

# ドップラー速度の実用的な折り返し補正手法

電力中央研究所 正員 杉本聡一郎  
電力中央研究所 正員 豊田 康嗣  
電力中央研究所 正員 下垣 久

## 1 はじめに

当所は X バンドドップラーレーダーを宮崎・熊本県境に設置し、観測データを水力ダム流域における降雨量の把握や予測に実用的な観点で用いている。ドップラー速度は風速場の推定に有用な情報を与えるが、測定可能な最大のドップラー速度（折り返し速度）がそれぞれのレーダーに存在する。実運用的にドップラー速度を用いる際、この折り返し速度を越えるドップラー速度に対して、自動的な補正手法の構築が必要となる。本研究はドップラー速度の折り返し補正について既開発の手法を改良し、その実用的な適用可能性を調べた。

## 2 ドップラー風速の実用的な折り返し補正手法

本研究は、米国の NEXRAD で実用的に用いられている Eilts and Smith (1990)<sup>1)</sup> の手法を基礎としている。折り返し補正の成否をチェックしつつ、ゲート間のドップラー速度の空間的連続性を方位・動径方向に対して同時に考慮するアルゴリズムにより、約 99 %の精度で補正が行えるとしている。しかし、折り返し速度の絶対値がより小さい X バンドレーダーに対するこの手法の適用可能性は未知である。

### 2.1 手法の概要と改良点

補正に用いられるドップラー速度は、受信電力値と風速の分散から有意であると判断された風速である。補正における基本原理は、ゲート間の連続条件を表わす閾値（本研究では、10 m/s）を設定した上で、補正の対象ゲートと既に補正が成功した隣接または近接する参照ゲートの値を比較し、両者が連続するように補正の有無と補正量を判断することである。この補正を中心から動径方向に行う。1つの動径を全て補正すれば、その動径全体の連続性を確認した上で次の動径上のゲート群を補正する。これを時計回りに一周行う。対象ゲートに対して同一の動径上にある既補正のゲート群、および前の動径上にある既補正のゲート群が参照ゲートとして探索される。それゆえ、あるゲートを補正することにそのゲートと動径・方位方向に隣り合うゲートとの連続性のチェックを行い、補正されたゲートが次のゲートの補正において参照ゲートになり得るかを確認する。参照ゲートが遠方になるにしたがって、上記閾値の値を大きくして連続条件を緩めている。探索できなかった場合、降雨域の境界部であるとして高層風を参照風として用いる。本研究では、このようなオリジナル手法に対して3つの改良を行う。

1. 有意なドップラー速度をその絶対値が 2.0 m/s 以上のゲート群 A とそれ以外のゲート群 B に分け、A に属するゲートに対してアルゴリズムを適用する。A の分析が全て終了した後、B に属するゲート群、および A の分析において周囲との連続性がない（10 m/s 以上のシアがある）ゲート群の値は、補正に成功したゲートが隣接する周囲に存在する場合、それらの平均値とする。これによって、折り返しの生じている付近でのノイズ的な値によって判断を誤ることはない。すなわち、ノイズ的な値が周囲になじむ一方、B のうち正しいゲート群の値は保持される。実際、当所レーダーの折り返し速度の絶対値は 16 m/s であるため、10 m/s という閾値ではノイズ的な値かどうかの判断がつきづらくなる場合があった。
2. 最初に分析するゲートや孤立した雨域の境界部分（例えば、図 1 (a) や図 2 内で丸く囲んだ領域）には、対応する高度の高層風速をビーム方向に射影したものと必ず参照させた。これは降雨域周辺の風速は総観的な風速に近似できると考えたからである。ただし、高度が 2 km 以下のゲートに対しては境界層付近の乱れによって、高層風が必ずしも対応しない場合があるとして参照させなかった。
3. 計算開始時刻には最新の高層風を参照風として用いるが、その後の実時間補正には、前観測時間で補正されたドップラー速度に VVP (Volume Velocity Processing) 法<sup>2)</sup>を適用し、推定された各高度（1 km ~ 8 km の 7 高度）の水平風速場（以下、VVP 風と呼ぶ。）を用いた。ただし、参照高度に関する制限は除き、VVP 風が不定である場合は補助的に高層風を用いた。この改良は風速場が非定常な場合や乱れやすい境界層付近に対して、観測時間間隔の比較的に長い高層風では参照に値しない場合があることを考慮したものである。ところで、VVP 法によって推定される風速の精度は、Analysis Volume の形と大きさに影響される。本研究では、用いる観測仰角に対して、デカルト座標系における 15km×15 km×1 km の Analysis Volume を設定した。Koscielny *et al.* (1982)<sup>2)</sup> と同様に、Analysis Volume の形状に伴う推定誤差の分析を行い、風速場の非線形性も考慮した上で Analysis Volume 内に 2000 ポイント以上のゲートが含まれる場合に VVP 風を推定した。

