

日本のバイオインダストリー：現状と課題

著者	佐竹 英夫
雑誌名	関西大学経済論集
巻	40
号	3
ページ	489-524
発行年	1990-09-20
その他のタイトル	Present Situation and Problem of Bioindustry in Japan
URL	http://hdl.handle.net/10112/13928

論 文

日本のバイオインダストリー：現状と課題

佐 竹 英 夫

1. 対象と課題

近年の分子生物学、分子遺伝学などの革命的とも言うべき進展は、たんに生命科学における科学的知見の増大というにとどまらず、それを応用する一連の諸技術を生み出すに至った。バイオテクノロジーと呼ばれるこの技術は、画期的新製品の開発、既存の生産プロセスの効率化、産業連関を通じた経済的波及効果のみならず、食糧、医療、資源・エネルギー、環境汚染など世界的な諸問題に解決の可能性を与えるものとして広く関心を集めている。アメリカをはじめとする先進諸国が、競ってバイオテクノロジーの産業化に取り組んでいるのも、この技術がきわめて有望であるからに他ならない。

我が国においても、化学系の大企業を中心とする多数の企業がバイオテクノロジーの応用に力を注いでおり、企業におけるバイオテクノロジーの研究費や政府のバイオテクノロジー関連予算も増額の一途をたどり続けている。総務庁統計局の「科学技術研究調査報告」によれば、1987年度の日本のライフサイエンス研究費¹⁾の総額は1兆113億円で、科学技術研究費総額(9兆8,366億円)の

1) ライフサイエンスは、環境、人口、医療、資源問題などの解決を求める社会的要請を背景として総合的な見地から生命現象の基礎研究を行なおうとするもので、バイオテクノロジーを包括する概念。本稿で取り上げた「概要」での定義は、「生物学、医学、農学、工学、物理学、化学などの広範な学問領域にわたる知識を駆使して、生命現象及び生物の諸機能を解明するとともに、その成果を医療、農業、環境保全、エネルギー開発などの人間活動のほか、自然環境を含めた人間生存に関連する諸分野に広く活用して、人間生活の向上発展を指向する総合的科学技术に係わる研究」とされている。

10.3%を占めており、この数年、増加傾向にあることが示されている。研究費総額の対前年度比は、1982、83年度に、それぞれ27.3%、14.4%増と顕著な伸びを示し、以降、5.6%、12.7%、3.9%、10.2%増と、年によってばらつきはあるものの着実に増加している。この結果、ライフサイエンス研究費は、6年前の1981年度(5,099億円)と比べ、約2倍にまで増額されている(表1参照)。

これまでバイオテクノロジーは、発酵法により有機化学工業製品を生産する発酵工業や、酒、味噌、醤油などを生産する醸造業の分野で主に利用されてき

表1 研究主体別ライフサイエンス研究費の推移

区 分		総 額	会 社 等	研 究 機 関	大 学 等
研究費 億円	年度 1981	5,099	2,558	552	1,989
	1982	6,492	2,944	840	2,707
	1983	7,426	3,348	859	3,220
	1984	7,840	3,709	985	3,147
	1985	8,838	4,285	1,110	3,444
	1986	9,179	4,361	1,232	3,587
	1987	10,113	4,838	1,443	3,832
対前 年度 比 (%)	1982	27.3	15.1	52.2	36.1
	1983	14.4	13.7	2.2	18.9
	1984	5.6	10.8	14.7	-2.3
	1985	12.7	15.5	12.7	9.4
	1986	3.9	1.8	11.0	4.1
	1987	10.2	10.9	17.2	6.8
研学に 究技占 主術め 体研る 別究割 科費合 (%)	1981	8.5	7.0	6.1	13.8
	1982	9.9	7.3	8.9	17.6
	1983	10.3	7.3	8.8	19.5
	1984	9.9	7.2	9.5	18.3
	1985	9.9	7.2	9.6	19.2
	1986	10.0	7.1	9.9	19.6
	1987	10.3	7.4	10.4	19.6

出所) 総務庁統計局「ライフサイエンス研究調査結果の概要」(1988年度)

る。(総務庁統計局「1988年度科学技術研究調査報告に附帯するライフサイエンス研究調査結果の概要」)

たが、後述するように、バイオテクノロジーは特定の分野でのみ応用されるものではなく、あらゆる分野にまたがる技術であり、したがって、その進歩とともに、これを利用する諸産業も、産業横断的な1つの産業、すなわちバイオインダストリーとして捉えざるを得なくなっているのである。本稿の課題は、日本におけるバイオインダストリーの現状について検討し、その特徴を明らかにすると同時に問題点を探ることにある。

2. バイオテクノロジーの特異性

(1) バイオテクノロジーの定義

人類は、古くから酒、味噌、醤油などの醸造食品の生産や農業などで、生物あるいはその機能を利用してきたが、ここで取り上げるのは、このような伝統的バイオテクノロジーではなく、近年、長足の進歩を遂げたバイオサイエンスの科学的知見を基礎とする一連の生物関連技術である。

生物関連技術は、生体利用技術と生体模倣技術とに大別される。生体利用技術とは、生体システムについての根本原理は不明のままに、生命体を一種のブラックボックスとして利用するもので、発酵・醸造技術、品種改良技術など、従来のバイオテクノロジーは、ほとんどがこれに含まれる。他方、生体模倣技術とは、生物の形態、機能、システムなどを真似るもので、産業用ロボットのように、形のうえで生体メカニズムを模倣する技術と、人工知能やバイオコンピュータのように、生体システムの本質的認識に立ってこれを真似る創造的模倣技術とがある。一般的に、バイオテクノロジーという場合には、これらすべてが包含されるわけであるが、その中で現在のバイオテクノロジーと深くかかわってくるのは、比較的、近年になって開発された諸技術、例えば、遺伝子組み換え技術、細胞融合技術、バイオリクターなどであり、これらは旧来のバイオテクノロジーと区別されて「ニューバイオテクノロジー」と呼ばれることも多い。

バイオテクノロジーの定義や分類についての統一的理解があるわけではない、またそれは非常に困難でもある。例えば、アメリカ議会の技術評価局

(Office of Technology Assessment: 以下, OTA と略記)は, 伝統的なオールドバイオテクノロジーと最新のニューバイオテクノロジーとを区別し, 後者を「生体システムを利用する商業製品およびそのプロセスを開発するために利用される新技術——組み換えDNA(rDNA)技術, モノクローナル抗体(MAb), バイオプロセス工学で用いられる新技術——である」²⁾と定義しているが, ニューバイオテクノロジーにしても, 生命科学や機器類の発達によって, 取り扱える範囲が生体から器官→組織→細胞→DNA へと拡大しただけで, 在来の生物利用技術との本質的な差異は認められない。質的な相違を求めるならば, 分子レベル(遺伝子レベル)で操作を行なうか否かを区分点にするのが妥当と思われるが, これとても遺伝子の機構についての深い認識がないままにブラックボックスとして利用しているという点では, 従来の伝統的バイオテクノロジーと大差ない。余りに狭義に解釈することは, 技術学的には意味があっても, この技術と産業との関係を考察する立場からは意味がないし, バイオインダストリーの全体像を見失うことにもなりかねない。周辺の技術も含めたより広い視野から, バイオテクノロジーが社会・経済に与える影響が検討されるべきであろう。その意味から本稿では, バイオテクノロジーをより包括的に「最新の生命科学を基礎として, 意識的かつ計画的に, 生物もしくは生物の機能を利用する技術」と捉えることにする。

(2) 技術的特異性

バイオテクノロジーは, 他の先端技術の場合には見られない種々の特性を有している。

それは, まず第1に, 生物が生産手段として重要な役割を果たすことである。これまで生産過程で重要な位置を占めてきたのは非生物的生産手段であり,

2) 'Commercial Biotechnology: An International Analysis'. Office of Technology Assessment, 1984, P. 25. 邦訳『バイオテクノロジーの開発戦略・技術分析編』家の光協会, 池田庸之助他訳, 2ページ。なお, 邦訳は全訳ではないため, 邦訳ページが示されていない場合は筆者の訳による。

生物は、発酵・醸造産業以外では、専ら原料などの労働対象として取り扱われてきた。確かに、非生物的生産手段は、生物と比較して自然的制約が少ないため、生産の飛躍的増大を可能ならしめたが、その反面、環境汚染、飢餓、難病、資源エネルギーの枯渇などの諸問題に対しては有効な解決手段をもたないばかりか、その原因ともなっている。この点、生物は再生産可能な素材であり、バイオマスとして尽きることのない資源であるし、高温・高圧で巨大なエネルギーを必要とする従来の化学工業の場合とは異なり、常温・常圧で過程を進行させるため、反応に伴う汚染物質も少なく、したがって、省エネルギー、環境汚染の防止、安全性などの面からも、その産業への応用が期待される。

第2の特徴は、この技術の学際的性格と、その応用分野の多様性である。生物種の豊富さと、物質の変換・分解機能、情報の処理・交換・蓄積機能、エネルギー変換機能など、生物のもつ機能の多様性は、種々の学問・産業分野にかかわっている。すなわち、バイオテクノロジーは医学、生物学、化学、工学、農学など多様な学術領域にまたがる学際的技術であり、当然、その応用分野も医薬品、食品、繊維、環境、エネルギー、農業、鉱業、エレクトロニクスなど極めて多岐にわたり、既存の生産プロセスの効率化はもちろんのこと、植物や家畜の改良による食糧の増産、ガンをはじめとする疾病の原因解明とその予防や治療、バイオマスの利用による再生産可能な資源エネルギーの開発、公害の防止および環境の浄化、有用微生物の開発および有用物質の生産など、応用可能性は限りない(表2)。

