

瀋陽市の環境負荷構造の変化

金 丹（富山大学）

はじめに

広大な面積と人口を持つ中国では、自然、経済、社会の条件は多種多様で、地域間格差は大きい。それと同様に環境汚染問題でも地域格差が存在している。また中国の環境汚染は石炭燃焼型汚染と言われている。都市における工場用及び家庭用暖房の石炭の燃焼によるものが多い都市型大気汚染とも言える。そのため都市レベルでの分析が必要となる。本稿では瀋陽市を分析対象とする。

瀋陽市は都市型大気汚染の典型例であるが、1980 年以降、社会的・経済的發展に伴い、貿易取引額、エネルギー消費、自動車台数、そして市民者層における消費の増大が見られたが、大気の水質は悪化することはなく、むしろ一貫して改善されてきた。瀋陽市環境監視センターの統計をもとにした基準によると、1981 年から 1985 年の間の大気の汚染度は「嚴重汚染」、1986 年から 1992 年にかけては「重度汚染」、1993 年より現在に関しては「中度汚染」と評価され、序々に改善の傾向にある。特に 1997 年以降、瀋陽市は、エネルギー規制をはじめとして、産業構造の調整、都市の再構築などを通じて大気保全及び浄化のために力を注いできた。かつて「中国重要汚染都市」であった瀋陽市であるが、2004 年以降は「国家環境保護模範都市」に選ばれ、その改善が著しかっ

た。本稿では、瀋陽市の大気汚染改善要因を究明し、1987 年から 2002 年の瀋陽市の二酸化硫黄の排出構造変化の分析を行う。

慶応義塾大学産業研究所（2002）では、瀋陽市の SO₂ 排出に関する分布状況、データの収集、シミュレーションによる SO₂ 排出量の予測及び技術援助による大気汚染改善の成果などを取り上げた。また、李立（1994）では、1987 年産業連関表とエネルギー消費物量表を用いて、1987 年の中国の SO₂ 発生量を推計し、1987 年の環境分析用産業連関表を作成している。李のデータはエネルギー物量表により SO₂ 発生量のみを推計したため、『中国統計年鑑』などに掲載されている除去率要素を考慮した SO₂ 排出量のデータとは相違がある。また推計の中ではエネルギーが完全燃焼すると仮定し、原材料として投入される部分を見逃したため、現実の値よりは高くなっている。雷明（1998 年）では、中国 1992 年産業連関表を用いて、石炭消費と SO₂ 排出に関する 7 部門（農業、石炭選鉱業、其の他工業、建築業、運輸郵便電信業、商業飲食業、その他サービス業）の環境産業連関表を作成し、分析が行われている。

本稿では、李（1994）が行わなかった SO₂ の除去率（2002 年）を考慮した上で、瀋陽市の 1987 年と 2002 年の 27 部門の環境分析用産業連関表を作成して要因分析を行う。

キーワード：

環境負荷、二酸化硫黄排出量、誘発分析、要因分析

表 1 瀋陽における慢性閉塞性肺疾患有病率 (40 歳以上)

単位：％

地域	慢性気管支炎	喘息	肺気腫	心肺疾患
工業地域	32.7	16.7	4.9	3.4
住宅地域	14.3	7.7	4.2	3.5
郊外	5.0	2.9	2.3	1.3
四日市 (塩浜)	13.2 (対象地区 = 4.1)			
大阪 (西淀川)	5.3 (対象地区 = 3.2)			

注：四日市、大阪の慢性気管支炎有病率は昭和 38 年の厚生省。ばい煙等影響調査結果（厚生省公害課、三重大公衆衛生、大阪府立成人病センター調査部）による。

出所：吉田 (2002) p.262 表 15-5 を参照する。

1. 大気汚染の現状

(1) 中国の大気汚染の現状

中国の一次エネルギー消費量の 75% 以上が石炭によるもので、その内 40% 以上が都市の工場によって消費されていることから、都市の工業部門に起因する環境問題が多い。

中国の大気汚染は、都市における工場用および家庭用暖房の石炭の燃焼によるものが多く、したがって、中国における区分によれば、二酸化硫黄 (SO_2)、煤塵、工業粉塵が主たる汚染物質となっている。大気汚染のレベルは地域によって異なり一様ではないが、廃気排出量の地域分布から見ると、内陸の四川省及び沿海の工業地域に集中しており、全体としてみると華北、東北地域と華東地域で大気汚染が顕著である。

中国の大気汚染の地域分布から見ると、

a. SO_2 濃度が高い地域は、遼寧省を含む北方一帯と重慶市を取り囲む四川省、貴州省の一帯に分けられる¹ (北部：1 日平均 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、南部：1 日平均 96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)²。

b. TSP 濃度 (浮遊粉塵濃度) は全般的に北部の都市の方が南部の都市に比べて高濃度である³ (北部：日平均 407 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、南部：日平均 251 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)⁴。

c. 呼吸器系疾患に対して TSP と SO_2 は相乗的に作用すると言われており、北部の都市が南部の都市より圧倒的に深刻である⁵。

d. 中国の石炭の硫黄含有量が平均 1.2% であるのに対して、南部の硫黄含有量は比較的高く、特に四川省で使用されている石炭の硫黄含有量は

3%～5% の無煙炭である。北部では硫黄含有量が平均 1% 以下の石炭を使用している。

このように中国の環境問題には地域格差が存在している。

(2) 瀋陽市の大気汚染の現状

瀋陽市は重工業基地の一つであり、東北部最大の総合的な工業都市であり、特に機械工業基地として非常に発達している。そのため金属精錬、化学、電気、建材、薬品など大気汚染の原因となる産業も多い。

