公害防止技術の現状と将来*

石 原 透*

Pollution Control Technology, Present and Future

Toru ISHIHARA

1. ま え が き

「公害」が真剣に社会問題として取上げられてからもう20年以上がたつ。その間の官・民の努力は、大変なものであった。

そのおかげで、一応、空は美しくなり、水もきれいになった。世界一の公害先進国はいまや世界一の公害防止技術国になったわけで、私の研究所にも、各国の人たちが、公害防止技術を見にやってくる。日本の持つこの技術は、自動車やエレクトロニクスの技術にくらべて遜色のない誇るべき技術である。企業は、公害防止技術を、操業プロセスの一つのユニットとして組込むことが、自然という時代になった。

製鉄所には当然のこのように巨大な NO_x , SO_x の除去装置と排水処理装置が設置されており、また、排水をリサイクルする工場も数多くみられるようになった。

環境庁の出版する「公害白書」も、いつのまにか「環境白書」と呼ばれるようになり、公害を出さないのはごく普通のこと、我々の住む地域の環境を、また大きく言えば我々の住む地球の環境を美しく保つためには、どうすれば良いかを、自から問い、実行する時代になった。

2. 公害防止技術の現状

公害防止技術の発達により、大気・水質の改善は眼をみはるものがあるが、しかし、根本的な解決ができていくわけではない。

公害問題は、単なる大気・水質の汚染問題からより複雑な複合的なものへと質的な変化をしている。公害防止問題はハードの時代から、ソフトの時代へと変化しつつあるとも言えよう。

たとえば、水処理について言えば、排水基準をまもって河川に放出するという状態から、更に水を清浄なもの

として再利用する方向へうごき、更に基準外の塩類、N、Pなどの除去に着実に動いている。

具体的に云えば、廃水→凝集沈殿→放流というパターンから、更に、高度の水処理技術、たとえば、逆浸透、電気透析、限外濾過というような技術を加えて、再利用の方向に大勢はむかっている。日本の工業用水は、その74%が再利用を実行している。

もう一つの条件は、石油ショック以来の省エネルギー的な、ものの考え方の定着で、公害防止といえども論外ではない。省エネルギー的な公害防止技術の開発も亦これからの重要な課題となる。

同様な意味で、石油に代替するエネルギーに対応する公害防止技術、一例をあげると、石炭を使うことによる大気汚染の防止、石炭液化、ガス化などに対応する公害防止、など多くの問題点がある。

それから、現在、そして将来について問題となっているのは、地球規模での環境保全の考え方である。人類をのせた宇宙船、地球号をクリーンにすることは、我々の使命であり義務である。

上述したように公害防止に対する考え方が、現在、大きく変化しようとしている。

環境庁は、12省57研究機関に研究の依頼をしているが、それらを10の種類に分類している。この10の分類は環境庁が現在、何を問題にし、近い将来何を解決しようかとしていることを示して面白。

第1表の10項目であるがわかりにくいものもあるので簡単に説明をする。

1) 光化学スモッグ等都市型大気複合汚染防止

このプロジェクトは光化学反応機構、大気汚染の人体、動植物に対する影響、ガスタービン用燃焼器の低 NO_x 他、フッ素系有機ガスの無公害化、エーロゾル生成反応、大型ディーゼル車の低 NO_x 化、成層圏オゾンの変化予測、さらに石炭の低硫黄化技術、浮遊粒子物質の影響評価の研究など計13テーマ。

* 昭和58年11月15日日本会第71回例会において発表

** 公害資源研究所
昭和58年8月18日受理

第1表 公害防止研究の分類

- 1) 光化学スモッグ等都市型大気複合汚染防止
- 2) PCB等新汚染物質の評価ならびに汚染防止
- 3) 排水処理の高度化
- 4) 瀬戸内海等沿岸海域の汚染防止
- 5) 廃棄物の処理と資源化技術
- 6) 自然環境の管理および保全に関する基礎的技術開発
- 7) 環境汚染の生物に与える慢性影響の解明
- 8) 都市における環境保全計画手法の開発
- 9) 騒音振動の防止および評価
- 10) 環境汚染物質に係る計測技術の高度化

