

# 環境対策の階層構成とベストミックス（その2）

（日本の環境問題と環境対策）

環境企画 主宰 松村 眞

本稿は化学装置 2012 年 4 月号に掲載された原稿を出版社の許可を得て転載するものである。

## 1. 日本の環境問題と環境対策

環境問題の歴史は古く、日本では西暦 740 年代の大仏建立時に、金メッキにともなう水銀蒸気で中毒患者が発生している。1600 年代には別子銅山や足尾銅山が大量の二酸化硫黄を放散させ、山林と農作物に大規模な被害が発生した。第二次大戦後は、1960 年代の急激な経済成長にともなって、多くの工業都市が深刻な大気と水質の汚染に悩まされるようになった。図 1 の写真は 1960 年頃の四日市コンビナートである。当時は環境汚染状況の計測器が不備だったから、製鉄所が立地する北九州市では図 2 の写真に見られる煤煙監視員が煙突の煙を監視していた。この写真から当時の日本の大気汚染が、今では想像できないほど深刻だったことがわかる。しかし煙突の煙は経済成長の象徴とされ、社会的には大きな問題とされていなかった。日本の環境意識が変わった契機は、1956 年に水俣市で発生し、1968 年に原因が確定した水俣病である。運動失調や言語障害の患者がテレビで放映され、環境問題の重要性に関する共通認識が一気に広まった。厳しい環境規制を容認する国民的な合意形成が促進されたのである。問題を指摘するどんな文書よりも、リアルで悲惨な映像が意識改革の原動力になったとあってよい。その結果、1971 年に環境省（当時は環境庁）が発足し、1970 年代の前半には多くの環境関連法規が制定された。産業界も規制に対応して、顕在化していた大気汚染の対策に着手し、多くの排ガス処理装置が設置された。排煙脱硫装置を例にとると、1970 年代には 1 年に 100 基以上も建設されたのである。集塵機も普及し、計測器も開発されたので煤煙監視員はいなくなった。図 3 は 1991 年の京浜工業地域の写真だが、煙を出している煙突はもう見られない。日本は約 30 年で大気汚染問題を解決したのである。では水質対策や廃棄物対策も含めて、どの次元の対策が主役だったのか、あるいはわき役だったのであろうか。また、歴史の中で主役と脇役に変化がなかったのか見てみることにする。



図1. 1960年頃、四日市コンビナート  
(出典：日本の大気汚染の歴史、公害協会)

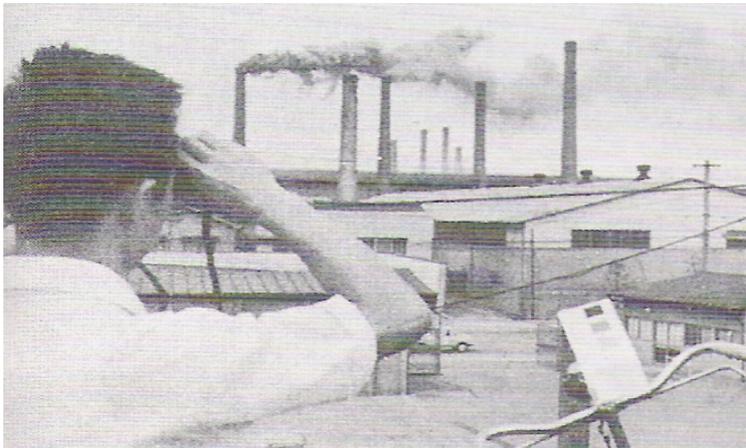


図2. 煤煙監視員、北九州市 1961年  
(出典：日本の大気汚染の歴史、公害協会)



図3. 京浜工業地域、1991年  
(出典：日本の大気汚染の歴史、公害協会)

