

植物のゲノム編集研究の推進と その利用

—植物ゲノム編集技術ワークショップの概要—

はじめに

ゲノム編集技術は任意のゲノム配列上に変異を導入できる技術であり、狙った形質を効率よく作出することが可能なため、作物育種にも有効な技術である。CRISPR/Cas9によるゲノム編集が報告されてわずか数年で実用化も見込める段階にあることから、ニーズに応える品種の迅速な供給が期待できる。従来の交配育種や突然変異育種で10年以上の月日をかけて新しい品種を作り出してきたことを考えると、今後の育種の方向性をも変える革新的な技術だと言える。しかしながらこのような急速な展開は、現場で育種に携わる研究者がその内容を把握することが困難な状況を生み出しているとも言える。そこで、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構(農研機構)生物機能利用研究部門では、育種関係者等にゲノム編集技術を正確に理解していただき、将来的に利用するきっかけを提供するための「植物ゲノム編集技術ワークショップ」を2017年より開催している。また、実際にゲノム編集技術を利用したい方のためにより詳細な内容の「植物ゲノム編集技術研修会」も開催している。本稿ではその概要について紹介する。

1. ワークショップ開催経緯

農研機構生物機能利用研究部門ではゲノム編集技術を利用した作物の研究

開発を進めている。変異導入の高精度化・効率化を目指す基盤研究や、農業・産業上有用な育種素材の開発などを行い、2017年にはゲノム編集技術を利用して作出したイネの野外での栽培試験を日本で初めて開始するなど、我が国の植物のゲノム編集研究を先導している。ゲノム編集は作物育種を高度に効率化するものであり、その技術が民間企業や公設試験場も含めて広く普及することにより、有用な作物、地域のニーズに合った作物が迅速に開発されると期待される。

そこで、育種の現場でゲノム編集という画期的な新しい育種技術に対してどれくらい関心があるのか、またその技術を活用していく予定があるのかといった状況を把握するため、農研機構の育種研究者を対象として2016年度にアンケート調査を行った。ゲノム編集技術についての関心及び理解の程度について尋ねたところ、関心は非常に高かった一方で、理解度については聞いたことはあるがどのような技術か知らないという回答が多かった。育種研究者のゲノム編集の理解度には大きなばらつきがあり、現場ですぐに利用されるような状況ではないことが伺えた。

ゲノム編集は日進月歩の技術であり、世界的にも様々な成果が報告されている。我が国でもできるだけ速やかにこの有用な技術を育種の現場に普及させることが重要である。そのため、このアンケート結果を踏まえて、育種研究者を主たる対象として、ゲノム編集について基礎から育種への活用方法

農研機構 広報部 広報課
四方 雅仁

農研機構 生物機能利用研究部門
大島 正弘

農研機構 企画戦略本部 新技術対策室
田部井 豊

を学び、理解度を高める場を設定することを考え、「植物ゲノム編集技術ワークショップ」を開催した。

2. 開催概要

(1) 会場

植物ゲノム編集技術ワークショップは2017年度は盛岡、熊本、つくばの3ヶ所、2018年度は札幌、津、岡山、東京の4ヶ所で開催した(図-1、表-1)。2年間で合計473名の方に参加いただいた(表-2)。つくばと東京では100名を超える方に参加いただき、ゲノム編集に対する関心の高さが伺えた。

(2) 参加者属性

本ワークショップの目的はゲノム編集を育種に利用していくための情報提供であるため、対象者は主に育種研究者としたが、ゲノム編集について全く知らないので知識を得たい、という方も含めることとし、ゲノム編集に関心のある方全てを参加可能とした。

参加者の所属は開催地によってばら



図-1 熊本でのワークショップの様子
(2017年12月)

表-1 ワークショップ会場

開催地	年月日	会場
盛岡	2017年 11月17日(金)	農研機構 東北農業研究センター
熊本	12月1日(金)	くまもと森都心プラザ
つくば	12月5日(火)	農林水産技術会議事務局 筑波産学官連携支援センター
札幌	2018年 10月26日(金)	北海道大学 学術交流会館
津	11月16日(金)	アストプラザ
岡山	12月7日(金)	岡山国際交流センター
東京	2019年 2月14日(木)	AP秋葉原

