

第14章-A 中国の経済成長とエネルギー・環境問題の分析

ーマクロ計量モデルと産業連関モデルの接合による分析ー^(*)

甲南大学 教授 藤川 清史

1 はじめに

エネルギー需要の抑制と(地球温暖化を含めた)大気汚染制御は現在の世界経済にとっての最大課題の一つであろう。特に発展途上の国・地域では経済成長を急ぐあまりに、自然環境への配慮を欠いた工業開発や天然・エネルギー開発を進めがちであり、一方では、生産と消費が増大する過程で廃棄物(ゴミ)が増大し、その処理が適切でない場合も多い。皮肉なことに、経済成長がかえって国民の経済厚生を悪化させるかもしれないというジレンマに陥っているのである¹⁾。

そうしたジレンマからの脱却のために、先進国からの省エネルギー技術、あるいは環境汚染物質除去や廃棄物処理の技術が移転されつつある。しかしながら、そうした技術移転の有効性を知るためには、技術導入国側の技術構造、言い換えれば産業連関の構造についての一定の理解が必要であろう。本稿では対象地域を中国を中心に置き、改革開放政策が採られた後の1980年代以降について、中国の産業構造の変化がいかなる要因で生じたか、そしてこの産業構造の変化がエネルギー需要や二酸化炭素の排出量変化とどのように関係しているかを検討する。さらに、中国の1980年代の産業構造変化は環境・エネルギー問題を曲がりなりにも解決してきた日本と比較してどのような関係にあるかを明らかにしたい。そして、その上で、日本から中国への技術の移転が中国の環境問題の解決にどの程度寄与するかの可能性を探ることにしたい。

本章の以下では、まず第2節では、今日の中国が抱えるエネルギー・環境問題について簡単にレビューする。第3節では、産業連関分析のモデルを応用として、産業構造の変化とその要因を数量的に把握するモデル、および産業別に二酸化炭素の発生量を計算するモデルを示す。第4節では、改革開放以後の中国の産業構造の変化を日本との比較で検討する。第5節では日本と中国の両国について産業別に二酸化炭素の排出量を計算し、日本から中国への

技術の移転が二酸化炭素の排出をどの程度押え得るかを予測する。第6節では小括を行う。

2 中国のエネルギー問題概説

中国のエネルギー問題を考えるときに注目すべき視点がいくつかある。まず、表14-1に示されるように、エネルギー構成の中で石炭の占める比重が極めて大きい(全体の8割弱を占める)ことである。

一般に石炭は他の化石燃料と比較して硫黄含有量が多く(中国の石炭は中でも硫黄含有量が多い)、発生熱量あたりの二酸化炭素発生量も多い(表14-2(a))。このため、石炭の比重の大きさは中国の環境問題を深刻化させている要因の一つとなっている。硫黄酸化物(SOX)に関しては、かつての日本のように局地的な大気汚染を引き起こしやすいばかりでなく、空気中の水分に溶け込んで、数千キロも離れた地域にも酸性雨を降らせる可能性が知られている²⁾。二酸化炭素の大気中での増加が地球温暖化の大半を説明するといわれているが、石炭の消費量が多いということはこの面から見ても問題である³⁾。この他にも、石炭は一般に使用時の熱効率が悪く、それに加えて中国では選炭技術が十分でなく、よい品質の石炭が得にくいという問題点がしばしば指摘される。

次に、中国でのエネルギー使用効率は良くない。表14-3には、アメリカ、中国、日本について、エネルギー使用熱量と1987年のドル価格での実質GNPの比率(エネルギー原単位)を示した。単純なドル換算のGNPを基準に採用するのは危険だが⁴⁾、中国の単位GNPあたりのエネルギー使用量は群を抜いて高く、1992年でのエネルギー原単位はアメリカの約3倍、日本の約10倍である。

そして、注目されるべきは中国の急速な経済発展とそれに伴うエネルギー需要の増加である。表14-4には改革開放後の中国のマクロ指標を示した。よく知られているように、1978年の「改革開放」以来、中国は急速な経済

成長を遂げてきた。景気変動の波が大きい、平均すれば15年以上も2桁の成長を続けるという高度成長ぶりである⁵⁾。それに伴って、すでに表14-3で見たように、日本、アメリカと比較して、中国のエネルギー需要の伸びは極めて大きくなっている。

さらに、中国がエネルギー大国ではないことも重要である。1992年に中国は石油の純輸入国になった。表14-5に1990年での世界の化石燃料の使用量と埋蔵量の関係を示した。もちろん、将来はエネルギー効率の改善が見込まれ、また化石燃料の需給が逼迫すれば、新しい探査が始められ、新しい埋蔵が確認されるだろうから、この表の数字は参考程度にすぎないが、いずれにせよ、中国というエネルギー使用大国が出現する事は、化石燃料の市場にかなりの影響力を持つだろう事が想像される。

もう一点、中国の国土は広くそれぞれの土地に地域特性があるように、中国の抱える環境問題にも地域特性がある。本来はそうした地域特性を踏まえた議論をすべきところではあるが、本稿の以下では中国全土を一つの単位として議論を進める事にする。

3 本稿での産業連関分析モデル

(1) 産業構造変化の要因分析モデル(比例成長からの乖離モデル)

一国経済の発展は産業構造の変化を伴う。あるいは、経済発展に伴う「産業構造変化のパターン」をしばしば「経済発展パターン」とよぶこともある。経済発展のパターンを類型化し、そうした経済発展パターンをたどった要因を明らかにしようとする試みのその先駆けとなった研究がチェネリー(1960)やチェネリー・宍戸・渡部(1962)である。チェネリーらの方法は、比例成長からの乖離(DPG, Deviation from Proportional Growth)分析とよばれ、産業構造の変化の主役となった主導産業(リーディング・インダストリー)を特定し、その主導産業の生産増加をもたらした要因を明らかにする方法である。DPG分析についてももう少し詳しく言えば次のようになる。全ての産業分野の生産額が比例的に拡大した場合、各産業の生産額シェア(言い換えれば産業構造)は変化しない。しかし現実にはこのようなことは起こらず、ある産業のシェアは拡大し、

