

論 説

中国 CO₂ 削減政策による経済成長への影響分析 —— CGE モデルの応用 ——

黄 愛 珍

はじめに

本稿の目的は、筆者が構築した中国環境 CGE (Computable General Equilibrium) モデルを用いて、中国の CO₂ 削減政策による経済成長への影響を具体的な数値で示すことである。地球温暖化の主因となる CO₂ の削減は UNFCCC¹⁾ (United Nation Framework Convention on Climate Change) の中心的な問題である。最近、CO₂ 削減対策のひとつである炭素税が有効な対策としてすでに多くの先進国において導入されているが、炭素税による経済への影響を懸念しなかなか導入できない国々もある²⁾。本稿では、中国における CO₂ 削減政策として炭素税を導入した場合に、一定の排出規制目標を達成するために、具体的にどのくらいの炭素税が必要なのか、それによって中国经济全体、産業部門別にそれぞれの程度のコストを必要とするのか、を CGE モデルによるシミュレーション分析によって明らかにしたい。以下、1 節では中国の CO₂ 排出の現状と問題を整理し、2 節では新たに構築する中国環境 CGE モデルの特徴及び利用するデータの解説を行う。3 節ではシミュレーション結果の解説を行い、先行研究の結果との比較を行う。むすびでは本稿の分析結果をまとめるとともに残された課題について整理する。

1. 現状と問題

中国の経済成長に伴って、石炭の大量消費による CO₂ 排出量は急速に増大し国際社会の大きな

¹⁾ 気候変動に関する国際連合枠組条約を指す。

²⁾ すでに炭素税(あるいは CO₂ 税)やエネルギー税を導入している国としては、フィンランド、オランダ、スウェーデン、ノルウェー、デンマーク、ドイツ、イタリア、イギリスがある。日本では、現在環境省が中心となって炭素税をはじめ様々な環境税について研究を行っており、炭素税を含む化石燃料への課税導入について検討段階にある。

注目を集めている。筆者の推計によると、1971 年化石燃料の燃焼による CO₂ 排出量は 8.60 億 t (CO₂ 換算億 t、以下同) であるのに対し、2000 年になると 31.25 億 t に上る³⁾。1971 年の排出量に比べ 3 倍以上も増大したことになる。現在、中国の CO₂ 排出量は世界の総排出量の約 13 % を占めており、アメリカに次ぎ世界第 2 位の排出大国となっている。

しかし、国民 1 人当たりの CO₂ 排出量でみると依然として CO₂ 排出小国である。1998 年の中国の 1 人当たり CO₂ 排出量は 2.3 t である。世界平均(3.9 t)の 59 %、日本(8.9 t)の 26 %、米国(20.1 t)の 11 % しかない。もし中国が米国、日本と同様なエネルギー消費形態を維持しながら経済成長をしていくと、中国による CO₂ 排出量は世界 1 位の座につくことは明らかである。仮に 1 人当たりの CO₂ 排出量が現在の 2 倍の 4.6 t に倍増(米国の 23 %、日本の 52 %)した場合、単純計算では中国による CO₂ 排出量は米国の 54.1 億 t を超え 57 億 t を排出し、世界の総排出量の 25 % を占めることとなる。仮に 1 人当たり排出量が現在の米国の水準に達した場合は、中国 1 国の CO₂ 排出量が世界の現在の CO₂ 総排出量を越えて 249 億 t に上る計算となる。仮に日本の現水準に達しただけでも世界の CO₂ 総排出量の約半分が中国による排出となる⁴⁾。

今後、中国経済は依然として比較的高い成長率で成長していくと予想されるが、エネルギー消費の増大に伴い、エネルギー需給問題や CO₂、SO₂ などの大気汚染物質の排出の増大による環境問題がますます深刻となることが懸念される。中国におけるエネルギー不足問題の解決および大気汚染物質の排出量の削減のために、「経済成長」と「エネルギー需給安定」と「環境保全」を「三位一体」として捉え、「持続可能な経済発展」を目指していくことが重要な課題となる。

80 年代から、中国は省エネルギー対策を重視するようになった⁵⁾。長期間の審議を経て 1997 年の 11 月 1 日に中国「省エネルギー法」が可決され、1998 年から発効した。中国「省エネルギー法」は、「環境保全と持続的経済発展のため」を目的とし、省エネルギーを「経済発展のための長期的戦略方針」として位置づけている。このように中国の省エネルギー政策はエネルギーの長期戦略として重視され、エネルギー消費削減および CO₂ 削減に一定の効果を示してきた。しかし、これまでの環境政策、省エネルギー政策は主に行政管理(直接規制)を中心とした行政主導的な政策であり、経済的手段はあまり利用されていない。計画経済から社会主義市場経済へ移行する過程においては、市場メカニズムの経済各分野への導入に伴って、エネルギー政策分野にも税制優遇政策、租税政策などの経済的手段を利用するという方向に変えていかなければならない。このような背景の下で、

³⁾筆者による推計の詳細については黄(2003)を参照されたい。参考までに、IEA, OECD(2000)は1971年から1998年までの化石燃料によるCO₂排出量の推計を行っている。その推計結果によると、中国における1971年のCO₂排出量は8.61億tであり、1998年のCO₂排出量は28.53億tとなっている。

⁴⁾IEA, OECD(2000)の推計結果より推計。

⁵⁾70年代末にはエネルギー供給不足が深刻な問題となったため、1981年11月に開かれた第5回全国人民代表大会において、「エネルギー開発と節約を同時に重視し、節約を第一」というエネルギー長期戦略方針を打ち出した。

今後中国において具体的に税制優遇政策や租税政策などの経済的手段を導入した場合、どの程度の政策効果があるのか、定量的な分析を通じて具体的な数値で示すことがますます求められるようになると思われる。

本稿では、中国で CO₂ 削減対策として炭素税を導入した場合の効果を、中国環境 CGE モデルを用いてシミュレーションし、具体的な数値で示すことにする。

2. モデルとデータ

本節では、サーベイを踏まえながら先行研究のモデルを改善し、独自に構築した中国環境 CGE モデルの特徴を述べ、データについての説明を行いたい。

2.1 先行研究

中国経済に CGE モデルが応用されるようになったのは 1980 年代後半からである⁶⁾が、中国環境政策の CGE モデル分析は 1990 年代の半ば頃から研究されている⁷⁾。以下では、中国を対象とした環境 CGE モデルのうち、炭素税（またはエネルギー使用税）の導入を通じて、CO₂ 排出削減の影響を分析するために利用される CGE モデルの先行研究の要約と問題を整理する。

代表的な静学 CGE モデルとしては、小山田（1997）モデル、馬（1998）モデル、代表的な動学 CGE モデルとしては、Zhang（1996）モデル、Garbaccio（1999）モデルがあげられる。

小山田（1997）は、アジア経済研究所『国際投入産出表：中国-日本 1985』（1992）のデータを利用し、中国を対象に 6 部門 1 家計静学モデルを用いている。SAM 表（Social Accounting Matrix: 社会会計表の略称）の作成は行っていない。モデルでは、SO_x、NO_x と CO₂ の 3 種類の汚染物質を取り扱っている。エネルギーは石炭と石油（天然ガス）の 2 種類である。分析結果によると、エネルギー使用税の導入による環境汚染物質の排出量削減は中国経済の状態を大きく悪化させることはない。もし同時に生産間接税をゼロとする政策を採用した場合、社会的効用水準を大きく上昇させることとなる。

馬（1998）は、中国の社会科学数量経済と技術経済研究所とオーストラリアのモナシュ大学（Monash University）の政策研究センターと共同で構築した中国経済の CGE モデル---PRCGEM---

⁶⁾ 計画経済から市場経済へ移行する初期の研究においては、主に計画経済システムと市場経済システムとの効率性の比較分析を目的としている。この頃の中国 CGE モデルは、市場価格と計画価格をモデルに同時に取り入れ、2 つの市場のシステムの効率性の比較、または、価格の歪みの程度を評価している研究が多く見られる。詳しくは、Byrd(1987, 1989)、Xu(1990, 1993)、Martin(1990, 1993)などを参照されたい。

⁷⁾ ここでは主に中国 1 国を対象とした環境 CGE モデルについて解説するが、多国モデルの中の 1 国として中国を取り入れたモデルもある。たとえば、Green (GeneRal Equilibrium Environmental model: Burniaux et al., 1992) モデルがそれである。

を利用している。1992 年の投入産出表のデータをベースとして炭素税の導入による CO₂ 削減のコストを分析している。SAM 表の作成は行っていない。分析結果によると、どんな状況においても、CO₂ 削減は必ず経済成長の速度を遅くさせ、シナリオによって実質 GDP を-1 %から-0.016 %減少させると推計している。

Zhang (1996) は、典型的な逐次決定型 10 部門動学 CGE モデルを用いている。1987 年中国投入産出表を基に作成された 1987 年 SAM 表を基準データとして利用し、CO₂ 排出削減のための炭素税の導入効果を分析している。CGE モデルとエネルギー技術選択モデルである MARKEL モデル⁸⁾と結合していることが Zhang モデルの特徴である。それによって、CO₂ 排出削減の影響を評価すると同時に、どの技術を選択すれば削減費用が最小になるかを説明している。しかしこの種の結合はまだ十分とはいえない。CGE モデルの結果を MARKEL モデルに取り入れ、さらに MARKEL モデルの結果を CGE モデルにフィードバックすることができて初めて整合的なモデルができる。しかし、実際はほとんど不可能である。

Garbaccio (1999) モデルは、Zhang (1996) モデルと同様に動学的な経済・エネルギー・環境 CGE モデルである。1992 年中国投入産出表を基に作成された 1992 年 SAM 表をデータベースとして利用している。Garbaccio モデルの特徴としては、モデルに人口成長、資本蓄積、技術変化、需要パターン変化の効果を考慮にいたしたことと、中国経済の二重性を取り入れたことである。つまり、すべての財を市場特性から計画と市場に区別し、すべての価格も計画価格と市場価格とを区別している。生産関数は、資本、労働、土地、エネルギー（石炭、石油、電力、精練石油）とその他の中間投入を変数として CD (Cobb-Duglas) 型生産関数を想定している。

2 つのモデルは共に動学 CGE モデルであるが、生産関数、パラメーター値の違いと同時にシミュレーションの設定も異なるため当然得られた結果も違う。Zhang モデルの結果によると、2010 年において、基準ケースに比べ CO₂ 排出量を 20%削減するためには、炭素トン当たり 205 元の炭素税を必要としている。GDP は炭素税を導入しない基準ケースに比べて 1.52 %の減少となる。そして、間接税をそれぞれ 5 %、10 %削減して炭素税のマイナス効果を軽減する手段を導入しても、シミュレーション結果によればその効果は非常に限られたものである。Zhang (1996) は中国の経済成長と環境改善はトレードオフ関係にあり両立は難しいと論じている。これに対して、Garbaccio モデルの結果によると、炭素税の導入と同時に政府の総税収を一定に保つために企業のその他の税収を軽減した場合、炭素トン当たり 9 元の炭素税だけで CO₂ を 5 %削減できる。CO₂ を 10 %削減するためには必要とする炭素税は炭素トン当たり 18-20 元となる。また、GDP については最初の 1 年は少し減少するが、その後投資の増加（企業のその他の租税の軽減により、余剰資金が投資にまわる）によって、GDP と消費はともに基準ケースに比べて急速に増大する。

⁸⁾MARKet ALLcation の頭文字を取り合わせたものである。モデルの詳細は Beaver(1993)を参照されたい。

Garbaccio モデルの分析結果の重要なポイントは、中国における CO₂ 排出削減と長期 GDP の増大、消費の増大との両立を論じている点にある。

以上、先行モデルの特徴について簡単に述べたが、理論モデルの相違、生産関数、パラメーターの相違、基準データの相違と同時に、シミュレーション分析用のシナリオ設定の相違などにより、分析結果が大きく異なることを明らかにした。本稿の特色は、先行研究の問題点を改善し炭素税の影響分析のために中国環境 CGE モデルを独自に構築したこと、先行研究における利用する基準データが古い点を改善し最新の 1997 年中国 SAM 表の構築を初めて試みたことにある。

2.2 モデルの特徴

ここでは、新たに構築する中国環境政策分析のための CGE モデル（以下、中国環境 CGE モデルと略称する）の特徴について説明しよう。モデルの特徴の説明に入る前に、中国環境政策分析のために CGE モデルを使う利点について簡単にふれておこう。周知のとおり、中国経済は現在計画経済から市場経済への移行過程にある。経済活動における市場メカニズムや価格インセンティブの働きがますます重要な役割を果たしつつある移行経済における中国の環境政策の効果を分析するためには、市場価格メカニズムに基づく各経済主体の行動をリアルに反映する必要がある、CGE モデルはこれを可能にする。第 2 の利点はデータの利用可能性である。マクロ経済モデルや時系列モデルなどは十分長い期間の時系列データを必要とするが、中国においては長期間の時系列データの利用は実際上不可能である。これに対して、CGE モデルの場合は、基準年の 1 年間のデータまたは、数年間のデータさえあれば分析できるという利点がある⁹⁾。

