

先端技術バイオテクノロジー（その1）

農水省農蚕園芸局畑作振興課課長補佐 中 村 文 雄

＝はじめに＝

「発ガン遺伝子の発見」「インターフェロン、医薬品として認可」「オレンジとカラタチの細胞融合に成功」「受精卵移植による双子誕生」「遺伝子組換えによるヒト成長ホルモン輸入認可、同ホルモンに保険適用」等々のバイオテクノロジーに関する新聞記事を読者諸兄等もこれまでに目にされたことがあると思う。

最近、マスコミでは、このような見出しの報道ばかりでなく、バイオテクノロジー関係のニュースの特集や定期的な掲載を行っている。さらに、バイオテクノロジーの専門誌まで登場している。

このように「バイオテクノロジー」という言葉は、マスコミでは完全に定着した。

また「バイオ」という言葉は、コマーシャルベースで広められ、むしろ流行語の一つになった感があり、「バイオ〇〇」という商品名の化粧品や医薬品、それに健康食品など、我々の日常生活の中でもしばしば見聞きするようになっている。

しかし、ごく5～6年ほど前は、マスコミもSF（サイエンス・フィクション）か、本物の科学技術かよくわからないままに取り扱っていた。

ところが現在バイオテクノロジーは、マイクロエレクトロニクスや新素材などと共に今世紀末から21世紀にかけて展開される先端科学技術として、世界的な規模で、学界、産業経済界、政界などの各方面から注目されかつ期待されている。

現に、遺伝子組換えを用いたインシュリンやインターフェロンなどの医薬品の生産やバイオリクターを用いた食品加工、組織培養を用いたウィルスフリー苗の大量生産など次第に実用化段階に入りつつあり、さらに保健医療、食糧生産、省資源・省エネルギーの工業生産、環境保全など広範な分野へ応用に向けての研究開発が本格的に開始されている。

そこで今回は、先端科学技術のバイオテクノロジーとは何か、農業への応用の可能性、それに周辺の情勢などを取り上げてみることにする。

＝バイオテクノロジーとは＝

ライフサイエンスとバイオテクノロジー

まず、「バイオテクノロジー(Biotechnology)」とは何か、それを読者諸兄に理解して頂くことにする。

そのためには、バイオテクノロジーの登場のきっかけをつくった「ライフサイエンス(Life Sciences≡生命科学)」について紹介しておく必要がある。

近年、生物学—もちろん基礎生物学をはじめ、生物をその研究対象とする医学・薬学・農学などをふくむ—は飛躍的に進展しており、生命現象の解明が進むとともに、その研究成果が次第に技術として、我々の生活の中で活用されはじめてきている。

つまり、バイオテクノロジーの登場の素地としてライフサイエンスの進展があったのである。

「ライフサイエンス」という言葉が、政府の科学技術政策のうで公式に取り上げられた

のは、内閣総理大臣の科学技術に関する諮問機関である科学技術会議の第5号答申「1970年代における総合的科学技術政策の基本について（1974年4月）」が最初ではないかと思われる。

その答申で同会議は、「ライフサイエンスは、生命現象あるいは生物の機能を科学的に解明するもので、その応用面において科学技術の新しい展開の鍵をにぎるものである。」とし、さらに第6号答申（1977年5月）では「ライフサイエンスは、生物が営む生命現象全般を総合的な立場で促え、自己防御、調節機構、遺伝、エネルギー代謝などの生命現象にみられる複雑なメカニズムを解明し、人間生活にかかわる諸問題の解決に役立てようとするものと期待される。」としており、「21世紀にかけて、先導的・基盤的な科学技術の一つとして、国がこれを積極的に推進すべきものである。」と提言している。

それでは、このライフサイエンスの登場の背景についてみてみる。

その一つには、近年における生物学の飛躍的な進展という内的側面である。すなわち、近世においてそれまでの博物学を中心とする古典的な生物学に、次第に生理学、生化学的な手法が取り入れられ、生命現象をより科学的な“眼”で理解しようとする動きが出てきた。

