

Nearest-Neighbor法による河川水位予測の改良

平岡 透¹・碓 正敬²・幸 弘美³

¹非会員 株式会社東京建設コンサルタント 環境防災部 (〒170-0004 東京都豊島区北大塚1-15-6)
E-mail:hiraoka-t@tokencon.co.jp

²正会員 株式会社東京建設コンサルタント 環境防災部 (〒170-0004 東京都豊島区北大塚1-15-6)
E-mail:ikari@tokencon.co.jp

³正会員 株式会社東京建設コンサルタント 環境防災部 (〒170-0004 東京都豊島区北大塚1-15-6)
E-mail:yuki@tokencon.co.jp

本ノートでは、河川の水位を予測するためにこれまで用いられてきたNearest-Neighbor法を拡張して、より精度良く河川の水位を予測できる方法を提案する。まず本ノートの背景と目的を示し、次にNearest-Neighbor法のアルゴリズムについて概説し、その後に提案法のアルゴリズムについて説明する。更に、実データを用いた実験によって得られる従来のNearest-Neighbor法と提案法の結果を比較することで、提案法の有効性を検証する。最後に、本ノートのまとめと今後の展望について示す。

Key Words : *Nearest-Neighbor method, river water level prediction, rainfall*

1. まえがき

河川氾濫に伴う人命損失などの被害を軽減するために、河川やダム管理者は降雨量や河川水位などの洪水情報を収集及び解析し、関係機関や地域住民に対して的確に指示する必要がある。更に、関係機関や地域住民は、河川氾濫が起こる前に、出動準備や避難準備などを行っておく必要がある。このためには河川の水位を的確に予測する技術が必要となり、現在までに多くの河川水位予測の方法¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾が提案されている。

河川水位予測の方法は、流出モデルを用いる方法¹⁾²⁾と過去のデータを用いる方法³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾に大別できる。流出モデルを用いる方法は、実績降雨量から合理式や貯留関数法¹⁾などを用いて水位観測所の推定流量を求め、次に推定流量から予め設定しているH-Q式を用いて推定水位を求め、その後直近の時刻の推定水位と実測水位から予測水位を求める。この予測水位を求める際、実績水位を用いたフィードバック²⁾によって予測水位の精度の向上が図られている。一方、過去のデータを用いる方法として、Nearest-Neighbor法³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾やニューラルネットワークを用いる方法⁷⁾⁸⁾⁹⁾がある。Nearest-Neighbor法は、過去に起こった多数の洪水の実績降雨量や実績水位のデータ（以下、過去のデータ）と、現在から数時間前までの実績降雨量や実績水位のデータ（以下、直近のデー

タ）を比較し、類似した過去のデータから予測水位を求める。ニューラルネットワークを用いる方法は、過去のデータを用いてニューラルネットワークを学習させ、直近のデータをニューラルネットワークに入力して出力された値から予測水位を求める。流出モデルを用いる方法は、過去のデータを用いる方法と比較して、学習データとして直近のデータ以外に過去のデータを必要としないという利点があるが、実測降雨量から推定流量を求める際や推定流量から予測水位を求める際に多くの手間を要するという欠点がある。過去のデータを用いる方法において、Nearest-Neighbor法は、ニューラルネットワークを用いる方法と比較して、学習する時間を必要としないという利点があるが、両方法とも類似した過去のデータがない場合には予測精度が低下する可能性がある。

本ノートでは、多くの河川水位予測の方法の中でNearest-Neighbor法に注目し、Nearest-Neighbor法を拡張することで河川水位予測の精度向上を図れる方法を提案する。また、実データを用いた実験を通して、Karlsson and Yakowits³⁾の方法に準拠したNearest-Neighbor法と提案法を比較することで、提案法の有効性を検証する。Nearest-Neighbor法は、世界では1987年にKarlsson and Yakowitsによって、また日本では1997年に藤村ら⁴⁾によって初めて河川水位予測に応用

