

生命・環境一体系モデル化とその解明： 生命論展開および閉鎖生態系の動態に関する研究

森山 茂・高原光子（教養・基礎科学系）

1. はじめに

本研究では、地球環境の生成とそれに果たしている生命存在の役割を重視して、生命—環境系が創り出すシステムの動態と、地球環境生成に果たしてきた生命存在の動態を基に、「生命とは何か？」という根元的課題に対し理論的に迫る研究を目指している。そのため現在、次のように実験と理論的研究を併行して行っている。

① 実験： 閉鎖生態系実験

② 理論： オートポイエーシス論を中心とした生命論とその応用を探る

実験に関しては、新閉鎖生態系実験装置の本格的稼働がハイテクリサーチセンター完成後になるため、現行の旧式装置で行っている実験結果と、それが示している問題点をここで挙げておくが、下記のごとく、「閉鎖生態系として地球環境の生成を見る」という視点は、地球環境の生成問題に対し多くの新しい示唆を与えることが分かってきた。新地球観や気候変化、環境論への研究に寄与するはずである。

また、オートポイエーシス論展開は、所謂「複雑系」としての生命論展開に欠かすことの出来ない、現在注目されている発展途上の生命論である。これを発展させることは、「生命とは何か？」という問いに対する人類の根源的課題に答えることの出来る新しい生命論を育成するだろう。砕いて言えば、所謂「観測者問題」のような超越的視点をとることのない、システムそのものの行為に即した生命論が期待しうるし、また、外部制御の生命論ではない（これがまさに、オートポイエーシスと言うことだが）全く新しい生命論に発展しうる事が示される。

さらに、これまでほとんど問われることのなかった「環境とは何か？」という重要問題に対して、下記のごとく環境構成の視点がオートポイエーシス論から明確化されうるが、これは、例えば、「“病む” “癒える”とはどういうことか？」といったような、根源的にも関わらずこれまで理論的に曖昧だった医学療法への科学理論的アプローチとして期待されており、この方面の研究者との拡大的交流を始めていることを付言しておく。

2. 閉鎖生態系としての地球

閉鎖系とはエネルギー的には開放系だが、物質的に閉じている系をいう。地球には太陽光が降り注ぎ、地表からは赤外線形で宇宙空間へエネルギーが放出されている。一方、宇宙線や太陽風、隕石落下、大気成分の流出などの例外があるが、物質的にはほとんどクローズしていると見てよい。つまり地球も一つの巨大な閉鎖系であり、その閉鎖空間の中で40億年以上、生命の創成が繰り返されてきたことになる。限られた物質空間とエネルギー的には宇宙へ無限に開いた空間、という条件のもとでいかなる生命—環境系の創発があるのか？ここが肝心であるが、これまでの地球研究では、生命を全くのブラックボックスとして扱ってきたため、生命—環境系の動態が何も分かっていないのが実状である。

生命圏の生成展開は生命システムへの外部制御によるのではなく、まったく生命システムの自律的作動の中で40億年間展開されてきた。この問題の解明こそ地球生命圏探求の骨子である。これは理論及び実験の双方から行われなければならない。その理論的アプローチが生命論の展開であり、実験が閉鎖生態系実験である。地球生命圏の展開は自律的に行われてきたのであり、閉鎖生態系といっても、「ヒトの生息のために」という思想で、人間中心的に制御する「宇宙基地」の閉鎖生態系（例えば NASA のセルスやバイオスフィアII）とは異なる。

3. ミクロコズム型ミニ地球の動態

我々は「ミクロコズム」型という自律的な閉鎖生態系実験装置(ミニ地球)を作り、その動態研究を行っている。そこでは閉鎖性のゆえに、「共貧共栄」の生命—環境系の自律的展開が次々と起こっていく。いわば自在に生命圏は展開する。閉鎖生態系の相貌は日々変化しているが、決して絶えることはない。例えば、閉鎖生態系では死体が装置の底に溜まりそれが次の生命を創り出す資源となるが、その死体を分解してスムーズにシステム利用に供するための窒素循環(死体のタンパク質から出る有害なアンモニアを、亜硝酸菌や硝酸菌、脱窒菌が生物の利用できる硝酸塩や窒素に変換する)のような巧妙なシステムが、即座に創成されていくからである。

