

# バイオテクノロジーは温暖化対策の鍵となるか

Potential Role of Biotechnology to Mitigate Global Warming

キャノングローバル戦略研究所 研究主幹 杉山大志

CIGS International Symposium 「バイオテクノロジーは食料問題と環境問題を解決するか? :リチャード・ロバーツ(ノーベル賞受賞者)講演会」

2019年11月25日



The Canon Institute for Global Studies



遺伝子組み換え技術に加えて、近年ではが大幅に進歩している。これは、遺伝子編集技術によって、ふつうのタイ(下)よりも肉の多いタイ(上)を育てた例である。

# 肉も稲もゲノム操作

私たちの食生活を一度させる可能性を持つとされるゲノム編集。まずは、その仕組みや、どんな食品で研究が進められているかを見ていこう。

## 「価値高い」生物に

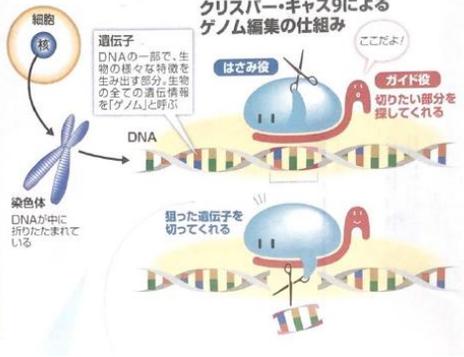
ゲノム編集とは、家畜や農作物の遺伝子の一部を変化させ、人間にとって価値の高いものをつくり出す技術のことだ。

たとえば、1で紹介したマダライは、ゲノム編集によって脂肪の発達を抑える遺伝子を壊している。その結果、筋肉の成長が促され、通常の豚体よりも1.2倍の肉量を持つ「肉厚マダライ」を誕生させることに成功したという。

遺伝子の変化を利用して、家畜の肉を増やしたり、野菜の味を良くしたりする試みは、「品種改良」という形でずっと前から行われていた。

## 様々な食品で研究が進む

- ジャガイモ**  
食中毒を起こす原因物質を減らす
- 稲**  
もみの数が増える。  
米粒が大きい
- トマト**  
血圧上昇を抑える成分を多く含む
- 肉牛**  
肉量が多い
- サバ**  
攻撃性を抑え、養殖しやすくする



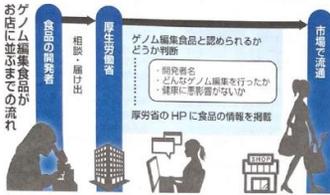
読売中高生新聞

遺伝子編集技術は、あらゆる作物を対象に研究が進んでいる。

# 表示なし 国「安全」

さまざまな食品でゲノム編集の研究が進められていることはわかったが、やっぱり気になるのは、その安全性だ。人工的に遺伝子を編集を操作した肉や魚、野菜などを食べても、人体に影響はないのだろうか。

## 突然変異・品種改良 すでに流通



**安全** ゲノム編集食品の安全性に問題はないのか？ 厚生労働省の専門家会議は今年3月、「首肯な安全性の調査は不要」と結論づけた。10月以降は、開発者が厚労省に届け出て、一定のチェックを受ければ、お店で売ることでもできるようになった。

安全性の根拠とされるのは、ゲノム編集による遺伝子の変化が、自然界で起きる突然変異や、品種改良によるものと区別できないことだ。品種改良された食品は、すでに大層に流通していて、われわれの食卓にもよっている。ゲノム編集食品だけを特別扱いする理由がないというわけだ。

ゲノム編集の過程では、誤って遺伝子以外の遺伝子を編集する可能性もゼロではないが、そうしたリスクは品種改良も同じで、大きな問題にはならないとみられている。

## 見分けるのは困難

**表** 一方、食品の表示制度を所管する消費者庁は今年9月、ゲノム編集食品には表示義務を課さないことを決めている。ゲノム編集食品が売られて見分けがつかなくなった場合も、私たちがそれとわかるようには表示されないことになる。

消費者庁も、表示を義務づけなかった理由として、品種改良された食品と見分けがつかないことを挙げている。食品の遺伝子の変化がゲノム編集によるものなのか、品種改良によるものなのかは、科学者でも判別が難しいのだという。そのため、表示を義務化したとしても、違反者を取り締まらず、制度に実効性を持たせることは不可能に近いと判断したようだ。

