

特徴的な洪水波形に対する AI 河川水位予測の適応性評価に関する研究

名古屋工業大学大学院 学生会員 ○榎林利晃
 名古屋工業大学大学院 フェロー会員 富永晃宏

1. はじめに

近年の人工知能(AI)の発展は著しく、深層学習(ディープラーニング)の活用を中心に様々な分野で応用が進められている。河川工学においても AI を用いた統計モデルによる流出解析手法の検討がなされており、高精度な結果が報告されている。しかし、実際に検討を行った事例はまだ少ないというのに、機会学習モデル毎に精度を比較した事例はほとんどない。本論では、過去に経験したことのない規模の豪雨や流域の一部に多量の降雨をもたらす等、特徴的な洪水事例について AI の予測精度を機会学習モデル毎に検証したものである。

2. 研究方法

検証地点は千曲川流域中流部の千曲川と犀川の合流地点に位置する立ヶ花水位観測所で、検討に用いた実績の水位と地上雨量データは、国土交通省の水文水質データベースより取得した。モデルの構築に用いた洪水は2002年～2021年の立ヶ花観測所水位が水防団待機水位(3.0m)を超えた21事例としている。予測精度の検証には表-1の通り、洪水のピーク流量が最大等、特徴的な豪雨出水5ケースを抽出し、抽出した洪水を除く20事例を用いて、それぞれモデルを構築(学習)し、抽出した洪水の実績ハイドロとモデルによる予測時間1, 3, 6, 9hを比較した。また、経験のない洪水に対するAIモデルの汎化性を検討するため、最も高い水位(12.44m)を記録した洪水(case5)を対象にピーク水位10mを超えた洪水(case1.2)の2事例も学習データから除いた場合(case5')の検討を合わせて行った。入出力層の組み合わせは表-2の通りで、例えば、出力層を現時刻から3時間後の立ヶ花観測所の水位とする場合、入力層は流域内の5水位観測所の3時間前～現時刻までの時刻水位、立ヶ花水位観測所の1時間前から現時刻までの水位差分、流域内16地点の5時間前～2時間後の観測雨量となる。なお、各時刻の予測雨量については、実績雨量を予測雨量に見立てた完全予測データを用いた。機械

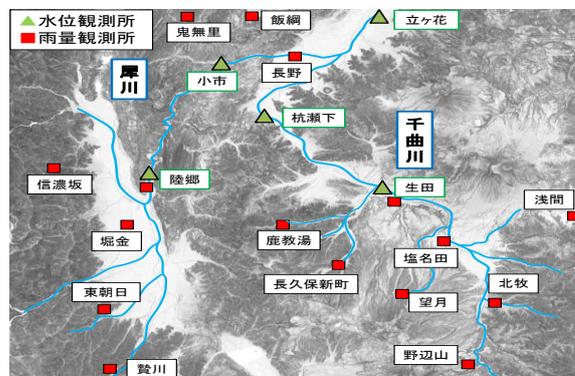


図-1 千曲川流域図

表-1 検討対象洪水及びケース名

ケース名	対象洪水名	ピーク水位	ピーク順位	学習洪水数	特徴
case1	2004/10/21	10.31	3	20	流域全体への長時間降雨 千曲川流域への局所的降雨 犀川流域への局所的降雨
case2	2006/7/19	10.67	2		
case3	2013/9/17	7.8	5		
case4	2020/7/8	7.31	7		
case5	2019/10/12	12.44	1		
case5'				18	過去最高水位

表-2 時刻0からt時間予測を行う場合の入出力

種別	入力		出力
	地点	時刻(現時刻を0とする)	
時刻水位	流域内の5地点	-3,-2,-1,0	t時間後における立ヶ花の水位
水位差分	立ヶ花	-1,0	
観測雨量	流域内の16地点	-5,-4,-3,-2,-1,0	
予測雨量	累積	0,+1,+2,...,t-1	

