

ニューラルネットワークによる 阿武隈川洪水予測の基礎的検討

BASIC STUDY OF THE USE OF A NEURAL NETWORK TO PREDICT FLOODING ON THE ABUKUMA RIVER

槻山敏昭¹・外山久典¹・笹原和彦¹・眞間修一²・関基²・竹村仁志²

Tosiaki KIYAMA, hisanori TOYAMA, kazuhiko SASAHARA, shu-ichi MAMA,
motoi SEKI and hitoshi TAKEMURA

¹国土交通省 東北地方整備局 仙台河川国道事務所 (〒982-8566 宮城県仙台市太白区郡山 5-6-6)

²正会員 八千代エンジニアリング(株) (〒153-8639 東京都目黒区中目黒 1-10-23)

Because flood predictions based on discharge analysis or water level correlation cannot necessarily reflect the discharge properties that vary for each flood, the prediction of the time of arrival of the critical water level that is important for flood prediction and flood fighting activities is not adequately precise. The purpose of this study is to use a neural network model based on measured values instead of using predicted rainfall for large rivers to construct a system that can obtain prediction data that corresponds to flood predictions performed by experienced river managers and to prepare simple water level prediction maps that anybody can use even though they are not very precise. When this method was verified using 23 floods, it was possible to predict the arrival time of the warning water level of 15 floods that exceeded this water level up to three hours in advance. And simple prediction maps based on this model are sure to be used for a new form of provision of disaster information in the future.

Key words : *Neural network, storage function, water level prediction, simple prediction map*

1. まえがき

阿武隈川は、流域面積 5,400km²、幹線流路延長 239km で北上川に続く東北第二の大河川である。阿武隈川下流部の一部区間では近年の大規模な出水(昭和61年、平成10年、平成14年)により危険水位を超えるような状況が生じており、精度の高い洪水予報の実施が求められている。

現在の洪水予測システムは、メインシステムとして降雨から流量に変換する流出解析モデルである「貯留関数法」と、サブシステムとして予測地点水位と上流側観測地点ピーク水位との相関による「水位相関法」による2手法によって運用されている。しかしながら、貯留関数法による予測モデルには、「①流出に関わる定数を固定化しているため、洪水毎の流出特性を必ずしも予測に反映できない」、「②ピーク流量規模は概ね合致するものの、洪水警報の発令や水防活動に重要となる基準水位到達予測時刻の予測精度が十分でない」といった課題がある。水位相関法は簡便な手法で、大流域、大規模洪水に対す

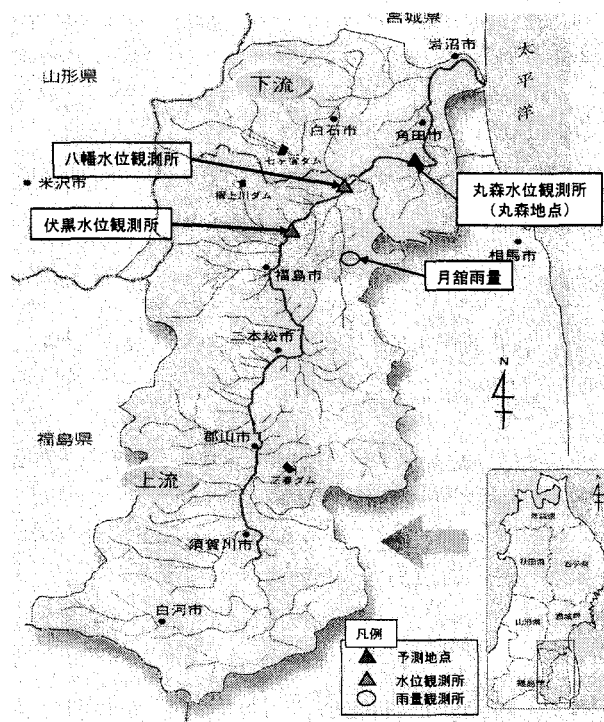
る精度は比較的良いとされているが、降雨分布のバラツキによる流出状況の変化等、多くの変動要因には対応できないといった課題がある。よって現システムによる予測結果がそのまま警報発令等の判断の指標とならないケースが多く、河川管理者が自らの経験に基づいた知見等を総合的に勘案して予測を実施していることが少なくな

