

雨滴粒径分布観測のためのウィンドプロファイラ校正法

*関澤 信也, 川村 誠治, 永井 清二, 佐竹 誠, 中川 勝広 (情報通信研究機構)

1. まえがき

雨滴粒径分布の鉛直分布が正確に測定できると, 降水の生成メカニズムの解明や, 各種の降雨レーダの観測性能の検証に有効となる. ウィンドプロファイラ (WPR) は, 上空の風向・風速を測るレーダとして知られているが, 風観測だけでなく降雨観測を行うことで上空の雨滴粒径分布の観測が可能である. しかし, WPR で雨滴粒径分布を推定するためには, 送信電力や大気・降雨エコーの受信電力などを正確に把握する必要がある. 今回, 沖縄 400MHz 帯 WPR は, 送受信系のレベル校正を行うと共に, 受信系の利得を適切に調整することで, 低高度から雨滴粒径分布の観測が可能になった.

2. WPRによる降雨観測

上空の風向・風速は, WPR によって視線方向が異なる 3 ~5 ビームで観測したドップラースペクトル (DS) から大気エコーのピークを検出し, このピークの平均ドップラー速度から求めることができる. このため, WPR は観測する DS の縦軸の信号強度は相対値が分かれば十分であったため, 受信波の信号強度の絶対値 (受信電力) は一般に測定できなかった.

一方, WPR は降雨時に大気エコーおよび降雨エコーの DS がそれぞれ分離して観測できるため, 鉛直方向の DS から雨滴粒径分布の高度分布を正確に測定することが可能である [1]. ただし, 雨滴粒径分布を推定するためには, WPR の送受信系のレベル校正を行うことで送信電力や DS の信号強度の絶対値を知る必要がある [2]. また, 降雨エコーの強度は高度が低くなるほど大気エコー強度よりも遥かに大きくなるため, 通常の WPR の運用では受信系の初段アンプが飽和し易くなる. そこで, 降雨エコーの DS をできるだけ低高度から飽和することなく観測できるよう WPR の受信系の利得調整が必要になる.

3. WPRのレベル校正

今回, 降水・大気エコーの受信電力を測定するため, 400MHz 帯 WPR の送信系および受信系のレベル校正を行った. 図 1 に, この WPR の送受信系の構成図 (略図) を示す. なお, 実際の送受信系は, 鉛直方向の測定においては 24 系統のリニアアレーと RF 送受信系が用いられるが, 図 1 では各アレーの利得が等しいと仮定することでリニアアレーとそれぞれの RF 送受信系を 1 系統にまとめて表現している. まず, 送信系の校正ではアンテナ端子である T1 と送受信機入出力端子である T2 との間の給電線ロス L_c と, T2 の送信機出力電力 P_0 を測定して, アンテナ端子に供給される送信波の送信電力 $P_t (P_t = P_0 \cdot L_c)$ を算出する. 受信系では, まず T2 から T4 までの回路利得 G_{r1} を測定する. 次に既知の電力 P_{ref} の IF 帯送信波を T4 に入力し, 信号処理後の高度に対する DS の電力密度の相対値 $S_{ds}(v, r)$ を測定する. さらに, $S_{ds}(v, r)$ の IF 帯送信波成分を積分した値を S_{iref} としたとき, T4 から信号処理部までの回路利得 $G_{r2} (G_{r2} = S_{iref} / P_{ref})$ を算出する. 従って, アンテナ端子における DS の電力密度 $S(v, r)$ は, 本校正で取得した各値を用いて次式より求めることができる.

$$S(v, r) = \frac{L_c}{G_{r1} G_{r2}} S_{ds}(v, r)$$

ただし, G_{r2} は送信パルスのパルス幅, Spano 符号の符号

条件, 高度, 受信フィルタ特性などの違いで値が異なるので観測が行われる全てのケースで調べる必要がある.

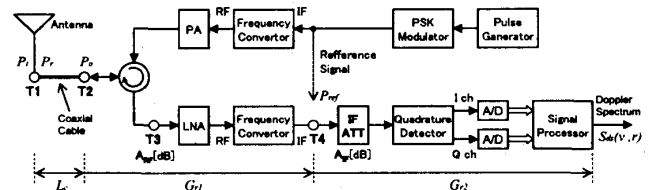
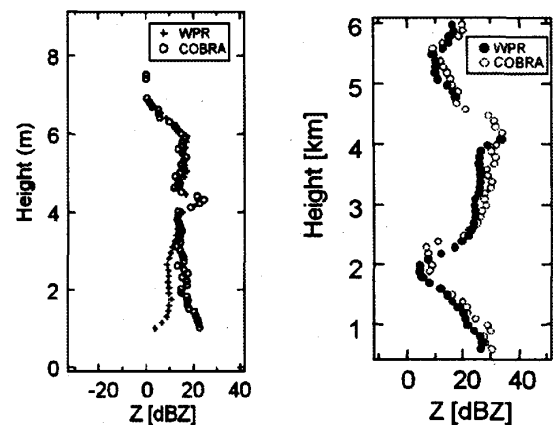


図 1 400MHz 帯 WPR の構成図 (略図)

4. 受信機の飽和問題

図 2 は, レベル校正済みの 400MHz 帯 WPR で観測したレーダ反射因子 Z の鉛直分布と, そこから 15km 離れた位置にある沖縄偏波降雨レーダ (COBRA) で WPR 上空を RHI 同期観測した Z の鉛直分布の比較結果である. 図 2 (a) は WPR で通常観測による Z の結果で, 高度が 3km を超えると COBRA の Z とよく一致しているが, 3km 以下では COBRA の Z と比べ高度低下とともに大きく減少していることが確認できる. これは, 高度が低いほど降雨エコー強度が増大するため, 受信系の LNA の飽和が原因である. そこで, LNA 前段に適切な値のアッテネータ (ATT) を挿入することで問題解決を図ることとした. 図 2 (b) は図 1 の T3 に 15dB の ATT を挿入した時の結果である. 同図より, WPR で観測した Z は約 0.5km 程度の低高度まで減少せず, またどの高度においても COBRA の Z と概ね一致していることが分かる. この結果から, Z と比例関係にある受信電力や DS の電力密度の絶対値も適切に観測できることが容易に分かる.



(a) WPR の通常観測 (b) WPR に 15dB ATT を挿入
図 2 レーダ反射因子の鉛直分布

5. まとめ

沖縄 400MHz 帯 WPR は, 送受信系のレベル校正と受信系の利得調整を適切に行うことで低高度から降水エコーの DS (電力密度は絶対値) が観測できるようになった. この調整により, 400MHz 帯 WPR で雨滴粒径分布の観測が可能になった [3]. 今後は 400MHz 帯 WPR で様々な降雨時の観測データを蓄積し, 観測で得た雨滴粒径分布の精度評価や降雨の状態に応じた最適な ATT の値を求めたい.

文献

- [1] Kobayashi and Adachi, Geophys. Res. Lett., 28, 4071-4074, 2001.
- [2] 北村 他, 水工学論文誌, 51, 349-354, 2007.
- [3] 川村 他, 日本気象学会 本大会講演予稿集, 2008.