



食卓への贈り物

わたしたちの食卓に並ぶ
野菜や果物、肉や魚
お米も、小麦も

何百年という長い長い歴史の中で
すこしずつ変化して生まれてきました

いまこの瞬間には、まだないものも
はるか先の未来には、
偶然生まれるかもしれないもの

ゲノム編集という新しい手法が
その実現を近づけます



この先の未来で 生まれるかもしれないもの それを少し早く、作れるようになってきた

品種改良によって生み出されてきた、多様な作物たち。
現在栽培されている作物のほとんどは、
長い時間をかけて人の手で改良されてきたものです。
バイオテクノロジーの進歩によって、品種改良の方法も新しくなっています。
その鍵をにぎるのは、「ゲノム編集」とよばれる技術。
2019年の秋には、日本でゲノム編集を農作物に適用するための
新しいルールも決まり、実用に向けた土台が整いつつあります。



ゲノム編集ってどんな技術？

ゲノム編集の特徴は、生物種を問わずに正確に狙った場所を変えられること。ゲノム編集の技術では、2012年に登場した「CRISPR/Cas9（クリスパー / キャス9）」を使う方法が最もよく知られています。特定の遺伝子の配列を探しだして、その部分を切断する技術です。



使い道は農作物だけじゃない

切断するだけではなく、切れた部分に別の遺伝子を入れることも可能です。これを利用すれば、病気で変異している遺伝子を正常な遺伝子に書き換えられるので、医療分野でも応用が期待されています。その他、創薬やエネルギーといった分野でも注目が高まっています。



品種改良とはどう違うの？

従来の品種改良では、いまある品種に放射線を当てたり、薬剤をかけたりして、ゲノムのねらった場所に偶然変異が起こるのを待っていました。どんな方法でゲノムを傷つけるかが違うだけで、この点では、ゲノム編集は昔からの品種改良と変わりはありません。しかし品種改良にゲノム編集を使えば、目的の遺伝子をピンポイントで欠損させられるので、短期間で確実に目的の品種をつくることができます。



「組み込み」ではなく「編集」する

遺伝子組換え技術では、その作物がもっていない別のDNA配列を外から導入します。自然界では起こらない変化も引き起こすことが可能です。ゲノム編集では、外から遺伝子を入れる必要はありません。自然界でも起こりうる変異を、ねらって起こすことができるのです。規制上でもその取り扱いは異なっています。



どんなものが作れるの？

アレルギーを引き起こさない小麦や体によくない成分をつくらない大豆、収量が高くなる稲などの開発が世界中で進められています。日本でも日持ちがよいトマトや、毒成分を作らないジャガイモなどの研究が進んでいます。



<もっと詳しく>
ゲノム編集のすべてがわかる！
バイオステーション
<https://bio-sta.jp/>





食べて健康！ 新種トマトをスピード開発

今では食卓に並ぶ野菜の定番になっているトマトですが、日本で一般に食べられるようになったのは明治時代の頃。実は作物としての歴史は浅い野菜なのです。200年ほどの間に品種改良が進み、日本では味・大きさ・色・形などの異なる200種以上もの品種が育てられています。

