

総論.1 環境問題と環境対策の体系

環境問題には、大気、水質、廃棄物といった分類がありますが、環境対策には環境負荷の発生を抑制する「予防」の分野と、発生する汚染物質を無害化する「治療」の分野があります。また、それぞれに上流から下流まで段階の異なる対策があり、問題によって有効な対策の組み合わせが異なります。したがって費用対効果の観点から、問題ごとに対策のベストミックスを選択する必要があります。

1. 環境対策の種類

「環境装置」というのは、具体的に何を指しているのでしょうか。たとえば自動車の場合、まず思いつくのは消音器のマフラーです。マフラーはエンジンで発生する爆発音を消す「処理」装置だからです。次に思いつくのは、マフラーの前にある排ガス燃焼装置でしょう。触媒が入っているこの装置が、排ガスに含まれている炭化水素と一酸化炭素を害のない二酸化炭素と水蒸気に変える処理装置だからです。でもこれだけでしょうか。最近では多くの車にコンピューターを利用した燃焼制御装置がついていて、エンジンに送り込む空気量を調節して窒素酸化物の発生を防いでいます。ですから燃焼制御装置も環境装置に入るでしょう。でも、この場合は発生する窒素酸化物を無害化処理する装置ではなく、発生を防ぐ「予防」装置です。住宅は浄化槽が廃水を「処理」する環境装置ですが、節水トイレは廃水の発生を少なくする「予防」装置です。工場は排水処理設備や排ガス処理設備が、汚染物質を無害化する「処理」装置です。

一方、排熱を回収する熱交換器や処理排水を循環再利用する設備は、エネルギーや水の利用率を高め、汚染物質の発生を防ぐ「予防」の環境装置です。こうしてみると、環境装置には汚染物質の発生を防ぐ「予防」の分野と、発生する汚染物

質を無害化処理する「治療」の分野があり、環境技術や環境装置にもこの2種類があることがわかります。

ところで「予防」の分野は、さらに上流から下流に細分化することができます。最上流は耐久消費財や日用品の消費量を低減する需要の抑制で、製品の長寿命化やリサイクルが、この分野に相当します。2番目は燃料や原料のクリーン化です。日本はエネルギー源を石炭から浮遊粒子状

物質の発生が少ない石油に、石油から硫酸化物の発生が少ない天然ガスに転換して大気汚染を改善しました。3番目は燃料や原料が利用者に届く前に、含まれている汚染物質を除去する前処理です。日本は製油所が石油から硫黄分を除去して、燃料利用者のボイラーから発生する硫酸化物を少なくしました。4番目は資源とエネルギーの利用効率を高める省資源と省エネルギーです。資源の利用効率を高めれば廃棄物の発生が少なくなり、水の循環再利用は廃水を少なくします。省エネルギーはボイラーや加熱炉の排ガスを少なくしますから、大気汚染物質の発生を防ぐだけでなく、排ガス処理装置の規模を小さくする効果もあります。

一方、治療の分野も上流から下流に細分化できます。治療の最上流対策は、汚染物質の発生者が自ら処理する発生源処理です。硫酸化物をボイラーの排煙から除去する排煙脱硫、排煙に含まれる粒子状物質を除去する集塵、窒素酸化物を分解する排煙脱硝が代表的な発生源処理です。廃水処理も固形物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す。ただし、臨海立地の大規模な工場は、下流に集中処理施設がありません。このため、前処理に続く生物処理や物理化学処理まで発生源で処理する必要があります。廃棄物も毒性や爆発性、それに引火性物質など、集中処理を妨げる危険物の処理が発生源処理

です。騒音防止や脱臭も、発生源でなければ処理できません。

治療の2番目は、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まなう集中処理です。産業廃棄物の集中処理もこの分野です。輸送の費用が発生しますが、処理設備の大規模化によるスケールメリットの方が大きいのと、環境保全対策も経済性が高くなります。3番目は廃棄物の最終処分、不燃ごみや焼却残渣の埋立て処分です。なお、以前は鉍滓などの産業廃棄物を海洋に投棄していました。しかし海中の光合成を妨げ、海洋汚染の原因にもなることから、現在は陸上での埋立て処分しか認められていません。4番目は最下流対策で、汚染された土壌の浄化や、富栄養化した湖沼の環境修復です。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費用対効果が非常に劣ります。土壌汚染は不注意や環境意識の欠如が原因ですが、汚染物質が拡散してしまうので修復は容易ではありません。以上の予防と治療の対策を整理すると表1になります。

