

遺伝子組換えからゲノム編集へ

——遺伝子操作の今とこれから——

(遺伝子組換え情報室 河田昌東)

(1) GM 作物栽培の現状

1996年にアメリカで始まった遺伝子組換え作物（以下、GM作物）の商業栽培は急速なスピードで増加し、2019年の世界の栽培面積は1億9千万ヘクタール（以下、ha）と日本の面積の4.7倍にまで拡大した。しかし、今この勢いに大きな変化が起こり始めている。ISAAA（国際アグリバイオ事業団）によれば、2019年度のGM作物栽培面積はアメリカが筆頭で37.6%、次にブラジル27.7%、アルゼンチン12.6%、カナダ6.6%と続く。これらの国だけでGM栽培が84.5%を占めている。何故これほどGM栽培が盛んになったのか。これらの国に共通しているのは、GM食品に対する表示制度が無かったことである。一方、EUは世界で最も厳しいGM食品表示制度を持ち、GM作物の商業栽培は行っていない。GM作物の表示制度は世界各国の市民の食品安全に対する関心の高まりと大きく連動しており、現在、GM作物最大生産国のアメリカでも非遺伝子組換えの有機栽培（オーガニック）に関心が高まっており、GM作物栽培の栽培面積はこの数年伸びが止まっている。一方、新たな遺伝子操作技術「ゲノム編集」による農業への影響が今注目を集めている。現在、ゲノム編集作物を商品化しているのは世界で日本だけであるが、技術開発は着々と進んでおり、遺伝子組換えにとって代わり新たな経済成長の手段になろうとしている。

(2) 作物別のGM作物栽培

1996年に始まった最初のGM作物は米国モンサント社の除草剤（ラウンドアップ）耐性大豆だった。世界のGM生産量の80%は大豆とトウモロコシで占めるが、多くは食料や家畜飼料として海外に輸出されている。近年はGMトウモロコシの栽培が増加しているが、それは最大の栽培国アメリカでGMトウモロコシを使ったバイオエネルギーの利用が急拡大しているためである。当初は食料危機対応として宣伝されてきたGM作物が脱炭素エネルギー源として新たな販路を開拓しつつある。生産レベルではGM大豆が圧倒的だが、日本の輸入量はGMトウモロコシが圧倒的に多い。その輸入先の殆どはアメリカである。

(3) GMの形質別作物の栽培

GM作物の栽培で最も大きな割合を占めているのは

モンサント社のラウンドアップやバイエル・クロップサイエンス社のバスタなどの除草剤耐性である。次いで除草剤耐性と害虫抵抗性を併せ持つスタック（多重耐性）、次が害虫抵抗性である。2019年度はスタック耐性の栽培が45%に達した。その結果、除草剤耐性が88%を占めている。日本は世界最大のGM作物輸入国である。農作物の年間輸入量は2019年度で1200万トンだが、その92%GM作物で多くはアメリカ産である。現在、除草剤ラウンドアップやバスタ耐性に複数の害虫抵抗性を付加し、12種類に及ぶGM遺伝子が同居するGM作物の栽培も行われている。その理由は永年のGM作物栽培で除草剤や害虫に抵抗性の雑草や害虫が出現し、個別の形質だけでは対応できなくなったからである。さらに当初は1回だけの散布で良いとされた除草剤散布は今では年3回が当たり前になっている。このことが残留農薬問題を生じている。栽培開始から数年後には同じ除草剤では効かない耐性雑草が現れ、ラウンドアップ耐性とバスタ耐性を同時に持つ（スタック耐性）が必要になった。害虫抵抗性の場合も同じである。こうした事態の発生もアメリカでGM作物栽培に陰りが見えだした原因である。今では複数の除草剤にも耐える「スーパー雑草」も登場している。

(4) 枯葉剤耐性作物の登場と日本の対応

こうした除草剤耐性雑草対策のためモンサント社やダウケミカル社は新たなGM作物を開発した。それはベトナム戦争で使われ大きな被害を出した2,4-Dやジカンバなど枯葉剤に耐性のある大豆やトウモロコシ、綿などである。除草剤をまいても枯れない雑草に対して枯葉剤を蒔く、という戦略である。ラウンドアップやバスタ等の除草剤は有機リン系の化合物で植物のアミノ酸合成を阻害して植物をころすが、枯葉剤は有機塩素系の化合物で植物の生長そのものを破壊し、一層毒性が強いことはベトナム戦争で経験済みである。こうしたGM作物を栽培する農家の健康被害は勿論、残量農薬による消費者の健康被害もありうる。この枯葉剤耐性作物はアメリカでも大きな反対運動が起き、2,4-D耐性トウモロコシが認可されたのは2014年10月、ジカンバ耐性大豆が認可されたのは2015年1月だった。ところが日本政府は、2,4-D耐性トウモロコシを

