

25.二重偏波フェーズドアレイ気象レーダの 局地的大雨時における 観測精度評価に関する研究

小島 彩織^{1*}・佐々木 結加¹・清水 啓太²・山田 正³

¹中央大学大学院理工学研究科（〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27）

²北海道大学大学院工学研究院 土木工学部門 博士研究員（〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目）

³中央大学研究開発機構（〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27）

* E-mail: a16.gg5r@g.chuo-u.ac.jp

近年開発された二重偏波フェーズドアレイ気象レーダ（MP-PAWR）は、時空間的に高密度な3次元観測を行うことで、局地的大雨の早期探知を可能とする。MP-PAWRの観測値を用いた短時間洪水予測においては、観測値及び予測値は、降雨流出予測システムの入力値となり、降雨予測及び流出予測の精度に直結すると考えられる。本研究では、精度の高い洪水予測システム構築を目的として、局地的大雨時における流出予測の精度に関わるMP-PAWRの観測精度を明らかにするため、MP-PAWRと地上雨量の比較検証を実施した。その結果、MP-PAWRサイトからの距離とともにその観測精度が減少するが、MP-PAWRサイトから10km以内において地上雨量との適合度が高くなる結果が得られた。

Key Words : Multi-Parameter Phased-Array Radar, AMeDAS, Observation accuracy

1. はじめに

近年、都市部を中心に局地的大雨による被害が増加している。局地的大雨に起因する洪水被害では、降雨のピークから河川の水位上昇までの応答時間が極めて短く、安全な避難行動や被害抑止のためのリードタイム確保が重要である。また我が国では1時間降水量50mm以上の年間発生回数は増加傾向にあり、地球温暖化による極端現象の増加も考慮すると、今後、局所的豪雨の激甚化を踏まえた更なる対策の構築は喫緊の課題と言える。

この課題に対応すべく、急速に発達する積乱雲をより早く探知する二重偏波フェーズドアレイ気象レーダ(以下、MP-PAWR)の観測雨量を用いた、精度の高い短時間洪水予測システムの構築が急務である。洪水予測においては、観測値及び予測値が降雨流出予測システムの入力値となり、流量及び水位に変換される。よって、MP-PAWRの観測雨量の精度は降雨予測及び流出予測の精度に直結すると言える。しかし、これまでMP-PAWRそのものの観測精度検証を行った事例は見受けられない。そ

こで本研究では、精度の高い洪水予測システムの構築を目的に、気象庁で公開されている「Automated Meteorological Data Acquisition System」（以下、アメダス）及び国土交通省「水文水質データベース」で公開されている地上雨量とMP-PAWRの観測精度比較を行うことによって、その観測精度を評価した。

2. 検証概要

(1) 1点の地上雨量に対するMP-PAWRの空間代表性

気象庁及び国土交通省の地上雨量と国立研究開発法人情報通信研究機構によって整備されているMP-PAWR雨量を用いて、MP-PAWRの精度検証を実施する。検証にあたり、両者の降雨観測方法は異なっている点を留意する必要がある。一般に地上雨量計は、直径20cm程度の受水口に溜まった雨量を点で観測しているのに対し、MP-PAWRは上空を面的に捉え、ある波長をもった電波が雨粒に衝突することで降雨強度やドップラー速度

などを測定している。つまり、両者は同一の降雨を異なる方法で観測しているため、互いに比較すべき真値を知ることにはできない。そこで本検証を行うにあたり、1点の地上雨量計の示す雨量が、上空のどの程度の空間を代表するかを定量的に評価する必要がある。地上雨量計は、地上の1点における、最小で10分間毎の雨量を観測する。一方で、MP-PAWRは上空における250m×250m毎の降雨強度を1分間毎に観測する。両者の次元を合わせるため、MP-PAWRの降雨強度を10分間雨量値に換算する。