表-2 参加者内訳

	2017年度			2018年度				合計
	盛岡	熊本	つくば	札幌	津	岡山	東京	
民間企業	0%	18%	26%	17%	30%	12%	49%	26%
公設試	9%	32%	20%	33%	49%	32%	15%	26%
大学	34%	16%	3%	23%	4%	46%	7%	15%
農研機構	57%	21%	39%	15%	14%	1%	4%	20%
その他	0%	13%	13%	13%	4%	7%	25%	13%
合計(人)	35	38	120	48	57	67	108	473

割合は各開催地ごとに算出した。

つきはあるが、大学、種苗会社や食品会社などの民間企業、県の農業試験場などの公設試験研究機関（公設試）、および農研機構で大半を占めた（表-2）。そのほかJA、社団法人、財団法人など、開発担当セクター以外の方の参加もあった。東京ではさらに、生協、農家、メディア、特許事務所、投資関連企業の方など、他地域では見られなかった多様な分野の方にも参加いただいた。結果的に、ゲノム編集技術の普及のため様々な業界へ情報提供を行うことができた。東京では参加者の49%が民間企業の方であり、他地域より高い割合であったのも特徴的であった。アクセスの良さも考えられるが、開催時期が2019年2月で規制の方向性が明らかになってきていたことがその要因の一つかもしれない。育種を行う種苗会社はもちろん、加工・流通を担う食品関係の民間企業にも適切な情報提供ができればゲノム編集技術の普及にも資すると期待される。東京

ではまた、参加者の居住地が北海道や沖縄県を含めた21都道府県という多地域であった。参加者属性の多様性確保の観点からは大都市で開催することが一つの利点となると考えられた。

(3) プログラム

ワークショップの講義は「ゲノム編集農作物の開発状況」、「植物ゲノム編集の実際の手順」、「ゲノム編集農作物の規制」、「植物ゲノム編集の知財」の4件とし、それぞれ専門の講師が解説を行った。まず開発状況の講義では、ゲノム編集がどういった技術かの概要と育種開発が進められている例を紹介した。続いて、実際にゲノム編集を行うためのベクターの紹介や標的配列の選定方法などの実験手順を解説した。規制については海外および国内の状況を紹介し、知財に関する講義ではCRISPR/Cas9の特許係争の状況や商品化する場合の注意点などが述べられた。講義内容は基本的にはどの会場も

同じスライドで行ったが、随時最新情報を取り入れるなど内容のブラッシュアップも行った。各講義の詳細な内容については本特集の他の記事で詳細に述べられているので、そちらを参照頂き、ここでは省略する。

講義の後、約30分の質疑応答の時間を取り、講師が様々な疑問に回答した。時間内に質問できなかつた方のために、アンケート用紙に疑問点や聞きたい点を自由記述で記入してもらった。

3. 参加者の声：アンケート結果より

各会場ではアンケート用紙を配布し、ワークショップの内容についての調査を行った。2年間7会場で合計427名の方から回答いただいた（回収率90.3%）。

(1) ゲノム編集技術の利用予定

ゲノム編集技術を実際に利用しているのかどうかを尋ねた結果を図-2に

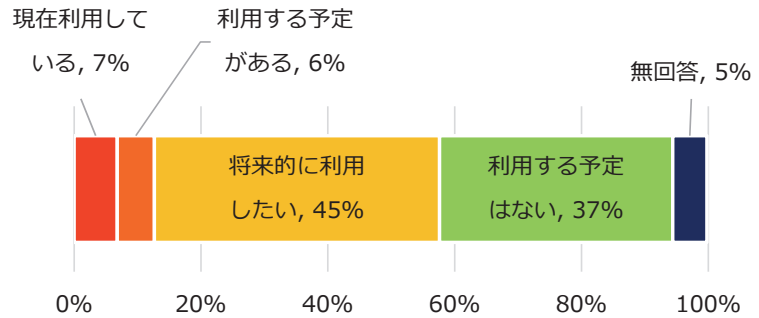


図-2 ゲノム編集技術の利用予定

示す。「現在利用している」「利用する予定がある」との回答は13%に留まったが、「将来的に利用したい」と考えている方が半数近くの45%を占め、合わせると過半の回答が利用に前向きであった。予定がない方にも参加いただけただけなのはゲノム編集に対する関心の高さが表れている結果だと考えられる。

(2) 講義の分かりやすさ、関心のある項目

講義の内容について、4件の講義のうち「開発状況」「実際の手順」「規制」については、7～9割の方が「分かりやすかった」「やや分かりやすかった」と回答した。知財については少し低く、その割合が6割程度であった（図-3）。

