9.4	5.9	10.2	7.3	1.1	0.1	4.3	53.8	100.0
宮城	2.2	0.1	2.2	1.7	0.6	1.6	0.6	6.1	0.8	10.3	6.9	1.6	0.1	5.4	59.7	100.0
秋田	3.7	0.3	0.1	1.2	0.7	0.3	0.6	12.2	0.6	8.1	8.9	2.8	0.3	4.1	56.1	100.0
山形	3.7	0.1	0.1	3.3	1.3	0.4	1.0	18.1	1.4	10.5	6.5	1.0	0.1	4.1	48.5	100.0
福島	2.0	0.1	0.0	5.4	1.2	0.7	1.3	15.5	2.4	8.8	5.7	9.4	0.1	4.4	42.8	100.0
茨城	1.9	0.1	2.3	9.5	1.3	5.6	2.1	12.4	1.7	12.0	4.9	2.4	0.1	5.0	38.8	100.0
栃木	1.9	0.4	0.1	6.8	0.8	1.9	2.7	16.9	7.3	12.1	5.8	0.7	0.1	3.3	39.1	100.0
群馬	1.5	0.1	0.0	4.2	0.6	1.1	1.2	15.3	12.5	12.1	5.3	1.2	0.1	3.1	41.7	100.0
埼玉	0.6	0.0	0.1	5.5	0.7	0.9	0.9	10.6	6.0	10.4	6.6	0.9	0.3	5.3	51.3	100.0
千葉	1.3	0.2	5.6	8.5	0.7	6.9	0.6	3.8	0.2	8.3	6.5	2.7	0.4	7.0	47.5	100.0
東京	0.0	0.0	0.1	1.0	0.2	0.2	0.1	3.2	0.7	3.1	5.5	0.9	0.3	4.9	79.9	100.0
神奈川	0.2	0.0	5.0	5.2	0.6	1.8	0.4	7.6	5.7	7.4	5.6	1.3	0.5	5.4	53.3	100.0
新潟	2.2	0.6	0.2	3.8	0.8	1.3	0.4	10.1	0.5	10.7	9.4	4.8	0.3	4.5	50.5	100.0
富山	1.3	0.1	1.4	8.7	0.9	1.8	3.8	11.2	1.2	13.6	6.2	2.0	0.1	3.0	44.6	100.0
石川	1.2	0.1	0.1	2.2	0.6	0.4	0.5	16.1	1.2	10.7	6.6	2.7	0.0	3.5	54.1	100.0
福井	1.1	0.1	0.1	5.9	1.2	0.3	1.9	12.0	1.2	10.2	9.6	10.5	0.0	4.4	41.5	100.0
山梨	1.6	0.1	0.0	3.5	1.0	0.1	0.8	23.5	1.6	8.4	7.1	1.0	0.0	3.7	47.3	100.0
長野	1.8	0.2	0.1	1.8	0.6	0.2	0.6	24.1	2.6	7.8	6.0	1.5	0.1	3.9	48.8	100.0
岐阜	1.2	0.3	0.1	5.0	2.7	1.0	0.5	13.3	2.3	14.5	6.9	1.8	0.1	3.6	46.7	100.0
静岡	1.0	0.1	0.0	6.4	0.7	0.6	1.3	13.2	13.5	12.8	5.5	1.3	0.2	9.5	33.8	100.0
愛知	0.5	0.0	0.5	3.7	0.9	2.8	0.7	8.7	23.9	8.0	4.8	1.1	0.3	4.8	39.3	100.0
三重	1.2	0.1	4.1	10.3	1.7	0.6	2.6	20.5	10.9	7.3	5.3	2.1	0.1	3.6	29.6	100.0
滋賀	0.7	0.1	0.1	11.2	3.0	0.8	1.1	19.7	6.8	10.8	6.9	0.0	0.2	2.7	35.8	100.0
京都	0.5	0.1	0.0	1.9	1.0	0.3	0.6	11.4	2.3	12.5	5.5	1.1	0.4	4.4	58.1	100.0
大阪	0.1	0.0	1.7	4.5	0.3	2.6	0.6	7.9	0.6	7.0	4.8	0.9	0.5	5.4	63.2	100.0
兵庫	0.6	0.1	0.2	5.5	0.7	7.1	0.6	9.6	1.4	12.2	5.6	1.2	0.4	4.7	49.9	100.0
奈良	1.0	0.1	0.1	3.7	0.5	0.5	0.5	17.8	1.4	10.2	7.2	0.9	0.3	3.9	52.1	100.0
和歌山	1.8	0.4	8.0	5.7	0.5	20.4	0.1	5.4	0.1	7.1	5.2	1.3	0.2	4.3	39.5	100.0
鳥取	2.9	0.1	0.1	0.6	0.4	0.4	0.0	15.2	0.5	13.4	8.3	1.4	0.1	4.5	51.9	100.0
