

植物の一世代内での品種改良を 可能とするゲノム解析技術

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構
量子技術基盤研究部門
高崎量子応用研究所 量子バイオ基盤研究部
上席研究員 北村 智

2023年6月20日

研究分野の概要

植物の品種改良に関するニーズ

- ✓ 他よりも、生育が良好な農作物
- ✓ 高品質で、付加価値の高い農作物
- ✓ 環境耐性の高い農作物、環境浄化能の高い植物

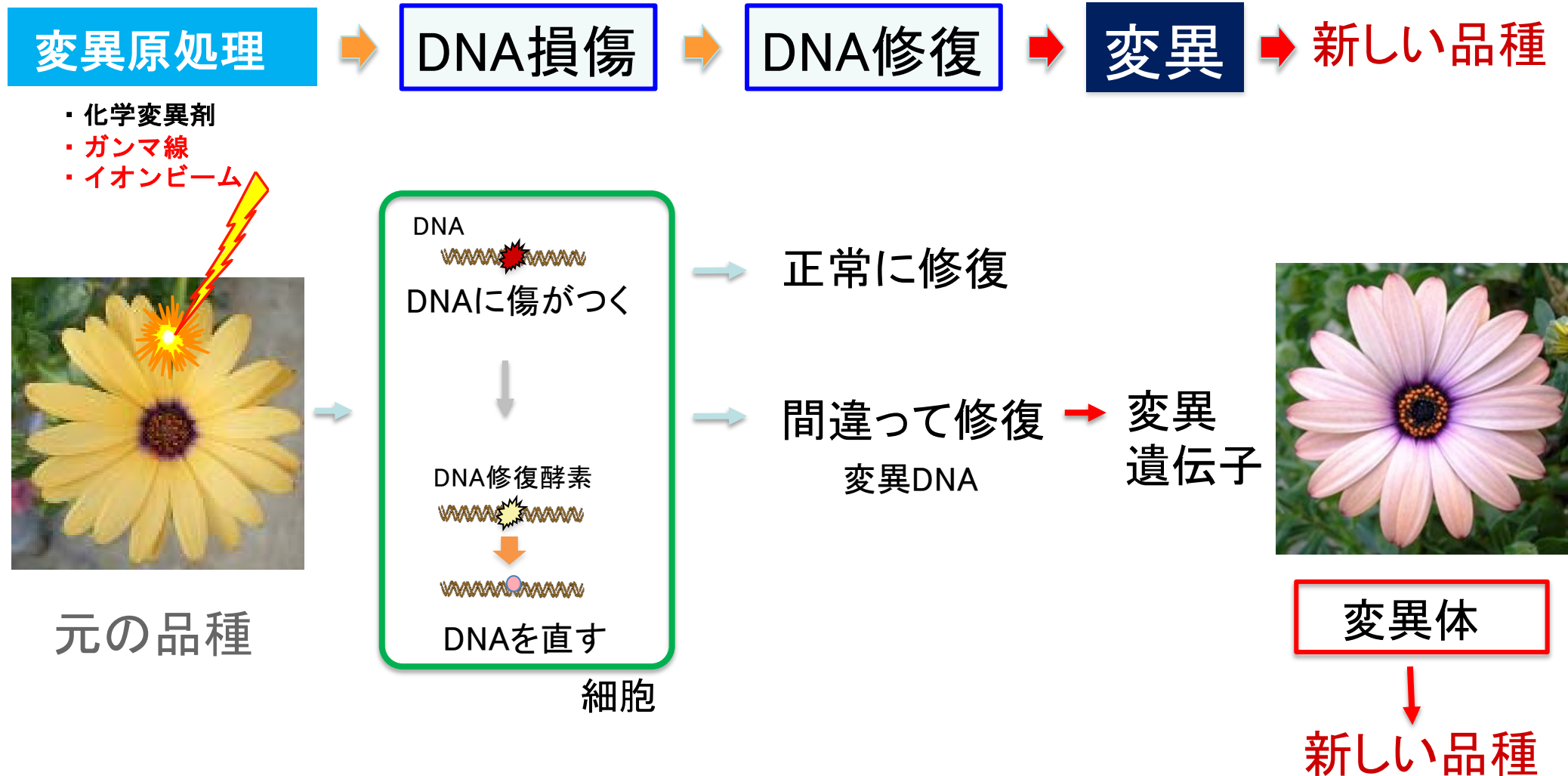
…**経済、食糧、環境など、多岐に渡る**

【本日の話題】

- **量子ビーム**（イオンビームやガンマ線）の利点を活かして、植物において誘発される**突然変異**を利用することにより、元品種の良い点を残しながら**新品種を創出**する
- リンゴやスギなどの**一世代が長い植物の品種改良を効率化できる可能性のある技術シーズ**

研究分野の概要

量子ビームを用いた突然変異育種



研究分野の概要

量子ビームの特徴

エネルギーの与え方

ガンマ線

物質との相互作用少ない

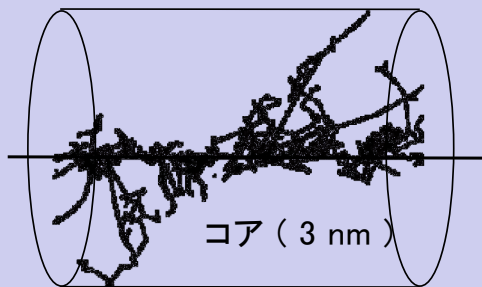
300 nm
|-----|

.....
スプール (~3 nm)

