

提言

我が国における遺伝子組換え植物研究と  
その実用化に関する現状と問題点



平成22年（2010年）7月1日

日本学術会議

基礎生物学委員会・統合生物学委員会・農学委員会合同  
植物科学分科会

この提言は、日本学術会議基礎生物学委員会・統合生物学委員会・農学委員会合同植物科学分科会の審議結果を取りまとめ公表するものである。

日本学術会議基礎生物学委員会・統合生物学委員会・農学委員会合同  
植物科学分科会

委員長	福田 裕穂 (連携会員)	東京大学大学院理学系研究科教授
副委員長	鎌田 博 (連携会員)	筑波大学大学院生命環境科学研究科教授
幹事	河野 重行 (連携会員)	東京大学大学院新領域創成科学研究科教授
幹事	塚谷 裕一 (連携会員)	東京大学大学院理学系研究科教授
	岡田 清孝 (第二部会員)	自然科学研究機構基礎生物学研究所所長
	黒岩 常祥 (第二部会員)	立教大学大学院理学研究科極限生命情報研究センター長・特任教授
	石田健一郎 (連携会員)	筑波大学大学院生命環境科学研究科准教授
	射場 厚 (連携会員)	九州大学理学研究院教授
	佐々木幸子 (連携会員)	元名古屋大学農学部教授
	佐藤 文彦 (連携会員)	京都大学生命科学研究科全能性統御機構学教授
	篠崎 一雄 (連携会員)	独立行政法人理化学研究所植物科学研究センター長
	寺島 一郎 (連携会員)	東京大学大学院理学系研究科教授
	西谷 和彦 (連携会員)	東北大学大学院生命科学研究科教授
	西村いくこ (連携会員)	京都大学大学院理学研究科教授
	野並 浩 (連携会員)	愛媛大学農学部教授
	町田 泰則 (連携会員)	名古屋大学大学院理学研究科教授
	三村 徹郎 (連携会員)	神戸大学大学院理学研究科教授

提言書及び参考資料の作成にあたり、以下の方々に御協力いただきました。

小野 道之	筑波大学大学院生命環境科学研究科准教授
小泉 望	大阪府立大学大学院生命環境科学研究科教授
町田千代子	中部大学応用生物学部応用生物化学科教授
松井 南	独立行政法人理化学研究所植物科学研究センター植物ゲノム機能研究グループグループリーダー
渡邊 和男	筑波大学大学院生命環境科学研究科教授

# 要 旨

## 1 作成の背景

今日、我々は地球的規模の諸問題に直面している。世界的な人口増加、新興国の急激な経済発展による食料需要の急増、さらには、化石燃料使用に伴う空気中二酸化炭素濃度の異常増加と、それに伴う地球温暖化・異常気象や砂漠化・海水酸性化等の環境危機などである。一方、化石エネルギーに依存しない代替エネルギー源としての「エネルギー作物」の需要は食料資源との競合をもたらし、食料供給のさらなる不安定化の要因となっている。これらの諸問題を総合的に解決するには、原材料としての植物の潜在能力を解明し、その能力を効率よく利用することが不可欠である。既に諸外国ではそのための多くのプログラムが提案・実施されつつある。狭い国土に多数の人口を擁する日本においても、この植物の利用効率を上げるために、植物の生命システムを解明する植物科学研究における、基礎研究のより一層の進展と、基礎研究の応用研究への幅広い展開が強く望まれる。

## 2 現状及び問題点

遺伝子組換え (GM, Genetically Modified) 技術は、自然界に既に存在する生物現象を、人類が一部加工して、より効率を上げたもので、今では世界的標準技術となっている。これにより近年、植物の生命システムの遺伝子レベルでの理解が飛躍的に進んだ。さらに、遺伝子組換え技術が作り出す遺伝子改変植物、すなわち遺伝子組換え植物の実用化は世界規模で急速に進行しており、今後、地球規模の食料・環境・エネルギーに関する諸問題解決のための突破口となると考えられている。実際、2008年のG8で、各国リーダーは、遺伝子組換え作物 (GMO, Genetically Modified Organism) の重要性について初めて言及し、「遺伝子組換え作物の研究と開発を促進し、農業生産を向上させるための新技術を取り入れ、こうして開発された新品種の良否を科学的に評価しよう」と呼びかけている。

資源に乏しい日本は、科学技術立国を目指し、学術や技術の進展に力を入れてきた。その効果は植物科学にも及び、シロイヌナズナやイネを材料とする基礎研究において世界を先導する優れた研究実績が蓄積されている。諸外国では、世界の食料や環境問題の解決に貢献しうる遺伝子組換え植物を開発し、25カ国が遺伝子組換え作物を既に栽培している。一方、日本では、花卉（かき）を除くと、食用作物などについては、遺伝子組換え作物を自国で実用化・栽培・収穫するに至っておらず、諸外国から大量に輸入して利用する状態にとどまっている。日本の高度な基礎研究の成果を社会に還元し、今後ますます深刻となる環境問題や食料問題など地球規模の問題解決に植物機能を活用するためには、遺伝子組換え植物の研究や開発に向けた研究基盤を拡

充するとともに、これら有用技術の利用に関する国民の理解の増進に向けて、我々科学者が、多方面の関係者と協力して努力する必要がある。

### 3 提言等の内容

資源に乏しい日本が、科学技術立国を目指し、世界の食料の安定供給や環境問題の解決に貢献するためには、遺伝子組換え植物の利用に向けた戦略的な取組が求められている。以下に、その具体的な内容を提言としてまとめた。

#### (1) 植物遺伝子機能解析の戦略的な取組を目指す

植物が持つ多彩な機能を高度に活用するために、多様な植物についての分子レベルでの理解が必要である。特に、多様な植物のゲノム解析とそのゲノム情報のさらなる活用が求められている。近年、野生植物の作物化、品種改良の過程で、多くの優良遺伝形質が失われてきたことが明らかになってきた。こうした未利用の遺伝子資源の発掘のために、ゲノム比較はトランスクリプトーム、プロテオーム、メタボローム等の統合オミックス解析とともに、植物遺伝子の未知機能の活用に不可欠なプラットフォームである。こうした最先端技術の植物科学における活用にあたっては、基礎研究と応用研究を結びつけるための中・長期な戦略的取組が必要である。

#### (2) 遺伝子組換え技術の安全性の検証と野外圃場試験地の整備を行う

遺伝子組換え技術の改良やその安全性等に関し、さらなる研究開発による安全性に対する信頼感の醸成とともに、現在の実験室内での成果を実用的な高機能植物の開発に展開するには、野外環境試験の推進が不可欠である。遺伝子組換え技術に不安を感じている国民の強い支援を得るためにも、野外環境試験による実地データの確保が欠かせない。特に、日本のような小規模型農業に適し、地域特性に応じたオーダーメイドの品種改良を実現するには、日本各地の様々な環境の下で遺伝子組換え植物の試験栽培を行えるような、野外施設の整備が必要である。

#### (3) 若手人材育成を進める

遺伝子組換え植物の実用化に向けて、日本には、多くの緊急の課題が山積している。これら諸課題を解決するに当たっては、新たな人材の育成が必須となる。特に、植物の生命システムを遺伝子レベルで解明し、遺伝子組換え技術の安全性を確保・検証し、その理解を社会に還元する必要がある。そのためには、植物科学に精通し、応用科学への橋渡し研究（トランスレーショナルリサーチ）にも理解を持つ若手研究者の養成と活躍の場の確保が緊急に必要となる。

#### (4) 遺伝子組換え植物の社会的な受容に向けての取組を進める

社会における遺伝子組換え植物に対する科学的な認識の普及が不可欠である。日本においても遺伝子組換え植物に関する不安は根強い。この現状を踏まえて、遺伝子組換え植物が、人の健康や環境、生態系に与える影響について、国内外の研究機関が進めてきた科学的な調査を、これまで以上に発展、継続する必要がある。一方で、その知見を誤謬なく社会に情報発信することで、社会の構成員が平等に研究成果にアクセスできるようにするとともに、科学者、政府関係者、産業界、マスコミ、生産者、消費者等が共通の情報に基づいて、共同して遺伝子組換え植物の利用に対する社会の合意形成に働くことができる体制を整える必要がある。

日本が科学技術立国を国是として、国際競争の下、世界的な食料問題、環境問題に率先して対処していくためには、植物科学を基盤とした世界トップクラスのバイオテクノロジーが必須となる。日本学術会議・植物科学分科会は、環境と調和のとれた安全な食料の生産・供給、ならびに生物機能活用による物質生産のための基盤技術の構築を検討し、日本国民の理解を得ながら、遺伝子組換え技術を活用した食料の増産、環境の保全、バイオマスエネルギーの増大に関する研究を進めることが不可欠との認識のもとに、今回、提言を取りまとめた。

