

記 録

文書番号	S C J 第 2 3 期 290906-23421300-022
委員会等名	日本学術会議農学委員会・食料科学委員会合同 遺伝子組換え作物分科会
標題	新しい植物育種技術の現状と社会受容について
作成日	平成 2 9 年（ 2 0 1 7 年） 9 月 6 日

※ 本資料は、日本学術会議会則第二条に定める意思の表出ではない。掲載されたデータ等には、確認を要するものが含まれる可能性がある。

記録

「新しい植物育種技術の現状と社会受容 について」

平成 29 年（2017 年）9 月 6 日

日本学術会議

農学委員会・食料科学委員会合同

遺伝子組換え作物分科会

日本学術会議 農学委員会・食料科学委員会合同 遺伝子組換え作物分科会

委員長 佐藤文彦（連携会員）京都大学大学院生命科学研究科教授
副委員長 大杉 立（第2部会員）東京農業大学客員教授
幹事 西尾 剛（連携会員）東北大学大学院農学研究科教授
幹事 立川雅司（連携会員）名古屋大学環境学研究科教授
石毛光雄（連携会員）国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構
フェロー
射場 厚（連携会員）九州大学理学院教授
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
小山博之（連携会員）岐阜大学応用生物科学部教授
塚谷裕一（連携会員）東京大学大学院理学系研究科教授
西澤直子（連携会員）石川県立大学生物資源工学研究所特任教授
福田裕穂（第2部会員）東京大学理事・副学長・
大学院理学系研究科・理学部・教授

なお、本記録の作成にあたり、下記の方々や学会等のご協力・ご助言を頂いた。記して
深謝する。

石井哲也・北海道大学安全衛生本部教授
江面 浩 筑波大学大学院生命環境科学研究科教授
大澤 良 筑波大学大学院生命環境科学研究科教授
蒲生恵美 公益社団法人 日本消費者生活アドバイザー・コンサルタント・
相談員協会 食生活特別委員会副委員長
川井秀一 京都大学大学院総合生存学館 教授・学館長
木下政人 京都大学農学研究科助教
小松 晃 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
作物研究所 主任研究員
阪井康能 京都大学大学院農学研究科教授
佐藤英明 東北大学名誉教授
佐藤 卓 米国大使館農務部農務スペシャリスト
白石晃将 京都大学大学院農学研究科博士課程学生・
同大学大学院思修館プログラム履修生
田部井豊 国立研究開発法人 農業生物資源研究所室長
村中俊哉 大阪大学大学院工学研究科教授
山敷庸亮 京都大学大学院総合生存学館教授

植物細胞分子生物学会
バイテク情報普及会

目次

はじめに

I 「新しい植物育種技術について考える」

1. 植物育種って何だろう？
2. 新植物育種技術(NPBT)の概要：学術会議報告から
3. NPBT を使って毒のないジャガイモをつくる
4. 遺伝子組換え植物の日本における規制
5. 遺伝子組換え植物の米国における規制
6. 消費者から見た NPBT- NPBT コミュニケーションにおける課題

II 「世界の食料の今そして未来」

1. 食料安全保障のためのバイオテクノロジー：2050 年、我々の食糧は十分でかつ安全か？(Agricultural biotechnologies for food security: Is our food enough and safe in 2050?)
2. 産業界の取り組みと課題
3. 国の遺伝子組換え作物の安全性確保の取組等
4. 学術界の取り組みと課題
5. 消費者の遺伝子組換え食品への感覚と意思決定
6. パネルディスカッションまとめ
7. 質疑応答に対する追加の回答

参考資料

あとがき

はじめに

遺伝子組換え作物分科会は、遺伝子組換え作物の現状と今後の展望について科学者の立場で議論することを目的として設立された。前期（第22期）において農学委員会・育種学分科会、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とともに、「植物における新育種技術（NPBT: New Plant Breeding Techniques）の現状と課題」を議論し、その取りまとめを報告として発出した。今期（第23期）は、前期の議論を踏まえ、特に進展の著しいゲノム編集技術を中心テーマに6回の分科会を開催するとともに、そのテーマに関連した2回のシンポジウムを開催し、様々な意見を収集した。しかし、これらの意見を集約し、提言とするには、まだ、不十分であることから、これまでの分科会の議事の要点ならびにシンポジウムで提供された資料に加え、分科会に紹介された資料の一覧等を記録として残し、次期における議論の参考にしたいと考えた。

まず、第1回の分科会では、NPBTをめぐる最新動向に関する情報提供と関連する意見交換を行い、以下のような意見集約を行った。

- ・戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）における NPBT 研究の動向について、当分科会として注視し、関係者から情報提供を得る機会を設ける。また、必要に応じて、特任連携会員としての任命も考慮する。
- ・NPBT をめぐる情勢も勘案しつつ、公開シンポジウムを企画する。具体的な目的や内容に関しては、今後検討を進める。
- ・ゲノムサイエンスの最新動向の俯瞰や展望、遺伝子組換え（GM）も含めた技術の開発と普及動向、GM と NPBT との関連性などについて、学術会議としての観点から今後取り組むべき課題を整理し、問題提起を行うことが重要である。
- ・NPBT 関連以外に、隔離圃場の大学および研究機関における設置に関する動向と利用上の課題に関しても、引き続き重要な論点として注視していく必要がある。
- ・22 期に引き続き、関連の分科会（植物科学分科会、育種分科会、農学分科会）とも連携しつつ、検討を進めていく。

第2回分科会では、NPBT、特にゲノム編集に関わる技術的・社会科学的課題について、石井哲也北海道大学教授から「ゲノム編集による植物育種と社会科学的課題」について、また、大澤良筑波大学教授から「NPBT の社会実装のために何が必要か？」と題して、NPBT が求められる背景、NPBT の仕分け、社会実装への課題に関して、従来育種と対比しつつ説明がなされ、議論が交わされた。さらに、慣行育種、遺伝子組換え、NPBT を俯瞰的に評価し直すような取り組みの必要性、それら規制をめぐる考え方、市民の認識を深める取り組みの必要性などについて議論された。

第3回分科会では、NPBT について、市民公開シンポジウム「新しい植物育種技術について考える」（平成27年8月10日東京大学弥生講堂）を開催し、広く一般の意見を収集することとした。NPBT の一つであるゲノム編集により作成されたソラニンをほとんど含まないジャガイモは、NPBT の有用性を示す一例として活用できるため、今後の研究展開が注目された。「消費者から見た NPBT」の講演では、一般消費者から見た NPBT の分かりにくさが指摘されたので、これまでの NPBT の8種類の仕分けから項目を立て直して、より分かりやすく整理していく必要が認識できた。また、NPBT という分かり

にくい技術を如何に平易に一般人に説明するか、また、情報に背を向けることなく、隠さず、ごまかさずに如何に市民に公開するのか、さらに具体的な成果を如何に市民に提示するのかなどの問題が提起され、さらなる議論が必要であることが明らかになった。

第4回分科会では、NPBT、ゲノム編集技術の世界における進展と社会受容について、さらに議論を深め、以下のような論点整理を行った。

- ・ プロセスベースとプロダクトベースをめぐる考え方
- ・ ゲノム編集された微細藻類（燃料生成）の取り扱いについて
- ・ Gene Drive に関して、環境への影響、管理の重要性
- ・ オフターゲットをめぐる研究分野間の考え方の相違について
- ・ 審査プロセスにおいて留意すべき事項について（リスクとベネフィットなど）
- ・ 改変プロセスに関する情報の記録と管理の重要性について

また、公開シンポジウム「世界の食料の今、そして未来」（平成28年10月9日学術会議講堂）を開催し、市民へのバイオテクノロジーの周知を行った。その結果、日本における遺伝子組換え作物の管理等の情報が国際連合食糧農業機関（FAO）において高く評価されている一方、日本から海外への情報発信力が低い現状が認識された。また、本記録の2章6、7にまとめたような幅広い意見を収集することができた。

一方、この3年間、ゲノム編集の進展はヒトを含めて極めて急であり、作物に限った議論は不十分と考えられた。したがって、第5回分科会では、水産学分野におけるゲノム編集を含む新しい育種技術の現状と社会受容について、京都大学農学研究科 木下政人博士から、また、畜産学分野におけるゲノム編集を含む新しい育種技術の現状と社会受容について、佐藤英明会員から、意見を伺った。さらに、ゲノム編集した作物について、アルゼンチンでは、遺伝子組換え体として取り扱わないことが認められているなど、国による考え方の違いが大きいことの認識を共有した。

このように、NPBTを取り巻く技術的、社会的情勢は、大きな変化を遂げており、当分科会では、その現状分析に追われたといえる。従って、これらの知見を整理・記録することにより、次期分科会においては、早急に、新しい育種技術の社会受容に対する提言を取りまとめることを期待したい。なお、第6回分科会では、以上の議論を総括し、本記録の承認を行った。

なお、この間、米国ナショナルアカデミーからは、Genetically Engineered crops: Experiences and Prospects (ISBN 978-0-309-43738-7, DOI:10.17226/23395), Preparing for Future Products of Biotechnology (ISBN 978-0-309-45205-2, DOI:10.17226/24605), Gene Drives on the Horizon: Advancing Science, Navigating Uncertainty, and Aligning Research with Public Value (ISBN 978-0-309-43787-5, DOI:10.17226/23405)などの報告が出された。これらの報告は、従来の遺伝子組換え作物の安全性について、問題が生じていないことを明記する一方、将来の技術、例えば、ジーンドライブや合成生物学については、不透明な点が多くあることを指摘している。本記録とともに、これらの知見も活用することにより、新しい育種技術を用いた生物生産のあり方について、今後提言していく足がかりが築かれることを期待している。

なお、本記録に記載された個々の内容については、本分科会の意志の表出ではなく、さらなる検討が必要であることを付記しておく。

I「新しい植物育種技術について考える」

1. 植物育種って何だろう？
2. 新植物育種技術(NPBT)の概要：学術会議報告から
3. NPBT を使って毒のないジャガイモをつくる
4. 遺伝子組換え植物の日本における規制
5. 遺伝子組換え植物の米国における規制
6. 消費者から見た NPBT- NPBT コミュニケーションにおける課題

植物育種って何だろう？

Modern Plant Genetic Engineering Techniques and Plant Breeding

江面 浩

筑波大学生命環境系

近年、“新しい植物育種技術 (New Plant Breeding Technique: NBT)” というものがにわかに注目されています。何故、注目されているのでしょうか。それを理解するには、そもそも植物育種とはどのような技術なのかについて理解を深める必要があります。この講演では、植物育種とは、どのような操作をすることなのか、そして新しい植物育種技術はどのように育種の可能性を広げるのかについて紹介します。

人類が寄り集まって集団生活をするようになったとき、多くの食料が必要になりました。それに伴って、食料を確保する手段が狩猟・採集から農耕・牧畜へと変化したとされています。このときから、人類はよりよいものを選び、育て、利用するということを始めました。これが育種の始まりです。育種が始まった太古から自然に発生した突然変異を人の力を加えて残し、近代まで栽培してきました。近代になって、メンデルの法則が再発見 (1900年、明治33年) され、遺伝子によって性質が決まることが示され、これにより、近代育種の幕が開けました。まさに100年ちょっとの歴史です。以下、この近代育種技術の概要を紹介します。

育種技術とは、人類が希望する方向に生物機能を改変する技術です。一般的に、既存品種の不良形質を遺伝的に改良し、優れた集団を作り上げることで、植物の品種改良は、1) 育種目標の設定、2) 育種素材の選定、3) 育種技術の選定の3段階からなる育種計画の策定から始まります。育種目標は、既存品種の改良すべき目標です。例えば、地球温暖化の影響で暑い時期にトマトを着果させることが難しくなっていますが、暑くても着果するようにすることは、このような改良にあたります。通常、育種には数年から数十年という歳月が必要となり、育種目標の設定にあたっては現在のニーズを反映する

だけではなく、将来のニーズの変化も予測する必要があります。育種素材は、従来育種では、既存の多様な素材の中から育種目標に合致した素材を選定することになります。通常は、育種家が有する素材や既存品種の中から選ばれるが、ジーンバンクなどに保存された素材を利用することもあります。近年、遺伝資源の利用に関する国際情勢がタイトになって来ていることから、突然変異処理により人工的に開発した育種素材に対する期待も高まっています。新しい植物の育種技術は、化学薬剤処理や放射線利用など従来の人工変異創出技術に対して、作物の重要育種形質発現の分子機構解明の進展により、目的の性質を有した育種素材を効率的に創出する技術として注目され、世界的にも関心が高まっています。

3) の育種技術は、遺伝的変異の拡大、目的変異の選抜、変異の固定という一連の過程です。この中でNBTは狙った遺伝的変異の拡大に貢献できる技術として期待されています。

従来育種法では、遺伝的変異の拡大技術としては、人工交配、胚・胚珠培養、染色体操作、細胞融合、遺伝子組換えがあげられます。また、適当な育種素材が入手できない場合、化学薬剤、放射線及び組織・細胞培養による突然変異誘発技術も利用されます。以下、人工交配と突然変異誘発による変異拡大を説明します。

人工交配による遺伝的変異は、染色体間組換えと染色体内乗換えによって生じます。交雑は、親の遺伝的な差異により、近縁交雑と遠縁交雑に区別されています。遠縁交雑の場合、雑種胚が途中で枯死することがありますが、胚・胚珠培養技術を使って、雑種が獲られる場合があります。この方法でも救助できない場合、細胞融合が検討されます。自殖性作物の交雑育種法では、遺伝的に異なる品種を

交雑し、その後は自殖により集団を養成し個体・系統の淘汰・選抜をくり返します。交雑親の選定は、育種目標に適合した遺伝的特性をもった品種から交雑様式、両親の類縁関係、過去の交雑データにより決定します。人工交配は、両親の遺伝構成を一度シャッフルして、目的にあった遺伝構成の個体を選ぶ作業です。選抜過程に数世代要し長時間かかる欠点がありますが、質的形質や量的形質にも適用可能で、育種の基本となる遺伝的変異拡大法です。

突然変異誘発には、放射線、化学薬剤、組織培養が使われています。突然変異誘発は、人工交配による変異拡大に比べ利点があります。1つめは、既存の遺伝資源の中にある突然変異を誘発できる可能性があることです。次に、改良する品種の遺伝子型を全体として変えることなく、ピンポイントで特定形質を改良できることです。さらに、生殖様式から交配育種を選択しにくい栄養繁殖性作物では重要な手段となります。一方、突然変異誘発の欠点もあります。有用形質は一般に突然変異率が低く、目的変異選抜のために膨大な個体を扱う必要があること、そのため極めて大きな時間と労力が必要なこと、得られる変異の殆どが遺伝的に劣性となること、突然変異の誘発箇所を人為的に操作できないことなどです。近年、次世代高速シーケンサーなどの技術革新により、作物の重要形質発現の分子機構の理解が急速に進んでいます。そして、その知見を利用して作物改良を行う分子育種学が誕生しています。最近では、エピジェネティクスを利用した遺伝子発現制御や人工制限酵素を用いて相同性組換えを起こさせるゲンターゲットティングなど、NBTと分類される新しい技術開発も進んでいます。第1世代の遺伝子組換え技術が質的形質の改変を主にしているのに対し、エピジェネティクスでは収量性など量的形質に関わる変異の作出にも成功して

おり、標的遺伝子の改変はもとよりゲノム全体の変異拡大技術として期待されています。これらNBTは育種体系の中で育種技術の一つとして位置づけ、どのように使いこなすのかを考えることが極めて重要となっています。例えば、先に温暖化の問題として紹介した果実の着果性を特定の遺伝子に着目して改良できることが見えて来ています。そうになると、重要な育種素材の改良をピンポイントでしかも効率的に行うことが可能になり、実用品種の開発速度を飛躍的に向上できると期待されています。これがNBTが期待されている理由の一つです。

変異が拡大されると、育種法としては、遺伝的変異を獲得した後は選抜・固定などの育種過程に進みます。以上、従来の植物育種技術について、遺伝的変異の拡大と選抜・固定という視点から紹介してきました。NBTも一連の植物育種法の中の一つの技術、即ち、遺伝的変異拡大技術として適性に位置づけられ、人の智慧を使って、活用できればと期待しています。

