

聞いてみよう！
食を支える品種改良技術
～新しい育種技術と安全性～

筑波大学 生命環境系 大澤 良

於 東京大学農学部・フードサイエンス棟
地上1階「カフェアグリ101」



これからの食料供給が直面する課題

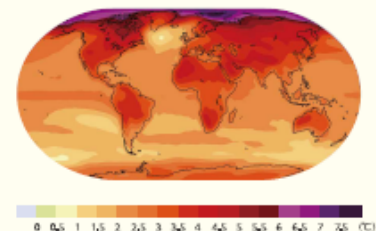
安定的な食料供給をおびやかす可能性がある要因は様々です

今後人口は大幅に増加します

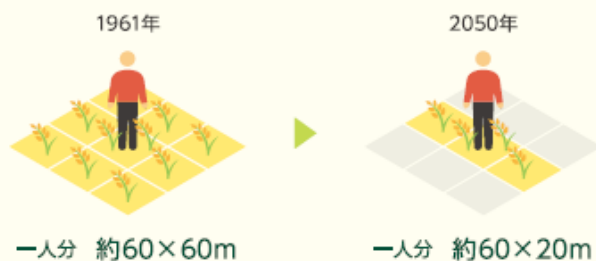


気候変動により、栽培環境の悪化が予想されます

1980～1999年から
2090～2099年における
年平均気温の変化



一人分の食料生産に使える農地は減少します



食料生産(農業)に使える水資源が減少します



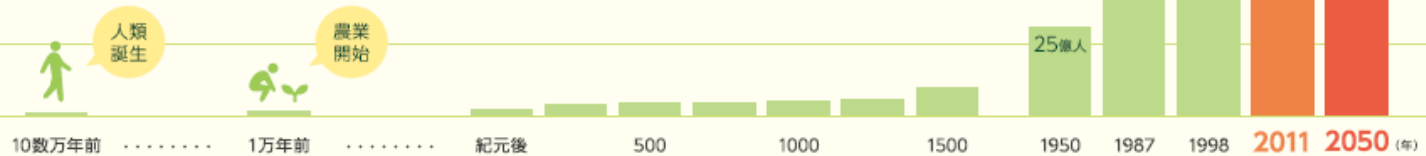
出典: (左) United Nations, World Population Prospects: The 2017 revision (右) パンフレット「STOP THE 温暖化 2008」(環境省) (<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/stop2008/04-09.pdf>) を加工して作成



品種改良の目的

人口増加と食生活の変化への対応に品種改良が貢献しています

世界人口の推移

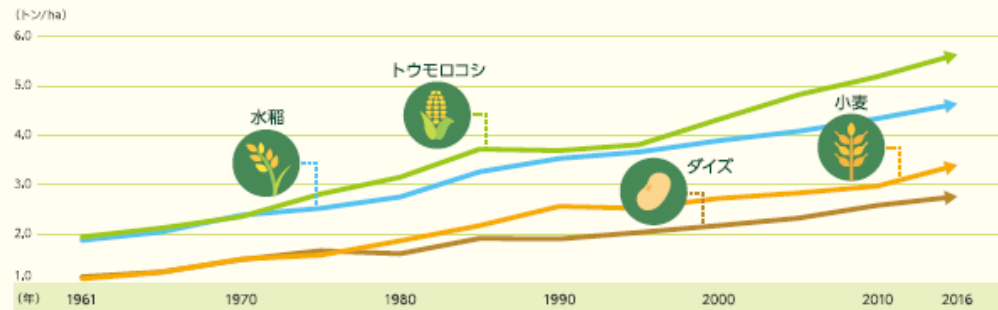


品種改良による品質の向上



品種改良による生産性の向上

単位面積当たりの収量



制作：日本モンサント株式会社 監修：筑波大学つくば機能植物イノベーション研究センター 協力：国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 生物機能利用研究部門

品種改良の原点

すべての品種がいまみられるような完全な、また有用なものとして、突然に生じたとは想像できない。

実際、いろいろの例で、品種の歴史はそのようなものではないことが、わかる。

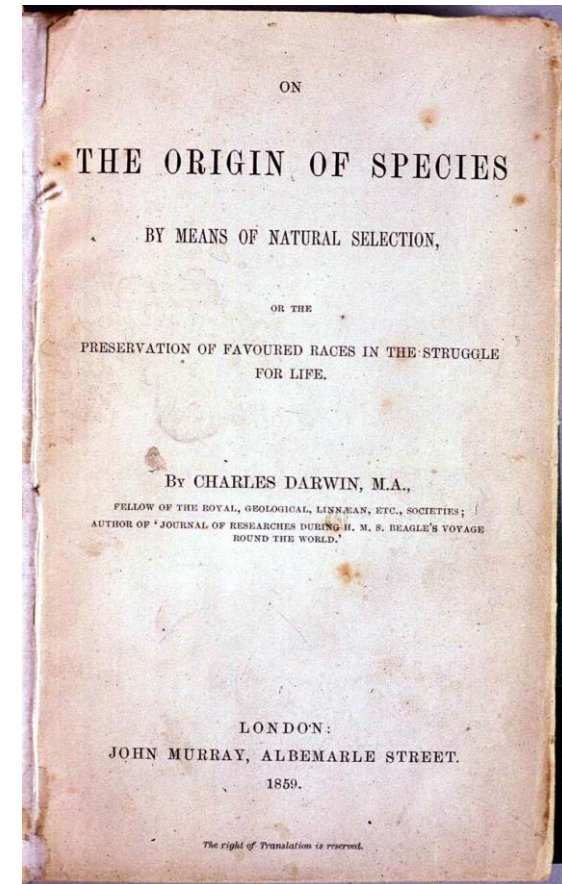
その鍵は選択をつみかさねていくことができる人間の能力にある。

自然は継起する変異をあたえ、人間はそれを自分に有用な一定の方向に合算していく。

この意味で、人間は自分自身に役だつ品種をつくりだしていくのであるといえる。

Charles Darwin 1859. (種の起源, 八杉竜一訳)

育種が食料生産に果たしてきた役割



人間は自然突然変異を利用して人間に有益な作物家畜を作ってきた！　ダーウィン

野生種



難裂莢性

統一した登熟時期と発芽時期

短い生育期間

滑らかな種皮 (無毛性)

無毒性

少量の種子、大きな果実

易裂莢性

ばらばらな登熟時期と発芽時期

環境に応じた生育期間

種皮上のとげまたは毛

毒性物質の産生(防御能力)

