

UAV 空撮画像と機械学習を用いた水田後期ヒエ類発生推定の試み

○佐々木 航・渡邊 修・叶 戒玲(信州大農)

1. はじめに

水田雑草の管理は水稻生産における重要な課題であり、特にヒエ類は生育後期においても繁茂し、収量や品質を著しく低下させる大きな要因となる。さらに、ヒエ類はシードバンクを介して翌年以降の発生動態にも影響を及ぼすため、発生状況を正確に把握することは、防除策の立案に直結する。しかし、従来の雑草の達観調査は、観測者の経験や主観に依存し、労力と時間を要するため、省力的かつ客観的に雑草発生を把握できる技術の確立が求められている。近年、UAV (Unmanned Aerial Vehicle) は農業分野で活用され、雑草発生モニタリングへの応用も期待される。そこで本研究では、UAV を用いた機械学習により、水田における後期ヒエ類の発生状況の推定を試みた。

2. 方法

長野県伊那市の計 291 枚の水田圃場において UAV (Mavic 3 Multispectral, DJI 社) を用い、8 月に週 1 回の頻度で、計 4 回の空撮を行った。雑草発生状況は 8 月 20 日に実施した達観調査により評価した。調査対象とした雑草は、圃場内で水稻よりも草高が高く、目視によって確認可能なヒエ類である。雑草の発生状況は 4 段階に区分し、ヒエ類が確認されなかった場合を「雑草なし」としてクラス 0、確認された場合を「雑草あり」とし、被度 $\leq 25\%$ をクラス 1、被度 $\leq 50\%$ をクラス 2、被度 $> 50\%$ をクラス 3 と定義した。マルチスペクトル画像から植生指数 (NDVI, GNDVI, NDRE) を圃場ごとに算出し、各指数について、8 月の時系列データから最大値、範囲、標準偏差を特徴量として抽出し、これらを説明変数、雑草発生状況のクラスを目的変数とした。得られたデータをもとに、Random Forest (RF)、Extreme Gradient Boosting (XGBoost)、Support Vector Machine (SVM)、ロジスティック回帰を用いて分類モデルを試作した。モデルの評価は精度に加え、正則化の効果の検証や、偽陰性・偽陽性に関するエラー分析を実施し、さらに各モデルにおいて重要な特徴量を抽出した。また、過学習を抑制するためにハイパーパラメータの調整を実施した。

3. 結果と考察

クラス 0~3 の 4 分類を試みたが、モデルの精度は十分には得られなかった。特にクラス 1~3 については、それぞれのサンプル数が 58, 37, 28 枚と少なく、学習に必要な十分なデータ量を確保できなかったことが主な要因と考えられる。そこで、本研究ではクラス 1~3 を統合して「雑草あり」と定義し、クラス 0 の「雑草なし」と合わせた 2 クラス分類を実施した。2 クラス分類において最適なモデルはランダムフォレストであり、「雑草なし」の精度は、precision:0.72, recall:0.78, F1 スコア:0.75、「雑草あり」の精度は、precision:0.67, recall:0.59, F1 スコア:0.63 であり、全体の正解率は 0.70 であった。他のモデルでは誤判定が多すぎるなどの極端な性能を示したのに対し、ランダムフォレストは両クラスに対して比較的バランスの取れた予測を示した。重要な特徴量として、8 月 20 日の NDVI 最大値、8 月 14 日の NDVI 標準偏差、8 月 20 日の GNDVI 最大値が抽出された。水田圃場全体の植生指数は稲の登熟に伴い低下する一方で、ヒエ類は依然として青々とした状態を維持していた。そのため、雑草発生状況が深刻な圃場では生育後期における植生指数の最大値が高くなり、これらの指標が重要な特徴量として選択されたと考えられる。一方で、8 月 14 日の NDVI の標準偏差は、「雑草なし」クラスが「雑草あり」クラスよりも有意に大きい値を示した ($p < 0.001$)。予想された「雑草混在による植生指数のばらつきが増加」とは逆の結果が得られた。これは、雑草あり圃場ではヒエ類が水稻とともに生育することで被度が均質化し、空間的ばらつきが抑えられた可能性が示唆される。したがって、植生指数の標準偏差は単純な雑草量の指標ではなく、水稻と雑草の相互作用を反映した総合的な特徴量である。本モデルの課題は、「雑草あり」クラスの recall が 59% に留まった点である。エラー分析の結果、実際にはクラス 1 に属するサンプルが「雑草なし」と誤判定される傾向が強く示された。今後クラス 1 のサンプルを増やすことで、判別境界を学習し、精度向上が期待できる。本手法の応用例として、収穫時にヒエ類による汚染を防ぐために雑草の少ない圃場から優先的に刈り取る、あるいは次年度の栽培計画で重点的に防除する対象を抽出することが考えられる。

更に本研究の先行研究により、雑草発生状況は UAV を用いた水稻の収量予測にも影響しており(未発表)、本研究で示したような雑草発生推定モデルへの展開により、単一の UAV による多面的な情報収集と解析が期待される。これにより、持続的な水稻生産への貢献を目指す。