

生物学的概念の導入による環境教育の発展

山 舗 直 子

Biological Concepts Enriching the Vision of Environmental Education and Public Awareness

Naoko YAMASHIKI
(June 2003)

はじめに

世界中に最初に環境問題の危機を警告したレイチェル・カーソンの「沈黙の春」は1962年の出版である。しかし、今や、環境問題は、「地球環境の修復不可能な破壊と資源の枯渇が進行する現状」で「私たちが生きることによって、次の世代をどう育むか」ということが問題になるまで深刻になってきている。

アメリカインディアンには、「七代先のために今日行動しなさい」という教えがある。人間が生き物として適応していた過去の環境では、人々が想像力を発揮すれば、その教えの重要性が理解されただろう。現代社会では、物質文明や技術文明のおかげで個人が快適になる生活が送れるようになってきている。その一方で、環境問題が地球規模で拡大している。それ故に、「Think globally, act locally」という象徴的な語句が生れた。しかし、想像力をいくら養成しても、現在の快適な暮らしを変えてまで、地球のためにを思い、次世代のために行動することは難しい。このような状況に貢献するものが「科学」である。科学は、普遍性を追求するものであり、断片的な現象から全体像を描くことができる。生物学は、多種多様な生き物や複雑な生命現象を探究する学問であるが、半世紀も前には、どちらかと言えば断片的な個別の現象が研究されていた。遺伝子の実体がDNA (Deoxyribonucleic acid) であることが発表された1953年を境に、膨大な数の個別な事象にあてはまる普遍的な法則、体系的にとらえる理論が導き出されてきている。それらは、地球上のあらゆる生き物をつなぐものであり、過去から現在・未来に引き継がれる生き物の現象にあてはまるものである。とは言っても、理論は完璧ではない。しかし、根底にある理論が確立していると、想像力が引き出され、さ

らに体系だった実践ができるようになり、多様で複雑な問題の解決に立ち向かうことができる。生物学のこの特質は、自然環境を扱う環境問題ばかりでなく、あらゆる環境問題の解決に貢献することが期待される。

環境問題の解決は、最早、一部の科学者が開発する夢のような科学技術に依存するわけにはいかず、社会を構成するあらゆる年代の人々の実践が必要不可欠である。1975年のベオグラード憲章(世界初の環境教育専門家による会議)に記されている環境教育の目的、すなわち、「環境とそれに結びついた諸問題に関心をもつ全世界的な人間の数を増加させること。その人達は、知識、技術、態度、意志、をもち、現在の問題の解決について、個人的にも集団的にも貢献しうる人達であること」の達成が、一段と厳しく求められる状況である。本論は、ひとりでも多くの人の「次世代のため、地球のための行動につながる想像力」を喚起することを目的に、生き物の現象とそれらの生物学的なとらえ方を論述するものである。

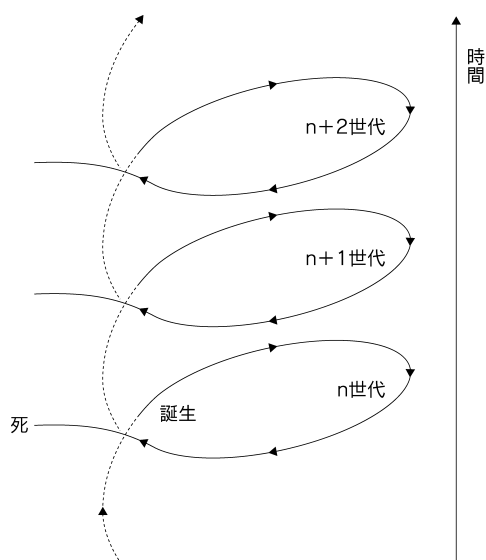
1. 「共通性」と「多様性」

地球上には種々様々な生き物が生存しており、それぞれに巧みな生存戦略をもっている。小原秀雄と川那部浩哉(1999)は、「生物多様性は一つの法則性である」と言っている[1]。基礎的な共通の法則性があることが生み出したもので、「共通であるのにこんなに違っている」のである。