あなたのお好みはどれ？

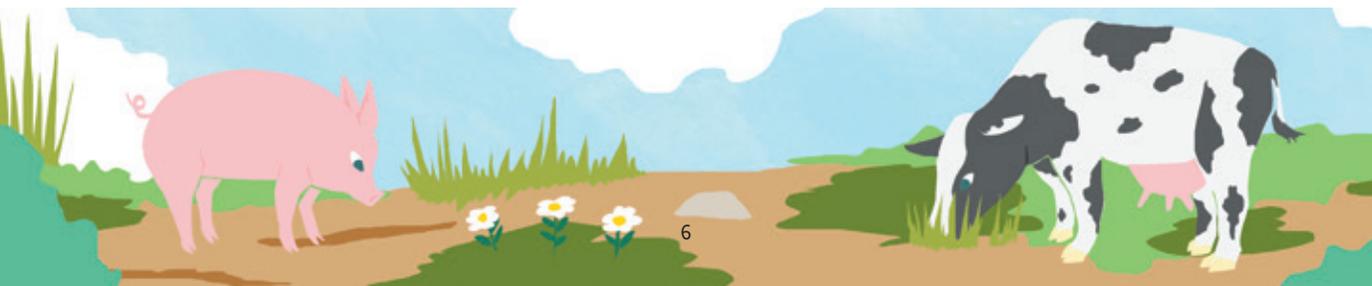
じつはトマトが、研究が盛んに行われている植物であることをご存知ですか？果実をつける植物の代表として2012年には全ゲノム情報の解読が完了し、どの遺伝子がどのような役割を果たしているか、くわしく調べられています。つまり、品種改良する際に狙い打ちするべきポイントがわかっているのです。

筑波大学の江面さんは、このトマトを対象に、ゲノム編集技術を使った品種改良の研究に取り組んでいます。ゲノム編集とは、ゲノム上の狙った部分をピンポイントに改変する技術。たくさんの品種を掛け合わせて、たまたま狙い通りの特徴を持った作物を作り出す従来の品種改良に比べると、かかる時間を格段に短くすることができます。そのスピードは約10倍です。トマトは幅広い層に食べられている「嗜好品」ですが、年代に

よって人の味覚は変化するといわれています。子供からお年寄りまで、それぞれが好む味は違うのです。いろんな味の品種を、短期間で作れるようになれば、よりニーズにあった商品を届けることが可能になります。

トマトを食べて健康管理

江面さんの研究グループでは、GABA（ギャバ）という成分を多く含むトマトの開発を進めています。高齢化が進んだり、生活習慣病が増加したりしている日本では、病院になるべく行かなくて済むように自分で健康管理をしようという意識が高まっています。GABAはγ-アミノ酪酸という物質の略称で、血圧上昇を抑制する効果やストレスを和らげて睡眠の質を向上させる効果が認められている成分として注目されているのです。このトマトには、GABAがたっぷり入っていて、ミニト





◀ゲノム編集により開発されたトマト（スケールバー：1 cm）。実が熟れて赤くなると、通常のトマトの4～5倍のGABAを含むようになる。ゲノム編集のツールには、クリスパーキャスナイン（CRISPR/Cas9）を使っている。GABA合成を抑える機能をなくすようにゲノム上の部分を編集した。

マトを一日2粒ほど食べることで、健康効果が期待できます。通常の2倍程度のGABAを含むトマトは10年ほど前からお店で販売されていて、一般的に食べられていましたが、今回はゲノム編集を用いることで、さらに豊富にGABAを蓄積したトマトをわずか2-3年で作ることに成功しました。

手元に届くまでは秒読み？

ゲノム編集によってできた新品種がわたしたちの食卓に届くまで、どれくらいの年月がかかるのでしょうか？クリアすべき点は多くあると江面さんは話します。「新しくできた品種が、自然界に重大な影響を与えないか。人が食べたときの安全性や商品としてどのような表示で販売するのか。他にも、生産した商品を消費者に安定して届ける流通ルートを確認する必要があります」。これらの

チェックポイントをクリアして、高GABAトマトをいち早く食卓に届けるために、江面さんは新しく会社も設立してその準備を進めています。早ければ数年のうちに、近くのスーパーに並ぶようになるかもしれません。

さらに、この方法は他の作物に応用できる可能性が高いため、ゲノム編集によって品種改良が進む作物種は、今後増えていくと予想されます。すでに江面さんらは、健康に良いメロンの開発にも着手しています。私たちの食卓に並ぶ野菜や果物の選択肢は、ますます充実していくことでしょう。