島根	2.4	0.3	0.0	1.1	1.0	3.7	0.3	10.1	1.2	5.7	11.1	4.8	0.1	3.9	54.2	100.0
岡山	1.1	0.1	6.3	10.1	1.0	11.0	0.6	6.7	5.2	8.9	5.4	1.2	0.1	5.3	37.1	100.0
広島	0.8	0.1	0.3	3.7	0.4	9.2	0.8	7.9	6.1	9.1	6.2	1.8	0.2	5.9	47.6	100.0
山口	1.0	0.2	7.0	14.5	1.5	4.2	0.9	3.7	7.8	7.3	5.7	2.5	0.1	5.1	38.6	100.0
徳島	3.0	0.1	0.0	10.0	0.6	0.4	0.1	10.9	0.0	12.4	6.0	1.8	0.1	5.6	49.1	100.0
香川	2.0	0.2	4.7	2.8	1.0	0.8	3.1	4.3	0.1	13.7	6.1	1.6	0.1	6.1	53.6	100.0
愛媛	2.5	0.2	2.7	7.4	0.9	1.1	3.5	9.0	0.0	15.1	5.4	2.7	0.0	5.4	43.9	100.0
高知	4.4	0.6	0.0	0.5	1.3	0.6	0.0	4.5	0.9	7.0	9.1	1.4	0.1	5.9	63.6	100.0
福岡	0.9	0.1	1.5	2.4	1.1	4.0	0.2	3.2	6.1	6.8	5.4	0.9	0.2	6.0	61.4	100.0
佐賀	3.6	0.2	0.1	4.0	0.9	0.4	0.7	9.3	1.8	14.0	7.0	4.9	0.1	4.9	48.1	100.0
長崎	3.4	0.2	0.0	0.4	0.6	0.5	0.0	7.8	0.0	14.8	6.0	3.4	0.2	5.3	57.4	100.0
熊本	4.3	0.2	0.1	2.6	0.6	0.4	0.2	9.5	4.8	9.3	6.3	0.7	0.1	5.1	55.7	100.0
大分	2.3	0.4	5.0	7.5	1.1	10.8	1.4	10.4	1.5	5.9	5.4	2.5	0.1	5.3	40.4	100.0
宮崎	6.7	0.1	0.1	4.9	0.6	0.2	0.0	4.6	0.7	10.2	9.5	0.8	0.1	5.2	56.4	100.0
鹿児島	6.0	0.3	0.1	0.4	1.4	0.0	0.1	5.4	0.1	12.3	8.7	2.2	0.2	7.2	55.5	100.0
沖縄	1.7	0.2	2.5	0.2	0.8	0.4	0.1	0.2	0.0	5.0	11.0	2.5	0.1	8.2	67.1	100.0
全国	1.3	0.1	1.6	4.2	0.7	2.5	0.7	8.2	4.5	8.5	6.3	1.8	0.3	5.1	54.2	100.0

### 3. 参考文献

- 1) Burniaux, J.M. and T.P. Truong (2002): GTAP-E: An Energy-Environmental Version of the GTAP Model, GTAP Technical Paper, No.16.
- 2) 環境省(2011): 2009年度(平成21年度)温室効果ガス排出量確定値.
- 3) 環境省(2010): 平成23年度環境省税制改正要望の結果について.
- 4) 小林潔司(2000): 地域間公平性を巡る論点と課題, 運輸政策研究, Vol.3, No.3, pp.16-26.
- 5) Hertel, T.W. and M.E. Tsigas (1997): Structure of GTAP, Global Trade Analysis: Modeling and Applications, Cambridge University Press.
- 6) Dixon, P.D., B.R. Parmenter, J. Sutton and D.P. Vincent (1982): ORANI, A Multi-Sectoral Model of the Australian Economy, North-Holland.
- 7) Horridge, J.M., B.R. Parmenter and K.R. Pearson (2000): ORANI-G: A General Equilibrium Model of the Australian Economy, Centre of Policy Studies and Impact Project, Monash University, Australia.
