

産学連携が拓く「食」のイノベーション 育種、栽培技術から産業創出まで多彩に

江面 浩 Ezura Hiroshi

筑波大学 生命環境系/つくば機能植物イノベーション研究センター 教授
2019年よりOPERA「食と先端技術共創コンソーシアム」
領域統括

福田 直也 Fukuda Naoya

筑波大学 生命環境系/つくば機能植物イノベーション研究センター センター長
2019年よりOPERA「食と先端技術共創コンソーシアム」
人材育成部門リーダー

三浦 謙治 Miura Kenji

筑波大学 生命環境系/つくば機能植物イノベーション研究センター 教授
2019年よりOPERA「食と先端技術共創コンソーシアム」
研究戦略部門リーダー

内山 公子 Uchiyama Kimiko

亀田製菓株式会社 お米総合研究所 機能性素材研究チーム
マネージャー
2021年よりOPERA「食と先端技術共創コンソーシアム」
研究開発課題4-1 責任者

樋口 裕樹 Higuchi Yuki

亀田製菓株式会社 お米総合研究所 機能性素材研究チーム
アシスタントマネージャー
2021年よりOPERA「食と先端技術共創コンソーシアム」
研究開発課題4-1 研究者



特集 1

OVERVIEW ■

相次ぐ気象災害の発生や世界情勢の変化が、食料安全保障の脅威となっている。加えて、世界人口の増加や農業就業者の高齢化と労働力の不足、需要と供給の偏在など、「食」をめぐる社会的課題は実に多様だ。筑波大学つくば機能植物イノベーション研究センターの江面浩教授が率いるOPERA「食と先端技術共創コンソーシアム」では、これらの課題に産学の強力な連携で挑む。有用作物の育種をはじめ、栽培技術の開発から次世代産業の創出など、多彩なアプローチで取り組み、速やかな社会実装を実現する。

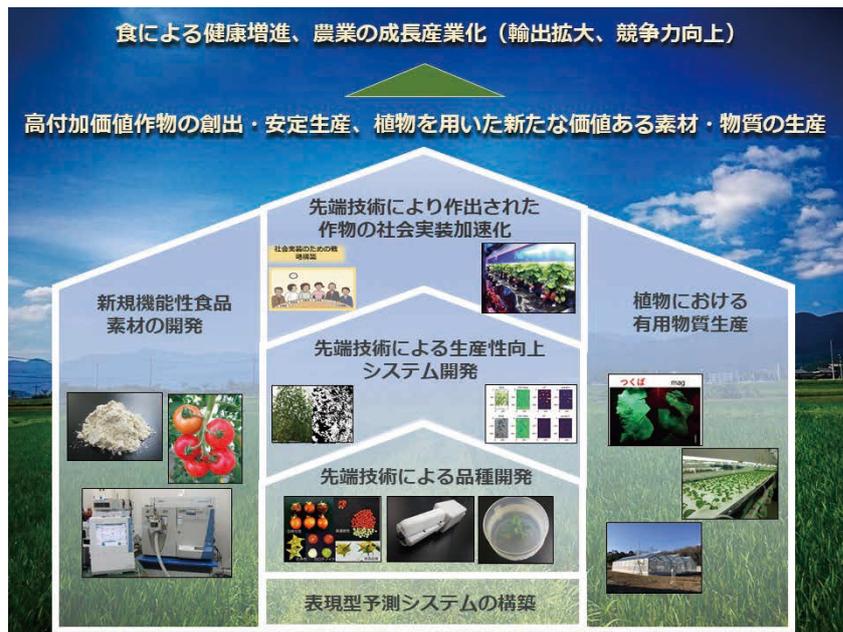
食べ慣れた作物の生産維持 ゲノム編集技術で可能に

世界的な課題である、食料安全保障の維持に貢献する技術の1つとして期待されているのが、ゲノム編集技術だ。この技術を用いて創出されたゲノム編集作物はすでに販売されており、実際に手に入れることもできる。例えば、筑波大学つくば機能植物イノベーション研究センターの江面浩教授が手掛けたトマトの新品種「シシリアンルーージュハイギャバ」は、2020年12月に厚生労働省への届け出が受理され、世界で初めて、国の販売承認を得たゲノム編集作物として知られている。