大量の種子、小さい果実

栽培



栽培化

いくつもの遺伝子の変異が関わっている

栽培化したものが雑草化するのは一般的にあり得ない

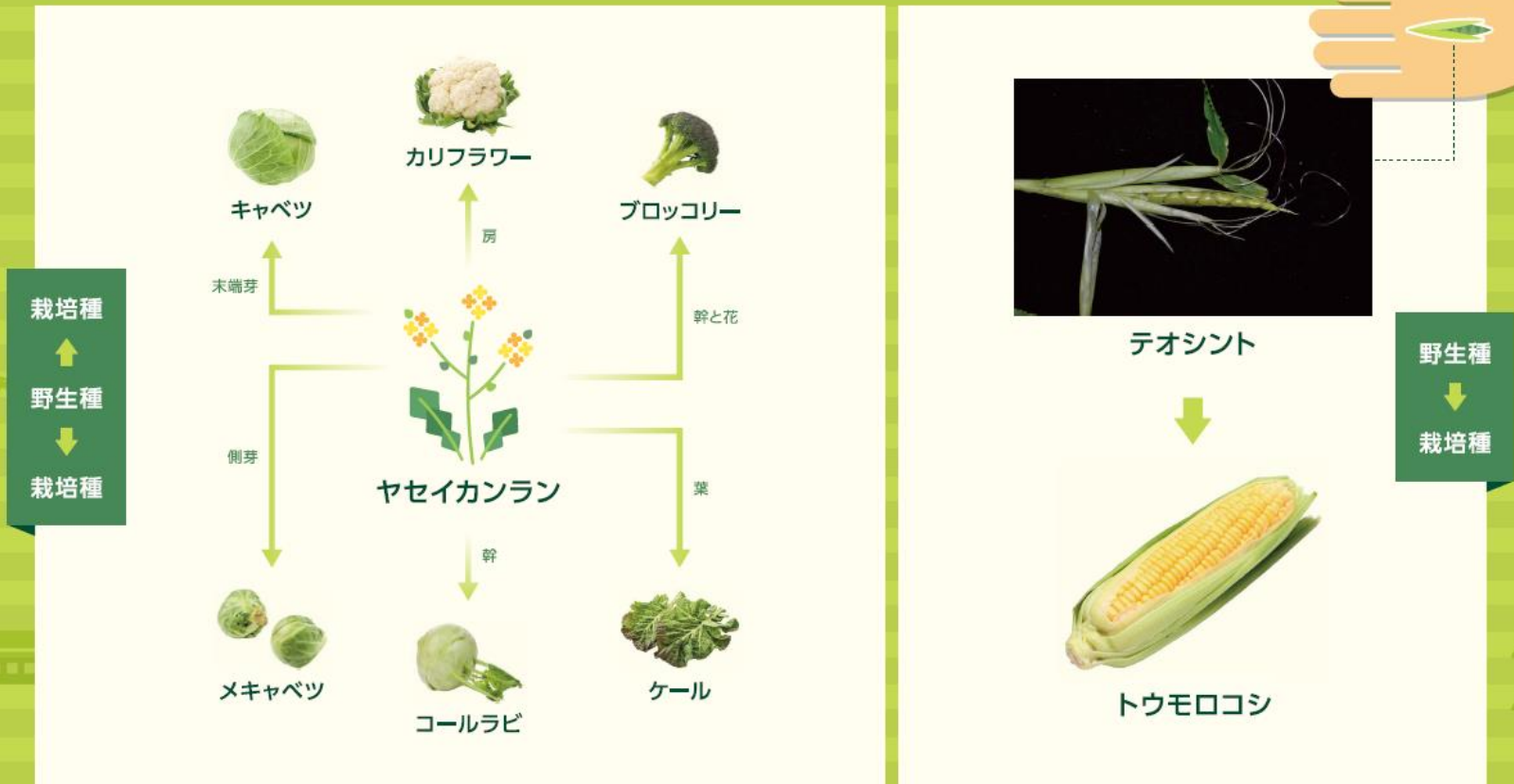
栽培種





野生種から現在の作物への変遷

今の野菜・穀物は野生種からこんなに変わってきました

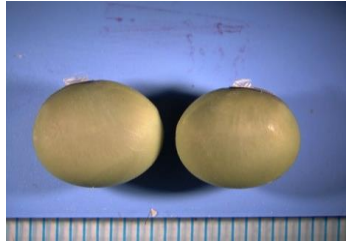


写真提供：テオシント／国立科学博物館

作物の巨大化



ツルマメ



ダイズ

ハマダイコン



野生のリンゴ



Setaria viridis



Setaria italica

アワ



育種 (breeding) とは？

生物を遺伝的に改良して新しい品種を作成すること

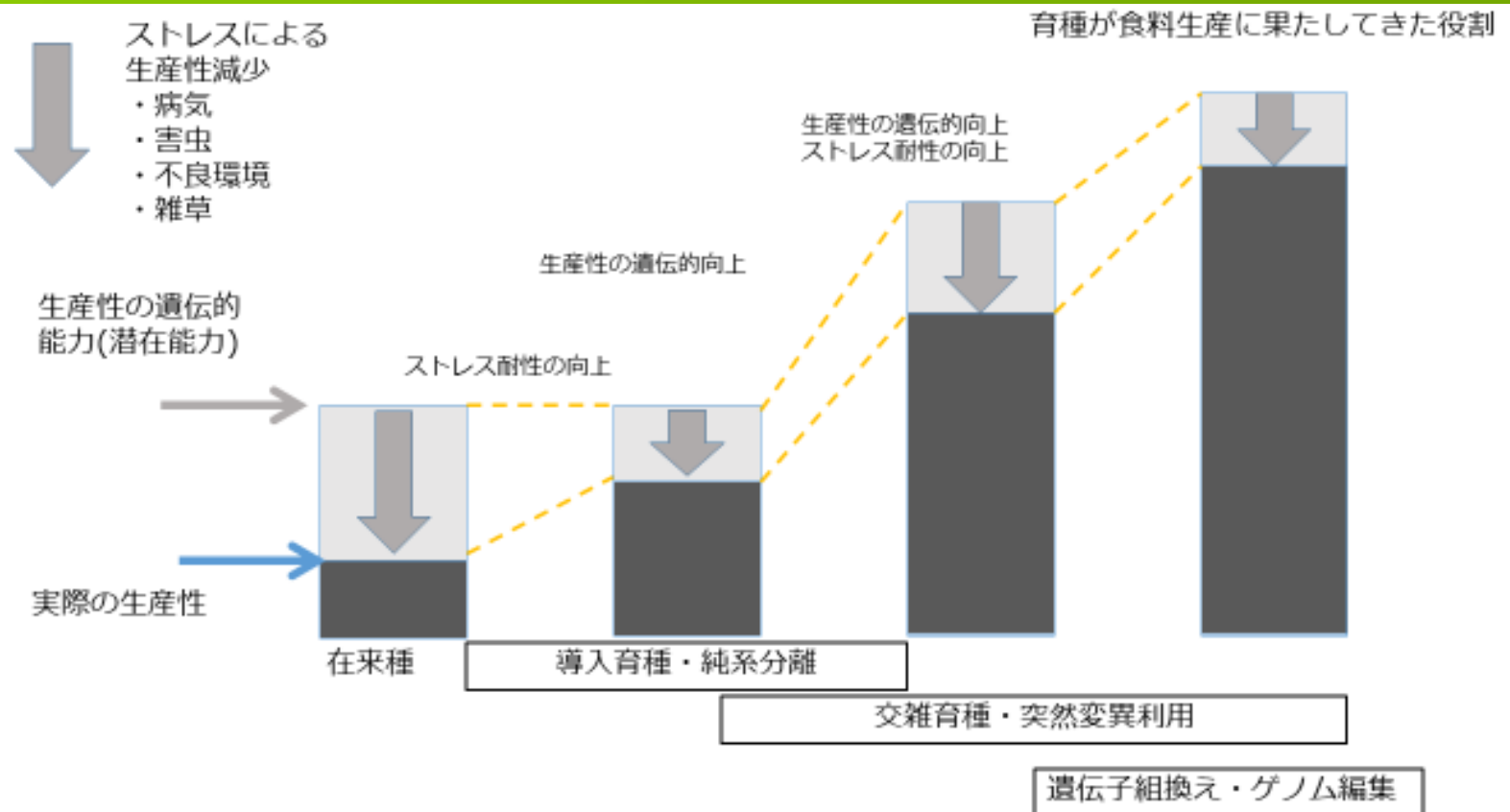


図1 生産性の向上に関する育種の効果



品種改良の歴史

12,000年前

農耕のはじまり

安定的な食糧供給のために、農耕を始めた。

人類は古代から様々な品種改良技術を発展させてきました

1900年

メンデルの法則の再発見

メンデルがエンドウマメで示した親の持つ特徴が規則性を持って子孫に伝わることで再評価された。

交雑育種の発展

交配できる品種同士をかけ合わせ、より良いものを作る(選ぶ・選抜する)品種改良が発展。

1910年代

F1雑種強勢育種のはじまり

異なる品種間の雑種(F1)が両親に比べ優れた性質になること(強勢)を利用した品種改良が開始。

1920年代

突然変異育種のはじまり

放射線や薬剤などを用いて突然変異によって特徴(形質)を変化させる品種改良が開始。

現在から将来

ゲノム編集

目標とする遺伝子をピンポイントで改変して、作物がもともと持っている特性を改良する技術の研究開発が進められている。

1996年

遺伝子組換え作物の流通

交配できない生物からの遺伝子を活用した遺伝子組換え作物の商業栽培が開始。

1960年代

緑の革命

稲・小麦などの高収量品種の開発、化学肥料の使用などで穀物収量を飛躍的に増大させた農業技術の革新。

1953年

DNAの構造の解明

ワトソンとクリックにより、DNAの二重らせんモデルが発表された。DNAが遺伝情報を担う物質(遺伝子)であることの強い証拠となった。

品種改良(育種)の3原則

★ 遺伝的変異の創出・拡大
品種改良の素を作る

★ 希望型の選抜・品種化
欲しい性質を効率よく選び出す

★ 品種の維持・増殖
性質が変わらないように増やす

変異を生み出す方法

- 交雑
- 遺伝資源利用
- 突然変異利用
- 種間交雑
- 遺伝子組換え
- NPBT(ゲノム編集など)

変異誘発方法は育種の一部である。

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。



普通のナス品種
受粉しないと実が
大きくなならない

突然変異でつくる

交配でつくる

ゲノム編集でつくる

遺伝子組換えでつくる

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？



突然変異体
受粉しなくても
実が大きくなる

使える技術は多いほうが良い！

誰のための品種改良？

育種が食料生産に果たしてきた役割

美味しい
身体にいい
甘いトマト・メロン
涙の出ないタマネギ
ソラニンのできないジャガイモ
花粉症に効くイネ
青臭くないダイズ
カラフルな野菜
低アミロース米
カフェインレス茶
高カテキン茶
etc

多収性
耐病性
耐虫性
早晩性
除草剤耐性
ストレス耐性
(乾燥、冠水、低温、土壌 etc)

日本では
食糧生産に直結する育種は理解されにくい
機能性改変は消費者に魅力的

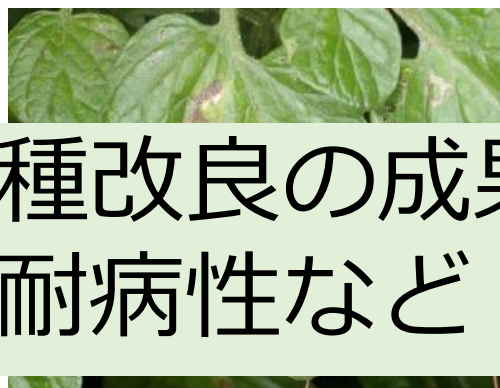
品種改良の成果

消費者メリット





疫病菌

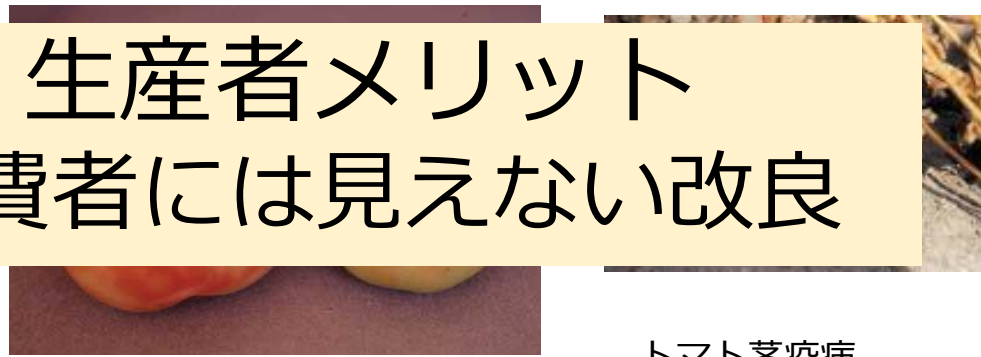
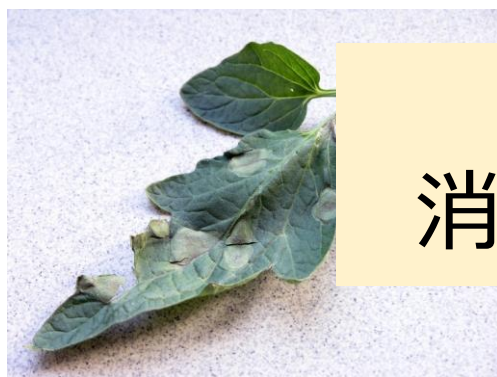


輪紋菌



トマト潰瘍病

品種改良の成果 耐病性など



トマト茎疫病

生産者メリット 消費者には見えない改良

抵抗性遺伝子は近縁野生種や突然変異を利用する



作物の品種改良の 成果 高温耐性など

のコメ 実力急上昇

品種改良 暑さに
「おいしいコメ」を「コシヒカリ」。そんな「神
ある。九州を北海道が、ぐんぐん実力を上げている
は安いコメの代表格だったが、日本穀物検定協会
「食味シンケン」で、次々に最優秀シニア入り。その
された。新品種だ。コメの消費が低減するなか、産地
て売り込みを狙うが、話はそう簡単でもないようだ。

銀座三越（東京都中央区）にある「食味シンケン」
コメ専門店「米屋太朗」4月。毎年、全国から
旬「一番立つ種」で、高級シニアに
として知られる南魚沼産コシヒカリの優秀な穀物の
（新潟）を並んで、佐賀県産の「さ
がびより」が売られていた。2月第
表の食味シンケンで、8年続けて
最上位の「特A」を占めた。
九州を北海道の認知度は高ま
っている。上位のコメを食べ比べた
いという人も増えていきます」と店長。全体の約4分の
の消費額が伸び、ランキン産地も、熊本県も、森の

生産者・消費者メリット 消費者には見えにくい改良



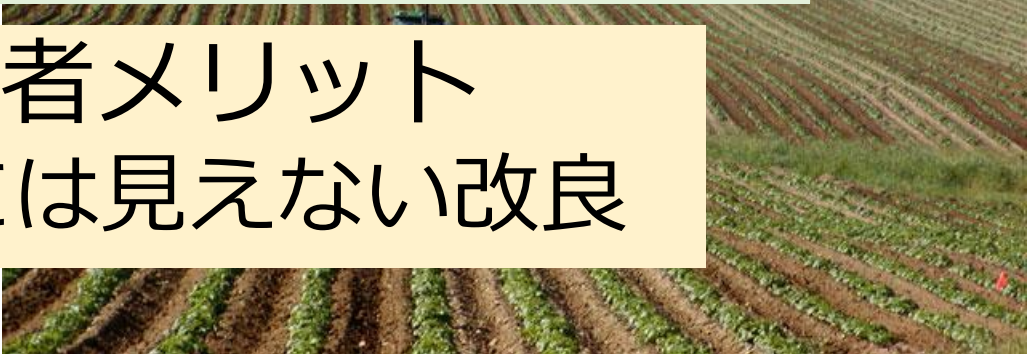
耐暑性遺伝子は在来種や突然変異を利用する



広大なトウモロコシほ場 in
USA

品種改良の成果
耐虫性・除草剤耐性など

生産者メリット
消費者には見えない改良



耐虫性遺伝子は昆虫遺伝子を利用する
除草剤耐性遺伝子は微生物の遺伝子を利用する

世界で1億人以上の子供がビタミンA欠乏の影響を受けている。
その結果、毎年200万の子供達が死に50万の子供が失明している。

品種改良の成果 栄養性向上など

消費者メリット

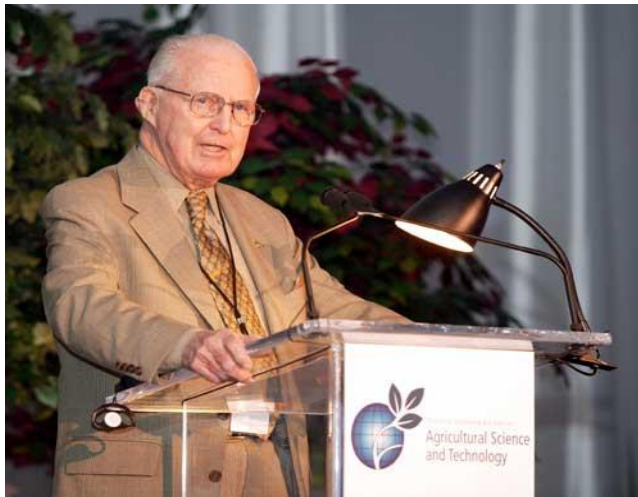
ビタミンAの前駆体であるβ-カロテンを内胚乳に含有するため精米された米が黄色を呈する

Bカロテンの産生ははじめスイセン、次にトウモロコシの遺伝子を利用する

緑の革命（Green Revolution）とは何か？

- ・ ロックフェラー財団，フォード財団，発展途上国

飢餓からの開放



コムギ Norman Borlaug

緑の革命の父

矮性遺伝子の利用

CIMMYT

ノーベル平和賞1970



Mankombu Sambasivan Swaminathan (born 7 August 1925) is an Indian geneticist and international administrator, renowned for his leading role in India's "Green Revolution".



