農業・植物フェノタイピング研究における映像技術の利用

岡 安 崇 史[†]

キーワード：情報通信技術，深層学習，表現型，高速植物フェノタイピング，植物体の運動計測，RGB-Dセンサ

1. まえがき

農業生産は，天候，地形，田畑の状態，市況などによって大きな影響を受けます。今冬は野菜の価格が非常に高騰しましたが，これは昨秋の天候不順が主な原因と言われています。加えて，昨今は異常高温，大雨，日照不足，冷夏などの異常気象が多発しており，熟練農家でも安定した農業生産活動を行うことが難しくなっています。このような状況から，気温，湿度，日射量等の気象環境情報は，植物の生育や品質を左右する極めて重要な情報であり，さまざまなセンサを搭載したモニタリング装置を用いて計測することで，栽培管理の改善などに役立てられるようになってきています。

一方，農家は長年にわたって培った経験と勘により，植物の生育状態を瞬時に診断し，植物の成長に有効な環境条件の確保や水，施肥，害虫駆除等の管理作業の最適化を行っています。このような能力は継承することが難しく，農業就業者人口が急速に進む我が国においては農業技術の継承は極めて重要な研究テーマとなっています。斯様な状況の中，情報通信技術（ICT）は農業生産技術の高度化のための技術として注目されており，今後ますます利活用が進んでいくものと考えます。その一つが，植物フェノミクス¹⁾への応用です。植物フェノミクスとは，植物の形態，構造，行動，生理的性質（表現型あるいはフェノタイプと呼ぶ）を遺伝子型と環境応答性の両面から詳しく調べ，新品種の開発や栽培技術の高度化などに役立てようとする研究分野です。世界的な人口増加によって食料の持続的生産に向けた取組みも各国で行われる中，本研究は非常に期待されています。

例えば，植物の生育評価や診断を行う場合を考えてみま

[†]九州大学 大学院農学研究院 環境農学部門 農業生産システム設計学研究室
"Application of Image Information in Agriculture" by Takashi Okayasu
(Laboratory of Agricultural Machinery and Production Systems Design,
Department of Agro-environmental Sciences, Faculty of Agriculture,
Kyushu University Kyushu University, Fukuoka)

しょう。従来は，植物の花，果実，葉等の色，形や大きさなどの変化を人の目で詳しく観察することにより，遺伝子型や環境変化に対する植物の応答性を調べていました。しかしながら，植物の成長は，遺伝子型のみならず，栽培環境の僅かな変化にも敏感に反応するため，関連因子を網羅的に把握することは非常に難しく，生育評価・診断には今なお多くの時間とコストが掛かっています。

一方，本問題をICTの積極的利用によって克服しようとする動きも出てきました。それが，植物成長と環境因子の関係分析を網羅的かつ高速に行う高速植物フェノタイピング（High-throughput plant phenotyping）と呼ばれる研究です。この研究の主要技術の一つがまさに映像技術であり，さまざまな機器や技術の研究・開発にも支えられ，計測の高速化と高精度化が急速に進んでいます。図1はドイツ・フライジング市内にあるバイエルン州立農業研究センターで実際に導入されている大型のフェノタイピングシステムです。栽培実験用の植物は，数10cm角の栽培ポットに植

図1 整然と並ぶ栽培ポット(上)，撮影ボックスへ自動搬送される栽培ポット(左下)，撮影中の栽培ポット(右下)

えられ、水分や肥料などが与えられた条件に一致するようにすべてコンピュータで制御・管理され栽培されていました。各栽培ポットの植物の生育特性は、映像技術を利用することによって、画像情報や特徴量データとして計測・蓄積され、環境変化に強い耐性を有する植物の育種や新たな栽培管理技術の開発に使われています。

