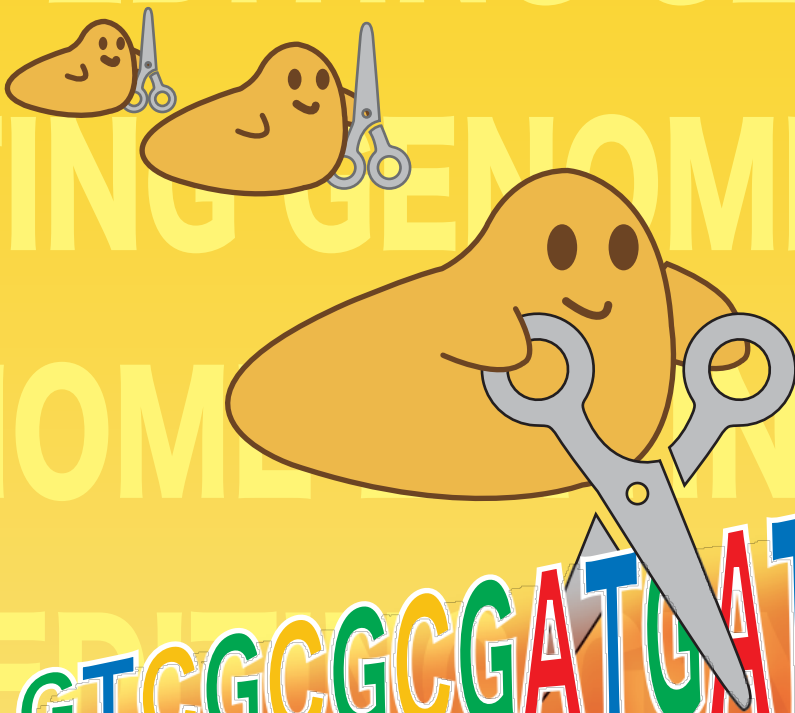


ゲノム編集

～新しい育種技術～



GTCCGCCGCGATGATGGATCC
CACCGCGCTACTACCTAGG

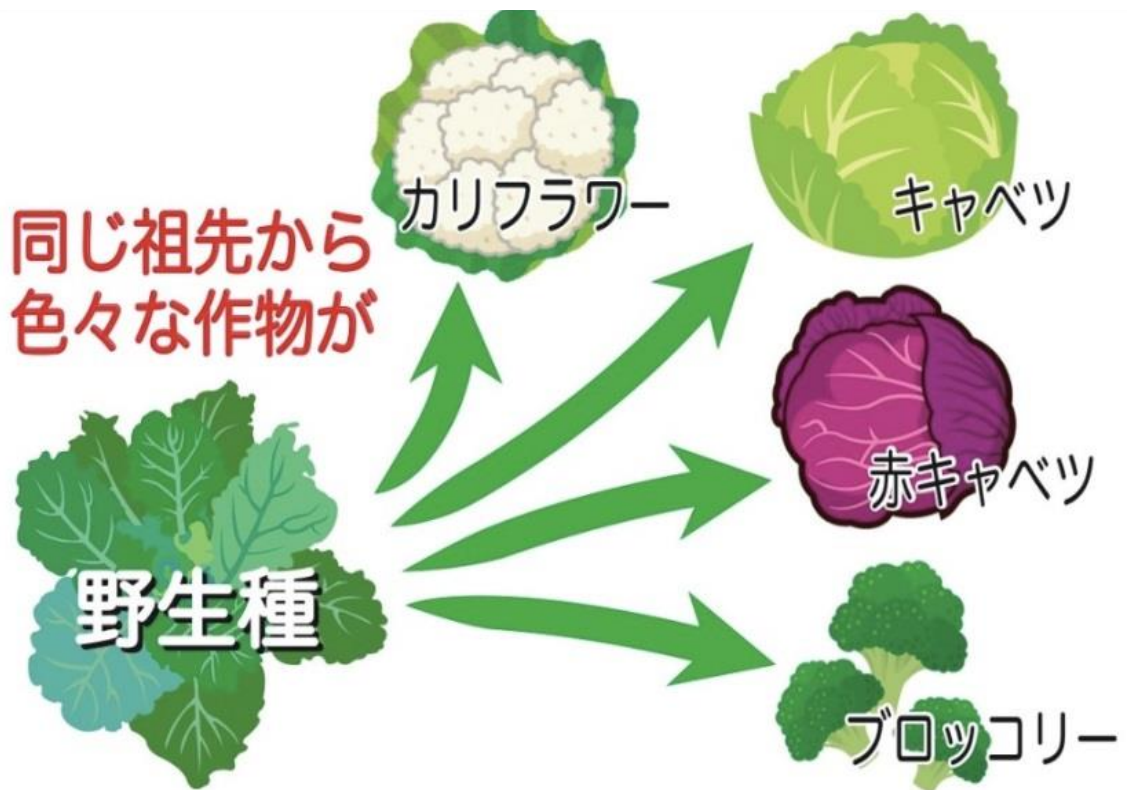
ゲノム編集

～新しい育種技術～

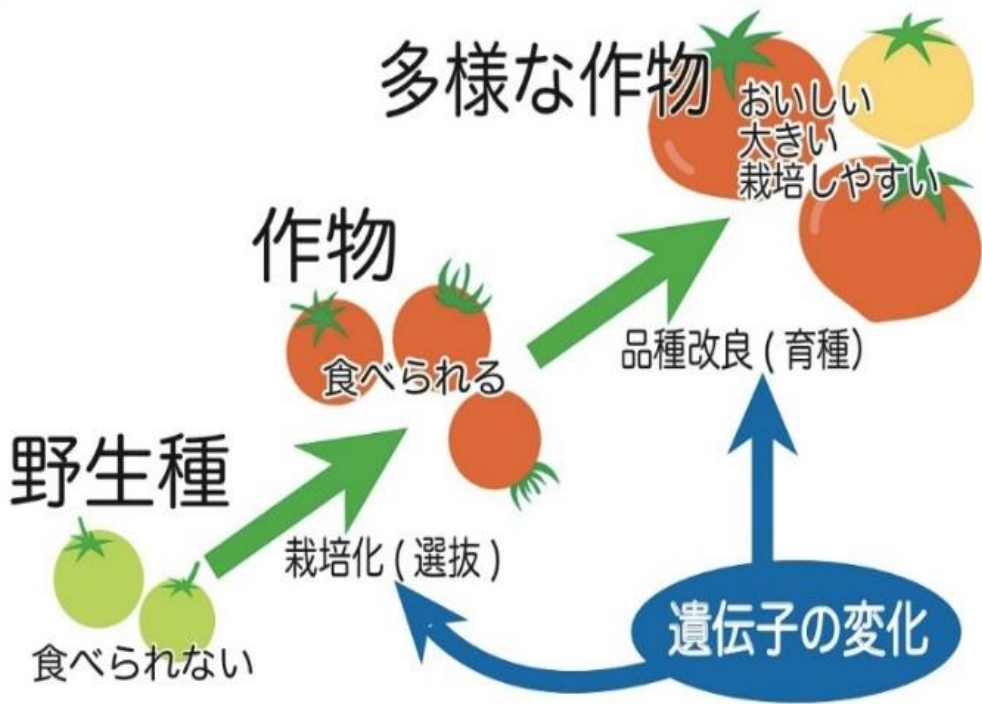
1. 農作物が作られてきた歴史

八百屋やスーパーマーケットに行くと、様々な野菜が販売されています。また、ホームセンター等のタネ売り場に行くと、同じ野菜でも様々な品種があることがわかります。これら野菜のほとんどすべては、人間が長い年月をかけて野生の植物から作り出したものです。

キャベツを例に考えてみましょう。お店でよく見る大きなキャベツ、赤キャベツや小さな芽キャベツなど色々ありますが、それだけではありません。ブロッコリーやカリフラワーも、もとはキャベツと同じ野生の植物から作り出されたものです。



農作物の祖先である野生の植物は、実が小さかったり、毒があったりして、栽培して食べるには適さないものがほとんどです。それでも、栽培を続けるうちに、性質が変化したものが生えてくることがあり、その中から利用しやすいものを人間が選んできました（栽培化）。たとえば、実が大きくなったものを選び、その種子をとり栽培することを繰り返すうちに、大きな実をつける品種ができます。このように新しい品種を作ることを品種改良や育種といいます。

