

## 環境規制と技術進歩

——1960年代以降の硫黄酸化物対策に関する日本の経験——

伊 藤 康

### 本稿の課題

「地球環境問題」が政治・経済の様々なレベルにおいて重要な関心事になるにつれ、高度成長期以降の日本の環境政策の経験が改めて注目を集めている。それは、特に昭和40年代以降における日本の環境政策は、国際的にみても非常に厳しかったにもかかわらず、経済的に大きな打撃を与えることなく公害を軽減したと理解されているからである。そのような評価は、OECD(1977)が出版されてから定着したように思われる。日本の公害の原点とも言える水俣病が、発生から30年以上経った今日においても完全に解決に至っていないこと等を考えると、「日本の環境政策は成功した」と単純に言いきってしまうことはできないが、限界はあったにせよ、環境政策が前進したこともまた事実である。その過程で、産業によっては公害防止技術が発展を遂げることができた。最近では日本の「国際貢献」が近年になく叫ばれているが、「高度な公害防止技術」の移転がその目玉の一つとして検討されている。

公害を防止し、良好な環境を維持していくためには、それだけでは限界があるとしても、公害防止技術の発展が不可欠である。しかし、日本の環境政策に関する今日の論調のほとんどは、厳しい規制を行った結果環境が改善されたという事実、あるいは、高度に発達した公害防止技術そのものばかりに注目しているように思われる。「規制によって公害防止技術が発展した」という単純な事実の中にも、2つの解明すべき重要な論点がある。1つは、何故厳しい規制を行うことが可能になったのかということであり、もう1つは、規制が公害防止技術の発展に結び付いていった社会経済的メカニズムがどのようなものであったかということである。前者に関しては、宮本(1987)、同(1989)等の研究があるが、後者に関する研究は、これまであまり行われてこなかった。そこで本

稿においては、後者に関して、特に日本の環境政策の中でも最も効果をあげたと思われる硫黄酸化物対策を事例として、環境規制が公害防止技術（排煙脱硫技術）の進歩に結び付いていった社会経済的メカニズムについて検討する。非常にラフな形ではあるが、当時の日本の経験がもつ一般性と特殊性を示すことができるだろう。ここでは更に3つの問題が生じてくる。第1に規制を有効たらしめた要因は何かということ、第2に規制が公害防止技術進歩に結び付いた当時の社会的経済的背景、第3に減税・補助金・財政投融资等の政策の効果である。第3の補助政策の効果はかなり大きかったと考えられるが、ここでは紙数の制限もあるので、第1と第2の点についてのみ検討することにする。

## Ⅰ 昭和40年代以降の硫黄酸化物対策

### 1. 硫黄酸化物の排出状況

日本経済が復興から高度成長へと向かっていた昭和30年代半ば以降、大気汚染による被害が激しくなっていったが、その大きな原因の一つとして亜硫酸ガス（硫黄酸化物）の排出があった。硫黄酸化物は、主として石油や石炭などの化石燃料に含まれている硫黄が燃焼する際に生じる。その他、鉱石を燃焼する精錬所や化学工場などからも発生する。1970年の排出総量に対する主要業種別の排出構成比は、火力発電30.9%、化学11.3%、窯業9.2%、鉄鋼9.1%、紙パルプ5.5%、石油・石炭4.7%、繊維4.1%となっており、火力発電の割合が圧倒的に高い<sup>(1)</sup>。大気中のSO<sub>2</sub>の濃度は、表1-1のように、NO<sub>2</sub>と比べて、大幅に環境が改善されているのがわかる。

表1-1 SO<sub>2</sub>及びNO<sub>2</sub>地上濃度の推移 (ppm)

|                     | 1965  | 1970  | 1971  | 1972  | 1973  | 1974  | 1975  | 1980  | 1985  |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SO <sub>2</sub>     | 0.057 | 0.043 | 0.037 | 0.031 | 0.030 | 0.024 | 0.021 | 0.016 | 0.011 |
| NO <sub>2</sub> (a) |       | 0.022 | 0.021 | 0.020 | 0.025 | 0.027 | 0.026 | 0.027 | 0.024 |
| NO <sub>2</sub> (b) |       |       | 0.032 | 0.034 | 0.037 | 0.040 | 0.040 | 0.043 | 0.037 |

注意：SO<sub>2</sub>及びNO<sub>2</sub>(a)は一般大気測定局継続15局平均

NO<sub>2</sub>(b)は自動車排出ガス測定局継続22局平均

出所：『環境白書』

## 2. 硫黄酸化物に対する国レベルでの直接規制

硫黄酸化物に対する最初の規制として、1962年に「ばいじん防止法」が制定され、亜硫酸ガス・無水硫酸に対する濃度規制が行われたのであるが、硫黄酸化物の規制基準自体が、戦前の1934年に住友金属鉱山が達成した排出基準よりも高かったことから明らかなように、この法律は被害の防止に有効に機能することができなかった<sup>(2)</sup>。

そこで、より有効な対策をとるために、公害対策基本法が制定された翌年の1968年に大気汚染防止法が制定された。そこでは、硫黄酸化物について、従来の排出口における濃度規制から、排出口の高さ（すなわち煙突の高さ）に応じて排出量を規制するいわゆる「K 値規制」が導入されることになった。<sup>(3)</sup>

翌1969年には、硫黄酸化物に関する環境基準が設定され、「1時間値の1日平均が0.05ppm以下で、かつ1時間値が0.1ppm以下であること」とされた<sup>(4)</sup>。1970年には、いわゆる「公害国会」において旧公害対策基本法の「経済との調和条項」の削除などの改正が行われたが、大気汚染防止法も改正された。ここでは硫黄酸化物に関しては、季節による燃料規制を対象地域を定めて導入した。都心部などは、ばい煙の拡散状況が悪く、ビル暖房などによる燃料使用量の増加が著しいときには、従来のK 値規制は有効でないことから、より直接的に燃料面の規制を行うことになったのである。また1974年には環境基準が改訂・強化され、1時間値の平均値が0.04ppm以下であり、かつ1時間値が0.1ppm以下であることとされた。同じ時期の世界各国のSO<sub>2</sub>の環境基準の1日平均濃度は下表のようになっており、国際的にみても日本の基準が厳しいことがわかる。

