

I-O 表による中・日環境問題の分析

——化石燃料の消費による汚染物質の発生——

李 潔

1 問題意識

日本の『経済学文献季報』では、環境・公害問題が1979年までは「地域経済」の項目にくくられていて、独立の分類項目として初めて登場したのは80年のことである。

このことに示されるように、日本経済の高度成長期に、特に60年代後半の公害問題の多発化に伴い、経済成長と同時に環境を考える問題意識が急激に噴き出し、公害問題についての研究が盛んに行なわれた。ところが、それらの関心は一地域、一産業または一企業にしばられるものが多く、ローカルな問題意識が主流であったように思われる。

近年来、環境問題はふたたび脚光を浴び、かつてない関心の盛り上がりを見せている。それは60年代からの地域的公害の面を持ちながら、酸性雨による森林破壊、フロンガスによる成層圏のオゾン層破壊、温暖化などのように地球的規模での広域的環境汚染・環境破壊への問題のグローバルな広がりが特徴である。環境破壊・資源の制約問題が、経済発展さらに人類生存に関する重大な問題として人々に覆いかぶさってきた。

経済社会活動の拡大を考える場合は、さまざまな対立要素に関して熟考することが必要であり、環境汚染という副産物が投入産出のプロセスの中で同時に「生産」されたり、あるいは最終財の消費のプロセスで排出されるとすれば、生産技術の観点から国民経済の相互依存関係を明らかにしようとする産業連関分析の枠組の中で、分析を行うことが適当である。

しかしながら環境汚染係数の作成は他の統計資料の収集より一層困難な作業であると予想できる。産業連関表は国民経済のもっとも詳細な記録であり、それによって、環境問題についてできるだけ多くの情報を見いだすことが重要な課題である。特に中国の各産業に関するさまざまな情報は入手不能の場合が多い。そこで第1次的接近として、ここでは、中国と日本の産業連関表を他の統計資料と併せて利用して、地球温暖化の有力な一要因となっている化石燃料の消費及びその消費によって発生する二酸化炭素や酸性雨原因物質である硫酸化物について、各産業の生産過程における使用及び排出、さらに各最終需要によって誘発される消費過程での排出・発生の実態などを両国について計測し究明してみたい。

2 中・日化石燃料の消費について

多くの地球環境問題に関する課題の中で、人間活動への影響の大きさにおいて、また、政策的関心のレベルからして見れば、地球温暖化問題が最重要とされている。問題の深刻さと解決の難しさからみて当然であろう。その温室効果の約5割がCO₂に起因するとされている。しかも、CO₂の8割程度が石炭・石油・天

然ガスという化石燃料の消費によって発生するとされており、地球温暖化問題は化石燃料の使用と密接不可分な関係である。

エネルギーの生産と消費はすべての国の経済と環境にさわめて重大な意味を持つ。過去20年間で世界のエネルギー生産はおよそ5割ほど増加してきた。このうち全体の9割以上を占めるのが、石炭・石油・天然ガスなどの化石燃料である。¹⁾

中国においては、工業化の進展などにもない、近年エネルギー消費が急速に増加しており、今後とも引き続きその伸びが見込まれている。2000年の一次エネルギー生産目標として、14億 TCE であり、その内原炭71.4%・原油20.4%・天然ガス2.9%・水力発電4.7%・原子力発電0.6%である。²⁾ エネルギー源の多様化を図る計画が策定されているものの、依然として石炭への依存度は極めて高い。

一方、2回にわたる石油ショックの影響を強く受けた先進諸国、とくに日本は、省エネルギーの努力に加えて、新エネルギーの開発を進め、化石燃料の消費が横ばい状態になっている。

本節では、中国と日本の産業連関表を他の統計資料と併せて、固体(石炭)・液体(石油)・ガス(天然ガス)という三つの形態の化石燃料の消費実態をさぐってみる。

産業部門に対応する各種化石燃料の実際投入量に関する統計がないため、まずそれを次式によって推計する。

$$Q_{ij} = (X_{ij}/F^s_i) \cdot F^s_i \quad (i=1, 2, 3, j=1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

ここで、

j : 産業連関表に対応する産業部門

i : 各形態の化石燃料 (1: 石炭, 2: 石油, 3: 天然ガス)

Q_{ij} : 第 j 産業部門に直接投入した第 i 種化石燃料の量 (カロリー)

X_{ij} : 連関表における第 i 種化石燃料部門の第 j 産業部門への販売額

F^s_i : 第 i 種化石燃料部門のその年度の消費物量 (カロリー)

F^s_i : (F^s_i)₁ に対応する第 i 種化石燃料の消費総額である。ここでは、当該化石燃料部門の中間産出にその最終需要における個人消費項目と社会消費項目の二つのみ加えるものとしている。

である。

各産業の産出を X_j とし、その産出に対する各種化石燃料の直接投入原単位を表わす行列を $[h_{ij}]$ ($i=1, 2, 3, j=1, 2, \dots, n$) とすると、

$$[h_{ij}] = [Q_{ij}/X_j] \quad (i=1, 2, 3, j=1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

これを用いて、各最終需要のために国内生産活動による化石燃料それぞれの直接間接消費量を表す行列 $[F_{ij}]$ について、次式によって算出する。

$$[F_{ij}] = [h_{ij}] \cdot [I - (I - \hat{m})A]^{-1} \cdot [(I - \hat{m})\hat{Y} + \hat{E}] \quad (i=1, 2, 3, j=1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

ここで、

\hat{Y} : 国内最終需要 Y_i を対角要素とする行列

\hat{m} : m_i を対角要素とする行列

ただし、 $m_i = M_i / (\sum_{j=1}^n X_{ij} + Y_i)$ ($i=1, 2, \dots, n$)

つまり、統計による輸入のマトリックスがないため、輸入を中間生産および国内最終需要に均等に使用することを前提とする。

\hat{E} : 輸出額 E_i を対角要素とする行列

である。なおこの国内生産に対する最終需要項目はベクトルではなく、対角要素とする行列である。したが

って、右辺の積の第2・第3項の結果は最終需要の誘発効果を表すマトリックスとなる。

上式の各形態の化石燃料についてそれぞれ次の計算になる。（各化石燃料の形態をあらわす添字は省略する）

$$\begin{aligned}
 (F_1, F_2, \dots, F_n) &= (h_1, h_2, \dots, h_n) \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & h_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_1^* & & & 0 \\ & Y_2^* & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & Y_n^* \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} h_1 b_{11} Y_1^* + h_2 b_{21} Y_1^* + \dots + h_n b_{n1} Y_1^* \\ h_1 b_{12} Y_2^* + h_2 b_{22} Y_2^* + \dots + h_n b_{n2} Y_2^* \\ \vdots \\ h_1 b_{1n} Y_n^* + h_2 b_{2n} Y_n^* + \dots + h_n b_{nn} Y_n^* \end{bmatrix} \quad (4)
 \end{aligned}$$

ただし、「 \prime 」は転置行列を表わす

$$[b_{ij}] = [I - (I - \hat{m})A]^{-1}$$

$$Y^* = (I - \hat{m})Y + E$$

$h_i b_{ij} Y_j^*$ は第 i 産業が第 j 産業部門最終需要の生産のために直接間接必要とする化石燃料の量である。したがって、 $\sum_{j=1}^n h_i b_{ij} Y_j^*$ は全ての最終需要のためにそれぞれの産業部門の化石燃料実際投下量となり、結果として第(1)式の Q_{ij} に一致する。一方、 $\sum_{j=1}^n h_i b_{ij} Y_j^*$ つまり第(3)あるいは(4)式の計算結果である F_j は第 j 部門最終需要のために第 j 産業の化石燃料直接使用量と、その産業と他の産業との中間取引によって誘発された化石燃料の総和となる。炭素税などの価格メカニズムによって汚染物質の発生を低減させようとする場合は、生産効率の向上を目的とすれば前者とリンクして、消費パターンの改善を目的とすれば後者とリンクして改善することが考えられる。