瀋陽市のエネルギー源の 70% 以上は石炭であり、年間消費量は約 1,100 万トンである。遼寧省の SO_x の排出量は全国第 4 位であり、瀋陽市の排出量は遼寧省の 21% で、省内第一位となっている。 SO_x の排出量は電力、鉄金属圧延加工業、鋳業、化学工業、機械製造などの重工業部門に集中してしている。

中国の国家衛生統計によると、中国の十大都市における人口 10 万人当たりの国際死因分類 ICD-9 による呼吸器疾患死亡率は男 99.6、女 95.5 で、全死因の 17.26% を占め、死因第 3 位となっている。この死亡率は先進国に比べてかなり高く、瀋陽市はさらに高くなっており、年齢修正死亡率は工業地域で 230、住宅地域で 163、郊外で 90、全市平均で 151 となっている。一方、日本で実施されたのと同様の BMRC (英国医学研究会議の咳・痰症状についての標準化問診票による調査方式) による 40～69 歳の住民 3,000 人についての呼吸器症状調査での有病率の調査結果は、工業地

表 2 1987 年瀋陽市の SO₂ 排出量

	部門名	SO ₂ 排出量 (トン)	排出原単位 (kg/ 万元)
1	農業	1426	5.88
2	鉱業	4513	125.36
3	食品製造業	3002	12.92
4	紡織業	3059	24.68
5	縫製品・皮革製品業	718	6.51
6	木材加工・家具製造業	496	9.92
7	製紙・文化教育用品製造業	828	8.08
8	電力・スチーム・水道建設・供給業	10640	643.20
9	石油加工・コークス業	8761	443.39
10	化学工業	3490	11.78
11	建築材料・その他非金属鉱物製造業	5459	51.37
12	金属精錬・圧延加工業	63758	222.42
13	金属製造業	2837	17.57
14	機械工業	9808	19.06
15	交通運輸設備製造業	4925	23.59
16	電気機械・器具製造業	7182	21.95
17	電子・通信設備製造業	766	24.13
18	その他工業	7800	67.23
19	建築業	2388	7.46
20	貨物運輸・郵便通信業	635	3.58
21	商業	1334	3.65
22	飲食業	288	5.93
23	旅客運送業	213	4.59
24	公共事業・住民サービス業	756	5.80
25	文化・教育・衛生・科学研究業	1286	5.78
26	金融・保険業	53	0.55
27	行政機関	580	6.69
合 計		147000	

出所：産業連関表に基づいて筆者作成。

域できわめて高く、高汚染時の四日市及び大阪市の有病率を凌いでいる⁶。瀋陽市の大気汚染が最悪だった時期の大気汚染物質の人体への影響は深刻であった。

瀋陽市の大気汚染は、「第六次五ヵ年計画」（1981～85 年）時には「嚴重汚染」に指定されていたが、「第七次五ヵ年計画」（1986～90 年）時には「重度汚染」、「第八次五ヵ年計画」と「第九次五ヵ年計画」時には「中度汚染」へ、そして 2004 年には「国家模範環境保護都市」へと大幅に改善された。

2. データの構築

(1) 表の構造

本稿では瀋陽市の石炭燃焼によりもたらされた深刻な大気汚染問題について、その主要汚染物質の SO₂ に関して分析を行う。そして 1987 年と 2002 年を対象年次に、まず「取引表」、「エネルギー消

表 3 2002 年瀋陽市 SO₂ 発生量及び排出量

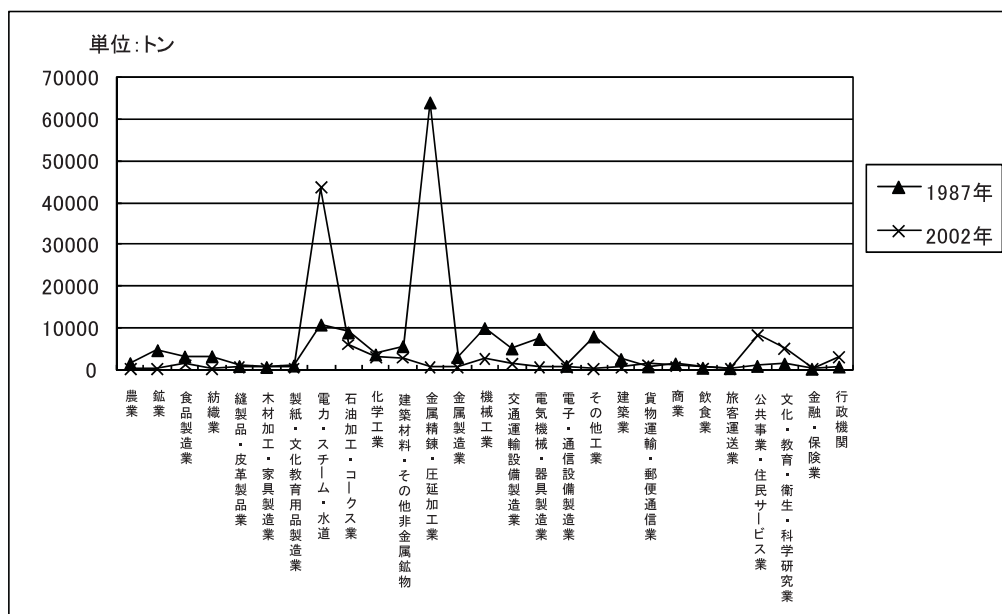
	部門名	SO ₂ 発生量 (トン)	SO ₂ 排出量 (トン)	排出原単位 (kg/ 万元)
1	農業	43	37	0.02
2	鉱業	515	169	1.82
3	食品・タバコ製造業	2204	1152	0.63
4	紡織業	674	229	0.81
5	縫製・皮革製品業	1111	399	1.00
6	木材加工・家具製造業	427	283	0.97
7	製紙・印刷文化教育用品製造業	406	348	0.70
8	電力・スチーム・水道建設・供給業	132776	43457	89.37
9	石油加工・コークス業	12177	5864	28.88
10	化学工業	9630	2769	0.74
11	非金属製品製造業	4393	2661	4.13
12	金属精錬・圧延加工業	898	457	0.50
13	金属製品業	580	421	0.66
14	機械工業	4947	2437	0.50
15	交通運送設備製造業	2712	1394	0.49
16	電気機械器具製造業	597	368	0.10
17	電子・通信設備製造業	564	256	0.11
18	その他工業	173	139	0.41
19	建築業	1085	353	0.13
20	貨物運輸・郵便通信業	2530	1143	0.56
21	商業	1233	708	0.26
22	飲食業	404	243	0.11
23	旅客運送業	349	141	1.43
24	公共事業・住民サービス業	18126	8006	3.00
25	文化・教育・衛生・科学研究業	13313	4995	2.98
26	金融・保険業	197	157	0.20
27	行政機関	5610	2919	5.28
合 計		217672.71	81505.12	

