

雨滴粒径分布を表す新関数を用いた層状・対流混合降雨の観測事例解析
 Observed case analysis of a mixed stratiform/convective rainfall with a new function for raindrop
 size distribution.

○岡崎恵・竹見哲也・大石哲・阿波田康裕・柳瀬友朗

○Megumi OKAZAKI, Tetsuya TAKEMI, Satoru OISHI, Yasuhiro AWATA, Tomoro YANASE

This study focused on raindrop size distribution (DSD), which can quantitatively describe the cloud precipitation process, and investigated the relationship between its variation of shape and precipitation types by observation. A case of rainfall associated with a typhoon was observed with a two-dimensional video disdrometer and polarimetric radar. When strong rainfall was observed under the influence of convection cells embedded within stratiform clouds, the decrease in number density with increasing particle size was gradual at intermediate particle sizes. During the transition period when convective rainfall decreased and stratiform rainfall dominated, DSDs became bimodal. The newly defined gamma raindrop distribution combined with exponential (GRACE) distribution better represented observed DSDs than conventional approximate functions. With the parameters of the GRACE distribution, it was possible to quantitatively investigate the temporal variations in the formation of the bimodal. (134 words).

1. はじめに

雨滴粒径分布は単位体積あたり降水粒子の粒径ごとの数密度関数であり、雲・降水過程の定量的な理解に重要な役割を担う。降水現象の推定の要となる気象レーダーの観測値から降水量を推定するためには、粒径分布の情報が必要である。しかし、レーダーはリモートセンシング技術であるために直接観測できず、近似関数で評価している。

粒径分布の近似関数として広く使用されているのが指数分布[1]とガンマ分布[2]である。一方、これらの従来型の近似関数では表現しきれない形状の分布が存在することが観測より明らかになっている。その内の一つであるふた山形状の雨滴粒径分布(ふた山型分布)は、小さな粒径に数密度の最大値と中程度の粒径において極大値を取る。

これらの背景より、本研究では雨滴粒径分布の新しい近似関数を定義した。gamma raindrop distribution combined with exponential (GRACE)分布と称される新しい関数は、指数分布とガンマ分布の足し合わせで構成される[3];

$N_{GRACE}(D) \equiv N_1 \exp(-A_1 D) + N_2 D^{\mu_2} \exp(-A_2 D)$.
 本研究の目的は、台風時に見られた層状性降雨と対流性降雨が混在した降水システムの観測事例をGRACE分布により解析し、GRACE分布の有用性を示すことと、時間変化する雨滴粒径分布の特徴を明らかにすることである。

2. データ

千葉県勝浦市に設置された雨滴粒径分布を直接観測可能な雨滴計 2DVD(35.21N, 140.32E)と Xバンド二重偏波ドップラ気象レーダー(35.15N, 140.32E)の観測データを解析した。

対象としたのは、2021年台風 Mindulle の接近に伴い 10月1日に関東地方で大雨となった事例である。特に 11:00(日本時間、以下同様)から過去1時間に1日で最大となる 35 mm h^{-1} の雨量が勝浦市で観測されたことから、10:30–11:30における事象を解析した。

3. 結果

3.1 偏波レーダー・2DVD 観測

台風のレインバンド内の層状性雲が広がる中で対流性セルが埋め込まれた降水形態が 2DVD 上空に存在していたことが偏波レーダーのパラメータ値より明らかになった。特に 11:05 から 11:14 に着目すると、11:05, 11:06 では 40 mm h^{-1} 以上に相当する強い雨が降っていたが、11:07 から 11:10 において対流セルが衰退し、降雨強度が減少した。その後、11:11 から 11:14 では次の対流セルが出現したことで降雨強度が増加傾向に転じた。

層状雲に埋め込まれた対流セルの影響で降雨が強かった 11:05, 11:06, 11:13, 11:14 に観測された雨滴粒径分布は、粒径クラスが大きくなるにつれて

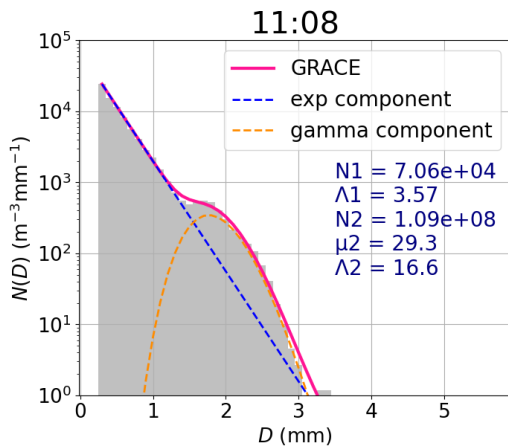


図1 ふた山形状の雨滴粒径分布(11:08)