い。一方ニューラルネットワークは、過去の実績値の学習によって自らのパターン認識能力を高めることや、非線形な連続関数を近似することが可能な手法であり、熟練した河川管理者がこれまで行ってきた予測を定量化することができる方法の一つである。

阿武隈川は大河川であるので、洪水予測に十分な流達時間を確保できる水位観測所の選定が可能である。よって、中小河川の洪水予測と違い予測雨量を入力値として使用せず、実測水位データのみでの予測が可能であると想定される。そこで本検討では、実測データに基づいたニューラルネットワークモデル導入により、熟練した河川管理者が行う洪水予測に相当する予測情報を、利用者を問わず得ることができる洪水予測におけるサブシステ

ムの構築を目指したものである。

洪水予測システムの検討は、図－ 1に示す阿武隈川下流部の水防上重要かつテレメータ化により随時データ入手可能な丸森水位観測所とした。

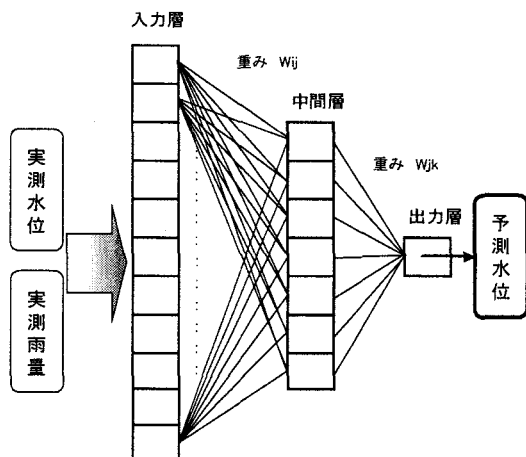


図－ 1 阿武隈川下流洪水予測地点

2. ニューラルネットワーク洪水予測モデル

(1) ニューラルネットワークの基本構造^{1) 2)}

ニューラルネットワークの構造には図－ 2に示す階層型のネットワークを設定し、中間層は1層とし、そのユニット数は入力値を6～11程度を想定して7と設定した。



図－ 2 ニューラルネットワーク基本構造

また、しきい値や重み付けに関わる関数にはシグモイ

ド関数を採用し、バックプロパゲーション法による学習を行った。学習における収束条件は、学習回数 100,000 回の制約の下で、平均 2 乗誤差 $E < 0.001$ とした。³⁾

(2) 入出力値の設定

ニューラルネットワークを用いて予測する出力値、及び予測に必要な入力値の選定方法は、下記基本方針に従い設定を行った。

●出力値は1時間単位を基本とし、1、2、3時間後水位とした。これは、水防活動等を行うに上で十分な時間的余裕を確保することを考慮したものである。

●入力値は流域規模を勘案し、基本的には予測地点水位と予測対象地点上流の水位観測所を用いた水位のみの予測モデルを基本とした。上流水位観測所の選定に当たっては、昭和 60 年以降の 23 洪水（洪水資料⁴⁾記載洪水）を対象にして当該地点水位とピーク相関の高い観測所、平均流達時間が出力値（1～3 時間後予測）に対して十分な時間を有している観測所、欠測データの比較的少ない観測所より図－ 1に示す伏黒、八幡の 2 観測所を選定した。