キーワード：気象レーダー、ドップラー速度、折り返し補正、VVP 法

電力中央研究所（〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646、TEL 0471-82-1181、FAX 0471-83-2966）

## 2.2 実現象への適用結果と考察

宮崎県平野部にてレーダー観測を行った T9514 による一連の降雨事例に対して本手法を適用し, 8 仰角( 3.2° ~ 60° )分のドップラー速度に対して補正を行った. ただし, VVP 法を適用する際, このうちの 7 仰角( 3.2° ~ 30° )を用いた. また, 高層風として鹿児島の高層観測データを用いた. 図 1, 2 における降雨は, それぞれ 図 1 (a) は湿潤な水蒸気を含んだ南風によって宮崎県側の南東斜面に生じた地形性降雨, (b) は台風本体による降雨, 図 2 は台風が南海上にある時の前線性降雨である.

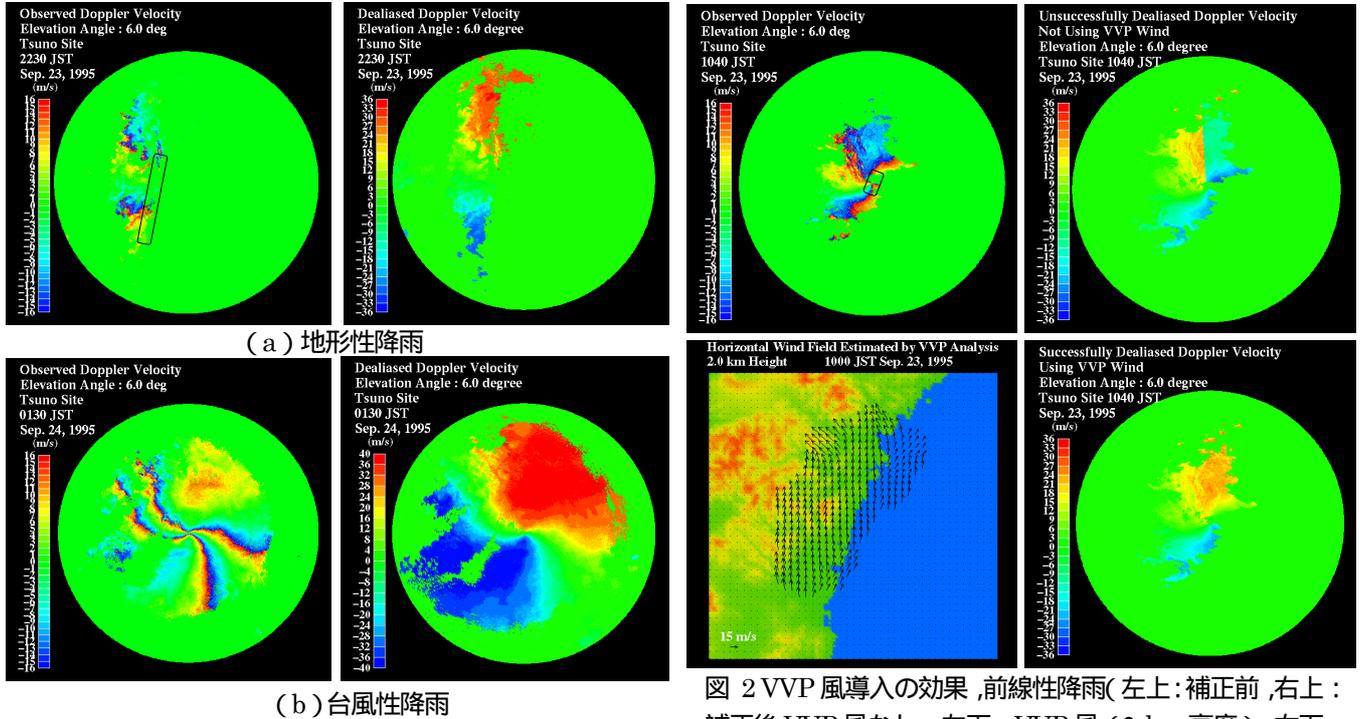


図 1 折り返し補正結果 (左: 補正前, 右: 補正後)

図 2 VVP 風導入の効果, 前線性降雨(左上: 補正前, 右上: 補正後 VVP 風なし, 左下: VVP 風 (2 km 高度), 右下: 補正後 VVP 風あり)

このように, どの降雨事象に対しても概ね正確に補正することができた. 図 1 (a) において, 降雨域の境界部分での判定が上記 2. や 3. の改良により正しく行われている. また, (b) において, 風系が急激に変化し, しかも地上付近で既に折り返し速度の絶対値以上のドップラー速度が存在する時でも正確に補正できているのは 3. によるところが大きい. 図 2 は 3. を行う場合と行わない場合を比較したものである. これらの結果は, 境界層付近や孤立した降雨の境界部での判断が残りの対象ゲートを正確に補正できるかどうかに関わる部分であり, レーダーそのものの空間分解能より粗いメソ ~ スケールの分解能をもつ VVP 風がそれらの領域における参照風として適していることを示している.