費物量表」、「大気汚染物質発生・排出表」のデータ⁷を整備した。

(2) 表の特徴

先行研究では現在まで、中国及び中国の省レベルでの環境分析は行われてきたが、最新年度の 2002 年の環境分析用産業連関表を取り入れた市レベルでの環境分析はまだ行われていない。そこで、本稿では 2002 年の産業連関表を取り入れ、瀋陽市の SO₂ による大気汚染が一番深刻な時期であると言われていた 1987 年と、大気汚染が大幅に改善された 2002 年との「環境分析用産業連関表」を用いた比較、要因分析を行う。

また、2002 年の SO₂ の発生量と排出量を推計するには 2003 年のデータを用いた。2003 年の SO₂ の発生量と排出量のデータは瀋陽市における 9 割以上の煙突からの排出集計データであり、2003 年の硫黄含有率は各産業で消費された燃料

図1 1987年～2002年SO₂排出量の変化

出所：表2と同様。

別の硫黄含有率が用いられているため、データの信頼性が高い。

(3) 瀋陽市のSO₂排出量変化の推移(1987年～2002年)

表2と表3は、瀋陽市の1987年と2002年のSO₂排出量をそれぞれ推計した結果である。表2を見ると、SO₂排出量の大きい部門は「金属精錬・圧延加工業」、「機械工業」、「電力・スチーム・水道建設供給業」、「石油加工・コークス業」、「交通運輸設備製造業」等に集中していることが分かる。また排出原単位⁸を見ると、「鋁業」、「金属精錬・圧延加工業」、「電力・スチーム・水道建設供給業」、「石油加工・コークス業」の排出量が高く、特に「電力・スチーム・水道建設供給業」は643kgにも上っている。他の工業部門でも平均20kgに達している。

表3を見ると、SO₂排出量の大きい部門は「電力・スチーム・水道建設供給業」、「石油加工・コークス業」、「機械工業」、「化学工業」に集中していることが分かる。排出原単位を見ると、「電力・スチーム・水道建設供給業」、「石油加工・コークス業」は大きく減少しているが、2002年でもいま

だに89kg、29kgと高い水準を維持していることが分かる。

また、1987年から2002年かけてSO₂排出量が一番多く削減された部門が「金属精錬・圧延加工業」であり、「機械工業」、「電気機械・器具製造業」、「鋁業」、「交通運輸設備製造業」が続いている。排出原単位が大きく減少した部門の順位は「電力・スチーム・水道建設供給業」、「石油加工・コークス業」、「金属精錬・圧延加工業」、「鋁業」である。

図1は、表2の1987年瀋陽市のSO₂排出量と表3の2002年瀋陽市のSO₂排出量を部門別にグラフにしたものである。

1987年～2002年にわたってSO₂排出量が大きく削減されたことが分かる。また1987年瀋陽市のSO₂排出量のほとんどは「金属精錬・圧延工業」をはじめとする主要重工業部門から排出されたが、2002年になると「電力・スチーム・水道建設・供給業」による排出に変わったことが分かる。「金属精錬・圧延工業」のSO₂排出量の大幅の削減は、瀋陽市政府の行政指導によりSO₂排出量が高かった国営大企業（「瀋陽冶煉廠」）が強制閉鎖された要因が大きい。