され、更に2005年に八田ら⁹⁾によって数種類のデータの重み付けを行うことで拡張されているが、提案法は八田らの拡張の方法とはアプローチが異なる。

2. 方法

本章では、まずKarlsson and Yakowitsの方法に準拠したNearest-Neighbor法（以下、従来法）と提案法のアルゴリズムをそれぞれ詳細に説明し、次に従来法と提案法の相違点を説明する。

以下、過去の実績降雨量と実績水位をそれぞれ $r_{i,j}$ と $h_{i,j}$ ($i=1,2,\dots,I; j=1,2,\dots,J$)とする。ここで、 i は過去に起こった洪水、 j は時刻である。また、現在から数時間前までの実績降雨量と実績水位をそれぞれ R_k と H_k ($k=0,1,\dots,K$)とする。ここで、 k は現在から過去の時刻である。また、現在から数時間後の予測水位を $H^{(l)}$ とする。ここで、 l は現在から未来の時刻である。

(1) 従来法のアルゴリズム

以下、従来法の手順を示す。

Step1: 式(1)の値が小さい方から M 個の i と j を求め、 i_m と j_m ($m=1,2,\dots,M$)とする。式(1)は、 N 時間前までのデータを用いることを意味している。ここで、 α と β は正定数である。

$$\sum_{n=0}^N \left(\alpha (r_{i,j-n} - R_{k-n})^2 + \beta (h_{i,j-n} - H_{k-n})^2 \right) \quad (1)$$

Step2: 式(2)より、 l 時間後の予測水位 $H^{(l)}$ を求める。

$$H^{(l)} = \frac{\sum_{m=0}^M h_{i_m, j_m + l}}{M} \quad (2)$$

(2) 提案法のアルゴリズム

以下、提案法の手順を示す。

Step1: 式(3)の値が大きい方から M 個の i と j を求め、 i_m と j_m ($m=1,2,\dots,M$)とする。式(3)は、 N 時間前までのデータを用いることを意味している。ここで、 α と β は正定数である。

$$\sum_{n=0}^N e^{-\alpha(r_{i,j-n}-R_{k-n})^2 - \beta(h_{i,j-n}-H_{k-n})^2} \quad (3)$$

Step2: 式(4)より、 l 時間後の予測水位 $H^{(l)}$ を求める。

$$H^{(l)} = H_k + \frac{\sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^N (h_{i_m, j_m - n + 1} - h_{i_m, j_m - n})}{MN} \quad (4)$$

Step3: Step2で求めた予測水位 $H^{(l)}$ も含めてStep1の処理を行い、Step2で予測水位 $H^{(2)}$ を求める。この処理を繰り返し行うことで、最終的な予測水位 $H^{(l)}$ を求める。

(3) 従来法と提案法の相違点

従来法と提案法は、大きく2つの点が異なる。

1点目は、過去のデータと直近のデータを比較する際、従来法は、実績降雨量間の差の自乗と実績水位間の差の自乗をある比率で加えた値（式(1)参照）が小さい程、過去のデータと直近のデータが類似していることになる。一方、提案法は、従来法の評価値に-1を乗じた値をEXP関数の指数部とした値（式(3)参照）が大きい程、過去のデータと直近のデータが類似していることとなる。提案法は、従来法と比較して、過去のデータと比較した場合に大きく異なる実績降雨量や実績水位からの影響がより小さくなる¹⁰⁾。つまり、より類似した過去のデータを抽出することが可能になると考えられる。

2点目は、従来法は数時間先の水位予測を行う場合に直近のデータのみを用いて過去のデータと比較するが、提案法は直近のデータと現在から数時間先までの予測水位も用いて過去のデータと比較する。従来法は、直近のデータと過去のデータは類似しているが、現在から数時間先までの間の類似性を比較していないため、予測水位が大きく実績水位と乖離する場合が生じ、これが予測水位の振動が生じる原因の1つと考えられる。一方、提案法は、求められた予測水位を用いて現在から数時間先までの間の類似性も評価しているため、実績水位との乖離を軽減することができ、予測水位の振動を軽減することができるとも考えられる。

