

バイオテクノロジーの世界的情勢（58・2・18）

福井 三郎（昭15理甲）

ただいま座長の中島稔先生から御紹介をいただきました福井三郎でございます。

私は昭和十五年に理甲一組を卒業して京都大学工学部工業化学科へ進みました。現在は同じ学科で工業生化学の講座を担当していますが、定年退官の日も間近に迫っております。

本席には奥田東先生を初め、京大工学部における先輩の諸先生、さらに中島先生の御勧誘で私のこれからお話ししますバイオテクノロジーの各分野で活躍してられる京大農学部、工学部の諸先生がお見えになっております。このような専門家を含む多様な領域で活躍されている皆様の前でお話しをするテーマが、現在科学技術の面ではもとより社会的にも強い関心をひいています。バイオテクノロジーであり、しかもバイオテクノロジーという定義に含まれる内容がなお流動的であり多彩なものですから、いささか困っております。

幸か不幸か、定年前になりますと厚顔になり心臓に毛が生えかけた状態となりましたので、気

楽な雑談的にお話をさせていただこうと存じます。

まず私自身のことについてバイオサイエンスやバイオテクノロジーとのかかわりについて述べてみたいと存じます。

私は工学部で教育を受け工業化学を専攻いたしました。私が大学を卒業した頃は合成染料、合成ゴム、合成樹脂、合成繊維といった有機合成化学の基礎研究とそれらの応用が素晴らしい花を咲かせようとしていました。つまり、人間の作り上げてきた科学技術が天然の色素や繊維に劣らない人工物を生み出すような段階にあったわけです。しかし生物の営んでいる生命現象を化学の力で解明したりする程度には達していず、特に工学部で取り扱う化学は生命とは遠くかけ離れたものでした。

私自身は人間が大分柔らかく、その上酒造りの家に生れたものですから、生化学というものに興味を持ちました。丁度その頃、生化学は生物に関係のある物質の化学的性質を研究する静的生化学のほかに、生命現象における物質の変化を追跡し、触媒として働いている酵素の構造や作用を調べようとする動的生化学が起っていました、その後の生化学の進歩には目覚ましいものがありました。私が京大の教授に応用生化学の教授になりました今から二十年程前の状況では生化学はまだ化学の本流ではなく、まして工学部でやられている応用化学と生化学との関連については一般に認識されていませんでした。

丁度その頃、私を心強くさせてくれるニュースに接しました。それは、米国化学会が世界の指導的な化学者にたいして将来の化学の進路についてアンケートを求めたところ、二〇世紀の終りまでに化学研究の主要テーマはその頃的主流であった有機化学や無機化学から変っていつて、生命現象を研究し解明するようになるであろうという答えが圧倒的であったことです。今日の生命化学の研究と応用化の活発さを考えると、二十年以上前の世界的化学者たちの予見がいかに鋭いものであったかに感銘を受けざるを得ません。

時代が移り変って、最近ではバイオテクノロジーという言葉が新聞をはじめマスコミの世界で頻繁に出てきています。私にとつて余りにも騒がれ過ぎているようにも思います。

しかしながら、「バイオテクノロジーとは、われわれ人類が生命現象の神秘〓生物機能の精妙さを自らの幸福のために利用する科学技術である」と定義いたしますと、人類が自らの力で生命現象の解明に挑み、得られた成果を科学技術として応用する道を歩みはじめたという意味でバイオテクノロジーは人類の歴史上に画期的なものということが出来ます。いっぽうバイオテクノロジーが他の科学技術と異なる点は、生命の尊厳と技術の開発の調和の問題が他の科学技術の場合よりも厳しく問われる点にあります。この点に関しては、この分野に従事する科学者、技術者の英知と社会の良識ある対応を待たねばなりません。

ともあれ、まずバイオテクノロジーとはどのようなものであるのか、バイオテクノロジーは私

どもの生活や産業にいかなる効果を与えるのかについて、プラスの面から述べてみたいと思います。

生命現象に深くかわる物質

最近、生命現象を研究する学問が非常に進歩してきました。その結果がわかったことを、簡単に述べてみましょう。その基本的な考えの一つは、生命現象を支配するものは物質であるということです。我々の体を作っているのは細胞ですが、細胞の中には非常に多くの、しかも今まではよくわからなかった微量な物質があり、それらが生命現象に深く関わっているということが次々と明らかになってきています。例えば、最近日本で杉花粉症が流行しています。花粉症はいわゆるアレルギーの一種で、私たちの体内に外界からの異物（抗原）が入った時に、リンパ細胞が抗体を作って異物（抗原）と結合することによって無害な状態として排除する、生体の持つ防禦システムの免疫に関係があります。免疫はT細胞とB細胞という二種類のリンパ細胞の調整のとれた働きのもとで起こりますが、その正常な作用の維持は二つのリンパ細胞が作る幾つもの微量物質（リンホカインなど）の調和のとれた働きによって保たれます。このような仕組みがうまく働かずに異常な抗体ができるのが、アレルギーの原因です。この例のように細胞と物質、さらに細胞と生物全体との関わり合いによって、色々なことが起こっていることがわかってきたのです。実

はまだまだ生命現象のほんの少しだけが分つてきているという段階ですが、それらの成果はバイオテクノロジーの基礎となつて利用されています。リンホカインやホルモンのような物質をバイオテクノロジーの新技术で作り上げて産業に応用しようというのが、薬品工業に大きな影響を与えています（バイオ新薬の生産）。

図1にあるように、ライフサイエンスとは基礎の生命科学の研究ですが、まず物質がどういう構造を持ち、どういう働きをしているのか、次にそれによつて生物の細胞や組織はどういう影響を受けるのかが明らかになるにつれて、色々な実用技術が生まれ、産業として応用される状況を示しています。また、生命現象を模倣した技術を創り上げて、産業を起こそうとする試みもあります。図2には、物質と生命との関わり合いがどのような産業を生むかがもう少し詳しく示されています。