以上のように、「機械工業」は1987年の時点で

表 4 1987-2002 年 SO₂ 発生誘発量

部 門 名	1987 年 SO ₂ 発生誘発量 (単位：トン)	2002 年 SO ₂ 発生誘発量 (単位：トン)	2002-1987 年 SO ₂ 発生誘発量 (単位：トン)
農業	1425	43	- 1382
鉱業	4524	515	- 4009
食品・タバコ製造業	3001	2204	- 797
紡織業	3053	674	- 2380
縫製・皮革製品業	716	1111	394
木材加工・家具製造業	490	427	- 63
製紙・印刷文化教育用品製造業	824	406	- 418
電力・スチーム・水道建設・供給業	10401	132776	122375
石油加工・コークス業	8785	12177	3393
化学工業	3467	9630	6163
非金属製品製造業	5428	4393	- 1035
金属精錬・圧延加工業	64063	898	- 63165
金属製品業	2820	580	- 2241
機械工業	9688	4947	- 4741
交通運送設備製造業	1820	2712	892
電気機械器具製造業	7155	597	- 6558
電子・通信設備製造業	767	564	- 203
その他製造業	7698	173	- 7525
建築業	2388	1085	- 1303
貨物運輸・郵便通信業	629	2530	1901
商業	1321	1233	- 88
飲食業	288	404	116
旅客運送業	213	349	136
公共事業・住民サービス業	753	18126	17373
文化・教育・衛生・科学研究業	1280	13313	12033
金融保険業	52	197	145
行政機関	580	5610	5030
合 計	143630	217673	74043

表 5 1987-2002 年 SO₂ 発生誘発量の順位

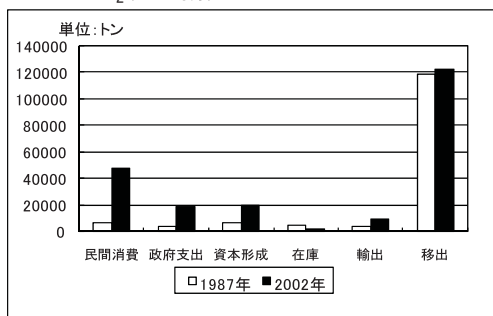
順位	部 門 名	1987 年 SO ₂ 発生誘発量 (単位：トン)	部 門 名	2002 年 SO ₂ 発生誘発量 (単位：トン)
1	金属精錬・圧延加工業	64063	電力・スチーム・水道建設・供給業	132776
2	電力・スチーム・水道建設・供給業	10401	公共事業・住民サービス業	18126
3	機械工業	9688	文化・教育・衛生・科学研究業	13313
4	石油加工・コークス業	8785	石油加工・コークス業	12177
5	その他製造業	7698	化学工業	9630
6	電気機械器具製造業	7155	行政機関	5610
7	非金属製品製造業	5428	機械工業	4947
8	鉱業	4524	非金属製品製造業	4393
9	化学工業	3467	交通運送設備製造業	2712
10	紡織業	3053	貨物運輸・郵便通信業	2530

出所：表 2 と同様。

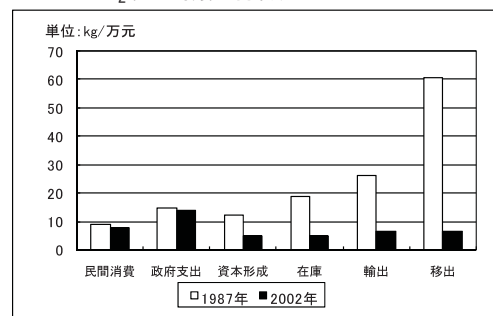
「金属精錬・圧延工業」、「電力・スチーム・水道建設・供給業」に続いて SO₂ 排出量が多かったが、2002 年になるとその順位を大きく下げている。特殊要因「金属精錬・圧延工業」を除くと、「機械工業」の SO₂ 排出量削減率が最大である。また「電力・スチーム・水道建設・供給業」の SO₂

排出量は、1987 年に比べて 2002 年に上昇し第 1 位になっているが、それと対照的に排出原単位の減少率も第 1 位となっている。

その原因を探るために次に、瀋陽市の SO₂ 排出量の削減は瀋陽市の産業構造のどの要因に起因しているのかを詳しく分析する。

図2 1987 - 2002 年最終需要項目別の SO₂ 発生誘発量

出所：表2と同様。

図3 1987 - 2002 年 最終需要項目別の SO₂ 発生誘発係数

3. 瀋陽市の二酸化硫黄の排出構造

環境負荷の要因分析に関する研究の中で、植田・長谷部・鷺田他（1994）では、ある時点（ある国）の最終需要がどれぐらいの原油・石炭・石油製品などの化石燃料部門の生産や輸入を誘発するかという関係を、誘発された生産額を最終需要額で除した化石燃料誘発係数を用いて分析している。本稿では、瀋陽市の生産構造と SO₂ 排出との関連について SO₂ 排出要因分解モデルを用いて分析を行い、その SO₂ 排出量の変化がどのような要因によって変化してきたのかを明らかにする。

(1) SO₂ 発生誘発係数

ここでは、最終需要1単位あたりに誘発される SO₂ の発生量を試算する。ここで利用するモデルは、通常の生産誘発分析モデルを基にしている。輸出入を考慮し、モデル式に修正を加えると以下のように表すことができる⁹。

$$X = [(I - (I - \hat{M})A)]^{-1} [(I - \hat{M})f^D + E]$$

f^D : 国内最終需要 E : 移輸出

M : 移輸入

さらに、この導出式は以下のように示すことができる。

$$\text{SO}_2 \text{ 発生誘発量} = sX_{ij} \quad (1-1)$$

$$\text{SO}_2 \text{ 発生誘発係数} = sX_{ij} / F_j \quad (1-2)$$

s : SO₂ 発生原単位 F_j : 最終需要合計額

表4は1987 - 2002年の最終需要による SO₂ 発生誘発量である。表を見ると、1987年に比べて「農業」及び「縫製・皮革製造業」を除いての軽工業では、2002年に最終需要の全体額が増加したにも関わらずその誘発量が減少している。また第三次産業では最終需要による誘発された SO₂ の発生量の増加が顕著である。第二次産業では「電力・スチーム・水道建設・供給業」、「石油加工・コークス業」の SO₂ 発生誘発量が大幅に増加したことがわかる。重工業部門では「化学工業」以外のほとんどの部門で減少傾向を示し、特に「金属精錬・圧延加工業」の減少が目立つ。