（文・西村 知也）

取材協力：筑波大学 生命環境系
教授 江面 浩さん





みんなに選ばれるものを作りたい

新しい技術によって品種改良が進むのは、植物だけではありません。2018年、京都大学から出された「肉厚マダイ」誕生のニュースは世の中の注目を集めました。京都大学の木下政人さんは、ゲノム編集を用いた養殖魚の開発を進めています。

開発のヒントは牛肉？

木下さんがゲノム編集のターゲットにしている遺伝子はミオスタチン。ミオスタチンは、筋肉の成長を止めるブレーキの役割を持っています。このブレーキを壊すことで、どんどん筋肉が発達して、ムキムキになるのです。

このアイデアのきっかけになったのは、肉牛の事例でした。実は肉牛では、自然変異で誕生した「ベルジアン・ブルー」や「ピエモンテ」といった品種が古くから知られています。これらの品種は、ミオスタチンの働きが失われることで筋肉が発達しており、筋が少なく柔らかい赤身が消費者に好まれて、ヨーロッパでは高い生産量を誇っています。

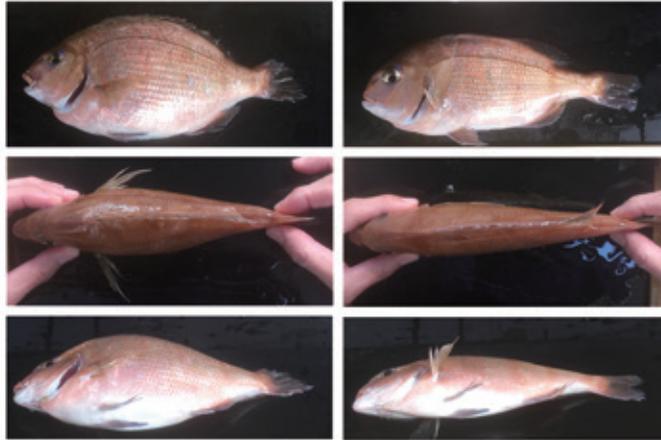
また、魚類で研究が進んでいるメダカやゼブラフィッシュでも、ミオスタチンの働きを妨げることで筋肉が発達するという報告があります。ゲノム編集の技術が発展し使いやすくなったおかげ

で、これまで世界中の研究者が積み上げてきた知見を、様々な生物種に応用できるようになりました。「これは、養殖魚の改良にも使えるのでは」と考えた木下さんは、近畿大学などの研究グループを集めて肉厚マダイの研究をスタートさせました。

筋肉ムキムキ！肉厚マダイ誕生

魚をゲノム編集するには、受精卵の状態では処理する必要があります。細胞分裂が進むと、卵が固くなってしまい、実験に使う針が入れにくくなるので、受精直後から10分以内が勝負です。「その点で、一番扱いやすいのがマダイでした」と話す木下さん。人工授精の方法が確立していて、一度に数万～数百万の卵を産むマダイは、計画的に受精卵を扱うことができたのです。実際に挑戦してみると、狙い通り筋肉量が増加した「肉厚マダイ」を2年ほどで開発することができました。





▲左が肉厚マダイ、右が通常のマダイ。腹部にも肉がついているのがわかる。

筋肉が発達していると聞くと硬そうな印象もありますが、食べてみると、身は柔らかいと木下さんは話します。「育つスピード自体は変わりませんが、通常より肉付きの良いマダイになります。通常のタイと同様の飼料で育てることができ、その量はむしろ少ないぐらいです」。興味深い点は、エサをとるのが少し下手で、普通のマダイと一緒に生簀に入れると、餌取り合戦で負けてしまうところ。筋肉が発達しすぎて、方向転換が下手になっている可能性があるようです。「量産するためには、水温や餌のアミノ酸組成などの最適な飼育条件について、これから検討していく必要があります」。

