

北広島市に設置された X バンド MP レーダの測定精度の検証

Verification of the Measurement Accuracy of the X Band MP Radar in Kitahishima City

北海道大学大学院工学院 ○学生員 阿久津博 (Hiroshi Akutsu)
北海道大学大学院工学研究院 正員 山田朋人 (Tomohito Yamada)

1. はじめに

近年、気候変動による豪雨や台風の規模の増大が指摘されている。北海道札幌市周辺において 2010 年 8 月 23、24 日にかけての豪雨は過去 50 年間に於いて最大の 1 時間降雨強度を記録している¹⁾。また平成 25 年において北海道内各地において局地的な豪雨が多発し、道路冠水や鉄道運休により人々の生活に大きな支障を与えた。全国的に見ると 7 月 28 日に起きた山口及び島根県での豪雨は激甚災害に指定されている。気象庁によると 1 時間あたりの降雨量が、萩市須佐において 138.5mm、津和野町では 91.5mm、山口市に至っては 143mm となり、観測史上最大の降雨量を記録した。それに伴い河川の増水や土砂災害による被害が発生し、多くの人々に多大な被害をもたらした²⁾。

このような局地的豪雨の多発に対し、国土交通省は平成 21 年度から小規模な流域に発生する降雨の状況をより早く詳細に観測するための XRAIN (X バンド MP レーダネットワーク) というシステムを導入した。これはリアルタイムで詳細な降雨状況を把握しようとするものであり、2009 年度に東京、名古屋、近畿等の大都市圏を中心に 11 台の X バンド MP レーダが設置され、2010 年度には地方の主要都市を中心に 15 台のレーダが設置された。このように X バンド MP レーダを設置する都市は増加している。

前述のとおり近年、北海道内においても局地的豪雨が多発している。例えば、苫小牧市において 2013 年 8 月中旬に時間降雨量 90mm が観測されている。また北海道札幌市周辺における線状降水帯の月毎の発生頻度について大規模気候場の影響を考慮し議論を行った¹⁾。このように局地的豪雨や線状降水帯といった降雨イベントは増加傾向にあり、北海道においても降雨の実況監視が強化される必要がある。このような背景から、北海道北広島市に X バンド MP レーダが整備され平成 25 年 9 月から観測結果が配信開始されはじめた。今後石狩市にも X バンド MP レーダが整備される予定である。

本稿では北海道北広島市に設置された X バンド MP レーダのデータを使用し、AMeDAS のデータや現地観測の降雨量データとの比較を行い、X バンド MP レーダの有効性について検証を行う。なお現地観測の降雨量データは、著者らの 2010 年度終盤から石狩地域において行っている水文気象観測から得たデータである。

2 章においては X バンド MP レーダの特徴を述べ、X バンド MP レーダの時間ごとの降雨強度について 3 章にて考察する。4 章では、X バンド MP レーダと観測データの比較それに伴う両データの特徴を考察し、まとめを

5 章に記す。

2. X バンド MP レーダの特徴

X バンド MP レーダの特徴として、X バンドは C バンドレーダといった従来のレーダに比べ波長が 3cm と短いため観測範囲は近距離であり高分解能な観測が可能である。詳細は表-1 に示す。

また、従来のレーダは水平偏波のみを送受信しているが、MP レーダは水平偏波に加えて鉛直偏波も同時に送受信することができるため、降雨強度の他に風向風速や降水粒子タイプ及び雨滴粒径分布が観測可能である。

X バンド MP レーダは降雨強度 4mm/h 以上（以下強雨時）は、水平偏波と鉛直偏波の位相差（偏波間位相差、以下 KDP）を使用し降雨量を推定しているが、降雨強度 4mm/h 以下（以下弱雨時）は、偏波間位相差が存在せず精度も低いため従来のレーダと同様にレーダ反射因子を使用し降雨強度を推定している。

弱雨時には $Z = BR^{\beta}$ と表される Z-R 関係から降雨強度を推定している。尚、B、 β はレーダ毎に設定する定数パラメーター、R は降雨強度、Z はレーダ反射因子である。

