



国立研究開発法人  
農業・食品産業技術総合研究機構

農研機構技報

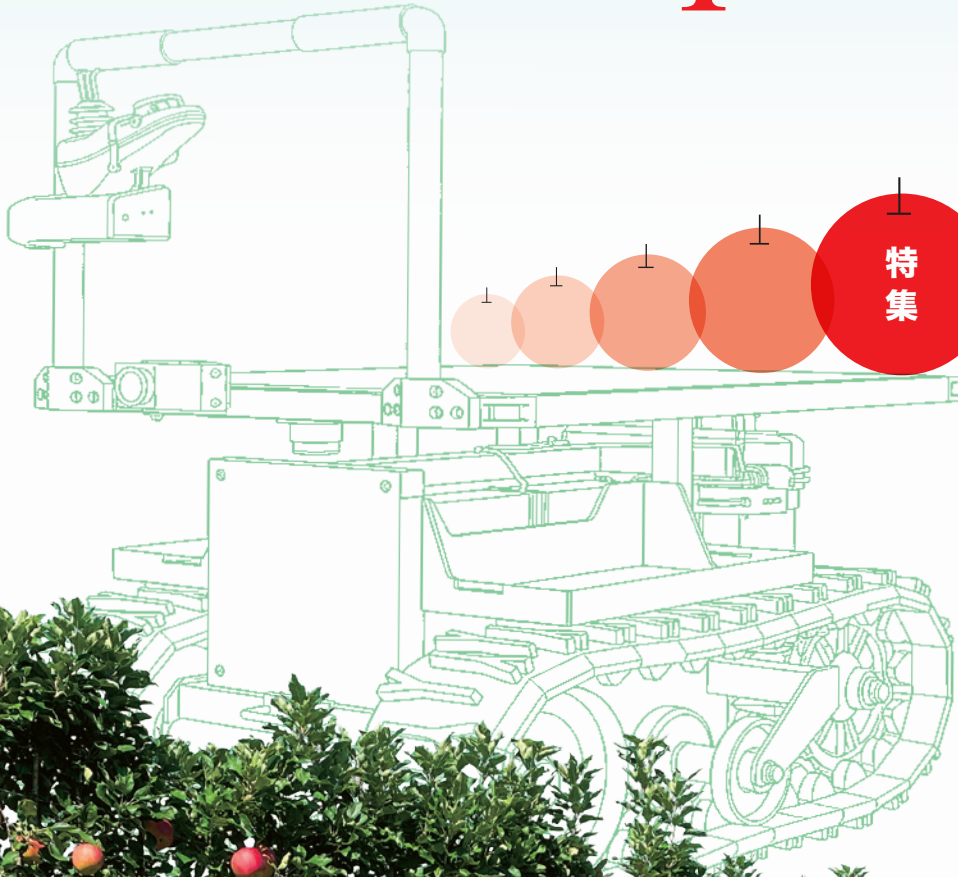
# NARO

## Technical Report

No. 19  
/ Feb. / 2026

History

温故知新



特集

ユーザーに選ばれる  
スマート農業技術





## 農研機構スマート農業施設供用の取り組み

## Use of R&D facilities, etc. from NARO

## スマート農業施設供用の取り組みとは

「スマート農業技術活用促進法」※に基づき「開発供給実施計画」の認定を受けた事業者等は、認定を受けた計画に従い、農研機構が有するスマート農業施設等を利用することができます。

また、ご希望に応じて、農研機構の専門家派遣、ほ場管理の代行など、農研機構からのサポートを受けることも可能です。

※正式名称は「農業の生産性の向上のためのスマート農業技術の活用の促進に関する法律」で、令和6年(2024年)10月1日に施行されました。



<https://www.naro.go.jp/collab/sappo/index.html>

04	特集「ユーザーに選ばれる スマート農業技術」
05	特集によせて 森田 敏
06	1 両正条田植機と直交除草技術 山田 祐一
10	2 東北地方におけるNARO方式 乾田 <sup>かん でん ちよく は</sup> 直播の技術と普及の現状 屋比久 貴之
14	3 果菜類の施設生産における 生育・収量予測技術の活用 小郷 裕子
18	4 気象データに基づくキャベツの 生育予測技術とその活用事例 福田 真知子 板橋 悦子
22	5 ほ場一筆ごとの肥効が見える化 前島 勇治 望月 賢太
26	6 果樹栽培の機械化を目指して ー省力樹形の開発とカラムナータイプリンゴの育成ー 岩波 宏
30	7 荒廃農地再生とスマート放牧による 中山間地域の省力的肉用子牛生産 柿原 秀俊
34	8 堆積型堆肥化における切り返し作業の 省力化を実現する堆肥化ロボット ーホイールローダの自動運転化ー 中久保 亮
38	温故知新



特集によせて

## 省力化の先にあるもの — 選ばれるスマート農業技術 —

理事 森田 敏

MORITA Satoshi

研究推進Ⅱ担当

農業生産者の高齢化、人手不足、資材価格の高騰、温暖化などの影響を受けて離農が加速しており、担い手への農地集積が進んでいますが、これ以上引き受けられないという担い手も出てきています。

ネックになっているのは、生産の省力化です。これまでも、農作業の機械化や病虫害防除を減らせる抵抗性品種・農薬の開発などによって省力化を進めてきたのが農業技術の発展の歴史です。しかし、他産業に比べると農業の生産性はまだ低いと言わざるを得ません。

これを打破する切り札として期待されているのが「スマート農業」です。2025年4月に閣議決定された新たな「食料・農業・農村基本計画」では、スマート農業技術を活用した面積の割合を2024年の約20%から2030年には50%へ高めることをKPIとして掲げています。

農研機構は、2018年にAI研究の専門家を擁する農業情報研究センターを新たに設置し、内部連携により、AI、データ、ロボティクスを活用した農業技術を開発してきました。

目指しているのは、農業・食品分野でのSociety 5.0(サイバー空間とフィジカル空間の融合により経済的発展と社会的課題の解決を両立する人間中心の社会)の実現です。例えば、熟練農業者に近い、あるいはこれを超えるスペックの作業をスマート農業技術で再現し自動化する

ことによって、省力化に加えて、その先にある増収・品質向上も可能として、儲かる農業、持続可能な農業を実現します。

このためには、開発技術が生産現場で実際にパフォーマンスを発揮して、生産者に選ばれる必要がありますが、それと同時に、生産された農産物が国内外の消費者を満足させ、技術の提供・普及活動を行う企業や都道府県などのニーズにも応える必要があります。例えば、生産者の省力化・高収益化に貢献して、操作性に優れる技術であること、消費者には低価格で美味しい農作物を提供できること、企業や都道府県には広域への適用性など販路・普及地域の拡大に貢献することなどが重要です。

このようにユーザーの皆さんに選ばれて普及が広がることで、これらのスマート農業技術が現場に大きなインパクトを与えて、農業の成長産業化、食料安全保障の強化、みどり戦略達成への貢献が可能になると考えています。

本特集で紹介する技術は、農研機構がこれまで開発し、現地実証を重ねて、いよいよ市販化されるもの、既に市販化されて普及拡大が期待されるものの一部です。企業、生産者、都道府県、大学など関係機関の皆様におかれましては、これらの開発技術の活用や新たな技術開発での連携をご検討いただけますと幸いです。

Smart agriculture  
in  
Japan

始動!

特集

# ユーザーに選ばれる スマート農業技術

農業の成長産業化、食料安全保障の強化、  
みどり戦略達成へ貢献するスマート農業技術





# 両正条田植機と直交除草技術

山田 祐一

YAMADA Yuichi

## はじめに

農林水産省が策定した「みどりの食料システム戦略」の目標達成のため、有機農業の取組面積拡大に資する技術開発および社会実装が急務となっています<sup>1)</sup>。同戦略では、2050年までに耕地面積の25% (約100万ha) を有機農業に転換するという目標が掲げられています。2023年、有機農業取組面積は約3万haにとどまっており、大幅な拡大が必要となります<sup>2)</sup>。

本稿では、同戦略の目標達成に貢献する技術として研究・開発中の両正条田植機と直交除草技術について解説します<sup>3)</sup>。

## 水稻有機栽培の課題

「みどりの食料システム戦略」の目標を達成するためには、栽培面積の大きな水稻において有機栽培面積を拡大することが不可欠ですが、その実現には様々な課題が存在しています。例えば、病害虫防除では、薬剤による直接的な防除が困難なため、抵抗性品種の導入や栽培管理による予防的対応が求められます。肥培管理では、化学肥料が使用できないため、土壌診断や生育診断に基づいて有機質資材を適切に投入する必要があります。しかし、有機質資材の分解速度が不安定

で施肥設計が難しく、対策として有機質資材の肥効見える化アプリが開発されています。

そして、水稻有機栽培における課題の中でも、特に作業負担が大きく、技術的な解決が強く求められているのが雑草防除です。有機栽培では除草剤が使用できないため、雑草防除には水田用除草機による機械除草が広く用いられています。しかし、水田用除草機は、除草ロータが作用する条間では高い除草効果を発揮するものの、除草ロータが作用しない株間ではレーキなどによる補助的な除草に依存せざるを得ず、十分な除草効果が得られないという課題があります。結果として、雑草量の多いほ場では取り残した雑草の手取り除草に多大な労力が必要となり、有機栽培面積拡大の妨げとなっています。

そこで、両正条移植と直交除草という2つの技術を提案し、株間の除草効果向上を目指して研究・開発を進めてきました(図1)。両正条移植は、苗を縦横に整列させて基盤の目状に配置する移植方法で、従来の田植機では

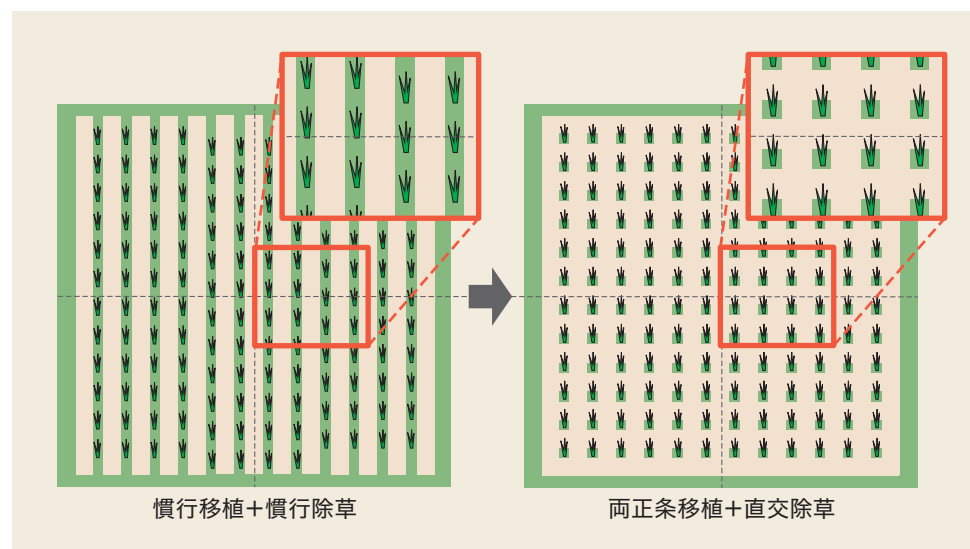


図1 両正条移植と直交除草  
苗を横方向にも揃えて植える両正条移植によって、縦横2方向の直交除草が可能となり株間の除草効果が向上します。

実現できない移植方法です。直交除草は、両正条移植されたほ場を前提とした除草方法で、生育初期に行う複数回の除草作業のうち、一部を直交方向に走行するというものです。これにより、株間にも除草ロータを作用させることができるようになるため、株間の除草効果の大幅な向上が期待できます。

## 両正条田植機の開発

両正条移植は従来の田植機では実現できない移植方法であるため、新たに両正条田植機を開発することとしました。従来の田植機の植付爪は、走行車輪と機械的に連動することで設定した株間で植え付ける仕組みになっています。このため、車輪のスリップには対応できず株間が変動してしまいます。両正条移植を実現するためには、株間を一定に保つだけでなく、植え付ける位置も制御する必要があります。

両正条移植を実現する機構はいくつか考えられますが、開発機では無段変速機的一种であるHST<sup>\*1</sup>を利用することとしました。一部の市販機には、車輪のスリップにかかわらず株間を一定に保つ機能が備わっており、この機能を実現するために株間変速用HSTが搭載されています。このため、最小限の改造で両正条移植機能を構成でき、実用化の際に最も低コスト化が可能な方式であると考えています。

開発した両正条田植機は、マット苗仕様(図2)とポット苗仕様(図3)の2機種です。いずれも、株間変速用HSTを搭載した市販の8条植乗用型田植機をベースに開発しました。制御システム(図4)は、複数のECU<sup>\*2</sup>やRTK-GNSS<sup>\*3</sup>、回転センサ、モータ、モータドライバなどから構

成されます。図中の赤色の破線内に示された部分が農業機械研究部門で追加した部品で、それ以外はベース機に搭載された部品をそのまま使用して低コスト化を図っています。追加部品に2つのECUが含まれますが、実用化の際には、ベース機に搭載されたECUで制御できるため、これらは不要になると考えています。このため、実質的な追加部品はRTK-GNSSとHST出力軸の原点センサのみです。RTK-GNSS受信機は低価格化が進んでおり、大きなコストアップにはならない見込みです。



図2 マット苗仕様両正条田植機



図3 ポット苗仕様両正条田植機



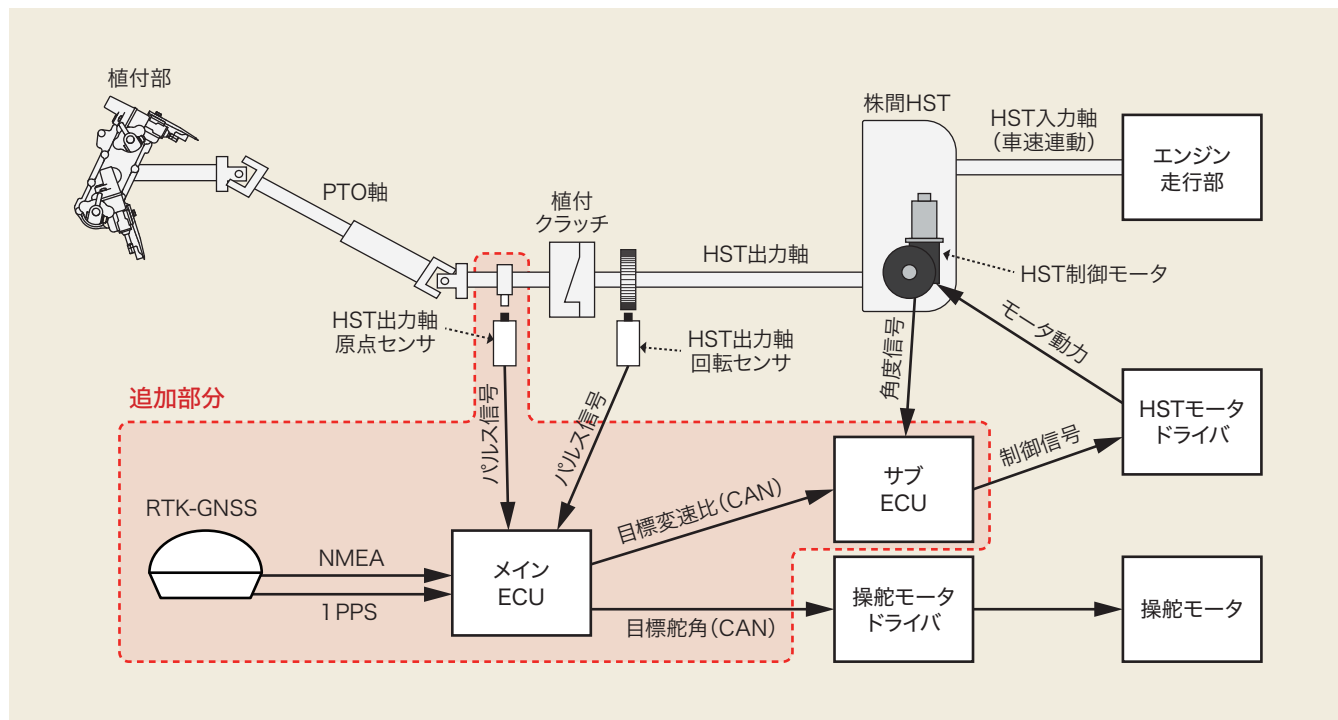


図4 両正条田植機のシステム構成

両正条制御機能は、メインECUがRTK-GNSSの位置情報とHST出力軸の回転角検出と演算を行い、サブECUとHSTモータドライバを介して植付部の角度を制御することで実現します。市販化の際には、両正条制御のプログラムをベース機に搭載されたECUに組み込むため、追加した2つのECUが不要となり、RTK-GNSSとHST出力軸の原点センサの追加で機能を実現できます。

両正条田植機の制御システムは、RTK-GNSSの高精度測位情報を基に制御され、操舵制御システムと両正条制御システムの2つの制御システムから構成されます(図5)。

操舵制御システムは、農業機械研究部門が開発した「自動運転田植機」の操舵制御プログラムを移植したもので、高速かつ高精度の自動直進と自動旋回が可能となっています。操作は一般的な直進アシスト田植機に近く、A点(始点)とB点(終点)の2点を設定すると、行程間隔ごとに走行目標線が生成されます。その後、ユーザーが自動操舵機能を起動し、主変速レバーを操作して田植機を前進させると、走行目標線に沿った自動直進が可能です。さらに、旋回ボタンを操作すると旋回モードへと移行し、次行程への自動旋回も可能となっています。

両正条制御システムは、株間変速用HSTを使って苗の植付位置を微調整し、狙った位置に移植するための仕組みとなっています。まず、操舵制御用に設定されたA点とB点の情報から、ECUが自動で走行方向と直交する方向に植付目標線を生成します。そして、RTK-GNSSの測位情報を使って目標とする植付爪の角度をリアルタイムで計算します。さらに、実際の植付爪角度と目標のズレを計算して、