学習モデルは一般的な回帰予測に良く用いられる線形モデル(Liner model)、深層学習(DNN)、ランダムフォレスト(Random forest: 以下 RF)により予測している。

3. 予測結果

水位の予測結果に対する誤差評価には、次式に示す平均二乗誤差平方根(以下 RMSE)を用いる。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(H_{pre} - H_{obs})^2}{N}}$$

ここで、 H_{pre} は予測水位(m)、 H_{obs} は観測水位(m)、Nはデータ数である。RMSE 算出に用いた範囲は、住民避難等に重要となる水位上昇の開始時刻からピーク水位を記録した時刻の3時間後までとした。

リードタイム6時間の水位予測結果を図-2、モデルごとのRMSE時間変化を図-3に示す。流域全体に長時間降雨をもたらした、洪水ピーク流量が第3位及び第2位の case1.case2 については、全てのモデルでリードタイム6Hの洪水波形及びピーク水位(図-2)は実績水位と合

キーワード 人工知能, 水位予測, 千曲川流域

連絡先 〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学大学院工学研究科 TEL052-735-5490

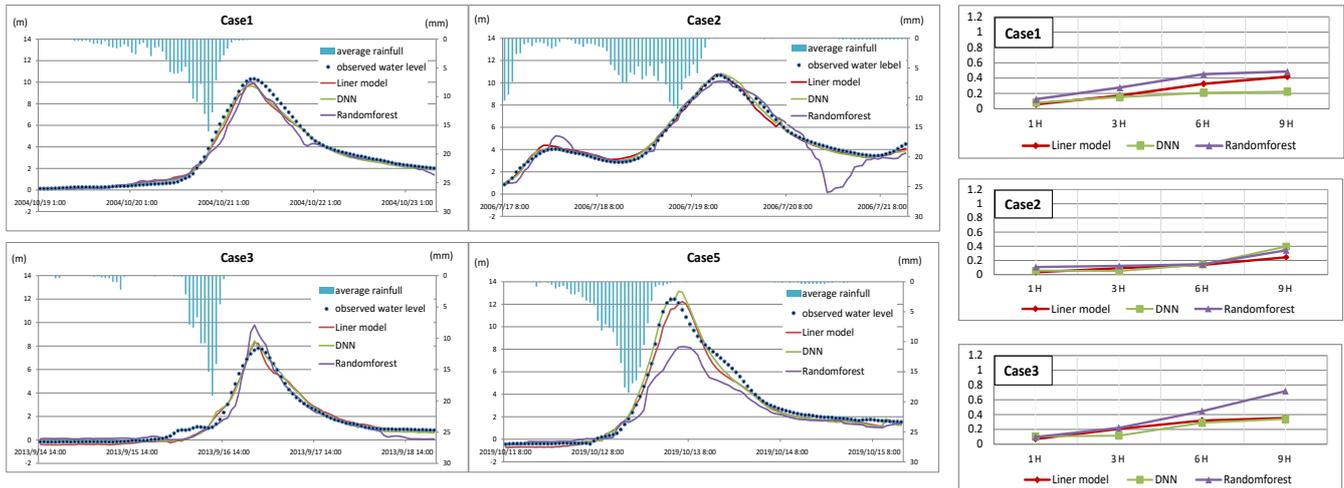


図-2 水位予測結果(リードタイム:6時間)

表-3 全ケースのRMSE(左: Liner model 中: DNN 右: Random forest)

