

## 学位論文審査の結果の要旨

氏 名	Fadli Irsyad
審査委員	主 査 大上 博基 副 査 佐藤 嘉展 副 査 森 牧人 副 査 荒木 卓哉 副 査 藤内 直道

### 論 文 名

Developing irrigation management system in the dry season for rice cultivation by utilizing remote sensing data

(リモートセンシング・データを利用した乾季の水田における灌漑管理に関する研究)

### 審査結果の要旨

本研究の背景は、インドネシアなど乾季の水田耕作が重要である熱帯地域において、乾季のコメ生産量が年々低下していることと、気候変動によって乾季の始まりと終わりおよび期間が毎年変動しているという事実に基づき、現状の水管理計画を修正するとともにイネの生育をモニタリングする必要性があるという点にある。このような地域的な気候変動が食料生産に及ぼす影響を背景として、将来を見据えた適切な水管理と生育管理のための技術と情報を提供することは、農家の立場にも立った生産性向上のための水管理と栽培管理を示すうえで社会的に有益であり学術的に意義深い。

本研究の目的は、過去の降雨データをもとにして、近い将来における乾季の始まりと終わりおよび期間を推定すること、衛星データを活用して乾季のコメ生産量をモニタリングするシステムを開発すること、近年汎用化された UAV を利用した身近な画像データでイネの生育状況をモニタリングすることである。主な研究成果は、統計的手法を適用して西スマトラ州における現在までの乾季（期間）の変動傾向を明らかにしたこと、その結果に基づいて近い将来における乾季を予測して乾季水田耕作の適切な時期を示したこと、ランドサット 8 の OLI データと UAV に搭載したマルチスペクトルカメラの画像データを活用して水田耕作面積と収量を予測したこと、熱画像とマルチスペクトルカメラ画像データでイネの生育診断を行い、より適切な水管理に活用できる可能性を示したことである。

以下、論文を構成するテーマごとにその内容と評価できる点を整理し、審査結果を記述する。

#### (1) インドネシア・西スマトラ州における灌漑管理に向けた乾季の将来予測

西スマトラ州の Agam 地域 2 地点と周辺の 3 地点において、過去 35 年間にわたる既存の降水量データを解析した。まず積算雨量の時系列を関数化して客観的かつ簡易に乾季を抽出したうえで、Mann-Kendall test と Sen's slope estimator を適用し、5 地点の乾季が高い確率で時期的に遅れつつあることと、乾季期間が長期化する傾向にあることを示した。次に、時系列解析の一つである自己回帰和分移動平均 (ARIMA) モデルを応用し、乾季の始まりと終わりの時期を推定した。過去のデータに対する推定精度が高いことを確認し、5 年後には現在の乾季が 4~9 日遅れると予測した。さらに乾季における降水量の

変動傾向から、5年後には5~7月に水不足が進行することを予測した。以上の検討結果に基づいて、本論文は、乾季における農業用水送水計画の見直し、田植え開始時期の7月上旬への順延、貯水池の設置による補助水源の確保などにより、地方政府の関連部署と地域の水利用者組合が早急に灌漑管理の対策を講じる必要性を示唆した。

## (2) 衛星データを利用した乾季の水田面積とコメの収量の予測

西スマトラ州の Ampek Angkek 地区を対象とし、ランドサット 8 の OLI データを活用して正規化植生指数 (NDVI) を計算し、乾季のコメ生産量の推定を試みた。ランドサット 8 としての NDVI データは、UAV に搭載したマルチスペクトルカメラの画像を解析して得られた。UAV で収集した NDVI は、217 地点における現地調査結果と対応させ、イネの生育段階別とイネ以外の作物とで 5 段階に分類された。次に、イネの生育盛期に当たる 2 段階のデータに絞り、2020 年 9~10 月に 26 地点の現地観測に基づいて NDVI と収量の関係を得た。使用したデータはイネ生育盛期の NDVI である。以上の検討結果から、ランドサット 8-OLI データに基づく NDVI と UAV で収集した NDVI の間に高い相関を確認し、この関係を用いて修正したランドサット 8-OLI の NDVI から土地利用としての水田を判別し、高い精度でコメの収量を予測することができた。UAV の NDVI を用いたランドサットの NDVI の修正は、新しい手法といえる。また、(1) で予測した過去 5 年間における毎年の乾季に関するパラメータと、ここで予測したコメ収量との関係から、乾季の総降雨量との正相関、乾季の始まる日との正相関、乾季の終わる日との負相関、乾季日数との負相関を示した。

## (3) 気象条件と土壌水分条件が水田の NDVI と群落温度に及ぼす影響

愛媛大学農学部キャンパス内の実験水田を対象とし、出穂開花期で湛水条件と非湛水条件を含む 10 日間において、UAV に搭載した赤外線カメラとマルチスペクトルカメラの画像を収集した。実験水田には、地形や用排水路との位置関係により、水分条件の異なる（体積含水率 SWC で約 8~11%の差）箇所がある。本研究では、気象条件と土壌水分条件が NDVI と群落温度に及ぼす影響を解析し、NDVI と熱画像でイネ生育を診断する可能性を検討した。まず熱画像解析により、高 SWC 地点の群落温度が低 SWC 地点よりも 1.0~1.5℃程度低いことと、大気飽差 (VPD) の上昇とともに群落温度が気温よりも低くなる傾向を示した。次に、NDVI 画像解析により、灌漑取水（湛水）後に両地点の NDVI が上昇したこと、低 SWC 区の方が取水に伴う NDVI 上昇が大きいことを示した。この結果は、湿潤状態で生育するイネが、十分な湛水条件でなければ、少なからず水分ストレスを受けて光合成活動に何らかの支障を来していることを意味する。これらの結果から、NDVI と熱画像を併用することでイネの生育診断が可能であり、その結果を水田の水管理に活用できると結論した。土壌水分条件が作物の NDVI に及ぼす影響に関する研究は少なく、今後の研究発展が期待される。

以上のように本論文は、統計的手法により西スマトラ州における乾季の変動傾向を明らかにしたこと、その結果に基づいて近い将来における乾季水田耕作の適切な時期および乾季に備えるべき情報を提供したこと、衛星データを用いた NDVI の解析により西スマトラ州の水田地域における水田耕作面積と収量を予測したこと、NDVI と熱画像データが水田の水管理に活用できる可能性を示したことである。博士論文として評価できる点は、乾季に関するデータに基づいた現状の把握と科学的な分析に基づいた予測に新規性と実用性がある点と、UAV による画像データを仲介として衛星データを用いてコメ収量を予測する手法に農業用水管理現場における実用性がある点である。本論文が提示した手法と情報は、水不足問題を抱えた熱帯地域における水管理と栽培管理の発展に寄与すると期待できる。

本論文に関する公開審査会は、令和 4 年 7 月 31 日に愛媛大学農学部において開催され、学位論文発表と質疑応答が行われた。引き続き開催された学位審査委員会で本論文を慎重に審査し、審査委員全員一致して、本論文が博士（農学）の学位を授与するに値すると判定した。