

応用一般均衡分析を用いた
炭素税導入に伴う社会的厚生変化の計測

平成23年2月23日

京都大学工学部地球工学科土木工学コース

鶴田 拓志

要 旨

現在、地球温暖化問題に対して各国で様々な取り組みが検討されており、環境政策に対する評価の重要性がますます認識されてきている。環境政策導入の検討の際には、二酸化炭素排出量と各種経済指標の変化を定量的に分析することが不可欠である。本研究では、公共事業の評価についてすでに定型で行われている部分均衡分析に基づく、費用便益分析のような直接効果のみの評価だけでなく、他産業への間接効果についても定量的に把握できる応用一般均衡モデルを構築する。近年世界で導入が検討されている炭素税を導入した際の二酸化炭素排出量の変化、また社会的厚生の変化、すなわち税制導入に伴う死荷重損失をシミュレーションモデルを用いて定量的に分析する。日本経済一国を対象として経済全体にどのような影響を与えるのか実証的に分析し、有益な政策的含意を導出する。

目次

| | | |
|-------|-----------------------------|----|
| 第1章 | はじめに | 1 |
| 第2章 | 本研究の基本的考え方 | 3 |
| 2.1 | 応用一般均衡分析の特徴 | 3 |
| 2.2 | 従来の研究概要 | 3 |
| 2.3 | エネルギー財の分類と二酸化炭素排出計算 | 5 |
| 2.4 | 消費者余剰と社会的厚生変化 | 6 |
| 第3章 | モデルの概要 | 7 |
| 3.1 | 前提条件 | 7 |
| 3.2 | 企業の行動モデル | 7 |
| 3.3 | 家計の行動モデル | 11 |
| 3.4 | 政府 | 13 |
| 3.5 | 財市場と生産要素市場の均衡条件 | 14 |
| 第4章 | データセット作成およびモデルの推計（カリブレーション） | 16 |
| 4.1 | データセット作成 | 16 |
| 4.2 | カリブレーション | 17 |
| 4.2.1 | 生産関数のパラメータ決定 | 17 |
| 4.2.2 | 消費関数のパラメータ決定 | 19 |
| 4.3 | 代替の弾力値の設定 | 20 |
| 第5章 | シミュレーション | 21 |
| 5.1 | モデルの全容 | 21 |
| 5.2 | マクロ指標 | 24 |
| 5.3 | 産業別の影響 | 24 |
| 5.4 | 家計への影響 | 26 |
| 5.5 | 感度分析 | 26 |

| | |
|------------|-----|
| 第6章 おわりに | 27 |
| 参考文献 | 29 |
| 付録A 付図，付表 | 付-1 |
| A.1 第2章の図表 | 付-1 |
| A.2 第3章の図表 | 付-2 |
| A.3 第4章の図表 | 付-3 |
| A.4 第5章の図表 | 付-7 |

第1章 はじめに

1997年12月に気候変動枠組み条約第3回締約国会議で採択された京都議定書において、二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの排出削減目標が定められて以降、環境に対する目標値が日本はもちろん各国で設定されている。2020年までに1990年度比で25%削減するといった政府の削減目標値が設定されている中、2008年から2012年までの期間中に、先進国全体の温室効果ガスの合計排出量を基準年と比べ少なくとも5%削減することを規定した第一約束期間に差し掛かっている。日本にも第一約束期間の5年間において温室効果ガス排出量を6%削減するという目標値が京都議定書によって割り当てられているにもかかわらず、基準年度比での温室効果ガスの排出量は確実に増加傾向にあり、目標の達成のためには政府の適切な政策導入が重要となってきた。

このように地球温暖化問題の重要性が高まるにつれ、単にプロジェクトのコスト面を評価をするだけでなく、環境面に対する評価はもはや必要不可欠である。経済学においても地球温暖化防止策、特に二酸化炭素の排出規制が重要なテーマとして認識されるようになってきている。その種の分析では、応用一般均衡モデル(CGEモデル)によるシミュレーション分析が主要な分析方法の一つとなっており、CGEモデルを用いた様々な二酸化炭素排出規制の分析が世界各地で行われている。しかし、日本においては環境問題に関する定量的な評価の研究は端緒にすぎたばかりである。

地球温暖化対策として、増加し続ける温室効果ガス排出量を抑制するため日本でも炭素税の導入が検討されている。炭素税とは、地球温暖化の原因となる温室効果ガス、とりわけその大部分を占める二酸化炭素の排出量に直接課税することで、その排出を抑制しようとするものであり¹⁾、二酸化炭素排出という外部不経済を内部化する働きをもつ。炭素税を導入することによる効果を分析する際、まず第一の目的は、税政策導入により得られる環境改善効果を予測することにある。第二に、税制導入に伴う経済厚生の変化を予測することにあるが、その際経済の代替の弾力性に依存することを念頭に置かなければならない。すなわち、代替の弾力性が大きいような経済状態では炭素税導入による経済損失は小さいと考えられている

が、日本経済の現状を考慮した上で件案を導入すべきか検討しなければならない。

本研究では税政策評価のための応用一般均衡モデルを構築し、炭素税導入による二酸化炭素排出量と社会的厚生の変化とをシミュレーション分析し、当該産業だけでなく、他の産業全体にどのような影響を与えるのか明らかにすることを目的とする。以下、まず2. ではCGEモデルの特徴と本研究の基本的な考え方を示す。3. で本研究の目的である、炭素税を導入した際の厚生変化を計測するために構築するモデルを説明し、各主体の行動を定式化する。4. でモデルに適用するデータセットを作成し、モデル内で設定したパラメータの推定のため、カリブレーションの方法を述べ、5. で政策案を導入した際の効果をシミュレーション分析し、政策の導入効果を示唆する。

第2章 本研究の基本的考え方

2.1 応用一般均衡分析の特徴

応用一般均衡分析は、環境政策、貿易政策、税政策などさまざまな政策の効果を分析するために用いられている。一般均衡理論の枠組みに現実経済のデータを組み入れることにより、具体的な政策の効果を定量的に評価できるところに大きな特徴がある。政策導入において、消費者の効用の変化といった目に見えない社会的費用をきちんと考慮に入れるには定量的分析が不可欠である。税政策、地球温暖化対策のように幅広く複雑な政策については、公共事業評価の分野においてすでに定型が決まりつつある費用便益分析のような直接効果のみを評価できる手法ではなく、他産業へのインパクト等の間接効果についても定量的に把握できるCGEモデルを用いた検討が広く行われている。CGEモデルとはミクロ経済理論をベースとした分析手法であり、それを用いることにより経済主体の行動を構造的にとらえ、経済政策の変更が経済主体の行動、資源配分、所得配分や経済厚生にどのような影響を与えるかを評価できる。またCGE分析では、技術構造をCES関数などを用いることで重要な市場における価格弾力性、代替の弾力性を現実に合わせて設定でき、実証分析に基づいた推計値を当てはめて、それらの経済主体の行動の変化の傾向と経済政策との関係の感度分析など政策評価を精密に行うことができる。

2.2 従来の研究概要

政策評価を目的とした応用一般均衡モデルとしては、これまで多くの研究が蓄積されている。税政策分析としてはHarberger²⁾が部門別資本配分の変化から差別的課税がもたらす資源配分の歪みによる社会的損失を分析している。その研究の延長としてShoven and Whalley³⁾が、部門別の資本所得に対する差別的な税率による課税がアメリカ経済にもたらす歪みを分析しており、一般均衡租税モデルの先駆的研究として体系立てて以後、多くの研究が蓄積されてきている。近年では環境に対する関心が強まってきている中、朴⁴⁾、及び川瀬等¹⁾らの研究において環境税を導入し

た際、経済に歪みを与えている既存の税の引き下げに当て、税収中立とした場合の経済指標の改善が示唆されている。また、環境税の政策評価の研究として、鷲田⁵⁾は炭素税とエネルギー効率に関するリバウンド効果についての分析のために環境政策モデルEPAMを開発した。さらに産業廃棄物税が全国的に実施された場合の最終処分抑制効果、リサイクル促進効果についての分析も行い、環境負荷である二酸化炭素排出についての削減効果を示唆している。加えて税収中立のシミュレーションも行い、産業廃棄物税に対応する所得税の減税、資本税の減税という税制改革を随伴させることによって同じ規模の効果を社会厚生水準の大幅な低下を回避しながら実現されることを分析している。

環境税政策に限らず、地球温暖化問題の分析に活用するモデルを構築する際、基本的には化石燃料を燃焼した際に排出する二酸化炭素について分析するため、エネルギー財の取り扱い方が重要となってくる。温暖化対策分析用のCGEモデルは世界中の様々な機関によって作成されているが、その中でもHenry and John等⁶⁾が開発したEPPAモデルは様々な新エネルギー、新技術を導入した際の分析を行っており、在来型技術の元では電力部門は化石燃料、原子力、水力の3つのエネルギーによって発電されると仮定しているなど、どのエネルギーで発電を行っているかを詳細に考慮しているところに特徴がある。

また武田、川崎等^{7),8)}は、生産関数や効用関数などの構造はEPPAモデルを参考に日本国を対象とした一国CGEモデルを構築し、在来型エネルギー財を石炭、原油、天然ガス、石油製品、石炭製品、ガス・熱供給、電力の7つに分割し、二酸化炭素排出源となるのは電力を除いた6つのエネルギー財であるとして分析を行っている。また運輸部門についてもEPPAモデル同様、エネルギー起源二酸化炭素排出量の2割強を占めており、温暖化分析において重要性の高い部門であることに注目し、運輸部門の中でも二酸化炭素排出量の5割以上を占める自家輸送を各産業から独立させて設けている。エネルギー財の中の石油製品については自家用車に利用される部分とそれ以外に利用される部分を分割し、別に扱うことにするなど、エネルギー投入に関して詳細に分類を行っているところに特徴がある。分析目的によって想定するモデルの構造がさまざまなところが応用一般均衡モデルの特徴の一つであるが、本研究では地球温暖化対策として、まず炭素税を導入した際の経済厚生の変化を計測するためのモデルを構築する。次節では二酸化炭素を排出するエネルギー財の取り扱い方について整理する。

2.3 エネルギー財の分類と二酸化炭素排出計算

炭素税とは、環境破壊や資源の枯渇に対処する取り組みを促す環境税の一種であり、具体的には石炭・石油・天然ガスなどの化石燃料に、炭素の含有量に応じて税金をかけて価格を引き上げることで需要を抑制し、結果として二酸化炭素の排出量を抑えるという経済的な政策手段であり、世界各地で導入が検討されている。二酸化炭素の排出量に関して分析している研究は数多く存在するが、排出量の取り扱い方は様々である。川瀬¹⁾のモデルでは各産業部門ごとに二酸化炭素の排出係数を求め、各産業の財の生産量に対して炭素税を課税している。また鷺田⁵⁾は二酸化炭素排出はエネルギー利用から来るものだけを把握しており、その最も重要な特徴として、原油、石炭、天然ガスの1次エネルギー源投入段階、およびエネルギー製品輸入段階で潜在的な二酸化炭素排出量を把握し、その後、素材原料として利用される化学製品部門が投入するナフサとしての利用分を控除する方法をとっている。企業の生産関数に関しては、エネルギーを石油、石炭、電力、ガスを要素として、基本的な生産要素である労働、資本との代替を考慮している。

武田、川崎等^{7),8)}の開発したモデルでは、前述のようエネルギー部門をさらに細分化している。石炭、原油、天然ガス部門は産業連関表の鉱業部門から分離させることで明示的に取り扱っている。二酸化炭素は化石燃料を燃焼した際に排出するもので、原材料として使用した場合には二酸化炭素は発生しないので、例えば、石炭製品部門に投入される石炭や石油製品部門に投入される原油など非燃焼用途で利用される部分については、生産関数においてエネルギー財としては扱わず、非エネルギー財と同じ扱いにしている。また非燃焼用途でのエネルギー投入に関しては当然二酸化炭素排出はないと仮定している。また直接排出量で把握しているので、電力、熱供給については当該部門に二酸化炭素排出が全て計上されている⁹⁾。

上記のよう、エネルギー財に関してモデルの構造を変化させることで、エネルギーの利用、消費段階で二酸化炭素排出量を計算することができる。本研究ではエネルギー部門に関して、石油製品、石炭製品、電力、ガスの4つの部門に分割し、各部門のエネルギー投入段階で二酸化炭素排出を計上する方法をとることにした。武田、川崎等⁸⁾のモデルでは二酸化炭素の排出源となるのは電力を除いた他のエネルギー財であるとしているが、本モデルでは鉱物部門に含まれている石炭、原油、天然ガスを明示的に取り扱っていない。代わりにそれらの主な需要先が石油製品、石

炭製品，電力部門，ガス熱・供給部門であることを考慮し，電力部門を二酸化炭素排出源としている。

2.4 消費者余剰と社会的厚生変化

本節ではモデルの定式化に入る前に，本研究の目的である厚生変化の計測方法について基本的な考え方を述べる。

税政策を導入した効果を評価する際には，価格の変化による消費者の厚生の変化を考慮しなければならない。消費者余剰はこのような厚生の変化を測る一つの方法である。厚生の変化には測度としてある政策によって生じる効用の変化が使用され，一般均衡の枠組みでは等価変分が厚生変化の測度として一般に用いられている。これは現状維持の時の価格を基準にして，現在の価格体系のもとで所得がどれだけ変化すると，提案されている政策変化のもとでの状態と相当になるかを調べている。税の効果の厳密な分析を実際に行うことは明らかに複雑である。よって必ずしも望ましいことではないが，一般に簡単化のため需要関数が所得に依存せず，補償関数が所得について1次式になると仮定する。この仮定により等価変分は消費者余剰の変化と利潤の変化，および税金によって測ることができる。この等価変分は図-2.1のように表される。消費者余剰の総計は各財の需要関数の左側の領域の総和であり，生産所余剰の総計は供給関数の左側の総和であらわされる。税金の総計は矩形の部分である。したがってこの図における等価変分は一般にデッドウェイトロスとして知られている部分を計測していることとなる¹⁰⁾。本研究では以上の考え方をを用い，社会的厚生の変化を等価変分により計測する。次章からは，本研究の目的である炭素税を導入した際の厚生変化を分析するためのモデルを定式化する。

