

XバンドMPレーダの河川管理への 活用の可能性について —平成26年9月出水を基に—

札幌開発建設部 河川管理課
北海道開発局建設部 河川管理課
一般財団法人 日本気象協会事業本部

○後藤 祐也
福田 勝之
須藤 哲寛

現在、XバンドMPレーダは北海道内に札幌圏を中心に設置されたところである。本研究は、平成26年9月に豊平川上流域から支笏湖畔周辺にかけて発生した記録的豪雨をXバンドMPレーダにより観測した結果等を基に、観測による利点や効果を示し、今後の河川管理体制の効率化、精度向上等の観点から、その可能性と更なる利活用方法を考察するものである。

キーワード：防災、新技術、河川管理、洪水予測

1. はじめに

近年、集中豪雨や局所的な豪雨（いわゆるゲリラ豪雨）が全国各地で多発していることから、国土交通省では適切な河川管理や防災活動等に役立てるため、局所的な豪雨を詳細かつ精度良く観測可能なXRAIN（国土交通省XバンドMPレーダネットワーク）の整備を進めてきた。北海道開発局では、XバンドMPレーダ（以下X-MPレーダ）を北広島市、石狩市にそれぞれ1基設置し、観測体制を強化しているところである。本研究はX-MPレーダにより実際の降雨を観測した結果等を基に、従来型レーダであるCバンドレーダ（以下C-レーダ）との比較や雨量観測精度の検証を行い、その活用の可能性と更なる利活用方法を考察するものである。

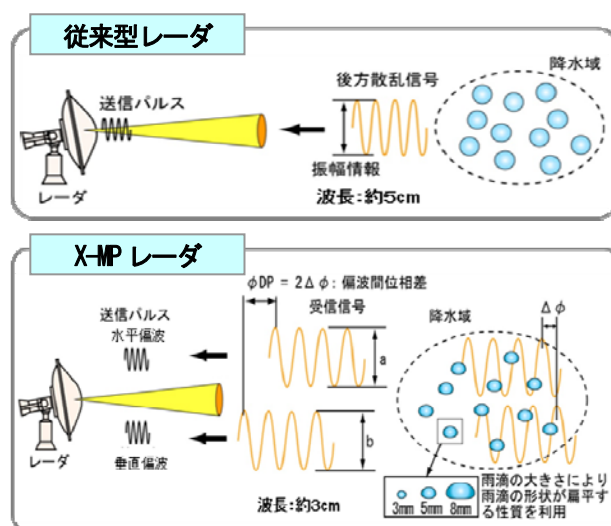


図-1 従来型レーダとX-MPレーダの違い

2. X-MPレーダの特徴

X-MPレーダが従来のレーダと異なる点はその送受信電波の性質と観測手法にある。図-1は従来型レーダとX-MPレーダの違いを示したものである。従来型レーダが受信信号の振幅情報から降雨強度を推定するのに対し、X-MPレーダは2種類の偏波を送受信することにより得られる偏波間位相差等の情報から降雨強度を推定する。この降雨強度の推定は雨滴の大きさにより形状が扁平する性質を利用したものである。また、X-MPレーダによる測定パラメータは偏波間位相差だけでなく、ドップラー速度やスペクトル幅についても把握することができる。

3. X-MPレーダの運用による効果

(1) C-レーダとの比較

a) 解像度・配信間隔の比較

図-2はX-MPレーダとC-レーダによる札幌圏の観測結果の比較を示したものである。X-MPレーダによる観測結果配信は250mメッシュ、配信間隔が1～2分となっており、C-レーダと比較して16倍の解像度、5倍の配信頻度となっていることから、前者が局所的豪雨の観測に適しているのに対し、後者は広域的な降雨の観測に適していると言える。これにより極めて局地的な豪雨や数分間の急激な降雨状況の変化に対しても対応可能となっている。

なお、レーダ1基当たりの定量観測半径については、X-MPレーダが60km程度、C-レーダが120km程度とされている。

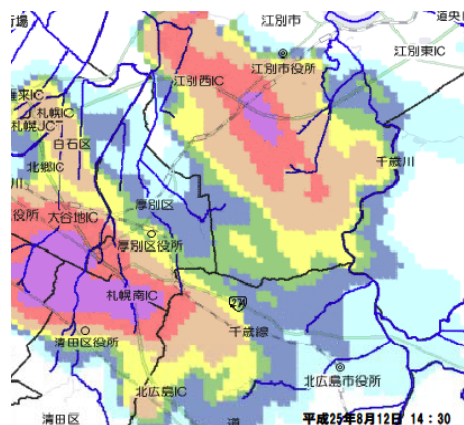
$$a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i)^2}{\sum_{i=1}^N (x_i)^2}} \quad (1a)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}} \quad (2a)$$

x_i : 地上雨量(mm) $\bar{x}$: 地上雨量平均値(mm)
 y_i : レーダ雨量(mm) $\bar{y}$: レーダ雨量平均値(mm)
N: 全資料数

