

生命を「動的平衡」の 観点から考える

ゲスト◎分子生物学者 青山学院大学 化学・生命科学科 教授

福岡 伸一氏

プロフィール◎ふくおか・しんいち

1959年東京生まれ。京都大学卒。米国ロックフェラー大学博士研究員、京都大学助教授等を経て、2004年より現職。分子細胞生物学専攻。研究のかわら一般向け著作・翻訳も手がける。『生物と無生物のあいだ』（講談社現代新書）は、60万部を超えるベストセラーになり、2007年度サントリー学芸賞を受賞。そのほか、『もう牛を食べても安心か』（文春新書、科学ジャーナリスト賞）、『プリオン説はほんとうか?』（講談社ブルーバックス、講談社出版文化賞）、『ロハスの思考』（ソトコト新書）、『できそこないの男たち』（光文社新書）など著書多数。最新作は『動的平衡』（木楽舎）。

私たち生命体すべての 生命現象を表す「動的平衡」とは

——まず初めに、先生の著書のタイトルにもなっている「動的平衡」について教えてください。

動的平衡の平衡とはバランスを意味します。私たち生命体の身体は、タンパク質や炭水化物、糖質、核酸などさまざまな分子からできていて、一見するとプラモデルのようです。

プラモデルと違うのは、このパーツ（細胞や分子）は、情報やエネルギーといった見えない糸でつながり、常に互いに情報を送りながら他を律しており、絶え間なく分解されて新たに合成されているということです。私たちの身体は一年前と今ではすべて変わっていると言えるほど、ダイナミックな変化の流れの中にあります。

そして、細胞や分子が更新・交換されているにも関わらず、見えない糸のつながり方は切れないという事実が重要です。生命にとって重要なのはパーツではなく、個々の関係性とそれが織り成す効果にあると言え

るでしょう。

常に入れ替わる細胞が互に関係性を結び、そうして全体としてバランスを取っている。この一見危ういバランスの中に成り立っている生命の状態を最初にミクロレベルの実験で示したのが、ルドルフ・シェーンハイマーという科学者で、彼は「身体構成成分の動的な状態」と説明しました。私はその概念を拡張して「動的平衡」と呼んでいます。

現代は、遺伝子組み換えや臓器移植、再生医療などの研究が盛んに進められています。しかし、「悪い部品を換えれば直るだろう」とか、「これとこれを入れ換えればもっと効率よく動くようになるだろう」という機械論的な考えに陥っているように思います。

生命現象を、パーツ同士が絶え間ない流れの中で互いにバランスを取っている状態ととらえれば、外から操作的な作用を及ぼすと、かえって全体を乱しかねないことがわかります。局所的には効率的なパーツ交換も、生命全体ではつじつまが合わなくなるのです。

自然がつくるのは、 ただ一回限りの精妙な美しさ

——「生命」に対する関心はいつごろからあったのでしょうか？

私がいま研究者として持つ感覚の根底には、昆虫少年だったことが大きく影響していると思います。鮮やかな色の蝶や奇妙な形をした甲虫、まるでガラスの鈴を振るような美しい音を出す虫を見つけることが楽しくて、図鑑に載っている虫はすべて暗記していました。自然が作り出すデザイン、秩序を美しいと感じていたのでしょう。

自然が作り出す秩序は決して数学的ではありません。ハチの巣は見事な六角形ですが、よく見ると少しずつ大きさも違うし、端にいくほど歪んでいます。私の大好きなルリボシカミキリは、群青色の背に黒い点が6つ並ぶのですが、二匹と同じ紋様の虫はいないし、左右対称でもないんです。

少年時代、生きものを何回も残酷な形で殺めた記憶

もあります。蝶を採集したら、殺して羽を正確に広げ、紙のテープで押さえて展翹台^{てんしだい}という標本をつくっていましたが、それはとても繊細な工程で、慎重にやらないといけません。ほんの一瞬、例えば指先が蝶の羽に触れてしまうと羽は崩れ、大事な触角が欠けてしまう。生命は、放っておけばイモムシが蝶になるような素晴らしい劇的な変化をもたらす一方、ちょっとでも人の指先が介入すると、もろくも失われてしまうのです。