また表5の最終需要による SO₂ 発生誘発量のトップ10の順位を見ると、1987年と2002年の順位が大きく変わったことがわかる。1987年に比べて2002年になると、「電力・スチーム・水道建設・供給業」、「石油加工・コークス業」、「公共事業・住民サービス業」、「文化・教育・衛生・科学研究業」部門の SO₂ 発生誘発量が上位を占めており、SO₂ 発生誘発量も増えている。第2位の「公共事業・住民サービス業」の生産投入を見ると、「電力・スチーム・水道建設・供給業」、「石油加工・コークス業」、「化学工業」による投入が多く、第3位の「文化・教育・衛生・科学研究業」は、「製紙・印刷文化教育用品製造業」、「化学工業」、「機械工業」による投入が多いことが分かる。

図2は最終需要項目別に誘発された SO₂ 発生量である。表4によると、1987年から2002年にかけて最終需要によって誘発された全体の SO₂

の発生量は増減が部門によって異なる。

しかし、図2のように最終需要項目別に見ると、在庫以外のすべての項目の最終需要によって誘発されたSO₂の発生量が上昇している。特に住民消費によるSO₂発生誘発量が多い。また、移出は両時点とも誘発発生量が多いが、部門別に見ると、1987年は「金属精錬・圧延加工業」における誘発が多く、2002年には「電力・スチーム・水道建設・供給業」における誘発が多いことが分かる。

図3は、最終需要1単位あたりに誘発されたSO₂発生量を最終需要項目別に見たものである。1987年に比べて、住民消費と政府支出の1万元あたりの需要により誘発されたSO₂発生量がすべて減少傾向を示している。

最終需要により誘発されたSO₂発生誘発量とSO₂発生誘発係数の分析結果をまとめると、1987年に比べて、在庫以外の最終需要項目のSO₂発生の絶対誘発量は増えているが、その誘発係数は減少傾向にある。生産量は輸出と移出需要の増加によって増加し、SO₂発生量は生産量の増加に伴って増加することは当然である。しかしそれと同時に1単位あたりのSO₂発生誘発量が減少したことは、生産供給の一環でSO₂発生量が削減されていると言えよう。その要因をみるには次の要因分解による分析をみる必要がある。

(2) SO₂排出量の変化の要因分解モデル式

良永(2005)は、エネルギー消費が石炭・褐炭からガスへシフトするドイツを対象に、ドイツの二酸化炭素の削減の原因を、民間最終消費におけるエネルギー消費にも着目した研究を行っている。そこでは、エネルギー投入係数の変化による効果、中間投入係数行列の変化による効果、中間投入の国産化率(輸入率)の変化による効果、最終需要の国産化率(輸入率)の変化による効果、最終需要の構成の変化による効果、最終需要規模の変化による効果などの側面から分析を行ってい

る。

本稿ではエネルギー源別投入量、民間最終消費におけるエネルギー消費量に関するデータの入手が困難であるため、1987年から2002年にかけて瀋陽市のSO₂排出量の変化において、二酸化硫黄の除去要因などの側面から要因分解を行った。瀋陽市のSO₂排出量の削減はどの要因によってもたらされたのかを次のような要因分解モデル式によって分析を行う。

1期、2期のSO₂排出量(V)は、発生原単位sの対角行列Sを用いると以下のように表すことができる。

X : 国内総生産

$\hat{M}$: 移輸入係数

A : 投入係数

f^D : 国内最終需要

E : 移輸出

e' : 除去率

$e : 1 - e'$

$$V_1 = e_1 S_1 X_1 = e_1 S_1 \left[\left(I - (I - \hat{M}_1) A_1 \right) \right]^{-1} \left[(I - \hat{M}_1) f_1^D + E_1 \right] \quad (2-1)$$

$$V_2 = e_2 S_2 X_2 = e_2 S_2 \left[\left(I - (I - \hat{M}_2) A_2 \right) \right]^{-1} \left[(I - \hat{M}_2) f_2^D + E_2 \right] \quad (2-2)$$