そして、現在では生物学の研究に物理・化学的な手法や考え方が積極的に導入され、生命現象が細胞レベルから分子レベルにおいて解明されるようになった。特に、近年、分子生物学などの登場により、遺伝現象が分子レベルで解明されるなど、生物学がこれまでの概念を超えて飛躍的に進展してきている。

このような学問の世界の動きに対して、い

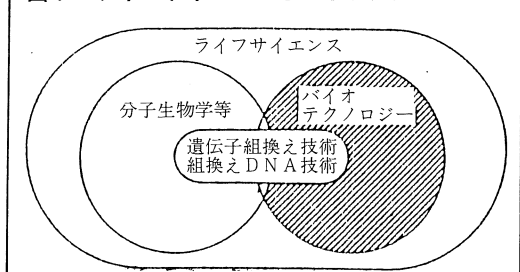
ま一つには社会的・経済的要請という外的側面が考えられる。

すなわち、現在、世界において保健医療、人口（高齢化を含め）、食糧はじめ、これまでの科学技術の進歩による工業等の発展のため生じた環境汚染や資源・エネルギーの逼迫などの諸問題を根本的に解決する科学技術の登場が望まれている。

ところで、生物は地球上に登場して以来、植物や微生物が太陽エネルギーを利用し、無機物から有機物を作り出すとともに太陽エネルギーを固定し、それを人間をふくめた動物が利用しており、そしてそれらの排泄物や遺体などを微生物が分解する。また、その分解されたものを植物が……というように、生物は、理想的かつ効率的な物質・エネルギー代謝のリサイクリングシステムを営んできたのである。この生物のもつすぐれた機能などを解明し、活用しようとするライフサイエンスは、前述の社会的・経済的要請に対応しうる有力な科学技術として期待されているわけである。

言い換えれば、13・14世紀のルネッサンスに源を発する物理学や化学の学問的な進展がその後の産業革命に結びついて行ったように、この生物学における進展が、生物のもつ能力を最大限に生かす科学技術に成り得る素地を十分に有しており、ライフサイエンスはまさ

図1 ライフサイエンスとバイオテクノロジー



に今世紀末から21世紀にかけて開花しようとしている科学技術として期待し得るものといえる。

前述のとおりライフサイエンスは、生物のもつ諸機能を解明する基礎科学とそこで得られた成果を人類のために応用する（科学）技術とに大別されるが本稿の主題であるバイオテクノロジーはまさに後者を意味するものであるといえる。ここでバイオテクノロジーのうちそのキ・テクノロジーと注目されている遺伝子組換え技術（組換えDNA研究）を例に、ライフサイエンスとバイオテクノロジーの関係を考えてみる（図1参照）。

組換えDNA研究はもともと分子生物学を中心とする基礎生物学の一分野であり、当初カエルなどの生物の遺伝子（DNA＝デオキシリボ核酸）を大腸菌の核外遺伝子（プラスミッドDNA）に組み込んで、大腸菌の中でカエルの遺伝子の遺伝的な性質を発現させることにより、遺伝子の発現機構などを解明する基礎科学の研究手法である。

ところが、カエルの遺伝子のかわりにヒトのすい臓の細胞にあるインシュリン生産に関与する遺伝子（DNA）を大腸菌のプラスミッドDNAに組み込むことにより、大腸菌の細胞の中でインシュリンのDNAを発現させてインシュリンを生産させることができる技術にかわり得るのである。

ライフサイエンスはまさに前者の基礎科学と後者の技術を包含するものであり、バイオテクノロジーは、特に後者の技術を指すものであると考えられる。ここで「バイオテクノロジー」という言葉について一言、筆者の意見を差しはさむこととお許し願いたい。

というのは現在マスコミなどでバイオテ

クノロジーには、「生命工学」「生命技術」とか「生物利用技術」「生物工学」という日本語訳が当てられているが、筆者は「バイオ（＝Bio）」に「生命」という言葉の意味があっても、ここではやはり「生物」という言葉を当てた方が良いと思うからである。

