

## 地球環境と環境監視技術

森田 昌敏



森田 昌敏

Masatoshi Morita

独立行政法人国立環境研究所  
客員研究官

早稲田大学  
客員教授

特定非営利活動法人環境テクノロジーセンター  
理事長  
工学博士

### 地球と人類をとりまく諸要件と その限界への接近

21世紀は環境の世紀と呼ばれる。地球上に出現したたった一つの生物種である人類(ホモサピエンス)がその数を増やし、年率2%弱の速度で増加し、世界人口は2060年代に100億人に達するとしている。また生物量として最大となるばかりでなく、自然を改変し、地球の生物圏を大きく変貌させている。このような人間の振る舞いがやがて、人類を破滅に導くのではないかという不安は、既に先人達によって語られている。例えば、Albert Schweitzerは100年以上も前に“Man has lost his capacity to foresee and forecast. He will end by destroying the earth.”と言ったとされる。30年前に報告されたローマクラブによる“成長の限界”は私たちの社会の推移をかなりの確に見通しており、21世紀の半ばに大きな社会的な変化を推測している。

資源・エネルギーの枯渇は、確実にやってくる出来事である。例えば、世界最大の産油国サウジアラビアにおけるガワール油田で海水が混じりはじめ、中東の巨大油田の枯渇が間近になりつつある。石油の枯渇と共に、より質の悪いエネルギー源を利用することとなる。天然ガスの枯渇もやがて視野に入ってくる。メタンハイドレード(メタンが水に閉じ込められたもの)の採掘はまだ目途が立っていない。アジア、南米、アフリカにおける急速な人口の増加と重工業の発達が進む。結果としてエネルギーと資源を競争的に消費していくと考えられる。また石油のような液体燃料は、内燃機関に

は不可欠のものであるが、その不足による1次エネルギー資源の内容の変化は輸送機械類の大変化を促し、自動車、船舶、航空機における新しい技術革新の機会とそれに付随した新たな環境問題を与えるであろう。エネルギーやその他の資源価格の高騰は既に始まりつつある。2004年末に起こった石油や石炭、鉄鉱石の価格高騰はそのはしりと考えられる。このような原材料の高騰はやがて肥料や農耕器具の価格高騰となり、資源の乏しい国における食糧生産の低下などを引き起こし、それらの国の人々の生存条件の悪化に結びついていくであろう。

1970年代に心配された食糧問題は、“緑の革命”と呼ばれる種子改良による農業生産性の向上により回避され、1990年代は穀物過剰生産、穀物価格の下落、先進国における減反が進んだ。今後の食糧生産の見通しについては楽観的な見通しと、来るべき100億人の地球人口に対応した悲観的な見通しがある。楽観派は、今後の農地の開拓余地があること、農業技術の向上が更に見込めること等から、地球全体の供給量には問題ないとしている。一方、悲観派は環境の劣化が農業生産の低下をもたらし、また技術革新も限定的であるとして今後の食糧増産には限界があるとしている。まもなく始まる石油不足は農業機械の稼働率を低下させ、窒素肥料の高騰をもたらす。またリン資源の不足の顕在化もあって、農業生産性は低下する可能性が高い。また農業生産性の低下は森林の過伐採による土壌流出や保水性低下によっても起こる。一方で、食糧の増産のための農地開拓等が進行すれば、結果として地球的規模で環境破壊も更に進むと考えられる。

環境の汚染が、人間の健康に与える影響について定量的な推定は難しい。先進国においては、環境汚染の人体への影響は、急性的な中毒ではなく、むしろ微量汚染物質の長期曝露の影響という潜在的なものとして慢性影響、継世代的な影響として、後々に表れる可能性として示される。一方、発展途上国における環境汚染はリアルであり、汚染の影響が短期的に病気という形で目に見える場面が先進国よりはるかに大きい。また、水不足と飲料水質の悪化がある。かつて中国文明を支えた黄河は今や水量が不足しており、北京市を含む華北部の水供給は量的にも質的にも困難の度を深めつつある。また、インドや