## 目 次

1	はじめに	1
2	遺伝子組換え植物の現状と課題	2
	(1) 遺伝子組換え植物の栽培・流通の現状	2
	(2) 遺伝子組換え植物利用に関する今後の展望	4
3	植物における遺伝子機能解析の現状と課題	6
	(1) 遺伝子組換え技術の基盤となる研究の発展	6
	(2) ゲノム科学の発展	7
	(3) 遺伝子組換え植物の将来性	7
	(4) 日本における植物研究の水準	8
	(5) 遺伝子組換え植物を用いた品種改良と基盤研究の必要性	8
4	遺伝子組換え植物の栽培が生態系に与える影響に関する国内の研究の現状	9
	(1) 遺伝子組換え植物と宿主植物との交雑や花粉飛散	9
	(2) 遺伝子組換え植物の生態系への影響に関する研究	9
	(3) 日本における研究レベルと将来性	10
5	遺伝子組換え植物に関連する法整備の現状と課題	10
	(1) カルタヘナ議定書の成立と国内法整備	10
	(2) カルタヘナ法の現状	11
	(3) 栽培と食品利用に関する安全性評価	11
6	日本における行政の取組の現状	12
	(1) 基礎研究の現状	12
	(2) 基礎研究から応用研究への橋渡し研究	12
7	教育面の課題	13
8	課題と提言	14
	(1) 課題	14
	(2) 提言	14
	<用語の説明>	17
	<参考文献>	19
	<参考資料>	22

## 1 はじめに

今日、人類は、地球的規模の問題に直面している。世界的な人口増加や新興国の急激な経済発展によって食料の需要が増加する一方、異常気象や砂漠化などによって供給が不安定化し、食料需給が世界的に逼迫する恐れが強まっている。このことは、多量の食料資源を輸入に頼っている日本の安全保障に大きな影響を与えるばかりでなく、人類全体の持続的な発展を妨げることさえ懸念されている。また、化石燃料の大量消費は、急激な空気中の二酸化炭素濃度上昇と、それに伴う地球温暖化など地球的規模での環境変動をもたらす一方で、その枯渇が現実的な問題となってきた。食料、環境、エネルギーは、いずれも植物（光合成生物）の生命活動やその利用がその中心的な鍵となっている課題である。

日本学術会議植物科学分科会では、このような地球的規模での諸問題に対する日本の植物科学の貢献の可能性について、2期にわたって検討してきた。その結果、食料、環境、エネルギーの問題の解決に向けて、日本の植物科学は十分に貢献することができ、そのために積極的に活動していくことが必要であるとの結論に至った。その上で、これらの問題を解決していくためには、科学的にはその方法論がほぼ確立しているが、社会的にはまだ十分に受け入れられているとはいえない遺伝子組換え (GM, Genetically Modified) 植物の利用の特段の進展が必要であるとの結論が得られた。

これらの結論を受け、遺伝子組換え植物について、様々な角度から検討した結果をまとめた本提言は、『遺伝子組換え植物の現状と課題』、『植物における遺伝子機能解析の現状と課題』、『遺伝子組換え植物の栽培が生態系に与える影響の国内の研究の現状』、『遺伝子組換え植物に関連する法整備の現状と課題』、『日本における行政の取組の現状』、『教育面の課題』、『課題と提言』から構成されている。本提言をまとめるに当たっては、遺伝子組換え植物の研究・利用の現状と課題について、植物科学分科会メンバーに加え、多くの専門家の意見を聞き、討論を重ねてきた。その過程で、今後遺伝子組換え植物の実用に向けた取組を進めるためには、いくつかの問題が障壁となっていること、その克服が緊急の課題であることも明らかとなってきた。そこで本提言では、これらの問題を克服するための提言も、合わせて盛り込むこととした。

2008年のG8で、各国リーダーは、遺伝子組換え作物 (GMO, Genetically Modified Organism) の重要性について言及し、「遺伝子組換え作物の研究と開発を促進し、農業生産を向上させるための新技術を取り入れ、こうして開発された新品種の良否を科学的に評価しよう」と呼びかけている (<http://www.isaaa.org>)。その背景には、遺伝子組換え作物が、長所の多い優れた作物として多くの国に受け入れられ、栽培面積も年々増加してきたという事実がある。また、発展性を秘めたこの技術が、今後の社会の持続的発展の鍵となるという期待も大きい。こうした各国リーダーの発言も念頭に、本提言に述べる遺伝子組換え植物の諸問題の理解と今後の遺伝子組換え植物利用に向けた国家レベルでの戦略の策定を心から願うものである。

## 2 遺伝子組換え植物の現状と課題

植物は、食料や飼料、医薬だけではなく、環境修復、工業用原料や石油代替燃料としてバイオエタノールやバイオディーゼルにも使われる。遺伝子組換え植物が今日どの程度利用されているのか、日本と世界の現状を以下に簡単に述べる。

### (1) 遺伝子組換え植物の栽培・流通の現状

#### ① 国内

日本における遺伝子組換え植物の商業栽培の実績を見ると、花卉（かき）については、国内で開発された花の色を変えた遺伝子組換え植物が商業栽培に至っている。国内での研究から青紫色の色彩を持つ品種として開発された「青いバラ」は、2008年に国内での生産、販売の許可を受け、日本で最初に商業栽培される遺伝子組換え植物として、2009年から販売が始まっている。

一方で、食用となる遺伝子組換え作物については、トウモロコシ、ダイズ、ナタネ等について大量に輸入し利用しているにもかかわらず、国内での商業栽培実績は皆無である。国内で食品として商業利用可能と認定された作物には、海外で開発されたダイズ、ワタ、トウモロコシ、ナタネ、ジャガイモ、テンサイ、アルファルファの7作物116品種がある(<http://www.mhlw.go.jp/topics/identshi/dl/list.pdf>)。また、今後商品化が見込まれる植物としては、1998年ハワイで栽培が開始され、急速に生産が伸びたウイルス抵抗性遺伝子組換えパパイヤが挙げられる。

輸入遺伝子組換え植物の利用に当たっては、その安全性を国が審査した上で、承認されたものについてのみ販売・流通が認められている。輸入遺伝子組換え作物は食料と飼料に用いられるため、「食品衛生法」、「食品安全基本法」、「飼料安全法」等の審査を受けることになっている。さらに、種子がこぼれて発芽して広がることの懸念から、国境間移動に伴う生物多様性への影響を防止する「カルタヘナ法」に基づく国の審査も受けている。日本では上述の審査を経て、安全性が確保された作物のみを輸入する仕組みとなっている。

例えば、国内のコーンスターチ業界は、従来、非遺伝子組換えトウモロコシを原料として使用してきたが、世界的に非遺伝子組換えトウモロコシの調達が困難になり、2008年になって業界も遺伝子組換えトウモロコシの使用に踏み切った。その結果、今では、国内で流通する多くの食品に遺伝子組換えトウモロコシを原料としたコーンスターチが使用されている。輸入遺伝子組換え作物由来の食品が食生活を支える傾向は今後もますます強まっていくであろう。

日本の食料自給率（カロリーベース）は現在約40%であり、金額にして約6兆円に及ぶ食料を輸入している。トウモロコシ・ナタネ（油）については国内消費量のほぼすべてを輸入しており、ダイズは95%を輸入している。これらの輸出国である米国・カナダ・アルゼンチン・ブラジルなどでは栽培面積の60-70%が遺伝子組換え作物であり、特別の要請がない限りは非遺伝子組換え作物と区



別せずに輸出されるので、日本で流通している上記作物の60-70%が遺伝子組換え作物であると推定される。なお国内の利用に際しては、消費者が遺伝子組換えか非遺伝子組換えかの選択をできるように、表示制度を設けている(本提言の5を参照)。

日本では、国内法で安全性を確認し利用可能と認定された植物の中でも、花卉だけを栽培し始めたにすぎず、遺伝子組換え植物に対する社会的な受容が進んでいない。一方では、国内法で安全性を確認した後、海外で栽培された遺伝子組換え作物を大量に輸入し、飼料や加工食品に利用するという、極めてアンバランスな状況にある。

## ② 海外

世界では現在、25カ国が遺伝子組換え作物を商業栽培している(表1)。米国は、遺伝子組換え作物の主要栽培国で、世界の栽培面積の50%を占め、各作物への普及率も高い。日持ち性を改良したトマトは、遺伝子組換え作物として、1994年に米国で初めて商品化された。1996年からは、除草剤耐性ダイズやナタネ、害虫抵抗性(Bt)トウモロコシやジャガイモ、ワタなど、生産効率を向上させるための特性を付与した遺伝子組換え作物の商業栽培が始まった。雑草取りの手間が省け、農薬散布量が減るなどの利点から、生産者の所得増につながることもあり、その栽培面積は年々増加し、1億3,400万ha(日本国土の3.5倍の面積、日本の農地面積の約29倍)に達している(図1)。この増加は遺伝子組換え作物が優れた品種であることを示しており、最近ではEU、アジア、アフリカにまで普及してきた(図1、表1)。遺伝子組換え作物は、食料・飼料だけではなく、バイオ燃料生産にも用いられている。このように遺伝子組換え作物の栽培の推進は、世界の潮流となっている。

例えば、遺伝子組換えダイズの栽培は2009年の段階で6,900万haにまで増加し、ダイズ生産全体のおよそ77%(米国では92%)を占め、最も普及している遺伝子組換え作物である。これまで除草剤耐性の品種が中心であったが、高オレイン酸含量の品種も普及してきている。遺伝子組換えダイズを自国で栽培せずに輸入して利用しているのは、中国、日本、インド、オーストラリア、EU、韓国、フィリピン、ロシアなどである。

