

# バイオテクノロジー、農業および食料

Biotechnology, Agriculture and Food

OECD Expert Report

1992

OECD

## 概要および政策的結論

### 1. 農業・食料分野におけるバイオテクノロジー - 科学の革命

1980年代を振り返ったとき、農業・食料関連のバイオテクノロジーの基盤となる科学が、スピード、領域ともに、驚異的に発展してきたことは明らかである。「バイオテクノロジー、農業および食料」と題する本報告書では、それらを包括的に概観する。1980年には誰も予想できなかったような速さで新しい発見がなされ、関係する生物の数と種類は急速に拡大している。

食品や食品以外の製品向けの微生物や動植物へのバイオテクノロジーの利用は、単に生産性を向上させたり、問題を解決する新たな技術であるというにとどまらない。バイオテクノロジーは、科学者が生物系の構造や機能を把握する方法を劇的に変化させている。こうしてもたらされた知識革命は、農業や食料に与える経済的影響よりはるかに大きい科学的、倫理的、社会的影響を持っている。地球の生態系の生物的要素の重要性を解き明かす上で、バイオテクノロジーはかつてない可能性を与えてくれるかもしれず、さらには、地球生態系への脅威を予測し、これを軽減することも期待できる。このことだけでも、農業・食料関連のバイオテクノロジー分野の基礎研究に対する資金提供を継続的に実施し、場合によっては増加させる十分な理由になる。

もちろん、農業生産性に影響を及ぼす科学技術はすべての分野で進歩しており、バイオテクノロジーによるメリットを十分に実現するためには、プロセス工学やセンサーなど周辺分野の技術の進歩とバイオテクノロジーにおける進歩を結びつけることが重要である。とはいえ、農業に影響を及ぼす他の科学技術の発展に対する生物科学、とりわけ遺伝学の相対的な重要性は着実に高まっていると思われる。

しかし、知識の革命から農業における革命に至る道のりは長い。科学技術の発展の多重性や多様性は、動植物の育種や食糧生産を根底から大きく変える可能性があるが、20~30年以内にそうなるかどうかは、数多くの要因に依存しており、その多くは、経済面、法律面、安全面での制約、国民の考え方、産業界や政府の方針など、科学技術の領域外にある。農業バイオテクノロジーにおいて、科学の変革から経済的変革への道のりは、他の技術分野におけるのと同様、長く、その途上には無数の障害がある。

現在、バイオテクノロジーに起因する問題や制約を考える上で中心となっているのは、安全性の確保の問題である。したがって、本専門家報告書は、全章にわたってこの問題を

意識している。農業・食料関連のバイオテクノロジーにおける安全性が話題になっていない章については、OECDの主要な活動である「バイオテクノロジーにおける安全性 (Safety in Biotechnology)」においてすでにテーマとされている。

同様に、農業・食料関連のバイオテクノロジーに期待できる途上諸国への貢献については、特に章を割いていないが、本報告書の全般にわたって言及されている。

次にあげる例は、研究開発が進行中の最前線である。これらは、この新技術の汎用性の広がりや、今後十数年のうちに開発される可能性のいくつかを示している。この例には、産業戦略や経済的な問題・影響に関する検討が加えられる。

## 2. 植物

新たなバイオテクノロジーは、植物のあらゆる段階に影響を及ぼしうる。

### a) 診断法

作物病原微生物による汚染や、種子や作物の品質管理のためのバイオテクノロジーを用いた迅速検査法によって、より安全で効率的な作物育種や取引が可能になり、法的に定められた基準の適用が大きく促進されることになる。

### b) 作物への遺伝子の導入

遺伝子を新たに導入して作物の生殖細胞質を改良することは、農業が始まって以来の植物育種の目標である。効率的な遺伝子組換え法の登場によって、作物の性能を向上させたり、ウイルスその他の病害や、干ばつ、塩害、寒さや熱への抵抗性を高めることを目指すことも可能になった。これらの手法によって、農業に利用可能な土地資源が拡大する可能性もある。遺伝子組換えは、植物に役立つバイオテクノロジーのうち最も重要なものになるかもしれない。単一遺伝子の導入にはじめて成功した1982年以降の進歩は急速で、これまでに数十の植物の改変実験が行われている。

### c) 植物育種の向上

*in vitro* などでバイオテクノロジーは、多数の植物で生産、栽培、評価に関わる時間と費用のかかるプロセスを削減するのに役立つ。有用遺伝子を迅速に特定するための分子遺伝学、雑種種子の新しい作出法、植物の繁殖や組織培養などがその例である。

#### d) 植物生産の向上

作物の実地での性能は収量として定義され、環境、土壌型、栽培法、病害虫などの外部的要因、植物そのものの性質など、数々の要因によって左右される。植物や微生物の遺伝子組換えによってこれらの要因に変更を加え、たとえば、植物の形態、ストレス抵抗性、生物学的肥沃化を向上させたり、病害虫管理を向上させて農業における化学物質の投入の削減につなげることができる。

#### e) 植物の品質向上

バイオテクノロジーの目標の1つに、植物の品質を向上させて、その収穫部分が最終用途である食料または食料以外の製品に適したものなるようにすることがある。この分野の進歩によって、植物バイオテクノロジーと食品バイオテクノロジーの境界は曖昧になっていくだろう。

### 3. 動物

実用化の準備が整っている順にリストアップした下記の動物バイオテクノロジーは、さまざまな面で農業生産性を向上させることができる。

#### a) 動物衛生の向上

バイオテクノロジーは、大きな被害や経済的損失の原因の1つである動物疾病の予防に著しい効果をあげることができる。新しい診断用薬、分子ワクチン、新規の抗生物質といった新たな治療薬、生殖細胞系列の遺伝子改変によって自然抵抗性を高めることなどがその例である。

#### b) 動物の生育および乳汁分泌の向上

乳量や枝肉中の筋肉割合といった生産形質は、組換え DNA 技術を用いて作った下垂体ホルモンの投与によって、有害な影響を生じることなく向上させることができる。この技術は、牛、羊および豚で成功している。

#### c) 胚の複製

実験室でのクローン胚の培養や、胚バンクの作成、優れたゲノムの複製のための方法がかなり進歩している。

#### d) 動物飼料

サイレージ生産や反芻動物の消化に關与する微生物の遺伝子組換えによって、新たな飼料原料の開拓や栄養の改善の可能性が出てくる。単細胞蛋白質は、従来型の技術により近い初期の例の1つである。

