

科学技術システムの功罪

バイオテクノロジー（生命技術）、ナノテクノロジー（一〇億分の一メートルの微細世界を操作する技術）、情報技術（いわゆるIT）、環境保全技術は、二二世紀の基幹技術、つまり産業を興し経済を繁栄させるために不可欠の戦略的技術として、日本は重点的に予算を配分して重点的に研究開発を進めている。四つの分野それぞれは互いに独立したものではない。重なり合うところもあれば、補い合うところもある。資金が潤沢なところに研究者が流れることもあって、四つの分野の技術開発はそれなりの成果をあげることになるだろう。

しかし、科学技術の成果はそのまま人類の福祉、豊かさ、幸せに直結するかといえば、残念ながら必ずしもそうではない。科学技術が、私たちの価値観から経済にまで大きな影響力を持つようになったいま、倫理なき科学技術は危険この上ない代物になる可

小出五郎

能性がある。この稿では、そうした科学技術の功罪について、生命技術のなかでも遺伝子技術に絞って述べてみたい。

ところで、「科学技術」であるが、かつては、科学と技術は別の概念とされていた。科学は客観的な真理探求、技術は人間の事情に応じての科学の応用というわけである。しかし、いまや科学と技術に境界はない。ノーベル賞は科学への貢献に対して与えられる。田中耕一さんが二〇〇二年のノーベル化学賞を受賞したが、田中さんの貢献はたんばく質の分析・測定「技術」のブレイクスルーにあった。それが新しい「科学」の地平を拓いた。

この事実を示されるように、これまでの科学と技術は、科学技術という一つのまとまった概念とみなされるようになってきた。もちろん社会的側面が大きくなり、それが無視できないことも影響している。ここで取り上げるのはそうした科学技術である。

DNA構造説明から五〇年

いまからちょうど五〇年前の一九五三年四月五日、イギリスの科学雑誌 *Nature* に「DNAは二重らせん構造をしている」という内容の論文が掲載された。DNA（デオキシリボ核酸）は地球上の生きとし生けるものすべてが生命活動の基本としている物質で、しばしば生命の設計図ともいわれる。論文はわずか数ページの短いものだったが、DNA構造説明は二〇世紀最大の科学的発見の一つに数えられている。

ヒトのDNAは、私たちの体を構成する六〇兆の細胞一つ一つに存在する細い糸状の物質である。らせん階段を思い浮かべてほしい。手すりに相当するところは糖類である。階段の踏み板に当たる場所は、塩基という物質でできている。塩基には四種類あって、それぞれ頭文字でA、C、G、Tで示される。踏み板の一段はAとT、あるいはCとGの組み合わせでできている。この踏み板はなんと三〇億段もある。DNAのらせん階段は細い糸状で、長さは一・五メートルにも達する。目にも見えないほどの小さな細胞の中に、それが折りたたまれて収められている。

生命の設計図とされるゆえんは、三〇億段の踏み板の並び順にある。三〇億段のうち九五パーセントまでは進化の名残をとどめるジャンク（がらくた）に過ぎないが、五パーセントの踏み板の並び順には意味がある。つまり、そこに設計図が暗号で示されて

いる。意味のある暗号の部分を遺伝子という。いまヒトの遺伝子は三万から四万の間ということが分かっている。これらの遺伝子が設計図そのものということになる。

つまり生命は、遺伝子の設計図に従ってたんぱく質をつくり、それで生命活動を行っている。たんぱく質は、筋肉などの体の構造のもとというだけではなく、無数の酵素の産生、栄養素の運搬なども関わり、生命活動を支える。DNAの構造説明は、遺伝子のDNAの謎解きにつながる。生命の根源に迫るステップとして欠かせないものであった。

事実、DNAの構造説明を端緒とするこの五〇年は、分子生物学、遺伝学をはじめとする生命科学、医学・医療への応用と新産業を創出した生命技術（科学と技術と分けて使用されているが、先に述べたように境界はない）の発展の時代となった。

この時代にあっても特徴的なのは、科学技術の成果がそのまま企業化へ、産業化へとつながったことである。まずその成長の歴史を振り返ってみよう。

一九六〇年、Kornbergは試験管の中でDNAを合成することに成功した。DNAを人間がコントロールする第一歩が踏み出されたわけである。しかし、六〇年代はDNAを自由に扱えるようにする工夫の段階だった。世界中の生物学の研究室がその問題に取り組んだ。

