室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

Nearest-Neighbor法による大河川の洪水予測について

メタデータ	言語: jpn 出版者: 土木学会 公開日: 2012-08-24 キーワード (Ja): キーワード (En): Nearest-Neighbor Method, water level forecast, Ishikari River, water level correlation 作成者: 満倉, 真, 貞本, 均, 中津川, 誠 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/1547

室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

Nearest-Neighbor法による大河川の洪水予測について

その他（別言語等）のタイトル	FLOOD FORECASTING IN LARGE RIVER BY NEAREST-NEIGHBOR METHOD
著者	満倉　真, 貞本　均, 中津川　誠
雑誌名	河川技術論文集
巻	8
ページ	443-448
発行年	2002-06
URL	http://hdl.handle.net/10258/1547

Nearest-Neighbor 法による大河川の洪水予測について

FLOOD FORECASTING IN LARGE RIVER BY NEAREST-NEIGHBOR METHOD

満倉　真[1]・貞本　均[2]・中津川　誠[3]

Makoto MITSUKURA, Hitoshi SADAMOTO, Makoto NAKATSUGAWA

[1]正会員　工修　株式会社　建設技術研究所（〒060-0042 札幌市中央区大通西9丁目の3）

[2]正会員　工修　株式会社　建設技術研究所（〒060-0042 札幌市中央区大通西9丁目の3）

[3]正会員　工博　独立行政法人　北海道開発土木研究所（〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目）

We applied Nearest-Neighbor Method (NNM) to water level forecast of long lead-time at a flooding event. NNM is a non-parametric scheme that uses a pattern-matching technique. The water levels at the Ishikari Ohashi Bridge site, which is a standard observation point on the Ishikari River, were estimated for lead times of 1 hour, 3 hours, 6 hours and 12 hours for the 2001 flood, which was the most severe in 20 years. Although NNM is a very simple scheme that uses past records, it greatly outperformed a method based on the water level correlation between the subject site and observation sites upstream of it for a large river. NNM was proved to be of practical use in forecasting flooding of long lead-time and short computation time.

***Key Words** : Nearest-Neighbor Method, water level forecast, Ishikari River, water level correlation*

1．はじめに

洪水時に河川の水位を予測するには，通常，水位相関のような簡便な方法や，流出量を貯留関数法のような方法で計算して水位－流量曲線（*H-Q* 曲線）から水位に換算する方法が用いられている．しかし，流出予測等を石狩川のような大河川に適用すると，降雨予測を含め，大量の情報（降雨量や水位等）と長い計算時間を必要とする．また，流量を予測しても *H-Q* 変換に誤差が大きければ，当然予測精度も低下する．

とくに，石狩川のような大流域の下流部では高い水位が長時間継続するため，担当者がその対応に大きな労力を強いられる．そこで，よりリードタイムが長い予測が可能となれば，担当者の負担軽減につながる．また，過去の水文資料の蓄積が進めば，それを利用したノンパラメトリック的な手法で *H-Q* 変換といった過程で生じる誤差を回避し，水位そのものを予測対象とできる．

石狩川では平成13年9月に，流出量において観測史上3番目となる規模の洪水に見舞われた．この際の流域の総降水量は約170mm（9/9～9/13），基準点の石狩大橋地点（12,696.7km²）のピーク流量は6,600m³/s に達したと報告[1]されている．大河川のとくに大規模な洪水の際には，上流の水位情報をみて，経験的に下流を予想するというのが自然である．すなわち，直感的なパターン認識をおこなっているともいえる．

そこで，上記の洪水事例の水位予測に，統計学やパターン認識の分野で知られている Nearest-Neighbor 法を適用し，12時間先までの長いリードタイムでの予測を試みた．その結果，過去のデータベースを活かしたシンプルな手法にもかかわらず，短い演算時間で大河川のリードタイムの長い水位予測に十分適用できることが確認できた．

