

生物現象が物理学や化学で説明できるかという問題を考えた場合、これは、化学が物理学で説明できるかという問題との類似性を思わせる。現在の化学的知識のうちで、元素の性質、原子・分子の物性や反応性は、基本的に量子力学の延長としての量子化学で説明され、また、化学平衡・化学反応速度論などを含む熱力学は、統計力学の延長線上にある。だからといって、化学独自の研究領域がないという意味ではない。これに対して、生命現象となると、物理学や化学とはかなり異質なものに思える。そこでの問題は、原理的なものから、現実的なものまで、多くの階層にまたがるものになってくる。

### 1. 物質系の科学と生物系の科学の別次元の重なり

まず最初に気づくのは、生命現象の解明には、物理化学的な技術が盛んに使われているので、そういう意味で、物理学や化学によって生物が理解できるのかという問題が考えられる。生物体を構成する個別の部品やその相互作用を調べ上げるという作業は、分光学的、あるいはX線などの物理的手段や、クロマトグラフィーや機器分析のような化学的手段を利用して行われる。現在では、タンパク質の網羅的な検出には、質量分析が多用されている。DNAの塩基配列の決定も、事実上ほとんどオートメーション化されていて、その作業の原理は、化学反応の連続と、高感度蛍光検出技術の応用であり、それを制御しているのは半導体技術と情報技術に支えられたマイクロコンピュータである。人間の生理現象を考えても、脳波でも心電図でも、単なる電気現象を測定しているだけである。最近話題の脳の血流量を測定するのは、分光測定に過ぎない。血液検査では、酵素や物質の量を、これまた最新の高感度高性能の試薬を使って測っている。現代の物理学や化学を応用した最先端技術なしに現代の生物学を語ることはできない。だからといって、そこで調べられている現象が、物理学や化学の問題に帰着できるのかというと、本当のターゲットは目に見えない生命現象であって、それは測定値の裏側にある。

そこで根本にかえて、物理学とは何か、化学とは何かという問題を考える。これらの点は、これまでの還元主義の議論の中で、深く検討されていない問題ではないかと思われる。化学はひとまずおくとして、大方の物理学者の見解によれば、物理学は、ほかの自然科学分野とは異なり、対象ではなく、方法論によって定義された学問、つまり、論理的、解析的、数理的な自然科学そのものであるというのが、そのため、物理学は、全く当然のこととして、生物に対しても適用されると考えられている。トートロジーのようであるが、物理学が正当に適用できる範囲において、生物学は物理学で説明される正統的な科学であると信じられている。それに対して、生物学は、生き物を対象として、利用可能なあらゆる手段を用いて、生き物がどのように生きているのかを解明しようとする学問である。生物学者から言わせれば、数学でも物理学でも化学でもそのほかどんな手段を用いても、目指す対象が生命現象であれば、生物学である。このように、相容れない学問の定義に基づく限りは、生物学と物理学は断絶したままである。

次に、理論の還元可能性の問題がある。つまり、生命現象を説明する理論は、物理学の理論に帰着できるのかどうかである。歴史的には、物理学者は、生命には特別の法則があるかもしれないと考えた。Schrödinger (1944)が有名である。その延長上に、分子生物学の誕生があった。これは、物理学の範囲内で、生命特有の問題があるのかないのかを研究するものである。名前は変わらないが、個々の遺伝子をいじり回す現在の分子生物学とは、理念からして根本的に異なる学問であった。Morange (2003)が指摘するように、「生命とは何か」は、分子生物学が誕生するまでは、盛んに議論されたが、その後は話題にならなくなり、再度話題になるのは約 20 年前からである。その間に、分子生物学の変容が起きた。結局、「生命現象を説明する理論は、物理学の理論に帰着できるのか」に対する結論は、'oui et non'である。確かに、ニュートン力学に対する電磁気学のような意味での全く独自の物理法則が生まれることはなかったにしても、生命現象の中に潜む物理現象を記述する理論体系が発見されたことは事実である。それは、複雑系の物理であり、散逸構造であり、自己組織化である（これらについては、田中 2002, 金子 2009 など参照）。多数の要素が集まって、非平衡不可逆過程が進行するときには、単体では見られない複雑な現象が起きる。その中には、散逸構造に代表されるような自己組織化現象が含まれる。これを記述するためには、従来の物理学の知識を総動員して、個別の要素間の相互作用を記述することから始めなければならない。しかし、その結果生まれる全体の挙動は、必ずしも古典的な科学の枠の中で予想できるものではない。こうした仕組みが生物現象の根底にもあると考えるのは、生物物理学者に広く共有された信念であると思われる。