(3) 学習洪水の選定

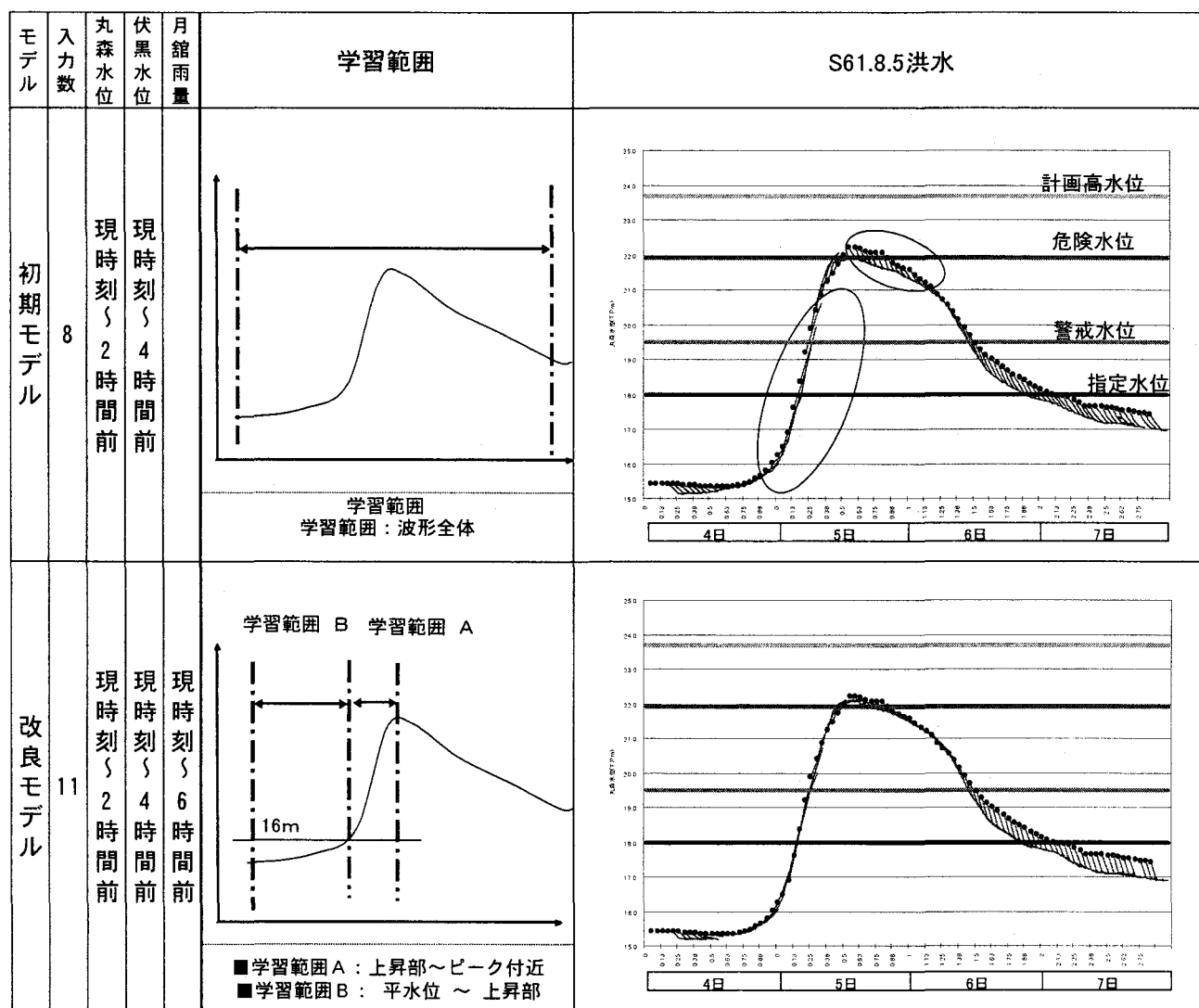
学習洪水の選定は、洪水予測の目的である、「一般住民が洪水に対する準備や避難行動を適切に行えるように情報を提供すること」、及び「河川管理者が各種発令等を適切に行えるようにすること」を勘案した。洪水予報の発表基準は洪水注意報基準水位として警戒水位、洪水警報基準水位として危険水位であることから、洪水の危険性をより早く一般に周知し、水防活動を円滑に進めるためには、ピーク水位の予測以上に警戒水位あるいは危険水位への到達時刻を精度良く予測することが重要である。

以上より、規模の小さな洪水を学習の対象とした場合、最も重要となる危険水位に達するような規模の大きな洪水予測に対して悪影響を及ぼす可能性があることから、学習洪水は警戒水位を超えた洪水とし、中でも過去最大、二山型、ダラダラ型など代表性の高い波形及び短時間で水位上昇の大きな洪水を選定した。