## 2. 環境問題の改善に寄与した対策の階層

表 1 は予防分野と治療分野を含めて、日本のいくつかの環境問題と対策をマトリックス形式で示したものである。石油燃料に起因する硫黄酸化物対策としては、上流対策として低硫黄原油の確保に努めた。その結果、1965 年頃の輸入原油には平均で 2.04%の硫黄分が含まれていたが、1975 年には 1.36%の原油を輸入するようになった。10 年間で日本に入ってくる硫黄分を約 3 割削減したのである。上流対策としては、燃料脱硫も非常に大きな貢献をしている。灯油や軽油の脱硫は 1960 年代の前半には実用化されていたが、硫黄分の多い重油からの脱硫が始まったのは 1967 年である。その後、1980 年には大部分の製油所に重油脱硫装置が普及した。現時点で製油所の燃料脱硫は、原油に含まれている硫黄の三分の二を除去している。上流対策としては省エネルギー対策も大きく貢献している。平成 2 年の環境白書によると、図 4 のように日本は 1974 年から 1986 年までに、次元の異なる複数の対策で、硫黄酸化物の放散量を四分の一に削減している。このうち省エネルギー対策の寄与が約 33%と最も大きい。次は燃料脱硫と排煙脱硫が 27%、LNG への転換が 13%の寄与率となっている。

一方、下流の分野では大規模な発電所や工場がボイラーに排煙脱硫装置を設置した。1970 年の排煙脱硫装置は 102 基だが、1975 年には 994 基になり、1980 年には 1329 基に達している。現在、日本には約 1900 基の排煙脱硫装置があるが、その 7 割が 1980 年までに建設されたのである。ただし、排煙脱硫装置には石炭ボイラーや、非鉄金属の精錬工場に設置された装置も含まれている。したがって、石油燃料を対象とした排煙脱硫装置はこの半数程度であろう。なお、排煙脱硫装置は数が多いが 1 基当たりの硫黄除去量が少ない。このため、硫黄の除去量は全装置を合わせても約 10%で、燃料脱硫の三分の一程度に過ぎない。このように石油燃料に起因する硫黄酸化物の対策は、明らかに予防が主役で治療はわき役である。重油の脱硫技術が発展した結果、遠くない将来、石油を燃料とするボイラーや加熱炉には排煙脱硫装置が不要になるであろう。すでに、排煙脱硫装置は稼働基数が毎年少なくなっているから、治療分野の寄与率はさらに低下するであろう。

表 1. 大気汚染、水質汚濁、廃棄物問題に対する各階層の環境対策

地球環境問題(右) 環境対策分野 (下) ◎：非常に有効 ○：有効 △：疑問 ×：無効		大気汚染 (汚染因子)						水質汚染		廃棄物	
		硫黄酸化物 (燃料)		窒素 酸 化 物	ば い 塵	揮 発 性 有 機 化 合 物	パ ル プ 廃 液	下 水 処 理 汚 泥	一 般 廃 棄 物	リ サ イ ク ル 廃 棄 物	
		石 油	石 炭								非 鉄 金 属 精 錬
予 防 対 策 ・ 上 流	需要の抑制：製品の長寿命化、 負荷の発生抑制、資源化など			◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	
	燃/原料のクリーン化：LNG 転換、低硫黄石油・石炭など	○	○								
	燃/原料からの汚染物質除去： 燃料脱硫、石炭の洗炭など	◎	×								
	省資源・省燃料：省エネルギー： 歩留まり向上、水循環使用など	◎	○		○						
治 療 対 策 ・ 下 流	発生源処理： 排煙脱硫、集塵、排煙脱硝など	○	◎	◎	○	○	○	△			
	集中処理： 下水処理、清掃工場焼却など							◎	◎	○	
	最終処分：埋め立て処分 安定型/管理型など								○	○	
	汚染修復： 汚染土壌修復、砂漠の緑化など										

