

バーチャルハイエト・ハイドログラフを用いた深層学習による 都市流出モデルのエミュレーションに関する一考察

首都大学東京 都市環境学部 学生員○ 川野 正裕
 首都大学東京 都市環境研究科 正会員 河村 明
 東京都建設局 正会員 藤塚 慎太郎
 首都大学東京 都市環境研究科 正会員 天口 英雄

1. はじめに

都市域では不浸透域の増加などにより、降雨から流出までの時間が短くなっている。また近年、都市型水害が社会問題となり対策が求められている。そのため精度の良い流出予測手法の開発が望まれているが、都市流域特有の流出機構の複雑さによって、流出機構を簡易に精度よくモデル化することは非常に困難な状況にある。近年、AI(人工知能)技術の向上により、第三次 AI ブームと呼ばれ、様々な分野への応用が進められており、土木分野においても AI を用いた検討が数多く行われている¹⁾。AI 技術を応用した機械学習モデルはデータ(学習・教師)のみを用いて自動的にパラメーターの調整を行うためモデルの構築が大変容易であり、降雨流出予測の分野においても過去の降雨流出事例の観測データを用いて、ニューラルネットワークやディープラーニング(深層学習)を用いたモデルの構築が行われている²⁾。しかし観測データを用いて降雨流出モデルの構築を行う場合、観測値に含まれる誤差などによってモデルの評価が適切に行うことができないことや、流域によって異なる観測データを用いてモデルが構築されるためモデル間の優劣を適切に評価することが困難であると考えられる。

そこで本研究では著者ら³⁾が構築した都市貯留関数モデル(USF モデル)を深層学習モデルでエミュレーションできるかを確認することを目的として、USF モデルの入力降雨を入力層に与え、USF モデルを介した出力結果を出力層に与え、深層学習モデルを構築し、入力層ノード数の変化による深層学習のエミュレーション性能を交差検証により評価した。

2. 使用データおよび深層学習モデル

著者らはすでに深層学習モデルに入力するための USF モデルに与える模擬の入力降雨(バーチャルハイエトグラフ(以下、VH とする))と、模擬の入力降雨を USF モデルに与えた場合の流出量(バーチャルハイドログラフ(以下、VQ とする))を作成し⁴⁾、公開している。VH・VQ の詳細については文献 4) を参照されたい。VH は対象期間を 24 時間とし、ランダムカスケードモデルを用いて 1 分雨量の時間分布を発生させている。また、VQ は VH を USF モデルに入力し、流出計算を実施した結果を用いている。USF モデルは流出機構が複雑な都市中小河川の予測に適した集中型概念モデルであり、VH および VQ は 100 洪水作成されている。ピーク流量の大きい 3 洪水を抽出し、それぞれ学習用(イベント 1)、交差検証のテスト用(イベント 61)、検証用(イベント 81)に使用した。

深層学習モデルは図-1 に示すように中間層を 2 層とした深層学習モデルとした。本研究では入力層ノードを変化させた場合のエミュレーション性能を確認するため、表-1 に示すように、入力層ノード数を 30 (VH のうち現時刻~29 分前の 1 分間雨量) から 1440 に変化させた 7 ケースを検討した。また表-1 にはこの場合の未知の重みの数も合わせて併記している。出力層ノード数は 1 (VQ のうち現時刻流出高) とし、中間層 1・2 のノード数は今回の場合それぞれ 90 で固定した。その他の学習の設定を表-2 に示すが、ミニバッチは適用せずエポック毎に学習の反復を行った。深層学習ソフトとしては MATLAB2019b Deep Learning Tool Box を使用した。最適な重みの値は 5000 エポックまで学習を行った中でテスト用の RMSE が最小を記録したエポックの重みを採用し、検証に用いた。