エネルギーをとびとびに付与

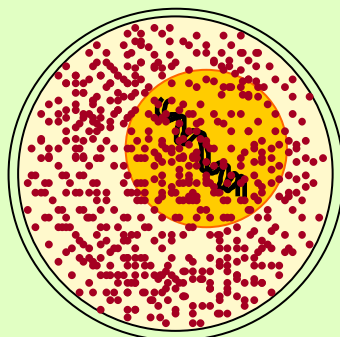
イオンビーム

周囲の物質と相互作用しやすい

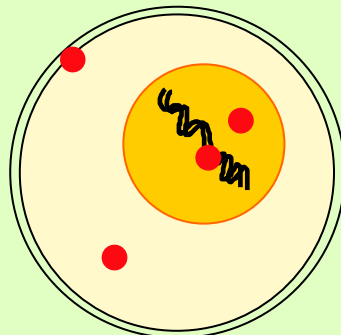


高密度でエネルギーを付与

細胞への照射

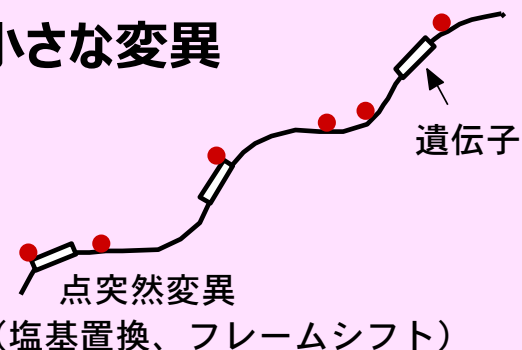


炭素イオン 1Gy
~4トラック



遺伝子変異

小さな変異



大きな変異



研究分野の概要

イオンビームで得られた新品種の例



新花色
カーネーション
麒麟研



無側枝性
省力栽培ギク
鹿児島県



新花色
オステオスペルマム
群馬県



新花色
芳香シクラメン
埼玉県



低温肥大性
温室メロン
静岡県



高環境浄化能
オオイタビ
広島大学



低Cd吸収性
コシヒカリ
環境技術研



かがり弁
輪キク
愛知県

研究分野の概要

イオンビームで得られた新品種の例

従来法の課題：

- 多くの照射個体の中から、候補株を選抜する必要がある
- 大型の植物では、多数の個体を扱えない
- 世代が長い植物では、優良個体を得るまでに時間が必要

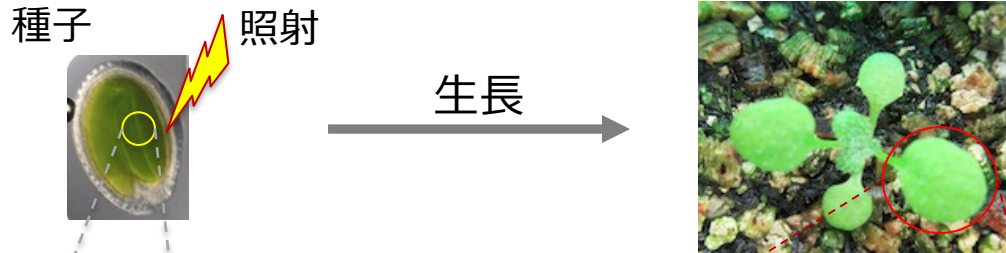
照射した親植物から、照射で生じた変異を網羅的に検出する技術シーズを、モデル植物シロイヌナズナで確立

「照射で生じた変異を、早く（親世代で）見つける」ことで「一世代内で品種改良を完了できる」と期待

新花カーネーション 麒麟研
省力栽培ギク 鹿児島県
オステオスペルマム 群馬県
芳香シクラメン 埼玉県
温室メロン 静岡県
オオイタビ 広島大学
コンヒカリ 環境技術研
輪ギク 愛知県

