

審査の結果の要旨

氏名 一言正之

近年、局地豪雨などによる氾濫被害が増加傾向にあり、流域における河川水位の監視、予測、適切な避難誘導などの重要性が増している。本研究では、避難のリードタイムの確保、信頼性のある予報を行うため、実時間洪水予測の精度向上を目的として、ニューラルネットワーク (Artificial Neural Network ; ANN) および物理的手法を用いた河川水位予測手法について検討されている。

(1) 通常 ANN の特性検討

まず、従来型的手法である階層型 ANN (3 層) を対象に精度向上の検討を行った。既往研究のレビューより、ANN の精度向上のための注意点として、①入力データの適切な選定、②過学習の回避、③乱数に起因する誤差 (再現性の欠如) への対応、等が挙げられた。それぞれ事例検討により、①出力層との相関分析による入力データ選定、②中間素子数、学習回数のケーススタディによる過学習の回避、③アンサンブル学習による精度向上、が検討された。

(2) 深層学習を用いた ANN モデルの開発と精度向上

従来型の ANN をさらに長い予測時間に適用するため、時空間的に多数存在する降雨データを反映することが望まれる。一方で ANN を 4 層以上にした場合、入出力応答の表現能力は大きく上昇するが、勾配消失問題などによりネットワークの学習が容易でない。こうした課題に対する新しい手法として、本研究では、深層学習を用いた ANN 水位予測のモデルを開発し、一級河川である大淀川水系および遠賀川水系の一流域に適用した。予測に用いたネットワークは 4 層の階層型ネットワークとした。ネットワークの出力層は、予測地点における現時刻から予測時間までの水位上昇とした。入力層は、予測地点自身の水位、流域内の各水位観測所における一時間あたりの水位変化、流域内の雨量観測所における時間雨量とした。ネットワークの事前学習にはデノイズ自己符号化器を適用し、また過学習を避けるため入力層と中間層にドロップアウトを適用した。精度評価は対象 4 洪水についてクロスバリデーションを行い、学習回数などの条件設定はケーススタディにより決定した。深層学習の結果は、ANN (3 層) に比べて 1~6 時間予測の水位誤差 (RMSE) が低減され、高い適用性が示された。一方で課題として、大淀川のケースで期間最大洪水のピーク付近の予測が過大となる傾向が見られた。高水時の入出力応答が適切に表現できていない可能性があり、これについては第 6 章のハイブリッドモデルで対応を図った。

(3) 分布型物理モデルの開発と粒子フィルタによる精度向上

流域全体の河川網や地質水理状況を表現するモデルとして、地表付近での飽和・不飽和浸透流解析も含めた分布型流出モデルを構築した。続いて、流域内のリアルタイム観測水位データを用いて、粒子フィルタによる状態量の同化手法、および計算結果に対して現時刻の観測水位と計算水位との差分を補正值として加えるスライド補正を適用した。粒子フィルタの粒子数は 96 とし、1 時間ごとにフィルタリングを適用した。モデルの初期条件は、モデル状態量 (土壌水分率) にランダムなノイズを与えることで作成した。粒子フィルタを適用した予測計算精度は、スライド補正に比べ、予測時間が長くなるほど優位となった。一方で水位の急な立ち上がり部分などモデ

ルの乖離が大きい部分では、粒子フィルタでは十分に追従できない場合が見られた。

(4) モデル間の精度の差異比較

構築したモデル（ANN（3層）、深層学習、物理型モデル+粒子フィルタ、物理型モデル+誤差スライド補正）および線形の重回帰モデルについて、実流域における比較を行い、各手法の精度や課題を整理した。各予測時刻で、深層学習が最も高精度であり、次いでANN（3層）となった。線形回帰モデルは、3時間予測までは分布型を上回る精度であった。分布型+粒子フィルタは、5,6時間予測では深層学習・ANN（3層）に次ぐ精度であった。また分布型+スライド補正は、短い予測時間では粒子フィルタを上回る精度を示したが、長い予測時間では精度が低下した。

短い予測時間までは、上流の観測情報を直接利用している統計モデルが有利と考えられる。長い予測時間では、分布型モデルによる降雨・流出過程の表現が有効であると考えられる。対象地域の目標とする精度や予測時間に応じた、適切なモデル選択が今後は重要と考えられる。

(5) 深層学習モデルと物理モデルによるハイブリッド予測手法の開発

最後に、深層学習モデルと、物理的手法とを併用したハイブリッド手法が検討された。深層学習モデルの入力層に降雨の代わりに貯留量変化（降雨－流出高）を用いて学習を行い、予測時には物理型モデルの計算結果を組み合わせることで入力データに代入することで計算を実施した。実流域に適用した結果は、第3章で課題となっていた高水時の予測精度が改善されており、実時間洪水予測への適用性向上が確認された。

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。