

## バイオテクノロジーと発展途上国の経済開発

菰 田 文 男

20世紀の後半の電子技術、情報通信技術が世界経済の編成原理に与えた影響は多義的であるため、その分析は容易でない<sup>1)</sup>。21世紀にはこれに加えて、バイオテクノロジーが国際競争や国際分業のあり方に大きい影響を持つようになる。ただ、バイオテクノロジーは同じ先端技術でありながら、電子、情報通信技術とはさまざまな点で異なる性質を有している。科学に依存する度合いの大きいこと、基礎研究とビジネスとの間の距離が短いこと、裾野の広いサポーターリングインダストリー間のリンケージを必要とする情報通信産業に比してバイオテクノロジーは大学や公的試験研究機関がリンケージにおいて重要な役割を果たすこと、等々である。

さらに、バイオテクノロジーは情報通信技術と違って人間の基礎的なニーズ (Basic Human Needs) とのかかわりが大きいという点で、途上国経済を考える上で重要な意味を持っている。Arundel (2003) が指摘するよう、バイオテクノロジーは情報通信技術ほどにはGDP増大効果、雇用創出効果はないかもしれない。しかし、医療の質向上、食料生産性の向上、環境負荷の小さい素材の開発など、別の点で大きなメリットを持っている。したがって、21世紀は「バイオベースドエコノミー」になるという考えが現れ、とりわけ貧困、食糧問題、医療・衛生問題、環境問題に直面している発展途上国にとってその意義が大きいと考えられるようになっていく。

しかし、発展途上国の経済開発に果たすバイオテクノロジーの役割にかんする分析は十分になされていない。この分析のためには、バイオテクノロジーのこれまでの進化の歴史や今後の動向についての研究、産業としてのバイオテクノロジーの可能性と市場動向、バイオテクノロジーの研究システムの特質、アメリカを頂点とするバイオテクノロジーの技術力水準の評価、バイオテクノロジーの技術移転の実態等々の幅広くかつ深い研究を必要とする。本稿の目的は、バイオベースドエコノミーを確立する方向に向けて進んでいる発展途上国の現状、それを実現するために必要な諸条件などについて分析するための基礎作業、あるいは分析の枠組みを確立することにある。

## 第1節 パイオベースドエコノミーに向けて

本節では、バイオテクノロジーは経済発展や社会的厚生の上上にどのような利益を持つのか、とりわけ発展途上国にとってどのような利益があるのかから考えよう。バイオテクノロジーが将来の経済／産業／社会においていかに重要であるかを端的に表現しているのは、1990年前後から提起されるようになった「バイオベースドエコノミー (Biobased Economy)」という考えであろう。これは産業、農業、食品、医療など広範な分野にバイオテクノロジーが浸透し、生産性向上、環境負荷の軽減、食糧不足問題の解決、医療・衛生環境改善などに貢献することを論じている。

### パイオベースドエコノミー

「バイオベースドエコノミー」という言葉は1990年頃から用いられるようになるが、その代表的なものの一つはアメリカ国立研究評議会の報告書である。

この報告書によれば、20世紀初頭には工業製品（染色、塗料、医薬品、化学製品、衣服、合成繊維など）の大部分は木、野菜、農作物など生物資源（バイオマス）から生産されていたが、1970年頃にはそれらの製品の95%は石油から生産されるようになった（National Research Council, Board on Biology Commission on Life Sciences, 1999, p. 55）。すなわち、石油を中心とする化石燃料に依存した工業製品（petroleum-based industrial products）である。しかし、現在、このようなシステムは限界に直面しつつあり、再びバイオマスから、（1）直接的方法（バイオマスの物理・化学的処理）、（2）間接的方法（微生物や酵素を利用した処理）による生産に向けた取り組みが進みつつある。

同書の第3章によれば、それは次の4つに分類される。

（1）化学製品（commodity chemicals）

エタノール、バイオディーゼル等

（2）中間化学（intermediate chemicals）

エチレン、酢酸、脂肪酸等

（3）特殊化学（specialty chemicals）

酵素（石鹼／洗剤）、食品加工用酵素、繊維素分解酵素、その他の酵素利用、動物飼料産業等

（4）バイオに基礎を置く原材料（biobased materials）

バイオプラスチック、大豆インク、木材生産物、綿花その他天然繊維等

バイオマスに含まれるでんぷんやセルロースなどから生産されるエタノールは単に燃料としてのみでなく、溶剤、衣料、合成繊維として利用されるという意味においてきわめて重要であ

るし、酵素は常温常圧という少ないエネルギー消費条件下での化学反応を可能にし、有用な素材の製造や効率的な廃棄物処理を可能にするなど、重要な意義がある。したがって第1表のように、バイオテクノロジーをベースとした化学製品の市場は拡大している。また、野菜等から製造される脂肪酸は現在市場の40%を占めている。

問題は植物から素材や製品を生産するためのコストが高いという点にある。この高コストという制約は、植物由来の工業製品や素材の研究開発投資や市場規模の拡大によって少しずつ克服されることになるであ

ろう。すなわち、(1) 生物資源そのものの製造コスト、(2) 転換に要するコスト、という2つの面でのコスト削減によってである。新しい生物科学の発展（分子生物学、遺伝子工学など）が望ましいバイオポリマー生産を可能にする農作物生産を可能にするであろうし、新しいタンパク質工学が従来にない化学反応を可能とするバイオリクターを可能にするであろう。

さらに、市場の拡大自体がコストを低下させるであろう。たとえば、自動車燃料としてのエタノールの利用割合はブラジルでは30%程度にまでは達しているといわれており、この市場シェアが世界的に拡大すればするほど、技術も進歩し価格も低下すると期待されている。また、活性酵素の価格は生産規模の増加とともに最近10年間で75%低下した。(National Research Council, Board on Biology Commission on Life Sciences, Committee on Biobased Industrial Products, 1999)

以上のように限りのある化石燃料・鉱物資源に代えて、再生可能な生物資源からエネルギー、原料を生物学の知識を動員して大量に製造することが強調されている。

OECDもバイオベースドエコノミーという概念で、バイオテクノロジーの重要性と振興の必要性を論じ始める。その端緒となったのは1994年の報告書（OECD, 1994）、1998年の報告書（OECD, 1998）であるが、ここでもバイオテクノロジーへの関心は、環境問題、資源問題との関連で議論されている。

その後、2005年の報告書（OECD, 2005b, p.9）では、「健康改善と持続可能な成長を可能とするためにバイオプロセスと再生可能資源を用いる経済活動」という広い意味での「バイオエコノミー」と、「持続可能なバイオ製品、雇用、所得を導くために、再生可能な資源、有効なバイオプロセス、経済・産業クラスターを利用する経済」という狭義の「バイオエコノミー」

第1表 バイオテクノロジー製品の  
世界市場販売額（単位、百万ドル）

	1983年	1994年
燃料・工業エタノール	800	1,500
高果糖シロップ	1,600	3,100
クエン酸	500	900
グルタミンソーダ	600	800
リシン	200	700
酵素	400	1,000
特殊化学	1,300	3,000
合計	5,400	11,000

(注) 「特殊化学」はゴム、ビタミン、調味料を含む  
(出所) National Research Council, Board on Biology Commission on Life Sciences, Committee on Biobased Industrial Products, 1999, p.56.

とに分けられることを指摘している。

さらに、OECD (2005a) 等でバイオテクノロジー政策に必要なデータ収集や定義についての研究を推進している。

日本では、日本バイオ産業人会議が「b-Japan」への2001年の提言の中でバイオベースドエコノミーについて言及している (Japan Association of Bioindustries Executives, 2001)。

以上のように、バイオテクノロジーを論じる場合、資源利用、持続可能な成長など環境面や産業利用面が重視されて論じられてきたが、これらの研究以外にも将来の経済発展や産業転換においてバイオテクノロジーが中軸に位置するようになることを論じた研究は多い。たとえば、R. W.オリバー (2002) も産業用の「バイオマテリアル」の重要性を強調し、「細胞は工場である」と述べてバイオテクノロジーが産業の中軸に位置するようになる経済システムについて論じている。

以上のように、バイオベースドエコノミーという概念の中には、材料を石油などの化石から生きた植物を利用したものに変えてゆくことでエネルギーや素材における石油資源の制約の脱却、農業生産性を高めることによる食糧不足の問題の解決、環境問題の解決、高齢化が進む先進国の医療問題や風土病などに悩む途上国の医療問題の改善など、さまざまな意義があるという意味が含まれて論じられている。

### バイオの適用分野の実態

バイオテクノロジーがさまざまな産業・経済・社会分野で利用される基盤的な技術としての役割を果たすことが理解されたが、次に現在どの分野で利用されているかについてみてゆこう。