中国環境 CGE モデルは 10 部門静学モデルである。以下では異なったシナリオにおいて、炭素税を導入する前の基準ケースと比べ、炭素税を導入した場合に削減コストがどう変化するかをシミュレーション分析を通じて検討している。本稿の分析の焦点は炭素税の影響にあり、その具体的な実現経路に焦点を置いていないため、動学モデルと静学モデルの区別はそう変わらない。それより、本稿はモデルの構造をより充実することに力を入れている。たとえば本稿のモデルでは、生産関数には労働と資本の 2 つの要素以外に石炭、石油、電力、天然ガスの 4 つのエネルギー要素を取り入れ、労働と資本の間だけでなく、エネルギー間、エネルギーと資本間の要素代替の効果を考慮に入れることができるモデルとしている。また、Zhang モデルのような典型的な逐次決定型動学モデルでは、各期内の要素が完全に流動的であると仮定しているが、本モデルでは、平均賃金を固定し、労働市場の均衡は内生化した失業率によって調整されると仮定し、短期における要素市場の硬直性が存在する場合の影響を分析することができるものにしている。さらに、炭素税の影響を分析するために、炭素税及び CO₂ 排出量の定式化をモデルに明示的に取り入れた。

⁹⁾ これは CGE モデルの利点であると同時に欠点であるとも言われる。

本モデルの非環境部分は、基本的に Dervis, De Melo and Robinson (1982, Ch.7) を出発点にしている。モデルは農業部門、重工業部門、軽工業部門、運輸・通信部門、建設部門、サービス部門、石炭部門、石油部門、天然ガス部門と電力部門の 10 の産業部門から構成される¹⁰⁾。最初の 6 つの産業部門は財・サービスの生産を行い、一方、残りの産業部門はエネルギーの供給、分配を行う。すべての産業部門は、規模に関して収穫一定の技術を持ち、生産量を所与として中間投入と生産要素投入（労働、資本）及びエネルギー投入（石炭、石油、天然ガス、電力）を費用最小化の原則に基づいて生産活動を行うと仮定している。モデル構造の全方程式体系及び対応する記号は付録 A にまとめている。

モデルの生産構造および供給・需要構造は図 1 の通りである。点線の下部分は生産構造を示している。各産業部門は 3 段階の階層型生産関数¹¹⁾をもつと仮定している。まず、生産に必要な労働投入と資本投入は CD 型合成関数¹²⁾によって労働・資本合成財 (VA_i) に結合される。同様に、生産に必要な各エネルギー投入（石炭、石油、天然ガスと電力）は CD 型合成関数によってエネルギー合成財 (E_i) に結合される。第二に、結合された労働・資本合成財 (VA_i) とエネルギー合成財 (E_i) は CES (Constant Elasticity of Substitution) 型関数によって生産要素合成財 (EVA_i) に結合される。第三に、生産要素合成財 (EVA_i) とエネルギー投入以外の中間投入 (INT_i)（以下中間投入と略する）との間はレオンチェフ型生産関数に従って生産財 (Q_i) の生産を行う。

図 1 の点線の上半部分は財の供給・需要構造を示している。3 段階の階層型生産関数によって生産された財 Q_i は、国内に供給されるか海外に供給（輸出）されるかのいずれかになる。各産業部門は CET (Constant Elasticity of Transformation) 型関数に従って、売上高を最大化するように海外に輸出する量と国内に供給する量を決定する。同様に消費者は財を需要するとき、支出最小化の下で、国内で生産された財（国内財）と海外から輸入される財（輸入財）の選択をする。輸入財と国内財は、Armington の仮定¹³⁾に従って CES 型関数によって合成財 Z_i に結合される。そして合成財 Z_i は国内で家計消費、政府消費、投資消費、在庫消費のような最終需要、または産業部門に中間投入として需要される。

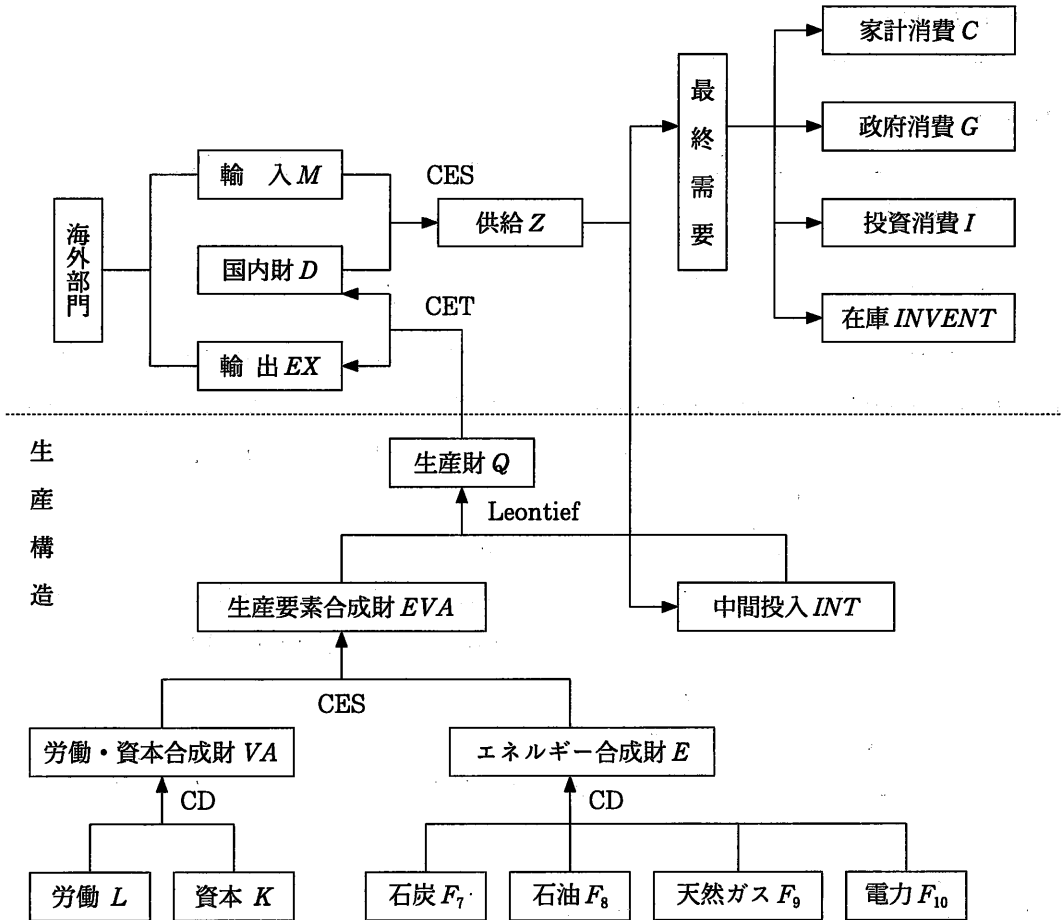
¹⁰⁾ 中国の 1997 年投入産出表の 40 部門表（以下 40 部門表と略称）においては、「石油」と「天然ガス」が一つの産業部門になっているが、ここでは 1997 年投入産出表の 124 部門表（以下 124 部門表と略称）を利用して、「石油」と「天然ガス」の 2 つの産業部門に分割した。また、40 部門表では、「電力」部門の中に「熱水の生産・供給」部門が入っているが、これも同じく 124 部門表を利用して、「熱水の生産供給」部門を「電力」部門から分割した。

¹¹⁾ 完全競争市場において、生産部門はある一定の合成関数の下で要素価格及び合成財の量を所与として、費用最小化するように各要素の投入量を決定すると仮定される。この仮定のもとでは、合成した投入量に対して合成関数の双対型でその合成財価格を定義するならば、各合成段階での最適化は、全体の最適化と同値となることが知られている。たとえば、小川・斉藤・二宮 (1992)、Varian (1984) を参照されたい。

¹²⁾ 結合関数または集計関数とも呼ばれる。

¹³⁾ Armington (1969) を参照されたい。

図 1 中国環境 CGE モデルの生産構造および供給・需要構造



モデルの方程式体系の詳細の解説については省略する¹⁴⁾が、以下においては、一般的な CGE モデルと異なるエネルギー・環境ブロックについて簡単に説明を加えておこう。

本稿モデルにおいては、CO₂ 排出削減の手段としてエネルギー（化石燃料）の消費に炭素税を導入すると仮定している。炭素税は炭素単位当たりの従量税方式で課税される。従って、中国の CO₂ 排出削減量を計測するためには、まず中国で消費されるエネルギー（化石燃料）に含まれる炭素量を計算する必要がある。

各化石燃料の炭素含有量は各化石燃料の消費量にそれぞれの単位当たりの炭素含有率 rc_j をかけて求める。中間投入として産業部門 i の生産に投入される第 j 化石燃料の炭素含有量 $CARBON_{ji}$ と、最終需要として需要される第 j 化石燃料の炭素含有量 $CARBON_j$ はそれぞれ次のように計算される。

¹⁴⁾ 詳細については黄（2003）を参照されたい。

$$CARBON_{ji} = rc_j F_{ji} \quad j = 7, \dots, 10 \quad i = 1, \dots, 10$$

$$CARBON_j^c = rc_j C_j \quad j = 7, \dots, 10$$

ここで、 F_{ji} は産業部門 i の生産に投入される第 j 化石燃料の中間消費量、 C_j は第 j 化石燃料の最終需要を表している。

中国の全産業部門及び家計で消費される第 j 化石燃料に含まれる総炭素含有量 $CARBON_j$ は次式のように求められる。

$$CARBON_j = \sum_{i=1}^{10} CARBON_{ji} + CARBON_j^c = rc_j \left(\sum_{i=1}^{10} F_{ji} + C_j \right) \quad j = 7, \dots, 10$$

中国の産業部門の生産や家計の消費から排出される CO_2 総排出量は、全産業部門及び家計で消費される各化石燃料に含まれる炭素含有量にそれぞれの調整係数 θ_j (燃料効率を表す) と転換係数 π を掛け合わせたものを、すべての化石燃料について合計して求められる。即ち、

$$CO_2 = \sum_{j=7}^{10} \pi \theta_j CARBON_j$$

モデルでは、石炭、石油と天然ガスの 3 つの化石燃料の消費に炭素税を徴収することとなっている。各化石燃料の消費単位あたりに徴収される炭素税額はそれぞれの化石燃料の炭素含有率 rc_j と炭素単位あたりの炭素税 TC によって決定される。従って、各化石燃料の消費者価格 PF_j は間接税込みの価格 P_j に支払うべき炭素税額を加えたものとなる。即ち、

$$PF_j = P_j + rc_j TC \quad j = 7, \dots, 10$$

ここで、変数 tf_j を第 j 化石燃料の消費単位当たりの炭素税 (従価税) とし、以下のように新たに定義すると、

$$tf_j = \frac{rc_j TC}{P_j} \quad j = 7, \dots, 10$$

炭素税を従量税から化石燃料単位当たりの従価税に変換することができる。即ち、

$$PF_j = P_j + rc_j TC = P_j \left(1 + \frac{rc_j TC}{P_j} \right) = P_j (1 + tf_j) \quad j = 7, \dots, 10$$

炭素税収入 $RCTOT$ については、中国の全産業部門と家計で消費される化石燃料に含まれる総炭素含有量に炭素税を乗じて求められ、政府収入の一部と仮定される。

$$RCTOT = TC \sum_{j=7}^{10} CARBON_j$$

2.3 データ

2.3.1 基準データ

CGE モデルでは、基準データとして SAM 表¹⁵⁾ データがよく利用される。本稿においても筆者が独自に作成した中国 SAM 表のデータを利用している。本稿では、中国 1997 年投入産出表をベースに 10 部門 SAM 表の作成を試みた¹⁶⁾。作成にあたっては中国の 1997 年投入産出表を基本資料として利用し、中国統計年鑑などその他の統計資料も利用している。中国の 1997 年投入産出表は現在利用可能な資料のうち最新のものであり、1997 年以前の投入産出表をより改善したものになっている。特に、1997 年以前の投入産出表では輸出と輸入が一括されていたので、SAM 表を作成する際にはまず輸出と輸入の分割作業から入らなければならなかった。利用可能なデータが少ないため、輸出と輸入の分割は当事者の恣意的な部分が入り、困難な作業でもあった。

