

II - 139

降雨成因と関連づけた雨滴粒径分布の鉛直構造解析

京都大学大学院 学生員 ○中川勝広 京都大学防災研究所 正員 中北英一
 京都大学工学研究科 佐藤 亨 京都大学防災研究所 正員 池淵周一

1 はじめに 落下する雨滴粒径分布の変化を雨滴の分裂・併合・蒸発などの微物理過程を考慮したモデルで表現したり、指数分布で雨滴粒径分布を表現し、その分布の傾きを降雨強度によって分類するなどの試みは行われている。しかし、それらの結果とレーダー雨量推定精度向上とは必ずしも結びついていない。これらの問題を根本的に解決するために降雨タイプに依存した形で雨滴粒径分布の鉛直構造を考慮したレーダー雨量推定手法の構築を目指している。本研究では、鉛直方向の雨滴粒径分布を観測・解析することにより、降雨成因を考慮した雨滴粒径分布パラメータとその鉛直分布を明らかにするとともにその定式化を試みた。

2 雨滴粒径分布パラメータの推定精度 鉛直方向の雨滴粒径分布の観測は、雨滴の落下速度のドップラースペクトルから雨滴粒径分布パラメータを推定することが可能な京都大学超高層電波研究センターの MU レーダー (Middle and Upper Radar) を用いて行った。ただし、MU レーダーで推定される雨滴粒径分布パラメータを用いる際に雨滴粒径分布パラメータの推定精度が問題となり、寺岡・佐藤ら (1993)[1] が詳細に議論している。その概要を以下に述べる。雨滴粒径分布をガンマ分布；

$$N(D) = N_0 D^\mu \exp(-\Lambda D) \quad (1)$$

として推定する場合、パラメータ μ, Λ が相関を持つため、スペクトルの形状がほとんど同じであるが真値とは異なるパラメータが推定されることがある。寺岡・佐藤らは推定誤差を統計的に調べるためにシミュレーションを行っている。観測されるスペクトルが統計的なゆらぎを持つので、シミュレーションでは、ある真値のパラメータ (μ_0, Λ_0) を既知としたスペクトルに対して統計的な揺らぎをモデルスペクトルにおいて実現させ、そのモデルスペクトルに対して μ, Λ の推定を行い、その推定誤差について調べている。その結果、サンプル数 100 に対して推定誤差の関係は

$$\Lambda - \Lambda_0 = 8(\mu - \mu_0) \quad (2)$$

となり推定されるパラメータが線形関係になる。ここで、 μ, Λ は推定値である。しかし、式 (2) より新しいパラメータ；

$$\Lambda' = \Lambda - 8\mu = \Lambda_0 - 8\mu_0 \quad (3)$$

を定義することによって Λ' は一意的に定まる。 Λ の推定誤差は ± 20 程度あり、 Λ' の推定誤差は ± 3 程度に改善される。 Λ' の物理的な意味としては、 $\mu_0 = 0$ とした場合に推定される雨滴粒径分布は指数分布の傾きを意味している。したがって、ある降雨について μ, Λ などのパラメー

タを個別に議論する場合にはこれらのある程度の時間・空間について平均し統計的に扱う必要があり、1 つの降雨スペクトルに対して議論する場合には Λ' を用いる必要があると結論づけている。

3 雨滴粒径分布の鉛直構造 解析対象全期間内にガンマ分布で推定された雨滴粒径分布パラメータ μ と Λ を図 1 に示す。この図から降雨期間中に直線の傾きは一定であるが式 (3) の Λ' (図中では $\mu = 0$ の時の Λ の値) が変化しているように思われる。