政府や国際機関の立場でなく、民間企業の立場からヨーロッパバイオインダストリー協会 (The European Association for Bioindustries, (homepage)) はバイオテクノロジーの適用領域を「ホワイトバイオ (white or industrial biotechnology)」「グリーンバイオ (green biotechnology)」「医療バイオ (healthcare biotechnology)」の3つに分けて捉えている。ホワイトバイオとは食品、紙・パルプ、エネルギー、金属、医薬品など、工業分野への利用であり、クリーンバイオとは農業への利用である。そして、第3の分野として医療・医薬品分野をあげている。医薬品はホワイトバイオの中に含まれながら、さらにこれだけを第3の範疇として取り出している。このことから医療分野を重視していることが分かる。医療・医薬品が将来的にビジネスとして最も有望であり、収益が期待できるという現実を示している<sup>2)</sup>。

これらの分野のどれが重視されているかを知るために、売上高、企業数などから見よう。

アメリカ商務省 (US Department of Commerce, Technology Administration Bureau of Industry and Security, 2003) はバイオテクノロジー関連企業に対してアンケート調査をおこない、1031社から回答を得て、2001年の分野別の雇用者数、売上高、研究開発投資額等につ

第2表 アメリカバイオ企業の雇用者数，純売上高，研究開発投資額，資本支出額

バイオ分野			対純売上高比 (%)
医療（人間）	雇用者数（人）	107,604	
	純売上高（1,000ドル）	44,058,280	
	研究開発投資額	14,751,780	33.5%
	資本支出額	5,542,429	12.6%
農業・海洋	雇用者数（人）	5,884	
	純売上高（1,000ドル）	1,538,733	
	研究開発投資額	639,644	41.6%
	資本支出額	135,565	8.8%
医療（動物）	雇用者数（人）	4,115	
	純売上高（1,000ドル）	1,045,781	
	研究開発投資額	245,239	23.5%
	資本支出額	90,787	8.7%
工業および農業派生加工処理	雇用者数（人）	8,070	
	純売上高（1,000ドル）	1,673,053	
	研究開発投資額	294,603	17.6%
	資本支出額	145,870	8.7%
海洋／地上微生物	雇用者数（人）	419	
	純売上高（1,000ドル）	41,428	
	研究開発投資額	70,026	169.0%
	資本支出額	26,361	63.6%
環境	雇用者数（人）	142	
	純売上高（1,000ドル）	13,554	
	研究開発投資額	3,018	22.3%
	資本支出額	908	30.1%
全分野	雇用者数（人）	130,305	
	純売上高（1,000ドル）	50,472,720	
	研究開発投資額	16,440,990	32.6%
	資本支出額	6,244,325	12.4%

(注) 一つの企業が複数のバイオ分野で事業を行っているので、当該企業の最重要事業分野で分類した。そのため、最も重要な事業が「医療（人間）」であり、第2位の事業が「農業・海洋」であったとき、「農業・海洋」の雇用者数等が「医療（人間）」の中に含まれてしまう。

したがって、正確なバイオ分野別の数値になっていない。

(出所) US Department of Commerce, Technology Administration Bureau of Industry and Security, 2003, Table 3-4, 3-7, 3-10, 3-13, 3-16, 3-19 より作成。

いて調査している。第2表は、分野別の数値である。しかし、これには注意が必要である。すなわち、個々の企業は複数のバイオ分野にまたがって活動しているにもかかわらず、当該企業のバイオテクノロジーに関する売上高、雇用者数などを全てを当該企業にとっての第一義的な

意味を持つ分野に含めて計算しているの、必ずしも正確な分野別のデータになっていないということである。このことに注意したうえでみてゆくと、「医療（人間）」

第3表 バイオ関連企業数（2003年）

	医療	農業	環境	サービス
アメリカ	60%	5%	2%	33%
ヨーロッパ	51%	7%	7%	35%

（出所）The European Association for Bioindustries, 2005, p.5.

分野が圧倒的であり、純売上高の90%弱、雇用者数の80%以上を占めている。売上高と研究開発費および資本支出額との比率も高いが、これは、（1）バイオテクノロジーが研究集約的であるということ、（2）未だ市場が十分に立ち上がっておらず収益をあげるには未成熟であること、を反映しているといえる。

ヨーロッパバイオインダストリー協会の調査からも同様の実態が理解できる。バイオテクノロジーを事業として持つ企業数についてみると、第3表のように、米欧ともに医療・医薬品分野が圧倒的に大きいことが分かり、とりわけアメリカでは医療の比重が大きい。

日本の場合を、バイオベンチャーについてみてみると、2004年に464社のバイオベンチャー企業があったが、それを分野別に見ると（重複回答）、それぞれ「医療」270社、「研究支援」227社、「環境」92社、「農業」82社であった（Japan Bioindustries Association, 2005）。

また、日本の産業分野別の出荷額について見てみると、第4表のようになる。これは2003年度の960社について調査したものであるが、これによると、圧倒的に食品分野が多い。しかし、その大部分は第2節で論じるオールドバイオという伝統的なバイオテクノロジーをベースとしたものであり、遺伝子組み換え技術を応用した酵素技術などのようなニューバイオテクノロジーの比重は少ない。

食品産業の次に多いのは医薬品産業であるが、その総出荷額は食品産業よりもはるかに少ない。しかし、ニューバイオテクノロジーに関係する出荷額にかんしては、圧倒的に医薬品分野が多くなっている。遺伝子組み換えや細胞融合のような近代的なバイオテクノロジーを用いて

第4表 バイオテクノロジーの分野別年間出荷額（単位：百万円）

	従来型バイオ		ニューバイオ	
	出荷額	構成比	出荷額	構成比
食品	4,766,494	77.0%	32,280	2.4%
その他食品	142,986	2.3%	65,641	4.9%
農業関連	54,161	0.9%	8,398	0.6%
医薬品・診断薬・医療用具	765,832	12.4%	779,710	57.6%
化成品	162,734	2.6%	217,146	16.1%
環境関連機器設備	186,819	3.0%	21,471	1.6%
合計	6,187,868	100.0%	1,352,808	100.0%

（出所）文部科学省研究振興局ライフサイエンス課等，2007，29ページ。

バイオテクノロジーの進歩の牽引役（技術ドライバー）の役割を果たしているのは医療・医薬品産業であるという実態が理解できる。

プラスチックなどの化学産業における従来の物理・化学的な処理に代えて酵素を用いた生物学的な処理は、化石燃料や環境面からの制約を克服する極めて重要な意味があり、バイオベースエコノミーの根幹に位置づけられている。バイオ浄化（bioremediation）は、常温常圧での化学反応で分解をするのでエネルギーの節約も可能である。しかし、化学産業でのバイオテクノロジー利用は出荷額からみても企業数からみても、医療分野、食品産業と比して遅れている。

以上から、バイオテクノロジーが医療・医薬品分野を中心として進歩し、企業の収益性もこの分野に期待されていることが分かり、この利潤原理にもとづいてアメリカ企業が積極的なビジネス展開を見せていることが分かる。これに対して農業分野では収益性が必ずしも良好でなく、アメリカ商務省がおこなった調査でも、医療や環境分野を領域とする企業が比較的将来のビジネスに対して楽観的に予想しているのに対して、農業分野では回答企業の7.3%が収益の悪化を予想するなど、相対的にペシミスティックに考えている（US Department of Commerce, Technology Administration Bureau of Industry and Security, 2003, pp. viii-ix）。

以上のように、医療・医薬品分野を技術ドライバーとして進化し、普及していることが分かる。今後どれだけバイオ技術が浸透するかは、アメリカ科学アカデミーの報告書が述べるように、生産コストの引き下げに大きくかかっているといえる。

### 途上国がバイオテクノロジー利用から得る利益

発展途上国でもバイオテクノロジーの意義は極めて大きい。

先進国において利潤原理という観点から最も重視されていた医療・医薬品分野におけるバイオテクノロジーが、途上国の医療・衛生環境の改善に与える貢献についても同様に大きい。第5表はその事例である。

農業分野では、1960年代から東南アジアの稲作を中心に推進された「緑の革命」以来バイオテクノロジーは重要な役割を果たしてきているが、今日、遺伝子組み換えなどの新しいバイオテクノロジーを利用した農業生産性向上の試み（「第二次緑の革命」「バイオ革命」「遺伝子革命」などとも言われる）が始まっている。