#### e) 形質転換

家畜は特定の形質に狙いを定めて飼育されてきたため、有用性を持つかもしれない膨大な数の動物遺伝子は、これまで特定や活用がなされていない。形質転換技術は、動物の有用性や生産性を高めようとするもので、現在、哺乳類、魚類および鳥類の生殖細胞系列に有用な形質を新たに導入できる段階まで達している。遺伝子組換えは、ヒト用の医薬品として重要なタンパク質を動物に産生させるための手法としても研究されている。

#### f) 魚類

魚類は、家畜と比較してまだ野生の度合いが比較的大きく、育種の歴史が浅い。多くの種類の種が利用できることもあり、特に改善の余地が大きい分野である。魚類の養殖にバイオテクノロジーを応用することによって、生産効率の大幅な向上と病気の減少を通じ、水産養殖からの良質のタンパク質の供給が大幅に増加する見込みがある。

### 4. 食品

食品バイオテクノロジーは、品質、栄養、安全性、食品の保存性の向上にきわめて多岐にわたる方法を提供するが、食品加工産業は非常に巨大で多様であるため、1つのバイオテクノロジーの進歩がこの産業全般に劇的な影響を与えることはない。しかし、一部ではすでに、バイオテクノロジーによる食品加工が特定の食品分野を根底から変える可能性を持つ例もある。食品バイオテクノロジーの利用の範囲とスピードを左右するのは、科学上の困難よりも経済的要因や消費者の受容性、規制上の問題であることが多い。進歩の度合いは、その国の食品の性質や、最新のバイオテクノロジーによる恩恵を消費者が受け入れる用意があるかどうかによって、国ごとに異なるだろう。

現在および今後の発展の例として、その一部を以下に示す。

#### a) 食品の安全性に関する迅速汚染検査法

公衆衛生にとって脅威である汚染物質を特定し、これを防止、軽減または除去するのに利用される検査法の種類は、バイオテクノロジー（モノクローナル抗体、DNA プローブや RNA プローブ）によって急激に変わってきている。これによって、食品安全の実施当局の権限は強化され、また、食品加工業者が日常の品質や安全性の管理を迅速に行うことができるようになる。

#### b) 食品酵素

酵素には、食品・飲料産業における加工用および香料や添加物の生産用として多くの用途があり、いくつかの科学技術の発達、とりわけ、新規酵素や改良酵素、新規の生体触媒を生み出す酵素バイオリクター、酵素封入、タンパク質工学などによって、こうした用途が拡大する。

#### c) バイオプリザベーション

バイオテクノロジーによって、合成化学保存料を使用しなくても食品に保存性能を持たせることのできる生物系や組換え食品微生物が開発される可能性が出てくる。

#### d) バイオテクノロジーによる新たな食品

バイオテクノロジーは、菌類の発酵作用によって肉に似た食感を持つタンパク質食品を作り出すなど（マイコプロテインの開発など）、安価な材料から人間の食用レベルにあり、かつ健康によいイメージのあるまったく新しい食品を生み出す方法を提供している。

#### e) 植物細胞培養

植物細胞培養の技術を用いた遊離植物細胞の大量培養によって、さまざまな食品添加物や栄養素を作り出すことができる。

#### f) 微細藻類の培養

微細藻類（海草）は、昔から多くの国で人間の基本的な食物の一部となってきたが、さまざまな有用化合物の生産を目的として培養することもでき、そうした化合物の中にはヒ

ト用食品添加物や特殊栄養素として重要なものもある。

## 5．農作物の食品以外への利用

OECD 諸国の多くでは、農作物の食品以外への利用がすでに農業生産の 20 パーセント以上に達して経済的に大きな可能性を有しており、バイオテクノロジーの登場によってこの可能性は広がっている。農業原料の食品以外への利用にバイオテクノロジーを応用することに対しては、原油や食品の価格維持政策、遺伝子組換え植物に対する規制、生分解性あるいは「自然な」製品に対する国民の嗜好など、経済面、環境面の要因が影響を及ぼす。

食品以外への利用の重要性が高まっていることを証明するさまざまな例として、次のものがある。

### a) 木材およびエネルギー

木材をはじめとするバイオマスをエネルギーに変えるさまざまな技術のうち、バイオテクノロジーは、発酵によってバイオマスを液体燃料や気体燃料に変換する。

しかし、ガス化によるバイオマス発電はすでに価格競争力を有しているとの見方もあり、フィジビリティ・スタディでも化石燃料による発電より二酸化炭素の純排出量が少ないことが示されているように、バイオマスの生産が増加するか価格が低下すれば、バイオテクノロジーによるエネルギーへの貢献は大きくなる可能性がある。このことは、木材を原料とする他の多くの製品（パルプ、化学物質の代替品、構造材料）の生産を促すことにもなる。

### b) デンプンその他の多糖類

全デンプン類の半分以上は食品や飼料用として利用されているものの、バイオテクノロジーの登場によって、工業製品（紙、繊維、接着剤）に加工されるデンプンの量は増加すると考えられる。

### c) 炭化水素、石油、脂肪

最近では、天然ゴムや油分を含有する作物（石鹸、洗剤、塗料、潤滑油などに用いられる）への注目が高まっている。

#### d) その他植物、植物製品、動物性素材

急速に市場が拡大している観賞用植物、芝生、タバコ、綿、特定用途向け植物繊維の分野には、バイオテクノロジーの新技术を利用できる余地がある。一部の医薬品、農業用化学品、香料、香水といった植物製品や、皮革、羊毛、被毛、絹といった動物製品も向上する可能性がある。

#### e) 遺伝子組換え動植物由来の新規工業製品

遺伝子組換えの動植物を利用して作る新規タンパク質は、きわめて活発な研究分野の 1 つである（上記参照）。

#### f) 廃棄物処理

農業や食品生産の残渣や廃棄物、排出は汚染の大きな原因だが、新たに改良されたバイオテクノロジーによって処理することが可能で、有用な副生成品が生み出されることもある。

食品以外での利用は、先に述べた多くの科学（特に植物分野）の進歩の恩恵を受けている。バイオテクノロジーは、次のような例を通じて、さまざまに関与する可能性がある。

- 木材生産の促進や、品質向上を目的とした樹木の育種、クローニング、遺伝子組換え
- 生成物の抽出や変換（デンプン、油、脂肪など）を向上させたり、農業用化学物質を効率よく、環境への影響を抑えて製造できるように改良された酵素技術
- 繁殖を促進したり病害を持たない系統を複製するためのマイクロプロパゲーション（微細繁殖）技術
- 新規物質や改良された物質、あるいは汚染の少ない物質（油類、医薬品、農業用化学物質、タンパク質）を産生する植物を生み出すための遺伝子組換え
- 農業・食料分野での汚染物質の検出・監視のためのバイオセンサー