図3、表1はもう少し突っ込んで、バイオテクノロジーの主要な技術と寄与が期待される分野が示されています。物質を作ることが一つのスタートですから、そのためにどうすればいいかが重要な課題です。つまり、生命体あるいはその一部を使って物を作ることがバイオテクノロジーのスタートになります。そのためには、性能の優れた生物を得ることが重要です。特によく用いられてきたのが微生物で、自然界から色々な微生物を得て物を作る手段にするのです。なぜ微生物を使うかというと、微生物は最も単純な生物ですが、基本的な生命の働きは高等動物や高等植

図1 バイオテクノロジーの基本的概念（山谷渉氏の原案を若干修正）

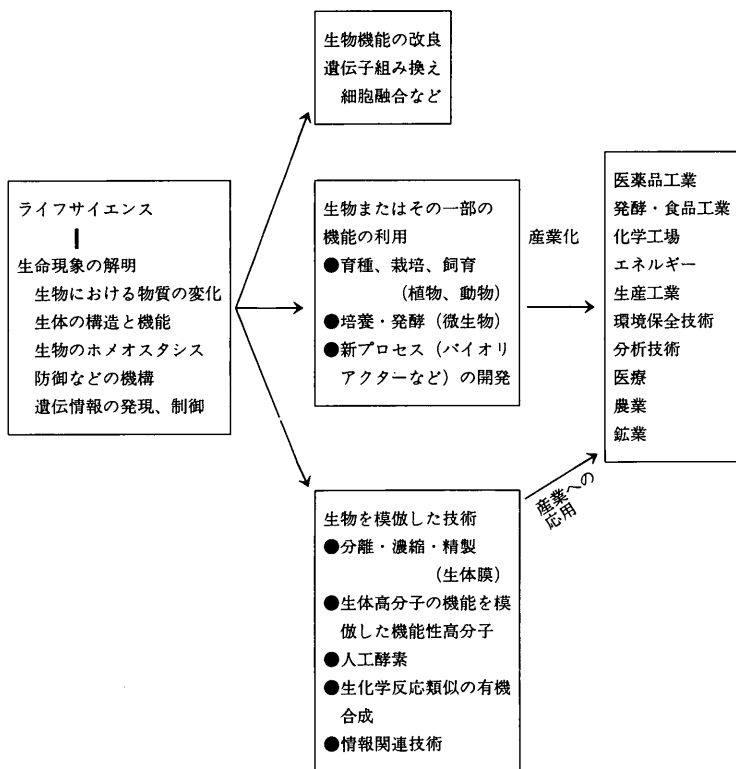


図2 バイオテクノロジーの基礎となる生命現象とその応用技術

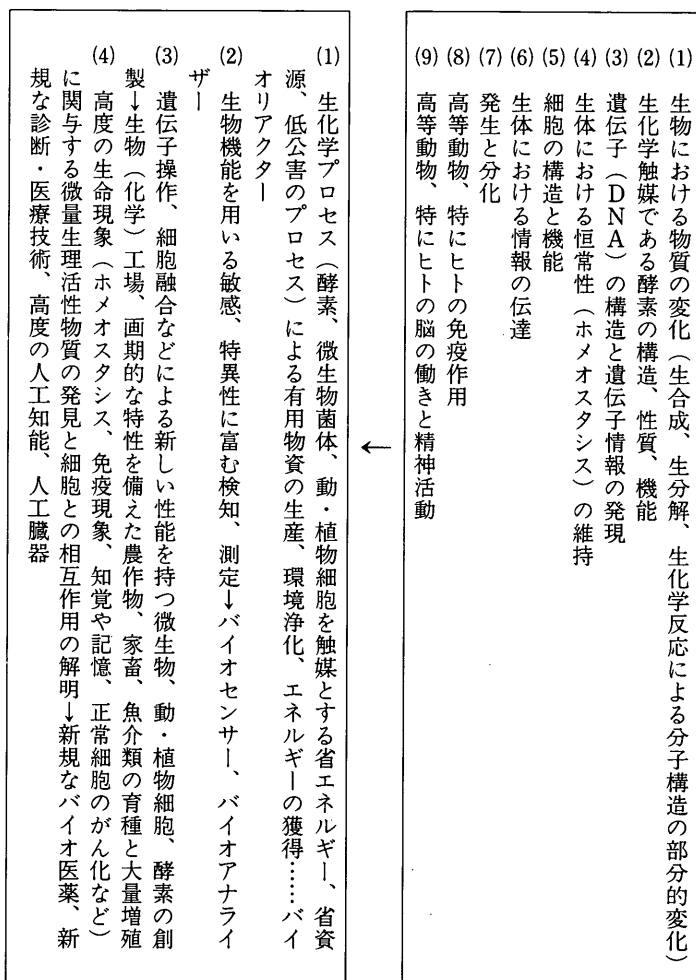


表1 バイオテクノロジー（特に遺伝子操作技術）
の寄与が期待される分野

新規分野	化学工業関連分野	資源・エネルギー 関連分野	食糧関連分野	環境保全関連分野	保険医療関連分野	基礎生物学関連分野	分野
例えばバイオコンピューター等の情報関連分野	医薬品、診断試薬、酵素等各種化学製品の開発及びそれらの化学製品を生産するバイオリアクターの開発、バイオマス資源、石油、未利用化石燃料からの基礎化学製品の生産等	バイオマス資源からのエネルギーの生産及び生物を利用した太陽エネルギー変換技術の開発、バクテリアリーチング技術の開発、産業廃棄物の再資源化処理技術の開発等	画期的な特性を備えた農作物、家畜、魚介藻類等の育種及び優良形質を備えた家畜、魚介類等の大量複製（増殖）技術の開発、バイオマス資源からの食料、飼料等の生産、新しい食品又は食品素材の開発、新しい食品の加工技術及び食品の品質、安全性等の評価技術の開発、家畜、魚類等を対象にした医薬品及び診断試薬の開発、微生物等の持つ機能を利用した地力の維持・増進技術の開発、生物農薬の開発等	排水、難分解汚染分質、有害な重金属含有廃棄物等の無害化処理技術等の開発、水質、土壌及び大気汚染実態の測定技術の開発、汚染物質が人体に及ぼす影響等の評価技術の開発、好適環境の維持・増進技術の開発等	遺伝性疾患、がん等各種疾病の発生機序の解明、老化、免疫等の機構の解明、各種医薬品及び診断試薬の開発、疾病診断技術、化学物質の安全性評価技術の開発等	遺伝、発生・分化、細胞増殖、成長、老化等あるいは免疫機能、脳・神経機能等に係わる基本的な生命現象の解明等	研究開発の事例