2012年5月に、ジカンバ耐性大豆を2013年2月に認可した。どちらもアメリカの認可より2年早かったことになる。アメリカで認可されなければ当然輸入もされないはずの枯葉剤耐性作物を日本が事前に認可するのは異常である。認可に合わせて厚労省は2013年にジカンバの食品残留基準をそれまでの0.05ppmから200倍の10ppmに引き上げた。

(5) 何故遺伝子組換えか

交配や突然変異による品種改良では植物が本来持つ以上の性質は付加できない。それをカバーし異なる生物の性質を持たせるのが遺伝子組換えである。除草剤耐性や害虫抵抗性など多くは土壌細菌の遺伝子である。この技術により増収や省力化の他、これまで不可能だった環境下でも作物の栽培が可能になり、増加する地球人口を養うものと期待された。これらは第一世代の遺伝子組換えという。その後、医薬品や栄養改善など特殊目的の第二世代や工業原料をつくる第三世代GM作物も登場しつつある。日本はスギ花粉症対策の遺伝子組換えをイネを研究しているが商品化はまだ行われてない。

(6) 裏切られた期待

1) 増えないGM作物の収量、しかしGM化が進む理由

1996年にアメリカで本格的に栽培が始まるまで、大々的に宣伝されたGM作物の収量増加について、第三者による本格的な検証が始まったのは、1998年になってからである。アメリカ中西部の穀倉地帯ネブラスカ州やイリノイ州など8つの州立大学が、モンサント社の除草剤耐性大豆とその親株を使い、大々的な収量試験を行った。その結果は、全く予想を裏切るものであった。親株の在来種に比べ、除草剤耐性大豆の収量は平均で6%、地域や株によっては20%以上も減収した。除草剤耐性と同じく収量増が期待された殺虫遺伝子を持つトウモロコシ(Bt)も収量は親株とほとんど変わらず、農家にとっては遺伝子組換え種の値段が高くなり、契約により自家採取できないマイナス面があらわになった。除草剤耐性ナタネの収量も非組換えに比べて数%~10%の減収である。にもかかわらずアメリカでは何故今もGM作物の栽培が増えつづけるのだろうか。理由は、アメリカ政府による大規模なGM補助金である。アメリカの農家の大豆生産コスト

は市場価格の2倍にも上る。その差額は政府の農業補助金、即ち税金でまかなわれている。農家は補助金さえあれば、省力化が可能で大規模栽培に適したGM作物を増やす。アメリカはGM大豆やトウモロコシ、綿などを大規模に栽培し、世界の穀物輸出における主導権を目指している。GM作物はアメリカにとって戦略物資である。アメリカは自国の作物に対する手厚い補助金で輸出価格をダンピングし、WTOを通じた自由貿易競争を主導してアジアやアフリカの農業競争力をそぎ自立を妨害している。

(7) 裏切られた期待

2) 減らない農薬、環境にやさしくないGM作物

収量増と同時にGM作物のメリットとして期待された農薬使用量の減少も期待はずれであった。それはアメリカやカナダで除草剤耐性の「スーパー雑草」が登場したからである。その結果、当初は1回だけですんだラウンドアップ除草剤散布は今では3回散布が当たり前になった。抗生物質多用で院内感染が問題になっている抗生物質耐性菌と同じことが野外で大規模に起こったのである。これは耐性雑草と新たな除草剤耐性作物開発のイタチゴッコの始まりである。2008年、アメリカでは初めて除草剤耐性雑草の繁茂によりGM大豆栽培を放棄する農家が出た。一方、殺虫剤が要らないとして開発されたBt作物(害虫抵抗性)にも耐性害虫が発生し、結局殺虫剤が大量に使用されるようになっていく。