一九七〇年、SmithとWilcoxは制限酵素の分離を行った。制

限酵素というのはDNAを切断する「はさみ」のような酵素である。塩基の特定の配列のところを切断する性質があるので、各種の制限酵素を使いこなせば、必要とするDNAの部分、つまり特定の遺伝子を切り取ることができる。遺伝子を自由に操作する手段をまず一つ手にしたわけである。

一九七一年、将来に期待を込めて。アメリカで遺伝子操作のベンチャー企業Cetus社が創立された。

一九七三年、CohenとBoyerは、組み換えDNAを作成した。制限酵素を使って目標とする遺伝子を切り取り、それを大腸菌のプラスミドと呼ばれるリング状のDNAの一部に組み込んだ。このころまでにはリガーゼという「のり」の働きをする酵素も使えるようになっていた。生物種の壁を越えて遺伝子を移動することが、人間の手で行えることが示されたのである。生命科学技術が一気に加速されることになった。

しかし、それは当然のように大きな議論を巻き起こした。遺伝子は生命の根源である。それを操作して、もし怪物を作り出すことになったらどうするのか。人類を絶滅させるような病原体が出現したらどうするのか。人間のすることだから、誤用もあれば悪用もある。遺伝子操作は、倫理的にはどう考えたらいいのか。科学者たちに、遺伝子操作を任せていいのだろうか。遺伝子操作は人類に悪夢をもたらす科学技術になる可能性がある、はたして人間に神を演じることが許されるのか、という問題であった。

一九七五年、アメリカのカリフォルニア州にある景勝地アシロマ(Asiomar)で、科学者、社会学者、ジャーナリストなどが集まり、DNAの研究倫理について討論を行った。会議の結論として実験指針をつくり、倫理問題を検討しつつ徐々に進めることでの合意が辛くも成立した。研究者が自分たちの発案で集まり話し合った画期的会議であったが、こうした会議は事実上、このときが最初で最後となった。二五年後の二〇〇〇年に二回目のアシロマ会議が招集されたが、関係者の関心ははるかに低かった。

アシロマ会議後の急成長

一九七六年、Genentech社の創業があった。アメリカのNIH、国立衛生研究所は、DNA実験指針を提示した。実験指針は社会的に危険をもたらすことがないように実験を規制する性格がある一方で、規制の枠組みに従う限り自由に実験できるという意味を持つ。NIHの実験指針に準じて日本をはじめ各国はそれぞれに実験指針を作ることになるが、例外なくDNAの科学技術の開発競争は激化することになった。開発し企業化に成功すれば巨万の富を得られる夢が、競争の原動力になっていった。

一九七七年、Genentech社は、遺伝子組み換えを駆使して細菌にホルモンの一種ソマトスタチン(Somatostatin)生産に着手した。翌年には同じ技術でヒトの血糖値をコントロールするホルモンのインスリン(Insulin)生産を始めた。

一九七九年、NIHはDNA実験指針を緩和した。実験の経験を積み重ねてきた結果として、初めのころに憂慮されたような危険は確率的に極めて低いことが判明してきたことから、緩和を決定した。各国もまたそれに倣った。産業化に後れをとると世界市場を失うことになる。そうした判断が重視される時代に入っていた。この年、Genetech社は、ヒトの成長ホルモン¹の生産をスタートさせている。

一九八〇年、遺伝子の暗号である塩基配列を高速で読み取ることのできる装置、シーケンサーが開発された。コンピュータの発達は情報技術を急速に進歩させてきていたが、その成果が遺伝子解読に応用された手始めの例である。八三年にはDNAを高速で複製するPCR法が開発された。原理のアイデアを得て装置を発明したManiatisは九三年にノーベル化学賞を受賞している。いま、たとえば殺人事件の現場に残された一本の毛髪からDNAを抽出し、それを大量に増やして分析し、犯人を特定するというような鑑識への応用がよく知られているが、それはPCR法の登場による。さらに八七年には、暗号を入力するとDNAが合成できるシンセサイザーも開発された。複製、解読、合成がITによって、海軍戦術の手作業から高速化された電子装置へと移行していった。

一九八〇年は、こうした科学技術の側面だけではなく、社会制度面での整備が進んだ年でもあった。生命科学技術の産業化をリ

ードするアメリカで、Bay-Dole法²が成立した。技術開発者の権利を守るもので、いわゆる技術移転が盛んに行われるようになるきっかけとなった。また、アメリカの最高裁は「バイオ特許」を承認している。生命体のなかに普遍的に存在するDNAに特許があるのか。それは基本的な疑問とされ論争的になっていたが、特許を認めるというものであった。これもまた、産業化を促進する追い風になった。

