

五十二 生命という活動する存在 また冗長な覚書

古来、自然を見つめ、ひるがえって人間存在を考えることが、人の為してきたことである。現代人のはしぐれであるわたしが、ときに、自然科学の方から人間がどういう者かを考えようとするのもいわれのないことではない。

「蝶の雑記帳四十一」で、P・フォーコウスキーの著書『生命のエンジン』をとりあげたのも、そういう関心からである。同じ去年、N・レーンという人の『生命、エネルギー、進化 (Why is life the way it is?)』という本が出版されたことを知って、さっそく取り寄せて読んだ。こちらもたいへん興味をそそられたのに、思索を書きとめることが延び延びになっていた。ところが、それを読み終わったあとになって、自分のお粗末さをまた苦く味わたったのだが、この人がこれ以前に生命について書物を著わし注目されたことを知った。そこで、そのうちの一冊『生命の跳躍』も読んだ。今回の思索は、また自分のための冗長な覚書になるだろうけれど、その二つの書物をよく理解するためのものである。

*

二〇〇九年に書かれた『生命の跳躍』の方から考えていこう。それまでに生物学が達成した知見を著者の観点で整理しようとした書物である。著者レーンは生化学の研究者だけれども、この書物ではライターの側面が強く出ているように思う。生命の発生と進化を総括し、誕生から始まって固有の本性を形成した過程を十の画期的な「発明」としてとらえ、生命の主要な特徴を十章に分けて解説している。十章の表題は、一…生命の誕生、二…DNA、三…光合成、四…複雑な細胞、五…有性生殖、六…運動、七…視覚、八…温血性、九…意識、十…死、である。

第一章の「生命の誕生」については、『生命、エネルギー、進化』の方で考える。

第二章から第八章までで解説される生命の驚異的な特徴は、生命と進化について書かれた多くの生物学の書物と著しく異なる指摘はそれほどなかった、とわたしは感じた。それは、第二の書『生命、エネルギー、進化』を読んだあと（また、最近『生命のエンジン』を読んだばかり）だったせいかもしれない。この書物が注目されたのは、十分な達成を果たしたと考えられた生物と進化の学を、才能豊かなライターが十大発明というような魅力的なとらえ方で手際よく概説したことにあっただろう。

たしかに「運動」は、ヒトとして身にひきつけて考えれば、人間能力の必須の要素だと分かる。「運動」を十大発明の一つとして取りあげるのは、そのことをはっきり告げて

有意義だと思う。その運動が、細胞がもっていた「分子の道具箱」の中の使えるものを活用する技術革新によって可能になったということは、進化の実際を教えてくれる。そして、生物の巨視的な物理的運動が、微視的な分子の生化学的な運動を累積することによって生みだされることも印象深い。人間は自己中心的に考えるから、それらの仕組みがなんとかして自分に動きをもたらそうとする作用だと思ってしまう。視覚が眼を見張るべきものだということを人間は身にしみて知っている。これほどの能力もまた、細胞内にあった分子の道具箱の中の使えるものを活用する技術革新が積み重なって可能になったのだ。生命の進化の計り知れない力に感嘆するほかはない。物質で構成される生物が、自分の外にある物質を見ることができる！。これを表現するのに「発明」という言葉では軽すぎる、と思われるほどだ。

第九章のテーマである「意識」は概念的に広く、レーンの議論は生物学の領域の外へと波及する。重要と思うところを拾っておこう。彼は、「頭のなかにいろいろな意識の流れがあるのではなく、ひとつの統合された知覚が、まとまりでありながら絶えず変化し、無数の状態を経て刻一刻と移ろいゆく」、「意識はさながら頭の中の映画であり、音だけでなくにおいや感触、味、感情、思考などが映像と一体化され、すべてが自己認識と結びつ

けられて、われわれの全体的な存在と体験を身体につなぎとめているように見える」と言う。そして、「脳が感覚情報をなんらかの方法でまとめ、継ぎ目なく一体化された《知覚》だけにしなければならぬことはわかる。……どの知覚も《現実》ではない。神経の活性化なのだ」と考える。

