

第II部門

最新型偏波レーダを用いた降雨量推定精度向上に関する基礎的研究

京都大学工学部

学生員 ○竹畑 栄伸

京都大学防災研究所

正会員

中北 英一

沖縄亜熱帯計測技術センター

正会員

中川 勝広

1. 研究の背景と目的 二偏波レーダは、降水粒子の粒径分布、雨や雪といった降水の種類を判別できる可能性のある次世代レーダであり、約 20 年前から利用方法が研究開発されてきた。わが国でもXバンドを中心として研究開発が進み¹⁾、現在では国土交通省釈迦岳レーダ（Cバンド）で実用化されている²⁾。しかし、開発黎明期であったために期待以上の精度向上が見られず、業務用大型レーダとしてはこれ以上広がっていない。その後、海外ではアメリカ、ヨーロッパを中心にSバンドレーダの改善・革新が進み、2007 年から現業配備が予定されている。一方、わが国の現業用と見込まれるCバンドについては取り組みが遅れている。そこで本研究では、世界で 4 機しかないCバンド偏波レーダの一つである情報通信研究機構沖縄亜熱帯計測技術センターで開発され実験運用されているCOBRAの偏波レーダの情報を用いて、観測されるパラメータの観測精度について検証し、降雨量推定精度向上に関する基礎的研究を行う。

2. 偏波パラメータ 落下中の雨滴は横長に扁平し、また粒径が大きくなるに従って扁平する度合いが大きくなる。二偏波レーダは水平偏波と垂直偏波を用いて、雨滴が扁平している状態を電波の偏波間の強度差や位相の遅れによる差を観測できる。COBRAは水平偏波と垂直偏波によるレーダ反射因子 Z_{HH} 、 Z_{VV} ならびにその反射因子差 Z_{DR} が観測される。それ以外に、直線偏波抑圧比 L_{DR} 、偏波間相関係数 ρ_{HV} 、偏波間位相差 ϕ_{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} といった新たなパラメータが得られる。 Z_{DR} は旧来の偏波レーダでも観測されたが、2つの発信機を用いて取得されるようになり、有意性も旧来より増している。本研究では Z_{HH} 、 Z_{DR} 、 K_{DP} を用いる。それぞれ、

$$Z_{HH} = \int D^6 N(D) dD \quad (1)$$

$$Z_{DR} = 10 \log_{10} (Z_{HH} / Z_{VV}) \quad (2)$$

$$K_{DP} = \frac{\phi_{DP}(r_2) - \phi_{DP}(r_1)}{2(r_2 - r_1)} \approx 62 D_m \left(\frac{180}{\lambda} \right) 10^{-3} C_k W \quad (3)$$

と表される。ここに、 $D[\text{mm}]$ は粒径、 $r[\text{km}]$ はレーダから

の距離、 $\lambda[\text{m}]$ はレーダ波長、 C_k は周波数による定数、 $W[\text{g/m}^3]$ は雲水量である。また $D_m[\text{m}]$ は粒径を質量で重み付けした平均粒径を粒径分布の中心値を表す。ここで、粒径分布 $N(D)$ がガンマ分布に従うとき、

$$N(D) = N_0 D^{-\mu} \exp[-\Lambda D] \quad (4)$$

と表され、 N_0 、 μ 、 Λ で決定される。このとき、 Z_{DR} と D_m は μ 、 Λ で決まる。定義より D_m は、

$$D_m = \int D^4 N(D) dD / \int D^3 N(D) dD = (4 + \mu) / \Lambda \quad (5)$$

と表される。

3. レーダ情報 COBRAでは 10 分のボリューメスキャンが実施されているが、地上雨量推定が目的であるため、最低仰角である 0.5° 仰角を用いる。 ϕ_{DP} はレーダで受信される信号が激しく変動するため、150mごとにサンプリングされたデータを一つの単位としてビーム方向に 21 単位（3150m）で移動平均した後に K_{DP} を算定し、それでも所々ノイズが強く残っていたため、 K_{DP} もビームに沿って 21 単位の移動平均をとった。次に Z_{HH} 、 Z_{DR} 、 K_{DP} はメッシュの中心から最も近いビームを選択した後、100mメッシュの値とした。次に空間的広がりについて考慮するため、地上観測されている地点を中心として $3000 \times 3000 \text{ m}$ メ