1997 年投入産出表になって初めて輸出と輸入が分割された。この点においても、1997 年中国投入産出表に基づいて筆者が作成した中国 SAM 表は意義のあるデータが得られたと考えられる。中国における利用可能なデータの制約上 SAM 表の詳細な産業部門の分割は大変な作業となるため、今回は 10 産業部門の SAM 表を作成した。利用資料の相違によって、データの整合性が欠ける部分については調整を行った。10 部門であっても 1997 年 SAM 表の作成は、今後の研究にとって一定の価値があると思われる。中国 SAM 表の図式表及び作成した 1997 年中国 10 部門 SAM 表の数値表は付録 B に示している。

2.3.2 補助データ

CGE モデル分析においては、上記基準データのほか、代替弾力性、資本形成係数、労働力、資本ストックなどの補助データを別に与える必要がある。各補助データの値の詳細は付録 B に示している。

代替弾力性のデータについては、直接利用するデータがなく、その他の研究を参照することにした。輸入需要関数の代替弾力性と輸出供給関数の代替弾力性は GTAP データベース¹⁷⁾ (Ver.3) データを利用している。そして、生産関数の代替弾力性は Zhang (1996) を参照した。

資本形成係数については、直接利用できるデータがなく、Zhang (1996) のデータを微調整したものを利用している。労働力のデータについては、総労働供給は直接 1998 年『中国統計年鑑』より得たが、各部門に雇われた労働人口は、同『中国統計年鑑』の部門別労働人口を本研究の産業部

¹⁵⁾SAM 表の詳しくは Devarajan, S. Lewis, J.D. Robinson S. (1991) を参照されたい。

¹⁶⁾中国 SAM 表の作成の詳細については黄 (2003) を参照されたい。

¹⁷⁾出所は川崎 (1999) より。

門の分類に調整した。資本ストックのデータについては、直接利用できるデータがないため、部門別の原価償却を部門別の原価償却率で割ることによって間接的に推計した。部門別減価償却のデータは 1997 年『投入産出表』から直接得られたが、部門別の減価償却率のデータは Xie (1996) のデータを微調整したものを利用している。1997 年の部門別賃金と経済全体の平均賃金については、付録 B の表 B 4 の労働人口のデータと 1997 年中国 SAM 表の部門別労働所得及び総労働所得のデータを利用して計算した。部門別の賃金は部門別の労働所得を部門別の労働人口で割って求め、同様に経済全体の平均賃金は総労働所得を総労働供給（部門別労働人口の合計）で除することによって計算した。部門別賃金調整係数は部門別の賃金と平均賃金の比率で計算される。モデルでは、平均賃金が固定され（賃金硬直性の仮定）、部門別賃金調整係数を用いて、部門間の賃金格差を反映している。

1997 年の平均資本収益率（原価償却率を含む）と部門別資本収益率については、平均賃金と部門別賃金と同様の方法で、資本所得と資本ストックとの比率で求めることができる。各産業部門で利用される資本の組み合わせが異なるため、資本収益率の部門間調整係数を用いて、部門間の資本収益率の格差を取り入れた。資本収益率の部門間調整係数は、部門別の資本収益率を平均資本収益率で除して計算される。

輸入税率と輸出補助のデータは、簡単化のために平均税率¹⁸⁾を利用した。例えば、輸入税率は総輸入税収入を輸入額で割って求めた。生産間接税率については、1997 年「投入産出表」の部門別間接税と部門別の生産額のデータを利用して計算した。また、モデルでは部門別の在庫需要を生産の一定比率として外生的に与えられるため、これは同投入産出表のデータを利用して求めた。

総固定資本投資における部門のシェアパラメーター ($kshr_i$) については、支出ブロックの方程式 (45)、方程式 (46) と方程式 (47) を利用して計算した¹⁹⁾。

最後に消費支出シェア (β_i) と政府支出シェア ($gershr_i$) については作成した 1997 年中国 SAM 表のデータを利用して求めた。

2.3.3 CO₂ 排出量及び関連パラメーターの推計

基準年については、炭素税が 0 であるため炭素税のデータを準備しなくてもよい。ここでは、基準年の CO₂ 排出量及び関連パラメーターのデータの説明を加えておこう。

CO₂ 排出量を求めるために、まず、石炭、石油、天然ガスなどの化石燃料の価額ではなく実物消費量が必要となる。投入産出表では化石燃料の価額しかないため、化石燃料の消費量を 1998 年『中国統計年鑑』から直接利用している。表 1 は 1997 年化石燃料の消費量と価額を示している。

¹⁸⁾本研究において、貿易政策の分析を行っておらず、この処置は分析目的にそれほど支障がないと考えられる。

¹⁹⁾付録 A を参照されたい。

表 1 1997 年化石燃料の消費量と価値額

	消費量 ^b	価値額 ^c	価格
単位	億 t	億元	元 / t
石炭	13.92	2,275.02	163.38
石油	1.97	5,178.97	2,630.03
天然ガス ^a	195.44	171.09	0.88

注) a : 天然ガスの消費量の単位は億 m³、価格は元 / m³ である

b : 『中国統計年鑑』1998 年より

c : 『投入産出表』1997 年より

表 2 化石燃料の炭素含有率と調整係数

	単 位	炭素含有率 ^a	調整係数 ^b	燃焼比率 ^c	低効率損失 ^c
石炭	tc/t	0.54	97.3%	98.3%	1.0%
石油	tc/t	0.84	97.3%	98.3%	1.0%
天然ガス	tc/m ³	0.0006	97.3%	98.3%	1.0%

出所) a : IPCC (1992) より、b : c より計算、c : 世銀 (1994) より。

表 3 CO₂ 排出量の推計

	「黄」推計		「IEA」推計		「世銀」推計	
年	1990 年	1997 年	1990 年	1997 年	1990 年	1997 年
総 CO ₂ 排出量 (百万 t)	2,410.21	3,315.21	2,358.06	3,112.19	2,380.84	

化石燃料の消費量がわかると、次に、各化石燃料単位当たりの炭素含有量、燃焼効率を表す調整係数及び炭素から CO₂ へ変換するための転換係数を知る必要がある。表 2 はそれらのデータを表している。エネルギー・環境ブロックで示した方程式 (48) と方程式 (49) (付録 A 参照) を用いて、CO₂ 排出量の推計を行った。その結果を表 3 に示している。比較するために、IEA の推計値と世銀の推計値を併せて載せた。本稿の推計結果と IEA 推計値及び世銀の推計値を同時に比較するために、1990 年²⁰⁾の CO₂ 排出量の推計値についてみてみよう。表 3 によると、本稿において推計した 1990 年の CO₂ 排出量は 2,410.21 (百万 t) であり、一方 IEA の推計値は 2,358.06 (百万 t)、世銀の推計値は 2,380.84 (百万 t) となっている。本稿の推計値が少し高いことがわかる。その原因については以下に示そう。

²⁰⁾1990 年の CO₂ 排出量の推計値と 1997 年の同推計値の推計方法がまったく同じであり、世銀の推計値が 1990 年のデータしかないことを考慮し、3 者を同時比較するために 1990 年データを選んだ。

実際、化石燃料に含まれる炭素がすべて燃焼されることはない。一部の炭素は燃焼されず原材料として生産に投入され、その炭素は酸化されず生産物の中に閉じ込められることになる。例えば、石油がプラスチックの原材料として使用されるとき、CO₂は排出されない。しかし、化石燃料のどの部分が燃焼され、またどの部分が原材料として生産物に変わるのかというデータを得るのが大変困難であるため、本稿の推計においてはこの要素を無視しすべての化石燃料が燃焼されると仮定した。そのために、この分だけ CO₂ 排出量の値が高くなってしまうことになる²¹⁾。

2.3.4 その他のパラメーター推計

CGE モデルにおいては、基準データ、代替弾力性などの補助データが与えられると、その他のパラメーターの推計についてはカリブレーションという手法がよく利用される²²⁾。以下では、基準年データとなる 1997 年中国 SAM 表のデータと補助データを利用し、カリブレーションという手法による生産関数、輸入需要関数、輸出供給関数のシェアパラメーターとシフトパラメーターの推計について説明しよう。

(1) 生産関数におけるシェアパラメーター ω とシフトパラメーター τ の推計

モデルの生産ブロックの中の方程式(1) (付録 A 参照) で示された生産関数のシェアパラメーターとシフトパラメーターは、費用最小化の一次条件を利用して求めることができる。費用最小化の一次条件は次式となる。

$$\frac{PVA_i}{PE_i} = \frac{\omega_i}{1-\omega_i} \left(\frac{VA_i}{E_i} \right)^{(\rho_i-1)}$$

代替弾力性が与えられると、 ρ を計算できる。価格については初期均衡において 1 と仮定する。 VA_i と E_i は初期均衡データから得られるため、シェアパラメーター ω は以下の式で求められる。

$$\omega_i = \frac{1}{1 + \frac{PE_i}{PVA_i} \left(\frac{VA_i}{E_i} \right)^{(\rho_i-1)}}$$

次に、シフトパラメーター τ は生産関数の式から求められる。

$$\tau_i = \frac{Q_i}{(\omega_i VA_i^{\rho_i} + (1-\omega_i) E_i^{\rho_i})^{1/\rho_i}}$$

²¹⁾推計値の結果を比較してみると、それほど大きな差がないため、この要素を無視しても大きな影響はないと考えられる。

²²⁾カリブレーション (Calibration) 法については Shoven and Whalley (1992) に参照されたい。

(2) 付加価値関数におけるシェアパラメーター α とシフトパラメーター A の推計

付加価値関数は次のようなコブ・ダグラス関数とされる。

$$VA_i = A_i K_i^{\alpha_i} L_i^{1-\alpha_i}$$

資本 K 、労働 L 、付加価値 VA の数量データ及び価格データについては初期均衡データから得られるため、費用最小化の一次条件よりシェアパラメーター α は次のように求められる。

$$\alpha_i = \frac{rk_i K_i}{rk_i K_i + pl_i L_i}$$

シェアパラメーター α がわかると、シフトパラメーター A は次式より簡単に求められる。

$$A_i = \frac{VA_i}{K_i^{\alpha_i} L_i^{1-\alpha_i}}$$

(3) エネルギー合成関数におけるシェアパラメーター ν とシフトパラメーター B の推計

エネルギー合成関数は次のようなコブ・ダグラス関数と仮定される。

$$E_i = B_i \prod_{j=7}^{10} [F_{ji}]^{\nu_{ji}}$$

(2)と同様に、シェアパラメーター ν とシフトパラメーター B は次のような式で求められる。

$$\nu_{ji} = \frac{PF_j F_{ji}}{\sum_{j=7}^{10} PF_j F_{ji}}$$

$$B_i = \frac{E_i}{\prod_{j=7}^{10} [F_{ji}]^{\nu_{ji}}}$$

(4) 輸入需要関数におけるシェアパラメーター μ とシフトパラメーター ϕ の推計

輸出需要関数は、貿易ブロックの方程式(7) (付録A参照) に示されている。消費者は輸入財を買うか、それとも国内財を買うかは、支出最小化の条件の下で決定すると仮定される。支出最小化の一次条件は次式となる。

$$\frac{PM_i}{PD_i} = \frac{\mu_i}{1-\mu_i} \left(\frac{D_i}{M_i} \right)^{\zeta_i+1}$$

代替弾力性が与えられると、 ζ を計算できる。さらに、価格データや数量データが初期均衡データから得られるため、シェアパラメーター μ が次のように求められる。

$$\mu_i = \frac{1}{1 + \frac{PD_i}{PM_i} \left(\frac{D_i}{M_i} \right)^{\zeta_i+1}}$$

すると、シフトパラメーター ϕ は次の式で求められる。

$$\phi_i = \frac{Z_i}{(\mu_i M_i^{-\zeta_i} + (1-\mu_i) D_i^{-\zeta_i})^{-1/\zeta_i}}$$

(5) 輸出供給関数におけるシェアパラメーター γ とシフトパラメーター λ の推計

輸出供給関数は貿易ブロックの方程式(9) (付録A参照) に示されている。価格が与えられると、企業は利潤最大化の下で財を国内で販売するか、それとも海外に輸出するかを決める。その利潤最大化の一次条件は次式となる。

$$\frac{PEX_i}{PD_i} = \frac{\gamma_i}{1-\gamma_i} \left(\frac{EX_i}{D_i} \right)^{\delta_i-1}$$

(4)の輸入需要関数と同様に、シェアパラメーター γ とシフトパラメーター λ は次の式で求められる。

$$\gamma_i = \frac{1}{1 + \frac{PD_i}{PEX_i} \left(\frac{EX_i}{D_i} \right)^{\delta_i-1}}$$

$$\lambda_i = \frac{Q_i}{(\gamma_i EX_i^{\delta_i} + (1-\gamma_i) D_i^{\delta_i})^{1/\delta_i}}$$