レーンは、「われわれの意識では、視覚の背景にある神経のメカニズムには迫れない」と考える科学者である。だから、「（何かが）わかるためには、ほぼ確実に何段階かかけて、視覚情報が再結合しなければならない。……このプロセスの最後の段階で初めて、意識による表象が得られる。視覚処理の大半は、心には把握されないのである」し、その再結合によってビジョンを得る神経活動を「ニューロンが同期して活性化すること」と理解する。こういう理解を、レーンは、神経学者の研究を参照しながら展開する。

その論述の中で彼は、「基本的に、遺伝子が脳の全般的な回路を規定する一方、経験は厳密な配線とそれにもなう個別の細部を規定する。意味は大半が経験によって生まれ、脳に直接書き込まれる。同時に活性化するニューロンは、互いの結合（シナプス）を強化し、それらを物理的に結びつけるさらなる結合を形成する」と言う。しかも、「シナプスの可塑性は、人格形成期に最大となるが、生涯にわたって存続する」と認め、遺伝子は、「才能や経験に影響を及ぼしている。しかし遺伝子は、脳内の細かい神経システムを規定

してはいない。できるはずがない」と考える。これらの重要な見解は「遺伝子による人間本性決定論」に対立し、わたしのかねがね考えていたことと一致する。

レーンの意識についての理解全般が、わたしの考えていたことを文字で明確にしてくれた、と思う。大いに共感することができる。

意識を意識すれば、「心」が存在を主張しているように感じるのは避けられない。科学ライターであるレーンは、この問題を回避せず、D・チャーマーズのいう「意識のハード・プロブレム」まで考察する。唯物論を超越しようとするチャーマーズは、意識を現在の物理学の範囲内の現象として説明することはできないと認めるが、未知の自然法則に伴う状態として「意識の存在」を想定する。チャーマーズの問いかけに答えた自然科学の研究者の中には、人間の知覚とずれのある量子力学に秘密が隠されているなどとして、「意識の存在」に肯定的な人もあるようだ。チャーマーズ流に考える人たちは、物質そのものに何か付随的な特性があるのではないかと考え、物理法則の拡張を指向している。

現在の科学的知見に寄り添うレーンは、これに対し否定的な立場に立つ。たとえば、「感情に、非常に厳密なコードを用いるニューロン活性化のパターンが必然的にともなうのなら、感情は、かなり高度な、言葉を用いない言語ということになる」というふうに考える。

意識を表象するときそれを実行している当の意識は表象以前なのだ、とわたしも思う。レーンの立場は、「感情は結局のところ神経の産物であり」、「感情がリアルに感じられるのは、リアルな意味、自然選択という厳しい試練のなかで獲得されてきた意味、リアルな生や死に由来する意味があるためだ」とする唯物論的なものである。わたしは、この立場を支持し、進化してきた生物という実在が「心」を人間の意識にのぼらせるという不可思議な働きをするまでになったのだ、と考える。

最後の第十章は「死」を考える。モンテーニュは「哲学とは死を考えること」としたが、死は人間にとってそれほど重大な問題で、レーンがそれを進化の十大発明の一つに数えて取りあげるのとは意味のないことではない。だが、生物学的にその意味を考えても、それほど深遠な議論ができるわけではない。生物学的には、生命は、生きながらえる困難に立ち向かいながら進化する途上で、生殖細胞を分化しそれをバトンタッチして自己のシステムを継承する方法を「発明」することによって、細胞がいつか分解せざるをえないという熱力学的運命を受容しかつ切り抜けたのである。「死」は、生命というシステムを継承させる智慧と言えるだろうか。死の深遠な意味は、人間が哲学的な考察において世界観を構成しようとするときに生まれるのである。

レーンは、老化を考え、健康な期間を延ばす可能性も考察する。しかし、技術が進歩しても、われわれは永遠には生きられないと判断する。そして、不死という考えに対して、生殖細胞以外の細胞が特殊化したこと、特にヒトの脳細胞（ニューロン）は最も特殊化したものであることに注意を促し、「どのシナプスもわれわれ自身の固有の経験にもとづいて形成されている。われわれの脳は、取り替えのきかないものなのだ」と指摘する。すなわち、「いつの日かニューロンの幹細胞を作りだせた」としても、各人固有の経験は取り戻せない。仮に不死を得たとしても、「わたしの人間性」は喪失するのである。それは、つまり「わたし」の死だ。

