



2024.7.4

第61回アイソトープ・放射線研究発表会

イオンビーム育種で生まれたカドミウム低吸収米について事実を知ろう

# イオンビームを利用した突然変異育種と変異の特徴

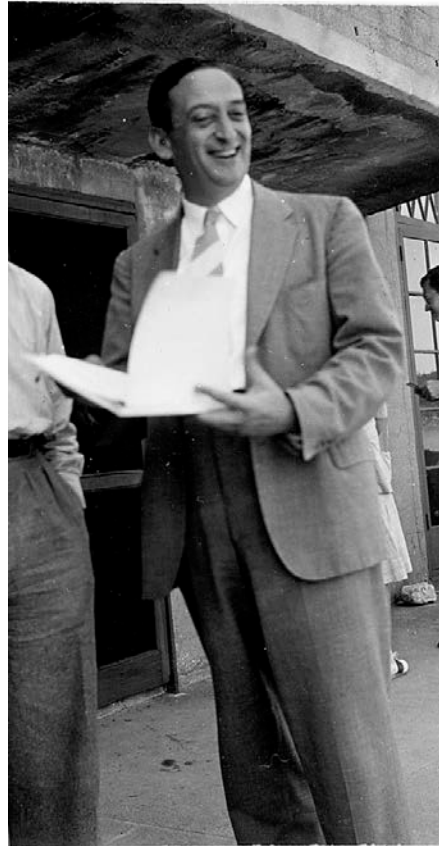
長谷純宏

量子科学技術研究開発機構(QST)

高崎量子技術基盤研究所

量子バイオ基盤研究部

# 植物での人為突然変異の実証



Dr. Lewis J. Stadler



Science 68, 186-187 (1928)

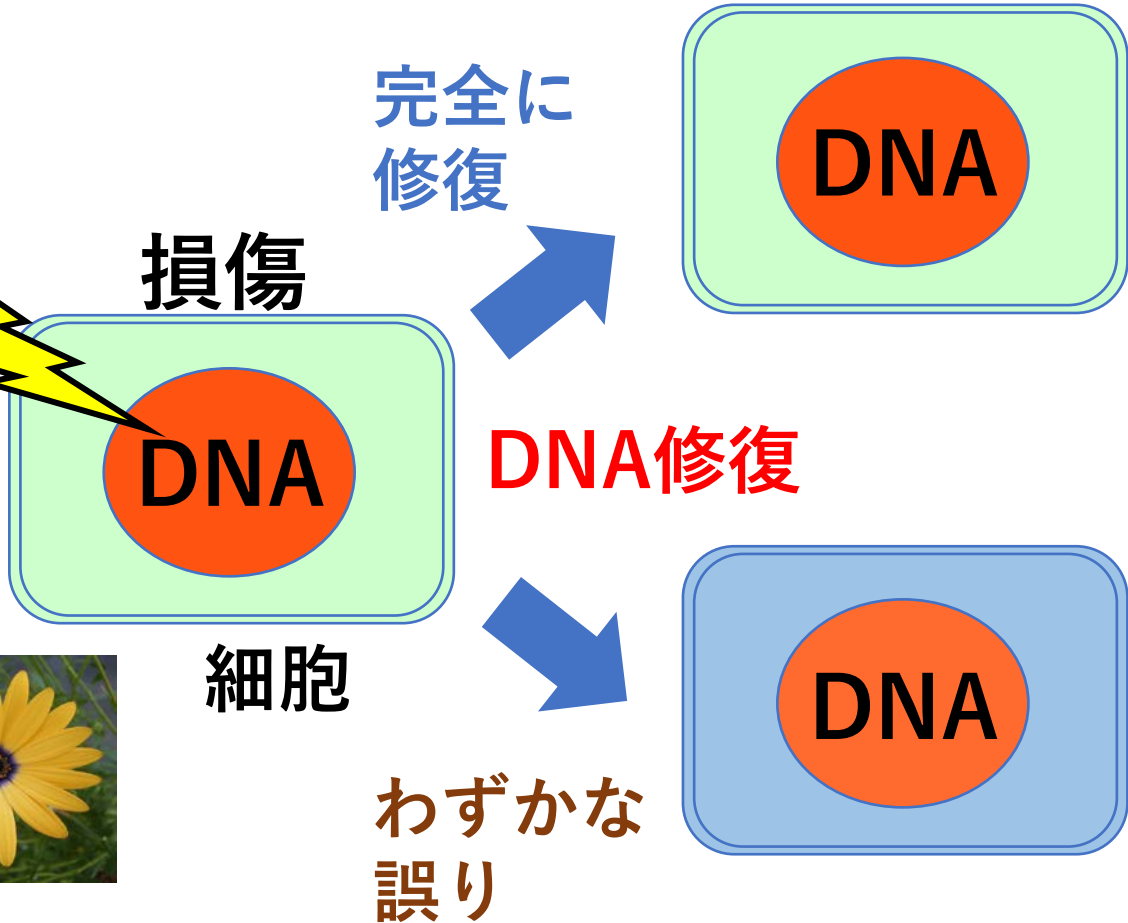
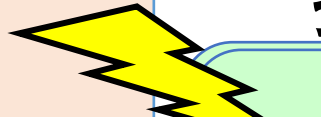
	Total number of head progenies examined	Number segregating mutant seedling characters
X-ray treated:		
Higher voltage		
Heavy dose .....	210	6
Light dose .....	259	1
Lower voltage:		
Heavy dose .....	494	6
Light dose .....	280	1
<b>Total X-rayed .....</b>	<b>1,243</b>	<b>14</b>
Radium treated:		
Total for all doses .....	1,039	3
<b>Untreated .....</b>	<b>1,341</b>	<b>0</b>

