

〈特集〉

XバンドMPレーダによるリアルタイム降雨観測技術

土 屋 修 一

国土技術政策総合研究所 河川研究部

(〒305-0804 つくば市旭1 E-mail: tsuchiya-s92ta@nilim.go.jp)

概 要

国土交通省は、豪雨の監視体制を強化するために、XバンドMPレーダの設置を進めている。これまでに11地域に26台のXバンドMPレーダを整備し、精度検証等の検討を経て雨量情報の試験配信を開始した。精度検証の結果、地上雨量計のデータで補正を行わなくとも精度の高い降雨観測が可能であることが確認された。また、試験配信では、250mメッシュの空間解像度で1分毎に、観測後1分程度で雨量情報を配信することを実現し、ゲリラ豪雨といった局地的で突発的に発生、発達する降雨の詳細な雨量分布や動きをほぼリアルタイムに把握することを可能にした。

キーワード：XバンドMPレーダ、豪雨監視

原稿受付 2012.1.31

EICA: 16(4) 6-10

1. はじめに

近年、日本の各地で局地的な大雨や集中豪雨が多発し、それらに起因する浸水被害や水難事故が発生している。こうした豪雨による災害対策のために豪雨の状況を的確に把握する事は重要であり、面的な雨量情報をリアルタイムに得ることができる気象レーダの有効性は高い。

国土交通省水管理・国土保全局は、昭和51年に赤城山にCバンド(約5cm)の波長の電波を使用する気象レーダ(以下、既存レーダ)を設置して以来26基のレーダを配置し、雨量データを河川管理や一般向けの防災情報等に活用している。この既存レーダの面的分解能は、使用する電波の波長帯の関係から1kmメッシュ程度あり、台風や低気圧、前線といった面的スケールの大きい降雨を観測するには十分である一方、局地的な大雨や集中豪雨といった面的スケールが小さい降雨の観測には十分とは言い難い。また、既存レーダは、水平の偏波面を持った1種類の電波(単偏波)を発射し、雨滴に当たって戻ってくる電波の強度(反射強度)を受信するのみの単偏波レーダである。反射強度のみによる雨量換算は様々な誤差要因の影響を受け、定量的な観測は難しいことが知られている¹⁾。そのため、国土交通省はテレメータ地上雨量データを用いて既存レーダから算定される雨量の実時間補正を行っている。この補正に用いる地上観測雨量の観測間隔が5~10分間隔であることにより、既存レーダの雨量情報の配信が5分間隔となっている。地上雨量計を用いた補正を必要とする既存レーダは、補正処理の時

間を必要とするために、配信時間に5~10分程度以上を必要とし、短時間に急激に成長や衰退をする豪雨を迅速に捉えることが難しい。

既存レーダに代わる気象レーダとして、水平と垂直の偏波面を持った2種類の電波(二重偏波)を送受信する二重偏波レーダの研究開発が、日本では1980年代に旧建設省土木研究所を中心に開始された²⁾。Cバンドの二重偏波レーダが、九州の釈迦岳、八本木、国見山に現業用レーダとして設置³⁾されたが、当時の電波の送受信技術や信号処理技術等のレーダ技術が不十分であったため降雨強度の定量的把握に必要な観測精度は得られなかった。

その後、Sバンド(約10cm)、Cバンドの二重偏波レーダの技術革新が米国⁴⁾、日本⁵⁾で進められた。また、Xバンド(約3cm)の二重偏波レーダ(Xバンドマルチパラメータレーダ(以下、XバンドMPレーダ))の研究開発が(独)防災科学技術研究所を中心に進められ、レーダ技術の革新も伴いXバンドMPレーダの降雨観測精度の向上が図られた。防災科学技術研究所は、XバンドMPレーダを製作⁶⁾し、雨量算定に関する研究⁷⁾、雨量算定アルゴリズムの検証^{8,9)}を経て、実用化に向けた観測¹⁰⁾を行い、地上雨量計との補正を行わなくとも高い精度の降雨観測の可能性を示した。地上雨量計との補正が必要ないということは、地上観測雨量の観測間隔による制約を受けずに短い間隔で観測をすることが可能であり、また、キャリブレーションに要する時間がないことから、観測直後に降雨情報の配信が可能となり、短時間に急激に成長や衰退をする豪雨を時々刻々と捉えることが可能である

ことを意味している。

XバンドMPレーダは、Xバンドの波長帯を使用しているため既存レーダより高い空間解像度での観測が可能であり、面的スケールの小さい豪雨を詳細に捉えるのに十分な解像度を有している。

XバンドMPレーダで局地的な大雨や集中豪雨をリアルタイムで時間空間的に詳細に把握することが可能となったため、国土交通省は、豪雨の監視体制を強化するためにXバンドMPレーダの設置を開始した (<http://www.river.go.jp/xbandradar/>)。これまでに、11地域に26台のXバンドMPレーダを整備し、観測した雨量情報の試験配信を開始している (Fig. 1)。現在、XバンドMPレーダは札幌を除く全ての政令指定都市を観測範囲としており都市部における豪雨の監視体制の強化が図られ、また、河道閉塞や噴火活動により土砂災害の危険性が高い地域についても監視体制の強化が図られている。