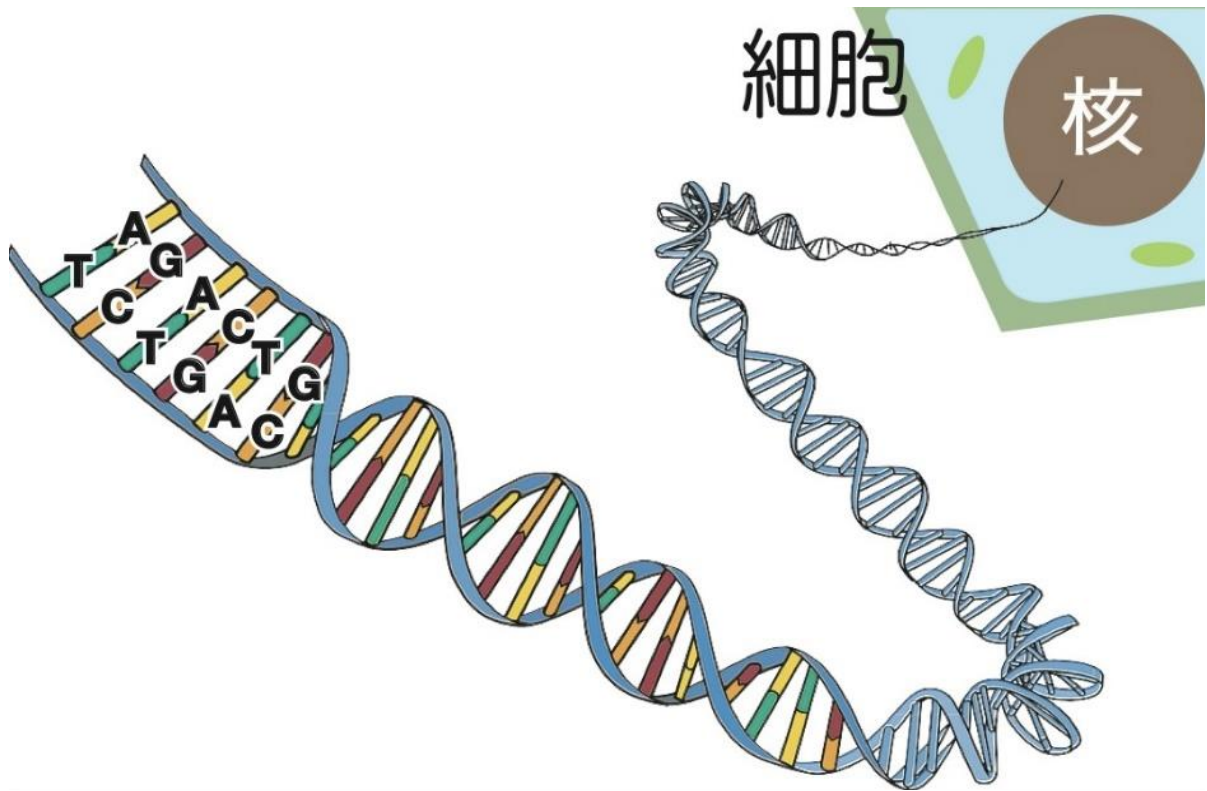


まれに見つかる良い形質のものを選ぶだけでは、目的に合ったものが得られにくいので、品種改良の方法の研究も進められてきました。性質の異なる品種を掛け合わせて良い性質を持つ品種をつくる方法（交配育種）はよく知られています。性質の変化を助ける方法として人為的に突然変異を起こしたり、遺伝子を組換える技術も使われており、最近では、この資料のテーマであるゲノム編集技術を用いる研究が進んでいます。

2. 品種改良は遺伝子の変化を利用

野生の植物を栽培できるようにしたり、色々な目的に合わせた品種を作ったりする品種改良は、遺伝子の変化によって性質が変化することを利用してしています。

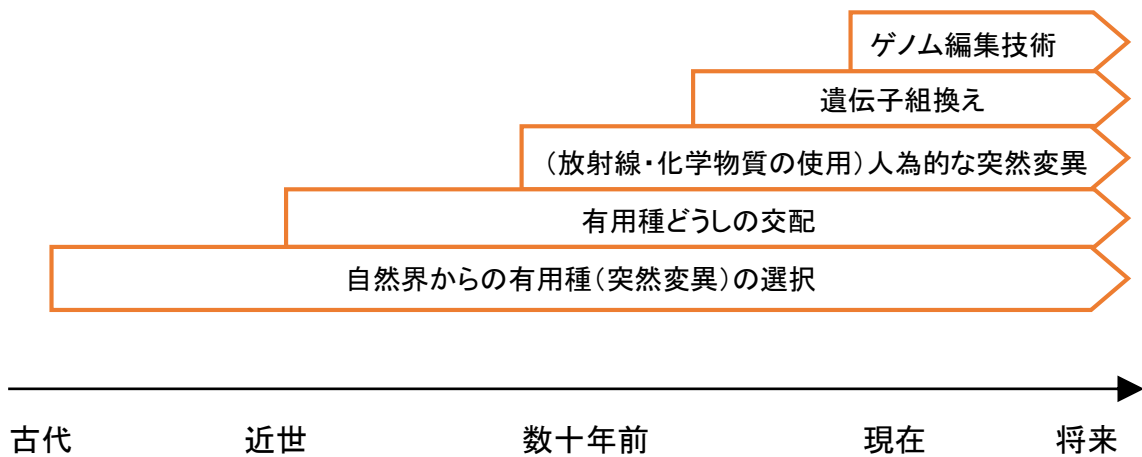
遺伝子は、DNAのうち、その生物の性質や特徴などに大きく関与する部分をいいます。DNAの構成要素の一つである塩基は4種類（A：アデニン、T：チミン、G：グアニン、C：シトシン）あり、この並び方（DNA配列）により生物の形や性質の違いなどが決まります。また、生物が持つDNA全体をゲノムといい、その中には数万個の遺伝子が含まれています。



生物の細胞の中では、紫外線等によってDNAが切断されることがあります。生物は、それを元通りに直す仕組みを持っていますが、まれに元とは違う並び方になることがあります。これが突然変異です。

これまで、私たちが行ってきた品種改良の歴史は、①自然界で起きた突然変異により形質が変化したものを選抜することから始まり、②異なる品種をかけ合わせる交配育種や、③別の生物から目的とする遺伝子を導入する遺伝子組換えが利用されるようになりました。更に現在、④ゲノム編集技術（後述）が開発されています。