← エックス線照射で  
変異頻度が上がる

← 対照 (非照射)

# 突然変異育種とは

- 変異原**
- ・ 化学薬剤
  - ・ 紫外線
  - ・ ガンマ線
  - ・ イオンビーム



もとおりの性質

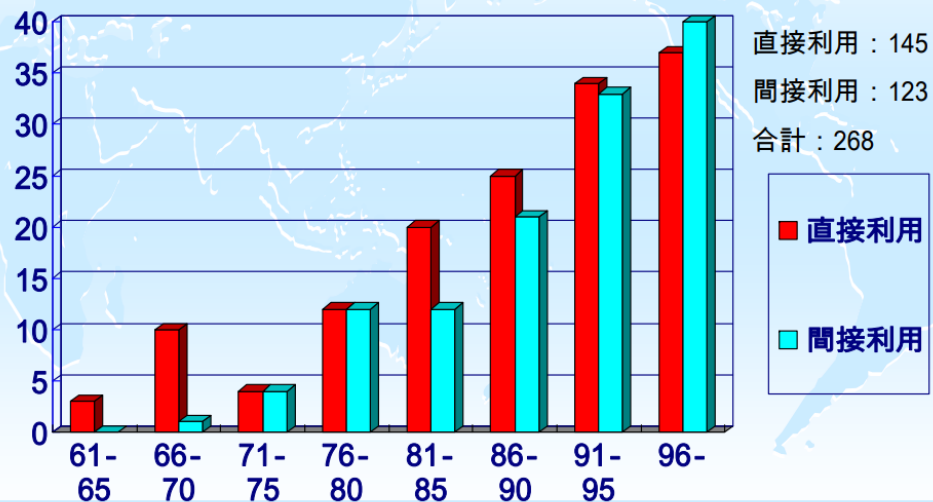


新しい性質を獲得



# 日本国内での突然変異育種由来の品種について

## 日本でこれまでに突然変異育種法 で作りに出された品種の数



放射線育種場 中川 仁 場長(当時)  
 内閣府原子力委員会資料  
<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/chokei2004/chokei20/siryu3.pdf>

## 2001年からの5年間に栽培面積が上位の放射線変異由来イネ品種

4

品種名	用途	栽培面積 (ha)	品種名	用途	栽培面積 (ha)
キヌヒカリ		263,223	どまんなか		3,207
はえぬき		219,734	ゆめおうみ		3,104
つがるロマン		106,423	みえのえみ		2,747
ゆめあかり		66,491	あわみのり		2,697
夢つくし		58,893	ほほえみ		2,686
あいちのかおり		53,697	ナツヒカリ		2,665
あさひの夢		51,049	きぬのはだ	糯性	2,465
むつほまれ		46,959	大地の風		2,257
祭り晴		35,410	アキヒカリ		2,211
どんとこい		17,008	つくし早生		2,120
夢しずく		14,076	はたじるし		1,954
ミネアサヒ		10,698	こいもみじ		1,889
ゆめひたち		10,440	バンバンザイ		1,882
ゆめみのり		9,957	ではひかり		1,726
あさげしき		7,510	みえのゆめ		1,442
あきろまん		7,450	彩		1,432
美山錦*	酒造用	7,242	むつかおり		1,353
つくしろまん		5,533	はなぶさ		1,268
まいひめ		4,514	カグヤモチ	糯性	1,100
ふくみらい		4,458	いただき		1,075
あいちのかおりSBL		3,662	出羽燦々	酒造用	1,009
たつこもち	糯性	3,322			