1期、2期のレオンチェフ逆行列を以下のように定義する。

$$B_1 = \left[\left(I - (I - \hat{M}_1) A_1 \right) \right]^{-1}$$

$$B_2 = \left[\left(I - (I - \hat{M}_2) A_2 \right) \right]^{-1}$$

(2-1)式と(2-2)式を用いて、1期と2期のSO₂排出量の差($\Delta V = V_2 - V_1$)を以下のように分解する。

$$\begin{aligned}
\Delta V = & \underbrace{e_2 S_2 B_2 (I - \hat{M}_2) (f_2^D - f_1^D)}_{\text{国内最終需要の差}} + \underbrace{e_2 S_2 B_2 (E_2 - E_1)}_{\text{移輸出の差}} \\
& + \underbrace{e_2 S_2 B_2 (\hat{M}_1 - \hat{M}_2) f_1^D}_{\text{移輸入係数の差}} \\
& + \underbrace{e_2 S_2 (B_2 - B_1) [(I - \hat{M}_1) f_1^D + E_1]}_{\text{投入構造の差}} \\
& + \underbrace{(e'_1 - e'_2) S_1 [I - (I - \hat{M}_1) A_1]^{-1} [(I - \hat{M}_1) F_1^D + E_1]}_{\text{除去率の差}} \\
& + \underbrace{e_2 (S_2 - S_1) B_1 [(I - \hat{M}_1) f_1^D + E_1]}_{\text{発生構造の差}} \quad (2-3)
\end{aligned}$$

第1項目は国内最終需要変化、第2項目は移輸出の変化、第3項目は移輸入係数の変化、第4項目は投入構造の変化、第5項目は除去率の変化、第6項目は発生構造の変化である¹⁰。表6は、1987年から2002年にわたって瀋陽市の大気汚染がどの要因によって改善されたのかを分析した結

果を指数化したものである。

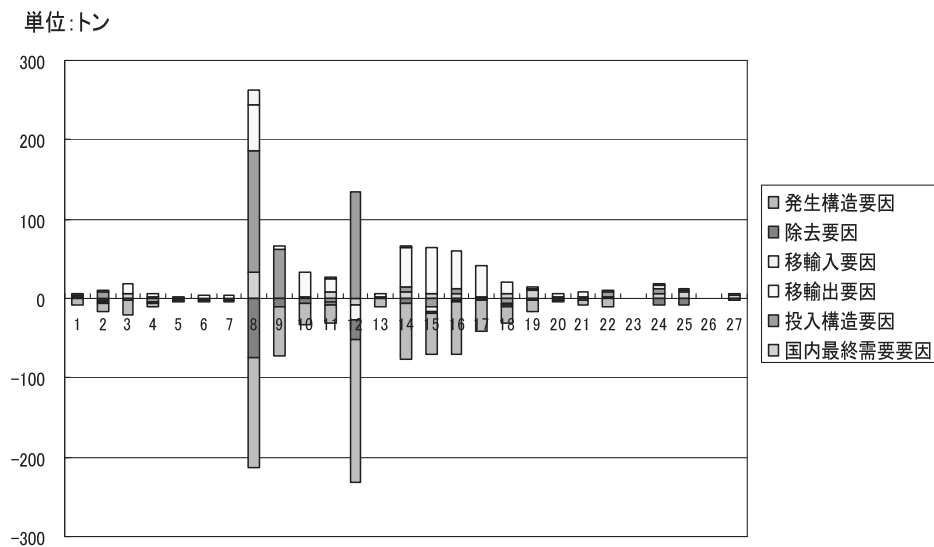
表6から、要因別に1987年から2002年のSO₂排出量の削減要因を見ると、除去要因による排出量の削減と発生構造の改善による貢献が大きいことが分かる。

また投入構造要因による改善は半数近くの部門で見られ、部門別に見ると「軽工業」部門と「化学工業」、「建築材料・その他非金属鉱物製造業」、「交通運輸設備製造業」が改善されたことが分かる。これは瀋陽市が1980年代に技術の停滞などによる産業構造が老朽化していたものが、経済発展とともに、産業構造の高度化を目指して基幹産業である「化学工業」、「機械設備工業」などの産業の技術改造が果たされたからである。ところが「電力・スチーム・水道建設・供給業」、「石油加工・コークス業」、「金属精錬・圧延加工業」では投入構造の要因がSO₂の排出量を増加させる傾向と

表6 各要因別SO₂排出量の指数変化(1987-2002)

	国内最終需要要因	投入構造要因	移輸出要因	移輸入要因	除去要因	発生構造要因	合計
農業	2	1	2	1	0	-8	-2
鉱業	-29	-21	-3	-10	-7		
食品製造業	7	1	11	-1	-2	-17	-3
繊維業	2	-3	5	-1	-2	-5	-4
縫製品・皮革製品業	1	0	1	-1	-1	-1	0
木材加工・家具製造業	1	-1	3	0	0	-2	0
製紙・文化教育用品製造業	1	-1	3	0	0	-3	-1
電力・スチーム・水道建設・供給業	34	153	56	19	-74	-139	50
石油加工・コークス業	-1	63	4	0	-8	-62	-4
化学工業	3	0	30	0	-7	-27	-1
建築材料・その他非金属鉱物製造業	9	-5	17	2	-3	-24	-4
金属精錬・圧延加工業	-9	134	-19	0	-24	-179	-97
金属製造業	2	1	4	0	-1	-10	-4
機械工業	8	6	50	1	-6	-71	-11
交通運輸設備製造業	7	-11	57	-5	-3	-51	-5
電気機械・器具製造業	5	7	49	-1	-2	-68	-10
電子・通信設備製造業	-1	2	39	1	-1	-41	-1
その他工業	6	-6	14	-3	-1	-22	-12
建築業	10	1	0	3	-2	-16	-3
貨物運輸・郵便通信業	1	1	4	0	-1	-4	1
商業	2	-1	6	0	-1	-7	-1
飲食業	2	6	2	0	0	-10	0
旅客運送業	0	0	0	0	0	0	0
公共事業・住民サービス業	7	5	5	0	-8	2	11
文化・教育・衛生・科学研究業	8	0	2	0	-7	3	6
金融・保険業	0	0	0	0	0	0	0
行政機関	4	0	0	0	-2	2	4
合 計	108	361	344	17	-159	-771	-100