オーダーメイドで食卓にお届け

木下さんらのグループでは、他にも短期間で成長する豊満なトラフグの開発にすでに成功してい

ます。うまくいけば、数年内に市場に登場するかもしれません。「食べることで脳卒中になりにくなる魚など、機能性を付加することも考えています。骨の柔らかい魚も、高齢者や子どもに食べやすくて喜ばれるかもしれないですね」。木下さんは、本当にみんなが欲しいと思うものを届けることが重要だと考えています。「ゲノム編集で作ったことをはっきりと表示して、それでもみなさんに率先して選んでもらえるものにしていきたい。」と目標を掲げます。欲しい人が、欲しいものを手に入れられる、オーダーメイドな食卓がこれから実現していくかもしれません。

(文・中嶋 香織)

取材協力：京都大学 農学研究科
応用生物科学専攻 海洋生物生産学講座
木下 政人さん





地道な研究の先に、 干ばつに耐えるスーパーライス！

2020年7月、日本は長い梅雨により、例年のない日照不足に見舞われました。それにより農作物の収穫量が減少し、野菜の値段が高くなったニュースを見た人もいるかもしれません。

一方、世界では毎年干ばつによる農作物への大きな被害が起きています。例えば米では、日本中で作られる量の2年分よりも多い1800万トンもの量が、毎年失われているのです。この問題を解決するため、ゲノム編集の応用技術の研究が進められています。

島国でも起こる干ばつという課題

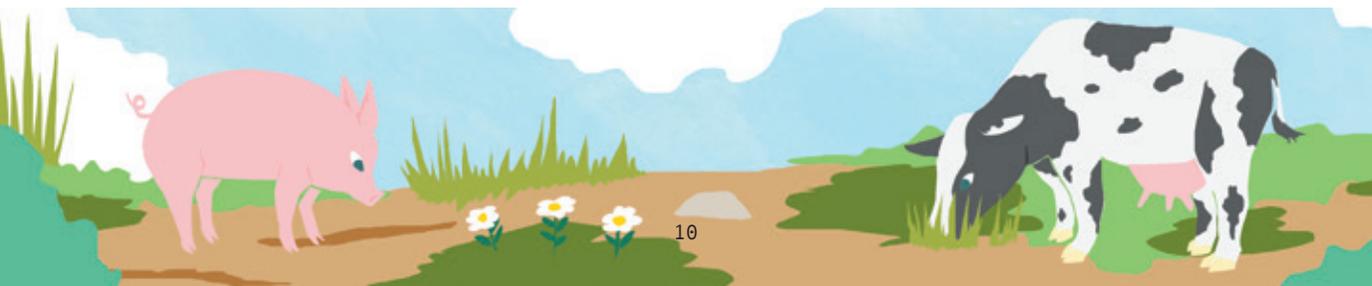
イネはアジアを中心として世界中の農地で栽培され、なんと4万種類以上の品種が存在しています。これらの品種は、粒の大きさや長さ、味といった米の性質だけでなく、茎の長さや穂粒の数、成熟するまでの日数など生育における違いもさまざまです。ネバダ大学ラスベガス校のAnne Jinky Villacastinさんは、乾燥した環境でも生き延びることができる品種に共通した遺伝子配列を見つけることで、干ばつに強く、大量に生産できる美味しいお米をつくらうとしています。

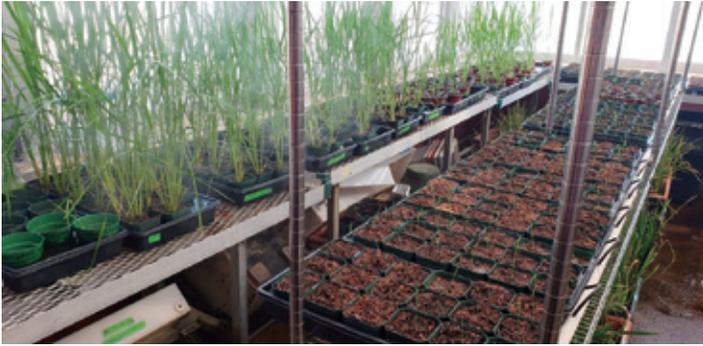
Jinkyさんはフィリピンの出身。日本と同じ島国で水に囲まれています。農業に使える真水の量は少なく、雨に頼っているといます。しかし太平洋赤道域の東側の海水温が上がるエルニーニョの時期には雨が降りやすく、たびたび干ばつ