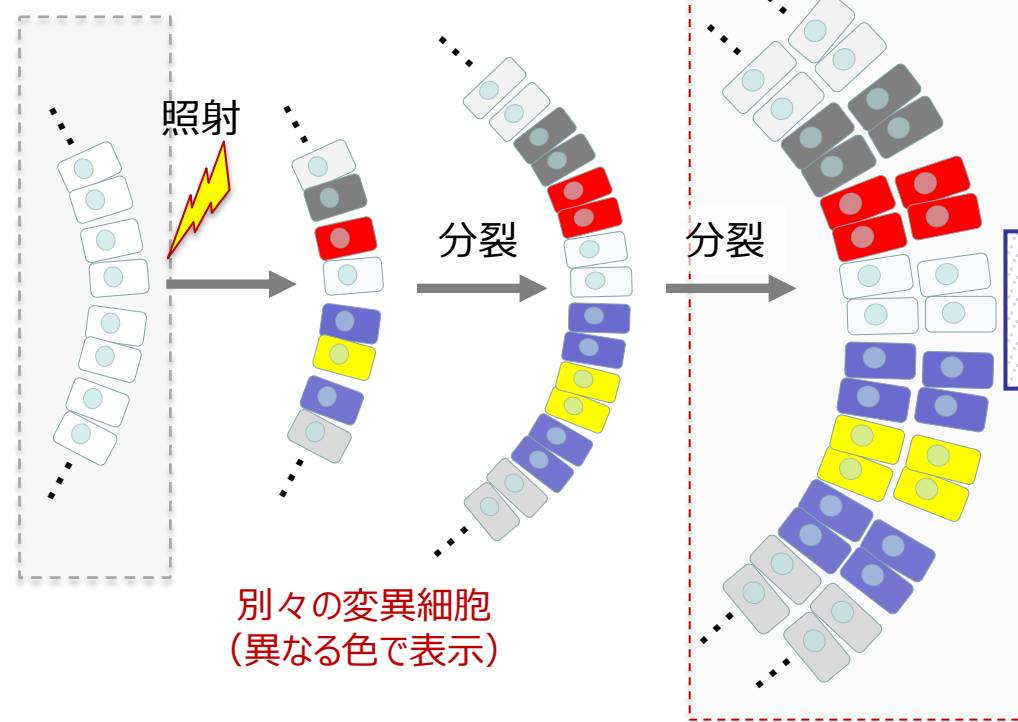
研究分野の概要

照射された植物（親）



複数の異なる細胞が混在

細胞を図示



各々の細胞での遺伝子配列

細胞A	●	ATTGC A CC C GAGGCTACG...
B	●	AT G GC G CC G ATTGCTACG...
C	●	ATTGCTCCTGAGGCTACG...
D	●	ATTGCTCCTGAGGCT A GG...
E	●	AT C GCTCCTG G TTC T A A G...
F	●	ATTGCTCCT C AG A CTACG...
...
解析結果		AT ? GC ? CC ????? CTA ? G...

