

氏名	モハマド ナセル セディキ Mohammad Naser Sediqi
授与学位	博士 (学術)
学位記番号	学術 (環) 博第 357 号
学位授与年月日	令和 5 年 9 月 25 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院環境科学研究科 (博士課程) 先端環境創成学専攻
学位論文題目	Integrated Assessment of Climate Change Impact on Drought Severity, Water Sustainability, and Agriculture Potential in Afghanistan (アフガニスタンにおける気候変動が旱魃深刻度、水資源持続可能性、農業の潜在的可能性に及ぼす影響の統合的評価)
指導教員	東北大学特任教授 小森 大輔
論文審査委員	主査 東北大学特任教授 小森 大輔 東北大学教授 中谷 友樹 東北大学教授 李 玉友 上級研究員 金 元植 (農業・食品産業技術総合研究機構)

論文内容要旨

This thesis investigates the impacts of climate change on water resources, drought conditions, and agriculture in Afghanistan. As climate change continues to pose significant challenges to Afghanistan's diverse topography, variable climate conditions, and limited water resources, considering the various types and timescales of droughts, this thesis investigates the correlation of drought index with precipitation and temperature extremes. This approach is aimed at better understanding the influence of these extreme events on drought severity in Afghanistan. This study adopted the Mann-Kendall test and Sen's Slope estimator to evaluate the significance and magnitude of trends concerning selected climate extremes and drought indices. This methodology is particularly applied to understand the diverse characteristics and impacts of droughts better. The findings demonstrate that while temperature-related extremes have shown a substantial increasing trend, the same cannot be said for precipitation-related extremes. This indicates that the rise in temperature extremes is potentially a more influential factor in intensifying drought conditions in Afghanistan than variations in precipitation. This could be due to the country's arid climate, where high temperatures can exacerbate drought conditions by increasing evaporation rates and reducing water availability, even in the presence of average precipitation levels.

Using Coupled Model Intercomparison Project phase 6 (CMIP6) global climate models and shared

socioeconomic pathways (SSPs), the study generates spatiotemporal projections of precipitation and temperature for different scenarios and future time horizons. These projections are crucial for understanding potential changes in Afghanistan's climate, which will have direct implications for water resource availability and management, as well as the agricultural sector. The study employs the Compromise Programming (CP) approach to rank the GCMs based on their ability to replicate precipitation and temperature climatology for the reference period (1975-2014). The ensemble means of the GCMs projects significant increases in maximum and minimum temperatures, as well as changes in precipitation patterns, with dry regions becoming drier and wet regions wetter.

This research presents an in-depth evaluation of the sustainability of the Kabul River Basin (KRB) in light of varying runoff conditions, with an emphasis on understanding the impacts of climate-induced runoff variability. The analysis employs the Standardized Runoff Index (SRI), an effective metric revealing variations in runoff or streamflow over distinct periods, as the foundational tool to determine water availability across various grid points within the basin. The SRI-RRV approach, which integrates SRI with indicators of reliability, resilience, and vulnerability (RRV), provides a comprehensive understanding of the KRB's performance concerning water availability.

By examining the SRI in the context of a grid-based approach, this study unlocks a granular understanding of the internal variabilities within the basin. Such an approach recognizes that each grid point may manifest unique characteristics and responses, offering a platform to uncover localized vulnerabilities that might otherwise remain obscured when concentrating solely on the basin's outlet. Further, this research bridges the evaluation of short-term (SRI-3) and long-term (SRI-12) water availability impacts within this grid-based paradigm, providing richer insights for strategic water resource management.

Historical findings indicate a noticeable decline in the KRB's sustainability owing to augmented vulnerability and diminished reliability and resilience. Projections for the future, shaped by climate change scenarios, highlight potential adverse effects on basin sustainability, more pronounced in downstream areas characterized by dense populations and intensified agricultural practices. Notably, the results emphasize the KRB's vulnerability to runoff variations, which is crucial for devising appropriate agricultural irrigation strategies and water resource plans.

Finally, this thesis examines the anticipated shifts in climatic boundaries due to global warming, focusing on their implications for agricultural practices in Afghanistan. The analysis projects that future cultivation of key crops, such as wheat and rice, may need to occur at higher elevations, forcing farmers to adapt to unfamiliar climates that could potentially impact crop productivity. Additionally, the research identifies potential future agricultural areas based on current climate boundaries. However, regions predicting higher maximum temperatures than the historical climate boundaries might face significant challenges, with a large portion potentially encountering unfamiliar climate extremes. These discoveries highlight the need for robust adaptive strategies to maintain agricultural productivity and food security in the face of impending climatic change.

