

中国における SO₂ 排出量の部門別推計及び分析

張 宏 武

(受付 2001年5月10日)

目 次

1. 本研究の課題
2. 中国における人為起源の SO₂ 排出量の推計
3. 推計結果及び考察
4. SO₂ 排出量についての分析
5. SO₂ 対策についての検討
6. ま と め

1. 本研究の課題

中国では、経済の高度成長に伴って、環境問題も益々深刻になってきた。特に CO₂, SO_x, NO_x などのような大気汚染物質の排出が多く、地球環境への負荷が最も増大する地域の一つと懸念されている。その中で、化石燃料燃焼を主原因とする SO_x の排出は、呼吸器系疾患などの居所的環境問題が既に深刻化しており、また、SO_x 排出に関連する酸性雨問題は中国の最も深刻な環境問題の一つになっている。更に日本への越境汚染も顕在化する懸念がある。これらの問題を解決するには、まず中国でどのぐらいの大気汚染物質を排出しているか、大気汚染物質はどの部門から、どの地域から排出したかといった特徴を定量的にはっきり把握しなければならないである。続いて、これらの大気汚染物質が排出された原因を明らかにする必要がある。以上の二点を明らかにされないと、実情に合う有効な大気汚染物質排出削減対策を講ずることができない。従って、大気汚染物質の排出量の推計及び要因分析は重要性が高いと考えられる。

本稿では、上述の考えに基づいて、中国における人為起源、とりわけ化石エネルギー起源の SO₂ 排出量を推計し、それらの排出動態と構造を分析する。そして、SO₂ 排出を引き起こす要因を探る。さらに、SO₂ 排出削減の対策について検討する。

2. 中国における人為起源の SO₂ 排出量の推計

SO₂ は主に化石燃料燃焼過程で発生する。SO₂ 排出量を推計する際、まず SO₂ の発生量と排出量の概念を区別する必要がある。発生量は燃料の硫黄含有率と燃焼率に依存し、排出量は発生量と脱硫率に依存する。

本推計では、基本的に、SO₂ 発生量は、各部門ごとにそれぞれの汚染物質発生源の発生係数に、燃料消費量を乗じて算出する。そして、SO₂ 排出量は発生量から除去量を差し引いた値とする。

化石エネルギー源の SO₂ 発生量を S とすれば、S は次の式で表される。

$$S = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \alpha_{ij} \times Y_{ij}$$

ただし、

α_{ij} : 第 j 部門の i 種エネルギーの SO₂ 発生係数 (発生量 / エネルギー消費)

Y_{ij} : 第 j 部門の i 種エネルギーの消費量

i : 部門を示すサフィックス

j : エネルギー源を示すサフィックス

をそれぞれ表す。

以上で分かるように、SO₂ の排出量を推計するには、まず各化石燃料からの SO₂ 発生係数を設定することが必要である。

発生係数を使って、SO₂ 排出量を求める研究は数多くなされた。その中で、中国を対象とする研究もいくつか見られた。しかし、これらの研究例を見ると、中国のエネルギー消費データの制約もあって、推計期間、排出部門、エネルギー源が限られているものが多いようである。本推計で用い

張：中国における SO₂ 排出量の部門別推計及び分析

た SO₂ の発生係数は、科学技術庁科学技術政策研究所（1992）の研究成果によっている。この研究では燃料中の硫黄分についてヒアリング調査も行われている。以下で、本研究で用いた及び SO₂ の発生係数を表 1 で示す。

今回の部門別 SO₂ 排出量の推計は、利用できる「中国能源統計年鑑」の部門別のエネルギー消費データの期間に基づく、推計期間は1980年～1997年の18年間とした。推計にあたっては、エネルギー源を12種類に分け、エネルギー転換部門を4部門に、エネルギー最終消費部門を7の部門に分けてそれぞれ推計した（ただし、1985～1997年の工業部門については、更に14部門に分けて、あわせて24部門に分けた）。

なお、硫黄分の経年変化は、資料が乏しいことから、推計の全期間で同一の値とした。

表 1 中国における SO₂ の発生係数

エネルギー種別	単位	エネルギー転換部門				エネルギー消費部門			
		コークス炉	ガス工場	石油精製	発電	鉄鋼	その他工業	運輸	生活、農業、商業等
石炭	kg/t	1.8495	20.925		26.325	20.925	20.925	20.925	16.2
コークス	kg/t		2.3895			5.553	23.895	23.895	23.895
コークス炉ガス	kg/10 ¹⁰ cal		5.13		51.3	51.3	51.3		5.13
その他ガス	kg/10 ¹⁰ cal				0.01	0.01	0.01		0.01
天然ガス	kg/10 ¹⁰ cal		0.000092	0.0092	0.0092	0.0092	0.0092	0.0092	0.0092
原油	kg/t		3	0.69	30	30	30	30	30
製油所ガス	kg/t		0.0013		0.013		0.013		0.013
L P G	kg/t		0.00136		0.0136	0.0136	0.0136	0.0136	0.0136
ガソリン	kg/t				2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
灯油	kg/t				0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
ディーゼル	kg/t		8		8	8	8	3.2	8
燃料油	kg/t		30		30	30	30	30	30

出所：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

中国の SO₂ 排出量に関するこれまでの研究は、殆ど脱硫については考慮されていなかった。しかし、これは90年代以前の実情に近いものの、最近ではいくつかの排煙脱硫装置が導入されており、排煙脱硫除去量を考慮する必要がなっている。

本推計では、まず SO₂ 発生量を推計し、そして、「中国環境年鑑」に示された工業部門の SO₂ 除去量を脱硫量として発生量から差し引いた部分を排出量に見なすことにした。

非鉄金属精錬による SO₂ 排出量の推計に関しては、国連統計のデータにより、中国の銅、亜鉛、鉛、錫の生産量に基づいて以下のように計算した。銅の原料は CuFeS₂ であるから、銅 1t に対し、SO₂ 排出は 2.0t として、亜鉛の原料は ZnS であるから、亜鉛 1t に対し、SO₂ 排出は 1.0t として、鉛の原料は PbS であるから、鉛 1t に対し、SO₂ 排出は 0.32t として、錫の原料は硫黄分が少なく、錫 1t に対し、SO₂ 排出は 0.06~0.12t 程度で、ここでは科技庁調査と同様に、0.09t として計算した。そして、回収分としては、「中国環境年鑑」の非鉄金属の除去量を用いて控除した。

一方、硫酸製造に伴う SO₂ 排出量に関しては、硫酸製造プラントでは SO₂ の 95~98% 程度は硫酸になるが、2~5% 程度は硫酸にならずに放出される。これについても科技庁調査と同様に、排出量を硫酸生産量の 4.5% として、SO₂ 排出量を求めた。

ここで、「中国環境年鑑」から取った SO₂ 除去量データについてもう少し議論したい。周知のように、90年代初期「中国環境年鑑」が出版し始めまでは、中国に関する環境データの入手はなかなか難しかった。本研究は 1991年からの SO₂ 除去量しか得られなかった。

ところが、「中国環境年鑑」には、SO₂ 除去量と同時に、SO₂ の排出量も載っている。しかし、これは全体のデータではなく、両方とも県以上の工業企業だけの集計で、郷鎮企業など小規模生産主体が含まれていない。そのために、この数値をそのまま使うと、これは明らかに低く見積もった数値と言わざるを得ない。そこで、SO₂ の排出量については、本研究は採用しないことにした。一方、SO₂ 除去量については、中国で脱硫装置を設置されているのは大中企業が多く、郷鎮企業には殆ど付けていないと見ることができよう。また、日本エネルギー経済研究所の研究調査報告（1992）によると、1990年までは中国で脱硫装置は殆ど設置されていないのが実情であ

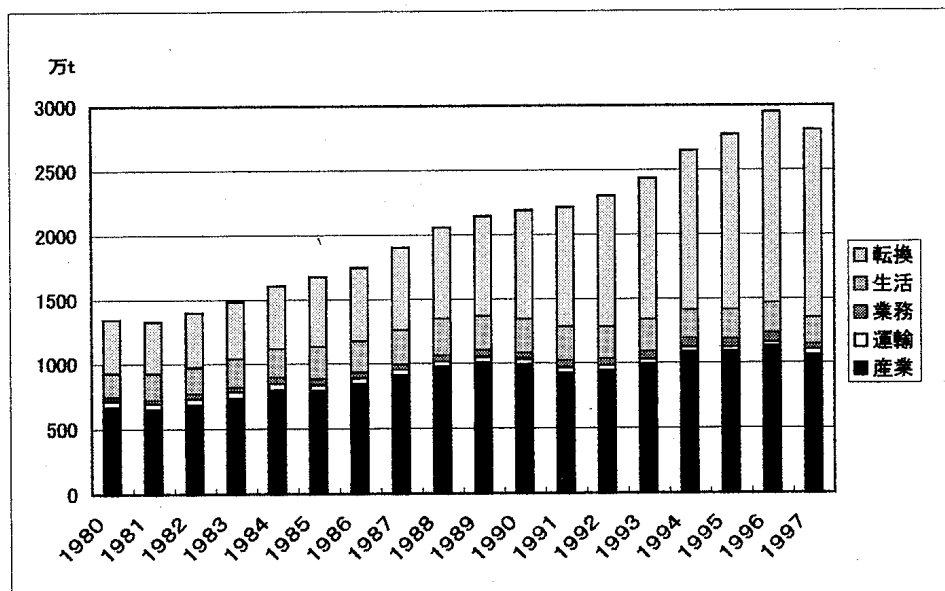
る。これらのことを踏まえて、「中国環境年鑑」に示された SO₂ 除去量の数値は、中国全体の脱硫量として使うことにした。

3. 推計結果及び考察

3.1 エネルギー転換部門を中心とする排出構造

図1は、中国における SO₂ 排出量の推移を示したものである。これによると、中国の SO₂ 排出量は、1980年の1342万トンから年と共に増加し、1996年には、最高の3000万トン近い2948万トンに昇った。1997年には、1996年より微減し、2809万トンになっている。その中で、1980年においては、産業部門からの排出は半数に占める663万トン、最も多く、エネルギー転換部門は30%強の417万トンが続き、以下は生活部門（188万トン、14%）、運輸部門（48万トン、3.5%）、業務部門（27万トン、2%）の順になっている。しかし、1997年に至ると、各部門排出量増減の変化により、排出順位

図1 中国における SO₂ 排出量の推移（部門別）



出所：①国家統計局，中国能源統計年鑑・1989，1991～1996，中国統計出版社

②国家統計局，中国統計年鑑・1999，中国統計出版社

③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

より推計，作成

が変わった。まず、エネルギー転換部門は産業部門と入れ替わって、総排出量の52%に当りの1462万トンまで上がり、トップの位置に来た。これに対して、産業部門は逆に37.5%に下がった。それ以外の部門には順位は変わっていなかったが、生活部門の割合は半分ぐらいまで(7.2%)減った。

SO₂ 排出量の年平均増加率(表2)から見ると、1980~1997年の全期間は4.4%であった。各時期別の増加率は、1980~1985年は4.5%、1985~1990年は5.5%、そして1990~1997年は3.6%で、80年代に増加率が強まったが、90年代に入ってから、増加テンポが緩やかになる傾向が見られた。

