

## エボデボほどの程度革命的なのか

戸田山 和久

名古屋大学情報科学研究科教授

次の諸テーゼの集合体を「Modern Consensus」と呼ぶことにしよう。これは、進化の総合説とセントラル・ドグマとが融合したものだ。(1) genetic informationism 遺伝子は種に特有の発生のための情報をすべて持っている。(2) gene as the unit of heredity 遺伝子は遺伝の単位である。(3) development as gene-expression 遺伝子に蓄えられた情報が発現する過程が発生である。(4) genetic animism 遺伝子は発生過程をコントロールするプログラムである。(5) genetic primacy 遺伝子が発生の第一原因である。(6) evolution as genetic change 進化とは遺伝子プールにおける遺伝子頻度の変化である。

Modern Consensus の典型を Jaques Monod の次の言葉に見ることができる。「発生に必要な情報はすでにそこにある。発生は creation ではなく revelation である。」

近年の遺伝子発現のメカニズムの研究、あるいは発生生物学、とりわけ「エボデボ」と呼ばれる進化発生生物学の展開にともなって、こうした Modern Consensus にある種の揺らぎが生じているように思われる。

まず、DNA メチル化やクロマチン修飾のような、ヌクレオチド配列の変化を伴わず、かつ細胞分裂を経て伝達される遺伝子機能の変化が注目され、Epigenetics という分野が成立した。さらに、Jablonka & Lamb は、epigenetics が見いだした遺伝子発現調節メカニズムのうちのあるものは、DNA 塩基配列とは独立に親から子へ「遺伝」することに注目し、それを Epigenetic Inheritance Systems として一般化した。世代間情報伝達は遺伝子の専決事項ではないかもしれないという問題意識の成立である。Epigenetic Inheritance Systems は細胞外にも拡張して考えることができる。世代を渡って伝達される共生生物や host imprinting などがある一例である。

それでも、DNA は遺伝情報伝達のメインだ、と考えたくなる。なぜなら、DNA はタンパク質の一次構造を直接コーディングしているからだ。しかし、遺伝子の下位モジュール性の発見は、遺伝子に表現型の発生情報がそのまま書きこまれていると言いくらい状況をつくっている。進化の多くは、新しいモジュールが生じることによるよりも、モジュールのかき混ぜによって起こっていることが多いのではなかろうか。遺伝子がやるのは、各モジュールのコーディングまで。そのモジュールの組み合わせは、遺伝子にコーディングされていず、状況依存的にその場で決まるのかもしれない、という考え方である。

このような状況を背景として、さらにエボデボが登場した。発生に関与する遺伝子を種間で比較する、発生学と進化学の境界領域である。発端は、1980年代に、ショウジョウバエの身体づくりで重要な役割を演じているものとして特定された遺伝子の多くが、ヒトもふくむ動物の大半でも見つかったことにある。器官形成、パターンづく

りを支配する遺伝子群が、蠅も小鳥もヒトもほぼ同じだとするならば、どのようにして動物の形態の多様性は進化したのだろうか。エボデボは、この問いに対して、新しい発生パターンが進化を生み出すのだと答える。発生過程の **modification** が進化的変化を生み出している、というのだ。

エボデボと **Modern Consensus** との関係は微妙である。発生過程のタイミングも、遺伝子に支配されているのであれば、それは **Modern Consensus** の強化であり、完成形態だと言えらるだろう。しかし、エボデボの推進者の中には、エボデボはもっと革命的であり、**Modern Consensus** を根本的にくつがえすと考える人々もいる。たとえば、**Scott Gilbert** は **polyphenism** に注目する。同じ遺伝子型から、環境によって違う種と思えるほど異なった表現型が生じることがあり、表現型は遺伝子型からは予測不可能・説明不可能だと言うのである。エボデボのもちうる反 **Modern Consensus** 的帰結を最大限に強調するグループとして、近年、**Constructivist** とか **Developmental Systems Theorist** と呼ばれる人々が現れた。彼らは、上記の諸成果を根拠として、**Modern Consensus** のほとんどすべての論点を批判する。(1) **rejection of genetic informationism** 遺伝子が発生のための情報をすべて持っているわけではない。(2) **nonpreformationism, ontogeny of information** 発生情報は個体発生に先立って存在するのではない。さまざまな種類の発生リソースの相互作用から創発する。情報そのものが個体発生する。(3) **contextualism, cycles of contingency** 発生のリソースが正しいときに正しい仕方集まれるかどうかは偶然であり、プログラムはない。とりわけ遺伝子が発生のプログラムをもっているわけではない。(4) **causal co-interactionism** 発生は遺伝子にコード化された遺伝情報の発現ではない。発生の原因を、**genetic/nongenetic** に二分し、前者を形相因、後者を質料因とする考え方を拒否。(5) **causal dispersion, distributed control** 発生に関わる情報も因果的効力も細胞内に散らばっている。遺伝子もリソースの一つであって、他のリソースを使う司令塔ではない。(6) **extended inheritance** 遺伝子は遺伝の唯一の単位ではない。もっと多くのものが遺伝されている。(7) **evolutionary developmental systems** 自然選択は発生多様体全体に働く。進化は **developmental system** のすべてのレベルの要素に働く。遺伝子プールではなく、**developmental system** の変化を進化と呼ぶべき。

さてそうすると、科学哲学者にとって興味深い問いは次のようなものだ。エボデボは果たしてどの程度革命的なのか。それは **Constructivist** たちが言うように、**Modern Consensus** を完全にくつがえし、生物学を全面的に革新するものなのか、それとも、**Modern Consensus** を補完する程度のものなのか。遺伝子は、世代間情報伝達、発生、進化の説明において、特権的地位をもつものなのか、それとも数多あるリソースのうちの一つにすぎないのか。基本的には、こうした問いは、今後の研究の進展によって答えられるべき問題ではある。しかし、現時点で問題を整理して、ある程度の見通しを立てることもできるのではないかと思われる。こうした問いについての私の考え方を示したい。