

# 現業CバンドMPレーダにおける降雨推定精度

Accuracy of Quantitative Precipitation Estimation  
by operational coherent dual polarization radar

越田智喜<sup>1</sup>・武中英好<sup>2</sup>・  
中北英一<sup>3</sup>・真木雅之<sup>4</sup>・中川勝広<sup>5</sup>・深見和彦<sup>6</sup>

Tomoki KOSHIDA, Hideyoshi TAKENAKA,  
Eiichi NAKAKITA, Masayuki MAKI, Katsuhiko NAKAGAWA, and Kazuhiko FUKAMI,

<sup>1</sup>正会員 修士（理学）いであ株式会社 国土環境研究所（〒224-0025 神奈川県横浜市都筑区早渕2-2-2）

<sup>2</sup>非会員 修士（工学）いであ株式会社 国土環境研究所（〒224-0025 神奈川県横浜市都筑区早渕2-2-2）

<sup>3</sup>正会員 博士（工学） 京都大学防災研究所（〒606-8506 京都府宇治五ヶ庄）

<sup>4</sup>非会員 博士（理学） 独）防災科学技術研究所（〒305-8506 茨城県つくば市天王台3-1）

<sup>5</sup>正会員 博士（工学） 独）情報通信研究機構（〒184-8795 東京都小金井市貫井北町4-2-1）

<sup>6</sup>正会員 修士（工学） 独）土木研究所（〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6）

Quantitative estimation of precipitation is important to management water resources and utilizes distributed hydrological modeling system. Coherent dual polarization radar is expected to advance river managements. In this study, the ability of the first operational dual polarization radar was reported, which had been installed in Kyusyu district. Using the coherent polarimetric information was the good countermeasure to the weakness of conventional weather radars such as attenuation problem of heavy rainfall, contamination of ground echo and electric power blockage of mountainous areas. The rain estimation algorithm incorporated polarimetric information showed quite good accuracy comparing to the previous.

**Key Words:** QPE, Radar reflectivity index, Dual Polarization Radar, Kdp, Correlation Coefficient, Specific Differential Phase

## 1. はじめに

### (1) CバンドMPレーダ導入の背景

二重偏波レーダは、降水粒子の粒径分布や、雨や雪といった降水の種類が推定できる可能性のあるレーダであり、約20年前から気象学や水文学の分野で、利用方法が開発されてきた<sup>1)</sup>。わが国でも、Xバンド（3cm波）を中心に研究が開始され、ZDR法による現業用のCバンド（5cm波）レーダとしては1994年に国土交通省九州地方整備局釈迦岳レーダでZDR法による降雨観測が実用化された<sup>2)</sup>。

海外ではアメリカ<sup>3)</sup>、ヨーロッパを中心にSバンド（10cm波）レーダの改善・革新が進み、2つの偏波の位相差を用いた降雨量推定精度向上の見込みが立ち、現業配備されている。位相観測可能な二重偏波レーダはマルチパラメータレーダ（MPレーダ）と呼ばれ、水平、垂直偏波面によるレーダ反射因子 $Z_H$ 、 $Z_V$ ならびにその反射因子差ZDR、偏波間相関係数 $\rho_{hv}$ 、偏波間位相差 $\phi_{dp}$

とその伝搬方向の距離微分である伝搬位相差変化率 $K_{dp}$ といった多くのパラメータを得ることができる。CバンドMPレーダとしては情報通信研究機構（NICT）沖縄亜熱帯計測技術センターで開発されたCOBRAが実験運用され多くの研究実績がある<sup>4)</sup>。

従来型レーダは一般に地上雨量計を用いた補正がなされているのに対し、MPレーダでは十分な位相情報が確保できる大きさの降雨に対しては、補正の必要がない。CバンドMPレーダにおいてもCOBRAの結果から、従来型レーダより雨量推定精度の向上が期待できることが示されている<sup>5)</sup>。

このような背景のもと、国内初の二重偏波レーダであった釈迦岳レーダは、2012年からの運用に向け各偏波の位相を観測可能なCバンドMPレーダに改良されている。本論文では国内初の現業用CバンドMPレーダである釈迦岳レーダの降雨観測精度について報告する。

### (2) 九州地方整備局におけるレーダ雨量計

1977年度から3ヶ年計画で建設された釈迦岳レーダは、

1979年に運用が開始され、1983年に運用を開始した国見山レーダと合わせて九州管内のほぼ全域が観測可能となり、日常の管理や水防体制の早期確立等、降雨情報による業務遂行に多大な貢献を果たしてきた。

