

Introduction to Environmental Physics and Thermo-Physics

Makoto Kano

On the environmental problem, the challenge from the viewpoint of environmental physics is outlined. For the beginning, it is described the approach which explains on the concept of environmental physics and the historical process for finding the solution of environmental problems from the global environment. In the current, in order to understand the environment from the physics, the thermo-physical viewpoint is finally outlined, and it is explained that the approach from the thermo-physics is indispensable.

1. 始めに

約 46 億年前に誕生した地球に人類が登場したのは、地球の年齢からするとごく最近の出来事である。其の人類による"輝かしい"技術知の発展の歴史は、我々に限りない利便性と希望を与え続けるものと考えられていたが、今日、我々及び後の世代は資源の枯渇、環境破壊を初めとする人類の存亡に関わる問題とも対面しなければならない。

持続的発展が可能な社会に移行するための方策の一つとして、公平な資源の分配、更に未来世代との分配にも公平さが必要となる。スウェーデンの NPO ナチュラル・ステップでは、持続可能な社会における「四つのシステム条件」と称する原則をまとめた。

- ①地殻から掘り出した物質の濃度を生物圏の中で増やし続けない。
- ②人工的に製造した物質の濃度を生物圏の中で増やし続けない。
- ③生物圏の循環と多様性を守る。
- ④効率的な資源利用と公平な資源配分を行う。

再生可能資源とは地球上で循環可能な資源を指す。風力や小規模水力など生態系の物質循環を崩さずに得られるエネルギーや、植物や微生物が生産する物質等 はこれにあたる。清浄な大気や水も再生可能資源である。近代において、これらの資源の使い方には配慮がされなかった。これらの資源を使う際、生態系の回復能力以内で使っていれば何ら問題は生じない。

枯渇する化石燃料依存から、再生可能な資源を使って営まれる社会をイメージすることはなかなか難しい。これらの問題に対する科学者の基本的アプローチとして、環境、特に生態系で起こる多数の出来事(一種の複雑系)に対する、近代科学の手法である機械論的要素還元主義からの脱却と環境物理学的視点の必要性が考えられている。

2. 近代科学と機械論的自然観

すでに 17 世紀近代化学の出発点において、ボイルは、物体のあらゆる特性と性向はそれを構成する微小粒子の純粋に機械論的な運動と配列によって説明されると説いている。ここで問題となるのは、このような考え方が(古代ギリシャにおけるように)自然の説明原理としてだけ働いているうちは有効でありうるが、技術として、とりわけ生物学的な応用に利用されるときには、機械論特有の狭さによって破綻するという事である。

それは容易に、生命体をも個々の分子や原子の要素にバラバラに分解して操作すればよい、という考えに移行する。これは時計仕掛の機械論そのものである。確かに、いくつかの原子や分子(という文字)の機械的な結合から成り立っている遺伝子(という文)が、対応するタンパク質を機械的に作るという機能(情報)をもつことは事実である。しかし実はそれだけでは生命活動の本質を、したがってまた環境問題の本質を理解することは不可能と考える。

3. 環境物理学への前提

これをもう少し詳しく知るには、「エネルギーの保存則」と共に、もう1つの自然の根本原理である「エントロピーの増大則」を用いる必要がある。これは直感的には、例えば「覆水盆に返らず」ということわざで表されるような、日ごろ私たちが絶えず実感する不可逆的な過程を貫く法則である。物理学の言葉を用いて表現すれば、自然界の中の現実のあらゆる閉じた(外界との相互作用のないままに放置された)マクロな系は、その系のもつエントロピーという量が絶えず増大する方向に自然に変化し、減少する方向への変化は自然には決して起こらないということになる。

生物体の場合、放っておけば生物体の死を意味するエントロピー最大の状態に絶えず近づいてゆくということになる。この傾向をくい止めるためには、周囲にエントロピーを絶えず棄ててゆかねばならず、シュレーディンガーが「環境から秩序を吸い取る」と言ったのはこのことである。

