

	夕べ ダイ
氏 名	田邊 大
本籍（国籍）	岩手県
学位の種類	博士（農学）
学位記番号	連研 793 号
学位授与年月日	令和 3 年 3 月 2 3 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当課程博士
研究科及び専攻	連合農学研究科 地域環境創生学
学位論文題目	無人航空機（UAV）と人工知能（AI）を用いたバレイショの収量予測に関する研究（Research on potato yield prediction using unmanned aerial vehicles and artificial intelligence）
学位審査委員	主査 山形大学教授 片平 光彦 副査 張 樹槐(弘前 教授),折笠 貴寛(岩手 准教授),小林 隆(山形 准教授)

論文の内容の要旨

現在我が国では、農業従事者の高齢化、減少や篤農技術の途絶、耕作放棄地の増加、畑作物の作付面積、単収の減少や不安定化が問題となっている。これらの諸問題に対して、ICT 技術を応用したスマート農業による効率化や、耕作放棄地での畑作物栽培の振興といったことが行われている。本研究では、UAV とマルチスペクトルカメラを基にしたリモートセンシングシステムを構築し、それによって得られた生育期間中のセンシングデータと収量データからバレイショの収量を予測するための CNN モデルを構築し、その精度評価を行った。

モニタリングシステムは大型産業用マルチコプター（DJI, S900）とマルチスペクトルカメラ（Tetracam, Micro MCA RGB+3）を組み合わせて構築した。実験作目はバレイショで、品種が 2017 年と 2018 年にトヨシロ、2019 年に男爵薯をそれぞれ供試した。撮影した画像はマルチスペクトルカメラ画像の合成、オルソモザイク画像の合成、植生指数の算出、およびマッピング、輝度調整を行った。植生指数は NDVI（正規化差分植生指数）を用いた。バレイショの生育期には生育調査を行い、収穫期には収量調査を行った。AI による収量予測モデルは、2018 年が CNN を用いた画像の分類による収量予測モデル、2019 年が CNN を用いた画像の回帰による収量予測モデルをそれぞれ構築し、比較として生育データを基にした回帰分析を行った。学習に用いた画像データは各空撮画像内の調査プロット部分をトリミングし、データ拡張して供試した。データセットは 2018 年が 1 t/10a 刻みで画像群をクラス分けし、2019 年が画像とプロットの収量を紐づけする構造とした。CNN の精度は 2018 年が正解率、2019 年が予測値と実測値の相関で評価した。

本モニタリングシステムは 2017 年にバレイショ栽培で導入した結果、空撮画像からバレイショの植被の増大、開花の度合いといった生育状況をモニタリングすることができた。また、空撮画像から算出した NDVI 値と SPAD 値は黄化によっ

て生育の後半で減少し、両者に相関が見られた。また、黄化期には二次成長による NDVI のばらつきがみられ、本モニタリングシステムがバレイショ地上部のクロロフィル量を推定することに使用できることが分かった。収量調査の結果、規格内品が 2863 kg/10a、規格外品が 1984 kg/10a となった。また、バレイショの収量は開花期の NDVI 値と負の相関が見られた。以上のことから、構築したモニタリングシステムはバレイショ栽培におけるセンシングデバイスとして有用であることが分かった。

2018 年にはモニタリングシステムで得られた空撮画像から収量を予測する CNN モデルを構築するために、施肥条件を A~F の 6 段階 (A:10+2 kg-N/10a, B:10 kg-N/10a, C:6+2 kg-N/10a, D:6 kg-N/10a, E:2+2 kg-N/10a, F:2 kg-N/10a) に設定したバレイショほ場でバレイショの栽培実験を行い、空撮画像情報とバレイショ収量データから、CNN を用いた画像の分類による収量予測モデルを構築し、その精度評価を行った。施肥条件が異なる処理区間では、萌芽の違いや植被の違いが明瞭で、草丈、全重、植物体乾物重葉施肥量に比例して増大する傾向があった。これらの調査項目と NDVI は決定係数 R^2 が 0.58, 0.24, 0.41 で相関が見られた。トヨシロの収量は施肥量に比例しない傾向があった。バレイショの収量予測では、生育期と開花期の草丈と NDVI 値を説明変数、収量を目的変数とした重回帰分析で、バレイショ収量を高い精度で予測できた。CNN による収量予測モデルは、データセットのクラス間でのサンプルの不均衡や過学習によって予測精度が低かった。