形態別化石燃料消費量、つまり(1)式の $(F^*)_i$ に対応するデータについては、中国の場合は『中国能源統計年鑑1991』によるエネルギー消費総量及び構成のデータを利用する。日本については資源エネルギー庁『総合エネルギー統計』より最終エネルギー消費と一次エネルギー総供給があるが、前者には電力転換に発生するロスと輸送ロスを含まず、後者には燃料としてではなく、原料として生産物に変形される分も含まれる。ここでは『世界統計年鑑1991』「商業エネルギーの生産、貿易及び消費」における消費項目のデータを利用した。いずれも水力発電や原子力発電などの化石燃料以外のエネルギーを除いたものである。

中国ではもっとも本格的な産業連関表は1987年のものであって、これを利用し、日本のほうは比較しやすいため1985年表による同年度の延長表を利用する。以下の分析データはすべて連関表の年度に対応している。

部門分類については、化石燃料の分析を目的としているから、化石燃料に関する部門をそのままにし、他の部門について統合を行い、29部門の統合分類にした。³⁾

中国のエネルギー表記はその大宗（約4分の3）を占めている石炭を原単位とするのが一般的であって、日本では石油原単位にすることが多いが、上記『世界統計年鑑』は標準石炭（TCE）の単位である。ここではカロリー単位に統一している。

また、国際間の比較に際して、為替レートによる換算はかならずしも妥当とはいえないが、評価基準の一つとして、中日の連関表をともに該当年間の対ドル平均為替レートで換算している。⁴⁾

1987年におけるエネルギー消費量は中国が6,064,240 Tcal、日本が3,116,750 Tcalであって、それぞれ世界エネルギー消費量の8.97%と4.61%を占め、その内原子力・水力・地熱・風力および原子力からの1次電力からの消費はエネルギー総使用に占める割合が中国4.7%・日本7.45%になっているため、化石燃料の使用は日本が中国の半分以下であり、世界化石燃料消費量（64,323,560 Tcal）の内、中国が8.99%（5,782,840 Tcal）であり、日本が4.48%（2,884,630 Tcal）である。⁵⁾

経済の規模を比較すると、中国国内生産額が6,895億ドルで、日本が47,744億ドルであって、生産額単位

あたりの化石燃料の平均使用が中国は日本の14倍となる。付加価値額は中国(3,078億ドル)が日本(25,331億ドル)の8分の1弱であって、したがって付加価値単位産出あたりの化石燃料平均使用は16.5倍である。

以下表1から中国と日本の化石燃料の消費構造に関するいくつかの特徴を読みとってみたい。ここの直接投入量は(1)式の Q_{ij} と対応とし、消費量は(3)式の F_{ij} と対応している。

まず、生産に使用される化石燃料は中国が日本の1.74倍であって、総量の割合よりやや低い数字である。一方、直接に最終消費に使用される化石燃料のほうは中国が日本の166.2倍であって、人口の倍率を除いても大きい数字である。これは日本のエネルギー消費は化石燃料の加工品に多く依存されていることが原因であろう。

産業部門ごとに見ると、日本の各産業部門による化石燃料の直接使用はほとんどなく、石油石炭製品部門による石油石炭加工品、または電力・熱供給部門で転換された電力を利用している。

これと対照的になるのは、中国は石炭石油製品部門と電力・熱供給部門の利用を除いても、生産に使われる化石燃料のちょうど半分が生産部門によって直接使用されており、その使用量の多い部門は化学製品部門、窯業・土石製品部門、鉄鋼産業である。これは原料として利用される分(化学製品部門)以外に、直接に動力に転換されるものが多いと思われる。

このように中国は43.6%、日本は96%の化石燃料を一次加工する産業である石炭石油製品部門と電力・熱供給部門との両部門に投入している。

この差は両国化石燃料の消費構造の相違から出ていると思われる。中国は化石燃料部門自身およびその加工産業以外に直接使用されている化石燃料のほとんどは固体の石炭である。つまり、各産業は石炭をそのままにエネルギーとして利用している。一方、日本に多く利用されている石油の場合は加工が必要であり、電力のかたちでの利用も多いからである。

消費量係数 F_{ij} は最終需要に提供するために直接的に、そして化石燃料の加工品として、さらに他の財・サービスの取引によって間接的に誘発して消費された化石燃料の総和であって、この意味で、経済的にもっとも参考価値の高い指標である。これを見れば、日本より相当多く化石燃料を消費する部門として、農林水産業・繊維工業製品・一般機械・電気機械・機械設備修理・他の製造業製品・建設などがあり、このうちに産出高の割合が日本より極端に高い農林水産業と繊維工業製品を除けば、製造業一般はエネルギー効率が低いと思われる。日本の場合エネルギーをより多く消費する部門は商業・金融・保険・不動産・サービス産業である。

中国の最終需要単位あたりの消費量は平均的に日本より13.2倍多い。これはエネルギー使用効率の低さを裏付ける一方、絶対価格水準の相違も物語っている。平均率よりも高消費する部門には金融・保険・不動産(32倍)・通信・郵便(25倍)・機械設備修理(24.6倍)・建設(23.5倍)・水道・廃棄物(21.3)・教育・研究・医療(21倍)・公務(20倍)・電機機械(19.9)・金属製品(19.6倍)・輸送機械(19.5倍)・非鉄金属(19.2倍)・一般機械(19倍)・輸送(19倍)などがある。ただ、ここの倍率は純粋に使用効率を反映しているのではなく、中日両国の産業間の相対価格にも問題があるように思われる。一方、化石燃料およびその加工業がたいがい平均以下であり、そのほかに、自動化がとくに遅れた産業である農林水産業や繊維工業製品が挙げられる。

1) 『世界統計年鑑1991』原書房「商業エネルギーの生産、貿易及び消費」によって算出。

2) 黄能源部長演説プレスリリース(1990年3月14日)『中国能源1989』

3) 中国に関する輸出・輸入データ利用のため、趙 晋平「比較:日・中産業連関表の基本構成」『立教経済学研究』第45巻第4号による中日統一型の内生28部門の統合方を基本的に利用した。そのデータおよびそれに対応する日本1987年延長表のデータは大阪経済大学泉弘志先生によって提供され、ここで感謝の意を表したい。

ただし、石油部門と天然ガス部門の輸出入データに関しては28部門に含まれていないため、中国統計出版社『中国能源統計年鑑1991』211ページによって別途で推計した。

