

私たちの
そして世界の食生活を支える
育種技術
～未来への可能性を秘めた新旧技術～

1. 育種の歴史は人類の歴史

人は生きるために
植物の遺伝子の変異を利用してきた

“植物” から “作物” へ

トマトの野生種



果実は1cm程度

野菜の祖先は…

- ・ 小さい
- ・ 美味しくない
- ・ 毒がある
- ・ すぐに実が落ちる
- ・ いっせいに芽が出ない

現在のトマト



野菜は…

- ・ 大きい
- ・ 美味しい
- ・ 毒を気にせず食べられる
- ・ すぐに実が落ちない
- ・ いっせいに芽が出る

同じ野菜でも多くの品種＝多様性がある

トマトの“多様性”

形、味、香り、調理方法、
栽培地域、時期、流通しやすさなど、
消費者・生産者のニーズに合わせて
多くの品種が作られてきた。

普通のトマトと様々なミニトマト



生食用：
フィオレンティーノ
トマト



加熱料理用：
サンマルツァーノトマト



マイクロトマト
(赤囲み)

長い歴史を経て、今ある野菜が作られてきた

野生種

食べ難い
栽培し難い



栽培化

栽培して食べられる性質に変わったものを選ぶ

遺伝子が
書き変わる

作物

食べやすい
栽培できる



育種（品種改良）

生産者や消費者の要望にあった
性質に変わったものを選ぶ

遺伝子が
書き変わる

作物の 多様化

いろいろな
形、色、風味、
栽培特性など



美味しいおコメの代表コシヒカリができるまでの歴史



私たちが食べているコシヒカリも、
長い時間をかけて、**いくつもの変異を積み重ねて**作られている。

明治～昭和初期頃

昭和初期頃～昭和50年頃

昭和50年以降



そして、さらに様々なコシヒカリの
子どもや孫の品種が作られている。

コシヒカリ
昭和31年育成
(福井県立農事試験場)