2) PCB等新汚染物質の評価ならびに汚染防止

金属元素の生体への影響、有機塩素系農薬の安全評価、化学物質による人体汚染、化学物質の安全性試験、アミン系等の癌原性物質の微量検査法、など計7テーマ。

3) 排水処理の高度化

物理化学的処理、生物学的処理、さらに富栄養化に関する脱リン、脱窒素処理に関する17テーマ。

4) 瀬戸内海等沿岸海域の汚染防止

海洋における汚濁の解明、防止、浄化技術などについての10テーマ。

5) 廃棄物の処理と資源化技術

廃棄物の処理、再資源化など、特に今後大量に発生すると思われる石炭灰の利用、重金属スラッジ、古紙、塩化ビニール等の処理回収に関する13テーマ。

6) 自然環境の管理および保安

環境の変化（森林、耕地、土壌など）が生態系におよぼす影響、物質循環機構などに関するもの7テーマ。

7) 環境汚染の生物に与える慢性影響の解明に関する総合研究

環境汚染が生物に与える遺伝的影響、生理的影響、生態的影響などに関する13テーマ。

8) 都市における環境保全計画手法の開発

交通、廃棄物等の流れの制御、緑地空間による環境の保全などに関する4テーマ。

9) 騒音振動の防止および評価

騒音振動の発生源対策、伝播防止、予測評価、計測技術、精神機能への影響などに関する10テーマ。

10) 環境汚染物質に係る計測

大気、水質の計測技術の開発と評価に関する22テーマ。以上のテーマを更に分類すると、

1つは都市化社会への対応。1) 光化学スモッグ等、2) PCB等新汚染物質、3) 排水処理の高度化、5) 廃棄物の処理、8) 都市における環境保全、9) 騒音振動などがこのカテゴリーに入る。

もう一つは、自然環境の保全への対応。4) 瀬戸内海汚染防止、6) 自然環境の管理、7) 環境汚染の生物への影響〔10) 計測技術〕などがこのカテゴリーに入る。

現在の環境破壊の現状は、都市化社会に対応する種々の環境破壊、とくに人々が多人数一ヶ所に住むと云う場合に起る摩擦がその主なものである。人間は自分の出す公害（たとえば、自動車排気、騒音）については、文句は云わないが、それがひとたび他人がだすと問題にするという身勝手な動物である。

自動車、航空機、新幹線に関する騒音・振動、排気ガスの問題。エネルギー転換にともなう石炭使用による新しい公害の発生。廃棄物の廃棄、再利用に関する問題。新化学物質の毒性、分解性に関する問題等はまだまだ未解決である。

自然環境の保全への対応については、人間が生活する土地に大きくかかわっている。森林、湖沼、河川、農地などは、昔から人間活動と密接にかかわっている。

森林については、日本内地ではあまり減少はみられないが、外国とくに南方における熱帯林の伐採で日本は負目をおっている。

農地については、大都市圏でその減少が目立っている。

湖沼については、周辺の住宅地からの排水、農業用水などの流入により、富栄養化がいちじるしく、緊急な大問題となっているが、早急な解決の見込は少ない。

3. これからの公害防止・環境保全

これからの公害を考えるにあたって、我が国内問題として考えることは当然のことであるが、もう一つの考え方としては、地球の規模から、地球の環境保全を考える必要性が叫ばれる時代になった。以下（3-1）として国内の問題、（3-2）として地球規模での考察を加えたい。

3-1 国内のこれからの公害問題

国内のこれからの公害問題としては、イ) 湖沼、閉鎖海域の富栄養化の問題、ロ) 石炭利用に伴う公害処理、ハ) 感覚公害、ニ) 化学物質の問題等をとりあげてみたい。

イ) 富栄養化防止

わが国における水質の汚濁については、カドミウム、シアンなど人の健康に有害な9物質については56年度対象件数89,074件のうち、環境基準をこえるものは、わずかに0.05%で、99.95%は合格となっている。

