

NARO

Technical Report

No. 17

/ Mar. / 2025



Topics

- ▶ 生成AIで農業をスマートに
- ▶ 進化するWAGRI

History

温故知新

研究成果を社会実装中

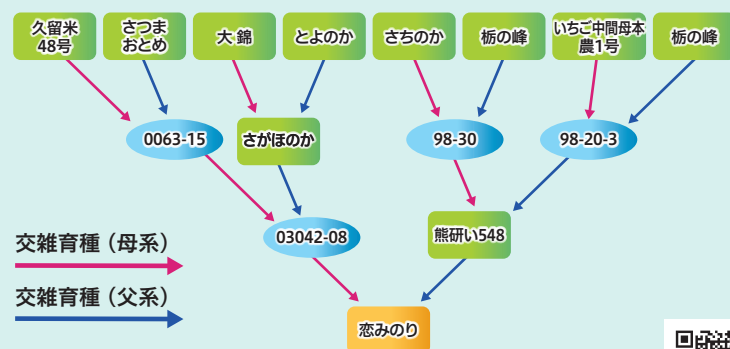
農研機構では、農業・食品産業におけるSociety 5.0の実現により
目指すべき姿を達成するための研究開発を行い、社会実装に向けた取り組みを進めています。

基盤技術研究本部には、**農業情報研究センター**、**農業ロボティクス研究センター**、**遺伝資源研究センター**、**高度分析研究センター**の4つの研究センターがあり、農研機構の各セグメント研究所での社会実装を目指した
応用研究や基礎研究などで利用できる基盤となる技術を開発しています。

1 農業情報研究センター

ウェブで使える 作物家系図の作成ツール 「Pedigree Finder」

品種の祖先・子孫の情報を提供・利活用するデータベース



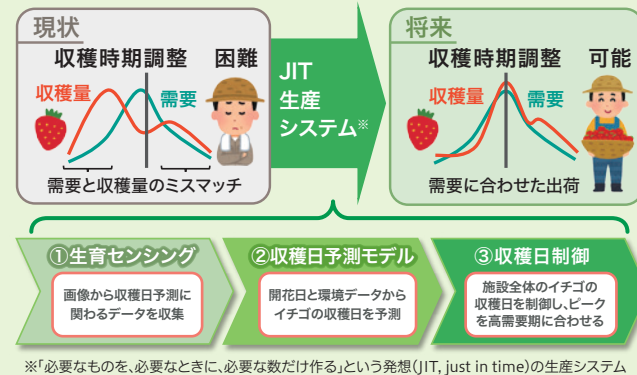
貴重な植物遺伝資源である 在来品種データベース公開



日本全国の在来品種291品種の特徴や
栽培方法、栽培の現状、写真など、在来品種
の特性を活用するための情報を整備

3 遺伝資源研究センター

イチゴの収穫日を高精度に予測し 制御する技術を開発



※「必要なものを、必要なときに、必要な数だけ作る」という発想(JIT, just in time)の生産システム

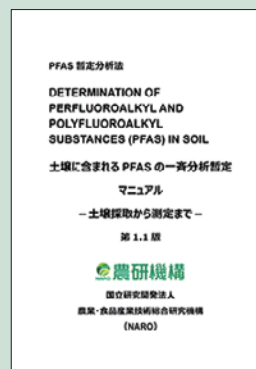
2 農業ロボティクス研究センター

生産者が作物の需要動向を
踏まえて、収穫時期を正確に
調整し、計画的な出荷を可能
とする次世代の農業生産の
基盤技術の開発

土壤に含まれる PFASの一斉分析 技術の開発



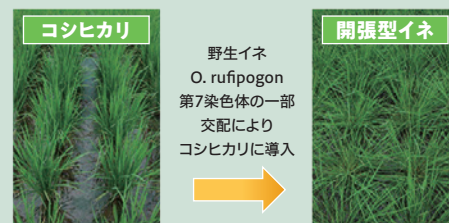
※マニュアルから記載



土壤採取から測定までの
分析マニュアルと利用する
分析装置各メーカーに対
応したメソッドを開発

4 高度分析研究センター

野生イネの遺伝子を活用し、 雑草防除の負担が少ない「開張型」のイネ品種の開発



開張型イネは、米の品質や収量を保持
しつつ、従来の品種に比べて効率的に
太陽光を遮ることで水稻群落下の雑
草の生育を元品種の半分以下に抑制
する。水稻栽培における雑草防除の負
担(除草剤の散布や除草作業)を軽減
させて省力化や環境保全に貢献

草型変化 → 太陽光利用効率向上 → 成長促進 / 土壤被覆 → 雑草抑制

04 特集「AIの農業現場への 実装をめざして」

05 特集によせて

中川路 哲男

06 1 画像認識を使った生育初期における雑草の判別 松橋 彩衣子

10 2 AIを活用した 「バレイショ異常株検出支援システム」の開発 大石 優

14 3 水田の害虫ウンカの発生量を調べるための カウントシステムの開発 矢代 敏久 高山 智光

18 4 害虫の3次元飛行位置をリアルタイムで予測し、 高出力レーザーで狙撃する新技術 渋谷 和樹

22 5 AIによるウンシュウミカン糖度予測手法 森岡 涼子

26 6 農業・食品データサイエンスを加速させる NMRメタボロミクス研究基盤技術の開発 伊藤 研悟 関山 恭代

30 7 AIを活用したため池の地震解析補正手法の開発 泉 明良

<トピックス>

34 ▶生成AIで農業をスマートに 石原 潤一

36 ▶進化するWAGRI 法隆 大輔

38 温故知新

特集

AIの農業現場への 実装をめざして

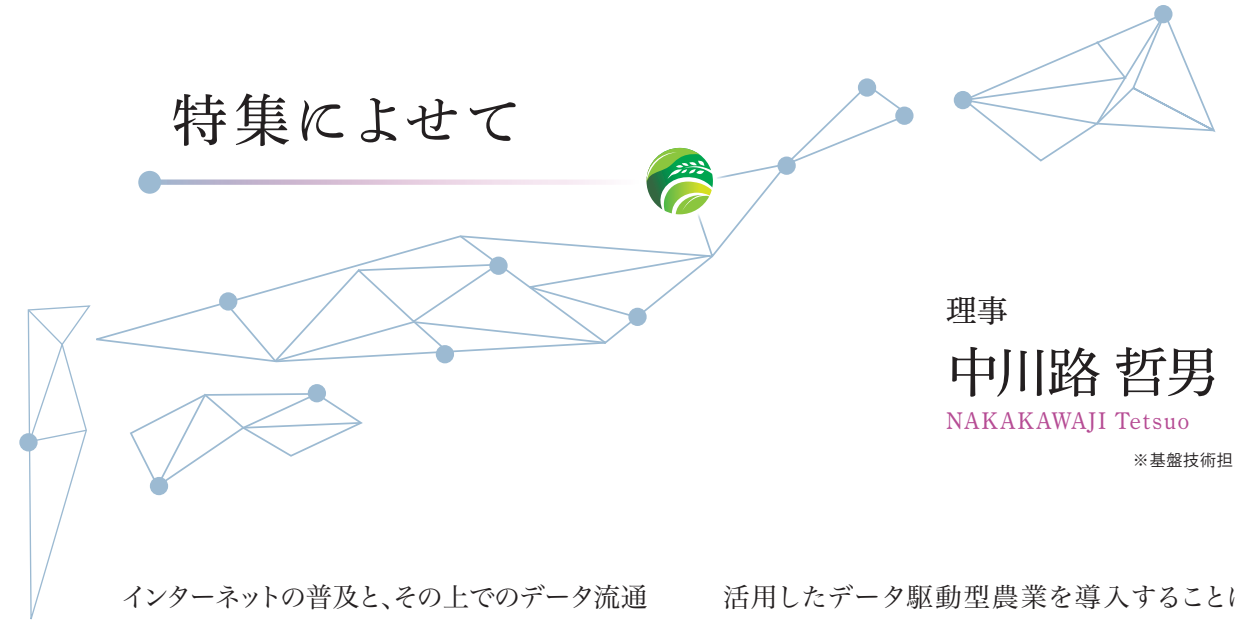
自然や生き物の変動をデータとして正確に取得し、
AIで分析・予測する



middle_resnet



特集によせて



理事

中川路 哲男

NAKAKAWAJI Tetsuo

※基盤技術担当

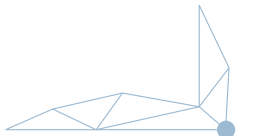
インターネットの普及と、その上でのデータ流通は私たちの日常生活を大きく変えました。外出する際は、スマホで天気を調べ、電車の運行状況に問題がないことを確認し、地図アプリの案内で目的地に到着する。もし事故などが起きれば通知が来る。連絡を取りたい相手とチャットやメールでやりとりする。このようにデータを活用し、その後ろで動くAIの力を借りて、安全・安心・快適に毎日を過ごすことが当たり前になっています。

農業においてはどうか？ 農業は自然や生き物といった変動の大きな事象が相手の業務ですので、その動きをよく知ることが重要です。例えば、気象、土壌、作物の生育、病虫害などです。従来それらについては、人の目や勘や経験で状況把握したり、今後を予想して作業計画を立てたりしていました。一方近年では、ドローンやセンサなどのセンシング機器が充実し、多種多様なデータを正確に取得することが可能になってきました。それらのデータをAIで分析・予測することにより、より精緻な状況判断や予測が可能となります。さらに、気候変動に対応した新しい品種や栽培方式、みどりの食料システム戦略に基づく新しい生産体系も色々と開発されておりますので、データをフル

活用したデータ駆動型農業を導入することにより、省力化・収量向上・コストダウンなどを図っていくことが可能となります。

農研機構では、このような背景の下、2018年に農業情報研究センターを設立し、データ駆動型農業のための要素技術として、AIやデータ連携基盤を開発すると共に、各研究セグメントとの連携により、現場への普及展開に努めてまいりました。また直近では、画期的新技術として注目されている生成AIの農業分野での活用に向けた研究開発に取り組み、2024年10月にその成果をプレスリリースしたところです。本号では、その生成AIも含めて、農業情報研究センターや研究セグメントが開発してきたAIやデータ活用の研究成果をご紹介します。いずれも論文のための机上の研究ではなく、現場のデータに立脚した、現場への普及を目的とした研究成果であるところが特徴です。

データ活用やAIといったITはとすれば難しく、使いにくい技術になりがちです。今後、現場での使いやすさにも留意しながら技術開発とその普及に努めていく所存です。



画像認識を使った生育初期における 雑草の判別：変化する形をどうとらえるか

松橋 彩衣子

MATSUHASHI Saeko

はじめに

画像の中から生き物を見つけ、種名を特定する技術は、スマホアプリなどを通してすっかり身近なものとなりました。「コンピュータービジョン」、あるいは単に「AI」と呼ばれることもあるこの画像認識(image recognition)という技術は、農業における雑草管理の分野でも、2010年代後半から盛んに研究開発が行われるようになりました¹⁾。

私たちのグループでも、国際競争力強化技術開発プロジェクト「AIを活用したスマート除草システムの開発」により、畑作で深刻な被害をもたらす外来雑草を、生育初期の画像から診断するアプリを試作し、搭載されている検出モデルの公開を行いました(農研機構職務作成プログラム 畑作警戒雑草実生検出モデル)。なぜ生育初期に着目する必要があるのでしょうか。警戒が必要な雑草を生育初期に見つけることができると、抜き取りやすい・除草剤が効きやすい・作物生育への影響を予防できるといったメリットがあります。それは結果として、生産現場を効率的に雑草害から守るだけでなく、減農薬に繋がり、環境保全型農業に貢献することとなります。

しかし、アプリに搭載する雑草検出器を作る中で、「生育初期に見つける」ということには、様々な課題があることが分かってきました。本稿ではその課題の一つである「形の変化」について掘り下げた研究成果²⁾をご紹介します。

特定の雑草を 生育初期に見つける難しさ

植物の生育初期は、開花期などと比較すると、小さくて見つけづらい生育段階と言えます。また生育初期の姿は、図鑑やインターネットでも情報が少ないため、たとえ見か

けたとしても、警戒すべき雑草であるかどうかは、専門知識なしでは分かりません。そのため、画像認識の力が期待されるわけですが、画像から生育初期の雑草を正確に同定することも決して容易なことではありません。例えば、雑草と作物の生育初期は反射特性が似ているため、RGB画像の色のみで見分けることは難しいと言われています³⁾。そうすると、形で見分ける必要がありますが、一般的に、生育初期の植物は短期間で見た目が大きく変化します。例えば、図1では、本稿で扱う雑草の写真を示していますが、子葉と本葉では、形が全く異なります。知識が無いと、同じ種と気付くことは難しいでしょう。生育初期の雑草の種類と葉齢の同時推定に挑戦した研究もありますが、認識精度にばらつきが生じる結果となりました⁴⁾。生育初期に形が大きく変化しても認識精度を維持するには、どうすれば良いのでしょうか。私たちは、学習条件を工夫することで、この問題を解決できないかと考えました。

形が変化しても精度を維持するため には、どう学習させればよいか

図1のように、同じ種でも子葉と本葉で形が異なる場合、どのように学習させれば良いのでしょうか。子葉段階と本葉段階を分けて学習させるのが良いのか、それともまとめて学習させるのが良いのか、基本的な疑問ですが、その答えを教える先行事例はありませんでした。そこで私たちは、生育初期の雑草の検出器・分類器を作る際に、恐らく誰もが直面するであろうこの問題に取り組むことにしました。

方法は単純です。まず、畑作で問題となる外来雑草のうち、子葉と本葉で形が異なる4種(オオブタクサ、マルバハコウ、マメアサガオ、アレチウリ)の画像を沢山集めます。

今回は、高さ30cm未満の個体を対象としました。次に、各種の画像を「子葉のみ」「子葉と本葉」「本葉のみ」という3つの生育段階に分けます(図1、2)。今回は、各種各段階について350枚ずつ深層学習用の画像を用意しました。それらを使って、全段階をまとめた場合(A)、一部まとめた場合(B、C)、段階ごとに分けた場合(D)の4通りの条件を作ります(図2)。それらをそれぞれ学習させ、モデルの認識精度を比較します。学習アルゴリズムには、物体検出

YOLO (You Only Look Once)^{*1}v5と画像分類VGG (Visual Geometry Group)^{*2}19を使いました。モデルの認識精度の指標には、それぞれAP (Average Precision: 平均適合率) またはAcc (Accuracy: 正解率) を用いました。



図1 本研究で対象とする、畑作で問題となる外来雑草4種
子葉と本葉の枚数により生育段階を1～3に定義。
※Matsuhashi et al. 2024の図を改変して使用

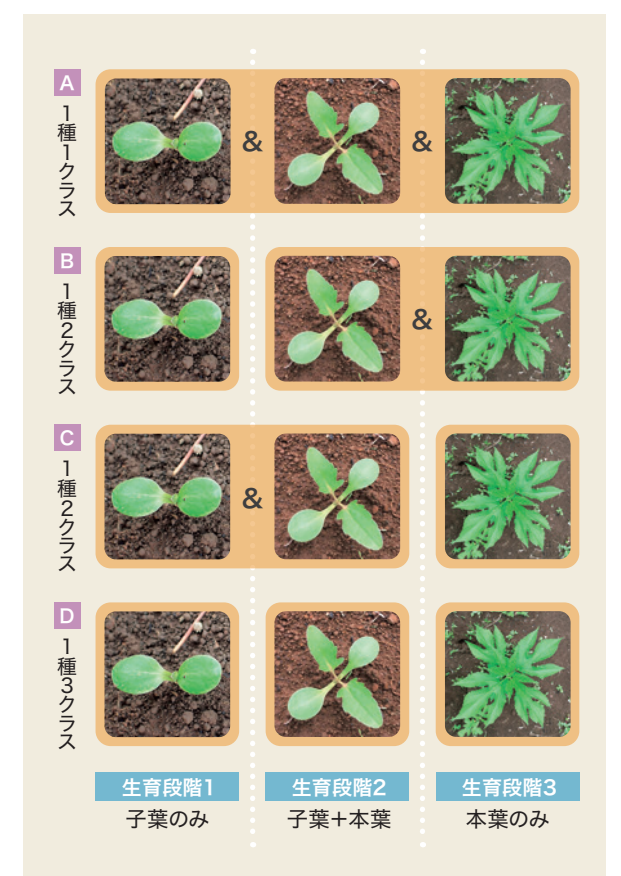


図2 本研究で比較した4通りのデータセット(A～D)
生育段階のまとめ方によって、定義が異なる。
※Matsuhashi et al. 2024の図を改変して使用

あえて異なる形をまとめて学習させると、頑健になる

すべての学習条件の中で、生育段階をすべてまとめた条件(A)が最も精度が高くなりました(図3)。反対に、生育段階を最も細かく分けた学習条件(D)では、一部で精度の低下が見られました。

学習条件によって、画像中の雑草の特徴の捉え方に違いがあるかを調べるために、判別成功時の結果を比較しました。YOLOv5では出力されるボックスの大きさと位置を、VGG19ではGradCAM(Gradient-weighted Class Activation Mapping)^{※3}という特徴をマップ化する手法を使って比較しました。結果、A〜Dで顕著な違いは認められませんでした(図4)。つまり、学習条件が異なっている、特徴として見ている部分には、大きな差がないことがわかりました。

また、オオブタクサ、マルバルコウ、マメアサガオについては、実験ほ場で16個体ずつ栽培し、週2〜5日撮影して、葉の枚数の増加に伴い認識精度が変化するかを調べました。どの学習条件でも、認識精度は一定ではなくばらつきましたが、特に「本葉のみ」で学習させた条件(C、D)では、マルバルコウの本葉段階をマメアサガオやアレチウリの本葉段階と誤判定しやすくなりました(図5上)。一方で、本葉と子葉をまとめた学習条件(A、B)では、こうした誤判定の増加はみられませんでした。また、マメアサガオやアレチウリをモデルから除くと、A〜Dの差は解消されました(図5下)。これらから、形の変化が大きい生育初期は、精度のばらつきは生じるものの、形の異なる生育段階をまとめて学習させた方が、種の認識精度は維持でき、頑健なモデルとなることが示されました。マルバルコウ・マメアサガオ・アレチウリの本葉段階のように、一時的に形が似る種同士を判別したい場合は、あえて形が異なる生育段階の画像をあわせて学習させることで、誤判定を回避できる可能性が示唆されました。

