

# 遺伝子組換え技術等の先端技術の 農業・食品への応用について

平成 2 8 年 7 月

**農林水産省**

農林水産技術会議事務局

## お知らせする内容

- 1 遺伝子組換え農作物の利用状況
- 2 育種と遺伝子組換え技術
- 3 遺伝子組換え農作物等の研究開発状況
- 4 遺伝子組換え農作物等の安全性確保の仕組み

# 1 遺伝子組換え農作物の 利用状況



1

遺伝子組換え作物の栽培国 2015年

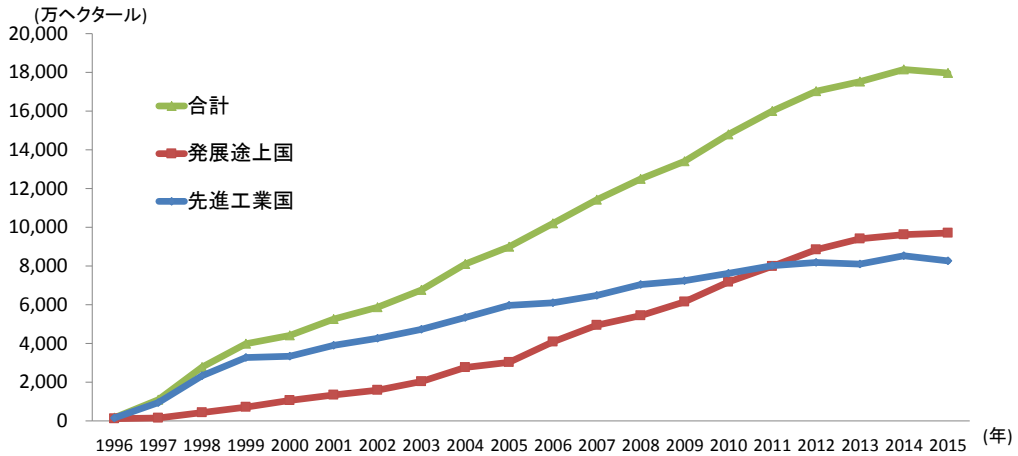


遺伝子組換え作物の栽培国は28か国

資料：国際アグリバイオ事業団 (ISAAA) 「Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2015」

2

## 世界の遺伝子組換え作物栽培面積の推移



組換え作物栽培面積は**1億7,970万ha** →全作物栽培面積15億ha の12%  
2014年から2015年にかけて180万ha減少

資料：国際アグリバイオ事業団 (ISAAA) 「Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2015」

3

## 主要穀物の輸入状況と遺伝子組換え農作物の栽培状況(2015年)

**トウモロコシ** (単位：千トン、%)

生産国	輸入量	シェア
米 国	10,160	74.3
ブラジル	3,140	23.0
ウクライナ	243	1.8
その他	138	1.0
合 計	13,681	100

