

科学技術と倫理の接点

——バイオテクノロジーの到達点と展望——

立木 教夫

目次

- 一、はじめに——DNA情報系と脳の情報系
- 二、生命科学の展開
 - (一)、生命科学における第一の革命に至る前史と第一の革命
 - (二)、生命科学における第二および第三の革命
 - (三)、高等生物の遺伝子DNAに関する新たな発見
 - (四)、基礎的研究領域の拡大
- 三、バイオテクノロジー
 - (一)、医学・薬学への応用
 - (二)、農業・畜産への応用
 - (三)、工業への応用
- 四、バイオテクノロジーと倫理と人類の未来

一、はじめに——DNA情報系と脳の情報系

生命体を対象とした科学技術が、バイオテクノロジーである。ところが、このバイオテクノロジーを駆使して

いる人間も生命体である。人間は、他の生命体にバイオテクノロジーを適用し、生命系のデザインを手掛けているだけでなく、人間生命そのものになたいしてもバイオテクノロジーを適用し、人間的生命の改変を手掛けている。まさに人間は、バイオテクノロジーを用いて、人類のみならず生命系の進化の舵取を行おうとしているのである。

ここで、生命史におけるバイオテクノロジーの意義を考察しておくことにしよう。

生命体が、「物質」系、あるいは「物質＋エネルギー」系でなく、「物質＋エネルギー＋情報」系¹——これを情報系と呼ぶことにする——であるということが確定したのは、わずか三十八年前のことである。この発見を契機として、生命科学に情報という概念が定着し、その視点からの探究が推し進められてきた。

今、われわれは、人間を情報系としてとらえている。この情報系は、大きく二つに分けられる。つまり、DNA情報系と脳の情報系である。

DNA情報系は、生命が発生して以来、三十八億年もの時間をかけて発展してきたものであり、そこにおける至上命題は、「とにかく生きる」というものであった。これとは対照的に、人間の脳の情報系においては、「よりよく生きる」という命題が追求されている。

DNA情報系においては、世代を越えてDNAが受け継がれてくる中から、多様性と複雑性を現出してきた。ところが、脳の方は、世代を越えて使用されることはない。脳は、各個体ごとに、DNA情報をもとに新たに作り上げなければならず、いわば一代で使い捨てになる。このように器官としての脳は、個体ごとに形成されなければならぬが、脳が生み出した情報は、言語を媒介とした文化のレベルで蓄積され、受け継がれ、発展してきた。DNA情報系に注目し、生物をDNAの生存機械としてとらえたのは、リチャード・ドーキンス(Richard

Dawkins, 1941)である。ドーキンスは『利己的な遺伝子²』において、すべての生物種は、遺伝子の奴隷であり、その種の生存のチャンスを最大化するように、発達し、行動するよう、運命づけられているのだと論じた。遺伝子のみが、新たな行動様式を実験する自由をもっており、個々の生物体は、遺伝子が命ずるがままに行動するだけだ³というのである。

ところが、この遺伝子の圧政は約三十億年間続いたが、十万年くらい前に人類(ホモ・サピエンス)が出現し、この圧政を廃止したことにより、様相は一変した。では、人類はどのようにしてこの遺伝子の圧政を排除したのであるか。それは、象徴的言語と文化を発明することによって、遺伝子の圧政を排除したのである。今や、われわれ人類の行動パターンは、相当規模において、遺伝的というよりはむしろ文化的に決定されている。一例をあげよう。われわれは遺伝子において、欠陥遺伝子を保持していくというよりはむしろ文化的に決定されている。なぜなら、われわれの文化が、血友病の子供達を死なせてはならないと告げるからである。これは、基本的には、DNA情報系がもつ「とにかく生きる」という命題と、脳の情報系がもつ「よりよく生きる」という命題の間の、せめぎあいの中から選択されてきたわれわれの決定なのである。このようにして、人類は、遺伝子から選択の自由と過ちをおかす自由を勝ち取ったのである。

人類は、十万年ほど前に、象徴的言語と文化を手に入れることによって遺伝子の圧政を覆した後、四つの段階を経て、今日の段階に到達した⁴。第一は、生命を「共感」した段階であり、これはアニミズムと呼ばれる。第二は、生命を「観照」した段階であり、これはアリストテレスによって切り開かれたものである。第三は、生命を「分析」した段階であり、これはデカルト以後のことであった。そして、第四は、生命を「操作」する段階である。これは現代に至ってはじめて可能となったことである。

現代の生命を操作する段階の特徴は、生命体の存立基盤であるDNAを直接操作する科学技術を手にしていることにある。このような科学技術を媒介として、脳の情報系はDNA情報系にたいし、直接的操作を加えることが可能となったのである。ここに人類は、他の生物のみならず自らの生命にたいし、DNAのレベルから操作を加え得る技術を手にしたのである。

本稿では、二において、DNAを中心とした生命科学の発展を歴史的にたどり、バイオテクノロジーの基礎となる技術が完成するまでの流れを明らかにする。三において、さまざまな領域におけるバイオテクノロジーの到達点を明らかにする。そして、四において、バイオテクノロジーがもつ意義、展望、ならびに問題点を考察することにしていく。

〈注〉

- (1) 生命体を含む「生きた自然」を、「物質＋エネルギー＋情報」という観点からとらえなおそうという動きこそ、二十世紀科学の最大の特徴である。ところが、どのようにして「物質＋エネルギー」に「情報」という観点を導入するかは非常に困難な問題を孕んでいる。この問題の詳しい考察は、拙論「情報と現代科学——情報概念の展開とその意義——」(『モラロジー研究』第三十二号、一九九一年一月二十五日) および「情報物理学の探究——トム・ストウニアの情報物理的定式化を中心として——」(『早稲田大学情報科学研究教育センター紀要』第十三号、一九九一年七月三十一日)を参照していただきたい。
- (2) Richard Dawkins, *The Selfish Gene*, Oxford University Press, 1976. 日高敏隆・岸由一・羽田節子訳「生物Ⅱ 生存機械論——利己主義と利他主義の生物学——」紀伊國屋書店、一九八〇年。この後、一九八九年に原著の新版が出され、それに基づいた邦訳新版が一九九一年に登場

した。その邦訳は、日高敏隆・岸由一・羽田節子・垂水雄二訳「利己的な遺伝子」である。

- (3) 次に述べるドーキンスの議論に対する視点は、Freeman Dyson, *Infinite in all Directions* (Harper & Row, New York, pp. 93-94) から示唆を得た。この書物の邦訳としては、フリーマン・ダイソン著、鎮目恭夫訳『多

様化世界——生命と技術と政治——』みすず書房、一九九〇年、一一七—一九ページ」がある。

- (4) 伊東俊太郎「バイオテクノロジーの歴史的境位」、東京大学公開講座「バイオテクノロジーと社会」東京大学出版会、一九八七年、三五ページ。

二、生命科学の展開

生命科学の進展はめざましく、この四十年足らずの間に、すでに三つの革命を経てきたといわれている⁽¹⁾。第一の革命とは、一九五三年に、ワトソン(J. D. Watson, 1928-)とクリック(F. H. C. Crick, 1916-)が、DNAの二重螺旋構造を提案し古典的分子生物学として確立したことである。ここにおいて、生命体は「物質＋エネルギー＋情報」系であるという基本概念が確立した。第二の革命では、DNA組換え技術が開発され、DNA塩基配列決定法が登場し、高等真核細胞生物の諸問題や生命の進化の問題にたいする取り組みがなされ、しかも、その応用が重大な社会的影響をおよぼした。この第二の革命が、バイオテクノロジーの基礎を築いたのである。そして、今日の第三の革命では、生命科学が情報科学や工学を巻き込みつつ、さらに大きく展開しようとしているのである。

この間、自然科学は生命科学を中心として大きく変貌した。この変貌は、目覚ましい成果をあげながら、新たなフロンティアを拡大してきたという意味での変貌ではない。そうではなく、根本的な探究方法における変貌で

ある。つまり、それは、従来の原因追求の科学から実験的手法による「新しい現象をゆり起こす」学問への変化⁽²⁾であり、科学が工学を中心とし実践的課題との結合を強めるといふ変化⁽³⁾である。これは、対象をシステムの中に位置付け、「情動的」操作を行うこと⁽⁴⁾によって振舞いを探る、という探究方法への移行である。

次に、このような大きな変革をもたらしつつある生命科学の発展の歴史を、DNAに関連した知見を中心にした⁽⁵⁾とっていくことにする。

(一)、生命科学における第一の革命に至る前史と第一の革命

生物学においては、自然のありようを描き出すという博物誌 (Natural History) の時代が長く続いた。これは、生物の種類があまりにも多く、全体に共通する普遍的法則を見いだせなかったからである。

この生命を観照する段階を越え、生命を分析する段階に入り、はじめて生物一般に共通する特質を明らかにする細胞説 (cell theory) が登場してきた。この説が登場してきたのは、一八三八年および一八三九年のことであり、今からほんの一五〇年ほど前のことである。その内容は、「細胞はすべての生物の構造および機能の単位であり、いわば生物体制の一次的要素である」というものである⁽⁴⁾。

シュライデン (M. J. Schleiden, 1804-) は、一八三八年に、植物が細胞およびその形成物からなることを明言し、細胞の増殖機構に関する説——新細胞の萌芽は既存の細胞内に生じるといふ「細胞内細胞形成」の説——を立てた。次いでシュライデンの友人であったシュワン (T. Schwann, 1810-1882) が、一八三九年に、動物学の領域において同様の細胞説を唱えた。

シュライデンおよびシュワンの細胞説は、生物体の発生を細胞の分裂と分化によるものとし、これを全生物界に一般化した。このことにより、生物一般に共通する性質の探究というアプローチに根拠が与えられたのである。細胞説に次いで生物一般に共通する観点を明らかにしたのが、ダーウィン (C. Darwin, 1809-1882) の進化論である。ダーウィンが『種の起源』 (On the Origin of Species by Means of Natural Selection) を発表したのは、一八五九年のことであり、その後、一八七二年に至るまでに、六回も版を改めている。その間に、人間も生物進化の延長線上に出現した生物であるという進化思想は確固たる地位を獲得した。ダーウィンは、慎重に人間の問題にたいする直接的言及を避けていたにもかかわらず、進化論は教会を巻き込んだ一大論争へと展開していったことはよく知られている⁽⁵⁾。

ダーウィンの進化論が盛んに議論されていた頃、メンデルは、一八五六年から一八六二年にかけて修道院の庭でエンドウの遺伝実験を行っていた。メンデルは、その実験結果を、一八六五年の二月と三月に、ブルノの自然科学会の例会で報告し、その内容を「植物雑種の研究」という論文にまとめ、翌年発表した⁽⁶⁾。

メンデルは、遺伝的な形質は体内に含まれる遺伝因子——彼は「エレメント」と呼んだ——によって決まると論じた。木村資生によれば、「メンデルの研究は当時の生物学の水準をはるかに越えた革命的なものであった」という。木村は、現代遺伝学の立場から、「とくに各種の形質について遺伝を司る因子を仮定し、確率の計算によって結果が予測できることを示した点は余りにも時代を超越したもので、一般の生物学者にその偉大さがなかなか理解できなかったのは当然であろう」と、高く評価している⁽⁷⁾。

メンデルの研究が注目されるに至ったのは、一九〇〇年のことであった。ド・フリース (H. De Vries, 1848-1935) 、コランズ (C. E. Correns, 1864-1933) 、チホルマン (E. von S. Tschermak, 1871-1962) の三人が、独立に再発見したことによる⁽⁸⁾。また、メンデルのエレメントを遺伝子 (Gen) と呼んだのは、デンマークのヨハンセ

ン (W. L. Johansen, 1857-1927) であり、これは一九〇九年のことであった。
 DNAの発見は、一八六九年のことであった。発見者はミーシャー (F. Miescher) である。この時点では、DNAと遺伝子の関係は明示されていない。しかし、ミーシャーは、生物の最小単位である細胞の中の細胞核には、何か大切な物質があるに違いないとの確信を抱き、細胞核に富む白血球に目をつけ、外科病棟から膿の付着した包帯を集め、膿の中にある白血球の核からリンを含む未知の酸を発見したのであった。それが核に多いことからヌクレインと名づけ、種々の角度から研究を行った⁽⁹⁾。

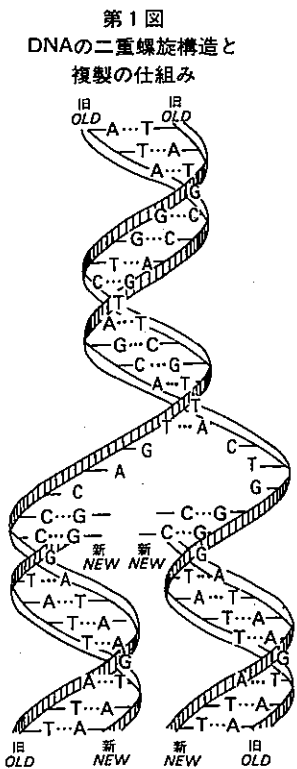
一九三〇年代後半には、DNA遺伝子仮説が登場してきた。核酸の化学的研究が進み、核酸にはDNAとRNAの二種類があることが判明し、さらにDNAは遺伝子であり、RNAはタンパク質合成に関係しているのではないかという、カスパーソン (T. O. Caspersen, 1910-) の仮説が提示された。これは現在の細胞化学の発展の基礎となったものであるが、当時においては、実験的証明が得られるところまではいかなかった。

一九四四年に、遺伝子はDNAであるという証明が得られた。アメリカの細菌学者エーヴリー (O. T. Avery, 1877-1955) は、肺炎双球菌の形質転換物質がDNAであるという結論を得、DNAに遺伝形質が暗号化されていることを証明した。これこそ遺伝子の実体がDNAであることを示した最初の発見であるが、当時は遺伝子の本体はタンパク質であるという説が強く残っていたため、彼はあえて自説を強く主張しなかった。そのために、彼の説は多くの人の関心を集めるにいたらなかった⁽¹⁰⁾。

一九五二年に再び、遺伝子がDNAであるという証明が得られた。これは、先のエーヴリーらの証明とは全く独立の証明である。カーネギー研究所の遺伝部で研究をしていたハーシェイ (A. D. Hershey, 1908-) とチェイス (M. Chase) によるバクテリオファージ—バクテリアを食べるという名をもつウイルス—に関する実験によ