雑草は、生育段階により防除のしやすさや適切な防除方法が異なるため、ある個体の防除方法を最適化するに

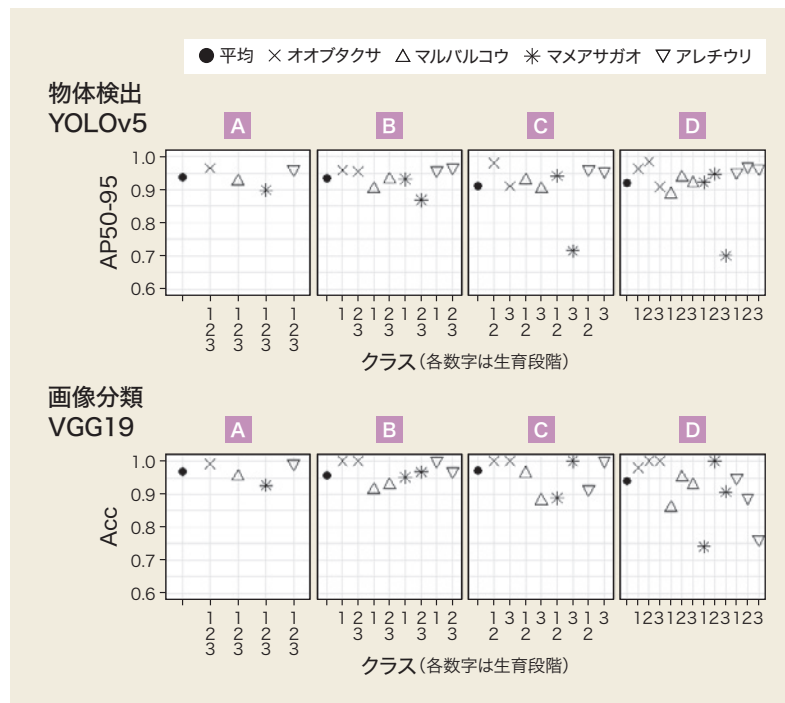


図3 データセット(A〜D)ごとの精度 (Average Precision, Accuracy)
生育段階をまとめたAと比較し、細かく分けたDでは精度がばらつく。
※Matsuhashi et al. 2024の図を改変して使用

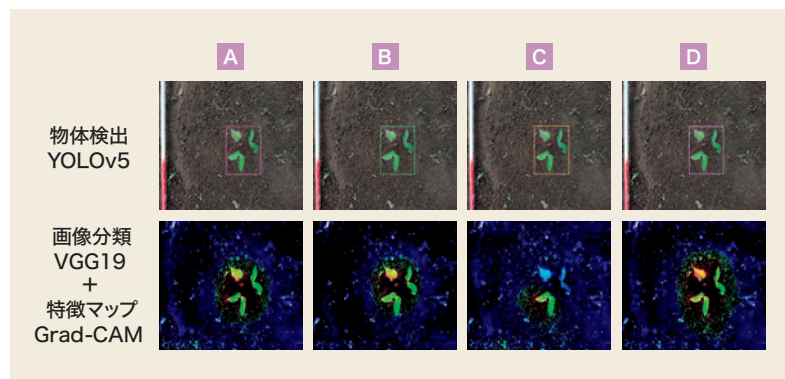


図4 判別に成功した場合の結果
見かけ上、データセット間で大きな違いは見られない。
※Matsuhashi et al. 2024の図を改変して使用

は、種と生育段階の同時判定が理想です。しかし、今回の研究では、形のよく似た複数種を学習させる場合、生育段階を細分化した学習で、種の誤判定を招くリスクが示されました。生育段階を判定する場合には、C、DではなくBのように分けるなど、分け方を工夫することが重要です。種と生育段階の同時判定における課題は、学習画像のさらなる充実や、今後のアルゴリズムの改良などにより、将来的に解決できるかもしれません。

形の変化は雑草のみならず、あらゆる植物で観察される現象です。本研究の結果は雑草以外の画像認識においても役立てることが期待できます。

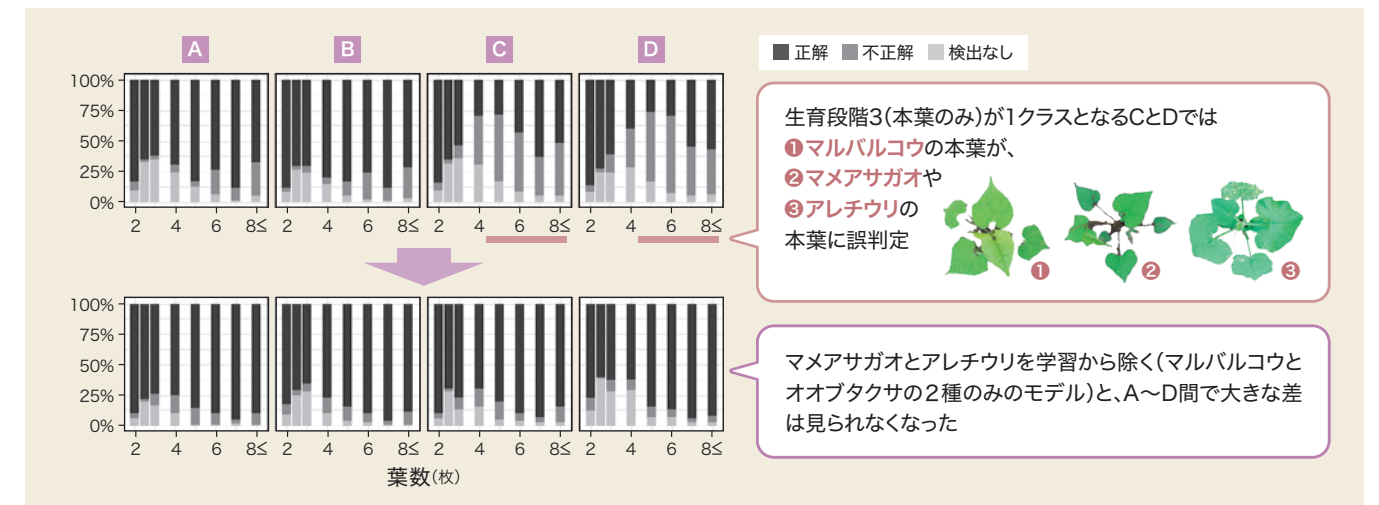


図5 マルバルコウ16個体の経時的な撮影画像におけるYOLOv5の判別結果 ※Matsuhashi et al. 2024の図を改変して使用

おわりに

最初に述べた通り、画像認識の雑草管理への適用は、世界中で研究開発が進められていますが、海外の関連論文の多くはSite-Specific Weed Management (SSWM; 局所雑草管理) への貢献について言及しています。これはまだ、日本語が定着していない用語ですが、精密農業の一要素であるSite-Specific Management (SSM; 局所管理。ほ場よりも小さい空間スケールにおける管理を指す。)の枠組みの中に位置づけられます。通常、除草剤散布や機械除草といった農地における雑草管理は、ほ場全体に行います。しかし、SSWMでは、雑草が生えている場所のみを管理の対象とします。それにより、作物生産を維持しながら除草剤の使用量を低減する、つまり、生産性維持・減農薬・コスト低減の同時達成が期待できるのです。SSWMを最適化するには、雑草の生えている場所の特定、種の同定、さらには生育段階や量の把握が重要となります。それらを人間が行おうとすると大変な労力となりますが、画像認識の支援があれば、飛躍的な効率化が見込めます。もし画像認識がそれらを完全に担うことができれば、それは大きなブレイクスルーとなるはずです。そのため画像認識の活躍には、熱く期待が寄せられているのです。

このような雑草管理における野心的で大きな目標が背景にある中で、世界では大小様々な目的に向かい研究が行われています。本稿でご紹介した「形の問題」は、とても基本的な一歩です。こうした一歩を積み重ねていくことで、私たちは画像認識をより理解し、使いこなすことができる

でしょう。また、学習画像の共有も、画像認識の精度向上における鍵となります。すでに雑草に関しては、多くの国で画像データセットを公開していますが⁵⁾、私たちのプロジェクトでも、畑作で警戒が必要な外来雑草6種(オオブタクサ、マルバルコウ、マメアサガオ、アレチウリ、ワルナスビ、ヒロハフウリンホオズキ)の収集画像について、できるだけ使いやすい形で広く公開するよう準備を進めています。こうした国際的な共有の積み重ねが、雑草管理におけるブレイクスルーの到来をより近いものにするはずです。私たちも、微力ながらそれに貢献していきたいと考えています。

(植物防疫研究部門 雑草防除研究領域 雑草防除グループ)

用語解説

- ※1 YOLO (You Only Look Once) 畳み込みニューラルネットワークを利用した、画像中の特定の物体を検出するアルゴリズムのひとつ。リアルタイム性に優れ、雑草管理分野における人気も高い。
- ※2 VGG (Visual Geometry Group) 畳み込みニューラルネットワークを利用した、画像を特定のグループに分類するアルゴリズムのひとつ。
- ※3 GradCAM (Gradient-weighted Class Activation Mapping) 畳み込みニューラルネットワークを利用した画像分類の判断根拠をヒートマップ化する手法。説明可能AI (XAI) のひとつ。

参考文献

- 1) Rai, N. et al. (2023) Applications of deep learning in precision weed management: a review. Computers and Electronics in Agriculture, vol.206, 107698.
- 2) Matsuhashi, S. et al. (2024) Enhancing image recognition robustness in early weed detection through optimal training data curation. Weed Science, vol.72(5), 546-552.
- 3) Wang, A. et al. (2019) A review on weed detection using ground-based machine vision and image processing techniques. Computers and Electronics in Agriculture, vol.158, 226-240.
- 4) Teimouri, N. et al. (2018) Weed growth stage estimator using deep convolutional neural networks. Sensors, vol.18(5), 1580.
- 5) Coleman, GRY. et al. (2022) Weed detection to weed recognition: reviewing 50 years of research to identify constraints and opportunities for large-scale cropping systems. Weed Technology, vol.36(6), 741-757.

AIを活用した「バレイショ異常株検出支援システム」の開発

大石 優
OISHI Yu

はじめに

バレイショは、世界4大作物の一つで、重要なカロリー供給源としての役割を担うと共に栽培しやすい特性を持ち、国内では約220万tの生産量を有する基幹農作物です。しかし、バレイショは栄養体である種イモを種苗として用いるため、増殖率は一作で10倍程度と少ないことに加え、病害虫への耐性が低く、特にウイルス病は一度感染すると完治させることは不可能です。一部の病気に感染したバレイショから生産されるイモもまた、ウイルスや細菌に感染しており、それが種イモに混じると、畑の中で感染源となります。さらに、収穫時に取りこぼしたイモがウイルスに汚染されたまま翌年また成長して病気の感染源になるため、安定した生産を継続するためには、他の作物に類を見ないほど厳しい管理が求められます。国内では農研機構種苗管理センターが管理する原原種^{※1}ほ場、道・県採種組合が管理する原種ほ場・採種ほ場による段階的な増殖を経ると共に、植物防疫法^{※2}に基づく検査を行い、合格したものだけが種イモとして流通し、バレイショ一般

生産者に渡ります(図1)。この検査に合格するための管理作業のうち、最も労力を必要とするのが「抜取り」作業です。抜取り作業は、栽培期間中に熟練者が定期的にほ場をくまなく歩き、目視でウイルス病などが疑われる異常株を見つけ除去、ほ場外に人力で搬出することで、健全株のみを残す作業です。この抜取り作業を行うためには、異常株を判別する高度な知識と経験を備えた熟練者が必要となることに加え、種イモ栽培は一般栽培に比べて1ha当たり40.4時間(1ha当たりの総投下労働時間207.6時間のうち約20%)の追加労力を要するとされています¹⁾。このように労働負担が大きく、国内では就農者の減少に伴う種イモの供給不足が懸念される要因となっています。これらの解決を図るため、省力化および経験の浅い人でも抜取り作業を可能にするための支援システムが生産現場から強く求められてきました。そこで、原原種生産業務として異常株の抜取りを実践している種苗管理センター、画像認識技術を専門とする農業情報研究センター、バレイショの病害虫に詳しい北海道農業研究センター、機材の加工やほ場管理を実施する管理本部技術支援部北海道

技術支援センター、生産者の視点から作業効率などに関する知見を有する十勝農業協同組合連合会、そして実用化に向けた改良を行うシブヤ精機株式会社からなる協力体制のもと(図2)、生産現場のニーズを反映し、準リアルタイムで異常株を自動検出してユーザに音やライトで報知する、「バレイショ異常株検出支援システム」を開発し(図3)、実用化に向けた取り組みを加速させています²⁾。

課題と対策

当面の検出対象品種は「トヨシロ」「コナヒメ」「キタアカリ」としました^{※3}。これらで国内生産の3割以上をカバーすることが可能です。検出対象は、効果的な防除農薬のないジャガイモYウイルスと重要な病害と認知されている細菌による黒あし病としました^{※4}。さらにこれらの病気は生

育時期によって病徴が異なることを考慮し、生育初期には「重度な生育遅延」と「れん葉症状」、生育中期には「モザイク症状」「黄変・壊疽症状」「萎れ症状」を対象病徴としました(図4)²⁾。
異常株の判定に使う教師あり深層学習モデルは、高品質な教師画像を大量に必要としますが、実際の種イモ生産ほ場では多大な労力投下に支えられた厳格な防除体制により異常株の発生割合は非常に低くなるため、短期間で深層学習に必要な枚数の異常株の画像を確保することはできません。そこで北海道札幌市と帯広市に、他のほ場とは隔絶した専用の試験ほ場を設置し、健全種イモと、ジャガイモYウイルスまたは黒あし病菌を人為的に感染させた罹病種イモを植付けることで高頻度に異常株が発生するようにしました。また、試験ほ場では定期的に大量の株を撮影することが重要です。撮影の効率化を図るため、

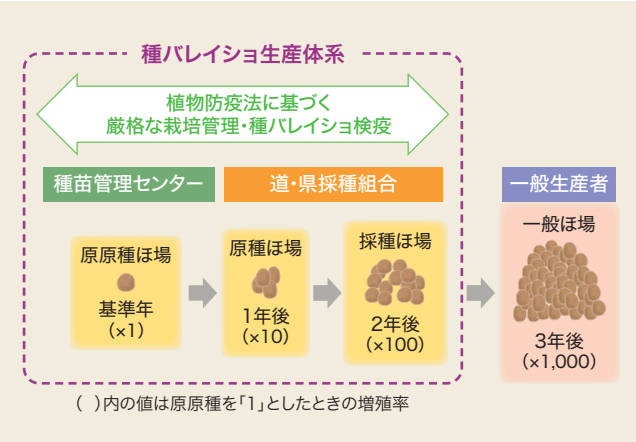


図1 種バレイショ生産体系

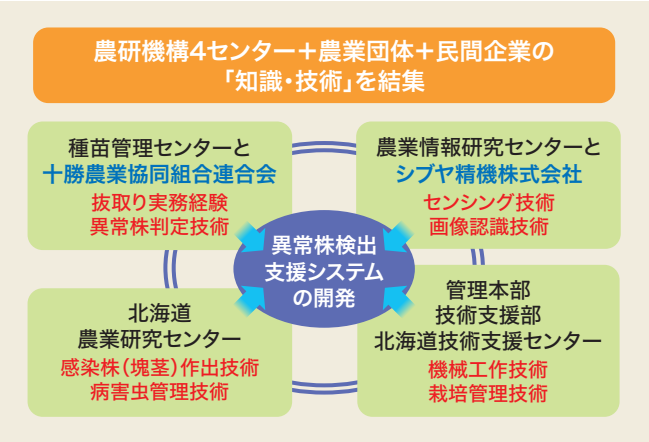


図2 連携体制



図3 バレイショ異常株検出支援システムの概要
※異常を赤枠で表示



図4 対象品種と対象病徴



図5 熟練者レベルの不明瞭な病徴

日除け付きの撮影用台車^{※5}を開発することで安定した撮影を実現しました。さらに本システムでは抜き取り熟練者が判定できるレベルの不明瞭な病徴も検出対象にすることを特徴としており(図5)、撮影画像から教師データを作製するには多くの専門知識や目視判別経験が必要です。そのため抜き取りに関する高度な知識と経験を備えた熟練者が教師データを作製することで、この課題を解決しました²⁾。

検出手法

生育初期は隣接株同士の葉の重なりが多くないため、各株の切り出しが可能です。そのため、まず深層学習物体検出モデルによる各株の切り出しと、サイズ評価を行います。あらかじめ設定したサイズよりも小さい株については、この時点で異常株と判定します。次に、あらかじめ設定したサイズよりも大きい株の画像を深層学習分類モデルに投入し、「健全株／異常株」の分類をします(図6)³⁾。

一方、生育中期は隣接株同士の葉が重なり合っており、各株の切り出しは容易ではありません。また熟練者は各葉を見るのではなく、複数の葉を周囲の葉と比較して判断していることから、まず画像をグリッド分割します。次に、グリッド画像を深層学習分類モデルに投入し、異常葉を「含む／含まない」の分類をします(図7)³⁾。2021～2023年に試験ほ場で撮影した画像(熟練者が判定できるレベルの不明瞭な病徴の画像を含む、生育初期の健全株画像879枚、異常株画像277枚、生育中期の異常葉を含む画像27,322枚、異常葉を含まない画像26,150枚)を使ってモデルの学習およびテストをした結果、生育初期、生育中期共に、健全、異常それぞれの分類精度は95%以上に達しました。

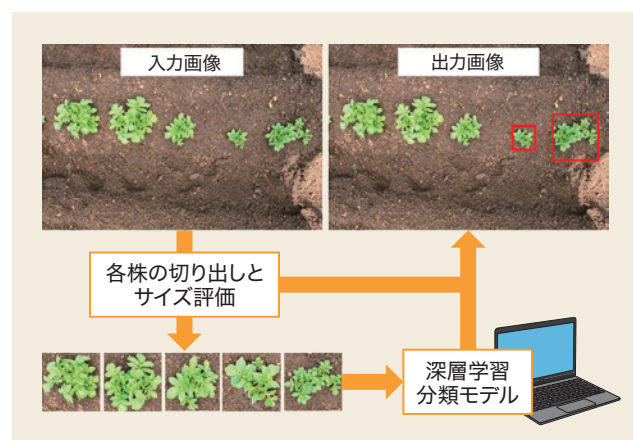


図6 生育初期の異常株検出手法 ※異常を赤枠で表示

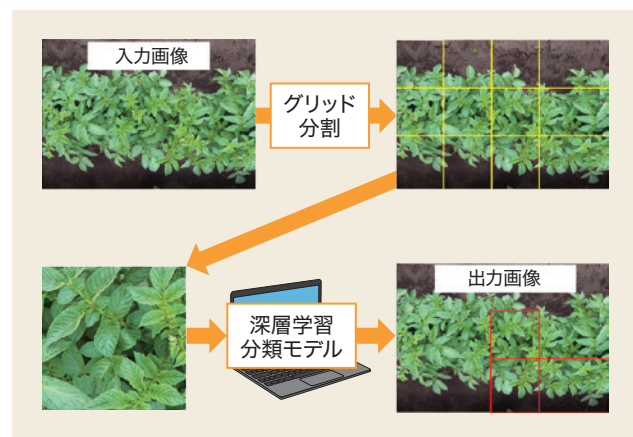


図7 生育中期の異常株検出手法 ※異常を赤枠で表示

おわりに

開発したシステムを実運用するためには、実用性の向上が不可欠です。そのため、今年度から種苗管理センターが管理する原原種ほ場で試験運用を開始しました。また、これまで研究ほ場で撮影およびテストをしてきましたが、実用化に向け様々な生育環境に対応できるシステムにす