では、生物学者が扱っている生物現象を、物理学者が物理現象の一つとして解明できるのかというと、それも難しい。そもそも目的意識が全く異なるからである。物理学は、きれいな法則を見つけることが仕事である。現実の現象を説明する場合には、どういうことがどの程度の確率でおきるか、あるいは、安定な収束点はどれか、というような立場をとる。カオスの例などがそれに当たる（田中 2002）。現実起きる現象は、その可能性のうちのどれかであるが、試行ごとに結果は異なるかもしれない。それに対して、生物学では、個別具体的にどんなことが実際に起きているのかが問題となる。いろいろな可能性があったとしても、実際に起きていることだけが問題である。進化などがこれに当たる。逆に、同じことを何通りものやり方で実現できる場合がある。「生物時計」は、シアノバクテリア、ショウジョウバエ、哺乳類で、それぞれ、全く異なる部品のセットを使って実現されている（易しい解説として、田澤 2009）。その場合にも、個別具体的なことがらだけが生物学の関心事である。フィードバックするサイクルがあれば、時計ができるのは物理学的必然であるが、それは生物学的な意味を持たない。実際にどんな遺伝子やタンパク質がどのようなループをなして、それによって環境にあまり影響されずに、約 1 日のサイクルを出力しているのかが問題である。このように見たとき、生物現象を物理学で説明できるのか、という問に対する答えは、やはり'oui et non'ということになる。生物現象の一般論は物理学が処理できるかもしれないが、具体論は無理である。その点が、化学に対する説明の場合と異なる。元素がなぜ 100 個あまり存在し、周期律表のそれぞれのグループにあるような性質をもつのかは、純粋に量子論で説明される。個別が一般で説明されてしまうのである。複雑な有機化合物の性質ですら、原理的には説明されてしま

うはずである。それに対して、生物では、個別は個別のままである。

## 2. 生物学がもつ独自の観点

ここまでの議論では、何とか物理学的な実験方法・研究方法・理論を使って、生物現象を解明するという可能性を考えた。これに対し、生物学で非常に重要な点は、何か現象を解明するときには、必ず、その現象の生物学的意義、生理的意義、進化的説明などが要求されるということがある。この点で、生物学は物理学・化学とは根本的に異なる。ただ、現実には、生物物理学の研究発表でも、最後には、その研究の生物学的意義は何かというような議論がなされることがあるので、物理学者ですら、この違いを理解していないことが多い。物理学的な考え方をすれば、宇宙に存在意義がないのと同様、生物にも存在意義などないはずである。まして、生物が示すさまざまな現象の意義など考える必要はないはずである。これに対し、生物学では、生物現象に合目的性 teleonomy を前提としている(Monod 1970)。どんな生物現象であれ、それがその生物の生存にとって有利であるはずだという信念がある。木村資生の中立進化説(木村 1986)は、そういう意味では生物学の根幹を揺るがすものであった。現在では、なくてもよい遺伝子や、2通りのどちらでもよい遺伝子などもたくさんあることがわかっているので、すべてについて合理的な存在理由が要求されるわけではないが、それでもほとんどの研究発表では、合目的性、生物学的意義という付加価値がなければ、研究の意義自体が認められない。ただ単に、何かを分析しましたというような発表も存在するが、「どういう意味があるのかわからない」とか、「データとしては役立つ」とかいった評価しか受けない。端的に言って、こうした生物学的意義というのは、作り話にすぎないと考えるべきであるが、生物学の世界では、ごく当然の前提としてまかり通っているのである。この点だけは、物理学も化学も手が出せない。物理学者であっても、生物学的意義を口にした時には、生物学者として語っているのである。この問題は、大塚(2007)によって議論されていて、機能の定義には二通りあることが述べられている。一つは目的論的・進化的な説明(selected function)、もう一つはシステムの働きの説明(causal role function)である。両者は厳しく対決しているらしいが、生物学者としては、話は簡単である。上に述べたように、一般的に生物学の研究としては、前者の説明が要求される。どれだけメカニズムとしてうまくできていることを説明しても、最後には、その生物学的な意味は何か、という問題に答えなければ、生物学ではない。

生物学的意義と密接に関連する問題として、生物学、特に遺伝学、分子生物学、生理学の説明は、常に「関与している」で進められることに注意が必要である。分野外の人には、「こういう経路で物事が進むことが証明できた」などという説明を真に受けて、そういう実体や経路が存在するかの誤解をしてしまう。また、それが「わかったように見せる」という生物学者の策略でもある。生物という装置は非常に複雑なので、どれかの部品を少し壊して、それによって起きる不具合を見つけ、それによって、注目する生物現象にその部品が「関与している(involved)」ことを証明するのである。それを組織的に組み立てることで、どの部品がどの部品と関連するのかというストーリー・図式を描く。これは、物理や化学で出てくる図式とは本質的に異なるのだが、その違いを常に曖昧にすることで、生物学者は自己の存在を保っている。そのことがわからない(そのことに満足できない)