（育種の歴史）



○自然に発生する突然変異の利用

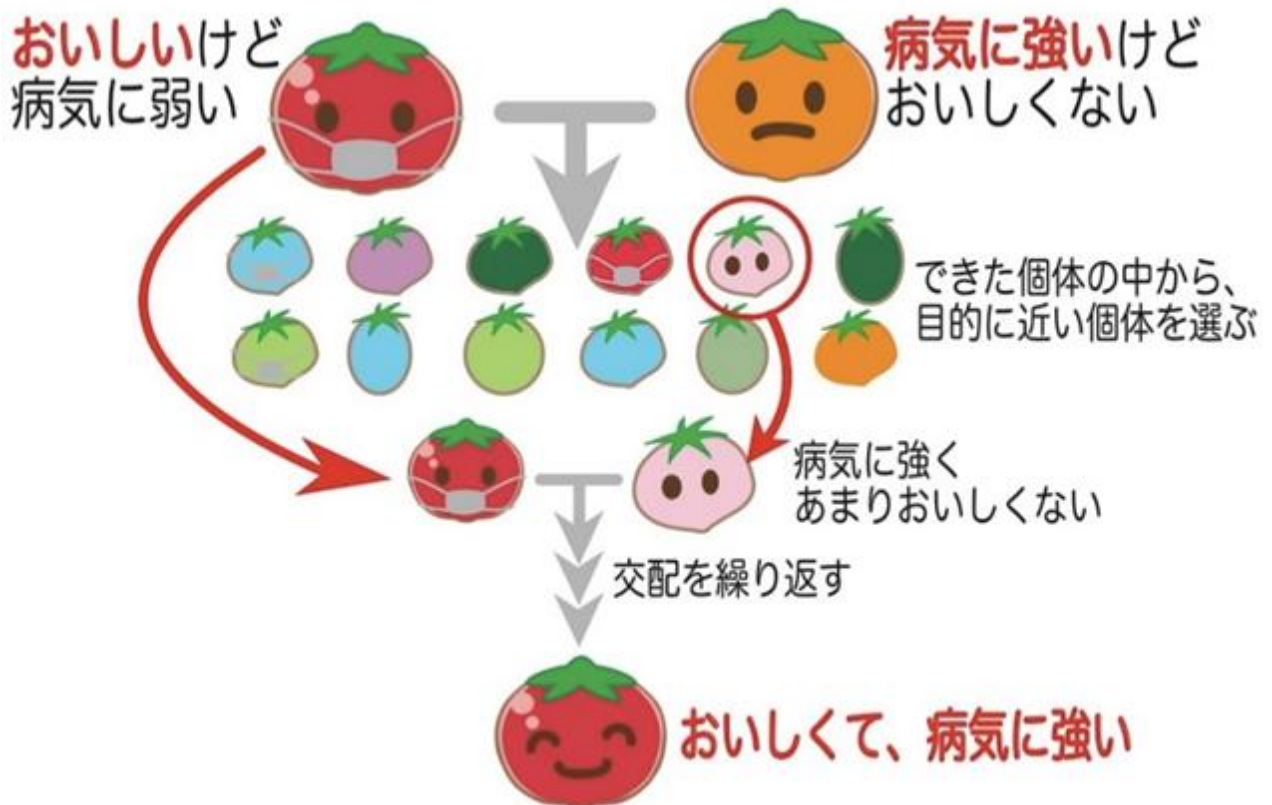
イネやコムギの祖先は粳（もみ）が落ちやすいという性質があるため収穫時のロスが大きかったのですが、長く栽培を続ける中で、粳が落ちにくくなる突然変異が起きたものが選ばれてきました。たくさん実っても倒れにくいように、背が低くなる突然変異もよく利用されています。

また、ナスには受粉をしなくても果実が大きくなるものが見つっていますが、これも普通のナスが突然変異したものです。

○交配育種

目的の突然変異が起きるのを待つだけでは効率が悪いので、新しい品種を作るためによく使われているのが、性質の異なる品種同士を交配する方法です。

まず、どのような性質の品種がほしいかという目標を決めます。たとえば、おいしくて病気に強い品種を作るとしましょう。今ある様々な品種の中から、目的の性質を持つもの（おいしい品種と病気に強い品種）を選び出し、一方の花粉をもう一方のめしべにつけ、種子をとります（交配）。すると、おいしい品種の遺伝子とおいしくない品種の遺伝子、また病気に強い遺伝子と病気に弱い遺伝子の両方の遺伝子を持つ種子ができます。得られた種子をまいて、目的の性質（遺伝子）を持つものを選び（選抜）、さらに品質の優れた品種と交配するという作業を何回も繰り返すことで不要な性質（遺伝子）が必要な性質（遺伝子）に置き換わったものを選んでいきます。性質が安定すれば新品種が完成です。新しい品種を作るまでには、イネでは10年くらい、果樹では何十年もかかります。