強雨時には $R = a \times a1 \times KDP^{a2}$ と表される R-KDP 関係から降雨強度を推定している。ここで、 $a = 1.2$ 、 $a1 = 19.6 + 2.71 \times 10^{-2} \times EL + 1.68 \times 10^{-3} \times EL^2 + 1.11 \times 10^{-4} \times EL^3$ 、 $a2 = 0.815$ であり、EL はレーダの仰角であり、KDP は偏波間位相差である。

先行研究によると雨滴は空気抵抗を受けて、水平方向に長い楕円体になることが知られている⁴⁾。この雨滴が多数存在する空気中をレーダで観測すると、水平偏波のレーダにより長軸径の反射因子を、鉛直偏波のレーダにより短軸径の反射因子が得られるため、C バンドレーダより正確な降雨量を特定できる。強雨時に X バンドの波長が短いことから起こる降雨減衰に対しても水平・鉛直の 2 偏波を使うことによりある程度は回避できる。MP レーダは降雨減衰の要因である電波の振幅ではなく R-KDP 関係を利用して降雨量推定を行っているからである。

表-1 は X バンド MP レーダと C バンドレーダの違いを示す。これより X バンド MP レーダは地上雨量計による補正が不要なためほぼリアルタイムでの配信が可能であり、観測間隔が 1 分であるためピークを捉える事が可能であるので急速に発生・発達するゲリラ豪雨の監視に有効である。一方、既存の C バンドレーダは降雨減衰に強く定量観測範囲が広く台風や発達した低気圧の接近に伴う降雨の監視に有効である²⁾。

表-1 XバンドMPレーダとCバンドレーダの違い

レーダーの種類	XバンドMPレーダー	Cバンドレーダー
周波数帯	8~12 GHz	4~8 GHz
波長	3 cm	5 cm
観測範囲	80 km	250 km
観測間隔	1 分	5 分
情報発信までのタイムラグ	1~2 分	5~10 分
提供するデータの分解能	250 m	1000 m
二重偏差の有無(雨滴形状把握)	○	△(一部で実施)

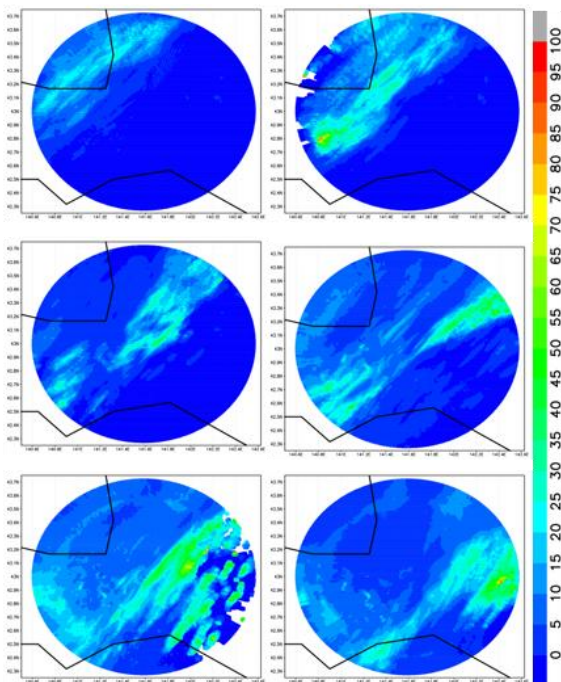


図-1 札幌周辺の2013年9月15日5:00~10:59の1時間平均降雨量の推移。縦軸が緯度、横軸が経度を示す。左上から右下にかけて5:00~5:59、6:00~6:59、7:00~7:59、8:00~8:59、9:00~9:59、10:00~10:59の1時間平均降雨強度

3. XバンドMPレーダが示す降雨強度の時間変化

本研究の対象期間である2013年9月15日において、XバンドMPレーダは5:00頃から降雨を検知し始めた。5:00~11:00までの1時間平均降雨96E8強度の分布を図-1で示す。特に6:00~11:00では観測域の広域で強い雨が降り続き、雨雲は5:00~7:00では東方向に、7:00以降では北東方向に移動した。1分間隔のデータにおいて、降雨強度100mm/hrを超える部分を有す雨雲が検知されており、その地点がXバンドMPレーダ設置地点周囲にきた時多くの領域が降雨減衰のため欠損領域となった。この問題点は、今後石狩市に設置されるXバンドMPレーダで観測結果をで補い合うことにより解決される。