それは、バイオテクノロジーが生物のもつ精緻で巧妙な物質・エネルギー代謝機能や遺伝などの諸現象を解明することによって得られた成果を、人類とそれを取りまく自然のために活用する科学技術であり、“生命”という尊厳を人間の手であやつるような語感のある「生命工学」という言葉は不適切であると考えからである。次にバイオテクノロジーの主要技術（キ・テクノロジー）についてその概略を説明する。

バイオテクノロジーの主要技術

バイオテクノロジーの主役は、生物であることはいままでもない。人類はこれまでも、農林業において、野生の動植物を農作物や家畜に改良して、食糧をはじめ衣料、建築材、燃料等を生産・利用してきた。

さらに、食品加工等における“発酵”では微生物を巧みに利用してきた。

因みに、我が国では醸造業において培われた発酵技術は今日のバイオテクノロジーの進展に大いに貢献しているといわれている。

このように我々の生活と生物は切っても切れない間柄にあることはよく知られている。

しかし、これまで生物を利用してきたとはいえ生物に人為的な操作を加えながらも、その大半は自然のなりゆきをうまく利用してきたのである。そして、メンデルによる“遺伝法則の発見”以後、効率的な育種（品種改良）が行われてきたが、現在でも“種”という障

壁のため育種技術も一つの限界に達しているといわれている。

ところが、近年、生物のもつ諸機能の解明により、特に微生物や細胞がもつ酵素系による物質変換やエネルギー代謝の機能をより効率的に活用することや、さらに生命現象の基本的な条件ともいえる酵素の合成をはじめとする遺伝情報そのものである遺伝子进行操作することが可能になってきた。こうして、生物を利用する技術、すなわちバイオテクノロジーが大きく展開されるようになった。

以下、「バイオリクター」「遺伝子組換え(組換えDNA)」「細胞融合」「細胞培養(組織培養)」についてそのあらましを述べる。

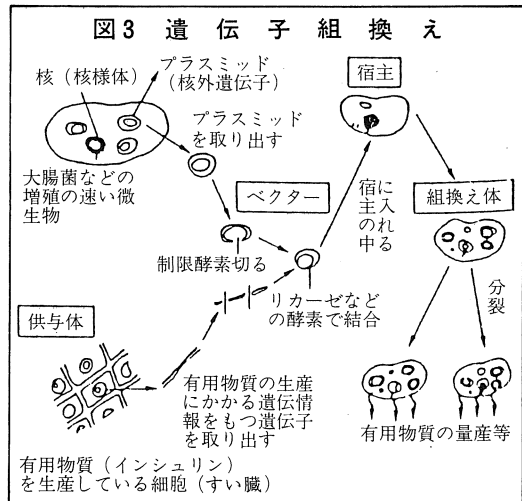
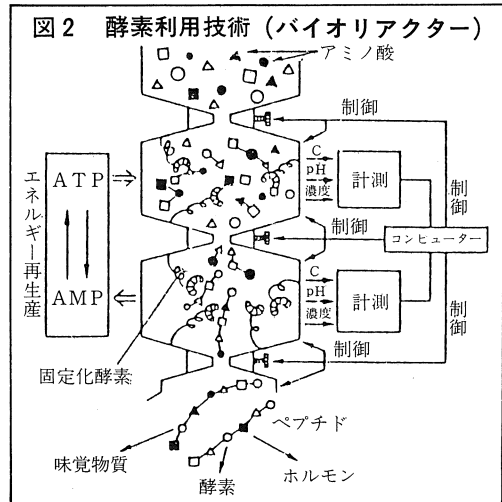
① バイオリクター(酵素利用技術)

微生物を最適環境条件で増殖させ、アルコールなど有用物質を生産させる醸造業などで用いられる発酵槽(タンク)もバイオリクターと呼ばれており、これらはバイオテクノロジーの中でも、微生物や細胞(組織)の培養において重要な役割を果たしている。