って、DNAが遺伝子の本体であることが学界に広く認められるようになった。この実験は、ハーシェイとチェイスの実験と呼ばれている。

ハーシェイとチェイスは、DNAを³²Pで標識し、それを包んでいる外衣タンパク質を³⁵Sで標識したファージを、バクテリアに感染させた。数分後、DNAがバクテリアに注入された後、カラになったファージのタンパク質の外衣をバクテリアからひきはがし、遠心分離機にかけると、外衣タンパク質は上澄み液に残り、ファージDNAはバクテリアといっしょに沈殿する。このバクテリアを別の培地で生育させると、ある一定時間後、バクテリアからファージがたくさん生まれてきた。この子孫ファージ粒子には、³⁵Sは取り込まれていないが、³²Pは半分以上子孫ファージのDNAのなかに見いだされた。このようにして、ファージの増殖に必要な情報をもたらしたのは、ファージDNAであって、タンパク質ではないことが証明されたのである。



第1図 DNAの二重螺旋構造と複製の仕組み
 出典、ジェームス・D・ワトソン著、江上不二夫・中村桂子訳『二重らせん』講談社、1986年、209ページ

一九五三年に、ワトソンとクリックによって、DNAの構造ならびに複製機構が解明された⁽¹¹⁾。DNAの二重螺旋構造⁽¹²⁾ [第1図参照]は、糖(デオキシリボース)とリン酸が長くつながった鎖が二本あり、お互いに螺旋状によじれていて、その二本の鎖の間に、二つの塩基でできた階

(二) 生命科学における第二および第三の革命
 一九六七年に、DNA連結酵素(DNAリガーゼ)が、アメリカの五つの研究室でほぼ同時に発見された。これは、DNAの複製・修復・組換えに不可欠な酵素であり、後に組換えDNA実験でDNA断片をつなぎ合わせ

段階では、生命を分析することが主であり、未だ、操作する技術は開発されていない。

さらに付け加えるなら、この一九六五年にDNA型生命単一祖先説が提示された。地球上に三千万種もいるとされている生物は、系統的には単一のDNA型生物に属することがわかってきたのである。

以上、生命科学における第一の革命に至る過程ならびに第一の革命がもたらした成果についてみてきた。この

一九五六年には、コーンバーグ(A. Kornberg, 1918-)らによって、DNAポリメラーゼ—DNAの複製・修復に関する酵素—を用いて、試験管内で酵素的なDNAの人工合成が達成された。

遺伝暗号の解読は、一九六五年に完了した。一九六一年に、ニールンバーグ(M. W. Nirenberg, 1927-)らが、ウラシル(U)—RNAをつくる核酸塩基としては、A、G、CはDNAと共通であるが、Tの代わりにUが使われる—二つからなるUUUがフェニルアラニンの遺伝暗号であることを発見したことが引金となり、多くの研究者が競合する中、わずか四年で、すべての遺伝暗号が解読されてしまったのである。コラナ(H. G. Khorana, 1922-)は、塩基配列の決まっているRNAを人工合成し、ニールンバーグとは独立の手法により、遺伝暗号の解読を行った。

「相補的」である。このことにより、まったく同じ二重螺旋のDNAが複製してくる仕組みも解明されてしまったのである。

第1表
 遺伝暗号表

開始コドンはAUG(メチオニン)、終結コドンはUAA(オーカー)、UAG(アンバー)、およびUGA(オパール)である。

2文字目

	U	C	A	G	
U	UUU } フェニルアラニン (Phe)	UCU } セリン (Ser)	UAU } チロニン (Tyr)	UGU } システイン (Cys)	U
	UUC } フェニルアラニン (Phe)	UCC } セリン (Ser)	UAC } チロニン (Tyr)	UGC } システイン (Cys)	C
	UUA } ロイシン (Leu)	UCA } セリン (Ser)	UAA } 終結 (オーカー)	UGA } 終結 (オパール)	A
	UUG } ロイシン (Leu)	UCG } セリン (Ser)	UAG } 終結 (アンバー)	UGG } トリプトファン (Trp)	G
C	CUU } ロイシン (Leu)	CCU } プロリン (Pro)	CAU } ヒスチジン (His)	CGU } アルギニン (Arg)	U
	CUC } ロイシン (Leu)	CCC } プロリン (Pro)	CAC } ヒスチジン (His)	CGC } アルギニン (Arg)	C
	CUA } ロイシン (Leu)	CCA } プロリン (Pro)	CAA } グルタミン (Gln)	CGA } アルギニン (Arg)	A
	CUG } ロイシン (Leu)	CCG } プロリン (Pro)	CAG } グルタミン (Gln)	CGG } アルギニン (Arg)	G
A	AUU } イソロイシン (Ileu)	ACU } スレオニン (Thr)	AAU } アスパラギン (Asn)	AGU } セリン (Ser)	U
	AUC } イソロイシン (Ileu)	ACC } スレオニン (Thr)	AAC } アスパラギン (Asn)	AGC } セリン (Ser)	C
	AUA } イソロイシン (Ileu)	ACA } スレオニン (Thr)	AAA } リジン (Lys)	AGA } アルギニン (Arg)	A
	AUG } メチオニン (Met)	ACG } スレオニン (Thr)	AAG } リジン (Lys)	AGG } アルギニン (Arg)	G
G	GUU } バリン (Val)	GCU } アラニン (Ala)	GAU } アスパラギン酸 (Asp)	GGU } グリシン (Gly)	U
	GUC } バリン (Val)	GCC } アラニン (Ala)	GAC } アスパラギン酸 (Asp)	GGC } グリシン (Gly)	C
	GUA } バリン (Val)	GCA } アラニン (Ala)	GAA } グルタミン酸 (Glu)	GGA } グリシン (Gly)	A
	GUG } バリン (Val)	GCG } アラニン (Ala)	GAG } グルタミン酸 (Glu)	GGG } グリシン (Gly)	G

1文字目

3文字目

出典、松村正実・和田栄一「遺伝と情報」、南雲仁一編「岩波講座 情報科学 24 生体における情報処理」岩波書店、1982年、159ページ。

段が一定間隔で並び、塩基間結合で結ばれている。この塩基間結合にはある決まった規則があり、DNAの四種類の塩基、アデニン(A)、チミン(T)、グアニン(G)、シトシン(C)の中で、AはTとペアをつくり、GはCとペアをつくるが、そのほかの組み合わせはない。したがって、二重螺旋の一方の鎖の塩基の並び方が決まると、他方の塩基配列は自動的に決まってしまう。つまり、二つの鎖の塩基は互い

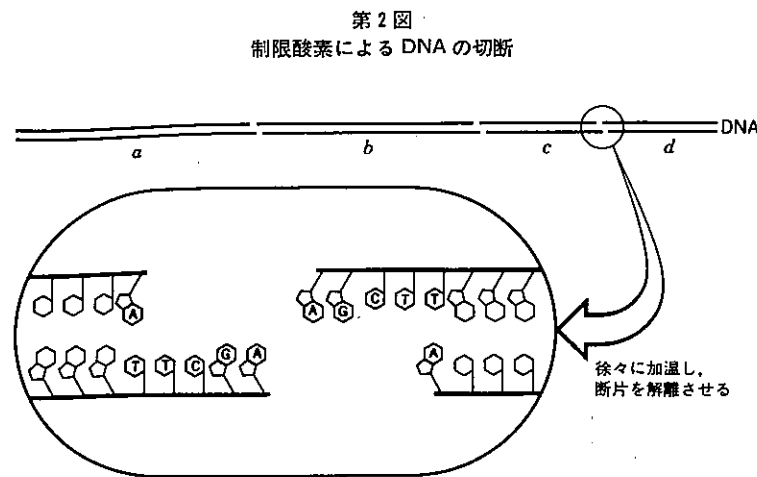
やると、直径は二ミリメートル、長さ二千キロメートル（大体、東京から台北くらいの距離）となる。大腸菌のDNAは、約一・五キロメートル、プラスミドのDNAは、十メートルから二十メートルであり、プラスミドに組み込む遺伝子は数センチメートルということになる。

実感を得るために、これを拡大して比較しておこう。人間の細胞一個に入っているDNAを百万倍に拡大してやると、直径は二ミリメートル、長さ二千キロメートル（大体、東京から台北くらいの距離）となる。大腸菌のDNAは、約一・五キロメートル、プラスミドのDNAは、十メートルから二十メートルであり、プラスミドに組み込む遺伝子は数センチメートルということになる。

現在、組換えDNA実験で扱われているヒトのDNA断片の大きさはどのくらいのものであろうか。数字をあげて示しておこう。組換えDNAで使われている大腸菌はK12株と呼ばれているものである。ヒトのDNAを入れ込むベクター（運び屋）は、大腸菌の本体の遺伝子ではなく、プラスミドと呼ばれる非常に小さな環状のDNAである。これは大腸菌のDNAの一千分の一程度である。そしてこのプラスミドに組み込むヒトのDNAは、プラスミドDNAの百分の一の大きさである。つまり大腸菌のDNAの十万分の一のDNAを組み込んでいくにすぎないのである。

一九七四年、大腸菌にファージDNAを導入するトランスフェクション (transfection) が実現した。ウイルス由来の核酸やプラスミドDNAなどを細胞に感染させるトランスフェクションは、組換えDNA実験にも広く利用されることとなった。

一九七四年、DNA組換え技術が完成した。スタンフォード大学のコーエン(S. Cohen)とボイヤー(H. Boyer)らは、異種DNA（カエルのrDNA）を大腸菌の中でふやした。これは、DNA解析のために多量の単一遺伝子を手に入れるために工夫された技術であり、まったくアカデミックな目的のために開発されたものであったことを付け加えておく⁽¹⁶⁾。これによって、生命をDNAレベルから操作する技術、すなわち、DNA組換え技術が確立したのである。



第2図 制限酵素によるDNAの切断
出典、カールデライカ著、大野典也・藤多和信訳『遺伝子プログラミング入門—DNAと遺伝子クローニングの基礎知識—』CBC出版、1986年、78ページ。

一九七〇年にスミス(H. O. Smith, 1931-)らによって、制限酵素が発見された。この制限酵素は、ファージDNAなどの外来のDNAが菌体内に侵入したときに、自分のDNAと区別して、切断する酵素である。この感染を制限する機構を司るため制限酵素と呼ばれる。切断は、特定の塩基配列のところで行われる。それ故、同じ種類の制限酵素を使ってDNAを切断した場合には、両端の切り口がまったく同じになる「第2図参照」。このような特徴があるため、同じ制限酵素で切った違った種類の生物のDNAをつなぐことができるようになったのである。一九八六年の時点で、すでに約三百種類の制限酵素が発見されており、それらの酵素で切断されるDNA上の特異的な塩基配列の種類は、約六十種にのぼっている。

制限酵素とDNA連結酵素の発見により、DNAを人為的に切断したり、連結したりする道具を手にしたことになる。

現在、組換えDNA実験で操作されているDNA断片の大きさは、この程度である。ある意味ではたいしたことはないと思われるかもしれないが、それでも学問的・産業的には非常に大きな効果をもたらしているのである。ここで、DNA組換え技術により拓かれてきた可能性を要約しておこう。

- ①、異種間の人為交雑を可能とした。系統のかけ離れた生物の間でも、遺伝子を人工的に挿入してやれるようになったため、従来の人為交雑の幅が格段に拡大した。
- ②、特定の遺伝子を選び分け、無性的に増殖させる（クローン化）ことが可能となったため、高等生物の遺伝子の構造に関する基礎研究が著しく進歩してきた。
- ③、生物の微量生産物を大量に生産することができるようになった。このため医薬品開発に一大変化が生じてきた。

④、遺伝子において「イフワット」(if-what)的研究が可能となってきた。すなわち、遺伝子に化学修飾を加えたり、人工合成したDNAを作動させることができるので、様々な遺伝子の構造を計画的に変化させながらその発現を観察することができる。これによって、DNAが担っている情報内容を知ることができるようになった。

⑤、発生を遺伝レベルから研究できるようになった。違った時期や場所で作動している遺伝子の一部ずつをつなぎ合わせたキメラ遺伝子を作り、その働きを調べることができるようになったため、発生過程において、特定の時期に特定の体の部分で必要な遺伝子が働くためのシグナルが遺伝子がどの部分にあり、どのような特徴ある構造をしているかを研究できるようになった。

この組換えDNA技術が開発された後、DNAの基礎研究は目覚ましく進歩した。次に、重要な出来事をいく

つか列挙しておく⁽¹⁷⁾。

一九七〇年代後半には、DNAの塩基配列決定法が確立⁽¹⁸⁾(一九七五年)、大腸菌におけるトランスポゾンが発見され、動く遺伝子の概念が確立⁽¹⁹⁾(一九七五年)、ヒトの成長ホルモンを大腸菌の中で発現させることに成功⁽²⁰⁾(一九七六年)、遺伝子の中に介在配列が発見され、これにより、エキソン、イントロンの概念が登場してきたこと⁽²¹⁾(一九七七年)、スプライシング概念の確立⁽²²⁾(一九七七年)などが指摘できる——以上については、八十四ページの本文ならびに第3図、第4図で説明する。

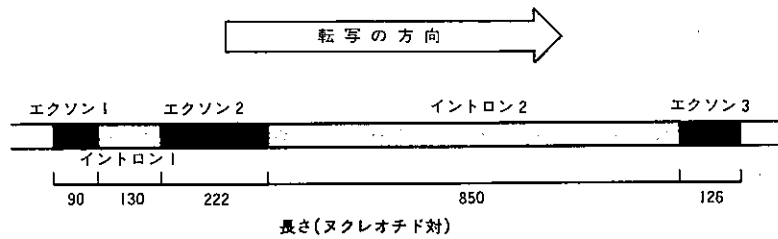
一九八〇年代には、偽遺伝子の発見⁽²³⁾(一九八〇年)、DNAとリプレッサータンパク複合体の構造解析⁽²⁴⁾(一九八一年から八七年)が行われ——以上については、八十六―八十七ページの本文ならびに第5図で説明する——、この間に、タンパク工学がスタートし⁽²⁵⁾(一九八三年)、AIDSウイルスの発見と性質解明がほぼ完了し⁽²⁶⁾(一九八四年)、RNA型生命の起源説が登場してきた⁽²⁷⁾(一九八五年)。