3. 実験

提案法の有効性を従来法と比較して検証するために、流域面積が167.3km²の10洪水を用いて実験を行った。この流域の特徴として、土地利用率が建物用地1.7%、水田5.1%、森林89.6%、水域1.1%、その他2.5%であり、表層地質（岩石区分）が主に火山性岩石（凝灰岩質岩石）である。10洪水の実績降雨量と実績水位のグラフを図-1に示す。図-1において、横軸が時間 [h]、左縦軸が水位 [m]、右縦軸が降雨量 [mm/h] であり、図-1の上部に流域平均降雨量を棒グラフで、下部に実績水位を折れ線グラフで表現している。また、10洪水の降雨継続時間 [h] と総降雨量 [mm] を表-1に示す。10洪水のうち、図-1のNo.1からNo.7までの7洪水を過去のデータとして、No.8からNo.10までの3洪水に対してそれぞれ水位予測を

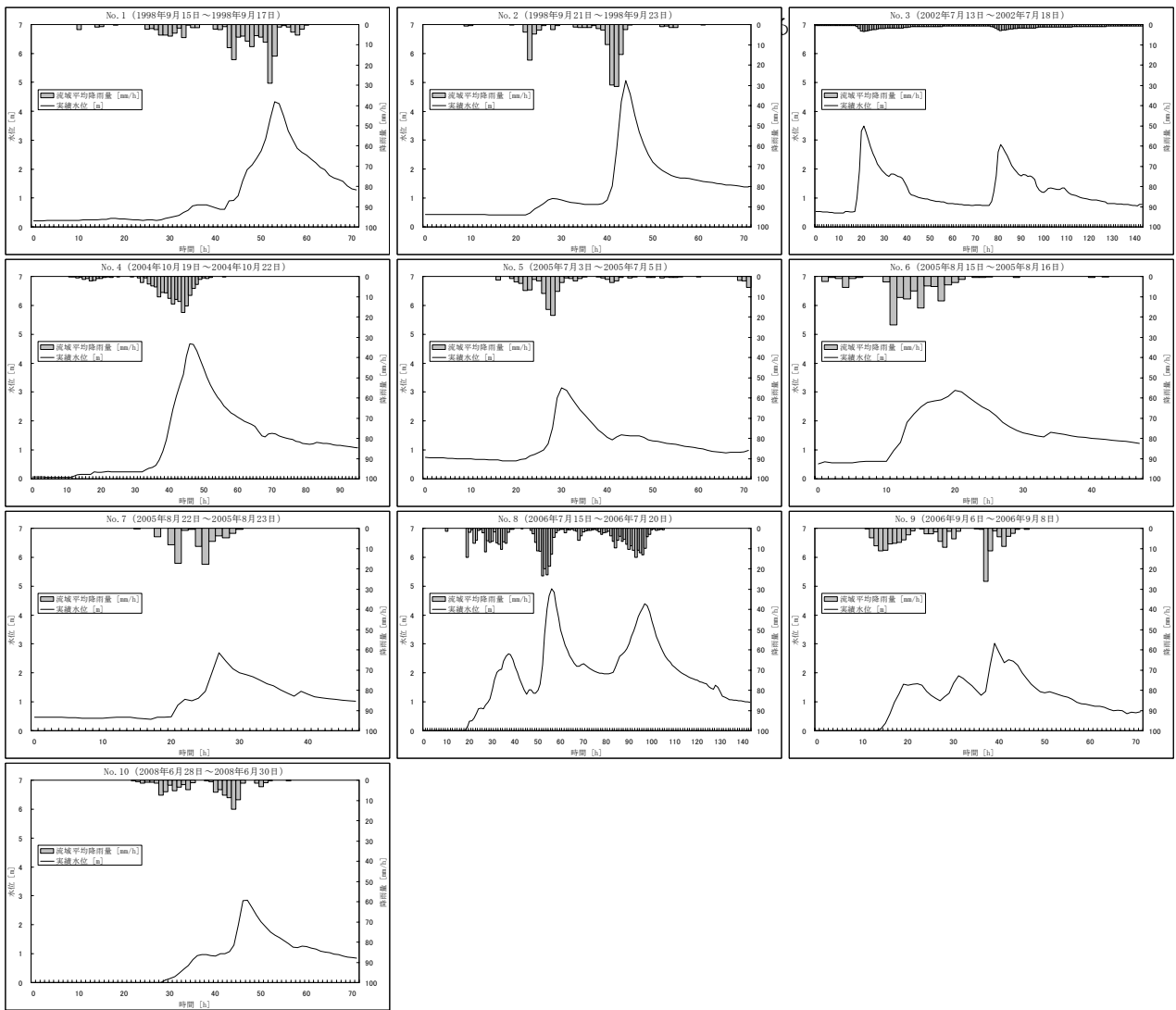


図-1 実験で使った10洪水の実績降雨量と実績水位

行った。図-1より、No.1からNo.7までの7洪水とNo.8からNo.10までの3洪水を比較して、大きく類似したグラフの形状が存在しないことが分かる。これは、類似した過去のデータが存在しない場合の検証も行なえることを意味している。本実験では、降雨量と水位の影響を同程度受けるようにするために、降雨量のピーク時の値 [mm/h] が水位のピーク時の値 [m] よりも1桁大きい値となることを考慮して、従来法と提案法の α と β をそれぞれ0.1と1.0とした。また、 M を1とした。更に、 N を3, 4, 5, 6, 7とし、 l を1と3として、全ての組み合わせに対して実験を行った。つまり、従来法と提案法の1地点に対して、3時間、4時間、5時間、6時間、7時間前までのデータを用いたそれぞれの場合で、1時間と3時間後の合計12通りの水位予測を行った。

以上のような条件で従来法における実験によって得られた平均誤差と最大誤差を表-2に示す。同様に、提案法による実験の結果を表-3に示す。ここでの誤差は予測水位と実績水位の差の絶対値であり、平均誤差と最大誤差