## 省エネルギー対策 の硫黄酸化物排出 抑制への寄与

**省エネの寄与**

- ・化石燃料の保全
- ・大気汚染防止
- ・地球温暖化の抑制

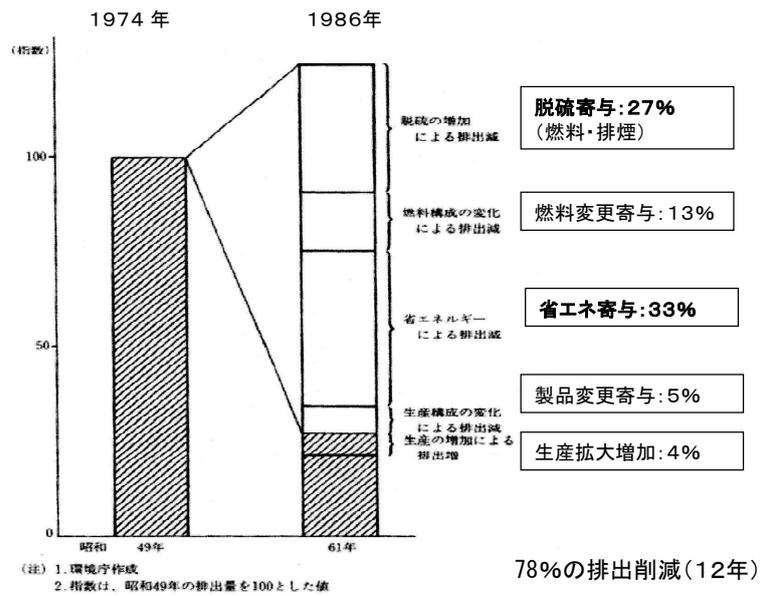


図4. 省エネルギー対策の硫黄酸化物削減効果

石炭に起因する硫黄酸化物対策も、予防対策として低硫黄石炭の確保に努力し、現在では硫黄分が0.3から0.9%程度のオーストラリア炭が主に使われている。しかし石炭から硫黄分を除去する石炭脱硫は技術的に難度が高く、まだ実用化されていない。原理的には微生物を使う方法が可能なのだが、反応時間が長く設備が大きくなるので経済性がない。石油燃料と違って、この点が上流対策の寄与を高められない原因である。硫黄酸化物の対策は、石油燃料の場合は明らかに予防が主役で治療がわき役だが、石炭の場合は治療が主役で予防がわき役なのである。なお、将来は石炭をガス化して硫黄分を除去し、それからボイラーで燃焼させるガス化発電が普及する可能性がある。そうなれば石油燃料と同様に、予防が主役になれるだろう。

日本の硫黄発生量は、銅精錬に代表される非鉄金属が約30%を占めている。非鉄金属の鉱石は硫黄化合物なので、精錬の前に鉱石から硫黄を分離することができない。このため精錬の過程で大量の硫黄酸化物を発生させ、明治時代には山林と農地に甚大な被害を与えた。当時は発生する硫黄酸化物を除去する技術がなかったので、大気に放散させるよりほかに方法がなかったのである。しかし現在は排煙脱硫装置で95%以上の硫黄を回収し、硫酸や石膏にしている。したがって非鉄金属精錬の場合も、主役は上流分野の予防対策ではなく下流の治療対策である。

窒素酸化物の対策は、予防と治療のどちら主役なのだろうか。現在、日本には約 1400 基の排煙脱硝装置があるが、発電所が処理ガス量の 82%を占めており、残りもほとんどが石油精製や製鉄などの大規模工場である。大半の製造業やサービス業は、数十万基のボイラーを使用しているが、排煙脱硝装置は設置していない。というのも低NOXバーナーや二段燃焼、それに排ガス循環など、窒素酸化物の発生を抑制する予防技術が開発され、設備が普及したからである。窒素酸化物の発生抑制技術と設備は、1980 年台から徐々に開発が進み性能が向上した。したがって既設の排煙脱硝設備 1400 基も徐々に少なくなり、上流の予防対策に移行していくであろう。近い将来も排煙脱硝装置が残るのは、予防だけでは規制基準を順守できない大型ボイラーや燃焼炉だけになるであろう。すでに排煙脱硝装置は、排煙脱硫装置と同様に稼働を停止する傾向にある。窒素酸化物対策は、以前は治療分野が主役だったが、発生抑制技術の発達で予防分野が主役に代わったのである。

