2L4-4

深層学習の適用によるニューラルネットワーク洪水予測の精度向上

Appling deep learning method to the neural network flood prediction model

一言　正之[*1]　櫻庭　雅明[*1]
HITOKOTO MasayukiSAKURABA Masaaki

[*1] 日本工営株式会社 中央研究所
Nippon Koei Co., Ltd. R&D Center

As the real-time flood prediction model, Artificial Neural Network (ANN) model has been widely used. To improve the accuracy of the prediction, authors applied the deep learning method to the ANN flood-prediction model. The developed model is applied to the one catchment of the OOYODO River, one of the first-grade Rivers in Japan. The prediction result is compared with conventional ANN model and the physically based models, consequently the developed model showed the best performance.

1. はじめに

洪水災害に対するソフト対策として，洪水予測技術の高度化が求められている．洪水予測手法として，降雨－流出過程を表現する物理型モデルなどが全国の河川で適用されているが，様々な誤差が内在する．一方，降雨や水位等の水文観測データに基づいたニューラルネットワーク（Artificial Neural Network: ANN）による洪水予測も，既往の研究にて広く適用性が確認されている[Dawson 2001，Maier 2000]．しかしながら，いずれの予測手法も，予測の精度向上・不確実性の低減が課題となっている．一方，ANN の新しい学習手法として深層学習[Hinton 2006]と呼ばれる手法が開発されている．筆者らは，ANN モデルの発展形として，深層学習を適用した河川水位予測手法（以下，深層 ANN モデル）を構築し，精度向上を図ってきた[一言 2016a，一言 2016b]．深層学習は従来手法に比べて高い学習能力が報告されており，多量の入力データに対しても適切な学習効果が期待され，洪水予測においても精度向上が見込まれる．

本研究では，従来の ANN 水位予測モデルに深層学習を適用し，国内の 1 級河川である遠賀川の一流域を対象としたケーススタディを行い，従来モデルからの精度向上を実現した．

2. 予測対象河川とデータの概要

対象流域は，大淀川水系の樋渡（ひわたし）地点流域とした（図-1）．流域面積は 861km^2，幹川流路延長は 52km である．周辺に雨量観測所が 14 箇所，流域内に水位観測所が 5 箇所設置されており，十分な観測データが得られることと，上流に大きな洪水調節施設が無いことから，モデル流域として検討に適している．実績水位と地上雨量データは，水文・水質データベース[http://www1.river.go.jp/]より取得した．モデル構築のための対象洪水には，1982 年～2016 年のはん濫注意水位（6.0m）を超えた 24 洪水のうち欠測データの多い事例を除いた 22 洪水を用いた．各洪水のピークから 72 時間前～48 時間後までを 1 洪水とし，全部で 121 時間×22 洪水=2662 セットの検討データを用意した．また，対象 22 洪水の中で氾濫危険水位（9.2m）を超えた 4 事例（1990 年，1993 年，2004 年，2005 年）を精度評価の検討対象洪水とした．4 洪水のなかで，2005 年洪水が水位・総雨量のいずれについても期間最大である．

連絡先：一言正之，日本工営株式会社，茨城県つくば市稲荷原 2304，029-871-2034，hitokoto-ms@n-koei.jp

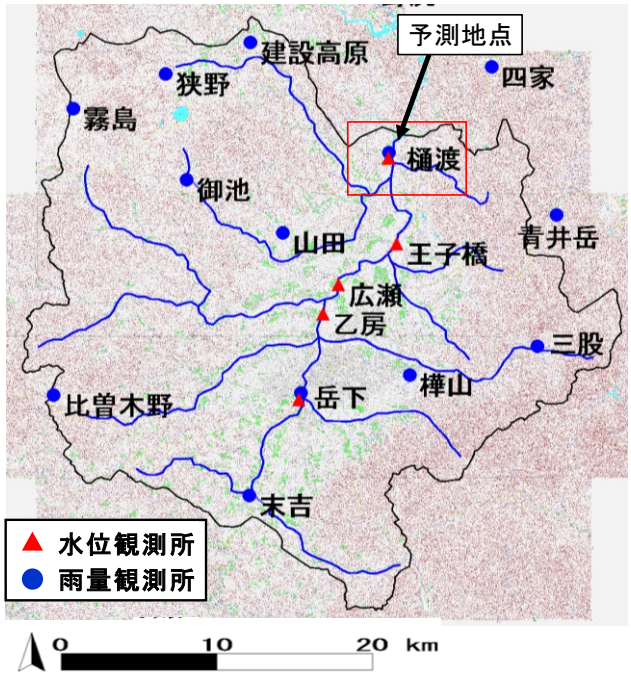

図1: 対象流域と観測地点の位置

3. ANN 洪水予測モデルの概要

洪水予測において最も実績例の多い階層型のネットワークを用いた．ネットワークの構成を図 2 に示す．本検討では，深層学習を伴わない従来からの ANN 水位予測モデル（以下，従来型 ANN モデル：3 層）と，深層学習を適用した深層 ANN モデル（4 層）の 2 種類を構築し，予測精度の比較検討を行った．

いずれの ANN モデルにも共通した設定として，ネットワークの学習には確率的勾配降下法を用い，学習係数の設定は AdaGrad を適用した．誤差関数の勾配の算出には誤差逆伝搬法[)]を用い，過学習による精度低下を避けるため，ドロップアウト[)]を適用した．主な設定内容を表 1 に示す．深層 ANN モデルでは，自己符号化器による事前学習を行い，精度向上を図った．