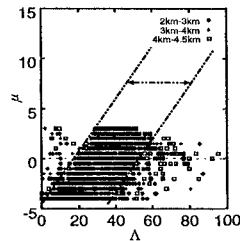
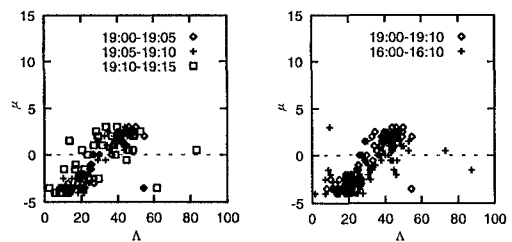


図 1: 解析対象全期間で推定された雨滴粒径分布パラメータ μ と Λ

どの程度の期間で Λ' が変化しているのかを調べるために 19:00 から 19:15 の 15 分間のパラメータ μ と Λ について調べた (図 2 (a))。この図から始めの 10 分間 (19:00~19:10) と後の 5 分間 (19:10~19:15) では、パラメータ μ と Λ の直線関係が異なっていることがわかる。すなわち、10 分間程度で Λ' の値が変化している。異なる 2 時刻の 10 分間のパラメータ μ と Λ についても同様のことが言える (図 2 (b))。



(a) ある期間 15 分間のパラメータ μ と Λ の関係 (b) 異なる 2 時刻でのパラメータ μ と Λ の関係

図 2: 雨滴粒径分布パラメータ μ と Λ

したがって、 Λ' の時系列変化を見ることは可能であり Λ' を再定義し、その時系列・鉛直変化を解析すれば良い

キーワード：雨滴粒径分布、鉛直構造、降雨成因、MU レーダー

京都大学防災研究所 (〒 611 宇治市五ヶ庄, TEL 0774-38-4249, FAX 0774-32-3093)

が、 Λ' の物理的な意味としては指数分布の傾きであるので、以降の解析については式(1)の $\mu = 0$ (指数分布) で推定される雨滴粒径分布パラメータで行う。ガンマ分布で推定されたパラメータと区別するために指数分布で推定されるパラメータを Λ', N'_0 とする。すなわち、地上サンプルは積分値であったので5分程度で十分であったが、レーダー観測は瞬時値であるので、10分では、やはり μ, Λ としての議論はサンプル数の小ささからできないので Λ' で議論し、雨滴粒径分布の鉛直構造解析およびその定式化には10分平均値を用いて行う。

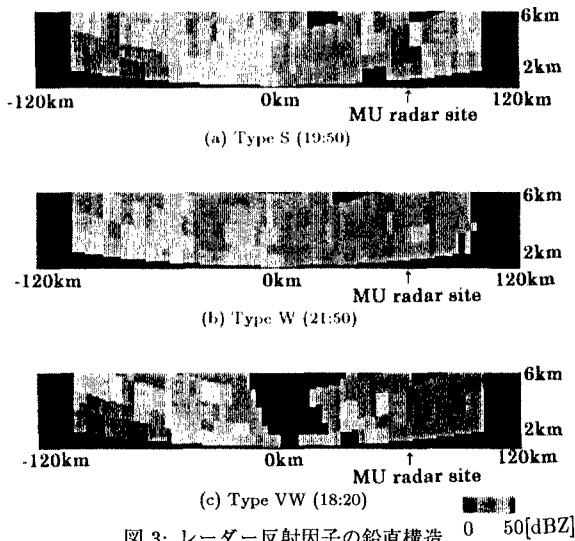


図3: レーダー反射因子の鉛直構造

降雨成因を考慮した雨滴粒径分布パラメータとその鉛直分布構造を明らかにするために、レーダーで観測されたレーダー反射因子の MU レーダーサイト周辺での鉛直構造に明らかに特徴のある時間帯に着目し、その時間帯の雨滴粒径分布パラメータ Λ', N'_0 の鉛直構造を調べた。その結果、レーダー反射因子の値が非常に小さい Type VW, レーダー反射因子の値が非常に大きい Type S, Type VW よりもレーダー反射因子は大きい Type S よりも小さい Type W の3つに分類できる。それぞれのタイプのレーダー雨量計で観測されたレーダー反射因子の鉛直構造を図3(a)~(c)に示す。また、それぞれのタイプにおける雨滴粒径分布パラメータ N'_0, Λ' の鉛直分布を図4, 5に示す。図4(a), 5(a)の Type VW の期間は、値がばらついており、レーダー反射因子の値が非常に小さいためにパラメータが良好に推定できていない危険性がある。以降、Type S と Type W について議論する。