あきたこまち	キヌヒカリ	きらら397
つがるロマン	つや姫	どんとこい
ひとめぼれ	はえぬき	森のくまさん
ミルククイーン	ゆめびりか	など

遺伝子を書き換える？

DNAの模式図



遺伝子は生命の設計図のようなもの。

私たち生物は数万の設計図を元に、身体が作られ、
体内で様々な反応が起きて、生命を維持しています。

その**設計図の一部**を少し書き換えることで、

形や色などの外見

病気や害虫への抵抗性

含まれる成分 など

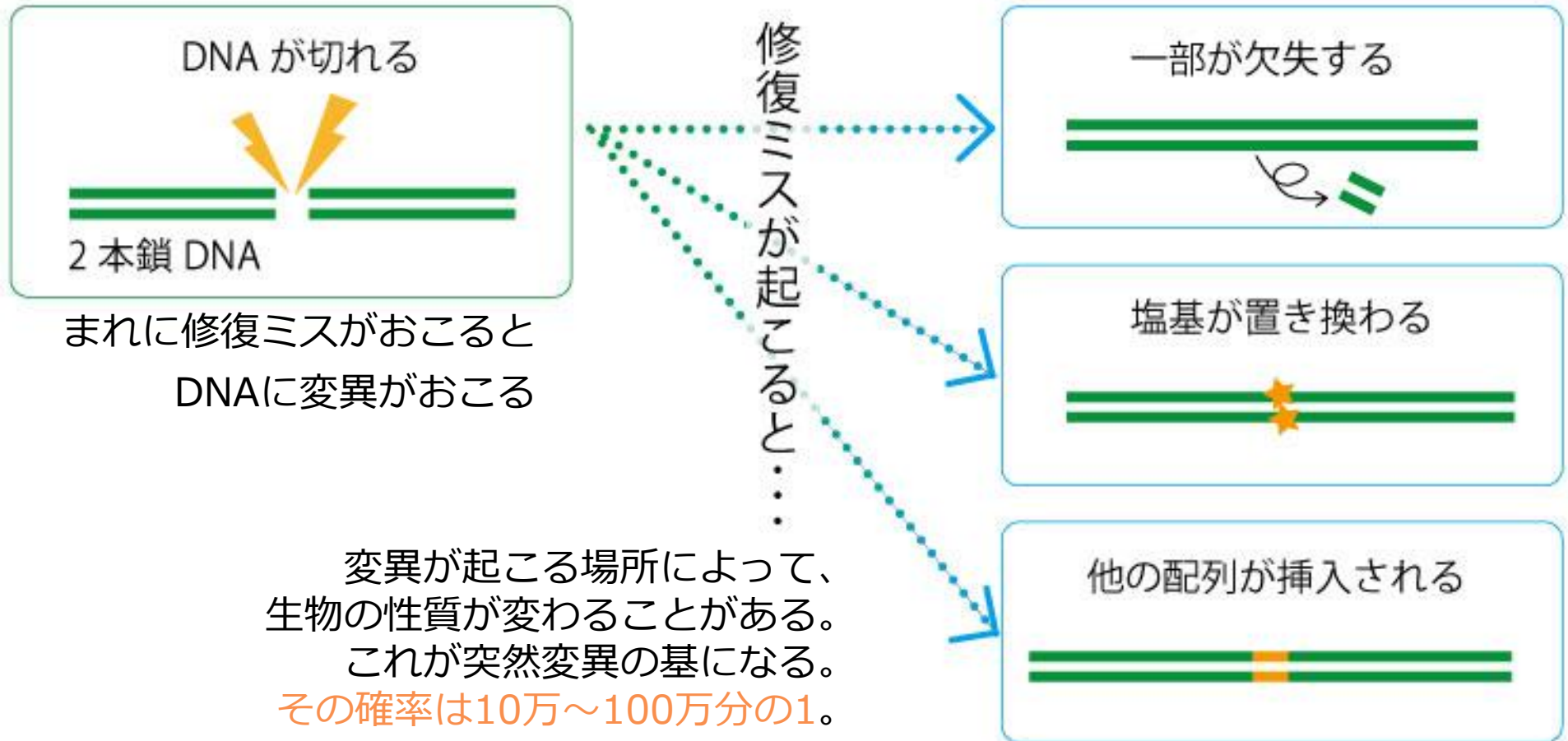
性質が変わることがあります。



これが**自然現象**として起こっているのです。

突然変異を利用した育種

様々な理由でDNAが切れることは、実は良く起こっている。
生物は切れても元通りにするが、たまに修復ミスが起こる。



その他、細胞分裂時にDNAのコピーミスが起こり、
突然変異が起こることもある。

突然変異で起こる遺伝子の書き換えりの例

例：イネの籾の落ちやすさ（脱粒性）



左：ジャポニカ型
（日本のおコメ）

右：インディカ型
（外国のおコメ）

イネのDNAの一部の配列

ジャポニカ型

A T T **T** C A

インディカ型

A T T **G** C A

この1文字だけで

粒が落ちやすい/

落ちにくい

の違いがでる。

例：受粉しなくても実になるナス
（単為結果）



突然変異体

受粉しなくても
実が大きくなる

普通のナス品種

受粉しないと実が
大きくならない

植物ホルモンの合成に関する遺伝子の一部
（約4,600文字分）が無くなると、
受粉しなくても実が大きくなるようになる。

2. 私たちが抱える 農業の様々な課題

これからの農業の課題

例えば…

異常気象



砂漠化や塩害

グローバル化



海外市場の開拓と
農産物生産

人口増加に伴う
食料増産



生産性（単収）向上や
農地拡大



平均気温
上昇による
果樹栽培
地域の変化

様々な環境や高品質高付加価値の
新品種を作ること、
これらの課題の解決に大きく貢献できる。

育種が抱えている課題 ー日本の問題

農業の担い手の減少・高齢化

年	2000	2010	2015
農業就業人口	389.1万人	260.6万人	209.7万人
経営主の平均年齢	61.1歳	65.8歳	66.4歳



育種が貢献できること

- 生産コスト、労力が軽減される
生産しやすい品種
- 若手が作りたい！と思う
農作物品種の育成

海外の遺伝資源の利用が困難に



野生種や栽培されなくなった
在来種は、農業上有益な遺伝
子を持っていることがある。

しかし・・・

- 気候変動や人間の経済的活動による
環境変化に伴う遺伝資源の喪失
- 遺伝資源を保有する国の主権的権利が認められ、相手国と利益配分について合意
が得られないと利用できない

問題解決に役立つ品種が早く欲しい！

時間がかかると
手遅れになることも…

長い

育種期間を
短縮する技術があれば…

効率よく選ぶ
効率よく変異を作り出す
世代を早くする

効率よく
問題解決に貢献するのが
育種の使命！

短い

温暖化など気象変動による
品質低下や生産の不安定化
国内での新規病害虫

農業生産の担い手不足

日本の農産物の消費拡大



育種の分野でも活躍が期待される“ゲノム編集技術”

○ゲノム編集技術は、新しい技術として注目され、最近では新聞やニュースでも取り上げられています。

○医療分野では、生殖医療、再生医療、難病治療など医療分野での応用が期待されています。

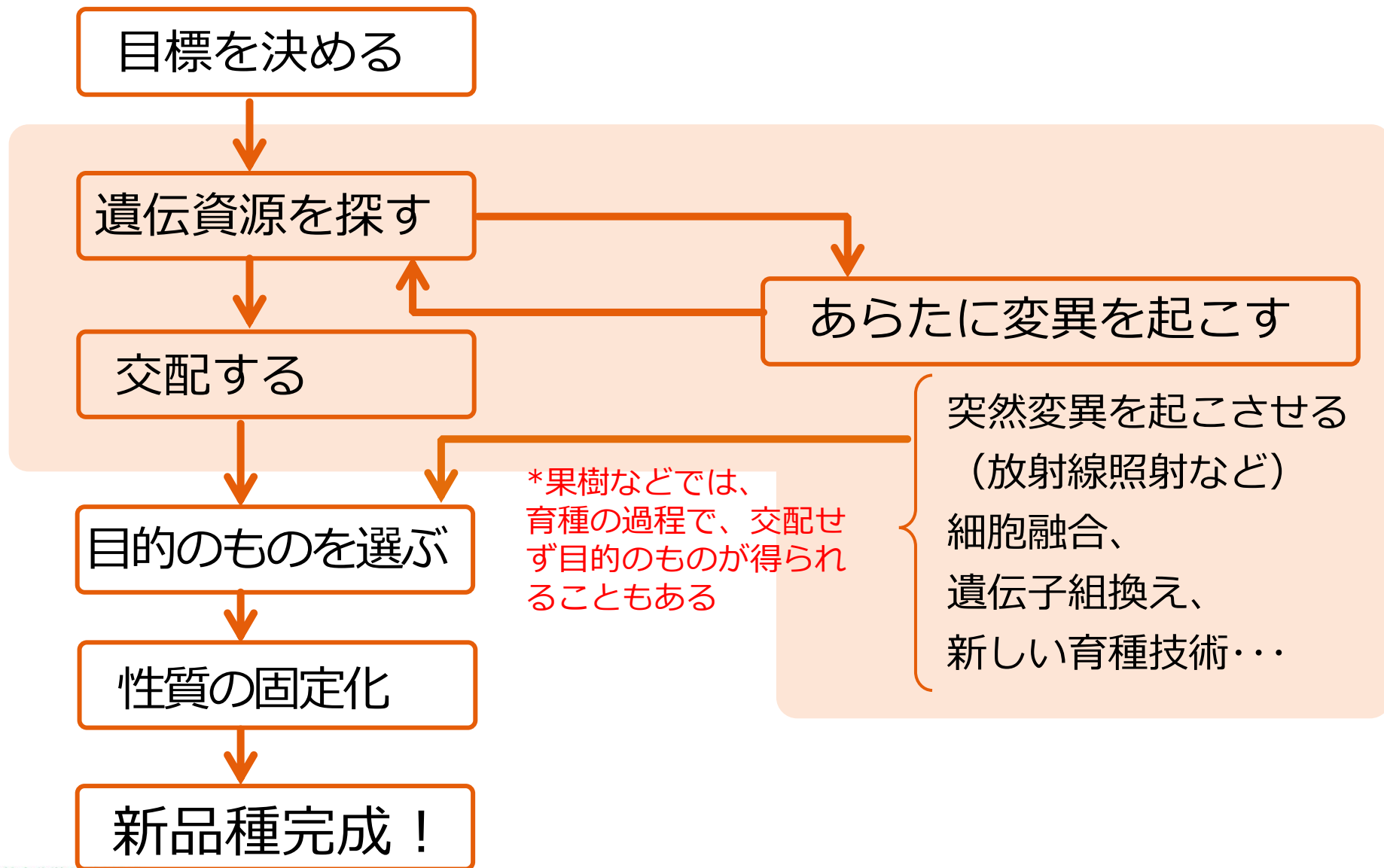
○ただし、遺伝子の書き換えができる技術であるため、特に生殖医療などでは研究や実用化に対しては倫理的対応が求められます。

