

## 特集 遺伝子組換え作物の生態的リスク評価

## 国内外における遺伝子組換え作物の状況

大阪府立大学生命環境科学研究科 小泉 望

## はじめに

1996年に遺伝子組換え作物の本格的な商業栽培が始まってから20年近くが経過し、その栽培面積は世界レベルでは100倍以上に増加した。多くの生産者に支持されるメリットがある一方で耐性雑草の出現などの問題点もある。日本での商業栽培はないが、日本の輸入量は世界で最も多いとされ、こぼれ種由来の自生も見られる。本稿では世界における栽培状況および認可、輸入、流通等に関する日本の状況について概説する。

## 1. 世界における栽培状況

遺伝子組換え作物（以下、組換え作物）の本格的な商業栽培が1996年に米国で始まった時点での栽培面積は170万haであった。その後、栽培面積は図-1に示すように右肩上がりに増加し2014年には世界の耕地面積、14億haの13%に当たる1.8億haに達した。世界28ヶ国で栽培され栽培面積は米国が0.7億haと最も広く世界の半分近くを占める。次いで、ブラジル、アルゼ

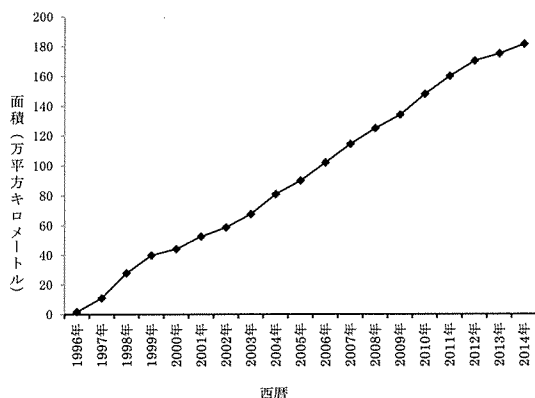


図-1 組換え作物の栽培面積の変遷  
(国際アグリ事業団のデータによる)

ンチン、(インド)、カナダと続き、パラグアイ、ウルグアイ等を含めると南北アメリカの栽培面積は世界の87%に達し、組換え作物の栽培地は世界的にみてかなり偏っている。

組換え作物の多くは、トウモロコシ、大豆、セイヨウナタネ、ワタの4種類で99%を占める。世界三大作物のうちトウモロコシを除く、小麦およびイネの組換え品種の商業栽培はない。最も広く栽培されている組換え作物は大豆で2013年のデータでは8,450万haと日本の国土面積の2.2倍に当たる。非組換え大豆の栽培面積は2,250万haであることから、世界の大豆の約8割が組換え品種である。トウモロコシは32%、ワタは70%、セイヨウナタネは24%が品種となっている。

## 2. 除草剤耐性と害虫抵抗性

形質別に見ると除草剤耐性、害虫抵抗性あるいはその両方を併せ持つスタックと呼ばれる品種がほとんどである。除草剤耐性作物はグリホサート系などの特定の除草剤に対して抵抗性を持つため、除草剤の散布によりほとんどの雑草は枯れるが組換え作物は枯れない。ラウンドアップはグリホサートの代表的な商品名であるが特許期間がすでに切れているためジェネリック剤も売られている。次いで多いのはグルホシネート系の除草剤に対する抵抗性を持つ品種である。これら除草剤抵抗性作物の栽培において除草剤の散布は多くの場合、一度で済む。除草作業が軽減されることから除草剤耐性を付与した大豆、セイヨウナタネあるいはトウモロコシが生産者に支持され広く栽培されている。さらにこれらの除草剤の昆虫、動物への毒性が低く分解が早いといった環境への付加が小さいことも広く普及している要因である。一方

で、一部の地域では除草剤耐性雑草の出現が見られる (Beckie 2011)。同一の除草剤を使い続けたことにより除草剤に抵抗性を持つ雑草が選抜され、生育範囲が増えた結果と考えられる。こうした抵抗性雑草の出現は組換え作物に限らないが、広範囲に単一の除草剤を使用することで出現頻度が高くなると考えられる。抵抗性雑草への対応策として作用機作の異なる除草剤と耐性品種の導入と異なる除草剤を使用する栽培体系が必要となる。複数の除草剤に対して抵抗性を持つスタック品種が開発されており、1品種で複数の除草剤の使用が可能である。

