



【特集2】

中高生と考える最新技術 「ゲノム編集」

2019年9月19日ゲノム編集食品の流通制度が固まり、ゲノム編集で作られた作物からなる食品が食卓に並ぶのも現実味を帯びてきました。今の中高生が成人になる頃には、ゲノム編集でつくられた作物が当たり前になっているでしょう。

しかし一方で、「ゲノム編集とは何なのか?」、「遺伝子組換えとはなにが違うのか?」、「安全性はどう調べられているのか?」などが、中高生のみならず、大人の間でもまだ理解されてはいない現状があります。

中高生たちには、新技術に対して、正しい知識をもち、自分の判断をもって選択できる力を育むためにも、ここでは「ゲノム編集」を題材に、教育現場における議論ポイントの提案と、実際の先生の実践例を紹介します。

ゲノム編集技術の広がりには止まらない

ゲノム編集は今、農作物の品種改良の分野で急速に広がっている。生き物のゲノム上の狙った遺伝子をピンポイントに改変する技術だ。2012年に登場した「CRISPR/Cas9(クリスパー/キャスナイン)」を使う方法が最もよく知られている。品種改良におけ

る、ゲノム編集の利点は2つ。1つはあらゆる生物種に使える点だ。これまで、成長が遅い、従来の技術が使えない等の理由で品種改良ができなかった植物が、改良できる可能性がある。もう1つは正確に狙った場所を変えられる点だ。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る。そのスピードは約10倍ともいわれている。これから、今までにない新たな作物が開発されることが予想される。

ゲノム編集技術で開発済みまたは開発中の作物

- 健康機能性成分GABA(ギャバ)を多く含むトマト
- もともとある天然毒素(ソラニン・チャコニン)を大幅に減らしたジャガイモ
- 収穫量の向上・低コスト化に向けて、穂につく粒の数を増やしたイネ
- 受粉作業をしなくても実がなるトマト(農家の省力化や夏場の安定生産につながる)
- 収穫前の発芽を抑えたコムギ など

出典:「ゲノム編集のすべてが分かる!バイオステーション(<https://bio-sta.jp/faq/>)より一部抜粋



「ゲノム編集食品って安全なの?」「遺伝子組換え技術との違いは?」

一方で、ゲノム編集でつくられた作物に対して、消費者としては、その安全性についての疑問を抱きうるだろう。食品の安全性を考える際は、従来の

食品との比較で考えるのが基本だ。従来の食品とはつまり、自然界での突然変異や人為的な突然変異(化学物質や放射線)、また交配(かけあわせ)

といった、従来の品種改良技術により作られた作物からなる食品である。

ゲノム編集の食品は、下の3つのタイプに整理、分類されている。

ゲノム編集食品の3タイプ

タイプ1: もともとつ遺伝子のごく一部分を変化させたもの

タイプ2: もともとつ遺伝子の一部分を改変して作ったDNAを、その生き物に入れることで、遺伝子を変化させたもの

タイプ3: 外来の遺伝子をほぼまるごと入れたもの

このうち、タイプ1の場合は、自然界や従来の品種改良でも起こり得る遺伝子変異であるため、組換えDNA技術には該当しないとされ、安全性も従来食品と同程度と考えられる。そのため、遺伝子組換え食品とし

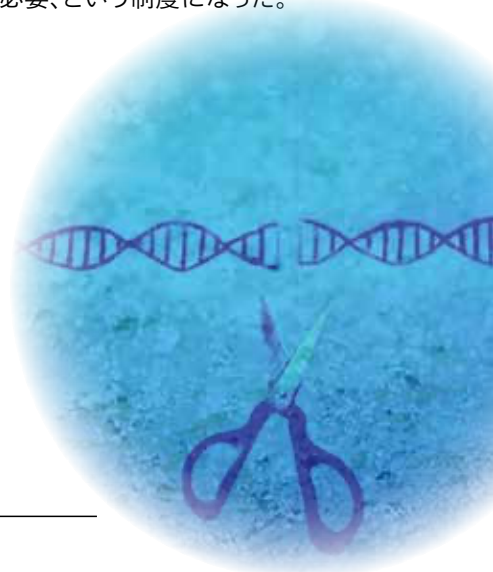
ての安全性審査は必要ないというルールとなった。ただし、開発事業者から詳しい情報の届け出が求められる。今開発中の作物は、ほぼすべてこのタイプだ。一方、タイプ2(の一部)と3で、最終的に外来の遺伝子が