しかし、閉鎖系の動態は「一見安定だが、突如不安定。しかしまた、突如、強靱かつ予測不可能な復元性を示す」といったように、とても特異である。例えば我々の実験でも、ずっと安定に推移してきた系がほんの僅かな擾乱の中で、一挙に他の状態へ遷移したり、しかしまた水圏や大気圏の状態を強靱に元へ復したり、予想のつかない振る舞いを示す(図1)。これもスーパーシステムという複雑系の動態の一つであろう。(もちろん生態系を構成している生命自体の絶えざる組み替えの結果であろうが、その詳細は今のところ不明である。)

例えば図1のように、ミニ地球では少しの擾乱によって突如、水圏の溶存酸素量がゼロ近くに急減したりする。つまり光合成生物が打撃を受け活動が激変する。これは生態系が安定に見えていてもいかに不安定であるか、生命圏の組み換えがいかに容易に起こるかということを示唆している。その結果例えば、大気は(太古の大気に似た)二酸化炭素リッチなものへと急変するし、水質もpH値が激減するといった変化を示す。光合成生物から、メタン菌のような二酸化炭素生成菌への生命圏内部の変換が容易に起こるのである。わずかな擾乱に対して生命圏はいかようにも自身を組み替え、変化させて(進化)、また環境を変えることで次の時空へつないで行くように見える。これらミニ地球の示す様相は、地球の古生代から中生代、中生代から新生代の境界時期に発見された無酸素海洋の存在とともに、生命圏の激変期に対応しており、興味を引く。ミニ地球と同様に、現実の生命圏は環境の激変とともに、その相貌を大きく変えつつ(例えば、爬虫類から哺乳類への進化)、生命が生命を生むオートポイエーシスを維持し続けている。