第3に、バイオテクノロジーの基礎研究は、実用化に直結しやすいということである。基礎研究と応用研究との相違は、前者が、理論形成あるいは新しい知識の獲得のために、特別な用途を顧慮する事なく行なわれるのに対して、後者は、基礎研究によって得られた新たな知見を、特定目的の実用化に結びつけるために行なわれるという点にある。ところが生物は、それ自体が一種のブラックボックスとして様々な物質の変換や合成に利用されるものであり、したがって、生体のメカニズムについて新たな発見があれば、それがそのまま生産技

表2 バイオテクノロジーの経済的波及効果

バイオテクノロジーで生産される製品	インターフェロン, 新規生理活性物質, バイオセンサー, バイオ素子, 新タンパク質	医薬品工業・電気・機械産業
バイオテクノロジーの利用による生産性向上, 省資源・省エネルギー	安価な原料への代替, バイオリクターによる連続生産, 精製能力の向上, 新規有用酵素の開発, 植物への窒素固定能の付与	化学工業 農業
生物資源の利用	石油の2・3次回収, バイオマスの利用, バクテリア・リーチングによる鉱物資源の回収, 飼料・食料用微生物大量培養	鉱業, 化学工業 エネルギー, 食品加工
製品の供給不足解消	希少医薬品の生産, 動植物の品種改良	農業, 医薬品
バイオテクノロジー関連の支援産業の製品	装置機器類, ソフトウェア・データベースの開発, 実験用試薬	建設, 機械, 電気, 情報, 薬品
環境, 医療, その他	排水処理, 悪臭除去, 有害物質や難分解物質の処理, 遺伝病の治療, 難病の原因解明・治療, 機能性食品の開発, 微生物農薬, 人工種子, 有用微生物の開発	プラント, 機械 化学工業, 医薬品, 食品加工, 農業

術に反映される可能性が高い。

第4に、生命体を取り扱うというこの技術の性格上、その安全性や適用の対象に関して、国民の認知が得にくいということである。これまで存在しなかった遺伝形質を備えた生物を作り出すことから生ずる予測不可能な事態に対する不安や、胎児への遺伝子操作、遺伝病の治療など、この技術の人への適用から派生する諸問題、すなわち社会に深く根付いている道徳・倫理観との衝突は、バイオテクノロジーに対する国民の認知を得にくくする。このことは、同技術の商業化の速度を左右する重要な要因となるだけに看過できない。

3. 製品化の現状と市場規模

バイオインダストリーは、まだ揺籃期の産業であり、したがって現在の市場規模もさほど大きなものではないが、各国の企業や政府の熱心な取り組みやバイオテクノロジーの応用範囲の広さからみても、将来的には、あらゆる産業にまたがる巨大な産業に成長する可能性がある。

日本経済新聞社の「1989年度バイオテクノロジー研究開発動向調査(以下、「動向調査」と略記)」によれば、回答を寄せた企業(297社)のうち47.9%(138社)が、バイオテクノロジー関連技術を利用して、すでに商品化したものがあると答えている。このうち売上高について回答のあった71社の1社平均のバイオ商品売上高は20億6,000万円で、前回調査時(15億5,800万円)より29%増加している。1社平均の売上高を業種別に見ると、医薬品企業が約56億円で最も高く、ついで繊維・紙・パルプが約25億円、建設・プラントエンジニアリングが約20億円などとなっている。合計すると、1988年のバイオテクノロジー(遺伝子操作、細胞融合、細胞培養)を利用した商品の売り上げ総額は約770億円、装置・機器類や試薬、原料などのバイオテクノロジー関連商品の売り上げは約700億円で、日本のバイオインダストリーが着実に成長しつつあることをうかがわせる(表3)。

バイオテクノロジーの市場規模予測については、バイオテクノロジーの範囲、調査対象の取り方、予測の手法、代替予測率、物価上昇率などをどう見るかによって違ってくるが、将来的に有望な市場であることに変わりない。

1988年度の「動向調査」によれば、西暦2000年時点での日本のバイオインダストリーの市場規模は、各企業が自社の製品について行なった予測を合計すると約5兆1,000億円で、市場分野別に見ると、最も大きいのは医薬品で約9,200億円、以下、食品が約6,800億円、化学・紙・パルプが約5,300億円などとなっている。また1984年に、発酵工業協会のバイオインダストリー振興事業部会(現在はバイオインダストリー協会に改組)が試算したところでは、西暦2000年の日本のバイオインダストリーの市場規模は15兆円に達するということであるが、これは農林水産から廃棄物処理に至るまでの広い範囲で、あらゆるバイオ技術生産額を合計したもので、バイオテクノロジーの定義やバイオインダストリーの範囲の取り方によって、予測される市場規模も違ってくる。今後の、この分野の市場規模の拡大は、技術力、資本力、人材、政府の施策など様々なファクターに依存しているが、この点については次節で考察する。

表3 バイオテクノロジーを利用した主な商品(日本で販売されているもの)

＜遺伝子操作＞

ヒト・インスリン	86年発売	糖尿病の治療薬, 塩野義製薬が米国から輸入販売
ヒト・成長ホルモン	86年発売	小人症の治療薬, 住友製薬が輸入販売
αインターフェロン	88年発売	抗ガン剤, B型肝炎の治療薬, 武田薬品が国産化
B型肝炎ワクチン	88年発売	酵母を宿主に組み換えDNA技術により生産
シアル酸測定試薬	86年発売	炎症の診断薬, 国産の遺伝子操作診断薬第一号
遺伝病の受託検査	87年発売	ガン, 心筋梗塞など患者の遺伝的背景を診断
洗 剤	88年発売	「ハイトップ」組み換え酵素を利用した世界初の洗剤

＜細胞融合＞

医科向け臨床診断薬	82年発売	その後, 150種以上の製品が日本で発売
家庭用妊娠診断薬	86年発売	尿中のホルモンを測定する診断薬
日 本 酒	86年発売	「かおり」(86年), 「吟生・はぎ」(87年)
焼 酎	86年から	「てんからもん」「梅王」「夢のあと」など
ワ イ ン	88年発売	「Fusion Bio A」協和発酵, 初のバイオワイン
パン酵母	83年発売	冷凍耐性酵母, オリエンタル酵母
た ば こ	87年登録	日本たばこ産業, 細胞融合で育種したたばこ品種
除 草 剤	84年発売	世界初のバイオ除草剤, 明治製菓が開発

＜細胞培養＞

ウロキナーゼ	84年発売	血栓溶解剤, 心筋梗塞や脳梗塞の治療に使用
βインターフェロン	85年発売	世界初の国産インターフェロン, 東レ, 第一製薬
αインターフェロン	87年発売	ガン, B型肝炎治療薬, 複数の企業が発売
化粧品	80年発売	酵母を培養して製造, マックスファクター

＜組織培養＞

朝鮮人参	88年発売	組織培養で生産, ワインやドリンク剤に使用
新種の野菜	86年から	「千宝菜」「春川おく太」「道育394号」など
人工種子	88年発売	人工種子から作られた苗を試験販売, キリンビール
花 卉	88年発売	大量培養によるユリ, バラ等の苗の大量増殖
無 病 苗	75年前後	成長点培養による野菜や花卉の無病苗の生産
化粧品	84年発売	「バイオ口紅」カネボウ, 培養紫草の色素配合

＜バイオリクター＞

異性化糖	73年発売	低価格の甘味料, 同技術による製品中, 最大の売上
低乳糖牛乳	77年発売	「アカディ」雪印乳業, 乳糖を分解した牛乳
フラクトオリゴ糖	83年発売	低カロリー甘味料, 明治製菓
パラチノース	84年発売	虫歯にならない甘味料, 三井製糖
各種アミノ酸	69年から	Lアミノ酸, Lアスパラギン酸, Lリンゴ酸など
アクリルアミド	85年発売	紙力増強剤, 高分子凝集剤

『日経バイオ年鑑88/89』より作成

4. 日本におけるバイオインダストリーの現状と課題

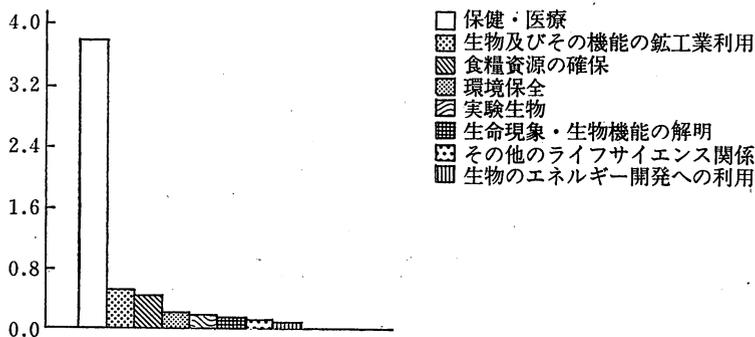
ここでは総務庁統計局が、指定統計の1つである「科学技術研究調査報告」の附帯調査として1982年度から毎年実施している「ライフサイエンス研究調査結果の概要(以下、「概要」と略記)」を中心として、日本におけるバイオインダストリーの動向を概観し、その現状と課題を探ることとする。「概要」の調査対象となったのは、資本金1億円以上の企業と独立採算制を有する特殊法人約5,300客体、研究機関約1,400客体、大学約2,100客体で、研究者については1988年4月1日現在で、研究費については4月1日前の決算日をさかのぼる1年間の実績が調査されている。

