論　説

中国経済環境モデリングに関する研究*

―現状と将来展望―

黄　　愛 珍

はじめに

中国の経済成長にとって、エネルギーは必要不可欠なものである。しかしエネルギーの消費は重要な汚染源でもある。特に石炭を主なエネルギー源とする中国においては、石炭の大量生産が生態環境の破壊をもたらすだけではなく、石炭の大量消費によって大気汚染問題がますます厳しくなってきている。経済の高度成長が、エネルギー不足の問題をもたらすと同時に、エネルギーの大量消費によって、環境に莫大な負担を与え、環境問題を引き起こしている。そして積み重ねられてきた環境問題は、現在では逆に人々の生活を脅かし、またエネルギー不足問題も経済成長の足を引っ張る、というような現象が生じている。

今後、特に中国において、「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。

2004年において人類の産業活動の結果として排出されたCO_2の量は72億tC（tC：炭素換算トン、以下同）に達し、そのほとんどが石炭、石油などの化石燃料の燃焼から生じたものである。中国はアメリカに次ぎすでに世界第二位のCO_2排出大国であり、2004年の総排出量は10.21億tCに達し、世界の14％を占めている。一人当たりの排出量はアメリカの七分の一に過ぎずまた小さいが、CO_2の排出量は1990年より67％も増大し、さらに今後の持続的な経済成長に伴うエネルギー需要の急増を考慮すると、近い将来にエネルギー資源が枯渇し、地球環境が破壊されるだろうことが容易に予想される。

今の中国はかつて先進国の同発展段階の状況とは異なる。中国は先進国がかつて辿ったいわゆる「先に汚染して後で対策を考える」という道を辿ることができず、しかも国内の環境問題と地球環境問題を同時に立ち向かわなければならない、いままでない厳しい状況に立っている。経済成長と環境問題の両立できるいわゆる持続可能な経済発展戦略は中国だけでなく世界にとっても最重要な課題となるだろう。

持続可能な経済発展はどのように実現できるのか？それにはどのような政策が必要であろう

---

* 本稿を私の学部時代から現在に至って長年にわたり、大変お世話になった恩師の土居英二氏に感謝の気持ちを込めて捧げる。この研究は平成18年度文部科学省科学研究費（若手研究B）の助成による成果の一部である。

か？そしてこれらの政策が経済と環境への影響はどの程度なのか？数値モデルによる政策の数値的な評価が求められる。実際アメリカにおいて、環境と経済との相互依存関係を分析できる経済環境モデリングの研究結果が、政策決定において重要な役割を果したといわれる。

一方、中国環境政策分析のための経済環境モデリングに関する研究は、90年代半ば頃から始められた[1]。初期の経済環境モデリング研究は海外の大学や研究所に所属する研究者による研究が多かった（博士論文の研究成果であるXie（1996）、Zhang（1996）がその代表である）。2000年前後から中国国内の研究者、中国能源研究所（ERI：Energy Research Institute）の研究センターのひとつであるCEEC（Center for Energy, Environment and Climate Change）や清華大学の研究グループなどが、アメリカ、オランダ、日本など諸外国との共同研究によって開発された経済環境モデリングの中国経済への応用が急速に広がった。

90年代のモデル研究のほとんどは、Top-Down型モデルである応用一般均衡モデルを用いた炭素税などの環境対策による中国マクロ経済へのコスト分析が主な目的であった。最近は、環境政策による汚染排出物の削減を通じて人々の健康にもたらす効果を評価する便益分析をも行われるようになった。またBottom-Up型モデルを利用した研究も行われ始め、中国経済環境モデリング研究の新しい展開の現われであるといえよう。

1999年にアメリカ環境保護局（EPA：the U.S. Environmental Protection Agency）のサポートの下で、経済モデリングの一層の改善を図るために、中国経済環境モデリングワークショップ（China Economic and Environmental Modeling Workshop）が始めて中国北京において行われた。このワークショップにおいて中国経済環境モデリングの技術的な改善が今後の課題として認識された。国際的な共同研究の活発化に伴って、中国経済環境モデリングに関する研究は急速にひろがったとはいえ、研究歴史がまだ浅く、先進諸国で開発された経済環境モデリングの中国経済への適用という試みの初期段階であり、今後より中国経済社会の実態を反映した中国経済環境モデリングの更なる展開が求められる。

以下においては、中国経済環境モデリングをTop-Down型モデルとBottom-Up型モデルに分類して、それぞれの現状、特徴および最新動向を紹介しながら、中国経済環境モデリング研究の課題と今後の展開について検討したい。

1．Top-Down型モデル

一般的に経済環境モデリングをTop-Down型モデルとBottom-Up型モデルに分類できる。中国経済環境モデリングの応用研究はTop-Down型モデル分析が中心であるが、最近はBottom-Up型

[1] 90年代の初期にGLOBLE 2100（Manne (1992)）モデルとGREENモデル（Oliveira-Martins, J., Burniaux, J.-M., Martin, J. P., Nicoletti, G. (1992)）を代表とされるグロバールモデル分析は、中国を多地域のうちのひとつの地域として取り入れている。

モデルによる中国経済への応用研究が増える傾向にある。この章ではTop-Down型モデルの代表の一つである応用一般均衡モデル（AGE Model：Applied General Equilibrium Model）または計算可能な一般均衡モデル（CGE Model：Computable General Equilibrium Model）を取り上げる。以下においてはCGEモデルと略称する。

CGEモデルが経済政策を評価する手法として幅広く使われている。70年代に租税への応用分析から始まり、その後貿易問題、構造調整問題、環境問題などのさまざまな分野において応用されるようになった。

中国経済分析にCGEモデルが応用されるようになったのは、80年代後半からである。CGEモデルの中国経済への適用に関する初期研究は、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。具体的には市場価格と計画価格をモデルに同時に取り入れ、両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[2]（Byrd（1989)、Matin（1993)、Garbaccio（1995）など)。

中国の対外開放政策の拡大に伴い、WTO加盟前後になると、WTO加盟による関税の引き下げなどの貿易政策に関するCGEモデル分析が多く行われた（Wang（2003))。90年代中頃から中国の環境政策への応用分析も研究されるようになった。

CGEモデルの中国環境問題への応用研究に入る前に、政策評価手法としてのCGEモデル[3]について簡単に触れたい。

1.1　CGEモデルの仕組み

CGEモデルは、市場経済における価格メカニズムを基礎においた新古典派モデルである。CGEモデル分析の基本的な考え方は、ワルラスの一般均衡体系を、抽象的な数理モデルから現実経済の実際的なモデルに変換して現実の経済政策の評価に利用することである。

ワルラスの一般均衡体系の特徴を簡単に言えば、市場で成立する価格を個々の財の希少性のシグナルとして考え、個々の経済主体が価格というシグナルを行動の判断基準として分権的に意思決定を行い、そして分権的に行われた各経済主体の意思決定に関する不一致は市場で価格を通じて調整されることである。

消費者と企業から構成するもっとも単純な経済を想定してみよう。消費者は所得を所与とし、市場で成立する価格をシグナルとして効用を最大にするように財に対する需要量、労働の供給量を決定する。一方企業は与えられた技術の下で、市場価格をシグナルとして利潤を最大にするように各生産要素に対する需要量や財の供給量を計画する。このように分権的に行われた個々の経済主体の意思決定の結果として、財や生産要素の市場においてそれぞれの需要量と供給量は一致

[2] 詳細はXie（1996）を参照。
[3] CGEモデルの詳細についてはShoven, J. B. and Whalley, J. (1992）を参照されたい。

する保証はない。このとき重要な役割を果たすのが価格メカニズムである。超過需要があれば価格が上昇し、逆に超過供給があれば価格が下落する。各市場において需給が一致するように価格が調整され、市場均衡が達成される。すべての市場において同時に均衡が達成されることを「一般均衡」という。このような経済をCGEモデルは数値を使って計量的に描写し、政策変更の資源配分に及ぼす影響を、どの主体が得をし、誰が損をするのかという水準で評価することができるという意味で、CGEモデルは経済政策評価に理想的な枠組みを与えるものであるといえよう。

今日の地球温暖化対策や大気汚染対策などの環境政策については、その政策効果を正しく評価するためには、部分均衡分析よりも経済全体を想定したCGEモデル分析の方が適しているといわれる。その理由としては以下の点が上げられる。

①理論的根拠を持つこと。

CGEモデル分析は新古典派のミクロ経済理論をベースとしている。消費者や企業の行動はミクロ的な基礎理論に基づいて、効用最大化原則や利潤最大化原則に従って行動することによって、政策の変化に対する各消費者や企業の反応をうまく取り入れることができる。したがってモデルの分析結果は、その政策の効果が自由の市場経済における各経済主体の決定の結果と一致し、より現実的な結果を導くことができるといわれる。