○**農業分野では、新しい育種技術のひとつ**として、効率よく望む品種を作ることができるのではないかと期待されています。



3. そもそも育種って どのようなもの？

新しい品種ができるまで



遺伝資源を探す：目的にあった親品種を探す

育種では今ある品種を交配して新しいものを作ります。

交配の“親”になる品種は種苗会社やジーンバンクに大切に保管されています。



農林水産省ジーンバンク
種子庫の様子

種子だけで約22.5万品種

イネでおよそ3万品種

小麦で1.8万品種

トマトで1050品種

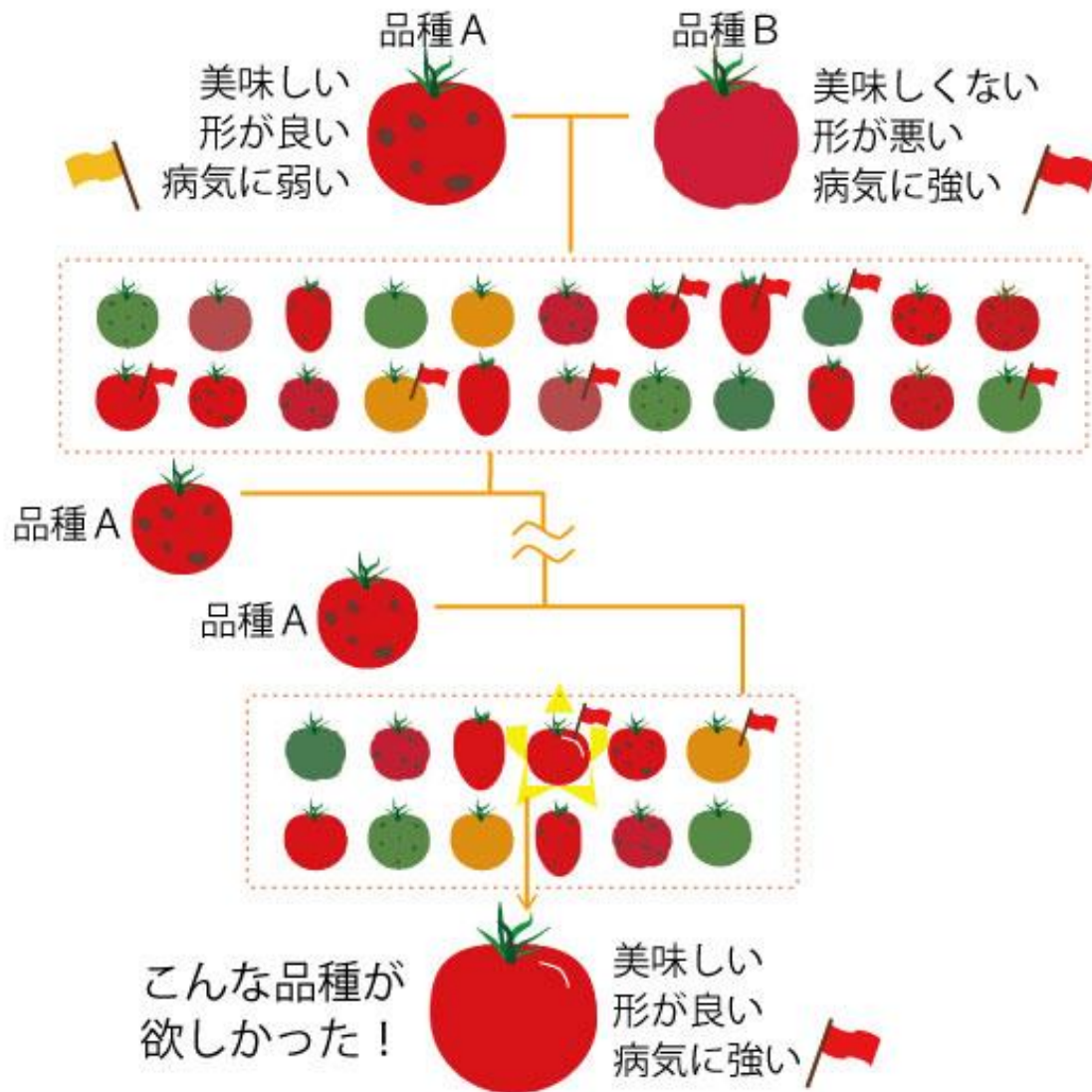
が左写真の低温種子庫に眠っています。



1つ1つの引きだしに、
ラベルのついた容器に入った
種子が並べられ、保管されている。