## 3 おわりに

ドップラー速度の実用的な折り返し手法を提案し, 以下の結果が得られた.

1. 提案する折り返し補正手法は, シアの極端に大きい事例に対する適用可能性の議論の余地はあるものの, 台風性降雨を含めたどの事例に対しても概ね正確に補正することができる.
2. 高層風は孤立する降雨域での折り返し補正に有益な情報を与える. しかし, 観測の時間間隔が長いため, 風系が定常的でない場合や乱流の影響を受けやすい境界層付近では参照に適さない. この問題に対して, 既に補正の成功した最新のドップラー速度を用いて推定された VVP 風を参照に使い, その有効性を示した.
3. 地上付近ですでに折り返し速度以上の風が吹いている事例において, その補正の難しさは前観測時間における最下層 (1km 高度) の VVP 風を参照することで解消される.
4. X バンドレーダーへの適用において, 折り返し付近のノイズ的データの扱いが S バンドレーダーよりもクリティカルであり, 補正アルゴリズムを適用するデータに閾値を設けることが効果的である.

最後に, (株) 九州電力土木部水力運営課, ならびに (株) ニシム電子工業にはレーダー観測において, 甚大な御助力を戴いた. ここに記して謝意を表します.

## [参考文献]

- 1) Eilts, M. D., and S. D. Smith (1990): Efficient dealiasing of Doppler velocities using local environment constraints, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 7, 118--128.
- 2) Koscielny, A. J. et al. (1982): Statistical considerations in the estimation of divergence from single-Doppler radar and application to prestorm boundary-layer observations, *J. Appl. Meteor.*, 21, 197--210.