(8) 健康に与える影響

1 残留農薬の問題

除草剤多用の影響は農家の経済的負担ばかりでなく、残留農薬の危険性も増す。このことは1992年の時点で既に明らかになっていた。除草剤耐性大豆の安全審査に当たって、モンサント社は大豆の残留除草剤濃度基準を大幅に引き上げるよう政府に迫った。その結果、アメリカの家畜飼料となる大豆全草のラウンドアップ残留基準は15ppmから100ppmに引き上げられた。日本も含め、アメリカから大豆を輸入している世界中の国々もアメリカ政府の要請により、0.1ppmから20ppmに引き上げられた。日本の大豆の残留基準は従来の6ppmから20ppmになった。一企業の力が世界の政府の安全基準も変えたのである。除草剤グリフォサート耐

性大豆の大規模栽培を行い、大量のグリフォサートを空中散布しているアメリカやブラジル、アルゼンチンでは出産異常が多発している。2015年3月20日、国連の世界保健機構（WHO）の専門組織である国際癌研究機関（IARC）は除草剤グリフォサートを発がん性の高いランク2に指定した。2008年12月、フランスの毒物学研究誌（Chemical Research in Toxicology）に公表された研究によると、105倍に薄めたラウンドアップ除草剤でも人間の培養細胞（臍の緒、胚、胎盤）を殺すという。これは実際の畑での使用状態で人間があびた除草剤耐性植物中の残留濃度に匹敵する濃度レベルで、研究者らはその生化学的メカニズムも明らかにしている。

2 アメリカで除草剤ラウンドアップによる癌で裁判

除草剤ラウンドアップで癌になった、として開発者のモンサントを裁判に訴える例がアメリカで相次いでいる。2018年8月10日、カリフォルニア州地裁はラウンドアップの散布作業を永年続けて白血病になった、としてモンサントを訴えたD. ジョンソン氏の訴えを認め、モンサントに対して2.9億ドル（320億円）の支払い判決を陪審員の全員一致で下した。これに勢いを得て提訴が次々と起こり、2019年3月27日にはカリフォルニア州連邦地裁が原告の訴えを認めて8000万ドル（88億円）の支払いをバイエル（2018年にモンサントはドイツの製薬会社バイエルに買収された）に命じた。更に、2019年5月14日にはカリフォルニア地裁が原告夫婦に対し20億5500万ドル（2200億円）の支払いをバイエルに命じた。当然、バイエル社は上告しているが、旧モンサント社を訴える裁判は現在アメリカだけで10万件に上っている。裁判所が原告勝訴の大きな理由としたのは、モンサントがラウンドアップの発癌性を知っていながらその事実を隠蔽し、除草剤耐性作物を開発販売したことが挙げられている。

この動きは、今後のGM作物栽培に大きな影響をもたらすだろう。現に、フランスではラウンドアップの一般への販売が禁止された。最近、日本の国会議員28名の髪の毛を分析したところ、7割に当たる19名の髪の毛からラウンドアップの主成分グリフォサートとその分解物AMP Aが検出された。

3 ラウンドアップ耐性大豆でラットに出産異常

2005年、ロシアの研究者イリーナエルマコヴァによって驚くべき研究が公表された。モンサント社の除草剤（ラウンドアップ）耐性的大豆を食べさせたラットの母親から生まれた子どもの55.6%が低体重児で、生まれてまもなく死亡した。非組換え大豆や大豆を食べさせなかったラットの死亡率は低かった。これまで、組換え作物の安全性試験は、食べさせた動物自身の健康のみに限られていたが、次世代の安全性までは確認していなかった。

4 人の便から除草剤耐性DNAと耐性菌

2002年、英国で興味ある研究が行われた。除草剤耐性大豆を被験者に食べさせ、時間を追って人口肛門から便を採取、その中の遺伝子の分解度を調べた人体実験である。その結果7名全員から未分解の除草剤耐性DNAと同時に除草剤耐性菌も検出された。これは大豆中の除草剤耐性遺伝子が腸内細菌遺伝子に組み込まれたことを意味する。専門用語で「遺伝子の水平伝達」と言われる現象である。食物に抗生物質耐性遺伝子が含まれていれば腸内で抗生物質耐性菌が発生する。家畜飼料への抗生物質混入は常態化しており、飼料から抗生物質耐性遺伝子が供給されれば耐性菌の発生は避けられない。多くの遺伝子組換え作物の開発には、組換え遺伝子を大腸菌で増殖させ、組み換え体を非組み換え体から選別するために除草剤耐性遺伝子に加えて「抗生物質耐性遺伝子」が組み込まれている。これは、いったん組換え体が分離出来れば無用の長物である。こうした危険性があるため、世界保健機構（WHO）は早くから遺伝子組換えで抗生物質耐性遺伝子の使用を中止するように勧告してきたが必要悪として今も使われている。こうした基本的な問題解決こそがまず必要である。