が起きるそうです。この課題を解決するために、「ゲノム編集は唯一の方法ではないけれど、とても強力なツールです」とJinkyさんは話します。

世界中のイネから見つけた3つの遺伝子

研究は、まず世界各地から集められた9種11個体のイネの遺伝子配列の解析から始まりました。ターゲットとしたのは、幅広い植物種でストレス耐性に関わっていることが知られるWRKYという名の遺伝子グループです。WRKYは似た配列を持つものがたくさん存在しており、この研究では11個体のゲノムから1018個の遺伝子が見つかりました。それらの中から、さらに配列の近さでグループ分けしていき、乾燥状態で栽培したときによく働くものを探した結果、WRKYグループの中の3つの遺伝子を見つけたのです。





▲ University of Nevada Las Vegasのグリーンハウスの様子



▲ WRKYが切断されたイネの様子

壊すことで機能を知る

次に行なうべきは、この3つ遺伝子の機能を実験で確かめること。Jinkyさんはここにゲノム編集の技術を使っています。例えばWRKY-Aの配列と結合するガイドRNAを設計し、Cas9タンパク質とともに導入すると、Cas9はWRKY-Aを切断します。そのあと、細胞にもともと備わった修復のためのしくみが働きますが、その際に一定の確率でエラーが起き、遺伝子が壊れてしまうのです。この実験によって植物が乾燥に弱くなるようであれば、逆にこれらの遺伝子の働きを強化すれば乾燥に強くなると期待できるわけです。

世界の課題解決に向けた、第一歩

これまでに、3つの遺伝子をひとつずつ壊した3種の変異体の作成に成功しています。ところが、

それらはどれも乾燥耐性があまり変化しませんでした。「おそらく、どれかひとつを壊しても他の働きが変わることでカバーしてしまうでしょう」。そこで今は、同時に3つの遺伝子を壊す新しいゲノム編集技術を開発しようとしています。「最終的なゴールは、農地での応用です。そのために、今は遺伝子の機能を確認する基礎的な研究を進めています」。地道な研究の先に、世界中で起こる食糧ロスの解決へと到る道が続いているはずです。

(文・デューリヤ・イエブジェニアスター)

取材協力：School of Life Sciences,
University of Nevada Las Vegas
Anne Jinky Villacastin さん



進歩した技術が生み出す
それは、未来からの贈り物

明日の食卓に 何を並べよう？
選ぶのは あなた自身

さあ、いただきます！



食卓への贈り物

2020年にノーベル化学賞が、ゲノム編集技術を開発した2人の研究者に贈られました。生物の遺伝情報を自在に書き換えることができるこの技術は、農作物の品種改良にも利用され、その成果物がまもなく私たちの生活に身近に届こうとしています。

身の回りの野菜はほとんどが改良したもの？

スーパーの棚に並んだ色とりどりの野菜たち。そのほとんどは人の手で品種改良されており、もともと野生に存在していたものと比べて生産しやすく、食べやすいものになっています。私たち人類が、作物を改良するために生み出した技術は、大きく分けて3つあります。

ひとつめは交配技術。例えば「おいしいけど病気に弱いトマト」や「まずいけど病気に強いトマト」など性質が異なるもの同士をかけ合わせることで、望みの性質をあわせ持つ子孫を作る技術です。無数にある作物の性質がどのような組み合わせで子孫に受け継がれるかをコントロールできないため、望ましい品種を得るのに長い時間がかかります。