部門別の増加率を見る場合、エネルギー転換部門に注目したい。全期間に渡って、エネルギー転換部門の増加率は7.7%、平均増加率を上回った唯一の部門となった。また、時期に分けて見ると、全体の傾向と違って、90~97年(8.1%)は80年代(7.4%)より増加率が大きかった。80年代の初め頃はまだ平均増加率より少し大きかったが、80年代の半ばからスピードを上げて急増し、平均より大きく上回った。特に90~95年には10%以上の速さで伸びていた。結果的にエネルギー転換部門は諸部門の中で排出量が最も多い部門になっている。

表2 部門別 SO₂ 排出量の年平均変化率 (%)

	80~85	85~90	90~97	80~97
産 業	3.6	4.5	1.0	2.8
運 輸	-0.7	-0.3	2.4	0.7
業 務	8.0	5.0	-4.0	2.0
生 活	6.2	0.6	-3.6	0.4
転 換	5.4	9.3	8.1	7.7
平 均	4.5	5.5	3.6	4.4

出所：図1と同じ

一方、産業部門では、全期間の増加率は2.8%であったが、80年代は4%、90~97年は1%の増加となった。この傾向は、時間の経つにつれ、業務部門と生活部門と共に、全体のSO₂排出量の変化傾向、つまり、後半に伸び

張：中国における SO₂ 排出量の部門別推計及び分析

率が低いという傾向と一致している。これとは違って、運輸部門は80年代に増加率はマイナスであったが、90年代にプラスに転じた。

以上で述べた各部門の SO₂ 排出量増加率変化の結果から見ると、部門別 SO₂ 排出構造は、エネルギー転換部門の割合が大きく伸びたことが特徴的である。エネルギー転換部門の排出量に占める割合の増大は、中国の電力化の進展に繋がっている。表3によると、中国の電力化率は1980年の20%未満から1997年の30%以上に上昇した。この意味では、エネルギー転換過程において、脱硫装置の設置などによって、いかに SO₂ の排出を減らすかが重要な問題となっている。

次に注目したいのは生活部門である。エネルギー転換と違って、生活部門の SO₂ 排出量は時間的推移から見ると、90年代の初期までは多少増加していたが、その後は減りつつ、ほかの部門の大きい増加に対して、生活部

表3 中国の部門別電力化率の推移 (%)

	産 業	運 輸	業 務	生 活	平 均
1980	24.6	3.8	15.0	4.5	19.8
1981	25.5	4.0	15.8	4.8	20.3
1982	25.7	3.9	16.5	4.7	20.5
1983	25.5	4.4	16.6	5.0	20.5
1984	25.2	4.8	17.3	5.4	20.4
1985	25.1	6.8	19.6	6.6	20.6
1986	26.0	6.7	19.8	7.3	21.4
1987	26.5	7.4	21.5	7.9	22.1
1988	27.0	8.2	21.4	8.8	22.6
1989	27.4	8.8	21.8	10.1	23.3
1990	27.9	9.1	23.1	11.9	24.1
1991	28.7	9.8	24.6	13.3	25.1
1992	29.7	10.7	25.6	16.0	26.5
1993	30.4	10.8	25.0	18.6	27.4
1994	30.3	11.9	29.2	21.4	28.3
1995	29.3	11.9	24.5	23.6	27.6
1996	30.0	13.0	28.6	24.1	28.4
1997	31.5	12.8	33.1	28.9	30.2

出所：①国家統計局，中国能源統計年鑑・1989，1991，1991～1996，中国統計出版社

②国家統計局，中国統計年鑑・1999，中国統計出版社

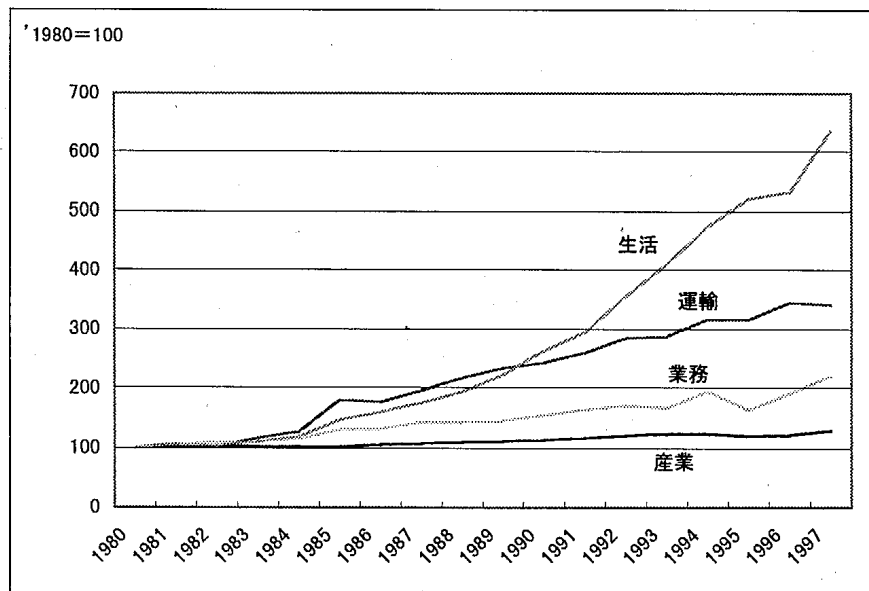
より推計，作成

門は1997年には1980年より僅か14万トン程度の増加にとどまっている。総排出量に占める割合は14.0%から7.2%へと、ほぼ半減した。1990年から1997年にかけて、年増加率はマイナスになり、特に近年減少テンポが速まっている。

エネルギー転換部門の増加と生活部門の減少は、同じ問題の両側面を表すものである。すなわち、中国では、発電を中心とするエネルギー転換によって、多くの部門において、石炭、原油、天然ガスなどの一次化石エネルギーから電力のような二次エネルギーに転換を進んできたこと及び人々の生活においてより多くの電気を使うようになったことが示されている。生活部門 SO₂ 排出量の減少は、電力というクリーンなエネルギーの利用の伸びによるものと思われる。

図 2 は中国の部門別電力化率の推移が1980年を100として指数化したものである。これを見ると、生活部門の電力化率は90年代から一番であった運輸部門を超えて、ほかの部門より遥かに大きくなった。

図 2 部門別電力化率の推移 (指数)



出所：①国家統計局，中国能源統計年鑑・1989，1991～1996，中国統計出版社

②国家統計局，中国統計年鑑・1999，中国統計出版社より推計，作成

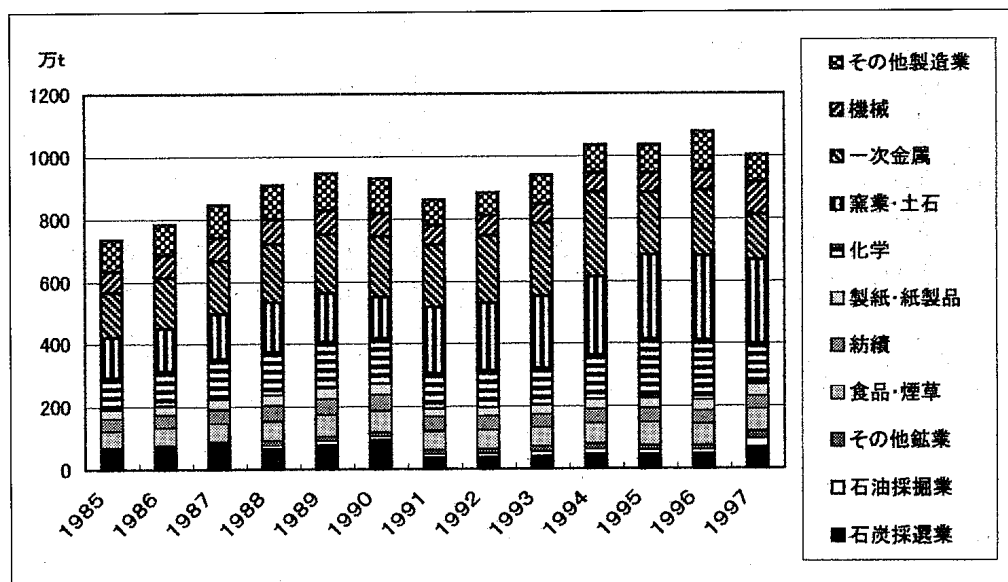
3.2 重化学工業を中心とする工業部門排出構造

以上で見たように、エネルギー転換部門に続く、SO₂ 排出量の多い部門は産業部門である。その中の殆どが工業部門からの排出となっている。SO₂ 排出量の経年データから見ると、工業部門からの SO₂ 排出量が産業部門排出に占める割合は大体95%前後である。以下では、工業部門の SO₂ 排出を見てみよう。

図3から分かるように、工業部門における SO₂ 排出量のうち、特に基礎原材料部門である一次金属業、窯業・土石業及び化学業のような重化学工業が最も多く排出している。1985年の時点でこの3部門による SO₂ 排出量は、工業全体の排出量の41.6%であったが、1997年には33.8%に下がった。その中で、化学と一次金属の割合が減少したが、窯業・土石には9ポイントも増加した。

また、工業における SO₂ 排出量の年増加率（表4）から見ると、全期間

図3 工業部門における SO₂ 排出量の推移（業種別）



出所：①国家統計局，中国能源統計年鑑・1989，1991，1991～1996，中国統計出版社

②国家統計局，中国統計年鑑・1999，中国統計出版社

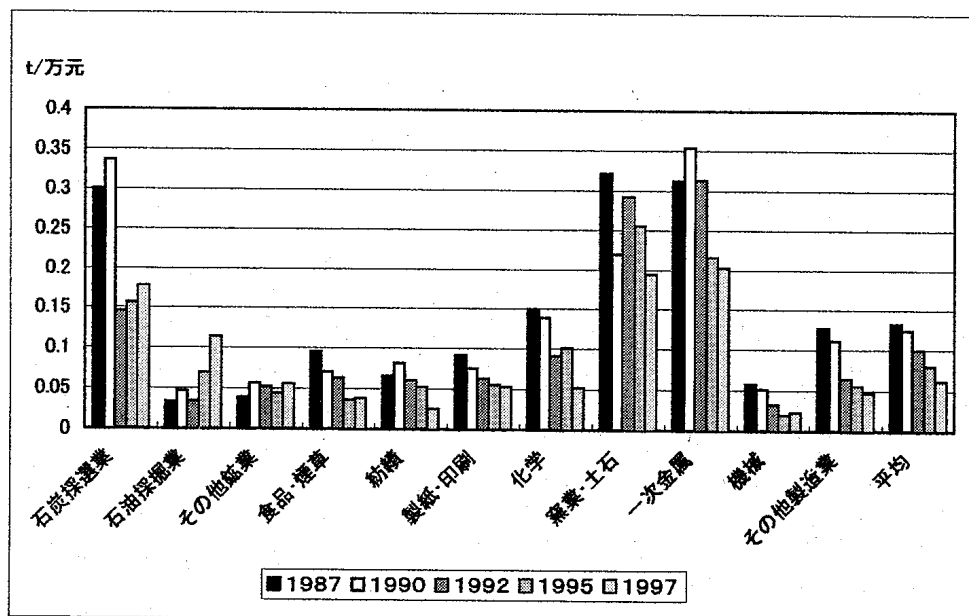
③科学技術庁科学技術政策研究所編，アジアのエネルギー利用と地球環境，大蔵省印刷局，1992より推計，作成

