

氏名	RISKA AYU PURNAMASARI		
学位の種類	博士（農学）		
学位記番号	博 甲 第 8 8 2 5 号		
学位授与年月日	平成 3 0 年 9 月 2 5 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	Integrating Expert System, GIS and Remote Sensing to Evaluate Land Suitability for Yield Prediction of Cassava in Indonesia (土地適合性評価のためのエキスパートシステム、GIS、リモートセンシングの統合：インドネシアにおけるキャッサバ収量予測)		
主査	筑波大学准教授	博士（農学）	トファエル アハド [*]
副査	筑波大学准教授	博士（農学）	野口 良造
副査	筑波大学助教	博士（農学）	源川 拓磨
副査	筑波大学教授	博士（農学）	松下 秀介

論 文 の 要 旨

キャッサバは高い干ばつ耐性を有するため、気候変動によるインドネシアの水不足に適應できる有望な作物として期待されている。キャッサバの生産性を担保し、農業生産関連コストを低減させるために、キャッサバ生産に適した土地の選定は重要な課題である。一方、キャッサバの作物としての特性を考慮すると、収穫量を最大化するためには、植生指数と生物物理学的特性を用いた収量予測が非常に重要な役割を果たす。したがって、専門家の知識や地理的変動性の統合を行い、キャッサバ全体のバイオマス量と収量との相関関係を用いたキャッサバ収量予測モデルの構築や、適切な土地の選定のための意思決定支援システム（DSS: Decision Support System）を開発する必要がある。

本論文の目的は、インドネシアにおけるキャッサバ生産に適した土地の選定とキャッサバ収量予測モデルのための DSS を開発することにある。そこで、収量を最大化するために、リモートセンシングや地理情報システム（GIS: Geographic Information System）を用いて、統合エキスパートシステムのための地理空間モデルが構築された。また、GIS を用いて、都市レベルから州レベルにわたる土地適合性分析（LSA: Land Suitability Analysis）と収量予測が行われた。優先順位指標は、LSA の階層化分析法（AHP: Analytic Hierarchy Process）とネットワーク化分析法（ANP: Analytic Network Process）によって識別された。これらの分析は、インドネシアのバンテン州を対象として、地域的多様性を考慮したキャッサバ生産のための土地の選定に用いられた。多基準意思決定法（MCDM: Multi-criteria Decision Method）を拡張し、数値計算ソフトウェア MATLAB[®]と ArcGIS[®]を用いて AHP モデルの分析結果を比較し、考察を行った。さらに、キャッサバ生産に適した土地の選定のために、衛星リモートセンシングデータセットを使用し、ArcGIS[®]環境で Sentinel II データセットを収集することによって、収量予測手法の開発を行った。

著者は第一章において、インドネシアにおけるキャッサバ生産の将来性について解説し、第二章において食料安全保障と農業生産の持続可能性のためのキャッサバ生産について論じた。つづく第三章において著者は、キャッサバ生産による圃場の持続可能性を、都市レベルから州レベルにかけて評価した。持続可能性のための指標は、反省的実践と持続可能性による複数のビジョンで分類され、圃場の利用可能性、圃場へのアクセス可

能性、キャッサバの入手のしやすさ、およびキャッサバ生産による収益性を指標として分析した。その結果、バンテン州セラン市のキャッサバ生産に適切な地域において、キャッサバ栽培のための土地利用が 2010 年から 2015 年にかけて年間 3.38% 減少したことが示された。

著者は第四章において、AHP と ANP を用いたキャッサバ生産の LSA を実施した。現場での基準データは、農家への直接インタビューにより設定した。キャッサバの適性評価の基準は、土地利用土地被覆 (LULC: Land Use Land Cover)、勾配、標高、降雨量、土壌タイプ、正規化差植生指数 (NDVI: Normalized Difference Vegetation Index)、河川からの距離、道路からの距離とした。国連食糧農業機関 (FAO) の LSA の結果に応じて、GIS ベースの近接度とラスター再分類を 4 つのカテゴリに分けて実施した。AHP と ANP を使用したキャッサバ生産の LSA の結果、セラン市の面積の 41.6% と 44.6% が、それぞれキャッサバ生産に最も適していることが示された。

著者は第五章において、MCDM とファジィ理論を統合した F-MCDM (Fuzzy integration with MCDM) を用いて、キャッサバ生産のための最適な地域を特定するための分析を、行政単位の州レベルで実施した。分析で用いられるマルチソースデータベースは、衛星画像とマッピングシステムの分光反射率の適用と一体化されたメンバーシップ関数を用いて構築された。また、MCDM にもとづく AHP のモデルは、メンバーシップ関数を用いて強化された。その結果、F-MCDM モデルでは土地の 42.17%、MDCM モデルでは土地の 35.92% が非常に適していることが示された。また、圃場での実際の収量のデータを用いた評価の結果、F-MCDM は MCDM より高い精度を示した。

著者は第六章において、10 m 分解能の Sentinel II データセットから、NDVI を用いた収量予測手法を開発した。NDVI は、成長時期におけるキャッサバ成長量、生物物理学的条件、および生物季節の状態を予測するために用いられた。NDVI、土壌調整植生指数 (SAVI: Soil-Adjusted Vegetation Index)、統合レッドエッジクロロフィル指数 (IRECI: Integrated Red-Edge Chlorophyll Index)、葉面積指数 (LAI: Leaf Area Index)、および光合成有効放射量の吸収率 (fAPAR: fraction of Absorbed Photosynthetic Active Radiation) はキャッサバの成長量予測モデルの開発において用いられ、予測された収量と実際の収量との違いを回帰分析によって検証した。NDVI は、SAVI および IRECI と比較して、収量予測モデルの決定係数 (R^2) は 0.63 となり、高い予測精度を示した。さらに、すべての植生指数と生物物理学的特性の組み合わせが行われ、決定係数 (R^2) は 0.77 となり、より高い予測精度が示されるとともに、この組み合わせモデルを用いた収量予測マップが作成された。

以上を総括すると、本研究を通じて、キャノピーバイオマスおよび土壌調整指標からのキャッサバ収量の土地適合性および予測を評価システム開発のために、エキスパートシステム、GIS、および Sentinel II 衛星データセットが統合された。開発されたシステムは、生産性を最大化するための LSA の評価とキャッサバの収量推定において、地域レベルや国レベルで利用可能であることが明らかとなった。

審 査 の 要 旨

本論文は、衛星リモートセンシングによる GIS ベースの AHP、ANP、およびファジィエキスパートシステムを用いて、キャッサバ生産に適した土地や圃場を選定する意思決定支援システムの開発手法を明らかにするものである。また、キャノピー反射率を用いたキャッサバの収量予測は新規性を有するだけでなく、開発された手法は、専門知識、植物データセット、適合性マッピングシステムのための地理情報によって、キャッサバの収量を適切な精度で予測可能とした。さらに、これら一連の研究成果は、インドネシアの食料安全保障のためのキャッサバ生産計画に重要な指針を与えた。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。

平成 30 年 7 月 17 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 (農学) 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。