3. シミュレーション分析²⁰⁾

3.1 シナリオ

本稿では、中国におけるCO₂排出削減のために炭素税を導入した場合と、炭素税を導入しない基準ケースとを比較して、中国経済にもたらす影響を分析することを目的としている。そのために、基準年(1997年)のCO₂排出量に対してそれぞれ5%、10%、20%のCO₂削減目標を設定する。そして各削減目標を達成するためにいくらの炭素税を徴収する必要があるか、また炭素税の導入によって中国経済にもたらす影響を経済コストで評価すればどの程度になるか、を明らかにする。分析では以下の4つのシナリオを設定した。シナリオ0はCO₂排出削減をしない基準ケースであり、その他のシナリオの比較基準となっている。

²⁰⁾本稿のモデルの解を求めるためにはGAMs (General Algebraic Modeling System) という(非)線形プログラミングパッケージを利用している。その手順については2段階に分けることができる。第1段階においては、コンピュータ・コード(Computer Code)を記述する。まず、すべてのsets(変数の次元)について宣言(declaring)し、定義(defining)を与える。次にすべての外生変数(パラメーター、スカラー、テーブル)について宣言、定義した上に数値または初期値を与える。最後にすべての変数(内生変数)と方程式の宣言と定義を行う。それから、内生変数の境界(bounds)や初期値を与え、コントロール・コマンド、モデルの声明(statement)とアウトプット出力の声明を行い、第1段階のコンピュータ・コードの記述が終える。第2段階においては、非線形モデルの解を求めるソフトであるMINOS 5.2を利用してモデルの解を見つける。MINOS 5.2は数値的な解を見つける1つのアルゴリズムである。MINOS 5.2を利用するに当たって注意すべきことは、非線形プログラミングパッケージとして利用されるMINOS 5.2は最適解を見つけることができず、代わりに近似的な最適解あるいは局所的な最適解を見つけることが保証されている点である(Brooke et al., 1988)。

シナリオ 0：基準ケース、CO₂ 排出量を削減しない

シナリオ 1：CO₂ 排出量を基準年に比べ 5 %の削減

シナリオ 2：CO₂ 排出量を基準年に比べ 10 %の削減

シナリオ 3：CO₂ 排出量を基準年に比べ 20 %の削減

各シナリオについてのシミュレーション結果は次節で説明しよう。

3.2 分析結果

本節では、シミュレーション結果について、(1)マクロ経済効果、(2)炭素税、エネルギー価格の変化、(3)エネルギー需要の変化、(4)産業部門別の経済効果という 4 つの側面から比較分析を行った。

(1) マクロ経済効果

表 4 は各シナリオの主要マクロ経済変数のシミュレーション結果を示している。まず、CO₂ 排出削減はすべての主要マクロ経済変数に対してマイナスの影響を与えていることが分かる。次に、CO₂ 排出削減はシナリオ 1（5 %の削減）からシナリオ 2（10 %の削減）へ、そしてシナリオ 3（20 %の削減）へと排出削減率が高くなるにつれ、主要マクロ経済変数に与えるマイナスの影響は排出削減率以上に増大し、CO₂ 排出削減のコストが増していくことがわかる。

主要マクロ経済変数の項目別に CO₂ 排出削減効果について分析してみよう。

まず、実質 GDP の結果をみると、基準ケースに対して CO₂ 排出量を 5 %削減するシナリオ 1 の場合は、実質 GDP が 0.50 %低下する。CO₂ 排出量を 10 %削減するシナリオ 2、20 %削減するシナリオ 3 へと削減率が上昇するにつれ、実質 GDP はそれぞれ -1.07 %と -2.47 %の減少となり、減少率は大きくなっている。CO₂ 排出削減のための炭素税の導入は化石燃料の相対価格を引き上げ、供給サイドのコスト増をもたらしていることが原因の 1 つであると思われる。コスト増によって産業部門の生産が低迷し、経済全体の総産出への影響はシナリオ 1、シナリオ 2、シナリオ 3 ではそれぞれ、-0.58 %、-1.24 %、-2.80 %の産出減となっている。もう 1 つの重要な原因は「賃金の硬直性」という仮定である。本分析で用いた CGE モデルにおいては労働の平均賃金を所与としている。産業部門による生産の調整は賃金の調整より労働量の調整によって行われる。各産業部門の労働に対する需要の減少は家計所得の減少をもたらす消費者による各財への需要も減少する、という需要サイドの悪化が生じる。産業部門の労働に対する需要の減少状況を失業率という指標でみると、シナリオ 1 の場合は、基準ケースに比べて失業率が約 2.4 割増加の 3.91 %となり、シナリオ 2 の場合は基準ケースの約 5 割増しの 4.74 %、シナリオ 3 の場合になると、失業率は基準ケースの倍以上も増大し 6.68 %に上る結果となっている。さらに産業部門による労働需要の低下は家計所得の減少の原因ともなる。シナリオ 1～3 の各場合、家計所得がそれぞれ -0.76 %、-1.59 %、-3.56

表 4 主要マクロ経済変数の結果

	単位	基準ケース	シナリオ 1	シナリオ 2	シナリオ 3	基準ケースに対する変化 (率)		
						シナリオ 1	シナリオ 2	シナリオ 3
実質 GDP	億円	75,933	75,554	75,122	74,060	-0.50%	-1.07%	-2.47%
総産出	億円	199,712	198,545	197,241	194,121	-0.58%	-1.24%	-2.80%
民間消費	億円	35,293	35,016	34,709	33,991	-0.79%	-1.65%	-3.69%
政府収入	億円	14,433	14,360	14,277	14,078	-0.51%	-1.08%	-2.46%
家計所得	億円	51,282	50,895	50,466	49,456	-0.76%	-1.59%	-3.56%
失業率	%・ポイント	3.15%	3.91%	4.74%	6.68%	0.76	1.59	3.53
炭素税収	億円	0.000	1.305	2.679	5.677	1.305	2.679	5.677
社会効用	億円		-278	-584	-1,024	-278	-584	-1,024

表 5 消費者価格の変化

農業	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
重工業	1.0000	1.0019	1.0039	1.0088
軽工業	1.0000	0.9997	0.9994	0.9987
運輸・通信	1.0000	0.9992	0.9984	0.9965
建設業	1.0000	1.0013	1.0023	1.0048
サービス業	1.0000	0.9996	0.9990	0.9979
石炭	1.0000	1.0842	1.1823	1.4333
石油	1.0000	1.0132	1.0284	1.0665
天然ガス	1.0000	1.0243	1.0526	1.1248
電力	1.0000	1.0152	1.0319	1.0725

%減少する結果となっている。

家計消費については、家計所得の減少と各財の価格の変化（表 5 を参照）によって、家計消費の減少率が家計所得の減少率より少し上回って、シナリオ 1 からシナリオ 3 の場合、それぞれ、-0.79%、-1.65%、-3.69%の減少となっている。

政府収入については、本分析の CGE モデルでは炭素税収入は政府収入に含まれることとなっているため、CO₂ 排出削減のために炭素税の導入は政府収入を増やす効果がある。シナリオ 1～3 の場合、それぞれ 1.3 億元、2.7 億元、5.7 億元の炭素税収入増をもたらしている。一方では、炭素税の導入が化石燃料の相対価格の上昇をもたらし、産業部門の生産コスト増加による産出減の結果、生産間接税収入や所得税収などの収入減につながる、というマイナスの効果がある。シミュレーションの結果は、炭素税導入によるその他の税収の減少が炭素税収の増加を上回り、結果として政府収入がシナリオ 1 の場合は -0.51 %、シナリオ 2 の場合は -1.08 %、シナリオ 3 の場合は -2.46 %の減少となっている。最後に、CO₂ 排出削減による社会全体の効用の変化についてみてみよう。本 CGE モデルでは社会効用の変化をヒックシアン等価変分（Hicksian equivalent variation）を用いて評価している。基準ケースに対し CO₂ 排出量をそれぞれ -5 %、-10 %、-20 %削減する各シナリオにおいて、社会効用はそれぞれ -278 億元、-584 億元、-1,024 億元の低下となり、CO₂ 排出削減によって社会効用が悪化したことを示している。

上述したマクロ経済への影響の結果に 1 つ加えておかねばならない点がある。シミュレーション結果によれば、基準ケースに対して CO₂ 排出量の削減率が 5 %（シナリオ 1）から 10%（シナリオ 2）に、そして 20%（シナリオ 3）へと倍増することによって、すべての主要マクロ経済変数が倍以上のマイナス影響を受けている。排出削減率が同じ倍増であっても、シナリオ 1 からシナリオ 2 に倍増した場合より、シナリオ 2 からシナリオ 3 に倍増した場合の方がマイナスの影響度が大きくなっている。つまり、基準ケースに対して CO₂ 排出量の削減率が増大するにつれ、削減限界費用が増大し削減がより難しくなることを意味している。

以上のマクロ経済効果の比較分析の結果から、次の 2 点を要約することができる。

- ① CO₂ 排出量削減はすべてのケースにおいて、中国经济にマイナスの影響（コスト）をもたらすことになる。シナリオ 1（基準ケースに比べて CO₂ 排出量を 5 %削減する）の場合は実質 GDP は 0.50 %の減少、シナリオ 2（同 10 %削減する）の場合は実質 GDP は 1.07 %の減少、シナリオ 3（同 20 %削減する）の場合は実質 GDP は 2.47 %の減少となる。社会全体の効用は低下する結果となっている。
- ② 基準ケースに対して CO₂ 排出削減率が増大するにつれ、つまり、排出削減目標が高くなるにつれ、削減限界コストが増大し削減がより難しくなる。

(2) 炭素税、エネルギー価格の変化

ここでは、CO₂の排出量削減による炭素税とエネルギー価格の変化についてみてみよう。表6は炭素税とその従価税の分析結果を示し、表7は各化石燃料の価格変化を示している。推計結果によると、シナリオ1（基準ケースに対してCO₂排出量を5%削減する）の場合は、CO₂排出量は基準ケースの33.15億tから31.49億tに減少する。この排出削減目標を達成するために、炭素トン当たり24.16元の炭素税を必要とする。シナリオ2（基準ケースに対してCO₂排出量を10%削減する）の場合は、必要な炭素税は炭素トン当たり52.35元に上る。CO₂排出削減目標をさらに高く設定し、基準ケースに対して20%削減するシナリオ3の場合になると、排出削減目標を達成するために必要な炭素税は炭素トン当たり124.81元に上昇する結果となっている。

本稿のCGEモデルでは、炭素税は炭素トン当たりの従量税で課すことになっている。それを各化石燃料の単位当たりの従価税に変換するとそれぞれ何パーセントの従価税率になるのか。そして最終的に新しい均衡に達したときの各化石燃料の価格が何パーセント上昇するのかを分析してみよう。

表6を見れば分かるように、シナリオ1からシナリオ2へ、そしてシナリオ3へと排出削減目標が高くなるにつれ、その目標を実現するために必要な炭素税率が高くなり、各化石燃料に課する従価税率も高くなっていく。さらに、炭素税率と従価税率がCO₂排出量の削減率以上に増大していることがわかる。例えば、シナリオ1からシナリオ2へ削減率が5%から10%に倍増した場合は、

表6 炭素税及び従価税率

	単位	基準ケース	シナリオ1	シナリオ2	シナリオ3
炭素税	元/tc	0	24.16	52.35	124.81
従価税					
石炭	%	0%	7.99%	17.30%	41.25%
石油	%	0%	0.77%	1.67%	3.99%
天然ガス	%	0%	1.66%	3.59%	8.55%
電力	%	0%	0.00%	0.00%	0.00%

表7 各化石燃料価格の変化

	基準ケース	シナリオ1	シナリオ2	シナリオ3
石炭	1.0000	1.0842	1.1823	1.4333
石油	1.0000	1.0132	1.0284	1.0665
天然ガス	1.0000	1.0243	1.0526	1.1248
電力	1.0000	1.0151	1.0318	1.0724

必要な炭素税は炭素トン当たり 24.16 元から 52.35 元に 2.17 倍へと増加する。一方で、シナリオ 2 からシナリオ 3 へ削減率が 10 % から 20 % に倍増した場合は、炭素税は炭素トン当たり 52.35 元から 124.81 元へと 2.38 倍の増加となっている。この傾向は従価税率についても当てはまる。この分析結果からも CO₂ 排出削減率が高くなればなるほど限界削減コストが増加し、削減がより難しくなることを示している。これが第 1 の分析結果である。