また、遺伝子組換えワタの栽培は年々増加しつつあり、2009年の段階で、1,610万ha、ワタ栽培の48%(米国では86%)を占めている。除草剤耐性と害虫抵抗性(Btワタ)を付与した効果は大きく、特に、インドは世界第3位の生産国となり、輸出国となっている。

さらに害虫抵抗性と除草剤耐性の形質を備えた遺伝子組換えトウモロコシは、ダイズ、ワタに次いで普及が進んでいる遺伝子組換え作物である。2009年の栽培面積は4,170万haで、トウモロコシ生産全体の26%(米国では80%)を占める。遺伝子組換えトウモロコシの場合は、食料・飼料だけではなく、米国では

栽培面積の29%がバイオエタノール生産に使われている。2008年、石油の高騰によってバイオエタノールの需要が一気に高まり、トウモロコシの価格が高騰したため、社会不安が生じたことは記憶に新しい。

また遺伝子組換え作物の第4位はナタネで、1990年代前半に米国とカナダで除草剤耐性品種が実用化された。現在ではその栽培面積は640万haとなり、全ナタネ生産の21%を占めるに至っている。

これらの遺伝子組換え作物はそれぞれの国内法で安全性審査を受けている。商業栽培開始以来、膨大な量の遺伝子組換え作物が多数の国で生産され消費されてきたが、EUの科学技術調査研究機関である共同研究センターは、消費者を不安にさせるような問題、例えばアレルギーを引き起こした患者などはこれまで1例もないと報告している。食品への表示義務を課している国もあるが、主要栽培国である米国では表示義務はない。

## (2) 遺伝子組換え植物利用に関する今後の展望

### ① 国内

イネは、アジアを中心に重要な食料であり、ゲノム解析が進むなど、遺伝子組換え作物の開発のポテンシャルは高い。加工品や家畜飼料としての利用が多いダイズやトウモロコシと異なり、イネは主食となるため、遺伝子組換え植物の利用に消費者の抵抗感が強いとされるせいか、商品化が進んでいない。しかし、将来の重要性が最も高い作物でもあるため、研究開発は活発である。例えば、農林水産省管轄の独法研究機関等で、耐病性イネ（いもち病や白葉枯病耐性）の開発に成功しているほか、健康機能性イネ（血圧抑制米、肥満予防米、スギ花粉症緩和米、コレラワクチン含有米）なども開発が進んでおり、有望である。環境ストレスに強い品種、冷害に強い品種、草丈が低く倒伏しにくい品種、アルカリ土壌や塩害に強い品種の開発も進められている。

イネ以外にも、花粉を作らない雄性不稔作物の開発、高収量・高糖度ジャガイモの開発、耐寒性・耐塩性に優れた遺伝子組換えユーカリの開発にも成功している。その他、汚染物質の吸収蓄積能力を付与した「環境浄化植物」を始め、様々な遺伝子組換え植物の研究開発が進められている。しかし、上述の花色を変えた花卉を除き、いずれも商業栽培には至っていない。その要因については後述する。

### ② 海外

先進国については、米国が一段と進んでいる。米国では除草剤耐性イネが2000年に商業栽培を認可されており、ムギ類、ジャガイモ、トマトなども認可が進んでおり、日持ちする遺伝子組換えトマト、害虫抵抗性遺伝子組換えジャガイモ、ウイルス抵抗性遺伝子組換えジャガイモなどは、遺伝子組換え食品として既に商品化された。また、ビタミンA不足を補うためのベータカロチン合

成能を付与された「ゴールデンライス」、乾燥地で栽培可能な「乾燥耐性トウモロコシ」、「干ばつ耐性コムギ」、「収量や成分が良い飼料用牧草」などの開発も諸外国で進められており、一部は実用化直前の段階にきている。さらに、植物に医薬品やホルモンを生産させるため、これらの遺伝子を導入した植物の開発も進められている。

中国、インド、ブラジル、アルゼンチン等の中進国では、自国の食料や農産加工産品を確保するだけでなく、輸出産業にするため、独自で多様な遺伝子組換え植物の開発を推進している。中国では、自国の食料生産能力向上に向けて、遺伝子工学を核とした農業バイオテクノロジー利用を進めるべく、大学や農業研究機関等に対して数億円／年の研究開発投資をしている事例が増えており、既に遺伝子組換えイネと遺伝子組換えトウモロコシについては中国国内での栽培が承認されている。特に遺伝子組換えイネについては、中国で世界に先駆けて商業化されるだろうという見方が強い。また、イラン、パキスタン、南アフリカ共和国等でも農業、食料、エネルギー、環境等多様な課題の解決に向けて、自国での遺伝子組換え植物の研究開発を推進しており、試験栽培に関する知見や技術力は日本をしのぎつつある。特に、南アフリカ共和国では、栄養不足改善を目指して遺伝子組換えソルガムの温室試験栽培を開始している。

このように、植物の高度利用を目指し、多くの国が国情に応じて研究開発を積極的に推進しているのが、世界の現状である。これら有用性の高い遺伝子組換え植物は、いずれも特許対象産物であり、今後の日本の農業・産業政策に重要な影響を与える可能性があることも忘れることはできない。

### 3 植物における遺伝子機能解析の現状と課題

#### (1) 遺伝子組換え技術の基盤となる研究の発展

##### ① 細胞、組織から植物体を再生させる技術の開発

再生医療において、細胞や組織から多様な細胞や組織を作り出す再生技術の開発は、iPS細胞の作出も含め、今まさに、激しい研究競争の下にある。遺伝子組換え植物の作出に当たっても再生技術は必須技術である。植物においては、こうした再生に関する研究は、すでに1950年代から1960年代にかけて盛んに行われ、現在では、植物ホルモンのバランスと濃度を工夫することで、様々な植物の単一細胞から多様な組織や個体を再生させることが可能になっている。

##### ② 遺伝子を植物体に組み込む技術の発展

遺伝子組換え植物の作成に当たって、特定の遺伝子を植物のゲノム中に安定に組み込み、かつ設計通りの機能を発現させる技術が必須である。植物体に遺伝子を組み込む技術は、アグロバクテリアという土壌細菌が引き起こす植物の増殖細胞（クラウンゴールと呼ばれる）の研究の中から生まれた。クラウンゴールは19世紀から報告されているが、その原因が明らかになったのは、1970年代である。すなわち、土壌細菌のアグロバクテリアは、自分のもつDNAの一部を植物体のゲノム中に組み込むことで、植物の細胞の増殖を促すということが判明した。この一連の基礎研究の上に立って、1980年代には、このアグロバクテリアがもつ仕組みを利用することで、植物への遺伝子導入技術が開発された。この技術では、細胞増殖を引き起こす要素を取り除いた上で、導入したい任意の遺伝子のみを植物に組み込むことができる。導入された遺伝子は植物の染色体に安定に組み込まれ、アグロバクテリアはその後速やかに除菌されるので、遺伝子導入の前後で変化するのは植物ゲノム上に新たに導入されたDNAだけとなる。

##### ③ 遺伝子組換え植物の作成技術の開発とそれを用いた研究の発展

1980年代の後半以降、上述の①と②を合わせた技術が、植物遺伝子機能解析のための必須の基盤技術として研究者の間に定着した。その結果、様々な遺伝子を導入した遺伝子組換え植物が作られるようになった。これらは主に遺伝子機能を解明するという基礎研究に用いられ、その結果として、この20年間で多数の植物遺伝子の機能が明らかとなった。特に、シロイヌナズナ、イネ、ヒメツリガネゴケといったモデル植物を用いた遺伝子組換え研究により、生物の基本的な仕組みを司る遺伝子についての理解が急速に進んだ。これらの研究を通じて、これまでに膨大な数の遺伝子組換え植物が生み出されている。これらのうちには、実用化につながる可能性のあるものも含まれると考えられるが、後述（3の(5)および6）のような実用化上の障壁もあって、日本では、そのほとんどは実験室内での研究の後に廃棄されている。基礎研究で用いられている

遺伝子組換え植物に比べると、実用に供しうる可能性を持つ遺伝子組換え植物はごくわずかしが育成されていない。この原因の一つは、日本では、実用化に向けた社会基盤やそのルートが整備されていないことにあると想定される。

## (2) ゲノム科学の発展

ゲノム解析とバイオインフォマティクスの技術革新により、21世紀になって植物のゲノムシーケンスの解析が急速に進んだ。例えば、モデル植物のシロイヌナズナや、穀物のモデルとして利用されているジャポニカイネに関しては、それぞれ2000年、2004年に精密ゲノム解読が終了し、その情報を基にして遺伝子の網羅的な機能解析が進められている。モデル植物のゲノムシーケンスにおける日本の国際的な貢献は大きく、シロイヌナズナでは約30%、イネでは約55%のゲノム解読に貢献している。また、ポプラ（2006年）、ブドウ（2007年）、ミヤコグサ（2008年）、ソルガム（2009年）などいろいろな作物、樹木等のゲノム解析が終了している。最近では、ゲノムシーケンス技術が格段に進展し、多くの作物のゲノム解読が急速に進められている。