生命科学における第二の革命によって生命を分析するだけでなく、操作する技術を手にしたことによって、生命科学は急速な進歩を遂げた。生命操作技術の中でも特に重要な技術は、組換えDNA技術である。この組換えDNA技術は、「物質＋エネルギー＋情報」系としての生物を、情報的に操作する技術の代表である。

(三)、高等生物の遺伝子DNAに関する新たな発見

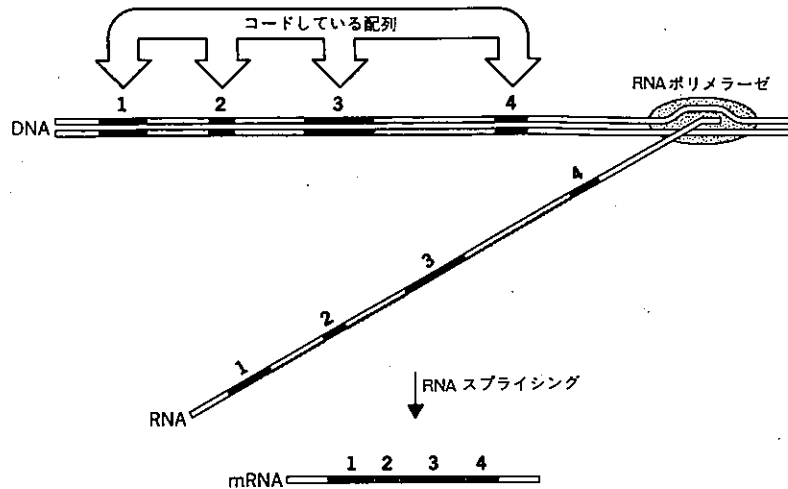
組換えDNA実験による遺伝子のクローニングによって、 10^7 から 10^8 という均一な分子集団を手に入れることができるようになったため、塩基配列の解析が急速に進んだ。このような解析を通して、細菌などの原核生物——染色体は細胞質内に直接入っていて、核膜で分離した核を持たない生物——の遺伝子と真核生物の遺伝子は、DNA

第3図
ヒトのβ-グロビン遺伝子内の介在配列



出典、カールデライカ著、大野典也・藤多和信訳『遺伝子プログラミング入門—DNAと遺伝子クローニングの基礎知識—』、154 ページ。

第4図
分割遺伝子の読み取りとRNAスプライシング



出典、カールデライカ著、大野典也・藤多和信訳『遺伝子プログラミング入門—DNAと遺伝子クローニングの基礎知識—』、155 ページ。

という化学物質としては同じであるが、遺伝子系の設計原理を異にしていることが分かってきた。つまり、真核生物は、遺伝情報系を複雑化し、ゆっくと、恒常性を保つていけるように設計されているのに比べ、原核生物は、遺伝子系も細胞の構造もできるだけ削減して、すみやかな増殖を実現するように設計されていることが分かってきたのである。⁽²⁸⁾

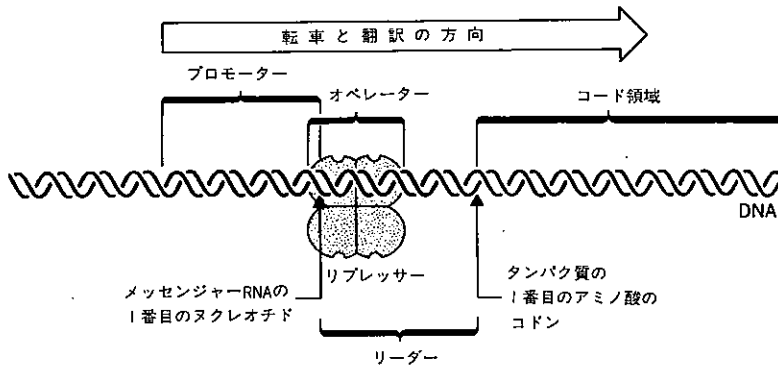
具体的な相違点をいくつかあげておこう。例えば、真核生物には「分割遺伝子」が存在する[第3図参照]。分割遺伝子というのは、一つのタンパク質の一次構造を決める遺伝情報がひと続きではなく、間にアミノ酸の配列に関係ない塩基配列が割り込んでいられるものである。とびとびになった遺伝子の内、実際のタンパク質に表現される部分を「エクソン」(exon)と呼び、間に割り込んだタンパク質を指定していない部分を「イントロン」(intron)と呼んでいる。

この分割遺伝子の読み取りは、そのままいったんRNAに転写され、それがメッセンジャーRNAになる段階で、イントロンに対応するRNAの部分が切り取られて、エクソンに対応するRNAの部分がつながり、ひと続きの意味のあるメッセンジャーRNAになることが分かった。このようなRNAのつなぎ換えは「スプライシング」(splicing)と呼ばれている[第4図参照]。これらの概念が確立したのは、一九七七年から七八年にかけてのことであった。

高等生物のDNAには、非常によく似た数百塩基ぐらいの配列が、何万、何十万コピーと存在する。人間では、このような反復配列の総和は全DNAの九十五パーセント程度であるが、サンショウウオなどではそれが九十九パーセントにも達している。このようなDNAは、「ゲノム全体の構築の形、増殖・転写・分配などにかかわる何らかの機能を助ける未知の働きの一翼を担っているのではないかという可能性を想像することができる」とい

第5図

リプレッサーによる遺伝子発現の制御



出典、カールデライカ著、大野典也・藤多和信訳『遺伝子プログラミング入門—DNAと遺伝子クローニングの基礎知識—』、45ページ。

の分解が始まり、その栄養素がすべて分解されると、リプレッサーがオペレーター領域に再結合して、分解酵素を作るための mRNA の生産を停止する。

四、基礎的研究領域の拡大

DNA の利用は基礎的研究領域に浸透してきた。がん、発生、免疫、生命の起源といった領域はいままでもなく、生命の歴史を扱う分子系統学、分子考古学、生命誌、それから個体のレベルでの老化研究まで、DNA を利用した研究が行われている。ここでは、分子系統学、生命誌、そして老化研究の最前線における取組を、ごく簡単に見ていくことにしたい。

まずはじめは分子系統学である。DNA は生物進化の歴史を蓄えている。現在生きている生物の DNA、あるいはその直接的産物である RNA、蛋白質を解析することによって、生物進化の歴史を推定しようというのが、分子系統学である⁽²⁹⁾。この分子系統学の手法は、化石に基づいた形態学的研究における任意性を避ける上で、大いに役立つだろうといわれている。

分子系統学の最新の成果を一つ紹介しておこう。系統学的に

説がある一方、「無機能で無用の長物として潜在するジャンク (Junk) DNA である」という説もある。

また DNA の塩基配列を詳しく調べているうちに、一つの遺伝子の比較的近いところに、遺伝子そのものとよく似た塩基配列がいくつか見つかった。遺伝子によく似ているにもかかわらず、遺伝子としての機能を失っているのが、「偽遺伝子」(一九八〇年に発見された)——機能しない死んだ遺伝子——と呼ばれることもある。「偽遺伝子は生物が既存の機能遺伝子を改造しようとして、それに失敗した結果の残骸である」という考え方が示されている。

DNA には、遺伝情報を担っている部分と担っていない部分がある。遺伝情報を担っている部分には、「コード領域」と「調節領域」がある。コード領域の遺伝暗号は、地球上の全生物において原則的には共通であるが、そのコード領域を実際に働かせる、つまり、メッセーシの読み取り作業を開始あるいは終結させる調節領域は、生物種によって必ずしも同一ではない。

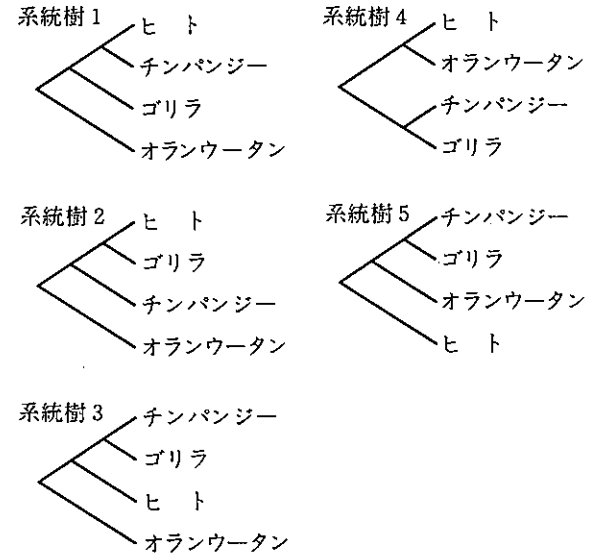
コード領域は RNA に転写される。こうしてできる RNA の中には、翻訳されなくて働く RNA と、翻訳過程にまわされてタンパク質合成の鋳型として働くメッセンジャー RNA (mRNA) に分けられる。

調節領域は、二重螺旋のまま、直接に特定のタンパク質あるいは RNA などと特異的な相互作用をする領域であり、DNA 自身の転写・複製・分配などを司る。

調節領域のオペレーターと呼ばれる部分にリプレッサーという特定のタンパク質が結合している限り、RNA ポリメラーゼは mRNA を作り出すことはできない⁽³⁰⁾。ところが細胞内に栄養素が入って来ると、リプレッサーは栄養素と結合して、DNA から離れる。すると遺伝子のプロモーターと呼ばれる部分に RNA ポリメラーゼが結合し、この栄養素を分解する酵素を作るための mRNA を作り出す。酵素が出来るやいなや、栄養素

第6図

ヒトニザル上科の系統樹、1～3がヒト-アフリカ類人猿近説に対応する。4はシュワルツ説、5が古典的な系統樹。



出典、長谷川政美著『DNAに刻まれたヒトの歴史』岩波書店、1991年、85ページ。

ヒトに一番近いのは、チンパンジー、ゴリラ、オランウータンのいずれであるか。これは、形態学的証拠のみをもってしては、決定し得なかった問題の一つである。一九九〇年、分子系統学はこの問題に決着をつけた。長谷川政美によれば、「それをもたらしたものの一つが、ペンシルバニア大学のイリス・ゴンザレスらが決定した、リボソームRNA遺伝子とそれに隣接したスペーサーでITS1と呼ばれる部分の塩基配列である。

このデータからは、系統樹1の確率が九十九パーセントになり、ヒト-チンパンジー近縁説がほとんど確実なものになった」としている[第6図参照]。

このほかにも分子系統学は、生命の起源、進化、考古学においても、興味深い新知見を提供しつつある。

次は中村桂子の生命誌(Biography)である。生命誌とは、生物全体の中で、「人間はどういう生きものなのかだろうか」といった基本的な問いを問おうとしている。中村は、DNAを扱いながらも、「関心は部品としてのDNAではなく生命の『歴史』や生命のでき上る『過程』という時間、つまりそこにある『物語』を閉じこめた存在

としてのDNAに向か」うことによって、分子生物学の成果に拠って分子生物学を超え、歴史的存在としての人間の解明を手掛けることができるとしている。すなわち、「DNAの中には、生物が生きてきた歴史が書き込まれていることがはっきりしてきたのです。つまり、DNAの研究は、分析的な興味、つまり生物という構造体のつくりとしくみを解析するだけでなく、このような構造やしくみがどのようにしてできてきたのか、また、これほど多様な生物がどのような関係にあるのか。そして、生命をつくりあげてきた原則のようなものがあるとしたらそれはどのようなものか。そのような問いに向かっています」と、DNAを扱う分子生物学が展開しつつある統合的方向の一つを指し示している。

今、まさにヒト・ゲノム解読計画がスタートしようとしている時期である。生命誌の考え方は、ヒトのゲノムだけでなく、あらゆる生物のゲノムの解読、そして、それをデータベース化した後に開かれてくる基礎研究にヴィジョンを与えるものである。

最後に、老化研究に触れておきたい。これまで老化学説としては、DNAや蛋白質の合成におけるエラー蓄積説、細胞分裂寿命限界説、活性酸素障害説、クロスリンク説などが唱えられてきたが、ここでは土屋洋文の「利己的遺伝子の利他的振舞説」を取り上げ、彼の議論をたどってみることにする。

利己的な遺伝子の目的は、子孫と連結している生殖細胞で新たな遺伝子生成が起り、受精によって子孫に伝達されなくては実現しない。体細胞は、このような目的を達成することはできない。それ故、「利己的な遺伝子は、体細胞の集団である個体が親になれば、子供にたいして利他的に振舞わなければならない」、すなわち、「子供が生き残ってこそ『子々孫々、増え続けたい』『遺伝子セット内でも増え続けたい』という、そもその遺伝子の意図が達成されることになる」のである。

この子供にたいする利他的振舞いとどのような形態をとるのであろうか。それは、「ポスト生殖期には体細胞集団である自己を攻撃することによって、「衰退し老化して死滅する」という形態をとることになる。自己を攻撃する機構としては、ステロイドホルモンのレセプター、免疫グロブリン、TGFβータのファミリー、動きまわる遺伝子、テロメア、活性酸素、ガンなどがあり、「ヒトは何重にも、ポスト生殖期に個体を衰退させ殺すメカニズムをもっている」と指摘されている。⁽³⁸⁾

〈注〉

- (1) 松原謙一編『岩波講座 分子生物学 1 遺伝子と遺伝の情報』岩波書店、一九八九年、vページ。
- (2) 渡辺格著『物質文明から生命文明へ』同文書院、一九九〇年、四五―四六ページ。ここにおける議論は非常に重要なので、多少長めであるが引用しておくことにする。「これは現在では自然科学が、新しい世界をつくっていくという自然の展開そのものと同じ方向になってきており、いままでの原因追求の学問とはいささか異なっているからだと思います。つまり、何か新しい実験をして、そこにどうという現象が現れるかを探っていくことが、いま問題になっているわけです。たとえば、最近注目されている超伝導のような研究にしても必ずしも理詰めで攻

めるのではなく、ある物質とある物質を混ぜるとうまくいけば常温で超伝導を示す新物質ができるかもしれない、実験的に新しい現象を探すと方向になってきているわけです。いわばモダンなアルケミー（錬金術）の時代になってきているのではないのでしょうか。

自然科学は原因を追究することよりも、新しい実験によって新しい現象をゆり起こすという形の学問に変わりつつあるということになります。近年急速に進展している生命科学にしても、いろいろな操作技術——DNA操作、細胞操作、受精卵の初期胚の操作などによって新しい生命現象を発見していくといういき方がとられつつあるのです。」