第 2 に、炭素税の絶対額が同じでも、各化石燃料の炭素含有量と課税前の価格の相違によって、従価税に変換した場合、各化石燃料間の格差が大きいことが分かる。例えば、シナリオ 1 の場合は、炭素トン当たり 24.16 元の炭素税を各化石燃料の従価税に変換すると石炭は 7.99 %、石油は 0.77 %、天然ガスは 1.66 % の従価税率となっている。モデルでは電力には炭素税を課しないと仮定しているので 0 % となっている。各化石燃料消費単位当たり排出される CO₂ (汚染係数) は高い順から、石炭、石油、天然ガスとなっているので、石炭に一番高い従価税が課せられるのは明らかであるが、石油より天然ガスの従価税が高いことは意外な結果である。これは主に課税前の石油の単価が天然ガスより高いことによる。結果として、単位当たりの石油の炭素税絶対額は天然ガスより大きいですが、従価税率に変換すると天然ガスのほうが高くなってしまっているのである。

本稿の CGE モデルによるエネルギー価格の変化のプロセスを追跡してみよう。各化石燃料にそれぞれ従価税を課すことによって、各化石燃料の価格が応じて増加する。化石燃料の相対価格の変化はその他の財の価格に変化をもたらし、需要構造や生産構造などを変化させる。最終的に新しい均衡に達したときの各化石燃料価格の変化についての推計結果は表 7 に示したとおりである。

推計結果によると、各化石燃料の価格は従価税分以上の増加となっているが、変化傾向は従価税の変化と同じである。つまり、石炭の価格上昇率が一番高く、天然ガスの価格上昇率が石油より高いことである。電力の炭素従価税を課していないがその他の価格の上昇によってコスト増をもたられ、結果として電力の価格も基準ケースより高くなっている。基準均衡に対して炭素税の導入は、各化石燃料の価格を従価税分だけ上昇させるが、相対価格の変化によって、その他の財の価格を上昇させる結果、それが自部門に跳ね返って最終的に新しい均衡に達したとき、各化石燃料の価格は従価税分以上に高くなってしまうことになる。

(3) エネルギー需要の変化

以下においては、CO₂ 排出量削減のための炭素税の徴収によって、エネルギー需要はどう変化するかを分析する。表 8 は CO₂ 排出量削減によるエネルギー需要及び CO₂ 排出量の変化の結果を示している。

まず、CO₂ 排出削減のために、炭素税の導入が各化石燃料の需要にもたらす影響について分析してみよう。

表 8 エネルギー需要とCO₂ 排出量の変化

		単位	基準ケース	シナリオ 1	シナリオ 2	シナリオ 3	基準ケースに対する変化率		
							シナリオ 1	シナリオ 2	シナリオ 3
石炭	需要合計	億 t	13.92	13.08	12.23	10.55	-6.10%	-12.18%	-24.24%
	中間需要	億 t	13.46	12.65	11.84	10.24	-6.02%	-12.02%	-23.95%
	最終需要	億 t	0.462	0.423	0.385	0.311	-8.47%	-16.76%	-32.72%
	CO ₂ 排出量	億 t	26.83	25.19	23.56	20.33	-6.10%	-12.18%	-24.24%
	CO ₂ 総排出量に占める比率	%	80.95%	80.01%	78.98%	76.65%			
石油	需要合計	億 t	1.968	1.963	1.957	1.937	-0.22%	-0.54%	-1.55%
	中間需要	億 t	1.949	1.944	1.939	1.920	-0.21%	-0.50%	-1.47%
	最終需要	億 t	0.019	0.019	0.018	0.017	-2.05%	-4.31%	-9.57%
	CO ₂ 排出量	億 t	5.90	5.88	5.87	5.81	-0.22%	-0.54%	-1.55%
	CO ₂ 総排出量に占める比率	%	17.79%	18.69%	19.66%	21.90%			
天然 ガス	需要合計	億 m ³	195.3	192.2	188.6	179.7	-1.61%	-3.46%	-7.99%
	中間需要	億 m ³	184.0	181.2	178.0	170.0	-1.52%	-3.28%	-7.61%
	最終需要	億 m ³	11.29	10.94	10.55	9.68	-3.11%	-6.51%	-14.26%
	CO ₂ 排出量	億 t	0.42	0.41	0.40	0.38	-1.61%	-3.46%	-7.99%
	CO ₂ 総排出量に占める比率	%	1.26%	1.31%	1.35%	1.45%			
電力	需要合計	億 kwh	11,284	11,243	11,195	11,070	-0.36%	-0.79%	-1.90%
	中間需要	億 kwh	10,577	10,552	10,521	10,434	-0.24%	-0.53%	-1.35%
	最終需要	億 kwh	707.1	691.5	674.6	636.1	-2.21%	-4.60%	-10.04%
	CO ₂ 排出量	億 t	0	0	0	0	0%	0%	0%
CO ₂ 排出量合計		億 t	33.15	31.49	29.83	26.52	-5.00%	-10.00%	-20.00%

注) CO₂ 排出量の単位は CO₂ 換算億 t である

シミュレーション結果によると、第 1 に、炭素税の導入によってすべての化石燃料の需要量が減少するとともに、化石燃料の種類によって減少の度合いには差があることが表 8 からわかる。そのうち、特に石炭に対する需要の減少率が一番高く、シナリオ 1 の場合の減少率は 6.10 %、シナリオ 2 の場合の減少率は 12.18 %、シナリオ 3 の場合の減少率は 24.24 %となっている。炭素税の導入によって、化石燃料の相対価格が上昇し、特に石炭の相対価格はその他のエネルギーよりも高くなり、石炭に対する需要の減少率が高いことにつながったと考えられる。第 2 に、各化石燃料の需要量のうち、9 割以上が産業部門による中間需要であるため、炭素税の導入は化石燃料の価格の上昇によって、家計部門より産業部門が受ける影響が大きい結果となっている。表 8 の結果から計算すると、シナリオ 1 の場合は、石炭の総需要は 13.92 億 t から 13.08 億 t と 6.1 % の減少である。そのうち、約 95 % が中間需要の減少によるものとなっている。石油の場合は、総需要減の約 91 %、天然ガスの場合は総需要減の約 89 % が産業部門による中間需要の削減となっている。

次に、CO₂ 排出量の変化に対する各化石燃料の貢献度合いについてみてみよう。

シミュレーション結果によると、基準ケースにおいては CO₂ 総排出量 (33.15 億 t) のうち、約 81 % が石炭の消費による排出分 (26.83 億 t)、約 18 % が石油の消費による排出分 (5.90 億 t)、そして、残りの約 1 % が天然ガスの消費による排出分 (0.42 億 t) となっている。石炭の消費による排出分が断然大きいことが特徴的である。これは中国のエネルギー消費構造が石炭を中心としていることによるものである。CO₂ 排出削減のための炭素税の導入によって、CO₂ の総排出量に対する石炭の貢献度が低下し、代わりに石油と天然ガスの貢献度が上昇した結果となっている。例えば、シナリオ 3 の場合は CO₂ の総排出量に占める各化石燃料の消費による排出割合は、石炭の場合は基準ケースの 80.95 % から 76.65 % に低下し、石油の場合は同 17.79 % から 21.90 % に、天然ガスの場合は 1.26 % から 1.45 % に上昇している。これは、炭素税の導入によって石炭の相対価格が石油や天然ガスの相対価格より高くなることにより、エネルギー消費は石炭から石油、天然ガスと電力への代替が進み、石炭に対する需要減が石油と天然ガスへの需要減よりも大きいからである。

(4) 産業部門別の経済効果

最後に、産業部門別に CO₂ 排出削減のコストを分析してみよう。

表 9 は CO₂ 排出削減による各産業部門の産出の変化および総産出に占める各産業部門の産出の構成比を示している。

シミュレーション結果によると、第 1 に、CO₂ 排出削減が各産業部門にもたらす影響を各産業部門の産出結果で見ると、建設業部門以外のすべての産業部門に産出減というマイナス影響を与えていることが分る。その影響度合いは産業部門によって差が大きい。一番高い影響を受けているのは

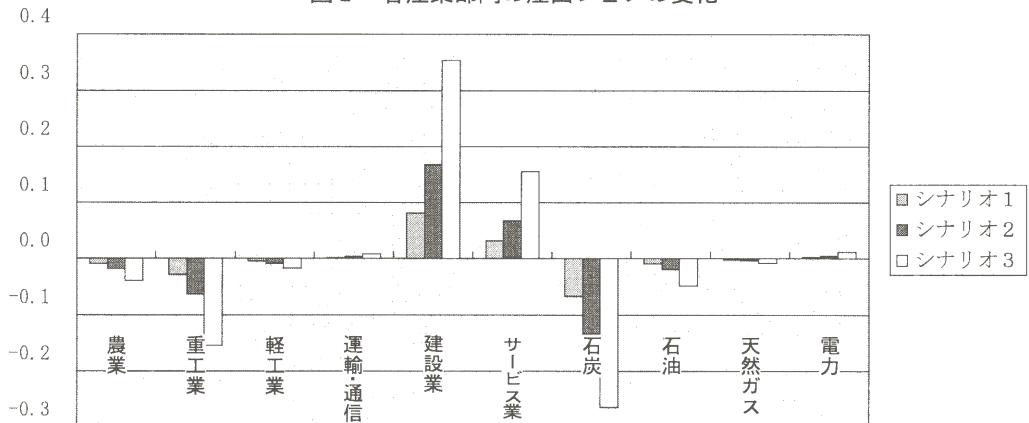
表 9 産業部門別結果

	産 出 (単位：億元)							構 成 比			
	基 準 ケース	シナリオ 1	シナリオ 2	シナリオ 3	基準ケースに対する変化率			基 準 ケース	シナリオ 1	シナリオ 2	シナリオ 3
					シナリオ 1	シナリオ 2	シナリオ 3				
農業	24,709	24,548	24,369	23,943	-0.65%	-1.38%	-3.10%	12.37%	12.36%	12.35%	12.33%
重工業	68,662	68,204	67,689	66,442	-0.67%	-1.42%	-3.23%	34.38%	34.35%	34.32%	34.23%
軽工業	35,964	35,745	35,501	34,924	-0.61%	-1.29%	-2.89%	18.01%	18.00%	18.00%	17.99%
運輸・通信	5,763	5,734	5,700	5,619	-0.51%	-1.09%	-2.50%	2.886%	2.888%	2.890%	2.895%
建設業	17,183	17,245	17,301	17,390	0.36%	0.68%	1.20%	8.60%	8.69%	8.77%	8.96%
サービス業	36,569	36,418	36,249	35,846	-0.41%	-0.88%	-1.98%	18.31%	18.34%	18.38%	18.47%
石炭	2,368	2,222	2,076	1,788	-6.17%	-12.32%	-24.50%	1.19%	1.12%	1.05%	0.92%
石油	4,528	4,485	4,435	4,308	-0.95%	-2.05%	-4.86%	2.27%	2.26%	2.25%	2.22%
天然ガス	193	189	185	174	-2.10%	-4.46%	-10.05%	0.10%	0.10%	0.09%	0.09%
電力	3,772	3,756	3,737	3,689	-0.44%	-0.95%	-2.21%	1.89%	1.89%	1.89%	1.90%
総産出	199,712	198,545	197,241	194,121	-0.58%	1.24%	2.80%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

石炭部門である。シナリオ 1 の場合に 6.17 % の産出減となっている。次は、マイナス影響の大きい順で、天然ガス部門 (-2.10 %)、石油部門 (-0.95 %)、重工業部門 (-0.67 %)、農業部門 (-0.65 %)、軽工業部門 (-0.65 %)、運輸通信部門 (-0.51 %)、電力部門 (-0.44 %)、サービス部門 (-0.41 %)、建設部門 (+0.36 %) となっている。全体として、エネルギー産業部門とエネルギーを多く消費する産業部門が受ける影響が大きいことがわかる。

第 2 に、CO₂ 排出削減率が 5 % から 10 %、そして、20 % と削減目標が高くなるにつれ、各産業の受けるマイナスの影響が削減率の上昇率以上に増加し、排出削減コストが高くなっていく。次に、構成比の変化から産業構造の変化についてみてみよう。図 2 は表 9 の構成比の項目のデータをわかり易くするために図示したものである。それによると、総産出に占めるシェアが拡大した産業部門としては、大きい順で建設部門、サービス部門、電力部門、運輸・通信部門となっているが、それ以外の産業部門の生産シェアが縮小した。特に石炭部門と重工業部門の産出シェアが大きく縮小している。

図 2 各産業部門の産出シェアの変化



3.3 分析結果の比較

中国の CO₂ 排出削減コストについての分析は 2.1 で述べたように、既にいくつかの研究の中で行われている。本節においては本分析結果と先行研究の結果との比較を行ってみよう。