出所：表2と同様。

図4 産業別・要因別 SO₂ 排出量の変化（1987年－2002年）

なっている。

移入と輸入要因による「交通運輸設備製造業」の排出量の削減も目立つが、「化学工業」、「機械工業」、「交通運送設備製造業」、「電気機械器具製造業」、「電子・通信設備製造業」の移出と輸出要因による SO₂ 排出量の増加も目立つ。

また国内最終需要要因ではほとんどの部門が増加傾向にあるが、「鉱業」、「石油・コークス業」、「金属精錬・圧延加工業」と「電子・通信設備製造業」では SO₂ 排出量の削減が見られた。

(3) SO₂ 排出量の変化の要因分析

瀋陽市は改革開放政策が打ち出されて以降から現在まで、南方の沿海都市ほどではないが、比較的高い成長率で経済発展を遂げてきた。経済規模が大きくなると同時に石炭を中心としたエネルギー構造（石炭が約60%を占める）はそれほど変わっていないが、2002年になると SO₂ の排出量が大幅に削減されたことがわかる。

全体的に見ると、工業部門の「電力・スチーム・水道建設・供給業」とサービス業の「公共事業・住民サービス業」、「文化・教育・衛生・科学研究業」などの4つの部門の排出量が増加した以外す

べての部門で減少傾向を示した。図4は瀋陽市の1987年－2002年の産業別・要因別の要因分解結果をグラフにしたものである。

図4と表6から部門別要因別を見ると、「電力・スチーム・水道建設・供給業」は1987年から2002年にかけて SO₂ 排出量が増加している。しかし、それを要因別に見ると、国内最終需要、投入構造、移輸出（入）要因が増加をもたらしたが、除去と発生構造による削減効果も見られる。

また、「金属精錬・圧延加工業」は SO₂ 排出量の削減にほとんどの要因が寄与しているのに対し、投入構造が排出量の増加要因となっている。それは旧基幹産業としての「金属精錬・圧延加工業」では技術改善が行われなかったためと考えられる。これは「金属精錬・圧延加工業」が衰退した結果であると言える。主要工業部門では、除去と発生構造要因を除いて「交通運輸設備製造業」が投入構造要因と移入と輸入要因、「電気機械・器具製造業」が移入と輸入要因、「電子・通信設備製造業」が国内最終需要要因によって SO₂ 排出量を削減させたが、他の要因ではすべて増加要因となっている。

まとめ

1987年～2002年の瀋陽市の産業別SO₂発生誘発分析とSO₂排出量の要因分析から以下のようなことが言えよう。重工業を中心とした瀋陽市が経済産業構造の高度化と技術向上を目指すうえで、多くの部門ではSO₂の除去及び発生構造の変化により大気汚染問題が大きく改善された。除去要因によるSO₂排出量の削減は脱硫技術の使用が考えられる。発生構造の変化による削減は、汚染の多い工場の閉鎖と移転及び省エネルギー技術の使用が考えられる。

ところが、主要重工業部門の技術改善がいまだ不十分であり、かつて基幹産業であった「金属精錬・圧延加工業」の衰退によるSO₂排出量の削減効果、「電力・スチーム・水道建設・供給業」のSO₂排出量の増加、輸出と移出の増加によりSO₂排出量が増加などの問題が無視できなくなったことも事実である。

中央政府は2003年に、「長江デルタ」、「珠江デルタ」、「京津冀北」地域の次に東北旧工業基地を振興させる重大な戦略を打ち出した。それに従って、瀋陽市は「瀋陽経済区建設の企画及び対策に対する国際研究会」を開き、「瀋陽大都市地域」の経済発展の長期建設計画を立てた。つまり、今後瀋陽市は経済発展とともに、国内需要、移(輸)

出の規模がますます大きくなると予想できる。そのため、瀋陽市はそれらの要因によって大気汚染の更なる改善は期待されない。しかし、瀋陽市では脱硫装置がまだ十分に稼働していないと言われている。それ故、瀋陽市の大気汚染の更なる改善のために、脱硫技術の開発によるSO₂排出量の削減の余地がまだあると言える。また発生構造要因から省エネルギー技術の向上によるSO₂排出量の削減が期待できると言える。

今後の課題

本稿では生産技術という面に着目し、主に産業部門の投入構造という指標について述べた。しかし、北方都市の瀋陽市は冬季の石炭燃焼による家計消費も大気汚染の重要な要因となっているため、また家計消費により誘発されたSO₂排出が増加した結果からも分かるように、今後家計部門を考慮した環境要因分析が必要であり、今後の研究の第1の課題である。家計内生化モデルを用いて家計消費を環境負荷の要因とした分析が居城(2005)「日本経済の構造変化とCO₂排出構造—産業構造・貿易・家計部門を考慮した産業連関分析」によってすでに行われており、今後それを参考にして発展させていきたい。