第3章 モデルの概要

3.1 前提条件

本研究で構築したモデルの仮定は以下のようにまとめられる。

(1) 経済空間は日本を対象とした1地域経済とみなす。生産要素市場、また財市場は閉鎖経済とみなし、対象とする地域の中で需給関係は閉じており、域外へのまたは域外からの移出入はない。

(2) 経済主体は家計と企業、政府の3つの主体で構成される。家計は1種類の代表的家計、企業は各産業別の財を生産する代表的企業が1つずつあると仮定し、それに基づき全産業を24部門に分類する。このうち、主な二酸化炭素の排出源と考えられるエネルギー産業の挙動をより詳細にみるために、エネルギー産業を石油製品、石炭製品、電力、ガスの4部門に分割する。

(3) 全ての市場は完全競争状態であり、社会経済は長期的均衡状態にある。

(4) 各産業は投入要素としてエネルギー財を用いる。全ての二酸化炭素排出はエネルギー財を投入する際に発生すると仮定し、エネルギーの投入時に課税する。これらの想定のもと、家計は労働・資本を企業に提供しそれにより得られる所得を用いて効用を最大化するように財・サービスを消費する。企業は家計より提供される労働・資本とエネルギーを生産要素、他産業の生産物を中間投入財として財・サービスを生産し利潤を最大化する。

3.2 企業の行動モデル

産業 j を代表する企業の生産構造を図-3.1のように示す。本研究では二酸化炭素の排出削減策について考えたいため、エネルギー部門を中間投入から分離し、付加価値部門との代替関係があるような仮定をおいた。エネルギー部門を資本、労働など本源的生産要素との合成付加価値と考える理由としては、生産技術の段階でエネルギー消費を行う、つまりエネルギー排出を生産時のエネルギーの投入側で計算する原因者主義の考え方に基づいている。

図-3.1に沿って企業の生産の流れを説明する。付加価値 V_j^f は資本 K_j と労働 l_j を投入要素とするコブダグラス型生産関数により生産される。エネルギーについては、石油 E_{1j} 、石炭 E_{2j} 、電力 E_{3j} 、ガス E_{4j} 、を要素とした合成エネルギー財 E_j^{com} を便宜上CES関数によって定義する。代替の弾力性は μ_j とする。この合成エネルギー部門 E_j^{com} と付加価値部門 V_j^f を要素としたCES型生産関数によって合成付加価値 V_j^e が生産される。この時の代替の弾力性は Γ_j とする。 V_j^e とその他の生産要素すなわち産業の中間投入についてはレオンチェフ型生産関数を仮定し、 Z_j を生産する。以下添え字を次のように定義する。

(i,j) ∈ I = {1, 2, ..., J} : 全ての財の種類を表すラベル

(e,g) ∈ E = {1, 2, 3, 4} : エネルギー財の種類を表すラベル

(I) 生産要素投入行動

付加価値 V_j^f は資本 K_j と労働 l_j を投入要素とするコブダグラス型生産関数により生産される。

$$\begin{aligned} C_{V_j^f} &= \min_{k,l} rk_j + wl_j & (3.1) \\ \text{s.t. } V_j^f &= A_j k_j^{\alpha_j} l_j^{1-\alpha_j} \end{aligned}$$

ただし、 r :資本レント、 w :賃金率、 $C_{V_j^f}$:総付加価値費用、 α_j :資本分配率、 A_j :スケールパラメータである。

式(3.1)を解くことにより付加価値 V_j^f 1単位当たりの生産要素需要 D_{k_j} 、 D_{l_j} が求まる。

$$D_{k_j} = \frac{1}{A_j} \left(\frac{\alpha_j w}{1 - \alpha_j r} \right)^{1-\alpha_j} \quad (3.2)$$

$$D_{l_j} = \frac{1}{A_j} \left(\frac{1 - \alpha_j r}{\alpha_j w} \right)^{\alpha_j} \quad (3.3)$$

一次同次の生産関数を仮定しており、完全競争により利潤はゼロとなるので総付加価値費用は

$$C_{V_j^f} = P_{V_j^f} V_j^f = rk_j^* + wl_j^* \quad (3.4)$$

ここで k^* と l^* は式(3.1)の問題を解く際に導出した最適解を指す。以下同様に*は最適解を意味する。

式(3.4)より、付加価値の価格 $P_{V_j^f}$ は次式のように表せる。

$$P_{V_j^f} = rD_{k_j} + wD_{l_j} \quad (3.5)$$

(II) エネルギー要素投入行動

次に合成エネルギー財の価格と投入量を導出するため，エネルギー財の投入費用を最小化する問題を考える．

$$C_{E_j^{com}} = \min \sum_e (p_e + \tau_E h_e) E_{e,j}$$

$$s.t. E_j^{com} = \eta_j \left\{ \sum_e \beta_{ej} E_{ej}^{\frac{\mu_j-1}{\mu_j}} \right\}^{\frac{\mu_j}{\mu_j-1}} \quad (3.6)$$

ただし， $C_{E_j^{com}}$:エネルギー費用関数， p_e はエネルギー財価格， τ_E は単位二酸化炭素排出あたりの税率， h_e はエネルギー産業の二酸化炭素排出原単位， η_j :スケールパラメータ， β_{ej} :エネルギー財のシェアパラメータ， μ_j :代替の弾力性を表す．また，エネルギー財のシェアパラメータ β_{ej} は， $\sum_e \beta_{ej} = 1$ をみたす．

式(3.6)を解くことにより合成エネルギー E_j^{com} ，1単位当たりの各エネルギー投入要素 $D_{E_{ej}}$ は

$$D_{E_{ej}} = \frac{1}{\eta_j} \frac{\beta_{ej}^{\mu_j} (p_e + \tau_E h_e)^{-\mu_j}}{\left\{ \sum_e \beta_{ej}^{\mu_j} (p_e + \tau_E h_e)^{1-\mu_j} \right\}^{\frac{\mu_j}{\mu_j-1}}} \quad (3.7)$$

生産要素投入行動の定式化と同様，合成エネルギー財は一次同次の生産関数を仮定しているため，エネルギー費用関数は

$$C_{E_j^{com}} = P_{E_j^{com}} E_j^{com} = \sum_e (p_e + \tau_E h_e) E_{ej}^* \quad (3.8)$$

よって合成エネルギー価格 $P_{E_j^{com}}$ は次のようになる．

$$P_{E_j^{com}} = \sum_e (p_e + \tau_E h_e) D_{E_{ej}} \quad (3.9)$$

(III) 合成エネルギー，付加価値投入行動

ここでは先ほど求めた合成エネルギー E_j^{com} と実質総付加価値 V_j^f を投入して合成付加価値 V_j^e が生産される費用最小化問題を考える．

$$C_{V_j^e} = \min P_{E_j^{com}} E_j^{com} + P_{V_j^f} V_j^f \quad (3.10)$$

$$s.t \ V_j^e = \pi_j \left(\epsilon_j E_j^{com} \frac{\Gamma_j - 1}{\Gamma_j} + (1 - \epsilon_j) V_j^f \frac{\Gamma_j - 1}{\Gamma_j} \right)^{\frac{\Gamma_j}{\Gamma_j - 1}}$$

ここで、 $C_{V_j^e}$:合成付加価値費用関数、 π_j :スケールパラメータ、 ϵ_j 合成エネルギー分配率、 Γ_j :代替の弾力性である。式(3.10)を解くことにより合成付加価値 V_j^e 、1単位あたりの合成エネルギー $D_{E_j^{com}}$ と付加価値 $D_{V_j^f}$ の需要関数が導出される。

$$D_{E_j^{com}} = \frac{1}{\pi_j} \frac{\epsilon_j^{\Gamma_j} P_{E_j^{com}}^{-\Gamma_j}}{\left(\epsilon_j^{\Gamma_j} P_{E_j^{com}}^{1-\Gamma_j} + (1 - \epsilon_j)^{\Gamma_j} P_{V_j^f}^{1-\Gamma_j} \right)^{\frac{\Gamma_j}{\Gamma_j - 1}}} \quad (3.11)$$

$$D_{V_j^f} = \frac{1}{\pi} \frac{(1 - \epsilon)^{\Gamma} P_{V_j^f}^{-\Gamma}}{\left(\epsilon^{\Gamma} P_{E_j}^{1-\Gamma} + (1 - \epsilon)^{\Gamma} P_{V_j^f}^{1-\Gamma} \right)^{\frac{\Gamma}{\Gamma - 1}}} \quad (3.12)$$

合成付加価値費用関数は

$$C_{V_j^e} = P_{V_j^e} V_j^e = P_{E_j^{com}} E_j^{com*} + P_{V_j^f} V_j^{f*} \quad (3.13)$$

よって合成付加価値価格 $P_{V_j^e}$ は次のようになる。

$$P_{V_j^e} = P_{E_j^{com}} D_{E_j^{com}} + P_{V_j^f} D_{V_j^f} \quad (3.14)$$

(IV) 中間投入行動

各中間投入要素はレオンチェフ型生産技術を仮定しており、また図-3.1のように合成付加価値と中間投入もレオンチェフ型の技術を仮定しているのので、ここでは合わせて考える。

よって産出量 Z_j を求める生産関数は

$$Z_j = \min \left\{ \frac{V_j^e}{a_{V_j^e}}, \frac{x_{1j}}{a_{x_{1j}}}, \frac{x_{2j}}{a_{x_{2j}}}, \dots, \frac{x_{20j}}{a_{x_{20j}}} \right\} \quad (3.15)$$

ここで、 x_{ij} :第 i 産業の第 j 部門に対する中間投入量、 $a_{V_j^e}$:合成付加価値係数、 $a_{x_{ij}}$:中間投入係数である。

上記を制約条件式として、 j 産業の生産費用を最小化する問題を考える。すなわち

$$\begin{aligned} C_{z_j} &= \min P_{V_j^e} V_j^e + \sum_i p_i x_{ij} \\ s.t \ Z_j &= \min \left\{ \frac{V_j^e}{a_{V_j^e}}, \frac{x_{1j}}{a_{x_{1j}}}, \frac{x_{2j}}{a_{x_{2j}}}, \dots, \frac{x_{20j}}{a_{x_{20j}}} \right\} \end{aligned} \quad (3.16)$$

式(3.16)を解くことで，産出量 Z_j ，1単位あたりの各中間投入要素需要関数が求まる．

$$D_{x_{ij}} = a_{x_{ij}} \quad (3.17)$$

$$D_{V_j^e} = a_{V_j^e} \quad (3.18)$$

よって費用関数 C_{Z_j} は次のようになる．

$$C_{Z_j} = P_j Z_j = P_{V_j^e} V_j^e + \sum_i p_i x_{ij}^* \quad (3.19)$$

上記から j 産業の生産財価格 P_j は次式のように表せる．

$$P_j = P_{V_j^e} D_{V_j^e} + \sum_i p_i D_{x_{ij}} \quad (3.20)$$

最後の式(3.20)は，要素価格 w ， r が与えられると Z_j の生産財価格 P_j が求まるという式となっている．詳しく見てみると，次のようになる．

$$\begin{aligned} P_j &= (P_{E_j^{com}} D_{E_j^{com}} + P_{V_j^f} D_{V_j^f}) a_{V_j^e} + \sum_i p_i a_{x_{ij}} \\ &= \sum_e (p_e + \tau_E h_e) D_{E_{ej}} D_{E_j^{com}} a_{V_j^e} \\ &\quad + (r D_{k_j} + w D_{l_j}) D_{V_j^f} a_{V_j^e} + \sum_i P_i a_{x_{ij}} \end{aligned} \quad (3.21)$$

企業の生産要素投入行動のところで詳しく定式化したよう，式(3.21)の中の変数 $D_{E_{ej}}$ ， $D_{E_j^{com}}$ ， D_{k_j} ， D_{l_j} ， $D_{V_j^f}$ は全て労働賃金 w ，資本レント r ，各産業部門の価格 P_i の関数として表されている．

3.3 家計の行動モデル

家計の所得 I は次のように表される．

$$I = (w\bar{L} + r\bar{K}) + G \quad (3.22)$$

ここで， \bar{L} ， \bar{K} は家計の労働と資本用役の総保有量， G は政府が徴収した税金である．このモデルでは，炭素税による税金を家計に一括還元するような形を取っている．効用関数については，エネルギーと他の財との間に弱分離可能性の仮定をお

く。(図-3.2) すなわちエネルギー合成財を E_c^{com} , その他の財の合成財を C とおくと, 主効用関数は次のようなCES型の関数と仮定した.

$$U = \left\{ \phi_m C^{\frac{\zeta_m-1}{\zeta_m}} + (1-\phi_m) E_c^{com \frac{\zeta_m-1}{\zeta_m}} \right\}^{\frac{\zeta_m}{\zeta_m-1}} \quad (3.23)$$

ここで, ϕ_m はシェアパラメータ, ζ_m は代替の弾力性である. また合成非エネルギー関数は次のようになる.

$$C = \left(\sum_i \phi_{ci} C_i^{\frac{\zeta_c-1}{\zeta_c}} \right)^{\frac{\zeta_c}{\zeta_c-1}} \quad (3.24)$$

C_i は第 i 財に対する非エネルギー財消費水準であり, ϕ_{ci} は非エネルギー財のシェアパラメータであり, $\sum \phi_{ci} = 1$ を満たす. また ζ_c は代替の弾力性である. さらに合成エネルギー関数は次のようになる.

$$E_c^{com} = \left(\sum_e \phi_{ee} E_{ce}^{\frac{\zeta_e-1}{\zeta_e}} \right)^{\frac{\zeta_e}{\zeta_e-1}} \quad (3.25)$$

ここで, E_{ce} はエネルギー財 e の消費水準, ϕ_{ee} はエネルギー財のシェアパラメータで非エネルギー財の時と同様 $\sum_e \phi_{ee} = 1$ を満たす. ζ_e は代替の弾力性である.