- (3) 坂本賢三著『科学思想史』岩波書店、一九八四年、三

一六ページ。

- (4) 『岩波生物学辞典』第3版、岩波書店、一九八八年、四六七ページ。
- (5) 八杉龍一著『進化論の歴史』岩波書店、一九六九年。
- (6) この論文の邦訳は、メンデル著、小泉丹訳『雑種食物の研究』（岩波文庫、一九二八年、一九八八再版）に収められている。
- (7) 木村資生著『生物進化を考える』岩波書店、一九八八年、二一ページ。
- (8) 木村資生著、前掲書、二一―二二ページに、この再発見に関する興味深い記述がみられる。「メンデルの研究は長い間世に認められず、やっと、一九〇〇年になった三人の学者により再発見され、初めて注目を浴びるようになったといわれている。極端な場合には、メンデルの仕事は三十五年間完全に無視され、埋もれていたが、再発見とともに突如として日の目を見るようになったといった表現がされる。しかし、中沢信午教授によると、最近の調査の結果では、実情はそんなものではなく、メンデルの研究はヨーロッパ各地で知られており、メンデルの仕事に注目していた人も相当あったらしい（*）。現に、世界的に有名な百科事典『ブリタニカ』の第九版（一八八一年）のなかで、メンデルの研究

が紹介されているという。そのようなことがなければ、メンデルの法則の再発見者のコレンス（C. Correns）らが、その研究発表前にメンデルの論文の存在を知ることになることはおそらくなかったであろう。メンデルの研究は発表後かなり国際的にも知られていたが、その革命的な重要性は誰にも分からなかったというのが実情ではないだろうか。」

*中沢信午著『遺伝の法則にいとむ——メンデル伝』国土社、一九八〇年。

- (9) 中村桂子著『生命科学と人間』（日本放送出版会、一九八九年）に、ミーシャーに関する興味深いコメントがあるので紹介しておく。

「ある科学史家が有名な科学史の教科書の十九世紀のところを調べたところ、『ダーウィン』という言葉は三十一回も出てきたのに、ミーシャーという名前は全く出てこなかったそうです。そこで彼は、世の中には生れつき隠れミノをまとったような人がいるもので、ミーシャーはまさにそういう人だ」と言っています。

ミーシャーも好んで隠れミノをまとっていたのではないかもしれませんが。けれどもよい仕事をしながら、時代がすこし早すぎるなどで評価されずに終わる人がいることは確かです。」

伊東俊太郎・坂本賢三・山田慶児・村上陽一郎編『科学史技術史事典』(弘文堂、一九八三年)の場合、ミージーは、見出し語として採用されていないが、説明中には二箇所而言及されている。『岩波生物学辞典』の場合、索引で見及され、一箇所も言及されていない。

- (10) 渡辺格著『生命科学の世界』日本放送出版会、一九八六年、二一ページ。
- (11) エーヴリーの研究は、R・J・デュボス著、柳沢嘉一郎訳『生命科学への道——エーヴリー教授とDNA——』(岩波書店、一九七九年)に詳しい。
- (12) 二重螺旋発見に至る過程は、James D. Watson, *The Double Helix*, Widenfeld Publishers Ltd, London, 1968, 邦訳は、ワトソン著、江上不二夫・中村桂子訳『二重らせん』(講談社、一九八六年)が、非常に面白い。
- (13) DNA合成のドラマは、コーンバーグの自伝に詳しい。Arthur Kornberg, *For the Love of Enzymes: The Odyssey of a Biochemist*, Harvard University Press, 1989, 邦訳は、アーサー・コーンバーグ著、荒井賢一訳『それは失敗からはじまった——生命分子の合成に賭けた男——』羊土社、一九九一年。
- (14) ニーレンバーグとコラナの遺伝暗号の解読手法に関する解説は、松村正実・和田英一『遺伝と情報』(南雲仁一

編『岩波講座 情報科学24 生体における情報処理』岩波書店、一九八二年、一五五—一五九ページ)が丁寧である。

- (15) 中村桂子著『生命科学と人間』、四六ページ。
- (16) 岡田節人『生命体の操作』、宇沢弘文・河合隼雄・藤沢令夫・渡辺慧編『転換期における人間? 技術とは』岩波書店、一九九〇年、八四—八五ページ。
- (17) 松村謙一編『岩波講座 分子生物学1 遺伝子と遺伝の情報I』(岩波書店、一九八九年、二二—二七ページ)を参照した。
- (18) このとき、マクサムギルバート(Maxam-Gilbert)法とサンガー(Sanger)法が開発された。
- (19) バーク(P. Berg, 1926-)『クレックナー(Klecker)・ファルコー(Falkow)・コーエン(Cohen)らによる。』
- (20) グッドマン(Goodman)らによる。
- (21) シャープ(Sharp)・チウ(Chow)らによる。
- (22) ダネル(Darnell)・ワイスマン(Weisman)・レター(Leder)らによる。
- (23) 西岡、レターによる。
- (24) アンダーソン(Anderson)・プタシマン(Prashne)らによる。
- (25) ファーシュト(Fersht)らによる。

- (26) ガロ(Gallo)・モンタニエ(Montagnier)らによる。
- (27) 松原謙一編『岩波講座 分子生物学1 遺伝子と遺伝の情報I』、六—七ページ。
- (28) 松原謙一編『岩波講座 分子生物学1 遺伝子と遺伝の情報I』、一一—一二ページ。
- (29) 大野乾著『生命の誕生と進化』東京大学出版会、一九八八年、一八ページ。
- (30) 石川統著『バイオサイエンスへの招待』岩波書店、一九八八年、五二頁。
- (31) 長谷川政美著『DNAに刻まれたヒトの歴史』岩波書店、一九九一年。

- (32) 前掲書、八九ページ。
- (33) 中村桂子著『生命誌の扉をひらく——科学に拠って科学を超える——』哲学書房、一九九〇年。
- (34) 前掲書、八七ページ。
- (35) 前掲書、二五ページ。
- (36) 土屋洋文著『老化——DNAのたくらみ——』岩波書店、一九九一年。
- (37) 前掲書、四八ページ。
- (38) 前掲書、二五ページ。

三、バイオテクノロジー

生命体にたいする技術的介入は現在どの程度可能となっているのだろうか。

ここでは、バイオテクノロジーと関連する産業領域を、医学・薬学、農業・畜産、そして、工業の三つに分類し、その各々の領域における技術適用のレベルを、DNA、細胞、組織・器官、そして、個体とし、その各々に ついて、菌類、植物、動物、そして、人間を対応させてある「第2表参照」。

このうちいくつかの項目に注目しながら、生命操作の現状を概観していくことにしよう。

第3表
日本における主要なバイオ医療の商品化状況

製法	対象疾患	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
●ホルモン														
ヒトインスリン	遺伝子組換え			○	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●
ヒト成長ホルモン	遺伝子組換え			○	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●
エリスロポエチン	遺伝子組換え			○	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●
ソマトメジンC (インスリン様成長因子1)	遺伝子組換え							○	○	○	○	○	○	○
上皮細胞増殖因子 (EGF)	遺伝子組換え										○	○	○	○
心筋性ナトリウム 利尿ペプチド(ANP)	遺伝子組換え							○	○	○	○	○	○	○
●リンホカイン														
αインターフェロン	細胞培養、遺伝子組換え		○	○	○	○	○	○	●	●	●	●	●	●
βインターフェロン	細胞培養		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
γインターフェロン	遺伝子組換え													
インターロイキン1α	遺伝子組換え													
インターロイキン2	遺伝子組換え													
顆粒球コロニー刺激因子(G-CSF)	遺伝子組換え													
顆粒球マクロファージコロニー刺激因子(GM-CSF)	遺伝子組換え													
腫瘍壊死因子(TNF)	遺伝子組換え													
●酵素類														
プロキナーゼ	細胞培養													
TPA	細胞培養、遺伝子組換え													
プロプロキナーゼ	細胞培養													
SOD	遺伝子組換え													
血液凝固第Ⅷ因子	遺伝子組換え													
血液凝固第Ⅸ因子	遺伝子組換え													
●ワクチン類														
B型肝炎ワクチン														
●モノクローナル抗体類														
抗OKT3抗体	細胞融合(マウス)													
抗CMV抗体	細胞融合(ヒト)													
抗エンドトキシン抗体(ヒト)	細胞融合(ヒト)													
抗ヘルペス抗体(ヒト)	細胞融合(ヒト)													

(略字) SOD: スーパー・オキシサイド・ディスムターゼ TPA: ティッシュ・プラスミノゲン・アクチベータ OKT3: リンパ球抗原CD3の別名 (C)臨床開発 ●販売 ○日本国内で一番最初に販売を開始した企業が開発スケジュールをもとに複製

出典、『日経メディカル』臨時増刊号113、日経BP社、1990年、132-133ページ。

第2表
バイオテクノロジーの適用領域

	DNA		細胞		組織		器官		個体	
	菌類	植物	動物	菌類	植物	動物	菌類	植物	動物	人間
医学・薬学										
農業・畜産										
工業										

機能を残しつつ、あるいは助長させる一方で好ましくない点を削り取るドラッグ・デザインが焦点になってきた」のである。

生産が行われているもの、あるいは生産が期待されているものの代表としては、インシュリン、ヒト成長ホルモン、インターフェロン、インタロイキン2、組織型プラスミノゲン活性化因子、腫瘍壊死因子、カルチニン、サイモシン、アルブミンなどである〔第3表参照〕。

大腸菌を使ったヒトの「インシュリン」は、一九八二年以来、アメリカやヨーロッパで実際に糖尿病の治療に用いられている。日本でも最近実用化された。これまでは、ブタのすい臓から抽出したインシュリンが使われて

(一) 医学・薬学への応用
① DNA操作
組み換えDNA操作が可能となったことで、医学・薬学のさまざまな分野で、大きな変化が生じている。特に注目されている分野としては、医薬品の生産・開発、遺伝病の診断・治療をあげることができる。

a、医薬品の生産・開発

医薬品の生産においては、ホルモン、ワクチン、ある種の抗生物質など、本来生物によって微量にしか作られていない非常に高価な薬品を大量生産に移すことによって、普及効果を上げると同時に、その医薬品の働きを高めるための改良を加えていくことが課題とされている。つまり、「天然物の本来の

いたが、ヒトのインシュリンと構造が違うため、長期にわたって使用するには副作用が生じ、その使用には限界があった。

「ヒト成長ホルモン」は、脳下垂体前葉ホルモンの一種である。このホルモンが欠乏すると、下垂体性小人症となる。従来、この薬剤は、ヒトの脳下垂体より抽出精製してつくられていたため、その原料に制限があり、大半が輸入にたよっており、必要量が確保できなかった。大腸菌を担体とした組換えDNA技法により作られたヒト成長ホルモン「ソマトノルム」は、一九八二年より臨床治験が行われ、一九八六年二月、厚生省から製造が承認され、大量生産が可能となった。すでに「ソマトロピン」という天然型ヒト成長ホルモンが作られており、近い将来には、ヒト脳由来の製剤やソマトノルムは、このソマトロピンにとってかわられるであろうと予測されている。

ヒト成長ホルモンの大量生産が可能となったことから、小児に限らず、成人の低身長者にも成長ホルモンの投与を検討しようという意見もだされている。例えば、一九九〇年二月に東京で開かれた成長ホルモンをめぐるコンファレンスでは、英国のロンドンから招かれた聖トーマス病院の医師ピーター・ザンクセン氏が、成長ホルモン投与によって「成長が劣っているために不利なレッテルを貼られてしまう人々を救えるのではないか」と発言している。

「インターフェロン」はウイルスの感染を防御するタンパク質である。抗悪性腫瘍剤、抗ウイルス剤としての応用が注目されている。二種類のウイルスが同一宿主に感染した場合、どちらかのウイルスが増殖を抑制される現象がある。これをウイルスの干渉現象という。この干渉現象を引き起こすウイルス抑制因子をインターフェロンと名付けた。インターフェロンの作用は、直接ウイルスに働いて阻害するのではなく、ウイルスの宿主となる

細胞に働いて細胞にウイルス抵抗性を与える間接的な作用であるとされている。すでに遺伝子工学的手法によって大量生産が可能となり、腎ガンや多発性骨髄腫に適する α 型、悪性黒色腫と脳腫瘍に適する β 型のインターフェロンが、市販されている。

ごく最近の話題はエイズとの関連性である。一九九〇年四月四日のニューヨーク・タイムズに「新しい投与経路による少量の薬剤により、数週間で、エイズの症状に改善が起こった」とケニアの主要な医学研究者が発表した」という報道がなされた。これはすなわち、WHOのエイズ指定病院第一号のケニア国立医学研究所で、コーチ博士が、林原生物化学研究所製造のケムロン(αインターフェロン)をオブラートに包んで口から投与し、好結果を得たことを報告したものである。一九九〇年七月六日、ケニア政府は日本政府にたいし、「エイズの特効薬ケムロンを百万錠送ってほしい。至急輸出を認めてほしい」との申し入れを行った。ところが、日本国内ではαインターフェロンのエイズにたいする効果が確認されておらず、法規上輸出はむずかしいということであったが、厚生省で人道的観点から慎重な検討が行われ、七月二十日に特別措置として輸出を認可することとなった。それとともに、国内でもケムロンがエイズの薬として効果をもつかどうかの臨床試験が開始された。

「インターロイキン2」は、免疫機能を活性化するタンパク質として注目されている。このインターロイキン2はヘルパーT細胞(Tリンパ球)から分泌され、他のヘルパーT細胞の表面の受容体に付着し、これらの細胞を急速に増殖させることによって、仲間のインターロイキン2を増やしていく。それと同時に、キラーT細胞(他のTリンパ球)の受容体に付着し、分裂増殖を促進し、侵入者の腫瘍細胞を破壊する物質を分泌させる。遺伝子工学の技術により、リコンビナント・インターロイキン2が生産され、免疫体を介する抗悪性腫瘍作用が注目されていたが、一九八九年に腎臓ガンの治療薬として承認された。

