

特集 多様な立場から考える食の科学技術—ゲノム編集技術に着目して—

05

ゲノム編集技術の考え方と農産物への応用に向けて 〜日本における研究・開発の最前線に聞く

聞き手：山野薫（一社）農業開発研修センター嘱託研究員



国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構（以下、農研機構）（茨城県つくば市）では、ゲノム編集技術を農産物生産に応用するための研究を、育種¹⁾学の視点から行っています。今回は、ゲノム編集技術を利用した農産物生産について、研究の背景や内容、今後の普及に向けたお考えなどを、農研機構企画戦略本部新技術対策室の田部井豊室長、志村幸子上級研究員、吹野伸子上級研究員、石川達夫主査、広報部広報課の高木英典課長にインタビューさせていただきました。

研究の背景と経過、現在の到達点

Q：ゲノム編集技術の農産物への応用にいち早く着目し、研究されています。この研究に取り掛かれた経緯をお聞かせください。

A：私たちの食やそれを支える農業は、気候変動や人口増加など色々な要因の影響を受けています。その中で食の多様化やグローバル化が起こり、農産物への新しいニーズも生まれています。このようなニーズに迅速に対応するために、様々な効率的な育種改良技術の開発が求められており、私どもはその一環として遺伝子組換え技術やゲノム編集技術の活用に取り組んでいます。品種改良をするというのが大きな目的であり、それを最短で実現するのに最善の技術は何かを考えて、研究を行っています。

これまでの品種改良は、交配を行ったり、自然界で生じた突然変異のなかから必要な性質を探したり、突然変異の頻度を高くするために放射線や化学物質の利用を行っていました。ただ、そのような方法で目的の性質を得るのは効率が悪いので、欲しい性質だけを効率よく得る技術としてゲノム編集を位置づけています。

我々はかなり早い段階からこの研究をやっています。特に盛んになったのは2012年にCRISPR/Cas9²⁾が報告されてからです。日本ではその2年後に国家プロジェクトを開始し、世界的に見て

もかなり早い時期に動きました。技術開発として、どれだけ使えるものができるか、実際にそれを使って何ができるのかを開発、検証しています。

Q: これまでの技術の延長やそれ以外の技術ではなく、あえてゲノム編集に着目して研究を進めると決めた一番の理由は、やはり効率がよい技術だからでしょうか。

A: 今、話題になっていることもあります。育種の専門家以外の方には、ゲノム編集だけを特別視しているように見えるかもしれませんが。我々は「あえてゲノム編集を」と思っているわけではなく、様々な育種技術のうちのひとつという前提でいます。

特定の変異体を得るために、事前に発生確率を推定して栽培しても目的の変異が得られるとは限らない上に、例えば1万個体栽培しなければならないとなれば、かなり大変です。それを思えば、改変したい遺伝子が分かれば、稲なら半年程度で変異体を得られるので、育種の効率が全く違ってきます。このような理由から、ゲノム編集技術の可能性に着目してきました。研究に着手した当時に比べ、現在はゲノム情報も充実し、技術も含めて開発が進んできました。

Q: ゲノム編集農産物に関する研究のうち、現在、最も注力されている内容をおしえてください。

A: いくつかの研究を同時進行で行っていますが、最も進んでいるのは、「シンク能³⁾改変イネ」というものです。といっても、実用化にはまだまだ遠いです。これは、お米の収量を高めるために1株当たりの穂の数を増やすことや、米粒を大きくすることを目指したイネです。穂の枝分かれの数や米粒の大きさに関わる遺伝子に対して、ゲノム編集で突然変異を起こさせ、生育や収

量にどのような効果があるかを確認しています。しかし、シンク能を改良したから収量が上がるという単純な話ではないと考えていて、野外で栽培試験を行い、最終的に実際の収量の多いものを選抜しています。

他にゲノム編集を使った農産物として開発しているのは、オレイン酸の含有量の高いコメです。高オレイン酸の米油のニーズを満たすことができるようになると思います。また、赤色のシャインマスカットや、自家受粉で結実するリンゴについても研究を進めています。リンゴは自分の花粉ではなく、タイプの違う他の花の花粉が受粉しないと結実しないのですが、受粉作業が農家にとって労働面でかなり負担になっています。自家受粉でも結実するようになれば、収量の安定や作業効率の向上が望めます。