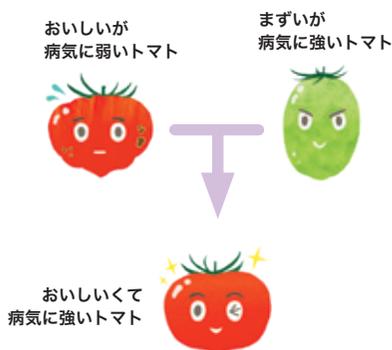
2つめは遺伝子組換え技術。望みの性質を生み出す遺伝子を外から導入することで、一気に作物を変えてしまおう、というものです。例えば農薬に強い遺伝子を作物に組み込んで、強力な農薬で雑草だけを根絶やしにしたり、病気に強くなる遺

伝子を組み込んでウイルス病にかかりにくい品種を作ってきました。ただ、作物がもともと持つDNAのどこに、外から導入した遺伝子が入るかを制御できないという難しさがありました。

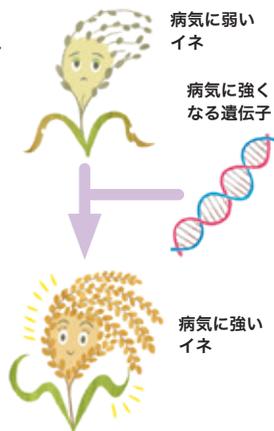
そして3つめが今まさに生まれつつある、ゲノム編集技術です。この技術の特徴は、作物が持つDNAの狙った場所だけを変えられること。病気の原因になる部分や栄養生産に関わる部分を編集することで、作物の性質をピンポイントで変えられるのです。DNAの1塩基だけを変えるということも可能で、結果だけを見ると「自然に起きる突然変異で作物の性質が変わった」と全く同じ状態になります。

いま私たちが食べている野菜は、ほぼ全てが交配技術で作られたもの。でも、ゲノム編集技術を使うと短期間で新しい品種を作れるため、今後さまざまな作物がこの技術を使って生まれてくると予想されています。