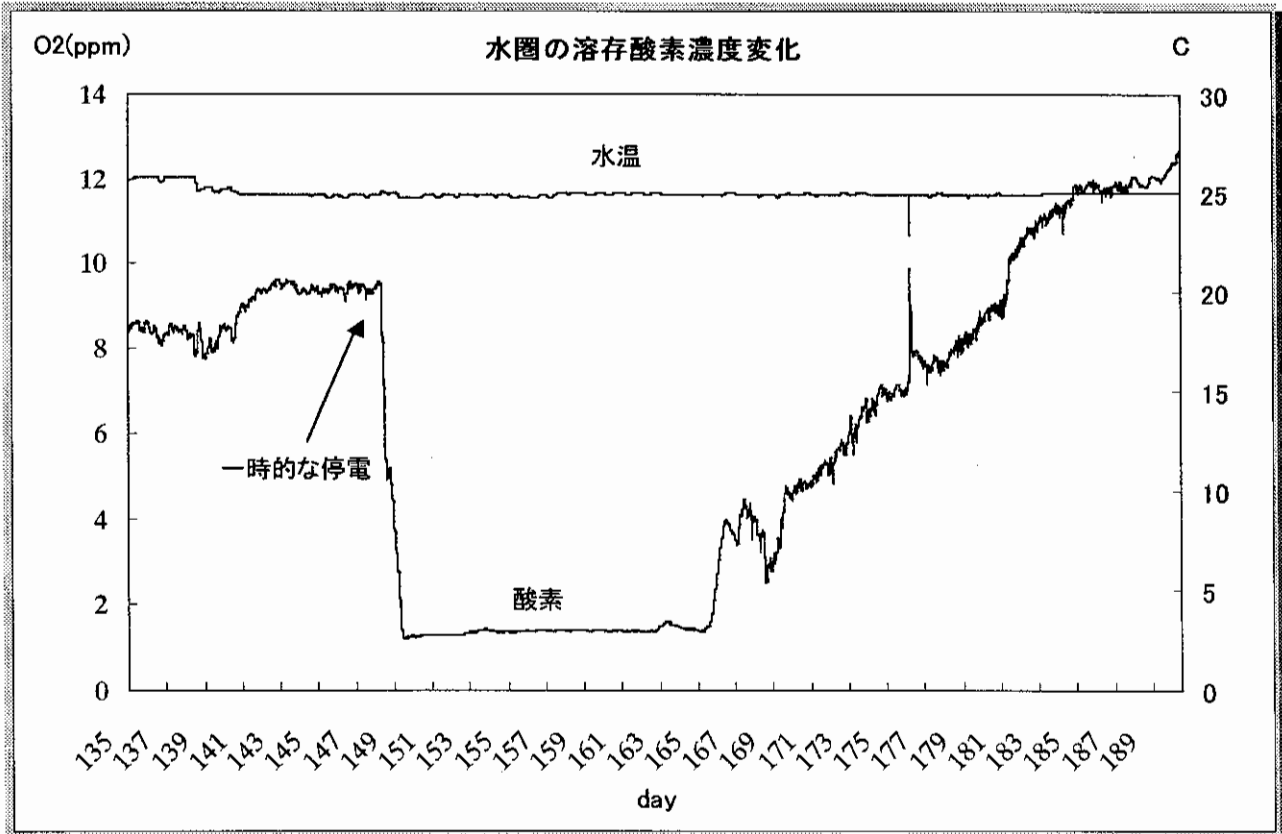


図1. “一時的停電”という擾乱による水圏の溶存酸素濃度変化

4. 酸素濃度問題

ミニ地球でも現実の地球でもそうだが、生命圏の構成要素（生物種）が大きく変化しているにもかかわらず、例えば大気中の酸素濃度（21%）や水圏のpH値などの環境条件が元へ復していくという不思議さを持つことを指摘しておく。ミニ地球でも、攪乱のあとで以前の環境を覚えていたかのように、大気中の酸素濃度は21%前後へ戻す。微生物も含めて生命圏の構成要素の質・量がまったく同じであるはずはないし、べつに21%に戻す必然性がないにも関わらず、である。地球大気中の酸素量21%に何か意味があるのだろうか？

ともかく閉鎖生態系には、閉鎖系固有の振動という小変化から、先に述べた予期出来ない大変動まで、閉鎖系ゆえの動態がある。巨大な一閉鎖生態系としての地球の環境変化は、このような閉鎖系の振る舞いに多く依存してきたものと思われる。だが、誰もまだその動態を知らない。閉鎖生態系という視点から、理論と実験の地球研究が切に必要な所以である。

5. オートポイエーシスとしての地球生命

地球には、この40億年間太陽光量変化など様々な外圧が掛かっていた。でも、生命はそのような外圧変動にも関わらず、ひたすら生命を生むというシステム（オートポイエーシス・システム）を40億年間この地上に作動し続けてきたのである。ここで先ず留意すべきは、生命は、生命を生むシステムをひたすら作動し続けているだけなのだ、ということにある。例えば、細胞は細胞を生むシステム作動をひたすら繰り返しているだけである。これをオートポイエーシス・システムと呼ぶ。ここで、オートとは「ひとりで」、ポイエーシスとは「制作、創り出すこと」を意味する。システムの要素が自らその要素を生み出すシステムを生みつつ、それが無限に循環すること。それがオートポイエーシス論でいう、「ひとりで」の内実である。すなわち、オートポイエーシス・システムは入力・出力関係で作動しているのではない。自動車のように「スイッチを入れる」とか「切る」とかいうように、基本的にそのシステム作動がクローズしていない機械システムは、作動のための原理を必ず外部（第三者）にもつ。だからいかに機械が精妙に生命を模してはいても、決して「ひとりで」作動することはない。「ひとりで」こそ、生命と機械の第1の決定的な分岐点である（これは必要十分条件である）。またこの定義から、オートポイエーシス論は、階層形成による質的变化を自己組織化現象に重ねて見るような、階層論的立場とは無縁である。

6. 環境とは何か？環境構成

オートポイエーシス・システムにおいては、このシステム作動のクローズ性から、環境の生成についてさらに重要な事態が生じる。オートポイエーシス作動はクローズしているから、それとの対比で、その作動領域の境界の外に外部領域が生成される。これを「環境」と呼ぶ。すでに分かるように、その環境とは、生命システムが生成したその作動領域の外側なのであるが、それは生命システム自らが生みだした境界の外部であり、そのゆえにこそ、また、生命システムにとって意味を持った領域である。だからこそニッチ（生態的位置）という概念が生態学で必要なのだ。つまり、環境はまったく生命システム作動と無関係にそこに置かれているのではない（この環境観はダーウィニズムの否定である）。そのゆえに、決して生命システム作動を侵すものではない。つまり生命システムが現に作動している空間では、システムと環境とは不可分離的存在であり、一体化し、浸透し合っている（これがニッチの真の意味）。