#### 6. 最新の傾向の比較展望



科学技術の進展のペースは、植物、動物、食品、非食品の各分野で同じだったわけではない。経済をはじめとする外的な制約は別として、市場に登場するバイオテクノロジーの数や実用化に要した時間がこの4つの分野で異なるのはそのためである。

食品分野は、この4つのうち最初にバイオテクノロジーによる新技術が誕生した分野であり（その一部は1970年代半ば）、最近まで、他の3つのどの分野と比べても多くの新たなバイオテクノロジーが実用化されていた分野である。その理由の1つは、食品・飲料分野の一部では、発酵や酵素の利用という「伝統的な」バイオテクノロジーがすでに確立していたことである。こうしたバイオテクノロジーを用いた近代的な加工法は、分子生物学革命や「遺伝子」革命以前に開発や実用化が行われ、消費者や規制当局に受け入れられた。続いて登場した「遺伝子工学」の進歩によって拡大したバイオテクノロジーの可能性は、もちろん現在も、特に消費者の信頼、食品の安全性、食品の成分や表示に関する規制基準にかかわる食品市場の著しい変化から大きな影響を受けている。

現在実用化されている新しい食品バイオテクノロジーとして、次のものをあげることができる。

- バイオテクノロジーによる新検査法
- 酵素やバイオによるデンプンの甘味製品への転換
- 食品香料・調味料
- 果汁加工
- アミノ酸その他の特殊栄養素
- 発酵による新たな構造の食品
- チーズ酵素、無乳糖乳製品
- ハイブリッド酵母

1980年代、動物分野は、それ以前に予想されていたよりも急速に科学技術の進歩が起きたように思える。1970年代や1980年代の初めには、特に遺伝学分野における障害やタイムスケールが過大に見積もられていたかもしれない。また、動物に関する研究とヒトの健康に関する研究の接点が拡大したことは、両者がともに進歩するのに役立っている。それと同時に、他の分野と比較して動物分野では、バイオテクノロジーの研究開発を遅らせる要因として、環境や安全性への懸念はさほど大きな障害にはなっていないかもしれない。

バイオテクノロジーの登場として最初のもの（新たな診断法）は、新たな食品バイオテクノロジーの一部と同じくらい早い時期（1970年代後半）に実用化された。現在、商品化されているものとして、次のものがある。

- 動物診断法
- 新規のワクチンや治療薬
- 体外受精胚
- 乳量の増加や成長促進のための下垂体（成長）ホルモン
- 動物飼料および飼料添加物

現在（1991年5月）のところ、rDNA技術による改変動物は、商業的農業には利用されていない。遺伝子組換え動物で唯一実用化されているのは、ヒトの疾病モデルとして用いられる実験動物（たとえば、癌研究のための「オンコマウス（腫瘍マウス）」）である。

植物分野では、次のようないくつかの新たなバイオテクノロジーがすでに実用化されている。

- 植物診断法
- 微生物殺虫剤
- 組織培養技術
- マイクロプロパゲーション技術
- 遺伝子マッピング技術

rDNAなどの技術によって遺伝的に改変され、植物で商業的農業への利用を目的として放出された植物はこれまでに1例もなく、微生物も、1991年にオーストラリアで認可された1例を除いて、実質的にはない（1991年10月現在）。

農産物の食品以外への利用の分野では、いくつかのバイオテクノロジー由来の製品やプロセスが実用化されている。

- 嫌気性発酵によるバイオマスのエタノールまたはメタンガスへの変換
- 樹木や観賞用植物の品種改良・繁殖技術
- 植物細胞培養技術
- 生成物の抽出・加工（デンプン、植物油など）や農業化学品の製造を目的とする酵素技術

こうした技術や類似の技術の一部は、食品や植物の分野にも属している。英国では1990年に製パン用の遺伝子組換え酵母の利用が承認されており、他に酵母の改良に細胞融合の手法が用いられている国もあるが、遺伝子組換え製品で商業生産されているものはないよ

うである（1991年5月現在）。

この4つの分野間には大きな違いがあるものの、きわめて共通した特徴がいくつかあることも明らかである。もっとも顕著なのは、最も初期に登場した（そして分野によってはもっとも普及し、有望な）バイオテクノロジーの利用が、ヒト（食品の汚染防止）と動植物（病気の診断や予防）の両方で特に新たな診断法を通じた健康の向上に重点が置かれているという点である。また、食品の生産でも食用の動植物の改変でも、遺伝子組換え技術がまだ実用化されていないことも共通の特徴である（1991年5月現在）。最後に、農業生産や食品生産への化学物質の投入を減らすことは、多くのバイオテクノロジーに共通する目標の1つである。

## 7. 今後の見通し

現在（1991年）実用化されているのは、技術的にはすでに可能なバイオテクノロジーのごく一部で、それほど大きな分野ではない。それらは、今後10年から15年のうちに実現する可能性のある数多くの技術のうちの、さらに小さな一部分である。

一部の分野では、量と質の両面で飛躍的に向上した新技術の登場が目前に迫っているが、その技術の持つ可能性が現実のものとなるのは、今後の実用化の途上にある安全性、国民による受容、産業上の諸問題が1990年代中に解消され、市場の力がこの新技術を後押しする場合に限られる。

食品分野では消費者の受容性の問題があるため、ごく近い将来に画期的な発展がある可能性は低い。科学的、技術的には可能な製品の一部は、1990年から1995年の間に実用化されるだろう。製パン用の遺伝子組換え酵母はすでに承認されており、特定の栄養素の必要を満たすための新しい食品、食品の着色料や添加物、高付加価値成分のための植物細胞培養や微細藻類培養がこれに続くだろう。

中期的にみると（1995年から2000年）このほかに、風味や品質を向上させるための遺伝子組換えの食品細菌、組換え食品酵素、食品加工用の新規生体触媒、通常でない食品環境のためのバイオ変換技術など、科学的、技術的には実現可能な製品が数多く市場に登場すると思われ、多くの食品汚染物質を迅速に検出するバイオテストやバイオセンサーの種類が増加する可能性が高い。