米国内における遺伝子組換えトウモロコシの栽培割合 **92%**

**ダイズ** (単位：千トン、%)

生産国	輸入量	シェア
米 国	1,968	69.7
ブラジル	508	18.0
カナダ	316	11.2
その他	30	1.1
合 計	2,823	100.0

米国内における遺伝子組換えダイズの栽培割合 **94%**

**ナタネ (採油用)** (単位：千トン、%)

生産国	輸入量	シェア
カナダ	1,978	89.6
オーストラリア	228	10.3
その他	1	0.0
合 計	2,207	100

カナダ国内における遺伝子組換えナタネの栽培割合 **93%**

**ワタ (綿実 (採油用))** (単位：千トン、%)

生産国	輸入量	シェア
オーストラリア	44	48.8
ブラジル	27	29.8
米 国	17	18.5
その他	3	2.9
合 計	91	100

オーストラリア国内における遺伝子組換えワタの栽培割合 **100%**

資料：財務省貿易統計、ISAAA

4

## 2 育種と遺伝子組換え技術



5

「遺伝子組換え」は

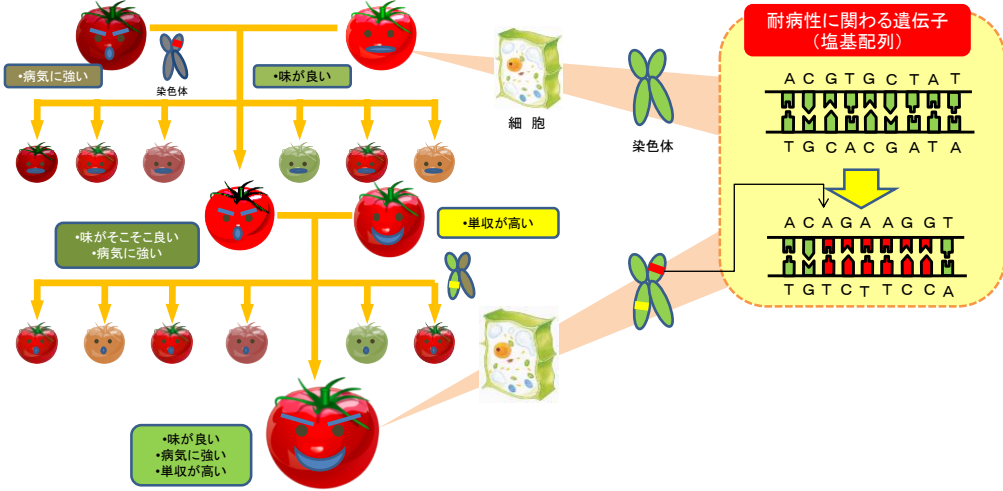


育種技術（品種改良）のひとつ！

6

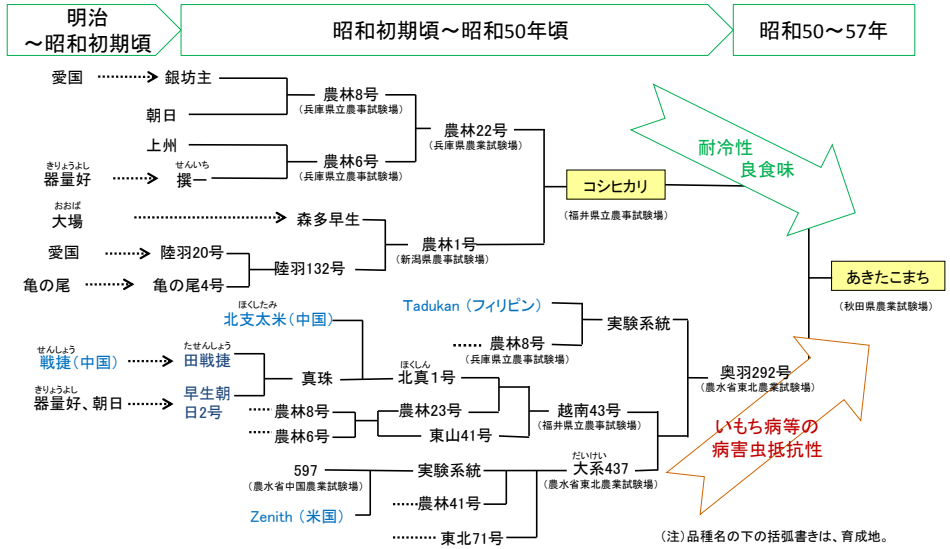
## 分子レベルで見た育種原理

○ 育種原理は、基本的に生物が有する遺伝子(DNA)によって支配されており、DNAを構成する4つの塩基の組合せの違いであることが今日広く理解されているところ。

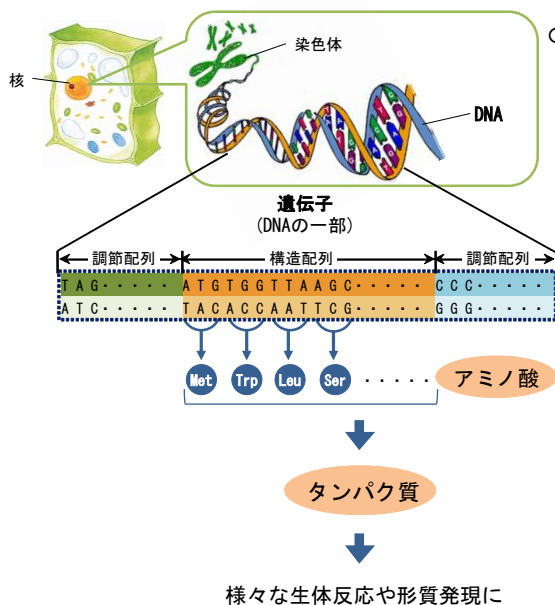


## コシヒカリ・あきたこまちが育成されるまでの歴史

○ 「育種」とは、形質が異なる品種等を掛け合わせ（交雑）、その後代の中から有用な個体を見つけ出す（選抜）過程を通じて、農作物を遺伝的に改良すること。



## 遺伝子とは

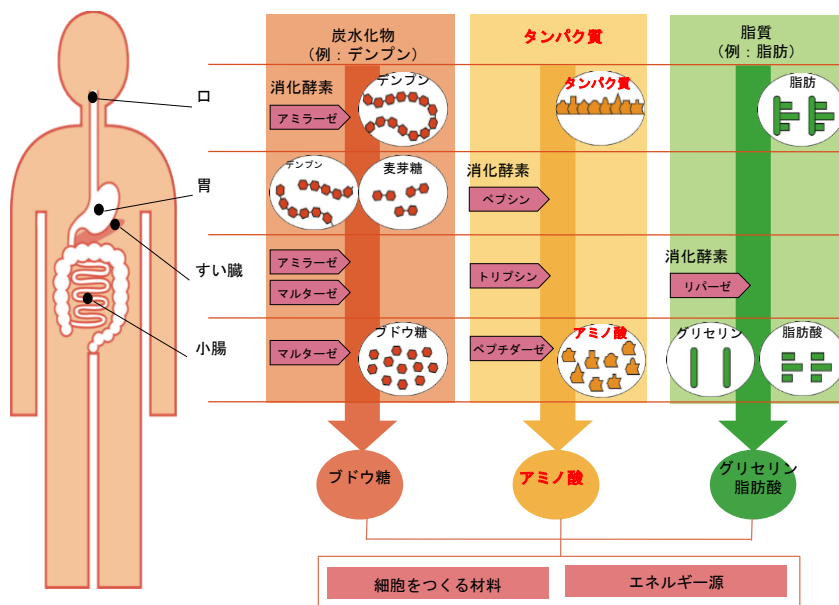


○ 主要生物のゲノム上の塩基対数及び遺伝子数

生物	塩基対数	遺伝子数
イネ (ジャポニカ)	4億対	3.2万
トウモロコシ	22億対	4.5万
ヒト	32億対	2.0万
キイロショウジョウバエ	1.8億対	1.5万
大腸菌 (K12株)	5百万対	0.4万

9

## 栄養素等の消化・吸収

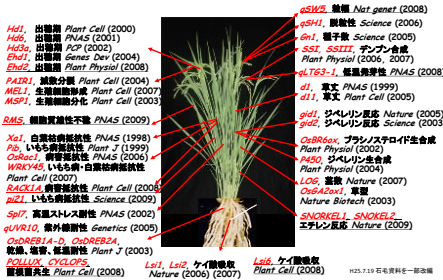


10

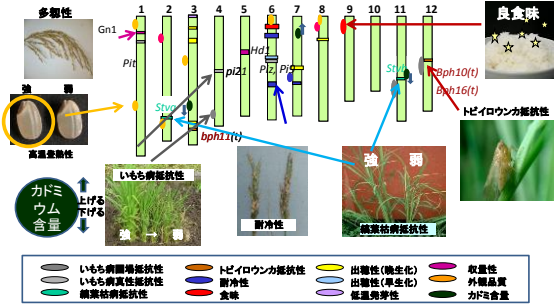
# イネのゲノム情報の解読

○ 最近、イネ等の農作物のゲノム情報を解読して、農業生産上の有用な形質に関する遺伝子が次々と同定。

○ イネにおいて同定されている遺伝子の例



○ 育種利用のためのゲノム設計図(イネの事例)

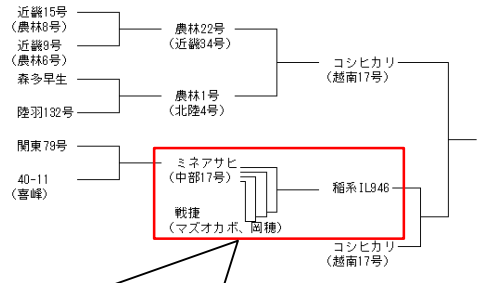


注) 染色体上の遺伝子は、同定された一部のもの

# DNAマーカー選抜育種法による新品種の作出事例

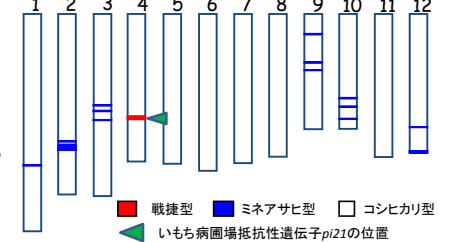
- こうした中で、近年、農業生産上の有用な形質に関する遺伝子の塩基配列情報を特定し、それを目印(マーカー)として有用な新品種を効率的に選抜するDNAマーカー選抜育種法が開発され、イネや野菜等の様々な農作物の育種に応用。
- 例えば、いもち病に強いイネ品種を育成するためには、これまでは多数の交配個体を実際にほ場に栽培し、耐病性の検定等を手間ひまをかけて行ってきたが、最近ではDNAマーカーを利用すれば幼苗の葉からDNAを抽出するだけで、短期間に耐病性の検定・選抜が可能に。