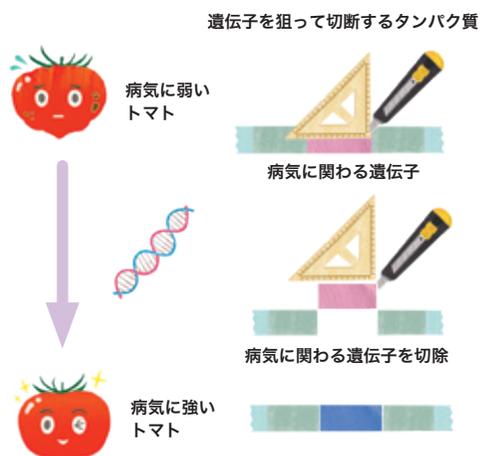
交配技術



遺伝子組換え技術



ゲノム編集技術



近年注目されているゲノム編集技術について「どんな技術なの？」
「何ができるの？」を紹介します。

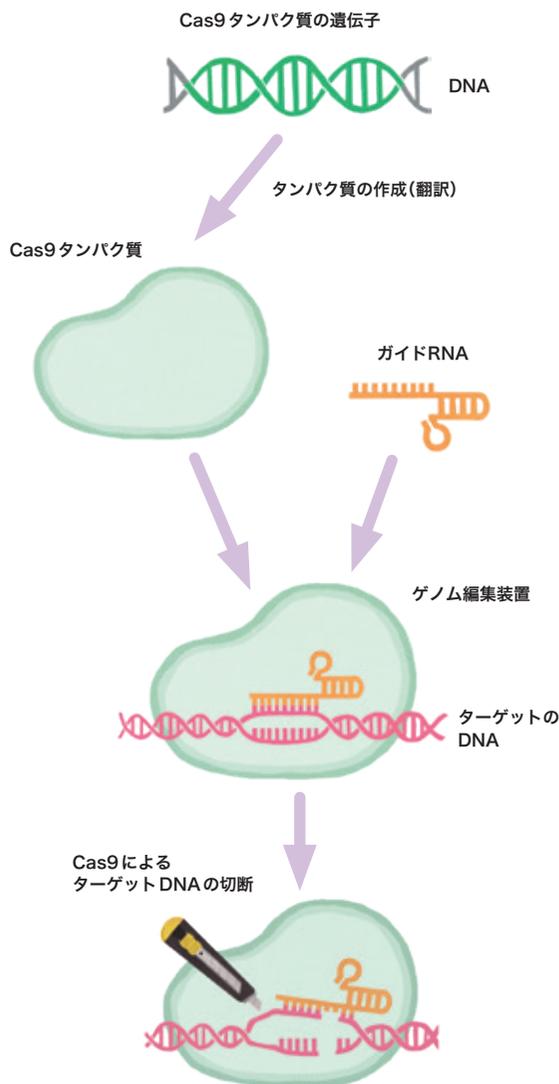
ゲノム編集の原理

ゲノム編集の技術にはいくつかの種類がありますが、代表的なものはCRISPR/Cas9^{クリスパー・キャスナイン}というゲノム編集ツールです。細菌に元々備わっていた外来ウイルスに対抗するための仕組みを、改良したものです。CRISPR/Cas9技術には、Cas9というタンパク質と、ガイドRNAというRNA配列が使われます。

まず、ゲノム編集のターゲットとなる生物(細胞)のDNAに、Cas9タンパク質の遺伝子を組み込んでおきます。すると、細胞の中でCas9タンパク質が作られます。このCas9タンパク質がガイドRNAと組み合わせることで、「ゲノム編集装置」の完成です。ガイドRNAは、DNA上で編集したい部分に結合するための配列をもっていて、「ゲノム編集装置」を狙った部分に連れていってくれるのです。ガイドRNAによって運ばれたCas9タンパク質は、DNAに結合してその部分を切断します。

実際には、切断されたDNAには細胞に備わっている修復のしくみが働きます。けれども、Cas9によって何度も同じ部分が切断され、DNAの修復を繰り返すうちに修復にエラーが生じて、もとは異なる配列になることがあります。そうするとガイドRNAが結合できなくなり、ゲノム編集が完了します。

ゲノム編集のしくみ



もっとくわしく知りたい人は
こちら ▶▶▶

ゲノム編集技術に関する情報がたくさん！
<https://bio-sta.jp/>



食卓への贈り物

ゲノム編集食品が食卓に並ぶまで

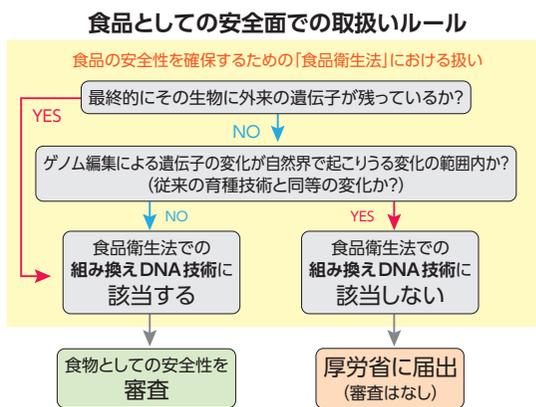
2020年12月、someone vol.52 (2020年9月号)でも紹介した「高GABAトマト」に、続報が入りました。国内初のゲノム編集作物として、高GABAトマトに関する届出と情報提供が厚生労働省と農林水産省に提出されたのです。いよいよ流通に必要な手続きが整い、食卓に届くまでのステップが大きく進みました。ゲノム編集という新しい技術で作られた作物を世の中に出すには、そのためのルールを新しく考えていかなければなりません。今回は国が定めた新制度を、これまでのルールと照らし合わせながら、見てみましょう。