今振り返ってみると、生命は精妙なバランスの上で一回限り成り立っているものでしかないということ、昆虫少年時代に学びました。

——昆虫少年の夢を持って、生物学者の道を進まれたのでしょうか。

昆虫少年の夢のひとつは、新種を見つけて自分の名前を付け図鑑に載せることでした。あるとき、図鑑に載っていない虫を見つけて、心躍らせながら上野の国立科学博物館に持って行きました。ところが話を聞いてくれた先生に、あっさりと「ありふれたカメムシの幼体です」と診断を下されてしまいました(笑)。でも、このとき私は、展示室にはバックスペースがあり、そこで研究している人がいることを発見したのです。フェアブルのように自然と親しみながら大好きな昆虫を研究することを仕事にできればこんなに面白いことはない、自然に生物学を目指すようになりました。

そして京都大学へ進んだのですが、もはや虫を見つけて図鑑に載せるという牧歌的、博物館的な生物学はありませんでした。そこにあったのは、害虫駆除や食料増産のための応用学的な生物学だったのです。さらに、1980年代には生物学の新しいトレンドとして、個体レベルでの研究から、細胞やタンパク質、遺伝子など、ミクロのレベルで生物を研究し、解析するというテクノロジーが入ってきました。それが分子生物学です。

昆虫少年は、虫取り網をミクロの虫取り網に持ち替え、未知の遺伝子を求める遺伝子ハンターとして、遺伝子の森へと入って行きました。研究室の中で試験管を振りながら、見えないものを腑分けしていくという実験科学の仕事に邁進し、実際にいくつかの遺伝子を発見することにも成功しました。



ミツバチの巣



ルリボシカミキリ



研究室にて実験する福岡先生

ところが90年代に入ると、アメリカが人海戦術ですべての遺伝子を解読してしまおうという「ヒトゲノム計画」を発表したのです。誰もが無理だろうと高を括っていたのですが、結局、アメリカはやり遂げてしまいました。2003年、もう新しい遺伝子は発見できないと、私は再び夢をなくしてしまったわけです。

生命は機械と全く違うシステム

——その後先生が動的平衡にたどり着いた経緯を教えてください。

あるとき私は、膵臓細胞の消化酵素分泌についての研究をしていました。小胞体膜に存在するタンパク質GP2が消化酵素分泌に最も重要な働きをしていると考え、マウスを遺伝子操作してGP2産生部位を破壊したノックアウト・マウスを作成しました。GP2を体内に持たないマウスが消化酵素の不足により栄養失調を発症すれば、GP2の働きが証明されます。しかし実際に生まれてきたのは、GP2を全く作れないにもかかわらず、栄養失調にならない健康なマウスでした。当初は実験の結果に困惑しました。しかし、ここにこそ、生命の本質があると気が付いたのです。つ



まり、体内の細胞が互いに干渉し合い、機能を補い合うという生命における関係性は、機械のシステムとは全く違うと確信しました。

生物学において、分子レベルで生命のあり方を解明するまではいいと思いますが、その成果を使って寿命を延ばしたり、何かを造りかえるといった応用面が性急に要求されることが、まるでバラ色の未来を実現できるように語られることについて、私は懐疑的です。

昆虫少年だったころから知っていた“仕組みを解明できても生命を造りかえることはできない”事実を改めて気付き、動的平衡の概念にたどり着きました。

秩序を維持するために、自ら壊し再生を繰り返さず道を選んだ生命

——私たち生物が生命を維持する仕組みはどうなっているのでしょうか。

ある秩序を維持しようと思ったとき、工学的な発想に立てば、とにかく地下深くに基礎を打ち込み、長時間、浸食や風化に耐える素材を用いて「頑丈に作る」こととなります。しかし、秩序は時間には勝てません。時間の経過とともに、整理整頓したはずの机の上はぐちゃぐちゃになり、いれたてのコーヒーは冷め、熱い恋愛も冷める(笑)。それが宇宙の大原則である「エントロピーの増大」(*)という法則です。そこで生物は、最初からがっちり作るという方法をあきらめて、柔軟な構造をつくり、エントロピー増大の法則が襲ってくるより早く、先回りして自らを壊して造りかえる方法を選びました。