「共通性」と「多様性」を最も身近に認識できるのは、親から子への遺伝である。遺伝子は生殖細胞によって正確に引き継がれるが、多少の「変異」をもちこむようなくみになっており、かつ、二親の遺伝子が組み合わせられることから、遺伝的構成が少し

ずつ異なった子を生じる。同一種においても「ほとんど共通なのに少しだけ違う」個体を生じることが何世代も繰り返される。稀少動物として絶滅が危惧される動物の中にチーターがいる。氷河期末期から何度かの絶滅の危機を乗り越えて少数の個体がアフリカに棲息しているが、チーターの遺伝子はどの個体も非常に似通ったものになってしまっている[2]。これは病原菌などに対して全個体が同じ反応をすることを意味しており、病気や環境変化によっては種全体の絶滅といった大打撃を受けかねない。このような例は、日本でもトキやタンチョウなどがよく知られている。個々の種における多様性は、歴史的産物であるとともに、また生存上からも大切な意味をもつものである。第1図は、世代から世代への遺伝子の連続性をらせんで表したものであるが、その連続性の中にある基本的なしくみが長大な時間軸にそって繰り返されていることを想像するきっかけになるよう意図したものである。

生物種の系統関係を表わした系統樹は、より単純な構造や生活様式をもつ生物群を根元におき、より複雑なものをその上に重ね、ある原型から派生したと思われるものを枝として広げたものである。根元にあるものは細胞核をもたない細菌である。細菌も含めてあらゆる生物群において、遺伝情報(遺伝子)がDNAという分子から成っていること、また、遺伝情報から実際に機能する物質であるタンパク質がつくられるしくみも共通していることから、すべての生き物は共通の祖先から進化したと考えられる。すなわち、系統樹の最も根元に位置するのは共通祖先種である。地球上にはじめて生き物が現れたのは35億年以上前だと言われ、それ以来の生き物の歴史により「共通であるのにこんなにも異なるもの」ができ上がったわけである。35億年という数字は想像を超えるものであり、こんなに違っているのに共通なものがあるのは信じ難い。しかし、遺伝子の研究は、たとえば、かなり異なっている昆虫類と哺乳類において、共通の遺伝子群によって基本的な体の形づくり(分節構造)が指令され、眼の形成もよく似た遺伝子群によって支配されていることを明らかにしている。動物の系統樹が表わすように、300万種ともいわれている様々な動物群が前口動物と後口動物という大きな枝に二分されている。昆虫類は前口動物の中で最も進化したものであり、哺乳類は後口動物の中で最も進化したものである。進化の両極端に位置する二つの動物群が同じ遺伝子群を使っているということは、系統樹を根元に向かってたどっていくと大きな枝分かれの前に共通の祖先が存在し、それは



第1図 世代間をつなぐ遺伝的連続性

卵と精子によって遺伝情報が親から子に伝えられる様子を点線で表わしている。ただし、世代によって遺伝的な構成は少しずつ異なる。

すべての動物群に共通の祖先ということになる[3, 4]。

生物多様性を生み出した共通性、言葉を換えると、法則性あるいは普遍性、には大きく分けて二つある。一つ目は、上に記したように、遺伝子に依存したものである。DNAというときあくまで分子であるが、DNAは生き物に特有の細胞のシステムにくくりつけられている。遺伝子は細胞とともに増殖し、細胞社会ともいえる個体を構成する。生き物における現象は、分子・細胞・組織・個体・個体群・種・生態系へとしだいに複雑になる階層があるが、どの階層のものも「物理学や化学の法則の他に、遺伝的プログラムからの指令という第二の法則に従っている」とエルンスト・マイア(1994)は記している[5]。

もう一つの普遍性は、生き物が進化していくしくみにある。系統樹にも表わされているように、単純なものから複雑なものへ進化しているようにとらえられがちであるが、これはあくまで進化の結果である。進化のしくみの中には、最初から計画があるわけではない。世代ごとに生じる遺伝的変異は全く偶然によるものである。それがまた偶然、あるいは、自然淘汰によって生き残りに差を生じ、さらに次世代の子の数の違い(適応度)を生じることによって、結果的に適応度を上げるような遺伝的形質をもつものが集団中に広がっていく。しかし、各個体の性質は、独立した状態で「適応している」とか、絶対的に有利であるということはありません。それぞれの生