本稿では、農業や植物フェノタイピングにおける映像技術の利用方法について、自身の研究内容も含めながら紹介します。

2. 農業における映像技術の利用

図2は著者らが製作した圃場環境計測装置を示しています。この装置はRaspberry Piと呼ばれるカード型コンピュータ、気象センサおよびカメラモジュールから構成されます。実証実験では、ハウス内の気象環境情報とコマツナの草高（植物の高さ）を定期的に計測しました。コマツナの草高は取得した画像内のスケールから直接計算することが可能です。植物の成長は気温の変化と相関がある場合が多く、その関係を調べることによって植物の成長をある程度予測することが可能となります。図3に平均気温の積算値とコマツナの草高の関係を示します。この結果から、コマツナの成長は平均気温の積算値と線形関係があることがわかります。つまり、このグラフから収穫日がある程度推定することができるというわけです。このような情報は1件の農家のものだけでは十分な成果を得られませんが、地域全体のデータが得られれば、地域の収穫期マップや栽培面積のデータを加えた収穫量の推定が可能になるだけでなく、収穫期の分散管理など新たな栽培管理技術の開発にも活用できるのではないかと期待されます。

他方、農学分野の研究でもディープラーニング（深層学習）やAI（人工知能）という言葉をよく耳にするようになりました。著者らが現在実施中の農水省の研究プロジェクトでもディープラーニングを用いた画像解析技術の実証実験を行っています。図4は定期的に撮影したイチゴの生育画像から花や果実の数、果実の成熟度、葉の繁茂状態などの生育特徴量を自動推定するシステム（図中のシステムは九州大学との共同研究としてキャノンITソリューションズ（株）が開発しているものです）の一例を示したものです。さまざまな条件の下で撮影された花や果実の画像を機械学習して生成された検出器を用いることにより、花や果実の抽出のみならず、果実の成熟度の判定が瞬時に行えるようになりました。実証実験では、まず、ハウス内に設置した高画質カメラを用いて、定期的にハウス内数十カ所のイチゴの生育画像を自動撮影します。これらの画像はすべてサーバに転送され、同時に前述した検出器により生育特徴量が自動推定される仕組みとなっています。得られた生育特徴量はタブレットやスマートフォンなどを使って、いつでも・どこでも・簡単に確認できるため、農家はイチゴの

図2 圃場環境モニタリング装置(左)と草高計測用マーカの設置状況(右)

図3 積算平均気温とコマツナの草高の関係

生育状態をより詳しく把握することができます。現在、複数の農家圃場において実証実験を行っています。農家からは、「花・果実の数と葉の繁茂状態などからイチゴの生育状態をより詳しく把握できるようになった」との評価を得ています。今後、高精度化やアプリの改良・拡張を行うことにより、栽培管理の意思決定支援や収穫時期・量の予測などに役立てられるシステムとしての完成を目指してさらなる研究を進めていきたいと考えています。

3. 植物フェノタイピングにおける映像技術の利用

植物は、外的なストレスを受けると葉や茎などのさまざまな器官に変化を生じさせます。例えば、植物への水やりを忘れて、植物体内の水分が少なくなると、葉の萎れが発生します。これは水ストレスに対する植物体の反応であり、植物体の運動として目視できます。このような外的なストレスに対する応答以外にも、植物の成長などゆっくりとした植物体の形質変化も運動として観察できるはずです。このような植物体の運動を詳しく観察する方法として画像情

図5はRaspberry Piに可視光カメラと赤外線カメラの二つを取り付けた生育画像撮影装置の構成(図5上)と計測実験の様子(図5下)を示したものです。この装置を栽培中のトマト植物1個体の上方に取り付け、植物の生育画像を30分間隔で撮影しました。今回は、昼夜の植物体の運動計測を一貫して行うことを目的に赤外線画像を採用し、Lucas-Kanade法に基づくOptical flowにより一連の生育画像から植物体の運動を抽出²⁾しました。また、植物体が風などで動いたりしないように、簡易のビニールハウス(2m×2m×2m)

他方、植物の高さ(草高)や葉の向きや面積などの情報も植物フェノタイピングでは必要となります。このため、従前よりステレオビジョン⁴⁾などの映像技術が利用されてきました。最近では、RGB-Dカメラと呼ばれる可視光画像に加えて、深度(Depth)画像も一度に取得できる安価なカメ