表1-2 世界各国のSO<sub>2</sub>濃度の環境基準 (ppm)

|        |      |        |      |
|--------|------|--------|------|
| 日本     | 0.04 | カナダ    | 0.06 |
| フィンランド | 0.10 | イタリア   | 0.15 |
| アメリカ   | 0.14 | 西ドイツ   | 0.06 |
| フランス   | 0.38 | スウェーデン | 0.25 |

出所：OECD『日本の環境政策』，28頁

以上のように規制は強化され続けたのであるが、これらはあくまでも個別の排出規制である。これまでの規制政策によって、確かに硫黄酸化物による被害は以前よりも改善された。しかし、多くの排出源が集中した地域においては、K値規制だけでは、環境基準の達成は困難であった。そのため、一定地域内の大気汚染物質の総量を環境基準に照らして科学的に算定し、排出量をこれ以下に抑えるように個別排出源の規制を行う総量規制の導入が求められたのである。

まずモデル地域を設定して、地域排出許容量の算定基準を算定するなどの準備を行ったうえで、1974年に大気汚染防止法が改正され、硫黄酸化物に対する総量規制方式が導入されることになった。「四大工業地帯」の近接地域や四日市など、当時最も汚染が激しかった地域が指定を最初に受け、その後計3次にわたって指定地域は拡大されていった。硫黄酸化物に対する直接規制は、総量規制の導入によって一段落した<sup>6)</sup>。

### 3. 地方自治体の役割

これまでは国レベルにおける対策について述べてきたが、当時のわが国では被害に直面した地方自治体の対策の方がはるかに進んでおり、国の対策はそれに引っ張られてようやく進展するという図式になっていた。国の法律による規定がない時期から、住民の世論を背景に、公害防止条例制定や公害防止協定の締結など、ありとあらゆる手段を講じて環境政策を進めていったのである。

例えば、ぜんそくなどの被害が激しかった三重県四日市市では、特に亜硫酸ガスによる大気汚染防止対策が最重要課題であったが、1972年に国に先だって総量規制を盛り込んだ条例を設けた。その経緯について、それに携わった三重大学医学部(当時)の吉田克己氏は次のように述べている。「……その目標を実現する計画内容としては、四日市市内で汚染を出している企業、これが約300社、煙突で約400本あるわけですが、それに関する資料を全部集めた。それを当時、大阪府の大志野教授が拡散解析をやっておられたのと、それから、大阪市監視センターの中野所長もそういうことを試みておられる時点であったわけです。それでこの2人の方に三重県に来てもらいまして、相互にミーティングをやり、基本的に大志野さんの考えで拡散式を解かせると、それが現実合うのかどうかということを、市内に30カ所に観測点をつくりまして、そして全部合わせていったわけです。……」、「それから担保の問題、……実際的な手段はどうしているのかと言うと、排出量の95%を占めている18工場に対しては、全部

の燃料パイプに放射能を使う S 分の検出計と流量計をつけて、それをセンターに15分おきに電送することを義務づけているわけです。……それ以下の企業に対しては、使用する燃料の S 分の最高値を割当総量から計算しまして、いかなる立ち入り時においても、これだけパーセント以下でなければならない。つまり15分おきの送信義務はないかわりに、そういう義務がつくということでやっているわけです。それを担保するためには、職員がたくさんの工場を回らなければならない。大きな工場は回る必要はないけれども、しかしこれも1年に1回ずつチェックをしないといけないわけです。メーターを封印して、これが1工場でだいたい100ヶ所くらいあるわけです。……」<sup>(6)</sup>

この例からも明らかのように、このような地方自治体の努力の集積が、規制を実際に有効たらしめていたわけである。直接規制を行うにせよ課徴金等の間接規制を行うにせよ、それを支える地方自治体の監視体制・運用能力等の水準が高くなければ、規制の実効性は担保できない。このことは国の教育水準、しかも一部エリート層だけでなく、国民一般の基礎的教育水準という問題と関わってくる。この一見明白に思われる事実は、途上国の経済発展と環境保全の両立という問題を考える際に重要なインプリケーションをもつ。すなわち、たとえ高度な公害防止装置を援助等で提供したとしても、監視体制がしっかりしていないと、防止装置が使用されるとは限らない。しかもその監視には、上述したように、莫大な労力が必要となる。特に中小企業が排出する汚染の割合が高くなるほど、監視は困難である。従って、援助として公害防止装置の移転を行うだけでは、環境改善への実効性は疑わしい。

## II 規制への対応

### 1. 燃料低硫黄化の推進

硫黄酸化物の排出量を削減、あるいは空気中の硫黄酸化物濃度を下げするための対策としては、①燃料・原料の低硫黄化、②高層・集合煙突化、③重油脱硫及び排煙脱硫、④LNG等へのエネルギー転換、の4つがある。

日本における硫黄酸化物対策は、①の燃料等の低硫黄化で始まった。燃料低硫黄化への着手には、国の規制に先立って制定された各地方自治体の公害防止条例や自治体と企共との間で結ばれた公害協定によるところが大きい。表2-1は、輸入原油中の平均硫黄含有率の推移を示したものである。これをみると、

昭和40年代を通じて、硫黄分含有率が一貫して減少しているのがわかる。しかし同時に、燃料使用量自体が増加し続けたため、日本全体で使用する燃料の中に含まれている硫黄量は増加した。従って、燃料使用量が増加する以上、燃料の低硫黄化の推進だけでは環境改善は達成できないことは明らかであった。

表2-1 輸入原油中の平均硫黄含有率の推移

| 年度   | 平均硫黄含有率 (%) |      | 輸入量 (千 kl) |        | 硫黄量    |
|------|-------------|------|------------|--------|--------|
|      | 精製用         | 非精製用 | 精製用        | 非精製用   | 合計(千t) |
| 1967 | 1.93        | 1.93 | 120,971    | 4,166  | 2,090  |
| 1968 | 1.82        | 1.03 | 141,921    | 4,926  | 2,272  |
| 1969 | 1.69        | 0.99 | 168,586    | 6,013  | 2,502  |
| 1970 | 1.58        | 1.28 | 195,223    | 9,647  | 2,762  |
| 1971 | 1.55        | 1.04 | 211,143    | 13,236 | 2,935  |
| 1972 | 1.49        | 0.77 | 228,016    | 18,864 | 3,041  |
| 1973 | 1.43        | 0.47 | 264,263    | 24,346 | 3,337  |
| 1974 | 1.48        | 0.31 | 251,072    | 24,815 | 3,252  |
| 1975 | 1.47        | 0.20 | 238,878    | 23,906 | 3,048  |
| 1976 | 1.45        | 0.18 | 252,080    | 23,746 | 3,159  |
| 1977 | 1.48        | 0.14 | 251,618    | 25,859 | 3,214  |
| 1978 | 1.55        | 0.13 | 244,947    | 25,174 | 3,277  |
| 1979 | 1.55        | 0.13 | 254,824    | 22,319 | 3,405  |
| 1980 | 1.53        | 0.12 | 231,087    | 18,112 | 3,043  |