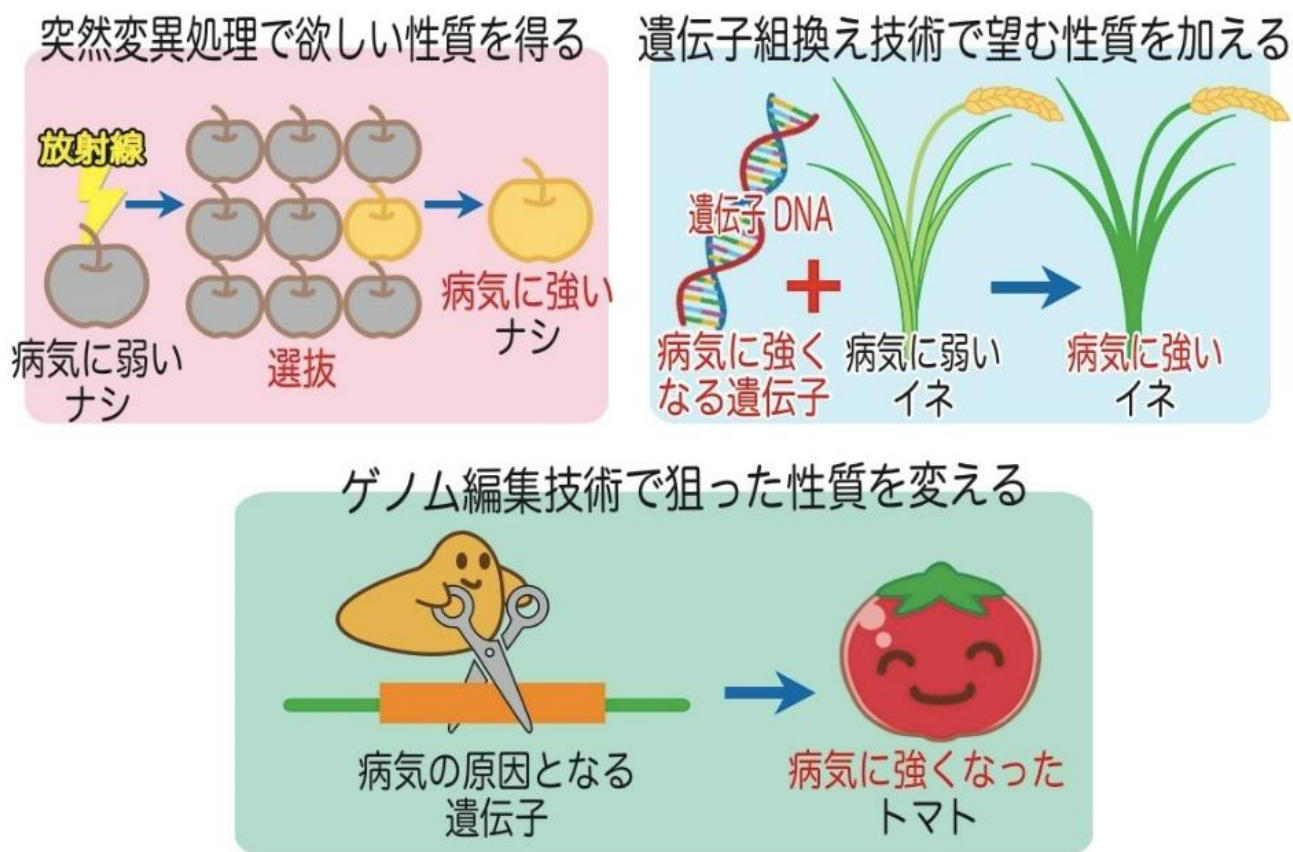


○近代の育種技術

交配による品種改良では、交配の親として様々な特性の品種を数多く用意しておくことが必要です。そのため、品種改良を行う種苗会社や研究所では多様な品種の種子を保管しています。

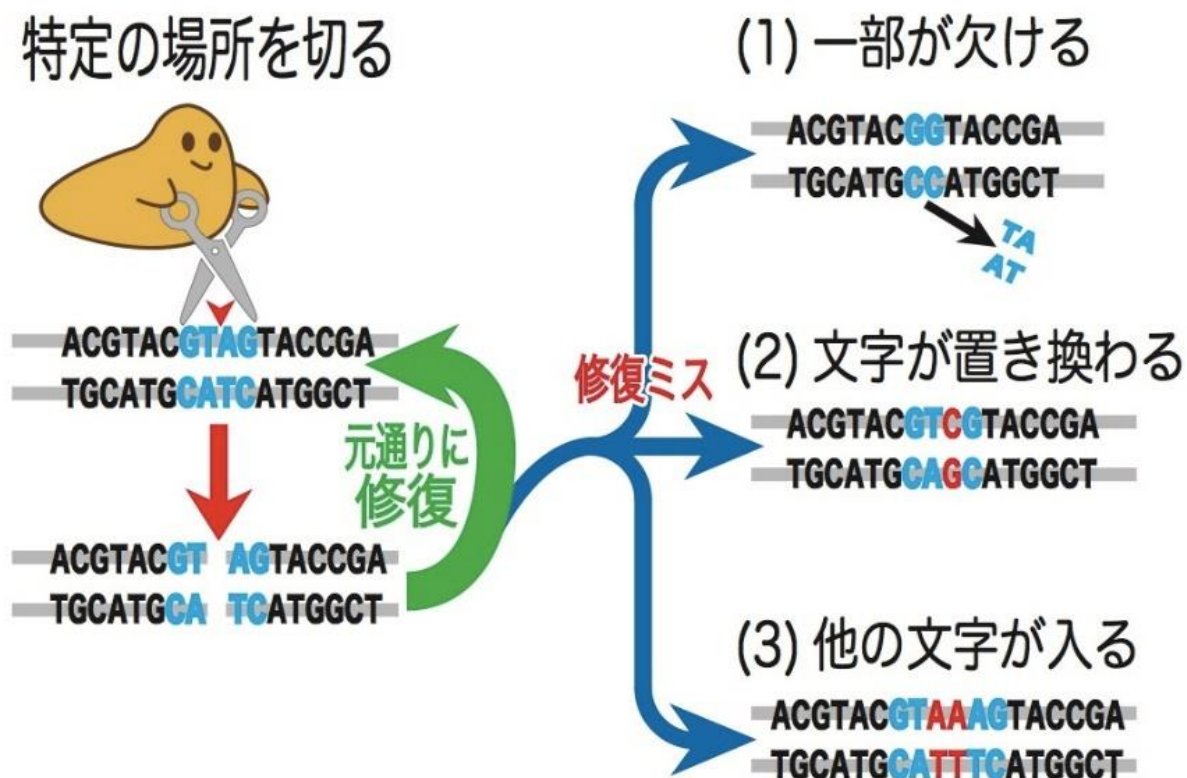
それでも、目的の性質をもつ品種が見つからないこともあります。そのような場合は、遺伝子を変化させて目的に合ったものを新しく作る必要があります。そのために、放射線や化学物質等を用いることで突然変異を起こさせたり、遺伝子組換え技術で他の生物の遺伝子を入れたりすることで、目的の性質を持たせる方法が開発されてきました。ゲノム編集技術もその一つとして、品種改良での利用が研究されています。