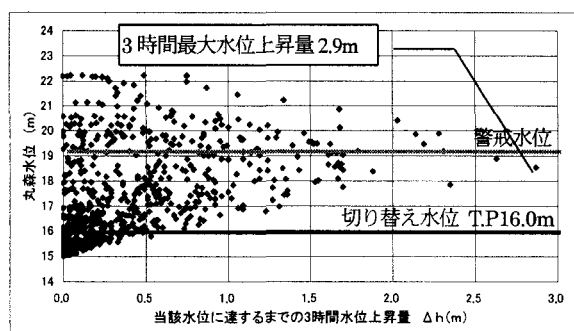
3. 洪水予測モデルの検証

(1) 初期モデルによる検証結果

前述した洪水予測モデルを用いて、洪水予測を行った結果を図－ 3上段（本モデルでの予測傾向が顕著に現れた特徴的な洪水）に示す。水位のみでの予測モデルであるが、一連波形を学習に用いていることから、予測による波形全体の適合性は比較的高い結果となった。しかしながら、洪水予測で最も重要となる立ち上がり部分及びピーク付近での予測値が実測値よりも低めになる傾向が伺えた。



図－3 ニューラルネットワークモデルによる洪水予測検証（学習洪水）



図－4 3時間水位上昇量

(2) 予測モデルの改良

初期設定したモデルによる洪水予測の問題点である水位上昇部の適合性を向上させるために、①『水位上昇部の予測は学習区間を水位上昇部のみに限定したモデルを採用』、②『上流側水位観測所と予測地点間残流域を代表する雨量を入力値として追加』の2つの方法を考案した。

①の方法は、水位上昇部のみで学習したモデルと平水部で学習したモデルの2パターンを一定水位で切り替えることでそれぞれ違う特性を持つモデルを併用するものである。

切り替え水位は、図－4に示す予測地点の最大3時間水位上昇量と当該水位の関係より、過去に生じた最大の水位上昇量（2.9m/3hr）に基づいて設定した。警戒水位到達3時間前の予測が可能となるように、警戒水位 $19.5\text{m} - 2.9\text{m} = 16.6\text{m}$ を目安に16.0mとした。

②の方法は、水位のみのモデルで対応できない水位の急上昇は水位観測所間の残流域内からの流出成分に起因するものと考えた改良である。

2つの改良を加えたことによる洪水予測結果は、図－3下段に示すとおりである。初期モデルに比べ水位上昇部及びピーク付近での予測精度の向上が確認された。この予測結果であれば警報発令、水防活動等の指標とするのに十分実用性が高いと考える。

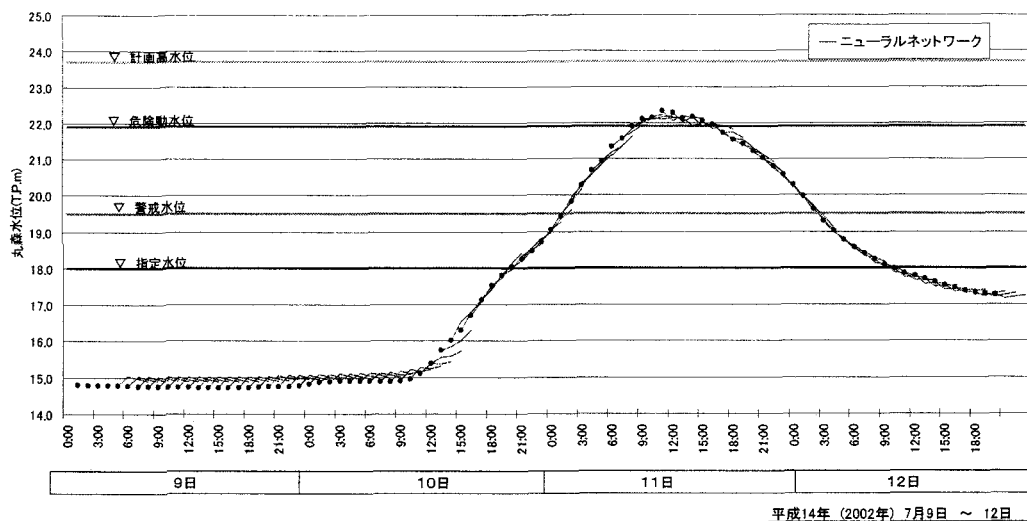


図-5 ニューラルネットワークモデルによる検証結果(学習対象外洪水)