ここで普通よく言われる物質代謝の観点だけで考えれば、要素還元主義的な機械論でこと足り、本質を見落とすことになる点に特に注意する必要がある。エントロピー増大則により、完全に閉じた系自体がすでに死を意味しており、生物が生きていくためには体内で絶えず発生するエントロピーを廃棄できる物理的な空間(環境)を必然的な背景として持つ必要がある。ただし、エントロピーとはエネルギーや物質の属性としてしか存在しないものであって、エントロピーだけを取り出すということではできない。そこで生物は、環境との間で物質やエネルギーの交換をしながら、それに伴って自己の内部で発生するエントロピーを絶えず環境に廃棄しているのである。従って環境とはまず第一義的にはエントロピーを廃棄できる機構をもった物質的空間であり、生物はこの環境によって文字通り「生かされている」存在となる。たとえ生物が「有用な」物質に囲まれていたとしても、その生物の発生するエントロピーを廃棄することができなければ、その「環境」は生物を殺すことになるのである。

では現実の私たちの地球上の生命体にとって一番外側の開いた環境とは何であろうか。それは地球大気であって、それは低エントロピーの太陽光エネルギー(高温)を吸収すると同時に、高エントロピーの輻射熱(低温)を宇宙に放射している。そのため地球上(大気層も含めて)で発生したエントロピーを宇宙空間に絶えず棄てることができ(エネルギー収支はトータルでゼロである)、こうして地球はエネルギー的に開いた系になっている。さらに地球は物質的には基本的に閉じた系であるから、地球上のあらゆる物質

(むろん汚染物質も含めて)を作っている原子や分子は地球上で循環する以外ない。そこで生命にとっての地球環境は、各レベルで各種の物質が循環しながらそれぞれにエントロピーを廃棄できるような極めて多様で重層的な機構をもつことになる。個々の具体例、例えば大気や水の循環、生体内で生じている各種の生化学反応のサイクル、食物連鎖などの生態系、さらには人間の生産活動における物質やエネルギーの循環といったものに対するエントロピー的考察がなされようとしている。

いずれにしても生命活動や生産活動は、そのエントロピー廃棄機構としての環境を伴って初めて、安定に維持されるものであって、形式的な要素還元論では、この本質を十分にとらえることはできない。こうして生命活動も生産活動も、その環境との深い関わりを通じて最終的には地球全体と関わりをもつことになる^{1,6)}。

4. 環境物理学の方法論

環境物理学の方法論とは、要素還元主義的な方法論から脱却し、「地球環境」という「散逸系」「複雑系」を取り扱うために熱学的考察(エネルギー・エクセルギー・エントロピー等)に基礎をおく新しい方法論といっても良い。日本物理学会において「環境物理」の分野が設立⁸⁾される際の趣意書⁸⁾によると「環境問題への取り組み・物理学の役割として」次の2項目が掲げられている。

① 測定技術(定量化)・諸現象の解明

② 様々な分野が連携する上で「共通言語」の提供

①は「問題の定量化」ということ、②は「共通言語」という表現をしているが「問題解決を探るための方法論」と言えるであろう。⁶⁾

5. 環境物理分野のキーワード

日本物理学会のホームページに記載されている様に環境物理分野のキーワードは次の7つに分類されている⁹⁾。

① 総論(方法論・熱学的考察・その他)

② 地球システム・物質循環・生命系

③ エネルギー・資源・エコマテリアル

④ 廃棄物・環境汚染・放射線・電磁波

⑤ 環境技術・環境政策・環境評価

⑥ 環境教育・環境史

⑦ その他

6. 環境物理学に関する2つの典型的な見方

同学会の環境グループによって「環境物理学に関する2つの見方」が次のように分類されている。

見解1

"Physics for Environment" 「応用物理学的な側面」

環境を対象とする取り組みは、それぞれ確固たる体系として確立している既成の学問が、それぞれの確固とした立脚点から、相互協力的に総合的になされるべきであって、それから離れた独自の環境への取り組みは、断片的・対症療法的なものにならざるをえず、得られた結論に関しても、取り組み主体の学問的力の蓄積・成長という面からも、結局は不毛のものとなるから、特に大学学部段階では個別科学の体系をきちんと学ぶことが必要であり、その蓄積の上に大学院段階で自分の立脚する学問の立場から環境問題に取り組むのが effective でもあり、有意義である。