交配する：交配して新しい性質の個体を得る



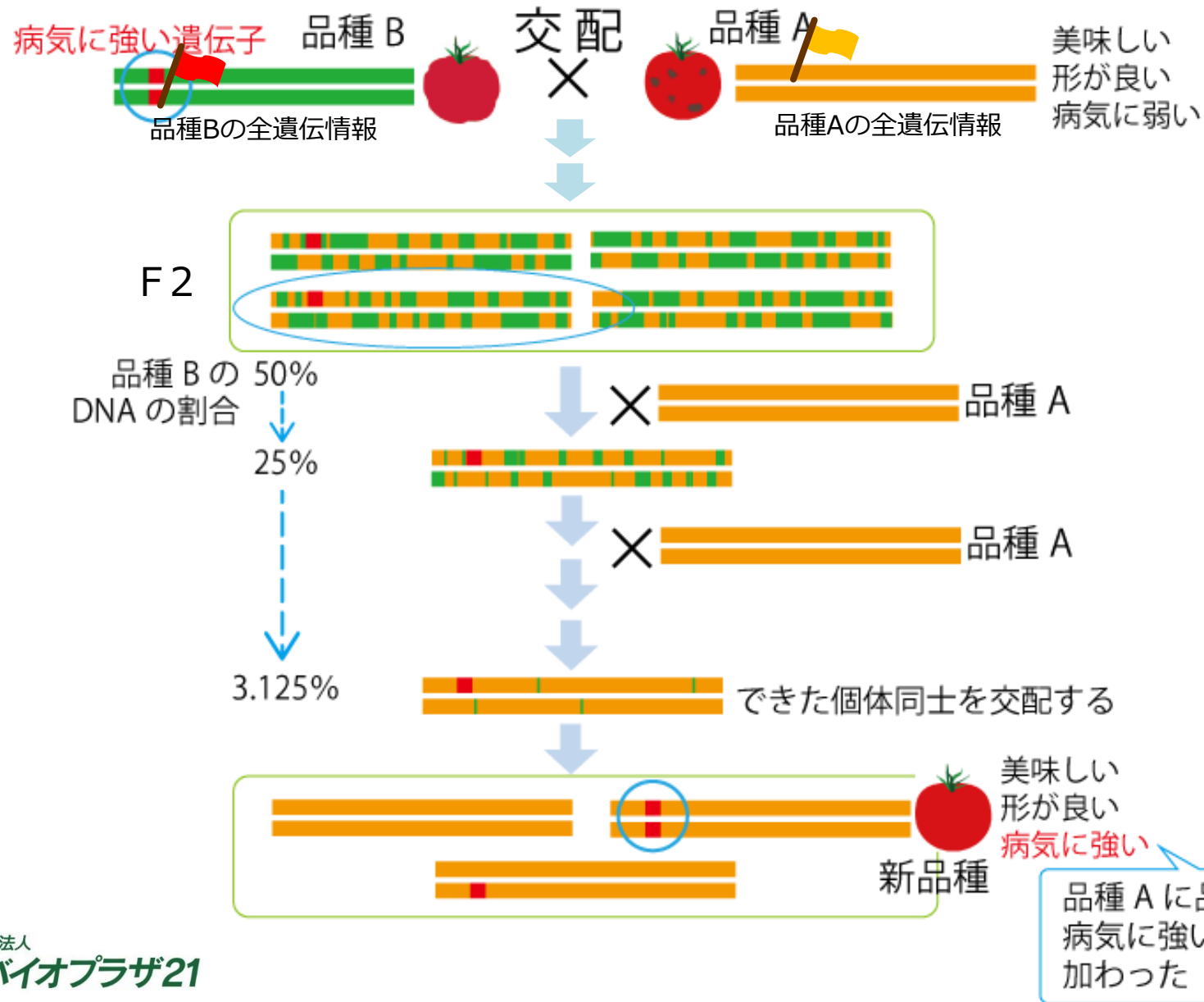
目的にあった親品種を選びます。

交配を繰り返し、
数万～数十万の個体が
できて、優れた個体を
選び出します。

5年以上
果樹だと50年かかることも！

最終的に選び出された新品種が、
私たちの食卓に上る。

戻し交配：他品種の遺伝子を組み込む方法



育種の現場：イネの場合



交配前のイネの除雄



イネの人工交配



写真：農研機構（現：岡山大学）山本敏央氏より

田んぼで選びます



室内でも選びます



最後は食べて選びます

写真：農研機構 竹内義信氏、安東郁男氏より

たくさんの「設計図」が解明されてきた

イネの設計図ファイル（染色体）は12冊。
