

ゲノム編集の今とこれから ・・・何が問題か・・・

遺伝子組換え情報室
遺伝子組換え食品を考える中部の会

河田昌東（かわたまさはる）

今、食の安全に世界的関心が高まっている

理由

農薬の大量散布による食の汚染

癌や白血病、アレルギー
子どもの発達障害などの多発

EU Organic Action Plan



EU 諸国は2030年までに農業の25%をオーガニックにする
食の安全、持続可能な農業、地球環境の保護



オーガニック給食の署名を集めます

愛知の子どもたちに有機無農薬の食材を❤️

未来をつくる給食♡Foods for Children 愛知

世界の有機農業（百万ha） 2019年

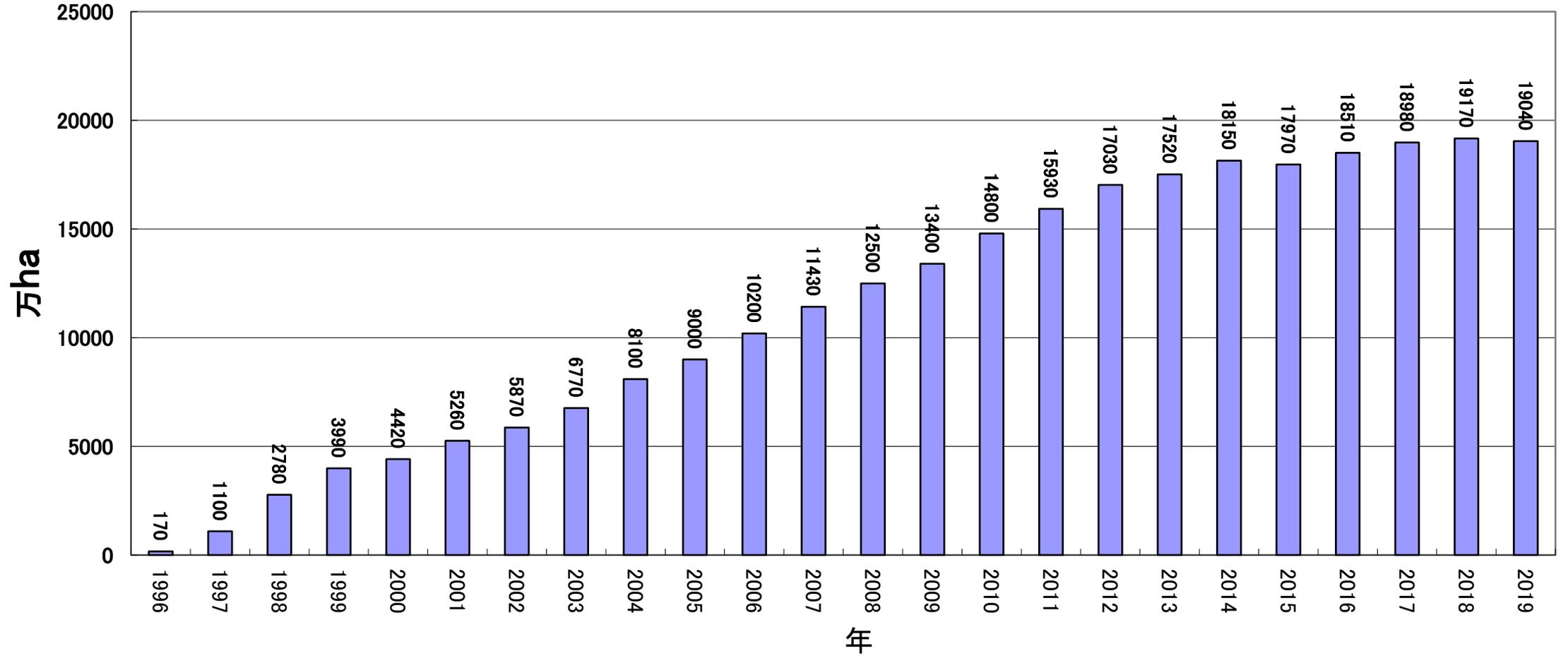
(1) オーストラリア	35.7
(2) アルゼンチン	3.67
(3) スペイン	2.35
(4) アメリカ	2.33
(5) インド	2.3
(6) フランス	2.24
(7) 中国	2.22
(8) ウルグアイ	2.14
(9) イタリア	1.99
(10) ドイツ	1.61
(94) 日本	0.11

原因の一つは

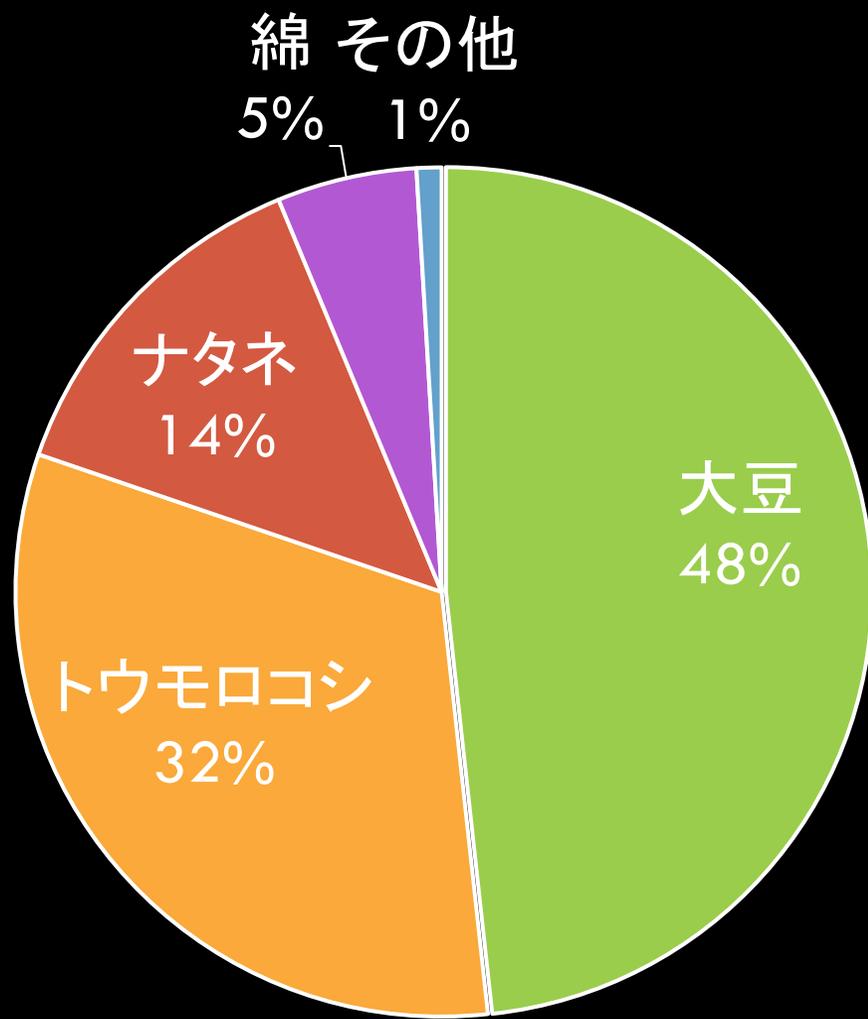
遺伝子組換え食品の安全問題

- (1) 次世代毒性に問題
- (2) 抗生物質耐性菌の多発
- (3) 残留農薬が増大
- (4) 思いがけないアレルゲン
- (5) 日本は世界最大のGM輸入国

世界の遺伝子組換え作物栽培面積



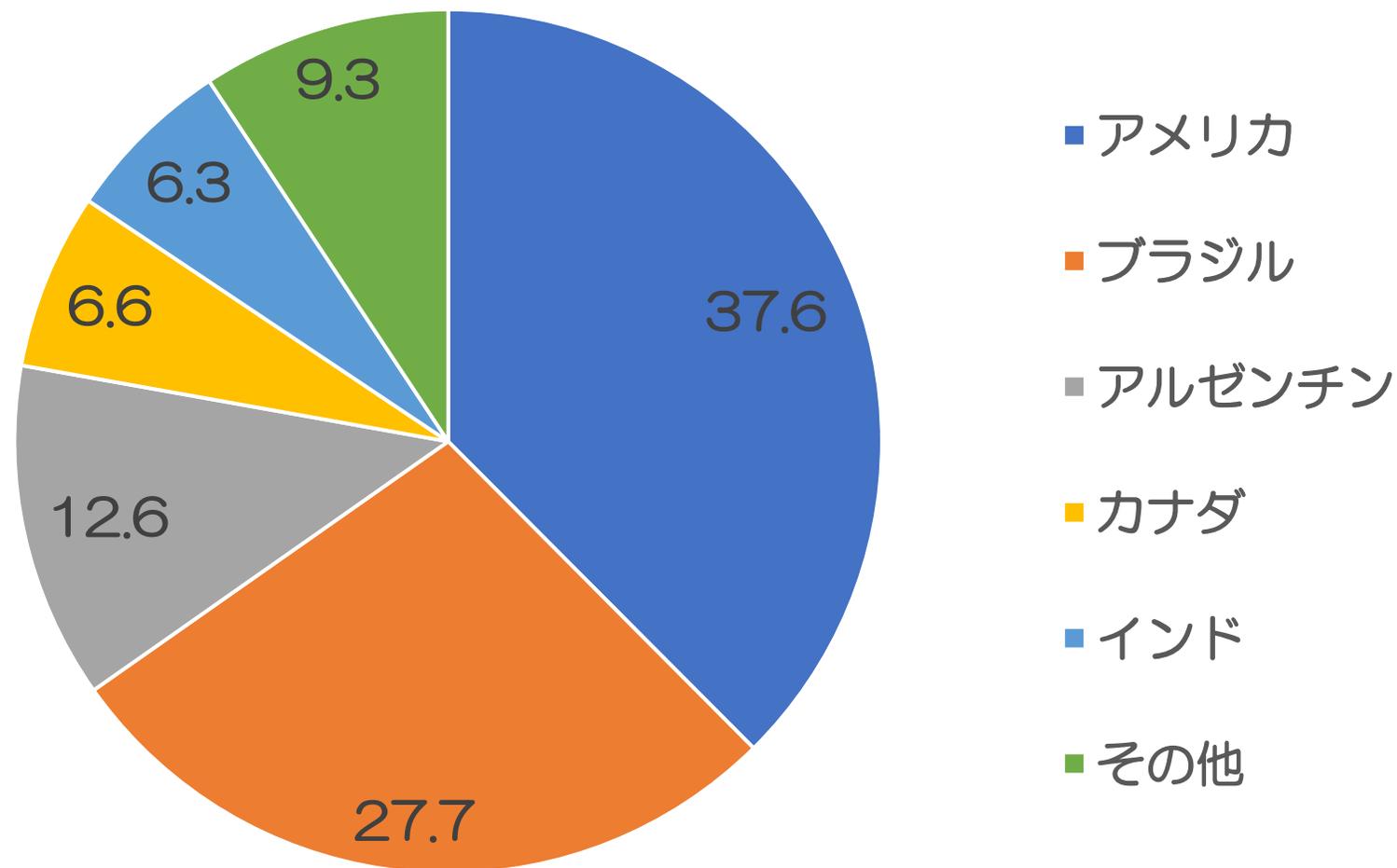
2019年度は1億9千万ha: 日本の面積の4.7倍、増加は頭打ち



使用目的の
多くは
家畜飼料と
加工品

品種別GM作物栽培面積 2019年

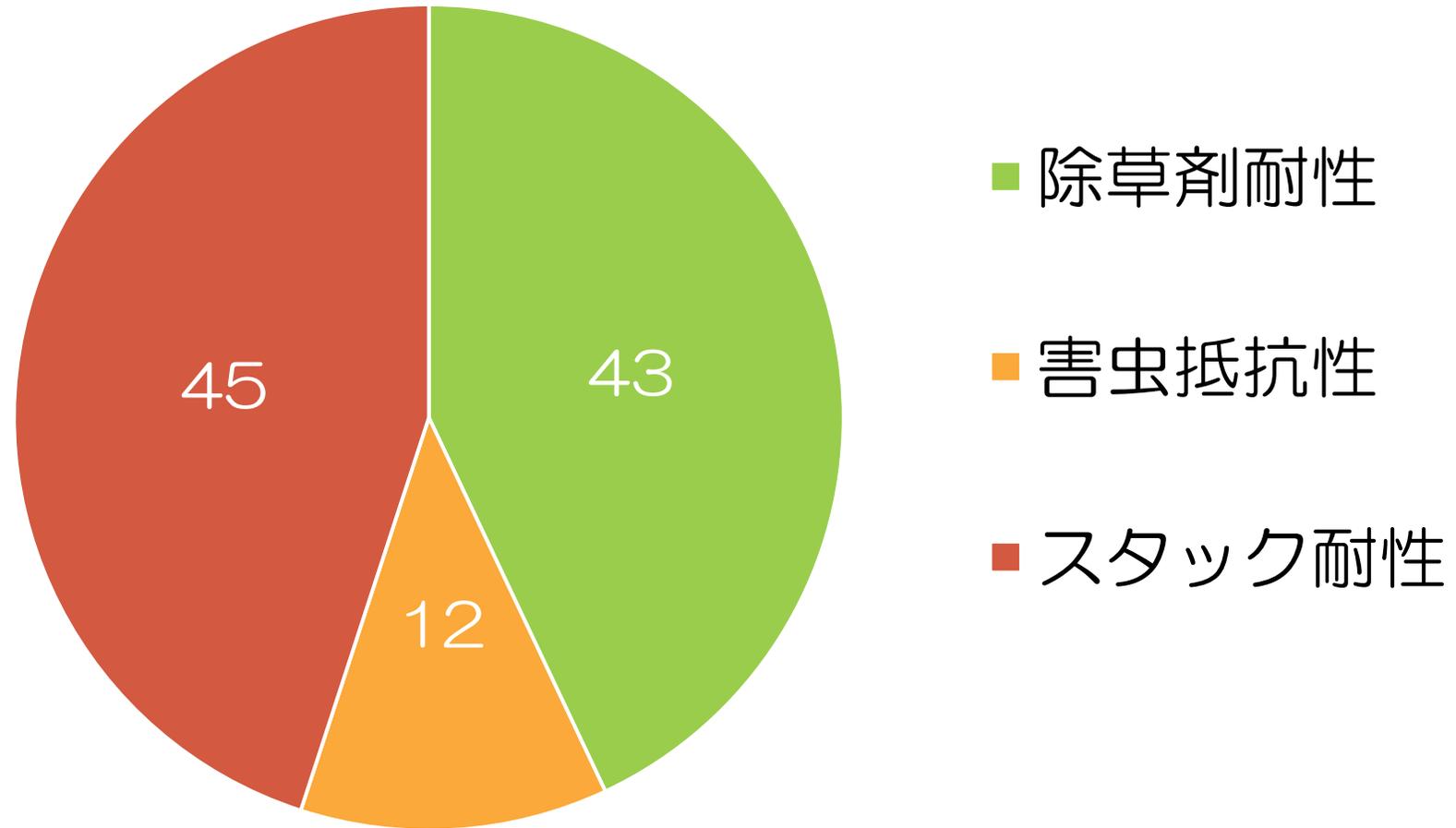
GM作物栽培面積% (2019年)



GM表示制度がなかった
84.5%はアメリカ大陸

形質別栽培面積% (2019年)

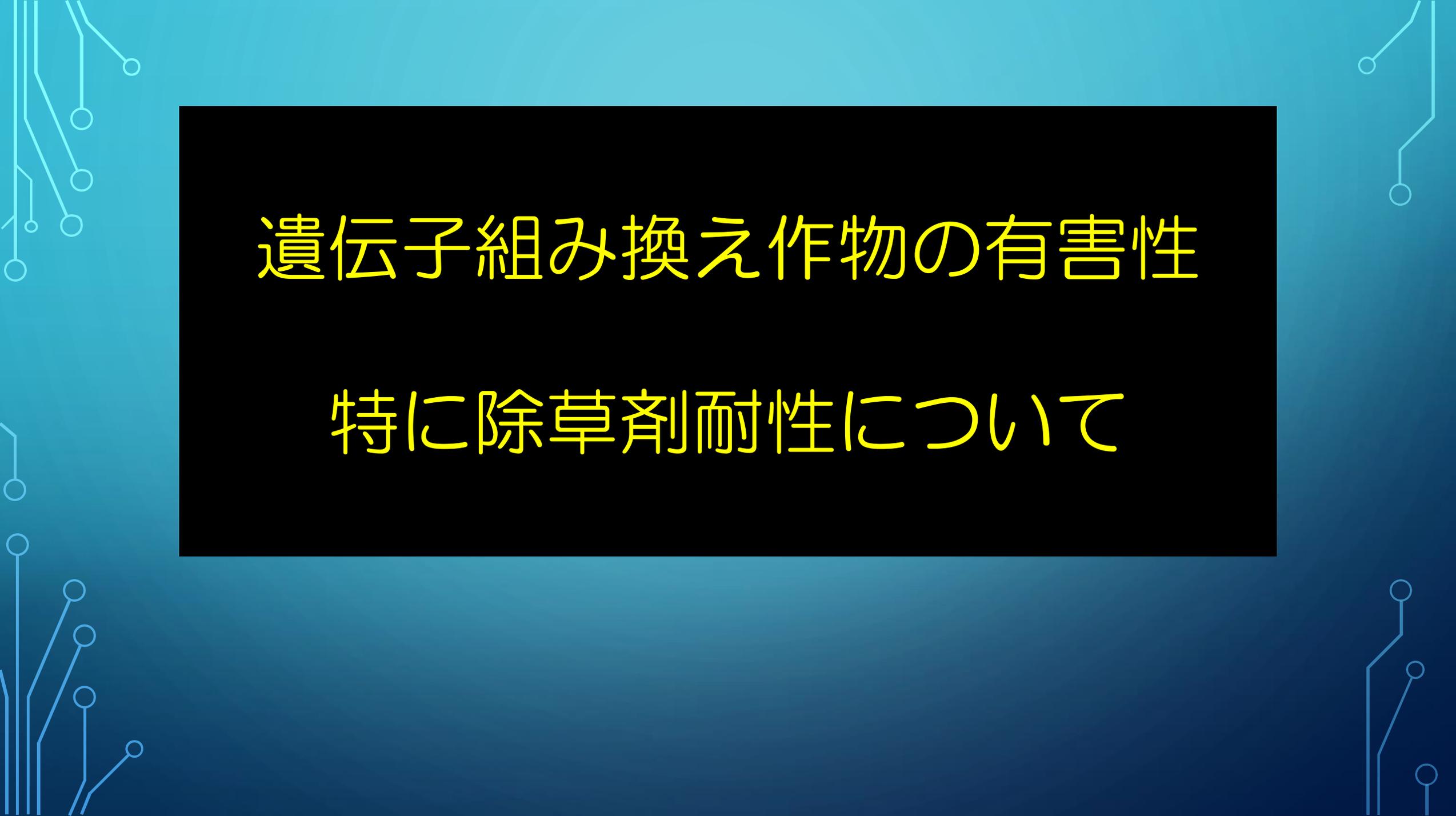
88%は除草剤耐性



日本は世界最大の遺伝子組換え（GM）作物輸入国（2018年度）

作物	作物 総輸入量	GM作物 輸入量	GMの割合 (%)	輸出国
トウモロコシ	15,802	14,558	92	アメリカ
大豆	3,236	3,053	94	アメリカ ブラジル
ナタネ	2,337	2,082	89	カナダ オーストラリア
綿	103	95	92	アメリカ
	21,479	19,788	92	

