



第4回東京大学農学部オンライン公開セミナー 「スマート農業:ICT 技術を活用した新しい農業の形」 講演要旨集

~~~~~ プログラム ~~~~~

## 【 開会の挨拶 】

挨拶 研究科長 堤 伸浩

13:35 ~ 13:45

## 生態調和農学機構の紹介

生態調和農学機構 教授 河鱒 実之

13:45 ~ 14:30

## 近接リモセンとAIを用いた植物フェノミクスとその応用

生態調和農学機構 助教 郭 威

## 【 休憩（10分） 】

14:40 ~ 15:25

## 農業ロボットの作り方

生物・環境工学専攻 准教授 海津 裕

## 【 休憩（10分） 】

15:35 ~ 16:20

## スマート農業とは何か？ —過去、現在、未来—

生態調和農学機構 特任教授 平藤 雅之

## 【 閉会の挨拶 】

司会 准教授 樋口 洋平

日時 2021年10月16日（土）13:30~16:30  
場所 オンライン開催  
主催 東京大学大学院農学生命科学研究科・農学部  
共催 （公財）農学会

# 生態調和農学機構の紹介

附属生態調和農学機構 副機構長 河 鱒 実之

大学院農学生命科学研究科附属生態調和農学機構は、附属農場と附属緑地植物実験所を改組し、同附属演習林田無試験地（現附属演習林田無演習林）の教育研究機能を取り入れて、2010年4月1日に設立されました。従来の生産性重視から、生態系サービス、持続的な農業へと視野を広げ、耕地・緑地・林地からなる田無キャンパスをベースに教育研究を進めています。

2013年3月に「東京大学西東京キャンパス（仮称）整備計画基本構想」が決定され、キャンパスを横断する都道の整備に合わせて、13棟の温室、格納庫棟および調製施設群の建設、新教育研究棟の建設などのキャンパス整備事業が実施されました。令和2年度には田無本館が竣工し、令和3年3月に現在の研究本館から田無本館へ引越し、令和3年度から田無本館の本格的な供用が行われています。

第2次世界大戦後の爆発的な人口増加にともなう食料増産を支えた近代品種の育成、農業の機械化、化学肥料の多用、水資源の利用拡大などの近代農業は、同時に生態系だけでなく地球環境そのものにも多大な負荷を与え続けています。農業生産に必要な資源が枯渇しつつあるだけでなく、農業生産そのものが気候変動の原因ともなっており、これまでの農業技術の延長では、増加し続ける地球上の人口を支える食料を供給することは極めて厳しい状況にあります。地球環境への負荷を回避する持続的な生産システムを再構築しなければなりません。

農産物の持続的かつ安定的な供給を実現するために、附属生態調和農学機構は、耕地、緑地、林地を包含する「フィールド」としての特性を活用し、生物学、化学、工学、情報科学、社会科学などのあらゆる手法を用いて、農学における統合的な教育・研究を実践しようとしています。

# 近接リモセンと AI を用いた植物フェノミクスと その応用

附属生態調和農学機構 助教 郭 威

## 1. 植物フェノミクス

21 世紀になっても毎日 20 万人の増加が続いている。国連が 2050 年までに世界の人口が 97 億人に達するとする人口統計を発表し（世界人口推計 2019 年版：要旨）、急速に増加している人口や食遷移に呼応できる十分な食料の確保が急務になっている。さらに、気候変動が懸念される中、世界各地で大干ばつによる大幅な減収や、高温・異常低温・日照不足等による生育不良などが世界各地で恒常的に発生している。そのような中、限られた土地や水資源のもと、食料を安定的に増産し確保するには、革新的な育種開発と栽培技術の高度化が必須である。