○ いもち病抵抗性イネ「ともほなみ」の育成系譜



陸稲には、強力ないもち病抵抗性遺伝子(pi21)が存在することが知られていたが、交配して通常のイネ(水稲)に導入すると近傍の食味に関する遺伝子も影響を受けて食味が大幅に低下。このため、(独)農業生物資源研究所は、愛知県農業総合試験場と共同して、陸稲の「戦捷(せんしょう)」に水稲品種のミネアサヒを交配した個体に、ミネアサヒを繰り返し交配し、DNAマーカーを利用して、交配後代の中からいもち病抵抗性遺伝子(pi21)のみが導入された個体(稲系IL946)を選抜。

○ 「ともほなみ」のゲノム(染色体)の遺伝子構造

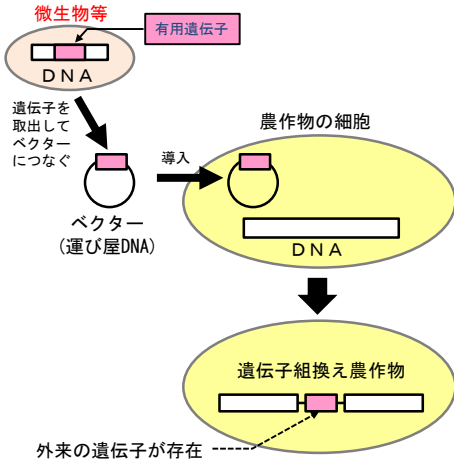


いもち病の激発地でのイネの栽培状況

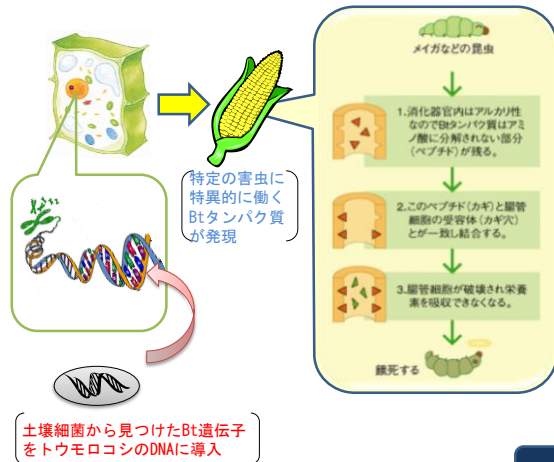
## 遺伝子組換え技術の育種利用

○ これまで遺伝子組換え技術を農作物の育種に利用する場合には、例えば微生物が有する殺虫形質を農作物に導入するなど、自然界での交配や慣行の育種法では獲得することができない形質を農作物に付与するために用いられることが一般的。

○ 遺伝子組換え農作物の作出方法

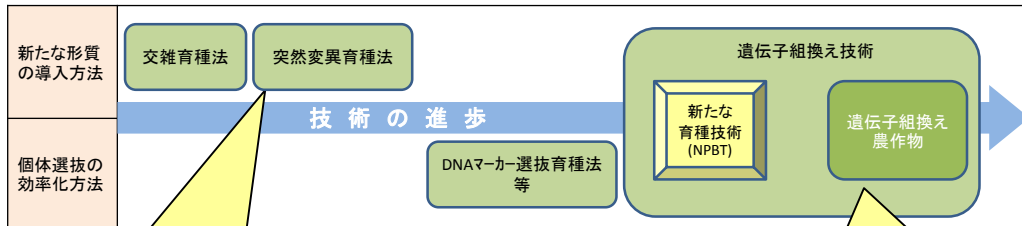


○ 害虫抵抗性(Bt)トウモロコシの殺虫メカニズム



13

## 進化する育種技術



### 【ゴールド二十世紀(ナシ品種)】

「二十世紀」ナシは、鳥取県を中心に栽培されている代表的な青ナシ品種であるが、ナシ黒斑病に弱く、その防除に労力・コストが嵩むことが問題。



(国研)農業生物資源研究所(放射線育種場)では、「二十世紀」の苗木にガンマ線を照射し、1990年にその突然変異体(枝変わり)として「ゴールド二十世紀」を選抜。

現在、二十世紀ナシの主産地である鳥取県では、栽培面積の4割が「ゴールド二十世紀」に転換。

### 【アブローズ(バラ品種)】

バラには非常に多くの種類があるが、これまで青いバラだけは作ることができなかった。



これは、バラに「デルフィニジン」という青色色素を作る能力がないためであるが、サントリー(株)では、遺伝子組換え技術を用いてバンジーから当該色素の合成酵素をバラに導入し、世界で初めて青い色のバラを開発。2009年から販売を開始。

14



### 3 遺伝子組換え農作物等の 研究開発状況

15

農林水産省関係機関が開発中の遺伝子組換え農作物等

○ スギ花粉症治療イネ



○ 遺伝子組換えカイコを利用した有用物質の生産



16

## ヒト用スギ花粉症治療イネの開発



17

## スギ花粉症治療米の開発の進捗状況



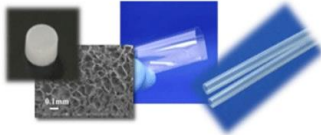
18

## 遺伝子組換えカイコによる医薬品等の開発

- 既に、化粧品の素材として実用化が始まっているほか、医薬品や人工血管などの医療用器具に利用するための研究開発も進行中。
- カイコは、比較的小さなロットでも飼育できるため、様々な用途に少量多品目なタンパク質を供給可能。

### 既に実用化が進んでいる例

- ・ 化粧品の素材(ヒト型コラーゲン)



### 実用化を目指し開発を進めている例

- ・ 抗体医薬、タンパク質医薬  
リソソーム病治療薬など
- ・ シルク素材の医療器具  
人工血管、軟骨再生用素材

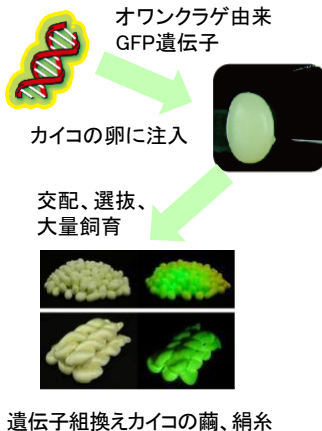
臨床検査薬の製造などに利用される遺伝子組換えカイコは、閉鎖された施設内で飼育。

19

## 遺伝子組換えカイコによる機能性シルクの開発

- シルクの分野では、新たな機能性を持った絹素材の開発も進行。
- 農業生物資源研究所では、オワンクラゲ由来の緑色蛍光タンパク質(GFP)遺伝子を組み込んだ遺伝子組換えカイコを開発。
- さらに、赤や橙等の蛍光色や、極細で光沢に優れたシルク等も開発中。

### 遺伝子組換えカイコの開発方法



青色LED  
照明下では...