このズレをなくす方向に、HSTの変速比を調整します。これにより、目標と実際の植付爪角度が一致し、設定された植付目標線上に苗が移植されるよう構成されています。

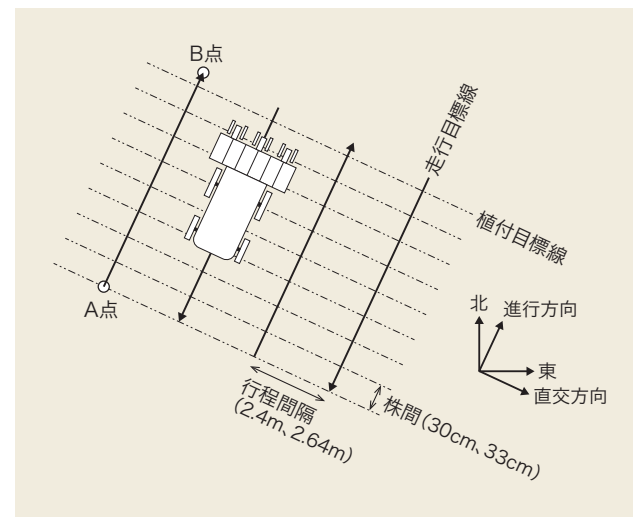


図5 操舵制御と両正条制御のイメージ

A点(始点)とB点(終点)を登録すると、自動的に走行目標線と植付目標線が設定されます。この操作により、走行目標線に沿った自動操舵制御と植付目標線上に苗を植え付ける両正条制御が使用可能となります。

## 植付位置精度と除草効果

実際に両正条田植機で移植したほ場(図6)では、移植方向と直交する方向にも苗が整列していることが確認できました。移植した苗の位置をトータルステーション※4と呼ばれる高精度な測量機器で測定したところ、マット苗仕様が2 $\sigma$ で2cm程度、ポット苗仕様が2 $\sigma$ で3cm程度に収まっており、水田用除草機が直交方向にも問題なく走行できる精度であることが確認されました。両機種種の精度の違いは植付機構の違いによるものと考えています。

さらに、雑草が多発する水稻有機栽培ほ場において、試作機を用いて両正条移植を行い、水田用除草機で除草試験を実施しました。試験では、機械除草を3回実施する体系を想定して除草作業すべてを田植機の走行方向に作業する慣行除草体系と、2回目の除草を直交方向に作業する直交除草体系を比較しました。

その結果、直交除草体系では、株間、株元の残存雑草量が少なく、慣行と比較して除草効果が向上することを確認しました。加えて、2回目の直交方向の除草を一般的な推奨時期より数日早めることで、除草効果がさらに向上することが明らかとなりました。これは、雑草が成長して除草ロータの効果が低下する前に2回目の除草をすることで株間の除草効果を向上させることを目的としたものです。この条件における除草率は2年連続で90%以上でした。



図6 両正条移植したほ場

田植機の走行方向と直交する方向に苗が揃って移植されていることが確認できます。

## おわりに

水稻有機栽培の面積拡大に寄与する技術として両正条田植機と直交除草技術を開発しました。両正条田植機は、可能な限りベース機に搭載された部品を使用して低コスト化を図りつつも、苗の植付位置精度が2~3cm(2 $\sigma$ )と、水田用除草機のロータによる欠株を避けるのに十分な精度を実現することができました。今後は、市販化に向けたメーカーへの技術移転を進める予定です。

直交除草技術についても、2回目の除草時に水田用除草機を田植えと直交する方向に走行させることで、株間と株元の除草効果が向上することを確認しました。今後は、全国での実証試験を通じてデータを蓄積し、地域ごとの条件に合わせた栽培方法の確立を目指します。

(農業機械研究部門 無人化農作業研究領域  
革新的作業機構開発グループ)

付記：本稿で記載した研究成果は、農業機械研究部門「農業機械技術クラスター事業」(Ⅲ-02)で実施しました。

## 用語解説

- ※1 **HST(Hydraulic Static Transmission)** 油圧式の無段変速機。斜板の角度を変えることで、入力軸と出力軸の回転比を無段階に調整可能。
- ※2 **ECU(Electronic Control Unit)** 電子制御ユニット。小型コンピュータと各種制御回路を一体化した装置で、車両や機械の制御を担う。
- ※3 **RTK-GNSS(Real-Time Kinematic Global Navigation Satellite System)** GPSやGLONASSなどの全球測位衛星システムを利用し、センチメートル級の高精度測位を実現する技術。既知点に固定局を設置し、その補正情報を用いて移動局の位置を高精度に測定可能。
- ※4 **トータルステーション** 高精度の測量機器。ターゲットとなるプリズムにレーザーを照射し、プリズムの3次元位置を高精度に測定可能。

## 参考文献

- 1) 農林水産省 みどりの食料システム戦略。  
<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/>  
(参照 2025-11-21)
- 2) 農林水産省(2025) 日本の有機農業の取組面積の推移。  
<https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/yyuki/attach/pdf/index-158.pdf> (参照 2025-11-21)
- 3) 農研機構プレスリリース(2023-11-15) 縦横2方向の機械除草を可能とする植付位置制御機構を開発 -機械除草の効率アップで水稻の有機栽培拡大に貢献-。  
[https://www.naro.go.jp/publicity\\_report/press/laboratory/iam/160509.html](https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/iam/160509.html) (参照 2025-11-21)



# 東北地方におけるNARO方式 乾田直播かん でん ちよく はの技術と普及の現状

屋比久 貴之  
YABIKU Takayuki

## はじめに

米はわが国の食文化の根幹をなす主食であり、食の多様化が進む現代でも中心的な役割を担っています。「米」は用途により区分があり、主食用米の需要は減少傾向にある一方、飼料用や米粉用など新規需要米に関する需要は増加しています<sup>1)</sup>。2024～2025年にかけては主食用米の需給ギャップによる「令和の米騒動」が発生し、その安定生産・供給の重要性が再認識されました。一方、基幹的農業従事者数は2000年の240万人から2024年には111万人へ減少し、平均年齢も69.2歳と高齢化が進んでいます<sup>2)</sup>。こうした状況は米生産の現場で大きな課題となっており、省力化技術導入による持続可能で安定した生産体制の構築が求められます。

わが国の米生産は移植栽培が主流であり、9割以上を占めています。移植栽培は技術が確立され安定的な収量を確保できますが、育苗、代かき、移植といった春作業のピークの集中により多大な労働力と作業時間を要するといった課題があります。それに対し育苗ハウスでの育苗管理を必要としない直播栽培は省力化が可能であり、その面積は近年増加傾向にあります。

直播栽培の播種法は種もみを湛水状態たんすいで播種する湛水直播と乾いた畑状態で播種する乾田直播の2種類に大きく分けられます。本稿では東北農業研究センターを

中心に開発された「NARO方式乾田直播」の技術について紹介します。以降に特に断りのない場合、乾田直播はNARO方式乾田直播を示します。

## 乾田直播の利点

乾田直播の作業は耕起、均平、砕土・鎮圧（播種床造成）、播種、播種後鎮圧、乾田期の雑草防除、入水後管理といった流れが一般的です（図1）。各作業の詳細に関しては「乾田直播栽培体系標準作業手順書 プラウ耕鎮圧体系－「東北地方版」」<sup>3)</sup>（以下、標準作業手順書とする）をご参照ください。

乾田直播は、米生産費の多くを占める農機具費と労働費の削減を目的に開発された技術です。実際に2007～2011年に実施された大規模水田作経営体での実証試験では、米生産費が東北平均の約57%に削減される結果が得られています<sup>4)</sup>。

乾田直播の利点についてはまず、他の直播栽培と同様に、移植栽培で必要な育苗・代かき・移植が不要となり、省力化が図れます。これにより、育苗資材やハウスなどの施設、代かきハロー（代かき爪がついた代かき専用のアタッチメント）や田植機といった専用機械も不要となります。代わって、耕起から播種までの作業は大豆や麦などで用いられる畑作機械を共用でき、汎用化による機械費の



図1 乾田直播における作業の流れ

削減が期待できます。さらに、大型機による高速作業が可能で、より大区画のほ場にも適応します。加えて、播種床造成以降の作業は、春先にほ場がトラクタで乗り入れ可能になり次第いつでも実施でき、作業分散が進むため水稻面積の拡大にも有利です。また、無代かき体系で耕盤層を必要としないため、代かき水田に比べ畑作への転換時に排水性が向上し、水田を汎用利用して畑作物と輪作する際の親和性が高い点も特徴です。以上を踏まえると、大規模な経営や水稻面積を拡大したい経営、水田輪作を行う経営に特に適しています。さらに、畑作機械を保有し、これから水稻作に取り組みたい経営にとっても、新たな機械導入コストが少なく取り組みやすい体系です。

## 乾田直播技術の要点－鎮圧－

移植や湛水直播栽培などでは、耕盤層の存在や代かきによって、湛水を可能にします。一方、NARO方式乾田直播では、ほ場の鎮圧で形成される硬い鎮圧層が漏水防止機能を担います。この鎮圧技術により、従来は漏水が問題となり無代かき体系の乾田直播が不適とされたほ場でも、適用可能な範囲が広がりました<sup>5)</sup>。

鎮圧作業は主に播種床造成時および播種直後に行いますが、このうち播種床造成時は、ほ場を硬く作ることがポイントとなります。硬い播種床を造成することで漏水防止機能の向上に加え、浅く均一に種もみを播種することが可能となり、苗立ち率や苗揃いの向上に寄与します。

播種後の鎮圧は本技術において不可欠であり、漏水防止効果を高めるほか、種子と土壌の密着性を高めることで種子周辺の水分環境が良好に保持されます。特に漏水が心配されるほ場においては、トラクタのタイヤや鎮圧ローラーに土が付着しない程度の高い水分条件で播種

後鎮圧作業をすることが重要です。

漏水防止という点では、ほ場鎮圧に加え、畦畔際けいはんぎわをトラクタのタイヤで踏圧することも非常に効果的です。

## 乾田直播技術の要点－ほ場選定－

乾田直播の特徴として乾田期の適度な排水性と入水期以降の水持ちの良さが必要となるため、これら相反する条件を両立できるほ場の見極めが重要です。乾田直播のおおよその適不適情報は「日本土壌インベントリー」<sup>6)</sup>の土壌図が参照でき、取り組む事前段階のツールとして有用です。一般に基盤整備が進み、暗渠あんきょによる湛水・排水の切り替えが容易なほ場では乾田直播を行いやすい傾向にあると言えます。排水不良のほ場は心土破砕やサブソイラによる簡易暗渠により改善可能です。一方、砂質土壌や粒子の大きい礫質土壌れきしつに分類される土壌においては漏水を抑えることが困難なため、一般的には不適と判断されます。ただし、不適とされる場合でもほ場の表層に粘土が含まれる土壌だと鎮圧による漏水防止が可能となる場合があるほか、適地と判断された場合でも畑地化の進行により漏水対策が必須となる場合もありますので、最終的には現地での判定が重要です。

## 乾田直播技術の要点－雑草防除－

乾田直播では乾田期の雑草防除の難しさが普及の障壁となってきました。近年は効果的な雑草防除技術が確立・普及しており、その具体例を紹介します。

従来は乾田期に選択性除草剤を複数回散布していましたが、現在は出芽前に非選択性除草剤と土壌処理剤を併用し、その後に選択性除草剤で防除することで、安定



した防除効果が得られています。出芽前の非選択性除草剤で雑草を一掃し、土壌処理剤で数週間の抑草効果を確保できることで、春作業に余裕が生まれ、適期防除や他作業への時間確保にもつながる点が現場で評価をいただいています。

乾田直播に登録されている土壌処理剤の抑草効果は約2週間で、出芽前散布が早すぎると出芽後に得られる時間的猶予という利点が減少します。そのため、効果を最大化するには出芽直前の散布タイミングを見極めることが重要です。東北地方では播種から出芽まで数週間～1カ月程度を要しますが、播種床や気象条件によりばらつきが生じます。これに対し、不耕起V溝直播<sup>7)</sup>で提案されている日平均気温11.5℃を下限とする有効積算気温を用いた出芽期予測モデルが、東北地方においておおよそ

適用可能であることが経験的に確認されており、有効積算気温30～50℃を散布適期として普及活用されています(図2)。

土壌処理剤の効果が薄れた時期に発生する雑草には、茎葉処理の選択性除草剤で防除します。その際、散布遅れを防ぐ適期判断ツールとして「ノビエ葉齢判定アプリ」<sup>8)</sup>が活用できます。本アプリは機械学習に基づく画像解析により乾田直播の主要雑草であるノビエの葉齢をその場で判定し、生長予測を行うことで防除計画に役立てることが可能です(図3)。

以上の防除体系のイメージを図4に示しました。乾田直播に登録のある除草剤の情報は標準作業手順書をご参照ください。

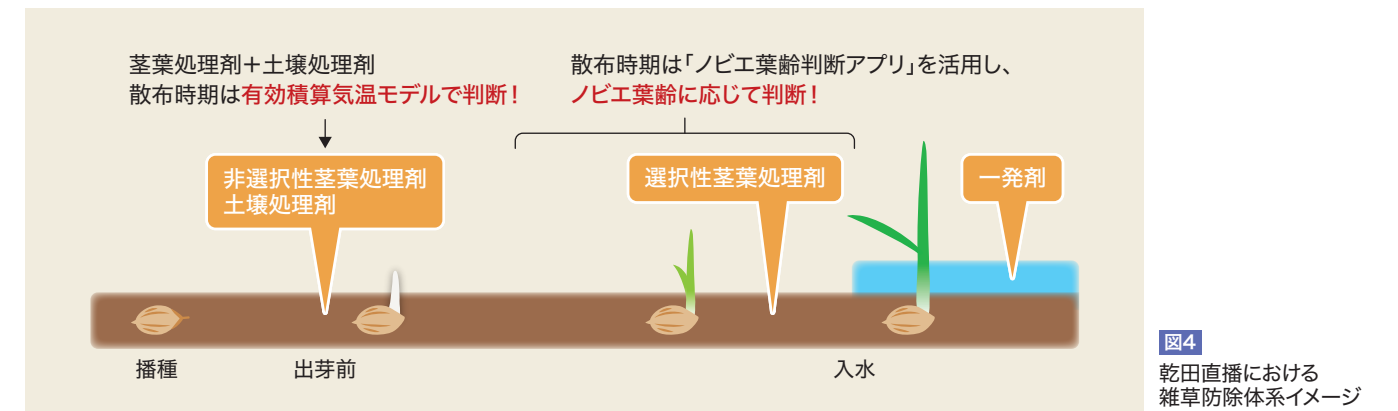


図4 乾田直播における雑草防除体系イメージ

## 栽培カルテに基づく標準作業手順書「地域版」

乾田直播の普及について、東北農業研究センターの例を挙げて紹介します。東北地方では太平洋側を中心に乾田直播の普及が進行し、2020～2024年の5年間で約2倍に増加しています(図5)。普及にあたっては標準作業手順書に基づく講習会、現地検討会を重ねていますが、東北地方は広大で地域ごとに営農のかたちも異なります。そこで、各地域の乾田直播に取り組む農家を対象に、前作履歴、土壌条件、ほ場づくり、栽培管理、生育情報、収量などを記入する「栽培カルテ」を収集し、集計結果に基づき市町村レベルで最適化した簡易版標準作業手順書「地域版」を作成しています。地域版は気候、土壌、保有機械など地域の実態に即し、初心者にも取り組みやすいハンドブックとして活用いただくことを想定したものです。

2025年11月現在、東北5県10地域の地域版が出ており、今後も増えていく見込みです。

## おわりに

東北地方で乾田直播の普及が進む背景には、農業従事者、JA、民間企業、普及センターをはじめとする公的機関が米生産の現状と課題に向き合い、持続可能な地域営農の未来を見据えて一体となった取り組みがあります。東北農業研究センターは今後も社会的ニーズに応じ、地域営農にフィットした形でのNARO方式乾田直播の普及の手助けを行っていきます。

(東北農業研究センター 研究推進部 技術適用研究チーム)

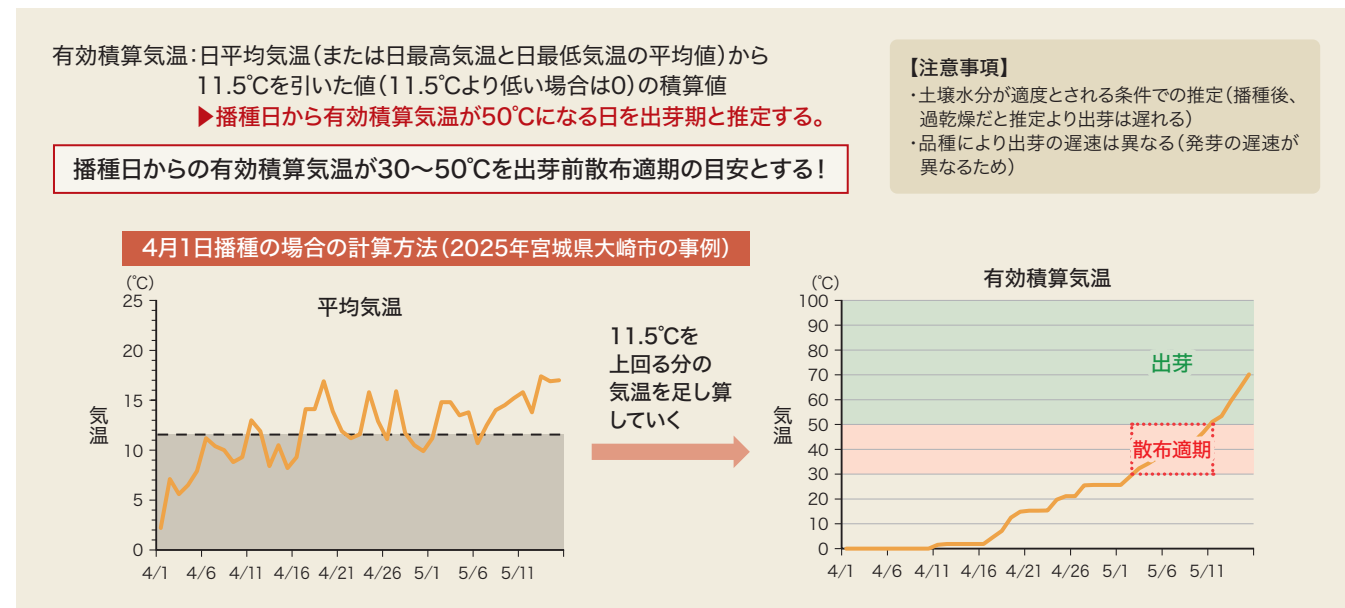


図2 有効積算気温による出芽予測モデル<sup>7)</sup>を利用した稲出芽前除草剤散布適期の推定  
平均気温は宮城県大崎市の古川のアメダスのデータを参照した。