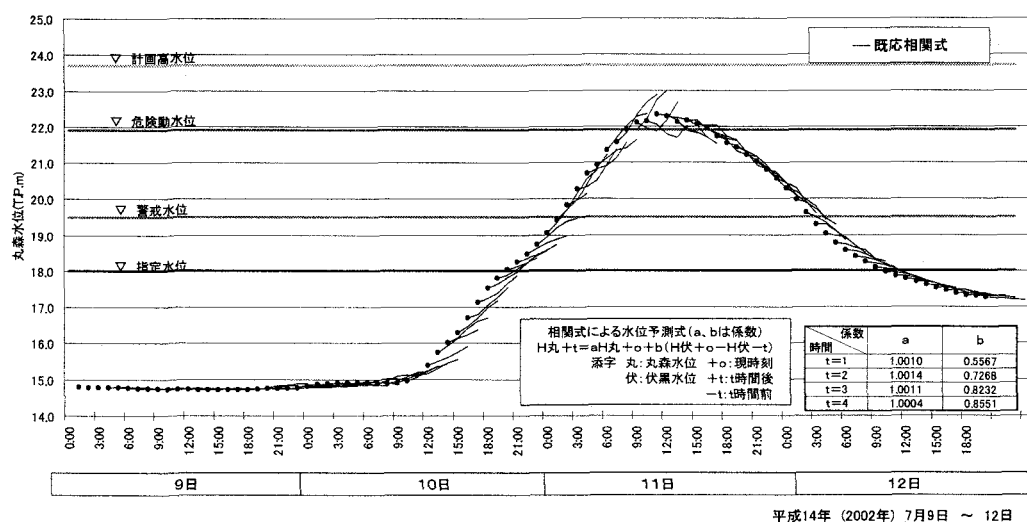


図-6 水位相関法による検証結果(学習対象外洪水)

(3) 改良モデルによる検証結果

a) 既往の水位相関式による予測との比較

図-5は改良モデルを用いて、ニューラルネットワークモデルの学習対象外である平成14年7月洪水で洪水予測の検証を行った結果である。同洪水は、阿武隈川下流域で戦後最大の昭和61年8月洪水に次ぐ大規模な洪水であり、各水位観測所で危険水位、または危険水位相当にまで水位が上昇する規模であった。検証結果では、ニューラルネットワークモデルによる予測値は、かなり精度の高い予測を示しているのが確認できる。図-6は、現予測システムである『水位相関法』での予測結果を示したものであるが、同予測結果は平水部での適合は良好ではあるものの洪水予測で最も重要な水位上昇時は低めの予測、逆に水位低下時は高めの予測と位相のずれが確認された。同予測結果では各種発令の判断にミスを誘発しかねない。

