



国立研究開発法人
農業・食品産業技術総合研究機構

NARO

農研機構技報

Technical Report

No. 12
Mar. / 2022



研究成果を未来へ

つなげるⅡ

Topics

「みどりの食料システム戦略」の
実現加速化に向けた
農研機構の取組

History

温故知新

ロバスト農業システム

気候変動や災害に対して強靭な生産基盤の構築と、生産性向上と環境保全との両立を目指す。



天敵を活用した
害虫防除技術

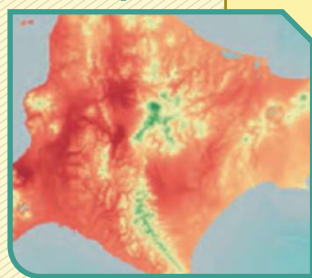


全国デジタル
土壌図

農業データ連携基盤

WAGRI

WAGRIによるデータの **連携** **共有** **提供**



メッシュ農業
気象データシステム

Public Data

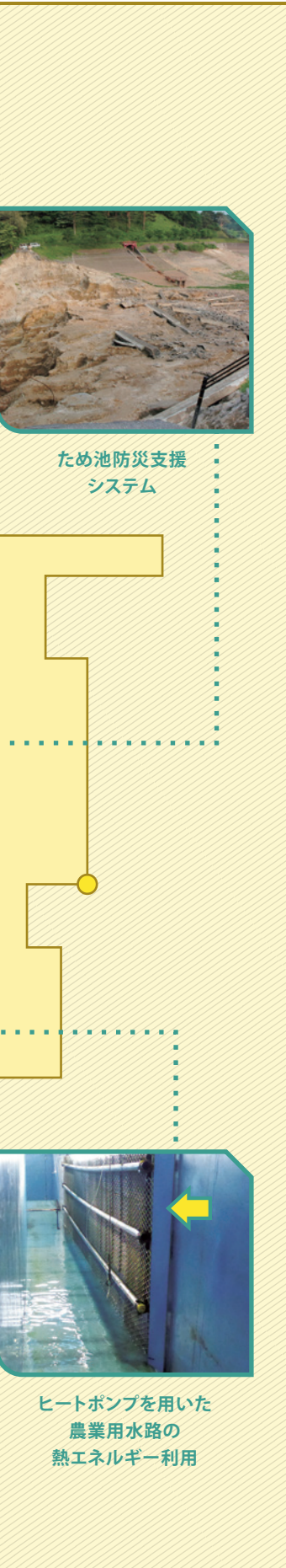
Private Data



農地・農業用水路の生物多様性評価



ICT水管理システム



- 04 農研機構「技報」を創った人たち
田中 康治
- 06 サツマイモ基腐病菌の
新しい検出・同定技術を開発〔輸出戦略〕
井上 博喜 藤原 和樹
- 10 世界で需要が高まる抹茶の国際標準化推進〔輸出戦略〕
谷口 郁也
- 14 干ばつによりイネの根が
貧弱になる仕組み〔生物の環境ストレス耐性〕
川勝 泰二
- 18 干からびても死なない生物ネムリユスリカが持つ
乾眠に必要な物質〔生物の環境ストレス耐性〕
黄川田 隆洋 コルネットリチャー
- 22 セイヨウミツバチを水田における
夏季の環境ストレスから守る〔生物の環境ストレス耐性〕
大久保 悟
- 26 トマト用接ぎ木装置を開発〔スマート化・自動化〕
中山 夏希
- 30 安価かつ簡便にハウスの遠隔監視に使える
IoT機器「通い農業支援システム」〔スマート化・自動化〕
山下 善道
- <トピックス>
- 34 ▶「みどりの食料システム戦略」の実現加速化に向けた
農研機構の取組
原田 久富美
- 38 温故知新

つなげるⅡ

農研機構「技報」を 創った人たち

農研機構 広報部長

田中 康治

TANAKA Koji



「技報」の創刊号から今回発行の第12号までを並べてみる。年4号発行なので、ちょうど3年分だ。創刊3年の節目に当たり、「技報」を創ってきた人たちの話をしたい。

「技報」創刊はトップの決断だった。久間理事長の「いかに優れた研究でも、実用化され現場で使われなければ意味がない。農研機構が生み出した研究開発成果をユーザーとなり得る方々に届けよう」という強い意志。それまで、農研機構には定期発行する技術情報誌がなかった。

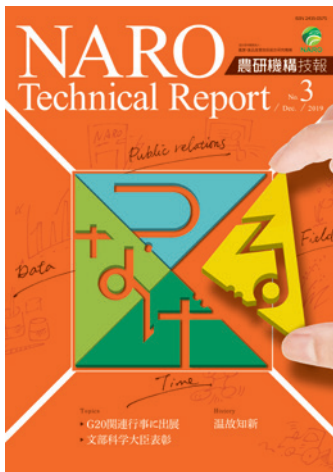
これを受け広報部でコンセプトを検討した。広報経験豊富な担当者が中心となり、うまくまとめてくれた。写真や図表を多く使い、学術的表現でなく、生産者や企業の方々にわかりやすく書く。技術導入の

是非を検討できる情報を掲載する。1つの技術について数ページでコンパクトにまとめる。デザインはシャープに格好良く。

紹介する技術の選定等のため編集委員会を作った。本部の研究サイドの幹部にも参加してもらい、多くの研究成果の中から特に使って欲しい技術を厳選することとした。

執筆は技術開発者など最も詳しい人に依頼する。時局の要求する技術を生み出した研究者にとっては、最も忙しい時期の執筆になる。例えば、今号にはサツマイモ^{もとぐされびょう}基腐病関係の技術を温故知新も合わせて2つ紹介している。基腐病は海外から侵入したサツマイモの重要病害。2018年に沖縄県で確認され、2022年2月までに国内25都道県で発生





している。今、人間界では新型コロナウイルス感染症対策で大変だが、サツマイモ界では基腐病対策で大変なのだ。農研機構の研究者は、今行うべき作業を生産現場に紹介したり、新しい技術を開発したりしている。非常に多忙な中、執筆してくれた研究者に感謝している。

初稿が出来たら査読を行う。同じ分野の他の研究者や広報部が、記述の正確性、わかりやすさを見る。大幅修正は珍しくない。全く内輪の話なのだが、技報を制作しているチームは農研機構を訪問される要人の視察対応も担当している。業務が重なった時はとても大変だ。そんな時でも、黙々と激務をこなして技報を完成させてくれる。「技報」は担当者、農研機構内の協力者、制作委託会社のすべてに恵まれ

てきた。こういう人たちの努力あつての「技報」なのだ。

さて、以上のような関係者の努力は「技報」の価値とは一応別物である。読まれ、活用されなければ「技報」に意味はないのだ。農研機構の代表的刊行物となり技術普及に活用されている。冊子を届ける農林水産省でも概ね好評の感触がある。しかし、コロナ禍によりイベントなどで直接生産者や企業の方と接する機会は減ってしまった。私たちの作る技報は役に立っているのか？現場でこそ真価が問われる。

皆様の声を聞かせていただきたい。

『農研機構技報』読者アンケート

<https://prd.form.naro.go.jp/form/pub/naro01/ntr>



もどぐされ サツマイモ基腐病菌の 新しい検出・同定技術を開発

井上 博喜 藤原 和樹

INOUE Hiroyoshi

FUJIWARA Kazuki

はじめに

かんしょ(サツマイモ)は青果用だけでなく、でん粉用、アルコール(焼酎)用、加工食品用に栽培されています。令和2年度の日本全国における作付面積は33,100haであり、収穫量は、上位4県(鹿児島、茨城、千葉、宮崎)で全国の75%以上を占めています¹⁾。近年は国内だけでなく、海外でも日本のかんしょ品種が好まれ、輸出量が年々増加しています。このような状況において、2018年に沖縄県で、国内未発生のサツマイモ基腐病が発生し、同年11月30日に病害虫発生予察特殊報が発表されました。また、12月11日に鹿児島県、翌年1月22日には宮崎県からも特殊報が発表される事態となりました。その後、本病の発生確認が全国で相次ぎ、2022年2月までに国内25都道府県での発生が公表されています。

すでに国内には基腐病菌と近縁種の病原菌によって引き起こされるサツマイモ乾腐病^{かんぶ}が存在していました。両病原菌は、かんしょでの症状および菌の形態的特徴が似通っており、発生した病気の診断に時間を要していました。そこで、サツマイモ基腐病菌を検出・同定し、基腐病を迅速かつ高感度に診断するためのリアルタイムPCR^{*1}を用いた遺伝子診断法を開発しましたので、その内容をご紹介します。

サツマイモ基腐病について

サツマイモ基腐病は、糸状菌の一種*Diaporthe destruens* (旧学名:*Plenodomus destruens*、異名:*Phomopsis destruens*)の感染によって引き起こされる病害です²⁾。初期症状として、かんしょの生育期の株の基部(地際部)が暗褐色から黒色に変色します。そして、葉が赤変もしくは黄変し、生育は不良となり、最終的には株が枯死します。また、地上部の枯死だけでなく、基腐病菌は^{しよこう}茎梗^{しよこう}から塊根へと広がります。塊根では外観は変色し、割ると内部が褐色から暗褐色に変色・腐敗し、独特の臭気を出します(図1)。収穫時に見た目は健全な塊根でも、基腐病菌が潜在感染しており、貯蔵中に病気が進行することがあります。基腐病菌は茎や塊根の腐敗部の表面に^{へいしかく}柄子殻^{へいしかく}と呼ばれる組織を作り、その中に形成される胞子が近隣株へと広がることで拡大していきます。

リアルタイムPCRによる検出

かんしょに生じている症状が基腐病であるかどうかを判断することは、迅速な初期対応や発生地域の拡大阻止のため重要です。今までの診断技術については、病気の発生した植物組織から基腐病菌を分離・培養し、生育し

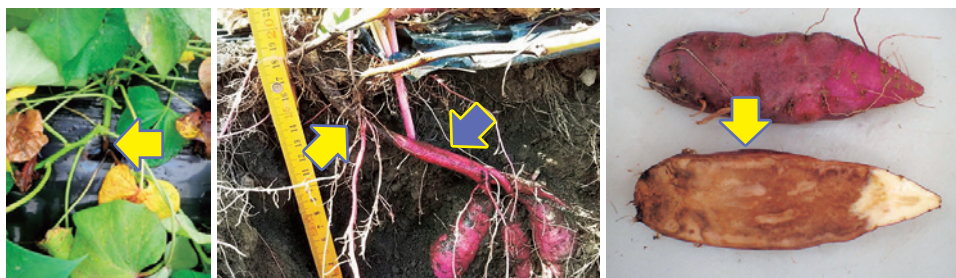


図1

サツマイモ基腐病の症状

(青色矢印: 茎梗)(黄色矢印が発病部位、左: 茎、中: 地下部、右: 塊根)

生研支援センターイノベーション創出強化研究推進事業(01020C) 令和3年度版マニュアル「サツマイモ基腐病の発生生態と防除対策」より



てきた菌の形態の顕微鏡観察に基づく診断を行う必要があり、2週間以上の時間を要していました。基腐病菌の遺伝子診断法として、海外において、コンベンショナル(従来の)PCR^{※3}法による方法が報告されていましたが、国内既発生のサツマイモ乾腐病の病原菌(学名:*Diaporthe batatas*)をサツマイモ基腐病菌と誤診してしまう可能性があることが明らかとなっていました。そこで、宮崎、鹿児島、沖縄の各県で2018年に分離された基腐病菌と乾腐病菌の分離株およびNCBI(National Center for Biotechnology Information、国立バイオテクノロジー情報センター、米国)データベースに登録されている両菌のrRNA遺伝子のITS1領域およびITS2領域^{※4}の塩基配列情報を比較し、基腐病菌を特異的に検出できるPCRプライマーを設計しました。このPCRプライマーを用いて、PCRの条件設定を行い、基腐病菌を高感度に診断できる手法を確立しました³⁾。本方法では、最短で1日で診断が可能です。リアルタイムPCRによる診断の工程としては、**1**病

斑組織からのサンプリングおよび前処理、**2**核酸抽出、**3**リアルタイムPCRの3段階の作業手順があります。

1 病斑組織からのサンプリングおよび前処理

発病部位は株の基部、塊根であるため、土や汚れが付着していることが多く、水道水で洗い落としておくことが重要です。発病している組織は、茎の場合は病斑部を含む5~10mmを、塊根の場合、病斑部を含む塊根表面7mm角四方をメスやカッターで切り出します(図2)。切り出した組織はすり鉢やビーズ式細胞破碎装置などを用いて磨砕^{まさい}します。

2 核酸抽出

磨砕したかんしょ組織から全DNAを抽出します。可能であれば市販のDNA抽出キットを使用すると、効率よくかつ短時間で作業が行えます。筆者らはDNeasy Plant Mini Kit(Qiagen社)を使用しています(図3)。

3 リアルタイムPCR

抽出したDNAを鋳型として、リアルタイムPCRを行いま

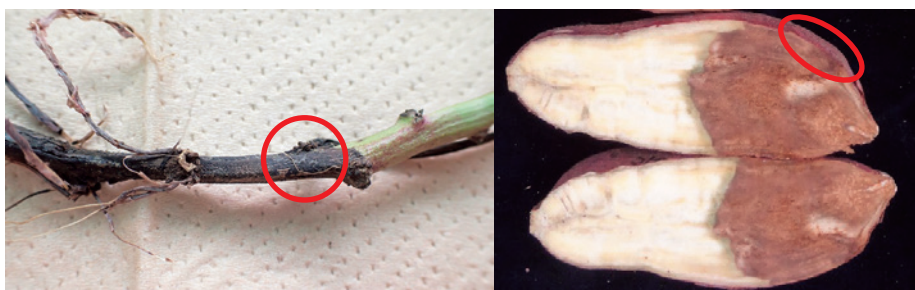


図2
基腐病診断のためのサンプリング位置
(左:茎、右:塊根)
赤丸はサンプリング位置の例



図3
DNA抽出キット、リアルタイムPCRの機器と試薬
左(DNA抽出キット):
DNeasy Plant Mini Kit(Qiagen社)
中(リアルタイムPCR機器):
QuantStudio 5(Thermo Fisher Scientific社)
右(リアルタイムPCR試薬):
TB Green Premix Ex Taq II(TaKaRa Bio社)

す。リアルタイムPCRに使用する機器および試薬については、各社から販売されていますので、診断を開始する前に実験系の確認をする必要があります。筆者らは、機器はQuantStudio5リアルタイムPCRシステム(Thermo Fisher Scientific社)、試薬はTB Green Premix Ex TaqII (Tli RNaseH Plus) (TaKaRa Bio社)を使用し、良好な結果を得ています(図3)。PCRプライマーは基腐病菌に特異的なDdITSプライマーセットを用います(表1)。リアルタイムPCR工程の条件は図4の通りです。病斑組織から抽出したDNAと同時に、ポジティブコントロール(陽性対照)として基腐病菌の菌体または孢子由来のDNA、ネガティブコントロール(陰性対照)として健全かんしょ株の茎または塊根由来のDNAおよび滅菌水を供試し、リアルタイムPCRを行い、陽性となる結果が得られるまでの反応サイ

クル数(Ct値)や増幅産物の融解温度(Tm値)を比較することで、基腐病の判定を行うことができます。

リアルタイムPCRによる検出精度

基腐病菌、乾腐病菌および近縁の糸状菌について、培養菌体から抽出したDNAを鋳型として、リアルタイムPCRを行ったところ、基腐病菌のみで特異的な反応が見られ、乾腐病菌と近縁の糸状菌では反応は見られず、誤診の可能性は極めて低いことが確認できました(図5)。融解曲線分析によって、基腐病菌に特異的な融解温度(Tm値)は86.9(±0.4)°Cでした。リアルタイムPCRでの検出限界(下限)は0.0005ng/μL濃度であり、孢子数に換算すると100個の孢子から抽出したDNAの量で検出が可能です。

表1 サツマイモ基腐病菌の検出・同定のためのPCRプライマー

プライマー名	配列(5'-3')	対象病原菌	断片長(bp)
DdITS-F	GTTTTTATAGTGATCTCTGAGC	サツマイモ 基腐病菌	258
DdITS-R	GGCCTGCCCCCTTAAAAA		

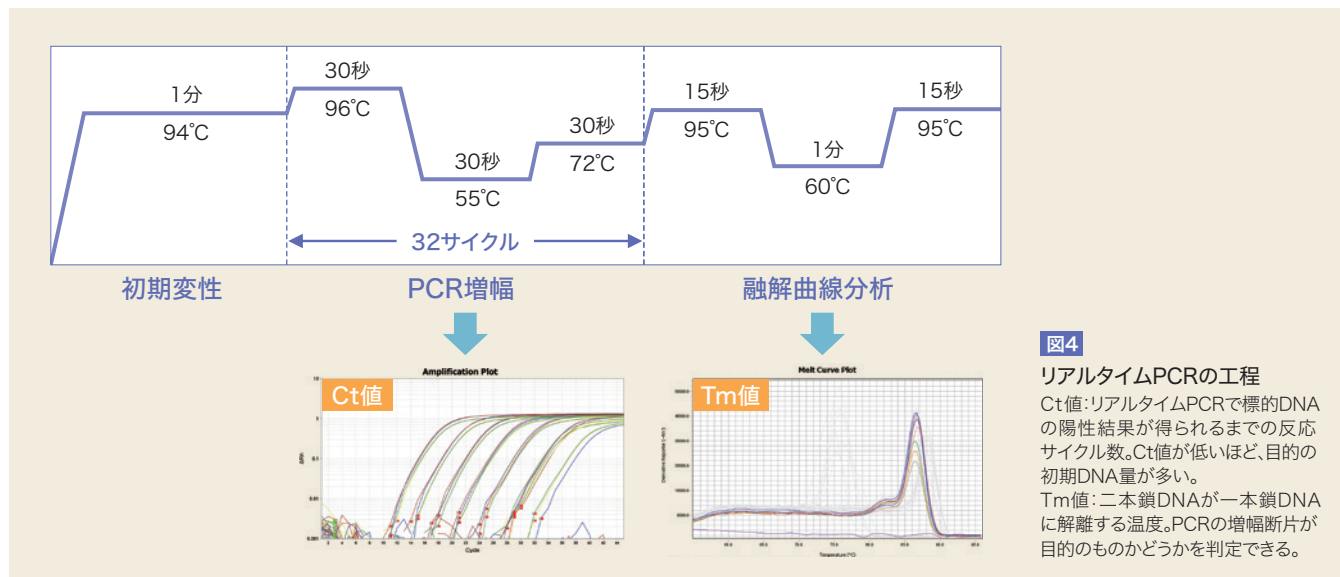


図4

リアルタイムPCRの工程

Ct値:リアルタイムPCRで標的DNAの陽性結果が得られるまでの反応サイクル数。Ct値が低いほど、目的の初期DNA量が多い。
Tm値:二本鎖DNAが一本鎖DNAに解離する温度。PCRの増幅断片が目的のものかどうかを判定できる。

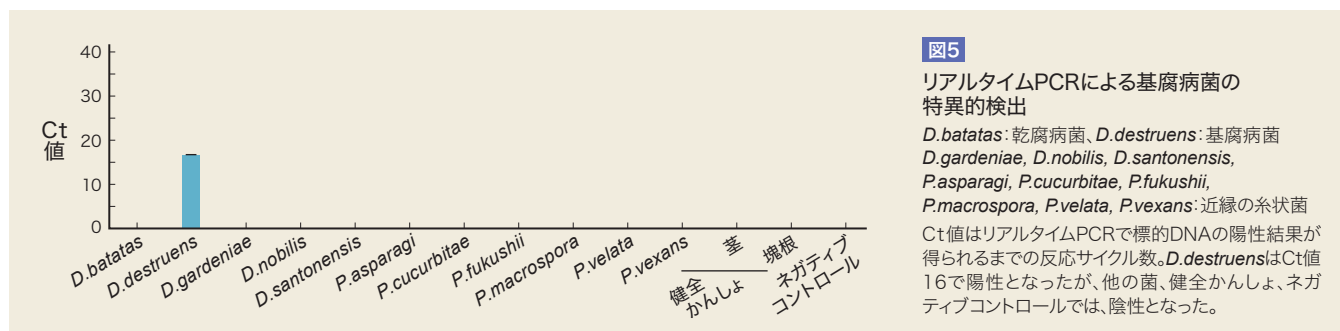


図5

リアルタイムPCRによる基腐病菌の特異的検出

D.batatas: 乾腐病菌、*D.destruens*: 基腐病菌
D.gardeniae, *D.nobilis*, *D.santonensis*,
P.asparagi, *P.cucurbitae*, *P.fukushii*,
P.macrospora, *P.velata*, *P.vexans*: 近縁の糸状菌