そのためには、作物のゲノム解析と表現型解析を平行して加速化することや、作物生育状況の的確な把握が必要となる。この数年近年次世代シーケンサーの発達によるゲノム解析を革新的な高速化は、大量の遺伝情報を生成し、さまざまな植物ゲノム配列情報が解明されてきたが、表現型解析は未だに破壊的で人力に依存する場合が多く、研究開発のボトルネックとなっている。それに対して近年では最先端の ICT 技術と融合した植物に現れる傾向や成長状態などを評価する研究分野としてフェノミクス（Phenomics）が世界的に注目されており、活発化してきた。特にフィールドにおける表現型解析の高速・高精度化を目的として、ドローンやロボットなど近接リモセンと AI 画像認識技術を活用し、植物の葉や根、穂、花、果実、あるいは個体群を網羅的に解析するためのフェノタイピング（High-throughput phenotyping）ツールやプラットフォームが開発されてきた。このような技術では、スマート農業における育種の効率化だけでなく、生産性の向上にも期待される。

## 2. 近接リモセンを用いた圃場データ収集の効率化に関する研究

野外圃場における効率的で効果的なデータ収集には綿密な事前設計と準備が重要である。例えば、系統選抜を目的とした育種圃場を対象に、各系統を生育初期から後期にわたる時系列フェノタイピング（群落キャノピー構造や草丈変化など）をドローンやロボット撮影による画像で実施する場合、画像センサやそれに合うセンサプラットフォーム選択、コントロール、圃場栽培設計に応じた自動飛行・走行プランの設計と生成、収集したデータの保存と管理、各小試験区位置など空間配置情報を自動で得るための画像事前処理等

を実施した上で、対象となる試験区毎のフェノタイピングが実施される。これらには、複数の専門分野からなる高度な専門技術が必要であり、導入は容易でない。そこで、ドローンやロボットを用いた野外でのフェノタイピングを行うための一連の操作を統合したパイプラインやその機能を強化するための要素技術の開発し、国内での利用にかかわらず、どなたでも使えるように学生 ICT 実習や英語による Wiki ページでの公開・運営など、技術の社会実装も推進している (Guo et al. 2021 Plant Phenomics)。



図1 ドローンデータ収集パイプラインを利用している様子(左から順に日本当機構内、北海道、米国アイオワ州、インドテランガーナ州、中国山西省)

### 3. AI 画像認識技術を用いたフェノタイピング作業の高速化に関する研究

画像によるフェノタイピングでは深層学習など機械学習アルゴリズムを最大限活用している。例えば穀物における単位面積当たりの穂数は収量の主な構成要素であり、出穂調査が必須の調査項目であるが、調査には労力がかかる。そこで AI による穀物であるコムギ、ソルガム、イネを対象にそれらの穂を画像から計数する手法を開発した。例えばドローンを超低空 (15m) 飛行し、品種・生育期間が異なる数千程度の小試験区からなるソルガム圃場を撮影し、穂の検出、計数を可能とする研究や、ムギ、イネの表現型計測において最も重要な指標のひとつである出穂・開花期の自動判定できる研究を取り込んでいる。また、深層学習で十分な認識精度を得るために多様性のある学習データが数万サンプル必要とも言われる課題に対して。我々は学習データ構築が利用コストを押し上げている点に注目し、効率的に学習データセットを構築する手法の開発も取り込んでいる。例えば、“国際コミュニティを活用した多様性のある学習データの収集”では、国際連携によって多様性のある学習データを効率的に収集することを提案し、12 カ国、22 研究機関と連携して約 28 万の麦穂を集まった GlobalWHEAT データセットを構築、一般公開した (<http://www.global-wheat.com/>)。