*

第二の書物『生命、エネルギー、進化』は、『生命の跳躍』から六年後の二〇一五年に出版されている。研究プロジェクトを率いるポストに就いたこともあるのだろう、レーンの記述は、レヴェー的な姿勢から積極的なものに変化して野心的でさえある。地球の物理化学的環境でいかにして生命が発生したかという困難な問いに、現在の知見を越えて仮説的考察に踏み込み、ありえた契機を具体的に考察する。そして、生命が発生してから今の

ように進化した過程を、一貫した観点から理解し説明しようとする。書物の原題はそういう主旨を表現していて、その問い「Why is life the way it is?」は、著者に考察の広がりをもたらす。レーンは、「生物には《遺伝子と環境》が関与する」という言明だけでは、「遺伝子や環境とはほとんど直接関係しない《細胞とその物理的構造》が生物を制約する」という要点がこぼれ落ちてしまう、と指摘する。そして、後者の制約を認める世界観は、それを認めない世界観とはまったく異なる予測を与える、と言う。細胞とその物理的構造は生命発生の初めから生物の拘束条件だったというのがレーンの見方である。

生物学の書物をときどき読むと、細胞内のさまざまな分子の微視的な機構や動作を調べる生化学的な研究が日々進展していることを知る。以前は、細菌が別の細菌を取り込んで真核細胞に進化したと漠然と説明されていたのに、今では、細菌を発酵のやり方が異なる「細菌」と「古細菌」に区別し、「古細菌」が自分の細胞内に「細菌」を寄宿させたキメラから複雑な構造をもつ真核細胞へ進化した、と解明された。これを共生と呼ばば穏やかに聞こえるが、素性の異なる二種の細菌のDNAは、外壁となる一つの膜の中で、通常の変異による進化という言葉で思い浮かべるよりも劇的な葛藤をくりひろげて、今見るように共同体化した真核細胞に変身することができたのだろう。そういう過程で、葉緑体とな

るもう一つの細菌を取り込むことに成功した真核細胞も現われたのだ。

そのような真核生物への進化は地球上の生命四十億年の歴史で一度だけ生じ、それがすべての真核生物の一つの共通祖先となった、とレーンは強調する。すると、今見るこれほど多様な形態をもつ真核生物は、すべて、ひとつの共通祖先からの単系統放散によって生まれたことになる。それほどの放散が可能だったからには、共通祖先はすでにきわめて複雑な細胞だったということだ。それを系統発生学的に言えば、共通祖先の細胞は、構造・形態や同じ働き方の機構など真核生物にほとんど共通する特徴を備え、葉緑体を例外としてほぼあらゆる種類の細胞内物質をもっていたということ。こうしたことは、進展した系統ゲノム学によって確認できるのだという。構造の類似性はうわべのことではなく、遺伝子の配列とDNAの文字にまで書き込まれていて、あらゆるゲノムが始原の共通祖先にまでさかのぼれるのだ（系統樹はこういう論理で描かれるが、いつもその再点検の余地を残しておくべきだろう）。レーンは、「真核細胞はおそろしく似かよっている」、と言う。目にする生き物たちはあんなにも違うのに、みなもとをただせばわたしの同類なのだ。

最初期の真核生物は、有性生殖や老化や種分化まで細菌や古細菌に見られなかった形質を全部もって現われたのである。しかも、その複雑さは、いくつもの経路を経たり明確に段階を踏んだりしてため込まれたように見えないという。レーンは、それを謎とする。謎

は、なぜ細菌・古細菌と真核生物の形態学的構造は数十億年も変化しなかったのか、細菌や古細菌はなぜ真核生物のもつ特性を持っていないのか、あるいは、なぜそういう性質をもてるような複雑な細胞や生物に進化しないのか、という問いにつながる。この謎に、生命は（変異をともなうて継承される）情報だとする観点だけで答えることは困難だろう。

そこでレーンは、DNAが進化を決定するという「教義」の忘れていた物理学の熱力学第二法則を再導入する。量子力学の方程式を発見したシュレーディンガーが、著書『生命とは何か』に記した「生命はエントロピー（増大）という崩壊の傾向に逆らっている」という物理的命題だ。この観点の拡張は、後続の章で論じられる要点とむすびついている。その予告が、先に引用した「生物には《遺伝子と環境》が関与する」が「《細胞とその物理的構造》が生物を制約する」という文章なのだ（世界観の違いと強調された）。レーンは、シュレーディンガーが生命活動の記述にエントロピーよりも自由エネルギー概念の方が向いていると書いたと指摘して、エネルギー概念で細胞の活動を議論する方向へ舵を切る。そして、先の予告は、生物において、「エネルギーを取り込むメカニズムが細胞に根本的な構造上の制約を課す」というふうに言い換えられる。