5 アレルギーの危険性

遺伝子組換え作物は従来人間の食習慣になかった土壌細菌遺伝子が作る蛋白質を含むため、アレルギーの危険性が増す。例えば除草剤耐性大豆の蛋白質には、イェダニのアレルゲンと同じアミノ酸配列が含まれており予期しない健康被害もありうる。オランダの研究者らは、現在のコンピューターのみに頼

る遺伝子組換えアレルギーの安全性チェックに大きな警鐘をならしている。アレルゲンの存否は遺伝子組換え作物の安全性に関わる大きな問題である。

6 GM トウモロコシでラットの4世代後に不妊

2008年12月に発表されたオーストリアの研究報告は今、大きな波紋を呼んでる。国立農業保健省の委託でウィーン大学の研究者らが行った研究で、遺伝子組換えトウモロコシ（除草剤耐性と害虫抵抗性の両方を含む：日本政府は2004年に認可）を食べさせたマウスを4世代にわたって交配実験した結果、GMトウモロコシを食べた世代は次第に不妊傾向が高まり子どもの数が減った。4世代目の子どもは生まれなかった。これは統計的にも有意差があり、著者等はさらに研究が必要と警告しているが、この研究報告はこれまでに発表された研究の中でも最も徹底的な実験と分析が行われており信頼性が高いと思われる。現在行われている遺伝子組換え作物の安全審査では動物実験が1~3か月の短期間に限られている。

7 GM トウモロコシでラットに腫瘍

2012年に発表されたフランス・カーン大学のE.セラリーニらは、ラットの寿命に当たる2年間を通じて、除草剤ラウンドアップ耐性コーンを食べさせ続けた結果、多くのラットに巨大な腫瘍（体重の25%に及ぶ）が発生した、という研究を発表した。この研究では除草剤の主成分グリフォサートに加えて、通常は非公開の添加剤の影響も大きい事が示された。

8 ラウンドアップの大量散布で子どもの発達障害が増加

カリフォルニア工科大学の研究で、除草剤ラウンドアップの大量使用が始まった1996年以降、その散布量増加とアメリカにおける子どもの自閉症などの発達障害の増加に密接な相関がある、という研究が大きな波紋を呼んでいる。自閉症などの発達障害はアメリカだけでなく、アメリカ産農産物を大量輸入している韓国や日本でも急増している。近年、除草剤散布は遺伝子組換え作物だけでなく、小麦や大麦などの非遺伝子組換え作物の収量増加のために収穫前に大量に散布するプレハーベストが常習になっている。その結果、アメリカ産小麦粉やそれで作られ

た食パンなどの殆どから除草剤が検出される事態となっている。

アメリカでは母乳や子どもの尿からもラウンドアップの主成分、グリフォサートが検出されている。日本では国会議員の頭髪からもグリフォサートが検出されている。最近、グリフォサートは腸内細菌の変化をもたらし、グリフォサートに耐性のある悪玉菌の作る物質が脳の働きを妨害する、という研究も出て国際的問題になっている。

(9) 環境に与える影響

GM作物が環境に与える影響は多様である。害虫抵抗性(通称Bt)のトウモロコシは、殺虫遺伝子をもつが、その花粉が周辺に飛散し他の雑草に降りかかる。それを食草とする蝶の幼虫が巻き添えで死ぬことが分かり、種の多様性の問題をめぐる論争に発展した。この遺伝子が作る殺虫タンパク質は、植物の根から分泌され、土壌粒子に結合して1年間も土壌昆虫を殺す能力を持つことが分かっている。

今最も深刻な問題は「遺伝子汚染」である。カリフォルニア大学の研究者がメキシコ山中の野生トウモロコシに組換え遺伝子を検出した。トウモロコシ原産国のメキシコは野生種を保護するために1998年から組換えトウモロコシの国内栽培を禁止している。日本の農水省はGM作物の国内栽培を認めてはいるが、近隣在来種との交配による遺伝子汚染や、有機農業への影響、風評被害などを恐れて、実際には国内農家はGM作物栽培をしていない。北海道はGM作物の栽培に関し、独自の栽培規制条例を作り規制に乗り出している。国土の狭い日本では、一度GM作物が栽培されれば在来種の汚染は避けられない。

