

蛇峠レーダ雨量計における観測性能向上への取り組み

栗本敏明¹・埜口 修¹

¹企画部 情報通信技術課 (〒460-8514 名古屋市中区三の丸2-5-1)

国土交通省では1976年より日本各地にレーダ雨量計を整備し、全国の降雨地域や降雨量の情報（雨量情報）を観測している。中部地方整備局においても1983年に御在所レーダ雨量計、1986年に蛇峠レーダ雨量計、2010年以降にXバンドMPレーダ雨量計7基を整備した。現在ではインターネットを通じて、一般利用者にも雨量情報の提供を行っている。

本論文では、2017年の蛇峠レーダ雨量計の更新に併せて実施したレーダ雨量計のマルチパラメータ化（MP化）による観測性能向上について報告する。

キーワード：レーダ雨量計、マルチパラメータ、MP、観測性能向上、蛇峠

1. はじめに

国土交通省では、1976年より日本各地にレーダ雨量計を整備し、現在65基のレーダ雨量計（Cバンドレーダ雨量計：26基、XバンドMPレーダ雨量計：39基）にて、全国の雨量情報を観測している。これらのレーダ雨量計で観測した雨量情報を基に、河川管理や洪水予測といった河川事業や水文観測業務に活用してきた。中部地方整備局管内においては、図1-1のように現在9基のレーダ雨量計（Cバンドレーダ雨量計2基、XバンドMPレーダ雨量計7基）を整備し、常時観測している。2017年に実施した蛇峠（長野県下伊那郡阿智村）にあるCバンド



図1-1 中部地方整備局管内のレーダ雨量計の位置図

レーダ雨量計の機器更新では、レーダ雨量計のMP化を併せて実施し、観測性能を向上させたため報告する。

2. レーダ雨量計の概要

(1) レーダ雨量計とは

レーダ雨量計は、図2-1に示すイメージのようにパラボラアンテナから発射した電磁波を雨雲の中にある水滴に当てて、反射してきた電磁波（反射波）を観測している。この反射波の強さ（振幅）や波長の変化、反射波を観測するまでの時間等を基に、コンピュータによる解析処理を行うことで、降雨地域や降雨量を算出している。



図2-1 レーダによる降雨観測のイメージ

表1-1 レーダ雨量計の観測条件及び観測性能

	Cバンド レーダ雨量計	Cバンド MPレーダ雨量計	Xバンド MPレーダ雨量計
使用する周波数	4~8GHz	4~8GHz	8~12GHz
使用する偏波方式	水平偏波	水平偏波と垂直偏波 (二重偏波観測方式)	水平偏波と垂直偏波 (二重偏波観測方式)
メッシュサイズ	1km	250m	250m
観測時間	5分	1分	1分
観測範囲 (定量観測範囲)	198km or 300km (120km)	300km (150km程度)	80km (60km)
設置位置	山頂	山頂	平地 (建屋上)
強雨による 電磁波の減衰	小さい	小さい	大きい
新規設置費用	高い	高い	安い
地上雨量計補正	必要 (配信遅れ5分程度)	不要 (ほぼリアルタイム)	不要 (ほぼリアルタイム)

(2) レーダ雨量計の種類

レーダ雨量計は、使用する電磁波の周波数帯域と偏波方式によって4つに分類され、国土交通省では主に3種類のレーダ雨量計を整備している。この3種類のレーダ雨量計の観測条件及び観測性能を表1-1にまとめる。

Cバンドレーダ雨量計は、強雨による電磁波の減衰が小さいため広範囲の地域を観測することが可能であるが、雨量情報を算出するために地上雨量計との補正処理が必要であり、配信に5分程度の遅れが生じてしまう。XバンドMPレーダ雨量計は、電磁波の減衰が大きく、また観測範囲がCバンドレーダ雨量計に比べて狭いが、メッシュサイズの長さが250mとCバンドレーダ雨量計の4分の1程度であるため、より詳細な観測が可能である。さらに地上雨量計との補正処理が不要のため、配信の遅れも1分間と短い。

(3) 雨量情報の算出方法

レーダ雨量計では、反射波の振幅や波長の変化、反射波を観測するまでの時間を基に解析を行い、降雨量等を算出する。その算出方法については、関東地方整備局の大手方如氏の論文¹⁾で述べられているため、本論文では簡潔に述べる。

降雨量を理論的に算出するためには、レーダ方程式より雨滴からの反射の強さ(反射因子)Zを求める。この反射因子Zは、単位体積当たりの総水滴数 $N_{(D)}$ に水滴の直径Dの6乗を掛けた値と等しくなる。

$$Z = N_{(D)} \cdot D^6 [\text{mm}^6/\text{m}^3] \quad (1)$$

また1時間当たりの降雨量Rは、空気抵抗を受ける水滴の落下速度Vを用いると、

$$R = V \cdot N_{(D)} \cdot 4/3 \pi (D/2)^3 \cdot 60 \cdot 60 [\text{mm}/\text{h}] \quad (2)$$