本稿は、XバンドMPレーダのリアルタイム降雨観測を可能とした二重偏波レーダの降雨観測技術、国土交通省XバンドMPレーダの概要を述べるとともに、XバンドMPレーダの降雨観測結果について紹介する。



Fig. 1 MLIT X-Band MP Radar Network

2. 二重偏波レーダによる降雨観測

XバンドMPレーダのリアルタイム降雨観測は、二重偏波による降雨観測により高精度の降雨観測が可能となったことで実現されている。以下に、二重偏波レーダの降雨観測方法とその特徴を示す。また、参考までに単偏波レーダについても示す。

2.1 二重偏波レーダの降雨観測方法と特徴

雨粒は粒径が大きくなる程、球状から扁平した形状

になり大気中を落下する。扁平した形状の雨粒の中を電波が通過すると水平と垂直偏波の間で位相差が生じる。二重偏波レーダでは、この位相差から降雨量を換算 (Kdp-R方式) する。雨粒の扁平度によって生じる位相差は、雨粒の粒径の4乗に比例する。実際の降雨強度は雨粒の粒径の3.6乗に比例することから、この位相差は実際の降雨強度と概ね一致する対応関係にあるため、Kdp-R方式は定量的な雨量換算が可能となる。また、電波は降雨中を通過すると強度が低下 (降雨減衰) するが、Kdp-R方式では位相信号が検出できれば雨量換算が可能であるため降雨減衰により定量化が損なわれることがない。

以上、位相情報から雨量算定することで、精度向上が図られるとともに降雨減衰の影響を受けず精度良く観測することが二重偏波レーダの主な特徴である。

2.2 単偏波レーダの降雨観測方法と特徴

単偏波レーダは、雨粒に当たり反射した電波の強度 (反射強度) から降雨量を換算 (Z-R方式) する。降雨強度が大きければ、強い反射強度が得られるという定性的な関係は得られるが、反射強度は雨粒の粒径の6乗に比例、実際の降雨強度は3.6乗に比例することから、反射強度から定量的な降雨強度を求めるには、両者を結び付ける対応関係 (粒径分布) が必要となる。しかし、この対応関係は、雷雨や台風、低気圧等の降雨タイプで異なり、また時々刻々と変化することが知られており、一義的に定めることができない。そのため、Z-R方式による定量的な雨量換算は難しい。また、降雨減衰により正確な反射強度を得られなくなることから単偏波レーダで降雨を精度良く観測することは難しい。

3. 国土交通省 X バンド MP レーダ

3.1 機器仕様

国土交通省が使用している X バンド MP レーダの機器仕様を Table 1 に示す。送信機にクライストロンタイプと固体素子タイプを使用しているものがあるが、降雨の観測性能はほぼ同等である。X バンド MP レーダの観測範囲は半径 80 km であるが、半径 60 km 以内が定量観測範囲とされている。

Table 1 Specifications of X-Band MP Radar

送信機	Klystron, Solid-State
送信出力	100 kW (Klystron), 200 W (Solid-State)
パルス幅	1.0 μsec (Klystron), 1.32 μsec (Solid-State)
観測半径	80 km (60 km : 定量観測範囲)
繰り返し周波数	1800 Hz (Dual-PRF 可)
アンテナタイプ	パラボラ (2.2 mφ)
偏波	水平・垂直同時送受信

3.2 レーダの設置場所

XバンドMPレーダは、主要都市や近年、豪雨により被災を受けた場所のある流域、河道閉塞や噴火活動により土砂災害の危険性が高い地域を観測ターゲットとして、これらが半径30 km以内で観測できるように配置されている。**Fig. 1**を見ると、重複してレーダにより観測されている地域が確認できる。これは、Xバンドの波長帯を使用したレーダであることから、降雨減衰の影響を受け強降雨時に観測不能領域が生じる場合があり、観測ターゲットを複数台で異なる方向から観測することで観測不能領域の発生を回避することを目的としているためである。

3.3 降雨量算定

国土交通省 XバンドMPレーダは、約4 mm/h以下の降雨にはZ-R方式を使用し、4 mm/h以上の降雨にはKdp-R方式を使用する方式が採用されている。弱雨時は、雨粒がほぼ球形であり位相差を検出することができないことからZ-R方式を使用している。そのため、強雨時に比べて、弱雨時の観測精度が低い特徴がある。

3.4 降雨観測情報の配信

XバンドMPレーダにより観測した降雨情報は、空間分解能250 mメッシュ、時間分解能1分、配信遅れ時間2分程度で提供されている。既存レーダ（空間分解能1 km、時間分解能5分、配信遅れ時間10分程度）と比べ、空間分解能16倍、時間分解能5倍、配信遅れ時間1/5となっており、既存レーダでは捉えることが難しい局地的かつ急速に成長する豪雨についても詳細かつほぼリアルタイムの降雨情報の提供が可能となっている（**Fig. 2**）。