（科学技術会議「ライフサイエンスにおける先導的・基盤的技術の研究開発基本計画」より）

新しいプロセスの展開

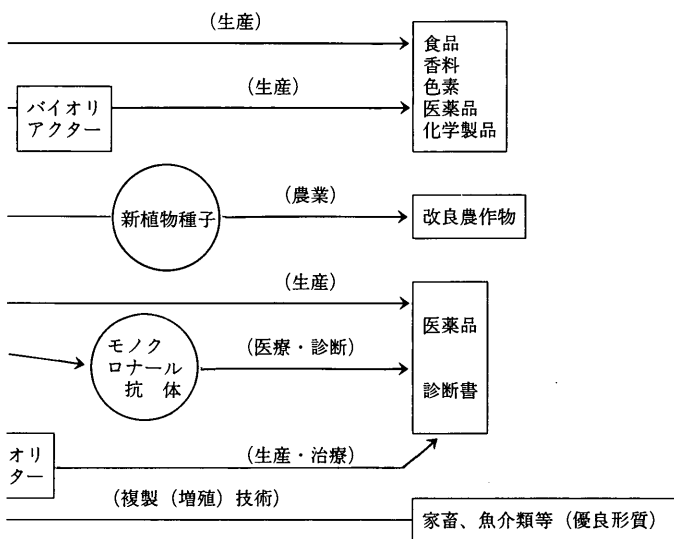
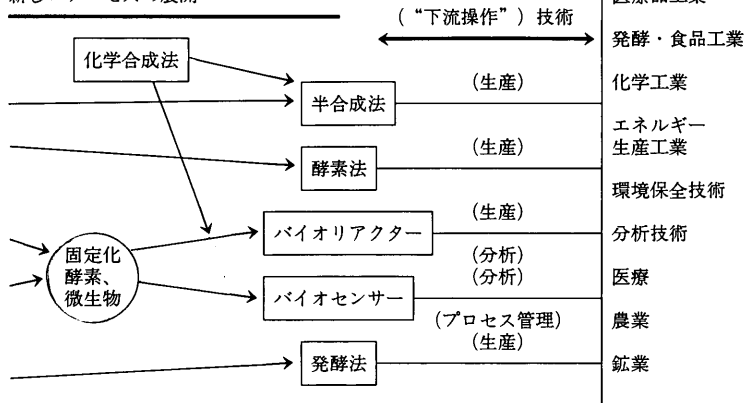
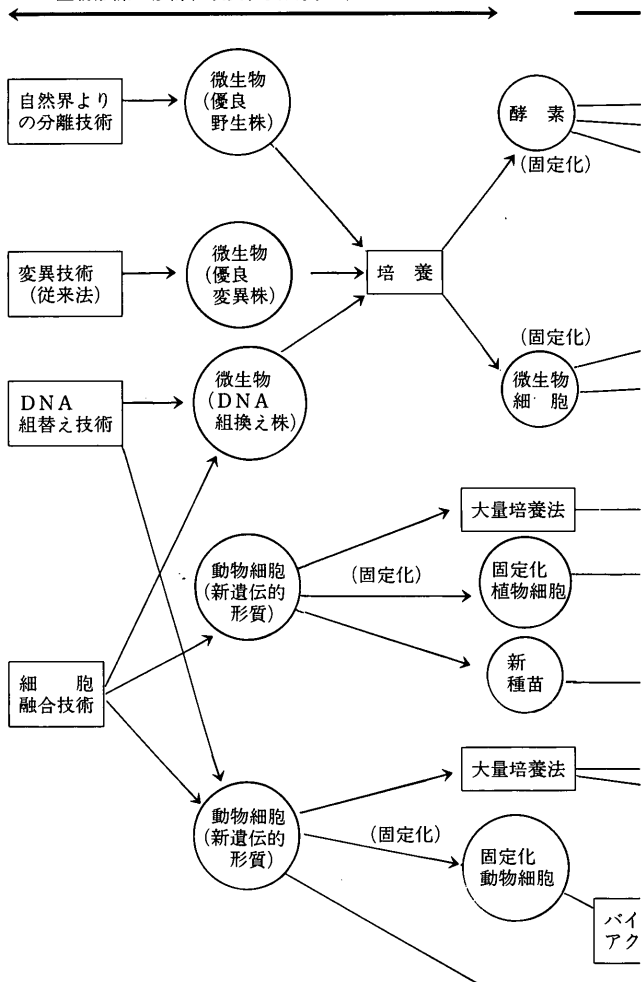


図3 バイオテクノロジーの基本技術と応用分野

微生物、植物、動物の育種、改良
生物触媒の設計、改良、蛋白質工学



物と変わらないためです。それ故、我々は微生物を使って必要なものを作ることができるのです。微生物は非常に早いものと数十分で倍々に増殖します。また地球が誕生して以来、ずっと長い歴史に耐えて現在まで生きてきた微生物があり、色々な能力を有しています。我々はたくさん種類の微生物を使いこなして、すでに様々なものを作ってきています。最近のバイオテクノロジーより以前から、調味料に使うグルタミン酸ソーダや核酸類、ビタミンなどを微生物を用いて作ってきたのです。