4) 1ドル=3.72元=144.6円である。

5) 同注1

表1 中国と日本の化石燃料消費量の比較

部門	中国					日本													
	産出構成	直接投入量 Tcal	固体	液体	ガス	誘発消費量 Tcal	固体	液体	ガス	産出構成	直接投入量 Tcal	固体	液体	ガス	誘発消費量 Tcal	固体	液体	ガス	単位消費
(1) 農林水産業	18.6	45,044(0.9)	100.0	0.0	0.0	351,995(7.0)	72.3	23.2	4.5	51	0(0.0)	0.0	0.0	0.0	19,051(0.7)	23.0	67.8	9.2	8
(2) 鉱物炭	0.7	23,437(0.5)	99.1	0.9	0.0	10,038(0.2)	82.4	16.2	1.4	214	132(0.0)	100.0	0.0	0.0	70(0.0)	23.1	68.0	8.9	19
(3) 石油	1.1	38,952(0.8)	99.8	0.0	0.2	29,483(0.6)	86.4	12.4	1.3	203	0(0.0)	0.0	0.0	0.0	-2(-0.0)	24.8	50.6	24.6	13
(4) 石炭	1.0	4,996(0.1)	62.5	29.8	7.7	20,586(0.4)	76.2	21.4	2.4	82	89(0.0)	0.0	0.0	100.0	1(0.0)	12.3	28.9	58.8	21
(5) 天然ガス	0.1	4,115(0.1)	2.4	1.6	96.0	75(0.0)	37.3	15.9	46.7	195	684(0.0)	0.0	0.0	0.0	14(0.0)	12.9	25.7	61.4	23
(6) 食料	7.2	50,884(1.0)	99.5	0.0	0.5	255,679(5.1)	78.5	19.0	2.5	75	19(0.0)	100.0	0.0	0.0	120,568(4.2)	24.5	62.2	13.3	6
(7) 繊維工業製品	8.3	44,920(0.9)	100.0	0.0	0.0	236,170(4.7)	78.2	17.6	4.2	91	98(0.0)	98.1	0.0	1.9	48,823(1.7)	24.6	58.0	17.4	9
(8) 紙・木製品	2.0	89,137(1.8)	99.4	0.1	0.5	39,356(0.8)	85.3	12.7	2.0	214	8,569(0.3)	99.5	0.0	0.5	19,558(0.7)	30.1	54.7	15.2	13
(9) 化学製品	5.3	549,802(10.9)	64.7	20.4	14.9	183,815(3.7)	69.7	21.3	9.1	345	23,238(0.8)	53.6	0.1	46.3	79,268(2.8)	25.5	59.5	15.0	26
(10) 石炭・石油製品	1.7	1,264,845(25.2)	33.4	66.5	0.1	253,465(5.0)	36.2	63.6	0.2	1,176	2,122,673(73.7)	21.2	74.9	3.9	631,272(21.9)	21.2	74.8	4.1	313
(11) 窯業・土石製品	3.1	541,668(10.8)	98.9	0.0	1.1	27,218(0.5)	88.8	9.9	1.3	482	52,058(1.8)	95.8	0.0	4.2	16,859(0.6)	45.0	45.9	9.1	30
(12) 鉄鋼	3.1	454,859(9.1)	95.8	0.5	3.6	21,656(0.4)	84.3	13.2	2.6	479	6,008(0.2)	35.0	0.0	65.0	30,862(1.1)	23.0	63.7	13.2	34
(13) 非鉄金属	1.2	40,100(0.8)	92.0	2.8	5.2	13,941(0.3)	82.5	15.2	2.3	308	2,090(0.1)	63.0	0.0	37.0	4,434(0.2)	27.7	48.1	24.2	16
(14) 金属製品	1.9	33,614(0.7)	94.1	1.6	4.3	72,224(1.4)	81.9	15.4	2.7	235	834(0.0)	30.4	0.0	69.6	24,649(0.9)	24.1	59.2	16.7	12
(15) 一般機械	5.8	76,353(1.5)	94.6	0.9	4.5	366,610(7.3)	81.1	16.3	2.6	171	340(0.0)	27.5	0.0	72.5	111,951(3.9)	24.8	57.9	17.3	9
(16) 電気機械	3.8	27,210(0.5)	98.0	0.0	2.0	210,838(4.2)	80.7	16.6	2.8	159	84(0.0)	25.9	0.0	74.1	126,642(4.4)	25.8	55.8	18.4	8
(17) 送電機械	1.6	15,338(0.3)	97.0	0.6	2.4	89,390(1.8)	80.8	16.8	2.5	154	127(0.0)	7.0	0.0	93.0	100,375(3.5)	25.2	57.4	17.4	8
(18) 機械設備修理	0.5	10,060(0.2)	98.2	0.0	1.8	59,357(1.2)	80.6	17.1	2.2	172	82(0.0)	100.0	0.0	0.0	8,583(0.3)	25.4	57.6	17.0	7
(19) 他の製造業	3.7	30,689(0.6)	96.1	3.2	0.7	108,347(2.2)	77.5	17.9	4.6	141	1,421(0.0)	67.1	17.7	15.2	33,781(1.2)	26.0	56.8	17.2	10
(20) 建設	9.6	45,025(0.9)	99.3	0.1	0.6	1,551,561(30.9)	81.9	16.2	1.9	235	24(0.0)	100.0	0.0	0.0	428,600(14.9)	28.8	59.5	11.7	10
(21) 電力・熱供給	1.5	1,240,570(24.7)	93.7	5.6	0.6	130,453(2.6)	90.4	8.9	0.7	1,317	645,181(22.4)	27.6	27.0	45.4	213,513(7.4)	26.6	34.2	39.2	89
(22) 水道・廃棄物処理	0.2	1,995(0.0)	96.3	0.0	3.7	14,465(0.3)	79.9	18.9	1.2	256	238(0.0)	100.0	0.0	0.0	24,816(0.9)	24.7	54.8	20.5	12
(23) 商業	4.0	44,676(0.9)	99.2	0.0	0.8	85,960(1.7)	81.6	16.7	1.7	88	28(0.0)	100.0	0.0	0.0	181,721(6.3)	23.2	64.9	11.9	6
(24) 金融・保険不動産	2.7	52,336(1.0)	99.6	0.0	0.3	41,886(0.8)	89.5	9.3	1.2	64	0(0.0)	0.0	0.0	0.0	44,371(1.5)	25.6	59.0	15.3	2
(25) 輸送	3.2	163,686(3.3)	99.9	0.0	0.1	263,816(5.2)	64.0	35.5	0.5	246	68(0.0)	100.0	0.0	0.0	105,319(3.7)	22.4	67.6	10.0	13
(26) 通信・郵便	0.2	2,229(0.0)	100.0	0.0	0.0	4,208(0.1)	79.6	18.9	1.5	75	0(0.0)	0.0	0.0	0.0	6,820(0.2)	24.6	55.6	19.8	3
(27) 公務	1.5	23,850(0.5)	99.9	0.0	0.1	102,676(2.0)	82.9	25.9	1.2	101	675(0.0)	99.6	0.0	0.4	80,994(2.8)	24.5	60.6	14.9	5
(28) 教育・研究・医療	3.0	74,758(1.5)	98.6	1.2	0.3	323,221(6.4)	80.5	15.8	3.7	167	7,361(0.3)	100.0	0.0	0.0	214,017(7.4)	26.8	57.7	15.6	8
(29) サービス	3.6	30,142(0.6)	96.7	2.4	0.9	156,798(3.1)	78.0	19.9	2.1	93	7,880(0.3)	78.0	13.7	8.3	203,070(7.1)	25.1	61.6	13.3	7
(30) 生産使用計	100.0	5,025,305(100.0)	76.9	20.5	2.6	5,025,289(100.0)	76.9	20.5	2.6	198**	2,880,002(100.0)	24.9	61.3	13.8	2,880,002(100.0)	24.9	61.3	13.8	15**
(31) 消費使用		757,535	99.9	0.0	0.1	757,535	99.9	0.0	0.1		4,558	12.8	0.0	87.2	4,558	12.8	0.0	87.2	

* 単位消費とは最終需要万ドル単位当たりの Gcal 化石燃料単位消費のことである。

** これは加重平均値である。

なお、単位が明示していない場合はすべて%であって、構成を表すものである。

3 化石燃料の使用による汚染物質の発生

化石燃料を燃焼すれば、化石燃料に含まれた二酸化炭素ガス、硫黄酸化物や窒素酸化物などを大気に排出することになる。それが国内の環境問題にとどまらず、地球温暖化や酸性雨等の地球的規模の環境問題と関わりがある。

(1) CO₂ について

大気中の二酸化炭素濃度が増加すると、温室効果によって気温が上昇し、海面の上昇や降雨パターン・生態系への影響が生じる。二酸化炭素濃度の増加は、化石燃料の使用増大が主な原因となっているが、その排出を防止する技術は現時点では存在しない。この意味で SO₂ など他の汚染物質とは若干違う。

形態別化石燃料の熱量単位あたり CO₂ 発生量が異なり、石炭は 0.366 g/kcal で第一位、次は石油 0.287 g/kcal、天然ガス 0.209 g/kcal である。¹⁾