## ゲノム編集食品を食べたいか



## 不安…「食べたくない」4～5割

すでに流通している食品にあるゲノム編集食品だが、社会の理解は進んでいないと見られる。アンケートもある。東京大学が昨年行った意識調査によると、20代～40代の約1万7000人の回答のうち、ゲノム編集された農作物を「食べたくない」とした人が39%だった。牛や豚などの家畜では33%に上っており、心理的な抵抗感が根拠へことがうかがいられる結果となった。

ゲノム編集食品の安全性や表示義務

を巡る考え方は、海外の国々でも差が出ている。

欧州連合（EU）では昨年7月、表紙所がゲノム編集食品には安全性検査も表示義務も課すべきだという判断を出した。海外のゲノム編集食品事情に詳しい名古屋大学の立川准司教授によると、アメリカでは原則、動物に由来する食品で安全性検査も表示も不要だが、動物に由来する食品については必要だとされており、対応を検討している国も少なくないという。

国・地域	安全性の調査	販売する際の表示
日本	不要	不要
EU	必要	必要
アメリカ	植物由来の食品の安全性の調査	必要
オーストラリア	対応	対応
ニュージーランド	対応	対応
中国	対応	対応
韓国	対応	対応

読売中高生新聞

遺伝子編集技術を巡る表示義務について、国が最近方針を決定した。遺伝子編集技術については、表示義務は特にないこととなった。

他方で、アンケートをとると、遺伝子編集技術については「不安である」「食べたくない」といった意見が半数近くを占めるというのが現状である。

**遺伝子組み換え食品**

別生物から取り出した遺伝子を組み込んで新たな性質を持たせる

日本では大豆やトウモロコシなど八つの農産物とそれらを原材料にした加工食品に表示義務がある

**表示例**

- 大豆(遺伝子組み換え)
- トウモロコシ(遺伝子組み換え不分別)

## 何が違うの？ 遺伝子組み換え

ゲノム編集食品とは別に、「遺伝子組み換え食品」という言葉を聞いたことがある読者も多いかもしれない。この二つの違いを整理してみた。

違いは端的に言って、別の生物の遺伝子を組み込んでいるかどうかにある。たとえば、ある微生物から害虫に強い性質を持った遺伝子を取り出し、トウモロコシに組み込んで害虫に強いトウモロコシを作った場合、それは「遺伝子組み換え食品」に分類される。ゲノム編集は、食品になる生物が、もともと持っている遺伝子を変化させるだけなので、遺伝子組み換えとは根本的に異なるのだ。

### 別の遺伝子組み込む

遺伝子組み換え食品については、国の専門家委員会による安全性審査が義務づけられている。現在、販売されているのは、この審査で安全性が確認された大豆やトウモロコシ、ジャガイモなど8種類の農産物とその加工食品のみだ。みんなが大好きなスナック菓子にも、こうした遺伝子組み換え食品が使われる可能性がある。

遺伝子組み換え食品を販売する際には、「大豆(遺伝子組み換え)」などと表示する義務もある。ゲノム編集食品とは対応が異なる理由について、消費者庁の担当者は「別の生物の遺伝子を組み込んだかどうかは科学的に検証できるからだ」と説明する。

読売中高生新聞

遺伝子組み換え技術と遺伝子編集技術の違いについて。遺伝子組み換えとは、ある生物に、他の生物の遺伝子を導入するもの。遺伝子編集技術とは、ある生物の遺伝子を一部書き換えること。

## 温暖化の3割は「食」による！

Table 5.4 GHG emissions (Gt CO<sub>2</sub>eq yr<sup>-1</sup>) from the food system and their contribution (%) to total anthropogenic emissions. Mean of 2007-2016 period.

Food system component	Emissions (Gt CO <sub>2</sub> eq yr <sup>-1</sup> )	Share in mean total emissions (%)
Agriculture	6.2 ± 1.9 <sup>a</sup>	10-12%
Land use	4.8 ± 2.4 <sup>a</sup>	8-10%
Beyond farm gate	3.8 ± 1.3 <sup>b</sup>	5-10%
Food system (Total)	14.8 ± 3.4	<u>25-30%</u>

Notes: Food system emissions are estimated by combining emissions data from a) FAOSTAT (2018) and US EPA (See also Chapter 2) and b) Garnett (2011) and Poore and Nemecek (2018). Percentage shares were computed by using a total emissions value for the period 2007-2016 of nearly 51 Gt CO<sub>2</sub>-eq yr<sup>-1</sup> (See Chapter 2). GWP values used are those , and by using GWP values of the IPCC AR5 with no climate feedback (GWP-CH4=28; GWP-N2O=265)..