- 8) Peter, M.W., M. Horridge, G.A. Meagher, F. Naqvi and B.R. Parmenter (1996): The Theoretical Structure of MONASH-MRF, Centre of Policy Studies/IMPACT Centre Working Papers, No.OP-85.
- 9) Philip, D.J., J.M. Horridge and B.R. Parmenter (2000): MMRF-GREEN: A Dynamic, Multi-Sectoral, Multi-Regional Model of Australia, Centre of Policy Studies/IMPACT Centre Working Papers, No.OP-94.
- 10) 宮城俊彦・本部賢一(1993): SCGEモデルによる地域間交易量の推定法に関する研究, 土木計画学研究・講演集 No.16(1), pp.879-886.
- 11) 宮城俊彦・本部賢一(1994): SCGEによる土地利用/交通統合モデルの一般化, 地域学研究, Vol.25, No.1, pp.131-146.
- 12) 小池淳司・石川良文・上田孝行・河野貢(2003): 都市圏政策評価のための計量厚生フレームの開発と応用, 土木計画学研究・論文集, Vol.20, pp.79-85.
- 13) 孟渤・安藤朝夫(2006): 価格差を考慮した中国経済のSCGEモデル: 地域間産業連関表による検証と実証分析, 土木学会論文集D, Vol.62, No.1, pp.145-156.
- 14) 檜垣史彦・水谷誠・土谷和之・小池淳司・上田孝行(2008): 準動学的SCGEモデルによる国際物流需要予測および港湾整備の便益評価, 運輸政策研究, Vol.10, No.4, pp.21-32.
- 15) 久武昌人・山崎清(2006): 独占的競争を取り入れた多地域CGEモデルの構築, RIETI Discussion Paper Series, 06-J-046.
- 16) 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: Forward Looking の視点に基づく地域経済分析, RIETI Discussion Paper Series, 07-J-043.
- 17) 武田史郎・伴金美(2008): 貿易自由化の効果における地域間格差: 地域間産業連関表を利用した応用一般均衡分析, RIETI Discussion Paper Series, 08-J-053.
- 18) 濱崎博(2001): 温室効果ガス低減と持続的経済成長を目指した国内対策の在り方, Economic Review, Vol.5, No.2, pp.78-101.
- 19) 朴勝俊(2002): 環境税制改革の応用一般均衡(CGE)分析, 国民経済雑誌, Vol.186, No.2, pp.1-16.
- 20) 鷺田豊明(2005): 環境税と消費者選好のリンケージ効果について, 地球環境学, 上智地球環境学会, No.1, pp.51-67.
- 21) Kasahara, S., S. Paltsev, J. Reilly, H. Jacoby and A.D. Ellerman (2007): Climate Change Taxes and Energy Efficiency in Japan, Environmental and Resource Economics, Vol.37, pp.377-410.
- 22) 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 CO<sub>2</sub>削減策の分析: 中長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, pp.1-31.
- 23) 総務省(2010): 平成17年産業連関表.
- 24) 宮城俊彦・石川良文・由利昌平・土谷和之(2003): 地域内産業連関表を用いた都道府県間産業連関表の作成, 土木計画学研究・論文集, Vol.20, No.1, pp.87-95.
- 25) 石川良文・宮城俊彦(2004): 全国都道府県間産業連関表による地域間産業連関構造の分析, 地域学研究, Vol.34, No.1, pp.139-152.



- 26) 石川良文(2005a): 地域産業連関分析における地域間交易推計のための Non-Survey 手法の評価, 南山大学研究, Vol.19, No.3, pp.369-382.
- 27) 石川良文(2005b), 地域環境 SAM の構築と課題, 南山大学研究, Vol.20, No.3, pp.251-262.
- 28) 林山泰久・森杉壽芳・河野達仁・石川良文・坂本直樹・中寫一憲(2010): 平成 21 年度環境経済の政策研究『温室効果ガス排出抑制政策評価のための GTAP-E 連動型 SCGE モデルの開発』報告書, 環境省総合環境政策局.
- 29) Takeda,S.(2007): The Double Dividend from Carbon Regulation in Japan, Journal of the Japanese and International Economics, Vol.21, No.3, pp.336-364.
- 30) 金子敬生(1971): 産業連関表の理論と適用, 日本評論社.
- 31) Hosoe,N., K.Gasawa and H.Hashimoto(2010): Textbook of Computable General Equilibrium Modeling, Palgrave Macmillan.