バングラディッシュにおける大規模なヒ素汚染も地下水の汲み上げすぎから発生している。食料・資源・環境の3つの要素を独立して取り扱うことは適当ではない。三者は密接に関係している。現在の日本が享受している長寿命社会も、十分なエネルギー・資源・食糧に支えられており、これが縮小に向かった時の社会の有様に思いを至らせる必要がある。また、地球は人間のためだけにあるのではないという生態系に思いを寄せることや、平等に資源を分け合っつつましく生活すること、そして、世界的な規模における貧困の解決が環境の保全にとっても必要となってくる。



世界最古にして最大の淡水貯水量を誇るバイカル湖 (©PPS通信社)

バイカル湖には、バイカルアザラシなど1000種を越す固有種の水棲生物が生息しているが、周辺の工業化により汚染が問題になりつつある。

## 環境保全のための戦略と科学・技術

環境の保全は人類持続のためのKey Issueであり、人間のあり方を問う哲学や宗教、人々の意識とそれを受けた国際及び国内の政治や経済が環境保全に向かって動き始めていることは希望である。

1980年代の環境政策をリードしたのは、米国カリフォルニア州であった。今でもこの州はパイオニア的な役割を果たし続けているが、1990年代に入り、より大きな国家連合レベルでEUがリードし始めている。これらの政策決定者たちは、新たな規制や政策活動目標の提示がなされれば、必要な技術が開発され実現されていくという考えに基づいており、実際そのように進行していることから、戦略として正しいと言えるかもしれない。提示されている予防原則<sup>1)</sup>、もったいない<sup>2)</sup>理念、ゼロミッション<sup>3)</sup>、最良技術(Best Available Technology)などは社会に埋め込まれつつある。また、法律的な規制や環境会計の内部経済化を通じて、環境保全に向けての社会・経済学的アプローチは効果を見せ始めている。その一方で、実務的

には、科学や技術のフォローが必要である。未来の環境課題を認識し、予測するための科学と、環境汚染を防止するための環境測定、監視技術、汚染防止や汚染修復等の技術が有機的に結合され運用されなければならない。日本における課題の例を次に示す。

### 環境問題認識のための科学の発展

1970年頃までにピークを示した古典的な環境汚染は、重化学工業を中心とした発生源の対策により大きく改善された。1980年代に課題となってきたのは、車などの移動発生源に起因する都市の大気汚染や、農業、酪農業などによる閉鎖性水域の汚染の問題であった。これらは、少しずつ改善に向かいつつあるものの、新たな課題も残されている。例えば、ディーゼル排ガス中に含まれる粒子状の物質、また最近ではナノメートルサイズの微粒子の問題である。これらについては、その物理化学的特性や環境中の挙動についての科学的知見の蓄積が必要である。

環境汚染の結果として、人の健康への悪影響は最重要課題である。1970年代は公害病と呼ばれる、人への毒性物質の高濃度曝露による病気の発生が課題であった。1980年代に入り、低濃度長期曝露による潜在的な悪影響あるいはリスクなどが取り上げられ始めた。例えば、発ガン性の問題である。発ガンは、遺伝子の損傷により発生する病気であるが、長期間の曝露により、いくつかの遺伝子の損傷が積み重なり発病に至る。アスベストの発ガン性は1980年頃には指摘されていたが、それから25年以上経過した現在において、特有のしかも予後の良くない中皮腫の発生が増加し始めている。このような発ガン性物質に対応して、1990年代には、水質汚染防止法や大気汚染防止法が改正され、一部の物質について環境曝露防止への道が開かれてきている。化学産業の発達により、市場には10万種の化学商品が出回っているとされる。これらを管理下におくことは容易ではない。水質汚濁防止法や大気汚染防止法において規制や監視下に100種を超える物質をおり、またその下に要調査品目として300種を数えているが、これらを調査するための効率的な計測システムが求められる。