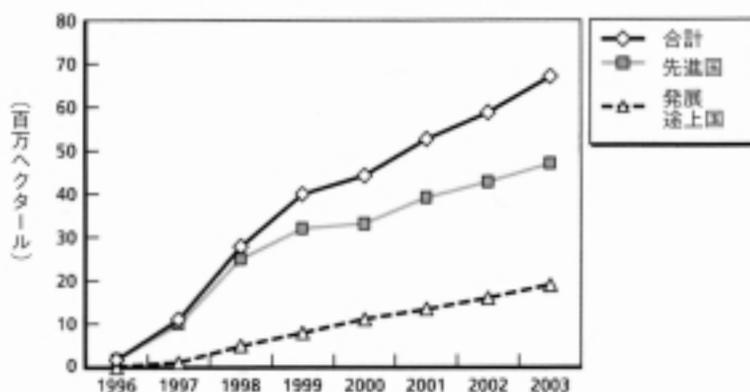
遺伝子組み換え作物の植え付けが開始されたのは1990年代半ばからである。その後の作付け面積の急増の実態については第1図に示されるとおりであるが、その99%はアメリカ、カナダ、アルゼンチン、中国であると推定されている（Wu, F., and Butz, W. P., 2004, p. 49）。

農業へのバイオテクノロジーの適用に対する評価は難しい。「緑の革命」が稲作生産性の向上という成果を示しながら、次第に化学肥料の過剰投入、水資源の枯渇等の問題から頭打ちになっていることがこの難しさを示している。まして、遺伝子組み換え技術を利用した新しい試

第5表 途上国医療がバイオテクノロジーから得る利益

技術	利益
分子診断	初期診断, 初期治療, 感染拡大の防止, 不適切な治療への資源投入回避
遺伝子組み換えワクチン	弱毒ワクチンと比して危険の少ないワクチン, 合理的なワクチン設計
ワクチン/ドラッグデリバリーシステムの改良	注射針を利用しないことによる熟練者の必要性減少およびHIV感染リスク減少, 制御下での薬物放出システムによる不承諾の克服, 熱安定性による冷凍保存の必要性削減
病原菌のゲノムシーケンス, およびそのベクター	新規医薬品・ワクチンの開発支援 疾患メカニズムの解明
遺伝子組み換えタンパク質	多種の化学物質の迅速な世代交代, 生産性向上・コスト削減・少ない副産物
栄養価の高い遺伝子組み換え作物	多様な食生活の余裕のない途上国の家庭が, 遺伝子的に栄養価を高められた作物から欠くことのできない微量栄養素を摂取可能になる
バイオレメディエーション	微生物の能力の発見, 低価格・持続可能な方法での環境負荷の低減
性的感染症からの女性保護	女性は性的感染症から自分を守る技術を必要としている。女性の力向上による性的平等の促進

(出所) Acharya, T., Daar, A. S. and P. A. Singer, P. A., 2003, p.1435から作成



第1図 遺伝子組み換え作物の作付面積

(出所) Wu, F. and Butz, W.P., 2004, p.51.

みは、一方でさらに生産性を高める可能性を持つとともに反面で人工的に毒性のある作物を作り出す危険も含んでおり、評価を難しくする。この問題に対して軽々な評価は下し得ないが、たとえば世界銀行の報告書は、世界の綿花生産のうち、現在遺伝子組み換え綿花を導入していない地域がそれを導入すれば約23億ドル（サハラ地域が導入しないとすれば約20億ドル）の利益が得られると推定しているように（Anderson, K. Valenzuela, E. and Jackson, L. A., 2006, p.8.），食糧不足、水資源不足の問題が深刻化する中で導入は避けて通れないであろう。

さらに、途上国では都市生活廃水の浄化施設の整備されていないことが都市生活環境の悪化

原因の一つとなっているが、これに対してはバイオレメディエーションが有効になる。バイオレメディエーション技術を用いて生活廃水を処理し河川に排出すれば、大規模な投資を必要とする上下水道を整備することなく、環境を維持することもできる。また、化学産業、素材産業の多くがエネルギーを大量に用いた高温高压で生産をおこなうのに対して、バイオテクノロジーを用いて生体内と同様の常温常圧で生産をおこなう。当然、省エネルギー、環境負荷の低減などの大きなメリットがあるし、バイオエタノールは石油エネルギーへの依存度を引き下げてくれる。

このような理由から、バイオベースドエコノミーを確立することの意義は先進国以上に発展途上国において大きいと思われるのであり、先進国のように医療が突出した形で進められるのではなく、農業の比率が高まるなど多面的に推進されている。もちろん詳細なデータはないが、この実態の一部を第3節において見ることにする。発展途上国では、「人間の基礎的ニーズ (Basic Human Needs)」という観点からバイオテクノロジーに対する要求が強まる。必ずしも利潤原理だけで評価できないのが発展途上国のバイオテクノロジーなのである。

## 第2節 バイオテクノロジーの技術動向

第1節では、バイオテクノロジーが産業・経済・社会とどう関係しているか、どのような重要な意味を有しているのかについて論じた。次いで本節では、バイオテクノロジーの進歩の歴史、その独自性、その進化に必要な条件などについて論じることによってこの産業・技術分野のグローバルな競争や、発展途上国の研究開発や技術移転に与える影響についてみてゆこう。

### オールドバイオからニューバイオへ

バイオテクノロジーは先端技術産業であるが、その中でも科学に依存することの大きい「サイエンスドリブン」の技術であるといわれる。実際、ゲノムの知識の深化がこれを可能にした。

しかし、バイオテクノロジーがゲノム科学と結びついたのは比較的近年からである。バイオテクノロジーの歴史は、ゲノムの知識とは無関係に紀元前にまで遡ることができる。たとえば、約4000年前からシュメール人は19種類のビールを製造していたといわれる。その後、育種・交配技術は植物や家畜の品種改良に用いられてきたし、醸造・発酵技術は食料生産に用いられてきた。

しかし、今日言われる意味でのバイオテクノロジーが生まれたのは20世紀に入ってからである。すなわち、20世紀初頭から、酵素を利用したアミノ酸や抗生物質のような化学物質の人工的な生産が始まって以後である。その多くの酵素源は微生物に求められた。微生物を利用した初めての抗生物質であるペニシリンが1940年代初頭に開発され、その後の一連の抗生物質

の多くは微生物を利用して生産された。

その後、生体から取り出された生体分子として酵素を用いた化学反応によって有用な物質が生産できるようになり、単純に微生物の細胞を用いた生産に比して反応の速度を速めることができ、大量生産が可能になるという点で大きな利点が得られるようになった。このような常温常圧での生化学反応を利用して従来は生産できなかった食品、医薬品などの製造を可能にするのがバイオリクターである。ただし、酵素などの生体分子を大量に抽出することは大きな障害であったし、しかも生体内に近い条件下で微妙に調節しながら生産しなければならないなど、難しい問題を抱えていたのであるが。

1970年頃から、さらに重要なバイオテクノロジーが現れる。それは細胞培養・細胞融合などである。細胞融合は、異なる種に属する生物の複数の細胞を融合することによって、新しい品種の植物を作り出す技術である。これによって単なる交配では得られなかった害虫に強い植物品種が生まれるなどの利点がある。このような技術を用いることによって、1980年頃から農業バイオ研究も大きく様変わりし始めた。

1970年代にはさらに重要なバイオテクノロジーが現れる。それは遺伝子組み換え技術である。従来からの交配だけでなく、新しい細胞融合技術であっても、それは遺伝子そのものを直接操作するわけではない。このようなバイオテクノロジーに大きな転機を与えたのは1953年のワトソン＝クリックによるDNAの二重らせん構造の発見である。これによって、生物に科学のメスを入れ、生物現象を化学の言語で語ることを可能にする基礎が作り上げられた。しかし、これが技術として利用されるには至らなかった。DNA／遺伝子の基本的な仕組みが理解されたとしても、ヒトの染色体であれば一つの細胞の中に直径2ナノメートルで長さが2メートルもあり、それが複雑に折り畳まれていて、それが必要に応じてほどけ、遺伝子を発現させてタンパク質を作り上げるという巧妙な仕組みを持っている。これを人間が直接操作でき、技術としてそれを利用することができるとは考えられなかったからである。科学と技術（バイオテクノロジー）とは分離されていた。

しかし、1970年代に制限酵素、ベクター等が開発されて、遺伝子を直接操作できるようになったことによってゲノム科学がバイオテクノロジーと結びつくようになった。遺伝子の機能を解明し、それを直接操作することによって有用な物質を作り出したり、動物／植物を改良することが可能になった。このようなバイオテクノロジーの飛躍的な進歩の結果として現れた新しい技術を「ニューバイオ」と呼び、それに対して従来からのバイオテクノロジーを総称して「オールドバイオ」と呼ぶようになった。

ただ、両者の境界は必ずしも明確ではない。たとえば、文部科学省ライフサイエンス課の調査では、組み換えDNA技術、細胞融合技術、細胞大量培養技術、バイオリクター、ならびにタンパク質工学技術、酵素工学技術、発生工学技術、ゲノム解析技術等と規定している（文