(1) 応用分野の偏向

日本のバイオインダストリーの第1の特徴は、バイオテクノロジーの応用分野に極度の偏向が見られることである。1988年度の「概要」から日本のライフサイエンス研究費の支出を研究目的別にみると、保健・医療関係が6,953億円で、研究費総額(1兆113億円)の68.7%を占め、以下、生命現象・生物機能関係が959億円(9.5%)、食糧資源の確保関係が775億円(7.7%)、生物およびその機能の鉱工業利用関係が470億円(4.6%)、環境保全関係が443億円(4.4%)などになっており、保健・医療関係への研究費支出の突出が目につく。企業レベルでは、このような応用分野の偏向は一層はなはだしく、会社等のライフサイエンス研究費総額(4,838億円)のうち実に78.2%(3,784億円)が保健・医療関係に支出されており、食糧資源の確保関係は7.4%、エネルギー開発関係は0.3%にすぎない(図1)。研究主体別に見ても、保健・医療関係については、研究機関は35.5%であるが、大学は69.3%を占め、会社等と同様に高い比重を占めている。

会社等のライフサイエンス研究費の支出を産業別に見てみると、大分類では製造業が4,793億円で全産業の99.1%を占め、その伸び率は、対前年度比10.9%で1986年度の伸び率(2.0%)を大きく上回っている。製造業のなかでは、化学工業が3,797億円(全産業の78.5%)と大部分を占めており、その化学工業の中では、医

図1 日本の産業別ライフサイエンス研究費(会社等)単位:千億円



出所) 総務庁統計局「ライフサイエンス研究調査結果の概要」(1988年度)

表4 主な産業別ライフサイエンス研究費(会社等)

産 業	研 究 費 (億円)			
	1986年度	1987年度	前年度比(%)	構成比(%)
全 産 業	4,361	4,838	10.9	100.0
製 造 業	4,332	4,793	10.9	99.1
食 品 工 業	422	614	45.4	12.7
化 学 工 業	3,530	3,797	7.6	78.5
総合化学・化学繊維工業	582	651	12.0	13.5
医 薬 品 工 業	2,835	3,021	6.6	62.4

注) 1987年度ライフサイエンス研究費が100億円以上の産業。

出所) 前掲「ライフサイエンス研究調査結果の概要」

薬品工業が3,021億円で、これは全産業のライフサイエンス研究費総額の62.4%にあたる(表4)。

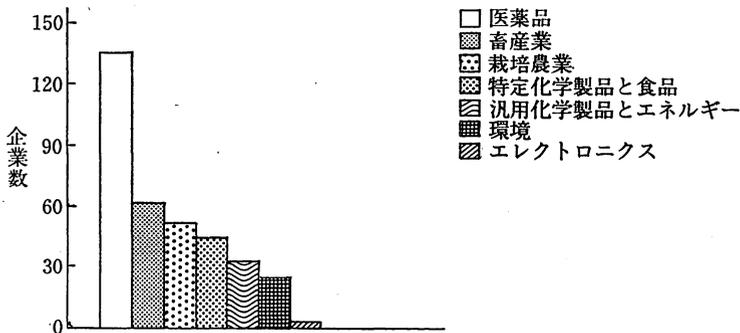
このように、ほとんどのライフサイエンス研究費が保健・医療関係に支出されていることは、日本のバイオインダストリーの1つの大きな特徴である。研究費支出が保健・医療分野に集中し、その他の分野に薄いのは、高齢化社会へ向けての老化研究やガン、脳卒中、心臓病などの対策やエイズ、臓器移植など

新しい事態への対応が急がれていることの反映ともとれるが、より根本的には、日本における産業構造の急激な変化が、このような研究分野の偏在を産み出していると見るべきである。

図2は、アメリカの企業がバイオテクノロジーの応用をもくろんでいる産業分野を示しているが、医薬品を除けば、アメリカは、バイオテクノロジーの応用に関して、日本とは逆の進路を取っていることが見て取れる。調査された中のおよそ半数の企業が農業分野をターゲットとしており、エネルギーや環境への応用を目指す企業も比較的多い。農産物輸出大国であるアメリカでは、バイオテクノロジーが農業生産に与えるインパクトが非常に大きく、したがって、多くの大企業が農業分野を長期的ターゲットとして膨大な研究開発費を支出しているのに対して、外国からの輸入食糧への依存度が高く、食糧自給率の低下傾向が続く日本では、企業による農業分野へのバイオテクノロジー関連の研究投資は非常に少ない。また、原燃料のほとんどを外国に依存することから、アメリカと比較して、環境、資源・エネルギーへの研究費支出も非常に少なくなっている。

これは、原燃料を外国に依存しながらの資源・エネルギー多消費型の工業生

図2 アメリカ企業がバイオテクノロジーの応用を目指す分野



注) 企業総数は219社であるが、複数の分野に関連している企業がある。

出所：Office of Technology Assessment, 1984.

産を押し進め、これら生産物の外国市場への輸出を拡大し、これによる貿易不均衡の見返りを外国農産物の輸入拡大によって解消しようとする日本の「産業構造の高度化」政策が、このような日米のバイオテクノロジーの研究・応用分野の相違となって表れたものに他ならない。

農産物輸入が政財界によって推進される理由は、まず第1に、日本の工業製品に対する対日輸入規制措置(日本側の自主規制)の緩和である。これまでも日本は、工業製品輸出の増大に伴う「貿易不均衡」の責任を農業に転嫁することによって貿易黒字の累積に対する国際的非難を回避してきたが、その結果、日本の食糧自給率はカロリーベースで49%にまで落ち込み、日本経済に占める農業の比重は極端に低下し、農工間の不均等発展が一層激化した。今また、対米貿易黒字の「見返り」としての外国農産物輸入は、自動車をはじめとする工業製品に対する対日輸入規制の緩和策として日本独占に有利に働くことになる。

第2の理由は、外国農産物の輸入が賃金引き上げに対する抑制策になることである。食料品は労働力の価格、すなわち賃金の水準を規定する主要因である。したがって、安価な外国農産物の輸入は、労働者の賃上げの阻止に効果的であるという意味で、企業にとってメリットがある。同時にまた、安価な原料用農産物の輸入は、不変資本価値の増大を抑制することから利潤率の増大にもつながる。

第3には、新たな労働力の創出があげられる。小土地所有が多数残存し、大規模機械化農業の実現が困難な日本では、生産費の点で外国農産物に太刀打ちできず、外国農産物との競争によって、多数の小規模・零細農家が農業部門から駆逐されることが予想される。このことは、深刻な人手不足に直面している資本にとっては、搾取可能な新たな労働力の創出を意味する。

しかし、日本農業を犠牲にしての外国農産物の輸入、したがってまた工業だけのいびつな再生産構造への転換には、次のような問題を伴う。

第1の問題は、食糧の供給と価格の不安定である。食糧の大部分を外国に依存するということは、日本における食糧の供給や価格が、日本国内ではなく食

糧輸出の事情によって左右されるということである。とりわけ日本は、農産物輸入量のかなりの部分をアメリカ一国に頼っており（全輸入量の約4割）、輸入安定のために必要な輸入ソースの多角化が進んでおらず、そのため日本における食糧需給は、アメリカの政策に影響される度合いがかなり大きくなる。しかも、世界で生産される農産物全体の中に占める輸出用農産物の割合は比較的小さなものであり、したがって、異常気象による凶作や特定の国による大量の買い付け、港湾労働者のストライキなどがあっただけで、農産物の国際価格は急騰することになる。外国農産物に対する依存度の増大は、国内の食糧の安定的価格での安定的供給の確保という観点からは非常に問題であり、農産物価格の国際比較などという単純な問題に解消されるものではない。

第2に、食糧の自給は、一国の安全保障という見地からは軍備に先行する重要な要件であり、食糧自給率の極端な低下は、その基礎をも危うくすることにつながる。すでに日本の産業構造は、原料、食糧の輸入においてアメリカ依存型にはめこまれており、安易な国際分業論に乗った農産物輸入の拡大は、対米従属の度合いをさらに強めることになる。この問題は、たんに日本のみならず、世界の食糧安全保障に関係する問題であることにも注意しなければならない。1972—74年の世界食糧危機は、穀物価格の高騰と食糧援助の減少を伴ったが、その結果、もっとも被害を被ったのは発展途上国の貧困層であった。したがって各国が、国民が必要とする基礎的食糧をある程度まで自給しておく体制を確立することは、発展途上国の食糧安全保障にとっても大事な要件なのである。

第3に、食糧の供給以外に農業がもつ副次的機能の喪失という問題がある。災害の防止、酸素の供給、リクリエーションの場、地震や火災時の避難場所、環境の浄化などといった農業のもつ副次的機能は、日本農業の解体とともに失われてしまうのである。

最後に指摘しておきたいのは、日本農業を切り捨てながらの重化学工業中心の産業構造への転換策、いわゆる「産業構造の高度化」政策は、都市労働力に対する需要の増大と農業労働者数の急激な減少やその都市部への流出を招き、