新植物育種技術 (NPBT) の概要:学術会議報告から

A Short Summary of the Report of Science Council of Japan on “New Plant Breeding Techniques (NPBT)”

佐藤 文彦^{1,2}

¹日本学術会議連携会員、²京都大学大学院生命科学研究科

新しい育種技術 (NPBT) が急速に進展している。これらの技術のあるものは、ゲノム遺伝子における大規模な遺伝子改変を引き起こさないことから、従来の遺伝子組換え体 (GMO) の規制 (カルタヘナ法) の範疇に入らず、GMO に対しての懸念を解消している可能性がある。一方、これらの技術では、変異が限定的であるため、自然変異との識別が困難であり、改変そのものを検出できない可能性、従来の規制の網をすり抜けてしまう可能性、あるいは、国際的な合意に破綻をもたらす危険性がある。従って、迅速に、NPBT に対する我が国の評価を確立する必要がある。大量の GMO を輸入・利用している我が国において、国際的協調を維持し、市民に正しい理解を求めるためにも、NPBT について率先した緊急な議論が必要であると考え、日本学術会議では、NPBT の概要を紹介するとともに、この新しい技術の受け入れにあたって考えるべきことを整理した報告¹⁾を昨年公表した。その概要を紹介し、議論の参考にしたい。

(1) ゲノム編集

Zinc Finger Nucleases (ZFNs)、Transcription Activator-Like Effector Nucleases (TALENs)、Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeat (CRISPR) / Cas9 など、塩基配列特異的に二本鎖 DNA を切断する人工酵素の構築が可能となり、これら酵素を用いた内在遺伝子塩基配列の特異的切断、さらには、標的遺伝子の塩基配列に特異的な欠失、置換、あるいは、挿入を導入するゲノム編集が可能である。現時点では、標的遺伝子以外への塩基配列 (オフターゲット) への影響を排除できないが、オフターゲットへの影響を軽減することも可能と考えられる。新たな遺伝子の挿入をもたらさないゲノム編集の場合、自然変異と区別できないことが考えられる。どれだけの変異であれば、自然突然変異と同等と見なすのか、また、検出ならびに管理の課題を十分に検討する必要がある。

(2) エピゲノム編集、ならびに、接ぎ木における課題

small RNA を介した DNA のメチル化やヒストン修飾によるエピゲノム編集では、DNA 塩基配列は変更されないが、同一遺伝子の多様な発現制御が可能であり、量的な形質の改変が期待されている。エピゲノム編集では、遺伝子の挿入、改変を伴わないことから、現在のカルタヘナ法における規制の対象外となると考えられるが、その評価は確定していない。同様に、遺伝子組換え体 (GMO) の台木に接ぎ木した穂木における開花と結実による収穫物もカルタヘナ法の規制の対象外となると考えられるが、同様に、その評価は確定していない。ゲノム編集において課題としたゲノムへの組み込みの可能性の排除、また、その検証が課題である。

(3) 迅速・効率的育種のための技術

迅速・効率的育種のための技術として、Seed Production Technology (SPT)、Reverse Breeding、早期開花による世代交代技術などが開発されている。これらの技法において、重要な課題は育種の過程で外来遺伝子が導入されている個体は、GMO としてカルタヘナ法の規制を受けるが、育種が終了した後に導入遺伝子を遺伝分離により取除いた個体 (Null Segregant) の取り扱いである。我が国においても、SPT プロセスにおける生産物については、遺伝子組換え体としての規制対象外と判断されている。ただし、Null Segregant であることをどのような基準で保証するかが今後の重要な課題である。

(4) アグロインフィルトレーションやアグロイノキュレーション法

アグロバクテリウムやウイルスベクターを用いた一過的遺伝子の導入発現によるアグロインフィルトレーションやアグロイノキュレーション法自体は植物育種技術ではない。すなわち、次世代植物

には遺伝しない。一方、アグロイノキュレーションを利用した果樹の世代促進技術は、そのプロセスで遺伝子組換え技術を利用するが、その産物（次世代の実生）には、導入遺伝子が伝播しないことが報告されている。上記のNull Segregant同様、非組換え植物の範疇に入ると判断されるが、如何に導入遺伝子が伝播していないことを証明できるかが課題である。

(5) シスジェネシスおよびイントラジェネシス

シスジェネシスおよびイントラジェネシスは、同種か交雑親和性のある近縁種の遺伝子あるいは塩基配列の導入という概念であり、育種の最終段階で外来DNAが植物ゲノムに残存しない。遺伝子導入に必要な植物由来のボーダー配列や選抜マーカー遺伝子の除去の証明が不可欠になる。なお、ゲノム編集の基準と関係するが、何塩基の違いをもって外来遺伝子と判定するかの基準が重要である。

以上、簡単に紹介したように、NPBTは多様な技術からなり、そのなかには、これまで以上に精度が高く、迅速で効率的なゲノム改変や育種促進が可能な技術や、従来の質的形質に加え量的形質にも適用が可能な技術も含まれている。従って、今後の変動する環境下での食料生産においてNPBTは極めて重要な技術になることが予想され、今後、我が国としても作物に応じた技術開発が必要となる。一方、すでに指摘したように、NPBTによってもたらされた変異をどのように検知するのか、自然突然変異との違いをどう明確化するのか、また、予想外の変異や遺伝子機能改変をどう評価するのかなど、NPBTには多くの技術的課題も残されている。そのために、技術開発と並んで、NPBT技術そのものやNPBT技術で得られた作物の評価を継続的におこない、NPBT技術にフィードバックすることが不可欠である。また、国際協調のなかで、世界共通の利用基準を作成することも極めて重要である。

上記のような理解を元に、以下のような現状での対応を提案した。すなわち、「NPBTの適切な受容には、市民の理解が不可欠である。そのためにも、NPBTの開発については、市民に対する十分な情報の公開が不可欠である。また、NPBTを用いた作物開発にあたっては、外来遺伝子の挿入や改変などがないとして、独断的に非組換え体であると判断するのではなく、カルタヘナ法に従って、実験計画等を事前に申請し許可を得たうえ実験をおこなうという従前の方法に従って、管理運用し、知見を集積することが重要である。このような運用と実績の積み重ねから、我が国でNPBTについてのよりよいコンセンサスが生まれることを期待する。」

報告¹⁾の後、NPBTの社会的受容に関する論文が発表されるとともに、学会会議分科会でもコンセンサスの作成に向けた新たな議論が始まっている。皆様の積極的なご意見を歓迎します。

1) <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-22-h140826.pdf>

NPBTを使って毒のないジャガイモをつくる

Challenge to create poison-free potato using NPBT

村中 俊哉¹、安元 周平¹、梅基 直行²、澤井 学^{1,2}、關 光¹、斉藤 和季²

¹大阪大学大学院工学研究科、²理化学研究所CSRS

育種の基本は、望ましい形質を残し、望ましくない形質を取り去ることである。たとえば、草丈が高い穀物は、倒伏の可能性が高まり、また、収穫作業が困難であることから、草丈が低い方向へと育種が進んだ。草丈が低くなる原因は、現在の分子遺伝学的解析によって、茎の伸長に関わる植物ホルモンであるジベレリンの生合成やシグナル伝達の変異などによることがわかっている。さて、自ら動けない植物は、その生育環境におけるストレスから回避するためにさまざまな低分子化合物（二次代謝物質あるいは特化代謝物質と呼ばれる）を生合成して、環境に適応している。それらの特化代謝物質はヒトが食した場合健康になる物質である一方、毒として健康を蝕むものも数多くある。そのため特化代謝物を有効利用するためには、その特化代謝物の代謝をいかに制御するかが重要である。近年、ゲノミクス、メタボロミクス技術の発展に伴い、特化代謝物の生合成を包括的に理解し、改変する技術が急速に展開してきた¹⁾。目的とする特化代謝物を増産させたい場合、その生合成に関わる酵素遺伝子を過剰発現させることにより、目的産物を増加させることが原理的に可能である。一方、毒性物質生産を回避し有用物質生産するためには、その代謝経路を「遮断」する必要がある。高等植物の場合、特定の遺伝子をターゲットして破壊することはこれまで実質上不可能であった。ところが、本シンポジウムで議論がされているNPBTのうち、ここ数年間に急速に技術革新が進んだゲノム編集技術²⁾を用いることによりそれが可能になりつつある。私たちは、作物における毒物の生合成経路を遮断することに取り組んだ。

ジャガイモを料理するとき、ジャガイモについている「芽」を取る。これは、芽には、ジャガイモ食中毒の原因物質であるソラニンなどのステロイドグリコアルカロイド（以下、SGAと呼ぶ）が含まれているからである。SGAを作る酵素遺伝子はこれまで謎であったが、私たちの研究グループは、ごく最近、SSR2と呼ばれるSGA生合成において重要

な酵素遺伝子を単離することに成功した³⁾。SGAは、血液さらさらの機能性がある植物ステロールと同じ前駆物質から生合成される。ジャガイモにおいてSSR2遺伝子を破壊することができれば、SGAに流れる生合成を遮断し、毒物をつくらずに、逆に機能性物質を増大させることが可能である。

そこで私たちは、ゲノム編集技術の一つTALENによるSSR2遺伝子の破壊による低SGAジャガイモの育種を目指した。現在栽培されているジャガイモの多くは四倍体であり、ゲノム上に標的遺伝子であるSSR2遺伝子を4アレル保持しており、SGAを低減させたジャガイモを作出するためには、全てのSSR2アレルを破壊する必要がある。重イオンビームやEMSなどの変異源を用いることでゲノム上にランダムに変異を導入し、一つのSSR2アレルへ変異を導入することは可能であるが、4つ全てのアレルに変異導入することは困難である。また、ジャガイモは、SSR2と高い相同性を示し、植物の生長に必須な植物ステロールの生合成に関与するSSR1遺伝子を保持しており、SSR2の破壊過程においてSSR1が破壊された場合、植物体の成長に悪影響が予想される。そのため、SSR1に影響を与えず、SSR2を特異的に破壊するためには、高い認識配列特異性が必要となる。まず、SSR2遺伝子を認識・切断可能なTALENを設計、TALEN発現バイナリーベクターを構築し、このベクターを*Agrobacterium*法によってジャガイモへ導入した。得られたTALEN導入ジャガイモのゲノムを解析した結果、TALEN標的配列であるSSR2遺伝子への変異導入が確認された。そのほとんどは数塩基から数十塩基の欠損であった。そのうちの一つのクローンでは変異が生じていないSSR2遺伝子が検出されず、全てのSSR2アレルへの変異導入が示唆された。一方、TALEN標的配列と高い相同性を示すSSR1には変異導入は検出されなかった。以上の結果より、TALENにより、植物の生長に必須な植物ステロールの生合成に関わるSSR1遺伝子には影響を与え

ず、SGA生合成に関わるSSR2遺伝子が破壊したクローンが得られたと考えた。

さらに、このクローンについてSGA含量を測定したところ、元の植物と比較してSGA含量が大幅に減少していることを示すデータが得られた。以上のことから、四倍体作物であるジャガイモにおいてTALENによる標的遺伝子の選択的な破壊ならびに代謝改変が可能であることが示された。

以上のように、実用作物の代謝改変にゲノム編集技術を応用することが可能であることが示された。現時点ではゲノム改変したジャガイモ植物体は選抜マーカーやTALEN発現カセットなどの外来遺伝子を保持している遺伝子組換え植物である。しかし、交配などによって外来遺伝子を持たないが標的配列に変異が導入された個体を選抜することで、目的の形質のみを保持した植物個体を得ることが可能となると予想される。また、標的配列の認識にDNA結合ドメインを用いるTALENとは異なり、ガイドRNAによって標的配列が指定されるCRISPR/Casシステムの利用が爆発的に広がっている。このシステムは発現ベクター構築が容易である一方、非標的配列にも変異が導入される率が高

いことが知られている。現在私たちは、TALEN、CRISPR/Casの特性比較を行うとともに、目的形質（SSR2遺伝子破壊）のみを保持したジャガイモの作出にむけたさらなる研究を進めている。ジャガイモの芽をおいしく食べられる時が来ることを研究者として強く望んでいる。

共同研究者である大山 清博士、山本 卓教授、佐久間 哲史特任助教に感謝いたします。現在、本研究は、SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）として、大阪大学、理化学研究所、神戸大学、農研機構北海道農業研究センター、株式会社竹中工務店のグループで研究に取り組んでいます。

文献

- 1) Muranaka T and Saito K, *Plant Cell Physiol.* 54, 645 (2013)
- 2) 山本 卓 編集:今すぐ始めるゲノム編集, 羊土社 (2014)
- 3) Sawai S, Ohyama K et al., *Plant Cell* 26, 3763 (2014)

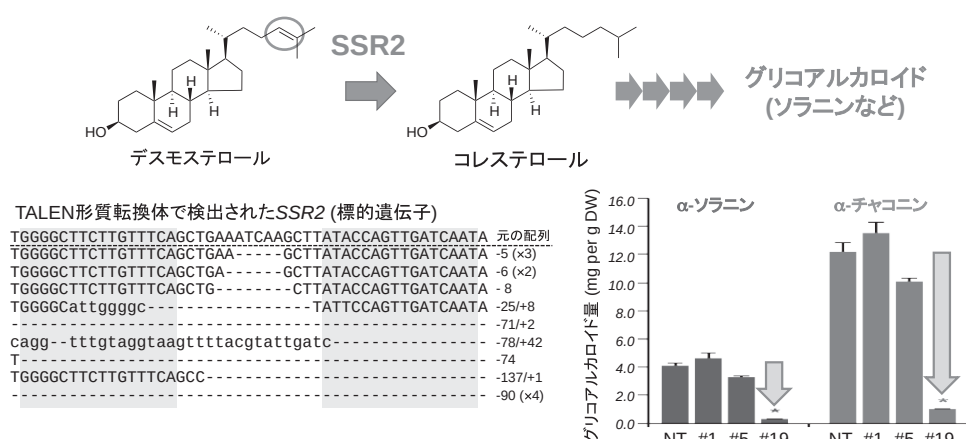


図. ゲノム編集されたジャガイモにおけるSSR2配列の変異とSGA量

遺伝子組換え植物の日本における規制

Regulatory framework of genetically modified plants in Japan

田部井 豊

国立研究開発法人 農業生物資源研究所

1996年に除草剤耐性ダイズやナタネ、害虫抵抗性トウモロコシやジャガイモなどの遺伝子組換え植物（農作物）の商業栽培が開始され、2014年には世界の28カ国において栽培総面積1億8,150万ヘクタール（日本国土の約4.8倍）で商業栽培が行われるに至った（James 2014）。これら遺伝子組換え植物の安全性評価には、生物多様性への影響評価や、遺伝子組換え食品としての安全性及び遺伝子組換え飼料としての安全性を評価する仕組みがあり、植物が本来持っている特性と導入された形質、利用目的などから必要とされる安全性評価を行った後に、商品化される。海外で開発された遺伝子組換え植物も同様に規制される。

生物多様性への影響は、生物多様性条約のもとに「バイオセーフティに関するカルタヘナ議定書」が合意され、日本も2003年に批准したことから、その国内担保措置として「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」（以下、「カルタヘナ法」とする。）が施行された。カルタヘナ法では、拡散防止を執って利用する第二種

使用等と、拡散防止を執らない利用として第一種利用等があり段階的に利用される（図）。研究開発段階における第二種使用等については、「研究開発等に係る遺伝子組換え生物等の第二種使用等に当たって執るべき拡散防止措置等を定める省令」に基づき、遺伝子導入する生物及び遺伝子を供与する生物の危険度に応じた拡散防止措置が執られる。産業利用段階の第二種使用等は、「遺伝子組換え生物等の第二種使用等のうち産業上の使用等に当たって執るべき拡散防止措置等を定める省令」に基づき拡散防止措置が執られる。