図3 「ノビエ葉齢判定アプリ」の利用手順

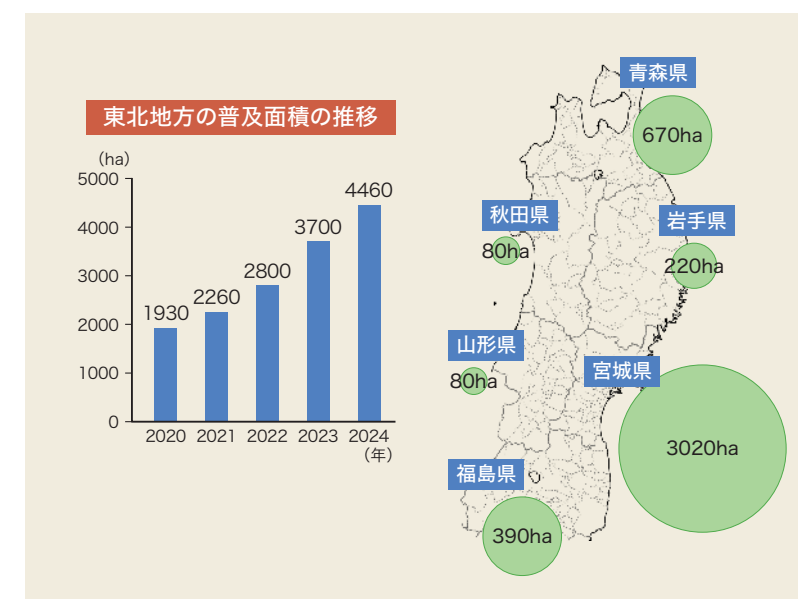


図5 2020年から2024年までの乾田直播普及面積の推移と2024年の分布

- 参考文献
- 1) 農林水産省(2025) 最近の米をめぐる状況について(令和7年9月). [https://www.maff.go.jp/j/seisan/kikaku/kome\\_siryou.html](https://www.maff.go.jp/j/seisan/kikaku/kome_siryou.html) (参照 2025-12-5)
  - 2) 農林水産省(2025) 令和6年度食料・農業・農村白書(令和7年5月30日公表). [https://www.maff.go.jp/j/wpaper/w\\_maff/r6/index.html](https://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/r6/index.html) (参照 2025-12-7)
  - 3) 農研機構(2024) 乾田直播栽培体系標準作業手順書－ブラウ耕鎮圧体系－「東北地方版」. <https://sop.naro.go.jp/document/detail/3> (参照 2025-12-7)
  - 4) 大谷隆二ら(2013) 大区画ほ場におけるブラウ耕鎮圧乾田直播を核とした2年3作輪作体系, 農業機械学会誌, vol.75, 220-224.
  - 5) 冠秀昭ら(2015) 大区画水稲乾田直播ほ場における鎮圧作業による浸透抑制効果, 農作業研究, vol.50, 103-113.
  - 6) 農研機構 日本土壌インベントリ. <https://soil-inventory.rad.naro.go.jp> (参照 2025-12-7)
  - 7) 愛知県農業総合試験場編(2007) 不耕起V溝直播栽培の手引き(改訂第4版), 農業の新技術. No.74, pp.8-41. <https://www.pref.aichi.jp/uploaded/attachment/515136.pdf> (参照 2025-12-7)
  - 8) 農研機構プレスリリース(2025-1-31) 乾田直播での計画的雑草防除を支援する「ノビエ葉齢判定アプリ」を公開. [https://www.naro.go.jp/publicity\\_report/press/laboratory/tarc/167469.html](https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/tarc/167469.html) (参照 2025-12-7)





# 果菜類の施設生産における生育・収量予測技術の活用

小郷 裕子

OGO Yuko

## はじめに

野菜は日本の農業総産出額の約4分の1を占める、国民の健康維持や食生活に不可欠な品目で、周年安定供給を支えるためには、環境制御を用いた施設生産が欠かせません。施設園芸分野では、高い生産性と持続可能な生産体制の構築が求められますが、作付面積の減少や生産者の減少など、様々な課題が顕在化しており、単位面積当たりの収量増加と労働時間の削減が急務となっています。

近年、センシング技術やICT(情報通信技術)・AI(人工知能)の進展により、スマート農業への期待が高まっており、生産現場では、環境モニタリングシステムなどの普及により多くのデータが蓄積されつつあります。しかし、環境情報と生育・収量情報が紐づいていないため、生産現場で得られるデータを有効に活用できない場面が多く、結果的に経験と勘に依存する環境制御になっています。そこで、野菜花き研究部門では、施設内の環境および生

育情報を活用し、生育や収量を推定可能なツールを開発しました。このツールを用いることで、生産現場でのデータ活用による生産性向上が期待されています。本稿では、果菜類の施設栽培において有効なツールとなりうる、生育・収量予測技術について解説するとともに、省力化や生産性向上など、活用方法について紹介します。

## 収量構成要素について

野菜の施設生産では、品目・品種、栽培期間、設備、栽培スキルなど、様々な要因によって収量が大幅に変動します。特に、果菜類は栽培期間が長く、茎葉の成長と果実の成長が混在するため、収量変動を客観的に評価することは容易ではありません。そこで、果菜類の収量を解析する際、収量構成要素という概念が用いられています。図1に示すように、果実収量(新鮮重)は、果実の乾物収量と乾物率の変動によるものと考えられています。果実の乾物収量は総乾物生産量と果実への分配率の変動によって影響されますが、総乾物生産量は、受光量と光利用効率によって、果実への分配率は果実のシンク強度と果実数によって説明が可能となります。このように、果実収量は複数の要素が階層的に関係し合っ

て構成され、下層の要素によって決定されます。例えば、収量が低下した際、どの構成要素によるものか把握することで、収量を向上させるための方法を講じることができます。なお、各収量構成要素の変動を定量化できれば、収量変動が推定可能になります。

## 果菜類の生育・収量予測技術

野菜花き研究部門では、環境と成長速度、環境と果実成長、環境・生育と群落光合成など、収量構成要素に関わる作物の環境応答を関数化し、様々な関係式を組み合わせることによって生育や収量を推定可能な計算ツールを開発しました。品目や品種ごとにモデル係数を明らかにすることで、施設生産の様々な条件に合わせて算出が可能となっており、地域や設備、作型など多様な条件にかかわらず、汎用性の高い予測技術となっています。これまでに、トマト、キュウリ、パプリカなど、果菜類を中心として多くの検証を行っており、いずれの品目や品種においても収量の推定が可能になっています(図2)<sup>2)~4)</sup>。トマトでは、計算

ツールのシミュレーション機能を用い、収量を最大化するための条件(温度、CO<sub>2</sub>濃度、LAI<sup>\*1</sup>)を探索し、この設定に基づいて栽培を行った結果、344日間の栽培において、3品種のトマトで50kg・m<sup>-2</sup>を超える収穫量を達成しています(図2A)<sup>2)</sup>。また、本ツールには着果状況や果実成長を反映させており、パプリカのような収量変動が大きい果菜類においても、高精度な収量予測が可能になっています(図2C)<sup>4)</sup>。このツールは、栽培期間中の環境や生育状況に対し想定されるポテンシャル収量を定量化します。日射、温度、CO<sub>2</sub>濃度、葉数、着果状況など、栽培条件によって見込まれる収量を推定しており、養水管理ミスや病害虫の被害などによる減収は計算に含まれておりません。すなわち、予測される収量と実際に得られる収量との差

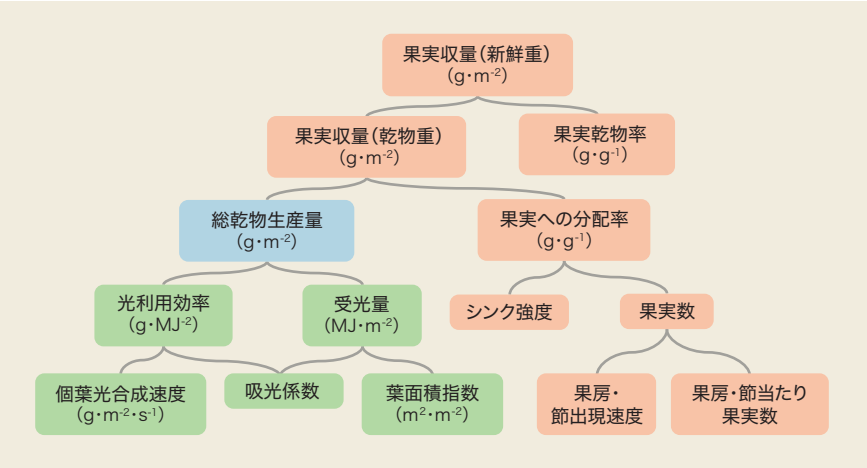


図1 収量構成要素 (Higashide 2013<sup>1)</sup>を改変)  
果菜類の収量(生産量)が、どのような要素(構成要素)の積み重ねおよび相互作用によって決定するかを、階層的に示しています。

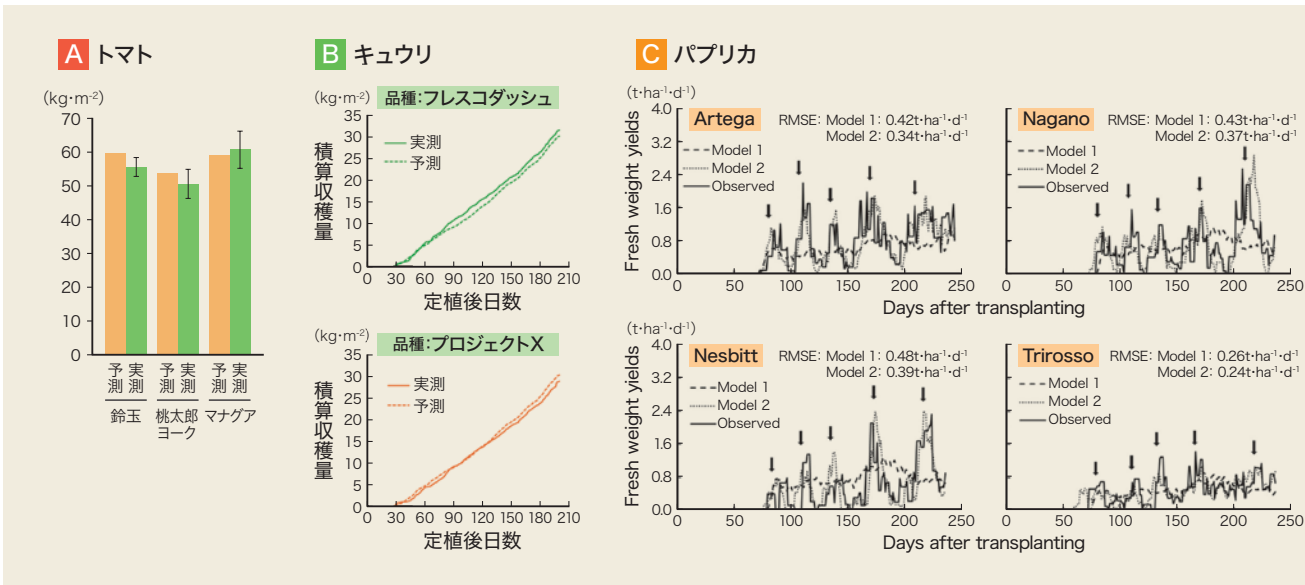


図2 生育・収量予測の適用事例  
A. (Saito et al., 2020<sup>2)</sup>のデータより作図) トマトにおいて、作製したモデルを用いたシミュレーションにより、収量を最大化するための環境・生育条件を探索し、その設定に基づいた栽培を行い多収を達成しました。  
B. (Maeda et al., 2021<sup>3)</sup>を改変) キュウリにおいてモデル係数を策定し、品種にかかわらず高い精度で収量が予測できました。  
C. (Homma et al., 2023<sup>4)</sup>) 乾物生産に基づいた予測モデル(Model 1)に、果実成長を反映させる(Model 2)ことで、短期的な収量変動に対する精度が向上します。



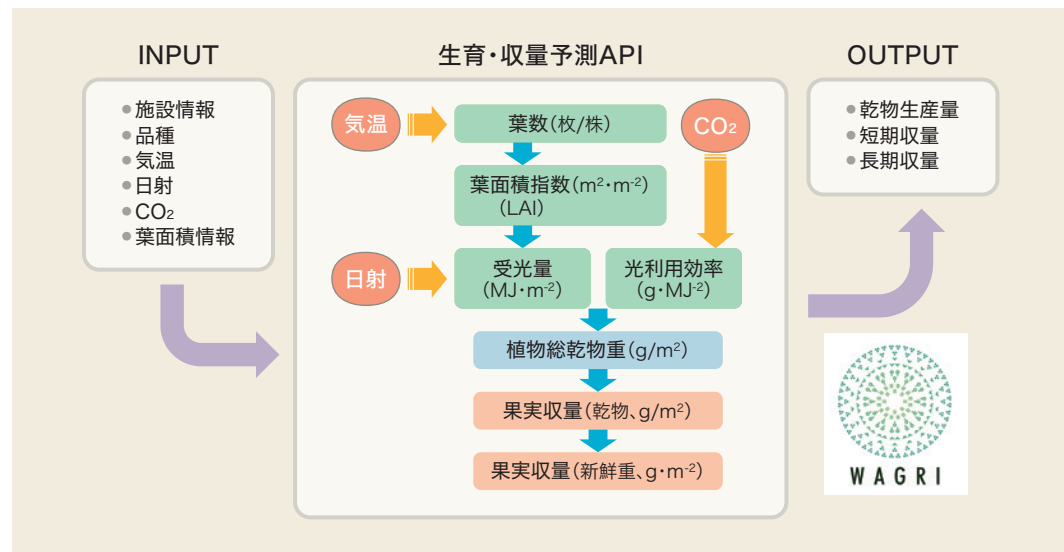


図3 生育・収量予測ツールのプログラム化  
予測モデルをAPI化し、WAGRIを介し、機器メーカーやICTベンダーなどがサービス化できるようにしています。利用には利用契約(有償)が必要です。

が生じるということは、環境や生育以外の要因によるものであることが推察できます。

果菜類の生育・収量予測ツールは、機器メーカーやICTベンダーなどが様々な形でサービスを展開しやすくするため、APIの形でプログラム化し(図3)、WAGRI(農業データ連携基盤)を介して利用可能としています。生育・収量予測APIに光透過率のような施設情報や、気温・日射・CO<sub>2</sub>濃度といった環境データ、葉面積・着果情報などの生育データを入力すると、想定される乾物生産量や果実収量などの計算結果を返します。現在、施設野菜では、トマト、キュウリ、パプリカ、イチゴの4品目を公開し、利用可能です。

## 生育・収量予測ツールの活用 ～省力化と生産性向上のために～

生育・収量予測ツールにより生産の可視化が可能になるため、以下のような場面で活用できます(図4)。

### A) 生産状況の客観的評価

生育・収量予測ツールでは、得られるはずのポテンシャル収量を算出します。栽培期間中の環境データや生育データによって計算したポテンシャル収量と、実際に得られる収量との比較を通じて、自らの生産が正常か否かを判断することができます(図4A)。前述したように、ポテン

シャル収量と現状の収量との差は、養水分管理ミスや病害虫の被害など、栽培上の異常による減収分となるため、栽培上の問題の有無や異常によってどの程度の収量を失ったのかを定量的に把握することができます。なお、ポテンシャル収量との差をモニタリングすれば、栽培上の問題に気づき、早期に改善することで、大幅な減収を防ぐことも可能です。

### B) 環境・管理条件のシミュレーション

本ツールを利用すれば、環境制御や管理条件の違いによる収量の変動を定量的にシミュレーションすることができます(図4B)。例えば、暖房設定を1℃下げた場合、CO<sub>2</sub>施用濃度を100ppm上げた場合、着生葉数を減らした場合、栽植密度を変えた場合など、様々なシミュレーションにより、収量の変動を推定できます。そのため、ある期間中に目標とする収量を達成するための環境制御方法や管理方法を探索することができます。また、新たな設備導入を検討する際、試行錯誤をせずに、費用対効果を判断できます。さらに、新規で施設を建てる前に、その地域の環境条件を用いて収益性の評価も可能になります。このように、シミュレーション機能は、適切な環境制御や設備投資などの意思決定の材料となり、生産性・収益向上に役に立ちます。

### C) 作業管理・人員配置の効率化

施設生産では、季節や生育状況によって大きく変動するため、収量予測は販売計画や雇用計画の策定にも有効なツールです。施設生産においていつ・どの程度の収量が見込まれるかを事前に把握できると(図4C)、収穫や選果、出荷などの作業負荷に合わせ、適切な人員配置や作業スケジュールの立案が可能となります。特に、大規模施設生産では雇用人数が多いため、適切な作業管理や人員配置による省力化および収益向上効果は極めて大きいと言えます。

## おわりに

近年、農業現場ではスマート化が急速に進んでおり、様々なアプリが提供され始めています。本稿で紹介した生育・収量予測ツールは、施設生産における省力化、生産性および収益性向上を実現するための有効なツールとなります。栽培管理、労務管理、財務管理、資源管理など、他のデータと連携することにより、さらなる相乗効果が期

待できます。野菜花き研究部門では、生育・収量予測ツールを生産現場に幅広く定着させるために、ベンダーによるサービス化の支援に加え、品目・適用範囲の拡大や精度向上、機能拡張など、ツールの利便性向上のための改良に継続的に取り組んでいます。