### 4. おわりに

今後、遺伝子型、環境、表現型データや様々なデータを融合し、高度なモデル化をすることで、地球レベルでの気候変動が進む現在、将来でも適応性のある品種選抜の高速化、食料生産の安定化が可能となると考えられる。

# 農業ロボットの作り方

生物・環境工学専攻 准教授 海津 裕

## 1. 農業ロボットとは

農業を、自動車工場のようにオートメーション（自動化）したいという思いは、自動車の自動運転や宇宙旅行のように人類の夢の一つとして受け継がれてきた。現在、トラクタやコンバイン、田植え機などの農業機械が開発されたことにより、まったく機械を使わずに人手（出力 0.1 kW）で作業するのに比べて、100 馬力(74 kW)のエンジンを使用した機械では 740 人分という莫大な労力の削減が可能になっている。そのため、農業機械は大型化の傾向にある。一方で農業には、除草や水管理、剪定（せんてい）、収穫、管理など細やかな作業や、高度な判断が必要なために、機械化（自動化）されていない作業も多くあり、それらの負担が相対的に増加しており、これらに対応した小型農業ロボットの開発が望まれている。本発表では、私がこれまでに携わった移動ロボットの制御システムや足回りと動力について紹介する。

## 2. 農業移動ロボットの制御システム

農業ロボットを作るには、大きくわけて、1) 既存の農業機械を改造して、手動操作する箇所を信号やモーター（アクチュエーター）で電氣的に制御する方法、2) タイヤやモーター、バッテリー、制御装置を組み合わせで一から作る方法、がある。その際に最も参考になるのは、市販のラジコンカーである。ラジコンカーは、人間が送信機（いわゆるプロポあるいは TX）を操作し、その電波信号を受けた受信機（いわゆる RX）が ESC（電気速度調整機）やステアリングサーボモーターに標準的な電氣的信号（PWM）を伝えることによって、速度や操舵を行う。受信機から出る信号を制御コントローラからのものに置き換えてやれば、何らかの自動操作を行うことが可能となる。図 1 に簡単なシステム図を示す。かつては、制御コントローラにパソコンを使っていたためシステム全体が重く大きくなる恐れがあったが、近年では、ドローンに搭載するための小型で、省電力のコンピュータが開発され、移動ロボットの開発を容易にしている<sup>1)</sup>。屋外で自分の位置を知るためには、主に GNSS（全球測位衛星システム）が使われている。通常携帯電話などで用いられる

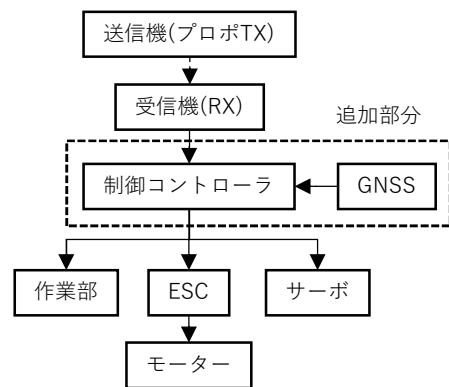


図1 基本システム構成図

GNSSは、誤差が1～3 m程度だが、それでは、農作業が求める精度には達していない。そこで、精度が数 cm の RTK-GNSS が用いられることが多い。

## 2. 農業ロボットの足回り

農業ロボットは、屋外の不整地で作業を行うため、それに適した足回りが必要となる。最もシンプルかつローコストな構成は、後ろの左右のタイヤを独立して駆動するものである（これを前輪としてもよい）。その場合、前輪（あるいは後輪）を自由に回転するキャスターとしたもの（図2）や、前輪が後輪とチェーンで繋がれており同じ回転をするもの（図3）がある。前輪がキャスターの場合は、回転時に地面を荒らさないが、段差の乗り越え性能が弱いという特性がある。また、さらにタイヤを増やし、6輪とすることで接地面を増やし、不整地に対応できるものや、クローラー（キャタピラ）タイプも選択肢として挙げられる。どのタイプを使用するかは、使用する場所、作業、傾斜等によって選択する必要がある。