ある産業のシェアは縮小するものである。そこで、つまりシェアを拡大した(つまり、比例拡大以上に拡大した)産業を「成長産業」とよぶことにする。ここで重要なことは、産業の生産量そのものは増大しているものの、その拡大が経済全体の拡大速度よりは小さく、経済全体でのシェアが減少した産業は「成長産業」とはいえないということである。そして、成長産業の中でも特にそのシェアの拡大が著しい産業をリーディング・インダストリーと呼ぶのである。DPG分析では産業連関分析モデルを応用して、各産業のシェアの変化を、様々な最終需要の変化の要因、輸入係数の変化の要因、投入係数の変化の要因に分解する。

経済発展のパターンが今日しばしばその寄与の大きさから輸出主導型、内需主導型、あるいは投資主導型、消費主導型などと呼ばれるのであるが、こうした発展パターンは、リーディング・インダストリーの成長要因に注目して定義されている⁶⁾。

比例成長からの乖離(DPG)分析を産業連関分析に応用した場合、各産業のDPGは次のように定義される。

$$\delta X = X_2 - \alpha X_1 \quad (14A-1)$$

ここで、定数 α は産業の生産額合計(あるいは平均)の成長倍率を表すスカラーであり、 X_1 、 X_2 はそれぞれ各産業について第1期と第2期の生産量を表すベクトルである。したがって、 δX は第1期から第2期にかけて比例的に成長した場合の各産業の生産量と第2期に実際に観測された各産業の生産量との差、つまりDPGを表すベクトルとなる。こうして定義されるDPGを、産業連関分析の枠組を用いて、様々な需要要因に分解するのがDPG分析である。ただし、利用可能な産業連関表の形式や輸入の扱い方等によって使用できるモデル式が異なる。以下では、本稿で用いるモデル式について説明しよう。

本稿では競争輸入型の表を用いており、そこでは、第1期の商品・サービスの需給バランスは次のように表現できる。ただし、以下のモデルでは単純化のために輸入を外生扱いしており、国産品と輸入品はまったく同列に扱

っている⁷⁾。

$$X_1 = A_1 X_1 + F_1 - M_1 \quad (14A-2)$$

ここで、 A_1 は財・サービス生産と原材料投入との技術的關係を表す投入係数行列である。この行列の第j列に注目すれば、この列は第j産業を1単位生産するための元単位を表すことになる。そして、この比率が、投入生産物の価格や産出生産量に関わらず一定であるとするのが、産業連関分析の特徴である。 F_1 は最終需要ベクトルであるが、具体的には最終消費支出、設備投資、在庫品増減、および輸出を表すベクトルの合計である。最後に輸入量のベクトル M_1 を差し引くことにより国内生産に関する需給バランス式を得る。(14A-2)式を生産量について解けば、次のような均衡生産量決定式が得られる。

$$X_1 = (I - A_1)^{-1} (F_1 - M_1) \quad (14A-3)$$

全く同様の方法で、第2期についても、同様の均衡生産量決定式が得られる。

$$X_2 = (I - A_2)^{-1} (F_2 - M_2) \quad (14A-4)$$

(3)式と(4)式を(1)式に代入すれば次式を導くことができ、これがDPGを説明するモデル式になる。

$$\delta X = B_2 \delta F - B_2 \delta M + B_2 (A_2 - A_1) \alpha X_1 \quad (14A-5)$$

ここで、 B_2 は $(I - A_2)^{-1}$ であらわされる第2期のレオンチエフ逆行列である。上式について、右辺第1項、第2項はそれぞれ最終需要、および輸入の各項目の成長速度が総需要の平均成長速度と異なることから生じるDPG、第3項は投入係数の変化(技術変化)から生じるDPGである。

(14A-5)式のモデル式は第2期のレオンチエフ逆行列を用いているが、第1期のレオンチエフ逆行列を用いても次のように整理できる。

$$\delta X = B_1 \delta F - B_1 \delta M + B_1 (A_2 - A_1) X_2 \quad (14A-6)$$

(14A-5)式と(14A-6)式に基づいた計算結果は確かに異なるが、モデル式の差異は比較の基準をどちら(第1期か第2期か)に置くかという技術的問題であり、どちらかを採用すべきかという理論的な根拠は特にはない。そこで、本章では(14A-5)式と(14A-6)式の平均の値を計算結果として用いることにする⁸⁾。

もう一点付け加えておきたいことがある。上記のモデル式を方法を直接適用した結果では、DPGやそれを説明する要因の単位も円単位で測られている。しかし、どの産業が相対的に拡大あるいは縮小し、どの要因が相対的に大きかったかということに注目するに過ぎず、表の値を円単位といった絶対的な尺度で測る必要は必ずしもない。したがって、DPGをそのプラスの値の合計が100、マイナスの合計が-100になるよう相対化し、各要因の寄与程度もこの相対尺度で示しても失われる情報はほとんどないばかりか、通貨単位や価格の評価時点が異なるために、誤解を受けることもあったDPG分析の結果の比較が容易になると考えられる。そこで、本稿の以下の図表では、産業構造の変化のどの程度の大きさがどういった産業の拡大や縮小により説明され、その変化の何パーセントがどの様な需要要因に起因しているのかといったことを表わす相対的指標を示すことにする。