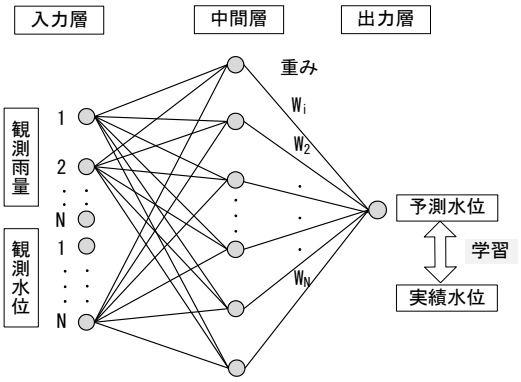

図2: ANN 水位予測モデルの構成

表 1: ANN モデルの主な設定

種別	設定内容
学習データ期間	過去 35 年間の洪水データ
学習データ種類	水位，水位変化，時間雨量
ミニバッチのサイズ	100
モーメンタム	0.5
学習率の設定方法	AdaGrad（初期値 0.1）

表 2: ANN モデルの入出力の組合せ

出力	入力データ数（時系列数×地点数）				
	時間雨量	上流 Δ*H*	自己 Δ*H*	自己水位	合計
樋渡 Δ*H*	5×14	3×4	3×1	2×1	87

4. ケーススタディの実施

入出力層の組合せは表 2 の通りとし，1～6 時間の予測時間ごとにネットワークを構築した．入力データは，水位予測に影響を及ぼしうる地点・時刻のデータをできる限り包含するように設定した．著者らが相関分析によって調べた検討[一言 2016]より，樋渡水位変化に対する各水位観測所の水位変化の相関は，タイムラグが 1,2 時間の時に最大となったため，入力層には現時刻から 2 時間前までのデータを設定した．また同様に各降雨観測所についてもタイムラグ 1,2 時間の時に相関が最大となったが，累積雨量が影響する可能性を考慮して予測時刻から 5 時間前までのデータを設定した．例えば 3 時間予測を行うネットワークでは，出力層は現時刻から 3 時間後までの樋渡の水位変化，入力層には樋渡自身の 1 時間前と現時刻の水位，流域内 5 水位観測所 2 時間前～現時刻における 1 時間あたりの水位変化，流域内 14 地点の 2 時間前～2 時間後の時間雨量となる．

5. ANN 洪水予測モデルの精度検証

検証対象 4 洪水に対して leave-one-out 交差検証を行った．具体的には，対象 24 洪水のうち 1 洪水を検証データ，残り 23 洪水を学習データとした計算を 1 セットとし，同様の手順を検証対象 4 洪水について行うことで精度を評価した．本研究で実施した計算結果と，他の手法による計算結果[一言 2015]との比較を行った．深層 ANN モデルの結果は，各予測時間について他の手法を上回る結果となった（図 3）．

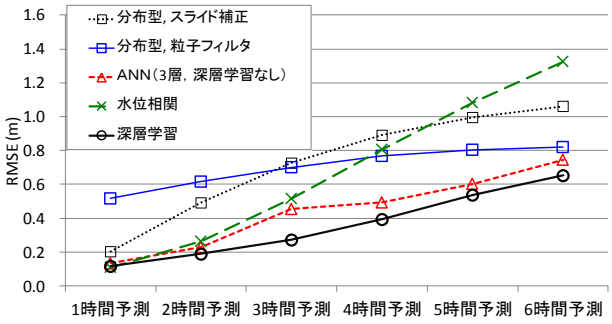

図3: 予測水位の RMSE（4 洪水平均）

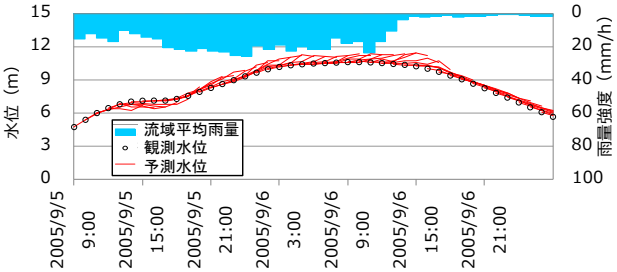

図4: 洪水予測結果の時系列（1～6 時間予測）

6. おわりに

本研究では，深層学習を用いた河川水位予測手法の開発を行い，実河川における高い適用性を示した（図 3,4）．今後の課題として，様々な条件下にて本手法の適用性検証が必要である．特に，未経験の洪水規模に対する適用性の検証は，防災上の観点から非常に重要である．また，従来より予測が困難とされている都市域の中小河川や，観測データの乏しい流域において，実用的な精度での予測を実現することが今後の目標として挙げられる．

参考文献

[Dawson 2001] Dawson, C. W., Wilby, R. L. : Hydrological modeling using artificial neural networks, Progress in Physical Geography,Vol.25, No.1, 2001.

[Hinton 2006] Hinton, G. E., Osindero, S. and Teh, Y. : A fast learning algorithm for deep belief nets, Neural Computation, Vol. 18, pp. 1527-1544, 2006.

[Maier 2000] H. R. Maier, G. C. Dandy：Neural networks for the prediction and forecasting of water resources variables: a review of modelling issues and applications, Environmental Modelling & Software, Vol.15, 2000.

[一言 2015] 一言正之，桜庭雅明，坂本俊二：流域内のリアルタイム観測情報を用いた洪水予測の不確実性低減方法の比較，河川技術論文集，第 21 巻，pp.431-436，2015.

[一言 2016a] 一言正之，桜庭雅明，清雄一：深層学習を用いた河川水位予測手法の開発，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.72，No.4，pp.I_187- I_192，2016.

[一言 2016b] 一言正之，桜庭雅明：深層学習の適用によるニューラルネットワーク洪水予測の精度向上，河川技術論文集，Vol.22，pp.1-6，2016.