ヒストグラム: 観測値, ピンク線: GRACE 分布
青線: 指数分布項, オレンジ線: ガンマ分布項

数密度が減少し、中程度の粒径において傾きが小さくなる形状であった。対流性降雨が減少し、層状性降雨が卓越した遷移過程において、雨滴粒径分布はふた山型となった(図1)。

3.2 GRACE 分布を用いた解析

GRACE 分布の 2DVD で観測された雨滴粒径分布に対するフィッティングの結果より、GRACE 分布は観測値を表現することがわかった。RMSE 値を用いてフィッティングの精度を評価したことにより、GRACE 分布は従来型の指数分布やガンマ分布よりも観測値に近づくことが明らかになった。

含水量に相当する粒径分布の 3 次モーメントについて、GRACE 分布の指数分布項とガンマ分布項でそれぞれ下記の式を用いて比較した。

$$\text{m3ratio} = \frac{\int_0^{\infty} D^3 N_2 D^{\mu_2} \exp(-\Lambda_2 D) dD}{\int_0^{\infty} D^3 N_1 \exp(-\Lambda_1 D) dD}$$

m3ratio は 1 より大きいとガンマ分布項が占める水量が大きく、1 より小さいと指数分布項が占め

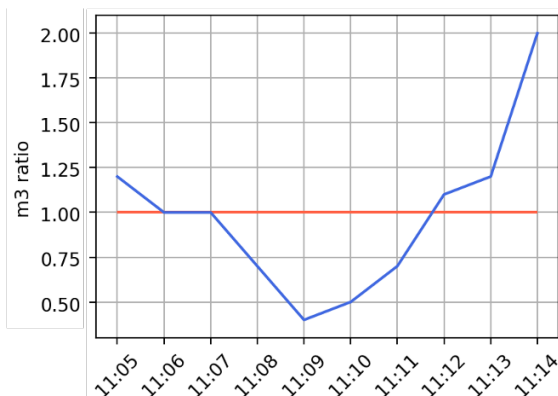


図2 m3ratio の時系列変化 (11:05–11:14)

る水量が大きくなる。11:05–11:14 における m3ratio の時系列変化を調べた結果を図2に示す。図2より、対流性降雨と層状性降雨の影響で強い雨が観測された時刻では、m3ratio が1より大きくなり、対流性降雨が減少し層状性降雨が卓越した時刻では、m3ratio が1より小さくなった。

4. 結論

本研究では、偏波レーダーと 2DVD の観測値解析に雨滴粒径分布を近似する新関数である GRACE 分布を導入することで、降水形態の移り変わりに伴う雨滴粒径分布の形状変化について示した。本研究の結論は以下の通りである。

- GRACE 分布は、従来型の指数分布やガンマ分布よりも、観測された雨滴粒径分布を良く表現することができる。
- 層状性雲内に対流セルが埋め込まれたような降水システムにおいて、雨滴粒径分布は数密度の粒径拡大に伴う減少の傾きが中間粒径で小さくなる形状となり、特に対流性降雨が減少し、層状性降雨が卓越する遷移過程ではふた山型分布となることがある。
- GRACE 分布のパラメータ値により雨滴粒径分布の時間変化が示すことができる。

今後は、降水システムからもたらされる雲物理過程について調べ、ふた山型分布の形成メカニズムを明らかにしたい。GRACE 分布を用いることで、気象レーダーによる降水現象の精密な把握や推定、数値モデルによる現実大気の雲・降水過程の詳細な再現が期待される。

参考文献

- [1] Marshall, J. S., and Palmer, W. M.: The distribution of raindrops with size., *J.Meteor.*, Vol.5,pp.165-166, 1948.
- [2] Ulbrich, C.W.: Natural variations in the analytical form of the raindrop size distribution, *J.Climate Appl. Meteor.*, Vol22,pp.1764-1775,1983.
- [3] Okazaki, M., Oishi, S., Awata, Y., Yanase, T., and Takemi, T.: An analytical representation of raindrop size distribution in a mixed convective and stratiform precipitating system as revealed by field observations, *Atmos. Sci. Lett.*, 2022 (under review).

謝辞

本研究は JSPS 科研費(16H04417, 21H01436, 21H01591)の助成を受けたものです。千葉県勝浦市での調査を許可して下さった勝浦市役所の皆様に感謝いたします。気象観測は JAXA・古野電気・神戸大学の協力を受けました。