図-1(a),(b),(c),(d)は、2018年及び2020年の主要10洪水を対象に、MP-PAWRの250m×250m毎に得られるメッシュ雨量データの面積平均スケールを変化させた空間平均値と、1点の地上雨量が観測する10分間雨量値の比較である。面積平均ケースは、250m×250m(1格子)、1km×1km(16格子)、5km×5km(400格子)、10km×10km(1600格子)の全4ケースである。比較を行う対象地点は、図-2に示すMP-PAWRの定量観測範囲(MP-PAWRサイトより半径60km)内に位置する気象庁及び国土交通省の地上雨量計全地点(計76地点)とする。図-1より、1地点の地上雨量計はその地点を中心とするMP-PAWR雨量の最大で1km×1km範囲内の雨量を代表できることが示された。よって、本検証においてMP-PAWRの観測値は、地上雨量の観測地点から1km×1km範囲内の空間平均値を採用する。

(2) 使用データ

地上雨量とMP-PAWRの観測時間間隔の整合を考慮し、MP-PAWRデータは、1分間隔に得られる観測データを

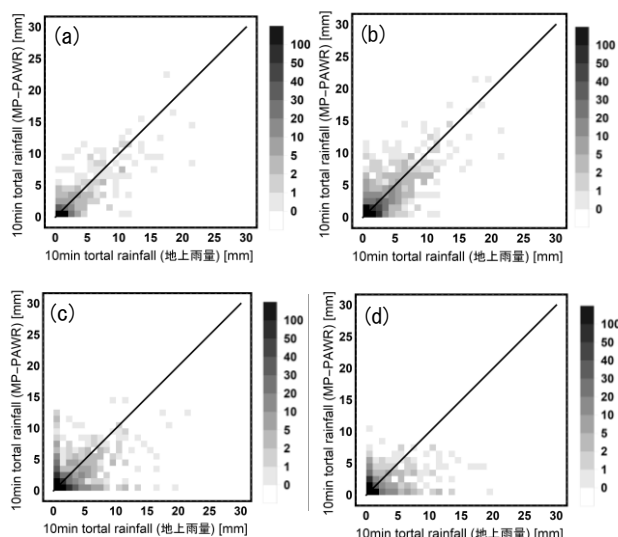


図-1 1点の地上雨量と

MP-PAWRのNkm×Nkm空間平均値の散布図

(図-1(a)：250m×250m、図-1(b)：1km×1km、

図-1(c)：5km×5km、図-1(d)：10km×10km)

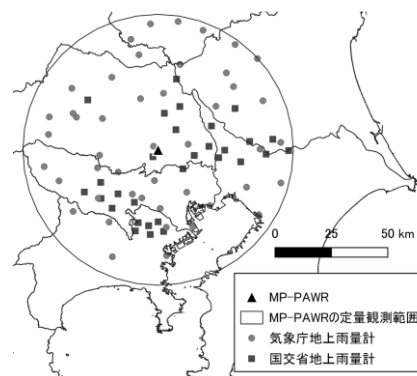


図-2 評価対象地点

10分値に換算したものを用いている。また、3次元に観測されるMP-PAWRのデータより、上空から地上付近へ降雨が落下する遅れ時間を考慮し³⁾上空5000mまでの観測値を高度1000m地点に重み付けして算出したデータを用いた。算出方法はクレスマン内挿⁴⁾である。クレスマン内挿を行う理由として、極座標系のMP-PAWRデータを用いると、局所的に強い値が出ることを避けるためである。また地上雨量計の観測値は、1mm/10min以下の弱雨時において転倒桁雨量計の応答速度が遅いことを考慮し、本検証では評価対象外とした。

評価対象イベントは、2018年及び2020年の主要10洪水とし、精度評価を実施する対象範囲は、前節で示したMP-PAWRの定量観測範囲内の地上雨量計全地点のうち、データに欠損がない計44地点とする。なお、地上雨量及びMP-PAWRの観測値が共に0mmである観測地点は評価対象外とした。

