

都市中小河川を対象とした増水警報装置の 適確な稼働に資する水位予測手法の検討

山地秀幸・川崎将生・土屋修一

1. はじめに

都市中小河川の親水公園等に水難事故防止のため設置されている増水警報装置は、従来、大雨・洪水注意報や大雨・洪水警報の発表等に連動して稼働していることが多い。例えば、横浜市内に位置するたち川の扇橋に設置されている警報装置（親水拠点名「扇橋の水辺」）は横浜地方気象台から発表される大雨注意報、大雨・洪水警報及び現地周辺の雨量情報と連動して、表-1に示す稼働条件により回転灯、音声及びブザーが稼働する¹⁾。

2013年5月から9月における稼働実績を整理したところ、表-2に示すように、降雨により河川水位が上昇し平水位+50cmを超過した32事例のうち事前に警報装置が稼働した“適中”が5事例であったのに対し、警報装置が事前に稼働しなかった“見逃し”が6事例、警報装置が稼働したが平水位+50cmを超過しなかった“空振り”が21事例であった。

一方、2008年7月に神戸市を流れる都賀川で発生した水難事故等を契機に、こうした都市中小河川の急激な増水の原因である局地的豪雨の監視強化のため、国土交通省XRAINの整備が鋭意行われてきた。

そこで本研究では、都市内中小河川の親水公園における増水警報について、“見逃し”を回避した上で“空振り”を極力少なくすることに資するため、国土交通省XRAINの雨量データを活用した水位予測手法について検討したものである。

2. XRAIN雨量データを活用した水位予測手法

2.1 XRAIN雨量データ

国土交通省では、全国に26基のCバンドレーダ雨量計を設置し、全国の雨量情報を提供している。Cバンドレーダは定量観測範囲が120kmで広範囲の雨量情報を配信できるという利点があるものの、最小観測面積が1kmメッシュで観測から雨量情報を提供するまでに5～10分程度を要するため、短時間

表-1 警報装置の稼働条件

	大雨注意報		大雨・洪水警報	雨量
	回転灯	起動 発表	発表	発表
	停止 発表解除	発表解除		
音声	起動 6:00～19:00の間に発表	6:00～19:00の間に発表		6:00～19:00の間に30分5mmの雨量を観測した場合
	停止 3分間稼働後停止	3分間稼働後停止		3分間稼働後停止
ブザー	起動 音声を出す前に数秒発信	音声を出す前に数秒発信		音声を出す前に数秒発信
	停止 -	-		-

表-2 警報装置の稼働状況

	警報装置が稼働する	警報装置が稼働しない
平水位+50cmを超過する	5事例 （「適中」）	6事例 （「見逃し」）
平水位+50cmを超過しない	21事例 （「空振り」）	対象外