- 32) Armington,P.S.(1969): A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production, International Monetary Fund Staff Papers, Vol.16, pp.159-176.
- 33) (独)国立環境研究所地球環境研究センター(2005): 産業連関表による環境負荷原単位データベース(Embodied Energy and Emission Intensity Data for Japan Using Input-Output Tables, 3EID).
- 34) 福井俊彦編(2010): 地球温暖化対策中期目標の解説, ぎょうせい.
- 35) 大竹文雄(2000): 90 年代の所得格差, 日本労働研究雑誌, No.480, pp.2-11
- 36) 宮沢敏郎(2008): 日本経済と地域間格差のマクロ分析, 岩手県立大学宮古短期大学部研究紀要, Vol.19, No.1, pp.11-25.
- 37) 岳希明(1995): 戦後日本における県民所得格差の縮小と県民要素賦存の変化, 日本経済研究, No.29, pp126-160.
- 38) 林宜嗣(2004): 公共投資と地域経済—道路投資を中心に—, フィナンシャル・レビュー, Vol.74, No.5, pp.52-64.
- 39) 豊田敬(2005): 不平等解析—ジニ係数と変動係数—, 経営志林, Vol.41, No.4, pp.131-135.
- 40) 阿部雅浩・林山泰久・武藤慎一(2011): 47 都道府県 Multi-Regional CGE による GHG 排出削減政策の評価, Tohoku Economics Research Group, Discussion Paper, No.269, pp.1-15.
- 41) 林山泰久・阿部雅浩・武藤慎一(2012): 47 都道府県 Multi-Regional CGE による GHG 排出削減政策の評価: Revised Version, 応用地域学研究. (投稿中)
- 42) Ianchovichina, E. and R.McDougall(2000): Structure of Dynamic GTAP, GTAP Technical Paper, No.18.
- 43) Rutherford,T.F. and S.V.Paltsev(2000): GTAPinGAMS and Gtap-EG: Global Datasets for Economic Research and Illustrative Models, Working Paper, Department of Economics, University Colorado, pp.1-64.
- 44) Fischer,C. and A.K.Fox(2007): Output-Based Allocation of Emissions Permits for Mitigating Tax and Trade Interaction, Land Economics, Vol.83, No.4, pp.575-599.
- 45) Narayanan,G. and T.L.Walmsley eds.(2008): Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP7 Data Base, Center for Global Trade Analysis, Department of Agricultural Economics, Purdue University.
- 46) 環境省(2010): 我が国における国内排出量取引制度の在り方について(中間整理), 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, pp.1-96.
- 47) 内閣府(2011a): 東北地方太平洋沖地震のマクロ経済的影響の分析, 月例経済報告等に関する関係閣僚会議, 震災対応特別会合資料, pp.1-7, 2011.
- 48) 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, pp.131, pp.1-24.
- 49) 長内智(2011): 震災後の供給制約が GDP ギャップへ与える影響について, 大和総研, Economic Report, pp.1-6.
- 50) 石丸康宏(2011): 東日本大震災の経済的影響について(その 1): 生産サイドからの分析, 三菱東京 UFJ 銀行, 経済レビュー, No.2011-1, pp.1-15.
- 51) 石丸康宏・高山真(2011): 東日本大震災の経済的影響について(その 2): 需要サイドからの分析, 三菱東京 UFJ 銀行, 経済レビュー, No.2011-3, pp.1-15.

- 52) 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について: エリア別 (県別 / 内陸・沿岸別) に推計, DBJNews.
- 53) 上野山智也・荒井信幸(2007): 巨大災害による経済被害をどう見るか: 阪神・淡路大震災, 9/11 テロ, ハリケーン・カトリーナを例として, ESRI Discussion Paper Series, No.177, pp.1-18.
- 54) 内閣府(2011b): 東日本大震災における被害額の推計について, 内閣府防災担当, pp.1-3.
- 55) 内閣府(2011c): 東日本大震災の経済的影響(各省庁提出資料の抜粋), pp.1-5.
- 56) 中野一慶・多々納裕一(2008): 産業間の相互依存性を考慮した自然災害による経済被害の整合的評価方法, 土木計画学研究・論文集, Vol.25, No.1, pp.255-266.
- 57) 中野一慶・多々納裕一(2009): 中間財の代替にかかる費用が被災地経済の回復過程に及ぼす影響: 二部門経済成長モデルを用いて, 京都大学防災研究所年報, Vol.52, B, pp.121-133.