Q: 例えば、シンク能改変イネが実用化した場合、人口問題や温暖化といった課題のうち、具体的にはどこに大きくアプローチすることになるのでしょうか。

A: 収量性の向上は基本的な育種目標として重要なのです。今考えているのは主食用ではなく飼料用です。日本は飼料の輸入量が多く、エネルギーベースの自給率が低くなっているので、飼料を安価で大量に生産できるようになれば、自給率の向上につながるでしょう。他にも、主食用のお米でも、おいしいお米を安く作ることができるようになれば、輸出品目としての競争力も出ます。そして、地球規模での食料の分配を考えると、収量性の高さは大事なことで、すし、このようにいくつもの理由があって、開発をしています。

Q: これまでにも、様々な技術を用いた農産物が、様々な理解を得て広まってきました。従来の技術による農産物とゲノム編集

農産物では、理解の得られ方に違いや、難しさを感じることはありますか。また、実用化する上でハードルが高いのは、どのような点でしょうか。

A：ひとつには、ゲノム編集によって得られた性質が、本当に良い性質か、ということです。実用化をする場合、プラス面とマイナス面を比較し、トータルでプラスの効果がどのくらいあるのかを見るので、研究よりも難しく、時間がかかります。

ふたつ目は、規制や制度上の問題です。日本の場合は、各行政機関が方針を決めていますので、我々の立場としては肅々と方針を遵守して進めています。

そして、知的財産や特許上の問題もあります。これは研究とは違う次元の話になります。特許料は市場規模によっても変わってきますし、開発側と使用側が金額面で合意できるかという課題もあると思います。

他には、国民理解の問題もあります。市場や流通関係、種苗会社などの利害関係者が利用に理解を示し、全員ではなくても、価値を感じて使いたいと思ってくれる人がいる状況にならないと、商品にはなりません。現在利用されているゲノム編集技術では、結果として起こることは自然突然変異と全く変わりませんが、ゲノム編集という技術を使っただけで、嫌だと思う人は当然います。私どもはいろいろところでゲノム編集について説明の機会を設けていますが、最終的に突然変異と一緒に問題ないと感じる方もいれば、まだちょっとね、という方もおられます。

農産物生産時の影響・課題と その対応

Q：ゲノム編集農産物を食した場合、影響や摂取者の安全性、子孫や環境（生物多様

性）への影響については、どのような検証や推定を行い、現時点では結果をどのように捉えておられるのかをおしえてください。

A：基本的には、現在のゲノム編集農産物も自然突然変異の一種という認識ですが、品種改良の過程において問題がありそうな変異体は、当然、除去します。また、自然突然変異なら安全かという、我々からするとそれも違って、自然突然変異でも人体に影響があると思われるものは発生します。で例えば、食品衛生法上、新たなアレルゲン物質ができていないかなどは、最低限データベースと照合します。また、栄養成分でも過剰摂取すれば害になるので、そのような問題がないかも調べています。

また、遺伝子組換え作物の場合、生物多様性への影響については、「遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律（カルタヘナ法）」に基づいて評価されます。ゲノム編集による変異で、自然突然変異と同様であるものはカルタヘナ法の規制対象外とされていますが、もしも生物多様性に何らかの影響があるならば、そこは考慮して取り扱うことになります。カルタヘナ法は生物多様性、食品衛生法は食品安全を保護するための法律ですが、これもゲノム編集は従来の食品の範囲内である、または従来の食品をベースにした品種と同等であるという判断から適用されることになっています。

Q：ほ場で生産した場合、従来の品種と交雑してしまった場合の影響についてはどのように考えられていますか。

A：ゲノム編集農産物については、まだそのような議論をする段階に至っていないのが実情です。おそらく、従来の自然突然変異と同様の性質のものを区別する必要があるのか、という議論から始めないといけな

いと思います。また、従来の突然変異の範囲内であっても、安全性などの面でネガティブに思う生産者もいるはずなので、そこはどう話し合いをしていくかということですが、その点は開発者だけで判断できるものではないと思っています。ただし、実験段階では、カルタヘナ法の規制対象外として情報提供していない農作物を栽培することにはなりますので、組換え農作物として農林水産省の遺伝子組換え作物の基準に則って栽培をしています。

Q：研究や開発にかかる費用についてはどのようにお考えでしょうか。

A：費用についてはケースバイケースなので、一概にはお答えできません。非常に重要だけどニッチな部分を狙った研究になれば、当然コストはかかります。ただ、病気の治療などと同じで、非常にニッチだが重要なものというのがありますから、それらをどう考えるかという課題はあります。