「組織型プラスミノーゲン活性化因子」(TPA) というのは、プラスミノーゲンというタンパク質を活性化することによって、脳血栓などの血栓を溶かすプラスミンという酵素に変えるものである。これはここ数年のうち急性心筋梗塞にたいする冠動脈内血栓溶解療法の主流になることが確実だとされている。すでに、天然体TPAのアミノ酸を一つ置換した誘導体が作られており、これによれば、天然体TPAの半減期を延長することに成功し、試験段階に入っている。もし薬効が確認されれば、「一般医院で患者に注射した後、救急車で重症な不整脈のケアができる専門医院に転送するということも可能になる」と指摘されている⁽⁵⁾。

「腫瘍壊死因子」(TNF) とは、ガン細胞だけを特異的に殺してしまう蛋白質である。遺伝子工学の技術によりヒトTNFの生産に成功し、現在抗悪性腫瘍剤としての臨床的応用が治験されており、その効果が期待されている。

その他、「カルチトニン」は、骨を作るときに必要なホルモン、「サイモシン」は、免疫T細胞の分裂を促進する蛋白質、「アルブミン」は血清蛋白質である。

b、遺伝病の遺伝子診断と遺伝子治療

遺伝病の遺伝子診断は臨床的に実施されており、また、遺伝子治療も試験的に実施されている。

まずはじめに、遺伝子診断に関する問題を見ておこう⁽⁶⁾。

たとえば、家族性アミロイドーシス⁽⁷⁾ (amyloidosis) という病気がある。この病気を引き起こす遺伝子は判明している。この病気は、子供のときにはあまり異常はないが、三十歳から四十歳くらいになって強い神経障害が現れ、若いうちに亡くなるという悲惨な病気である。遺伝性の病気であるため、病気の同胞がいれば、自分も発症

する可能性があるということはわかるが、百パーセント発症するかどうかは分からなかった。ところがDNA診断によれば、生まれたとき、あるいはさらに早く胎児の段階で調べることによって、その子が将来三十年か四十年たったらアミロイドーシスで死亡するということが分かってしまう。このようになると、治療法のない病の場合、診断することが本人ならびに家族にとって、はたしてよいことなのかどうかという倫理的問題が提起されることとなった。

他方、糖尿病や動脈硬化の場合には、早期にDNA診断が可能となれば、早い時期から予防ができるのではないかと予測されている⁽⁸⁾。

遺伝病の診断は出来たが治療法はないという状況を打開するためには、どうしてもDNA治療という方向に踏み出さざるを得ない。遺伝子治療に関しては、一九八五年にアメリカで、患者一代限りで生殖細胞には影響を与えないという条件をつけた上で、他に治療法のない重い遺伝病には遺伝子治療の臨床応用を認めるといふ、具体的なガイドラインが示された。

遺伝子DNAに欠陥があるために起こる遺伝病は、三千種ほどあるといわれている。遺伝病には単因子遺伝病と多因子遺伝病があるが、現在遺伝子治療の対象と考えられているのは単因子性の劣性遺伝病——父親と母親からきた相同の遺伝子の両方に欠陥がある場合に発症するもの——の中で大きな割合を占めている先天性代謝異常——酵素欠損症——である。具体的には、DNAとRNAの塩基合成に不可欠のハイポキサンチン・グアニン・フオスフォリボシル基転移酵素(HPRRT)が欠損することにより、精神遅滞、通風、自傷行為などを引き起こすレッシュ・ナイハン症候群(小児高尿酸血症)、また免疫不全のため治療をしないと生後間もなく死んでしまう、アデノシン・デアミナーゼ(ADA)欠損症と、遺伝子の欠損により起こる先天性免疫不全症であるプリン・ヌ

クレオチド・フォスフォリレーシス (PNP) 欠損症である。

一九八九年、アメリカで、ガン患者から取り出した細胞に遺伝子組換え操作を行って、目印をつけ、患者にもどし、行方を探る実験が承認された。この実験は、患者の治療を目的としたものではなかったが、遺伝子治療に不可欠となる人体への遺伝子組換え技術の応用に突破口を開くこととなった。

そして、一九九〇年七月三十一日、米国立衛生研究所 (NIH: National Institute of Health) の組換えDNA諮問委員会は、NIHのブラックス (R. Michael Blase) とアンダーソン (W. French Anderson) から提出されていた人間の遺伝子治療実験にたいし、世界初の承認を与えた。彼らは、重度のADA欠損症で苦しんでいる子供の治療を手掛けることになった。この病は、稀な先天性免疫疾患であり、世界中でもこの病に罹っている人は二十人もいない。この病に罹ると、免疫機能の弱体化から、感染症に罹りやすくなり、適当な治療を施さなければ、一、二年で死亡してしまうのである。

ブラックスとアンダーソンらの治療は、一九九〇年九月十四日に行われた。治療法は、正常なヒトのADA遺伝子を取り出し、人間に無害なウイルスの遺伝子に組み込む。次に、ADA欠損症の患者の骨髄から、血液幹細胞を抽出し、先のウイルスを感染させてやる。感染すると、ウイルス中にあるADA遺伝子が患者の幹細胞に組み込まれる。この血液幹細胞を試験管内で培養し、最後に患者の体内に戻してやって治療は終了する。幹細胞は白血球などを新しく生成する細胞であり、ADA遺伝子を組み込まれた幹細胞が体内に戻れば、欠損していた酵素が産出され、患者は健康を得ることができると考えられている。この日の治療では、約十億個の幹細胞が腕に注入された。二週間ごとに通院して治療を続けていたが、三回目の治療を終わった時点で、すでにADAの働きが、健康な場合の約二十パーセントまで回復した。今後、順調にいけば、半年から一年後には免疫機能が回復し

てくると期待されている。

このほかにも、NIHは、一九九一年一月二十九日に、末期皮膚ガン患者にたいする遺伝子治療を開始している。

これらの技術が改善された暁には、先天性の病気だけでなく、後天性の病気の治療においても、DNAの修正や入れ換えが行われるようになるであろうと予測されている。

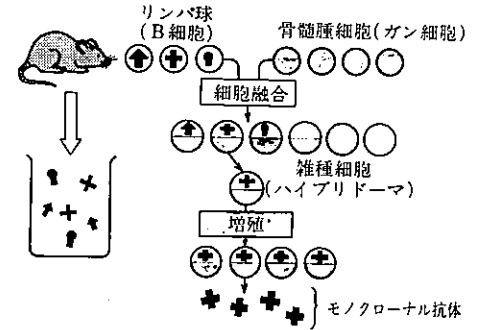
②、細胞操作 (その1)

医学・薬学への応用としての細胞操作では、細胞融合によるモノクローナル抗体の生産と、ヒトの生殖細胞を扱う生殖技術について述べておこなうてはならない。

まずはじめは、細胞融合についてである。異種の細胞間で、ガン細胞だけでなく正常な体細胞の融合が可能となり、生物学の基礎研究は大いに進歩した。動物細胞では、現在のところ雑種細胞から個体を誘導することはできない。しかし、細胞融合を応用することによって、一つの細胞クローンから導かれ、極めて特異的に働く抗体である「モノクローナル抗体」構造が完全に同一な抗体で、同一種類のB細胞より産生される抗体である——の生産が可能となり、各方面に大きな影響を及ぼしている。

モノクローナル抗体の生産法は次のようである。目的とする抗原で免疫した動物の脾臓からB細胞 (骨髄由来細胞) を取り出し、これにミエローマ細胞——骨髄腫細胞で強い増殖能力をもつ——を混ぜてポリエチレングリコールを加えると融合細胞ができる。この中からB細胞とミエローマ細胞が融合したハイブリドーマを選別する。

第7図
細胞融合によるモノクローナル抗体の生産



出典、渡辺格著『生命科学の世界』日本放送出版協会、1986年、119ページ。

選別したハイブリドーマをばらばらにして、一個の細胞から増殖してきた単一の細胞集団を作る。これをガラス器内で培養するか、動物の腹腔内に注射してやると、ハイブリドーマは無限に増殖しつづけ、最初に接種した抗原にだけ反応する抗体、つまりモノクローナル抗体を大量に作り出すということになる〔第7図参照〕。

モノクローナル抗体は、いろいろな病気の鋭敏な診断法として実用化が進んでいる。アレルギー、貧血症、白血病、妊娠、糖尿病、血液型、性病、B型肝炎、胎児期における遺伝的欠陥の早期発見、ある種の乳ガンなどさまざまな診断に使われている。

は、ガンの治療である。ガン細胞表面の抗原に特異的に反応するモノクローナル抗体に、一分子でガン細胞を殺すことのできるような極めて強力な天然毒素を結合して、ガン細胞を選択的に殺そうというわけである。生体外テストは良好であるが、厳密な意味で、ガン細胞に典型的な抗原というものが確定されていないなど、未解決の問題が多く残されている。また、これまでのモノクローナル抗体がマウス型であったので、ヒト型のモノクローナル抗体の開発が急がれている。

③、細胞操作(その2)

ヒトの生殖細胞や胚にたいする操作技術は、近年、急速な進歩を遂げてきた。特に冷凍技術の進歩により、時間的にも、空間的にも、操作可能性が拡大してきた。

a、生殖技術の進歩と新たな社会的・倫理的問題の出現

十七世紀に精子が発見され、十八世紀には、配偶者間人工授精が実施された。二十世紀に入ると、体外での受精技術が開発され、ここから精子、卵子、受精卵を操作する技術が飛躍的に発展することになった。以下、年を追って見ていくことにしよう。

一九七〇年代には、ステプトーが体外受精法による不妊治療を開始した。

一九七六年には、アメリカのミシガン州の弁護士ノエル・キーンが世界初の代理母契約を取りまとめた。この代理母契約は、それ以降開発されてきた様々な生殖技術を導入することによって、複雑な問題を提起することになった。

一九七八年に至って、ステプトーとエドワーズの手により、世界初の体外受精児ルイズ・ブラウンが誕生した。一九九〇年までに、世界では、約一千人の体外受精児が誕生している。

一九八〇年代に入ると、人間に対する生殖技術の適用が本格化した。

一九八二年には、オーストラリアのモナシユ大学のトルンソンが、妻以外の女性の卵子と夫の精子を受精させ、その受精卵を妻に戻して妊娠させる実験を進めると発表された。生まれた子供の実の母親は、卵子の提供者なのか、それとも子宮の提供者なのかという議論が起こり、事の重大さに困りはてた州政府は、一九八三年五月研究の一時停止命令を出した。しかし、この一時停止命令は多くの女性の反発を招いた。その理由は、「子宮に恵ま

れない夫婦のうち、夫に原因があれば、他人が提供する精子の使用を認めてきたのに、妻に原因があっても卵子の提供を認めないのは差別だ」ということであった。女性の代表十二人が州の公平委員会に提訴した結果、ウォーラー委員会は、一九八三年八月、卵子の提供者のデータは病院で保管する、この種の体外受精児は養子縁組と似た扱いをする、などの条件をつけて、卵子の提供による体外受精を認める勧告を出した。しかし州政府は停止命令を解除する決定は出さず、倫理委員会と州政府が対立することになってしまった。しかし、卵子提供による体外受精はすぐに臨床に応用され、一九八三年十一月には、無事に出産した。この出産が公表されたのは、一九八四年の一月中旬であったが、州政府はこのことが公表される以前に禁止命令を解除せざるをえなくなり、一九八三年十二月に急遽、禁止命令を解除したのであった。⁽¹³⁾

一九八二年九月、エドワーズは、体外受精の採卵手術で余剰となった受精卵を、「ガンやダウン症などの解明に役立てるために実験的に培養している」と発表し、受精卵を生命のはじまりと見なす宗教関係者から、多くの批判が浴びせられた。エドワーズが、BBCを舞台に公開討論会を行ったこともあって、一九八七年には、「受精卵は、移植可能な期間（子宮内で着床可能な期間）を超えて、保存、観察をしたり、不特定な研究目的のために保存培養してはならない」という倫理基準（ガイドライン）が打ち出された。現在、イギリスでは、十四日まで、受精卵の培養・観察が認められている。⁽¹⁴⁾

一九八三年一月には、カリフォルニア大学ロスアンゼルス校、ハーバー・メデイカル・センターで、洗浄法を用いた受精卵移植が行われ、成功した。

一九八三年七月には、オーストラリアで代理母が子供の引き渡しを拒否するという事件が起こった。

一九八三年八月には、オーストラリアで人工受精法が発効された。

一九八三年十一月には、オーストラリアのカール・ウッドのチームの手により、卵子形成が絶望的な女性の要望に対し、他の女性の卵子に夫の精子で体外受精を行い、胚が二細胞期の時に移植し、無事出産にこぎつけた。⁽¹⁵⁾

一九八四年一月と三月には、カリフォルニア大学ロサンゼルス校のJ・バスターらによって、他人の卵子に由来する子供がはじめて誕生した。この場合、前年のオーストラリアのケースとは違い、卵子提供者の子宮に精子を注入して受精させた後、洗浄法で回収した胚を出産希望者の子宮に移植している。⁽¹⁶⁾ 四月には、アメリカ不妊学会が、非配偶者間の体外受精、受精卵移植を認めた。

一九八四年三月には、オーストラリアのカール・ウッドのチームの手により、冷凍受精卵による体外受精児がはじめて誕生した。欧米では、すでに百人近く誕生している。日本では、一九八九年七月、東京歯科大のグループによって、はじめて妊娠に成功した。

一九八五年、越谷市立病院の山本勉・田中温らのチームは、新しい体外受精法である配偶子卵管内移植法(GIFT: gamete intra-fallopian transfer)——体外に取り出した卵子と精子を培養液とともに混合し、これを卵管に送り込む方式である——を開発した。この方式では、受精は卵管内で進行する。妊娠率四十パーセント、低い流産率、妥当な費用、技術的・倫理的に問題がすくないというものである。ところがこのGIFT法にも、問題がないわけではない。「失敗した場合に、卵管に機能的問題があったのか、受精がうまくいかなかったのか、原因がわからないのが大きな欠点だ。原因不明不妊での成績はよいが、当初効果が期待された男性不妊ではそれほど成績が上からず、適応の範囲はI.N.V.I.E.T.に比べてかなり狭くなる」とされている。⁽¹⁷⁾

一九八七年三月三十一日、代理出産契約のもとに子供を出産したホワイトヘッド婦人が、子供の引き渡しを拒否して問題となっていたベイビーM事件において、子供に対する親権は、子供の精子の父である出産依頼者、ス