しかし、九州地方の降雨進入のほとんどが九州西方海上からであることから、1988年から長崎県五島列島福江島に八本木山レーダの整備がはじまり、1991年に運用が開始された。その結果 図-1に示すように合計3基のレーダ雨量計観測網が完成した。

釈迦岳レーダは、1991年9月の台風19号で被災し、早急な設備更新を迫られる状況となった。1994年度に施設の更新と合わせ、それまでのBβ方式による降雨強度推定に加え、ZDR法による二重偏波観測を導入し運用を開始した。

2009年度、レーダ機器の老朽化に伴う更新にあたって、洪水予報精度の向上を目的とする分布型流出解析モデルの展開をふまえ、より精度の高い観測を目指す必要があることから、Kdp法による、二重偏波の位相差を用いた雨量推定を導入することになった。更新後の釈迦岳レーダの仕様を表-1に示す。また観測仰角は0.3度と0.8度を、5分間で2分ずつ運用している。

従来のレーダ反射強度のみを活用するレーダでは図-2に示すように、

- 強降雨域におけるレーダ電波の減衰（降雨減衰）のため遠い側の強度情報が取得できない
- 地形によるレーダ波の反射（グランドクラッタ、以下GC）が降雨観測を妨害する
- 山地部で受信電力がさえぎられる（電力遮蔽）ことにより背後の電力が不足し精度が低下するといった問題がある。これらはいずれも、研究段階では偏波の位相情報を活用することで改善することが示されている。

更新後の釈迦岳レーダでは偏波の位相情報を利用して降水粒子の識別や粒径分布の把握が可能となり、より正確な降雨強度の推定に結びつくものと期待されている。

## 2. データと検証

### (1) 検討対象降雨

本研究における精度評価対象降雨を表-2に示す。2009年と2010年に九州北部に30mm/hを超える降雨が連続した事例から16降雨を抽出した。

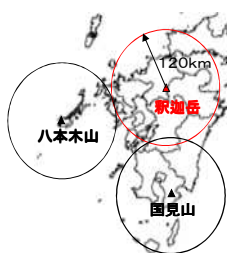


図-1 九州地方整備局 レーダ雨量計配置図

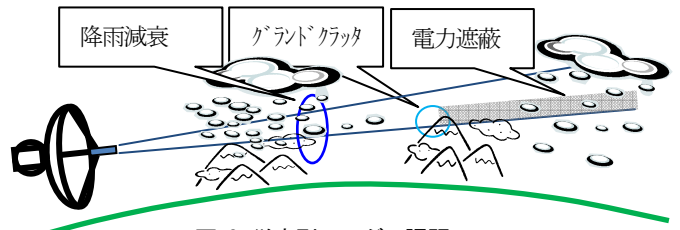


図-2 従来型レーダの課題

### (2) 雨量推定のためのパラメータ設定

レーダで観測された値を雨量値へ換算するためには、雨量推定パラメータを設定する必要がある。従来は地上雨量計で観測された地上雨量 $R$ とレーダで観測されたレーダ反射強度因子 $Z$ の関係を表すパラメータである定数 $B$ と $\beta$ を求め、 $B\beta$ 法による雨量推定が行われてきた。

$B$ と $\beta$ が雨滴粒径に左右されやすいのに対し、MPレーダの偏波パラメータ $K_{dp}$ は雨滴粒径の影響が小さく地上の降雨強度と非常に相関が高いことがわかっている。ここではKdp法における雨量推定パラメータを地上の粒径分布観測に基づき求めた。パラメータ設定には雨量観測精度評価のために釈迦岳レーダから西方に約20km間隔で直線的に配置したディストロメータを用いた。

表-1 釈迦岳レーダの機器仕様

空中線	4.0mφ (利得42dB以上) レドーム 7.0mφ
偏波	水平偏波・垂直偏波 同時発射 水平・垂直個別同時受信
運用	仰角 0.3度、0.8度 回転速度 各1rpm×2
送信管	クライストロン
送信周波数 送信出力	5GHz帯 (5cm波) 250kW
送信パルス幅	2.5μs
パルス繰返し周波数	初期設定 420Hz
最小受信感度	-110dBm 以下
信号処理出力データ	H-NOR、H-MTI、 V-NOR、V-MTI、 $\phi_{dp}$ 、 $\rho_{hv}$

