

勃興期の分子生物学から見た進化と総合

佐藤直樹 (Naoki Sato)

東京大学大学院総合文化研究科

進化的総合 Evolutionary Synthesis は、「総合」という言葉が使われる生物学史的現象の代表であるが、その意味内容は十分に注意して吟味する必要がある。ここでいう総合は、日本語では曖昧に使われることが多いが、西洋語では、These – Antithese – Synthese（ここではドイツ語を示す）のように、弁証法的な総合として認識されることが多く、フランスでも基礎教育の段階でこのような3段階論理がたたき込まれる。そのため、話者が意識的に用いたかどうかは別として、このような論理構造を背景とした言葉遣いとして理解したい。その意味で、統合 integration や統一 unification などよりも、相対立するものの総合というニュアンスが強いものと思われる。実際、進化的総合は、自然選択に基づくダーウィン派の進化論と、遺伝子の安定性に立脚するメンデル派の遺伝学の対立を、変異の選択というトリックにより解決して見せたという点で、総合のお手本ともいえよう。Morange は最近の著書[1, p313]で、「進化的総合は新規の観察の直接の結果ではなく、遺伝学、植物学、動物学、古生物学、集団遺伝学などの観察をまとめたもの」と冷ややかに述べている。

私が生物学の基礎教育を受けたのは1970年代であるが、当時、Monod の『偶然と必然』[2]が評判で、分子レベルで起きる変異（現在の遺伝学用語としては、「突然変異」ではなく、「変異」と呼ぶことになっている）が選択されて、進化が起きるという理論が当然のごとく教えられ、私たちが信じていたものであった。しかしマクロな形態の進化はどうやって起きるのかについては、皆不思議に感じており、変異の積み重ねでいずれは新しい種が生まれるのだろうと、漠然と信じていたのが実情である。今にして思えば、この素朴な疑問が、後の進化発生生物学 Evo-Devo につながったのであるが、当時は、マクロな話をするのは、分子生物学から取り残された「時代遅れの」生物学者と見なされていた。この状況が大きく動いたのは、木村資生の中立説(1968)に理論的根拠をもち、情報理論とコンピュータの驚異的發展に支えられた1980年以降の分子系統学的發展による。本発表ではこのあたりの時代に焦点をあて、総合の意味について考えてみたい。

異分野の科学の接触により新たな研究分野が生まれるということは、科学史上でしばしば起きている。進化の総合説もその一つと見ることができる。遺伝学という変異を扱う分野、集団遺伝学という変異の頻度を統計的に扱う分野、そして変異の選択による進化原理である。しかし、異分野が結びついたときに起きることは、必ずしも単純ではない。部外者から見れば、異なる disciplines の融合という麗しき事件かもしれないが、実験をする科学者の立場からすると、現実に異分野が融合できるはずなどないとも言える。生化学を例にとってみよう。代謝や酵素を扱う生化学が20世紀前半に発展し、その中で、自由エネルギーや平衡といった熱力学的な概念が導入された。すでに半世紀以上前のことであるが、今現在の生化学教育においても、実は大きな問題となっている。生化学反応は原理的には熱力学の対象であるが、まじめにすべてのパ

ラメータを求めて計算するということは現実にはできない。ATP という「エネルギー通貨」をとってみても、さまざまなイオン化状態や Mg, Na, K などとの結合状態の異なる多くの分子種の総和としてしか計測できないため、個別の分子種の正確な熱力学的考察が難しく、バルクの ATP という曖昧な形でしか扱えないのである。生化学を熱力学に「還元」することにより、両分野の融合が図られるはずなのだが、その還元を徹底的に進めることは無理なのである。同様のことは他の多くの分野間融合でも見られる。そもそも本当に融合できるのなら、基本原理だけですべて説明できることになり、生化学など要らないことになってしまう。同じことは進化の理論でも言えて、進化をすべて集団遺伝学に還元できるのなら、進化論は必要なくなってしまう。

分子生物学には、もう少し違った事情がある。実際、分子生物学の何たるやを、私自身最近まで理解していなかったように思う。生化学と分子生物学は、現在ではほとんど同じになって、学会も共同で開催する位であるが、誕生したときの分子生物学は生物物理学の一分野であり、有機化学の一分野として生体成分を分析していた生化学とは、むしろ対立する存在であった。なぜ「分子」生物学なのか。それは、生物のもつ「生物らしさ」を体現する分子を見つけたことにより、生き物の不思議は、その分子に内在する性質と見なされたからである。これも Morange の鋭い批評であるが、「Watson & Crick は何も新しい実験をしたわけではなく、他人の実験結果を利用しただけであった」[1, p281]。しかし彼らのモデルには、生物繁殖の原理である複製のしくみが内包されていた。これが、「分子」で生物学ができるという原理である。20 世紀前半まで、酵素はまだ「分子」ではなく、半ば生きている存在であり、Monod 自身の 1940 年代の説にもあるとおり、生物同様、酵素が自身の性質や挙動を変えることにより適応すると思われていた。これに対して、DNA は正真正銘の分子でありながら、生物の繁殖のモデルとなりえた。同様のことは、Jacob & Monod のオペロン説(1961)や Monod らのアロステリック制御(1965)についても言える。彼らはこうした分子装置そのものの中に、「生物の生物らしさ」が体現されていると考えた。これらの「分子」を研究すれば、生物の神秘が解明できるのだった。この発想は、Schrödinger [3]が遺伝子のもつべき性質を考察したときに遡るが、同じ本に述べられた開放系としての生命の方は、単独の分子に限局されないシステム原理に基づく点で、性格が異なっていた。分子生物学は化学と生物学の融合ではなく、物理学者の原理主義的信念の表明から始まったのである。

現在の生命科学は、ゲノム科学を取り込んで、分子間の相互作用に基づくシステム的な理解へと進んでいる。生物の生物らしさは、いまや分子の中ではなく、システムの中に内包されていると考えるべきだろう。Evo-Devo もシステム生物学の一分野と言ってよいのかもしれない。しかし、何でもシステムで理解できると言ってしまうと、これまた単なる信念と言われかねない。システムが総合のキーワードとなるのか、新たな理論が出てくるのか、生物学の現代史は目が離せない。

[1] Morange, M. (2016) Une histoire de la biologie. Seuil.

[2] Monod, J. (1970) Le hasard et la nécessité. Seuil.

[3] Schrödinger, E. (1944) What is life? Cambridge.