ところで、最近よく知られているように、生物の持っている遺伝的性質を人間の手で任意に調整したり、新しい生物を作り出したりすることが可能になってきました。このようなことは遺伝子組み替え（あるいは遺伝子工学）と細胞融合と言われる二つの新しい技術により可能となりました。すなわち遺伝子組み替えでは、ある生物（A）の遺伝子を別の生物（B）の細胞へ組みこんで、BにAの持つ有用な性質を与えます。細胞融合ではAとBの二つの細胞をうまく融合させ、両方の性質を持ったものや優れた方の性質を持った新しい細胞を作り出すことができるようになります。画期的な発展を遂げるようになった訳です。

この技術によって、本来動物しか持っていない、例えば動物のホルモンを作る能力を微生物に与え、その微生物を使って動物のホルモンを作ることが可能になりました。また、日本でも立派な基礎研究や実用技術の開発がなされて、動物の細胞を融合させて新しい動物の種類を作り上げ

たり、植物の細胞を融合させて新しい植物の種類を作り上げることが可能になってきました。

以上の内容を踏まえて、次に、現在の日本の技術と世界の技術との関わり合いについて、スライドを使って述べていきたいと思います。

十年後のバイオはアメリカが最強!?

まず、世界の中でバイオテクノロジーの競争が盛んに行われているのですが、三年前にドイツのミュンヘンで欧州のバイオテクノロジー会議がありました。その時の委員長が、一九九四年の時点でどの国がバイオの分野で強いかということを図で示したのです。それはオリンピックの表彰台のようなもので、金メダルは米国だとしています。銀メダルには日本、銅メダルはヨーロッパとなりました。つまりヨーロッパ人自身、アメリカが最も強力であり、次が日本で、ヨーロッパは劣るだろうと言ったわけです。ただし、私は全くその通りだとは思っていません。ヨーロッパの人は自戒して、このままでいくとヨーロッパは米国と日本の後塵を拝することになる恐れがあるが、本来、ヨーロッパは非常に大きな潜在能力を持っているのだからその基礎に立ってしっかりしなければならぬ、と言っていたのです。このようなことが言われるのは実は理由があつて、アメリカの議会で技術評価を担当している局があり、そこで次のようなことが言われたのです。その第一は、アメリカは遺伝子工学とか細胞融合などの新しいバイオテクノロジー

ジ-の技術開発に非常に多くの研究資金を投入しているばかりでなく、社会の仕組みが流動的かつ流動的です。そこで、いわゆるベンチャー企業が非常に盛んに創立され、大学の先生の頭脳と若い資本家が一緒になって次々と冒険的な企業が作られているという情勢に代表されるアメリカ社会の能力が、バイオのような新しい科学技術において大きな成果を生むだろうという訳です。

バイオで最もよく使われる微生物と日本の伝統

それでは、なぜ日本が二番目にあるのかが問われます。ご存知のように日本人は、伝統的に「旨味」ということを良く知っており、昆布の旨味の本体としてグルタミン酸ソーダを見つけ、グルタミン酸を発酵法で生産することに成功し、さらに色々なアミノ酸を作り上げています。そして、非常に大きな微生物利用工業が発達しております。本来微生物の色々な研究は欧米、特にヨーロッパで始められたものが多いのですが、微生物を利用する工業は一旦すたれたのです。日本では伝統的な発酵工業がずっと続いており、これが近代発酵工業へとスムーズにつながってきているという強みを持っているため、アメリカの強敵になるだろうというのが米国議会技術評価局の考えです。これが先ほどの日本のバイオテクノロジー銀メダル説の根拠なのです。

バイオテクノロジー特にニューバイオテクノロジーでは、遺伝子工学や細胞融合が中心技術であり専門家以外にも広く知られている新しい技術ですが、これらの新手法で改良した微生物や

動物、植物を實際に應用して我々の生活に役立たせるためには、医学、理学、農学、薬学、そして工学といった色々の学問の協力が大切です。生命現象というものは微量の物質で支配されていると述べましたが、その物質の大半がたんぱくあるいはたんぱくに糖などがついていっているものですから、それらを色々と操作して目的に適するように改良することが重要になってきました。特に遺伝子工学とコンピュータ工学を組合わせて、たんぱくの構造と作用を明らかにし、性能を改良する新技術をたんぱく工学と言います。その他微生物を使う発酵技術、それを使つてのバイオリアクターあるいは動物細胞や植物細胞を大量に培養する技術、それから生物の中で視覚や聴覚あるいは臭覚などが神経を通して非常に多く伝わることを応用しようとする技術（バイオエレクトロニクス）といったものが関わってくるのです。図3には、その周辺分野に位置する色々な応用面も書かれています。

このように、色々な学際的な学問あるいは産業の集合体が、ニューバイオテクノロジーになる訳です。それに対して日本はどのように対処していくのか。確かに日本の発酵技術は非常に強いのですが、学問、技術、産業というものはものすごい速度で流動しており、いつも抜きつ抜かれつしています。例えば、日本には発酵技術の伝統があるから我々は強いのだ、とあぐらをかいていれば、たちまち抜かれてしまうでしょう。もっとわかりやすいスポーツの例を挙げますと、かつて日本は三段跳びとか水泳が非常に強かったのですが、現在、他の国が力を入れてたちまち見

る影もなくなっていましたし、バレーボールでも他の国が強くなっています。いつも抜きつ抜かれつですから、負けないようにいつも競争心を持って努力しなくてはいけません。もちろん日本だけが良ければいいというのではなく、国際的な協調と協力のもとに進めていく必要があります。

バイオ技術で日本が優位に立てるか？

一九七〇年の初めから一九八〇年の終り頃までに、新しいバイオテクノロジーにおいて外国から日本に提供された特許と日本独自で作られた特許との比を見ると、微生物を取り扱う技術の大半は日本の技術ですが、当時のニューバイオテクノロジーの柱となる遺伝子操作の技術は八〇パーセント近くが海外からの特許で、それを日本の企業が買っていた訳です。このように日本の特許は二〇パーセントに過ぎなかった状況が、八〇年の終りくらいまで続いていたのです。ところが八二年くらいから状況が変化してきました。日本の割合が増えてきて、八四年頃になると日本で開発される独自の遺伝子操作技術が特許に関しては追い抜いてきたのです。つまり、それだけ日本には潜在力があることを意味しています。先ほど述べた微生物を利用して色々なものをつくるために、動物の遺伝子などを入れて微生物を改良し、改良した微生物からホルモンなどをつくるという技術を日本独自で持つに至ったと言えます。欠乏すると糖尿病が起こるインシュリンと