ゲノム編集農産物の科学的位置づけと消費面における有効性・安全性の受け止め方

Q：今後の普及を考えた場合、農業者や農産加工業者との意見交換やニーズの把握は、倫理的な側面も含めて、どのようなスタンスで取り組んでおられますか。

A：倫理といういろいろな価値観があり、難しいですが、我々科学者の立場としては、安全性、そしてそれを安心と思うかどうかは—受け手の問題もありますが—安全を続けることが安心につながっていると思っています。日本の場合、各省庁から提供すべき情報が示されていますので、しっかりとデータを提出すること。そして、ゲノム編集作物や食品についてある条件を満たせば、規

制を受けずに利用でき、届出や情報提供についての義務はありませんが、我々のスタンスとして、義務がないからといって黙って一般栽培や商品化することはありません。そこは規制や特許の面も含めてきちんと事前相談しながら進めていきます。

また、我々はいろいろなところでコミュニケーションをとって、ニーズの把握に努めています。農研機構アドバイザーボード委員会では、農業者はどのような性質を必要としているか、消費者はどのような対策を望んでいるかについて情報収集を行い、研究開発や情報提供の方法を考えています。情報提供に関して言えば、「バイオステーション」という Web サイト (<https://bio-sta.jp/>) において、一般の方向けにも情報提供を行っています。

Q：自然現象である自然突然変異に対して、ゲノム編集は人為的に突然変異を発生させることになると思います。この“人為的”という部分について、違和感があるといったような反応や意見が寄せられることもあるのではないのでしょうか。得られる結果は同じでも、人為的か、自然現象かでは、プロセスが違いますし、しかも、食べ物に関することです。先ほどのご説明では、ゲノム編集も自然突然変異と同じ結果が得られるということでしたが、10～20年後にさらに科学技術が発展して、実は得られる結果も異なるということが、もしも明らかになった場合、とりわけ、すでに一般的に食べられる状態になっている場合、誰がどのように責任をとるのか、疑問が残ります。

A：自然突然変異の場合、遺伝子のどこが変異しているのかが全くわかりません。それに比べると、ゲノム編集は狙った遺伝子を効率的に変異させることができますし、それ以外の変異が入る確率は極めて低いで

す。ゲノム編集した際の変異としては、目的の配列と類似した配列以外の変異は原因を特定しようがないし、仮に変異があってもその解釈ができない場合も多いです。

Q：自然現象を人為的に発生させるということ、そして、自然発生する確率の高低によって、許容範囲や印象は違うのだらうと思います。

A：今の科学では大丈夫で、将来的に問題が生じるかという点について、現時点では判断しようがないです。メリットがあると我々が考えているから開発しているわけですし、むしろ、何かしらの対応が必要になった際にどう手立てをするかということの方が大事ではないでしょうか。また、自然突然変異による品種改良だけだと、ニーズに対応するスピードが間に合わない。例えば、地球温暖化に対応する品種をつくる場合、自然突然変異を待っていたらいつになるかわかりません。でも、ゲノム編集であれば、特定の遺伝子を改変すれば、収量性も含めて確保できるようになります。ただ最終的に、その品種の正負両面を見て、それでもゲノム編集だからやめておく、というのはひとつの選択肢かと思います。

Q：ご自身を含め、一般的な食生活にゲノム編集農産物が導入されることについては、どのようにお考えでしょうか。

A：個人によって考え方が違うので、一概には回答できませんが、私個人では、最終的に厚生労働省などに届け出が済んでいるものなら、従来の品種改良の範囲として摂取することに全く問題はありません。過去には、遺伝子組換え農産物についても同様の議論がありましたが、規制当局が安全といったものについて、私は安全面での疑問はありませんし、家族にも安全だと答えます。

すが、最終的に食べるかどうかは個人の自由や判断ですので、強要はいたしません。

Q：表示の義務についてもよく議論になりますが、この点はどのようにお考えでしょうか。極端な例ですが、ゲノム編集食品がどのように生産されているか、どのような機能と懸念があるかを表示しておく方が、購入者も「なるほど、こんな機能があるんだ」と前向きに捉えられるように思います。それでも表示をしない、表示の義務がないということは、非常にいいものでもある反面、ネガティブに感じる方には手に取ってもらえず、売れない可能性もあるからでしょうか。本当にいいものならそれを表示してもよさそうなものの、売れないから表示をためらっているような雰囲気を感じます。