表-2 検討対象降雨

年度	降雨期間	成因
H21	① 2009年6月29日～30日	梅雨前線
	② 2009年7月1日	梅雨前線
	③ 2009年7月24日～25日	梅雨前線
	④ 2009年7月26日	梅雨前線
	⑤ 2009年8月14日～15日	暖湿気流
	⑥ 2009年10月1日～2日	秋雨前線(台風17号)
H22	⑦ 2010年4月1日	寒冷前線
	⑧ 2010年4月21日～22日	低気圧
	⑨ 2010年5月22日～23日	温暖前線
	⑩ 2010年6月26日～27日	梅雨前線
	⑪ 2010年6月28日～29日	梅雨前線
	⑫ 2010年7月10日～11日	梅雨前線
	⑬ 2010年7月12日～14日	梅雨前線
	⑭ 2010年8月11日	台風4号
	⑮ 2010年9月7日	台風9号
	⑯ 2010年9月22日～23日	秋雨前線

図-3に地上4地点のディストロメータ観測に基づく $K_{dp}$ と、地上雨量の比較散布図を示す。Kdp法のパラメータ最適化のため、 $K_{dp}$ が0.2deg/km以上、地上降水強度8mm/h以上の条件を満たすデータについて回帰式を求め、その結果 $R = 39.4 \cdot K_{dp}^{0.85}$ が得られた(図-3左)。さらに、広範囲の雨量観測に適するように、レーダから120km範囲に存在する地上雨量計とレーダの直上メッシュとの比較を行い(図-3右)総雨量が一致するように係数 $a_{syaka}$ を調整し以下の値を最終のパラメータとした。

$$\text{雨量算出式: } R = a_{syaka} \cdot K_{dp}^{b_{syaka}}$$

ただし、 $a_{syaka} = 39.8$   
 $b_{syaka} = 0.85$

### 3. 偏波を活用した精度向上

#### (1) 降雨減衰対策

これまでの反射強度因子 $Z_H$ のみによる観測では、減衰対策として、レーダで観測された手前側の降雨量を基に減衰量を推定し、遠方の降雨量を補正してきた。この方法は、降雨量の観測精度に敏感であり、レーダ遠方では降雨量が異常に過大となる状況がしばしば生じ、これを避けるため実機では、補正量に上限を設けている。 $Z_H$ のみの補正に対しMPレーダでは位相情報を減衰量の推定に活用できる。そこで釈迦岳レーダではZPHI法<sup>6)</sup>による減衰補正対策を検討した。手法を簡単に説明すると、減衰係数 $A_h$ が $K_{dp}$ に比例すると仮定し、強雨区間の $\phi_{dp}$ の距離分布が再現できるように減衰係数を求める。

図-4左は従来の観測手法である $Z_H$ を用いた「減衰補正をしないB $\beta$ 法」によるレーダ雨量分布部、図-4右は偏波観測を用いて「減衰補正を加えたB $\beta$ 法」によるレーダ雨量分布を示す。また、雨滴定数B $\beta$ の値をレーダから推定した粒径分布により変えている。

左の図では青の点線で囲んだ領域にある強雨域で、レーダの信号が減衰し、黒の破線で示す領域が影響を受けているとみなせる。減衰補正として、減衰の影響を受け難い偏波観測値 $\phi_{dp}$ を用いて補正することにより、右

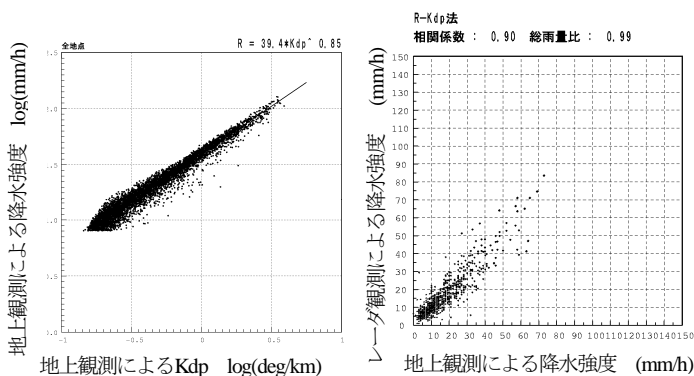


図-3 雨量推定パラメータ設定

左：地上観測によるパラメータ設定、右：バイアス補正

図に示すような強雨域の遠方の雨域も捉えることが可能となった。補正の効果は、黒の破線で囲んだ領域における地上雨量との総雨量比が改善することでも確認されている。

#### (2) グラウンドクラッタ対策 (GC対策)

レーダのGC対策としては、従来、MTIが採用されているが、晴天時に確実に地形エコーを取り除くよう設定されるため、降雨時に降水エコーが消える場合がある。

降水エコーの消しすぎを避けるため偏波観測値を用いて観測メッシュごとに「降雨」「無降雨」「不確定」の判定を行うことでGCを処理した。偏波を用いた異常エコー除去の既往研究<sup>7)</sup>にならない、MPレーダの観測値である $\rho_{hv}$ 、 $\phi_{dp}$ を活用した。判定の模式図を図-5に示す。降雨が十分に大きいところでは $\phi_{dp}$ と $\rho_{hv}$ の変動はそれほど大きくない。しかし、山岳域では地形の影響により $\rho_{hv}$ は低下の傾向にあり、 $\phi_{dp}$ は変動が大きくなる。またレーダ無降雨域においても $\phi_{dp}$ は変動が大きくなるという特徴があった。これにより、平滑化した $\rho_{hv}$ および $\phi_{dp}$ の標準偏差により「降雨」「無降雨」の判定を行った。