バイオ市場の拡大

一九八〇年代に、アメリカは生命科学技術で最先進国の地位を確立した。戦略的な政策が功を奏したといえる。

一九八三年、アメリカの環境省は遺伝子組み換えタバコを承認した。八八年には世界初の遺伝子改変動物、研究用の「肺がんモデルのマウス」に特許が認められた。九四年には、フレバー・セイバーという名の遺伝子組み換えトマトが承認され市場に出回った。トマトに普通に含まれる、柔らかくなるため見た目が損なわれる酵素の働きを遺伝子操作で抑制したトマトで、長期間にわたって見た目の新鮮さを保つ。

いまだアメリカで生産され世界市場で圧倒的シェアを持つ大豆、とうもろこしなどは、そのうちかなりの部分が少農薬ですますことができるという触れ込みの遺伝子作物となっている。こうしたGE作物は、安全性への危惧と、自国の農産物市場を守ると

いう二つの大きな理由で、ヨーロッパ、アフリカ、アジアなど、世界各地でアメリカ産農産物の輸入を拒否する紛争の種になっている。

一九九七年、イギリスのロスリン研究所でクローン羊のドリーが誕生した。遺伝子操作に生殖操作の技術が加わって、生命操作の階段をもう一段上がった出来事である。メスの成羊の乳腺細胞から核（遺伝子のDNAがその中に詰まっている）を採取し、それを別の羊から取り出し同じように脱核した受精卵に挿入する。そのまま培養して卵割が進み胚の状態になったところで、また別のメス羊の子宮に移植する。数百例の繰り返し実験の後に、ようやく一頭誕生した。それがドリーだった。

ドリーの遺伝子は、最初の成羊の乳腺細胞の遺伝子と同じである。そこで成羊と生まれたばかりのドリーとは、年齢違いの双生児の關係にある。ドリーは最初の成羊のクローンということになる。生命はたった一つの細胞、受精卵から始まる。細胞は分裂して数を増し、体の各部分のそれぞれの場所で相応の機能を果たすように分化してゆく。分化するにつれて働く遺伝子が決まり、不要な遺伝子は休眠する。初期にはからだのどの部分にもなりうる万能細胞だが、分化が進むと単能になる。この過程は一方方向で進むという常識が覆されたのだった。

一九九八年には、胚性幹細胞（ES細胞）の分離に成功した。受精卵の分割が進み胚盤胞になった時期にその内部にできる細胞

のことで、万能細胞である。つまり、どのような器官にでも分化できる能力がある細胞で、この細胞の分化を巧みに誘導することが可能になれば、たとえば移植用の臓器などを人工的に製造可能になる。万能とは、もちろん人間全体にもなるという意味がある。

一九九〇年代の初めからヒトゲノム計画がスタートしていた。ヒトゲノムとは、ヒトのDNA—そろいのことである。計画はヒトの遺伝子の暗号をすべて解読することを目標に掲げた。暗号をつくる塩基の数は三〇億にも上ることから、当初は計画が終了するのは、かなり先の夢と考えられていた。しかし、読み取り装置の目覚ましい進歩と、それを後押しした熾烈な国際競争によって、二〇〇三年のDNA構造解明五〇年に、ヒトゲノムの解読は終了した。

遺伝子操作を中心に、しかし遺伝子操作にとどまらず生命操作の段階にまで進化してきた生命の科学技術は、こうして経済、産業、社会の基盤といえるまでに成長した。現在、世界には四〇〇〇を超えるバイオ産業があり、そこで働く人々の数は二〇万人以上に達しているという。

これからの五〇年

生命科学技術を発展させた大きな要素は三つある。

第一の要素は企業化である。七〇年代、バイオのベンチャー企業が相次いで創業した。比較的小規模な投資で出資でき、成功す

れば世界市場を制覇でき一攫千金の夢を実現できる可能性があった。八〇年代になると、知的財産として特許などが広く認められるようになって、企業化の方向はいっそう加速された。国家も新産業としてバックアップした。

第二の要素はコンピュータを中核とする情報技術と結びついたことである。DNAの高速読取装置、高速増幅装置など、多数の機器が投入された。企業化の進行が巨額の投資を可能にした。

第三の要素は、かつては実験室の中で地味な仕事に携わるイメージだった研究者が、積極的に実業の世界に乗り出すようになったことである。科学技術の研究が真理の探求であることに変わりはないというものの、急速に富と名誉の追求することに軸足が移ってきた。世界初の業績を出せば、そのまま名誉と富に直結する。その実例が続出した。研究者同士の競争は激化し、一方では競争しながらも勝者になるためには国際政治まで巻き込む大掛かりな協力も行われるようになった。

