

環境問題と環境対策の構成

副題：環境対策のベストミックスを目指して

本稿は「化学装置」2010年3月号に筆者が掲載した報文「化学産業の環境経営と環境貢献」の一部を加筆・削除・修正したものである。

環境企画 松村 眞

はじめに

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人的災害を起こしている。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、大規模な山林と農作物の被害が発生した。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。当時の産業公害は1980年代に収束したが、代わって酸性雨や温暖化など地球規模の環境問題が浮上してきた。地球環境問題は誰もが被害者であると同時に加害者である。このため現在は多くの人々が環境問題に関心を寄せるようになり、政府機関も企業も環境配慮なしには活動できなくなった。大学や高等工業専門学校には「環境」と名がつく学部や学科が次々に生まれ、講座や科目も増えている。それだけ環境問題の研究と対策技術の開発が、社会の要求になったのである。

環境問題への関心が高まるにつれて、多くの解説書が発刊され容易に入手できるようになった。しかし、そのほとんどは特定の環境問題や対策について記述したもので、意外なほど体系的で網羅的な著作が少ない。そこで本稿では、考えられる環境問題を網羅的に示し、次に環境対策について上流の環境負荷抑制対策と、下流の環境負荷処理対策を整理する。環境問題と環境対策は、それぞれ一対一で対応するものではなく、一つの環境問題に複数の次元の異なる対策がある。たとえば硫酸化物の問題では、燃料から硫黄分を除去する燃料脱硫と、排煙から硫酸化物を除去する排煙脱硫が同じ効果をもたらす。したがって、上流対策と下流対策のベストミックスを採用するのが望ましく、そのためには体系的な問題認識と整理が必要と考えている。環境分野と対策は多様で、まだ体系化されていないとはいえないが、本稿で示す網羅的な問題認識と対策が基本的な構造と考えている。

1. 環境問題の体系化と環境対策のベストミックス

われわれは日常的に多くの環境問題に接している。すぐに思いつくのは大気汚染であり、水質の汚濁であろう。身近なところではごみの分別や、廃棄物の処理も環境の課題である。ダイオキシンやPCBのような化学物質も、注意すべき環境問題である。だがこうして思いつく環境問題を1枚の紙にすべて書き出したとしても、思いつきだけでは環境問題を網羅できないであろう。網羅するのが困難な理由の一つは、環境問題の範囲が広範で、人によって認識している環境問題が異なることにある。もう一つの理由は、環境問題の認識の仕方に差異があることによる。環境問題は具体的な現象で把握することもあれば、その影響で考えることもあるし、原因で捉えることもあるからである。さらに環境問題の整理と体系化を困難にしているのは、環境問題によっては相互に依存性があり錯綜するからである。たとえば廃棄物を焼却処理すれば、煤塵を含む排ガスが発生して大気汚染の原因になり、排ガスを洗浄すれば汚染物質を含む排水が発生する。この排水を処理すれば、今度は泥状の廃棄物が発生するであろう。このように問題認識レベルの違いや相互関連性から、環境問題を体系的に把握することが非常に困難で、いまだに普遍的な分類体系が確立しているとはいえない。このためか、環境問題について多くの著書があるものの、ほとんどは特定の環境問題を対象としており、環境問題を網羅してはいない。解説に加えて対策を紹介している場合も、通常は直接的な対策に限定されている。もとより限られたページの印刷物に、環境問題と対策を網羅的に記述することは困難であろう。しかし多くの問題があるからこそ、環境問題を総合的に把握し、対策の選択肢を理解した上で、費用対効果の優れた対策のベストミックスを選択する必要があるのである。そこで次節では環境問題の構成を、網羅的な大分類と中分類の形で提案する。できるだけ平易で理解しやすい区分したが、厳密さには改善の余地が残されている。したがって今後の細分化の段階で改善する必要があるのだが、体系化の重要性は強調しておきたい。

