

降雨層における新しい K_{DP} 推定手法について

* 前坂 剛・岩波 越・真木雅之 (防災科研)

1. はじめに

近年、国土交通省が X バンドマルチパラメータ (MP) レーダの全国展開を始めるなど、MP レーダを用いた降雨強度推定 (QPE) 手法が普及しつつある。従来の QPE 手法では主に $Z-R$ 関係式を用いていたが、MP レーダを用いた QPE 手法では、 K_{DP} (単位距離あたりの偏波間位相差)- R 関係式の使用、および K_{DP} を用いた降雨減衰補正を行うことによりその精度を高めることが可能である。 K_{DP} はレーダで直接観測される量ではなく、 Φ_{DP} (偏波間位相差) の距離微分をとることによって求められる。しかし、観測された Φ_{DP} にはノイズが含まれ、また、距離微分はハイパスフィルターの性質を持つことから、気象学的な要因により生じる K_{DP} のみを抽出することは困難である。そのため、従来手法では、ある距離幅で Φ_{DP} の回帰直線を求め、その傾きから K_{DP} を求めていた。しかし、この方法は K_{DP} の距離プロファイルが滑らかになるという弱点がある。さらに、観測された Φ_{DP} には後方散乱による位相差も重畳し、特に大粒径の降水粒子の存在する領域の後方で負の K_{DP} が算出される場合もある。通常、降雨中での K_{DP} は常に正であるはずなので、降雨中における負の K_{DP} の算出は、降雨強度推定および減衰補正において大きな問題となる。本研究では、降雨中において距離とともに単調増加する Φ_{DP} を仮定することにより、常に正の値をとる K_{DP} を推定する手法を開発し、その効果を確かめた。

2. 推定手法

本推定手法の概念図を図 1 に示す。

まず、本手法は降雨中でのみ有効であるため、融解層以上の高度のデータを棄却する必要がある。MP レーダでは降水粒子判別を行うことができるが、現時点では常に安定した判別を行うことが難しいため、高層観測や数値予報から求めた零度高度と融解層厚さを仮定することによりその判別を行っている。その後、データの品質管理と Φ_{DP} の折り返し補正を行う。

次に、本手法の境界条件となる、レンジ最近傍と最遠方の Φ_{DP} (Φ_{near} , Φ_{far}) を決定する。最近傍 (最遠方) の境界条件は、30 個程度のデータを用いて線形回帰直線 (図 1 の LR-N および LR-F) を求め、その傾きが正である場合は、その回帰直線の最近点 (最遠点) の値を採用し、傾きが負の時はそれらのデータの平均値を採用する。最終的に求める Φ_{DP} はこれらの境界条件の間で変化する。

観測された偏波間位相差を Ψ_i 、最終的に求める偏波間位相差を $(\Phi_{DP})_i$ とおき、それらと境界条件との差を以下のように定義する。

$$\phi_i = (\Phi_{DP})_i - \Phi_{near}, \quad (1)$$

$$\phi'_i = \Phi_{far} - (\Phi_{DP})_i, \quad (2)$$

$$\psi_i = \Psi_i - \Phi_{near}, \quad (3)$$

$$\psi'_i = \Phi_{far} - \Psi_i. \quad (4)$$

ただし、 i は距離に関する添え字 ($i = 0, 1, 2, \dots, N$) である。今、 K_{DP} は常に正であるので、

$$k_i^2 = 2(K_{DP})_i \Delta r, \quad (5)$$

となる k_i を導入すると、

$$\phi_0 = 0, \quad (6)$$

$$\phi_i = \sum_{j=0}^{i-1} k_j^2 \quad (i = 1, 2, 3, \dots, N), \quad (7)$$

$$\phi'_i = \sum_{j=i+1}^N k_j^2 \quad (i = 0, 1, 2, \dots, N-1), \quad (8)$$

$$\phi'_N = 0, \quad (9)$$

となる。ここで、以下のコスト関クション J を定義する。

$$J = J_{obs} + J'_{obs} + J_{lpf}, \quad (10)$$

$$J_{obs} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\phi_i - \psi_i)^2, \quad (11)$$

$$J'_{obs} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (\phi'_i - \psi'_i)^2, \quad (12)$$

$$J_{lpf} = \frac{1}{N+1} C_{lpf} \sum_{i=0}^N \left(\frac{\partial^2 k_i}{\partial r^2} \right)^2. \quad (13)$$

J_{obs} と J'_{obs} は観測された偏波間位相差の二乗平均誤差であり、 J_{lpf} は k_i に関するローパスフィルタの役割を持ち、 C_{lpf} はローパスフィルタを調整する係数である。この J を最小化することは、図 1 の単調増加する Φ_{DP} プロファイルを観測値にフィットさせることを意味する。本手法ではこの J を最小化する k_i を変分法 (BFGS 法) により決定することにより K_{DP} を推定する。図 2 にその推定例を示す。

3. まとめ

降雨層で適用可能な、常に正の値をとる K_{DP} 推定手法を開発し、その効果を確かめた。従来手法では、降雨層であるにもかかわらず負の K_{DP} が頻繁に推定され、降雨強度推定および減衰補正に支障が生じていた。本手法では負の K_{DP} は算出されず、ノイズや後方散乱による位相差の影響を受けにくい特徴があるため、弱雨域でも積極的に K_{DP} を使用することが可能になる。このことは粒径分布に大きく依存する $Z-R$ 関係式を用いない QPE が X バンド MP レーダで可能となることを意味する。

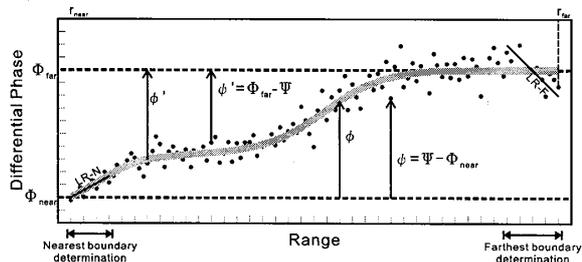


図 1: 本手法の概念プロファイル。横軸が距離、縦軸が Φ_{DP} 。丸印のプロットは観測された Φ_{DP} を、灰色の太曲線は本手法で最終的に求める Φ_{DP} を示す。その他の記号については本文を参照。

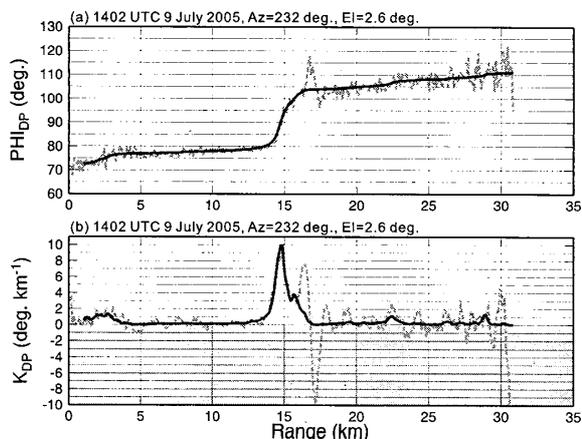


図 2: a) 2005 年 7 月 9 日 1402 UTC に防災科研海老名レーダで観測された Φ_{DP} (灰色破線) と本手法で推定された Φ_{DP} (黒色実線) のレンジプロファイル。b) (a) に示す観測された Φ_{DP} より算出された K_{DP} のレンジプロファイル。灰色破線は 1 km 幅の線形回帰により求められた K_{DP} 。黒色実線は本手法により求められた K_{DP} 。