絵画にみる緑の革命以前のコムギやイネの姿

穀物の収穫（ピーテル・ブリューゲル）

ミラクルライス IR8



新品種：倒伏し
ないで高収量

古い品種：収量性の潜
在性はそこそこ高いが
倒伏する→低収量

古い品種：収量性
は低い不倒れない

sd遺伝子を交配育種で導入

草丈が低く倒伏しにくい。収量性は高い。

ひとつの遺伝子（**s d 1**）による大いなる成果

自然に生じた変異の利用

古代人の“緑の革命”

～イネにおける“緑の革命”遺伝子の人類への貢献：近代育種と栽培化～



日本型栽培イネ
「日本晴」

野生イネ
Oryza rufipogon

インド型
栽培イネ
「Kasalath」
“緑の革命”で
育成された
インド型
栽培イネ
「IR8」

図1 今回実験で使用したイネの写真と *SD1* 遺伝子のタイプ。

Artificial selection for a green revolution gene during japonica rice domestication

Kenji Asano^{a,1,2}, Masanori Yamasaki^{b,1}, Shohei Takuno^{c,3}, Kotaro Miura^{a,4}, Satoshi Katagiri^d, Tomoko Ito^d, Kazuyuki Doi^e, Jianzhong Wu^f, Kaworu Ebana^g, Takashi Matsumoto^h, Hideki Innan^c, Hidemi Kitano^g, Motoyuki Ashikari^g, and Makoto Matsuoka^{a,5}

イネの*sd1*遺伝子は、ジベレリン合成系のGA20酸化酵素の機能損失により、ジベレリン合成量を低下させる劣性遺伝子である

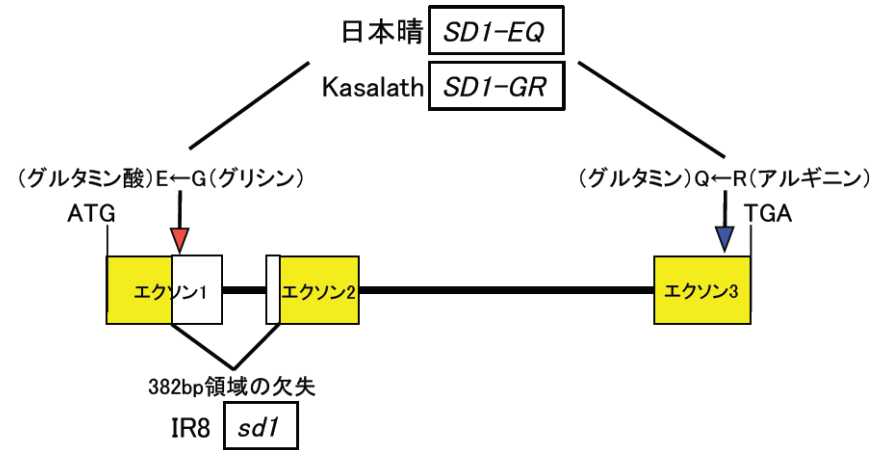


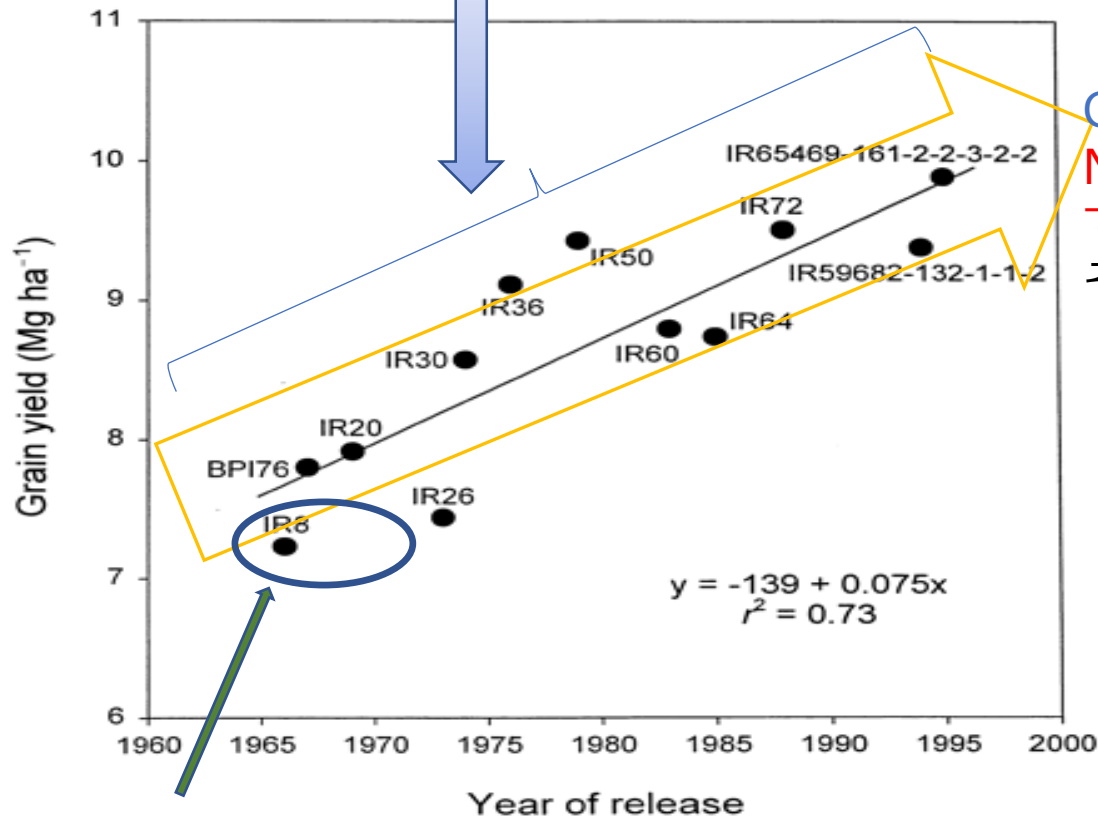
図2 “緑の革命”に貢献したタイプ(*sd1*)と「日本晴型 *SD1*」タイプ(*SD1-EQ*)は変異した場所が異なる。古代人は、「日本晴型 *SD1*」をもつ草丈の低い個体を選抜し、日本型栽培イネの成立に貢献した。

特定の遺伝子
領域の関与

- 遺伝子領域の変異
- 新たな対立遺伝子の登場
- 選択

PNAS (2011) 108 : 11034-11039

これが育種之力



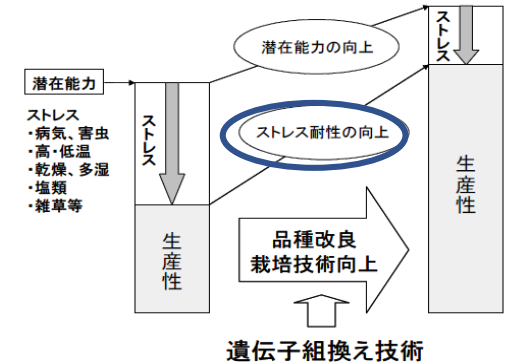
半矮性遺伝子(sd 1)の導入

突然変異の集積
いくつかの遺伝子がこの増収に関わっているのか？

GMで出来ること？

NPBT(New Plant Breeding Tech.)
で出来ること？

それぞれの貢献の可能性を見極める



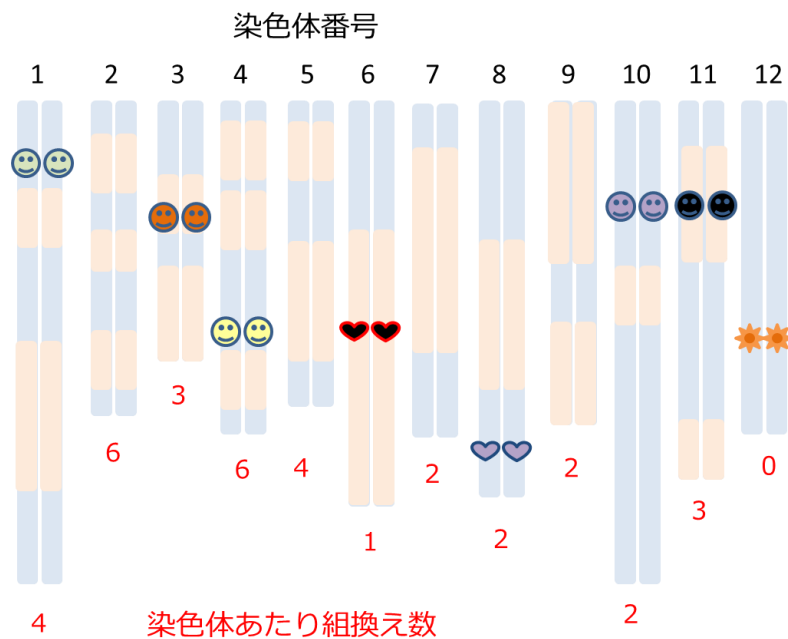
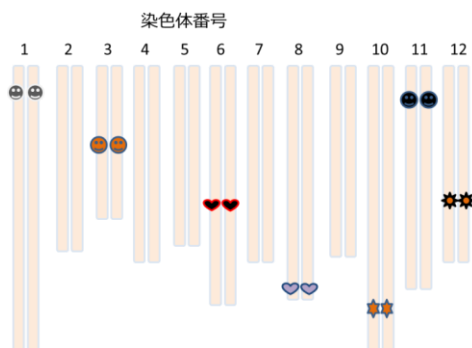
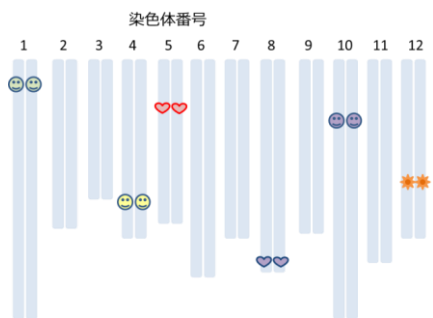
(新名、1999を改変)