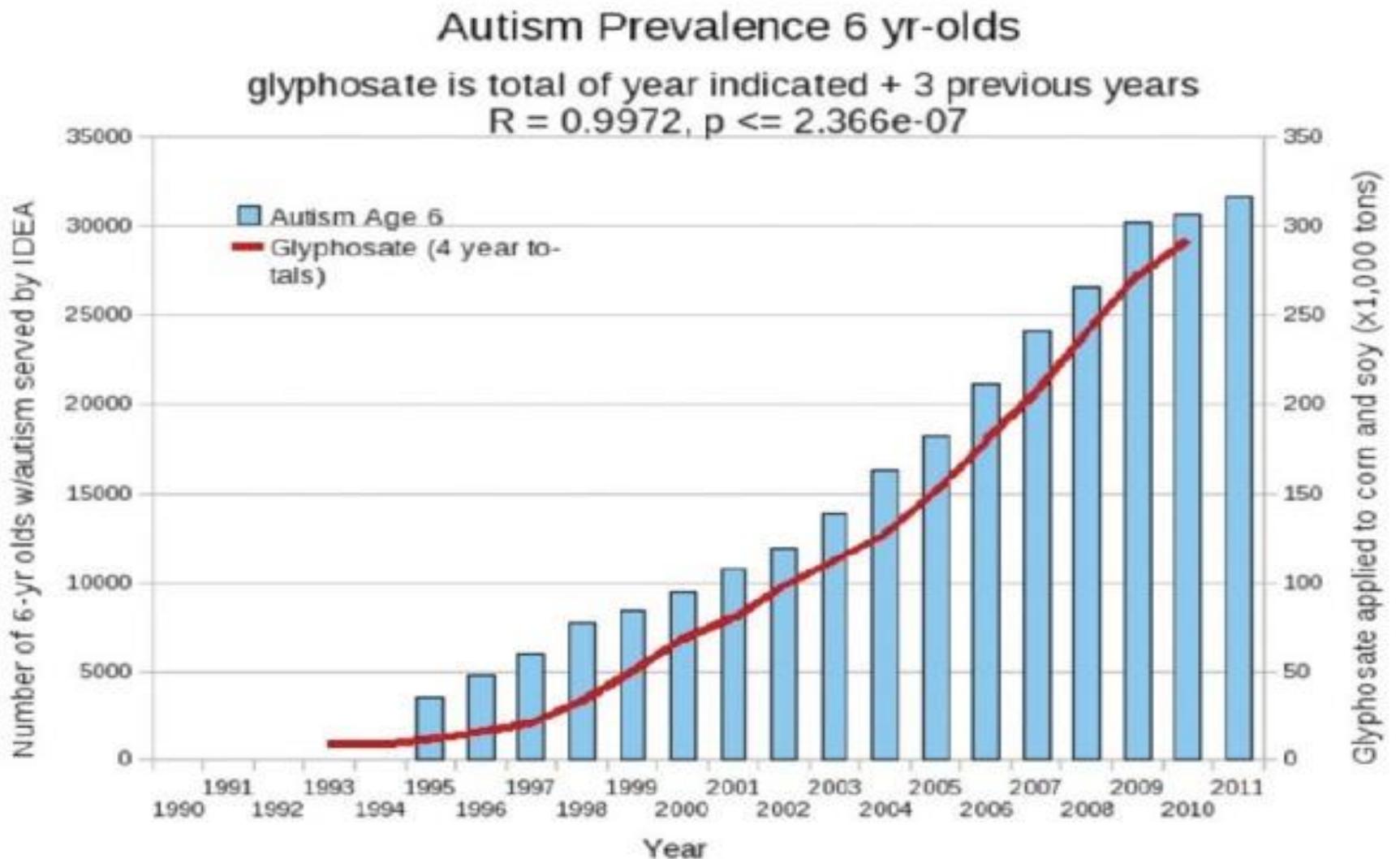
単位：1000トン

The background is a gradient of blue, with decorative white circuit-like lines in the corners. The lines consist of straight segments and circles, resembling a network or data flow diagram.

遺伝子組み換え作物の有害性

特に除草剤耐性について

アメリカにおける自閉症発生率とグリフォサート散布量



青棒：6歳児の自閉症数

赤線：GMコーンと大豆
へのグリフォサート
散布量

残留農薬が問題

MIT(マサチューセッツ工科大学、Ansony Samuelらの論文(2015年))

**ZEN
HONEYCUTT**



JOSH TRENT 237



アメリカでも食の安全に対する活動が活発化

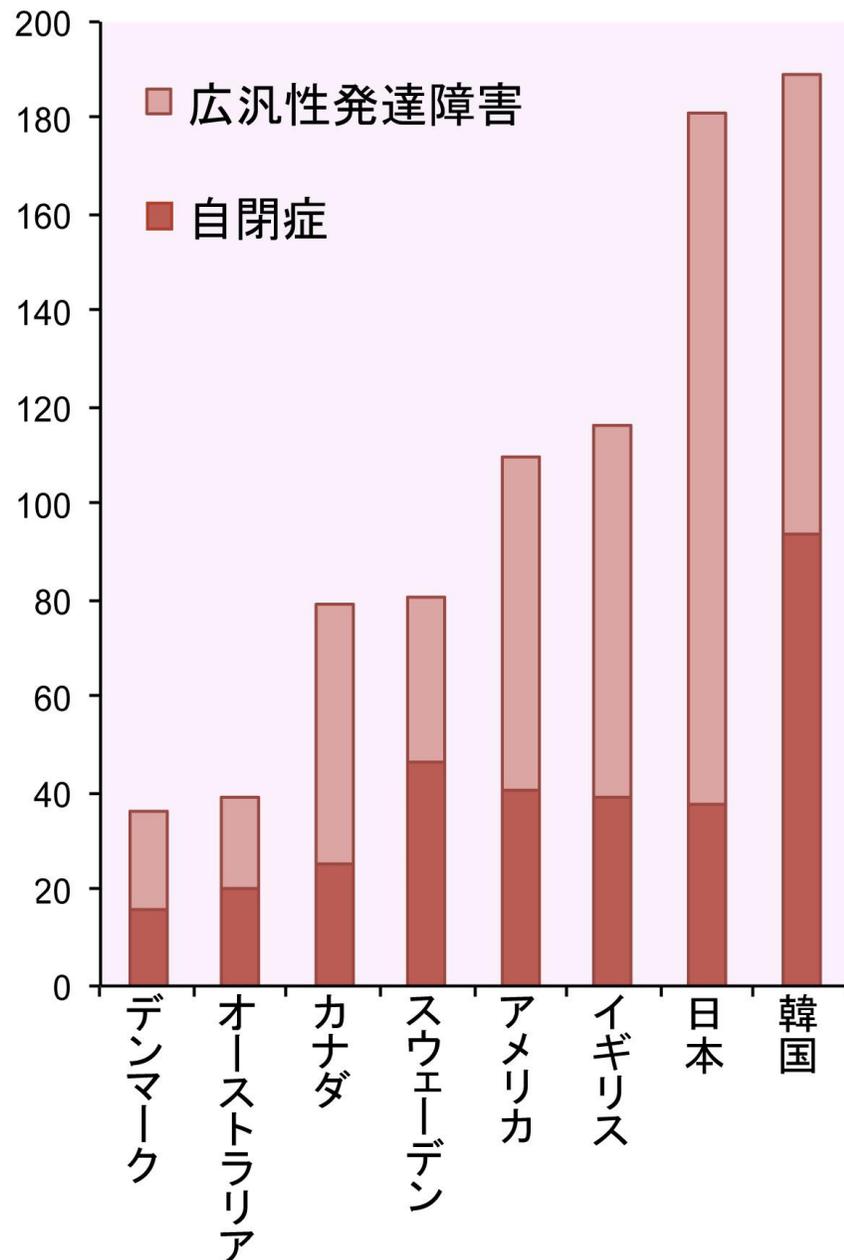
「アメリカのママ達」
の活動



自閉症、広汎性発達障害の有病率

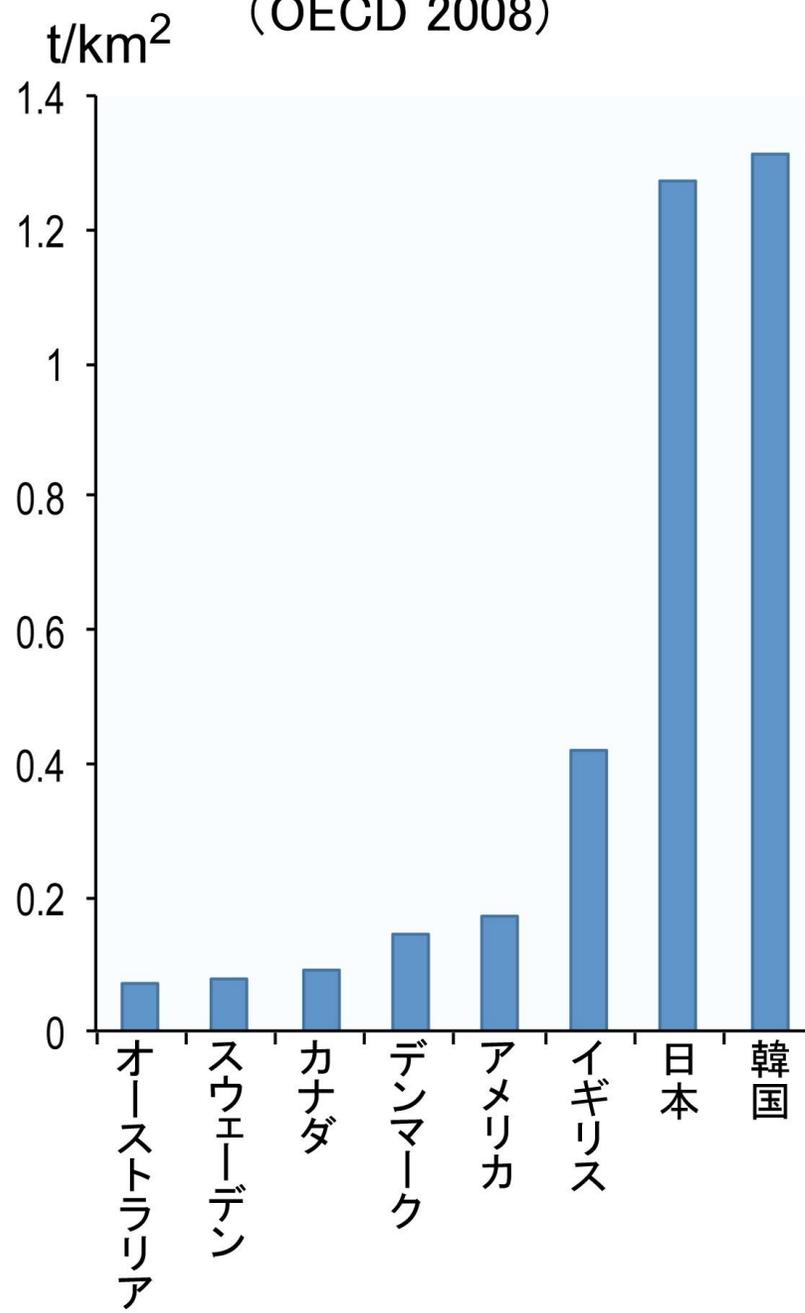
(Elsabbagh, et al. 2012, Autism Res)

有病率
1万人当りの人数



農地単位面積当たり農薬使用量

(OECD 2008)



面積当たりの農薬散布量と自閉症の発生率は日本がアメリカより多い

遺伝子組み換え作物の有害性の事例



GMコーン(NK603)に発がん性 モンサントの除草剤耐性

Long term toxicity of a Roundup
herbicide and a Roundup-tolerant
genetically modified maize

2012年 Selalini らの研究(フランス)

非組換え大豆とRR大豆の餌を食べたメスの子ども



左 非RR大豆の餌

右 RR大豆の餌

RR大豆の子どもは体重が半分。
脳以外の内臓が半分の重量だった。

ロシア科学アカデミー

イリーナ・エルマコヴァの研究

WHO（世界保健機構）の専門組織

IARC（国際癌研究機関）が

グリフォサート（ラウンドアップの化学成分）
を発がん性の高いランク2に指定

（2015年3月20日）

除草剤で末期がんに、米裁判 モンサントに約 320 億円の支払い命じる陪審評決

2018 年 8 月 11 日 12:58 発信地：サンフランシスコ/米国



米サンフランシスコの裁判所で下された判決に反応を示す原告のドウェイン・ジョンソンさん（2018年8月10日撮影）。(c)JOSH EDELSON / AFP

モンサントが初めて敗訴

時事通信ロンドン支局 菅 正治氏



一般的だった「Genetically Modified Organism(GMO)」ではなく「Bioengineered(BE)」

「薄い名称を採用了。また、商品に直接表示せず

情報確認に手間 反発も

米国でGM表示 ようやく義務化

米国で遺伝子組み換え(GM)食品の表示義務化が今年1月からようやく実施された。2016年7月に当時のオバマ大統領が法案に署名してから5年以上が経過。表示に慎重な食品業界に押し切られ、これまで「

組み換え作物を含んでいるとされる。安全性への懸念が長く指摘され、市民団体が「消費者には食品の自身を知る権利がある」と表示義務化を求め、州ごとに立法化の動きが加速した。バラバラな制度が

ワールド・ビユー

は混乱するため、オバマ政権が連邦政府レベルで対応する必要があると判断し、全米での義務化を決めた。トランプ政権が制度の細部を固め、バイデン政権下で導入された。新制度は、食品会社や輸入会社に対し、組み換え食品である場合に表示を義務付けた。しかし、具体的な方法として、文字



「薄い名称を採用了。また、商品に直接表示せず

アメリカで 遺伝子組み換えが 表示義務化

2022年1月～

運動の成果

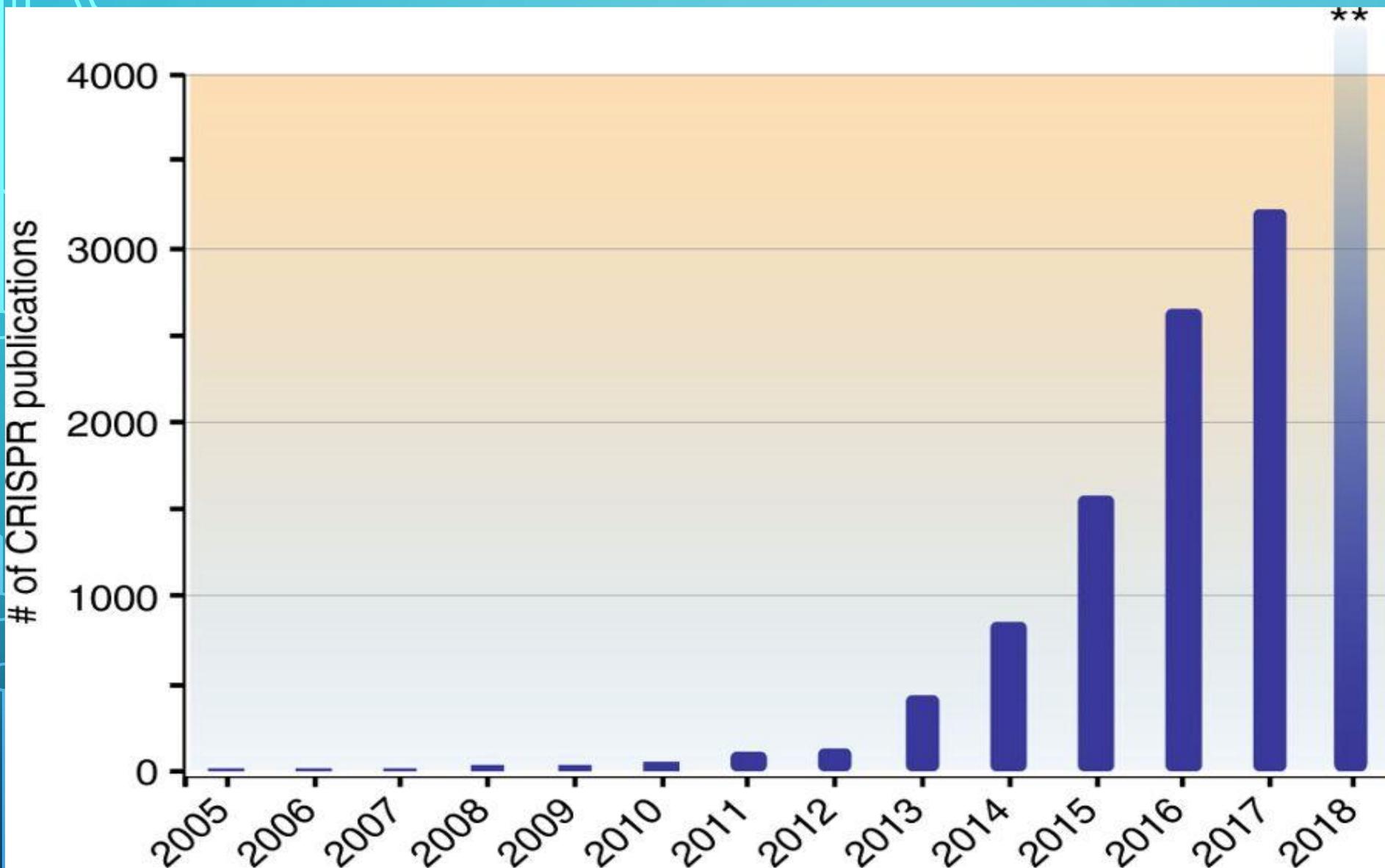
パッケージを見ただけでは組み換え食品であるかは分からず、商品ごとにスマホをかざさなければならぬ。消費者にとっては非常に手間がかかる。貧しくてスマホを持っていない人はこの制度を利用できないなどの批判もある。ただ、面倒な作業が必要になるとはいえ、例えばコカ・コーラは組み換え食品であることが確認できるようになった。