出所：石油連盟『内外石油資料』

## 2. 高層・集合煙突化

I で述べたように、大気汚染防止法では K 値規制を導入したが、これは地上における着地量を規制したものであり、排出口の高さが高ければ許容排出量も多くなる。そこで高層煙突化が進められるようになった。大気汚染防止法が制定されてから、高層煙突の生産は急速に増加している（表2-2）。

K 値規制は排出量算定式より、もし煙突の高さが2倍になれば排出許容量は4倍にまで拡大することになる。従って、高層煙突化は抜本的対策とはいえず、汚染源が集積している地域においては、有効な対策たり得ない。高層煙突化はあくまで補助的手段にすぎなかった。

### 3. 脱硫装置の設置

硫黄酸化物の発生を防ぐための抜本的対策としては、燃料の重油から硫黄分を除去する重油脱硫と、発生した硫黄酸化物を大気中に放出する前に除去する排煙脱硫、の2つがある。それぞれ生産額・設置数及び処理能力は表2-2、2-3のように推移している。当初は重油脱硫装置の方が先行していたが、後には排煙脱硫装置が急速に普及していく。特に排煙脱硫装置の生産額は、1974年度に約1,470億円に達し、前年度の約4倍になっているが、この原因は明らかにこの年に導入が決定された総量規制に対応するためであった。

需要先は、重油脱硫装置はほぼ100%石油精製業なのに対し、排煙脱硫装置はかなり分散はしているが、特に鉄鋼業と電力の比率が高い(表2-4)。ただし、発電所や鉄鋼プラントに設置する装置は処理能力が高く1台当りの金額が高いので、金額ベースでみるとこれらの業種の比率が高くなるが、基数ベースでみると繊維、石油化学、紙パルプなどの比率が高くなる。処理能力別の設置状況及び資本金規模別の設置比率は、表2-6、2-7、2-8の通りである。

これらの表から、排煙脱硫装置は、当初大企業の工場が中規模程度の処理能力のものを設置するが多かったが、技術進歩により発電プラントや鉄鋼の焼結プロセスで発生するガスを処理できるような処理能力の大きい装置も設置されるようになっていったということがわかる。その一方、既に1970年代の中ごろまでには、排煙脱硫装置が中小事業所にまで普及していた。また資本金1億円未満の中小企業が排煙脱硫装置を生産しているが、これは中小企業が設置する処理能力が小さく、1台数百万円程度の価格が安い装置と考えられる。

このような幅広い普及は当然技術進歩が前提となるが、何故そのような技術進歩が可能になったのだろうか。次にこの問題について考察してみよう。

表2-2 硫黄酸化物関連防止装置生産額(百万円)

|      | 高層煙突   | 重油脱硫   | 排煙脱硫    | C重油価格  |
|------|--------|--------|---------|--------|
| 1966 | 1,521  | 85     | 267     | 4,736  |
| 1967 | 4,037  | 11,348 | 800     | 5,341  |
| 1968 | 4,728  | 18,811 | 2,021   | 5,186  |
| 1969 | 11,198 | 23,860 | 1,258   | 4,390  |
| 1970 | 18,131 | 9,892  | 3,634   | 4,722  |
| 1971 | 29,505 | 16,010 | 8,247   | 5,946  |
| 1972 | 9,126  | 24,436 | 14,923  | 5,197  |
| 1973 | 9,536  | 38,099 | 37,757  | 7,128  |
| 1974 | 7,886  | 29,282 | 146,713 | 21,987 |
| 1975 | 6,651  | 79,676 | 95,204  | 22,400 |
| 1976 | 10,355 | 47,562 | 98,044  | 21,668 |
| 1977 | 3,813  | 5,419  | 45,003  | 21,647 |
| 1978 | 5,552  | 954    | 20,807  | 16,849 |
| 1979 | 4,981  | 1,089  | 11,593  | 30,548 |
| 1980 | 6,215  | 9,759  | 26,428  | 43,894 |

注：C重油価格は円，CIF 価格

出所：石油連盟『内外石油資料』，日本産業機械工業会資料



表 2 - 3 排煙脱硫装置状況

|      | 設置数計  | 処理能力計 |
|------|-------|-------|
| 1970 | 102   | 5.4   |
| 1971 | 183   | 9.3   |
| 1972 | 323   | 18.0  |
| 1973 | 543   | 28.8  |
| 1974 | 768   | 42.7  |
| 1975 | 994   | 79.5  |
| 1976 | 1,134 | 103.8 |
| 1977 | 1,192 | 110.5 |
| 1978 | 1,227 | 114.8 |
| 1979 | 1,266 | 117.5 |
| 1980 | 1,329 | 122.0 |

出所：『環境白書』各年版

表 2 - 4 排煙脱硫装置の処理能力別の設置状況 (単位：基数)

| 処理能力    | 70年度累積 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 |
|---------|--------|----|----|----|----|----|
| 100以上   |        |    |    |    |    | 10 |
| 50-100  |        |    | 1  | 2  | 6  | 19 |
| 30-49   |        | 1  | 5  | 5  | 12 | 19 |
| 10-29   | 14     | 12 | 21 | 23 | 27 | 52 |
| 4-9     | 20     | 12 | 21 | 37 | 31 | 52 |
| 1-3     | 36     | 32 | 55 | 96 | 73 | 84 |
| 0.5-0.9 | 12     | 7  | 18 | 21 | 26 | 27 |
| 0.499以下 | 8      | 9  | 15 | 33 | 43 | 19 |