物理系の人々が、合成生物学なるものを考えて、生物の体のつくりを実体として表現しようと企てたのである。Monod (1970)が考えたのは、まさに合成生物学の先駆けであって、基本回路の組み合わせによって生物の合目的性を説明できるということであったが、Monod 自身も生命の創発性を信じていた。現在では、単純な回路であれば、大腸菌細胞の中で実現することはできるが、そこで実現できるものと生物現象の意味とは無縁であると、「普通の生物学者」は考えているに違いない（ほとんどの生物学者は、合成生物学を知らないし、そのような方法論を信じていない）。「関与」の連続で組み立てる生物学の論理は、物理学の論理とは全く異なるのである。物理学の概念を一般化したポPPERの反証主義を生物学（進化学）にも適用することの議論が三中(2007)によってなされているが、生物体の遺伝的・生理的解析に関しては、理論の構築原理が異なるので、難しいように思われる。現に、ある経路の図式が一度証明されても、それに合わないものとして、新たな因子が発見されたらといって、また別の図式をつくるのが平然と（同じ研究グループによってさえ）繰り返されるのが普通だからである。生物学の説はつねに、他によい選択肢がないことの裏返しでしかないという abduction の考え方（三中 2007）にも一理ある。反証されてもそれは新たな発見と見なされるので、実験の不備を別にすれば、本質的に、反証ということはありません。

さらに別のレベルの問題としては、記述ということがある。生物学は、長いこと、博物学として、記述の学問であった。分子レベルになっても、依然として記述の学問である。生命論議の中で、記述ということとはともすれば軽視されがちであるが、物理系の学問である天文学や地球科学も、まず記述がなければ、学問を構築できない。しかも、生物学における記述は、ただ単にそこにあるものを書き留めるという意味ではなく、対象に働きかけて情報を得るという双方向的な作業である。ここでは、遺伝子破壊や遺伝子導入といった実験技術が活躍する。天文学や地球物理では、存在するものを調べ上げることによって、物理法則に則って、それらの存在理由を推定することができる（たとえば、井田 1999, 丸山 1998）。多少の歴史的偶然はあるにしても、それもまたデータから推定できる範囲である。これに対して、現在存在する生物の体を構成する部品は、生物の歴史を背負っており、今あるものが全部理解できれば、その存在理由がわかるのかということ、おそらくそうではない。多様性が生ずるということは説明ができるが、現実どんな生物やどんな部品が生ずるのかを、説明する理論はない。いわば、歴史の偶然である。天文学でも、地球と同じようなハビタブルプラネットがたくさんあるということは説明できる（井田 1999）ものの、この地球がなぜこのように存在するのかを説明することはできないが、それはあまり問題とされない。地球の存在が説明できても、それは地球だけの問題である。しかし、人間の存在を説明する理屈は、おそらくサルを説明することにもかなり使える。マウスにも使えるだろう。しかし、完全に一般的な法則があるわけではない。生命現象が物理学や化学に還元できるのかというときに、絶対にできないというのは、この部分である。化学とは異なり、生物世界にある事物は、可能なもののごく一部しか存在しない（歴史的な存在も含め）ため、いまあるものの存在理由を説明することができないのである。

進化の複雑さは、実際に研究しないとわからない、理屈だけでは言い尽くせないものがある。確かに、突然変異と自然選択の組み合わせというのは、適応的進化の説明としてよく使われる（たとえば、斎藤 2007）。しかし、現在わかっている進化における事象には、ありとあらゆるものがある。

遺伝子やゲノムを単位とした水平移動はその最も顕著なものであり、細菌の世界では、いまや古典的な2分岐の繰り返しによる系統樹は意味を持たない。細胞内共生によるオルガネラの誕生（たとえば、井上 2006）も、非常に大きな歴史的出来事であるが、細胞内共生は何度もおきたことがわかっているので、そのこと自体よりは、現実にはどんな共生がおきたのかという歴史的事実が問題となる。そのほか、近縁種の交雑による種の不明確化、ボトルネック効果による偏った進化、環境変動による絶滅と多様化、酸素濃度上昇による多細胞生物の大型化、オゾン層形成による大型生物の陸上進出、などなど、それぞれに条件を与えれば確かに説明はつくかもしれないが、どれも地球全体の多面的な環境を反映した複雑な事象であり、単純に、こうした進化が物理・化学的あるいは数理的な説明の対象であるようには思えない。