表 4 工業業種別 SO₂ 排出量年平均変化率 (%)

	80~90	90~97	85~97
石炭採選	11.7	-4.3	2.0
石油採掘	12.5	13.3	13.0
その他鉱業	6.2	9.4	8.1
食品・煙草	6.3	0.4	2.8
紡績	4.5	-3.3	-0.1
製紙・紙製品	5.2	1.0	2.7
化学	7.3	-1.6	2.0
窯業・土石	0.6	10.4	6.2
一次金属	5.8	-4.0	0.0
機械	1.8	4.8	3.5
その他製造業	1.8	-3.4	-1.2
平均	4.8	1.1	2.6

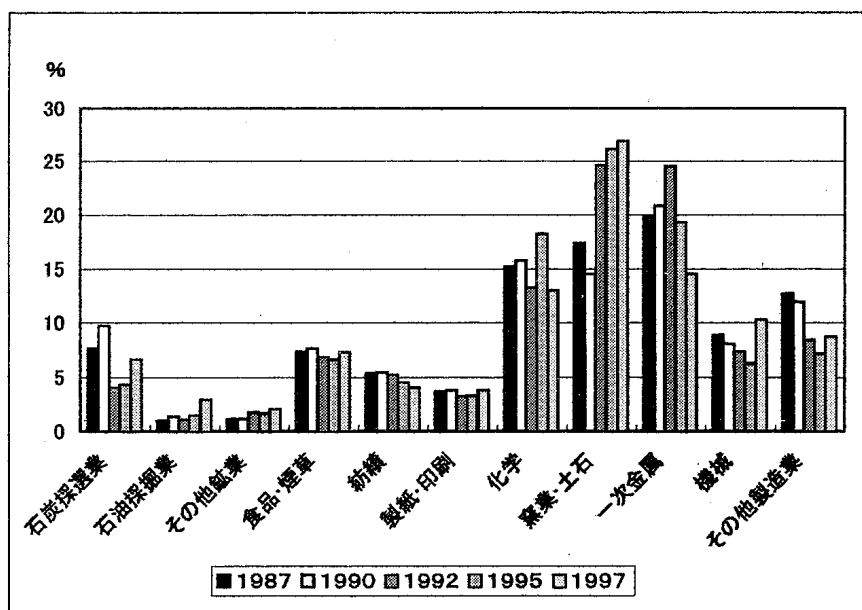
出所：図 3 と同じ

図 4 工業業種別 SO₂ 排出強度



出所：①中国能源統計年鑑・1989, 1991, 1991~1996, 中国統計出版社
 ②中国統計年鑑, 各年版, 中国統計出版社
 ③中国投入産出表・'87, '92, '95, '97, 中国統計出版社
 ④日本・中国国際産業連関表'90, アジア経済研究所, 1997
 ⑤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
 などより作成

図5 工業における付加価値当り SO₂ 排出の部門別割合



出所：図4と同じ

にわたって2.6%となり、これを1985～1990年、1990～1997年の二期に分けてみると、4.8%から1.1%へ、低減の傾向が見られた。その中で、SO₂ 排出量の多い上記3部門においては、化学部門と一次金属部門の後期における増加率は前期より小さかったが、窯業・土石部門の後期において増加率の高い傾向が見られた。

さらに、単位付加価値あたり SO₂ 排出の部門別強度（図4）及び工業を100とした付加価値当り SO₂ 排出の部門別比率（図5）から見ると、値の高い部門は、やはり重化学工業部門であった。上述した排出量に占める割合の大きい3部門は、年増加率が高いだけでなく、排出強度も排出比率も大きい値を示している。この意味では、SO₂ 排出量を減らすためには、重化学部門、特に上述3部門に注目すべきであろう。

3.3 石炭を中心とする発生源別発生構造

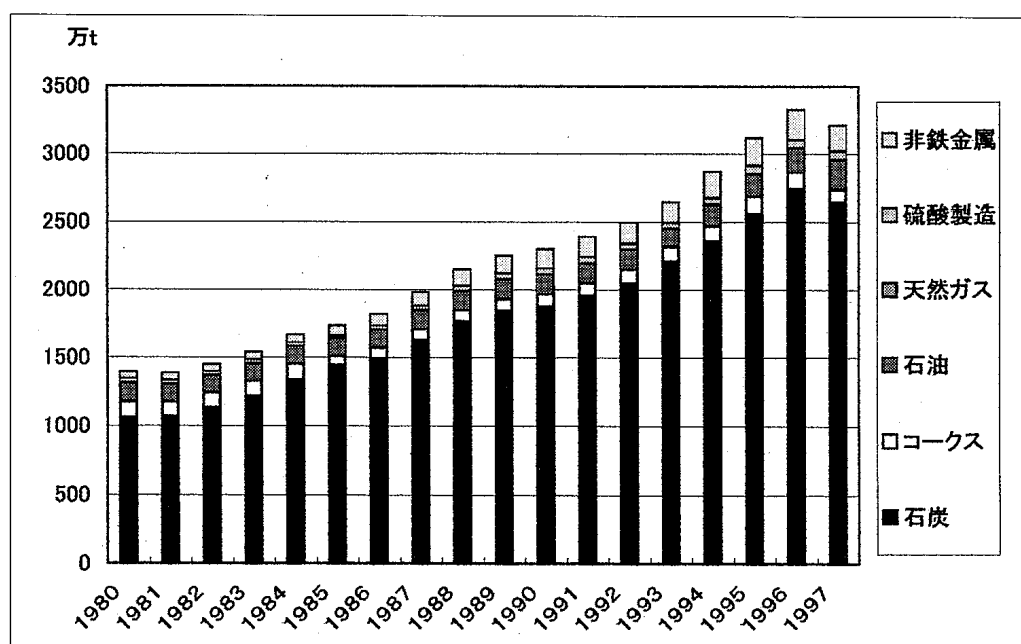
以下では、発生源別 SO₂ 発生量の推移を見てみよう。図6と表5で見られるように、中国における SO₂ 発生量は圧倒的に石炭が多い。石炭消費による SO₂ 発生量は、1980年の1059万トンから1997年の2640万トンへ、総発

生量に占める割合は76.0%から82.2%まで上昇した。

また、石炭を原料にして作られたコークスの利用による SO₂ 発生量は、1980年の117万トンから1997年の95万トンに減少した。石炭のうえに、コークスも加えれば、SO₂ 発生総量に占める割合は、両者併せて1980年において84.4%であったが、1997年には、さらに85.2%に上がった。これは、中国の独特なエネルギー消費構成に依存しているものと考えられる。中国のSO₂ 発生量の排出削減対策としては、いかに石炭消費を減らすかが重要な課題になるであろう。

石油による SO₂ 発生量は1980年の137万トンから1997年の216万トンに増加し、増加率は57.8%であった。総排出量に占める比率は1980年の9.8%から1997年の6.7%に、3ポイント減少した。また、天然ガスによる SO₂ 発生量はほぼゼロに近いほど小さい。

図 6 発生源別 SO₂ 発生量の推移



- 出所：①国家統計局，中国能源統計年鑑・1989，1991，1991～1996，中国統計出版社
 ②国家統計局，中国統計年鑑・1999，中国統計出版社
 ③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
 ④Statistical Yearbook for Asia and the Pacific. 1990，1998，アジア太平洋統計年鑑，United Nation/国際連合，日本エスカップ協会翻訳より推計，作成

張：中国における SO₂ 排出量の部門別推計及び分析

表5 起源別 SO₂ 発生量構成 (%)

	石炭	コークス	石油	天然ガス	硫酸製造	非鉄金属	合計
1980	76.0	8.4	9.8	0.0	1.8	3.9	100.0
1981	77.0	7.9	9.3	0.0	1.9	4.0	100.0
1982	78.0	7.7	8.6	0.0	1.9	3.9	100.0
1983	79.0	7.4	8.0	0.0	1.9	3.7	100.0
1984	80.1	7.4	7.4	0.0	1.6	3.5	100.0
1985	83.2	4.0	7.2	0.0	1.3	4.3	100.0
1986	82.0	4.3	7.2	0.0	1.4	5.0	100.0
1987	81.9	4.2	6.9	0.0	1.6	5.4	100.0
1988	81.9	4.0	6.6	0.0	1.7	5.7	100.0
1989	81.7	4.1	6.6	0.0	1.7	5.9	100.0
1990	81.5	4.2	6.2	0.0	1.7	6.4	100.0
1991	81.9	4.0	6.1	0.0	1.8	6.2	100.0
1992	82.1	4.1	5.8	0.0	1.9	6.1	100.0
1993	83.4	4.0	5.1	0.0	1.7	5.8	100.0
1994	81.9	4.0	5.6	0.0	1.8	6.7	100.0
1995	82.0	4.1	5.3	0.0	1.9	6.6	100.0
1996	82.3	4.0	5.1	0.0	1.9	6.7	100.0
1997	82.2	3.0	6.7	0.0	2.1	6.0	100.0

出所：図6と同じ

非エネルギー起源の SO₂ 発生量は大体 6%～8%程度で、そのうち硫酸製造に伴う SO₂ 発生量は 2%にとどまっているが、非鉄金属精錬に伴う SO₂ 発生量は 4%～6%に占めており、段々増加の傾向にある。

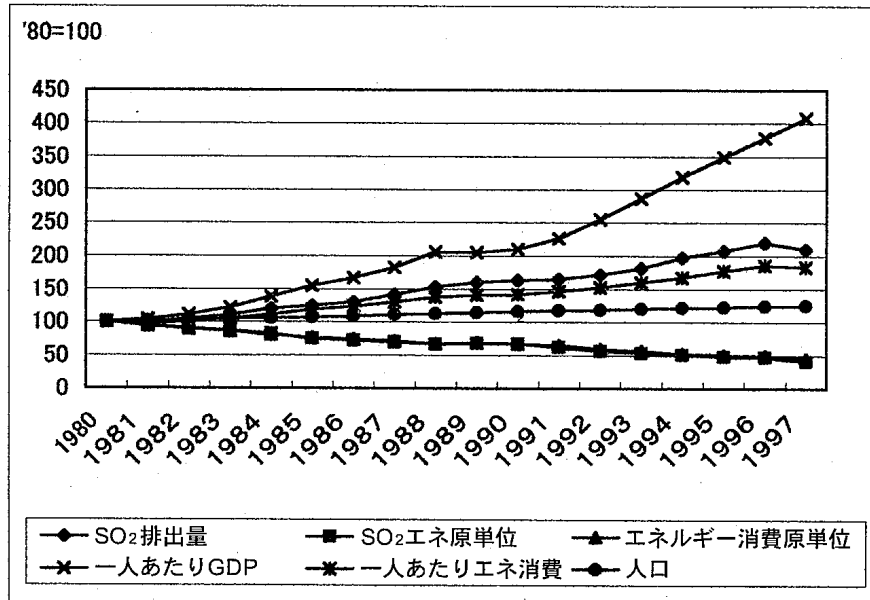
4. SO₂ 排出量についての分析

4.1 SO₂ 排出量と経済成長の関連の要因分析

中国における SO₂ 排出量・GDP・エネルギー消費・人口などの関連を見るのが図7である。これを見ると、増加率の多い順に一人当たり GDP、SO₂ 排出量及び一人当たりエネルギー消費量 (SO₂ 排出量及び一人当たりエネルギー消費量は、殆ど同じ形で推移してきた)、人口及びエネルギー消費原単位となっている。各指標推移の傾向からは、この18年間の推移では、同額の GDP を生み出すのに、より少ないエネルギー消費、より少ない SO₂ 排出で済ませることができた一方、同じエネルギー消費量で、より少ないの

