



概要書

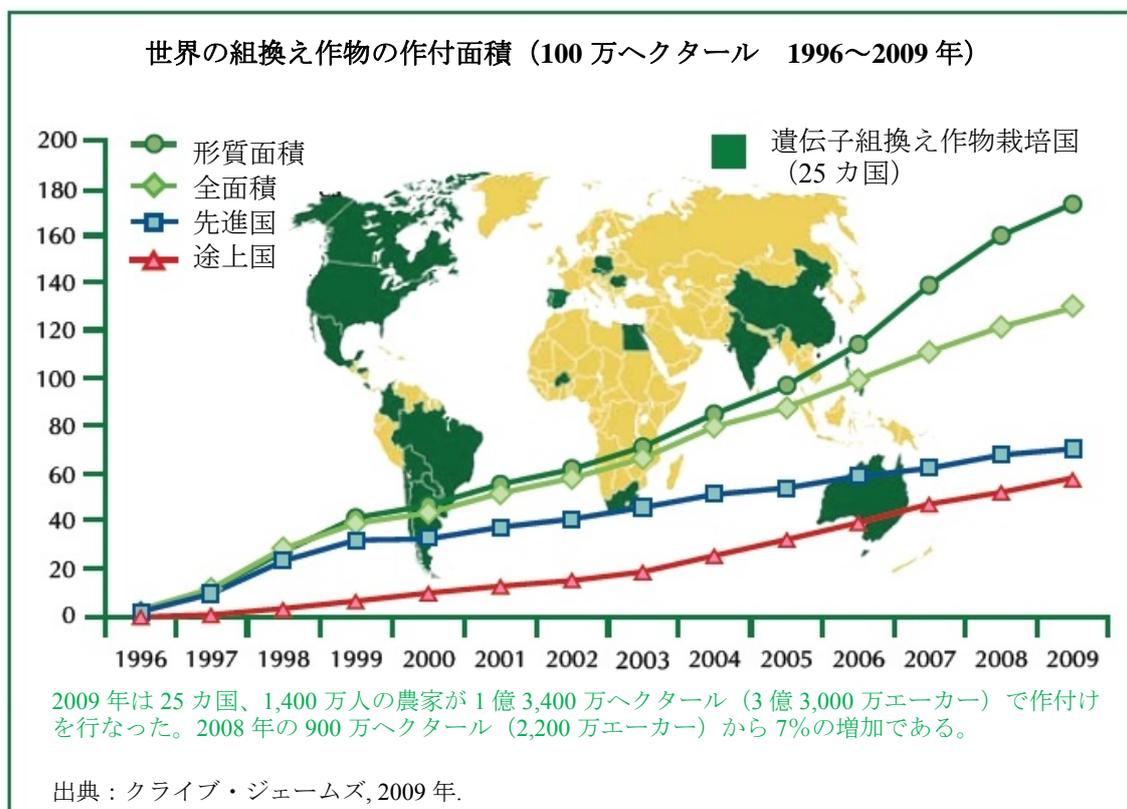
(報告書第 41 号)

世界の遺伝子組換え作物の商業栽培に関する状況：2009 年

著者

クライブ ジェームズ博士
ISAAA 創設者・理事会会長

ISAAA 創設を後援したノーベル平和賞受賞者、
故ノーマン ボーローグ博士に捧ぐ



筆者注：

遺伝子組換え作物の商業栽培に関する面積などの数値は〈および〉の記号を用いて 100 万ヘクタール単位に切り上げ・切り下げた概数になっているため、個別の数値、総計、パーセンテージの予測にはわずかに相違が見られ、かならずしも合計が 100 にならない。また南半球での栽培は暦年の第 4 四半期であることに注意されたい。本概要書で報告されている遺伝子組換え作物の栽培面積は植え付けについてのものであり、かならずしも収穫面積ではない。したがって、たとえばアルゼンチン、ブラジル、オーストラリア、南アフリカ、ウルグアイにおける 2009 年の情報は、2009 年第 4 四半期に植え付けが行なわれ、2010 年第 1 四半期に収穫されるものが対象である。またフィリピンのように、1 年に収穫期が 2 回以上ある国もある。ブラジルやアルゼンチンなど南半球の国々の数値はあくまで予測であり、本報告 f 書は収穫期前に出版されるため、実際の数値は天候などの要因で上下に変動する可能性がある。ブラジルの場合、2009 年 12 月最終週から 2010 年 1 月、2 月に植え付けが行なわれた冬のトウモロコシ（サフリーニャ）は、植え付け初日を基準に収穫年度を決定するという方針にしたがって 2009 年の作付けに分類しているエグゼクティブ・サマリーに列記されている参考文献の詳細は、報告書 41 号で見ることができる。

概要書：エグゼクティブ・サマリー

報告書第41号

世界の遺伝子組換え作物の商業栽培に関する状況：2009年

著者

クライブ ジェームズ博士

ISAAA 創設者・理事会会長

ISAAA 創設を後援したノーベル平和賞受賞者、故ノーマン ボーローグ博士に捧ぐ

共同スポンサー： ブッソレラ・ブランカ財団 (Fondazione Bussolera-Branca) (イタリア)
イベルカハ (Ibercaja) (スペイン)
ISAAA

ISAAA は、本概要書の作成と発展途上国への無償配布に対するブッソレラ・ブランカ財団およびイベルカハからの助成金に深く感謝する。遺伝子組換え作物に関する情報と知識を科学界および社会に提供し、世界の食料、飼料、繊維および燃料の確保と、持続可能な農業に資するこれらの作物の役割について透明かつ活発な議論をうながすことが、本概要書の目的である。概要書において示された見解、および脱落や解釈の誤りの責任はすべて、共同スポンサーではなく著者に帰する。

発行者： 国際アグリバイオ事業団 (ISAAA)

著作権者： ISAAA2009。無断複写・転載を禁ず。ISAAA は概要書第 41 号の情報を世界で共有することを奨励するものであるが、この刊行物のいかなる部分に対しても、著作権者の許可なく、電子的、機械的ないかなる形式あるいはいかなる手段においても複製、記録などを行なうことを禁ずる。教育あるいはその他の非商業的目的でこの刊行物およびその一部を複製する場合は、ISAAA の承認のもと、しかるべき謝意を表わして行なうことが望ましい。

出展： James, Clive. 2009. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2009. ISAAA Brief No.41. ISAAA: Ithaca, NY

ISBN: 978-1-892456-48-6

刊行物の注文および価格：複製については、ISAAA SEAsia Center (publications@isaaa.org) までご連絡ください。ジョン・ベネット博士による特集「遺伝子組換えイネ — その現状と将来の見通し」を含む概要書第 41 号および要旨の完全版ハード・コピーは、宅配業者による速達便料金を含めて 50 米ドルにて <http://www.isaaa.org> からオンライン購入も可能です。開発途上国で本刊行物を必要とされる方は無料です。

ISAAA SEAsiaCenter
c/o IRRI
DAPO Box 7777
Metro Manila, Philippines

ISAAA に関する情報： ISAAA に関するお問い合わせはお近くのセンターまでご連絡ください。

ISAAA AmeriCenter 417 Bradfield Hall Cornel University Ithaca NY 14853, U.S.A.	ISAAA AfriCenter PO Box 70, ILRI Campus Old Naivasha Road Uthiru, Nairobi 90665 Kenya	ISAAA SEAsiaCenter c/o IRRI DAPO Box 7777 Metro Manila, Philippines
---	--	---

電子メール： info@isaaa.org までお送りください。ISAAA の全概要書の要旨は、<http://www.isaaa.org> でご覧になれます。

要旨

世界の遺伝子組換え作物の商業栽培に関する状況：2009年

最初の14年（1996年から2009年）

目次

はじめに	7
中国が Bt（害虫抵抗性）イネと高フィターゼトウモロコシ承認を歴史的に決断	7
2050年の世界の食料供給の課題.....	8
従来技術とバイオテクノロジーの両方で農業を支援し、「現実的かつ持続可能な形で作物生産性の集約化」をめざす	9
遺伝子組換え作物の栽培面積は2009年も堅調に増加 — 4大作物で過去の記録を塗りかえ、他の分野でも著しく前進	10
2009年の遺伝子組換え作物栽培面積は1億3,400万ヘクタールに — 1996年から2009年までのあいだに80倍と、農作物栽培技術としては最速の普及、2008-2009年の間では7%、900万ヘクタールの増加	11
スタック形質を11カ国が栽培 — うち8カ国が開発途上国	13
遺伝子組換え作物を栽培する農業生産者は70万人増えて1,400万人に。そのうち90%、1,300万人は発展途上国の小規模で資源に乏しい農業生産者.....	13
2009年には25カ国が遺伝子組換え作物を栽培 — うち10カ国を中南米諸国が占める ..	14
2009年は2008年の高い採用率をさらに上回って、遺伝子組換え作物の栽培面積が増加 ..	14
ブラジルがアルゼンチンを抜いて、遺伝子組換え作物の世界第2位の栽培国に	14
インドは2002年から09年までの8年間に、Btワタから大きな恩恵を受けた。インド初の遺伝子組換え食用作物であるBtナスも商業化推奨される.....	14
アフリカ（南アフリカ、ブルキナファソ、エジプト）では継続的な前進が見られた（ページ番号なし）	
遺伝子組換え作物に占める発展。途上国の割合が50%近くに達し今後も大幅に増加することが期待される	18
2009年のEUでのBtトウモロコシの状況 — EU6カ国が9万4,750ヘクタールを作付け	19
世界の遺伝子組み換え作物の作物別採用状況.....	19
世界の遺伝子組み換え作物の形質別採用状況.....	20
2009年、米国とカナダにおけるRR（ラウンドアップ・レディー）テンサイは導入3年目にして採用率は95%に達し、遺伝子組換え作物の最速の普及例に.....	20
1996年から2009年の遺伝子組換え作物栽培の累計面積が10億ヘクタールに	20
第1世代から収量の高い第2世代への交代.....	21
経済への影響	21
殺虫剤使用量の減少	22
CO ₂ の排出量削減.....	22
食料自給と食料安全保障.....	23

世界人口の半数以上が栽培 25 カ国に住み、全耕地面積 15 億ヘクタールのうち 9%、 1 億 3,400 万ヘクタールで遺伝子組換え作物が栽培されている.....	23
遺伝子組換え作物由来の食品の消費.....	24
遺伝子組換え作物の栽培承認は 25 カ国、輸入承認は 32 カ国、計 57 カ国が遺伝子組換え 作物またはそれに由来する製品を承認.....	24
国家経済成長に遺伝子組換え作物が果たす役割.....	24
遺伝子組換え種子市場は 2009 年に 105 億米ドル、遺伝子組換えトウモロコシ、ダイズ、 ワタの商業規模は 2008 年に 1,300 億米ドル.....	25
 <u>遺伝子組換え作物の将来の見通し (2010 年～2015 年)</u>	
1. 効果的かつ責任ある規制システム.....	26
2. 遺伝子組換え作物の開発、承認、採用を支援する政治的意思と経済的・ 科学的支援.....	27
3. 遺伝子組換え作物の国別採用率、農家数、栽培面積は 2015 年までに倍増するか？ また優先的なニーズに応えるために、適切な遺伝子組換え作物の供給が拡大するか？	32
• 中国が遺伝子組換えイネとトウモロコシを承認.....	34
• SmartStax™.....	37
• インドの Bt ナス.....	38
• ゴールデンライス.....	39
• 乾燥耐性トウモロコシが 2012 年に米国で、2017 年にサハラ砂漠以南のアフリカで栽 培開始予定 — 2009 年の世界の早魃状況.....	41
• 窒素利用効率 (NUE).....	45
• 遺伝子組換え小麦 — 近い将来現実化するか？.....	46
• その他の作物と形質.....	48
バイオ燃料.....	49
全世界と地域ごとの成長.....	49
遺伝子組換え作物の責任ある管理.....	49
壮大な挑戦.....	50
エピローグおよびノーマン・ボーローグ博士の遺産.....	52

世界の遺伝子組換え作物の商業栽培に関する状況：2009年
最初の14年間（1996年から2009年）

はじめに

この概要書は、報告書41号（Brief 41）で詳細に論じられている2009年の遺伝子組換え作物に関するハイライトに焦点を当てたものであり、ノーベル平和賞受賞者の故ノーマン・ボーローグ博士に捧げられている。ISAAAの創設後援者であるノーマン・ボーローグ博士は2009年9月12日に逝去された。ISAAAが彼に捧げる賛辞は報告書41号に追悼パンフレットの形で収録されている。ボーローグ博士は緑の革命を推進し、1960年代に10億人を飢えから救った功績が評価され、1970年にノーベル平和賞を授与された。彼は遺伝子組換え作物とその貧困、飢餓、栄養不足の解消への貢献に対する最も熱心で信頼できる支持者であった。

また本報告書には、シドニー大学生物科学大学院のジョン・ベネット名誉教授による特別寄稿として「遺伝子組換えイネ — その現状と将来の見通し」を収録している。ベネット博士はISAAA東南アジアセンターがあるフィリピンの国際稲研究所で、植物分子生物学研究室で上級分子生物学者を務めていた。

中国がBt（害虫抵抗性）イネと高フィターゼトウモロコシ承認を歴史的に決断

本報告書が刊行される直前の2009年11月27日、中国が遺伝子組換えによるBtイネおよび高フィターゼトウモロコシを承認した。これは画期的な決定であり、中国のみならずアジア、さらには世界全体の遺伝子組換え作物の採用に多大な影響を及ぼすものである。今回の承認に関して特筆すべき点はいくつかある。

- ・ どちらも中国政府からの公的資金を受けて、国内で開発された品種であること。
- ・ イネは世界で最も重要な食用作物である。Btイネは中国だけで最大1億1,000万世帯（1世帯の構成人数を4人として4億4,000万人）の農家に、年間40億米ドルの利益をもたらすと見積られる。現在中国のイネ栽培面積は3,000万ヘクタール、1世帯あたりでは平均0.3ヘクタールとなる。Btイネによって収量と収入が増加すると、生活の質が向上するだけでなく、殺虫剤への依存度が低くなるため、より安全で持続可能な環境づくりにも寄与できる。国家的には、食料と飼料の「自給（食料および飼料作物の自国栽培の最適化）」「食料安全保障」（国民に十分な食料と飼料を供給）という2大目標の実現に不可欠である。この2つを区別することは重要であるが、相互に相容れないものではない。
- ・ トウモロコシは世界的にも重要な家畜飼料である。中国では1億世帯の農家（4億人）がトウモロコシ栽培に従事しており、栽培面積は3,000万ヘクタールになる。農家1世帯当たりの平均栽培面積は0.3ヘクタールである。高フィターゼトウモロコシの利点のひとつに、豚肉生産の効率化がある（中国は世界最大の養豚国であ

り、世界全体の半分に相当する5億頭が飼育されている)。高フィターゼトウモロコシで飼育された豚はリンの吸収率が高いため成長が速く、リン酸を含む割合の低い糞尿による環境汚染も減らすことができる。また農家はリンを補給する添加物を購入して飼料に混ぜる必要がなくなるため、添加物購入費用、設備費、人件費が節約できる。中国では経済繁栄によって食肉消費量が増え、飼料用トウモロコシを輸入せざるを得ない状況なので、食肉生産の効率化は国家的にもきわめて重要な課題である。トウモロコシは中国全土で飼育される130億羽のニワトリ、アヒルなど家禽類の飼料にもなる。

- ・ 遺伝子組換えイネ、トウモロコシを中国が承認したことで、発展途上国における遺伝子組換えイネ、トウモロコシおよびその他の作物の受容、承認に関する意思決定が促進されるものと思われる。とりわけアジアでは、中国同様に食料自給問題に直面しており、貧困・飢え・栄養不足を緩和して小規模農家を繁栄させるという2015年ミレニアム開発目標の達成をめざすうえで重要になる。
- ・ 中国が自国開発した遺伝子組換えイネおよびトウモロコシを承認したことで、世界の食料、飼料、繊維原料の貿易の流れと、食料安全保障における発展途上国の役割が変わる可能性もある。また中国の先例を追う国や、中国との技術移転／共有プログラムに着手する国も出てくるものと思われる。

温家宝首相の主導で、中国政府が作物バイオテクノロジーを最優先課題に定めた結果が、Btワタと、遺伝子組換えイネ、トウモロコシなどの戦略的に重要な新しい作物の双方に関して大きな成果となって現れているとともに、遺伝子組換え作物開発において中国科学界が躍進する状況も反映している。中国の農業科学は最も成長著しい研究分野であり、この分野における全世界の論文に占める中国の割合は1999年の1.5%から2008年には5%に増えている。また農業関連の研究開発予算は、1999年には農業GDPのわずか0.23%しか割り当てられていなかったが、2008年には0.8%に増加し、いまや世界銀行が発展途上国に推奨する1%に迫る勢いである。中国政府の今後の目標は、2020年までに穀物生産高を5億4,000万トンに増やし、農家の所得を2008年の2倍にすることである。この目標達成には、遺伝子組換え作物が重要な役割を果たすと思われる（新華社、2009a）。

報告書の印刷・刊行にともなう時間的制約で、中国の遺伝子組換えイネとトウモロコシの承認が世界に及ぼす重要な影響に関しては初期的かつ大まかな論議しかできないのは残念である。遺伝子組換えイネ、トウモロコシは2～3年の通常の野外圃場試験を経て、一般農家での栽培に向けて完全に商業化される。この承認に関しては報告書でも後に触れる。

2050年の世界の食糧供給の課題

過去2世紀の主な進歩を追跡することで、世界的な食料生産の全体像をとらえてみる。

19世紀当初、1800年当時の世界の人口は10億人に満たなかった。それから100年間に人口はさらに6億人増えたが、食料生産高は**耕作面積を拡大すること**で比較的容易に増やすことができた。北米の大草原、南米のパンパス、東ヨーロッパからロシアにかけて広がるステップ、そしてオーストラリアの内陸部で、広大な農地が切りひらかれていった。20世紀に入っても、1900年当時の人口は16億人にすぎなかった。ここからの100年は、緑の革命をはじめとする作物学上の改善を通じて作物の**生産性（単位面積当たりの収量）**を高めることで食糧生産高が劇的に増えていった。馬に代わるトラクターなど農業の大規模な機械化には化石燃料が不可欠であったし、化石燃料を材料とするアンモニア肥料の使用量増加も同様に重要であった。

そして21世紀になり、2000年の世界人口は61億人に急増した。2050年には92億人になると予想される。わずか50年で食料生産をさらに倍増させるのは、かなり困難な挑戦になりつつある。しかも**2050年までに食料生産倍増を持続可能な形で達成**しなければならないことが、さらにハードルを高くしている。耕作面積は以前とほぼ同程度で（ブラジルなど例外はあるが）、**化石燃料、水、窒素などの資源をなるべく使用せず**、さらに**気候変動に伴う大規模な問題**も考慮しながら目標を達成しなければならない。**貧困、飢え、栄養不足に苦しむ人が10億人以上というかつてない状況**に対しても、人道的な見地から緊急に取りくまねばならない。こうした時代にあって世界全体の食料・飼料・繊維の生産性（単位面積あたりの収量）を高めるうえで最も有望な技術的戦略は、新旧の優れた手段を組みあわせることである。**従来からの育種技術（最適品種の選抜）と、新形質を含む作物バイオテクノロジーの応用を統合する**のである。この統合によって生まれた優れた作物製品は、食料・飼料・繊維の安全保障戦略において**最先端の技術要素**として組みこむべきであり、人口増加、食料・飼料・繊維の分配システム改善といったほかの重要課題の解決にも応用可能となる。食料安全保障が平和で安全な世界への重大な脅威となっている現在にあっても、このような全体的な戦略の採用によって、国際社会は従来および最新の植物育種法から継続的に恩恵を受けることが可能となるだろう。**40年前、ノーベル平和賞受賞記念スピーチ「緑の革命、平和と人道」**のなかでボーローグ博士が語ったことは、基本的に現在の課題と変わっていないことは驚きである。