b) 洪水予測におけるリードタイムの確認

「洪水予測は通常の解析と異なり、絶対的な水位の予測精度よりも予測時刻のずれが大きな意味を持つ」³⁾とい

う観点より図-7に示す指標で検証した結果、表-1に示すように対象23洪水の内、警戒水位を越えた15洪水すべてが3時間前までに予測が可能であることが確認された。

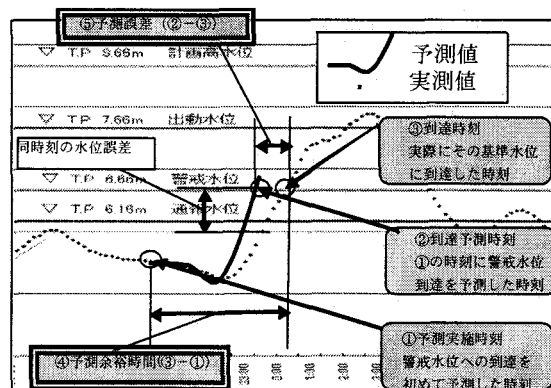


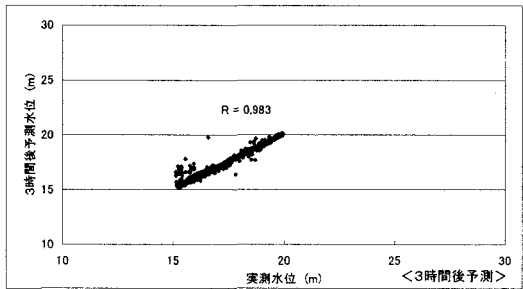
図-7 洪水予測検証の指標

また、図-8は学習対象外の洪水における予測水位と実測水位の相関関係を示したものである。3時間後予測であっても相関係数は0.983と非常に高い値を示している。

表－ 1 警戒水位到達予測時間

No.		予測モデルの評価					観測ピーク 水位(T.P.m)
		①予測実施 時刻	②到達予測 時刻	③到達時刻	評価		
					④ 予測余裕時間 (③-①)	⑤ 予測誤差 (②-③)	
1	S61年 8 月 5 日	/ 5 8:00	/ 5 8:00	/ 5 8:00	3:00	0	22.22
2	H1年 8 月 6 日	/ 6 20:00	/ 6 23:00	/ 6 23:00	3:00	0	20.59
3	H3年 9 月 18 日	/ 19 13:00	/ 19 16:00	/ 19 17:00	4:00	-1:00	20.60
4	H3年 10 月 12 日	/ 12 8:00	/ 12 9:00	/ 12 9:00	3:00	0	20.50
5	H4年 6 月 21 日	/ 21 18:00	/ 21 21:00	/ 21 21:00	3:00	-1:00	19.79
6	H5年 8 月 28 日	/ 27 21:00	/ 27 0:00	/ 27 0:00	3:00	0	19.84
7	H6年 9 月 30 日	/ 30 1:00	/ 30 4:00	/ 30 8:00	7:00	-4:00	19.96
8	H10年 8 月 27 日	/ 27 18:00	/ 27 21:00	/ 27 22:00	4:00	-1:00	22.22
9	H10年 8 月 16 日	/ 16 8:00	/ 16 12:00	/ 16 12:00	3:00	0	20.20
10	H11年 4 月 25 日	/ 25 15:00	/ 25 18:00	/ 25 18:00	3:00	0	19.67
11	H11年 6 月 30 日	/ 30 12:00	/ 30 15:00	/ 30 16:00	4:00	-1:00	19.77
12	H11年 7 月 13 日	/ 14 1:00	/ 14 3:00	/ 14 4:00	3:00	-1:00	19.96
13	H11年 9 月 15 日	/ 15 17:00	/ 15 20:00	/ 15 20:00	3:00	0	20.47
14	H12年 7 月 8 日	/ 8 12:00	/ 8 15:00	/ 8 16:00	4:00	-1:00	19.67
15	H14年 7 月 10 日	/ 10 23:00	/ 11 2:00	/ 11 2:00	3:00	0	22.33

ニューラルネットワークモデル学習洪水



図－ 8 各時刻の予測水位と実測値の相関(3 時間後予測)