現在の施設生産現場においては、導入されているセンサや機器類は製造メーカーによって規格や、生育データの取得において調査項目や調査方法などが異なったりし、データ活用や共有の妨げになっているため、データ規格・調査方法などの標準化を迅速に進める必要があります。データ活用技術の円滑な活用のためにもこのような環境整備をより一層進めていくことが求められます。また、施設園芸分野において、生産現場でのデータ取得には消極的なことが多く、収量をはじめ、葉面積、着果数といった生育データが不足しています。データ駆動型農業の実現には、生育データの収集が欠かせません。AIやセンシング技術の急速な進展により、予測に必要なデータの自動取得に期待します。

施設園芸分野を取り巻く情勢を見ると、燃料・資材の高騰、急激な気候変動、環境問題、担い手の減少など、様々な課題に直面しており、適切な意思決定による計画生産がますます重要になっています。生育・収量予測ツールは今後の施設生産の高収益化に欠かせない必須ツールとして活用されることを期待します。

(野菜花き研究部門 施設生産システム研究領域  
施設野菜花き生育制御グループ)

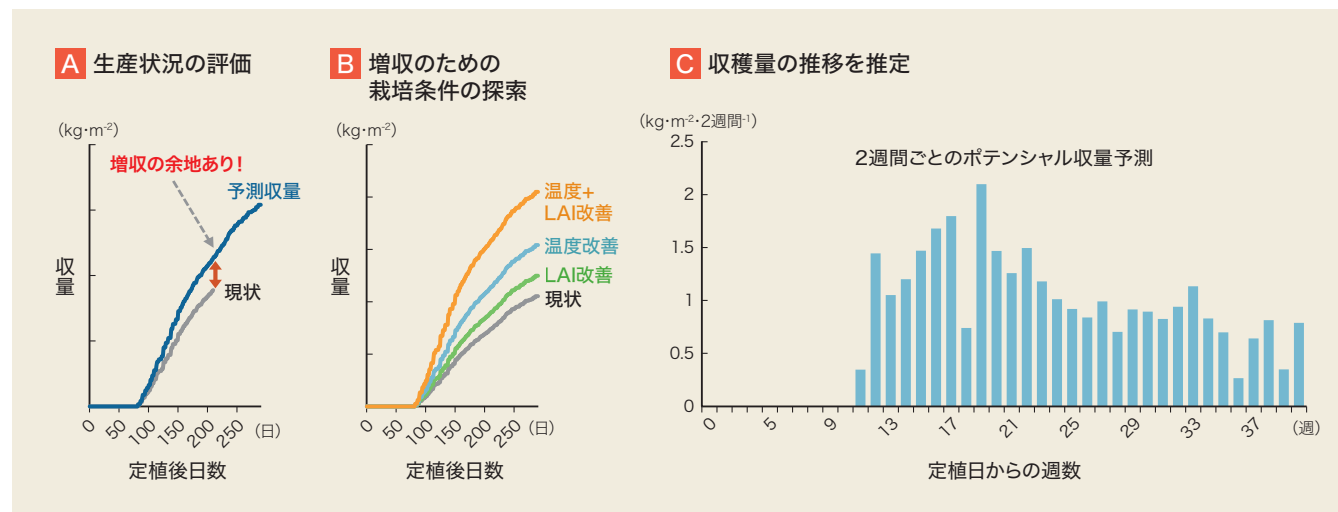


図4 生育・収量予測の活用法

- 現状の収量をツールによって計算された予測収量(ポテンシャル収量)と比較することで、栽培上の異常の有無や改善によって見込まれる増収を客観的に評価できます。
- 環境や管理条件を変えてシミュレーションすることで、変更点がどの程度の増収をもたらすか計算できます。
- 中長期の収穫量を推定可能で、販売計画や作業計画の策定をサポートします。

### 用語解説

※1 LAI(Leaf Area Index:葉面積指数) 単位面積当たりの葉面積の合計。LAIが大きいほど光合成を行う葉が多くなるが、増えすぎると下の葉に光が届かず、全体の光合成量は頭打ちとなる。

### 参考文献

- Higashide T. (2013) Greenhouse Tomato Yield and Solar Radiation. In: Higashide T. ed. Tomatoes: Cultivation, Varieties and Nutrition. Nova Science Publishers, New York. pp.3-18.
- Saito T. et al. (2020) Prediction and improvement of yield and dry matter production based on modeling and non-destructive measurement in year-round greenhouse tomatoes. Horticultural Journal. vol.89, 425-431.
- Maeda K. and Ahn D. (2021) Estimation of Dry Matter Production and Yield Prediction in Greenhouse Cucumber without Destructive Measurements. Agriculture. vol.11(12), 1186. <https://doi.org/10.3390/agriculture11121186>
- Homma M. et al. (2023) Modeling Short-term Yield Changes in Sweet Pepper Based on Dry Matter Production and Fruit Growth. Journal of the American Society for Horticultural Science. vol.148(6), 292-303.



# 気象データに基づくキャベツの生育予測技術とその活用事例

福田 真知子 板橋 悦子  
FUKUDA Machiko ITABASHI Etsuko

## はじめに

食生活の多様化に伴い、農産物の加工・業務用(外食・中食)としての利用が拡大しています。加工・業務用の契約栽培では、定時・定量での出荷が重視されています<sup>1)</sup>。一方、露地で生産される野菜の多くは、その生育が天候に大きく左右されます。露地条件で栽培される作物では栽培中に天候の変動への対応策を講じるのが難しい場合がほとんどですが、作物の収穫時期を予測して備えることで、収穫・出荷タイミングを調整して貯蔵や輸送手配、発注の準備が可能となり、リードタイムの確保につながります。また、農業従事者の減少が進む中、限られた人員で効率的な作業を行うための工夫が求められています。生育予測により収穫時期や作業の集中度を事前に把握することが可能となれば、「収穫作業を複数日に分散させて人手不足を回避する」「収穫量に合わせて輸送車両や出荷資材を前もって確保する」といった対応が可能となり、省力化と効率化につながります。そこで野菜花き研究部門では、これらの課題に対し露地野菜の効率的生産を実現するため、生育モデルによる生育予測技術を開発しています。本稿ではキャベツに関する取り組みをご紹介します。

## キャベツ生育予測の特徴

キャベツでは、収穫対象となる葉球(葉が抱合して球体状になった部分)の重量を予測する必要があります。生育予測では、植物が受けた光に応じて地上部の乾物量(水分を除いた物質の量)がどれだけ増加するかを示す「乾物生産モデル」を中心とした生育モデルを用います<sup>2)</sup>。図1に生育モデルの

一日分の計算フロー図を示します。生育モデルは日射量と気温の入力を受け取り、初期値として与えた葉の面積(ここでは植物体の直上から取得する投影面積を用います)に当たる日射量に応じて乾物生産量を計算します(図中の「日射利用効率」、「乾物重日増加量」)。生産された乾物は結球(葉球を形成する現象)が始まると一部が葉球に分配されます(図中の「分配率」)。結球に関与しない葉(外葉)と、葉球部分の積算乾物量に対して水分の割合を乗じることで、各部位の新鮮重量が算出されます。計算する上で日射利用効率、分配率、水分の割合は生育段階により変化するものとしており、生育段階の決定には日平均気温から算出される有効積算気温の値が用いられます。この計算フローを日々繰り返すことによって、植物が光を利用して地上部重量を増加させていくプロセスを

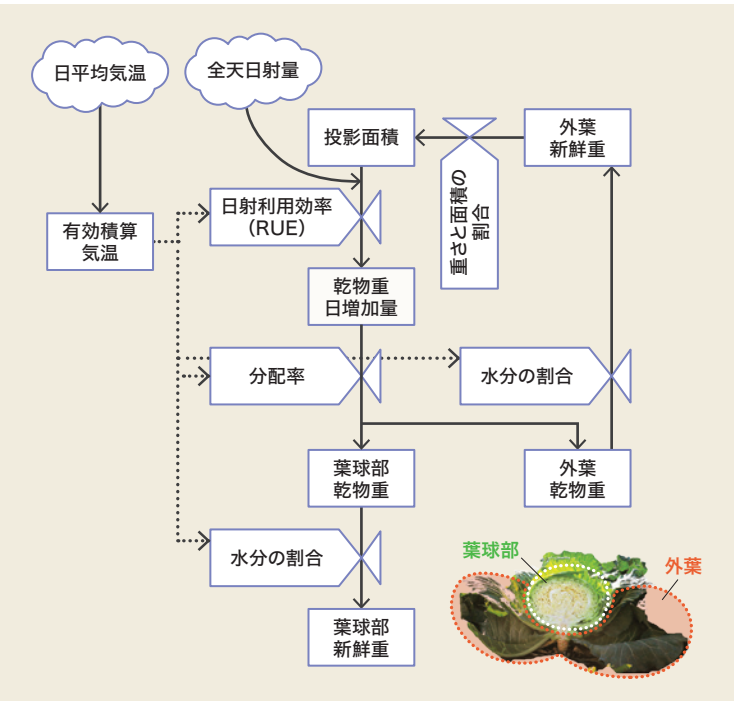


図1 キャベツ生育モデルの概要

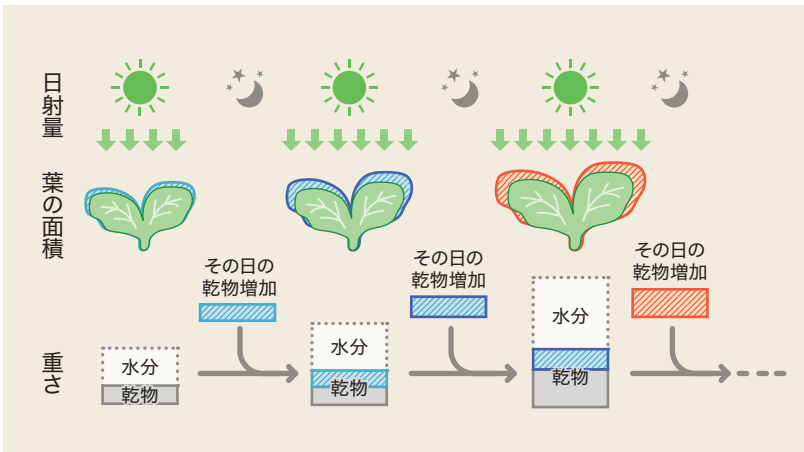


図2 乾物生産モデルの概念図

植物が葉で受けた光の量に応じて乾物量が増加することで成長(葉の面積、重さの増加)が進むとする考え方。

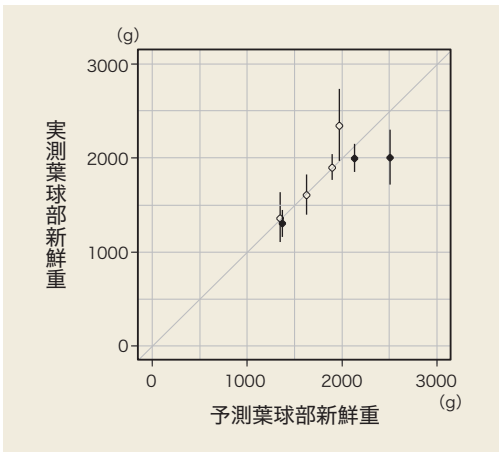


図3 実測データセットを用いたキャベツの生育予測精度検証<sup>2)</sup>

気温上昇期作型(夏に収穫:白プロット)と気温下降期作型(年内に収穫:黒プロット)の予測葉球部新鮮重と実測葉球部新鮮重。エラーバーは調査個体(4-5個体)の標準偏差。

再現します(図2)。

ある実測データを用いた予測精度検証では、収穫部の新鮮重の予測誤差として二乗平均平方根(RMSE) = 240.8g、平均絶対誤差率(MAPE) = 8.1%という結果を得ています(図3)。

## 生育予測の活用事例

生育予測の活用方法として、JA鹿追町(北海道)での生産を例に紹介します。JA鹿追町では、生産されるキャベツのほとんどが加工・業務用の契約出荷であり、7月から10月にかけて順次収穫と出荷が行われます。収穫作業はすべて管内に複数台ある収穫機で行われ(図4A)、収穫されたキャベツは農業用鉄コンテナ(図4B)に詰められ、コンテナごと予冷庫に搬入されて冷やされたのち、この荷姿のまま出荷されます<sup>3)</sup>。管内には20km四方の範囲に定植日が異なる複数のほ場が分散しており、収穫機や作業員の



図4 JA鹿追町での収穫・予冷の様子

A: 収穫機によるキャベツの収穫作業  
B: 予冷庫にて予冷中の、農業用鉄コンテナに詰められたキャベツ



配置、鉄コンテナの確保、貯蔵スペースの調整などを行うには、これらすべてのほ場のキャベツの収穫時期・収穫量を正確に把握することが不可欠となります。従来は、気象条件によって変化する生育状況を日々の巡回で確認していたものの、労力がかかる上に直近およびシーズンを通して調整には高度な判断が必要でした。調整しきれなかった場合には、採り損ねによる品質低下やほ場廃棄といった販売機会の損失が発生していました。そこで、このような損失を回避するため、収穫の時期や量を事前に把握する手段として生育予測技術が導入されました。

JA鹿追町で行った生育予測の実例を図5に示します。ほ場の定植日と定植面積とともに気象データの平年値を生育予測システムに入力して、ほ場ごとにキャベツの重量が収穫の目標値に達する日を算出すると同時に、目標値に達したほ場面積を日変化として出力します(図5上)。栽培

開始後は、栽培の進行に従い気象データを平年値から実際の観測値に順次置き換えていきます。それにより、出力データが更新されていきます(図5中、下)。図5下の例では、それまでの観測値と2週間先までの予測値を用いることにより出力を更新すると、6月27日週の時点で収穫作業開始が当初より2週間早まっていることが把握でき、また収穫適期ほ場が過多・過少になる時期が出現する可能性が可視化されます。このように、生育予測を参考に、予定している作業量に比べて過剰な収穫が予想された週に対しては追加の労働力の確保、機械の稼働計画調整とともに、余剰収穫分の保管場所を確保します。逆に過少な収穫が予想された週においては、保管中のキャベツの出荷や、後日過剰な収穫が予想されるほ場からの早朝収穫によって不足分を補填します(図6)。この生育予測では気象の予測値を利用するため、計画初期の段階でシーズン

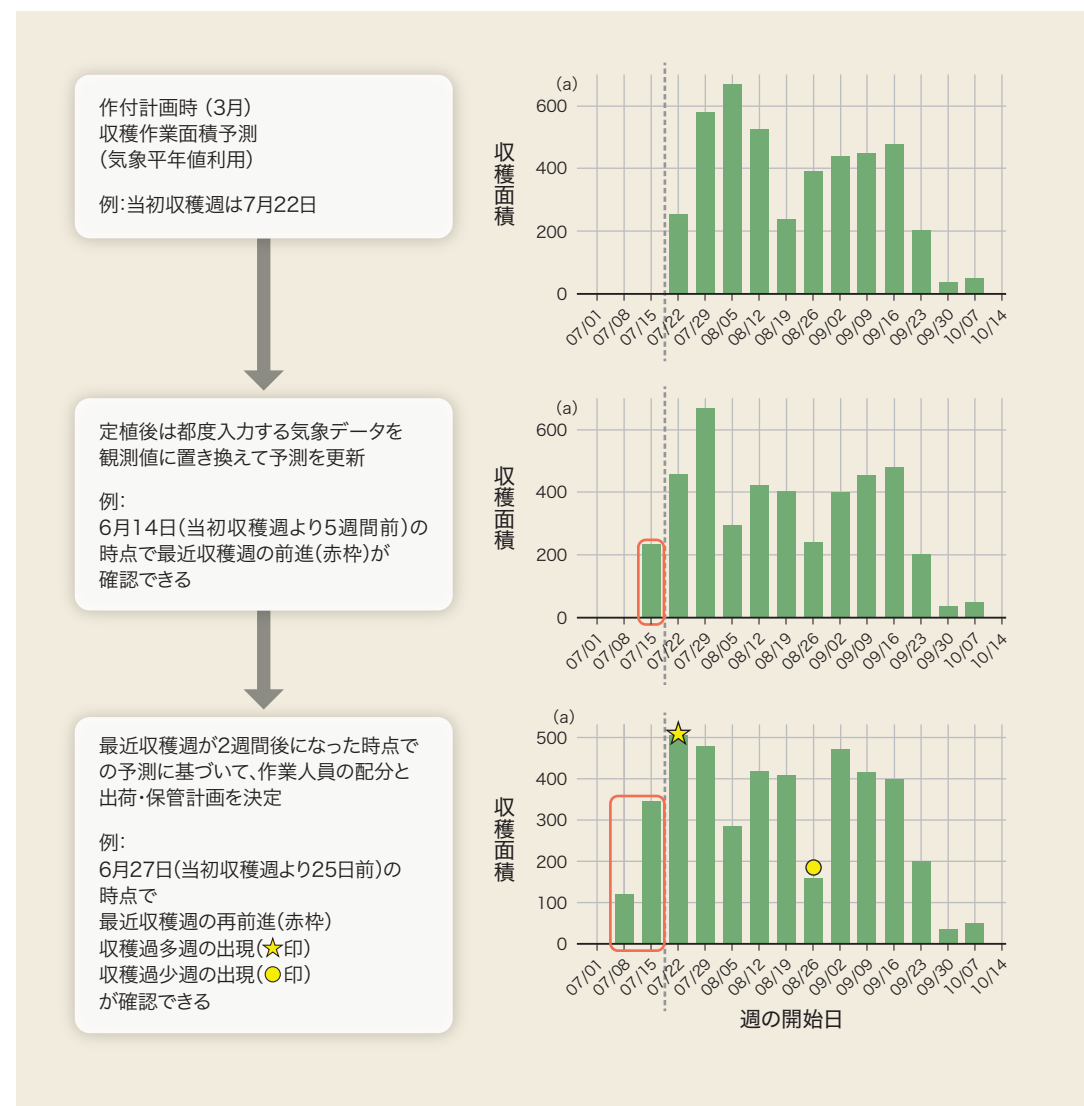


図5 生育予測の利用実例  
計画段階では気象の平年値を用いたシミュレーションにより生育予測が出力される。定植後は都度気象データを平年値から観測値に置き換えることで当年の気象条件を反映した生育予測が出力される。年によって収穫週の前進やピークの増減・変動が事前に可視化される。シミュレーションはキャベツ収穫部が2kgになる日を求め、当該ほ場面積を日ごとに積算したものを週単位にまとめた。

