

論文の内容の要旨

1. 博士学位請求論文

確率限界法検定を基礎とした極値降雨量の統計的解析

2. 要旨

従来の洪水対策では、一般的に、過去の降雨観測により蓄積された年最大降雨量の標本がある確率分布に従い生じたものと仮定し、その確率分布において、計画超過確率（計画確率年）に相当する降雨量を計画降雨量として設定してきた。計画降雨量は水文頻度解析により決定され、その数理的支柱を極値理論に置く。極値理論とは、標本中の最大値は、サンプル数が多いほど、漸近的に二重指数型の関数形をもつ極値分布に収束することを示したものである。

我が国の一級河川流域では、100年から200年といった計画確率年に相当する降雨量値が河川整備における基準値として採用される場合が多い。しかしながら、我が国における降雨の観測期間は、一級河川流域においても数十年間、多くとも百数十年間分程度であり、計画確率年で定められた期間よりも短く、今日までに蓄積されている極値降雨量の観測値（観測極値）の総数に基づく、計画降雨量の推定は十分な精度とは言えない。このため、従来の水文頻度解析における推定は不確実性（推定誤差）を大いに含むといえる。加えて、近年における記録的豪雨の多くは、計画降雨量を超過するものであり、今後地球温暖化に伴う気候変動により豪雨の規模は増加するという予測が示されている。したがって、近年における激甚豪雨の頻発傾向ならびに、気候変動に伴う洪水リスクの増大に対応した治水対策の策定は喫緊の課題である。

上記した、既往手法の問題点を解決するために、本研究では、計画降雨量の推定誤差（不確実性）を定量化する信頼区間ならびに、将来の観測値がとり得る範囲を表す予測区間を構成する手法を構築した。信頼区間とは、有限な観測データを基に、母集団分布の未知母数 θ （ T 年確率降雨量値など）を推定するとき、下側信頼限界値 $L_{C.I.}(X)$ 、上側信頼限界値 $U_{C.I.}(X)$ を求め、これらの信頼限界値から構成される区間 $[L_{C.I.}(X), U_{C.I.}(X)]$ の中に、母数 θ を $(1-p)$ の確率で含むものである。ここで、 p は有意水準である（ $0 < p < 1$ ）。このとき、区間 $[L_{C.I.}(X), U_{C.I.}(X)]$ を $100(1-p)\%$ 信頼区間という。予測区間とは、将来の観測値 Y が存在する範囲である。100(1-p)%予測区間は、下側予測限界値 $L_{P.I.}(X)$ と上側予測限界値 $U_{P.I.}(X)$ から構成される区間 $[L_{P.I.}(X), U_{P.I.}(X)]$ の中に $(1-p)$ の確率で将来の観測値 Y の実現値が含まれることを意味している。本研究では、当該区間を構成する際、確率限界法検定の理論を採用した。確率限界法検定は、確率分布の裾野に対して極めて高い検定力をもつことから、その採択域（棄却限界値から構成される範囲）によって、計画規模相当の降雨量の振れ幅が推定可能となる。信頼限界線は、棄却限界値群に対しても、観測極値降雨量の確率分布形が成立すると仮定し、構成した。一方、予測限界線は、棄却限界値群に最も適合する確率分布により与えた。その成果として、地球温暖化を踏まえた洪水対策への検討に用いられている、アンサンブル気候変動予測データにより構成した信頼区間と、数理統計理論である確率限界法検定に基づく信頼区間が高い精度で一致することを示した。この結果は、気候変動予測結果の妥当性が統計理論によって、支持されることを示すとともに、気候変動予測情報を導入した洪水対策への実現に寄与するものである。さらに、過去のデータを基に、長期先の予測を行う際、確率降雨量の予測精度が劣化していくという実態を統計的情報量の観点からモデル化し、その推定不確実性の増大を信頼区間・予測区間により定量化可能な手法を構築した。

論文審査の結果の要旨

1. 博士学位請求論文

確率限界法検定を基礎とした極値降雨量の統計的解析

2. 論文審査結果の要旨

近年多発する記録的豪雨や地球温暖化進行時に発生が予測される豪雨現象は、現行の洪水対策における計画降雨量を超過するものである。このような大規模豪雨への適応策の策定は、我が国における喫緊の課題である。近年、我が国では、物理モデルに基づく気候変動予測が実施されており、この情報を活用した洪水リスク評価が検討されている。本研究は、確率限界法検定の理論を水文頻度解析に導入し、大規模豪雨の生起リスク評価手法を確立させ、数理統計理論に立脚した新たな水文頻度解析の枠組みを提示したものである。さらに、本研究では、気候変動予測情報と確率限界法検定の理論を統合させ、計画降雨量のシームレス予測ならびにその予測不確実性の定量化手法を構築した。この成果は、地球温暖化を踏まえた洪水対策を検討する上で、時間軸を考慮した段階的な河川整備の実現に資するものであると評価している。

第1章の「序論」では、水文頻度解析及びその数理的基礎である極値統計理論の歴史を概説すると共に、水文頻度解析上の問題点を指摘した。第2章の「確率限界法検定の理論」では、同検定理論を詳説した。第3章の「確率限界法検定に基づく信頼区間・予測区間の構成手法と当該区間を導入した水文頻度解析」では、確率限界法検定に基づいた信頼区間・予測区間の構成手法を詳説すると共に、当該区間を導入した水文頻度解析手法を提示した。第4章の「気候変動予測情報を用いた極値降雨量に関する信頼区間・予測区間の将来変化の推定」では、ベイズ統計理論であるマルコフ連鎖モンテカルロ法により、気候変動予測結果を取り込み、地球温暖化時における信頼区間・予測区間の推定手法を構築した。第5章の「全球平均気温上昇シナリオ別の極値水文量の将来予測」では、マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いた、将来気候における年最大降雨量の極値分布ならびに、その信頼区間・予測区間の推定手法を我が国の経済活動上重要となる利根川流域に適用し、地球温暖化シナリオごとに、当該区間の将来変化を算定した。第6章の「観測情報と気候変動予測を統合した極値降雨量に関する信頼区間・予測区間の将来変化の推定」では、確率降雨量の予測精度の経年劣化と極値分布の母数に関する期待情報量の減衰過程の関係を数値化し、時間軸を踏まえた、計画規模相当降雨量の不確実性評価手法を提示するとともに、その洪水対策への適用可能性を示した。第7章の「結論」では、総括として、本論文の結果をまとめている。

上記いずれの成果も確率限界法検定を基礎とした新しい水文頻度解析手法とその解析結果が得られている。なお、本手法により導かれる信頼区間・予測区間は、気候変動予測の結果とも整合している。これは、現在、河川計画への導入が検討される気候変動予測の結果は、数理統計理論により支持されることを示しており、その導入可能性については、本研究において、詳細に分析されている。

以上より、本博士学位請求論文は水文学及び河川工学において非常に先端的な学術的知見を得た内容であり、実用上も重要性の高い研究成果であると認める。さらに、口述試問による試験の結果と同君のこれまでの真摯な論文成果も踏まえ、審査員一同は清水啓太氏の博士学位請求論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有するものと判断し、さらに早期修了に十分値するものと満場一致で承認したものである。