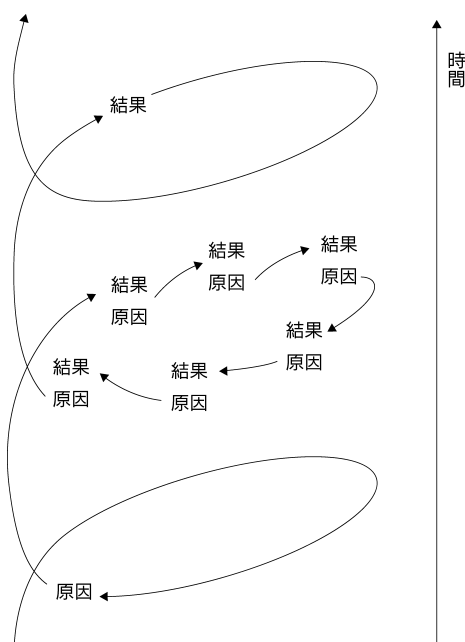
息場所で多種多様な生き物が互いに作用（因果関係・利害関係など）を及ぼしあう中で「適応している」のである。従って、多種多様な生き物はきめ細かく釣合いの取れた生態系を構成している。二つ目の普遍性は、種々な要素や相互作用が関わっている非常に複雑なものの中に存在するものである。それらの詳細を次の章から記していく。

2. 因果関係の循環

多種多様な生き物の相互的な作用にはかならず因果関係があり、それらの作用が連鎖的に生じていく。原因が結果であり、結果が原因となる。生物群集より視野を広げると、それぞれの生息場所の物理化学環境もこの因果関係の要素に入る。物理化学環境が生物環境の原因になり、そしてその生物環境が物理化学環境を形作っていることもある。あらゆる要素の連鎖的反応はめぐりめぐってまた元のところに戻ってくる。これが因果関係の循環である。しかし、時間とともに変化しながら進行する現象では、循環も同じ繰り返しではない。このことを表したものが第2図である。第1図と同様、時間軸に沿ってらせんが進行しており、大きならせんの一回りは様々な要素の因果関係の総体を象徴的に表わすものである。因果関係の循環は、少しずつ変化しながら繰り返される。

「風が吹けば桶屋が儲かる」とは一つのきっかけが意外な結果をもたらすということであるが、その中身は、風が吹くと砂ぼこりが出て盲人がふえ、盲人が三味線をひくのでそれに張る猫の皮が必要で猫が減り、そのため鼠がふえて桶をかじるので桶屋が繁盛する、というものである。随分辛辣なたとえであるが、ここには、物理現象から生き物への影響、生き物どうしの食う食われるの関係、様々な要素の因果関係が連鎖的に起こることが表現されている。このたとえは、もちろん人間主体のもので、種々の因果関係に人間の営みが加わり、最後は予期せぬ意外な結果となったというものである。自然界の生き物を中心とした因果関係に人間の作用が入ると、意外、あるいは予想外の結果を導くことがしばしばある。

ペニシリンが細菌の生存や増殖を抑制する働きをもつことが発見されて以来、種々開発された抗生物質はどれだけ人間を細菌感染症から救っただろうか。抗生物質は家畜の飼料にも含まれるようになり、健康維持と成長促進に役立っていると言われる。しかし近年には、抗生物質に耐性をもつ菌、しかも多種類の抗生物質に耐性のある菌の出現が相継ぎ、そ



第2図 生態系における因果関係の循環
様々な要素間に連鎖的な因果関係が生じ、それが循環していること、時間の進行に伴って循環が少しずつ変化しながら繰り返されることをらせんで表わしている。