ケース	case1	case2	case3	case4	case5	case5	ケース	case1	case2	case3	case4	case5	case5	ケース	case1	case2	case3	case4	case5	case5
1h	0.059	0.034	0.069	0.048	0.071	0.063	1h	0.081	0.058	0.104	0.087	0.121	0.185	1h	0.125	0.108	0.095	0.123	0.479	0.714
3h	0.171	0.090	0.205	0.145	0.195	0.181	3h	0.154	0.052	0.114	0.257	0.168	0.144	3h	0.277	0.125	0.220	0.559	0.882	0.907
6h	0.327	0.137	0.320	0.273	0.258	0.249	6h	0.209	0.142	0.289	0.319	0.195	0.251	6h	0.452	0.146	0.447	0.842	0.938	0.903
9h	0.420	0.245	0.354	0.437	0.431	0.413	9h	0.223	0.397	0.339	0.611	0.376	0.457	9h	0.486	0.344	0.718	1.104	1.033	1.160
平均	0.244	0.127	0.237	0.226	0.239	0.227	平均	0.167	0.162	0.212	0.319	0.215	0.259	平均	0.335	0.181	0.370	0.657	0.833	0.921

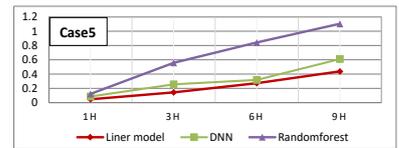


図-3 RMSE 時間変化

致し、各リードタイムにおいて高い予測精度(図-3)が得られた。それに対して、千曲川流域への局所的降雨となった case3 については、リードタイム 6H の洪水波形及びピーク水位は概ね合致したものの、RF モデルについては、リードタイム 9H で RMSE=0.718 となり、線形モデル及び DNN モデルと比較して予測精度が劣る結果となった。また、最も高い水位を記録した case5 についても図-2 より、線形モデル及び DNN モデルのピーク水位は実績のピーク水位(12.44m)を良好に再現しているが、RF モデルでは、約 4m のピーク水位差が生じている。各リードタイムにおける RMSE についても、図-3 より、RF モデルについては、リードタイムが 3h から線形モデル及び DNN モデルと比較して 2 倍以上の値となっており、9H については精度が最も低く、RMSE=1.0 を上回る結果となった。これらのことから、RF モデルは線形モデル及び DNN モデルと比べて、局所的な短時間降雨による急激な水位上昇や経験のない規模の洪水に対する予測精度が劣ることがわかった。

表-3 に全てのケースの RMSE を示す。線形モデル及び DNN モデルは、ピーク水位が 12m を上回る case5 の場合であっても、線形モデルは平均で RMSE=0.239、DNN モデルは平均で RMSE=0.215 と極めて高い予測精度を示した。更に最も高い水位(12.44m)を記録した洪水(case5)及びピーク水位 10m を超えた洪水(case1.2)の 3 事例を学習データから除いた case5' については、ピーク水位 8.5m 以下の洪水のみしか学習していないにもかかわらず、

線形モデルは平均で RMSE=0.227、DNN モデルは平均で RMSE=0.259 と 12m 超の水位を case5 と同程度の高い精度で予測することができた。

今回、AI による洪水の予測水位の精度を 3 つの機会学習モデルにより検証した結果、線形モデル及び DNN モデルについては学習の幅によらず、局所的な短時間降雨による急激な水位上昇や経験のない規模の洪水であっても水位の変化をもとに柔軟に予測できることが示された。その一方で RF モデルについては、流域全体に長時間もたらされる降雨による水位変化を予測することはできるものの、経験のない規模の水位上昇の予測には不向きであることが示唆された。また、今回の研究結果を他の流域を対象とした研究と比較すると、リードタイムに対する RMSE の増加率が比較的小さい。千曲川流域の下流に行くほど洪水伝搬速度が遅くなり、ピーク水位に時間差が生じる地形特性は、AI 予測に適した流域である可能性が高いと考えられる。

4. おわりに

今回の研究で、AI が特徴的な洪水波形に対しても極めて高い精度で予測できることが示された。これは経験のない豪雨であっても「水位変化」に着目することで AI にとっては経験済みの洪水とみなすことができると考えられる。今後は、洪水予測において AI に期待する具体的な精度の設定や RMSE=0.5 程度を下限とした場合の洪水予測に必要な最低限の観測機の設置個数や設置位置についても検討をしていきたいと考えている。