

生命機械が未来を変える
次に来るテクノロジー革命「コンバージェンス2.0」の衝撃

【立ち読み】

＝はじめに＝ 生物学と工学のコンバージエンス 006

＝ 1 ＝ 未来はどこから来るのか 009

MITの学長に選ばれたわけ／科学革命に加わる／
新たな統合へ向けて／コンプトンの予見／今世紀を彩る科学物語

＝ 2 ＝ エネルギー革命▼

ウイルスが育てるバッテリー 030

アワビに魅せられて／代替エネルギーの問題とは？／
エネルギー貯蔵の新たな手段／ウイルスをツールとして使う／
M13バクテリオファージの改変／分野の垣根を越えた思考／
エネルギー革命の最前線

== 3 ==
浄水革命 ▼

タンパク質マシンを水フィルターに …… 068

ノーベル化学賞への扉を開く／謎のタンパク質と水問題／アクアポリン／
水だけを細胞に出入りさせる仕組み／浄水システムの実用化へ／

難題を乗り越えて／宇宙飛行士による試験／

21世紀の水利用を変える

== 4 ==
医療革命 ▼

がんを早期発見・治療できるナノ粒子 …… 097

より精確・迅速・安全・安価な方法へ／画像形成ナノ粒子を体内で運ぶ／

離れ業を成し遂げる／未来は小さい

==
5
==
身体革命▼

脳を増強し身体の動きを取り戻す……………120

最新モデル「エンパワー」／自分で考える膝／意思に応答する義肢／
次世代のiBCI／筋肉ペアと脊髄を連結させる

==
6
==
食料革命▼

地球のすべての人々に食料を……………150

フエノミクスの進展／作物の生産性をさらに高める／
遺伝子組み換え作物の可能性／高速フエノタイピング／
栄養価の高い耐病性のキャッサバを

7 コンバージェンス2.0を加速せよ……………

飛躍には何かが必要か／可能性を最大限に解き放つために／
国の投資、組織横断型の研究プロジェクト／教育システムを変える／
長期的な視野で育てる／目的志向型・問題解決型の活動も／
触媒のように機能する環境

謝辞 212
原注 (01)
解説 256

*文中、「」は訳者の注記です

＝はじめに＝ 生物学と工学のコンバージェンス

この20年間、私はイェール大学で学部長と学長を務めたあと、マサチューセッツ工科大学（MIT）でも学長を、それもMIT初の女性学長を務め、科学の未来の展望を特等席から眺めてきた。そこで目にした光景は、息をのむほどの驚きに満ちていた。生物学を基礎とした精巧で独創的な高性能ツールが次々に誕生しようとしている——自己集合して電池を組み上げるウィルス、水を浄化するタンパク質、がんを検出して破壊するナノ粒子、思考を読み取る人工器具、作物の収穫量を増やすコンピュータシステム。

サイエンスフィクション（SF）のように思えるかもしれないが、いずれも現実の話だ。その多くはすでに開発が進んでいる。いずれも発想の源は同じだ。生物学と工学のコンバージェンス（集約）によって変革を起こそうとしている。この本では、そんな変革の物語を紹介する。目を見張るような科学的発見の数々が生物学と工学という二つの大きな潮流を一つに束ね、その流れに乗った先駆的な研究者たちが革新的なツールやテクノロジーを発明して今世紀の私たちの生活を変えようとしている。

人類は新たなツールとテクノロジーを必要としている。現在の世界人口は約76億人だが、2050年には95億人を優に超えると推定されている。燃料、熱源、冷暖房として現在の世界人口を支えるのに必要な電力を賄うために、私たちはすでに地球の気候を今後数世紀にわたって変動させるほど大量の二酸化炭素を大気中に放出してきた。いま私たちは、この事態に対処しようと取り組んでいるところだ。気温も海面も上昇し、世界中で大勢の人が干ばつ、食料不足、薬剤耐性疾患に苦しんでいる。現行のツールやテクノロジーの機能・規模を単純に拡張するだけでは、世界が直面しているいくつもの手ごわい難問を解決できない。どうすれば、よりクリーンなエネルギーをより大量に生産し、十分な量の清潔な水を供給し、より有効な薬をより低コストで開発し、身体障害者が不自由なく生活できるようにし、地球の生態バランスを崩すことなく、より多くの食料を生産できるようにするのか？ こうした問題には新しい解決策が必要だ。解決策が見つからなければ、私たちは苦渋に満ちた困難な時代を生きることになる。

実は、私たちは過去にも、現在と同じくらい切迫した状況を克服したことがある。1798年、英国の聖職者であり、経済学者であり、人口統計学者でもあったトマス・ロバート・マルサス牧師は、人口の増加は必然的に食料生産量の増加を上回ることに気づいた。著書『人口論』で彼は、自らの分析から導き出された唯一の結末として、広い地域で食料が不足し、戦争が勃発し、病気が蔓延する可能性があるかと警告した。マルサスによれば、こうした災難の勃発によって人口増加は抑制される——ただし、大勢の人々の死を伴うことになる。「人口増加の圧倒的な勢いを抑え込むには、