従来技術とバイオテクノロジーの両方で農業を支援し、「現実的かつ持続可能な形で作物生産性の強化」をめざす

ISAAA 報告書 41 号が刊行された 2009 年は、G8、2009 年 FAO 食料サミット、ビル・アンド・メリンダ・ゲイツ財団、イギリスの王立協会など名だたる国際組織が、農業、食料自給および食料安全保障の確保、そして飢えと栄養不足、貧困の緩和を最優先課題にする必要性を揃って表明した画期的な年であった。具体的には、食料・飼料・繊維生産における作物の重要な役割を踏まえ、従来の手法と遺伝子組換え作物の応用をあわせて活用す

ることで、今日活用されている耕作地 15 億ヘクタールで「作物生産性を持続可能な形で大幅に強化」することが明確に求められている。貧困、飢え、栄養不足という破壊的な状況に影響を受け、生命の危機にさらされている人は、公正な社会では受け入れがたい 10 億 2,000 万人という前代未聞の数にのぼっている。この事態にさらに追い討ちをかけるように、世界の穀物備蓄高は、最低でも 100 日分が望ましいとされているのに対し、75 日分という危機的レベルにまで低下している。気候変動、とりわけ世界各地で起こっている旱魃が引き起こす事態を緩和し、将来の世代のために天然資源を適切な状態で維持する必要が叫ばれている。

遺伝子組換え作物の栽培面積は 2009 年も堅調に増加 — 4 大作物で過去の記録を塗りかえ、他の分野でも著しく前進

過去 14 年間に遺伝子組換え作物がもたらした経済、環境、福祉面の多大な恩恵を受けて、先進国および発展途上国において、大規模から資源の乏しい小規模な農家まで何百万の農家が、2009 年にも遺伝子組換え作物をこれまで以上に栽培し続けた。世界各地の農家が遺伝子組換え作物を栽培した事実は、単純な事実ではあるが遺伝子組換え作物の優れた功績を物語る最も強力かつ現実的な証拠と言えるだろう。2009 年は深刻な経済危機に見舞われたにもかかわらず、すべての遺伝子組換え作物の栽培面積は拡大し、とくに 4 種類の主要作物は過去にない記録を達成した。まず大豆では、世界の栽培面積 9,000 万ヘクタールの 4 分の 3 以上 (77%) が遺伝子組換え品種になった。ワタは 3,300 万ヘクタールのほぼ半分 (49%) が遺伝子組換えとなり、トウモロコシは 1 億 5,800 万ヘクタールの 4 分の 1 強 (26%) が遺伝子組換え品種になった。ナタネは 3,100 万ヘクタールの 21% を遺伝子組換え品種が占めることになった。こうした栽培面積の増加に加えて、遺伝子組換え作物を選択する農家の数も増加した。また最も多くの困難を抱えるアフリカでは、遺伝子組換え作物を採用する 3 カ国すべてで顕著な進展が見られた。ISAAA の過去の概要書が予測したように、発展途上国は世界の遺伝子組換え作物栽培で主導的立場にあり、とくにブラジルは南米の今後の成長の牽引役となるだろう。遺伝子組換え作物のこれまでの貢献を考えると、こうした成果はきわめて重要である。国際社会が将来に向けて直面している課題、すなわち食料自給と食料安全保障、より安価での食料の供給、持続可能性、貧困と飢餓の緩和に向けて、遺伝子組換え作物は今後も大きく貢献するとともに、気候変動や地球温暖化に起因するいくつかの課題の解決の助けにもなる。

2009 年の遺伝子組換え作物栽培面積は 1 億 3,400 万ヘクタールに — 1996 年から 2009 年までのあいだに 80 倍と、栽培技術としては異例の速さで普及し、年間では 7%、900 万ヘクタール増加

2009 年、遺伝子組換え作物の世界全体での栽培面積は増加を続け、1 億 3,400 万ヘクタール (表 1、図 1)、「形質または実質面積」では 1 億 8,000 万ヘクタールに達した。年間では

「見かけの増加」としては900万ヘクタール、7%であり、形質または実質面積で測る「実質増加」は1,400万ヘクタール、8%となる。「形質または実質面積」での増加分計算は、旅客総飛行距離を算出する際に、旅客が1機につき1人以上いる場合、「マイル」ではなく「旅客マイル」が正確な単位であることと似ている。全世界の「形質または実質面積」は、2008年の1億6,600万ヘクタールから2009年に1億8,000万ヘクタールに増加した。早くから遺伝子組換え作物を採用していた国々での近年の増加は、主に「スタック形質」（複数の形質を併せ持つ品種）の展開によるものである。遺伝子組換え作物の主要生産国では、その代表的作物であるトウモロコシとワタについて遺伝子組み換え作物を採用している面積はすでに最大レベルに達しているからである。たとえば2009年には、米国内のトウモロコシ栽培面積が3,520万ヘクタールだったが、その85%が遺伝子組換えであり、その75%が2つまたは3つのスタック形質のハイブリッド種であり、単一形質のハイブリッド種は25%に過ぎなかった。同様に遺伝子組換えワタは米国、オーストラリア、南アフリカの栽培面積の90%以上を占めており、そのうち2つの形質ハイブリッド種が米国で75%が、オーストラリアで88%、南アフリカで75%だった。スタック形質はすでに遺伝子組換え作物の重要な特徴になっていることは明白であり、そのため単なるヘクタールだけでなく「形質または実質面積」での増加分を計算することが必要となる。1996年の170万ヘクタールから2009年の1億3,400万ヘクタールへの、約80倍（正確には79倍）という急速な成長は、遺伝子組換え作物が世界で最も速い速度で採用された作物技術であることを物語っている。

表 1. 遺伝子組換え作物の国別栽培面積（2009年、単位：100万ha）

順位	国名	面積（100万ha）	栽培作物
1*	米国*	64.0	ダイズ、トウモロコシ、ワタ、ナタネ、スカッシュ ユパパイヤ、アルファルファ、テンサイ
2*	ブラジル*	21.4	ダイズ、トウモロコシ、ワタ
3*	アルゼンチン*	21.3	ダイズ、トウモロコシ、ワタ
4*	インド*	8.4	ワタ
5*	カナダ*	8.2	ナタネ、トウモロコシ、ダイズ、テンサイ
6*	中国*	3.7	ワタ、トマト、ポプラ、パイヤ、ピーマン
7*	パラグアイ*	2.2	ダイズ
8*	南アフリカ*	2.1	トウモロコシ、ダイズ、ワタ
9*	ウルグアイ*	0.8	ダイズ、トウモロコシ
10*	ボリビア*	0.8	ダイズ
11*	フィリピン*	0.5	トウモロコシ
12*	オーストラリア*	0.2	ワタ、ナタネ
13*	ブルキナファソ*	0.1	ワタ
14*	スペイン*	0.1	トウモロコシ

15*	メキシコ*	0.1	ワタ、ダイズ
16	チリ	<0.1	トウモロコシ、ダイズ、ナタネ
17	コロンビア	<0.1	ワタ
18	ホンジュラス	<0.1	トウモロコシ
19	チェコ共和国	<0.1	トウモロコシ
20	ポルトガル	<0.1	トウモロコシ
21	ルーマニア	<0.1	トウモロコシ
22	ポーランド	<0.1	トウモロコシ
23	コスタリカ	<0.1	ワタ、ダイズ
24	エジプト	<0.1	トウモロコシ
25	スロバキア	<0.1	トウモロコシ

* 15 の遺伝子組換え作物大国：遺伝子組換え作物の栽培面積が 5 万ヘクタールを超える（15カ）国。

出典：クライブ・ジェームズ 2009.

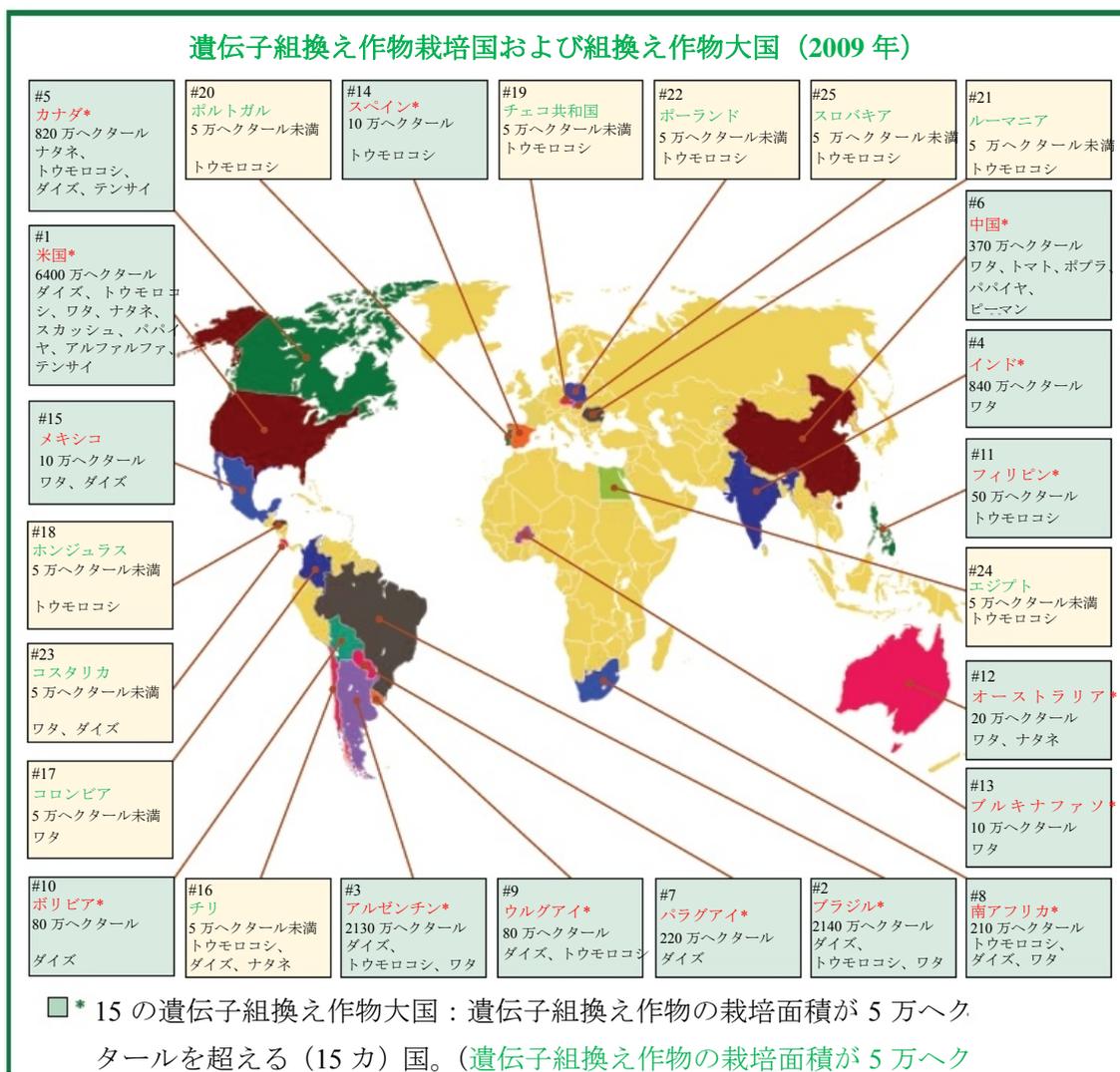


図 1：遺伝子組換え作物栽培国および遺伝子組換え作物大国の世界分布（2009年）

スタック形質を 11 カ国が採用 — 8 カ国が発展途上国

スタック品種の製品は遺伝子組換え作物の重要な特徴であり、農家および消費者の多様なニーズに対応するという今後の動向に欠かせないものである。現在スタックを採用している 11 カ国は、栽培面積の多い順で米国、アルゼンチン、カナダ、フィリピン、南アフリカ、オーストラリア、メキシコ、チリ、コロンビア、ホンジュラス、コスタリカとなる（11 カ国中 8 カ国が発展途上国である点に注意）。今後採用国はさらに増える見通しである。2008 年は 2,690 万ヘクタールであったスタック形質の栽培面積は、2009 年に 2,870 万ヘクタールに達した。2009 年のデータでは、米国がトップを走り、その遺伝子組換え作物栽培総面積 6,400 万ヘクタールの 41% がスタック形質であった。フィリピンでは、害虫抵抗性と除草剤耐性の 2 つを併せ持つスタックのトウモロコシが最も速い拡大を遂げ、2008 年の 57% から 2009 年には 69% にまで増えた。新しい遺伝子組換えトウモロコシである **SmartStax™** は 2010

年に米国で発売される予定である。これは8つの遺伝子を組みこんで、3つの形質、すなわち2つの害虫抵抗性（地上部害虫を1つと地下部害虫を1つ）と除草剤耐性を持たせたものである。これからのスタック形質は、害虫抵抗性、除草剤耐性、乾燥耐性といった農業形質に加えて、ダイズのおメガ3脂肪酸の生産やゴールデンライスのビタミンA前駆体強化など、付加価値形質を組み合わせたものになると思われる。

遺伝子組換え作物を栽培する農業生産者は70万人増えて1,400万人に。そのうち90%、1,300万人は発展途上国の小規模で資源に乏しい農業生産者

2009年、遺伝子組換え作物の恩恵を受けた農業生産者は世界25カ国で2008年から700万人増加し、1,400万人に達した。この1億4,000万人（2008年の1,330万人から増加）のうち90%を超える1,300万人（2008年の1,230万人から増加）は発展途上国の小規模で資源に乏しい農業生産者である。残り100万人は米国やカナダなど先進工業国、およびアルゼンチン、ブラジルといった発展途上国の大規模農業生産者である。小規模で資源に乏しい農業生産者1,300万人の大半はBtワタ農家で、中国が700万人（Btワタ）、インドが560万人（Btワタ）、残り25万人がフィリピン（遺伝子組換えトウモロコシ）、南アフリカ（遺伝子組換えワタ、トウモロコシ、ダイズで生存最低生活を営む女性が主に栽培）および2009年に遺伝子組換え作物を栽培したその他の12の発展途上国の農業生産者である。恩恵を受けた農家数が最大だったのはインドで、60万人以上の新たな小規模で資源に乏しい農家が2009年にBtワタを植えた。インドではBtワタの栽培面積が全体の87%を占めるようになった（2008年は80%）。小規模で資源に乏しい農業生産者が、遺伝子組換え作物によって所得を増やすことは、これらの人々の貧困解消に向けた最初の一步である。ミレニアム開発目標（MDG）は2015年までに貧困を50%減らすことをめざしているが、遺伝子組換え作物は商業化の第2の10年である2006年から2015年に、MDGに多大な貢献ができる可能性がある。中国での初期研究では、最高1,000万人以上の小規模で資源の乏しい農業生産者が、インドに続いてBtワタの恩恵を受けられることが示唆されている。

2009年には25カ国が遺伝子組換え作物の栽培を行なった — 10カ国を中南米諸国が占める

2009年に遺伝子組換え作物の栽培を行なった国は2008年と変わらず25カ国であった。コスタリカが新たに加わり、ドイツは2008年の収穫期を最後にBtトウモロコシの栽培を停止した。コスタリカはチリと同様、種子輸出市場向けに限定して遺伝子組換え作物を栽培している。コスタリカが加わったことで南米の遺伝子組換え作物栽培国は過去最高の10カ国になった。遺伝子組換え作物栽培国の数は商業化の最初の年である1996年の6カ国から順調に増え、2003年には18カ国、2009年には25カ国に増加した。日本は2009年に遺伝子組換えによる青いバラの商業化を開始し、一部温室も利用して栽培されているが、コンビアやオーストラリアのカーネーションと同様、FAOの作物リストの定義に従い、ISAAA

が集計している遺伝子組換えの食料・飼料・繊維作物の栽培面積には含まれていない。

2009年は2008年の高採用率をさらに上回って、遺伝子組換え作物の栽培面積が増加

世界の遺伝子組換え作物の栽培面積は、以下のような理由で増加の余地が限られていたにもかかわらず、2009年は900万ヘクタール、7%と着実に増加した。

- ・ 遺伝子組換え作物の主要栽培国のほとんどで、主な遺伝子組換え作物の採用率はすでに80%を超えている。
- ・ 大規模干ばつなど、気候変動による不確定要素がある。
- ・ 世界大恐慌以来の深刻な経済危機によって、穀物総作付が横ばいもしくは減少になった。
- ・ 2008年半ばの高値にくらべて商品取引所の取引価格が急落し、農業生産者が栽培面積を大幅に増やすことをためらった。

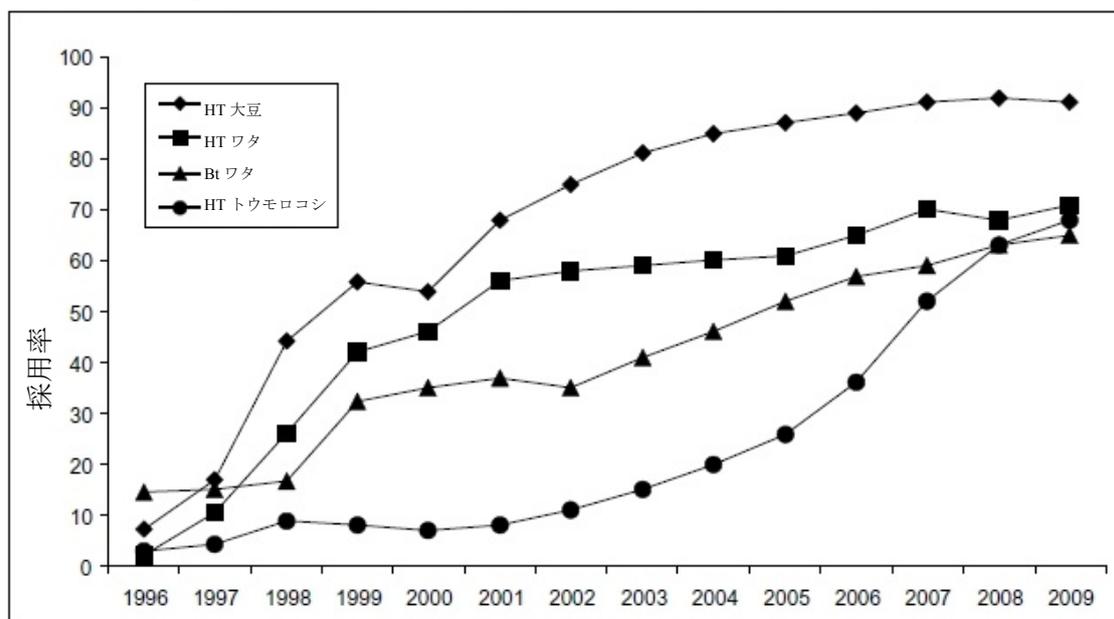
遺伝子組換え作物の採用率は、2008年にすでに高水準にあったにもかかわらず2009年も上昇し、インドではBtワタが80%から87%に、米国では遺伝子組換えトウモロコシが80%から85%に、カナダでは遺伝子組換えナタネが86%から93%になった（図2、図3）。世界的な傾向を受けてワタの栽培面積が減少した中国では、採用率は68%と前年と同水準にとどまった。米国ではワタの栽培面積全体が4%減少したにもかかわらず、採用率は2008年の86%から2009年に88%に増加した。遺伝子組換え作物の全世界での栽培面積は1996年の商業化以来着実に増え、当初の12年間は2ケタの伸びを示し、経済不況の2008年と2009年にはそれぞれ9.4%、7%伸びたことは特記すべきことである。