表 2 は形態別化石燃料の使用によって発生する CO₂ を中日両国について計測したものである。形態別化石燃料の直接投入量と消費量については前節と同様の方法で算出し、利用したデータベースはエネルギーとして使用した化石燃料の量であるので、そこからそれぞれの炭素含有量から CO₂ の発生を計測した。直接排出量は化石燃料の直接投入量によるものであって、発生量は化石燃料の消費量によるものである。

化石燃料の消費構成が中国は石炭 79.9%・石油 17.9%・天然ガス 2.2% であり、日本は石炭 24.9%・石油 61.2%・天然ガス 13.9% であって、石炭に多く依存する中国は CO₂ の発生も一層増加する。

化石燃料による CO₂ の総発生量が中国では日本の 2.36 倍であり、そのうち各産業部門の生産活動による発生は 2.04 倍である。いずれも表 1 の化石燃料の直接投下及び消費より高い倍率である。これらの排出及び発生は八割以上が石炭によるものである。

各産業からみても、日本と比べて中国の CO₂ 発生が化石燃料の使用倍率よりさらに多くなっている。とくに電力・熱供給・鉄鋼・窯業・土石製品など石炭が直接大量使用する産業部門は一層多く発生することが示されている。

1) 吉岡完治他「環境分析のための産業連関表の作成」4 ページ【KEIO ECONOMIC OBSERVATORY OCCASIONAL PAPER】1990年10月。

(2) SO₂ について

硫黄酸化物や窒素酸化物の排出により、降雨の酸性化（pH 5.6 以下）が進んで、農林産業生産・建造物などへの被害が生じ、さらに二酸化炭素の吸収源である森林の破壊によって地球温暖化にも悪影響を与える。

中国は産炭国であり、南方では硫黄分の多い低品質炭が産出、消費されており、高煙突化による着地時濃度の低減と都市部での低硫黄炭の利用が実行されているが、脱硫装置の設置については、国家の実験として四川省重慶市洛横発電所に日本より高脱硫装置（95%脱硫）を購入し、入手した図面を参考にして国産化を図っているが、まだ先になる見通しである。現在、脱硫効率は多少劣るが設備費の安い脱硫装置の導入を進めている。¹⁾

1992年中国全土の SO₂ の排出量は 1,685 万トンで日本の 15 倍（日本 1990 年 110 万トン）であり、中国国家環境保護局による 2000 年の SO₂ 排出見通しは 2,000 万トンである。²⁾ その発生の多くは沿海地域であり、沿海 11 省・市合計で全排出の 48%（面積は 14%）、四川省も含めると 57%（面積は 19%）を占める。³⁾

SO₂ 濃度 1988 年間全国平均値は 0.034 ppm で日本の 3.4 倍であり、平均値最高の蘭州は 0.169 ppm となっている。⁴⁾⁵⁾

表2 中国と日本のCO₂発生量の比較

部門	中国				日本															
	産出構成	直接排出量1000t	液体	ガス	誘発発生量1000t	固体	液体	ガス	誘発発生量1000t	固体	液体	ガス	単位*発生							
(1) 農林水産物	18.6	16,500(0.9)	100.0	0.0	119,925(6.9)	77.8	19.5	2.8	18	(1) 2.3	0(0.0)	0.0	0.0	5,672(0.7)	28.3	65.2	6.4	2		
(2) 鉱炭	0.7	8,568(0.5)	99.3	0.7	3,525(0.2)	86.0	13.2	0.8	75	(2) 0.1	48(0.0)	100.0	0.0	0.0	21(0.0)	28.4	65.4	6.2	6	
(3) 石油	1.1	14,257(0.8)	99.9	0.0	10,450(0.6)	89.3	10.0	0.7	72	(3) 0.0	0(0.0)	0.0	0.0	0.0	-1(-0.0)	31.6	50.5	17.9	4	
(4) 天然ガス	1.0	1,650(0.1)	69.3	25.8	4.9	7,111(0.4)	80.8	17.7	1.5	28	(4) 0.0	19(0.0)	0.0	0.0	0(0.0)	17.9	33.1	49.0	5	
(5) 化学製品	0.1	879(0.1)	4.1	2.2	93.8	21(0.0)	48.9	16.3	34.8	55	(5) 0.0	143(0.0)	0.0	0.0	3(0.0)	19.0	29.5	51.4	6	
(6) 食品	7.2	18,596(1.1)	99.7	0.0	0.3	88,768(5.1)	82.8	15.6	1.5	26	(6) 5.6	7(0.0)	100.0	0.0	0.0	35,647(4.2)	30.3	60.2	9.4	2
(7) 繊維工業製品	8.3	16,454(0.9)	100.0	0.0	0.0	81,630(4.7)	82.9	14.6	2.5	31	(7) 2.0	36(0.0)	98.9	0.0	1.1	14,283(1.7)	30.8	56.8	12.4	3
(8) 紙・木製品	2.0	32,577(1.9)	99.7	0.1	0.3	13,890(0.8)	88.5	10.3	1.2	75	(8) 2.4	3,132(0.4)	99.7	0.0	0.3	5,842(0.7)	36.9	52.5	10.6	4
(9) 化学製品	5.3	179,517(10.3)	72.6	17.9	9.5	61,587(3.5)	76.2	18.2	5.6	116	(9) 3.2	6,814(0.8)	67.0	0.1	33.0	23,395(2.7)	31.6	57.7	10.6	8
(10) 石油製品	1.7	396,079(22.8)	39.1	60.8	0.0	79,908(4.6)	42.1	57.8	0.1	371	(10) 1.5	637,496(74.9)	25.8	71.5	2.7	189,536(22.3)	25.8	71.3	2.8	94
(11) 窯業・土石製品	3.1	197,463(11.4)	99.4	0.0	0.6	9,697(0.6)	91.2	8.0	0.8	172	(11) 1.4	18,727(2.2)	97.6	0.0	2.4	5,317(0.6)	52.3	41.7	6.0	9
(12) 鉄鋼	3.1	163,818(9.4)	97.5	0.4	2.1	7,618(0.4)	87.8	10.7	1.5	168	(12) 2.2	1,584(0.2)	48.6	0.0	51.4	9,092(1.1)	28.7	62.0	9.4	10
(13) 非鉄金属	1.2	14,270(0.8)	94.7	2.2	3.1	4,887(0.3)	86.2	12.4	1.4	108	(13) 0.5	644(0.1)	75.0	0.0	25.0	1,285(0.2)	35.0	47.6	17.4	5
(14) 金属製品	1.9	12,043(0.7)	96.2	1.3	2.5	25,266(1.5)	85.8	12.6	1.6	82	(14) 2.4	214(0.0)	43.4	0.0	56.6	7,214(0.8)	30.1	57.9	11.9	4
(15) 一般機械	5.8	27,373(1.6)	96.7	0.7	2.6	128,002(7.4)	85.1	13.4	1.6	60	(15) 4.6	86(0.0)	39.9	0.0	60.1	32,784(3.9)	31.0	56.7	12.3	3
(16) 電気機械	3.8	9,880(0.6)	98.8	0.0	1.2	73,516(4.2)	84.7	13.6	1.7	55	(16) 5.6	21(0.0)	38.1	0.0	61.9	37,072(4.4)	32.3	54.6	13.1	2
(17) 輸送機械	1.6	5,554(0.3)	98.2	0.5	1.4	31,199(1.8)	84.8	13.8	1.5	54	(17) 4.2	28(0.0)	11.7	0.0	88.3	29,418(3.5)	31.5	56.1	12.4	2
(18) 機械設備修理	0.5	3,657(0.2)	99.0	0.0	1.0	20,723(1.2)	84.6	14.1	1.3	60	(18) 1.5	30(0.0)	100.0	0.0	0.0	2,519(0.3)	31.7	56.2	12.1	2
(19) 他の製造業製品	3.7	11,128(0.6)	97.1	2.5	0.4	37,357(2.1)	82.4	14.8	2.8	49	(19) 3.2	466(0.1)	74.9	15.5	9.6	9,927(1.2)	32.4	55.4	12.2	3
(20) 建設	9.6	16,447(0.9)	99.6	0.1	0.3	543,690(31.3)	85.6	13.3	1.1	82	(20) 9.9	9(0.0)	100.0	0.0	0.0	128,742(15.1)	35.1	56.7	8.1	3
(21) 電力・熱供給	1.5	447,611(25.8)	95.2	4.5	0.4	46,718(2.7)	92.5	7.1	0.4	472	(21) 1.8	176,238(20.7)	37.0	28.3	34.7	59,194(7.0)	35.2	35.3	29.5	25
(22) 水道・廃棄物処理	0.2	719(0.0)	97.9	0.0	2.1	5,052(0.3)	83.8	15.5	0.7	89	(22) 0.9	87(0.0)	100.0	0.0	0.0	7,203(0.8)	31.2	54.1	14.7	3
(23) 商業	4.0	16,310(0.9)	99.6	0.0	0.4	30,110(1.7)	85.3	13.7	1.0	31	(23) 9.3	10(0.0)	100.0	0.0	0.0	53,756(6.3)	28.8	62.9	8.4	2
(24) 金融・保険不動産	2.7	19,141(1.1)	99.8	0.0	0.2	14,951(0.9)	91.8	7.5	0.7	23	(24) 10.7	0(0.0)	0.0	0.0	0.0	13,090(1.5)	31.8	57.3	10.8	0
(25) 運輸	3.2	59,929(3.4)	99.9	0.0	0.1	88,951(5.1)	69.5	30.1	0.3	83	(25) 3.6	25(0.0)	100.0	0.0	0.0	31,243(3.7)	27.7	65.3	7.0	4
(26) 通信・郵便	0.2	817(0.0)	100.0	0.0	0.0	1,468(0.1)	83.5	15.6	0.9	26	(26) 1.1	0(0.0)	0.0	0.0	0.0	1,983(0.2)	31.0	54.7	14.2	1
(27) 公務	1.5	8,733(0.5)	99.9	0.0	0.1	35,297(2.0)	77.7	21.6	0.7	35	(27) 3.5	247(0.0)	99.8	0.0	0.2	23,847(2.8)	30.5	59.0	10.6	2
(28) 教育・研究・医療	3.0	27,283(1.6)	98.9	0.9	0.2	112,447(6.5)	84.8	13.0	2.2	58	(28) 6.0	2,697(0.3)	100.0	0.0	0.0	63,289(7.4)	33.1	55.9	11.0	2
(29) サービス	3.6	10,939(0.6)	97.6	1.9	0.5	54,426(3.1)	82.3	16.4	1.3	32	(29) 10.6	2,697(0.3)	83.5	11.4	5.1	60,134(7.1)	31.0	59.6	9.4	2
(30) 生産使用計	100.0	1,738,198(100.0)	81.5	17.0	1.5	1,738,191(100.0)	81.5	17.0	1.5	68**	(30) 100.0	851,505(100.0)	30.9	59.4	9.7	851,505(100.0)	30.9	59.4	9.7	4**
(31) 消費使用		277,313	99.9	0.0	0.1	273,133	99.9	0.0	0.1	(31)	1,043	20.5	0.0	79.5	1,043	20.5	0.0	79.5		