入っているなど従来の品種改良では起こりえない変化が起きているものについては、組換えDNA技術に該当し、遺伝子組換え食品と同じように食品安全委員会による安全性審査が必要、という制度になった。

ゲノム編集食品の開発事業者が届出及び公表する情報

- ① 開発した食品の品目・品種名及び概要(利用方法及び利用目的)
- ② 利用したゲノム編集技術の方法及び改変の内容
- ③ 外来遺伝子及びその一部の残存がないことの確認に関する情報
- ④ 確認されたDNAの変化がヒトの健康に悪影響を及ぼす新たなアレルゲンの産生及び含有する既知の毒性物質の増加を生じないことの確認に関する情報
- ⑤ 特定の成分を増加・低減させるため代謝系に影響を及ぼす改変を行ったものについては、標的とする代謝系に関連する主要成分(栄養成分に限る。)の変化に関する情報
- ⑥ 販売を開始する年月

出典:厚生労働省 ゲノム編集技術応用食品及び添加物の食品衛生上の取扱要領(令和元年9月19日)を基に作成



「ヒトにゲノム編集技術をつかったら、どうなるんだろう?」

ここまで食品に関してみてきたが、生徒からは「植物以外の生き物(主にヒト)にゲノム編集技術をつかったら、どうなるんだろう?」という点が疑問となるだろう。この技術は、倫理的観点を無視すれば、理論上はヒトを始め

とする全生物に施すことができる。ここで気をつけるべきことは、生殖細胞(卵や精子)ないし受精卵を扱うのか、それとも体細胞を扱うのかによって、リスクや倫理的課題が大きく異なる点である。前者の場合は、原理的に

改変を受ける本人の同意を得ることが不可能であり、かつその先の子孫にまで改変の影響が存続する。そのため、生殖細胞や胚での遺伝子改変を伴う生殖医療は、厚生労働省の指針のもと、禁止されている。

次のページからは、ゲノム編集をいち早く授業に取り入れている先生方の実践例を紹介します。

中高生むけサイエンス雑誌『someone』には、ゲノム編集に携わる研究者の取材記事を掲載しています。ぜひ授業でご活用下さい!

特集「食卓への贈り物」

食べて健康! 新種トマトをスピード開発
(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タイ
(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!
(School of Life Sciences, University of Nevada Las Vegas Anne Jinky Villacastinさん)



実践例
1

理科

ゲノム編集が与える社会への影響を考えよう

開智日本橋学園中学・高等学校 石澤 裕佳 先生

遺伝子組換えやゲノム編集は、遠い世界での話ではなく、私たちの生活にも影響を与えるものです。これらの技術をどのように使用していくのか、どのようなルールを作るべきなのかは、社会全体、そして私たち一人ひとりが考えていくべき問題です。そこで生徒自身が、ゲノム編集に関する社会課題を身近なものとして捉え、自分で考え判断できる力を育むことをねらいとしました。

- 学年：中学3年生
- 科目：生物
- 授業進度：中学理科修了、
生物基礎の遺伝分野修了、
遺伝分野の応用としての扱い
- 授業時間数：8時間

プログラムの流れ

1～2時間目

■ゲノム編集とはどういうものなのかについての講義

3～4時間目

■ゲノム編集技術が現在どのような分野で使用されているのか、将来的にどのようなことが期待されているのか、危惧されているのかを各自インターネットなどを使用して調べる

5～8時間目

■それらをもとにゲノム編集技術をどのように使用していくことが社会にとって一番いいのかを各自が1枚のポスターにまとめ、発表し、議論する

定期考査

■他者の意見を取り入れた上での自分の意見を改めて整理し、論述する(50点満点、制限時間30分)



授業を行ってみて

ゲノム編集はまさにこれから広まっていく技術であり、調べ物をしたり未来の社会について考えていく探究的な活動で扱うのに良い題材でした。生徒からは、「未来の社会、未来の農業について考えるのが楽しかった」、「将来、生物工学分野の研究をしてみたい」などの感想を得ました。ゲノム編集という題材は、遺伝子組換え等と比較するとネガティブなイメージがついておらず、生徒がフラットな状態でのぞめるという点で、扱いやすいと感じました。

今後について

自分の意見を口頭で発表するのが苦手な生徒もいるので、オンライン上で意見が言い合えるアプリを取り入れ、議論を深める取り組みを考えています。よい問いかけをした生徒に対して加点方式の評価ができると、より活性化するのはと考えています。