育種に利用できる設計図（遺伝子）は
約100種類がデータベースに登録されている。

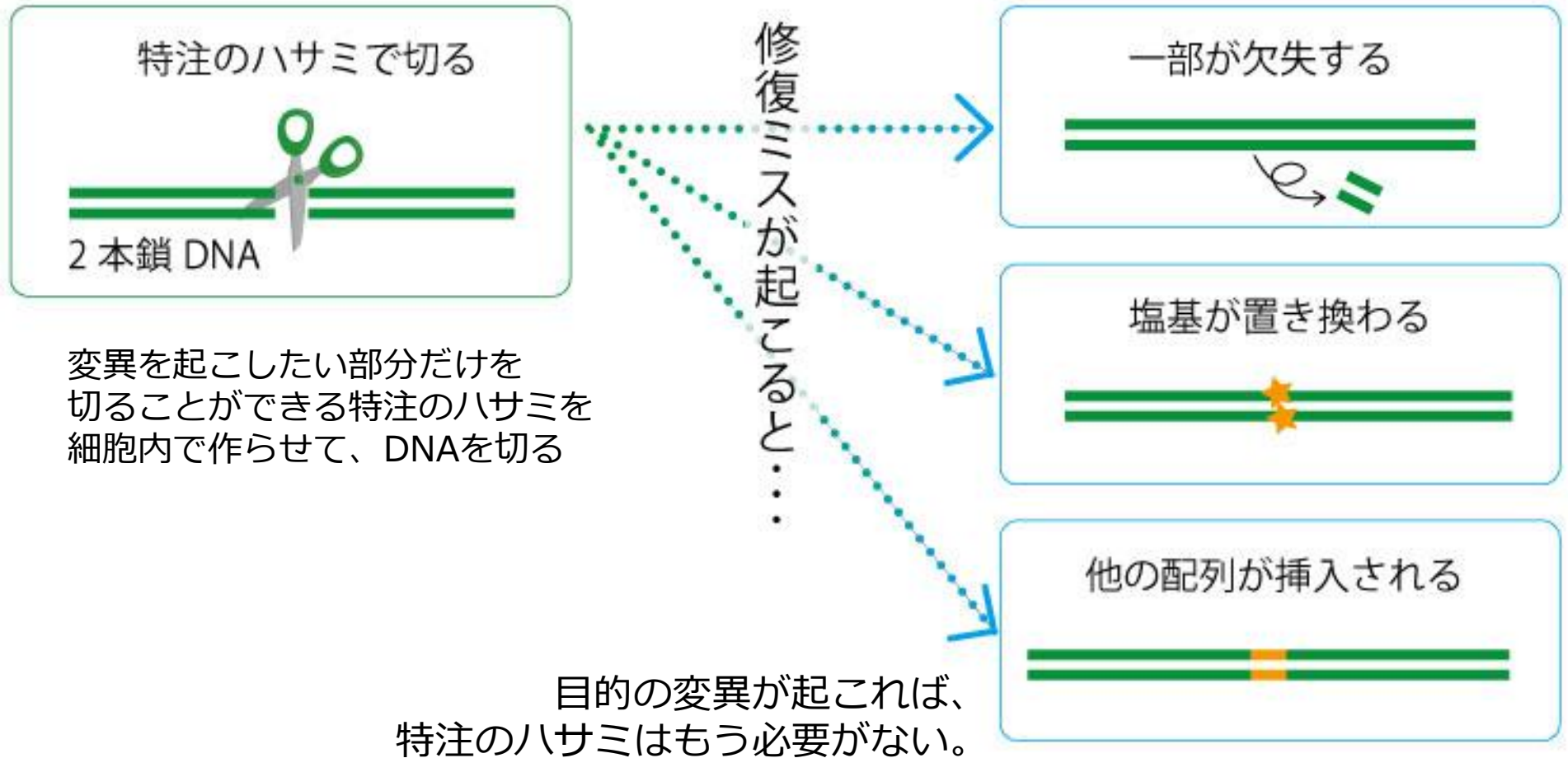
各ファイルにある設計図の例



4. 問題解決に大きな期待 「ゲノム編集技術」

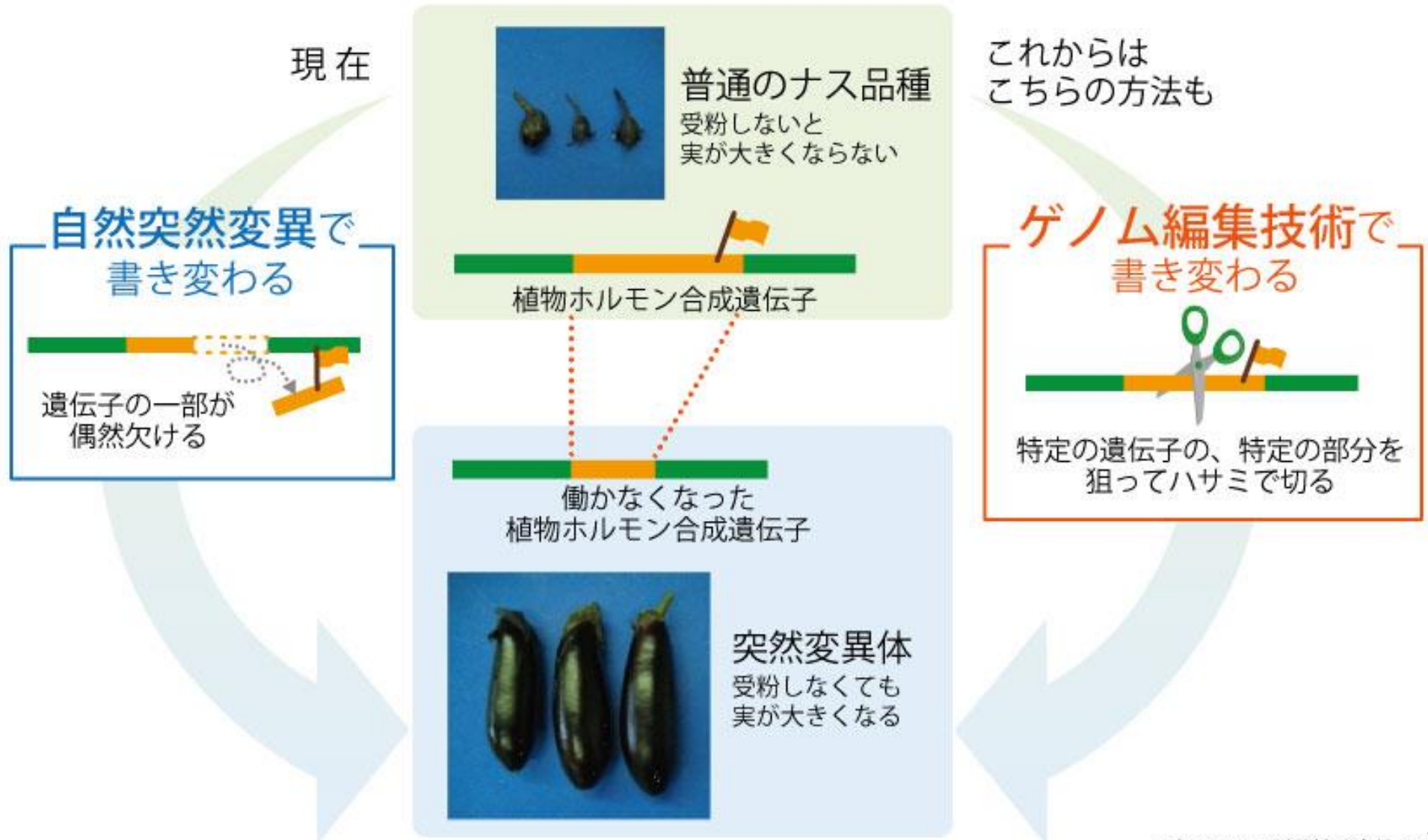
“偶然”を計画的に起こさせるゲノム編集技術

設計図が分かっているならば、計画的にDNAの書き換えができるはず。
偶然起こる変異を待たなくて良い。

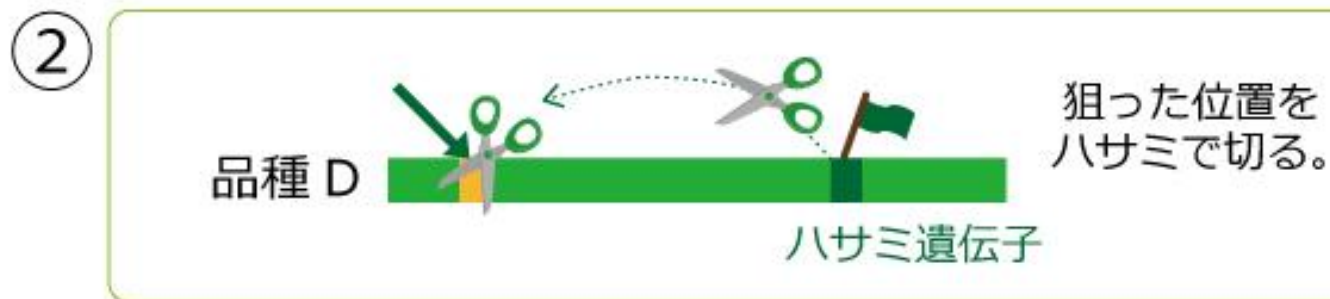


突然変異を計画的に起こせるゲノム編集

どの技術を使っても、最終的にできるものは同じ！

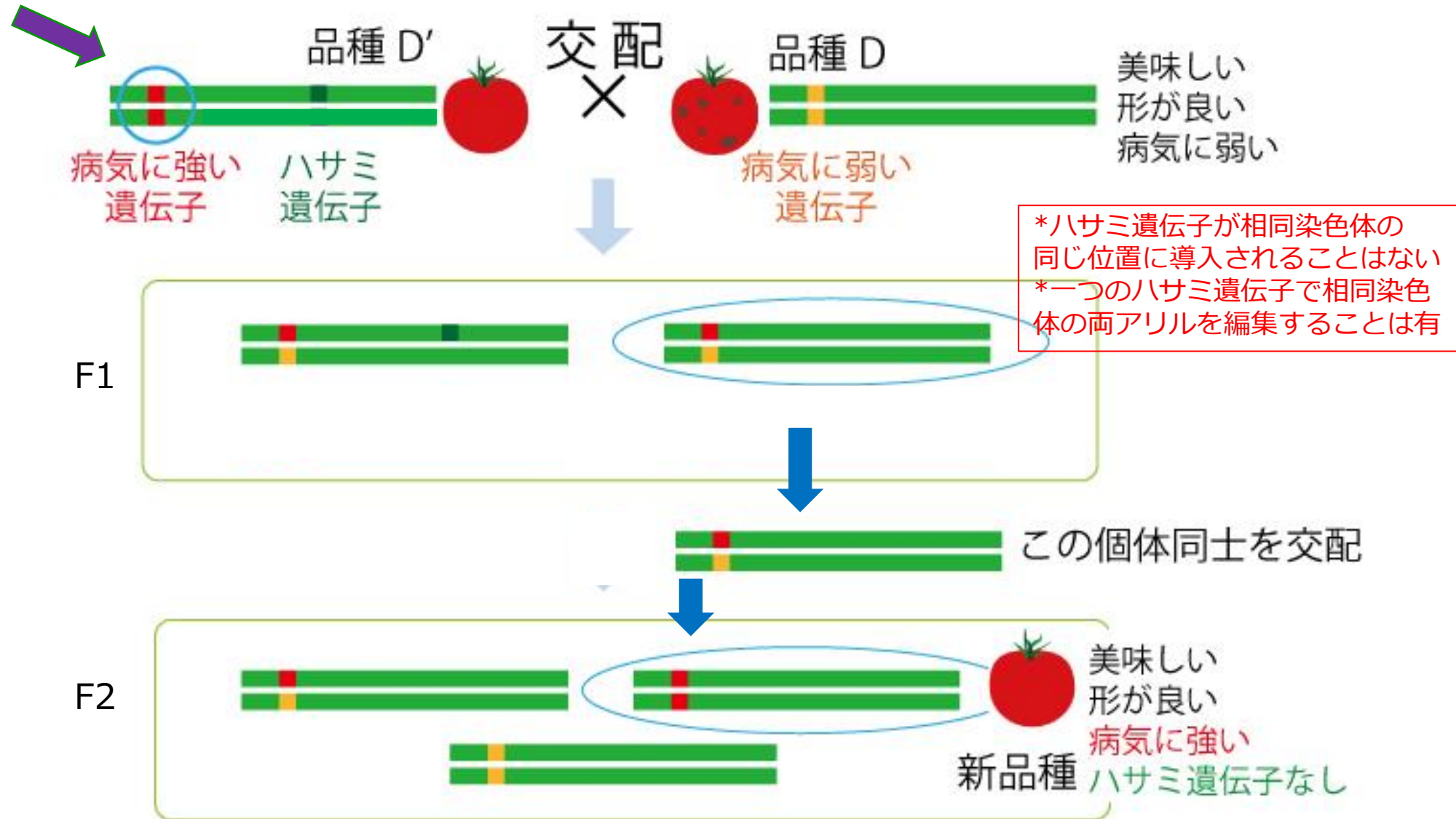