図2 生産性の向上に関する模式図

交雑育種



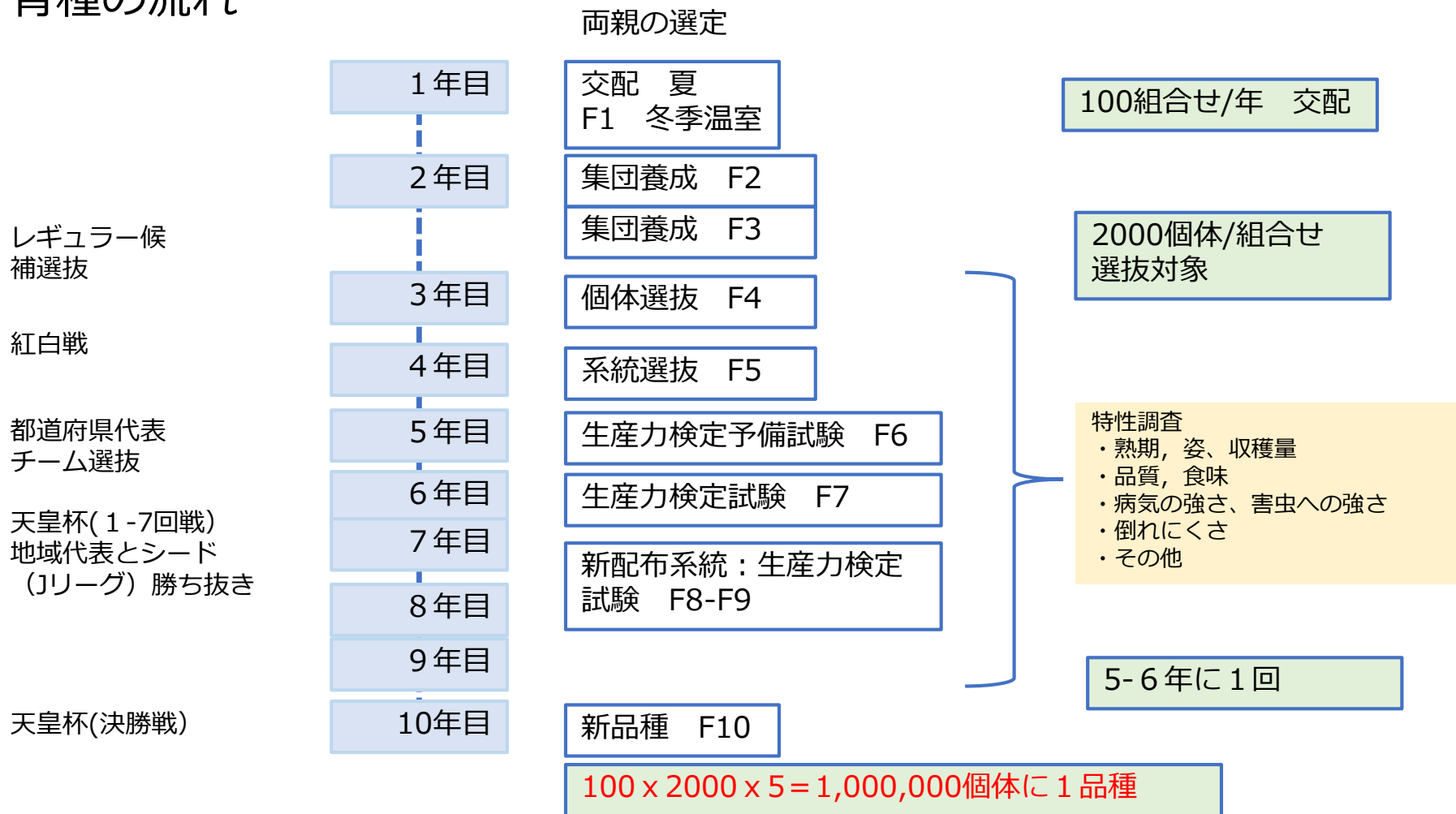
×



ゲノムをシャッフルして新しい組合せに期待する
複数の形質の改変が可能

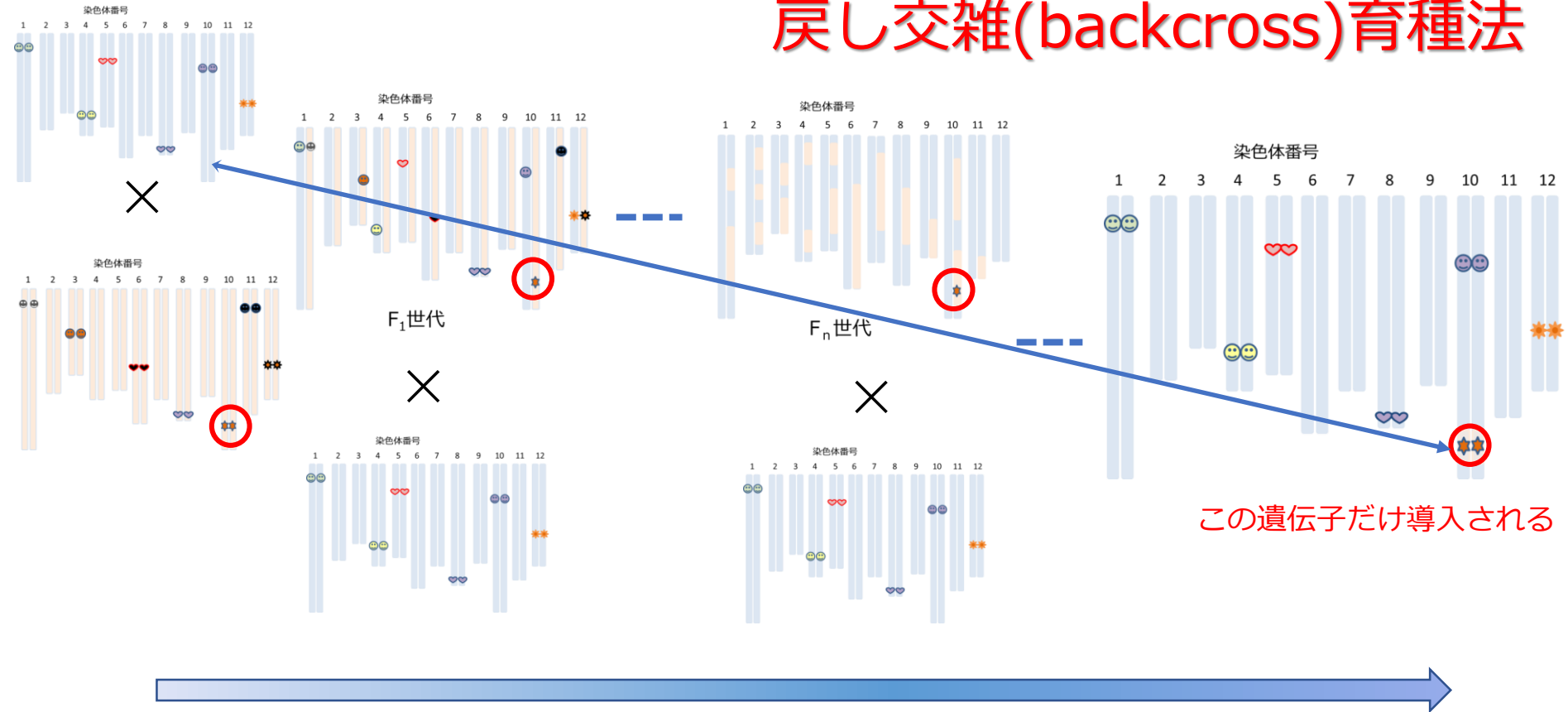
育種は変異を作りだす一方で、それらのほとんどを捨てる作業である

育種の流れ



100万個体にひとつが品種として世に出る。
それ以外の「不要な個体」は淘汰され世に出ない。

戻し交雑(backcross)育種法





代表的な品種改良技術

- 好ましい遺伝子
- 好ましくない遺伝子

人類は昔から野菜・穀物の遺伝子を変えてきました

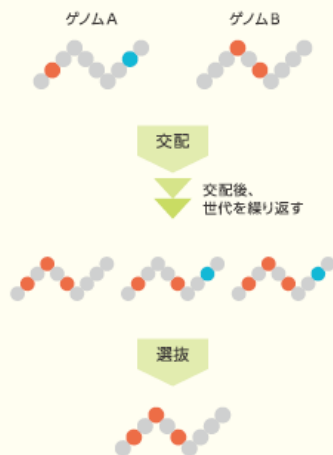
手法



交雑

機能

交配できる品種同士を掛け合わせて、双方の遺伝子の組み合わせを変える



強み

複数の遺伝子に関わる特性の改良



突然変異

放射線や薬剤などで、ランダムにDNAの配列を切断し、自ら修復する際に起こる変異を利用する



もともと持っている単一の遺伝子に関わる特性の改良



ゲノム編集

狙った遺伝子だけを切断し、自ら修復する際に起こる変異を利用する



もともと持っている単一の遺伝子に関わる特性のピンポイントの改良



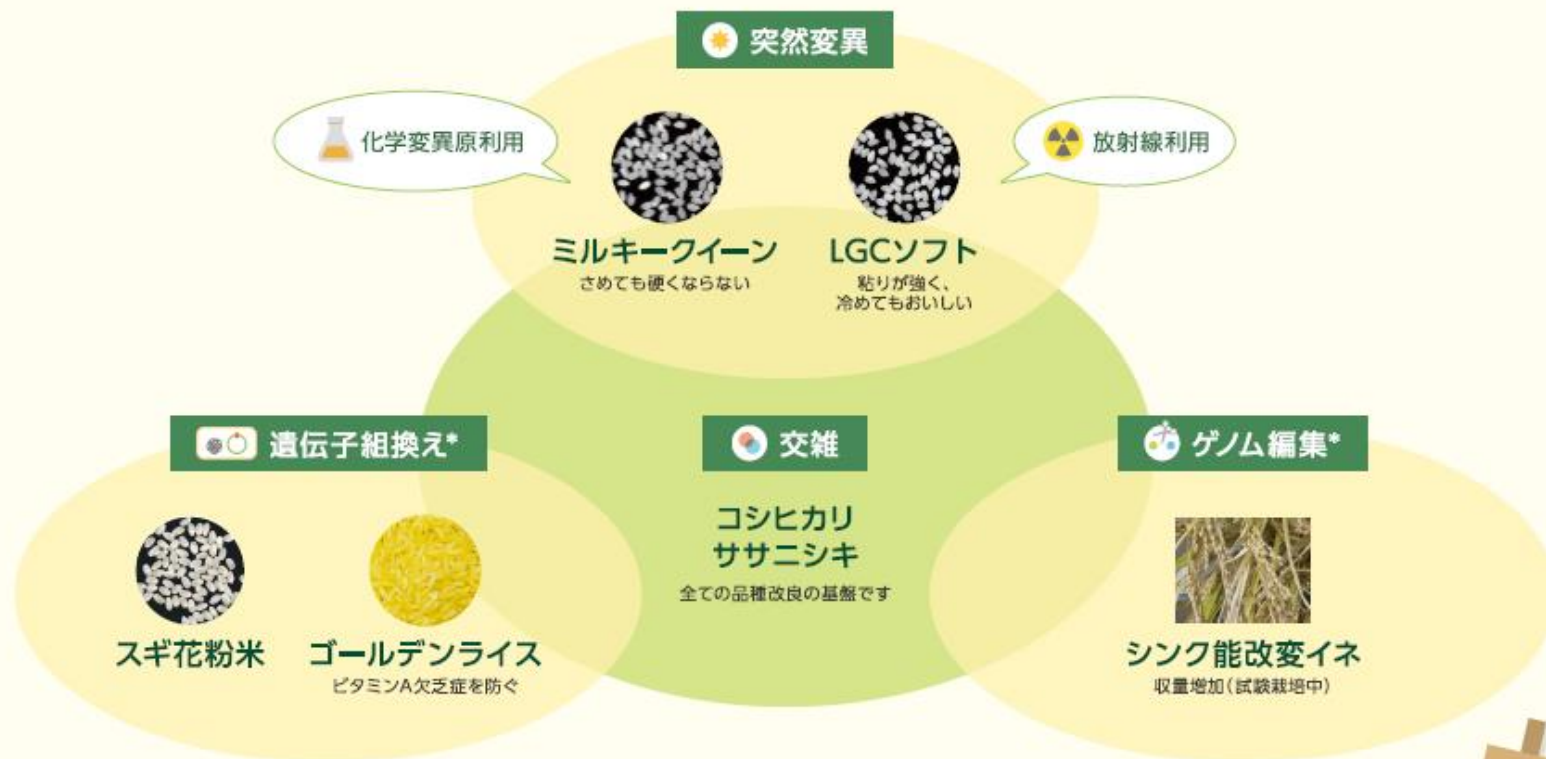
遺伝子組換え

交配できない生物から単一の遺伝子を組み込む



交配できない生物からの遺伝子を活用した特性の改良 (遺伝資源の多様化)

日本人の主食であるコメは、特に品種改良が盛んで、多様な技術が使われています



注* 遺伝子組換え米、およびゲノム編集米の事例は開発中のものです

写真提供：スギ花粉米、シンク能改変イネ／国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 ゴールドンライス／【写真】Photo (Jagani Serrano)