常に壊しながら造ることが秩序を守るためのひとつのソリューションであり、その秩序は動的なもの

(*) エントロピー増大の法則 (別名 エントロピーの法則 熱力学第二法則) : 「エントロピー(物質や熱の拡散の程度を表す物理量)は、時間とともに増大する」という物理学の法則で、本来は、1865年にドイツの理論物理学者・クラウジウスが熱力学で導入した概念だが、情報理論、経済学、社会科学など幅広い分野で応用される。

一般にエントロピーは「無秩序、乱雑さ」と言い換えられ、「エントロピー増大の法則」とは、「自然は、秩序ある状態(エントロピーは低)から、無秩序な状態(エントロピーは高)へと進み、逆らうことはできない」とこととされる。



講演活動も精力的に行う福岡先生。写真は2008年11月21日六本木・アカデミーヒルズでの様子。
(写真提供：アカデミーヒルズ)



なのです。これが動的平衡です。絶え間なく更新されているから全体としてのバランスが保たれる。例えば、東京という街では、いつもどこかで何か壊され、造られています。そのダイナミズムがあるから、いくら人が入れ替わろうと、世代が変わろうと東京は東京であり続けます。地震や戦争などの干渉を受けて焼け野原にもなりましたが、それが復興してさらに発展しているのは、どんなに押されても押し返せる動的平衡が内包されているからです。

動的平衡が保たれるもうひとつの大事な基礎は「多様性」です。多様性は質だけでなく、量の面でもあり、いかに多くの要素が支えているかということも動的平衡の強靱さになるわけです。私たちの消化管内には約100兆個以上の微生物が棲みついています。彼らは単に寄生しているだけではなく、人間の外と内側の境にあって、外からの影響を緩和する緩衝帯となって、我々に益を成しているのです。その分食物を掠め取るのですけれども(笑)。

一瞬の現象に過ぎない「生命」。 その「生命」に一度限りという 価値を見出す

—— 動的平衡の概念で見えてくることをもう少し教えてください。

人は若いときにピークを迎えて老いていくというのは人間が勝手に作っている物語です。生まれてから死ぬまでが動的平衡の状態であり、エントロピー増大の法則に追い付かれ、追い越されたとき「死」に至ります。いくらアンチエイジングを唱えても時間を戻すことはできません。私には自然の状態を受け入れなければならないというある種の諦観がありますが、それは肯定的なものです。操作することはできないが、悪いことも含めすべてのものは流れていく。動的平衡について語るとき、私は諦観を語りつつも、そこから希望を語りたいと思っています。

人間は、二度と同じことが起こらない時流の中で、絶え間なく動き、およそ80年ぐらいはその動的平衡状態を保てるわけです。さらに生命は、子孫を残すというだけではなく、その分子が流れ流れてミミズや岩石の一部になったりと、地球を循環しているものの中にいろいろな形で受け継がれていきます。

動的平衡の観点からすると、「私」という存在は38億年の歴史のほんの一瞬でしかないし、どこにも行かない、繰り返しあり続けるものの一部でしかない。でもそれは、38億年間に一度だけ起こった現象です。そこに価値があり、その大切さを考えることが、いろいろなことの出発点になるのではないのでしょうか。
—— 先生が分子生物学者として、学生や研究者に伝えたいことを教えてください。

教育とはある種の不可能への挑戦だと思っています。馬を水辺に連れて行くことはできても、水を飲ませることはできないということわざがあるように、いくら生命科学の面白さや研究や開発の楽しさを教えても、学生自身がそう感じなければ意味がありません。それでもあきらめずに何度も連れていくのが教育の仕事です。教育と効率とは真逆の存在なのです。

また、私が研究者にとって大切だと思うのは、自己懐疑ができるかどうかです。自分が言っていることは正しくないかもしれない、自分の主張は暫定的なものでしかないという意識を持つことです。科学が言っていることは、いつもある種の反証を前にした仮説でしかありません。自分が言っていることは正しいと思ひ込むことが、サイエンスにとって最も危険なことだと思います。



生命現象の核心を解くキーワード「動的平衡」とは一体何かを考察した本。約10年前に環境月刊誌「ソフト」で始まった連載をベースにまとめたもの。2009年2月、木楽舎刊。