Zhang (1996) と Garbaccio (1999) は、ともに中国 1 国の動学 C G E モデルを用いて CO₂ 排出削減の対策として炭素税による影響を分析している。2 つのモデルの構造と基準データの違いなどにより異なった分析結果が得られた。Zhang (1996) モデルの分析結果によると、中国の経済成長と環境改善の両立が難しいと論じている。これに対して、Garbaccio (1999) の分析結果は中国における CO₂ の削減と長期経済成長との両立が可能であると論じている (詳細は 2.1 を参照)。

本稿の CGE モデルは中国 1 国の静学 CGE モデルであるため、Zhang (1996) モデルと Garbaccio (1999) モデルの結果とを単純に比較することはできない。以下においては、本分析と同様に中国 CO₂ 排出削減の静学 CGE モデル分析を行っている馬(1998)の分析結果と比較してみよう²⁰⁾。

2 つのモデルの分析結果は表 10 で対比させている。炭素税を導入し基準ケースに比べ、CO₂ 排出量を 5 %削減するシナリオ 1、同 10 %削減するシナリオ 2、同 20 %削減するシナリオ 3 のそれぞれの分析結果について比較してみる。本分析の結果は、シナリオ 1 の削減目標を達成するために炭素トン当たり 24.16 元の炭素税を必要とし、シナリオ 2、シナリオ 3 へ CO₂ の排出削減率が上昇するにつれ、それぞれの削減目標を達成するために必要な炭素税はそれぞれ 52.35 元、124.81 に上る。これに対して、馬 (1998) の結果はシナリオ 1～3 の各削減目標達成のために必要な炭素税は、それぞれ 13.75 元、29.13 元、66.11 元となっている。

一方、シナリオ 1～3 の各ケースにおける GDP への影響についてみると、本分析の結果はそれぞれ、-0.50 %、-1.07 %と -2.47 %の減少であるのに対し、馬 (1998) の場合は -0.22 %、-0.47 %、-1.06 %の減少となっている。

2 つのモデルの分析結果は、CO₂ 排出削減のための炭素税の導入は中国経済にマイナスの影響を与える点と、削減率が高くなるにつれ削減コストが増大する点においては共通しているが、CO₂ 排出削減による中国経済へのマイナスの影響の大きさは、本分析結果が馬 (1998) の分析結果より大きいことが数値の単純比較でわかる。

その原因についてみてみると、まず、基準データの違いが上げられる。本分析は 1997 年を基準年としているが、馬 (1998) は 1992 年を基準年としている。基準年の CO₂ 排出量についてみると、本分析の基準年である 1997 年は 33.15 億 t であるが、馬 (1998) の基準年である 1992 年は 26.20 億 t となっている。同じ 5%の CO₂ 削減目標であっても、削減基準量が異なると当然結果も異なる。周知のように、CO₂ 排出量削減については一般的に限界削減コストが逡増するとされている。つまり、削減基準量が高ければ高いほど削減コストが高くなることである。従って本分析の結果が馬 (1998) の分析結果より高くなっていることは妥当な結果であるといえよう。

²⁰⁾小山田 (1997) モデルも中国 1 国の静学モデルであるが、炭素税による影響ではなく、エネルギー使用税による影響について分析しているため、ここでは取り上げないことにした。

表10 分析結果の比較

	本モデル			馬（1998）モデル		
CO ₂ 排出削減率	-5%	-10%	-20%	-5%	-10%	-20%
実質 GDP	-0.50%	-1.07%	-2.47%	-0.22%	-0.47%	-1.06%
炭素税（元/ t）	24.16	52.35	124.81	13.75	29.13	66.11
CO ₂ 排出量（億 t）	31.49	29.83	26.52	24.89	23.58	20.96

むすび

本稿においては、中国環境 CGE モデルを用いて CO₂ 排出削減のために炭素税を導入した場合の経済コストについてシミュレーションし、各シナリオに基づく分析結果の比較を行った。分析結果の要点は次のとおりである。

① CO₂ 排出削減はすべてのケースにおいて中国経済にマイナスの影響（コスト）をもたらすことになる。基準ケースに比べて実質 GDP の変化は、CO₂ 排出量を 5%削減するシナリオ 1 の場合は 0.50%の減少、CO₂ 排出量を 10%削減するシナリオ 2 の場合は 1.07%の減少、CO₂ 排出量を 20%削減するシナリオ 3 の場合は 2.47%の減少となる。社会全体の効用は低下する結果となっている。

②基準ケースに対して CO₂ 排出削減率が増大するにつれ、つまり、排出削減目標が高くなるにつれ、削減限界コストが増大し 削減がより難しくなる。

以上で検討した CO₂ 削減政策が経済に与えるマイナスの影響を緩和させ、環境と経済の両立を模索するために、炭素税の導入と同時に産業部門に生産間接税の軽減などの緩和策を実施した場合、CO₂ 排出削減が中国経済にもたらす経済コストをどこまで軽減できるのか。その効果はどの程度なのかについては残された課題である。別の機会に検討してみたい。

参考文献¹⁾

- Armington, P. (1969), "A theory of demand for products distinguished by place of production", *IMF Staff Papers*, 16. 159-78.
- Arrow, K. J. and Debreu, G. (1954), "Existence of an equilibrium for a competitive economy",

¹⁾参考文献は内容によって、英語、日本語、中国語の順となっている。英語と中国語はアルファベット順で、日本語はアイウエオ順となっている。

Econometrica, 22,265-90

- Beaver, R. (1993), Structural comparison of the models in EMS 12, *Energy Policy*, Vol.21, No. 3, pp.239-48.
- Bergman, L. (1982), "A system of computable general equilibrium models for a small open economy", *Mathematical modeling*, 3, 421-435
- Bergman, L. (1988), "Energy policy modeling: A survey of general equilibrium approaches", *Journal of policy modeling*, 10(3), 377-399.
- Bergman, L. (1990), "Energy and environmental constraints on growth: A CGE modeling approach," *Journal of Policy Modeling*, 12(4), 671-691.
- Bergman, L. (1991), "general equilibrium effects of environmental policy: A CGE modeling approach", *Environmental and resource economics*, 1, 43-61.
- Boero, G., Clarke, R. and L.A. Winters (1991), *the macroeconomic consequences of controlling greenhouse gases: a survey*, UK Department of the environment, environmental economics research series, HMSO, London.
- Boyd, R. and Krutilla, K. (1992), controlling acid deposition: A general equilibrium assessment, *Environmental and resource economics*, 2, pp 307-322.
- Brendemoen, A. and Vennemo, H. (1992), *a climate convention and the Norwegian economy: A CGE assessment*, Central Bureau of Statistics, Oslo, mimeo.
- Brooke, A., Kendrick, D. and A. meeraus(1988), *GAMS: A Use's Guide*, The Scientific Press, San Francisco.
- Burniaux, J.-M., Martin, J. P., Nicoletti, G. and Oliveira Martins, J.(1992 a), "The costs of international agreements to reduce CO₂ emissions", *European Economy*.
- Burniaux, J.-M., Martin, J.P., Nicoletti, G. and Oliveira Martins, J. (1992 b), "Green: A multi-sector, multi-region dynamic general equilibrium model for quantifying the costs of curbing CO₂ emissions: a technical manual", OECD Economics.
- Byrd, W. A. (1989), Plan and market in the Chinese economy: A simple general equilibrium model, *Journal of Comparative Economics*, Vol.13, No.2, pp.177-204.
- Conrad K., Schroder, M. (1993), "Choosing environmental policy instruments using general equilibrium models," *Journal of Policy Modeling*, 15(5 & 6), 521-543
- Dean, A. and P. Hoeller (1992), cost of reducing CO₂ emission: evidence from six global models, *OECD Economic Studies* No. 19, p.15-47.
- De Melo, J. (1988), "computable general equilibrium models for trade policy analysis in developing countries," *Journal of Policy Modeling*, 10(4), 469-503
- Dervis, K., De Melo, J., and Robinson, S. (1982), *General equilibrium models for development policy*, Cambridge University Press.
- Devarajan, V., John F. (1988), "Natural resources and taxation in computable general equilibrium models of developing countries," *Journal of Policy Modeling*, 10(4), 505-528

- Devarajan, S., Lewis, J.D., Robinson, S. (1991), "From stylized to applied models: Building multisector CGE Models for policy analysis" Working paper NO.616, Department of agricultural and resource economics division of agriculture and natural resources University of California at Berkeley
- Garbaccio, Richard F. and Ho, Mun S., Jorgenson, Dale W. (1999), "controlling Carbon Emission in China" *Environment and Development Economics*. 4(4): pp493-518.
- Greenaway, D., Leybourne, J.S., Reed, V.G. Whalley, J. (1993), *Applied General equilibrium modeling: applications, limitations and future development*, London, HMSO.
- Gunning J. W. and Keyzer, M. A. (1995), "Applied general equilibrium models for policy analysis," *Handbook of Development Economics*, Vol. III
- IEA, OECD(2000), *CO₂ Emission From Fuel Combustion 1971-1998*.
- Jorgenson, D. W. and Wilcoxon, P. J. (1993 a), Reducing U.S. carbon emission: an econometric general equilibrium assessment, *Resources and Energy Economics*, Vol.15, No.1, pp. 7-25
- Jorgenson, D. W. and Wilcoxon, P. J. (1993 b), Reducing U.S. carbon dioxide emission: an assessment of different instruments, *Journal of policy modeling*, Vol.15, Nos.5 & 6, pp.491-520.
- Leontief, W. (1970), Environmental repercussions and the economic structure: an Input-Output approach, *Review of economics and statistics*, Vol.52, 99.262-277.
- Manne, A. S. (1992), *Global 2100: Alternative scenarios for reducing carbon emissions*, working paper No.111, Department of Economics and Statistics, OECD, Paris.
- Manne, A. S., and R. G. Richels (1992), *Buying greenhouse insurance: the economics cost of CO₂ Emission limits*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Martin, W. (1990), Modeling the post-reform Chinese economy, *China Working paper* No.90/1, National centre for development studies, research school of Pacific Studies, the Australian National University, Canberra.
- Martin, W. (et al 1993), the costs of reducing CO₂ Emission: a comparison of carbon tax curves with GREEN, in *OECD (1993 a)*, pp.67-94.
- OECD (1993 a), *the cost of cutting carbon emission: results from global models*, Paris.
- Proops et al. (1993), *Reducing CO₂ emissions: a comparative Input-Output study for Germany and the UK*, Springer Verlag, Berlin.
- Shoven, J. B. (1988), "Survey of dynamic computational general equilibrium models for tax policy evaluation," *Journal of Policy Modeling*, 10(3), 401-436
- Shoven, J. B. and Whalley J. (1984), "Applied general equilibrium models of taxation and international trade: An introduction and survey," *Journal of Economic Literature*, 22(3), 1007-1051
- Shoven, J. B. and Whalley, J. (1992), *Applying General Equilibrium*, Cambridge University Press.
- (『応用一般均衡分析: 理論と実際』、小平裕訳、東洋経済新報社、1993年)。
- Steininger, K.W. (1995), *Trade and Environment: The regulatory controversy and a theoretical and empirical assessment of Unilateral Environmental Action*, A Springer-verlag company.

- Varian, H.R. (1984), *Microeconomic Analysis*, (second edition), W. W. Norton. (佐藤隆三・三野和雄 訳『ミクロ経済分析』勁草書房, 1987)
- Whalley, J. and Wigle, R. (1989), "Cutting CO₂ emissions: The effect of alternative policy approaches", Paper presented at the NBER conference on AGE modeling.
- World Bank Report (1994), China: Issue and Options in Greenhouse Gas Emission control.
- Xie, Jian. (1996). *"Environmental Policy Analysis: A General Equilibrium Approach."*, Athenaem Press, Ltd., Gateshead, Tyne & Wear.
- Xu Dianqing(1996), "Price distortion in the Transition Process: a CGE analysis of China's case", *Economics of Planning*, Vol.26, pp.161-82
- Xu Dianqing(1996) "The Chasm in the Transition: A CGE Analysis of Chinese Economic Reform", *Journal of Policy Modelling*, Vol.18, pp.117-140
- Zhang, ZhongXiang. (1996). *"Integrated Economy-Energy-Environment Policy Analysis: A Case Study for the People's Republic of China."*
- Zhang, ZhongXiang. (1998 a) "Macroeconomic Effect of CO₂ Emission Limits: A computable General Equilibrium Analysis for China." *Journal of Policy Modeling*, 20 (2), pp.213-250.
- Zhang, ZhongXiang. (1998 b) "The Economics of Energy Policy in China: Implication for Global Climate Change. Edward Elgar, Cheltenham,UK.
- 井村秀文・勝原健編著 (1995), 『中国の環境問題』, 東洋新報社.
- 川崎研一 (1999), 『応用一般均衡モデルの基礎と応用』, 日本評論社.
- 黒田雅裕 (1989), 『一般均衡の数量分析』, 岩波書店.
- 小川一夫・斉藤光雄・二宮正司編 (1992), 『多部門経済モデルの実証研究』, 創文社.
- 小山田和彦 (1997), 「中国における環境政策の応用一般均衡分析: エネルギー課税と生産間接税減免」『国際公共政策研究』第 1 巻第 1 号.
- 橋木俊詔・市岡修・中島栄一 (1990), 「応用一般均衡モデルと公共政策」, 『経済分析』第 120 号, 経済企画庁経済研究所編.
- 伴金美・大坪滋・川崎研一・小野稔・松谷萬太郎・堤雅彦・木滝秀彰・小野博 (1998), 「応用一般均衡モデルによる貿易・投資自由化と環境政策の評価」, 『経済分析』第 156 号, 経済企画庁経済研究所編.
- 黄愛珍(1998), 「CGE モデルによる中国の大気汚染問題のシミュレーション分析」, 経済統計学会『統計学』第 75 号.
- 黄愛珍 (1999), 「中国のエネルギー・環境分析」, 『京都大学経済論集』, 第 15 号.
- 黄愛珍 (2003), 「移行期における中国環境政策の一般均衡分析」, mimeo.
- 財団法人日中経済協会編 (2002), 『中国経済データハンドブック』.
- 李志東 (1999), 『中国の環境保護システム』東洋経済新報社.
- 林永輝 (2001), 「中国の省エネルギー政策 -日本との比較に即して- 」『同志社政策科学研究』第 3 巻.
- 賈文瑞, 徐青, 王燕灵, 张建民, 张宏洋等著 (2002), 『21 世紀中国能源, 環境与石油工業発展』, 石油工業出版社.