シシリアンルーージュハイギャバは、健康機能成分の1つであるGABAを通常の4~5倍含み、高血圧の予防やストレス緩和にも効果が期待できると注目されている。種苗の開発と販売を実現したのは、筑波大学発ベンチャーのサナテックシード(東京都港区)だ。販売に先立ち募集した無料栽培モニターには、5000件を超える応募が集まったという。21年9月からは、家庭菜園向けの種苗の予約販売をはじめ、契約農家で生産したシシリアンルーージュハイギャバの果実や、それを使った加工食品の販売も始まり、社会実装としては上々の滑り出しを見せている。

また注目すべきは、そのスムーズな市場展開だ。実現の秘訣は、研究開

図1 コンソーシアムの概要



農作物の新たな改良技術の確立をはじめ、その基盤となる遺伝子解析とライブラリー化、新しい機能性食品の開発、先端技術で作られた作物やシステムの普及までをテーマに据える。研究開発と出口戦略となる市場展開を同時に目指す。品種の力と作る技術の両輪、さらにそのような先端技術を用いて創出した食品をどのように社会に受け入れてもらうかを加えた3つの要素が、うまくかみ合うことが重要だ。

発者自らが商品化に携わり、市場における普及展開に向けた消費者の理解促進の取り組みまでを、一気通貫して行う仕組みにあるという。その拠点となったのが、OPERA「食と先端技術共創コンソーシアム」だ。新たな食の価値観の創出と拡大、それを通じた産業イノベーションの推進を目標に掲げ、22年6月時点で、16の大学と16の企業が集う(図1)。またコンソーシアムでは、ゲノム編集技術そのものの研究開発だけでなく、ゲノム編集食品の理解促進に向けた

活動も行っている(図2)。

食を共通のキーワードに、産学の研究開発と、商品化などを通じた成果の社会実装を一丸となって目指す。コンソーシアムの領域統括で、サナテックシードの取締役最高技術責任者も務める江面さんは「このコンソーシアムが、国内外のゲノム編集食品、ゲノム編集作物の中核拠点の1つになると考えています」と話す。

江面さんが、農作物の品種改良にゲノム編集技術を取り入れるきっかけとなったのは、12年に発表されたクリスパー・キャス9だ。従来のゲノム編集技術と比べ、簡単な操作で効率よく狙った遺伝子の書き換えを可能とする技術で、開発者のシャルパンティエ教授とダウドナ教授は、20年にノーベル化学賞を受賞している(図3)。ゲノム解読の終了した品目の1つであるトマトに、CRISPR-Cas9で、GABA生合成酵素の活性化をターゲットとするゲノム編集を行った。すると、高GABAの

図2 ゲノム編集技術応用食品の理解と普及に向けた取り組み

コンソーシアムでは、ゲノム編集技術を活用した作物開発と併せて、ゲノム編集食品への理解を促進する取り組みも行っている。また、ゲノム編集食品の安全性や取扱いを一般の方にも分かりやすく説明したアニメーション動画を作成している。

発現は8割以上と成功率も高く、どの品種にも適用可能だという。

ゲノム編集の強みは、外部から他の遺伝子を導入することなく、ピンポイントに改良ができることだ。従来の品種改良では、10年から20年かけて期待する突然変異が起こることを待っていたが、およそ2年という短期間でそれが可能になる。江面さんは「食べ慣れた作物が、今後いつまでも食べ続けられるとは限りません。病気に弱くなるなど、生産できなくなる可能性もあります。そうしたときに、ピンポイントで問題点を改良し、生産の維持に貢献できるのがゲノム編集技術です。今後さらに有用となっていくでしょう」と語る。現在は、日持ちのよい品種や、受粉しなくても実がなる単為結果作物などの創出にも力を入れているという。