②環境政策の間接的な効果を適切に考慮されること。

環境政策の多くは、政策の実施によって、企業は環境によりやさしい新しい技術の導入や、相対的に汚染の多い生産部門からより汚染の少ないクリーンな生産部門への産業構造の変化を促すことによって、政策効果が経済全体に波及していくことが考えられる。したがって、その効果を評価する場合、直接関係する部門への直接効果だけではなく、経済構造変化を通じてその他の部門への間接的な効果をも適切に評価することが非常に重要である。経済主体の細分化によって、各経済主体間の相互依存関係をうまく表現できる多部門CGEモデルが環境政策の分析に適しているといわれる。

最後に、CGEモデルから環境CGEモデルへの拡張について簡単に触れたい。

環境問題の多くは人類の経済活動の結果として現れている。伝統的なCGEモデルでは各経済主体間の相互依存関係を取り入れるが、経済主体の経済活動による環境への影響を取り入れていない。環境CGEモデルは伝統的なCGEモデルに経済活動による環境への影響を組み込む形で拡張される。

一般的に、経済活動の環境への影響をエミッション（emission）として捉えることができる。経済主体の経済活動は財・サービスを生み出すと同時に環境にさまざまなエミッション（汚染物）をも生み出している。そのエッミションが環境の許容範囲を超えると、環境に悪い影響を与え環境問題として現れる。

経済活動の環境への影響をCGEモデルへの取り組み方法としては、一般的に①エミッションを経済活動の産出に直接リンクする、②エミッションを望ましくない産出（Bads）として生産の副産物として考える、③エミッションを生産に必要な投入とする、④エミッションを特殊の原材料の投入にリンクするという４つの方法がある。以下で述べる中国環境CGEモデルの拡張は方法④を取っている。つまり、エミッションCO_2、SO_2の排出を原材料のエネルギー投入にリンクしている。

1.2　初期の中国環境CGEモデリング

近年、環境保護と経済成長の両立の可能性についての議論が高まり、特に環境政策による環境の質の改善及び経済へのダメージ効果についての数値的モデルによる評価が世界各国で注目されている。欧米諸国においては80年代後半からCGEモデルによる環境政策への応用分析が急速に広がった。Greenaway et al.（1993）、Steininger（1995）、Xie（1996）などの研究においては、それまでの主な環境CGEモデルの研究事例についてサーベイを行っている。本節においては、中国を対象とした主要な中国環境CGEモデル研究に焦点を当てたい。

中国の環境政策のCGEモデル分析は90年代の半ば頃から研究されている。その後アメリカ、オランダ、日本など諸外国の協力の下で2000年前後から経済環境CGEモデリングに関する研究が急速に増えた。今までに行ってきた中国経済環境モデリングに関する主な事例研究を表－１にまとめた。以下においては、これらの研究の特徴や主な結果についてまとめたい。

これまでの研究の特徴としては、共同研究による応用分析が多いことと、CO_2排出削減対策またはSO_2排出削減対策の中国経済への影響分析に関する研究がほとんどであったこと[4]をあげられる。これは中国の環境問題の多くがエネルギー消費と密接に関係していることを物語っている。

中国環境CGEモデルのほとんどは、伝統的なCGEモデルの生産関数に、石炭、石油・天然ガス、電力などのエネルギーをある種の関数（CD関数、CES関数）に結合され、この結合されたエネルギー結合財を労働や資本と同様に本源的な要素投入として生産に投入される。CO_2、SO_2などの環境へのエミッションをこれらのエネルギーの消費に結び付けて、炭素税のような環境政策が実施された場合、エネルギーの相対価格の変化が家計、企業の行動を変化させ、エネルギーへの需要変化、ひいてはCO_2、SO_2の排出量変化への影響分析ができるように、伝統的なCGEモデルを拡張している。

これに対して、Xie（1996）は、伝統的なCGEモデルに詳細なエネルギーを取り入れず、エネルギーは本源的な投入ではなく、通常の中間投入として生産に投入されるとしている。またXie（1996）は廃水（Wastewater）、煙塵（Smog dust）と固形廃棄物（solid waste）の３つの汚染除去活動や汚染削減コストをモデルに取り入れ、企業が環境への汚染排出に対して汚染排出税を支

[4] Xie（1996）を除いたすべてのモデルがそれに当たる。

表－1　主要中国環境経済モデリング

モデル	基準年データ（部門数）	モデル種類	エネルギー投入	環境政策	分析対象（汚染物）
Xie（1996）	1990年ＳＡＭ表（7部門）	比較静学 CGEモデル	通常の中間投入 汚染削減部門の設立	排汚税 補助金	廃水
Zhang（1996, 1998a,1998b）	1987年ＳＡＭ表（10部門）	逐次動学 CGEモデル	石炭、石油、天然ガス、電力	炭素税	CO_2
小山田（1997）	1985年中国-日本国際IO表（6部門）	比較静学 CGEモデル	石炭、石油（天然ガスを含む）	炭素税	SOx, NOx, CO_2
鄭 et al.（1999）	中国1992年投入産出表（34部門）	比較静学 CGEモデル	石炭、石油、天然ガス、電力	炭素税	CO_2
Garbaccio et al.（1999）	1992年ＳＡＭ表（29部門）	逐次動学 CGEモデル	石炭、石油、電力、精製石油	炭素税	CO_2
He et al.(2001)	1997年ＳＡＭ表（9部門）	比較静学 CGEモデル	石炭、石油（天然ガスを含む）（CES関数）	炭素税	CO_2
Garbaccio et al.（2002）	1995年データ（30部門）	逐次動学 CGEモデル	石炭、石油、天然ガス、電力、精製石油	炭素税	MP-10, SO_2
武(2002)	1997年ＳＡＭ表（13部門）	比較静学 CGEモデル	石炭3種類、石油、天然ガス、電力	硫黄税	SO_2
黄（2003a,2003b）	1997年ＳＡＭ表（10部門）	比較静学 CGEモデル	石炭、石油、天然ガス、電力	炭素税	CO_2
Solveig Glomsrød and Wei Taoyuan (2005)	1995 National Account（35部門）	Quasi-dynamic CGEモデル	石炭(原炭、クリーン石炭)、石油、天然ガス、電力	新興Cleaned Coal市場　＋　炭素税	CO_2、PM-10
Chen Yingwu(2005)	1995年データ	MARKALモデル	化石燃料（石炭、石油、天然ガス）、電力（各種火力発電、太陽光、風力、水力、原子力、バイオマス、etc.）	炭素税　or　排出目標制約の導入	CO_2

払うか、汚染削減コストとして汚染除去部門に汚染除去サービスの購入を行うかを選択できるようにモデル化したことが特徴である。

Xieモデルは1990年中国投入産出表を基に作成した1990年７部門SAM表を基準データとして利用した比較静学CGEモデルである。生産汚染排出税（production pollution emission taxes）や家計の廃棄物処理税（household waste disposal taxes）などの汚染税（pollution taxes）の導入、また汚染削減補助などの環境政策による中国経済や環境への影響を比較分析している。

モデルでは以下のような６つの政策シナリオを実施している。

①産業の廃水に対して汚水課徴金の税率を25％に増大させる。

②産業の廃水に対して汚水課徴金の税率を50％に増大させる。

③政府が廃水処理部門に４億元の補助金を与える。

④産業排水処理率を80％へ引き上げる。

⑤家計の廃水に対してトン当たり0.2元の課徴金を課す。

⑥政府は４億元を廃水処理サービスの購入に支出する。

Xieは結論において、まず、すべてのシナリオ政策が経済成長にマイナス影響（生産減、雇用減、所得減、投資減）を与えること。次に廃水処理に対する各シナリオ政策の効率性はまちまちであること。汚水課徴金の税率を25％に上げる政策（シナリオ①）は、汚染者に汚水排出削減へのインセンティブを与えるほどの効果が見られない。しかし税率を50％に上げると、廃水処理への需要は70％増加する。一方産出は－0.22％の減少となる。最後に、廃水処理部門に補助金を出す（シナリオ③）政策と、廃水処理サービスの政府購入（シナリオ⑤）という政策とともに、汚水排出削減に効果的であることを示した。

以下においては、Xie（1996）以外の各モデルの主な特徴や結論を述べる。

Zhang（1996）モデルは、炭素税の効果を分析するための逐次決定型動学CGEモデルである。基準データは1987年投入産出表をベースに作成した1987年10部門SAM表を利用している。資本と労働から資本-労働結合財（Capital-Labor Composite）に、石炭、石油、天然ガスと電力からエネルギー結合財（Energy Composite）に、それぞれCD関数で合成される。そして資本-労働結合財とエネルギー結合財をCES関数で合成される本源的要素結合財とその他の中間投入をLeontief型関数で固定された比率で生産に投入される構造となっている。