2．Nearest-Neighbor 法

Nearest-Neighbor 法（以下 NNM と略す）による時系列予測では，現在の時系列パターンに類似した過去の時系列パターンを抽出し，これに基づいて将来を予測する．NNM のアルゴリズムは，例えばA地点の水位 H_A を予測するものとし，そのために考慮すべき水理・水文因子としてA地点の水位 H_A，T地点雨量 R_T，B地点の水位 H_B，気圧 P を選定したとすると以下のように行う．

(1) 特徴ベクトル

現時刻を含めてA地点水位，T地点雨量，B地点水位，気圧それぞれM_1, M_2, M_3, M_4個の連続データを解析の対象として設定する．

例えば，図-1 のように考え，現時刻を n とすると，

H_A は $H_A(n)$, $H_A(n-1)$, $H_A(n-2)$, $H_A(n-3)$の M_1＝４個．

R_T は $R_T(n)$, $R_T(n-1)$, $R_T(n-2)$の M_2＝３個．

H_B は $H_B(n)$, $H_B(n-1)$, $H_B(n-2)$の M_3＝３個．

P は $P(n)$, $P(n-1)$の M_4＝２個．

これをベクトル化して表現すると，

$$\mathbf{X}(n)=\left(H_A(n), H_A(n-1), H_A(n-2), H_A(n-3), R_T(n), R_T(n-1), R_T(n-2), H_B(n), H_B(n-1), H_B(n-2), P(n), P(n-1)\right)$$

となる．この$\mathbf{X}(n)$を特徴ベクトルと呼ぶ．

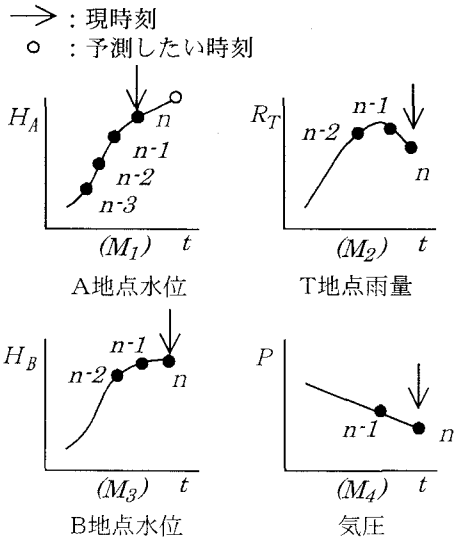


図-1 NNM概念図

(2) ユークリッド距離

各因子の過去のデータベースの中から，時刻 i ($1 \leq i \leq n-1$) ごとに$\mathbf{X}(n)$と同構造の特徴ベクトル$\mathbf{X}(i)$を形成し，それと$\mathbf{X}(n)$とのユークリッド距離を逐次計算する．ユークリッド距離は次式により計算される．

$$\left|\mathbf{X}(n)-\mathbf{X}(i)\right| = \sqrt{\left\{H_A(n)-H_A(i)\right\}^2+\left\{H_A(n-1)-H_A(i-1)\right\}^2+\cdots} \quad (1a)$$

これらの中からユークリッド距離が小さくなるものから順にK個特徴ベクトルを選び出し，それらの現象の後に続く $H_A(i+\ell)$の標本平均，すなわちK個の $H_A(i+\ell)$の平均値を $n+\ell$時点の予測水位 $H_A(n+\ell)$とする（ℓはリードタイム）．

3．NNMの適用

Karlsson and Yakowitz[2]は，NNMを日流量の時系列予測に適用し，その予測精度が単位図法より優れており，ARMAX 法と同程度であることを示した．我が国では，藤村ら[3]田中丸ら[4]によって実時間洪水予測に初めて導入され，藤原ら[5)6)]によって融雪流出への適用結果，大河川での日流量予測への適用結果も報告されている．

石狩川本川では，出水頻度の概ね 50%を4月から6月の融雪出水が占めている．これまで多くの融雪流出計算モデルが開発されているが，大きな流域を有する河川では，モデルの簡易性，予測計算時間，精度等問題が多い．さらに，洪水時には水位の予測が最終目的であり，現在は流量を算出してから水位に換算する方法が主であり，その際に換算誤差が生じる．