部科学省研究振興局ライフサイエンス課等，2007，「調査票記入の手引き」。

一般にニューバイオとして，遺伝子組み換え技術，細胞培養，細胞融合，バイオリクターなどを含むものとして捉えられることが多い。両者の違いは，オールドバイオは肉眼で反応を観察できる場合が多いが，ニューバイオは直径2ナノメートルの染色体を直接扱い，塩基配列などを対象とするので肉眼での観察は可能ではなく，コンピュータ上でのシミュレーション，電気泳動における蛍光染色技術等の新しい研究が必要になる，等の違いとして表現できるかもしれない。

いずれにしても，両者の境界は曖昧であり，論者によって定義は異なる。たとえば，バイオリクターにしても遺伝子組み換え技術に基づいて製造された酵素を用いる場合はニューバイオの範疇に含まれ，そうでなく従来からの製造法に基づく酵素を利用する場合はオールドバイオの範疇に含まれるであろう。両者の境界は曖昧ではあるが，オールドバイオ，ニューバイオという分類から，バイオテクノロジーが全く新しい段階に進化しつつあることが理解できる。

### サイエンスドリブンな進歩

ゲノムサイエンスの進歩に支えられるようになることによって，バイオテクノロジーはサイエンスドリブンな技術として新たな歩みを始める。

医薬品ではゲノム創薬が生まれる。従来の医薬品開発は自然界から候補物質を探し出してスクリーニングし，薬効や毒性などを調べて医薬品として仕上げてゆくというプロセスをたどったが，遺伝子の機能やタンパク質の機能が分かってきたのでこの知識をベースとし，これを多変量解析等の手法を用いて疾患情報等を結びつけ，候補物質を網羅的に探索，同定，スクリーニングして候補物質を探し出し医薬品として仕上げてゆくという新しい技術（ゲノム創薬）の可能性が生まれた。

また，農作物や動物の品種改良にしても，交配／育種であれば，（1）ある有用な機能を持つ遺伝子の受け渡しを染色体単位でおこなわざるをえない，（2）交配／受精による実験に時間がかかる，（3）交配／受精可能な種間でしか遺伝子の交換が出来ないなどの制約がある。これに対して遺伝子操作であれば，（1）実験に要する時間の短縮，（2）交配／受精ができない種間でも遺伝子を直接送り込むことができるなどの大きな利点がある。

また，従来からのオールドバイオもニューバイオと融合して進化する。バイオリクターで利用される酵素も，遺伝子の一部を組み換えることによって反応効率を高めたり，より高温での処理を可能とする。

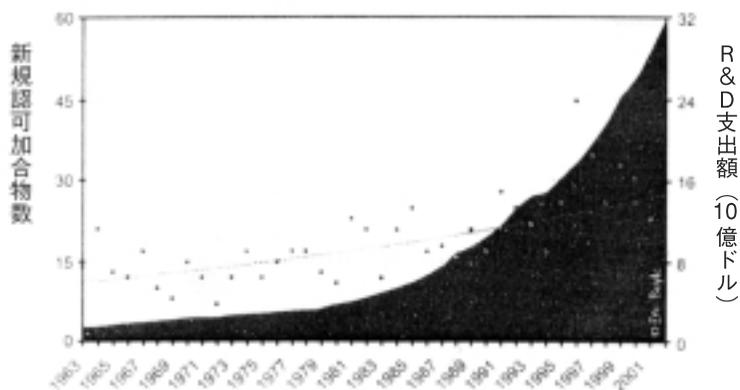
微生物を生産の工場として利用するのではなく，生体物質としての酵素を生体環境と似た条件下で反応に利用することにより，物理・化学的な反応でなく，生物学的な反応を導き，生産する。しかも，この酵素を以前は自然界から抽出していたのに対して，遺伝子組み換えによって

大量に生産することができるようになった点が、ニューバイオの意義である。

こうして、バイオ技術は科学に基礎を置く技術となり、これまでにない全く新しい医薬品の開発や医薬品開発の生産性向上などの期待が高まっている。ゲノムの知識、遺伝子の知識が蓄積されれば、それが直接アルツハイマー病やガンをはじめとする遺伝子に関係する疾患の治療薬につながると考えらる。バイオテクノロジーは大学の研究室の成果（科学）と、その市場での実用化との間の距離が、他の技術分野と比して短かいであろうと予想された。

しかし、科学をベースとしたバイオテクノロジーの現在の進歩は簡単なものではないこと、多くの障害があることが、今日では分かっている。たとえば、医薬品開発の場合には、ゲノム創薬により新しい医薬品候補となった物質が、臨床試験をおこなってみるとマウスでは毒性がなくても人体では毒性を示すなど、簡単ではないことも分かってきた。生体の内部での分子や化学物質の反応は極めて複雑だからである。遺伝子の個人的な変異に関する情報（SNPs）を利用した、オーダーメイド医療の試みが模索されているが、これも実現までに多くの解決課題のあることが認識されつつあり、言葉だけが先行しているというのが実情である。第2図はアメリカ製薬工業協会に加盟した企業の研究開発投資額、および新化合物認可数の過去40年間の推移を見たものであり、医薬品研究開発の生産性が大きく低下していることが理解できる。

科学の成果が技術に引き継がれ、市場で実用化されるためにはさまざまな障害があることが最近注目され、これは「死の谷（death valley）」と呼ばれている。その理由は、ある分野で技術的なブレークスルーが得られても、それが実用化するためには関連技術群と結びついてシステムの中に位置づけられねばならないのであるが、この関連技術群が育つには時間がかかるからである（吉川弘之・内藤 耕，2003）。まさにニューバイオテクノロジーは死の谷に直面している。



第2図 医薬品研究開発の生産性（アメリカ）

(出所) Delamarter, 2003, p.847.

### オールドバイオの意義

以上の理由から、ニューバイオ、とりわけ遺伝子組み換え技術がバイオテクノロジーを大きく変えるまでには時間がかかりそうである。医薬品開発における抗体医薬にしても、遺伝子組み換え技術でさまざまな疾患に対して薬効のある抗体を大量に生産することは簡単ではなく、従来からの開発手法に依存している。多くの企業が、分子量の大きい抗体のような化合物でなく、低分子化合物を医薬品候補物質として探索するという、より現実的な戦略をとっている。第4表は医薬品分野の約50%がニューバイオに属するとしているが、ニューバイオの中でも遺伝子組み換えに関係する部分はさらに少ない。食品についても、バイオリクターのような従来からのバイオテクノロジーの中にニューバイオの成果を取り込みつつ、より有用な機能を持つ食品や、その他の物質の生産が可能になるが、現状は圧倒的にオールドバイオに依存している。

農業についても同様である。第6表は、「緑の革命」と、現在取り組みが始まっている農業分野へのバイオテクノロジーの導入との違いを示している。主として交配などの技術に依存していた「緑の革命」に対して、遺伝子組み換え、細胞融合などの高度な技術を導入した新しい農業分野の革命は、対象となる作物品種も広がり、効果が得られる農地も限界的な地域にまで拡大できる等の、大きな利益が期待される。しかし、そのためには多くの技術的課題の克服が

第6表 緑の革命とバイオ革命の比較

	緑の革命	バイオ革命
影響を受ける作物	主に小麦・米	可能性としては全ての作物（野菜、果物、輸出作物、特殊な作物）
その他影響を受ける産品	なし	動物、魚、加工食品
影響を受ける地域	灌漑農地、その他良好な農地	可能性としては全ての国、全ての土地（限界的な土地を含む）
技術開発と技術普及	大部分は公的・準公的セクター	民間セクターの大規模な関与
所有権の問題	特許および植物多様性の保護は重要ではない	多くの工程・製品が知的所有権で保護
研究投資コスト	比較的少	比較的大
必要な研究技能	伝統的な植物交配技術、その他農業化学	分子・細胞生物学。プラス伝統的な植物交配技術、その他農業化学
置き換えられる作物	なし。しかし伝統的な品種が高生産性品種によって置換	なし。しかし伝統的な品種が高生産性品種によって置換
情報へのアクセス	比較的容易	知的所有権によって保護

（出所）Asian Development Bank, 2001, p.54.