Ct値はリアルタイムPCRで標的DNAの陽性結果が得られるまでの反応サイクル数。*D.destruens*はCt値16で陽性となったが、他の菌、健全かんしょ、ネガティブコントロールでは、陰性となった。

コンベンショナルPCRによる 基腐病の診断・同定

リアルタイムPCRの機械は高額であるため、機器を整備するのが難しい場合があります。比較的安価に実験が可能なコンベンショナルPCRを用いたサツマイモ基腐病の検出・診断手法がLinらによって2017年に報告されていますが⁴⁾、先に述べたように、乾腐病菌を基腐病菌と誤診してしまう可能性が指摘されていました。そこで、基腐病菌および乾腐病菌の培養菌体から抽出したDNAを鋳型とし、リアルタイムPCRと同じプライマーおよび条件でコンベンショナルPCRを行い、Linらの手法との比較を行いました。その結果、Linらの手法では基腐病菌と乾腐病菌に類似のサイズの増幅産物が認められ、両者を区別することができませんでした。一方、筆者らの手法では、乾腐病菌では増幅産物が認められず、基腐病菌のみで増幅産物が確認できました(図6)。以上の結果から、リアルタイムPCR用に開発したPCRプライマーおよびPCR条件でコンベンショナルPCRを行うことで、既報の手法よりも高い精度で基腐病の診断ができることが明らかになりました。コンベンショナルPCRでも検出は可能ですが、リアルタイムPCRに比べて、検出感度・精度が低く、また、初期DNA量の定量はできません。

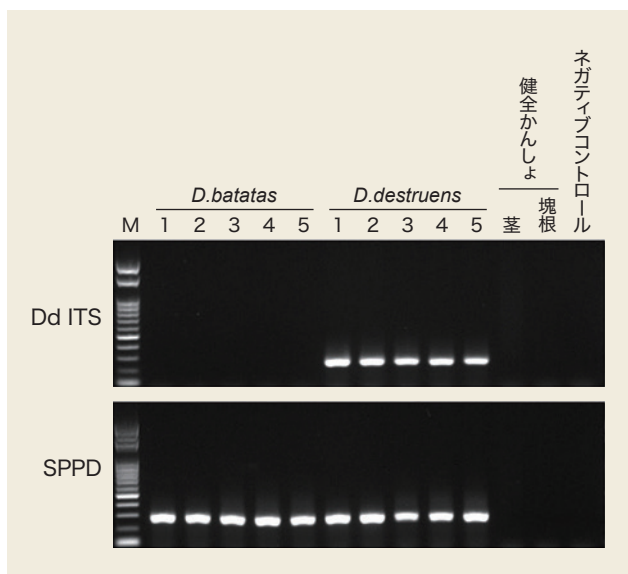


図6 基腐病菌検出のためのコンベンショナルPCR産物の電気泳動
上:筆者らの方法、下:既報のコンベンショナルPCR法、
TaKaRa Ex Taq Hot Start Version(TaKaRa Bio社)を使用
D.batatas:乾腐病菌、*D.destruens*:基腐病菌
DdITS:本法によるプライマー
SPPD:Lin et al.(2017)によるプライマー
(出展:Fujiwara et al., 2021, Front. Plant Sci., 12:694053)

おわりに

サツマイモ基腐病は国内では主に南九州地域で猛威をふるっており、現場では対策に苦慮しています。サツマイモ基腐病は海外では中国、韓国、台湾や南米でも被害をもたらしています。一方で、本病は、1913年にアメリカで初めて発生が報告された病害ですが、適切な衛生管理、種苗管理の結果、現在アメリカではほとんど発生が見られていません。このことから、日本でも克服できない病気ではないと考えられます。日本国内にどのようにして侵入してきたかは現在のところ不明ですが、発生地域での診断、防除対策、未発生地域への拡大防止のため、本法による検出・同定技術の活用で防疫対策への貢献を目指します。農研機構は、サツマイモ基腐病の対策マニュアル「サツマイモ基腐病の発生生態と防除対策」(P.38参照)を発行しており、防除対策の参考となれば幸いです。

(九州沖縄農業研究センター 暖地畑作物野菜研究領域
畑作物・野菜栽培グループ)
(植物防疫研究部門 基盤防除技術研究領域
越境性・高リスク病害虫対策グループ)

付記:本研究は、農研機構を代表機関とし、宮崎県、鹿児島県、沖縄県、生研支援センターによるコンソーシアムで実施したイノベーション創出強化研究推進事業「産地崩壊の危機を回避するためのかんしょ病害防除技術の開発」(2019～2021年度)の中で実施しました。

用語解説

- ※1 **リアルタイムPCR** DNA増幅を行うという点ではコンベンショナルPCRと同じだが、増幅するDNA量を蛍光標識によりリアルタイムに測定することで、検出感度・精度が上がることに加えて、増幅前の初期DNA量を定量できる。
- ※2 **蒔根** 地下のつと塊根をつなぐ部分。
- ※3 **PCR(コンベンショナルPCR)** ポリメラーゼ連鎖反応(Polymerase Chain Reaction)によるDNAの増幅方法で、加熱変性、プライマーのアニーリング、ポリメラーゼによる伸長反応を繰り返す。生成物の検出は主にアガロースゲル電気泳動で行う。
- ※4 **rRNA遺伝子のITS1領域およびITS2領域** リボソームRNAをコードする遺伝子の間にある遺伝情報を持たない領域のこと。変異が大きく、解析が容易のため、分子系統解析や近縁種の識別に利用される。

参考文献

- 1) 農林水産省大臣官房統計部(2021) 農林水産統計 令和2年産かんしょの作付面積及び収穫量。
https://www.maff.go.jp/j/tokei/kekka_gaiyou/sakumotu/sakkyou_kome/kansyo/r2/index.html (参照 2022-2-25)
- 2) 小林有紀(2019) サツマイモ基腐病(仮称)の発生と対策. 植物防疫, 73 (8), 29-33.
- 3) Fujiwara, K. et al. (2021) Real-Time PCR Assay for the Diagnosis and Quantification of Co-infections by *Diaporthe batatas* and *Diaporthe destruens* in Sweet Potato. Frontiers in Plant Science, 21, 694053.
- 4) Lin, C-Y et al. (2017) A Method for the Specific Detection of *Phomopsis destruens* in Sweet Potato by PCR. Journal of Taiwan Agricultural Research, 66, 276-285.

世界で需要が高まる 抹茶の国際標準化推進

谷口 郁也

TANIGUCHI Fumiya



はじめに

近年、健康志向の高まりに加え、菓子やアイスクリームなどへの用途が広がったことから、抹茶(図1)の人气が国内外で高まっています。また、わが国からの緑茶の輸出は順調に増加していますが、その大きな要因の一つは、海外でも抹茶のニーズが高まっていることが考えられます。ただし、問題点も見られます。抹茶は英語圏でも“Matcha”としてその名前は世界中で知られるようになったものの、「抹茶とは何か」という国際的な規格がありません。そのため、例えば、“Matcha”と称する製品でもルイボスティーや紅茶を粉末状にした製品が流通している例が見られ、様々な製造方法や品質のものが含まれているという実情があります。わが国で育まれてきた抹茶の価値が国際市場で正しく評価されるようにするため、農研機構は国内外の関係者と協力して国際的に抹茶の定義を定めることを目指し、抹茶の国際標準化活動をすすめてきました。



図1 抹茶

茶の国際標準化活動

茶の国際標準化は国際標準化機構(International Organization for Standardization: ISO)^{※1}の中での委員会ISO TC34/SC8(食品専門委員会/茶分科委員会)で行われています。この茶分科委員会は1981年に幹事国であるイギリスを中心に設立されました。設立当初は紅茶に関係する国際規格を開発してきましたが、多様な茶種の規格や品質に関わる成分の分析法、審査、用語なども含め、2022年1月までに33件の規格を開発、維持しています。わが国は、2005年からISOでの茶の国際標準化活動に取り組んできました(図2、3)。そのきっかけは、国内の茶業関係者に、ISO TC34/SC8で緑茶の定義に関する規格の開発作業が行われているという情報が入ったことでした。英国が提案した緑茶の定義に関する規格案では、「緑茶は機能性成分のカテキン類が含まれることが優れた特徴」とされ、成分表には総カテキン量の下限值が記載されていました。ところが、抹茶や玉露といった日本の高級な緑茶は覆下栽培(遮光栽培)^{※2}によりカテキンの生成を抑える栽培が行われており、原案に示された下限値に達しないものがあり、日本茶の重要な茶種である抹茶や玉露が国際基準では緑茶から外れてしまうという恐れがありました。そこで、詳しい情報を得るため2005年に開催されたISO TC34/SC8ハンブルグ会議に日本から専門家が出席することになりました。2009年のロンドン会議では、果樹茶業研究部門の角川茶業研究領域長(当時の所属は野菜茶業研究所)がプレゼンテーションを行い、当時検討されていたカテキン含量の下限值では日本の抹茶や玉露が除外されてしまうという問題点を指摘するとともに、緑茶の定義の規格案をとりまとめていた英国のプロジェクトリーダーに抹茶と玉露のサンプルを送付し



ISO TC34/SC8 会議の様子

組織図 委員会マネージャー：ティム・ベラミー氏
議長：ケイティ・ドネリー氏

ISO TC34/SC8/WG6	茶の分類
ISO TC34/SC8/WG7	ウーロン茶
ISO TC34/SC8/WG10	緑茶－用語
ISO TC34/SC8/WG11	紫茶
ISO TC34/SC8/WG12	固形インスタントティー
ISO TC34/SC8/WG13	抹茶
ISO TC34/SC8/WG14	茶ポリフェノール

策定された規格の例

ISO 3720: 2011	紅茶－定義と基本的要求事項
ISO 11287: 2011	緑茶－定義と基本的要求事項
ISO TR 12591: 2013	白茶－定義
ISO 14502-2: 2005	緑茶と紅茶を特徴付ける成分の定量分析法－パート2：緑茶中のカテキン含量－高速液体クロマトグラフィー法
ISO 19563: 2017	茶および固形インスタントティー中のテアニンに関する高速液体クロマトグラフィーを用いた定量分析法

図2 ISO TC34/SC8の概要

ISOの動き

- ISO TC34/SC8設立 **1981年**
- ISO 3720(紅茶の定義)発行 **1986年**
- ISO TC34/SC8 ハンブルグ会議 **2005年**
日本から初参加
- ISO TC34/SC8 ロンドン会議 **2009年**
検討中の緑茶の定義に抹茶・玉露が含まれるよう説明
- ISO 11287(緑茶の定義)発行 **2011年**
- 日本がISO TC34/SC8のPメンバーとなる **2014年**
- ISO TC34/SC8 静岡会議 **2015年**
日本主催、抹茶の国際標準化の必要性についてプレゼン
- ISO TC34/SC8 杭州会議 **2019年**
抹茶の定義に関する技術報告書作成作業開始を提案
- ISO TC34/SC8/WG13設置 **2020年**
角川領域長がコンビーナーに就任
- 抹茶技術報告書投票(CD投票、DTR投票) **2021年**
賛成多数で承認
- ISO TR 21380(抹茶の定義)発行 **2022年**

国内の動き

- 2010年** 茶の国際標準化に対応する国内態勢推進協議会
- 2013年** ISO TC34/SC8 国内審議委員会設置
- 2018年** 農研機構に知的財産部国際標準化推進室設置
- 2019年** 公益社団法人日本茶業中央会の緑茶の表示基準が改定される

↓

図3 茶の国際標準化活動の主な出来事

分析を依頼しました。その結果、緑茶の定義の国際規格 ISO 11287の成分表の脚注に「抹茶や玉露のようなカテキンやポリフェノールを抑制する特別な栽培では、成分表より低くなることもある」と明記されました。

その頃から、日本も茶の国際標準化活動に組織的に対応しようという機運が高まり、ISO TC34/SC8の国内審

議団体である農林水産省生産局地域対策官の下に国内審議委員会を設置し、茶業関係団体や専門家が参加して対応することとなりました。この頃は、日本はまだ投票権のないO-メンバーでしたが、2014年には積極的に参加するP-メンバーとなり、規格の開発に本格的に参加するようになりました。

抹茶の国際標準化の開始から 技術報告書の出版まで

日本は、ISO TC34/SC8国際会議の開催を誘致し、2015年に静岡市で第25回会議が開催されました。この静岡会議で、世界的に需要が増加しつつある抹茶の定義についての国際標準化の必要性を日本から提案しました。その結果、ISO TC34/SC8委員会の決議事項として、角川研究領域長のリーダーシップの下、抹茶の国際標準化の検討が進められることになりました。

一方、日本国内でも抹茶の定義についての議論が進められていました。国内では、公益社団法人日本茶業中央会が緑茶の表示基準¹⁾という基準を定めていますが、その中に記載される抹茶とその原料となる碾茶^{てんちゃ}の定義について検討が行われました。その結果、抹茶については「碾茶（覆下栽培した茶葉を碾茶炉などで揉まずに乾燥したものを）を茶臼などで微粉末状に製造したもの」（図4）と記載されることになり、この内容を含んだ記載内容をベースにして抹茶の定義を作成することとしました。2019年10月に中国杭州市で開催されたISO TC34/SC8国際会議でも改めて抹茶の定義について国際標準化を進めることを日

本から提案し、参加各国から同意が得られました。その後、抹茶の定義に関する技術報告書を作成する作業を正式に提案し、ISO TC34/SC8参加国の投票で承認が得られました。さらに、抹茶の国際標準化を作業するワーキンググループの設置提案も行い、2020年3月にWorking group 13 “Matcha tea”が設置され、角川研究領域長がコンビーナー（座長）に就任し、また筆者がコンビーナー補佐として作業が始動しました。

ちょうどその頃、新型コロナウイルスの感染が急速に世界中に広がっていき、国際標準化活動も様々な影響が出ました。ISOは対面での活動を停止し、オンラインの活動を推奨するようになったため、抹茶のワーキンググループの活動もウェブ会議やメールを通して行いました。そのような状況の中でなんとか議論を重ねた結果、2021年7月までに技術報告書原案がまとまりました。ISOの規格文書は、発行までに作業する委員会内で規格案として認めるか否かの投票が数回行われます。抹茶の技術報告書原案も、ISO TC34/SC8内で2度の投票にかけられました。まず、2021年7月から9月にかけて行われたCD（Committee Draft）投票で無事に承認されましたが、投票時に受けた各国からのコメントや、さらにワーキンググループ内での議論で出た意見を元に技術報告書原案のブラッシュアップがなされました。続いて、2021年11月から2度目の投票となるDTR（Draft Technical Report）投票が開始されました。2022年1月に投票が終了し、最終的に技術報告書原案は承認されました。そして、ISO TR 21380「Matcha tea - Definition and characteristics -」として発行されることが決定しました。

抹茶の定義に関する技術報告書

発行された技術報告書には、抹茶の歴史から栽培法や製茶方法（図4）、品質評価や保管方法についての記述があります。

歴史については、粉末状の茶が12世紀に中国から日本に導入された後、日本でよしずやわらを用いた覆下栽培（遮光栽培）を行うようになり、新芽の緑色を濃くさせ、うま味を向上させることができるようになったこと、茶の湯の文化とともに技術が発達してきたことなどが記載されています。

栽培法と製茶技術については、原料としてチャの中国



図4 抹茶の製造工程

変種 (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze var. *sinensis*) を用いること、そして、覆下栽培(遮光栽培)を施した新芽を取穫後、すみやかに蒸して葉内部の酵素活性を失活させ、その後、碾茶機などを用いて乾燥し、最後に石臼などで微粉に挽くことが記載されています。さらに、抹茶は官能審査によって色、滋味、香気などで通常の粉末茶と区別できること、また、抹茶は、光、温度、湿度、酸素により劣化がすすむため、密封して低温下で保管することが重要だということが記載されています。そして、化学成分については具体的な数値を示していませんが、国際規格を開発するにあたってはカテキン、クロロフィル、アミノ酸、カフェインについて多数のサンプルを分析して、他の茶種と区別するための化学成分要件値を決定する必要があると述べられています。

技術報告書はISOの正式な文書ですが、あくまで報告書でありルールではありません。ISO TC34/SC8では、茶種の定義の国際規格を開発する最初のステップとして、茶生産と流通に関わる各国の専門家が会議の中で議論を重ねて技術報告書を策定します。今回出版された抹茶の技術報告書は、投票が2回実施され、棄権票はあったものの反対票がまったくなく、報告書に記載された抹茶の歴史や栽培法、製茶技術、原料などについては、茶の専門家の間で国際的にコンセンサスが得られたものとなっています。今後、この報告書をベースに国際規格を開発することになります。

今後の展開

これまでにISO TC34/SC8が開発した茶種の国際規格は、Introductionに「○○茶の品質は、一般的に知識や経験が豊富な熟練したティーテイスターの官能審査により評価される。もし、ティーテイスターが本物ではないと疑った場合に、化学分析を行う。」と記載されており、製造法などとともにその茶種に重要となる化学成分の含有量について上限値や下限値などが規定された成分表が記載されています。例えば緑茶の定義であるISO 11287では、カテキン、ポリフェノール含量、水分、灰分などの値が規定されています。今後は抹茶についても原料や製造方法に関する規定とともに化学成分値について範囲を定めた国際規格の策定を目指します。これまでに国内外の抹茶の成分を分析した報告がありテアニン含量やクロロフィル含

量が抹茶や粉末茶の価格帯などで異なることが明らかにされています²⁾³⁾⁴⁾が、まだ知見は限定的です。そのため、国内外から今回出版された技術報告書の記載内容に基づいて製造された抹茶サンプルを多数収集して、うま味成分であるテアニンや葉の緑色の元となるクロロフィルを中心に分析を行い、成分値の範囲を決定します。この分析結果とともに、規格文書の内容の検討をすすめ、ISO TC34/SC8内で数回の投票の無事通過を目指します。それらを経て、抹茶の定義に関する国際規格が晴れて発行となります。

おわりに

抹茶は日本で技術や文化を育んできた茶ですが、世界的に人気が高まり様々な国が生産に乗り出しています。今後も国際市場における日本産抹茶の優位性を高めるため、国際標準化活動を推進していきます。農研機構は、抹茶に関係する研究では他に、抹茶や粉末茶に適した品種「せいめい」⁵⁾の育成をはじめ、覆下栽培(遮光栽培)技術の改良や、輸出先の残留農薬基準に対応した防除技術の開発などに取り組んでいます。これらの技術革新と国際標準化によるルールメイキングとを組み合わせ、抹茶はもちろん、日本茶全体の国際競争力強化を目指して参ります。

(果樹茶業研究部門 果樹品種育成研究領域
果樹茶育種基盤グループ)

用語解説

- ※1 **国際標準化機構(International Organization for Standardization: ISO)** 各国の代表的標準化機関からなる国際標準化機関で、電気・通信および電子技術分野を除く全産業分野(鉱工業、農業、医薬品など)に関する国際規格の作成を行います。
- ※2 **覆下栽培(遮光栽培)** 日光を遮って茶を栽培することにより、新芽の緑色が濃くなり、うま味成分や覆い香と呼ばれる抹茶特有の香りが増します。遮光資材は、伝統的な方法ではよしずやわらなどを用いますが、現在は化学繊維でできた寒冷紗と呼ばれる資材も使われます。

参考文献

- 1) 公益社団法人日本茶業中央会(2019) 緑茶の表示基準。
<http://www.nihon-cha.or.jp/pdf/hyoujikkijyun.pdf>
- 2) Engelhardt, U. H. et al. (2016) Theanine, catechins, caffeine and flavonol glycosides in green and Matcha tea samples from Japan. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*, 112, 499-502.
- 3) Horie, H. et al. (2017) Chemical components of matcha and powdered green tea. *J Cookery Science of Japan*. 50, 182-188.
- 4) Horie, H. et al. (2018) Comparison of the chemical components of powdered green tea sold in the US. *J. Agricultural Res. Quarterly*, 52(2), 143-147.
- 5) 吉田克志ら(2018) 煎茶、かぶせ茶、抹茶および粉末茶向け緑茶用新品種「せいめい」。農研機構研究報告 果樹茶業研究部門, 2, 61-81.

