

氏名（本籍）	MUHAMMAD IQBAL HABIBIE（インドネシア）		
学位の種類	博士（生物資源工学）		
学位記番号	博 甲 第 9690 号		
学位授与年月日	令和 2 年 9 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査研究科	生命環境科学研究科		
学位論文題目	Satellite Remote Sensing and GIS-based Land Suitability Assessment: A Machine Learning Approach for Yield Prediction of Maize (衛星リモートセンシングと GIS を用いた土地適性評価： トウモロコシの収量予測のための機械学習アプローチ)		
主査	筑波大学准教授	博士（農学）	トファエル アハメド
副査	筑波大学准教授	博士（農学）	野口 良造
副査	筑波大学教授	博士（農学）	松下 秀介
副査	筑波大学教授	博士（農学）	江前 敏晴

## 論 文 の 要 旨

インドネシアにおけるトウモロコシ生産は、気候変動の影響を受けやすく、旱魃に対して脆弱である。そのため、地域の食糧安全保障を確保するためには、旱魃が発生しやすい地域での、土地適性評価や収量予測が求められる。本論文の目的は、インドネシアにおいて旱魃が発生しやすい地域を対象として、衛星リモートセンシングによる地理情報システム（GIS）のためのデータセットから、多基準法システムとディープラーニングによる機械学習アプローチを用いて、トウモロコシ生産の収量予測と土地適性評価を行う意思決定支援手法を開発することにある。

著者は、第一章において、地区レベルでのトウモロコシ生産のための土地適性評価を行った。土地適性評価のための土地参照データは、農民や行政へのインタビューによる現地調査から得た。土地適性評価は、道路からの距離、河川からの距離、傾斜度、土地利用土地被覆（LULC）、標高、土壌の種類、正規化植生指数（NDVI）、土壌調整植生指数（SAVI）、地表面温度（LST）を用いて行った。得られた土地適性評価の結果は、国際連合食糧農業機関（FAO）の土地適性評価に基づき、4つのカテゴリーに分類した。その結果、高度適地が 64.90%（125,216 ha）、中度適地が 30.4%（58,828 ha）、限界適地が 4.50%（8,603 ha）となった。また、過去 5 年間の衛星リモートセンシングデータによる NDVI ( $R^2=77.81\%$ )と SAVI ( $R^2=72.8\%$ )を用いて、トウモロコシの収量予測モデルの開発を行い、在庫計画を考慮した収量予測の可能性を示した。

著者は第二章において、地区レベルから規模を拡大し、東ジャワ中部の地域レベルでの土地適性評価を行った。東ジャワ中部の地理的不均質性を考慮し、旱魃が発生しやすい地域におけるトウモロコシ生産の適性分類と特定地域分類を行った。規模拡大における土地適性評価は、地区レベルでの土地適性評価の項目に土壌の pH、降水量（SPI）を加え、多基準法と階層分析法（AHP）を用いて行った。その結果、東ジャワ中部の旱魃が発生しやすい地域では、高度適地が 40.26%（477,571 ha）、中度適地が 30.82%（365,606 ha）、限界適地が 21.89%（259,693 ha）であることが示された。

著者は第三章において、インドネシアの複数の県における正規化された収量データを用いたランダムフォレスト機械学習アプローチによって、特定地域でのマイクロレベル分類を行い、得られた検証データから、土地適性評価の拡張を行った。その結果、Gresik 県の 3 村、Malang 県の 52 村、Mojokerto 県の 4 地区、Sidoarjo 県の 3 村、それぞれがトウモロコシ生産に不適であり、旱魃の影響によってトウモロコシの生産量が減少していることが明らかとなった。提案された機械学習アプローチによって、時系列データセットから正規化されたトウモロコシ生産収量に

もとづいて、旱魃が影響を与えるトウモロコシ生産圃場の特定地域分類を可能とした。

著者は第四章において、10 m 分解能を有する Sentinel II dataset を用いた正規化水指数 (NDWI) に対するディープラーニングによって、異なる生育段階における旱魃の影響を判断できる機械学習アプローチの拡張を行った。また、NDWI を用いた水ストレスによって、トウモロコシの生育に対して、深刻度が高い旱魃、深刻度が中等度の旱魃、深刻度が低い旱魃の3つを分類した。さらに、畳み込みニューラルネットワークとリアルタイムオブジェクト検出アルゴリズムである YOLO を用いてモデルを生成し、機械学習アプローチのためのトレーニングデータセットとテストデータセットを構築した。その結果、トウモロコシ生産の収量予測や土地適性評価に対して、十分な精度で利用できることが明らかとなった。

以上から、本論文では、衛星リモートセンシングデータ、多基準法とディープラーニングによる機械学習アプローチによる統合モデルを用いて、インドネシアにおけるトウモロコシ生産での水ストレスと旱魃の影響について明らかにした。開発された土地適性評価のモデルは、インドネシアの食糧安全保障を確保するために、土地適性評価によってトウモロコシ生産を最大化することが可能であり、地域レベルから広域レベルへの適用が可能であることが示された。

## 審 査 の 要 旨

本論文は、インドネシアで旱魃が発生しやすい地域において、トウモロコシ生産のための土地適性評価について、地区レベルから東ジャワ中部の地域レベルへの拡張を行った。また、トウモロコシ生産に適した土地を衛星リモートセンシングデータから決定するために、機械学習モデルを統合した新しい地理空間システムの開発手法を述べるとともに、トウモロコシ生産の時系列的収量予測は、トウモロコシ生産を行うためのマイクロレベルでの村落の選択を行う土地利用評価に大きく貢献することを示した。このような現場での実データと、ディープラーニングの組み合わせによる新たなトウモロコシ生産予測は、インドネシアにおける食糧安全保障政策へ資することが確認された。以上から、本論文は、高い学術的価値を有し、博士論文としてふさわしい内容であると判断される。

令和2年7月21日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士（生物資源工学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものとして認める。