注意：処理能力の単位は (万 Nm<sup>3</sup>/h) 出所：『環境白書』, 1977

表2-5 排煙脱硫装置需要部門別生産額の推移(百万円)

| 年度    | 1970  | 1971  | 1972   | 1973   | 1974    | 1975   |
|-------|-------|-------|--------|--------|---------|--------|
| 食品    | 338   | 374   | 154    | 175    | 1,515   | 1,508  |
| 繊維    | 32    | 469   | 229    | 3,151  | 6,827   | 4,407  |
| 紙パルプ  | 12    | 763   | 713    | 695    | 3,315   | 2,182  |
| 石油/石炭 | 724   | 768   | 1,317  | 1,457  | 7,523   | 2,738  |
| 石油化学  | 10    | 0     | 332    | 3,699  | 10,763  | 4,632  |
| 化学    | 193   | 152   | 700    | 4,814  | 8,545   | 10,855 |
| 窯業    | 4     | 727   | 1,140  | 554    | 1,750   | 492    |
| 鉄鋼    | 416   | 1,099 | 1,052  | 8,103  | 18,558  | 6,512  |
| 非鉄金属  | 296   | 45    | 1,029  | 1,027  | 3,999   | 3,946  |
| 機械    | 0     | 36    | 137    | 82     | 13      | 33     |
| その他   | 2     | 70    | 669    | 1,694  | 0       | 1,863  |
| 電力    | 1,533 | 1,139 | 6,368  | 10,683 | 80,955  | 54,378 |
| 鉱業    | 16    | 2,500 | 705    | 0      | 67      | 0      |
| 民需計   | 3,589 | 8,157 | 14,705 | 36,135 | 145,896 | 94,106 |

  

| 年度    | 1976   | 1977   | 1978   | 1979   | 1980   | 1981   |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 食品    | 209    | 87     | 61     | 8      | 298    | 0      |
| 繊維    | 2,352  | 60     | 32     | 55     | 49     | 11     |
| 紙パルプ  | 1,337  | 347    | 302    | 136    | 1,055  | 88     |
| 石油/石炭 | 7,274  | 4,615  | 489    | 688    | 2,285  | 276    |
| 石油化学  | 464    | 10     | 268    | 1,003  | 33     | 280    |
| 化学    | 1,991  | 414    | 849    | 463    | 196    | 237    |
| 窯業    | 449    | 141    | 1,167  | 56     | 219    | 2      |
| 鉄鋼    | 23,808 | 538    | 507    | 0      | 2      | 2,758  |
| 非鉄金属  | 248    | 21     | 0      | 0      | 556    | 0      |
| 機械    | 174    | 9      | 0      | 16     | 10     | 109    |
| その他   | 436    | 0      | 32     | 32     | 35     | 545    |
| 電力    | 59,177 | 38,052 | 16,572 | 8,274  | 20,637 | 23,015 |
| 鉱業    | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 404    |
| 民需計   | 97,859 | 44,853 | 20,410 | 10,781 | 25,375 | 27,725 |

出所：日本産業機械工業会資料

表2-6 資本金別排煙硫装置設置比率

|   | 1億未満  | 1億以上  | 10億以上 | 50億以上 | 100億以上 | その他 |
|---|-------|-------|-------|-------|--------|-----|
|   | 10億未満 | 50億未満 | 100未満 |       |        |     |
| % | 23.9  | 27.2  | 14.0  | 12.8  | 14.9   | 7.2 |

注意：通産省によるアンケート調査

出所：通産省『公害防止装置産業の実態』, 1976

表2-7 業種別設置比率

| 業種    | 比率   | 業種      | 比率   |
|-------|------|---------|------|
| 繊維    | 23.8 | 紙パルプ    | 14.5 |
| 化学    | 20.3 | 電力      | 5.1  |
| 非鉄・鉄鋼 | 6.1  | 金属製品・機械 | 4.1  |
| 窯業    | 5.6  | ゴム皮革    | 2.3  |
| 食料品   | 6.8  | その他     | 11.4 |

出所：前表と同じ

表2-8 排煙脱硫装置の資本金別生産状況

| 資本金      | 1973年度 |     |        | 1974年度 |     |        |
|----------|--------|-----|--------|--------|-----|--------|
|          | 会社数    | 基数  | 金額     | 会社数    | 基数  | 金額     |
| 5千万未満    | 4      | 29  | 126    | 2      | 22  | 244    |
| 5千万-1億   | 2      | 106 | 281    | 2      | 135 | 337    |
| 1億-10億   | 8      | 75  | 1,608  | 11     | 113 | 2,958  |
| 10億-100億 | 10     | 49  | 4,567  | 10     | 55  | 29,952 |
| 100億以上   | 9      | 55  | 16,273 | 12     | 37  | 22,504 |
| 合計       | 33     | 314 | 22,855 | 37     | 362 | 55,995 |

注意：金額の単位は百万円 出所：前表と同じ

### III 排煙脱硫技術の進歩

#### 1. 昭和40年代までの研究開発状況

排煙脱硫装置の歴史は意外に古く、1927年にロンドンの電力会社が設置したことに始まる。日本においては、昭和30年代の半ば頃から海外から脱硫処理の技術導入が行われており(表3-1)、この時期から自社内での研究開発も行われるようになったと思われる。しかし、世界的にみても脱硫技術は依然として開発途上の段階にあった。

表3-1 公害防止関連技術導入件数の推移

|      | 排水処理 | 集塵・塵芥 | 車排ガス | 脱硫処理 | 騒音防止 | その他 |
|------|------|-------|------|------|------|-----|
| 1966 | 9    | 1     | 0    | 5    |      |     |
| 1967 | 13   | 3     | 4    | 6    |      |     |
| 1968 | 8    | 6     | 9    | 21   |      |     |
| 1969 | 7    | 9     | 5    | 9    |      |     |
| 1970 | 15   | 11    | 8    | 16   | 1    | 12  |
| 1971 | 28   | 15    | 6    | 17   | 2    | 13  |
| 1972 | 22   | 27    | 11   | 24   | 0    | 6   |
| 1973 | 23   | 38    | 6    | 21   | 0    | 14  |
| 1974 | 40   | 18    | 8    | 19   | 1    | 6   |
| 1975 | 44   | 17    | 10   | 14   | 2    | 29  |
| 1976 | 34   | 24    | 14   | 12   | 5    | 20  |
| 1977 | 18   | 19    | 4    | 5    | 5    | 10  |
| 1978 | 36   | 26    | 6    | 18   | 6    | 20  |
| 1979 | 19   | 14    | 2    | 9    | 7    | 18  |
| 1980 | 12   | 14    | 5    | 15   | 6    |     |

