

第 II 部門 降雨成因と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

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、実際に地上と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 地上における雨滴粒径分布 観測される雨滴粒径分布 $N(D)$ をガンマ分布；

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

で近似し、同定された地上における雨滴粒径分布パラメータ間の関係に着目し、降雨タイプに依存した雨滴粒径分布の定式化を試みた。パラメータ μ と Λ の関係は、雨滴粒径分布を式 (1) のガンマ分布で近似することにより、

$$\bar{D} = \frac{\int_0^\infty DN(D)dD}{\int_0^\infty N(D)dD} = \frac{\mu+1}{\Lambda} \quad (2)$$

の関係が成立している。よって、パラメータ μ と Λ の関係は、

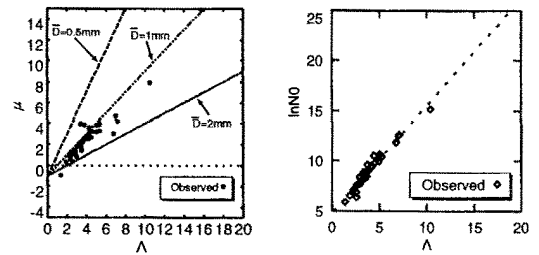
$$\mu = \bar{D}\Lambda - 1 \quad (3)$$

となる。ここで、 $\bar{D}$ は雨滴粒径分布としての平均粒径 [mm] である。観測された梅雨性の降雨に伴う雨滴粒径分布パラメータ μ と Λ の関係を図 1 (a) に示す。この図から観測値がほぼ直線上に並んでおりその直線の傾きすなわち、式 (3) 中の $\bar{D}$ を同定することは可能であることがわかる。

パラメータ N_0 と Λ の関係に着目すると、観測された梅雨性の降雨に伴う雨滴粒径分布のパラメータの関係は図 1 (b) となる。この図から、パラメータ N_0 と Λ は線形の関係があり、

$$\ln N_0 = a\Lambda + b \quad (4)$$

と表すことができる。図には示していないが他の降雨タイプの雨滴粒径分布パラメータの関係も式 (3)、(4) で表すことが可能である。



(a) μ と Λ の関係 (b) $\ln N_0$ と Λ の関係

図 1 雨滴粒径分布パラメータ間の関係

以上を整理すると、雨滴粒径分布 $N(D)$ は、

$$\ln N(D) = (a\Lambda + b) + (\bar{D}\Lambda - 1) \ln D - \Lambda D \quad (5)$$

と表すことができ、式中のパラメータは降雨タイプに依存して表 1 に示す値になる。ただし、表中の値は降雨強度が 15mm/h 以上の場合である。

表 1 降雨タイプに依存したパラメータ $\bar{D}, a, b, \Lambda$ の値

降雨タイプ	$\bar{D}$	a	b	Λ
梅雨性	1.3 ~ 1.5	1.0	4.7	3~4
台風	0.95~1.4	0.8~1.0	6.0~7.6	4~7
秋雨前線	0.7~1.7	1.0	5.3~6.5	4~6

表 1 の $\bar{D}$ の値に着目すると、降雨タイプが梅雨性の場合、ばらつきは小さいが、台風や秋雨前線では大きくなっている。これは、梅雨性の降雨では降雨期間中に降雨タイプがあまり変化していないことを表しており、台風性や秋雨前線では、より小さい時・空間スケールで降雨タイプが変化していることがわかる。よって、降雨タイプに依存した雨滴粒径分布の定式化には前線性や台風性などの大きい降雨スケールではなく、より小さい時・空間スケールの降雨タイプ（例えば、対流性・層状性など）による分類で行う必要がある。

3 雨滴粒径分布の鉛直構造 2で述べたことを考慮し、時々刻々変化するより小さな時・空間スケールでみた雨滴粒径分布パラメータに着目し、雨滴粒径分布の鉛直構造の解析を行う。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。

MUレーダーで推定される雨滴粒径分布パラメータについては、ある降雨についてガンマ分布で推定された雨滴粒径分布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・空間について平均する必要がある、その結果として瞬時の降雨スペクトルに対して議論する場合には指数分布；

$$N(D) = N_0 \exp(-\Lambda D) \quad (6)$$

で議論せざるを得ない。そこで、指数分布で推定された雨滴粒径分布パラメータ N_0, Λ の鉛直分布の時間変化に着目すると、図には示さないが10分程度で変化していることが明らかとなった。よって、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。

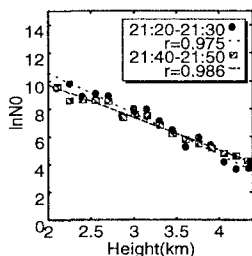


図2 雨滴粒径分布パラメータ N_0 の高度変化

ある時間の雨滴粒径分布パラメータ N_0 の高度変化の一例を図2に示す。 $\ln N_0$ と高度 H の関係は観測対象全期間中において線形関係が成立しており、

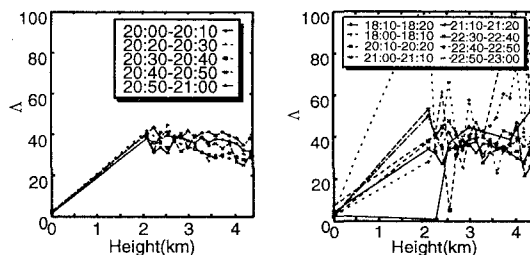
$$\ln N_0 = aH + b \quad (7)$$

と表せ、しかも、 $H = 0$ とした値は地上観測値からの推定値と一致した。

Λ に関しては、図3に示すような2つのタイプに分類できる。タイプIは、高度2km以上(MUレーダーによる推定値)の鉛直方向の値の変化が小さく、タイプIIは、高度2km以上(MUレーダーによる推定値)の鉛直方向の値の変化が大きい。

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。 Λ は雨滴粒径

分布の傾きであり、 Λ の値が小さいということは、雨滴粒径分布の傾きが小さく、大きな粒径まで存在していることになる。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、その影響を雨滴粒径分布パラメータ Λ が受けているものと考えられ、鉛直方向の変化を表現した定式化が必要である。

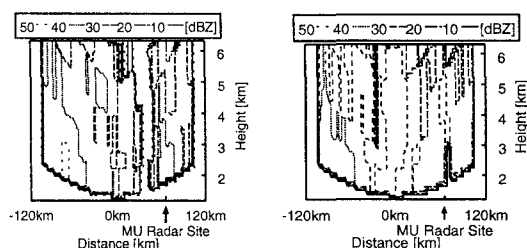


(a) タイプ I

(b) タイプ II

図3 雨滴粒径分布パラメータ Λ の高度変化

次に、図3のタイプの違いが、時々刻々変化する降雨タイプの違いによるものかを調査するために、それぞれのタイプに分類される時間帯の深山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に着目した(図4)。タイプIのMUレーダーサイト直上のレーダー反射因子の鉛直分布は、高度が3km以上でも30 dBZ前後の値が観測されている。一方、タイプIIは、レーダー反射因子の値が20 dBZ以下という小さな値しか観測されていないことが分かる。このように、レーダー反射因子の鉛直構造もタイプによって異なっていることが分かる。



(a) タイプ I

(b) タイプ II

図4 深山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

4 おわりに 今後は、雨滴粒径分布の観測事例を増やし、それぞれの降雨成因ごとの雨滴粒径分布の鉛直構造の定式化を行い、レーダー雨量推定手法を構築する。