まず, それぞれの財需要量を求めるために合成財価格を以下のように定義する.

$$I = P_c^e E_c^{com} + P_c C \quad (3.26)$$

ここに, P_c^e : エネルギー財合成価格, P_c : 非エネルギー財合成価格である. この予算制約のもとで, 効用関数(3.23)式を最大化問題として解けば, 各合成財の需要量が導出される.

$$\begin{aligned} C &= \frac{\phi_m^{\zeta_m} P_c^{-\zeta_m} I}{\phi_m^{\zeta_m} P_c^{1-\zeta_m} + (1-\phi_m)^{\zeta_m} (P_c^e)^{1-\zeta_m}} \\ E_c^{com} &= \frac{(1-\phi_m)^{\zeta_m} (P_c^e)^{-\zeta_m} I}{\phi_m^{\zeta_m} P_c^{1-\zeta_m} + (1-\phi_m)^{\zeta_m} (P_c^e)^{1-\zeta_m}} \end{aligned} \quad (3.27)$$

次に, エネルギー財以外の財に対する需要 C_i は, それぞれの価格を P_i とし, 予算制約式を

$$I_2 = P_c C = \sum_i P_i C_i \quad (3.28)$$

とする. この制約のもと合成非エネルギー関数(3.24)を最大化すれば, 以下のように各需要関数が求まる.

$$C_i = \frac{\phi_{cj}^{\zeta_c} P_c C}{P_i^{\zeta_c} \sum_j \phi_{cj}^{\zeta_c} P_j^{1-\zeta_c}} \quad (3.29)$$

これをもとの合成非エネルギー関数(3.24)に代入すれば，合成財価格 P_c は次式のようになる．

$$P_c = \left(\sum_i \phi_{ci}^{\zeta_c} P_i^{1-\zeta_c} \right)^{\frac{1}{1-\zeta_c}} \quad (3.30)$$

次に合成エネルギー財に関する予算制約式は次のようになる．

$$P_c^e E_c = \sum_e (P_e + \tau_E h_e) E_{ce} \quad (3.31)$$

ここで τ_E は炭素従量税， h_e はエネルギー産業の二酸化炭素排出係数を表す．この制約のもとで，合成エネルギー財関数(3.25)の最大化問題を解けば需要関数は次のようになる．

$$E_{ce} = \frac{\phi_{ee}^{\zeta_e} P_c^e E_c}{(P_e + \tau_E h_e)^{\zeta_e} \sum_e \phi_{ee}^{\zeta_e} (P_e + \tau_E h_e)^{1-\zeta_e}} \quad (3.32)$$

これをもとの合成エネルギー関数(3.25)に代入し，合成エネルギー財の価格 P_c^e を求めることができる．

$$P_c^e = \left(\sum_e \phi_{ee}^{\zeta_e} (P_e + \tau_E h_e)^{1-\zeta_e} \right)^{\frac{1}{1-\zeta_e}} \quad (3.33)$$

消費の場合も上記のように合成財の価格が個別の財の需要関数に入っておりやや式が複雑になっているのでここで一度整理しておく．まず一般財，エネルギー財の価格，炭素税率が与えられたとする．このときに式(3.30)(3.33)から合成財の価格が与えられる．さらに所得 I が式(3.22)から与えられると，式(3.27)より合成需要関数が決定される．合成財の価格と需要量が与えられるならば，式(3.29)(3.32)により個別の財の需要量が決定される．

3.4 政府

政府は炭素税からの税収を得る．炭素税収 G は家計のエネルギー消費，企業のエネルギー投入時に徴収する．すなわち

$$\text{炭素税収 } G = \sum_j \sum_e \tau_E h_e E_{ej} + \sum_e h_e E_{ce} \quad (3.34)$$

となる．以上により得られた税収を政府は家計へと一括還元すると考える．このように炭素税収を負の所得税として家計に還元することにより，炭素税制導入によるデッドウェイトロスを計測できる．

3.5 財市場と生産要素市場の均衡条件

このモデルではワルラス法則が成立している．まず各経済主体の予算制約式を整理しておく．家計の予算制約式は次式のようになる．

$$\sum_i P_i C_i + \sum_e P_e E_{ce} + \sum_e \tau_E h_e E_{ce} = (w\bar{L} + r\bar{K}) + G \quad (3.35)$$

また企業 j の予算制約式は

$$P_j Z_j = (w l_j + r k_j) + \sum_i P_i a_{ij} Z_j + \sum_e \tau_E h_e a_{ej} Z_j \quad (3.36)$$

ただし，化石燃料の投入物に関する固定係数 a_{ej} ($e = 1, 2, 3, 4$) に関しては

$$a_{ej} = \frac{E_{ej}}{Z_j} = \frac{V_j^e E_j^{com}}{Z_j} \frac{E_{ej}}{V_j^e E_j^{com}} = a_{V_j^e} D_{E_j^{com}} D_{E_{ej}} \quad (3.37)$$

で与えられる．また式(3.36)右辺第三項は炭素税収分を表している．式(3.36)は産出量 Z_j で除すと式(3.21)と同じ式である．式(3.21)の価格方程式からも分かるよう，労働賃金率 w と資本用役 r ，また各パラメータが与えられると，各生産財の価格 P_i が求められる．次に産出量を求めるため財需要に着目する．生産された財の最終需要 F_i は次式のようになる．

$$F_i = C_i \quad (3.38)$$

これは中間投入を除いた最終需要先は全て家計が消費すると考えている．よって産出量 Z_j は次式で表せる．

$$Z_i = \sum_j a_{ij} Z_j + F_i \quad (3.39)$$

さらに各産業ごとに行列表示すると

$$(Z_1, Z_2, \dots)^T = (I - A)^{-1} (F_1, F_2, \dots) \quad (3.40)$$

となる．ここで A は各中間投入係数を行列表示したものである．産出量 Z_j が決まると各産業の要素需要 l_j, k_j が求まる．

$$l_j = D_{V_j^e} D_{V_j^f} D_{l_j} Z_j \quad (3.41)$$

$$k_j = D_{V_j^e} D_{V_j^f} D_{k_j} Z_j \quad (3.42)$$

上記の式は，

$$\frac{l_j}{Z_j} = \frac{V_j^e V_j^f}{Z_j} \frac{l_j}{V_j^e V_j^f} = D_{V_j^e} D_{V_j^f} D_{l_j}$$

$$\frac{w_j}{Z_j} = \frac{V_j^e V_j^f}{Z_j V_j^e V_j^f} w_j = D_{V_j^e} D_{V_j^f} D_{w_j} \quad (3.43)$$

から導いたものであり、 $D_{V_j^e}$ 、 $D_{V_j^f}$ 、 D_{w_j} 、 D_{l_j} は既に求めた各価格の関数となっている。ここで労働と資本の超過需要関数を考える。

$$d_l = \sum_i l_i - \bar{L} \quad (3.44)$$

$$d_k = \sum_i k_i - \bar{K} \quad (3.45)$$

ワルラス法則の成立しているこのモデルでは次の恒等式が常に成り立つ。

$$wd_l + rd_k = 0 \quad (3.46)$$

以上からわかるよう、最終的には均衡の未知数である労働賃金 w 資本用役 k を式 (3.44)(3.45) から導くことになる。全ての連立方程式体系については、5. に再度計算し、その妥当性を確認する。

第4章 データセット作成およびモデルの推計（カリブレーション）

4.1 データセット作成

まず、本稿において入手可能なデータの最新年次が2005年であったことから、2005年の産業連関表における13部門生産者価格評価表を基本データとして用いる（表-4.1）。エネルギー部門の投入を詳しく見るため、同年に作成された108部門生産者価格表を用いエネルギー部門を石油製品部門、石炭製品部門、電力部門、ガス・熱供給部門と独立させた。さらに簡略化のため、産業連関表の下方に張り出した部分に示される生産要素の投入に関しては、「雇用者所得」と行項目の「家計外消費支出」を労働に対する対価として足し合わせる。同様に、「営業余剰」と「資本減耗引当」を足し合わせて資本に対する対価とした。「間接税」と「経常補助金」に関しては、特に区別することなく足し合わせて生産物税の純額と考え、各産業の労働に対する対価と資本に対する対価の比率ごとに税額を振り分けた。

今回のモデルでは輸出入、投資、政府支出を考慮しておらず、最終需要は全て家計が消費すると考えているため、これらをまとめて家計の消費とした。鉱業部門、石炭部門のような最終需要を統合した段階で負の値となってしまう部門については、シミュレーションの都合上、最終需要量をゼロであるとし、収支バランスが整合的になるよう当該部門の付加価値を投入比率ごとに増額分を振り分けた。最終需要項目が負となる理由は、当該部門の最終需要項目では輸入がほとんどを占めているからである。以上のように統合したデータを用いてモデルに適用する社会会計表を作成した。

各エネルギー源別の二酸化炭素排出量のデータがあれば各エネルギー産業の二酸化炭素排出係数に関する正確な数値を求めることができる。しかし本研究においてはデータ入手の制約から、日本の総二酸化炭素排出量を各エネルギー部門の国内生産額の比率ごとに振り分け、エネルギー部門からの二酸化炭素排出量を当該部門の国内生産額で除すことで二酸化炭素排出係数を求めた。上記で作成したデータセット、想定した24部門の産業と二酸化炭素排出係数をそれぞれ表-4.2、表-4.3

に示す.

4.2 カリブレーション

今回想定した2005年における日本の経済状態にモデルを適合させるため、産業連関表などから基準均衡価格において、与えられたデータセットを正確に再現させる必要がある。基準均衡とは何らかの政策的な変化を加える前の経済状態を再現した状態のことを指し、ここでは2005年における日本の経済状態であるとする。今回着目すべき係数は代替の弾力性、分配のパラメータとスケールパラメータである。まず代替の弾力性については、既存の実証研究⁵⁾の数値を用いて外生的に与える。よってカリブレーションによって求めるべきパラメータは、生産関数のシェアパラメータとスケールパラメータ、家計の消費関数のシェアパラメータである。これらのパラメータの決定手続きを以下に示していく。

4.2.1 生産関数のパラメータ決定

まず、要素と付加価値にかかわるコブダグラス型生産関数式(3.1)のパラメータについてである。

式(3.1)における費用最小化問題の1階条件から

$$\frac{\alpha_j}{(1-\alpha_j)} \frac{l_j}{k_j} = \frac{r}{w} \quad (4.1)$$

が得られる。ここで基準均衡において、すべての価格を1であると仮定する。その仮定のもと α_j について解くと

$$\alpha_j = \frac{k_j}{k_j + l_j} \quad (4.2)$$

となる。さらに生産関数(3.1)に含まれるスケールパラメータ A_j は、式(3.1)を変形した形

$$A_j = \frac{V_j^f}{k_j^{\alpha_j} l_j^{1-\alpha_j}} \quad (4.3)$$

から得られる。基準均衡においては、すべての価格を1に設定しているので

$$V_j^f = k_j + l_j \quad (4.4)$$

が成立している。よって V_j^f の値も作成したデータセットから得られる。

次にエネルギーに関わるCES型生産関数(3.6)に含まれているパラメータについては、先ほどと同様式(3.7)を導出するための一階の条件として

$$\frac{E_{gj}}{E_{ej}} = \left(\frac{\beta_{ej} (P_g + \tau_E E_{gj})}{\beta_{gj} (P_e + \tau_E E_{ej})} \right)^{-\mu_j} \quad (4.5)$$

が得られる。基準均衡においては、すべての価格が1で炭素税率もゼロであるので、

$$\frac{\beta_{gj}}{\beta_{ej}} = \left(\frac{E_{gj}}{E_{ej}} \right)^{\frac{1}{\mu_j}} \quad (4.6)$$

と変形できる。さらに、 $\sum_e \beta_{ej} = 1$ であるので、

$$\beta_{ej} = \frac{E_{ej}^{\frac{1}{\mu_j}}}{\sum_g E_{gj}^{\frac{1}{\mu_j}}} \quad (4.7)$$

と決定することができる。

生産関数(3.6)に含まれるスケールパラメータ η_j は、先ほどと同様式(3.6)を変形した形すなわち

$$\eta_j = \frac{E_j^{com}}{\left\{ \sum_{e=1}^4 \beta_{ej} E_{ej}^{\frac{\mu_j-1}{\mu_j}} \right\}^{\frac{\mu_j}{\mu_j-1}}} \quad (4.8)$$