これに対し、生活環境項目の中の有機汚濁指標（河川ではBOD、湖沼および海域ではCOD）の合格率は、河川で63.3%（前年67.2%）、湖沼で42.7%（前年41.6%）、海域で81.6%（前年79.8%）であり、とくに都市に近い湖沼での達成率が悪く、また海域でも東京湾、伊勢湾、大阪湾などでの汚濁がひどい。

- (備考) 1. 環境庁調べ。
2. 達成率は、

$$\frac{\text{環境基準達成水域数}}{\text{環境基準当てはめ水域数}} \times 100(\%)$$

 3. 生活環境項目に係る環境基準は、利用目的に応じ河川については6類型、湖沼については4類型、海域については3類型設けられている。
4. 環境白書(58年版)

図1 水質汚濁の推移

霞ヶ浦では、昭和57年9月1日、茨城県は、滋賀県、琵琶湖に次いで、「霞ヶ浦の富栄養化の防止に関する条例」を実施した。この条例により、昭和65年の水質を、昭和40年代の水質にまでよみがえらせることを希望している。

霞ヶ浦に流入する汚染物質は、1日当り窒素で11.6t、リンで1.3tにもなっており、その原因は、農業排水、生活系排水が大部分を占めており、工業排水は比較的少ない。今後、下水道の整備、工業、農業、畜産業、魚の養殖などからの排水の規制を地道に、息永く続ける必要がある。

霞ヶ浦に流入する窒素は1日に11.6t、リン1.3tと前述したが、65年の目標達成の年には、窒素を9.5t、リンを0.8tに減少させたいとしている。

富栄養化による湖沼のバクテリアや藻類の増殖は、窒素、リンによるもので、両方を排水中から除けば一番よいが、片方を除いてもその増殖を防ぐことができるので、処理のたやすいリンの除去が主力になっている。これら排水を処理するための経費は、設備費、運転費ともに相当の負担になることは間違いない。

ロ) 石炭利用に伴う公害処理

大気汚染の関係で今後大きな問題となるのは代替エネルギーとしての石炭の使用であろう。石炭は液化、ガス化をして使うという手法もあるが、そのままエネルギー

(備考) 「総合エネルギー統計」より作成
(環境白書58年版)

図2 1次エネルギー供給量の推移

源として燃焼される場合が、ますます増加すると思われる。特に問題となるのは大気汚染とその灰の処理に関してである。

石炭の大気汚染は、燃焼前と後に分けられる。燃焼前では輸送・貯蔵時のハンドリングなどの過程で発生する炭塵飛散の問題である。地上露天貯蔵では主として散水によって防止している。さらにサイロ方式、上屋式、水中方式の貯蔵も検討されている。

また、燃焼後における SO_x の放出、また石炭灰の減少のために、選炭によるS分の除去、珪酸分の除去等も実施されているが、S分のうち石炭組織中に取込まれた有機硫黄の除去、窒素分の除去は、物理化学的な方法では不可能である。ただ、灰分の除去は、燃焼の安定を導き、過剰空気量の減少により NO_x の発生を抑制する効果がある。

石炭は、石油にくらべてエネルギーが小さいので、同じエネルギーを与えるためには60%増の石炭を燃さねばならない。そのため、燃焼の際、空気を多量に使うために排ガス量も増加し、 NO_x も多くなる。従って、石炭はその燃焼法に格段の配慮をする必要がある。

石炭の燃焼方式として今日最も期待されるものに流動床燃焼方式がある。この方式は微粉炭燃焼に比べて炭種の制限が少なく、粗粉炭でも使用が可能、しかも燃焼温度が750~900°Cであるので NO_x の発生量は比較的小くなる。

流動体に、石炭と共に石灰石に混入することにより、

SO_x の大部分を除去, NO_x の一部を除去できる。

NO_x の除去は, 燃焼温度を下げ, 流入空気量を減少させること, また高温にせざるをえない時には, その滞留時間を極力短縮するなどの方法があり, その対策として炉の冷却, 排ガス再循環, 二段燃焼などの方策が検討されている。