ここに、機械システムと生命システムを分ける第2の重要な分岐点が生じる。生命システムとは自らの作動によって境界を創り、そのことによって作動に矛盾することのない環境をも創り出す。この事態こそ「ひとりで」作動するシステムがもつ、もう一つの内実である。対比的に、機械システムにおいては、その作動維持に好都合な外部環境を第三者が必ず設けてやっている。つまり、その環境とは、システム自らの作動によって創出されたものではない。例えば、自己組織化現象の例としてよく引き合いに出されるペルーソフ・ジャボチンスキー反応は、第三者が非平衡状態を絶えず維持するシステム環境を設定し、結局（外部から）作動してやった結果に過ぎない（だから厳密には「自己組織化」ではない！）。

このようにして、システムはその働きを通じて、「環境についての自分に固有な像を絶えず構成してい

る」ことになる。つまり、生命システムは自己作動を通して、自己にとって意味のある環境を絶えず創出しているのである。だからそれはシステムと絶縁されてはいず、絶えずシステムに働きかけ、浸透している。オートポイエーシス・システムと環境との関係はこのようなものである。オートポイエーシス論の環境観は、現代科学に蔓延している機械論やダーウィニズムとの対比において、とても重要であるし、自己創成の医療分野などに寄与するはずである。

7. 一意必然性がない環境

オートポイエーシス・システムは、その作動においては何処までもクローズしている。このことから生命システムと環境のもう一つの重大な関係性が現れる。例えば30億年以上前、嫌気ワールド全盛の時代において、酸素を好む好気菌の出現によって、地球生命システムを構成している要素間の関係が激変した。それは嫌気菌世界から好気菌支配へとシステムの構造変化を引き起こす。しかしその場合でも、核酸-タンパク質を基底とした、生命が生命を生むという生命システムのオートポイエーシス（有機構成という）は依然維持されている。だが、このシステムの構造変化に対応して、環境は必ず変わる（現に、嫌気ワールドから今日の酸素ワールドへと転換した）。この事態は「生命システムが維持される限り、環境はどのようなものでもよいのだという可塑性を持つ」という重要性を意味する。つまり地球生命システムにとって、もともと環境に一意必然性など存在しないのだ。この可塑性こそが、生命がどんな状況にも対応して、酷暑から酷暑、地の底から深海まで、40億年間地上のあらゆる場所に存在してきたことの原因であることが判明する。

8. オートポイエーシス生命論のこれまでのまとめ

以上、明白にされた事態をまとめると次のようになる。生命システムとは、

1. ひたすら生命が生命を生み出すという、クローズしたシステムである。その作動は入力・出力関係でなされているのではなく、「ひとりだけで」行われている。
2. このシステム作動によって、必然的に環境が創出される。それは機械システム作動におけるように第三者が設けたものではない。従って、生命システムが構成した意味のある環境であるがゆえに、その環境とシステムは矛盾することなく不可分離の一体であり、絶えず浸透関係にある。
3. でも、その環境は、システムの有機構成が維持される限り本来どのようなものでもよいのだという可塑性をもつ。

1は流布しているような、(外部に作動原理を求める)生命機械論的アプローチや階層論的自己組織化論の拒否であり、2と3は、生命は環境を創出する存在であるという生命の本質の理由である。これまで、生命システムの論議は作動原理を外部に求める、結局は入出力関係からしかなされてこなかったし、環境をさえ外から与えられたものとしてきた。だが、ここに至って、このようなダーウィニズム的環境観が機械論に過ぎないことが露呈する。このような旧来の科学とはまったく異質な形で、いま生命システム論と地球環境生成論の脱皮が始まっている。

最初にも指摘したように、オートポイエーシス生命論の提示する生命観は、これまでの環境観を変えるものであり、多くの分野での応用が期待される。われわれは今、医学的治療(治療)へのオートポイエーシス論的利用をその方面の研究者達と協同して、新しい利用法に向けて出発しつつあるところである。

参考文献

- 1) 森山茂、「新しい生命論とホリスティック医学」、ホリスティック医学シンポジウム2000：病む・治るとはどのようなことか、pp.4-5、日本ホリスティック医学協会、2000.11
- 2) 森山茂、「オートポイエーシス」、複雑系の事典、pp.51-55、複雑系の事典編集委員会編、朝倉書店、2001.2
- 3) 森山茂、「ガイア」、複雑系の事典、pp.63-66、複雑系の事典編集委員会編、朝倉書店、2001.2
- 4) Moriyama, S. and Takahara M.: A dynamic state of a closed ecosystem and its significance to the generation of the Earth's environment, MICROBIOLOGÍA SEM, 13, 37-44, 1997