いうホルモンがあります。医薬品としてのヒトインシュリンをつくるのに遺伝子操作を使っており、日本の塩野義製薬は当初はアメリカのイーライ・リリー社から技術を導入しました。また、ヒトの成長ホルモンが欠乏する遺伝的疾患を持った人に成長ホルモンを与えて治療する企てがありますが、住友はスウェーデンのカビ社から技術を導入していました。ウイルスを殺したり、ある種のガンには効くと言われているインターフェロンでも、日本の各社は欧米から技術を導入していました。それが次第に、日本独自で技術改良し、諸外国に比べて優るとも劣らない方法を確立して色々な製品を作り出すようになったのです。

おもしろい例として、鮭のホルモンがあります。先ほど述べたヒトの成長ホルモンを薬として売ることは日本でも許可されましたが、このホルモンが体内で作られないという遺伝的疾患を持った人に投与するのが目的なのに、例えば普通の人がもう少し背が高くなりたいといって飲むようになったら、社会的にも色々な問題が起こるだろうと警戒されています。ところが、鮭にホルモンを与えて大きくした場合は、たちまち産業的なメリットにもなるし、倫理的な問題も起こらないだろうと思われます。これは鮭に限らず、例えば海外でも、豚やにわとりなどに対する成長ホルモンがわかっており、バイオテクノロジーを使って産業に応用しようとしています。

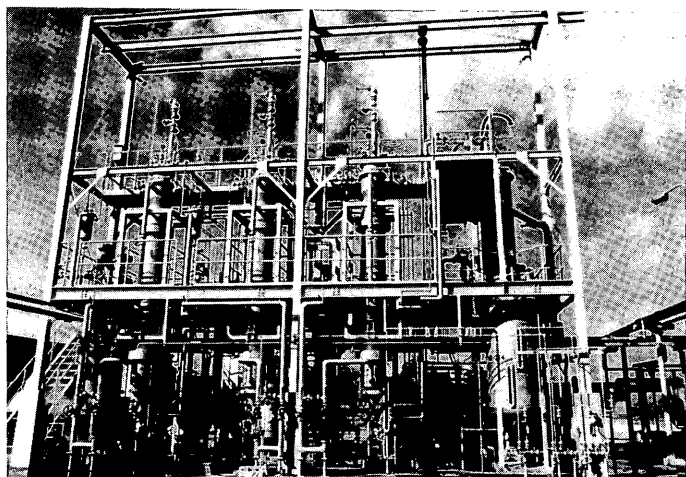
別の生物が持っている特殊なたんぱく質、いわゆる異種たんぱくを作る遺伝子を特定の微生物に入れて、遺伝子をその微生物に作らせるとというのが先ほどの話でしたが、今度は、発酵工業の

中でも大きな割合を占めているアミノ酸の生産で、バクテリアの性質を改良しアミノ酸を作る能力を高めようとする研究もなされています。これは、その微生物が元来持っていた性質をより高めるということですので、より簡単に倫理的にも受け入れられやすい話ですが、それらも日本が行なった訳です。例えば協和発酵や味の素、田辺製薬などで特定のアミノ酸を作る微生物を持っており、そのような微生物を使ってアミノ酸を作っていますが、遺伝子の数および働きを良くしてアミノ酸の生産量を高めることにも成功しています。

次に細胞融合に関してですが、細胞融合とは読んで字の如く、AとBという別の性質を持った細胞をうまく融合させる技術で、非常に有益な性質を持つ新しい細胞が得られることもあるのです。初めは海外からの技術導入が多かったのですが、次第に両者が同程度になり、最近では日本の方が多くなっています。細胞融合で最もよく使われるのは動物細胞の融合で、次に植物細胞の融合で、その前に、このような技術を使う前提としてよく知られているのは、例えば植物の一部を取ってきて無菌状態で培養する技術があります。日本の大学の先生方には優れた専門家がおられますが、協和発酵で行われた雑菌やウイルスのついていない山ユリもその一例です。雑菌やウイルスのついていないものを作る技術を使うことによって、現在非常に多くの改良がなされています。いちごや野菜などもそうです。

各分野で用いられるバイオリアクター、バイオセンサーの日本での開発の状況

次に述べるのは、生物の持っている物質を作ったり、ある物質の分子の一部を変えてより良い物質を作ろうとする特性を応用する技術です。ご存知のように、これまでの化学工業は普通大きな工場があつて、その中で高圧をかけたり高温を与えたりしながら生産を行っているのです。ところで生命体の中で起こる生産活動は、極めて温和な条件で進行しています。例えば私が今、話しているのに必要なエネルギーや頭脳の働きも、食べたものを適当に変えることによって作り出しています。人間の体の中でそれは常温常圧のもとで起こっている訳です。ということは結局、先に申し上げたように触媒が働いているためです。普通の化学触媒と違って、生物の中で行われる反応に対して触媒として働くものはたんぱく質です。これは常温常圧で働き、しかも特定の物質に特別な構造変化を与えるという特色を持っています。それが酵素なのですが、酵素あるいは酵素を含んでいる微生物には非常に利点がある一方、デリケートで能力を失いやすいのです。ですから、酵素をいかに安定に使うかが製造工業のプロセスでは重要なポイントです。一つの手段としては、酵素や微生物菌体を自然界にある高分子（たんぱく質や寒天類）か合成樹脂に結合させたり、くるみこんだりして、固定化した状態で使用する方法があります。固定化酵素や固定化微生物をタンクの中につめ込んで触媒として働かせて物を作る反応器が、現在ではバイオリアクターと言われ、非常に重要になっています。固定化酵素を世界で最初に工業化したのは、日本の田