ゲノム編集のどのような内容に関心があったかを尋ねたところ、「開発状況」「実際の手順」「規制」についてが多く、6割以上の方が関心を示した。一方「知財」については43%であり他と比べて関心は低かった（図-4）。知財に対する関心の低さが、講義の分かりにくさに繋がっていたのかもしれない。実用化を目指す場合は知財の情報も必要となってくるので、関心のあまりない方にもそういった情報提供を行うことができたという点では意義があったと思われる。

(3) ゲノム編集に関する疑問点

ゲノム編集について分からないこと、聞きたいことを自由記述形式で記入していただき、119名の方から質問があった。内容を分類したところ最

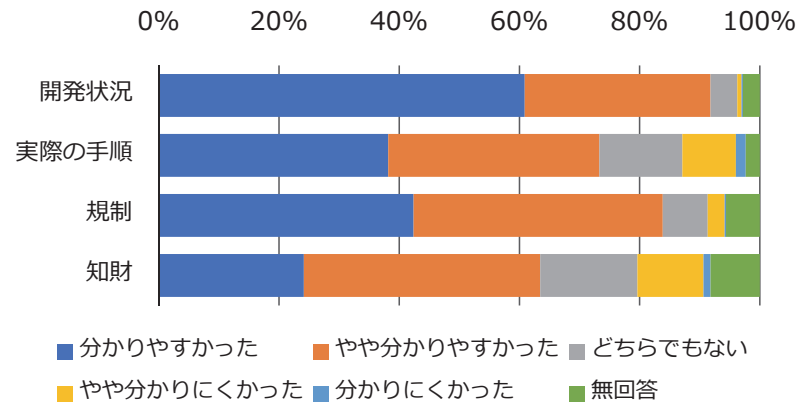


図-3 講義のわかりやすさ

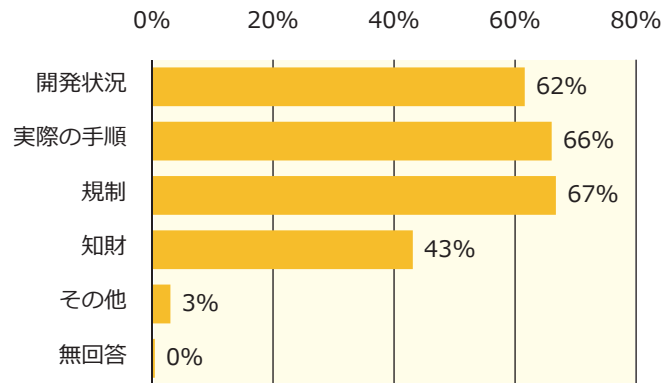


図-4 関心のある項目

も多かったのは、ゲノム編集の実際の詳細な手順やベクターに関する質問などの技術的なものであり、38件(32%)あった。その中でも基礎的なことを尋ねている方が多く、ワークショップ参加者のスキルとしては分子生物学的手法を扱ったことがない方から遺伝子組換え技術を利用している方まで幅のあることが伺えた。ワークショップでは実際の手順の概要説明であったため、実際にゲノム編集を行うための方を対象とした研修会を開催し、より詳細な実験手順を説明した。研修会について

は後述する。続いて多かった疑問点は規制に関するもので、26件(22%)あった。環境省からゲノム編集に関する取扱方針が出されたのが2019年2月であり、2017年11月～2018年12月のワークショップ開催時には規制の検討段階であったため疑問点も多かったと思われる。その他、15件(13%)が知財に関する疑問、12件(10%)が県や民間企業が開発する場合の道筋や留意点など、実用化する際の懸念事項についての記述があった。