害虫抵抗性作物はある種の昆虫に毒性を示す細菌 (*Bacillus thuringiensis*) 由来の Bt タンパク質を発現させた組換え作物である。Bt タンパク質は生物農薬としても使われており、人畜に無害であることが知られている。害虫抵抗性はトウモロコシ、ワタ、大豆などに導入されている。例えば、アワノメイガはトウモロコシの害虫で、幼虫が葉のつけねから茎の内部に入り内部を食害するため、トウモロコシの収量が落ちる。しかし、アワノメイガの幼虫は Bt タンパク質を発現させたトウモロコシをかじると死ぬためトウモロコシはアワノメイガの被害から免れる。オオタバコガなどのワタの害虫にも Bt タンパク質は有効で Bt ワタの導入により殺虫剤散布の必要性が減少した。標的昆虫が異なる複数種の Bt タンパク質があり、トウモロコシの根を食べる害虫ルートワームに対する Bt タンパク質を発現するトウモロコシも栽培されている。これらの Bt 作物の導入により、殺虫剤の使用量が減少するとともに、昆虫による食害が減少することで結果的にトウモロコシの収量が増加する。しかし、除草剤耐性の雑草が現れたように Bt トウモロコシに対する耐性昆虫も出現している (Tabashnik *et al.* 2013)。この場合、変異により Bt タンパク質に対して抵抗性を持つ昆虫が出現したと考えられる。Bt 作物の栽培では、こうした耐性昆虫の出現を防ぐため耐性を持たない作物を栽培する緩衝地帯 (refuge) を設けることが求められている。しかし、近視眼的に見

れば refuge の設定は収量の減収になり、栽培上不利になることから、米国においても Bt の導入当初と比べ順守の割合は減少している。また、Bt 作物は標的昆虫に対しては耐性を示すが、もちろん非標的昆虫には耐性でない。従って、Bt 作物を導入しても複数の害虫による被害の防除につながらない場合もある。それでもインドでは Bt ワタの栽培面積が 2003 年の 10 万 ha から 2013 年には 1,100 万 ha へと約 100 倍に増加し、導入率は 90% に達している。2013 年の世界のワタの栽培面積が 3,400 万 ha であることからインドの組換えワタの栽培面積は世界の約 3 分の 1 に達する。中国でも害虫抵抗性ワタの導入率は 90% を超えており、パキスタンでも相当量栽培されている。インドでは Bt ナスも開発されているが実用化には至っていない。隣国のバングラディッシュでは 2014 年に商業栽培が始まり、Bt ナスの導入により生産者の農薬の被ばく量が 7 割から 9 割削減されたとされる。

### 3. 各国の状況

アジアでは上述のようにインド、中国でのワタの栽培面積が広い。インドでは食用作物については慎重論が強く栽培に至っていない。中国でも複数の食用作物が栽培されているが慎重論が強いためその量は限られている。その他、パキスタンのワタ、バングラディッシュのナスに加え、フィリピンでは組換えトウモロコシの栽培が行われている。オーストラリアでは組換えワタとナタネが栽培されている。アフリカでは南アフリカを筆頭に複数の国でワタ、トウモロコシ、大豆などが栽培されているが南北アメリカと比べると面積は限られている。ヨーロッパでは EU が 1999 年から 2004 年まで組換え作物の新規承認を凍結するなど、組換え作物に対する社会的受容が進まないこともあり商業栽培は限られている。国際的に組換え作物は有機農作物と認められないため有機農業と組換え農業との共存は難しく、その傾向はヨーロッパで特に強い。組換え農作物の有機農作物への混入の許容範囲を設定するなど共存法を模索し

ている国もあるが、状況は国によって異なる。スペインでは相当量の飼料用トウモロコシが栽培されており、栽培上の混乱は生じていないようである。ロシアは現在のところ組換え作物の導入には否定的である。

#### 4. 使用用途

上述のように世界で広く組換え作物が栽培されており、作物別では大豆、トウモロコシ、セイヨウナタネ、ワタで、形質としては除草剤耐性、害虫抵抗性がほとんどである。しかし、人間が直接摂取する組換え作物は限られている。ワタは基本的に繊維にすることが目的である。セイヨウナタネのほとんどは植物油に加工されるが、摂取している印象は少ない。大豆も同様に多くが植物油へ加工される。大豆は除草剤耐性、害虫抵抗性に加えてオレイン酸含量の向上など脂質成分を改変した組換え作物も開発されている。トウモロコシは国によって使用用途は異なるが家畜飼料、デンプン、工業製品あるいはバイオエタノールに加工される。また、乾燥抵抗性などストレスに強い組換え品種も開発されている。その他、加工目的の組換え作物として除草剤抵抗性テンサイが米国、カナダで栽培されている。

生食用の組換え作物としてはウイルス抵抗性パパイヤが米国で栽培されている。パパイヤリングスポットウイルスに抵抗性を示し、1998年よりハワイのオアフ島で栽培されている。ハワイで栽培される7割程度は組換えパパイヤで、レインボー (Rainbow) と呼ばれる品種の日本での流通、販売が2011年に認められた。中国でもウイルス抵抗性パパイヤが栽培されている。