ブラジルがアルゼンチンを抜いて、遺伝子組換え作物の世界第2位の栽培国に

2009年、ブラジルでの遺伝子組換え作物栽培面積は2,140万ヘクタールであったと推測され、2008年とくらべて35%、5,60万ヘクタールの増加は国別では世界最大である。現在ではブラジルは世界の遺伝子組換え作物全体の16%を栽培している。2009年にブラジルで栽培された2,140万ヘクタールの遺伝子組換え作物うち1,620万ヘクタールはRR（ラウンドアップ・レディー）[®]ダイズで、連続7年の栽培となり、2008年の1,420万ヘクタールから増加した。採用率は2008年の65%から記録的な71%となり、RR（ラウンドアップ・レディー）[®]ダイズの恩恵を受ける農業生産者は15万人と推計される。また2009年は、ブラジルでBtトウモロコシが500万ヘクタールに植えられ、夏と冬（サフリーニャ）の2回収穫も2年目に入った。Btトウモロコシの栽培面積は2008年から370万ヘクタール増加し、400%近い増加率は、2009年における他のどの国のどの遺伝子組換え作物の絶対的増加より高かった。夏トウモロコシの採用率は30%、冬トウモロコシは53%である。最後に、Btワタの栽培面積は14万5,000ヘクタールであり、2009年で4年目になる。そのうち11万6,000ヘクタールはBtワタで、残り2万9,000ヘクタールは今年度が初となるHT（除草剤耐性）ワタだった。したがってブラジルにおける2009年の遺伝子組換えダイズ、トウモロコシ、

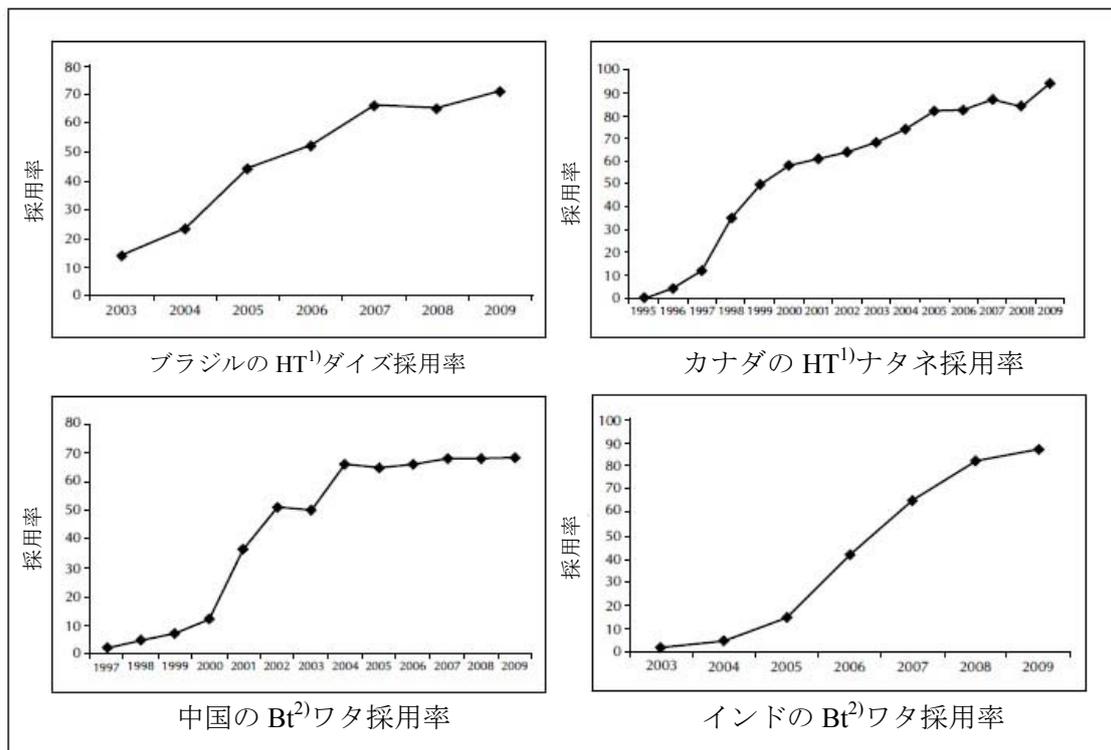
ワタの栽培面積合計は、2008年とくらべて35%、5,600万ヘクタールの増加となる。これは国別では世界最大であり、ブラジルは栽培面積ではじめて世界第2位に上昇した。2003年から2008年のあいだに遺伝子組換え作物で得た利益は28億米ドルで、そのうち2008年だけで7億米ドルになる。

図2 米国の遺伝子組換え作物採用率（1996年から2009年）



出典：米国農務省農業統計局（NASS） 2009a

図3 ブラジル、カナダ、中国、インドの遺伝子組み換え作物採用率(%)



出典：クライブ・ジェームズ作成, 2009.

1) HT: Herbicide Tolerant (除草剤耐性) の略

2) Bt: *Bacillus thuringiensis* の略、害虫抵抗性

インドは2002年から09年までの8年間に、Btワタから大きな恩恵を受けた。またインド初の遺伝子組換え食用作物であるBtナスも商業化が推奨された

インドでのBtワタ栽培が8年目を迎えた2009年、栽培面積、採用率、農業生産者数は急増加し、いずれも過去の記録を更新した。2009年にBtワタを植えた小規模で資源に乏しい農業生産者は560万人、ワタの総栽培面積963万6,000(～960万)ヘクタールの87%に相当する、838万1,000(～840万)ヘクタールにBtワタを作付けして恩恵を受けた。2008年の採用率がすでに高く、500万人の農業生産者が760万ヘクタールにBtワタを植えていた(インド国内のワタ栽培総面積の940万ヘクタールの80%に相当)ことを考えると、2009年の各数値の増加は堅調だったと言える。2002年(Btワタの商業化開始)に5万ヘクタールで始まった栽培が2009年には過去最大の840万ヘクタールと、8年間で実に168倍に伸びた。2009年は、複数の遺伝子を持つスタック品種のBtワタの栽培面積(全体の57%)が、1つの遺伝子のBtワタ(43%)をはじめて抜いた年でもある。また2009年にはインド国内の公共セクターが商業化に向けてBtワタ(Bikaneri Nerma)とハイブリッド(NHH-44)を開発し、インドの遺伝子組換え作物における官民セクターの役割のバランスが変化することになった。新しいBtワタについての出来事(イベント)は2009年に商業化が承認され

(承認イベントは合計 6)、インドの民間企業が開発した合成 cry1C 遺伝子を特徴とする。過去 8 年間の Bt ワタ採用によって、インドは世界第 2 のワタ生産国となり、輸出では世界 1 位となった。Bt ワタはまさにインドのワタ生産に革命をもたらしたのである。2002 年から 2008 年という短期間に Bt ワタが農家に生み出した経済的利益は 51 億米ドルになり、殺虫剤使用量は半減、収量は 2 倍になって、それまでワタ輸入国だったインドは主要な輸出国へと変貌した。2008 年だけでも Bt ワタから得られた利益は 18 億米ドルとなる。2009 年 10 月には、インド遺伝子工学承認委員会 (GEAC) が Bt ナスの商業化を勧告するという歴史的決定をし、現在はインド政府による最終手続きを待っている。ナスは「野菜の王様」とも呼ばれるが、栽培には殺虫剤を大量に使用する。Bt ナスはインド初の商業化食用作物になり、殺虫剤使用の大幅な減少、持続可能性への貢献と消費者への手ごろな価格での提供、小規模で資源の乏しい 140 万人のナスを生産するインドの農業生産者の貧困緩和が期待されている。2007 年に IIMA が行なった調査では、インド中流階級の 70% が遺伝子組換え食品を受けいれている。さらに 2012 年から流通を予定しているビタミン A 前駆体を強化したゴールデンライスなど、付加価値の高い遺伝子組換え作物は価格が 20% 高くても買う意思があるという。インドでは Bt イネをはじめ複数の遺伝子組換え作物が圃場試験段階に入っている。

アフリカ (南アフリカ、ブルキナファソ、エジプト) では継続的な前進

アフリカには世界総人口の 15% 近い約 10 億人が暮らしている。住民 1 人当たりの食糧生産が減少している唯一の大陸であり、少なくとも 3 人に 1 人が飢えと栄養不足に苦しんでいる。2008 年以前は、アフリカで遺伝子組換え作物の恩恵を受けるのは南アフリカだけだった。2009 年の南アフリカの遺伝子組換え作物栽培面積は推計で 210 万ヘクタール、2008 年の 180 万ヘクタールに比較すると 17% の増加で順調に伸びた。2009 年の南アフリカにおける増加要因は主に遺伝子組換えトウモロコシの栽培面積の拡大で、さらに採用率が 85% になる遺伝子組換えダイズや、採用率 98% の遺伝子組換えワタも堅調だったことによる。2008 年には南アフリカに加えて、ブルキナファソとエジプトが遺伝子組換え作物の栽培を開始した。

2008 年に遺伝子組換え作物栽培国となったブルキナファソでは、約 4500 人の農業生産者が 6,800 か所の圃場で Bt ワタ種子 1,600 トンの収穫に成功した。また 2008 年には 8,500 ヘクタールで商業 Bt ワタの植え付けが行なわれた。そして 2009 年には、商業 Bt ワタの栽培面積は 11 万 5,000 ヘクタールに増加したと推計される。2008 年の 8,500 ヘクタールに比べると 14 倍、10 万 6,500 ヘクタールの増加となり、2009 年の遺伝子組換え作物の栽培面積増加率では最高 (1,353%) となった。採用率も 2008 年は 47 万 5,000 ヘクタール中の 2% だったが、2009 年には 40 万ヘクタール中の 29% となった。2009 年に約 38 万ヘクタールの栽培に十分な量の Bt ワタ種子が採取できたため、2010 年にはワタ作付け総面積を 47 万 5,000

ヘクタールと予想すると、その約70%相当で作付けが行なわれると思われる。Btワタは収量が約30%増になるだけでなく、通常のワタでは8回必要となる殺虫剤散布が2~4回に減り、使用量が最低でも50%減となることで、ブルキナファソにもたらす経済的利益は年間1億米ドルになると期待される。

遺伝子組換え作物栽培の2年目を迎えたエジプトでは、約1,000ヘクタールでBtトウモロコシが栽培された。2008年の栽培面積が約700ヘクタールだったので、約15%の増加となった。2008年、エジプトはアラブ世界で最初に商業遺伝子組換え作物を取り入れた国となり、ハイブリッドBtイエロートウモロコシAjeeb YGの栽培を開始した。ただし2009年はBtトウモロコシの栽培面積を5,000ヘクタール以上に増やすという計画は実現しなかった。これは5,200ヘクタールに相当するAjeeb YG150トンの輸入許可が下りなかったためである。そのため2009年は国内生産された28トンのAjeeb YGを1,000ヘクタールに栽培するにとどまった。

遺伝子組換え作物に占める発展途上国の割合が50%近くに達し、今後も大幅に増加することが期待される

ISAAAの予測どおり、2009年も発展途上国が遺伝子組換え作物栽培に占める割合は増加して、栽培面積は世界全体（1億3,400万ヘクタール）の半分近い46%、6,150万ヘクタールに達した。なお2008年は、この44%であった。南半球に位置する3大陸を代表する国々で、人口が合計で28億人になる発展途上の主要5カ国、すなわちブラジル、アルゼンチン、インド、中国、南アフリカの5カ国は、引き続き強力なリーダーシップを発揮し世界全体の栽培面積1億3,400万ヘクタールの43%に相当する5,700万ヘクタールを占めた。これら「ビッグ5」は遺伝子組換え作物採用の絶大な推進力であり、いずれの国でも遺伝子組換えへの補助金を含め手厚い支援策が採られている。

2009年で注目すべきは、遺伝子組換え作物の栽培面積が10%以上増加した7カ国がすべて発展途上国だったことである。増加率の高い順に挙げると、ブルキナファソ（1,353%）、ブラジル（35%）、ボリビア（33%）、フィリピン（25%）、南アフリカ（17%）、ウルグアイ（14%）、インド（11%）となる。2009年に遺伝子組換え作物の栽培面積増加が大きかったのは先進国（3%、200万ヘクタール）より発展途上国だった（13%、700万ヘクタール）ことは、過去と同じ傾向である。ヘクタール数、伸び率のいずれにしても、2008年から2009年の1年間の増加は先進国より発展途上国のほうが明らかに大きかった。南側諸国の国々がこれから遺伝子組換え作物の栽培に参入すること、またイネのように90%が発展途上国で栽培されている作物において遺伝子組換え品種が採用されることを考えると、この傾向は中長期的に継続すると思われる。

発展途上国の上位5カ国、すなわちブラジル(2,140万ヘクタール)、アルゼンチン(2,130万ヘクタール)、インド(840万ヘクタール)、中国(370万ヘクタール)、南アフリカ(210万ヘクタール)を合わせると栽培面積は世界全体の1億3,400万ヘクタールの43%、5,690万ヘクタールを占める。これら5カ国は遺伝子組換え作物に力を入れており、南半球に位置する3大陸すべてにわたる。農業を唯一の収入源とする農業生産者はこれら5カ国を合計で13億人になり、小規模で資源の乏しい農家や、世界の貧者の大多数を占める地方の小作農家が多数含まれる。発展途上5カ国の影響力はますます強まり、世界の遺伝子組換え作物の今後の採用や受け入れに大きく関係してくるものと思われる。これら5カ国に関しては、作物別の採用状況、将来への影響も含めて報告書41号で詳細に分析を行なっている。5カ国の作物バイオテクノロジーの研究開発投資は、多国籍企業の基準で考えてもかなり多い。

遺伝子組換え作物商業化の最初の13年間(1996年から2008年)に農業生産者が得られた利益は519億米ドルだが、その半分に当たる261億米ドルを発展途上国が占め、残り258億米ドルが先進国であった事実は興味深い(Brooks and Barfoot, 2010, 近刊)。

2009年のEUでのBtトウモロコシの状況 — EU6カ国が9万4,750ヘクタールで作付け

ドイツが2008年末をもって栽培を停止したため、2009年にBtトウモロコシを栽培した国はEU内で6カ国となった。スペインは最大の栽培国でEU全体のBtトウモロコシ栽培面積の80%を占め、採用率は22%になる。EU6カ国の2009年の栽培面積は9万4,750ヘクタールで、2008年は10万7,719ヘクタールだった(ドイツの2008年の栽培面積3,173ヘクタールを含む)。ドイツを除けば2008年は10万4,456ヘクタールである。したがって2008年から2009年は12%、1万2,969ヘクタール(ドイツの2008年分を含む)の減少で、ドイツの分を含めなければ9%、9,796ヘクタールの減少となる。この背景には経済不況、ハイブリッドトウモロコシの作付けの減少、Btトウモロコシ作付けの報告義務が煩雑であるため農家が敬遠したことなど複数の要因がある。

ヨーロッパ連合27カ国のうち、正式にBtトウモロコシを商業ベースで栽培しているのは2009年現在で6カ国である。栽培面積順ではスペイン、チェコ共和国、ポルトガル、ルーマニア、ポーランド、スロバキアとなる。2008年にBtトウモロコシを栽培した7カ国はすべて2007年から栽培面積を増やしたが、2008年から2009年に関しては結果が分かっている。2009年にBtトウモロコシを栽培した6カ国中、最も栽培面積が増加したのはポルトガルであり、ポーランドは前年と変わらず、スペインでは面積が前年比4%減少したが、トウモロコシの栽培面積全体も同率で減少したため、スペインでの採用率は2009年も2008年同様に22%だった。残るチェコ共和国、ルーマニア、スロバキアは2009年に栽培面積が減少したが、いずれの国も面積は1,000~7,000ヘクタールと、もともと少ない。

作物別採用状況

除草剤耐性大豆は2009年も遺伝子組換え作物の中心であり、世界全体の遺伝子組換え作物栽培面積1億3,400万ヘクタールのうち52%、6,920万ヘクタールを占めていた(2008年の6,580万ヘクタールから増加)。続いて遺伝子組換えトウモロコシが31%で4,170万ヘクタール(2008年の3,730万ヘクタールより増加)、遺伝子組換えワタは12%で1,610万ヘクタール(2008年の1,550万ヘクタールより増加)、遺伝子組換えナタネは5%で640万ヘクタール(2008年の590万ヘクタールより増加)であった。

形質別採用状況

1996年に遺伝子組換え作物が商業化されて以来、2009年に至るまで一貫して中心となっている形質は除草剤耐性である。2009年現在、除草剤耐性を持つダイズ、トウモロコシ、ナタネ、ワタ、テンサイ、アルファルファの栽培面積は、遺伝子組換え作物の総栽培面積1億3,400万ヘクタールの62%、8,360万ヘクタールを占めている(2008年の7,900万ヘクタールより増加)。13年目にあたる2009年は、総面積の15%、2,170万ヘクタール(2008年の1,910万ヘクタールより増加)の害虫抵抗性品種よりも、2または3つの形質を入れたスタック品種の面積が拡大し、総面積の21%、2,870万ヘクタールになった(2008年の2,690万ヘクタールより増加)。スタック品種および除草剤耐性品種の伸びはどちらも6%で、害虫抵抗性は14%の伸びだった。

2009年、米国とカナダにおけるRR[®](ラウンドアップ・レディー)テンサイは導入3年目にして採用率は95%に達し、遺伝子組換え作物の最速普及例に

2009年の米国におけるテンサイ栽培面積は48万5,000ヘクタール、このうち約95%は、遺伝子組み換え技術によって改良された品種だった(2008年は59%、2007年は僅少)。カナダでは2009年にテンサイの栽培面積の96%に当たる1万5,000ヘクタールで遺伝子組換え品種が作付けされた。これによってRR[®](ラウンドアップ・レディー)テンサイは世界的に最も速く採用が進んだ商業作物となった。2009年9月、カリフォルニア州のある裁判所が、米国農務省(USDA)がRR[®](ラウンドアップ・レディー)テンサイの国内での適切な評価をしていないとの判断を下し、USDAがより徹底的な評価を行うよう命じたもので、報告書出版の時点でまだ最終結論は出ていない。ただ裁判所の判断は、RR[®](ラウンドアップ・レディー)テンサイの安全性や有効性に疑問を呈するものではないことを注記しておく。米国およびカナダの農業生産者のあいだでRR[®](ラウンドアップ・レディー)テンサイ栽培開始において満足度、需要が高い事実は、現在複数の国で遺伝子組換え形質の開発が進んでいるサトウキビ(現在世界の砂糖の80%はサトウキビを原料とする)にも影響を与えらると思われる。遺伝子組換えサトウキビの圃場試験は、2009年10月にオーストラリアで承認された。

1996年から2009年の遺伝子組換え作物栽培の累計面積が10億ヘクタールに

栽培面積が100万ヘクタール以上の上位8カ国は、面積の大きい順に米国（6,400万ヘクタール）、ブラジル（2,140万）、アルゼンチン（2,130万）、インド（840万）、カナダ（820万）、中国（370万）、パラグアイ（220万）、南アフリカ（210万）（表1、図1）であった。発展途上国の役割が大きくなっている傾向を受け、ブラジルの2008年から2009年の増加率は35%に達し、僅差ながらアルゼンチンを抜いて世界第2位に躍進した。残る17カ国は、面積の大きい順にウルグアイ、ボリビア、フィリピン、オーストラリア、ブルキナファソ、スペイン、メキシコ、チリ、コロンビア、ホンジュラス、チェコ共和国、ポルトガル、ルーマニア、ポーランド、コスタリカ、エジプト、スロバキアである。2009年の成長は、遺伝子組換え作物の世界的な作付拡大における安定した基盤となっている。1996年から2009年までの成長率は79倍という前例のない速さで、遺伝子組換え作物は近代史において最も速く普及した作物テクノロジーとなった。農業生産者による高い採用率は、遺伝子組換え作物の性能が一貫して高いこと、また発展途上国と先進国の農業生産者に対して、農業経営の規模の大小に関係なく経済、環境、健康、社会への恩恵が顕著であることの裏づけであろう。この高い普及率は、14年にわたって一貫して栽培面積を増やしながらかつて遺伝子組換え作物の栽培を続け、年を追うごとに自身や周囲の畑からこの作物に対する観察や経験を直接得てきた、25カ国以上の約8,500万人の農業生産者からの強い信頼の現れである。遺伝子組換え作物は管理が容易で柔軟性があること、生産コストが低いこと、生産性が高く単位面積当たりの純利益が多いこと、健康面および社会面の恩恵があること、殺虫剤使用量の減少によってよりきれいな環境に貢献できること、これらの要素を総合して持続可能な農業を実現できることなどの利点があり、採用率が100%に近い例が多い事実からも農業生産者が満足していることが覗える（伺える）。この遺伝子組換え作物の急速な採用こそ、発展途上国、先進国の大規模、小規模農業生産者、そして消費者、社会に一貫して大きな恩恵があることの反映である。