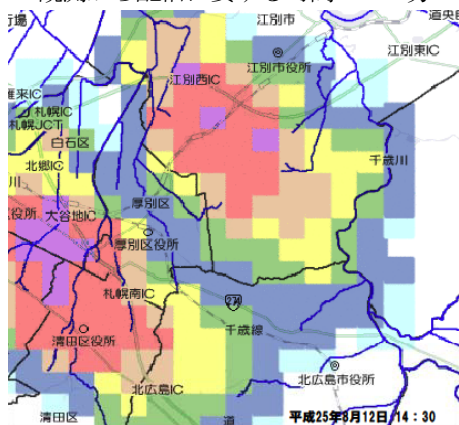
表-1 検証対象とする降雨期間

対象地域	事例 No.	降雨期間
札幌周辺	1	2014年09月10日21:00～09月12日05:00
	2	2014年09月12日08:00～09月12日23:00
	3	2014年09月16日05:00～09月16日18:00
	4	2014年09月17日00:00～09月17日12:00
	5	2014年09月19日18:00～09月20日07:00
	6	2014年10月03日10:00～10月04日00:00
	7	2014年10月16日16:00～10月17日13:00
	8	2014年10月27日01:00～10月27日13:00



【X-MPレーダ】

単位面積250mメッシュ、配信周期1分
観測から配信に要する時間：1～2分



【C-レーダ】

単位面積1kmメッシュ、配信周期5分
観測から配信に要する時間：5～10分

図-2 X-MPレーダとC-レーダによる観測の比較

b) 観測雨量精度の比較

X-MPレーダにより観測された雨量精度について検証を行うため、表-1に示した降雨期間における10分毎のX-MPレーダ雨量データ（2局合成）、C-レーダ雨量データについて地上雨量データとの比較を行った。なお、対象とする地上雨量計の観測地点は、札幌圏の中心部における観測雨量精度検証を行うため、図-3における「領域1」、「領域2」内にある全アメダス観測地点とした。また、精度評価の指標としては回帰係数、相関係数、総雨量比、RMSE（2乗平均平方根誤差）等複数について検証を行ったが、ここでは回帰係数（以下a）、相関係数（以下r）を代表として取り扱う。ここでは、a及びrはそれぞれ以下のように表せる。

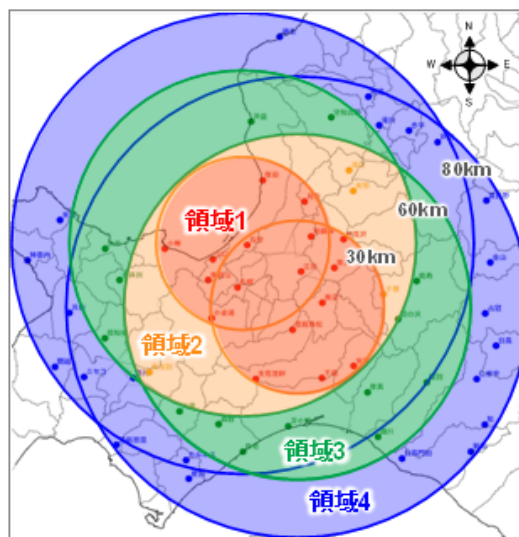


図-3 精度検証の対象領域

前述の精度検証の結果を表した散布図が下記の図-4であり、それぞれの条件におけるa、rの値をまとめたものが表-2である。図-4及び表-2より、X-MPレーダは領域1、

領域2の両方においてC-レーダよりもデータのばらつきが小さく、また表-2からX-MPレーダはC-レーダよりも地上観測雨量と高い相関性を持つことがわかる。以上より、X-MPレーダの運用によって札幌圏においてより高精度の雨量観測が可能になったと考えられる。これは各レーダの観測高度の違い等複数の要因によるものであると考えられる。