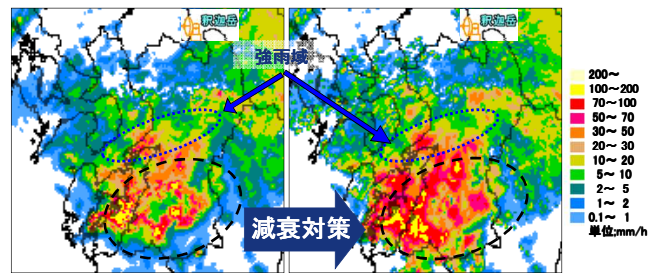


図-4 降雨減衰対策の効果

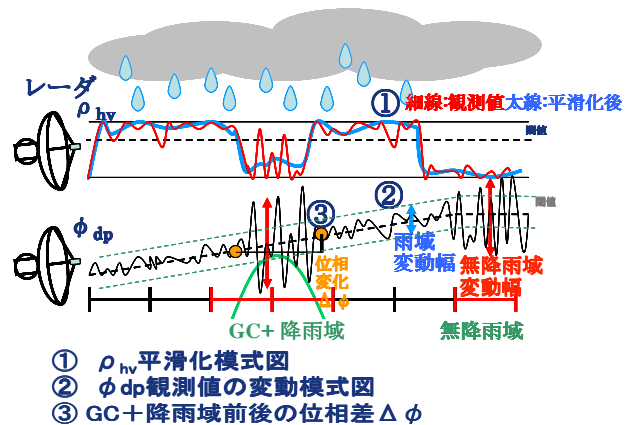


図-5 降雨観測判定の模式図

表-3 「降雨」「無降雨」「不確定」判定閾値

観測条件		平滑化 $\rho_{hv}$		
		0.0~0.72	0.72~0.85	0.85~1.0
$\phi_{dp}$ 標準偏差	~87	無降雨	無降雨	不確定メッシュ
	87~15	無降雨	不確定メッシュ	不確定メッシュ
	15~0	不確定メッシュ	不確定メッシュ	降雨

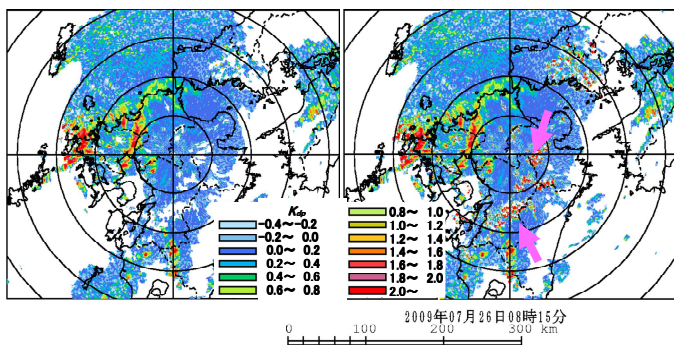


図-6 「降雨」メッシュの $K_{dp}$ 分布図(左)および「降雨+不確定」メッシュの $K_{dp}$ 分布図(右) 矢印は「不確定」メッシュ域

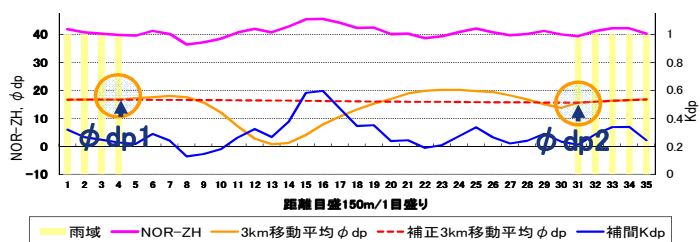


図-7 「不確定メッシュ」の補間の模式図

「降雨」「無降雨」の判定にあたって、1分ごとの雨量観測値のあるディストロメータで、レーダの観測値とディストロメータの降雨無降雨を判定した。この結果、表-3で表される判定表を作成することができた。

「降雨」メッシュと判定される領域は確実に「雨が降っている」と判断される領域である。また、「不確定」メッシュは弱降雨または、雨とGC重複域の可能性のあるメッシュである。判定の例を図-6に示す。

