

何が生物学を独自のものにするのか(5)

What Makes Biology Unique? Ernst Mayr

第4章 分析か還元主義か？

複雑な現象というものは、より小さい構成要素にバラバラにして個々に研究しない限り十分には理解され得ないという信念は、もっぱらの常識である。この研究法は、イオニア派の哲学者が早くも自然現象を4つの基本元素—地、水、気、火—に還元したときに原理上採用され、それ以来ずっと分析ということが哲学と科学の伝統になった。解剖学者は全体としての人体は研究せず、それを構成要素の臓器、神経、筋肉、骨に分解してそのはたらきを理解しようとした。組織や細胞といった次第に小さくなる構成要素を研究するためには、顕微鏡が使われた。さらにもっと低いレベルに、さらにもっと小さい構成要素にと分析を進める努力は、最初は主にそれがこうした発見的方法であるということ動機付けられていたのである。

生物学の歴史の多くは、この分析的研究法の勝利の物語である。生物全体の多様性は、生き物が種に分けられて初めて捉えられた。シュワンとシュライデンの細胞説も、植物と動物が同じ基本的構成要素すなわち細胞から成るということを示した点で、そのような成功の一つであった。生理学は、主要な器官を細胞や巨大分子へと最大限綿密に分析することによってもっとも重要な知見をなし得た。分析の同様な成功は、生物学のいかなる分科においても示し得る。この絶え間ない成功の歴史のために、分析の発見の重要性は疑いを持たれることがなかった。

機械論者は、生氣論に反対して、すべてのものは物理学と化学の用語で説明されたなら後には何も残らないということを示すために、あらゆる生物現象をもっとも低いレベルの構成要素に分析するよう要請した。このことは、生理学者のブリュッケとデュボア・レーモンとヘルムホルツによる「生物の世界においても共通の物理化学的な力以外には何もはたらかないという真理を広めるための」有名なベルリン宣言で最高潮に達した。彼らはその主張を力というものに限定し、システムや概念、さらにプロセスには適用しなかったの

だが、それにもかかわらず、この研究法の説明力はたいへん説得力があるように見えたので、ナチュラリストのワイズマンでさえいくつかの生物学的過程を「分子の運動」によるものと気軽に語ったほどだ。

その後、生物学的現象を化学と物理学の用語で説明しようとする場合、このプロセスは分析とは言わず「還元」reduction と呼ばれた。この用語は、その後の出来事が示しているようにかなり誤解を生んだ。還元主義者たちは彼らの反対者を反還元主義者と呼んだが、これもまた適切な用語ではなかった。なぜなら、反対者の多くは、分析を有用な情報をもたらすもっとも低いレベルに進めるだけの非還元主義者であったからだ。とはいうものの、彼らはもちろん還元主義者ではなかった。生物的自然のすべてのものは“原理上”化学と物理学に還元され得るといふ科学的還元主義者の信念は受け入れなかったし(Mayr 1988)、科学におけるすべての事象は有機体のもっとも低いレベルにおいて十分理解され得るといふ信念も受け入れなかったのだ。

還元主義者と非還元主義者の両陣営とも、時が経つにつれてかなりドラスティックに変貌した。生氣論がなお活発で、それがドリーシュ、ベルグソン、J. S. ホールデン、スマッツ、マイヤー＝アービヒなどの有名な著者らによって奨励されていた間は、すべての非生氣論的な生物学者は多かれ少なかれ還元主義的な信条を取り入れた。しかし、生氣論がすたれてしまったからは、厳格な還元主義の信念はますます物理主義者に限定されるようになり、ほとんどの生物学者は全体論的な有機体説を採用するようになった。彼らは建設的な分析は受け入れたが、より極端な還元主義の形態は拒絶した。

ただ、20世紀になってもずっと、哲学者はほとんど一貫して分析と還元を混同しつづけた。しかし、還元主義者が主張したような、部分のすべてを、たとえ最小の部分にでも分離してしまうことが、ほとんどのシステムの完全な説明に十分というわけではないのである。完全な説明のためには、さらにそれらの部分間の相互作用の理解が必要なのだ。T. H. ハクスレーがずっと以前に指摘したように、水を水素と酸素に分割したら水の流動性は説明できない。