現場のニーズに合わせた車両を開発・システム搭載



マッピング・ナビゲーションシステム



図8 実運用に向けた取り組み

る必要があるため、今後は異常株検出の汎化性能^{※6}を上げ、種イモ生産ほ場(原原種、原種・採種ほ場)で撮影およびテストをして課題を明らかにしつつ、解決することで実用化を目指します。また、現場のニーズに合わせた車両を開発し、そこに開発システムを搭載すると共に、異常株の位置をデジタルほ場図にマッピングし、異常株の位置まで作業者を誘導するナビゲーション機能を付与します。さらに既存の営農管理システムと連携させることで、現場で使ってもらえるシステム開発をします(図8)。一方、ドローン空撮では上記システム程の高精細な画像取得が困難ですが、ほ場に立ち入ることなく画像撮影できるため、より簡便かつ高頻度に撮影をすることで、早期に病害検知ができる可能性があります。そのため、現在開発している技術が現場に実装された後の展開として、バレイショ異常株検出へのドローンの利活用についても研究を続けています⁴⁾。

(基盤技術研究本部 農業情報研究センター
農業AI研究推進室 画像認識ユニット)

付記：本稿で記載された研究は、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」(O1022C)および「戦略的スマート農業技術の開発・改良事業」(JPJ011397)の研究成果です。

用語解説

- ※1 原原種 バレイショは増殖率が約10倍と、種子繁殖である他の主要作物と比較して極端に低いため、増殖工程を多く設定する必要があり、一般栽培に必要な種イモ量を確保するため3段階の増殖を行う。上流に行くほど専門性の高い知識や技術、隔離環境などを必要とし、不測の事態(重要病害虫の発生など)には緊急性をもって正しく対応することが望まれる。そのため、最上流である原原種生産は農研機構種苗管理センターが担っている。
- ※2 植物防疫法 輸出入植物および国内植物を検疫し、植物に有害な動植物の発生を予防、駆除すると共にそのまん延を防止し、農業生産の安全および助長を図ることを目的としている。植物防疫法に基づく国内検疫を必要とする種苗はバレイショのみ。同法に基づく検査では、防疫検査官が実際に種バレイショほ場に立ち入り、目視確認により、ほ場の状態や異常株の有無を検査する。

営農管理システム



とする種苗はバレイショのみ。同法に基づく検査では、防疫検査官が実際に種バレイショほ場に立ち入り、目視確認により、ほ場の状態や異常株の有無を検査する。

- ※3 種苗管理センターが生産・配布している約60品種から、加工用、でんぷん原料用、生食用それぞれの用途において需要の大きい品種を選定した。令和4年度バレイショ原原種生産計画において、各品種が全体に占める割合は、「トヨシロ」(加工用)9.0%、「コナヒメ」(でんぷん原料用)18.2%、「キタアカリ」(生食用)5.0%で、3品種の合計は約32%。なお、「トヨシロ」「キタアカリ」は農研機構(旧北海道農業試験場)、「コナヒメ」はホクレン農業総合研究所の育成品種。
- ※4 ジャガイモYウイルスと黒あし病はいずれも国内発生が確認され、感染力が高く、拡大すると減収被害が大きくなる病気であること。また、治療効果のある農業がなく、物理的な除去でしか感染源を減らすことができない特徴を持つことから対象とした。ジャガイモYウイルスは、モザイク、れん葉、黄変・壊疽などの病徴を呈す。アブラムシによって媒介されるため、徹底したアブラムシ対策や感染株の早期除去、生産農場周辺の環境浄化などで対応。黒あし病は種イモの腐敗や萎れ、茎基部の黒変などの病徴を呈す。塊茎伝染するため、保菌塊茎から種イモが増殖されることによってまん延する可能性があり、感染株の早期除去などで対応する。
- ※5 図3に示した、ほ場管理車両を改良した異常株検出支援システムを中心に、用途や現場の要望に適した作業機にも展開。様々な生育環境におけるデータ収集に特化し、ほ場間の運搬が容易な、電動小型台車、抜き取り作業のさらなる省力化を目的とした電動乗用カートを開発している。さらに種イモ生産現場で使用されている乗用三輪管理車に開発システムを搭載するための改良を続けている。
- ※6 汎化性能 モデルの学習に使用したデータセット以外の未知のデータに対する性能で、実用化に向け様々な生育環境に対応できるシステムにするには汎化性能を高める必要がある。

参考文献

- 1) 北海道農政部生産振興局技術普及課(2018) 北海道農業生産技術体系 第5版。
- 2) 農研機構 プレスリリース(2023-10-31) AIを活用した「バレイショ異常株検出支援システム」の開発 ―健全な種バレイショ生産の軽労化と技術継承を目指して―。 https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/ncss/160105.html (参照 2024-9-25)
- 3) Oishi, Y. et al. (2021) Automated abnormal potato plant detection system using deep learning models and portable video cameras. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, vol.104, 102509.
- 4) 大石優ら(2023) ドローン画像を用いたバレイショの異常株検出. 日本リモートセンシング学会誌, vol.43(1), 15-27.

水田の害虫ウンカの発生量を調べるための カウントシステムの開発

矢代 敏久 高山 智光
YASHIRO Toshihisa TAKAYAMA Tomohiko

はじめに

コメは世界の半数以上の人々の主食であり、特にアジア地域では全世界の約90%のコメが生産・消費されています。そのアジア地域の水田におけるイネの最重要害虫がイネウンカ類です。イネウンカ類は、成虫でも体長3.5～5mm程度の小型の昆虫で、トビイロウンカ *Nilaparvata lugens**¹、セジロウンカ *Sogatella furcifera**²、ヒメトビウンカ *Laodelphax striatellus**³の3種が含まれます(図1)。イネウンカ類は成虫・幼虫ともにイネの茎や葉から篩管液を吸汁し、大発生した場合にはイネを大量に枯死させる坪枯れ(坪枯れが水田全体に広がった場合は全面枯れ)を引き起こすほか、イネのウイルス病を媒介するなど、収量に多大な悪影響を及ぼします(図2)。日本において、イネウンカ類は古くから知られた害虫で、江戸時代の大飢饉の原因の一つとも考えられています。現代の日本でもイネウンカ

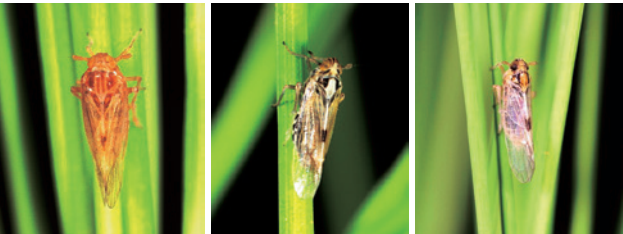


図1 イネウンカ類(左:トビイロウンカ、中央:セジロウンカ、右:ヒメトビウンカ)



図2 イネウンカ類による被害の一例
(トビイロウンカによる全面枯れ周辺の坪枯れ)

類は年によって大発生し、甚大な被害が発生します。例えば、2013年にはトビイロウンカが九州を中心とした西日本で大発生し、その被害総額は105億円にのぼりました。

トビイロウンカとセジロウンカは日本では越冬できないものの毎年中国大陆から日本各地に飛来し、国内越冬できるヒメトビウンカもまれに中国大陆から日本に飛来します。このため、日本におけるイネウンカ類の発生量は、日本への飛来量やタイミング、気象条件、イネウンカ類の種間相互作用などの複数の要因が関与して決まると考えられ、各種の発生量は年次によって大きく変動します。また、イネウンカ類では、種ごとに被害発生リスクや様々な殺虫剤に対する抵抗性の発達度合いが異なります。そのため、日本においてイネウンカ類は農林水産省の指定有害動植物の一つであり、同省の病虫害発生予察事業において全国都道府県の病虫害防除所による約3,000地点での定期的(田植え後から収穫期まで月2回)な発生量調査が毎年行われています。粘着板払い落とし法による調査では、水田内のイネウンカ類の発生状況を把握するために、イネの株元などに取り付いている成虫と幼虫を調査用粘着板*⁴の上に叩き落とし、調査用粘着板に付着したイネウンカ類の個体を目視で確認します。各イネウンカ類の個体は、ウンカの種類、发育ステージ、さらに成虫の場合は雌雄と翅型に基づき、概ね18クラスに分類され(表1)、18クラスごとの計数が行われます。イネウンカ類は種間で外観が似ており、特に幼虫での種の識別には専門的な知識と経験が求められます。そのため、調査者はイネウンカ類の発生量調査を行う上で事前にイネウンカ類の識別技術を習得することが求められます。また、熟練した専門家であっても、膨大な量のイネウンカ類の識別・計数作業には多大な労力を伴います。上記の理由から、長年の間、イネウンカ類の識別・計数作業の自動化の必要性が認識されていました¹⁾。

表1 発生量調査の対象となるイネウンカ類の18クラス

		長翅型	短翅型	老齢幼虫	中齢幼虫	若齢幼虫
トビイロウンカ	メス					
	オス					
セジロウンカ	メス					
	オス		—			
ヒメトビウンカ	メス					
	オス					

注1) セジロウンカの短翅型オスは通常は出現しません。 注2) 若齢幼虫は見た目による種の判別が困難です。

深層学習による画像認識の発達

コンピューターによる画像認識は、1960年代に実用化された郵便番号の自動読み取りなどから始まり、今日までに様々な試みが行われてきました。1979年に開発された脳の視覚野の神経細胞のつながりをコンピューター上に模倣したネオコグニトロン*⁵が、現在の深層学習の始祖とされています。コンピューター上に模倣した神経細胞のことを人工ニューロンと言い、それらを組み合わせたものをニューラルネットワークと言います。神経細胞は他の多くの神経細胞から電気信号を受け、一定以上の強さ(閾値)の信号を受けると発火して電気信号を發します。人工ニューロンも同様に、閾値以上の入力がないと反応しないように作られています。ニューラルネットワークの学習では、すべての人工ニューロンの閾値を演算によって決定し

ます(人工ニューロンの重みづけ)。それを記録したものがモデル(重みファイル)となります。

画像認識に用いられる深層学習では、4層以上のニューラルネットワークを積み重ね、その中に画像の特徴に反応するフィルタとなる畳み込み層を含んだ畳み込みニューラルネットワーク(Convolutional Neural Network: CNN)が開発されました。画像の特徴をこのフィルタが自動的に学習するため、人が画像の特徴を指定して抽出するアルゴリズムを設計する必要はありませんが、大量の学習用画像と膨大な計算量が必要であるため、以前は深層学習の研究が進みませんでした。しかし近年はインターネット上から大量の画像を収集できるようになり、例えばImageNetデータセットでは、各クラスにつき500～1,000枚の

画像がそのラベルとともに合計1,400万枚収集されています。このデータセットを様々なアルゴリズムによって学習したモデルによる画像認識チャレンジ(ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge: ILSVRC)が2010年から2017年まで毎年開催され、2012年にはCNNによるAlexNetが従来手法に10ポイントの差をつけて優勝し、2015年にはResNetが一般物体認識での人間のエラー率5.1%よりも優秀なスコアを示すに至りました。この背景には、並列計算が得意な画像演算装置(Graphics Processing Unit: GPU)が発達したことにより、現実的な時間内に大量の画像の学習ができるようになったことがあります。このように大量のデータとコンピューターの性能向上が両輪となって、深層学習が現実的な手法となり、画像認識の性能が飛躍的に向上しました。

イネウンカAI自動カウントシステムの開発

現在では、深層学習による画像認識は、人間が見分けることのできるものであれば、人間が行うのと同等の精度で見分けることができると考えられるまでになりましたが、既に十分な量を学習したものでなければ見分けられないという大きな欠点があります。前述のような利用可能な既存のデータセットにはイネウンカ類の画像は含まれていないので、イネウンカ類を画像認識で見分けるためには自前でイネウンカ類の画像を準備し、それらを学習用画像としてラベル付け(アノテーション)する必要があります。さらに、画像収集に向けられる人的資源は有限なため、イネウンカ類の画像であれば何でも良いというわけではなく、効率よく画像収集を行う必要もあります。最も効率的な方法は、完成版の自動識別・計数システムの運用時に行うのと同じ方法で学習用画像を取得し収集することですが、それは研究の最初の段階からシステム完成時の画像撮影方法を決めるということになります。なるべくコストをかけずに高精細な画像を安定して取得する方法について研究グループ内で議論を重ね試行錯誤した結果、水田のイネからイネウンカ類を叩き落として調査用粘着板に付着させ、その調査用粘着板をフラットベッドスキャナを用いて1,200dpiでスキャンするという方法を採用しました。こうして得られた画像中の各イネウンカ類の個体について、必要に応じて顕微鏡下で調査用粘着板上の実物とも見比べ、イネウンカ類の個体約37,000匹分を含む約16,000枚分の画像を300時間以上かけて可能な限り正確にアノテーションし、学習用画像データセットを作成しました。

こうして得られた学習用画像データセットを、高速な物体検出アルゴリズムとして知られるYOLO^{※6}を用いて、転移学習により学習させました。転移学習とは、事前に別のデータで学習済みのモデルを利用して新たなデータを学習させるものです。YOLOでは大量の画像を事前学習済みのモデルが配布されているため、比較的少量の画像でも精度の高いモデルを構築することが期待できます。転移学習は、農研機構のAI用スーパーコンピューター「紫峰^{※7}」を用いて行いました。作成した物体検出モデルは、調査用粘着板上に付着した昆虫や植物片から自動でイネウンカ類の個体だけを選び分け18クラスに分類し、その認識精度はクラス全体で約90%(最も甚大な被害をもたらすトビ

表2 作成した物体検出モデルの認識精度(適合率)

クラス	適合率(%)
トビイロウンカの長翅型メス	99.6
トビイロウンカの長翅型オス	97.5
トビイロウンカの短翅型メス	97.2
トビイロウンカの短翅型オス	92.9
トビイロウンカの老齢幼虫	97.0
トビイロウンカの中齢幼虫	96.2
セジロウンカの長翅型メス	99.6
セジロウンカの長翅型オス	99.7
セジロウンカの短翅型メス	88.0
セジロウンカの老齢幼虫	98.4
セジロウンカの中齢幼虫	95.6
ヒメトビウンカの長翅型メス	97.3
ヒメトビウンカの長翅型オス	60.5
ヒメトビウンカの短翅型メス	72.5
ヒメトビウンカの短翅型オス	—
ヒメトビウンカの老齢幼虫	83.2
ヒメトビウンカの中齢幼虫	68.9
若齢幼虫(トビイロ、セジロ、ヒメトビウンカを含む)	95.7
全クラスの平均	90.6
トビイロウンカに関するクラス(若齢幼虫も含む)の平均	96.6

注)2019年と2020年に九州沖縄農業研究センターの水田で粘着板払い落し法によってイネウンカ類を付着させた調査用粘着板の画像を学習させた物体検出モデルに、他地域の水田で同様にイネウンカ類を付着させた調査用粘着板の画像を認識させた際の適合率(適合率=[真に正であったもの]/[正と認識したもの])を示しています(ただし、ヒメトビウンカの短翅型オスの発生は極めて少なく、他地域の水田では捕獲されなかったため、計算から除外しています)。

イロウンカでは95%以上の認識精度)に達しました(表2)。

このようにして作成した物体検出モデルですが、このままでは調査用粘着板の画像を認識させるために長いコマンド入力が必要なため実用的ではありません。そこで画像認識と認識結果の計数を行うプログラムを開発し、その中にこの物体検出モデルを組み込むことで自動化を行いました。この自動カウントプログラムでは、フラットベッドスキャナを用いてスキャンした調査用粘着板の画像を入力すると、その画像を適当な大きさに分割し、YOLOアルゴリズムで画像中のイネウンカ類を認識し、その結果を集計してCSVファイルとして出力するという一連の動作を自動的に行います(図3)。自動カウントプログラムは使用するコンピューターに合わせてLinux版とWindows版を作成しました。調査用粘着板1枚のスキャンに3〜4分程度かかり、モデルの実行と計数は30秒〜1分程度で終わります²⁾³⁾。

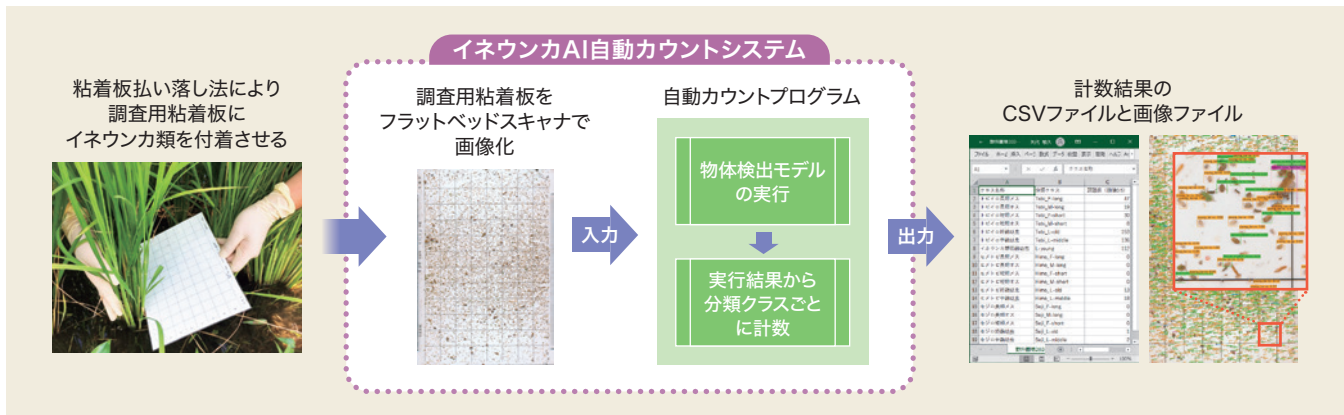


図3 イネウンカAI自動カウントシステムの概要

おわりに

イネウンカ類の発生量調査において、これまでは調査用粘着板1枚に付着した個体数が数千匹を超えるようなイネウンカ類の多発生時には、熟練した専門家であっても調査用粘着板1枚分の識別・計数作業に1時間以上かかることもありました。しかし、イネウンカAI自動カウントシステムを用いれば、認識精度約90%での識別・計数が、調査用粘着板に付着したイネウンカ類の個体数に関わらず5分程度で完了します。したがって、イネウンカAI自動カウントシステムを使うことで、識別・計数作業が大幅に軽労化され、誰でも専門家に匹敵する精度でのイネウンカ類の識別・計数が可能になります。

調査用粘着板の作成から自動カウントプログラムの使い方までの一連の作業手順をまとめた「イネウンカ類の発生調査における粘着板捕獲サンプルを対象としたAI自動カウントシステム標準作業手順書」を公開しました⁴⁾。これまでに日本植物防疫協会と九州病虫害防除推進協議会の農業試験でのイネウンカAI自動カウントシステムの利用が承認され、また農林水産省の病虫害発生予察事業における本システムの活用も期待できることから、公設試験研究機関、病虫害防除所、民間企業(農業メーカー)での本システムの利用が広がりがつつあります。本システムの利用拡大に伴う使用上の注意点の追加や、自動カウントプログラムの改良など、必要に応じて上記の標準作業手順書の改訂を行ってまいります。本システムがイネウンカ類の的確で簡便な発生予察と防除に貢献できれば幸いです。