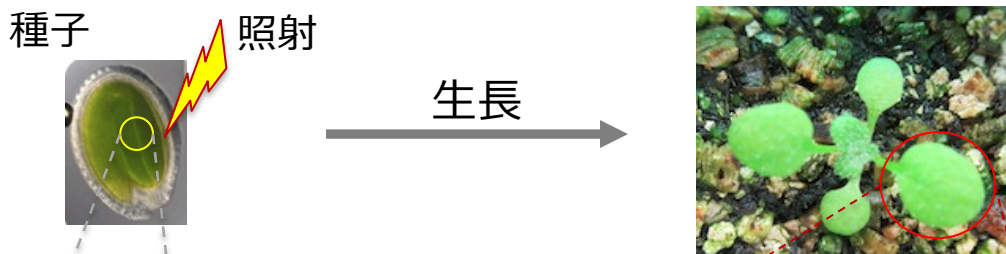
そのまま
変異解析

親では、遺伝子配列の決定が困難

研究分野の概要

照射された植物（親）

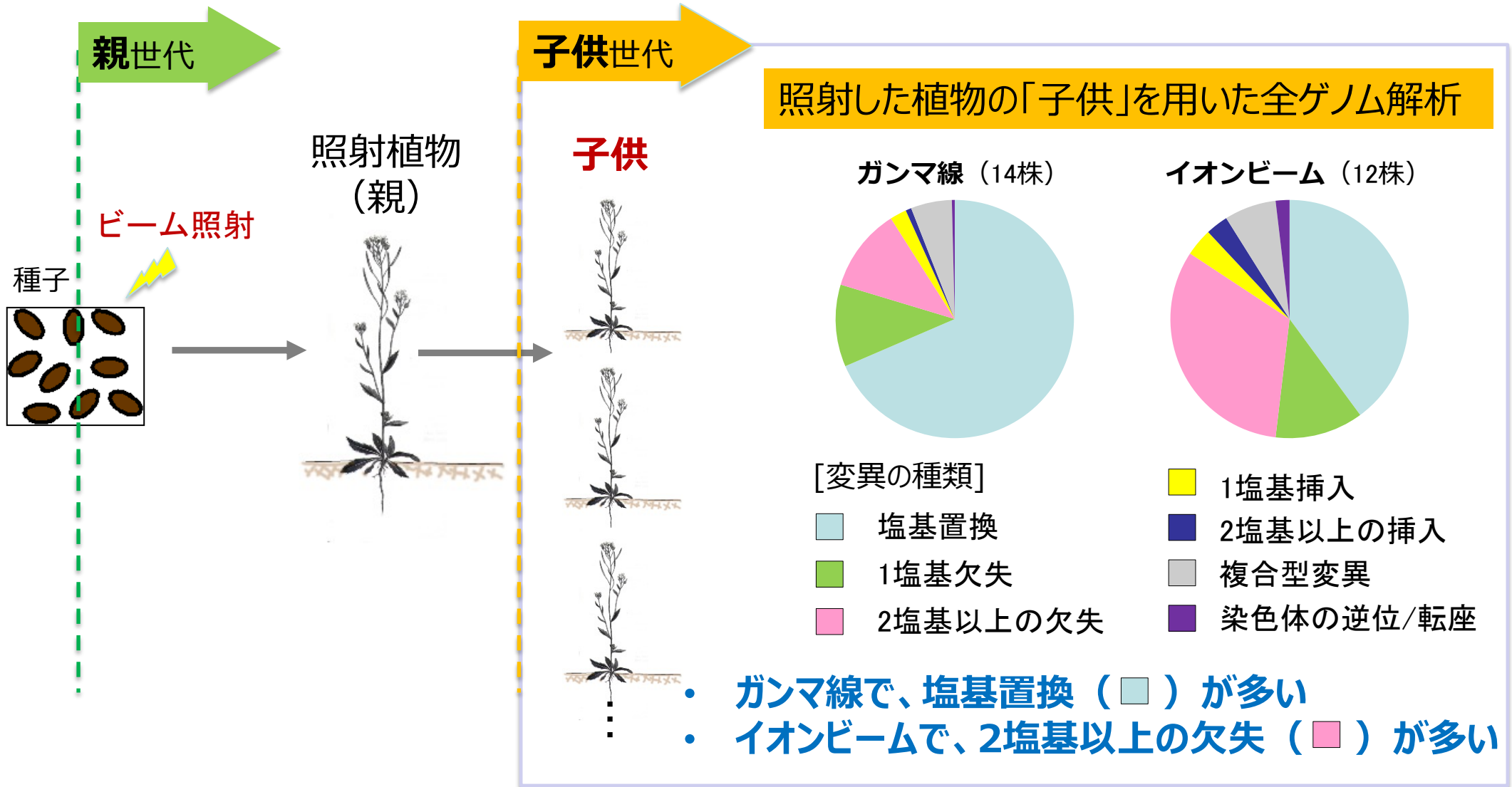
照射植物の子供



子供では、1種類の細胞のみ

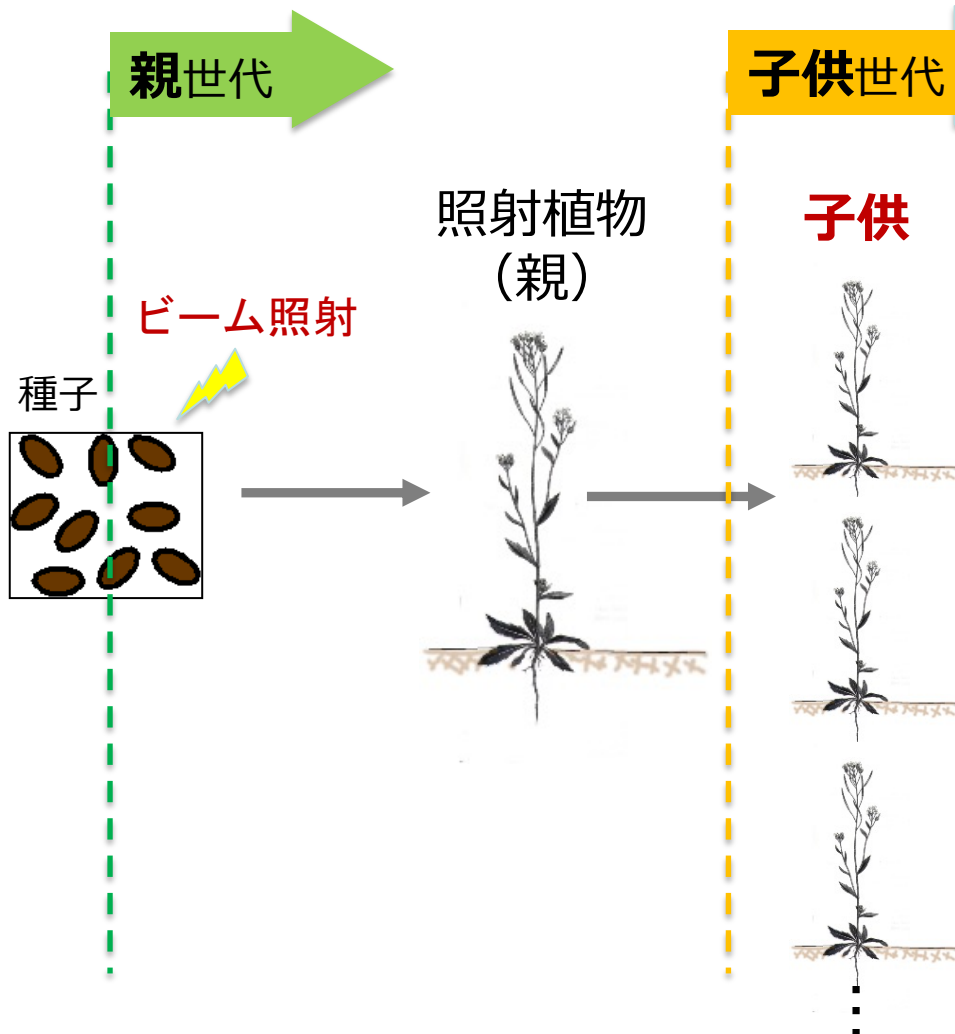
研究分野の概要

照射植物の**子供**を用いれば、変異した全ての配列を明らかにできる



従来技術の問題点

照射された親植物で生じる変異については、不明



子供世代の変異・・・従来法で解明

- 子供は、1種類の細胞のみ。
- 解析が容易。

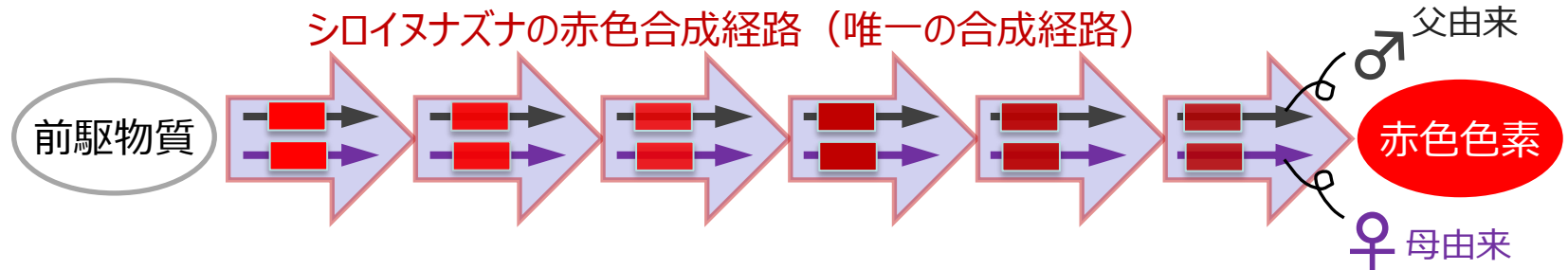
親世代の変異・・・ブラックボックス 解明できれば、育種年限の短縮化へ

- 親は、異なる細胞が混在。
- 解析が困難・・・どうする？

親植物の中で、1種類の細胞からなる部分を、識別しよう

新技術の特徴