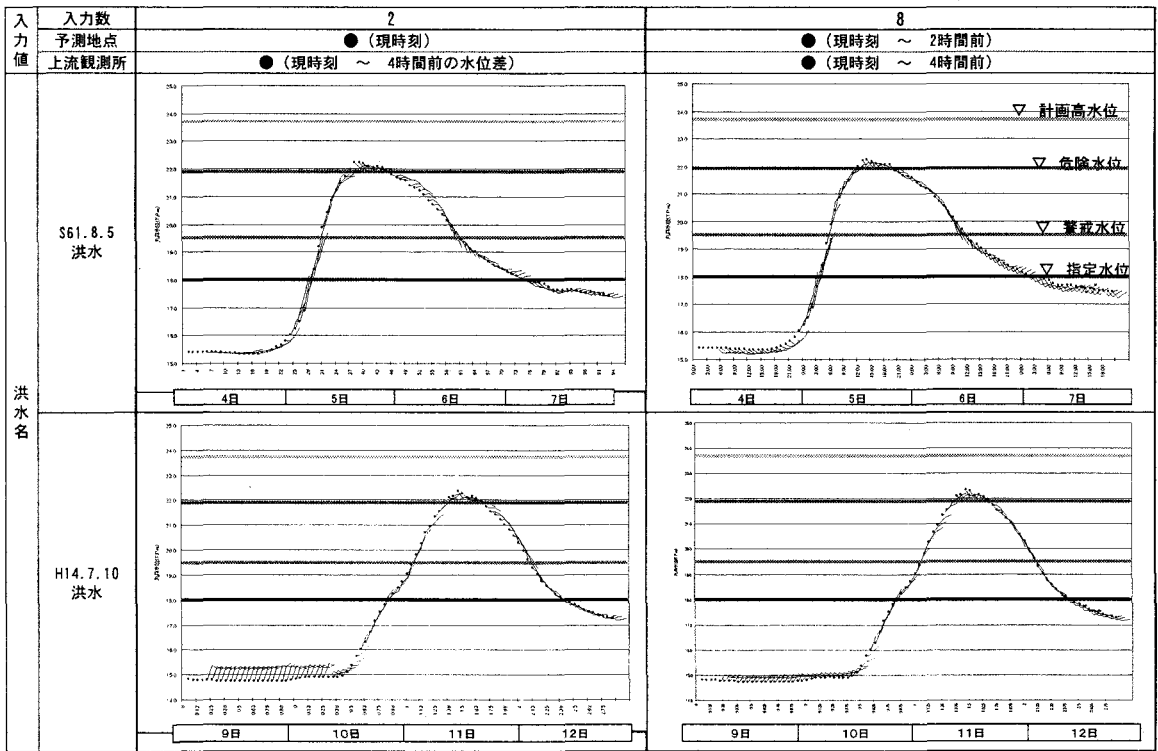
4. 簡易予測ツールの検討

改良を加えたニューラルネットワーク洪水予測モデルは、かなり高い予測精度を確保することが確認された。

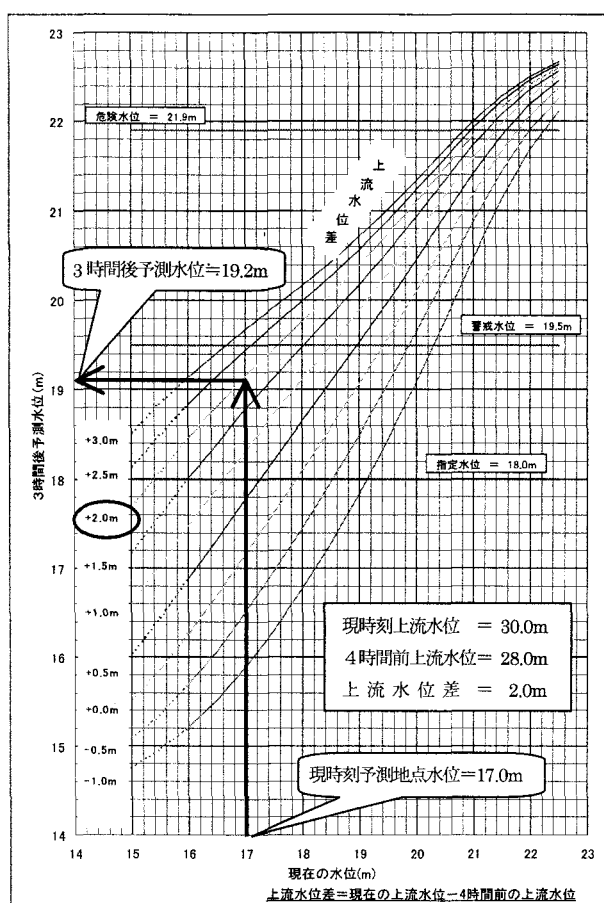
今後、この精度の高い洪水予測を河川管理者だけでなく一般住民も利用できれば、避難活動及び水防活動を行うにあたって非常に有効であると考えられる。しかしながら、ニューラルネットワークによる予測を行うためには多数の入力値より入力値⇒中間値⇒予測値と複雑な計算を必要とするため、コンピュータによる計算に頼らなくてはならない。

そこで、現モデルをベースに入力値の絞り込みを行い、1～3 時間後の予測水位を読みとれる簡易的なグラフの作成を検討した。しかしながら、誰にでも利用できる簡易的なグラフによる読みとり方式とする為には、1つのグラフで入力値を最低 2 つにまで絞り込む必要がある。現モデルでの入力値は、水位データのみで 8 個、雨量を含めると 10 個以上である。したがって、簡易予測モデルの作成のポイントは予測精度低下を抑え、実用上問題のない予測精度を得ることである。