(株)ユミカツラインターナショナルと  
(独)農業生物資源研究所が  
共同制作したウェディングドレス

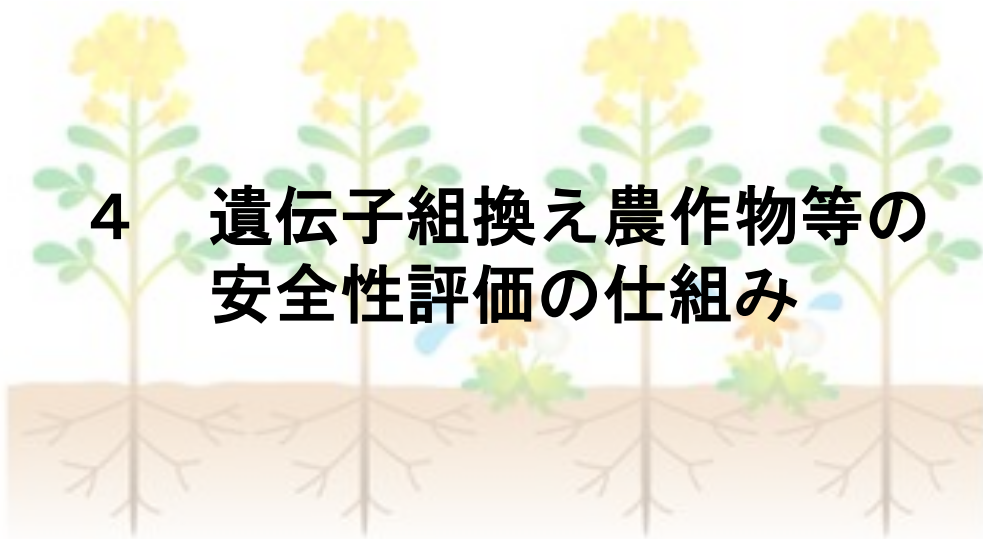


\*黄色フィルター使用



現在開発を進めている  
蛍光絹糸の例

20



## 4 遺伝子組換え農作物等の 安全性評価の仕組み

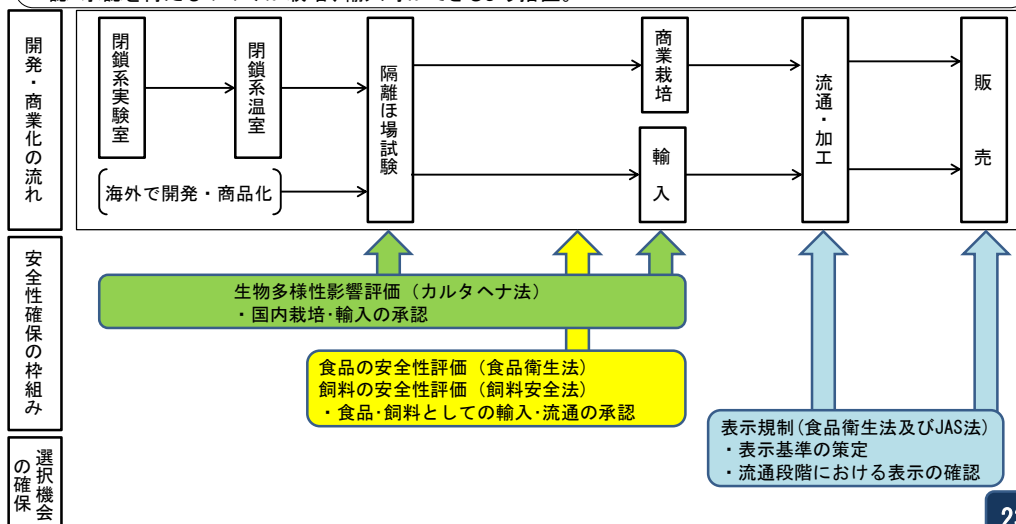
21

我が国においては、一つ一つの遺伝子組換え農作物ごとに、その用途に応じて生物多様性への影響や、食品や飼料としての安全性について、最新の科学的知見により評価を行い、安全性が確認されたもののみの使用を認める仕組みを導入しています。

22

## 我が国の遺伝子組換え農作物の規制の枠組み

- 遺伝子組換え農作物は、微生物等に由来する外来の遺伝子やその発現による新たな物質を有することとなり、人がこれまで食経験や栽培経験のない生物になるため、人の健康や野生動植物等に予期せぬ悪影響が生じる可能性。
- このため、こうした悪影響を未然に防止する観点から、個別の案件毎に国が安全性評価を行い、その確認・承認を得たもののみが栽培、輸入等ができるよう措置。



## 生物多様性影響評価検討会 農作物分科会委員

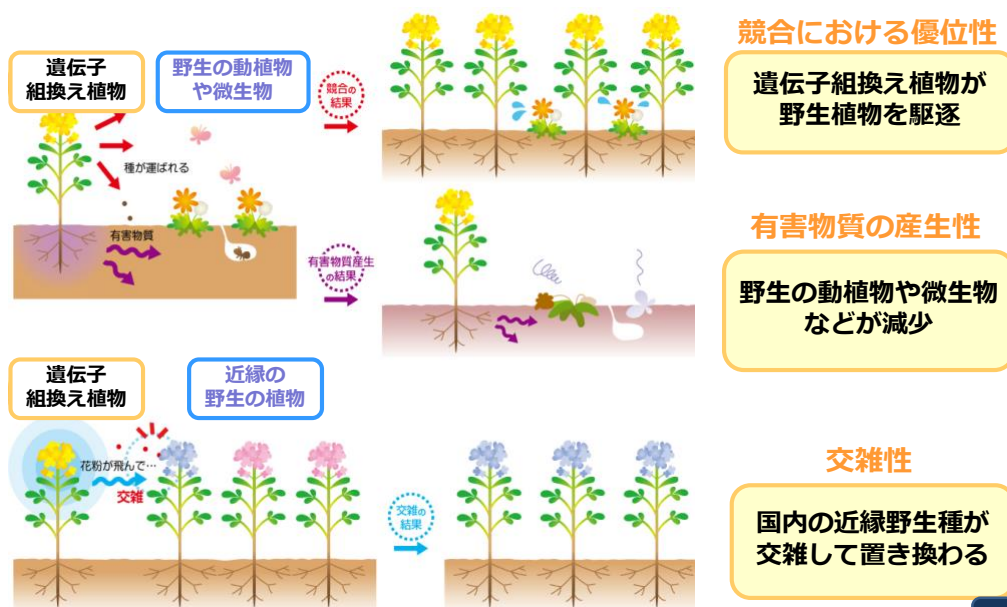
氏名	所属・役職	専門分野
伊藤 元己	国立大学法人東京大学大学院総合文化研究科教授	保全生態学
宇垣 正志	国立大学法人東京大学大学院新領域創成科学研究科教授	植物病理学
久保山 勉	国立大学法人茨城大学農学部生物生産科学科教授	育種学
芝池 博幸	国立研究開発法人農業環境技術研究所 生物多様性研究領域主任研究員	雑草学
柴田 道夫	国立大学法人東京大学大学院農学生命科学研究科教授	園芸学
嶋田 正和	国立大学法人東京大学大学院情報学環／総合文化研究科教授	保全生態学
徳永 幸彦	国立大学法人筑波大学生命環境系准教授	理論生物学
中嶋 信美	国立研究開発法人国立環境研究所生物・生態系環境研究センター生態遺伝情報解析研究室長	植物生理学
樋口 恭子	東京農業大学応用生物科学部生物応用化学科教授	植物栄養学
日野 明寛	日本製粉株式会社中央研究所副所長	遺伝生化学
平塚 和之	国立大学法人横浜国立大学大学院環境情報研究院教授	応用分子細胞生物学
若狭 暁	東京農業大学応用生物科学部バイオサイエンス学科客員教授	分子生物学

