氏　　　名	GEZIMU GELU OTORO
授 与 学 位	博士（工学）
学 位 記 番 号	博甲第234号
学位授与年月日	令和8年3月19日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項
学 位 論 文 題 目	Improving Hydraulic Performance, Agricultural Water Management, and Salinity Control to Enhance Irrigation Sustainability and Economic Resilience in Ethiopia (エチオピアの灌漑における持続性と経済的レジリエンス向上のための水理性能・農業用水管理・塩分管理の改善)
論 文 審 査 委 員	主査　教　授　駒井　克昭 教　授　吉川　泰弘 准教授　白井　秀和 教　授　富山　和也 准教授　舘山　一孝

学位論文内容の要旨

エチオピアでは、気候変動、水不足、土壌劣化が農業生産性を低下させており、農業用水と土壌の持続可能な管理は食料安全保障と経済的回復力にとって極めて重要である。本博士研究は、水理性能の改善、土壌塩分の識別と空間マッピング、さらに農業用水・土壌・養分条件に基づく作物収量および経済便益モデルの構築を統合した枠組みにより、灌漑計画の性能と持続可能性を向上させることを目的とした。

まず、エチオピア南部のシレ灌漑計画における水理・経済・持続可能性指標の詳細評価を行い、灌漑用水の需給ギャップを特定した。塩分濃度を含む情報指標と関連リスクを踏まえ、浸透損失対策および放流改善策として6種類の水路ライニング工法を比較し、費用対効果の高い流量改善オプションを提示した。段階的数値解析の結果、ジオメンブレンおよびコンクリートライニングは流量を大幅に改善（68.85%）、浸透損失を削減（33.1%）し、340×10^{6}㎥を超える節水効果と23%以上の灌漑面積増加が見込まれた。これらは費用便益比 1.3〜1.4 を示し、経済的および水理的な実行可能性が確認された。

次に、アバヤ・チャモ小流域およびシレ灌漑区域における土壌塩分の実態把握を行い、現地観測データを用いて詳細に分析した。その結果、灌漑区域の広範囲で塩性・ソーダ性条件の影響が認められ、深度が増すほど、また乾季ほどその影響が顕著になることが明らかとなった。土壌塩分パラメータ間の相関分析は、この地域における土壌と水資源の統合的管理の必要性を示している。

さらに、塩分・土壌水分・硝酸塩が土壌水分・塩分・養分動態に及ぼす複合的影響を定量化するため、非線形指数モデルを開発し、現地観測値とリモートセンシングデータを用いて主要作物の収量および経済便益を推定した。その結果、塩分濃度の上昇は綿花、バナナ、トウモロコシの収量を著しく低下させる一方、適切な土壌水分と硝酸塩濃度の維持は生産性の向上に寄与することが示された。経済分析では、農家が深刻な所得損失に直面していることが明らかとなり、土壌改良と養分管理の改善が急務であることが示唆された。

加えて、機械学習手法を適用し、生産性および経済便益の予測と管理オプションの優先順位付けを行った。特にランダムフォレストモデルは、制約条件下における収量および経済的損失の予測に高い精度を示した。SHapley Additive Explanations（SHAP）分析では、生産性と経済便益に最も影響を与える要因として EC が特定され、次いで土壌水分、硝酸塩が重要であることが明らかになった。これらの成果は、農業用水管理、作物選択、肥料施用などの意思決定に有用な知見を提供する。

総括すると、本論文は乾燥・半乾燥地域における灌漑インフラ、農地、生産性を維持するために、水理学・土壌水分学・農学・高度モデリングを統合した学際的で再現性の高いアプローチを提示した。得られた知見は、灌漑計画、塩害緩和、経済的回復力強化に向けたデータ駆動型の意思決定を強力に支援し、エチオピアの半乾燥地域および脆弱地域に対する実践的で実行可能な管理策を提示するものである。

審査結果の要旨

本論文は、エチオピアの乾燥・半乾燥地域における灌漑農業の持続性と経済的レジリエンスの向上を目的として、水理性能の改善、土壌塩分の空間分布評価、ならびに作物収量と経済便益を統合的に扱う評価方法論を構築したものである。対象としたシルレ灌漑計画およびアバヤ・チャモ小流域において、水理・土壌・作物・経済データを統合した実証的解析が行われている。本研究では、灌漑水路の浸透損失と流量配分に着目し、複数の水路ライニング工法を比較することにより、水理性能と費用対効果の両面から最適な改善策を定量的に評価している。その結果、ジオメンブレンおよびコンクリートライニングが大幅な節水効果と灌漑面積の拡大をもたらし、経済的にも実行可能であることが示された。さらに、現地観測に基づく土壌塩分解析により、灌漑区域における塩性・ソーダ性条件の広域的な分布が明らかにされ、土壌水分および養分条件との関係が定量的に評価されている。加えて、土壌塩分、土壌水分、硝酸塩を説明変数とする非線形指数モデルおよび機械学習手法を用いて、主要作物の収量と経済便益が推定され、塩分が生産性と農家所得に最も強い影響を及ぼす因子であることが示された。これらの結果は、灌漑管理、作物選択、肥料施用の意思決定を支援する定量的な枠組みを与えている。本論文は、水理学、土壌水分学、農学および高度なデータ解析を統合した学際的手法により、脆弱地域における灌漑と農業生産の持続性評価を可能とする新しい方法論を提示したものであり、同分野の今後の研究および実務に対して重要な貢献をなすものである。以上のことから、申請者は博士（工学）の学位を授与される資格があると認める。