第1世代から収量の高い第2世代への交代

パーティクルガン法で開発された第1世代のRR[®]（ラウンドアップ・レディー）ダイズと異なり、ラウンドアップ・レディー・2イールド大豆はより効率的で正確なアグロバクテリウム挿入法を用いている。またダイズの遺伝子マッピングが完了したことでダイズDNAのなかで収量増加にかかわる領域が解明された。さらに挿入・選別技術も進歩したことで、ラウンドアップ・レディー・2イールド遺伝子（MON 89788）を高収量領域に正確に挿入することが可能になった。収量増大という性質は遺伝子組み換え技術によるものではないが（ただし遺伝子組み換え技術による高収量形質製品もすでに開発ラインに乗っている）、収量とグリホサート耐性の関連が確立したことで、第2世代にあたるラウンドアップ・レディー・2イールドは、2004～2007年の圃場実験で第1世代RR[®]（ラウンドアップ・レディー

一) ダイズより収量が7~11%増加という結果が得られた。ラウンドアップ・レディー・2 イールドの収量増の要因を詳しく分析した結果、3粒入りのさやが増えたことで、1株当たりの種子数がラウンドアップ・レディーの85.8個からラウンドアップ・レディー・2 イールドダイズは90.5個と増加したことがわかった。2009年には、特定の異なるマチュリティー（成熟）クラスのラウンドアップ・レディー・2 イールドダイズの複数の品種について、米国とカナダの約0.5ヘクタールの限定農地ではじめて商業栽培が行なわれた。栽培面積は2010年に200~300万ヘクタールに増加すると見込まれる。ラウンドアップ・レディー・2 イールドは、生物的ストレス（害虫、雑草、病気）から作物を守ることが中心だった第1世代製品と異なり、多くの開発企業が研究開発ラインに持つ、それ自体で収量増が期待できる遺伝子組換え作物第2世代という新しい潮流から誕生した新しい一群の製品として、商業化の承認を受けた最初の製品であるという点で重要な意味を持つ。

経済への影響

遺伝子組換え作物は、収穫物の供給を増やす（単位面積当たりの生産性を高めることを通じて）と同時に生産コストを下げる（資材投入の必要性の低下や、耕起、農薬使用の減少を通じて）ことによって食料の自給率/安全性および食料の調達に貢献し、さらにトラクターに使用する化石燃料も減らすことで、気候変動に関連する好ましくない環境変化の緩和にも役立つ。1996年から2008年までに得られた経済的利益519億米ドルのうち、49.6%は収量増によるもので、残り50.4%は生産コストの減少によるものであった。2008年、4大遺伝子組換え作物（ダイズ、トウモロコシ、ワタ、ナタネ）の生産高増加分は2,960万トンだったが、遺伝子組換え作物を採用せずにこれだけ増産するためには、1,050万ヘクタールの農地が新たに必要だった計算になる。2,960万トンの内訳はトウモロコシが1,710万トン、ダイズが1,010万トン、ワタが180万トン、ナタネが60万トンである。1996~2008年の生産高増加は1億6,710万トンで、仮に遺伝子組換え作物を採用していなかった場合、（2008年の平均収穫高をもとにすると）6,260万ヘクタールの土地がさらに必要であったことになる（Brooks and Barfoot, 2010, 近刊）。バイオテクノロジーは生産性向上と生産コスト削減に多大な貢献をしてきており、将来はイネや小麦といった主食作物、キャッサバなど貧困層にとっての食料作物にも大きな貢献の可能性を秘めていることになる。

1996~2008年の遺伝子組換え作物の影響を調べた最新の研究（Brooks and Barfoot, 2010, 近刊）では、遺伝子組換え作物を栽培する農業生産者が受ける世界全体の経済効果は、2008年だけで92億米ドル（発展途上国で47億米ドル、先進国で45億米ドル）だったと試算している。1996~2008年の累計は519億米ドル、発展途上国で261億米ドル、先進国で258億米ドルである。この試算はアルゼンチンで行なわれている遺伝子組換え大豆の非常に重要な二毛作への普及も考慮している。

農薬使用量の減少

従来型農業は環境への負担が大きいが、農業の環境フットプリントを減らすためにバイオテクノロジーを活用することができる。そうした試みの最初の10年間は、農薬使用量の削減、化石燃料の節約、不耕起または減耕起によるCO₂排出量の削減、除草剤耐性の応用で不耕起を最適化することによる土壌と水分の保全、といったことが中心だった。1996年から2008年までの農薬使用量は、有効成分ベースで3億5,600万キログラム、率にして8.4%の減少と推計される。作物への農薬使用が与える環境影響、環境影響係数（Environmental Impact Quotient、EIQ）— 個々の有効成分のさまざまな環境影響に基づいて算出される複合指標 — では16.1%の削減となった。2008年だけのデータでは農薬使用量は有効成分ベースで3,460万キログラムの減少（9.6%）、EIQでは18.2%の減少となった（Brooks and Barfoot, 2010, 近刊）。

CO₂の排出量削減

緊急かつ重要な課題である地球環境問題は、遺伝子組換え作物とも深い関わりがある。遺伝子組換え作物は2つの側面から温室効果ガスを減らし、気候変動の軽減に貢献することができる。ひとつは殺虫剤と除草剤の散布を減らすことによる、化石燃料の使用の軽減がもたらす恒久的な二酸化炭素の排出量削減である。これによって2008年の二酸化炭素排出量は推計で12億2,000万キログラム削減できた。これは道路を走る自動車を53万台減らしたのと同じ効果である。もうひとつは遺伝子組換え食料・飼料・繊維作物の環境保全型耕起（除草剤耐性のある遺伝子組換え作物を採用し、不耕起または減耕起を行なう）によるさらなる削減であり、その結果としてさらに2008年にはCO₂削減量推計が132億キログラム、自動車にして641万台相当の土壌炭素の隔離につながった。2008年の土壌炭素の隔離による恒久的および追加的なCO₂削減量は144億キログラム、自動車にして694万（～700万）台相当ということになった（Brooks and Barfoot, 2010, 近刊）。

食料自給と食料安全保障

2008年、主要食料輸出諸国（タイとベトナムはコメ、アルゼンチンはダイズとトウモロコシなど）が輸出を封鎖した際に起こった穀物市場価格の危機は、輸入国である発展途上国の国際コメ市場に対する信頼を失わせた。これにより輸入国は輸出国と個別に直接交渉するようになったが、同時に主要な主食用作物に関して自国の生産性と自給率を高める努力を開始した。最大のコメ輸入国であるフィリピンは2010年にコメ自給率を98%にする目標を打ち立てた。インド、マレーシア、ホンジュラス、コロンビア、セネガルも主要食料の自給率を高める同様の目標を掲げた。輸出国・輸入国双方における食料安全保障（すべての国に十分な食料を）から食料自給（国産作物の生産量を増やし、単位面積当たりの生産性を向上させる）への重要な戦略転換は、遺伝子組換え作物の意義にも大きな影響を与えている。中国にとっては食料自給、および食料・飼料・繊維原料における他国への依存

を最小限にすることは長年の戦略であり、この中国の戦略は、作物収量を増やす遺伝子組換え作物の開発の意義とも整合性を持つ。中国が遺伝子組換えイネとトウモロコシを承認したことは、他の発展途上国も追随できる有効なモデルである。この中国の承認が他の発展途上国に与える影響はかなり大きく、これら発展途上国においては、遺伝子組換え作物の規制承認プロセスが円滑化、促進される、作物バイオテクノロジーの移転が活発になる、創造的で新たな南南協力、パートナーシップへの道が開かれる、官／官および官／民セクターの協力が盛んになる、など多面的な波及効果も予想される（The Economist, 2009c）。

世界人口の半数以上が栽培 25 カ国に住み、全耕地面積 15 億ヘクタールのうち 9%、1 億 3,400 万ヘクタールで遺伝子組換え作物が栽培されている

2009 年の世界の総人口 67 億人のおよそ半数以上（54%、36 億人）が遺伝子組換え作物を栽培する 25 カ国に住み、2008 年には 92 億米ドル規模の多面的な恩恵を受けた。また世界の農地 15 億ヘクタールの半分以上（52%、7 億 7,600 万ヘクタール）が、2009 年に承認済み遺伝子組換え作物を栽培している 25 カ国の中に存在する。**2009 年に遺伝子組換え作物が作付けされた 1 億 3,400 万ヘクタールは、世界全体の農地 15 億ヘクタールの 9%になる。**

遺伝子組換え作物由来の食品の消費

遺伝子組換え作物に批判的な人たちは、遺伝子組換え作物から作られた製品の用途は飼料または繊維原料のみで、食品として消費されていないというまことしやかな話を流布しようとしてきた。ところが実際には、米国およびカナダで販売されている加工食品の 70% には、承認済みの遺伝子組換え作物の原材料が含まれている。北米では 10 年以上にわたって 3 億人が遺伝子組換え作物に由来する製品を消費していることになるが、何ら問題は起きていない。遺伝子組換え作物に由来する製品は、米国では遺伝子組換えダイズ、トウモロコシ、ワタ（綿実油）、ナタネ、パパイヤ、スクワッシュ（カボチャ）がある。南アフリカでは食用の Bt 白色トウモロコシ（黄色トウモロコシは飼料用）が 2001 年から食されており、2009 年には白色トウモロコシの栽培面積 150 万ヘクタールのうち 3 分の 2 を占めるまでになった。南アフリカでは遺伝子組換えダイズやワタ（綿実油）から作った製品も消費されている。中国では遺伝子組換えパパイヤが 2006 年から市場に出回り、2009 年には世界で最も重要な食料作物であるイネについても、遺伝子組換え品種の商品が承認された。これ以外にも多くの国が遺伝子組換え作物を大量に輸入しているが、健康上の問題は発生していない。

25 カ国が遺伝子組換えの植え付けを承認、32 カ国が輸入を承認し、計 57 カ国が遺伝子組換え作物またはそれに由来する製品を承認

2009 年に遺伝子組換え作物を商業的に栽培した国は 25 カ国で、これに輸入を承認してい

る 32 カ国を加えた合計 57 カ国が、1996 年以来食料・飼料目的での遺伝子組換え作物の輸入、環境への放出を承認している。承認件数は 24 種類の作物、155 のイベントにおいて 762 件になる。遺伝子組換え作物は 57 カ国で食料・飼料目的の輸入と環境への放出が認められており、自国で遺伝子組換えを栽培していない日本のような国も含まれる。遺伝子組換え作物を承認している 57 カ国のうち、輸入量のトップは日本で、次いで米国、カナダ、韓国、メキシコ、オーストラリア、フィリピン、EU、ニュージーランド、中国と続く。最も多くの案件（イベント）が承認されたのはトウモロコシ（49）で、続いてワタ（29）、ナタネ（15）、ジャガイモ（10）、ダイズ（9）となっている。最も多くの国で承認を受けたイベントは、除草剤耐性のダイズのイベント GTS-40-3-2 で 23 ヶ国（EU 域内の 27 は 1 と数える）の承認を得ており、次が除草剤耐性トウモロコシ（NK603）と害虫抵抗性トウモロコシ（MON810）でどちらも 21 カ国、続いて害虫抵抗性ワタ（MON531/757/1076）が 16 カ国となっている。

国家経済成長に遺伝子組換え作物が果たす役割

農業に基盤を置く国が経済成長をするためには、農業の成長が不可欠である。

「2008 年世界銀行開発報告書」は、「農業に基盤を置く国の経済成長の基礎として農業を考えるならば、小規模農業生産者の生産性に革命が必要である」と結論づけている。農作物は食料・飼料・繊維原料の最大供給源であり、年間生産高は全世界で約 65 億トンになる。作物生産性の向上と農村の経済成長にテクノロジーが大きな役割を果たすことは歴史が証明しているが、その代表的な例が 1930 年代の米国で導入されたハイブリッドトウモロコシであり、1960 年代に発展途上国でイネと小麦で実現した「緑の革命」であろう。「緑の革命」時に導入された半矮性小麦は最新のテクノロジーの成果であり、1960 年代の国と農村の経済成長の原動力として 10 億人を飢えから救う役割を果たした。この功績が評価されて故ノーマン・ボーローグ博士は 1970 年にノーベル平和賞を授与されている。ボーローグ博士は遺伝子組換え作物という新しいテクノロジーの産物を強力に支持し、ISAAA の熱心な後援者でもあった。中国で採用された Bt ワタは約 10 億米ドル、同様にインドでは 18 億米ドルの利益を生み出した。また中国で承認された Bt イネは、国内の貧しいイネ農家 1 億 1,000 万世帯にとって、1 ヘクタール当たり約 100 米ドルの収入増をもたらすと推計される。1 世帯当たりの人数を平均 4 人とすると、受益者は 4 億 4,000 万人になる。このように遺伝子組換え作物は生産性向上と所得の大幅増加の実績をすでに示しており、経済成長の原動力となりうることを証明している。そのため世界的な経済危機の時代にあっても、小規模で資源に乏しい農業生産者の貧困軽減（解消）に貢献することが可能である。Bt イネなどの作物が持つ可能性ははかりしれない。今日、資源の豊かな工業諸国のニーズに合わせるために、不必要で不当に厳しい基準が設けられており、それが発展途上国によるゴールデンライスなどの適時な利用を妨げている。そのあいだにも、防ぐことのでき

る飢餓で数100万人が生命を落としている。これはモラル面でのジレンマであり、規制システムが「手段ではなく目的」となっているのである

遺伝子組換え種子市場は2009年に105億米ドル、遺伝子組換えトウモロコシ、ダイズ、ワタの商業規模は2008年に1,300億米ドル

2009年の遺伝子組換え作物種子の市場価値は、Cropnosisの試算によると105億米ドル（2008年の90億米ドルより上昇）だった。これは同年の、世界の作物保護市場522億米ドルの20%、商業種子市場約340億米ドルの30%を占めていることになる。遺伝子組換え作物種子市場105億米ドルの内訳は、遺伝子組換えトウモロコシが53億米ドル（世界的な遺伝子組換え作物市場の50%、2008年の48%より上昇）、遺伝子組換えダイズが39億米ドル（同37.2%、2008年も同率）、遺伝子組換えワタが11億米ドル（10.5%）、遺伝子組換えナタネが3億米ドル（3%）となっている。また遺伝子組換え作物種子の市場105億米ドルのうち82億米ドル（78%）は先進諸国が、23億米ドル（22%）は発展途上国が占めていた。遺伝子組換え作物種子の市場価値は、販売価格および関連テクノロジーの技術料で算出できる。遺伝子組換え作物が最初に商業化された1996年からの12年間の累計は、623億米ドルと推計されている。2010年の遺伝子組換え作物種子市場の世界的価値は110億米ドルを超えると予測される。またこの種子から収穫された「最終製品」（遺伝子組換え穀物およびその他の収穫品）がもたらす農業生産者レベルの収入は、種子のみの価値（105億米ドル）よりはるかに大きいと考えられる。2008年に収穫された遺伝子組換え作物の最終製品は世界全体で1,300億米ドルで、これは毎年10~15%の割合で伸びていると予測される。

遺伝子組換え作物の将来の見通し（2010年~2015年）

農作物は食料・飼料・繊維の最大供給源であり、年間生産高は約65億トンになる。作物生産性の向上と地域の経済成長、食料安全保障、飢餓、栄養不足、貧困の軽減（解消）にテクノロジーが大きな役割を果たすことは歴史が証明している。そして2010年から2015年までに国際社会が直面する「大きな挑戦」とは、2015年ミレニアム開発目標を達成すること、そして2050年までに食料・飼料・繊維の生産高をより少ない資源（とくに水、化石燃料、窒素）の中で倍増させることである。それには従来の技術と遺伝子組換え技術の両方を活用し、作物生産性を持続可能な形で大幅に強化させ、食料自給と食料安全保障を確保し、飢え、栄養不足、貧困を軽減させることが不可欠である。

2010年から2015年までの遺伝子組換え作物の採用、とくにISAAAが提携する発展途上国での採用を左右するのは、次の3つの要素である：

- ・費用/時間効率が高く、適切かつ責任ある規制システムを確立し効率的に運用すること。
- ・食料・飼料・繊維の確実かつ手ごろな価格での供給に寄与する遺伝子組換え作物の開発、採用に向けて強力な政治的意思を働かせ、経済的支援を行なうこと。

・国際社会、とりわけアジア、南米、アフリカの発展途上国のニーズに対応しうる適切な遺伝子組換え作物の供給を継続、拡大すること。

1. 効果的かつ責任ある規制システム

費用／時間効率が高く、適切な規制システムは不可欠であり緊急でもある。規制システムは責任ある厳格な運用が求められるが、煩雑でなく、最も発展の遅れている国の資源に負担をかけないものでなければならない。これはほとんどの発展途上国において、遺伝子組換え作物の採用を妨げる最大の障壁である。我々は過去14年間のすべての知識と経験を活用して規制を緩和し、不必要で煩雑な規制の負担から発展途上国を解放しなければならない。費用が100万米ドル以上もかかる承認プロセスは、ほとんどの発展途上国には不可能である。現在の規制システムは、新しい技術と規制を満たすための資源を持つ豊かな先進工業国のニーズをもとに15年近く前に設計された。しかしながら貧しい発展途上国はそのような資源を持ちあわせていない。14年間に蓄積された知識があれば、適切で責任があり、厳格でありながら煩雑でなく、発展の遅れている国でも負担の少ない規制システムを設計することは充分可能である。このことは最優先課題に定めるべきである。

2. 遺伝子組換え作物の開発、承認、採用を支援する政治的意思と経済的・科学的支援

2008年から2009年にかけて、国際社会はかつてない食料価格の高騰によって（それがもとで30以上の発展途上国で暴動が発生し、ハイチとマダガスカルでは政権が崩壊した）、食料と安全保障に関する大きなリスクをあらためて認識した。その結果、慈善団体、国際開発組織、科学界、さらには発展途上国の指導者のあいだで遺伝子組換え作物への支持が高まり、それに向けた政治的意思も明瞭になった。また農業が生命を維持するうえで不可欠な産業であり、公正で平和な国際社会を実現するうえで決定的な役割を果たしているという基本的な事実も認識されるようになった。世界的な指導者、政治家、政策立案者、科学界の代表者らが2008年から2009年にかけて行なった発言を以下に紹介するが、これを見るとこの時期に政治的な意思と支援が強まっていることがよくわかる。これからはそうした発言をいかに実現し、そして行動をいかに伝えていくかが大きな課題である。

・2008年、中国は今後12年間に35億米ドルを投じて作物テクノロジーの改善に取り組むことを決定した。これは2008年6月、温家宝首相（中国の国务院/内閣の議長）が中国科学アカデミーに対し「食糧問題を解決するためには、ビッグサイエンスと技術に大きく依存しなければならない。それはバイオテクノロジーであり、遺伝子組換え技術である」と発言して、作物バイオテクノロジーへの強力な政治的意思を表明したことによる。さらに10月に温家宝首相は「私は遺伝子工学の試みを支持している。近年の世界的な食糧不足で、その思いはいつそう強くなった」（2008）と発言し、遺伝子組換え作物への支持をあらためて

明確にした。中国農業科学アカデミー（CAAS）バイオテクノロジー研究所の前所長である **Dafang Huang** 博士は「GM イネは増大する食糧需要に応えられる唯一の手段である」と断言している（Qiu, 2008）。中国の遺伝子組換え作物に対するこうした姿勢は、2009年11月27日に遺伝子組換えトウモロコシおよびイネにバイオセーフティ認定書を発行するという歴史的判断に結実した（Crop Biotech Update, 2009）。