一方、生体内の化学反応を司っている酵素を生物体(細胞)から取り出し、一種の“反応素子”として利用する固定化酵素及びその利用システムのことを「バイオリクター」と称し、近年その研究開発が積極的に進められている(図2参照)。

酵素は、生体内で常温常圧という温和の条件のもとに複雑な有機化学反応を進行させるとともに光学特異性反応など従来の化学触媒にみられないすぐれた特徴を有している。

しかし、タンパク質の一種であるこの酵素を生体外に取り出すと変質し、その触媒機能を失ってしまう。そのためこれまで我々は経験的にアルコール発酵の酵母(コウジカビ)



などの微生物の形で利用してきた。

ところが、1970年代に酵素を生体外に取り出しその性質を維持安定化させ、かつ、樹脂などに固定する固定化酵素技術が日本を中心に開発され、その利用の可能性が大きく拓けたのである。現在、省資源、省エネルギーの有機合成プロセスとして、アミノ酸のペプチド合成、でんぷんや糖の分解などにすでに応用されているほか、血液等の生体成分や食品成分の分析などを行う酵素センサー(バイオセンサー)などの開発も進められている。

② 遺伝子組換え(組換えDNA技術)

この技術については前述のとおりである。
つまり、特定の遺伝子を他の生物の遺伝子の中に組み込み、それを発現させるものである（図3参照）。

現在、すい臓からインシュリンの分泌が充分でないため、糖尿病に悩む患者に対して、インシュリンを投与しているが、ヒト・インシュリンは絶対量が不足しているため、効果はややおちるがブタのインシュリンを代用している。ところが、遺伝子組換えを用いれば、タンクの中で大腸菌によりヒト・インシュリンを短時間に、しかも効率的に生産することができ、すでにこの方法により生産されたインシュリンは治療の現場で使われている。

現在、このほかヒト成長ホルモン、インターフェロン、インターロイキン、TNF、ワクチン等の医薬品のほか各種のアミノ酸などの生産が実用化に向けて研究されている（家畜の伝染病である口蹄疫のワクチン、それから冒頭に述べたヒト成長ホルモンはすでに実用化されている）。

このように、この技術はいまのところ微生物のもつ旺盛な繁殖力と、効率のよいしかも制御しやすい、有用物質の代謝（生産）機能などを活用して、医薬品等を生産しているわけであるが、この技術の本命は、農作物や家畜などの育種技術としての展開である。

だが、今のところ、高等動物については遺伝子の構造や発現機能の解明（これらの研究に遺伝子組換えは有力な研究手法として利用されている）などの基礎的な研究成果の積み上げに待つところが多く、その実用化は10年以上かかるという技術予測もなされている。

しかしながら、高等植物における遺伝子組換えについては、TiプラスミッドとかCaMV

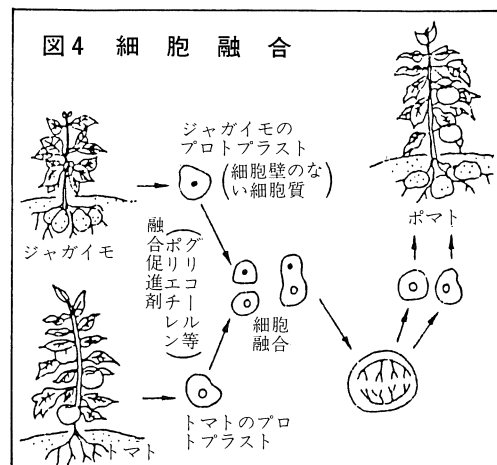
（カリフラワーモザイクウィルス）というような有力なベクター（遺伝子を組み込む担体がみつけれられており、すでにこれにより感光性遺伝子の組み込みに成功したという実験報告などもなされており、その実用化がはやまるともいわれている。今後、この遺伝子組換えは、高等動植物の品種改良のほか、ガンの発現機構の解明など医学面をふくめ、その幅広い応用が大いに期待されるところである。

③ 細胞融合

細胞融合とは、文字通り、異種の二つの細胞が融合して、一つの細胞にすることであるが、それにより出来た細胞中には、もと二つの細胞由来の染色体（遺伝子）が共存していることから、まったく新しい遺伝子組成を有する細胞を作出する技術となる。その意味では遺伝子操作技術の一つともいえる。