の段階の対策が有効なのでしょう。またどの段階の対策が、費用対効果に優れているのでしょうか。環境問題といっても地球規模の環境問題もあれば、悪臭や騒音のように地域的な環境問題もあります。大気や水質の環境問題もあるし、廃棄物も環境問題です。したがって問題ごとに、各段階の環境対策があるでしょうが、本節では八つの地球環境問題を例に、段階別の環境対策を考えてみます。

表2は地球環境問題を横軸に、環境対策を縦軸に有効性を整理したものです。環境問題と環境対策の関連性を示すのが目的なので、厳密性に欠けるかもしれませんが、わかりやすい表形式で示しました。表2のように、地球の温暖化を抑制するには製品の長寿命化やリユース・リサイクルも有効です。というのも、それだけ新製品の製造に必要なエネルギーが少なくて済むからで、最上流の対策です。石炭や石油を、温室効果ガスの発生が少ないLNGに転換する2番目の上流対策は、地球温暖化の抑制に大きな効果があります。太陽光発電や風力発電は、LNGよりもっと地球温暖化の

表1. 環境対策の予防と治療

予防 対策	需要の抑制	製品の長寿命化、リユース、廃棄物の資源化再利用など
	燃料や原料のクリーン化	LNG 転換、自然エネルギー利用、低硫黄石炭利用など
	環境負荷物質の上流除去	燃料脱硫、石炭の洗炭による未燃分の低減など
	省資源と省エネルギー	原料の歩留まり向上、省エネルギー、水の循環再使用など
治療 対策	発生源処理	排煙脱硫、集塵、排煙脱硝、脱臭、廃水の固形分除去など
	集中処理	下水処理、廃棄物の集中処理（清掃工場）など
	最終処分	埋め立て処分
	汚染修復	汚染土壌修復、富栄養化湖沼の修復、砂漠の緑化など

2. 環境対策のベストミックス

前節では環境対策に予防と治療の分野があり、それぞれに上流から下流まで数段階があることを示しました。では具体的な環境問題に対して、ど

抑制に寄与します。原子力発電も、地球温暖化の抑制という点では望ましいエネルギー源の一つです。4番目の上流対策になる省エネルギー対策も、エネルギー需要を抑制し、二酸化炭素の発生量を減らす上流分野の予防対策です。

表 2. 地球環境問題と各段階の環境対策

地球環境問題 (右)		地球温暖化	オゾン層の破壊	酸性雨	熱帯林の減少	砂漠化の進行	海洋汚染	有害廃棄物移動	新興国の環境汚染
環境対策分野 (下) ◎ : 非常に有効 ○ : 有効 △ : 疑問									
予防 対策 ・ 上流	需要の抑制 : 製品の長寿命化、リユース、リサイクルなど	◎	◎	○	◎	◎			○
	燃・原料のクリーン化 : LNG 転換、太陽光発電、風力発電など	○		○					○
	燃・原料からの汚染物質除去 : 燃料脱硫、石炭の選炭など			◎					◎
	省資源・省燃料 : 省エネルギー、歩留まりの向上、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				△	○			○

治療の分野になる下流の対策としては、ボイラーの排ガスから二酸化炭素を分離し、海底に貯蔵する方法が研究されています。すでにテストプラントが数カ所で稼働していますが、海底に長期的・安定的に貯蔵するには多くの技術開発が必要です。しかも、排ガスからの二酸化炭素の分離には莫大なエネルギーが必要になるので、筆者としては実現性に疑問があると考えています。このように地球温暖化には段階の異なる 4 分野が考えられますが、このうちの 3 分野の対策が有効でしょう。