都市部における工業・商業用地、橋、道路、空港用地、そこで働く労働者の住宅、学校、病院、公園サービス産業などの用地をはじめとする土地需要の急激な高まりが、都市ならびにその周辺の土地価格の高騰をひきおこし、他方では、農村の過疎化やそれに伴う原発誘致の問題など深刻な社会問題をひきおこしていることである。問題が構造的である以上、遷都論、土地取引の法的規制、都市農地への宅地並み課税などといった、土地問題の原因にメスを入れない場当たりの政策が、根本的な解決策にならないことは言うまでもない。工業と農業、都市と農村とのバランスのとれた社会実現へ向けての政策の転換が必要であろう。

以上に述べたように、バイオテクノロジーの農業への応用は、アメリカのような食糧輸出国に利益が多く、日本のような食糧輸入国にはメリットが少ない。日本企業がバイオテクノロジーの研究開発の重点を農業以外に置くのは、これがためである。

農業とは逆に、日本企業が、もっとも研究開発努力を傾注している産業分野は、既述のように医薬品工業である。表3に示されたように、会社等のライフサイエンス研究費総額(4,838億円)のうち62.4%が医薬品工業だけで支出されていることから、この分野にかける日本企業の期待の程が伺えよう。

医薬品分野でバイオテクノロジーの応用が活発である理由としては、一般的には、医薬品は、小量で付加価値が高く成功すれば有利な製品であること、生物学的製法でのみ生産可能な製品が多く他の製造技術と競合しないこと、市場が細分化され比較的小規模であるため、小企業にも参入しやすいこと、医薬品は、既存の製品の代替品・改良品として直ちに収入源になること、などがあげられよう。これらは日米両国の医薬品企業に共通する動機であるが、日本の医薬品工業でバイオテクノロジーの応用が活発であるのには、これ以外にも理由がある。

それは1つには、日本の医薬品企業が、抗生物質や漢方製剤の生産をはじめとする生物学的工程(bioprocess)に長年の経験を有していたことである。これらの企業が生物学的生産方法に関して蓄積してきた知識やノウハウは、細胞融合や遺伝子組み換えなどの新技術の下地となり、バイオテクノロジーの導入を

容易にしたといえる。現在、日本の医薬品企業の売り上げは国内に集中し、国外にはほとんど市場をもたないが、将来の世界市場進出の梃子としてバイオテクノロジーを応用した医薬品の研究開発が活発に進められている。医薬品分野でバイオテクノロジーの応用が活発であることについては、もう1つ理由があるが、これについては次節で述べる。

（2） 参入企業の多様化

日本のバイオインダストリーの第2の特徴は、その参入企業の多様性である。これには大別して、前述のように、もともと伝統的バイオテクノロジーに習熟して生物を扱い慣れていた企業が医薬品など他の分野に進出する場合と、これまでバイオテクノロジーとは直接的な関係をもたなかった企業がバイオテクノロジーを通じて他分野に進出する場合とがある。

前者に属するのは、食品、繊維、化学関係の企業で、微生物や植物について蓄積された技術や知識が、ニューバイオテクノロジーの導入とそれによる異業種(特に、付加価値の高い医薬品分野)への参入を容易にしている(表5)。これらの企業は、酒類、乳製品、漬物、納豆、パン、味噌、醤油などの生産で、もともと生物を扱い慣れていたために、バイオテクノロジーの医薬品開発への応用が比較的スムーズに進んだこともあって、すでにいくつかの医薬品も上市されている。

後者に属するのは、電気、機械、鉄鋼、金属、建設などの業種で、装置・機器類などのバイオテクノロジー支援の周辺製品の開発はもちろんのこと、本来の職分を離れ、広い範囲で積極的な研究開発努力がなされている。このような、これまでバイオテクノロジーに縁のなかった業種に属する企業がバイオテクノロジーに着目しだした背景には、まず第1に、バイオエレクトロニクスという新分野が開拓される可能性があることである。バイオ素子、バイオモーター、バイオコンピュータなど実用化はまだ先のことになるが、有望な産業分野として期待されている。第2には、培養槽等の容器類、遺伝子合成装置等の機器類、専用の施設や建物など関連の製品に対する需要がバイオインダストリー

表5 バイオテクノロジーを応用した医薬品の研究開発に取り組む主な異分野企業

業種	企 業	内 容
食 品	サッポロビール	抗ガン剤, 遺伝子操作による生理活性物質
	サントリー	インターフェロン, TNF (ガン壊死因子)
	東洋醸造	抗生物質, スーパーオキシサイドディムスターゼ(SOD)
	明治製菓	γ インターフェロン, 抗生物質, 抗ウィルス剤
	明治乳業	B型肝炎ワクチン, モノクローナル抗体, TPA
	雪印乳業	エリスロポエチン(増血ホルモン), TPA(血栓溶解剤)
	宝酒造	診断用の各種モノクローナル抗体
	ニチレイ	抗ヒト白血球モノクローナル抗体
	山 楽	抗ガン剤, 抗生物質
	カルピス食品	モノクローナル抗体による免疫診断薬
	ニチレイ	モノクローナル抗体試薬, DNA プローブ
	森永製菓	モノクローナル抗体
	ヤクルト本社	各種の抗癌剤
	味の素	インターロイキン2, リンホカイン, マクロカイン
キッコーマン	生理活性物質	
キリンビール	エリスロポエチン, CSF (白血病, 免疫不全症の治療薬)	
織 維	旭化成工業	γ インターフェロン, TNF, TPA
	帝 人	百日咳ワクチン, MAb によるガンのミサイル療法, TNF
	東洋紡績	酵素診断薬, TPA, エリスロポエチン
	東レ	β ・ γ インターフェロン, インターロイキン, MAb 診断薬
	クラレ	細胞大量培養によるモノクローナル抗体
化 学	協和発酵工業	β インターフェロン, インターロイキン2, TPA
	鐘淵化学工業	遺伝子操作による生理活性物質, γ インターフェロン
	呉羽化学工業	抗ガン剤, 血管造成因子
	住友化学工業	モノクローナル抗体診断薬, 上皮細胞増殖因子
	三菱化成	モノクローナル抗体, 肝炎ワクチン, 血清アルブミン
	ライオン	遺伝子操作による生理活性物質
	花 王	皮膚科学関連の生理活性物質
	積水化成	組織培養による医薬品, 茎頂点培養による薬草
	日本ゼオン	ワクチン, ビタミン, 抗生物質
	三井東圧化学	TPA, ウロキナーゼ(血栓溶解剤)
石原産業	遺伝子操作や細胞融合による生理活性物質	
新日鉄化学	遺伝子操作や蛋白工学による生理活性物質	
日本ペイント	組織培養による生理活性物質	

出所) 日経産業新聞その他による

の発展につれて高まってきたことである。さらに第3には、バイオテクノロジーの有望さもさることながら、長引く不況と円高による国際競争力の低下で悪化した業績を回復させる手段、あるいはそれによって生じた余剰人員の受皿として、造船・鉄鋼など構造不況業種に属する企業が、バイオテクノロジーによる異業種進出に活路を求めたという事情がある(表6)。

これまでに述べてきたように、バイオテクノロジーは極めて応用範囲が広く、したがって、これを応用する業種を産業横断的な1つの分野として、すなわちバイオインダストリーとして捉えることが可能である。バイオテクノロジーを利用した異なる産業分野への企業進出、バイオテクノロジーに関する企業間の共同研究の活発化やジョイントベンチャーの設立、大企業によるバイオ技術をもつ企業の買収、こうしたバイオテクノロジーを巡る日本企業の動向は、これを長期的かつ広範な視野で捉え直せば、バイオテクノロジーを軸とした日本の産業の再編成へ向けての動きと見ることも可能であろう。現実には、日本のバイオインダストリーはまだ揺籃期にあり、産業構造に及ぼす影響もさして大きなものではないが、その発展とともに、変化は確実に進行することになる。

表6 鉄鋼・造船関係企業のバイオテクノロジーへの取り組み

企 業	主 な 研 究 分 野
日 立 造 船	植物工場、海老・ヒラメの養殖、バイオリクター、水処理
石川島播磨重工業	植物工場の開発、バイオマス、水処理、昆布の大量促成栽培
三 井 造 船	酵母の細胞融合育種、バイオリクター、水処理、エネルギー
川 崎 重 工 業	植物工場、バイオリクター
三 菱 重 工 業	バイオプロセス、水処理、バイオクリーンルーム
住友重機械工業	バイオマス、メタン発酵、大量培養による生理活性物質
新 日 本 製 鉄	排水処理用システム、高速発酵処理
川 崎 製 鉄	植物工場、細胞培養・細胞融合による食品添加物、品種改良
神 戸 製 鋼 所	バイオマス利用、バイオリクターによる排水処理

注) 日経産業新聞その他による

(3) 基礎研究基盤の脆弱さ

バイオテクノロジーのように、基礎研究の成果が実用化に直結しやすい技術では、基礎研究の蓄積こそが一国におけるバイオインダストリーの発展度を、したがってまた国際競争力を決定する重要な要素となる。日本は、過去、半導体やコンピュータなどのバイオテクノロジー分野において、諸外国における基礎科学の研究成果を積極的に摂取しながら、応用・開発研究段階で欧米へのキャッチ・アップをはかり、低賃金・長時間労働を武器に世界市場に食い込んできたが、この経験から日本企業は、遺伝子工学の場合においても「後追い研究」の成功を確信し、欧米の技術水準に追いつくのは時間の問題と楽観する傾向があった。事実、1981年度の「動向調査」では、最先端の遺伝子組み換え技術について「2-3年でアメリカに追い付く」と回答した企業が24%、「5年以内に追い付く」と回答した企業が48%あり、日本企業の自信の程が伺えたが、1988年度の調査では、5.9%が「世界で最も進んでいる」と判断しているものの、「米国の次」と見るところが27.8%「米・欧の次」が25.3%、「米国と拮抗している」が18.8%となっており、バイオプロセス工学など一部の分野を除いて、現在もおおアメリカの技術的優位は動かないものと見られる。過去、アメリカは、基礎研究に対して世界で最も大規模かつ広範な予算措置を講じてきたが、それはバイオテクノロジーの場合も例外ではない。現在のところ、アメリカは、特別なバイオテクノロジー振興策こそ実施してはいないものの、バイオテクノロジー関連の基礎研究については国立衛生研究所(NIH)、国立科学財団(NSF)、農務省(USDA)、エネルギー省(DOE)、国防省(DOD)などが積極的な財政措置を講じており、これがこの分野におけるアメリカの優位を決定づけた最大の要因ともなっている。