残っていて、貧困克服、食料生産性向上などの切迫した課題に答えるためには従来からのバイオテクノロジーの中に、ニューバイオの中でも比較的シンプルで実用化されやすい部分から次第に導入・摂取しつつ進めるという現実的なアプローチが必要になる。

### サポーティング・インダストリー

ニューバイオとオールドバイオが絡み合いつつ、ニューバイオの方向に向けて進化している現在のバイオテクノロジーが将来の世界経済・社会システムや技術の勢力図について論じる上で必要なのは、バイオテクノロジーに関する技術リネージあるいはサポーティングインダストリーの問題である。

技術移転、とりわけ発展途上国への技術移転の成否はかなりの程度において、その技術と関連する産業／技術分野が育っているかどうかにかかっている。自動車であれ電子産業であれ、部品産業の発展なしには技術移転は成功しない。このことはバイオテクノロジーについても同様である<sup>3)</sup>。

現在のバイオテクノロジーはゲノムサイエンスに支えられて進みながら、他面で困難に直面するという両面を見せつつ進化している。このことは言い換えれば、「化学の言語」というより普遍的な言語を用いてコンピュータ上でシミュレーションされるという側面（ドライな側面）と、他方でさまざまな実験／試験という泥臭い側面（ウエットな側面）との両者の性質を示しつつ進化しているということになる。

筆者は医療・医薬品を中心として見たニューバイオテクノロジーの全体像を、次のように捉えることができると論じた（菰田文男，2006）。

#### (1) 要素技術

- (a) 材料・試料技術
- (b) 分析手法・機器（計測技術）
- (c) バイオインフォマティクス（ソフトウェア）

#### (2) 分析対象

- (a) ゲノム／DNA
- (b) 遺伝子
- (c) タンパク質・化合物
- (d) 生物の高次システム

#### (3) 利用用途，社会的ニーズ

「材料・試料技術」は遺伝子の機能やタンパク質の構造・機能を知るために必要なDNAやタンパク質のライブラリーの作成技術などであり、「分析手法・機器」はそれを分析するための電気泳動、DNAチップ／マイクロアレイなどの計測技術であり、「バイオインフォマティクス」

はその解析のためのソフトウェア／アルゴリズムや統計処理技術である。これらの材料と分析機器を用いて「ゲノム／DNA」「遺伝子」「タンパク質・化合物」「生物の高次システム」が解明され、このことが最終的に「利用用途，社会的ニーズ」を充足する。

これから分かるように，バイオテクノロジーと最も関連するのは情報技術であり，それはDNAチップなどの機器とハードウェアがある。これらの技術を利用して遺伝子やタンパク質や生物の高次システムを解明するのが大学や公的研究機関であり，また民間企業である。鉄鋼，部品工業などが多数取り囲まれている自動車の場合と比して，性質が違っている。この点については第4節であらためて論じる。

また，エレクトロニクス関連機器の場合，一つの製品には数百の特許が関係している場合も珍しくない。これに対して，バイオテクノロジーでは一つの製品には普通は数件の特許しか関係していない。このことも，バイオテクノロジーが加工組立産業と比べれば相対的に幅広い分野とのかかわりの少ない技術であることを物語っている。

このように，すそ野の広いサポータインダストリーを持つ自動車などと違って，バイオテクノロジーのサポータインダストリーは小さい。したがって，これだけを突出的に育成することも比較的容易である。

また，自動車，ITなどのモノ作りでは現場の「技能」が重要になる。これに対して，バイオでは研究者の「経験」「勘」が重要なウェイトを占めている。研究者集約的である点に特徴がある。加工組立産業ほどには現場の技能を必要としていないという点で，化学などの装置産業に近い性質を持っているといえる。底辺の広く充実した技能工や部品産業や中小企業が不必要であることが特徴である。

研究者集約的であるために，国全体の教育水準が高くなくても，一部の研究者が突出的に優れていれば十分である。この点でも途上国に有利に作用する。さらに科学は，グローバルであり，国や文化の特性の相違が技術ほどには大きくない。したがって，留学などから十分に知識を得ることができるのである。

### 第3節 各国のバイオテクノロジー研究動向

前節までに，20世紀にはいって急速に進歩し，とりわけ後半になって生物科学・ゲノム科学に支えられるようになったバイオテクノロジーの性質，およびそれがどのような経済・社会的なニーズと結びついているかについて述べ，食糧不足，飢餓，風土病，汚染・環境破壊に悩んでいる発展途上国にとってバイオテクノロジーの意義が大きいことが理解された。途上国がバイオベースドエコノミーに向けて進むべきである理由は自明である。

それでは，途上国のバイオテクノロジーは世界の中でどのような水準にあるのか，研究開発，

技術導入・移転の現状はどうか、どのような問題に直面しているのか。第3節以下ではこの問題について考える。もちろんいうまでもなく、このような研究は国別、分野別に詳細なデータに依拠した緻密な分析を必要とする。しかし、バイオテクノロジーが新しい分野であるため、現時点でデータは十分に揃っていない。ここでは、概括的に論じ、より掘り下げた分析は今後の課題としたい。

### 研究開発投資と技術水準の国際比較

バイオテクノロジーの研究水準や技術水準を知るためには、研究開発投資額、研究者数、特許件数、市場シェアなどから知ることができる。しかし、これらについての十分なデータは未だ存在しないし、とりわけ途上国についてはそうである。しかし、アメリカの水準が圧倒的に抜きん出ていることは間違いない。たとえば、ヨーロッパバイオインダストリー協会の調査でも、ヨーロッパ全体を合わせてもアメリカには対抗できず、ヨーロッパで最大のイギリスでさえ雇用数、研究開発投資、収益、ベンチャーキャピタルなどの指標を総合的に考慮して、アメリカの10-12%程度でしかないと述べている。(The European Association for Bioindustries, 2005, p.5.)

アメリカの2004年の連邦政府の研究開発予算は118.0十億ドルであり、そのうち国防省が62.7十億ドルで圧倒的に多く、次いで健康福祉省に属するNIH(国立衛生研究所)が26.9十億ドルであった。しかも、基礎研究のみをとってみると、全体が26.9十億ドルであるのに対して、NIHは14.8十億ドルであり、50%を超えている。いかに生物分野、医療分野にアメリカ政府が投資をしているかが分かる(US, National Science Board, 2004, *Science and Engineering Indicators: 2004*, Table 4-31)<sup>4)</sup>。

バイオテクノロジーにおけるアメリカの技術水準の高さを示す指標は、特許データであろう。第7表は、Derwent社が提供する特許データベース「WPI」に登録された特許件数を主要先進国、および途上国の中から中国とブラジルを選んでバイオテクノロジー分野別(IPC(国際特許分類)別)に検索したものである。バイオテクノロジーと関係するIPCについては、OECD

第7表 バイオ特許の国別比較

年	1999-2000(1)	2003-2004(2)	(2)/(1)
合計	53,483	89,877	1.7
アメリカ	29,914	50,608	1.7
EPO	2,376	4,159	1.8
イギリス	3,737	4,667	1.2
ドイツ	1,715	2,142	1.2
フランス	3,308	5,099	1.5
日本	8,628	12,613	1.5
中国	915	3,352	3.7
ブラジル	107	161	1.5

(出所) 特許データベース「WPI」より検索。

バイオ関連特許の定義は、OECD(2005a)にしたがった。

の定義にしたがった（OECD, 2005a）<sup>5)</sup>。

これによると、アメリカの件数が圧倒的に多く、2003 - 04年の場合、世界合計の半数以上がアメリカのものである。次いで日本が多く、アメリカに次ぐ水準にあるかに見える。しかし、周知のように日本は周辺特許を多く出願しがちであるため、件数だけで見ると過大評価される。事実、一般的な評価は情報通信技術、物理分野におけるナノ技術などでは日本は国際的に高い水準を維持しているが、生物、バイオ分野ではイギリスなどヨーロッパ諸国に対しても全般的に見て同一水準か、あるいは遅れているというものである。

興味深いのは中国である。1999 - 2000年から2003 - 2004年に中国の特許取得件数は3.7倍に急増し、世界のバイオテクノロジー関連の特許取得件数における中国の件数は同期間に1.7%から3.7%へと急増した。なかでも、国際特許分類（IPC）の「A01H-004-00（植物の細胞培養技術）」については、2003 - 04年ではアメリカを抜いて世界で第一位であり、農業分野への研究資源の投入が目立っている。

もちろん、単純に特許件数だけで評価することは問題であるが、基本的な傾向を示しているといえよう。

### 中国におけるバイオテクノロジーの発展

先進諸国以外で最もバイオテクノロジーの水準の高いのは、中国であり、そのことを示す一つの証拠を、HUGO（ヒトゲノム機構）の六番目の参加国として、後発でありながらヒトゲノムの1%の解読を行った成果に見ることができるといえよう。その振興政策についてみておこう。

中国は70年代末、80年代始めに積極的な科学・技術の振興政策をとり始めるが、バイオ研究振興政策は1980年代半ばに始まる。すなわち、1983年には「中国バイオテクノロジー開発センター（China National Center for Biotechnology）」が設立された。また、1986年には国家の経済発展に先端的な科学技術を生かすことを目指す「863計画（ハイテク技術研究発展計画）」が始まり、その重点分野の一つとしてバイオテクノロジーがあげられた。これは数百人の科学者が育成すべき分野を厳格に調査したものであり、中国の科学技術発展の画期となる意味があった<sup>6)</sup>。

「863計画」以後、20あまりの医薬品、疫苗製品が市場で販売されているといわれる（NEDO, 2004）。また、バイオ関連製品出荷額は1997年の16億ドルから2000年には20 + 億ドルに急増し、18のバイオ医薬品が商業化されたといわれている（Ju. J., 2001）。