SO₂ 排出は実現していないことが読み取れる。そこで、中国においての SO₂ 排出の要因についてより詳しく検討してみよう。

図 7 SO₂ 排出量変化及び関連指標の推移 (指数)



出所：①中国能源統計年鑑・1989, 1991, 1991～1996, 中国統計出版社
 ②中国統計年鑑・各年版, 中国統計出版社,
 ③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
 などより作成

ここでは、エネルギー起源の SO₂ 排出量を S, 石炭起源の SO₂ 排出量を S₁, 石炭消費量を C, 化石燃料消費量を F, エネルギー消費を E, 国内総生産 (GDP) を Y, 人口を P, それぞれ表すとすると、以下のような式が得られる。

$$S = \frac{S}{S_1} \times \frac{S_1}{C} \times \frac{C}{F} \times \frac{F}{E} \times \frac{E}{Y} \times \frac{Y}{P} \times P$$

ただし

S/S₁ : SO₂ 排出量のうち, 石炭消費による排出の割合 (の逆数)

S₁/C : 石炭の排出原単位 (1 単位の石炭消費当りの SO₂ 排出量)

C/F : 化石燃料のうち, 石炭消費量の割合

F/E : エネルギー消費における化石燃料消費の割合

張：中国における SO₂ 排出量の部門別推計及び分析

E/Y ：エネルギー消費原単位（GDP 当りエネルギー消費量）

Y/P ：一人あたり GDP

そして、

$$\begin{aligned} \frac{\Delta S}{S} = & \left[\Delta \left(\frac{S}{S_1} \right) / \frac{S}{S_1} \right] + \left[\Delta \left(\frac{S_1}{C} \right) / \frac{S_1}{C} \right] + \left[\Delta \left(\frac{C}{F} \right) / \frac{C}{F} \right] \\ & + \left[\Delta \left(\frac{F}{E} \right) / \frac{F}{E} \right] + \left[\Delta \left(\frac{E}{Y} \right) / \frac{E}{Y} \right] + \left[\Delta \left(\frac{Y}{P} \right) / \frac{Y}{P} \right] + \left[\frac{\Delta P}{P} \right] \end{aligned}$$

以上の式から、SO₂ 排出量 (S) の変化は、石炭汚染要因、石炭排出原単位要因、脱石炭要因、脱化石燃料要因、省エネ要因、経済成長要因、人口要因の七つの要因に分解することができる。

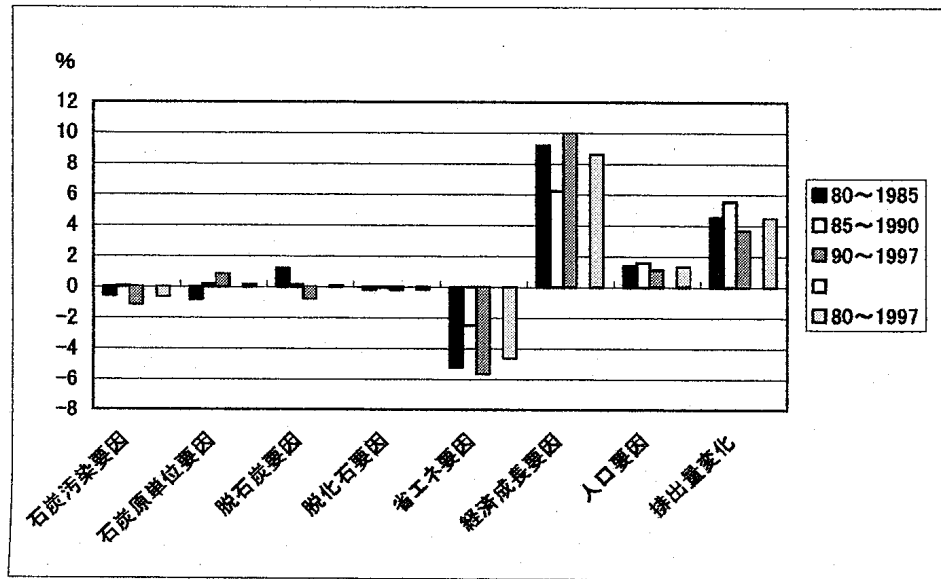
図 8 は SO₂ 排出量の要因分析を示したものである。ここから明らかなように、SO₂ 排出量を大きく働く第一の要因は「一人あたり GDP」という経済的要因である。1980年～1997年の全期間にわたって、「一人あたり GDP」要因がプラスになっており、しかもその寄与度が大きかった。要するに、中国における SO₂ 排出は経済発展によるものといっても過言ではなからう。

一方、もう一つの大きな影響要因はエネルギー消費原単位要因である。しかし、「一人あたり GDP」のプラス要因に対して、エネルギー消費原単位要因はマイナスの働きをしている。すなわち、中国におけるエネルギー効率の改善は、SO₂ の排出抑制に大きく貢献していたことが伺える。換言すれば、もしこの間に中国のエネルギー効率の改善がなければ、もっと大量の SO₂ を排出していたことになるであろう。

次に、人口要因は、一貫してプラスの働きになっているが、一人あたり GDP 要因の寄与率よりはよほど大きくなかった。これは、中国では厳しい計画出産政策の実行により、人口の伸び率が低く抑えられていたため、人口増加による SO₂ 排出の寄与は低くでたと言えるであろう。

なお、石炭汚染要因、石炭排出原単位要因、脱石炭要因、脱化石燃料要因などの四つの要因は、あまり機能してなかったことが読み取れる。これ

図 8 SO₂ 排出量変化の要因分析



出所：①中国能源統計年鑑・1989, 1991, 1991~1996, 中国統計出版社
 ②中国統計年鑑・各年版, 中国統計出版社
 ③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
 などより作成

らの要因はエネルギー源の構成変化につながるもので、ここでは、中国において利用したエネルギー源はずっと石炭及び化石燃料の割合が高いことが変わっていないことを示している。中国で消費したエネルギー源のうち、SO₂ 排出の少ない石油消費の増加率が近年高くなっているが、その量は石炭利用の規模より比べられないほど少ない。また、もっと SO₂ 排出の少ない天然ガスの利用に関しては、長い期間にわたって、僅か 2~3%程度で、殆ど変わっていない。その結果、中国における脱石炭化、脱化石燃料化は殆ど進展していないことになっている。

4.2 工業業種別付加価値当り SO₂ 排出量変化の要因分析

部門別 SO₂ 排出量の主な決定要因は、エネルギー源の変化、エネルギー効率の変化、製品構成の変化、部門間構成の変化、経済規模の変化などの要因からなっている。

部門別の SO₂ 排出量は、各部門の SO₂ エネ原単位 (S_i/E_i)、産出額ペー

張：中国における SO₂ 排出量の部門別推計及び分析

スのエネルギー消費原単位 (E_i/Q_i)，付加価値率の逆数 (Q_i/Y_i)，部門内部構成 (Y_i/Y)，付加価値 (Y) の結果として，以下のように表すことができる。

$$S = \sum_i \left[\left(\frac{S_i}{E_i} \right) \times \left(\frac{E_i}{Q_i} \right) \times \left(\frac{Q_i}{Y_i} \right) \times \left(\frac{Y_i}{Y} \right) \times Y \right]$$

ここで

S ：SO₂ 排出量

E ：エネルギー消費量

Q ：実質産出額

Y ：実質付加価値額

i ：部門を示すサフィックス

また，付加価値 1 単位当たり SO₂ 排出量は，

$$\frac{S_t}{Y_t} = \sum_i \left[\frac{S_{it}}{Y_t} \right] = \sum_i \left[\frac{S_{it}}{E_{it}} \times \frac{E_{it}}{Q_{it}} \times \frac{Q_{it}}{Y_{it}} \times \frac{Y_{it}}{Y_t} \right]$$

と表せる。

ここで， S_i/E_i は， i 部門のエネルギー消費あたりの SO₂ 排出量， E_i/Q_i は， i 部門の産出ベースのエネルギー消費原単位， Q_i/Y_i は， i 部門の付加価値率（の逆数）， Y_i/Y は， i 部門の付加価値シェアをそれぞれ表す。

このとき，

$$S_i/E_i = P_i \quad E_i/Q_i = I_i \quad Q_i/Y_i = V_i \quad Y_i/Y = S_i$$

とおくと

付加価値 1 単位当たり SO₂ 排出量の変化は，Simple Average Divisia 法に従って，次のように表せる。

$$\begin{aligned} \Delta \left[\frac{S_t}{Y_t} \right] &= \sum_i \left[\frac{S_{i0}}{Y_0} + \alpha \left(\frac{S_{it}}{Y_t} - \frac{S_{i0}}{Y_0} \right) \right] \ln \left(\frac{P_{it}}{P_{i0}} \right) \\ &+ \sum_i \left[\frac{S_{i0}}{Y_0} + \alpha \left(\frac{S_{it}}{Y_t} - \frac{S_{i0}}{Y_0} \right) \right] \ln \left(\frac{I_{it}}{I_{i0}} \right) \\ &+ \sum_i \left[\frac{S_{i0}}{Y_0} + \alpha \left(\frac{S_{it}}{Y_t} - \frac{S_{i0}}{Y_0} \right) \right] \ln \left(\frac{V_{it}}{V_{i0}} \right) \\ &+ \sum_i \left[\frac{S_{i0}}{Y_0} + \alpha \left(\frac{S_{it}}{Y_t} - \frac{S_{i0}}{Y_0} \right) \right] \ln \left(\frac{S_{it}}{S_{i0}} \right) \\ &+ \sum_i [\Delta Z] \end{aligned}$$