(植物防疫研究部門 基盤防除技術研究領域 海外飛来性害虫・先端防除技術グループ)

(基盤技術研究本部 農業情報研究センター AI研究推進室 画像認識ユニット 兼 九州沖縄農業研究センター 暖地畑作物野菜研究領域 施設野菜グループ)

用語解説

- ※1 **トビイロウンカ** 成虫の体長は概ね4〜5mmで、イネウンカ類の中で最も大型の種。成虫は雌雄ともに脂ぎった褐色をしている。
- ※2 **セジロウンカ** トビイロウンカよりもやや小型の種。成虫は雌雄ともに背中に白い模様があり、頭部がやや尖ることが特徴。
- ※3 **ヒメトビウンカ** セジロウンカよりもさらに小型の種。成虫はメスと一部のオスにセジロウンカと同様の背中の白い模様があるが、頭部の尖り具合が弱いことでセジロウンカと区別できる。成虫のオスの多くは背中に白い模様がない。
- ※4 **調査用粘着板** B5サイズの防水性の板(例えば、幅180mm×長さ250mm×厚さ2mmの亚克力板)に、白色防水紙を貼り付け(四角をセロハンテープなどでとめて容易に外れないようにする)、その白色防水紙上にスプレー式粘着剤を塗布し作成する。
- ※5 **ネオコグニトロン** 1979年に福島邦彦博士によって提唱された階層構造を持つニューラルネットワークで、人間の視覚野が二種類の神経細胞の働きによって画像の特徴を抽出していることをモデルとしている。
- ※6 **YOLO** 「You Only Look Once」の略で、「一度見るだけ」という意味を持つ。画像中の物体を高速かつ高精度で検出するためのアルゴリズムで、オープンソースで公開されている。
- ※7 **紫峰** 農研機構が保有する国内農業系研究機関で初となるAI研究用スーパーコンピューター。従来の多くのスーパーコンピューターとは異なり、主力の演算装置にGPUを用いることで、機械学習や画像解析に適した仕様であることが特徴。

参考文献

- 1) 松村正哉(2017) ウンカ 防除ハンドブック. 農山漁村文化協会, 東京.
- 2) 高山智光ら(2022) 粘着板に捕獲したイネウンカ類の自動計数に向けた画像認識技術の検出精度検証. 農業情報研究, vol.30(4), 174-184.
- 3) 農研機構プレスリリース(2022-1-13) イネ害虫の発生調査で、専門家の目を持つAIがウンカ類を自動カウント ―目視では1時間以上の調査時間を3〜4分に短縮―. https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/rcait/145729.html (参照 2024-10-20)
- 4) 農研機構(2023) イネウンカ類の発生調査における粘着板捕獲サンプルを対象としたAI自動カウントシステム標準作業手順書. <https://sop.naro.go.jp/document/detail/95> (参照 2024-10-20)

害虫の3次元飛行位置をリアルタイムで予測し、高出力レーザーで狙撃する新技術

渋谷 和樹

SHIBUYA Kazuki

はじめに

現在の農業生産において、化学農業による害虫防除は必要不可欠なものです。仮に農業を使わないで作物を栽培した場合、イネでは約2割、野菜では3～8割、リンゴでは9割以上の減収が起るとされています¹⁾。一方で農業の過剰な使用は害虫の薬剤抵抗性を発達させることが知られており、2019年時点で603種の害虫に薬剤抵抗性が報告されています²⁾。それに加えて、農業開発に要する費用・期間は年々増大しており、新たに上市される農業原体数も減少傾向にあります³⁾。このままでは使える農業がどんどん減っていき、現在のように害虫被害を防ぐことができなくなるかもしれません。さらには気候変動による気温上昇が害虫被害を増大させるという予測もあり⁴⁾、農業以外の防除法を強化することが急務といえます。

現在進行中のムーンショット型農林水産研究開発事業「害虫被害ゼロコンソーシアム」では新たな物理的、生物的防除法の開発を行っており、農業に依存しない防除体系の構築を目指しています。本稿ではそのうちの一つである「高出力レーザーによる害虫狙撃技術」を紹介します。

飛行中の害虫の3次元座標を検出する

当技術の目的は、飛行中の害虫の位置をカメラでとらえ、レーザーで撃墜することでは場への侵入を防ぎ、作物を害虫から保護するというものです。一般的なカメラは2次元(縦方向と横方向)の情報しか得られないため、3次元空間を不規則に飛行する虫をとらえるためにはステレオカメラ^{※1)}などの3Dカメラが必要になります(図1、Nerian Vision Technologies, SceneScanPro)。このカメラは人間の目のように2つのカメラが平行に並んでおり、それ



図1 ステレオカメラ (Nerian Vision Technologies, SceneScanPro)

ぞれのカメラで取得した画像のずれ(視差画像)から奥行き情報を算出することができます。我々はまず、視差画像から害虫の3次元座標の検出を試みました。

撮影対象としたのはガの一種であるハスモンヨトウです(図2)。本種はアジア地域における重要害虫で、幼虫が野菜、マメ類、花き、果樹を広く加害します。九州南部より北の地域では野外で越冬できませんが、中国大陸から成虫が毎年飛来することにより、日本国内の広い地域で被害が発生します。さらに薬剤抵抗性が発達しているために農業による防除が難しく、まさに化学農業に依存しない防除法が求められている害虫です。被害の主体となるのは幼虫ですが、我々はその母親(雌成虫)をターゲットとしました。レーザー狙撃によって雌成虫の産卵行動を妨害することができれば、幼虫の発生自体を抑えることができるためです。

幅1.8m×高さ1.8m×奥行3.5mの暗室でハスモンヨトウ雌成虫を飛行させ、数十パターンの飛行軌跡を毎秒55フレーム(約0.018秒間隔)で撮影しました(図3)。視差画像を変換することによって、画像に写っている物体の3次



図2 ハスモンヨトウ雌成虫

元座標データを取得することができます。しかしこの中には暗室の壁や画像センサーに生じたノイズなどの虫以外の情報も含まれているため、動きがない物体、虫よりも明らかに大きいまたは小さい物体をデータから除去することで、ハスモンヨトウの飛行軌跡のみを抽出しました⁵⁾(図4)。図4左はハスモンヨトウ1頭を飛行させたときの軌跡ですが、図4右のように複数の個体を同時に飛行させたときでも、個々の飛行軌跡を正確に取得することができました。

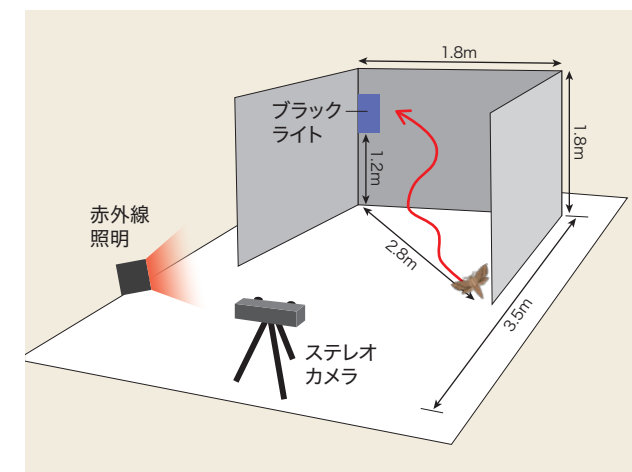


図3 飛行軌跡撮影の様子

ハスモンヨトウは夜行性なので、飛行軌跡の撮影は暗室内、赤外線照明下で行いました。奥側の壁に設置したブラックライトに向けてハスモンヨトウを飛行させ、その様子をステレオカメラで撮影しました。

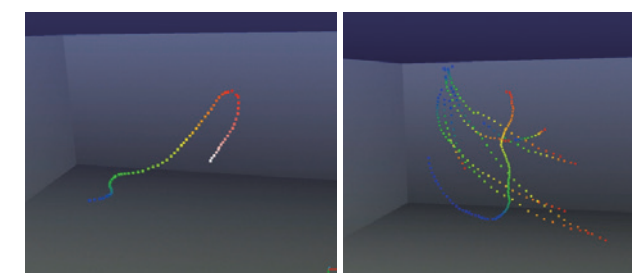


図4 ハスモンヨトウの飛行軌跡 (左:1頭のみ、右:8頭同時飛行)

点の色の変化は時間経過を表現しており、ハスモンヨトウは青色の点から赤色の点に向かって飛行しています。

未来の飛行位置を予測する

次に、レーザー狙撃を成功させるために問題となるのは、上述の計算に約0.02～0.03秒の処理時間を要するという点です。ハスモンヨトウの平均飛行速度は秒速1.8m、体長は1.5～3cmであるため、0.03秒の間にハスモンヨトウは約5cm(体長1～3個分)移動することになります。すなわち、ステレオカメラで検出したハスモンヨトウの位置にレーザーを撃っても当たらないということです。この問題を解決するためには、害虫の未来の位置を予測し、その予測位置に向けてレーザーを撃つ技術が必要となります。我々はカルマンフィルタ^{※2)}という手法で害虫の位置予測を試みました。これは観測値と数理モデルから対象の状態を推定する方法で、カーナビゲーションなどに利用されています。前項で撮影した飛行軌跡からハスモンヨトウの飛行パターンをモデル化し、これにリアルタイムで計測されるハスモンヨトウの飛行データを組み合わせた結果、0.03秒先の飛行位置を誤差約1.4cmという精度で予測することができました⁶⁾。この予測位置にレーザーを撃てば高確率で命中させることができると考えられます。

シミュレーターによる狙撃試験

この位置予測手法の精度を検証するため、コンピュータシミュレーションによる狙撃試験を行いました(図5)。このシミュレーターはPC画面上に仮想のハスモンヨトウを無限に発生させることができ、それらは暗室内で撮影した飛行軌跡データに基づいて飛行します。画面上にはレーザー狙撃装置が設置しており、カルマンフィルタで予測したハスモンヨトウの3次元位置に仮想レーザーを撃ちこみます。同じソフトウェア内で行っているのなら命中して当た



図5
シミュレーターによる
狙撃試験

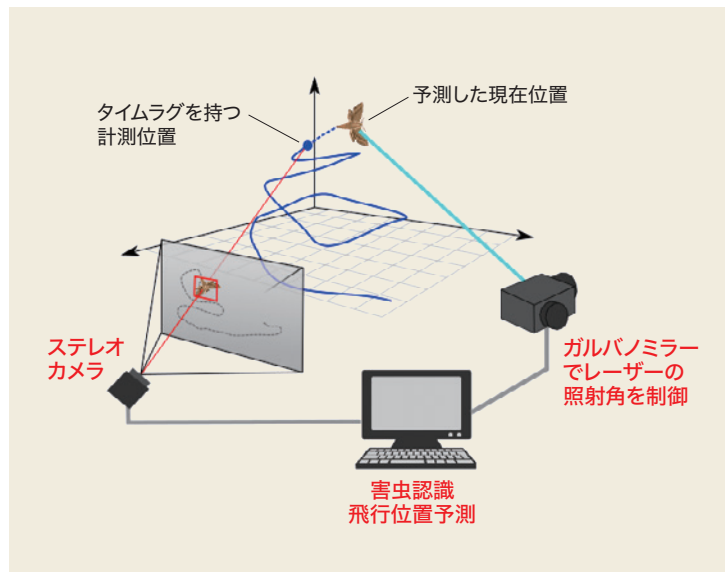


図6 レーザー狙撃システム概略図

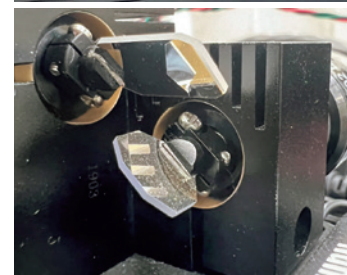
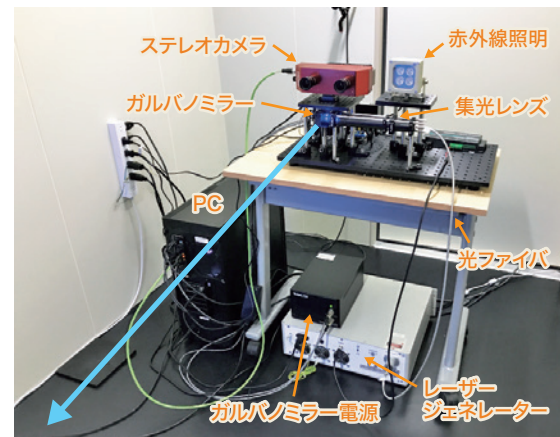


図7
レーザー狙撃システム
試作機(上)とガルバノ
ミラー(下)

り前ではないかと疑われるかもしれませんが、ハスモンヨトウを生成・飛翔させる機能と位置を予測する機能は独立して動いているので、現実世界に近い実験環境を再現することができます。このシミュレーター試験の結果、400頭の仮想ハスモンヨトウのうち70.1%に仮想レーザーを命中させることができました。

ハウス内狙撃試験

シミュレーターによって我々の考案した位置予測プログラムの高い精度を確認できたので、実際にレーザー狙撃システムを組み上げ、飛行しているハスモンヨトウの狙撃を試みました。図6はレーザー狙撃システムの概略図、図7は狙撃システムの試作機です。レーザージェネ

レーターに接続されているガルバノミラー(図7下)は2枚の直行する鏡で構成されており、個々の鏡の角度を変えることでレーザーの方向を精密に制御することができます。この試作機を栽培施設であるパイプハウス内に設置し、放飼したハスモンヨトウを撃墜することに成功しました(図8)。正確な命中率の算出にはより多くの反復試験を要しますが、少なくともステレオカメラの撮影範囲に写った個体は高確率で命中させることができました。ハスモンヨトウはレーザーが当たってもすぐには落下せず、わずかな時間飛翔を続けますが、レーザー狙撃システムはその動きも正確に追尾してレーザーを当て続けることができました。また、地面に落下した後の虫はレーザーのダメージによって正常な歩行や飛翔ができない状態になっていました。

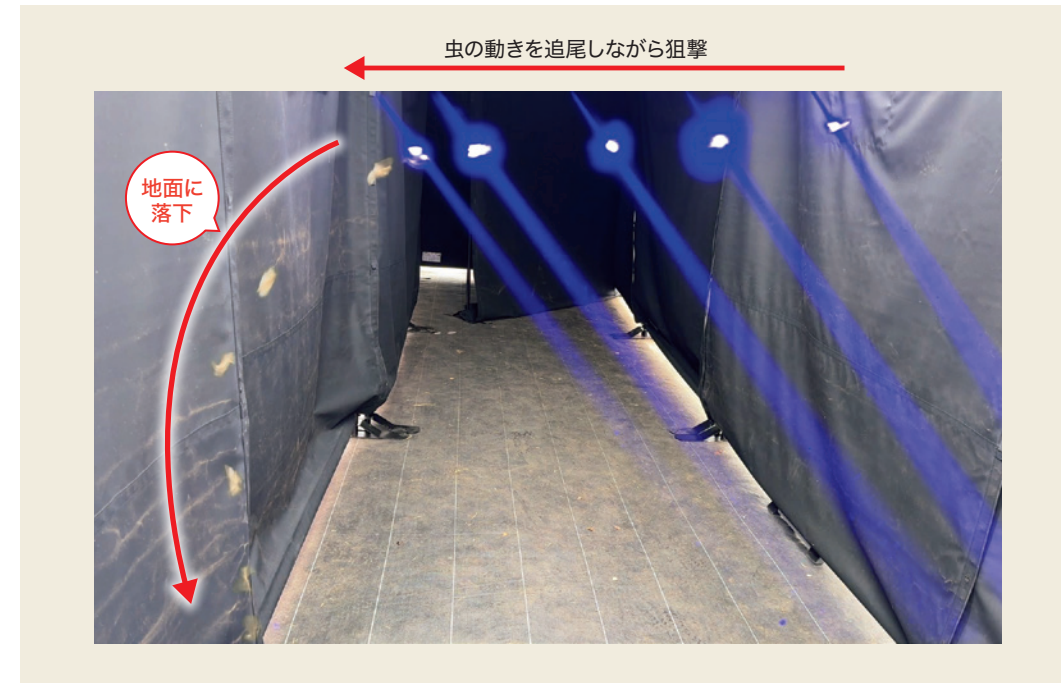


図8
ハウスでの狙撃の瞬間
(連続写真)

おわりに

自由に飛翔する害虫のレーザー狙撃が実際の栽培環境に近い条件で成功したことで、実用化に向けて大きく進んだと考えています。今後はレーザー狙撃による防除効果をハウス内、露地ほ場で確認するとともに、対象害虫の拡充も予定しています。ハスモンヨトウ以外の害虫種についても、飛翔データの収集と飛行パターンのモデル化によって同様の位置予測が可能になります。加えて、益虫を誤射しないよう、飛翔軌跡から害虫と益虫を区別できるアルゴリズムの構築も目指しています。

人に対する安全対策も重要です。例えばカメラに人が映ったらレーザー装置を強制停止する、そもそも作業者がいない夜間のみ稼働する、などの対策により、人への誤射が起きないようなシステムを作っていかなければなりません。

将来的にはレーザー狙撃システムを無人移動ロボットに搭載することで、人的労力ゼロで害虫を駆除できるシステムを実現したいと考えています。

(植物防疫研究部門 基盤防除技術研究領域
海外飛来性害虫・先端防除技術グループ)

用語解説

- ※1 **ステレオカメラ** 奥行き情報を取得することのできるカメラの一種で、自動運転車の車載カメラなどに利用されている。2台のカメラが左右に並んだ構造をしていて、この2つのカメラで同時に対象物を撮影すると両者の画像間にずれ(視差)が生じる。カメラに近いものは視差が大きく、カメラから離れるほど視差は小さくなるため、この視差の大きさから三角測量の原理に基づいて対象物までの距離を算出することができる。
- ※2 **カルマンフィルタ** 時間ごとに変化する対象の状態を、複数の情報(観測値と数理モデル)を用いて推定する手法。例えば一定速度で走る自動車の位置を予測する場合、運動方程式で予測する方法や測距センサーで観測する方法が考えられるが、いずれも誤差(地面との摩擦、エンジン出力の変動、センサーの観測誤差など)が含まれるため、真の値とのずれが生じる。カルマンフィルタの考え方は方程式による予測値をセンサーによる観測値で補正することでより正確な値を推定しようというもの。本研究においては、飛行パターンモデルでハスモンヨトウの位置を予測し、それをステレオカメラによる観測値で補正している。この処理を観測値が得られるたびに繰り返すことで、リアルタイムで正確な位置予測をすることができる。