ターン氏に属することが認められた。

一九八九年八月、離婚を決意したアメリカ人夫婦が、凍結した受精卵の処理をめぐる法廷で争った。不妊症に悩む妻が体外受精を決意し、得られた九つの受精卵のうち二つを体内に戻したが失敗した。残り七つはその後、機会を待つために凍結保存されていた。離婚にあたって夫は、「離婚する以上、彼女との子供は欲しくない。受精卵はまだ生命とはいえない。冷凍のままの方が幸せだ」と主張しているのに対し、妻は、「受精卵はすでに一個の生命である。体内に戻して生みたい」と対立している。アメリカ産科学会では、「生命の可能性をもっており、人間にたいするのと同じ尊敬をもって扱うべきだ」としながらも、人間の生命そのものではないとする立場の学者が多い。これにたいし妻の弁護士は、潜在的な人間の生命だという点を強調している。

b、選択的人工授精と結婚観の変化

精子の選択的人工授精が実施されている。ロバート・グラハムは、「胚種選択（ジャーミナル・チョイス）のための精子貯蔵所」という「精子銀行」を作った。その設立の趣意書は、「当精子貯蔵所の目的は、未来の子供づくりに最良のスタートを用意する非常利の銀行です。遺伝子こそは、人生の青写真なのです。当銀行は、未来のあなたの子供のために優秀な遺伝子を持つ男性の精子を提供します。精子の提供者は、肉体的、精神的健康と、健全で社交的な性格、抽象的思考力と知的想像力を備えたIQ（知能指数）の高い人々です……」というものである。

この精子銀行から精子の提供を受けて子供を産んだ、アフトン・ブレイクのインタビューがある。子供の名前は、ドロン・ブレイク。精子提供者である父親は「提供者・赤」と呼ばれている人である。資料リストによると、彼女は次のような結婚観を述べている。

彼女は、彼の創造的な知能と音楽を愛する心にひかれて、「提供者・赤」を選択したという。

「昔は経済的な安定や生活の保証を得るために結婚するケースがありました。そして子供も、ほんとうにほしかったから生まれるというより、単にできてしまったから受け入れるということが多かったように思います。今、アメリカでは経済的に独立した女性が増え、必ずしも男女がいっしょにならなくてもよいと考えている人が多いのです。そんな人が、子供をほしがって十分考えた末の子供と、結婚してなんとなくなってきた子とをくらべることができません。むしろ、結婚して望まれずに生まれた子を受け入れるのが、愛だとは思いません。私は、たとえ精子をもらってつくるにしろ、よく考えて望んだ子に愛があるように思います。」⁽¹⁸⁾

次に、代理母出産について見ていくことにしよう。代理母契約は、人間の「生命の質」を、出産契約の条件中に取り込んでいる。単に「子供が欲しい」ということから出発した代理母出産は、金銭を媒介とする契約という形式をとるに至って、誰もが心の中に持っていた「よりよい子供を」という要求を突出させることとなった。そのような要求は、契約条項の中に、条件からはずれる場合は「中絶する」という条項が盛り込まれることとなった。また、このような傾向が積極的に展開されることになれば、それは容易に「子供の商品化」、更には、優生学的観点の導入につながってくるものと予測される。

また、代理母出産はこれまでであった母子関係をますます複雑にすることとなった。母は、「卵子の母」と「子宮の母」と「育ての母」に分裂し、代理母の子供の引き渡し拒否にみられるような養育権の帰属など、新たな難問が出てきた。

母の分裂に伴い、「産むこと」と「育てること」の間にも、分裂が生じた。生殖技術の進歩に伴い、このように母子関係が複雑化してきたことによってもたらされる倫理・道徳への影響は、我々の予測を遙かに越えたものである。

代理母契約には、代理母の自由をどの程度拘束できるのかという、プライバシーに関するやっかいな問題がある。妊娠中には、飲酒や喫煙を控えて欲しいとか、運動は毎日何時間やって欲しいとか、睡眠は何時間以上とってほしいとか、依頼者側のこの種の要求事項は、明らかに代理母のプライバシーを侵害することになるのではないだろうか。

子供の気持ちはどのように考慮されているのであろうか。子供が成人してから、自分の出生を知った時、一体どのような思いを抱くかは、全然予想できない。自分の出生を、祝福されたものと思えない者の場合、新たな問題が生じてくる。最初の時点での選択の倫理は、選択の時点のみで完結しておらず、後々まで、問題を残すことになるのである。

子供の希望によつては、「卵子の母」や「子宮の母」との面会などは許されるのであろうか。成年に達したときに、自分の出生証明書や代理母に関する情報を入力する権利を与えられるべきだとする人は多い。

いずれにせよ、生殖技術による人間生命への介入が、性と結婚によつてさまざまな倫理体系が維持してきた人間の絆を、危機に陥れることになるのではないかとの、危惧を抱かせるまでになってきた。

④、組織・器官の操作

医学との関連における組織の操作としては、同一個体内での組織の移植、異個体間での組織の移植、胎児組織

の利用があげられる。また、器官の操作としては、臓器移植、人工臓器の開発等があげられる。

a、組織の移植

パーキンソン病の治療を目指して、脳組織の移植が実施されている。健康な個体では、中脳の黒質でつくられる神経伝達物質ドーパミンが線条体への情報伝達を司り、運動機能調節に重要な役割を果たしているが、パーキンソン病患者では黒質の細胞が死滅し、したがってドーパミンが合成されない。そのため、運動機能がいちじるしく低下したり、ふるえが生じるとされている。

薬によるドーパ療法が可能となったが、身体全体に分布する交感神経にもはたらく薬であるため、副作用が多く、長期間にわたる服用が必要ということで、煩わしいなどの問題もあった。そこで、治療法として、黒質の細胞の移植が考えられた。

まず、ラットの脳の片側の黒質線条体経路を破壊することにより、実験的にパーキンソン病的症状をおこすことができる。このようなラットの脳に、ラット胎児から得た黒質部の組織を移植することにより、治療できることが判明した。多くの動物実験が行われた後、ヒトへの応用が試みられた¹⁹⁾。

第一回の手術は、一九八二年三月三十日に、ノルウェーの脳外科医、バックルンドを中心に、スウェーデンのカロリンスカ研究所の外科、精神科、解剖組織学研究所のスタッフも協力して行われた。

患者は、五十五歳の男性で、長期間パーキンソン病を患い、寝たきりで回復の見込みのない状態であった。この人は、自分から手術を受けることを強く希望していた。全身麻酔の上、患者の副腎髄質を取り出し、患者の左の尾状核に埋め込まれた。手術後、一週間ばかりは腕の硬い感じがとれたのであるが、その後、症状はもとに戻ってしまった。このグループはその後一九八六年までに、更に三例の手術を行ったが、どれもあまりよい回復を

実現できなかった。

ところが、一九八六年十一月、アメリカの神経科学学会で、メキシコのマドラソとドルツカー・コリンたちのチームが、患者の尾状核に二立法ミリメートルぐらいのあなを開け、そこに患者自身の副腎髄質の切片をクリップで止めるといふ方式で移植し、パーキンソン病が非常によくなったという事例を発表した。更に翌年、同チームは、もう一人の患者の手術成績を発表した。このときは、寝たきりだった患者が、子供とボール投げをして遊ぶ光景を、ビデオに撮って写し出した。この発表は、世界中に衝撃を与えた。川村浩は、尾状核に移植された二立法ミリメートルの副腎髄質の切片から分泌されるドーパミンがパーキンソン病を治してしまふのは無理かもしれないとしながらも、移植が、衰えていた本来のドーパミンニューロンを強化し回復させるはたらきをもったとすれば、この話は理論的に無意味ではなくなるとしている。⁽²⁰⁾

動物実験では、このほかに、様々な移植が試みられている。先の例は、同一個体内での移植であったが、次の例は異個体間での移植である。

マウスには性的成熟がみられないhpgという系統がある。その原因は脳の視床下部で生殖腺刺激ホルモン放出因子が十分に合成されないことにある。そこで、正常なマウスの胎児の視床下部組織をこのhpg系統のマウスの脳に移植するという実験が行われた。するとこの状態はいちじるしく改善され、雌では、卵巣と子宮が正常に発達し、十四のうち七匹は妊娠し、子を産み、育てた。また一方、雄では、精巣が発達して精子の形成にいたったが、交尾行動はみられなかった。

人間においても、生殖腺刺激ホルモン欠乏症の性機能不全が知られており、これは先のhpgマウスの症状に酷似している。同様の手法による治療が可能と思われるが、人間の場合には、異個体の組織の利用には倫理的問

題があり、自由にならない状況にある。

しかし、このような状況も打開されつつある。つまり、医学の分野では胎児組織を利用した研究の増加に対応して、胎児組織を治療に役立てようという動きがでてきたのである。オーストラリアでは、一九八三年秋にガイドラインが公布され、自然流産または合法的中絶による胎児(しかも、妊娠二十週目までで体重四百グラム以下)で、母体外で生存不可能な場合に限り、研究に用いてよいということになった。⁽²¹⁾

b、臓器移植と人工臓器の開発

臓器移植が可能とされている臓器の種類と、移植適応疾患の種類を表にしたもの「第4表参照」と、人工臓器の種類と、それらがどの研究開発段階にあるのかを表にしたもの「第5表参照」を掲げておく。

現在、臓器移植は脳死との関連において、社会的な問題となっているが、将来、人工臓器開発も具体化してきた時点では、深刻な倫理問題を突き付けてくることが予想される。

たとえば、概念段階にある人工子宮が開発された暁には、女性は妊娠の労苦から解放され、母胎内体験をもたない子供の出現ということも夢ではなくなるだろう。事実、一九六〇年代には、このように期待が表明されていたのである。⁽²²⁾ここで、その経過を見ておくことにしよう。

一九六一年に、イタリアの生物学者、グニエレ・ペトルッチは、胚を体外で五十九日間育てたことを発表した。彼は、この胚で心臓の拍動を観察しているが、「奇形的になり、膨れあがってきた」ために処分したのである。カトリック教徒であった彼は、この胚に仮洗礼を施し、終油式を授けたが、イタリア当局も教会の聖職者たちも納得せず、教皇の命令で生命の体外発生の研究を断念するに至った。⁽²³⁾

によって行われている。

これは次のような場合には、倫理的に微妙な問題を提起してくる。

一九八一年のことであったが、ニューヨークのマウントサイナイ病院のトマス・ケレニー教授らは、四十歳の高齢初産の婦人の依頼で胎児の羊水検査を行ったところ、双子の一方がダウン症候群と判明した。相談の結果、ダウン症候群にかかっている子供を、母体内いるまま心臓に針を刺して死亡させた。その四か月後、正常な胎児は無事出産し、その後も何等異常はないという。

次の例は、先天異常という点ではなく、妊娠した胎児数が技術適用の理由とされている。

一九八五年には、日本で、排卵誘発剤を用いて妊娠した婦人が、七つ子であることが判明したために中絶、また、一九八六年には、排卵誘発剤を使用して四つ子を妊娠した婦人に対し、日本で初めて減数手術が施され、二児を中絶し二児を無事出産した。

このような問題にたいし、一九八八年、日本産科婦人科学会は会告⁽²⁷⁾を発表し、対処することとなった。もし、先天異常が判明した場合には、胎児の両親と医師が相談し、生むかどうかを決定することになっている。

b、脳死

正確には脳幹死と呼ぶ。この状態では人工心肺によって心臓は動いていても、脳幹の機能停止によって自発的呼吸機能は失われているので、脳死状態⁽²⁸⁾を維持するためには、人工呼吸器を使う必要がある。脳死状態においては、脳機能⁽²⁹⁾は停止し、永久に回復不能となっているが、脳以外の身体機能、すなわち、心臓、肝臓、腎臓、肺などは正常に働いていて、全身管理さえ十分になされていれば、五十日から二百日という、かなり長期間にわたっ

て脳死状態を維持することが可能である。これは、脳幹部の機能は保たれていて、人工呼吸器の助けを必要とせず、意識がなくて寝たきりになっている植物状態とは、まったく異なるものである。

脳死は、現代の高度医療技術が作り出した人工的産物ということが出来る。脳死の患者は、人工心肺器を取り付けられた状態でしか存在し得ないものだから、人工心肺器のなかった時代には、脳死は不必要な定義であった。脳死はあくまで医学的な人間の死の定義であって、それと移植用の臓器摘出とは切り離して考えるべきである。しかし、実際に判定基準の確定においては、臓器移植の可能性が十分に考慮されている。つまり、判定に十分長い時間をかけるなら、脳死は従来の死の概念である心臓死にいたるのであるが、あまり長い時間をかけすぎると、身体臓器に障害が生じてしまう。そこで、回復の可能性がないと判断できる最低の時間はどれくらいかということが重大な問題となっているのである。

脳死議論がもたらした最大の問題は、何であろうか。それは、生物学や医学が生命のよりどころとした個体の概念の崩壊であると、指摘されている⁽³⁰⁾。

「『脳死』の問題がなんとも割り切れなく感じられるのは、そういう生物学的個体の概念が無視されているからである。『脳死』がやがて必然的に個体の死を生み出すにしても、その時点で個体の生物学的『自己同一性』が失われているとは考えられない。『脳死』の個体は、他者の侵入（たとえば皮膚移植）を拒絶し、『自己』を守り、個性を主張し続ける。生物学的にはまぎれもなく生きていっているというほかはない。

生物学からみた『脳死』は、やがて必ず起こるところの『未必』の個体の死ということになるだろう。未必の死を認めるかどうか、という話はまた別である。私は現代の医学が、この未必の死を正確に診断できることを疑っていない。しかし、それならば、同様に『肺死』も『肝死』も未必の死である。肺も肝臓も機能が失わ

れば個体はやがて必ず死ぬのだから、これも未必の死と判定しなければならぬ。

臓器レベルでの死を考え始めた瞬間から、人間は臓器レベルでの生のことも考えなければならなくなった。筋萎縮症などで全身の筋肉が動かなくなり、呼吸維持装置を取り付けられた「脳人間」の出現は、単なる悪夢ではなくなっている。「脳死」の議論が残した最大の問題は、生物学や医学が生命のよりどころとした個体の概念の崩壊である。生命の細分化を極限まで推し進めてきた科学者にまるで報復するかのように、死の断片化という問題が突きつけられた。」