## 食品安全委員会 遺伝子組換え食品等専門調査会専門委員

氏名	所属・役職
岡田 由美子	国立医薬品食品衛生研究所食品衛生管理部第三室長
小関 良宏	東京農工大学大学院工学研究院生命機能科学部門教授
橘田 和美	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構食品総合研究所食品分析研究領域GMO検知解析ユニット長
児玉 浩明	千葉大学大学院融合科学研究科教授
近藤 一成	国立医薬品食品衛生研究所代謝化学部長
澤田 純一	独立行政法人医薬品医療機器総合機構テクニカルエキスパート
柘植 郁哉	藤田保健医療大学医学部小児科 臨床教授
手島 玲子	独立行政法人医薬品医療機器総合機構テクニカルエキスパート
中島 春紫	明治大学農学部農芸化学科教授
樋口 恭子	東京農業大学応用生物科学部生物応用化学科
飯 哲夫	元国立研究開発法人農業生物資源研究所植物科学研究領域長
山川 隆	東京大学大学院農学生命科学研究科(農学国際専攻)教授
和久井 信	麻布大学獣医学部動物応用科学科准教授

25

## 生物多様性への影響とは？



資料：バイオテック情報普及協会

26

## 国内で使用等が承認された遺伝子組換え農作物 ーカルタヘナ法に基づく承認件数ー

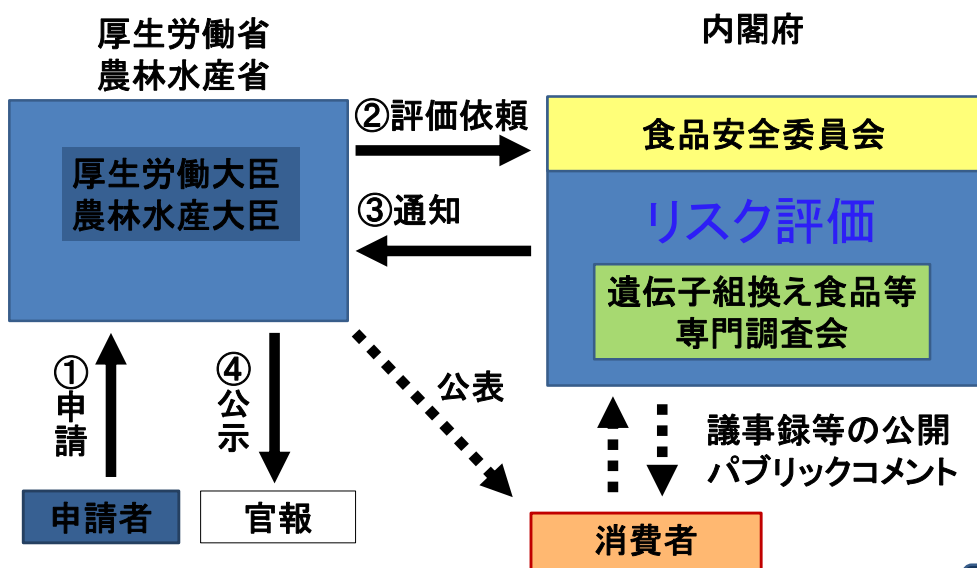
(平成28年6月20日現在)

作物名	承認数
トウモロコシ	74
ダイズ	20
セイヨウナタネ	15
ワタ	33
パイイヤ	1
アルファルファ	5
テンサイ	1
バラ	2
カーネーション	8
合計(9作物)	159

- ※ 一般的な使用(栽培、食用、飼料用などの輸入や流通)の承認件数。
- ※ なお、現在のところ、国内で商業栽培されているのは「バラ」のみである。

27

## 遺伝子組換え作物の食品・飼料としての安全性評価 (行政の枠組み)



28

評価の必要条件（出発点）

組換える前の既存の作物（食品）と比較できて、  
相違が明らかであること



（食品の安全性を、全ての成分ごとに行うのは困難）

- 既存の食品を比較対象にして、相違点に着目
- 組換えDNA技術によって付加されることが予想される全ての性質の変化について、その可能性も含めて、安全性評価を行う。

比較対象と同等の安全性 → 食品としての使用を認める

29

遺伝子組換え食品（種子植物）の安全性評価のポイント

・ **もとの植物(宿主)**の情報  
(食経験、可食部位、有害成分)



**宿主の安全な食経験**

もとの植物の性質が明らか

・ **導入遺伝子**の情報  
(供与体生物、塩基配列等)



**導入する遺伝子の安全性**

作られるタンパク質から予想される影響が明らか

・ **遺伝子産物(タンパク質)**の情報  
(機能、有害性、抗生物質耐性、アレルギー誘発性、代謝影響)

・ **組換え作物**の導入情報など  
(遺伝子の導入法、挿入位置と周辺配列、安定性、発現部位、発現量)



**挿入された遺伝子の安全性**

導入した遺伝子による予想外の影響がない

・ **組換え作物の成分情報**  
(栄養成分、有害成分、栄養阻害物質等の含量変化)