ゲノムの精密解読が終了したモデル植物では、すべての遺伝子の機能を明らかにする目的で、遺伝子破壊変異体のリソースや、完全長cDNA等のゲノムリソースの整備が進んでいる。特にシロイヌナズナでは、米国、日本、ドイツ、イギリス、フランス等で、ほぼすべての遺伝子を網羅するような、50万ラインを越す遺伝子破壊変異体（タグライン）が作成されており、バイオリソースセンターを通して研究者に配布され、研究の進展に貢献している。シロイヌナズナでは、1991年に米国とイギリスにバイオリソースセンター（それぞれABRCとNASC）が設立され、日本でも2001年に理化学研究所バイオリソースセンターにシロイヌナズナのリソース部門が設立されて、国際的に大きな貢献をしている。イネに関しては、農業生物資源研究所のイネゲノムリソースセンター、ジーンバンク等がゲノムリソース整備、系統保存に重要な役割を果たしており、基礎研究レベルでは世界的に大きな貢献をしている。

## (3) 遺伝子組換え植物の将来性

遺伝子組換え植物とは、上述のアグロバクテリアを利用した遺伝子導入系を主に用いて、交雑等の手段によらずに少数の遺伝子を導入した植物をいう。従来の育種は交配という手段で新しい遺伝子組み合わせをもつ植物を作り出してきた。また日本は、ガンマーフィールドなど、突然変異による新品種の開発で一定の成果を上げてきた。今日、日本人が口にしている作物のほとんどの品種は、交配や突然変異による遺伝子の改変を経て改良されてきたものである。しかし、この交配による方法は交配可能な植物種間でのみ有効であり、交配できないような生物種がもつ有用遺伝子を導入することはできない。遺伝子組換え技術は、交配を経ることなく、異種の遺伝子を導入することを可能にした画期的な技術である。交

配の場合はその性質上、導入を目的としない機能未知の遺伝子も、目的の遺伝子と同時に導入してしまうことが多く、品質の安定化や安全性の保証に多大な労力と時間を要してきた。しかし、遺伝子組換えの場合は、機能の判明した特定の遺伝子だけを導入することができるため、従来の交配法に比べてより確実、強力、かつ計画的に有用な形質を導入できる。すなわち、目的の性質を備えた新品種を、迅速に作り出すことが可能になった。その結果、(1)の①と②で述べたように、ダイズ、ワタ、トウモロコシ、ナタネ、ジャガイモ、テンサイ、アルファルファなどの作物では、遺伝子組換え品種の大規模な商業利用が海外で短期間に進んできた。

一方で、ゲノム解析とバイオインフォマティクスの技術革新により、21世紀になって生物のゲノムシーケンスの解析が一段と進展し、多種多様な生物でのゲノム配列が明らかになりつつある。その結果、これまでに比べて利用可能な遺伝子のリソースが飛躍的に増加した。今後も遺伝子リソースは加速度的に増加すると考えられる。こうした遺伝子リソースを用いた第2世代の遺伝子組換え植物の研究が進めば、革新的な遺伝子組換え植物を、今後続々と開発することが可能になると予想される。

#### (4) 日本における植物研究の水準

文部科学省の科学技術政策研究所が2008年6月にサイエンスマップを公表している。植物科学は、免疫や素粒子研究と並んで、日本が世界の最先端の研究を行っている領域の一つとして選ばれている。その成果の一つとして、国内研究機関で多数の新規遺伝子が発見されてきた。このような遺伝子の中には、耐病性、乾燥、低温や塩等の環境ストレス耐性、収量に関わる葉や果実の大きさ、植物の背丈や株数に関わる形態形成関連遺伝子や植物ホルモン関連の制御遺伝子など、多数の有用遺伝子がある。実際、これらの遺伝子の中には、実用に向けて研究が進められている遺伝子もある。乾燥ストレスにさらされると働き出すように設計したストレス応答因子の導入により、乾燥、塩、低温耐性の植物を作出した研究などがその例である。

#### (5) 遺伝子組換え植物を用いた品種改良と基盤研究の必要性

これまで、有用作物の品種改良は、世界中のどこでも育つ汎世界的な特性の追求が中心だった。しかし、こうした品種改良は、特定地域での環境への不適合、特定地域での食嗜好への不一致、また病虫害の発生への不適応などから、十分な成果をあげられないことも多かった。最近では、それを反省して、地域ごとでの環境の違いを念頭においた品種改良が進められている。こうしたオーダーメイドな有用作物のデザインのためにも、様々な環境に対する植物の分子レベルでの理解は極めて重要である。技術的には、植物ゲノムの目的の場所に、正確に外来遺伝子を挿入する技術の開発も必要となる。また、圃場での実用化試験はますます

重要になろう。圃場での試験のための制度や支援体制を整備して、研究者が基礎的な研究から応用研究に展開できるようにすること、特に農林水産省管轄の独法研究機関等や複数の大学における遺伝子組換え作物の研究開発拠点の整備が必要である。しかし日本の現状は、実施場所の確保、実施のための社会的合意の形成のいずれにおいても極めて憂慮すべき状態にある。この点については後述する。

#### 4 遺伝子組換え植物の栽培が生態系に与える影響に関する国内の研究の現状

遺伝子組換え植物の栽培は、農地生態系及び自然生態系に種々の影響を及ぼす可能性があるため、各種の規制や研究がなされてきた。ここでは、生態系への影響評価や管理に関する取組を紹介する。

##### (1) 遺伝子組換え植物と宿主植物との交雑や花粉飛散

遺伝子組換え植物とその宿主植物の交雑の可能性に関しては様々な研究が行われている。例えば、ダイズ (*Glycine max*) の原種ツルマメ (*G. soja*) は、北海道から九州まで広く分布しており、ダイズとツルマメ間の交雑の可能性が調べられている。この場合、ダイズとツルマメは実際の栽培条件に比べて極めて近接した条件である 50cm 間隔で市松模様に配置されたが、それでもその交雑率は 0.73%であった。したがって、実際の農地栽培の交雑率はこの値よりもかなり低くなると推定されている。イネやトウモロコシの花粉の飛散や交雑の割合についても、同様の研究が各地で行われている。

##### (2) 遺伝子組換え植物の生態系への影響に関する研究

遺伝子組換え植物が市場向けに栽培されている海外では、実際の農業生産に即した研究も展開されている。除草剤耐性作物による農地の生物多様性への間接的影響を評価することを目的として、2000年～2003年にかけて英国で行われた研究 (FSE, Farm Scale Evaluations) では、テンサイ、トウモロコシ、春播きナタネ、冬播きナタネを多数の農場で栽培して調査した結果、多様性が増大するか減少するかは作物により異なること、除草剤耐性植物の導入による除草法の違いが多様性に大きな影響を与えることなどが明らかになった。遺伝子組換え植物導入による農法の変化も考慮した評価は、将来、日本でも参考にするべきであろう。また、昆虫の病原細菌 (*Bacillus thuringiensis*) の殺虫タンパク質遺伝子を導入した遺伝子組換え植物 (Bt 植物) に関しては、その栽培法も工夫されてきた。Bt 植物区画の周りに Bt 遺伝子を導入していない植物の区画を設け、Bt 抵抗性昆虫を非抵抗性の昆虫と交雑させることにより、抵抗性昆虫の出現頻度を抑える農法も用いられている。この例に見られるように、遺伝子組換え作物は万能ではない。遺伝子組換え作物の開発においても、生態系と調和した栽培システムの研究と開発は必要である。

### (3) 日本における研究レベルと将来性

外来植物が生態系に及ぼす影響や、農薬耐性雑草の進化が精力的に研究され、研究水準は高い。研究機関の多くも研究評価に用いる高いレベルの技術を備えている。しかし日本独特の規制上の問題から、遺伝子組換え植物そのものを使った、遺伝子組換え植物が生態系に及ぼす影響については研究できない状態にある。しかし栽培試験規制の緩和を適切に行えば、遺伝子組換え植物のリスク評価、生態系への影響、栽培や管理の方法に関する高度な研究を速やかに開始することができる。こうした試験栽培が実現すれば、農学や生態学の各研究分野が協力し、フィールド系と実験系の共同チームによる環境影響評価や栽培・管理に関する方法なども開発され、またより明確なデータを提供することができるようになると期待される。

## 5 遺伝子組換え植物に関連する法整備の現状と課題

現在、日本においては、遺伝子組換え食品・食品添加物・飼料等の市場流通について、食品衛生法、飼料安全法、食品安全基本法等に基づく事前の安全評価（リスク評価やリスク管理等）が義務付けられており、さらに、消費者の知る権利を保障するため、遺伝子組換え食品の表示が法律（食品衛生法と JAS 法）で定められている。一方、すべての遺伝子組換え実験は、基礎・応用・実用化を問わず、日本においてはカルタヘナ法に基づく法規制を受けている。

### (1) カルタヘナ議定書の成立と国内法整備

カルタヘナ議定書は、遺伝子組換え生物等（LMO: Living Modified Organism）の国境を越える移動に関する手続き等を定めた国際的な枠組みを示すもので、1999 年コロンビアのカルタヘナで開催された特別締約国会議で内容が討議された後、2000 年に再開された会議で採択された。議定書は、LMO の輸出入（人間の医薬品を除く）に当たり、(1) 栽培用種子など環境中に意図的に放出されるものについては、事前に輸入国に通報し、輸入国の合意が必要とされる。また、(2) 食用・飼料用・加工用の穀物等については、その LMO の国内利用を決定した締約国は、情報交換センター（BCH: Biosafety Clearing House）を通じてその決定を他の締約国に通報し、自国の国内規制の枠組みに従って輸入できることとなっている。