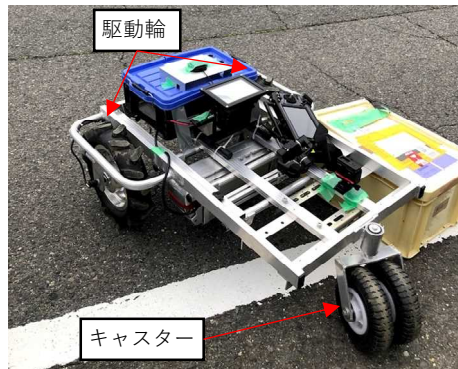


図2 左右独立駆動

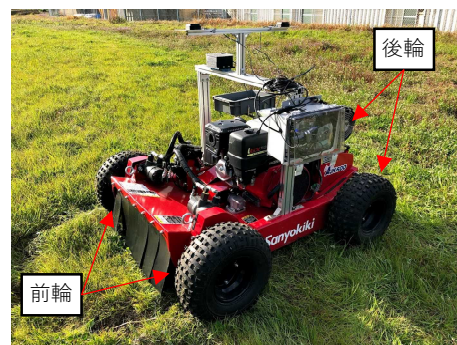


図3 左右独立駆動 前後輪直結

## 3. 農業ロボットの動力

農業ロボットは、主に屋外で、電源のない場所で用いられる。細かい制御が簡単にできるという点では電気を使うことが理想的だが、頻繁なバッテリーの交換は不便である。バッテリーとしては、鉛蓄電池やリチウムイオンバッテリーが用いられる。ラジコン用の LiPo（リチウムポリマー）電池は、大電流が出力でき、軽量だが、過放電や過充電により爆発の危険性がある。それに対して、LiFePO<sub>4</sub>（リン酸鉄リチウム）バッテリーは、放電電流が少ないが、発火しにくく、BMS（バッテリーマネージメントシステム）を内蔵している商品が多く、農業ロボットの動力として適している。バッテリー交換の不便さを解消するため、ガソリンエンジンによって油圧ポンプを回し、その回転数によって車輪の速度を制御する方式やエンジンで発電した電気を使ってモーターを動かすといった方式も採用されている。

### 参考文献

- 1) 海津裕. 木村匡臣. ArduPilotを利用した自律移動ボート（USV）の開発. 農業食料工学会誌. 83: 145-149. 2021.

# スマート農業とは何か？ -過去、現在、未来-

附属生態調和農学機構 特任教授 平 藤 雅 之

## 1. プロローグ

農業におけるコンピュータの導入は 1970 年代から始まったが、全国的にみると ICT（情報通信技術）の受容性は今でも低い。その一つの理由は、農業の担い手が年々高齢化しているためである。

1989 年、農業情報パソコン通信大会が土浦市民館で開催された。そこには、全国から農業に ICT を活用しようとする農業者や研究者等が集まり、会場は立ち見が出るほどの盛況であった。研究者の研究発表だけではなく、「青年部の集会に行っている間に、青色申告に使っていたパソコンを田んぼに捨てられた」、「出過ぎた釘は抜かれる」と若手農家、普及員、JA 職員の熱気あふれる発表が多数あった（図 1 -a）。この大会を契機に農業情報研究会が発足し、その後、農業情報学会と名称を変えて現在に至っている。



図 1 出版物のタイトルで見た農業 ICT の進展

この大会から 4 半世紀経過した 2014 年、農業情報学会 25 周年企画として、ハンドブックの出版が企画された。2014 年の時点でも「田んぼに息子のパソコンを捨てた親世代」は現役であり、経営権を有していた。モデムを使ったパソコン通信時代に比べてネットワークは高速になったが、高齢農業者にスマホを使ってもらうことさえ容易ではない。そのため、農業における ICT の普及は遅々として進んでいなかった。

農業者の数は減少し、高齢化は一段と進んだ。農業 ICT に関連するプロジェクト研究や研究費も減少し、ますます ICT の普及が進まないという悪循環があった。筆者が当時勤務していた農研機構内では、ICT 研究組織の解体・再編が急速に進み、ICT 研究の担い手の減少も懸念された。

この循環を断ち切るには、まず農業 ICT のコンセプトを分かりやすく伝えられるシンボリックな用語（バズワード）が必要であった。2014年、「スマート農業」はこの悪循環を断ち切るためのバズワードとして25周年記念出版物のタイトルに採用され、スマート農業のコンセプトが広く拡散された（図1-b）。