そこで本報告では石狩川の基準地点である石狩大橋地点水位の予測にNNMを適用することとした．パターンマッチング的な同法は，まさにこのような箇所に適していると考えられる．

(1) 特徴ベクトル構成因子

NNMの適用に際しては，特徴ベクトルの構造(構成因子とその連続データ数(M の値))や抽出する標本の数(Kの値)を決めなければならない．構成因子としては対象とする流出現象に関連の深いものを用いればよく，ここでは,石狩川および支川各地点の雨量・流量・水位が考えられる．そのうち，雨量については欠測が多い等の不確定要素が多いこと，流量については洪水予測の最終目的が水位であること，といった理由から使用しないこととした．また，石狩大橋の上流には図-2 および表-1 に示すようにいくつかの水位観測地点があり，水位データのみを特徴ベクトルの構成因子とすれば十分と考えた．

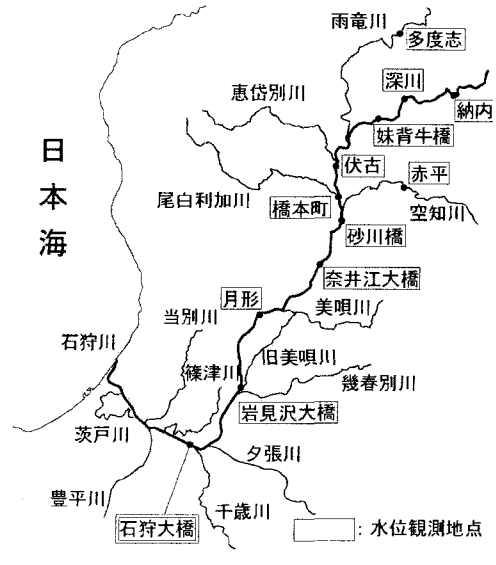


図-2 水位観測所位置図

表-1 水位観測所位置

水位観測所名	KP	水位観測所名	KP
石狩大橋	26.59	深川	121.90
岩見沢大橋	44.50	納内	130.22
月形	58.00		
奈井江大橋	76.80	水位観測所名	合流点からのKP
砂川	87.46	赤平	17.50
橋本町	93.90	(空知川)	(合流点はKP91)
伏古	104.78	多度志	32.50
妹背牛橋	113.50	(雨竜川)	(合流点はKP105)

KP;河口からの距離標(km)

(2) 対象洪水とデータベース期間

予測の対象事例としては，最近20年で最大規模，1981年，1975年に次いで戦後3番目の水位を記録した2001年9月洪水とした．また，データの存在状況から同定のための期間（データベース期間）は1975年～1999年の25年間とした．

(3) 誤差評価

以下の予測誤差の評価には次式で表される平均二乗誤差平方根（以下RMSEと表記）を用いる．

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

ここに，H_{cal}は予測水位，H_{obs}は観測水位，Nはデータ数である．誤差評価対象期間は，一連の洪水期間9月10日～15日の144時間とした．

4．NNMによる石狩大橋地点水位予測

(1) 予備検討

予備検討には，以下の3つの目的があり，次に示す方法で予備検討を行った．その結果は**表-2**に示す．

①特徴ベクトル構成因子の検討
②構成因子の連続データ数(以下Mと表記)の検討
③抽出する標本数(以下Kと表記)の検討

そこで，まず因子が1つの場合，水位予測地点である石狩大橋水位を特徴ベクトルの構成因子としてM=2,3,6,9,12, K=2,3,5,10,20,50,100の35ケースについて1,3,6,12時間先の水位を予測した．次に，因子2つの場合に，予測精度向上に寄与する因子について検討するため，M_1=3, M_2=3として同様に水位を予測した．最後に，石狩大橋水位地点に，因子2つの場合に予測精度の向上に寄与した5地点（橋本町，伏古，妹背牛橋，納内，多度志）のうち2地点を導入した因子3つの場合について，M_1=3, M_2=3, M_3=3として水位を予測した．