アルコール製造用バイオリクター（日本）
（石油代替燃料研究技術組合）

辺製薬で、アミノ酸の製造に応用して成功を収めました。反応条件が常温常圧で、しかも小さな装置で済み、固定化した酵素は安定して長時間働きます。従って、動力費や酵素を買う値段など色々なものを含めて安くなります。

現在、非常に多くの分野でバイオリクターが用いられています。例えば、石油が切迫した時にその代わりにアルコールを使ってエネルギー源にしようと日本の政府が国策を立て、そのアルコールを作る時にバイオリクターを利用する計画が進められています。写真はアルコールを作るバイオリクターの例ですが、その中に酵母・イースト菌が固定化されて入っています。固定化されたイースト

菌はずっと生きており、それが砂糖からアルコールを非常に能率よく作っているのです。現在このような大きな装置になっていますが、大きいと言っても今までのタンクなどを使う方法よりも、反応タンクが小さくて済む訳です。

もう一つは、植物が時間をかけて作り出す漢方薬、色素、香料などを、植物の細胞を培養することによってバイオリクターを用いて短時間に簡単に生産する技術が工業化されました。最近、市場で成功したものにバイオ口紅があります。松田聖子がモデルになって、カネボウからピンク色の口紅が出されましたが、製造したのは三井石油化学という会社です。ご存知のように、ムラサキという木の作るシコニンという赤い色素を普通の植物の状態で作らせようとすれば、数年かかってしかもほんの少ししかできないのです。しかし、ムラサキの細胞の一部を採ってきてタンク培養すると、大量に工場生産ができるようになり、植物細胞の培養により商業的に成功した世界で最初の例となりました。現在はシコニンに限らず、朝鮮人参の有効成分なども作ることができます。また、京都大学での私の同僚である山田康之氏は、ベルベリンという漢方薬を作るオウレンという植物と、赤い色素を出すハナキリンという植物の両者を細胞融合して、両方の性質を持つ細胞を作り出しています。このようにして得られた新しい細胞は、光を当てるか当てないかによって、ベルベリンを作ったりアントシアニンとを作ったりする性質を持っております。

以上のように、動物が持っているような性質を微生物で発現させて良いものを作ったり、動物

や植物自体の性質を改良して新しい動物や植物を作るのが、バイオテクノロジーの大きな柱であります。日本は、この分野で世界のトップランナーとしての地位を保っております。また動物の細胞を培養して重要な生理活性物質を作ることが国際的に盛んになってきました。日本でも通産省のナショナル・プロジェクトの一つになっており、世界の主要工業国でも取り組んでいます。このような場合も、培養装置（広義のバイオリアクター）の改良が、バイオテクノロジーの重要な柱になっています。

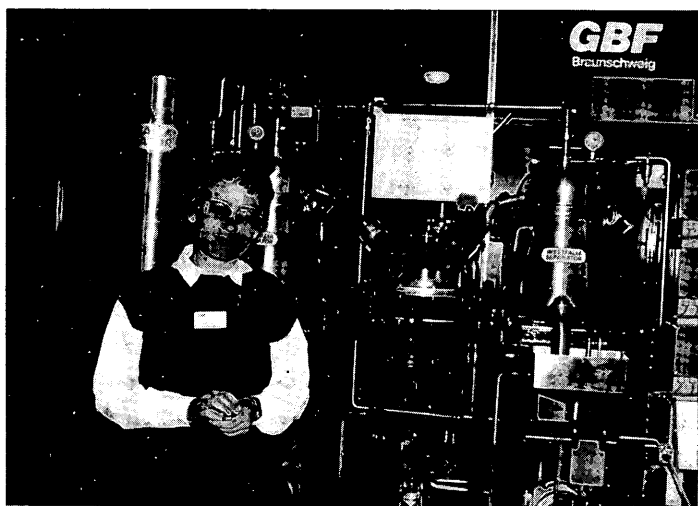
続いて、いわゆるバイオセンサーやバイオエレクトロニクスの問題ですが、生物細胞やその一部、特に酵素の持っている非常に敏感で迅速、しかも特異性に富んだ物質の識別と変換能力を利用して、測定や検知に用いるなどの研究も世界的に盛んに行われており、産業化も進行しつつあります。この分野でも、日本が非常に進んでおります。ご承知のように、日本では物を精密に短小化するのに成功しており、日本人は物事を縮小するのが得意だと韓国の方が書いた本もあります。その日本人の特徴がここにも現れております。ブドウ糖の測定センサーを例にとりますと、日本で商業化されている製品は極めて簡便で小さいものです。ブドウ糖センサーは血液中のブドウ糖を測ることが応用のうちの重要なものですが、最近はいちいち捨てる非常に小さなものでできております。

日本では企業活動が非常に盛んです。ご承知のように、最近では、政府が強力な施策を持ってバ

イオテクノロジーを推進しております。一例としてバイオリアクターのことを述べました。文部省では、大学の基礎研究を推進しており、通産省や農水省では、世界に類を見ない面白い組織として研究技術組合を作っています。例えば、先ほどのアルコールを作る場合は通産省の監督する「石油代替燃料研究技術組合」があり、バイオテクノロジーを推進するために「バイオテクノロジー研究技術組合」を作っています。農林水産省でも、「食品工業のためのバイオリアクター研究技術組合」を作って推進しています。実は、外国の方々は研究技術組合に対して非常に興味と疑問を持つのです。というのは、この組合の中には商売敵と思われる企業が入って、基本的なことについては共同して研究しているからです。この研究から生まれた特許は研究技術組合に属して、それは結局、政府がコントロールする訳ですから、外国ではなかなか起こりにくいことなのです。

米国と英国の比較

アメリカでは、先ほど述べたように強力な政府の施策と共に、民間で非常に新しいバイオテクノロジーの研究（基礎研究）が行われています。大企業は大企業、ベンチャービジネスはベンチャービジネスとして行われて成功を目指して激しい競争がなされているのです。一方、私達からみると、米国という所は政府の方針や社会的、経済的情勢が変わると大学や公的研究機関の研究