日本は、カルタヘナ議定書に締約するため、2003 年 6 月に「遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律」（カルタヘナ法）を制定し、2004 年 2 月から施行されている。法律では、遺伝子組換え作物の栽培や穀物としての流通など一般環境中への拡散を防止しないで使用する場合（第一種使用）に事前に承認を受ける義務、研究や産業など環境中への拡散を防止して使用する場合（第二種使用）の拡散防止措置、未承認の遺伝子組換え生物等の輸入の有無を検査する仕組み、輸出の際の相手国への情報提供、違反者への回収・



使用中止命令などを定めている。

なお、カルタヘナ議定書は、2010年2月現在、157の国及び地域が批准・締結しているが、遺伝子組換え作物輸出国である米国、カナダ、アルゼンチン、オーストラリアなどは加盟していない。

## (2) カルタヘナ法の現状

国内のカルタヘナ法の策定には、財務省、文部科学省、厚生労働省、農林水産省、経済産業省、環境省がかかわり、世界でも最も高い安全性の確保を保証する遺伝子組換え植物の試験栽培基準が設けられている。カルタヘナ法の生物多様性影響評価では、遺伝子組換え植物自体の特性に加え、野生生物への影響評価に重点が置かれ、(i) 生態系における競合の優位性による評価、(ii) 有害物質の産生による影響、(iii) 近縁野生種との交雑による影響について検討が加えられる。具体的には、申請される遺伝子組換え作物宿主、導入形質、使用目的に応じた評価項目等が設定される。この評価では、国内で長期にわたって利用されてきた作物を宿主とする遺伝子組換えの場合、宿主作物と比較して、遺伝子組換え作物の野生動植物等に影響を与える性質が高まっていないかが評価のポイントとなっている。

カルタヘナ議定書の施行に当たっては、その国の実情に合わせて弾力的に取り決めることができる。日本でも、カルタヘナ法施行から5年が経ち、評価実績が積み重ねられてきたことから、開放系（田畑など）で使用する第一種使用等に係る部分では規制の緩和も検討され始めている。対象とする課題の科学的背景、社会経済事情、異なる地理及び環境での状況等様々な要素を考慮し、状況に応じて柔軟に対応する必要がある。例えば、トマトの原産地は中南米であり、北アフリカや日本には近縁野生種は存在しないため、近縁種の存在するダイズなどとは扱いを別にするができる。また、ライフサイクルの長い樹木と一年生の農作物では評価期間やアプローチを変える必要がある。同一国内でも、地域により、気候や環境が異なるので柔軟な対応が必要とされる。

## (3) 栽培と食品利用に関する安全性評価

巻末資料1、2で示されているように、主要生産国は、遺伝子組換え農作物の栽培に関して独自の評価システムを持っている。そのため、それぞれの国で規制の程度は異なっており、圃場試験栽培が比較的容易な国と非常に厳密な国とが混在する状態となっている。一方、食品としての安全性評価は、日本を議長国としてコーデックス基準が作成されており、国による大きな違いはない。しかし、食品としての表示については各国が独自のシステムを持っている。例えば、米国の表示制度上は、「遺伝子組換え作物を使っていない」と表示するためには、それが虚偽ではなく誤解を与えないことを立証できることが条件となっている。そのため、実際には不使用表示はできない。EUでも米国と同様に、不使用表示が認め

られていない。一方、日本では、不使用表示が認められている一方で、遺伝子組換え原料の非意図的な混入率が5%以下であれば、遺伝子組換え食品表示基準の対象外とされている。日本の遺伝子組換え作物の食品表示基準についても、再検討が必要であろう。

## 6 日本における行政の取組の現状

遺伝子組換え技術は、大学等で進められる基礎科学に加えて、食料や医療への応用面での重要性から、国としての方向性を決めるために、内閣府にバイオテクノロジー(BT)戦略推進官民会議が置かれている。遺伝子組換え植物が主に関係する食料については、食品安全基本法の下、内閣府に食品安全委員会が置かれており、これが遺伝子組換え食品の安全性の評価を行うとともに、厚生労働大臣による認可も必要とする。食品あるいは飼料や園芸作物に関する遺伝子組換え植物の実用化研究は、農林水産省の管轄の独法研究機関等で進められている。また、近年のバイオマス研究は、経済産業省管轄の独法研究機関等でも活発に進められている。

### (1) 基礎研究の現状

大学や国立・独法研究所では、植物の機能解明を通じた有用遺伝子の探索、発現機構の解析、あるいは多様な植物のゲノム解析、遺伝子資源の収集などが進められている。それらの多くは通常の基盤的研究費及び科学研究費補助金等の競争的研究費の枠組みの中で個別に進められているものであり、遺伝子組換え植物の研究を積極的に推進するための国レベルでの方策はとられていないのが現状である。

### (2) 基礎研究から応用研究への橋渡し研究

日本の植物の基礎研究は世界でも最先端にある。また育種による品種改良は特技とも言えるほど優れている。このように日本の研究と技術の基盤は第一線のレベルにあるにもかかわらず、遺伝子組換え植物に関しては、花卉を除いて未だ商業栽培がなされていない。これは基礎から応用、そして実用へという橋渡しの筋道が、基盤整備されていないことに起因すると想定される。農林水産省管轄の独法研究機関では、基幹食料であるイネを中心として研究が進められており、基礎から応用を目指した複数のプロジェクトが進行している。また、近年、植物のバイオマスからエネルギーや資源物質を取り出そうという研究に対して、農林水産省や経済産業省などから多くの研究費が投入されるようになった。そこで支援されている研究の中には、遺伝子組換え技術を活用したものもあるが、実用化の具体的な手順は未整備のままである。農林水産省や環境省では、遺伝子組換え作物が生態系に与える研究を進めつつあり、遺伝子組換え食品を社会に根付かせるための広報活動も行政として進めつつあるが、今のところ遺伝子組換え植物の利用に関する社会的合意を形成するには至っていない。

また各都道府県の試験研究機関では、それぞれの地域の特産物などを対象とした遺伝子組換え研究も進めてきた。しかし、社会的に遺伝子組換え作物が受け入れられない状況にあって、将来に展望のある研究も打ち切られる傾向にある。一部の自治体では、遺伝子組換え植物の栽培について、国のレベルをはるかに超える強い規制が施行されており、国が既に商業栽培を認可している組換え作物であっても実際の栽培が不可能となっているところもある。

また、種苗メーカーや食品メーカーなどの民間企業でも、遺伝子組換え植物の研究が進められているのは一部である。遺伝子組換え園芸植物の販売に至っている企業もあるが、例外的である。遺伝子組換えに関する主要技術特許が海外メーカーに押さえられていること、遺伝子組換え食品の開発推進による企業イメージの低下の危惧などが、推進に踏み切れない理由となっている。この現状を打破することは、日本が人類の未来に対し、植物科学を通じて、先進諸国と対等に貢献していくための必須条件となっている。

## 7 教育面の課題

遺伝子組換え植物の研究は、高度な先端技術を活用して植物の生命システムを遺伝子レベルで解明し、さらに遺伝子組換え技術の安全性を確保・検証しつつ、社会へと還元するという、先端的かつ総合的な研究である。今後、基礎研究の推進と共にその成果を社会へ向けて展開していくに当たっては、その先端性と総合性はますます重要なポイントとなる。しかし、これらに当たるべく適切に養成された人材はまだ少ないため、新たな育成が急務であり、高度な専門教育の強力な推進が欠かせない。

その一方で、専門教育のみならず一般教育においても、科学的思考及び先端技術の社会的受容に対する適切な判断を養うための教育は、科学技術立国を標榜する日本が最も力を入れるべき課題の一つと考えられる。しかし、社会人に向けた啓発も、学校教育における教育も、それぞれに大きな問題を抱えている。遺伝子組換え植物の問題に限らず、科学や技術の成果が、社会の様々な場面に生かされている現代においては、社会全体として、科学的思考を身近なもの、文化の一つとして捉えることを促す教育が重要である。日常との関連性を意識することがなければ、科学や技術に関する興味も基礎的な知識体系も、また批判的精神もしっかりと構築されない。結果として、自らの適切な判断基準を持つことができず、風評に流されることになってしまうこともありえるだろう。

学校教育の現場では、例えば、バイオテクノロジーについては「生物 II」で高校2-3年次に学習するが、選択科目であり、普通科の高校生では12%~17%の生徒しか学ばない。一方、主に高校1年次に、「家庭科」では遺伝子組換え食品について、「社会科」では遺伝子組換え作物や生命倫理について、それぞれ必修科目として学習することになる。内閣府の平成20年の調査では、遺伝子組換え技術に対する家庭科や社会科の教員の意識は、ネガティブな傾向が強いという報告がまとめられている。