(2)二酸化炭素発生量計算モデル

この節では、産業連関分析を応用して産業別の二酸化炭素排出量を計算する方法について説明しよう⁹⁾。

二酸化炭素や硫黄酸化物等の大気汚染物質のマクロ(経済全体)での排出量を Q (スカラー)とすれば、それはしばしば次の式で表される。ただし、 PC =排出係数(マクロでの排出量/マクロでのエネルギー消費)、 Y =マクロでのエネルギー消費をそれぞれ表わす。

$$Q = PC \cdot Y \quad (14A-7)$$

あるいは、エネルギー効率(GDP等の生産量とエネルギー

一消費の関係)をも考慮する場合には、次のように表され
 ことも多い。ただし、 EE =マクロでのエネルギー効率
 (エネルギー消費/生産量)、 X =マクロでの生産量である。

$$Q = PC \cdot EE \cdot X \quad (14A-7)$$

この関係を産業連関分析の考え方に応用するのである
 が、この場合は、生産量や汚染物質の排出量がベクトル
 に変わる他、汚染物質の排出量は、生産部門(中間消費部
 門)での産業別排出量と最終消費部門での排出量に分けて
 計算する必要があることに留意されたい。

まず、生産部門(中間消費部門)での二酸化炭素の排出
 量の計算方法を説明しよう。産業連関分析では投入係数
 が重要な役割を果たすが、通常の産業連関表から計算さ
 れる投入係数は名目の投入額の名目の生産額に対する比
 率である。具体的には、財・サービス一円分(あるいは一
 元分)の生産のために何円分(あるいは何元分)の石炭や石
 油が必要であるかを表しているのである。したがって、
 二酸化炭素の排出量を計算するためには、一円(一元)の石
 炭や一円(一元)の石油の消費がいくらのエネルギー消費熱
 量(TOE)に相当するかをあらかじめ換算しておく必要があ
 る。このことに留意して、(14A-7)式を産業連関分析ベー
 スの式に書き直せば、次のようになる。

$$Q = \overline{PC} \cdot \overline{EE} \cdot \overline{X} \quad (14A-7')$$

ただし、以下の分析では、排出量は異なる3種類のエ
 ネルギー(石炭、石油、天然ガス)に対応して、3行×産業
 数の行列になる。右辺の第1項(排出係数)も次のように、
 異なる3種類のエネルギー(順に、石炭、石油、天然ガス)
 それぞれについての二酸化炭素排出量に対応させて、3行
 3列の行列形式で表される。単位は、炭素換算100万トン
 /熱量換算消費量(100万TOE)である。

$$\overline{PC}(CO_2) = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{石炭} & \text{石油} & \text{天然ガス} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{石炭} \\ \text{石油} \\ \text{天然ガス} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1.096 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.903 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.632 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (14A-8)$$

次に第2項(エネルギー効率)は、産業連関表から求めた
 (金額の)エネルギー投入係数行列(A行列)を熱量表示に変
 換する行列であり、3種類のエネルギーに対応して3行n列
 の行列になる。中央部の対角要素の分子は石炭、石油、
 および天然ガスの熱量換算消費量(100万TOE)であり、分
 母は対応するエネルギー消費額である(産業連関表に示さ
 れる額)。

$$\overline{EE}(CO_2) = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{石炭} & \text{石油} & \text{天然ガス} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{石炭} \\ \text{石油} \\ \text{天然ガス} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 \dots 0 & \frac{\text{石炭消費熱量}}{\text{石炭消費額}} & 0 & 0 & 0 \dots 0 \\ 0 \dots 0 & 0 & \frac{\text{石油消費熱量}}{\text{石油消費額}} & 0 & 0 \dots 0 \\ 0 \dots 0 & 0 & 0 & \frac{\text{天然ガス消費熱量}}{\text{天然ガス消費額}} & 0 \dots 0 \end{bmatrix} * A \end{matrix} \quad (14A-9)$$

最後の項(生産量)は、各産業の総産出をあわらす行列
 であるが、本稿では産業別の間接直接の二酸化炭素の排
 出量を計算するために、次のように定義した。

$$\overline{X} = (I - A)^{-1} \hat{F} \quad (14A-10)$$

この場合の \overline{X} は産業数×産業数の正方行列であり、右
 辺の後半の行列は対角要素に産業の最終需要量を配置し
 た対角行列である。(14A-10)式での「生産量」とは「(最
 終)生産物1単位を生産するために、誘発された他産業の生
 産量合計」のことを指している。

(14A-7')式で示したように、これら3項(排出係数、エネ
 ルギー効率、生産量)の積で産業別の二酸化炭素排出量が
 計算できる。計算結果である左辺は3種類の化石エネルギ
 ーに対応して、3行n列(エネルギーby産業)の行列になるが、
 (14A-7')式はある生産物およびその部品を生産する全過程
 において直接・間接にいくらのエネルギーが使われ、そこ
 から発生した二酸化炭素は究極的にはどれほどになるか

を表わすことになり、しばしば「二酸化炭素集約度」と呼ばれる計数を計算するモデルとなる。自動車産業を例にとれば、完成車を生産するために必要な、鋼板、ガラス、ゴム、電力等の生産過程で排出された二酸化炭素量を積み上げたものとなる。

次に、化石エネルギーの最終消費、つまり家計等が直接石炭や天然ガスを燃焼させた場合の二酸化炭素排出量であるが、これも生産部門での排出量と同様の方法で推定できる。つまり、単純に、排出係数、エネルギー消費の熱量と金額の換算比率、および最終需要金額の積で表される。そして、経済全体が発生させる総二酸化炭素量を得るためには、先ほど説明した生産過程での二酸化炭素排出量に、最終需要部門から発生する二酸化炭素排出量を加えればよい。

4. 産業構造変化の要因分析 -日本の経験と中国の現状-

(1) 日本の産業構造の変化とその要因

表14-6に日本の1960～1970年、1970～1980年、1980～1990年のDPG分析の結果を示した。この3期間を特徴づけるとすれば、1960年代が高度成長の時代、1970年代が石油ショックの時代、1980年代が構造調整の時代ということになる。経済拡大のスピードを見れば、順に2.82倍、1.52倍、1.47倍と減少傾向にある。それとともに、各期の成長産業(リーディング・セクター)も変化している。