参考文献

- 1) 日本植物防疫協会(2008) 病害虫と雑草による農作物の損失。
https://www.jpapa.or.jp/wpsite/wp-content/uploads/tecinfo/data/so nsitsu_2008.pdf (参照 2024-10-9)
- 2) Sparks, T. C. et al. (2020) Insecticides, biologics and nematicides: Updates to IRAC's mode of action classification - a tool for resistance management. Pesticide Biochemistry and Physiology, vol.167, Article 104587.
- 3) 西本麗(2019) 農業産業の世界的動向. 日本農業学会誌, vol.44(1), 5-14.
- 4) Skendžić, S. et al. (2021) The impact of climate change on agricultural insect pests. Insects, vol.12(5), 440.
- 5) Nishisue K. et al. (2024) Measuring the flight trajectory of a free-flying moth on the basis of noise-reduced 3D point cloud time series data. Insects, vol.15(6), 373.
- 6) 農研機構プレスリリース(2021-11-29) 害虫の飛行パターンをモデル化し3次元位置を予測 -害虫を高出力レーザー等で駆除する技術開発に貢献-。
https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/nipp/144889.html (参照 2024-10-9)

AIによる ウンシュウミカン糖度予測手法

森岡 涼子

MORIOKA Ryoko

はじめに

農研機構は農林水産省のスマート農業技術開発・実証プロジェクトにおいてAI(人工知能)を用いてウンシュウミカン(*Citrus unshiu* Marc.)の糖度を予測する手法を開発しました。日本のウンシュウミカン生産地では、近年の気候変動と世代交代による熟練生産者の減少により高品質なウンシュウミカンを安定生産することが難しくなることが危惧されています。ウンシュウミカンの品質は、糖度、酸度、大きさ、傷の有無、色などの項目で評価されます。本研究では、生産地においてブランドや単価と関わり深い糖度に着目し、少数の熟練者が多数の園地を見回って予測している出荷時の糖度をデータ駆動型で予測することに取り組みました。

ウンシュウミカン糖度を左右する自然要因

ウンシュウミカン糖度を左右する自然要因には大きく2つあります。1つは気象で、特に降水量と日照時間および日射量が増糖に影響します¹⁾。もう1つは産地単位で見たときに収穫量が変動する「隔年結果²⁾」と呼ばれる、「表年」と「裏年」が繰り返すことにより収穫量が変動する現象です。収穫量と着果量は糖度と連動する数値です。つまり、糖度は毎年の気象と経年の樹体変化の両方に影響を受けます。これら自然要因と各生産者の栽培技術によって出荷時の糖度は決まります。このように出荷時糖度が決まるまでの過程が複雑であることが、高精度な予測を難しくしています。



図1 シートマルチ栽培
(長崎県農林技術開発センター提供)

長崎県のウンシュウミカン生産と糖度予測の取り組み

本研究で手法適用にあたりデータをご提供いただいたJAながさき西海およびさきば広域かんきつ部会は、栽培面積が約420ha、約250戸の生産者で構成されており、国内トップクラスの高単価で取引される高品質なウンシュウミカンを生産しています。ほぼ全園で農業用マルチシートを果実が肥大する7月から収穫までの時期に根の周りに被覆するように敷いて雨水の土への浸透を防ぎ、樹体への水分を制限することによって糖度を高めるシートマルチ栽培法を実施しています(図1)。また、JAながさき西海では出荷直前の選果時に、2007年から導入した光センサーによる糖度および酸度の非破壊測定を実施して出荷するすべてのウンシュウミカンについてのデータを蓄積してきました(図2)。

糖度・酸度のほかに縦径や横径なども測定されたウンシュウミカンは3種類のブランドと通常品に格付けされています。トップに位置するのは長崎県のブランドである「出島の華」で、糖度はBrix値で14度以上、残りの2つのブランドはJAながさき西海のブランドで、糖度13度以上14度未満の「味っ子」と糖度12度以上13度未満の「味まる」で、糖度12度未満は通常品と格付けされています。生産者はブランド合格率の向上およびその中でもより単価の



図2 光センサーが設置されたJAながさき西海の選果場
(長崎県農林技術開発センター提供)

高いハイブランドへの合格率向上を目指しています。

JAながさき西海では2019年より蓄積した糖度データを活用した糖度予測値を生産者のスマートフォンに配信してきました。用いている糖度予測法は長崎県農林技術開発センターが開発した手法で、当年の果汁がサンプリングできるようになってから糖度を破壊測定した値と気象データおよび土壌水分値を用いて出荷時糖度を重回帰^{*1}するものです。この手法では品種系統によって7月末から10月上旬に糖度予測が可能で平均的な二乗平均平方根誤差^{*2}が糖度1度前後でした。しかし、JAながさき西海では、年間の販売計画を立て、かつ糖度を上げるための水管理を本格化する7月末に、合格するブランドの傾向をつかめる誤差1度未満で出荷時糖度を予測する必要があると求められていました。7月末に予測するためには、8月以降に果実をサンプリングして糖度を測定したデータを使わずに出荷時糖度を予測する必要があります。農研機構では、産地で蓄積されてきたこれまでの出荷時糖度データと農研機構独自に公開しているメッシュ農業気象データ³⁾※3を用いて、ウンシュウミカンの出荷時糖度を出荷の3カ月から6カ月前に高精度に予測する手法の開発を行いました。

糖度予測法の入出力

本研究で開発した糖度予測の枠組みは、まず過去データから予測モデルを構築し、構築した予測モデルに予測用の入力データを入れて糖度予測値を得て生産者らのユーザに活用されるというものです(図3)。この予測モデルはAIの一つで、品種系統ごとに構築しています。AIに入力するデータとその出力は図4にまとめました。入力データは、前年の糖度と予測する当年の気象データです。前年の糖度はJA管轄地区ごとの対象品種系統の糖度測定値で、当年の気象データは、その地区に対応する気温、

降水量、日射量や日照時間の観測値と、当年については予報値を使います。ここで、日射量や日照時間などについてはAIの学習の過程において有効であったものを採用します。当年の気象データは、予測を実施する日の前日までは気象観測値で、予測を実施する日以降で気象予報値が存在する期間は予報値、それ以降は平年値を使います。一方、出力データは予測年の糖度です。地区ごと、品種系統ごとに糖度予測値が出力されます。例えば、2021年の糖度予測をする場合は、2020年の糖度データと2021年の気象データを入力し、2021年の糖度予測値を出力します。また、新たにデータが追加されるたびにAIは再学習し、新しい予測モデルを構築します。

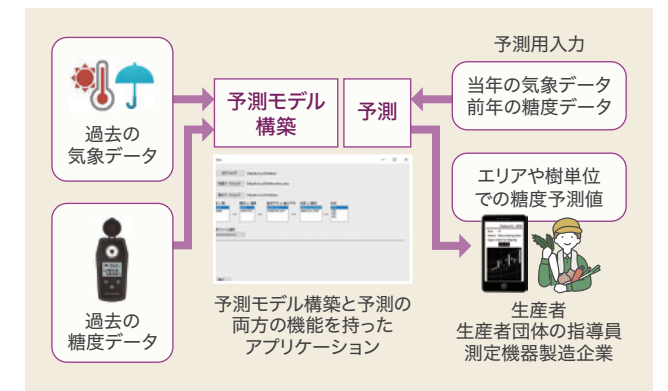


図3 糖度予測の流れ

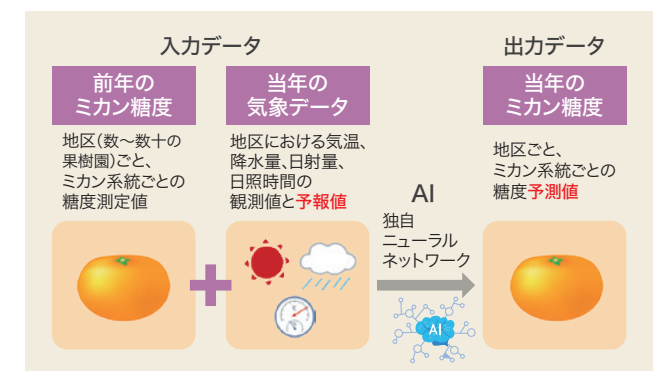


図4 糖度予測法におけるAIの入出力

糖度予測法におけるAIの学習と予測

本研究の糖度予測法におけるAIは独自のニューラルネットワーク※4です。AIには「学習」と「予測」の2つのステップがあります。まず地区ごと、品種系統ごとの過去の糖度データと気象観測値を用意して、学習用の入力データと出力データを準備します。予測する前年の糖度と予測年の気象データおよび糖度測定値というセットを作り、前年の糖度と予測年の気象データをニューラルネットワークモデルに入力して、その出力と予測年の糖度測定値との間で誤差を計算します。その操作をすべての過去の年に対して行い、すべての年での二乗平均平方根誤差の和が小さくなるようにニューラルネットワークモデルを更新します。これが「学習」と呼ばれるステップです。この「学習」によってできたモデルに、予測する前年の糖度と予測年の気象データを入力すると、予測年の糖度予測値が出力されます。これが「予測」のステップです。予測計算を行う日以後は、気象予報値を用います。気象予報値が観測値に近い「予報が当たった」状態であれば予測がよく当たる可能性が高くなり、予測日が出荷よりもかなり前の日である場合は気象予報値が観測値から離れやすくなり、糖度予測は難しくなります。

予測に用いた糖度データと気象データ

予測精度を検証するために使ったデータは、2009年から2019年のJAながさき西海の14地区の熟期別品種系統の出荷時糖度です。品種系統は、早熟早生、早生、させば温州、高糖度（晩生）の4つです。気象データは農研機構メッシュ農業気象データから取得しています。過去の糖度データに対応する年の3月1日から品種系統別の出荷日までの日別値で、日平均気温・最高気温・最低気温・日積算降水量・全天日射量・日照時間です。予測を行う際は予測実施日までの気象観測値と予測実施日以降の予報値を用いました。予報値は、気象変数により多少の違いがあるものの、約1ヵ月先までは予報値、それ以降は平年値が代入されています。

毎年7月に予測を実施した場合の結果

2016年から2019年の14地区、4つの品種系統について予測テストを実施し精度を検証しました（図5）。品種系統別に10月から2月頃に分かれている出荷時期の糖度を予測対象としたテストでは、二乗平均平方根誤差が0.47度でした。これは気象予報値が観測値と完全に一致した場合、つまりメッシュ農業気象データの1キロメッシュの解像度で見たときには気象誤差がなかったときの予測誤差です。一方、7月20日時点を予測実施日とした予測テストでは、二乗平均平方根誤差は0.61度でした。この結果は、7月20日から、各品種系統の出荷日が近づくにつれて観測値が確定し、気象予報値がもつ誤差が小さくなっていくことで、糖度予測誤差は0.61度から最終的に0.47度に近づいていくことを意味しています。

従来法との精度比較

長崎県で使われている糖度予測の従来法と開発した糖度予測法の精度比較を行いました。比較した従来法は、長崎県農林技術開発センターが開発した重回帰法に前年の糖度を追加した手法で、前年と当年の糖度、該当地区における過去の糖度の最大値・平均値・最小値・気象データから推定した土壌水分値（pF値）を説明変数として糖度を予測するものです。長崎県とスマート農業技術の開発・実証プロジェクトの研究を実施していた2019年を対象に、2019年7月20日に長崎県で従来法による予測を行い、一方、開発した糖度予測法でも予測を行い、実際にデータの得られた早熟早生と早生の2つの品種系統について予測誤差を比較しました（図6）。図6の左側は、開

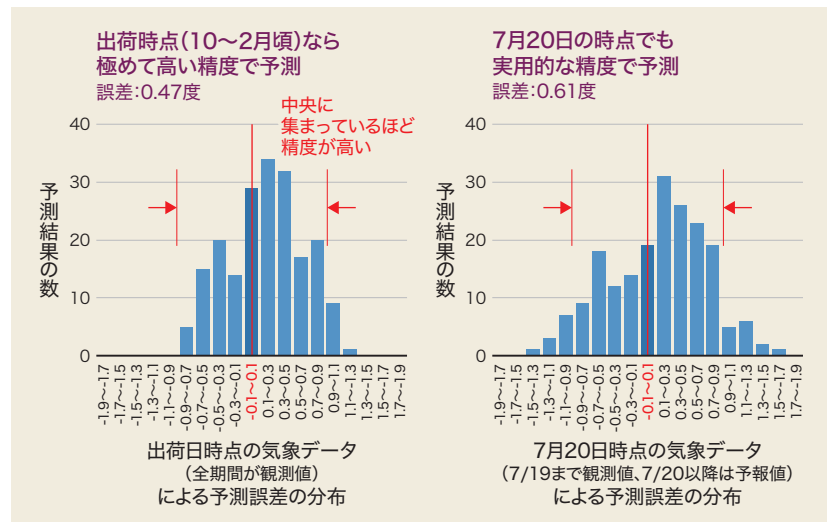


図5 出荷時と7月20日時点での予測誤差

発した糖度予測法を使って予測した場合の誤差のヒストグラムで、右側は長崎県の従来法による予測誤差のヒストグラムです。開発した手法での二乗平均平方根誤差は0.39度で、従来法の誤差は0.75度でした。誤差のヒストグラムから、従来法は実際の糖度よりも全体的に高めに予測していることが示唆されます。

JAありだの出荷時データへの適用事例

図7は、和歌山県JAありだの出荷時糖度予測例です。長崎県の例と同様に、農研機構のメッシュ農業気象データを用いています。長崎県の例では複数の園地をまとめた支部単位の予測例でしたが、和歌山県の例では園地単位で予測を行っています。系統は早生でJAありだで「一級」という分類に入るウンシュウミカンを対象にしています。和歌山県内のどこであるか不明な園地を多く含むため、気象解像度の粗い条件で、予測モデル構築と予測を実行しています。2016年～2023年のうち、予測する年の糖度データを消去して、消去した年の1396園地それぞれの糖度を予測したものです。8年分のデータから1年分を消すので、7年分のデータで学習してモデルを構築して、残りの1年を予測しています。園地ごとにモデルを作っているため、各予測モデル構築で使っているのは7つの糖度値と対応する気象データです。11月下旬から12月下旬の出荷時糖度を、7月20日時点で予測した場合（7月20日以降は気象平年値を使用）の二乗平均平方根誤差は0.36度（Brix値）、出荷時に予測した場合（粗い解像度の気象データの実況値を使用した場合）は0.38度（Brix値）でした。気象解像度が粗い一方、データ数が数百から数千と多いため、誤差平均は長崎県の事例より小さくなったと考えられます。

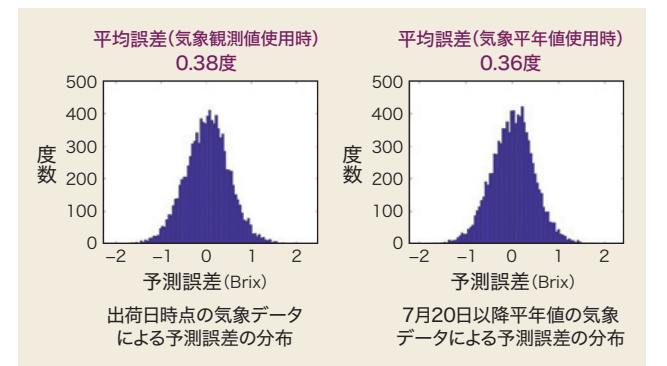


図7 JAありだの選果データを用いた予測結果

おわりに

本研究で開発したAIを応用した糖度予測法は、ウンシュウミカンの出荷時糖度を3ヵ月から6ヵ月前に産地の要求水準を満たす精度で予測することができました。この手法はアプリケーションとして農研機構に登録されており、現在までに長崎県をはじめとする産地で利用いただいています。開発当初から使っていただいている長崎県では、毎年JAながさき西海の出荷時データを追加して再学習し、開発当時よりも学習データを増やしたことによりJAながさき西海のウンシュウミカンの特性にフィットしたモデルとなり、JAの指導員をはじめとする方々にご活用いただいています。全国の産地すべてが、現在のデータ駆動型の手法の利用条件となるデータ蓄積を完了している状況ではないため、より少ない年数のデータや新品種のデータに対しても適用できる手法の開発を現在行っています。

（基盤技術研究本部 農業情報研究センター
AI研究推進室 確率モデルユニット）

用語解説

- ※1 **重回帰** 回帰分析の一つで説明変数が2つ以上ある分析法。
- ※2 **二乗平均平方根誤差** 予測した値と実際の値の差の大きさを示す指標のひとつで、予測値と測定値の差を二乗した値をサンプルにわたって和をとり、最後にその平方根をとることで得られる数値。
- ※3 **農研機構メッシュ農業気象データ** 気象庁のデータを1キロメッシュの解像度に上げる変換を施した気象データで、気象観測値と気象予報値が毎日リリースされている。気象観測値は前日までの数値データで、実際に観測された各気象要素の値。気象予報値は当日以降の数値予報で、気象要素の種類によって値が存在する期間が異なり、9日先から26日先までリリースされている。
- ※4 **ニューラルネットワーク** 人間の脳と同じ仕組みや同じ機能を目指して作られた機械学習のモデル。

参考文献

- 1) 鶴久森英輔ら(2022) 地域・年次比較から考察したウンシュウミカンの果実品質に影響する気候指標の選定. Naturalistae, vol.26, 21-31.
- 2) 野間豊・広瀬和栄(1978) カンキツ類 結実の管理. 博友社, 東京.
- 3) 農研機構 メッシュ農業気象データシステム(2008) https://amu.rd.naro.go.jp/wiki_open/doku.php?id=start (参照 2024-10-21)

農業・食品データサイエンスを加速させる NMRメタボロミクス研究基盤技術の開発

— AIと分析ビッグデータを活用する農業・
食品分野の新時代に向けたプロローグ —

伊藤 研悟 関山 恭代
ITO Kengo SEKIYAMA Yasuyo

はじめに

農産物や食品にどのような成分が含まれているのか。これらは肉眼ではもちろん、顕微鏡を使ってもわかりません。そのため、核磁気共鳴法 (Nuclear Magnetic Resonance, NMR) や質量分析法、クロマトグラフィー法といった分析法を用いたターゲット成分分析により、個々の栄養成分や機能性成分の化学構造および定量値といった精緻な情報を取得しています。一方、この30年ほどの間で、分析対象成分を決めないノンターゲット法であるメタボロミクス^{*1}がヒトや植物を対象とする生命科学研究分野で発展してきました¹⁾。NMRは、試料調製の簡便さ、複数試料中の代謝物の網羅的な自動計測、1次元データの取得時間の短さといったデータ取得の効率が非常に高い利点があるほか、成分ピークが順列しているNMRスペクトルから成分の種類や量、物性に関する情報が得られるため、メタボロミクス研究で広く利用されるようになってきました。また、近年ではセンシング技術の発展によって複数の環境データをリアルタイムで取得することが可能となり、また、空撮画像や衛星画像を活用し、作物の生育状態や発病の兆候などの生体データを高速で収集することも可能になってきました。したがって、成分分析データと農業ビッグデータを組み合わせるデータサイエンス研究が可能となり、農業や食品産業上の重要な発見がもたらされると期待できます。例えば、病理学的特性や機能性などに関連するデータを教師データとして人工知能 (Artificial Intelligence, AI) の基幹アルゴリズムである深層学習などを用いた回帰・分類解析に供することで、病虫害診断マーカーや機能性成分の発見などにつながることを期待できます²⁾。しかし、成分抽出を伴う従来法では農産物や食品中に存在する成分を本来の状態で評価できていない、また、多検体の調製からNMR分光分析、データ解析