もう一点、生物学の特殊性をあげるならば、生物を構成する単位が存在し、個性性があるということである。人間は一人一人数えられるし、細胞を半分にしたら細胞ではない。染色体も同じである。確かに、物質科学においても、素粒子や原子、分子を基本単位としてものを考えるが、生物学で扱う単位は、物質的に見ればマクロでありながら、生物現象の個性性（マクロな量子性とも表現すればよいかもしれない）を構成している。感染症を治すには、ターゲットの細菌を1個未満にすればよい。がん細胞は1個でもあれば増え続ける。こうした個性性が生物現象の基礎をなしている。いま話題の放射線の生物作用の議論の難しさ（確率的作用など）は、このような細胞の個性性の枠内で理解する必要がある（石川 1992 など）。これなどは、生物現象が物理学で理解できるかということの最もよい例になる。人体は複雑なので、何歳で男女のどちらでどこにどれだけ被爆するのかによって話が違ってくる。皮膚が炎症を起こすレベルの被害を問題にするのか、がんの発生率を問題にするのか、子孫への遺伝的影響を問題にするのかによっても、話が違ってくる。また、確率的影響があるので、100 mSv（ちなみにシーベルトが絶対値のように世間ではまかり通っているが、同じ照射線量でも、シーベルトで表される吸収線量は被爆体の性質によって異なる）浴びてもがん発生率の増加は0.5%にすぎない。がんにならなければ、何もなかったのと同じである。これに対し、放射線の物質に対する作用は、連続的で一様である。線量に応じて破壊が起きる。高線量の放射線による人体への非確率的影響は、こうした物体に対する作用と共通している。放射線の話が目的ではないので、生物現象についてまとめると、同様の考え方は進化などでも当てはまり、ボトルネック効果とあって、集団の個体数が非常に小さくなれば、非常に不利な形質ですら集団に共有される形質になりうる。生物の個性性は、生物現象の物理・化学的な理解に複雑な要素を付け加える。

### 3. 生物と生命

そこで最初の問いに戻ると、生物現象を物理学や化学で解明するということは、物理学・化学の範囲内においては出来るかもしれないが、それは、生物学の問題ではない部分についてである。生物学というのは、独自の問題意識を持っていて、その部分に関しては、物理学や化学の延長では語れない。

さらに、生物と生命の違いについても考慮したい。Michel Morange というフランスの生物哲学・

生物学史の学者が 2003 年に出版した「生命は説明されたか？」という本がある。そこでは、生命の特徴を考察しているが、いろいろ考えた末に、結局は、昔ながらの生命の定義(Monod 1970)に戻りせざるをえなくなった。つまり、化学的な反応と物質交換、複雑な構造形成、変異を伴う複製である。この限りにおいては、生命は説明可能だということになるが、実質的に説明したことにはならない。Morange は複雑系物理についてきわめて否定的な見解を持ち、生物が示す創発現象が複雑系物理によって説明される可能性を否定している。これに対し、生命現象ということばが、生物現象とは異なり、生物が示す創発的現象のことを指すとすると、それは、物理学の延長としての「本来の分子生物学」(いまの記述的分子生物学ではない)の対象でもある。生命の起源の議論の中で、Malaterre (2010)は、化学進化に続く生命誕生を創発とするが、それは知識の不足に基づくものだと結論している。物理学的な範囲で考えればそうであろうが、それは生物学にならないのではないだろうか。「生命現象」は物理学の対象になるかもしれないが、そのことは、生物学が物理学に帰着できるという意味ではない。

#### 引用文献

- Malaterre, Christophe (2010) *Les origines de la vie: émergence ou explication réductive?* Hermann, Paris
- Monod, Jacques (1970) *Le hasard et la nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne.* Seuil, Paris
- Morange, Michel (2003) *La vie expliquée? 50 ans après la double hélice.* Odile Jacob, Paris
- Schrödinger, Erwin (1944) *What is Life? The Physical Aspect of the Living Cell.* Cambridge University Press
- 石川友清編 (1992)「放射線概論 第一種放射線試験受験用テキスト」通商産業出版社: 現在は 2011 年刊行の第 7 版で、柴田徳思編集。
- 井田茂, 小久保英一郎 (1999)「一億個の地球」岩波書店〈岩波科学ライブラリー71〉
- 井上勳 (2006)「藻類 30 億年の自然史」東海大学出版会
- 大塚淳 (2007)「結局、機能とは何だったのか」科学哲学 40: 29-41
- 金子邦彦 (2009)「生命とは何か」第 2 版 東京大学出版会
- 木村資生 (1986)「分子進化の中立説」紀伊国屋書店
- 斎藤成也 (2007)「ゲノム進化学入門」共立出版
- 田澤仁 (2009)「マメから生まれた生物時計 エルヴィン・ビューニングの物語」学会出版センター
- 田中博 (2002)「生命と複雑系」培風館
- 丸山茂徳・磯崎行雄 (1998)「生命と地球の歴史」岩波新書
- 三中信宏 (2007)「科学哲学は役に立ったか: 現代生物科学における科学と科学哲学の相利共生」科学哲学 40: 43-54