となる。これらの式からDを消去すると反射因子Zと降雨量Rの関係式が導かれる。なお過去の観測結果より、

$$Z = B \cdot R^\beta \quad (3)$$

という関係式 ($80 \leq B \leq 1000$, $1 \leq \beta \leq 2$) が成り立つこ

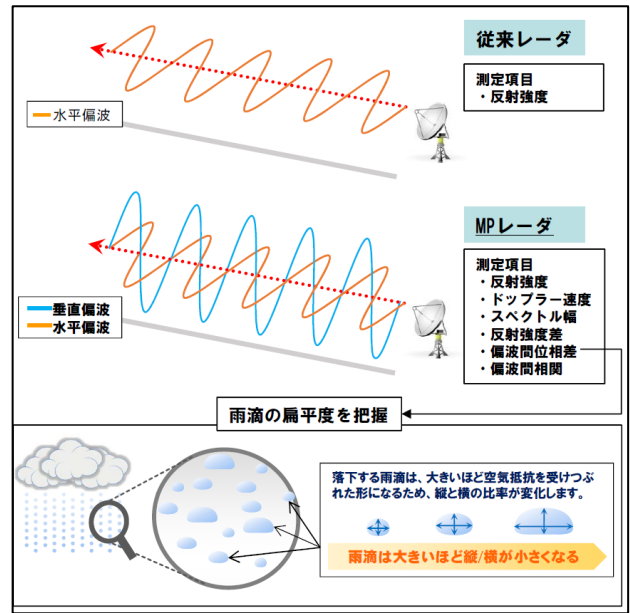


図2-2 レーダ雨量計のMP化

とも知られている。このBとβはレーダ毎に決められている値であり、この値を用いて降雨量を算出した後、地上の雨量計のデータから補正処理を行い、雨量情報を算出している。

CバンドMPレーダ雨量計やXバンドMPレーダ雨量計では、弱い雨や観測したデータの質が低いときには式(3)にて算出するが、強雨時でデータの質も高い時には、

$$K_{qp} = \alpha R^6 \quad (4)$$

という式 (K_{qp} は単位距離あたりの偏波間位相差) から降雨量を算出している。全国にある他レーダ雨量計の精度検証において、式(4)にて求めた降雨量が、地上雨量計との相関が高く、ばらつきも小さいことが分かっている。

(4) Cバンドレーダ雨量計のMP化

CバンドMPレーダ雨量計とは、技術の進歩によりCバンドレーダ雨量計とXバンドMPレーダ雨量計の長所を組み合わせた観測性能を持つレーダ雨量計のことである。

つまり、このMP化したCバンドレーダ雨量計は、広範囲の地域を詳細に観測でき、かつ観測した雨量情報をほぼリアルタイムで提供可能であると言える。

CバンドMPレーダ雨量計では、図2-2に示すイメージのように、従来のCバンドレーダ雨量計で使用していた水平偏波の他に、それと直交する垂直偏波を同時に発射する二重偏波観測方式を採用している。空気抵抗により扁平した水滴に水平偏波と垂直偏波が当たると、水平偏波の反射波は垂直偏波の反射波に比べ強く反射し、波の位相も垂直偏波の反射波より遅れが生じる。この反射波の強さの差と位相の差より、水滴の形状や分布の違いを観測し、雨量情報を算出している。



図2-3 雨量情報の一般利用者への提供画面

(5) 雨量情報の活用事例

各レーダ雨量計で算出した雨量情報だけでは、カバーしている流域面積も小さいため、活用しにくい。そのため各レーダ雨量計で算出した雨量情報を、関東地方整備局と近畿地方整備局にある合成装置へ伝送し、国内全域をカバーする雨量情報として合成処理を行う。この合成した雨量情報を「川の防災情報」 (<http://www.river.go.jp/>) のサイトにより、図2-3に示す提供画面のように一般利用者へ提供を行っている。

このサイトでは、リアルタイムで観測された雨量情報が表示されているため、台風やゲリラ豪雨時等に、地方自治体の職員や一般利用者が閲覧し、防災活動に活用されている。

3. 蛇峠Cバンドレーダの更新

(1) 既設レーダ雨量計の現状と課題

従来の蛇峠レーダ雨量計は、Cバンドの周波数帯の電磁波を使用し、半径198kmの範囲を、方位方向256分割、距離方向1.8kmの細メッシュとして観測していた。観測方法は、5分毎に複数仰角（4仰角）を走査するPPI観測であった。観測された反射波の強度を仰角毎に平均処理し、天竜川ダム統合管理事務所に設置された解析合成装置へ送信していた。また電磁波の送信部にマグネトロンと呼ばれる電子管（真空管）を使用していた。この電子管は、一般的に寿命が短いため定期点検時に予防的な交換が必要であり、また不必要な電磁波（スプリアス）の送信を規制している電波法関連法令（2005年施行）に対応していない等の課題があった。