(10) 国内の遺伝子汚染…GM ナタネの自生と拡散

2004年夏、茨城県鹿島港周辺で遺伝子組換えなたねの自生が農水省によって発表された。我々はすぐに各地の市民団体の協力を得て国内の他のなたね輸入港周辺を調査し、岡山県水島港を除く、千葉港、鹿島港、横浜港、清水港、名古屋港、四日市港、神戸港、博多港でのGMなたねの自生を確認した。千葉港や鹿島港、四日市港では港内から外に自生が広がり、国内産なたねや野生のカラシナなど野生種や栽培なたね科植物への交配による組換え遺伝子の拡散

が懸念されている。四日市から南に約 40Km先の製油工場までの国道 23 号線の沿線には、本来なら存在しない西洋菜種が多数自生しており、現在その約 70%は除草剤耐性である。これらの遺伝子組換えナタネは本来 1 年草だが、ここでは多年草化して巨大化、越冬し、田圃の畦や道路端で世代交代している事実が確認された。2016 年 4 月に我々が行った国道 23 号線沿いの自生ナタネの抜き取りは 6200 本に及んだ。それに伴い、様々な問題が浮上している。自生 GM ナタネは近縁種のアブラナ科作物(在来ナタネ、ブロッコリー等)と交配し、現在野生化して各地の河川敷に繁殖している西洋カラシナとも交配し、除草剤耐性のカラシナが生えている。また、我々は国道 23 号線沿いの中央分離帯で 2 種類の除草剤(ラウンドアップとバスタ)に耐性の GM ナタネを初めて発見した。本来この 2 種類は別々の企業が開発し特許権をもつ。これは自生する 2 種類がお互いに交配して生じた雑種であり、すでに自然環境中での交配が起こっている証拠である。更に 2010 年、四日市地域の国道 23 号線で、野生の雑草ハタザオガラシとの交配が疑われる除草剤耐性雑草を確認した。雑草との交雑も確実に広がっている。こうした GM ナタネの自生が広がった結果、2010 年に名古屋で行われた生物多様性に関する国際会議(COP10)と遺伝子組換え問題に関するカルタヘナ議定書締約国会議(MOP5)が行われていた最中の 10 月、三重県はそれまで自家採取していた「ナバナの里」などのナタネの種子の県内生産断念を発表した。県内産のナタネに組換え遺伝子が伝搬し、GM 汚染の危険が生じたからである。

(11) 技術上の問題点

遺伝子組換え技術によって生物の種の壁は事実上なくなった。今では細菌、植物、動物(人間も含む)の遺伝子をお互いに入れ替えることが可能になった。しかし、遺伝子の交換可能性を基礎にした商業栽培のメリットという既成事実が優先し、宿主の遺伝子に与える外来遺伝子の影響については殆ど分かっていないのも事実である。

第一の問題点は、外来電子を生物(宿主)の遺伝子に挿入する際、挿入場所の予測が不可能で挿入はランダムな事である。このことが遺伝子組換えの最

も基本的困難でかつ未解決の問題である。これは、遺伝子の標的問題といわれる。宿主染色体の中の正確な標的に外来遺伝子を送り込むことが出来なければ、宿主遺伝子への様々な影響を排除することは出来ない。数千の組み換え体細胞の中から、宿主親株と出来るだけ似ているものを選び出すことが今でも組み換え体作出の大きな手間であり、これは従来の交配による品種改良と変わらない。

第二は組み換え体と非組み換え体の選別が必要なことである。そのため選択マーカー遺伝子と呼ばれる抗生物質耐性遺伝子や除草剤耐性遺伝子を目的遺伝子に連結し、細胞が抗生物質耐性や除草剤耐性になったか否かで組換えの成否を判別する。従って、除草剤耐性以外の GM 作物は目的の遺伝子と同時に抗生物質耐性遺伝子を持つ。抗生物質耐性菌発生などの危険性は上に述べたとおりである。