\*放射線変異直接利用品種。他の半分は「フジミノリ」へのガンマ線照射で草丈を低くした「レイメイ」の半矮性遺伝子を受け継ぐ子孫

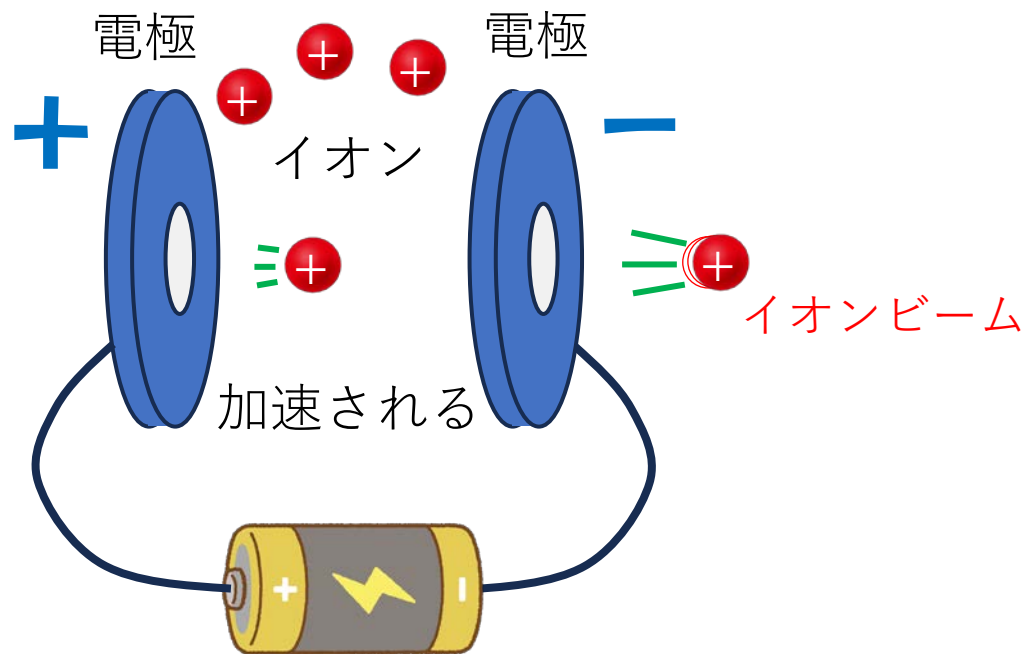
出典：林 徹「食品・農業分野の放射線利用」表3-4. 幸書房（2008年）

水稻「レイメイ」が告げた放射線育種の黎明

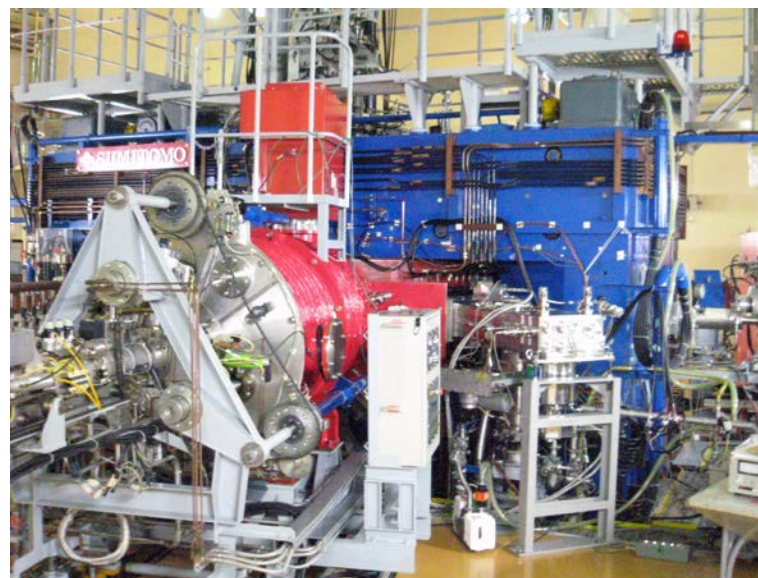
<http://rada.or.jp/database/home4/normal/ht-docs/member/synopsis/020140.html>