干ばつにより イネの根が貧弱になる仕組み

川勝 泰二

KAWAKATSU Taiji

はじめに

地球温暖化に伴い地球規模で水不足が深刻化しており、干ばつによる減収が世界的に食料安全保障上の大きな問題になっています。過去30年間では世界の主要作物（コメ、小麦、大豆、とうもろこし）の栽培面積の4分の3に相当する4億5千万haで干ばつによる被害が発生しています¹⁾。世界的には降水量が多く水が豊富な日本では主に水田で稲作が行われますが、大渇水が発生すると農業用水の取水制限が行われます。また、世界では天水田^{*1}や畑でも稲作が行われており、世界の稲作地域の62%（1億ha）は過去30年間に干ばつによる収量被害を受けたことがあります。このような地域におけるコメの安定生産には干ばつに強い品種の開発が求められています。

干ばつに強い作物は太い根を地面の深くまで伸ばしますが、イネは畑作物に比べて根が貧弱で干ばつに弱い作物です。農研機構はイネの遺伝資源から深根化に必要な遺伝子を発見し、干ばつに強いイネの開発に成功しています²⁾。より干ばつに強いイネを開発するためには深根化に加えて根を太くし、よく根張りさせることが効果的と考えられます。しかしこのような特徴を持ったイネは現代の品種にはほとんど存在せず、品種改良に利用できる根の太さや根張りに関与する遺伝子は不明でした。そこで世界中の代表的なイネ品種に畑で断続的な干ばつ処理を行い、根の形態的な特徴と網羅的な遺伝子発現を解析し、干ばつによる根の生育阻害の原因と考えられる複数の遺伝子を発見しました³⁾。

「世界のイネ」コアコレクション

作物育種では改良したい対象品種と有用な形質を持つ品種を交配し、優良形質を持つ系統を選抜します。「世界のイネ」コアコレクション（World Rice Core Collection：略称WRC）は、農研機構のジーンバンクに保存されている約4万点のイネ遺伝資源から多様な形質を持つ育種素材として選抜された代表的なイネ品種セットです。WRCは大きく4つの亜種（ジャポニカ品種、インディカ品種、アウス品種、混合品種）に分けられます。WRCを構成する69品種は栽培イネ遺伝子多様性の90%を網羅しており、最小限の系統数でイネが持つ多様性を解析する材料として最適です。草型や根の広がり方も多様です（図1）⁴⁾。イネは日長を感じて開花しますが、その感受性は品種に

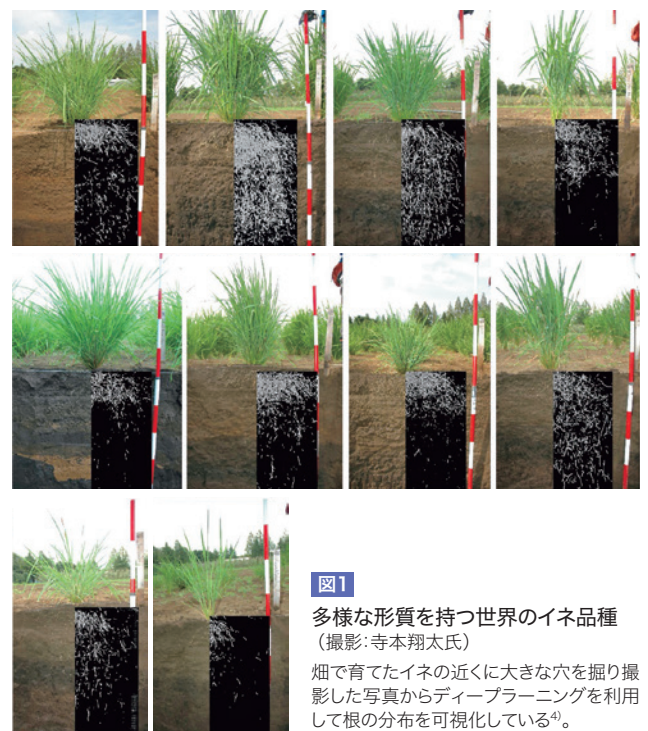


図1

多様な形質を持つ世界のイネ品種
（撮影：寺本翔太氏）

畑で育てたイネの近くに大きな穴を掘り撮影した写真からディープラーニングを利用して根の分布を可視化している⁴⁾。



(撮影:寺本翔太氏)

よって異なります。WRCの内、つくば市の野外日長条件下で開花する57品種と、コシヒカリなどの代表的な品種4品種を含む計61品種を農研機構(つくば市)の畑ほ場で栽培しました。この畑ほ場は水田に比べると土壌水分含量が低いため、イネにとってはストレス条件下で、品種によっては収量が半減します。

根の形態的多様性

根の形態を解析するには、まず土中の根を掘り起こして回収する必要があります。多大な労力と時間を要します。植物体の周りに鋼鉄製の円筒モノリスを打ち込み、根を土ごと回収することで、土中における形状を維持した根系を回収することができます。円筒モノリスの打ち込みと回収にバックホー^{※2}を用いることで多数の植物体の根を効率

的に回収することが可能です(図2)⁵⁾。回収した根を洗浄し、1本1本に分解した後に、スキャナで画像化して根の形質を計測しました。根は太い冠根と、冠根から生えてくる側根があり、それぞれ性質が異なるため、冠根と側根は分けて計測しました。WRCの根の形態的多様性は、①バイオマス、②冠根の太さ、③側根の太さ、④根が伸びる方向、の4つの形質で特徴付けることが可能でした。バイオマスは茎の本数を反映しており、茎の本数と冠根の太さの組み合わせが亜種の特徴を反映していました。ジャポニカ品種は茎の本数は少ないが冠根は太い、インディカ品種は茎の本数は多いが冠根は細い、アウス品種は茎の本数は中程度で冠根は太い、という亜種ごとの形態的特徴が明らかになりました(図3)³⁾。



図2 畑ほ場で栽培したイネの根のサンプリング工程 (撮影:寺本翔太氏)

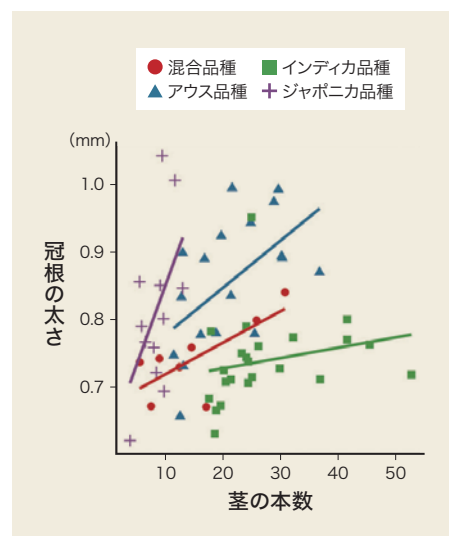


図3 イネ亜種間における茎の本数と冠根の太さ (Kawakatsu et al., 2021³⁾を改変) それぞれの亜種が茎の本数と冠根の太さの組み合わせで特徴を示す(直線)。

遺伝子発現の多様性

マイルドな干ばつストレス条件で栽培したイネの根の形質に関連する遺伝子を探索するために、次世代シーケンサー(超高速塩基配列解読装置)を利用して遺伝子発現の状態を網羅的に解析するRNA-seqによって、葉と根の先端部分(根端)における全遺伝子発現情報を取得しました。遺伝子の発現量はその遺伝子がどれくらい働いているかの指標になります。イネは約5万個の遺伝子を持っています。葉と根では1万5千~1万8千個の遺伝子が発現しており、それらの発現パターンは亜種内で高い類似性を示しました(図4)³⁾。Dro1-NILは、浅根性のイネ品種IR64に深根化遺伝子*Dro1*が導入された深根性系統です。IR64とDro1-NILは遺伝的にほぼ同一ですが、深根性のDro1-NILは浅根性のIR64に比べて高い干ばつ耐性を持ちます。IR64とDro1-NILは非常に良く似た遺伝子発現パターンを示しますが、IR64では乾燥ストレスによって発現が誘導される遺伝子群の発現が上昇しており、畑ほ場での栽培が干ばつストレス条件であることを裏付けました(図5)³⁾。

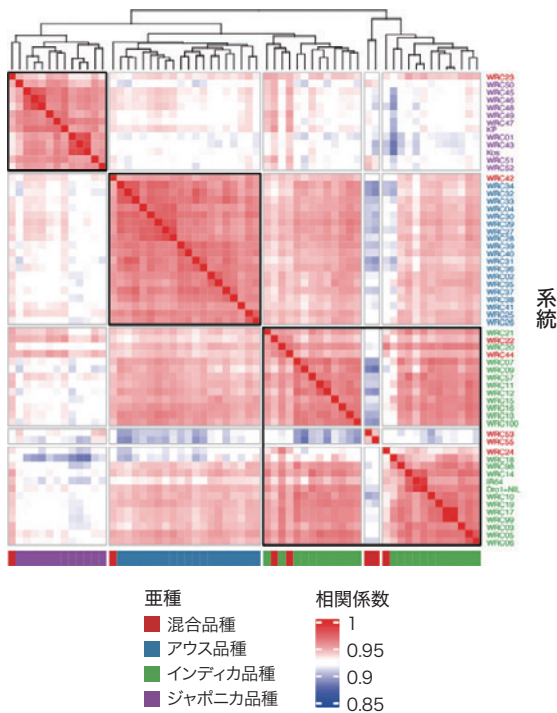


図4 根端における遺伝子発現パターンの品種間類似性 (Kawakatsu et al., 2021³⁾を改変)

解析した全品種の遺伝子発現パターンを総当たりで比較し、類似性の指標である相関係数(最大1、最小-1)を示しています。赤いほど遺伝子発現パターンが似ていることを表しています。品種間の類似度でグループ化すると、亜種でグループ化されており、亜種内でよく似た遺伝子発現パターンを示しています(黒枠)。

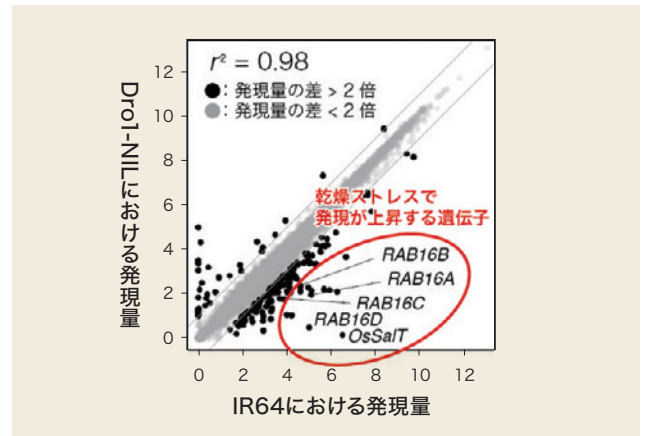


図5 IR64とDro1-NILの根端における遺伝子発現パターンの比較 (Kawakatsu et al., 2021³⁾を改変)

それぞれの点が遺伝子を示し、全体的な遺伝子発現パターンはIR64とDro1-NILで非常によく似ていました。しかしIR64とDro1-NILで発現量が2倍以上違う遺伝子(黒点)も存在し、特にIR64で強く発現している遺伝子は乾燥ストレスで発現が上昇することが知られている遺伝子でした(赤枠)。

根の生育とオーキシンの関係

根の形質と遺伝子発現量の相関を調べたところ、8つの共発現モジュール^{※3)}に分類され、根の生育と発現量が負の相関を示す遺伝子群と、正の相関を示す遺伝子群が存在しました(図6)³⁾。根の生育と発現量が負の相関を

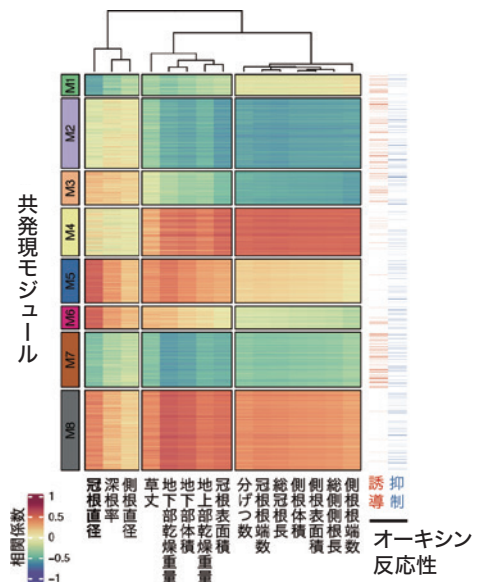


図6 根の形質と遺伝子発現の相関関係 (Kawakatsu et al., 2021³⁾を改変)

それぞれの形質と遺伝子発現量の相関関係を示しています。赤いほど正の相関(遺伝子発現量が高いほど形質値が大きい)、青いほど負の相関(遺伝子発現量が高いほど形質値が小さい)が強いことを示しています。遺伝子発現量と形質値の類似性で遺伝子をグループ化すると、8つの共発現モジュール(M1-M8)に分けられています。M1、M2、M3、M7は根の形質と負の相関(青)、M4、M5、M6、M8は根の形質と正の相関(赤)を示す傾向があります。右にそれぞれの遺伝子のオーキシンに対する反応性を示しており、根の形質と正の相関を示す共発現モジュールにはオーキシンによって誘導される遺伝子が多く含まれています。

示す共発現モジュールには、植物ホルモンの一種であるオーキシン^{*4}によって発現量が上昇する遺伝子が多く含まれていました(図6)³⁾。このことは干ばつストレス条件下で根の生育が悪い品種では、オーキシンによって誘導される遺伝子群が強く働いていることを示唆しています。オーキシンには根の生育を調節する役割があるため、これらの遺伝子群の働きを制御することで、干ばつストレス条件下でも根の生育を良くできると期待できます。

干ばつストレスを受けた根が細くなる仕組みに関与する転写因子

共発現モジュール(M1)には乾燥ストレスに関わる遺伝子が多く含まれていました。M1に属する遺伝子の発現は冠根の太さと負の相関を示すため、M1は干ばつストレス条件下における冠根の太さの制御に関わると考えられます。遺伝子発現はゲノム上の特定のDNA配列に結合するタンパク質である転写因子によって制御されます。M1の共発現ネットワークは18個の転写因子を含む231個の遺伝子で構成されていました(図7)³⁾。M1に属する転写

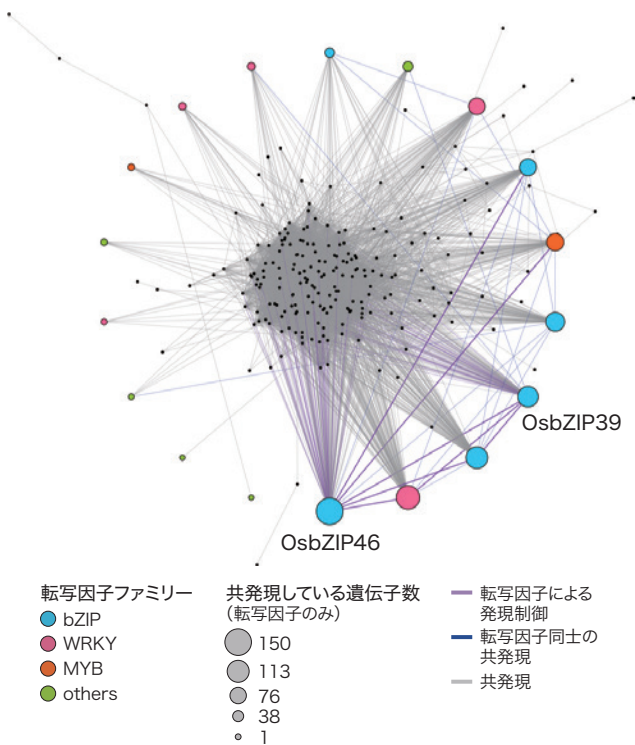


図7 干ばつストレス条件下で根を細くする共発現ネットワーク (Kawakatsu et al., 2021³⁾を改変)

転写因子は丸、転写因子以外の遺伝子は黒点で示しています。遺伝子発現パターンが類似している遺伝子を線でつないでいます。丸の色は転写因子ファミリーを、大きさは共発現している遺伝子数を反映します。DAP-seqの転写因子によって制御を受けていると推定された共発現関係は紫線で示しています。転写因子同士の共発現関係は青線で示しています。

因子の内、特に多くの遺伝子と共発現するOsbZIP46とOsbZIP39は様々なストレス応答に関わることが知られています。次世代シーケンサーを利用して転写因子がゲノム上に結合する領域を網羅的に同定するDAP-seqによって、OsbZIP46とOsbZIP39が制御する遺伝子を探索しました。その結果、M1の共発現ネットワークを構成する遺伝子の内、最大82%がOsbZIP46とOsbZIP39によって直接もしくは間接的に制御されていることが示唆されました。このことから、OsbZIP46とOsbZIP39は干ばつストレスによる細根化に重要な役割を果たしていると考えられました。

おわりに

本稿では干ばつでイネの根が貧弱になる原因と考えられる遺伝子について紹介しました。環境変動に頑健な作物の作出はSDGsの達成に不可欠であり、世界共通の課題です。農研機構はWRCの遺伝子情報、形質情報、全遺伝子発現情報を公開しており、根の太さ以外の形質を制御する遺伝子についても同定が進むことが期待されます。今後、根の形態を制御する様々な遺伝子を利用することで干ばつに強いイネ品種の開発を進めていきます。

(生物機能利用研究部門 作物生長機構研究領域
作物環境適応機構グループ)

用語解説

- ※1 天水田 灌漑施設がなく、雨水のみでイネが栽培される水田。
- ※2 バックホー 地面の掘削などに使われる建設用の重機の一つ。
- ※3 共発現モジュール よく似た発現パターンを示す共発現遺伝子セットで、似た機能を持つ、もしくは同じ生命現象に関わると予測される。
- ※4 オーキシン 植物ホルモンの一種で、根の形づくりを含めて様々な生理現象に重要な役割を担っている。

参考文献

- 1) Kim, W. et al. (2019) Global Patterns of Crop Production Losses Associated with Droughts from 1983 to 2009. Journal of Applied Meteorology and Climatology, vol.58(6), 1233-1244.
- 2) Uga, Y. et al. (2013) Control of root system architecture by DEEPER ROOTING 1 increases rice yield under drought conditions. Nature Genetics, vol.45(9), 1097-1102.
- 3) Kawakatsu, T. et al. (2021) The transcriptomic landscapes of rice cultivars with diverse root system architectures grown in upland field conditions. The Plant Journal, vol.106(4), 1177-1190.
- 4) Teramoto, S. and Uga, Y. (2020) A Deep Learning-Based Phenotypic Analysis of Rice Root Distribution from Field Images. Plant Phenomics, vol.2020, 3194308.
- 5) Teramoto, S. et al. (2019) Backhoe-assisted monolith method for plant root phenotyping under upland conditions. Breeding Science, vol.69(3), 508-513.