[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/2f.-Chapter-5\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/2f.-Chapter-5_FINAL.pdf)

6

温暖化の話に入る。

IPCCの最近の報告書では、世界の温室効果ガスの3割が食料供給に関連する、とまとめられた。

食料の供給にあたっては、森林を開墾し農地を作り、肥料や農薬を製造し、農業機械を動かし、農産物を輸送・貯蔵・冷蔵・冷凍し、店舗で陳列販売する。この過程で多くのエネルギーを利用しCO<sub>2</sub>が発生する。また農地からはメタンが発生するほか、窒素肥料が分解されてN<sub>2</sub>Oという温室効果ガスも発生する。

もしも大規模な温室効果ガスの排出削減を目指すならば、この「食」に関連する温室効果ガスの排出を無視することは出来ない。

## 遺伝子工学 (Genetic Engineering) とは

- 遺伝子工学(GE)で多くの薬。インスリン insulinはほぼ全量がGEによる。
- 1<sup>st</sup> GE: 量 単収向上。病害虫耐性、除草剤耐性。
- 2<sup>nd</sup> GE: 質 非生物ストレス耐性、栄養強化、光合成効率
- 3<sup>rd</sup> GE: 製造 ファインケミカル、薬品

Zilberman, D. (2015).

遺伝子工学について、初歩的な点を説明する。

まず、遺伝子工学で、多くの薬が作られている。糖尿病治療に使われるインスリンは、ほぼ全量が遺伝子組み換え技術によって作られている。

遺伝子工学には3つの世代がある。

第一世代は「量」に関するもので、ヘクタールあたりの単収向上などである。病害虫への耐性を高めることなども行われた。

第二世代は「質」に関するもの。旱魃に強いなどの「非生物ストレス」への耐性、ゴールデンライスのような栄養強化などがあつた。

第三世代は、新しい化学製品や薬品の製造プロセスである。インスリンなどの薬品のことである。

## 世界で進むGE利用

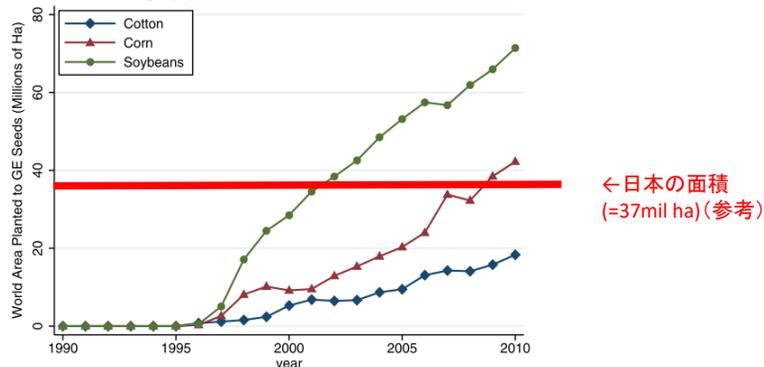


Figure 2. *World area planted to GE seeds by crop.*

Notes: Authors' own calculation derived from data from Graham Brookes.

Barrows, G., Sexton, S., & Zilberman, D. (2014). The impact of agricultural biotechnology on supply and land-use. *Environment and Development Economics*, 19(6), 676–703.  
<https://doi.org/10.1017/s1355770x14000400>

遺伝子工学の利用は世界で進んでいる。ややデータは古いですが、2010年時点で、すでに綿花、トウモロコシ、大豆の遺伝子組み換え作物の作付け面積は、それぞれ日本の面積の半分、同程度、2倍に達している。

# 主流となるGE作物

Barrows, G., Sexton, S., & Zilberman, D. (2014).

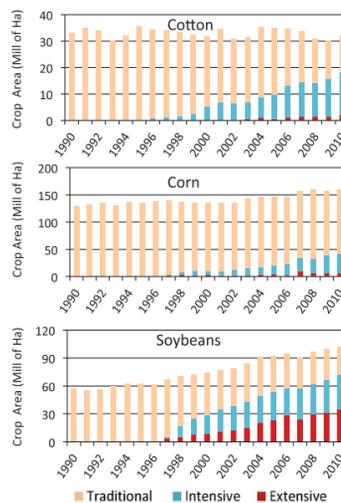


Figure 3. World hectareage of GE crops by technology and intensive/extensive margins  
 Notes: For each crop, cotton, corn, and soybeans, we plot total world area broken down by traditional technology, GE adopted on the intensive margin, and GE adopted on the extensive margin. Area is millions of ha harvested. Intensive margin indicates lands that switched from traditional technology to GE in the same crop, while extensive margin indicates lands that switched from some other crop or purpose into producing the given crop with GE seeds. GE area is divided between intensive margin and extensive margin by the algorithm described in section 4.