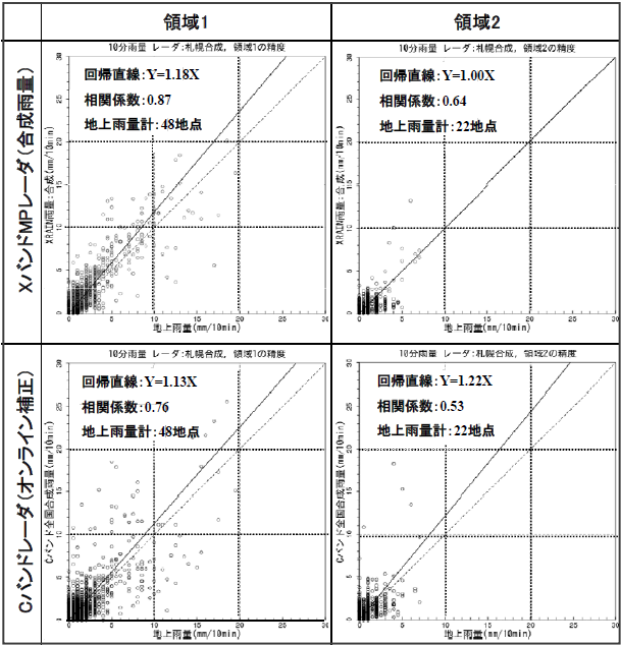


図4 レーダ雨量と地上雨量の比較（散布図）

表-2 各条件におけるa、rの値

レーダ種別	領域1		領域2	
	a	r	a	r
X-MP	1.18	0.87	1.00	0.64
C	1.13	0.76	1.22	0.53

(2) X-MPレーダ2局化による雨域観測精度の向上

X-MPレーダが発する電波は強降雨域によって電波が消散しその背後が観測不能となる性質があることから、一般にレーダを2基以上設置し、雨域を両側から挟み込んで観測を行うことで雨域を高精度に捉えることとしている。札幌圏では、平成26年9月11日から2基目のX-MPレーダの一般配信が開始された。以下の図-5は従来の1基による観測と2基による観測結果を示したものであり、9月11日に同地域を観測した雨域を比較したものである。図-5から、2基による観測を行うことにより1基では観測できなかったエリアについても観測が可能となったことがわかる。上述の結果から、札幌圏では2基による観測体制が整ったことにより、電波消散を回避した安定的な雨域観測が可能となり、流域内総雨量の観測精度が向上したと考えられる。

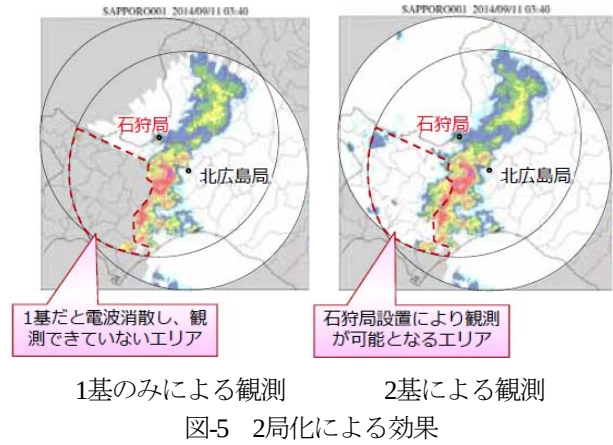


図-5 2局化による効果

4. 河川管理への活用に向けた検討

(1) 洪水予測システムの精度向上

a) 背景

洪水予測システムによる水位予測結果は、洪水時の水防活動や住民避難のタイミングに関わる重要な情報の一つであり、その十分な精度向上が求められているところである。この精度向上に向けた取り組みの一つとして、X-MPレーダにより高精度で観測された雨量データを用いた洪水予測システムの開発を検討している。すなわち、X-MPレーダ雨量を用いることにより、従来の地上雨量観測所の地点雨量データによる流域平均雨量を用いた洪水予測からの精度向上が期待される。ここでは、地上雨量観測所の地点雨量データ、X-MPレーダ雨量データを用いて水位再現計算を行い、その結果の比較を行うことでX-MPレーダの洪水予測への活用および洪水予測システムの精度向上についての検討を行った。

b) 検討条件

X-MPレーダの洪水予測システムへの活用を検討するため、表-3の条件で水位再現計算を実行した。降雨事例としては平成26年9月降雨を採用し、望月寒川における水位再現計算を行った。