排ガス処理としては, SO_x に対しては, 石灰石-石膏法が主流で, 90%以上の脱硫率が可能である。NO_x に対しては, アンモニア接触還元法が主流であり, 石灰専燃炉にも設置されるようになった。

煤塵の除去については, 電気収塵機によることが多いが, バックフィルターや湿式除塵についても検討すべきであろう。

石炭中には, 石油にくらべて重金属の含有量が多いが, 特に高温で気化する, 水銀, 砒素, などについては, 微量ではあるが注意する必要がある。その他, 排煙中の多環芳香族炭化水素類, ハロゲン類等も石油にくらべて多くなる。

石炭灰については, その発生量は現在300万 t/年ぐらいと云われているが, 今後, 多量に発生することが予想される。灰の大部分は, ボイラ燃焼によるもの, 炉底にたまるクリンカー, 集塵機で捕収されるフライアッシュである。

現在は大部分が埋立て, 一部はセメント材料, 土地改良剤(珪カル肥料), 道路用に使われているが, 今後, 人工軽量骨材, 窯業原料, 肥料などに利用するように研究が進められている。

ハ) 感覚公害(騒音・振動・悪臭など)

都市化社会の公害として感覚公害がある。図-3にそ

図3 公害苦情の種類別件数構成 (典型7公害)

れらの苦情件数を示す。人々は経済の成長に伴って生産性の高い都市に集ってくる。生産性の薄い農業地区の人々は, 都市およびその近郊の工場地区に勤めるようになる。利害得失が相反する人々が, 同じ地域に住むようになる, お互に, 加害者であり, 被害者になるケースが多い。

感覚公害とは, まさにそのような型のストレス蓄積の発散であることが多い。「カラオケ」を歌う人は自分ではちっとも騒がしくない。しかし, 何も関係のない人には, 耐えられない騒音である。虫の声は外国人にとっては騒音であるが, 日本人には妙な音色と感じる。

自動車, 電車, 飛行機, 楽器, これら騒音源は, これを使う人の中から不平は起らない。そして, 昨日車に乗った人も, 今日になれば, その乗物の音は騒音となる。

騒音・振動の苦情はこの所上りぎみである。発生源としては, 工場, 事業場, 飲食店などの深夜営業, 街頭宣伝放送, ピアノ, クーラー, 自動車, 飛行機, 新幹線など, 各種発生源がある。各々に法律をつくって対応しているが, 十分には機能していない。

自動車については, エンジン系, 吸排気系, 騒動系, タイヤ等々から発生する。更に交通量, 交通システム, 走行速度, 道路の構造などにも深く関係しているので, その, ひとつ, ひとつを改善してゆく必要がある。

空港については, 発生源としての航空機そのものを改善することは勿論, 運行方式, 航空時間の規制, また周辺住宅の防音, 移転補償などにも力を入れている。

また, 近年低周波振動がクローズアップされているが, その発生源が多様で, コンプレッサー, プロア, 熔解炉, 航空機, 船舶, 橋梁, 鉄道, 発破, ダムの放流等々にわたっている。

しかも, 個人差が大きく, 基準設定には, さらに調査を必要とする。

悪臭については, 肥料, 飼料を含めた畜産農業への被害届が多く, ついで化学製品製造業, サービス業などで多い。硫化水素など8物質が, その対象として規制されているが, この外にトルエンなどの苦情もある。都道府県知事は, 改善勧告・命令を発令することができる。

ニ) 化学物質

化学工業は, ヨーロッパでの18世紀における硫酸の製造, ソーダの製造がその発祥であり, 19世紀の初めには, 英国ではそれら工業が繁栄の時代を迎えており, 1863年にはそれら工業からの汚染物質取締の法律(Alkali Act)がつくられている。取締官をアルカリ・インスペクターと呼んでいるが, 英国では, いまも公害防止取締官をアルカリ・インスペクターと呼ぶ。