“スマート”とは、賢い、手際よいを意味する。「スマート農業」とは「スマート情報技術によって自律的に知的に制御される農業」と言える（永木正和,2014）と説明されている。それから5年経過した2019年、「スマート農業」はまだ陳腐化していなかったため、30周年記念として「新スマート農業」が出版された（図1-c）。

## 2. IoT、ビッグデータ、AI

栽培技術の改善、新品種の開発、農学の研究には、作物の生長に関するデータと生育環境のデータが大量に必要である。しかし、このようなビッグデータは簡単に得られない。このことがボトルネックとなっていた。そこで、気温、湿度、日射量等を計測する複数のセンサ、カメラ、中継機能のあるWi-Fiルータ、ファン（通風によって気温・湿度を正確に測定し同時に内部の冷却を行う）を一つの筐体に格納した、今でいうIoTデバイスの「フィールドサーバ」を開発した（図2）。

ICTの進歩とともに、フィールドサーバの機能とデザインも変化している。最近では、フィールドサーバの耐候性と強制空冷機能を活用して、クラウドサービスを行うNAS、高速計算用GPU、高解像度カメラ、複数の環境計測モジュール、3G/4G Wi-Fiルータが搭載されている。また、ソーラーキュービクル（ソーラーパネルをキューブ型に組み合わせることで設置を容易にした太陽光発電システム）によって、スケラブルに大電力が得られる。その結果、フィールドサーバは名実とともに「野外に設置するサーバ」となった。多数のフィールドサーバを高速無線回線（Wi-Fi 6、5G等）で接続することで、太陽エネルギー駆動の分散型マイクロデータセンターとなる。

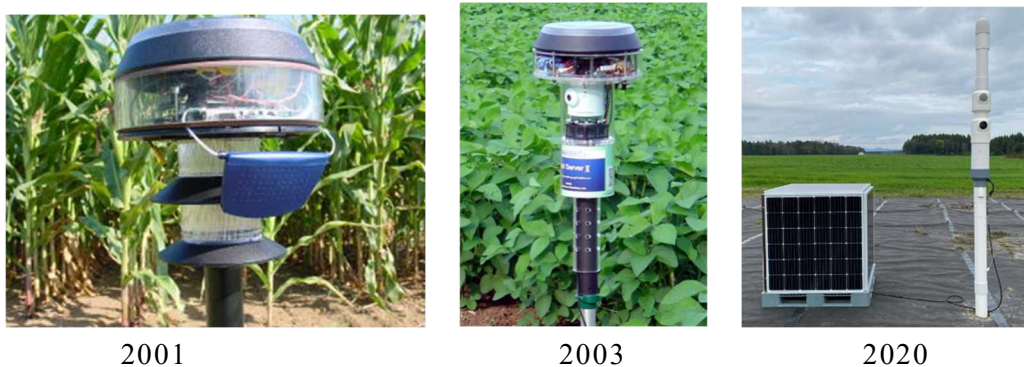


図2 フィールドサーバの進化



## プロフィール

かわばた さねゆき  
河 緒 実之

附属生態調和農学機構 生物・物質循環研究領域

### 主な研究活動

人口増加にともなう食料増産は、これまで農地面積の拡大と生産効率の向上により達成されてきました。しかし、従来の手法は持続的ではなく、いよいよその限界が見えてきています。農地を拡大せず高い生産性を発揮できる植物工場を、環境負荷のない持続的なシステムに変えていく研究に取り組んでいます。

かく い  
郭 威

附属生態調和農学機構 国際フィールドフェノミクス研究拠点

### 主な研究活動

東京大学大学院農学生命科学研究科博士課程修了。博士（農学）。農業情報学、植物フェノミクスを専門としています。ドローンやロボットを利用したフィールドセンシング技術、画像処理、機械学習を用いたハイスループット・フェノタイピングアルゴリズムの開発及び農業への応用に関する研究を取り込んでいます。

かいづ ゆたか  
海 津 裕

生物・環境工学専攻 生物機械工学研究室

### 主な研究活動

農業や自然環境、食糧生産に関わる様々な課題をロボット技術を用いて解決することをテーマとしています。特に、草取りや除草の自動化に関心を持っており、田んぼや畑の畦（あぜ）や法面（のりめん）の除草、田んぼや畑の中の草取り、さらに川や湖での水草の管理を主に自動で行う装置の開発を行っています。

ひらふじ まさゆき  
平 藤 雅之

附属生態調和農学機構

### 主な研究活動

第2次 AI ブーム（40年前）から農業における人工知能を研究しています。また、植物などを複雑系として解析しモデル化する研究、閉鎖生態系（放射線を防御し酸素・水をリサイクルする土壌栽培型宇宙農場）、圃場のデータを自動収集し得られたビッグデータを AI で解析するフィールドサーバ等の開発をしています。