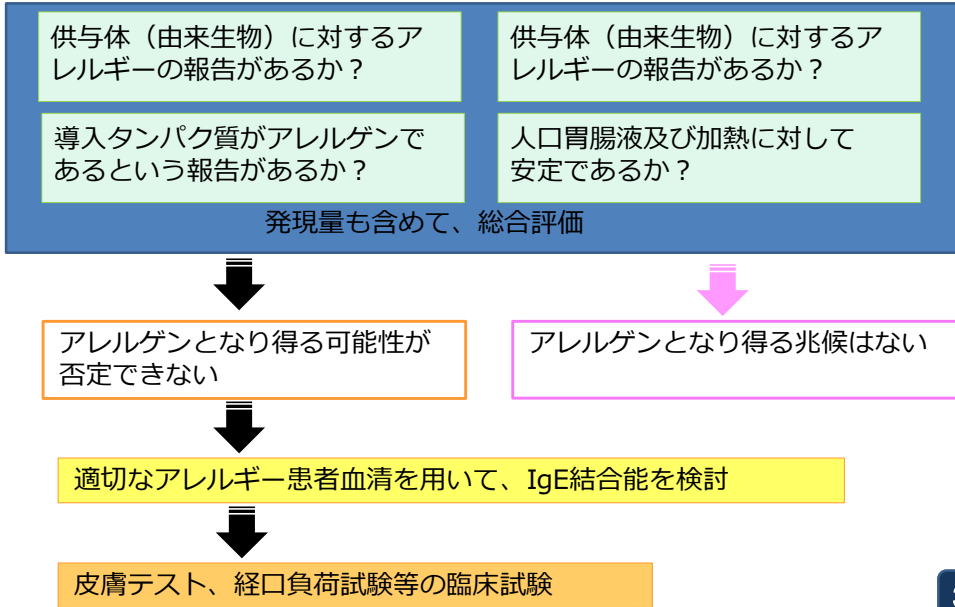
**宿主等との比較**

有機成分が増えていない  
組換え作物全体への影響がない

30











## 新たに導入されたタンパク質のアレルギー誘発性の評価



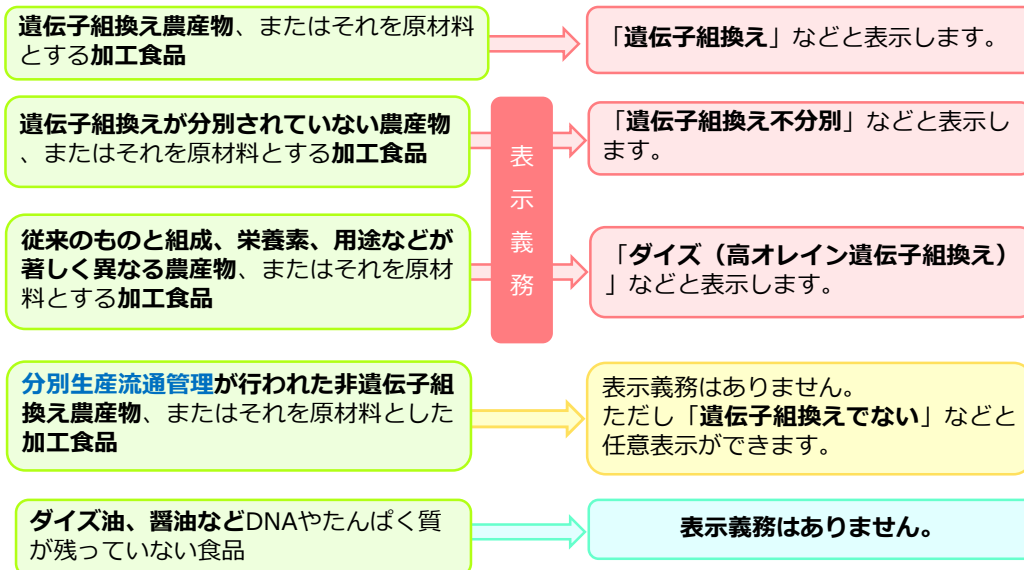
31

## 遺伝子組換え食品の承認実績 —食品衛生法の承認件数—

作物名	承認件数	実際に使用されている主な用途
トウモロコシ 	201	液糖、水飴
ダイズ 	22	食用油
セイヨウナタネ 	20	食用油
ワタ 	45	食用油（綿実油）
パパイヤ 	1	生食
アルファルファ 	5	—
テンサイ 	3	—
ジャガイモ 	8	—

平成28年6月17日現在 32

## 遺伝子組換え農産物とその加工品の表示制度



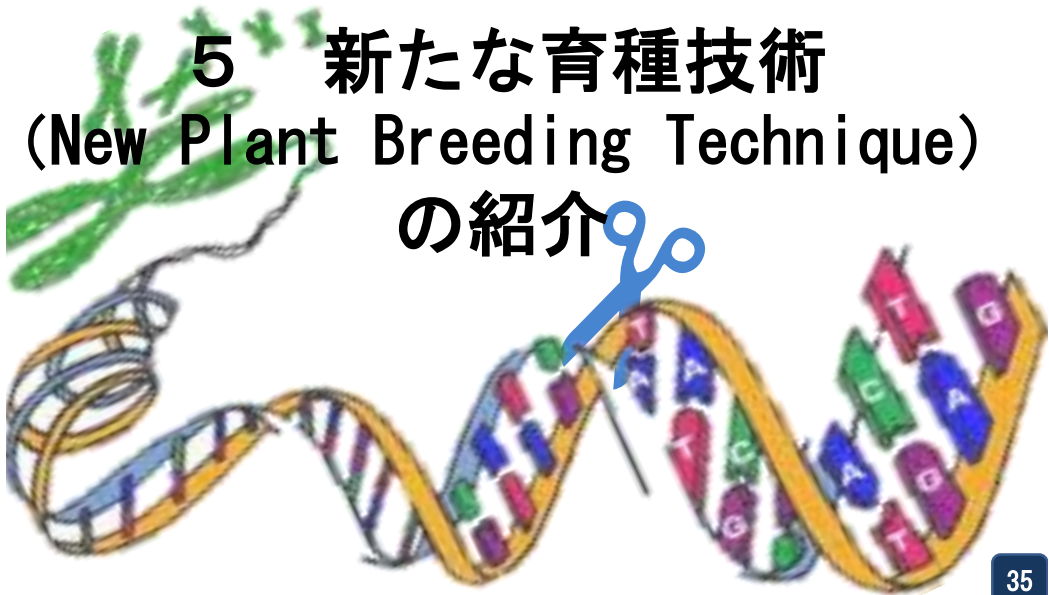
33

## 遺伝子組換え農作物に関する情報

- 農林水産省 遺伝子組換え技術の情報サイト  
<http://www.s.affrc.go.jp/docs/anzenka/index.htm>
- 農林水産省 生物多様性と遺伝子組換え  
<http://www.maff.go.jp/j/syouan/soumu/biodiversity/index.html>
- 内閣府食品安全委員会（食品健康影響評価（リスク評価））  
<http://www.fsc.go.jp/hyouka/index.html>
- 厚生労働省 遺伝子組換え食品Q&A  
<http://www.mhlw.go.jp/topics/identshi/qa/qa.html>
- 消費者庁 食品表示に関する共通Q&A  
（第3集：遺伝子組換え食品に関する表示について）  
<http://www.caa.go.jp/foods/pdf/syokuhin737.pdf>
- 環境省 バイオセイフティークリアリングハウス  
<http://www.biodic.go.jp/bch/>