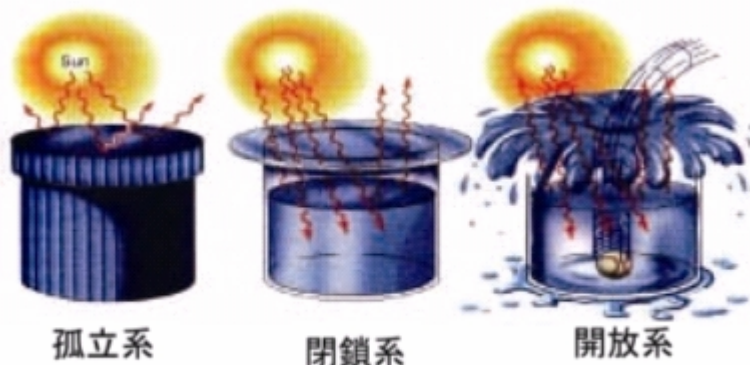
見解2

"Physics of Environment" 「基礎物理学的な側面」

環境学はある基本概念を基軸として組み上げられる独自の科学的学問体系でありうる。そして、それは縦割りに分化している現在の自然諸科学を横断的に貫くという意味では総合科学的である。

原田によると物理学と環境問題との関連は、見解1(Physics for Environment)「応用物理学的側面」であるが、この立場だけでは環境問題の「複雑性」を捉えきれないと指摘する¹⁰⁾。なぜなら、見解2(Physics of Environment)「基礎物理学的側面」の中心は熱力学であり、熱力学は物理学の全ての分野を横断的につなぐという性格を持っているだけでなく、他の領域、特に経済学との関連をつけるキーワード「エネルギー」及び「エントロピー」という概念もあるからである。また、プリゴジンを中心とする Brussels 学派は、熱力学を平衡系から非平衡系へ拡張し、散逸構造という新たな秩序概念を開拓した¹¹⁾。

環境物理学においては、槌田敦によって「開放系の熱学」にもとづく「開放定常系」モデル¹²⁾や、白鳥紀一と中山正敏によって「開かれた能動定常系」¹³⁾モデルという地球の動的な熱機構に着目した「地球系(アースシステム)」が1980年代から提唱されている⁶⁾。



SKINNER / PORTER / BOTKIN "The Blue Planet" second edition(John Wiley & Sons, Inc.1999)

Fig.1 Three types of the thermodynamic system.

7, 大気・水循環と生態系を巡る物質循環

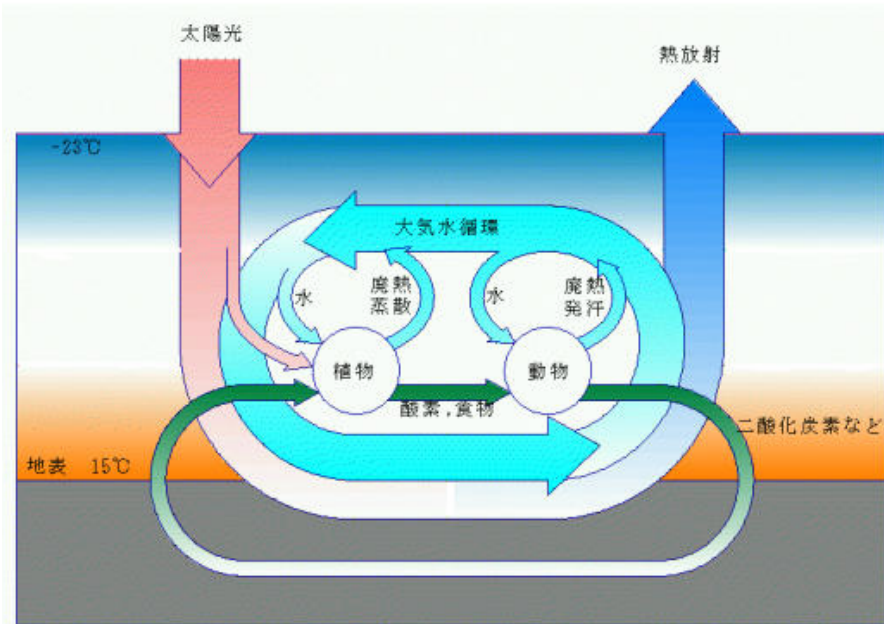


Fig.2 Materials circulation of the earth.¹⁴⁾

生態系を巡る物質循環では、関係する物質が循環利用されるために、環境中に汚染を蓄積することがない。生態系の中で例えば、植物あるいは動物の一方がなければ循環は成り立たない。この生態系は植物と動物の絶妙のバランスの上に成立している。