表-3 水位再現計算条件

対象降雨期間	2014年9月9日0時～9月13日0時
対象河川 (観測所)	望月寒川 (望月寒水位観測所)
計算モデル	一段タンク貯留関数モデル
現況雨量	地上雨量観測所地点雨量 (札幌・厚別・清田の3箇所)
	X-MPレーダ観測雨量
予測雨量	実績雨量

c) 水位再現計算結果

図-6がそれぞれの雨量データによる水位再現計算結果と実測値との比較である。地上観測所地点雨量データを用いた計算結果は実績水位に比べて過小評価傾向であるのに対し、X-MPレーダ雨量を用いた計算結果は実績水位をよく表現している。これは中小流域の場合、流域平均雨量が雨量観測所地点の観測雨量に左右されやすい傾向があるのに対し、レーダ雨量は流域内における降雨強度の分布を詳細に観測可能であるためと考えられる。これらの結果より、X-MPレーダ雨量を洪水予測システムに活用することにより、流域内における局地的集中豪雨に対しても水位予測計算精度を向上させることができると考えられる。

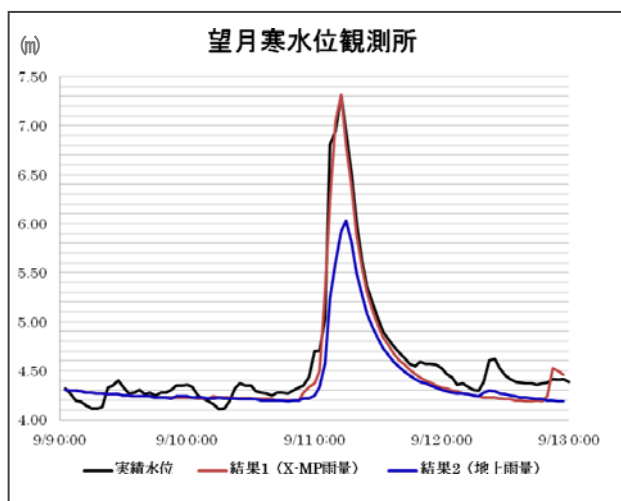


図-6 水位再現計算結果の比較

(2) バックビルディング現象の観測

バックビルディング現象とは、次々と積乱雲が発生し豪雨をもたらす現象であり、北海道内においても平成26年9月11日、支笏湖畔周辺に既往最大規模の局所的豪雨をもたらした。図-7は平成26年9月11日に漁川流域で発生したバックビルディング現象をX-MPレーダにより観測した様子である。30分という短い間隔で積乱雲が次々と発生し、豪雨をもたらしている様子が鮮明に観測されている。気象学・水文学における現在の技術ではバックビルディング現象の発生及びそれにより発生する降雨を高確率で予測することは困難とされている。そのため、X-MPレーダを用いた観測によりバックビルディング現象の発生、積乱雲の発達状況を早期に観測することにより、当該地域の豪雨被害を軽減することが期待される。

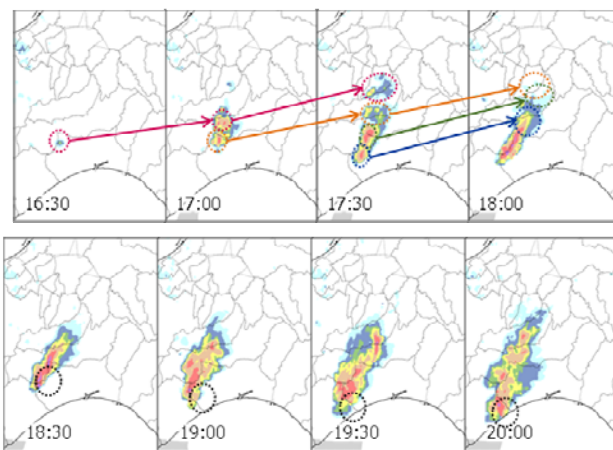


図-7 9月11日に発生したバックビルディング現象

また、X-MPレーダによるバックビルディング現象の観測及び早期探知に有効な機能として、3次元観測がある。X-MPレーダは仰角を少しずつ変えながら上空観測を行い、等高面データを作成するCAPPI(Constant Altitude Plan Position Indicator)観測を実施しており、上空の雨雲を3次的に捉えることが可能である。図-8は平成26年9月11日19時30分の漁川流域上空における3次元観測の結果を示したものであり、積乱雲の高さや発達状況が把握できる。このように上空を立体的に観測することで、地上付近に先行して生成される上空の雲（豪雨の卵）の発生、発達状況等の性質を把握することが可能となり、豪雨の早期探知に寄与することが考えられる。今後、X-MPレーダによりバックビルディング現象を探知した際のアラーム機能や発生時の降雨予測精度の向上が期待される。

