

審査の結果の要旨

氏 名 チェ ロス ファイザ

マレーシア国における自然災害の最大のものは洪水氾濫である。本研究の対象であるケランタン川流域では、ほぼ毎年のように被害が報告され、2014年には歴史的に最大級の氾濫が発生し、河川に沿う多数の地域や下流部の都市部が大きな被害を受けた。マレーシア水管理局 (DID) は、この地域で降雨観測点や水位観測点の増加、テレメトリーシステムによる迅速なデータの収集などの改善に努めてきており、住民への警報は、主に上流側の水位変化を見ながら、経験的な到達時間を考慮して避難勧告が行われている。また、より定量的な予測手法による早期警報・避難システムの構築の努力も長年行われてきているが、実用化にはいたっていない。以上の背景を踏まえ、本研究においては、新たな警戒警報システムの構築を図ることを目的として、大きく三つの研究が行われた。本研究の具体的な内容・成果は以下のようにまとめられている。

(1) 歴年データ収集・データベース作成、データ信頼性・トレンドの検討

- ・マレーシアの水管理機関が所有している水文データを収集・整理し、特に大量の時系列データ（降雨量、水位）については形式を統一し、連続的なユニバーサル時間を与えデータベース化が行われている。また、水文データの欠測、機器の故障、移動などに伴う異常データの混在を排除するため、4種の統計的手法によるデータ検定が行われた。
- ・気候変動や今後の推移を推定するため、信頼性のチェックされた60年以上のデータを使い Mann-Kendall の方法による統計的トレンド分析が実施されている。それによれば、10年オーダーのサンプリングによるトレンド分析から、観測値自体のプロットでは判然としない降雨量変化の傾向が極めて明瞭に捉えられ、その傾向はエルニーニョ、ラニーニャの傾向と極めてよく一致することが確認されており、今後の地域雨量の多寡の予測が行われている。

(2) 上流側水位観測情報に基づく下流側洪水水位の統計的予測手法の開発

ある地点の洪水時水位（或いは流量）を予測する手法として最も一般的な ARMA モデルでは、予測地点での時系列データ、および降雨時系列データなどが利用されるが、当該地点の過去の水位情報は実際には下流側に流れ去り相関が失われてゆき必ずしも有効ではない。そこで、本研究では上流側水位情報がある場合には、その移流により下流側予測地点の未来水位を予測することが合理的と考え、モデル開発が行われている。以下はその内容と成果である。

- ・新しいモデルとして、①当該地点の水位データを一切用いず、現時点までの上流側水位情報から当該地点の未来水位を計算する手法、および②上流側水位情報と予測地点の最新の情報のみを加え予測する手法が検討されている。
- ・ある時点の下流点水位を表す基本式は上流側の水位観測時系列データのうち、相関分析によって得られる平均タイムラグ、および分散幅を用いて抽出した観測時系列データの線形結合で表される。サンプリング期間をモンスーン開始から対象となる洪水イベントとして最小二乗法により係数を決定し、任意時点から平均タイムラグに相当する時間までの予測を行った。
- ・具体的には、4地点の水位情報（上流点 A,B, 下流点 C,D）を利用し、A,B の情報から C 点

の予測、A,B,C の情報から D 点の予測を行うことを目的として、長年の観測情報を使い洪水時の予測精度の検討が行われている。その結果、モデル①の上流点情報のみを用いた予測では、洪水イベントごとに精度は異なるが、数時間後の予測が 1 m 程度以内におさまること、②のモデルで予測点の直前観測データを考慮した場合には、0.3m 程度以内の誤差で洪水時の水位の予測が出来ることが示されている。また、本手法を適用すれば、新しいテレメトリー情報が入ると同時にモデルの係数も更新しつつ数時間先までの下流側水位予測を行うことが可能で、早期予報に有用であることが示されている。

(3) 数値モデルによる流域全体の流動・洪水予測

前記のような統計的洪水予測は早期警報・避難に大変有用であるが、1 地点の予測であり、本流域全体の水の流れの理解や洪水氾濫地域の被害の低減には直接つながらない。そこで、数値シミュレーションモデルを用いて流域全体の基本モデルの構築を行い、特に最も重要な入力値である流域降雨分布の推定手法に関し、詳細な検討が行われた。その要点は以下のとおりである。

- ・流域の地理・地形情報、河川情報、土地利用情報を利用して地表・地下を含めた 3 次元数値モデルが作成され、流域の水状態の初期化（河川水、地下水の分布状態を作り出すこと）が行われ、基本モデルが作成された。
- ・最も重要な入力としての降雨強度の格子スケールでの分布を検討するため、ここでは、IDW（逆距離相関法）および標高や地域区分を考慮した方法により、2007~2013 年にわたり利用可能な降雨観測点のデータからモデルの格子点(3 万点以上)での日降雨量を 4 つの推定手法により発生させている。推定分布の妥当性は、観測地点のハイドログラフとシミュレータによるハイドログラフの整合性の比較により行われた。複数年にわたり各手法の推定分布の計算値と観測値を比較した結果、IDW による計算結果は観測ハイドログラフのパターンに良く追従し、本流域の推定手法としては簡便かつ信頼性のあるものであることが明らかとなった。
- ・また、今後の早期予報の観点からは、15 分毎に観測値が得られるテレメトリー観測地点（現在 7 地点）のみを利用した降雨分布推定が予測計算に必要なことから、7 地点のテレメトリー地点のみを用いた推定分布と全観測地点からの推定分布とが比較され、両者は比較的差異が小さく、シミュレーション結果にも大きな差異を生みださないことが明らかとなった。これらの基本要件が明らかにされたことから、今後は、他の水文ファクター（樹幹遮断や蒸発散など）も考慮したモデルのキャリブレーションと早期予報への適用が予定されている。

以上により、本研究では、降雨トレンド分析の新たな知見、洪水予測を行う新しい実用的手法の開発・提案、より高度な流域モデルの基本入力に関する詳細な検討結果が示されており、対象流域における早期警戒、避難、減災に大きく資するものと考えられる。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。