

21世紀に向けての資源と環境 —「資源と環境」特集号に寄せて—

地質調査所長 小川克郎

かれこれ20年ほど昔、カナダで冬を越した時のことである。外は零下30度の厳寒であるが、部屋の中は裸でおれるほど温かい。日本で厚着をして寒さに耐えながら冬を過ごすのに慣れてきた私の家族には、それは天国のように思えた。あれから20年が経ち、日本の冬も天国に近づきつつあるように思える。一度このような経験をしてしまうと元に戻るのにはなかなかむづかしい。冷たい透き間風の通り抜けて行く部屋でかじかむ手を火鉢にかざしてわずかに暖をとっていた子供時代の冬は懐かしいが、再びそこに戻って行くのはごめんであるというのが実感である。

私達のこの快適な生活は、言うまでもなく、エネルギー消費に負っている。しかも、その大半が化石燃料資源である。我が家の石油暖房器の排気孔の近くに犬小屋があるが、冬になると犬は絶対にその傍には近づかない。賢明なる犬はその空気が極度に不快なものであることを知っているのである。私達の生活を快適なものとする資源とその結果劣化して行く自然環境との相剋の原点を我が家でも観察することができる。

この資源と環境の相剋は何も今に始まったことではない。恐らく、人類が火の使用を学んで以来常に存在していた。それが何故今これほどの話題になるのだろうか？

まずその辺から考えてみたい。人類が直面している危機に対して最初に警告を発したのは恐らく1972年(昭和47年)に公表されたローマクラブの「成長の限界」であった。「幾何級数的な膨張を続ける人口と工業生産は深刻な食糧不足、環境破壊、資源枯渇を引き起こし、あらゆる成長が1世紀以内に限界に達するであろう」とするこの報告書の与えた衝撃はたちまち世界を駆け巡った。

引き続き、1980年(昭和55年)に公表された3年をかけた労作＝アメリカ合衆国政府特別報告書「西暦2000年の地球」(The Global 2000 Report to the President)も膨大な資料と科学的な推計法を駆使しながら「成長の限界」と同じような悲観的な結論に達していた。その後、地球温暖化問題が大きく取り上げられ地球環境問題の代名詞のようになったが、それは「西暦2000年の地球」が指摘した問題のほんの一部に過ぎない。ちなみに、この報告書のキーワードは「人口」「資源」「食糧」および「環境」であった。我が家が排出する汚染物質は精々一匹の犬に迷惑をかける程度かもしれないが、地球規模でそれを加算すると地球の自然システムを変え深刻な事態を引き起こすことが具体的に指摘されたのである。これが先ほどの疑問への解答である。

地球はその46億年の歴史の中で始原の灼熱したマグマ

の海から陸や海や大気を造り出し、そしてついには生命体を創成してきた。その神技としか思えない絶妙な自然システムの中で始めて人類のような生命体が存在しえることを知ったある科学者は地球自体も生命体にちがいないと驚嘆した。生命体の特徴は生きている(つまり、動いている)のに安定(平衡)していることである。多少専門的に表現すれば、生命体は「動的平衡状態」にあると言える。地球の最大の特徴も動的平衡である。地球が生命体であると感じた科学者はこの意味では正しい。動的平衡にあるシステムでは、それ自身が内蔵する複雑なフィードバック(帰還)機能が内的あるいは外的原因によって変化しようとするシステムを常に安定平衡が保たれるように制御している。人体の発熱や発汗もそうした機能の一つであると言われるが、海水中に溜まった余分な炭酸ガスを炭酸カルシウム(石灰岩)の形で海底に固定させる地球の機能もそうした営みの一つであると言えるのかもしれない。もし、地球に炭酸ガスの巨大な貯留槽である海洋がなくこの機能が発動していなかったら、活発な火山活動を行なう地球の大気はたちまち炭酸ガスに満ち、温室効果によって金星のような灼熱地獄の星になっていたかも知れないと言われていた。

動的平衡システムはシステムの調整機能を越えた内的あるいは外的変化に対しては別の振る舞いをする。即ち、そうした新しい状態に適応したシステムの安定平衡を図ろうとする。しかも、大きな変化が突然やってくる可能性を秘めている。地球温暖化を例にとれば、大気中に増え続ける炭酸ガスが地球のもつ調整機能のある限界を越えたとき、その新たな状態に適応した別の調整機能が発動される可能性がある。その一つの帰結が地球大気温暖化だと考えてよいかも知れない。さて、我が家の石油暖房器にはサーモスタットがついている。サーモスタットは部屋の温度を一定に保たせるフィードバック機能もっている。しかし10年以上昔の古い機種なので常に室温が一定というようには機能しない。時々つまみを回して調整してやらないと部屋が暑くなったり寒くなったりする。つまり、自動調整には時間がかかるのである。システムにとって調整に時間が必要であることは私達も体験で知っている。アメリカやヨーロッパに旅すると着いた数日間は時差に悩まされる。これを「フィードバックの遅延時間」という。地球システムにもこれと同じことが起こる。遅延時間は一般的に言って、気圏、水圏、地圏の順に、つまり移動速度の遅いものほど、長くなる傾向がある。こうした遅延時間も地球システムを理解するうえで大変に重要な要素である。地圏(岩石圏)の遅延時間