終了時までの生育を正確に予測するのは難しいのが実情です。しかしながら、JA鹿追町への聞き取りでは「作業予定は前2週間単位で確定」しており、気象予測の更新とともにシミュレーション結果を更新していくことで、一定程度気象状況・予測を反映した生育予測をもとに作業量の可視化・把握・調整に活用できるものと考えます。

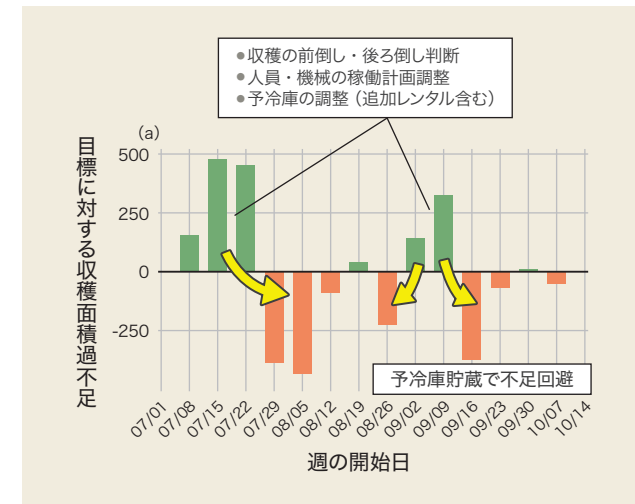


図6 生育予測を活用した判断支援の例  
シーズン中の収穫面積の変動が事前にわかれば、収穫の前倒し・後倒しの判断とともに人員・機械の稼働計画調整に役立つ。過剰分を廃棄せず、貯蔵分で不足を回避することが可能になる。

## 生育予測技術の提供

農研機構ではデータ駆動型農業を支援する基盤(プラットフォーム)として、気象や土壌などのデータや収量予測などのプログラムの提供とこれら情報連携を目的とした農業データ連携基盤(WAGRI)<sup>4)</sup>を設置しています。露地野菜の分野では、キャベツに加えレタス、ブロッコリー、タマネギ、ホウレンソウ、葉ネギの6品目を対象にNARO生育・収量予測ツール③を開発しWAGRI上で提供しています。品目によって多少の違いはありますが、基本的にはキャベツの場合と同様に日平均気温と全天日射量を入力して、作物の日々の生育(重さや葉の面積)を計算し出力します。入力する気象データは実際のほ場で計測された値を利用することもできますが、WAGRIでは1km四方を単位に全国の日別気象データを提供しており(農研機構メッシュ農業気象データ(The Agro-Meteorological Grid Square Data, NARO<sup>5)</sup>)), 緯度経度情報があれば、気象観測機器がなくても気象データを得ることが可能です。

## おわりに

現在の生育モデルでは気温と日射量がキャベツの生育に影響を与える主な要因であると仮定しています。そのため、病害虫の発生や地下部の環境等の要因は、モデルの出力に反映されません。今後は、センシング技術との連携や生育モデルの構造改善を通じて、こうした多様な要因も考慮した生育予測の高度化を進めていく予定です。

本稿では露地野菜の効率的な生産を実現するための生育予測技術の概要とその活用事例について、キャベツの取り組みをご紹介しました。これまでは経験として培われてきた農業生産技術に、ICTやデータ取得技術の発展等により得られたデータを活用できる環境が整いつつあります。データを活用して生産性向上と安定供給を目指す—こうしたデータ駆動型農業を真に実行していくためには、技術開発とともに継続的に優良なデータを蓄積していくことと現場での活用促進が不可欠となります。今後も農業に関係する方々との連携を通じて、現場での円滑な利活用と農業の持続的発展への貢献を目指して、野菜花き研究部門は生育予測技術の開発を進めていきます。

(野菜花き研究部門 露地生産システム研究領域  
露地野菜花き生産管理システムグループ)

## 参考文献

- 1) 農林水産省 生産部園芸特産課 加工・業務用野菜をめぐる情勢.  
[https://www.maff.go.jp/j/seisan/kakou/yasai\\_kazitu/attach/pdf/index-79.pdf](https://www.maff.go.jp/j/seisan/kakou/yasai_kazitu/attach/pdf/index-79.pdf) (参照 2025-10-22)
- 2) 福田真知子ら(2025) 定植日を起点としたキャベツ生育モデルの開発. 農業情報研究, vol.34(2), 26-36.
- 3) 北海道鹿追町(2014) キャベツ機械化一貫体系確立による流通の新たな取り組み.  
[https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kihyo03/gityo/tuyomi/pdf/03\\_skoio2\\_01.pdf](https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kihyo03/gityo/tuyomi/pdf/03_skoio2_01.pdf) (参照 2025-10-22)
- 4) 農研機構 WAGRI. <https://wagri.naro.go.jp/> (参照 2025-10-22)
- 5) 農研機構 メッシュ農業気象データシステム.  
[https://amu.rd.naro.go.jp/wiki\\_open/doku.php?id=start](https://amu.rd.naro.go.jp/wiki_open/doku.php?id=start) (参照 2025-10-22)



# ほ場一筆ごとの肥効を見える化

前島 勇治 望月 賢太

MAEJIMA Yuji

MOCHIZUKI Kenta



土壤環境APIを用いた減化学肥料栽培試験の結果(左:実証区、右:対照区)(撮影:茨城県農業総合センター農業研究所 遠藤 佳那子氏)

## はじめに

みどりの食料システム戦略では、2050年までに目指す姿のひとつとして「輸入原料や化石燃料を原料とした化学肥料の使用量の30%低減を目指す」という目標が掲げられています。一方、農業生産現場では担い手不足、営農規模の拡大とともに肥料価格の高騰に伴う、低コストで効率的・省力的な土壤管理技術が求められています。これまでの生産者の経験と勘に頼る肥培管理から科学的データに基づきほ場ごとに肥料や有機質資材の「肥効を見える化」する技術に対する需要が高まってきています。農地に施用された肥料や有機質資材の肥効は、日々刻々と変化する土壤温度や土壤水分の影響を強く受けるため、土壤温度と土壤水分データをほ場ごとに推定し、農地に施用された肥料や有機質資材の種類、施用量および施用時期から肥効を推定する必要があります。

そこで農業環境研究部門では全国437万haの農地ほ場一筆ごとの「肥効の見える化」を実現するための技術開発を行いました。最初に全国の農地をカバーし、ほ場ごとの土壤特性を調べることができる「AI-土壤図」を開発しました。次に、AI-土壤図をベースとして、土壤温度・水分推定モデル、緩効性肥料養分供給モデルおよび有機質資材の肥効見える化モデルを組み合わせた「土壤環境API※1」を開発し、WAGRIに実装しました。この土壤環境APIを利用することで、ほ場一筆ごとに緩効性肥料や有機質資材から供給される養分量が可視化され、化学肥料の使用量低減や効率的施用、国内の有機質資材の効果的活用が可能となります。ここでは、その一連の取り組みについて紹介します。

## ほ場一筆ごとの土壤特性がわかるAI-土壤図の開発

土壤はかけがえのない天然資源であり、食糧生産のみならず多面的な機能を有し、陸上生態系の基盤となっています。わが国の土壤を対象とした近代的な土壤調査事業は明治時代から連綿と実施されており、その成果の社会的な出口のひとつとして土壤図が挙げられます。明治政府は国の事業として土壤図(当時は土性図と呼ばれていました)を作るため、1882(明治15)年にドイツから農林地質学者マックス・フェスカ博士を農商務省地質調査所に招き、彼の指導の下、1885(明治18)年に「大日本甲斐国土性図」を完成させました(図1)。第二次大戦後は、食糧増産が喫緊の課題となっていたことから、農地の生産力向上のために都道府県が主体となって土壤調査事業が始まり、1976(昭和51)年までに全国農地の土壤図が整備され、後に、これらの土壤図のデジタル化も進められました。農研機構ではこのデジタル化された土壤図をもとに新たな知見を加えたデジタル土壤図を作成し、2017年4月から「日本土壤インベントリー」においてウェブ公開を開始しました。現在「日本土壤インベントリー」では全国土

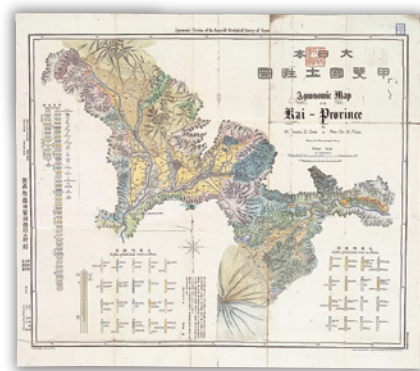


図1 日本最古の土壤図「大日本甲斐国土性図」(画像元:国立公文書館デジタルアーカイブ)

をカバーする縮尺20万分の1相当の土壤図と農耕地を対象とした縮尺5万分の1相当の土壤図の2種類のデジタル土壤図を配信しており、特に後者は

施肥設計や都道府県が作成する作物栽培指針の基盤データとして活用されています(図2)<sup>1)</sup>。

1960~70年代に国や都道府県の土壤調査担当者が農地を対象に25haに1点の調査密度で地面に深さ1mの穴を掘って土壤断面調査を行い、その膨大な調査結果をもとにまとめられた紙ベースの土壤図と報告書を利用してデジタル土壤図は作成されました。そもそも土壤図とは、どこにどのような土壤がどのくらい分布するのかを判別できる地図ですが、従来の土壤図作成には土壤調査に熟練した者が土壤断面調査の結果を用いて地図上に線を引いていくという地道な作業が必要で、専門的な知識と長年の調査経験に基づく判断(エキスパートジャッジ)を必要としていました。さらに、縮尺5万分の1相当の土壤図(以下、既存土壤図)の解像度は100m程度と粗い上に、農地分布状況の変化に応じた土壤図更新はこれまで行われていませんでした。そのため、既存土壤図の作成時には農地として利用されていなかった地域が、既存土壤図における土壤情報の空白域(図3)となるなど、既存土壤図からはほ場一筆ごとの土壤特性を確認することができず、現在の農地分布状況を反映したより高解像度なデジタル土壤図の開発・データ配信が求められていました。



図2 日本土壤インベントリー デジタル土壤図(<https://soil-inventory.rad.naro.go.jp/figure.html>)

そこで農業環境研究部門では、既存土壤図が示す土壤の分布状況と地形、地質、気象、土地利用などの土壤の種類を特徴付けるオープンデータ間の関係性をAI研究用スーパーコンピューター「紫峰※2」で学習し、既存土壤図(解像度約100m)の問題点(低解像度、空白域など)を解消し、全国の農地を対象としたほ場一筆ごとの土壤特性を確認できる「AI-土壤図(解像度10m)」を開発しました(図3)。AI-土壤図は、教師あり機械学習(ランダムフォレスト)により作成した解像度10mの予測土壤図であり、既存土壤図(解像度約100m)を教師データとして、10m間隔に土壤の種類名と地質データ(産業技術総合研究所シームレス地質図)、気象データ(国土交通省)、10mデジタル標高モデル(DEM;国土地理院)、DEMから作成した傾斜度などの地形指標データ、土地利用を示す筆ポリゴンデータ(農林水産省)を抽出した学習用データセットから作成しました。そして出来上がった解像度10mのAI-土壤図からはほ場一筆ごとに分布面積が最大となる土壤の種類を抽出することで、ほ場一筆につき種類の土壤データを付与しています。この解像度を一筆単位としたAI-土壤図は、WAGRIから配信されている「統合農地データ取得API」にデータ実装して、データ配信を行っています(図4)<sup>2)</sup>。



図3 AI-土壤図の開発



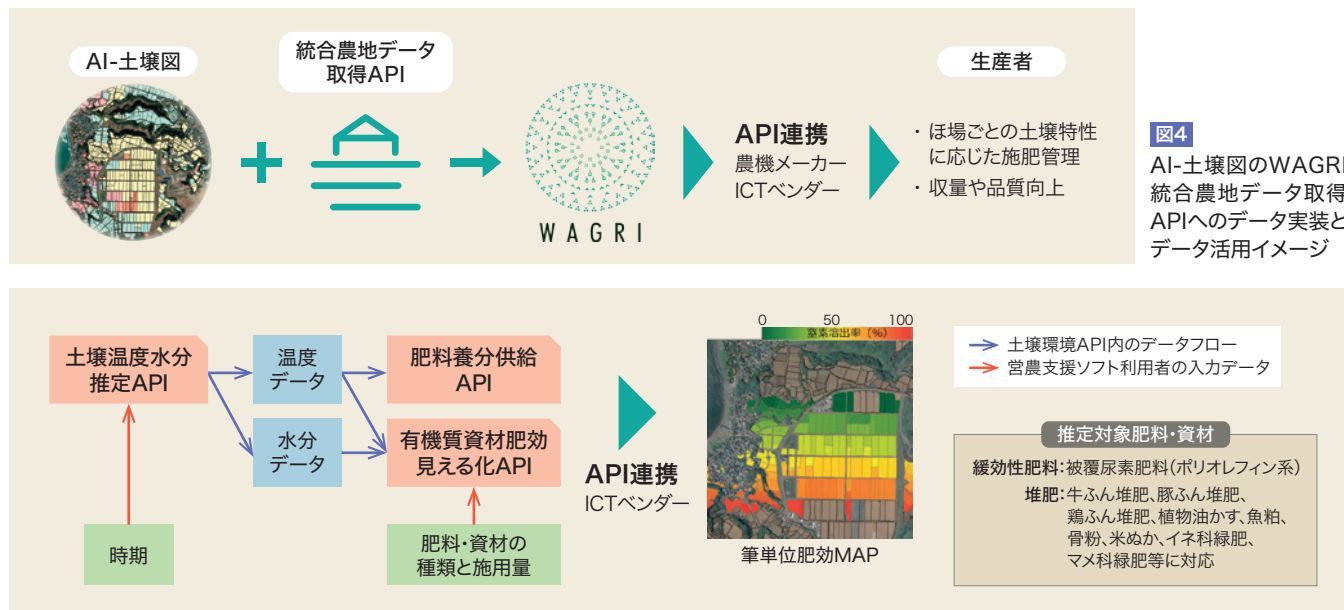


図5 土壤環境APIのデータフロー、API入力データおよびAPI連携による活用事例（施用した化学肥料や有機質資材からの無機態窒素溶出率を表示）

## ほ場一筆ごとの「肥効見える化」するためのツール土壤環境APIの開発

AI-土壤図の開発により、次のステップとしてAI-土壤図と気象データを組み合わせて土壤温度と土壤水分を予測し、緩効性肥料や有機質資材の「肥効見える化」を可能とする「土壤環境API」を開発しました。土壤環境APIはAI-土壤図を基盤データとし、「土壤温度・水分推定API」、「肥料養分供給API」、「有機質資材の肥効見える化API」の3つのAPIによって構成されています。この土壤環境APIを利用することで、生産者が有機質資材の種類や施用時期を民間営農支援ソフトに入力すると、土壤環境APIがAI-土壤図からの情報、土壤温度・水分などに基づき肥効を算出して、化学肥料の低減可能量を提示することができます<sup>3)</sup>。

「土壤温度・水分推定API」は、地点情報をもとにAI-土壤図からは土壤物理特性値データを取得し、メッシュ農業気象からは気象データを取得します。これらパラメータを土壤温度水分推定モデルに入力することでは場一筆ごとに土壤温度・水分データを算出し、その推定データをWAGRIから配信することができます。

「肥料養分供給API」および「有機質資材の肥効見える化API」は、土壤温度・水分推定APIとのAPI連携によって、その肥効をほ場ごとに、一日ごとに可視化することができます。肥料養分供給APIの推定対象肥料は、被覆尿素肥料（ポリオレフィン系）であり、有機質資材の肥効見える化APIの推定対象資材は畜ふん堆肥（牛ふん、豚ふ

ん、鶏ふん）、市販資材（植物油かす、魚粕など）および緑肥となっています（図5）<sup>4)5)</sup>。

このように土壤環境APIと市販されている営農支援ソフトとのAPI連携により、化学肥料や有機質資材の肥効を一日ごとに可視化でき、生産者は収量・品質の安定化や施肥コスト削減に取り組むことができます。特に有機質資材の肥効見える化APIは窒素、リン酸、カリの肥効を可視化することができ、化学肥料の利用低減を図ることができます。なお、土壤環境APIの利用にあたっては、WAGRI利用申請を行う必要があります。

## 土壤環境APIを用いた減肥試験

2022年秋に熊本県内のレタス栽培ほ場で実施した最初の減化学肥料栽培の実証試験では、鶏ふん堆肥ペレットを10a当たり500kg施用する前提で肥効予測を行ったところ、窒素を単肥で7kgのみ施肥すれば良い（リン酸とカリの追加施用は不要で良い）との施肥設計になりました。化学肥料の施肥量を54%低減（施肥コスト22%低減）しても、化学肥料区（生産者が慣行的に施用している化学肥料施肥量を施用した試験区）と同等の収量が得られました。

2023年度と2024年度に北海道から沖縄県までの17道県と連携して実施した全国実証栽培試験（水稲、野菜、花きが対象）では、化学肥料のみを施肥した対照区（都道府県が指導している施肥量に基づいて化学肥料を施用した試験区）に対して、本APIを用いて施肥設計した

減化学肥料実証区（不足する養分のみを単肥で施用）の平均相対収量は、2023年度が109%、2024年度が102%であり、対照区と遜色ない収量が得られました（図6）。その際の化学肥料削減量は、2023年度で平均42%、2024年度で52.4%であり、「みどりの食料システム戦略」が2050年までの目標とする化学肥料の使用量30%低減を大きく上回る削減となりました。

2024年度に東北地方と九州地方で実施した水稲有機栽培の実証栽培試験では、有機質資材からの養分供給が改善され、一部の水田では対照区と比べて玄米収量が増加する結果が得られました（9実証水田のうち5水田で増収し、その平均増収量は152kg/10aで、対照区比平均56%増。残りの4水田は同等）。また、対照区の玄米収量が低い試験地ほど、有機実証区の玄米収量が高くなる傾向が確認されました（図7）。これらの増収は、有機質資材由来の窒素、リン酸、カリ供給量が、慣行施肥体系では不足していた養分を補ったことによるものと考えられます。