・インド、マンモハン・シン首相の発言。2010年1月3日、ケララ州 Thiruvanthapuram で開かれた第97回インド科学会議の開会演説で、マンモハン・シン首相はインドにおける Bt ワタの成功を賞賛し、主要作物の収量大幅向上のためには、バイオテクノロジーの開発が必要であると強調した。この演説が注目されたのは、インド科学会議がインドにおける科学技術の中枢機関であり、第97回会議は「21世紀の科学技術の挑戦——国家的展望」というテーマで開かれていたからである。シン首相はさらにこう語っている。「バイオテクノロジーが進歩し、害虫や水分ストレスへの抵抗性が高まれば、わが国の主要作物の収量は大幅に伸びるものと思われる。Bt ワタはわが国で広く受け入れられ、すでにワタ生産のありかたを大きく変えている。遺伝子組換え技術は食料作物にも拡大しつつあるが、安全性に対する疑問の声もある。その点は十分に考慮して、厳密な科学的基準に基づいた適切な規制を行なわねばならない。そうした配慮をしたうえで、気候変動の激しい現状のなかでもわが国の食糧安全保障を確保するには、バイオテクノロジーをあらゆる面で活用しなければならぬ」（Singh, 2009）。

・インドの前財務大臣 **P. Chidambaram** 博士は、インドの食糧生産地域における Bt ワタのめざましい成功を食糧作物でも再現し、食料自給を実現するよう要請した。「バイオテクノロジーを農業に適用することは重要である。Bt ワタでなされたことが食料穀物生産でもなされなければならない」（James, 2008）

・2009年9月、インドの規制機関（GEAC）はインド政府に対し、Bt ナスの商業化承認を勧告した。Bt ナスはインドで承認が推奨された最初の遺伝子組換えの食用作物となる。報告書（本概要書）出版の時点では、政府の最終承認を待っている状態である。2009年11月23日、インド国会衆議院で「Bt ナス導入」に関する質問を受けた環境・森林相 **ジャイラム・ラメシュ** は次のように答弁した。「50件以上の圃場試験で Bt ナスの安全性、効率、農業成績を評価した結果、Bt ナスに含まれる **Cry1Ac** タンパク質が、ナスに大きな被害をもたらす害虫（fruit and shoot borer）を寄せつけない効果があることがわかった。これによって出荷可能量が増加するだけでなく殺虫剤の使用量も削減でき、農業生産者および販売業者への経済的恩恵が増大すると考えられる」（Ramesh, 2009）。

・2009年9月に GEAC が Bt ナスの承認を勧告したのを受けて、インド科学技術相 **Prithviraj Chavan** は次のように語った。「この技術の最大の利点は、化学物質である殺虫剤の使用を減らせるので、人間の食品としてのみならず環境にも安全だという点だ」さらに Chavan は

次の点を強調した。「初の遺伝子組換え野菜作物である Bt ナスの開発は適切であり、時宜を得ていたと確信している。遺伝子組換え作物は 1996 年以来世界各地で栽培されているが、健康に有害な影響は 1 件も報告されていない」(Chavan, P. 2009)。

- ・ 欧州委員会は、「遺伝子組換え作物は、食糧危機の影響を緩和する重要な役割を果たすことができる」と述べた (Adam, 2008)。
- ・ 世界保健機関 (WHO) は、遺伝子組換え作物はより栄養価の高い食料を供給し、アレルギーの可能性を低減し、また生産システムの効率を高めることによって公衆衛生分野に恩恵をもたらす潜在力があることから、その重要性を強調した (Tan, 2008)。
- ・ 2008 年 7 月に北海道で開催された G8 主要国会議で初めて、遺伝子組換え作物が食糧安全保障において果たすことができる重要な役割の意義が認められた。遺伝子組換え作物に関する G8 リーダーの声明 (G8, 2008) にはこう書かれている。「研究開発を促進して農業生産を増やすために、新しい農業技術の利用機会を増やすこと。また、我々はバイオテクノロジーを通して開発される様々な種子の貢献を含め、科学に基づいたリスク分析を促進する」
- ・ 2009 年 7 月 19 日にイタリアのラクイラで署名された世界的食糧安全保障に関する共同声明で G8 参加者が、「最貧国の農業生産者が食料生産を改善し、貧しい人々が食料を確保できるように」今後 3 年間で 200 億米ドルを拠出することで合意した。この決定の特質は、「人に魚を与えれば、その人は一日生き延びられる。魚の捕り方を教えれば一生生きていける」という言葉が示すように、食糧安全保障のために食料生産性を高めること、そして「自給自足」を新たに強調した点にあった (この 2 点は互いに矛盾するものではない)。G8 の声明はこう述べている。「我々は依然として食糧安全保障、世界的財政および経済危機と、昨年の食料価格の急騰による、飢餓と貧困の増加に対応する能力が最も弱い国々への影響に深い関心をもっている。食料品の価格は 2008 年のピーク時よりは下がっているが歴史的にみればまだ高く、不安定である。……人類を飢餓と貧困から救う決定的な措置が緊急に必要である。食糧安全保障と栄養補給、そして持続可能な農業を世界、地域、および国家レベルのすべての関係者を巻き込んだ、分野横断的かつ包括的な方法で対応する、政治課題の優先事項にしておかなければならない。効果的な食糧安全保障と併せ、気候変動、生物多様性の保護を含めた水、土地、土壌その他の天然資源の持続可能な管理に関する、適応措置や軽減措置も必要である」(G8, 2009)。
- ・ ノーベル平和賞受賞者ノーマン ボーローグ博士。1970 年のノーベル平和賞委員会が、「この時代の人物でボーローグ博士ほど飢えた世界の人々にパンを与えるのに役立つ

た人はほかにいない。(ノーベル平和賞委員会は)パンを与えることが世界平和をもたらすことになるのを望んでこの人選をした。……ポーローグ博士は世界に新たな食料生産を生み出すのを助け、人口の急増と食料生産の間の劇的競争における悲観を楽観に変えた」という結論を下した。ノーマン ポーローグ博士は、遺伝子組換え作物とそれが果たす世界的食糧安全保障および飢餓・貧困の軽減への寄与について世界で最も信頼できる提唱者であった。彼はこう述べた。「過去10年間、我々は植物バイオテクノロジーの成功を見てきた。この技術は世界中の農業生産者が殺虫剤の使用量と土壌浸食を減らしながら収量を増加するのを助けるものである。バイオテクノロジーの恩恵と安全性はこの10年間で、世界人口の半分以上を擁する国々で証明された。必要なのは、農業生産者がいまだに古くて効率の悪い方法しか選択肢を持たない国々における、為政者たちの勇気である。緑の革命、そして今は植物バイオテクノロジーが、未来の世代のために環境を保存しながら増え続ける食料生産需要を満たすのを助けている」(James, 2008)。2009年9月に死去する前に、ノーマン ポーローグ博士はRichard Lugar上院議員とRobert Casey上院議員が提出した2009年食糧安全保障法に於いて第2の「緑の革命」を提唱した。ポーローグ博士はこう述べた。「緑の革命はまだ勝利していない。発展途上国が増え続ける人口を養う方法を見つけるには、農業科学者、研究者、統治者らの助けが必要である。発展途上国のこれらの忘れ去られた人々は、常に飢餓に直面し、貧困の中に生きており、世界の人口の半分以上を占めている。…2009年の食糧安全保障法は、発展途上国における農業と食糧安全保障の改善を助けることによって第2の緑の革命を始める道を開くものである」(ポーローグ, 2009)。

- **Bill Gates** は2009年10月15日にアイオワ州デモインで開かれた世界食糧賞のシンポジウムにおける基調演説で、次のように遺伝子組換え作物の使用を是認した。
「我々の援助のなかに、遺伝子組換え技術を用いた方法が含まれている。なぜなら遺伝子組換え技術によって、従来の育種技術だけを使うより農業生産者の挑戦に速く、効率的に対応できると信じているからである。……国を養うのを助ける最良で最も安全な方法を選ぶのが、(優れた科学を知った)政府と農業生産者、そして市民の責任である。我々にはその手段があり、何をしなければならぬか、我々は知っている。我々は、ポーローグ博士の夢、すなわち飢餓のない世界が実現するのを見る世代になることができる」(Gates, 2009)。

- ・ **FAO**。2009年10月12日のハイ・レベル・フォーラムで Jacques Diouf 事務局長は「農業はもっと生産性を高めるしか選択肢がないであろう」と宣言し、生産増加は耕地面積を増やすのではなく、主として収量増加と穀物収率の改善によるものでなければならないであろうと述べた。その上で「有機農業は飢餓と貧困の軽減に役立ち、推進すべきであるが、有機農業だけでは急増する人口を養うことはできない」と指摘した (Diouf, 2009)。
 - ・ **食糧安全保障に関する世界サミット**。2009年11月6～18日にイタリアのローマで開催された食糧安全保障に関する世界サミットで各国政府首脳が署名した宣言の戦略に、バイオテクノロジーの支援が含まれていた。「土地の拡大や食料生産に使う水の増大に制約がある以上、農業の生産性を高めることが食料の需要増加を満たす主要な手段と認識している。安全、効率的かつ環境持続的なバイオテクノロジー、新しいかつ革新的な技術に対して審査、承認と採用に必要な資源を振り向ける道を追求する」この声明は「宣言の方針3」と呼ばれ、すなわち1) 最も弱い立場の人々の飢餓にただちに対処する直接的措置、2) 十分な食料を得る権利を徐々に実現することもを含めた、飢餓と貧困の根本原因を取り除く中長期的な持続可能な農業、食糧安全保障、栄養補給、および農村部開発計画、からなる食糧安全保障のための包括的な2本立てアプローチを実施することに向けた一つの戦略である (食糧安全保障に関する世界サミット, 2009)。
 - ・ **イギリス環境・食料・農村 (DEFRA) 大臣 Hilary Benn** が、遺伝子組換え作物が気候変動と人口増加の解決策になる可能性を提唱した。彼は次のように述べた。「昨年、石油の価格が上昇し、オーストラリアで旱魃が発生して英国のパンの価格にも影響を及ぼしたとき、これらすべてのことがいかに相互依存しているかを知った。……今後 40～50年の間に、新たに25億ないし30億人増える人口を養わなければならない、英国の農業でできるだけ多くの食糧を生産できるようにしたい」Benn氏はラジオ4の番組 Today で、何を栽培するかは農業生産者が決めるであろうが、「作物に関する『事実』を発見するためには、新技術を調べることが重要である。遺伝子組換えが役立つのであれば、ひとつの社会として、またひとつの世界として、その技術を利用するかどうか選ぶことができる。また、遺伝子組換え作物を栽培する国が増えている……なぜなら1つ確実なことがあるからである。すなわち今後、人口が増えるにつれて世界には多くの農業生産者と多くの農業生産物が必要になるのである。遺伝子組換え作物には、乾燥に強いもの、気温の上昇に伴い増大する害虫とたたかう殺虫剤が不要なものがある (Waugh, 2009)。
- イギリス環境・食糧・農村省 (DEFRA) 首席科学顧問で議論の的になった IAASTD (開発のための農業科学技術の国際的評価) レポートの事務局長 **Robert Watson** 博士は、「遺伝子組換え作物は、気候変動と急速な人口増加による世界中の大量飢餓を防ぐのに重要

な役割を持つ」と語った (Shields, R. 2009)。イギリス政府が2010年1月初めに発表した国家食糧戦略 Food 2030 は、イギリスは遺伝子組換え作物を受け入れないかぎり将来深刻な食糧不足に直面するであろうと結論づけた。同レポートは政府、大臣ら、一流の科学者たちから異例な強い支持を得て、イギリス王立協会が最近発表した報告書(次のパラグラフで引用)の勧告とも一致している。Food 2030 レポートの発表後にオックスフォード・ファーミング・カンファランスで演説した政府首席科学顧問 John Beddington 博士は次のように述べた。「**遺伝子組換え技術とナノテクノロジーを現代の農業に取り入れるべきである。……環境その他の制約の範囲内で、食物連鎖によって生産高と効率を高めるより強力な緑の革命が必要である。バイオテクノロジーや工学から、ナノテクノロジーなど比較的新しい分野に及ぶ多くの専門分野の技法と技術が必要になる**」(Gray, 2009)。

- ・ **イギリス王立協会**。2009年10月に発表されたレポート「**恩恵を獲得する——科学、そして農業の持続可能な増強**」で、イギリスで最も栄誉ある科学アカデミーである王立協会が、公的資金による遺伝子組換え作物技術の研究で持続可能な農業の増強を目指すよう勧告した。レポートは、「**(食料安全保障に関する) 課題の大きさから考えていかなる技術も除外すべきではなく、地域や状況に応じて異なる戦略を用いる必要がある**」と勧告している。レポートは結論として、従来技術と遺伝子組換え技術の適用によって北ヨーロッパが「**世界の主要なパン籠**」の1つになりうる、と述べている。イギリス政府の首席科学顧問 John Beddington 博士は、イギリスへの遺伝子組換え作物栽培の導入を是認した。それに加えてイギリス食品基準局 (FSA) が消費者と、遺伝子組換え作物を採求するための対話を開始する予定である。2004年に決定されたイギリス政府の遺伝子組換え作物政策では次のように述べている。「**イギリスにおける遺伝子組換え作物の栽培を全面的に禁止する科学的論拠はなく、遺伝子組換え使用の計画はケースバイケースで評価する必要がある**」(Hills, 2009)。
- ・ **教皇庁正義と平和協議会**。教皇庁正義と平和協議会のメンバーが、アフリカの貧困と飢餓を軽減するためにバイオテクノロジーを支持した。2009年9月24日にローマで開催された「**アフリカの緑の革命のための**」フォーラムで、正義と平和協議会のかつての事務局長 Giampaolo Crepaldi 大司教が次のように述べた。「**アフリカの開発の遅れと飢餓は、その大部分が時代遅れで不適切な農法によるものである。遺伝子構造に手を加える技術で改良された種子など、アフリカの農業生産者を元気づけ支えることができる新技術を利用できるようにしなければならない**」。同シンポジウムを主催した教皇庁立レジーナ・アポストロルム大学の生命倫理学教授 Gonzalo Miranda 神父は、「**バイオテクノロジーがアフリカ開発に多大な効果をもたらすことをデータが示しているなら、それらの国々が自ら実験することを許可するのは道徳的義務である**」と語った (African Forum on

Biotechnology, 2009)。

3. 遺伝子組換え作物の国別採用率、農家数、栽培面積は 2015 年までにすべて倍増するか？
また優先的なニーズに応えるために、適切な遺伝子組換え作物の供給が拡大するか？

遺伝子組換え作物の導入が 2009 年までにすでに驚異的な伸びを示し、今後 2015 年までの見通しも有望なのを見れば、遺伝子組換え作物栽培国数、遺伝子組換え作物を栽培する農業生産者数、遺伝子組換え作物栽培面積が 2006 年から 2015 年の間に倍増する（20 から 40 カ国、1000 万から 2000 万の農業生産者、1 億から 2 億ヘクタールになる）という ISAAA の 2005 年の予測が達成可能という慎重さを必要とするが楽観論がある。

まず、2010 年から 2015 年の間に 15 カ国以上が新たに遺伝子組換え作物を導入し、その結果 2015 年には世界の遺伝子組換え作物栽培国総数が、2005 年の ISAAA の予測どおり 40 カ国になると予想される。これら新栽培国にはアジアで 3~4 カ国、東および南アフリカで 3~4 カ国、西アフリカで 3~4 カ国、北アフリカと中東で 1~2 カ国が含まれると考えられる。中南米・カリブ海諸国では 10 カ国がすでに遺伝子組換え作物を商業化しており、拡大の余地は少ない。しかしこの地域の 2~3 カ国は、今後 2015 年までの間に遺伝子組換え作物を導入する可能性がある。東ヨーロッパでは、遺伝子組換えジャガイモが開発の進行段階にあるロシアを含めて最大 6 カ国の参入が可能である。遺伝子組換えジャガイモは東ヨーロッパの数カ国で導入される見込みがある。西ヨーロッパについては、予想がそれほど簡単ではない。ヨーロッパにおける遺伝子組換え作物問題は科学技術上の考察とは無関係で政治的な性質を持ち、活動家団体のイデオロギー観に影響されるからである。

第 2 に遺伝子組換え作物生産農家数は、2015 年までに 2000 万という予想に到達すると思われる、さらにはそれを超える可能性もある（2009 年ですでに 1400 万世帯）。その前提として、以下の事態が高い確率で実現すると考えられる。中国が今後 2~3 年で遺伝子組換えコメ（米作農家は中国だけで 1 億 1000 万世帯）と遺伝子組換えトウモロコシ（トウモロコシ農家が中国だけで 1 億世帯）を導入し、世界で最も重要な食料および飼料作物を商業化した中国に他のアジア諸国が追随する可能性がある。インドで Bt ワタが最大限に利用され、インド、フィリピン、バングラデシュで Bt ナスが導入される。ブラジルで遺伝子組換えダイズ、トウモロコシおよびワタの栽培が大幅に増える。ブルキナファソで Bt ワタの、エジプトで Bt トウモロコシの栽培が増大し、他のアフリカ諸国でも追加的に導入される可能性がある。フィリピン、バングラデシュに続いてインド、その後インドネシアとベトナムで 2015 年までにゴールデンライスが導入される。パキスタンなど小規模農業生産者が多い国の遺伝子組換え作物栽培国への参入によって、2015 年までに 2000 万以上という世界合計の予想が達成される。

第3に、遺伝子組換え作物は値段が手ごろで品質も良い食料を生産できるため世界的に安全で安定した食料、飼料および繊維を供給できるという相対的利点により、遺伝子組換え作物の栽培面積が2015年までに2億ヘクタールに倍増しそうなことが容易に予想できる。現在、遺伝子組換え作物の4大栽培面積を占める作物（トウモロコシ、ダイズ、ワタ、ナタネ）の遺伝子組換え作物栽培面積が増加する可能性が高いことに加えて、Bt イネ、ゴールデンライス、遺伝子組換えサトウキビ、遺伝子組換えジャガイモなどの新規遺伝子組換え作物および形質が2015年までに導入されると思われる。2009年には現在の4大遺伝子組換え作物全体で、栽培可能な総面積3億1,200万ヘクタールのうち1億3,400万ヘクタールを占めた。したがって遺伝子組換え作物導入の可能性のある土地が1億7,500万ヘクタール残っており、その土地自体にかなり導入の可能性がある。たとえばトウモロコシを例にとってみると、これまでに遺伝子組換え作物の恩恵を受けているのは世界中で1億5,800万ヘクタールの約4分の1にすぎず、残りの4分の3すなわち約1億2,000万ヘクタールにおいて今後、遺伝子組換え作物栽培の可能性はある。世界最大のトウモロコシ栽培国である米国では3,500万ヘクタールのうちすでに85%で遺伝子組換えトウモロコシが栽培されているが、世界第2位のトウモロコシ栽培国である中国では、最初の遺伝子組換えトウモロコシ栽培を許可したばかりで、高フィーターゼトウモロコシその他の形質を栽培できる農地が3,000万ヘクタールある。世界第3のトウモロコシ栽培国であるブラジルには1,300万ヘクタールあるが、商業栽培2季目の2009年にすでに500万ヘクタールという記録的速さで遺伝子組換えトウモロコシが栽培されており、2010年には栽培面積が大きく増えそうである。世界第4（インド、800万ヘクタール）と第5（メキシコ、700万ヘクタール）の両トウモロコシ栽培国では2009年に遺伝子組換えトウモロコシの利益評価のための圃場試験が実施中であるが、その利益はかなり大きいと思われる。アジア全般では合計5,000万ヘクタールのうち遺伝子組換えトウモロコシが栽培されているのはわずか50万ヘクタール（フィリピンのみ）である。アフリカも同様にBt トウモロコシの恩恵を受けているのは合計2,800万ヘクタールのうち200万ヘクタールに満たない（Bt トウモロコシを栽培しているのは南アフリカとエジプトだけ）。遺伝子組換え作物の採用率が高い南米でさえ、現在遺伝子組換えトウモロコシの恩恵を受けているのは合計2,000万ヘクタールのうちわずか700万ヘクタールである。世界のトウモロコシ栽培の全体像を見れば、現在の形質ポートフォリオでも、短中長期的に世界の遺伝子組換えトウモロコシ採用率が大きく増加する可能性がかなりあるのは明らかである。