図7 植物体運動の時系列変化

図8 Kinect センサによるコマツナの草高の変化

ラが販売されたことで、より簡単に2.5D画像を撮影できるようになりました。著者らはMicrosoft社からゲーム機用コントローラとして開発・販売されていたKinectセンサver. 2.0を用いて、植物の2.5D画像撮影⁵⁾を行いました。Kinectセンサには可視光と赤外線のカメラが内蔵されており、対象物までの距離はToF (Time of Flight) と呼ばれる技術を用いて計測されます。ただ、取得された深度情報には、対象物表面における外部光の反射と照射光との干渉によるノイズが含まれており、このままで深度情報を精度よく計測できません⁶⁾。このため、同一対象物の深度情報を複数回測定し平滑化したものを実際には利用しています。その結果、室内実験の結果ではありますが、深度に関しては0.7 mm程度、面積(対象物との距離を800~1200 mmと変化させた場合)に関しては7%程度の誤差で計測が行える

ことを確認しました。Kinectセンサによるコマツナの草高を計測した結果を図8に示します。本図からコマツナの日々の成長や光強度の違いによる成長速度の差異を確認することができました。ただ、コマツナAについては成長が非常に悪く、深度計測が失敗したため計測できませんでした。他にも、RGB-D画像はパプリカの草高計測と成長解析にも適用されています⁷⁾。

以上のように、植物の生育状態を数値的に評価できるようになれば、植物の育種や栽培管理技術の改善に役立つものと期待されます。

4. むすび

本稿では、農業や植物フェノタイプ研究への映像技術の利用について紹介しました。映像技術は日々進化を続けていますので、これらの分野でも今後ますます映像技術の利用が進んでいくものと考えています。その一方で、保存・蓄積される映像情報は急速に増加しており、有益な映像情報の選抜・保存技術や情報の可逆圧縮技術などの検討も必要となっています。

謝辞 本稿で紹介した研究は科研費基盤A (15H01695)、基盤C (15K07677)、革新的技術開発・緊急展開事業(うち地域戦略プロジェクト) (16822352)の支援により実施したものです。ここに記して謝意を表します。(2018年1月19日受付)

〔文 献〕

- 1) 大政謙次: “植物機能リモートセンシング-植物診断, フェノミクス研究への応用”, Eco-Engineering, 26, 2, pp.51-61 (2014), https://www.jstage.jst.go.jp/article/seitaikogaku/26/2/26_51/_pdf/-char/ja
- 2) A.P. Nugroho, T. Okayasu, A. Sakai, E. Inoue, Y. Hirai, M. Mitsuoka, L. Sutiarto: "Automatic leaf motion analysis using optical flow to diagnose plant behavior in response to environmental changes", Proceedings of International Symposium on Machinery and Mechatronics for Agriculture and Biosystems Engineering (ISMAB), pp.848-853 (2016)
- 3) 柴田 瞬, 峰野博史: “Optical Flowを用いた植物萎れ具合の推定”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2016) シンポジウム論文集, pp.66-72 (2016), https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/?action=repository_uri&item_id=177113&file_id=1&file_no=1
- 4) Y. Kanuma, K. Ganno, S. Hayashi and O. Sakaue: "Leaf area measurement using stereo vision", Proc. of the 3rd IFAC/CIGR workshop on Artificial Intelligence in Agriculture, pp.157-162 (1998)
- 5) 境淳成, 岡安崇史, 吉永 崇, 有田大作, 三好悠太, 北野雅治, 井上英二, 平井康丸, 光岡宗司: “RGB-Dセンサを用いた植物体情報の計測とその精度評価”, 農業食料工学会九州支部誌, 64, pp.15-20 (2015)
- 6) 松本一紀, ドゥッソルビエフランソワ, 斎藤: “RGB-Dカメラから取得した3次元点群の平面フィッティングを用いた実時間ノイズ低減と補間”, 映像学誌, 69, 3, pp. J113-J120 (2015)
- 7) 黒崎秀仁, 梅田大樹, 岩崎泰永: “Kinectを用いたパプリカの草高計測と成長解析への適用”, 植物環境工学, 29, 4, pp.130-138 (2017), https://www.jstage.jst.go.jp/article/shita/29/4/29_130/_article/-char/ja

おがやす たかし
岡安 崇史 1999年, 九州大学大学院農学研究科農業工学専攻博士課程修了。九州大学ベンチャービジネスラボラトリー非常勤講師, 九州大学大学院農学研究科助教, 同准教授を経て, 現在に至る。計算力学, スマート農業等に関する研究に従事。博士(農学)。