複雑な系におけるより高次のレベルの相互作用を研究する方法は、全体論的アプローチと言われる。それは、哲学者と物理主義者といくつかの生物学者が「生物学を物理学と化学に還元しよう」とするさまざまな試みと対立するものである。

どんな現象といえどもその十分な説明のためには最小部分への完全な分解とそれら部分の特性の説明が必要なだけだ、という還元主義者の主張がもし真実だったら、科学の各分科の重要性はそれが最小部分のレベルに近ければ近いほどより大きいというものだ。言うまでもなく、科学のより複雑な分科の研究者はこの主張の中に、自らの分野の重要性を高めるための化学者と物理学者の策略だけを見た。ヒラリー・パットナムが正しくも述べたように、「(還元主義が)産み出すものは、‘より高次のレベルの’科学の軽視と一体となった物理学への崇拜である。原理的に可能と想定されているものへの心酔は、実際のなものに対する、そして「実践」practiceの現実の構造に対する無関心と相まっている」(1973)。

還元主義者の対抗意識は諸科学の間だけでなくその科学内部にも存在した。分子生物学が生物学の他のすべての分科に取って代わろうとしていると思われた時代に、生化学者ジョージ・ウォルドが言ったことには、分子生物学を生物学の特定の分野あるいは異った種

類の生物学とってはいけない、「それは生物学全体なのだ」(Wald 1963)。還元主義者の同様な不遜な心情において、ある哲学者は、「古典的な生物学の研究も価値があるかもしれない」(しかし、ただ「かもしれない」というだけで) (Schaffner 1967)と恩着せがましく認めたものだ。このような表明を聞くと、ある時期、還元主義についての議論がかなり激しいものになったのは驚くにあたらない。

しかしいま振り返ってみれば、たとえばルース(1973)やローゼンバーグ(1985)の扱いのように、還元主義の問題がなぜ生物学の哲学においてかくも主要な構成部分になっていたのかは不思議にさえ思える。ハルが適切に述べたように、「生物学の哲学にとっては、生物学が化学と物理学に還元され得るかどうかがよりもっと大切なことがきつとある」(1969b:251)からだ。

分析と還元の問題の決定的な相違は何だろうか？ 分析の実践者は、複雑なシステムの理解はそれをより小さい部分に分解することによって促進されると主張する。人体の機能の研究者なら、最初のアプローチとして人体を骨と筋肉と神経と諸器官に分解する。しかし、彼らは還元主義者による次のような2つの主張はしない。その主張とは、(A) 分解は“もっとも小さな部分まで” —すなわち、原子・素粒子まで進められるべきであるということと、(B) そのような分解は複雑なシステムに対する完全なる説明を提供するだろうということ。これは、分析と還元の間の本格的なちがいを明らかにしている。分析は、それによって有益な新しい情報がもたらされる限りにおいてのみ下向きに続けられるが、“最小の構成要素” がすべての解答を与えるとは主張しないのである。

還元の種類

還元についての文献を読むと、還元という用語の使い方の雑多さにびっくりするし、かなり動揺する。やがて、さまざまな種類の還元の仕分けが必要であることがはっきりして、実際何人かの著者がそれを試みた。この問題は、論理学と、哲学の他の分科と、生物学以外の科学のさまざまな分科において取り上げられている。もっともよく知られているのは、熱力学の力学への還元の試みである。ポパー (1974) は、物理科学における還元の限られた成功を、しかしおおかたの失敗を、みごとに記述した。私自身の叙述では、生物学に関わらない還元の議論はすべてわきに除けておくつもりだ。還元主義のより専門的な扱いに関しては、ホイニンゲン＝フェーン (1989) を見てもらいたい。

分析

解明の最初のステップは、分析と還元を明確に区別することである。分析の方法は、程度の差はあれ複雑なシステムをその構成要素に分解し、もしそれが生産的ならば分子レベルにまでずっと下っていくことから成り立つ。このことは、それぞれの構成要素に個別の研究の機会を与える。それは、肉眼による解剖から顕微鏡使用へ、器官生理学から細胞生