作物としての遺伝子組換えイネと、形質としての乾燥耐性の開発が、遺伝子組換え作物のさらなる世界的な採用を促す上で重要と考えられる。第1世代の遺伝子組換え作物では害虫、雑草、病気による損害から作物を守ることによって収量および生産高の大幅増が実現できた。しかし第2世代の遺伝子組換え作物は収量そのものをさらに増加させることで、農業生産者に新たな作物栽培へのインセンティブを与えるであろう。2009年に発売された

ラウンドアップ・レディー・2 イールド大豆は、収量を高める多くの第2世代製品の最初のものであった。ゴールデンライス、オメガ-3 ダイズ、高リシントウモロコシなどの機能性形質もまた、次第に増加する農業形質と組み合わせて展開することにより、はるかに充実した形質の組み合わせをもたらすと思われる。いくつかの新形質とそれらの組み合わせに加えて、世界の、大、中、小の栽培面積に取り入れられて、単独およびスタック品種として農業形質と機能性形質を発揮する新たな遺伝子組換え作物も出現するであろう。近いうちに利用できるようになると思われる主要な新遺伝子組換え作物・形質の一部の例を以下に紹介する。

中国が遺伝子組換えイネおよびトウモロコシを承認

中国は2009年11月に主要な遺伝子組換え作物すなわち繊維(1997年に承認済みのBtワタ)、飼料(高フィターゼトウモロコシ)、食糧(Btイネ)の3点セットの承認を完了した。2008年のISAAA概要書は、「**遺伝子組換え作物導入の新しい波が、最初の遺伝子組換え作物の導入の波と緊密に連携して起こることにより、さらに広く確固とした面積拡大に貢献する**」と予想した。この予想は2009年11月27日に中国の農務部(MOA)が3件のバイオセーフティ(生物学的安全性)証明書を発行したときに現実になり始めた(Crop Biotech Update, 2009)。2件の証明書は遺伝子組換えイネについて発行され、1件はBt Huahui-1、もう1件はBt Shanyou Shanyou-63に対するものであった。いずれもcry1Ab/cry1Ac遺伝子を発現し、華中農業大学で開発された。コメは人類の半分を養っている世界最重要の食料であり、貧しい人々の最も重要な食用作物でもあることから、Btコメの承認はきわめて重要である。3件目の証明書は遺伝子組換え高フィターゼトウモロコシに関するもので、トウモロコシが世界で最も重要な飼料作物であることから、これもきわめて重要である。高フィターゼトウモロコシは中国農業科学院(CAAS)が開発し、同院で7年間研究したあとOrigin Agritech Limited社にライセンス供与した。**3件の承認証明書は、中国、アジア、さらには世界全体における遺伝子組換え作物に大きな肯定的意味合いを持つ。**注目すべきは、MOAが3件の証明書を発行する前に細心の注意を払った試験を行ったことである。この証明書によって、すべての新しい従来型および遺伝子組換え作物の登録に必要な標準的圃場試験の完了を待って、おそらく約2~3年のうちに完全商業化されることになる。さらに注目すべきことに、中国はこれで主要な遺伝子組換え作物3点セットを適切な順番で、つまり繊維(ワタ)から始まって飼料(トウモロコシ)、食料(コメ)の順に承認を完了した。これら3作物が中国にもたらすと思われる恩恵は計り知れない。その概要を以下に述べる。

- ・ **Btワタ。**中国は1997年以来継続してBtワタを栽培しており、今では中国の700万世帯を超える小規模農業生産者における所得が、すでに1ヘクタール当たり約220米ドル(年収に換算すると中国全土で10億米ドル)増加している。これは、平均して収量が10%増加、殺虫剤の使用が60%減少したことによるものであり、持続可能な農業と貧困層の

小規模農業生産者の繁栄に貢献するものである。2009年現在で540万ヘクタールの68%においてBtワタが栽培されている中国は、世界最大のワタ生産国である。

- **Bt イネ**で得られる最大8%の平均収量増と80%の殺虫剤使用量減少により、年間およそ40億米ドルの利益が見込まれる。8%の平均収量増は、は3,000万ヘクタールを占める中国の主要食用作物であるコメにおいて、1ヘクタール当たり17kgの収量増加に相当する(Huang et al. 2005)。中国のコメ全体の75%が髓虫の害を受けていると推計されるが、Bt イネはこの害虫を制御することができる。中国は世界最大のコメ生産国(生産量が1億7,800万トン)で、1億1,000万の稲作農家(1世帯4人として合計4億4,000万人)が農業生産者であり、中国13億人のコメ消費者とともにこの技術から直接的な恩恵を受けることができる。中国が自給自足を維持し、気候変動と地下水位の低下に伴う旱魃、塩害、害虫その他の収量抑制因子を克服して生産量を上げるための新しい技術を必要としているまさにその時、Bt コメが生産性を高め、より手ごろな値段で買えるコメをもたらすであろう。
- **高フィターゼトウモロコシ**。中国は米国に次いで世界第2のトウモロコシ生産国(1億世帯の農家が3,000万ヘクタールを栽培)であり、生産物は主として動物飼料に使われている。トウモロコシの自給自足を達成し、中国の富裕層の食肉需要の増加に対応することは、きわめて大きな課題である。たとえば世界最大の中国のブタ頭数は1968年の500万頭から現在の5億頭超に100倍増加した。高フィターゼトウモロコシによってブタはより多くのリンを摂取でき、その結果、成長が早まるとともに肉生産の効率がよくなる。それと同時に排泄物中のリン酸塩による土壌と広範囲な水域帯水層の汚染も減少する。トウモロコシは中国の膨大な数の家畜化された鳥類(ニワトリ、カモその他の家禽が1968年の1,230万羽から130億羽に増加)の飼料としても使われている。フィターゼトウモロコシによって、飼料生産者はフィターゼを購入する必要がなくなり、その結果、用具と労働が節約できるだけでなく便宜性が増す。このトウモロコシが承認されたことの意義は、中国が3,000万ヘクタールを栽培面積を擁し、世界第2のトウモロコシ生産国だということである(米国が3,500万ヘクタールで最大)。中国では急速に富が築かれていることから食肉の消費量が増加し、そのためトウモロコシを主とする動物飼料の需要がかなり増大している。中国は年間500万トンを入力し、10億米ドル超の外貨を支払っている。フィターゼトウモロコシは中国で最初に承認された飼料作物である。アジアで唯一、すでに遺伝子組換えトウモロコシを承認し、栽培している国はフィリピンで、2003年に初めて導入した。2009年、同国では約50万ヘクタールでBt トウモロコシ、除草剤耐性(HT) トウモロコシとBt・HTスタック品種が栽培されていた。

特許権のある Bt ワタ、Bt イネおよび高フィターゼトウモロコシ（重要なことに、すべて中国の公的機関で国家によって開発された）の上記の利点は、中国などと同様の作物生産上の問題を持つ国々、特にアジア（世界の他の地域もそうだが）などの開発途上国にも同様の恩恵をもたらす。アジアは世界の 1 億 5,000 万ヘクタールのコメ生産の 90%を栽培、消費しており、Bt コメはアジアで莫大な影響力が期待されている。Bt イネは生産性を向上させるだけでなく、世界の貧困層の 50%を占める貧しい小規模農業生産者の貧困緩和にもかなり貢献することができる。貧困層のコメ農家は全体で約 2 億 5,000 万世帯あり、1 世帯の人数を 4 人とすると、Bt イネから直接恩恵を受けることができる貧困層の人々がアジアに最大 10 億人いることになる。同様に、アジアには遺伝子組換えトウモロコシの恩恵を受ける可能性のあるトウモロコシ畑が最大 5,000 万ヘクタールあり、中国だけでも 1 億世帯の貧困層のトウモロコシ農家、人数にして 4 億人がいる。中国が世界の先がけとなって遺伝子組換えイネおよびトウモロコシを承認したことはアジア、さらには世界全体、特に開発途上国における遺伝子組換え食料および飼料作物の受け入れ、採用の加速にプラスの影響を与えらると思われる。中国が世界で最も重要な食料および飼料作物を承認し導入することによって、中国はコメの自給自足を維持し、トウモロコシの自給自足を勝ち得る新しい強力な手段を手に入れる。中国は特にアジアの他の開発途上国の手本となることができ、それは下記のような実質的意味を持ちうる。

- ・ 開発途上国における、遺伝子組換え作物のよりタイムリーかつ効率のよい承認プロセス
- ・ 官官および官民共同事業を含む、新しい形での南南技術移転および共有
- ・ より秩序のとれたコメの貿易と、貧民層にとって破壊的だった 2008 年のような価格上昇の再現可能性の低下
- ・ 「自給自足」を完全にし、2015 年ミレニアム開発目標を分担する誘因を大きくする、発展途上国への権限と責任の移譲

最後に、Bt イネおよび高フィターゼトウモロコシは作物の収量と品質を大幅に高め、それによって少ない資源（特に水、化石燃料および窒素）を用いながら 2050 年までに食料、飼料および繊維の生産量を倍増することができ得る、遺伝子組換え作物に組み込まれる多くの農業および機能性形質の、最初のひとつにすぎないと考えるべきである。中国が初の主要な遺伝子組換え食用作物すなわち Bt イネを承認したことは、発展途上国および先進国の官民双方が世界的事業で協力し、より公正な社会における「全員に食料と自給自足を」という崇高な目標に向かうための、類のない世界的な促進を図ることとなる。イネとトウモロコシについて 3 件のバイオセーフティ（生物学的安全性）証明書を発行したことは、中国が唱道していることを実施し、国産の遺伝子組換え繊維、飼料および食用作物の商業化を承認するという中国の明確な意向を示している（果実食用作物である遺伝子組換えパパイヤはすでに 2006/07 期に中国で商業栽培され成功を収めている）。遺伝子組換え作物は中

国に大きな経済および環境上の恩恵をもたらし、さらに重要なことに、中国の戦略課題である食料、飼料および繊維に関する他国への依存からの最大限の脱却を可能にすることであろう。

SmartStax™

「SmartStax™」という新しい遺伝子組換えトウモロコシが2009年7月に、米国環境保護庁（EPA）の登録とカナダ食品検査庁（CFIA）の承認を獲得した（PRNewswire, 2009）。SmartStax™は、Monsanto社とDow AgroSciences社の間で2007年に締結されたクロスライセンス契約と共同研究開発によって生まれた。合計8つの遺伝子を使った複数形質製品であるSmartStax™は、これまでに承認された最も進歩したスタック品種で、最も包括的なトウモロコシの害虫防除（地上と地中の両方）と雑草防除用除草剤耐性が得られるように設計されている。

SmartStax™は下記の積み重ね育種 MON 89034×TC1507×MON 88017×DAS-59122-7 の承認製品の4形質スタックである。

- 1) MON 89034 は鱗翅目害虫防除用の2種の補体タンパク質、Cry2AbとCry1A.105を発現させる。
- 2) TC1507 は鱗翅目害虫防除用のCry1Fとグルホシネート耐性用のBARを発現させる。
- 3) MON 88017 はトウモロコシ根切り虫防除用のCry3Bb1とグリホサート耐性用のCP4を発現させる。
- 4) DAS-59122-7 はCry34/35Ab1 トウモロコシ根切り虫防除用の2成分系タンパク質とグルホシネート耐性用のBARを発現させる。

このように合計8つの遺伝子（cry2Ab、cry1A.105、cry1F、cry3Bb1、cry34、cry35Ab1、cp4およびbar）が、地上害虫防除、地中害虫防除、除草剤耐性の3つの形質をコードする。読者の便宜のために、以下のパラグラフでSmartStax™の開発に使われた商品の詳細を述べる。

- ・ オオタバコガ、欧州アワノメイガ、南西部アワノメイガ、サトウキビメイガ、ヨトウガ、西部ビーンヨトウムシおよびイプシロンヤガの**地上害虫防除**を、Dow AgroSciences社のHERCULEX®I害虫防除技術とMonsanto社のGenuity™ Triple PRO™に含まれている第2

世代の2 遺伝子鱗翅目害虫防除製品 VT PRO™ が行う。

- ・ Monsanto 社の YieldGard VT Rootworm/RR2 技術と Dow AgroSciences 社の HERCULEX®RW 害虫防除技術の合体による地中害虫、西部、北部、およびメキシコアワノメイガの防除。
- ・ Monsanto 社の Roundup Ready®2 技術と Bayer CropScience 社の Liberty Link®除草剤耐性の組み合わせによる広範囲の雑草防除。

SmartStax™ は最も広範囲な害虫に対して、これまでで最も安定した防除作用を持つことが証明されている。SmartStax™ が備えた複数の害虫抵抗性メカニズムによって抵抗性害虫の発生の可能性が大きく低下し、それによって規制当局は緩衝区条件を大幅に縮小できる。実際、害虫抵抗性の永続性増加によって EPA と CFIA は、SmartStax™ の緩衝区条件を米国コーンベルトとカナダで 20%から 5%に、米国コットンベルトで 50%から 20%に減らすことができた。緩衝区が 5%になると、農業生産者の農場全体のトウモロコシの収量が 5~10%増加する。そのため農業生産者は、害虫防除の改善と緩衝区減少の両方による生産性向上の恩恵を受けられる。

この原稿の作成時点で、同製品を米国とカナダにおいて 2010 年に約 100 万~150 万ヘクタール以上の農地に導入する計画が進んでいる。これは、遺伝子組換え作物の初年度の商業栽培としては史上最大の栽培面積になる。同時に、2010 年の北米での植付け期前に主要諸国の規制当局が SmartStax™ の輸入承認を認可して 2010 年の収穫期に商業化できるようにする作業も進んでいる。

インドの Bt ナス

ナスはインドでは「野菜の王様」である。ナスは菜食の主要材料で、菜食主義者が多くの料理に好んで使っている。インドは中国に次いで世界第 2 のナス生産国である。インドでは資源に乏しく最低限の生活をしている 140 万人の小規模農業生産者が、年間を通して 55 万ヘクタールでナスを栽培している。ナスはほとんど一年中市場で販売可能で、安定した収入をもたらすために貧しい農業生産者にとっては重要な換金作物である。しかしナスは多くの害虫や病気の被害を受けやすく、商業栽培においては 60~70%にも達する大きな損失を引き起こす。したがってナスの栽培にはきわめて多量の殺虫剤使用が必要である。インドの官民機関が共同開発した Bt ナスは殺虫剤の散布を 80%減少させてもナスノメイガ、マダラメイガを防除することが見込まれており、これによりナスの全害虫の防除に通常使われる殺虫剤合計の 42%が削減されることになる。Bt ナスでは市場で販売が可能な作物の収量が非 Bt ナスに比べて 33%増、国が管理するハイブリッド種に比べて 45%増と大きく増

加する。その結果インドのナス生産農家は1ヘクタール当たり115米ドルの平均殺虫剤経費の節約（防除基準に基づく）を含めて、非Btナスに比べて1ヘクタール当たり1,539米ドル、国が管理する品種に比べて1ヘクタール当たり1,895米ドルという大幅な純益増をもたらすと予想される。インド全体では、Btナスは年間4億1,100万米ドルの純益を野菜生産者にもたらすであろう。

Btナスを開発したMahyco社が、寛大にもこの品種をインド、バングラデシュ、フィリピンの公営機関が自然受粉品種のナスにも（品種改良の素材として）使えるよう寄贈した。これは、3カ国の資源に乏しい小規模農業生産者特有の必要性に応えるためである。現在、Btナスのハイブリッド8品種と自然受粉品種(OPV)のBtナス10品種がインドにおける販売許可を待っている。

インドの規制当局は2000年からBtナスを厳密に検査してきた。2009年10月にインドの遺伝子工学許可委員会(GEAC)がBtナスの市販を勧告するという画期的な決定を下し、現在はインド政府による最終許可を待っている。

ゴールデンライス

穀類のなかでコメは最大のエネルギー及び食料としての収量を有するが、人の通常の身体機能に必要な、必須アミノ酸とビタミンを欠いている。コメは視力、と細胞分化、哺乳類の胚発生、免疫系および粘膜の機能に必須のビタミンAの前駆体物質であるベータカロテンを成分として含まない。またビタミンA欠乏症(VAD)は、1億2,700万人の人々と、就学前の幼児の25%を苦しめている発展途上の国々における栄養障害である。現在、年間で約25万ないし50万人が失明し、そのうち67%が1カ月以内に死亡している。1日約6千人の子どもが死亡し、年間では220万人に相当する。これは、今日すぐにも投与できる治療薬候補があることを考えれば倫理上許容できない事態であり、倫理上のジレンマである。FAOが開発途上国においてビタミンAの補給を行っているが、これは高価であり（年間で約5億米ドルの経費を要する）、継続不可能であり、かつ遠隔地域には届けることが出来ない。カロリー摂取をコメに頼っている人は世界で約30億人（世界人口のほぼ半分）いるが、その多くがビタミンAを含む他の食料やサプリメントを買う余裕がない。ゴールデンライスは実質上、費用効率が高く有効な、遺伝子組換え作物によるVAD予防薬である。

1984年にIRRIのコメ育種家Peter Jennings博士がコメを食べている人々のビタミンA欠乏症を軽減したいと考えて、ゴールデンライスの計画を思いついた。Ingo Potrykus教授とPeter Beyer博士が行った研究に、ロックフェラー財団が8年間にわたって約100万米ドルの資金を提供した。ロックフェラー財団の支援を得てPotrykusとBeyerがイネ中のベータカロテン合成経路と、これに関与すると思われる遺伝子を解明し、形質変換を行ってベータカロテンを産生する初の遺伝子組換えイネを開発した。そのプロジェクトはBayer、Mogen、

Monsanto、Novartis、Zeneca の各社と匿名の日本企業が関与した官民共同事業で、各社が研究計画の初期に必要な技術のライセンスを供与した。2000年に Taipei 309 (ジャポニカ) を土台にした最初のゴールデンライスができた。これにはラップサイセンのトランス遺伝子が2つ、微生物の遺伝子1つ導入された。ベータカロテンの含有量は1.6~1.8 $\mu\text{g/g}$ と少なかったが、これらの遺伝子がイネで機能することが証明された。微生物の遺伝子と、ラップサイセンの遺伝子の1つのプロモーターを改変することによって、Syngenta社が6~8 $\mu\text{g/g}$ のベータカロテンを含有するジャバニカ品種 Cocodrie を開発した。この系統はゴールデンライス1と命名され、Syngenta社が2004年にゴールデンライス人道委員会に寄贈した。同委員会がゴールデンライス研究の方向とネットワークによる利用を監督している。ネットワークのメンバーは、フィリピンの国際稲研究所 (IRRI) とフィリピン稲研究所 (PhilRice)、ベトナムのクーロンデルタ稲研究所、インドの生物工学局、国立稲作総合研究所、インド農業研究所、デリー大学、タミルナドゥ農業大学、農業大学パントナガール、農業科学大学バンガロール、バングラデシュのライス研究所、中国の華中農業大学、中国科学院、雲南省農業科学院、インドネシアの農業開発局、およびドイツ、フライブルクのアルベルト・ルートビヒ大学である (<http://www.goldenrice.org>)。