植物の分野での技術的变化はもっと急激になる可能性がある。ジャガイモ、綿、アブラナ、トマト、タバコおよび大豆の最初の遺伝子組換え体の小規模野外試験が行われており、

これらの種の遺伝子組換え植物のなかには、特定の除草剤、ウイルス、昆虫に抵抗性を持ち、商業的に価値があるものもあれば、品質を改良した形質を持つ植物もある。OECD 以外の国では、このほかに野外試験の対象となっている植物種もある。技術的には、一部の遺伝子組換え植物は 1995 年までに商品化される可能性がある。しかし、安全性基準や国民の懸念、遺伝子に関する研究開発をさらに行う必要性を理由とする遅れによって、2000 年以前に多数の遺伝子組換え植物が幅広い国々で実用化される可能性は低く、大きな影響を及ぼすようになるのは、2005 年を過ぎてからになると考えられる。この時期には、他の最新の植物バイオテクノロジーも広く利用されるようになるだろう。

動物の分野でも、安全性の確保や国民の受容性、産業・農業政策の問題を克服することができれば、2000 年までにはバイオテクノロジーが OECD 諸国の農業に早くも顕著な変革をもたらしている可能性がある。1995 年までには、新しい治療薬やワクチン（寄生虫予防など）とともに、疾病の発見や、繁殖力や精子の受精能の検査などのための新たな診断キットが数多く実用化されているだろう。食品添加物（アミノ酸など）や抗生物質、ルーメン微生物など、新たに実用化されるものが増え、最初の遺伝子組換え魚も市場に登場するかもしれない。

1995 年から 2000 年の間には、下垂体成長ホルモンの投与によって、成長が早く、肉質が向上し、牛の場合には乳汁生産が増加した豚や牛が商業的に開発されるようになるかもしれない。また、商業的に有用な遺伝子の動物への導入によって、病気に強いなど遺伝的に優れた動物の繁殖も可能になるかもしれない。

食品以外の分野は、どちらかという食品分野と同じで、原油価格の大幅な上昇や、化石燃料に対する炭素税の導入がない限り、急激な変化が起きるとは考えられない。既存または新規の製品（精密化学品、医薬品、酵素など）の製造向けの遺伝子組換え作物の商品化が実現する可能性もあるが、おそらく 2000 年以前にはないだろう。

## 8 . 科学技術上の障壁と優先事項

発展を妨げる外的な制約を繰り返し述べることによって、農業バイオテクノロジーの分野における科学面、技術面での多くの根本的な困難が見えなくなってしまう。限られた知識と研究開発への資金提供の不足は、この先 10 年間で克服すべきもっとも重大な障害であることに変わりはない。ここで示すのは、そのうちのごく一部である。

食用作物と非食用作物を含む植物分野では、基本的な植物生理学と生化学、さらに種の境界を超えた多重遺伝子導入の分野で相当な進歩が必要である。性質がよくわかっていて、

利用することのできる遺伝子の数が限られているため、作物の改良に役立つ新規遺伝子の不足は深刻である。科学者らは遺伝子付加の技術を身に付けており、1991年には大きな進歩があったが、遺伝子を効率的に置換するにはさらなる研究が必要である。

作物や樹木の多くは、遺伝的な性質が十分明らかになっていない。遺伝的に改変することのできる作物の数は少ない。遺伝子組換えがもっと進歩する必要がある主要農作物としては、小麦、マメ類、キャッサバ、米およびトウモロコシがある。病害抵抗性遺伝子に関する研究は、特に優先度が高い。

遺伝子組換え細胞から植物全体を再生するのが難しいことも障害になっている。食用作物を食用以外の作物と比較すると、研究開発の関心が前者に集中して後者がおろそかになっているように見受けられ(一部、綿とタバコを除く)、是正が必要とされる不均衡を生んでいる。

植物遺伝学は別として、農業用途の微生物の遺伝子組換えはまだ端緒についたばかりであり、これまでのところ、この重要な分野での実際の成果はほとんど上がっていない。

この急を要する植物分野はもとより、生態系の分野における我々の知識は未だにあまりにも乏しく、さらに大きな前進が必要である。

動物の分野でも、植物分野と同様、有用な遺伝子のごくわずかしが特定されていない。疾病抵抗性遺伝子の特定、ある遺伝子のスイッチがどのように、また体組織のどこで入ったり切れたりしているかを見つけること、動物ゲノムの染色体上のどこにその遺伝子があるかを見つけだすことなど、多くの研究が必要になる。

遺伝子組換え動物を作り出すために現在行われている手法は、まだきわめて難しい。さらに、ある特定の動物の成体の複製を複数作り出すことには、未解決の生物学上の基本的問題が残されている。

食品分野でも、バイオテクノロジーには、基礎研究の不足からくる科学上、技術上の弱点がある。全体としては食品の分子構造や機能について理解を深めると同時に、具体的な技術の応用、収量、加工の純度、植物細胞による生成物の分泌などに関する知識の向上など必要な進展は数多くある。

農業バイオテクノロジーの全領域を網羅した研究開発の優先順位を決定することは難しい。大部分は、政策目標の広がり依存する。バイオテクノロジーは、多種多様な、場合

によっては相対立する目標を推進するのに使われる可能性がある。その目標が、途上国と先進国の両方で栄養価の高いタンパク質の供給を迅速に増やすことであれば、まず魚類に関するバイオテクノロジーの研究開発を強化することに取り組むことになるかもしれない。化学的な除草剤や殺虫剤、化学肥料を代替することが目標であれば、特定の植物や微生物に関するバイオテクノロジーへの支援を強化することが必要になるだろう。OECD 地域における農業の経済調整を促進するのが目標であれば、農作物の食品以外への利用が促進されることになるかもしれない。

## 9 . 産業戦略と制約

農業・食料関連のバイオテクノロジーが持つ可能性を製品やプロセスに結びつけることは、何よりもまず産業上の問題である。本報告書のために欧州、米国および日本で行われた農業・食料関連産業に関する調査（1990年）をみると、農業・食料関連のバイオテクノロジーは、直接的か間接的かを問わず、資源の投入に関しても市場に関しても世界的な視野を持つ大手多国籍企業による支配が強まっている。ただし、その活動は、専門化したニッチ市場で成功している多数の小規模なバイオテクノロジー企業の機会を縮小させるものではなく、むしろ拡大する可能性もある。

農業・食料関連のバイオテクノロジーが経済的に持続し、普及するか否かは、農業・食料関連産業における主導的な産業がこれを採用するか、そして、これが産業の競争戦略にうまく組み込まれるかどうかによって決まる。この関係は、農業・食料関連産業のあらゆる段階と分野にかかわる多くの具体的な問題に影響する。