その結果，以下の結果を得た．

①構成因子は石狩大橋およびその上流の橋本町，妹背牛橋，納内，支川雨竜川の多度志の各地点水位を導入した場合に精度が良くなる．
②構成因子のデータ数は因子1つの場合の結果より，M=2,3,6に比べるとM=9,12では予測精度が劣る．
③抽出する標本数はK=100の場合は予測精度が劣る．

(2) 詳細検討

1時間先水位予測については予備検討において十分な精度が得られたと考えられ，詳細検討は特に行わない．予備検討結果②，③からM=2～6, K=2,3,5,10,20,50について詳細検討を行う．

a) 構成因子1つ

因子1つの予備検討結果のうち，最も精度が良かったものを**図-3**に示す．

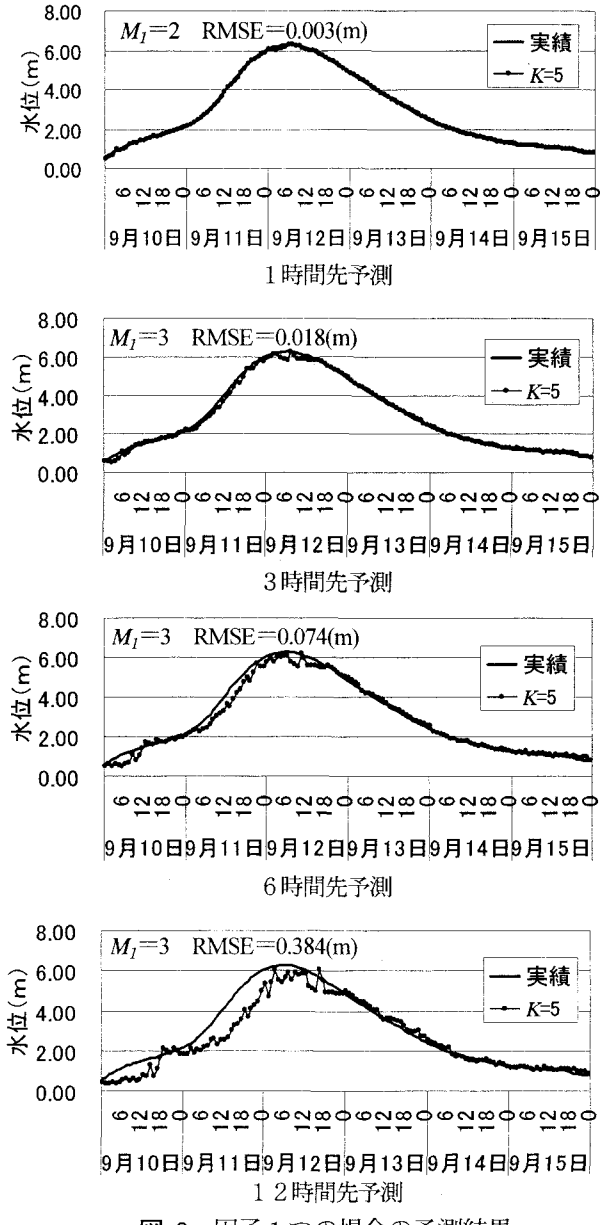


図-3 因子1つの場合の予測結果

b) 構成因子2つ

予備検討において，特徴ベクトルの構成因子として，石狩大橋水位に加えて次の5地点を加えると精度が向上するという結果が得られた．

- 橋本町
- 伏古
- 妹背牛橋
- 納内
- 多度志

そこで因子1として石狩大橋水位，因子2としてこの5地点を導入した場合にM_1=2～6, M_2=2～6, K=2,3,5,10,20,50の150×5ケースについて3，6，12時間先の水位を予測した．その結果，3，6，12時間先予測とも橋本町を因子として加えると，洪水のピーク付近と立ち上がりが改善され，精度が最も向上した．最もRMSEが小さかった場合について**表-3**および**図-4**に示す．