理学へと至った連続する歴史の進路であった。ただ、分析は役に立つのと同じくらいに、その適用において重大な限界を持っている。生物学においてもっとも厳密な意味で適応可能であったのは、近接要因の研究のみであった。シンプソン(1974)とレウオンティン(1969)が示したように、物理化学的アプローチは進化生物学においてはまったく実りが無い。生物学的な組織化の歴史的側面は、完全に物理化学的還元主義の埒外にある。

分析が還元と異なるのは、分析によって明らかにされたシステムの構成要素はシステムの全属性の完全な情報を提供する、という主張をしないという点にある。というのは、分析はシステムの構成要素間の相互作用を完全には記述しないからだ。分析は複雑なシステムの研究にとってきわめて発見的な方法であるが、それを還元と呼ぶのは誤りであろう。

説明的還元

厳密な還元の提案者は、次の2つのうちの1つ、あるいは両方ともを主張する。

- (1) より高次のレベルの生物学的現象は、その一つ下のレベルの構成要素に分析されない限り理解され得ない。この過程は、純粋に物理化学的な構成要素とプロセスのレベルまで下降しつづける。
- (2) この論法の帰結として、最低レベルの構成要素の知見はすべてのより高次のレベルの再構成を可能にし、それら高次レベルの理解を余す所なく提供するというのも主張される。還元主義者のこれらの主張は、全体は部分の総和以上のものではない—創発特性というものは存在しない—という確信に基づいている。

経験は、還元主義者のこれらの主張はごくまれにしか確証されないということを示した。その失敗の理由をいくつか列挙しよう。

複雑なシステムの研究において重要なことは組織化ということである。分析のより低レベルへの下降は、前のレベルの分析の説明力をしばしば低下させる (Kitcher 1984:348)。腎臓を構成するすべての分子の一覧表が与えられたとしても、腎臓の構造と機能を推論することはできないだろう。

この議論はまた、複雑な生物学的システムにとってばかりでなく非生物学的システムにとっても当てはまる。もしハンマーというものの本性と機能を理解したいなら、力学の適切な法則を適用すべきである。もしもそれに次ぐ低いレベルでハンマーを分析しようとし、たとえば握りの部分がどんな種類の木でつくられているかを特定しようとして顕微鏡でこの木の構造を研究したり、握り部分の構成成分を分子、原子、素粒子へと化学によって下降しつづけたとしても、「ハンマー全体として」の属性の理解には何一つ付け足されるものはないだろう。実際、握りは(今どきのハンマーのように)プラスチック、あるいは丈夫な軽金属で作られている場合もある。ハンマーを構成し、その機能の説明を可能にするのは、握り(柄)とハンマーの頭の結合体なのだ。

統合の一つ低いレベルへとシステムを下降分析することによってより良いより完全な理解へ自動的に導かれる、という主張がいかにもちがっているかを十分に示した例を、幾千もあげることができる。現に、下降分析の過程においてはいつも、分析があと少しでも下に進められるならシステムの全体としての意味が壊されてしまうというレベルに遅かれ早かれ到達するのである。

一番現実をよく見ている物理学者は、固体物理学や素粒子物理学の華々しい前進が中間世界のわれわれの概念に実際は何のインパクトも与えなかったということを認めている。これは還元主義者にとってかなり痛みの伴う告白である。彼らはかつて、もっと大きな粒子加速器が建設できればすぐにでも世界の未解決の謎のすべてが解決されるだろうと、たいへん声高に主張していたのだ。実際のところ、陽子、ニュートリノ、クォーク、電子、その他どんな素粒子の余す所ない知識があったところで、生命の起源や個体発生時の分化や中枢神経系の精神活動の説明に少しも助けにならない、ということは今日まったく明らかである。これに対立する主張が意気込みすぎの還元主義者によってしばしばなされるが、それには何ら根拠がない。

このことは、分析が‘時折’「上向きの解明」を生み出すことを否定するものではない。たとえば、ワトソンとクリックによるDNAの構造の発見が、DNAの2つの主要な特性—複製と情報伝達の方式—の説明を可能にした。