環境問題の体系化の次に必要なのは、環境対策の体系化である。環境問題と環境対策は、それぞれ一対一で対応するものではなく、一つの環境問題に複数の次元の異なる対策がある。そこで表1に、代表的な九つの地球環境問題に対する、次元の異なる環境対策を例示した。たとえば地球の温暖化に対しては、消費財需要の抑制と省エネルギー対策が有効である。酸性雨の問題では、重油など石油燃料から硫黄分を除去する燃料脱硫と、ボイラーの排煙から硫酸化物を除去する排煙脱硫が同じ効果をもたらす。環境問題によっては、対策の選択肢に制約がある場合もある。たとえばオゾン層の破壊を防止する対策は、実質的にフロンガスの需要抑制しか存在しないであろう。熱帯林の破壊に対しては、需要の抑制のほかには植林しか考えられない。一方、環境対策の方から見ると、一つの対策が複数の環境問題の改善に有効な場合がある。たとえば省エネルギー対策は地球温暖化の緩和に

有効だけでなく、ボイラー排ガスの削減を通じて酸性雨の改善に寄与する。このように環境問題と環境対策はマトリックス構造になっているので、費用対効果の観点から優れた対策の組合せ（ベストミックス）を選択する必要がある。

表1. 地球環境問題と環境対策のマトリックス ◎ 効果大 ○ 効果中 △ 効果小

環境問題群		地球の温暖化	オゾン層破壊	酸性雨	熱帯林の減少	生物種の減少	砂漠化の進行	海洋汚染	有害廃棄物	途上国公害
上流対策分野	消費需要の抑制：消費財の長寿命化、リユース、リサイクル、ライフスタイルの変革、人口抑制など	◎	◎	○	◎	◎	◎			○
	クリーンエネルギー・原料への転換：太陽、風力、バイオマス、LNG、原子力など	○		○						○
	燃料と原料からの汚染物質除去：重油脱硫、軽油脱硫、石炭の脱灰と脱硫など			◎						◎
	エネルギーと資源の利用効率向上：省エネルギー、省資源、水の利用効率向上など	◎		○						◎
下流対策分野	環境負荷発生源処理：排ガス処理、産業排水処理、有害廃棄物処理など	△		◎						◎
	環境負荷集中処理：下水処理、一般廃棄物処理、産業廃棄物処理など							◎		◎
	廃棄物最終処分：破碎、無害化、埋立てなど							○	◎	◎
	損傷した環境の修復・環境創造：土壌の除染、湖沼の脱燐・脱窒素、植林など				◎		◎		○	○

2. 環境問題の構成

人間が日常的に接触する環境は大気と水と廃棄物と土壌である。したがって、この四つの領域について主要な環境問題を表2に示す。大気環境問題には、影響が地球規模や数千キロメートルの範囲に及ぶ問題と、地域の限定的な問題がある。地球規模の大気環境問題は、地球温暖化、酸性雨、オゾン層破壊の3種類である。地域の大気環境問題は、主に浮遊粒子状物質、二酸化硫黄、窒素酸化物、光化学オキシダントの4種類である。騒音や

悪臭は大気環境より影響が狭い問題なので、大気汚染防止法の対象にはなっていない。しかし厳密には大気環境の一部であることから、ここでは大気環境問題に含めた。水質の環境問題には、臨海部の海洋水質環境、河川の水質環境、湖沼の水質環境がある。海洋水質環境は、生物の生存環境としての適合性を示す溶存酸素量と化学的酸素要求量が指標になる。河川の水質環境指標も海洋の水質指標と類似しているが、水産生物の生育環境保全の視点から、化学的酸素要求量に代わって生物化学的酸素要求量が指標になる。同じ理由で浮遊物質と油分、および有害物質が水質環境指標に加わる。湖沼は閉鎖性水域のために、環境負荷物質が長く滞留し拡散しにくい。このため海洋や河川よりも、溶存酸素の維持と有害物質の排除に厳格な対応が求められる。地下水も環境保全が必要な水質環境の一部である。