図-6左では「降雨」メッシュのみを表示、右では「降雨+不確定」メッシュの値を表示している。右で追加された「不確定」メッシュの $K_{dp}$ の値は、極大または極小となっており、「不確定」メッシュについては、 $K_{dp}$ の値を補間する必要がある。

図-7に、雨量換算前の偏波観測値 $K_{dp}$ の補間方法を模式的に示す。横軸はレーダからのレンジ番号、縦軸はMTI実施前の反射因子 $NOR-Z_H \cdot \phi_{dp}$ 、または $K_{dp}$ を示す。

図-6左で、青い領域は降雨であることが確実な領域であり、図-7ではレンジビン番号に黄色で着色することで表現している。着色のないレンジビンは、不確定メッシュである。オレンジの線は $K_{dp}$ を計算するために用いる3km移動平均の $\phi_{dp}$ を示す。降雨であることが確実な領域は $\phi_{dp}$ の値が信頼できるが、不確定メッシュ内ではGCの影響で当該メッシュの $\phi_{dp}$ の値を用いることができない。そこで、不確定メッシュの前後のメッシュで観測される $\phi_{dp1}$ と $\phi_{dp2}$ の差分から $\Delta\phi$ (不確定メッシュの区間での変化量)を求め、不確定メッシュ区間の雨量を算出する。ただし、 $\phi_{dp1}$ と $\phi_{dp2}$ を単純内挿すると、 $\phi_{dp}$ は一定の変化率となるため、この区間では雨量が一定となる(偏波観測では $\phi_{dp}$ の変化率である $K_{dp}$ が雨量に対応)。そこで、現実に近い雨量を推定するため、 $\Delta\phi$ を

按分することとした。ここで、橙色の丸で挟まれる区間に $\Delta\phi$ を按分するにあたり、図-7中ピンク色の実線で示した $NOR-Z_H$ データの観測値の分布を参照にした。 $\Delta\phi$ を按分する際に用いる $NOR-Z_H$ について、レーダの観測値がGCによって大きく影響を受けている箇所を除くため、按分の前に、極端に大きな値は棄却している。推定して求めた結果の $K_{dp}$ を図-7に青実線で示す。これにより、GCと降雨の重複域においても降雨分布を求めることが可能となった。

### (3) 電力遮蔽域の観測精度改善

電力遮蔽とはレーダの信号が山岳によってさえぎられることであり、反射強度因子Zのみによる降水量推定では、遮蔽される割合によって電力を割り戻すものの、電力値の50%以上が遮蔽されるような場合には、精度低下が懸念される。これに対して、偏波観測を用いた降水量推定では、電力値が少なくなっても位相情報は保存されるため精度の確保されることが期待される。

図-8左は従来のZDR法で評価した2010年上位5降雨の総雨量比、右は偏波を活用したKdp法による総雨量比を地上観測地点ごとに示す。遮蔽の影響を強調するため、全域を仰角0.3度での観測値を用いて評価した。図中の丸印は雨量観測所を示し、地上雨量観測所に対する観測精度を総雨量比で評価して、精度に応じて色分けした。

釈迦岳から東方には標高1787mの久住山があり、東南東に仰角0.3度では50%以上の遮蔽域が存在する。図中の青点線は高遮蔽域を示す。従来の強度を基にした観測では総雨量比が40%以下となり過小評価の傾向があるが、偏波を用いた観測ではそのような領域に対しても雨量比が1に近く、精度よく観測できていることが示された。

## 4. 運用アルゴリズム検討

釈迦岳レーダでは、従来のB $\beta$ 法・ZDR法に加えて位相差を活用したKdp法による雨量推定が可能となった。さらに偏波により推定した粒径分布を雨量推定に用いることも可能である。実際の運用にはいくつかの雨量算出手法を組み合わせ、高い精度が得られる運用アルゴリズムが必要である。そこで、最適な雨量推定法を求めるために次の6つの手法で雨量ランク別・GC強度別に精度評価を実施し、アルゴリズムを検討した。