入力値の絞り込みには上流水位観測所の想定到達時間を目安にトライアルを行ったが、現モデルをそのままベースとして入力値を絞り込む方法では、予測精度に限界があることが確認された。そこで、上流側水位データについて一定時間の水位差を入力値とする予測モデルを検討した。水位差は現時刻水位と想定到達時間前水位の差分である。同モデルによる検証の結果は図－ 9に示すとおりであり、簡易予測モデルとして実用上問題のない程度



図－ 9 簡易予測モデル検証結果



図－ 10 簡易水位予測図（3 時間後予測）

の予測精度を確保できたものと判断する。

図－ 10は、上記簡易予測モデルより作成される 3 時間後簡易水位予測図である。1、2 時間後予測についても同様な予測図が作成できる。リアルタイムでの水位情報さえ入手可能であれば、この図を用いて比較的高い精度の水位予測情報を誰でも得ることが可能となり、今後、新しい形の防災情報提供になることと期待される。

5. 考察

本検討により、大河川である阿武隈川の洪水予測手法にニューラルネットワークが適用できる可能性を確認した。

当初、流域規模が大きいことから入力値を予測地点とその上流地点の実測水位のみでの十分予測可能であると考えていたが、波形全体としての再現性は良好であるものの、洪水予測で最も重要視される水位上昇部の適合性が低い結果となった。

そこで、①「学習区間の水位上昇部と平水部と分割した 2 つのモデルを併用する」、②「入力水位観測所間の残流域を代表する雨量を入力値とする」、2 つの改良を加えることで予測精度の向上を確認できた。予測結果を基準水位の到達時間で確認した結果、近年警戒水位を越えた

15 洪水すべてで 3 時間前までに警戒水位到達の予測が可能である。よって、水防活動等を行う上で十分な準備時間を確保することが可能となる。

簡易予測ツールの検討は、上記予測モデルをベースに入力値の絞り込みと予測精度低下状況を比較検討し、実用上問題のない程度の精度を確保した簡易予測図の作成できることを確認した。

6. 課題

今後は、以下に示す課題が考えられる。

(1) 新たな洪水による洪水予測モデルの検証

本検討により作成された予測モデルで新たな実績洪水により検証を行い、モデルの適用・予測精度の確認を積み重ねる必要がある。ニューラルネットワークは適切な時期に学習データの追加を行い、新しい洪水波形にも対応させるための更新が必要な手法である。

(2) 予測雨量の利用可能性検討

最近では、気象庁及び（財）河川情報センター等より予測雨量が提供されている。本予測モデルに予測雨量を入力値として利用した場合に、予測精度が向上する可能性がある。予測雨量の導入検討には、同流域内での近年の実績について十分検証する必要がある。

(3) 想定外規模の洪水への対応

ニューラルネットワークモデルは、実測データに基づいて解析を行うため、想定外つまり未経験の洪水規模における予測精度が著しく低下する可能性を有している点がある。今後、計画高水規模の洪水でも対応可能な予測モデルの検討が必要であるが、危険水位を超えるような大規模洪水を学習することで、生起頻度が高く最も重要となる警戒水位から危険水位付近での予測精度が低下する可能性がある等、解決すべき課題が少なくない。

参考文献

- 1) 阿部清明、菊池英明、古川浩平、塩月善晴：ニューラルネットワークによる流出解析手法(日流量)に関する研究、土木学会論文集 No. 656/II-52, 1-13, 2000. 8
- 2) 磯部勇、大河戸輝夫、羽生田英彦、小田誠一、後藤祐輔：ニューラルネットワークによる水位予測システムの開発、水文・水資源学会誌、第 7 巻, pp. 90-97, 1994.
- 3) 稲吉明男、長江幸平、田宮陸雄、宮田達磨、眞間修一、竹村仁志：ニューラルネットワークモデルによる二級河川での洪水予測の基礎的検討（投稿中）
- 4) 国土交通省 東北地方整備局 仙台河川国道事務所

(2003. 4. 11 受付)