一方、第一種使用等については「生物多様性影響評価実施要領」に従って生物多様性影響評価を行う。第一種使用等では、植物、動物、微生物毎に評価すべき項目が定められており、遺伝子組換え植物の生物多様性影響としては、①競合における優位性（野生植物と栄養分、日照、生育場所等の資源を巡って競合し、それらの生育に支障を及ぼす性質）、②有害物質の産生性（野生動植物又は微生物（以下「野生動植物等」という。）の生息又は生育に支障を

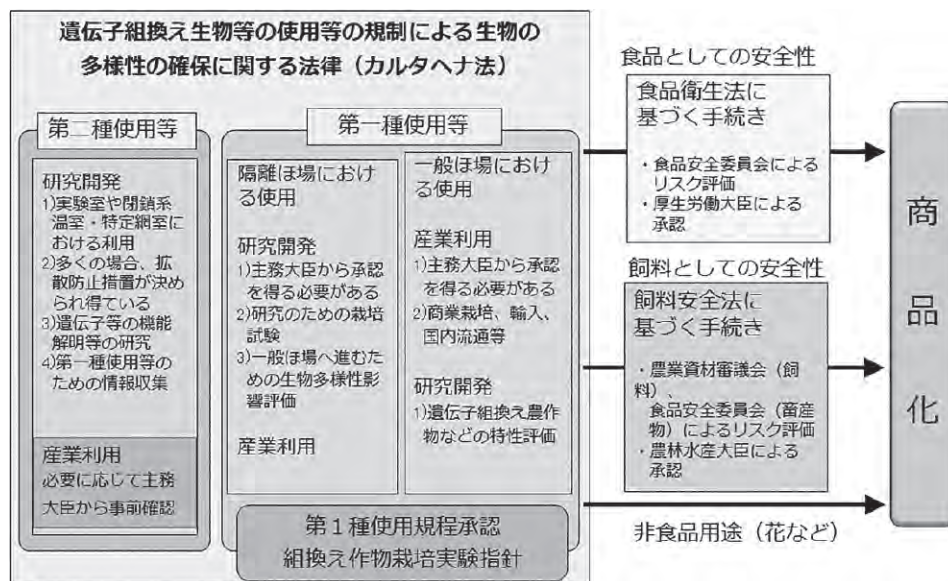


図 遺伝子組換え農作物の安全性評価の流れ

及ぼす物質を産生する性質)、③交雑性(近縁の野生植物と交雑し、法が対象とする技術により移入された核酸をそれらに伝達する性質)、④その他の性質、を評価することになっている。それぞれの評価項目に対して、「影響を受ける可能性のある野生動植物等の特定」→「影響の具体的内容の評価」→「影響の生じやすさの評価」→「生物多様性影響が生ずるおそれの有無等の判断」の手順で評価を行う。

遺伝子組換え食品・食品添加物の安全性は食品衛生法に基づき、食品安全委員会で科学的知見に基づき評価され、厚生労働大臣が承認する仕組みとなっている。食品は多くの成分から構成されており、構成成分の全てについて科学的に安全性を評価することは困難である。一方、食経験のある既存の食品に含まれている成分については、長い食経験に基づいて安全な利用方法が確立している。このことから、最初に遺伝子組換え食品の安全性について、食経験のある従来の食品と比較できるかを判断する。比較できると判断されたら、対象となる食品の食経験、導入遺伝子の特性、導入遺伝子が作るタンパク質がアレルゲンやタンパク毒にならないか、遺伝子組換えの結果、栄養素や有害成分に変化は生じてないかなどを評価する。

近年、高オレイン酸含有ダイズが承認されている。オレイン酸を高蓄積した油は、ダイズ油よりオリーブ油に近いのでオリーブ油を比較対象とし、その他の成分等は、宿主である非遺伝子組換えダイズを比較対象として評価することが合理的と考えられた。

遺伝子組換え飼料は、遺伝子組換え技術によって付加された特性以外について、これまで飼料として利用経験のある従来の飼料と同等と見なし得るかを判断した上で、利用形態や加工方法による影響等も考慮して評価される。

日本の安全性評価制度は、最終生産産物の特性で評価される、いわゆる‘プロダクツベース’によるものである。例えば、デュポン社の開発した種子増殖

技術(SPT)は増殖の過程で遺伝子組換えトウモロコシを用いるものの、最終的に利用される品種は導入遺伝子が除かれた系統(null segregant)となる。これらnull segregantは、遺伝子組換えトウモロコシを排除する管理手法の信頼性も加味して規制の対象外と判断されている。

今後、ゲノム編集や世代促進、他殖性の効率化を目的として、外来遺伝子を導入した遺伝子組換え植物が作出され、導入遺伝子が除かれたnull segregantが最終的な品種になることが想定される。これらがカルタヘナ法の規制を外れるには、断片も含めて導入遺伝子が存在しないことをどのように証明するかが十分に検討される必要がある。また、null segregantの取扱いやゲノム編集等で得られた植物の規制については国際的な調和が求められる。

参考文献等

- 1) James, Clive. 2014. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2014. *ISAAA Brief No. 49*. ISAAA: Ithaca, NY.
- 2) カルタヘナ法 <http://www.bch.biodic.go.jp/index.html>
- 3) 遺伝子組換え食品安全性 http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryoku/shokuhin/identshi/index.html
- 4) 飼料の安全性関係 <http://www.maff.go.jp/j/syouan/tikusui/siryo/index.html>

遺伝子組換え植物の米国における規制

佐藤 卓

米国大使館農務部

米国における遺伝子組換え植物の利用は1986年に制定されたCoordinated Framework for Regulation of Biotechnology (バイオテクノロジー規制の調和的枠組み、以下、調和的枠組み)により規制されている。この調和的枠組みでは、導入の手法が異なったとしても導入された形質が同じであれば作出された植物に特別なリスクの差異は生じないと判断している。結果として遺伝子組換え植物の規制については新たな法律を策定することなく、既存の法律・制度を適用し、現在に至っている。

遺伝子組換え植物の規制は主としてU.S. Department of Agriculture、(米国農務省、USDA)、Environmental Protection Agency (環境保護庁、EPA)、Food Drug Administration (食品医薬品局、FDA) の3省庁が所轄している。USDAでは主としてAnimal and Plant Health Inspection Service – Biotechnology Regulatory Services (動植物検査局 – バイオテクノロジー規制室、APHIS-BRS) がPlant Protection Act (植物保護法、PPA) ならびにNational Environmental Policy Act (国家環境政策法、NEPA) に基づき遺伝子組換え植物の環境への導入を規制している。これらの法に基づきUSDAでは農業生産を取り巻く環境の保護を目的として、害虫、雑草、病害の拡大を規制している。よって、野外での栽培実験などのために、組換え技術を用いて作出された植物を環境へ導入する際には、開発者はNotification (届出) あるいはPermit (許可) の申請をUSDA-APHIS-BRSに行い、雑草性などが評価された後に、限られた条件下で環境放出が承認される。また、野外での試験栽培などの環境放出のほかに、組換え体植物の州境を越えた移動などにも承認申請が必要となる。環境放出の承認を「届出」か「許可」で申請するか、そして申請が受理されるか否かは当該のイベントが有するリスクと過去の審査等を通じた得られた知見の違いによる。宿主と導入遺伝子に関して十分な知見が蓄積されており、リスクが低いと判断されているものについて

は「届出」による申請を行うことができる。具体的な事例としては、トウモロコシに害虫抵抗性やダイズに除草剤耐性を導入した事例などが挙げられるが、「届出」といっても自動的にすべてが承認されるのではなく、申請内容についての必要な審査がなされた後に、承認が下される点には留意されたい。2015年6月時点で、19952件の「届出」もしくは「許可」が受理されている。

遺伝子組換え植物の商業利用にあたっては、当該のイベントが規則からExemption (除外) される条件へのPetition (請願) を行う必要がある。審査を通じて当該のイベントが規制からの除外に相当するという科学的判断がなされた場合には、Non-Regulated Statusと判断され、環境放出(栽培)、流通に対して基本的には連邦制度上の規制対象外となる。なお、これらのプロセスをDeregulation と言い、イベントに対する規制を解除する作業、つまり審査を含んだ一連の作業 (Deregulation Process) を示す。一方、Non-Regulated Statusは「請願」がGrant (承諾) された後の状態を示す。さらに、商業栽培を行い食品・飼料として利用するためにはUSDAからのDeregulationに加え、FDAとEPAが所管する規制にも対応しなければならない。

EPAではBiopesticides and Pollution Prevention Division (バイオ農薬・汚染防止部局、BPPD) がFederal Insecticide, Fungicide and Rodenticide Act (連邦殺虫剤殺菌剤殺鼠剤法、FIFRA) などに基づいて遺伝子組換え植物の規制している。FIFRAでは農薬の利用と安全性の確保が規定されており、新たな農薬の使用にあたっては、安全性評価を行ったうえで使用、販売、流通に先立って登録を行わなければならない。遺伝子組換え植物については、対象となる植物に農薬成分等が導入されている際にはその成分がPlant Incorporated Protectants (植物導入保護剤、PIPs) として取り扱われ、農薬と同様の規制対象となる。つまり、組換え体植物ではなくPIPsが規制対象であることに着目され

たい。形質としてPIPsが導入された遺伝子組換え植物の栽培においては、EPAの規制を受け、PIPsとして登録する必要がある。2013年11月までに累計で71のPIPsが審査を経て登録（登録後、申請者により自主的に抹消されたものも含む）されている。また、遺伝子組換え植物の栽培に伴う害虫のPIPs抵抗性の管理もEPAの所轄となる。

FDAではCenter for Food Safety and Applied Nutrition（食品安全・応用栄養センター、CFSAN）とCenter for Veterinary Medicine（動物薬センター、CVM）がFederal Food, Drugs, and Cosmetic Act（連邦食品医薬品および化粧品法、FFDCA）に基づき、食品および飼料の安全性の観点から上市前の遺伝子組換え植物を‘bioengineered food’（生物工学食品）としてとらえ、申請者とConsultation（協議）を行っている。なお、この場合の食品にはヒトへの食品と家畜への飼料、双方を含有している。FDAによる協議はVoluntary Consultation、つまり、申請者が自主的にFDAへ求める任意の協議であり、遺伝子組換え植物を「認可」という意味よりも、協議を通じて既存の対象植物と比較し、食品・飼料としての成分が大きく異ならず、その時点で得られる科学的知見において安全性に懸念がないことを確認するプロセスといえる。よって、法的には開発した遺伝子組換え植物の食品、飼料としての安全性を担保し、関連の規制を遵守する最終的な責任は開発者にあるとしている。「協議」はEarly Consultation（初期協議）とFinal Consultation（最終協議）に分かれており、「初期協議」は製品開発の初期段階でFDAと安全性、規制遵守に問題がないかを確認するプロセスといえる。FDAはProof of Conceptなどの製品開発のなるべく早い段階からの「協議」を推奨しており、事業者側にとっては規制を遵守するための適切な製品開発や安全性の承認を得るために必要な試験などの情報も得ることができるとともに、規制者側にとっては今後「最終協議」に申請されうるイベントに対して適

切な審査方法、審査体制の整備の準備をすることが可能となる。FDAに限らず、USDA、EPAにおいてもこのような開発者側と規制者側の非公式な情報交換は必要に応じて行われており、開発者側は規制遵守の観点からの製品開発の妥当性や関連の情報を、規制当局にとっては将来、申請されうる植物と遺伝形質の情報を得る機会にもなっている。

なお、近年、育種技術の発展により遺伝子工学的手法を使うものの、既存の法律では規制対象とならない植物が作出されつつある。現在のところ、これらの植物に対して米国においては上記の担当三省庁が個々の案件に判断を下している。

法案、所轄の部局等については英名が正式名称であり、日本語名はあくまでも仮訳とする。

発表の内容は筆者個人の意見であり米国政府や米国農務省の公式な見解を示すものではない。The view expressed is purely one of the author and may not in any circumstances be regarded as stating an official position of USG/USDA.

消費者から見たNPBT -NPBTコミュニケーションにおける課題-

The Consumers' View of NPBT -Tasks for Improving NPBT Communication-

蒲生 恵美¹

¹公益社団法人日本消費生活アドバイザー・コンサルタント・相談員協会

NPBTの技術開発が急速に進展する中、NPBTをいかに規制するかの議論がようやくEU等で始まったが、NPBTの社会受容すなわちNPBTコミュニケーションに関しては、国際的な議論はおろか研究事例にも乏しい状況にある。規制の議論ではNPBTをGMとして扱うか否かが主な焦点の1つになっているが、仮にNPBTはGMではないと法的に整理されたとしても、そのことをもってNPBTが社会に受容されるとは限らない。むしろ一部のNPBT技術でDNAの改変痕跡が消去されることを「遺伝子操作、消える痕跡」と報道¹⁾されたように、NPBTは都合の悪い事実を市民に隠す技術だと印象づけられればGM以上にネガティブなイメージをもたれかねない。GMに懐疑的なEUの団体はNPBTに対する批判をすでに表明している。日本においてもネガティブキャンペーンが先行して、NPBTを社会でどう活用すべきかの冷静な議論が妨げられてしまうことのないように、NPBTコミュニケーションをどうすべきか早急に検討する必要がある。

NPBTコミュニケーションのための課題はいくつかあるが、本稿では①定義の設定、②コミュニケーションテーマ、③モノの力、ステークホルダーの協力、④表示、の4点について検討したい。

①定義の設定

新しい科学技術の場合、科学的な知見が十分ではない段階で固定的な定義を定めるべきではないという考え方があるが、定義はその科学技術のリスク評価や管理規制と密接な関連をもち、管理規制の国際整合性をはかる際にも必要になる。コミュニケーションにおいても、何が対象かが明確でないと議論が定まらないだけでなく、互いに想定するものが違うことによる誤解が起きやすい。NPBTとはどういうものなのかを明確にすることがコミュニケーションの第一歩となる。

NPBTを新植物育種技術と説明しても技術の内容がわからない。NTWGがNPBTとして8つの技術を

取り上げたが、それぞれ異なる技術をなぜNPBTという1つのカテゴリーにまとめるのか意図がつかめない。NPBTの遺伝子改変痕跡が見つけられない、もしくはその痕跡が自然突然変異によるものと見分けがつかないという特徴に重点が置かれて「都合の悪いことを隠せる技術」と偏見に満ちた解釈がされないよう、NPBTの社会での有効活用について冷静な議論ができるような定義を設定する必要がある。定義を決める際には言葉の選び方にも注意が必要だ。その言葉がどういうイメージを人に与えるか心理学の知見を活用することも必要だろう。

②コミュニケーションテーマ

科学技術コミュニケーションでは多くの場合、その技術の内容を平易な言葉でわかりやすく紹介することに努力が払われてきた。しかし筆者は「その技術についてわかりやすく」よりも「その技術が社会や個人に与えうる影響についてわかりやすく」伝えることをコミュニケーションのテーマにすべきと考える。技術とは社会における課題を解決するための技術であり、市民が知りたいポイントはそこにある。その技術によって解決が見込める社会的な課題を提示し、その技術が他の技術と比べてどれだけ目的達成において優位性があるかを伝えることで、なぜ今その技術が必要なのかを市民が客観的に評価できるようになる。

リンゴの早期開花遺伝子活用による世代促進法を例にすれば、まず、品種改良に時間がかかることがなぜ（利益を得る個別の育種家にとってではなく）社会全体にとって問題となるのかから説明が必要だ。その上でこの技術が他の育種技術と比べてどのようなメリット・デメリットがあるのか示し、市民が比較検討できるようにする。情報提供する際にメリットだけを伝えて説得するよりも、条件を提示して情報を受ける側に判断させた方が納得を得やすいことが知られている。

コミュニケーションにおいては技術の内容、リス

ク評価に加えて管理規制が重要な情報となる。管理規制で注目されるのが、不当なリスクや分配上の不公正が起きないか、責任の所在はどこかといったことである。特に規制管理者の態度や姿勢が注目される。EUがNPBTに関してGMかどうかだけでなく、非GM扱いになったものも成分変化や食品としてのリスクの有無に関しては別途規制すると表明したことは、市民を守る姿勢をアピールする点で有効だ。