突然変異で起こる遺伝子の書き換えりの例

例：イネの粳の落ちやすさ



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
の違いができる。

突然変異で起こる遺伝子の書き換えりの例

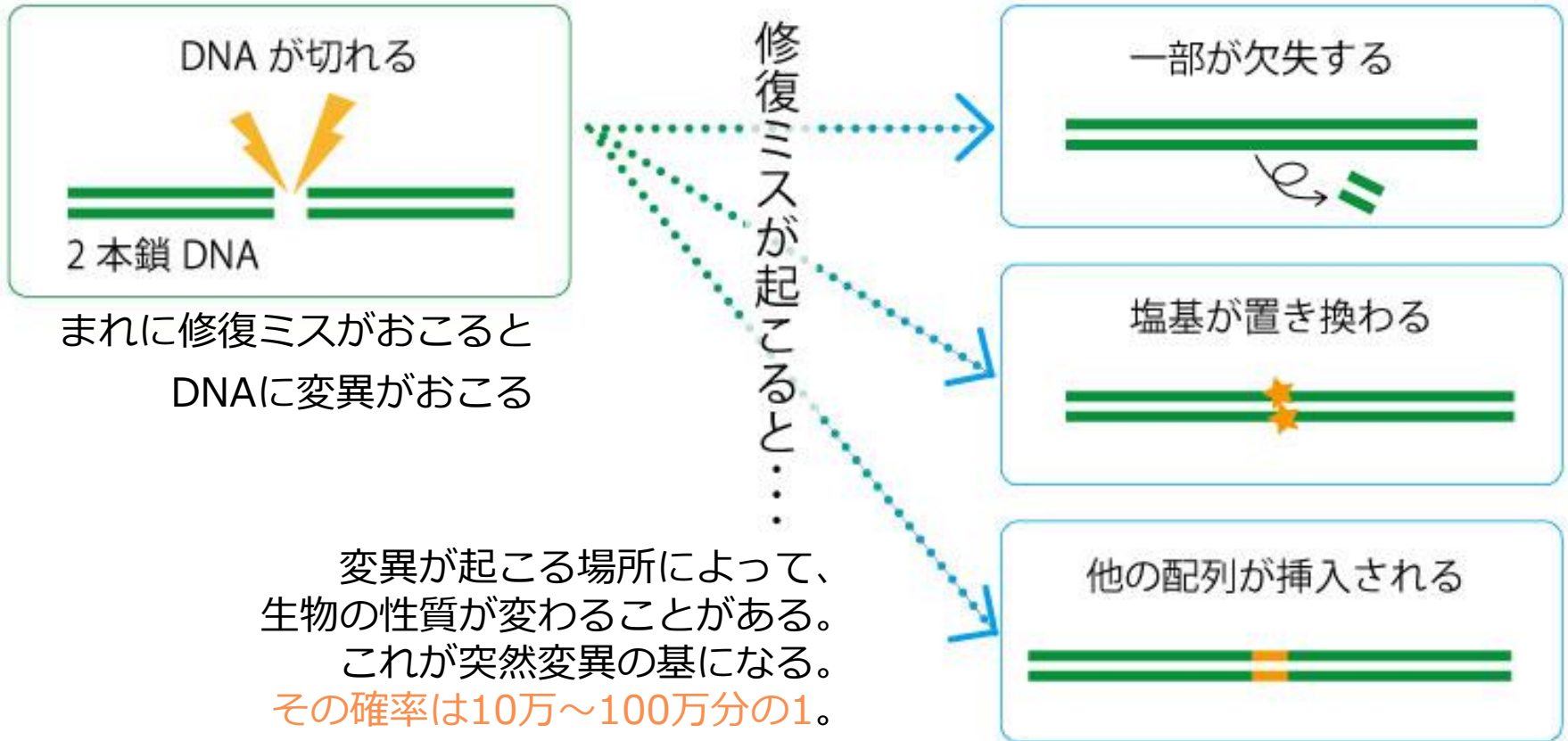
例：受粉しなくても実がなるナス



植物ホルモンの合成に関係する遺伝子の一部（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。

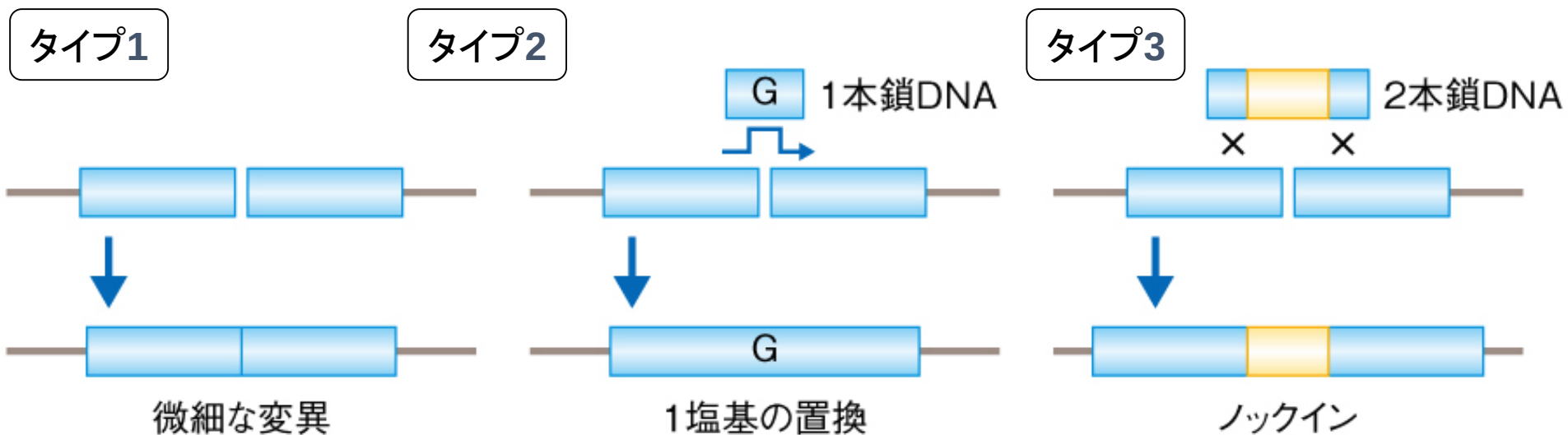
突然変異を利用した育種

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。

3タイプのゲノム編集技術



【ゲノム編集】ゲノムの特定の部位を意図的に改変することが可能な技術

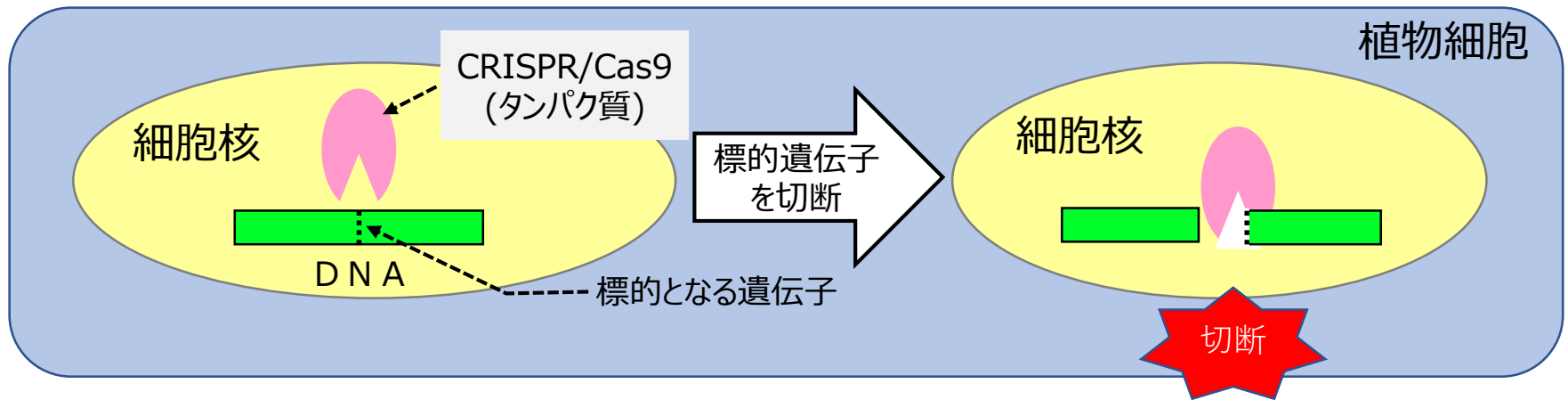
○ 現状の「ゲノム編集技術応用食品」に用いられるゲノム編集技術3つのタイプに分けられる

- ◆ タイプ1：DNA鎖の特定部位を切断し、修復時に起こる突然変異に期待する
- ◆ タイプ2：DNA鎖の特定部位を切断し、修復時に鋳型DNAを用いて変異を導入する
- ◆ タイプ3：組換えにより外来遺伝子・制御配列を導入する

＜遺伝子の欠失はタイプ1の延長として考える＞

ゲノム編集技術のインパクト

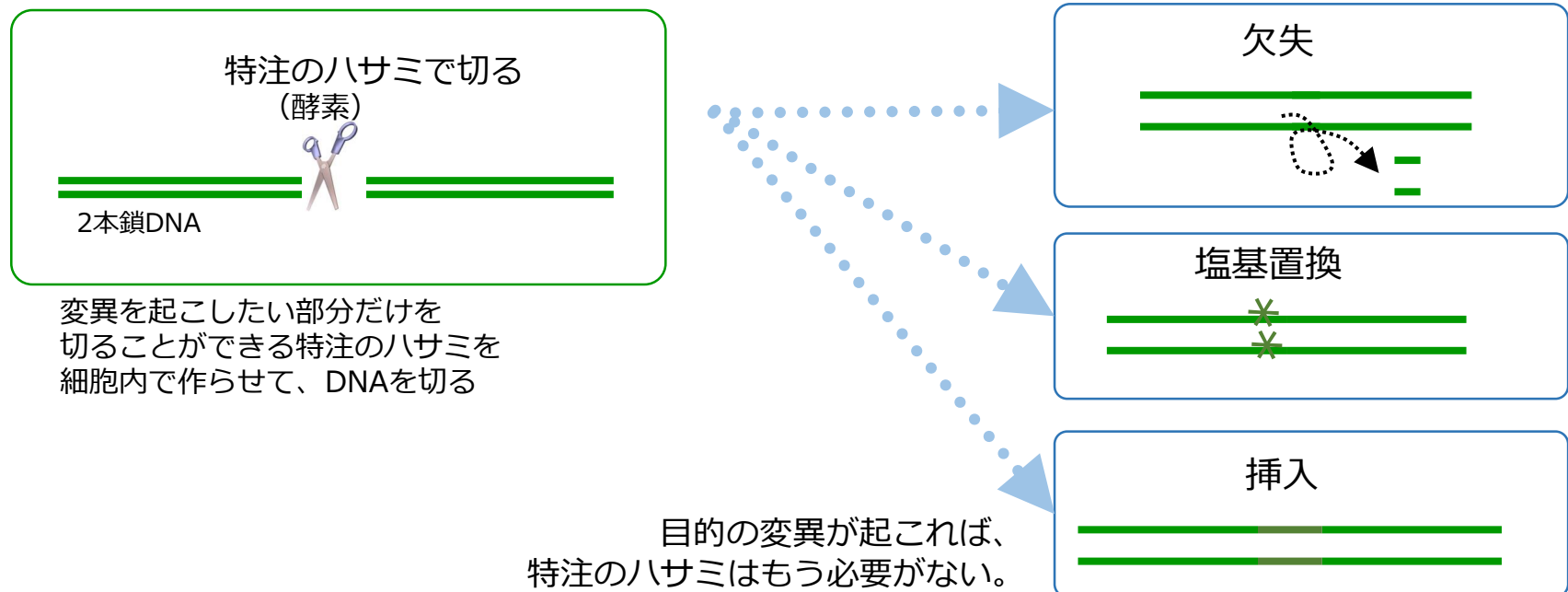
- 下図のように、DNAの狙った箇所だけを正確に切る技術。



- 切ったあとはどうなるのか？（どうするのか？）
 - どうするのかによって、農業分野のゲノム編集技術は3つのカテゴリーに分類されている。
 - 「配列特異的DNA切断酵素」を意味する「Site-Directed-Nuclease」の頭文字をとって、SDN-1、SDN-2、SDN-3、と表記されている。