ゲノム編集：ハサミを道具に設計図を書き換える

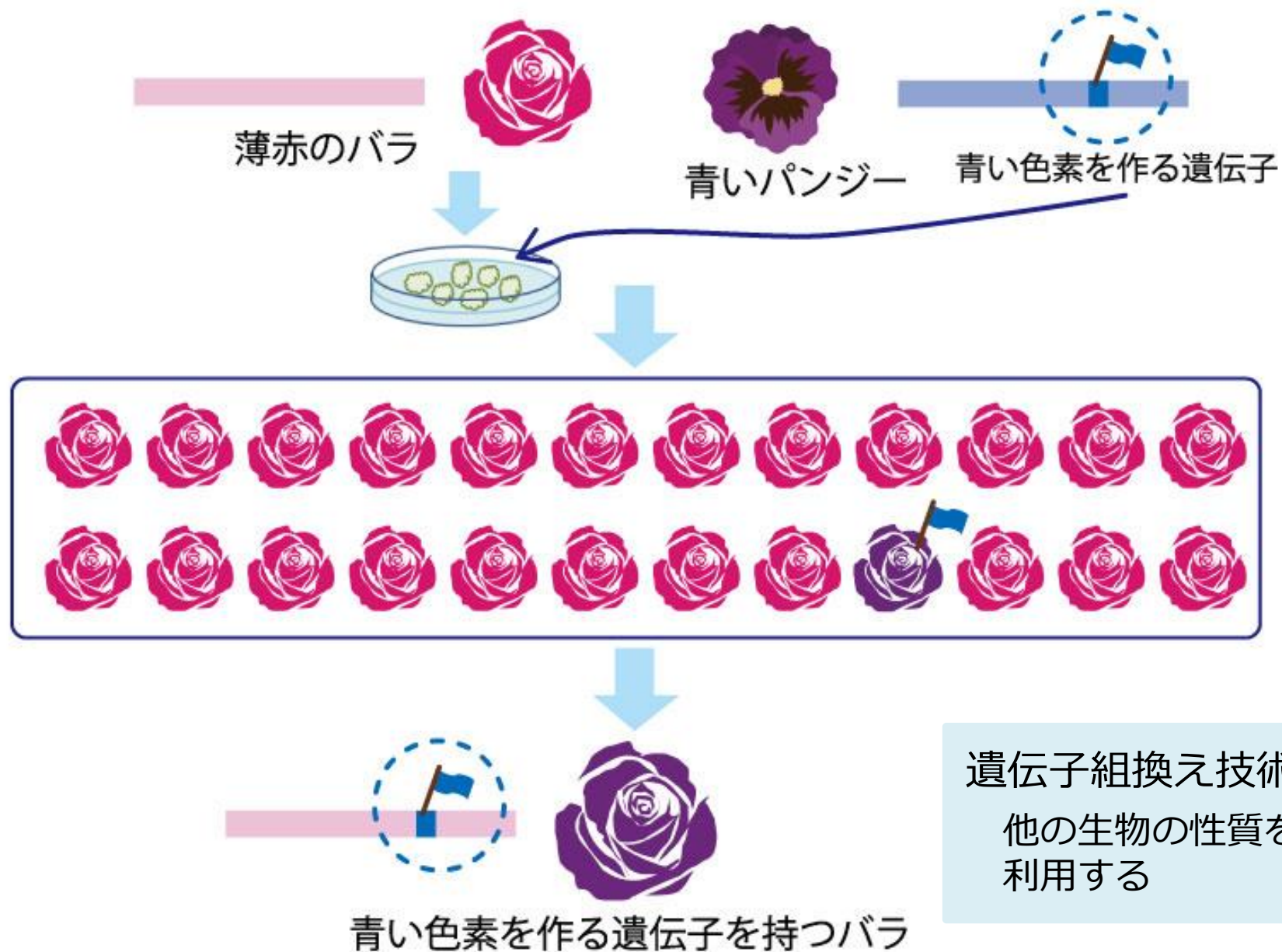


ゲノム編集技術：
その生物が持つ
性質を利用する

要らない道具ハサミ遺伝子は片付ける



他の生物の性質を利用する遺伝子組換え技術



遺伝子組換え技術：
他の生物の性質を
利用する

ゲノム編集と遺伝子組換えとの違いは？

	遺伝子組換えで できる作物	ゲノム編集で できる作物
目的	他の生物の遺伝子を利用する (新しい設計図を入れる)	その作物自身の遺伝子の 必要な部分だけ変える (設計図を少し書き変える)
従来の育種と 比較して	従来の育種では できないものも作れる	科学的には従来育種で できたものと同等
最終製品に 外来遺伝子が	残る	取り除くことができる