3.5 XバンドMPレーダの課題

XバンドMPレーダは、使用する電波の波長帯の特性から既存レーダより観測範囲が狭い。また、降雨減衰の影響を受け易い波長帯であるため、観測中に観測不能となる領域が発生する。このような問題に対して、複数台のレーダで観測することで、観測範囲の拡張、観測不能領域の発生を回避するようにしている。しかし、これらの問題を完全に克服することは困難であるため、観測範囲が広く、降雨減衰に強い既存レーダと連携した運用を行っていく必要があると考えられる。

4. XバンドMPレーダの降雨観測結果

XバンドMPレーダで観測した降雨事例の一部を紹介する。

4.1 2010年7月5日豪雨

2010年7月5日東京都北部で局地的な集中豪雨が発生し、浸水被害が発生した。19時30分～20時30分までの1時間に、東京都板橋区役所に設置されている地上雨量計で107 mmの降雨が観測された。その時のXバンドMPレーダによる当該豪雨のレーダ画像を**Fig. 3**に示す。板橋や練馬の観測所周辺に1時間あたりに換算して100 mmを超える雨域が集中し、南に数km離れたと、ほとんど雨域が観測されていないことが明確に把握できる。豪雨がもたらされたエリアは、関東の重点的観測エリアであり、2台のレーダで異なる方向から観測されていた。そのため、豪雨時においても降雨減衰による観測不能領域の発生を回避することがほぼできていた。

この豪雨イベントについて、XバンドMPレーダと地上雨量計で観測された10分間雨量の比較を**Fig. 4**に示す。XバンドMPレーダ雨量は、地上雨量計の

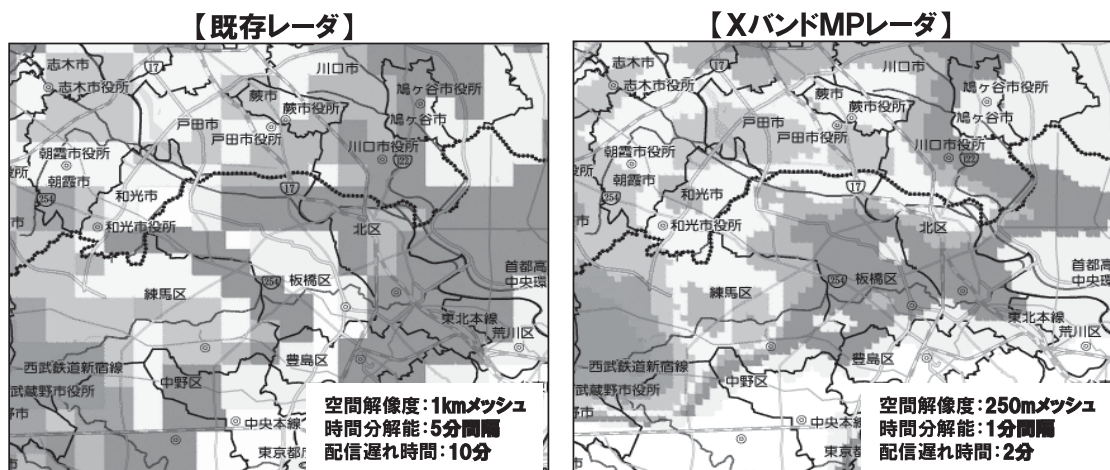


Fig. 2 Comparison with Conventional Radar and X-Band MP Radar

- 51, pp. 325–330 (2007) (in Japanese)
- 6) K. Iwanami, R. Misumi, M. Maki, T. Wakayama, K. Hata and M. Suto: Development of Multiparameter Radar System on Mobile Platform, Preprints 30th Inter. Conf. Radar Meteor., pp. 104–106 (2001)
- 7) M. Maki, S-G. Park and VN. Bringi: Effect of Natural Variations in Rain Drop Size Distributions on Rain Rate Estimators of 3 cm Wavelength Polarimetric Radar, J. Meteor. Soc. Japan, Vol. 83, pp. 871–893 (2005)
- 8) S-G. Park, M. Maki, K. Iwanami, VN. Bringi and V. Chandrasekar: Correction of Radar Reflectivity and Differential Reflectivity for Rain Attenuation at X-band Wavelength. Part II: Evaluation and Application, J. Atmos. Oceanic Technol., 22, pp. 1633–1655 (2005)
- 9) K. Iwanami, E. Le Bouar, J. Testud, M. Maki, R. Misumi, S-G. Park and M. Suto: Application of the Rain Profiling Algorithm “ZPHI” to the X-band Polarimetric Radar Data Observed in Japan, Proc. 31st Conf. Radar Meteor., pp. 274–277 (2003)
- 10) M. Maki, K. Iwanami, R. Misumi, S-G. Park, H. Moriwaki, K. Maruyama, I. Watabe, D-I. Lee, M. Jang, H-K. Kim, VN. Bringi and H. Uyeda: Semi-Operation Rainfall Observations with X-band Multi-parameter Radar, Atmos. Sci. Letters, Vol. 6, pp. 12–18 (2005)