1990年代半ばより注目を浴び始めているのは、ダイオキシンなどとも関連して、生殖と次世代への悪影響を未然に防止することの必要性である。いわゆる環境ホルモンの問題提起もこれによっている。微量の化学物質が、感受性の強い母親、胎児あるいは乳幼児に作用して、次の世代に生殖能の低下、免疫の異常、知能の低下等の悪影響を残す可能性が指摘されている。例えば、大量生産の化学品であるビスフェノールA、フタル酸エステル類、アルキルフェノール類について、微量での作用を示す動物実験データが示され危惧する意見がある。その一方で、毒性に否定的な意見もあり、予防原則をどう考えるのか、早期警報システムの構築をどうするか、計測と毒性評価の科学の進歩が欠かせない。トキシコゲノミクス<sup>\*1</sup> やリセプター結合性に着目した新たな毒性学的アプローチが進展しつつあり、予備的な毒性評価への活用が求められる。

\*1: toxicology(毒物学)とgenomic(遺伝子解析)を組み合わせた造語で、副作用が発症した過去の薬剤を動物やヒトの組織に作用させた時の遺伝子発現パターンをデータベース化し、副作用の不明な物質の遺伝子発現パターンをこのデータベースと比較照合することにより、副作用発症の予測を行う毒性評価法。化学物質の生態影響評価手法として進展しつつある。

人の健康への影響ばかりでなく野生生物への影響も重要である。地球上から貴重な生物種が、かなり早い速度で失われている。主とした原因は生活の場を失っているためであろうが、有害物質の影響もある。生物種保全のための科学も必要となっている。地球温暖化とそれに伴う気候変動、オゾン層の破壊、海

洋の汚染、高深度地下等々、科学的な解明がまだまだ必要な課題が多い。我々の惑星そのものの理解がまだ不足している。

### 環境測定・監視の技術

環境の計測と監視の技術は、過去30年間の間に劇的に進歩してきた。大気汚染に対応したガス分析法、水質を監視するための各種センサの開発も進んできた。また重金属汚染に対応した、原子スペクトル分析法と質量分析法、有機汚染に対応したガスクロマトグラフ質量分析法と液体クロマトグラフ質量分析法が早期検知と警報システムを支えている。地域レベルの監視を地球レベルに広げようとした国連環境計画(UNEP)のプログラムの一つとして、既に1970年代にGEMS計画(Global Environmental Monitoring System)が提案され、GEMS-AIR、GEMS-WATER、HEAL(Human Exposure Assessment Location)として実行されてきた。現在では、地球温暖化とオゾン層破壊、酸性雨モニタリング、陸地起源の海洋汚染等々と広がってきている。また残留性有機汚染物質(POPs: Persistent Organic Pollutants)は、国際条約の中に組み込まれ、全世界的な排出抑制と監視がとられる方向に向かい始めた。

情報技術の発展と共に、オンサイトリアルタイムモニタリングが発展しつつあり、携帯電話での計測と通信も夢ではないであろう。FT/IR等による発生源監視の技術、例えば、走行中のディーゼル車や産業廃棄物焼却炉の煙突からの排出をレーザー光後方散乱監視技法により監視することもできよう。衛星を用いたリモートセンシングでは、1 m以下の位置分解能を得られており、また、光のスペクトル解析から表面の物質の定性と定量が可能となる。例えば、可視領域バンドでの、クロロフィル(葉緑素)吸収を利用して植生の画像化が行われている。また、太陽光を光源とする分光測定法を用いて、地球表面の大気層中の分子種の大気圏の高度分布の情報をうる事ができる。

環境測定は、環境汚染の防止や、対策効果の検証のために不可欠の存在である。また、ナノテクノロジーを始めとする新しい技術と共に、新たな環境問題が発生することを考えると、常に発達することが求められる。