新しい品種を作る方法は様々ですが、どれも遺伝子の変化による性質の変化を利用しています。



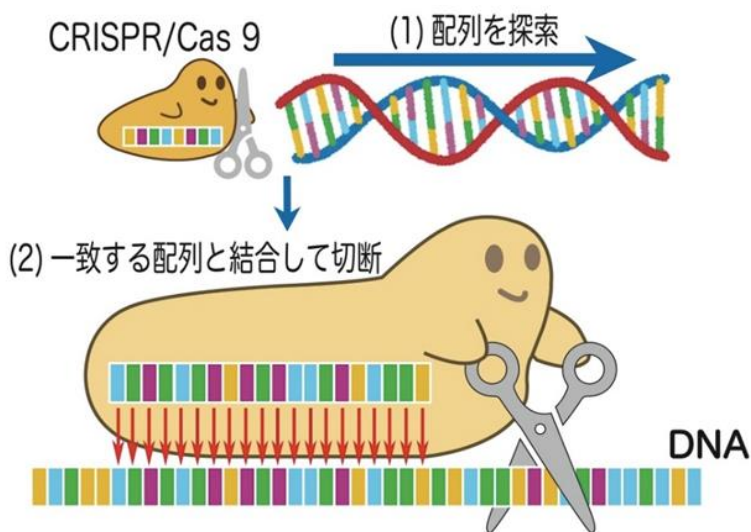
3. ゲノム編集技術の原理と特徴

ゲノム編集技術の基本は、生物が持つゲノムの中の特定の場所を切断することです。先にも述べたように、生物には切れたDNAを正しく直す仕組みがありますが、まれに修復ミスで突然変異が起こります。ゲノム編集技術では、この現象を利用し、目的の場所に突然変異を起こします。ゲノムの狙った場所に突然変異を起こすことができるのが、自然に起きる突然変異やこれまでの人為的な突然変異とは異なる点です。



ゲノム編集技術を品種改良に用いる利点の一つは、特定の遺伝子に突然変異を起こさせて、目的の性質を持つ品種を効率的に作ることができる点です。すでに利用されている品種を直接改良できますので、目的の突然変異が起きるまで待ったり、何度も交配や選抜を繰り返したりすることに比べて、大幅に時間を短縮できます。今後、気候変動や新しい病害虫への対応が求められた場合に、短期間で新品種を開発することが期待されています。

ゲノム編集を行うためには、ゲノム中の特定の場所を切る道具が必要です。そのために開発されたのがDNAを切断するはさみの役割を果たすタンパク質です。ZFN（ジンクフィンガーヌクレアーゼ）やTALEN（タレン）、CRISPR/Cas9（クリスパー・キャスナイン）システムなどがありますが、いずれも、遺伝子のDNA配列（A、T、G、C）を目印にして結合し、そこで切断するという共通しています。例えば20個分のDNAを目印にする場合、この配列になる確率は1兆分の1（A、T、G、Cのうち1つが4分の1の確率で20個並ぶため、4分の1の20乗）と極めて低く、長いDNA配列の中でもピンポイントで狙った配列を切断することが可能です。



○オフターゲット変異

一方、ゲノム編集では、目的の遺伝子以外も切断する可能性が指摘されています。これは「オフターゲット変異」と呼ばれています。

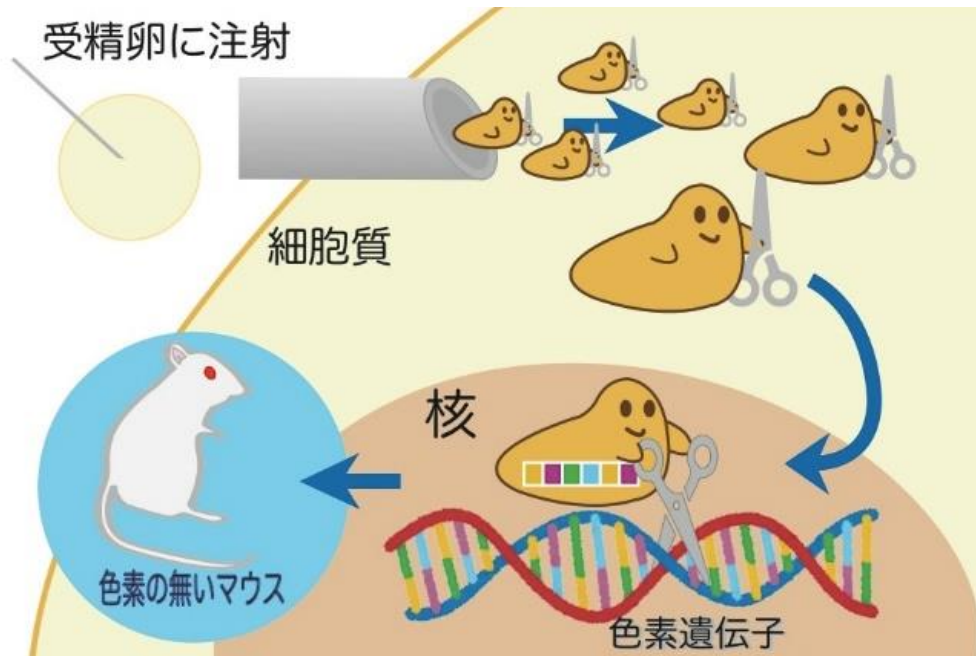
このため、本来目的とするDNA配列と似た塩基配列を調べ、その配列に変異がないかを確認する等、オフターゲット変異が残らないようにすることが重要です。