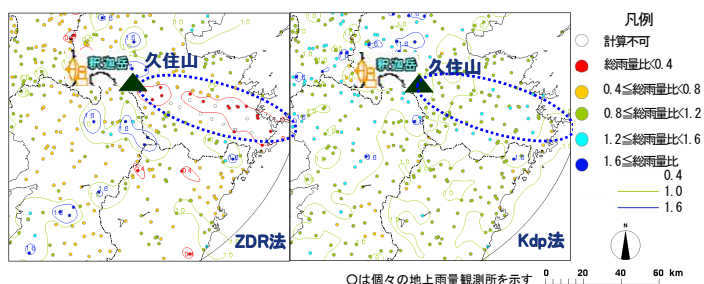


図-8 電力遮蔽域観測精度改善

**雨量算出手法**

- ① Bβ法 (減衰補正なし)  
九州地整以外の従来型レーダ雨量計での手法
- ② Bβ法 (減衰補正+D<sub>m</sub>考慮)  
前出3 (1) の減衰補正を実施し、中央粒径 D<sub>m</sub> によって Bβ を変更する手法<sup>8)</sup>
- ③ ZDR法 (従来式)  
従来の釈迦岳で用いられてきた手法
- ④ ZDR法 (海外式<sup>9)</sup>+減衰補正+平滑化)  
従来式の後に海外で提案された ZDR法を基に局所的な変動を緩和するため ZDR を平滑化する手法
- ⑤ Kdp法 (偏波フィルタ)  
前出3 (2) の GC 対策を組み込んだ手法
- ⑥ KdpZDR法 (減衰補正 ZDR)  
Kdp法にさらに ZDR を変数として組み込んだ手法

**精度評価ランク (時間雨量評価)**

- ① 地上雨量強度 (Rg[mm/h]) : 0~5、5~10(10分雨量では0~10)、10~20、20~30、30~
- ② GC強度[dBZ] : 0~30、30~40、40~50、50~

精度評価の例として時間雨量を対象としGC強度50dBZまでについて二乗平均誤差による評価結果を図-9に示す。総じて従来の強度による雨量推定法に比べて位相情報を活用する手法が、雨量強度が大きいほど高精度であることが示されている。雨量ランク・GC強度ランク別に最適な雨量算出手法が求まり、その結果を10分雨量・1時間雨量別に表-4に示す。同一カテゴリで10分雨量に対して1時間雨量に対しても高い精度を示す手法を青で強調している。

これらの精度評価結果を基に運用アルゴリズムは、レーダ雨量分布の連続性が確保できるように、二乗平均誤差が最も小さくなる手法を優先した。二乗平均誤差が僅差の場合は、総雨量比と相関係数を同時に評価し、最適な雨量算出手法の選定を行なった。

表-4で降雨強度の大きいランク (10分雨量45mm/h以上、時間雨量30mm/h以上) ではKdp法 (偏波フィルタ) が最良の手法となった。大きい降雨では偏波観測が有効となり降雨観測精度が高いというMPレーダの特徴が示されている。偏波を用いた手法は10分雨量では20mm/h以上、時間雨量では5mm/h以上の降雨強度でGC強度によらず有利となった。10分雨量の評価では5mm/hランクでの評価が出来ないことを考慮し、10mm/h以上をKdp法を使う領域とした。雨量ランク10~20mm/h程度では、Kdp法 (偏波フィルタ) とKdpZDR法 (減衰補正) の差はわずかであり、強雨量強度でKdp法 (偏波フィルタ) が有効であったことから10mm/h以上の降雨強度ではKdp法 (偏波フィルタ) を採用することとした。

ここで10分評価の10~20mm/hのGC30~50[dBZ]にZDR法 (海外式+減衰補正+平滑化) があるが、手法毎の差は僅差であることから、Kdp法の適用範囲とした。

10mm/h未満については、GC強度50dBZ以上でKdpZDR法が有効である結果が得られている。しかしここは10mm/h以上との連続性を考慮しKdp法 (偏波フィルタ) を適用した。

10分評価降雨強度10mm/h未満 (時間雨量評価では5mm/h未満) かつGC強度50dBZ以下の範囲では、GC0~30dBZと40~50dBZにZDR法 (海外式+減衰補正+平滑化) が有利、その間のGC強度30~40dBZにBβ法 (減衰補正+D<sub>m</sub>考慮) が有利となっている。

ZDR法はGCの影響を受けやすいためGC強度別の評価を行なっているが、GC強度ランク毎に最適手法が切り替わり、降雨強度10mm/h未満かつGC50dBZ以下では、Bβ法とZDR法で二乗平均誤差に有意な差が無いと判断できる。

そこで10分および1時間の総雨量比と相関係数により判断した (図は省略)。相関係数ではどのGC強度においてもわずかにZDR法が良い結果ではあるものの、二乗平均誤差と同様にその差は僅差となっており、総雨量比では最も弱いGC30dBZ未満を除いては全てBβ法が有利な結果が得られている。これらの結果からGC50dBZ未満ではBβ法 (減衰補正+D<sub>m</sub>考慮)を適用するものとした。