CO_2排出削減対策として炭素税を導入した影響を、以下の６つのシナリオを設定した。

シナリオ１：CO_2排出は基準年に比べて2000年と2010年にそれぞれ20％削減する。

シナリオ１a：シナリオ１　＋　すべての産業において間接税を５％削減する。

シナリオ１b：シナリオ１　＋　すべての産業において間接税を10％削減する。

シナリオ２：2000年と2010年にCO_2排出が基準年に比べそれぞれ30％カットされる。

シナリオ2a：シナリオ2　＋　すべての産業において間接税を5％削減する。

シナリオ2b：シナリオ2　＋　すべての産業において間接税を10％減少する。

Zhangの分析結果によると、マクロ全体の効果としては、CO_2排出量が－20％削減される場合には、205元/tCの炭素税が必要とされることを示している。また、2010年のGDPは炭素税がない場合に比べて、－1.52％の減少となる。そして、間接税を－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、分析結果によると、その効果は非常に限られたものとなる。Zhang（1996）は中国の経済成長と環境改善はトレードオフ関係であり、両立は難しいと結論している。これは、Zhangモデルにおいては2000年と2010年において－20％と－30％の高い排出削減目標の設定によるところが大きいと考えられる。

また、Zhang（1996）はCGEモデルを15種類の発電技術の選択を可能にした電力計画MARKELモデルにリンクする試みを行っていることが特徴である。CGEモデルのマクロ結果（エネルギー需要、GDP成長）をベースに、2010年までの電力供給の参照シナリオを作成し、中国の電力供給MARKELモデルの投入としている。エネルギー需要を満たすように、コスト最小化にするように電力供給技術を選択し、それによって、CO_2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できる。しかしこの種の結合はまだ十分ではない。CGEモデルの結果（エネルギーサービス需要）をMARKELモデルに投入として取り入れることができても、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が、今後の課題として残る。

小山田（1997）モデルは、アジア経済研究所刊『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家計比較静学モデルである。モデルでは、SO_x、NO_xとCO_2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（天然ガスを含む）の2種類である。

環境汚染物質（SO_x、NO_x、CO_2）の排出量を削減することを政策目標（同時に－5％、－10％、－15％、－20％の削減）として、各化石燃料の消費への課税が中国国内経済に対してどのような影響を与えるのか。また、エネルギー使用税の導入により予想される社会的効用の低下を抑えることを目的として、課税対象となる化石燃料以外の財の生産間接税をゼロとする政策を採用した場合、その効果はどの程度あるのかを分析している。

分析結果によると、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く、もし生産間接税緩和策の導入により、相対価格の歪みを減じる努力がされるならば、社会的効用水準は大きく上昇するという結果が出ている。これは生産間接税をゼロとした緩和策の影響が大きいと考えられる。

鄭et al.（1999）は、中国の社会科学院数量経済与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を利用し、炭素税によるCO_2排出削減のコストを分析している。1992年の投入産出表のデータ（SAM表の作成なし）を利用した4種類のエネルギーを含む34部門の比較静学モデル分析である。石炭、石油、天然ガスと電力はCD関数でエネルギー結合財に合成している。

CO_2排出が基準年に比べてそれぞれ－5％、－10％、－20％削減した場合に必要な炭素税および経済への短期的影響と長期的影響について分析している。また、炭素税の導入と同時に、政府税収中立を保つよう企業に対する課税を減らした場合の炭素税の効果（二重配分）をも分析している。

分析結果によると、どんな状況においても、CO_2削減は必ず経済成長の速度を遅くすることになる。最悪ケース（短期、CO_2排出－20％削減、緩和策なし）の場合、実質GDPは－0.96％減に対し、最良ケース（長期、CO_2削減－5％、企業税緩和）の場合、実質GDPは－0.016％の減少にとどまる結果となった。

Garbaccio（1999）モデルは、Zhang（1996）モデルと同様に逐次型動学経済エネルギー・環境モデルである。1992年中国投入産出表を基に作成された1992年29部門SAM表をデータベースとして利用している。

Garbaccioモデルの特徴の一つは、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れたことである。特徴その2は、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財と市場財に区別し、またすべての価格にも計画価格と市場価格を区別している。また、生産関数は、資本、労働、土地、エネルギー結合財とその他の中間投入結合財をCD型生産関数と仮定している。エネルギー結合財は石炭、石油、電力と精製石油からログ線形関数で結合している。

Garbaccioモデルでは、中国におけるCO_2排出削減のために炭素税が導入された場合の効果を分析している。CO_2排出削減目標が基準年に比べて、－5％、－10％、－15％減の場合の効果をそれぞれ計算している。計算結果から以下の2点が明らかにされている。

①基準年に比ベ－5％のCO_2削減が行われる場合、トン当たり9元の炭素税が必要である。削減目標が高くなるに連れて、必要な炭素税も高くなる。基準年に比ベ－10％のCO_2削減が行われる場合になると、炭素税はトン当たり18－20元に上る。

②すべてのケースにおいて、最初の1年目では、GDPは少し減るが、その後、GDPと消費は基準年に比べて急速に増大する。－15％の削減目標のケースにおいて、第30年目になると、GDPはほぼ1％の増大になる。

政府税収中立の仮定において、炭素税収入の増大は、企業のその他課税の減免にまわされる。その結果、企業の収入が増大する。企業収入増による投資の拡大はGDPを伸し上げる効果がある。

GDPの拡大は所得増による消費の増大をもたらす。このように、炭素税の導入は政府収入中立の仮定の下で、炭素税収入は消費者から生産者に移転することによって最終的にGDPが増大する仕組みになっている。

Garbaccio（1998）モデルの分析結果の重要なポイントは、中国におけるCO_2排出削減と長期GDP消費増大の両立の可能性を示している点である。

He et al.（2001）モデルは炭素税の影響を評価する比較静学モデルである。1997年中国の投入産出表をベースに9部門のSAM表を作成している。生産関数に含まれるエネルギー投入は石炭と石油（天然ガスを含む）の2種類である。CES関数でエネルギー合成財を結合している。シナリオ分析においてはCO_2排出削減を－5％から－25％まで5％刻みに5段階に変化した削減率を導入した場合の効果をシミュレートしている。

基準年に対して－5％と－10％のCO_2排出量削減目標を導入した場合は、GDPはそれぞれ0.009％と0.007％とわずかに増大するが、CO_2排出削減率を－15％、と－20％に引き上げると、GDPはそれぞれ－0.01％と－0.044％の減少となる。CO_2排出量削減に必要な炭素税は、基準年に対しCO_2排出量が－5％削減した場合は34.5元／tC、同CO_2排出量削減が－10％、－15％、－20％に増えたとき、必要な炭素税はそれぞれ73.92元／tC、119.48元／tC、172.82元／tCに増加している。

武（2002）モデルは、中国のSO_2排出削減のための硫黄税の効果を分析するための比較静学CGEモデルである。1997年の中国投入産出表から13部門SAM表を作成している。石炭の硫黄含有率の高さがSO_2排出に大きく影響を与えること、また中国のエネルギー構造は今後も石炭に高く依存することを考慮し、石炭を石炭の硫黄含有率の高い順から高硫炭、中硫炭、低硫炭の3種類に分類している。高硫炭から低硫炭への代替ができるように、高硫炭、中硫炭、低硫炭をCES関数で石炭結合財に結合している。また石炭と石油、天然ガスとの間の代替効果、化石燃料と電力との代替関係をも取り入れ、石炭結合財と石油と天然ガスをCES関数で化石燃料結合財に合成し、化石燃料結合財と電力をCES関数でエネルギー結合財に合成している。

武（2002）はSO_2排出削減のために硫黄税の導入が中国経済への影響をシミュレートしている。充分調整条件と非充分調整条件に分けて硫黄税の導入のそれぞれの効果を分析している。SO_2排出目標を基準年に比べ、－5％、－10％、－15％、－20％、－25％、－30％の削減の6つのシナリオを設定している。

シミュレーション結果を著者は以下のようにまとめている。

充分調整条件のもとでは、硫黄税の導入は実質GDPにマイナス影響を与えるが、影響度合いは比較的に小さい。SO_2排出削減目標が－5％の場合の実質GDPは－0.016％の減少、削減目標が－30％の場合はGDPの減少率は－0.206％となる。必要な硫黄税はトン当たり180元から1890元と

なる。これに対して、非充分調整条件での硫黄税の経済へのマイナス影響は充分調整条件より大きいであり、充分調整条件の下で、経済はエネルギー間、エネルギーと労働、資本間の代替が充分にできるため硫黄税の経済へのダメージを緩和することができるとされる。

黄（2003）モデルは、1998年に1995年中国投入産出表を利用し構築した12部門の比較静学モデル（黄（1998））を大幅に拡張したものである。データは1997年中国投入産出表をベースに作成した1997年SAMを利用している。石炭、石油、天然ガスと電力の４種類のエネルギーを含む10部門比較静学モデルである。モデルの生産構造は基本的にZhang（1996）と同じ、石炭、石油、天然ガスと電力をCD関数でエネルギー合成財に結合している。