すなわち、以上の式を文字で表現すれば、以下のようになる。

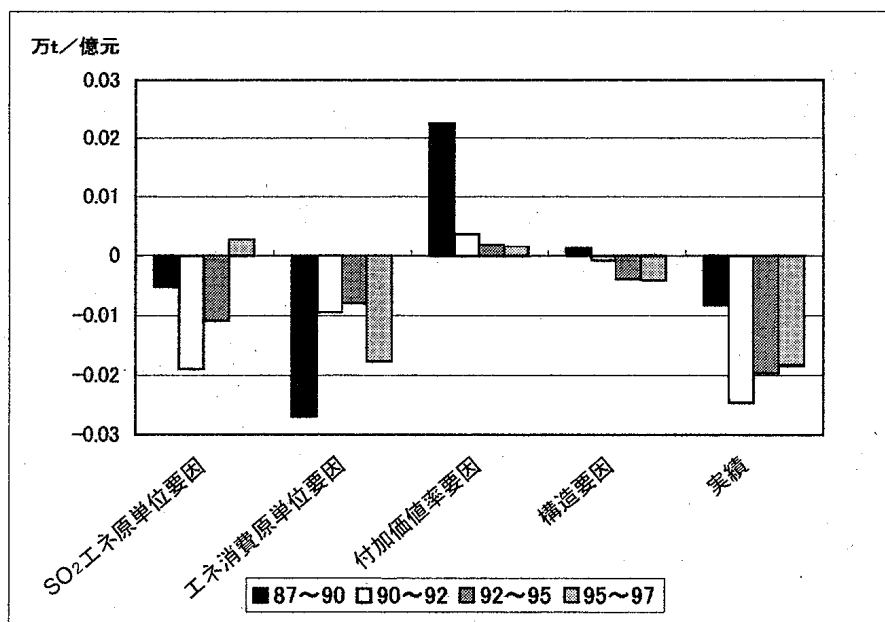
付加価値 1 単位当たり SO₂ 排出量の変化

= SO₂ エネ原単位の変化 (エネルギー源転換) の効果
 + エネルギー効率の変化 (省エネルギー) の効果
 + 付加価値率変化の効果
 + 産業部門間構成の変化の効果
 + その他の効果

このような要因分析法は連続型要因分析法と呼ばれる方法である。以下では、連続型要因法に基づいて、1987~1997の工業部門の分析結果を図9で示す。

まず、時間を追ってみると、1987~90年の期間中では、実績はそれほど変動が大きくなかったが、エネルギー消費原単位要因と付加価値率要因は、マイナスとプラスという相殺の形で、最も大きな変動を表す期間となっていることが分かる。特に付加価値率要因はこの時期はほかの時期より遥かに大きい。その後の時期は少しプラスになっているが、あまり大きな働きは見られなかった。1990年以降、付加価値当り SO₂ 排出量は大きく下落し、その主な働きはエネルギー消費原単位要因と SO₂ エネ原単位要因 (1995年まで) によることが読み取れる。

図9 工業部門の付加価値あたり SO₂ 排出変化の要因分析

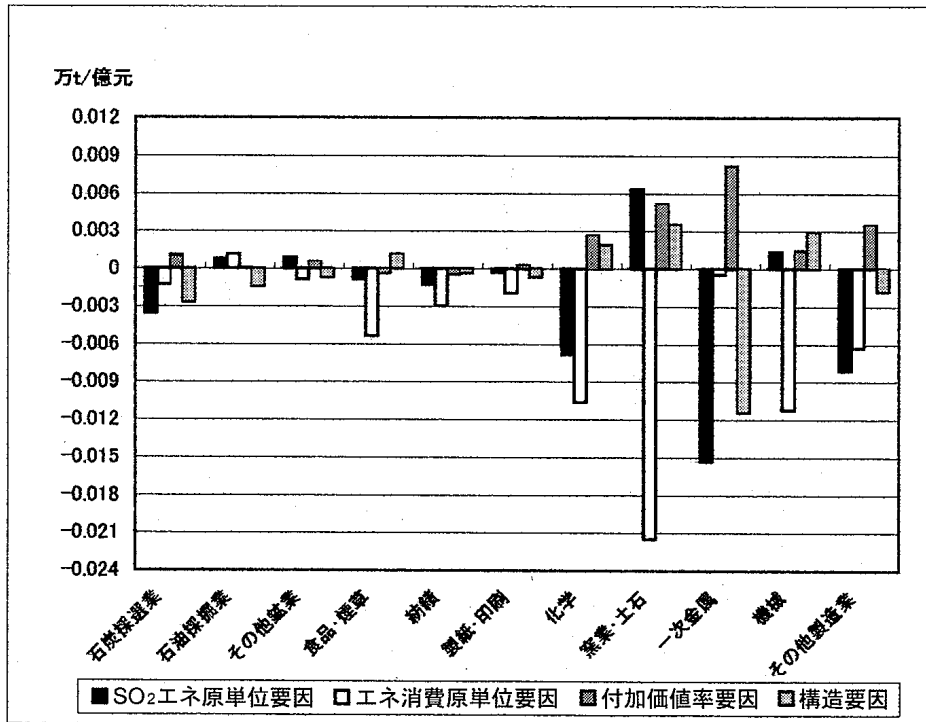


出所：①中国能源統計年鑑・1989, 1991, 1991~1996, 中国統計出版社
 ②中国統計年鑑・各年版, 中国統計出版社
 ③中国投入産出表 '87, '92, '95, '97, 中国統計出版社
 ④日本・中国国際産業連関表 '90, アジア経済研究所, 1997
 ⑤科学技術庁科学技術政策研究所編, アジアのエネルギー利用と地球環境, 大蔵省印刷局, 1992
 などより作成

以下では、1987年から1997年かけての工業部門における業種別付加価値当り SO₂ 排出量変化の要因分析を図10で示す。図から分かるように、値の大きい部門は窯業・土石業、一次金属業、化学業、機械業及びその他製造業などの重・化学工業であることを指摘しておきたい。

各要因のうち、エネ原単位要因は石油採掘業を除けば、すべてマイナスの働きをしていた。その中、窯業・土石業、化学業、機械業及びその他製造業といった重・化学部門のエネルギー効率の改善効果が大きい。一方、付加価値率要因については、食品業、紡績業を除いて、逆にすべてプラスの働きをしていた。その中、特に一次金属業、窯業・土石業、化学業、その他製造業、機械業の値が大きい。ここで、影響の強い部門としては、エネルギー原単位要因の場合と同様、やはり重・化学部門であった。このことから、SO₂ 排出量を減らすためには、重・化学工業を特に目に向くべき

図10 工業業種別付加価値当り SO₂ 排出変化の要因分析 ('87~ '97)



出所：図 9 と同じ

であろう。

次に、SO₂ エネ原単位要因では、窯業・土石業、石油・天然ガス採掘業、その他鉱業、機械業はプラス働きをしているほか、マイナス働きをしている業種が多い。プラス働きの業種のうち、最も大きな働きをしている窯業・土石のほか、あまり大きな働きは見られなかった。これに対して、マイナス働きをしている業種のうち、最も大きな働きをしている一次金属のほか、化学業、その他製造業、石炭採選業の効果も比較的に大きい。

一方、構造要因では、窯業・土石業、機械業、化学業、食品・煙草業はプラス働きをしているほか、SO₂ エネ原単位要因と同様、やはりマイナス働きをしている業種が多い。最も大きな働きをしている業種は、SO₂ エネ原単位要因と同様、プラス働きをしているのが窯業・土石業、マイナス働きをしているのが一次金属業であった。ほかに働きの大きい業種としては、プラスの機械業と化学業、マイナスの石炭採選業が数えられる。

更に、工業部門別付加価値当り SO₂ 排出量変化の要因を1987~90、1990

～92, 1992～95, 1995～97年の四つの期間に分けてみて見よう (図11)。

まず, 1987～90年では, 紡績業とその他鉱業を除いたエネルギー消費原単位要因はすべてマイナス, 食品業を除いた付加価値率要因がすべてプラスの働きをしている。特にエネルギー消費原単位要因が大きいのは窯業・土石業, その他製造業, 化学業, 石炭採選業であったが, 付加価値率要因が大きいのはその他製造業, 一次金属, 石炭採選業, 及び窯業・土石業であった。

次に, 1990～92年では, SO₂ エネ原単位要因の変動が大きく働く要因となっている。プラス働きのうち, 特に窯業・土石業の値が大きい。マイナス働きのうち, 石炭採選業, 化学業, その他製造業の値が大きい。この時期において, SO₂ エネ原単位要因のほかに, 他の三つの要因は割に変動が小さい。

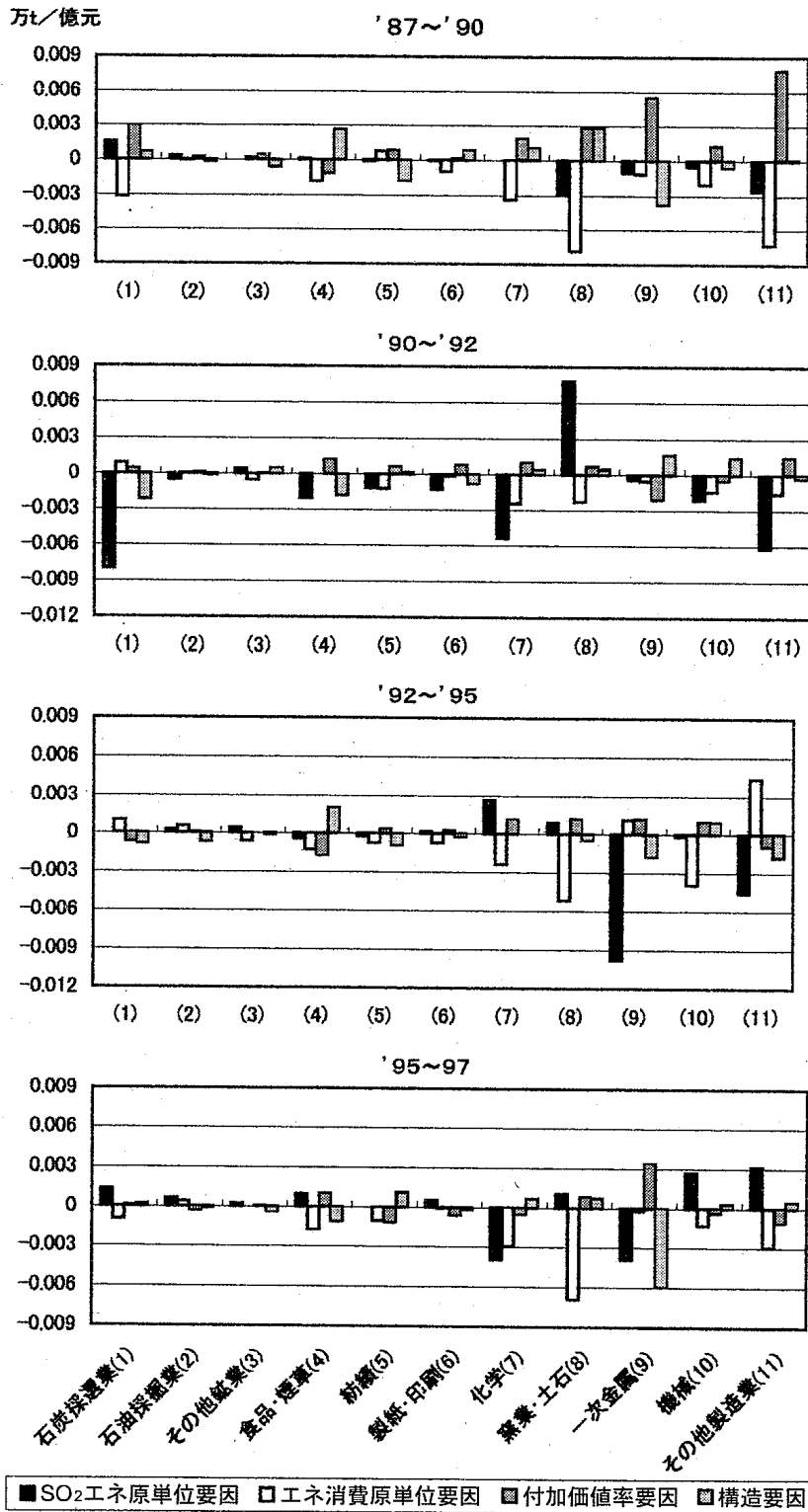
また, 1992～95年では, 化学業, 窯業・土石業, 一次金属業, 機械業, その他製造業などの重・化学部門の SO₂ エネ原単位要因とエネルギー消費原単位要因の変動が大きい時期になっている。その中で, 機械業以外の部門については, この二つの要因は正負相殺の働きになっている。