(12) 動物の遺伝子組換えと第 2 世代、第 3 世代の遺伝子組換え

1 昨年 11 月 19 日、アメリカの FDA(食品医薬品局)は遺伝子組換え鮭の販売を許可した。これまで GM は全て農作物だったが、これは動物を対象にした初めての例である。通常天然の鮭と比べて 3 倍近い速度で成長し、体重も 3 倍近くなる。アメリカの AquAdvantage 社が開発したもので、カナダで採取した天然鮭の卵を GM 鮭のオスの精子で受精させ、チリに運んで養殖し、加工品としてアメリカに運び商品化する、という。アメリカはこの鮭を 2015 年 11 月に認可し、カナダは 2017 年に認可し販売を開始した。日本人が大好きな回転寿司に GM 鮭が現れる日も遠くないだろう。この鮭肉には成長ホルモンの一種「インシュリン様成長因子(IGF-1)」が含まれている。IGF-1 は男性には前立腺がん、女性には乳がんを発生させる事が分かっている。

(13) 新たな遺伝子操作技術「ゲノム編集」の登場

これまで述べた遺伝子組換えは、大豆やトウモロコシの遺伝子を土壌細菌からとった除草剤耐性や害虫抵抗性遺伝子を挿入するものだが、外来遺伝子が宿主遺伝子のどこに入るかは予想できず、膨大な突然変異の中から目的の組換え体を選別する、という大変手間のかかる技術だった。しかし近年「ゲノム

編集」という新たな遺伝子操作技術が登場し大きな話題になっている。この技術は動植物の遺伝子をあらかじめ分析し、目的とする特定の遺伝子を正確に破壊したり（ノックアウト）、その場所に新たな遺伝子を挿入（ノックイン）できる。その結果高い効率で目的とする突然変異が得られる。この技術は農業分野だけでなく医療の分野でも開発されつつあり、先天異常の病気の胎児や受精卵をゲノム編集することで遺伝病を治療する技術も登場している。ゲノム編集は農業や医療の分野で大きな技術革新をもたらす今後「第4の産業革命」をもたらす可能性がある、と期待されている。しかしゲノム編集はこれまで不可能だった生命を自由に操る技術であり安全性だけでなく「生命倫理」の立場から社会がどう受け入れるか、厳しい議論が必要である。

ゲノム編集が大きな社会問題になったのは2018年11月に、中国の研究者が人間の受精卵をゲノム編集してHIVに感染しにくい双子の赤ちゃん（女兒）を誕生させた、というニュースが流れてからである。それまで、作物や家畜のゲノム編集の研究は行われていたが、ヒトの遺伝子を操作するのは「生命倫理」の観点から世界的に禁止されていた。このニュースがきっかけとなりマスコミにも「ゲノム編集」が頻繁に登場するようになった。実は、これには伏線があった。2018年6月15日、内閣府の統合イノベーション戦略会議の前日、故安倍首相が各閣僚に対して「この技術（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って大胆、かつ確実に実行するように」と訓示したのだった。内閣府によるとゲノム編集は今後900兆円の市場になる、と予想している。その多くは食料と医療分野における経済成長の手段になる、と考えている。例えば現在、提供者が不足している臓器移植について、ゲノム編集技術を使えば、ヒトの心臓を豚の体内で作ることが出来る。

(14) ゲノム編集の今

2020年12月11日、筑波大学が開発し、そのベンチャー企業（サナテック・シード社）が生産したゲノム編集トマト「高GABAトマト」が厚労省・農水省に届け出され、商品化された。更に2021年9月

17日には京都大学が開発した「マッスル真鯛」が、2021年10月29日には同じ京都大学が開発した「成長促進トラフグ」が商品化された。これら3種類のゲノム編集食品は現在、世界で日本だけが商品化したものである。

ゲノム編集は登場してまだ10年足らずの技術であり技術的に未解決の問題が多い。にも拘わらず経済成長の手段になる、ということで政府と産業界は推進に力を入れている。遺伝子組換え食品は厳格な安全審査と表示が求められたが、ゲノム編集の場合は安全審査も表示も必要なく、開発企業が厚労省に届け出だけで良く、届け出も企業の任意だと決められた。当然、開発企業にとっては、厳密な動物実験や安全性の試験が不要で開発費の負担は少ない。その結果、ゲノム編集食品の商品化は事実上の人体実験となる。また、消費者庁はゲノム編集食品には表示が不要、とした。これは消費者の選択の権利を奪もるので、安全性に関して何らかの問題が起きた場合には厳しく責任が問われる事になる。ゲノム編集は安全性に加えて生命倫理の観点からも大きな問題を抱えている。現在、収量の多いコメや発芽しても毒を作らないジャガイモ、アレルゲンのない大豆、養殖用のサバなど数々のゲノム編集食品が開発されつつあり、商品化の日は近い。