アントシアニン 合成経路



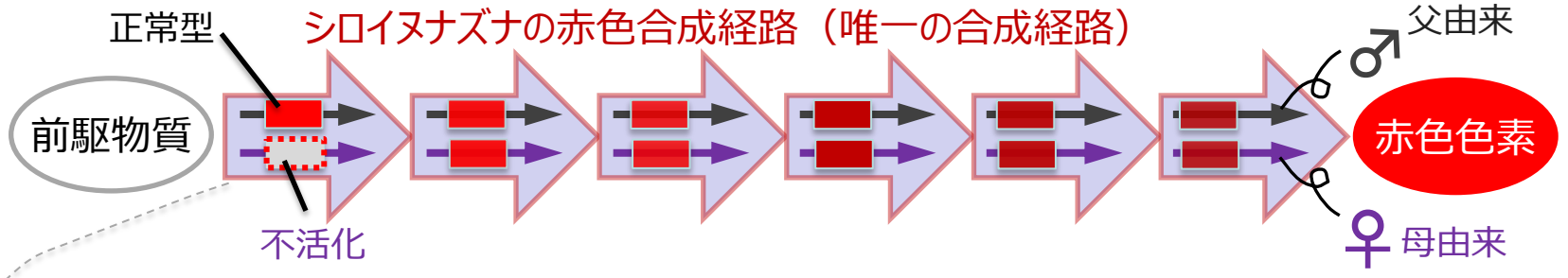
- シロイヌナズナでは、6つ程度の**赤色遺伝子**によってアントシアニンが合成（唯一の合成経路）
- 赤い細胞／赤くない細胞が、1つの植物中で混在できる



(現状では、赤色の有無を子供世代でしか識別できないが)
赤色色素のあり・なしで、親植物の細胞の種類を識別できないか？

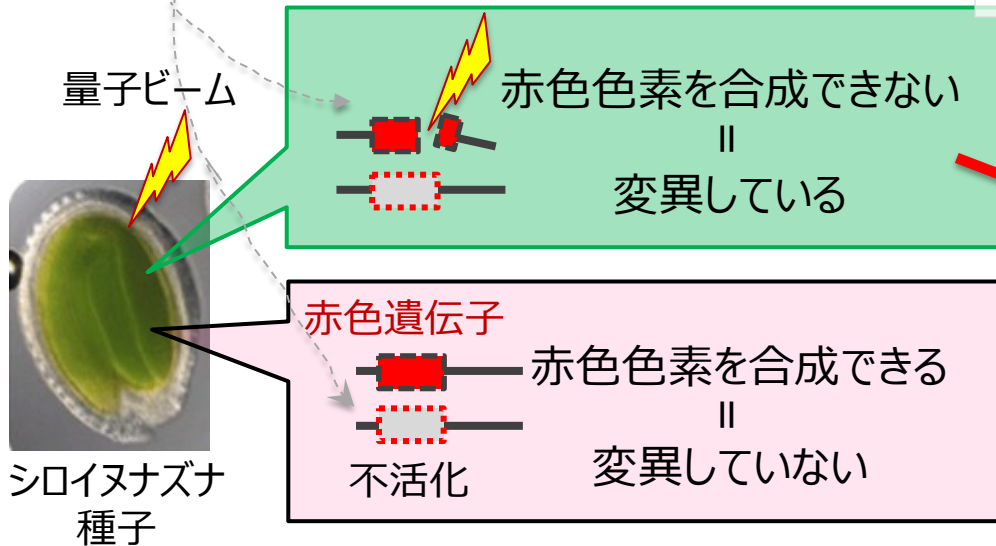
新技術の特徴

アントシアニン (赤色色素)



➤ 変異した細胞 1つが分かる目印を導入

赤色色素の有無で、変異細胞を検出



➤ 単一の変異細胞を増殖

変異を受けた1つの細胞から
増殖した細胞群

変異細胞の分裂
(変異パターンのコピー)



照射された親植物から、1つの細胞が増殖した細胞群を取得

新技術の特徴・従来技術との比較

従来技術での結果

細胞A ● ATTGCACCCGAGGCTACG...

B ● ATGGCGCCGATTGCTACG...