これもややデータは古いですが、すでに世界の多くの地域で、綿花、トウモロコシ、大豆については遺伝子組み換え作物は多く作付けされており、例外的なものではなく、むしろ主流になっている。

## GEの効能 Benefits of GE

1. GEは、環境負荷を低減しつつ収量増加。トウモロコシ10%、綿20%、大豆30%。
2. もしGEがなければ、価格は高い。大豆が33%、トウモロコシが13%、綿が30%。
3. GEによるGHG↓の実現例
  - A) 単収の増加は、土地利用圧力を和らげ、生態系保全とGHG削減に帰結した。
  - B) 米国でのGEによる土地利用削減に伴うGHG削減は全自動車の8分の1以上だった。
  - C) 不耕起農法が可能になりCO2固定が進んだ

Zilberman, D. (2015).

遺伝子工学の効能について。

1. 遺伝子組み換え作物によって、肥料投入や農薬投入を削減することで環境負荷を低減しつつ、ヘクタール当たりの収量が増加している。
  2. 収量が増加しているということは、価格が低くなっており、消費者は恩恵を受けている。
  3. 遺伝子工学で温室効果ガスが実際に減った例を述べる。
- C) について補足。遺伝子組み換え作物によって、不耕起農法が可能になる。不耕起農法はいくつかの利点があるが、農地によるCO2固定が進むという利点もある。

## GEへの期待 expectatoin

1. GEを米、小麦等の穀物にも適用すれば、土地、水、肥料等の投入は大幅に減る。
2. GEはまだこれから大いに発展する技術。
  - A) 消化しやすい飼料大豆(飼料効率↑、消化改善によりメタン↓)
  - B) 日照りに強い作物(単収↑)
  - C) 長持ちする食物(廃棄↓ ; 冷蔵冷凍・輸送エネルギー↓)
- .....
3. GEは”doing more with less”を可能にする。
4. GEは温暖化への適応にも有効。

Zilberman, D. (2015).

今後について、遺伝子工学で温室効果ガスを減らす可能性は多岐にわたる。

1. まず、これまであまり遺伝子工学はコメや小麦などの人が直接食べる穀物に適用されてこなかったが、これを実施すれば、やはり温室効果ガス削減に繋がる。
2. 他にも、今後の技術進歩に期待がある。C)について補足すると、茶色く変色しないマッシュルーム、長持ちするトマトなどがすでに開発されている。これらは、長持ちすることで、食品廃棄を減らし、また、冷蔵・冷凍などのエネルギーを削減することが出来る。食品の3分の1は廃棄されているという現状にかんがみて、kのような長持ちする食品を開発することは、温室効果ガスの削減に寄与するだろう。
3. 簡単に要約すれば、遺伝子工学の利点は、より少ない投入(エネルギー、肥料、農薬)によってより多い産出(単収、栄養、長持ち)を生み出す、ということである。
4. なお今回は詳しく述べないが、温暖化によって起きうる悪影響に農業を適応させるためにも、遺伝子工学は寄与する。

## IPCC(2014)でバイオテクノロジーが言及無かった。



Global Change Biology (2015) 21, 501–503, doi: 10.1111/gcb.12765

LETTER

### **IPCC AR5 overlooked the potential of unleashing agricultural biotechnology to combat climate change and poverty**

DAVID ZILBERMAN

*Department of Agricultural and Resource Economics, University of California, Berkeley, CA, USA*

Zilberman, D. (2015). IPCC AR5 overlooked the potential of unleashing agricultural biotechnology to combat climate change and poverty. *Global Change Biology*, 21(2), 501–503. <https://doi.org/10.1111/gcb.12765>

では気候変動に関する政府間パネル(IPCC)でバイオテクノロジーはどのように扱われてきたが。

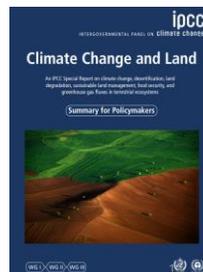
Zilberman(2015)は、2014年のIPCC第五次評価報告書において、バイオテクノロジーは殆ど言及されることが無かったが、もっとバイオテクノロジーの効能をきちんと取り扱うべきだった、という指摘をした。