4. XバンドMPレーダと観測データ及びAMeDASとの比較

4.1 XバンドMPレーダと観測データの比較

XバンドMPレーダと著者らの設置した観測地点のデータ及びAMeDASの降雨量データの比較を行う。

日時は2013年9月15日0:00から24:00である。また、著者らの観測地点との降雨量の比較は、千歳市新川のホワイトバーチファーム黒澤牧場(図-2A)及び札幌市南区の八剣山果樹園(図-2B)の計2地点で行い、AMeDASとの比較は、札幌市(図-2①)・小樽市(図-2②)・石狩市(図-2③)・岩見沢市(図-2④)・美瑛市(図-2⑤)・千歳市(図-2⑥)・苫小牧市(図-2⑦)の計7地点で行う。また、XバンドMPレーダの設置場所は北広島市の赤い円の中心点にあり、赤い円で示す領域が定量観測可能範囲である。

まず、XバンドMPレーダで得られた降雨量と観測地点の降雨量を比較した結果を図-3及び図-4に示し、AMeDASとの比較を図-5~11で示す。図-3及び図-4を見ると、XバンドMPレーダと観測地点の観測結果は降雨量の時間変化が定性的に一致している。しかし、1日の総降雨量を見るとXバンドMPレーダで得られた降雨量の方が観測地点より10~20mm程多く測定されている結果となった。