までを簡便かつシームレスに実施できない、などの課題がありました。そこで農研機構では、既存の計測法で成分分析データの蓄積を進めると同時に、分析ビッグデータの質を向上させ、新たな農産物・食品評価パラメータを創出するためのNMR分光データ (自由誘導減衰データ、NMRスペクトル、NMR分光分析のパラメータなどを含むデータ) 取得技術、および農業・食品分野のNMRメタボロミクス研究をさらに加速させるための分析・情報基盤連携システムを開発しています。

農産物・食品の インタクトNMR計測法^{*2}の開発

近年、生体試料から成分抽出することなく、ありのままの状態から高分解NMRスペクトルを取得できる分子間単一量子コヒーレンス法 (intermolecular Single Quantum Coherence, iSQC) が発見されました。そこで農研機構では、iSQCの計測が可能な農産物・食品計測用のパルスプログラムを開発し、iSQCを用いたインタクトNMR計測の一例として、日本の伝統的な発酵食品である「ぬか漬け」野菜の発酵過程における成分変化を包括的かつ非破壊的に解析することを可能としました (図1)。その結果、ニンジンおよびキュウリのインタクトNMR計測から高分解能なNMRスペクトルが得られるようになったため、糖類、有機酸、アミノ酸、および未知成分の部分構造 (図1の*で注釈したNMR信号) を同定することが可能となり、それぞれの野菜の成分の種類と量の違い、微生物反応による成分変化が追跡可能となりました。 γ -アミノ酪酸、アラニン、アスパラギン、エタノール、フルクトース、グルコース、グルタミン、ロイシン、リンゴ酸、およびスクロース由来のNMR信号は発酵過程0日目に顕著に検出され、これらはニンジンおよびキュウリの主要な成分であることがわかり

ました。また、発酵過程3日目以降においては、これらの成分はほとんど検出されなくなり、対照的に、酢酸、乳酸、酪酸、コハク酸、および未知成分由来のNMR信号は、発酵過程3日目と7日目に顕著に検出されました。以上のように本手法では、従来法では困難であったインタクトなサンプル中の成分の特定が可能であり、NMR信号強度の変化から微生物による糖類の代謝および乳酸発酵が行われたことを確認できました³⁾。また、本手法は野菜以外の農産物や食品においても同様に適用することが可能であり、ビッグデータの質を高める新たなNMR分光データ取得技術として活用が期待されています。

NMRイメージング画像の取得技術の開発

医療診断で実用化されているNMRイメージング (磁気共鳴画像法 (Magnetic Resonance Imaging, MRI) やNMRマイクロスコーピーとも呼ばれる) は、試料に磁場勾配を印加することでNMR信号に位置情報を与え、試料内部の断層画像を得る技術です。NMRイメージングで食品や農産物を計測すると、多くの場合は試料中に多量に存在する水や油脂由来の水素核が検出されます。生体内の組織によって水や油脂の分布および分子運動が異なり、NMR信号強度や磁気緩和時間に違いが生じるため、これらの各種NMRパラメータを断層画像として描画することで画像コントラストが得られます。このため、光学顕微鏡

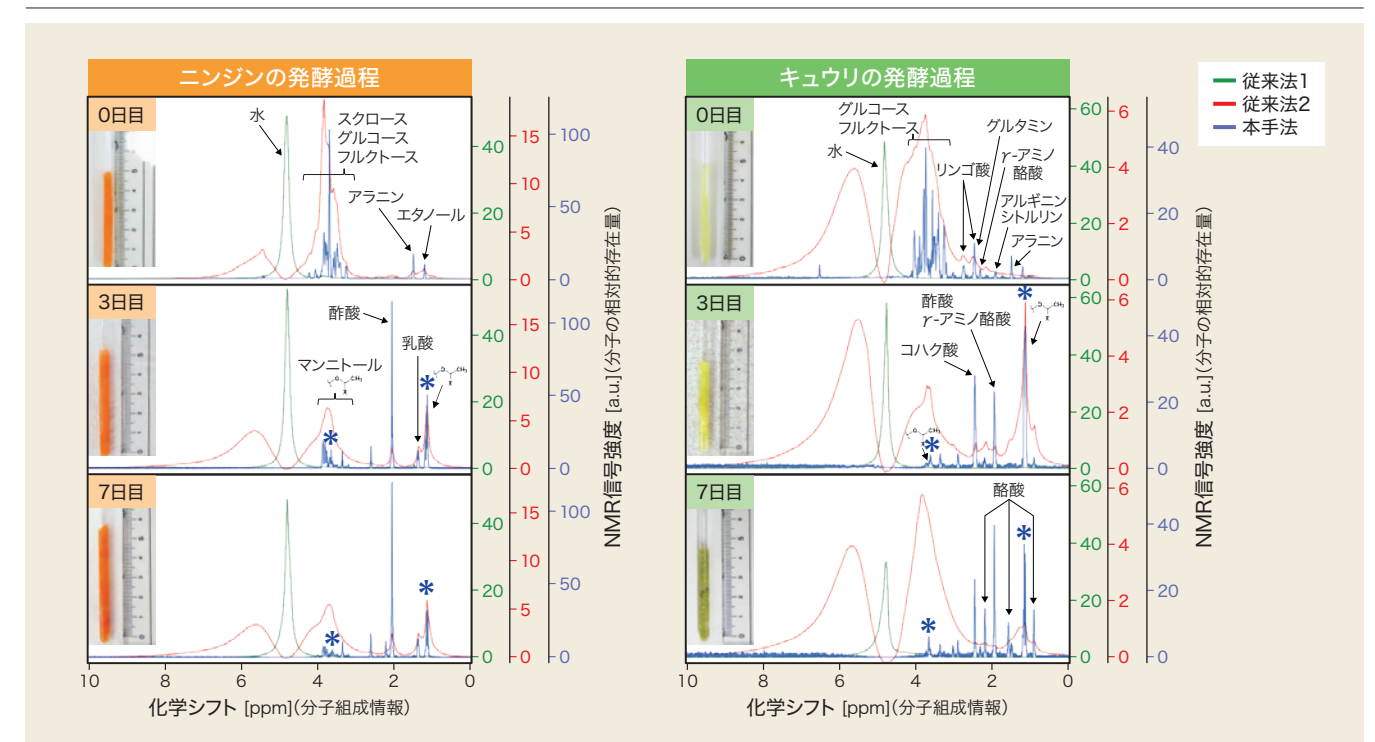


図1 野菜の発酵過程におけるインタクトNMRスペクトルの変遷

従来法1は試料にラジオ波を1回だけ照射してNMR信号を取得する最も単純な計測法です。従来法2は従来法1に水分子由来のNMR信号を抑制するラジオ波の系列を含めた計測法です。*は未知成分由来のNMR信号を示しています。

※参考文献3の図1を一部改変して転載 (クリエイティブ・コモンズ 表示4.0国際ライセンス <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> の下に提供されています)

のように農産物や食品の物理的構造を直接観察している訳ではない点には留意が必要です。図2(左)は、サトウキビ害虫であるコガネムシ科ケバカアチャコガネ(*Dasylepida ishigakiensis*)の性成熟の識別法を検討した結果で、縦緩和時間(T_1)強調画像により、生体へのダメージが少ない短時間の計測(13°C、計測時間約2分)で迅速に成熟卵を識別できることがわかりました⁴⁾。このことから、外観からはわからない試料内部の変化を観察することで、交尾行動の攪乱による害虫防除法の開発などへの応用が期待されています。

前述の通り、NMRおよびNMRイメージングで取得が可能な情報としては、分子組成情報(化学シフト)、分子の相対的存在量(NMR信号強度)、物性情報(分子の拡散係数と磁気緩和時間)、位置情報があります。伊藤らはこれまでに、これらの情報を一括で取得できる空間分子動力学的順序分光法(Spatial MOlecular-dynamically Ordered SpectroscopY, SMOOSY)を開発しました⁵⁾。SMOOSYでは、分子の拡散現象もしくは磁気緩和現象と位置情報をそれぞれのスペクトル次元に展開させつつ、各成分由来のNMR信号を観測することで、分子組成情報・位置情報・物性情報の相関を持つ3次元のNMRスペクトルが得られます。また、3次元のNMRスペクトルでは直感的な解釈が難しいため、2次元NMRスペクトル上のNMR信号検出位置に代謝物の磁気緩和時間や自己拡散係数をマッピングし画像化する疑似スペクトル画像法により2次元化します。実例として、インタクトなテナガエビ科スズエビ(*Palaemon sp.*)についてSMOOSYの計測を行い、疑似スペクトル画像処理した結果を図2(右)に示します。ここでは、分子組成情報(化学シフト)が横軸、位置情報(体内にお

ける深度)が縦軸のNMRスペクトル上に、物性情報(分子拡散係数)を表示のカラースケールでマッピングしています。ドコサヘキサエン酸(Docosahexaenoic Acid, DHA)やエイコサペンタエン酸(Eicosapentaenoic Acid, EPA)といった脂質は体全体に分布していますが、スズエビの殻を構成するキチンといった硬い性質を持つ高分子との相互作用や分子群が密な状態で存在しているために分子運動の違いが生じ、分子拡散係数は尾部から頭部に向かって低くなっていました。また、タウリンやベタインなども深度全体に分布していますが、分子拡散係数は空間的な変化が見られないことから、別の成分とほとんど相互作用せず、遊離状態で存在していることがわかりました。今後、これらのNMRやNMRイメージングから得られたデータを蓄積し、AIによる解析を行うことで、農産物の病害判定や食品の部位ごとの食感・呈味評価につながる事が期待されます。

リモートNMRと統合データベースおよびスーパーコンピュータの連携

農研機構では、NMRを用いた農業・食品メタボロミクス研究を促進するため、NMRリモート共用システムとNMR分光データ解析パイプラインを連携した新たな分析・情報連携基盤システムの開発と運用を行っています(図3)。一般的に、NMRを含めた分析装置は制御用PCを直接操作するのに対し、NMRリモート共用システムでは、接続用PCがインターネット環境下であればどこからでもNMR計測が可能となります。さらに、長時間連続稼働が可能な自動前処理装置を導入し、均質かつ均一なサンプル調製を可能とするとともに、リモートNMR計測が可能なNMR装置に

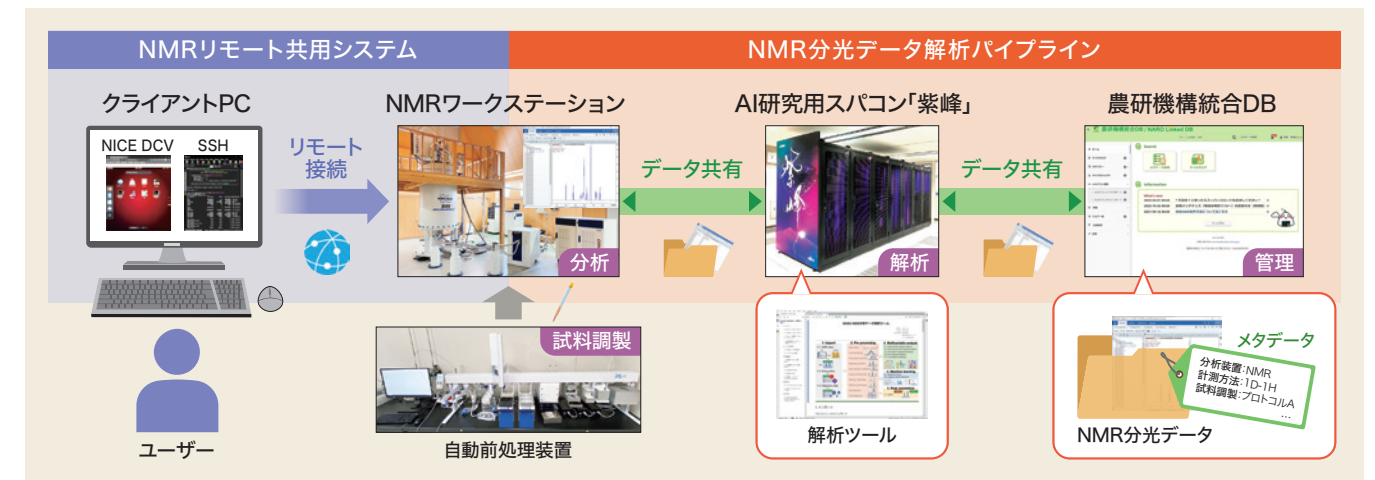


図3 NMRリモート共用システムとNMR分光データ解析パイプラインの全体像 ※参考文献6の図1を一部改変して転載

約500サンプルをセット可能なオートサンプルチェンジャーを装着し、データ取得の効率を飛躍的に向上させることに成功しました。NMR分光データ解析パイプラインでは、リモートNMR計測を制御するNMRワークステーションとAI研究用スーパーコンピュータ「紫峰^{※3}」を連携させており、「紫峰」上で動作する専用のNMR分光データ解析ツールを利用することで、AIを用いた迅速なデータ解析を可能にしています。また、農畜産物の遺伝子情報や成分情報などが格納された大容量の農研機構統合データベースと連携させることで、サンプル情報、分析機器情報および計測情報といった付帯情報(メタデータ)を含むNMR分光データのシームレスな一元管理を可能にしました。これにより、リモート環境にいる異分野の研究者同士がデータを介してつながることが可能となり、多様な研究分野の新たな研究アイデアや研究成果の創出が期待されています⁶⁾。

おわりに

近年のNMR計測や試料調製を行う機器の自動化・高度化により、農産物や食品中の成分組成情報を持つNMR分光データ取得の効率がさらに向上しています。また、統合データベースやスーパーコンピュータといった高度な情報基盤との連携により、データ駆動型解析がさらに加速する状況が期待されます。さらに、NMRの計測法は日々進歩しており、農産物や食品中成分をそのまま評価することや、分子組成情報と物性情報と位置情報の一括取得も可能です。これらの新たなNMR計測法により得られた農産物・食品データの解析事例はまだ少ないですが、今後、これらのデータを蓄積しビッグデータ化すると

もにAI解析することで、これまで見落とされていた新たな知見の発見が期待できます。

(基盤技術研究本部 農業情報研究センター
データ研究推進室)

(基盤技術研究本部 高度分析研究センター
生理活性物質分析ユニット)

用語解説

- ※1 **メタボロミクス** 生体内の化学反応により生産されたアミノ酸、有機酸、糖類、脂質といった化合物(代謝物)を網羅的に分析・解析する研究分野のこと。代謝物は、細胞組織や体液などに含まれるアミノ酸や有機酸、糖類、脂質などの化合物を指し、主にNMRや質量分析を用いてこれらの化合物の検出を行う。
- ※2 **インタクトNMR計測法** インタクトとは「無傷の」「元のままの」といった意味を持ち、NMRイメージングのように計測対象を非破壊的にNMR計測する技術をインタクトNMR計測法と言う。しかし、計測対象の空間的な不均一性が起因して得られるNMRスペクトルが幅広化してしまうため、分子の種類や化学構造の評価が困難となるといった問題がある。
- ※3 **紫峰** 国内農業系研究機関で初となる農研機構のAI研究用スーパーコンピュータ。従来型のスーパーコンピュータと異なり、主力の演算装置としてグラフィックスプロセッシングユニット(Graphics Processing Unit, GPU)を搭載しており、機械学習や画像解析に適した仕様が特徴となる。また、コマンドラインによる利用に加え、ウェブブラウザからの利用も可能であり、利用者にやさしいシステムで利用できるのが特徴。

参考文献

- 1) 関山恭代(2019) NMRで農産物・食品を見る ～NMRメタボロミクスとMRI画像解析の活用例～. オレオサイエンス, vol.19(3), 109-116.
- 2) Kikuchi, J. et al. (2018) Environmental metabolomics with data science for investigating ecosystem homeostasis. Progress in Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy, vol.104, 56-88.
- 3) Ito, K. et al. (2024) Tracking metabolite variations during the degradation of vegetables in rice bran bed with intact-state nuclear magnetic resonance spectroscopy. Metabolites, vol.14, 391.
- 4) Sekiyama, Y. et al. (2013) Detection of eggs in the living white grub beetle *Dasylepida ishigakiensis* (Coleoptera: Scarabaeidae) by magnetic resonance imaging. Applied Entomology and Zoology, vol.48, 423-429.
- 5) Ito, K. et al. (2020) Spatial molecular-dynamically ordered NMR spectroscopy of intact bodies and heterogeneous systems. Communications Chemistry, vol.3(1), 80.
- 6) 伊藤研ら(2023) リモートNMR分光分析供用システムの開発と農研機構統合データベース及びAI研究用スーパーコンピュータ「紫峰」との連携. 農研機構研究報告, vol.13, 3-22.