の細菌感染症の治療法がないという事態が生じている。細菌からすれば、その進化の歴史を通して、抗生物質という「淘汰圧」がかかる中で、抗生物質に抵抗力をもたない多数の菌が減っていく一方、「突然変異」で生じた少数派の耐性をもつ菌は生き残って数を増やしていくわけである[6, 7]。事態解決には専門的な研究を欠かすことができないが、過剰でどちらかと言えば不必要な抗生物質の使用が原因であることは間違いない。一つの原因が因果関係の連鎖を生み、その関係は元に戻ってくる。多種多様な生き物間で繰り返される因果関係の循環の中には細菌も含まれており、また近年数々の新興感染症を引き起こしているウイルスも関わっている。これらとの相互作用は見えにくく、短時間で循環するものばかりでなく、数年・数十年かかって一回りするものもある。未来が絶対確実に予測できないことも多い。そうだからと言って、短期的な利益を選ぶだけでいいかどうかはよく考えなければならない[8]。

3. 「競争」と「共生」

— 正と負の作用のバランス —

生き物にとって、他の生き物との間に様々な利害関係がある。その中で「競争」と「共生」は利（正の作用）と害（負の作用）の対をなすものである。

しかし、生態系において、競争・共生の関係がはっきり区別されているわけではない。共生関係でよく例に出てくるのがアリとアブラムシである。アブラムシが出す甘露をアリがえさとし、アリは天敵からアブラムシを守る、というものである。しかしアブラムシのなかでアリと共生関係をもつ種類は、むしろ少数派である[9]。アブラムシは植物の汁を吸い、取り過ぎた糖分を甘露として排泄している。植物の中にも甘い蜜を出してアリを呼び、害虫から守ってもらうものがある。アリは甘いものが好物であるが、好みがあり、アブラムシの甘露が植物の蜜より魅力がない場合にはその植物にきたアブラムシを殺して食べてしまう。植物との関係、アリはアリどうしの関係、アブラムシはアブラムシどうしの関係など、正と負の作用の入り混じった複雑な関係があり、その中から条件がそろった場合にアリとアブラムシの共生関係が成立する。

共生するアリとアブラムシの間でも、アブラムシがふえ過ぎた時にアリはアブラムシを殺して食べることがある。余った甘露にカビがはえたり、アブラムシが植物の汁を吸うために植物の傷みが早くなったりするためであるが、アリはアブラムシを殺し過ぎたりしない。アブラムシにとって、この状態はまるで、植物の上での‘人口問題’と‘食料問題’である。それをアリが解決するのであるが、アリにとってもエサと棲む場所の確保には不可欠の行動である。個々のアリが、「甘露を採集したアブラムシにはマークを残し、そのマークがあるアブラムシは殺さない」というルールを守ることによって、殺すアブラムシの数をうまく調節している。アリは、大局を見通してアブラムシの個体数を調節しているわけではなく、個々の単純で機械的な対応が結果的に全体的な調節をしているのである。

4. 因果関係の循環から探る生き物現象の意味

アリにおけるアブラムシ個体数管理手法の要点には二つある。それは、「一度甘露を食べるとマークがつくという‘しくみ’」と「そのマークを見分ける‘しくみ’」である。一つ目のしくみは、甘露を食べるアリであれば多くの種類がもっているだろう。しかし、このしくみだけでは、一旦アブラムシを食べはじめたら食べ尽くしてしまうこともあるわけで、アブラムシの個体数を調節できず、生存競争の敗者となって淘汰される確率が高い。アリの仲間の進化的歴史上、二つ目のしくみを兼ね備えたアリが出現した時、アブラムシの数の調整に成功し、適応度が著しく上

がったことが推測される。アブラムシ個体数管理手法のように、生き物のしくみは最初から意図して作られたものではないが、第1章で記したような進化過程によって、その集団が生存し続けるか、滅びてしまうかの分かれ目になるような、大きな‘意味’を持つしくみが成立していく。プラン(plan)はないのであるが、さまざまな可能性が試され (do)、適応度というものでチェック (check) されるわけである。

生き物の現象は、上述のように、どのような‘しくみ’であるかということ(至近要因)、どんな機能的‘意味’をもつのかということ(究極要因)を解明していくと、大きく理解が進む。これはオランダの動物行動学者ティンバーゲンが1951年に最初に提示したものである。生き物の特徴を理解するには、彼はこの他に、生物の成長に伴ってどう獲得され(発達要因)、どんな進化を経てきたのか(進化要因)の二つを加えた四つの「なぜ」に答えなければならないと言っている[10]。