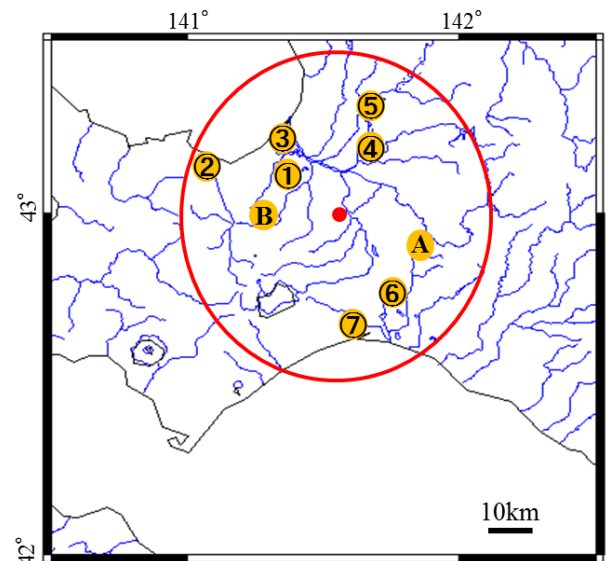


図-2 XバンドMPレーダの観測範囲と比較地点位置

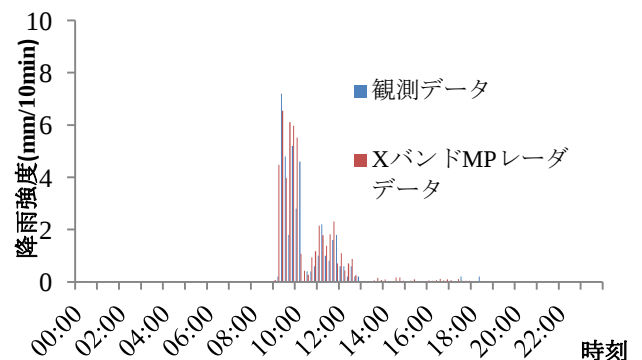


図-3 XバンドMPレーダと観測地点(黒澤農場)での降雨強度の比較図

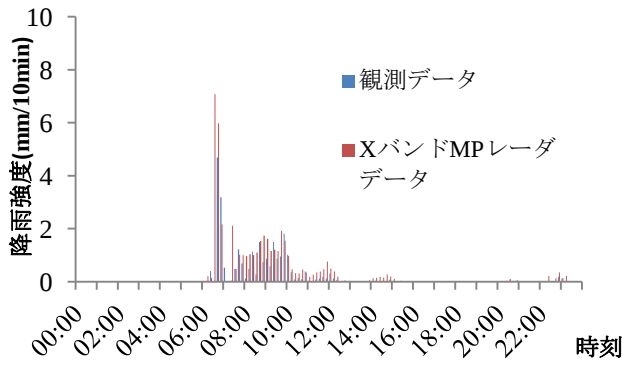


図-4 XバンドMPレーダと観測地点（八剣山果樹園）での降雨強度の比較図

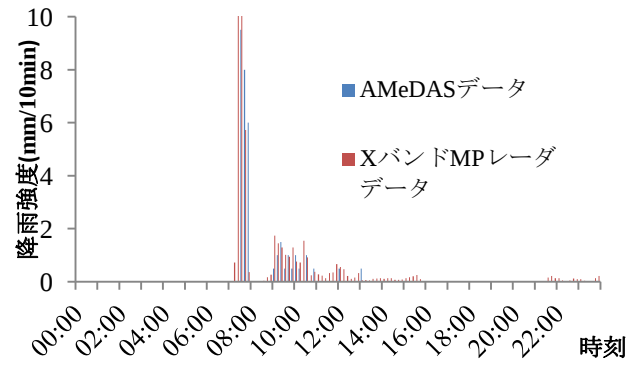


図-8 XバンドMPレーダとAMeDASの降雨強度データの比較（岩見沢市）

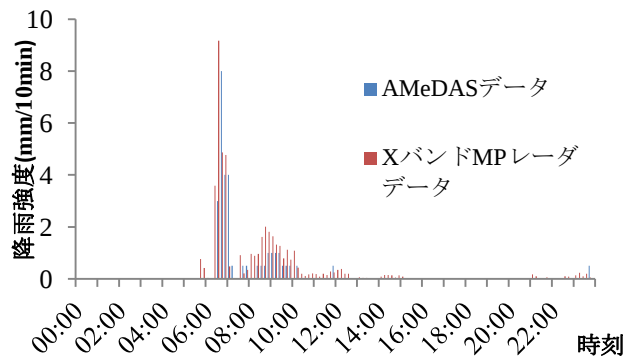


図-5 XバンドMPレーダとAMeDASの降雨強度データの比較（札幌市）

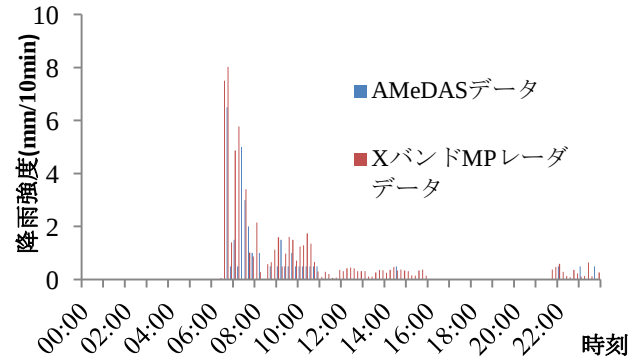


図-9 XバンドMPレーダとAMeDASの降雨強度データの比較（美瑛市）

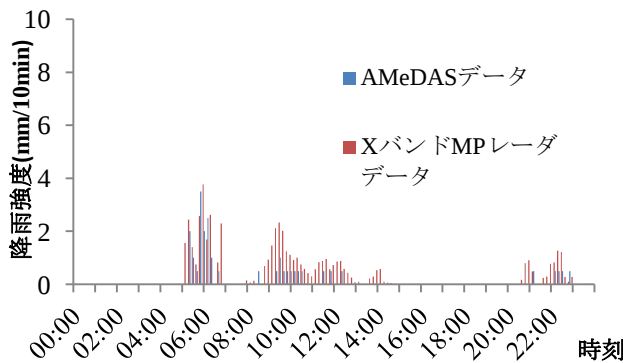


図-6 XバンドMPレーダとAMeDASの降雨強度データの比較（小樽市）

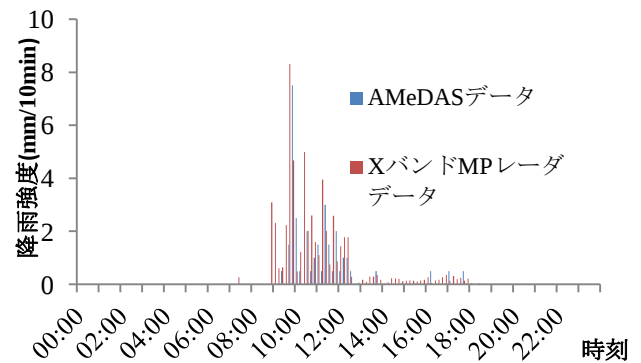


図-10 XバンドMPレーダとAMeDASの降雨強度データの比較（千歳市）

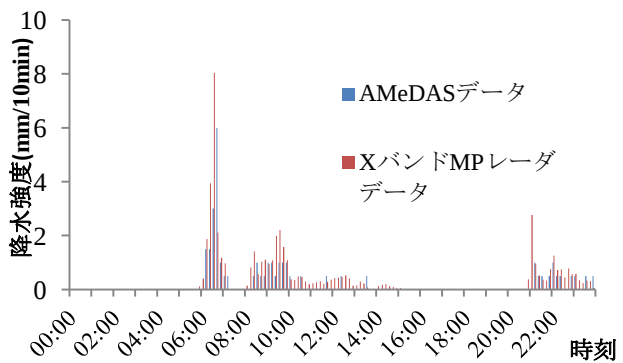


図-7 XバンドMPレーダとAMeDASの降雨強度データの比較（石狩市）