34

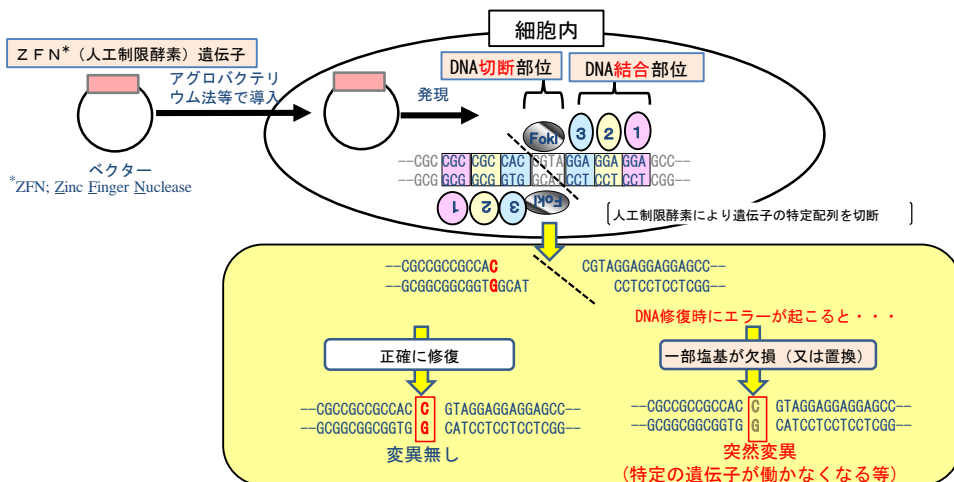
# 5 新たな育種技術 (New Plant Breeding Technique) の紹介



35

## NPBTの事例1：人工制限酵素を利用したゲノム編集技術（ZFN）

- 最近、特定の遺伝子(DNA)を標的として特定の塩基配列部位を精度良く切断することができる「人工制限酵素」が開発され、ゲノム上の狙った部位に任意に変異(塩基の欠損や置換、挿入)を誘導できるようになりつつある(ゲノム編集技術)。
- ゲノム編集技術を農作物の育種に応用することにより、花の色や草丈など内在の遺伝子を任意に改変することが可能となり、短期間に画期的な新品種が開発できる可能性。



36

## 従来の遺伝子組換え技術とゲノム編集技術の比較

	技術的特長	技術的特長			育種利用の方向
		スピード	正確性	変異の幅	
従来の 遺伝子組換え技術	交配が <b>困難な異種から有用な遺伝子</b> (微生物等)を導入することが可能	○	○	◎	① 温暖化・砂漠化など、 <b>将来の地球環境変動対応</b> ② 病害虫抵抗性の付与による農業の <b>スマート化</b> ③ 農作物を利用した医薬品等の <b>有用物質生産</b>
ゲノム編集技術	生物が有する核酸配列(遺伝子)をターゲットとして、 <b>生物の配列情報を変更</b> することが可能	◎	◎	○	① 機能性成分に富んだ農作物の開発による <b>健康長寿ニーズ</b> への対応 ② 飼料栄養価の高いコメの開発による <b>自給率向上対応</b> ③ <b>未だ育種利用できていない様々な形質</b> (病害虫抵抗性等)を引き出した新品種開発 等

37

## 自然突然変異体を分子レベルで見た事例

### ○ イネの脱粒性に関する突然変異



イネの第1染色体の612番目の塩基が置換

日本晴	ATT <b>T</b> CA
カサラス	ATT <b>G</b> CA

左図：  
左：日本晴（ジャポニカ型）  
右：カサラス（インディカ型）

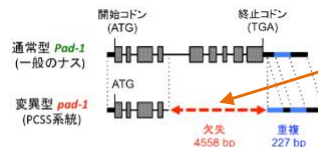
出展：サイエンス（2006）  
農林水産先端技術研究所 小西左江子氏ほか

### ○ 受粉しなくても果実が肥大するナスの突然変異



通常のナスは受粉しなければ果実は肥大しないが(右)、突然変異系統(PCSS)のナス(左)は、未受粉でも果実が肥大する。

左：突然変異系統(PCSS) 右：一般のナス(千両二号)



PCSS系統の変異型遺伝子(pad-1)は後半部分の4558塩基が欠失し、遺伝子の働きを失っていることが判明。

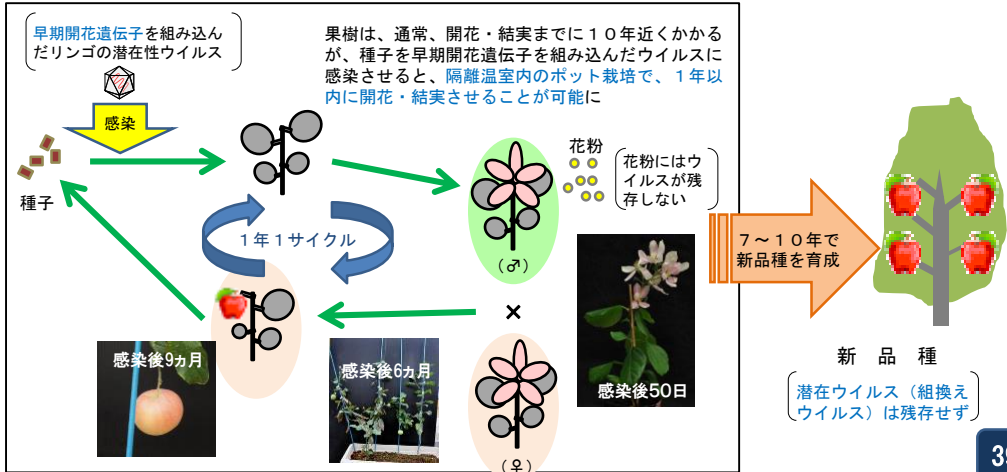
■ タンパク質のコード領域  
 ■ 非翻訳領域  
 — インترون

引用：農研機構、タキイ種苗株式会社  
平成27年10月21日プレスリリース  
「ナスの受粉作業を省くことができる新しい遺伝子を発見」

38

## NPBTの事例2：果樹類の世代促進育種技術

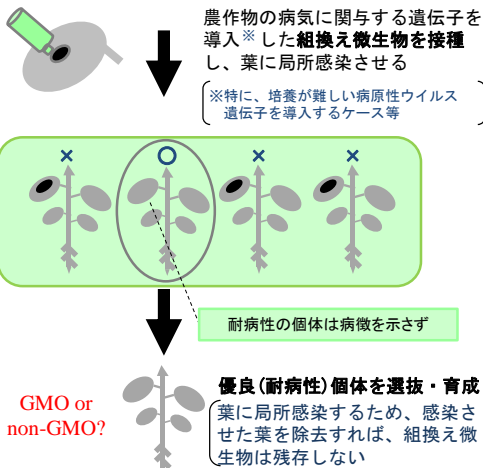
- 1999年、京都大学の荒木氏らによって植物の開花を任意に制御できるFT遺伝子が発見。岩手大学の吉川教授は、リンゴに感染するウイルスの一つである「リンゴ小球形潜在ウイルス(ALSV)」にFT遺伝子を組み込み、リンゴの発芽実生に感染させることにより、農作物の早期開花を行わせる技術を開発。
- 本技術は、リンゴ以外の果樹類やダイズ、野菜など様々な農作物に応用できる可能性があるため、岩手大学等では、内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)において、ブドウやナシ等の世代促進法(交配1世代を1年以内に短縮)として開発中。