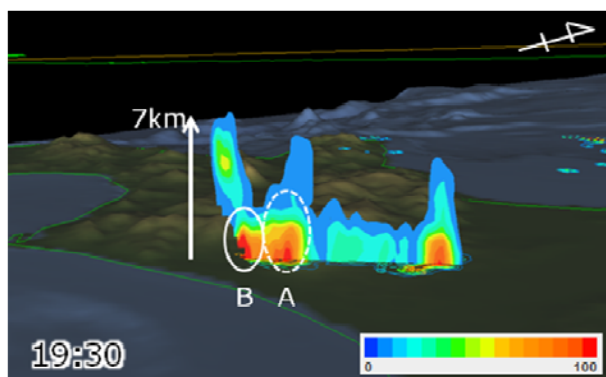


図-8 3次元観測の様子（北海道9月11日）

5. その他の活用事例

(1) 降雪の観測

北海道の冬期間においてはその降水量の大半が降雪となっており、雪害に対する備えとして降雪量をリアルタ

イムに高精度で把握する効果は大きい。ここではC-レーダとX-MPレーダによる降雪量観測の結果比較等により、その精度について検証を行った。

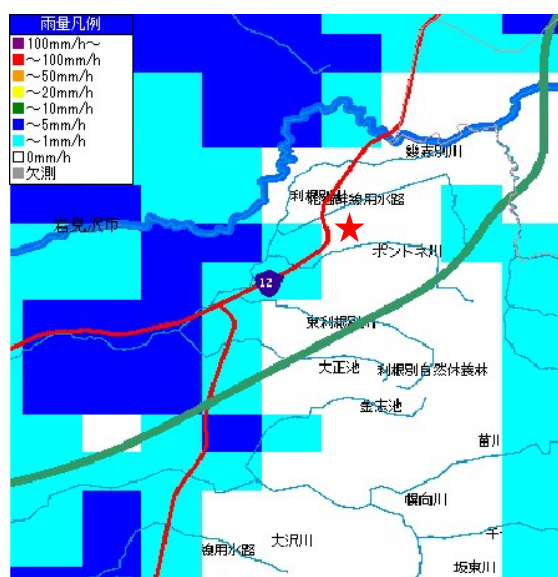
a) C-レーダとX-MPレーダの観測結果比較

表-4は平成26年1月10日、岩見沢観測所（アメダス）における気象データである。表-4において同日7時における風速は8.2m/s、降雪量は3cm/h、視程は0.09kmとなっており、当時の観測所周辺の気象状況は非常に激しい吹雪であったと推察される。また積雪深の変化量は6時から7時の間で3cmの増加、7時から8時の間で1cmの増加となっている。なお、通常1mmの降雨は1cm相当の降雪として見積もとされている。

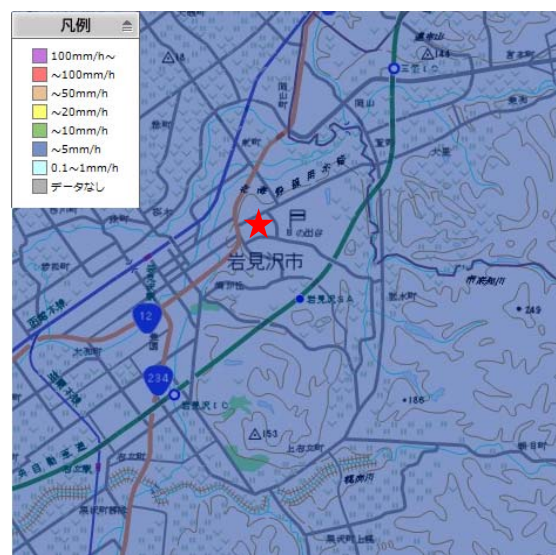
表-4 平成26年1月10日岩見沢観測所（アメダス）データ

時	降水量 (mm)	気温 (℃)	風向・風速 (m/s)	降雪・積雪 (cm)	天気	視程 (km)
6	1.5	-8.7	8.3 西南西	- 101	雪	0.12
7	3.0	-8.8	8.2 西	3 104	雪	0.09
8	3.5	-8.8	7.8 西	2 105	雪	0.12