とりわけ、特許登録件数が示すように、農業・植物分野が重視されている。農業・植物バイオ分野への公的研究開発投資額は1999年には112百万ドルであり、アメリカに次いで第2位であった（Hautea, R. A. and Escalar, M., 2004）。

### その他発展途上国におけるバイオテクノロジーの発展

特許件数では中国には及ばないが、インド、シンガポール、タイ、マレーシア、ブラジル、メキシコ、南アフリカなど、多くの発展途上国もバイオテクノロジーの振興政策みられ、技術水準が向上しつつある<sup>7)</sup>。

たとえば、インドは研究者の高い知的水準と低い給与水準などをベースとして高度な医療技術を獲得しつつあるし、ブラジルはサトウキビなどのバイオマスを利用したバイオエタノール生産の最先進国であるし、シンガポールは海外からの研究者の招聘などを国家的な戦略として推進しバイオテクノロジーを育成している。

タイも急速にバイオテクノロジー分野で力をつけつつある国の一つであるが、それを推進するために1983年に設立され、91年に「科学技術開発庁 (National Science and Technology Agency)」にその一部として統合された「国立遺伝子工学およびバイオテクノロジーセンター (National Center for Genetic Engineering and Biotechnology)」における2005年の予算16.4百万米ドルの分野別内訳を見ると、「植物・動物」37.0% (うち、「米」5.8%、「植物」10.3%、「エビ」15.9%、「動物」5.1%)、「医療」20.5%、「バイオプロセス、バイオ工業、新規製品、食品」20.0%、「環境バイオ、持続的発展」15.0%となっている (Thailand, National Science and Technology Agency, (homepage))。先進国に比して、医療・医薬品より農業、植物、動物分野のウェイトが高まる。

南アフリカもバイオテクノロジー研究が活発になっている。企業活動の全てあるいは大部分がバイオに関係していて、イノベーションの担い手として定義される「中核バイオ企業 (core biotechnology company)」は1984年には約5社であったが、1990年頃から次第に増加し、2002年には約40社にまで達している (Mulder, 2003, p.35)。それを分野別に見ると、「医療 (人間)」39%、「医療 (動物)」10%、「植物」10%、「バイオ工業」9%、「食品」8%、「環境」8%の順となっている。HIVをはじめとして医療・衛生面で重要な問題を抱えているだけに、医療分野が最も多いとはいえ、先進国に比して医療・医薬品分野の比重は低下する (Mulder, 2003, p. 33)。

本稿の以上で論じたように、バイオテクノロジーはゲノム科学に支えられたサイエンスドリブンなニューバイオとして進歩しつつあり、先進国 (とりわけアメリカ) はそれを医療・医薬品技術に利用することを中心に積極的な戦略を展開している。しかし、その成果は未だ十分に得られておらず、ニューバイオテクノロジーの研究と実用化には未だ克服されねばならない多くの障害をかかえている。これに対して、多くの発展途上国もバイオ研究を積極的に振興しているが、それは必ずしも医療・医薬品開発に偏ることなく、農業やバイオエタノールなども含めて多面的に追求されており、医薬品についても主としてそれぞれの国のニーズの充足に向けられたものであった。

#### 第4節 バイオベースドエコノミー実現のための研究システムおよび国際技術移転

途上国のバイオテクノロジーの水準／競争力を高めるためには先進国からの技術移転が必要である。第4節では、技術移転・導入に必要な条件あるいは施策について見てゆこう。

『Nature Biotechnology』誌は2004年12月号のsupplementにおいて、発展途上国への医療・医薬品分野のバイオテクノロジーの技術移転について特集し、技術水準の高いブラジル、中国、キューバ、エジプト、インド、南アフリカ、韓国の7カ国をとりあげて実態と将来展望について論じている。そして、途上国がバイオテクノロジーの技術移転を推進し技術開発力を高めるうえで必要なのは、(1) バイオテクノロジー振興に向けた政府の強い意志、(2) ビジョンとリーダーシップを持つ個人、(3) それぞれの国の資源やニーズを正しくくみとったうえでのフォーカスすべき分野の選定、(4) 大学、研究所、企業等の間のリンケージ、(5) 民間企業の育成、(6) 途上国へのバイオテクノロジー移転を可能とする知的所有権の整備をあげている(Thorsteinsdottir, H, Quach, H, Darr, A. S. and Singer, P. A., 2004)。この指摘は途上国のバイオテクノロジー振興に必要な条件を言い当てているが、本節で筆者は次の3点に分けて、途上国がバイオテクノロジーの研究開発、技術導入に必要な条件、あるいはその機会を論じる。すなわち、(1) バイオテクノロジーに対するニーズの大きさ、および国や地域の固有性、(2) サイエンスドリブンな性質と技術リンケージ、(3) 競争市場型の技術移転である。

##### ニーズの大きさ、ニーズの独自性・固有性

先進国から発展途上国へのバイオテクノロジーの移転を促し、開発力の強化に導くことを期待できる第一の理由は、バイオテクノロジーが医療、食料、環境などの人間の基本的なニーズと深く関係していて、したがってそれに対する強い欲求があるからであり、またそのニーズであれニーズを充足するうえで必要なリソースであれ、国別に独自性があり、先進国の技術をそのまま導入することが必ずしも成功につながらないからである。

「必要は発明の母である」という言葉を用いて、技術開発や移転が市場規模と関係があることを論じたR. ヴァーノンなどのプロダクトサイクル論が言い当てているように、技術の開発・定着はニーズによって牽引される(ニーズプル)という性質がある。感染症、ビタミン不足、食糧難、都市の排気ガス汚染、工場廃水、エネルギー不足などのさまざまな問題を抱える発展途上国にとって、医療・衛生環境の改善、害虫耐性があり生産性の高い農作物、常温常圧でエネルギーを利用しない反応を可能にするバイオリクターなどに対するニーズは極めて大きい。当然、政府の振興政策にも力が入り、強いリーダーシップと将来ビジョンを持つ人材も現れる。

それに加えて、バイオ資源は、物理的・化学的な加工と違って、気候、地理的条件、文化的な伝統などによって国別に独自性がある。たとえば、トウモロコシからエタノールを製造する場合でも、トウモロコシの品種により得られるエタノールは違ってくるとし製造技術も違ってくる。また、より品質の高いエタノールを得るためには、トウモロコシの不断の品種改良も必要である。当然、先進国の技術をそのまま途上国に導入すれば成功するというにはならない。それどころか、先進国の国内でさえ地域によって違っている。たとえば、「アメリカ国内のバイオに基づく産業開発は農業や森林資源の相違ゆえに地域特性、州別の特性が見られるようになるだろう。その結果、バイオをベースとした産業化に向けた研究・開発・初期の実用化に対して多様なアプローチが奨励されねばならない。マッチングファンドのような連邦政府と州政府間の協力を奨励するフレキシブルなメカニズムがこのゴールを達成するのに役立つ」と述べられている (National Research Council, Board on Biology Commission on Life Sciences, Committee on Biobased Industrial Products, 1999, p.13)。この違いが途上国独自の研究開発努力を必要とする。

加えて、遺伝子の利用に必要な遺伝子資源は、途上国の多くが位置する熱帯・亜熱帯地域の森林などの微生物、原産種の植物・穀物にある。これらの遺伝子資源を持つ途上国は、この中から有用な遺伝子を同定し、熱帯の伝染病治療のための医薬品開発、肥料を多く必要としない穀物などの開発に役立てることができる。

しかも、そのために必要な技術は必ずしも高い研究水準を前提としたニューバイオだけとは限らない。比較的シンプルな技術が、途上国の医療・医薬品や農業・植物分野のニーズを充足しうるのである。たとえば、アジアでの医薬品技術の移転の事例として、所得水準の低い国々を中心に世界中の乳幼児の命を奪っているロタウイルスのワクチンの開発・製造がある。このワクチンは高度なバイオ技術を使わずに、組織培養技術をベースとしていて、小規模な企業で参入可能な比較的簡単な医薬品開発であり、中国、インドなどで研究が進んでいる (Rogers, I. G., 2006)。

リソースの相違には人的なそれも含まれる。たとえば、インドでは優れた研究者の存在、低い人件費、患者の多さなどのために医薬品開発が進んでいる (榊原英資・吉越哲雄, 2005, pp.72-83)。

以上のように、地域性が大きいので、振興のための施策も違ってくる。この違いを利用できることが、途上国への先進国技術の移転を進めるうえで有利になる。

### サイエンスドリブンな研究と技術リンケージの性質

途上国のバイオテクノロジー研究に影響し、場合によっては途上国に有利に作用しうる第2の理由は、それがサイエンスドリブンな研究であるという点であり、このことが必要とされる