### a ) 具体的な課題

#### 高度の不確実性

農業・食料分野でのバイオテクノロジーの技術革新には、高度の不確実性が伴う。これは、ひとつには、消費者の反応や安全性に関する議論、知的財産権保護に関する不確実性によるものであり、また、利用することのできる科学的、技術的手法が無数にあり、往々にして競合することとも関係している。そのため、これまでに述べた数々の科学的発展が、産業における決定の複雑な枠組みに組み入れられる必要がある。

#### 高品質の製品やプロセス

OECD 地域における農業・食料市場では、2つの流れが優勢になっている。つまり、従来

型の販売ルートの不振、そして、食品と、医療、栄養、環境、安全または利便性のための新たな（時には相矛盾することもある）需要と食品とを結びつけている需要の著しい再構築である。その結果、農業・食料関連バイオテクノロジーの開発戦略では、コスト削減のための利用よりも高品質の製品やプロセスを志向する傾向にある。各種の分野（種子、飼料、甘味料）においてはコスト削減が依然として重要な目標の1つであるが、各企業は、単にコストが削減されることを理由に正当化される開発戦略を変え、定義はどのようなものであれ、高品質をもたらす戦略を優先していることが多い。

### 協力の新しいパターン

消費者の受容性に対する懸念の重要性が高まり、品質重視の傾向が強まるにつれて、農業・食料関連産業（サプライチェーン）の各段階の経済主体の間で、新しい協力パターンが生まれている。このサプライチェーンの各レベルでバイオテクノロジーによる新技術の導入を成功させるには、川下の生産者や消費者との話し合いが必要である。これには、開発コストを回収するために、サプライチェーンの各主体によって付加された価値を割当てたり配分するという難しい問題が含まれる。このように、バイオテクノロジーは、農業・食料関連産業のさまざまな段階を一体化させる活力になってきている。

### エンドユーザーの役割の重要性

不確実性を解消すること、品質に重点を置くこと、そしてリスクとメリットを共有するための新たな形の協力関係を培うことの必要性は、エンドユーザーが他企業であれ、最終消費者であれ、すべてエンドユーザーの需要への対応を強化できるかどうかにかかっている。

### b) 分野

#### 作物

この分野では、種子市場の再編が主な焦点になっており、その結果、農業化学部門の統合が強化されている。

開発戦略では、除草剤や植物のウイルス抵抗性、バイオ殺虫剤、殺菌剤など、ハイブリッド植物や作物保護のバイオテクノロジーに重点が置かれている。

新製品のマーケティング戦略のなかで、伝統的な遺伝子技術を提供するという戦略は危

うくなってきており、種子市場をコントロールする戦略、あるいはもっと重要なものとして、この産業の付加価値を捉えるために、より川下の農産物生産市場に進出する戦略へと移行しつつある。

## 畜産・水産

農業・食料関連産業の畜産・水産分野では、あらゆる段階（飼料作物、飼料、消化過程、保健、生育、繁殖）でバイオテクノロジーが発展しており、中小企業にとっては診断薬やワクチンが大きな分野になってきている。主要タンパク源（牛肉、家禽類、豚肉、魚）の工業化の度合いが一様でないことは、バイオテクノロジーを産業戦略に組み込むための方法が非常に多岐にわたることに表れている。

しかし、大手企業は消費者の受容性や反応に敏感で、下垂体ホルモンや動物の遺伝的改変などのバイオテクノロジーを取入れることに慎重になっている。

## 中間生成物と一次加工

この部門の主な製品は、酵母、乳製品加工のスターターカルチャー、酵素、そして香味料、香料、着色料など各種の食品添加物である。酵素には代替の可能性が二重にあると考えられる。つまり、従来 of 科学的な抽出過程を代替する場合と、基本的な原料を農産物の代替品に変える場合である。

## 最終食品

この分野の開発戦略は、見込まれる消費者の反応と、バイオテクノロジーによって食品の品質が向上する可能性という2つの問題によって左右される。この産業は、2つの戦略的課題に直面している。すなわち、企業は、農業・食料関連産業内での後方統合の種類と程度、つまり、原料や農業原料の仕入先との提携について決定する必要があり、また、社内および他社と共同でのバイオテクノロジー研究開発への関与の仕方についても決定しなければならない。特に遺伝子組換え製品の分野においては、消費者の反応と技術以外の圧力が、産業の技術革新に影響を及ぼすことになる。

### c) 地域

#### OECD 地域



大手の農業・食料関連企業の主な特徴は、競争戦略のグローバル化である。これは、個々の企業の競争力やさまざまな形での研究開発協力と比べて、農業・食料関連バイオテクノロジーに関する「開発風土 ( innovation climate )」の国による違いがあまり重要でなくなっているということの意味する。

日本の農業・食料分野は相変わらず違いが顕著であり、消費者のオープンな考え方や発酵技術が持つ可能性の活用の幅を広げることによって恩恵を得ており、その結果、食品部門と医薬品部門との有益な相乗効果が生まれている。

#### 発展途上国

近年、農業・食料関連のバイオテクノロジーによって、熱帯作物の需要が減少し、各種原材料の供給基地間の競争が刺激される可能性について懸念が表明されている。

バイオテクノロジーが発展途上国に及ぼす影響に関する最近の調査では、それほどの懸念は示されていない。産業のグローバル化の進展によって、地域や国内での需要減少（代替）の圧力は低下しており、少なくともそれを左右するのはコスト以上に、栄養や健康に関わる理由である。後者は、それ自体が途上国の農産物に不利に働くことはない。さらに、天然添加物への需要の増加によって、代替による途上国の損失は部分的に埋め合わされる可能性もある。

都市化した途上国は、農業・食料関連のバイオテクノロジーの長期における主要市場と考えられている。しかし、多国籍企業による農業・食料関連バイオテクノロジーの支配がもたらす制度的、法的な影響がある。たとえば、各企業は、知的財産権に関して、現在多くの途上国で与えられているよりも手厚い保護を求めている。

#### d ) 政策的意味合い

農業・食料関連企業は、不確実性の度合いを低めるために、安全性原則や知的財産権に関する国際間の調整を進めることにもっと高い優先順位が置かれることを期待している。

研究開発政策では、品質の向上に重点を置き、農業・食料関連産業の各段階で活動する経済主体間に新たな協力パターンが形成されるのを促すべきである。

特定の市場や需要に合わせて製品を作ることのできるバイオテクノロジーの柔軟性を十分に活用するために、消費者の関心をもっとうまく製品に組み込むべきである。そのため

には、消費者の関心を単に受け止める姿勢ではなく、参加型の視点が必要である。

技術移転のための手続きや制度では、民間の大企業が持つ中心的な役割を考慮しなければならない。

## 10 . 国民の受容性と知的財産権

産業界や政府に関する制約のなかで、農業・食料関連バイオテクノロジーの発展や普及を遅らせるものとして、安全性の確保とともに挙げられることがもっとも多いのは、国民の受容性と特許権の保護である。両者は政治的、倫理的という全く別の領域に属している。