廃棄物は放射性廃棄物と一般の廃棄物に区分され、一般の廃棄物は生活系の廃棄物と事業系の廃棄物に区分される。生活系の廃棄物は家庭から排出される廃棄物で、可燃ごみと称する混合廃棄物のほかに、粗大ごみや容器包装も含まれる。事業系の廃棄物は、主にサービス業から排出される事業系一般廃棄物と、産業廃棄物に区分される。事業系一般廃棄物は実態が家庭系の廃棄物と同じなので、市町村が処理処分するとされている。産業廃棄物は法令により 19 品目が指定されており、量的に多いのは汚泥、家畜の糞尿、建設工事から排出されるがれきで、全量の約 80% を占めている。排出量は一般廃棄物が年間で約 5000 万トン、産業廃棄物は約 4 億トンである。自然環境は土壌環境と自然環境に大別したが、土壌環境は農地、住宅地、工業用地に区分するのが適切であろう。農地の土壌環境は生産性と農産物の品質に影響を与えるので、栄養素や酸性度、有機物の存在などが指標である。住宅地は人間の生活環境であり、有害物質の存在は許されない。工業用地は農地や住宅地に比較すると土壌環境への要求が緩いが、将来にわたって工業用地として使われ続ける保証はない。したがって、住宅地に転換される可能性も考慮した環境管理が必要である。自然環境では森林や景観の保全、一部地域では砂漠化の防止が必要である。森林破壊と砂漠化は日本では問題にならないが、外国では大きな問題なので環境問題に含めた。

表 2. 環境問題の構成

大分類	中分類		問題現象：主要汚染因子：環境指標	
1. 大気環境	1.1 地球の大気環境	地球温暖化：温室効果ガス		
		酸性雨：硫黄酸化物、窒素酸化物		
		オゾン層の破壊：フロン		
	1.2 地域の大気環境	浮遊粒子状物質		
		二酸化硫黄		
		窒素酸化物		
		光化学オキシダント：揮発性有機化合物		
1.3 騒音の環境	騒音：工場騒音、近隣騒音			
1.4 悪臭の環境	悪臭：工場、畜産施設			
2. 水質環境	2.1 海域の水質環境	有機物：COD（化学的酸素要求量）、DO（溶存酸素量）		
	2.2 河川の水質環境	有機物：BOD（生物化学的酸素要求量）、DO 浮遊物質：SS（浮遊粒子状物質）、油分 有害物質：重金属		
	2.3 湖沼の水質環境	有機物：BOD 汚濁物質：SS 有害物質：重金属、毒性物質		
	2.4 地下水の環境	有害物質：重金属、大腸菌、毒性物質		
3. 廃棄物環境	3.1 放射性廃棄物			
	3.2 一般の廃棄物	生活系 事業系	3.2.1 一般廃棄物	特別管理一般廃棄物（危険物） ごみ：ごみ、粗大ごみ、資源ごみ、廃家電製品など
			3.2.2 産業廃棄物	特別管理産業廃棄物（危険物） 19品目指定（汚泥、がれき、家畜糞尿、鋳滓、煤塵、廃プラなど）
	4. 自然環境	4.1 土壌の環境		土壌環境（農地・住宅地・工業用地）
4.2 自然環境		日本の森林・世界の森林		
		日本の野生生物・世界の野生生物		
		世界の砂漠・日本の砂漠		

3. 環境対策の構成

環境対策には、環境負荷物質の発生を抑制する上流の分野と、やむを得ずに作られてしまう環境負荷物質を無害化する下流の分野がある。人間の健康にたとえると、上流は病気を未然に防ぐ予防の分野で、下流は治療の分野に相当する。両分野とも環境保全には必要だが、相互に補完関係があるので、費用対効果の観点からベストミックスを追求するのが望ましい。なお、環境負荷物質の排出者にとって、環境対策は収益性がある活動とはいえないし、地域全体の環境を管理する立場でもない。一方、行政機関は住民の立場を代表する機関だから、地域の環境保全に責任があり権限を委ねられている。このため環境保全に必要な法規を定め、仕組みを作り、環境を監視する役割がある。このように環境対策分野を整理すると下記の3分野になり、これらの機能が備わって初めて実効性のある環境保全が実現できるのである。