から求めることができる。なぜなら基準均衡においては価格を1に設定している

$$E_j^{com} = E_{1j} + E_{2j} + E_{3j} + E_{4j} \quad (4.9)$$

が成立している。よって E_j^{com} の値も作成したデータセットから得られる。

以下同様の手法から生産関数(3.10)のシェアパラメータ ϵ_j スケールパラメータ π_j を求めることができる。

$$\epsilon_j = \frac{E_j^{com \frac{1}{\Gamma_j}}}{E_j^{com \frac{1}{\Gamma_j}} + V_j^f \frac{1}{\Gamma_j}} \quad (4.10)$$

$$\pi_j = \frac{V_j^e}{\left(\epsilon_j E_j^{com \frac{\Gamma_j-1}{\Gamma_j}} + (1 - \epsilon_j) V_j^f \frac{\Gamma_j-1}{\Gamma_j} \right)^{\frac{\Gamma_j}{\Gamma_j-1}}} \quad (4.11)$$

基準均衡においては、

$$V_j^e = E_j^{com} + V_j^f \quad (4.12)$$

が成立しているため、 V_j^e の値もデータセットから得られるものである。

最後に中間投入に含まれるレオンチェフ係数についてであるが、(3.17)(3.18)の産出量 Z_j 1単位当たりの式を変形すると

$$a_{V_j^e} = \frac{V_j^e}{Z_j} \quad (4.13)$$

$$a_{x_{ij}} = \frac{x_{ij}}{Z_j} \quad (4.14)$$

となる。ここでの産出量 Z_j についても基準均衡では

$$Z_j = \sum_i x_{ij} + V_j^e \quad (4.15)$$

が成立しておりデータセットから導くことができる。

以上で企業の生産関数に関するパラメータが全て求まった。

4.2.2 消費関数のパラメータ決定

次に消費関数について、代替の弾力値は企業の時と同様外生的に与えられると仮定しており、シェアパラメータのみを決定すればよい。まず、合成非エネルギー関数式(3.24)を最大化する問題の一階の条件式により次の式を得る。

$$\frac{C_i}{C_j} = \left(\frac{\phi_{cj} P_i}{\phi_{ci} P_j} \right)^{-\zeta_c} \quad (4.16)$$

生産関数の時と同様に、基準均衡で価格を1に設定しており、また $\sum \phi_{ci} = 1$ であることを考慮すると、非エネルギー財に関するシェアパラメータは次式のようになる。

$$\phi_{ci} = \frac{C_i^{\frac{1}{\zeta_c}}}{\sum_j C_j^{\frac{1}{\zeta_c}}} \quad (4.17)$$

次にエネルギー財に関わるパラメータであるが、基準均衡では炭素税の影響を受けないので、先ほどと全く同様となり、次式を得る。

$$\phi_{ee} = \frac{E_{ce}^{\frac{1}{\zeta_e}}}{\sum_g E_{cg}^{\frac{1}{\zeta_e}}} \quad (4.18)$$

最後に効用関数式(3.23)に含まれるシェアパラメータについては、2つの合成財価格があるためやや複雑である。

まず効用最大化の一階条件から

$$\frac{E_c^{com}}{C_c} = \left\{ \frac{\phi_m P_c^e}{(1 - \phi_m) P_c} \right\}^{-\phi_m} \quad (4.19)$$

が得られ、これを ϕ_m について解くと次式を得る。

$$\phi_m = \frac{P_c C_c^{\frac{1}{\zeta_m}}}{P_c C_c^{\frac{1}{\zeta_m}} + P_c^e E_c^{com} \frac{1}{\zeta_m}} \quad (4.20)$$

非エネルギー消費財とエネルギー財の合成財価格 P_c , P_c^e をすでに決定したパラメータと基準均衡の価格がすべて 1 であることから、式(3.30)(3.33)より求めることができる。一方、合成財の需要量は生産関数の場合のように、単純にそれぞれの実質値とすることができない。しかし式(3.28)(3.31)は確実に成立しているので、基準均衡の条件を代入して式を書き改めると次のようになる。

$$P_c C_c = \sum_i C_i \quad (4.21)$$

$$P_c^e E_c^{com} = \sum_e E_{ce} \quad (4.22)$$

よって、上記右辺はデータセットから得られるので、それを求められた合成財価格式(3.30)(3.33)で割れば、合成財の需要水準の値も得ることができる。以上をもってモデルを解く際に推計すべきパラメータがすべて求まった。

4.3 代替の弾力値の設定

今回作成したモデルでは、生産関数、消費関数に代替の弾力性のパラメータがあり、他のパラメータがその値に依存している。したがって、この弾力性パラメータの設定はモデル全体のパフォーマンスに重要な影響を与える。

生産関数に関わる弾力性の値については、基本的には鷺田⁵⁾のモデルを参考にし、表-4.4のように設定した。この弾力性の値は0であればレオンチェフ型、値が1であればコブダグラス型の生産関数を採用していることになる。このモデルでは、全ての産業で、各レベルでの代替の弾力性はそれぞれ同じであると仮定した。次に消費に関する弾力性については表-4.4に示した値に設定した。鷺田⁵⁾のモデルがそうであるよう、財別の弾力性を生産関数の場合と比べて高い値になるよう設定した。これは企業の生産行動に比べ、家計の消費行動には多少の自由度が効くと考えられるのでこのように設定している。一般に代替の弾力性が大きいほど政策変更において資源配分が柔軟に行われ、影響が小さくなるので弾力値の設定には注意が必要である。

第5章 シミュレーション

5.1 モデルの全容

本研究でのCGEシミュレーションの目的は、二酸化炭素排出や、エネルギー消費の抑制を主要目的とする炭素税制導入による社会的厚生の変化を評価することにある。2008年から2012年までの期間中に、先進国全体の温室効果ガスの合計排出量を基準年と比べ少なくとも5%削減することを規定した第一約束期間に差し掛かっていることを踏まえ、それを実現させるために必要な炭素税率を導出するとともに、その時の経済効果を定量的に分析する。モデルの均衡解を求めるために数値計算ソフトウェアであるGAMSを用いる。まず第3章で詳しく述べた連立方程式体系をGAMSのプログラムとして表現する。以下に整理のために、解くべき連立方程式体系を記しておく。変数の説明を表-5.1に記載している。第3章では、モデルを解くアルゴリズムを分かりやすくするため各要素需要関数を単位生産量当たりで記述し、価格のみの関数で表しているところを生産量も変数として記述しているが、式の意味としては何ら変わっていないことも述べておきたい。

- 企業行動

$$V_j^f = A_j k_j^{\alpha_j} l_j^{1-\alpha_j} \quad (5.1)$$

$$k_j = \frac{V_j^f}{A_j} \left(\frac{\alpha_j}{1-\alpha_j} \frac{w}{r} \right)^{1-\alpha_j} \quad (5.2)$$

$$l_j = \frac{V_j^f}{A_j} \left(\frac{1-\alpha_j}{\alpha_j} \frac{r}{w} \right)^{\alpha_j} \quad (5.3)$$

$$E_j^{com} = \eta_j \left\{ \sum_e \beta_{ej} E_{ej}^{\frac{\mu_j-1}{\mu_j}} \right\}^{\frac{\mu_j}{\mu_j-1}} \quad (5.4)$$

$$E_{ej} = \frac{E_j^{com}}{\eta_j} \frac{\beta_{ej}^{\mu_j} (p_e + \tau_E h_e)^{-\mu_j}}{\left\{ \sum_e \beta_{ej}^{\mu_j} (p_e + \tau_E h_e)^{-\mu_j} \right\}^{\frac{\mu_j}{\mu_j-1}}} \quad (5.5)$$

$$V_j^e = \pi_j \left(\epsilon_j E_j^{com} \frac{\Gamma_j-1}{\Gamma_j} + (1-\epsilon_j) V_j^f \frac{\Gamma_j-1}{\Gamma_j} \right)^{\frac{\Gamma_j}{\Gamma_j-1}} \quad (5.6)$$

$$E_j^{com} = \frac{V_j^e}{\pi_j} \frac{\epsilon_j^{\Gamma_j} P_{E_j^{com}}^{-\Gamma_j}}{\left(\epsilon_j^{\Gamma_j} P_{E_j^{com}}^{1-\Gamma_j} + (1-\epsilon_j)^{\Gamma_j} P_{V_j^f}^{1-\Gamma_j} \right)^{\frac{\Gamma_j}{\Gamma_j-1}}} \quad (5.7)$$

$$V_j^f = \frac{V_j^e}{\pi_j} \frac{(1-\epsilon_j)^{\Gamma_j} P_{V_j^f}^{-\Gamma_j}}{\left(\epsilon_j^{\Gamma_j} P_{E_j^{com}}^{1-\Gamma_j} + (1-\epsilon_j)^{\Gamma_j} P_{V_j^f}^{1-\Gamma_j} \right)^{\frac{\Gamma_j}{\Gamma_j-1}}} \quad (5.8)$$

$$x_{ij} = a_{x_{ij}} Z_j \quad (5.9)$$

$$V_j^e = a_{V_j^e} Z_j \quad (5.10)$$

$$P_j = \sum_i a_{x_{ij}} P_i + a_{V_j^e} P_{V_j^e} \quad (5.11)$$

式(5.11)は、以下に示す企業のゼロ利潤条件

$$\begin{aligned} \pi_j^z &= p_j Z_j - \left(\sum_i P_i x_{ij} + P_{V_j^e} V_j^e \right) \\ &= 0 \end{aligned}$$

と、式(5.9)(5.10)を代入したうえで Z_j で除すことにより求めることができる。式(3.15)のような生産関数のままだと90度に折れ曲がった等産出量曲線を持つことになり、数値計算を行う時にしばしば問題を引き起こすため、このような変形を行っている。

- 家計行動

$$C = \frac{\phi_m^{\zeta_m} P_c^{-\zeta_m} I}{\phi_m^{\zeta_m} P_c^{1-\zeta_m} + (1-\phi_m)^{\zeta_m} (P_c^e)^{1-\zeta_m}} \quad (5.12)$$

$$E_c^{com} = \frac{(1-\phi_m)^{\zeta_m} (P_c^e)^{-\zeta_m} I}{\phi_m^{\zeta_m} P_c^{1-\zeta_m} + (1-\phi_m)^{\zeta_m} (P_c^e)^{1-\zeta_m}} \quad (5.13)$$

$$C_i = \frac{\phi_{ci}^{\zeta_c} P_c C}{P_i^{\zeta_c} \sum_j \phi_{cj}^{\zeta_c} P_j^{1-\zeta_c}} \quad (5.14)$$

$$E_{ce} = \frac{\phi_{ee}^{\zeta_e} P_c^e E_c}{(P_e + \tau_E h_e)^{\zeta_e} \sum_g \phi_{eg}^{\zeta_e} (P_g + \tau_E h_g)^{1-\zeta_e}} \quad (5.15)$$

$$I = (w\bar{L} + r\bar{K}) + G \quad (5.16)$$

$$P_c = \left(\sum_i \phi_{ci}^{\zeta_c} P_i^{1-\zeta_c} \right)^{\frac{1}{1-\zeta_c}} \quad (5.17)$$

$$P_c^e = \left(\sum_e \phi_{ee}^{\zeta_e} (P_e + \tau_E h_e)^{1-\zeta_e} \right)^{\frac{1}{1-\zeta_e}} \quad (5.18)$$

- 政府

$$G = \sum_j \sum_e \tau_E h_e E_{ej} + \sum_e \tau_e h_e E_{ce} \quad (5.19)$$

- 市場均衡

$$Z_j = \sum_j x_{ij} + C_i \quad (5.20)$$

$$Z_e = \sum_e x_{ej} + E_{ce} \quad (5.21)$$

$$d_l = \sum l_i - \bar{L} \quad (5.22)$$

$$d_k = \sum k_i - \bar{K} \quad (5.23)$$

- 総二酸化炭素排出量

$$CO_2 = \sum_j \sum_e h_e E_{ej} + \sum_e h_e E_{ce} \quad (5.24)$$

以上の連立方程式体系を具体的に整理すると、このモデルの中で、内生変数の数は、 k_j 24個、 l_j 24個、 V_j^f 24個、 E_{ej} 96個、 E_j^{com} 24個、 V_j^e 24個、 x_{ij} 480個、 Z_j 24個、 r 1個、 w 1個、 $P_{V_j^f}$ 24個、 P_i 24個、 I 1個、 C_i 1個、 E_{ce} 4個、 C 1個、 E_c^{com} 1個、 P_c 1個、 P_c^e 1個、 τ_E 1個の計849個である。方程式の数は式(5.1)24本、式(5.2)24本、式(5.3)24本、式(5.4)24本、式(5.5)96本、式(5.6)24本、式(5.7)24本、式(5.8)24本、式(5.9)480本、式(5.10)24本、式(5.11)24本、式(5.12)1本、式(5.13)1本、式(5.14)20本、式(5.15)4本、式(5.16)1本、式(5.17)1本、式(5.18)1本、式(5.19)1本、式(5.20)20本、式(5.21)4本、式(5.22)1本、式(5.23)1本、式(5.24)1本、計24組849本であり、内生変数の数と一致している。このうち外生変数は総労働賦存量: \bar{L} 、総資本賦存量: \bar{K} 、二酸化炭素排出原単位: h_e 、総二酸化炭素排出量: CO_2 であり、他のすべての内生変数をモデル内で解くことができる。ところが、上に示した方程式のうち1本は冗長である。なぜならこのモデルでは常にワルラス法則が成り立っており、本モデルで設定した26個の市場すべてに市場均衡条件を課さなくても、25個の市場条件とワルラス法則だけですべての市場条件を保証できるからである。このため内生変数のうち価格に関する1つが不安定になり、解くことができない。よってシミュレーションの際は資本レント r を1に固定し、それぞれの価格は相対価格で表される¹¹⁾。