(3) 評価手法

MP-PAWRの観測精度を評価するにあたり、本研究では、一般的にレーダ雨量の精度評価に用いられる統計指標³⁾を用いた。これらの指標を表-1に示す。評価する数

表-1 精度評価に用いた統計指標

表記	定義式	用途
回帰係数	$a = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i)^2}{\sum_{i=1}^N (x_i)^2}$	地上雨量とMP-PAWR雨量の量的な一致度
総雨量比	$s = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{\sum_{i=1}^N x_i}$	地上雨量とMP-PAWR雨量の量的な大小
相関係数	$r = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}}$	地上雨量とMP-PAWR雨量の類似性
二乗平均平方根誤差	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}$	地上雨量とMP-PAWR雨量の差の大きさ

x_i ：地上雨量[mm] y_i ：MP-PAWR雨量[mm]

N ：全資料数(地点数×時間数)

値指標として、表-1に示される通り、回帰係数、総雨量比、相関係数、二乗平均平方根誤差がある。回帰係数は地上雨量とレーダ雨量の量的な一致度、総雨量比は地上雨量とレーダ雨量の量的な大小、相関係数は地上雨量とレーダ雨量の類似性、二乗平均平方根誤差は地上雨量とレーダ雨量の差の大きさを評価するのに使用される。

3. 結果及び考察

図-3に全対象イベントにおける各統計スコアとMP-PAWRサイトからの距離の関係を示す。網掛け部分は、スコアが1.0から±0.2内であることを表す。回帰係数及び総雨量比のスコアは多少のばらつきはあるものの、概ね1.0前後の観測精度が得られている。MP-PAWRサイトから30km以内の回帰係数及び総雨量比の平均スコアは、30km以遠と比べて良いスコアをとるが、いずれの平均スコアも1.0より小さい値となった。特にMP-PAWRサイトから遠方になるほど、1.0より小さいスコア、つまりMP-PAWR雨量が地上雨量より小さい値をとる傾向がある。また、相関係数及び二乗平均平方根誤差のスコアの分布は、MP-PAWRサイトから10kmを境に大きくなり、MP-PAWRサイトから10km内において地上雨量との適合度が高いと推測される。この要因として、図-4に確認されるようなMP-PAWRの降雨減衰や、MP-PAWRサイトから遠方になるほど、観測の空間分解能が粗くなり、低密度の観測データを用いているため精度が極端に悪くなる

と考えられる。しかし、これらのスコアを個々に見ることでは降雨の総ボリュームとその波形の一致度の良さを同時に見ることが出来ない。そのため、これらの精度検証結果を踏まえて、総雨量比と相関係数のスコア及びMP-PAWRサイトからの距離を図-5上段に示す。図中黒枠内に位置する、相関係数0.93、総雨量比1.01のスコアであった地点の降雨波形（図-5下段）では、降雨の総ボリューム、降雨波形ともに地上雨量とMP-PAWRの当てはまりが良いことが確認された。

4. まとめ

本論文では、MP-PAWR雨量を用いた高精度な洪水予測システム構築に向けた第一歩として、洪水予測の入力値であるMP-PAWRの観測値の精度検証を行った。

降雨を観測する高度がMP-PAPWRと地上雨量計で異なるため、地上雨量1地点に対するMP-PAWRの空間代表性を分析した結果、1地点の地上雨量計はその地点を中心とするMP-PAWR雨量の最大で1km×1km範囲内の雨量を代表できることが示された。MP-PAWRと地上雨量の精度評価では、MP-PAWRサイトからの距離ごとに統計指標を用いてスコアを算出した。MP-PAWRサイトから10km以内においては地上雨量との適合度が高いと推定されたが、MP-PAWRサイトからの距離とともにその観測精度が減少し、遠方においては降雨減衰の影響や、用い