では、煤塵対策はどうだろうか。図 1 の四日市コンビナートと図 2 の北九州の写真を見ると、当時の大気汚染は煤塵が深刻だったことがわかる。煤塵の発生源の一つは製鉄所で、白い煤塵は石炭灰、黒い煤塵は未燃の「すす：煤」だった。北九州など製鉄所の街はすべての建物が黒ずんでおり、洗濯物を表で干せば黒い「すす」がついた。コンビナートの場合発電所と石油関連プラントが煤塵の発生源で、正体はやはり石炭灰と未燃の「すす」だった。1968 年に大気汚染防止法が制定されると集塵機が普及したが、未燃の「すす」を少なくするのは困難だった。というのも、「すす」を出さないようにするには燃焼用の空気を多くすればよいのだが、そうするとエネルギー効率が低下し、燃料消費量が多くなってしまうからである。このためボイラーや加熱炉のオペレーターは、いつも煙突の先を見ながら「すす」が発生しないように、それでいてなるべく空気量を少なくするように気を使っていた。しかしどのように注意して頻繁に調整しても、人間の操作では負荷変動に追従するのが困難だった。そこでボイラーや加熱炉の内部に酸素濃度計を設置し、空気量の過不足を検知して、空気量を自動的に調整する自動制御システムが開発された。このシステムは、この頃から発展しはじめたマイクロコンピューターと IT 技術に負うところが大きい。燃焼空気を制御するコンピューターシステムは、大規模なボイラーと燃焼炉から順次採用され、今では広く普及している。燃焼空気の自動制御システムは、少ない空気量で完全燃焼を維持し、「すす」の発生を抑制する上流の予防対策である。一方、集塵機による煤塵の除去は、発生した煤塵を除去する下流の対策である。煤塵対策は、初めは集塵機という治療対策が主役だったが、自動制御システムの普及が主役の座を予防対策に明け渡したとあってよい。

揮発性有機化合物（VOC）の場合はどうだろうか。発生源は主に有機溶剤を使う塗装関連施設と、油槽所や内航タンカーなど石油燃料を貯蔵している施設である。塗装関連施設では、大気への放散を防ぐ予防対策として水性塗料への転換が進み、今や広範囲に利用されて有機溶剤そのものの削減に寄与している。有機溶剤の割合が少ない塗料やインクも開発され、旧製品との代替が進んでいる。石油燃料の貯蔵施設では、受け入れと排出のたびに揮発性有機化合物が発生するが、冷却して回収する設備が普及している。下流分野の対策は、主に焼却と吸着廃棄処分である。焼却といっても濃度が低いので通常は燃料が必要になるが、触媒を使って低温燃焼させれば燃料が不要か少なくて済む。この分野の特徴は、発生量を抑制する工程内対策をインプラント対策、発生した揮発性有機化合物を無害化処理する対策をエンドオブパイプ対策と称して、明確に区分している点にある。そして「エンドオブパイプ対策は除去効果が高いが、大きな設備投資や運転経費を必要とするので、対策の順序は工程内対策を優先し、次にエンドオブパイプ対策を考慮するのが効果的」との指針を出している。予防対策を主役として重視し、治療対策より優先する方針を明示しているといえよう。

次に水質汚染防止対策について二つの事例を紹介する。筆者は7年ほど前に中国の工業地域を訪れ、いくつかの業種について工場訪問の後に環境改善の提案をする機会があった。現地に行く前に国内で対象業種の環境問題を調査し、改善提案のメニューも準備したのだが、製紙工場だけは提案メニューを思いつかなかった。というのも中国の製紙工場はパルプ廃液（黒液という）を廃水として処理しているのだが、十分な処理ができていないことを知っていたからである。処理が困難なのは、廃液の有機物濃度が10%以上と非常に高いことにある。このため廃水として処理するには数百倍に希釈しなければならず、莫大な設備費と処理費が必要だったからである。日本では黒液を希釈して処理するのではなく、逆に濃縮して燃料に転換する技術を完成させ、今や製紙工場の主要なエネルギー源になっている。常識的な発想なら廃水処理という後処理になる対策を、発生を抑制するだけでなく燃料に利用する方法で解決したのである。だから同じ方法を中国の工場にも提案したかったのだが、中国では日本と違って竹や藁を原料とする工場が多く、その場合はパルプ廃液の粘度が高い。このため木材チップのパルプ廃液のように、燃料に使える濃度にまで濃縮できないのである。でも訪問した製紙工場の責任者が問題の性質をよく理解していて、パルプ廃液が発生しない再生紙の専用工場にしていた。効果的な対策を提案できずに困っていたから、中国側の対応にほっとしたのを覚えている。パルプ廃液の対策は、日本では予防対策が完全に主役を担っているが、原料が違う中国の工場では治療側の対策が主役なのである。