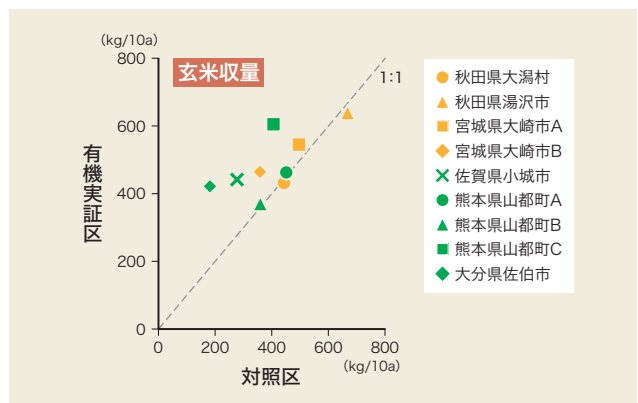


図7 APIを活用した有機水稲栽培試験における玄米収量の比較  
※有機水稲生産者ほ場において実証栽培試験を実施したため、対照区は化学肥料区ではなく、慣行有機区とした。

## おわりに

土壤は、空気や水のように身近な存在であるにもかかわらず、これまであまり注目されてきませんでした。しかしなが

ら、2024年から全国の農地を対象とした本格的な土壤調査事業が四半世紀振りに再開され、わが国の土壤の多様性とその健康状態を再確認しようと取り組みが始まったところ。これまで諸先輩方が積み上げてきた知見をフル活用し、土に触れ、はるかな時を思いつつ、健全な土壤の次世代への継承に農研機構が少しでも貢献できれば幸いです。

（農業環境研究部門 土壤環境管理研究領域 土壤資源・管理グループ）  
（九州沖縄農業研究センター 暖地畜産研究領域 飼料生産グループ）

付記：本稿で記載された研究成果は、生研支援センター「オープンイノベーション研究・実用化推進事業」（JPJ011937）および「戦略的スマート農業技術の開発・改良事業」（SA2-106R）で実施しました。

### 用語解説

- ※1 **API** アプリケーション・プログラミング・インターフェース（Application Programming Interface）の略称。ソフトウェアやプログラム、ウェブサービスの間をつなぐインターフェースのこと。
- ※2 **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。従来の多くのスーパーコンピュータとは異なり、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

- 高田裕介(2022) 土壤断面調査の実例 2. 土壤断面調査を行う前に. 土肥誌, vol.93(4), 201-205.
- 農研機構 農業環境研究部門 2022年の成果情報(2022) 圃場一筆毎の土壤特性が分かるAI-土壤図と土壤調査支援アプリe-土壤図PRO. [https://www.naro.go.jp/project/results/5th\\_laboratory/niaes/2022/22\\_024.html](https://www.naro.go.jp/project/results/5th_laboratory/niaes/2022/22_024.html) (参照 2025-10-16)
- 農研機構 農業環境研究部門 2022年の成果情報(2022) 全国農地の「肥効の見える化」を実現するための土壤環境API. [https://www.naro.go.jp/project/results/5th\\_laboratory/niaes/2022/22\\_025.html](https://www.naro.go.jp/project/results/5th_laboratory/niaes/2022/22_025.html) (参照 2025-10-16)
- 古賀伸久ら(2019) 各種有機質資材における酸性デタージェント可溶有機態窒素含量 - 資材ごとの特徴およびC/N比との関係 -, 日本土壌肥科学雑誌, vol.90(2), 107-115.
- 農研機構 職務作成プログラム「被覆尿素肥料からの窒素溶出量の計算ツール」, 機構-P10. <https://www.naro.go.jp/collab/program/laboratory/karc/136562.html> (参照 2025-10-16)



# 果樹栽培の機械化を目指して ー省力樹形の開発とカラムナータイプリンゴの育成ー

岩波 宏

IWANAMI Hiroshi



ニホンナシのジョイントV字トレリス樹形(神奈川県農業技術センター提供)

## はじめに

果樹は、永年性であるため毎年成長を続けており、大きくなるだけでなく、木の形も年々変化する宿命にあります。枝は、陽の光を目指して伸びるため、何も手を加えなければ、木は、上にも横にも枝を広げていきます。花や実は、よく陽のあたる場所につくため、木の上の方や周りの方にばかりつきます。そのため人は、脚立に乗って、また、木の周りをぐるぐる回って、摘果をしたり収穫をしたりしてきました(図1)。そんな果樹栽培を変えるべく、果樹茶業研究部門では、人が管理しやすい、究極的にはロボットにでも管理できるような木の形を作り、省力的な管理で高品質の果実をとるための栽培研究を続けています。



図1 これまでの果樹栽培(左)とこれからの果樹栽培(右)のイメージ図  
左:脚立に上り下りしながら、木の周りをぐるぐる回って管理  
右:列状に並んだ木を、高所作業台車に乗りながら管理

## 樹形を変える

ー木の生理と管理のしやすさの妥協点を探るー

人が管理しやすい樹形に変えるというのは、そんなに簡単な話ではありません。手をかけなければ上にも横にも大

きく広がる木を、人が管理しやすいようにするため、枝を切ったり倒したり引っ張ったりして無理に木の形を変えたとします。木を小さくしようと思って枝をたくさん切ると、かえって枝がたくさん出て、それぞれの枝もどんどん伸びるため、逆に木は大きくなったりします。また、木の中の枝の位置によっても伸び方が異なり、根元に近い枝の方が、水の吸い上げが強くどんどん伸び、逆に先の方の伸びは悪いので、木の形を整えたと思っても、翌年には、バランスの悪い木になったりします。そこが、人が管理しやすい木の形にすることの難しさであり、いまだに樹形を変える研究が続いているところでもあります。樹種によって、枝の伸び方や、花のつく枝の種類や位置が異なります。どのような樹形であれば、毎年花が咲き、よい実がなり、かつ人が管理しやすくなるかの試行錯誤の結果、現在の、それぞれの樹種特有の樹形が完成しました。果樹栽培では、養水分を、枝の成長ではなく花芽分化や果実の成長にいかによく使わせるかが重要で、そのために、木の成長する勢い(樹勢)を抑える栽培技術が常に求められています。樹勢を抑えると、自然に花がたくさんつくようになります。樹勢が落ち着いて充実したよい花芽がつくためには、木はある程度大きくのびのびと育つ必要があり、そこを人はせん定により、なんとか管理しやすいサイズに維持しているというのが現状です。ブドウやニホンナシでは、人の背丈ほどの位置に針金を張って、そこに枝を固定する平棚栽培を行っています。それ以外の樹種では、作業に脚立が必要になるくらいの大きさになってしまいます。

## 省力樹形の開発ーコンセプトは樹種共通ー

私たちは、樹形を単純化し、労働時間を大幅に削減する「省力樹形」の開発に取り組みました。省力樹形とは、単

純な樹形の木を直線的に配置し、さらに、果実の着生する部位を立体ではなく平面にする樹形です。これにより、人の作業動線が単純化されます。また、将来的な機械の導入も容易になります。

省力樹形の開発のブレイクスルーとなったのは、神奈川県で開発した「樹体ジョイント仕立て」です(図2)。木の生理として、根元に近い枝は強く伸び、先端に行くに従って伸び方は弱くなってきます。この枝の生育差が、木の中で果実をバランスよく成らせることを難しくしています。そこで、勢いのない先端の枝先を、列状に植えた隣の木の根元に近い部分に接ぎ木をすることで、枝先は、隣の木から養水分をもらって勢いが増し、勢いの強い根元付近の枝は、競合する枝が増えるので、勢いが落ち着いてきます。このように、木全体の枝の伸びが均一化してくると、実がバランスよくつくようになります。また、それぞれの木は、隣の木と連結(ジョイント)されているため、木は列状に配置されることになります。主枝が一直線につながり、そこから実をつける枝(側枝)が出るため、枝の出る方向も揃い、果実の位置も揃ってきます。このような樹形であれば、

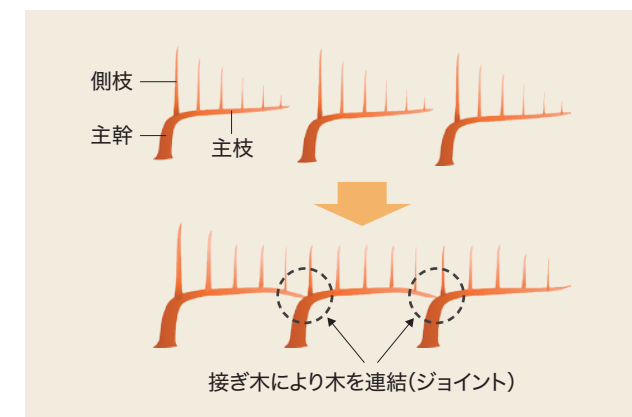


図2 「樹体ジョイント仕立て」のイメージ図  
横に倒した主枝の先端を隣の木の基部に近い部分に接ぎ木をすることで、主枝から立ち上がった側枝の成長が揃うようになります。

省力化、機械化が可能になるはずです。

神奈川県は、ニホンナシでこの技術を開発しました。ニホンナシは平棚で栽培されているため、最初のジョイント栽培は、側枝は平棚の上に水平に広げていました(平棚ジョイント仕立て)。その後、2009～2013年に行った農林水産省の実用技術開発事業で、この技術を他樹種にも展開していくことになり、それに伴って、1.8m程度の高さに水平に張った針金の上に主枝を配置して木を接ぎ木して連結する平棚ジョイント樹形から、ジョイントする主枝の位置を高さ80cm程度まで下げ、そこから出る側枝を斜め上向きに配置する樹形(ジョイントV字トレリス樹形)ができました(図3)。

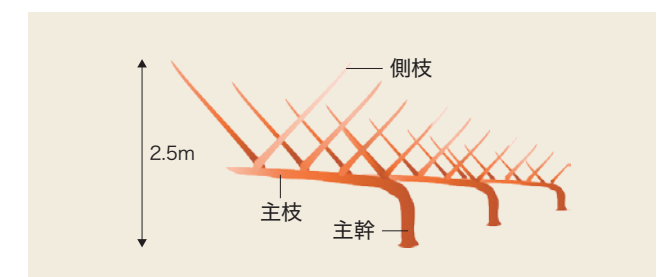


図3 ジョイントV字トレリス樹形の骨格

果樹園用の、これまでにない新しい機械を開発するためには、その機械に大きな需要があることを示さなければなりません。樹種ごとに異なっていた樹形が、もし同じ樹形に統一できるのであれば、全国の果樹園で同じ機械が使えるようになります。そこで、2016～2020年に行った農林水産省の「先導プロジェクトおよび革新的技術開発・緊急展開事業」では、明確に、樹種共通の省力樹形の開発をテーマに掲げ、ジョイントV字トレリス樹形をその共通樹形として取り上げました。さらに、このジョイントV字トレリス樹形に適した収穫ロボットの開発にも取り組みました。



## ジョイントV字トレリス樹形のメリット

省力樹形のポイントは、立体的な木の形を、いかに平面的にするかです(図1)。従来からのブドウやニホンナシの平棚栽培は、果実が棚面に並んでいるのでまさに平面的な樹形で、単純な動きで管理できます。機械化の適性も高いです。ただ、平棚を作るコストが高い。ずっと上向きで作業しなければならないので、作業自体の負荷は大きい。どんどん上に伸びる枝を無理に倒して平らにしなければならないので手間がかかる。また、棚の上に乗っている枝を下から動かすのは難しいので、自由に枝を動かせない。棚の下は日陰になるので、太陽の光が当たらないと色がつかないような果樹は栽培できない。これらの理由から、壁状に(垣根状に)実がなる樹形を樹種共通の樹形とすることにしました(海外では、Fruiting Wallと呼ばれ、省力化と機械化を目指した樹形として研究されています)。また、単純な「壁」でなく、傾いた「壁」(V字)であれば、より着果量を増やせるとともに、上の方の枝にも手が届きやすくなります。ジョイントV字トレリス樹形は、このようなメリットのある樹形で、これまでに、ニホンナシの他に、リンゴ、セイヨウナシ、カキ、モモ、オウトウ、ウメ、クリ、イチジクなどで、栽培を実証しています。

一方、リンゴについては、わい性台木の普及が進んでいます。海外のFruiting Wallも、主にリンゴのわい性台木を使った高密植栽培で使われる言葉です。わい性台木を使えば、枝の伸びが抑えられるため、ジョイントのような工夫がなくても木はコンパクトになります。その木を列状に(垣根状に)植えれば、同じように実のなる「壁」ができあがります。また、高所作業台車が木の脇でスムーズに上下できるので、高いところの作業も楽にできます。

## 目指すのは省力化か生産性の向上か

木の形が平面的になり、高所作業台車の使い勝手がよくなると、木が高くても脚立が不要となるため、木を低くするメリットがなくなってきます。木を高くして果実をたくさんとった方が収益も増えます。一方、木が大きくなればなるほど管理作業に時間はかかるようになります。また、果実がたくさんとれるということは、それだけ収穫にも時間がかかるということです。これまで、生産者の高齢化や後継者不足に対応するため、栽培の省力化ということを強く意識した栽培試験を行ってきました。しかし、労力および労働

時間を削減しただけでは、収益は増えません。収益が増えないと、後継者も育ちません。省力化より、収量が増えて収益が上がる方が、生産者への訴求力があります。そこで、2021～2023年に行った「国際競争力強化技術開発プロジェクト」では、着果面が平面的となる省力樹形を使い、省力的な管理を行いつつ収量を増やす栽培技術の開発に取り組みました。収益を増やしつつ、いかに労働時間を削減していくかを追求していくことから、労働生産性＝(反収×単価(＝粗収益)－生産費)／年間の労働時間、を樹形を比較するための指標として用いました。ここでは、木の高さを3.5m程度まで引き上げました。その結果、樹高の高いV字樹形(図4)の方が、収量が多く収益が増えるため、労働時間が長くなっても、ジョイントV字トレリス樹形よりも労働生産性が高くなることがわかりました。

2016～2020年の「先導プロジェクトおよび革新的技術開発・緊急展開事業」と2021～2023年の「国際競争力強化技術開発プロジェクト」の成果はとりまとめて「省力樹形樹種別栽培事例集」として農研機構HPに公開しています<sup>1)</sup>。



図4 高樹高V字樹形のニホンナシ  
左: 枝の模式図。主幹から左右に2本ずつ同じ角度で主枝を出している(それぞれの主枝から側枝が出るが、ここでは省略している)

## 突然変異によって人が管理しやすい樹形ができた —カラムナータイプリンゴの誕生—

枝の向きを変えたり望まない方向の枝を切ったりする整枝・せん定によって、果樹では、これまでも、一時的に樹形を平面的にすることは可能でした。ただ、木の生理を無視して木の形を無理に整えると、木が反発して、多くの強い枝が望まぬ方向に伸びるので、樹形はすぐに乱れることになりました。「樹体ジョイント仕立て」は、木の生理的な特性を考えて開発した樹勢のコントロール方法であったため、平面的な樹形を作ることに成功しました。また、高樹高V字樹形は、1本の主幹から複数の主枝を同時に出し、この複数の主枝を1年目に大きく伸ばすことで、樹勢を

落ち着かせることができます。樹勢が強い品種の場合は、1本の主幹から出す主枝の本数を増やすことで対応できます。「樹体ジョイント仕立て」も、隣の木に接ぎ木をすることの他に、1年目に長く主枝を伸ばした翌年に、多くの側枝を一気に出すことで樹勢を落ち着かせています。樹勢が強い場合は、木と木の間隔を広げることで、樹勢を落ち着かせることができます。樹勢が落ち着くと花がつくようになり、花がついて実になると、木の勢いはますます落ち着いてきます。木の勢いが抑えられると樹形は整いやすくなります。そのような工夫で、省力樹形は作られています。ところがリンゴでは、通常の栽培品種の中から、そのような整枝・せん定の工夫を必要とせずに、手をかけなくても自然に短い枝しか出ないものが突然変異でできました。それがカラムナータイプリンゴです。この突然変異は、カナダで、1960年代初めに「McIntosh」(日本では「旭」)の枝変わりとして発見されました。節間が短く、側枝が横に広がらず、円筒状の樹形を示すため、その後、このような樹形をカラムナー(columnar:円筒状)タイプと呼ぶようになりました。日本では、農水省果樹試験場(現 農研機構果樹茶業研究部門)が1988年から品種改良に取り組み、2025年に、食味に優れた鮮やかな赤色の品種「紅つるぎ」を公表しました<sup>2)</sup>(図5、表紙)。カラムナータイプの樹列は、従来の高密植栽培の樹列よりもより平面に近くなり、高所作業台車に乗っての管理が非常に容易になります。枝が張り出していないため、横から見た場合は花や果実を認識しやすく、手も届きやすくなっています。カラムナータイプのリンゴは、果実へのアプローチが容易であることから、収穫ロボットの導入も期待できます。

## おわりに

現在、このカラムナータイプリンゴを使って、様々な作業を機械で行えるか検証しています。例えば、摘果作業では、95%の花は生産には必要ないため、花が咲いている時期に、機械で樹列の片面の花をすべて欠き落とすことを行っています。不要な花の半分以上を機械で落とすことができれば、人手による摘花の労力も半分にになります。また、整枝・せん定作業は、冬だけでなく、夏にも行います。夏の伸びすぎる枝が問題となる樹種では、夏季せん定や、枝を誘引して結束するなどの作業も必要となりますが、カラムナータイプではそのような誘引や結束をしなければならない枝は発生しません。カラムナータイプでも、徒長枝と呼ばれる強く長い枝が所々に発生しますが、それらには花がつかないためすべて切り落とすことになります。切るべき枝が明確に定義できるため、せん定作業も単純で、ロボットによるせん定も可能と考えています。品種改良が進み、早生から晩生まで多様な品種でカラムナータイプリンゴのシリーズ化ができれば、日本のリンゴ栽培も大きく変わるのではないかと考えています。

(果樹茶業研究部門 果樹生産研究領域)