表-1 実験で使った10洪水の降雨継続時間と総降雨量

洪水	降雨継続時間 [h]	総降雨量 [mm]
No.1	51.0	188.1
No.2	53.0	137.4
No.3	133.0	158.2
No.4	49.0	160.5
No.5	56.0	108.0
No.6	42.0	114.5
No.7	20.0	75.9
No.8	98.0	436.3
No.9	36.0	158.6
No.10	35.0	98.8

は水位予測を行ったNo.8からNo.10までの3洪水の全てにおいての平均値と最大値である。表-2と表-3より、提案法の方が従来法よりも精度良く水位予測が行われていることが分かった。また、従来法と提案法はどちらも、

表-2 従来法による予測水位と実績水位との誤差の絶対値の平均と最大値 [m]

予測	誤差	N の値				
		3	4	5	6	7
1時間	平均	<u>0.164</u>	0.167	0.181	0.203	0.220
	最大	<u>1.120</u>	<u>1.120</u>	1.700	1.990	1.990
3時間	平均	<u>0.316</u>	0.330	0.362	0.377	0.398
	最大	<u>2.570</u>	<u>2.570</u>	2.900	3.370	3.370

※ 下線は、1時間予測及び3時間予測において平均誤差と最大誤差がそれぞれ最小となる場合である。

表-3 提案法による予測水位と実績水位との誤差の絶対値の平均と最大値 [m]

予測	誤差	N の値				
		3	4	5	6	7
1時間	平均	<u>0.096</u>	0.097	0.104	0.112	0.115
	最大	<u>0.983</u>	0.994	0.997	0.997	1.041
3時間	平均	<u>0.282</u>	0.294	0.316	0.327	0.344
	最大	2.480	2.321	<u>2.059</u>	2.720	2.736