このように現在の日本の教育現場では、遺伝子組換え技術に対して正確な知識に基

づく教育が十分なされないまま、逆にマイナスイメージが助長されている可能性も否定できない。地球レベルの様々な問題を解決するために、生命科学からの貢献が必須とされている現在、21世紀の生物学をどう学校教育に取り入れるかも、早急に検討する必要がある。

## 8 課題と提言

### (1) 課題

2008年のG8で各国リーダーは、遺伝子組換え作物(GMO, Genetically Modified Organism)の重要性について言及し、「遺伝子組換え作物の研究と開発を促進し、農業生産を向上させるための新技術を取り入れ、こうして開発された新品種の良否を科学的に評価しよう」と呼びかけた。同時に多くの国が、植物の高度利用を目指し、各国情に応じて研究開発を積極的に推進している。こうした中、日本も国策として現実問題に対処すべきである。しかし日本では、遺伝子組換え作物に関して世界的に見て非常に厳しい規制が課せられていることもあり、せつかくの知見やアイデアが基礎研究からの積み上げとして蓄積していながら、いずれも商業栽培には至っていない。特に、野外栽培については、数多くの障壁がある。その中には現時点での科学的評価からは過剰な規制もあるので、海外で用いられているような標準的基準へと緩和し、有用な遺伝子組換え作物を早急に実用化できるような措置をとることが必要であろう。

また、大学を始めとする研究機関が、容易に試験栽培できる試験圃場と有機的に連携し、遺伝子組換え植物研究拠点の設置と全国共同利用化(特定網室や隔離圃場等)を推進することで、商業栽培の可能性を検討することができるシステムを確立することも必要である。また特許戦略には、産業保護のための行政からの積極的関与が必要である。

一方、日本の農家にメリットがある品種が未だないことも、遺伝子組換え作物が栽培されない理由の一つであろう。日本の自然環境や農業環境に適した作物の新品種を育成しなければならない。産業として成り立つように企業を育てることも必要である。また、遺伝子組換え作物の大規模な植物工場での利用の場合、そのシステム作りには、高度な工業力が必要である。未来志向の植物科学、農学、工学、経済学、社会学等を融合した計画を作る上で必要な、学術と産業の統合を検討する戦略の立案も必要となる。

### (2) 提言

#### ① 植物遺伝子機能解析の戦略的な取り組みを目指す

多様な植物の多彩な機能を高度に活用する上では、それぞれの植物の分子レベルでの理解が必須である。特に、多様な植物に関するゲノム解析のさらなる推進と、ゲノム情報の活用の推進とが必要である。例えば、従来の作物化や品

種改良の過程で、多くの優良遺伝形質が失われてきたことが、近年明らかになってきている。こうした未利用の遺伝子資源の発掘に向け、最近、海外の有力研究室の多くが、性質の異なる品種間や種間などの比較ゲノム解析に精力的に乗り出してきている。ゲノム比較はトランスクリプトーム、プロテオーム、メタボロームなどの統合オミックス解析とともに、植物遺伝子の未知機能の活用に必要なプラットフォームであり、その利活用には、最先端の技術力と組織だった研究能力とを必要とすることから、日本においても中・長期の戦略的な取組が必要である。

この点、3の(2)でも述べたように、日本には、優れたバイオリソースやゲノム解析のための諸機関があり、また植物科学の研究レベルは世界トップレベルの水準を持っている。これら既存の機関及び人的リソースをより一層活かすため、バイオリソースやゲノム解析のための機関と、国内の先導的な大学や研究機関とを有機的に結ぶことで、様々な植物種の遺伝子の機能解析に向けたより力強い研究体制を確立するとともに、得られる成果を応用に活かすための、民間企業への出口を整備することで、基礎と応用を戦略的に体系立てることが求められる。

## ② 遺伝子組換え技術の安全性の検証と野外圃場試験地の整備を行う

現在の実験室内での成果を実用的な植物機能開発に展開するには、野外環境試験の推進が不可欠である。遺伝子組換え技術に不安を感じている国民のコンセンサスを得るためにも、野外環境試験による実地データの確保が欠かせない。しかし、現実には、ごく少数の遺伝子組換え植物が野外環境試験を受けているだけで、後は研究室内に留め置かれている。このことは、今後の日本における、遺伝子組換えによる植物遺伝子機能の活用、および遺伝子組換え技術の安全性の検証の上で、大きな問題である。この原因としては、日本における遺伝子組換え植物の隔離圃場試験制度が、諸外国に比べて極めて厳格であること、遺伝子組換え植物用の野外試験施設が少ないことなどが考えられる。

特に、日本のような小規模型農業に適した、地域特性に応じたオーダーメイドの品種改良を実現するには、日本各地の様々な環境の下で遺伝子組換え作物の試験栽培が可能な野外施設の整備が必要である。また、その試験対象としては、イネ、コムギ、オオムギ、ダイズなどの草本だけでなく、スギ、ポプラ、ユーカリなどの木本も想定されるため、大型の設備を併設することが望ましい。日本は、幸い東西南北に長い列島をなしており、山脈にも恵まれているため、緯度経度高度において多様な環境を有している。そうした各地の地域特性を活かした遺伝子組換え植物の野外試験施設群の整備が必要である。また、世界的な環境問題に対処するための基礎および実用研究を推進する上では、国内環境のみならず、地球上の多種多様な環境をシミュレートできる環境効果解析施設の整備も重要課題である。

### ③ 若手の人材育成を進める

遺伝子組換え植物の実用化に向けて、日本において多くの緊急の課題が山積されている中、これら諸課題を解決するに当たっては、新たな人材の育成が必須である。特に、統合オミックス解析のような高度な先端技術を活用して、植物の生命システムを遺伝子レベルで解明し、遺伝子組換え技術の安全性を確保・検証しつつ、その理解を社会に還元するには、植物科学に精通し、応用科学への橋渡し研究にも理解のある若手研究者の持続的な育成が求められる。

### ④ 遺伝子組換え植物の社会的な受容に向けての取組を進める

遺伝子組換え植物の食品としての安全性は、内閣府食品安全委員会において審査され、安全と認められたものだけが市販を許可されている。また、生態系への影響に関しても、カルタヘナ法の下、厳格な審査が行われ、輸入許可あるいは栽培許可がなされている。しかし依然として、遺伝子組換え作物への不安が払拭されない原因として、遺伝子組換え作物に対する過度の負のイメージの流布がある。遺伝子組換え作物が、人の健康や環境、生態系に与える影響について、これまで国内外の研究機関が進めてきた科学的な評価を、これまで以上に発展、継続する必要がある。

海外はもとより、国内でも厚生労働省、農林水産省、環境省などを始めとする公的研究機関により、遺伝子組換え植物の実験動物への長期投与実験、アレルギー誘発性試験、あるいは認可された遺伝子組換え植物の実験圃場での交雑実験などが進められてきた。そして、「既存の作物と比較して、健康に対する影響に違いは認められない。また、適切に管理された条件では、環境、生態系への影響は無い」とする結果が得られてきているが、情報の開示が専門書や報告書で終わっており、誰もが簡単に接することができるものにはなっていない。今後は、検証研究の結果得られた知見を、誤謬なく社会に情報発信することで、社会の構成員が平等に、自由に研究成果にアクセスできるようにすることが重要である。さらに、科学者、政府関係者、産業界、マスコミ、生産者、消費者が、共通の情報に基づいて、遺伝子組換え植物の利用に対する社会の合意形成に向けて、ともに働くことができる体制を整え、遺伝子組換え植物に対する科学的な認識の普及を図る必要がある。

## <用語の説明>

### アグロバクテリア

アグロバクターともいう。土壌細菌の一種で、自分自身が必要とする栄養物や植物ホルモンの合成のための遺伝子を載せた環状の DNA（プラスミド）を持っており、その DNA の T-DNA 領域と呼ばれる特別な領域を、植物の細胞の中にある核の DNA に組み込む能力を持っている。植物の遺伝子組換え技術は、アグロバクテリアのこうした能力を応用し、もともとアグロバクテリアが持っていた T-DNA 領域を、植物に導入したい外来の DNA に置き換えることで、目的の遺伝子を保有した植物を作成する技術である。この操作の際、アグロバクテリアと植物が触れるのはごくわずかな期間に限られ、外来の DNA を植物に持ち込んだアグロバクテリアは、すみやかに抗生物質等で除菌されるので、結果として得られた遺伝子組換え植物には、この細菌は残っていない。

### 遺伝子組換え植物

GMO と称する。主にアグロバクテリアの能力を利用して、植物に、他種生物の遺伝子を導入した植物。従来の交配法で作られた品種と異なり、目的とする遺伝子の変化のみが起きるため、目標に沿った品種改良が迅速に確実にでき、また、安全性の評価の確実性が高い、といった利点がある。

### オミックス解析

DNA 解析技術などに見られるように、分子生物学的解析技法の飛躍的進歩により、ある生物の化学的実態を、その全体について、一度に網羅的に解析することが可能になってきた。そうした網羅的な分子情報をオームといい、こうしたオームの解析をオミックス解析という。ゲノム（→ゲノム）に対して行ったものがゲノム解析、タンパク質（プロテイン）に対して行ったものがプロテオーム解析、代謝産物に対して行ったものがメタボローム解析である。これらの様々なオミックス解析を統合的に扱い、生命現象を理解しようとするものを、統合オミックス解析という。