ここにはちやうど、生殖技術の進歩により、母が「卵子の母」「子宮の母」「育ての母」と分裂していったの様に、死の細分化が進行している。

c、植物人間

植物人間とは、遷延性意識障害の状態にある患者のことである。植物状態は脳死とは異なる。脳死の場合は、脳幹が機能停止しているのにたいし、植物状態の場合は、脳幹が生きている。それ故、自力で呼吸をしている。

まれに回復することもあるが、いったん植物状態がかたまるとほとんど治る見込みはなく、生命維持装置と手厚い看護によって延命しているにすぎない状態となる。植物状態の患者の平均延命年数は約二・二年といわれているが、有名なカレン・クライン⁽³¹⁾の場合は、十年二カ月にわたって、植物状態が継続した。

この延命の間、患者本人が肉体的・精神的苦痛をこうむることもあるといわれている。こうなると単なる延命に疑問が投げ掛けられ、尊厳死の問題が生じてきた。尊厳死とは、末期状態の患者が医療を自発的に拒否し死にいたる場合をさすが、広い意味では、末期治療のある段階で治療を停止し（人工呼吸器をはずすなど）死に至ら

しめること全般をさす。この問題は、無用な苦痛をさけるという個人的な面からと、医療技術の合理的活用という面からの両面から真剣に考えていく必要があると思われる。しかしこれは脳死判定とは違って難しい問題を含んでおり、これも事前の患者の意志のない場合は、患者の家族と医療担当者だけでなく、第三者を入れた機関を作って慎重に判定するという方式が必要である⁽³²⁾。

⑥、医療技術予測

これまで、医学・薬学に関する生命技術の現在の到達点を、DNA、細胞、組織、器官、個体において見てきたが、最後に、医療技術予測をしておくことにしよう。これは、一九八一年にミッシェル・サロモンが作成したものである。ここでは、一九九〇年代以降の予測のみ掲げおくことにしよう⁽³³⁾。

《一九九〇年代》

人工子宮——胎児が最適時を待つことができる人工子宮

合成血液——自然の血液がもつ特性の大部分を有する合成血液

心筋梗塞の原因となる血塊の早期発見

風邪・肝炎・虫歯に対する有効なワクチン

骨髄の移植

新生児の奇形の子防や種の改良操作

マイクロコンピュータの脳への挿入——精神障害をもつもの、あるいは身体的・知的達成への補助のための人工器官

《二〇〇〇年代》

人間の生命の延長——代謝の鈍化による生命の延長

不死——人工的に温度操作をすること（低温創出）によって、理論的にはある種の不死が可能となるであろう。脳の利用——身体から切り離された脳を人工循環系につないで維持するという可能性はもはや根拠のない予測ではない。

植物細胞と動物細胞の結合

新しい種の創造

人間の身体の一部、例えば四肢の自己再生

ここに予測されている生命操作における自由度の拡大には、目覚ましいものがある。

以上、医学・薬学の領域で開発されているさまざまな生命体の操作技術を見てきた。遺伝子イコールDNAという知識をもっているわれわれは、たとえDNAを直接操作していなくても、つまり、細胞、組織、器官、個体レベルで生命体の操作を行っていても、それはDNAを、それをとりまくシステムと共に、遠隔的に操作しているのだということを知っている。ここが、遺伝子イコールDNAという知識を得ていない段階での洞察と全く異なるところである。

(二)、農業・畜産への応用

農作物の改良、家畜の改良は、人間の食糧を確保・供給するという問題との関係から議論されている。食糧の

確保・供給のつびきならない問題として取り上げられるようになってきた背景には、急激な人口増加と地球環境汚染がある。環境汚染による森林の枯渇や砂漠化現象などで、植物の生育可能環境が減少してきていることに加えて、急激な人口増加によって、食糧の絶対量の不足が心配されるようになってきたのである。今、農業・畜産領域では、このような状況を改善すべく、バイオテクノロジーに大なる期待がかけられている。

①、農業

a、DNA操作

植物を対象としたDNA操作としては、増収品種の育成、耐病性品種の育成、栽培・飼育地域の拡大等が考えられている。DNA組換え技術で交雑可能な組み合わせ範囲が格段に広がったので、いまままで栽培化されていなかった野生植物の遺伝子までも利用の対象となり、それらが新しい生物資源として国際的に注目をあび始めている。増収品種の育成に関しては、作物の光合成能力を高めてやるのが考えられている。イネ、ムギ、野菜、イモ類、豆類など、栽培されている大部分の作物は光合成の面からC₃植物——光合成の最初の産物が三炭素物質のフオスフォグリセリン酸であることによる——と呼ばれており、トウモロコシ、サトウキビなど少数のC₄植物——光合成の最初の産物がC₄ジカルボン酸であることによる——に比べて、半分程度の光合成能力しかない。C₃植物の光合成能力をC₄植物のそれに近づけることができれば、収穫量がぐんと増え、食糧増産の上で非常に大きなプラスになると期待されている。

植物における窒素固定能力も大いに注目されている。もし、植物にこのような能力があれば、化学肥料にかか

いる)。組換えDNA技術によって、植物に空中窒素固定能力を導入することが考えられたが、これには十七個の遺伝子が関与していることが分かり、窒素固定遺伝子を組み込み秩序正しく働かせるのは、極めて困難であることが判明した。そこで考えられた別の方法は、根の部分に共生している細菌の中から窒素固定能力を持つものを探し出し、組換えDNA技術でその窒素固定能力を高めてやろうというものであった。これが実用化されれば、窒素分の少ないやせ地でも、作物が健全に育つものと期待されている。また、穀類や豆類に含まれるタンパク質の栄養価を高めてやることも考えられている。

耐病性品種の育成と栽培地域の拡大も、大いに期待されている。

一九八一年に北アメリカはタニの一種で森林に害をもたらすマイマイガによる大被害に見舞われた。翌年、これらの被害を受けた木々の中から、害虫にたいする抵抗力をもっていたものがみつかった。その秘密は、葉にふくまれたタンニンであった。このタンニンが含まれた葉は害虫の食用に適さなかったのである。このような特性を担っている遺伝子を植物に導入することが考えられている。また、昆虫に対する毒素を生産するバクテリアが知られているが、その毒素を生産するバクテリアの遺伝子を、作物に取り込んでやることにより、虫の食わない植物ができるのではないかとすることも考えられている。

栽培地域の拡大に関連しては、たとえば、植物に耐寒性を与えることができれば、北国でも育つようになるし、耐塩性を与えることができれば、海岸を耕地として利用できるであろう。現在、イネ、大豆、野菜などに耐病性、耐虫性、耐寒性、耐湿性などを与えて新品種を育成し、栽培適地の拡大や生産の安定化を図ることが目標とされている。

b、細胞操作

細胞融合の農業への利用により、系統が離れ過ぎていて、従来の有性交雑法では掛け合わせが不可能だった植物の体細胞融合が可能となった。このような融合細胞を用いて、作物の改良や新品種の育成が試みられている。

植物細胞の硬い細胞壁を溶かしたプロトプラストに、ポリエチレングリコールをかけるか弱い電気刺激を加えると、二つの細胞が合体して雑種細胞ができる。これを培養するとカルスと呼ばれる未分化の細胞塊となる。カルスを培養すると、植物体に成長するものができてくる。

今日までポマト（一九七二年）をはじめいくつかの成功例があるが、まだ作物として役に立つ雑種植物ができるところまではいっていない。現在、ダイコン、キャベツなどアブラナ科野菜の雑種をつくること、イモ類の新しい雑種をつくることが目標とされている。

問題点としては、プロトプラスト化ができないものが少なくないこと、培養中に必要とされている性質が失われてしまうものがあること、カルスから分化・再生しないものが多いこと、花は咲いても種子が取れないものが多いことなど、解決すべき点が多く残っている。実用化は一九九〇年代と見込まれている。

c、組織の操作

組織レベルの農業技術としては組織培養がある。これには、生長点培養、胚培養、葯（花粉）培養、カルス培養といった手法が開発されている。

生長点培養の手法は、植物の茎や根の成長点やそれを含む近くの組織を分離し、ガラス器内で培養するものであり、すでに多くの実用成果をあげている。この組織培養の技術がはじめて利用されたのは、ランの生長点の

増殖であり、一九六〇年のことであつた。植物体がウイルスに感染していても、成長点やその付近はウイルスにおかされないで、これを培養することで、ウイルスに感染されていないウイルスフリー植物体を育てることができるという利点がある。近年、イチゴなどでもこの手法で育てた苗が市販されている。

胚培養では、雑種胚の培養によつて新野菜が作られている。ふつう雑種胚は種子になる前に発育を停止し、死んでしまうのであるが、初期胚を取り出して、試験管の中で栄養分や成長ホルモンを与えて培養すると、生育を続ける。キリンビール社はトキタ種苗と共同して、コマツナとキャベツを交配した千宝菜を作り、市販している。また、岐阜県農業試験場などで、ハクサイよりも美味なうえ、キャベツのように生食にも向くというハクランが作られた。日本では、このほかに、温州ミカンとオレンジの雑種、ミカンとハッサクの雑種、早生モモ、ユリの雑種などが作られているが、世界では、七十五種以上の雑種植物が胚培養によつて作られているという。

薬培養は、雄しべの先端にある薬——花粉の入っている袋——を培養して植物をつくる方法である。薬培養を利用すると、植物の育種期間を短縮できるので、品種改良に利用される。

②、畜産

畜産の場合、受精卵の操作と、初期胚の操作が重要である。

a、受精卵段階でのDNA操作

一九八二年に、R・パルミターらは、ラットの成長ホルモン遺伝子DNAと、マウスのメタロチオネイン遺伝子の発現調節部分（プロモーター）とをつなぎ合わせた複合DNAを、プラスミドDNAにつなぎ、マウスの受精卵に注入して発現させ、普通のマウスの一・八倍の体重をもつたスーパー・マウスを作った。この複合遺伝子D

NAは子マウスに遺伝することが確認されている。これは受精卵操作と組換えDNA技術を組み合わせた新しい操作技術の成果である。

このスーパーマウスの誕生はいろいろな可能性を示唆している。産業上重要なことであるが、動物の成長を大幅に早めたり、普通よりも大きな動物を作ること、乳のよく出る乳牛を作ること、ヒト遺伝子を注入して、疾患モデル動物を作ることなど、さまざまな応用が考えられている。

b、初期胚の操作

畜産の分野において、特にウシを対象として初期胚移植が行われている。これは食糧問題との関係においても重要である。⁽²³⁾

これまでウシの改良や繁殖には人工受精法が用いられてきた。人工受精により、一頭の優良な雌牛の子を、何百、何千頭と生産することが可能となった。ところが雌牛のほうは、自然状態では、一生にたかだか七、八頭の子しか産めない。これではその雌牛がいくら優れた性質を持っていても、それを子孫に広く伝える上で限界がある。

そこで開発されたのが初期胚移植という技術である。普通、雌牛は、一回に一個しか排卵しないが、ある種のホルモンを投与すると十個近くもの排卵が見られる。これに人工受精を行い、四、五日後に子宮を洗浄して着床前の初期胚を回収し、これを数頭の借腹牛の子宮に一個ずつ移植し受胎させる、というのが初期胚移植である。つまり優良な雌牛の子を、多数の雌牛の腹を借りて増産しようというわけである。この場合、初期胚の移植を受ける雌牛は、健康でありさえすれば、品種は問わない。胚の冷凍保存が可能となったため、この技術は進歩した。

一九八五年より本格的普及がはかられている。

最近、初期胚移植を更に一歩進めた、初期胚の分割移植が可能となり注目されている。これによれば、一個の初期胚から二頭あるいはそれ以上の子牛を得ることができるといふ点において、優秀な牛を増やすのに有効である。現在のところ、四分割初期胚の移植で一卵性四つ子をつくるのに成功しているが、生まれた子牛が普通より小さいとか、双子の片方が生後間もなく死んでしまうとか、いろいろ問題もある。実用化にはまだ多少時間がかかるものと思われる。

(三)、工業への応用

①、菌類のDNA操作

化製品生産、生物エネルギーの利用、鉱物抽出、污水浄化などが考えられている。

化製品生産については、発酵生産をはじめ非常にバラエティに富んでいるが、従来よりも生産の効率化と生産物の改良を促進することができると期待されている。

エネルギー源としての利用については、アルコールやその他の化学物質を生産する微生物を改良して、石油エネルギーにかわる生物エネルギー源として利用できないかという発想がある。現在ブラジルで売られている車の九十パーセントは、サトウキビから製造したアルコールを燃やすエンジンを搭載している。

鉱物抽出であるが、バクテリアの中に特定の鉱物成分を岩石の中から溶かし出してしまいう働きを持っているものがいるので、これを利用し、その能力を高めてやって、化学的方法——この方法は、酸性雨などの深刻な汚染を引き起こしている——ではなく生物学的的方法で鉱物を抽出しようというものである。現在、アメリカでは、銅の十

パーセントは、硫黄細菌によって採掘されている。

これはまた、工業廃棄物から、有毒な金属を回収するという形でも利用することができる。硫黄細菌を含む細菌の混合物を用いて、鉛、銅、亜鉛、カドミウム、ニッケル、コバルトを回収することができた。コダック社では、シュードモナス菌を用いて、写真感光廃液の硫化銀廃液から銀を抽出する回収システムを開発中である。

污水浄化であるが、污水源となっている栄養物質や、人工合成有機物を分解する能力を、污水環境で成育できるバクテリアに与えてやり、浄化しようというものである。

②、細胞操作

最近、微生物細胞そのものを触媒とし、かんでんなどの中に固定化し充填した反応装置が開発された。これはバイオリアクター（生体反応炉）と呼ばれている。これは、細胞をかんでんなどの中に閉じ込め、高密度に固定化してやると、分裂が遅くなる替わりに、物質生産が盛んになるという性質があることを利用したものである。細胞を固定化すると、容易に培養液を循環させられる。そこで培養液のなかに、生産させたい物質の原料をつねに高密度に保たせることもできるし、できた物質を次々と回収することも可能となる。このように、バイオリアクターは、細胞のもつ機能をフルに発揮させるように工夫された培養タンクであり、工業におけるバイオテクノロジーの実質部分を担っている。