“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。



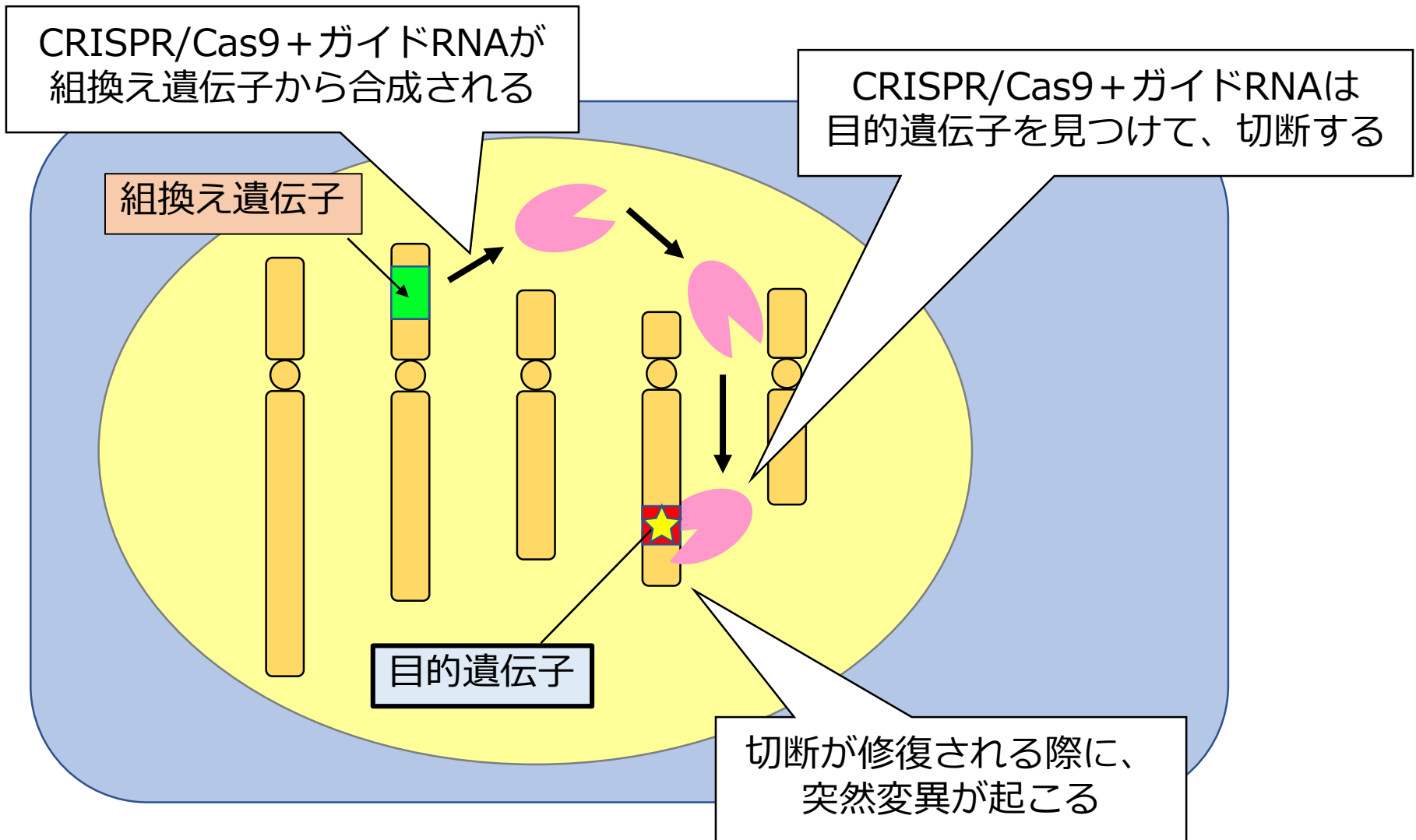
突然変異を計画的に起こせるゲノム編集

どの技術を使っても、最終的にできるものは同じ！



写真：タキイ種苗株式会社より

ゲノム編集の流れ：SDN-1の場合を例に



ゲノム編集の流れ：SDN-1の場合を例に

できたゲノム編集植物

- ・組換え遺伝子**あり**
- ・目的遺伝子変異**あり**

GMO

もともとの植物

- ・組換え遺伝子**なし**
- ・目的遺伝子変異**なし**

交雑・自殖

- ・組換え遺伝子**あり**
- ・目的遺伝子変異**あり**

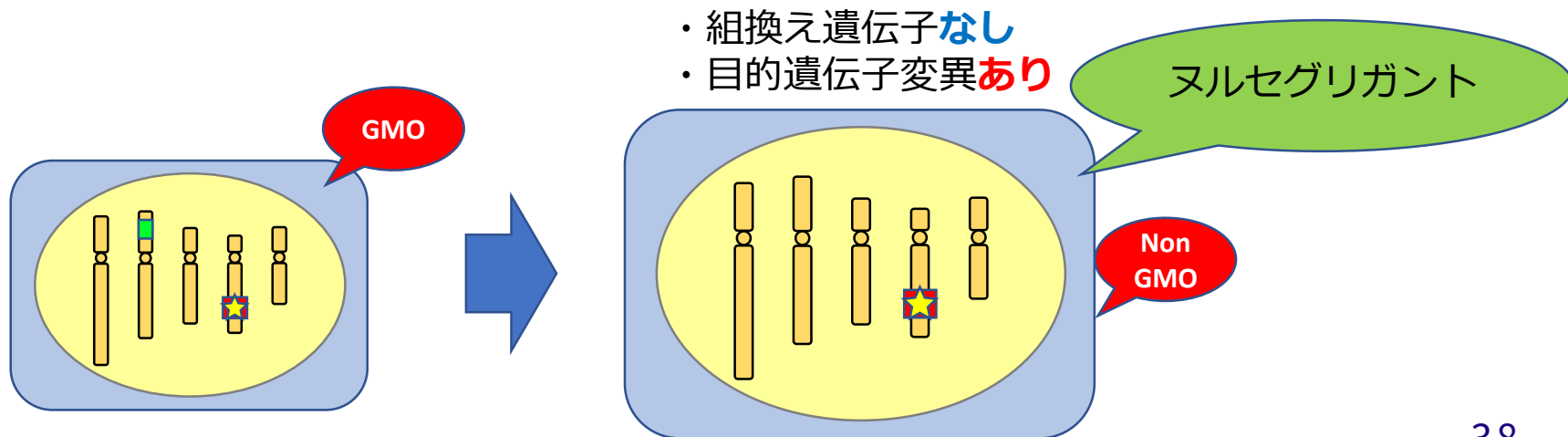
- ・組換え遺伝子**あり**
- ・目的遺伝子変異**なし**

- ・組換え遺伝子**なし**
- ・目的遺伝子変異**あり**

- ・組換え遺伝子**なし**
- ・目的遺伝子変異**なし**

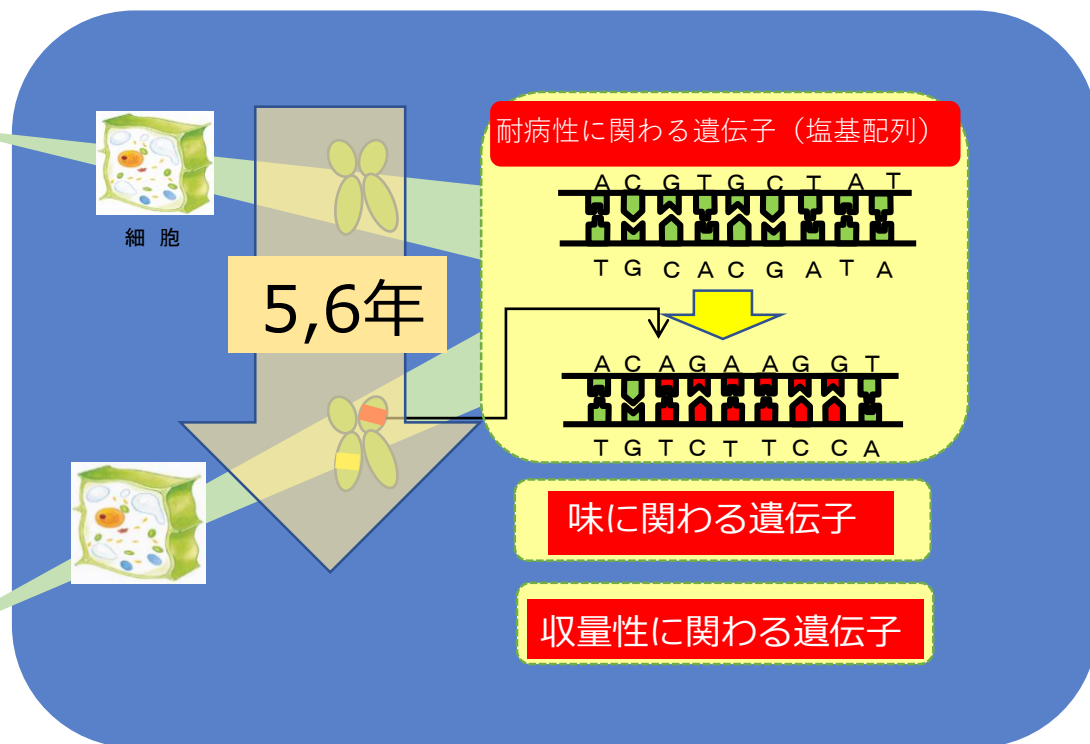
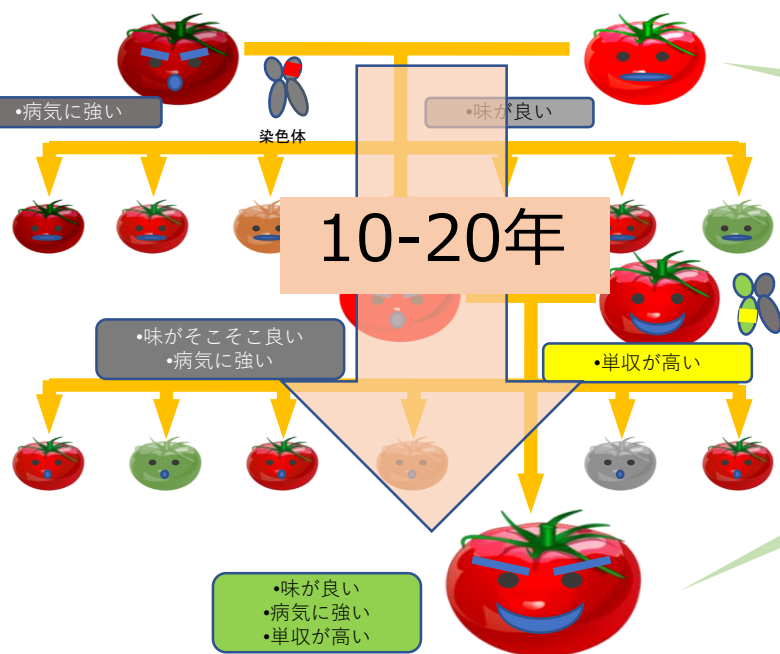
ゲノム編集の流れ：SDN-1の場合を例に

- GMOと非GMOを交雑した後代から得られる、組換え遺伝子を持たない個体を「ヌルセグリガント」と呼ぶ。
 - ヌルセグリガントは「非組換え体」として扱われる見込み。
 - ただし、組換え遺伝子が本当に残っていないのかをしっかりと調べなければならない。
 - 遺伝子組換え技術を用いない方法（タンパクRNA複合体を細胞に直接導入する方法）なども開発中。将来の主流技術となる可能性も。



NPBT利用の期待

特定の（複数）遺伝子領域の改変
育種年限の短縮



機能がわかっている遺伝子を改良してみる

農林水産省 鈴木氏より提供

ゲノム編集技術の活用への道

ゲノム編集技術により、**機能性成分**など農林水産物が有している**潜在能力**を最大限に引き出すことが可能。

■機能性トマト

完熟

GABA

受粉
不要

高糖度

平成〇年度
までに開発

筑波大学
University of Tsukuba

タキイ種苗株式会社

みかど協和 株式会社
MIKADO KYOWA SEED CO. LTD.

■低アレルゲン米

コメ・アレル
ギーに悩む患
者さんは全国
に約30万人

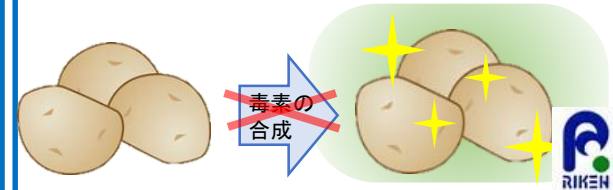
~~グルテン~~

低アレルゲン米

農研機構
NARO

■認知症予防ジャガイモ

2025年には高齢者の5人に1人が認知症



認知症の予防に効果のあ
る成分（ヤゲニン）が増加

RIKEN
大阪大学
OSAKA UNIVERSITY

■ダブルマッスル・フグ



京都大学
KYOTO UNIVERSITY

国立研究開発法人
水産研究・教育機構

肉量が多く 2 倍
の早さで成長

量産化して、新たな和
食食材として海外展開

■赤いシャインマスカット



香り・味を変えず果
色だけを自在に改良



(イメージ)

世界初のデザイナー・
フルーツを次々と展開

農研機構
NARO

生産性を大幅に高める超多収米の作出

- 生産性向上のため、ゲノム編集による改良（粳数、粒の大きさ、糖の転流効率）等を進め、**超多収系統（従来収量限界を超える1.2t/10aの収量ポテンシャル）**の開発を目指す。
 - 粳数、粒の大きさに関する改良をしたイネについては、文部科学省・環境省による承認を得て**隔離圃場での試験栽培を開始**。
- 粳数や粒の大きさが増加しているか等の確認を実施。



**インディカ種の形質を取り入れた有用系統を原品種として使用
(1トン/10a)**



粳数に
関与
する
遺伝子

ゲノム編集



粒の
大き
さに
関与
する
遺伝子

田植えから120日経過の生育状況



隔離圃場栽培試験
(つくば市・農研機構)

生産性の飛躍的向上、飼料自給や輸出拡大

海外市場を目指した画期的なトマト品種の作出

海外市場の開拓等をめざし、①輸送性（日持ち性）に優れた品種や、②省力栽培（無受粉）が可能な品種、世界最高品質（③高糖度・④機能性）のトマト品種を開発

関係する「遺伝子」がわかっていればできること

突然変異体から
有用遺伝子特定

ゲノム編集

1. 高日持ち性



上：通常
下：日持ち性関連遺伝子変異

2. 無受粉でも結実



左：通常品種
右：単為結実遺伝子変異

3. 高糖度



高糖度系統（糖度 10%）

高日持ち性トマト



通常品種



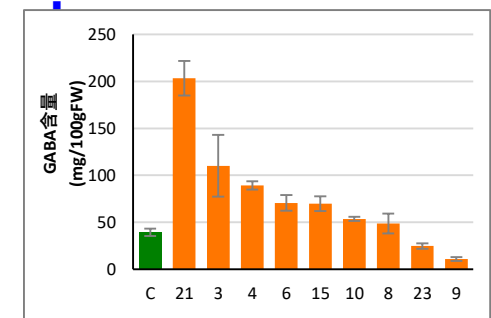
ゲノム編集個体

(Shimatani et al., 2016, Nat Biotechnol.)