最後の1995～97年では, 全体的に変動が小さいが, やはり前の時期と同様, 重・化学部門の SO₂ エネ原単位要因とエネルギー消費原単位要因が比較的大きい働きをしている。そのうち, 窯業・土石業のエネルギー消費原単位要因, 化学業と一次金属業の SO₂ エネ原単位要因及び一次金属業の構造要因の値が割に大きい。

以上の分析を総括して言えば, 大きな変動要因を持っている部門は, 大体窯業・土石, 一次金属, 化学, 石炭採掘業, 機械業などの重化学工業部門で, ほかの部門は割に変動要因が小さい。前者の部門は, 非常に激しく変化しつづけてきた活発な部門である。ここで伺えるのは, 重化学工業部門の大気汚染を減らすことが重要な課題になっているといえる。

各要因に対する印象を全体的に掴めるため, 1987年を原点にして, 工業業種別付加価値当り SO₂ 排出変化の働きを要因別に見てみよう (図12)。

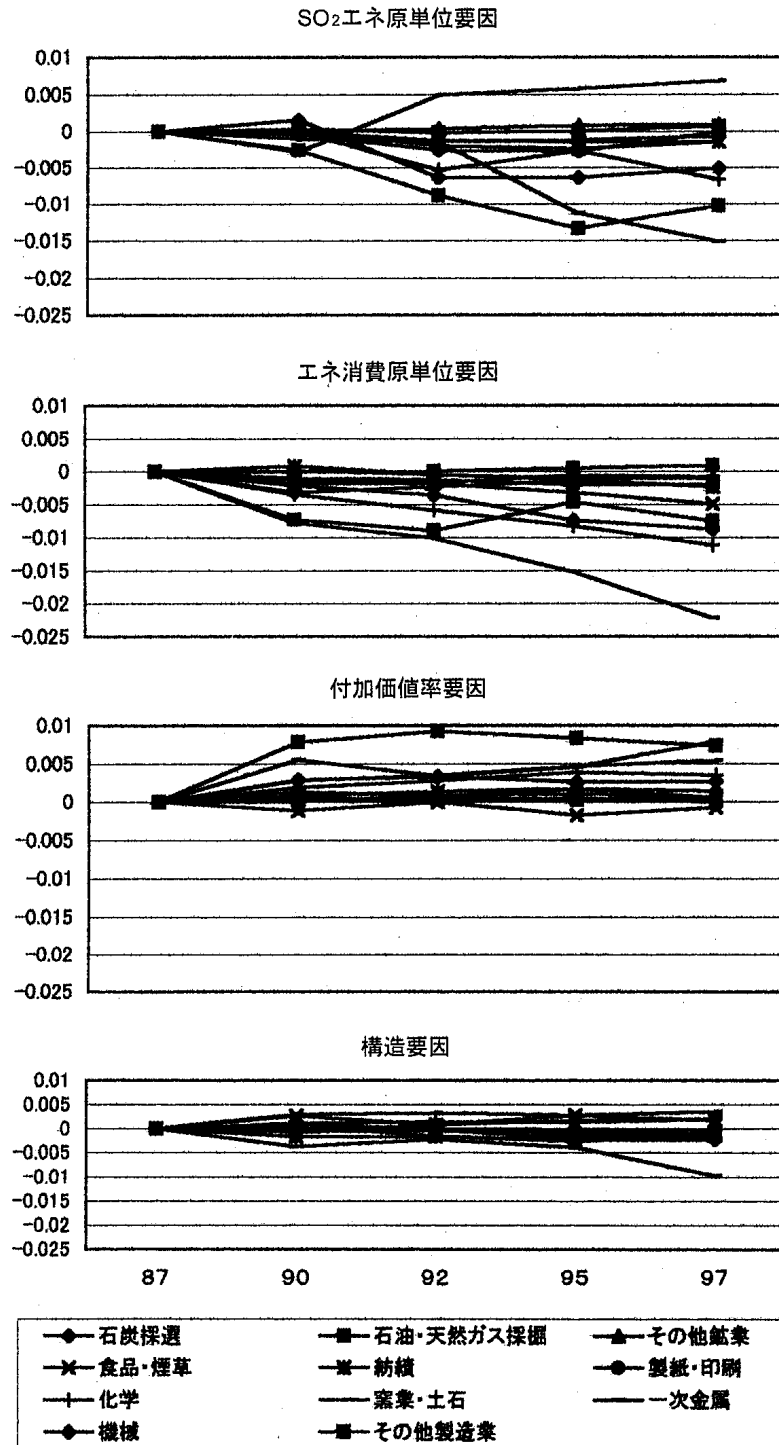
図11 工業業種別付加価値当り SO₂ 排出変化の要因分析



出所：図 9 と同じ

張：中国における SO₂ 排出量の部門別推計及び分析

図12 工業業種別付加価値当り SO₂ 排出変化の要因分析 (要因別)



出所：図9と同じ

まず、SO₂ エネ原単位要因から見ると、(1)、90年代以降から変動が激しくなっていること、(2)、マイナス働きをしている部門が多いこと、が分かる。90年からは各要因が活発になって、そのうち、大きくプラスになっている部門は窯業・土石業で、ほかには大体マイナスあるいは横ばいになっている。マイナスの大きい部門としては、一次金属業、その他製造業、化学業、石炭採選業が数えられる。

次に、エネルギー消費原単位要因を見ると、ごく少数の部門を除いて、大体マイナスの働きをしていることが分かる。その中、特に窯業・土石業のマイナス幅が最も大きい。続いては化学業、機械業、その他製造業、食品・煙草業など、重・化学工業の働きが大きい。

第3に、付加価値率要因では、エネルギー消費原単位要因と異なって、ごく少数の部門を除いて、大体プラスの働きをしている。そのうち、一次金属業、その他製造業、窯業・土石業、化学業、機械業などの重・化学工業の値が大きい。

最後に、構造要因では、全体的に働きが小さい。そのうち、印象的に残ったのは、一番プラス働きの大きい窯業・土石業と一番マイナス働きの大きい一次金属業であった。

4.3 工業業種別付加価値当り SO₂ 排出量の主成分分析

以上で、工業部門別付加価値当り SO₂ 排出量変化の要因を四つの指標に分けて分析した。各部門の SO₂ 排出量変化の特徴を知るには、こうした指標に目を通す必要があるが、時間を追って、一つ一つの部門のこうした要因の特性が、どのように変化したかを見る場合には、非常に複雑になっている。そこで、もし元の情報の損失を最小にするようにして、各時点を代表するより低次元の指標を作ることができれば、各部門における SO₂ 排出量変化の特徴を簡潔に要約することができ、非常に便利であろう。ここで、総合指標を探るため、主成分分析の方法を用いた。

まず、連続型要因法に基づいて得た結果、すなわち、各部門の SO₂ 排出

張：中国における SO₂ 排出量の部門別推計及び分析

量変化要因のデータ (X_1, X_2, X_3, X_4) を標準化した。標準化したデータは U_1, U_2, U_3, U_4 でそれぞれ表す。次に、相関行列から出発する主成分分析を実施するために、相関行列の固有値と固有ベクトルを求めた。そして、累積寄与率と因子負荷量を計算した。

最後に、付加価値当り SO₂ 排出量変化要因の固有ベクトルから、それぞれ次のような四つの主成分が得られた。

$$\text{第 1 主成分 } Z_1 = -0.59U_1 + 0.35U_2 + 0.37U_3 - 0.62U_4$$

$$\text{第 2 主成分 } Z_2 = -0.07U_1 - 0.72U_2 + 0.69U_3 + 0.08U_4$$

$$\text{第 3 主成分 } Z_3 = 0.80U_1 + 0.18U_2 + 0.32U_3 - 0.47U_4$$

$$\text{第 4 主成分 } Z_4 = 0.02U_1 + 0.57U_2 + 0.53U_3 + 0.62U_4$$

である。

ここで、第 1 主成分と第 2 主成分の累積寄与率は 94.0% である。つまり、付加価値当り SO₂ 排出量において、元の 4 つの変動要因が持っている情報の 94.0% を説明できることがわかる。したがって、元の 4 つの変数を 2 つの新しい変数に集約したとき、情報の損失は 6.0% である。ここで、4 つの主成分の中から、第 1 主成分と第 2 主成分を採用することにする。

4.3.1 主成分の意味付け

第 1 主成分と第 2 主成分は以下のように書くことができる。

第 1 主成分は

$$Z_1 = -0.59 \times \text{SO}_2 \text{ エネ原単位要因} + 0.35 \times \text{エネ消費原単位要因} \\ + 0.37 \times \text{付加価値率要因} - 0.62 \times \text{構造要因}$$

であり、

第 2 主成分は

$$Z_2 = -0.07 \times \text{SO}_2 \text{ エネ原単位要因} - 0.72 \times \text{エネ消費原単位要因} \\ + 0.69 \times \text{付加価値率要因} + 0.08 \times \text{構造要因}$$

である。

第 1 主成分及び第 2 主成分には、それぞれの意味付けは、次のようにま

とめることができよう。

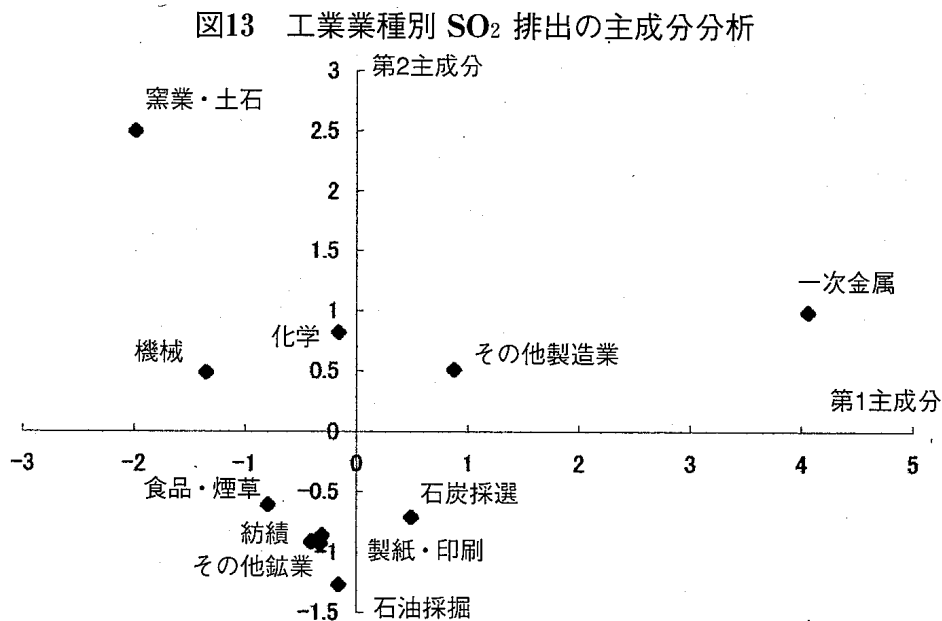
第 1 主成分は、構造要因 (Y_i/Y) と SO_2 エネ原単位要因 (S_i/E_i) の係数がほぼ 0.6 前後の大きさを、部門の経済構造特性を示しており、経済的な性質を持つ指標といえそうである。