* 単位発生とは最終需要万ドル単位当たりのCO₂トン単位の発生である。

** これは加重平均値である。

この数値はすべてCO₂の換算値である。なお、単位が明示していない場合はすべて%であって、構成を表すものである。

高煙突化や都市部での高硫黄炭の使用禁止は被害の郊外への拡散をもたらしている。酸性雨の被害についての中国全土の状況ははっきりしていないが、酸性雨の出現頻度が60%以上の地域は秦嶺山脈以南に分布し、四川盆地・貴州省の一部地域・広東省・広西自治区などでは、森林や農作物（野菜・米など）の枯れや生育不良、文化財や鉄橋などの建築物の腐食など、酸性雨による局地的な被害が顕在化し、莫大な経済的損失をもたらしているとして大きな問題となっている。酸性雨はさらに廈門や青島など東部海岸にも広がっている。

日本の場合は石炭火力発電所では環境規制をクリアするため高品位炭（低硫黄炭：硫黄分1.2%以下）を選択的に使用しており、また設置されている大型の脱硫装置では石灰石石膏法（液状の吸収剤を使用）が主流であって、高い脱硫効果を実現している。むしろ国内で人為的に発生するより、火山などの自然発生源の寄与を考慮の必要があり、また中国大陸から気流に乗るような移動で日本への影響が懸念されている。しかし大陸からの長距離移動について実際の観測では確認されていない。

以下で中日両国のSO₂発生実態について計測してみる。

中国のデータベースについては、『1990年環境年鑑⁸⁾』による1987年SO₂排出量1,412万トンの発表があるが、その計算経路が不明のため、利用できない。

一方、政府が「本届政府環境保護目標と任務」の作成におけるSO₂排出量予測を行う際、中国原料炭含硫量を1.12%とし、他の化石燃料によるSO₂の発生は総発生の10%とする計算基準を採用している。ここでは同基準を利用する。

まず、1987年原料炭の消費量を連関表によって算出した各産業部門の石炭投入構成率にかけ、各部門の原料炭の直接投入量を計測し、1987年時点では、脱硫を一切行っていないため、原料炭の投入量より、原料石炭の直接投入によって排出する硫黄の量を算出し、さらに上記(3)式の逆行列と国内生産に対する最終需要を対角要素とするマトリックスを利用して、各最終需要によって誘発される石炭の硫黄発生量を計測する。

石炭以外の排出については、総排出の10%がこれによるものと想定して算出し、石油と天然ガスのそれぞれの投入量に比例して排出されるものとして、直接排出量および各最終需要に誘発される硫酸化物発生量を算出した。

この二つの部分の合計が各産業の硫黄総発生量である。

日本の各産業の硫酸化物の直接排出量については、慶応大学の吉岡完治氏らの研究成果を利用することとし¹¹⁾、さらに最終需要に対応する各産業の誘発発生量を算出した。

表3はSO₂直接排出量及び最終需要による誘発総発生量に関する中国と日本についての計算結果である。

中国SO₂の総排出量は日本の13倍であり、また、生産過程のみによる排出は10倍である。最終需要単位あたりによる発生はさらに百倍にのぼっており、SO₂の発生は圧倒的に多い。これは使用する化石燃料の種類・品質の寄与もあるが、中国におけるエネルギー使用効率の低さと、脱硫装置をつけていないことが決定的な原因になるであろう。

まず、直接排出量を見ると、この指標については中国の直接排出量は石炭・石油・天然ガスという一次化石燃料のみによる排出であって、吉岡氏らの研究による日本の計算には化石燃料の加工品である二次燃料による排出も含まれていて、完全に統一されていないことを念頭におかなければならない。中国が硫黄を直接もっとも多く出しているのは電力・熱供給、石炭・石油製品、窯業・土石製品業、鉄鋼部門であり、これは石炭・石油製品部門を除けば、ほとんど石炭の直接燃焼使用である。一方、吉岡氏らの研究において日本の排出量のほうが圧倒的に多くなっているのは輸送業¹²⁾であって、電気・熱供給部門は第2位となり、2部門併せて総排出のちょうど半分を占める。

最終需要による各産業の誘発発生量を見ても、両国の発生構造が著しく違っている。日本の輸送業は直接排出量にくらべて半減しているが、なお第1位になっている。これは波及効果の要素よりも、最終需要にくらべて中間生産物による輸送の利用が圧倒的に多いからである。その次は建設、教育・研究・医療、食料品となっている。中国は建設業が圧倒的に多く、全体発生の3割以上を占める。