### カルタヘナ議定書

正式名称は「バイオセーフティに関するカルタヘナ議定書」。遺伝子組換え生物等 (LMO: Living Modified Organism) の国境を越える移動に関する手続き等を定めた国際的な枠組みを示す。国内法としてのカルタヘナ法は、これに基づくものであるが、別な物である。→「カルタヘナ法」参照。

### カルタヘナ法

正式名称は「遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律」。カルタヘナ議定書の締約に基づき、日本の国内法として制定されたもので、遺伝子組換え植物の拡散防止措置、未承認の遺伝子組換え生物等の輸入の有無を検査する仕

組み、輸出の際の相手国への情報提供、違反者への回収・使用中止命令などを定めている。

## ゲノム

生物が保有する遺伝情報の総体をゲノムと呼ぶ。生物は個々の遺伝子が1つだけで働くものではなく、保有する遺伝子が総合的に働いて生命となっているものなので、そうしたネットワークとして働く遺伝子群をまとめてゲノムと考える。実際には、ある特定の生物種が持つDNA配列全体をまとめてゲノム配列と捉える。

## ゲノム解析

ゲノム (→「ゲノム」参照) に対して行うオミックス解析 (→「オミックス解析」参照)。近年のDNA配列解析技術の飛躍的進歩により、迅速かつ安価にできるようになってきている。

## ゴールデンライス

高機能性食品として開発されたGMOの代表的な1例。イネに植物由来のカロテノイド合成酵素遺伝子を強く働くように遺伝子導入し、米の部分のビタミンA含有量を飛躍的に高めたもので、ビタミンA欠乏による失明の多い発展途上国での利用が期待されている。

## GMO

遺伝子組換え生物 (Genetically Modified Organism) の略。→「遺伝子組換え植物」参照。

## バイオエタノール (Bio-ethanol)

産業資源から生物材料を用いて生産されるエタノールで、特に、食品用ではなく燃料用として生産されたものをいう。現在、遺伝子組換えトウモロコシなどが主たる材料となっているが、より効率の高い生産を目指し、各種の遺伝子組換え作物の開発が進められている。

## 不使用表示

食品における遺伝子組換え作物の不使用表示。これは米国およびEUでは認められていないが、日本では認められているという違いがある。米国で不使用表示が認められていない理由は、「遺伝子組換え作物を使っていない」と表示することはすなわち、健康に害がある食品添加物に対する場合と同様に、当該の遺伝子組換え作物が有害である場合に限られる、という解釈による。実際には、そうしたケースはこれまでになく、また不使用表示によって消費者に害があるかのような誤解を与えることは安全管理の上で誤りであるという思想から、米国では認められていない。



## <参考文献>

### 1 はじめに

- 1) 国際アグリバイオ事業団(ISAAA) (<http://www.isaaa.org>)
- 2) Reaping the benefits: Science and the sustainable intensification of global agriculture, The Royal Society, 2009年10月21日

### 2 遺伝子組換え植物の現状と課題

- 3) 厚生労働省「遺伝子組換え食品ホームページ」(<http://www.mhlw.go.jp/topics/identshi/dl/list>)
- 4) バイテク情報普及会資料：暮らしとバイテク、世界の状況 ([http://www.cbi-japan.com/l\\_overseas/index-low.html](http://www.cbi-japan.com/l_overseas/index-low.html))
- 5) コーデックス ([http://www.codexalimentarius.net/web/more\\_info.jsp?id\\_sta=10021&lang=en](http://www.codexalimentarius.net/web/more_info.jsp?id_sta=10021&lang=en))
- 6) 朝日新聞 2008年10月25日 夕刊 12ページ 東京本社「緑・赤…光る絹糸 蚕にオワンクラゲ遺伝子」
- 7) 中国・2009年第2回農業遺伝子組換え生物安全証明書承認リスト (<http://www.stee.agri.gov.cn/biosafety/spxx/P020091127591594596689.pdf>)

### 3 植物における遺伝子機能解析の現状と課題

- 8) 農林水産省 農林水産技術会議事務局 (<http://www.s.affrc.go.jp/docs/anzenka01/index.htm>)
- 9) 独立行政法人製品評価技術基盤機構 バイオテクノロジー分野 微生物のパワーをバイオ産業の発展に生かす (<http://www.bio.nite.go.jp/index.html>)

### 4 遺伝子組換え植物の栽培が生態系に与える影響に関する国内の研究の現状

- 10) 農林水産省 技術会議事務局成果報告書326 (1998) (<http://rms2.agsearch.agropedia.affrc.go.jp/contents/JASI/pdf/digicon/seika/seika326.pdf>)
- 11) 種生物学会編、浅井元朗・芝池博幸 責任編集 『農業と雑草の生態学: 侵入植物から遺伝子組換え植物まで』 文一総合出版 2007
- 12) 農林水産省 技術会議事務局成果報告書 447 (2007) (<http://rms2.agsearch.agropedia.affrc.go.jp/contents/JASI/pdf/digicon/seika/seika447.pdf>)
- 13) 朝日新聞 2009年4月9日 夕刊 11ページ 東京本社 環境エコロジー「組み換えダイズ 監視の目」

### 5 遺伝子組換え植物に関連する法整備の現状と課題

- 14) 科学技術連携施策群「食料・生物生産研究」GMO(遺伝子組換え農作物)の実用化研究の実施に向けた検討 第一次取りまとめ：円滑な屋外栽培試験の促進に関する推進方策

- (<http://www8.cao.go.jp/cstp/project/bunyabetu2006/life/12kai/siryu2-2.pdf>)
- 15) 環境省 外来生物法 (<http://www.env.go.jp/nature/intro/>) 環境省 バイオセーフ  
ティークリアリングハウス<http://www.bch.biodic.go.jp/index.html>)
  - 16) 農林水産省 農林水産技術会議「遺伝子組換え農作物の環境放出に関する各国  
の規制制度」GAIN Report -CA7053・IGAIN Report-IN7062(USDA)  
(<http://www.fas.usda.gov/gainfiles/200808/146295477.pdf>) (2008年8月現在)
  - 17) 日本経済新聞 2008年4月25日 朝刊 3面 食品向け米国産の大豆・トウモロコシ  
「非組み換え調達厳しく」組み換え品、国内消費の7割
  - 18) 毎日新聞 2009年11月3日 東京朝刊 14ページ 家庭面 食卓どこへ:遺伝子組  
換え/2 表示義務「対象外」多く 写真図あり
- 6 日本における行政の取組の現状
- 19) 総合科学技術会議 ライフサイエンスプロジェクトチーム、連携施策群「食料・生  
物生産研究」取りまとめ  
(<http://www8.cao.go.jp/cstp/project/bunyabetu2006/life/12kai/haihu12.html>)
  - 20) 内閣府食品安全委員会 (<http://www.fsc.go.jp/>)
  - 21) 農林水産省 (<http://www.maff.go.jp/>)
  - 22) BT戦略会議(2002)、「バイオテクノロジー戦略大綱」  
(<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/bt/kettei/021206/taikou.html>)
  - 23) BT戦略推進官民会議 取りまとめ <http://www8.cao.go.jp/cstp/bt.html>  
(<http://www8.cao.go.jp/cstp/project/bt2/haihu3/index.html>)
  - 24) 朝日新聞 2009年2月28日 夕刊 15ページ 東京本社 「花粉症に効く米 お蔵  
入り? 厚労省が「待った」治験に大金必要」
- 7 教育面の課題
- 25) 科学技術振興機構(2007)、「JST-科学技術理解増進事業-スーパーサイエンス  
ハイスクール」(<https://sshjst.go.jp/>)
  - 26) 科学技術振興機構(2007)、「SPP」(<http://sppjst.go.jp/oldhp/index.html>)
- 8 課題と提言
- 27) 農林水産省 農林水産技術会議「遺伝子組換え農作物等の研究開発の進め方  
に関する検討会」最終とりまとめ 2008年1月  
([http://www.s.affrc.go.jp/docs/committee/gm/pdf/last\\_summary.pdf](http://www.s.affrc.go.jp/docs/committee/gm/pdf/last_summary.pdf))
  - 28) 毎日新聞 2008年4月19日 朝刊 6面 遺伝子組み換え日本でも導入「先進  
国影響じわり」
  - 29) 読売新聞 2009年2月28日 朝刊 17ページ 市民公開講座「救え!世界の食  
糧危機—ここまできた遺伝子組換え作物」
  - 30) 遺伝子組換え植物が人の健康や環境、生態系に与える影響についてのこれまで  
の科学的調査を含む、GMO 関連情報が整理されている一般向けホームページ:

<http://www.jba.or.jp/top/bioschool/seminar/index.html>

- 31) 欧州委員会共同研究センターがまとめた遺伝子組換え植物利用に関する安全性  
評価の報告書

[http://ec.europa.eu/dgs/jrc/downloads/jrc\\_reference\\_report\\_2008\\_11\\_healthstrategy\\_gmos.pdf](http://ec.europa.eu/dgs/jrc/downloads/jrc_reference_report_2008_11_healthstrategy_gmos.pdf)