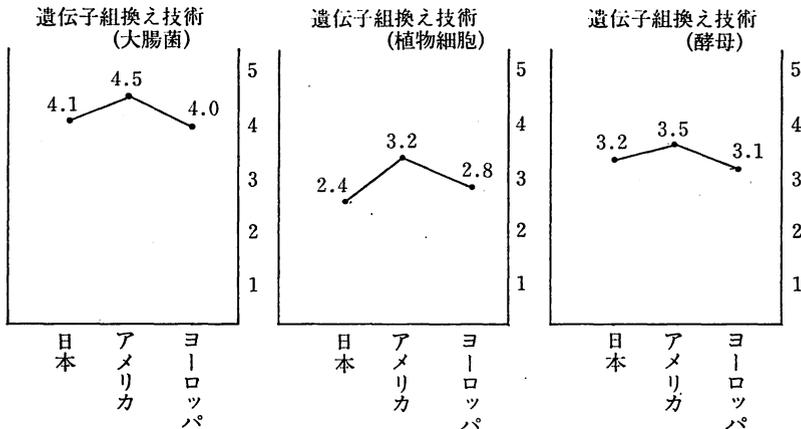
他方、日本は、酒、味噌、醤油、漬物、納豆などに見られる伝統的バイオテクノロジーの蓄積こそ豊富だが、基礎研究については、一般的に脆弱であるとされている。日本の基礎研究に対する予算はアメリカと比較して貧弱なものであり、かなりの程度、欧米の基礎研究の成果に依存しているが、それはバイオ

テクノロジーの場合にも同様である。発酵・醸造関係の技術だけは世界をリードしているものの、遺伝子操作技術をはじめ高度の基礎研究の蓄積を必要とする領域では、基礎研究力の弱さから、技術レベルでアメリカに水をあけられているのが現状である(図3)。日本のバイオテクノロジーは、発酵・醸造技術や育種技術など旧来のバイオテクノロジーにいわば「継ぎ穂」する形で行なわれており、ニューバイオテクノロジーを発展させるための基礎研究基盤の強化が急務となっている。

基礎研究力の強化にとって不可欠なのは優秀な人材であるが、この面でも最も恵まれているのはアメリカである。OTA と NAS が行なった調査においても、人材不足を訴えたアメリカ企業は皆無に等しいことが報告されている。これに対し、日本では、人材不足を補うために、社内教育を開始するかたわら海外の日本人研究者の招聘、国内外への研修など積極的に人材の確保・育成に努めてはいるが、1988年度の「動向調査」でも回答企業297社のうち72.6%が「増員を計画している」と答えており、人材不足はまだ解消されたとは言えないようである。

終身雇用が一般的な日本では、バイオテクノロジーのスペシャリストは自社

図3 遺伝子組換え技術水準評価



出所) 通産省基礎産業界局バイオインダストリー室編『バイオインダストリービジョン』

内で養成するのが基本となるが、将来的に、アメリカに比肩しうだけの技術力を備えるためには、優秀な大学研究者との密接な連携、したがって産学協同体制の強化が緊急の課題となる。

(4) 産学協同

アメリカでは、バイオテクノロジー関連企業は例外なく優秀な大学の研究者と密接な関係を結んでおり、大学の研究人材を迅速に取り込む体制が整っている。人的流動性が高く、大学と産業界との結びつきが密接なアメリカでは、大学の研究者が企業の重役や顧問、研究主任を兼務することも珍しいことではなく、中には、バイオベンチャー企業の雄である Genentech のように、大学の研究者がベンチャーキャピタリストと結んで会社を設立し、成功をおさめる例さえある。彼らは、複数のバイオ企業と契約し、報酬を得たり、自分が関係する企業の株式を取得して大金を手に入れたりもしている。連邦政府の予算を使用する大学の研究から得られた知識を個人の利得のために利用することについてはアメリカでも批判が強いが、このような人的流動性の高さを背景とする研究者の利益指向が大きなインセンティブとなってアメリカにおけるバイオインダストリーの形成を加速したことは間違いない。

他方、日本では国立大学の研究者が企業や他の団体の役職につくことは厳しく規制されている。しかし、バイオテクノロジーを扱える人材が一番多いのは大学である。「概要」によれば、1988年4月1日現在のライフサイエンス研究者数は9万3,881人で、研究主体別では大学等が6万6,099人、会社等が1万8,335人、研究機関が9,447人となっており、大学等が全体の約7割を占めている。企業にとっては、最新の知識と人材確保の窓口として、大学にとっては、研究資金の援助と学生の就職のパイプとして産学協同体制の拡充を望む理由があるわけである。日本においても、産学間の人材交流の活発化・規制の緩和を望む産業界の要請に応え、国立大学の研究者が民間の研究者と共通の研究課題について共同で研究する「民間等との共同研究制度」の発足、国立大学等での受託研究及び受託研究員の受け入れの推進、科学研究費補助金による民間等の

研究者との共同研究の推進，産学間の研究協力を推進するための共同研究センターの設置，民間からの寄付金によって運営される寄付講座や寄付研究部門の設置，日本学術振興会における産学協同協力事業の充実などの諸施策が推進されている。

日本のバイオインダストリーの発展に関してここで問題になるのは，大学と産業界との連携の強化以前に，日本の大学や政府系研究機関における基礎生物学そのものの研究が，欧米に比してかなり遅れているということである。日本では，研究の力点は応用開発研究に置かれている，基礎研究に対する日本政府の予算措置も，これに相応して薄いものである(表7)。バイオテクノロジーのように，基礎研究の成果が製品開発に直結しやすい技術では，基礎研究を外国に依存し，開発競争で実をあげるといった，従来，日本が行なってきたやり方は通用するものではなく，大学における基礎研究水準の低さは日本のバイオインダストリーの発展にとって深刻な問題となっている。人と技術を大学以外に求めなければならなかった日本企業は，欧米のバイオベンチャー企業への投資やライセンス契約などによって，バイオテクノロジーの技術を「買う」ことを余儀なくされているが，現在の日本の状況を見るかぎり，この分野における技術輸入の状態はしばらく解消されそうにないと思われる。

なお，産学協同の弊害については，一般的に指摘されていること，すなわち

表7 自然科学の研究主体，性格別研究費（単位：億円）

区 分		総 額	基 礎 研 究	応 用 研 究	開 発 研 究
研 究 費	1986年度	83,187	11,028	20,308	51,850
	会 社 等	61,202	3,713	13,218	44,271
	研 究 機 関	11,375	1,569	3,121	6,685
	大 学 等	10,611	5,747	3,969	895
構 成 比 %	1986年度	100.0	13.3	24.4	62.3
	会 社 等	100.0	6.1	21.6	72.3
	研 究 機 関	100.0	13.8	27.4	58.8
	大 学 等	100.0	54.2	37.4	8.4

出所) 総務庁統計局「科学技術研究調査結果の概要」(1987年度)

大学から企業への技術移転に伴う秘密主義による科学的研究の非公開性の助長、真理の探求を目的とする大学の研究が利益指向に傾斜する危険性とそれによる大学教育の質的变化などの問題が、そのままバイオテクノロジーの場合にも当てはまる。政府による産学協同の促進に関しては、「大学が本来の使命を踏まえながら、大学の主体性のもとにその特色を活かして社会の諸要請に的確かつ積極的に対応し、協力していくための諸施策を推進している」³⁾とされているが、大学における真理の探求と私的企業における利潤の追求とは本来矛盾するものであり、産学協同体制の促進は、資本による大学の研究・教育の管理・支配体制の強化につながる危険性をはらむものである。

(5) 大企業主導による商業化

アメリカでは、1976年以降、豊富なベンチャーキャピタル、冒険的事業に挑む企業家精神、高い人的流動性、ベンチャー企業に対する税制上の優遇措置などを背景として、バイオテクノロジーを専門に製品開発に応用することを目的とするベンチャー企業(New Biotechnology Firms)が数多く設立され、この分野におけるアメリカの優位を築くうえで重要な役割をはたしている。バイオテクノロジーのように、リスクが高く技術進歩の早い領域では、研究室での基礎研究を迅速に取り込み生産技術に反映させるうえで、小企業の方が適していることも事実である。

OTA レポートも指摘しているように、アメリカにおけるバイオインダストリーの大きな特徴は、ベンチャー企業と既存の大企業との相補性にある⁴⁾。ベンチャー企業は、大学の研究者と密接なつながりを持ち、研究開発面では優れているものの、製造能力を持っておらず、資金も不足している。それに対して既存の大企業は、確立された生産ラインをすでに持っており、急激な方向転換が困難である。したがって、両企業の連携は、大企業にとっては、複数のベンチャー企業に投資することによってバイオテクノロジーの最新の知識を取込み、リ

3) 『科学技術白書』(1987年度版), 245ページ。

4) *op. cit.* 'Commercial Biotechnology' P. 11.