観点①：食べ物としての安全性

ゲノム編集は、生物のゲノムDNA上で特定の遺伝子領域を切断したり、外来の遺伝子を導入したりすることで、その生物の性質を変化させる新しい品種改良の技術です。作物の遺伝子に手を加えて性質を変化させること自体は、ゲノム編集に限らず行ってきたことであるため、これまでも制度が全く無かったわけではありません。特に遺伝子組み換え技術についてはしっかりとした制度があり、ゲノム編集に関する制度を決めるときにも重要視されました。

1つ目の観点は、人が食べても大丈夫なのかという点です。これについては、厚生労働省が2019年9月に新しく制度をつくりました。作物のDNAに手を加えた結果、自然界に存在し得なかった作物が生まれてしまう可能性がある場合は、遺伝子組み換え作物として安全性の審査を受ける必要があると食品衛生法で定められていま

す。ゲノム編集作物についても、遺伝子組み換え作物と同様にその生物に本来存在しない遺伝子があれば安全性の審査を受ける必要があります。一方、そうでない場合は厚生労働省に必要情報を届出すればよいということが制度として決められました(下図)。



海外諸国の規制上のスタンス

他の国ではどう対応しているの？

日本と同様に、ゲノム編集技術を作物に使うときの規制については、遺伝子組み換え技術に関する既存の規制と照らし合わせてつくられています。遺伝子組み換え技術に関する規制は、各国によって考え方や実際の制度が違うため、ゲノム編集についても各国で対応が変わってきています。



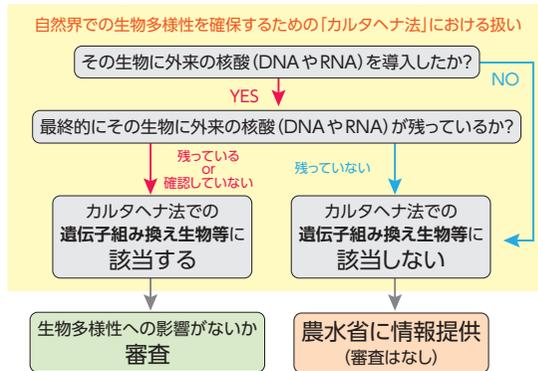
近年注目されているゲノム編集技術について「どんな技術なの?」「何が出来るの?」を紹介します。

観点②：自然の生態系を脅かす可能性^{おびや}

2つ目の観点は、すでにある自然の生態系に影響を及ぼさないかという点です。生物のDNAに手を加えた結果、自然界に存在しなかった生物が生まれ、それが自然の生態系のバランスを壊してしまうかもしれません。遺伝子組み換え技術については、カルタヘナ法という法律で遺伝子組換え生物の扱いが決められています。そこで、ゲノム編集技術により得られた生物のうち、どういふケースがカルタヘナ法の規制の対象になるかという方針を、2019年2月に環境省が公表しました。これを受けて農林水産省は2019年10月、ゲノム編集技術により得られた生物の扱いに関する制度を決めました。この制度では、ゲノム編集技術により得られた生物がカルタヘナ法の遺伝子組換え生物に当たるかそうでないかによって、生物多様性への影響について審査を受ける必要があるか、情報提供でよいのかという具体的な手続きが定められました(右図)。

人間の手で新しい品種を生み出すときには、人間への影響だけでなく、地球への影響を考えていかなければいけません。新しい技術を世の中に浸透させていくためには、その技術のもたらすメリットとデメリットをバランスよく考慮して向き合っていくことが大事なのです。(文・西村 知也)

環境(生物多様性)への影響の面での取扱いルール



もっとくわしく知りたい人は
こちら ▶▶▶

ゲノム編集技術に関する情報がたくさん!
<https://bio-sta.jp/>



アメリカ



従来の育種法によっても生じうる変異である限りは、ゲノム編集作物に特別な規制を設けない

EU



ゲノム編集作物は、すべて遺伝子組み換え技術によって生み出された作物と同等に厳しく扱う

中国



ゲノム編集作物に関する規制については検討中