- 李志東・張坤民・周風起・伊藤浩吉・魯明中・戴彥德・朱達著（1999）『中国能源環境研究文集』，中国環境科学出版社。
- 国家統計局工業交通統計司編（2000），『中国工業交通能源 50 年統計資料汇编1949－1999』，中国統計出版社。
- 国家統計局工業交通統計司編（1992），『中国能源統計年鑑 1991』中国統計出版社。
- 国家統計局工業交通統計司編（1998），『中国能源統計年鑑 1991－1996』中国統計出版社。
- 国家統計局編（各年版），『中国統計年鑑』，中国統計出版社。
- 国家統計局編（1999），『中国投入產出表 1997』，中国統計出版社。
- 国家統計局編（2001），『2001 中国發展報告—中国的「九五」』，中国統計出版社。
- 馬綱，鄭玉歆，樊明太（1998），「征收碳税，实行 CO₂ 减排对中国经济影响的分析」鄭玉歆・樊明太等著『中国 CGE 模型及政策分析』社会科学文献出版社。
- 上海財經公共政策研究中心（2001），『2001 中国財政發展報告』上海財經大學出版社。
- 王家誠・趙志林編（2001），『中国能源發展報告 2001』，中国計量出版社。
- 汪同三，沈利生（2000），『經濟模型集』，社会科学文献出版社。
- 周風起・周大地主編（1999），『中国中長期能源戰略』，中国計畫出版社。
- 周光召主編（2001），『中国百年資源、環境与發展報告』，湖北科学技術出版社。
- 鄭易生・王世汶編（2001），『中国環境与發展評論』，社会科学文献出版社。
- 張立軍主編（各年版）『中国環境年鑑』，中国環境年鑑社出版。
- 中国研究所編（2002），『中国年鑑 2002』，創土社。
- 鄒驥（1997），「環境經濟一体化的政策研究」，博士学位論文。

付録A 中国環境 CGE モデルの方程式、変数、パラメーター

表A 1 中国環境 CGE モデルの方程式体系

生産ブロック

$$\begin{aligned}
 (1) \quad Q_i &= \tau_i (\omega_i VA_i^{\rho_i} + (1-\omega_i) E_i^{\rho_i})^{1/\rho_i} \\
 (2) \quad VA_i &= \tau_i^{\rho_i \sigma_i} \left(\omega_i \frac{PEVA_i}{PVA_i} \right) Q_i & \rho_i &= \frac{\sigma_i - 1}{\sigma_i} \\
 (3) \quad E_i &= \tau_i^{\rho_i \sigma_i} \left((1-\omega_i) \frac{PEVA_i}{PE_i} \right)^{\sigma_i} Q_i \\
 (4) \quad K_i &= A_i^{-1} \left(\frac{\alpha_i}{1-\alpha_i} \right)^{1-\alpha_i} \left(\frac{pl_i}{rk_i} \right)^{1-\alpha_i} VA_i \\
 (5) \quad L_i &= A_i^{-1} \left(\frac{1-\alpha_i}{\alpha_i} \right)^{\alpha_i} \left(\frac{rk_i}{pl_i} \right)^{\alpha_i} VA_i \\
 (6) \quad F_{ji} &= \frac{\nu_{ji}}{B_i} PF_j^{-1} \prod_{j=7}^{10} \left[\frac{PF_j}{\nu_{ji}} \right]^{\nu_{ji}} E_i & j &= 7, \dots, 10
 \end{aligned}$$

貿易ブロック

$$\begin{aligned}
 (7) \quad z_i &= \Psi_i (\mu_i M_i^{-\zeta_i} + (1-\mu_i) D_i)^{-1/\zeta_i} & \zeta_i &= \frac{1-\phi_i}{\phi_i} \\
 (8) \quad M_i &= \left(\frac{\mu_i}{1-\mu_i} \right)^{\phi_i} \left(\frac{PD_i}{PM_i} \right)^{\phi_i} D_i \\
 (9) \quad Q_i &= \lambda_i (\gamma_i EX_i^{\delta_i} + (1-\gamma_i) D_i^{\delta_i})^{1/\delta_i} & \delta_i &= \frac{1+\eta_i}{\eta_i} \\
 (10) \quad EX_i &= \left(\frac{1-\gamma_i}{\gamma_i} \right)^{\eta_i} \left(\frac{PEX_i}{PD_i} \right)^{\eta_i} D_i
 \end{aligned}$$

価格ブロック

$$\begin{aligned}
 (11) \quad PM_i &= (1+tm_i) \overline{PWM_i} ER \\
 (12) \quad PEX_i &= (1+te_i) \overline{PWEX_i} ER \\
 (13) \quad P_i &= (PM_i M_i + PD_i D_i) / Z_i \\
 (14) \quad PS_i &= (PEX_i EX_i + PD_i D_i) / Q_i \\
 (15) \quad PEVA_i &= PS_i (1-itax_i) - \sum_{j=1}^6 a_{ji} P_j \\
 (16) \quad PVA_i &= \frac{1}{A_i} \left(\frac{rk_i}{\alpha_i} \right)^{\alpha_i} \left(\frac{pl_i}{1-\alpha_i} \right)^{1-\alpha_i}
 \end{aligned}$$

$$(17) \quad PE_i = \frac{1}{B_i} \prod_{j=7}^{10} \left(\frac{PF_j}{v_{ji}} \right)^{v_{ji}}$$

$$(18) \quad pl_i = \overline{widist_i wl}$$

$$(19) \quad rk_i = \overline{wkdist_i wk}$$

$$(20) \quad PC_i = P_i \quad i = 1, \dots, 6$$

$$(21) \quad PC_i = PF_j \quad i = 7, \dots, 10, j = 7, \dots, 10$$

$$(22) \quad PK_i = \sum_{j=1}^{10} bb_{ji} P_j$$

$$(23) \quad PINDEX = \frac{Y}{RY}$$

所得ブロック

$$(24) \quad Y = \sum_{i=1}^{10} PVA_i VA_i + IND T + TARIFF - NETSUB$$

$$(25) \quad RY = \sum_{i=1}^{10} (C_i + \overline{G_i} + I_i + INVENT_i + EX_i(1 - te_i) - M_i(1 - tm_i))$$

$$(26) \quad YL_i = pl_i L_i$$

$$(27) \quad YK_i = rk_i K_i$$

$$(28) \quad YENT = \sum_{i=1}^{10} YK_i + \overline{GSUBE} - ESAV - ETAX - DEPR$$

$$(29) \quad YH = \sum_{i=1}^{10} YL_i + YENT + \overline{GSUBH} + ER \overline{REMIT}$$

$$(30) \quad YG = TARIFF + IND T + HTAX + ETAX + ER \overline{FBOR} + RCTOT$$

租税・貯蓄ブロック

$$(31) \quad HSAV = YH(1 - htr)mps$$

$$(32) \quad ESAV = esr \left(\sum_{i=1}^{10} YK_i + \overline{GSUBE} - ETAX - DEPR \right)$$

$$(33) \quad TSAV = HSAV + GSAV + ESAV + DEPR + ER \overline{FSAV}$$

$$(34) \quad TARIFF = \sum_{i=1}^{10} tm_i \overline{PWM_i} ER M_i$$

$$(35) \quad NETSUB = \sum_{i=1}^{10} te_i \overline{PWEX_i} ER EX_i$$

$$(36) \quad IND T = \sum_{i=1}^{10} itax_i PS_i Q_i$$

$$(37) \quad HTAX = htr YH$$

$$(38) \quad ETAX = etr \left(\sum_{i=1}^{10} YK_i + \overline{GSUBE} - DEPR \right)$$

$$(39) \quad DEPR = \sum_{i=1}^{10} \varepsilon_i PK_i K_i$$

支出ブロック

$$(40) \quad C_i = \frac{\beta_i YH(1-htr)(1-mps)}{PC_i}$$

$$(41) \quad G_i = gexsh_i \bar{G}$$

$$(42) \quad INT_i = \sum_{j=1}^{10} a_{ij} Q_j \quad i = 1, \dots, 6$$

$$(43) \quad INT_i = \sum_{j=1}^{10} F_{ij} \quad i = 7, \dots, 10$$

$$(44) \quad INVENT_i = rin v_i Q_i$$

$$(45) \quad FXDINV = INVEST - \sum_{i=1}^{10} P_i INVENT_i - BSPLUS$$

$$(46) \quad PK_i DK_i = kshr_i FXDINV$$

$$(47) \quad I_i = \sum_{j=1}^{10} bb_{ij} DK_j$$

エネルギー・環境ブロック

$$(48) \quad CARBON_j = rc_j \left(\sum_{i=1}^{10} F_{ji} + C_j \right) \quad j = 7, \dots, 10$$

$$(49) \quad CO_2 = \sum_{j=7}^{10} \pi \theta_j CARBON_j$$

$$(50) \quad RCTOT = TC \sum_{j=7}^{10} CARBON_j$$

$$(51) \quad PF_j = P_j \left(1 + \frac{rc_j TC}{P_j} \right) = P_j (1 + tf_j) \quad j = 7, \dots, 10$$

$$(52) \quad rf_j = \frac{rc_j TC}{P_j} \quad j = 7, \dots, 10$$

市場均衡ブロック

$$(53) \quad Z_i = INT_i + C_i + \bar{G}_i + I_i + INVENT_i$$

$$(54) \quad \sum_{i=1}^{10} L_i = \bar{LS} (1 - runemp)$$

$$(55) \quad \sum_{i=1}^{10} K_i = \bar{KS}$$

$$(56) \quad YG = \sum_{i=1}^{10} P_i G_i + \overline{GSUBE} + \overline{GSUBH} + \overline{NETSUB} + \overline{GSAV}$$

$$(57) \quad BSPLUS = \sum_{i=1}^{10} \overline{PWEX_i} EX_i - \sum_{i=1}^{10} \overline{PWM_i} M_i + \overline{REMIT} + \overline{FBOR} + \overline{FSAV}$$

$$(58) \quad TSAV = INVEST$$

社会的効用

$$(59) \quad EV = EXP(U^n, PC^b) - EXP(U^b, PC^b) \\ = \sum_{i=1}^{10} PC_i^b C_i^n - \sum_{i=1}^{10} PC_i^b C_i^b$$

表 A 2 中国環境 CGE モデルの変数とパラメーターの記号

内生変数

量変数

 Q_i : 第 i 財の総産出 VA_i : 第 i 財の労働・資本合成財 E_i : 第 i 財のエネルギー合成財 K_i : 部門 i の資本投入 L_i : 部門 i の労働投入 Z_i : 第 i 財の輸入と国内財の合成財 M_i : 第 i 財の輸入量 D_i : 第 i 財の国内財の量 EX_i : 第 i 財の輸出量 $PEVA_i$: 部門 i のネット価格（エネルギーを含む）、つまり部門 i の生産要素結合財価格 PVA_i : 部門 i の労働・資本合成財の価格 PE_i : 部門 i のエネルギー合成財の価格 pl_i : 部門 i の賃金率 rk_i : 部門 i の資本価格（資本収益率） F_{ji} : 部門 i に投入される第 j 種類のエネルギーの投入量 PF_j : 第 j 種類のエネルギーの価格 PD_i : 第 i 国内財の価格¹⁾ PM_i : 第 i 輸入財の国内価格 PEX_i : 第 i 輸出財の国内価格 P_i : 第 i 財の合成価格 PS_i : 第 i 財（国内生産財）の販売価格 wk : 平均資本収益率 PC_i : 第 i 財の消費者価格¹⁾本モデルでは、 PD_1 をニューメレール価格としている。