画像解析で植物の状態を把握 ロボットが作業を行う温室へ

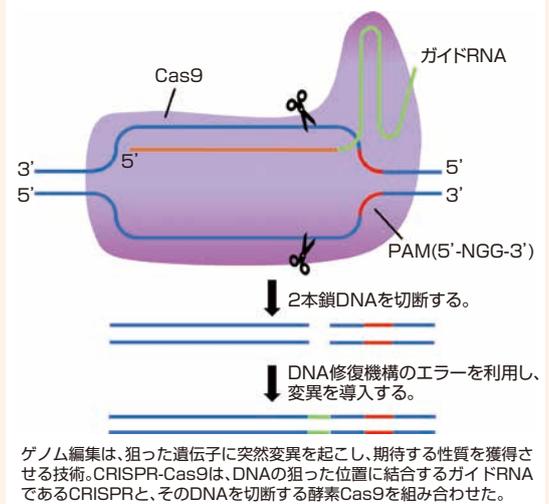
作物の品種改良にとどまらず、コンソーシアムは多岐に及ぶテーマに取り組んでいる。その1つが、温室内環境情報や画像解析技術を用いた、

省力型生産管理手法の研究開発だ。今後迎える超高齢化社会では、食料生産に関わる労働力の確保が課題となる。先端技術を取り入れた、新しい生産システムの確立が欠かせない。農作物の生育管理には、植物が今どのような状態にあるのか見極める必要があるが、目視で的確に評価できるのは、ベテランの農業者に限られる。多くの農業者がベテランと同等の管理を行い、品質や収量を上げるシステムを作ることが課題となる。

筑波大学つくば機能植物イノベーション研究センターの福田直也センター長は「植物の成長を人の感覚ではなく、数値として解析し、それを元にした管理を行う技術を研究しています」と話す。これを、厳密な管理を要し、温室栽培される園芸作物を対象に検証しているという(図4)。

「温室内の条件や植物の状態を数値化し、数学的なモデルに当てはめ

図3 CRISPR-Cas9によるゲノム編集技術の概要



(出典: Curr. Issues Mol. Biol. 2022, 44(6), 2664-2682)

ることで、次の成長を予測します。そこから生産性や品質を向上する管理につなげていきます」と福田さん。センター内の農場には、日本各地の温度や湿度を再現した5つの温室が並び、その中で画像やセンサーを用いて、植物の生育スピードや養分の利用率などのデータを取得している。これらを基礎データとして、自動解析と評価を実現するAIの確立を目指している。

21年には、温室の無人管理を目

図4 高品質かつ高収量のための生産支援技術開発

自動走行センシング/作業ロボット

各器官を識別できるAIシステム

人工衛星情報による気象予測

AIによる完全自動マト栽培技術を実現

AIによる植物センシング

- 腋芽位置, 果実位置, 葉位置
- 開花～収穫までの果実肥大速度
- 花数, 葉数, 果房段数
- 茎伸長速度

自律行動が可能な作業ロボット

長期/短期気象予測に基づく収穫時期や果実品質の予測

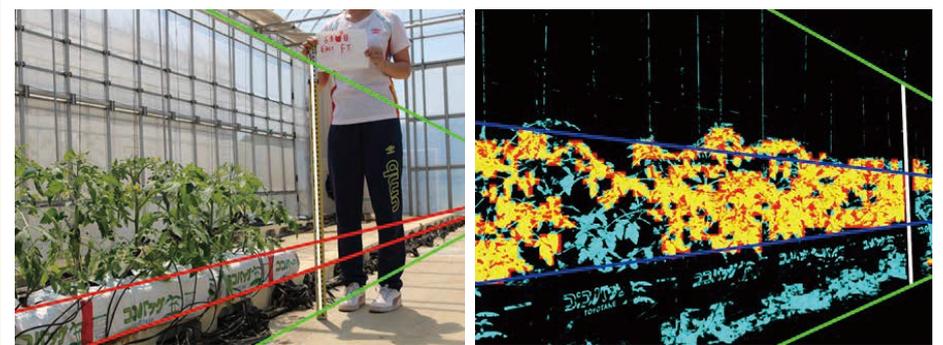
要素技術の開発は①葉面積指数(LAI)を元にした生育力の把握、②果実や花の位置を認識するとともに発達段階の正確な把握、③植物に異常が生じた際に、できるだけ事前に察知できる技術の3つの観点で進められている。これらの技術と、人工衛星の情報を用いた温室内の環境変動予測、気象変動予測を組み合わせ、連携システムの完成を目指す。