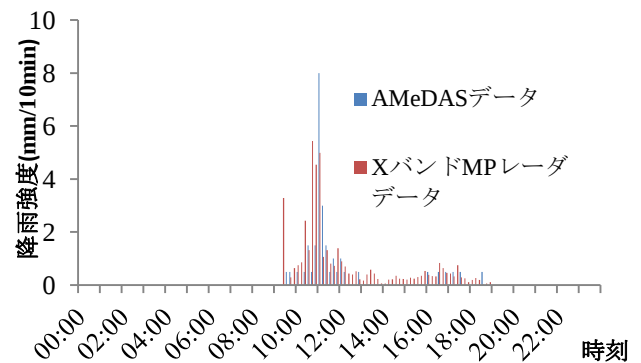


図-11 XバンドMPレーダとAMeDASの降雨強度データの比較（苫小牧市）

表-2 AMeDAS 各地点の分散値

	総降雨量 (mm)	分散	弱雨時 分散	強雨時 分散
札幌	29	0.08411	0.06456	0.76359
小樽	22	0.33005	0.33005	なし
石狩	31	0.14438	0.11035	2.52600
岩見沢	32.5	0.68085	0.04006	30.5846
美唄	31	0.64306	0.10262	19.2883
千歳	30	0.29564	0.19500	4.95009
苫小牧	25	0.32743	0.05552	9.77618

X バンド MP レーダと AMeDAS で観測された降雨量の時間変化が定性的に一致している。また、X バンド MP レーダの方が AMeDAS の降雨量の変化より少し早く降雨を感知している。これは AMeDAS は高さ約 2m の地点で雨量計を用い測定しているのに対して X バンド MP レーダはそれよりも高い位置で仰角を持たせてレーダを送受信しているからであると考えられる。仰角を持たせているためレーダー発信源から遠い地域ほど検知時間が早くなる可能性を有する。観測地点から遠い距離ほど AMeDAS が降雨を感知するよりも早く、レーダーが感知している（図-12）。

また、前述の観測値との比較同様 1 日の合算降雨量は X バンド MP レーダの方が AMeDAS よりも 2 倍程高く測定されていた。このように、すべての比較を見ると X バンド MP レーダは降雨量を過大評価する傾向を有する。