干からびても死なない生物 ネムリユスリカが持つ乾眠かんみんに必要な物質

黄川田 隆洋 コルネット リチャー

KIKAWADA Takahiro

CORNETTE Richard

はじめに

我々人間を含めて普通の生き物は、体内水分の維持は極めて重要です。実際、体内から水分が無くなっていくにつれて、体液の流動性が低下し十分な代謝が行えなくなります。この状態が重度に進行すると、細胞膜やタンパク質は元に戻れないような構造変化を起こしてしまい、個々の細胞の機能が失われていく結果、個体そのものが死に至ります。しかし、世界には、体内の水分が極限的に減少しても死なない生き物がいくつか存在しています。

干からびても死なない生物： ネムリユスリカ

アフリカのサハラ砂漠の南に広がる半乾燥地帯に生息するネムリユスリカ (*Polypedilum vanderplanki*) は、体内の水分を失ってカラカラに干からびても死なないことで知られている昆虫です¹⁾。雨季の時期、卵から幼虫を経て蛹になるまで小さな水たまりの中で過ごし、翅をもった成虫になると空を舞いつつ交尾をして、小さな水たまりに産卵するという生活史を送ります(図1)。このサヘル地域の雨季はたった3カ月ほどしか無く、乾季が8カ月以上続くため、乾燥に耐える能力の無い生物は生きながらえることはできません。ネムリユスリカは、幼虫の時期に限定されますが、干からびても死なない能力を発揮することで、小さな水たまりが完全に蒸発した長い乾季を乗り越えることができるのです。以前イギリスで行われた実験の結果、乾燥させたネムリユスリカの幼虫は、蘇生可能状態を17年以上維持することができたということが報告されています。この蘇生可能で干からびた状態は乾眠(anhydrobiosis)と呼ばれ、呼吸を含めたすべての代謝が止まっています。

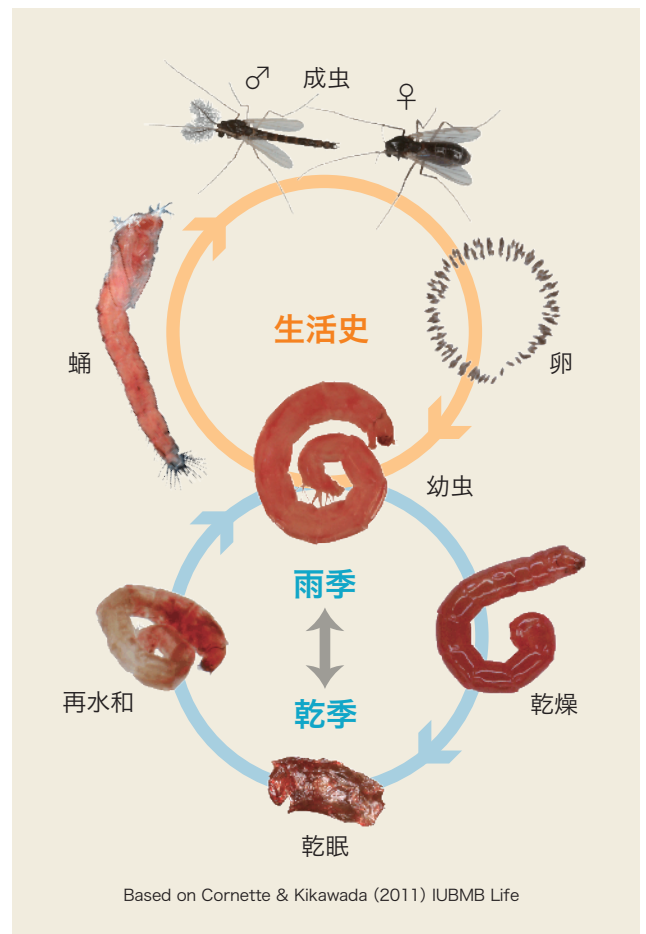
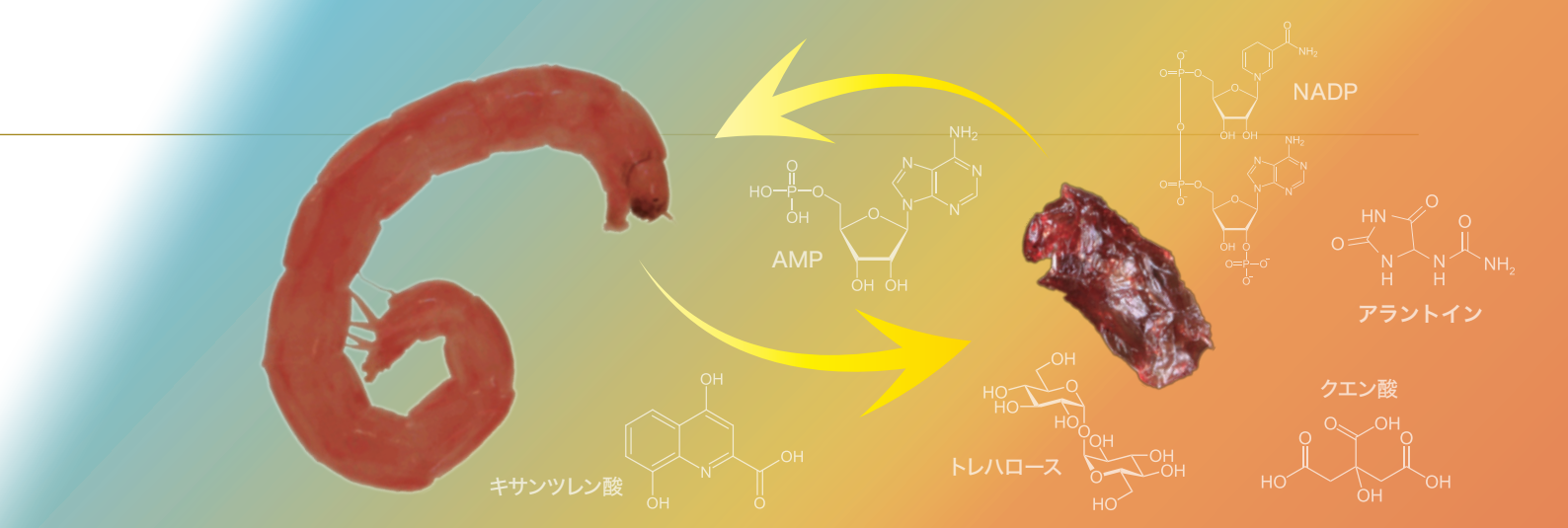


図1 ネムリユスリカの生活史と乾燥耐性

ネムリユスリカは、卵(3日程度)、幼虫(約1カ月、4齢幼虫が最終齢)、蛹(2日程度)および成虫(2~3日程度)と変態し、空中で交尾した雌は水面に産卵して一生を終える。幼虫の時期のみ干からびても死なない性質を持つ。乾燥すると48時間かけて乾眠の状態になり、再水和すると1時間程度で元の活動状態に戻る。



乾眠したネムリユスリカ幼虫は、 -270°C から 102°C までの温度変化、無酸素、真空、高い気圧、アセトンのような化学物質への暴露、放射線の照射など、乾燥以外の多様な環境ストレスに対しても耐性を発揮します。驚くことに宇宙空間に2年半さらされても、乾眠状態の幼虫は蘇生能力を失うことはありません²⁾。ネムリユスリカの幼虫を、乾眠状態から活動状態へ戻す方法は極めて簡単です。乾燥幼虫を、1時間ほど真水に浸して水分を吸収させるだけです。元の状態に戻ったネムリユスリカの幼虫はたちまち動きだして、餌を食べ排泄をして成長するという、普通の昆虫と同様な生命活動を再開します。この世で考える環境ストレスにほぼ完璧とも言える耐性を発揮するネムリユスリカの乾燥幼虫ですが、水中で活動する“ただの幼虫”に戻ると、一切の環境耐性を失います。

乾眠に必須な物質：

トレハロースとLEAタンパク質

なぜネムリユスリカの幼虫は、このような驚異的な乾燥耐性を発揮できるのでしょうか。幼虫を乾燥させる方法が大事だということがわかっています。急速に乾燥させた幼虫は、水に浸しても蘇生することはありません。最低でも48時間かけて、幼虫をゆっくり乾燥させた時に、はじめて乾眠能力を発揮できるのです³⁾。この48時間の間に、ネムリユスリカの幼虫体内で様々な乾燥耐性関連物質の合成が起きることで、細胞や組織が、物理的にカラカラに乾いても平気な状態になっているのでしょうか。言い換えれば、急速に乾燥させると、この乾燥耐性関連物質が十分に合成できない内に干からびてしまうので、幼虫は乾眠状態にならないと考えられます。乾燥過程の幼虫を調べてみると、トレハロース^{*1}という糖の一種³⁾やLEAタンパク質^{*2}

という保護タンパク質の一種⁴⁾がたくさん蓄積していることがわかりました。トレハロースとLEAタンパク質は、乾燥によって変性しやすいタンパク質や細胞膜を保護する機能を持つことが知られています⁵⁾⁶⁾。これらの物質の蓄積は、アルテミアや線虫といったネムリユスリカ以外の乾眠できる動物でも認められる現象⁷⁾であることから、乾眠に重要な物質であると結論されました。この事実を踏まえ、アメリカのハーバード大医学部の研究チームは、トレハロースとLEAタンパク質を使って、ヒト由来の培養細胞を乾燥保存できるか試す実験を行いました。その細胞の乾燥耐性を大幅に向上させることに成功しましたが、せいぜい数十秒という極めて短時間しか持ちませんでした⁸⁾。この結果から、トレハロースとLEAタンパク質は、乾眠を誘導するための必要な物質であっても、それらだけでは乾眠を十分に再現できないということがわかりました。すなわち、トレハロースとLEAタンパク質以外にも、乾眠の誘導・維持に重要な物質がまだまだ必要なのです。

ネムリユスリカの幼虫の メタボローム解析

そこで私達は、ネムリユスリカの乾眠に必要な物質を特定することにしました。ネムリユスリカの幼虫をゆっくり乾燥させて乾眠状態にして、一定期間乾燥ボックスに放置した後、水に浸して蘇生させるという一連の処理の過程で、どんな物質が蓄積しているのかをしらみつぶしに調べました⁹⁾。このような体内物質を網羅的に解析することを、メタボローム解析と言います。まずは、糖の仲間の変動を調べてみました。すると、乾燥前の幼虫体内に大量に蓄積していた多糖類の一種であるグリコーゲン^{*3}が分解されて、乾眠時にはすべてトレハロースに変換されていまし

た。一つ前の章でも書いたとおり、乾眠中の幼虫体内でのトレハロースは、乾燥保護物質としての役割を發揮します。乾眠幼虫を再水和するとトレハロースは直ちに分解されて、そのほとんどが再びグリコーゲンに変換されていました。分解されたトレハロースの一部は、再水和過程で活性化するペントースリン酸経路^{*4}という特別な代謝系を通じて、NADPHという物質にも変換されていました。NADPHは抗酸化活性の駆動源として知られている物質です。再水和中のネムリユスリカ幼虫体内では、細胞傷害の原因物質の一つとして知られる活性酸素が大量に発

生することがわかっています。トレハロースは、乾眠時における体内成分の保護物質としての役割だけでなく、抗酸化活性を駆動させるNADPHに変化することで、再水和過程での活性酸素を効率よく除去する役割をもつことがわかりました。

生物共通に、クエン酸回路^{*5}という代謝系が活性化すると、ATPという生体エネルギー物質が合成されます。乾眠時の幼虫体内には大量のクエン酸が蓄積していました。一方、幼虫が乾燥するにつれて体内のATPは分解されAMP^{*6}という別の物質に変化していました。興味深い

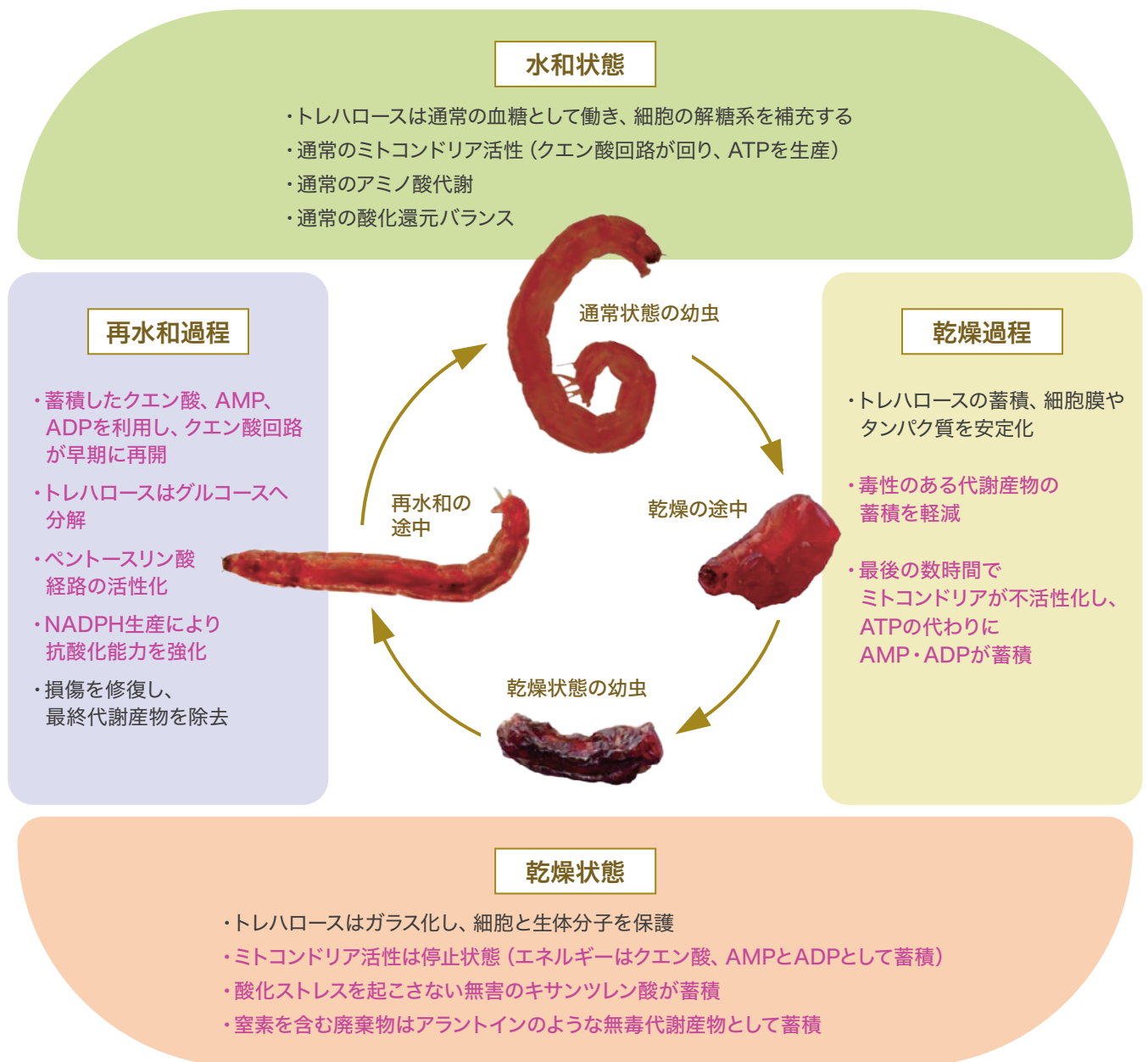


図2 ネムリユスリカの乾眠を支える代謝産物の変化

ネムリユスリカ幼虫は、乾眠の誘導・維持・解除の過程でダイナミックに代謝産物を変化させている。

ことに再水和させた幼虫体内では、解糖系がまだ十分エネルギーを供給できなくても、溜まったクエン酸が消費され、あっという間にAMPからATPが再合成されていることがわかりました。水に浸した乾燥幼虫が1時間足らずで動き出せる理由は、この急速なATP合成が鍵を握っていると言えるでしょう。

乾燥過程では、幼虫体内のアミノ酸や核酸の一部が分解されていることがわかりました。体内物質の分解過程で、時として有害な物質に変化することがあります。例えば、核酸が分解すると尿酸という物質が生み出されます。ヒトの場合、尿酸が過剰に蓄積すると痛風を起こすことがよく知られています。このように有害な分解物質の蓄積を防がないと、乾眠はできないと予想されます。実際にネムリユスリカの幼虫は、アミノ酸や核酸の分解物を、キサンツレン酸やアラントインのような生体に毒性がない物質として蓄積することで、生体に及ぶ害がないようにしていました。

おわりに

ネムリユスリカの幼虫は、巧妙に代謝システムを調節して様々な物質を合成することで、乾眠状態と通常の生理状態の間を可逆的に往来していることがわかりました(図2)。乾燥の過程では、トレハロースのような保護物質を蓄積するだけに留まらず、尿酸のような有害物質の蓄積を最小限化しています。再水和の過程では、いち早くATPを合成して生命活動を始動できるような仕組みを働かせつつ、NADPHを合成することで酸化による悪影響を軽減化するシステムを作動させています。適切なタイミングで、適切なシステムを駆動させることが、乾眠状態を誘導・維持・解除するのに重要といえます。

私達のネムリユスリカの乾眠・再水和過程のメタボローム解析でわかってきた生体内システムをうまく模倣すれば、細胞、組織および生体成分の常温乾燥保存技術開発が進むと期待されます。この技術が確立されれば、生体試料の保存に冷蔵・冷凍は不要になるでしょう。ひょっとしたら、 -80°C で保管しないといけない抗体やワクチンを、常温で長期間保存することができるようになるかもしれません。乾眠は、ネムリユスリカというちっぽけな虫が発揮する生命現象です。しかしながら、我々人間は、その生命現象を人工的な技術として完全に再現するに至っていません。一寸の虫にも五分の魂という言葉の意味を痛感しな

がら、ネムリユスリカの乾眠の分子メカニズムの全容解明を目指して研究を進めています。

(生物機能利用研究部門 生物素材開発研究領域
機能利用開発グループ)

用語解説

- ※1 **トレハロース** ブドウ糖が2分子結合してできた糖の一種です。ガラス化することで、細胞の乾燥保護に寄与することが知られています。
- ※2 **LEAタンパク質** 乾燥耐性を持つ動植物に広く存在するタンパク質です。乾燥や熱でタンパク質が凝集することを防ぐ機能をもちます。
- ※3 **グリコーゲン** ブドウ糖が沢山結合した多糖類と言われるものの一つです。糖を貯蔵する役割を持っています。広く生物共通に存在し、人間では肝臓や筋肉に存在します。分解されるとブドウ糖になり、トレハロースのような別の糖の原料になったり、エネルギー源として利用されたりします。
- ※4 **ペントースリン酸経路** ブドウ糖を分解する代謝経路である解糖系から分岐する代謝系です。DNAやRNAの原料であるリボースや、抗酸化系の駆動力として利用されるNADPHを合成します。
- ※5 **クエン酸回路** ミトコンドリアの中で、糖やアミノ酸、脂質からエネルギーの原料を作り出すのに使われる代謝経路です。TCA回路やクレブス回路という名前で呼ばれることもあります。
- ※6 **AMP** ATPの原料です。AMPに1分子のリン酸が結合するとADPに、2分子結合するとATPになります。

参考文献

- 1) Cornette, R. and T. Kikawada (2011) *The induction of anhydrobiosis in the sleeping chironomid: current status of our knowledge*. IUBMB Life, **63**(6), 419-429.
- 2) Novikova, N. et al. (2011) *Survival of dormant organisms after long-term exposure to the space environment*. Acta Astronautica, **68**(9-10), 1574-1580.
- 3) Watanabe, M. et al. (2002) *Mechanism allowing an insect to survive complete dehydration and extreme temperatures*. J Exp Biol, **205**(Pt 18), 2799-2802.
- 4) Kikawada, T. et al. (2006) *Dehydration-induced expression of LEA proteins in an anhydrobiotic chironomid*. Biochem Biophys Res Commun, **348**(1), 56-61.
- 5) Crowe, J.H. (2007) *Trehalose as a "chemical chaperone": fact and fantasy*. Adv Exp Med Biol, **594**, 143-158.
- 6) Walsh, T. and M. Sakurai (2018) *Physicochemical Aspects of the Biological Functions of Trehalose and Group 3 LEA Proteins as Desiccation Protectants*. Adv Exp Med Biol, **1081**, 271-286.
- 7) Hibshman, J.D. et al. (2020) *Mechanisms of desiccation tolerance: themes and variations in brine shrimp, roundworms, and tardigrades*. Front Physiol, **11**, 592016.
- 8) Li, S. et al. (2012) *Late embryogenesis abundant proteins protect human hepatoma cells during acute desiccation*. Proc Natl Acad Sci U S A, **109**(51), 20859-20864.
- 9) Ryabova, A. et al. (2020) *Combined metabolome and transcriptome analysis reveals key components of complete desiccation tolerance in an anhydrobiotic insect*. Proc Natl Acad Sci USA, **117**(32), 19209-19220.