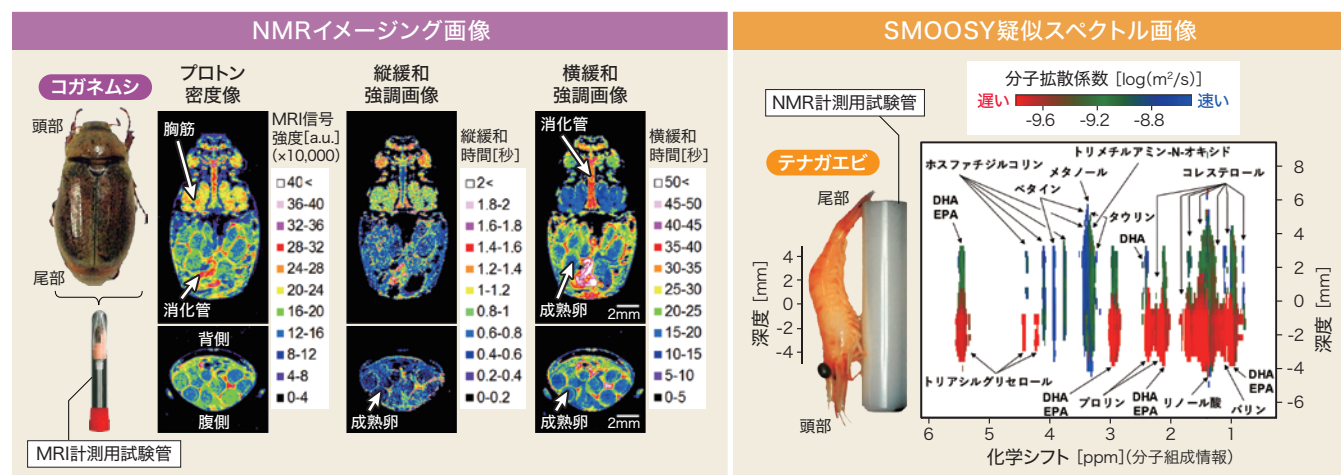


図2 コガネムシ科ケバカアチャコガネのNMRイメージング画像(左)とテナガエビ科スズエビのSMOOSY疑似スペクトル画像(右)

※NMRイメージング画像は参考文献4の図1を一部改変して転載。SMOOSY疑似スペクトル画像は参考文献5の図2を一部改変して転載(クリエイティブ・コモンズ 表示4.0国際ライセンス <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> の下に提供されています)

AIを活用した ため池の地震解析補正手法の開発

泉 明良

IZUMI Akira

はじめに

ため池は、降水量が少なく大きな河川がない地域などで、農業用水を確保するために、盛土により築堤されており、2023年12月時点で全国に約15万カ所存在します¹⁾。そのうち、地震や豪雨により決壊して貯水が下流に流出した場合に、ため池下流に位置する家屋や公共施設等に人的な被害を与えるおそれのあるため池を「防災重点農業用ため池」と位置づけており、その数は約5万カ所存在します²⁾。ため池の7割が江戸時代に築堤されたものです。経年変化により老朽化したため池や、近代的な設計・施工方法に基づいて築堤されていないため池では、地震や豪雨発生時に被害が頻発しています。

地震や豪雨によるため池の被害に伴う人的被害を防止するためには、ため池の防災工事の推進が重要であることは言うまでもありませんが、災害時に決壊のおそれのあるため池の情報を共有し、下流域の住民などに周知することも重要です。農研機構では、地震・豪雨発生時にため池の決壊に対する危険度の予測情報をリアルタイムで

共有する「ため池防災支援システム」を2018年度に開発しました³⁾(図1)。「ため池防災支援システム」は、全国のため池情報をデータベース化し地図画面上にため池を表示するとともに、ため池現地の点検結果を報告し、共有する機能を有しています。また、地震や豪雨発生時に、防災科学研究所が開発したSIP4D⁴⁾より地震や降雨情報を取得し、地震・豪雨解析の結果を基にリアルタイムでため池の決壊に対する危険度の予測情報を配信しています。ため池が決壊した際の下流域浸水被害を予測する氾濫機能を有しています。

2019年度より農林水産省で運用されており、国機関ならびに全国の自治体のため池担当者に利用されています。本稿では、「ため池防災支援システム」の地震解析機能⁵⁾および機械学習を用いた地震解析による危険度予測の補正手法について紹介します。

地震解析手法

地震が発生したときに、ため池堤体は地震中の繰り返し荷重によって堤体の強度が低下する現象(以下、強度低下)が発生する場合があります(図2)。この強度低下により堤体は大きく沈下し、越流により下流域に被害が発生します。

「ため池防災支援システム」の地震解析では、強度低下を考慮したニューマークD法⁶⁾*1という力学的な計算手法を用いて堤体の沈下量を計算します(図3)。ニューマークD法で得られたすべり変位量を沈下量に換算しています。入力パラメータは地震波形と堤体の形状や堤体土の土質パラメータです。地震中に発生する堤体土の強度低下は、土質の種類と土質パラメータに基づく強度モデルにより推定⁷⁾します。地震解析では、設定した地震波

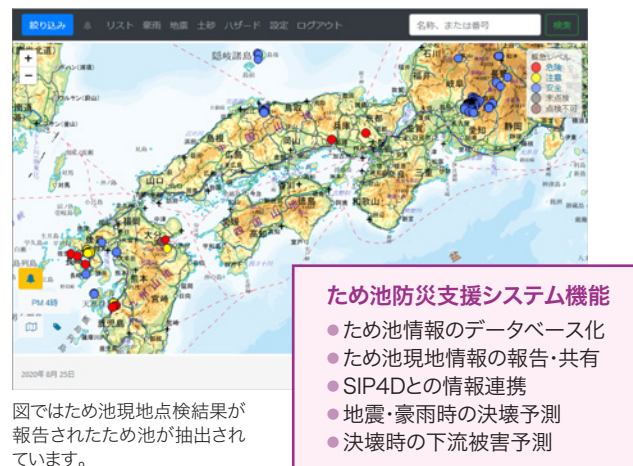


図1 ため池防災支援システムの概要

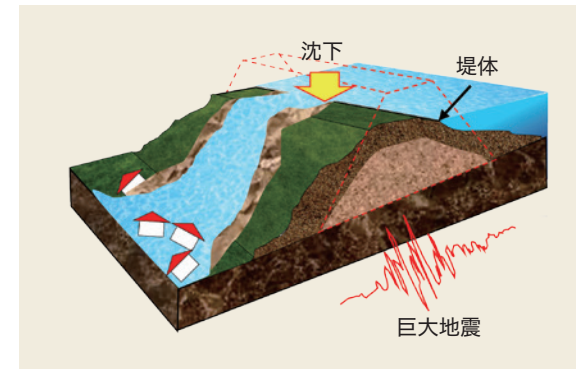


図2 地震時の強度低下によるため池の被害

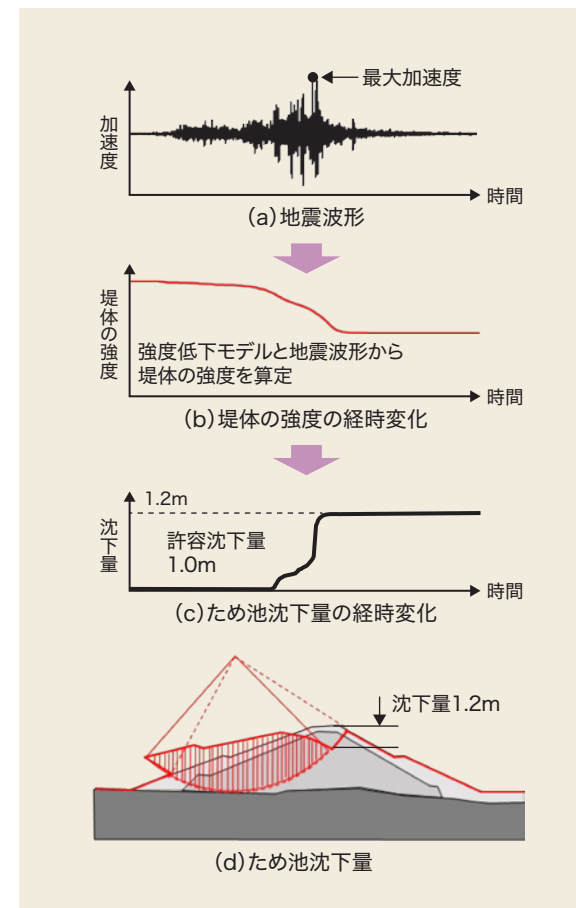


図3 ニューマークD法による堤体沈下量算定過程

形について、相似を保ったまま振幅のみを変化させた複数の地震波形を用いて個々のため池について各地震波形の最大加速度と沈下量との関係(以下、沈下量算定図)をデータベースとして格納しています。地震は海溝型地震⁸⁾と内陸型地震⁹⁾の2種類に区別して、それぞれについて沈下量算定図を作成しています。

地震発生時に、SIP4Dから地震波形ではなく最大加速度が配信されます。そのため、「ため池防災支援システム」ではSIP4Dから取得した最大加速度から沈下量算定図を参照してため池の沈下量を算定します。個々のため池では、地震時に許容される沈下量(以下、許容沈下量)が設定されており、以下に示す残存余裕高割合によってため池の危険度を危険、注意、安全の3段階で予測しています。

残存余裕高割合 = (許容沈下量 - 算定沈下量) / 許容沈下量
危険: 残存余裕高割合 ≤ 0
注意: 0 < 残存余裕高割合 ≤ 0.8
安全: 0.8 < 残存余裕高割合

算定沈下量が許容沈下量を超えた場合、残存余裕高割合が0以下となり、危険として予測します(図4)。

機械学習を用いた地震解析補正手法

「ため池防災支援システム」の運用後に発生した地震において、上述した地震解析によるリアルタイム危険度予測と、実際のため池の被害状況とを比較すると、計算した沈下量が過大となる傾向があることがわかりました。これは、地震解析のプログラムが設計で用いる計算手法に基づいており、安全設計の考え方から沈下量が大きく計算されるためです。そこで、地震解析による危険度予測の精度向上を目的に、機械学習の一種であるサポートベクターマシン¹⁰⁾*4(以下、SVM)を用いた補正

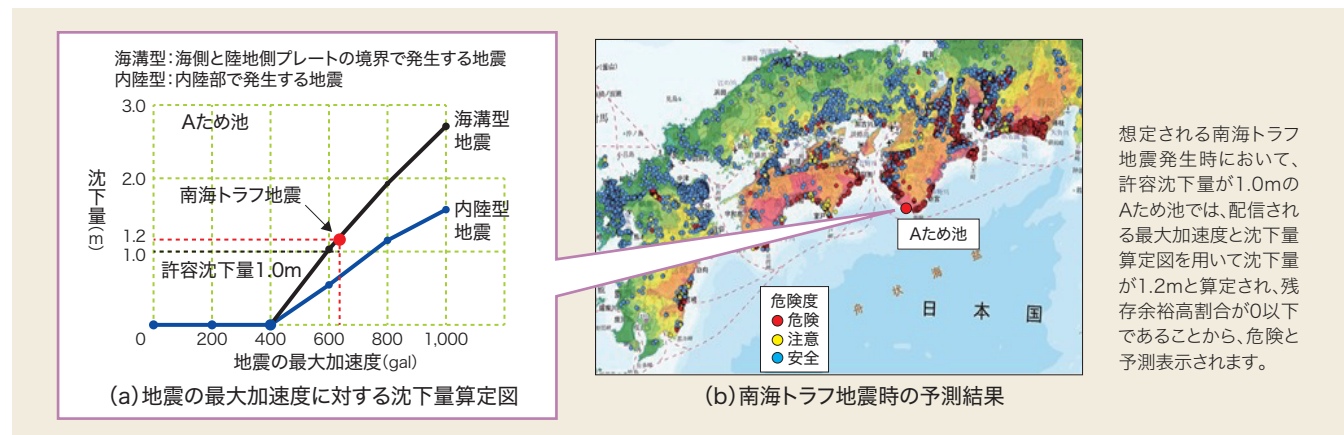


図4 ため池のリアルタイム危険度予測の例

手法を開発⁸⁾しました。

本手法の補正フローを(図5)に示します。後述する機械学習を用いた分類システムにより震度5、6、7の地震が発生した場合のため池の被災程度の大きさを判定します。次に、震度5、6、7相当の地震に対して地震解析により被災程度の大きさを判定します。ここで、地震解析による被災程度は、地震解析によって計算される沈下量が許容沈下量より大きい場合を「被災大(地震解析)」とし、小さい場合を「被災小(地震解析)」と定義します。そして、震度7から順次、分類システムと地震解析による被災程度の分類結果を比較し、相違があった場合、分類システムの結果を正

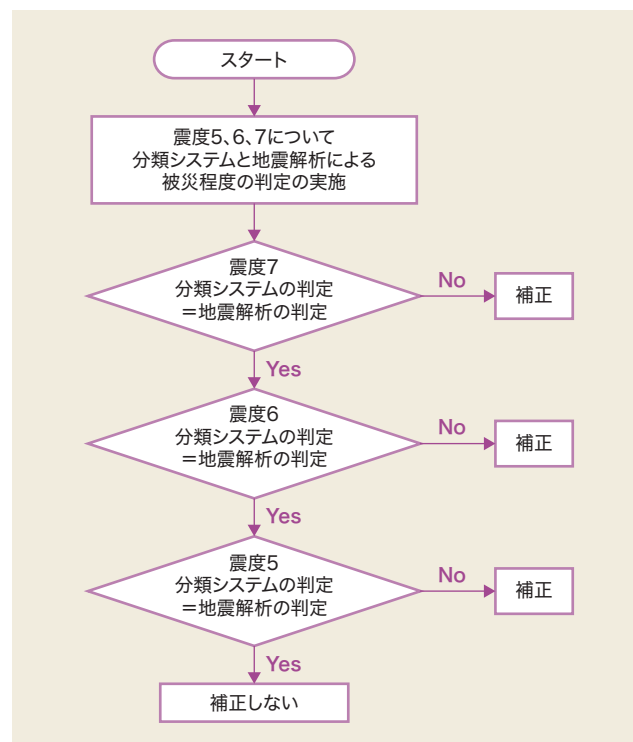


図5 地震解析補正フロー

として、地震解析から計算される沈下量に補正係数を乗じます。補正係数は、相違があった時点の震度において地震解析で計算された沈下量を許容沈下量で除した値とします(図6)。地震解析の補正は内陸型地震と海溝型地震でそれぞれ実施します。

分類システムは、震度情報とため池諸元情報からSVMにより被災程度を分類するシステムを指します。分類システムの構築では、過去に発生した地震時のため池の1,655件の点検結果を教師データとして利用しました。特徴量は(表1)に示すとおりです。入力パラメータは特徴量2～12であり、出力は特徴量1の被災程度です。被災程度では、ため池堤体に大きな変形が発生した場合、決壊が発生した場合を「被災大(分類システム)」とし、無被害や微小な亀裂や沈下などを「被災小(分類システム)」と定義しました。分類システムの構築においては、各特徴量を標準化し教師データとテストデータを一般的な割合である7:3で分割し、境界モデルは複雑な決定境界を学習するRBFモデル⁹⁾※5を設定しました。最適なパラメータを設定する

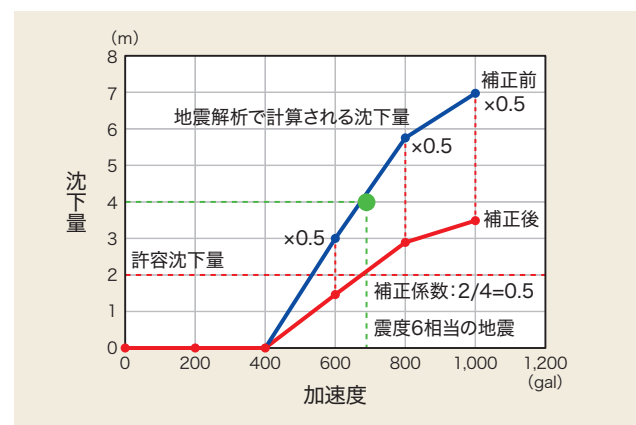


図6 沈下量算定図の補正方法

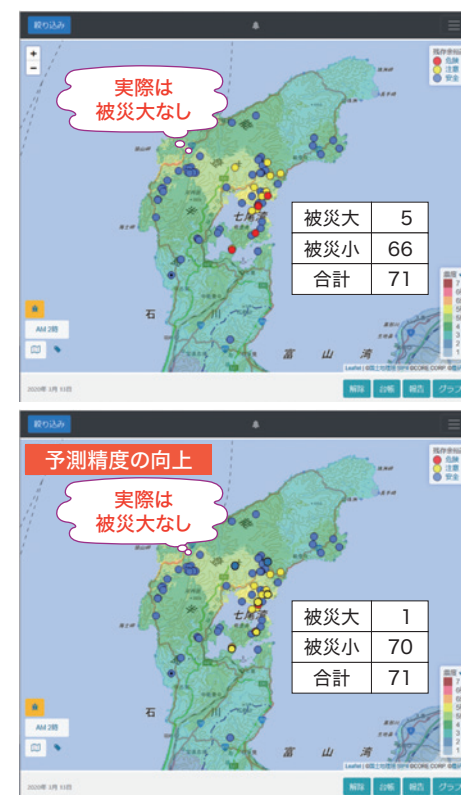
表1 特徴量一覧

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
被災程度	震度	天端 (m)	堤高 (m)	堤頂長 (m)	上流 法面勾配	下流 法面勾配	断面積 (m ²)	体積 (m ³)	築造年代	土質	堤体形状

必要があるCと γ は、試行錯誤的にC=1、 $\gamma=0.005$ と設定しました。テストデータの被災程度に対して構築した分類システムを用いたテストデータの被災程度の判定結果の合致率は82%でした。学習とテストのデータを変更させても合致率にほとんど変化はなく再現性が高いと考えます。

予測精度検証の例として、2020年3月13日に発生した最大震度5.5の石川県地震を対象に本手法を適用しました。結果を(図7)に示します。補正前は「被災大(地震解析)」が5カ所、「被災小(地震解析)」が66カ所と予測されました。現地点検結果から、71カ所のため池について、被害が発生しておらず地震解析の被災程度の判定の正解はすべて「被災小」です。開発した機械学習による補正手法を適用した場合、「被災大」が1カ所、被災小は70カ所に

修正されていることから、本手法により精度が向上したことを確認しました。

図7 本手法を用いた補正結果事例¹⁰⁾一部追記

おわりに

本稿では、「ため池防災支援システム」の地震解析の概要と地震解析の精度向上を目的とした機械学習を用いた

補正手法について紹介しました。2024年1月1日に発生した能登半島地震では多数のため池に被害が発生しており、農研機構農村工学研究部門では今後ため池の現地調査を実施する計画としています。現地調査から詳細なため池の被災状況を収集し、本手法の精度向上を検証する予定です。また、堤体土の力学的なパラメータを特徴量として追加し、さらなる改良に取り組む計画としています。

(農村工学研究部門 施設工学研究領域 施設整備グループ)

用語解説

- ※1 **ニューマークD法** ニューマーク法は、斜面の地震時のすべり変位の簡易算定法。すべり土塊を剛体として仮定し、すべり面における応力とひずみの関係を剛塑性と仮定して、地震時のすべり土塊の変位量を計算する方法。ニューマークD法では、さらに、地震時の土塊の強度低下を考慮している。
- ※2 **海溝型地震** 海洋プレートが陸プレートの下に沈み込むときに大きな地層のずれによって発生する地震。
- ※3 **内陸型地震** 陸地の浅い地層で断層が大きくずれて発生する地震。
- ※4 **サポートベクターマシン** 機械学習の一種であり、主に分類問題で利用されている。教師データありの機械学習で、最適化すべきパラメータが少ないことが特徴。
- ※5 **RBFモデル** SVMにおいて非線形な識別境界の構築が可能であり、最適化すべきパラメータはCと γ の2つ。Cは誤分類の許容度を決め、 γ は分類する境界の複雑さを決める。

参考文献

- 1) 農林水産省(2024) ため池とは。
https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/attach/pdf/index-46.pdf (参照 2024-10-17)
- 2) 農林水産省(2024) 防災重点農業用ため池の都道府県別指定箇所数。
https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/attach/pdf/koujitokushohou-12.pdf (参照 2024-10-17)
- 3) Hori, T. et al. (2021) Development of the disaster prevention support system for irrigation pond (DPSIP), Journal of Disaster Research, vol.14(2), 303-314.
- 4) Usuda, Y. et al. (2019) The shared information platform for disaster management -The research and development regarding technologies for utilization of disaster information-, Journal of Disaster Research, vol.14(2), 279-291.
- 5) 泉明良・堀俊和(2018) 地震時のため池沈下量の簡易予測システム, 農研機構 研究成果情報。
https://www.naro.go.jp/project/results/4th_laboratory/nire/2018/18_067.html (参照 2024-10-17)
- 6) デュッティアントワンら(2015) Newmark-D法によるレベル2地震動に対するため池堤体の耐震診断について, 農業農村工学会誌, vol.83(12), 1031-1034.
- 7) 上野和広ら(2020) 非排水繰返し載荷を受ける飽和土の非排水せん断強度の簡易推定手法, 地盤工学ジャーナル, vol.15(2), 241-256.
- 8) 泉明良ら(2022) SVMを用いた地震解析補正手法, 農業農村工学会誌, vol.90(7), pp.499-502.
- 9) 吉川雅博(2011) ロボティクスに使えるやさしいSupport Vector Machine, 日本ロボット学会誌, vol.29(5), pp.435-438.
- 10) 農研機構 プレスリリース(2021-11-8) AIにより地震時のため池危険度予測精度が向上「ため池防災支援システム」。
https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/nire/144608.html (参照 2024-10-17)