CO_2排出量が基準年に比べそれぞれ－５％、－10％、－20％削減するため、緩和策なしで炭素税を導入した場合と、炭素税の導入と同時に間接税の緩和策を取り入れた場合の影響をそれぞれシミュレートしている。分析結果によると、低率の炭素税の導入と緩和策の組み合わせが重要であることを示した。ただし、その他の研究と同様に既存税制との関係、またなぜ間接税という緩和策を利用したのかについて分析は行われていない。今後の課題となる。

〈まとめ〉

以上は中国環境CGEモデルの現状を、利用データ、モデル構造などの特徴や分析結果を中心に概観した。以下においては、既存モデルの課題を簡単にまとめる。

①エネルギー構造の精緻化。石炭と他のエネルギーとの代替はすべてのモデルにおいて可能にしている。石炭内部での非クリーン石炭とクリーン石炭との間の代替、また石炭火力発電から水力、原子力、天然ガス、また太陽光、風力などの新エネルギーへの代替もモデルに取り入れることが重要である。

②モデルの動学化への展開。Zhang（1996）、Garbaccio et al.（1999）はともにソロースワン型逐次的動学CGEモデルである。それ以外のモデルはすべて比較静学CGEモデルである。中国のエネルギー・環境政策分析のためには、今後、ソロースワン型逐次的動学CGEモデルに限らず、分析目的に応じてラムゼー型動学CGEモデル、OLG型動学CGEモデルへの動学化が展開されるだろう。

③多汚染因子CGEモデルの構築。CO_2、SO_2などのエネルギーの消費とかかわる汚染物だけではなく、水汚染、廃棄物汚染などその他の汚染問題の分析もできるように多汚染因子CGEモデルの構築が重要であろう。

④環境政策の選択。炭素税のような単一政策かその他の政策とのミックス政策かの選択である。また、炭素税の導入の場合、既存税制との関係や炭素税収入の利用方法も検討する必要がある。

⑤データの更新。モデルで利用している基準年データは1985年から最新の1997年までまちまちであるが、経済改革を進行中の中国にとってはできるだけ最新のデータを利用することがモデル

分析にとっては非常に重要である。今後、データの精度を高め、最新型の中国SAMの構築を通じてモデルデータの常時的な更新が重要とされる。

1.3 中国環境CGEモデルの最新動向

特に近年において、中国環境CGEモデリング研究には、既存環境CGEモデルに新興Cleaned Coal市場の導入や健康評価モデルの導入という最新動向が見られる。また、国際共同研究による中国環境モデリングの応用分析が増加している傾向も見られる。

〈新興coal cleaning 市場の導入〉

中国において、地球温暖化の主因となるCO_2の排出および都市大気汚染の要因となるSO_2やPM-10の排出の主な原因は石炭を中心としたエネルギー消費構造にある。石炭の割合は徐々に減っていくが、将来においても石炭を中心とするエネルギー消費構造は依然として変わらないといわれている。クリーン石炭の推奨はエネルギー効率の改善や環境の質の改善の戦略として注目されている。

Solveig Glomsrød and Wei Taoyuan (2005) は、CO_2などの汚染物質の削減とエネルギー効率改善および環境の質の改善におけるクリーン石炭の役割を注目し、Sino-Norwegian Environmental Statistics and Analysis Projectの下において中国国家統計局とノルウェー統計局と協力の下で構築されたCGEモデル (CNAGE Model) を用いて、クリーン石炭の新興市場の環境や経済への影響を分析している。Coal washingを通じてraw coalに含まれる汚物 (dirt) やロック (rock) を洗い取れる結果、輸送コストの削減に貢献できると同時に、石炭燃焼の熱効率が高められ、またクリーン石炭の燃焼による大気への汚染物排出量が減少する効果があると考えられる。

Solveig Glomsrød and Wei Taoyuan (2005) モデルにおける生産部門のエネルギー投入構造の特徴として、エネルギー投入の最下層において、石炭をraw coal とcleaned coalに分割し、raw coalからcleaned coalへの代替を可能にした点にある[5]。ただし、石炭から石油、天然ガス、電力への代替を一切考慮していない。また生産部門や家計の石炭消費に輸送コストを明示的に導入した点においては今までのモデルにない特徴である。

Solveig Glomsrød and Wei Taoyuan (2005) は、石炭輸送への需要と石炭需要量とは線形関数にあると定式化している。Raw coalとCleaned coalのトン当たりの輸送コストは同じであるが、企業間の単位輸送コストは、企業の生産拠点が石炭産地から離れた距離の差異や購入量によって異なる。また石炭採掘業とCoal cleaning産業の輸送コストは0と仮定する。電力と熱供給生産における石炭の輸送コストはトン当たり20 RMB（人民元）とかなり低く設定している。発電所は一般的に鉄道に近いところにあることと、大量購入による大規模直接配達の利益を得られるから

[5] 武 (2002) は熱含有量ではなく硫黄含有率によって石炭を高硫炭、中硫炭と低硫炭に分類し、それらの代替をモデル化している。

である。Coking 部門の輸送コストはトン当たり40 RMB、家計を含むその他のすべての産業はトン当たり80 RMBの輸送コストがかかると仮定している。

モデルにおいては、新興Cleaned coal市場の導入の経済への影響と、新興Cleaned coal市場のもとでの炭素税（11.3元／tCと22.6元／tC）の導入の影響をそれぞれ分析している。炭素税の収入はその他の税緩和として直接消費者や企業に移転されるのではなく、政府の貯蓄（＝投資）に回されると設定している。

新興Cleaned coal市場の導入の結果として、Raw Coalの消費割合は減少し、Cleaned Coalの消費割合は増えるが、Cleaned Coalの熱効率の上昇や運輸コストの節約によって、経済全体としての石炭への需要量はかえって増えてしまった。著者らは新興Cleaned coal市場の導入はエネルギー効率を高め、GDPの増加をもたらすには一定の効果を示したが、CO_2排出削減には逆効果であると結論付けている。一方、新興Cleaned coal市場の導入と同時に11.3元／tCと22.6元／tCの炭素税を導入した場合は、CO_2の排出量はそれぞれ－1.8%、－3.6%の削減となり、炭素税収入増加による政府の貯蓄ひいては投資の増加によって、GDPは無視できるほどのプラス効果となっている。著者らは炭素税の導入によるCO_2排出削減の効果は限定的であるという結論をだしている。

〈環境CGEモデルに健康評価モデルの導入〉

これまでの中国環境CGEモデル分析は炭素税などの環境政策の環境や経済に与える影響を分析する、いわゆるコスト効率的な分析が主流であった。環境政策の環境への影響としてはCO_2などの排出量の変化として捉え、一方経済への影響はGDP損失、また消費者効用の低下などの指標で評価してきた。大気汚染物質の排出による都市に住む人々の健康への影響を評価するモデルはほとんど見られなかった。Richard Garbaccio（2002）は、汚染物質の排出による都市大気汚染の人々への健康影響を評価する健康評価モデル（Health effects model）を従来の環境CGEモデルと結び付けて、温暖化ガス排出削減のための環境政策が地域の汚染物排出削減への影響だけではなく、汚染物排出の削減による最終的に人々の健康に与える便益を同時に評価する新しい試みを行っている。

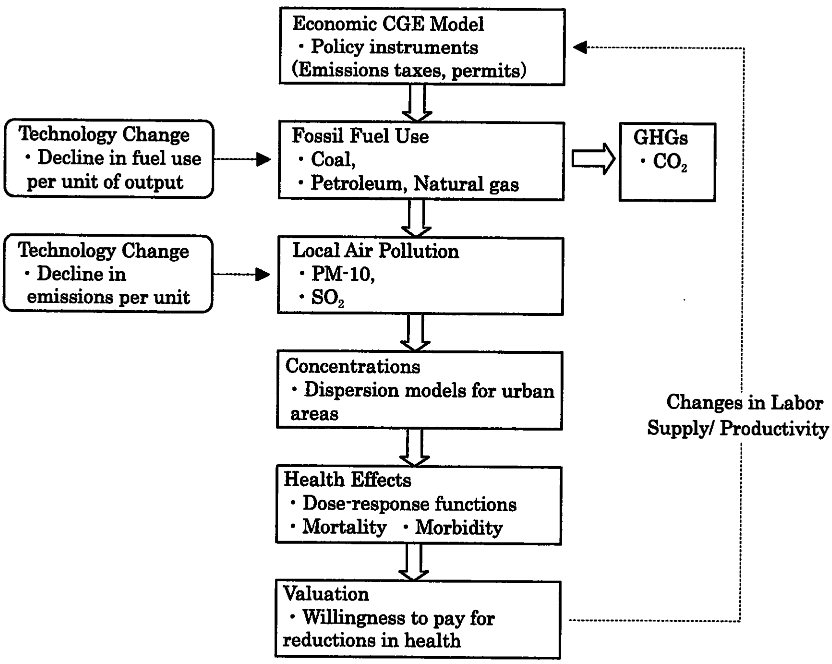
この研究は米国環境保護局（EPA）の支援のもとで、ハーバード大学と中国との共同研究のひとつであるRichard Garbaccio（1999）モデルに、中国のCO_2排出による都市大気汚染の健康への影響を評価するモデルを導入し、拡張したものである。