セイヨウミツバチを 水田における夏季の環境ストレスから守る

大久保 悟

OKUBO Satoru

はじめに

セイヨウミツバチは蜂蜜やローヤルゼリーの生産だけではなく、イチゴをはじめとする施設園芸作物の虫媒による花粉交配などにも広く用いられており、国内外問わず農業生産に重要な役割を果たしています。セイヨウミツバチによる受粉がないと想定した場合の経済損益は1,000億円(2013年の農業生産額ベース)と試算¹⁾されていて、さらに、イチゴのように受粉が十分でないで発生する奇形果による損益なども考慮すると、施設栽培と露地栽培のセイヨウミツバチによる貢献額の合計は1,800億円にもなりません(図1)。花粉交配用のセイヨウミツバチ生産額は20億円程度²⁾なので、農作物における受粉の働きにより100倍程度の付加価値を生み出していることとなります。

このセイヨウミツバチですが、餌源となる植物の減少やミツバチが感染する病気、農地管理の変化による農薬の

使用など様々なストレスの影響を受けて、養蜂の維持が年々難しくなっています。とくに、餌不足は他のストレス要因を助長することが知られており³⁾、餌不足を解消すると病気などに対して強くなることがわかっている、農薬の影響も軽減できるといわれています。そのため、病気対策や農薬曝露の回避、養蜂場周辺の餌源確保など総合的な対策が強く求められています。

わが国では、北日本を中心に水田近くの養蜂場で夏季に殺虫剤曝露の影響と思われるセイヨウミツバチの死虫数増加の被害が報告⁴⁾されていますが、夏に開花して餌源となる植物が少ないことと、水田の害虫防除のタイミングが重なることで被害が大きくなると考えられています。餌となる花が夏に不足することはヨーロッパなどでも報告されていて、この時期には、作物や農地内外の雑草などを多く訪れることがわかっています。そのため、餌不足の夏季に農地で害虫防除の殺虫剤散布が行われると曝露被害がとくに大きくなってしまいます。

このことから、餌を求めて農地とその周辺の花を訪れて殺虫剤に当たってしまう問題の解決が一つの方法と考えられます。そこで、農地から離れた場所に餌源となる花畑を用意して、そこにセイヨウミツバチを誘引することができれば殺虫剤曝露の被害が軽減できるのではないかと仮説を立て、野外で試験を実施しました。今回は、その試験の様子と結果⁵⁾について紹介します。

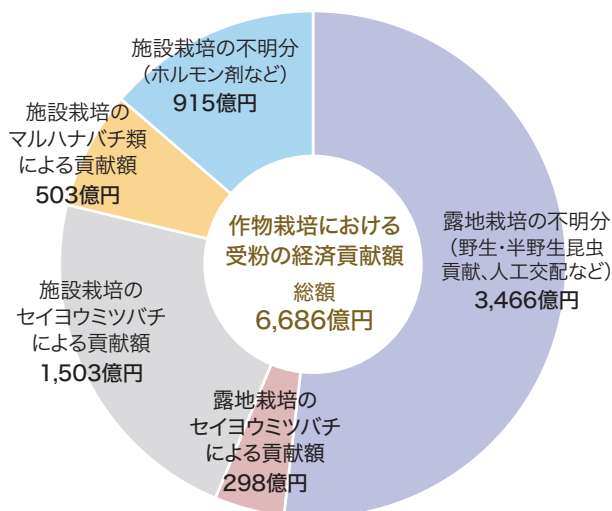


図1 日本の作物栽培における受粉の経済貢献額 (2013年の農業生産額ベース)
小沼・大久保¹⁾の手法に従い、イチゴなど品質維持に必要な受粉依存度 (受粉がないと生産量が減少する割合)を考慮して試算し直した結果

花畑への誘引による 殺虫剤曝露被害低減技術の特徴

今回の試験では、殺虫剤曝露が生じやすいと考えられる水田近傍に実験用の養蜂場(10個の巣箱)を設置し、そこから約300m離れた遊休地に緑肥・景観作物として



図3 シロガラシを訪花するセイヨウミツバチ

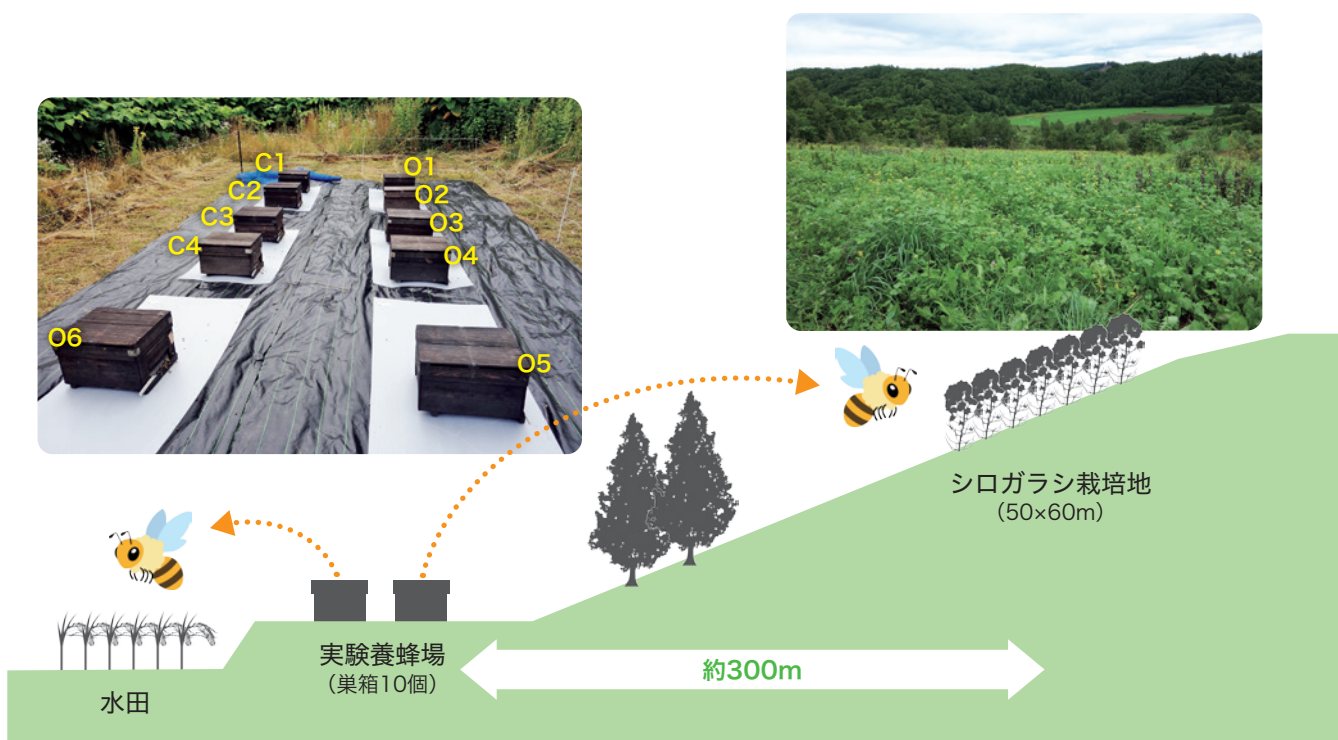


図2 水田近傍の実験用の養蜂場と導入したシロガラシ栽培地の位置関係

も使われるシロガラシ^{*1}を栽培しました(図2)。使用した巣箱は7月中旬に設置し、そのときの群のサイズはほぼ同じ(巣板6枚群)にしました。北日本の試験地では畑地輪作の中でシロガラシが休閑緑肥や秋まき小麦前の緑肥に使われていて、地域の栽培実績があること、7、8月に開花して図3のようにセイヨウミツバチが多く訪花するとわかっている⁶⁾ことから、好適な餌源植物として選びました。シロガラシが開花し始めた時期に試験地周辺にみられた餌源は、水田・道路脇に広がるオオハンゴンソウが主で、イネの花期は終わっていました。

シロガラシの花にセイヨウミツバチを誘引することで水田の害虫防除で散布される殺虫剤の影響を減らすことが

できるのかを確かめるために、栽培したシロガラシが開花した後に実施された近傍の水田での殺虫剤散布のタイミングを利用して、巣箱ごとのシロガラシ訪花状況と殺虫剤散布前後の死虫の発生状況を調査しました。また、花畑の誘引効果と比較するために、水田で殺虫剤を散布する間(散布前夜から散布日の夜まで24時間)のみ4つの巣箱を網で覆い、働きバチを採餌に行けなくすることで曝露を防ぐ試験も実施しました(図4)。覆いに使った網は働きバチが通り抜けられない約2mmメッシュ程度の防風ネットです。

巣箱ごとにシロガラシの利用程度を推定するために、栽培したシロガラシに訪花しているセイヨウミツバチを捕獲して、背中にICタグ^{*2}(2×3mm角、厚さ0.5mm、重さ3mg)

を貼り付けて電子的に識別できるようにしました(図5左)。近傍の水田での殺虫剤散布前日まで6日間で合計600匹にタグ付けを行い、散布前日に巣箱の入り口に設置したICタグの読取り装置(図5右)で識別した働きバチの出入りを計測する技術⁷⁾を使い、栽培したシロガラシを訪花していた働きバチがどの巣箱から来たのかを把握しました。

その結果、シロガラシを利用していた働きバチが多い巣箱ほど、殺虫剤散布日とその2日後までに確認できた各巣箱前の死虫数は少なくなりました(図6)。つまり、シロガラシに働きバチを引きつけることで、殺虫剤曝露の影響を低減できることが示されました。今回の試験では、近傍の水田で殺虫剤が散布されてから半日程度遅れて巣箱前で確認できた死虫の数が増えはじめ、翌朝にピークを迎えた後、散布前と同程度の死虫数におさまりました(図7)。今回の試験では死因を特定できませんでしたが、殺虫剤散布後に急激に死虫数が増えたことから、死因は殺虫剤曝露の影響と判断しました。



図4 殺虫剤散布時に水田に飛来しないように巣箱を網で覆う試験の様子
写真は予備試験の時に撮影したものを。



図5 ICタグをつけたミツバチ(左)と巣箱の前のICタグ読取りゲート(右)
巣箱の前に右図のようなゲートを設置して、ミツバチが巣から出入りするときに必ず図中のアクリルチューブを通るようにし、チューブ内にぶら下げた読取りアンテナの下をICタグ付きのミツバチが通過すると、アンテナにつながった読取り機に入出力が記録されるシステム。

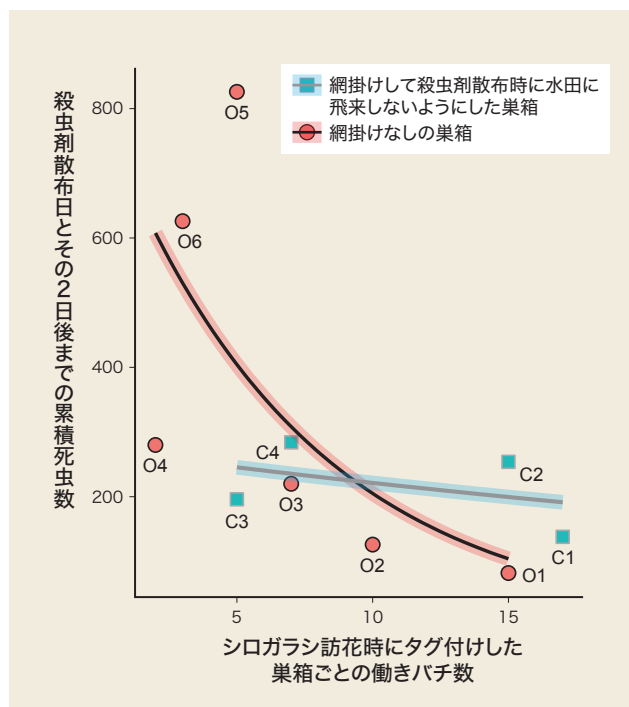


図6 シロガラシの利用程度と殺虫剤散布後のセイヨウミツバチの死虫数との関係

印横の巣箱番号は図2および7の番号と対応。2つの曲線は、累積死虫数とタグ付き働きバチ数の関係を網掛けありとなしの巣箱で計算したもので、それぞれの線の下を囲う半透明の枠は95%信頼区間。

熱ストレスの影響

今回の試験では、殺虫剤散布した水田周辺に飛来しないように網で覆った巣箱(巣箱番号C1～C4)でも死虫は少ない結果となりましたが、網掛けなしでシロガラシを多く利用していた巣箱(巣箱番号O1やO2)のほうが、死虫数が少ない結果になりました。これは、網掛けした間、餌や冷却用の水を取りに行けないため、炎天下にいた巣箱が熱などのストレスを受けた可能性が示唆されました。また、網掛けした4つの巣箱で比較してもシロガラシを多く利用していた箱ほど死虫数が少なかったのも、シロガラシから花粉や蜜を多く収集できた巣箱ほど熱ストレスに強かったのではないかと考えられます。

おわりに

今回の試験から、農地から離れた場所に餌源となる花畑を用意して、セイヨウミツバチを誘引することができると農地での殺虫剤散布の影響を低減できることがわかりました。ただし、セイヨウミツバチの巣箱一つに対してどのぐらいの面積の花畑を用意すれば良いかは明らかにできて

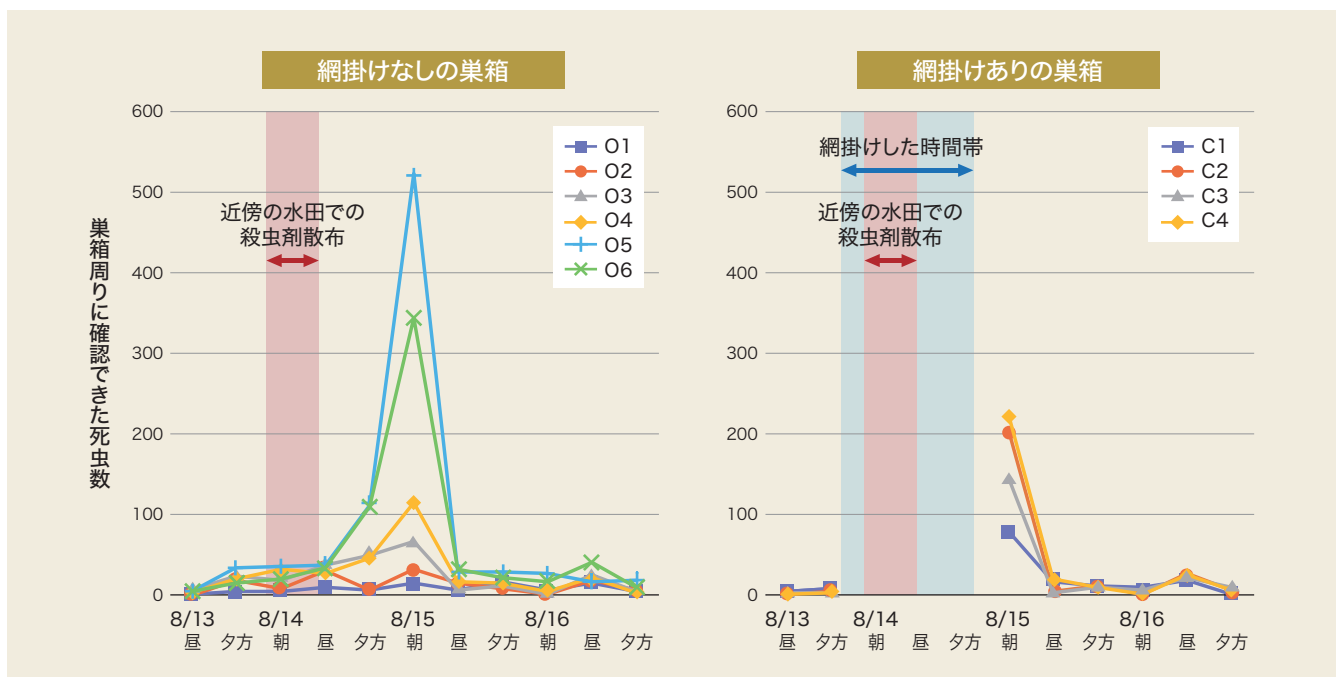


図7 殺虫剤散布された時間帯前後の網掛けの有無による死虫数の時間変化

それぞれの巣箱周りで確認された死虫は、朝(8時頃)、昼(12時頃)、夕方(16時頃)の一日3回採取して計測。

網掛けなしの巣箱(左図)では、殺虫剤散布日(8月14日)の夕方から、とくに3つの巣箱(巣箱番号O4、O5、O6)で死虫数が増加し始めて、15日朝にピークを迎え、その後は散布前と同程度の死虫数に低下。

網掛けした4つの巣箱(右図)でも15日朝の死虫数が増えているのは、網掛け期間に回収できなかった死虫が累積されているため。

いません。巣箱の数だけではなく蜂群の大きさなどにも必要な餌量に影響しますので、今後も実証試験を積み上げていく必要があります。また、今回の試験で殺虫剤が散布されたのはイネの開花期後でしたが、イネの花粉もセイヨウミツバチは集めることがわかっていますので、イネが開花している時期や、ミツバチが好む雑草の花などが多く水田周辺に咲いている時でもシロガラシのような花に働きバチを誘引できるのか検証が必要です。今回は北日本(北海道)の試験地で栽培実績があり、夏季に開花するシロガラシを誘引植物に使用しましたが、北日本以外では夏季にシロガラシを開花させるのは困難なため、シロガラシ以外の餌源となる植物を検討する必要があります。

こうした検証試験を各地で積み上げていくことで、セイヨウミツバチを殺虫剤曝露から守り、とくに夏季の餌不足を解消できる効果的な花畑の確保が進むと期待されます。有機栽培の促進などとあわせて、必要な時期に花畑を用意することで健全な蜂群育成が可能となり、蜂蜜生産や花粉交配用ミツバチの増殖に貢献できます。

(農業環境研究部門 農業生態系管理研究領域
生物多様性保全・利用グループ)

用語解説

- ※1 **シロガラシ** アブラナ科の一年生植物で、別名キクガラシや、緑肥作物名としてキカラシとも呼ばれる。種子はマスタードの原料に利用されるが、畑の緑肥や景観作物としても広く使われる。成長しながら上部で盛んに枝分かれし、枝先に黄色の花が次々に咲くため、開花期が一カ月程度と長い。
- ※2 **ICタグ** 無線電波を使って近距離の通信を行い、ICチップのデータを読み書きするRFID(Radio Frequency Identification)技術を利用したもので、個体識別に活用される。

参考文献など

- 1)小沼明弘・大久保悟(2015) 日本における送粉サービスの価値評価. 日本生態学会誌, vol.65(3), 217-226.
- 2)農林水産省畜産局(2021) 養蜂をめぐる情勢.
<https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kikaku/lin/sonota/attach/pdf/b-ee-28.pdf> (参照 2022-1-11)
- 3)Goulson, et al. (2015) Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. Science, vol.347(6229), 1255-1259.
- 4)農研機構プレスリリース(2014-7-18) 夏季に北日本水田地帯で発生が見られる巣箱周辺でのミツバチへの死の原因について.
https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/nilgs/053347.html (参照 2022-1-11)
- 5)Okubo, S. et al. (2021) Effectiveness of floral enhancement in reducing honeybee exposure to insecticides. Applied Entomology and Zoology, vol.56(2), 207-215.
- 6)Kamo, T. et al. (2018) A DNA barcoding method for identifying and quantifying the composition of pollen species collected by European honeybees, *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae). Applied Entomology and Zoology, vol.53(3), 353-361.
- 7)Okubo, S. et al. (2020) Effect of cold narcosis on foraging behavior of European honey bees (*Apis mellifera ligustica* Spinola) tracked using a radio-frequency identification (RFID) system. Journal of Apicultural Research, vol.59(5), 1027-1032.