第 2 主成分は、付加価値率 (Q_i/Y_i) とエネルギー消費原単位要因 (E_i/Q_i) の係数がほぼ 0.7 前後の大きさを、低付加価値率という部門の技術特性と純然たる省エネ技術特性を表すもので、技術的性質を示す指標といえそうである。

4.3.2 主成分分析の結果

主成分分析の結果を図 13 で示す。以上の意味付けに従えば、横軸に近い部門は相対的に経済的要因の強い部門で、逆に縦軸に近い部門は技術的な要因の強い部門と見ることができる。

この図を見る限り、経済的要因の強い部門は、一次金属、その他製造業、機械などの部門である。逆に技術的要因の強い部門は、化学業、石油採掘業である。



出所：図 9 と同じ

張：中国における SO₂ 排出量の部門別推計及び分析

一方、経済的、技術的に両方とも働く部門としては、窯業・土石、石炭採掘業、食品・煙草等の部門である。

以上の主成分分析の結果から、SO₂ 排出量を減らすためには、原点から遠く離れた部門は重要部門として、認識すべきである。ここでは、部門の重要度として、トップグループの窯業・土石、一次金属、その他製造業のほかに、化学業、石炭採選業、食品・煙草部門にも何らかの対策が必要であろう。窯業・土石には、技術的にも、経済的にも改善すべきであろう。中国の経済基盤はまだ広げる可能性が十分あることを考えると、規模を減らすのは難しそうであるが、高付加価値化という技術的な減少方法を用いるのは現実的である。右側に偏っている一次金属、その他製造業部門は、技術的に改善しなければならないであろう。

4.4 環境クズネツ曲線による分析

環境クズネツ曲線とは、横軸に豊かさの指標をとり、縦軸に汚染水準を取った場合に現われる逆U字型の曲線である。この概念は、経済発展と環境汚染の関係を分析する道具として、世界銀行の世界開発報告（1992年版）などで用いられている。

一般に逆U字型が現われる理由は、以下のように考えられている。すなわち、低所得の段階では豊かになるにつれて環境汚染的な経済活動が活発になり汚染水準が上昇する。一方、高所得になると、環境汚染はピークを迎えた後に改善する。この局面では、国民の環境認識は高まり、また経済的余裕が生まれて、環境投資が実施される。

ここで、中国における1980年から1997年にかけての一人あたり GDP (x) と一人あたり SO₂ 排出量 (y) の関係を見るために、回帰分析を行った。その結果は次のとおり。

一次回帰の場合は、

$$y = 0.0449x + 0.0106$$

$$R^2 = 0.9463$$

であり、

2 次回帰の場合は、

$$y = -0.0449x^2 + 0.938x + 0.0067$$

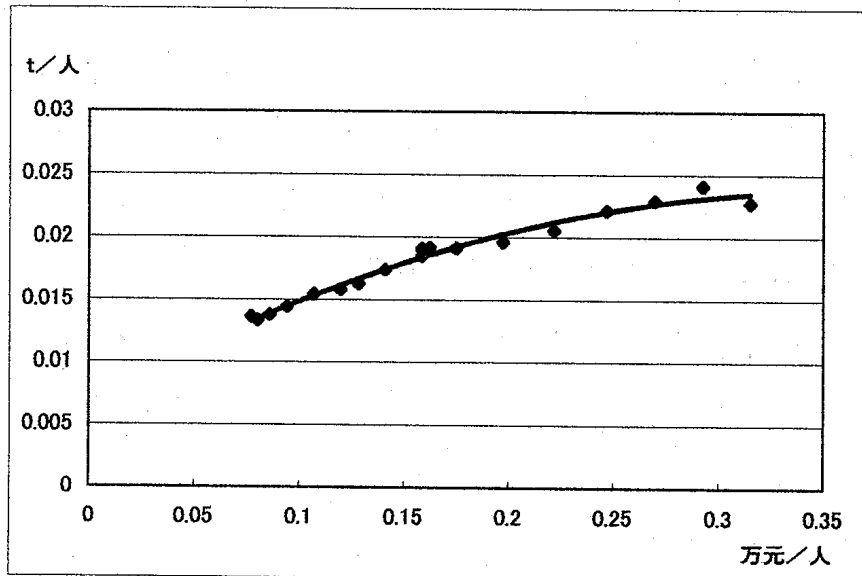
$$R^2 = 0.9813$$

である。

ここで、曲線回帰のほうでは当て嵌まる程度が高いと思われる。決定係数が高いことから、一人あたり GDP と一人あたり SO₂ 排出量の間には高い相関を持っていることが言える。図14を見ると、中国では、一人あたり GDP と一人あたり SO₂ 排出量は、1980年から共に増加してきた。ただ、1990年代に入ってから、その増加のテンポが緩やかになった。そして、1997年に至っては、GDP が増加しているが、汚染物質のほうが増加の傾向が現われた。これはピークを迎えたことかどうかはまだ断定できないが、初めての転換点が現われることで、意味があろう。今後データの推移を見守る必要がある。

さて、以上の環境クズネッツ曲線の考え方を部門別の SO₂ 排出量と付加価値の関係に持ってきて、経済の発展につれ、各部門の SO₂ 排出量はどの

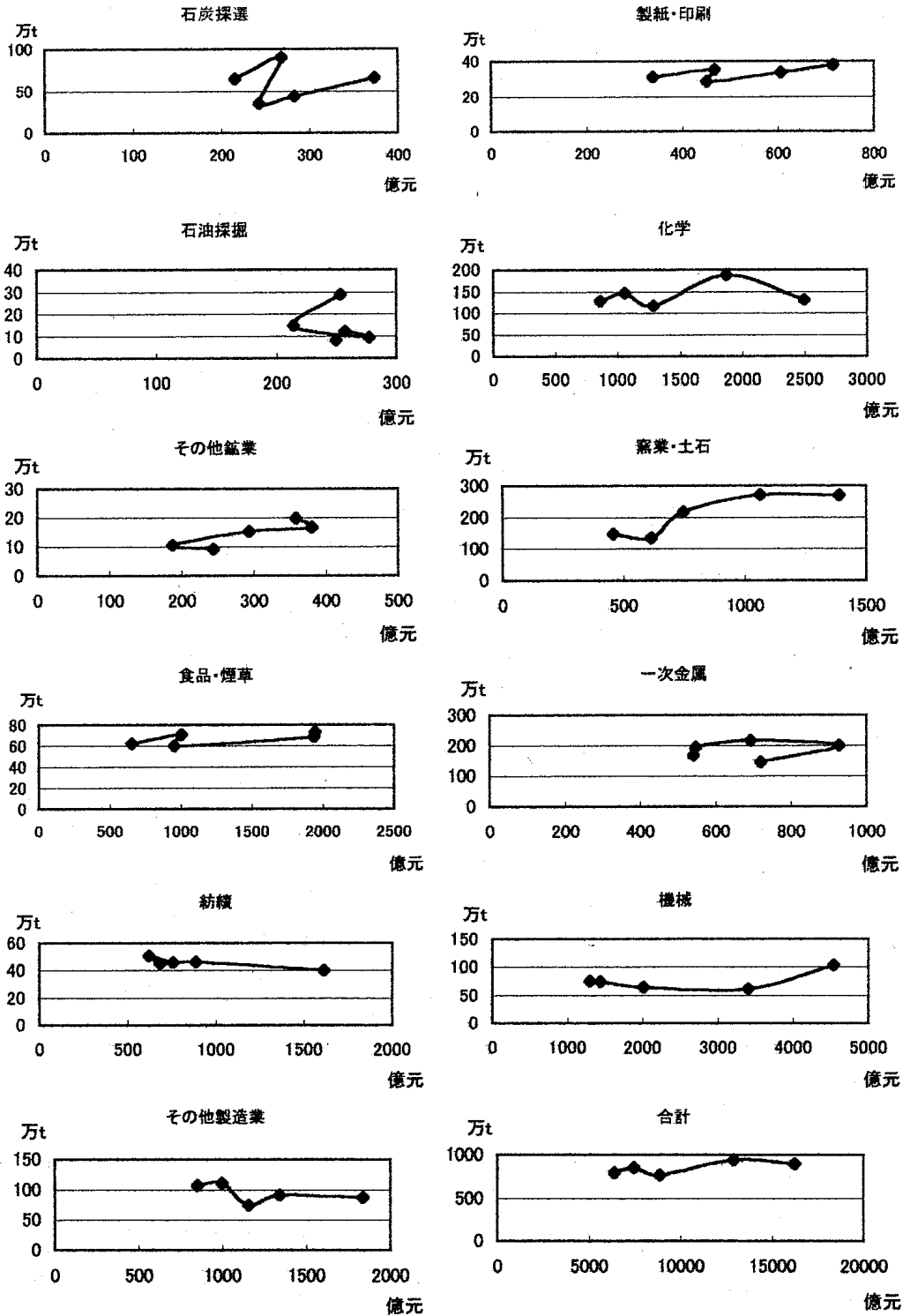
図14 一人あたり SO₂ 排出と一人あたり GDP との相関



出所：図 9 と同じ

張：中国における SO₂ 排出量の部門別推計及び分析

図15 中国の工業部門別クズネッツ曲線（'87, '90, '92, '95, '97）



出所：図9と同じ

ように推移してきたかを見るために、部門ごとの環境クズネツ曲線を作ってみた。その結果を図15で示す。

これによると、各部門のSO₂排出量は、付加価値の増加につれ、増加あるいは横ばいの傾向になっている部門がまだ多いようである。減少に向かったのは殆どなかった。

5. SO₂対策についての検討

以上の分析で明らかなように、中国において過去近20年の間にSO₂排出削減要因として唯一機能しているのは省エネルギー要因であったが、他方、経済成長要因と人口要因はSO₂排出増加要因であった。これに対して、エネルギー源転換に繋がっている脱石炭要因と脱化石燃料要因は殆ど機能してなかった。そこで、これからのSO₂排出に影響を及ぼす以上の諸要因の働きはどうなっていくか、またSO₂対策として、何を採るべくかについて検討してみよう。

5.1 エネルギー利用効率の向上

エネルギー利用効率の向上によって、一次エネルギー消費量の削減を通して、SO₂排出の減少に繋がる。たとえば、発電専用方式（熱効率約40%）から熱併給方式（熱効率約75%）へと転換すれば、一次エネルギー消費量は大幅に削減される。