③モノの力、ステークホルダーの協力

新しい科学技術の食品への応用であり、定義やリスク評価・管理規制の整備、コミュニケーションの必要性が言われたものにナノテクがある²⁾。しかし現時点で目立ったネガティブキャンペーンが起きていない理由の一つとして、ナノコラーゲンやナノコロイドなどナノテクを冠した食品がすでに良いイメージを形成して市場に浸透していることが考えられる。

新しい科学技術のコミュニケーションを行う場合、具体的なモノがあることによってその技術が社会や個人にどのような影響をもたらすか市民が想像しやすくなる。メリットが感じられない場で変化をもたらさう技術の説明をされても、その技術の受容に消極的になりやすい。NPBTのコミュニケーションを行う場合は、NPBTが社会や個人にどのようなメリットを与えうるか実感できるモノ・事例を用意することが不可欠だ。

技術を開発することがゴールではなく、その技術を活用し社会の課題を解決することがゴールであれば、育種家や農業者などを巻き込んだ商業化・実用化の議論も必要になる。アメリカでGM農家が都会の市民を対象にGM畑でコミュニケーションする活動をヒアリングしたが、技術を生活の中で理解する有効な手段と感じた。技術に関わる様々なステークホルダーが介することでリスクトレードオフの問題が検討され、社会の中でいかにその技術を活用

することが有効か模索できる。NPBTコミュニケーションにおいても市民だけでなく育種家や農業者の参加が期待される。

④表示

GM表示制度は油が表示義務対象外であるように、最終的に口に入る食品で表示内容が判断される。一方、有機JAS制度のように生産方法に規定があるだけで、最終製品には特別な規定がない制度もある。最終製品から検出されなくても生産過程でNPBT技術を使ったのであれば表示してほしいと考える人もいるだろうし、最終製品に何ら影響がないのならば表示はなくてよいと考える人もいるだろう。食品選択の重要な情報の1つである表示に何を求めるのか議論が必要と考える。

有機食品に関する消費者意識調査をみると、最終製品に「農薬は検出されてはならない」などの規定が一切ないことはあまり理解されていないのではないと思われる。表示は製品に直接書かれるものなので、その食品の説明と理解されるのが自然だ。生産過程ではあったが最終製品には含まれないものについてはその説明が必要だろう。生産方法も食品を判断する重要な情報の1つには違いないが、表示で情報提供すべきかWebなど解説ができる場ですべきかは検討が必要だ。

- 1) 朝日新聞, 2012年8月22日
- 2) 「フードナノテク 食品分野へのナノテクノロジーの応用の現状と諸課題」i2ta, TA Reprot, 2011

II 「世界の食料の今そして未来」

1. 食料安全保障のためのバイオテクノロジー：2050 年、我々の食糧は十分でかつ安全か？(Agricultural biotechnologies for food security: Is our food enough and safe in 2050?)
2. 産業界の取り組みと課題
3. 国の遺伝子組換え作物の安全性確保の取組等
4. 学術界の取り組みと課題
5. 消費者の遺伝子組換え食品への感覚と意思決定
6. パネルディスカッションまとめ
7. 質疑応答に対する追加の回答

発表要旨

基調講演：Agricultural biotechnologies for food security: Is our food enough and safe in 2050?

食料安全保障のためのバイオテクノロジー：2050年、我々の食糧は十分でかつ安全か？

武内真佐美（国際連合食糧農業機関／農業・消費者保護局食品安全専門官）

国連食糧農業機関（FAO）は、世界の飢餓の根絶を使命とし、世界の農林水産業の発展と農村開発に取り組む国連の専門機関である。1996年にイタリアのローマで行われた世界食糧サミットにてローマ宣言が採択された際に食料安全保障の定義は「全ての人が、十分に安全で栄養のある食料を入手する権利を有する」ことであるとされた。ここで3本の柱とされた「量」「安全性」「栄養」は採択から20年以上経つ現在もFAOの活動のなかの主軸となるものであり、安全性の不確かな食糧の供給は食料安全保障の正しい提供とはいえないという原則に基づいて、FAOの活動の中でも食品安全の分野が重要視される基盤となっている。

科学の目覚ましい発展と共に、バイオテクノロジーは古くから世界の様々な地域で開発が進んできた。バイオテクノロジーはFAOにおいては複数形（biotechnologies）で用いられることが一般的である。これはバイオテクノロジーはひとつの技術を指すものでなく、様々な生物学的な技術や手法をまとめて表す言葉であるという考え方からきており、例えば、伝統的な食品の発酵技術は一見単純に見えても、食品の長期保存を可能にし、結果として食料安全保障に多大なる貢献をしていることから、バイオテクノロジーのひとつとされる。ただし、発酵技術ひとつをとっても、方法を間違えると品質と安全性は保たれないことから、食品安全は技術の進歩とともに時代と発展に合わせて変化が求められる分野である。

バイオテクノロジーがさらに現代的なものになり、1990年初頭から遺伝子組み換え技術が注目されるようになってきた。2016年現在この技術はもはや新しいものではなく、ゲノム編集、植物、動物の新育種技術や合成生物学などの新しい技術（あるいは定義）に比べるとやや古典的にも感じられる技術であるが、人々の強い関心と共に未だに新技術としてとらえられることも多い。FAOは遺伝子組み換え技術を農業の生産性において高い潜在的可能性を秘めている技術のひとつであると認識している。ただし、ほかの様々なバイオテクノロジー技術に比べると、その「新しさ」に付随する漠然とした安全性への不安や環境への影響に関して懸念を持つ人も少なくない。このため、FAOはこの技術の絶対的な必要性については議論の余地があるとしている。また遺伝子組み換え技術から生み出される利点である収量の増加、肥料や農薬の減量、干ばつ耐性、価格の安定化などが及ぼす生産者や消費者への好影響と、遺伝子組み換え技術の開発者や種子会社にもたらされる利益とのバランスなども食料安全保障の枠を超えて長い間議論が続いてきた分野である。

FAO では様々な部署が遺伝子組み換え技術の分野に関連した取り組みを行っている。植物、動物の生産と保護の部署と農業研究の部署では共同で遺伝子組み換え作物や動物に関する研究や地域別プロジェクトを行っており、食品安全の分野では国際食品規格委員会（コーデックス）で定められた遺伝子組み換え食品の安全評価の指針を基にデータベース（FAO GM Foods Platform <http://fao.org/gm-platform>）を提供しており、発展途上国においては能力開発、技術提供などの分野での援助を行っている。

飢餓や干ばつ、人口の急増が深刻な発展途上国において、遺伝子組み換え食品を議論する上で避けて通れないのが輸出入の問題である。遺伝子組み換え作物が大量輸出された場合、その安全性を評価する技術及び能力に不安のある国はその輸入を躊躇し、結果として大量の食品が無駄になり、飢餓もさらに深刻化する。FAO は遺伝子組み換え食品は、その他の全ての食品と同じようにその安全性を科学的に評価されるべきだと考えており、また一度安全性が評価された食品はその科学的根拠を含め、国際的にも一般的にも情報が開示されるべきだと考えている。様々な国々が協力してこの科学的根拠を積み重ねることによって得られた多面的な視点と共に構築された情報は、それ自体が途上国での上述したような問題を解決するための多大な国際貢献となる。日本は、政府レベルでの科学的な食品安全評価が、技術的にも、人材的にも、経済的にも可能な数少ない国の一つである。日本の食品安全委員会をはじめとした専門的組織が行っている遺伝子組み換え食品の安全評価の報告書は世界的にも非常に価値の高いものであり、日本語での評価報告書を苦勞して翻訳して参考にしようとする途上国の専門家も少なくない。日本の民間と政府の協力から生まれる国レベルの国際貢献を期待する声は大きい。

2050 年には世界の人口は 90 億人を突破すると言われている。2014 年の FAO の分析によると、現在の食料生産の進捗では 2050 年に 90 億人の食料安全保障を達成することは困難であり、現在よりも 6 割増の生産が必要であるという、警告に近い報告が出ている。このことから、収量の増加が期待できるあらゆる技術の可能性を迅速に調査する必要があるのは明確である。これには遺伝子組み換え技術も含まれるため、その安全評価に関する国際的な情報公開は、間接的にこの近い未来の食糧危機を防ぐ一つの手段となりえるものである。これには日本を含めた FAO の加盟国の積極的な協力が不可欠で、民間、政府、研究機関、非政府・非営利組織を含めた科学的でかつ包括的な議論を透明化して続けていくことも重要である。

フロアからの質問：

途上国では食料が不足しているため増産することが必要であるが、先進国では、逆に食料供給を「減らす」観点も必要であると思う。FAO ではそのような検討は行っているのか。

武内：

FAO で近年総力的に取り組んでいるものに「Food loss/waste」というプログラムがある。本プログラムでは、各分野の専門家が集まり、食糧の損失、あるいは無駄な廃棄についてどのような抜本的かつ現実的な解決方法があるかを検討している。食品安全は損失、無駄な廃棄のどちらにも大きく関連している。食品の輸送の途中の食品安全に関する損失というような基本的なものをはじめ、大きなものでは食品安全の懸念のための廃棄の問題もある。例えば、かつて A 国において生産された何種類かの野菜が B 国で同時に食品として使われ、集団食中毒が起こるという事件が起きた。その原因として使用されていたトマトがサルモネラ菌におかされていたとされ何万トンにもおよぶトマトが廃棄された。しかしながら、後に詳しい分析をした結果、実際に菌におかされていたのはトマトではなく、同時に使用されていたピーマンであった可能性が高いことが分かり、大量のトマトの廃棄が無駄になることとなった。この一件はトマト生産農家だけでなく、A 国と B 国の間の輸出入にも影響を及ぼした。FAO では、食糧の損失、無駄そのものだけでなく、それにまつわる影響を検討するプログラムも行っている。地球規模で見て、生産を減らすという方向性はないが、需要と供給のバランスを分析し、国による偏りを防いで、より効率的に食糧安全保障を目指すことが FAO にとっても重要な課題となっている。

今井康史（バイテク情報普及会／事務局長）

バイテク作物の作付は全世界で1996年の170万ヘクタールから2015年には1億8000万ヘクタールまで拡大した。このように20年で100倍の増加をみたバイテク作物は近年において最も急速に普及した作物技術であるとみなされ、農業生産者に強く支持されてきたことを示している（図1）。この技術は先進工業国の農業生産者ばかりでなく、発展途上国の生産者に利益をもたらし、そのため、2015年には全バイテク作物作付面積の54%は発展途上国が占め、この比率は増加傾向にある。現在、栽培国28か国中、20か国は発展途上国である。これまでバイテク作物で大規模に実用化された作物はトウモロコシ、ダイズ、ナタネ、ワタなどで、形質は除草剤耐性と害虫抵抗性に限られている。

これらのバイテク作物が農業生産者に支持されてきた大きな理由として、収量増大および生産コストの減少による農業所得の増加、耕起の省略による土地利用効率の向上があげられる。それに加えて環境に対しても複数の望ましい効果が認められている。

現在、企業及び公的機関で大規模に開発が進められているバイテク作物には、作物保護のための新たな形質を導入するもの、環境耐性の強化、収量の向上といった生産者の利点となる形質の改善をめざすものと、消費者にとって利点を実感できる栄養成分の改善をめざすものがある。これらを念頭に将来を見通せば、バイテク作物には世界の食糧安全保障および生活水準の向上に対するさらなる貢献が期待される。

わが国では1996年からバイテク作物が利用されているが、観賞用の花を除いては、商業栽培はされていない。わが国の食料自給率は39%で、食料・飼料の多くを国外からの輸入に頼っており、その中にはバイテク作物が含まれる。（表1）輸入量が最大のトウモロコシを例にとれば、これを飼料として生産される畜産品、あるいは、原料として生産される油脂製品、甘味料には表示義務が

なく、このように多くのバイテク作物が輸入、利用されているが、一般消費者にとりバイテク作物を食品として利用しているという実感をもつ機会が限られていることは明らかである。

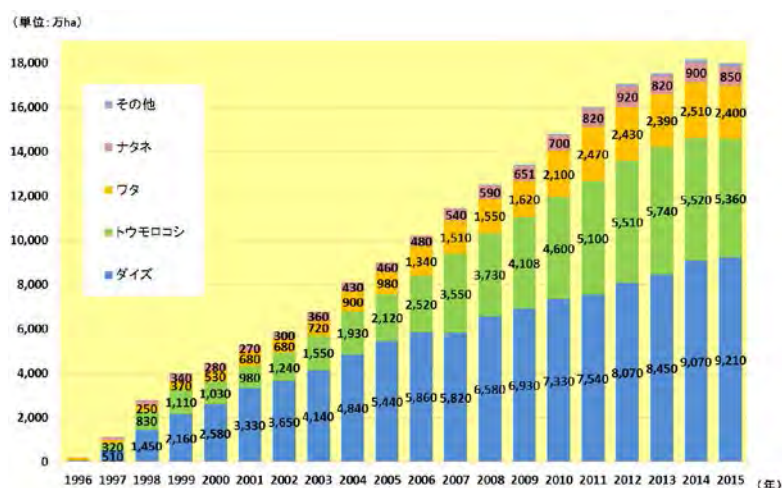


図1：世界のバイテク作物栽培面積の推移
（出典：ISAAA Brief51）

表 1：日本のバイテク作物推定輸入量（2015 年）

作物	自給率	総輸入量 (千トン)	バイテク作物推定 輸入量 (千トン)	バイテク作物 推定比率
トウモロコシ	0%	14,798	13,004	88%
ダイズ	7	3,243	2,998	92
ナタネ	0	2,442	2,074	85
ワタ	0	103	90	87
合計		20,496	16,166	89

(出典：農林統計、財務省統計、ISAAA 資料よりバイテク情報普及会まとめ)

バイテク情報普及会で昨年実施した 2000 名の既婚女性を主な対象とする意識調査によれば、消費者の遺伝子組換え食品に対する関心は低いレベルにあった。しかし、遺伝子組換え食品についてのイメージとしては、「どちらかといえば怖い・悪い」(52%)、「怖い・悪い」(16%) という否定的な反応を示す人が多く、この傾向は年配者ほど強かった。この原因として、「商品への不使用表示」「遺伝子組換え食品」という言葉によっても増幅されるよくわからないものへの漠然とした不安、および関連情報の不足が推定された。さらにこの調査結果は、行政機関等からの適切な情報提供により消費者の不安が解消される可能性を示していた。また、本年 7 月、当会で後援した食育セミナーに参加した 100 名余りの小中学校の家庭科教諭、栄養教諭などの方々を対象に実施したアンケートによれば、これら専門家でも約半数が遺伝子組換え食品に関して十分な知識をもっていなかったことが判明した。

当会は、バイテク作物の開発普及に携わる 6 社を中心に、賛助会員 2 社を擁する組織で、事業の一つとして社会の幅広い人々に植物バイオテクノロジーに関する知識を広め、その重要性を理解していただくための広報活動を行っている。具体的には、メルマガによる情報発信、ウェブを通じた基礎情報の提供および資料の配布、メディア関係者との勉強会、教員を対象とするセミナー、学校教育プログラムに対する助成等を実施しており、これらを円滑に進めるため、調査研究活動もおこなっている。

日本の消費者、生産者がともに過大な制約を受けることなくバイテク技術を利用し、利益を享受できる社会状況を実現していくことが将来的な目標として考えられる。そのためにも現在のバイオテクノロジーに対する理解不足と誤解を是正するために、取り組みをさらに強化していく必要がある。当会では、今後も目的を同じくする個人、団体と問題意識を共有し、協力しあって、植物バイテクの日本社会に対する貢献を最大化するために社会の理解と支持を得るという共通のゴールをめざして、正しい科学情報を伝える、透明性を高める、意見を公表するといったことを多くの機会を通じて実践していく所存である。

フロアからの質問：

発表の中で、前半は「バイテク」という言葉を使っていたが、中盤のアンケート結果の説明の際は「遺伝子組換え技術」という言葉を用い、最後にはまた、「バイテク」という言葉を使用していた。基調講演の中で、武内さんは、FAOにおける「バイテク」は「遺伝子組換え技術」だけではなく、発酵技術なども含まれているとおっしゃった。CBIJにおける「バイテク」という言葉は「遺伝子組換え（技術）」のみを指しているのか？