出所：科学技術庁『外国技術導入年次報告』各年版

排煙脱硫の技術には、大きく分けると「湿式」と「乾式」の2つがある。亜硫酸ガスを吸収除去するのに、湿式法は、排煙中の亜硫酸ガスと化学的に反応しやすい化合物を水に溶解させた吸収液を排煙と接触させるが、乾式法は、固体状の吸収剤を排煙と接触させて行う。1960年代までは国の内外とも湿式が優勢であった<sup>(7)</sup>。

湿式法の長所は、亜硫酸ガスと吸収液の反応スピードが早く、高い脱硫効率が得られるという点である。しかし同時に、煙突から放出されるガスが多量の水分を含み、広い範囲に拡散しないことから、一部の地域の被害を大きくする場合があることが指摘されていた。昭和30年代後半から40年代前半にかけては、火力発電所の硫黄酸化物対策が大きな課題であったが、火力発電所では処理する排ガスの量が非常に多く、湿式法は不適であると判断されており、大量の排ガスを処理できる乾式排煙脱硫装置の開発が求められる状況にあった。

## 2. 大型プロジェクトによる研究・開発

### (1). 研究の概要

大型プロジェクト制度とは、社会的・経済的ニーズの大きい先導的かつ大規模工業技術であって、開発リスクのきわめて大きなものについて、国が全額所要経費を負担して研究開発を行うことを目的とした制度である<sup>(8)</sup>。

火力発電所における排煙脱硫に関しては、当時次のような問題があった。

- ①排煙量がきわめて多く、しかも硫黄酸化物濃度が薄いので、これを効率よく除去するのは技術的に非常に困難である。
- ②電力事業という性質上、付設する脱硫設備もこれに十分適応できるような高度の技術的信頼性が要求される。
- ③火力発電プラントは、一般の化学プラントに比べて負荷変動が激しく、また年間利用率も一般に低いので、設備費の負担が高くなる。

このような状況下で、工業技術院の大型プロジェクト制度の最初のテーマの1つとして、活性炭脱硫法と活性化マンガン法による火力発電を対象とした（乾式）排煙脱硫に関する研究開発が取り上げられた。予算は26億円で昭和41年度から実際に研究がスタートした。

ここで排煙脱硫装置の設置対象として電力会社が選ばれたのは、表1-1で述べたように、硫黄酸化物の排出量の30%以上を占めていたという事実と、重油の大量需要者である電力で排煙脱硫装置が設置されれば、その分低硫黄重油に余裕ができると考えられたからである。また、電力が「公益事業」であり、電気供給の地域独占を認められている特殊な業界であるという事実も影響したと思われる。

研究開発体制については、活性炭法は日立製作所と東京電力が、活性化マンガン法については三菱重工業と中部電力が委託先になった。基本計画、評価

等については、工業技術評議会大型技術開発部会及び評価部会で審議の上定められた。三菱重工は、1963年に活性酸化マンガン法の実験室テストに成功し、翌年にはパイロットプラントを建設し、1次試験を行っていた。また日立も、1962年から活性炭法による研究を始めているなど、両者とも割合早くから研究に着手し、ある程度の技術的な見通しがあり、数年の間に研究成果のメドを得ることができる見込みがあると考えられたため、大型プロジェクトによる補助の対象となったのである。研究開発の目標は、脱硫率90% 処理経費重油1kl当たり500円程度、プラントの規模は、活性炭法がテストプラント(6,000Nm<sup>3</sup>/h)、パイロットプラント(15万Nm<sup>3</sup>/h)、活性酸化マンガン法がパイロットプラント(15万Nm<sup>3</sup>/h)であった。

## (2). 研究成果

活性炭法は1969年9月に、活性酸化マンガン法も69年3月に、大型プロジェクト制度による研究は終了したが、その後、前者については中央電力評議会と日立が、後者については同じく中央電力評議会と三菱重工が資金を拠出し、研究を引き継いだ。それまでの研究で9割方当初の目標を達成することができていたが、それはあくまでも実験プラントとしてのものであった。従って追加研究の目的は、火力発電所に設置されるということから、特にプラントとしての信頼性の確立に重点がおかれることになった。

しかし、その後の研究開発の成果は、決して満足のいくものではない。活性酸化マンガン法については更に、これらの研究の集大成として1972年2月、四日市火力発電所に資金16億円で当該発電プラントの出力の半分に相当する脱硫装置を三菱重工が建設し、電力10社と共同研究を行っていた。当時は「四大公害裁判」の判決が原告の勝訴に終わるなど、より一層厳しい公害対策をとることを求める社会的風潮があった。そのような中で、四日市市においては総量規制が導入されるようになり、低硫黄燃料の使用が以前に増して求められるようになったのである。しかし、使用する重油の硫黄分が1%以下に低下するにつれ、脱硫率が当初の設計値の90%から50%、更にそれ以下へと大きく落ち込むことが明らかになった。技術陣は脱硫能力の低下を防ぐために各種の方策を試みたが、ランニングコストが膨大となり、また性能保障が困難になることがわかった。更に、数カ月に1回の補修が必要になることなどもコスト増大の原因の1つとなった。

これらの事情により、1973年7月に、実用機としては評価することができないという報告が電気事業連合会でなされた<sup>(9)</sup>。大型プロジェクトによる乾式脱硫法の研究・開発は、技術的にみる限り失敗であったといわざるを得ない。事実、その後火力発電プラントにも、それまでは不適と考えられていた湿式排煙脱硫装置が設置されている。

以上の結果から考えると、大型プロジェクトが排煙脱硫技術の進歩に対して与えた影響は、少なくとも技術開発の成果そのものにあるのではない。影響を与えたとするならば、それは脱硫技術の開発目標を示し、ユーザー及びメーカーの関心を集め、多くの実験データを得ることにあつたと思われる。実際に公害の被害に直面していた地方自治体の中には、条例・公害防止協定を補強する根拠としたところもあつた<sup>(10)</sup>。