ゲノム編集と遺伝子組換えとの違い（詳細版）

	遺伝子組換え	ゲノム編集	従来育種
手法	主として他生物の遺伝子を挿入	狙った遺伝子を切断し、改変	在来種からの選抜。計画的な交配 放射線や化学物質により突然変異を誘導
DNAの変化	他生物の遺伝子を挿入するが、挿入位置は特定できない。	自己の特定の遺伝子の配列を変化させる。	親の遺伝子の組合せを変える。
安全性審査(規制)	食品衛生法、カルタヘナ法に基づく審査あり。	事前相談を経て、遺伝子組換え作物・食品でないことが確認されたら、審査不要。	審査は無い。
開発の担い手	多国籍大企業	規制の有無により、小規模企業や大学等でも可能	公的機関、種苗会社など
表示	原則として表示の対象	義務表示の対象としない。	なし
開発・審査費用	開発・審査に巨額な費用が必要	一般的に開発費用は少ないが、審査が必要になれば巨額な費用が生じる。	審査に関する費用は生じない。
普及状況	トウモロコシ、ダイズなどが日本の国土の5倍程度で栽培。日本は大量に輸入・消費している。	高GABAトマトの届出受理。毒のないジャガイモ、多収米などが日本でも開発中	国内外で普及
食経験 歴史・時代	20世紀の終わりから。	食経験は現在なし。技術は21世紀初めに登場	計画的な交雑育種は20世紀に入ってから
研究開発期間	8-10年	2-5年	5-20年

ゲノム編集技術のメリットは？

遺伝子工学を応用して、

育種の効率化
手間、時間、
コストを減らす

遺伝資源の活用
生物の潜在能力を
上手に利用

新しい育種技術

より良いものを
より早く
生産者、消費者へ

国内に今ある
品種・素材を
最大限に、
有効に活かす

国内外の
非常事態へ
すばやく対応

国内種苗会社の
新規参入による
育種の活性化

本当にはさみ遺伝子は残らないの？

- ・ 本当に残らないの？

→理論的には、何回も交配してはさみ遺伝子のないものを選べば残りません。また様々な方法で残っていないことを確認しています。ただし、はさみ遺伝子のほんの一部が残っている場合、どこまで正確に確認できるかは分かりません。そこで現在、どこまで小さな断片まで確認できるかを実験で確認しています。

本当にはさみ遺伝子は残らないの？

- ・ 確認はできるの？

→外から導入したDNA（設計図）の情報は分かっているので、はさみ遺伝子のDNAは確認できます。

しかし、完全に取り除かれると調べても確認できません。

また、はさみの遺伝子のほんの短い断片が残っている場合、元の作物のDNAの並びに似ているかもしれません。

そういう場合ははさみ遺伝子の残りなのか、作物のDNAなのかの区別がつかないことが予想されます。

食べても安全なの？

- ・そもそも遺伝子組換え作物って安全？

→そもそも「安全」とはということでしょうか。遺伝子組換え作物の環境への影響、食品や飼料としての安全性は従来の非組換え作物の環境への影響や安全性が科学的に同程度と評価されたものを安全としています。

→商業的に流通しているものは、今ある科学的知見を総動員して、その安全性を確認されたものです。

食べても安全なの？

- ・ゲノム編集で出来た作物は食べても安全なの？

→最終的に流通する品種の食品としての安全性は、理論的にはこれまでの育種技術で作られた品種と同等に安全であると考えられます。

しかし、新しい技術で作った品種については、新たなリスクはないかなどを含め、個別に慎重に科学的な検討を行い、その知見を積み重ねていくことが大切と考えられます。

ゲノム編集技術で取り組んでいる事例 GABA高含有トマト（高付加価値）



世界の人々の健康維持に貢献できる野菜を作りたい！

ゲノム編集で、GABA合成に関わる遺伝子を書き換える。

**GABA濃度が従来品種よりも
高蓄積されたトマト**

GABA（ γ -アミノ酪酸）は、一定量を摂取することで、血圧が高めの人の血圧を下げることに役立つと期待されている。

大玉トマト（約200g）に250mg程度のGABAを貯めることができれば、1日あたり1切れのトマトを食べることで、効果が期待される量のGABAを摂取することができる。



ゲノム編集技術で取り組んでいる事例 GABA高含有トマトの開発

トマト

- 世界中で栽培、消費
- 農作物別の世界の年間生産量11位（約1億7千万トン（2014））
- 研究が比較的進んでいる野菜
- 全遺伝情報（設計図ファイル）が解読済み
- 設計図の役割が解明されていないものも多数

GABA（ γ -アミノ酪酸）

- ほ乳類の脳の神経伝達物質の1種
- 脳代謝改善薬としても利用（～3g/日服用）
- 10-20mg/日の摂取により、血圧が高めの人への血圧降下作用、リラックス効果が期待
- GABAを比較的高濃度に含む発芽米やチョコレート、コーヒー等が販売
- トマトは比較的多くのGABAを含有（30-60mg/100g）

現在のトマトより高濃度のGABAを含むトマトが出来れば、

- ・世界中の人たちの健康維持
- ・高付加価値トマトの生産による生産者の収入増に貢献できるのではないかな？

ゲノム編集技術で取り組んでいる事例 GABA高含有トマトの開発

GABAが健康に良いと期待されたため、GABA合成に関する様々な研究が始まる

トマトでもGABA合成酵素を発見
トマト果実でのGABA蓄積に関する遺伝子も発見

トマトのGABA合成酵素遺伝子を書き換えれば、GABA高含有トマトができるのでは？

遺伝子組換え技術により、書き換えた遺伝子が働くと
GABAの蓄積量が増加することを確認

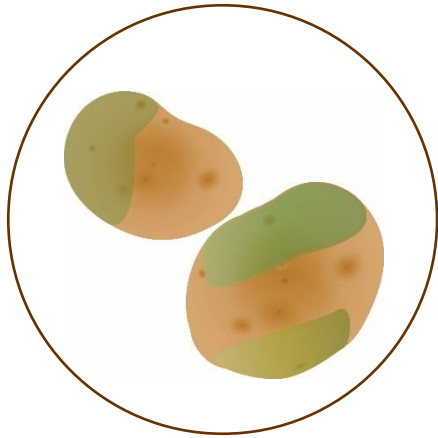
ゲノム編集技術で遺伝子の書き換えをすれば、従来の品種改良よりも効率よく
GABA高含有トマトが作れるのでは？