今井：

CBIJにおいて「バイテク」は、「遺伝子組換え技術」と同じ意味で使っており、それ以外のものは含まない。途中、「バイテク」ではなく「遺伝子組換え（技術）」となっているのは、アンケートの対象となる主婦層に「バイテク」と言ってもわかりにくいと判断したため、「遺伝子組換え」という言葉を質問に使いそれに対する回答をえたためである。

国の遺伝子組換え作物の安全性確保の取組等

高島賢（農林水産省／消費・安全局農産安全管理課審査官）

遺伝子組換え技術は、人類が抱える様々な課題を解決する有効な手段の一つとしての期待がある一方、当該技術を利用して生み出される生物を、食品・飼料等として利用することにより、安全性や環境に悪影響を及ぼす可能性について、懸念が持たれている。世界の遺伝子組換え農作物の栽培面積¹は、トウモロコシ・ダイズ・ワタ・ナタネの4種を中心として、これまで年々増加してきており、今後も新たな作物の栽培、開発途上国における栽培の伸びなどが予想されている。

我が国は、遺伝子組換え農作物を飼料用として、また、食用油や甘味料等の原材料として大量に輸入していることから、輸入国として、その安全の確保に努めている。遺伝子組換え農作物を使用等するに当たっては、あらかじめ、食品及び飼料としての安全性、生物多様性への影響について、法律²に基づき科学的な審査を行うこととしている。具体的には、食品、飼料については、新たにアレルギー性物質が生じていないか、新たな有害成分が存在していないか等、また、生物多様性への影響については、雑草化して他の野生植物に影響を与えないか、野生動植物に対して有害な物質を生産しないか、在来の野生植物と交雑して遺伝子が広がらないか等について、最新の科学的知見、学識経験者の意見等に基づき審査した上で、使用等の可否を判断している。

また、こうした安全性審査がなされていない、未承認の遺伝子組換え農作物が国内で流通すること等を防止するため、輸入される遺伝子組換え農作物の検査を実施。さらに、農林水産省及び環境省では、遺伝子組換え農作物の港湾等でのこぼれ落ち等に係るモニタリング調査を実施しているところである。

これらの食の安全確保等の取組の一方、我が国では、遺伝子組換え農作物に対して、依然として不安を感じる人が多い現状にある。食品安全委員会の調査³によると、遺伝子組換え食品に対するリスク認識について、専門家と一般消費者との間に大きなギャップがあることも報告されており、リスクコミュニケーション等の取組も重要になってきている。今回の公開シンポジウムが、こうした点においても有益なものとなることを期待しているところである。

¹ 遺伝子組換え農作物の管理について。農林水産省。2015。

<http://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/carta/zyoukyou/index.html>

² 食品：食品安全基本法（平成15年法律第48号）及び食品衛生法（昭和22年法律第233号）、飼料：食品安全基本法及び飼料としての安全性に関しては、食品安全基本法及び飼料の安全性の確保及び品質の改善に関する法律（昭和28年法律第35号）、生物多様性：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（平成15年法律第97号）

³ 食品に係るリスク認識調査アンケートの結果について。食品安全委員会。2015。

https://www.fsc.go.jp/osirase/risk_questionnaire.html

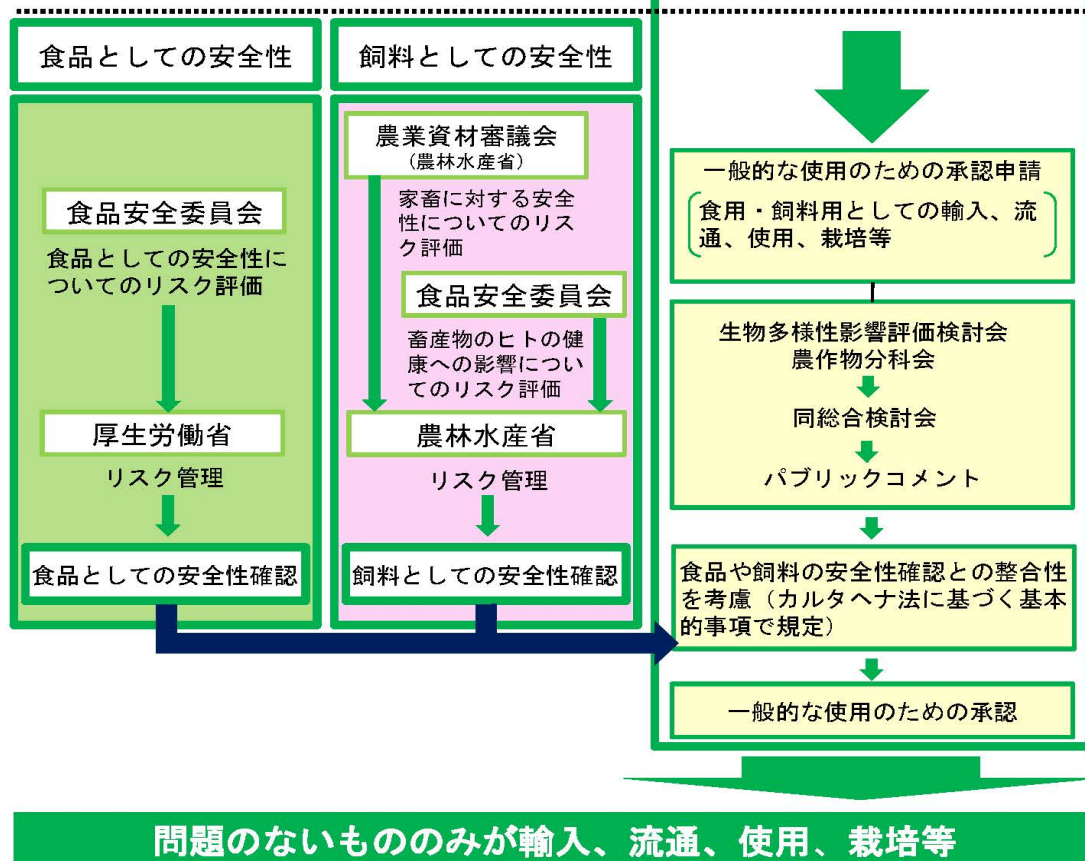
遺伝子組換え農作物の安全を確保する仕組み

遺伝子組換え作物に関しては、

- ①生物多様性への影響は「カルタヘナ法」
- ②食品としての安全性は「食品安全基本法」及び「食品衛生法」
- ③飼料としての安全性は「飼料安全法」及び「食品安全基本法」

に基づいて、それぞれ科学的な評価を行い、全てについて問題のないもののみが栽培、流通される仕組みとなっている。

（隔離ほ場における使用や観賞用の花きなど食品、飼料として利用しない場合は、①のみ）



佐藤文彦（日本学術会議／農学委員会・食料科学委員会合同遺伝子組換え作物分科会委員長）

遺伝子組換え（GM）作物の可能性と課題、安全性の検証、GM植物の社会的理解に向けての学界の取り組みについては、文献¹を参照してもらいたい。本報告では、日本の植物研究者によるGM技術等を用いた植物科学、作物育種への取り組み、ならびに、今後、日本が果たす役割、「新しい植物育種技術（NPBT/NBT）」の可能性について、個人的見解を含め紹介する。

世界におけるGM作物の栽培は、拡大しつづけている²。一方、日本ではGM作物は栽培されず、唯一、GM植物として青いバラが商業栽培されている。では、日本の開発能力は劣っているのだろうか？青いバラの作製が示すように、日本の植物科学は、世界的にも傑出しており³、分子細胞生物学、ゲノム科学が大きく貢献している。このことは、ゲノム解読技術と遺伝子情報を元にした遺伝子解析、すなわち、GM技術の根幹技術が日本の植物科学の発展を支えており、かつ、その成果は、植物の形づくりのみならず、植物の生産性、特に、その制限要因であるストレス耐性機構の解明に大きな貢献を果たしている。乾燥ストレスや耐塩性、アルカリ塩類土壌による鉄欠乏耐性等⁴、成果を枚挙すれば、紙面が足りない。また、前述の非生物的ストレス以外にも、いもち病耐性のように生物的ストレス耐性に関する研究も進んでいる。特に、特筆すべき点は、陸稲におけるいもち病耐性は不食味と強い相関があったが、DNAマーカーをもとにした交雑育種によって、強いいもち病耐性をもち、かつ、おいしいイネの育種ならびに栽培ができるようになってきたことである⁵。同様に、多収性を支配する遺伝子の同定も進んでいる⁶。

以上のように、GM技術、DNAマーカーによって遺伝子機能が解明され、さらに、遺伝子マーカーを用いた最新の交雑育種（ゲノム育種）に展開されつつあるが、ゲノム育種の弱点は、交雑のための時間とスペースである。かつ、交雑によって導入できない遺伝形質があるという弱点がある。例えば、ハワイで開発されたウイルス耐性パパイヤは、アンチセンス法によりウイルスの発現を抑制する技術であり、従来の育種では、不可能である。従って、GM技術は、研究開発のみならず育種方法としても不可欠である。

¹ 学術会議叢書16 食の安全を求めて. 日本学術協力財団. 2010.

² 世界の遺伝子組換え農作物栽培状況. 農林水産省. 2015.

<http://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/carta/zyoukyou/attach/pdf/index-1.pdf>

³ サイエンスマップ 2010 & 2012 のハイライト. 科学技術・学術政策研究所. 2012.

<http://data.nistep.go.jp/dspace/bitstream/11035/2933/6/NISTEP-NR159-SummaryJ.pdf>

⁴ 植物で未来をつくる 植物まるかじり叢書 松永和紀. 化学同人. 2008.

⁵ みんなの農業広場 注目の農業技術 <http://www.jeinou.com/technology/2011/07/11/094000.html>

⁶ イネの収量を決定する重要遺伝子を同定ー「第2の緑革命」につながる世界初成果ー. 独立行政法人 理化学研究所 国立大学法人名古屋大学. 2005. http://www.riken.jp/~media/riken/pr/press/2005/20050624_1/20050624_1.pdf

このように技術的にも十分なレベルにあり、かつ、研究成果もある我国で、何故、GM作物の栽培利用がなされていないのであろうか？端的に言えば、GM作物の一般圃場栽培認可をえるための費用が十億円以上掛かるために¹、我国で栽培されている食用作物の多くにおいては、採算性がないといえる。一方、海外展開を考える際の必要条件として、一般栽培前の隔離圃場試験があるが、我国では、その実施例が極めて少ない²。これらのことは、GM技術が大企業を利するだけであるという批判と対をなすものであり、大企業しか、この技術を使えないというジレンマが生じる。このことに関しては、これまでの栽培実績の蓄積をもとに、より合理的規制管理への転換が必要であろう。具体的に言えば、従来、GM作物1検体（イベント）ごとに必要であった申請に対する緩和が必要であろう。イベントごとの申請に必要性は、遺伝子導入に伴うゲノムへの挿入位置の違い（いわゆるポジションエフェクト）等の個体差があり、その違いを解析する必要があるとの判断である。ポジションエフェクトに関して言えば、最新のゲノム編集技術を用いれば、特定の遺伝子座位に導入が可能となり、これまで、検討が必要とされてきた他の遺伝子への影響を回避することが可能である。

先に述べたように、圃場試験栽培が実用化を考える上で不可欠であり、我国では、この段階が律速である。一方、新しい育種技術の開発（NPBT/NBT）、特に、ゲノム編集技術の開発によって、遺伝子組換え作物の環境影響、安全性評価を大幅に緩和できる可能性がある。すなわち、これまで、GM作物においては、外来遺伝子の挿入が不可避であり、その影響評価が必要であったが、NPBTのあるものは、外来遺伝子の残存がなく、従来の育種で作成されるものと同程度のリスクであるとの判断が諸外国で報告されている³。今後、これらの産物をどのように評価し、管理していくのかは、研究者にとっても、その恩恵をうける市民にとっても、重要な課題である。

なお、ゲノム編集を行っても、外来遺伝子が残る場合、あるいは、積極的に導入する場合もある。特に、ゲノム編集のための遺伝子が残る場合には、gene drive（遺伝子ドライブ）という現象が起こりうる可能性があり、より慎重な対応が必要である⁴。しかし、地球温暖化や水資源の不足、世界規模における「もの」と人の移動に伴う様々な動植物病害等のアウトブレイクは、それに対する有力な技術開発を必要としている。GM技術、ならびにゲノム編集を含むNPBTに対するより適切な認識が広がることが不可欠であり、学界からの発言が重要と考えている。

¹ GM Crops: The Crushing Cost of Regulation. De Greef, W. 2011.

<http://www.agbioworld.org/biotech-info/articles/biotech-art/crushingcost.html>

² 研究開発段階の遺伝子組換え生物等に係る、パブリックコメント。文部科学省ライフサイエンスの広場。

<http://www.lifescience.mext.go.jp/bioethics/public.html>

³ ゲノム編集技術等の新たな育種技術（NPBT）を用いた農作物の開発・実用化に向けて。新たな育種研究会。2015.

<https://www.s.affrc.go.jp/docs/committee/nbt/pdf/siryo3.pdf>

⁴ Gene Drives on the Horizon Advancing Science, Navigating Uncertainty, and Aligning Research with Public Values. Committee on Gene Drive Research in Non-Human Organisms. 2016. <http://nas-sites.org/gene-drives/files/2015/08/Gene-Drives-Brief06.pdf>

フロアからの質問：

ゲノム編集は種の中で行う技術なので、(ゲノム編集作物が)世に出たときに遺伝子操作した証拠が出てこない点について、不安や反対が出てくるのではないかな。

佐藤：

難しい点は、従来の突然変異育種とゲノム編集で作ったものに差がないことである。ゲノム編集作物にタグをつけて、従来の突然変異育種とゲノム編集で作ったものを区別することも可能であるが、わざわざそれを行う必要があるかは十分検討する必要がある。しかしながら、新しい技術ということで、ゲノム編集を行った食品に不安を抱く消費者もいるだろうため、トレーサビリティを担保出来るような記録は必要であろう。例えば、いずれかの段階で農林水産省と協力し、ゲノム編集を用いて改変した食品を登録するようなプロセスが必要ではないか、と個人的には思う。そうしなければ、ゲノム編集技術を用いた製品開発を内密に行う人・団体が出てきてしまう可能性がある。国際的な協調の点からも、たとえばアルゼンチンなどでゲノム編集作物は非組換え作物であるという見解が出たとしても、日本においてはしっかりとしたデータを以って、農林水産省において登録してもらうことが重要かと思う。

小島正美（毎日新聞／生活報道部編集委員）

「GM 作物のリスクコミュニケーションは大転換を」ーいま必要なのは明確な戦略と目標ー

GM 作物の社会的な理解・受容に向けたリスクコミュニケーションは、幾度となく開かれてきたが、はたして理解は進んだのだろうか。私の答えは「ノー」である。すでに GM 作物が栽培され始めて 20 年になる。20 年たっても、社会的な受容が進んでいない状況をどう考えたらよいか。科学的な議論に冷水を浴びせるつもりは全くないが、あえて、いまは何かを成し遂げるための運動論こそが必要だと思っている。つまり、そろそろ全く新しい発想転換が必要な時期に来ていると思う。

■社会的な受容とは

そもそも社会的な受容とは何だろうか。その受容の指標があいまいなまま議論が進んでいるため、この 20 年間で理解が進んだという人もいれば、全く進んでいない人もいて、混乱をきたしているのが実情だ。消費者にアンケートをとって、「GM 作物に不安を感じる」と答える人の割合が減ってきている状態を、はたして「受容が進んだ」と考えてよいのだろうか。アンケートの結果は聞き方によって、いかようにも答えは操作できる。仮に「不安を感じる」消費者が 3 割程度に下がったとしよう。では、その結果、「希望する農家が GM 作物を栽培できる」とか「日本の民間企業が GM 作物の研究開発に乗り出す」とか、何かよいことが起きるだろうか。何も起きないと思う。