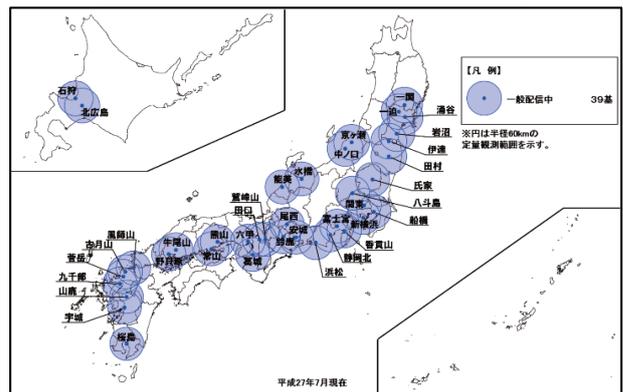


図-1 XRAINの整備状況

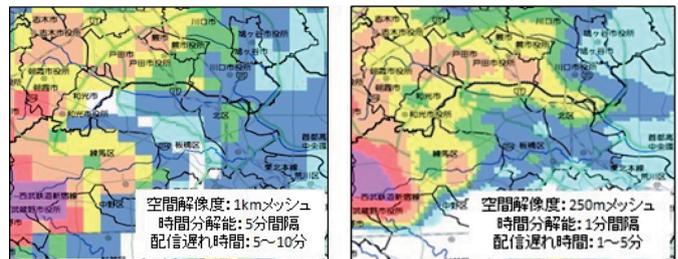


図-2 Cバンドレーダ（左）とXRAIN（右）の比較

に急激な変動を示す大雨や集中豪雨を的確に捉えることは難しい。そこで、水災害の監視体制を強化し、局地的な大雨や集中豪雨に対応できるようにするために、計39基のXバンドMPレーダで構成されるXRAIN(XバンドMPレーダネットワーク、X-band polarimetric (multi parameter) RAdar Information Networkの略)と呼ばれるレーダネットワークの構築

Study of a Water Level Prediction Method that Contributes to the Proper Precise Operation of Alarm Systems in Urban Small Rivers

を進めてきた²⁾ (図-1)。

XバンドMPレーダは波長が約3cmの電波を使用しており、Cバンドレーダ(波長が約5cm)よりも波長が短いため、観測範囲は狭いが高分解能な観測が可能となる。XRAIN雨量データは、最小観測面積が250mメッシュ、配信周期が1分、観測から配信まで1~2分程度で提供されており、Cバンドレーダ雨量計による雨量データと比べ、空間解像度が16倍、時間分解能が5倍、観測から配信に要する時間が1/5となっている(図-2)。

XRAINは図-1に示すとおり、政令市や主要都市等に配置されており、都市中小河川の流域に降る雨を詳細に観測できることから、本研究ではXRAINによる雨量データを用いることとした。

2.2 ニューラルネットワークによる水位計算

本研究で水位予測計算を行ういたち川の城山橋地点においては、河川管理者である横浜市が継続して水位観測を行っているが、洪水時の流量観測は行われていない。そこで本研究では、過去の水位データと雨量データから水位予測モデルを構築でき、都市中小河川における洪水予測への適用検討事例³⁾もある、ニューラルネットワークモデルを水位予測モデルとして採用することとした。

ニューラルネットワーク⁴⁾とは、人間の神経回路を模倣して数理的にモデル化したものである。ニューラルネットワークの利点としては、観測データから直接、水位を計算することができるため、流量から水位への変換誤差が生じないということが挙げられる。ただし、ニューラルネットワークによる予測はあくまでも学習データに基づいた予測であるため、学習データに類似した特性を持つ洪水の予測については比較的高い予測精度が期待できる一方、学習データに設定していない未経験の洪水に対する予測精度は不明であるという点に注意する必要がある。この点について、いたち川は都市部に位置しており、流出過程が比較的単純であるため、水位上昇時や低減時における河川水位の変動パターンは、ここ数年の出水で比較的充実した情報が得られていると考えられる。

本研究では、図-3に示す入力層・中間層・出力層の3層からなる階層型のネットワーク⁵⁾を用いて、いたち川流域に位置する城山橋地点を対象に河川水位の予測計算を行った。ネットワークを構成する素子の模式図は図-4に示すとおりであり、各素子におい