遺伝子組換えからゲノム編集へ

世界の大きな流れになりつつある

ゲノム編集の今

ゲノム編集の論文数



第4次産業革命か（医療・食品分野の特許急増）

商品化されたゲノム編集食品

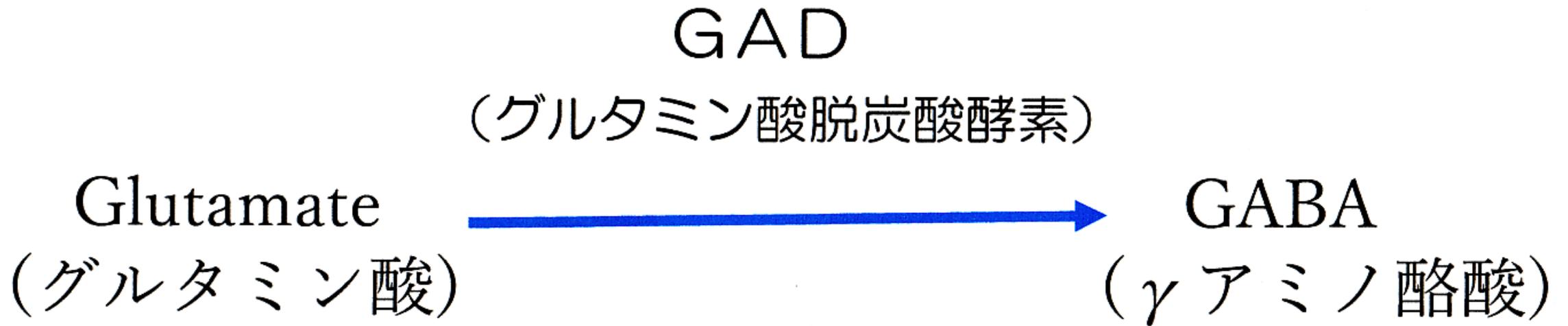
- 高GABA トマト
- マッスル真鯛
- 成長促進トラフグ

現在、世界で商品化されたものは日本の3点のみ



①高GABAトマト (γ アミノ酪酸)

- 筑波大学（江面教授）・サナテックシード社が開発
- 2020年12月11日 届け出により 商品化
- 3月から無償で苗を希望者に提供、全国で5千人が希望。
無償配布（5万本）。現在全国で栽培中。



- GAD はトマトが青い時に働く
赤くなると反応が止まる
ストレスがかかると発現する
- ゲノム編集で自己抑制配列を切除
(赤くなっても合成継続)



ゲノム編集

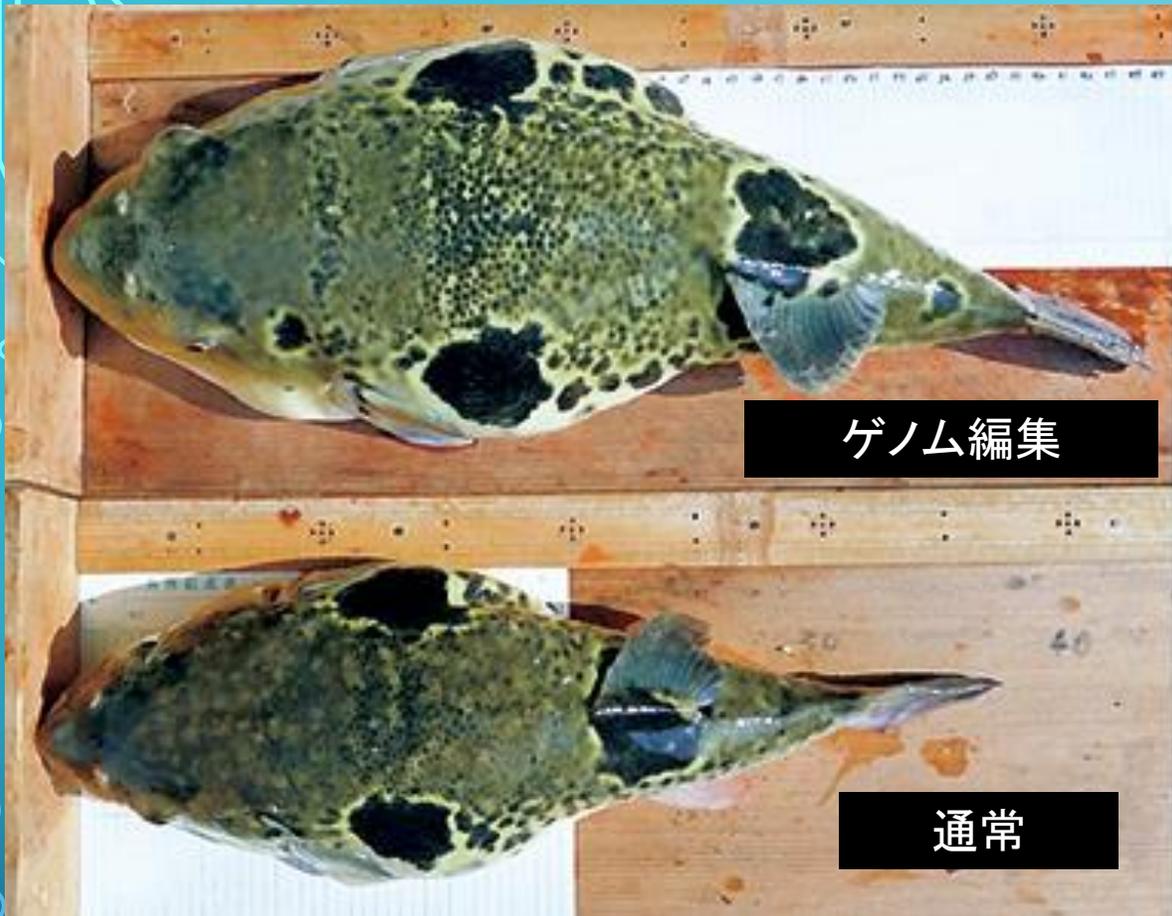
通常

② マッスル真鯛

2021年9月17日届け出
京大・近代が開発

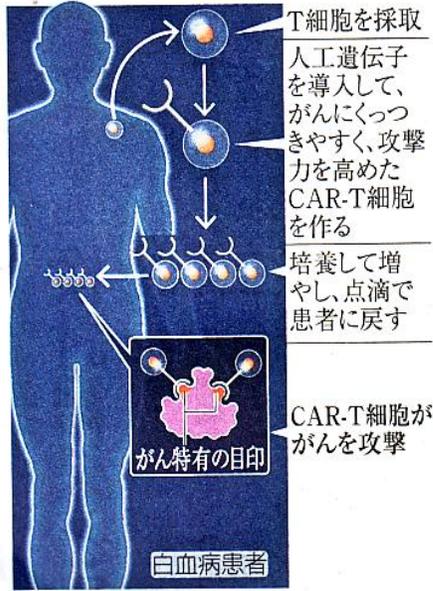
ミオスタチン遺伝子を破壊
(成長ホルモン抑制遺伝子)

肉厚・体長は20%短い



③ゲノム編集トラフグ（京大）：（2021年10月29日届け出）
通常の2倍の速度で成長する
食欲抑制ホルモン（レプチン）受容体遺伝子を破壊

CAR-T細胞療法の仕組み



欧米では既に承認されているが、米国では一回の治療が五千万円以上に設定され、高額な費用が問題とな

5月にも保険適用 高額な費用 課題

厚生労働省の専門部会は二十日、一部の白血病を治療する新型の細胞製剤「キムリア」の製造した。人工遺伝子で患者の免疫細胞の攻撃力を高める「CAR-T細胞」を利用した国内初の治療にも正式承認され、五月にも公的医療保険が適用される見通し。臨床試験(治験)で既存の治療しない患者にも効果が得られたことから注目を集めており、他のがんに応用する研究が世界的に活

て話題になったがん治療薬「オプジーボ」よりも高くなる可能性がある。利用できるのは、抗がん剤が効かなかった人などに限定しており、年間二百五十人程度と見込まれる。

CAR-T細胞療法 免疫細胞遺伝子治療を組み合わせた最新の細胞とくつきやすくするための遺伝子。免疫細胞の一種、T細胞が活性化し腫瘍を集中的に攻撃できる。難治性の白血病で効果が示され、欧米ではキムリアのCAR-T細胞療法が承認されている。固形

CAR-T 抗原受容体T細胞を採取して作製するなど患者治療する設計する

人工遺伝子を利用、国内初

白血病の新治療法了承

- 白血病患者の免疫細胞をゲノム編集して体内に戻す (T細胞が白血球を攻撃)
- 1回の治療費5000万円
- 保険適用認めると発表 (厚労省)

池江選手白血病発表の直後

治療とつき、特

ゲノム編集の夜明け



香港で開かれた国際会議で講演する中国・南方科技大の賀建奎副教授＝28日（共同）

**国際会議で報告
当局は調査開始**

中国研究者「ゲノム編集で双子」

【香港＝共同】遺伝子を自在に改変できるゲノム編集技術の倫理問題を話し合う国際会議が二十八日、香港で開かれ、中国・深圳の南方科技大の賀建奎副教授が「ゲノム編集技術を受精卵に使い、健康な双子の女儿を誕生させた」と報告した。ウェブ上の動画では発

表していたが、初めて詳しく語り、聴衆の質問にも答えた。

双子誕生の証拠となる情報は示されず、実施の真偽に疑問が残った。ただ、事実なら中国国内の規則に反する可能性があり、広東省の衛生当局は二十八日、同省と深圳市による合同調査チームを二十七日に設置し、調査を始めたと発表した。賀氏は会議で、エイズウイルス（HIV）感染者の父から子への感染を防ぐ目的だと話したが、精液からウイルスを除去する方法が存在することもあり、会場

**世界が仰天報道
(2018年11月29日)**

- 夫がHIV（エイズ）患者、妻が正常の夫婦の受精卵（体外受精）をゲノム編集
- HIV耐性の双子の赤ちゃん（女儿）誕生
- 国際的に大きな批判
- 中国でも法的には禁止
- 国際学会で発表



The Express
Tribune
(2018/11/26)
より

ゲノム編集で生まれた双子の赤ちゃん (Lulu と Nana)

ゲノム編集雑誌の創刊号

世界は我々の手のひらにある



CRISPR Journal 発刊 (2018年2月)

日本国内では

「（ゲノム編集を）成長戦略のど真ん中に位置付け、関係閣僚は、これまでの発想にとらわれない大胆な政策を一丸となつて迅速かつ確実に実行に移すように」

2018年6月15日閣議決定

「統合イノベーション戦略」の前日の

安倍首相発言

それで環境省・厚労省が急に動き出した



ゲノム編集をしたトマトは、筑波大の江面浩教授提供

ゲノム編集を植物や動物の品種改良に活用し、よりよい品種を生み出す動きも広がっている。交配を繰り返す従来の品種改良が長い年月をかけるのに対し、ゲノム編集で開発にかかる期間を大幅に短縮できるが期待される。

従来の品種改良では、果実の大きさや味、収穫時期などを改良するために、交配を繰り返す必要があった。一方、ゲノム編集は狙った遺伝子に突然変異を効率よく起こせる。新しい機能を持たせられ、開発期間も約3年。遺伝子組み換え技術

と比べて、ゲノム編集は狙った遺伝子に突然変異を効率よく起こせる。新しい機能を持たせられ、開発期間も約3年。遺伝子組み換え技術と比べて、ゲノム編集は狙った遺伝子に突然変異を効率よく起こせる。新しい機能を持たせられ、開発期間も約3年。遺伝子組み換え技術

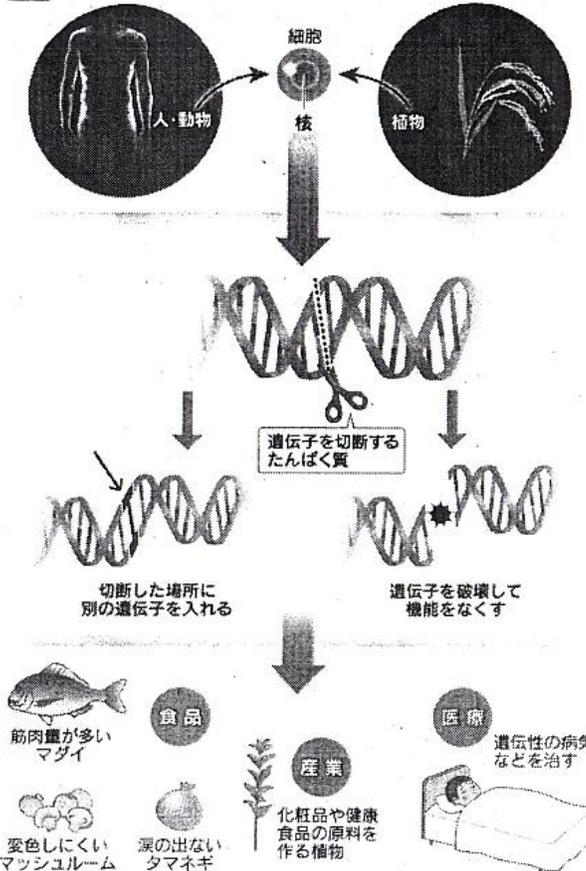
と比べて、ゲノム編集は狙った遺伝子に突然変異を効率よく起こせる。新しい機能を持たせられ、開発期間も約3年。遺伝子組み換え技術と比べて、ゲノム編集は狙った遺伝子に突然変異を効率よく起こせる。新しい機能を持たせられ、開発期間も約3年。遺伝子組み換え技術

食

品種改良期間5分の1

ゲノム編集革命

ゲノム編集のしくみ



マークのついたイラストにARアプリをかざそう
アプリは右のQRコードからダウンロード
詳細は「日経AR」で検索

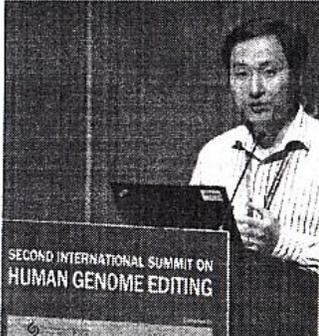
Android iOS

医

遺伝子を改変、難病治療

ゲノム編集は品種改良の効率が低い(各手法の利点と欠点)

遺伝子を選ばずゲノム編集	<ul style="list-style-type: none"> ・期間が短い ・欲しい品種がすぐできる ・日本の規制対象外の予定 ・標的の遺伝子を探すのが難しい
遺伝子組み換え	<ul style="list-style-type: none"> ・期間が短い ・欲しい品種がすぐできる ・別の生物の遺伝子が入る ・日本は規制の対象で、審査に時間がかかる
従来の品種改良	<ul style="list-style-type: none"> ・日本の規制対象外 ・古くから使われてきた ・完成に時間がかかる ・変化する遺伝子を選べない



ゲノム編集は、ゲノム編集で改変した受精卵から双子が生まれたと主張(昨年)共同

画期的なバイオ技術である「ゲノム編集」を医療や食品に応用するための研究が活発になっている。ゲノム(全遺伝情報)を人為的に操作することで遺伝性難病の治療につながるが期待されるほか、農水畜産物の大幅な品種改良に役立てる技術もある。一方、2018年11月に中国の研究者がゲノム編集を施した受精卵から双子が生まれたと発表し、国際的な論争を呼んだ。安全性や倫理面での課題をいかに克服するかが普及の鍵になる。

ゲノム編集は病気の原因遺伝子を動かさずしたり、正常な遺伝子を組み込んだりして治療する「遺伝子治療」での応用研究が進んでいる。従来の手法より効率よく遺伝子を改変でき、新たな治療法として注目が集まる。臨床試験を進める欧米が先行するが、日本でも血友病などの治療に向けて基礎研究が活発だ。

米や中国で白血病などの治療を目指した研究が盛んだ。体内でゲノム編集をする研究も進む。米国では特定の酵素が働かない「ムコ多糖症」や、血液が固まらない「血友病」など遺伝性の難病で臨床試験が進んでいる。体内でのゲノム編集については、日本は自治医科大学が血友病、京都大学は筋肉の機能が衰える「デュシェンヌ型筋ジストロフィー」の原因遺伝子を探る研究を進めている。ともにまだマウスを使った実験段階だ。

日本では、まだゲノム編集を使った遺伝子治療をするための明確な指針がない。このため、日本の研究者らは将来の医療応用につながる臨床研究への足並みを揃える。政府は、現行の遺伝子治療に関する臨床研究の指針を拡大することで、ゲノム編集への適用を目指している。指針は4月に解禁する見通しだ。