健康評価モデル以外のCGEモデルの構造は、Richard Garbaccio（1999）モデルとほぼ同じである。エネルギー供給部門を従来の石炭、石油、電力、精製石油の４部門に天然ガスを新たに付け加えた。またデータは基準年を1992年から1995年に新しくし、1995年SAM表を利用している。

健康評価モデルは化石燃料の利用を通じてCGEモデルにリンクしている。モデル構造のフローチャートは図－１の通りである。環境政策の実施によるCGEモデルの結果として化石燃料の利用

データが得られる。各化石燃料の消費量にそれぞれの汚染排出係数をかけて、CO_2やSO_2とPM-10など汚染物質の排出量が算出される。濃度変換モジュールから、都市地域に排出されたSO_2とPM-10の排出量から汚染物濃度のレベルに変換される。そして、ドス－反応関数（dose-response functions）を利用すると、汚染物濃度レベルが健康への影響のデータ（死亡率、発病率など）に変換される。最後にWTP（Willingness-to-pay）評価法（健康へのダメージを避けるにはいくら払いますか）を用いて、環境政策の評価を行う。図－1の点線部分はモデルに外生化されている。将来には、健康評価モデルを改善し、都市大気汚染の健康への影響を労働力供給の変化および生産性の変化を通じて経済モデルへのフィードバックの内生化を試みることが課題とされる。

図－1　モデル構造のフローチャート



出所）Garbaccio et al.（2002）より

モデルでは、2010年に炭素税を導入し、炭素排出を－10%削減する目標が経済にもたらす影響と健康へ与えるダメージについての政策シミュレーション分析が行われた。－10%の炭素排出削減目標実現のために2010年に導入される炭素税は、税込み石炭価格を13%増加させることによって、石炭消費量が－12%減少した結果、PM-10（微粒子物質）は－6%の減少、早死－7%減、慢性的な気管支炎－7%減という健康へのプラス効果が出ている。また経済に与える影響は、GDPは最初の年においてわずかに減少するが、2年目以降はベースシナリオより増大している。

消費も同様に最初は減少するが、その後投資増とGDPの拡大により、6年目からベースシナリオより増加している。これは、モデルにおける労働の非弾力的な供給の仮定と炭素税収入の企業への移転によって投資の拡大によるところが大きいと分析している。

2. Bottom-Up型モデル

本章においてはBottom-Up型モデルの代表であるMARKAL（MARKet ALocation）Modelを取り上げる。2.1においてはMARKALモデルとは何かを簡単に述べる。2.2においてはMARKALモデルの中国経済への応用分析について説明を行う。

2.1 MARKALモデル

MARKALモデルは、1970年代後半から80年代前半にかけて、エネルギー政策とシナリオを評価するために、国際エネルギー機関（IEA：International Energy Agency）によるエネルギー技術システム分析プログラム（ETSAP：Energy Technology Systems Analysis Programme）の下で開発された線形計画（LP）モデルである。今日に至って38カ国80以上の研究所が利用している。

MARKALモデルは一国や地域のエネルギーシステムを解析対象とし、エネルギーの開発過程(exploitation)、変換過程（conversion)、輸送過程（transmission)、分配過程（distribution）および最終利用（end-use）などあらゆる範囲の過程からなるエネルギーシステムを構築し、エネルギーシステム総コストや環境影響等を解析する。エネルギーシステム総コストは、end-use技術の資本コスト、発電技術の資本コスト、燃料コスト、インフラストラクチャコスト（例えばパイプラインなど)、運営・維持コストなどを指す。モデルの目的関数はエネルギーシステム総コストの最小化である。つまり、詳細に編集されたエネルギー利用データ、見込みのあるエネルギー技術の特徴、および燃料のコストと入手可能性の見通しを用いて、環境目標を満たしながら、ある特定の一国や地域のエネルギー需要を充足する技術の最適ミックスを導き出す。

MARKALモデルは、新技術の導入可能性やエネルギーのシナリオに関する分析においては定評があるが、需要誘導型モデル（Demand driven model)、コスト誘導型モデル（cost driven model）であること、またライフスタイルの設定が限定的であること等の欠点も指摘されている。

最近では、MARKALモデルは、簡単なマクロ経済モデルを組み込んでおり、長期的エネルギー需要シナリオの解析を可能にしている。その後MARKALは、世界中の研究者によって改良が加えられてきた。そうしたMARKALモデルのそれぞれの特徴は表－2の通りとなっている。

2.2 中国MARKALモデル

中国MARKAL Model[6]は清華大学の研究グループがアメリカのエネルギー省（The Energy Department of USA）の協力の下で開発された。中国MARKALモデルは国際エネルギー機関に

[6] MAEKALモデルをはじめて中国経済分析へ導入したのはZhang（1996）がある。

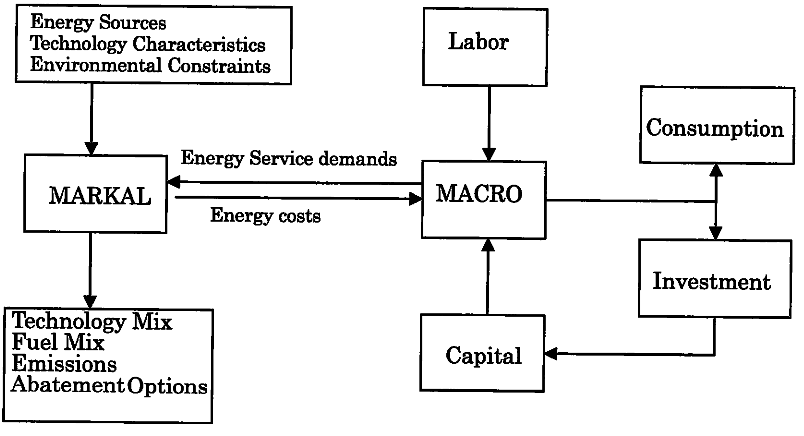
よるプロジェクトETSAPにおいて開発された線形計画MARKALモデルを中国のエネルギーシステム（RAS：Reference Energy System）に基づいて改定した動学線形計画モデルである。中国MARKALモデルによる応用研究はすでにいくつかが行われている（Chen and Wu（2001）、Wu et al.（2001）、Chen（2002）、Larson et al.（2003））。しかしながら、これらの研究においては、エネルギー需要とエネルギー価格との間のフィードバック効果を無視している。それを改善する

表－2　MARKAL類の特徴

	分析析手法	特徴
MARKAL	線形計画モデル	標準 MARKAL モデル。エネルギー需要は外生。
MARKAL-MACRO	非線形計画モデル	標準 MARKAL モデルにマクロ経済モデルの導入。エネルギー需要は外生。
MARKAL-MICRO	非線形計画モデル	標準 MARKAL モデルにミクロ経済モデルの導入。エネルギー需要は外生。価格変化に敏感。
MARKAL-ED	線形計画モデル	MARKAL-MACRO と似ているが、需要関数の段階的な設定が可能。
MARKAL with multiple regions	非線形計画モデル	多地域間のエネルギー融通，排出量取引を設定可能。
MARKAL with material flows	非線形計画モデル	エネルギーフロー解析に加えて、マテリアルフローとリサイクルを解析可能。
MARKAL with uncertainties	確率的計画法	確率的計算法を用いて解析する。標準 MAKAL モデルを使用。

出所）NEDO調査研究　http://www.nedo.go.jp/itd/fesendo/h15/gaiyou/theme08/report03.htmlより

図－2　MARKAL and MACRO Interactions



出所）Wenying Chen(2003) www.iea.org/textbase/work/2003/beijing/22chen.pdfより

ために、Chen Wenying（2005）は中国MARKALモデルに簡単なマクロモデルをリンクさせた中国MARKAL-MACROモデルを用いて、CO_2排出緩和策の中国経済へのコスト分析を行っている。

中国MARKAL-MACROモデルにおける中国MARKALモデルと中国MARCOモデルとの間のリンク構造は図－２のようになっている。

中国MACROモデルは統合された長期マクロ経済成長モデルである。労働と資本とエネルギーを用いて生産を行うと仮定される。生産構造は、労働と資本からCD関数で結合された労働-資本結合財とエネルギー投入（需要）の間はCES関数で結合するとなっている。石炭、石油などの種類別のエネルギー需要はMACROモデルでのエネルギー需要（投入）の一定割合で算出される。

Wenying Chen（2005）は中国MARKAL-MACROモデルを利用して、1995年から2050年までのシナリオ分析を行った。炭素税の導入時期や原子力発電量目標によって以下の５つの政策シナリオ分析を行っている。