説明的還元主義の一貫した失敗は、生物学的分析においては別のアプローチを取らねばならないということを示している。それは、(A) すべての生物学的システムは秩序あるシステムであって、その多くの属性はこの組織化に負っており、単に構成要素の化学的—物理的属性のためではないという洞察、(B) より低次のシステムの属性に必ずしも還元できない（それでは必ずしも説明できない）より高次のシステムの属性をもった組織化のレベルが存在するという洞察、(C) 生物学的システムは、物理主義者の還元主義的分析では接近できない歴史的に獲得された情報を蓄積しているという認識、(D) 創発ということがしばしば起こるという認識、に基づいているべきである。複雑なシステムにおいては、そのシステムの構成要素の知識によっては表せない（予測できない）属性がしばしば創発するのである。

創発

創発 emergence とは、複雑なシステムにおける予期されない特徴の出現のことであるが、生物学の哲学においては長い間大いに議論の的になっている。それは本当に出現するのか？ もしそうなら、何がそれを惹き起こすのか？ それは必然的に、形而上学的あるいは超自然的な要因を暗示するのではないか？

マンデルバウム (1971 : 380) が指摘したように、各種の要素からなる全体はその構成要素には認められない諸属性をもっているという見方は、19世紀の中頃から広く受け入れられている。その原理はすでにミルによって述べられていたが、ルイス (1875) は問題の綿密な分析を提示したばかりでなく、この現象に「創発」emergence という用語を提案した。

また、グージ (1965)、マンデルバウム (1971)、アヤラとドブジャンスキー (1974)、マイアー (1982 : 63, 863) によって、この問題についての有益な取り扱い方が提示されている。ロイド・モーガンはその著書『創発的進化』(1923) で、この概念をとくに一般に広めた。ポパー (1974 : 269) にとってこの用語は「予期できそうにない進化上のステップ」を表していて、それゆえに創発という用語は、生命や心、人間の意識の進化的起源に関連して特に頻繁に使用された。

還元主義者と非還元主義者 (=全体論者) のもっとも決定的な違いは、創発に対する受けとめ方にある。還元主義者にとって、全体はその部分の総和以上のものではない。それは創発特性というものを持っていない。全体論者にとっては、統合のより高いレベルでの特性と作用様式は、分離された構成要素の特性と作用様式の総和によって完全に説明できるというものではない。この考え方は、「全体は部分の総和以上のものである」という古典的な言明においてよく表現される。創発という用語が何か形而上学的なものを暗示しているように信じられて、この現象のためにいくつかの他の用語が導入された。たとえば、ローレンツ (1973) による「ひらめき」fulguration やシンプソン (1964) とドブジャンスキー (1968) による「構成主義」compositionism である。

長い歴史の間に、「創発」という用語はさまざまな哲学的観点を持つ著者たちによって採用された。これはとりわけ生氣論者に流行ったが、ベルグソンや他の人たちの著作から明らかのように、彼らにとってそれは形而上学的原理であった。この解釈は彼らの反対者のほとんどによって共有され、J. B. S. ホールデン (1932 : 113) は、「創発の教義は、……科学の精神に根本的に反している」と述べた。創発に対するこの反対は、創発が単純な機械論的説明と対立しているとすぐに分かるような3つの属性をもつことに起因している。すなわち、第一に、本物の新しさ—つまり、それまで存在していなかったある特徴やプロセスが生み出されること。第二に、この新しさの特徴は量的でなく質的であり、それは以前に存在していたいかなるものとも似ていないこと。第三に、創発は、宇宙の状態の理想的で完全な知識に基づいてさえ、それが起こる前には実際にばかりでなく原理的にも予測できないこと。