「生命とは何か」と問うよりも「生とは何か」と問うべきだと主張するレーンは、次章で、エネルギー・エントロピー・構造などをキーワードとする物理的な見方で細胞に關す

る知見を検討していき、生きるとはどういうことを考える。細胞を微視的に観ればおびただしい分子の機構的な集成である。そこでの物理・化学的活動を抽象すれば、「生命は結局のところ電子」である、あるいは逆に、「生命とは結局のところプロトン」と、ととらえることが可能になる。この章の記述はフォーコウスキーの著書『生命のエンジン』と重なるところが多い。レーンとフォーコウスキーは、視角を異にしているので、生命について強調点のちがう書き方をしているが、両書の日本語表題の類似性が示唆するように、どちらも、物理的な要素を採り入れてDNA生物学よりも広い観点から生命をとらえることを提唱しているのだ。フォーコウスキーは、生命活動における電子の流れを、さらに、惑星である地球システム全体の中で観たのだった。この広い観点は、生命を宇宙論的な自然観の中に位置づけるようにする。物理学をかじったことのあるわたしはそのような自然観に引きつけられる。

*

以上のような準備的議論をしたあとの第二部で、「生命の起源」についての踏み込んだ考察が展開される。その考察は、まだ仮説的だけれども、生命の起源である細胞がどのよ

うに発生したのか、また、そこから細胞がどのようにその特質を形成していったかを説明して、かなり説得的である。わたしは強い印象を受けた。

自分なりの言葉で整理してみよう。細胞は代謝を行なって生きている。その代謝は、物質の流れと見なすことができるが、細胞は、閉じた系ではなく、ある量の物質を取り込むと、その一部を内部に滞留させて、残りの物質を放出する。内部でも、外部との物質の交換でも、起きていることは物理法則に従う現象である。大局的に、熱力学の第一法則（エネルギー保存則）と第二法則（エントロピー増大の法則）がこの現象を律している。ところが、部分系として細胞に注目すると、生きている細胞は秩序ある構造を生成・維持しているのだから、細胞は内部の乱雑さ（エントロピー）を減少させる活動をしているのである。だから、細胞は、冷蔵庫の次のような働きをしていることになる。すなわち、冷蔵庫は、庫内を冷やして食品（動植物性にしろ植物性にしろ細胞）を腐敗から守るために、電気やガスで外部からエネルギーを供給して、庫内で増大しようとするエントロピーを外に汲み出す働きをする。この仕事は、供給したエネルギーよりも多くのエネルギーを熱（物質の乱雑さ）として外部に放出することによって果たされる。冷蔵庫も細胞も、内部のエントロピーを減少させるのにエネルギーを供給しなければならないのである。したがって、

細胞は、物質を流通させるばかりでなく、その過程で物質の蓄えているエネルギーを消費して代謝を行なう、という方が正確である。

これだけのことから、細胞から成る生態圏は、外部からのエネルギーを消費して環境に熱を放出することが分かる（今では冷蔵庫そのほかが放出する熱も膨大である）。地表の熱は増えることになる。そのエントロピー増大を防いでいるのは大気圏外への熱放射である（朝の放射冷却に感謝しなければならない）。すなわち、地球システムを、太陽光によってエネルギーを供給され、生態圏全体の代謝活動を維持して、生じた熱を宇宙に放出する大きな熱機関と見ることが出来る。ヒトを含めたすべての生物が宇宙の機構の中で生かされているのだ。

細胞は「物質とエネルギーの流れを起こして持続的な一定の物理的構造を生み出す」のであり、代謝とはそのシステムを具体的に作動させている一連の物理化学的な作用のことである、と要約できる。こう認識すれば、I・ブリゴジンの非平衡熱力学の枠組みで細胞を考えることができる。碗に入った味噌汁に規則的な動きをする模様が現われることがある。物質とエネルギーの流れがあつて平衡状態にない溶液でも、ある種の秩序が生じるのである。周囲の環境と物質・エネルギーのやりとりをする非平衡な部分系は、エネルギーが散逸していても、「物質の流れ」に自己組織化が生じて、秩序ある定常的な物理構造を