### 3. 民間企業による技術開発競争

上述のように、国による排煙脱硫技術の研究開発は、少なくとも、直接的には大きな役割を果たさなかった。そうである以上、民間企業の技術開発が第1に重要な役割を果たしたことになる。

企業が排煙脱硫技術の開発に取り組む契機としては、汚染物質を排出している企業が規制に直面してやむを得ず取り組む場合と、自らは汚染は出さない企業が、将来的に脱硫技術に対する需要が増大することを見込んで参入する場合とに分けられる。

表3-2は1975年10月現在の処理プロセス別の排煙脱硫装置メーカー上位10社（処理能力順、ただし共同開発のケースが2件あるので実際は12社）の実績を示している。この中では、鉄鋼業のような汚染排出型企業よりも、むしろ三菱化工機、千代田化工建設などの排煙脱硫装置のユーザーではない企業、すなわち自らは汚染物質をあまり排出しないエンジニアリング企業が数多く排煙脱硫装置の市場に参入しているのが目だつ。この表に出ている他に、東洋エンジニアリング、日揮などの代表的なエンジニアリング企業のほとんどが、規模・数量の差こそあれ排煙脱硫装置の市場に参入している。

こうしたことから、昭和40年代後半には、将来の市場の増大を見込んで多くの企業が排煙脱硫装置の生産に参入し、企業間で技術開発競争が活発におこなわれたことが、排煙脱硫技術の進歩に大きく寄与していると考えられる。実際、1971年度から1974年度にかけて排煙脱硫装置を生産している企業数は、1年毎

に26, 31, 38, 42社と推移しており、多くの企業がこの市場に参入し、激しい技術開発競争が行われていたことが伺われる<sup>(11)</sup>。また、アンケート調査によっても、競争が激しかったことが裏付けられる<sup>(12)</sup>。

排煙脱硫装置の供給者は、主として上述したように（プラント）エンジニアリング企業である。エンジニアリング業界の受注は、日本経済の高度成長と歩調を合わせて1960年代に一貫して拡大してきた。しかし、1970年に入って停滞の傾向が見られるようになり、1971年になると石油化学を中心にアンモニア、肥料、塩化ビニルなどの大型設備が一斉に稼働し始めたことから供給過剰が表面化した。エチレン、塩化ビニルが生産制限等を内容とする不況カルテルを結成するなど、化学工業その他の設備投資が全く期待できない状況となった。このように、従来の主力部門からの受注があまり見込めなくなったので、徐々に規制が強化されつつあり、以後の需要拡大が確実視される公害防止装置、特に排煙脱硫装置の技術開発に、多くのエンジニアリング企業が積極的に取り組んだのである。このようなエンジニアリング業界をとりまく当時の経済的背景が、排煙脱硫技術の開発競争を活発にした一因となったと考えられる。

表3-2 プロセス別排煙脱硫設備設置実績（1975.10現在）

| プロセス           |            | 排ガス総処理量 | 基数  |
|----------------|------------|---------|-----|
| 1. 石灰/石灰石-石膏   | 三菱重工       | 18,270  | 33  |
| 2. 石灰石-石膏      | 日立-バブコック日立 | 6,940   | 13  |
| 3. ウェルマンロード    | 三菱化工機      | 6,478   | 13  |
| 4. 亜硫酸-石膏      | 呉羽化学-川崎重工  | 5,450   | 6   |
| 5. 希硫酸-石膏      | 千代田化工      | 4,459.5 | 14  |
| 6. 石灰石-石膏      | 石川島播磨      | 4,444.8 | 17  |
| 7. KBCA プロセス   | 倉敷紡績       | 3,428.5 | 102 |
| 8. 亜硫酸回収       | 月島機械       | 3,140   | 23  |
| 9. 石灰石-石膏（ケミコ） | 三井三池製作所    | 2,744   | 4   |
| 10. アンモニア-硫酸   | 日本鋼管       | 2,140   | 3   |

注意：計画中建設中を含む、処理量の単位は（Nm<sup>3</sup>/h）

出所：山田（1979），59頁より作成



表 3 - 3 化学機械の生産と受注

| 年度   | 生産      | 受注        |
|------|---------|-----------|
| 1968 | 208,400 | 434,800   |
| 1969 | 268,000 | 550,000   |
| 1970 | 316,200 | 795,500   |
| 1971 | 308,000 | 742,000   |
| 1972 | 217,560 | 890,615   |
| 1973 | 254,280 | 1,293,768 |
| 1974 | 360,800 | 1,553,000 |

単位：百万円

出所：日本産業機械工業会資料

#### 4. 環境規制と技術進歩の日本的要因

1960年代に、日本は盛んに脱硫技術を外国（特にアメリカ）から導入していたことからわかるように（表3-1）、脱硫技術の原理的側面に関しては、アメリカが優位に立っていた。ところが1978年の段階で、アメリカの排煙脱硫装置の設置状況は、建設中などのプラントを含めても140台程度であり、実用化という点では日本の方がはるかに進んでいる<sup>(13)</sup>。この例からも明らかなように、直接規制であれ課徴金等の間接規制であれ、何らかの規制を行わなければ公害防止技術の進歩は考えられないが、規制を強化すれば、それが直ちに公害防止技術の進歩・発展につながるとは限らない。例えば、技術開発のための努力を行わずに環境規制の緩い国に工場等に移転するという選択も企業には残されている。従って、環境規制の強化は、公害防止技術の進歩の必要条件であっても十分条件ではない。昭和40年代以降の日本における硫黄酸化物対策に関しては、規制の強化が技術開発競争、そして技術進歩へと結び付いたのであるが、それは何故可能になったのであろうか。

ここでは、環境規制の強化による企業（製造業）の国外流出の可能性という観点からみてみよう。もし他の条件が同じときに、日本の企業の方が外国の企

業に比べて海外直接投資をためらわせる傾向があったとすれば、言い替えれば日本企業の海外立地のコストが高ければ、環境規制が強化されたときに、日本企業は他国よりも公害防止技術の開発に向いやすいと言える。