表-2　予備検討結果

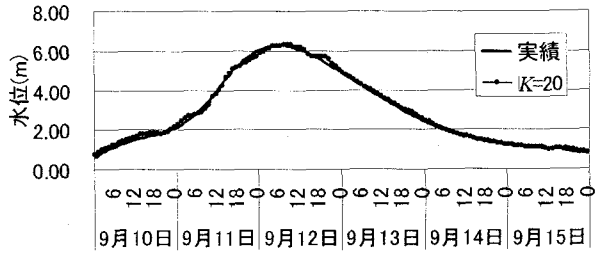
	特徴ベクトル構成因子（○が導入した因子）										RMSE(m)（K=5, M=3の場合の値）			
因子数	石狩大橋	岩見沢大橋	月形	橋本町	伏古	妹背牛橋	深川	納内	多度志	赤平	1時間先	3時間先	6時間先	12時間先
1	○										0.004	0.018	0.074	0.384
2	○	○									—	0.084	0.252	1.050
2	○		○								—	0.083	0.242	0.835
2	○			○							—	0.039	0.111	0.521
2	○				○						—	0.040	0.084	0.345
2	○					○					—	0.053	0.156	0.696
2	○						○				—	0.107	0.259	0.760
2	○							○			—	0.037	0.111	0.546
2	○								○		—	0.036	0.077	0.321
2	○									○	—	0.253	0.614	1.753
3	○			○	○						—	0.038	0.066	0.290
3	○			○		○					—	0.077	0.177	0.600
3	○			○				○			—	0.077	0.136	0.427
3	○			○					○		—	0.043	0.062	0.255
3	○				○	○					—	0.039	0.093	0.391
3	○				○			○			—	0.060	0.087	0.301
3	○				○				○		—	0.052	0.069	0.267
3	○					○		○			—	0.078	0.150	0.535
3	○					○			○		—	0.071	0.130	0.465
3	○							○	○		—	0.057	0.123	0.505

表-3　因子２つの場合の詳細検討結果

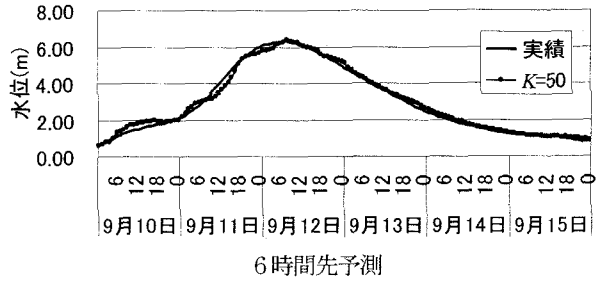
	石狩大橋 (M_1)	橋本町 (M_2)	K	RMSE (m)
3時間先予測	6	2	20	0.012
6時間先予測	2	2	50	0.032
12時間先予測	2	2	50	0.201

表-4　因子３つの場合の詳細検討結果

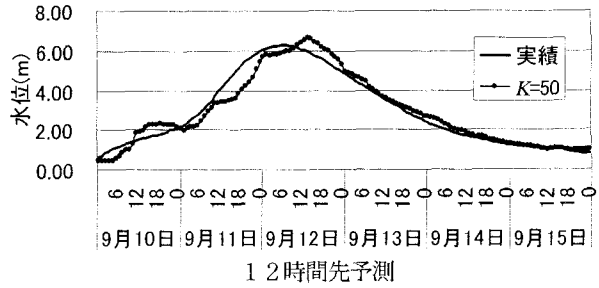
	石狩大橋 (M_1)	橋本町 (M_2)	多度志 (M_3)	K	RMSE (m)
3時間先予測	6	2	2	20	0.014
6時間先予測	6	3	2	20	0.023
12時間先予測	2	5	2	20	0.145