トマト用接ぎ木装置を開発

中山 夏希

NAKAYAMA Natsuki



はじめに

世界におけるトマトの年間生産量は182,000千t、栽培面積は4,840千ha (FAOSTAT、2017)に及び、その生産量は年々増加しています。その中で、モントリオール議定書(1992)で定められた土壌消毒での臭化メチルの利用規制による土壌病害への対策技術として、また、トマトの樹勢を強化する手段として、世界的に接ぎ木苗^{*1}の需要が増加しています。

日本においても、トマトの接ぎ木苗の利用割合は全栽培面積の約58% (4,312ha)に達し(野菜茶業研究所、2011)、今後も増加が見込まれています。特に、近年では、苗を専門に生産する企業からの購入苗を利用してトマト栽培を行う生産者が増加しています。接ぎ木作業は、穂木および台木の茎を、各苗生産企業にて決められている切断角度で斜めに切断した後、苗の茎径に合った接合用チューブ^{*2}を選択し、両苗をつなぎ合わせ完了しますが、本作業を1本当たり20秒程度で行います。作業は主に熟練した作業員による手作業で行われており、接ぎ木苗を増産していくためには安定した作業員の確保、育成、増員が必須となりますが、そのような人材の確保が年々困難となっております。

苗生産企業にとって接ぎ木作業員の不足は深刻な課題であり、購入接ぎ木苗を今後も安定的に供給していくために、接ぎ木作業の自動化・省力化が強く求められています。既に市販されているトマト用の接ぎ木装置もありますが、広く利用されているものはなく、また、接ぎ木苗1本ごとに用いる接合資材^{*3}が、手作業用に用いられるチューブなどと比べると高価なため、低コスト化が求められています。

このため、農研機構では、接合資材に低コストな樹脂

製テープを用いる新たな接ぎ木方法(特許第6747637号「接ぎ木方法」)を開発するとともに、本方法を連続的に機械処理するための自動接ぎ木メカニズム(特許第6751948号「接ぎ木装置」)を開発しました。さらに、これらの技術を用いて、農研機構、イワタニアグリグリーン株式会社および京和グリーン株式会社と開発技術の実用化に向けた共同研究を実施し、この度、トマト用接ぎ木装置を開発したので紹介いたします。

トマト用接ぎ木装置および開発技術の概要

開発したトマト用接ぎ木装置(以下、開発機)は、苗の切断部、接合資材である樹脂製テープを取り付ける接合部、苗を把持し移動させる回転テーブル、テープ供給部などから構成されます(図1)。回転テーブルが45°ずつ間欠動作で回転し、テーブル周辺に設置した各作業部にて順次接ぎ木作業を行っていきます。装置の電源はAC100Vを使用しており、各作業を行う動作部には、応答性や正確性を得るとともに装置の調整作業の簡易化を目的として、主に電動アクチュエータ^{*4}を用いています。機体寸法は、全長730mm×全幅1,120mm×全高1,340mm、機体質量240kgです。

■ 動作の流れ

台木^{*5}は、地際から胚軸^{*6}の長さが40mm程度になるよう、セルトレイすべての苗の本葉側を切断し、胚軸のみ残した状態で準備しておきます。苗を供給する作業員1名が、穂木^{*7}と台木を1株ずつ回転テーブルに供給します。穂木苗は、子葉を取り除きながら供給します。苗供給後の装置での動作の流れは、苗の供給位置から45°回転した位置で、穂木と台木苗の斜め切断を同時に行い、さらに



90°回転した接合部にて樹脂製テープを取り付けます。最後に、接合部から90°回転した位置に設置されている機外搬出用のコンベア上に苗を送り出し、接ぎ木苗が完成し、機外へと搬出されます。

■ 供給部

苗の供給部では、回転テーブル上に取り付けた穂木および台木用把持ハンドに、両苗を供給します。回転テーブルには、円形プレート2枚を上下方向で取り付けており、上部側に穂木、下部側に台木用把持ハンドを取り付けています。機体に向かって右側に穂木、左側に台木の胚軸を並べて配置し、把持させます。

■ 切断部

開発機の接ぎ木方法は、穂木と台木を斜めに切断して接合を行う斜め合わせ接ぎです。電動アクチュエータに汎用の剃刀刃を取り付けており、同一のアクチュエータを用いて、直進動作により両苗の胚軸を斜めに切断しながら

ら切断面を一致させています。その際、苗切断後の余分な胚軸などを除去するために、圧縮空気によって吹き飛ばす仕組みとしています。

■ 接合部

樹脂製テープ(熱可塑性ポリウレタンエラストマー)は、ゴムのような伸縮性を持ち、この伸縮力を利用して苗の接合を保持しています。接合方法は、樹脂製テープを引き伸ばした状態で苗の接合箇所を挟み込み、苗の胚軸周辺の樹脂製テープのみを超音波溶着^{※8}することにより、接合箇所の固定を行っています(図2)。

樹脂製テープの連続的な供給方法を図3に示しました。まず始めに、2方向から樹脂製テープを供給し、図3①※に示した部分を、あらかじめ溶着しておきます。次に、テーブルの回転とともに、穂木用把持ハンドの左方向に取り付けたピンを用いて、苗に先行して樹脂製テープを引き出します(図3②)。最後に、樹脂製テープを溶着すると

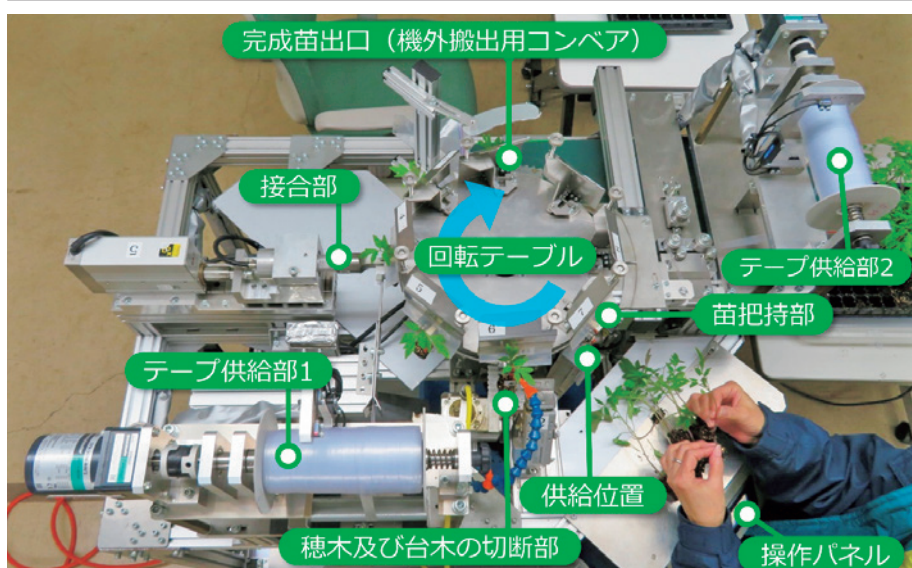


図1 開発機の構成

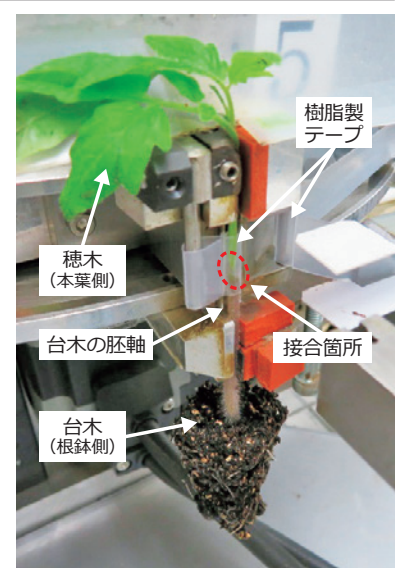


図2 接合の様子

もに、右端については、溶着と同時に切断を行うことで、1つの接合資材および接ぎ木苗を作製します(図3③)。機体側に残された樹脂製テープの両端についても溶着されているため、以降は、②③の繰り返しにより、連続的に供給しています。樹脂製テープのテンションは、テープ供給部のトルクモータによって制御しています。

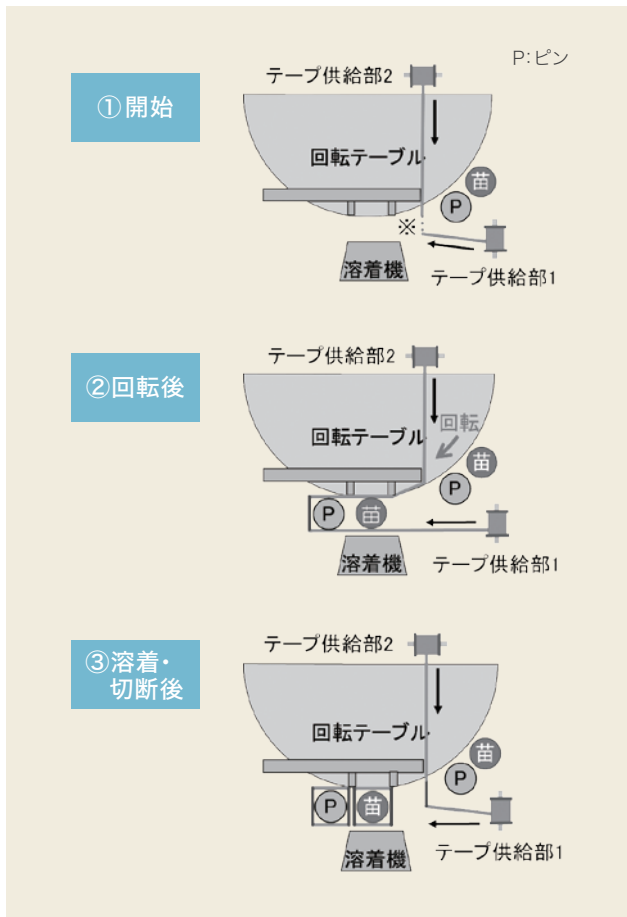


図3 樹脂製テープの連続的な供給方法

接ぎ木試験

■ 方法

農研機構および苗生産企業の育苗苗を供し、接ぎ木試験を行い、作業能率および活着率^{※9}の調査を行いました。供試苗の条件を表1に示しました。セルトレイは200穴規格を使用し、品種は、農研機構では台木「ボランチ」、穂木「ホーム桃太郎」、苗生産企業では台木「ボランチ」、穂木「CF桃太郎」を使用しています。供試苗数は、奇形苗や未発芽などを除き、農研機構ではセルトレイ1枚分の170本、苗生産企業では3枚分の544本とし、接ぎ木試験を行いました。

■ 結果

作業能率および活着率の結果を表2に示しました。開発機の作業能率は、450～520本/hとなりました。熟練作業による接ぎ木作業が200本/hであるのに比べると、2.25～2.6倍の能率となっています。また、1週間後の活着率を調査した結果、これらの条件において、いずれも90%以上となり、熟練作業者と同等程度であることを確認しました。試験2について、接ぎ木から2週間後の接ぎ木苗および樹脂製テープの様子を図4、5に示しました。本装置では、台木と穂木の茎の直径の差が平均で0.6mm程度以内の苗で、表1に記載した大きさ程度の苗条件にて、良好に作業可能であることを確認しています。

表2 作業能率および活着率

	試験1	試験2
供試数(本)	170	544
作業能率(本/h)	524	446
活着率(%)*	91.7	92.1

*養生・順化期間:5日、活着率調査:接ぎ木後7日

表1 供試苗の条件

	試験1*1				試験2*2			
	胚軸径(mm)		第1節間長 ^{※11} (mm)	胚軸長(mm)	胚軸径(mm)		第1節間長(mm)	胚軸長(mm)
	穂木	台木	穂木	台木	穂木	台木	穂木	台木
平均	1.4	2.0	32.7	50.5	1.4	2.4	34.1	57.1
最大	1.6	2.3	43.0	71.0	1.6	2.6	45.0	60.0
最小	1.1	1.7	20.0	37.0	1.3	2.2	27.0	51.0

*1 農研機構にて育苗、調査数:10本(10本/200穴トレイ)、品種:台木「ボランチ」、穂木「ホーム桃太郎」

*2 苗生産企業にて育苗、調査数:30本(10本/200穴トレイ×3枚)、品種:台木「ボランチ」、穂木「CF桃太郎」



図4 接ぎ木から2週間後の様子 -接ぎ木苗-



図5 接ぎ木から2週間後の様子 -樹脂製テープ-

樹脂製テープの特徴

樹脂製テープは、粘着剤を使用しておらず、超音波溶着を用いてテープ同士の接着を行うため、機械での取扱性が高く、苗周辺の水分や油分などの有無に影響されことなく作業が可能です。また、本研究で用いた樹脂製テープは、エコテックス®スタンダード100認証^{※10}を取得しています。

接ぎ木後の樹脂製テープについては、苗の生育に伴い徐々に溶着部分が剥がれて自然に脱落するので、慣行で使用されるチューブと同様に除去などの作業を必要としません。

苗1本当たりの樹脂製テープの価格は、市販価格での比較において、チューブ(手作業用)の約35~50%、クリップ(ウリ科の接ぎ木装置用でトマトにも利用可)の約15%です。

おわりに

本稿は、農研機構での基礎研究を基に、実用化を目指して民間企業とともに共同研究を実施し、開発した成果を紹介したものです。苗生産企業により苗の条件などは様々なため、装置を持ち込み各生産現場での接ぎ木試験を通して要望などを聞きながら、装置の普及活動を進めています。生産現場での人手不足は深刻化しており、本装置がその一助になれるよう、今後も普及活動など、積極的に進めて参りたいと思います。

(農業機械研究部門 知能化農機研究領域)

用語解説

- ※1 **接ぎ木苗** 接ぎ木とは、2種類の異なる特徴を持つ植物(穂木および台木)を組み合わせる1本の苗を作る技術で、接ぎ木苗は、病害に対する抵抗性の向上、樹勢強化、品質向上などを目的として、トマトの他、ナス、キュウリ、スイカなど多くの果菜類栽培で利用されています。
- ※2 **接合用チューブ** 樹脂製の弾性筒状体に切れ目が設けられた形状で、トマトの接合資材として最も用いられている接合資材です。内径が1.4~2.4mm程度の間で、0.3mm程度ごとに4種類程度の規格があります。それらを茎径に応じて、作業者の判断にて使い分けます。
- ※3 **接合資材** 接ぎ木面同士を接着、保持するための接ぎ木用資材です。トマト用では、チューブやクリップなどがあります。機械用では、チューブとクリップが合わさった形状のものがあります。
- ※4 **電動アクチュエータ** 電動で動作する装置です。
- ※5 **台木** 胚軸^{※6}と根からなる下部側の苗です。
- ※6 **胚軸** 地際(根)から子葉までの茎の部分です。
- ※7 **穂木** 地上部で展開していく上部側の苗です。
- ※8 **超音波溶着** 溶着箇所を金属などで挟むなどして加圧し、超音波振動によって加圧部に摩擦熱を発生させることによって瞬時に樹脂を溶融し、溶着する技術です。
- ※9 **活着率** 接ぎ木を行った苗の内、穂木および台木の切断面同士が接着し、生育した苗の割合です。
- ※10 **エコテックス®スタンダード100認証** 繊維関連の素材や製品について、有害な化学物質が含まれていないことを証明する国際安全規格です。(https://oeko-tex-japan.com/about/standard100/)
- ※11 **第1節間長** 子葉から第1本葉までの節間の長さです。

参考文献

- 1) 野菜茶業研究所(2011) 野菜の接ぎ木栽培の現状と課題, 研究資料, 第7号, 107-114.
- 2) 特許第6747637号(2020) 接ぎ木方法, 中山夏希, 吉永慶太, ゲン ロアン ティタン.
- 3) 特許第6751948号(2020) 接ぎ木装置, 中山夏希, 吉永慶太, ゲン ロアン ティタン.
- 4) FAOSTAT(2018) Data, Item: Tomatoes. https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize (参照 2022-2-16)

安価かつ簡便にハウスの遠隔監視に使えるIoT機器「通い農業支援システム」

山下 善道

YAMASHITA Yoshimichi

はじめに

わが国の農業現場では、農業従事者の減少により一人が担う作業面積が拡大するなど、これまで以上の作業負担の軽減技術が求められています。東京電力福島第一原子力発電所事故から11年が経過した被災地も例外ではなく、営農を再開した生産者に対して、作業負担を軽減できる実践的な支援が必要となっています。

福島県内の原発被災地では、大規模水稻生産法人や施設園芸農家などが、先行して営農を再開しており、徐々に以前の状態に近づきつつあります。また、従来の営農体系に加え、避難先や新たな居住地から通いながら行う農業「通い農業^{*1}」によっても営農が再開されてきました。

被災地での営農支援のため、このような通い先のハウスなどの見回り作業を支援できる、遠隔での監視技術が求められてきました。一方で、これまでの農業用途向けのハウスを遠隔で監視できるシステムは、通年で使用することが前提であり、水稻の育苗などの一時的な利用が中心となる被災地での運用では、高額過ぎてコスト的に見合いません。このため、ハウスを遠隔で監視することを検討している生産者が気軽に試すことができませんでした。また、近年のIoT技術で使用されている低価格のマイコンやセンサを活用して、遠隔監視システムを自作することも可能となりましたが、情報通信に関する専門的な知識が必要であり、生産者が簡便に遠隔監視システム製作や運用ができるものではありません。

そこで、農研機構では、見回りの負担を軽減することを目的に、生産者が安価かつ簡便に製作でき、スマートフォンで気軽にハウス内の状況を遠隔で確認できる「通い農業支援システム」を開発し、製作マニュアルとして取りまとめました。2021年8月のプレスリリースと同時に製作マ

ニュアルのウェブ公開を行い、皆様にご利用いただいております。

通い農業支援システムとは

通い農業支援システムは、ハウスに設置したセンサから温度などの情報を得て、スマートフォンのメッセージアプリに通知するシステムで、目的に応じて使用するプログラムを選択して自作するDIYのシステムです。本システムでは、ハウスの見回りに役立つ機能を用意しています(表1)。例えば、定期通知機能を利用することで、遠隔地にいてもハウスの温度を確認できるため、急な天候変化が起きても実際に足を運ぶかどうかを判断できます。また、警報通知機能を利用することで、ハウス温度の異常値がスマートフォンに通知されるため、冬期であればハウス暖房機器の停止に気づくことで低温障害の回避につながります。これらに加え、グラフ通知機能を利用することで、栽培管理に必要なハウス温度などの推移を確認できます。このように、通い農業であっても、生産者が必要な情報を適切なタイミングで得ることができ、安心して営農できるよう支援するシステムです。

表1 通い農業支援システムが提供する機能

通い農業支援システムの機能	機能の詳細
定期通知	・ハウスの温度などを任意の間隔(10分、1時間、指定時刻など)で通知
警報通知	・栽培上の異常値(高温・低温時の警報)の通知
グラフ通知	・取得データから「日平均値」「日最大値」「日最小値」を通知 ・取得データをグラフ化して通知
データ保存	・取得データをCSV形式で保存