### a ) 国民の受容性

意識調査の公表数が増えているわりに、農業や食料に関わるバイオテクノロジーに対する国民の意識や、消費者の懸念の正確な理由を分析することは難しい。

これまでの調査は、農業・食料分野と他の分野でのバイオテクノロジーの利用を必ずしも区別していなかったため、国民は往々にして、バイオテクノロジーを遺伝子工学やヒトの生殖技術と混同したり、関係のない食品の安全性や公衆衛生に関する懸念と結びつけていた。

バイオテクノロジーに対する国民の受容は、国、性別、教育水準、宗教的な習慣などによって大きな違いがあり、定量的な調査では時として矛盾する結果が出ている。

もっとも大規模な調査の1つとして、EC加盟12カ国における意識を比較した調査が1991年に実施された(「ユーロバロメーター」)。これによると、教育水準、個人所得およびGNPとバイオテクノロジーに対する認識は明らかに相関関係があり、さらに重要なことに、バイオテクノロジーへの好意的な考え方と、これに関する客観的な知識も明らかで、そして正の相関関係があることが示されている。

ただし、もっとも教育水準の高いグループがバイオテクノロジーをもっとも受け入れていることが示されている場合でも、農業・食料関連のバイオテクノロジーに対して政治的にもっとも反対している人々がこのグループに属するということも見逃してはならない。農業・食料関連バイオテクノロジーへの反対の多くは、環境保護主義者の懸念が拡大したことの環として広がってきており、主に教育水準の高い人々の間にみられる。

このことから、政府や産業界は、農業・食料関連のバイオテクノロジーについて国民にもっと情報を与える必要がある。さらに、専門家や既得権益を持たない人々の参加を得て、この情報の客観性を評価することも求められる。規制の有効性に対する国民の信頼を大幅に高める必要がある。

## b) 知的財産権

農業・食料分野のバイオテクノロジー発明に対して特許による保護が十分に行われていないことは、依然として産業界の重大な懸念の1つである。しかし、この数年で法律やその適用に変化が生じており、農業・食料分野の製品やプロセスの特許性が認められるようになってきている。

主な問題点は、一部の発明に対する特許性が認められないことから、発明や普及への支援に積極的でないOECD諸国の間に法律の相違が生じているということである。

欧州では近年、遺伝子組換え動植物に対する法的な保護を米国や日本の水準にまで高めようという取り組みをECが行っているにもかかわらず、この2つの国のような直接的な保護は行われていない。米国が、特許性の基準が満たされていれば動植物に対する特許を認めているのに対し、欧州の法律は、欧州特許条約に基づき、動植物の品種の特許を原則として禁止している。

欧州の植物育種者らは、さまざまな手段を通じて法的な保護を強化する必要があることを現在は受け入れており、当初は一部に反対もあったが、遺伝子組換え植物を特許で保護することには一定のメリットがあることを理解している。しかし、動物の特許に関する欧州の法律の立場はそれほど明確ではない。動物分野の特許への反対は、いまや法曹界ではなく、主に動物の権利や環境保護運動によるものである。

## 1.1. 経済的な影響

農業・食料関連バイオテクノロジー開発の現段階において、見込まれる経済的影響を評価しようというのは危険な試みに見えるかもしれない。とはいえ、バイオテクノロジーがもたらす収量の増加に関する定量的な予測もいくつか公表されており、ほかに、長期的な影響の見込みや可能性を定性的に評価することは可能である。また、ウシ成長ホルモン(bST)というバイオテクノロジー製品に関しては、経済的な影響について事例研究を行うことが可能であり、これについての定量的な経済予測が数カ国で行われてきた。しかし、現行の評価はまだ限定的かつ断片的であり、根本から改善する必要がある。

#### a) 不確実性と方法上の欠陥

政府の政策や経済の全般的な傾向（そのどちらも簡単には予想できない）は、バイオテクノロジーと農業の相互関係に大きく影響を及ぼす。ガット交渉の現段階（1991年5月現在）において、今後の農業補助金や価格政策を予想することは特に難しい。農業保護政策や高価格の撤廃は、バイオテクノロジーの開発や普及に影響を及ぼすだろう。構造が変化したり移行する間、高価格の国や分野（牛乳、砂糖など）では、価格の低下によってバイオテクノロジーの開発や普及のペースが鈍ることもありうる。しかし、効率の向上が確保されることによって、結果的にはその後の技術革新の採用が早まるかもしれない。また、農業原料の投入やコストの削減によって、バイオテクノロジーが農業の構造変革を促す可能性もある。

バイオテクノロジーというのは単独の技術ではなく、技術的な実現可能性や収益性などがそれぞれ異なり、したがって、経済に及ぼしうる影響も大きく異なる幅広い技術である。

農業・食料関連のバイオテクノロジーのなかには、消費者の受容性、環境面や安全面の懸念および知的財産権の保護に関連して特有の問題に直面しているものもある。経済的影響に関する評価では、そうした外部的な制約を経済的に内部化することに十分な関心が払われていない。

バイオテクノロジーによってもたらされる品質の向上は、その重要性がすでに言及されてきたが、集計的な経済分析では評価されておらず、ひいては影響評価にも組み入れられていない。

#### b) 農業・食料関連バイオテクノロジーを取りまく状況の広がり

影響評価の別の限界として、影響評価の範囲が農業部門にとどまっていたり、農業・食料関連産業の川上と川下の部門が考慮に入れられていないことである。しかし、農業部門と比較したこの部門の経済的なウェイトは大きく、着実に増加している。バイオテクノロジーが農業・食料関連産業全体に影響を及ぼすにつれて、サプライチェーンの一方でのマイナスの影響は、他方でのプラスの影響によって埋め合わされる可能性もある。

バイオテクノロジーと長期的な世界の食糧供給の関連は、明確に把握されていない。全体として、現在ある世界の食糧供給の一般的な予測を見ると、少なくとも途上国においては、現在の「最優良事例（best practice）」で用いられた技術によって生産性が持続的に