(2) 更新するレーダ雨量計の検討

前項で述べた既設レーダ雨量計の課題を解決するための検討と、観測性能の向上が見込めるレーダ雨量計のMP化の検討を実施した。



図3-1 更新前の蛇峠レーダ雨量計



図3-2 蛇峠レーダ雨量計の施工場所

検討した結果、建物やデータを伝送するための無線設備等の既設設備が流用可能であり、レーダ雨量計のMP化が可能であることが判明した。そのため、観測方式を二重偏波観測方式とし、送信部の電子管をスプリアスを抑制するための波形成型が可能な固体素子方式とした。観測したデータを伝送する無線設備についても、技術の進歩により伝送性能が向上していたため、観測するメッシュあたりの長さを250mに見直し、より詳細な観測が可能となっていた。

(3) レーダ雨量計の更新

蛇峠レーダ雨量計の更新は、2015年9月16日から2017年2月28日までの工期で三菱電機株式会社が受注し施工した。

施工場所は図3-1のように既設の山頂無線中継所であり、標高も1650mを超えていたため、冬季には降雪により施工が難しく現地作業の期間が短かった。さらに図3-2のようにアンテナやレドーム、資材を置く作業ヤードが十分に確保できないため、施工は非常に苦勞した。

2017年3月1日に完成検査を行い合格したため、現在試験運用を行っている。



図3-3 施工完了時のレーダ雨量計

4. 観測性能の精度向上

(1) 観測性能の精度向上

更新したレーダ雨量計について、観測性能の精度向上を、河川部の業務にて行う予定である。結果は、現時点では出ていないが、MP化したことにより図4-1のように水平偏波と垂直偏波の位相差を観測することが可能となったため、従来のCバンドレーダ雨量計より高精度な観測が可能となる。さらに雨量情報を算出した後の地上の雨量計との補正処理が不要となったため、配信間隔が短くなり、ほぼリアルタイムで配信が可能となる。

(2) 一般利用者への提供イメージ

これまで蛇峠Cバンドレーダ雨量計のみでカバーされていた長野県南信地方と静岡県西部地域において、図4-2に示すイメージのように、今まで5分間隔で1kmメッシュの雨量情報を提供していたが、今後はほぼリアルタイムで250mメッシュの詳細な雨量情報を提供することが可能となる。

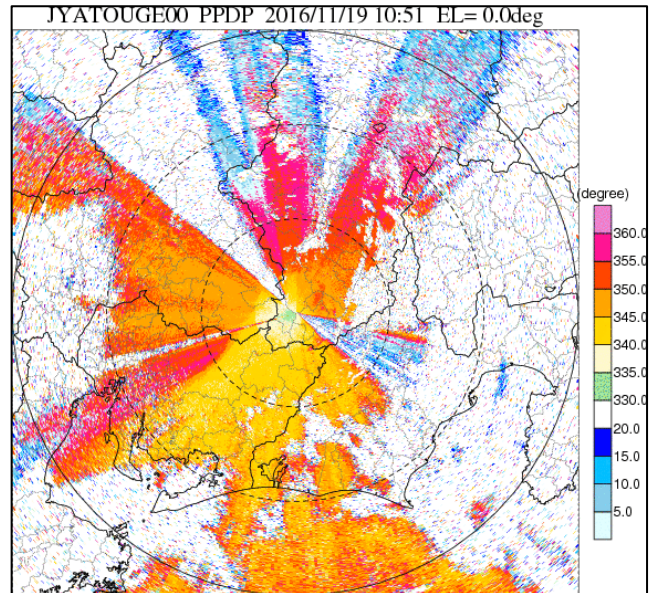


図4-1 観測性能の精度向上例（偏波間位相差）

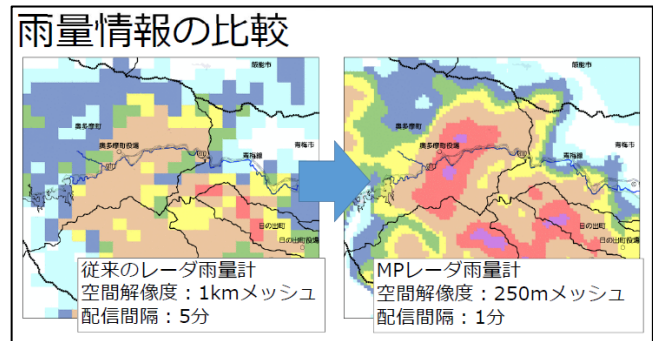


図4-2 提供する雨量情報の精度向上イメージ

5. まとめ

このように蛇峠レーダ雨量計について、機器更新に併せてレーダ雨量計のMP化を実施し、観測性能の向上を行った。MP化を行うことで、従来のレーダ雨量計よりも詳細な観測と、迅速な情報配信が可能となった。レーダ雨量計は、降雨災害や集中豪雨への防災対策として無くてはならない存在となっている。日々の点検や維持管理を適切に行い、いざというときに活用できるように努めたい。

参考文献

- 1) 建設電気技術2013技術集 関東地方整備局管内におけるXバンドMPレーダ雨量計の施工及び技術紹介について 関東地整 大手方如