多くの組換え作物は基本的に栽培にかかる労力の軽減を目的とし生産者に恩恵があったため広く受け入れられ栽培面積が急激に増加した。一方、組換え技術により作物の栄養価の改変を目指した組換え作物も開発されている。最も有名なものはゴールデンライスであろう。ゴールデンライスは途上国におけるビタミンA欠乏症の改善を目的にビタミンA前駆体のβカロテンを胚乳に高蓄

積するイネである。途上国の多くの国の主食はコメである。コメからカロリーは摂取できてもビタミンAあるいはβカロテンは摂取できない。その結果、主にコメに頼った食事では世界三大栄養失調の一つビタミンA欠乏症になり易い。ビタミンA欠乏症の結果、年間数十万人の子供が失明しているとされる。βカロテンを胚乳に高蓄積するゴールデンライスはその解決に貢献できると考えられているが、2005年に蓄積量を増やすことに成功してから10年近く経った今でも商業栽培に至っていない。他にも鉄分、ビタミンE、ビタミンA前駆体の含量を高めたバナナなども開発されている。食用ではないが日本で開発された花色を変えた組換えカーネーションおよびバラが商業栽培されている。商業栽培されている組換え花卉は日本発のこれら品種だけである。

#### 5. 日本での認可

日本国内で遺伝子組換え作物を栽培するには「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 (カルタヘナ法)」に基づく審査を受け、承認される必要がある。一般圃場 (隔離されていない圃場) で栽培するには隔離圃場での栽培を経る必要がある。平成26年11月現在、一般圃場での栽培が承認されている作物は8作物種、104系統で、作物の内訳はアルファルファ、カーネーション、セイヨウナタネ、ダイズ、テンサイ、トウモロコシ、パパイヤ、バラである。作物種の数と比べ系統数が多いのは導入遺伝子つまり付与されている形質が異なるからである。導入されている形質はほとんどが前述した除草剤耐性、害虫抵抗性あるいは高オレイン酸 (大豆)、乾燥抵抗性 (トウモロコシ)、ウイルス耐性 (パパイヤ) などである。上述のカーネーション、バラに関しては花色の変化である。例えば8系統のカーネーションで一般圃場での栽培が認可されているが、その中には同一遺伝子を導入されているものもある。導入する元の植物が違う場合や異なる組換え体に由来する場合は、異なる系統として扱われる。

カルタヘナ法により 8 作物種、104 系統の組換え作物の一般圃場での栽培が認可されている。しかし平成 27 年 3 月時点で展示等の栽培を除き商業栽培を目的に国内で隔離せずに栽培されている植物は現状ではバラのみである。輸入している組換え作物は日本国内で商業栽培することを念頭においていない。しかし、輸送途中に種子が落下し自生に至る可能性が考えられる。実際に、特にセイヨウナタネにおいては「こぼれ種」に由来する組換え植物の自生が相当数検出されている（後述）。パパイヤの場合、生食後に種子を播種すれば組換えパパイヤが得られる（もっともレインボーは F1 雑種のため発芽種子から得られた植物の利用価値は少ない）。このように商業栽培が目的でなくても不測の事態に対応するため多くの組換え作物がカルタヘナ法による一般圃場での栽培認可を受けている。

「こぼれ種」でもっとも事例が多いのはセイヨウナタネである。ナタネの仲間は雑草化しやすく、春になると河川敷等で見られる黄色い花の多くは帰化植物である（多くはセイヨウカラシナとされるが詳細は明らかでない）。また日本国内にはセイヨウナタネと交雑可能な野生種（帰化植物を含む）が少なくない。組換えセイヨウナタネは年間約 200 万トンが種子として輸入され、港湾からトラックで製油所に輸送される。この間にセイヨウナタネ種子がこぼれ、自生するケースが見られる。2003 年度より環境省および農林水産省は港湾、周辺の主要道沿い、河川敷のナタネ類を採取し除草剤耐性、遺伝子型等から導入遺伝子の検出をおこなっている。その結果、複数の組換えセイヨウナタネ個体あるいはセイヨウナタネ以外のナタネ類（日本の在来種ではない）との交雑個体を確認している。もっとも原産地での交雑も可能性も考えられることから交雑個体の確認は必ずしも国内での交雑を意味しない。こうしたセイヨウナタネは隔離せずに栽培することが承認されているので自生していても法的には違反とはならない。調査以降、管理が厳密にされるようになったためこぼれ種子が見つかる頻度は減少している。未承