つくることができるのである。それは「散逸構造」と呼ばれている。この観点からは、細胞は散逸構造の一種ということになる。生物を、秋空に泳ぐ鰯雲の仲間と見なしてよい。

レーンは、まず、有機物を含む原始スープへの何か刺激的なエネルギー供給によって生命が生まれたのではないか、というアイディアがかつてあったことに触れたあとで、しかし、原始スープにはわれわれが細胞と呼ぶ散逸構造の形成を促すものはない、と宣言する。したがって、細胞という散逸構造を生み出した環境は別にあったはずで、それはどういう環境だったかが問題となる。

そこで、最初の細胞（細菌）をつくるのに何が必要かを分析し、生体細胞の基本的特質六つを、具体的に次のように列挙する。(1) 反応性の高い炭素が継続的に供給されること、(2) 代謝の生化学的メカニズムを動かす自由エネルギー、(3) 触媒の存在、(4) 老廃物を排出すること、(5) 内側と外側を隔てる区画化された構造、(6) RNAやDNAと同等な遺伝物質。レーンはもつと突っ込んで六つの項目を考えているが、それは省略しよう。散逸構造へ至るために肝心なのは、反応性の高い炭素などと利用可能な化学エネルギーの流れがあることだ。もし、その流れが触媒作用をもつ無機物のもとを通過するように誘導する通路が存在すれば、流れのわずかな一部が有機物になる可能性がある。そして、天然の区画化もあって、物質の流出をある程度防げ、合成されるさまざまな有機物がため込ま

れて濃縮されるなら、有機物が細胞状の小袋やRNAやたんぱく質などの構造に自己組織化する可能性がある。そのような環境が実際に自然界に存在したかが、次の問いである。

このシミュレーションは、条件を満たしそうな環境が知られていて、それに促されて整理されたのである。一九七〇年代に海底の熱水孔にたくさん生物が発見されて、そこで生命が発生したのではないかというアイディアが生まれた。この研究の流れからレーンが細胞の揺籃として取り出すのが「アルカリ熱水孔」である。アルカリ熱水孔は、先ほどの細胞形成に必須の条件を備えているというのである。その岩石はスポンジ状で、薄い壁で隔てられたミリメートル程度までの大きさの孔は相互につながる巨大な迷路を形成している。その迷路を溶けた水素を含むアルカリ熱水流体がしみわたっていく。この流体は有機分子の合成を妨げない温度で、流速も触媒となる岩石の表面をなでる程度。熱水の流れは熱泳動プロセスとして働き、サイズの大きい有機分子を濃縮させやすい。しかも、この熱水孔は数千年以上も持続して、数えきれない化学反応が起きる時間を与える。

四十億年前の海底には、酸素がなくて鉄などが反応性の高い形で存在しており、二酸化炭素濃度ははるかに高く、海水は弱酸性で炭素は炭酸カルシウムとして析出しにくかっただろう。レーンは、触媒性のFeSなどを含有する薄い壁からできた細い迷路構造の熱水孔

で、 CO_2 濃度の高い弱酸性の海水に、 H_2 を含むアルカリ流体が流れ込んだことが重要だった、と考える。 CO_2 と H_2 は条件があれば炭素と水素の化合物に変わり、エネルギーを放出できる。しかし、この反応が結合エネルギーの最も大きいメタン CH_4 の生成に終わっては元も子もない。四十億年前、 CO_2 と H_2 から、アミノ酸・脂肪酸・炭水化物・ヌクレオチドなどの細胞バイオマスが合成されたのだから、アルカリ熱水孔という有機物合成システムの化学反応ポテンシャル図は、絶妙な凹凸のあるものだったのだ。