TOPICS

生成AIで農業をスマートに ー国内初の農業用生成AIを開発し、 普及指導員への支援を実証開始ー

基盤技術研究本部 農業情報研究センター データ研究推進室 石原 潤一
ISHIHARA Junichi

■新規就農者の早期育成や最新技術の普及が 待ったなし！

昨今の不安定な世界情勢の中で、わが国での食料の安定供給を維持していくため、スマート農業を強力に推進させることが求められています。しかし、国内就農者の平均年齢は68.7歳(2023年)¹⁾と高齢であり、今後20年間で現在の3/4ほどの就農者が離農するという予測が立てられています²⁾。したがって、新規就農者の早期育成や高齢の就農者に対する技術支援が必要不可欠となっています。

そこで、農業情報研究センター データ研究推進室は、北海道大学、キーウェアソリューションズ株式会社、三重県農業研究所、株式会社ソフトビル、株式会社ファーム・アライアンス・マネジメントと連携し、国内の農業データを学習させた国産農業用生成AI^{*1}を開発しました(図1)。本生成AIは、地域の特性に応じた農業に関する正確な知識と、スマート農業やみどりの食料システム戦略に関する新技術情報などを学習しており、普及指導員^{*2}が現場の状況に応じて効

率的かつ適切に対策を判断するための補助的役割を担うことが可能です。

■三重県農業研究所の普及指導員に向けて 試験運用を開始

本生成AIは、文章情報に特化した大規模言語モデルをベースとし、国内農業に固有の栽培知識や、地域ごとの土壌や気候条件に応じた栽培方法の違いなどを正しく学習しています。その結果、既存の生成AIが回答しにくい専門的な質問に対し、本生成AIは精度よく回答できるようになりました(図2)。なお、学習に使用されたデータは、農業技術事典NAROPEDIA(<https://lib.ruralnet.or.jp/nrpd/>)などのインターネット上で広く公開されている農業情報に留まらず、農研機構に蓄積された研究データをはじめ、地方公共団体の公設試験研究機関などが作成した栽培マニュアル、栽培歴、営農指導記録など、一般的に入手困難な情報を含みます。農研機構は、これらの情報を所有者から許諾を得て



図1 国産農業用生成AIの開発と全国展開に向けて
農研機構のAIスパコン「紫峰」を使用し、農業に特化した正確な記述や数値を学習することで、汎用的な事前学習済みベースモデルの回答精度を向上させられる。

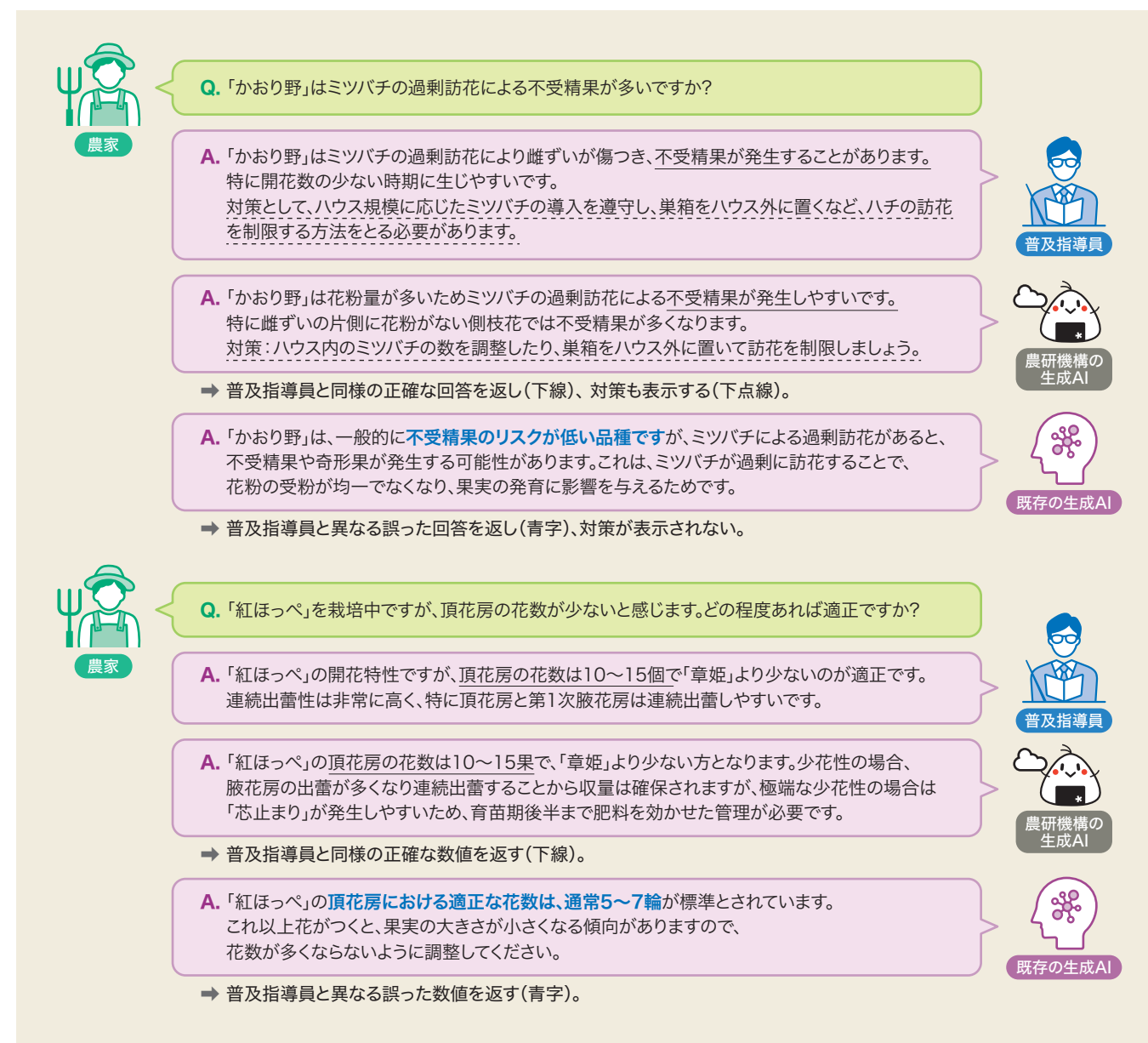


図2 農業用生成AIとの対話例(2024.10.18現在)
就農者が普及指導員に聞く質問を想定し、本生成AIと既存の生成AIの回答を比較した。本生成AIの回答は誤りが少なく、対策なども提案する。

利用しています。

本研究は2023年秋にスタートしましたが、このたび第一弾となる農業用生成AIを開発し、三重県でイチゴを対象とした試験運用を10月21日から開始しました。試験運用では、生成AIを就農者向けチャットツールと組み合わせ、三重県農業研究所の野菜担当の普及指導員に無償提供しています。今後、農業現場において、就農者および普及指導員の使用を通して得た情報の正誤や使い勝手などのフィードバックを反映させることで、さらに本生成AIの精度を高めていくとともに、他作目や他県にも同様に展開していく予定です。

用語解説

- ※1 **生成AI** 深層学習を用いて、テキスト、画像、動画、映像などの多様な形式のデータを自動的に生成する技術の総称。
- ※2 **普及指導員** 就農者に農業技術や経営相談、情報提供などを直接行うことで、就農者を支援する都道府県の職員。

参考文献

- 1) 農林水産省 大臣官房統計部(2024) 農業労働力に関する統計。
<https://www.maff.go.jp/j/tokei/sihyo/data/08.html>
(参照 2024-10-24)
- 2) 農林水産省 技術会議事務局(2024) 農林水産研究イノベーション戦略2024。
<https://www.affrc.maff.go.jp/docs/press/attach/pdf/240604-2.pdf>
(参照 2024-10-24)

TOPICS

進化するWAGRI

基盤技術研究本部 農業情報研究センター WAGRI推進室 法隆 大輔
HORYU Daisuke

WAGRIは農業分野に必要なデータやプログラムをインターネット上で提供する仕組みです。WAGRIの提供しているデータやプログラムを利用することで、アプリケーションに市況、気象、農地などの情報提供機能を持たせることができます。こうしたアプリケーションの普及によって、農作業の省力化や農業収益の向上といった現在の農業の課題解決が期待できます。

WAGRIは、2019年から農研機構が運営していますが、この間に様々な変化、改良があり、日々進化を続けています。WAGRIがどのように変わってきたか、また今後どう変わるか、以下に4つの視点からご説明します。

■ 会員数・API数の増加

まず初めに言及すべき変化は、多くの企業や団体に会員になっていただいたということです。図1に示すように会員数は順調に増えていて、2023年度には100というひとつの目途を超えました。一方で提供しているAPIの数、すなわち提供している情報の種類も増えました。2023年度末でのAPIの数は176です。提供している情報は、市況、気象、農地のようなデータだけでなく、生育予測やAI病害虫診断のようにユーザからの入力データを処理するプログラムもあり、農業生産の現場で必要とされる情報を広くカバーしています(図2)。

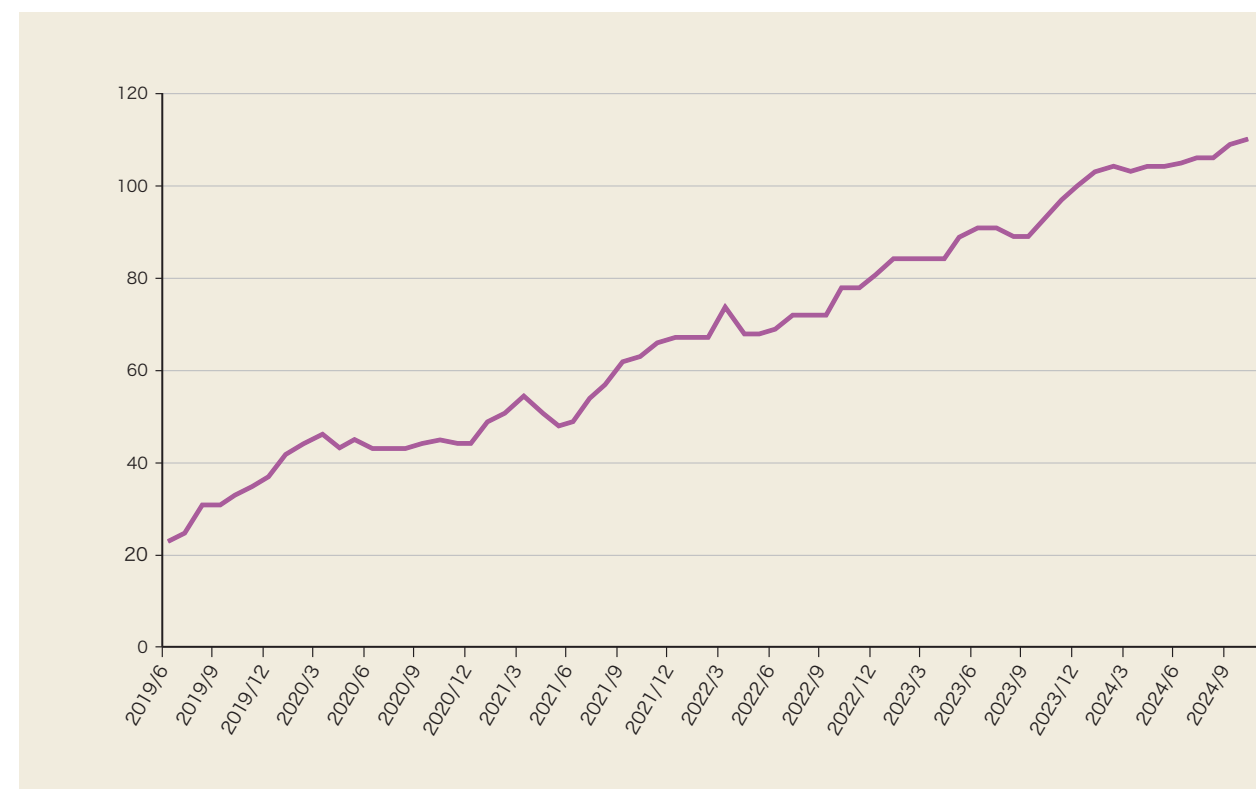


図1 WAGRIの会員数の推移



図2 APIの内訳とその利用イメージ

■ 新WAGRI

今の世の中で最も変化の速い分野のひとつはクラウドコンピューティングの世界と言えるでしょう。そして、WAGRIはそのクラウドコンピューティングの世界に身を置いています。また、会員数・API数の増加はシステムへの負荷の増大と表裏一体です。こうした状況を受け、高速、大容量、安定というニーズに応えられる新しいWAGRIのシステムとして、新WAGRIの開発と運用に取り組んでいます。新WAGRIは2025年度からの本格稼働を目指して鋭意開発に取り組んでいる最中です(図3)。

	2023	2024	2025	2026
現行WAGRI	通常稼働		利用非推奨(順次移行)	現行WAGRI停止
新WAGRI	先行開発	先行稼働	全面稼働(並行稼働)	完全移行

図3 新WAGRIへの移行スケジュール

■ 柔軟な制度の変更

WAGRIの運用を行う中で、その制度も柔軟に変更しています。まず、2022年からは、アドバイザーボードへの諮問に基づき、それまで5万円であった毎月の会費を4万円に値下げしています。また、農業法人を対象として会費を大幅に割引く制度(農業法人会員割引)と学校を対象として会費を大幅に割引く制度(アカデミア会員割引)の2つの割引制度を導入しました。この制度の導入から1年経ちますが、教育現場でのデータサイエンス重視の流れを受け、多くの先生からアカデミア会員割引について問い合わせをいただいています。さらに、2023年からは無料のお試しサービスで利用できるAPIの種類や、利用回数を拡大しています。

■ イベントの開催

WAGRIは外部の展示会などに積極的に出展していますが、自らもイベントを開催し、WAGRIの普及とWAGRI会員各社のアプリケーション普及に取り組むようになりました(図4)。ここで重要な点は、WAGRI自身の普及だけでなく、WAGRI会員各社のアプリケーションの普及に取り組んでいることです。WAGRIは直接農業者に情報を届けるのではなく、WAGRI会員各社がアプリケーションを開発し農業者や関連団体に情報を提供する仕組みです。そのため、WAGRI自身の周知、普及を図るだけでは十分ではありません。会員企業とそのアプリケーションの展開を支援することが、スマート農業の進展による農業の課題解決には欠かせないのです。



図4 WAGRI主催イベントの様子

温故知新

≫ 古きをたず（温）ねて新しきを知る



作物生育モデルとAI

NAKAGAWA Hiroshi 中川 博視

本号はデータ活用とAIに関する特集号ですが、作物生育モデルの源流を辿りながら農業におけるAI研究について考えてみたいと思います。花咲き、実を結ぶという質的な変化だけでなく、植物の生活を物質収支という量的な観点から理解する道が拓かれたのは、1930年代にデンマークの植物生理学者Boysen Jensenが光合成と呼吸に基づいた物質生産の概念を提示したことに始まります。その概念を発展させたのが日本の生態学者門司と佐伯で、個葉の光合成と群落内の光環境の解析から群落光合成の数学的モデルを導きました。コンピュータの発達に伴って、オランダのde Witらが群落光合成を含む様々な生理・生態学的過程を考慮した作物生育モデルを開発したのが1960年代後半です。

農研機構でも多くの研究者が作物生育モデルの開発に携わるとともに、作物生育モデルを活用した気候変化の農業への影響予測や栽培管理を支援するWAGRI-APIの開発に取り組んできました。これらは、農業におけるデータ活用の先駆けと言えるでしょう。作物生育モデルは、システム論的アプローチによって組み上げられた微分方程式系と経験的回帰モデルの集合体です。モデルに含まれる多数のパラメータは個別の生理過程に分割され、各生理過程についての実験データから決定されます。つまり、モデルの作り方から言えば「知識」+「比較的少数のデータ」から成り立っている知識ベースのAIと言えるかもしれません。「少数」とは言え、モデルの開発に必要なデータをほ場試験・生理実験から得るには大きな労力と時間を要していました。

一方で、データ駆動型モデルという概念があります。知識

に頼らず、データ自体に語らせるモデルです。大量にデータが集まれば、農業においてもAIの様々な技法を用いてデータ駆動型モデルが構築できます。本号で紹介された特集記事を始めとして、画像認識、各種予測についてAIを用いた成果が出始めています。また、生成AIの農業的活用も今後の展開が期待されているところです。

しかし、農業ではとても「ビッグ」とは言えないデータを扱っている分野も多くあります。そこでは、本号でも紹介のあったようなハイスループットな計測技術やAI画像解析技術がデータ取得の効率化に貢献するでしょう。また、データ数に比べて説明変数の数が多い状況には、少量データに向けたスパースモデリングやベイズモデリングが適用できます。逆に、変数選択や変数の加工に作物生育モデルを利用することによって機械学習に必要なデータを減らすことや、機械学習の解釈・説明可能性を向上させることが可能かもしれません。作物生育モデルの構造(知識)を部分的にディープラーニングに融合させるような手法開発も考えられます。農研機構、中でも農業情報研究センターでは、農学研究者とデータサイエンティストが同じ部屋で机を並べて研究を進めています。そこでこれから生じる化学反応と農業現場への貢献に期待しています。私？私とは言えば、慣れ親しんだ特殊性の陸から汎化性の海に飛び込む勇気はありませんが、それらの境界、「ハイブリッドアプローチ」の汀を散策しながら美しい貝殻や磨かれた小石が落ちていないかと探す日々です。

(基盤技術研究本部 農業情報研究センター)

Editor's Note

編集後記

私たちの生命の維持に欠くことのできない食料の安定供給と供給力の強化は、喫緊の課題となっています。農研機構では、食料供給の大きな部分を担う農業現場で農業従事者の高齢化や減少により直面する課題に立ち向かうため、これまで人が関わり、労力と時間、コストを必要としてきた各種の作業工程などへAI(Artificial Intelligence、人工知能)技術を実装してスマート化し、農業・食品分野で人の代わりにAIに任せられる仕事の普及を通して、良質な農産物の生産性の維持、向上や効率化のための取り組みを進めています。

農研機構技報 第17号では、「AIの農業現場への実装をめざして」としてAI技術を活用した研究成果の一部を紹介しています。

本号で紹介した技術以外にも、広報誌「NARO」No.30(2023年5月発行)、農研機構のウェブページや動画サイト(NAROchannel)で関連する技術や研究成果を紹介していますので、ぜひご覧ください。

末尾になりましたが、本号の執筆・査読・編集などにご協力いただいた皆様に心より感謝申し上げます。

最後までお読みいただき、ありがとうございました。

(編集委員長)

広報誌「NARO」
No.30



YouTube
NAROchannel



農研機構技報

NARO Technical Report No.17

2025年3月27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

農研機構は「みどりの食料システム戦略」を推進しています

<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/>



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>



『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。