貧困や混乱を避けて通れない」と彼は書いた。

しかし、マルサスの主張は杞憂に終わった。当時の農業経営者らはすでに、四毛作栽培やこれまでとは異なる栄養源の肥料など、新たなテクノロジーを取り入れていた。このような新テクノロジーは人口増加と食料生産量増加の均衡を根底から変えた。農地の生産効率が高まり、より多くの食料を市場に送り込めるようになった。食料の供給量が増えたことで、英国の人口はマルサスの推定よりも急速に増加し、そのおかげで、産業革命によつて高まっていた労働力の需要を満たすことができた。テクノロジーによつて推進された19世紀の農業革命は、イノベーションと経済成長に支えられた新しい時代の幕開けにも貢献した。

私たちは今、当時とよく似た瞬間を迎えている。切迫した問題に直面し、惨憺たる未来を眼前に突きつけられている。ここで食い止めなければ世界中の多くの人々が惨状に見舞われることになるが、今の私たちには——まだ——打つ手が無い。だが、科学の展望に目を向ければ、驚くほど明るい未来が私には見える。生物学と工学が思いも寄らない形で合流し、そこから生まれた新たな潮流の力で、重大な問題も困難な問題も次々に解決されることだろう。私たちは今、前例のないイノベーションと繁栄の時代に足を踏み入れようとしている。明るい未来の展望を知れば、あなたも心躍らせずにはいられないだろう。

M I T (マサチューセッツ工科大学) は、世界最高峰の理工系大学として知られる名門校だ。本書の著者スーザン・ホックフィールドは、M I T初の女性学長(現・名誉学長)に就き、数々の改革を進めた。その根幹をなすのが「コンバージェンス2.0」であり、生物学と工学を集約する新たな潮流だ。21世紀はバイオの世紀と呼ばれるが、生命・自然と機械・人工が結ばれることにより、目を見張るテクノロジーが現れつつある。かつて物理学と工学の融合によるコンバージェンス1.0がエレクトロニクス&デジタル革命によつて私たちの生活を一変させたように、コンバージェンス2.0もまた世界を劇的に変えていくだろう。本書はその驚くべき成果を、M I Tの活動を中心にレポートしたものだ。

著者が重視するのは単に新奇な研究ではない。私たち人類が直面するさまざまな分野(エネルギー、浄水、医療、身体、食料など)の難題をいかに解決するか——その具体的なツールをもたらす発想と成果こそ求められるのだ。たとえば、「ウイルスが育てるバッテリー(蓄電池)」。M I Tのアンジェラ・ベルチャーは、自然を愛し、アワビの殻にも魅せられていた。その殻の形成を生物工学の視点で捉えることが、新たなバッテリーを生み出すヒントをもたらす。その基本は、M13バクテリオファージというウイルスの遺伝子を改変し、バッテリー構築に役立つ物質と結合させたものだ。この仕組みによるバッテリーなら、従来製品よりクリーンに作ることができ、しかも安価で効率もいい。すでにコイン電池は出来ているが、ベルチャーは車のダッシュボード型やドアパネル型の

バッテリー開発を目論んでいる。

アクアポリンというタンパク質を利用した浄水テクノロジーもすごい。アクアポリンのチャネルは体内で水だけを細胞に入りさせる。この性質を活かし、アクアポリンを膜シートに組み込んだ浄水フィルターを作るのだ。しかも、低コスト・高効率で大量に生産でき、また大量の水を処理できなければならない。さまざまな課題を乗り越え、この浄水フィルターはすでに製品化されている。

医療の分野でもめざましい成果が上がっている。たとえば、手軽な尿検査だけで、がん疾患の有無とその場所が特定できるという技術。これはがん細胞に遭遇したときのみ反応するように合成されたナノ粒子をベースとしている。早期にがんを発見・診断できるだけでなく、薬剤を患部に送り届ける治療にも応用できる。

ほかにも本書では、脳とつながる画期的な義肢、食料危機に対応できる望ましい遺伝的形質をもつ植物変異株を迅速に見つけ出す高速フェノタイピングなどが紹介されている。

これらの技術はどれも人類が生命の叡智・独創性に学び、分野を超えた協力によって成し遂げられたものだ。読者は研究開発者たちの卓抜な発想とともに、そうしたアイデアを生み育てる開かれた環境がいかに大切かを知るだろう。国の投資、組織横断型の研究体制、教育システム、市場への道を開くインセンティブ・支援などなど——その意味でコンバージェンス2.0は、テクノロジー革命にとどまらない。未来を拓くためにどこへ向かうべきかを教えてくれる道標でもあるのだ。

本書出版プロデューサー 真柴隆弘