まず、1960年代は全般的な重化学工業化の10年であり、化学、金属、機械工業、建設を含む重化学工業が生産シェアを拡大し(化学は10.8、鉄鋼・非鉄金属は12.8、一般機械は11.3、建設は8.6のDPG)、反対に軽工業部門の成長は停滞した(食料品は-22.1、繊維製品は-8.6のDPG)¹⁰⁾。この期間の主な成長要因は、第一に投資要因であり産業構造変化の71.5%を説明している。この時期「投資が投資を呼ぶ」といわれたが、まさにそういう時代であった。本稿の目的との関連で言えば、投入産出構造の変化要因は重要である。この効果は、迂回生産の複雑さあるいは産業構造の高度化を示す指標と考えられ、NIEs諸国の経済発展以前では、伝統的産業構造から近代的な構造への移行期には、投入係数の変化の効果が、輸入代替の効果と並んで

主な成長要因になるとされてきた¹¹⁾。確かに、当時盛んに導入された新技術は投入構造を大きく変化させ、食品工業、化学工業、金属製品、その他製造業等に対してはかなり大きなプラス効果を与えている(それぞれ、2.7、7.2、3.0の効果)。しかしながら、鉄鋼・非鉄金属ではきわめて大きなマイナスが記録され(-10.2の効果)、他産業での効率の改善があったことを意味している。

1970年代になると、化学工業、鉄鋼といった重厚長大・エネルギー多消費産業は衰退を始め、成長産業は、製造業では電気機械および輸送機械産業に集中(それぞれ、9.8、22.9のDPG)するようになる。これに加えて、サービス産業の成長が顕著になる。そして、国内経済の停滞により、成長要因の主役は、投資から輸出(DPGの85.5%を説明)に交代する。日米の貿易交渉の中で「日本からの集中豪雨的な輸出」が大きな政治問題となった時期である。また、この時期で注目すべきは、投入係数効果の大きなマイナスを記録した(合計で-58.1の効果)ことである。石油や化学製品等の原燃料投入量の減少の他、鉄鋼をはじめとする素材産業からの投入量が大きく減少している。日本経済の生産システム全体で省エネルギー化・省資源化が起こったためである。

1980年代になると、成長製造業が電気機械および輸送機械へと集中する傾向が一層鮮明になる(それぞれ、16.3、45.5のDPG)。また、サービス産業も中間需要の増大(25.9の効果)の影響でシェアを伸ばしている(23.8のDPG)。これら産業の中間投入が相対的に増加しているため、投入係数効果のマイナス(絶対値としての)大きさは小さくなったが、依然として投入係数効果はマイナスであり(-24.0の効果)、生産のスリム化傾向の持続が読み取られる。

(2)中国産業構造の変化とその要因

本節では、改革開放以後の中国経済の絶頂期である1981～1987年とその後の調整期である1987～1992年の2期間を対象期間とし、前述のDPG分析を適用する。表14-7にその結果を示した。

まず1981-1987年期中で、産業別にDPGの大きさを見れば、化学製品、建設資材、機械工業、建設等の拡大が観察され(それぞれ、36.1、17.9、33.1、9.2のDPG)、その一方で、

農林水産業と軽工業、および、商業、サービスといった第3次産業の相対的縮小が読み取れる(それぞれ、-26.6、-21.5、-18.4、-12.3のDPG)。

この時期の中国のこうした製造業の成長の主要因は投資効果(合計で39.6の効果)と技術変化効果(合計で37.0の効果)であった。先に述べたように、中国の産業連関表では、最終需要の項目として「純輸出」(輸出マイナス輸入)しか掲載されていないため、純粋な輸出の効果は抽出できないのであるが、中国では内需の循環が重要な役割を果たしていることがわかる。まず、投資効果は、建設、機械で大きく観察される。それら産業とともに、化学製品、建設資材、機械工業を中心に、技術変化の効果が大きく現れている。これまで述べているように、技術変化の効果は産業構造の高度化の指標とも考えられるが、視点を変えれば、生産方法は原材料使用的に変化しているわけで、環境に対する負荷は全体として強まっていることになる。ただ、エネルギー部門については、比例以上には拡大しておらず(言い換えればエネルギー原単位が低下しており)、中間需要効果の値もマイナスである。

1987-1992年の時期には産業構造の変化の方向が、前期間に比較して若干変化している。例えば、建設業は相対的に縮小し、反対に、第3次産業は全体として拡大基調である。

この前の期間と同様に、重化学工業が拡大しているが、その成長要因についても変化が見られる。前期は大きなプラスの効果であった投資の拡大は一段落する事になった(-79.9の効果)。特にこれは建設業に大きな影響を与えている(投資は-25.2の効果)。しかしながら、輸出と技術変化の効果は前期と比較して非常に大きくなった。輸出の効果は、繊維製品、鉄鋼といった産業をはじめほとんどの産業でプラスの効果を与えている(それぞれ、14.0、9.4の効果)。こうした観察結果は、1978年の「改革開放」以来採用された、市場原理の導入(すなわち司令経済の縮小)や労働集約財への外国資本の導入による生産性の改善の賜物である。余談ではあるが、繊維製品や電気機械分野の外国企業が中国へ進出するには、そのための条件として製品の輸出比率を一定以上に保つように義務づけられる場合が多い。

重工業部門の拡大の主要因になっているのは技術変化

の効果であった(合計で147.1の効果)。技術変化効果の大きさは繰り返し述べているように、国内での迂回生産の複雑化・高度化を示す指標として解釈できるのだが、見方を変えれば、環境に対する負荷は全体として強まっていることになる。

(3)中国の二酸化炭素排出構造の変化とその要因

この節では環境汚染物質の排出量DPGモデル式を定義する¹²⁾。環境汚染物質の発生源を3種類の化石燃料に限れば、経済が排出する環境汚染物質の量の増減は、化石燃料の直接・間接の使用形式がどのように変化したかという点と、使用された化石燃料単位あたりの排出原単位がどう変化したのかという点に分けて考えられる。前者の要因については既に前節で分析を行った¹³⁾。また、後者については、二酸化炭素の場合、幸いにして、消費熱量あたりの発生量は安定している。したがって、この部分の変化は考えなくてもよいことになる。