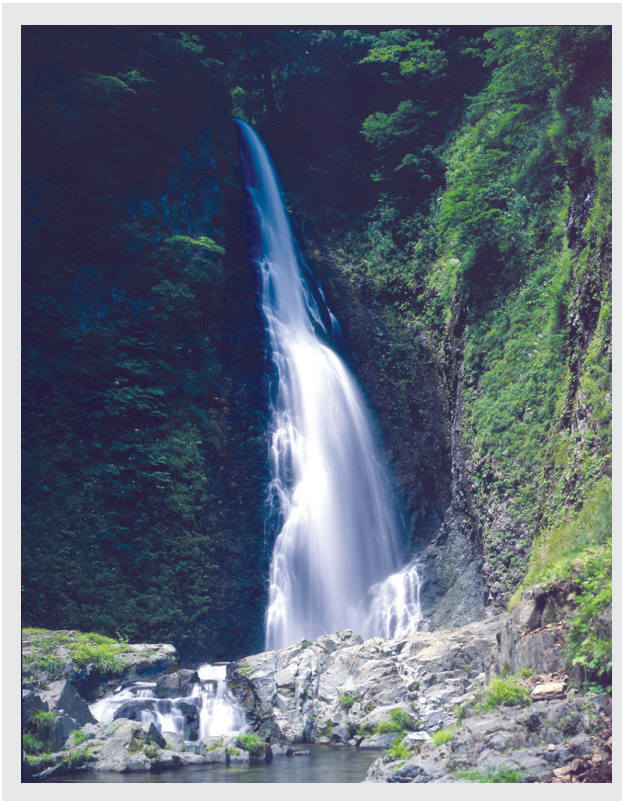
### 汚染防止技術と汚染修復技術

環境汚染を防止するための発生源対策の技術は、“Solution of Pollution is Dilution”や“End of Pipe”と呼ばれる排気ガス処理や排水処理技術の発達により改善された。その一方で現在考えるべき環境技術の範囲は拡大しており、環境汚染の未然防止から、環境修復技術や環境を創造する技術等幅広い方向に向かいつつある。例えば、有害物質について言えば、漏出防止や分析処理技術の他にそれを使わない代替品や代替技術の開発がある。また、地球環境対応では、二酸化炭素を発生させないエネルギー利用や省エネルギー技術が発展し始めている。

汚染物質を隔離していた廃棄物の埋立て処分は、同類の先送りのな要素があったが、恒久処理や再利用／再資源化に向けてダイナミックに歩み始めた。また物の入口の化石燃料問題と出口の廃棄物問題が同じ土俵で解決に向かい始めたことは、大局的に正しい進行と言えよう。この流れに沿って、環境負荷低減への絶えざる技術の発展が求められる。

一方で、過去の負の産物の処理も重要となっている。例えば、PCBなどのPOPs、旧軍化学兵器、土壌中の重金属や油汚染などである。負の遺産の処理にどの程度のコストをかけるべきかという問題があるものの、処理によって良い環境が再生される効果が十分期待できる場合は、進めるべきであろう。1990年代半ばのダイオキシンの社会問題化は、我国において、世界で最も進んだ焼却処理技術を生み出した。コストがかかりすぎるといった批判もあるが、国土が狭く人口集中度の高い我国においては一つの選択であったと思われる。

我国の環境産業の市場規模は国民総生産（GDP）の5%程度と思われるが、そこで生み出される技術が世界の環境改善に役立つとすれば十分な価値がある。



白神山地の暗門の滝（©PPS通信社）  
 広大なブナ林が覆う白神山地に、太古からの日本の原風景がかるうじて残されている。

## おわりに

資源・エネルギー・食糧の問題と、環境の問題を地球レベルであるいは地域レベルで総合的に解く必要がある。現象は、人間が人間自身を含めて物質を移動させることによって起こっており、それを監視し管理するというアプローチも考えられるかもしれない。超スーパーコンピュータに、資源・エネルギー、物質の利用と循環に関する情報、衛星からの地球観察やミクロな分析情報、人や生物における毒性を含む影響の情報、地理的情報等をすべて注入し、環境問題を体系的に解くことができるのではないか。また悲劇は、問題の解決に向けての技術の過渡期に起こることが多い。新しいエネルギーの活用等は、その一方で思わぬところで重大な環境問題を引き起こすことがある。“Watch”の目を開かせておくことは重要である。