もう一つの事例は下水処理汚泥である。下水道で集められた排水は生物処理で浄化され

るが、その結果、一人1日あたり0.4kg弱（脱水ケーキ）の汚泥が発生している。下水汚泥の処理方法は、海外ではほとんどが埋立て処分だが、日本では処分用地不足と悪臭対策から、7割以上が焼却処分されている。水分が約75%もあるので、焼却するには石油燃料が必要なだけでなく、都市部では1基100億円を超す設備費が投入されている。このため、現在、汚泥発生量の少ない下水処理方法が懸命に探究されている。後処理の焼却一辺倒から、汚泥発生量を抑制する予防対策への移行が強く求められているのである。

廃棄物の分野では、以前はごみをどんどん出して、増大するごみ量を全量焼却できるように清掃工場を拡充してきた。大量発生を野放しにし、下流の焼却処理で解決しようとしてきたのである。言い換えれば予防対策の発想がなく、治療側だけで対処してきたといってもよい。ところが1990年以降になってごみ減量化の機運が高まり、動機づけとしてごみ袋を有料化する地方自治体が増えた。その結果ごみの減量化が進み、今では多くの清掃工場設備稼働率が低下している。都市部では古くなった焼却炉を更新せずに、廃炉にする傾向がみられる。資源ごみの分別回収と資源化再利用も、ごみの発生量を抑制する上流対策である。しかし、ごみの量を減らせても限界があるから、下流の焼却処理と埋立て処分も必要である。このため当分は治療側の主役には変わりはないであろう。

### 3. 公害防止技術から環境技術へ

日本で環境問題が最も深刻だったのは1960年代であろう。工業地域はどこも煤塵と硫黄酸化物による大気汚染が深刻だった。都市部は下水道が十分に整備されていなかったから、河川の水質汚染がひどく、酸素が欠乏した黒い水が悪臭を放っていた。このため1970年代の環境対策は、当面の環境汚染物質を処理する対症療法が中心だった。予防の分野ではなく、治療の分野が先行したのである。環境のための設備投資も、排ガス処理や排水処理が中心だったから、公害防止設備と言われていた。その後、1980年代になって環境が改善され、公害防止設備が更新の時期を迎えると、もっと上流の予防対策の重要性が認識されるようになった。このため、環境法体系の憲法と言われた公害対策基本法は環境基本法に代わった。1970代に氾濫していた「公害」という言葉は急速に「環境」に名を変え、公害防止事業団は環境事業団に、産業公害管理協会は産業環境管理協会になった。企業の環境関連組織も「公害」のイメージを嫌ったことと、上流の未然防止分野も視野に入れるようになり、「環境」と名のつく部門になった。「公害」は1960代に生まれた日本語だが、1990年代には死語になったといっただろう。

このとき環境技術や環境設備も、下流の後処理だけでなく上流も含めた概念に変化すべきだったと筆者は思うのだが、いまだに過去の公害防止の範囲と認識している傾向がある。

各種の統計も環境装置という「……処理設備」という語尾がついていることから、予防の分野を対象外としている場合が多い。これまで述べてきたように、環境対策には予防の分野と治療の分野があり、予防の分野が主役の環境対策が増加している。日本の環境対策は歴史的な経緯から治療の分野が先行した。しかし末端の後処理といえども、生産設備や社会システムの一部である。したがってプロセス全体として、あるいは社会システムとして、上流分野を含む最適な機能分担を実現するのが望ましい。環境分野、環境対策、環境技術、環境設備は、予防の分野も含めてもっと広く、大きく、総合的な視野で考える概念と筆者は考えている。環境対策の予防と治療という総合的で網羅的な整理と認識が、環境分野に関与する技術者の参考になることを期待する。

(終わり)