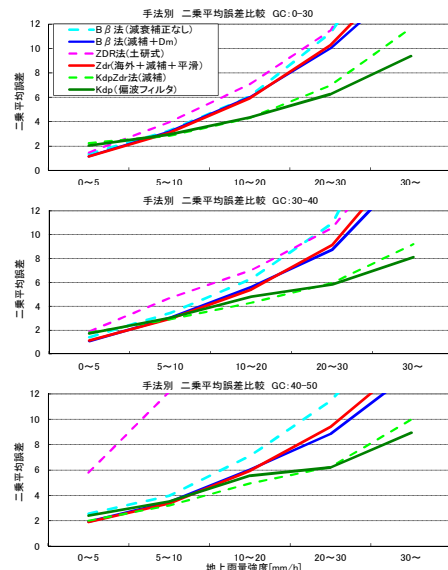


図-9 雨量ランク別・雨量算出手法別の精度評価  
グランドクラッタ (GC) 強度別に評価  
上: GCが0~30dBZ、中: 30~40dBZ、下: 40~50dBZ

表-4 二乗平均誤差による最適雨量算出手法  
10分雨量と1時間雨量が共通の手法は青で強調した

10分評価		0~10mm (0~0.2deg)	10~20mm (0.2~0.45deg)	20~35mm (0.45~0.87deg)	35~45mm (0.87~1.17deg)	45mm~ (1.17deg~)
GC[dBZ]	0~30	ZDR(海外+減補+平滑)	<b>KdpZDR(減補)</b>	KdpZDR(減補)	Kdp(偏波フィルタ)	Kdp(偏波フィルタ)
	30~40	Bβ(減補+Dm)	ZDR(海外+減補+平滑)	KdpZDR(減補)	KdpZDR(減補)	<b>Kdp(偏波フィルタ)</b>
	40~50	ZDR(海外+減補+平滑)	ZDR(海外+減補+平滑)	KdpZDR(減補)	KdpZDR(減補)	<b>Kdp(偏波フィルタ)</b>
	50~	<b>KdpZDR(減補)</b>	KdpZDR(減補)	<b>Kdp(偏波フィルタ)</b>	Kdp(偏波フィルタ)	<b>Kdp(偏波フィルタ)</b>
1時間評価		0~5mm (0~0.09deg)	5~10mm (0.09~0.2deg)	10~20mm (0.2~0.45deg)	20~30mm (0.45~0.73deg)	30mm~ (0.73deg~)
GC[dBZ]	0~30	ZDR(海外+減補+平滑)	KdpZDR法(減補)	<b>KdpZDR法(減補)</b>	Kdp(偏波フィルタ)	<b>Kdp(偏波フィルタ)</b>
	30~40	Bβ法(減補+Dm)	KdpZDR法(減補)	KdpZDR法(減補)	Kdp(偏波フィルタ)	Kdp(偏波フィルタ)
	40~50	ZDR(海外+減補+平滑)	KdpZDR法(減補)	KdpZDR法(減補)	Kdp(偏波フィルタ)	Kdp(偏波フィルタ)
	50~	<b>KdpZDR法(減補)</b>	<b>KdpZDR法(減補)</b>	Kdp(偏波フィルタ)	<b>Kdp(偏波フィルタ)</b>	<b>Kdp(偏波フィルタ)</b>

表-5 雨量算出手法切り替えテーブル

Rg[mm/h] GC[dBZ]	0~10mm (対応Kdp:0~0.2deg/km)	10mm~ (対応Kdp:0.2deg/km~)
0~40	Bβ法(減補補正+Dm考慮)	Kdp法(偏波フィルタ)
40~	Kdp法(偏波フィルタ)	Kdp法(偏波フィルタ)

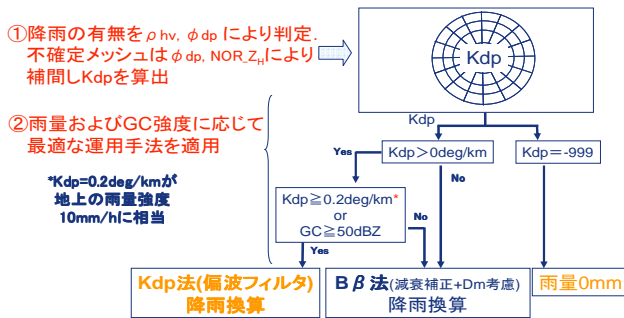


図-10 運用アルゴリズム

手法別の雨量推定精度の評価で求めた切り替えテーブルを表-5に、運用アルゴリズムのフローを図-10に示す。

### 5. 運用アルゴリズムの精度評価

前項で検討した運用アルゴリズムを、表-2に示す全16降雨を対象とし釈迦岳レーダの定量観測範囲120km内にある地上雨量計により精度検証した。従来の釈迦岳レーダ雨量計で用いられたアルゴリズムとともに地上雨量との散布図を図-11に示す。図中、地上雨量が0mmであるにもかかわらずレーダ雨量が観測される事象については、地上に達しない、上空のみに存在する降水粒子を観測している可能性がある。また、地上雨量が大きいにもかかわらずレーダ雨量が過小に観測されている事象についてはレーダ観測高度より下で降水粒子が急成長した状況が考えられる。今回の解析から偏波観測は遮蔽に強いことが示されており、運用の仰角を現在より低く設定することで、これら2つの状況に対しても正確な雨量観測ができるようになる。

