

【エッセイ】

構造の中に潜む情報 Transient structural change and information transfer

林 博 司*

Hiroshi HAYASHI

生物の持つ不可解な側面は、かなりの昔から、今風に言えば自然科学者に近い人々をはじめとする、多くの知的探求者の興味を惹きつけていたと思われる。多くの先人が生命について説明を試みてきた記録がその証拠であろう。記録のない時期にも当然生命について考えた人々も居たであろう。時代が進んで、ルネッサンスを迎えるころには、宗教との葛藤などさまざまな紆余曲折を経ながらも、生命現象は物質科学として説明できるという考え方が少しは説得力を持つようになった。

産業革命時代、つまり熱機関を利用する時代になり、それに呼応して熱力学の理論が確立すると、エントロピー増大の法則を生物が無視していることがわかってしまう。現存する殆どすべての生物で、長い時には何億年にも亘って、親と子孫が見かけ上同一であるという規則性が保たれていたからである。自然はすべて混沌に向かうはずなのだが、生物は個体が死滅して混沌に向かう前に、秩序を次の世代にそのままの形で譲り渡していたのである。「親が子に伝えているものが遺伝子」という概念とエントロピー増大の法則を結びつけば、遺伝子は負のエントロピーを運ぶということになる。言い換えれば遺伝子は混沌から規則性を作り出すものであり、遺伝子は情報であると考えて矛盾が生じな

い。

生命現象は遺伝情報を解明すれば説明できるとする〈情報学派〉と、生命体を構成する分子の構造を解明することに主眼を置く〈構造学派〉の流れが生まれたが、これは表立った対立ということではなかった。どちらかといえば研究の手法の違いと見る方が妥当であろう。

1953年ワトソンとクリックによりDNAの二重らせん構造が提唱された。このモデルは、X線によるDNAの立体構造の解析結果と、DNA構成成分の化学的な分析の結果とを共に満足し、しかもメンデルの法則をも説明できるものであった。このDNA構造の発見は、その後の爆発的な生命科学の発展を支える基礎となった。

DNAの二重らせんの一方の鎖に着目すると、その鎖上には、A、C、G、Tの記号で表記できる、4種類の塩基が一見乱雑に並んでいる。その並び方は向かい合ったもう一方の鎖の塩基の並びと相補的である。塩基は対合する相手が決まっており2組（つまりA:T、C:G）の対合しか許されない。換言すれば一方の鎖の構造が分かれば、対応するもう一方の鎖の構造が分かるという事である。こうした構造を持つ二重らせんを解いて、一本になった鎖の向かい側に新たな鎖を相手の鎖と相補性を保つようにして新しく二重らせんを合成しなおすと、始めと同じ

* 愛知淑徳大学文学部図書館情報学科

二重らせんが2本に増えるのである。こうして母細胞から娘細胞へ、親から子へと原則として全く同じ構造を持ったDNAが伝えられてゆくメカニズムが解明された。

遺伝子と呼ばれていたものの実態は、DNAの塩基順列で書かれた蛋白質の設計図であった。塩基順列が指定するとおりに20種類のアミノ酸を一列に並べて蛋白質を作らせるのである。4文字からなるDNAの文章を20文字からなる蛋白質の文章に翻訳するコーディングである。単純な算術で分かるように、塩基2文字では20種類のアミノ酸を指定できない。塩基3文字を使うと可能な配列は64通りあるので20種類のアミノ酸を指定でき、さらに蛋白質への翻訳の開始や終止まで指定できる。塩基3文字からなるコード64個の解明は開始コード1個と終止コード3個を含めて1966年に終わった。

3文字の塩基の並びをコドンと呼ぶが、コドンと対応するアミノ酸を結びつけるのは、コドンと相補的な塩基配列であるアンチコドンを持った小さなRNA分子(tRNA)である。RNAはDNAと基本的によく似た、あるいは同一の塩基を持っている。あるアンチコドンを持ったtRNAにはそのアミノ酸コードにあったアミノ酸が酵素によって結合される。アミノ酸を結合したtRNAはDNAから読み出されたコドンの並びに順序良く結合し、コドンの並びに従ったアミノ酸の順列を持った蛋白質が合成されてゆくことになる。

上述した遺伝情報の翻訳過程は、関係する分子の種類が多いため複雑に見える。しかし基本にある規則は単純で、鍵と鍵穴に例えられる規則であった。つまり、分子Aと分子Bが特異的に相互作用をするという規則である。もう少し具体的に実例を示せば、次のようになる。コドンとアンチコдонはお互いの構造が相補的で、ピッタリくっついたときが一番エネルギー的に得をするということである。得をするエネルギーの大きさは熱振動のエネルギーと比べて格段に大きいわけではないので、熱攪乱によって100

万回に数回くらいは間違いが起こるが、それほど大問題ではない。何故なら、こうした一連の過程には間違いを訂正する編集作業に似た機構までが用意されているからである。稀にこうした編集機構をすり抜けてしまう間違いもある。これもたいした問題ではない。間違いが新しい可能性を生み出すこともあるからだ。せっかく間違えたのだからと受け入れる大らかな自然があるということだ。

以上をまとめると、DNA情報を蛋白質の配列に翻訳する過程は、翻訳機構に関わる分子の構造に基づく特異的相互作用で定められていて、それらの分子の構造に変化が起こると、情報は必ずしも正しく伝えられないということになる。実際に、たとえば終止コドンが分からないという構造変化が起こる事例が確認されている。