もちろんほかにも多種多様な要素があることはもちろんだが、こうして現在の生命科学技術の構造が構築されてきたといえる。

これからの五〇年を現在の延長で考えると、SFのようだが、SFとは言いきれない世界が予想される。人類の夢が実現するものの、悪夢が現実になることもありうる。科学技術には夢と悪夢がともに内在する。人類は果たしてこの科学技術を使いこなすことができるのか。そんな懸念が常につきまとう。しかし、研究者

の大多数は、この点について無関心を装う。夢か悪夢かという懸念よりは、当然のように現実の競争が優先される。特に野心のある若い研究者にその傾向が強い。その現実を見ると、私はこれらの五〇年にあまり楽観的になれない。

夢の側面を挙げてみる。まず、オーダーメイド医療が現実になるかもしれない。つまり、一人一人の遺伝子に基づく個性に合った病気の予防、診断法、治療法を選択することができるようになる。たとえば、細胞表面にリセプターというたんばく質があるが、遺伝子の微妙な違いのために一人一人違っている。リセプターは細胞内への情報伝達の働きなどをしており、ある薬成分がリセプターにはまり込むことで、情報伝達が加速されたり、反対に抑制されたりする。それが薬効になる。しかし、リセプターによっては、薬との相性が悪く、薬効が期待できない場合もある。薬には必ず副作用がある。遺伝子を調べてリセプターの特徴が分かれば、薬効なく副作用しかないのに薬を投与するような愚を避けられる。また、「ゲノム創薬」というが、特定遺伝子をターゲットにした薬を設計して製造することが当たり前になる。

食物生産への応用の可能性も小さくない。経済のグローバル化と、非アレルギー食品生産のような特殊目的では、「ゲノム創食」は重要な手段になるだろう。すでに海産生物、畜産物での応用が一步進んでいる。

遺伝子が病気の原因ならば、遺伝子治療を施せばいいという発想も当然生まれる。すでに臨床試験が始まっているが、想定されたよりも難しいことが判明してきた。現在は頓挫している。遺伝子操作の技術は日進月歩で、やがては、限られた範囲でということになるだろうが、治療の一端を請け負うことになるだろう。細胞操作や生殖の生命科学技術の進歩と並行して進むと考えられる。しかし、生命を扱う科学技術システムは、悪夢をもたらす可能性もある。

遺伝情報は究極のプライバシーである。ある病気のなりやすさが分かると、予防には役立つかもしれないが、そのプライバシーが漏れるとさまざまな差別をもたらすことになりかねない。健康診断の名目で血液一滴を採取し、含まれる細胞の遺伝子をチェックして就学、就職、結婚、保険の加入、などの是非を判断する。その誘惑に駆られることのない人間はいるだろうか。

理論的には不可能であるが、政治的な意図を持って「劣等遺伝子」を持つ人々を特定したいという権力者が出現することもある。歴史を振り返れば、遺伝を理由に差別し、時には抹殺を旨としたという事例に事欠かない。犯罪予防を名目に、犯罪者を遺伝子検査で予防的にあぶり出す研究も行われている。

病気の治療のために遺伝子に操作を加える延長上には、デザイナーベビーをつくるという人間改造がある。性別の選択はすでに行われている。知能、容姿、感性、運動能力など、遺伝子と無関

係ではない。そこで、リスクを承知の上で好ましいと思われる遺伝子に改造した子どもの誕生を希望する親が現われ、密かにそれに応えようとする者が出てくる可能性は高い。

脳細胞の分裂に関わる遺伝子がある。大脳の形成中に、その遺伝子を少しだけ余計に働かすように改造できるとしたら、スーパーヒューマンができる。サルよりヒトは脳細胞が少しだけ多い。ヒトより少しだけ多いスーパーヒューマンはヒトより豊かな知恵を持つだろうが、ヒトの生存を危うくすることになるかもしれない。すでにマウスでは、遺伝子操作で脳を巨大化することに成功している。

世界は「遺伝子リッチ」と「遺伝子プア」に二極分化する可能性もある。現在の政治経済的二極分化をさらに悪化するものであることはいうまでもない。

科学技術のシステムが、名誉と経済的勝者になることを肯定し奨励するようになっていくなか、悪夢の実現を防ぐ手立ては薄弱である。自己責任を負うなら何でも許容される現実、このままで良いわけではない。しかし、現在のシステムを変える対案はいまのところはつきりしない。今こそ哲学を職業とする者の出番ではないのか。

(こいで・ごろう、科学技術史、

大妻女子大学教授、NHK解説委員)