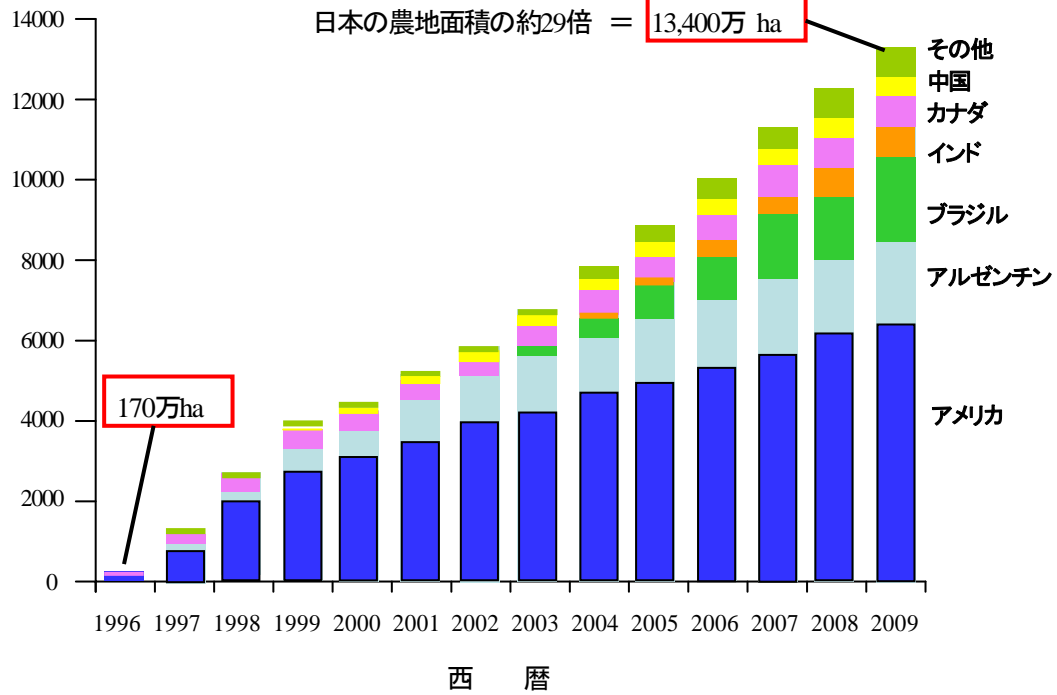
<参考資料>

表 1 2009 年 遺伝子組換え作物を栽培した 25 ヶ国における国別栽培状況

順位	国名	栽培面積 (ha)	栽培作物
1	米国	6,400 万	ダイズ、トウモロコシ、ワタ、ナタネ、スクワッシュ、パパイア、アルファルファ、テンサイ
2	ブラジル	2,140 万	ダイズ、トウモロコシ、ワタ
3	アルゼンチン	2,130 万	ダイズ、トウモロコシ、ワタ
4	インド	840 万	ワタ
5	カナダ	820 万	ナタネ、トウモロコシ、ダイズ、テンサイ
6	中国	370 万	ワタ、トマト、ポプラ、パパイア、ピーマン
7	パラグアイ	220 万	ダイズ
8	南アフリカ	210 万	トウモロコシ、ダイズ、ワタ
9	ウルグアイ	80 万	ダイズ、トウモロコシ
10	ボリビア	80 万	ダイズ
11	フィリピン	50 万	トウモロコシ
12	オーストラリア	20 万	ワタ、ナタネ
13	ブルキナファソ	10 万	ワタ
14	スペイン	10 万	トウモロコシ
15	メキシコ	10 万	ワタ、ダイズ
16-25	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		

出典: ISAAA 報告書 (2009) Clave James より作表

栽培面積(万 ha)



出典：ISAAA 報告書(2009)に一部加筆修正

図1 遺伝子組換え作物の栽培面積(国別)

## 資料1 遺伝子組換え植物の環境放出に関する各国の規制の現状

米国では、特別な法律は制定されておらず、既存法を拡張解釈して運用している。遺伝子組換え農作物の野外試験を行おうとする機関は、USDA-APHIS(米国農務省動植物検疫局)に野外試験許可を申請する。APHISから許可が下りれば、一定期間、野外試験を行うことができる。当該作物が環境に対して組換え前のものと比較して悪影響を与えないことが明らかになれば、申請機関は野外試験の結果をAPHISに提出し、規制除外を申請する。APHISが十分な科学的証拠を認めれば、当該作物は規制除外となり、自由栽培への道が開ける。Btトウモロコシのように農薬成分を作り出す組換え農作物の場合には、USDA-APHISと平行して、EPA(米国環境保護庁)が、環境影響評価と野外栽培を認可している。野外試験の結果、環境への影響がないと判断されれば、害虫の抵抗性発達を防止するための方策策定と生産者への徹底が企業に課せられる。

EUでの遺伝子組換え農作物の栽培規制は、EC(欧州委員会)が対応しており、2002年10月に施行された環境放出指令に基づいて行われている。この指令の下で規制対象農作物について意図的環境放出を行う場合には、加盟国からの同意と当事国の承認が必要である。環境放出指令は、各国で対応法を策定し、環境放出にかかわる安全性を審査する。加盟国間で異議が出されない限り、ECでの審査を必要としない。特定の国だけで栽培するには国内カタログ、EU全域で栽培するには共通カタログへの登録が必要である。なお、国内カタログには、オランダ、スペイン、フランスが登録されている。

中国は世界第6位の遺伝子組換え農作物栽培国となっている。「農業遺伝子組換え生物安全管理条例」にしたがって、7省庁が安全管理事業に関する重要事項について協議、協力し、決定している。そのうち農業部は、農業分野の審査、許可、流通、表示の全ての面で責任を有し、安全審査、安全証明書発行(中間試験、環境放出試験、生産性試験の3ステップ)を行っている。最後の生産性試験の審査を通過すると農業部から安全証明書が発行され、品種登録と商業栽培が可能となる。

インドは栽培面積の急上昇が続き世界第4位となっている。生物工学局(DBT)内の遺伝子組換えRC(遺伝子操作審査委員会)が、遺伝子組換え生物に関する研究プロジェクトの安全性監視と、遺伝子組換え作物の生産、販売、輸入および使用の制限または禁止の手順を定める責任を負っている。遺伝子組換えRCはまた、遺伝子組換え生物の輸入と通関手続きの責任も負っている。一方、環境森林省(MEF)の遺伝子組換え承認委員会(GEAC)は、遺伝子組換え作物の圃場試験を含む、環境への放出に関する申請に対して承認責任を負っている。

## 資料2 食品としての利用に関する各国の規制の状況

米国では、食品や飼料としての規制は、FDA（米国食品医薬品局）が行っている。安全性審査を受けることは法的には義務付けられていないので、商品化に当たっては任意の協議に基づいて安全性が確認されている。従来のもと同様であるという観点から、遺伝子組換えに関する表示は義務付けられていない。ただし、従来のもと同様と著しく組成・栄養に変化がある場合に、その成分を表示することとなっている。米国の表示制度では、「遺伝子組換え作物を使っていません」と表示するためには、それが虚偽ではなく誤解を与えないことを立証できることが条件となっている。このため、実際には、「組換え不使用」等の表示はできないことになる。また、遺伝子組換えに関する表示をする場合は、「derived through biotechnology（バイオテクノロジーを使用）」や「bioengineered（バイオ技術適用）」という表現が望ましいとされている。

EUでは、EC（欧州委員会）によって承認された「食品・飼料規則」と「表示・トレーサビリティ規則」が基本となっている。2004年以降、食品・飼料としての遺伝子組換え農作物の安全性評価はEFSA（欧州食品安全委員会）が行い、ECはEFSAの評価を考慮して利用を認可している。遺伝子組換え食品の表示面では、その表示義務を全ての食品と飼料、添加物へ拡大している。表示の方法としては、「この製品は、遺伝子組換え体を含む」または「…遺伝子組換え（作物名）から製造」と記すことが義務づけられているが、米国と同様に「遺伝子組換え作物は含まれていない」あるいは「遺伝子組換え不使用」などの表示は認められていない。なお、表示・トレーサビリティ規則により、遺伝子組換え農作物関連製品の取り扱いに関する記録はフードチェーンの全ての段階で5年間保存することが求められている。

中国では、遺伝子組換え食品衛生法案を衛生部（MOH）が承認しており、遺伝子組換え由来の成分を食品製造や加工において使用するための申請システムと遺伝子組換え食品の質と安全性の評価システムが確立している。種子生産、収穫物販売、輸入等で「生産許可書」「販売許可書」などの許可書の取得を必要とする。遺伝子組換え農作物の販売においては、販売者は農業部から「販売許可書」を取得し、販売記録の作成、相応する安全管理・防護措置をとる必要がある。輸入品の安全性規制については農務省（MOA）が行う。遺伝子組換え食品および食品添加物は、遺伝子組換え作物食品専門委員会（遺伝子組換え作物 Food Expert Commission）の安全性評価を受けなければならない。中国の表示制度では、遺伝子組換えに由来する原料から製造した食品や、種子、油、加工品に表示義務があるが、混入許容水準に関する定めはない。

インドは、現在、保健家族福祉省（MHFW）を中心に法整備を急いでいるとのことである。