3時間先予測

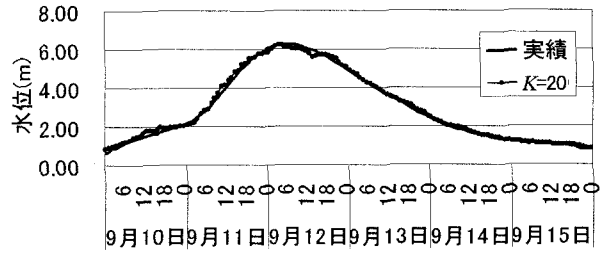


6時間先予測

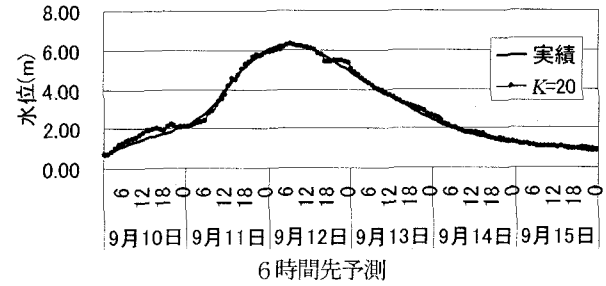


１２時間先予測

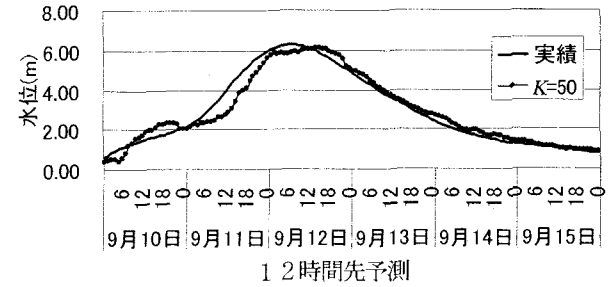
図-4　因子２つの場合の予測結果



3時間先予測



6時間先予測



１２時間先予測

図-5　因子３つの場合の予測結果

c）構成因子３つ

因子３つの予備検討結果において，次の場合に精度が向上している．

構成因子：石狩大橋　橋本町　妹背牛橋
構成因子：石狩大橋　橋本町　納内
構成因子：石狩大橋　橋本町　多度志

そのため，この因子の組合せで，M_1=2～6, M_2=2～6, M_3=2～6, K=2,3,5,10,20,50 の 750×3 ケースについて3,6,12時間先の水位を予測した．その結果，3,6,12時間先とも橋本町と多度志を因子として加えると精度が最もよくなった．最もRMSEが小さかった場合について**表-4** および**図-5** に示す．

因子２つの場合と比較すると，３時間予測については，洪水の立ち上がり，ピークともに若干精度が悪くなったが，6, 12時間先については精度が向上した．特に6, 12時間先予測についてはピーク付近が改善された．

(3) 考察

予備検討，詳細検討で得られた知見を以下に示す．

- リードタイムが短いときは，石狩大橋単独で予測を行っても十分な精度がある．
- ３時間先予測では，因子２つのケース（石狩大橋・橋本町水位）で最も精度が良かった（RMSE=0.012m）
- リードタイムが長くなると２つもしくは３つの因子で特徴ベクトルを形成した方がよい．その際導入する上流地点の水位は橋本町より上流の場合に精度が向上する．つまり，直近の地点を因子として選定しても効果はない．
- 6, 12 時間先予測では因子３つのケースで最も精度が良くなった．しかもその特徴ベクトルは石狩大橋（KP26.59）・橋本町（KP93.90）・多度志地点（KP105+32.50）水位で構成されており，前述したとおり，直近ではなく上・中・下流に離れた３地点（表－１参照）となっている．
- 6時間先までは十分な精度（RMSE=0.023）を持って予測できたと考える．
- 12 時間先予測では，洪水の立ち上がりで，時間遅れが生じ，誤差拡大の要因となっている．
- 抽出する標本数（Kの値）はリードタイムが長くなるほど大きくとった方がよい．
- 今回の洪水は過去 20 年間で最大規模（データベース期間で見るとピーク水位で既往第３位）であったことから，ピーク付近の予測値は既往１，２位の水位を抽出してしまうため，大きく出がちであったが，抽出する標本数（Kの値）を大きくすることによって滑らかかつ妥当な値にすることができた．