A：不安だから知りたいという方がいらっしゃるのにはよくわかります。消費者から理解が得られないこともよくありますが、表示に関しては販売する方々の判断によると思います。例えば、害虫抵抗性で安全性にも問題がない遺伝子組換え農産物の場合でも、農家の生産性をあげただけで消費者にはメリットがないとか、農薬を撒けばよくて遺伝子組換えをする必要はないといった意見が寄せられます。しかし、葉の表面に付着する虫には殺虫剤で対応できますが、葉の中に潜り込む虫には、殺虫剤の効力に限界があるため、遺伝子組換えが有効です。しかし、そのような点はなかなか理解されません。ゲノム編集に対してネガティブな印象を持っている人は、マイナス面の影響を大きく考えるかもしれないですね。一方で、ゲノム編集を用いたからこそ機能性が上がる場合もあるかもしれません。

育種というものを一般の方に十分理解いただくのが難しいということもありますが、そもそも自然界でもゲノムの変異は発

生していますし、従来の育種でも、遺伝子組成やゲノムの変異は相当発生しています。そのような全体像を踏まえると、育種において、変異をひとつ入れることはごくわずかな変化にすぎないと考えています。

Q：ゲノム編集農産物や食品に対する開発や反応の様子は、国によって違いがあるように見受けられます。これは単純に文化の違いなのか、これまでの研究や取り組みに対するスタンスの違いによるものでしょうか。性質や特性が科学的に担保された本当に良いものであれば、国による受け入れの違いはないように思うのですが。

A：日本国内での議論でも、同じデータについて、それでよしとするか、まだ足りないか議論が分かれるように、それが世界に拡大すれば、さらに細かな意見に分かれてくるということかもしれません。アメリカの場合、戦略的に進める風潮もあるかもしれませんが、サイエンスベースで考える傾向があります。遺伝子組換え作物についても、“組換えた”ということではなく、最終的な農産物としての安全性を評価することになっています。ところがヨーロッパの場合は、プロセスが重要という考えなので、作成過程で一度でも組換えを行えば、そのあとは全て規制対象となります。ニュージーランドの場合は、農産物の輸出国として、輸入国よりも規制が緩いと貿易上問題があるだろうという考え方から、規制を厳しくしています。ですから、必ずしも科学だけでなく、政治的な考えもあります。日本の場合は、昨年実施されたイノベーション会議において取り扱いをはっきりさせるべきだということになり、その後、一気に手続きが整理されました。議論自体はその前から行っていたのですが、どちらかと言えば、日本はサイエンスベースで判断

する方向で整理をつけたといえます。

Q：先生方にとっての「安全」とはどのような概念なのかをお聞かせください。

A：これは世界的に言われていることです。食品に対して絶対的な安全はないです。では、何を基準に「安全」とするかというと、食経験があって、安全に食べられているものと同等であるということとしています。例えば、遺伝子組換えトマトなら、従来のトマトとどこが違うか、安全性も何が違って何が同じかを調べた上で、従来のトマトと同等の安全性と危険性をもつものであれば安全と呼んでいます。生物多様性に関しては、議論が難しい面もありますが、従来ある様々な生物群に影響しない、というのが基本的な安全性です。だから、“単発的な影響”は、本当は生物多様性への影響とは言わないはずなのです。

インタビューを終えて

今回は、ゲノム編集技術の研究・開発の現状と考え方について、貴重なお話を伺うことができました。しかしながら、時間や紙幅の都合上、ゲノム編集技術に関する取り組みや考え方について、まだ疑問が残るところが多くありましたので、より多くの方々がその内実を知ることができるよう、深くコミュニケーションを図る必要があると感じました。取材に対応してくださった農研機構のみなさまに御礼申し上げます。

- 1) 育種…生物のもつ遺伝的性質を利用して、利用価値の高い作物や家畜の新種を人為的に作り出したり、改良したりすること。
- 2) CRISPR/Cas9…生物のゲノムを人為的に改変するゲノム編集技術の一つで、さまざまな生物のゲノム改変で最も多用されている。
- 3) シンク能…光合成産物を蓄えられる稲穂の容量。モミの数とモミの大きさ。