C ● ATTGCTCCTGAGGCTACG...

D ● ATTGCTCCTGAGGCTAGG...

E ● ATCGCTCCTGGTTCTAAG...

F ● ATTGCTCCTCAGACTACG...

...

解析結果 AT?GC?CC????CTA?G...

新技術の
適用

新技術での結果（予想）

細胞A ● ATTGCACCCGAGGCTACG...

A ● ATTGCACCCGAGGCTACG...

A ● ATTGCACCCGAGGCTACG...

A ● ATTGCACCCGAGGCTACG...

A ● ATTGCACCCGAGGCTACG...

A ● ATTGCACCCGAGGCTACG...

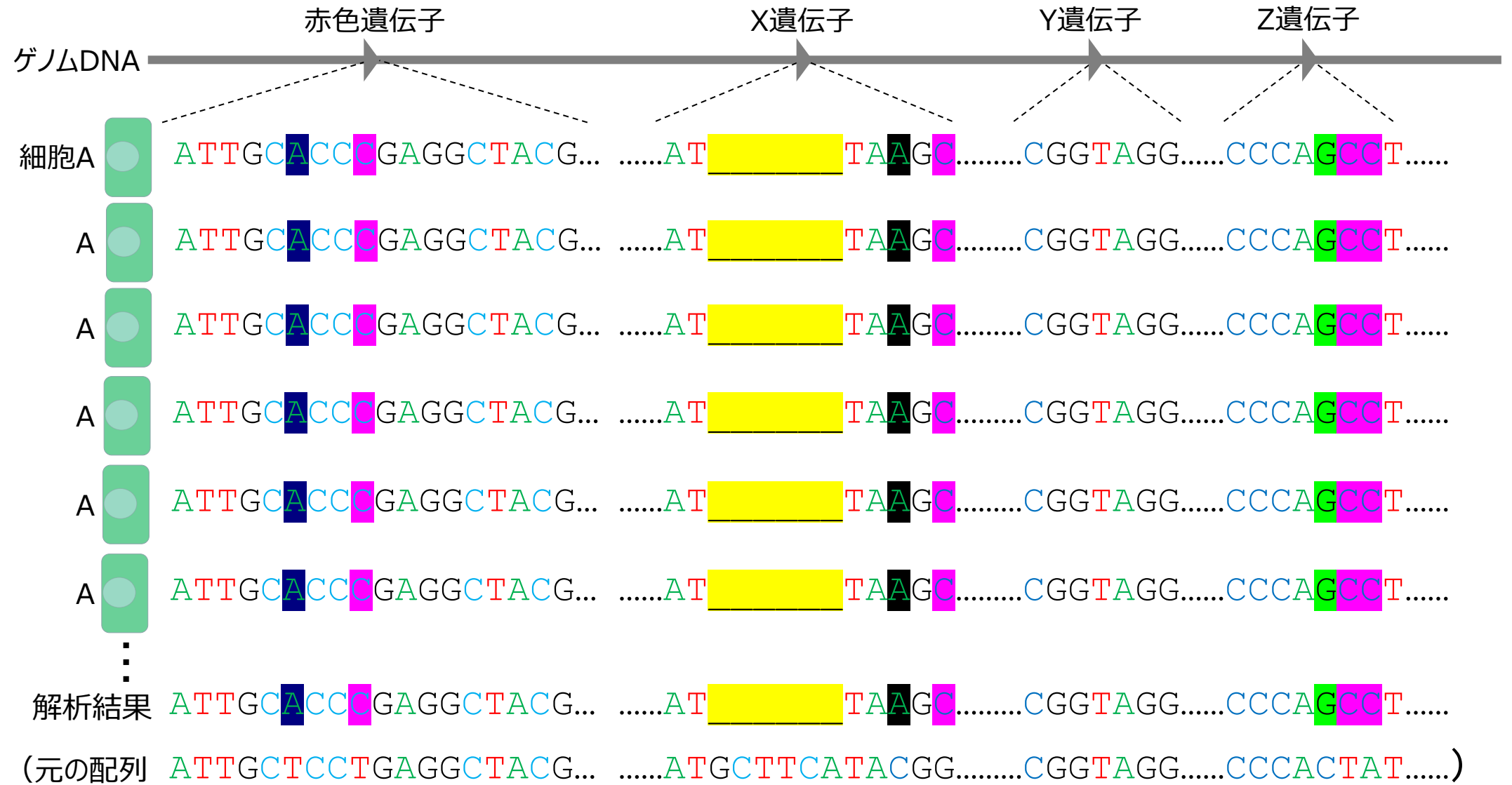
...

解析結果 ATTGCACCCGAGGCTACG...