以来, 化学は発展をつけ, 各種の無機・有機の物質をつくり出した。その数400万種といわれている。現在,

(備考) 1. 愛媛大学
2. ng は 10^{-9} g (環境白書58年版)

図4 海水中の DDT 濃度

(備考) 1. 愛媛大学
2. ng は 10^{-9} g (環境白書57年版)

図5 海水中の PCB 濃度

そのうち、約2万種が製造され、使用されている。それら2万種のものがすべて、生理毒性、環境毒性が確かめられているわけではない。そして、その物質そのものは無実でも、他の物質と複合すると毒性を示すものがあるので、その解析は更に複雑となる。

アルキル水銀、カドミウム、PCB、DDT、ある種の農薬、除草剤、サリドマイド、キノホルム等々の被害については、まだ我々にも生々しい記憶として残っている。図-4に海水中のDDT濃度・図-5に海水中のPCB濃度を示す。化学物質がおそろしいのは、その物質のもつ影響が“これだ”と決定されるのに時間のかかることである。

水俣病の場合、水銀が湾に流出してから漁民とその家族に神経障害が起るまでに実に17年という年月がかかっている。更に原因物質の確定までに3年、法的責任が問われるのに更に14年もたっている。まさに悲劇という外はない。

これら化学物質は、事前にチェックし排除する必要がある、昭和48年「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律」がつくられた。その規制体系を図-6に示す。厚生省では安全性の総点検をはじめており、通産省でも(財)化学品安全センターにおいて、その分解性、蓄積性について検討をおこなっている。

また、「生物指標環境汚染測定調査」として、環境中に

存在する化学物質の生物濃縮に関連して、鳥、魚類などを、採取して(56年度、海域11ヶ所、淡水域1ヶ所、陸域1ヶ所、計13ヶ所)、それら生物に存在するPCB、BHC、ドリ、DDTなどの成分の濃縮を検査している。

更に、この運動を国際的なものとするべきWHO(世界保健機構)、IPCS(国際化学物質安全計画)、OECD(世界経済協力開発機構)、UNEP(国連環境計画)などと協力しあって、その安全性を確立するよう努力している。

3-2 地球の環境

1972年、ローマクラブが「成長の限界」というレポートを出し、「世界人口、工業生産がいまま幾何級数的な成長をつづけるならば、食糧の不足、環境の破壊により、地球は100年以内に成長の限界に達する」としている。また1980年米国政府は「西暦2000年の地球」という報告を出して、「人口の増加により地球は破壊する」と云っている。

現在世界の人口は約40億人、2000年には60億人、そして、2030年には100億人になると云う。世の中にいろいろと未来予測の分野があるが、人口の増加は、この中で最も確実にその数を予測できる。しかも、その人口の増加はほとんどすべて発展途上国で生じるであろう。

40億人の人口をかえる地球でも、現在、「飢」の危機は各地で人々をおびやかしている。

(備考) 図中「黒」とは環境中における分解性が悪く、かつ生物濃縮性が高く、同時に継続的に摂取される場合には人の健康を損なうおそれのあるものをいう。「白」とは、それ以外のものをいう(ただし不明のものを除く)。

図6 「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律」規制体系図(環境白書58年版)

人口が増加することは、これらの人を吸収する機能が必要となる。各人の生産性をあげるためには、工業化の過程をたどる。工業化のためには資材が必要となる。資材の調達のためには、鉱山が必要であり、森林からの木材が必要となる。そのために土地が荒廃するというフローをたどる。

また、もう一つのフローは、人口の増加は、食糧の需要の増加を必要とする。食糧の増加は耕地の増加を意味するということになり、前のフローの結論と全く逆の結果を生んでしまう。

現在の世界人口の40億の中で、先進国の人は10億、そして、この1/4の人口の先進国の人達が、現在、地球からとれる資源(食糧・石油・鉱物・木材など)の3/4を使っているという不合理が、今の地球上でおこなわれている。