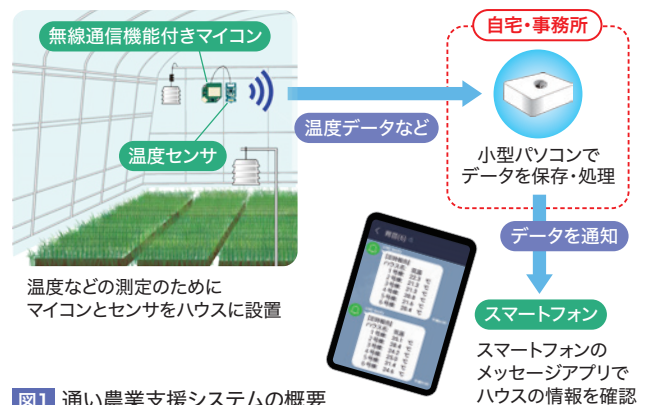


通い農業支援システムの試験を行った水稲育苗ハウス（福島県）

通い農業支援システムの特徴

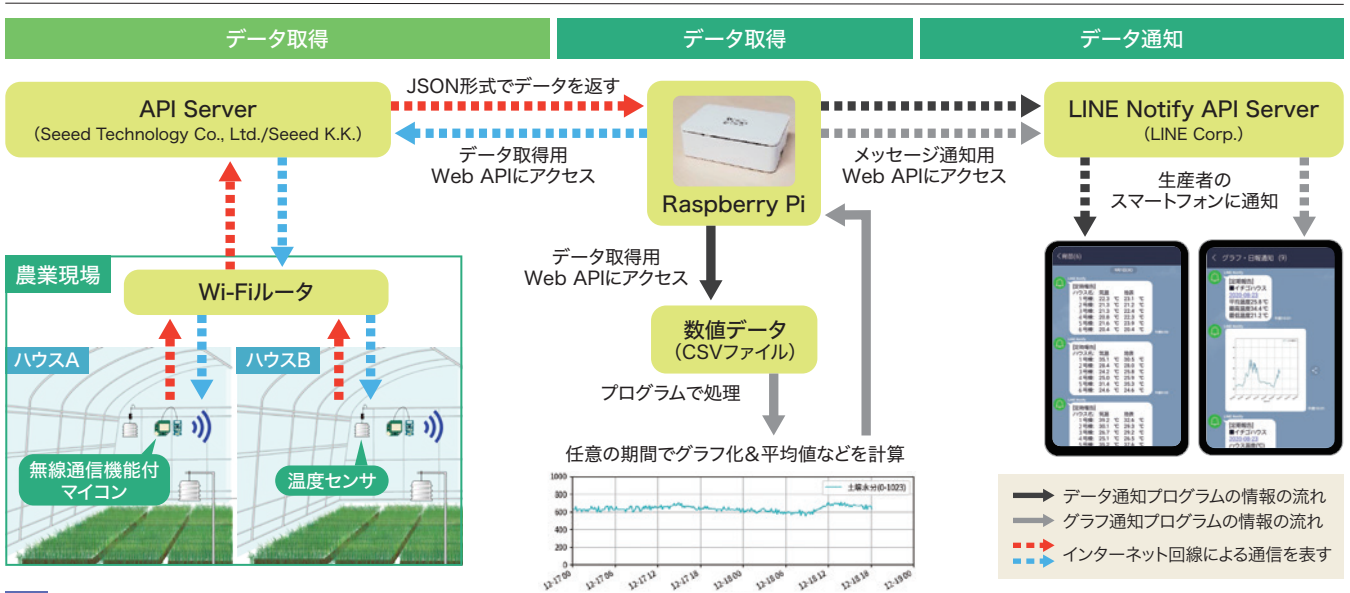
通い農業支援システムは無線通信機能付きマイコン（Seed社、ワイオノード「Wio Node」）と小型パソコン（ラズベリーパイ「Raspberry Pi」）を組み合わせ、小型パソコンで通い農業支援システムのプログラムを実行します。プログラムを実行することで、通信用のWi-Fiルーターを介して、ハウス内に設置したWio Nodeに接続されたセンサから温度などの情報がRaspberry Piに集められ、生産者のスマートフォンのメッセージアプリ（LINE）に通知されます（図1）。

ハウス内に設置するWio Nodeは、Raspberry Piとは直接接続されておらず、Seed社のAPIサーバと接続されており、Seed社が用意したWeb API^{*2}を介してデータを取得できます。このため、Raspberry Piはハウス内に設置する必要がなく、自宅や事務所に1台設置するだけで、複数のWio Nodeを異なる場所にある複数のハウスに設置してデータを収集し、一括で管理することが可能です。また、LINE株



式会社が提供するメッセージ通知アプリのLINEも同様に、LINE Notifyと呼ばれるメッセージ通知用のWeb APIが用意されており、これを利用してスマートフォンに温度データやデータの推移グラフといった情報を通知します（図2）。

Web APIを利用するためにはアクセストークン（ユーザーを識別するための固有の文字列）が必要です。近年、Web APIが用意されている製品やサービスが増えていま



- データ通知プログラムの情報の流れ
- グラフ通知プログラムの情報の流れ
- ⇄ インターネット回線による通信を表す

すが、その利用には専門的な知識や使用料が必要です。一方で、通い農業支援システムではメーカーのアプリやウェブページで簡単に取得し、無償で利用できるものを使用しています。なお、アクセストークンはプログラムに書き込んで利用します。

通い農業支援システムで使用するプログラムは、マニュアル記載の公開用ウェブページからダウンロードできます。通い農業支援システムは、ダウンロードしたプログラムを利用することで、プログラム作成に必要な専門的な知識が無くても、通い農業支援システムに用いるプログラムの作成が可能です。

このように、通い農業支援システムは、スマートフォンやパソコンを操作できるなどの知識があれば、製作マニュアルの手順に従うことで、ハードについては市販品を組み合わせ、ソフトについては配布プログラムを利用して、水稻育苗ハウスや園芸ハウスの温度などの情報を遠隔監視するシステムを自作し、運用することができます。

通い農業支援システムの機能と使い方

通い農業支援システムを利用するには、製作の準備、プログラムの設定、ハウスへの設置といった手順でシステムを完成させる必要があります(図3)。まず、Seed社が提

供するAndroid/iOS向けのアプリケーションで、使用するWio Nodeを登録し、使用するセンサを設定し、実際に接続します。アクセストークンを含んだHTTPから始まるデータ取得用のURLを自動的に取得できます。次に、事前にLINEアカウントを取得し、データを通知するためのLINEグループを作成しておきます。その後、LINE社のLINE Notifyと呼ばれるサービスのページでログインし、データ通知用のアクセストークンを取得します。プログラムの実行を行う小型PCについては、製作マニュアルに沿って事前に設定を行います。これらの製作の準備が終わった後に、通い農業支援システムが提供するデータ通知プログラムをプログラム公開用ウェブページからダウンロードします。この内、使用する機能を持つプログラム(表1)を開き、データ取得・通知用のアクセストークンを必要な箇所へ書き込み、ハウス名など通知するメッセージについても編集します。次に、プログラムを自動実行する間隔を、マニュアルに沿って設定することで、指定した間隔や時刻にスマートフォンにデータが通知されるようになります。最後に、温度センサなどを接続したWio NodeとWio Nodeを接続するためのWi-Fiルータを、ハウスに設置することで通い農業支援システムが完成します。設置の際には、Wi-Fiルータは蓋つきのコンテナなどに収納し、マイコンはジッパーバッグなどで覆うことで簡易な防水を施します。

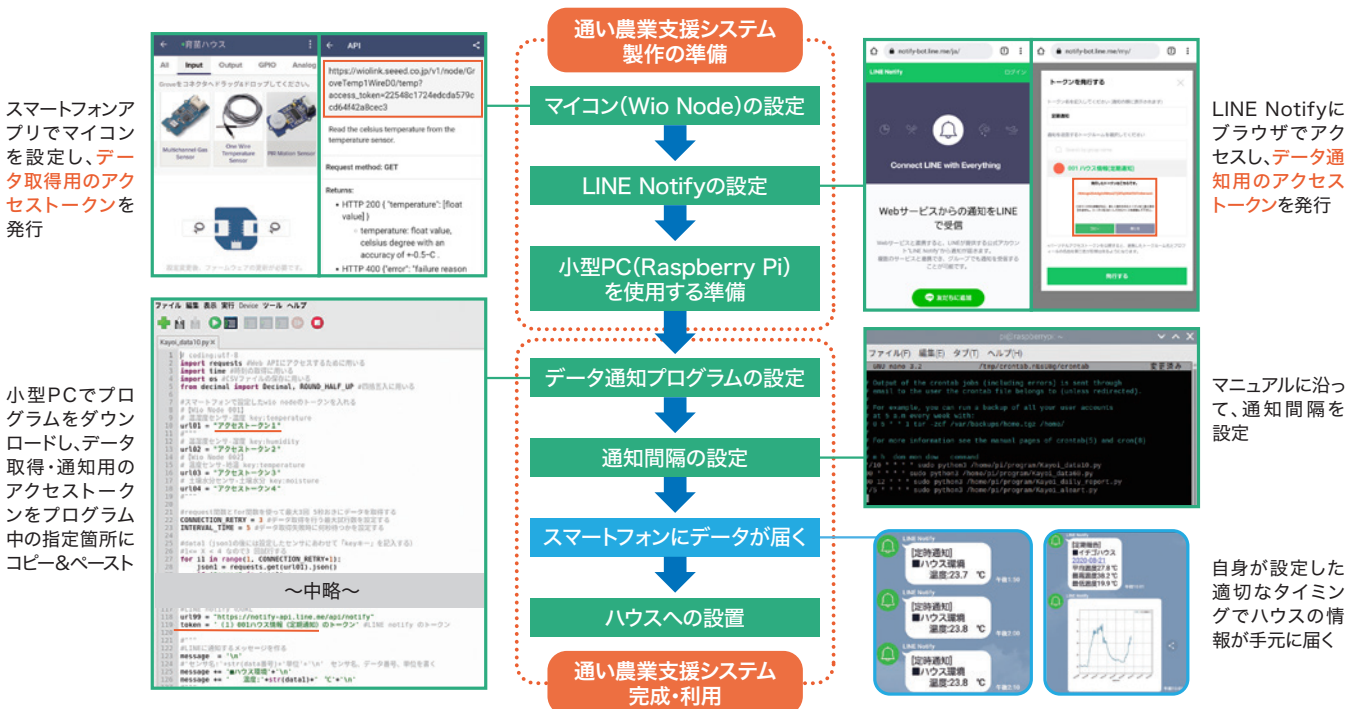


図3 通い農業支援システムの製作・利用の流れ

表2 通い農業支援システムの導入コスト試算 (単位:円)

必要な資材		1棟	3棟	6棟
①ハウス内に設置し、温度を取得するために使用	通信機能付きマイコン「ワイオ・ノード(Wio Node)」	¥1,300	¥3,900	¥7,800
	防水温度センサ	¥1,000	¥3,000	¥6,000
	電源用USBケーブル	¥110	¥330	¥660
	Wi-Fiルータ	¥5,000	¥5,000	¥5,000
②ハウス内の電源からマイコン設置場所までの電源延長に使用	USB延長ケーブル	¥500	¥1,500	¥3,000
	USB ACアダプタ	¥1,000	¥3,000	¥6,000
	100V電源延長コード他	¥5,000	¥15,000	¥30,000
③自宅や事務所に設置し、プログラムの実行に使用	小型パソコン「ラズベリーパイ(Raspberry Pi 3B+)」	¥6,000	¥6,000	¥6,000
合計		¥19,910	¥37,730	¥64,460
1棟当たりの費用		¥19,910	¥12,577	¥10,743

※100V電源のあるハウス1棟に1組のマイコンと温度センサを設置し、ハウス複数棟をWi-Fiルータ1台で使用した場合の試算。約1,000円/月のSIMカード費用がかかる。また、Raspberry Piの周辺機器は含まない。

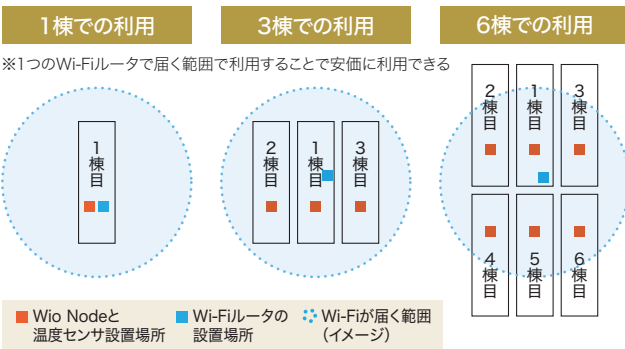


図4 通い農業支援システム導入のイメージ

通い農業支援システムの導入コスト

通い農業支援システムの導入コストは、設置するマイコンやセンサの数によって異なります。100Vの電源があるハウスで使用する場合、温度を取得するためにWio Nodeと防水温度センサを1組製作にかかる材料費は約4千円、ハウスに温度センサを1つ設置し、ハウス1棟に導入する場合は約2万円です(表2)。複数棟での利用は、1つのWi-Fiルータで通信可能であればコストを抑えることが可能です(図4)。このため、Wi-Fiルータ1台をハウス6棟で利用する場合は1棟当たり約1万円で製作することが可能です。

Wio Nodeの通信は、モバイルWi-Fiルータに格安SIMと呼ばれるデータ通信用のSIMカードを組み合わせたものを使用します。このため、システム利用の際の維持費は、格安SIMの通信費となります。格安SIMはデータSIM(3ギガプラン)を想定し、月に約1,000円としています。自宅などに設置するRaspberry Piについては、自宅のWi-Fiルータや有線のインターネット回線を使用する想定のため、新たに維持費はかかりません。

本試算では防水温度センサのみですが、湿度や土壌水分などのセンサを使用する際は、500～3,000円程度の費用が追加で必要となります。製作マニュアルで取り上

げている温度センサや湿度センサに関しては、実用上問題ない精度で利用できることを確認しております。

おわりに

通い農業支援システムは、製作マニュアル公開後、生産者の方々、自治体、JAやメーカーなど様々な方から問い合わせをいただき、「通い農業支援システムを作成したので、次作に使用したい」との声をいただいております。また、福島県内の若手生産者の団体でも導入され、役立てていただいています。現在は、農林水産省の委託事業にて、本システムを複数の生産者間や普及指導機関での情報共有に役立てることができるよう改良を進めています。ご興味をお持ちの方は、まずは「通い農業支援システム」で検索して、「通い農業支援システム」製作マニュアルの公開ページをご確認ください。そこから、マニュアルのダウンロードが可能です。

(東北農業研究センター 農業放射線研究センター 早期営農再開グループ)

通い農業支援システム 製作マニュアル

https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/142629.html



用語解説

- ※1 **通い農業** 特にここでは東京電力福島第一原子力発電所事故による避難後、避難先や新たな居住地から営農が再開された地域に通いながら行う農業。
- ※2 **Web API** ネットワークを通じてプログラムやソフトウェアの機能を外部から呼び出して使用するための仕様。

参考文献

- 1) 山下善道ら(2021) 営農再開後の通い農業を支援するハウス遠隔監視システムの開発とその展開. 農研機構研究報告, 2021(8), 211-230.
- 2) 山下善道(2021) 安価かつ簡便にハウスの遠隔監視に使えるIoT機器「通い農業支援システム」農研機構 普及成果情報. https://www.naro.go.jp/project/results/4th_laboratory/tarc/2020/20_067.html (参照 2022-2-7)
- 3) 農研機構プレスリリース(2021-8-31) 安価かつ簡便にハウスの情報をスマートフォンで確認 - 「通い農業支援システム」製作マニュアルを公開 - . https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/tarc/141378.html (参照 2022-2-7)

TOPICS

「みどりの食料システム戦略」 の実現加速化に向けた 農研機構の取組

本部NARO開発戦略センター 原田 久富美
HARADA Hisatomi



農林水産省HPより

■はじめに

農林水産省は、食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現する「みどりの食料システム戦略」(以下、「みどり戦略」)を2021(令和3)年5月に策定しました。これは、我が国の食料・農林水産業が生産者の減少など、生産基盤の弱体化に直面するなかで、将来にわたって食料の安定供給を図るため、特に、健康な食生活、持続的な生産・消費への転換、ESG(Environment:環境、Social:社会、Governance:ガバナンス)投資の活発化、さらにはSDGsや環境を重視する国内外の動きの加速などを踏まえた農林水産行政を推進するため、とされています¹⁾。

しかしながら、戦略策定の趣旨や背景をより深く理解するにはルールメイキングに熱心な欧州の一連の動きが参考になります。欧州委員会が推進する「欧州グリーンディール」政策(2019年)では、欧州の新たな成長戦略として、持続可能な社会への移行、つまりSDGsや環境への取組により世界的な主導権を確立する、としています²⁾。そして、この政策のうち農業食品産業分野で中核をなす「Farm to Fork戦略」(2020年)は、第一次産業を持続可能なものとするため、農業と林業を通じた炭素隔離や、バイオ肥料、バイオエネルギー、バイオケミカル活用による化学農薬の削減と化学農薬の総使用量とその使用に伴うリスクを2030年までに半減、さらにアニマルウェルフェアへの言及、2030年までにEUの農地の25%が有機農地を目標に掲げて、この達成に向けた共通農業政策(CAP)を通じた支援を導入しています³⁾。「みどり戦略」は、これら欧州の動きも意識して策定されたものと理解できます。

■「みどりの食料システム戦略」の

KPI(Key Performance Indicator:重要業績評価指標)達成に貢献する研究開発の実施状況

「みどり戦略」では、2050年までに温室効果ガスのゼロエ

ミッション達成、化学肥料の30%削減、化学農薬(リスク換算値)の50%削減、有機農業を25%に拡大、フードロス50%削減と幅広い分野で意欲的な達成目標が掲げられています(図1)。現時点からの実現可能性よりも、将来のあるべき姿を優先して目標設定することは従来の施策の進め方から一線を画すものとなっています。

農研機構には、各分野の目標達成に貢献できる研究成果や取組が多くあります。具体的には、①農林水産省などの行政や地域と連携し、普及を進めるべき開発済みの研究成果群、②農研機構の総力を挙げて分野横断的に短期的に実用化・普及を進める有機農業NAROプロジェクトや、③KPIに貢献する持続的イノベーション創出、④中長期的に次世代型農業技術の創出を目指す破壊的イノベーション創出の取組です。これらの研究成果や取組内容は、すでに、農林水産省が実施した情報交換会等の場で公表しています⁴⁾。

■戦略実現の加速化に向けた現状分析と取組方向

農研機構では、「みどり戦略」の実現加速化に向けて、ワーキングチームを新たに設置して、現状分析や取組方向について検討を進めています。

まず、温室効果ガス(GHG)は、排出源として水田や家畜関係、燃料燃焼の割合が高くなっていますが、燃料燃焼は温室や漁船、農業機械等の合計値なので、要因別にみれば水田からのメタン(CH₄)発生が最大となります(図2)。ゼロエミッション達成の加速化に向けては、短期的には、すでに農研機構により開発済みの中干し期間の延長などの削減技術を対象とし、地域条件等に合致した栽培体系の構築支援を行うことで、GHG削減と生産の両立を可能とする技術の普及拡大を進めることが重要です。さらにはGHG削減へのインセンティブ向上を図るため、農林水産省による支援制度や、J-クレジット制度などを活用して、経済的な支援につながる仕組みを構築する活動も重要です。中長期的には、農地および家畜消化管

みどりの食料システム戦略（概要）

～食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現～
Measures for achievement of Decarbonization and Resilience with Innovation (MeaDRI)

令和3年5月
農林水産省

現状と今後の課題

- 生産者の減少・高齢化、地域コミュニティの衰退
- 温暖化、大規模自然災害
- コロナを契機としたサプライチェーン混乱、内食拡大
- SDGsや環境への対応強化
- 国際ルールメイキングへの参画

「Farm to Fork戦略」(20.5)
2030年までに化学農薬の使用及びリスクを50%減、有機農業を25%に拡大

「農業イノベーションアジェンダ」(20.2)
2050年までに農業生産量40%増加と環境フットプリント半減

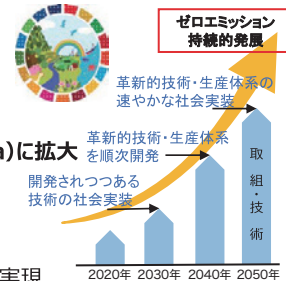
農林水産業や地域の将来も見据えた持続可能な食料システムの構築が急務

持続可能な食料システムの構築に向け、「みどりの食料システム戦略」を策定し、中長期的な観点から、調達、生産、加工・流通、消費の各段階の取組とカーボンニュートラル等の環境負荷軽減のイノベーションを推進

目指す姿と取組方向

2050年までに目指す姿

- ▶ 農林水産業のCO₂ゼロエミッション化の実現
- ▶ 低リスク農業への転換、総合的な病害虫管理体系の確立・普及に加え、ネオニコチノイド系を含む従来の殺虫剤に代わる新規農薬等の開発により化学農薬の使用量(リスク換算)を50%低減
- ▶ 輸入原料や化石燃料を原料とした化学肥料の使用量を30%低減
- ▶ 耕地面積に占める有機農業の取組面積の割合を25%(100万ha)に拡大
- ▶ 2030年までに食品製造業の労働生産性を最低3割向上
- ▶ 2030年までに食品企業における持続可能性に配慮した輸入原材料調達の実現を目指す
- ▶ エリートツリー等を林業用苗木の9割以上に拡大
- ▶ ニホンウナギ、クロマグロ等の養殖において人工種苗比率100%を実現



戦略的な取組方向

2040年までに革新的な技術・生産体系を順次開発（技術開発目標）
2050年までに革新的な技術・生産体系の開発を踏まえ、今後、「政策手法のグリーン化」を推進し、その社会実装を実現（社会実装目標）
※政策手法のグリーン化：2030年までに施策の支援対象を持続可能な食料・農林水産業を行う者に集中。2040年までに技術開発の状況を踏まえつつ、補助事業についてカーボンニュートラルに対応することを目指す。補助金拡充、環境負荷軽減メニューの充実とセットでクロスコンプライアンス要件を充実。
※革新的技術・生産体系の社会実装や、持続可能な取組を後押しする観点から、その時点において必要な規制を見直し。地産地消型エネルギーシステムの構築に向けて必要な規制を見直し。