## 参考文献

- 1) 農研機構(2024) 省力樹形樹種別栽培事例集(第2版).  
[https://www.naro.go.jp/publicity\\_report/publication/pamphlet/tech-pamph/138903.html](https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/138903.html) (参照 2025-10-20)
- 2) 農研機構プレスリリース(2024-6-11) 食味に優れ栽培しやすいコンパクトな樹姿(カラムナー性)のリンゴ新品種「紅つるぎ」を育成 —栽培の省力化、スマート農機の導入による作業効率化を促進—.  
[https://www.naro.go.jp/publicity\\_report/press/laboratory/nifts/163351.html](https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/nifts/163351.html) (参照 2025-10-22)

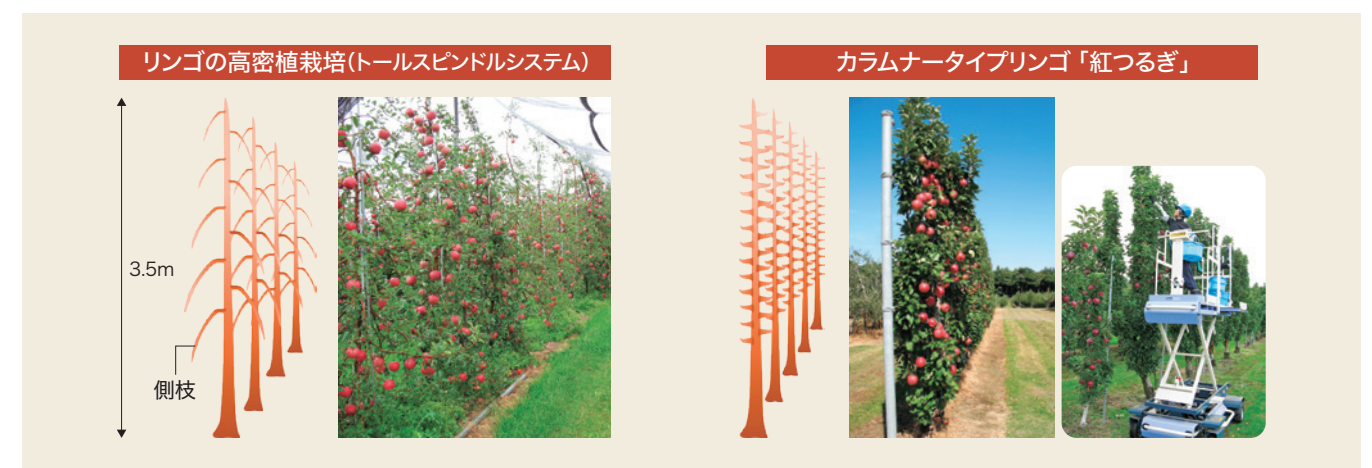


図5 リンゴの高密植栽培とカラムナータイプリンゴ「紅つるぎ」  
高密植栽培では、樹勢を抑えて樹幅を狭くするため、側枝を下向きに誘引します。一方、カラムナータイプの骨格は短い側枝で構成されているため、枝の誘引をしなくても樹幅は薄くなります。高所作業台車による作業が容易です。



# 荒廃農地再生とスマート放牧による 中山間地域の省力的肉用子牛生産

柿原 秀俊

KAKIHARA Hidetoshi

## はじめに

荒廃農地は、2023年度には全国で新たに2.5万ha発生しており、総面積は25.7万haに及んでいます<sup>1)</sup>。その発生は、傾斜地や未整備地などの生産条件の悪い地域における農業者の高齢化や労働力不足を背景としており、中山間地域において特に深刻と考えられています。一方で、畜産経営においては、2021年以降高騰した輸入飼料や化学肥料などの生産資材の価格が高止まりしており<sup>1)</sup>、これらの資材費抑制の対策が喫緊の課題となっています。

このような情勢を受けて、農林水産省の設置した「持続的な畜産物生産の在り方検討会」では、わが国の持続的な畜産物生産を図る上で必要な取り組みのひとつとして、情報通信技術などを活用した荒廃農地などでの放牧の一層の推進が提言されています<sup>2)</sup>。本稿では、通常の農作業では管理しきれなくなった土地を放牧地として整備し(荒廃農地再生)、情報通信技術などを用いて省力的・効率的に牛の放牧飼養を行うことにより(スマート放牧)、荒廃農地の再利用と肉用子牛生産費の削減の両方を実現可能とする技術について、島根県大田市における現地実証の成果を踏まえて紹介します。

## フレールモアを用いた 効率的荒廃農地整備

耕作放棄後、年数の経過につれて農地は高茎草本や木本で覆われますが、牛の口が届かない場所に葉が茂る木本類や、牛が好まない植物、あるいは有刺植物、または有毒植物が目立つ場合には、牛の好む草本植物の被度拡大や後の放牧管理作業の効率化を目的として、これら不要な植物を人が適宜除去する必要があります。そこで、

フレールモア(ハンマーナイフモア)と呼ばれる機械のうち、木本植物にも対応した種類を用いて、この除去作業の効率化を検証しました(図1)。その結果、従来の刈払機やチェーンソーなどを用いて植物を根元から切断し、その残渣を敷地外へ運び出す方法(時間当たり作業面積62m<sup>2</sup>)に比べ、フレールモアを用いて植物を現地で破碎する方法では、残渣の搬出を省略できるため、現地実証でも1.3~84.6倍(時間当たり作業面積79~5,246m<sup>2</sup>)の作業の効率化が可能なが示されました<sup>3)</sup>。



図1 木本植物を含む広大な実証地で不要な植物の除去を行うフレールモア

## 放牧地としての生産性の向上

荒廃農地を生産性や持続性の高い放牧地として活用するためには、大きく2つの選択肢があります。1つ目は既存の草種の生産性(牧養力)や牛の選択性が高く、放牧

を行ってもそれらの種の優占が維持される場合で、そのまま放牧を継続するという選択肢です。2つ目は、放牧を行っても牛が十分な採食草を得られないと見込まれる場合で、牧養力の高い草種を追播するという選択肢です。島根県大田市における現地実証では、場所によりこの両方を使い分け、放牧地としての生産性と持続性の向上を図りました<sup>4)</sup>。

まず、木本植物に加え有刺有毒植物が上層部を覆っていたものの、下層部にはシバなどの生産性の高い草種が見られた場所では、上述のフレールモアによる不要な植物の除去を行った後に、そのまま放牧するという選択を取りました。その結果、施肥などの作業をせずとも、牛の選択性の高いシバが優占する面積が拡大し(図2)、極めて省力的に牧養力を向上させられることが示されました<sup>4)</sup>。

次に、木本植物や有刺植物に覆われており、牧養力の高い草種に乏しいとみなされた場所では、作溝型播種機と呼ばれる、土壌の耕起を行わずに地面に溝を切って種を播く機械を用いて牧養力の高い牧草を追播しました(図3)。これは、フレールモアで除去した木本植物の切り株や根が多く残された場所でも有効な省力的播種法です。さらに、播種した牧草の牧養力を維持しつつも資材費抑制や作業の省力化を図る目的で、発酵鶏ふんを化学肥料



図2 不要な植物を除去した後に再生したシバなどの既存の草種



図3 作溝型播種機で筋状に追播された牧草

の代替として、GPSガイダンスシステムなどを用いて散布しました(図4)。その結果、可食草量を5.2t/haから10.3t/haへと倍増させるだけでなく、牧場全体として放牧日数を250日から274日へ増加させることができました<sup>4)5)</sup>。加えて、GPS

ガイダンスシステムなどを用いることにより散布作業の効率を向上させつつ、資材価格を化学肥料の76,032円/haから発酵鶏ふんの12,000円/haへ削減できることも示されました<sup>6)</sup>。



図4 鶏ふん散布

## GPS首輪を用いた省力的放牧牛看視

放牧飼養は舎飼いと比べて給餌や牛床交換などの作業が少ない一方で、広大で、起伏や林地を多く含む放牧地では、放牧牛の安否や健康状態の確認のための見回りや、脱柵や事故の際には該当牛を探す必要があり、



時に多大な労力を要す場合があります。そこで、2019年より国内でサービスが始まった、GPSなどの衛星測位システムによる放牧牛の位置看視システム「うしみる」(株式会社GISupply, 北海道)を導入して現地実証を行いました(図5)。その結果、導入前には3.9時間/頭を要していた牛の移動や確認作業を、2.5時間/頭まで削減することができるようになりました<sup>5)</sup>。また、本看視システム利用の効果は日常の管理作業の省力化だけでなく、脱柵や事故などの発生時の対応にも及んでおり、そのほか、放牧牛の位置情報をいつでも見られることによる管理者の心理的負担の軽減効果も示唆されています<sup>7)8)</sup>。



図5 GPS首輪を着けた放牧牛

### フレッシュチェックを用いた繁殖雌牛の空胎期間短縮

肉用子牛生産において、一般に、<sup>ぶんべん</sup>分娩後の空胎期間の短縮を図ることは繁殖雌牛の飼養にかかる飼料費などのコスト削減に有効です。これは放牧飼養においても同様であり、親子放牧中の繁殖雌牛における空胎期間の短縮を

図るため、分娩後30～40日目での超音波画像診断装置を用いた子宮修復の度合いや卵巣動態の確認(フレッシュチェック)に基づく発情回帰時期の予測と、発情時の乗駕許容行動を検知する発情発見ディテクターの組み合わせにより発情行動発見の確度を向上させる技術の開発を行いました。構内の放牧地での実証試験の結果、空胎期間78.8日(19頭)の成績が認められており、肉用子牛生産の目標とされる1年1産(空胎期間80日、分娩間隔365日)の成果が得られています<sup>9)</sup>。

### 荒廃農地再生とスマート放牧導入による生産費の削減効果

以上の技術を用いた荒廃農地再生とスマート放牧の導入が、肉用子牛の生産費削減に及ぼす影響を評価しました。**表1**および**2**は、フレッシュチェックによる空胎期間短縮を除く上述の技術を導入した島根県大田市における現地実証の実績値<sup>5)</sup>および同時期の畜産物生産費統計の子牛生産費の全国平均です。これらの情報を元に、子牛生産費の削減効果を試算した結果を**表3**に示します。この試算によると、荒廃農地再生とスマート放牧技術をすべて導入した場合には、2021年度の全国平均の子牛生産費に比べ24.0%の削減が見込まれます。さらに、フレッシュチェックを用いた空胎期間短縮技術を追加で導入することにより、分娩間隔を1年1産に相当する365日に短縮したと仮定すると、合わせて30.0%の削減も可能であることが示されました。子牛生産費は2021年頃から始まった急激な生産資材費高騰により上昇していますが(**表2**)、上昇後の2023年度の生産費を元に試算すると、さらに削減

表1 荒廃農地再生およびスマート放牧導入前後における繁殖雌牛の飼養管理状況の変化<sup>注1)</sup>

	放牧頭数 <sup>注2)</sup> (頭)	舎飼い頭数 (頭)	合計頭数 (頭)	放牧日数 <sup>注3)</sup> (日)	飼料費 <sup>注4)</sup> (円)	労働時間 <sup>注4)</sup> (時間)
技術導入前	29	58	87	250	418,167	49.0
導入後	51	40	91	274	364,265	36.2

注1) 渡部・平野(2025)より。 注2) 放牧期間における日平均頭数であり、冬季は舎飼いされる。 注3) 放牧期間の初期と末期には補助飼料の給与を行う期間を含む。 注4) 飼料費および労働時間は繁殖雌牛と子牛にかかる子牛1頭当たりの年間の値を示す。

表2 子牛生産費の統計値<sup>注)</sup>

年度	種付料	飼料費	労働費	その他の経費	生産費
2023年度(令和5年度)	22,112	348,485	214,785	172,389	757,771
2021年度(令和3年度)	22,252	272,302	180,653	145,089	620,296

注) 農業経営統計調査「畜産物生産費統計」より。

表3 荒廃農地再生およびスマート放牧導入による子牛生産費削減効果の試算

項目	試算値(%)	導入後／ 導入前の比	備考 <sup>注1)</sup>
技術導入による舎飼いからの飼料費の削減効果	43.6	0.564	舎飼い時および放牧時の飼料費を、それぞれxおよびyとすると、技術導入前および導入後の1頭当たり飼料費=[(放牧頭数×放牧日数)×+(放牧頭数×(365-放牧日数)+(舎飼い頭数×365)]y/合計頭数…(1および2) 技術導入後の飼料費/技術導入前の飼料費=0.871…(3) (1)～(3)をxについて解くと、x=0.419y したがって、技術導入後の放牧日数を用いて、削減効果(%)=100-100×(放牧日数×0.419y+(365-放牧日数)y)/(365y)
技術導入前後の労働時間の比から求めた労働費の削減効果	26.1	0.739	削減効果(%)=100-100×技術導入後の労働時間/技術導入前の労働時間
フレッシュチェックの導入による諸経費の削減効果	10.1	0.899	導入後の分娩間隔を365日と仮定したとき、削減効果(%)=100-100×365/慣行の分娩間隔 <sup>注2)</sup>
スマート機器の導入による経費削減効果	-2.46～-2.01 <sup>注3)</sup>	1.020～1.025 <sup>注3)</sup>	分娩間隔を365日と仮定したとき、削減効果(%)=100-100×(慣行の生産費×合計頭数+機器導入費用の年額換算値 <sup>注4)</sup> /(慣行の生産費×合計頭数)
フレッシュチェックを除く生産費の削減効果	24.0～25.2 <sup>注3)</sup>	0.748～0.760 <sup>注3)</sup>	分娩間隔を慣行の分娩間隔 <sup>注2)</sup> と仮定したとき、削減効果(%)=100-100×[飼料費×0.564+労働費×0.739+その他の経費+種付料+(機器導入費用の年額換算値 <sup>注4)</sup> /合計頭数)×(慣行の分娩間隔/365)]/慣行の生産費
フレッシュチェックを含めた生産費の削減効果	30.0～31.4 <sup>注3)</sup>	0.686～0.700 <sup>注3)</sup>	分娩間隔を365日と仮定したとき、削減効果(%)=100-100×{(飼料費×0.564+労働費×0.739+その他の経費)×0.899+種付料+フレッシュチェック費用 <sup>注5)</sup> +機器導入費用の年額換算値 <sup>注4)</sup> /合計頭数]/慣行の生産費

注1) 特に断りのない場合は、計算式中の頭数、日数、時間、費用は表1および2に対応する。 注2) 家畜改良増殖目標における全国平均(406.0日)。 注3) 2021年度から2023年度における試算値の範囲を示す。 注4) 渡部・平野(2025)におけるスマート機器導入費用の年額値(1,385,969円)。 注5) 家畜診療点数表(エコー検査2回、往診、指導)より算出した費用および発情発見ディテクター費用の合計(8,520円)。

効果は大きく、荒廃農地再生とスマート放牧技術の導入により25.2%、空胎期間短縮技術の追加導入により31.4%まで削減可能であることも示されました(**表3**)。

### おわりに

本稿では既に技術が実用化され普及段階にあるものについて紹介しましたが(詳しくはスマート放牧導入マニュアル<sup>10)</sup>を参照)、これらはいずれも繁殖雌牛を対象とした技術です。親子放牧では子牛管理の省力化や高付加価値化に向けた技術開発も重要であり、子牛での利用を想定した放牧牛の無線探索技術や、牛の成長を把握するための自動体重計測システムの改良が進められています<sup>11)12)</sup>。

中山間地域の肉用子牛生産の現場はその規模や環境条件、経営条件が多様で、紹介した全技術をすべての生産現場へ適用できるとは限りません。地域の実情に合わせた取捨選択が行われ、適切な省力化を図れるよう、より多様な技術の開発を進めたいと考えています。

(西日本農業研究センター 周年放牧研究領域 周年放牧グループ)

#### 参考文献

- 1) 農林水産省 大臣官房広報評価課情報分析室(2025) 令和6年度食料・農業・農村白書(令和7年5月30日公表)。 pp.83-89, pp.116-117. [https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/14433216/www.maff.go.jp/j/wpaper/w\\_maff/r6/index.html](https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/14433216/www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/r6/index.html) (参照 2025-7-16)
- 2) 農林水産省 畜産局総務課畜産総合推進室(2021) 持続的な畜産物生産の在り方検討会中間とりまとめ(令和3年6月24日)。 [https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/13712617/www.maff.go.jp/j/chikusan/kikaku/lin/l\\_tiku\\_manage/zizoku.html](https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/13712617/www.maff.go.jp/j/chikusan/kikaku/lin/l_tiku_manage/zizoku.html) (参照 2025-7-16)
- 3) 柿原秀俊ら(2025) フレールモアを用いた荒廃農地整備技術の現地評価。 日本草地学会誌, vol.71(1), 26-33.
- 4) 堤道生・平野清(2025) 島根県三瓶共同放牧場における牧養力向上技術の導入。 日本草地学会誌, vol.71(1), 34-38.
- 5) 渡部博明・平野清(2025) スマート放牧技術導入による収益性の改善効果。 日本草地学会誌, vol.71(1), 52-60.
- 6) 平野清・堤道生(2025) 中山間草地におけるGPSガイダンスを活用した鶏ふん散布技術の実証。 日本草地学会誌, vol.71(1), 39-44.
- 7) 小林寛生(2024) 島根県隠岐、三瓶地域における放牧牛管理へのGPS情報の利用。 日本草地学会誌, vol.70(3), 155-160.
- 8) 平野清ら(2025) スマート放牧技術の導入と普及展開 -2年間の歩み-。 日本草地学会誌, vol.71(1), 61-65.
- 9) 大島一修ら(2023) 春季から秋季の親子放牧での分娩後繁殖成績と子牛の育成成績。 第116回日本繁殖生物学会大会講演要旨集, J109.
- 10) 西日本スマート放牧コンソーシアム(2024) スマート放牧導入マニュアルー荒廃農地の再生による環境保全と生産性向上ー(2024年版)。 [https://www.naro.go.jp/publicity\\_report/publication/pamphlet/tech-pamph/162121.html](https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/162121.html) (参照 2025-9-1)
- 11) 胡日査ら(2025) 島根県三瓶共同放牧場における牛の自動体重測定システムの実証。 日本草地学会誌, vol.71(1), 45-51.
- 12) Huricha et al(2025) Effectiveness of a wireless transmission system in searching for hidden calves in grazing land, Rangeland Ecology & Management vol.98, 118-124.