表3 中国と日本のSO₂発生量の比較

部門	中 国				日 本						
	産出構成	直接排出量 t	誘発発生量 t	ガス 単位発生*	産出構成	直接排出量 t	誘発発生量 t	単位発生*			
(1) 農 業	18.6	167,066(1.1)	1,060,262(6.7)	89.1	9.5	1.5	155	(1) 2.3	52,928(3.5)	20,244(1.3)	8
(2) 林 産 物	0.7	86,398(0.5)	32,824(0.2)	93.5	6.1	0.4	700	(2) 0.1	841(0.1)	17(0.0)	5
(3) 炭	1.1	144,277(0.9)	99,311(0.6)	95.1	4.5	0.4	683	(3) 0.0	0(0.0)	0(0.0)	5
(4) 石 油	1.0	13,789(0.1)	64,103(0.4)	90.8	8.4	0.8	254	(4) 0.0	18(0.0)	0(0.0)	5
(5) 天 然 気	0.1	4,324(0.0)	153(0.0)	67.9	9.6	22.5	399	(5) 0.0	166(0.0)	3(0.0)	6
(6) 食 料	7.2	187,980(1.2)	810,623(5.2)	91.8	7.4	0.8	238	(6) 5.6	64,094(4.2)	132,068(8.6)	7
(7) 織 維 工 業 製 品	8.3	166,604(1.1)	745,858(4.7)	91.8	6.9	1.3	287	(7) 2.0	36,575(2.4)	50,508(3.3)	9
(8) 紙 ・ 木 製 品	2.0	329,261(2.1)	131,395(0.8)	94.7	4.7	0.6	713	(8) 2.4	84,418(5.5)	22,900(1.5)	15
(9) 化 学 製 品	5.3	1,538,065(9.8)	539,559(3.4)	88.0	8.9	3.0	1,013	(9) 3.2	84,102(5.5)	37,352(2.4)	12
(10) 石 炭 ・ 石 油 製 品	1.7	2,606,089(16.6)	539,545(3.4)	63.1	36.8	0.1	2,504	(10) 1.5	33,184(2.2)	12,381(0.8)	6
(11) 窯 業 ・ 土 石 製 品	3.1	1,992,567(12.7)	93,275(0.6)	96.1	3.6	0.4	1,651	(11) 1.4	45,637(3.0)	7,510(0.5)	13
(12) 鉄 鋼	3.1	1,636,111(10.4)	71,746(0.5)	94.3	4.9	0.8	1,586	(12) 2.2	114,157(7.4)	24,274(1.6)	27
(13) 非 鉄 金 属 製 品	1.2	140,263(0.9)	45,593(0.3)	93.6	5.7	0.7	1,006	(13) 0.5	17,659(1.2)	4,541(0.3)	16
(14) 金 属 機 械	1.9	119,397(0.8)	235,105(1.5)	93.4	5.8	0.8	765	(14) 2.4	2,294(0.1)	15,773(1.0)	8
(15) 一 般 機 械	5.8	272,130(1.7)	1,185,499(7.5)	93.0	6.2	0.8	554	(15) 4.6	4,679(0.3)	61,583(4.0)	5
(16) 電 気 機 械	3.8	99,419(0.6)	679,486(4.3)	92.8	6.3	0.9	511	(16) 5.6	4,279(0.3)	65,008(4.2)	4
(17) 輸 送 機 械	1.6	55,671(0.4)	288,394(1.8)	92.8	6.4	0.8	495	(17) 4.2	10,340(0.7)	61,011(4.0)	5
(18) 機 械 設 備 修 理	0.5	36,823(0.2)	191,368(1.2)	92.8	6.6	0.7	554	(18) 1.5	2,856(0.2)	4,631(0.3)	4
(19) 他 の 製 造 業 製 品 設 計	3.7	110,801(0.7)	340,307(2.2)	91.6	7.0	1.4	444	(19) 3.2	11,241(0.7)	20,305(1.3)	6
(20) 建 設	9.6	166,163(1.1)	5,052,389(32.1)	93.3	6.1	0.6	765	(20) 9.9	4,928(0.3)	226,972(14.8)	5
(21) 電 力 ・ 熱 供 給	1.5	4,406,975(28.0)	452,659(2.9)	96.6	3.2	0.2	4,570	(21) 1.8	226,602(14.8)	66,615(4.3)	28
(22) 水 道 ・ 廃 棄 物 処 理	0.2	7,198(0.0)	46,394(0.3)	92.4	7.3	0.4	821	(22) 0.9	32,248(2.1)	22,463(1.5)	11
(23) 商 業	4.0	164,755(1.0)	279,252(1.8)	93.1	6.3	0.5	285	(23) 9.3	27,117(1.8)	76,588(5.0)	3
(24) 金 融 ・ 保 険 不 動 産	2.7	193,575(1.2)	144,287(0.9)	96.3	3.3	0.3	219	(24) 10.7	204(0.0)	21,468(1.4)	1
(25) 輸 送	3.2	606,601(3.9)	743,004(4.7)	84.3	15.5	0.2	692	(25) 3.6	529,664(35.2)	289,225(18.9)	35
(26) 通 信 ・ 郵 務	0.2	8,268(0.1)	13,461(0.1)	92.2	7.3	0.5	239	(26) 1.1	985(0.1)	4,026(0.3)	2
(27) 公 務	1.5	88,395(0.6)	311,648(2.0)	89.1	10.5	0.4	306	(27) 3.5	7,746(0.5)	39,826(2.6)	3
(28) 教 育 ・ 研 究 ・ 医 療	3.0	274,578(1.7)	1,040,020(6.6)	92.8	6.0	1.1	538	(28) 6.0	70,996(4.6)	141,356(9.2)	5
(29) サ ー ビ ス	3.6	109,253(0.7)	495,278(3.1)	91.6	7.8	0.7	294	(29) 10.6	51,771(3.4)	104,035(6.8)	4
(30) 生 産 使 用 計	100.0	15,732,796(100.0)	15,732,796(100.0)	91.6	8.1	0.8	616**	(30) 100.0	1,532,683(100.0)	1,532,682(100.0)	6**
(31) 消 費 使 用		4,130,314	4,130,314	85.7	14.2	0.1		(31)	5,247	5,247	

* 単位発生とは最終需要方ドル単位当たりのSO₂キログラム単位の発生である。

** これは加重平均値である。

この数値はすべてSO₂の換算値である。なお、単位が明示していない場合はすべて%であって、構成を表すものである。

最終需要の単位発生量を見れば比較的に低公害部門として、中国は農林水産業、金融・保険・不動産、食料品、通信・郵便の順であって、日本は輸送を除けば、サービス産業一般が低い。

- 1) 通商産業省立地公害局資料「中国脱硫対策への支援について（中国脱硫プロジェクト）」。
経済協力課H4年4月「中国のエネルギー・環境問題について」19ページ、などによる。
- 2) 中国環境年鑑編集委員会編『1993年環境年鑑』中国環境科学出版社出版、64ページ。
- 3) 1991年11月 JICA 調査報告による。
- 4) 11省とは、上海市、天津市、北京市、遼寧省、山東省、江蘇省、浙江省、広東省、山西省、四川省、貴州省、甘肅省である。
- 5) 日本は0.01 ppm。東京・横浜・川崎・四日市・堺の平均。日本の年平均値の過去最高は昭和42年の0.059 ppm。
- 6) (財)日本環境衛生センター調べによる。
- 7) 汚染物質移動経路についての中国側の調査によれば、低高度で東部へ移動して北へ向かい、中国中央部へ戻っている。高高度で移動しておらず、広範囲に東へ広がっている証拠がないという。日本経済新聞、1993年11月14日付。
- 8) 同注2。
- 9) 同注2、48ページ「本屆政府環境保護目標与任務的説明」による。中国原料炭平均含硫量はこれ以上であると思われる。このデータは石炭の不完全燃焼分を除いたものだと思う。
- 10) 『1988年煤炭工業年鑑』による。単位は万トンである。
- 11) 吉岡完治他前掲書である。SO₂の排出係数は各種エネルギーの硫黄含有量より脱硫処理後のデータだという。ただし、部門分類は本研究と相違があるため、調整を行った。当研究に統合された部門についてはそれぞれ化石燃料の使用量で比例配分し、当研究の細分類については合計をとった。調整は以下の4点である。