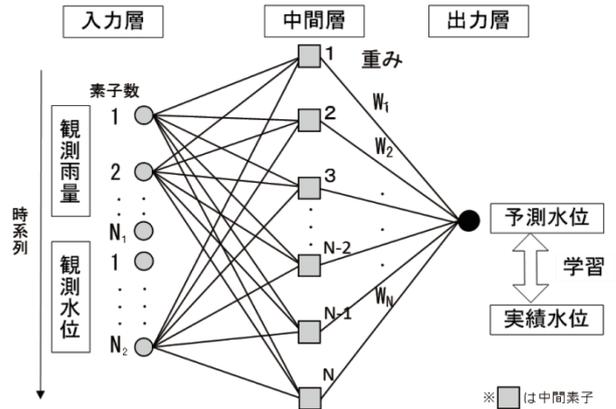


図-3 階層型ニューラルネットワークの概念図

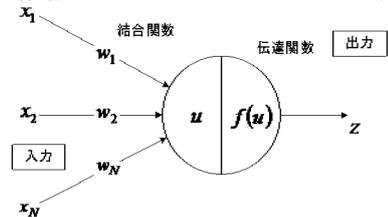


図-4 各素子の模式図

$$u = \theta_i + \sum_{i=1}^N w_i x_i \quad \dots \dots \dots \text{式(1)}$$

$$f(u) = \frac{1}{1 + e^{-u}} \quad \dots \dots \dots \text{式(2)}$$

u :各素子への入力値 $f(u)$:素子の出力値 x :入力値

w :結合荷重 θ :閾値 N :各階層の構成素子数

表-3 水位計算予測モデルの計算条件

	入力層	中間素子数	出力層
case1	$\Delta H_{(0)}, \Delta H_{(-10)}, R_{5(0)}, R_{3(0)}, R_{2(-1)}$	1	$\Delta H_{(10)}$
case2		2	
case3		3	
case4		4	
case5		5	
case6		6	
case7		7	
case8		8	
case9		9	
case10		10	

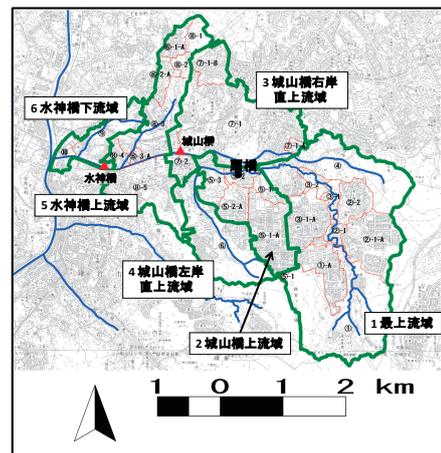


図-5 いたち川流域のサブ集水域

て式(1)、(2)を用いて計算を行う。ニューラルネットワークによる出力層が実績に近づくように、各素子に対する重みを繰り返し計算によって最適化することで、学習が行われる。

表-3は、今回構築した水位予測モデルの入力層・中間層・出力層の計算条件であり、中間層における素子数(中間素子数)を変化させたcase1からcase10を設定した。表中の $\Delta H(t)$ は時刻t-10分から時刻tにおける水位変化(m)、 $R_{i(t)}$ はXRAIN雨量データによる時刻tにおける前5分間降水強度(mm/h)で下付き添え字iはいたち川流域を6つに分割したサブ集水域(図-5)のブロック番号を示している。出力層は現時刻から10分後までの水位変化(m)であり、これに現時刻の水位を足したものが10分後の予測水位となる。また学習データとして、2010年から2012年の出水17事例(平水位+50cmを超過し、かつ急激な水位上昇が観測された事例)における城山橋地点の水位変化、いたち川流域のサブ集水域におけるXRAIN雨量データの時間毎のデータセットを用いた。

3. 水位予測計算結果

学習データに含まれない2013年5月から9月の出水32事例からXRAIN雨量データの欠測期間を除いた30事例を対象に、表-3に示すcase1からcase10の予測計算を行った。計算例を図-6、各予測計算の相関係数とRMSE(2乗平均平方根誤差)を整理した結果を図-7及び図-8に示す。水位上昇時、低減時を含む一連の水位予測精度は、中間素子数によってそれほど大きく変化しないことが確認された。ただし、洪水イベントによっては特に水位の立ち上がり部でばらつきが見られた。

予測結果を「適中」、「見逃し」及び「空振り」の観点で整理するため、基準を設けた。すなわち、10分先の予測水位を1分間隔で計算した結果について、観測水位が平水位+50cmを超過する時刻より前に平水位+50cmを上回ることが予測できた場合を「適中」、予測できなかった場合を「見逃し」とした(図-9)。また、観測水位が平水位+50cmを超過せず予測水位も平水位+50cmを上回らなかった場合を「適中」、上回った場合を「空振り」とした。図-10は、この基準で各ケースの予測結果の「適中」、「見逃し」及び「空振り」の頻度を整理したものである。また、予測水位が平水位+50cmを上回った予測時刻と観