2005年に Syngenta-Kaybonnet社がゴールデンライス2 (ジャバニカ種) を開発した。これはトウモロコシと細菌のトランス遺伝子を持ち、最大36.7 $\mu\text{g/g}$ のベータカロテンを産生した。ベータカロテン含量はゴールデンライス1と比べて4倍以上増加し、ゴールデンライス2系統は開発者が人道委員会に寄贈した。2005年にビル・アンド・メリンダ・ゲイツ財団が共同プロジェクト「ベータカロテン、ビタミンE、タンパク質を増やし、鉄および亜鉛の生物学的利用能を強化するコメ工学」の資金をドイツ、フライブルクのアルベルト・ルートビヒ大学の Peter Beyer 博士に寄贈した。共同研究機関は PhilRice、IRRI、ミシガン州立大学、ベイラー医科大学、クーロンデルタ稲研究所、香港中文大学であった。当初はゴールデンライス・ネットワーク諸国に配給されていたゴールデンライス1は、2009年3月にゴールデンライス2に転換された。

ゴールデンライス2の6つの品種が、アメリカ長粒米 Kaybonnet 種を土台として開発された (Paine, 2005)。決定的な段階は、規制当局の承認と商業化に向けて1つの品種 (イベント) を選ぶことであった。選択された品種は GR2G である。1つのコピー導入で GR1 品種(8 $\mu\text{g/g}$)と比較して3~4倍ものベータカロテンを産生し、その最大のもは25 $\mu\text{g/g}$ であった。品種の選択には基準がいくつかあったが、総合すると100gのゴールデンライスを食べる1~3歳の幼児におけるベータカロテン必要量を満たすものであった (Barry, 2009; Virk & Barry, 2009)。次の段階は、VADが多い地域において、最も有望で人気があるコメ品種に GR2G 品種の遺伝子導入を行うため、導入の対象国を決定することであった。フィリピン、インド、バングラデシュ、ベトナム、インドネシアが選ばれ、ここでは GR2G が唯一の品種として

規制当局の承認を得て、やがて発売されるでしょう (Zeigler, 2009)。ゴールデンライスは、フィリピンとバングラデシュでは早くも2012年に発売され、インド、インドネシアとベトナムがそれに続くものと予想される。それぞれの国で GR2G 品種が遺伝子導入される品種の選択は、ビタミン A が欠乏している地域での人気と受け入れられやすさによって決定された。GR2G を遺伝子導入している人気品種は、各国のコメ研究機関が国際稲研究所 (IRRI) と密接な連携をとりながら、ゴールデンライス人道委員会の監督のもとで開発している。製品化が最も進んでいる3カ国の GR2G 品種は下記のとおりである。

フィリピンでは、フィリピン稲研究所 (PhilRice) が人気のあるコメの1品種 **PSB Rc-82** を GR2G 品種を用いて組換えている。PSB Rc-82 という品種は雨季と乾季両方のイネ作付けの約13%を占めていると推計され、フィリピンで年間に栽培されるコメの総栽培面積420万ヘクタールのうち、約50万ヘクタールに相当する。

バングラデシュで GR2G 品種が遺伝子導入されている品種は、バングラデシュで唯一最も重要なボロイネ品種 **BR-29** で、バングラデシュ稲研究所 (BRRI) が遺伝子導入を行っている。BR-29 は280万ヘクタールで栽培されており、これはバングラデシュにおけるコメ栽培面積1,000万ヘクタールの28%に相当する。

インドでは人気のある3品種、**Swarna**、**MTU-1010** と **ADT-43** に GR2G が導入されている。Swarna はビハール、東ウッタールプラデシュ、西ベンガル、オリッサとアンドラプラデシュできわめて人気の高い品種で、小規模農業生産者が推計300万ヘクタールで栽培している。インド農業研究所 (IARI) が GR2G Swarna 品種を育種している。MTU-1010、別名 Cotton Dora Sannalu はアンドラプラデシュ州とその周辺できわめて人気の高い品種で、推計80万ヘクタールで栽培されている。州都ハイデラバードにある国立稲作総合研究所 (DRR) は GR2-MTU-1010 品種を育種している。

承認前でもあり最初の販売が2012年と予想される現在のこの早い段階において、ゴールデンライスの採用の筋書きを計画することは困難である。これら品種の採用が3カ国内でも地域によって異なり、おそらく最初にフィリピン、続いてバングラデシュとインドの順になると予測される。この早期段階でゴールデンライスの採用計画に役立つと考えられることは現在開発中のゴールデンライス品種がこれら3カ国それぞれで栽培される可能性がある最大面積を推定することである。フィリピンでは、現在の PSB Rc-82 栽培面積から推測して約50万ヘクタールが最大と予想される。同様にバングラデシュでは現在の BR-29 栽培面積から推測して約280万ヘクタールが最大となる。インドでは現在の Swarna (300万ヘクタール)、MTU-1010 (80万ヘクタール)、ADT-43 (20万ヘクタール) の栽培面積から、約400万ヘクタールが最大と予想される。したがってフィリピン、バングラデシュ、インドの

3カ国の合計では、2012年からゴールデンライスの品種が栽培される最大面積は7~7.5100万ヘクタールと推計される。これは正確を期した推計ではなく、ゴールデンライスが良いタイミングで承認された場合に、2012年以降に栽培される可能性があるおよその規模のイメージを読者に思い描いてもらうためのものである。経済影響の事前分析によれば、ゴールデンライスの消費は長期的に、アジア諸国のGDPを年に40~180億米ドルペースで増加させる可能性があるという（UNICEF, 2007）。

ゴールデンライス計画は、世界中、特にアジアでVADに苦しんでいる多数の子どもと大人（推計1億2,700万人）の死亡と苦痛を防ぐという共通の目的を持った、考えを同じくする多様な機関と個人を集約したという、多くの意味でユニークなプロジェクトである。このプロジェクトは寄付者、国際的な開発組織、官民の機関の支援を受け、またアジア諸国の政府がVADによる1日6,000人の無力な子どもの多くの死亡を防ぐために必要な政策と技術支援を実施してきた（Barry, 2009）。

VADは東南アジアの人々の33%を侵していると推定されるが、鉄欠乏（貧血）は57%、亜鉛欠乏は71%と推定されている。これら3つの栄養素をピラミッド型に配置するために、GR2Gイベントを、生殖質と鉄および亜鉛の含有量が多いコメ系統と交配する取り組みが現在行われている。またフィリピンのPhilRiceでは、GR2GとTungroウイルスによる重大な病気およびイネ白葉枯病への耐性の3形質を揃える研究も実施中である。

乾燥耐性トウモロコシが2012年に米国で、2017年にサハラ以南の アフリカで栽培開始予定 — 2009年の世界の旱魃状況

「水は命の支え」という格言は、水が重要かつ貴重であることを気づかせるためである。農業は現在、世界の淡水総量の70%超を使用している（開発途上国では86%）。地下水位は中国などの国々で急速に低下しており、世界人口が現在の67億人から2050年には90億人超に増加するにつれて、世界全体の給水量は縮小し続けるであろう。人が飲む水は1日わずか1~2リットルだが、1日に食べる肉などの食料を作るのに2,000~3,000リットルが使われている。従来技術でも遺伝子組換え技術でも、水をより有効に使用して乾燥耐性が高い作物を開発する必要がある。水が不足して作物生産における重要な役割が果たせなくなれば、必然的に乾燥耐性と水の有効利用が、将来の作物を開発する上で最優先事項になるはずである。予想される気候の全般的な乾燥化と温暖化により、地球温暖化は農業にとって大打撃となり、人と作物の間の水の奪い合いが激しくなるにつれて状況はさらに悪化するであろう。旱魃は世界中の作物の生産性向上に対する唯一で圧倒的な最大の抑制因子であることから、遺伝子組換え作物によって得られる乾燥耐性が、2006~2015年の商業化の第2の10年間とその後において、商業化される最も重要な形質と見られる。

開発中の乾燥耐性作物のなかで最も進んでいる乾燥耐性遺伝子組換えトウモロコシが、2012年に米国で発売されることが予想されるという心強いニュースがある [ISAAA 報告書第39号内の「トウモロコシの乾燥耐性—新たな事実」に関する特別補遺 (James, 2008) 参照]。2003年、世界食料計画が旱魃による緊急食糧支援に5億7,000万米ドルを費やしたアフリカでは、旱魃がとりわけ重大である。旱魃に伴う予測不可能性が、作物に必要な資源投入から利益を得るために必要不可欠な、収量安定化への最良管理基準の実施を妨げている。注目すべきことに WEMA (アフリカ向け水有効利用トウモロコシ) という官民共同事業が進行している (Oikeh, 2009)。WEMA プロジェクトは AATF をまとめ役として、Monsanto 社 (技術を提供)、ドイツ財団、ハワード・バフェット財団 (資金提供)、CIMMYT とモザンビーク、ケニア、南アフリカ、タンザニア、ウガンダなどの国家プログラムが参加している。乾燥耐性の必要性が最も高く6億5,000万人の人々がトウモロコシに依存しているサハラ以南のアフリカで、2017年までに最初のロイヤリティ無償の遺伝子組換え乾燥耐性トウモロコシを発売したいと WEMA は望んでいる。緩やかな旱魃の場合、WEMA で期待できる恩恵としてトウモロコシの収量がおよそ20~35%増加する。これはトウモロコシ1,200万トンに相当し、旱魃時に1,400~2,100万人を養うことができる。遺伝子組換え乾燥耐性トウモロコシの最初の圃場試験が2009年11月に南アフリカで開始され、最初の従来型旱魃トウモロコシは3~4年後の2013年頃にできると予想されている。WEMA プロジェクトの課題として、国家計画における運営のための実働規制機関の設立、高品質のハイブリッド種子の生産と配布、小規模農業生産者への十分な信用貸しが挙げられる (Oikeh, 2009)。

過去数年間、世界的に旱魃の頻度と深刻度が増したことから、気候変動による旱魃はすでに自明の事実であり、一部の人々は旱魃により2009年の世界の食料、飼料および繊維の生産が大幅に減少したと結論づけている。以下に、Eric de Carbonnel (2009) が2009年における世界全体の旱魃の影響を概観したものに、他の出典からの情報を追加して紹介する。世界の農産物の3分の2を生産している主要な国々が、概して2009年の旱魃で大きな被害を受けた国々でもありと Eric de Carbonnel は推断している。

アフリカ

アフリカの角と言われるところの国々が旱魃の大きな被害に見舞われた結果、ケニアでは広域にわたって飢饉が発生し、2009年には1,000万人の人々が飢餓に陥った。タンザニア、ブルンジ、エチオピア、ウガンダなど近隣の国々も同じような状況であった。南アフリカは、収穫が過去30年間で最低になるだろうと予想していた。2009年の旱魃を報告した国のなかにはサハラ以南のマラウイ、ザンビア、スワジランド、ソマリア、ジンバブエ、アンゴラ、モザンビークのほか、北アフリカのチュニジアもあった。

中国

2008年11月に中国北部および北東部（雨量が例年より50～90%少なかった）で始まった旱魃は過去50年間で最悪、中国の主要な小麦生産省である河南（中国で最大の作物生産省）、安徽（作物の50%超が被害を受けた）、山西、江蘇（小麦の20%が失われた）、河北、陝西、山東（前年より雨量が73%減）の7省で小麦農場の半分を含む1,000万ヘクタール超の耕地面積が被害を受けた。災害を回避するために中国政府は旱魃の影響を緩和する予算127億米ドルを配分したが、旱魃は上記7省の農業地域だけでも400万人超の人々に直接被害を及ぼした。旱魃の深刻な被害を受けた地域は中国の主要な穀類生産地域で、世界の穀類のほぼ18%（年間約5億トン）を生産している。中国政府が国内の穀類生産量を2020年までに5億4,000万トンにするという目標を設定したことは注目に値する（Xinhua, 2009a）。旱魃がより頻繁で激しくなり、地下水位が低下し続けると、この目標はとてつもない難題になるだろう。2009年7月には中国の旱魃地域は内モンゴル自治区、新疆ウイグル自治区、吉林、山西および遼寧省に急速に拡大した（Xinhua, 2009b）。車100万台の3分の1以上を利用している700万人近くの人々が物理的に旱魃との戦いに巻き込まれ、被害が最も大きかった地域では飲料水も灌漑用水も影響を受けたと報告された。2009年にはその後、北部および北東部での旱魃被害に加えて2009年8月に中国南部を襲った台風8号による深刻な洪水でさらなる被害があった。旱魃に続く洪水という両極端の現象は気候変動と地球温暖化がもたらすであろう新たな難題を示唆しているかもしれない。

オーストラリア

同国は2004年以来、厳しい旱魃に見舞われており、2006年と2007年の2年間は117年前に記録が始まって以来、最悪の旱魃年であった。同国の農業の40%超が、いまだに2006/07年の破壊的旱魃の被害を受けていると推測される。この旱魃は、マレー川などの主要河川の流れを実際に止めるほどの厳しさだった。

米国

2009年、米国テキサス州に過去50年間で最悪の旱魃が起きた。この旱魃による損害は、テキサス州の農業部門200億米ドルのうち35億ドルと見積もられた（The Economist, 2009年d）。2009年の旱魃は1917年以来最悪のもので、州の88%が異常乾燥に悩まされ、18%が最も深刻な旱魃に見舞われたと推定された。テキサス州知事は州の大半を災害地域に指定した。さらに悪いことに、旱魃によって破壊的な野火の恐れが高まる。6月と7月にテキサス州オースチンの気温は61日のうち半分以上の39日、華氏で3桁に達した。2009年にはカリフォルニア州でも旱魃が記録開始以来の厳しさで、何千ヘクタールにおいて作付けが見合わせられた。貯水池に入る山脈からの雪解け水は通常のおよそ49%であった。旱魃の被害を受けた米国の他の州は、フロリダ、ジョージア、ノースカロライナ、サウスカロライナなどである。旱魃と洪水を含めた2009年の気候は、エルニーニョ（温湿）とラニーニ

ャ（冷乾）の影響を強く受けたと考えられている。ラニーニャと太平洋の海水の低温が米国の早魃による問題を悪化させた結果、米国南部の州とアメリカ大陸の他の地域がさらに乾燥した。

南米

アルゼンチンでは50年間で最悪の早魃によって、特にコルドバ州の穀物生産が大きく減少した。世界第2の大豆輸出国であるブラジルも、早魃の被害をある程度受けた。2009年の早魃の被害を受けた他の南米諸国はメキシコ、パラグアイ、ウルグアイ、ボリビア、チリなどで、ラニーニャがチリなど南米への雨雲の浸入を妨げた結果であった。

中東および中央アジア

この地域の国々も、小麦の生産高が約20%減少するなど収量低下という早魃の影響を受けた。貯水池への水流が少なく、収穫減のため農業生産者が次の作期用に保管する種子が減少するという心配な問題もある。これらの地域には政治不安や戦争が勃発している国もあり、それによって破壊的な早魃に対処する国力が大きく損なわれている。この地域で2009年の早魃に見舞われた国は、イラク、シリア、アフガニスタン、ヨルダン、パレスチナ自治区、レバノン、イスラエル、バングラデシュ、ミャンマー、タジキスタン、トルクメニスタン、タイ、ネパール、パキスタン、トルコ、キルギスタン、キプロス、イランなどである。

ヨーロッパ

ヨーロッパは2009年の早魃の被害が比較的少なかった唯一の主要な作物生産地域であるが、スペインやポルトガルなどの国は近年、かなりの早魃を経験してきた。

気候変動と地球温暖化に伴う早魃が、今後予想される通り、より頻繁に発生し、深刻になるとすれば、先進国より開発途上国への影響が大きくなり、2009年の世界的早魃の程度ではすまないであろう。こうした状況で早魃がさらに重大になれば、バイオテクノロジーによる乾燥耐性の価値がきわめて高くなることは明らかである。

窒素利用効率（NUE）

1960年代の緑の革命が小麦とコメの両方で空前の成功を収めたこと背景には、窒素と水の外からの取り込みが不可欠だったことがあげられる。世界中の淡水の70%が農業で使用されており、中国など人口の多い国で地下水位が急速に低下していることからみても、進行している世界的な水不足に対処することが急務である。同じく重要で急を要することは、窒素利用効率を高めて化石燃料を使った窒素肥料への依存を低減するとともに、温室効果ガスの排出を減らして漏出窒素産物による水源の汚染を防ぐことである。現在、人の

体内の窒素原子の約半分が化石燃料から派生したアンモニア由来のものであると推定されている (Ridley, 2009)。世界の年間窒素肥料経費は約 1,000 億米ドルである。世界の農業生産者が使用する窒素肥料の最大 3 分の 2 が流出、滲出、およびガス化によって失われると推計されている。漏出した窒素産物は広い地域に及ぶアオコになって、米国のミシシッピ川河口や東南アジアの広大なメコンデルタ地帯を含む世界中の河口やデルタにある「デッドゾーン」の生物を窒息させている。土中の窒素産物もまた、二酸化炭素の 300 倍も地球温暖化に悪い影響を及ぼす亜酸化窒素ガスに変換して失われる。農法の変更によって収量を犠牲にせずに窒素の必要量を半分に減らすことはできるが、窒素利用効率を高めた遺伝子組換え作物でも有望な進歩が認められている。今後およそ 5 年以降に世に出ると予想される進歩した遺伝子組換え作物の一部では窒素効率が 30%まで上昇する可能性があり、一部の試験産物に関する初期の結果では、いずれは 50%までの上昇さえ実現する可能性がある (Ridley, 2009)。遺伝子組換え作物はすでに収量増加と殺虫剤使用量減少によって大きな恩恵をもたらしているが、窒素効率のよい遺伝子組換え作物が今後約 5 年以降にさらなる恩恵をもたらす。Economist 誌は最近、「**遺伝子組換え作物は紛れもない環境上の奇跡になりつつある**」と言明した。Ridley (2009 年) は、有機農法活動はおそらく NUE 技術を嘲笑して合成肥料を有機質肥料とマメに切り換えるよう促すだろうと述べている。とはいえ彼は、そのためには、世界の牛の頭数を 12 億頭から 70~80 億頭へ 5 倍増やす必要がある (Smil, 2004) と指摘し、その膨大な数の牛はどこで草を食べるのかと疑問を呈している。

遺伝子組換え小麦 — 近い将来現実となるか？

Jeffrey L Fox (2009) は最近の論文で、「遺伝子組換え小麦はいったいどうなったのか？」と疑問を投げかけた。2009 年の半ば頃、遺伝子組換え小麦開発再開の可能性があると予告する展開が時を同じくして数件あった。Monsanto 社が 2004 年に栽培者がいないことと消費者の支持がないことを理由に RR (ラウンドアップ・レディー) 小麦計画を中止してから 5 年間、遺伝子組換え小麦は無視されていた。遺伝子組換え小麦に対する考えを変えた主な展開が 5 つあげられる。第 1 に、(米国、カナダ、オーストラリアの) 小麦関連の主要な 9 組織が、「**小麦作物の遺伝子組換え形質を同時に商業化する目標に向けて邁進する**」と誓ったこと。第 2 に米国の小麦生産者の 75%が今では遺伝子組換え小麦を認めていること (全米小麦生産者協会、ワシントン、2009)。第 3 に、Monsanto 社が 2009 年に WestBred 社の小麦事業を獲得したことは遺伝子組換え小麦の開発を再開する同社の意向を示しており、従来型育種および MAS 適用から始めて遺伝子組換え小麦を長期目標にする計画であること (Monsanto, 2009a)。第 4 に Bayer CropScience 社が CSIRO Australia 社との、早くも 2015 年に小麦生産者への「解決策」を提供するための GM 小麦開発提携を発表したこと (Bayer CropScience, 2009)。最後に、中国における小麦バイオテクノロジー活動を検討した一部の観測者が、中国が 5 年後にも、遺伝子組換え小麦を商業化する最初の国になるかもしれないと結論づけたこと (Fox, 2009)。

バイオテクノロジーの恩恵を受けたトウモロコシや大豆と比べて生産性での競争力が低下した結果、過去10年ほど小麦の栽培面積が減少したことは明らかである。たとえばトウモロコシの生産性は、2050年までに食料生産を倍増するのに最低限必要な1年当たり1.6%増を超えているのに対して、小麦は一貫してこの目標に届かず、生産不足に陥っていた。