レーダ雨量が実運用では地上雨量で補正して用いられていることから、地上とレーダの相関係数に注目すると、釈迦岳レーダの従来アルゴリズムに比べて、MP化によって可能となった今回の運用アルゴリズムによって精度が0.773から0.893へと向上した。

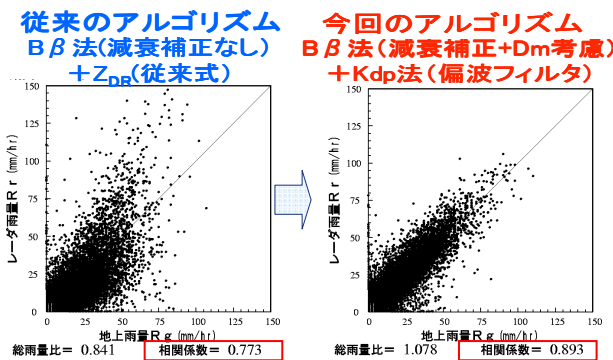


図-11 雨量推定アルゴリズム別の精度検証

### 6. まとめ

今回、検討された位相情報を活用する運用アルゴリズムにより、従来型のBβ法や九州地整で実施されたZDR法によるレーダ雨量より高精度なレーダ雨量が提供できる。現時点でのCバンドMPレーダのまとめを以下に示す。

- ① 強雨域の遠方で雨量が大きくなり、降雨減衰に対する改善が見られる。
- ② グランドクラッタ域を含む領域で、地上雨量計による補正なしに精度よく降水量が観測できている。
- ③ 電力遮蔽域の降雨量を精度よく観測できている。

謝辞：本研究は「平成22年度九州北部偏波レーダ運用検討業務」の内容と、業務内で開催された「九州北部偏波レーダ精度検討会」の結果をとりまとめたものである。ここに記して九州地方整備局河川部水災害予報センター並びに企画部情報通信技術課に感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 吉野文雄, 水野雅光, 水野秀幸, 五十嵐久敬: 二重偏波・ドップラレーダによる降水観測について, 第32 回水理講演論文集, pp.383-388, 1988.
- 2) 松浦直, 佐藤武司, 深見和彦, 金木誠: 直交二偏波レーダにより観測された雨滴粒径分布の時空間分布特性, 水文・水資源学会研究発表会要旨集, pp.18-19, 1999.
- 3) Ryzhkov, A. V., T. J. Schuur, D. W. Burgess, P. L. Heinselman, S. E. Giangrande, and D. S. Zmić, 2005: The Joint Polarization Experiment. Bull. Amer. Meteor. Soc., 86, 809-824, 2005.
- 4) Nakagawa, K., H. Hanado, S. Satoh, N. Takahashi, T. Iguchi and K. Fukutani, 2003: Development of a new C-band bistatic polarimetric radar and observation of typhoon events. Proc. 31st Conf. Radar Meteor, AMS, vol. 2, 863-866.
- 5) 中北英一・竹畑栄伸・中川勝広: 最新型C バンド偏波レーダを用いた降雨量推定精度の検証, 土木学会水工学論文集, 第51 巻, pp 325-330, 2007
- 6) Bringi, V.N. and Chandrasekar V.: Polarimetric Doppler Weather Radar. Cambridge Univ. Press, pp. 490-513 ,2001
- 7) Ryzhkov, A. V., and D. S. Zmic: Polarimetric rainfall estimation in the presence of anomalous propagation. J. Atmos. Oceanic Technol., 15, 1320-1330, 1998
- 8) 竹畑栄伸: Cバンド偏波レーダー及び地上雨滴計を用いた降雨量推定アルゴリズムの構築に関する研究, 京都大学修士論文, 2007
- 9) Gorgucca, E., G. Scarchilli, and V. Chandrasekar : A Robust Estimator of Rainfall Rate Using Differential Reflectivity Eugenio Gorgucca, Gianfranco Scarchilli, and V. Chandrasekar Journal of Atmospheric and Oceanic Technology Volume 11, Issue 2, 1994, pp. 586-592

(2011. 9. 30受付)