当研究☆鉱業	本研究☆鉱業
	☆石炭
	☆石油
	☆天然ガス
◎一般機械	◎一般機械
◎精密機械	
◇その他の製造工業	◇機械設備修理
	◇他の製造業製品
△金融・保険	△金融・保険・不動産
△不動産	

また、当研究の分類不明項目は各産業の化石燃料の使用量で比例配分した。

- 12) OECD [1991], OECD Environment Data, 1991 の日本に関する SO_x についてのデータは、自動車起源の排出量だけが含まれ、これより著しく低い数値であるが、吉岡氏らの研究では、自動車起源の排出量のみではなく、船舶・航空機・鉄道など他の移動発生源によるものも含まれている。

4 終わりに

中国と日本の物価水準が異なり、単純に為替レートによる換算で比較するのは問題が生じる。中国経済の総規模については国際金融機関や研究機関の発表によれば、購買力平価に基づく統計手法で、為替レートの四倍以上に評価されるものが多い¹⁾。適当な購買力平価で両国の連関表を再調整することが今後の課題である。

また、化石燃料を含むエネルギーの消費は経済規模のみからではなく、人口とも密接な関係があり、人口の見地からみれば、中国は日本の約10倍であり、したがって一人あたりの場合は、化石燃料の消費量が日本は252億 cal²⁾で、中国54億 cal³⁾の5倍にもなる。

さらに排出による被害や自然による吸収力の見地から、国土や自然環境との関係も考える必要がある。

しかし、GNP 単位あたりから見る限り、自動化が遅れているにもかかわらず、中国は化石燃料の使用が日本の16.5倍、CO₂の発生が18倍、SO₂の発生がさらに102.7倍にも上り、エネルギー効率改善の余地が極めて大きいと考えられる。中国のこれからの経済成長、とくに急速な工業化にともない、そのエネルギー効率改善の問題は地球的な環境問題、とくにアジア地域にとってますます重要になっている。改善を実現するために、エネルギー計画と利用可能な技術に関する有用な情報を生み出し、エネルギー効率の高い製品の輸

出版売と導入を進め、エネルギー効率の高い製品に関する財政政策と貿易政策を改善するなどの努力をしなければならない。

中国と日本に関しては、日本によるエネルギー効率を高める技術、脱硫装置のような汚染をクリアする技術の中国への移転による大きな貢献が期待できる。グローバルな地球環境問題を考慮する場合は、改善余地の少ない日本よりも比較的到低コストで大きい効果が期待できる中国への支援が大きい成果が挙げられると思う次第である。

- 1) 世界銀行（Global Economic Prospects and Developing Countries 1993）。国際通貨基金（IMF）（World Economic Outlook, May 1993）による。
- 2) 『世界統計年鑑1991』「商業エネルギーの生産、貿易及び消費」によって算出。
- 3) 『中国能源統計年鑑1987』によって算出。

附論 環境問題を取り入れた場合の産業連関モデル

以上は汚染物質の除去を含める各種環境保全活動を一切取り入れることがなく、汚染物質の発生のみに関する非常に限定された分析である。以下は環境保全活動を明示的に組みこんだ場合の産業連関モデルの考え方について、私なりに整理したものである。

I モデルの枠組

環境保全を考慮する場合の産業連関表（物量表示）の枠組は

$$\begin{array}{l}
 \text{(a)} \quad S = X + U + F \\
 \begin{array}{cccc}
 \text{産出量} & \text{生産への} & \text{環境保全} & \text{最終需要} \\
 & \text{中間投入} & \text{への投入} & \\
 \end{array} \\
 \text{(b)} \quad B = Z + W + Q \\
 \begin{array}{cccc}
 \text{純汚染} & \text{生産過程} & \text{環境部門の} & \text{消費過程} \\
 \text{発生量} & \text{での発生} & \text{発生と除去} & \text{での発生} \\
 \end{array} \\
 \text{(c)} \quad L = L' + L'' \\
 \begin{array}{ccc}
 \text{総労働} & \text{生産への} & \text{環境への} \\
 \text{使用量} & \text{労働投入} & \text{労働投入} \\
 \end{array}
 \end{array}$$

を基礎関係として、表1で示される。

表1 環境保全産業連関表（物量表示）

X	U	F	S
Z	W	Q	B
L'	L''	O	L

表1の環境保全産業連関表は、n種類からなる環境汚染因子を考え、生産活動を行う産業はm部門によって構成されている。

産業部門とはひとまず同一の財貨・サービスを生産する企業の集合体としておこう。Xは行と列がともにこのm個の産業部門に対応して、一般的に正方行列である。

これに対して、環境保全部門とは単一の環境汚染因子を処理する企業（あるいは公団のような組織）の集合体であって、部門と汚染種類が1対1に対応している。すなわち、ある技術的な除去プロセスから現実にと

り除かれる汚染種類が複数個存在することがあっても、ここではそれぞれが別々の部門に属するように扱われる。U 行列の列は n 種類の環境汚染因子に、行は m 個の産業部門に対応する。したがって、U は一般的に非正方行列となる。

付加価値は単純化のために、労働用役のみからなるものとし、それを産業部門から (L') と環境保全部門から (L'') という二つの部分によって構成される。最終需要部門についても、同じ目的で、その合計のみ表示し、内容として主に労働用役により発生する消費需要と考える。

環境汚染は人間の生産活動によるのみではなく、消費活動にも依存し、そして環境保全部門が産業部門から投入を受け、汚染処理活動を行う際にも発生するものであるという観点から、生産活動を行う過程で排出される汚染物質を表す Z 、消費過程から発生する有害物質を表す Q^1 と、環境保全部門の汚染除去 (マイナス表示) と汚染除去活動において発生する有害物質 (プラス表示) の和 (ネットの汚染排出量) を表す W をそれぞれ配置し、それらの総和として人間活動による環境汚染の実際発生量 (ネットの量) B が右端に示されている。 $Z \cdot W \cdot Q$ の三つの行列がともに行は各環境汚染因子種類に、列はそれぞれの発生源に対応している。一般的に W 以外には非正方行列となる。

単一汚染因子の仮定の下で、 W 行列の対角線上にある部分のみ、各種汚染因子の純除去量を表して、負値であり、残りの部分は環境保全活動を行う際に発生するその他の種類の汚染を表している。

この表の各行は第 i 産業の生産物は、どのように他産業 (j) に産業需要として、また、環境保全部門に各汚染因子を処理するための投入として、さらに、消費需要などの最終需要に配分されているか、そしてそれらの合計として生産物がどれだけ生産されたかを表し、同じように、第 i 環境汚染因子は各産業部門、各汚染処理部門と消費需要からどのように排出され、どのぐらい除去され、そして、最終的にどれだけ発生したか、さらに、生産要素である労働を示す行には、労働量が各産業部門と各汚染処理部門にどのように配分され、それらの総和として国民経済全体でどれだけ労働量が利用されたかが示されている。

逆に、表の列は各産業部門、各汚染処理部門と最終需要部門がそれぞれの目的で活動を行うために各産業部門からどのように投入を受け、各汚染因子をどのように発生し、そして、最終需要部門を除いて、産業部門と汚染処理部門はさらに労働の投入をどう受けるかが示されている。

これは各産業部門が自らの生産活動として何の汚染除去活動も行わず、環境保全部門により、それが担われることを想定して作り上げたモデルであるが、ほかに、各産業部門が汚染因子除去装置のようなものを各自で付けることで汚染除去を行う場合は、除去装置の生産部門も内生部門である産業部門と同じ取扱いにすることも考えられる。また、“排出端での処理技術”ではなく、汚染物質と廃棄物の発生を予防するような技術を奨励すべきであり、その場合内生部門 X 、ないし最終需要部門 F の変更が求められる。