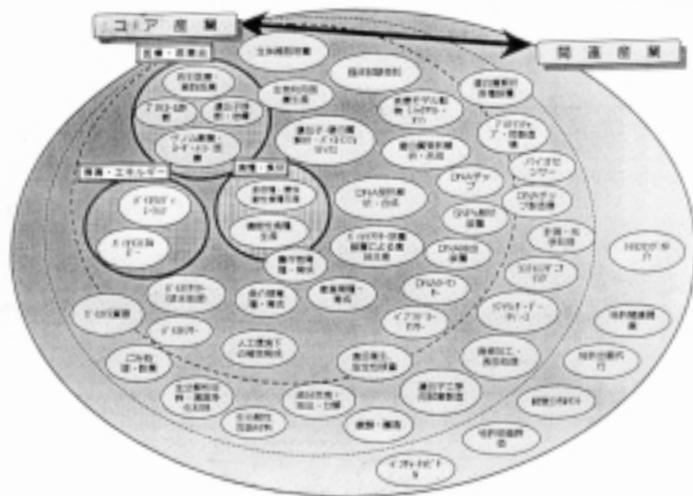
サポーターインダストリーとのリンケージの性質と関係しているからである。

南北間の技術移転を左右する大きな要素の一つは技術リンケージである。すなわち、どのような技術であれ、それはさまざまな要素技術の集合体（システム）である。したがって、ある技術の移転の成否は関連する要素技術を持つ企業の存在によって大きく左右される。途上国への自動車技術やエレクトロニクス技術の移転（企業内技術移転であれ、企業間技術移転であれ）は部品産業がどれだけ育っているかによってかなりの程度において決定づけられることは周知である。バイオテクノロジーについても、このことに変わりはない。

しかし、技術分野ごとにリンケージの性質も異なり、したがって技術移転に与える影響も違ってくる。青木昌彦氏等は、生産工程や技術の「モジュラー化」について研究し、デジタル産業のような産業は「オープンモジュラー」、自動車のような要素技術間のすりあわせが必要な産業を「すりあわせ型モジュラー」と呼んだ（青木昌彦・安藤晴彦, 2002）。当然、前者は国内・隣接地域に関連技術が育っている必要性は小さくなる。

バイオテクノロジーは、デジタル技術のようにインターフェイスの標準化があれば各モジュラーの内部は自由に進められるというものではない。上述のように、トウモロコシからのエタノールの製造にしても、トウモロコシの産地、品種によってそれに適した技術は違ってくる。すりあわせが必要である。

しかし、バイオテクノロジーが自動車のようなすりあわせ型と違っていている点は、膨大な部品産業のような関連企業を必要としていないという点である。むしろ、バイオテクノロジーの現状は生産というよりも、研究という性質が強く、したがって企業間リンケージというよりも、



第3図 バイオビジネスの全体像

(出所) みずほコーポレート銀行産業調査部, 2003, 34ページ

大学、公的研究機関、企業などの間のリンケージ必要としている。第3図はみずほコーポレート銀行産業調査部（2003）の作成したものであるが、この図が示すようにバイオテクノロジーは、医療・試薬品、農業、環境という三つの主たる分野があり、これを大学や研究機関、試験研究の請負を行う企業、試験研究機器や試薬メーカーなどが取り囲んでいる。これは自動車などのサポーターインダストリーと比して、限定されているといえる。

また、サイエンスドリブンな研究であるので、アメリカやその他先進諸国の先端的な大学や公的研究機関への留学が知識の習得に重要であるが、彼らの帰国後にその成果を生かす際に大規模なサポーターインダストリーが必ずしも必要ではなく、研究施設があればそれを生かすことができる。

したがって、欧米諸国への研究者の留学と彼らの本国への帰国は技術移転にとって決定的な重要性を持つことになる。中国では2004年に海外への留学生約30万人のうちの三分の一がバイオテクノロジーを学んでいて、そのうちの1.8万人が帰国している（Li, Z., Zhang, J, Wen, K., Thorsteinsdottir, Uyen, Q., Singer, P. A. and Darr, A. S., 2004）。

もちろん、必ずしもこれに成功するとは限らない。たとえば、1995年にマレーシアは毎年5000人の海外の研究者を採用する計画を立てたが、わずか94人の科学者を招聘できたにすぎず、しかもそのうちの24人は海外から帰国したマレーシア人であり、2004年にはこれらの研究者のわずか一人が残っているに過ぎなかった。この理由は、マレー人優遇政策という差別的な仕組みにあった（Cyranosky, D., 2005）。

### 競争型技術移転と多国間の協力関係

技術移転は技術市場の性質によって大きく決定づけられる。技術市場が競争的になればなるほど、潜在的な技術供与企業が増え、ライセンス競争が生じるので、導入企業はこの競争を利用して有利な条件で技術導入を進めることができる（菰田文男, 1987, 第3章）。ただ、南北間の技術移転に関しては、一般に技術市場は独占的であり、とりわけニューバイオテクノロジーのような最新の技術についてはそうである。先進国の潜在的技術供与企業数は限られ、ゲノム創薬や遺伝子組み換え技術などの技術移転を妨げる。それに加えて特許独占という障害がある。第2節で述べたように、バイオテクノロジー特許の特徴は、一つの特許のカバーする範囲が広いという点にある。先進国多国籍企業が特許を取得・独占することがバイオテクノロジーの移転を妨げる。

しかし、バイオテクノロジーの技術市場も少しずつ競争的なもの変わりつつある。第一に、バイオテクノロジー分野で競争力を身につけてきつつある中国、ブラジル、シンガポール、インド、メキシコなどの企業や研究機関が潜在的な技術供与者として現れつつあり、先進国の多国籍企業などと競争するようになってきつつあるからである。バイオテクノロジーの研究開発

が発展途上国を含めて世界的に分散すればするほど、技術市場は競争的になる。

たとえば、遺伝子組み換え作物の生産コストは次第に下がりつつあると指摘されている。その理由は、（１）遺伝子組み換え作物が次第に比較的規模の小さい企業によっても生産されるようになってきたこと、（２）互いに競合関係にある類似した品種が開発され、遺伝子ライブラリーが増えてきたことなどにある。（Arundel, 2003, pp.22-23）

また、バイオテクノロジーに不可欠なゲノム配列データベース、タンパク質データベースなどのデータベースの多くは公開されるようになっていて、最新の情報に対して誰でもオープンにアクセスできるようになっている。FAOは遺伝子組み換え作物や非遺伝子組み換え作物の両者をカバーするデータベース（FAO-BioDec）を構築しつつあり、この傾向をさらに進めている（FAO, 2005）。

さらにまた、途上国の国内市場拡大は技術市場におけるライセンス契約に関して、途上国のバーゲニングパワーの強化につながる。先進国に比して、貧困、低所得、農業の比重の大きさ、深刻な環境問題を持つ途上国はバイオテクノロジーの貴重なユーザーであり、バイオ市場の成長の条件が整っている。このことが途上国政府の介入の可能性も含めて、技術市場で途上国にとって有利に作用すると思われる。たとえば、発展途上国政府によって主導される双務的・多角的な技術移転協定・共同研究プログラムがこれに有利に作用する（Commission of the EC, 2002）。たとえば、東南アジア諸国はアメリカ、日本、中国などの間の競争を利用して、有利な技術移転協定を結ぶことができる。

また、途上国の生物多様性、豊富な微生物・遺伝子資源が途上国にとって有利な契約を可能にする。

国際技術移転は技術移転が受け入れ国の技術水準を高め、受け入れ国の技術水準が高まることがさらに国際技術移転を促すという好循環が生まれる場合がある。このようなメカニズムの一例を、インドの医薬品開発や医療技術に見ることができる。先進国多国籍企業のインドへの進出や臨床試験などがインドの医薬品技術水準を高め、このことがさらにインドへの医薬品技術移転を導いたし、医療従事者の安価な人件費、医療サービス市場の自由競争、グローバル指向、医療への先進的なIT導入などがインドの高い医療水準を導いている。

## むすび

バイオテクノロジーは未知のウイルスを作り出すかもしれない危険、遺伝子組み換え作物が毒性を持つかも知れない危険などについては、本稿ではあえてふれることはしなかったが、これらの危険は別にしても研究室での成果が技術として実用化され経済・社会生活や産業活動に利用されるのは簡単ではない。しかし、長い時間的スパンで見ると、バイオテクノロジーの

開発・進化と国際的な移転は、世界の政治・経済の勢力図を大きく変えるであろうし、貧困、食料、医療・衛生、環境などの諸問題の展開を左右することになる。「バイオベースドエコノミー」という言葉に的確に表現されているように、バイオテクノロジーの適切なコントロールと利用は、現在の大きな課題であり、とりわけ発展途上国にとってはそうである。しかも、バイオテクノロジーの性質やそれを取り巻く環境は、必ずしも途上国にとって不利とは限らずむしろ有利に作用するものが多く見られる。今後、さらに緻密な研究を必要としている。