5．水位相関による石狩大橋地点水位予測

比較検証のため、石狩大橋地点と上流地点（岩見沢大橋・奈井江大橋・月形橋・砂川橋・橋本町・伏古・妹背牛橋・深川橋・納内・多度志・赤平）の水位との相関解析を行った．解析にあたっては，河道の流下時間を考慮してデータの時間ずらしを行い，最も相関係数の高くなるずらし時間を求めた（**表-5** 参照）．詳細はここでは割愛するが，25 洪水合計 3,984 時間を対象とした．

相関解析結果から回帰式により石狩大橋の水位を予測した．その結果は**表-6** の通りである（**ゴシック体**は最も誤差が小さかったもの）．

表-5　相関係数とずらし時間

被観測所	観測所	ずらし時間	相関係数	観測所	ずらし時間	相関係数
石狩大橋	岩見沢大橋	0	0.958	妹背牛橋	7	0.760
		1	0.960		8	0.761
		2	0.959		9	0.761
	月形	1	0.945	深川	8	0.650
		2	0.948		9	0.651
		3	0.948		10	0.650
	奈井江大橋	5	0.913	納内	9	0.764
		6	0.914		10	0.765
		7	0.913		11	0.765
	砂川橋	8	0.900	多度志	13	0.662
		9	0.900		14	0.662
		10	0.899		15	0.661
	橋本町	9	0.884	赤平	10	0.734
		10	0.884		11	0.735
		11	0.883		12	0.734
	伏古	8	0.690			
		9	0.691			
		10	0.690			

表-6　水位相関による予測結果

RMSE(m)	1時間先予測	3時間先予測	6時間先予測	12時間先予測
岩見沢大橋	**0.145**	**0.140**	**0.250**	0.801
月形	0.401	0.327	0.318	0.670
奈井江大橋	0.850	0.634	0.457	**0.433**
砂川橋	0.576	0.454	0.332	0.466
橋本町	1.999	1.687	1.223	0.577
伏古	2.137	1.927	1.560	0.923
妹背牛橋	2.172	2.051	1.760	1.278
深川	3.334	3.123	2.828	2.379
納内	2.071	1.935	1.681	1.091
多度志	3.237	2.957	2.500	1.464
赤平	1.943	1.905	1.950	2.313

6．比較

第４章の結果より，３時間先予測については，特徴ベクトルの構成因子として，石狩大橋・橋本町地点水位の２つを導入した場合に精度が最も良かった（**表-3** 参照）．また，6, 12 時間先予測においては，石狩大橋・橋本町・多度志地点水位の３つを導入した場合に最も精度が良かった（**表-4** 参照）．特にこの因子３つの組合せでは，12 時間先予測のピーク付近が他の因子を導入した時と比べると格段に精度が向上すること，6 時間先予測精度が最も良いことから，これを最適な組合せとした．

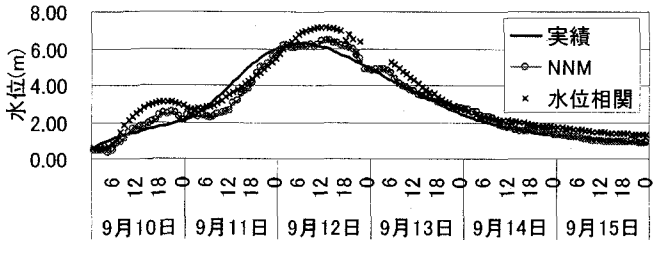
因子１：石狩大橋 M_1=6　因子２：橋本町 M_2=3

因子３：多度志　M_3=2　抽出する標本数 K=20

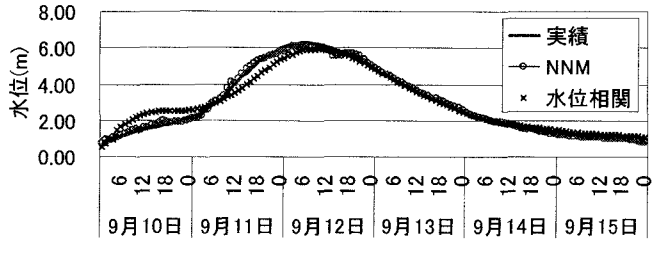
次に，この組合せでの予測結果と水位相関による予測結果を比較し，**図-6** および**表-7** に示す．この結果，水位相関法よりもNNM法による予測結果の方が格段に精度が向上していることが確認された．