39

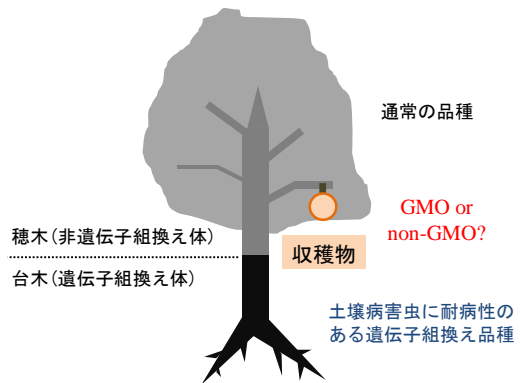
### 事例3：アグロインフィルトレーション

- アグロインフィルトレーションとは、農作物の病気に関与する遺伝子を組み込んだアグロバクテリウム(細菌)を植物体の一部分に感染させ、その発現した病徴から病害抵抗性を持った個体を選抜する技術。
- こうして検定・選抜された個体は、感染させた部位(葉等)さえ除去すれば、アグロバクテリウム由来の遺伝子が植物体に残存することはない。



### 事例4：遺伝子組換え台木を利用した接ぎ木

- 特定の土壌病害虫に抵抗性を有する遺伝子組換え台木を開発し、その台木に通常の子実品種を接ぎ木すれば、穂木から収穫される農作物の品質等を変えることなく、土壌病害虫の影響を回避して栽培することが可能に。
- 一般的に、台木のゲノム上に組み込まれた外来の遺伝子(病害抵抗性遺伝子等)が穂木に移動することはない。



40

**【消費者メリット】**

**ソラニンを含まないバレイシヨ**

**背景・課題**

○ソラニンはバレイシヨの新芽に含まれる天然の毒素であり、下痢・腹痛等を生じさせ、最悪死に至ることも。

○毎年の食中毒が発生(厚生労働省資料)。

**商品開発の展望**

○ソラニンの合成を抑制することによって、新芽に含まれる毒素を大幅に低下させたバレイシヨの育成が可能。



41

**【消費者メリット】**

**アレルギーを含まないコメ (イネ)**

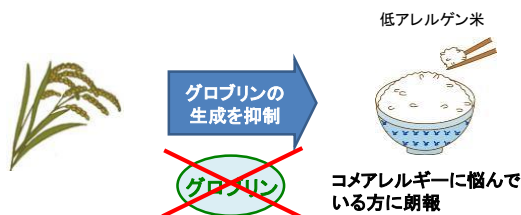
**背景・課題**

○コメのアレルギー患者は全国に30万人程度。

○コメに含まれるグロブリン(タンパク質)がアレルギーの原因物質。

○コメアレルギーの方は酵素処理でアレルギー物質を除去した高価なコメを購入。

**商品開発の展望**



**【消費者メリット】**

**抗酸化物質リコピンを多く含むトマト**

**背景・課題**

○生活習慣病の予防など健康意識が高まり、野菜等に含まれる機能性成分を評価する動き。

○トマトに含まれるリコピンは、抗酸化作用が強くガンの抑制効果が期待。

**商品開発の展望**

○トマトの野生種等のデータを活用して、リコピンの含有量が豊富なトマトを育成。



**【消費者メリット】**

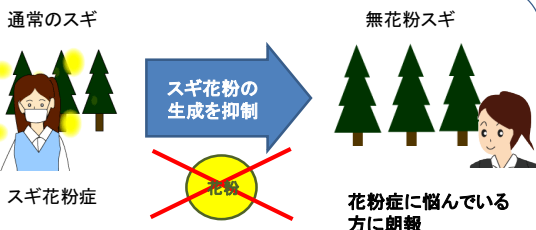
**花粉を作らないスギ**

**背景・課題**

○国民の4人に1人がスギ花粉症(推定2500万人以上)。

○花粉症の原因はスギ花粉に含まれるアレルギー物質(タンパク質)。

**商品開発の展望**



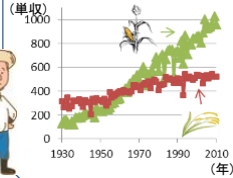
42

**[生産者メリット]**

**1 トン超の多収イネ**

背景・課題

- コメのコスト削減には、単収の向上が不可欠。
- 中国では、既にF<sub>1</sub>ハイブリッド・ライスで単収1.2トン/10aを達成。



商品開発の展望

- トウモロコシは、収量性に関する様々な遺伝子を交配によって取り込むことにより、単収1トン超を実現。
- トウモロコシの育種法(循環育種選抜法)をイネに応用することによって単収1トン超(2倍以上)の多収イネを開発。



飼料用米の供給拡大

**[生産者メリット]**

**飼料栄養価の高いコメ (イネ)**

背景・課題

- 家畜は体内で特定のアミノ酸(トリプトファン等)を合成できないことから、飼料にアミノ酸添加物を加えた飼料を給与。
- 家畜の濃厚飼料の原料は、約9割を海外に依存。
- 食料自給率の向上と飼料原料の安定確保のために栄養価の高い飼料の開発が必要。

商品開発の展望

- イネのアミノ酸合成酵素に突然変異を誘発させることにより、家畜の必須アミノ酸であるトリプトファン等を豊富に含むイネを育成。



酵素のアミノ酸合成能力を高める



国産飼料による自給率の向上

43

**[生産者メリット]**

**世界に誇れる高品質なリンゴ**

背景・課題

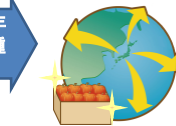
- 「桃栗3年、柿8年」と言われるように、果樹類は開花に時間を要するため、新品種の開発には、通常20年～半世紀を要する状況。
- 我が国の果物は海外からの評価が高く、さらなる輸出拡大に向けて、新品種の開発が重要。

商品開発の展望

リンゴの開花・結実のサイクルを1年以内に



世界に誇れる高品質な果樹品種を次々と作出。



輸出倍増計画に貢献

**[生産者メリット]**

**養殖に適したマグロ**

背景・課題

- 世界的にマグロの漁獲規制が高まる中で完全養殖技術の確立が急務。
- マグロは非常に神経質な動物のため、養殖中に網に衝突するなどして約3割が死亡。
- 養殖用マグロ品種の開発が重要。

商品開発の展望

マグロの性格



養殖用のマグロ専用品種



※ 錯乱したような状態になって激しい泳ぎ方をすること。

漁業資源の持続的な利用

44