# イオンビームってどんなもの？

電場を使って加速したイオン



大型加速器を利用して発生させる



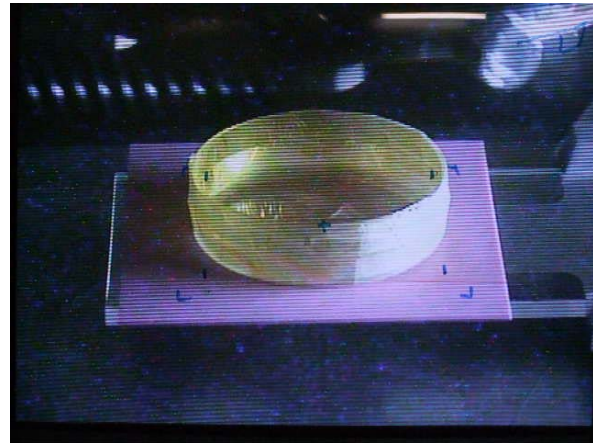
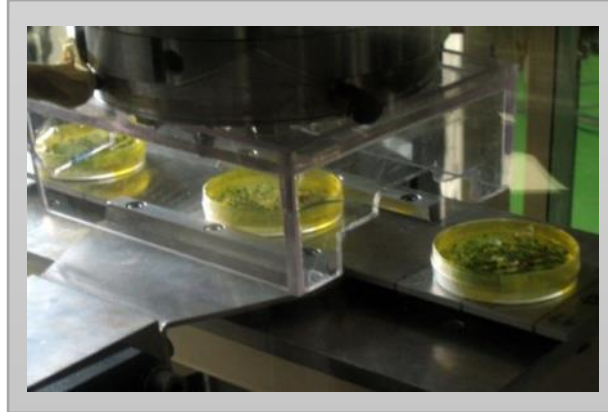
AVFサイクロトロン



静電加速器

QST高崎研 イオン照射研究施設 (TIARA)

# 生物試料用照射装置 (QST高崎)



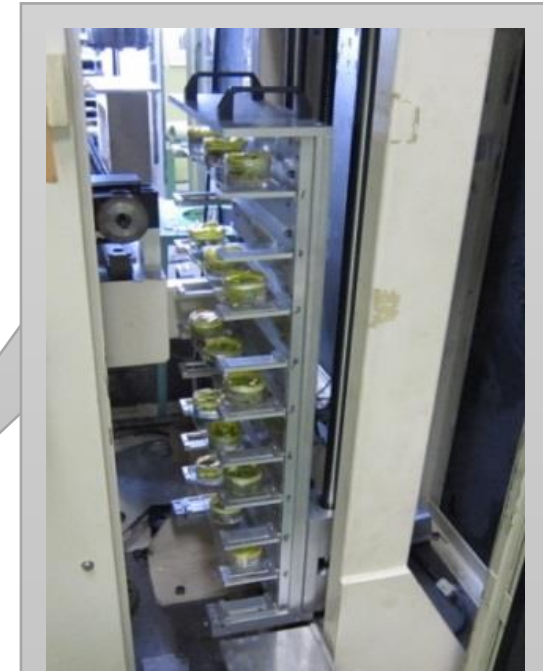
照射野 6 cm x 6 cm  
照射時間 10 ~ 60 秒

※動画は蛍光板を置いて  
ビームを可視化している

イオンビーム(1階から)

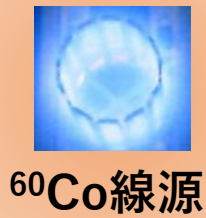


サンプルストッカー



# イオンビームは変異原として有用か？

## ガンマ線



$^{60}\text{Co}$ 線源



DNA

## イオンビーム



加速器



DNA

イオン粒子

飛跡に沿って大きなエネルギーを付与

(基礎) イオンビームはDNAにどんな変異を起こすのか？

(応用) 突然変異育種による品種育成に効果的なのか？

# イオンビームによる初めての登録品種 (1998)



(原品種 太平)