指す要素技術の1つとして、植物の静止画像から葉面積指数(Leaf Area Index, LAI)を導き出し、生産管理に役立つ手法を確立した(図5)。LAIは植物の管理指標の1つで、植物の葉がどれだけ光合成を行い、でんぷんなどの同化産物を生産するかを示す。高すぎても低すぎても生産性は向上しない。これを植物体の静止画像から、正確に把握するための画像解析手法を開発し、特許の申請にも至った。

「完全無人の温室ができるのは、おそらく10年以上先のことになるでしょう」と福田さんは見立てている。コンソーシアムでは、要素技術の開発を進め、順次実用化を狙う。22年4月には、社会展開を見据えた筑波大学発ベンチャーであるアイクス(茨城県つくば市)の立ち上げにもこぎ着いた。確立した要素技術をアプリケーションとして実用化し、できたものから順に世の中に送り出す。まずは、スマートフォン1つで栽培管理に役立つ情報が取得できるサービスを展開していく。温室の新設などの大掛かりな投資を必要とせず、導入時の技術的、経済的負担を軽減することで、スムーズな普及への足掛かりになると期待している。

福田さんは「従来は、ベテラン生産者のみが感覚で捉えていた作物の生理的状态を、人工知能と画像解析で把握する技術の実現可能性を示すこと

図5 LAI予測技術の開発



栽培植物群落を撮影すると、手前から奥へ台形の画像が取得される。台形補正技術を確立し、LAI画像認識精度を向上させ、実測データとの誤差を最小にとどめることを目指している。

ができました」と自信をにじませる。将来的にはそれらのアプリケーションを組み合わせ、統合しながら、ロボットとも連動させていきたいと展望する。異常があれば自動で薬剤を散布し、人の手に近い感覚で果実の摘み取りを行うなど、ロボットが自動作業を行う温室の実現を目指していく。

植物が作るたんぱく質を活用 医療・健康分野への貢献も

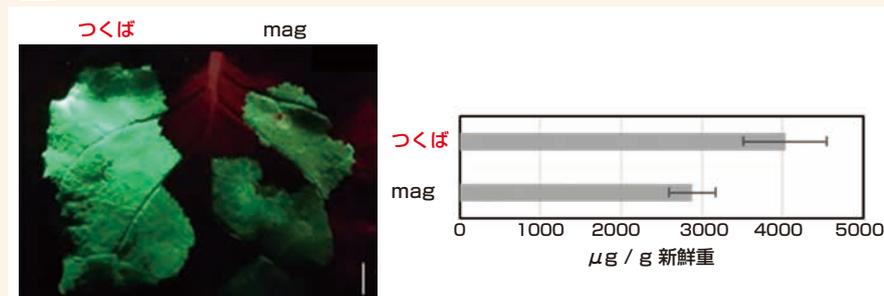
コンソーシアムでは、植物に有用物質を生産させる研究も進められている。けん引するのは、筑波大学つくば機能植物イノベーション研究センターの三浦謙治教授だ。モデル植物のベンサミアナタバコに、アグロバクテリウムを介して、目的のたんぱく質を産生する遺伝子を導入する。植物細胞の中でウイルス由来の自己複製の仕組みが働き、たんぱく質が

生成して蓄えられていく(図6, 7)。「サイトカインや細胞増殖に関わるたんぱく質を作り、医療分野への貢献を目指しています」と三浦さん。

植物を用いた有用たんぱく質の生産は、コストが安い反面、導入した遺伝子の発現量が低いという問題があった。三浦さんらは、ベクターに改良を加えた「つくばシステム」という独自の手法を開発し、たんぱく質を大量発現させることに成功した(図8)。「通常、ウイルスベクターには、タバコモザイクウイルスが用いられますが、私たちはジェミニウイルスを使っています。これにより、タバコ以外の植物、例えばトマトやメロン、レタスなどの植物にも適用できます」と説明する。つくばシステムを基盤技術として、植物によるたんぱく質生産の汎用化を目指し、次世代産業の創出も実現しようとしている。

これに対して、植物がもともと作り

図6 つくばシステムの優位性



(出典: Sci Rep. 2018 Mar 19;8(1):4755. doi: 10.1038/s41598-018-23024-y.)