実用化には課題もある。ゲノム編集の「道具」となるたんぱく質を、体内で狙った細胞にきちんと届ける技術が確立されていない。間違えた遺伝子の場所を切ってしまうリスクもある。ウイルスに感染しない体質にするためと賛助教授は懸念を強調したが、安全と倫理を厳しく求められる生殖医療への応用に批判が高まった。英科学誌ネイチャーは18年12月、科学で注目

を集めた「今年の10人」に中国の遺伝子治療を研究する科学者の名前を載せた。この指摘は、ゲノム編集が未知な部分が多く、臨床応用の段階に達していない。遺伝子の役割が複雑で、改変後に予想外の副作用が起きる恐れがある。ゲノム編集を施した子どもが健康に育つ保証がなく、改変した遺伝子は子孫に受け継がれる「サイナイバービー」につながる恐れもある。海外では妊娠、出産目的での受精卵の遺伝子改変を法律で禁じる国もある。日本は受精卵へゲノム編集を施す研究について明確な規制がなかったが、国が指針を作成し、不好治療に関する基礎研究に限り容認される。指針は9年4月に運用が始まる見通し。ゲノム編集を施した受精卵を動物や人の体内に戻すことを禁じ、がんや遺伝性の難病の研究は今後の検討課題とした。医療行為については規制がまだない。

2019年2月7日 日本経済新聞

厚労省の薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会、 新開発食品調査部会報告書

- ゲノム編集の結果、外来遺伝子が残存しないものについては安全性審査も表示も不必要
- 届け出だけでOK， 届け出も任意
- 従来の遺伝子組換えと同様に外来遺伝子が追加されたものについては、遺伝子組換え食品同様に扱う
- 将来の市場規模は600兆円？（内閣府 HP より）

ゲノム編集革命の要因

- (1) DNAの分析が容易になった事
- (2) 標的遺伝子を操作できるようになった事

遺伝子組換えとゲノム編集の違い

- 遺伝子組換え：外来遺伝子（除草剤耐性・害虫抵抗性など）
をランダムに挿入
目的の細胞を後から選別
時間とコストがかかる
- ゲノム編集：標的遺伝子の特定の塩基配列だけを壊す
（ノックアウト）
短時間でコストも安い

ゲノム編集の今 続き

開発中のゲノム編集食品など

成長ホルモン抑制遺伝子（ミオスタチン遺伝子）を破壊の豚

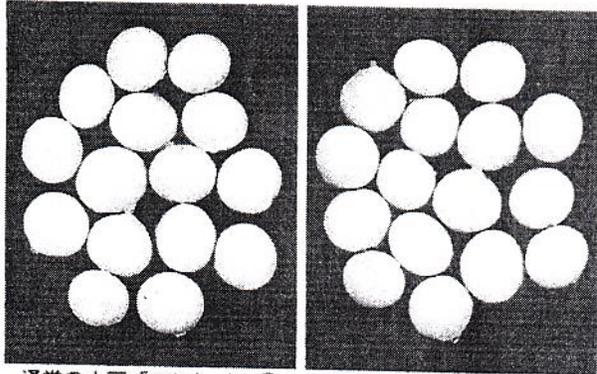
2017年7月 中国



遺伝子壊し低アレルゲン化

ゲノム編集で成功

大豆「エンレイ」「カリユタカ」



通常の大豆「エンレイ」[㊦]と、ゲノム編集で低アレルゲン化した大豆。外観や品質に目立った違いはない(北海道大学提供)

が知られている。これらのタンパク質は、納豆やみそのように発酵すると分解されるが、煮豆や豆腐、豆乳のように発酵しない食品にはそのまま残っている。

外来遺伝子が存在しない粒もあった。この粒は、環境省の方針案では、遺伝子組み換え作物に該当しないとされる。

北海道大学と京都大学、パナソニックの研究グループは、ゲノム編集でアレルギー物質が少ない低アレルゲン大豆を作ること成功した。アレルギーの原因となる種類のタンパク質のほとんどなる遺伝子を壊した。研究グループによると、ゲ

ノム編集で低アレルゲン大豆を作ったのは世界初という。多彩な品種で応用でき、アレルギーの起きにくい大豆や加工品の製造に役立つとした。大豆アレルギーは、大豆に含まれるアレルゲンタンパク質が原因で起り、これまでに十数種類

研究グループは、ゲノム編集技術でアレルゲンタンパク質を作る遺伝子の機能を壊せば、アレルギーが起きにくい大豆を作り出せると考えた。試験に使ったのは「エンレイ」と「カリユタカ」。主要なアレルゲンである「30Kタンパク質」と「28Kタンパク質」を作る遺伝子に着目した。ゲノム編集を施した「エンレイ」を栽培したところ、収穫した大豆の中から両方の遺伝子が働かなくなっている粒があることを確認。中には、ゲノム編集の過程で使う

アレルゲンの無い大豆 (北海道大学)

ソラーニン(発芽毒)のない
ジャガイモ(理科学研究所)





共食いしないサバ

九州大学

(サバが養殖可能に)



ブタの心臓 人に移植

【ワシントン＝共同】米メリーランド大は十日、重い心臓病の五十七歳男性に、免疫拒絶が起きないよう遺伝子操作したブタの心臓を移植したと発表した。世界で初めてとしている。手術から三日後の今も患者の経過は順調で、注意深く推移を見守る。米国でも移植のために提供される心臓は不足しており、執刀医は「問題解決に一歩近づいた」としている。

手術を受けた東部メリーランド州在住の男性は不整脈で一カ月半入院しており、生命維持装置「エクモ」を使っていた。心臓移植を受けられず、人工心臓も装着できなかったため、今回の移植以外に助かる手段がない状態だった。昨年末、食品医薬品局（FDA）

昨日のタビから

米大学で世界初 57歳男性に

ゲノム編集豚の心臓をヒトに移植 脳死の男性57歳

ゲノム編集で拒絶反応を抑制 (人 ↔ 豚)

死亡した 死因は不明

3月9日 The New York Times

遺伝子操作で拒絶反応抑制

A) が手術を認めた。ブタは南部バージニア州の企業が提供したもので、人間に移植した場合に拒絶反応を引き起こす遺伝子の機能を失わせた上、人間の遺伝子を挿入して体に受け入れられやすくするなど十個の遺伝子を操作した。手術後の免疫反応を抑えるため、未承認の薬も使用した。

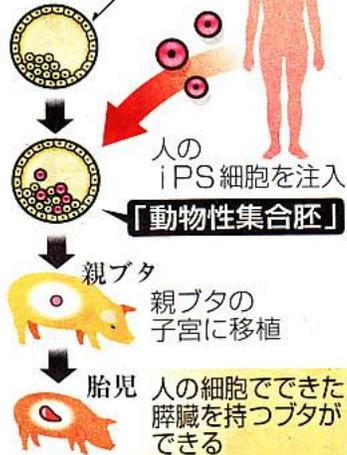
動物からの臓器移植は「異種移植」と呼ばれ、一九六〇年代に盛んに試みられた。八〇年代にはヒビの

日本でも機運高まるか

国立国際医療研究センター研究所の藤島（すいと）移植プロジェクトを担う霜田雅之氏の話 糖尿病患者にブタの膵島細胞を移植する研究を進めており、数年後の臨床研究を目指し

人の膵臓を持った ブタの作製法(イメージ)

膵臓を作れなくした
ブタの受精卵(胚)



東京大の中内啓光特任教授は、人工多能性幹細胞(iPS細胞)を使って、ブタの体内で人の膵臓をつくる研究を実施する方針を

明らかにした。将来、移植医療用として使うのが目的。学内の倫理委員会と国の専門委員会による二段階審査で認められれば、二〇

ブタ体内で人の膵臓

iPS利用東大、年度内にも

一九年度中にも国内で初めて人の臓器を持つ動物をつくる実験に着手する。

臓器移植を希望する人に対して、提供者が少ない状態は慢性的に続いており、中内氏は「まずは品質を確

臓器移植用のヒト内臓を豚で作る(実験では成功)

文科省

2019年3月1日付けで 出産OKに

(それまでは出産禁止だった)

かめる。十年以内に治療に役立てたい」と話している。

人の臓器を持つブタは、動物の受精卵(胚)に人の細胞が混じった「動物性集合胚」からつくる。文部科学省は、こうした胚を子宮に戻して動物を誕生させるのを禁じてきたが、三月に指針が改定され研究が解禁されたのを受けて、チームは研究に取り組みことにした。

計画では、遺伝子を改変し、膵臓ができないようにしたブタの受精卵に人のi



動物性集合胚 動物の受精卵(胚)に、人の胚性幹細胞(EPS細胞)や人工多能性幹細胞(iPS細胞)を注入したもの。動物と人の区別があいまいな

生き物ができかねないとして、これまで動物の子宮へ戻すことは禁止されていたが、人の組織や臓器を作る研究に役立つ可能性があり、解禁された。動物性集合胚を人の子宮へ移植することや、生まれた動物の子どもを他の動物と交配させることは禁止されている。



ゲノム編集で作った
ペット・豚
中国企業が開発

(現在は販売を断念)

豚で出来ることは
ヒトでも出来る !



サルの脳にヒトの遺伝子を入れた 11匹誕生（中国：2019年3月27日）



MCPH1 遺伝子

脳の発達を促す

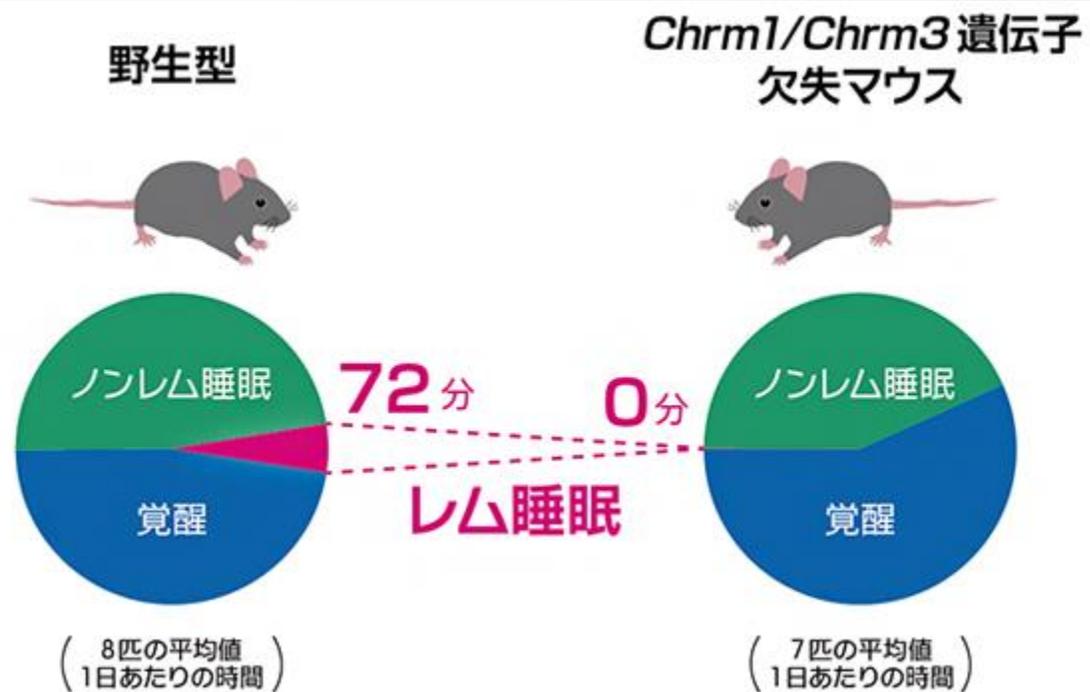
刺激に対する反応が
早くなった



夢を見ないマウス

2018年8月30日
理化学研究所

レム睡眠の遺伝子を破壊





白葉枯れ病耐性稲

マニラの国際イネ研究所がゲノム編集で開発

Nature Biotechnol. (29.Oct. 2019)

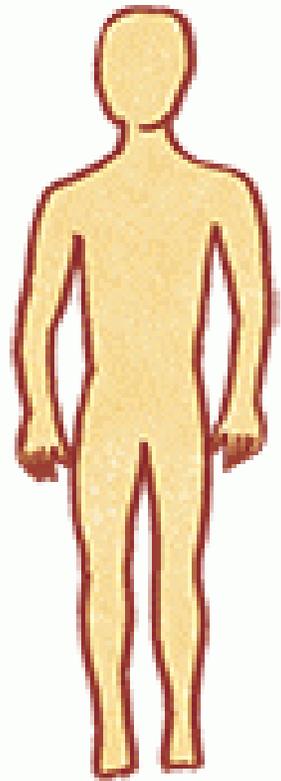


- ゲノム編集は人間・動物から食用作物まで
全ての生物分野で進行中
- 問題は「安全性と生命倫理」

ゲノムって何？

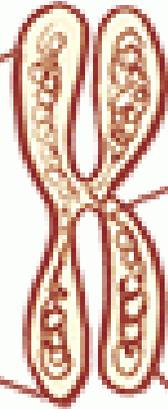
DNA

DNAの塩基配列は人間の言葉や文字に対応する化学構造



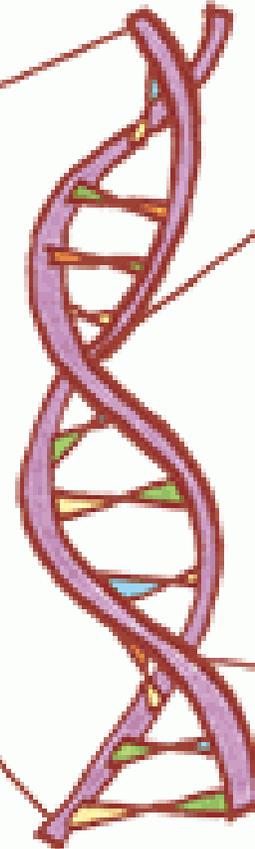
細胞の核

ヒトの細胞の核の中には23対(46本)の染色体があります

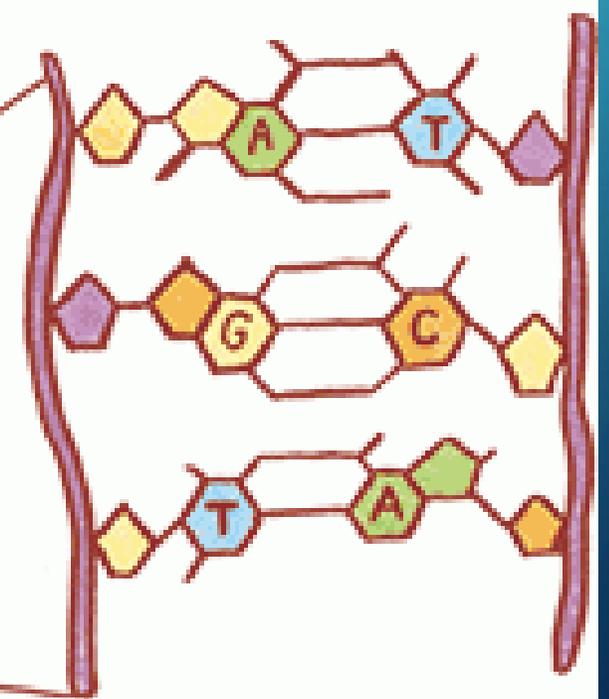


染色体

DNAは染色体の中に細かく折りたたまれています



DNA



塩基対

ヒトには32億もの塩基対があり、膨大な量の遺伝情報をもっています

- 1) ゲノムとは：特定の生物の遺伝子の総体
- 2) 遺伝子はDNAから出来ている
- 3) DNAは4種類の塩基（A,G,C,T）配列からなる「文章又は楽譜のようなもの」
- 4) 蛋白質の設計図と製造工程図（生命の設計図）
（アミノ酸配列）（調節遺伝子）

(例) ヒト・インシュリン遺伝子の塩基配列

ATGGCCCTGTGGATGCGCCTCCTGCCCCCTGCTGGCGCTGCTGGCCCTCTG
GGGACCTGACCCAGCCGCAGCCTTTGTGAACCAACACCTGTGCGGGCTCAC
ACCTGGTGGGAAGCTCTCTACCTAGTGTGCGGGGAACGAGGCTTCTTCTAC
ACACCCAAGACCCGCCGGGAGGCAGAGGACCTGCAGGTGGGGCAGGTGG
AGCTGGGCGGGGGCCCTGGTGCAGGCAGCCTGCAGCCCTTGGCCCTGGA
GGGGTCCCTGCAGAAGCGTGGCATTGTGGAACAATGCTGTACCAGCATCT
GCTCCCTCTACCAGCTGGAGAACTACTGCAACTAG (335塩基)

- 塩基3個でアミノ酸1個に対応 (例: ATG = メチオニン)
- 塩基配列は蛋白質のアミノ酸配列の設計図であり、同時に、各遺伝子の発現調節のソフトウェアでもある

ゲノム編集の種類

特定の遺伝子について

- 塩基を削除すること（ノックアウト）
- 別の塩基配列を挿入すること（ノックイン）
（遺伝子組換えと同じ）

- **ノックアウト** (塩基配列を切り取る)

ATGGCCC~~TGTGGATG~~CGCCTCCTGCGC

→ ATGGCCCGCCTCCTGCGC

(フレームシフトで異種蛋白質が出来る)

- **ノックイン** (新しい塩基配列を入れる)