③、その他の領域

今、大きな注目を集めているバイオテクノロジーの領域に、情報エレクトロニクスとの関連領域がある。この

領域は生命情報工学という最先端境界領域を形成している。ここでは、バイオ素子、バイオセンサ、バイオコンピュータといった研究が推進されている。⁽³⁵⁾

〈注〉

- (1) 「特性をデザインする」『第3世代』へ——EPO、TP A認可…実用化に拍車かかるバイオ医薬」、「日経メディカル」日経B P社、一九九〇年、臨時増刊号、一三八ページ。
- (2) 名取俊二「遺伝子技術とくすり」(「高度技術社会と人の生き方」東京大学出版会、一九八六年)が参考となる。
- (3) 「特性をデザインする」『第3世代』へ——EPO、TP A認可…実用化に拍車かかるバイオ医薬、前掲書、一三三—一三五ページ。
- (4) 「インターフェロン——地方からの挑戦」、前岡孝則「独創」に憑かれた男たち——未踏技術に挑む——講談社、一九九一年、二六七—二七一ページ。
- (5) 「特性をデザインする」『第3世代』へ——EPO、TP A認可…実用化に拍車かかるバイオ医薬、前掲書、一三七—一三八ページ。
- (6) 高久史磨「バイオテクノロジーと臨床医学」、「バイオテクノロジーと社会」、東京大学出版会、一九八七年、一五八—一六〇ページ。
- (7) 類澱粉症。臓器に類澱粉粒変性を起こしアミロイド(amyloid)が沈着してくる状態。
- (8) 高久史磨「バイオテクノロジーと臨床医学」、前掲書、一六二ページ。
- (9) “Human Gene Therapy—First experiment approved,” *Nature*, Vol. 346, 2 August 1990, p. 402. 「遺伝子治療、日本でも論議を」『読売新聞』(一九九〇年八月四日)、「世界初、米で「遺伝子治療」」『読売新聞』(一九九〇年九月十六日)、「遺伝子治療成功の兆し」『読売新聞』(一九九一年二月二十日)の記事を参照した。
- (10) 「ガン患者に「遺伝子治療」」『読売新聞』(一九九一年一月三十日)。
- (11) 渡辺格著「生命科学の世界」日本放送出版協会、一九八六年、一一九—一二〇ページ。

科学技術と倫理の接点

- (12) エリザベス・アンテビ、テイサイド・フィッシュロック著、渡辺格監訳「バイオテクノロジー——生物技術戦略——」同文書院、一九八八年、七〇—七一ページ。Elizabeth Antebi and David Fishlock, *Biotechnology: Strategies for Life*, MIT Press, 1986.
- (13) NHK取材班著「いま、生命を問う」、日本放送出版協会、一九八四年、一〇一—一〇二ページ。
- (14) 前掲書、一〇五ページ。
- (15) P. Luijten et al., *Nature*, 307, 1984, p. 174.
- (16) M. Bustillo et al., *J. Am. Med. Assoc.*, 251, 1984, 1171.
- (17) 「不妊治療に定着する生殖技術」『日経メディカル』日経B P社、第二六六号、一九九一年六月十日。
- (18) NHK取材班「いま、生命を問う」、一一五ページ。
- (19) 以下、ヒトへの応用については、川村浩著「脳はとにかえられるか」、共立出版、一九八八年、一一三—一一五ページ、を参照した。
- (20) 川村浩著「脳はとにかえられるか」、一一五頁。
- (21) *New Scientist*, 100, 1983, p. 323.
- (22) T・ハワード、J・リフキン著、磯野直秀訳「遺伝工学の時代——誰が神に代りうるか——」岩波書店、一九七八年、一三〇—一三二ページ。
- (23) Edward Grossman, “The Obsolescent Mother: A Scenario,” *Atlantic*, May, 1971, p. 43.
- (24) *Ibid.*
- (25) *Ibid.*
- (26) Peter Singer, Helga Kuhse, Stephen Buckle, Karen Dawson, Pascal Kashimba ed. *Embryo Experimentation*, Cambridge University Press, Cambridge, 1990, pp. 59—61.
- (27) その内容の概略は次のようである。
 - ① 胎児が患児である可能性(危険率)、検査法の診断の限界、副作用などについて、検査前に妊婦によく説明すること。
 - ② 検査の実施は、安全かつ確実な技術を習得した産婦人科医、あるいはその指導のもとにおこなわれること。
 - ③ 伴性劣性遺伝性疾患のために検査が行われる場合を除き、胎児の性別を両親に告知しないこと。
- (28) この脳死に関しては、一九九一年六月八日の比較思想学会のシンポジウム、「身心観の諸相——脳死・臓器移植の思想性を考える——」において、京都府立医科大学の福岡誠之教授が、医学の立場から発表された内容を参照した。
- (29) 脳の機能には、次のようなものが含まれる。

意識、精神機能——考え、判断、感情
 統合機能——身体種々の機能の統合
 運動、感覚中枢——四肢の運動、感覚
 ホルモン中枢——身体機能の調整
 自律神経中枢——呼吸、循環、消化、吸収、血圧、体温、
 排泄等の調節

(30) 多田富雄「脳死議論の残したも」、『科学』Vol. 61, No. 8, 岩波書店、一九九一年。

(31) このケースについては、ハイメ・F・カスタンニエタ「生の質と尊厳死の権利——カレン・クラインが教えるもの——」(『ソフィア』第二十六巻、第四号、上智大学、一九七七年)を読まれることを薦めたい。

(32) 渡辺格著「生命科学の世界」、一六八—一六九ページ。

四、バイオテクノロジーと倫理と人類の未来

バイオテクノロジーのフロンティアにおける動向を見てきたわれわれは、技術が価値の問題に大きな影響を与えていることを理解した。

ここで改めて、なぜバイオテクノロジーが倫理の問題と関係しているのかを考察しておくことにしたい。筆者は四つの理由が指摘できるものと考えている。

第一の理由は、人類がDNAに担われた情報を直接技術的に操作できるようになったということにある。生物界の一員である人間が、自分自身を含むすべての生物を成立させている基本的情報を操作し得る技術を手に入れ、これからその技術をどのように使用していくかという問題を考え始めたときに、どのように使用することが善いことなのかという倫理の問題に直面することとなったのである。

第二の理由は、バイオテクノロジーを使用する際の技術観の問題である。従来の技術開発は、効率・便利・快適・快楽の追求は善であるという思想に支えられて発展してきた。バイオテクノロジー開発の動機も、「科学技術的手段とした、徹底的な効率・便利・快適・快楽の追求」にあつた。しかし、このバイオテクノロジーは従来の技術と違い、生存の基盤そのものを操作し得る技術なのである。バイオテクノロジーを人間の欲望追求の手段にしてしまうことによって、生物界の一員である人間は、生命系を破壊してしまうのではないかという、不安の念を抱くようになってきた。

第三の理由は、バイオテクノロジーが情報を扱う科学技術だということにある。情報を読み取るシステムである生命体が生きている限り、情報は発現し続ける。しかも、情報を扱う科学技術の場合、インプットの制御に比べて、アウトプットの制御が難しい。なぜなら、どのような情報が生み出されてくるか予測できないからである。将来的には、生態系にも影響を与え、進化に影響を与えることになるだろう。ここに、バイオテクノロジーを適用することによって、将来どのような効果をもたらされてくるか未知であるところに、未来の世代にたいする責任といった観点から、倫理が問題とされるようになった。

第四の理由は、無限大を前提とした技術適用論の崩壊である。人間の科学技術活動が大規模化したため、地球環境を無限大と想定することができなくなった。われわれは、つねに地球の有限性を考慮しつつ、技術適用を考えていかなければならなくなった。無限大の環境を前提とした技術適用であれば、結果について思い煩う必要は

(33) M・サロモン編「フェーチャー・ライフ」みすず書房、一九八五年、六一—八二ページ。
 (34) 以下、渡辺格著「生命科学の世界」の一五〇—一五三ページを参照した。
 (35) 次の二著が参考になる。
 松永是編「生命工学シリーズII 生命情報工学」裳華房、一九九〇年。このシリーズにおける生命工学の分類は、生命機械工学、生命情報工学、生命材料工学、生命分子工学、生命増殖工学というものであり、バイオテクノロジーの新たな発展を反映して興味深い。

雀部博之編「MARUZEN Advanced Technology」材料工学編「バイオ素子」丸善株式会社、一九九一年。

なかったが、有限ということになると、そうはいかない。情報を扱う科学技術を有限系で駆使する場合、ある結果がすぐに原因となって次の結果を生み出していくという非線形現象を十分に考慮しておかなくてはならない。生命系の安定性がくずれてしまえば、地球で生命活動を営んできた生命体は絶滅の危機に瀕することになるかもしれない。ここにもバイオテクノロジーが、われわれの生存との関連で倫理の問題を提起してくる理由が存在する。

以上、四つの理由をとりまとめてみると、バイオテクノロジーが根本的な科学技術であること、従来の技術観ではバイオテクノロジーの開発は十分に手掛けられないこと、バイオテクノロジーは情報を操作する科学技術であること、しかも、有限系内部でバイオテクノロジーを利用しなければならぬことが、倫理の問題を生み出してくる原因となっていることになる。

このような重大な問題を内包するバイオテクノロジーは、あまりに危険だから廃止してしまえ、というのは短絡的議論である。われわれとしては、渡辺格がいうように、人類と他の生物の共存をバイオテクノロジーによって推進する中から、「豊かな生命世界をつくること」を目標とすべきであろう。

「現在のバイオテクノロジーは、生物を犠牲にして、人間のために役立たせる、いわば物質文明の価値観で生物を使っていくというところに重点があるように思われますが、本当は生命世界を豊かにする方向にいくのがバイオテクノロジーのこれからの目標でなければならないのではないのでしょうか。多種多様な生物のいろいろな機能を理解し、生物そのものを犠牲にしなくてもいいような新しい技術、生物にならった新しい技術をつくり上げていくことが必要です。現在は残念ながら、たとえば大腸菌や植物細胞にいろいろな物質をつくらせてみたり、ということ、人間のために生物を酷使するバイオテクノロジーになっています。が、私はむしろバ

イオテクノロジーの本命は生命世界を豊かにするところにあると、言いたいのです。

ですから、たとえば砂漠を緑化するとか、極寒の地、あるいは逆に酷暑の地にも生物が栄えるようにするか、海中に産業廃棄物を投げ捨てないで、生物が活発に繁殖できるような環境をつくっていく、といったことが実はバイオテクノロジーの重要な課題でなければならぬと思います。さらに、生命世界を豊かにするという意味では、地球上はもちろんのこと、地球外にも生命を繁殖させるような道を拓く、いわば「宇宙緑化」という問題まで含んでいます。これは人間の利得といったものとは関係なく、生命世界が物質世界の中にできてきたものだと思えば、それを地球外の物質世界にも拡げていくという、一種の新しい挑戦だと思えます。宇宙緑化は並み外れた知力、財力を必要とし、その上に高い技術力が駆使されたとしても、おいそれとは実現するとは思いませんが、そういう問題までも頭の中では考えておく必要があると私は思います。少なくとも生命世界を豊かにするという概念がなければわれわれ人類の今後の生存はないのではないのでしょうか。³⁾

この見解では、先に挙げた四つの問題は、次のような方向で取り組まれることになる。第一の、バイオテクノロジーという生物を根本的に改変していく技術を手にして、今、人類はこれをどのように積極的に利用していくべきなのか分らず、困惑しているという点については、「生命世界を豊かにする」という目標を与え、第二の、従来の効率・便利・快適・快楽中心の技術観と、第三の、技術の情報操作的技術になってきたことにたいしては、「生物そのものを犠牲にしなくてもいいような新しい技術、生物にならった新しい技術をつくり上げていく」という方向性を明らかにし、さらにまた、第四の、地球環境の有限性という制約も、「宇宙緑化」という方向で越えていくことが示されている。

この目標は単に科学技術を推進すれば到達できるというものではない。ここには、科学技術を利用する人間自

体における、生命観、技術観、宇宙観の変更が、前提とされているのである。今、われわれ人類は、バイオテクノロジーを手にして、人類自体の内的変革を迫られているのである。この内的変革の必要性は、たとえば、「人間同士の『連帯と自制と共存』ということが必要⁽⁴⁾」、「科学者がその責任に堪えるだけに成熟することが必要⁽⁵⁾」、「人間社会一般の成熟が必要」といわれ、あるいはまた、「狭い専門の枠だけにとどまっていたサイエンティストから、人間や人生や社会、自然のあり方の全体的考察を常に怠らないサイエンティストへと、移っていかなくてはならないのではないだろうか⁽⁶⁾」、といった形で指摘されている。

生命系の一員である人間は、約十万年前に、象徴的言語と文化を獲得することによってDNA情報系の束縛を脱し、文化的営みの中から科学と技術を発展させ、十七世紀に至り、西欧近代科学革命を成し遂げ、生命に共感しそれを観照するだけでなく、分析することを通して、一九五三年に、DNAの二重螺旋構造の解明を成し遂げ、一九七三年に、組換えDNA技術を完成させた。これによって、生命操作技術としてのバイオテクノロジーが獲得されたのである。このような根源的技術を手にした人類は、今、包括的英知の獲得と道徳性における成熟を必要としている。これこそ、「単に求知心や好奇心だけで科学が追求されていく時代は終わった⁽⁷⁾」といわれる所以である。

〈注〉

- (1) 名取俊二「遺伝子技術とくすり」、『高度情報化社会と人の生きかた』、東京大学出版会、一九八六年、一〇八ページ。 (2) 渡辺格著『物質文明から生命文明へ』、一四八ページ。

- (3) 渡辺格著、前掲書、一四九―一五〇ページ。 伊東氏は、「知識」を表すサイエンス (science) にたいし、「英知」を表すサピエンス (sapience) という言葉を造語した。このサピエンスから「英知の人」を表すサピエンティストという語が導かれるのである。
- (4) 渡辺格著、前掲書、一四七ページ。
- (5) 岡田節人「生命体の操作」、『岩波講座 転換期における人間7 技術とは』、前掲書、八九ページ。
- (6) 伊東俊太郎「バイオテクノロジーの歴史的境地」、『バイオテクノロジーと社会』、東京大学出版会、五八ページ。
- (7) 伊東俊太郎「バイオテクノロジーの歴史的境地」、前掲書、五六ページ。

本稿執筆に際し、川村学園女子大学の小山高正講師に、草稿を精読していただき、貴重なアドバイスを頂戴した。ここに記して感謝の意を表しておきたいと思えます。