親では、遺伝子「配列」の決定が困難

親で、遺伝子配列の決定が可能

新技術の特徴・従来技術との比較

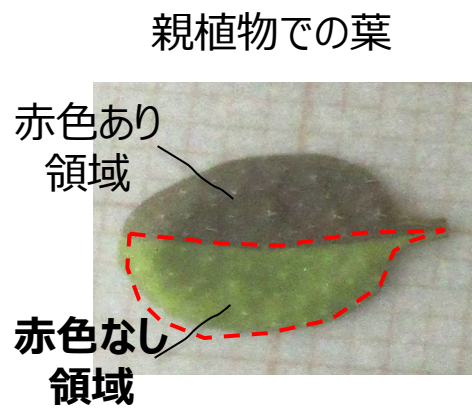


赤色遺伝子に限らず、**変異した全ての配列を網羅的に検出できる**

実証実験

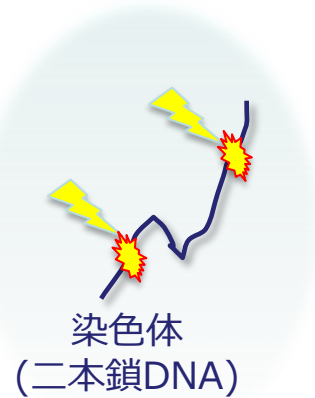
変異の規模	子供世代 (n=6)*	親世代 (n=7)
	変異の総数	変異の総数
ごく小規模 (1 bp)	279	573
小規模 (2-9 bp)	28	77
中規模 (10-99 bp)	16	34
大規模 (100-数百万 bp)	2	27
その他	27	60

10倍以上
→

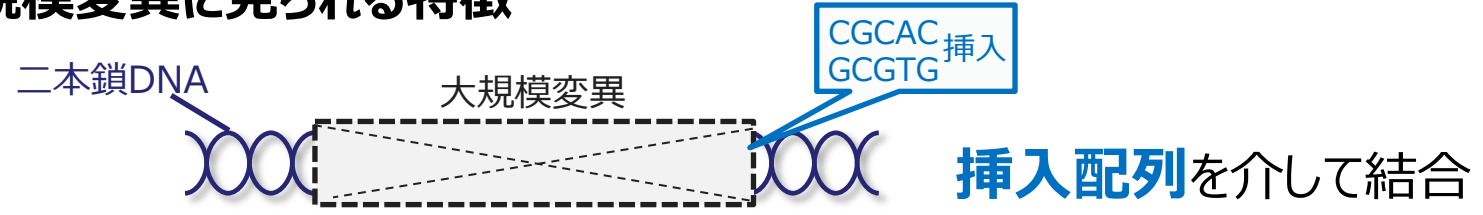


* Hase et al. 2020

様々な変異を、照射した親植物から、網羅的に検出することに成功



大規模変異に見られる特徴



大規模変異は、挿入配列を伴って形成されやすいことも判明

実証実験

変異の規模	子供世代 (n=6)*	親世代 (n=7)	影響を受ける遺伝子数
	変異の総数	変異の総数	
ごく小規模 (1 bp)	279	573	~1
小規模 (2-9 bp)	28	77	~1
中規模 (10-99 bp)	16	34	~1
大規模 (100-数百万 bp)	2	27	~1,500
その他	27	60	~1

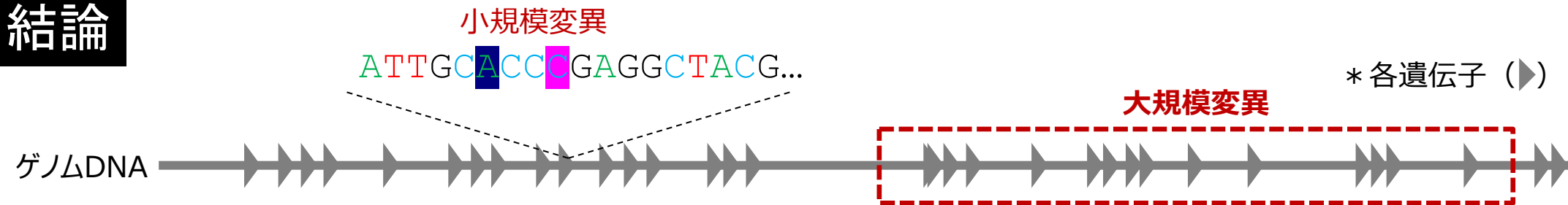
シロイヌナズナの遺伝子サイズ
(平均 3,300 bp)