る。更にこれ以上の人口の増加はそれら発展途上国の人々に死を強要する以外のなにものでもない。

人口の増加に対応して、今まで世界では、人々は新しい耕地を開発した。アメリカ中・西部、ソ連のウクライナのような適地は、もうこの世界に残っていないと云われる。

発展途上国の人々は、原野を焼き、焼き畑農業をおこなう。二・三年すれば、その耕地からはもう作物はできず、荒地となる。一方、先進国の人々は、森林を切り、木材を採り、パルプ原料をつくる。そのあとはまた荒地となる。

森林を切ることにより、水源は枯れ、河川のエコロジーは破壊され、農業に影響が及ぶ。森林の減少は、主として発展途上国(中南米、アフリカ、東南アジア、オセ

(備考) アメリカ環境問題委員会「環境の趨勢」等により作成。(環境白書58年版)

図7 大気中の二酸化炭素濃度

アニア)で起り、一説によれば、2000年までに40%は減少すると云われる。

一方、原油価格の高騰は、発展途上国の人々のエネルギー入手の方法を、石油から木材へと転換させるであろう。

我々の従事する鉱山業についても、必要な資源を採取はするが、自然を破壊していることは確かなので、あとしまつとしての緑地には、各社とも努力をしている。

このような人工的な破壊に加えて、自然の力による地球の砂漠地も進んでいる。毎年四国位の面積が砂漠化していると云われ、必要な耕地を求める人類の願いに反し地球は、天然、人工による破壊で荒地化している。

石油は、化石燃料の中ではもつともクリーンな燃料であるが、石油の高騰により、石炭を使うようになると、当然、 SO_x 、 NO_x 、煤塵が増加する。とくに発展途上国でこの傾向が高くなる。

大気汚染の将来の展望として、 CO_2 の増加が考えられる。 CO_2 は植物によって同化され、海に吸収されるという自然のサイクルがあるが、森林の減少、海の汚染はその機能を弱めている。更に、飛躍的なエネルギー需要の増加は、大気中の図-7に示すように CO_2 の量を高め、過去一世紀の間に15%も増加している。炭酸ガスの増加が、地球の温度を高めるという説もあり、また、温

度を低下させるという説もあるが、いずれ、農業などに影響が及ぶと考えられる。

地球は水の衛星と云われている。地球上の70.8%は海であり、13.4億立方キロメートルもある。地球全体の水量の96.5%である。それに反し淡水は2.53%で、南極・北極にある淡水(1.74%)をひくと、地下水・湖沼・河川など陸地にある水は0.8%である。すぐ利用できるというと更にその数字は小さくなる。

水は、人口の増加と工業化に伴って不足が起る。水量の不足と水質の悪化である。農業で使う化学肥料、除草剤、殺虫剤、工業からの各種薬品、都市下水からのN、P、洗剤などが河川の水質を悪化し、高濃度の塩分を含むものとしてしまう。

1975年から2000年にかけて世界の水の使用は2~3倍になると考えられ、アフリカ、東南アジア、中東では水不足が起るであろう。先進国においても工業用水の増加と、生活用水の増加により、水不足が起ると考えられ、水の再利用、節水型社会の確立がいそがれる。

地球をとりまくオゾン層は、太陽からの紫外線を防いでいるが、これがフロンガスやジェット機の排ガスによって破壊され、紫外線が直接人体にあたると皮膚ガンになるという説、また、アメリカ北部、ヨーロッパ北部にみられる酸性雨による湖、土壌、植物への影響。核エネルギー廃棄物、重金属廃棄物、PCBなどの化学薬品廃棄物の処理。などなどまだ未解決の問題が山積している。

地環の環境保全は、国境を越え、思想を越えて、地球の清浄化を大声で叫ばなくてはならない時にきている。

4. あとがき

以上、日本における公害の現状を三、四の問題点をあげて記述し、また、地球環境の保全について述べた。

公害防止に一応成功した先進国、そして、これから克服しなければならない発展途上国との間のギャップ、各種の地球環境破壊の要因、等々、われわれをめぐる環境は21世紀をむかえて、除々に悪い方向にむかっているのではなかろうか。有史以来、戦争すら止められない人類に、この地球的環境の破壊を救うことができるのかと心もとない気がする。