表-7 予測結果比較

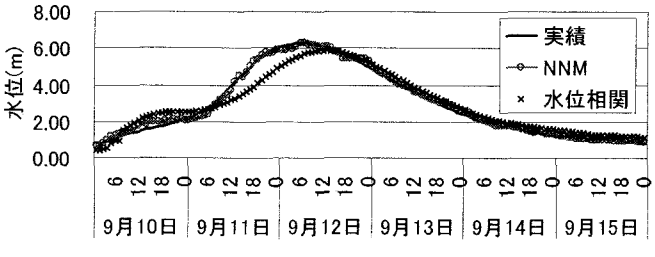
	水位相関法		NNM	
	RMSE(m)	対象地点	RMSE(m)	特徴ベクトル
3時間先予測	0.140	岩見沢大橋	0.016	石狩大橋M_1=6
6時間先予測	0.250	岩見沢大橋	0.023	橋本町M_2=3 多度志M_3=2
12時間先予測	0.433	奈井江大橋	0.173	標本数K=20



3時間先予測



6時間先予測



12 時間先予測

図-6 予測結果比較

7．おわりに

石狩川の洪水時の水位予測にNNMを適用し，12 時間先までの長いリードタイムでの予測を試みた．その結果，以下の結論を得た．

- 過去のデータベースを活かしたシンプルな手法であるにもかかわらず，6 時間先予測まではRMSE=0.03m以下と，短い演算時間で大河川のリードタイムの長い水位予測に十分適用できることが確認できた．
- さらに，流量を介さずに水位そのものを予測することで流量・水位変換時の誤差を回避できる利点もある．
- 人間が関連する情報を総合的に見て，直感的に判断している予測を体系化できたとも言え，洪水時の施設管理および体制づくりへの支援が可能となる．
- 流量予測の困難な感潮区間や融雪洪水についても，特徴ベクトルとして適切な因子を導入することにより適用できる可能性があり，とくにこのような複雑な要因が絡んでいる場合には，過去の経験を生かし得る簡便な水位予測手法として活用できると考える．

謝辞：最後に本研究をまとめるにあたり，水位データおよび洪水データを提供していただいた北海道開発局石狩川開発建設部の関係各位に感謝の意を表します．

参考文献

1) 空閑健，山越明博，古溝幸永，平成 13 年 9 月出水の評価について，第 45 回(平成 13 年度)北海道開発局技術研究発表会発表概要集，河-19, 2002.
2) M.Karlsson and S.Yakowitz ：Water Resources Research, vol.23, No.7, pp.1300-1308, 1987.
3) 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.
4) 田中丸治哉，藤村達也，畑武志，多田明夫：Nearest-Neighbor 法による実時間洪水予測，農業土木学会応用水文研究部会，応用水文 12 号，pp.110-117, 1999.
5) 藤原洋一，田中丸治哉，畑武志，多田明夫：Nearest-Neighbor 法による多雪流域の実時間流出予測，農業土木学会論文集第 210 号 pp.75-82, 2000.
6) 藤原洋一，田中丸治哉，畑武志，多田明夫：Nearest-Neighbor 法による流出予測の実用的適用法について，水文・水質源学会 2001 年研究発表会要旨集 pp.6-7, 2001.
7) 満倉真，貞本均，中津川誠：Nearest-Neighbor 法による感潮河川の水位予測，水文・水質源学会，2002.（投稿中）

(2002. 4. 15 受付)