(イオンの光輝)

(イオンの魔法)

変異原	変異体の出現頻度 (%)					
	白色	薄桃	濃桃	橙	黄	複色/条斑
非照射	0	0.3	0	0	0	0
<b>ガンマ線</b>	<b>0</b>	<b>27.7</b>	<b>2.1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>炭素イオン</b>	<b>0.3</b>	<b>4.6</b>	<b>0.3</b>	<b>0.3</b>	<b>0.2</b>	<b>10.2</b>

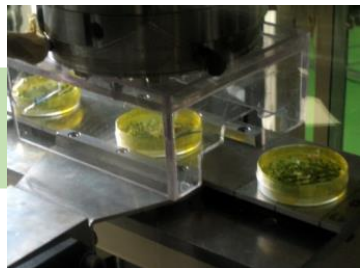
(イオンの初音)

(イオンの成宏)

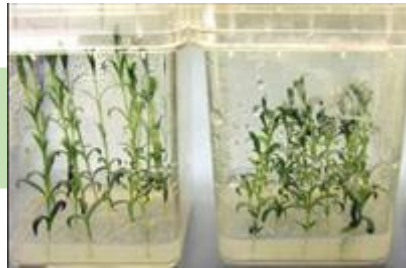
(イオンの光明)



# カーネーションでの変異の比較



1. 培養組織への照射  
(~ 2 週間)



2. 植物体の再生  
(~ 3 ヶ月)



3. 変異体選抜  
(~ 1 年)



新しい花色・花型

変異原	変異体の出現頻度(x 10 <sup>-1</sup> %)										
	花色									花型	
	淡桃	桃	濃桃	赤	サーモン	黄	クリーム	条斑	複色	丸弁	ナデシコ型
炭素イオン	3.5	4.7	1.2	3.5	2.4	1.2	1.2	3.5	2.4	4.7	2.4
EMS(化学変異原)	0	5.2	0	1.0	0	0	0	3.1	0	0	0
エックス線	1.7	8.4	0	3.4	0	0	0	0	0	0	0
ガンマ線	9.6	9.6	0	1.7	0	0	0	0	0	0.9	0

# QST高崎のイオンビームで得られた品種の例

## いろいろな花の新品種



## カドミウムをほとんど 吸収しないコシヒカリ



## 壁面緑化植物



新神



## 甘い香りを生み出す 清酒酵母



## アジア各国でも新品種が 生まれている

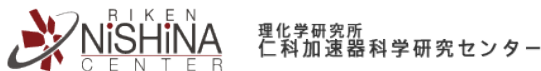


# イオンビーム育種に利用されている加速器施設



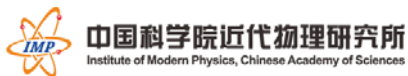
韓国原子力研究院  
多目的加速器コンプレックス  
(KOMAC)

<https://www.kaeri.re.kr>



理化学研究所  
仁科加速器科学研究センター  
RIビームファクトリー

<https://www.nishina.riken.jp/facility/RIBFfacility>



中国科学院近代物理研究所  
蘭州重イオン研究施設  
(HIRFL)

<https://english.imp.cas.cn>



若狭湾エネルギー研究センター  
多目的シンクロトロン・タンデム加速器  
(W-MAST) <https://www.werc.or.jp>



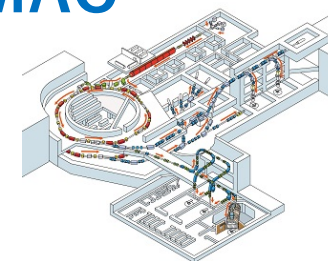
高崎量子技術基盤研究所  
イオン照射研究施設

**TIARA**



量子医科学研究所  
重粒子線がん治療装置

**HIMAC**

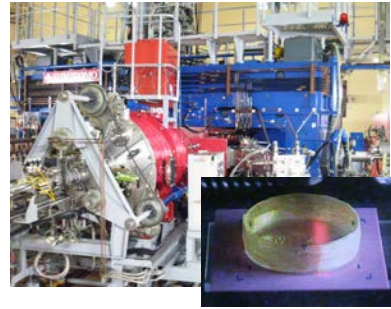


# どのような変異がどれくらい起きるのか？

## 調査した変異原の種類



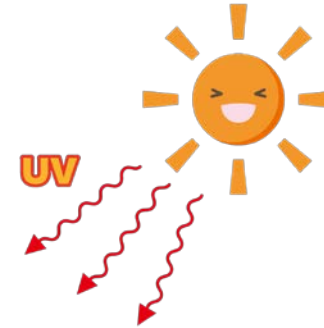
モデル植物  
シロイヌナズナ



イオンビーム



ガンマ線  
急照射（一度に照射）  
緩照射（長期間照射）



紫外線(UVB)