生体高分子（たんぱく質、核酸など）の大量連続分離精製装置
（西ドイツ国立バイオテクノロジー研究所）

人物は前所長Kula教授

費が急激にカットされたりします。勝負を急ぐ反面、永続性を欠く弱点がない訳ではありません。そこで最近、アメリカの大学、例えばマサチューセッツ工科大学や微生物に長い伝統を持っているラトガース大学などでも、大学を中核として民間の資金も集めて、研究会社のようなものを作っているという新しい動きもあります。これはアメリカに限ったことではありませんが、アメリカの場合は特に、バイオなどの動きが極めて急激であると言えるでしょう。

イギリスは、ご存知のように国民の数と比較してノーベル授賞者

が最も多い国であることからわかるように、長年に亘って基礎研究を続けてきた国です。しかし近頃は、経済的に少し落ち目なものですから、昔からの特徴であった「学問のための学問」というスタイルが変化してきました。最近では、政府あるいは政府直属の、例えば「科学技術研究会議」「医学研究会議」「農業研究会議」といった政府の予算で大学や研究所を助成する機関が重点的な予算の配分を始めた訳です。バイオテクノロジーは重点領域として予算は特定の大学あるいは公共的な研究所に配分されます。さらに、大学と民間との協力による新しい制度も生まれています。例えばロンドン大学やケンブリッジ大学などの幾つかの大学では、研究委託会社を設立して研究指導をしたり、民間の企業人の再教育をしています。このような情勢は、イギリスの伝統からみれば非常に変わっています。イギリスも一生懸命に取り組んでいる訳です。

西ドイツは産学官協同で成功収める

西ドイツは、欧州の中で最も早くから国策としてバイオテクノロジーに取り組んだ国です。ドイツ連邦政府の研究技術省が十数年前に創設したバイオテクノロジー研究協会（GBF）というのがあります。予算は全部政府から出ているのですが、世界でも有数の施設と人員を擁しています。ここで挙げられた成果の一つとして、蛋白質などの生体高分子の新しい精製法があります。生体の中には酵素に限らず、蛋白質や核酸など非常に重要な高分子物質がありますが、それを分

離生成することはバイオテクノロジー成功の重要な鍵を握る技術の一つです。この方法の原理は、ポリエチレングリコールやデキストランを加えて異なった密度にし、さらに塩類濃度や酸性度を変えた二種類の水溶液の間に、たんぱく質を分配させて分けようとする考えです。原理的にはスウェーデンの学者が考え出したのですが、それを国立研究機関の所長をしていた女性の学者が、写真に示すような装置として完成したのです。コンパクトでありながら大量の生体高分子を分ける装置として国際的に高い評価を得ています。

さて、特定の酵素を精製して、それを用いて何をするべきかが重要な問題となります。逆にこういうものを作りたいから、こういう酵素を得ようという面からの研究開発も必要です。ドイツの原子力研究機関では最近、原子力の代わりにバイオテクノロジーでエネルギーを生み出そうという考えが出て、バイオテクノロジーの研究所が設立されました。まだ設立して一〇年も経っていませんが、先ほど述べたGBFとの協体制度を組んで分離精製できるようになった酵素を使って、今度は特定のアミノ酸を作る模型バイオリアクターを完成し、デグッサという会社で工業化する段階にまで発展させました。アミノ酸を作るのに必要な前告物質は化学的に作ります。化学的に作ったものからL型のアミノ酸を作っているのです。今さら説明するまでもありませんが、アミノ酸を例にとると化学式では全く構造でも、鏡の正の像と影の像のように実は正反対の立体的構造を持ったものがあります。例えばグルタミン酸ソーダにしても、L型のグルタミン酸でな

いと旨味を与えず、D型では駄目です。そのL型を作るために、酵素を使っているのです。装置には膜や中空繊維（ホロファイバー）が装備されており、その中に酵素が閉じ込められています。酵素を閉じ込めてある膜や中空繊維には非常に細い孔があり、酵素は出入りできませんが、原料はもっと低分子ですから、入ってきて、酵素の働きによって生成物になって出てゆきます。酵素の発見、生産、精製から出発して工業的に有用物質を生産するところまで持ってきているのです。最後のところは企業が担当しており、その間は政府が出資しているという、産学官協同の一例であります。

多少専門的になりますが、バイオリアクターにおいて触媒を改良することが重要で、例えばペニシリンには色々な形のものがありますが、化学式でいうこの部分を変えることによって、新しい形のより有効なペニシリンができるのです。ところが、その分子の一部分を入れ替えるのは非常に困難なのですが、これもバイオリアクターを使えば常温常圧でうまく行えるのです。ドイツの同じ研究所（GBF）では、触媒の機能を遺伝子操作で高めることに成功した訳です。酵素や微生物、更に動物や植物の細胞を使って物を作る時、反応する装置を色々と改良する必要が出てきています。

スイスの場合は非常に医薬産業や装置を作る機械産業が盛んです。そして、それらの組み合わせをスイスでは行なっています。ドイツでは化学工業的な発想があつて、そのための工程改良を

盛んに行いますが、バイオテクノロジーにおけるドイツの一つの特徴だと思います。スイスも似た考えを持っています。

フランスでは食品や醸造に力を入れる

フランスは、ルイ・パスツール以来、微生物の伝統はありますが、最近では微生物の応用では日本に追い越されたかと思っているようです。しかし、遺伝子や免疫学では非常に強いものがあります。フランスの特徴として、やはり食品や醸造に力を入れるべきだという動きになっています。フランスは日本よりもはるかに大きな国ですが国の東西南北に七カ所、研究の中心を作っています。日本で言うならテクノポリスのような考えです。もちろん、パリにはパスツール研究所をはじめ重要な国立の機関もあれば大企業もあります。一方、各地にもセンターを作り、例えばフランスの南西、スペインとの国境近くにツールーズという町があります。フランス第四の都市で有名なのが航空機産業です。有名なコンコルドや最近の宇宙開発もここで行われていますが、それ以外にバイオテクノロジーも大いに力を入れています。ここにある国立応用科学センター（INSA）では、先ほど述べたように、主に食品や発酵を行う場合の装置をいかに改良すべきかという基本研究をしています。またポンピドゥー大統領時代に産学協力を目指して作られた大学院を主体とする新構想大学のコンピエーンヌ工大や現在のミッテラン政権になって設立されたツ