単為結実性トマト



GABA高蓄積トマ

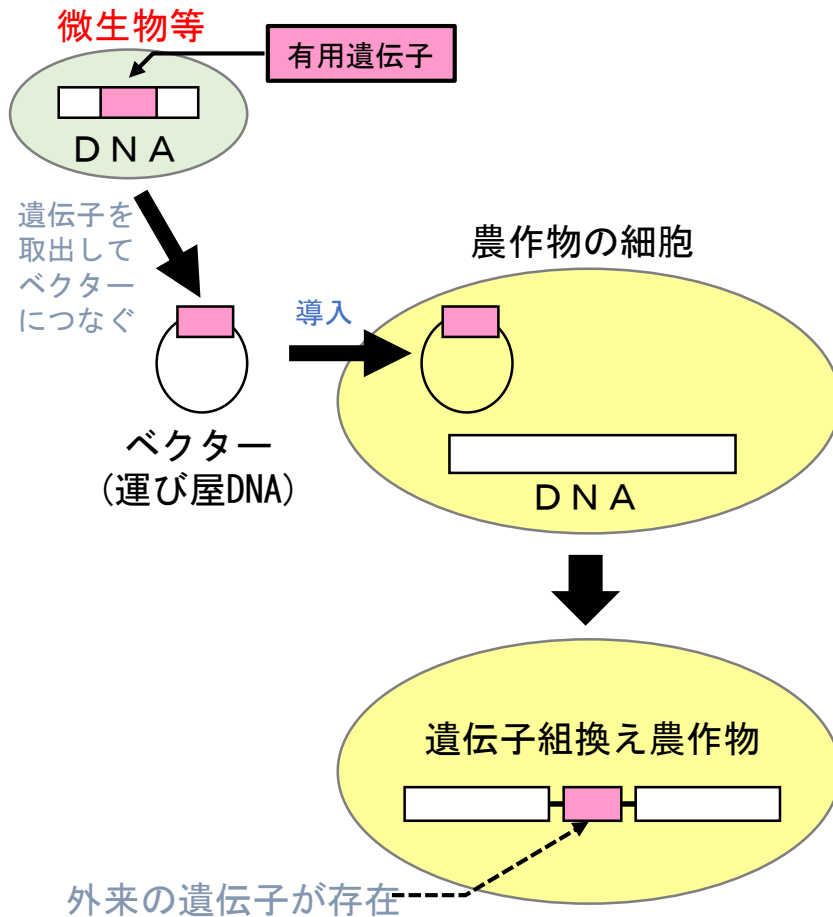


(Nonaka et al., 2017, Sci.Rep.)

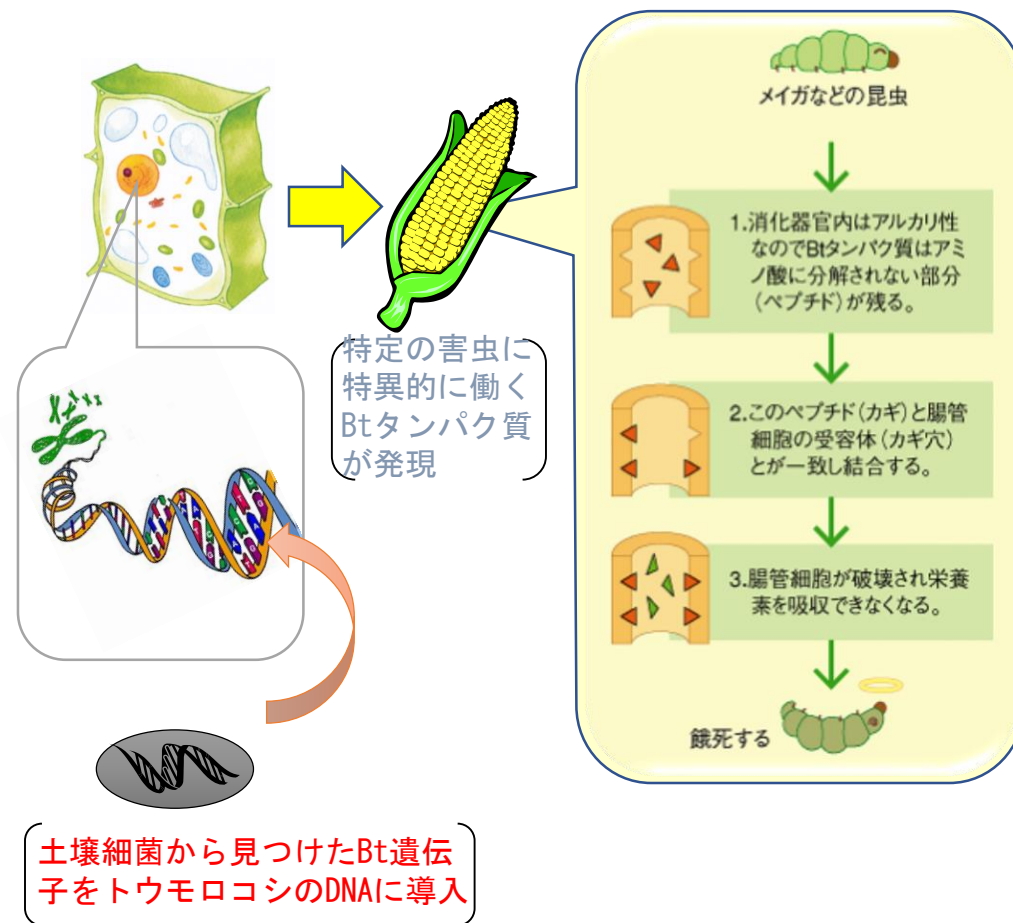
国内における需要創出、海外輸出

これまでの遺伝子組換え農作物

○ 遺伝子組換え農作物の作出方法

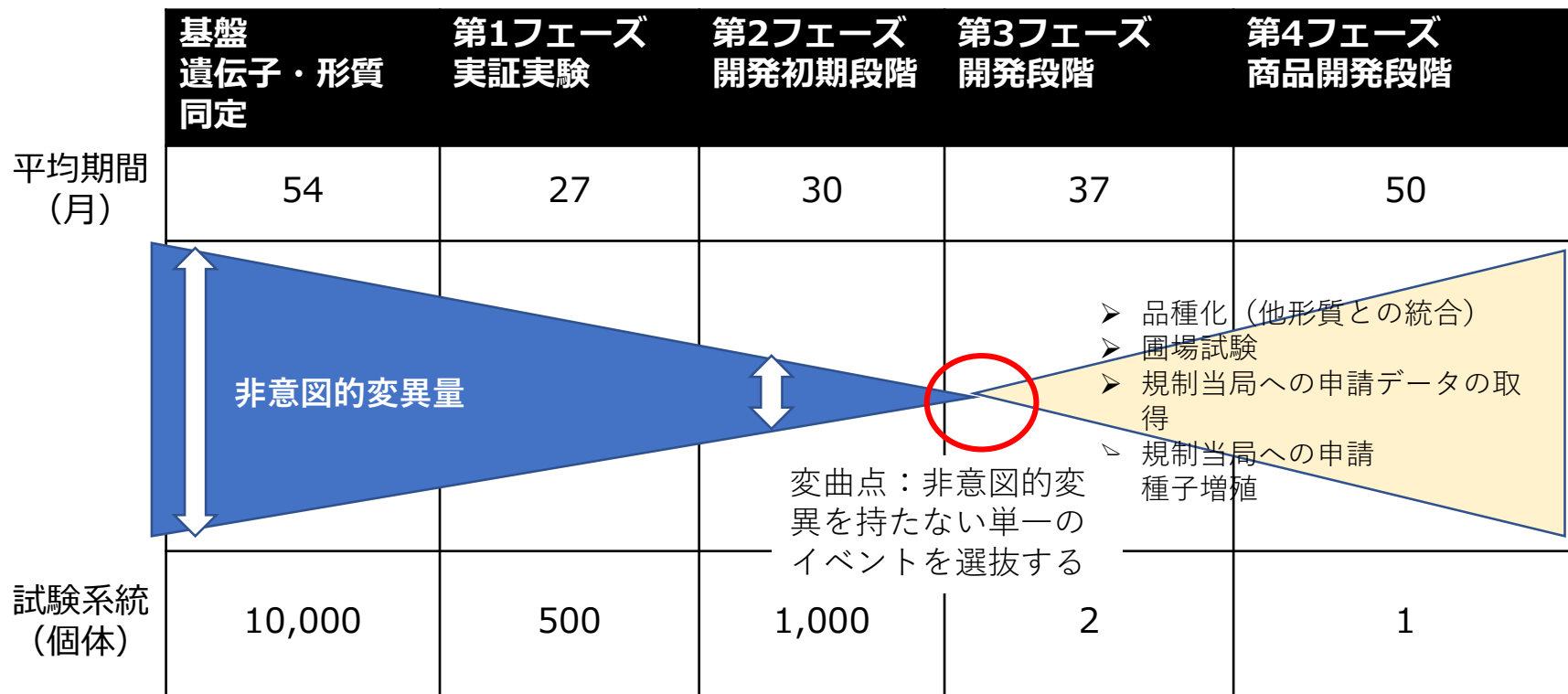


○ 害虫抵抗性(Bt)トウモロコシの殺虫メカニズム



育種は変異を作りだす一方で、それらのほとんどを捨てる作業である

期待される形質を示す個体だけが次のフェーズに進む。最終的には0.01%以下の到達率



Laura Privalle, ILSI CCW 2012を改変

図1 遺伝子組み換え作物の開発過程：
非意図的変異が生じる可能性を減少させる厳密な選抜過程

まとめ

	遺伝子組換え(GM)で できる作物	ゲノム編集(SDN-1)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)	その作物自身の特定の遺伝子を 必要な部分だけ変える (設計図を少し書き変える)
従来 of 育種と 比較して	従来 of 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(残す)	残らない(残さない)

まとめ

	突然変異利用で できる作物	ゲノム編集(SDN-1)で できる作物
目的	その作物自身の遺伝子が 偶然変化したものを利用。 (特定の遺伝子を狙うことは できない)	その作物自身の特定の遺伝子を 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	伝統的な育種法の一つとして 長年利用されている。	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	外来遺伝子は使わないので、 残るはずがない。	残らない(残さない)