自然突然変異

ゲノムDNA  
約1億3000万塩基

遺伝子数  
約26,000

## 照射試料による違い



乾燥種子



生体(苗)

## 微生物への照射



枯草菌

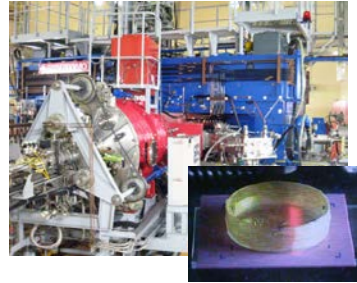
# 種子照射での炭素イオンとガンマ線の違い



モデル植物  
シロイヌナズナ

ゲノムDNA  
約1億3000万塩基

遺伝子数  
約26,000



炭素イオン



乾燥種子



ガンマ線(急照射)

致死効果に  
線量あたりで  
約8倍の違い

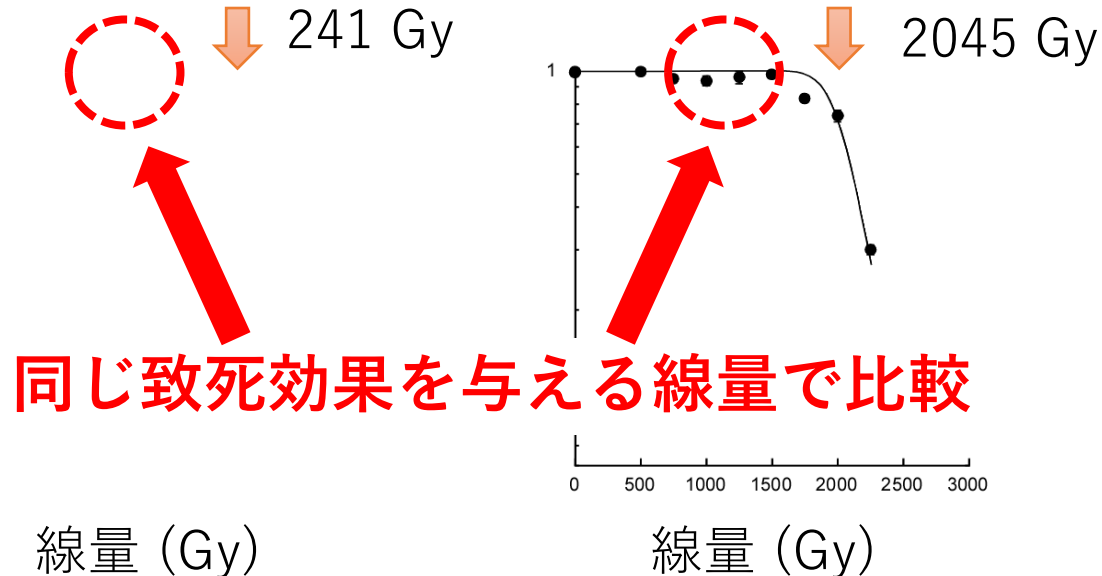


同じ致死効果と  
与える線量で照射



次の世代の植物体の  
全ゲノム配列を解析  
(突然変異を検出)