# 堆積型堆肥化における切り返し作業の省力化を実現する堆肥化ロボット

－ ホイールローダの自動運転化 －

中久保 亮

NAKAKUBO Ryoh



## はじめに

昨今の化学肥料の価格高騰は、堆肥利用にも大きな変化をもたらしました。畜産農家や堆肥センターなどの堆肥の生産現場では、例年と比較して明らかに堆肥需要が高まっているとの声を聞いており、土壌改良効果を狙って堆肥を散布するだけでなく、化学肥料の代替として総合的な肥料成分を含有する堆肥を積極的に活用する耕種農家が増えている傾向が窺えます。耕畜連携の要である堆肥の生産には切り返し作業が必要不可欠ですが、切り返しは多くの時間を要する作業で畜産農家の負担が大きいものです。そこで、切り返しなどの堆肥化作業を省力化する、ホイールローダをベースとした堆肥化ロボットの開発について紹介します。

2021年に「家畜排せつ物処理状況等調査結果(平成31年4月1日現在)」が10年振りに農林水産省より公表さ

れました。当該調査データを基に筆者が試算した家畜排せつ物の処理方法別のシェア(排せつ物処理量ベース)では、堆積型堆肥化による処理が57%と圧倒的なシェアを占めています(図1)。堆積型堆肥化とは、ホイールローダやトラクタのフロントローダアタッチメントなどを用いて堆肥を攪拌(切り返し)することにより、堆肥の好気性発酵を促進する堆肥化処理方法です<sup>1)</sup>(図2)。最もオーソドックスな施設構造で建設コストも安価であり、広く普及している堆肥化処理方法である反面、発酵原料の水分調整や強制通気式(床面から送風ブロワで空気を供給する発酵方式)では1週間に1回、通気なしでは2週間に1回程度の切り返し作業を行い、通気性の確保や発酵の均一化などを図ることが、高品質な堆肥生産には必要不可欠です<sup>2)</sup>。しかし、切り返し作業には比較的長い時間が必要で、畜産農家の負担となっています。堆肥化処理に要する作業時間は、ホイールローダの大きさや家畜排せつ物の発生

量や水分などにより様々ですが、1週間に1回程度の頻度で、堆肥の切り返し作業などに半日～1日を費やす畜産農家は多く、労働生産性の向上・経営効率化の観点から、堆肥化処理の自動化ニーズが高まっています。一方で、開放型強制発酵および密閉型強制発酵のシェアは合わせて22%となっています(図1)。これらは機械式攪拌装置などを備えた、省力的な堆肥化処理が可能な堆肥化施設ですが<sup>2)</sup>、意外なことに過去10年間でシェアの増加はみられません<sup>3)</sup>。依然としてオーソドックスな施設構造である堆積型堆肥化を選択する畜産農家が多いものと考えられます。

このような家畜排せつ物処理の現状を踏まえ、畜産研究部門ではホイールローダの自動運転化に着目しました。近年、乗用車の自動運転技術は目覚ましい発展を遂げており、10年後には完全運転自動化技術を搭載した車両の普及が始まるとの予測もあります。建設・土木分野でも自動化技術の開発が進んでおり、建設機械メーカー、ゼネコン、ベンチャーなど、様々な事業者により、油圧ショベルやホイールローダの遠隔操作やロボット化(自動運転化)の実証開発が進められている状況です<sup>4)</sup>。畜産農家では、粗飼料や敷料の運搬、水分調整や切り返しといった堆肥化作業など、様々な用途でホイールローダが広く使用されており、ホイールローダを使用しない畜産農家はいないと言って良いほど普及しています。そこで、ARAV株式会社、畜産研究部門、北海道農業研究センター、九州沖縄農業研究センター、愛知工科大学から構成されるスマート家畜ふん尿処理コンソーシアムを立ち上げ、ホイールローダの自動運転化技術により、世界初の無人で堆肥切り返し作業を実施する堆肥化ロボットの開発に着手しました。

## ホイールローダの自律駆動化

農業分野においても、農業用トラクタをはじめとした車両の自動運転技術は目覚ましい発展を遂げています。農業用トラクタの自動運転では、GPSなどのGNSS(衛星測位システム)による自己位置推定(ロボットや車両が自身の位置を把握する技術)を活用することが一般的です。GNSSは、上空に障害物の少ないほ場では有効な自己位置推定技術ですが、堆肥化処理施設には、環境保全対策として屋根が設置されている場合が多く、人工衛星からの電波が阻害され、自己位置推定が困難なケースが多くなっています。そこで、堆肥化ロボットの開発では、家庭用のロボット掃除機のマッピング機能として知られているSLAM(Simultaneous Localization and Mapping: 自己位置推定とマッピングの同時実行)を活用した自己位置推定によるホイールローダの自律制御を採用しました(図3)。ホイールローダの屋根上に設置した3D LiDAR(Light Detection And Rangingの略。レーザー光を照射し、反射光が戻ってくるまでの時間などから対象物までの距離や形状を測定する技術)により、堆肥化処理施設内において安定した自己位置推定が可能で、堆肥舎の壁面から数十センチの距離でホイールローダを走らせても、壁面などへの衝突の懸念がないことを確認しています。

堆肥化処理施設における堆肥切り返し作業の自動化のためには、ステアリング、アクセル、ブレーキはもちろんのこと、ジョイスティックによるバケット操作も自動化する必要があります。これら一連の操作をスムーズに組み合わせることが求められます。そこで、堆肥切り返し作業を「前進・後進・旋回(移動経路を予め指定)、堆肥の掬い取り、堆肥の積み下ろし」の要素作業に分解して、それぞれの作業ご

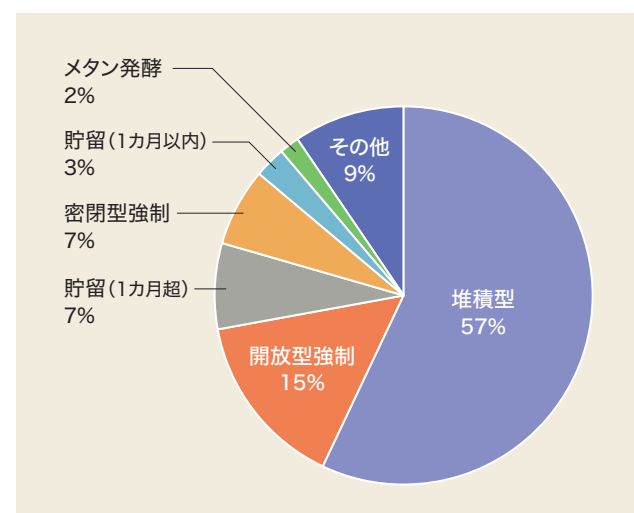


図1 家畜排せつ物処理方法(ふん尿混合処理およびふん処理)のシェア(排せつ物処理量ベース)



図2 ホイールローダによる堆肥切り返し作業



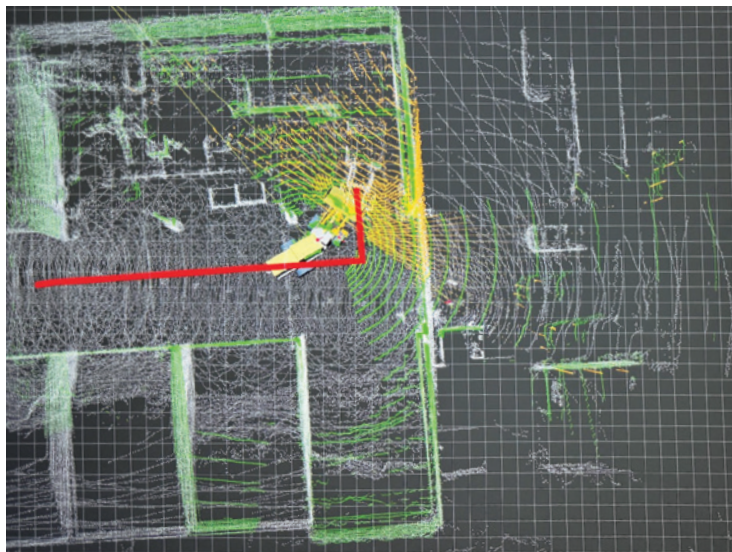


図3 3D LiDARによる堆肥舎施設内での自己位置推定  
堆肥舎施設を上部から俯瞰した様子。黄色で示される車両が堆肥化ロボットの自己位置を示している。赤線で示される指定経路を堆肥化ロボットが追従している様子が確認できる。



図4 キャビン内に後付けされたアクチュエータ類



図5 自律駆動化に必要なセンサ類

とに、オペレータによるホイールローダ運転時の操作を模倣して、スムーズな自動運転を実現しました。これらの要素作業の組み合わせによって、堆肥化処理施設におけるホイールローダを用いた作業（水分調整、堆肥繰り返し、堆肥の移動）のすべての自動化が可能となります。オペレータの腕や足の代わりとなるアクチュエータ類をキャビン内に後付けし（図4）、さらに車体に6軸IMU（Inertial Measurement Unit、運動の3軸方向の「角速度や加速度」を計測する装置）や車速センサを設置することで、ホイールローダの自動運転化を実現しています<sup>5)</sup>（図5）。既存のホイールローダにアクチュエータ類を後付けすることでロボット化が可能となりますが、オペレータがホイールローダを操縦する際には、設置されているアクチュエータ

類が操作感をわずかに損ねることが確認されています。そこで今後は、アクチュエータ類をキャビン内に設置せずに、油圧駆動系を直接制御してロボット化するための研究開発にも着手する計画です。

### 堆肥化ロボットによる作業時間削減効果

省力効果の評価のために堆肥センター（大型堆肥化処理施設）において実際に堆肥化ロボットを稼働させたところ、堆肥化作業を100%代替（完全自動化）するまでにはいたりませんが、オペレータによるホイールローダ作業時間を68%削減できるポテンシャルがあることが確認で



図6 堆肥センターにおける堆肥化ロボット実証試験の様子  
壁に衝突しないよう移動経路を指定するため、台形に堆肥が積み込まれるが、オペレータによるホイールローダ作業時間は68%削減可能。



図7 堆肥化ロボット実証試験における堆肥の積み下ろし動作の様子

きています（図6）。堆肥の積み下ろし動作では、堆肥を積載したバケットが障害物となるため、屋根上に設置した3D LiDARでは車両前方に堆積された堆肥を正確に認識できず、前輪が堆肥に乗り上げる場合があります。堆積堆肥を潰してしまうと、通気性が悪化するため発酵品質が低下してしまいます。そこで、フロントフェンダー（車の前輪タイヤの外側を覆うパネル）上に堆肥検知用LiDARを設置することにより、前輪が堆肥に乗り上げることなく、スムーズな堆肥の積み下ろしを実現しました（図7）。課題は壁際での堆肥の掬い取り・積み下ろし作業です。現状では壁へ衝突することがないように余裕を持たせた移動経路を設定しているため、壁際に隙間なく堆肥を積むことができず、台形に積み込まれることになります。このため、2時間ごとに10分程度のオペレータ作業により、堆肥の積み方を修正する必要がありますが、試験を実施した堆肥センターからは、「堆肥化作業を100%自動化する必要はなく、現状のオペレータ作業時間の削減効果でもロボットの導入効果としては必要十分」との評価を得ています。堆肥化ロボットの稼働の様子はコンソーシアムメンバーのホームページに動画が掲載されています<sup>5)</sup>。実用化のためには、まだまだブラッシュアップしていく必要があるものの、堆肥化ロボットのポテンシャルを感じられる動画になっていますので、是非御覧ください。

### おわりに

建設機械の自動化技術は研究開発の段階から社会実装のフェーズへと移行しつつあります。堆肥センターなどの大型施設では、ホイールローダの稼働率が高く、またルーチン作業が多いため、ホイールローダの自律駆動化には最適の作業現場だと言えるでしょう。研究開発に着手してから3年が経過しました。今後は、堆肥化ロボットの移動やバケット操作をより緻密に制御することで、堆肥舎の壁際の作業効率の改善を図るとともに、人検知による自動停止機能などの安全機能を搭載し、市販化を見据えた堆肥化ロボットの実証開発を推進する計画です。

（畜産研究部門 高度飼養技術研究領域  
スマート畜産施設グループ）

### 参考文献

- 1) 農林水産省 畜産局 畜産振興課（2024）家畜排せつ物法施行状況等調査結果（令和5年12月1日時点）。  
<https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/attach/pdf/index-171.pdf>（参照 2025-10-16）
- 2) 一般財団法人 畜産環境整備機構（2022）堆肥化施設設計マニュアル。  
<https://chikusan-kankyo.jp/newhomepage/manual/taihimanual.pdf>（参照 2025-10-16）
- 3) 農林水産省 生産局 畜産部畜産振興課（2021）家畜排せつ物処理状況等調査結果（平成31年4月1日現在）。  
<https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/attach/pdf/index-156.pdf>（参照 2025-10-16）
- 4) 国土交通省 建設機械施工の自動化・遠隔化技術。  
[https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/sosei\\_constplan\\_tk\\_000049.html](https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/sosei_constplan_tk_000049.html)（参照 2025-10-16）
- 5) ARAV株式会社 スマート家畜ふん尿処理コンソーシアムの堆肥化ロボットの研究。  
[https://arav.jp/rd\\_smart\\_nogyo/](https://arav.jp/rd_smart_nogyo/)（参照 2025-10-16）



# 温故知新

≫ 古きをたず（温）ねて新しきを知る



メタン発酵施設と  
消化液の散布車両

- 1 山田バイオマス  
プラント
- 2 表面散布用車両
- 3 新型スラリーイン  
ジェクター（大型機）
- 4 同（小型機）

## 農村地域の脱炭素化に貢献する、 古くて新しい技術「メタン発酵」

中村 真人

NAKAMURA Masato

酸素がない嫌気的な条件では、有機物は嫌気性微生物の働きによって分解され、メタンを主成分とするガスが生成される。この現象を利用して、家畜排せつ物、食品廃棄物、汚泥などからメタンとしてエネルギー源を取り出し、発電等に利用する技術がメタン発酵技術である。発酵残さである消化液は肥料として利用できる。メタン発酵は、古くから活用されてきた技術であり、オイルショックなど、エネルギー問題が生じるたびに注目を集めてきた。

日本でも1950年代、1970年代のオイルショックの時期にはメタン発酵のブームがあったものの、1950年代はプロパンガスの普及、1970年代はエネルギー危機が解消されると、ブームは終焉した（松田、2003）。当時はメタン発酵をエネルギー生産技術として捉えており、原油価格が落ち着くと、経済性が成り立たなかったようである。また、農業系のメタン発酵施設では、消化液の肥料としての利用にも課題があった。消化液は肥料として利用できるものの、化学肥料に比べて肥料成分濃度が低く、散布作業も煩雑であるため、安く使いやすい化学肥料に太刀打ちできなかった、と当時を知る先輩研究者から聞いたことがある。

しかしながら、2000年以降、廃棄物削減、温室効果ガス排出削減などのメタン発酵の環境保全効果が認識され、エネルギー以外の観点でメタン発酵が再評価されるようになった。また、消化液を肥料として有効活用するための取り組みが各地で行われるようになり、消化液を現場で利用するための様々なノウハウの蓄積が進んできた。その動きに併せて、消化

液に関する研究も行われ、消化液の肥料としての特徴や環境保全的な利用方法などが整理されてきた。その結果、近年では、消化液は「バイオ液肥」とも呼ばれ、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ために農林水産省が策定した、みどりの食料システム戦略の具体的な取り組みのひとつとして、「バイオ液肥（消化液）の活用による地域資源循環の取組推進」があげられている。

消化液の利用に関してはまだ改善の余地があり、散布コスト削減のための遠隔操縦可能な散布車両、施用後のアンモニア揮散を抑制できる低コストなスラリーインジェクター等の開発が進められている。また、消化液は化学肥料に比べて肥料成分濃度が低く、貯留や運搬の負担が大きいいため、消化液を濃縮・減容化する取り組みも行われている。

一方、ガスの利用についても、大阪・関西万博において、メタネーション技術を活用したガスの有効利用に関する取り組みが紹介されるなど、時代に合わせて新たな展開も見せている。

このように、メタン発酵は歴史ある技術であるが、エネルギー利用と消化液の肥料利用の両面において、脱炭素に貢献できる技術として進化を続けている。度重なるブームに翻弄されながらも、メタン発酵に関する技術開発、現場での普及に地道に取り組んでこられた、メタン発酵関係者に敬意を表したい。

（農村工学研究部門 資源利用研究領域）

※参考文献 松田從三(2006) 経済的視点からみた酪農バイオガスシステムの歴史的意義、酪農バイオガスシステムの社会的・経済的評価、酪農ジャーナル臨時増刊号、14-23。

## Editor's Note

## 編集後記

超高齢社会を迎えたわが国の農業では、農業就業者の減少、担い手不足による労働力不足が招く生産性の低下を防ぐことが喫緊の課題とされており、環境に配慮した持続的な農業生産性の維持、また食料安全保障のために、農業の省力化を実現するスマート農業技術の普及が欠かせません。

本号では、「ユーザーに選ばれるスマート農業技術」として、農業の省力化につながる農研機構の開発したスマート農業技術の一部を紹介しています。有機栽培による稲作を想定した両正条田植機と直交除草技術、省力化を実現する乾田直播技術体系、果菜類の施設生産における生育予測技術、気象データに基づくキャベツの生育予測技術、ほ場における肥効の見える化、果実生産における機械化による省力化を見据えたV字樹形栽培技術およびカラムナータイプの樹形を形成する品種育成、中山間地の農地再生とスマート放牧による省力的肉用子牛生産技術、耕畜連携による堆肥生産での堆肥化ロボットの開発について紹介しています。

温故知新では、地域で発生する有機系廃棄物等を活用してメタン発酵によりエネルギーや肥料として地産地消する古くて新しい技術、メタン発酵システムについて取り上げています。脱炭素化に貢献する地域資源を活用した持続可能なシステムとして再評価されています。

本誌がこれからの地域の農業振興につながる皆様の一助になれば幸いです。

## 農研機構技報

NARO Technical Report No.19

2026年2月1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。





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