ATGGCCC**GGCATTG**CGCCTCCTGCGC

ゲノム編集の道具（その1）

●ゲノム編集酵素（DNAを切断・分解するハサミ）

(1) ZFNとTALEN（人工蛋白質）

(2) KRISPR/Cas9（細菌の蛋白質）

●DNA修復酵素（切れたDNAの両端を結合する） 細胞が持っている

最も良く使われる

CRISPR/Cas9 とは？

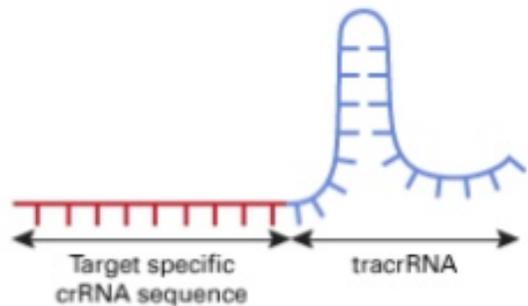
- DNAを切断するハサミ(**Cas9酵素**)
と案内役ガイド(**gRNA**)からなる

ゲノム編集技術開発で2020年度
ノーベル化学賞受賞



ジェニファー・ダウドナ氏(左)、エマニュエル・シャルパンティエ氏(右)
ゲノム編集酵素CRISPR/Cas9を研究・開発した研究者

Components of CRISPR



Guide RNA

Cas9 protein

DNA分解酵素

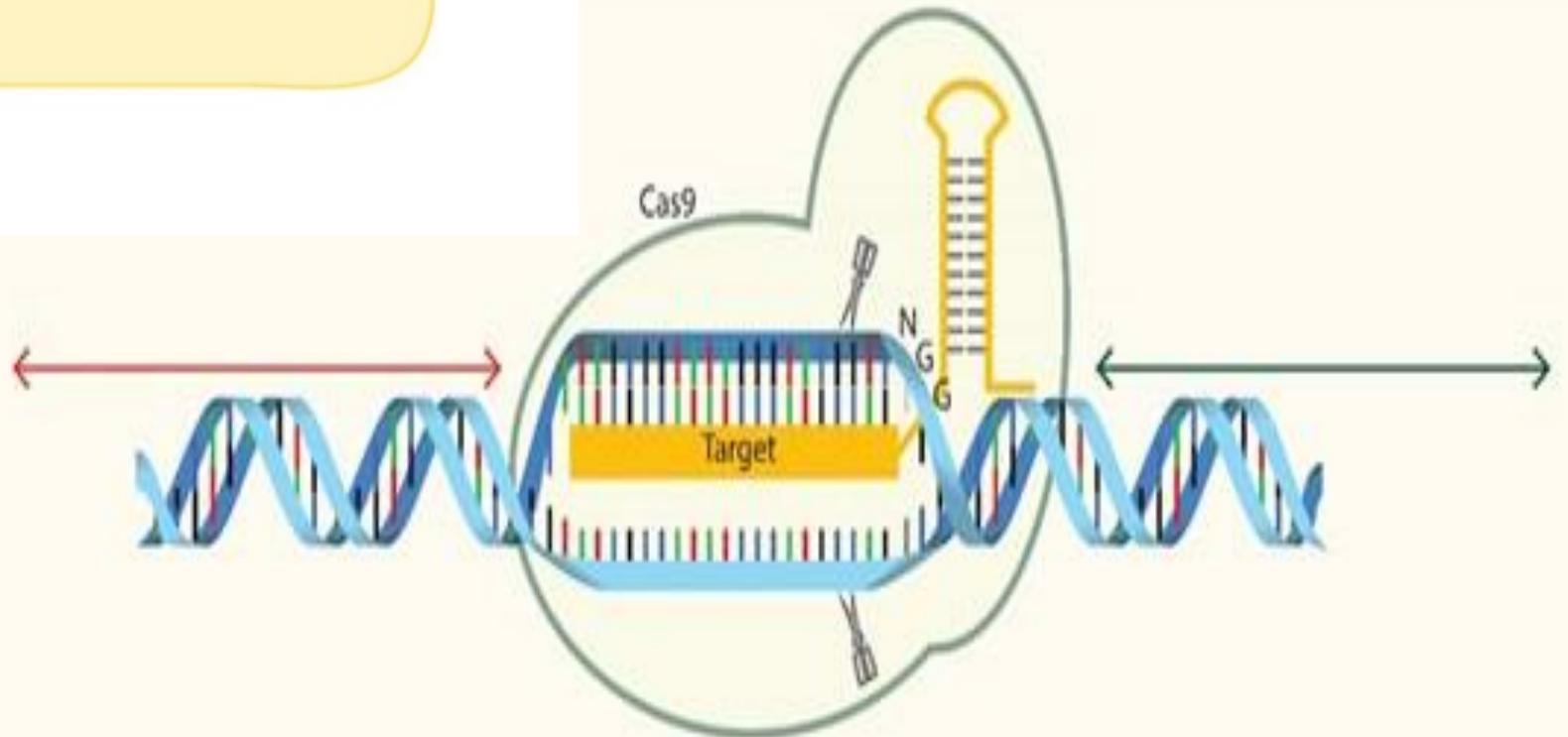
ガイドRNA: 標的DNAに結合

Cas9: 標的配列を切断する
DNA分解酵素

ゲノム編集の道具

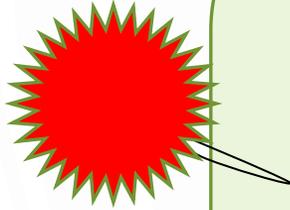
CRISPR Cas9
最も多く使われる

細菌の免疫作用由来



細菌細胞の免疫システム

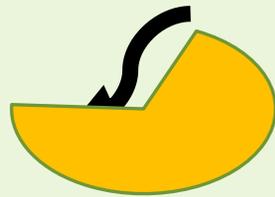
ウイルス



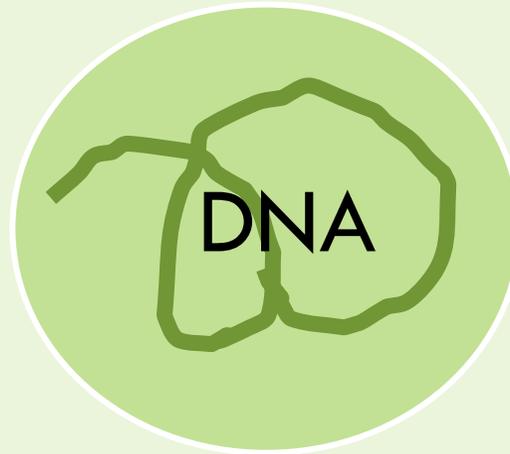
DNAを細胞に注入

黄色ブドウ状球菌、化膿性連鎖球菌

Cas9・gRNA



ウイルスに対する
免疫蛋白質
(DNA分解酵素)



細菌はファージに対する免疫機能を持っている
感染したファージDNAの配列(20塩基)を記憶し、gRNAを合成する

ゲノム編集の道具（その2）

ゲノム編集酵素を標的細胞に入れる道具

- (1) **ベクター**（Cas9とgRNAを作る遺伝子を含むウイルスDNA）を**植物細胞**に挿入
農作物など（**遺伝子の運び屋**）
- (2) **直接注入**（人手、電トロポレーション）
動物の卵などに
ゲノム編集酵素やベクターを
直接細胞に打込む

P

除草剤耐性

従来の遺伝子組み換えのベクター

除草剤耐性（マーカージェン）大豆など

← ウイルスDNA

P

害虫抵抗性

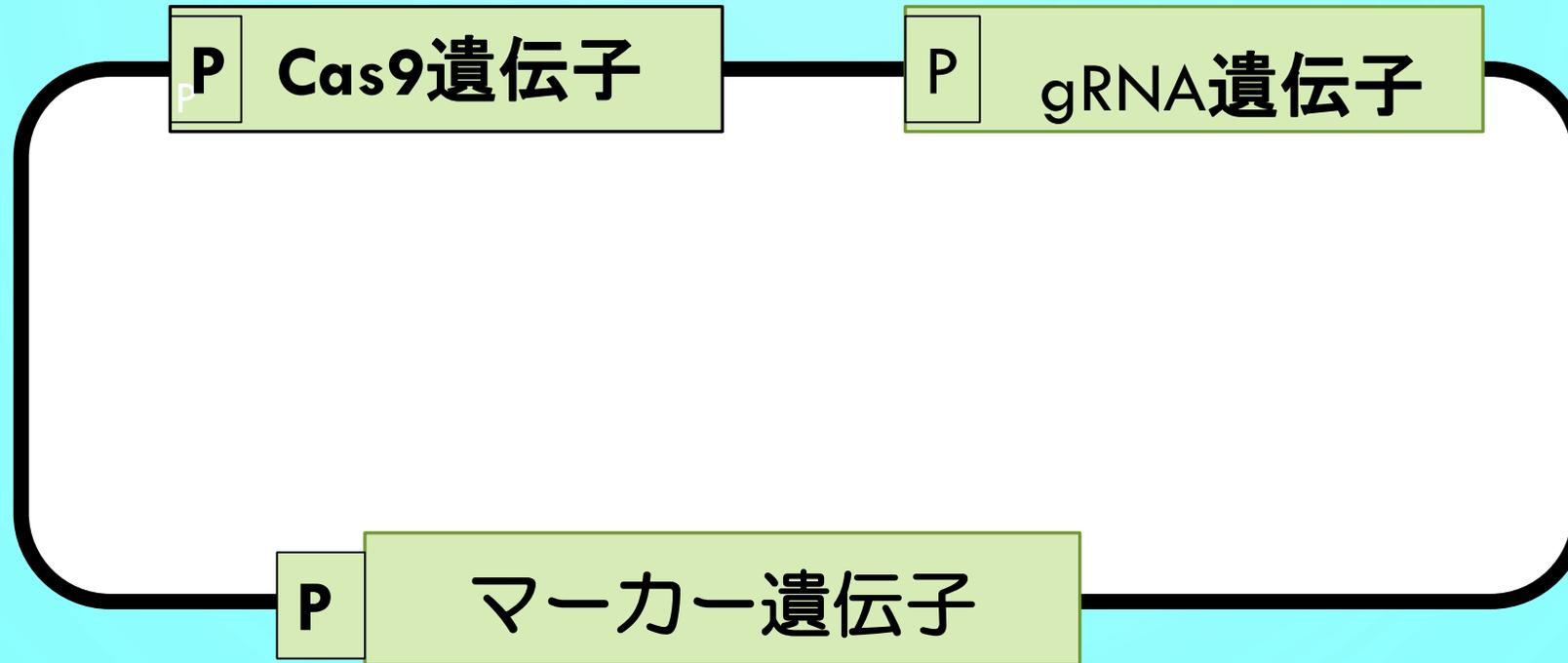
害虫抵抗性トウモロコシ

P

マーカージェン

マーカージェン : 抗生物質耐性遺伝子

ゲノム編集ベクターの基本構造



P (プロモーター) : 遺伝子発現のスイッチ

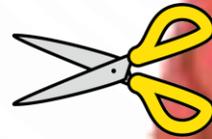
マーカー : 選別のための目印 (抗生物質耐性遺伝子、発光遺伝子)
Ca9とgRNAの大量生産のために必要

目的地は標的遺伝子

ガイドRNA (gRNA)

マーカー

DNA分解酵素
(Cas9)



舟: ベクター(ウイルスやプラスミド)

ベクターを細胞に感染させる

●通常使われるベクター

アグロバクテリウム（土壌細菌）
の病原ウイルスのDNA



動物の卵細胞は大きい

動物の卵細胞など

ベクターを使わず
卵細胞に直接注入

Cas9酵素と
gRNA
マーカー遺伝子は
入らない

マッスル真鯛など

ゲノム編集の技術的問題点

その(1) オフターゲットが起こる

標的外の遺伝子も破壊

- 「ゲノム編集は自然突然変異と同じ」という主張は間違い。
- 突然変異では同じ塩基配列の遺伝子が同時に壊れることはない
- 機能している遺伝子の突然変異率は小さい
(最近の研究：後述)

オフターゲットの実例 (ヒト遺伝子)

- **第6染色体** (VEGFA: 血管内皮細胞増殖因子ホルモン: アミノ酸232個)

標的配列 GGGTGGGGGGAGTTTGCTCCTGG
23個対の塩基を削除

- **第15染色体** (IGDCC3: 免役グロブリン・サブクラス3:アミノ酸814個)