シナリオ１（M2010）：2010年から2050年までー５％～－45％のCO_2削減目標を導入する。

シナリオ２（M2020）：2020年から2050年までー５％～－45％のCO_2削減目標を導入する。

シナリオ３（M2030）：2030年から2050年までー５％～－45％のCO_2削減目標を導入する。

シナリオ４（M2030N1）：シナリオM2030+2050年まで原子力発電量を240GWまで増やす。

シナリオ５（M2030N2）：シナリオM2030+2050年まで原子力発電量を160GWまで増やす。

Wenying Chenは分析結果を以下のようにまとめている。

① CO_2排出削減率を５％から45％に増加すると、限界削減コストが12US＄／tＣから216US＄／tＣに上昇し、GDP成長率の損失は－0.1％から－2.54％の結果となる。

② 将来のCO_2削減率、特に高い削減率の導入は原子力発電の開発に多く依存することになる。原子力発電能力を低く設定すれば将来的に限界削減コストとGDP損失と両方が高くなる。

③ CO_2削減目標の導入時期を早くすればするほどGDP損失が大きくなる。

④ 中国MARKAL-MACROモデルはエネルギー供給と需要の両サイドにおいて豊富な先進技術の導入を考慮している。進んだエネルギー技術の開発、デモンストレーションや商業化を促す政策やプログラムが必要とされる。

⑤ 中国におけるCO_2排出限度の設定（Carbon emission ceiling）の受け入れよりも持続可能な開発戦略の実施によって地球温暖化問題に立ち向かうように持続的な努力をすることがより現実的である。

⑥ 持続可能な開発の道を辿るために、中国は依然にさまざまな制約と困難に直面しなければならない。先進国による先進技術の移転や資金援助が必要不可欠である。

Wenying Chen（2005）モデルはBottom-up型MARKALモデルとTop-down型MACROモデルをリンクすることによって、エネルギーサービスに対する需要の価格弾力性を加え、選択可能な技

術を多く取り入れ、MAEKALモデルの柔軟性を維持しながら、経済活動に対するエネルギーシステムにおける変化をモデル化できた点としては評価されるべきである。しかしMACROモデルは統合されたマクロ経済モデルであるため、エネルギーの相対価格の変化を通じて各経済主体の行動に影響を与えたり、産業構造の変化やエネルギー構造の変化をもたらしたりすることはできない。MAEKALモデルと多部門CGEモデルとの統合が今後の課題となる。

3．中国経済環境モデリングの将来展望

以上は中国の代表的な環境問題である大気汚染問題を中心に、その環境汚染対策の経済、環境へ影響を、Top-down型モデルとBottom-up型モデルをベースとした中国経済環境モデリングの現状と最新動向および課題について述べてきた。以下においてはこれまでの経済環境モデリングの課題をベースとしてその将来展望について検討してみよう。

これまでの分析によると、中国経済環境モデリング研究は、①エネルギー構造の精緻化②モデルの動学化③多汚染因子モデルの構築④環境政策の選択⑤データの更新・整備といった課題が残される。言うまでもなく、単一政策かミックス政策かの政策選択や実施の時期問題、既存税制との関係、環境税収入の利用方法およびデータの更新・整備などについての研究をも行われなければならないが、以下においては①から③までの課題を中心に中国経済環境モデリングの今後の展望について検討する。

3.1　エネルギー構造の精緻化

エネルギー消費を主因とする大気汚染問題分析のためのCGEモデルは、通常生産関数における本源的な投入を労働、資本以外に石炭、石油、天然ガス、電力などの細分化されたエネルギー投入を取り組むように伝統的なCGEモデルの拡張を行っている。この拡張は炭素税のような環境政策が化石燃料の相対価格の変化を通じて、石炭とその他のエネルギーとの間の代替やエネルギーと労働間またエネルギーと資本間の代替が行われ、各経済主体の行動に影響を及ぶし、最終的には経済全体へ影響を与えるといった分析が可能になった。しかしながら、中国経済のエネルギー消費がもたらす大気汚染問題を分析するためにはこれだけでは十分でない。それは中国のエネルギー消費構造が他の国々と異なるからである。以下まず中国大気汚染の原因となるエネルギー消費の特徴について簡単に述べておく必要があろう。

〈エネルギー消費効率が悪い〉

中国の省エネー政策の推奨、実行など中国政府の努力によってエネルギー消費原単位（GDP当りのエネルギー消費量）は長期的には減少傾向にあるものの、近年は逆に効率の悪化も見られ、先進国の3～9倍といった高い水準で推移している。2003年のエネルギー消費量の伸びは前年比13.2%とGDP成長率の同9.3%を上回る伸びを見せた。その要因として、第2次産業の比率が高く

エネルギー多消費産業が多いといった産業構造による影響や、技術水準の低さによる影響が指摘されている。高度経済成長を続けるには、エネルギー消費の拡大は不可避である一方、エネルギー効率の悪化によるエネルギーの安全問題と環境問題が無視し得ない問題である。OECDの研究によると、石炭を主なエネルギー源とする中国では、地域規模的な汚染物質（SO_2、粉塵など）と地球規模的な汚染物質（CO_2）を同時に削減できる最善手法としては、エネルギーの利用効率を改善することであるといわれる。今後エネルギー消費効率を高めることが重要な課題の一つとなるだろう。エネルギー多消費産業からエネルギー少消費産業への産業構造の転換や日本などの先進国並みの省エネー技術の導入が必要とされる。

〈石炭を中心としたエネルギー構造〉

中国のエネルギー消費の約７割が石炭である。石炭がエネルギーに占める割合は今後も徐々に減っていくが、IEAの予測によれば2030年においても石炭への需要はエネルギーの５割以上を占めるとされ、今後も主要エネルギーとしての位置づけは変わらないとされる。

石炭消費の伸びに伴い汚染物質の排出増加による環境の悪化といった問題は中国において急速に顕在化している。効率の悪いエネルギーの大量消費は大気汚染やエネルギー資源の枯渇等の環境破壊をもたらすだけでなく、コストの上昇を通じて産業の国際競争力の低下、ひいては経済成長にもマイナスの影響を与え得ると考えられ、重要な課題となっている。

中国政府は2004年に、持続可能な発展を目指し、産業発展偏重から環境保護と省エネーを重視する政策への転換を盛り込んだエネルギー戦略の基本構想を発表した。この中で石炭をはじめとする化石燃料に大きく依存した現行のエネルギー政策を転換する必要があるとした。天然ガスの利用促進により大気汚染の原因となる石炭、石油の使用量増加に歯止めをかけるため、政府は「西気東輸」（西部の天然ガスを東部に供給）をスローガンに、タリム盆地から上海に天然ガスパイプラインを建設するビッグプロジェクトを第10次５ヶ年計画に組み入れ実施されている。

また、発電量の約９割を占める火力発電も大気汚染の深刻な汚染源となっている。2002年の総発電量１兆1345億KWhのうち約８割が石炭火力発電による。中国の電力発展の将来展望[7]によると、2020年の総発電量は4.3兆KWhに達することが予測されている。そのうち、石炭火力発電の比率は2000年の81％から70％に低下し、水力発電量は増えるが、総発電量に占める水力発電の比率は2000年より1.8ポイント減の16％になる。一方、原子力発電の比率は2000年より約５ポイント増の６％に、天然ガス発電は同６ポイント増の７％に上昇する。また、新エネルギー発電の比率も2020年に１％に達することになっている。石炭火力発電からその他のエネルギー、特に原子力発電、天然ガス発電への転換が見られる一方、豊富な石炭埋蔵量および割安な石炭火力発電所建設コストのため、将来においても総発電量に占める石炭火力発電の割合が高い傾向は変わらな

[7] 2020年の電力発展展望（http://www.sp.com.cn/zgdl/dlgk/dlfz_zw.html）より。

いとされる。

政府は「山峡ダム」プロジェクトに続き、「西電東送」[8]プロジェクト、原発の倍増計画などを実施し水力発電や原子力発電の整備に力を入れている。また積極的に外資の利用を通じて太陽光発電、風力発電などの新エネルギー・再生可能なエネルギー分野の開発・利用にも力を入れている。

以上のような中国経済におけるエネルギー消費と環境破壊の実態から、石炭などの化石燃料の消費による中国の大気汚染問題を分析するための経済環境モデリングは以下の3点を同時に考慮に入れることが重要だと考えられる。