遺伝子組換え小麦開発で先頭に立っているのは誰か？ おそらく、中国農業科学院 (CAAS) が遺伝子組換え小麦に対して世界で最大の投資をしているだろう。CAAS は黄斑モザイクウイルス、赤かび病およびうどん粉病抵抗性、害虫抵抗性や旱魃および塩分耐性、穀粒品質改善、除草剤耐性などさまざまな形質を持つ遺伝子組換え小麦を開発している。中国政府は2008年に、どの遺伝子組換え作物より遺伝子組換え小麦に多額の補助をしたといわれ、5年後にも商業化が期待される (Shiping, 2008、Stone, 2008)。黄斑モザイクウイルス抵抗性が最も進んでおり、約5年後に最初の遺伝子組換え小麦製品になるかもしれない。中国で遺伝子組換え小麦を開発してところはCAASに限らない。河南農業大学では40人の研究者からなるグループは、現在20%もの生産高減少を招いている穂発芽に抵抗性を持つ遺伝子組換え小麦を開発している。圃場試験が3年目に入っており、穂発芽抵抗性小麦が早ければ2~3年で商業化されるかもしれないと一部の楽観的な観測者は考えている (Fox, 2009)。インドもまた遺伝子組換え小麦を優先しており、ニューデリーの国立インド農業研究所で植物育種家が乾燥耐性、病害抵抗性の遺伝子組換え小麦数系統を開発している。インドで最大の在来種子会社 MAHYCO 社はすでに数品種の従来型ハイブリッド小麦を販売しており、インドでのハイブリッド Bt ワタ開発の成功で豊富経験をもっている。小麦の乾燥耐性はきわめて難関ではあるが、遺伝子組換え小麦の研究開発に携わっている官民両者にとって関心のある主要な形質になってきていることは明らかである。

先進国では、米国とオーストラリアで活発である。USDA は穀粒品質改良、乾燥耐性、病害抵抗性を対象とする125のプログラムに年間約4,000万米ドルを投資しており、2~3のプロジェクトが圃場試験段階にある。USDA は CAAS と、小麦に関する米中共同プロジェクトも実施しているが、対象は従来型育種とマーカーを利用した育種が主体である。オーストラリアも遺伝子組換え小麦で先行しており、CSIRO と Bayer CropScience 社が共同プロジェクトで「収量が増加しストレス耐性を持つ小麦系統を開発しており、別にリンの利用効率を改善した小麦系統を目指すものもある。この共同事業によって2015年までに商業化される品種が生まれると予想される」 (Fox, 2009)。オーストラリア遺伝子テクノロジー規制機関はすでに、2009年7月から2012年6月にかけて穀粒の組成を変えた遺伝子組換え小麦16系統の圃場試験を行う許可をCSIROに与えている (OGTR, 2009)。ラトローブ大学と共同研究をしている Victorian Department of Primary Industries 社は乾燥耐性遺伝子組換え小麦の開発でDow AgroSciences社と提携している。すでに圃場試験の2年目に入っており、結

果は有望である。楽観論では5～10年で遺伝子組換え小麦ができる可能性がある (Department of Primary Industries, 2009)。Syngenta 社は進めていたフザリウム抵抗性小麦のプロジェクトを約5年前に「停止」状態としたが、遺伝子組換え小麦への関心が復活した現在、最高の候補になる可能性がある。Syngenta 社は、最近、同社の持続可能な農業のための財団を通じてマーカーを利用した育種による黒さび病抵抗性小麦品種の開発で CIMMYT と提携した (Syngenta, 2009)。2009年7月に Monsanto 社が小麦事業の包括計画を発表した。従来型育種とマーカーを利用した育種から始めて (長期目標は遺伝子組換え小麦)、早魃および病害抵抗性を与える形質と窒素肥料利用効率の向上で小麦の収量を増やすという。8～10年で最初の遺伝子組換え小麦を発売できると Monsanto 社は予想している。短期的には除草剤耐性の遺伝子組換え小麦ではなく「多種の小麦の多形質」と「トウモロコシ遺伝子の小麦への導入」に重点が置かれる。Monsanto 社はテキサス A&M 大学が運営する小麦とコメに関する1,000万米ドルの Beachall-ボーローグ奨学金プログラムを通じて、特に官界の若い学者を支援する人材開発に出資している (Monsanto, 2009b)。

中国もインドも生産した小麦をすべて消費し、大部分を小麦の輸入に依存していることは注目に値する。遺伝子組換え作物をめぐる北米とヨーロッパの間で貿易論争がある一方で、中国とインドの遺伝子組換え小麦はすべて国内市場向けになるであろう。両国の規制当局には貿易に関する心配は殆どみられず、国内の食料安全保障という差し迫った必要性を満たすことを優先する動機のほうが大きいと思われる。コメとトウモロコシを輸入している国々も事情は同じである。

2003年と2004年に遺伝子組換え小麦に関する議論を高めた問題がこの数年間に著しく変わった。ノースダコタの小麦生産者で Growers for Biotechnology の会長でもある Allan Skogen はこう語った。「小麦産業は振り出しに戻ってバイオテクノロジー戦略推進への支持を結集している。バイオテクノロジーの手段を手に入れたら生産高を増やせることは疑いがない。生産者にとっての最も重要なことは乾燥耐性だ。」そして、こう付け加えた。「水が問題であり、小麦にとっての制限要因だ」 (Fox, 2009)。

その他の作物と形質

栽培面積が中程度の他の作物数種類が2015年までに承認されると予想されている。候補である作物として、害虫・病害抵抗性を持ち工業用に品質を改変されたジャガイモ、良質で農業形質を持つサトウキビ、病害耐性バナナ、ウイルス抵抗性のマメなどがある。遺伝子組換えオーファン作物もいくつかできると予想されている。たとえば、おそらく Bt ナスが2010年にインドで初めての遺伝子組換え食用作物として出現するであろうが (政府の承認待ち)、最大140万人の資源に乏しい小規模農業生産者に恩恵をもたらす可能性がある。多大な殺虫剤散布を必要とする (遺伝子組換え産物で大きく減らすことができる) トマト、

ブロッコリー、キャベツ、オクラなどの遺伝子組換え野菜も開発中である。キャッサバ、サツマイモ、豆類、アメリカホドイモなど貧困層向け遺伝子組換え作物も候補になっている。これらの作物のいくつかが開発途上国の国内あるいは国際的公共機関で開発されていることは注目に値する。こうした広範囲な新しい遺伝子組換え作物の開発は、遺伝子組換え作物の継続的な世界的成長の前兆であり、ISAAAの予想では遺伝子組換え作物の栽培面積は2015年には2億ヘクタールに達し、40カ国で2,000万人以上の農業生産者が栽培していることであろう。

バイオ燃料

バイオテクノロジーを使った第1世代の食糧、飼料用作物による効率の上昇と第2世代のバイオ燃料用エネルギー作物はチャンスではあるが課題も残している。**バイオ燃料戦略は国単位で進めなければならないが、食料安全保障は常に最優先であるべきで、決して食料・飼料作物をバイオ燃料に使うという競合的需要の犠牲にしてはならない。**食料が保障されていない開発途上国で食料・飼料作物であるサトウキビやキャッサバ、トウモロコシをバイオ燃料用に軽率に使用すると、食料安全保障という目標を犠牲にしかねない。ただし作物の効率がバイオテクノロジーその他の手段で高められ、その結果食料、飼料および燃料の目標がすべて十分に達成できれば別である。第1世代および第2世代のバイオ燃料技術における作物バイオテクノロジーの主要な役割は、1ヘクタール当たりのバイオマス・バイオ燃料の収量を費用効率よく最大にすることであり、それによってより手ごろな値段の燃料ができる。しかし、遺伝子組換え作物について考える最も重要な役割は、2015年までに手ごろな価格の食料を安定的に供給し、貧困と飢餓を50%減らすという人道的ミレニアム開発目標（MDG）への寄与である。

世界の地域ごとの成長

商業化の最初の10年であった1996～2005年は南北アメリカの10年で、そこでは特に北米で引き続きスタック形質が普及し、ブラジルでも堅調な成長があると思われるが、第2の10年間である2006～2015年にはアジアとアフリカでの成長が目立つであろう。

遺伝子組換え作物の責任ある管理

最初の10年間と同様に、輪作および抵抗性管理などの遺伝子組換え作物の適正な農業手法を順守することは依然として重要である。遺伝子組換え作物の商業化における第2期の10年である2006～2015年に、新たに遺伝子組換え作物の主要な採用国になっていくであろう南半球の国々では特に、引き続き責任をもって管理指導を行い、最良の方法を実践することが必須である。2015年までに開発途上国における遺伝子組換え作物の栽培面積が先進国の面積を超えるものと予想されている。

壮大な挑戦

「言葉が食料だったら、誰も飢えないだろう」と題した刺激的な記事 (The Economist, 2009b) で、国際的援助・開発コミュニティが、2008年の食料価格危機のあと、30年間に及ぶ農業への出資と支援の減少を逆転させようとしていると報告されている。記事は Bill Gates が多額の支援をしている世界食料賞の2009年10月のシンポジウムで農業専門家たちに述べた、「世界の関心が皆さんの主張に戻っています」という勇気を与える言葉を引用している。そのスピーチで Gates は、飢餓と戦うために、また食料充足と食料安全保障への努力として従来の技術と組み合わせて遺伝子組換え作物を使うことを是認した。2009年11月にローマで開かれた世界食料サミットでも同様に、2002年以来7年ぶりに従来型育種と作物バイオテクノロジーの活用が提唱された。2008年の商品相場の高騰によって30カ国以上で暴動が起き、ハイチとマダガスカルが打倒されたことが世界の耳目を集め、宗教や皮膚の色、人種にかかわらずすべての男女と子どもにとって日々のパンを手ごろな値段で買えることが不可欠であるという単純な真実が注目された。生き延びること、それが人間にとって圧倒的に重要な本能である。被害を受けるのは常に貧しい人々だが2008年も例外ではなく、食品の価格が倍増すれば貧しい人々は危機以前に食べていた食糧の半分しか買えなくなるから、飢えたのは金持ちではなく貧しい人々である。そのうえ、金持ちの食費がせいぜい所得の20%なのに対して、貧しい人々は苦勞して得た所得の70~80%を食費にかけている。開発支援者と食料供給が不安定な開発途上国の政府の両者が救済策を講じないかぎり、2008年に起ったと同様の食料価格危機が近い将来、再び起こりえると多くの観測者が考えていることが大きな懸念材料である。1974年にローマで開催された第1回世界食料サミットで Henry Kissinger が、10年後には空腹のまま就寝する子どもはひとりもいなくなるだろうと言明した。35年後にローマで開催された2009年食料サミットで、MDGが2015年までに飢餓を半分に減らすと約束しているにもかかわらず、2009年には、初めて10億人以上(10億2,000万人)が空腹のまま就寝することになるだろうと表明された(国連世界食料計画, 2009)。世界銀行の推定では、1日1.25米ドル未満で暮らす人が2008年から2010年の間に8,900万人、2.00ドルで暮らす人は1億2,000万人増加するという。

2009年7月のG8で農業への200億米ドルの拠出が取り決められたのは意義あることであり、食料安全保障に加えて自給自足が新たに強調されたのは歓迎すべきことだが、この200億ドルが使い回しではなく新たな寄付であること、またこの金額が推計で気候変動から農業を守るために必要な事業活動の推定3年分(1年で70億ドルとして)にしかならないと認識することが重要である。とはいえ、いくつかの主要な機関が農業への援助を大幅に増額したことは称賛に値する。世界銀行は2009年の援助金を50%増額して60億米ドルにし、オバマ政権は2010年のUSAIDの農業予算を10億米ドルに倍増することを米国議会に諮っており、社会事業としては農業に関する新たな「ハイレベル・タスクフォース」が国連事務総長室と共同作業をしており、著名な経済学者 Jeffrey Sachs は HIV・AIDS へのメガファ

ンドと同様の農業支援のための世界的メガファンドを唱道している。しかし、より重要で勇気を与えるのは寄贈者側ではなく開発途上国の国家計画レベルの政策と技術開発である。アフリカ諸国は予算の10%を農業にかけるという2003年の約束を果たし始めている。GDPの4.2%を投資した結果、トウモロコシの収量が4年で3倍になり、2005年にはかなりの食料（必要量の40%）を輸入していたのが2009年には多量の食料（生産量の50%）を輸出する国に変貌したマラウイを手本として、多くの国々が種子と肥料の助成金を支給している。マラウイは、すでに南アフリカが成功しているように、現在世界の15カ国で効果的に導入されているBtトウモロコシなどの遺伝子組換え作物を採用することによってトウモロコシの収量をさらに大きくしようとしているアフリカの先行国の1つである。ちなみに白色トウモロコシはサハラ以南のアフリカの3億人の人々の主食である。

2008年の食料価格危機中に主要な食料生産国のいくつかが食料の輸出を停止したとき、裕福で食料が不足している一部の国々は外国の耕地の買収を最優先事項とした。この数年間に、将来自国での食料不足が予想されるいくつかの国が、安定した自国の食料供給を増やすために他国の耕地を買収してきた。たとえば全体で年間100億米ドルの食料を輸入している湾岸協力会議に加盟している6カ国は、新たに「アフリカのパン籠」を創生する戦略を遂行している。対象となるアフリカ諸国はモザンビーク、セネガル、スーダン、タンザニア、エチオピアなどである。エチオピア中央統計局によれば、エチオピアの小規模農業生産者1,330万人が外国の投資者のために最大100万ヘクタールの新たな土地を開発している（The Economist, 2009a）。批評家らはこの買収を、それだけでなく食料供給が不安定で貧困に苦しんでおり、なけなしの土地を生産に向けることによる環境悪化の懸念もある国で「土地を横取りする」行為だと見ている。

2008年の世界銀行開発報告は、「農業は、2015年までに極度の貧困と飢えに苦しんでいる人々を半減するというミレニアム開発目標を達成するための不可欠な開発手段である」と強調した（世界銀行、2008）。開発途上国では4人に3人が農村地帯に住んでおり、そのほとんどが直接または間接的に生計を農業に頼っていると同報告は述べている。大勢のアフリカの自作農（ほとんどが女性）の農業生産性に大変革を起こさないかぎり、サハラ以南のアフリカで赤貧を克服することはできないと、同報告は認めている。しかし、経済が急成長して発展途上世界の富のほとんどを築いているアジアにおいても、極貧にあえいでいる6億人の農村人口（サハラ以南のアフリカの総人口が8億人）があり、アジアの農村貧困層は今後数十年間、大勢の人々にとって依然として生命にかかわるものであろうという事実にも報告書は注意を喚起している。今日の貧困は農村部の現象であり、世界で最も貧しい人々の70%が資源に乏しい小規模農業生産者と農作業で暮らしている土地を持たない労働者であるのは厳然たる事実である。大きな課題は、遺伝子組換え作物の採用に成功して、作物の生産性、ひいては所得を高めた工業国と開発途上国の知識と経験を資源に乏し

い農業生産者に伝えることによって、農業への貧困集中する貧困を軽減する機会にすること、すなわち「問題を機会に転換すること」である。バイオテクノロジーの革新と情報が農業を利用して開発を推進するまたとないの機会をもたらすことを世界銀行の報告書は認めているが、とりわけこの ISAAA 概要書の中心になっている遺伝子組換え作物の利用については異論が多く、政策意欲と国際的な支援がないかぎり、開発途上国が動きの速い作物バイオテクノロジーに乗り遅れやすいというリスクがあると警告している。**大きな課題**とは、従来の技術と組み合わせて作物バイオテクノロジーの利用を最適にし、それによって2015年までに少ない資源で持続可能に食糧生産を倍増することである。

エピローグ、そしてノーマン ボーローグ博士の遺産

2009年に大きなできごとが2つあった。1つはノーベル賞を受賞した畏友ノーマン ボーローグ博士が2009年9月12日に逝去したこと、2つめは中国政府が2009年11月27日に遺伝子組換えコメと遺伝子組換えトウモロコシを承認したことである。コメは世界で最も重要な食用作物であり、ほぼ人類の半分である30億人に食料を供給している。重要なことは、コメは世界の貧困層の最も重要な食用作物でもあることである。トウモロコシは世界で最も重要な飼料作物で中国の5億頭のブタ（世界中のブタ頭数の50%）と130億羽のニワトリ、カモその他の家禽の飼料になっている。中国が最初の主要な遺伝子組換え食用作物であるコメを承認するというリーダーシップを発揮したこと、そして従来型および遺伝子組換え双方の技術を利用して食糧自給自足を達成する決定をしたことは画期的な進展であり、アジア、アフリカ、南米の開発途上国は見習うべきである。より安定し、繁栄し、公正で平穏な世界という観点から、この施策が意味するところはきわめて大きい。

ノーマン ボーローグ博士が小麦で「緑の革命」に成功したのは、彼の能力と粘り強さ、そしてただ1点、**1ヘクタール当たりの小麦の生産性を高める**ことにひたすら集中した賜であった。また、実際の農場レベル（実験圃場レベルではなく）の生産性と国家レベルの生産高を測定し、さらに最も重要なことに平和と人類への貢献を評価することで成否を判定することに全責任をとった。彼は40年前の1970年12月11日、ノーベル賞の受賞スピーチに「**緑の革命、平和と人類**」というタイトルを付けた。驚くべきことに、ボーローグ博士が40年前に目指した**作物生産性の向上は、今の我々の目標と同じである**。ただ、**気候変動という新たな問題を前にして少ない資源、とくに水、化石燃料と窒素で生産性を持続可能に倍増する**必要も生じた今、さらに大きな挑戦となっている。ノーマン ボーローグ博士の豊かで独創的な遺産に報いる最も適切で品格のある方法は、世界中の遺伝子組換え作物関係者が一体になって「**大きな課題**」に立ち向かうことである。東西南北の官民組織が共同で、少ない資源で生産性を上げるための遺伝子組換え作物の役割を最適にする、尊い努力に最大限取り組むことである。**重要なことは、貧困と飢え、栄養不良の軽減に寄与することを第1の目標にすることで、それは2015年のミレニアム開発目標として取り決められた**

ことであり、その時期はちょうど、遺伝子組換え作物商業化の第2の10年、2006～2015年の終了時に当たる。

このエピローグの締めくくりの詩はノーマン ボーローグ博士に捧げるものである。30年来の私の友人であり、ISAAAの最初の創立後援者で、10億人の人々を飢えから救った彼は、世界で最も熱心で信頼できる遺伝子組換え作物の推奨者であった。それというのも、遺伝子組換え作物は作物の生産性を高め、貧困や飢餓、栄養不良を緩和し、平和と人類に貢献できるからである。ボーローグ博士はこう語った。「この10年間に植物バイオテクノロジーは大きな成功を収めてきた。この技術は世界中で農作物の収量を高めると同時に、農薬使用を減らし、豊かな土壌の流亡あるいは土壌浸食を食いとめることに貢献している。バイオテクノロジーの恩恵と安全性は、世界の総人口の半分以上を占める国々で、この10年間に証明されている。しかし、いまだに効率の悪い旧式の栽培手法しか選択肢のない国々もあり、これから求められるのは、そうした国の指導者の勇気です。かつての緑の革命、そして今の植物バイオテクノロジーは、増え続ける食料需要を満たしつつ、未来の世代のために環境を守る上でも大いに役に立っている。」

他の人が分別で考える以上に彼は気遣った
他の人が現実を考える以上に彼は夢見た
他の人が安全を考える以上に彼はリスクをとった
他の人が不可能と考えることを
彼は期待し、そして当然のように達成した



ISAAA SEAsiaCenter
c/o IRRI, DAPO Box 7777
Metro Manila, Philippines

Tel.: +63 2 5805600 ext. 2234/2845 - Telefax: +63 49 5367216

URL: <http://www.isaaa.org>

ISAAA Brief No. 41-2009 の購入についての詳細は、publications@isaaa.orgにお問い合わせ下さい。