(15) ゲノム編集の何が問題か

15-1) オフターゲットが起こる

「オフターゲット」とは標的外の遺伝子も破壊する事である。ゲノム編集に使う遺伝子を切断する「ハサミ」の役割をするCas9酵素（正確にはCRISPER Cas9）には、遺伝子のどこを切るかを定めるガイドRNAという分子が結合している。このRNA分子の20塩基程度の配列を人工合成すれば、それに対応する目的の遺伝子を正確に切断できる、という事になっている。だがこれは科学的には正確でない。

●オフターゲットの原因：その1)

動植物の遺伝子は数億～30億対の塩基と呼ばれる4種類の分子（A：アデニン、G：グアニン、C：シトシン、T：チミン）から出来ており、この塩基が3個並んだ配列が一個のアミノ酸に対応している。数億個もある塩基配列のなかには、20塩基程度の配列

が同じ遺伝子が沢山ある。その結果、特定の遺伝子（標的）の20塩基配列を切り取るつもりが、他の遺伝子も破壊してしまう。これがオフターゲットである。ゲノム編集の専門家や厚労省・農水省の関係者は「ゲノム編集は自然突然変異と同じ」と主張するが、これは大きな間違いである。自然突然変異で同じ塩基配列が同時に壊れることは起こらない。何故なら突然変異はランダムな反応だからである。

●オフターゲットの原因：その2)

標的遺伝子の塩基配列を特定するガイドRNA (gRNA) の標的特定機能は実は正確ではない。DNA 同士の塩基結合は正確 (A と T、G と C) だが、DNA と RNA の塩基どうしの結合は正確でなく、A と C、A と G などの結合が起こる事がある。これをミスマッチという。これも自然界では起こらない反応である。

●オフターゲットの原因：その3)

ゲノム編集は化学反応である。化学反応は関与する分子の濃度次第で効率よく起こるか否かが決まる。ゲノム編集の場合、標的遺伝子は一個だが、これと反応して切り取るハサミの酵素 (Cas9 とガイドRNA) が一個では反応は起こらない。実際の実験では、細胞一個当たり投入する Cas9 酵素 (+ gRNA) は数百万個~1億個投入しなければ反応は起こらない。ミサイルと違ってゲノム編集酵素は標的に向かって誘導する反応ではないからである。その結果、標的と同じ配列があればこれも切り取ってしまう。

●オフターゲットの原因：その4)

動植物の細胞は一個の遺伝子から複数の蛋白質を作る、というのは今では常識である。遺伝子は蛋白質のアミノ酸配列に対応する「エクソン」という塩基配列とアミノ酸配列に対応しない「イントロン」という塩基配列がイレコになっている。この遺伝子DNAから蛋白質の鋳型になるmRNA (メッセンジャーRNA) が出来る際に、異なるエクソン同士をつなげるスプライシングという特殊な反応が起こり、異なるエクソン同士を様々に結合してmRNAを作る。その結果、一個の遺伝子から複数の蛋白質が出来る。この反応を正確に把握しないままゲノム編集を行うと、異なる蛋白質に共通のエクソンを破壊す

る結果意図しない蛋白質まで破壊する。

オフターゲットは様々な細胞で実証されており、ゲノム編集の結果それが本当に起こっていないかどうかは大きな問題になる。しかし安全審査が行われないので、ゲノム編集食品に謳い文句以外の欠損があるかどうかは分からない。