ッシュの空間平均を用いる。表 1 に示す期間のデータを用いた。

表 1 観測期間

観測日	観測期間	降雨タイプ
2004/6/8	3:00~7:00 11:00~18:30	梅雨性降雨
2004/9/5	0:00~8:00 13:00~19:50	台風性降雨

4. 地上雨滴計を用いた解析 地上雨滴計は大宜味大気観測施設のディストロメータと 2 次元ビデオディストロメータ（2DVD）を用いた。6月8日は2DVDのデータ、9月5日はディストロメータのデータを用いる。ディストロメータと 2DVDはともに地上における雨滴粒径分布を観測することができる機器である。地上雨滴計のデータはレーダで観測された瞬間の前後から合計 5 分間のデータの平均を用いた。そこで観測された粒径分布 $N(D)$ から Z_{HH} 、 Z_{DR} 、 K_{DP} 、 D_m を算定し、レーダで観測された Z_{HH} 、 Z_{DR} 、 K_{DP} と比較することで精度検証をする。

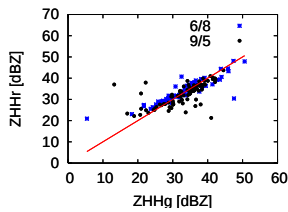
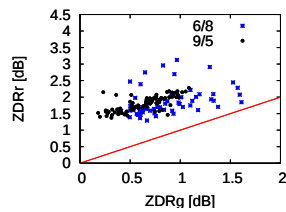
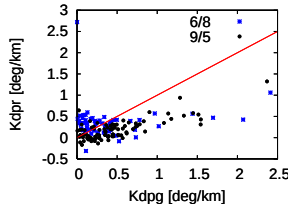
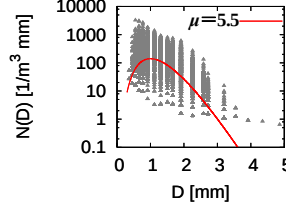
図1 観測された Z_{HH} の観測精度図2 観測された Z_{DR} の観測精度図3 観測された K_{DP} の観測精度

図4 9/5 0:00~8:00の粒径分布

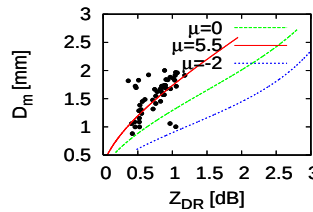
図5 $Z_{DR} \sim D_m$ 関係

図1, 図2, 図3は全期間のデータを用いて、縦軸がレーダで観測された値、横軸にレーダで観測されたときの地上雨滴計で観測された $N(D)$ を用いて算定した値を示している。図1より Z_{HH} が精度よく観測されていることがわかる。現在、COBRAでは Z_{DR} の観測の際に校正が完全にできておらず、オフセットが確認されている。図2より本研究においてもオフセットが確認され、1.1dB程度と推定される。この値は確認されている値と一致する。また、図3で K_{DP} の様子を示す。 K_{DP} は少しバイアスがあるが、レーダの観測値と $N(D)$ から算定した値が対応している様子が伺える。

Z_{DR} と D_m はともに粒径分布の μ と A によって決まる。そこで9月5日の0:00~8:00における観測粒径分布では μ の値は5.5であり、図4に示す。このときの $Z_{DR} \sim D_m$ 関係を図5に示す。横軸にレーダ観測値 Z_{DR} 、縦軸に雨滴計で観測された粒径分布から算定された D_m を示しており、図中の線は粒径分布の μ をそれぞれ0, 5.5, -2とした時の $Z_{DR} \sim D_m$ 関係を示している。ここでは Z_{DR} のオフセットを考慮しており、 Z_{DR} は μ が5.5の時の $Z_{DR} \sim D_m$ 関係に一致している様子が確認できる。つまり Z_{DR} が粒径分布の特徴を捉えられていると考えられる。