中国の省エネルギーは、80年代に入ってから、系統的に行われるようになった。1980年代の経済活動の成長に伴ってエネルギー消費は急増したが、エネルギー供給が開発や輸送の問題で追いつかないために、需要者サイドの対応策として省エネルギーが非常に精力的に進められた。マクロなエネルギー強度の指標で見た場合、中国ではエネルギー効率が大幅に進んできたことがわかる。しかし、まだ遅れている状態に置かれて、先進国基準から比べればまだ大きな差があり、改善の余地は大いに残されている。

既に指摘したように、中国においては、エネルギー転換部門、特に電力

部門に起因する環境汚染は無視できないほど大きく、その抑制は環境問題を解決するための鍵になる。しかし、中国で電力部門の脱硫装置の設置は93年から始まって、96年までは僅か114.5万 kw にすぎない。SO₂ 排出削減要因としての役割が極めて低い。日本の場合は石炭火力発電所では高品位炭（低硫黄炭）を使用しており、また脱硫装置が設置され、高い脱硫効果を実現している。日本と比べると、中国の電力産業における省エネと大気汚染物質削減の潜在力が大きい。中国のエネルギー資源制約のため、石炭に依存の状態が暫く続くならば、石炭火力発電の高効率化（更なる省エネルギー化）が現実の選択であろう。

5.2 経済効率の向上

中国の SO₂ 排出の増加は概ね経済成長によるものと見てきた。しかし、中国の経済発展水準はまだ低い水準にとどまり、今後規模拡大の可能性は十分にあるであろう。もし GDP 単位当り SO₂ 排出が大幅に低減されれば、経済規模が増大になっても、SO₂ 排出の削減あるいは緩慢増加が実現できるであろう。

データによれば、1997年現在、GDP 単位当りの指標から見る限り、中国は化石燃料の使用が日本の13倍、SO₂ 排出量が日本の22倍にも上がり、エネルギー効率と経済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、特に急速な工業化に伴い、その効率改善の問題は地球的な環境問題、特にアジア地域にとって益々重要になっている。

5.3 人口増加の抑制

中国では厳しい計画出産政策の実行により、人口増加の抑制に成果を収めた。最近の調査結果によれば、1971年から1998年かけての28年間、中国では一人っ子政策の実施により、合計で3.38億人の出生を抑止することができた。人口の抑制は長期の視点から見れば、環境保全に大きく貢献しているといえる。しかし、現在中国の人口数はすでに12億人以上に達してい

る。今の政策を続けて実行していくとしても、ピークに至るまでは人口の更なる増加は避けられない状況になっている。人口要因の SO₂ 排出に対する影響は今まで通りに増加の働きは暫く続くであろう。ただ大きな増加要因にはならないと思われる。

5.4 エネルギー源の転換

中国では、非常に高い石炭依存のエネルギー消費構成は世界的に見ても特徴的である。1980年以降1997年までの経年変化のデータから見ると、全エネルギーのうち、石炭が70%以上、石油が20%前後、天然ガスが2%程度、その他の非化石燃料（主に水力）が僅か5～6%の割合をそれぞれ占めている。80年代の半ばから90年にかけての間、石炭の割合は更に一旦76%まで上昇、逆に石油の割合は16%ぐらいに下落、それぞれ互いに消し合うの形で変化したが、期末と期首と比べると、この2種類主役エネルギーの総エネルギーに占める割合は殆ど変わっていない。このことから、脱石炭要因と脱化石燃料要因は殆ど働きをしていないことになったわけである。SO₂ は主に石炭のような化石燃料から排出されるから、SO₂ 排出の少ないあるいは排出のないエネルギー源への転換（脱石炭化、脱化石燃料化）により、その排出削減効果は十分に期待できよう。中国での SO₂ 排出は80%以上が石炭から、90%以上が化石燃料からことを考えれば、脱石炭化、脱化石燃料化は極めて大きな意味を持つといえるであろう。しかし、一国のエネルギー消費構成は長い間自国の資源量の分布構造、自然、社会の構造にあわせて形成したもので、変えようとしてもなかなか動かさないのが実情である。脱石炭化を実現するために、長期的な視点を用いた石炭代替エネルギーの供給計画を策定することが必要である。

石炭代替のエネルギー源は、石炭以外の化石燃料（石油、天然ガス）と非化石エネルギー（水力その他自然エネルギーと原子力）の2種類に大きく分けられる。その2種類はそれぞれの長所と短所を考えると、短中期的には、石油、天然ガスへの代替（脱石炭化）、中長期的には、非化石エネル

ギーの原子力、水力などの利用（脱化石燃料化）及び石炭クリーン利用技術の開発促進対策を中心とする総合エネルギー政策が求められる。

短中期対策として、石炭の生産能力を原状のままに維持し、または徐々に減らしていく必要がある。本来石炭に向かう予定の人材、技術、資金などを主に石油、天然ガスなどのエネルギー開発に投入する必要がある。今中国で石油、天然ガスの開発に力を入れている。内陸西部の天然ガスを経済発展の速い長江デルタ地域に輸送する計画を行っている。また、北京市は西北地域から天然ガスを導入して、石炭ボイラーを廃止し、石炭代替する計画も策定中である。

中長期的には、非化石エネルギーの導入を促進するために、技術力の蓄積と導入コストを負担できるほどの経済力を向上する必要がある。技術力の蓄積には、先進国からの技術移転と移転された技術の国産化、標準化を通じて行うのが効率的である。

中国では、2050年までは3.5億kw 保有するという大規模な原子力開発計画が発表されていたが、技術や資金などの面から見ると容易ではなからう。また、脱石炭化、脱化石燃料化と同様に、SO₂ 排出を削減する方策として、石炭に対するクリーン利用技術を普及することが必要である。そのために、選炭・水洗い加工、成型炭加工などの成熟技術を早急に普及させると同時に、先端的なクリーン技術の開発、石炭ガス化を中軸にした石炭精製システムを構築する必要がある。

5.5 日本の技術協力

日本は世界的に経済規模が大きい上に、SO₂ 排出は最も低い水準にある国である。中国は日本の経済サイズ単位あたり20倍強の SO₂ を排出している。その主要因としては、硫黄分の多い石炭にエネルギー構成をゆだねていること、またエネルギー効率の悪さと脱硫が徹底しないことなどによると言えそうである。日中間の国際協調という枠組みを想定した場合には、脱石炭化や脱化石燃料化といった対策のほうがより効果的と考えられるが、

中国では石炭に依存しなければならない状況はこれからも続くであろうから、まず日本からのエネルギー改善と脱硫技術の協力を求められるであろう。グローバルな地球環境問題を考慮する場合は、改善の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あげられるであろう。つまり、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。

6. ま と め

本研究では、中国における部門別、発生源別のSO₂排出量を1980～1997の18年間に渡り推計した。この時系列データにより、大気汚染物質であるSO₂排出量の特徴の分析や、両者と経済成長の関連の要因分析を行った。また、1987、1990、1992、1995、1997年の時点において、工業部門別附加価値当りSO₂排出量変化の要因分析も行った。さらに、主成分分析及びクズネツ曲線の分析も加えた。最後に、SO₂対策についても検討した。その結果は、次の通り明らかになった。

まず、SO₂排出構造から見ると、次の特徴を持っているのがわかった。

- 〔1〕SO₂排出量は増加傾向であるが、増加テンポが緩やかになっている
- 〔2〕SO₂排出構造はエネルギー転換部門を中心とする構造である
- 〔3〕産業部門による排出は重・化学工業を中心とする構造である
- 〔4〕発生源においては石炭を中心とする構造である

したがって、SO₂排出量を減らすためには、エネルギー転換部門、重・化学工業部門及び脱石炭に力を入れるべきであろう。

次に、マクロ的要因分析の結果、この近20年の間、SO₂排出量を大きく発生させたのは一人当たりGDPという経済的要因で、逆にSO₂排出量を大きく抑制させたのはエネルギー消費原単位という技術的な要因であることは明らかになった。

次に、部門別の付加価値当りSO₂排出量変動の要因分析に行くと、割に

張：中国における SO₂ 排出量の部門別推計及び分析

強く働く要因を持っている部門は、窯業・土石、一次金属、化学、石炭採掘業、機械業などの重化学工業部門であることが明らかになってきた。

また、部門別の付加価値当り SO₂ 排出量変動の要因を主成分分析した結果、経済的、技術的要因の二つの主成分が得られた。SO₂ 削減の対策を探るときは、重点的に注目すべき部門としては、やはり窯業・土石、一次金属、その他製造業、化学業、石炭採選業などのいわゆる重化学部門であることが再び証明された。

さらに、環境クズネツツ曲線で検討した結果、全体的にいえば、中国の工業部門別 SO₂ 排出は横ばいあるいは増加傾向にある部門は多い。

最後に、SO₂ 対策については、一貫して SO₂ 排出削減に貢献してきた省エネルギー要因は今後引き続き影響していくと予想されるが、その影響の程度は鈍化するであろう。人口要因も削減の働きには期待できないであろう。脱石炭要因と脱化石燃料要因にはある程度期待できるが、当面の間にはまず難しそうに見える。一方、大きな増加要因となってきた経済要因は経済効率の上昇によって排出削減に期待できるであろう。

本研究の特徴を挙げると、まず、エネルギー消費データから SO₂ 排出量の時系列を作ることができたことである。もし産業連関表のような詳しい時系列データが得られれば、部門別の直接排出量及び誘発された間接排出量の推計は望ましいが、残念ながら、こういったデータが得られなかった。次に、年の限られた産業連関表のデータを利用して、部門別の付加価値当り SO₂ 排出量変化の要因分析を行ったことである。今までなされてきた中国の大気汚染物質の研究に関しては、マクロ的な研究があったが、部門別の研究はまだ少ないようである。今後、さらに中国における地域別の研究に努めていきたい。

参 考 文 献

- (1) 科学技術庁科学技術政策研究所編 (1992)：アジアのエネルギー利用と地球環境，大蔵省印刷局

- (2) 時政 昴 (2000) : 環境制約下の地域間・国際間・多部門経済の持続可能性に関する研究, 平成11年度科学研究費補助金基盤研究〔C〕研究成果報告書
- (3) 時政 昴, 張 宏武 (2001) : 中国のエネルギー消費と大気汚染の部門別分析, 第17回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, エネルギー・資源学会
- (4) 張 宏武 (2000) : 中国における経済成長とエネルギー消費・環境汚染の関係, 修大論叢, 広島修道大学大学院研究会
- (5) 環境庁企画調整局地球環境部編 (1992) : 地球温暖化防止対策ハンドブック [1] 総合評価編, [5] エネルギー編, 第一法規
- (6) 国家統計局 : 中国能源統計年鑑・1989, 1991, 1991~1996, 中国統計出版社
- (7) 国家統計局 : 中国投入産出表・1987, 1992, 1995, 1997, 中国統計出版社
- (8) 国家統計局 : 中国統計年鑑, 各年版
- (9) アジア経済研究所 (1997) : 日本・中国国際産業連関表・1990, アジア経済出版会
- (10) 日本エネルギー経済研究所 (1992) : 中国の大気汚染問題に対するわが国エネルギー産業の国際協力に関する調査 [総論]