日本の製造業の海外進出は1970年代初頭に急増した(表3-4)。その背景としては、実質賃金の上昇、円高の進展、国際収支の黒字傾向の定着がある<sup>(14)</sup>。まず第1に、1960年代に入ると労働力が希少化し、実質賃金が上昇したが、それにより、日本の労働集約型産業の国際市場における競争力は低下し、日本企業の海外進出圧力は高まりつつあった。第2に、国際収支の黒字基調が定着し外貨準備が増大した。国際収支の均衡のため、円切上げが提案されたりしたが、政府はこれには消極的で、資本輸出を促進して国際収支の均衡を図り、円切上げを回避しようとした。周知の通り、第2次大戦後、日本の海外直接投資は嚴重に制限されていたが、こうした状況の中で、1969年から1971年にかけて、政府は海外直接投資の許可枠を撤廃し自由化を進めると共に、発展途上国への海外投資損失準備金制度、海外投資保険の拡大などを図ったのである。第3に、1972年に、為替レートが1ドル360円から308円へと切り上げられたことによって、日本国内の生産コストが、米ドルとリンクしているアジア諸国の生産コストに比べて大幅に上昇すると同時に、日本企業が海外で生産を行うときのコストを低下させたことが、海外直接投資に拍車をかけることとなった。

しかしながら、日本の海外直接投資の国民経済に占める比率は今日においてさえも他の先進諸国に比べて非常に低い。例えば、1980年における日本、アメリカ、西ドイツの製造業の海外生産比率を比べてみると、日本2.9%、アメリカ17.9% (1976)、西独14.7% (EC域外は10.1%) となっている<sup>(15)</sup>。1980年代にはいっても依然として低い水準であることから、日本の海外進出のコストは、他の先進国に比べて高いと考えられる。まして1970年代前半の日本経済は、輸出を通しては世界に開かれていたものの、資本面においては自由化を始めたばかりであり、海外における経営のノウハウなどの蓄積は十分ではなかった。輸出-販売拠点確立-現地生産という発展パターンを経る海外投資の過程の中で、欧米の先進諸国に比べて海外投資の歴史が浅いという事実は、日本語という言葉面でハンディとあいまって、日本企業が海外で生産を行うときは低くない壁となった。従って、少なくとも1970年代の前半頃までは、環境規制が厳しくなったからといって、日本企業が簡単に海外に流出するという事は困難な状況

にあったと思われる。こうした当時の日本経済の資本面における閉鎖的な状況は、企業の公害防止（脱硫）技術開発にはプラスに作用したと言えよう。

表 3 - 4 日本の製造業の海外直接投資額の推移

| 年度   | 合計    |       | アジア |     |
|------|-------|-------|-----|-----|
|      | 件数    | 金額    | 件数  | 金額  |
| 1969 | 219   | 131   | 175 | 67  |
| 1970 | 289   | 236   | 220 | 96  |
| 1971 | 264   | 290   | 196 | 124 |
| 1972 | 525   | 525   | 356 | 277 |
| 1973 | 1,012 | 1,496 | 681 | 486 |
| 1974 | 603   | 874   | 364 | 358 |
| 1975 | 425   | 924   | 243 | 367 |
| 1976 | 413   | 1,025 | 219 | 285 |
| 1977 | 448   | 1,074 | 233 | 334 |
| 1978 | 727   | 2,038 | 364 | 858 |
| 1979 | 783   | 1,693 | 375 | 437 |
| 1980 | 719   | 1,706 | 321 | 724 |

出所：大蔵省「財政金融統計月報」

なお、ここで述べていることは、環境規制の強化が規制の緩い地域への企業の流出をもたらす、いわゆる「公害輸出」の存在を否定しているわけではない。日本企業が規制の緩い地域＝主に途上国＝へ進出し十分な対策を講じずに操業し、激しい環境破壊を引き起こしているという事例は数多く報告されている。硫黄酸化物の例で言うと、川崎製鉄がフィリピンのミンダナオ島に大量に亜硫酸ガスを排出する鉄鋼石の焼結工場を建設した事例がある<sup>(10)</sup>。従って、「公害輸出」という現象の存在は疑いない。本稿において「海外流出が困難な状況にあった」という意味は、日本で規制を強化したとき、当時の日本企業の公害防止技術開発コストの海外進出のリスク・コストに対する比率が、諸外国に比べて低かったという意味である。

### まとめ

本稿においては、硫黄酸化物排出規制が、昭和40年代以降逐次強化されるにつれて排煙脱硫装置が普及していくプロセスと、当時の日本において規制が企業の排煙脱硫技術開発へと結び付いた背景について検討を行った。その結果、①地方自治体の努力が規制を有効なものにしたこと、を再確認し、②企業間の激しい技術開発競争が脱硫技術の発展に大きく寄与したが、それには不況に直面していた多くのエンジニアリング企業が、新たな市場を求めて排煙脱硫装置の開発に参入したという背景があったこと、③規制が強化されると多くの工場が規制が緩い国に流出してしまう可能性もあるが、当時の日本は資本自由化から間がなく、海外進出コストの方が相対的に高かったので、規制が技術開発努力へと結び付いたこと、が明らかになった。②は規制が技術進歩に結び付いた一般的要因であり、③がそれを促進した日本の特殊要因（の一部）と言える。

しかし本稿では、硫黄酸化物排出規制が排煙脱硫技術開発を阻害しなかった要因、いわば消極的要因の分析が中心であり、技術開発に結び付いた積極的要因に関する分析は不十分である。積極的要因として、排煙脱硫装置を需要する側、供給する側の両者に対する産業構造・産業組織等のあり方が技術進歩に与えた影響に関する詳細な分析が是非とも必要である。また政府は規制を行っただけでなく、公害防止事業団、日本開発銀行などを通じた財政投融資による低利の資金融資、また公害防止設備に対する固定資産税免除や特別償却などの減税措置も行っている。こうした補助政策が排煙脱硫装置等の公害防止装置の普及にどの様な影響を及ぼしたのかに関する実証分析も必要となる。これらは、今後の課題としたい。

またここでは、公害の技術的解決という視点を強調したが、技術的解決にも限界があることは言うまでもない。排煙脱硫技術に関して言えば、亜硫酸ガスとの化学反応の結果生じる副産物を適切に処置しないと、2次公害を生んでしまう。ある汚染の技術的解決が新たな汚染＝汚染。時間的・空間的に転移＝を引き起こす可能性は常に存在している。