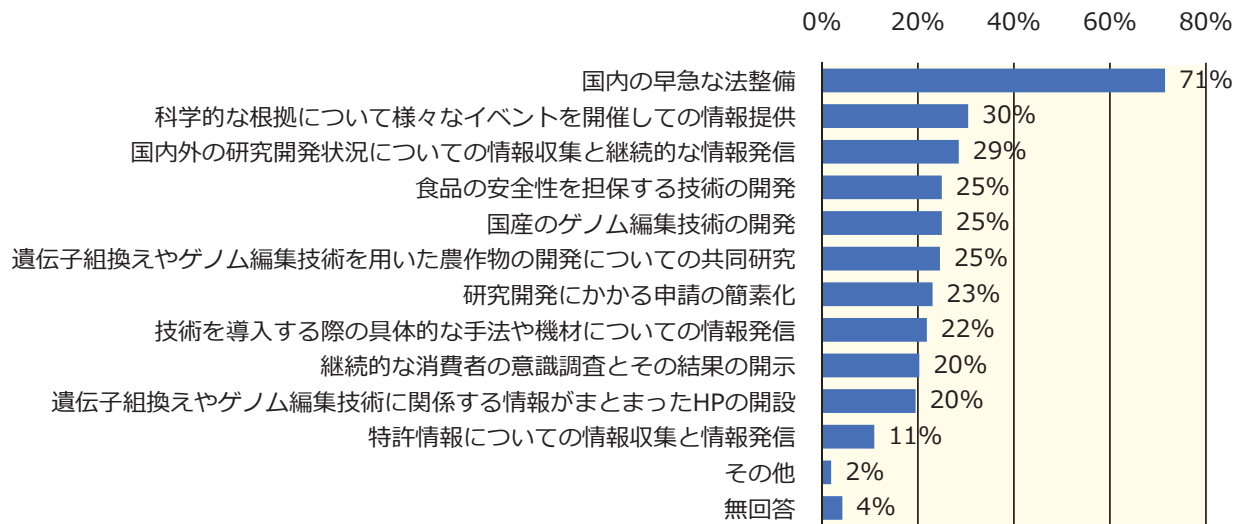


図-5 公的機関に期待すること

(4) ゲノム編集を行う上での問題点

ゲノム編集を実際に利用している方や利用を考えている方に、ゲノム編集を行う上での問題点を記入していただいた。129名からの回答を分類したところ、実験施設や温室などの設備が不十分といった環境面での問題や、実験できる人員がいないことやスキルの不足を含めた技術的な問題が64件(50%)にのぼった。ゲノム編集技術を普及させるには継続的な技術講習や技術的な支援制度の充実の必要性が伺えた。また、規制の方向性が定まらなさと着手しにくい点や、社会受容が不透明な現状では難しいという意見も34件(26%)あり、様子を見て慎重に進めたいという姿勢が伺える。

(5) 公的機関に期待すること

2018年度に開催したワークショップでは、「もしもあなたが遺伝子組換えやゲノム編集技術を使った農産物や製品開発をする立場にある場合、公的機関に期待することは何ですか?」という設問もアンケートに追加した。この設問により実用化するための問題点や農研機構に期待することを探ることも可能だと考えた。期待することについて選択肢の中から12個の選択肢

(「その他」の自由記述含む)から3つを選んでいただいたところ、「国内の早急な法整備」を期待する方が71%であり、全項目の中で突出して高かった。続いて消費者に対する情報提供、研究に関する情報収集及び情報発信がそれぞれ30%、29%の方が期待している。他の項目は25%以下となっている。まずは法整備が急務であり、それをわかりやすく伝えるという点も求められていると考えられる(図-5)。

4. 植物ゲノム編集技術研修会

ワークショップは育種の現場でゲノム編集技術を利用していただくことを目的として開催したが、基礎的な内容から説明したこともあり、ワークショップ参加者がすぐに現場でゲノム編集を利用し始めるのは困難なこともあると思われる。実際参加者へのアンケートでも具体的な手法や詳細について求める声が多くあった。そのため、ワークショップに参加された方のうち、ゲノム編集技術を実際に利用したいと考えている研究者を主な対象とした「植物ゲノム編集技術研修会」を開催した。研修会はより詳細な内容の講義と施設の見学で構成し、2018年

3月と2019年2月につくばの農研機構で行った。講義では、ゲノム編集の研究開発状況や規制についてのワークショップ以降の最新情報のほか、実験を行う際に必要となる研究施設、機器、技術、バクター、コスト等の研究体制や支援体制についての詳細な解説を行った。また、知財についてはゲノム編集に詳しい弁理士を招き、最新の動向を解説するとともに参加者からの疑問に答えた。施設見学では、研究室でDNA分析機器などゲノム編集研究を行う上で使用する機器を見ていただいたり、温室や隔離ほ場の見学を行った。関連技術としてタンパク質やRNAをコムギの未熟胚に直接導入するin planta Particle Bombardment (iPB)法の紹介を行った。