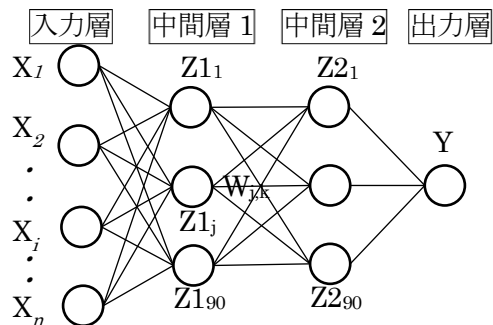


図-1 モデル構造

表-1 CASE 毎の入力層ノード数と重みの数

ケース	入力層ノード数	重みの数
CASE1	30	11071
CASE2	60	13771
CASE3	90	16471
CASE4	180	24571
CASE5	360	40771
CASE6	720	73171
CASE7	1440	137971

表-2 深層学習のその他の設定

種別	設定内容
評価関数	RMSE (二乗平均平方根誤差)
活性化関数	ReLU関数
勾配法	Adam
ドロップアウト率	0%

キーワード 人工知能, 深層学習, 交差検証, USF モデル, 模擬データ

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 E-mail : kawano-masahiro@ed.tmu.ac.jp

3. 結果および考察

図-2 に CASE4 の学習用とテスト用のエポックによる RMSE の推移を、図-3 から図-5 に CASE4, 7 の学習用, テスト用, 検証用それぞれのハイエト・ハイドログラフを、図-6 に各ケースの学習, テスト, 検証の RMSE を示す。

図-2 より, 約 3500 エポック(図中青線)でテスト用洪水の RMSE が最小となっており, 今回はその RMSE が最小を記録したエポックの重みを検証に用いている。図-3 より, 学習洪水では VQ(図中黒線), CASE4(入力層ノード数 180, 図中赤線), CASE7(入力層ノード数 1440, 図中緑線)ともに重なっており, 学習ができていると言える。図-4 および図-5 を見ると, テスト用および検証用では CASE4 ではピーク流出高に若干の過小評価が見られるものの, 深層学習モデルで USF モデルをエミュレーションできていることがわかった。また, CASE7 では CASE4 よりピーク流出高を更に過小評価しており, 平水時に関しても図-5 の 1440min 付近など, 誤差が生じている部分がある。図-6 より入力層ノード数と RMSE の関係を見ると, まず学習用洪水の再現結果(図中●)では入力層ノード数の増加に従い RMSE が低下し, 精度が向上している傾向であった。次に, テスト洪水(図中△)および検証用洪水(図中×)の再現結果における精度の確認では, 入力層ノードが 60 (CASE2) までは同様に入力層ノード数の増加に従い, 精度が向上している傾向であった。その後入力層ノード 180 (CASE4) までは RMSE は 0.02 から 0.03 とほぼ同じ値をとるが入力層ノードが 360 (CASE5) 以降大きく RMSE が上昇し, 精度が低下する傾向がみられた。これにより CASE5 以降は過学習の状態になっていると考えられる。

以上より, 今回の場合では学習用洪水が 1 洪水でも入力層ノードを 60 から 180 の間で設定することにより RMSE が 0.030 以下となり, ハイドログラフの確認でも概ね VQ を再現できているため, 十分エミュレーションできていると言える。また入力層ノードが 360 以上では RMSE が 0.040 以上になり, ハイドログラフの確認でも VQ と大きく離れてしまう部分があることから, 精度よくエミュレーションができていると明らかになった。入力層ノードが 360 以上では学習用の 1 洪水に最適化された過学習の状態になっていると考えられる。ただし, 今回の場合はピーク流量の大きい洪水を学習対象としているため, 今後は学習する洪水規模と再現精度の関係について検討する必要があると考えられる。

4. まとめ

本研究では, 深層学習モデルを用いたUSFモデルのエミュレーション性能を確認するため, VHとVQを用いて深層学習モデルを構築した結果, 学習用洪水が1洪水の場合でも, ピークが大きい洪水イベントを使用した場合には, 入力層ノード数を60から180の間で設定することにより精度良く, 深層学習モデルでUSFモデルをエミュレーションすることが可能であった。今後はピークの小さい洪水イベントを学習に使用した場合や, その他のハイパーパラメータを変更した場合, 評価関数としてRMSE以外を用いた場合のエミュレーション性能について研究を実施していく予定である。