5. 降雨強度推定 降雨強度を推定するにあたり、本研究ではBringi and Chandrasekar³⁾で提案されているCバンドにおける推定式を用いて解析を行った。その推定式を表2に示す。

表2 降雨強度推定式

$\zeta_{DR} = Z_{HH}/Z_{DR}$, f [GHz] はレーダ周波数	$R(Z_{HH}) = (Z_{HH}/B)^{1/\beta} \quad (B=200, \beta=1.6)$ $R(Z_{HH}, \zeta_{DR}) = c Z_{HH}^a \zeta_{DR}^b \quad (a=0.91, b=-2.09, c=0.0058)$ $R(K_{DP}) = 129 (K_{DP}/f)^b \quad (b=0.85, f=5.34)$ $R(K_{DP}, \zeta_{DR}) = c K_{DP}^a \zeta_{DR}^b \quad (a=0.89, b=-0.72, c=37.9)$
--	---

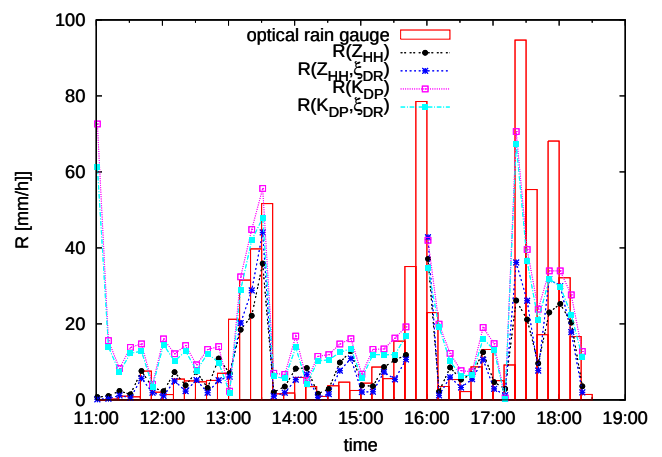


図6 6月8日11:00~18:30における降雨強度の推移の比較

を表す。地上の雨量値として大宜味大気観測施設の光学式雨量計を用いた。光学式雨量計は1分ごとの積算雨量を計測できるが、レーダ情報が10分ごとであることから10分平均降雨強度として処理した。解析した期間は6月8日の11:00から18:30までとした。その結果を図5に示す。この結果、 $R(Z_{HH})$ と $R(Z_{HH}, \zeta_{DR})$ を比較すると、 Z_{HH} のみを用いるときに比べ ζ_{DR} を用いることで強い降雨をより正確に推定できている。さらに弱い降雨においても ζ_{DR} を用いることでよりよい精度で推定できている。一方で、 K_{DP} による推定においては20mm/h以上の強い降雨において Z_{HH} を用いたときよりもよりよい精度で降雨強度を推定が可能であることを示している。しかし、20mm/hより弱い降雨においてはあまり精度よく推定できていない結果であるが、これは K_{DP} の特性として弱い降雨においてノイズが混じりやすいことに起因すると考えられる。以上から、降雨の強弱によって使用するパラメータを使い分けることで従来の Z_{HH} のみを用いたときよりもより精度で推定が可能であると考えられる。

6. 結論 Cバンド偏波レーダにおいても、 Z_{DR} を用いることで時々刻々変化する粒径分布の特徴を捉えられることを明らかにした。また、降雨量推定するにあたり、偏波パラメータの特性を活かせばワンパラメータで推定するより精度向上を見込めることを示せた。

- 1) 吉野文雄等：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) 松浦直等：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) Bringi, V. N. and V. Chandrasekar : Polarimetric Doppler Weather Radar, Cambridge Univ. Press, New York, 636 pp, 2001.