スクやコストを最小附に押さえることに役立ち、ベンチャー企業にとっては、大企業からの受託研究収益やロイヤリティー収入が期待できるという点で、双方の弱点を補完できる。アメリカのバイオインダストリー初期には、こうした相補性が有効に作用したことは確かであるが、現在では、大企業も研究開発体制を強化し、急速に研究を内在化しつつあり、ベンチャー企業も製造販売を目指すなど大企業依存の現状からの脱却をはかっている。

他方、日本でバイオテクノロジーを商業化しようとしているのは、三菱、住友、東レ、味の素、武田薬品などの化学工業を中心とする既存の大企業である⁵⁾。これらの大企業は、バイオベンチャー企業のようにバイオテクノロジーに専門化するわけではなく、多様に営まれる事業部門へのこの技術の応用による生産工程の効率化や医薬品をはじめとする他分野への参入の挺子としてバイオテクノロジーを利用している。

1988年度の「概要」によって、会社等のライフサイエンス研究費の支出を資本金階級別に見ても、資本金100億円以上の企業が約3,228億円の研究費を支出しており、これは会社等のライフサイエンス研究費総額(4,838億円)の約67%にあたる。他方、資本金10～100億円未満の会社の研究費は1,239億円(全体の25.6%)、1～10億円未満の会社の研費は368億円(同7.6%)となっており、日本のバイオインダストリーが既存の大企業を中心に形成されつつあることが見て取れる(表8)。日本でバイオベンチャー企業が育たないのは、ベンチャーキャピタ

5) 日本の化学系の大企業が特にバイオテクノロジーに傾斜している事について、OTAレポートでは次のように述べている。「日本企業が、酵素、アミノ酸、有機酸などのスペシャリティーケミカルに現在の研究の力点を置いているのは、日本の石油化学工業を現在の国際市場での不振から脱却させようとする努力の表れである。この危険性はアメリカより日本の方が大きい。なぜなら、化学、繊維などの日本の石油利用産業は、ほぼ全面的に輸入石油原料に依存しているからである。バイオテクノロジーを利用したスペシャリティーケミカルの生産は、これを生産する日本企業に、石油依存度を低下させる機会を与えると同時に、量が多く付加価値の低い製品から、より大きな利益をあげられる製品に転換する機会を与える。」*op. cit. Commercial Biotechnology* P. 506.

表8 資本金階別ライフサイエンス研究費(単位:100万)

資 本 金 階 級	1986年度	1987年度	うち遺伝子組
			み換え研究費
総 額	436,093	483,820	26,893
1億円～10億円未満	36,244	36,769	1,811
10億円～100億円未満	117,057	123,893	4,962
100億円以上	282,462	322,841	20,066
特 殊 法 人	330	317	—

出所) 前掲「ライフサイエンス研究調査結果の概要」

ルが乏しいこと、言い換えれば、日本の金融が銀行を中心とする間接的な資金調達を主としており、株式の発行による直接的な資金調達がアメリカと比較してかなり低調であることや、終身雇用が一般的で安定を指向する文化的特性によると考えられるが、他の先端技術の場合と同様に、大企業主体でバイオテクノロジーの商業化がはかられることが、必ずしも将来この分野における日本の国際競争力の弱体につながるというわけではない。

(6) 政府によるバイオインダストリーの振興

1987年度の『科学技術白書』は、日本の科学技術政策について「科学技術振興は、社会経済の発展の基盤であり、産業活動の活性化、生活水準化・福祉の向上に寄与するものであることから、近年、国際的にも、その重要性が高まっている。とりわけ、天然資源に乏しく、唯一の資源とも言える知的創造力にその生存基盤を求めていかなければならないわが国としては、将来への可能性を科学技術の新たな展開に期するところが大きく、科学技術のより一層の振興が極めて重要な政策課題である。」⁶⁾ としたうえで、ライフサイエンスを、「種々の生物が営む生命現象の複雑かつ精緻なメカニズムを解明し、その研究成果を、保健医療、環境保全、農林水産業、化学工業等の諸分野において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であり、大きな技術発展の可

6) 『科学技術白書』(1987年度版), 219ページ。

能性をもつもの」⁷⁾と位置付けている。

日本では、1971年4月に科学技術会議が、「1970年代における総合的科学技术政策の基本について」に対する答申において、ライフサイエンス振興の重要性を指摘して以来、ライフサイエンス推進方策の基本を審議するためのライフサイエンス部会の設置(73年)、研究活動の推進方策を提言した「ライフサイエンスの推進に関する意見」の取りまとめ(80年)、「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について」の答申(84年)などにより、積極的にライフサイエンスが推進されてきた。現在も、日本は、先進国のなかでもフランスと並んで、最も積極的にバイオインダストリーの振興に取り組んでいる。これに対しては、「日本政府による過度の肩入れは公正な国際競争を阻害する」という諸外国からの非難もあるが、以下に述べるように、バイオテクノロジーそれ自体のもつ公共的性格と日本に固有の事情から、政府による何らから振興策が実施される必要が認められる。

1988年度の「概要」から、科学技術研究費の支出源を国・地方公共団体と民間別に見ると、民間が7兆7,165億円、国・地方公共団体が2兆2,118億円で、研究費総額に占める両者の支出割合は、民間が78.4%、国・地方公共団体が21.5%(残り0.1%は外国からのもの)となっているのに対し、ライフサイエンス研究費は、民間が6,794億円、国・地方公共団体が3,319億円となっており、その割合は前者が67.2%、後者が32.8%で、他の科学技術の場合と比較して、研究費支出に占める国・地方公共団体の比重が高くなっていることがわかる(表9、表10)。

ライフサイエンス研究費総額に占める国・地方公共団体の研究費支出の割合が高くなる理由は、一般的には、医療、食糧、環境、資源・エネルギーなど国として長期的に取り組むべき分野が多いことと、生命現象や生体機能の解明など直接的な利益に結びつきにくい基礎研究分野の比重が高いためと考えられる

7) 同上書、312ページ。

表9 支出源別科学技術研究費の推移

年 度	研 究 費(億円)			支出割合(%)		対前年度比(%)	
	総 額	国・地方	民 間	国・地方	民 間	国・地方	民 間
1982	65,282	16,662	48,555	25.5	74.4	3.3	15.6
.....							
1985	88,903	18,673	70,149	21.0	78.9	5.0	12.1
1986	91,929	19,553	72,297	21.3	78.6	4.7	14.8
1987	98,366	22,118	77,165	21.5	78.4	6.7	13.5

表10 支出源別ライフサイエンス研究費の推移

年 度	研 究 費(億円)			支出割合(%)		対前年度比(%)	
	総 額	国・地方	民 間	国・地方	民 間	国・地方	民 間
1982	6,492	2,247	4,245	34.6	65.4	37.3	22.6
.....							
1985	8,838	2,784	6,054	31.5	68.5	7.0	15.6
1986	9,179	2,963	6,216	32.3	67.7	6.4	2.7
1987	10,113	3,319	6,794	32.8	67.2	12.0	9.3

出所) 表9, 表10ともに前掲「ライフサイエンス研究調査結果の概要」

が、そればかりではなく、輸入石油依存型の産業構造からの脱却と構造不況業種の活性化、さらには地域経済の活性化を目的として、日本政府がバイオインダストリーの振興に力を入れていることにもよる。

さらにまた、現状では、資本金、技術力、人材等に関して日米の企業間に大きな開きがあることも日本政府によるバイオインダストリー振興策が必要とされる大きな理由である。「アメリカのバイオテクノロジーに対し、開発中のものだけでなく、既存の製品分野においても、西ドイツ、イギリス、スイス、フランスなどの既存企業が挑戦を挑んでくるものと思われる。しかし、最も手強い競争相手は、日本の企業に違いない。日本では、バイオテクノロジーが今世紀最後の技術革命であると考えられている。」⁸⁾ という米議会の技術評価局の指

8) *op. cit.* 'Commercial Biotechnology' P. 65, 邦訳58—9ページ。

表11 各省庁における主なバイオテク関連技術開発施策

(通産省)

- 1981年から10ヶ年計画で「次世代産業基盤技術開発制度」を発足させ、バイオテクノロジーを重要な柱として民間企業における組み換えDNA技術、細胞大量培養技術、バイオ素子、バイオリアクターの研究開発を推進（1988年度予算は11億8500万円）。
- 1982年に、バイオインダストリー室を設置。
- 工業技術院の各種研究機関においてバイオインダストリーの総合的推進を目的とする諸研究の実施。
- 官民共同プロジェクトとして「バイオマス関連技術開発」、「生理活性物質の製造に関する国際研究協力」、「高生産性酵母による連続発酵技術」などを実施。
- その他、大型工業技術開発制度、バイオマス関連技術開発プロジェクト、基盤技術研究促進センター出資プロジェクトなどによりバイオテクノロジーの民間研究開発を推進。
- ユーカリ成分の総合利用システムに関する研究協力（ODA事業として1989年から5カ年計画、4億7000万円）

(科学技術庁)