- 1) 関下稔・中川涼司編 (2004) 等の成果がある。
- 2) たとえば、高橋琢磨 (1999) も、バイオテクノロジーを「医療・医薬品」「農業」「環境」に分類している。
- 3) 技術移転における技術リンケージの果たす役割の大きさについては、Komoda, F. (1986) を参照されたい。
- 4) アメリカにおけるバイオ研究の強さの背景にある連邦政府の支援政策の性質については、掛札堅 (2004) が詳しい。
- 5) A01H1/00, A01H4/00, A61K39/00, A61K48/00, C02F3/34, C07G11/00, C07G13/00, C07G15/00, C07K4/00, C07K14/00, C07K16/00, C07K17/00, C07K19/00, C12M, C12N, C12P, C12Q, C12S, G01N27/327, G01N33/53, G01N33/54, G01N33/55, G01N33/57, G01N33/68, G01N33/74, G01N33/76, G01N33/78, G01N33/88, and G01N33/92 である。
- 6) 遠藤誉 (2002) などが詳しい。
- 7) Sasson, A (2005) が途上国のバイオテクノロジーの現状について包括的に論じている。

#### 参考文献

- Acharya, T., Daar, A. S. and Singer, P. A., 2003, "Biotechnology and the UN's Millennium Development Goals", *Nature*, vol.21 no.12.
- Anderson, K., Valenzuela, E. and Jackson, L. A., 2006, *GM Cotton Adoption, Recent and Perspectives: A Global CGE Analysis of Economic Impact*, World Bank.
- Arundel, A., 2003, "Biotechnology Indicators and Public Policy", *OECD Science, Technology and Industry Working Papers, 2003/5*, OECD.
- Asian Development Bank, 2001, *Agricultural Biotechnology, Poverty Reduction and Food Security*, Asian Development Bank Working Paper.
- Commission of the EC, 2002, *Life Science and Biotechnology—A Strategy for Europe*, COM(2002) 27 final.
- Cyranosky, D., 2005, "The Valley of Ghost", *Nature*, vol. 436 no. 4.
- DeLamarter, I., 2003, "Biotechnology Partnerships: Medicine for an Ailing Industry", *Nature Biotechnology*, vol.21 no.8.
- FAO, 2005, *Status of Research and Application of Crop Biotechnologies in Developing Countries*, FAO of United Nations.
- Hautea, R. A. and Escalar, M., 2004, "Plant Biotechnology in Asia", *AgBioForum*, Vol.7 No1-2.

- Japan Association of Bioindustries Executives, 2001, *Aiming to Realize a Biosafety and a Bio-based Economy that Simultaneously Achieve Health, Safety and Harmony with Nature: Recommendation of b-Japan Plan*.
- Japan Bioindustries Association, 2005, *Bioventure Statistics Investigation Report in Japan*, Japan Bioindustries Association.
- Ju, J., 2001, *Speech at the Meeting of 5th Session of United Nations Commission on Science and Technology for Development* (May 28-Jun 1, 2001, Geneva), (<http://www.china-un.ch/eng/zmjg/jgda/jg2001/t85522.htm>).
- Komoda, F., 1986, "Japanese Studies on Technology Transfer to Developing Countries: A Survey," *The Developing Economies*, vol.26 no.4
- Komoda, F., 2007, "Biobased Economy and Opportunities for Developing Countries", *Asian Economy and Social Environment*, vol.1, (forthcoming).
- Li, Z., Zhang, J, Wen, K., Thorsteinsdottir, Uyen, Q., Singer, P. A. and Darr, A. S., 2004, "Health Biotechnology in China —— Rewakening of a Giant", *Nature Biotechnology*, vol.22, supplement.
- Mulder, M., 2003, *National Biotech Survey: 2003*. (<https://www.oecd.org/dataoecd/7/37/36036991.pdf>).
- National Research Council, Board on Biology Commission on Life Sciences, Committee on Biobased Industrial Products, 1999, *Biobased Industrial Products: Priorities for Research and Commercialization*, National Academy Press.
- NEDO, 2004, 『NEDO 海外レポート』 No.923 (<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/923/923-14.pdf>).
- OECD, 1994, *Biotechnology for a Clean Environment: Prevention, Detection, Remediation*, OECD.
- OECD, 1998, *Biotechnology for Clean Industrial Products and Processes*, OECD.
- OECD, 2005a, *A Framework for Biotechnology Statistics*, OECD.
- OECD, 2005b, *The Bioeconomy in 2030: A Policy Agenda*, OECD.
- Rogers, I. G., 2006, "New Hope for Defeating Rotavirus", *Scientific American*, April.
- Sasson, A., 2005, *Medical Biotechnology*, United Nations University Press.
- The European Association for Bioindustries, 2005, *Critical 1: Comparative Study for EuropaBio*, BioVision, Lyon.
- Thailand, National Science and Technology Agency, (homepage), <http://biotec.or.th/biotechnology-en/aboutBIOTEC.asp>.
- The European Association for Bioindustries (homepage), <http://europabio.org/index.htm>.
- Thorsteinsdottir, H, Quach, H, Darr, A. S. and Singer, P. A., 2004, "Conclusions: Promoting Biotechnology Innovation in Developing Countries", *Nature Biotechnology*, vol. 22.
- US, Department of Commerce, Technology Administration Bureau of Industry and Security, 2003, *A Survey of the Use of Biotechnology in U.S. Industry*.
- US, National Science Board, 2004, *Science and Engineering Indicators: 2004*.
- Wu, F., and Butz, W. P., 2004, *The Feature of Genetically Modified Crops: Lesson from the*

*Green Revolution*, Rand Corporation.

- 青木昌彦・安藤晴彦編, 2002, 『モジュール化』東洋経済新報社
- 遠藤誉, 2002, 「中国における科学技術国家戦略および高等教育におけるバイオテクノロジー教育・研究」『中国におけるバイオ戦略と開発』所収, 国際開発高等教育機構国際開発研究センター
- 掛札堅, 2004, 『アメリカNIHの生命科学戦略』講談社
- みずほコーポレート銀行産業調査部, 2003, 「ポスト・ゲノムシーケンス時代のバイオビジネス」『みずほ産業調査』6号
- 菰田文男, 1987, 『国際技術移転の理論』有斐閣
- 菰田文男, 2006, 「バイオテクノロジーの研究開発戦略」『社会科学論集』117号
- 文部科学省研究振興局ライフサイエンス課等, 2007, 『バイオ産業創造基礎調査報告書(平成16年)』文部科学省研究振興局ライフサイエンス課等
- オリバー, R. W. (酒井泰介訳), 2002, 『バイオエコノミー』ダイヤモンド社
- 榊原英資・吉越哲雄, 2005, 『インド——巨大市場を読みとく——』東洋経済新報社
- 関下稔・中川涼司編, 2004, 『ITの国際政治経済学』晃陽書房。
- 高橋琢磨, 1999, 「バイオテクノロジーの本格的産業化に向けて」『知的資産創造』10月号
- 吉川弘之・内藤 耕編, 2003, 『第二種基礎研究』, 日経BP

(菰田文男, 埼玉大学経済学部教授)

## Biotechnology and Economic Development in Developing Countries

Biotechnology might follow the rapid progress of information technology and its widespread diffusion across industries worldwide. Undeniably, biotechnology would change the nature of the global system in the future because there exist opportunities for establishing a biobased economy not only in developed countries but also in developing countries.

Manufacturing sectors to which biotechnology is applicable are limited to a narrow range of industries in comparison with the pervasiveness of information technology across industries, and the effects of these sectors on GDP or employment in terms of economic indicators are minor. However, this does not mean that the value of biotechnology is less than with the information technology. Impacts of biotechnology on the environment and on the quality of life are undervalued if measured only in terms of economic indicators such as GDP, the number of patents, productivity, added value, or employment. Undeniably, in the near future biotechnology will play more important roles in solving serious problems such as starvation, environment pollution, poor medical treatment and so on, which developing

countries now confront. Biotechnology is expected to fulfill a wide range of basic human needs.

From this reason, both the mechanism of technology transfer between developed countries and developing countries and the possibility of establishing forward-looking promotion policies in biotech sectors are very important analytical issues.

In order to analyze these issues, the author describes the following in this paper. First, the fact that medical treatment/genome based drug discovery, agri-bio and industrial biotechnology are the most important applicable areas is clarified, second, the history of biotechnology is discussed, and some characteristics of research systems in biotechnology is clarified, third, the researching ability in developing countries are discussed through patent databases and so on, and finally, it is clarified that there exist some favorable conditions or opportunities for developing countries to acquire biotechnology.

(KOMODA, Fumio, Professor Faculty of Economics, Saitama University)