このような目的の遺伝子以外が変異することは、従来品種改良でも様々起こっており、その場合、望ましくない変異を交配などを利用して取り除き、目的のものを選抜しています。

ゲノム編集技術は先に述べたとおり、ゲノム中の特定の場所を狙うものであり、目的の遺伝子以外を切断する可能性は低いこと、また、万が一目的の遺伝子以外を切断したとしても、従来品種改良と同様に、こうした目的としない変異がないものだけを選抜して利用します。

4. 動物でのゲノム編集

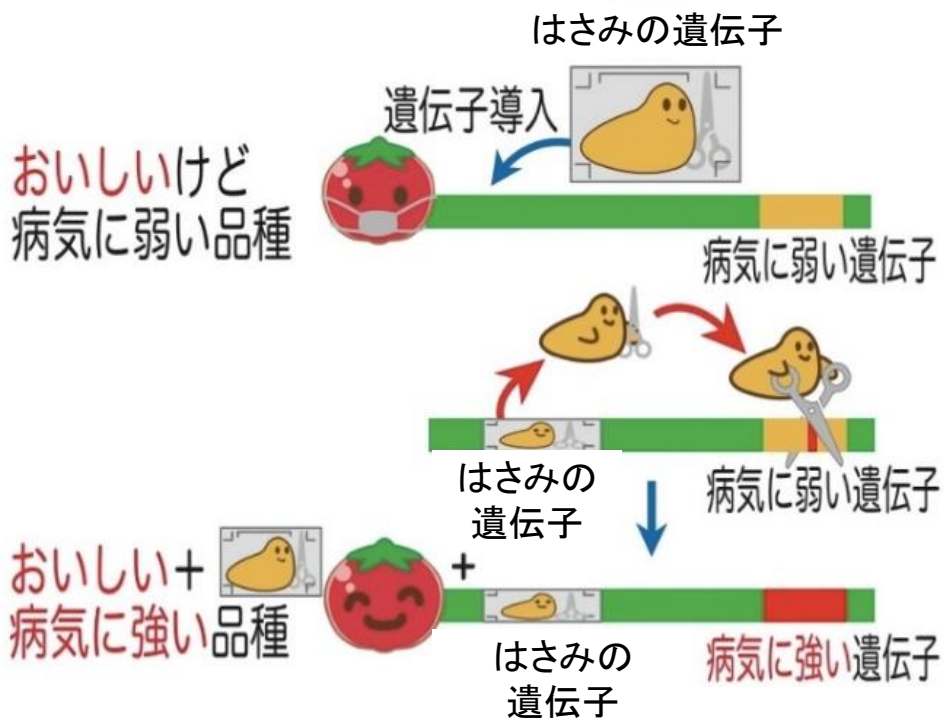
動物でのゲノム編集では、はさみの役割を果たすタンパク質（部位特異的ヌクレアーゼ）やそれを作るmRNA※を受精卵に針で刺して直接注入するなどして、目的の遺伝子を切断することができます。はさみタンパク質やmRNAは細胞内で分解されるため次世代には残りません。