PK_i : 第 i 財の資本財価格

$PINDEX$: GDP デフレーター

Y : 名目 GDP

RY : 実質 GDP

$INDT$: 生産間接税収入

$TARIFF$: 輸入税収入

$NETSUB$: 輸出補助金

C_i : 第 i 財の家計消費

G_i : 第 i 財の政府消費

I_i : 第 i 財の投資消費

$INVENT_i$: 第 i 財の在庫消費

YL_i : 部門 i の労働所得

YK_i : 部門 i の資本所得

$YENT$: 企業のネット所得

YH : 家計の総所得

YG : 政府の総収入

$ESAV$: 生産部門の総貯蓄

$ETAX$: 生産部門の政府に支払った租税収入

$DEPR$: 固定資本ストックの原価償却

$HTAX$: 家計の所得税収

$RCTOT$: 炭素税収

$HSAV$: 家計貯蓄

$TSAV$: 総貯蓄

$GSAV$: 政府貯蓄

INT_i : 第 i 財の中間投入

$FXDINV$: 総名目固定資本投資

$INVEST$: 総名目投資

$BSPLUS$: 経常収支黒字

DK_i : 部門 i の名目固定資本投資

$CARBON_j$: 第 j 種類エネルギーの炭素含有量

CO_2 : CO_2 総排出量 or TC : 炭素税

tf_j : 炭素税から転換した第 j 種類エネルギーの従価税

$runemp$: 失業率

EV : 等価変分

外生変数

PWM_i : 第 i 輸入財の世界価格

ER : 為替レート (米ドル対中国元)

$PWEX_i$: 第 i 輸出財の世界価格

$GSUBE$: 政府から生産部門への所得移転

$GSUBH$: 政府から家計への所得移転

$REMIT$: 海外からの所得移転

$FBOR$: 対外純借入

$FSAV$: 純対外貯蓄

G : 政府支出

LS : 総労働供給

KS : 総資本供給

パラメーター

τ_i : CES 型生産関数のシフトパラメーター

ω_i : CES 型生産関数のシェアパラメーター

ρ_i : CES 型生産関数の指数

σ_i : CES 型生産関数における労働・資本合成財とエネルギー合成財との間の代替弾力性

A_i : 労働と資本の合成生産関数のシフトパラメーター

α_i : 労働と資本の合成生産関数のシェアパラメーター

ν_{ji} : エネルギー合成関数のシェアパラメーター

B_i : エネルギー合成関数のシフトパラメーター

Ψ_i : 輸入需要関数における合成 i 財に関するシフトパラメーター

μ_i : 輸入需要関数における輸入財 i に関するシェアパラメーター

ϕ_i : 輸入需要関数における輸入と国内財との間の代替弾力性

ζ_i : 輸入需要関数の指数

λ_i : 輸出供給関数における総産出に関するシフトパラメーター

γ_i : 輸出供給関数における輸出財 i のシェアパラメーター

η_i : 輸出供給関数における輸出と国内消費財との間の代替弾力性

δ_i : 輸出供給関数の指数

tm_i : 輸入税率

$itax_i$: 生産間接税率

te_i : 輸出補助率

a_{ij} : 部門 i に投入される第 j 財の投入量

wl : 平均賃金率

$wldist_i$: 賃金の部門間調整係数

bb_{ji} : 固定資本係数

$wkdist_i$: 資本収益率の部門間調整係数

htr : 家計所得税率

$m\psi$: 家計限界貯蓄性向

esr : 生産部門の貯蓄率

etr : 生産部門の法人税率

ε_i : 部門 i の減価償却率

β_i : 消費財 i の限界予算シェア

$geresh_i$: 政府消費における i 財への支出シェア

$rinv_i$: 総産出単位あたりの i 財の在庫量

$kshr_i$: 総固定資本投資における部門 i のシェアパラメーター

$$\sum_{i=1}^{10} kshr_i = 1$$

rc_j : 第 j エネルギーの炭素含有率

π : 転換係数

θ_j : 調整係数

政策変数

CO_2 : CO_2 総排出量 or TC : 炭素税

付録 B 参考データ、資料

表 B 1 1997 年中国 SAM 表(記述表)

	1 生産 1 a~1 j	2 商品 2 a~2 j	3 要素		4 家計	5 企業	6 政府	7 資本		8 対外貿易 損失	9 海外	10 合計
			労働	資本				投資	在庫			
1 生産 1 a~1 j		国内供給 行列								輸出補助	輸出	総売上
2 商品 2 a~2 j	中間投入 行列				家計需要		政府需要	投資需要	在庫需要			国内販売
3 要素 3 a 労働 3 b 資本	純付加価値											総要素 所得
4 家計			労働所得			企業から家計の 所得移転	政府から家計の 所得移転				純海外 送金	総家計 所得
5 企業				資本所得			政府から企業の 所得移転					総企業 所得
6 政府	純間接税	輸入税			所得税	法人税					純対外 借入	政府収入
7 資本					家計貯蓄	企業貯蓄+減価 償却	政府貯蓄				純海外 貯蓄	総貯蓄
8 対外貿易損失							対外貿易補助					
9 海外		輸入						国際収支 黒字				海外所得
10 合計	総費用	総供給	要素支払		家計支出	企業支出	政府支出	総投資			海外支出	

単位：億元

表 B 2 1997 年 中国 SAM 表(数値表)

		1 商品									
		1a	1b	1c	1d	1e	1f	1g	1h	1i	1j
1 商品	1a 農業										
	1b 重工業										
	1c 軽工業										
	1d 運輸・通信										
	1e 建設業										
	1f サービス業										
	1g 石炭										
	1h 石油										
	1i 天然ガス										
	1j 電力										
2 生産	2a 農業	24,269									
	2b 重工業		61,338								
	2c 軽工業			30,245							
	2d 運輸・通信				5,263						
	2e 建設業					17,361					
	2f サービス業						34,476				
	2g 石炭							2,298			
	2h 石油								4,145		
	2i 天然ガス									171	
	2j 電力										3,734
	2k 合計										
3 要素	3a 労働力										
	3b 資本ストック										
	3c 減価償却										
4 家計											
5 企業											
6 政府		24,792	532,271	139,410	1,499	25,711	36,531	0,497	66,268	0.00005	0.012
7 資本											
8 対外貿易損失											
9 海外		375	8,055	2,110	23	389	553	8	1,003	0.00071	0.179
10 合計		24,669	69,925	32,494	5,287	17,776	35,066	2,306	5,214	171	3,734

		2 生産									
		2 a	2 b	2 c	2 d	2 e	2 f	2 g	2 h	2 i	2 j
1 商品	1 a 農業	3,964	1,131	7,437	11	72	740	27	27	0	3
	1 b 重工業	2,425	33,447	4,086	997	9,128	5,399	670	714	35	579
	1 c 軽工業	1,768	3,039	10,338	146	448	3,237	43	70	2	23
	1 d 運輸・通信	252	1,961	526	207	633	855	67	108	2	116
	1 e 建設業	49	70	23	117	10	736	6	6	0	10
	1 f サービス業	1,058	4,678	2,411	445	1,475	6,552	187	252	6	325
	1 g 石炭	22	955	155	23	12	159	102	137	0	635
	1 h 石油	218	1,441	112	400	496	597	71	1,514	16	263
	1 i 天然ガス	0	99	7	0	0	1	1	2	49	2
	1 j 電力	179	2,028	350	99	114	364	116	120	7	123
2 生産	2 a 農業										
	2 b 重工業										
	2 c 軽工業										
	2 d 運輸・通信										
	2 e 建設業										
	2 f サービス業										
	2 g 石炭										
	2 h 石油										
	2 i 天然ガス										
	2 j 電力										
3 要素	3 a 労働力	12,979	8,378	4,204	1,246	3,458	9,716	770	342	24	423
	3 b 資本ストック	745	5,051	2,422	805	845	2,625	84	573	9	448
	3 c 減価償却	585	2,855	1,412	942	287	3,147	187	346	30	521
4 家計		14,309	16,284	8,038	2,993	4,590	15,488	1,042	1,260	64	1,392
5 企業											
6 政府		433	3,522	2,337	232	407	2,639	36	326	12	301
7 資本											
8 対外貿易損失											
9 海外											
10 合計		24,677	68,655	35,819	5,670	17,386	36,768	2,367	4,536	193	3,772

		3 要素			4 家計	5 企業	6 政府	7 資本		8 対外貿易損失	9 海外	10 合計
		3 a	3 b	3 c				投資	在庫			
1 商品	1 a 農業				10,193		0	594	470			24,669
	1 b 重工業				4,357		0	7,130	957			69,925
	1 c 軽工業				11,750		0	112	1,520			32,494
	1 d 運輸・通信				463		0	58	37			5,287
	1 e 建設業				0		0	16,747	0			17,776
	1 f サービス業				8,186		8,725	514	254			35,066
	1 g 石炭				76		0	0	31			2,306
	1 h 石油				50		0	0	35			5,214
	1 i 天然ガス				10		0	0	0			171
	1 j 電力				234		0	0	0			3,734
2 生産	2 a 農業									14	395	24,677
	2 b 重工業							25,154	3,303	245	7,071	68,655
	2 c 軽工業				35,320			28,458		187	5,387	35,819
	2 d 運輸・通信									14	393	5,670
	2 e 建設業									1	24	17,386
	2 f サービス業									77	2,215	36,768
	2 g 石炭									2	67	2,367
	2 h 石油									13	378	4,536
	2 i 天然ガス									1	22	193
	2 j 電力									1	37	3,772
3 要素	3 a 労働力									555	15,988	41,540
	3 b 資本ストック											13,607
	3 c 減価償却											10,312
4 家計		41,540				5,108	2,017				2,655	51,320
5 企業			23,919		0		2,129					26,048
6 政府					1,713	1,216					438	14,995
7 資本				0	14,287	19,724	1,014				-1,963	33,062
8 対外貿易損失							555					555
9 海外								4,605				17,119
10 合計		41,540	23,919	0	51,320	26,048	14,995	33,062		555	17,119	

表 B 3 資本形成係数

	重工業	軽工業	運輸・通信	建設業	サービス業	石炭	石油	天然ガス	電力
農業	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024	0.026	0.025	0.000	0.031
重工業	0.291	0.291	0.291	0.291	0.291	0.275	0.280	0.220	0.341
軽工業	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.001	0.003
運輸・通信	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.007	0.006	0.001	0.008
建設業	0.663	0.663	0.663	0.663	0.663	0.676	0.673	0.770	0.599
サービス業	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.015	0.013	0.008	0.018
石炭	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
石油	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
天然ガス	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
電力	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

出所：Zhang（1996）のデータを調整し、推計した。

表 B 4 補助データ及びパラメーター

	農業	重工業	軽工業	運輸・通信	建設業	サービス業	石炭	石油	天然ガス	電力
労働 L_i	347.30	74.02	35.31	20.62	35.78	163.13	12.29	4.14	0.29	3.11
資本 K_i	11,695.72	38,313.62	20,251.74	16,533.46	5,738.17	55,217.45	2,280.87	4,218.98	403.73	6,988.47
$wldist_i$	0.768	1.394	1.279	0.714	1.333	0.706	0.803	1.472	0.660	0.936
$wkdist_i$	0.626	1.896	1.995	1.013	1.619	0.998	1.050	1.383	1.383	2.282
代替弾力性										
ϕ_i^a	2.2	2.8	2.2	1.9	1.9	1.9	2.8	2.8	2.8	2.8
η_i^b	4.4	5.6	4.4	3.8	3.8	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6
σ_i^c	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
輸入税率 tm_i	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066	0.066
輸出補助率 te_i	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035
間接税率 $itax_i$	0.018	0.051	0.065	0.041	0.023	0.072	0.015	0.072	0.064	0.080
$rinu_i$	0.019	0.014	0.047	0.007	0.000	0.007	0.013	0.007	0.000	0.000
$kshr_i$	0.024	0.291	0.003	0.006	0.663	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000
減価償却率 ε_i	0.050	0.075	0.070	0.057	0.050	0.057	0.082	0.082	0.075	0.075
消費支出シェア β_i	0.289	0.123	0.333	0.013	0.000	0.232	0.002	0.001	0.000	0.007
政府支出シェア $gersh_i$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000

出所) a, b: 川崎 (1999) より、データ出典元は GTAP データベース Ver.3、c : Zhang (1996) より、その他は筆者による推計