CO_2 と H_2 が反応を起こすには、 H_2 から CO_2 へと電子が移動しなければならぬ。この電子の移動しやすさ「還元電位」は環境のプロトン濃度（つまり酸性度）に依存する。酸性度が高いと、電子はプロトンと結合して H_2 がでやすいので、 H_2 から電子を取り出しにくい。逆に CO_2 の側を考えると、酸性度が増せば CO_2 は電子を取り込んで還元されやすい。ただ酸性度が増すだけでは、 H_2 から電子を移動させて CO_2 を還元することはできない。ところで、食品を腐敗させてメタンを発生する細菌がいるが、細胞内の膜をはさんでプロトン勾配があり、それが電子を移動させるからだ。すばらしいことに、同じ作用を、アルカリ熱水孔は果たすことができる！。熱水孔の細い迷路には、アルカリ熱水と弱酸性の海水が薄い壁を隔てて並行して流れる場所もあるだろう。アルカリ流体の側では、 H_2 の還元電位が低下して電子を出しやすい。 CO_2 濃度の高い弱酸性の海水側では、電子を取り込んで

ギ酸イオンやホルムアルデヒドになりやすい。問題は電子をアルカリ流体側から弱酸性の海水側に移動させることだが、薄い隔壁にある FeS 鉱物は半導体で電子を移動させることができる。したがって、理論的に、アルカリ熱水孔は、 CO_2 と H_2 から細胞を構成する有機分子を合成する可能性をもつ。

レーンの研究グループは、この理論のモデルとなる卓上型反応装置を組み立てて実験し、実際に、ギ酸イオンやホルムアルデヒドほかの有機物の合成に成功した。したがって、原始アルカリ熱水孔で、複雑な過程を経てのことだろうが、細胞を構成する有機分子が合成されたという仮説は成立しうる。この仮説では、現生のすべての生命が膜を隔てたプロトン勾配を利用して炭素とエネルギーの代謝を行なっているのは、生命が発生するとき、薄い半導体の膜をはさんだ天然のプロトン勾配を利用したことに始まるからである。自然に細胞の活動が始まるのに、これ以外の道筋はなかっただろう、とレーンは考える。細胞・生命は、最初の揺籃であるアルカリ熱水孔のもっていたこの物理的条件に規定されていると考える。その章の終わりで、この物質素材岩石と水と二酸化炭素は、地球型の岩石をもつ惑星にありふれて存在するもので、アルカリ熱水孔が形成される可能性の高いことに触れる。生命の発生は、宇宙史の展開の中において理解することが可能なのだ。

以上が、地球の物理化学的な条件がそろった場所で、自発的に生命への有機的な一連の

活動が助長され、ついに生きて活動する細胞を構成するようになった、と考えるレーンの構想である。まだ大いに仮説的で、たいへん長くて複雑な経過をどこまでたどることができるか不明だけれども、わたしはこの構想は真実に接近できるだろうと期待する。

*

細胞の発生を仮説的ながら以上のようにとらえれば、細胞の進化について一貫性のある解釈が可能になる。第五章は、細胞の出現というタイトルだが、出現した細胞、細菌と古細菌について書かれている。わたしが重要と考える要点を簡単に記しておこう。

細菌と古細菌は、真核細胞のような性をもたないので、遺伝という言葉で通常思い浮かべるのとは異なり、変異は遺伝子の「水平移動」によつて起きる。遺伝子の点で、その細胞はほぼ必ずキメラなのだ。細菌と古細菌の系統樹を探つて共通祖先を一転にまでさかのぼることは困難である。しかし、最後の共通祖先は、次のような多くのことをすでにこなつていたと考えられる。すなわち、DNAをもち普遍的な遺伝コードはもう働いていて、それがリボソームでたんぱく質を作り出していた。つまりそこに分子マシン群が存在していた。また、化学浸透共役を利用して膜をはさんだプロトン勾配を用いたATP合成が出

来た。だが、細菌と古細菌は、DNA複製で用いる酵素が異なり、細胞壁と細胞膜も異なるなど、大きく違う。両者の共通祖先はいまだ不明なのだ。レーンは、生物界で知られている炭素固定の六つのプロセスのうちの 하나가、アルカリ熱水孔で、有機物合成―原始細胞の形成―遺伝コードの誕生というような三段階の進化を推進したと思い描いている。この細胞の誕生を詳細に記述することが困難なことは言うまでもない。