■社会的な受容の指標

私の考える社会的な受容とは、具体的にいえば、次のような指標だ。

- ① ハワイの GM パパイヤが日本の店頭で販売されること。
- ② 北海道の農家が GM 作物を栽培できること。
- ③ GM の花粉症緩和米の製造・販売に民間企業が名乗り上げること。
- ④ 豆腐や納豆など表示義務対象の食品で「組み換え」と「組み換えでない」の両方の食品が市場に現れること。つまり、消費者が選択できること。
- ⑤ GM 作物の事実上の栽培禁止をうたった自治体の条例が改正されること。
- ⑥ GM 作物のメリットを解説・レポートする新聞記事が、主要 5 紙（毎日、朝日、読売、産経、日経）に年間 2 回以上、登場すること。
- ⑦ 農水省が民主党政権前の状態の、科学的な解説を盛り込んだ GM 作物の HP を作成すること。
- ⑧ 日本の学会が、今年 5 月に出た米国の科学アカデミーのような報告書をつくること。
- ⑨ 農水省が GM 作物の栽培に関して、期限をもうけた明確な国家的目標を国民の前に示すこと。
- ⑩ GM 作物のメリットなどがしっかりと書かれた科学的な教材、または副教材が学校教育の現場で採用されること。

こういう項目が実現したときに初めて、社会的な受容度が上がったといえる。本当に重要なのは、受容が進んだことによって、どういうことが現実にかかるかである。消費者がどの程度、理解しているかは、ほとんど重要なことではない。

■「社会的な受容を進める」はやめよう

その意味で、まずは「社会的な理解・受容を促進する」という方針そのものをやめるべきだろう。そもそも、ある特定のテクノロジーの有用性や仕組みを不特定多数の消費者に理解してもらうということ自体不可能なことなのだ。たとえばよくないかもしれないが、中学1年のときから、全国の全学校で科学的な裏付けのあるカリキュラムを組んで、いくら英語を教えても、大半の生徒は英語を理解するようにはなっていない。中学・高校と6年もの間、教え続けても、大半は理解していないのである。GM作物のリスクコミュニケーションを1度や2度やったところで何も変わらないのは当然である。つまり、何かを理解させてから、ものごとを進めていくという手順そのものが非現実的なのだ。現に消費者庁は放射線リスクの理解を深めるため、年間100回前後に渡り、福島県を中心にリスクコミュニケーションを過去5年間も実施してきたが、買い物で「福島産を避ける」という人を減らす目的は、あまり達成されていません。仮に100回のリスコミで500人が理解したとしても、大した効果はない。

携帯電話を使う消費者は、携帯電話の仕組みを知っているわけではない。メリットがあるから、使うだけだ。「電磁波に関する不安はあるか」とあえて尋ねれば、おそらく消費者の過半数は「不安を感じる」と答えるだろう。しかし、そんな声は携帯の普及とは全く関係がない。消費者は、ある特定のモノ（テクノロジー）の仕組みを理解してから、使うのではない。また、アンケートで不安があると答えたからといって、使わないわけでもない。世の中には、消費者の理解、また科学的な知識がなくても、消費者が自由に使いこなしている器機（装置）はたくさんある。GM作物も、そのような仲間入りを果たせばよい。

■情報戦でいかに勝つか

では、なぜ、受容の指標となるような項目が実現しないのか。たとえば、なぜ、ハワイ産のGMパパイヤが日本の店頭で販売されないのか。なぜ、北海道の農家がGM作物を栽培したいと希望していても、実現できないのか。それは、反対する運動家たちとの闘いに負けるからだ。いまの世の中は、情報を制する者が勝つ。情報戦においても、反対する情熱、行動力においても、反対する運動家たちに勝てないからだ。

仮に6割の消費者がGM作物に理解を示したとしても、反対する運動家たちは以前のまま反対運動を続けるだろう。反対派を説得することは不可能に近いので、結局は、反対運動があっても、GMパパイヤを販売するためには何が必要か、という問いが重要になる。おそらく、いったんある店で継続してGMパパイヤが販売されるようになれば、その状態は長く続くだろう。つまり、まずは前例となる

実績をつくるのが先決である。10項目のうち、どれでもよい。一つ一つを確実に実現させ、それがニュースとなって、人々の心に定着し、記者たちも、他の市民たちも受け入れているという前例を積み重ねていくという戦略が必要なのである。

その場合に必要となるのが、実績を残すためのネットワークだ。運動論的に言えば、連帯（友愛、フラタニティー）だ。専門家の集団は、個別にはいろいろ言うが、集団としてはあまり機能しない。学会として無理ならば、有志だけの集団をつくって、お互いにネットワークをつくり、ある項目を実現させようとする人たちをサポートする活動を開始する必要がある。

それくらいの強い心構えなしでは、社会的な受容の指標となる項目は実現しない。反対する人たちは、反対することを仕事にしているプロフェSSIONALである。プロに対抗するには、プロでぶつかる以外にない。素人集団が何度、シンポジウムを開いても、社会的な受容は進まない。

論争を嫌ってはいけない。論争こそ社会的な受容の絶好のきっかけとなる。そのためには、だれがどんな活動をして、どの項目（受容の指標）をいつまでに実現するか戦略をたてる必要がある。だれが何をやるべきかを明確にしないまま、リスクコミュニケーションのシンポジウムを開いても、意味はない。みんな案外と他人事のようにとらえているからだ。

こういう具体的な行動目標を決めることが大事だが、その運動を突きつめていくと、もしかしたら、だれも具体的な目標をもっていない（描けない、計画できない）、という結果になるかもしれない。別にこのままでもいいのでは、という声もあるからだ。大事なのは、GM作物に関して、あなたが何をやりたいかだ。何かをやりたいならば、その具体的な目標をみなの前に掲げ、みなへの支援（ネットワーク）を受けて、その目標を実現する手立てを地道に実行していくしかない。このことは市民団体が常日頃、やっていることだ。すでに日本の民間企業はGM作物の研究開発からほぼ撤退してしまった。市民運動の反対でやめた例もある。もはや絶望的な状況である。かたや欧米の巨大企業は世界市場の将来性を見込んで、1社だけで年間数百億円のGM研究開発費を費やして、成長している。全く大人と子どもの闘いであり、情けない限りである。今後、GM作物はアフリカ、南米、インド、中国で需要が増すだろう。欧米の企業がGM作物の普及で世界中の市場で利益をあげているのを、日本は指をくわえて見ているしかないのが現状である。民間企業の自主性にまかせていれば、よい方向に向かうという状況ではもはやない。明確な国家目標を打ち立てることも必要だろう。

フロアからの質問：

政治の問題の中で、民主党が悪かったと言っているが、自民党に政権が戻ってもバイテクに対する政策・考え方が変わったわけではない。民主党が悪かったと言っているだけではだめで、その他の党になっても変わらないのかといったところまで掘り下げないといけないのではないか。

小島：

ご指摘のとおりである。取材をすると、政治だけでなくどの世界においても、一枚岩になり団結することは難しいと感じている。

パネルディスカッション

発表：FAO インターンシップの報告及び日本の課題と感じたこと

白石晃将（京都大学大学院／農学研究科博士課程学生・思修館プログラム履修生）

FAO GM Foods Platform（以下、Platform）¹ はコーデックスガイドライン²に従い、各国により承認された遺伝子組換え植物の安全性評価に関するデータ・情報を共有するためのオンラインデータベースである。2013年7月に開設後、FAOが当データベースを管理しており、各国で安全性が承認された遺伝子組換え食品・飼料の評価結果、各国の情報（関係省庁、研究機関情報）、またその他有用なデータ・トレーニングツールなどが参考資料としてオンライン上で取得可能である。



図1：FAO GM Foods Platform トップページ

2016年9月現在、168か国が参加している。共有された情報は自由に閲覧が可能であり、参加国の関連情報、実際に安全評価を受けた遺伝子組み換え作物をその種類、特性などから検索をすることが出来る。さらに、「Global Outlook」タブからは、各国の情報を元に「遺伝子組換え作物生産の世界地図」や「遺伝子組換え作物の種類別ランキング表」等の統計調査が閲覧可能である。

筆者は2015年3月から2016年2月の間、FAO本部・Food Safety 部署におけるインターンシップを行い、上記 Platform の管理補助、各参加国のフォーカルポイントとの議論を日常業務として行った。その経験から、以下の2点を「遺伝子組換え作物に対する日本国の課題」「日本の植物バイオテクノロジーの世界貢献」として、共有した。

① 日本の資料・データ・Webpage などの国際化の必要性

FAO GM Foods Platform 上で共有される日本からの「遺伝子組換え食品の安全性評価」に関する資料は基本的に日本語でのみの記載であり、世界に対する発信力にかける。日本語と同時に英語での発信が必要ではないか。

¹ FAO GM Foods Platform. <http://www.fao.org/food/food-safety-quality/gm-foods-platform>

² Guideline for the conduct of food safety assessment of foods derived from recombinant-DNA plants (CAC/GL 45-2003, annex III adopted in 2008. http://www.codexalimentarius.org/download/standards/10021/CXG_045e.pdf

② 国際機関、会議の場での情報提供

バイオテクノロジーに関する会議、専門家会議等において、日本からの出席者が非常に少ない、あるいは、同じ専門家が何度も関連会議に参加する傾向にあった。日本から専門的知見を共有し、さらにその結果を国内でフィードバックするために、特に学界、産業界が国際機関においても活躍することの出来る専門家を増やす努力が必要であると思う。これは、情報発信に加え、植物バイオテクノロジー分野での日本のリーダーシップにつながるのではないか。

パネルディスカッション内容

佐藤→武内：

自身が海外へ行ったきっかけは何か。国際機関で働く上で、日本人としてのメリットや注意点はありますか。

武内：

最初から海外のキャリアを目指していたわけではなく、きっかけは米国の大学、大学院レベルでの教育システムへの興味。米国では教育をシステムとして分析しており、努力すると報われる仕組みになっている。キャリアとしての国際機関での仕事に関しては、強いて挙げれば、米国で研究を続けるうちに、研究にのめりこみすぎて現実社会での応用が見えなくなるというパラドックスを経験し、現実と科学をつなげる何かを探しているときに、研究を通して偶然国際機関の仕事に触れる機会があり、そこから興味を持った。国際機関では、日本の文化や考え方を自身の働き方に反映させるということはありません。それはその前に米国で9年と長く過ごしたため、米国的な個人主義のほうが仕事を行う上ではやりやすかったことがある。日本人としての注意点は言語力で、ある程度できる、というレベルだとかなり厳しいと思う。自分の思ったことをその場で効果的に短く言える、というビジネス英語以上のものが求められると思う。一方で、日本の学生は高い水準の一般教養を若いうちから培っていることは大きなプラスであると思う。国際機関では、専門分野以外のことをそつなくこなすことも多々求められるため、日本人のメリットとなりうると思う。

佐藤→武内：

FAO には、途上国へのサポート・国際的に先進国を牽引する、という2つの役割があると思うが、そのバランスをどのように取るのか。

武内：

先進国としての自覚を持って世界を牽引することが、最終的には途上国へのサポートにもつながるため、どちらを優先して行うか、ということではなく、どちらも並行して行うという形がベストだと思う。

う。ただ個人的には、日本は世界を牽引することに集中しつつ、意識的にそれがどのように世界貢献できているかを考え、途上国のニーズを吸い上げることができる数少ない国のひとつであるので、その立場を十分に活用した途上国へのサポートを考えることも重要であると思う。

佐藤→高島：

日本の食品安全評価システムは海外諸国から高い評価を受けているが、それらの情報を十分に発信できていない、との指摘があった。現在、日本語の資料を英語化するなどの海外に向けた情報発信や、安全性評価の技術移転を海外に出していく計画はあるのか。

高島：

遺伝子組換え食品の安全評価制度に関わる日本語の資料に関して、3つ（食品・飼料・環境）の分野うち、食品は厚生労働省・食品安全委員会が担当している。FAOのプラットフォームはほんの数年前に出来たと記憶している。このため、取り急ぎ既存の日本語の資料PDFが送られたのではないかと思う。環境分野については、何年も前からOECDがデータベース化を進めているため、英語での登録を行っており、審査済み案件のうち殆どのものが英語で登録されている。資料を英語で出していくことは重要と考えている。環境に限って言えば、仕組についても、例えば法律の下にある省令等のレベルの内容についても全て英語化しており、できるだけ英語で出そうということで進めている。

佐藤→高島：

日本は大量の遺伝子組換え食品の輸入国であり、消費者も遺伝子組換え食品を摂取している。一方で、生産者は遺伝子組換え作物をなかなか栽培できないというギャップがある。日本において遺伝子組換え作物の栽培を積極的に進めていく、あるいは、このような形であれば遺伝子組換えやゲノム編集技術を活用していくという計画等があれば教えてほしい。

高島：

農林水産省はあくまで遺伝子組換え作物を審査する立場で、推進でも反対でもなく中立な立場である。食物自給率を上げていくという目標はあるが、そのためにバイオテクノロジー・遺伝子組換え技術を利用した作物の栽培を推進するという記載はなかったと記憶している。ただ、各分野／プロジェクトごとの目標もあるので、他の計画の中にはゲノム編集に関する研究等を推進していくという目標はある。遺伝子組換え食品の評価に関して、海外への具体的な技術移転の計画はないが、海外諸国より日本の安全性評価のシステムについて教えてほしいという要望はあるので、マンパワーの問題はあれど、可能な限り応えていきたい。

フロア→今井：

遺伝子組換え食品のメリットに関して知識が得られた。例えば、農薬の使用量を低減するという事実は非常に重要であり、途上国は化学物質の分析さえしておらず、農薬使用量が非常に多いことがある。一方、ネットなどでは、一度遺伝子組換え作物を使い始めると継続して使わなくてはならないという情報も出回っており、遺伝子組換え技術を使用しない作物を栽培するためには多大なコストがかかる、といった批判もある。遺伝子組換え作物を利用しないことによる農家へのメリットなどがあれば教えてほしい。

今井：

農家は自分達に一番メリットのあるものを選んでいる。農家は受身でもって種子を使い続けるということではなく、そのようなことを言っているのは反対派や、巨大企業が市場を独占していくイメージへの反発があるからだと思われる。バイテク情報普及会、あるいは、バイテク関連企業は、農家のニーズに従い、それら技術の価値を提供することが重要であり、農家が実際に使用するか否かの判断をする。

フロア→今井：

GMO の潜在的な安全性と、農薬を使わないことによる安全性を総合的に評価した例はあるのか。

今井：

Brooks や ISAAA のレポート・資料から、遺伝子組換え技術の使用により、全世界で 37% 農薬使用量が削減したというデータ、また、個々の農家の農薬使用量の追跡結果等、マクロとミクロのいずれのデータもある。

佐藤氏→全パネリスト：

組換え圃場は、筑波大学・東北大学・宮崎大学を含め国内に何箇所かあるが、活用されている圃場は少ない。遺伝子組換え技術の社会的受容を向上させるためには、実際に遺伝子組換え作物や育成環境を見てもらうのが一番良いと思う。日本の各大学にとまでは言わなくても、各地域において遺伝子組換え作物を栽培することができれば、各地域に合った遺伝子組換え作物を開発することが可能なのではないか。そのような状況のなかでは、消費者等とのコミュニケーションをどうするかが重要になる。具体的にどうアクションすべきか、提案があれば教えてほしい。

小島：

現在、消費者が得られる日本発の遺伝子組換え作物は存在しない。取材の中で、この遺伝子組換え作物なら利益も得られ、周囲からの理解も得られる、体を張ってでも植えたいという遺伝子組換え作物がない、それを早く作ってくれという生産者からの声がある。海外の巨大企業が作ったものでは説得力がない。ハワイの遺伝子組換えパパイヤは好例である。巨大企業ではなく大学が開発し、廃業寸前の農家を救った。しかも値段は現在、市場に出回るパパイヤよりも安く、味も良い。レストランや店舗が遺伝子組換え作物パパイヤを選択する会というものを作って、メディアも絡めていけば、反対されることもないだろう。スーパーに遺伝子組換え作物が普通に売られているという状況を作りたい。

