

GPM/DPR にも TRMM/PR にも使える降水強度推定アルゴリズムの開発 A developing precipitation retrieval algorithm for the GPM/DPR and the TRMM/PR

瀬戸 心太^{1*}, 井口 俊夫²
Shinta Seto^{1*}, IGUCHI, Toshio²

¹長崎大学, ²情報通信研究機構
¹Nagasaki University, ²NICT

2014年に運用開始予定の全球降水観測(GPM)計画主衛星には、二周波降水レーダ(DPR)が搭載される。DPRは、現在運用中の熱帯降雨観測衛星(TRMM)に搭載されている一周波の降雨レーダ(PR)の後継機にあたる。著者らは、DPR用の降水推定のための標準アルゴリズムを、PRの標準アルゴリズムを基礎として開発している。

降水レーダの観測は、降水強度よりも、雨滴粒径分布に直接的に依存する。一般に、雨滴粒径分布は指数分布やガンマ分布に従うと仮定され、2つの独立なパラメータで表現することができる。すなわち、粒径分布は2次元の平面上に存在する。一周波観測の場合には、同時に2つのパラメータを決めることができないため、レーダ反射因子 Z と降水強度 R の間のべき乗則(Z - R 関係)を与える経験的な手法がよく用いられるが、これは粒径分布をある1次元の曲線上に制約することに相当する。PRの標準アルゴリズムでは、減衰係数 k とレーダ反射因子 Z の間のべき乗則(k - Z 関係)を与えて、減衰の影響を補正する手法(Hitschfeld-Bordanの方法、HB法と略する)が用いられるが、これも粒径分布をある別の1次元の曲線上に制約することに相当する。なお、PRのような飛翔体搭載レーダの場合には、地表面散乱を利用した表面参照法によりパス積算減衰量(PIA)を推定することが可能であるから、これを用いて k - Z 関係を修正することができる。ただし、この修正は、表面参照法の精度に依存する。また、修正はすべてのレンジビンで同時に適用されるため、粒径分布を2次元の自由度で表現できるわけではない。このようにPRなど一周波観測による粒径分布の推定は、 Z の観測精度だけでなく、 k - Z 関係などの制約条件の精度にも依存する。

これに対して、二周波観測では制約条件を与えることなく、2つの独立のパラメータを推定できると期待されていた。しかし、理想的な条件においても、パラメータは一意には求まらない(Seto et al. 2011)。DPRの場合、低周波数側のKu帯の Z と、高周波数側のKa帯の Z の制約条件を、粒径分布パラメータの2次元平面上に書くと、2つの交点を持つ。すなわち、2つの解が存在する。レンジビンの数が N 個あれば、最大2の N 乗通りの解が存在する。さらに、数値計算上の誤差の蓄積や、 Z の観測誤差を考えると、制約条件なしに解を求めることは現実的でない。

現在開発中のDPR標準アルゴリズムでは、二周波観測が得られる場合においても、Ku帯、Ka帯のそれぞれについて、 k - Z 関係を仮定し、HB法を適用することで減衰補正を行う。これにより、減衰補正済のレーダ反射因子 Z_e が両周波数で得られる。次に、 Z_e の周波数間の比に着目することで、2つの粒径分布パラメータが求まる(DFR法)。通常は、ここで得られた粒径分布は、仮定した k - Z 関係を満たさない。そこで、粒径分布にあうように k - Z 関係を修正する。修正された k - Z 関係を用いて再度HB法とDFR法を適用する。このHB法とDFR法の組み合わせを繰り返すことにより、 k - Z 関係を改良することが可能である。

これをHB-DFR法と呼ぶ(Seto et al. 2013)。PRでの表面参照法を使った k - Z 関係の修正の場合とは違い、HB-DFR法ではレンジビンごとに独立に修正を行うことができる。このため、粒径分布を2次元の自由度で表現することができる。

HB-DFR法は、 k - Z 関係の修正がとまったと判断されるか、一定の繰り返し回数に達した時点で終了する。少なくとも前者の場合は、複数存在する解の中の一つを選択したことになるが、どの解が選択されるかは、最初に仮定した k - Z 関係に依存する。したがって、HB-DFR法では、 k - Z 関係をゆるやかな制約条件として用いていると説明できる。しかし、 Z の観測誤差のない理想的な条件においても、HB-DFR法の解は下方(レーダより遠方)に行くほど誤差が拡大する。これはHB-DFR法のような前進解法の特徴である。誤差の拡大をおさえるためには、表面参照法をあわせて使う必要がある。

本手法は、二周波の Z と表面参照法からレンジビンあたり2つの粒径分布パラメータを推定するという点で、既存の二周波降水レーダ用アルゴリズムと大きな違いはない。しかし、本手法は、「二周波の Z がそろわないレンジビンではDFR法による k - Z 関係の修正をしない」とするだけで、一周波観測、または減衰などの影響で一部のレンジビンで二周波のいずれかの Z が得られない場合にも容易に適用できるという利点がある。DPRの二周波観測は、ノーマルスキャンの中央部に限られており、それ以外はKu帯またはKa帯の一周波観測となるが、本手法を用いることで降水の平面構造を継ぎ目なく推定できることが期待できる。さらには、PRの観測にもDPRと同じアルゴリズムを適用することで長期にわたって同品質のプロダクトを作成することも視野に入れている。

キーワード: 降水, レーダ, 雨滴粒径分布, GPM, TRMM, DPR

Keywords: precipitation, radar, DSD, GPM, TRMM, DPR