2019 年も同様の栽培試験を行い、モニタリングシステムで取得した空撮画像情報とバレイショの収量データから、Fine tuning を実装した CNN を用いた画像の回帰による収量予測モデルの構築と精度評価を行った。草丈と分枝数は、異なる処理区条件によって差が出る傾向があり、莖数には影響しなかった。また、バレイショ収量は施肥条件に比例して増大した。説明変数を開花期の草丈、目的変数を収量とした単回帰分析の結果、決定係数 R^2 が 0.44~0.80 と高い精度で予測できた。対して CNN を用いた画像の回帰による収量予測モデルでの男爵薯収量の予測値は、決定係数 R^2 が 0.82~0.94 の範囲にあり、画像分類手法を用いた CNN や単回帰分析を用いた手法よりも精度を改善できた。さらに前年度のトヨシロのデータを適用させた結果、生育期、開花期の各生育ステージで重回帰分析よりも高精度で収量予測できた。したがって、CNN を用いた画像の回帰によるバレイショの収量予測は着蕾期や開花期の追肥で収量の改善に繋げることができる。

論文審査の結果の要旨

本研究は、UAV とマルチスペクトルカメラを基にしたリモートセンシングシステムを構築し、そこで得られた RGB 画像からバレイショ収量を予測する人工知能 (AI) の CNN モデルを新たに開発し、その予測精度を評価した。

1. UAV とマルチスペクトルカメラを組み合わせたモニタリングシステムを構築し、バレイショ栽培でのリモートセンシングを行った。開発した UAV によるモニタリングシステムは、空撮 NDVI 画像から、萌芽の進行や生育に伴う植被の増大、開花の度合いといったバレイショの生育段階の違いが確認でき、センシングデバイスとして有用といえる。

2. 施肥条件を6段階に設定したバレイショほ場で2018年に栽培試験を行い、UAVで取得した空撮画像情報と収量データから、CNNを用いた画像の分類による収量予測モデルの構築と精度評価を行った。バレイショほ場（品種：トヨシロ）のセンシングによる収量予測は、生育期と開花期の草丈とNDVI値を説明変数、収量を目的変数とした重回帰分析の予測精度が高かったが、CNNによるモデルはデータセットのクラス間でのサンプルの不均衡や過学習によって予測精度が低くなった。

3. 2019年に前項と同様のバレイショの栽培試験（品種：男爵）を行い、UAVで取得した空撮画像情報と収量データから、CNNを用いた画像の回帰による収量予測モデルの構築と精度評価を行った。CNNを用いた画像回帰による男爵薯の収量予測モデルは、決定係数R²が0.82~0.95の範囲にあり、草丈を説明変数とした単回帰分析よりも精度が高かった。同様にCNNを用いた画像の回帰モデルでのトヨシロ収量の予測値は、決定係数R²が0.88~0.94の範囲にあり、画像分類や重回帰分析を用いた手法よりも精度を改善できた。

4. CNNを用いた画像の回帰によるバレイショの収量予測モデルは、各生育ステージで従来の重回帰分析よりも高精度で収量予測できるため、着雷期や開花期の追肥で収量の改善に繋げることができる。

以上の研究は、中山間地の畑輪作体系作でのバレイショ栽培の生産性を改善する高度な収量予測システムとしてUAVと人工知能（AI）をプラットフォームとして検討したものであり、今後のスマート農業における人工知能の社会実装に寄与する基礎的研究として極めて価値が高いといえる。

よって、本審査委員会では、「岩手大学大学院連合農学研究科博士学位論文審査基準」に則り審査した結果、本論文を博士（農学）の学位論文として十分価値のあるものと認めた。

学位論文の基礎となる学術論文

主論文

1. 田邊大, 市浦茂, 中坪あゆみ, 小林隆, 片平光彦 (2020)

無人航空機 (UAV) と人工知能 (AI) を利用したバレイショの収量予測のためのモニタリングシステムの開発 (第1報)

農業食料工学会誌 82 (4) : 339-346

2. 田邊大, 市浦茂, 中坪あゆみ, 小林隆, 片平光彦 (2020)

無人航空機 (UAV) と畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を利用したバレイショの収量予測

農業食料工学会誌 82 (6) : 624-635

参考論文

1. 佐藤麻衣, 田邊大, 進藤勇人, 中川進平, 齋藤雅憲, 片平光彦 (2020)

日本海側水田転換ほ場での土壌物理性の変化と露地野菜の機械化作業体系
農作業研究 55(1) : 23-33

2. Dai TANABE, Shigeru ICHIURA, Ayumi NAKATSUBO, Takashi KOBAYASHI, Mitsuhiko KATAHIRA (2019)

Yield Prediction of Potato by Unmanned Aerial Vehicle

7TH International Conference on Trends in Agricultural Engineering : 540-546