動物行動学者マーティンとベントソン(1990年)は四つの「なぜ」を、「なぜ、赤信号で止まるのか」に対する四つの答えにたとえて、次のように説明している[11, 12]。

至近要因 — 赤い光に脳が刺激されてブレーキを踏むから

発達要因 — 自動車教習所で教えられたから

歴史要因 — 赤で止まるという規則が歴史的に成立したから

究極要因 — 止まるほうが有利だから、赤信号で止まることが無視することに比べ、事故を起す可能性が低いから

人間の社会行動を理解するための四つの「なぜ」に対して至近要因以外は生物学というより社会科学的内容になっているが、四つの「なぜ」が生物学的現象だけでなく、人間の社会科学的現象を対象とすることも可能であることをこの例は示している。これらの四つの要因は「……だから」と紋切り型になっているが、そこから背景は想像することができ、「なぜ」という疑問を投げかける側の視点やそれに答えようとする場合の対象のとらえ方が一つではないことが明確である。

至近要因と発達要因は、どちらかという、個人的なことである。あるいは、種を代表する個体の一生のできごとを対象としている。第1図のn世代を表す線上で、個人や個体に作用を及ぼす外部からの要素も含めた上で、「何が(what)」「どのように(how)」作用しているか、ということを追求していくと導き出されるものである。生物学的現象について

は、たとえばアリのアブラムシ個体数管理手法では、アリという個体・感覚器・神経細胞・特別な分子などの機能が対象になり、最終的にはどのような遺伝情報の指令に基づくかまでを明らかにすることとなる。一方、歴史要因と究極要因は、歴史的側面を加えて人間の社会システムの中でどのような意味があるかが解析されるものである。生き物では、たとえばアリの仲間や祖先種を比較することによってどのような経過でアブラムシ個体数管理手法が進化してきたかを探り、進化してきた意味は何かを解析するものである。このような解析の対象は第2図で表されるものである。時間軸に沿ってらせん状に進行するような因果関係の循環とその繰り返しの全体的なものが対象となる。

ある事象の究極要因は「なぜ(why)」と問うて、「何のためにあるのか」「どのようにしてそうなったのか」、その意味や理由を説明するものである。それを探る方法として、当該事象に相対する事象を想定した上でそのどちらが有利かを考える、生き物ではどちらが自然淘汰で残るかを考える、というのが有効である[13]。この手法は、「なぜ赤信号で止まるのか」の四つ目の答え方に示されている。ただし、この手法がうまくいかない場合がある。その一つは、相対する別の事象より当該事象の方が有利とはなかなか考えられない場合である。しかし、生き物の進化の研究が進むと、短期的あるいは一部分を対象にすると不利であっても、長期的・全体的に見れば有利である現象が存在することが示されてきている。生き物の現象の意味を探るには長期的・全体的な視点が不可欠である。では、長期的・全体的な視点をどのようにもつかが次の課題である。究極要因と至近要因が補完的であることも生物学的研究で示されてきている。まず、ある現象の究極要因、すなわちその意味をたとえ仮説を立てても考えると、至近要因の中に何が存在するはずか、より多くの関連要素を予測することができる。そして、要素間の因果関係を明らかにし、因果関係の循環のより多くの繰り返しを考慮すると、仮説の意味より著しく説得力のある新たな意味を見出すことができる。このような解析法は環境問題を理解する上では非常に有効であると考えられる。なぜなら、環境問題の要素は種々あり、それらの間の関係性は負の作用を及ぼすもの、正の作用を及ぼすものなど複雑であるからだ。複数の視点からの問いかけによって、より多くの要素を見つけ出してそれらの因果関係を調べ、因果関係の循環の全体的なものの中で正と負の作用のバランスをとることができるはずである。