次のオゾン層の破壊はどうでしょう。オゾン層の破壊はクロロフルオロカーボン(CFC)や、その他のフロン類に含まれる塩素が原因です。フロン類は沸点の低い気体ですから、環境に放出されれば回収できません。それに利用分野が広いので、環境への放出を完全に防ぐこともできません。したがって、予防は可能だが治療は不可能です。このため、対策としては製造も使用も禁止し、需要をなくす最上流の対策しかありません。では酸性雨の問題はどうでしょう。酸性雨の原因は、化石燃料の燃焼排ガスに含まれている硫黄酸化物と窒素酸化物です。したがって予防分野の対策は、最上流の需要の抑制によるエネルギー使用量の低減、2 番目の硫黄酸化物を含まない燃料への転換、3 番目の燃料に含まれる硫黄分の除去が非常に有効です。4 番目の省エネルギー対策は、同じ量のエネルギーをより少ない燃料で供給できるようにします。このため、燃料の削減量に比例して硫黄酸化物と窒素酸化物の発生量が少なくなり、酸性雨の抑制に寄与します。一方、治療対策の分野では、硫黄分の多い石炭と石油を使うボイラーの排煙脱硫が大きな役割を果たします。酸性雨の問題は、予防の 4 分野と治療の 1 分野が有効なのです。

熱帯林の減少はどうか。熱帯林に限らず、人類はかつて存在した多くの森林を失い、ほとんど回復できていません。森林を元の状態に回復するには伐採を止め、植林したうえで、さらに数十年の歳月を要するでしょう。したがって熱帯林の減少を防ぐ方法としては、予防の分野である最上流の需要の抑制が圧倒的に重要です。治療の分野としては最下流の植林がありますが、あまりに多くの手間と費用と期間が必要なので、多くを期待することができません。

砂漠化の進行には自然環境の変化によるものと、家畜の過放牧など人為的な原因によるものがあります。自然環境の変化に起因する砂漠化は防ぎようがありませんが、人為的な原因の場合は放牧の制限という予防対策で防ぐことができます。治療の分野では、最下流の対策として植林などの緑化事業が可能です。しかし多くの手間と時間がかかるのを避けられません。海洋汚染は主に工場の廃水に含まれる有害物質、船舶廃水の油分、および廃棄物の投棄によるものなので発生源は多様です。このため、発生量自体を減らす効果的な予防策を考えにくく、工場や船舶の廃水处理と、陸上での廃棄物処理の徹底という下流分野の対策で防ぐしかないでしょう。有害廃棄物の移動に関しては、最終処分施設の整備という選択肢しかありません。地球環境問題の一つに挙げられている新興国の環境汚染については、改善するのに上流の予防分野も下流の治療分野も総動員する必要があります。

以上のように一つの環境問題に、次元の異なる複数段階の対策がありますが、問題によって有効な対策の組み合わせが異なります。たとえば地球温暖化の対策には、上流分野の予防対策が大きな役割を果たしますが、酸性雨の対策は上流対策の燃料脱硫と下流対策の排煙脱硫が必要でしょう。なお、地域によって採用可能な対策が制限される

場合もあります。燃料を汚染物質の少ない天然ガスに転換しようにも、パイプラインが未整備なら採用できません。また、複数段階の対策がある場合も、対策によって費用対効果に違いがあるので、対策のベストミックスを考慮する必要があります。工場の場合も同様で、問題ごとに次元の異なる対策の組み合わせを、ベストミックスの観点から再確認するのが有益でしょう。

3. 環境問題と環境対策の体系化

本稿は「環境問題と環境対策の体系」というタイトルにしましたが、理由は環境対策の分類と体系化が必要と考えたからです。環境問題は大気、水質、廃棄物といった問題現象分野からの分類を想定できますが、環境対策は分類が不透明というよりも、存在しないように見えます。環境分野の解説書の多くは、環境問題の解説に続けて対策を紹介していますが、ほとんどが排出源対策に限定されています。

しかし本稿で述べたように、環境対策には次元の異なる複数段階の対策があり、発生源の「処理」対策よりも、環境負荷の発生を抑制する上流対策の方が費用対効果に優れていることが少なくありません。日本は1970年から1985年までに、大気に放出される硫黄酸化物を25%以下に減らしましたが、排煙脱硫よりも省エネルギー対策の方が大きく寄与しています。当時は現在よりも省エネの水準が低かったため、省エネによる排ガス発生量自体の低減が硫黄酸化物の削減に大きな効果を発揮したのでしょう。ボイラー燃料のLNG転換も上流対策ですが、硫黄酸化物の削減に排煙脱硫の約半分に相当する寄与を示しています。このように、環境対策は上流から下流まで含めた分類と、費用対効果の評価が有益です。

(おわり)