生存率



同じ致死効果と与える線量で比較

# 突然変異の種類

## 小規模な変異

DNA  
TAAGCTC  
ATTCGAG  
塩基の損傷・切断

### 塩基置換

TA**G**GCTC  
AT**C**CGAG

### 欠失・挿入

TA CTC  
AT GAG

AG  
TC

少数のDNA配列が置き換わったり失われたりする変異

## 大規模な変異

DNA  
切断 切断

### 欠失

再結合

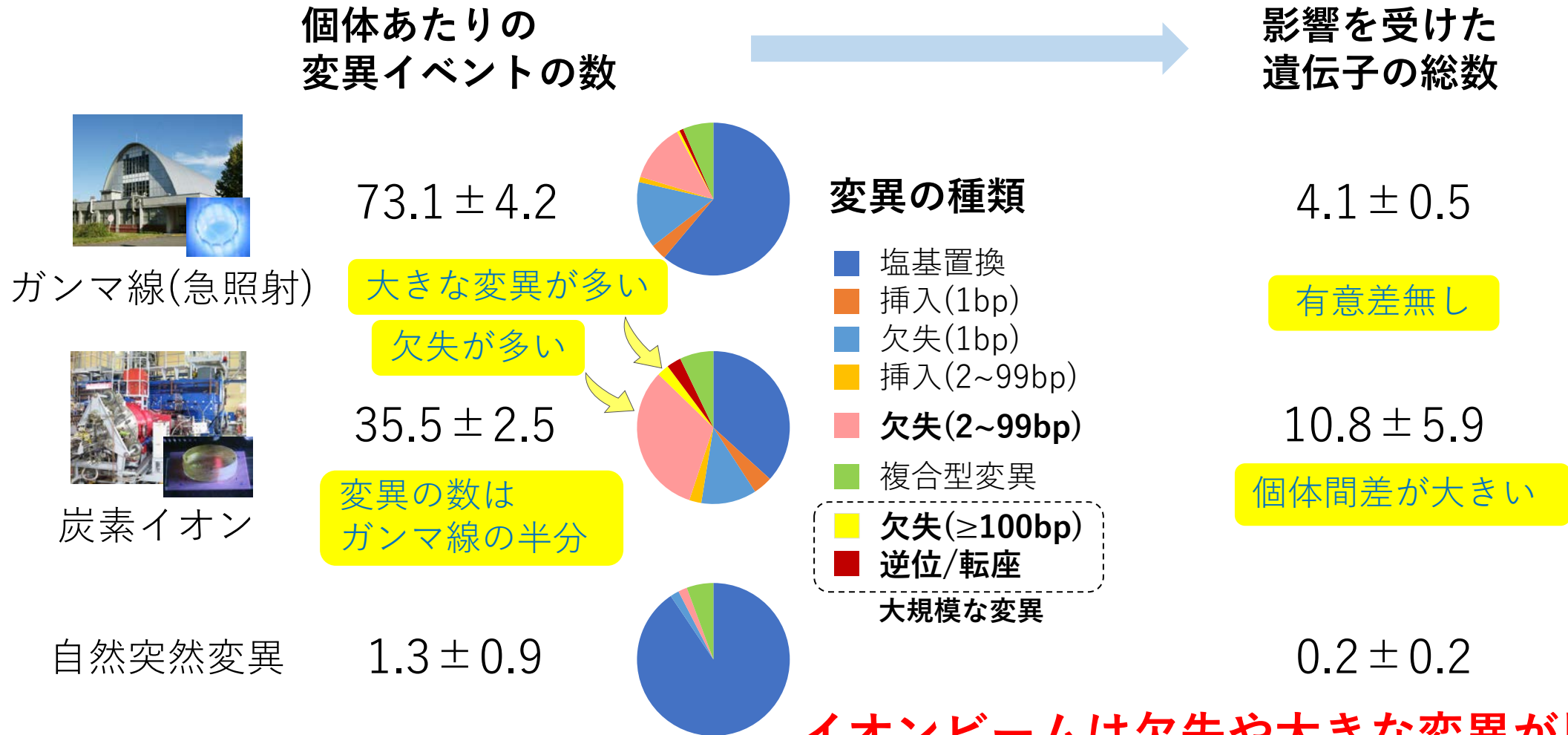
### 逆位・転座

再結合

再結合

数千～数百万のDNA配列が失われたり異なる方向で再結合したりする変異

# 種子照射での炭素イオンとガンマ線の違い



イオンビームは欠失や大きな変異が比較的多く、少ない変異数で大きなバリエーションを生む

# おわりに

---

- **突然変異育種について**

- > 世界中で長年行われ、多くの有用品種が開発されている
- > 突然変異は誤った修復によって生じるDNA配列の変化

- **イオンビームの利用について**

- > 日本がリードして研究を進め、植物や微生物の品種開発に利用
- > 最近では外国でも利用され、新品種が生まれている

- **どのような変異がどれくらい起きるのか？**

- > イオンビームは、少ない変異数で大きなバリエーションを生む