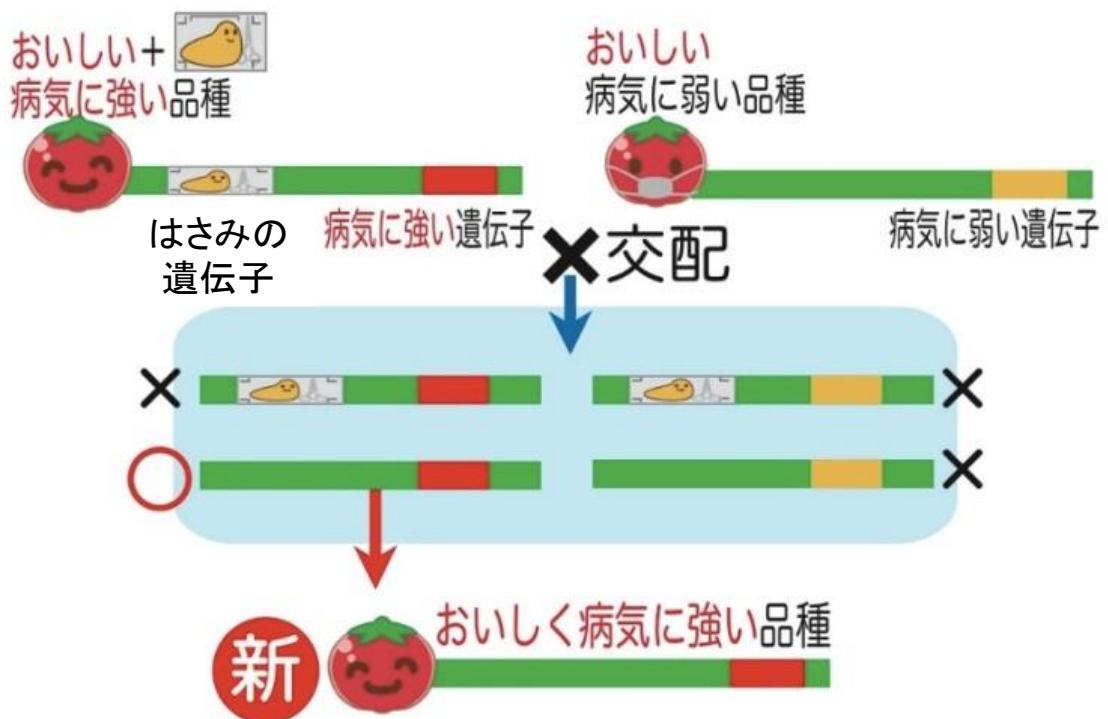
5. 植物でのゲノム編集

植物は細胞壁という硬い組織をもっているため、植物でのゲノム編集では、はさみの役割を果たすタンパク質やmRNAを直接細胞に入れるのは現在のところ困難です。このため、遺伝子組換え技術を使ってはさみの役割を果たすタンパク質の遺伝子を一旦ゲノム上に導入するのが一般的です。この遺伝子が植物のゲノムに組み込まれた後、ここからはさみの役割を果たすタンパク質が作られ、目的の遺伝子を切断する、という流れになります。

※mRNA: ゲノム中の遺伝子の情報(設計図)を写し取った物質。この情報を用いてタンパク質が合成される。



ただ、このはさみの役割を果たすタンパク質がゲノム中の目的の場所を切断して突然変異が生じた後は、導入したはさみの役割を果たすタンパク質の遺伝子は不要になります。そこで、交配などを利用し、このはさみの役割を果たすタンパク質の遺伝子を持たないものを選びます。



6. ゲノム編集と遺伝子組換え

遺伝子組換えでは、目的の性質を持つ遺伝子を他の生物から導入し、その遺伝子の働きを利用しますが、ゲノム編集では、もともと持っている遺伝子に突然変異を起こします。

植物のゲノム編集では、はさみの役割を果たすタンパク質等の遺伝子を導入するため、一時的には遺伝子組換え体になりますが、導入した他の生物由来の遺伝子（外来遺伝子）を残す必要はありません。

	ゲノム編集で できる作物	遺伝子組換えで できる作物
方法	その作物自身の遺伝子の 狙った場所を変える	他の生物の遺伝子を 利用する
従来の育種と 比較して	従来育種でできたものと同 等のものも作ることができる	従来育種でできないものを 作ることができる
最終製品に 外来遺伝子を	残さない	残す

7. ゲノム編集技術を用いた品種改良の研究

ゲノム編集技術を用いた取組みが進められている品種改良研究の例を以下に紹介します。

【食中毒のリスクを低減したジャガイモ】

ジャガイモの芽や緑色になった部分には、ソラニンという毒素が作られていて、食中毒の原因になります。近年は、学校等で自家栽培されたものによる食中毒も毎年のように報告されています。

ジャガイモがソラニンを合成する時に必要な酵素がわかっています。そこで、ゲノム編集技術でこの遺伝子に突然変異を起こさせて、ソラニンが作られないようにすることで、食中毒のリスクを低減できます。



写真: 大阪大学

【GABAを多く含むトマト】

GABAはアミノ酸の一種であり、リラックス効果や血圧上昇抑制効果の働きがあることが知られています。一般的なトマトにもGABAは含まれていますが、更にこの健康機能性を高めるため、ゲノム編集技術を使ってGABAの生合成に関わる遺伝子に変異を起こさせることで、GABAをさらに高蓄積させるトマトを作出できます。



写真: 筑波大学

【受粉しなくても実がなるトマト】

一般的なトマトでは、実がなるためには花粉がめしべにつく（受粉する）必要があります。ハウス栽培ではハチを使って受粉させますが、夏や冬にハチの活動が低下すると人間による受粉作業が必要になることもあり、手間がかかって大変です。

花粉がなくても実がなる（単為結果する）ことに関する遺伝子に対して、ゲノム編集技術を使って突然変異を起こさせると、単為結果性を持たせることができるようになります。



写真: 筑波大学

【収量増加を目的としたイネ】

農地の有効利用や生産コストの低減のためには、収量の増加が欠かせません。お米の収量を高める品種改良には様々な方向性がありますが、1株当たりの穂の数を増やしたり、米粒を大きくしたりすることも有効です。

穂の枝分かれの数や米粒の大きさに関わる遺伝子に対して、ゲノム編集で突然変異を起こさせたイネが開発され、生育や収量にどのような効果があるかを確認する研究が進められています。



写真: 農研機構

【作成】

農業・食品産業技術総合研究機構（農研機構）

生物機能利用研究部門企画管理部

遺伝子組換え研究推進室

029-838-7138

kenkyu-suishin@naro.affrc.go.jp

【監修】

農林水産省 農林水産技術会議事務局

研究企画課 技術安全室

03-6744-2452

GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING
GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING
GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING
GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING
GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING
GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING
GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING
GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING
GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING
GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING
GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING GENOME EDITING



NARO

農研機構

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構