また、各生産物の最終需要に対応して汚染発生量の分析を行う場合は、最終需要によって発生する汚染因子を表す Q は最終需要 F の下の位置ではなく、たとえば右の位置に設置することも考えられるが、ここで Q が最終需要項目に対応するように、下に置くこととしている。ただし、これは最終需要の発生がすべて包括することがなく、あくまで産業部門の生産物に対応する部分のみ対象とすることを念頭におかなければならない。²⁾

このようにモデルは最終需要必要量 Y^* ($Y^* \leq Y$)、技術的制約のもとで社会的選択として決められる純汚染排出許容量 B^* ($B^* \geq B$)、及び国民経済全体の労働用役の供給可能量 L^* ($L^* \geq L$) という三つの制約を受けることとなる。³⁾

II 基本的な諸関係

(1) 生産物の需給

表 1 の環境保全産業連関表で示したように、各産業の生産物は、産業部門自身の中間投入、環境保全への投入、消費などの最終需要によって吸収される。この関係は、

$$S_i = \sum_{j=1}^m a_{ij} X_j + \sum_{j=1}^n u_{ij} E_j + F_i$$

として示される。左辺は生産物の供給を示し、右辺は、第一項が産業部門自身の中間投入、第二項が環境保全部門の需要、第三項が消費などの最終需要をそれぞれ表している。

ここで、 X_i : 第 i 産業の生産量、 a_{ij} : 第 j 産業部門で生産物一単位を生産するのに必要な第 i 産業部門生産物の量、 u_{ij} : 環境保全部門で第 j 種類の汚染因子一単位を処理するのに必要な第 i 産業生産物の量、 E_j : 環境保全部門により第 j 種類汚染因子の処理量（ Q 行列の対角要素の絶対値である）、 F_i : 第 i 産業部門の生産物に対する最終需要、である。

(2) 汚染の発生と除去

各種汚染因子は産業部門の生産活動、最終需要部門の消費活動と環境部門の汚染除去活動で発生され、そして、環境部門によって除去されることになる。排出汚染を完全に除去することは現実には不可能に近いから、除去量は総発生量の一部分にすぎない。取り残された純発生量 B は、

$$B_i = \sum_{j=1}^m z_{ij} X_j + \sum_{j=1}^n w_{ij} E_j + \sum_{j=1}^s q_{ij} Y_j$$

である。

ここで、 z_{ij} : 第 j 産業部門生産物一単位を生産するのに排出される第 i 種汚染因子の量、 w_{ij} : 第 j 種汚染処理部門一単位を除去するのに排出される第 i 種汚染因子の量（対角要素は -1 である）、 q_{ij} : 最終需要第 j 要素単位あたり第 i 種汚染因子の排出量、である。

汚染総発生量は各部門の技術に依存して、このモデルの中で決定されるものとしても、各種汚染除去量 E はむしろ社会的選択として先決的に与えられるものと考えられる。

(3) 環境保全への労働投入

環境保全への労働投入は、環境部門における直接労働使用量 L^* に加えて、物的投入による間接的労働投入が必要である。それは次式によって表す。

$$t = \sum_{i=1}^m L_i^* \{ (I-A)^{-1} \cdot (\sum_{j=1}^n u_{ij} E_j) \}$$

ここで、 L_i^* : 環境保全を行う前の労働投入量、 t : 環境保全のために必要となる生産活動への労働需要増加量、である。したがって、 t と L_i^* の合計は環境保全を行う場合の生産活動への労働投入 L' となる。すなわち、環境保全活動によって、環境への労働投入 L^* だけではなく、それに必要な物財の生産活動への労働投入も増加しなければならない。産業連関モデルはこのような無視されやすい問題に対して、理論的のみならず数量的に解答を提供する分析方法である。

(4) 環境保全の費用

環境問題は主として市場機構の不完全な働きによるものである。すなわち、多くの環境資源や商品（有害物質排出のようなマイナスのものも含め）はほとんど評価されず、したがって、市場価格機構を通じてはほとんどこれらに対する負担がなされていない。

環境保全の費用についての科学的情報がこの問題の解決の基礎となる。生産物価格を P 、労働用役価格を PL とすれば、汚染因子除去費用 C は次式で決定される。

$$C_j = \sum_{i=1}^m P_i u_{ij} + P_L L_j$$

ここで、 C_j : 第 j 種汚染因子単位あたりの除去費用、 P_i : 第 i 産業生産物の価格、 P_L : 労働用役の価格、 L_j : 第 j 種汚染因子単位除去への投下労働量、である。すなわち、環境保全の費用は産業部門からの物的投入（右辺の第一項）と労働用役（右辺の第二項）によって構成される。

- 1) 厳密に言えば最終需要の項目である資本形成や輸出などによる汚染の発生は生産過程に帰すべきである。
- 2) 例えば、ガス部門や石炭部門の生産物の最終需要分が入るが、薪、植物くず、家畜の糞などの商品化されていない

伝統的な燃料が対象とされない。

- 3) 環境・公害問題を取り入れる場合の産業連関モデルの構築についてはレオンチェフ本人によって提起された以来、多くの人によって論説されている。たとえば、

W. W. Leontief, "Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach," *Review of Economics and Statistics*, Aug. 1970.

建元正弘「環境汚染の投入・産出分析」『大阪大学経済学』第22巻1号, Aug. 1972年。

新飯田宏『産業連関分析入門』(第9章公害問題への適用) 東洋経済新報社, 1986年第8刷発行などがある。

参 考 文 献

- 土井陸雄『発展途上国の環境問題』恒星社厚生閣, 1987年。
- 伊東昭三『環境工学—大気編入門—』朝倉書房, 1984年。
- 根喜順他『総量制御排汚染許可証管理と実施』中国環境科学出版社, 1991年。
- 国際通貨基金(IMF) *World Economic Outlook*, May 1993。
- 経済協力課H 4年4月「中国のエネルギー・環境問題について」。
- W. W. Leontief, "Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach," *Review of Economics and Statistics*, Aug. 1970.
- 新飯田宏『産業連関分析入門』東洋経済新報社。
- 日本 AES 機構訳『世界エネルギーの将来, 1985—2000年』共立出版, 1977年。
- OECD International Energy Agency, *ENERGY AND THE ENVIRONMENT: POLICY OVERVIEW*, 1989; 日本開発銀行訳『地球環境とエネルギー』電力新報社, 1990年。
- Peter Nijkamp, *THEORY AND APPLICATION OF ENVIRONMENTAL ECONOMICS*, 1977; 藤岡明房・萩原清子・金沢哲夫訳『環境経済学の理論と応用』勁草書房, 1985年。
- 菅原正孝・山田健二『広域汚染と環境政策』成文堂, 1989年。
- 世界銀行 *Global Economic Prospects and Developing Countries* 1993。
- 『世界統計年鑑』「商業エネルギーの生産, 貿易及び消費」各年版。
- Seidel, S. and D. Keyes; *Can We Delay a Greenhouse Warning?*, U. S. Environmental Protection Agency, Washington, D. C. 1983.
- Stephen H. Schneider, *GLOBAL WARMING*, 1989. 内藤正明・福岡克也訳『地球温暖化の時代』ダイヤモンド社, 1990年。
- 建元正弘「環境汚染の投入・産出分析」『大阪大学経済学』第22巻1号, Aug. 1972年。
- 通商産業省立地公害局資料「中国脱硫対策への支援について(中国脱硫プロジェクト)」。
- 中国環境年鑑編集委員会編『1990年環境年鑑』中国環境科学出版社出版。
- 中国環境年鑑編集委員会編『1991年環境年鑑』中国環境科学出版社出版。
- 『1988年煤炭工業年鑑』中国統計出版社。
- 『中国工業経済統計年鑑』中国統計出版社 各年版。
- 『中国能源1989』中国統計出版社。
- 『中国能源統計年鑑』中国統計出版社 各年版。
- 吉岡完治他「環境分析のための産業連関表の作成」『KEIO ECONOMIC OBSERVATORY OCCASIONAL PAPER』1990年10月である。