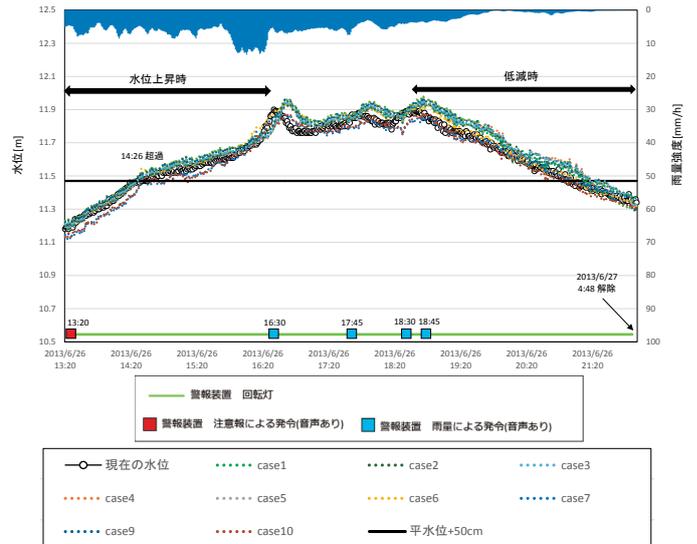


図-6 予測計算の計算例(事例6)

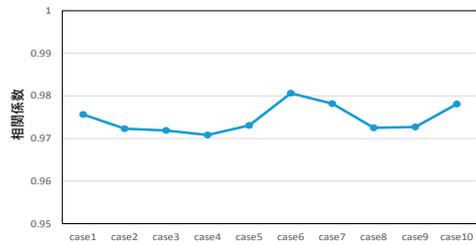


図-7 各予測結果の相関係数

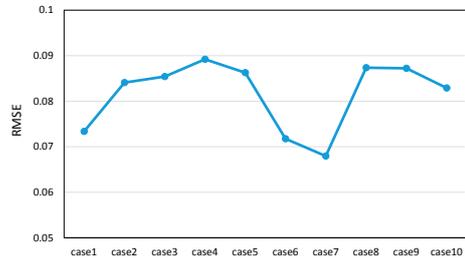


図-8 各予測結果のRMSE

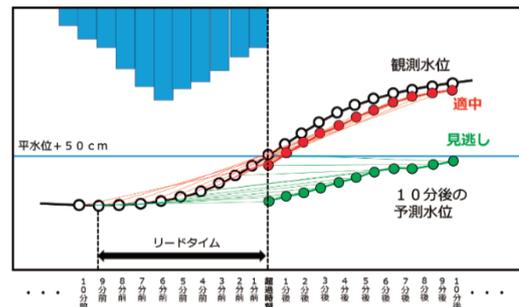


図-9 「適中」及び「見逃し」の判定基準

測水位が平水位+50cmを超過した時刻の差をリードタイムと定義し(図-9)、観測水位が平水位+50cmを超過した事例を対象に、実績の警報稼働状況と予測結果をリードタイムの観点で整理した(図-11)。図-10より、いずれのケースでも、大雨注意報、大雨・洪水警報及び現地周辺の雨量情報と連動して稼働し

ている実績の警報稼働状況と比較して、「見逃し」や「空振り」が減少していることが確認された。しかし、図-11のリードタイムについて、実績は「見逃し」の事例が多いものの、「適中」の事例についてはリードタイムが長い傾向にある。予測では「見逃し」の事例が無いか少ないものの、「適中」でもリードタイムが2分前後と短い。XRAIN雨量データの配信遅れ等も考慮すると避難のためのリードタイムが不十分であると考えられる。