以下、シミュレーションの設定として、現状のとおり炭素税を導入しない場合と、炭素税の導入により「京都議定書の第一約束期間(2008~12年)において、基準年(原

則1990年)に対し6%の温室効果ガスを削減させる」場合とを比較する。本研究で用いたデータセットが2005年度の産業連関表であり、その年での目標達成には2005年度比で約11%の二酸化炭素排出削減が必要であるとされている¹²⁾。よってその前提に基づきシミュレーション分析を行った。表-5.3は社会的厚生の変化、税率、税収、実質GDPなどの変化についてまとめたものである。以下シミュレーション結果で得られた各指標を詳細に検討する。また表-5.2に各指標をモデル内の変数で定式化している。

5.2 マクロ指標

まず本研究の目的である社会的厚生の変化について着目する。本研究における一般均衡の枠組みでは、企業はゼロ利潤で生産しているため、経済厚生の変化は全て家計の効用 U の変化に現れる。よって厚生水準の変化を具体的指標として金銭表示するため、2.4節で述べたよう等価変分EVを用いる。1990年度比で6%二酸化炭素排出削減を達成させるという目標達成には炭素税を3万8000円/tco₂かける必要があり、その時の経済損失は6億3000万円である。これは現エネルギー価格に対する比率でみると、石油、石炭、電力、ガスがそれぞれ33%,27%,35%,38%の価格上昇となっている。また実質GDPは0.063%減少している。

5.3 産業別の影響

産業別生産量の変化と二酸化炭素排出量の変化を図-5.1, 図-5.2に示す。二酸化炭素排出量については各部門とも減少しており、全般に生産量の減少率よりも大きな値をとっている。これは、合成エネルギー財と付加価値財との間の代替を0.3と設定しており、エネルギー節約型への生産技術の転換が進むことによる。産業別に影響を見ていくと、エネルギー部門に対する炭素税課税により、各エネルギー産業の生産量減少が著しい。次いで、エネルギー消費の多寡を反映している鉱業、運輸部門の減少が相対的に大きくなっている。鉱業に関しては、鉱物資源である原油、石炭、天然ガスが含まれており、表-4.2に示すよう、各産業における鉱業を中間投入要素とする比率をみると、エネルギー産業における中間投入の割合が大きいことにより、エネルギー産業の生産量の減少が大きく影響している。次いで化学産業の生

産の減少率が大きいですが、これは石油の投入が最も多い産業であることによるだろう。また逆に不動産、公務などの生産量は増加している。これは、これらの産業が資本集約型産業・労働集約型産業であり、エネルギー負荷の小さな産業、すなわち当該部門におけるエネルギー財の中間投入割合が小さい産業であることから、労働・資本への代替が生じていることによると考えられる。本研究で用いるモデルでは労働と資本の全量は変わらず、完全雇用・完全稼働を前提としているので、炭素税課税後も各部門の要素投入量の割合が変化するだけである。よって相対的にエネルギー負荷の小さな産業では労働・資本への代替が強く、逆にエネルギー負荷の大きい産業ではエネルギー投入とともに労働・資本の投入量も減少する。実際、生産の落ち込みが大きいエネルギー産業や鉱業では付加価値投入が大きく減少している分、他の産業における要素投入量は若干増大している。(表-5.4)

次に産業の生産における投入構造の変化について、運輸部門に着目して分析していく。まず合成エネルギー財投入に関しては、石油、石炭、電力、ガス全てにおいて価格が上昇していることにより投入量が減少しており、合成エネルギー財の投入は7.9%減少している。エネルギー財との代替を考慮している付加価値においては、労働・資本ともに投入量が0.69%と若干であるが増えている。労働・資本の投入割合がほぼ同率で増えていることは、生産要素の投入行動をコブ・ダグラス型で定式化しているため、支出割合は常に一定であると仮定していることによる。実際炭素税導入後の賃金率の低下は0.002%とごく小さな値であるので、労働・資本の投入量の変化率はほぼ同じになることが分かる。次に中間投入と合成付加価値とによる生産はレオンチェフ型の技術を仮定しているため、価格に寄らず常に各産業からの投入の比率は一定となる。合成付加価値投入は、エネルギー投入の減少により1.18%減少しており、その影響により各産業の中間投入、運輸部門の生産量も1.18%減少している。これらのデータについては表-5.5に記載する。

最後に図-5.3は各産業の生産のシェアと生産量の増減率をプロットしたものである。これを見るとエネルギー産業など生産が大きく減少する産業は生産シェアが小さく、逆に生産シェアの大きい産業(サービス業、機械工業、商業など)の生産量はほとんど変化しないことが見て取れる。10%を超える大幅な減少となる産業がある一方で、生産シェアの大きい産業の減少がほとんど見られないことから、産業全体としての生産量の減少率はGDPの減少率と同程度になる。

5.4 家計への影響

家計消費について、部門別に相対価格と消費支出の関係を見ると、エネルギー財のような課税後の価格が大きく上昇している財は消費支出が減少しており、他の非エネルギー財は消費支出が若干増加している。(図-5.4)

効用が低下した要因を分析するため、各産業の消費量の変化に着目する。まず炭素税導入によりエネルギー財の価格が上昇することにより家計のエネルギー財の消費は10%以上と大幅に減少している。次に非エネルギー財の消費量については、エネルギー価格の上昇による代替効果によって、若干増えている産業もみられるが、価格変化が大きい産業の製品は家計消費も減少している。これは価格上昇により購買力が減少することによる。実際化学製品や運輸サービスのように価格が4%前後ほど上昇している部門では家計の消費は大きく減少している。(表-5.6) 価格の変化をみる場合は、賃金率と資本レントという二つの要素価格の変化と財価格の変化を比較する必要がある。本モデルでは労働も資本も完全雇用で実質国民所得は変化しないので、両価格と物価水準の相対価格によって購買力が決まってくる。表-5.3に示しているよう、課税後の賃金率の減少している一方で、ラスパイレス物価指数に表れているよう、価格は上昇している。そのために、消費者の購買力すなわち商品やサービスを買うことのできる資力は低下しており、その結果として消費水準は全体として減少しており、その結果効用が低下しているといえる。

5.5 感度分析

感度分析の基本的な考え方は、モデルの中で特に結論に大きく影響すると考えられる係数の値を変化させて、得られる結論がどのように変化するか、モデルの挙動を確認することにある。シナリオとして、本モデルでは合成エネルギー財と付加価値(労働・資本)の間の代替の弾力値を0.3から0.5に変化させた際の変化を分析する。主要マクロ変数の結果を表-5.7に示す。弾力値が大きくなると、効用の変化は-0.12%から-0.087%と減少率が減少しており、経済の厚生変化は6億3000万円から4億6000万円まで減少している。二酸化炭素排出を1990年度比で6%達成するという目標値に達成のための炭素税率の設定も1万9000円/co₂と半分になっている。一般に代替の弾力性が大きいほどショックに対応した資源配分が柔軟に行われることで影響が小さくなるので、モデルの挙動を確認できたといえるだろう。

第6章 おわりに

本研究では、租税政策評価のための応用一般均衡モデルを構築し、各主体の行動を定式化した。その際、各産業は投入要素としてエネルギー財を用い、全ての二酸化炭素排出はエネルギー財を投入する際に発生すると仮定し、エネルギーの投入時に炭素税を課税した。またエネルギー財と付加価値の間に代替の弾力値を設定した。その想定のもと、一定の二酸化炭素削減目標を設定し、それを実現させるために必要な炭素税の水準と、導入した際の社会的厚生の変化を定量的に分析した。シミュレーションの結果、京都議定書の第一約束期間における、基準年に対し6%二酸化炭素排出削減という目標を達成させるには炭素税を3万8000円に設定させる必要があること、また6億3000万円の厚生損失、実質GDPは0.06%ほどの落ち込みがみられ、課税により二酸化炭素排出を削減させるためには各指標とのトレードオフの関係が成り立っていることが分かる。二酸化炭素排出量の削減目標水準を達成させるために、すべての産業においてエネルギー財の投入量は8%前後と大きく落ち込んでいるにも関わらず、産業の生産においてはエネルギーと付加価値内の代替の弾力値の設定により、生産量の落ち込みは2%以下と相対的に小さい結果となっている。このことは今後エネルギー節約型への生産技術の転換が重要となることを示している。

今後、以下のような方向へモデルを改良していくことが考えられる。まず第一に排出係数の設定である。本研究では各エネルギー部門ごと、日本の総二酸化炭素排出量を各エネルギー部門の国内生産額の比率ごとに振り分け、エネルギー部門からの二酸化炭素排出量を当該部門の国内生産額で除すことで二酸化炭素排出係数を求めた。データの制約上このような方法をとったが、部門別に使用するエネルギー財ごとの排出量データを作成するなどマイクロなデータから精密に二酸化炭素排出量を計測することが望ましいといえる。さらにはエネルギーの投入段階で二酸化炭素排出を計測する方法を採用する場合、エネルギー財について燃焼用途として利用するものと、原材料として投入される非燃焼用途として利用されるものを分類することが重要となってくるだろう。第二に最終需要は全て家計が消費すると仮定したが、海外も考慮するため輸出入もモデルに組み込むべきだろう。地球温

暖化問題はグローバルな問題であるので、一国モデルから、世界モデルへの発展が不可欠である。また第三に5.5節で見たよう、モデルの挙動の確認はできたといえるが、弾力性のパラメータの設定にその結果は大きく依存していることがわかっている。パラメータの設定に関しては、先行研究からの援用にとどまらず、統計的な実証分析の積み重ねやミクロの技術情報などの活用が求められる。最後に、今回の分析では政策として単純な形の炭素税導入による厚生変化の計測しか取り上げられなかったが、今後は温暖化対策として知られている排出量取引も導入し、他の政策との比較分析も行っていきたい。その際、モデルおよびデータセットのさらなる精緻化が必要となるだろう。

参考文献

- 1) 川瀬晃弘，北浦義郎，橋本恭之：環境税と二重の配当－応用一般均衡モデルによるシミュレーション分析－，公共選択学会第7回全国大会報告論文，2003.
- 2) Harberger, A.C.: The Incidence of the Corporation Income Tax, *Journal of political Economy* 70, 215-40, 1962.
- 3) Shoven, J.B. and Whalley, J.: *Applying General Equilibrium*, University of Cambridge Press, 1992.(小平裕訳：応用一般均衡分析，理論と実際，東洋経済新報社，1993.)
- 4) 朴勝俊：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, 2002.
- 5) 鷲田豊明：環境政策と一般均衡，劉草書房，2004.
- 6) Henry D.Jacoby, John M.Reilly, James R. McFarland and Sergey Paltsev: *Technology and Technical Change in the MIT EPPA Model*, Report No.111, 2004.
- 7) 武田史郎，川崎泰史，伴金美：温暖化対策分析用CGEモデルへの新技術・新エネルギーの導入方法，内閣府経済社会総合研究所，2007.
- 8) 武田史郎，川崎泰史，落合勝昭，伴金美：日本経済研究センターCGEモデルによるCO2削減策の分析－「中期目標検討委員会」で用いたモデルと試算の解説－，社団法人日本経済研究センター，2009.
- 9) 川崎泰史，飯島亜希：日本経済のCGEモデルの環境分析向け拡張について，内閣府経済社会総合研究所，*New ESRI Working Paper Series No.3*, 2007.
- 10) 佐藤隆三，三野和雄：*ミクロ経済分析*，劉草書房，1986.
- 11) 細江宣裕，我澤賢之，橋本日出男：*テキストブック応用一般均衡モデリング*，東京大学出版会，2004.
- 12) <http://www.env.go.jp/>