高島：

日本発の遺伝子組換え作物ということで、カーネーションやバラがある。シクラメンの隔離圃場試験も先日、審査を通ったところ。花等は今後出てくるのではないかな。ただ、食べるものについては研究段階であり、まだ情報はない。

今井：

国内産ではないが、遺伝子組換えテンサイがある。北海道のテンサイ栽培は雑草管理が非常に重要だそうで、現在は人の手で除草作業を行っている。その作業を行うのは、高齢の女性が多く、どうにか彼女らを労働から解放したいという動きがある。除草作業軽減のツールとして GM テンサイが有効であると考えられるが、その栽培実現には実証試験を現地の試験機関に引き受けてもらえるかどうかが開門であると思われる。

佐藤：

低アルカロイドのジャガイモができれば将来国内で使ってもらえるのではないかなと思われる。トマトなども実用的に使われることを期待している。何かアピールできる食物がないと農家に栽培してほしいと言えないので、学術会議としては日本の遺伝子組換え作物を作るためのアクションを起こす検討をしたい。

小島：

テンサイの除草作業は非常に大変で農家をやめる人もいる。遺伝子組換えテンサイを植えていくことはチャンスであり、やり方次第では成功すると思う。ただ、農協は反対されると思われるため、試験などではなく、いきなり植えてしまうことも検討すべきだろう。農協や反対派の人からの抗議に対して、どのように対応していくかが重要になる。また、メディアで取り上げられれば、議論が巻き起こるだろう。北海道の農家を支援する専門家がどの程度出てくるかも、重要な点の一つである。

高島：

これまでに遺伝子組換えテンサイは1品種承認されていて、栽培可能な状況にある。ただ、栽培を含めて承認したとしても、現状では花以外は栽培されていない。その一つの原因として、例えば北海道のように、都道府県の条例により規制しているところがある。また、メーカーからは、「ニーズがないので栽培しない」と答えられることも多い。

佐藤：

少なくともニーズがあれば何らかの動きが出てくると思う。コミュニケーションについて、講演の中では否定的な意見もあったが、これまでやってきての成果はいかがであるか。

今井：

コミュニケーションに関しては、こつこつやるしかない。10年前の消費者調査を比べると、どちらかというと不安だという人が減って、中立な立場をとる人が増えている。絶対に嫌だという人の割合は、現在と10年前では変わっていない。また、若い人は遺伝子組換え技術を受容し、比較的中立な立場であり、その技術を怖いと思う人の割合は少ない傾向にある。社会受容の向上における活動が若い人に影響を与えているのではと思われる。

佐藤→高島：

ゲノム編集というのは、カルタヘナ法の中では非常にグレーである。プロセスの中では遺伝子組換え技術を使っているが、最終産物には外来遺伝子は残らない。このような作物をどのように審査するか。アルゼンチン・米国ではゲノム編集を利用した作物は遺伝子組換え体ではないとの見解が出ているが、農林水産省ではまだ最終的な見解が出ていない。現状どのように考えているか。個人的にはプロセスの記録、国際的な協調も必要だと思っている。

高島：

遺伝情報の元となる ATCG といった塩基が、数塩基単位で変えることができるゲノム編集は、自然突然変異に近い部分がある。規制をどうするのか、農林水産省では積極的に議論している。痕跡が残らないということは、隠す隠さないということではなく、どういうものが自然突然変異で、ゲノム編集はどういうものかといった検討が必要になる。またゲノム編集と一口に言っても、遺伝子を抜いたり入れたりしたら色々なケースがあるので、分けをして検討していて、今日時点で結論は出ていない。先行的に米国ではケースバイケースで事例を積み上げるという決定がされたが、国際的には慎重に議論をしているところである。

佐藤→武内：

ゲノム編集に関しては、国際的に協調をとらないと大きな問題になるということでしょう。FAOでは、ゲノム編集について何か取り組みをしているか？

武内：

前提として、FAOは加盟国からの依頼ありきでFAOの活動の検討を始める。今のところゲノム編集に関する依頼はどの国からもない。ただ、いつどのような依頼が来ても良いように、必要な情報収集は適時しており、政治的・法規的な事情、どの国でどのような議論が進められているか等の情報収集をしている。同じ単語であっても、各国で違うものを示していたりするため、新しい科学的トピックに関しては、定義に関する仕事から始まることが多いため、現在は集中的にどんな組織や国がどのような言葉を使ってゲノム編集に関する仕事をしているかという情報収集をしている。

先ほどのコミュニケーションに関する議論が興味深かったので横入りになるが見解を述べる。新しい農業技術に関して、「先進的な技術への国民の受容／理解度が低い→農家が入り入れない→実際に使われない→研究費の枠が少ない→科学者が研究する意欲が落ちる→先進的技術の利点が目に見えてこない→先進的な技術への国民の受容／理解度が低い…」という負のサイクルがあると思う。遺伝子組換え技術はこのようなサイクルにおちいりそうで残念であるが、ゲノム編集等の新技術については、学术界が前向きに研究を進めていくという取り組みや、一つの国が活発に活動していくことが国際的にも良い影響を与えるので、政府はそのような研究が進みやすい制度作りをしていく必要があると思う。学术界も率先して若い世代が研究をしやすい状況を作っていくことが重要だと思う。

佐藤→高島：

学会会議がナショナルアカデミーになれないのは、お金と人の問題があるためである。科学技術予算が減っているという大杉氏の話もあったが、日本の産業の基盤は科学技術であると思う。そのための予算をどう確保していけばよいか。

高島：

最終的な予算配分は財務省が担当している。研究予算が少ないと言われることも多いが、例えばiPS細胞に関する研究については多額の予算が出ている。研究分野のアピール方法、国民へのアピール方法も重要ではないか。

フロア→川井：

ノーベル賞受賞の大隅先生のコメントの中で、今のトレンドとして研究予算が削られていて、特に基礎研究への予算が減少傾向にある状況を危惧されていた。個人の見解としては、国に頼ることはこれ

以上は難しいのではと思うので、企業・民間から学界への投資をされるような仕組みをもっと広げていったらよいと思っている。

川井：

色々な技術を集めていく仕組みがこれからは重要であると思う。京都大学では、新しい大学院を作ってリーディングプログラムを実施している段階。政府の体力が無くなってきているため頼れないのであれば、企業や個人・市民（寄付）に理解を示してもらい、彼らからサポートして頂くことが重要であると思う。日本全体で国民の理解を得て、企業からのサポートを得る。

フロア→川井：

京都大学における寄付金獲得のための具体的な例を教えてください。

川井：

思修館基金という、企業や個人から寄付をいただける仕組みや、寄付いただいた人に対し広報的なことをして学生がどのように育っているかを伝えるなどしている。白石氏も本基金の第一期生である。

フロア→高島：

以前参加した MBA の講義の中で、サプライチェーンにおける遺伝子組換え食品の話が出てきた。アルゼンチンなどは積極的に輸出しているが、ロシアや EU は輸入をしていない。輸出、輸入、自給する国で、それぞれ遺伝子組換え食品に対する対応が違う。日本は約 3,000 万トンを入力しているが、輸入している国は情報量が少なく、日本も包括的な情報が足りない。遺伝子組換え食品を利用する利点はよく分かるが、ではなぜロシアや EU などでは輸入されないかを説明すれば、国民も納得するのではないかな。

高島：

個人的な見解になるが、EU が栽培をしていないのは政治的なところもあるように思う。反対する人も多く、科学面を飛び越えて政治的なものによって動いている面があるのではないかな。情報面で言うと、科学的な面では、日本は米国に匹敵するほど情報公開はしていて、EU も情報量に差はない。

フロア→武内：

ビジネス界では IoT が世界を変えるものとして話題になっている。飢餓をなくすという目的であれば、食糧分配の最適化などをすれば簡単に解決するのではないかな。遺伝子組換え食品に集中するだけでなく、他の科学分野とも協調していけるのではないかな。

武内回答：

例えばオランダは、原料を輸入し加工あるいは再包装して飼料として輸出する。そうすることで遺伝子組換え作物を取り扱えるため、政策的なやりかたで問題解決が可能である。FAO は飢餓の解決策として何か一つの方法に集中するのを推奨していない。基調講演の中で述べたように、バイオテクノロジー（複数形）は工具箱のようなもので、工具箱の中にどのようなツールが入っているのか、どのツールがどのような状況でどのように貢献できるのか、分析して科学的な助言や選択肢を提供することが FAO の役割で、最終的に選ぶのは各国であると考えている。

小島：

EU は遺伝子組換え食品を禁止しているわけではなく、飼料などでは流通しているはずではないか。

武内：

飼料の原料として輸入して、加工および再包装した飼料として EU 内に流通しているのでその理解でよいと思う。

佐藤：

イギリスでは、以前、遺伝子組換え食品の輸入を全面禁止していたことがあったが、成り立たないので諦めたということが過去にあった。なかなかこういった情報が共有されないので、状況が見えてこない面もあると思われる。

佐藤まとめ：

日本では遺伝子組換え作物の安全性評価はしっかりとなされている。研究者はその実績を基にして、消費者のもとに、より届きやすく・使って良かったと思われるような持続可能な作物を作る、できるだけ地球上で人類が発展できるような状況を作っていくことができれば良いと思う。今回のシンポジウムの中で議論されたことを持ち帰り、日本学術会議として、どのように科学技術を発展させていくのか、それを国民にどのように共有していくのかに関して議論を進めたい。

注）パネルディスカッションの一部は、当日参加者から提出された質問票の内容を受けてなされた。

付録1：フロアからの質問とその回答

パネルディスカッションで取り上げた質問以外を抜粋して以下に記載。

① 企業による独占・支配

質問：

遺伝子組換え作物の開発、実用化をリードしている多国籍企業によって、特に開発途上国の農業生産が支配されるのではないか、という懸念に対してどのような議論を展開できるか。

今井：

先進国、発展途上国にかかわらず、農家には、自由主義・市場経済の下で、自分たちの目的に一番かなった種子を選ぶ自由と権利がある。企業は農家のニーズに応えようと、製品の開発、供給に自由競争を展開している。企業にとってはこれがビジネスの成功と発展につながるためである。もちろん安全性は前提である。

② 一般社会とのコミュニケーション

質問：

遺伝子組換え食品に関する正しい理解を広めていくとのことだが具体的にどのような方法か。

今井：

シンポジウムでのプレゼンテーションで紹介した活動のほか、中立メディアによる誤った内容の報道が認められた時には、その都度、その点に関する正しい情報を提供している。

質問：

そもそもなぜ、バイオテクノロジー技術を悪く思う人がいるのか。

今井：

現在、私たちが食べている農作物は長い年月をかけて品種改良により人間が作り上げてきたものである。新しい技術で、さらにすぐれた性質をもった作物をつくらうとするのがバイオテクノロジー。この新しい技術がお化けのような作物を作ってしまう、毒があって私たちを病気にしてしまうことがあるかもしれない、と考えて悪く思っている人もいるのは事実である。しかしながら、私たちはそのようなことがない、ということを調べて、安全なバイテク作物だけが栽培されている。

質問：

遺伝子組換え作物はどのような点で消費者にメリットがあるのか。

今井：

食料の安定供給と価格の安定が消費者に対する直接のメリットであると考ええる。

佐藤：

追加していえば、除草剤耐性作物は不耕起栽培を可能とし、土壌流出を防いでいる。害虫耐性作物は、殺虫剤の使用を減少させ、生態系の保全に寄与している。これらの環境への影響は広い意味で、消費者にメリットがあると考ええる。

③ 研究開発

質問：

遺伝子組換え技術が世界の栄養不足の解決に重要な役割を果たすことは理解した。遺伝子組換え作物の中で、最もその問題解決に効果的な作物を教えてほしい。

武内：直接的な栄養不足に関してはカロチンが高いゴールデンライスが有名だが、間接的にもオレイン酸の高い大豆などもある。また干ばつ耐性のあるものは、それ自体の生産量の増加が栄養不足の解決に重要であるとされる。

佐藤：微量元素、例えば、鉄欠乏や、カロチン（プロビタミン A）以外のビタミン類、例えば、葉酸等を蓄積する作物の開発が進んでいる。

質問：

京都大学は新農場を作り、遺伝子組換え隔離圃場も用意したと聞いている。その隔離圃場で京大発の遺伝子組換え作物試験を予定されているのか。中長期的な見通しを提示してほしい。

佐藤：木津に新設した農場では遺伝子組換え圃場も設備され、今後、研究が進むと予定されている。詳細は不明であるが、地球温暖化等の環境変動に適応した作物品種の開発が進むと期待している。例えば、開花時期を改変した小麦などは、我国に適した品種としての利用が期待できる。

質問：

現在の農業は一年生植物（米、麦等）で成り立っているが、これらの植物は気候による影響を受けやすい。多年生植物（レンコン、芋、サゴヤシ等）の研究はどうなっているか。

佐藤：一年生作物は、穀物生産、効率的育種による環境適応という両面から最重要である。多年生作物、あるいは栄養繁殖性作物は、遺伝的に比較的均質な個体として栽培されていることが多く、今後の地球環境変動に対する環境適応という点で一年生植物より対応が困難である。すなわち、これらの育種に時間がかかる作物においては、遺伝子組換え等の新しい育種の利用が重要になってくることは間違いなく、現在、キャッサバやタロイモ、オイルパームなど、いくつかの作物で研究が進められている。

④ 新技術

質問：

ゲノム編集のリスクをどのように考えるか。

武内：

食品のリスク管理の観点では、遺伝子組み換え作物と同じで、比較的风险は低いと考えるが、食品安全評価は遺伝子組み換えのものと変わらないものを行うべきであり、ケースバイケースの原則を当てはめるべきであるとする。ただ、生産する側がゲノム編集種であることを言わない限り、周囲にわかりえないという意味で規制の難しさは遺伝子組み換え作物を上回る可能性がある。

佐藤：

ゲノム編集には、単純に遺伝子を破壊する、あるいは、突然変異を誘発するものと、新たに、遺伝子を挿入するものがある。前者は、従来の突然変異育種と変わることがないと考えられているが、現在、そのこと（目的外の変異、いわゆるオフターゲット変異の有無）についての検証が進められている。もし、標的とした遺伝子にしか変異がないことが確認されれば、従来の突然変異品種と同等のリスクと考えるのが妥当である。一方、遺伝子の置換、挿入を伴う場合には、従来の遺伝子組換え体と同様に規制の対象となる。しかし、従来の遺伝子組換えでは、挿入部位がランダムに起こるのに対して、ゲノム編集では、特定の遺伝子に挿入されることが期待されることから、より精度の高い育種といえる。いずれの場合も、得られた作物の安全性が評価された後、利用されることになる。なお、今回、紹介しなかったが、ゲノム編集技術を使うことにより、遺伝子集団を改変することができるジーンドライブ(gene drive)ということが可能になる。このことについては、生態系に及ぼす影響が大きいことから、より慎重な対応が必要である。

⑤ その他

質問：

遺伝子組換え食品の安全性評価に関して、国際的な協調はとれているのか。

武内：

コーデックスの加盟国はコーデックスのガイドラインに沿った安全評価をすると決めている。現在 FAO GM Foods Platform (<http://fao.org/gm-platform>)に報告されている EU を含む約 14 か国の安全評価はすべてコーデックスガイドラインに沿っている。ただ、国別のキャパシティにより、安全評価する能力がないとしている途上国もあり、FAO からのサポートが必要であるとされる。

質問：

なぜ、じゃがいもの芽にはアルカロイドが含まれるのか。

武内：

武内：ジャガイモの生育中に日光をあびるとソラニンなどを中心としたアルカロイドが生成される。ジャガイモのもともとの特性。このように自然界には自然毒というものが人工的なものよりもはるかに多く、毒性も高いものが多い。

佐藤：

一般に植物は、動物による食害、あるいは、病害菌感染を防ぐための有毒な低分子成分（いわゆる二次代謝産物）を含んでいる。これらのあるものは、医薬品としても用いられるが、場合によると毒にもなる。ソラニンのようなアルカロイドも、ジャガイモの食害防御物質と考えられるが、その生合成を抑制したときに、病気等に弱くなるかは、今後の検討課題である。

質問：

遺伝子組換え技術含めた、バイオテクノロジーの社会での理想の状態とはどのようなものであるか。

武内：

上述した負の連鎖がなく、科学的根拠に基づいた研究、開発が活発であり、食品安全及びその他の関連した影響への政府の評価体制があり、産業界からのバイアスのない情報提供があり、消費者が利点、問題点のどちらも把握している状態が理想。

今井：

消費者、生産者が過剰な制限なくそれぞれの幸福を追求できる社会。

佐藤：

バイオテクノロジーに限らず、持続可能性が高く、つまり、環境負荷が少なく、かつ、人類、さらには、生態系全体にとって、利用価値の高い、例えば、生産性が高く、安全で、場合によれば、さらに、機能性がある食品や製品（例えば、より耐久性のある木材、バイオ燃料、医薬品等）が開発され、利用されている社会。すなわち、テクノロジーが社会と調和して、開発・利用されている状態が望ましいと考える。

参考資料

分科会委員に提供された参考資料リスト（提供された時系列順に記載）

2017/09/05

今こそ発言する時 Nature ダイジェスト vol.14, no.9. Doi:10.1038/ndigest.2017.170938

原文 Harmonize conflicting regulation for genetically engineered plants and animals. Nature (2017-06-15) Doi:10.1038/546327b.