GABA高含有トマトの作出に成功！（約125mg/100g、研究用トマト）

これから・・・実用化のための準備

実用化に適した栽培方法や品種をつくる、規制当局への相談など

ゲノム編集技術で取り組んでいる事例 食中毒リスク低減ジャガイモ（食のリスク低減）



ジャガイモの芽や緑色の部分にはソラニンという毒素が作られ、食中毒の原因となる。

ソラニンの合成過程で働く酵素
遺伝子にゲノム編集で変異を起こす

目標：ソラニンを
ほとんど作らない
ジャガイモ



ジャガイモによる食中毒発生の状況

年	発生件数	摂取者数	患者数
2014	3件	223人	106人
2013	3件	38人	9人
2012	3件	62人	28人
2011	1件	47人	5人
2010	3件	82人	42人

ゲノム編集技術で取り組んでいる事例 養殖しやすいマグロ



マグロの天然資源の枯渇。
稚魚同士の共食いや衝突死などが原因で養殖でも
卵から3年以上かかって成魚になるのは約半数だけ。

ゲノム編集で、行動変化に関わる
遺伝子に変異を起こす。



目標：養殖しやすいマグロ



マグロが国際自然保護連合
により絶滅危惧種に指定さ
れました。天然のマグロが
消え行く中、完全養殖の技
術も進んでいるものの、卵
から成魚になる確率を上げ
る必要がある。

減少の原因となる共食いや不意の光で驚いて衝突死する
などの行動に関係する遺伝子を書き換えられると、
おとなしく養殖しやすいマグロになると考えられている。



ゲノム編集技術で取り組んでいる事例 肉厚のタイ



- ・ 作物や家畜のように品種改良が進んでいない魚類
- ・ 魚類の天然資源の保全
- ・ 魚類の品種改良には多くの労力・費用・時間が必要

ゲノム編集で、タイやフグの
スピード育種を実現。

目標：肉厚のタイ

- ・ **陸上で養殖**するので海の生態系に影響を及ぼさない。
- ・ 加工品として出荷し、漁業の**六次産業化**をめざす。



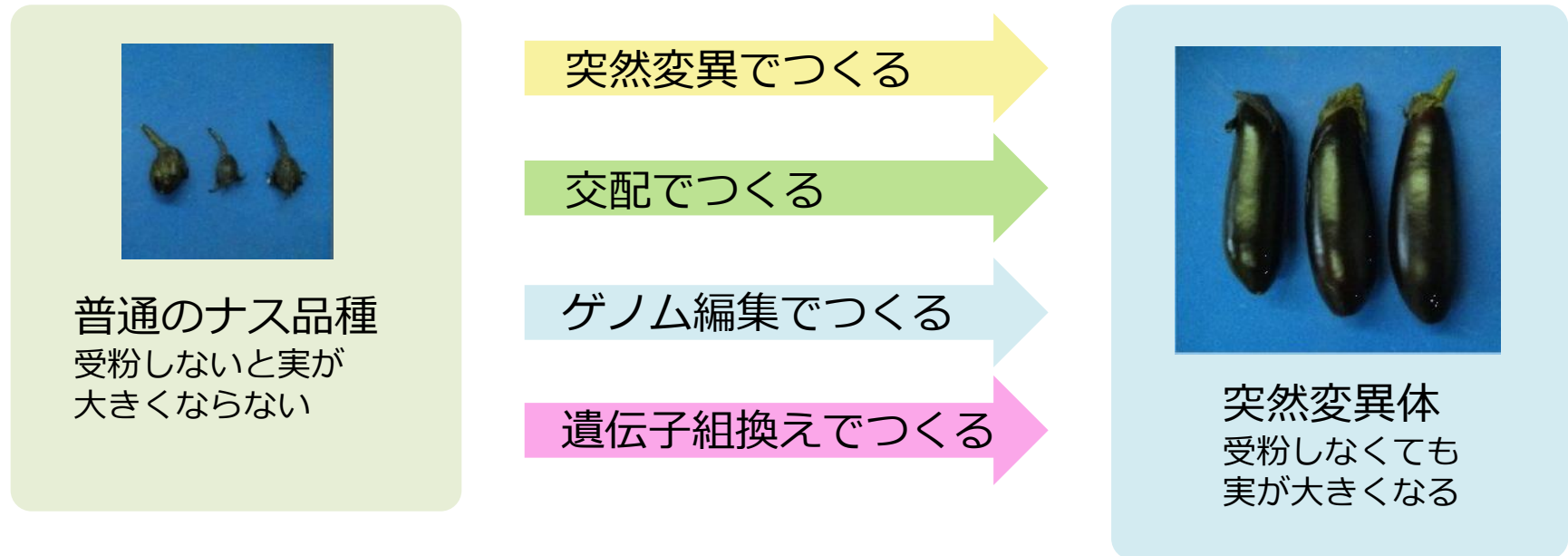
写真提供 京都大学 木下政人氏

国内での開発状況

対象	形質	主な開発者	社会実装の状況
トマト	GABAを多く含有	国立学校法人 筑波大学生命環境系	2018年 サナテックシード（株） 2020年 届出受理（厚労省）
タイ	肉厚	国立学校法人 京都大学	2019年 リージョナルフィッシュ（株）
マグロ	養殖しやすい	国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水産技術研究所	
イネ	超多収	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構	
ジャガイモ	天然毒素	国立学校法人 大阪大学大学院工学研究科	2018年 ジャガイモ新技術連絡協議会設立
鶏卵	くすりの成分を含む	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 バイオメディカル研究部門他	

適材適所 技術は目的に合わせて選んで使う

ケースバイケースで技術を選び、目的を達成する。



使える選択肢は多いほうが良い！

遺伝資源があるか？
遺伝子の情報があるか？
どのような性質の品種を作るか？
緊急度合いは？

より良い技術の使い方の議論を

これまでの技術も、新しい技術も、
問題解決を目指して、どのように使えば良いのか？
考えてみませんか