付録A 付図, 付表

A.1 第2章の図表

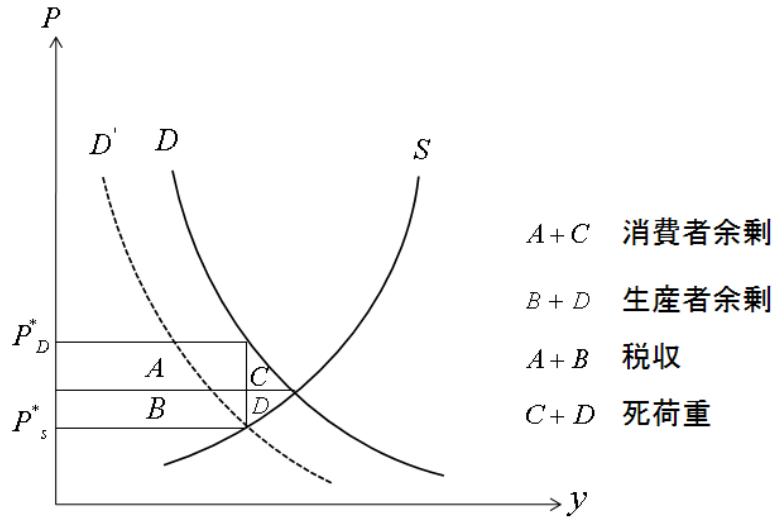


図-2.1 税によるデッドウェイトロス

A.2 第3章の図表

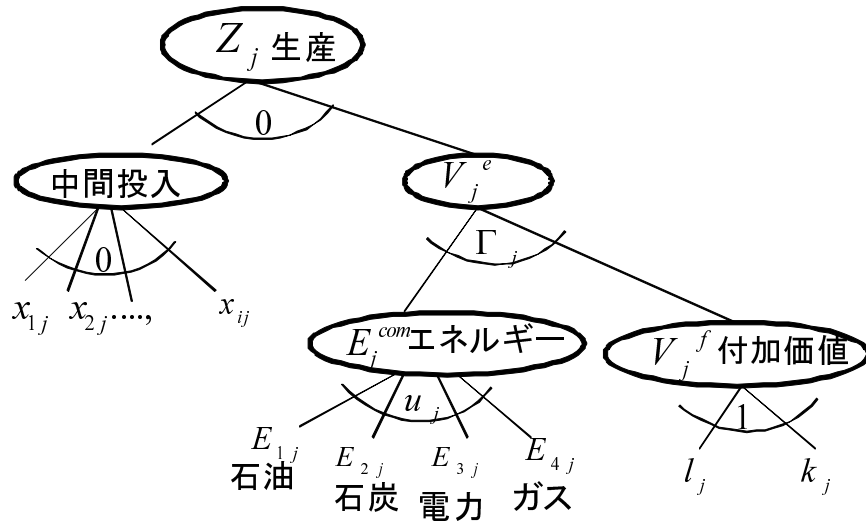


図-3.1 企業の生産構造

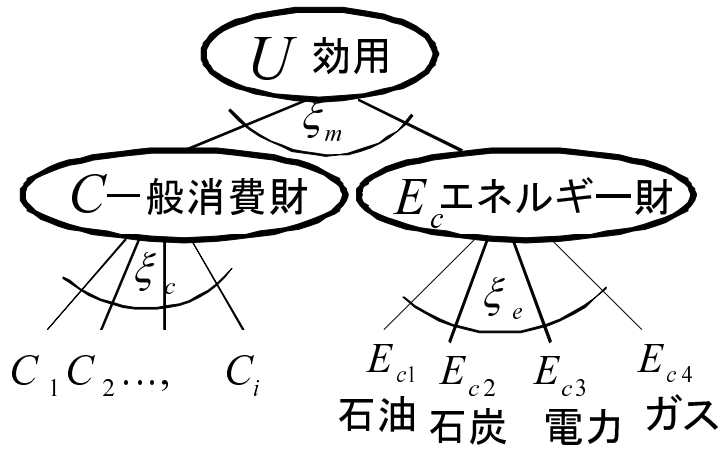


図-3.2 家計の消費行動

A.3 第4章の図表

表-4.1 2005年13部門生產者價格表

| 項目 | 單位:1000萬元 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------------|----------|-----------|----------|--------------------------------|----------|-----------|----------|-------------|----------|-------------------|------------|----------|------------------|----------|-----------|-----------|----------|---------|----------|----------|----------|-----------|-----------|---------|
| | 01 農林水產業 | 02 採業 | 03 製造業 | 04 建設 | 05 電力、水、氣、熱、冷、暖、核能、商業、金融、保險 | 06 商業 | 07 不動產 | 08 運輸 | 09 情報、通訊 | 10 公務 | 11 社會、文化、娛樂、體育 | 12 分業不明 | 13 其他 | 54 57 內生產額 | | | | | | | | | | | |
| 01 農林水產業 | 16616 | 504 | 7799128 | 87905 | 0 | 9311 | 0 | 81 | 1339 | 0 | 2136 | 1302406 | 0 | 1065026 | 63233 | 4638337 | 1540362 | -208212 | -427648 | -106630 | -2241990 | 2293547 | 13161572 | | |
| 02 採業 | 626 | 2920 | 1265365 | 496583 | 3302484 | 0 | 0 | 0 | 4575 | 0 | 429 | 10748 | 1335 | 1645066 | 34759 | -65653 | 1038512 | -145491 | -36891 | -128048 | -5380230 | -544780 | 1008282 | | |
| 03 製造業 | 256166 | 65185 | 16170191 | 1764185 | 2003182 | 3485940 | 1323916 | 141551 | 6764158 | 2731257 | 2877205 | 26273139 | 464655 | 19817400 | 56710373 | 153112139 | 351463969 | -4110930 | -803663 | -2511181 | -4403774 | 10891305 | 307028795 | | |
| 04 建設 | 65697 | 6516 | 1197953 | 143850 | 1277933 | 651679 | 164048 | 3047661 | 503923 | 233419 | 588219 | 1236893 | 0 | 9119713 | 41016 | 8990086 | 21000789 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5400226 | 897840 | 26884642 | |
| 05 電力、水、氣、熱、冷、暖、核能 | 111961 | 30467 | 5668045 | 262306 | 1891200 | 2049607 | 216823 | 219818 | 959521 | 440538 | 1263519 | 4817329 | 77318 | 18010702 | 141016 | 8990086 | 21000789 | -16246 | 0 | 0 | -704600 | 7076166 | 107020689 | | |
| 06 商業 | 521777 | 25063 | 17616541 | 4121479 | 544652 | 833903 | 264900 | 63231 | 1655165 | 710848 | 563323 | 9113709 | 82082 | 37126860 | 71480766 | 108007469 | 42063956 | -499171 | 0 | 0 | -469171 | 12097348 | 41586735 | | |
| 07 金融、保險 | 226281 | 70008 | 3843999 | 937841 | 710006 | 5707629 | 4478944 | 3785522 | 2220168 | 636153 | 126344 | 4404646 | 2326986 | 29489437 | 4143180 | 654576 | 12596519 | 42063956 | -499171 | 0 | 0 | 0 | 12097348 | 41586735 | |
| 08 不動產 | 4520 | 7829 | 620688 | 160378 | 179962 | 2879732 | 569767 | 378002 | 743994 | 897579 | 363471 | 745183 | 13540 | 62543901 | 3721 | 57864967 | 60207386 | -1463 | 0 | 0 | -1463 | 57863004 | 66205935 | | |
| 09 運輸 | 632392 | 261438 | 8417470 | 3345270 | 787042 | 5461080 | 820643 | 146373 | 5923018 | 1102304 | 1194040 | 4287425 | 198756 | 32580811 | 470470 | 14882056 | 5675342 | -366297 | 0 | 0 | -366297 | 18163539 | 50744410 | | |
| 10 情報、通訊 | 37206 | 11287 | 2488207 | 762075 | 549087 | 4223835 | 2340068 | 137929 | 604935 | 4807870 | 1340861 | 9293246 | 128369 | 26730775 | 174754 | 10957683 | 35886 | 6408533 | -11466 | -841102 | -2795 | -643887 | 18205182 | 45633957 | |
| 11 公務 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1106667 | 1106667 | 0 | 786643 | 36641657 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 37426210 | 36537877 | |
| 12 社會、文化、娛樂、體育 | 204206 | 57478 | 2172250 | 5169788 | 2452297 | 6522268 | 4809469 | 1457644 | 6760965 | 6767982 | 2119529 | 15404614 | 342060 | 7362110 | 0 | 10688410 | 66348112 | 5426945 | 2810000 | 0 | 13855267 | 2011482 | 13854948 | 207385121 | |
| 13 分類不明 | 181675 | 12053 | 973048 | 494201 | 107783 | 628077 | 107801 | 236313 | 252638 | 488185 | 11325 | 1028812 | 0 | 4523011 | 0 | 17751 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17751 | 454762 | 281106 | 298557 | 4621865 |
| 35 內生部門計 | 629822 | 530750 | 21418185 | 3368481 | 1936588 | 3245461 | 1506699 | 9629735 | 2460239 | 1880165 | 1014837 | 78926100 | 4745686 | 468553461 | 1241677 | 28218658 | 61041621 | 11807038 | 2030038 | 0 | 17751 | 454762 | 281106 | 298557 | 4621865 |
| 37 對外消費支出 | 70423 | 53065 | 4506749 | 990172 | 480088 | 2468516 | 1126578 | 187620 | 884857 | 2302482 | 544888 | 3756607 | 38512 | 1744007 | 0 | 17751 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17751 | 454762 | 281106 | 298557 | 4621865 |
| 38 雇用者所得 | 1170904 | 186157 | 47194883 | 2226776 | 4718320 | 42088905 | 1577192 | 2128177 | 1741951 | 12367442 | 1618151 | 84216961 | 106763 | 25802122 | 0 | 15919804 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15919804 | 1182211 |
| 39 營業余剩 | 3945516 | 70120 | 13758313 | 585888 | 2346411 | 18876639 | 8501416 | 2000610 | 2757010 | 4727276 | 0 | 15919804 | 1182211 | 10000000 | 0 | 15919804 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15919804 | 1182211 |
| 40 資本減耗引當 | 1330050 | 83140 | 14016412 | 3450822 | 4281833 | 6295756 | 4495718 | 2194821 | 3074886 | 6137019 | 1155613 | 18585727 | 435586 | 9293883 | 0 | 15919804 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15919804 | 1182211 |
| 41 間接稅(除附稅) | 573381 | 66480 | 13706622 | 2191474 | 1616082 | 3006231 | 1901461 | 3672205 | 2182496 | 1603291 | 106628 | 6049454 | 44690 | 3728845 | 0 | 15919804 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15919804 | 1182211 |
| 42 (控除)經常損 | 138728 | -1959 | -287449 | -301085 | -298770 | -1114119 | -781409 | -173729 | -7708 | 0 | -1098532 | -619 | -500688 | 0 | 15919804 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15919804 | 1182211 |
| 54 附加價值部門 | 3665159 | 457352 | 92026630 | 29185747 | 13178854 | 7446238 | 2940086 | 56570180 | 2436201 | 27124802 | 28338000 | 13846311 | 5532699 | 60336386 | 1241677 | 28218658 | 61041621 | 11807038 | 2030038 | 0 | 17751 | 454762 | 281106 | 298557 | 4621865 |
| 57 國內生產額 | 1516132 | 1008282 | 307028795 | 8322288 | 26896542 | 10700289 | 41586735 | 62063956 | 50744410 | 45633957 | 36537877 | 18205182 | 45633957 | 107020689 | 1241677 | 28218658 | 61041621 | 11807038 | 2030038 | 0 | 17751 | 454762 | 281106 | 298557 | 4621865 |

表 1 平成17年(2005年) 生產者價格計量表 (13部門)

