

画像センシングと機械学習技術を活用した植物フェノタイピング

郭威

東京大学大学院農学生命科学研究科附属生態生態調和農学機構

1. はじめに

今後深刻化が進む食料問題に対応するためには、革新的な作物育種開発と栽培技術の高度化が不可欠となる。そのためには、作物のジェノタイピング（ゲノム解析）とフェノタイピング（表現型解析）を平行して加速化させることや、作物生育状況の的確な把握が必要となる。この数年の高速シーケンサの発達によるゲノム解析の革新的な高速化は、大量の遺伝情報の生成を可能にし、さまざまな植物ゲノム配列情報が解明されてきた。しかし、フェノタイピングについては、多くの場合対象作物に対する破壊的な試験が必要なことや、試験に多大な人力を要することが研究開発のボトルネックとなっている。そのことは、とりわけ野外圃場で顕著である。本講演では、野外の圃場における計測への適用例を中心に、異なる生育期間に対するハイスループット植物フェノタイピング（High-Throughput Plant Phenotyping, HTP）技術を一例ずつ紹介しながら、その現状と課題について述べる。

2. ハイスループット植物フェノタイピング

植物の表現型計測をハイスループット化するには、画像センシングと機械学習を組み合わせた技術が非常に有効である。多様な画像センサーを異なる機材、例えば固定プラットフォームフォーム、移動ロボット、トラクター、無人航空機（Unmanned Aerial Vehicle: UAV、通称ドローン）に搭載することで、室内・野外を問わず大量の画像データを取得・解析できる。

種子の HTP は、主に収穫後の収量や品質の調査の際に利用される。計測の一般的な流れは、画像取得、種子と背景の分離、種子の抽出、種子の形態計測、結果出力となる。画像取得は主に室内で行われるが、光源の変化に対する頑健性と、互いに繋がりや重なりが生じてしまう種子の分離が主要な課題として挙げられていた。ただ、画像解析という視点から見ると難易度は低く、既に野外でも使えるいくつかのツールが開発されている。

発芽直後あるいは移植直後の幼植物の HTP は、地上台車/ロボット（自律走行や手押し式）や無人飛行機を利用して、二次元画像解析より発芽率、個体数や初期成長の活性などの計測が多く報告されている。一般的な解析の流れは、

種子の HTP と大きく変わらないが、個体を分離する際に、光条件の変化の他に、個体間や個体と雑草間の重なりが非常に難易度の高いセマンティックセグメンテーションの課題となっている。特に作物と雑草の区別については、未だに有効な手法がない。なお、圃場栽培を基にした HTP での三次元点群の再構築と詳細な計測技術も報告されつつあるが、異なる測量機器間での結果の比較や、環境の影響、特に風による影響への対策が課題となっており、今後の計測技術の発展に期待したい。

栄養成長期の植物に対する HTP は、圃場栽培の場合には群落レベルで行われる。一般的な流れとしては、画像取得、植物領域の抽出、対象形質の計測・評価となる。対象形質として、植被率、病害やストレスの程度について、既に多くの手法が開発され、HTP の有効性が示されている。しかし、植物群落の高さの計測は未だ開発段階であり、残された課題がある。地上台車/ロボットの場合は、どちらの手段を用いても、良い精度が得られることが分かったが、無人航空機の場合にはカメラの解像度にも大きく依存する。SfM を実行する際の基礎パラメータとなる局所特徴量計算法と初期設定（特徴点の数、特徴点マッチングの方法など）、カメラ内部パラメータ初期設定、密な点群を生成するためのアルゴリズムなどについて、試行錯誤することで最適な設定を探して利用してきたが、今後は、こうした設定の自動化についても、さらなる研究が必要と考えられる。

生殖成長期の HTP の主な対象形質は、開花時間、穂や果実の数、成熟度などが挙げられている。栄養成長期の HTP と異なり、対象物の抽出ではなく、対象物の検出と認識が問題になり、検出と認識のためのモデル構築が課題となる。また、個体間等の重なりも、問題となる。例えば、育種圃場において、穀物の出穂の認識と検出を行った場合、異なる光条件、出穂期間、品種・系統、穂同士の重なり等により、画像を通して捉えられる穂の色、サイズ、形が変化するため、高度な機械学習の技術が必要となる。現在では、急速に発展しつつある深層学習も検出・識別モデル構築の手法として注目されている。深層学習では、十分な数のトレーニングデータがあれば、より高い精度で HTP にも貢献できるが、圃場植物を対象とした深層学習のためのトレーニングデータセットを効率的に構築が課題として残っている。