※ 下線は、1時間予測及び3時間予測において平均誤差と最大誤差がそれぞれ最小となる場合である。

表-4 N の値が3の場合の提案法による洪水毎の予測水位と実績水位との誤差の絶対値の平均と最大値 [m]

予測	誤差	No.8	No.9	No.10
1時間	平均	0.111	0.115	0.059
	最大	0.625	0.983	0.821
3時間	平均	0.346	0.295	0.206
	最大	2.480	2.105	1.570

N の値が小さい程、平均誤差と最大誤差が小さくなる傾向があることが分かった。

次に、N の値が3の場合の提案法によるNo.8からNo.10までの3洪水の各水位予測で得られた平均誤差と最大誤差を表-4に示す。表-4より、洪水毎に大きく異なる洪水予測の結果とはならないことが分かった。

更に、N の値が3の場合の従来法と提案法によるNo.8からNo.10までの3洪水の各水位予測の結果のグラフをそれぞれ図-2と図-3に示す。図-2と図-3において、1時間と3時間後の予測水位をそれぞれ●と×の点で表現している。図-2と図-3より、従来法は予測水位が大きく振動する場合もあるが、提案法は予測水位の振動も小さくなり、安定した予測が行えることが分かった。また、ピーク部の再現性も提案法の方が従来法よりも良いことが分かった。これらの理由は、現在から数時間先までの予測水位を用いたためであると考えられる。しかし、図-2と図-3より、