標的外配列 GGATGGAGGGAGTTTGCTCCTGG

オフターゲットの原因 その①

- gRNAと遺伝子DNAの**ミスマッチ**
標的DNAの認識エラー

gRNAが塩基20個の中、2~3個違う別の場所にも結合する

ミスマッチは

RNA-DNAで起こりやすい

DNA GGGTGGGGGGAGTTTGCTCCTGG
DNA CCCACCCCCTCAAACGAGGACC

正しい対合 A:T G:C

DNA GGATGGA GGGAGTTTGTCCTGG
gRNA CCCACCC CCCUCAAAACGAGGACC

ミスマッチ A:C G:T

RNAの塩基はT（チミン）の代わりにU（ウラシル）
が入っている事が原因

DNAとRNAの対合では「ミスマッチ」が起こる

オフターゲットの原因（その2）

- ゲノムの塩基対の数が多い

ヒト 31億対

豚 37億対

マウス 33億対

イネ 3.9億対

トマト 9 億対

大豆 11億対

20塩基程度の類似配列は沢山ある

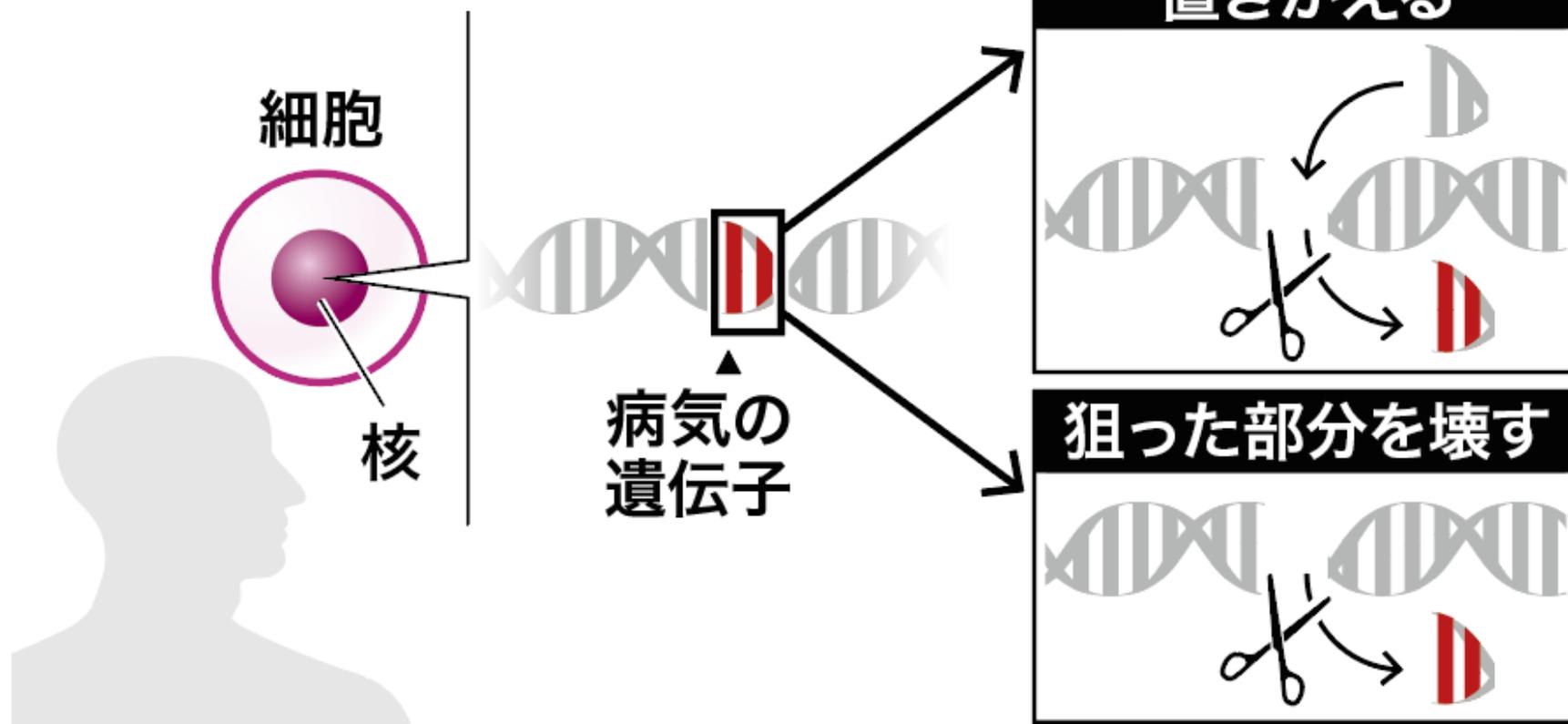
オフターゲットの原因（その3）

- 一つの細胞にゲノム編集のハサミ（Cas9とgRNA）を100万個以上入れる

細胞に挿入するゲノム編集酵素（とgRNA）の濃度

濃度を上げれば編集効率は上がるが
オフターゲットは起こりやすくなる
大きなジレンマ

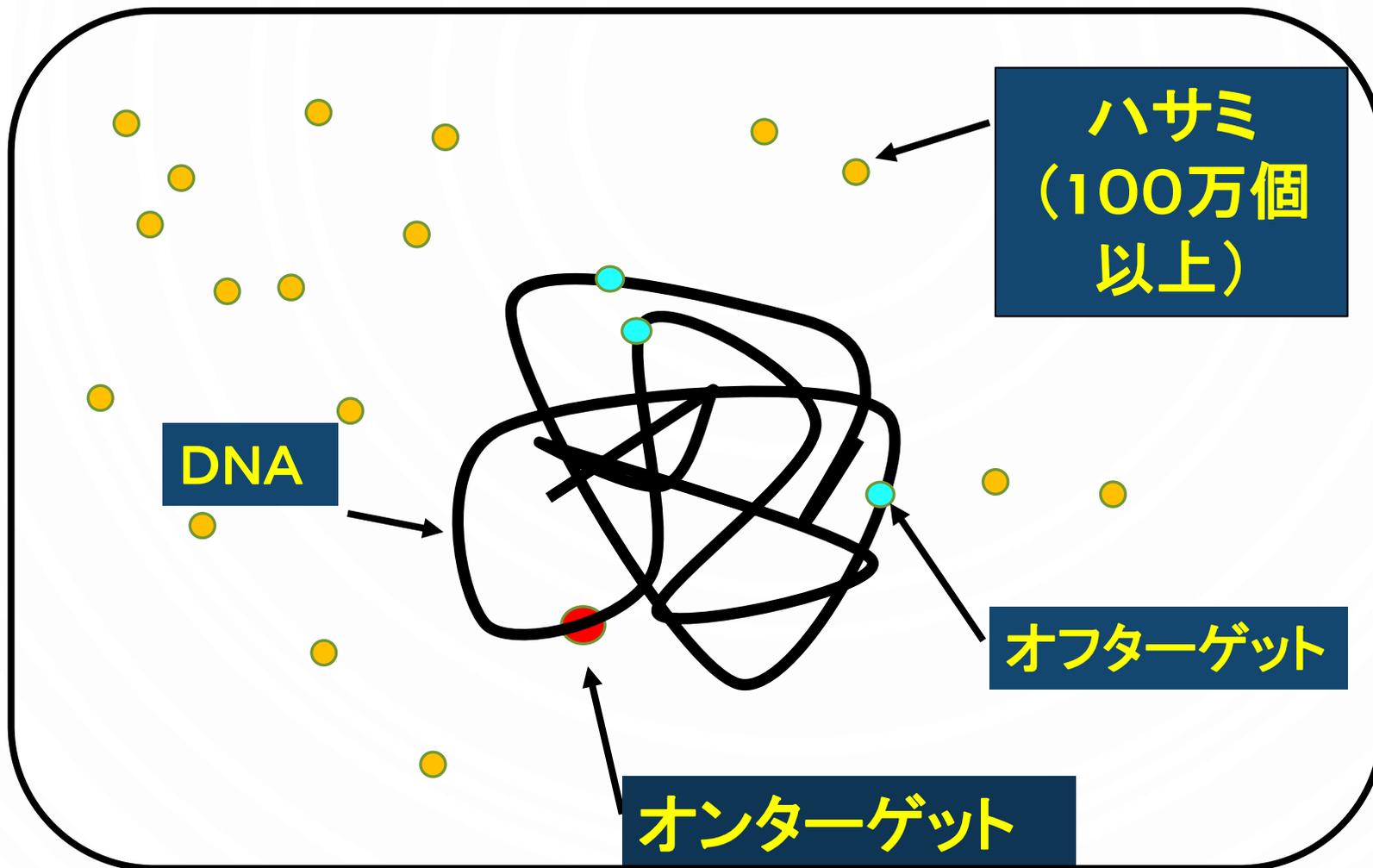
ゲノム編集のしくみ



通常のイラストは間違い

- 通常の画像ではハサミ（DNA分解酵素）は1個
- 実際には標的遺伝子1個に対して数百万～数千万個

実際には



ハサミの数を増やせば編集効率は上がるが
オフターゲットも増える

オフターゲットの原因 (その4)

- 1個の遺伝子が複数の蛋白質を作る

真核生物（*）のDNAは 2種類の塩基配列から出来ている

(1) エキソン：構造遺伝子

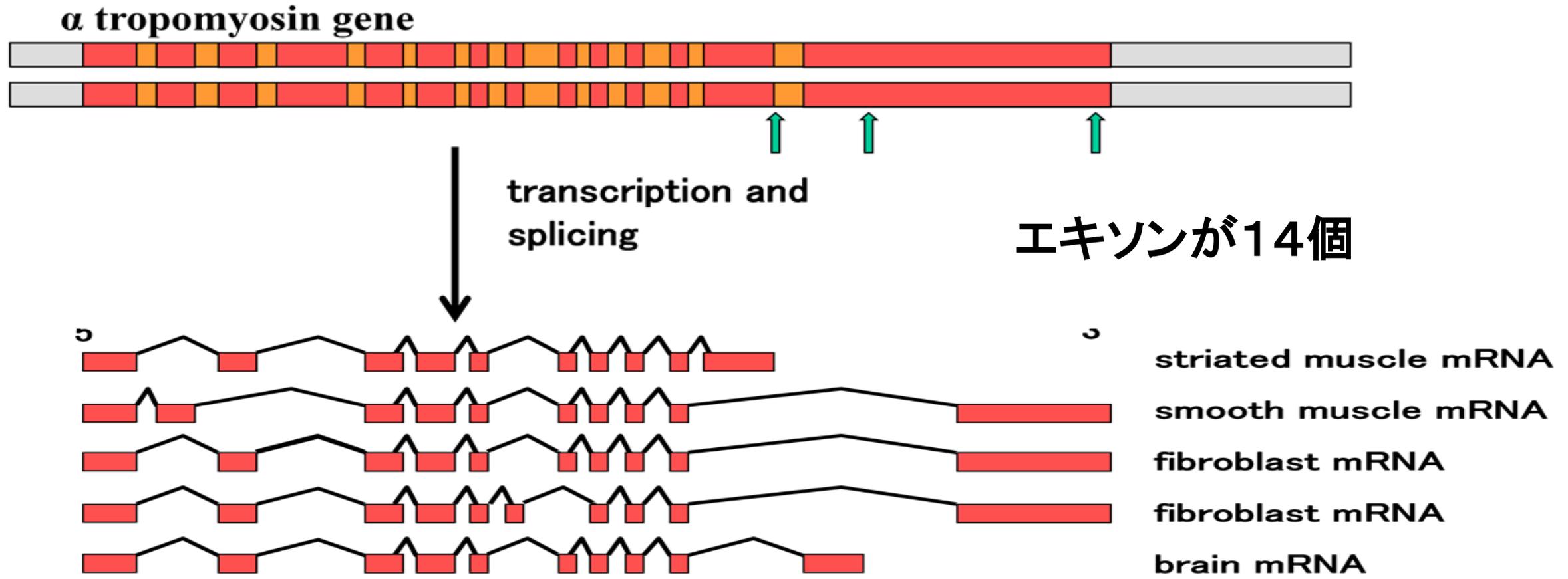
(2) イントロン：非構造遺伝子

* 原核生物：核を持たない・・・細菌

* 真核生物：核を持つ・・・アメーバ等を含む動植物

ラットαトロポミオシン遺伝子にみられるalternative splicing.

- 1個のエキソンを破壊すれば複数個のオフターゲット破壊が起こる



Striated muscle 横紋筋

smooth muscle 平滑筋

fibroblast 繊維芽細胞



最新の研究・・・突然変異はランダムではない

- エキソンは突然変異が起っても修復される
(修復酵素が突然変異を修復)
- イントロンは突然変異のまま (進化の原因)
- ゲノム編集はエキソン (機能中) を破壊する
(生物進化に対する妨害)

Article

Mutation bias reflects natural selection in *Arabidopsis thaliana*

<https://doi.org/10.1038/s41586-021-04269-6>

Received: 9 November 2020

Accepted: 17 November 2021

Published online: 12 January 2022

Open access

 Check for updates

J. Grey Monroe^{1,2✉}, Thanvi Srikant¹, Pablo Carbonell-Bejerano¹, Claude Becker^{1,10}, Mariele Lensink², Moises Exposito-Alonso^{3,4}, Marie Klein^{1,2}, Julia Hildebrandt¹, Manuela Neumann¹, Daniel Kliebenstein², Mao-Lun Weng⁵, Eric Imbert⁶, Jon Ågren⁷, Matthew T. Rutter⁸, Charles B. Fenster⁹ & Detlef Weigel^{1✉}

Since the first half of the twentieth century, evolutionary theory has been dominated by the idea that mutations occur randomly with respect to their consequences¹. Here we test this assumption with large surveys of de novo mutations in the plant *Arabidopsis thaliana*. In contrast to expectations, we find that mutations occur less often in functionally constrained regions of the genome—mutation frequency is reduced by half inside gene bodies and by two-thirds in essential genes. With independent genomic mutation datasets, including from the largest *Arabidopsis* mutation accumulation experiment conducted to date, we demonstrate that

自然淘汰にはバイアスがかかっている
変異はエキソンに少なく
イントロンには多い

「ゲノム編集は自然突然変異と同じ」 は完全な間違い

- 1) 同じ塩基配列が同時には壊れない（オフターゲット）
- 2) DNAの2本鎖が同時に切除されることはほとんどない
- 3) 自然突然変異では機能中の遺伝子（エキソン）は修復されるが、タンパク質を作っていない塩基配列（エキソン）は修復されず突然変異率がダントツに高い
- 4) ゲノム編集は機能している塩基配列を壊す

ゲノム編集は

One Gene One Enzyme Theory
(一個の遺伝子が一個の蛋白質を作る)
という古い考え方を採用している

一個の遺伝子を破壊すると
他の遺伝子の構造や発現にも影響する
他の遺伝子機能への影響も調べる必要

例 ゲノム編集魚の問題点

- 1) マッスル真鯛 ミオスタチン遺伝子を破壊
成長ホルモン抑制遺伝子 (IGF1 増加)
- 2) 大トラフグ レプチン受容体遺伝子を破壊
食欲抑制ホルモン受容体遺伝子
- 3) 共食いしない鯖 AVTR V1a2 (ストレス対応)
浸透圧調整遺伝子を破壊

(1) マッスル真鯛

ミオスタチン遺伝子を破壊

(成長ホルモン抑制因子を作らせない)

- 筋肉量増加

- 運動に過剰なエネルギー必要

- 成長ホルモン (IGF-1) の過剰生産
前立腺がん、乳がん誘発の可能性

(2) 巨大トラフグ

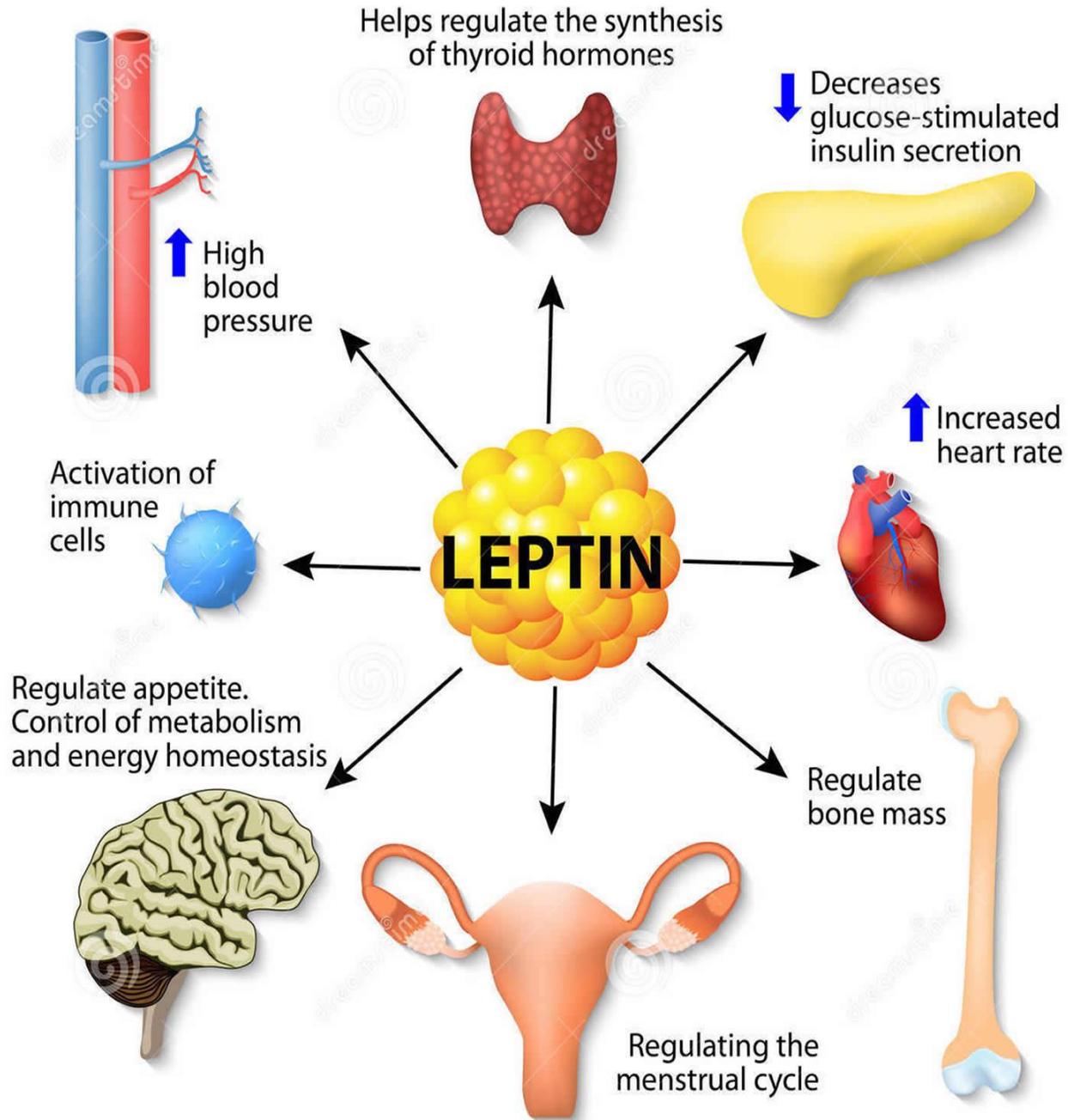
レプチン受容体遺伝子を破壊

レプチン：肝臓などの脂肪細胞で生産される
ホルモン、エネルギー消費増大
飽食シグナル

レプチン受容体は脳の様々な機能にかかわる
(視床下部にある様々な機能が破壊されている)

巨大トラフグは重篤な病気を抱える

レプチンは脳下垂体から分泌される



哺乳類におけるLepRの働き

- HTS、PBN: グルコース濃度恒常性
- Hip: 海馬、学習、記憶
- PMv: **生殖能力**
- LHA: **自発的運動能力**
- ARH: エネルギー消費、血圧、グルコース濃度恒常性、**自発運動性**、向精神性、**繁殖力**
- MPO: エネルギー消費、自発運動性、向精神性、**繁殖力**
- DMH: エネルギー消費、血圧、
- VTA: **自発運動性**、不安

ゲノム編集でこれらの機能が破壊される

(3) 共食いしない鯖

AVTR V1a2 (ストレス対応) 遺伝子を破壊
体内の浸透圧調整機能も破壊

海水の塩濃度の変化に対応できない
環境中で通常のサバと交配する危険性

News

AquaBounty to stop producing GM salmon in Canada

Published: 07 February 2023

'Trojan Gene' Could Wipe Out Fish !

「トロイの遺伝子」が魚を駆逐する



人間の成長ホルモン遺伝子を組み込んだ鮭

生涯、成長ホルモンを作り続ける

野生では交配で優位性をもつが、繁殖力が弱く、

22世代で天然の鮭が絶滅、との研究もある

成長ホルモン(IGF-1)を多く含む

U.S. court declares genetically modified salmon unlawful after Ecology Action Centre and other groups argue risk to endangered Atlantic salmon

FOR IMMEDIATE RELEASE

Friday, Nov. 6, 2020

アメリカの連邦裁判所はGMサーモンの環境影響評価をFDAに命じる判決を出していた

ゲノム編集によって

- (1) 他の遺伝子に与える影響
- (2) 標的機能以外の細胞の働きに与える影響
- (3) 健康と環境に与える影響

を確かめる必要がある

Cas9酵素自身の問題

- **発がんの危険性**

p53(発がん抑制遺伝子)がCas9によるゲノム編集を妨害



Cas9でゲノム編集出来た細胞は癌になり易い

ゲノム編集の技術的問題点

その (3)

マーカー遺伝子の問題

目的地は標的遺伝子

ガイドRNA (gRNA)

マーカー

DNA分解酵素
(Cas9)



舟：ベクター（ウイルスやプラスミド）



選択マーカー遺伝子

- ベクターを細菌内で大量に作るために必要
- ゲノム編集が出来た細胞と出来ない細胞を識別・選別する
 - (1) 発光蛋白質を作る遺伝子：発光クラゲ（GFP）など
 - (2) 抗生物質耐性遺伝子
(カナマイシン、ストレプトマイシン耐性など)
- ゲノム編集の過程で必要だが終われば不要な外来遺伝子
(必要悪：遺伝子組換えと同じ)

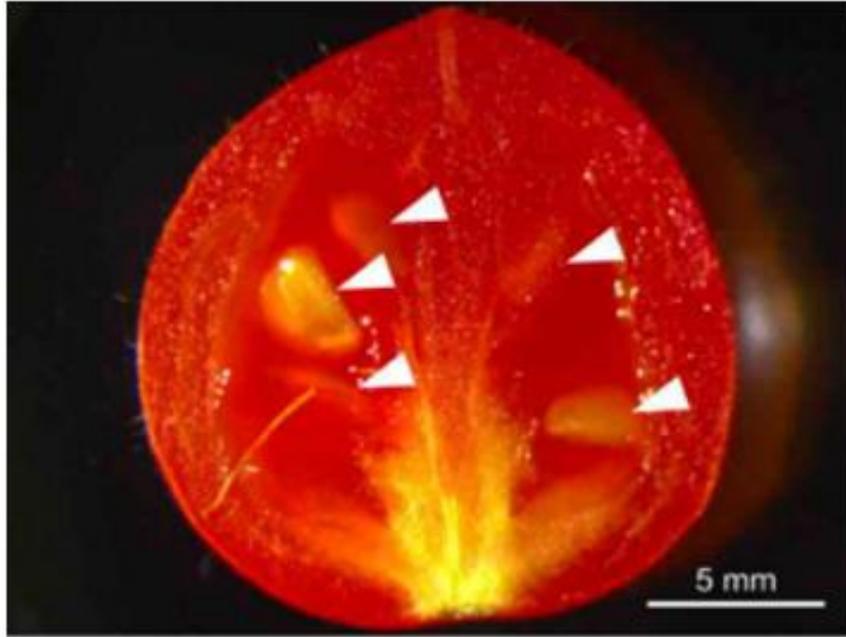


発光遺伝子で
赤く光っている

抗生物質耐性遺
伝子も持つ

ゲノム編集（ミオスタチン遺伝子破壊）
で作ったマッコヨ豚（中国）

タネなしトマト



野生型



CRISPR/Cas9
変異導入個体

2017年10月 筑波大学

種子なしトマトに含まれるマーカー遺伝子

- カリフラワー・モザイク・ウイルスのプロモーター遺伝子
- 抗生物質カナマイシン耐性遺伝子
- 発光クラゲの遺伝子
- 口蹄疫ウイルスの遺伝子
(2A配列：18～22アミノ酸に対応)