上昇することに関して比較的楽観的である。しかし、「最優良事例」の技術が広範囲に広がるには、それ以前からある技術の大幅な変更や普及と同時に、制度や政策の世界規模での調整が必要になる。バイオテクノロジーは、低いコスト（環境コストも含む）で世界の食糧供給を十分に満たすという目標を達成するためのさらなる選択肢となる。

#### c) 生産

米国や欧州向けに公表された農業生産や市場の需給に対する影響の集計的な評価では、バイオテクノロジーは、単位生産当たりのコストの削減（化学物質の削減など）あるいは単位投入当たりの収量の増加を通じて、生産性の向上に大きな可能性を持つことが明らかになっている。しかし、先進工業国においては、たとえば、それ以前からある技術的な要因が弱まることによって、生産性の上昇が抑えられることが予想され、こうしたバイオテクノロジーの影響の一部が相殺される可能性が高い。すでに一部の部門では、こうした現象が認められる。

bST に関する具体的な影響評価をみると、ある製品が生産性を大幅に向上させる技術的可能性を持っており、それが農業の一大部門に関わるものであっても、その主な直接的な成果は（割当て方式においては）生産性の向上ではなくコスト削減になることが示されている。仮に生産性の向上があるとしても、それにはしばらく時間がかかり、全体としてみると、当初期待されたよりも小幅なものになるだろう。最近の予想では、予想される生産性の向上は 10～16 パーセントだが、これが達成されるのは直ちにはではなく、5 年から 10 年先とされている。したがって、以前、牛乳の生産が 25～40 パーセント増加すると予想され、さらなる余剰への懸念を招いているが、この予想は試験中の個々の牛にはあてはまるかもしれないが、一般的な経済予測としてはかなり誇張されたものだった。

しかし、もっと長い期間でみたとき、bST に収益性が見込めれば（まだすべての状況にあてはまるわけではない）この新製品が乳汁の生産や農場の組織に大きな影響を及ぼす可能性はある。

#### d) 価格

バイオテクノロジーは、他の技術的変革と同様、食料価格に対する引き下げ圧力となり、ひいては農場や雇用水準の構造的変化の原因となる。農産物を原料とする高品質食品や食品以外の製品の市場が新たに形成されることによって、この下方圧力が緩和されることもありうる。

バイオテクノロジーは、農産物を原料とした食品以外の製品の開発において主導的な役割を果たす可能性があるものの、農産物の生産者出荷価格を支持する政策や、再生不能資源の価格が長期的な稀少性を十分に内部化していないという事情もあり、そうした製品への転換が阻まれている。

#### e) 農業・食料部門の構造

バイオテクノロジーは、農業の上流部門と下流部門との垂直統合の強化に向けて進行中の農業・食料部門の構造的変化を加速することになる。バイオテクノロジーの普及率は、経営の質とともに増加すると予想されるが、これは、農場の規模（エーカー数ではなく、収益性で測ったもの）も拡大する可能性が高いことを意味する。バイオテクノロジーは一般に、農業の上流部門と下流部門、さらに農業そのものにおける統合を促す傾向がある。

当面は、こうした統合プロセスによって農業投入財価格にどのような影響が及ぶのかを評価することはできない。こうしたプロセスを監視し、上流部門と下流部門に対する農業の交渉力を強化することが必要かもしれない。

#### f) 貿易と競争力

国際間の貿易と競争力は、貿易政策がそれを容認するならば、バイオテクノロジーにおける高い能力と自立経営農家の両方を持つ国に最終的にはシフトするかもしれない。経済的影響はかなりのものになりうる。米国における高果糖コーンシロップ（HFCS）の例は、過去においてインセンティブが十分にあれば新たなバイオテクノロジーへの適応のスピードはきわめて速くなりうることを示しているが、砂糖のHFCSによる代替が急速に加速してきたのは、先進国における糖価維持政策によるものである。

貿易と競争力のシフトは、途上国にとってプラスにもマイナスにも影響しうるため、監視が必要である。過去数年間にわたって表明されている途上国全般にマイナスの影響が及ぶ危険性は、おそらくは過大評価されている。

#### g) 雇用

バイオテクノロジーは、農業部門における総雇用者の割合を低下させる長期的、継続的な傾向の一因となると考えられている。バイオテクノロジー分野を国際的に主導するメーカーが国際市場でのシェアを拡大し、それを容認する貿易政策が取られた場合、農業部門での雇用を削減する可能性がある。しこれは、より多くの雇用を失うことになる途上諸国

の犠牲の上に成り立つことになり、世界的にみた総合的な影響がプラスになる保証もない。雇用の減少は、食品関連サービスなどの川下部門での新規雇用によって部分的には相殺される可能性もある。

#### h) 農業政策

バイオテクノロジーは、現在の農業政策における主要問題のほとんどに何らかの形で関係していたりあてはまる。バイオテクノロジーがある問題のまさに核心である場合、たいていは、バイオテクノロジーは新たな、よりよい解決法を提供するか（化学物質や要素投入量の削減、食品汚染の軽減、途上国向けの食品の増加）、問題を悪化させるか（市場の需給関係、雇用の減少、統合の強化）、あるいはこれらが同時に起きている。

バイオテクノロジーは、農業や食糧生産の技術的な変化にとってますます中心的な存在になる可能性が高いため、農業政策はこれに対応し、継続的にこれを役立てる必要がある。重要なのは、農業におけるバイオテクノロジーが単に世界的な問題の1つではなく、個々のケースに応じて異なる取り組みが必要なものだということである。

#### 12. 政策に関するまとめ（専門家、およびバリー・クロス卿を座長とする作業部会が作成）

1. バイオテクノロジーは、食品および非食品向けのあらゆる植物、動物および微生物に利用することが可能であり、農産品の品質と効率を大きく向上させる機会を提供する。

2. 農業・食料関連のバイオテクノロジーの登場は、文明世界の至るところで行われた動植物育種における伝統的な遺伝的改変の延長だが、さらに進歩していくかどうかは、それが生まれる基となった基礎科学の支えがあるかどうかによって左右される。

3. 今後数十年の間、農業・食料関連バイオテクノロジーは、急速に拡大する人口に対応し、世界の経済厚生や社会福祉に重要な貢献することができる。

4. バイオテクノロジーには、一部の農業技術や森林伐採、気候変動がもたらす環境へのダメージを抑える力がある。

5. 以前の否定的な予想とは反対に、今後10年間におけるOECD地域での農業・食料関連バイオテクノロジーの普及は、社会構造や雇用を不安定化する大きな影響なしに、緩やかに進行する。