汚染物質の排出量の計算は既に(7)式で触れたが、化石燃料の国内消費量と輸入量をそれぞれ、 X 、 M と分けて書くとすれば、第1期、第2期の二酸化炭素の発生量(Q_i , $i=1,2$)は次のように表される。国内消費量とは厳密にいえば、国内生産量から輸出と在庫品増減を差し引いた量であるが、これらは限られた量であるので、国内消費量は国内生産量とほぼ同量の変数であると考えていただきたい。

$$Q_i = PC_i(X_i + M_i) \quad i=1,2 \quad (14A-11)$$

ここで、生産量と輸入量が比例的に拡大し、しかも排出係数が一定であれば、二酸化炭素の排出量も比例拡大的になるはずである。そこで、現実と比例拡大のケースの差を排出量のDPGと呼ぶことにし、次のように定義する。

(14A-12)

$$\begin{aligned}
\delta Q &= Q_2 - \alpha Q_1 \\
&= p_2(X_2 + M_2) - \alpha p_1(X_1 + M_1) \\
&= (p_1 + p_2)(1/2)(X_2 - \alpha X_1) \\
&\quad + (p_1 + p_2)(1/2)(M_2 - \alpha M_1) \\
&\quad + (p_2 - p_1)(X_2 + M_2) \\
&\quad + \alpha(X_1 + M_1)(1/2)
\end{aligned}$$

右辺の第1項より順に、国内生産量の変化の効果、輸入量の変化の効果、そして、排出係数の変化の効果である。このうち、第1項の国内生産量の変化の効果に関しては、(6)式を代入すれば、既に定義したように様々な需要項目の変化および技術構造の変化の要因に分解する事ができる。しかし第2項については、残念ながら中国では(単独の)輸入量のデータが得られないのでこの項は正確には計算不能である。第3項については、上述の通り二酸化炭素に関してはゼロである。そこで、本稿では、非常にラフな計算ではあるが、生産量DPGと消費量DPGを等しいとして、(つまり第2項を無視する代わりに、右辺と左辺の誤差を第1項の各要因に比例配分する形で)試算することにした。このモデルを中国の1981～1987年の期間、および1987～92年の期間に適用した結果が表14-8である。

表の見方で注意する点がある。例えば、「消費効果」とは化石燃料の直接消費を意味するのではなく、経済全体の最終消費が直接・間接的に化石燃料の使用にどう影響したかを表し、それがプラスであるということは経済全体での消費のウェイトが増加したこと、およびエネルギー使用的な消費財を多く消費するようになったことを意味する。「中間需要効果」についても同様に、経済全体の投入構造の変化が化石燃料の使用にどう影響したかを表す。

まず、1981～1987年の期間では、経済規模は約2倍に拡大しているにもかかわらず、化石エネルギー使用量は401TOEから574TOEへと1.4倍程度の増加にとどまっている。つまり、エネルギー原単位が低下したということである。したがって、二酸化炭素の排出量も比例倍以下にしか増加していない(乖離の値はマイナス)。そして、その要因をみれば、中間投入のマイナス効果、言い換えれば生産段階でのエネルギー効率の改善が大きい。また、1987～1992年の期間でも、経済規模は約1.6倍に拡大しているの

に対して、化石エネルギー使用量は574TOEから699TOEへと1.2倍程度の増加にとどまっているため、二酸化炭素の排出量も比例倍以下にしか増加していない。この時期には、経済規模の拡大に比較して、消費や投資が相対的に影響力を失った時期であるため、エネルギー消費に関してもマイナスの効果を持っている。それに代わって、輸出の増大が大きなプラス効果を持っている。中間需要効果については、石油起源の二酸化炭素発生量の相対的増加が観察される。この時期は、より石油使用的な方法で財を生産し、そうして生産された財はより多くの比率で輸出されたということになる。

(4) 日本と中国の産業構造の格差とその要因

本節のこれまでの部分では、一国経済の産業構造の変化の方向を時系列で見えてきたが、ここでは、日本と中国の産業構造を比較してみよう。分析の方法はこれまでとほとんど同様で、対象とする経済は中国の1992年と日本の1990年である。ただし、両国間では相対価格構造が異なるので、名目の為替レートで通貨単位を調整しただけでは、価格をそろえて、実質的な産業構造を比較したことにはならない。そこで、ここでは、表14-9に示すような購買力平価の推計値を利用して、価格を日本価格にあわせて分析することにした。購買力平価の推計時点は1990年であるので、日本については問題無い。中国の産業連関表は1992年時点のものであるので、厳密には中国財の物価をもう少し上昇させなければならないが、ここで重要なのは、価格の水準ではなく、相対価格構造であるので、含まれる誤差はあることは認めるが、そう大きくはないだろうとして、このままの購買力平価を使用した。

分析の結果を表14-10に示す。比較の方向は「日本マイナス中国」であるので、表中の計数がプラスの場合日本でのシェアが大きく、反対にマイナスの場合は中国でのシェアが大きいことを意味する。DPGの値を見れば、農林水産業、鉱業全般、食料品、繊維製品、窯業土石、金属製品、および商業で中国のシェアが大きく(農林水産業は-34.7、食料品は-18.5、繊維製品は-10.7)、それ以外の産業では日本でのシェアがより大きく計算されている。この

結果は比較的実感にそうものであろう。その要因を見れば、中間需要の効果がマイナスに働き(-101.1の効果)それが圧倒的に重要であることがわかる。つまり、原材料投入の比重が中国の方が多い、すなわち中国での生産方法の方が環境負荷が高いということである。この結果、仮に日本から中国への技術移転が行われれば、原材料投入の効率が改善され、環境負荷が低下するという可能性が示唆される。この点については、技術移転が二酸化炭素の排出量の削減にどの程度寄与するかという視点から、次の節でもう少し詳しく検討することにしよう。