創発の擁護者は、それが広範囲に発生することで立証されるように、このプロセスは自然の内在的属性であるとありのままに見なすべきだと力説した。彼らは、複雑なシステムがより単純な構成要素から成っている場合は、いつでも新しい属性が創発し得ると指摘する。これはすでにミルとルイスによって示され、T. H. ハクスレーが、水素と酸素という2つの気体の化合物である水の「液体性」の創発を引例したことで広く知られるようになった。1950年代、創発を受け入れたニールス・ボーアもまた、創発の原理の実例として水を使用した。水の形成の場合のような分子レベルでの予期せぬ属性の創発は、創発が経験的な原理であって形而上学的なものではないということをとりわけ説得的に示す。これはまた、もう一つの簡単な例—握りと頭を連結したときの「ハンマー」という属性の創発によっても示し得る。

創発主義に対する還元主義者のよくある反対の一つは、創発によっては何も新しいものは生み出されないということである。しかし、この主張は半分だけ真実であるに過ぎない。確かに新しい物質が生み出されるわけではない。ハンマーは、握りと頭という分離された

構成要素と同じ物質から成る。しかし、それでもやはり何か新しいものが握りと頭の相互作用から生み出されたのだ。木製の握り自体もハンマーの頭も、ハンマーの機能を（いかなる効率をもってしても）遂行することはできない。2つが一緒になるとき、ハンマーの属性が「創発する」のである。そして、この新たに付加された相互作用が、分子レベルから上へと創発されたすべてのシステムの決定的な属性で「ある」のだ。創発は、それまで関連のなかった構成要素の新たな関係（相互作用）によって生じる。実に、このような関連性の重要性を考慮に入れないことが、還元主義の基本的な失敗の一つなのである。ハンマーの頭と握りの関連性は、それらが組み合わせられない限り存在しない。同様なことは、複雑な生物学的システムにおけるすべての相互作用に当てはまる。分離した構成要素を扱うだけでは、それらの相互作用については何も分らない。そして、生物の世界におけるこうした相互作用は、（無性生殖のクローンを除く）すべての生存する個体にとって唯一的であるから、還元主義者の主張はその唯一性によって反駁されるのである。

実際に仕事をしている科学者にとって、何か質的に新しいものの創発は日常的に遭遇する事実である。彼らはこの現象に困難を感じない。なぜなら、より高次のシステムの属性は構成要素の属性にばかりでなくそのシステムの秩序にも起因する、ということを知っているからである。何人かの著者は、新しい表現型はとびとびのステップによって分離されているのだから創発はダーウィンの漸進的進化の理論と対立すると主張した。しかし、この反論は、表現型の漸進性と個体群の漸進性を混同することから起きているのだ。重要なのは進化的変化は個体群において起こるということであり、関連した表現型のいくらかの不連続性を考慮するのは的外れである。

進化上の創発がいかなる形而上学的根拠ももたない経験的現象であることは、今日きわめてはっきりしている。この原理を受容することは、それまで進化プロセスの機械論的説明に対立するよう見えた現象を説明する助けになるのだから、まことに重要である。それはまた、進化プロセスでの新しい形質の起源を形而上学的原理に訴えるどんな必要性も排除する。

理論還元

説明的還元主義が、哲学者に推奨されたただ1種類の還元ということではなかった。実は彼らの多くは、「理論還元」theory reduction と呼ばれた還元の様式を支持したのだ。還元のこの様式は、科学の一つの分野の理論と法則は、科学の何か別のより基礎的な分野、とくに物理科学で定式化された理論と法則の特殊な例にすぎないという主張に基づいている。この信念によれば、生き物の世界で観察されるすべての規則性（“法則”）は、物理科学の法則と理論の特殊例にすぎない。したがって、科学哲学者の任務は、科学の統合を達成するために生物学の理論を物理科学のより基礎的な理論に「還元する」ことなのである。

科学者たちは概して理論還元にはほとんど興味を示さなかった。それは主に科学哲学者たちの関心事であったのだ。実際、彼らがもっとも大きな関心をもったのは、還元のその様相である (Hull 1972)。古典的な取り扱いはネーゲル (1961) によってなされた。理論還

元はさらに、シャフナー（1967, 1969）とルース（1971, 1973, 1976）によって盛んに促進され、ローゼンバーグ（1985）によってやや慎重に推進された。決定的な反論は、ハル（1974）とキッチャー（1984）とキンケード（1990）によって提出された。