- 1), 3), 5) 小島 (2000) p.98, pp.101-102。
 2), 4) 湯浅・孫 (1997) p.244。
 6) 吉田 (2002) 「四日市公害」 p.260。
 7) 金丹 (2007) 『瀋陽市の経済構造変化と環境負荷』 横浜国立大学国際社会科学研究科博士論文 pp.37 ~ 39。
 8) ここでの 排出原単位は単位金額あたり排出される SO₂ の量を指している。
 9) 氏川恵次 (2002) p.223。
 10) (2 - 3) 式は以下のようにも分解できる。

$$\begin{aligned} \Delta V = & e_1 S_1 B_1 (I - \hat{M}_1) (f_2^D - f_1^D) + e_1 S_1 B_1 (E_2 - E_1) + e_1 S_1 B_1 (\hat{M}_1 - \hat{M}_2) f_2^D \\ & + e_1 S_1 (B_2 - B_1) [(I - \hat{M}_2) f_2^D + E_2] \\ & + (e_1' - e_1') S_2 [I - (I - \hat{M}_2) A_2]^{-1} [(I - \hat{M}_2) F_2^D + E_2] \\ & + e_1 (S_2 - S_1) B_2 [(I - \hat{M}_2) f_2^D + E_2] \end{aligned} \quad (2-4)$$

本稿では両式の平均を取る形にする。

参考文献

- 居城琢 (2005) 「日本経済の CO₂ 排出構造変化分析 (石油危機から 90 年代まで) - CO₂ 排出係数, 排出量変化の要因分解, CO₂ 排出スカイライン分析を通じて」『産業連関』第 13 巻第 1 号
 稲田義久・藤川清史・室田弘壽・足立直己 (1997) 「中国の経済成長とエネルギー・環境問題の分析」『経済分析』経済企画庁経済研究所, 第 154 号
 植田・長谷部・鷺田他 (1994) 「環境・エネルギー・成長

- の経済構造分析」『経済分析』第 134 号
 氏川恵次 (2002) 「1997 年中国 CO_x・SO_x エネルギー産業連関表の試作・分析」『経済学』東北大学, Vol.64, No.2
 金丹 (2007) 『瀋陽市の経済構造変化と環境負荷』 横浜国立大学国際社会科学研究科博士論文
 黒田昌裕・木地孝之・吉岡完治・早見均・和田義和 (1996) 「中国のエネルギー消費と環境問題」研究シリーズ 27 通商産業研究所
 慶応義塾大学産業研究所 (2002) 『アジアの経済発展と環境保全—中国環境への日中協力—』慶応義塾大学産業研究所, 第 4 巻
 小島朋之 (2000) 『中国の環境問題—研究と実践の日中関係—』慶応義塾大学出版会
 瀋陽市統計年鑑編集委員会 (1987) 『瀋陽市経済統計年鑑』中国統計出版社
 瀋陽市統計局 (2003) 『瀋陽市統計年鑑』瀋陽市統計局
 長谷部勇一 (1995) 「中国経済の構造変化と環境負荷—1987 年 -1990 年産業連関表による要因分析」『エコノミア』第 46 巻第 3 号
 湯浅良之助・孫偉徳 (1997) 「中国大気汚染の現状及び対策 (1)」『広島修大論集』Vol.38, No.2
 吉田克己 (2002) 『四日市公害—その教訓と 21 世紀への課題—』柏書房
 良永康平 (2005) 「ガス化するドイツ—ドイツの二酸化炭素排出事情—」『産業連関』第 13 巻第 1 号
 雷明 (1998) 「資源 - 経済 - 投入産出核算」『数量経済技術経済研究』第 5 号
 李立 (1994) 「試用投入産出法分析中国的能源消費と環境問題」『統計研究』第 5 号
 遼寧省環境保護局 (1987) 『遼寧省環境統計資料総編』遼寧省環境保護局
 遼寧省環境保護局 (2003) 『遼寧省環境統計資料総編』遼寧省環境保護局

The change of the environmental load structure in Shenyang City

Jin Dan (Center for Far Eastern Studies, University of Toyama)

More than 75% of the first energy consumption in China is due to the coal, and more than 40% of that is due to city factories which cause the environmental problem in the cities. The air pollution level in a city is different from area to area. Therefore, in this paper, I take Shenyang City where the air pollution was remarkable as a sample. The pollution degree of the atmosphere in Shenyang City from 1981 to 1985 was evaluated as "severe" (extreme), and as "medium" (moderate) from 1993 to the present. As a result, the pollution situation was largely improved, and the city was selected as "the national model environmental protection city" in 2004. In this paper, I tried to investigate the problem of the city environmental pollution through factors analysis, by making 27 sectors input-output tables for environment analysis of 1987 and 2002.

In this paper, I tried to analyze sulphur dioxide which is the main pollutant for revealing serious air pollution caused by the coal combustion in Shenyang City. In the analysis, firstly, I gathered all data, i.e. "the input-output tables",

"the amount tables of energy consumption", and "the substance details for air pollution outbreak and discharge" from 1987 to 2002. Secondly, I checked the trend of SO₂ discharge change in Shenyang from 1987 to 2002, then analyzed SO₂ discharge structure based on the amount of SO₂ discharge induction and the coefficient of SO₂ discharge induction. Through the analysis, it is clear that the changes in removing SO₂ in many sectors and the discharge structure from 1987 to 2002 were main factors for improving air pollution in Shenyang city which is one of the main heavy industry cities of China. However, it is said that desulfurization equipments are not fully operated in Shenyang City. Therefore, there is still room for the reduction of the SO₂ discharge by the development of the desulfurization technology for the further improvement of the air pollution in Shenyang City. Moreover, the further reduction of the SO₂ discharge could be expected by the improvement in energy-saving technology from discharge structure factor.