5 日中の産業別二酸化炭素排出量

(1) 日本の産業別二酸化炭素排出量

図14-1には日本の総二酸化炭素排出量を1970年、1980年、1990年の3時点で示した。各積み重ね棒グラフの下から、石炭起源、石油起源、天然ガス起源の二酸化炭素排出量(炭素換算100万トン)を示している。計算はこれまでと同様に24産業分類で行われているが、ここでは、二酸化炭素排出1,000万トンを超える産業についてのみ掲げた。繰り返しになるが、「排出量」の意味するものは、各産業の最終需要を生産するために直接・間接に排出された二酸化炭素量である。

日本での化石燃料起源の二酸化炭素排出量は1970年以降の10年毎に244, 291, 333(炭素換算100万トン)と増加しており、この間の増加率はそれぞれ、19%と14%である。しかし、この間の経済規模の増加率はそれぞれ、52%と47%であるから、二酸化炭素の排出弾力性は0.3程度の小さいものであった。

まず、日本の各産業共通の傾向として二酸化炭素排出の約8割が石油起源であることがわかる。産業別に見れば、排出量が多い産業のベスト3は建設、サービス、化学製品である。建設業の後方連関効果は大きく、そのためエネルギー集約度も大きくなっていることがわかる。近年の経済のサービス化に伴い、サービス産業の占めるウェイトが拡大し、1980年以降ではサービス産業が最も二酸化炭素を多く排出していることになる。この他、ウェイトを高めている、電気機械や輸送機械産業も排出量の順位を上げている。電力ガス産業に注目すれば、天然ガス起源の排出量が増加していることがわかるが、天然ガス起源の

二酸化炭素排出量係数は他のエネルギーに比較して少ないことから、エネルギー構成としては、このグラフに示されている比率以上にそのウェイトは高まっている。日本では家計による(石炭の)直接消費はほとんどない。

(2) 中国の産業別二酸化炭素排出量

図14-2には中国の二酸化炭素排出量を1987年と1992年について産業別に示した。中国での総排出量は1987年で604, 1992年で734であり、この5年間に約20%増加した。この数字は日本での1990年時点の排出量の2倍以上の大きさである。ただ、この間の中国での経済規模の拡大が約60%であるから、二酸化炭素排出の弾力性は日本と同様にほぼ0.3であった。各産業に共通の傾向は、日本とは逆に、石炭のウェイトが非常に高いことであり、天然ガスのウェイトはネグリジブルである。

建設業からの排出がはやはり多く全体の4分の1から3分の1を占める。建設業のシェアの大きさと後方連関効果の大きさが確認できる。それに次いで、中国では家計による暖房・調理等のための石炭消費が多く、そのための二酸化炭素の排出も非常に多いのが特徴的であるが、これによる二酸化炭素の排出は減少傾向にある。中国でも経済のサービス化が進行しており、サービス業での排出は急増している。また、農林水産業や衣料、食料品といった軽工業部門は産業規模が大きいために、それら産業からの二酸化炭素排出量も多い。

(3) 二酸化炭素排出量の削減と技術移転

この節では、何らかの方法でエネルギー消費量を削減し(あるいは増加率を押さえて)二酸化炭素の排出量をできるだけ現状の水準で維持するための方策について検討しよう。

いうまでもなく、発展途上国にとっては、先進国からの技術援助を受け、エネルギー効率の改善=エネルギー消費量の削減をはかり、結果として二酸化炭素排出量を削減するという事は、現在の地球温暖化の問題に対する非常に現実的な対応であろう。技術の援助・移転を産業連関分析の枠内でとらえるとすれば、技術供与を受ける国が技術を移転する国の投入産出構造を移入・模倣することである。それには、様々なパターンが考えられる。ある特定産業のエネルギー効率のみの改善であれば、産業

連関表のある特定列のエネルギー部門からの投入係数の低下を意味する。しかしながら、近年の環境問題への取り組みは「合理化・省エネルギーの中での環境保全¹⁴⁾」という方向に変わりつつあり、古い生産設備を廃棄して新型の大型プラントを設置するとなれば、エネルギー部門のみならずすべての部門からの投入係数が変化することになる。したがって、(例えば、日本から中国への)技術移転の最も極端な例の実験として、最終需要構造はそのままで、生産構造については、すべての産業部門について、日本の生産構造をそっくりそのまま中国に移すという実験が考えられる。

しかし、生産構造をそのまま移すといっても、投入係数をどう評価するかの問題が残る。つまり前節でも触れたように、日本と中国では相対価格構造が非常に異なるという問題である。ここでは前節と同様の方法で、日本の生産物を中国価格で評価し、日本の生産構造をすべて中国に移転させた場合の二酸化炭素排出の減少量を試算してみた。もちろん、特定産業に限っての技術移転をすることもできるが、この試算は技術移転が行われた場合の非常に極端な例を示していることになる。

本章では、対象を1992年時の中国とし、ここに、日本経済の1980年時の生産構造、あるいは1990年時の生産構造を持ち込んだ場合の、二酸化炭素排出の削減量を試算した。

結果を図14-3に示した。図中には排出量の削減が1000万トンを超える産業について示した。二酸化炭素の総排出量は、日本の1980年の生産構造を移転した場合には、二酸化炭素の排出は371(炭素換算100万トン)だけ削減され、当初の734に比較すれば約50%の削減になる。削減量の上に登場する産業は、建設、サービス、繊維衣服といった生産額シェアの多い産業および、一般機械、電気機械といった電力使用の大きい産業である。次に、日本の1990年の生産構造を移転した場合には、二酸化炭素の排出は450(炭素換算100万トン)だけ削減され、当初の734に比較すれば実に約60%の削減である¹⁵⁾。