2017/08/18

First genetically engineered salmon sold in Canada

US firm AquaBounty Technologies says that its transgenic fish has hit the market after a 25-year wait.

http://www.nature.com/news/first-genetically-engineered-salmon-sold-in-canada-1.22116?WT.ec_id=NEWSDAILY-20170807

立川雅司著 遺伝子組換え作物をめぐる「共存」：EUにおける政策と言説
(ISBN978-4-89732-368-8) 農林統計出版

2017/7/10（月） 公開ワークショップ

「日本並びに海外におけるゲノム編集技術の農業分野への利用－現状と未来」

<http://www.ilsijapan.org/ILSIJapan/LEC/biotech/GenEd2017.php>

主催：戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）次世代農林水産業創造技術「新たな育種技術の確立」

ゲノム編集育種コンソーシアム並びに NBT 社会実装コンソーシアム、

特定非営利活動法人国際生命科学研究機構（ILSI Japan）バイオテクノロジー研究会

2017/05/26

デアミナーゼを用いた新しいゲノム編集

Andrew May (2017) Base editing on the rise. Nature biotechnology, 35(5), 428-429

Research on base editing leads to new enzymes, genome-wide specificity measurements, and edited plants and animals.

cf. Zong et al. (2017) Precise base editing in rice, wheat and maize with a Cas9- cytidine deaminase fusion. Nature Biotechnology 35(5), 438-440. doi:10.1038/nbt.3811

cf. Shimatani et al. (2017) Targeted base editing in rice and tomato using a CRIS PR-Cas9 cytidine deaminase fusion. Nature Biotechnology 35(5), 441- 443. doi:10.1038/nbt.3833

cf. Kim et al. Genome-wide target specificities of CRISPRRNA-guided programmable deaminases. Nature Biotechnology 35(5), 475-480. doi:10.1038/nbt.3852

未承認のGMペチュニアの栽培と廃棄

U.S. flower sellers rush to destroy illegal GE petunias

By David Malakoff May. 16, 2017 , DOI: 10.1126/science.aal1200

http://www.sciencemag.org/news/2017/05/us-flower-sellers-rush-d..._campaign=news_daily_2017-05-16&et rid=17049449&et cid=1330060

ゲノム編集によるトマト育種の革新の可能性

Heidi Ledford (18 May, 2017) Fixing the tomato: CRISPR edits correct plant-breeding snafu.

Nature doi:10.1038/nature.2017.22018

<http://www.nature.com/news/fixing-the-tomato-crispr-edits-correct-plant-breeding-snafu-1.22018>

cf. Soyk, S. *et al. Cell* <http://dx.doi.org/10.1016/j.cell.2017.04.032> (2017).

Gene Drive について

EWEN CALLAWAY (2017) Gene drives meet the resistance

Evolution could weaken technique's potential in the wild. Nature 542, 15.

ゲノム編集による農作物育種の革新の可能性

- Armin Scheben and David Edwards (2017) *Genome editors take on crops*. Genome editing technologies may help to enhance global food security. *Science* 355 (6330), 1122-1123. [doi: 10.1126/science.aal4680]
- Peng et al. (2017) Engineering canker-resistant plants through CRISPR/Cas9-targeted editing of the susceptibility gene CsLOB1 promoter in citrus. *Plant Biotechnology Journal* (2017), pp. 1–11 doi: 10.1111/pbi.12733
- Yin et al. (2017) CRISPR-Cas9 and CRISPR-Cpf1 mediated targeting of a stomatal developmental gene *EPFL9* in rice. *Plant Cell Rep*, DOI 10.1007/s00299-017-2118-z

ゲノム編集と畜産育種

- Anne Bruce (2016) Genome edited animals: Learning from GM crops? *Transgenic Research*, DOI 10.1007/s11248-017-0017-2
- Tetsuya Ishii (2017) Genome-edited livestock; Ethics and social acceptance. *Animal Frontiers*, 7(2), 24-32, doi:10.2527/af.2017.0115
- With the advent of robust genome editing tools, strains of cattle, pigs, sheep, goats, and fowls with no transgenes have been bred.
- Food products derived from genome-edited livestock are expected to enter the market soon after the safety is confirmed in a country. However, previous controversy over genetically modified (GM) animals and cloned animals suggests that many people will be unlikely to accept the products from genome-edited animals.
- The social acceptance of such farm animal products would depend on the major premise that animal breeding by genome editing is performed after due considerations with regard to people's sense of ethics as well as animal welfare.

組換えと変異について

Shouten et al. (2017) Re-sequencing transgenic plants revealed rearrangements at T-DNA inserts, and integration of a short T-DNA fragment, but no increase of small mutations elsewhere. Plant Cell Rep (2017) 36:493–504. DOI 10.1007/s00299-017-2098-z

Transformation resulted in deletions and translocations at T-DNA inserts, but not in genome wide small mutations. A tiny T-DNA splinter was detected that probably would remain undetected by conventional techniques.

2017.4.19 更新

遺伝子組み換えイネの試験栽培とジャガイモの販売に抗議すると生活クラブ連合会がパブリックコメントを提出

<http://www.sankei.com/economy/news/170419/prl1704190303-n1.html>

2017/03/01 日本農学アカデミー提言「遺伝子組換え作物の実証栽培に関する提言」を発出

<http://www.academy.nougaku.jp>

2017/04/20 農と食の周辺情報 | 白井 洋一

ゲノム編集イネ、エピゲノム編集ポテト 日本発の新育種技術 野外試験開始へ | FOOCOM.NET , <http://www.foocom.net/column/shirai/15630/>

日本農業新聞 2017/4/8(土)

スギ花粉米 GMの是非 どう判断 臨床段階に 農研機構が開発

<https://headlines.yahoo.co.jp/hl?a=20170408-00010000-agrinews-pol>

2017/02/03 東京 (立川委員企画)

2017/02/04 京都 (立川委員企画)

国際シンポジウム 食・農分野におけるゲノム編集に関する米欧の現状

Application of genome editing in food and agricultural sector - social political and regulatory implication

Keynote 1 - the US perspective 「米国におけるゲノム編集に関する政策の最新動向について」 Dr. Jeniffer Kuzma (North Carolina State University, USA)

Keynote 2 - the EU perspective 「EUにおけるゲノム編集に関する政策の最新動向について」 Dr. Jean-Christophe Pages (High Council of Biotechnology, Scientific Committee, France)

2016/10/14 プラスミド DNA で入れると、CRISPR 断片がゲノムに取り込まれる可能性の紹介 (<http://www.nature.com/nbt/journal/v34/n10/full/nbt.3680.html>)

RNP で導入すると組み込みの危険性が低下すること、また、off-target 等を NGS 等で確認することの必要性が指摘される。

20161009

市民公開シンポジウム「世界の食料の今そして未来」 シンポジウムレポート

https://www.gsais.kyoto-u.ac.jp/wordpress/wp-content/uploads/2016/11/20161009_j.pdf

2016/9/8

スウェーデンの科学者がゲノム編集したキャベツを使ってパスタ料理を食べたという記事 (Science ニュース) の紹介

http://www.sciencemag.org/news/2016/09/did-swedish-researcher-eat-first-crispr-meal-ever-serve-d?utm_campaign=news_daily_2016-09-07&et rid=17049449&et cid=785771

この科学者は、同国政府から、同様の編集をしたシロイヌナズナはGMOではないという判断を受けている。今回、他国の研究者から譲り受けた種子を使って、栽培し、試食したとのこと。

2016/7/22

National Geographic 誌 8 月号における The DNA revolution の特集の紹介

2016/6/28

Time 誌における DNA 編集の記事の紹介

Life the remix- a new technique that lets scientists edit DNA with ease is transforming science- and raising difficult questions by Alice Park

2016/6/15

Plant Cell Reports 誌におけるゲノム編集特集号の紹介

Plant Cell Reports. Volume 35 Number 7

Editorial : Next-generation precision genome engineering and plant biotechnology. Magdy M. Mahfouz, Teodoro Cardi & C. Neal Stewart

Review : Progress of targeted genome modification approaches in higher plants. Teodoro Cardi & C. Neal Stewart

Review : CRISPR/Cas9 for plant genome editing: accomplishments, problems and prospects. Joseph W. Paul & Yiping Qi

Review : Homology-based double-strand break-induced genome engineering in plants. Jeannette Steinert, Simon Schiml & Holger Puchta

Review : Applications of CRISPR/Cas9 technology for targeted mutagenesis, gene replacement and stacking of genes in higher plants. Ming Luo, Brian Gilbert & Michael Ayliffe

Review: The expanding footprint of CRISPR/Cas9 in the plant sciences. Scott M. Schaeffer & Paul A. Nakata

Review: DNA-free genome editing methods for targeted crop improvement. Chidananda Nagamangala Kanchiswamy

Review: Genome engineering and plant breeding: impact on trait discovery and development. Fabien Nogu, Kostlend Mara, Ccile Collonnier & Josep M. Casacuberta

Review: Genome editing: intellectual property and product development in plant biotechnology. Helga Schinkel & Stefan Schillberg

Opinion Paper: Regulatory hurdles for genome editing: process- vs. product-based approaches in different regulatory contexts. Thorben Sprink, Dennis Eriksson, Joachim Schiemann & Frank Hartung

Opinion Paper: Consumer acceptance of food crops developed by genome editing. Tetsuya Ishii & Motoko Araki

2016/06/7

なぜ、いまだに遺伝子組み換え作物が敬遠されるのか？

ギズモード・ジャパン 6月7日(火)12時12分配信

<http://headlines.yahoo.co.jp/hl?a=20160607-00010000-giz-prod>

出典は National Academy of Science からの報告

Genetically Engineered Crops: Experiences and Prospects

<http://www8.nationalacademies.org/onpinews/newsitem.aspx?RecordID=23395>

アメリカでも、市民が不安を感じているという報道。

<http://bylines.news.yahoo.co.jp/inosehijiri/20160531-00058290/>

2016/6/6

米国 National Academy of Science の報告「Gene Drives on the Horizon」の紹介

<https://nas-sites.org/gene-drives/files/2015/08/Gene-Drives-Brief06.pdf#search=%27gene+drive+nas%27>

2016/05/21

NBT 海外規制情報 No1 (201604)

U.S. looking to expert panel to predict future GM products. Kelly Servick Apr. 19, 2016 , 3:00 PM
Science news

<http://www.sciencemag.org/news/2016/04/us-looking-expert-panel-predict-future-gm-products>

A risk-based approach to the regulation of genetically engineered organisms.

Gregory Conko, Drew L Kershen, Henry Miller & Wayne A Parrott

Nature Biotech., 34(5) 493-503 (2016)

Ending event-based regulation of GMO crops

Strauss, SH., Sax, J.K., Nature Biotech., 34(5), 474-477 (2016) correspondence

Regulate genome-edited products, not genome editing itself

Carroll, D., et al., Nature Biotech., 34(5), 477-479 (2016) correspondence on homeless cattle

Cibus' herbicide-resistant canola in European limbo

Fladuang, M., Nature Biotech., 34(5), 473-474 (2016) correspondence

Gene-edited CRISPR mushroom escapes US regulation

Waltz, E., Nature 532, 293 in Focus News

Will Europe toast GM wheat for gluten sufferers?

Laursen, L., Nature Biotech., 34(4), 369-371 (2016) News Feature

遺伝子組換え作物の危険性を指摘する論文に不正疑惑

Nature ダイジェスト13 (4) doi:10.1038/ndigest.2016.160420から

国際高等研究所 ゲノム編集の倫理WS報告書

<http://www.cape.bun.kyoto-u.ac.jp/wp-content/uploads/2014/03/e821356ff786e8ddecf8a80936d765a1.pdf>

2016/01/28

A proposed regulatory framework for genome-edited crops

Huang, S. et al., Nature Genetics 48(2), 109-111 (2016) commentary

Where genome editing is needed

Anonymous, Nature genetics 48(2), 103 (2016) Editorial

2015/12/10

生物多様性条約と科学のかかわり (第3回) 合成生物学に対する各国での規制状況のまとめと今後の対応. 白江英之 化学と生物 53(12), 872-876 (2015)

Green light in the tunnel?! Swedish board of Agriculture: A CRISPR-Cas9-mutant but not a GMO

-Umeå Plant Science Centre Press release 07 December 2015

2015/10/21

CRISPR tweak may help gene-edited crops bypass biosafety regulation –Technique deletes plant genes without adding foreign DNA

Cyranoski D., Nature News (19, Oct., 2015)

<http://www.nature.com/news/crispr-tweak-may-help-gene-edited-crops-bypass-biosafety-regulation-1.18590>

化学と生物 53 巻 11 号 797 頁— (白江英之著) 記事の抜粋と引用文献

「しかし昨年12月に、欧州委員会の下部にある3つの科学技術専門委員会(3)から合同で提出された「合成生物学Ⅱリスク評価方法と安全性の側面」という報告書には、これまでのCBDの議論に加えて、さらにゲノム編集技術(ZFN,TALEN,CRISPR-Cas9など)までもが将来「合成生物学」の技術分野で使用される可能性が高いという理由で、今回のCBDでの「合成生物学」の議論の中に組み入れられている(4).

文献(3) SCHER (Scientific Committee on Health and Environmental Risks), SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks), and SCCS (Scientific Committee on Consumer Safety) のエキスパートリスト,
http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/members_wg/index_en.htm#

文献(4) 欧州委員会科学委員会：“Preliminary opinion on Synthetic Biology II Risk assessment methodologies and safety aspects,” http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_048.pdf」

2015/09/11

農水省技術会議「新たな育種技術(NPBT)研究会」報告書
<http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/150911.htm>

あとがき

23期遺伝子組換え作物分科会は、本記録をまとめるにあたり、以下の分科会と公開シンポジウムを開催し、情報収集するとともに、本記録の内容を審議決定した。

平成26年12月19日 第1回分科会（日本学術会議6-C(1)会議室）

平成27年4月27日 第2回分科会（日本学術会議5-C(2)会議室）

平成27年8月10日 第3回分科会（東京大学農学部2号館114室）

平成27年8月10日 学術会議公開シンポジウム「新しい植物育種技術について考える」
（東京大学弥生講堂）

平成28年9月5日 第4回分科会

平成28年10月9日学術会議公開シンポジウム「世界の食料の今そして未来 ―食料の生産性と質の向上に日本の植物バイオテクノロジーはどう貢献できるか―」（日本学術会議講堂）

平成29年5月26日 第5回分科会（日本学術会議5-C(1)会議室）

平成29年8月18日～8月31日 電子メールによる審議

平成29年9月5日 第6回分科会（日本学術会議5-C(1)会議室）