- ライフサイエンスの研究開発計画の立案及び組織化のために、ライフサイエンス振興室を設置（1971年）。
- 理化学研究所にライフサイエンス推進部を設置し、新微生物利用技術の開発、組み換えDNA、人工臓器、老化制御などの諸研究のための大型プロジェクトを実施。
- 科学技術振興調整費により、「生体エネルギー変換機能利用のための基盤技術に関する研究」をはじめとする各種の研究プロジェクトを重点的に推進。
- ライフサイエンス筑波研究センターにおいて組み換え体の安全性評価研究や人のガン遺伝子に関する研究を推進。新技術開発事業団の創造科学技術推進制度による「特殊環境微生物」、「バイオホロニクス」、「生物情報伝達」等の研究の実施。

(農林水産省)

- 農林水産業・食品産業の生産性の向上や食料の安定的供給の確保をはかる観点から「バイオテクノロジー植物育種に関する総合研究」等の先行的、基盤的な研究開発を強化。
- 農林水産技術会議事務局に「組み換えDNA研究の推進に関する研究会」を設置し、1983年、筑波に農業生物資源研究所と農業環境技術研究所を、84年にはバイオインダストリー室を開設。
- 自然エネルギーの効率的利用技術の研究を行なう「グリーンエネルギー計画」（1978年から10ヶ年計画）、生物資源の効率的利用技術の研究を行なう「バイオマス変換計画」（1981年から10ヶ年計画）の実施。
- 「マリンフロンティア計画」水産未利用資源の高度多用途利用技術開発の推進（1989年から4カ年計画）
- 細胞融合技術や核移植による新生物資源の開発。
- バイテク育種2000年計画に基づくバイオテク植物育種に関する総合研究等の推進。
- 生物系特定産業技術研究推進機構による民間研究開発の推進。

(厚生省)

- 長寿関連基礎科学研究による官民共同プロジェクトの推進。
- 対ガン10ヶ年総合戦略によるガン研究の推進。

摘とは裏腹に、現時点でのこの分野における日本企業の競争力は、まだ弱すぎるのである。バイオテクノロジーへの投資に関して1つの例をあげれば、デュポン社は1981年に、研究開発予算5億7,000万ドルのうちバイオテクノロジーに1億2,000万ドルを計上、82年には、新しくライフサイエンス・センターを8,500万ドルをかけて建設しただけでなく、ライフサイエンスにおける能力の拡大を目的として、在米のニューイングランド・ヌクレアー社を3億4,000万ドルで買収しているが、2年間で、実に5億ドルを超える巨費を1社でバイオテクノロジーに投資したことになる。人材や技術力についてもアメリカと日本では大きな開きがあることは、先に述べたとおりである。

要するに、日本企業は、金・人・技術力のどれをとってもアメリカの企業には及ばないのであり、このまま競争が続けば、将来、バイオインダストリーの世界市場における日本の国際競争力が低下するであろうことは、想像に難くない。したがって、日本の場合、民間企業に対する政府の財政的・技術的支援が、国際競争力強化の必須条件となるのである。

省庁別に、バイオインダストリーに関係する主な施策を列挙すれば次のようになる(表11)。

5. バイオテクノロジーの危険性

バイオテクノロジーの研究や利用を国民が認知するか否かは、一国におけるバイオインダストリーの発展速度に影響する重要な問題である。そこで最後に、この技術に潜在する危険性とその社会における利用に際しての安全性の確保の問題についても触れておかねばならない。

組み換えDNA技術は、自然界に存在しない遺伝形質を備えた生物を作り出す技術であることから、同技術の開発当初から生物災害の危険性が指摘されていた。このような危険性に鑑みて、1975年には、アメリカのカリフォルニアで組み換えDNA技術の安全性を討議する会議(アシロマ会議)が開催され、その翌年、これを受ける形でアメリカのNIH(国立衛生研究所)が初めて遺伝子組み換

え実験のガイドラインを設定した。日本においても、1977年に、科学技術会議が「長期的展望に立った総合的科学的打術政策の基本について」に対する答申において組み換えDNA研究の安全を確保するための指針の必要を指摘し、1979年8月には、国・公立試験研究機関、民間試験研究機関を含む国全体の組み換えDNA研究を対象とする安全性確保のための「組み換えDNA実験指針」が策定されている。

組み換えDNA技術に関しては、関係各省庁がそれぞれ「指針」を策定しているが、その中で日本のバイオインダストリーについて最も関係が深いのは、1986年6月に通産省が策定・告示した「組み換えDNA技術工業化指針」である。

この指針は、「事業者が組み換えDNA技術の成果を鉱工業等の産業活動に利用する場合のうち、工業プロセスで利用する際の安全確保のための基本的要件を示し、組み換えDNA技術の利用にかかわる安全確保に万全を期し、もってその技術の適切な利用を促進すること」を目的とするもので、組み換え体の安全性評価、取り扱い設備、管理方法などが定められている。

宿主の安全性評価については、次のようなレベル分けがなされている。

(1) GILSP(Good Industrial Large-Scale Practice : 優良工業製造規範) 取り扱い非病原性であり、病原性に関係のあるウィルス、ファージ及びプラスミドを含まず、安全に工業的に長期間利用した歴史があるか若しくは特殊な培養条件下では増殖するがそれ以外では増殖が制限されているもの。

(2) カテゴリー1(第1分類) 取り扱い

非病原性であって、GILSP 取り扱いに含まれていないもの。

(3) カテゴリー2(第2分類) 取り扱い

人に病気をひきおこす可能性が否定できないため直接取り扱う際に感染する可能性があるが、仮に感染しても発病の可能性が非常に少ないもので、かつ、予防対策及び有効な治療法のあるもの。

(4) カテゴリー3(第3分類) 取り扱い

人に病気を引き起こす可能性があり、カテゴリー2取り扱いに分類されず、直接取り扱う際にはかなりの注意を必要とするが、予防対策及び有効な治療法があるもの。

なお、直接取り扱うか否かを問わず、人の健康にかなりの驚異を与え、かつ、有効な予防対策も治療法もないものについては、カテゴリー3を越える特別な取り扱いを必要とする。

表12 設備・装置の安全性評価基準(通商産業省「組換えDNA技術工業化指針」)

評価項目	GILSP 取り扱い	カテゴリー 1取り扱い	カテゴリー 2取り扱い	カテゴリー 3取り扱い
設備 装置 密閉度	開放系又は閉鎖系	準閉鎖系	閉鎖系	閉鎖系
	排気中の組み換え体の取り扱い	漏出を最小限にする	漏出を最小限にする	漏出を防止する
	シールの性能	漏出を最小限にする	漏出を最小限にする	漏出を防止する
設備・装置を設置する作業区域の条件	a. 作業区域設定の有無	場合による	場合による	有
	b. 設定する場合 イ. バイオハザード標識	無	場合による	有
	ロ. 出入口エアチェック	無	無	無
	ハ. 生産業務従事者の除染・洗浄設備	場合による	有	無
	ニ. シャワー設備	無	無	場合による
	ホ. 汚水処理設備	無	無	場合による
	ヘ. 強制換気	場合による	場合による	場合による
	ト. 作業区域内陰圧保持	不要	不要	場合による
	チ. 強制換気装置用の高性能除塵フィルター	不要	不要	場合による
	リ. 設備・装置内の全液量の漏出を作業区域内に保持する必要性	不要	不要	場合による
ヌ. 燻蒸消毒の必要性	不要	不要	場合による	

出所) 通産省基礎産業局バイオインダストリー室編『バイオインダストリービジョン』1988。

また、組み換え体については、「非病原性であり、意図的に生存・増殖能力を付与する場合を除き、宿主と比べて特殊な培養条件以外での生存・増殖能力が高くないこと」、組み換えDNA分子については、「純化DNAであり、既知の有害なDNAを含まず、かつ、組み換えDNA分子が他の生細胞への伝達性に乏しく、自然界で耐性株の存在が知られていない微生物に耐性マーカーを伝達しないこと」と規定されている。

実際に操業する場合の設備・装置の安全基準に関しては、次のように定められている(表12)。

組み換えDNA研究に対して、当初、NIH が勧告したガイドラインは非常に厳格なものであった。このガイドラインは、組み換え体の漏出を防止するための実験設備を規定した物理的封じ込めと、安全度の高い宿主一ベクター系を規定した生物的封じ込めとからなり、世界中の研究機関が規範としたものである(表13)。しかし、その後のバイオテクノロジーの商業化の進展とともに、規制緩和を要求する産業界・学会の圧力から改訂が進み、現在では非常に緩やかなものとなっている。日本の「実験指針」についても、策定後、科学技術会議ライフサイエンス部会において改訂のための審議がなされ、1986年度末までに

表13 NIH の勧告による封じ込め措置

生物的封じ込め

- H V 1 —— 大腸菌K12株あるいは実験室外で生存能力の低い他の菌株の使用義務
- H V 2 —— 紫外線、洗浄剤、ある種の一般的でない化合物の欠乏に感受性が強いようにとくに作られた菌株の使用義務
- H V 3 —— H V 3 段階に適合する生物はまだ開発されていない。

物理的封じ込め

- P 1 —— 良好な実験手順、訓練された職員、浄化された廃棄物
- P 2 —— バイオハザード標識、公道と接触しない、建物内に密封、手洗い設備
- P 3 —— 陰圧、真空ダクトのフィルター装着、クラスIIの安全キャビネット
- P 4 —— 体構造、エアロック装置、すべての空気の浄化、室内密封、クラスIIIの安全キャビネット（グローブボックス）内でのすべての実験の実施、シャワールーム

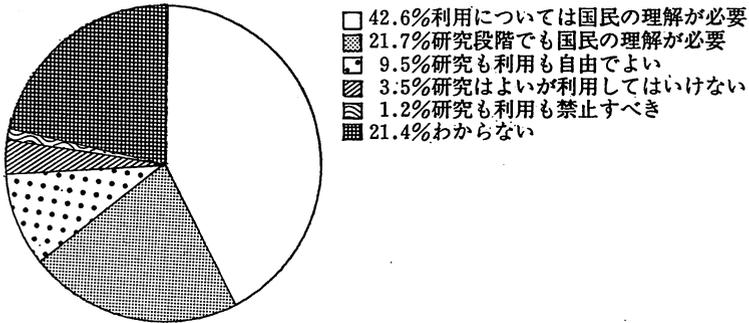
出所) *Impacts of Applied Genetics*, OTA, 1981.