6 まとめ

本章で得られた結論を要約すると次のようになる。

(i) 日本の産業構造の変化

日本の産業構造は、化学工業、鉄鋼といった重厚長

大・エネルギー多消費産業の衰退と、成長産業の(製造業では)電気機械および輸送機械産業への集中で特徴づけられる。こうした変化の中で注目すべきは、石油や化学製品等の原燃料投入量の減少の他、鉄鋼をはじめとする素材産業からの投入量が大きく減少するという生産の省エネルギー化・スリム化が起きていることである。

(ii) 中国の産業構造の変化

中国の1980年代は重化学工業化の進行段階であり、日本の1950年から60年代に相当する。中国での重工業部門の拡大の主要因になっているのは技術変化の効果であった。技術変化効果の大きさは、国内での迂回生産の複雑化・高度化を示す指標として解釈できるのだが、見方を変えれば、環境に対する負荷は全体として強まっていることになる。

(iii) 日本の二酸化炭素排出量

1990年での総排出量は333(炭素換算100万トン)である。産業別では、サービスが最も多く、ついで、建設業、化学製品の順で、この3産業で総排出量の半分以上を占める。

(iv) 中国の二酸化炭素排出量

1992年での二酸化炭素排出量は炭素換算で約730百万トンであり、これは1990年の日本と比較して倍以上である。そのうち石炭消費量によって説明されるものがその8割弱を占める。建設業の活動により排出される二酸化炭素排出量は全体の約30%、最終消費とサービス産業からの排出量も多い。

(v) 環境汚染物質削減策としての日本から中国への技術移転

二酸化炭素排出量を削減する方策として、日本からの技術移転を考えた。技術移転を産業連関分析の枠組みで定義することは、投入産出構造の移転である。本章では、最も極端なケースとして、日本の投入産出構造がそっくりそのまま中国に移転された場合を考えた。その際には、中国の二酸化炭素排出量は半減あるいはそれ以下になる。先進国からの技術移転は、エネルギー効率の改善にきわめて有効である。

さて、本章での議論の筋から少々はずれるのだが、技術移転には様々な問題があることを書き添えておきたい。

技術移転には資金が必要であるが、一般に途上国では資金が十分でなく、資金供給が高金利である場合が多い。したがって、途上国の一般企業が環境保全技術を導入する場合、そのインセンティブを与えるという意味で、日本でも実施されたような、環境保全設備に対する租税特別措置や特別償却のような補助金制度を設けるなどの施策を行う必要があると考えられる。また、環境保全のためには、まず環境汚染物質排出をモニタリングするための知識が必要であり、環境汚染防止技術導入後には設備そのものの維持管理知識も必要である。さらには、住民が環境保全意識を持つ事がなによりも重要であろう。そうした知識の修得・意識の喚起のためには、教育・広報活動の充実が欠かせない。実は、こうした分野での技術協力が優先されるべきなのかもしれない。

【参考文献】

- 秋元 肇「地球温暖化」(慶応大学経済学部環境プロジェクト編『地球環境経済論』(上), 慶応通信所収), 1994年.
- 青木浩治・稲田義久「韓国工業化の要因分析: 工業化パターンの日韓比較」, 『アジア経済』, 第21巻第5号, 1980年.
- Chenery, H.B., "Patterns of Industrial Growth," *American Economic Review*, Vol. 50, 1960.
- Chenery H.B., S. Shishido, and T. Watanabe, "The Pattern of Japanese Growth, 1914-54," *Econometrica*, Vol. 30, 1962.
- Diewert, W.E.(1976), "Exact and Superlative Index Numbers," *Journal of Econometrics* 4:115-45.
- 陳光輝・藤川清史「DPG(比例成長からの乖離)分析にまつわる若干の問題と日本・台湾の産業構造変化パターン」, 『国際大学年報』(IUJ Annual Review), Vol. 6, 1989年
- 藤川清史「産業構造変化とその要因-日本・韓国・台湾の経験-」, 『経営経済』, No31, 大阪経済大学中小企業・経営研究所, 1996年
- 長谷部裕一「経済構造変化と環境の要因分析-産業連関分析を適用して-」, 『エコノミア』(横浜国立大学経済学会), 第4巻, 第4号, 1994年.
- 科学技術庁科学技術政策研究所編『アジアのエネルギー利用と地球環境』, 大蔵省印刷局, 1992年.
- 金子敬生『産業連関の経済分析』, 勁草書房, 1990年
- 韓福相「韓国の経済成長と産業構造変化の要因分析, 1973~83年」, 『アジア経済』, 第30巻第7号, 1989年.
- 黒田昌裕, 木地孝之, 吉岡寛治, 早見均, 和田義和『中国のエネルギー消費と環境問題』, 通商産業研究所, 1996年.
- 西岡秀三「酸性雨」(慶応大学経済学部環境プロジェクト編『地球環境経済論』(上), 慶応通信所収), 1994年.
- 日本エネルギー経済研究所エネルギー計量分析センター編『エネルギー・経済統計要覧'95』, 省エネルギーセンター, 1995年.
- 渡部経彦「日本の工業化パターン」, 『数量経済分析: 成長をめぐる諸問題』, 創文社, 1970年.
- 渡部経彦・駿河輝和「工業化要因分析と戦後日本の経験」, 『大阪大学経済学』, 第26巻第3-4号, 1977年.