地球的規模で「持続可能な発展」が求められている今日、1960年代後半から1970年代前半にかけて、排煙脱硫技術をはじめとして多くの公害防止技術を開発させた日本の経験は、大変貴重である。しかし残念ながら、上述したように、

多くの人々の関心は、結果として得られた技術そのものにばかり向いている。環境規制が有効に働き、公害防止技術の進歩へと結び付いた社会経済的メカニズムこそ注目されるべきであり、それに関する理論的・実証的研究がより活発に行われることが是非とも求められる。そして日本は、単に公害防止技術を移転するだけではなく、このメカニズムの意義と問題点・限界を当時の日本と同じ状況にある国々に対して正確に伝えていくことが、何よりも重要な国際貢献であろう。

## 注

- (1) 日本開発銀行資料より。
- (2) 宮本 (1987), 20頁。
- (3) K 値規制は、政令で定める地域毎に決められた定数 K 値を
$$Q=K * 10^{-3} \text{He}^2 \text{ (He: 有効煙突の高さ)}$$
に代入して、各ばい煙発生施設ごとに算定される硫黄酸化物の1時間あたりの排出量  $Q(\text{Nm}^3/\text{h})$  で示される。K 値はその後1976年まで、8次にわたって強化された。
- (4) 環境基準設定に当たっては、経団連を中心にした財界から非常に強い反対意見があった。経団連は、1968年10月29日に、『硫黄酸化物に関する環境基準の設定についての意見』を発表した。その主旨は、「今後の国際競争に耐えうる設備と規模をもち、かつ現時点において想定され得る最大限度の公害対策を行う重化学工業コンビナートを想定」し、その排出する亜硫酸ガスを試算した結果、環境基準を達成することは不可能、というものである。しかし、コンビナートの規模の必然性、試算の方法・根拠が説明されていない、環境基準が人の健康に被害を与えない水準を想定しているのに対し、それに科学的に反証できていない、などの理由から、通産省からも支持を得ることはできなかった(『週刊 エネルギーと公害』, 12.19, 1968)。
- (5) 一種の課徴金政策である公害健康被害補償法が、1973年に成立し、翌年から実施された。これは一定地域内で発生した大気汚染被害者救済のために、 $\text{SO}_2$  排出量に応じて各企業に課される課徴金によって、その補償額を賄うというものであった。
- (6) 「座談会 公害行政におけるテクノクラートの役割」『公害研究』第3巻第1号, 1973)
- (7) 以下の排煙脱硫の技術面に関する記述は、厚川(1971), 産業公害防止

- 協会 (1972), 宮川 (1977), 日本産業機械工業会 (1986) などによっている。
- (8) 以下の大型プロジェクトに関する記述は, 工業技術院 (1987) や多くの雑誌・新聞記事を参考にしている。
- (9) 『日刊工業新聞』1973, 7.20
- (10) 例えば, 大阪府の公害対策審議会は, 1968年11月に関西電力堺(火力)発電所の7・8号機の増設計画に際し, その公害対策を取りまとめ, 関西電力側もそれを了承したのであるが, そこには次のような附帯意見がつけられていた。「排煙脱硫については, 現在, 工業技術院が中心となつて, 積極的に技術開発を進めている。したがって, 堺発電所においても, すみやかに排煙脱硫を実施させる必要があると思われるので, さしあたって今回の増設分については, あらかじめその実態を見込んで設計を行わせるべきである。」(下線は筆者)
- (11) 松本経営相談事務所 (1975)a, 同 (1975)b, 同 (1976) のアンケート調査で排煙脱硫装置を生産していると答えた企業の数を筆者が数えた。
- (12) 未来工学研究所 (1983) では, 湿式排煙脱硫技術が進歩した要因について, 17社にアンケート調査を行っている。そこでは, 11社が技術開発競争が激しかったことをあげている (複数回答)。
- (13) 山田 (1979)。
- (14) 日本の海外直接投資の特徴等については, 関口 (1979), 小宮 (1988)。
- (15) 通産省『わが国企業の海外事業活動』, 1987, 1989年版
- (16) 村田 (1975), 243頁。

#### 参考文献

- 厚川麻須美他「湿式排煙脱硫装置の開発と問題点」  
『熱管理』, 第23巻8号, 1971
- 藤田八輝「大気汚染防止法令の歩み」『公害と対策』, 第19巻7号, 1983
- 日野義則「排煙脱硫の経済的考察」『熱管理』, 第23巻8号, 1971
- 伊賀隆「エネルギー需給の見通しと公害問題」『公害研究』, 第2巻1号, 1972
- 環境庁『環境白書』, 各年度版
- 加藤三郎「エネルギー構造の変化と大気保全対策の展望」  
『公害と対策』, 第18巻9号, 1982
- 木村厚彦「日本の大気汚染の状況とエネルギーの背景」  
『公害と対策』, 第19巻4号, 1983
- 工業技術院『大型プロジェクト20年の歩み』, 1987
- 小宮隆太郎『現代日本経済』東京大学出版会, 1988
- 松本経営相談事務所『公害防止機器業界の実態調査 第1期』, 1975a  
『 同上 第2期』, 1975b

## Ⅰ 同上 第3期, 1976

- 宮川昭平『公害防止機器業界』教育社新書, 1977  
未来工学研究所『技術進歩促進の条件調査』, 1983  
宮本憲一『日本の環境政策』有斐閣, 1987  
『環境経済学』岩波書店, 1989  
村田喜代治『地域開発と社会的費用』東洋経済新報社, 1975  
日本産業機械工業会『ばい煙対策技術調査報告書』, 1986  
OECD, “Environmental Policies in Japan”, Paris, 1977  
(国際環境問題研究会訳『日本の経験—日本は成功したか』, 1978  
大蔵省『財政金融統計月報』, 各版  
産業公害防止協会『排煙脱硫』, 1972  
佐野寛「脱硫法の比較論」『熱管理』, 第23巻9号, 1971  
石油連盟『内外石油資料』, 各年版  
関口末夫『海外投資の新展開』日本経済新聞社, 1979  
通産省機械情報産業局『公害防止装置産業の実態』, 1976  
通産省『わが国企業の海外事業活動』, 各年度版  
山田隼「エネルギー関連公害防止技術」『環境情報科学』, 8-2, 1979  
柳下正治「大気汚染防止対策の課題と展望」  
『公害と対策』, 第19巻1号, 1983