①エネルギー消費効率を高めるために、省エネー政策の導入とともにエネルギー多消費型産業からエネルギー少消費型産業への産業構造の転換。

②代替エネルギーの開発を通じて、石炭から天然ガスへ、石炭発電から水力、原子力、天然ガスおよび新エネルギーへのエネルギー構造の転換。

③クリーンコールテクノロジ[9]の導入を通じて、クリーンコール（Clean Coal）の普及を促す。

第1章で見てきた既存環境CGEモデルに関する研究の多くは、企業の生産構造において、エネルギー投入を通常の中間投入から分離し、労働や資本のような本源的な投入と同様に扱っている。そしてエネルギー投入は細分化された石炭、石油・天然ガスと電力をCD関数かCES関数などの結合関数によって結合されるモデルが多い。これらの研究は炭素税などの環境政策の導入による石炭から石油・天然ガスや電力への代替可能性をモデルすることができたが、しかし中国の長期エネルギー戦略における石炭火力発電から水力、原子力および太陽光、風力など新エネルギーへの代替、さらにクリーン石炭の役割をも同時に考慮に入れた研究は殆どない。武（2002）とSolveig Glomsrød and Wei Taoyuan（2005）はクリーン石炭の役割をモデルに取り入れたが、武（2002）は石炭火力発電から水力、原子力及び再生可能な新エネルギーへの代替を考慮しなかった、またSolveig Glomsrød and Wei Taoyuan（2005）は生産に必要なエネルギー投入量に占める石炭、石油、天然ガス、電力の投入量が固定されており、石炭からその他エネルギーへの代替を無視している。

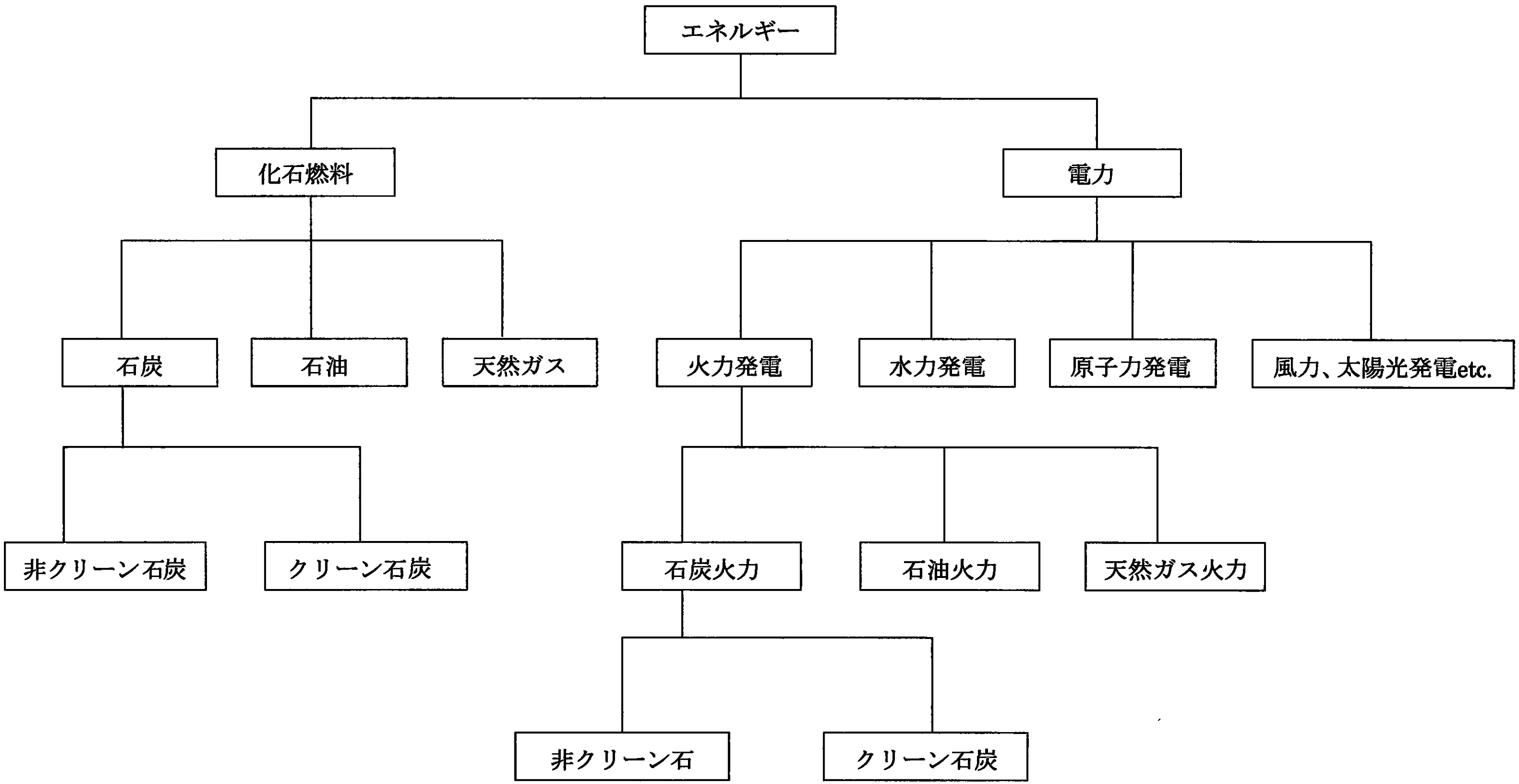
上記①～③をすべて考慮に入れるには、モデル構造は、図－3のようなより細分化されたエネルギーの投入構造のモデル化が今後展開されていく必要がある。

---

8) 「西電東送」とは西部地域（貴州、雲南、広西、四川、内蒙古、山西、陝西省）の電力資源を開発して、電力が不足している地域（広東、上海、江蘇、浙江省および北京、天津、唐山）へ電力を輸送することによって東部地域にて急増している電力需要を満たすプロジェクト。送電ルートは「北部」、「中部」、「南部」の3つで構成。

9) クリーンコール技術にはいくつかの手段があり、1．前処理技術（選炭・石炭改質・ブリケット）2．ハンドリング技術（脱硫型等）3．転換技術（液化・石炭ガス化）4．燃焼技術（循環流動床ボイラー）5．後処理技術（煙道脱硫装置・石炭灰有効技術等）に分類される。

図－3　エネルギーの構造の細分化



3.2　モデルの動学化

中国は経済がダイナミック的に変化している発展途上国である。経済成長と環境保護両立を目指す持続可能な発展のために、長期的な視野で今後の発展戦略を計画する必要とされる。経済成長を目指しながら長期的な観点から環境問題を捉え、こういった中国の実態を反映したモデルの動学化が求められる。

これまで見てきた中国の環境CGEモデルのほとんどが比較静学モデルである。Zhang（1996）とGarbaccio et al.（1999、2002）モデルはソロースワン（Solow-Swan）型新古典派成長モデルに基づく逐次的動学（Recursive-dynamic）CGEモデルである。モデルの各期均衡が実現されるものの、モデルの全期間の均衡を保証しない。家計は将来のことを一切考慮にいれず近視眼的であると仮定され、貯蓄率も一定とされる。

これに対して、Cass-Koopmans-Ramsey新古典派成長モデルに基づくForward-looking CGEモデルにおいては貯蓄率が家計と企業の最適化によって市場において決定されるとモデルに内生化されている。消費者は周囲の環境変化に応じて貯蓄率を調整すると仮定され、初期の均衡成長経路から新しい成長経路への移行はより柔軟的かつ現実的であるといわれる（Barro and Sala-i-Martin, 1995)。

また家計は無限時間視野のもとで、将来を完全予測できForward-looking的に合理的に行動できると仮定される。家計は現在の効用だけではなく、生涯に渡っての生涯効用（全効用）の現在割引価値を最大化することになっている。

Forward-looking CGEモデルの完全動学、完全予測、つまり、経済主体の決定は経済の現在の状況だけではなく将来の状況も考慮に入れる、このIntertemporal的な視点は逐次的動学(Recursive-dynamic）CGEモデルにない優れた点であるといわれる。実証研究の結果によると、消費者は現実的にある程度将来の状況を考慮にいれて行動を決めるが無限ではないとされる(Ballard and Goulder（1985))。

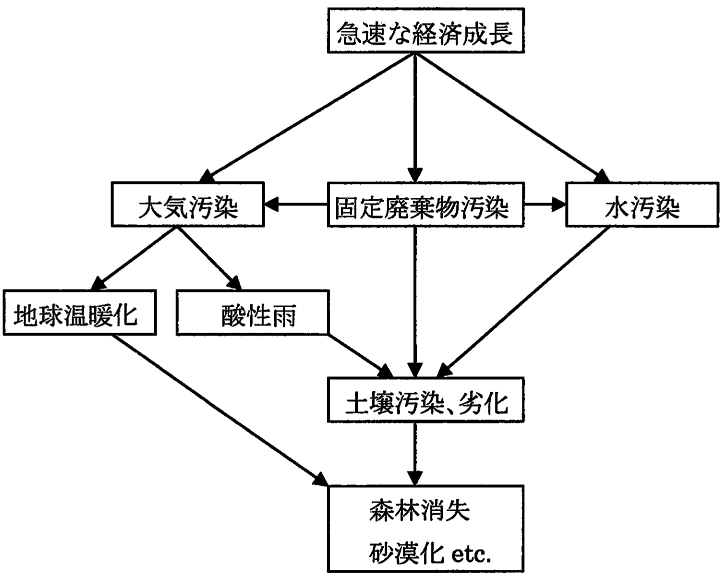
また、最近、欧米において年金問題などの分析にOLG（Overlapping generations）動学CGEモデル分析が人気急上昇している。上記二つのモデルは有限生命の消費者を仮定するのに対して、OLG動学CGEモデルは代表的な家計は無限期間に生存する、旧世帯が死後一定期間後に新世帯に置き換えられ、一般的にいくつかの世帯が同時に共存することを想定される。また、環境政策による世帯間の所得分配に対する影響の分析にも利用される（Thomas F Rutherford,（2000))。このように、年金問題や環境問題に関する政策による世帯間の所得分配への影響を分析するにはOLG動学CGEモデルの方がより適している。