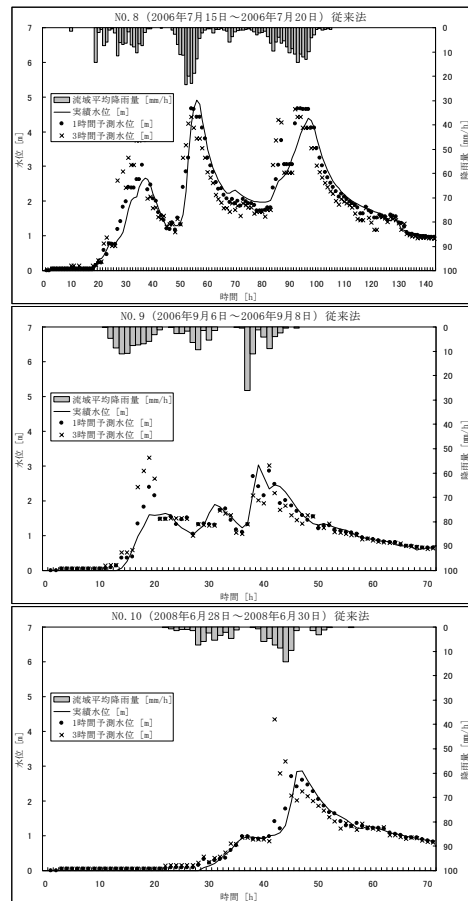


図-2 従来法による1時間と3時間予測水位

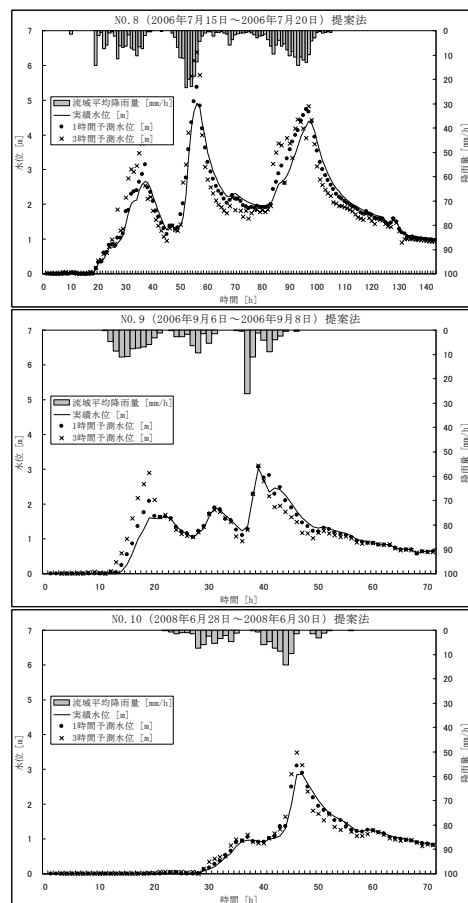


図-3 提案法による1時間と3時間予測水位

No.9の初めのピーク及びNo.10のピークが平らな場合は、凸上の形状となった。この理由は、過去のデータにピークの平らな部分が多い場合が存在しなかったためであると考えられる。

以上より、提案法は従来法よりも実績水位の形状をよく再現していると評価する。

4. 結論

Nearest-Neighbor法を拡張することで河川水位予測の精度向上を図れる方法を提案し、実データを用いた実験を通して、Karlsson and Yakowitsの方法に準拠した従来法と提案法を比較することで、提案法の有効性を検証した。従来法よりも提案法の方が精度の良い結果が得られることが分かった。今後の課題は、より多くのデータに適用することと、より精度良く水位予測を行えるようにアルゴリズムを更に改良することである。

参考文献

- 1) 浅枝隆, 鈴木篤, 玉井信行, 西川肇, 安田実: 大学土木河川工学, pp.34-43, オーム社, 1999.
- 2) 天野卓三, 三輪準二, 水草浩一, 金木誠: 中小河川における洪水予測手法に関する研究, 土木学会第 58

- 回年次学術講演会, pp.43-44, 2003.
- 3) Karlsson, M. and Yakowits, S. : Nearest-Neighbor Methods for Nonparametric Rainfall-Runoff Forecasting, *Water Resour. Res.*, Vol.23, No.7, pp.1300-1308, 1987.
- 4) 藤村達也, 田中丸治哉, 畑武志, 多田明夫: Nearest-Neighbor 法による実時間洪水予測に関する研究, 農業土木学会大会講演要旨集, pp.188-189, 1997.
- 5) 満倉誠, 貞本均, 中津川誠: Nearest-Neighbor 法による大河川の洪水予測について, 河川技術論文集, 第 8 巻, pp.337-342, 2002.
- 6) 八田茂実, 秋野隆英, 舛屋繁和: Nearest-Neighbor 法の洪水予測への適用, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 61 号, II-12, 2005.
- 7) 外山かおり, 大阪忠史, 藤間聡: ニューラルネットワークを用いた洪水予測について, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 53 号 (B), pp.48-53, 1997.
- 8) 瀬野英二, 泉田正則, 村上研二, 松本晋: 広域雨量データを用いたニューラルネットワークによるダム流入量予測, 電気学会論文誌 B, Vol.124, No.4, pp.561-568, 2004.
- 9) 中村祥宏, 三浦房紀, 田中達雄: ニューラルネットワークを用いた河川水位予測システムの開発 (A. 被害予測と緊急対応), 地域安全学会梗概集, pp.15-18, 2004.
- 10) 平岡透, 浦浜喜一: モードフィルタを用いた自己相似性による欠損 DEM の補間法, 写真測量とリモートセンシング, Vol.47, No.5, pp.77-80, 2008.

(2009. 10. 27 受付)

RIVER WATER LEVEL PREDICTION BY IMPROVEMENT OF NEAREST-NEIGHBOR METHOD

Toru HIRAOKA, Masataka IKARI and Hiromi YUKI

In this note, we propose an improvement for river water level prediction from amount of rainfall and actual survey river water level. First, we show a background and a purpose of this note. Next, we explain the conventional Nearest-Neighbor method and the proposed method. Next, we prove that the proposed method is effective in comparison with the conventional Nearest-Neighbor method through experiments which is used of real data. Finally, we comment on a respects in which the proposed method is improved and on a future prospects.