ゲノム編集で実感させる文理のつながり

城北中学校・高等学校 藤谷 亮太 先生

本校では、高校1年の3学期に、文系コースと理系コースを選択するかを決定します。決定後、文系の生徒は理系科目に、理系の生徒は文系科目に対し「勉強する必要のない科目」という意識をもってしまふことがあり、これを課題に感じていました。そこで、担当している現代社会の授業の中で、理科分野の最新トピックスである「ゲノム編集」を取り上げることで、実社会では、文系も理系も両方の知識が必要であることを実感させることを目指しました。

- 学年：高校1年生
- 科目：現代社会
- 授業進度：現代社会の授業が一通り完了した状態、生命倫理に関連した発展的な内容として実施
- 授業時間数：6時間

プログラムの流れ

1～4時間目

■ヒトをふくむ生命の遺伝子を、科学技術を用いて操作する技術について、時事的な展開を踏まえながら紹介

(クローニングの歴史、ゲノム編集の技術展開、ゲノム編集による疾患治療の方法、さらにゲノム編集による容姿や能力の操作(デザイナー・ベビー)等)

5時間目

以下の3つの問いについて、グループごとにディスカッションを実施

- デザイナー・ベビーの第一世代は、どのような人生を歩むだろうか
- ゲノム編集による疾患治療とデザイナー・ベビーの作成の間の違いは何だろうか
- もし2000万円でゲノム編集ができるなら、自分の子どもに施すだろうか

6時間目

■前回のディスカッションの内容をまとめ、グループごとに発表。それぞれのグループで出た意見の共通点・相違点を整理して、さらに議論を深めるために踏まえるべきポイントや考えの多様性を確認して、最後に自分の考えをワークシートにまとめる。



授業を行ってみて

「ゲノム編集技術」という最新の科学技術を自分ごととして考えてもらえるよう、問いを設計しました。授業中は、賛成、反対のどちらかのみに加担しないように気をつけながらディスカッションの進行を行いました。実際は、ある程度の条件をつけながらもゲノム編集技術を活用したいという意見のほうが、反対派より多い結果となりました。社会の教員にとって、遺伝子組換えとゲノム編集との違いなど、科学の専門的な内容について正しく理解し教えるには、生物の教員との連携が必須でした。

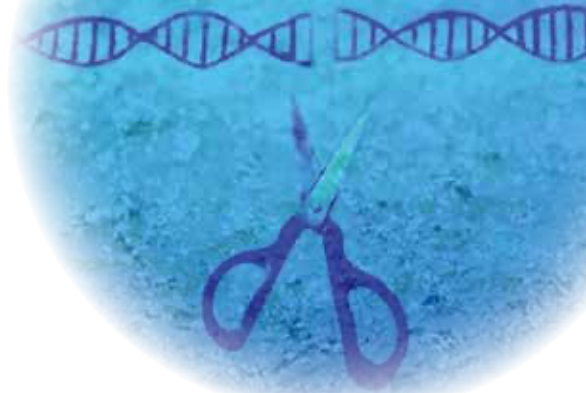
今後について

今回、事前の資料収集に多くの時間がかかりました。今後最新の科学技術を扱う授業を行う際には、信用に足る情報をどこから得るかの知見が必要だと感じています。

5分でわかる
ノーベル化学賞

ゲノム編集技術 「CRISPR/Cas9」

2020年10月7日、ノーベル化学賞が「CRISPR/Cas9」によるゲノム編集技術を開発したドイツのエマニュエル・シャルパンティエ氏と、アメリカのジェニファー・ダウドナ氏に贈られた。技術が作られてからわずか8年だが、遺伝子操作が必要とされるあらゆる研究現場において画期的な手法として広まっている。



第一世代～第二世代のゲノム編集技術

1996年、DNAに結合する様々な酵素が持つ共通配列であるZinc Fingerを利用し、ゲノムの狙った部位を改変する「ゲノム編集」の考えが発表された。少しずつ改変をしたZinc Finger配列のパターンを作れば、特定のDNA配列に結合する機能を実現できるはずという考えだ。ただ実際にはZinc Fingerのパターンを作るのが困難で、実用化まで10年以上を必要とした。

第二世代のゲノム編集技術の原理が生まれたのが

2009年。植物病原細菌が持っていたTALEリピートという、34残基のアミノ酸配列でDNAの特定塩基を認識するしくみを利用した技術だ。34アミノ酸とDNA1塩基が1対1の対応になっているため1年程度で実用化されたものの、標的のDNA配列を特定するためには34アミノ酸を数十塩基分並べる必要があり、準備の手間が大きいという課題が残った。