- (1) 環境負荷物質の発生を抑制する上流対策の分野
- (2) やむを得ずに作られてしまう環境汚染物質を無害化処理する下流対策の分野
- (3) 環境保全の仕組みを作り、地域の環境を管理し、環境を監視する環境管理の分野

3.1 環境負荷物質の発生を抑制する上流対策

上流の環境負荷抑制対策は、その中をさらに上流から下流に分けられ、最上流は製品の長寿命化と再利用による資源消費の抑制である。たとえば120平方メートルの木造住宅を建設するには、木材が約15トンと石油に換算して約10トンのエネルギーが使われている。したがって住宅の寿命を、現在の約30年から欧米並みの60年以上にできれば、同量以上の木材とエネルギーを節減できる。2番目の上流対策は、廃棄物の再資源化による資源消費の抑制である。再資源化は直接的な再利用と違って、廃棄物を再生原料に加工する工程と、その再生原料を使って市場価値のある製品を製造する工程が必要になる。このため経済性が大きな課題になるが、金属廃棄物だけでなく古紙やガラス屑まで対象範囲が広い。

3番目の上流対策は、ライフスタイル、ビジネススタイル、社会システムの変革による資源消費の抑制である。われわれは、過去の習慣や僅かな利便性のために多くの資源とエネルギーを消費している。ライフスタイルの変革では、新聞購読をインターネット購読に代えるだけで、紙需要の12%を占める新聞用紙と宅配のエネルギーを節減できる。ビジネススタイルでは、在宅勤務が通勤のエネルギー節減に寄与し、テレビ会議は出張に必要な交通のエネルギーと時間の節約に貢献する。社会システムでは、宅配便の集約化やサマータイムの導入がエネルギー消費の抑制に寄与する。4番目の上流対策は、環境負荷の少ないエネルギーと原料を確保する分野である。クリーンエネルギーとしてのLNGの確保や、太

陽光など新エネルギーの利用が該当する。5番目の上流対策は、原料や燃料から環境負荷物質を除去する対策で、製油所の燃料脱硫が代表例である。石炭の洗炭による灰分の除去や、ガス化脱硫もこの分野に該当する。

6番目の上流対策は、全産業活動を対象とする省エネルギーと省資源である。省エネルギーは単にエネルギー消費量を減らすだけでなく、エネルギー消費にともなう発生する大気汚染物質の低減にも寄与する。また省資源は原料の歩留まりを改善し、資源の利用効率を高め、廃棄物の発生量を少なくする。水の利用効率を高めるのも、結果的に排水量を少なくし、排水の発生にともなう環境負荷を軽減する。

3.2 環境負荷物質を無害化処理する下流対策

下流の処理対策も、その中でさらに上流から下流まで分けられる。最上流の対策は発生源処理で、中流対策は水再生センターでの下水処理や清掃工場のごみ焼却のように、環境負荷物質の輸送をともなう集中処理が該当する。下流対策は廃棄物の最終処分、最下流の対策は汚染された土壌の浄化や、砂漠化した地域の植林のような修復処理である。排ガス処理は発生源処理だから、下流分野の中では最上流の対策である。硫黄酸化物を排煙から除去する排煙脱硫、粒子状物質を分離して除去する集塵、窒素酸化物を分解する排煙脱硝が代表的な対策である。揮発性有機化合物の焼却や脱臭も処理も、下流分野の中の最上流対策である、廃水処理も固形物の分離や有害物質の除去など、下水道に投入するまでの前処理が発生源処理である。ただし下水道が整備されていない地域や、臨海立地の大規模な工場は、前処理に続く生物処理や物理化学処理まで発生源処理になる。