今回の検討で用いた水位計算予測モデルは10分前から現時刻における水位差を入力層として扱っているため、河川水位が平水位+50cmを超過する直前に急激に上昇する事例では、予測のリードタイムが短くなると考えられる。水位差を用いず雨量データのみを採用する等、入力層に用いるデータセットの見直しを行うほか、気象庁高解像度降水ノウキャストによる予測雨量情報を活用する等、リードタイムの長時間化を目的とした検討を行う必要がある。

4. まとめ

都市中小河川の水位急増に対する警報装置の適切な稼働に資する水位予測手法を検討するため、いたち川の城山橋地点を対象に、ニューラルネットワークによる中間素子数を変化させた水位予測計算を行い、予測結果の特徴について「適中」、「見逃し」及び「空振り」の観点で整理を行った。その結果、どの中間素子数で予測計算を行ったとしても、実績の警報稼働状況と比べて「見逃し」、「空振り」が減少し、適中率が向上した。一方、今回の水位予測手法によるリードタイムは、従来の警報稼働条件に比べて短くなることがあるため、入力層に用いるデータセットの見直しや気象庁高解像度降水ノウキャストによる予測雨量情報を活用する等、リードタイムの長時間化の検討が必要であることが見出された。

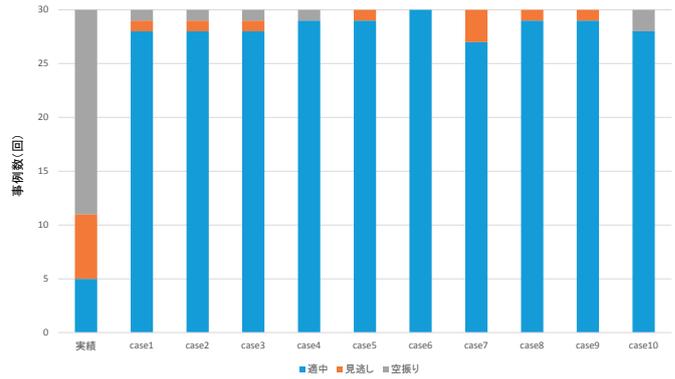


図-10 各予測結果の整理結果

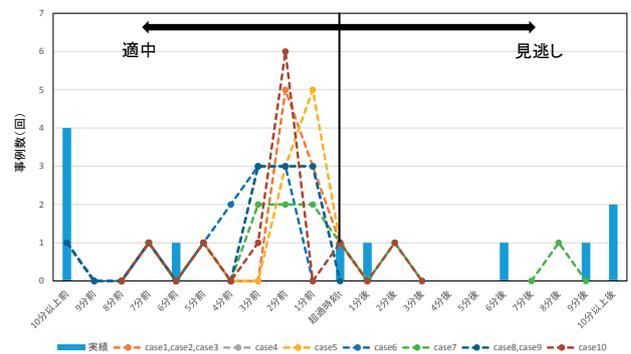


図-11 実績の警報稼働状況と各予測結果の整理結果

参考文献

- 1) 横浜市平成21年度記者発表資料、2009
<http://www.city.yokohama.lg.jp/doro/press/h21/20091001-rkr.html>
- 2) XRAIN雨量情報
<http://www.river.go.jp/xbandradar/>
- 3) 稲吉明男、長江幸平、田宮陸雄、宮田達磨、真間修一、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、河川技術論文集、第9巻、2003
- 4) 熊沢逸夫:学習とニューラルネットワーク、森北出版株式会社、1998
- 5) 一言正之、服部洋佑、梶正範、桜庭雅明、小野寺勝:水文過程を考慮したニューラルネットワークによる洪水予測モデルの研究、水文・水資源学会研究発表会要旨集24(0)、5-5、2011

山地秀幸



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部水循環研究室 研究官
Hideyuki YAMAJI

川崎将生



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部水循環研究室 室長
Masaki KAWASAKI

土屋修一



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部水循環研究室 研究官、工博
Dr. Shuichi TSUCHIYA