期待される効果

経済

持続的な産業基盤の構築

- ・輸入から国内生産への転換（肥料・飼料・原料調達）
- ・国産品の評価向上による輸出拡大
- ・新技術を活かした多様な働き方、生産者のすそ野の拡大

社会

国民の豊かな食生活 地域の雇用・所得増大

- ・生産者・消費者が連携した健康的な日本型食生活
- ・地域資源を活かした地域経済循環
- ・多様な人々が共生する地域社会

環境

将来にわたり安心して暮らせる地球環境の継承

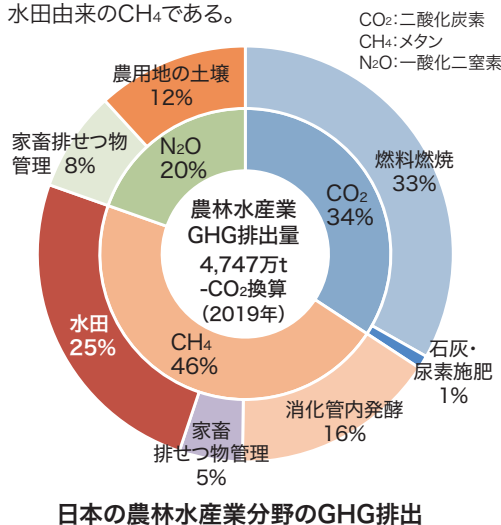
- ・環境と調和した食料・農林水産業
- ・化石燃料からの切替によるカーボンニュートラルへの貢献
- ・化学農薬・化学肥料の抑制によるコスト低減

アジアモンスーン地域の持続的な食料システムのモデルとして打ち出し、国際ルールメイキングに参画（国連食料システムサミット（2021年9月）など）

図1 みどりの食料システム戦略の概略（農林水産省HPより転載）

KPI: 2050年CO₂ゼロエミッション化

農林水産分野におけるGHG排出の4分の1は水田由来のCH₄である。



日本の農林水産業分野のGHG排出

出所：日本国温室効果ガスインベントリ報告書（2021年度4月版）、日本の温室効果ガス排出量データ（1990～2019年度）確報値より作成

KPI達成加速化に向けた取組方向

【短期】GHG削減効果の高い既存技術の普及促進

環境と生産(収益)の両立によりGHG削減技術の普及促進

公設試などと連携しGHG削減と生産を両立できる栽培体系の構築を技術的に支援。
中干し延長等

生産現場のGHG削減インセンティブを向上させる「CO₂削減みえる化」などを推進。



【中長期】GHG削減効果の高い革新的技術の開発

農地からのCH₄、N₂O排出量を80%削減
→農地の微生物を完全制御

牛など家畜からのメタン排出量を80%削減
→消化管内微生物を制御

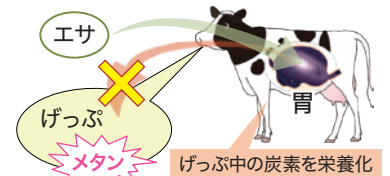
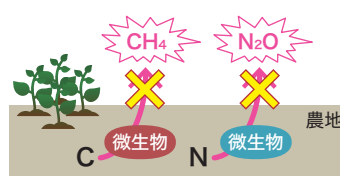


図2 農業のCO₂ゼロエミッション加速化のための取組方向

内の微生物を完全制御し、GHG排出を大幅削減するインパクトの高い革新的な技術開発を進めることが考えられます。

化学農薬使用量50%削減(リスク換算)については、農薬成分416種のうち土壌くん蒸剤の主要3種だけでリスク換算値の過半を占めることが判明しており、目標達成の加速化に向けては、まずこれらの削減に向けた取組が重要です(図3)。このため、短期的には従来から開発を進めてきた土壌診断に基づく総合的病害虫管理技術を、これら土壌くん蒸剤の使用が多い作目に横展開を進めることと、ドローンなどを活用して診断を簡易化する技術の開発も併せて行い、使用量が多い県と連携した開発・実証を進めることが重要と考えられます。さらに、中長期的には先進的な土壌センシング・メンテナンスなど革新的な技術開発を進めることが考えられます。

化学肥料使用量30%低減の目標達成を加速化するに

は、短期的には、野菜・水稻など使用量の多い品目に対して、地域・品目に合った配合の有機質肥料を提示し、その利用を促進することや、各県と連携して有機質肥料や土壌蓄積養分の活用による減肥対象を拡大し、施肥基準に反映させる取組が重要です(図4)。長期的には、塩害、干ばつに強く、低施肥でも栽培できる品種の育成を進め、画的に肥料効率の良い品種を創出することが考えられます。

有機農業の取組面積拡大(25%)を加速化するため、農研機構ではNAROプロジェクトを立案しました。作物の作付面積は有機以外も含め水稻が最も多いですが、有機農業の面積推移をみますと、水稻作が伸び悩む一方で、野菜、茶は増加している現状があります(図5)。このため、まずは水稻作を中心に慣行栽培よりも多くの利益が確保できる経営モデルを検討し、栽培面積の拡大にボトルネックとなっている、

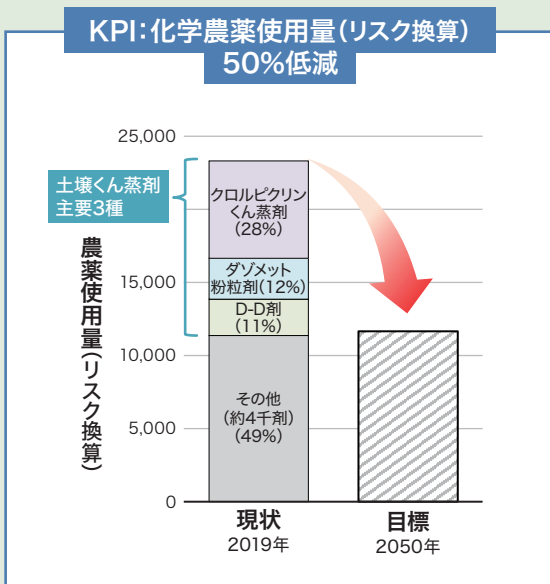


図3 化学農薬使用量(リスク換算) 50%低減加速化のための取組方向

KPI達成加速化に向けた取組方向

【短期】土壌くん蒸剤削減: 既存技術の改良・展開
土壌診断に基づく総合的病害虫管理技術
 かんしょなど土壌くん蒸剤使用が多い作目への横展開。ドローンやAIなどによる簡便化診断技術を開発。関係県との連携。

【中長期】使用量全体の低減: 革新的技術開発
土壌センシング → AI解析 → 土壌メンテナンス
 ・肥沃度
 ・土壌病害※
 ・微生物※
 ※将来開発
 レーザー照射で害虫防除
 天敵サポート資材
 次世代型バンカー資材
 →天敵管理の簡便化
 →多種害虫に対応

農業資材審議会農業分科会(第27回)資料では、農薬成分416種、リスク換算値総計23,330。クロルピクリン、D-D、ダゾメットのリスク換算値を日本植物防疫協会「農業要覧2020(2019農業年度)」などから調査し、残余を「その他」とした。クロルピクリンは有効成分含有量が異なる2剤(種類コード10471と10472)の合計値。

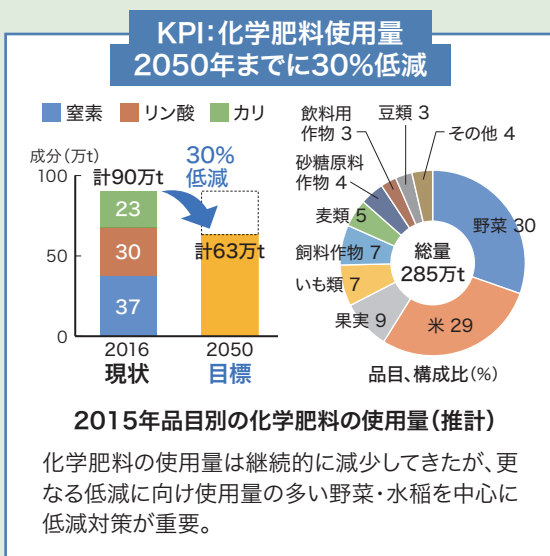


図4 化学肥料使用量30%低減加速化のための取組方向

KPI達成加速化に向けた取組方向

【短期】施肥適正化技術で施肥の無駄を抑制
減肥エビデンスを取得し取りまとめて、施肥基準に反映
 有機質資材データベースを拡充。減肥指針(キャベツ・レタス等の窒素、水稻のカリは策定済み)の対象肥料成分や品目を拡大。各県と連携して、減肥指針を横展開。

【中長期】少量施肥品種の育成
画的に肥料効率の良いスーパー品種のゲノム編集育種
 AIを活用して野生種のデータから新しい農作物をデザイン。

有機農業の取組の現状と目標

2050年までに、オーガニック市場を拡大しつつ、有機農業取組面積0.5%を25% (100万ha)に拡大。

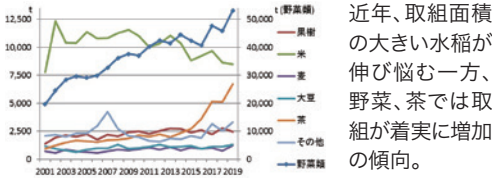
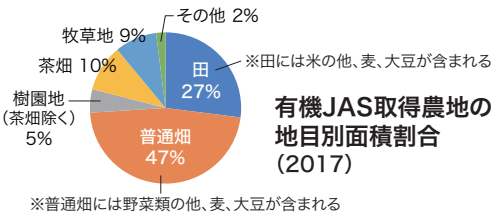


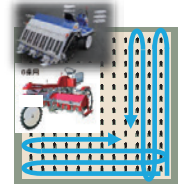
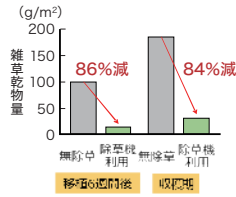
図5 有機農業取組面積拡大(25%)加速化のための取組方向

KPI達成加速化に向けた取組方向

【短期】慣行以上の収益を上げる有機水稻作経営の実現

除草作業の省力化により規模拡大、収益確保

有機水稻作では除草時間が慣行の4倍であり、この解消を図る除草技術、諸かる経営モデルを提示。



GNSSを活用し除草しやすい苗配置として、除草作業を高効率・高精度化。

野菜、茶等でも既存技術の高度化が必要

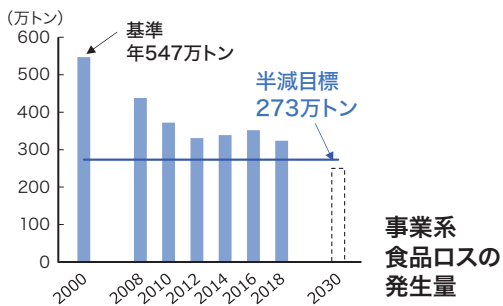
有機質肥料による化学肥料の完全代替
リビングマルチによる土着天敵の活用

【中長期】無化学農薬・肥料を実現する革新的技術開発

作物と雑草をAIで識別して選択的に除草
データ駆動型土壌メンテナンスによる土壌健全性向上
レーザー等の物理的手段や生物機能を利用した病害虫防除



KPI: 事業系食品ロス2030年度までに半減(2000年度比)



流通段階での事業系食品ロスに加え生産段階のロスの削減を進め、フードチェーン全体でのロス低減が重要。

図6 食品ロス半減(50%)加速化のための取組方向

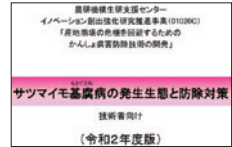
KPI達成加速化に向けた取組方向

【短期】生産・流通段階でのロス発生抑制



露地栽培での規格外品発生抑制、施設栽培での需要に応じた生育調整

精密出荷予測や需給調整システムによるロス削減効果の実証を拡大。



重要病害虫による被害果の発生を抑制する防除技術を開発。

【中長期】生産段階での余剰・規格外品の有効活用



3Dフードプリンティング技術により未利用の野菜・果実等を活用。

除草作業の効率化などの技術確立を進めることが重要です。このほか栽培面積も大きく、ニーズの高い茶などの取組も進める予定です。中長期的には、無化学農薬・肥料を実現する革新的技術の開発を進めることが重要です。

食品ロス50%削減目標について、現在は流通段階での事業系ロスを対象とした取組が想定されていますが、農研機構としては生産段階のロスにも対応し、フードチェーン全体でのロス低減に貢献することが重要と考えます。このため、短期的には生産・流通段階での野菜等の精密出荷予測や需給調整システムや、病害虫防除技術の適用拡大による未利用品の発生抑制によるロス削減効果の実証を進めることが重要です(図6)。中長期的には3Dフードプリンティング技術により未利用品を活用した新規食品提供することが考えられます。

■ おわりに

「みどり戦略」の実現加速化に向けては、研究開発成果を

広範かつ早期に横展開する取組への支援が必要となります。このため、農研機構は、農林水産省本省・地方農政局との連携の下、外部資金の獲得や各機関との連携協定の活用により、一層の都道府県行政・公設試験研究機関との協働の強化を図りつつ、生産現場におけるインセンティブ向上とともに、技術普及の取組を進めてゆきます。

参考文献

- 1) 農林水産省大臣官房環境バイオマス政策課(2021) みどりの食料システム戦略トップページ。
<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/index.html>
- 2) European Commission (2019) A European Green Deal.
https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- 3) European Commission (2020) Farm to Fork Strategy.
https://ec.europa.eu/food/system/files/2020-05/f2f_action-plan_2020_strategy-info_en.pdf
- 4) 久間和生(2021) みどりの食料システム戦略の実現に向けた農研機構の取組方向。
https://www.affrc.maff.go.jp/docs/innovate/attach/pdf/inobe_jouhou_koukankai-6.pdf

温故知新

>> 古きをたず(温)ねて新しきを知る



サツマイモ基腐病発生ほ場での品種・遺伝資源の抵抗性評価



サツマイモ基腐病感染による腐敗塊根の外観と内部症状



サツマイモ基腐病による地上部の枯れ

日本で初めて発生したサツマイモ基腐病に強いサツマイモ品種を開発する

KOBAYASHI Akira 小林 晃

サツマイモ基腐病の発生生態と防除対策 技術者向け(令和3年度版)

https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/151859.html



Editor's Note

編集後記

令和3年度最後の刊行となります第12号では、3つのカテゴリーで最新の研究成果、開発技術や取り組みを紹介しています。

第一に、日本の農作物の世界的食品ブランドとしての確立と輸出戦略に関する開発技術・取り組みとして、サツマイモの安定生産のためのサツマイモ基腐病の新たな検出技術、そして抹茶の国際標準化推進に向けた取り組みを紹介しています。サツマイモ基腐病に関しては、「温故知新」で抵抗性品種の開発についても紹介しています。

第二に、環境ストレスに対して安定・強靱な農業システムの確立に貢献する研究成果・技術として、イネや生物の乾燥ストレス応答メカニズムに関す

る新しい知見を2件、養蜂や花粉交配用ミツバチの夏季の熱や農業曝露の環境ストレスを軽減する技術を紹介しています。ストレス応答メカニズムのような基礎的な研究成果は、すぐに生産現場で活用できるものではありませんが、革新的な作物生産技術を開発する基礎となりますので、今後も技報でとりあげたいと考えています。

そして第三に、スマート化・自動化された技術として、トマト用接ぎ木装置、ハウスの遠隔監視用IoT機器を紹介しています。

以上の3つのカテゴリーの農研機構の研究開発を体感していただければ幸いです。

(編集委員長)

日本でのサツマイモの栽培は1605年、琉球国の北谷間切野国村出身で中国との進貢船の総管を務めた野国総管が中国から琉球国にサツマイモを持ち帰ったのが始まりです。自然災害に強く、飢饉の際には多くの人々の命を救ってきたことから、救荒作物として日本各地に広められました。人工交配による品種改良の始まりは1914年、全国規模での組織的な育種体制の構築は1927年のことです。農研機構では、1966年には作付面積1位(令和元年)の「コガネセンガン」、1984年には同3位の「ベニアズマ」、1985年には同5位の「シロユタカ」、2007年には同2位の焼き芋ブームの火付け役となり、輸出を牽引している「べにはるか」など多くの品種を育成してきました。今やサツマイモは、日本経済の活性化の一端を担う作物といえます。ところが、2018年に日本で初めて発生が確認された、茎葉の枯死およびイモの腐敗を引き起こすサツマイモ基腐病により南九州の産地は危機的状況に陥っており、その対策が喫緊の課題となっています。基腐病に対する品種の抵抗性について全く情報がなかったため、まずは鹿児島県内の基腐病発生ほ場で国内の品種や遺伝資源、約160種類を栽培し、抵抗性を評価することから始めました。絡み合う蔓を傷めないよう注意しつつ、2週間おきの発病調査を2年間行い、主要品種の殆どが基腐病に弱いことを明らかにしました。その一方で、でん粉原料の「こないしん」がやや強い抵抗性を持つことを見出しました。「こないしん」は「シロユタカ」の欠点を改良した、つる割病に強い品種です。基腐病の発生以前は、つる割病と線虫が南九州では問題となっていたため、線虫抵抗性にも優れている「こないしん」は育種素材として積極的に利用されており、育成系統の中には「こないし

ん」を系譜にもつものが多数ありました。「コガネセンガン」^{※1}の置き換えを狙っていた「九州200号」^{※2}もそのうちの一つです。「コガネセンガン」は、自殖や近親交配による優良遺伝子の集積と、導入種などの遠縁系統に有用遺伝子を蓄積させて雑種強勢を利用するという育種法の実践の中で誕生し、半世紀以上にわたり芋焼酎、菓子など、多様な用途で使われています。生みの親である坂井健吉氏には、途方もない数のイモを扱っていたために、ステッキ1本で淘汰すべきイモをはねとばしながら選抜したという「モーレツ育種」の逸話も残っています。そんな「コガネセンガン」の代替品種としての可能性が高いと、焼酎メーカーからの評価を受けたのが「九州200号」です。“運”のいいことに「コガネセンガン」より基腐病に強いこともわかりました。現地ほ場で「九州200号」を目にした人達からは品種化を要望する声もあがり、2021年、産地崩壊の危機を回避すべく予定を1年前倒して品種登録出願に至りました。

サツマイモの品種開発では遺伝的多様性を高めることに力を注いできました。「こないしん」と「九州200号」の抵抗性は、その系譜から米国品種に由来していると考えています。「コガネセンガン」に象徴される「素材の多様化と変異の拡大」という育種の原点への回帰が、基腐病抵抗性という幸運を引き寄せたのかもしれませんが、基腐病抵抗性品種の開発は始まったばかりですが、国内外から収集した遺伝資源の中からは、すでにいくつかの抵抗性素材を見出しています。抵抗性遺伝子マーカーの開発も始めています。世界最高レベルの基腐病抵抗性品種の育成に向けこれからも走り続けます。

(九州沖縄農業研究センター 暖地畑作物野菜研究領域)

※1 参考文献 コガネセンガン 一坂井健吉博士の“育種魂”が産んだ奇跡― 小林 奏宏(NPO法人唐芋ワールドセンター 東アジア唐芋友好協会)
※2 登録品種名は変更になる可能性があります。

農研機構技報

NARO Technical Report No.12

2022年3月22日発行

発行者/久間和生

発行所/農研機構 広報部広報戦略室(編集委員会事務局)

〒305-8517 茨城県つくば市観音台3-1-1

製作協力・印刷/株式会社アイワット

非売品



技報
バックナンバー

本誌研究内容に関するお問合せは

[https://prd.form.naro.go.jp/
form/pub/naro01/research](https://prd.form.naro.go.jp/form/pub/naro01/research)



『農研機構技報』NARO Technical Report 読者アンケートのお願い

ご意見・ご感想をお聞かせください

<https://prd.form.naro.go.jp/form/pub/naro01/ntr>



*本誌掲載の記事・写真・イラストの無断転載・複写を禁じます。



この冊子は、グリーン購入法適合の用紙を使用しています