狙った遺伝子が導入されたことを確認するため、光るたんぱく質(GFP)を発現させた(左写真)。これまでに開発された植物一過的たんぱく質発現システムに比べ、短時間で高収量のたんぱく質の生産が可能となった。ベンサミアナタバコを用いた場合、3日でおよそ4000 µg/g新鮮重のたんぱく質を生産できる。グラフは、商用で用いられているmagniCONシステム(mag)との比較。

図7 光るたんぱく質(GFP)でたんぱく質発現部位が発光するタバコ



ジェミニウイルス投与した部位の周辺が斑点状に発光している。

図8 つくばシステムの特徴



つくばシステムでは、タバコ以外の植物でもたんぱく質の発現が優位に認められる。ベクターとしてジェミニウイルス由来の複製システムと、目的のたんぱく質を発現させる転写領域を確実に転写終結させるダブルターミネーターを組み合わせたことが特徴だという。(写真:つくばシステム(左)、従来法(右))

(出典:Sci Rep. 2018 Mar 19;8(1):4755. doi: 10.1038/s41598-018-23024-y.)

出すたんぱく質を、最大限有効に活用しようとする研究も行われている(図9)。研究チームを率いる亀田製菓お米総合研究所機能性素材研究チームの内山公子マネージャーは「弊社はおせんべいを作る会社として、原料となる米の有用成分に注目しています。米のたんぱく質は、6~7パーセントと少ないですが、昔から日本人の健康に貢献してきた歴史があります」と語る。米に含まれるたんぱく質を、さまざまな消化酵素で分解することで、多様な機能を有する分解産物のペプチドが生成するという。

個々のペプチドが持つ機能を詳細に分析し、臨床試験を経て、健康機能性食品としての製品化を目指している。内山さんとともに研究を手掛ける亀田製菓お米総合研究所機能性素材研究チームの樋口裕樹アシスタントマネージャーは「骨代謝を上げて骨を強化することや、腎障害の予防、抗肥満効果などに着目した研究開発を進めています」と話す。亀田製菓では長年、慢性腎臓病患者向けの低たんぱく質ご飯の製造を行ってきた。「米から除去した有用なたんぱく質を有効利用したい」。こうした強い思いが、研究の原動力となっているという。資源を最大限活用する技術は、

持続可能な食料生産に向けた重要な視点となりそうだ。

大学と企業の二人三脚 健康で美味しい食の未来

このように多彩なアプローチで食の未来を拓こうとするOPERA「食と先端技術共創コンソーシアム」の強みについて、江面さんは次のように話す。「コンソーシアムには、多様なテーマに取り組む研究者をはじめ、事業化に直結する企業にも、開発段階から参加してもらい、即戦力で世の中に展開する仕組みをとっています。消費者に物を販売し、直接生の声を聞く企業の参加は、研究者にとっても心強いものです。新しいチャレンジを二人三脚で進めていきたいです」。

また食と新技術の関わりについて、福田さんは「消費者の需要や要望が多岐にわたる今日、お腹が膨らむだけでなく、食べることにより生活の質、つまりQOLを高めながら、持続的な生産を達成しなければなりません。今後は、新たな技術の導入とそれをサポートする政策、これが不可欠となっていくでしょう」と展望する。

研究開発の成果が、社会に根差して実を結ぶよう、コンソーシアムは

力強い産学の協働体制で挑んでいく。江面さんは最後に「コンソーシアムも残り3年になりました。もう一息で新たな商品が、どんどん出てくると思います」と意欲をにじませる。美味しく食べて健康を目指す、食の未来の実現に向けた新技術から、今後目も離せない。

(TEXT:西岡真由美、PHOTO:石原秀樹)

図9 米たんぱく質とペプチド粉末



亀田製菓はOPERAへの参画を通じ、米たんぱく質による新たな価値創出を目指している。米たんぱく質(上)を分解して得られるペプチド粉末(下)は、少量の摂取でも機能を発揮する。

(画像提供:亀田製菓)