認の組換え作物が栽培されていた例として 2011 年に沖縄でのウイルス抵抗性パパイヤの栽培が挙げられる。栽培されていたのはレインボーとは異なる台湾由来の品種で、組換え品種とは認識されずに栽培されていた。農林水産省が沖縄のパパイヤを調査し組換え品種であることが判明したものは伐採された。2014 年末には観賞用に中国から種子として輸入されたワタが未承認の組換え体であることも判明した。隔離圃場での栽培が認可されたワタは複数系統あるが一般圃場での栽培が認可されたものはない。

## 6. 輸入と利用

上述のように日本国内での組換え作物の商業栽培はないが、日本は多くの組換え作物を輸入、利用、消費している。例えば 2013 年、276 万トンのダイズを米国、ブラジル、カナダから輸入している。これらの国での組換えダイズの割合は 90% であり、輸入量のシェアと輸入先の組換え品種の導入率から単純に計算すると 247 万トンの組換えダイズが輸入されていると推測される。国内生産は大豆の 20 万トンは非組換えであることから、輸入大豆の 89% が組換え品種、国内で消費される大豆の 83% が組換え品種と推定される。しかし、みそ、豆腐、納豆などの食品用に約 90 万トンの大豆が使用され、これらは基本的には非組換え品種が使われていると考えれば、実際には約 200 万トン程度の組換え大豆が輸入されていると推測するのが妥当であろう。

トウモロコシ（ここではスイートコーンを含めない）の実質的な国内生産はほとんどなく、全量近くを米国、ブラジル、アルゼンチン等からの輸入に頼っている。大豆と同様の考え方で計算すると 2013 年に輸入した 1,440 万トンのトウモロコシのうち、71% に当たる約 1,027 万トンが組換え品種と推定できる。トウモロコシのうち 75% が家畜飼料に使われるとされることから、組換え品種の多くは飼料用と考えられる。因みにスイートコーンの国内生産量は 25 万トンで、ほとんどが食用である。セイヨウナタネは輸入量 246 万

トンのほぼ全量が製油に使われ、大豆、トウモロコシと同様の試算をすると93%が組換え品種で、9割以上をカナダに頼っている。

以上から、大豆、トウモロコシ、セイヨウナタネを合わせた輸入量は約2,000万トンで、およそ7割に当たる1,450万トンが組換え品種と推定される。日本の米の生産量が861万トン(2013年)であるから、その1.7倍に当たる組換え作物が輸入されていることになる。日本は主要穀物として500万トンの小麦、80万トンの米を輸入している。従って、大豆、トウモロコシ、セイヨウナタネ、小麦、米を合わせた輸入量は概算で2,580万トンとなり、組換え作物が占める割合は半分以上と考えられる。

食品利用に関する表示義務のある食品は33品目に限られている。例えば組換え作物の多くが使用されていると考えられる植物油は表示義務がない。ほとんどが植物油に加工されるセイヨウナタネ由来で表示義務がある食品はない。大豆は豆腐、納豆、味噌など日常的に消費している食品に表示義務がある。トウモロコシはコーンスターチなど複数の食品に表示義務がある。こうした食品のほとんどに不使用表示があるのが現状である。不使用表示は義務ではないが、不使用を謳うにはIPハンドリング(分別生産流通管理)が必要である。IPハンドリングでは生産地(農場)から流通経路の各ステップ(貨車からサイロへの搬入など)における証明書の添付が必要である。

## おわりに

これまで述べてきたように世界的に広く栽培されている組換え作物を日本は多く輸入している。多くの組換え作物の国内栽培がカルタヘナ法では認められているが、その栽培はない。国内での栽培に適した品種に除草剤耐性や害虫抵抗性が付与されていないので、国内での商業栽培のメリットはない。また、例えばグリホサートの大豆栽培への使用は認可されていないため国内の栽培に適した除草剤耐性大豆が開発されても、その形質を活かした商業栽培はできない。有機農作物との共存のために仕組みもない。さらに、現状では国内産大豆は全て非組換え品種であるが、国内で組換え大豆が栽培されれば非組換えを謳うにはIPハンドリングの導入が必要となる。こうした要因から現時点では国内での組換え作物の商業栽培は現実的でない。

## 参考文献

Beckie, Hugh J. 2011. Herbicide-resistant weed management: focus on glyphosate: *Pest Management Science* 67, 1037-1048.

Tabashnik, Bruce E., Thierry Brévault and Yves Carrière 2013. Insect resistance to Bt crops: lessons from the first billion acres: *Nature Biotechnology* 31, 510-521.

他に本稿で挙げた数値などの情報は

- ・国際アグリ事業団 (ISAAA: The International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications)
  - ・農林水産省
  - ・米国農務省
  - ・(独) 農業生物資源研究所
- のホームページに基づいている。