研修会には2017年度は11名、2018年度は21名の方に参加いただいた。ワークショップとは異なり少人数で行うことにより、参加者と講師、および参加者同士が深く意見交換することができた。参加者からは「理解を深めることができた」「施設を見学できてよかった」といった声が多く得られ、満足度の高い研修会を開催することができたと考えられる。参加者が各所属元でゲノム編集技術を活用していただく契機となることを期待している。

5. 今後の展望

本ワークショップ開催後の2019年2月に環境省、3月に厚生労働省からゲノム編集技術を利用して得られた生物や食品等の取扱方針がまとめられ、具体的な方針が明らかとなった。さらに、農林水産省や文部科学省、経済産業省も各省の所掌を踏まえた取扱方針を示した。現時点ではまだ日本で上市されたゲノム編集作物・食品はないが、今後、多くの民間企業や公設試がゲノム編集技術を活用した作物育種を進められることを期待する。本ワークショップや研修会がその1つの契機となれば幸いである。本稿では2017年

度と2018年度に開催した植物ゲノム編集技術ワークショップについて述べたが、本ワークショップは2019年度も10月から11月にかけて福岡、大阪、名古屋で開催した。また2020年1月には東京で一般の方にも参加いただけるワークショップを実施した。

ゲノム編集技術を育種現場に普及させていくことも重要であるが、アンケートにもあったように消費者に受容されなければ作出された作物は普及しない。そのため農研機構ではゲノム編集について一般市民に正確な情報提供を行うアウトリーチ活動も進めている。2017年度、2018年度には農林水産省の委託事業（農林水産先端技術の社会実装の加速化のためのアウ

トリーチ活動強化委託事業）を受託し、サイエンスカフェや出前講義、工作・実験教室、科学イベントへの出展など、2年間で160回のイベントを実施し、約5,000名の方とのサイエンスコミュニケーション活動を行ってきた。2018年度には食を中心とした業界関係者（ステーキホルダー）を対象とした情報提供および情報収集を9回、約500名に対して実施し、ゲノム編集技術の普及を図っている。

ゲノム編集の特性を生かし、消費者にとって魅力のある有用な作物が開発されることが普及と受容の前提であることは言うまでもないことであるが、私たちの活動もゲノム編集技術の有効活用の一助となれば幸いである。

田畑の草種

姫稈萩（ヒメミソハギ）

（公財）日本植物調節剤研究協会
兵庫試験地 須藤 健一

ミソハギ科ヒメミソハギ属の一年草。日本全土の水田や湿地に普通。高さ20cm～30cm。大きな草体ではよく分枝するが抽水状態や小さな草体ではあまり分枝しない。茎は4稜で葉も枝も十字対生状に伸長する。葉腋に1.5mmほどの小花が密生する。花卉は淡紅色で4枚、ごく小さいか、ないものもある。

日本在来であるがその地味な花ゆえに人目につくことはなかった。ところが最近になって、田んぼに背丈が50～60cmで十字対生状に葉や枝を出す草が目につくようになった。花色が淡紅色であることからヒメミソハギかと観察すると、葉の幅が随分と狭く、基部が耳のように丸く広がって茎を巻いている。北アメリカ原産のホソバヒメミソハギであった。

ホソバヒメミソハギはヒメミソハギに比べると背丈も高く花も大きく、田んぼの中や畦際にあっても比較的よく目立つが、ヒメミソハギはほとんど目立たない。そんな目立たないヒメミ

ソハギであるが、和名は「姫」「稈萩」で、ミソハギに似ていて小さく可愛いから名付けられたとされる。その和名のもとになった「稈萩」は花が咲くと遠目にも良く目立つくらいに鮮やかなのではあるが・・・。

ミソハギは「稈」「萩」からミソハギと名付けられたという。しかし蝶形花でもなく、複葉でもなく、およそ「萩」の仲間からは程遠い。ある説によると、水辺に自生しているミソハギを遠目に見た時、あたかも「萩」の花のように見えたからというが、その「稈萩」より小さくて「かわいい」からと名付けられた「姫稈萩」は、遠目に見ようと「萩」の面影はない。同属の帰化種である「細葉姫稈萩」や最近九州方面から広がりがつつある「南国姫稈萩」なども、「姫稈萩」より花はわずかに大きい「稈萩」に比べてどれもこれも地味な花であり、およそ「萩」らしくはない目立たない花である。