バクテリアから見つけた第三世代

ノーベル賞授賞の対象となったCRISPR/Cas9は第三世代のゲノム編集技術とされる。もともと、バクテリアがウイルスから身を守るための機能として発見された。ウイルスは感染した細胞内に核酸(DNAやRNA)を送り込み、自身のコピーを作らせることで増殖する。このとき、侵入してきた核酸を断片化して自分のゲノムに取り込み、次の感染に備えるのだ。そのためバクテリアのゲノム中には外来のDNA配列を保存する領域があり、これ

がCRISPRと名付けられている。また外来DNAを切断する酵素がCasヌクレアーゼと名付けられた。

バクテリアは、2度目のウイルスの侵入をうけると、CRISPR領域からRNAを転写し、これがCasヌクレアーゼに取り込まれる。そしてウイルスの核酸にCRISPR由来のRNAが相補的に結合し、Casヌクレアーゼが切断することで感染防御を行うのだ。

「だれでも簡単に」が世界を変えた

ノーベル賞を受賞した2名の研究者は、人工的に合成したRNAとCas9を細胞内に導入することで、それと相補的に結合するDNAを切断できることを示した。そしてDNA修復のしくみによって切られたDNAが直されるとき、ミスが生じると塩基の置換や挿入、欠失といった形で書き換わるのだ。この技術の革新的なところは、編集対象のDNA配列を、導入するRNAの配列によって指定できることにある。RNAの化学合成はとうに確立済みの技術のため、

世界中の研究者が簡単にゲノム編集をできるようになったのだ。実際、CRISPR/Cas9の技術が生まれてから、食糧生産や遺伝性難病の治療、薬の開発、バイオ燃料など多様な応用のための研究開発が進められている。

日本においても、おそらく2020年度内にはゲノム編集によるGABA高生産トマトの市場流通が始まるだろう。そこから続々と生まれてくるだろう成果物をどう受け止めるか、正しい理解をもとに考えていくことが重要になる。

ゲノム編集をテーマとした教育プログラムを トライアル実施をしてくださる 先生を募集しています!

農作物の成り立ちについて学ぶ導入の講義2コマと、それに続く4~6コマのアクティブ・ラーニング型授業からなるプログラムです。コマ数は目安であり、各学校の状況に応じて伸縮可能です。ご興味ある方はご連絡ください。

内容

- 【講義】… 2コマ 知識編 品種改良技術の歴史と進化
【ワークショップ(調べ学習/ディスカッション)] … 4~6コマ/テーマ
- テーマ1 新しい技術とルールについて考えよう
 - テーマ2 食品表示を考えよう
 - テーマ3 ゲノム編集食品の情報の伝え方を考えよう
 - テーマ4 国や宗教の違いによる捉えられ方の違いは?

トライアル実施に関する依頼事項

- リバネスより提供する授業案や生徒向け資料を活用した授業の実施
- それに向けた事前の打合せと事後フィードバック
- リバネススタッフの授業見学(可能であれば)

実施期間
2021年1月以降

問い合わせ・お申し込み

株式会社リバネス 教育開発事業部 担当:西山、立花 ed@Lnest.jp

意見を持ち、声を上げることで、 今後の社会を創ろう

大阪府立大学大学院 生命環境科学研究科 小泉 望 教授

2019年9月に流通のためのルールが整備され、2020年12月に第一号品種となるGABA高蓄積トマトが厚生労働省、農林水産省に届け出された、ゲノム編集作物。今後少しずつ社会に普及していくことが予想される中、消費者との間でどのようなコミュニケーションが行われるべきだろうか。大阪府立大学教授の小泉望氏は、様々な対話の現場に立ちながら、新しい技術に関するコミュニケーションのあるべき姿を探っている。



「分からない」を減らし、意見を持てるようにしたい

小泉氏は2018年に“ゲノム編集の未来を考える会”を立ち上げ、その代表として高校での出前講座、生協でのワークショップ、一般向けのサイエンスカフェやセミナー等の活動を行っている。例えば奈良市立一条高校で2018年9月に実施した講演では肉厚マダイの研究を行う京都大学の木下政人助教（『someone』vol.52に掲載）も登壇し、1000名を超える全校生徒とともに消費者、販売者、生産者それぞれの立場を想像してゲノム編集マダイの是非を考える大規模ワークショップを実施した。話を聞く前は、ほとんどの生徒がゲノム編集が何な