改良シャインマスカット (農研機構)

香り、肉質良子、日持ち良好、栽培容易

- マーカー遺伝子：ネオマイシン耐性

その他

- ソラーニンを作らないジャガイモ (キリン株式会社) :
カナマイシン耐性遺伝子、
カルペニシン耐性遺伝子
- 多収穫米 (農研機構) : ハイグロマイシン耐性遺伝子
カナマイシン耐性遺伝子

遺伝子を壊し低アレルゲン化した大豆 ゲノム編集で成功 大豆「エンレイ」「カリユタカ」

2018年10月16日 日本農業新聞



使ったベクター

PcUbi Pro : パセリのユビキチン遺伝子プロモーター

CaMV 35S : カリフラワーモザイクウイルス・プロモーター

Bar : 除草剤グルフォシネート耐性マーカー

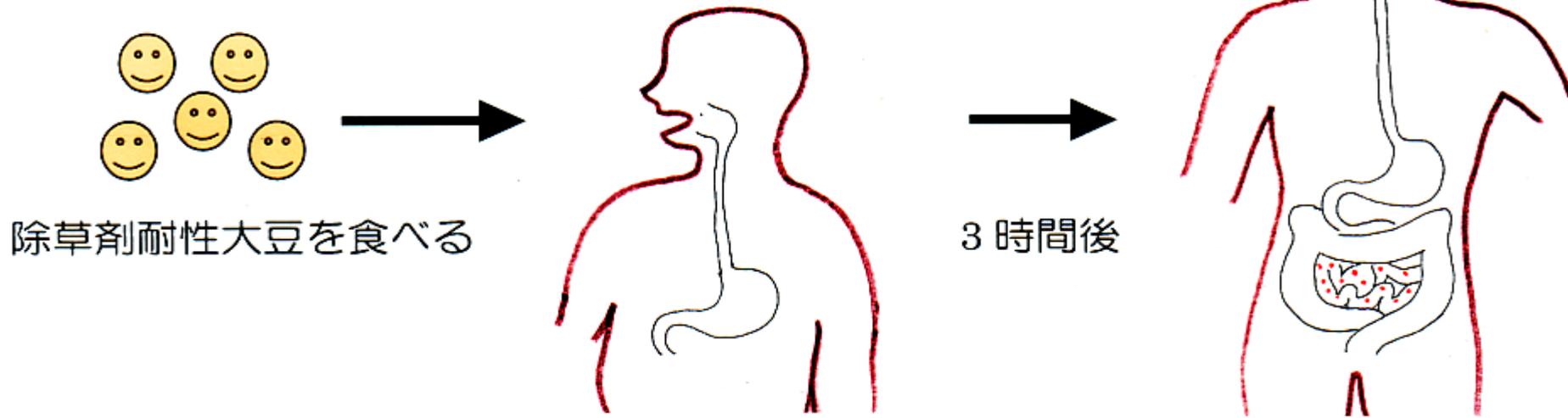
選択マーカー遺伝子は何故問題？

その1) 食品の場合、抗生物質耐性遺伝子は腸内細菌の遺伝子に取り込まれ、**腸内細菌が抗生物質耐性になる**

Horizontal gene transfer
遺伝子の水平伝達

除草剤耐性大豆を食べると腸内細菌が除草剤耐性に

● ニューカッスル大学（英国）の実験（2002年）



マーカーに抗生物質耐性遺伝子を使う

腸内細菌が抗生物質耐性になる

遺伝子の水平伝達

ラウンドアップ耐性菌の検出（2003年 茗荷・河田ら）

No	試料採取地	試料名	耐性菌株数	No	試料採取地	試料名	耐性菌株数
1	北海道帯広市	牛糞	0	11	茨城県谷和原村	土壌	17
2	北海道帯広市	牛糞	0	12	愛知県愛知郡	土壌	5
3	北海道帯広市	牛糞	0	13	滋賀県近江八幡市	土壌	11
4	北海道河東郡	牛糞	0	14	茨城県谷和原村	土壌	2
5	長野県伊那市	牛糞	1	15	愛知県豊川市	豚糞	0
6	岩手県和賀郡	牛糞	0	16	愛知県宝飯郡	豚糞	0
7	岐阜県恵那郡	鶏糞	4	17	愛知県豊川市	豚糞	12
8	岐阜県加茂郡	鶏糞	0	18	岐阜県武儀郡	豚糞	14
9	岐阜県白川市	鶏糞	0	19	三重県員弁郡	豚糞	0
10	千葉県印旛郡	鶏糞	0		合 計		66

抗生物質耐性遺伝子の農業環境中における分布と拡散に関する研究

筑波大学大学院
生命環境科学研究科
生物機能科学専攻
博士（農学）学位論文

小橋有里

(2003年)

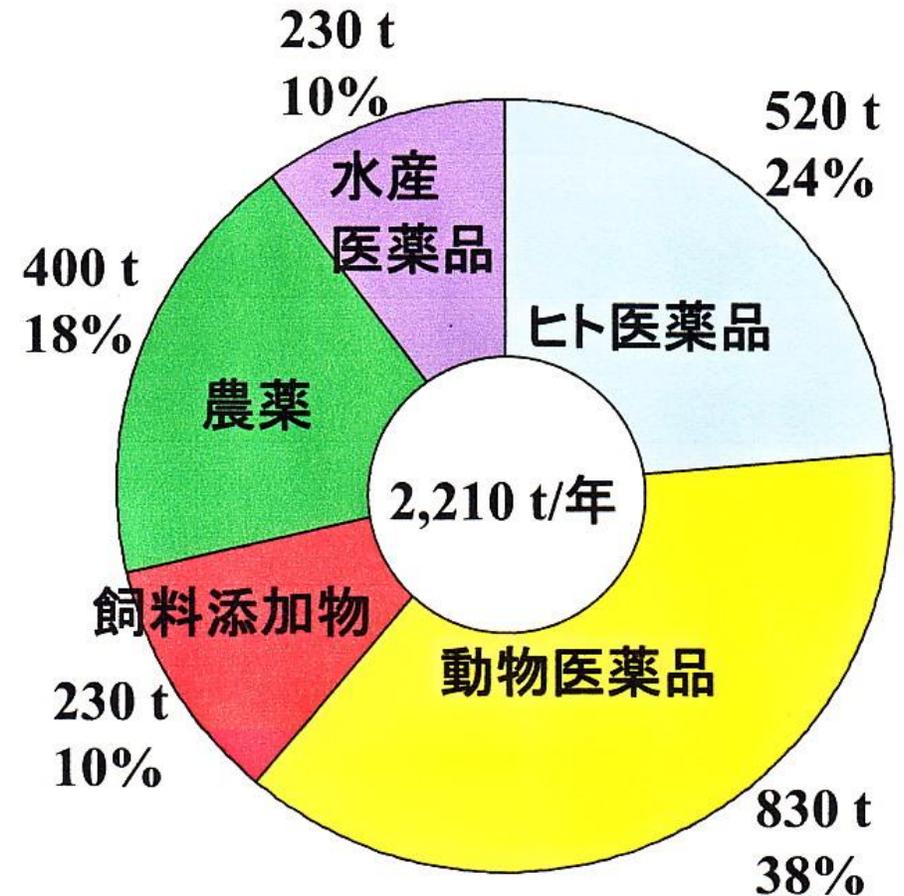


図1 日本国内での抗生物質の使用量とその目的
(農林水産省、厚生労働省 2003年データより作図)

遺伝子組換え作物飼料
(含・抗生物質耐性遺伝子)

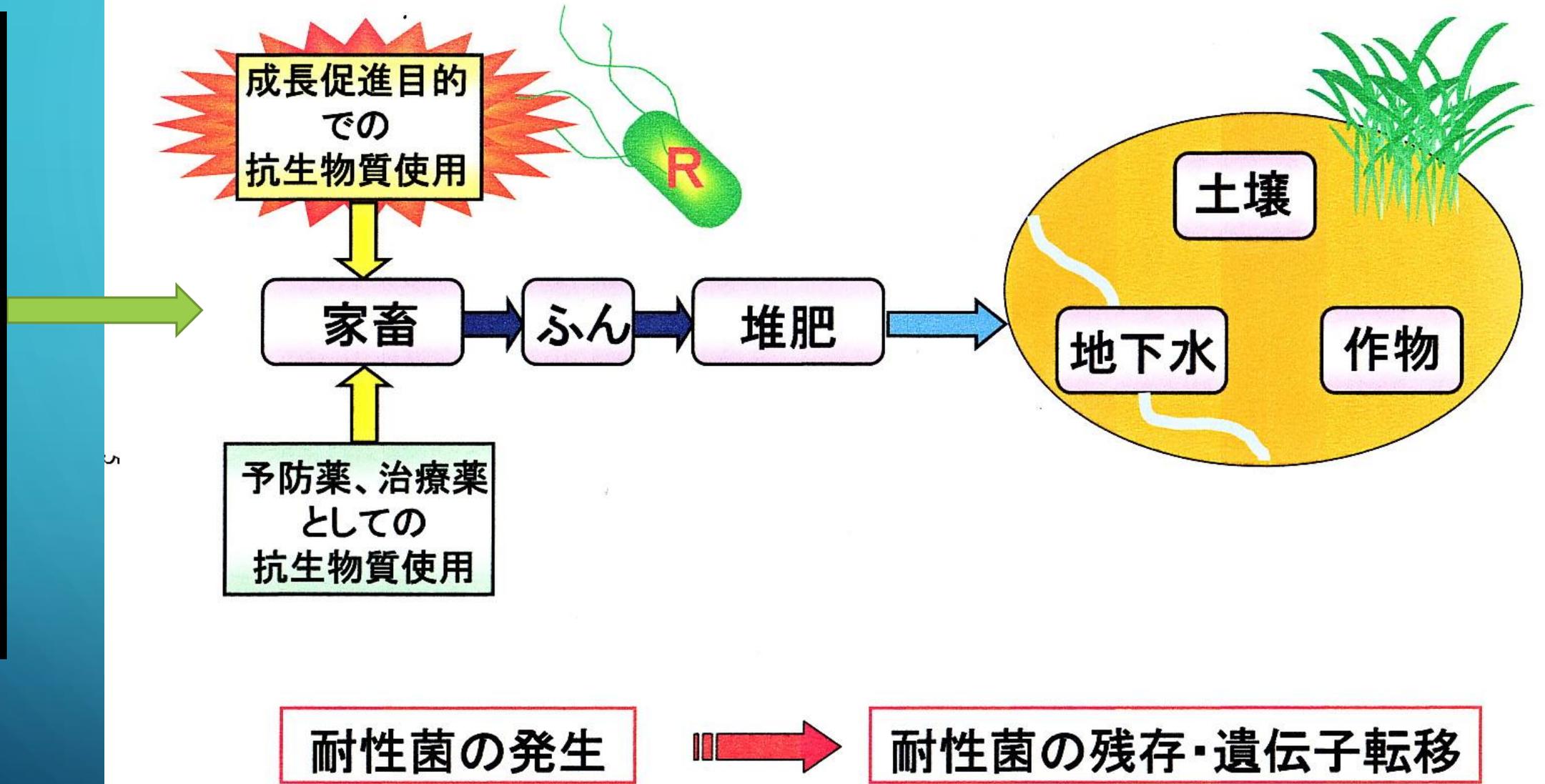


図2 抗生物質耐性菌、耐性遺伝子のフロー

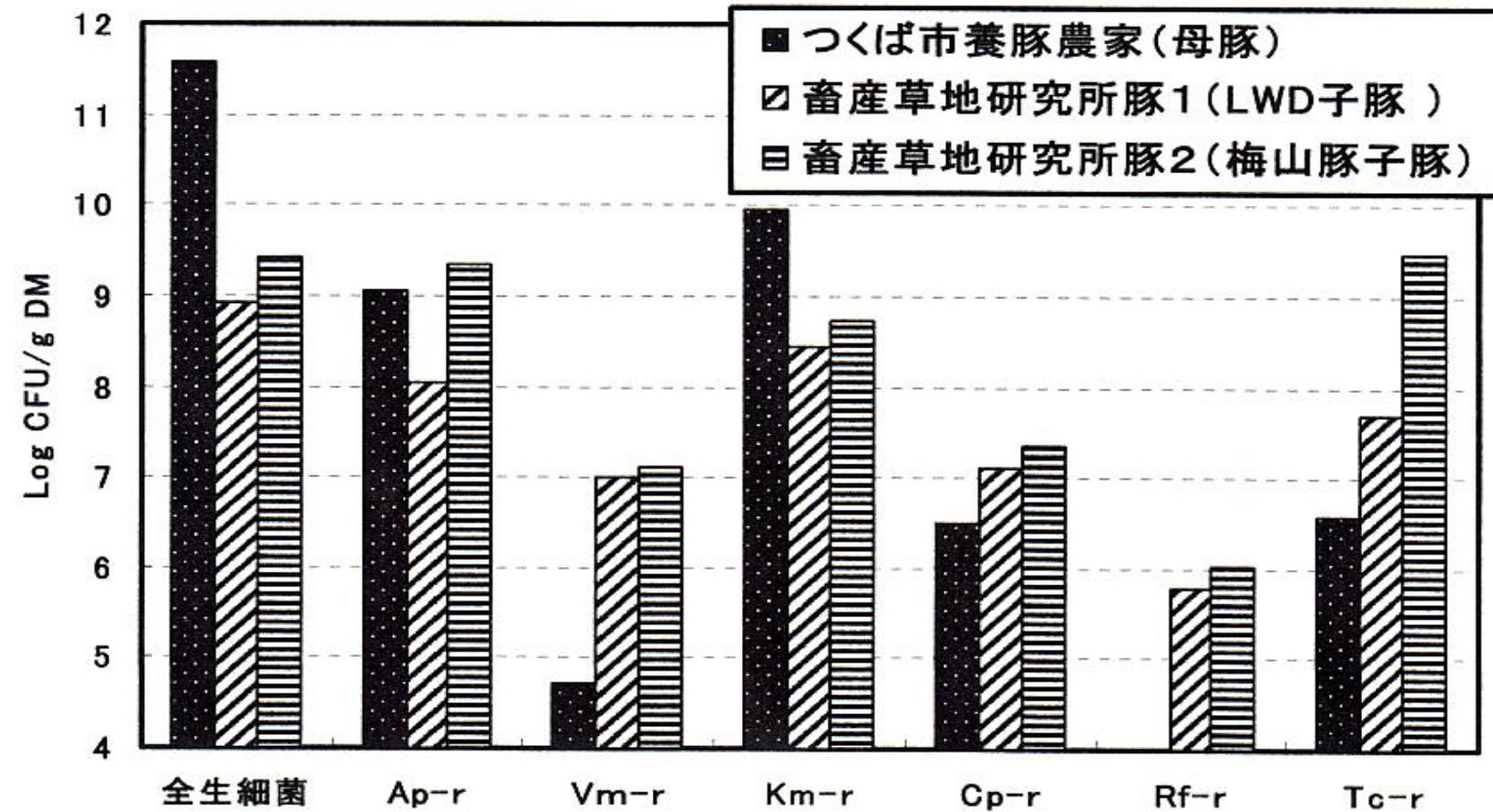


図3 豚ふん中の6種類の抗生物質に対する耐性細菌数

Ap-r: アンピシリン耐性細菌、Vm-r: バンコマイシン耐性細菌、
 Km-r: カナマイシン耐性細菌、Cp-r: クロラムフェニコール耐性細菌、
 Rf-r: リファンピシン耐性細菌、Tc-r: テトラサイクリン耐性細菌

6種類の抗生物質について
 10 (6乗) ~
 10 (11乗) 個/g

検出

抗生物質耐性遺伝子の影響

原因は遺伝子組換え飼料

GMトウモロコシには全て 抗生物質耐性遺伝子が 入っている（マーカ―）

ゲノム編集でも同じことが 起こる

鶏肉から薬剤耐性菌

4/5 国産・輸入の半数 「十分な加熱を」 厚労省研究班

国産や輸入の鶏肉の半数から抗生物質（抗菌薬）が効かない薬剤耐性菌が検出されたとする調査結果を、厚生労働省研究班がまとめた。健康な人なら食べても影響はないが、免疫力が落ちた病人や高齢者らの体内に入ると、感染すると、抗菌薬による治療が難しくなる恐れがある。

550検体を調べ、全体の49%から耐性菌が見つかった。家畜の成長を促す目的で飼料に混ぜて抗菌薬が与えられることがあり鶏の腸内にいる菌の一部が薬剤耐性を持つなどして増えた可能性がある。鶏肉から耐性菌が検出された例は過去にもあるが、研究班の富田治芳・群馬大教授は「半数という割合は高

い」と指摘。家畜や人で「不要な抗菌薬の使用を控えるべきだ」と訴えている。鶏肉の小売業者などでつくる日本食鳥協会は「耐性菌の低減には国の方針に基づいて積極的に取り組んでいきたい」とコメント。耐性菌に限らず食中毒を防ぐため十分に加熱するよう呼び掛けている。家畜由来の耐性菌に

よる感染症は医療現場で大きな問題となっており、主要7カ国（G7）首脳会議（サミット）でも対策が議論されている。研究班は2015、17年度に、国内3カ所の食肉検査所で集めた鶏肉や、ブラジルなど5カ国から輸入された鶏肉で薬剤耐性菌の有無を調査。その結果、

食肉検査所などで約

ワシントン・ポスト（2019年11月13日）

Deadly superbugs pose greater threat than previously estimated

致死的な薬剤耐性菌が予想以上の脅威に

- 米国疾病予防センター（CDC）報告書（11月11日）
- 今、アメリカで年間300万人（11秒に1人）が感染
年間35000人（15分に1人）が死亡
- 原因は病院、厚生施設、畜産、農業、日常生活など
- 畑、土壌や川、湖も汚染

Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: a systematic analysis

Antimicrobial Resistance Collaborators*

Summary

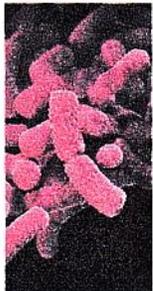
Background Antimicrobial resistance (AMR) poses a major threat to human health around the world. Previous publications have estimated the effect of AMR on incidence, deaths, hospital length of stay, and health-care costs for specific pathogen–drug combinations in select locations. To our knowledge, this study presents the most comprehensive estimates of AMR burden to date.