フランスの新構想大学コンピエーンヌ大（人物は小生）

ルーズのINSA付属の中小企業へのバイオテクノロジー先端技術移転センターは、フランスの教育と研究・開発の伝統に新しい息吹を吹きこんでいます。

自国の得意な分野で取り組むのが重要

このように、アメリカ、イギリス、西ドイツ、フランスなど諸外国の状況を述べてきましたが、各々自国の得意な分野で成功を収めようとしているのです。日本でもその通りですが、例えば北欧のスウェーデンでは、物を分離することに対して学問的にも産業的にも優れています。その基本は物質を超遠心分離で分けたり、電気的性質を利用したり、吸着体などを通して分けるのです。スウェーデンにはノーベル賞を受けた学者がたくさんいま

すが、彼らは会社の重役も兼任しており、産学が一体となって取り組んでいるのです。例えば、ファルマシアという会社では、物を分けることを装置化して成功しており、実験室規模から非常に大きな産業的規模まで広げていったのです。

バイオテクノロジーは、産業としていよいよ勃興しつつありますが、インターフェロンやインシュリンなどの薬の場合、許可を得るまでに時間を有するため、現在のところ利益を出している所はまだまだわずかです。しかし、基礎研究をだして物を作る装置まで手掛けているファルマシア社が、まず産業として成功したのです。デンマークは農業国だと思えますが、ノボ社の場合はその国土の伝統的利点を生かして立派な酵素メーカーになった訳です。各国とも自国の長所を生かし、他国との間に協調関係をもつて成果を挙げていくのが最も望ましい形であろうと思います。

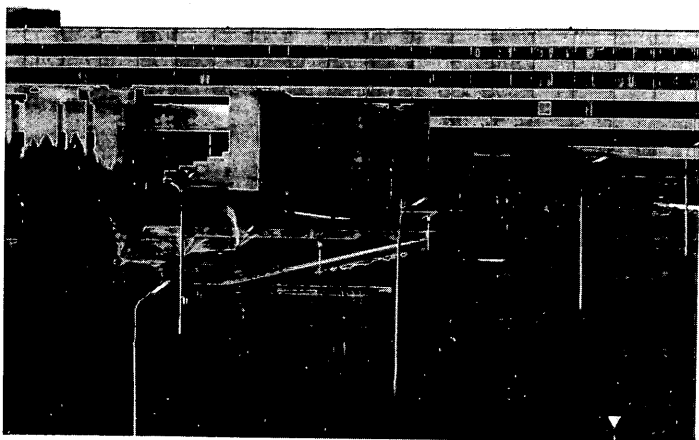
ソ連では微生物たんぱくを推進

最後に、自由主義国家が興味を持っていると思われるソ連についてお話しします。ソ連の特徴は、何と言ってもあのような国柄ですから、国家の意思が非常に強い訳です。例えば微生物たんぱくという問題があります。石油の中に含まれているアルカンと言われる炭素と水素から成るものを原料にして、微生物を培養し、そして微生物のたんぱく質を利用するものです。日本では「石油

たんぱく」と言われて非常に悪名が高く、一度始めかけたものは全部つぶれしまいました。ソ連や東ドイツでは行っているのです。ソ連や東ドイツは、冷害などのために割合に農業物が不足しており、アメリカなどからとうもろこしを輸入しなければなりません。そこで国策として、ソ連には石油がありますので、石油を使って微生物を培養し、そのたんぱく質を飼料として利用しているのです。もちろん、反対運動はありません。

また非常に変わっていると思われることは、農薬を撒いた時に、農薬を分散して無害化するためにそれを分解する微生物を遺伝子工学で作り上げて、それを撒布することです。これも自由主義国ではできないことです。自由主義国家では、実験人を持つこと、いわゆる生物の自然の分布とかエコロジ的な問題はできませんが、ソ連ではそのようなテストまで行っているのです。これは社会体制、政治体制の相違です。

ソ連でも色々な研究をしております。ソ連の実験室の内部というのは非常にめずらしいと思われますのでお見せしますが、これはモスクワの西、約一二〇km離れたところにある生物科学研究センターという、日本の筑波研究学園都市のような所で、生物関係だけが集まっています。実は二十数年前から始められたもので、当時は非常にセプレートされた所で一部は大密林が見えるだけだったのですが、ソ連人はしんぼう強いものですから、優秀な科学者をここに集めて研究させて、装置や設備もソ連としては最高レベルのものを揃えています。



ソ連の生物科学研究都市プシュナ



ソ連の研究所内部

バイオは国民総生産にも大きく寄与

日本にB I D E C（財）発酵工業協会のバイオインダストリー振興事業部」という組織ができました。一七〇ほどの色々な企業が共同して、調査研究や勉強会を行ったりする機関ですが、これも世界の人々から注目を集めています。産業化されたバイオインダストリーになれば、どのくらいメリットがあるかを考えると、一〇二八兆円の中の一二七・二兆円という巨額の寄与が国民総生産に対してもたらされるといふ予測もあるのです。この予測が正しいかどうかは知りませんが、要するに世界はバイオテクノロジーに向かって走っていると言えましょう。

今日は専ら産業的な応用のことを述べましたが、もちろん遺伝子治療など医学に関する応用もあって、それらは生命倫理にもっと深く関与するものです。それらと調和をとりながら、自然科学者、特にバイオテクノロジーに関係している人々は努力しているのであります。

以上、雑多なことをまとまりなく申し上げて、お分りにくかったであろうとおわびいたします。最後に強調したいことは、バイオテクノロジーは生物に直接あるいは間接に関係のある科学技術であるだけに、従事する研究者、技術者は全人的な識見を持つことが要求されます。

この意味で、三高時代に受けた全人的な教養の貴重さと思うものであります。