今後の中国環境CGEモデリングは分析目的に応じて、Forward-looking CGEモデルやOLG動学CGEモデルへの展化が期待されよう。

3.3　多汚染因子モデルの構築

中国の環境汚染は大気汚染のほか、水汚染、固定廃棄物汚染、土壌汚染・劣化、森林消失、砂漠化などの国内の環境汚染問題、と酸性雨、地球温暖化など国境を越えた環境汚染がある。図－4にあるようにお互いが独立しているのではなく、お互いに密接に関連している。例えば、酸性雨などの大気汚染問題が土壌汚染や劣化を引き起こす一方、固定廃棄物問題や水汚染問題も土壌汚染や劣化の一因となるように、相互に関連する構造となっている。従って、例えば土壌汚染・劣化を防ぐためには、大気汚染、固定廃棄物汚染、水汚染を同時に防ぐことが必要である。このように環境汚染の対策を講じる際にも、それぞれの環境汚染を同時に考慮に入れることが重要になってくる。例えば、もし酸性雨対策としてSO_2排出量削減対策が実施された場合、企業などの経済主体はSO_2削減の努力はするが、固定廃棄物や水汚染物質の排出に手を抜いてしまうことになる。すると、大気汚染問題は改善されるものの、固定廃棄物汚染や水汚染による土壌汚染・劣化はより悪化するかもしれない。環境問題における水汚染、大気汚染、廃棄物問題など、個別の領域についての原因と対策についての研究も重要であるが、各領域の環境問題を統合的に、地域的規模の環境問題と地球的規模の環境問題を統合的に扱う視点で研究を行う必要がある。多汚染因子の同時分析が可能な経済環境モデリング研究も今後展開されようとする新しい試みのひとつとなるだろう。

図－4　中国の環境汚染の階層的構造



終わりに

90年代半ば前後から行われた中国経済環境モデリング研究は、Top-town型CGEモデルによるCO_2、SO_2、PM-10などの大気汚染物質の排出削減目標達成のために導入される環境政策（炭素税など）の中国経済、環境への影響分析が中心的に行われた。その後、新興Cleaned Coal市場の導入、健康評価モデルの導入などの新しい動向が現れた。またBottom-up型MARKALモデルによる応用分析も研究されるようになった。しかしながら先進国と比べるとまだまだ発展の初期段階にあり、中国の現状に適したエネルギー構造の精緻化、モデルの動学化や多汚染因子モデルの構築などモデルリングの改善余地は依然として大きい。

アメリカ環境保護局の協力の下で1999年に中国の北京で初めて開催された中国経済環境モデリングワークショップが、その後韓国、日本の参加によって、現在はアメリカ－中国－韓国－日本の経済環境モデリングワークショップに発展している。今後こういった国際的ワークショップや国際学会における議論や意見交換を通じて、中国経済環境モデリング研究がますます進展されていくだろうと予想される。今後の動向を注目していきたい。

参考文献

Ballard, C.L. and L.H. Goulder (1985), "Consumption taxes, foresight, and welfare: a computable general equilibrium analysis", in J.Piggott and J. Whalley (eds), *New developments in applied equilibrium analysis*, Cambridge: Cambridge University Press, pp.253-82.

Barro, R.J. and X. Sala-i-Martin (1995), *Economic Growth*, New York: McGraw-Hill

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.

Chen, W. Wu, Z. (2001), "study of China's future sustainable energy development strategy with application of MARKAL model," Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 41(12), p103-106.

Chen Wenying (2002), "Energy Development Strategy for China with Application of MARKAL," Report Prepared for China-Korea-U.S. Economic and Environmental Modeling Workshop, 7-8, Nov. 2002.

Chen Wenying (2005), "The costs of mitigating carbon emissions in China: Findings from China MARKAL-MACRO modeling," *Energy Policy* 33, p885-896.

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.

He Juhuang and Xu Songling (2001), "Analyzing Carbon Emissions Reductions in China with CGE Model," Report Prepared for 4th China-Korea-U.S. Economic and Environmental Modeling Workshop in Beijing, 23-25 May 2001.

Larson, E. D., Zongxin, W., DeLaquil, P., Wenying, C., Pengfei, G. (2003), "Future implications of China's energy-technology choices," Energy Policy 31, p1189－1204.

Manne, A. S. (1992), *Global 2100: Alternative Scenarios for Reducing Emissions*. OECD Working Paper 111

Martin, W. (et al 1993), The costs of reducing CO_2 Emission: a comparison of carbon tax curves with GREEN, in *OECD (1993a)*, pp.67-94.

Mun-Heng TOH and Qian LIN (2005), "An evaluation of the 1994 tax reform in China using a general equilibrium model," *China Economic Review*, Volume 16, Issue 3, p 246-270.

Oliveira-Martins, J., Burniaux, J.-M., Martin, J. P., Nicoletti, G. (1992), *The Cost of Reducing CO_2 Emissions: A Comparison of Carbon Tax Curves with Green*. OECD Econ. Working Paper No. 118

Richard F. Garbaccio (1995), "Price reform and structural change in the Chinese economy: Policy simulations using a CGE model" China *Economic Review, Volume 6, Issue 1, spring 1995, Pages 1-34*

Richard F. Garbaccio and Ho,Mun S., Jorgenson, Dale W. (1999), "Controlling Carbon Emission in China" *Environment and Development Economics*. 4(4): pp493-518.

Richard Garbaccio et al. (2002), "modeling the health benefits of carbon emissions reductions in China," Report Prepared for 5th China-Korea-U.S. Economic and Environmental Modeling Workshop in Beijing, 7-8, Nov. 2002.

Greenaway, D., Leybourne, J.S., Reed, V.G. Whalley, J. (1993), Applied General equilibrium modeling: applications, limitations and future development, London, HMSO.

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).

Solveig Glomsrød and Wei Taoyuan (2005), "Coal cleaning: a viable strategy for reduced carbon emissions and improved environment in China?" *Energy Policy*, 33, p525-542.

Steininger, K.W. (1995), Trade and Environment: The regulatory controversy and a theoretical and empirical assessment of Unilateral Environmental Action, A Springer-verlag Company.

Thomas F Rutherford, (2000), "Carbon abatement, Technical Change and Intergenerational

Burden Sharing", in *Using Dynamic general equilibrium models for policy analysis*, North-Holland.

Wang, Zhi (2003), "The impact of China's WTO accession on patterns of world trade," *Journal of Policy Modeling*, 25(1), p1-41.

Wu, Z., DeLaquil, P., Larson, E.D., Chen, W., Gao, P., (2001), "Future Implications of China's Energy-Technology Choices," Report Prepared for the Working Group on Energy Strategies and Technologies of the China Council for International Cooperation on Environment and Development.

Xie, Jian. (1996). "*Environmental Policy Analysis: A General Equilibrium Approach.*", Athenaeum Press, Ltd., Gateshead, Tyne & Wear.

Xu, Dianqing (1996), "The chasm in the transition: A CGE analysis of Chinese economic reform;" *Journal of Policy Modeling*. 18(2), 117-139.

Zhang, ZhongXiang. (1996). "*Integrated Economy-Energy-Environment Policy Analysis : A Case Study for the People's Republic of China.*"

Zhang, ZhongXiang. (1998a) "Macroeconomic Effect of CO_2 Emission Limits: A Computable General Equilibrium Analysis for China." *Journal of Policy Modeling*, 20(2), pp.213-250.

Zhang, ZhongXiang. (1998b) "The Economics of Energy Policy in China: Implication for Global Climate Change. Edward Elgar, Cheltenham, UK.

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。

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（2003ａ)「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－」、静岡大学『経済研究』８巻２号、10月。

黄愛珍（2003ｂ)「中国における炭素税の導入と経済成長との両立について－CGEモデルによるシミュレーション－」、静岡大学『経済研究』８巻３号、12月。

鄭玉歆・樊太明等著（1999)『中国CGE模型及政策分析』、社会科学文献出版社。

武亜軍et al.（2002)、環境税－経済理論及対中国的応用分析－、経済科学出版社。