異種の細胞が合体することは、自然界でも微生物などでよく見られる現象（接合）であり、米国では数年前、この方法で石油を効率的に分解する微生物が作出され、特許として認められているほか、アミノ酸の生産効率の高い微生物の育種などに活用されている。

細胞融合は、人為的に薬品処理などにより



自然界では融合しないような細胞同志を融合させようとするものである。

そして、それは従来の動植物の品種改良に用いられていた生殖細胞同志（雌雄の個体）のかけ合せ（交雑）によらない育種技術として注目されている（図4参照）。

動物細胞では、1975年に開発されたハイブリドーマ法を用いて、特定の抗原抗体反応を示す形質を有する細胞と他の増殖力の旺盛な細胞をウィルス的一种を用いて融合させ、モノクローナル抗体の作出に成功している。

このモノクローナル抗体は、ガンなどの特定の病気の診断薬として実用化されている。

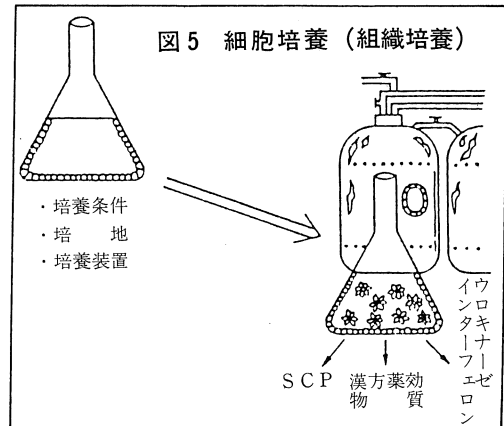
一方、植物細胞の場合、セルロースを主成分とする細胞壁があるため、まずこの細胞壁をセルラーゼ（セルロース分解酵素）により分解除去し、裸の細胞（プロトプラスト）にしてから融合させる。

その際、界面活性剤の一種を入れて融合を促進させたりしているが、最近はプロトプラストを入れた容器（電場）に電流を瞬間的に流して融合させることも試みられている。

すでに細胞融合を用いて、比較的近縁なナス科同志のトマトとジャガイモ（ポテト）から「ポマト」という雑種植物を西独のマックスプランク研究所で、また同じナス科植物のタバコの仲間同志の雑種を日本専売公社（現日本たばこ産業）の中央研究所でそれぞれ作出に成功している。さらに昨年、農林水産省の果樹試験場とキッコーマンで共同研究により、オレンジとカラタチの細胞融合に成功し、雑種植物“オレタチ”を作出している。

④ 細胞培養（組織培養）

醸造業などにおける微生物の培養技術は古くから伝統的に確立されているが、現在では



培養条件である温度、酸性度、酸素濃度、栄養分、生産物の濃度等がコンピュータで制御され、その連続大量培養が可能になっている。

ここでは、単細胞の微生物でなく多細胞の動植物の細胞や組織を増殖培養させることであり、近年、動植物の細胞を大型タンクの中で微生物のように大量培養する技術が開発されている（図5参照）。

現在、植物細胞ではチョウセンニンジンなどの薬用植物の培養細胞から薬効成分の生産にすでに成功している。さらにバイオ化粧品の中紅の色素はムラサキの根（紫根）の組織培養から生産されたものである。

このほか、根の生長点細胞の培養によるウィルスフリーの洋ランやイチゴなどの種苗の大量生産はすでに実用化されている。

一方、動物の細胞培養は、植物細胞と異なり何かの表面に付着していないと十分に増殖しない性質があるなど、その大量培養は難しく実用化までにはいくつかの課題が残されている。次回は、今後バイオテクノロジーがどのように展開されるか農業分野への応用について述べてみる。

★本稿は「食糧管理月報」第38巻第5号に甲斐文一のペンネームで掲載されたものを、ご本人の承諾を得て掲載しました。