6. バイオテクノロジーと安全性の問題に関する国民の認識は、依然として産業界にとっての不確実性を生み出す重要な要因であり、政府、科学界、産業界、マスメディア、国民の間のコミュニケーションを向上させて対応しなければならない。

7. 農業・食料関連バイオテクノロジーは、発展途上諸国の保健や繁栄にきわめて重要な貢献をする可能性があるため、OECD と途上諸国が協力して、途上国が自国のバイオテクノロジーの能力を構築することができるような、研究、知的財産権、安全性その他に関する政策を立案することは、この両者の利益になる。

#### バイオテクノロジー、政策およびその将来

世界的な核戦争の可能性が薄れるにつれ、今後 40 年のうちに倍になると予想される世界人口の食糧問題は、その責を負う政府に大きくのしかかるに違いない。世界の人口が食料供給よりも速く増加するという 2 世紀前のロバート・マルサスの予測は、機械化や肥料の使用によって農業生産性が飛躍的に向上したため、現実にはならなかった。現在の農業システムは、先進国において地域的な余剰を生み出す力はあるものの、2030 年についての予測では、まだ世界の 4 分の 1 の人々は飢えた状態のままであり、この人々の胃袋が満たされる見込みはほとんどまたはまったくない。さまざまな形のバイオテクノロジーは、人類や地球環境の壊滅的な疲弊を回避するための頼みの綱になるかもしれない。

考えようによっては、バイオテクノロジーには製パンや醸造と同じくらい長い歴史があるが、大きな飛躍を遂げたのは、核酸 (DNA や RNA) の本質や機能が明らかにされ、遺伝情報の解明や組換え DNA 技術につながった 1950 年代である。その後、1970 年代や 1980 年代には、遺伝子を細菌内で大量に生産し、作成したコンストラクトを細菌や酵母だけでなく、動植物にも導入して、従来の育種によっては手を加えることのできない有用な性質を作り出すことが可能になった。こうした画期的な進歩は、生命科学を、生物をコントロールする高みに押し上げ、不妊、栄養不良、病害虫、エネルギー不足、環境の悪化など、地球上の生命にとって解決が困難な多くの問題を一掃する手段を見つけることができるという確信をもたらしている。

本書においてバイオテクノロジーという用語は、1982 年に OECD が行った定義と同じ意味で用いられる。つまり「人類の利益となる商品およびサービスを生み出すために、科学的、工学的な原理に基づいて生物、生物系、生物プロセスを応用すること」(Biotechnology-International Trends and Perspectives、21 ページ) である。このよ



うに、この定義は、遺伝子工学、つまり遺伝子の作成や生物への導入よりも広く、モノクローナル抗体の作製などで行われるような細胞や胚の操作も含まれる。バイオテクノロジーとは独立した1つの科学ではなく、遺伝学、分子生物学、生化学、発生学、細胞生物学といった専門領域が混ざり合ったもので、これを化学工学や情報技術、ロボット工学など実用的な学問分野と結びつけることにより生産的なプロセスに変えたものだということを認識することが重要である。

バイオテクノロジーは、イデオロギー的には中立である。バイオテクノロジーを利用して推進できる目標として、次のように対照的なものがある。すなわち、農業で生産量を増加させることと原材料を削減すること、贅沢品を生産することと生活必需品を生産すること、除草剤や殺虫剤を代替することとそれらをより効率的に効かせること、後進国において純種の家畜を改良することと在来種を普及させること、穀物を生分解性プラスチックに変換することとメタノールや燃料に変換すること、家畜では成熟を早め、バツタや養殖サケでは性的成熟を抑制すること、栄養が高く風味のよい食品を生産することと細菌汚染の検査法を考案すること、作物を肥沃な温帯向けに改変することと半乾燥帯向けに改変すること、外来のウイルス性疾患と闘うことと絶滅危機種の個体群を増やすこと、「温室効果ガス」の生成を抑制することとこれを食糧生産に利用すること、特定の市場向けに食用動物のクローンを作製することと遺伝的多様性を維持するために胚バンクを作ること、である。のちの節では、バイオテクノロジーの用途がいかに広いかを示す多くの例を示す。

もちろん、技術的に実現可能性があることと、現実に達成されることとは異なる。バイオテクノロジーを最大限に活用するには、知識ベースがつねに拡大していくことが必要である。動植物の有用な遺伝子は、現在までのところ、ごく少数しか特定されておらず、それらの遺伝子の発現をコントロールするスイッチとなる複雑な分子機構についてさらに研究する必要がある。窒素固定作物など多くの妙案は、基礎的データの不足のために挫折することもありうる。もっとも求められている技術革新の1つは、小麦、マメ類、キャッサバ、トウモロコシ、米といった主要な食用作物以外の作物を遺伝的に改変する有効な手法である。残されている科学上の問題がいずれ解決されることは疑いがないが、それは裏付けとなる科学研究に対する支援が行われてはじめて可能になる。

今後20年のうちにバイオテクノロジーによってどの製品やサービスが実現するかは、産業界の取り組みと同じくらいに、科学上の新発見による後押しと、資金を提供する当局が考える問題解決の優先順位によって左右される。経済上、政治上、倫理上、社会上の優先順位の間綱引きについてはのちの節で検討するが、ここで2つの明瞭な問題を指摘することが有用である。第1に、最先端のバイオテクノロジーのほとんどすべてが富裕なOECD諸国で生まれたものであること、第2に、保健や食糧供給にきわめて緊急の課題を有する

のは、OECD 以外の、東欧、そして特に熱帯および亜熱帯地域の国々だということである。以前の一部の開発プログラムのように一方的ではないパートナーシップの形を模索することが望ましいと思われる。この点に関連して念頭に置いておくべきことは、計り知れない価値を持つかもしれない遺伝子の多くは、先進諸国において自然には生じない動植物だけに存在しているのかもしれないということである。たとえば「温室効果」によって気候変動が起きた場合、これがどれほど重要なことになるかは誰も予想することができない。

生物圏の分子機構に関する卓越した知見は、あらゆる形でのバイオテクノロジーを可能にしてきたが、これが困難な問題を作り出すのではなく、世界の諸問題の解決にほんとうに役立つようにする重大な責任は、私たちすべてにある。これには、現代の科学者や技術者の最善の努力と、政治家の大いなる見識が必要になる。なかでも、農業・食料分野におけるバイオテクノロジーの本質や可能性について、国民の理解を向上させることは急務の課題である。本書のあとに続くものが、そうした理解に役立つことを期待する。