廃棄物処理は、毒性や感染性など危険性物質の処理が発生源処理である。しかし地域に集中処理施設がなければ、焼却を中心とする無害化や減容処理も発生源処理になる。中流対策は下水処理場の排水処理や、廃棄物処理施設での焼却や無害化減容処理が該当する。下流対策は最終廃棄物の埋立て処分である。最下流の対策は、不注意や環境意識の欠如のために汚染されてしまった土壌の浄化や、富栄養化された湖沼の環境修復が該当する。容易に想像できるように、最下流の環境修復は上流対策に比べて非常に費用対効果が劣る。

3.3 環境保全の仕組みを整備して環境を管理する対策

環境負荷物質の発生を抑制する上流対策も、環境汚染物質を無害化処理する下流対策も、技術や設備を応用する物理的な対策である。一方、こうした物理的な対策に必要な要件を定め、環境負荷の発生者に必要な役割分担を求める環境管理の仕組みが必要である。合理的な環境管理は関係者の合意形成を導き、環境対策の費用対効果を高める。適切な環境対

策を実現させる第 1 の仕組みは、法令の整備と継続的な運用である。環境対策は直接的な収益増大策ではないから、法令による基準がなければ実効性を担保できない。法令は過去の歴史から順次作成・改訂が繰り返されて現在に至っているのであり、求められる規制水準は必要性和実行可能性が考慮されている。第 2 の仕組みは、環境負荷が発生する前段階で、環境影響を予測して対策を講じる環境アセスメントである。第 3 の仕組みは設備の稼働段階における環境マネジメントである。設備の計画段階（Plan）で環境アセスメントを実施し、運用段階（Do）で適切な環境マネジメントを確保する仕組みが必要なのである。次の段階は結果の確認（Check）で、環境モニタリングが該当する。環境モニタリングを補完する対策として、排出モニタリングもある。排出モニタリングは、環境負荷物質の発生を監視するもので、物理的な測定もあるが施設の届出や定期的な報告も含まれる。以上に述べた環境負荷物質の発生を抑制する上流対策、環境汚染物質を無害化処理する下流対策、環境保全の仕組みを作り地域の環境を管理する対策を表 3 に示す。分類体系を示すのが目的なので、細分類と対策の詳細は事例である。

表 3. 環境対策の構成

大分類	中分類		細分類：環境対策
1. 環境負荷物質の発生抑制	1.1	製品の長寿命化と再利用	長寿命化とリユース：(例) 住宅、自動車、バイクや自転車、家電製品、冷暖房機器、厨房機器
	1.2 廃棄物の資源化	1.2.1 回収廃棄物から再生原料へ	廃棄物の再生原料化：(例) 鉄スクラップ、アルミスクラップ、非鉄金属屑、廃棄自動車、廃家電、建設廃材、食品廃棄物、飲料容器、廃プラスチック、パチンコ台、新聞・雑誌、オフィス用紙、衣類と繊維製品
		1.2.2 再生原料から製品や燃料、エネルギーへ	再生原料の製品化：(例) 電気炉鉄鋼製品、再生アルミ地金製品、再生非鉄金属製品、プラスチック再成形品、再生紙製品、コンポスト肥料、エコセメント、廃棄物固形化燃料
	1.3 ライフスタイル	1.3.1 ライフスタイルの变革	(例) 太陽電池、太陽熱温水器給湯、低燃費自家用車（ハイブリッド・電気など）、低エネルギー交通媒体選択（電車・バス・自転車）、高断熱住宅（外断熱・二重窓など）、低エネルギー情報コミュニケーション（メール・電話）、低環境負荷厨芥処理（ディスポーザ・肥料化）、低環境負荷新聞購読（インターネット）