## IPCC 2019「土地利用特別報告」もGEに言及しない

B6.1. Practices that contribute to climate change adaptation and mitigation in cropland include increasing soil organic matter, erosion control, improved fertiliser management, improved crop management, for example, paddy rice management, and use of varieties and **genetic improvements** for heat and drought tolerance. For livestock, options include better grazing land management, improved manure management, higher-quality feed, and use of breeds and **genetic improvement**. Different farming and pastoral systems can achieve reductions in the emissions

抽象的にgenetic improvements といった言葉があるだけ。  
GMO, gene editingによるGHG↓への言及が皆無。\*

[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/Edited-SPM\\_Approved\\_Microsite\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/Edited-SPM_Approved_Microsite_FINAL.pdf)



The Canon Institute for Global Studies

(\* 発表者がSPMおよび該当する5章を検索した限りに於いて)

この状況は、最近の2019年に出された「土地利用特別報告書」でも変わっていない。講演者が確認したところ、「遺伝的改良」という言葉（これは通常の品種改良ももちろん含む）があったのみで、遺伝子工学について詳しい議論はいっさい言及されていない。

## Zilbermanの懸念

“不幸にして、地球温暖化を最も心配する国々が、規制・政治によって遺伝子工学を禁じている。”

This editorial argues that GE provides powerful tools to meet the challenges of climate change and, at the same time, address problems of poverty. Unfortunately, some of the nations that express the greatest concern about climate change are also establishing regulations and a political environment that inhibits the utilization and growth of GE.

Zilberman, D. (2015).

Zilbermanは、先の論文において、IPCCで遺伝子工学がきちんと言及されていないのは誤りであり、このようなことが起こる背景として、「不幸にして、地球温暖化を最も心配する国々が、規制・政治によって遺伝子工学を禁じている」、という懸念を表明している。

# 遺伝子組換え作物(GMO)による代替肉

The Impossible Burger



肉の色と香り・味をもたらす「ヘムタンパク質」を合成する遺伝子を、大豆の根の細菌から酵母に導入した。

温室効果ガスの排出量は牛肉バーガーの10分の1

<https://www.deoveritas.com/blog/the-impossible-burger-vs-beyond-burger/>

Here's how the footprint of the plant-based Impossible Burger compares to beef

11 | 04 | 2019

Fast Company highlights Impossible Burger 2.0's "impossibly" small environmental footprint, verified by Quantis

"A new analysis finds that the environmental cost of raising cattle is very, very high. The newest version of the Impossible Burger—the plant-based meat that uses food science to replicate the taste and feel of beef—has a carbon footprint 86% smaller than a burger made from a cow. [It] also uses 87% less water than beef, uses 96% less land, and cuts water contamination by 92%."

Let's talk

<https://quantis-intl.com/heres-how-the-footprint-of-the-plant-based-impossible-burger-compares-to-beef/>



CIGS The Canon Institute for Global Studies

遺伝子工学による温暖化対策が禁止される、ということは、決して遠い将来の話ではなく、身近になっている。

遺伝子工学による代替肉を利用したハンバーガーとして、「インポッシブル・バーガー」等の商品名で、すでに米国のレストランなどで販売されている。これは基本は大豆バーガーなのだが、肉の色・香り・味をもたらすヘムタンパク質を合成する遺伝子を活用して、肉の風味をもたらすようにしてある。

これら代替肉バーガーの温室効果ガス排出は、牛肉によるバーガーの10分の1程度であると試算されている。

## GMOによる健康影響があるとする反対運動



Blog / Food & Agriculture / Genetic Engineering / Is "Food-Tech" the Future of Food?

### Is "Food-Tech" the Future of Food?

by Dana Perls, Senior Food & Technology Campaigner



[反対意見 https://foe.org/food-tech-future-food/](https://foe.org/food-tech-future-food/)

[反対意見への反論](https://www.usatoday.com/story/opinion/2017/09/07/impossible-environmentalism-does-not-address-sustainability-ted-nordhaus-column/570651001/)

<https://www.usatoday.com/story/opinion/2017/09/07/impossible-environmentalism-does-not-address-sustainability-ted-nordhaus-column/570651001/>

このように温室効果ガスは少ないものの、環境NGOからはすでに反対意見が出ている。