これは、雨滴が雲から落下していく過程において、下からの上昇気流により雨滴はパンケーキのように平たくなり、そして、袋状にふくれて雨滴内の表面張力が雨滴の形を維持できなくなって分裂する⁴⁾ 事により弾けた小さな雨滴がまた上昇気流に持ち上げられ 2 重 3 重と測定されていることにより降雨量が大きく測定されたものとする。さらに X バンドは波長が 3mm と短いため小さい雨滴を正確に 2 重 3 重と捉えていることもると X バンド MP レーダは降雨量を過大評価する一要因であろう。

4.2 X バンド MP レーダと観測データのばらつき

2 章で述べた AMeDAS で観測される 4mm/hr 以下の時 Z-R 関係、4mm/hr 以上の時 R-KDP 関係を使って降雨量を算出しているので 4mm/hr を境に降雨量の分散を見た結果を表-2 に示す。表-2 では X バンド MP レーダが AMeDAS よりも早く降雨を検知することを考慮して分散計算を行った。降雨強度が 4mm/hr 以上の強雨時は分散は大きく、4mm/hr 以下の弱雨時は分散は小さくなっていた。とりわけ強い降雨強度が観測された岩見沢市において強雨時のばらつきが最も大きく、降雨強度が強いことから大きい雨滴が多く、雨滴が分裂する要因を強く受けたことが原因であると推測される。

また、1 日の総降雨量が 30mm を超えている地域においては観測地（北広島市）から遠いほど弱雨時のばらつきは大きくなる傾向にあった。これは、弱雨時は Z-R

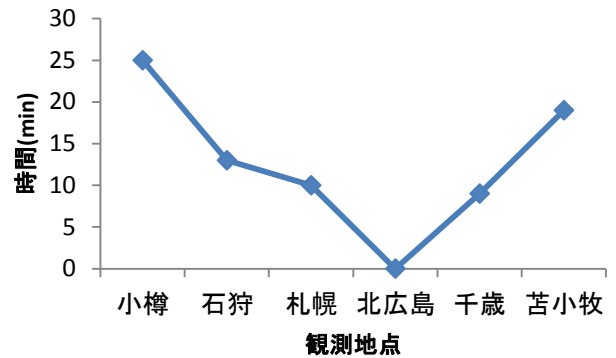


図-12 観測距離と降雨感知時間の関係

関係から降雨強度を推定しているため遠くに行くほど降雨減衰の影響を受けるためばらつきが大きくなったと推測される。

5. まとめ

X バンド MP レーダと著者らの観測地点及び AMeDAS との比較結果より、X バンド MP レーダで測定された降雨量データが著者らの観測地点及び AMeDAS で観測された降雨量の時間変化が定性的に一致しているため、X バンド MP レーダは降雨量の変化を確実に捉えている。このことから、X バンド MP レーダの本来の目的である局所的豪雨の検出に対して十分機能していると考えられる。しかし、降雨量を実際よりも高く推定するため被害が発生する豪雨が現状の治水構造物で耐えることのできる雨かをリアルタイムで判定することは現状の X バンド MP レーダでは難しいと考える。今後、降雨強度の補正式の発展において解決される可能性があるだろう。

謝辞：本研究は地球規模課題対応国際科学技術協力 (IMPAC-T)、文部科学省 SOUSEI(C-i-C)/RECCA、及び CREST(Core Research for Evolutional Science and Technology)の成果の一部である。バンド MP レーダのデータは、国土交通省北海道開発局建設部河川管理課水災害予報センターからご提供頂いた。記して深甚の謝意を表す。

参考文献

- 1) Yamada J T, Sasaki J and Matsuoka N: Climatology of line-shaped rainbands over northern Japan in boreal summer between 1990 and 2010 atmospherics science letters, Vol13, 133-138, 2012.
- 2) 大石 哲：最先端気象レーダーとし雲物理過程の混相流、Japanese J. Multiphase Flow、Vol.24、154-161、2010
- 3) 国土交通省 気象庁
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 4) Emanuel: Raindrop size distribution in different climatic regimes, Nature, 2009.
- 5) 深尾昌一郎、浜津享助：気象と大気のレーダリモートセンシング p150-154、2009