また、図-9は同日7時における岩見沢市内（岩見沢気象観測所周辺）をX-MPレーダおよびC-レーダにより観測した結果に岩見沢観測所地点を赤く示したものである。C-レーダの観測結果では観測所位置において降雪が確認されておらず、降雪が確認できない領域が確認できる一方、X-MPレーダによる観測結果では観測所位置を中心に1mm/h～5mm/h以下の降雪（降水）が観測されている。これはC-レーダの設置標高、観測高度が高いのに対し、X-MPレーダはより地上に近い高度の降雪を観測可能なためと考えられる。表-4より、観測所を含め広域的に数cm程度の降雪があったと推察され、X-MPレーダの運用による降雪観測精度の向上に期待を持てる結果となった。



C-レーダによる降雪の観測結果



X-MPレーダによる降雪の観測結果

図-9 平成26年1月10日午前7時 岩見沢の様子

b) X-MPレーダによる降雪観測の精度検証

X-MPレーダによる降雪の観測については、その精度の詳細な検証を平成26年度における冬期間も継続して行っているところである。表-5は平成26年12月15日から18日までの札幌観測所（アメダス）地点における降雪について、1時間あたり1cm以上の降雪が観測された回数に対して、X-MPレーダがその降雪を捉えていた回数を示したものである。検証期間4日間(96時間)において1cm/hの降雪を記録した回数は16回であり、そのうちX-MPレーダによって16回全てにおいて降雪が観測された。また、X-MPレーダによる観測雨量1mmを降雪1cmと換算した場合、そのレーダ観測値が地上観測所における降雪量に適合している回数は14回となった。以上より、X-MPレーダは降雪についても高精度に把握できる可能性がある。

表-5 札幌中心部の降雪観測の精度

検証対象期間 2014年 12月15日0時～12月18日24時	
① 札幌観測所において1cm/hの降雪を観測した回数	16回
② ①の回数中、X-MPレーダにより降雪が観測された回数	16回
③ ②の回数中、観測値が札幌観測所における降雪量に適合する回数	14回

c) 吹雪・風雪の観測

X-MPレーダには雨滴や雪のドップラー速度を観測する機能があり、複数のレーダからの観測により、風速・風向の観測が可能となる。今後、降雪量の観測結果に風速・風向の観測結果を合わせることで、吹雪が発生している領域を早期に発見し、重大事故等の発生を防ぐための手段として活用が期待されているところである。

6. おわりに

X-RAINの整備により、従来型レーダや地上雨量観測所のみによる観測に加え、局所的豪雨や短時間豪雨のより高精度な観測が可能となった。また、札幌圏の観測雨量の精度について検証を行った結果、従来型レーダよりも地上観測雨量に近いという結果が得られた。

さらに、X-MPレーダを河川管理へ活用する試みとして、バックビルディング現象把握への応用や洪水予測システムへの活用について検討を行った。

前者に関しては、当該現象の発生状況を観測できるとともに、3次元観測により積乱雲の高さ、発達状況等の詳細な把握が可能となった。今後はこれらの情報を活用し、バックビルディング現象発生時のアラーム機能や降雨予測への応用が期待される。

後者の洪水予測システムの応用に関しては、X-MPレーダ雨量を用いた場合、地上雨観測所量を用いた場合と比較して、実測値に近い水位再現結果となった。これは

レーダ雨量が流域内の局所的豪雨を詳細に観測可能であることから予測精度が向上したためと考えられる。今後はX-MPレーダ雨量をリアルタイムに洪水予測システムへの取り込みをモデルの改良と合わせて行う必要がある。

その他、寒冷地特有の気象条件として降雪量の観測についても検証を行った。検証のサンプル数は少ないものの、X-MPレーダの運用により、降雪についてもより高精度な観測が可能になった。これは冬期間、X-MPレーダの観測高度を下げていることにより降雪が適切に観測されていると考えられる。今後は詳細な精度検証と共に、ドップラー速度観測機能を利用した暴風雪等の観測への応用が期待される場所である。

謝辞：本研究および論文の執筆に際し、多くのご支援、ご教授を賜りました日本気象協会事業本部の増田有俊様、藤田浩史様、板戸晶子様にご心より感謝致します。また、水位再現計算に係る検証に関しましては、株式会社ドーコン河川部、長谷川裕史様に多大なご協力、ご指導を頂きました。心より感謝申し上げます。