理論還元の手順は通常次の通りである。「もし（組織化の高次レベルに関する）理論 T_2 がそれ自身の基本用語をもっていないなら、すなわち、もし（より低次レベルに関する）理論 T_1 の概念装置が理論 T_2 を表現するに十分ならば、理論 T_2 は理論 T_1 に還元される」。強い還元の条件をより簡潔に述べるなら（Ayala 1968）、科学のより特殊な分野をより基礎的な分野に還元するために、以下の2点が示されねばならない（Nagel 1961による）。

- (1) より特殊化した科学の法則と理論のすべては、より基礎的な科学の理論的構成物の論理的帰結であるということ。これは「導出可能性」derivability の条件である。
- (2) この還元が成し遂げられるためには、より特殊化した科学の専門用語のすべてがより基礎的な科学の用語で再定義可能でなければならないということ。これは「接続可能性」connectability の条件である。

接続可能性の仮定は、生物学理論の還元に関しては特別な困難に出会う。なぜなら、生物学の概念枠組みは物理科学の概念枠組みとまったく異なるので、生物学用語を物理学や化学の用語に変換できる可能性はほとんどないからだ。生物学のさまざまな分野の著作の用語解説をよく調べれば、何千とまではいかないが何百ものこうした変換可能性のない生物学用語に出会う。少しの例をあげるだけだが、たとえば、テリトリー、種分化、雌の選好、創始者原理、刷り込み、親の投資、減数分裂、競争、求愛行動、生存闘争などである。生物学概念のこの変換不可能性は、すでにウッジャー（1929: 263）が知っていた。その後、とくにベックナー（1959）がそのことに注意を喚起し、多くの例を列挙した。

還元主義の哲学者たちはよく、メンデル遺伝学を分子遺伝学に還元する試みを通して、彼らの主張を裏付けようとした。しかし、ハル（1974）ととりわけキッチャー（1984）は、この試みがいかに不首尾に終わったかを示した。理論還元を不可能にするのは生物学の用語だけというわけではない。物理学や化学の法則と接続可能な生物学の一般法則化はごくわずかしかないという事実もまた、理論還元を不可能にするのである。また、複雑な生物学的システムに関わる法則の少なさも、一つの特殊な困難をもたらしている。こうしたすべての証拠を見て、ポパー（1974: 269, 279, 281）は次のような結論を下した。「一つの哲学として、還元主義は失敗した企てである……われわれは創発的な新しさの世界に生きている。通常、どんな先行する段階にも完全には還元できない新しさの」。

理論還元がときにうまくいきそうになるのは、近接要因の生物学においてだけである。他方、歴史的な進化的理論の原理は決して物理学や化学の法則に還元できない。幾人かの還元主義者の主張に反して、これは生物学に対してよく言われるいかなる未成熟ということとも関係がない。実際、この40年間に分子遺伝学によって得られた新しい洞察は、前よりもさらにはっきりと還元を不可能なものにした。

還元主義の失敗の帰結

ルースが「今日の偉大な生物学者の多くは、なぜ生物学上の還元主義者のどんな種類の命題にも断固として反対するのか？」(1973 : 217)と問うたのは、そんな何年も前のことではない。今日、その答えは明白である。それは、これらの生物学者が、科学哲学でその当時幅を利かせていた物理主義者たちよりも生物学の諸問題の本質をずっと良く理解していたからである。還元主義の本性、とくにそれが分析といかに異なるかがより良く理解された後、科学哲学において還元主義の人気は急激に衰えた。

還元と哲学

還元についての私の扱いは、科学者としてのものである。科学哲学者なら、科学哲学の法則、論理、概念装置についての議論に基づいて、この問題をもっとちがったやり方で扱うだろう。そうしたアプローチの典型的な例は、ローゼンバーグ(2001)の「歴史科学における還元主義」である。ほとんどの科学者は、そうした「哲学的」取り扱いが現象やプロセスの理解に何を付加するのか分らないし、還元は、構成要素の相互作用を考慮しそこなうことによって約束したことを実現できない。結局それは、いかなる生物学の哲学の構築においても無視することができるのである。