は極めて長いので、当面の地球環境問題では無視してよいとする考え方があつた。地球の悠長な調整を待ってはいられないという訳である。しかしこの考えには落とし穴がある。ここでは性質の異なる二つの例をあげておこう。まず第一に、地球システムではこれら三圏に生物圏を加えた四圏が相互に関連し合っており切り離して考えることはできないことを指摘したい。例えば、海水中の炭酸ガスを取り込んで岩石化された珊瑚礁起源の石灰岩は地層の大きな比率を占めているが、これは四圏全てが相互に関係する生体反応でありその遅延時間は意外に短いかも知れないのである。珊瑚の炭酸ガスに係わる機能は地球温暖化問題の中で評価しておく必要がある。第二に、人間活動は地圏物質を本来の能力に比して極端に早い速度で移動させていることを指摘しておきたい。このような場合には、もはや本来自然がもつ長い遅延時間は成り立たないであろう。その影響は短い遅延時間の後に現われる可能性がある。例えば、石油や石炭である。地球は数百万年から数億年という長大な年月の中で石油や石炭を地層中に固定させてきた。産業革命以来の地質過程に比べれば極端に短い時間の中で、人類は膨大なこうした化石燃料を採取し、燃焼している。これも、人類が地圏物質を極端に速い速度で移動させてしまった例である。もし、人類のこの行為がなければ、つまり地球の自然の営みに任せれば、こうした化石燃料が造山運動によって再び地表に戻るには数百万年—数億年という年月を必要としたに違いない。これと同じことは鉱物資源にもあてはまる。このような行為が地球の調整機能の限界を越えるものである可能性はおおいにあると言わねばならない。

では、人類の行為によって自然システムはどのように変化して行くのだろうか？ それに対しては、私達は どうすればいいのか？ 資源と環境に関する例をとれば、化石燃料の燃焼によって増加しつつある大気中の炭酸ガスは地球をどのように、またどの程度変化させるのか？

それを防ぐ手立てはないのか？ 世界中の科学者がこの問題に真剣に取り組んでいるにもかかわらず、残念ながら、こうした問題への確かと言える答えはまだ得られていない。予測の基盤となるべきデータや地球の理解が

第1表 世界の利用可能な非再生エネルギー資源量
(西暦2000年の地球より)

化石燃料	159,281
(内訳) 石油	9,634
天然ガス	8,663
固体燃料 (主に石炭)	120,850
オイルシェール	20,130
ウラン	1,960
合計	161,241

注1 単位: 1×10^{12} BTU (1 BTU は約250カロリー)

2 ウランは軽水炉利用の場合

3 太陽、地熱、バイオマス等の再生性エネルギーについての世界的な利用可能資源量は見積られていないが、技術の現状からみて当面は非再生エネルギー資源に代わる主要な供給源とはならないと判断される。

未だ十分ではなく、そのうえ対象が余りに複雑で考慮すべき要素が多く量的に正確な予測モデルの作成が極めて困難であることがその理由であろう。信頼するにたる予測を目指して私達科学者は努力を続けるべきであるが、一方で、確かではない予測で混乱を引き起こすのも慎むべきであろう。それではこの問題に係わる確かなこととは何であろうか？ まず確かなことを明確にしておくことが重要であると思われる。これに関しては、これからの数十年間(21世紀の前半まで)に起こる次の現象は確かであると筆者には思える。

- (1) 天然資源の枯渇は深刻な問題となる。(2) 化石燃料がエネルギー資源の主役であることは避けられない。
- (3) その結果、大気中の炭酸ガス等温暖化物質の増加は避けられない。(4) 人口爆発、高度工業化が地域の深刻な環境悪化をもたらす。(5) 人口爆発、高度工業化は自然災害をより深刻にする。(6) 人口爆発が深刻な食糧不足をもたらす。

これらの多くは資源と環境の問題に帰着する。最初に述べたように、いままら私達の生活を後戻りさせることは困難であろう。この認識に立って今後数十年間の(もっと正確には核融合技術が実用化するまでの)エネルギー資源を単純な資源論に立ち返って量の問題として冷静に分析すれば、人類は当分の間否応なく化石燃料に依存せざるを得ないという結論になる。なぜなら、今後ますます肥大して行く人類が必要とする膨大なエネルギーをまかなうことが出来るものを石油、天然ガスおよび石炭以外に見出すことが出来ないからである。原子力を含めた代替エネルギーや省資源はあくまでも化石燃料の消費を多少とも低減させる脇役の役割を果たすに過ぎない(第1表)。その結果、たとえ炭酸ガスの固定技術が普及したとしても、大勢として、大気中の炭酸ガス濃度の増加は避けられない。もしそれによって地球温暖化が不可避に進むのであれば、その現実を受け入れ、それを逆手にとって人類の生活に役立たせることを考えればよいのではないか、出来るだけ早く地球温暖化を前提とした対策研究を始めるべきではないだろうか。

本特集号は、(1)–(3)を中心に重要な課題であるエネルギー・鉱物資源の埋蔵量評価、エネルギー資源の多様化、リサイクル等による省資源、環境への影響評価と環境技術予測等に関してその分野の専門家に執筆していただいた。(4)–(6)に係わる人口問題は避けて通れない重要課題であるが、本特集ではふれることが出来なかった。当然ながら、21世紀の資源と環境の評価・予測は人口問題や経済活動を含めた社会科学的ファクターを抜きにしてはあり得ない。地球科学を基盤とする私達には、予測の基礎となるデータの蓄積や科学的地球モデルの確立に向けての努力が求められるとともに、社会科学的諸分野との連携も必要である。本特集がささやかながらもその一助となれば幸いである。

OGAWA Katsuro (1992): Resource and environment for 21 st century-A preface. for the special issue "Resource and Environment."

<受付: 1991年11月14日>