のか分からない状態。事後には肯定的な意見が増えた一方、「不安だ」と考える生徒も増えたという。

「私たちの目的は技術の賛成派を増やすことではなく、まず知ってもらふことなので、この結果も十分に意義があると考えています」と小泉氏は話す。近い将来、近所のスーパーに並ぶかもしれない、自分とは関係ないことではなくなっていく。そのときに、大まかにでも理解した状態で、自分の意見を持てることが大事だと考えている。

多様な立場からの声を社会に反映させよう

新しい作物育種技術に関するコミュニケーションの第一線に立つ小泉氏は、これまでに社会学者や遺伝子組換え作物反対派のジャーナリストなどとも意見を交わしてきた。その中で、似た背景を持つ人ばかりが集まってしまうと考えが偏ったまま修正される機会がなくなり、ますます異なる意見を持つ人が入りづらくなるという現場も目の当たりにしてきた。

「今の日本のシステムは、政府が一握りの科学者の意見を聞きながらルールを決めています。そうではなく、多様な人の意見を聞いた上で、政策に反映させた方が良く思うのです。そう考え、2018年より科学技術振興機構の支援を受けて、双方向型のコミュニケーションの場を作るプロジェクト“共に考えるゲ

ノム編集の未来”を開始。前述の高校での活動の他、生協や市民センター、科学館などで、消費者や事業者、研究者、行政関係者、次世代が意見を交わす機会を作っている。「ゲノム編集作物の流通に関するルールは2019年9月に施行されましたが、実際の運用はこれからです。今の段階で様々な立場の人が意見を出していくことで、今後の社会でどのように扱われるかが決まっていくはず」。

授業でゲノム編集に代表される新技術を取り扱う際は、理系科目だけでなく教科横断で取り上げてもらいたい。同じ題材でも、多様な視点から自らの考えを得ることができるだろう。

ゲノム編集授業の実施校、募集!

農作物の成り立ちについての知識編と、それに続くアクティブ・ラーニング型授業のための教材を活用して授業を実施していただける学校を募集しています。興味のある先生は、ぜひWebフォームよりご応募ください。

授業内容

知識編

野菜はどうやって作られた?～品種改良技術の歴史と進化～

品種改良、遺伝子組換え、ゲノム編集に関する技術の解説と、それぞれの利点・欠点を紹介する授業です

今みんなが食べている農作物は、つくられてきたもの

野生種のトマト	中間種のトマト	現代の栽培種トマト
<ul style="list-style-type: none"> 約8万年前にエタワルで生まれたと考えられている タンニン酸が多く酸っぱい 	<ul style="list-style-type: none"> 野生種より甘い 病気や乾燥に強い 	<ul style="list-style-type: none"> 甘くて美味しい 身が大きい 病気や乾燥に強い

ゲノム編集の方法

Cas9遺伝子とgRNAを組み合わせて、ゲノム編集を行う。

- Cas9タンパク質とgRNAを組み立てる。
- ゲノム編集を行う。
- DNAにgRNAとCas9が結合する。
- Cas9が働き、DNAが切断される。

議論編

食を取り巻く世界の課題

世界の食糧生産量やフードロス、自給率の問題から、これからの食糧生産について考えます

ゲノム編集作物の「情報の伝え方」を考える

流通・小売の現場で、消費者に対してどのような情報提供があるべきかを考え、議論します

国や宗教の違いによる捉えられ方の違いは?

様々な宗教における人と作物・家畜との関係や食の扱いを調べ、ゲノム編集に対する考え方を学びます

人口増加に伴って、世界の食料需要も増加する

2005年～2007年と比較して、2050年には

- 穀物の需要量は1.5倍に
- 肉類の需要量は1.8倍に増加すると予測されている

Q.なぜ「遺伝子組換え」は特別な表示がされるようになった?

A.消費者が選択できるようにするため

消費者の心理

- なんとなく不安
- 選べるなら食べたくない
- 知らずに食べるのはいや

食品の安全性に関する事実
国内で流通する遺伝子組換え農作物は、すべて厚生労働省の安全性審査を受け、「安全」と表示されている。

提供可能な教材

- 授業スライド(PowerPointファイル)
- 授業進行案
- 他校での実施例

お問い合わせ・お申し込み



授業実施に伴う 依頼事項

- 事前ヒアリングと事後フィードバック
- 生徒を対象とした意識調査(可能であれば)

<https://lne.st/genome-edit-class>