ル と 社 会 シ ス テ ム 変 革	1.3.2 ビジネススタイルの変革	(例) 低エネルギー宅配（品目別でなく配送先別に集約）、低エネルギー勤務形態（在宅・フレックス）、低エネルギー執務環境（個別ブース型）、低エネルギー会議（遠隔TV会議）、人感センサー照明、小売店の包装容器削減（量り売りなど）
	1.3.3 社会システムの変革	(例) サマータイム、風力発電、廃棄物発電、下水処理方式の適性化（下水道処理・合併浄化槽処理）、飲料容器の集約化（アルミ缶・スチール缶・PET）
	1.4 クリーンエネルギーの確保と供給	(例) 天然ガス、低硫黄原油、メタンハイドレート、低硫黄/低灰分石炭、太陽電池発電、水力発電、風力発電、バイオエタノール、原子力発電
	1.5 原燃料からの汚染物質除去	(例) 製油所の軽油脱硫と重油脱硫、石炭の洗炭による硫黄分と灰分の除去、天然ガスの産地精製
省 エ ネ ル ギ ・ 省 資 源	1.6.1 農林漁業（事例）	農業（低燃費農機具）、施設園芸の省エネ（施設管理・制御）、畜舎の省エネ（施設管理・制御）、沿岸漁業（漁船省エネ・冷蔵/冷凍効率向上）
	1.6.2 製造業（事例）	製鉄（炉頂発電・スラグ利用）、非鉄金属精錬（メタル回収・排熱蒸気利用）、アルミ精錬（アルミナ残液熱回収）、窯業（蓄熱式熱回収加熱炉）、セメント（NSPキルン・廃棄物原燃料利用）、紙パ（黒液燃料利用）、有機化学（プロセス熱回収）、無機化学（原料効率向上）、自動車（水性塗料利用・乾燥炉省エネ）、家庭電器製品（塗装乾燥炉省エネ）、食品（コジェネレーション利用）
	1.6.3 輸送業（事例）	航空輸送（貨物積載効率向上）、船舶輸送（配船マネジメント）、鉄道輸送（回生エネルギー利用、ハイブリッド）、トラック・バス輸送（車種、燃料適性化）、モーダルシフト
	1.6.4 サービス業（事例）	病院・ホテル・スポーツクラブ・浴場（コジェネレーション・燃料電池・太陽熱給湯器）、大規模商業施設（空調最適化制御）、大規模小売店（空調/冷凍管理）、ファストフード（廃棄食品管理・空調管理）、オフィスビル（空調管理）

2. 環境負荷物質の処理と処分	2.1 発生源処理（上流対策）	排ガス処理（事例）： 集塵、ガス洗浄、排煙脱硫、排煙脱硝、揮発性炭化水素の無害化処理（燃焼・吸着） 排水処理（事例）： 固液分離、有害化学物質の除去や無害化、物理化学処理、生物化学処理 廃棄物処理（事例）： 危険性廃棄物処理、焼却 騒音処理（事例）：サイレンサー・ラギング 悪臭処理（事例）：吸着・燃焼・吸収・洗浄
	2.2 集中処理（中流対策）	排水処理（事例）： 物理化学処理、生物化学処理、汚泥処理 廃棄物処理（事例）： 一般廃棄物焼却（清掃工場）、 産業廃棄物の破碎、脱水、焼却
	2.3 最終処分（下流対策）	埋立処分
	2.4 損傷環境の修復（最下流対策）	土壌汚染サイトの修復、砂漠化地域の植林、富栄養化湖沼の改善
3. 環境管理の仕組	3.1 環境関連法令整備	大気汚染防止関連法規、水質汚濁防止関連法規、悪臭防止と騒音規正関連法規、土壌・地下水関連法規、自然保護関連法規、廃棄物処理関連法規、資源有効利用（リサイクル）関連法規、化学物質管理関連法規、エネルギー有効利用関連法規など
	3.2 環境アセスメント	環境アセスメント実施体制の整備
	3.3 環境マネジメントと環境モニタリング	環境マネジメントシステムの整備、環境監視体制の整備、環境負荷発生源（大気・水質）監視、有害化学物質モニタリング（P R T R）など

（おわり）