表-4.2 作成した産業連関表

| 農林水産業 | 鉱業・土石製品 | 化学製品 | 繊維製品 | 木材・紙・木製品 | 鉄鋼・非鉄 | 金属製品 | 機械工業製品 | その他の製造業 | 建設 | 水道・暖房・電気 | 運輸 | 情報通信 | 公務 | サービス業 | 分類不明 | 石油製品 | 石油製品 | 石油製品 | 電力 | ガス・熱供給 | 最終需要 | 国内生産額 | | |
|----------|----------|----------|---------|----------|----------|---------|----------|-----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|---------|----------|----------|----------|---------|---|
| 1661615 | 504 | 7100015 | 36801 | 424028 | 31173 | 856 | 276 | 57 | 205313 | 87905 | 0 | 9311 | 0 | 2138 | 1302406 | 0 | 0 | 609 | 0 | 0 | 2296347 | 13161372 | | |
| 626 | 2920 | 63 | 37 | 50681 | 134789 | 481818 | 1849934 | 5774 | 10956 | 496833 | 245 | 0 | 429 | 10748 | 1335 | 9520326 | 580887 | 2335165 | 967074 | 0 | 16455065 | | | |
| 1254862 | 0 | 5372005 | 13100 | 21723 | 121048 | 3474 | 22 | 0 | 24435 | 0 | 0 | 16520 | 0 | 8562 | 9 | 9467 | 6125943 | 7228 | 64 | 0 | 22890333 | 35688795 | | |
| 57427 | 4571 | 42653 | 1146899 | 87547 | 23589 | 2270 | 38967 | 279058 | 114725 | 182190 | 12093 | 375143 | 66539 | 1582 | 87075 | 59419 | 93391 | 616504 | 44346 | 184 | 3509 | 2443 | 11119 | |
| 183143 | 2440 | 570337 | 34215 | 3441926 | 395630 | 149913 | 103739 | 448425 | 1023329 | 2929128 | 26298 | 806118 | 189829 | 94957 | 298732 | 873319 | 76586 | 1732312 | 65684 | 111 | 211 | 32599 | 1938 | |
| 561070 | 8267 | 228655 | 480993 | 407462 | 8992189 | 182188 | 288769 | 1380213 | 327994 | 275985 | 117245 | 883 | 1184 | 1113 | 20499 | 93291 | 29467 | 7327400 | 70315 | 18899 | 11395 | 7665 | 8424 | |
| 17577 | 196 | 137336 | 2235 | 79344 | 154053 | 588259 | 247559 | 128822 | 87362 | 3609655 | 21480 | 38241 | 770 | 2533 | 1980 | 466 | 7705 | 303741 | 34619 | 241 | 7021 | 927 | 257 | |
| 15785 | 23277 | 682065 | 8716 | 326054 | 363232 | 181789 | 20452366 | 11789280 | 490727 | 8124176 | 9331 | 334122 | 2552 | 17331 | 89456 | 14662 | 181649 | 341208 | 104877 | 6486 | 4479 | 23549 | 3842 | |
| 79331 | 4803 | 498 | 194 | 20445 | 3920 | 22941 | 95678 | 48686534 | 185992 | 1037991 | 34713 | 204910 | 8747 | 2469 | 738984 | 106309 | 1067884 | 5621838 | 7549 | 71 | 82 | 503 | 229 | |
| 131867 | 9363 | 982705 | 124936 | 399461 | 533625 | 101043 | 763024 | 4536664 | 4302086 | 1047942 | 247882 | 1119446 | 867455 | 29435 | 231862 | 1454114 | 900794 | 3677816 | 63476 | 5991 | 5846 | 127156 | 37724 | |
| 65697 | 6518 | 57802 | 18915 | 84255 | 179017 | 100221 | 390202 | 92300 | 143650 | 231683 | 651679 | 164048 | 3047681 | 506623 | 233419 | 588219 | 1236893 | 0 | 7998 | 8222 | 844756 | 201494 | 5400525 | |
| 12729 | 4300 | 119359 | 17746 | 46945 | 197940 | 37966 | 81487 | 213813 | 43208 | 147619 | 502887 | 337432 | 112246 | 25466 | 262486 | 1654400 | 818928 | 2195159 | 50100 | 7208 | 1314 | 118853 | 14520 | |
| 521777 | 25063 | 2940498 | 355655 | 103026 | 1231945 | 340475 | 2089742 | 7248540 | 1779256 | 4121479 | 192173 | 1839803 | 284000 | 63231 | 1635165 | 710848 | 585323 | 9480292 | 82082 | 97212 | 95153 | 267072 | 85407 | |
| 226291 | 70008 | 330764 | 196291 | 243197 | 414955 | 192430 | 572879 | 1346530 | 453468 | 937841 | 74613 | 5707629 | 4478944 | 3786522 | 2220168 | 639153 | 126344 | 4406496 | 2326986 | 86685 | 7840 | 632405 | 33048 | |
| 4520 | 7829 | 51378 | 15435 | 36637 | 79979 | 23630 | 99538 | 232173 | 75210 | 160378 | 18237 | 2979732 | 569767 | 378002 | 749394 | 897579 | 36347 | 1745183 | 13540 | 4382 | 2006 | 119762 | 41963 | |
| 632392 | 261456 | 1188067 | 116891 | 552633 | 715731 | 471629 | 1218871 | 2436793 | 1170146 | 3345270 | 290077 | 5400080 | 820643 | 148973 | 5923018 | 1102304 | 1190040 | 4371801 | 1987956 | 389430 | 63703 | 358926 | 137139 | |
| 37206 | 11267 | 140238 | 41280 | 89248 | 404359 | 73785 | 294612 | 1213809 | 213414 | 762075 | 251763 | 4223635 | 2940088 | 137929 | 604935 | 4807870 | 1340061 | 9399246 | 126369 | 14233 | 3229 | 254040 | 43284 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 109667 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 210672 | 58596 | 1419338 | 168512 | 476760 | 3478518 | 653578 | 1535403 | 12108545 | 1429134 | 5190574 | 654007 | 6899848 | 4959615 | 1474303 | 6880028 | 6833693 | 2193201 | 1584685 | 344080 | 96246 | 33158 | 1638661 | 190724 | |
| 181675 | 12053 | 173392 | 15140 | 70442 | 34634 | 59478 | 192711 | 318032 | 103919 | 494201 | 53383 | 629077 | 107801 | 286313 | 252638 | 488185 | 11325 | 1028912 | 0 | 1362 | 3738 | 48719 | 5681 | |
| 259736 | 11051 | 171147 | 32426 | 61331 | 1991882 | 132641 | 152715 | 181391 | 44428 | 370941 | 154723 | 215351 | 36714 | 35472 | 5027420 | 53887 | 334110 | 1112580 | 65338 | 509806 | 83853 | 715471 | 146880 | |
| 2 | 99 | 0 | 8 | 171 | 46755 | 8451 | 539285 | 4753 | 234 | 359881 | 882 | 0 | 0 | 0 | 0 | 525 | 70 | 0 | 15876 | 103 | 0 | 61175 | 234004 | 0 |
| 98918 | 25975 | 321695 | 69994 | 378234 | 620391 | 181769 | 1048006 | 1305736 | 380776 | 94631 | 372877 | 1438977 | 76958 | 178753 | 679072 | 254900 | 402545 | 2139305 | 24265 | 108873 | 14552 | 741887 | 61331 | |
| 314 | 102 | 95722 | 7699 | 9624 | 36194 | 26125 | 115658 | 147253 | 19017 | 20466 | 14236 | 272488 | 28019 | 15579 | 17963 | 20168 | 43946 | 482865 | 2893 | 93 | 836 | 9125 | 57484 | |
| 1324119 | 9702170 | 6803094 | 1245134 | 3175047 | 3605695 | 1867555 | 81547793 | 25070745 | 7286313 | 24666939 | 2946808 | 46889479 | ##### | 2474285 | 1702812 | 15566619 | 16789299 | 91521335 | 134557 | 2302116 | 108826 | 2277013 | 456651 | |
| 5627431 | 6202145 | 6639569 | 223629 | 1867088 | 3702014 | 1221543 | 49345847 | 9603906 | 2849720 | 4318808 | 2079037 | 27553919 | ##### | 54101905 | 73138584 | 11543183 | 11599701 | 36937386 | 0 | 2485828 | 167130 | 5022866 | 396681 | |
| 6951550 | 1504315 | 13844663 | 1468763 | 5042145 | 7907709 | 3109098 | 13089374 | 34674651 | 10136033 | 29165747 | 5026543 | 74443388 | 26490886 | 56576190 | 24242071 | 27128802 | 26389000 | 128458721 | 134557 | 4797944 | 276056 | 7299879 | 853332 | |
| 13161372 | 16455065 | 35688795 | 4374791 | 13440919 | 27430257 | 7155929 | 45173046 | 130040046 | 25623462 | 63122238 | 8306471 | 108608 | 41566785 | 66205835 | 50744410 | 45939957 | 36537677 | 208629300 | 4690225 | 15672945 | 1268974 | 1578367 | 2894704 | |

表-4.3 産業部門と排出係数

| 部門構成 | 排出係数(tco2/億円) |
|--------------|---------------|
| 1 農林水産業 | 0 |
| 2 鉱業 | 0 |
| 3 飲食料品 | 0 |
| 4 繊維製品 | 0 |
| 5 パルプ・紙・木製品 | 0 |
| 6 化学製品 | 0 |
| 7 窯業・土石製品 | 0 |
| 8 鉄鋼・非鉄・金属製品 | 0 |
| 9 機械工業製品 | 0 |
| 10 その他の製造業 | 0 |
| 11 建設 | 0 |
| 12 水道・廃棄物処理 | 0 |
| 13 商業 | 0 |
| 14 金融・保険 | 0 |
| 15 不動産 | 0 |
| 16 運輸 | 0 |
| 17 情報通信 | 0 |
| 18 公務 | 0 |
| 19 サービス業 | 0 |
| 20 分類不明 | 0 |
| 21 石油 | 3764.44 |
| 22 石炭製品 | 4728.23 |
| 23 電力 | 3738.11 |
| 24 ガス・熱供給 | 4145.5 |

表-4.4 代替の弾力値設定

代替の弾力性の値

| 文字 | 説明 | 値 |
|------------|------------------|-----|
| 生産関数 | | |
| Γ_j | エネルギーと付加価値の代替 | 0.3 |
| μ_j | エネルギー財間の代替 | 0.4 |
| σ_j | 労働と資本の代替 | 1 |
| 効用関数 | | |
| ξ_m | エネルギー消費と一般財消費の代替 | 0.6 |
| ξ_c | 一般消費財の間の代替 | 0.7 |
| ξ_e | エネルギー消費財の間の代替 | 0.4 |

A.4 第5章の図表

表-5.1 変数リスト

| | |
|--------------|-----------------|
| 資本投入量 | k_j |
| 労働投入量 | l_j |
| 実質付加価値 | V_j^f |
| エネルギー投入量 | E_{ej} |
| 合成エネルギー財投入量 | E_j^{com} |
| 合成付加価値 | V_j^e |
| 中間投入 | x_{ij} |
| 産出量 | Z_j |
| 資本レント | r |
| 賃金率 | w |
| 実質総付加価値価格 | $P_{V_j^f}$ |
| 合成エネルギー価格 | $P_{E_j^{com}}$ |
| 合成付加価値価格 | $P_{V_j^e}$ |
| 生産財価格 | P_i |
| 所得 | I |
| 総労働投入量 | \bar{L} |
| 総資本投入量 | \bar{K} |
| 非エネルギー消費量 | C_i |
| エネルギー財消費量 | E_{ej} |
| 合成消費財水準 | C |
| 合成エネルギー財消費水準 | E_c^{com} |
| 合成消費財価格 | P_C |
| 合成エネルギー財価格 | P_c^e |
| 税収 | G |

ラベル $(i, j) \in I = \{1, 2, \dots, I\}$: 全ての財の種類を表すラベル
 $(e, g) \in E = \{1, 2, 3, 4\}$: エネルギー財の種類を表すラベル

表-5.2 各指標の定式化

| 添え字0,1はそれぞれ課税前と後を指す | |
|---------------------|--|
| 厚生変化EV | $(U^1/U^0 - 1) * I^0$ |
| エネルギー価格変化(%) | $(P_e^1 + \tau_e h_e) / P_e^0$ |
| 実質GDP | $\{(\sum_i P_i^0 C_i^1 + \sum_e P_e^0 E_{ce}^1) / (\sum_i P_i^0 C_i^0 + \sum_e P_e^0 E_{ce}^0) - 1\} * 100$ |
| 生産量変化(%) | $(Z_j^1 / Z_j^0 - 1) * 100$ |
| 二酸化炭素排出量変化(%) | $(\sum_e h_e E_{ej}^1 / \sum_e h_e E_{ej}^0 - 1) * 100$ |
| 生産シェア(%) | $P_i^1 Z_i^1 / (\sum_i P_i^0 Z_i^0 + \sum_e P_e^0 Z_e^0) * 100$ |
| 課税後の相対価格(%) | $(P_i^1 / P_i^0 - 1) * 100$ |
| 消費支出変化(%) | $(P_i^1 C_i^1 / P_i^0 C_i^0 - 1) * 100$ |
| 消費量変化(%) | $(C_i^1 / C_i^0 - 1) * 100$ |
| 実質国民所得 | $w\bar{L} + r\bar{K}$ |
| ラスパイレス価格指数 | $\{\sum_i P_i^1 C_i^0 + \sum_e (P_e^1 + \tau_e h_e) E_{ce}^0\} / (\sum_i P_i^0 C_i^0 + \sum_e P_e^0 E_{ce}^0)$ |
| 支出指数 | $\{\sum_i P_i^1 C_i^1 + \sum_e (P_e^1 + \tau_e h_e) E_{ce}^1\} / (\sum_i P_i^0 C_i^0 + \sum_e P_e^0 E_{ce}^0)$ |

表-5.3 集計結果

| | 課税後 |
|---------------|----------|
| 厚生変化(億円) | -6291.79 |
| 炭素税率(万円/tco2) | 3.76 |
| 石油価格変化(%) | 32.66 |
| 石炭価格変化(%) | 26.9 |
| 電力価格変化(%) | 35.16 |
| ガス価格変化(%) | 38.19 |
| GDP変化(%) | -0.063 |
| 税収(億円) | 45153.31 |
| CO2削減率(%) | -11.758 |
| 賃金率変化(%) | -0.002 |
| 資本用役(%) | 0 |
| ラスパイレス物価指数 | 1.01 |
| 支出指数 | 1.009 |

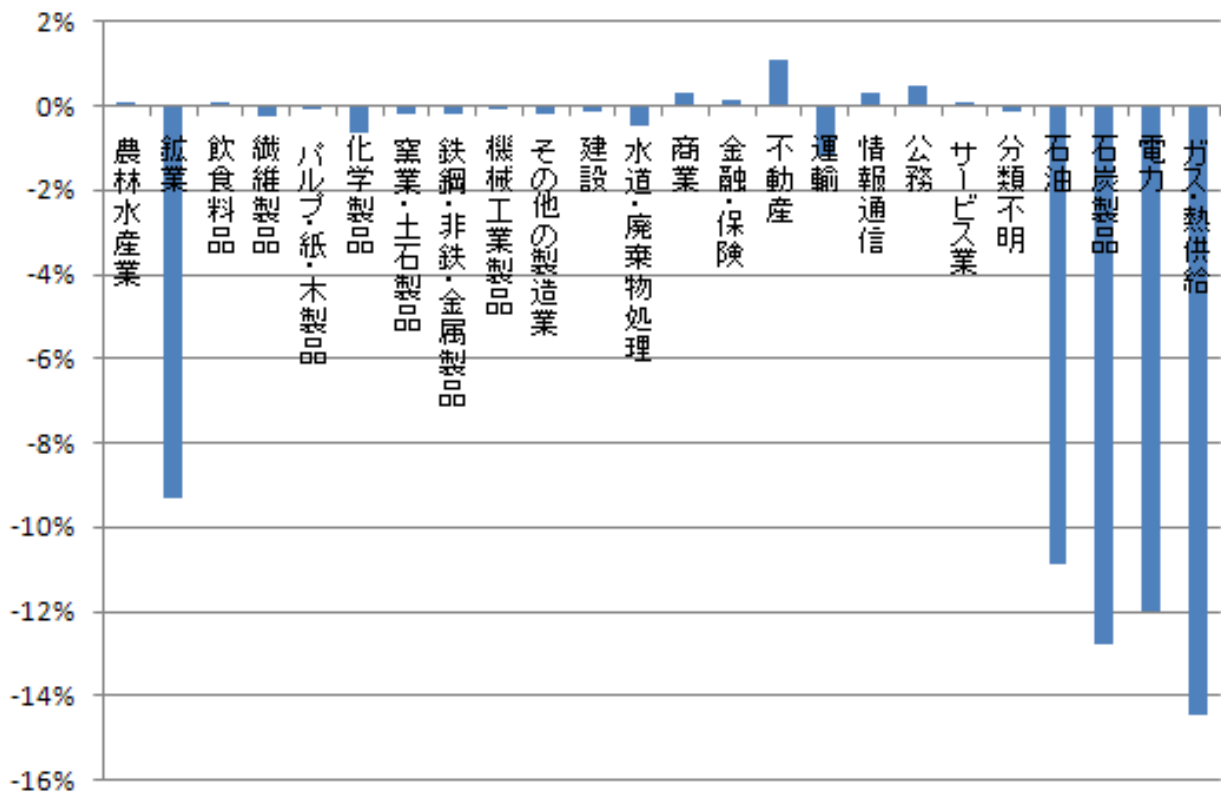


図-5.1 生産量変化 (%)