環境問題とは、人為的な原因、現状では主に工業生産を中心とした人間社会の仕組みに起因して、大気・水循環等が阻害され、生態系を含む物質循環が滞り、あるいは工業起源の物質によって環境が汚染され、その結果として人間の生存環境が悪化することとも言える。

8, 工業生産による環境への汚染の蓄積

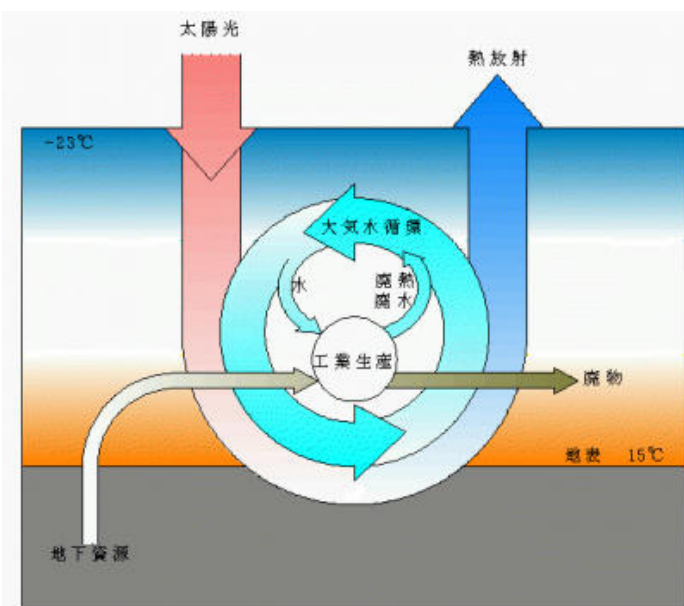


Fig.3 Accumulation of the industrial wastes on the earth.

工業製品は長期的に見れば、殆どが廃物として環境に捨て去られる。工業生産の本質部分は化石燃料エネルギーを利用して、地下資源から生態系の物質循環では処理できない廃物を一方的に生産する過程とも言える。工業生産システムが環境に汚染を蓄積すること、また工業生産システムが永続できないことは必然的に発生する。ゼロ・エミッション、完全リサイクル社会は、エネルギー保存則、エントロピー増大則に反する目論見と見ることも可能である¹⁴⁾。

(後略)

文 献

- 1) 栗屋かよ子, 四日市大學環境情報論集, 第3巻第1号 (1999)
- 2) シュレーディンガー,E., 生命とは何かー物理的にみた生細胞ー, 岡小天, 鎮目恭夫 訳, 岩波書店 (1951)
- 3) エコマテリアル研究会監修, エコマテリアル学-基礎と応用-, 日科技連 (2002)
- 4) M.Kano and K.Morita, Trans. MRS Japan, 24, No.3, 295-297 (1999)
- 5) 勝木渥, 環境の基礎理論, 海鳴社 (1999)
- 6) 冠木英克, 東京理科大学理学研究科理数教育専攻修士論文 (2006)
- 7) 加納誠, 新領域 環境物理学 新設の提言, 日本物理学会誌 pp210-211, Vol.56, No.3 (2001)
- 8) 日本物理学会ホームページ
<http://www.soc.nii.ac.jp/jps/index.html>
- 9) 日本物理学会 領域 13 環境物理分野, E.P.グループ通信, No.6 (2002)
- 10) 原田和男, 暮らしき作陽大学・作陽短期大学研究紀要, 第35巻, 2号 (2002)
- 11) G.ニコリス, I.プリゴジーン, 散逸構造, 小島陽之助, 相沢洋二 訳, 岩波書店 (1980)
- 12) 槌田敦, 熱学外論, 朝倉書店 (1992)
- 13) 白鳥紀一, 中山正敏, 環境理解のための熱物理学, 朝倉書店 (1995)
- 14) 近藤邦明 <http://env01.cool.ne.jp/ss02/ss024/kondoh.htm>
- 15) 林弘文, 勝又昭治, 徐伯瑜, 平松淳, 地球環境の物理学, 共立出版 (2000)
- 16) 中川和道, 蛭名邦禎, 伊藤真之, 環境物理学, 裳華房 (2004)