15-2) マーカー遺伝子の問題

マーカー遺伝子とは、遺伝子組換えでもゲノム編集でも使われる遺伝子で、多くの場合「抗生物質耐性遺伝子」を指す。病院などで抗生物質の効かない「薬剤耐性菌」が発生すると大きな問題になるが、遺伝子組換えやゲノム編集では必要悪として必ず使われている。例えば、害虫抵抗性のトウモロコシにはカナマイシン耐性遺伝子が必ず入っている。除草剤耐性の場合には除草剤耐性遺伝子自身がマーカー遺伝子を兼ねている。ゲノム編集でも製造工程では必ず抗生物質耐性遺伝子が使われる。マーカー遺伝子は何故必要なのか。先に述べたように、ゲノム編集では細胞一個当たり数百万個以上のCas9酵素が使われるが、この酵素を作る遺伝子は細菌を使って大量合成する。(Cas9+gRNA+抗生物質耐性遺伝子)の配列を含むウイルス(ベクターという)を培養細胞(細菌)に感染させ繁殖させる。培養液に抗生物質を入れて培養すれば、抗生物質耐性になった菌だけが生き残り、効率よくハサミ遺伝子を取り出せるからである。こうして増殖した細菌からCas9+gRNA+抗生物質耐性遺伝子(ベクターという)を分離し、ゲノム編集に使う。その結果、ゲノム編集した最初の細胞には必ず抗生物質耐性遺伝子も含まれる。これらは明らかに「外来遺伝子」であり、本来の動植物細胞には含まれないもので、これが含まれていれば遺伝子組み換えと同じで安全審査が必要になる。厚労省はこれを非ゲノム編集細胞との「戻し交配」で削除すると言う、がそれを行ったという証明は必要ない。実際、アメリカではゲノム編集で開発された「角のない牛」が商品化の直前にFDA(食品医薬品局)の専門家が、この牛のゲノムの遺伝子の全構造を分析したところ、バクテリア由来の抗生物質耐性遺伝子が2個見つかり、商品化を断念したいきさつがある。

●マーカー遺伝子は何が問題か

遺伝子組み換えの場合、必ずマーカー遺伝子が内在する。これを含む大豆やトウモロコシを食べると、腸内細菌がこの遺伝子を取り込み、除草剤耐性菌や抗生物質耐性菌になる。これを「遺伝子の水平伝達」という。遺伝子組み換えの大豆やトウモロコシを餌にしている家畜（鶏、豚、牛）などの糞には、ほぼ100%耐性菌が含まれている。これを食べるのは危険である。最近の研究で、こうした薬剤耐性菌の感染で、世界全体で年間約300万人が死亡している、という調査結果が国際医学雑誌ランセットに掲載された。日本国内でも年間8000人が死亡している。遺伝子組み換え作物の危険性が改めて指摘されている。ゲノム編集ではこれを削除しなければならないが、その証拠を示す事は義務づけられていない。

(16) 生命操作のこれから

現在、ゲノム編集をはじめとして、様々な遺伝子操作による農業・医療・食料分野での技術開発が始まっている。除草剤や殺虫剤などの被害が問題となったため、RNA農薬というものが開発されている。これは害虫の遺伝子を分析し、特定の遺伝子の働きを妨害して害虫を殺す、というものである。技術的には可能だが、その安全性は保障されていない。標的外の昆虫を殺したり、農作物の遺伝子を壊すオフターゲットも起こりうる。それを散布する人間が吸い込んだらどうなるかもわからない。

新型コロナで大きな問題になっているワクチンもゲノム編集で昆虫や植物で作られつつある。米国の企業は新型コロナワクチンをタバコ（植物）で作ることに成功し、2022年2月にカナダ政府はこれを認可している。これまで通常のワクチンは動物細胞を使って作られていたが、植物で作れば時間も短縮でき、大規模生産も可能になる。

九州大学では蚕でワクチンを作り、蚕の幼虫を粉にして食べるワクチンの開発に成功している。豚を使った動物実験で効果が確認出来たという。海外では野菜を使った食べるワクチンも開発されており、これまでは医療の対象だったワクチンが食糧分野に拡大する可能性が高い。また、国連は食糧危機の対策として昆虫食を進めているが、国内でも食べるコ

ウロギはすでに商品化されている。これにワクチン遺伝子を入れれば食べるワクチンになる。

こうした生命操作はこれからの新たな経済成長の手段になる、と世界の資本家たちは考えており、世界の農地獲得に奔走している。ちなみに、有名な資本家ビル・ゲイツ氏はアメリカ最大の農地保有者（16州で10万ha）で、アフリカなど世界各地にも手を広げつつある。

(17) 最後に：世界で広がるオーガニック

生命操作技術が広がる一方で、今、世界では有機農業への取り組みが活発化している。これまでのGM作物栽培や農薬・化学肥料を多用する農業が健康や自然を壊すことが明らかになり、土壌の健康が地球温暖化の対策にもなる事が分かったからである。EUは2030年までにすべての農地の25%を有機にする、と決めた。オーストリアは昨年、すでに全農地の30%を有機農業にした。ドイツやフランス、イタリアなどでもすでに数%~10%が有機化されている。アメリカと中国でもすでに5%が有機農業になっている。

今、日本国内でも学校給食の有機・無償化の活動が