Published **Online**
January 20, 2022
[https://doi.org/10.1016/
S0140-6736\(21\)02724-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)02724-0)
[See Online/Comment](#)

国際医学雑誌ランセットの論文 2022年1月20日号
過去最大規模のデータ分析

抗生物質耐性菌で
2019年に世界全体で450万人が死亡している



「悪夢の耐性菌」国内じわり増加

カルバペネム耐性腸内細菌科細菌Ⅱ米疾病対策センター提供

分析した耐性菌は、抗菌薬の「最後の砦」とされるカルバペネムが効かない腸

海外型検出55例

既存の抗菌薬がほぼ効かない海外発の強力な薬剤耐性を持つ大腸菌などの腸内細菌が、国内で増えつつある。国立感染症研究所(感染研)によると、検査を始めた2017年は13例だったが18年は42例。確認された地域は、1年間で6都県から16都道府県に広がっていた。

感染症で抗菌薬ほぼ効かず

内細菌科の菌のうち、薬の成分を壊す酵素をつくる海外型の耐性遺伝子を持つタイプ。国内で使える抗菌薬がほとんど効かないことが多い。

今回見つかった計55例のうち、渡航歴がないか不明なのは4分の3の41例。健康な保菌者からもらっている可能性もある。「感染経路は不明だが違うステージに入ってきたようだ」と感染研の菅井基行・薬剤耐性研究センター長は話す。

薬剤耐性があってもなくとも、腸内細菌科の大腸菌や肺炎桿菌は人のおなかに

カルバペネム耐性菌の脅威度のイメージ



薬剤耐性を持たない菌
様々な抗菌薬が有効



国内で見つかる耐性菌

ペニシリン系やセファロスポリン系に加え、「最後の砦」のカルバペネムが効かない。ただ、別の薬が効くことも



海外型の耐性菌

別の薬にも耐性を持つことが多く、有効な薬がないことも(55例検出)

より脅威に

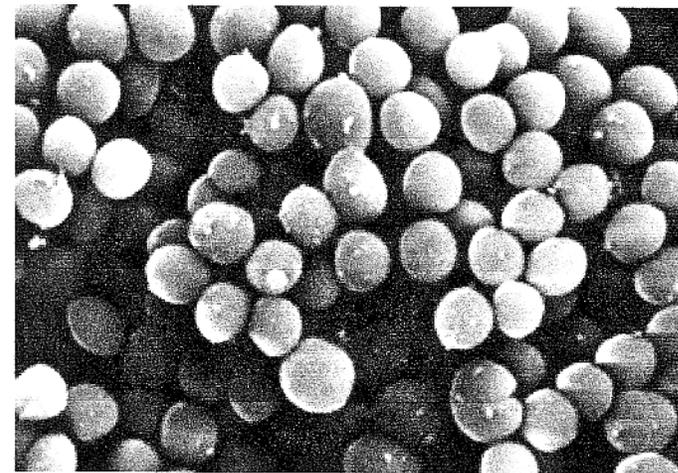
いて普段は無害だ。抵抗力の落ちた人では、肺や血液

薬剤耐性菌で年8000人死亡 国内で初推計、影響深刻

2019/12/5 10:00 | 日本経済新聞 電子版

抗生物質(抗菌薬)の効かない「薬剤耐性菌」によって2017年に国内で8千人以上が死亡したとの推計を、国立国際医療研究センター病院(東京)などの研究チームが5日まとめた。耐性菌の死者数を全国規模で調べた研究は初めて。代表的な2種の耐性菌を調査した。

耐性菌は抗菌薬を正しく使っても発生するが、使い過ぎによって生まれやすくなり、拡大が加速される。近年、耐性菌による死者の世界的増加が指摘されていた。日本でも深刻な影響を及ぼしていることが明らかになり、抗菌薬の適正使用など対策の徹底が求められそうだ。



メチシリン耐性黄色ブドウ球菌(MRSA)の電子顕微鏡写真
=国立感染症研究所提供・共同

チームが調べたのは、日本で検出の

国立国際医療研究センター報告書(2019年12月5日)

抗生物質耐性菌発生の原因

- (1) 抗生物質の多用（病院、家畜のえさ：成長促進）
- (2) 家畜飼料中の抗生物質耐性遺伝子（マーカー）
（食品・飼料中の抗生物質耐性遺伝子は腸内細菌の遺伝子に取り込まれ腸内細菌が抗生物質耐性になる）
- (3) 除草剤（ラウンドアップ）や枯葉剤（2,4-D）
の多用は菌の抗生物質耐性化を加速する
（2018年・ニュージーランドのカンタベリー大学の研究）

遺伝子組換え・ゲノム編集・除草剤・枯葉剤
などにより

家畜・ヒト体内・農耕地・河川などあらゆる
所で抗生物質耐性菌や除草剤汚染が増えている

地球規模の問題になりつつある



ゲノム編集で作成

角の無い牛
2016年
アメリカ

最近、この牛の遺伝子に
抗生物質耐性遺伝子が
見つかった（FDA）
2019年7月28日

マーカー遺伝子の実例

角なし牛で子どもを作った（戻し交配）

角なし（オス） × 角あり（メス）



F1: 6匹誕生（角なし） : DNAの全構造を決定

2匹はマーカーなし
4匹はマーカーあり

見つかったマーカー遺伝子：ネオマイシン耐性+カナマイシン耐性

- マーカー遺伝子はれっきとした外来生物の遺伝子。
生物多様性、進化のかく乱であり内在させては
ならない
- 国は戻し交配等で除去する方針だが
チェックは義務化していない
ゲノム編集細胞のDNAの全構造の決定が必要
(消費者庁はチェックが難しいので表示なし、と主張)

日本政府の安全対策

- 厚労省・農水省と開発メーカーの「事前相談会」で検討（非公開）
事実上の安全審査
- 事前相談会でOKが出れば「届け出」（任意）
- 表示なし商品化

2019年 9月 30日～

農水省がゲノム編集作物の 有機JAS認定するか否か検討中

- (1) プロダクト・ベース（アメリカ）か
- (2) プロセス・ベース（EU）か

緊急署名

「有機JAS」に「ゲノム編集」などの
遺伝子操作を認めるな！

NPO 日本有機農業研究会

NPO 有機農業推進協会（有機JAS登録認証機関）

農水省はまだ決めていない

ゲノム編集食品非表示の問題

消費者の選択の自由を奪う
(事実上の人体実験)

機能性表示制度との混乱が起こる



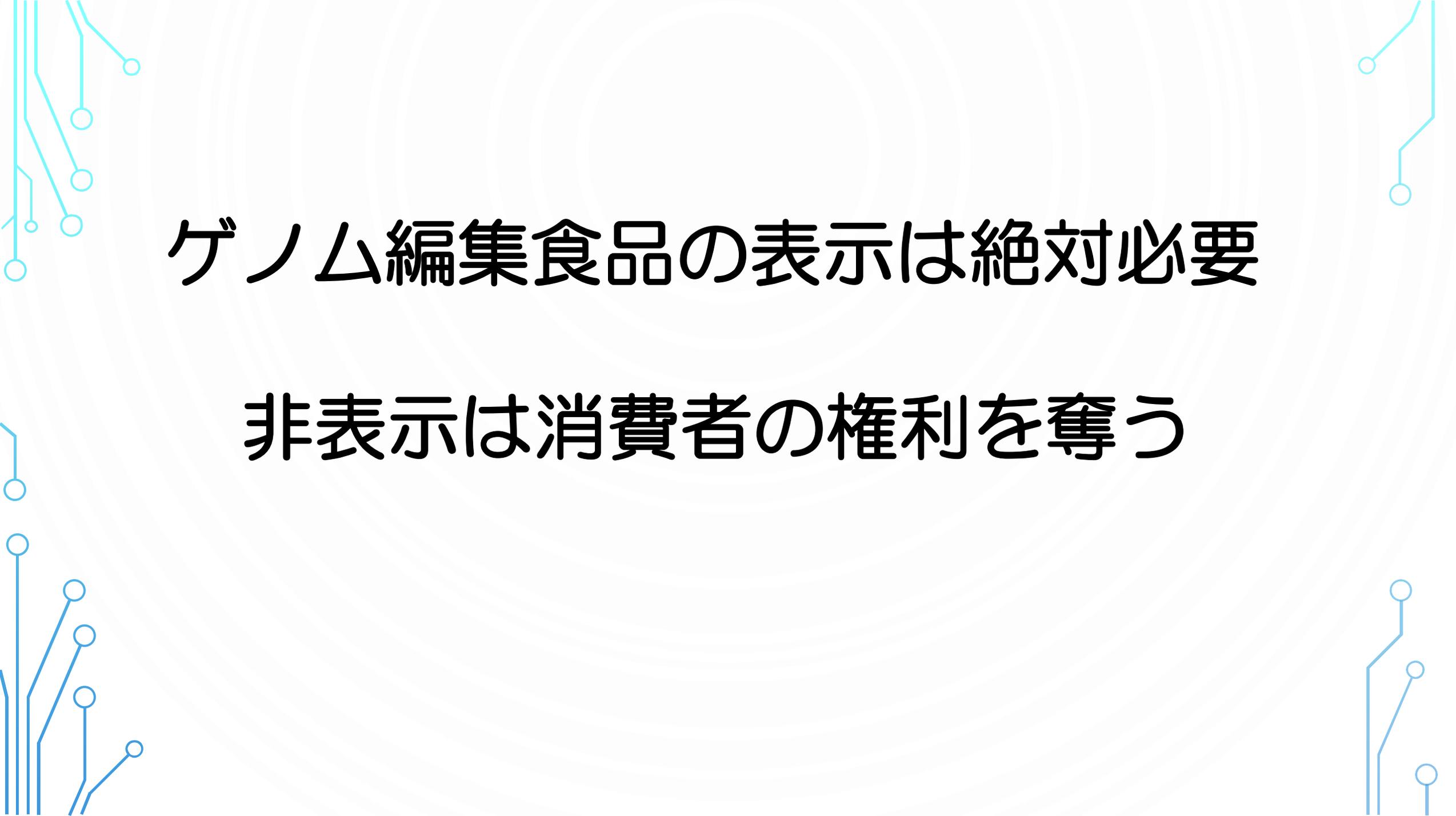
ゲノム編集と機能性表示の混乱

9月23日 名古屋市名東区のスーパーで販売されたトマト

生産者は愛知県豊橋市
通常の品種医改良で作成

ゲノム編集「高GABAトマト」と
機能性表示とは区別出来ない

混乱・消費者には区別不可能



ゲノム編集食品の表示は絶対必要

非表示は消費者の権利を奪う



OKシードマーク
プロジェクト

種苗に自家表示

山田正彦さん
らが提案

自主的な表示制度を作ろう

結 論

- (1) ゲノム編集は特定遺伝子を効率よくターゲットにできる以外は、技術的には従来の遺伝子組換えとあまり変わらない。
- (2) 安全審査が必要
- (3) 表示義務が必要 (消費者の選択の権利)

ゲノム編集のこれから

- RNA農薬
- 合成肉（植物、動物）
- 細胞農業
- 食べるワクチン

RNA農薬について

● RNA農薬ってどんなもの？

1) 2本鎖RNAで出来ている

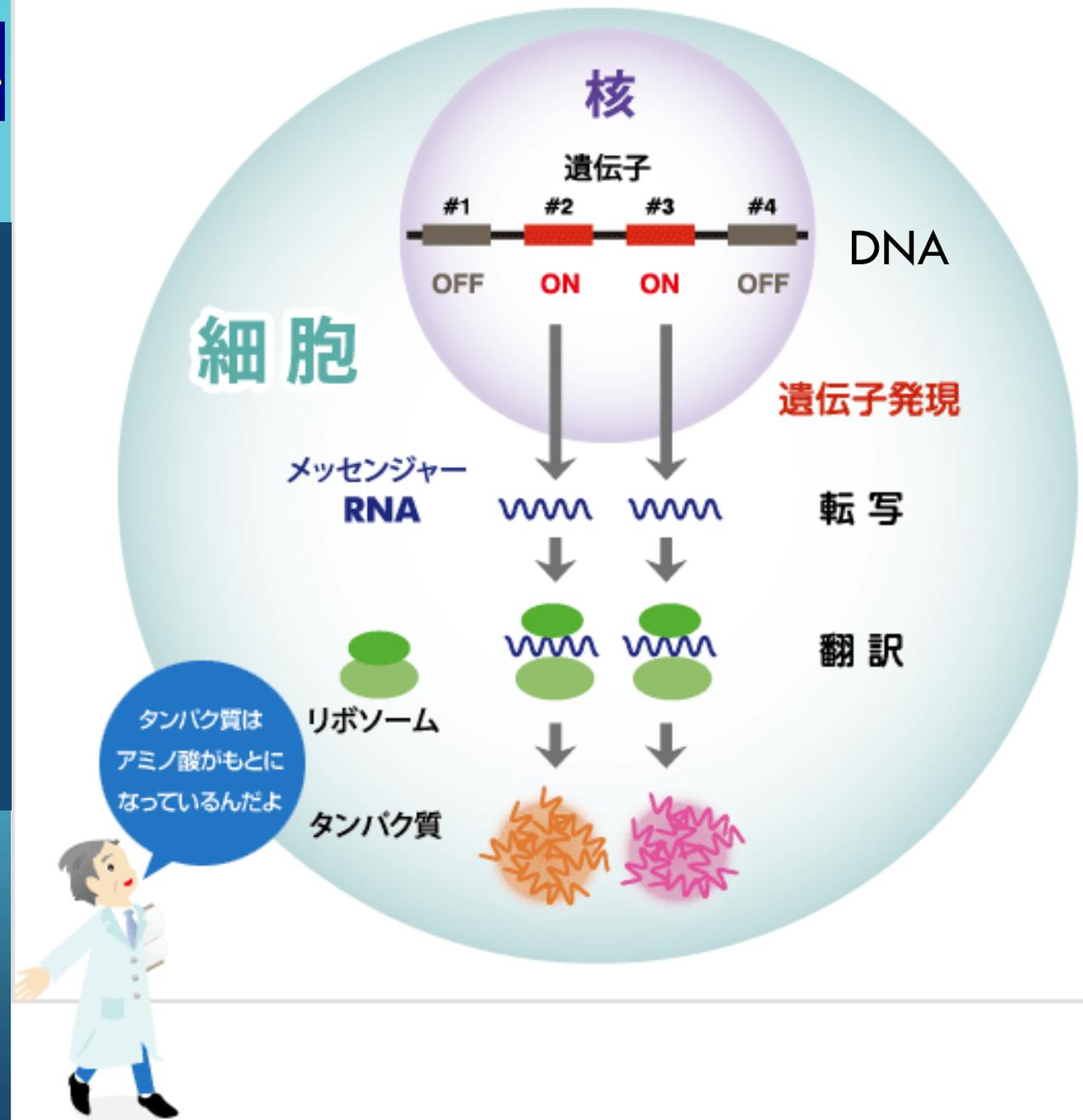
2) 害虫の特定遺伝子の働きを妨害し殺す

遺伝子の働く仕組み

DNA：遺伝子

mRNA：遺伝子のコピー

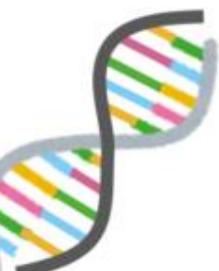
リボソーム：蛋白質の製造工場



短いRNA



mRNAに結合



mRNAが分解されるか
翻訳されない状態になる

mRNA

蛋白質合成の妨害

mRNAの妨害で細胞は死ぬ

RNA農薬の何が問題か

- (1) オフターゲット：他の遺伝子への影響
標的外昆虫、宿主（野菜）の遺伝子も妨害の恐れ
- (2) 害虫による耐性獲得
- (3) 作業員の吸入の影響
- (4) ウイルスによる取り込み

RNA農薬には未解明の部分が沢山ある

植物でワクチン製造（遺伝子組換え）

- Medicago社（北カリフォルニア州）は植物（タバコ）で新型コロナ・ワクチン生産
- カナダ政府は製造認可・2022年2月

バナナ・レタス等食用作物でのワクチンも開発中
（食べるワクチン）



MEDICAGO社の工場
インフルエンザ・ワク
チンを製造中
5～6週間で製造

同志社大学生命医科学部

アルツハイマー病の食べるワクチン

コメ、ポテト、タバコ、トマト等で製造

蚕のゲノム編集で食べるワクチンを開発

九州大学と（株）KAICO
の共同開発

豚の感染ウイルス抑制に成功
新型コロナの食べるワクチンも開発



前代未聞！「食べるワクチン」開発



九州大学
農学研究院
日下部教授

昆虫分子遺伝学



九州大学
工学研究院
神谷教授

生物工学、酵素工学
生体分子工学



九州大学のベンチャー企業、(株) KAICOのHPより

- 遺伝子組み換えとゲノム編集の新しい時代が来る（経済優先）
- 安全性と倫理、表示などが問題