終わりに

環境教育は、柔軟で強い感性をもったより早い年齢から実施されるべきであるというのは納得できることである。しかし、社会変化と地球環境変化が急速に進行する現状を見ると、生涯教育でなければならないと強く思う。環境教育の目的である「環境とそれに結びついた諸問題に関心をもつ全世界的な人間の数を増加させること」の達成に関し、ほとんど全く関心のない人、少し関心があっても他の価値観が大きい人など、非常に対応が難しい相手を対象にしなければならない時代になっている。そのような人には理詰めで説得するのが有効であるだろう。生物学的理論はまだ大筋であり、理論と実態がそぐわない場合の解釈も一定しないことがしばしばある。しかし、大筋でも体系的な理論があれば、それぞれの場面で「風が吹けば桶屋が儲かる」というようなさまざまな要素と因果関係を探し出すことができるだろう。どのように元に戻ってくるかまでをイメージできれば問題の本質をより明瞭にとらえられるであろう。一方、環境問題の対策や現場における実践にどのような方法があるかということも生き物たちのしくみの中に具体的なヒントが隠されているのではないかと予想している。生き物の進化してきた理由を、資源、コスト、利益や損失といった経済学用語を使って説明する理論がある。架空の利益を生むお金の概念は生き物の世界にはないが、これを除いて、生き物たちにもそれぞれに経済社会があるということである。生き物の研究は、それらが環境問題に巻き込まれているという観点からも必要であるが、環境問題対策方法の具体的なヒントを見出すという観点からは、特に、多様な生き物のそれぞれを対象とする基礎的研究がまだまだ必要であると思う。

謝 辞

本論は、2002年度酪農学園大学・酪農学園短期大学部共同研究の助成(採択No.1, 代表者矢吹哲夫)を受けたものである。貴重な示唆をいただいた藤田郁男氏(環境学習フォーラム北海道)、高木晴光氏(NPO法人ねおす)、山本幹彦氏(NPO法人当別エコロジカルセンター)に感謝の意を表す。

文 献

1. 小原秀雄, 川那部浩哉(1999) 多様性と関係性の生態学, 農山漁村文化協会.
2. O'Brien, S.J., D.E. Wildt, M. Bush, T.M. Caro,

- C. Fitzgibbon, I. Aggudey, and R.E. Leakey (1987) East African cheetahs: Evidence for two population bottlenecks? Proc. Natl. Acad. Sci. USA 84: 508-511.
3. 斎藤成也 (2001) 遺伝子は 35 億年の夢を見る, 大和書房.
 4. 八杉貞雄 (2002) よくわかる基礎生命科学——生物学の歴史と生命の考え方——, サイエンス社.
 5. エルンスト・マイア (八杉貞雄, 松田学 訳) (1999) これが生物学だ——マイアから 21 世紀の生物学者へ——, シュプリンガーフェアラーク.
 6. R.M. ネシー, J.C. ウィリアムズ (長谷川眞理子, 長谷川寿一, 青木千里 訳) (2001) 病気はなぜあるのか——進化医学による新しい理解——, 新曜社.
 7. M. シュナイアソン, M. プロトキン (栗木さつき 訳) (2003) もう抗生物質では治らない, 日本放送出版協会.
 8. D.H. クローフォード (寺嶋英志 訳) (2002) 見えざる敵ウィルス——その自然誌——, 青土社.
 9. 坂田宏志 (河合雅雄 編) (2003) ふしぎの博物誌, 中公新書, pp. 63-74.
 10. 長谷川眞理子 (2002) 生き物をめぐる 4 つの「なぜ」, 集英社新書.
 11. P. マーティン, P. ベイトソン (粕谷栄一, 近雅博, 細馬宏通 訳) (1990) 行動研究入門, 東海大学出版社.
 12. 酒井聡樹, 高田壯則, 近雅博 (2001) 生き物の進化ゲーム——進化生態学最前線: 生物の不思議を解く——, 共立出版.
 13. 馬渡峻輔 (馬渡峻輔, 木村純 編) (2000) 21 世紀・新しい「いのち」像——現代科学・技術とのかかわり——, 北海道大学図書刊行会, pp. 3-31.

Summary

Biologists have established methods whereby the process involved in the natural evolution of organisms can be analyzed scientifically. Today, with the emergence of sophisticated methods, it is possible for scientists to study the mechanisms behind the process (proximal factors) as well as the reasons why the mechanisms have evolved (ultimate factors). The biological methods of analysis are effective for clarifying causal interrelations of a wide range of elements in environmental problems.