Type S と Type W の雨滴粒径分布パラメータ Λ', N'_0 の相対的な値の大小関係は、Type S が Type W よりも大きい。一方、 N'_0 の高度依存性については、Type W の分布の傾きが Type S のそれに比べて大きく、Type W の方が高度依存性がある。 Λ' については、Type S の分布の傾きが Type W のそれに比べて大きく、Type S の方が高度依

存性があることがわかる。雨滴の総個数 (N'_0/Λ') については、両方のタイプ共通に高度変化する N'_0 の減少率が、 Λ' よりも大きく、したがって、上空の方が総個数は小さくなっている。逆に平均粒径 ($1/\Lambda'$) については、上空にいくほど大きくなっており、降雨の生成過程を考えると矛盾する。これは、雨滴粒径分布として N'_0 の値が小さくなると、それに引きずられる形で分布の傾き (Λ' の値) が小さく推定されてしまうためと考えられ、 N'_0 と Λ' の関係については、もう少し解析が必要である。

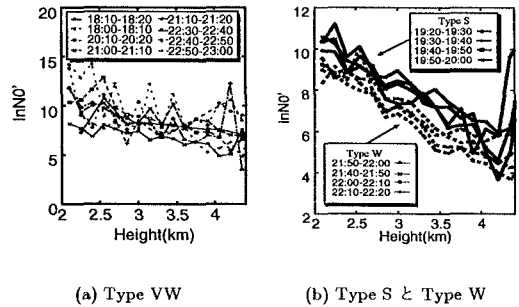


図4: 雨滴粒径分布パラメータ N'_0 の高度変化

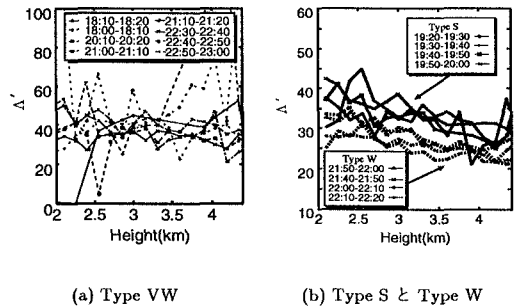


図5: 雨滴粒径分布パラメータ Λ' の高度変化

最後に、雨滴粒径分布パラメータの鉛直 $\ln N'_0$ と高度 H の関係はに Type S, Type W とともに線形関係；

$$\ln N'_0 = aH + b \quad (4)$$

が成立しており、しかも、図には示していないが、 $H = 0$ とした値は地上観測値からの推定値と一致している。一方、 Λ' の値に関しては、地上の Λ' の値は上空のそれに比べて非常に小さな値を示している。このことは、高度2km以下で雨滴の落下中に分裂・併合・衝突・蒸発などが盛んであることによる結果である可能性はあるが、上で述べた上空ほど Λ' の値が小さくなるという降雨の生成過程との矛盾を考慮すると、 Λ' に関しては引き続き調査が必要と言える。

4 おわりに 今後は、本文中にも述べたように、雨滴粒径分布パラメータ N'_0 が Λ' に与える影響を詳細に調査し、降雨成因別の雨滴粒径分布の鉛直方向の定式化を行う。

【参考文献】 (1) 寺岡俊浩, 佐藤亨, 木村磐根, 橋口浩之, 深尾昌一郎: MU レーダーと境界層レーダーによる降雨粒径分布の二周波同時観測, 信学技報, pp.73-80, 1993.