10倍以上
→

* Hase et al. 2020

一度に多くの遺伝子に影響を及ぼす変異が、親植物では数多く形成されている

結論



照射された親植物で、変異した全ての遺伝子を明らかにできた

従来技術との比較・位置付け

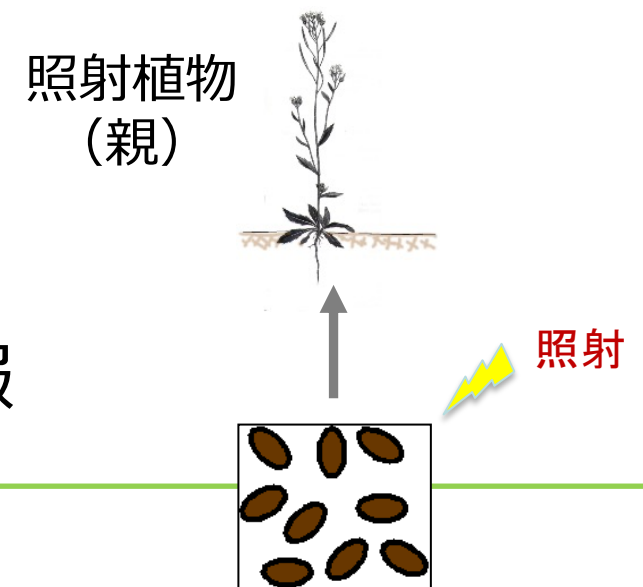
従来技術・・・子供を用いた解析

- 突然変異に関する知見が豊富
- 種子で子供を作る植物に、有用な情報



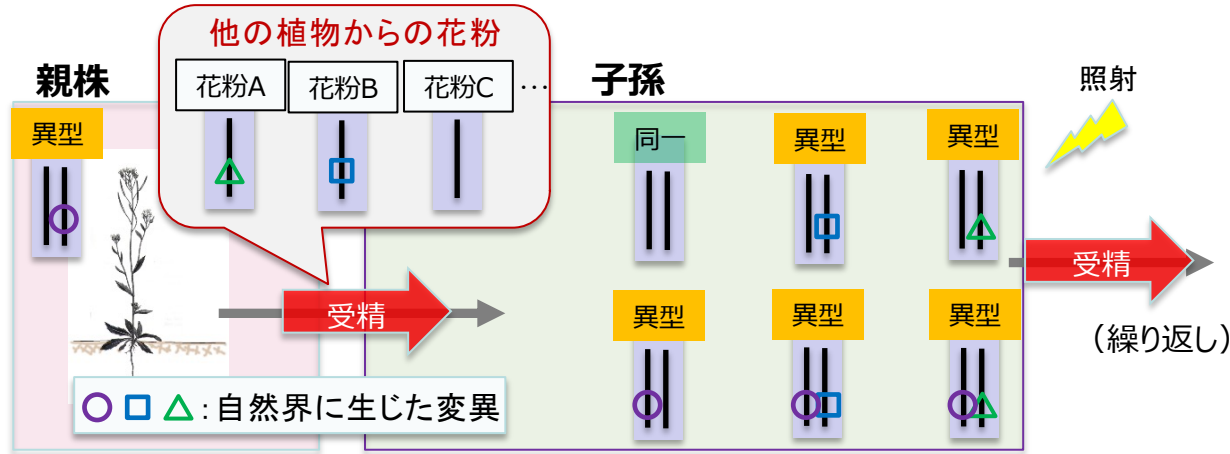
新技術・・・親を用いた解析

- 初めて、親で生じる突然変異の全容を解明
- 大規模変異が高頻度に形成
- 種子を介さずに増殖する植物に、有用な情報



想定される用途

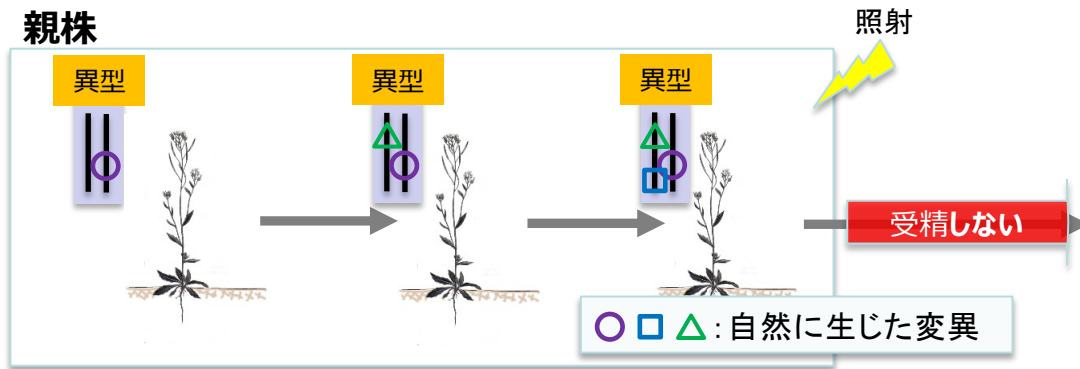
他者の花粉を利用して増殖するグループ



他者の花粉の遺伝子配列は、自身の遺伝子配列とは異なることが多い

雑種性が高い状態

受精しない（挿し木、株分け）で増殖するグループ



受精しないため、片方の遺伝子に変異が蓄積する

雑種性が高い状態

雑種性が高い状態での照射であるため、親世代で、新たな特性が生まれやすい

想定される用途

果樹（リンゴなど）、樹木（スギなど）、株分けで増える植物（イモなど）

- …一世代が長いために、従来法では品種改良が非効率的
- …雑種性が高いために、照射した親植物で、様々な形質が現れることが想定



照射によって親植物で生じた変異がそのまま新品種に直結



一世代の長い植物のゲノム変異情報を活かして、有望枝の早期選抜へ

実用化に向けた課題

- 現在、モデル植物では特定の細胞で生じた変異を識別できるところまで開発済み。しかし、非モデル植物での研究が未到達。
- 今後、非モデル植物について実験データを取得し、一世代が長い樹木や果樹類に適用していく場合の条件設定を行っていく。

企業への期待

- 量子ビームを使って、これまでにない新品種を創出しましょう。
- 挿し木や株分けなどで増殖させているような、一世代の長い植物で、雑種性の高い植物に関する育成技術を持つ、企業との共同研究を希望します。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 同一細胞を起源とする生物組織又は生物細胞を選抜する方法、及びその利用
- 出願番号 : 特願2022-006756
- 出願人 : 量子科学技術研究開発機構
- 発明者 : 北村智、佐藤勝也、大野豊

お問い合わせ先

量子科学技術研究開発機構
イノベーションセンターまでお願いします

T E L : 043 - 206 - 3027

F A X : 043 - 206 - 4061

e-mail : chizai@qst.go.jp