7次にわたり改訂(実質的には大幅緩和)が実施されている。

しかし、このような規制緩和措置は、必ずしも遺伝子組換え実験の安全性の確認・確保を基礎とするものではない。規制緩和は世界の趨勢であるとはいえ、この技術のもつ潜在的リスクへの懸念は解消されたわけではないし、不確定要素は依然として残っているのである。安全とされる生物を使用したとしても、組み換えの結果、組み換え体がどのような遺伝子の組合せを獲得するかは予測できないし、遺伝子それ自体についてもまだよくわかっていないのが現状なのである。しかも、商業的生産の場合には、実験室での組み換えの場合よりもはるかに容量の大きな培養槽を使用し、大規模かつ長期に渡って操業が行なわれるのであるから、本来、実験室レベルよりも厳格に規制措置が講じられるべきものなのである。おそらく、商業ベースでの生産は、その大半が「工業化指針」の GILSP 取り扱い又はカテゴリー1の範囲内で行なわれるはずであるが、これは、ほとんど通常の実験設備と大差ない環境で行なわれるもので、甚だ危険と言わざるをえない。

国民がバイオテクノロジーの研究あるいはその産業化を認知するかどうかは、日本におけるバイオインダストリーの発展速度にも影響を及ぼす問題でもあるが、総理府が1985年に実施した調査では、「現在のライフサイエンスは望ましい方向に進んでいると思うか」という問いに「どちらとも言えない」と「わからない」という回答が合わせて約60%あり、ライフサイエンスに対する知識不足から、国民がはっきりした態度がとれないでいる様子うかがえる。また、「ライフサイエンスに関する情報は、一般の人にわかりやすい形で提供されていると思うか」という質問には、「そうは思わない」という回答が約56%、「わからない」という回答が約23%あり、普及・啓発や情報公開が進んでいないことを示している。さらに、ライフサイエンスの研究の在り方や社会における利用に関して、多くの回答者が「国民の理解が必要」と答えており、その研究や産業化を野放しにすることには反対していることがわかる(図4)。他方、企業の側には、「市民運動や厳しすぎる規制は事業化の手枷足枷になる」

図4 ライフサイエンスの研究・利用に対する意識



出所) 総理府「ライフサイエンス（生命科学）に関する世論調査」（1985年度）

という意見が強く、バイオテクノロジーの社会における利用に対する、国民と私的企業との考え方や立場の相違が、安全性の確保と利潤追求との矛盾に色濃く反映されている⁹⁾。

先にあげた科学技術会議の「指針」について、『科学技術白書』では、「安全を確保し、国民の理解を得て組み換えDNA研究を実施していくための基本的なルール」¹⁰⁾といるが、筑波の「遺伝子実験センター」の建設をはじめとして、バイオテクノロジーにかかわる行政は秘密裏に進められることが多く、事が公になった後も、研究所の建設や実験が周辺住民の反対を押し切って強行されており、「国民の理解を得て」という姿勢には程遠いと言わざるをえない。バイ

9) バイオテクノロジーの事業化が本格化し始めた1981年に、日本経済新聞社が実施した調査によれば、「日本でバイオテクノロジーを産業に応用するうえで、制約になると思われる要因はなにか」という問いに、関連役員・部長125人のうち「安全性や生命倫理に関連した社会的制約」と回答したものが81人、「遺伝子組み換えに対する実験指針など行政的制約」と回答したものが75人、その他、「研究開発投資の負担」(52人)、「研究者不足」(42人)等となっていた(複数回答あり)。日本経済新聞社「1981年度バイオテクノロジー研究開発動向調査」

10) 『科学技術白書』(1987年度版), 317ページ。

オテクノロジーには、ここに述べたような遺伝子操作に関する実験やその応用による商業レベルでの生産の際の安全性の問題ばかりでなく、農産物をはじめ、この技術で生産される製品の安全性といった消費段階で生じる問題、さらには試験管内での受精、男女産み分け、代理出産、遺伝病の治療、胎児への遺伝子操作などに見られる倫理面の問題や、これにかかわる差別や法制度の問題など数多くの問題点が内包されているのであり、その社会への応用に対しては厳しく監視していく必要があるであろう。

6. 結 語

以上のことから、日本のバイオインダストリーについて次のような特徴が確認された。

まず第1に、バイオテクノロジーの応用分野の極端な偏向である。政府や日本企業によるバイオテクノロジー研究費は、ほとんどが保健・医療分野に支出されており、食糧、環境、資源エネルギー分野には極めて薄い。

第2に、この分野への参入企業の多様さである。食品工業を中心とする医薬品分野への異業種企業の進出、バイオテクノロジーに縁の薄い業種のこの分野への進出は、バイオテクノロジーを軸とする産業界の再編成が進行しつつあることを示している。

第3に、バイオプロセス以外の領域における技術面での立ち後れである。これは日本の基礎研究力の弱さに起因するものであり、基礎研究基盤の脆弱さを露呈したものに他ならない。

第4に、産学協同体制が比較的弱いことである。言い換えれば、産学間の人的流動性が低く、大学から産業界への知識・情報の移転が円滑に行なわれにくいということである。

第5に、日本におけるバイオテクノロジーの商業化が、大企業中心で推進されていることである。アメリカやヨーロッパにおいては、すでに多数のバイオベンチャー企業が設立されバイオインダストリーの発展に重要な役割を果た

しているが、日本ではこの種の企業の設立は皆無に等しく、もっぱら既存の大企業の手によってバイオテクノロジーの商業化がはかられている。

第6には、バイオインダストリーの振興に対する日本政府の積極的な姿勢である。アメリカでは、現在までのところ、バイオテクノロジーに対する特別な政府振興策は実施されていないし、ヨーロッパにおいても、フランスを除けば、日本ほど政府が積極的に取り組んでいる国はない。このことは、アメリカが、将来のこの分野での国際競争において日本を最も警戒する理由の1つともなっている。

しかし、これらのことと同時に次のような問題点も指摘された。

第1に、バイオテクノロジーの応用分野の極端な偏りが、日本経済の再生産構造に及ぼす悪影響である。食糧、環境、資源・エネルギー関係への研究費支出の薄さ、したがってバイオテクノロジーの応用面でのアンバランスは、政財界によって推し進められつつある工業中心の産業構造への政策の転換がバイオテクノロジーの応用分野に投影されたものであり、農工間の不均等発展を助長するものである。これはつまり、原燃料を外国に依存しながらの資源・エネルギー多消費型の工業生産を押し進め、これら生産物の外国市場への輸出を拡大し、これによる貿易不均衡の見返りを外国農産物の輸入拡大によって解消しようとする日本の経済政策が、バイオテクノロジーの研究・応用分野の偏りに反映されたものに他ならない。

第2に、この技術をめぐる産学協同体制強化の動きである。基礎研究基盤の脆弱さを補い、大学・民間の研究者の流動化、したがって産学間の情報・知識・技術の移転の円滑化を目的とする急速な産学間の連携強化の動きは、資本による大学の研究・教育の支配につながるものである。

第3には、この技術の商業化が、政府・大企業によって国民不在のまま進められていることである。度重なる組み換えDNA実験の規制緩和、周辺住民の反対を無視して強行される研究所の建設並びに稼働、これらは一方では日本におけるバイオインダストリーの発展を加速したが、他方においては、バイオ

ハザードの危険性を増大させている。

最後に、これは日本のバイオインダストリーに限ったことではないが、バイオテクノロジーそのものに内在する技術的危険性ばかりでなく、この技術の利用に付随して生ずるであろう社会的、経済的、法律的、倫理的諸問題にも留意しておく必要がある。すなわち、国家間の経済的格差に基づくバイオテクノロジーへのアクセスの不平等とそれによる先進国と発展途上国との経済的格差の拡大、バイオマス利用の拡大に伴う砂漠化などの環境破壊の問題、バイオテクノロジーが生物兵器の開発に利用される危険性、医療への応用による倫理上の問題とそれに伴う法制度の改革、これらはバイオインダストリーが発展するにつれて解決を迫られる問題である。そのためにも、今後のこの技術の産業への実際の応用に関しては、国民の間にバイオテクノロジーに対する正しい知識の普及・啓発を図ると共に、政府・企業に対し情報の公開を求めていく必要があるし、場合によっては、罰則規定をも含めた法的規制措置が検討される必要がある。

日本のバイオインダストリーについては、本文で述べた以外にも、生物に関する知的所有権法の整備、バイオインダストリー育成のための税制上の遇優措置、遺伝子資源の収集・保存のためのジーンバンクの充実、バイオテクノロジーの標準化、情報活用のためのデータベースの整備、バイオテクノロジー周辺産業の現状、地域経済の活性化とバイオテクノロジーとの関わりなど検討すべき課題は数多く残されているが、これらについては稿を改めたい。