参考文献

- 1) 深層学習は土木を変える? -AI 活用の可能性を探る-, 土木学会誌, Vol.103, No.2, pp.7-37, 2018.
 - 2) 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), 72 巻, 4 号, p. I 187-I 192, 2016.
 - 3) 高崎忠勝, 河村明, 天口英雄, 荒木千博:都市の流出機構を考慮した新たな貯留関数モデルの提案, 土木学会論文集B, Vol.65, No.3, pp.217-230, 2009.
 - 4) 藤塚慎太郎, 河村明, 天口英雄, 高崎忠勝: AI を用いた都市流出モデルエミュレーションのためのベンチマーク模擬ハイドログラフの構築, 第46回土木学会関東支部研究発表会講演集, CD-ROM版, 2019.
- (VH・VQ:<http://www.comp.tmu.ac.jp/suimon/virtual/>よりダウンロード可能)

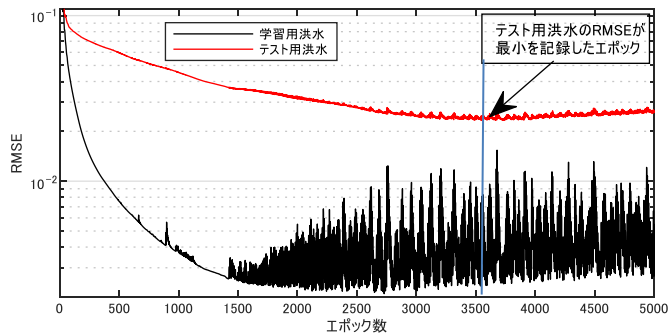


図-2 CASE4 におけるエポック数による RMSE の推移

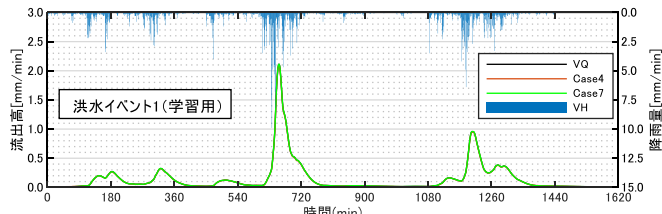


図-3 学習用洪水の再現ハイドログラフ

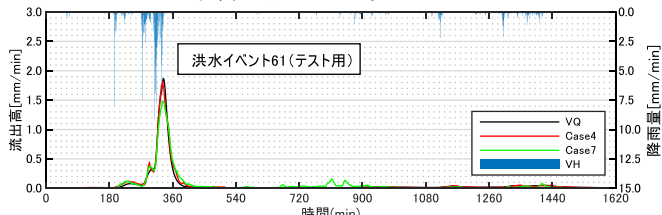


図-4 テスト用洪水の再現ハイドログラフ

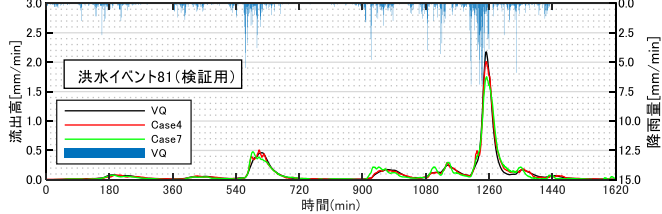


図-5 検証用洪水の再現ハイドログラフ

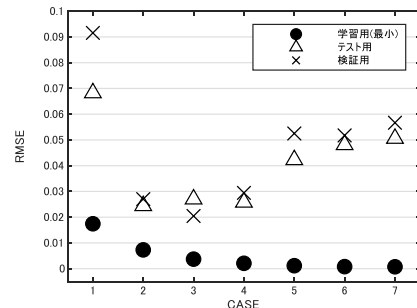


図-6 入力層ノードと誤差の関係