複数の遺伝子の同時改変も可能

今後の課題①：ゲノム編集技術の利用に関するルールの明確化

環境影響の考え方

- 外来遺伝子の残存リスクはあるのか？
- 従来育種の経験のない新規形質をターゲットにしたか？
- 新規形質の環境影響はあるのか？

ゲノム編集によって開発された品種は、従来の育種法で生産された品種と最終産物として区別できないのであれば、特殊な規制をするべきではない。

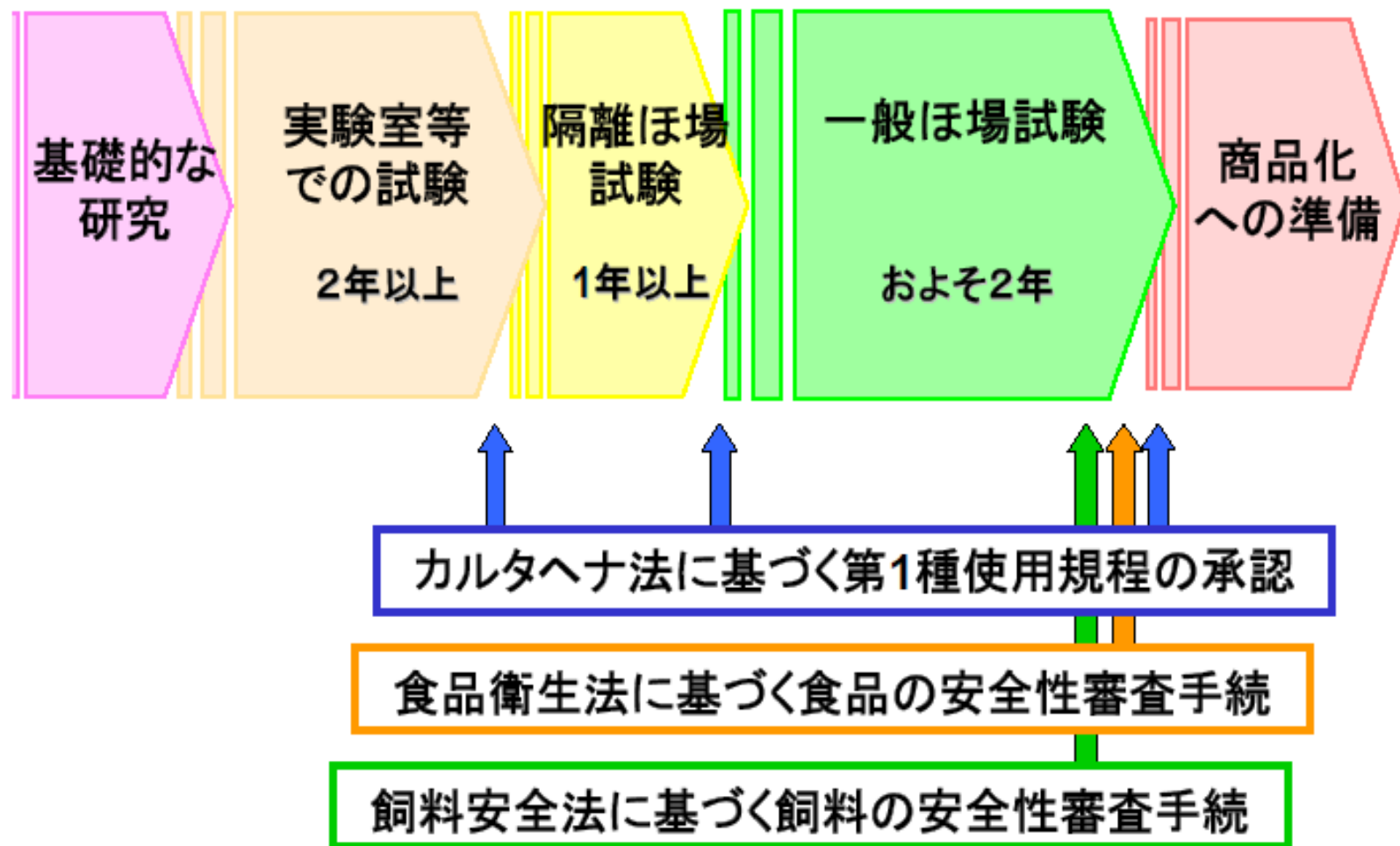
規制ルール策定の考え方

- 規制は進歩する科学技術を正しく活かして有効に利用する最善の道を見出すためのものでなければならない
- OECDバイテク規制委員会などにおける各国の動向から、日本のように国としてゲノム編集作物研究を推進し、その規制に関しても科学的に対応している国はなく、**日本の動向は注目されている**。
- ゲノム編集技術の活用を検討している企業等は**ルールの明確化を期待**。

バイオセーフティに関するカルタヘナ議定書

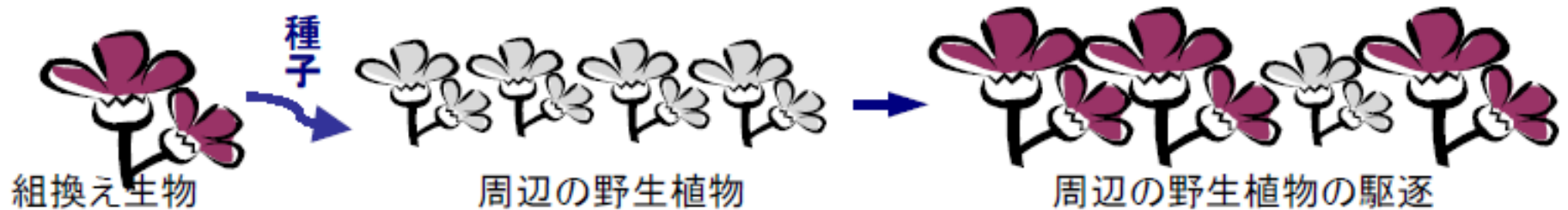
- 目的：生物多様性条約に基づき、バイオセーフティ（遺伝子組換え生物が環境にエスケープした場合に起こす、生物多様性の保全と持続可能な利用に及ぼす潜在的な悪影響を排除して、人間の健康と環境を保護すること）と貿易とを両立させる（2000年1月採択）。
- 対象生物：環境に放出する種子や、環境放出を意図しないが、放出される可能性のある食品・飼料・加工用の組換え生物が対象。人の医薬品は対象外。

遺伝子組換え農作物開発の道のり



カルタヘナ法における遺伝子組み換え作物の環境影響評価 における評価項目

(1) 生態系への侵入による影響



(2) 近縁の野生種との交雑による影響



(3) 有害物質の産生による影響



組換え食品及び生物の安全性評価の指導原理

- 実質的同等性(Substantial equivalence)

組換え食品の安全性を評価する際の原理。既に食品として利用されている生物を評価の基準に置いて、それ食品として利用しようとする組換え生物とが、外形形質や成分組成で同一と判断できれば、食品として安全であると評価する。そうでない場合に安全性を詳しくチェックする。

- ファミリアリティ(Familiarity)

組換え生物の生育を解放利用に向けてスケールアップするときに環境安全性を評価する際の原理。組換え生物が、形態特性、開花・繁殖特性、生態的特性、生育地の自然環境・農業条件等の点で、既知の親生物と変わらないと判断される場合は、familiarityが高いとして、従前から蓄積された知見に基づいて、必要な環境安全性確保のための実験や安全性確保のための条件を指摘する。

遺伝子組換え食品の安全性評価(1)

【1】 比較対象となる作物（食品）の安全な食経験があるか

- ◆ 絶対安全な食品というものは存在しない。従来の非組換えの作物などを比較対象とし、リスクが増えていないことを確認する。＜安全性審査の基本方針＞



【2】 導入される遺伝子およびその産物（タンパク質）に有害性はないか

- ◆ 導入される遺伝子により生産されるタンパク質について、ラットの90日間飼育試験などを行って安全性を評価し、通常の摂取量では有害事象が発生する恐れがないことを確認する。



【3】 遺伝子の挿入により、非意図的な栄養成分含量の変化や有害成分含量変化が生じていないか

- ◆ 比較対象作物に含まれる栄養阻害物質および各種の栄養成分含量を測定し、大きな変化が起こっていないことを確認する。

組換え食品の安全性評価のポイント



◆ 遺伝子組換え大豆（除草剤耐性）と通常の大豆を比較する <比較対象>

【1】 除草剤耐性に関与する遺伝子とタンパク質について、毒性を調べる

○ タンパク質としての毒性とアレルギー性について動物実験の結果から評価

【2】 除草剤耐性以外の性質・含有量について調べる <非意図的な変化>

○ 水分、灰分、タンパク質、脂質、食物繊維、炭水化物

○ アミノ酸(20種), 脂肪酸(9種～), ミネラル(5種～), ビタミン(8種～), イソフラボン(3種)

○ 大豆に含まれる栄養阻害物質が、比較対象の大豆と比べて増えていないか調べる

トリプシンインヒビター、フィチン酸、ラフィノース、スタキオース、レクチン, etc

【3】 環境影響評価

- ・ 大豆は畑以外で生育できず、冬を越せない。大豆は自殖性で、野生種との交雑可能性は低い
- ・ 大豆と自然交配する可能性のある野生植物：日本ではツルマメがある

新たな育種技術を用いて作出された農作物の生物多様性影響の考え方

新たな育種技術の定義・範囲を明確化した上で、個々の技術ごとに導入した外来遺伝子の残存可能性（規制対象であるか否か）について考え方の整理が必要

慣行の育種技術と比べ、生物多様性影響が高まることがないかを科学的に検証しておくことが必要

使用する際には一定のリスク管理措置を要求

遺伝子組換え生物

新たな育種技術
(ゲノム編集技術)

突然変異育種技術
(放射線、イオンビーム)

選抜育種技術
DNAマーカー

交雑育種技術

カルタヘナ法等の規制対象外

規制対象

同種又は交雑可能な近縁種の中での核酸操作（自然界で起こり得る現象）

種外からの核酸導入
(自然界では起こり得ない現象)

核酸（遺伝子）を人為的に操作している程度
(農作物の育種効率の程度)

種の壁

ゲノム編集技術の利用により得られた生物の カルタヘナ法上の整理 及び取扱方針

宿主に細胞外で加工した核酸を移入した生物か

YES

カルタヘナ法（注1）上の遺伝子組換え生物等に該当する（規制対象）
【第一種使用、第二種使用】

NO

移入した核酸又はその複製物が残存しないことが確認できた生物か

NO

カルタヘナ法上の遺伝子組換え生物等
に該当する（規制対象）

YES

カルタヘナ法上の遺伝子組換え生物等
に該当しない（規制対象外）

施設の拡散防止措置
が執られた

【第一種使用】

法第4条に基づいて、生物多様性影響評価を踏まえて大臣が承認した使用規程に沿って使用する。

当該生物の使用前に、生物多様性影響に係る考察等について、主務官庁に情報提供を行う。

施設の拡散防止措置
が執られた

【第二種使用】

法第12条に基づき省令に定められた拡散防止措置、又は、法第13条に基づき大臣の確認を受けた拡散防止措置を執って使用する。

法第12条に基づき省令に定められた拡散防止措置、又は、当該生物の使用に当たって、施設、設備その他の構造物を用いることその他必要な方法により施設等の外の大気、水又は土壤中に当該生物が拡散することが防止されるものとして主務官庁の認めた措置を執って使用する。

（注1）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）

（注2）宿主と同一の分類学上の種に属する生物の核酸のみを用いた場合（いわゆるセルフクローニング）、自然条件において宿主の属する分類学上の種との間で核酸を交換する種に属する生物（ウイルス及びウイロイドを含む）の核酸のみを用いた場合（いわゆるナチュラルオカレンス）については、施行規則第2条第1号（イ、ロ）及び第2号に該当するため、「遺伝子組換え生物等」に該当しない（本取扱方針の対象外）。

トレーサビリティ・表示の必要性？

外来遺伝子の導入がないゲノム編集作物の一部、**たとえば環境に影響しうる形質が付与されたものに規制が必要とされた場合**、詳細検討において大きな論点になるのはトレーサビリティと表示の問題であろう（石井 2017）

GM作物は外来遺伝子の有無を指標にした検査が可能
ゲノム編集、とくに塩基の欠失型は検査は容易ではない。

確実なトレーサビリティが必要であるなら、
あえて外来遺伝子を指定場所に導入して追跡のタグとすることも考えられる（石井 2017）

そのようなリスクがあるのであればGMOに準じた規制をすべき！

本当に環境リスクが高いと判断されるGM作物は作らない！
世に出したらいけないのは当然

わざわざGMにする必要性？

大澤の疑問？？

遺伝子組み換えでないものを遺伝子組み換え作物にするのはなぜ？

遺伝子組換え育種以外の育種法の表示が必要か？

例：

「このイネは突然変異育種法により生じた遺伝子変異を利用して交雑育種法と戻し交雑育種法を駆使して育成されています」

「このイネはゲノム編集技術により生じた遺伝子変異を利用して交雑育種法と戻し交雑育種法を駆使して育成されています」