その細胞が誕生したとして、次の飛躍は、細胞が熱水孔から離脱したことだ。その離脱の問題の核心は、熱水の流れに依存せずにプロトンを汲みだす膜がどのように形成されたかであるが、レーンは、それを、可能であった化学反応を具体的に説明しながら追及している。この辺の具体的な議論は野心的で、細菌と古細菌の二種の細胞の形成まで視野に入れている。とても迫力があるが、十分に咀嚼することはできなかった。いずれにしても、そのような化学的な作用を試行錯誤する中で、現に持っているような膜を通してのプロトンの汲み出しを自分の内部で行う構造・機構を進化させた細菌が、ついには、熱水孔の迷路から脱出する自由を獲得したのだ。

海中を漂い動くことができるようになった細胞の次の飛躍は、複雑な構造をもつ真核細胞への変身である。原核生物の細菌と古細菌は、遺伝子も生化学メカニズムも多彩で、代

謝において真核生物をしのぐそうだ。ところが、四十億年の進化においてほとんど進化せず、真核生物のような規模で複雑な構造を直接生み出したことはない。その理由は構造上の制約のせいだとレーンは考える。真核生物は、代謝のしくみを開発する代わりに、体のサイズと構造の複雑さを増す方向に進んだ。

真核生物の最後の共通先祖は複雑な細胞で、すでに線状の染色体・膜につつまれた核・ミトコンドリア・さまざまに分化した細胞小器官・そのほかの膜構造・動的な細胞骨格・有性生殖など、現生のものに近い特徴を備えていた。どうして初期からそのように複雑な細胞であったか、遺伝子を調べると、その共通祖先が数千種もの細菌と古細菌の遺伝子を引き継いでいることが見えてくる。共通祖先は細菌と古細菌が一つの細胞壁の中で共生するキメラだったと考えるのが最もありそうなことなのだ。レーンは、宿主細胞である古細菌と内部共生体である細菌とのあいだに一度だけキメラ現象が生じた、と考える。それ以後、その共通祖先から現在見られるほど多様な真核生物は、(通常遺伝という言葉が意味するような)変異をともなう遺伝子の継承という方法で進化したと解釈できる。

それでは、原核生物が大型化できなかったのに、真核生物はなぜこれほど大型なものに進化できたか。真核生物の細胞の大きさや酸素消費量は原核生物に比べて桁違いに大きい。それを「一遺伝子あたりのエネルギー」という指標で比較すると、答えの一端が見える。

真核生物がもつ一遺伝子あたりのエネルギーは、原核生物の二十万倍にもなるというのだ。また、真核生物は、細菌よりも五千倍大きなゲノムを維持できるし、大きな細胞に複雑な生化学メカニズムを満載している。一遺伝子あたりのエネルギーの少ない細菌は、ゲノムのサイズを大きくすることも、何千もの新しい遺伝子を取りそろえて新機能をあれこれコードすることができないのでこれほどの差が出たのだ、とレーンは考える。

真核生物が細菌にあるそのような制約を受けずに複雑化できたのは、ミトコンドリアの活力にある、と強調される。ミトコンドリアは古細菌×細菌キメラにあった内部共生細菌に由来するものと考えられるが、ミトコンドリアは、多くの遺伝子を核の方に移譲し、自分が働くべき場所で役目を果たすに必要な遺伝子だけを手元に残した（その場で必要な需要に合わせてエネルギーを供給できるらしい）。これは、細菌や古細菌の行なう遺伝子の水平移動ではなく、内部共生によつてはじめて実現された、とレーンは言う。それによつて、複製が速くなり生体エネルギーのATPも節約できるようになった、そして、このことが、原核生物と真核生物の一遺伝子あたりのエネルギーの大きな格差を生み出して、その後の進化の大勢を分けたのだ、と。

大急ぎだが、ここまでで、この覚書は二つの書物の要点の大部分を記したと思う。

『生命、エネルギー、進化』には第五部に有性生殖と死についての章があつて、もう一度それについて考察している。前著と表現が変化して新たなニュアンスがつけ加わっているだろう。大局的な言明があると思う。たとえば、自然選択が変化の原動力となるのはまれで、選択が停滞よりも変化を促すのは適応関係が劇的に変化した場合でしかない。初期に始まった有性生殖こそ大きな変化へ道を開いたのである。共通祖先でクローニングや遺伝子の水平移動が働かなかつたことは、現生の真核生物の一様性が語っている……など。けれども、これ以上書きとめることはしない。

最後の第六部「予言」の補足的な考察についても省略する。

また長くなってしまった。なんとか生命に関する知識を増やすことができただろうか。