情報が正しく伝わらないのは、情報伝達の過程に含まれるいずれかの因子が、情報を操作したことを意味する。その操作を可能にしたのは、過程に関与する分子の構造変化だということになる。こうした観測を説明するために、分子の構造の中に情報が潜んでいると考えて間違いはなかろう。

情報の変換機構には単一の分子よりはむしろ複数の分子が関係することが多い。これらの分子はその役割について序列化が可能である。情報発現のための蛋白質の系統図が出来るのである。こうして出来た情報の発現構造から逆に情報変換過程の詳細を考えることも出来そうである。それは、会社の組織図から、その会社の実力を判断できることと似ているかもしれない。つぎに、この考え方を基礎に置きつつ、細胞レベルでの情報変換を考えることにしよう。

多くの生物は有性生殖を行う。たった1個の受精卵が分裂を繰り返して、皮膚、消化器、呼吸器、神経、等々多くの器官に分化してゆく。初期の受精卵では細胞はそれらの器官のいずれにもなれる万能性を持っている。細胞分裂が進むと細胞に役割分担が生じる。将来何になれるかという可能性が徐々に減殺されて、まずは多能

性細胞と呼ばれる状態になる。可能性は減り続け、最終的にはたった一つの可能性しかない細胞、即ち終末分化細胞の状態に到達する。終末分化細胞の状態では、たとえば、肝臓の細胞は肝臓の細胞以外の何者でもなくなる。

これはコンピュータのディレクトリー構造に似ている。受精卵は初めルートディレクトリーにあるが、発生が進むにつれて、一部の細胞群は外胚葉のサブディレクトリーに入り大脳・小脳・目あるいは皮膚のいずれかにしか分化できなくなる。別の細胞群は中胚葉のサブディレクトリーに入り筋肉、骨、あるいは血液のいずれかにしか分化できなくなる。最後の一群は内胚葉のサブディレクトリーに入り内臓あるいは生殖細胞にしか分化できなくなる。

一旦サブディレクトリーに入り込んだ細胞は二度とルートディレクトリーには戻せないと考えられていた。実際生物が普通に健康に生きている状態では、細胞がひとつ上のディレクトリーに戻ることは無いと考えて矛盾は無かった。ルートディレクトリーから離れる時には、DNAの化学構造に何らかの修飾が加えられ、ディレクトリー構造を下へ下へと不可逆的に進むと考えられていた。

終末分化の状態にある体細胞で、いくつかの特定の遺伝子を活性化させると、細胞が上のディレクトリーに戻ることが示され、最終的にはルー

トディレクトリーまで戻った万能細胞が出来ることが最近示された。どうやらディレクトリーを移動する際に、DNAに加えられた分子構造の変化を元に戻すことによって、限定的であった細胞の運命を受精卵に近い多様な可能性を持つように戻す手立てが見つけられたのである。別の言い方をすれば、化学構造の中に秘められた情報を変化させることにより、運命的に見えた細胞の可能性を変えることが出来たのである。この発見は臓器の再生という新しい医療が生まれる可能性を示しているが、今回はこの詳細は取り上げない。

ここまで論じたのは、細胞あるいは個体のレベルについての、内包的な情報処理と、種々のレベル(分子、分子集合、細胞、細胞集合)での広い意味での構造との関係であった。ここからは個体と個体の外部から伝わってくる情報との関係を、構造と情報という視点で、問題にしようと思う。

個体の中での情報処理は、遺伝情報はもとより感覚情報の処理も間違いが起こることは少ない。間違いはむしろ「稀有の実際」に近いといってよかろう。しかし、個体間の情報伝達は、どちらかと言えば伝わらないのが普通と考えた方がよさそうである。

親密な関係の二人の間では「あれどうした?」「旨く行きました。」などといった会話が成り立つが、一般的には情報は伝わらないことの方が多い。上の例でも「あれ」の中身が違うことがある。そうした時は実は情報は伝わっていない。なぜ伝わらないかといえば、両者の持っている内部変数が違うからだ、散文的には表現できる。

実は、われわれヒトを含めすべての生物が外からの情報を処理するときに、内部変数として蓄えられていた過去の情報と比較して、応答の方向を決めているらしい。内部変数と、外部からの刺激を比較して、刺激の時間変化が内部変数に比較して閾値を越えると応答するのが普通なのである。したがって、時間的にゆっくりと



著者近影、最終講義
(2009年1月23日 741教室にて)

変化する刺激には応答できない。何故なら、内部変数も時間遅れでゆっくりと変化して刺激の変化に追随するため、閾値を越える差が生じないからである。こうした実例として、カエルをゆっくりと温度の上がる風呂に入れると、茹で上がるまで退避しないと言う観察がよく引き合いに出されるが、ヒトも大腸菌も例外ではないらしい。

こうした内部変数は蛋白質の化学的修飾の度合いから脳のニューロンの結合パターンの変化など多彩なレベルでの構造的な変化として蓄えられているらしい。

情報が無いという空白の時間すら、ひとつの情報になっている。音楽の休符、役者の台詞の間、絵画の背景、生け花の空白の場所、こうした構造的な因子にも間違いなく情報が含まれている。

情報とは何かを考えさせてくれた7年間の有難さを、このような拙文に纏めた。