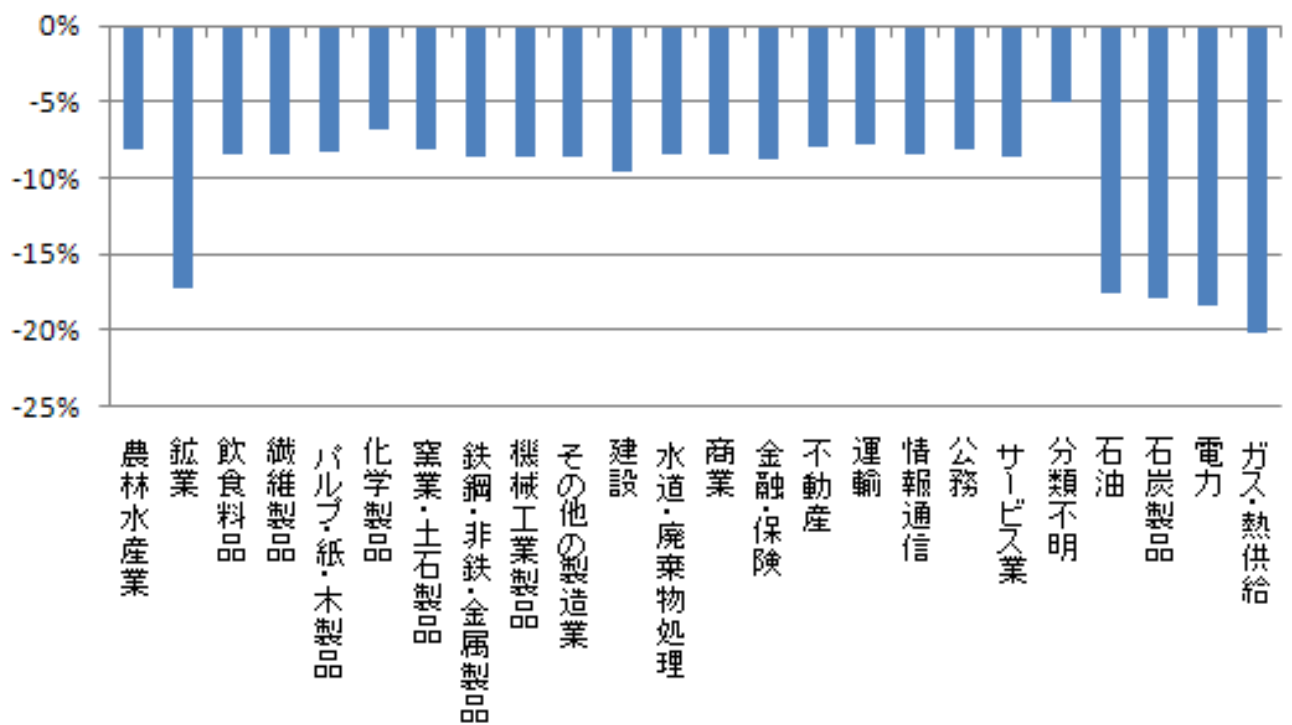


図-5.2 二酸化炭素排出量変化 (%)

表-5.4 要素投入変化

| 部門 | 労働投入 変化(%) | 資本投入 変化(%) |
|------------|---------------|---------------|
| 農林水産業 | 0.5 | 0.49 |
| 鉱業 | -9.31 | -9.31 |
| 飲食料品 | 0.48 | 0.48 |
| 繊維製品 | 0.49 | 0.49 |
| パルプ・紙・木製品 | 0.75 | 0.75 |
| 化学製品 | 1.99 | 1.99 |
| 窯業・土石製品 | 0.84 | 0.84 |
| 鉄鋼・非鉄・金属製品 | 1.17 | 1.17 |
| 機械工業製品 | 0.38 | 0.38 |
| その他の製造業 | 0.28 | 0.28 |
| 建設 | 0.17 | 0.17 |
| 水道・廃棄物処理 | 0.49 | 0.49 |
| 商業 | 0.55 | 0.55 |
| 金融・保険 | 0.21 | 0.21 |
| 不動産 | 1.12 | 1.12 |
| 運輸 | 0.69 | 0.69 |
| 情報通信 | 0.44 | 0.44 |
| 公務 | 0.78 | 0.78 |
| サービス業 | 0.4 | 0.4 |
| 分類不明 | 3.84 | 3.84 |
| 石油 | -9.86 | -9.86 |
| 石炭製品 | -9.3 | -9.31 |
| 電力 | -10.27 | -10.27 |
| ガス・熱供給 | -12.42 | -12.42 |

表-5.5 運輸部門の生産構造変化

| 変数 | 説明 | 課税後 |
|--------------|---------------|-------|
| dE_c^{com} | エネルギー財投入変化(%) | -7.9 |
| dk | 資本投入変化(%) | 0.69 |
| dl | 労働投入変化(%) | 0.69 |
| dV^e | 合成付加価値変化(%) | -1.18 |
| dM | 中間投入変化(%) | -1.18 |
| dZ | 生産量変化(%) | -1.18 |

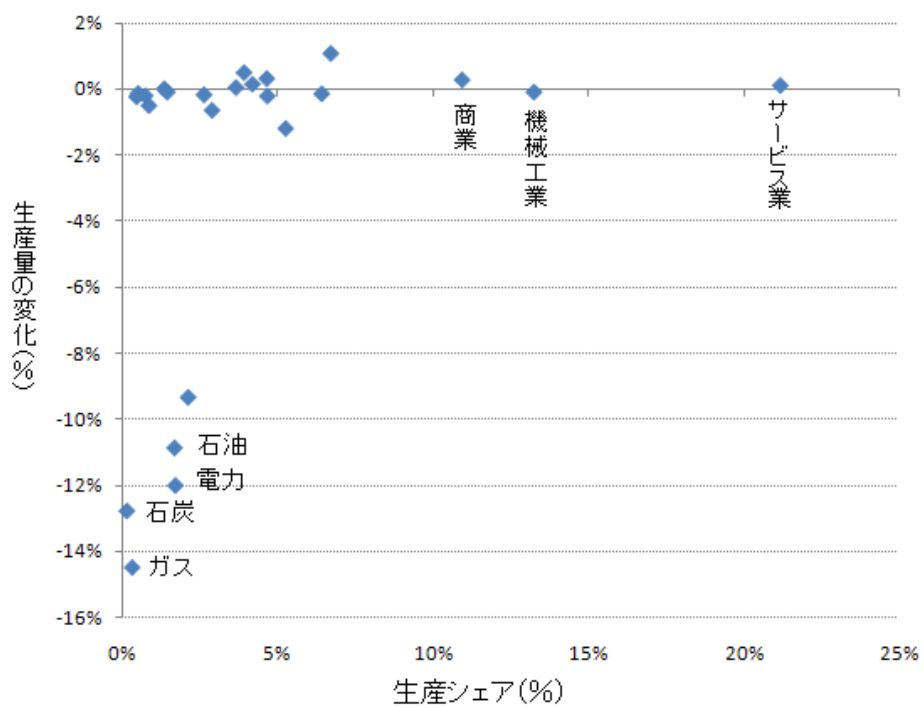


図-5.3 産業別の生産量の変化と生産シェア

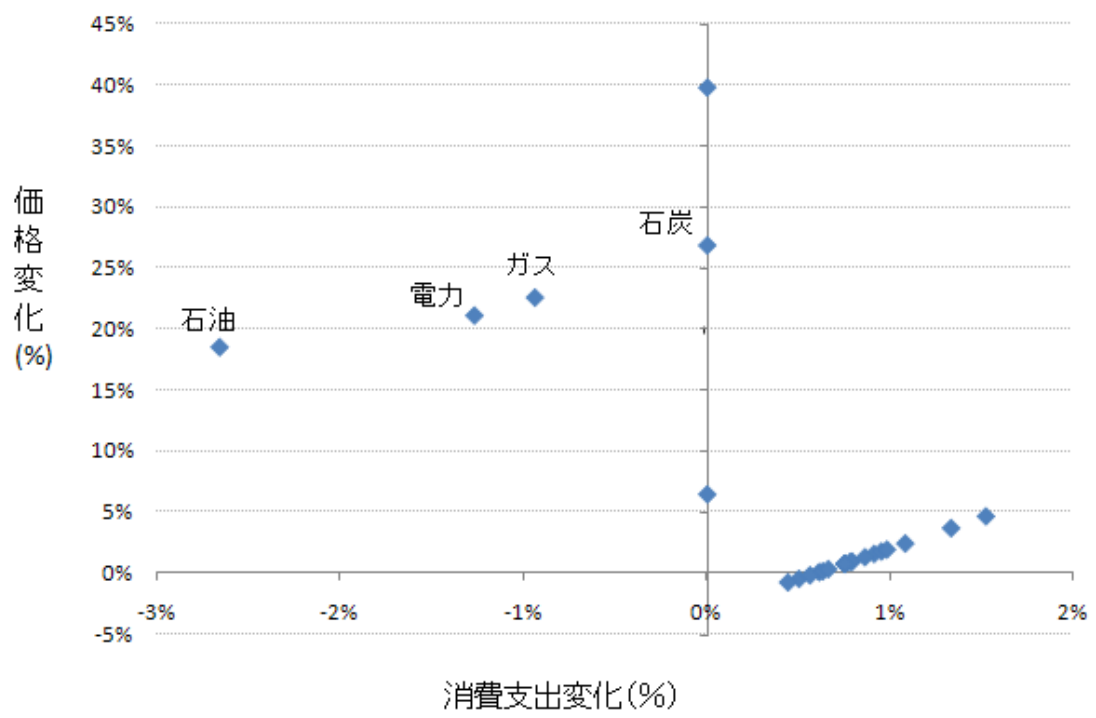


図-5.4 消費支出と価格の関係

表-5.6 消費量変化と価格の関係

| 部門 | 家計消費 変化(%) | 価格変化 (%) |
|------------|---------------|-------------|
| 農林水産業 | -0.12 | 0.91 |
| 鉱業 | 0 | 39.82 |
| 飲食料品 | 0.04 | 0.71 |
| 繊維製品 | -0.61 | 1.54 |
| パルプ・紙・木製品 | 0 | 6.43 |
| 化学製品 | -2.97 | 4.62 |
| 窯業・土石製品 | -0.77 | 1.74 |
| 鉄鋼・非鉄・金属製品 | -1.28 | 2.39 |
| 機械工業製品 | -0.11 | 0.89 |
| その他の製造業 | -0.4 | 1.27 |
| 建設 | 0.02 | 0.73 |
| 水道・廃棄物処理 | -0.89 | 1.89 |
| 商業 | 0.57 | 0.04 |
| 金融・保険 | 1.02 | -0.51 |
| 不動産 | 1.26 | -0.8 |
| 運輸 | -2.24 | 3.65 |
| 情報通信 | 0.79 | -0.22 |
| 公務 | 0.52 | 0.1 |
| サービス業 | 0.38 | 0.28 |
| 分類不明 | 0.02 | 0.73 |
| 石油 | -17.87 | 18.51 |
| 石炭製品 | 0 | 26.87 |
| 電力 | -18.48 | 21.11 |
| ガス・熱供給 | -19.19 | 22.58 |

表-5.7 感度分析

| | 弾力値0.3 | 弾力値0.5 |
|---------------|----------|----------|
| 厚生変化(億円) | -6291.79 | -4553.09 |
| 炭素税率(万円/tco2) | 3.76 | 1.87 |
| 税収(億円) | 45153.31 | 22492.54 |
| 効用変化(%) | -0.12 | -0.087 |

謝 辞

本研究を遂行するにあたって、多くの方々にご指導・ご協力を頂きました。ここに心より感謝の意を表します。京都大学工学研究科の小林潔司教授には、大変御多忙の中、終始懇切丁寧な御指導、御助言を頂きました。また日頃から公私に関わらず相談に乗って頂き、常に適切な御助言を頂きました。ここに、心より深く感謝申し上げます。京都大学工学研究科の松島格也准教授には、御多忙の中、本研究の遂行に関わる基礎的な素養から論文の細部の修正にわたり、有益な御指導と御教授を頂きました。厚く御礼申し上げます。京都大学工学研究科の大西正光助教には有益なご指導とご教授、そして温かい励ましの言葉を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。京都大学工学研究科の吉田護助教には、日頃の研究生活の他、本研究の遂行に関わる基礎的素養についても有益な御指導・コメントを頂きました。心より感謝の意を表します。京都大学工学研究科の鄭蝦榮特定研究員には、研究室に入った当初から常に温かく御指導を頂きました。ここに、心より感謝申し上げます。計画マネジメント論研究室の諸兄・諸先輩には、日頃から親身に相談に乗って頂き、研究に対する温かい励ましの言葉や御指導を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。最後になりましたが、秘書の藤本彩氏には、日頃から多くの事務上のお手伝いの他、様々な場面で御支援を受けました。心より感謝いたします。