In conclusion, this research offers crucial insights into how climate change affects water resources, exacerbates drought severity, and impacts agricultural practices in Afghanistan, primarily through shifts in agricultural climate boundaries due to changes in elevation. The findings in this study underscore the urgent need for adaptive strategies to ensure water security, maintain agricultural productivity, and bolster food resilience amidst anticipated climatic shifts.

論文審査結果の要旨及びその担当者

論文提出者氏名	Mohammad Naser Sediqi
論文題目	Integrated Assessment of Climate Change Impact on Drought Severity, Water Sustainability, and Agricultural Potential in Afghanistan (アフガニスタンにおける気候変動が旱魃深刻度、水資源持続可能性、農業の潜在的可能性に及ぼす影響の統合的評価)
論文審査担当者	主査 特任教授 <u>小森 大輔</u> 教授 <u>中谷 友樹</u> 教授 <u>李 玉友</u> 上級研究員 <u>金 元植</u> (国立研究開発法人農業・食品技術総合研究機構)

論文審査結果の要旨

旱魃や水資源逼迫は農業生産や人間活動に大きな影響をもたらし、気候変動はそれらの影響をより増大させることが報告されている。一方、詳細な空間スケールでの旱魃深刻度の研究は多く行われているが、詳細な空間スケールでの水資源持続可能性については限られている。例えば旱魃リスクに対する水資源対策は灌漑システムの整備等であり、詳細な空間スケールでの旱魃深刻度と水資源持続可能性を統合して評価しなければ農業の潜在的可能性が解析できない。本論文は、アフガニスタンを対象に、現在気候（1975年から2014年）および将来気候（2060年から2099年）における旱魃深刻度と水資源持続可能性を同じ空間スケールで評価した。そして、両者の空間解析を用いて気候変動が農業の潜在的可能性に及ぼす影響を解析・議論した。本論文は以下の8章よりなる。

第1章は序論である。旱魃深刻度、水資源持続可能性、農業の潜在的可能性における既往研究をまとめ、研究目的を述べた。

第2章は、対象地域、本研究で使用した気候変動データや水文気象データについて記述している。

第3章は、旱魃深刻度、水資源持続可能性、農業の潜在的可能性の解析手法について記述している。

第4章は、現在気候における異常気象現象を算定し、異常気象現象がアフガニスタンの多様な気候帯における旱魃深刻度に与える影響を解析している。降水量と気温にかかる異常気象現象が旱魃深刻度に与える影響が大きいかを明らかにし、特に気温にかかる異常気象現象が旱魃深刻度に甚大な影響を与えていたことを明らかにした。

第5章は、最新の将来気候データ（CMIP6）を基にアフガニスタンにおける将来気候データを整備し、各種の社会経済シナリオ（SSP）にて将来気候における季節的・長期的気候変動を解析している。アフガニスタン全土にて日最高気温および日最低気温が大幅に上昇すること、降水量は高地では増加するが砂漠地域では減少することを明らかにし、将来気候において水資源持続可能性が変化する可能性を示した。

第6章は、水文モデル（SWAT）と持続可能性評価指標（RRV）を組み合わせ、気候変動が水資源持続可能性に与える影響を解析している。脆弱性の増大と信頼性・回復力の低下に起因する水資源持続可能性の低下を推察した。

第7章は、アフガニスタンの主要作物である冬小麦と水稻を対象に、異常気象現象と標高の相関解析より将来気候における農業の潜在的可能性を議論している。将来気候において気候境界線の上方シフトが予想されることを示し、特に過去に経験した日最高気温より高い日最高気温が予測される地域では未経験な旱魃深刻度が発生するため農業持続性に大きな課題があることを示した。一方で、高高度地域でこれまで農業に適さないとされた地域における将来気候での農業潜在的可能性が高いことを示した。

第8章は、得られた結果の考察と結論である。

本論文は、アフガニスタンにおいて詳細な空間スケールでの水資源持続可能性を評価し、旱魃深刻度と統合して農業の潜在的可能性を理解する世界初の解析を達成したものである。特に、高高度地域でこれまで農業に適さないとされた地域における将来気候での農業の潜在的可能性を定量的に示した。さらに、本解析は他の国・地域においても適用可能であり、将来気候における旱魃深刻度、水資源持続可能性、農業の潜在的可能性に対するより良い対策に取り組むための貴重な資料と知見を提供しており、学術の発展に大きく貢献できる成果である。

よって、本論文は博士（学術）の学位論文として合格と認める。