(*)本研究は植田和弘(経済企画庁経済研究所主任研究官, 京都大学経済学部教授)を主査とする所内の研究グループでの成果である。本研究をまとめるにあたっては、斎藤光雄 神戸大学経済学部名誉教授, 樋田満 アジア経済研究所統計調査部予測統計課長, 松橋隆治 東京大学工学部時教授, および小峰隆夫所長, 森一次長をはじめとする経済企画庁経済研究所の方々から懇切丁寧なコメントをいただいた。記して感謝したい。しかしながら、本稿にありうべき誤謬は筆者達の責任である。

- 1) こうしたジレンマを三つのE, 経済, 環境, エネルギーのトリレンマということがある。
- 2) 慶応義塾大学経済学部(1994)第3章参照。
- 3) 慶応義塾大学経済学部(1994)第2章参照。
- 4) 第4節, 第5節の計算では、日中の産業構造を比較する場合に、名目の為替レートではなく、購買力平価(PPP)の考え方をを用いている。
- 5) とりわけ1985年以降、中国の経済成長は加速し、1987, 1988年はその頂点であった。一方、この時期は、財への需要の増加と貨幣供給の増加とがあいまって、激しいインフレーションが起こった時期でもある。そうした事情から、政府はインフレ収束のための厳しい引き締め政策をとり、経済成長は一服することとなった。
- 6) チェネリーらによって始められたDPG分析は、その後には多くの後継者をもっている。例えば、戦後の日本経済に関する渡部(1970), 渡部・駿河(1977), 韓国の高度成長期以降についての青木・稲田(1980), 韓(1989), あるいは、日本, 韓国, 台湾の産業構造変化のパターンを比較した陳・藤川(1989), 藤川(1996)等が挙げられる。ただし、DPG定義の仕方や、それをどのような要因で説明するかは各文献によって様々に異なるのである。
- 7) 中国では国家統計局が原則として競争輸入型表を公表している。また、そこでは、関税の扱い方に議論があるらしく、輸入列と輸出列を別掲せず、その両者の差額を「純輸出」として掲げている。そのため、輸入を外生扱いすることにした。
- 8) ただし、2次式の2点間の変化を計算する場合、両方の端

点での線形近似を用いた結果を平均する事が望ましいという意味であり、ある意味ではディワートの補題(ディワート(1976)参照)と同じ精神であると理解していただきたい。

- 9)産業連関分析を汚染物質の排出量の分析に応用した例としては、通産省と慶応義塾大学グループの一連の研究がある。例えば、黒田他(1996)を参照されたい。ところで、二酸化炭素排出量のみならず、硫黄酸化物排出量の推定も以下に述べるのと同様の方法で分析することができるが、煩雑さを避けるために、ここでは議論を二酸化炭素排出量に絞ることにする。
- 10)藤川(1996)は日本の戦前期についても同様の分析を行っているが、戦前期では軽工業部門のDPGはプラスであった。
- 11)チェネリーらは、発展途上国の離陸の際の輸入代替や投入構造の変化の重要性を主張してきた。実際、チェネリー・宍戸・渡部(1962)の計測では、戦前期の日本では投入係数の変化の効果が最大の成長要因であり、それに投資効果、輸入代替の効果が続いた。渡部(1970)らもこれらの効果の大きさをもって、新技術の導入による生産構造の近代化が日本の経済成長に大きく貢献した証左であるとしている。
- 12)この発想は長谷部(1994)に負っている。
- 13)ただ、前節の分析は国内生産量のDPGであり、ここで取り上げるべきは国内消費のDPGなので、厳密に言えばエネルギーの輸出の分だけ異なる。この点についてはモデルを定式化する際に述べる。
- 14)このような技術を「クリーナー・プロダクション」の技術と呼ぶことがある。これに対して、従来設備に環境保全設備を付加的に加える技術を「エンド・オブ・パイプ」の技術と呼ぶことがある。
- 15)斎藤光雄教授より「日本の技術を移転する際に、その設備投資のために追加的な二酸化炭素の排出がある筈で、それを考慮する必要がある」とのコメントを得た。このコメントに答えるために、1990年の産業連関表と資本形成マトリックスを利用して、参考までに日本の設備投資起源の二酸化炭素発生量を試算した。次の表がその結果である。

1	農林水産業	3.21
2	石炭・亜炭	0.02
3&4	原油・天然ガス	0.02
5	鉱業	0.09
6	食料品	1.27
7	繊維製品	0.64
8	製材・木製品	0.28
9	パルプ・紙・出版	0.66
10	電力・ガス・熱供給	3.89
11	化学製品	1.92
12	窯業・土石製品	0.45
13	鉄鋼・非鉄金属	2.21
14	金属製品	0.72
15	一般機械	2.01
16	輸送機械	2.82
17	電気機械	3.55
18	精密機械	0.37
19	その他の製造業	1.79
20	建設	1.80
21	運輸	10.11
22	商業	4.74
23	サービス	34.82
	設備投資合計	77.39

非常にラフな計算ではあるが、設備の耐用年数を仮に10年とすれば、日本の設備をそっくり更新するためには、上記表の設備投資合計の10倍である774程度の二酸化炭素が排出されることになる。これは、中国の1992年時点での総排出量に匹敵する。また表14-10で示したように、購買力平価で評価した中国の経済規模は日本の1.7倍であるから、資本係数を一定とするならば、中国の設備を日本並みにするには合計で1315の二酸化炭素が排出されることになる。さらに、これは日本の技術で設備を作ればという数字であるから、同様の設備を中国の技術で作るとなるとこの数字は更に大きくなる。図14-3(a)で示した技術移転による排出削減量371であるから、この数字からでは技術移転は二酸化炭素排出削減には寄与しないことになるが、新技術を胎化した設備更新が瞬時に行われるわけではなく、新設備への更新は中国で本来計画されていた設備投資を代替することにもなるので、その分だけ中国での二酸化炭素排出はさらに削減されることになる。やはり、技術移転は二酸化炭素排出の削減には有効であると考えられる。

松橋隆治教授からも「二酸化炭素削減のための費用曲線は描けないのか」という質問を受けた。1990年の日本の国内総生産は(産業連関表ベースで)446兆円であったが、そのうち設備投資額は(固定資本形成マトリックスベースの産業計で)109兆円であった。何らかの仮定を置けば、仮に中国での設備投資を日本が肩代わりするとして、産業ごとに設備投資にかかる費用とその設備を中国に移植することによる二酸化炭素削減量の関係が試算できるかもしれない。しかしながら、この点については時間的制約もあり本研究では触れることができなかつた。興味ある課題であるので、今後の宿題としたい。

日本の設備投資起源の二酸化炭素排出量(炭素換算100万トン)

産 業	排出量