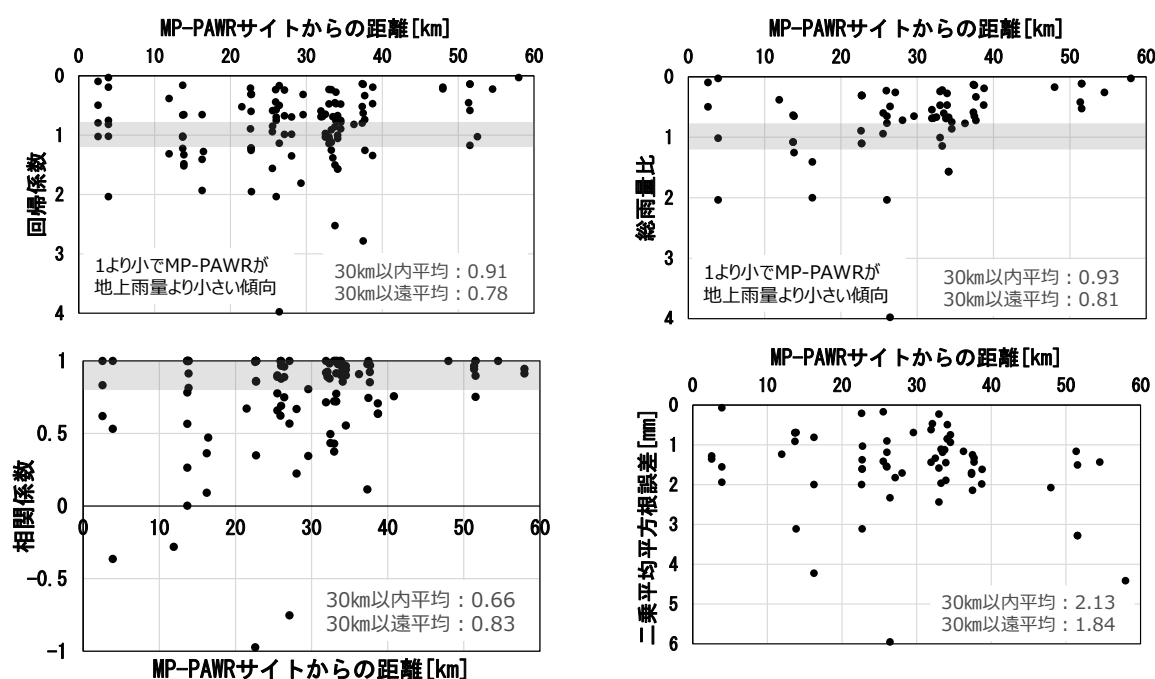


図-3 MP-PAWRサイトからの距離別精度

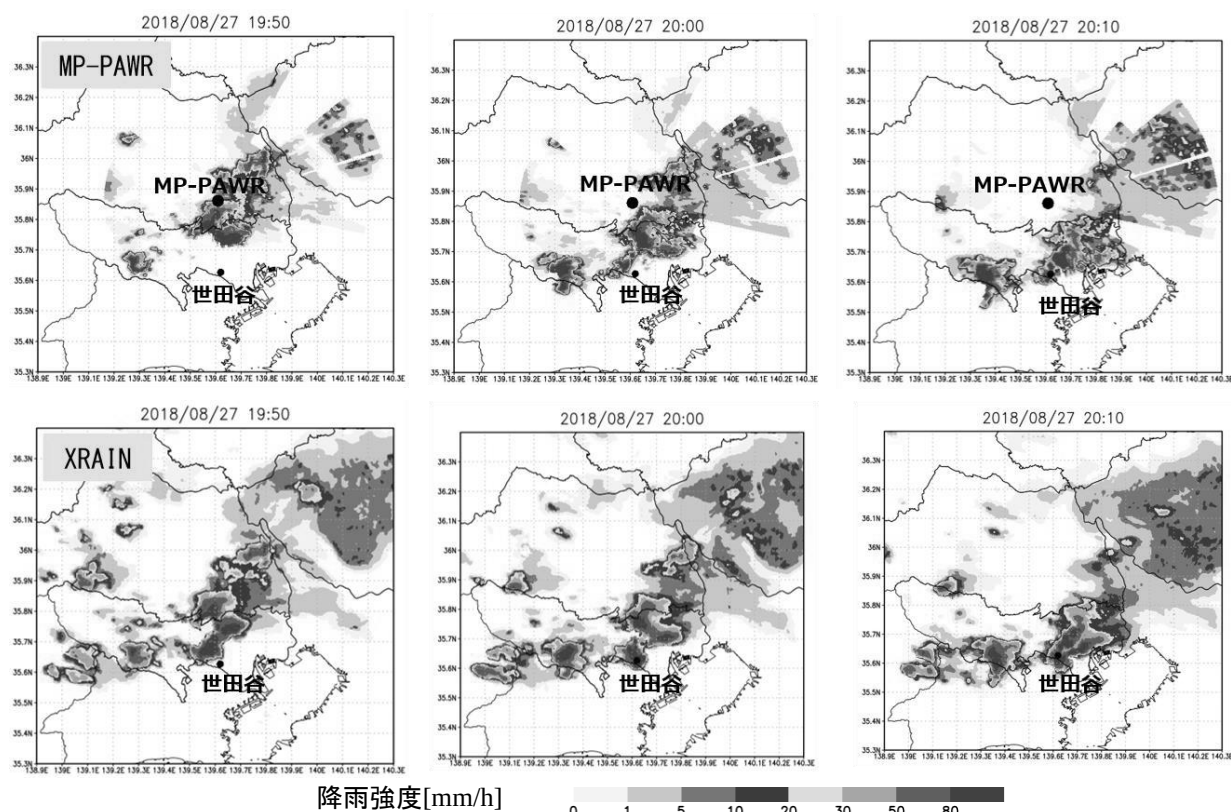


図-4 MP-PAWRの降雨減衰の影響（上段：MP-PAWR観測降雨分布，下段：XRAIN観測降雨分布）

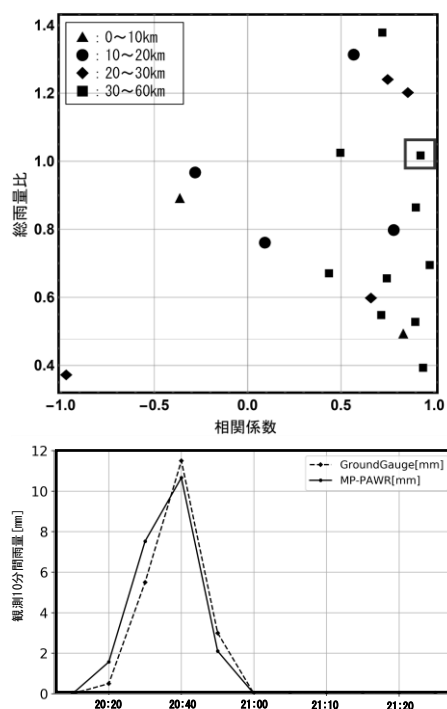


図-5(上段)総雨量比と相関係数のスコア及び
MP-PAWRサイトからの距離
(下段)該当地点の降雨波形

る仰角数を考慮する必要がある。

今後の展望として、MP-PAWRの観測精度の不確

定性・不確実性が洪水予測に与える影響について分析を行い、洪水予測で必要とするMP-PAWR雨量の精度について検討を行っていく。

謝辞：本研究で利用したMP-PAWRの観測データは、国立研究開発法人情報通信研究機構より提供していただきました。東芝インフラシステムズ株式会社には、研究の遂行にあたり数多くのご助言をいただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 気象庁：大雨や猛暑日など（極端現象）のこれまでの変化，
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html
- 2) 佐々木 結加，干場 希乃，清水 啓太，山田 正：マルチパラメータ・フェーズレイ気象レーダを用いた局地的大雨および台風の高度別降雨強度に関する分析，令和三年度土木学会全国大会第 76 回年次学術講演会概要集，ii -43，2020。
- 3) 国土交通省 国土技術政策総合研究所：XRAIN 雨量観測の実用化技術に関する検討資料，国土技術政策総合研究所資料，第 909 号，2016。
- 4) AN OPERATIONAL OBJECTIVE ANALYSIS SYSTEM：GEORGE P. CRESSMAN，Manuscript received September 28 1959; revised November 25, 1959.