

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値解析

京都大学大学院工学研究科

学生会員

○岡崎 恵

京都大学防災研究所

非会員

竹見 哲也

神戸大学都市安全研究センター

正会員

大石 哲

宇宙航空研究開発機構

非会員

阿波田 康裕

理化学研究所

非会員

柳瀬 友朗

京都大学防災研究所

正会員

中北 英一

1. 序論

雨滴粒径分布は、単位空間体積あたりの雨粒の粒径ごとの数密度関数である。雲・降水過程を理解するのに有効な含水量や降水強度などの物理量は粒径分布の粒径積算で記述される。リアルタイム気象予測の要である気象レーダーはリモートセンシング技術であるため、粒径分布に対して近似関数を用いることで降水強度を推定する。広く使用されている近似関数は指数分布とガンマ分布である。一方で、これらの従来型の近似関数では表しきれない形状の分布の存在が降雨の観測から明らかになっている。その内の一つである二峰性の雨滴粒径分布(二峰性分布)は、小さな粒径に数密度の最大値と中間粒径に極大値を持つ。二峰性分布の形成メカニズムには雲微物理過程である衝突併合・分裂過程が関わっていることがこれまでに議論されてきた[1]。また Das et al. (2017)では、形成背景には層状性降雨と対流性降雨が混在した降水システムが存在していたことが述べられている[2]。しかし、二峰性分布に関して、形成過程の背景にある降水現象と粒子が辿る微物理過程の包括的な理解が不十分である。本研究ではまず、二峰性分布を表現可能な新しい近似関数を定義した。新関数である gamma raindrop distribution combined with exponential (GRACE)分布は指数分布とガンマ分布の足し合わせで構成される[3];

$$N_{\text{GRACE}}(D) \equiv N_1 \exp(-\Lambda_1 D) + N_2 D^{\mu_2} \exp(-\Lambda_2 D).$$

Okazaki et al. (2023)の研究結果より、GRACE 分布は従来型近似関数よりも観測された雨滴粒径分布を良く表現できることが明らかになった[3]。本研究では GRACE 分布を用いた層状・対流混合降雨の観測事例解析より、二峰性分布の形成過程を明らかにする。

2. データ

使用したのは千葉県勝浦市に設置された雨滴計 2DVD と X バンド二重偏波ドップラ気象レーダーである。対象としたのは 2021 年 10 月 1 日に台風 Mindulle の接近に伴い、関東地方で大雨となった事例である。

3. 結果

層状性雲が広がる中に埋め込まれた対流性セルの影響で降雨が強い時間帯において観測された雨滴粒径分布は、層状性降雨によってもたらされた小さなサイズの雨粒と対流性降雨によってもたらされた大きなサイ

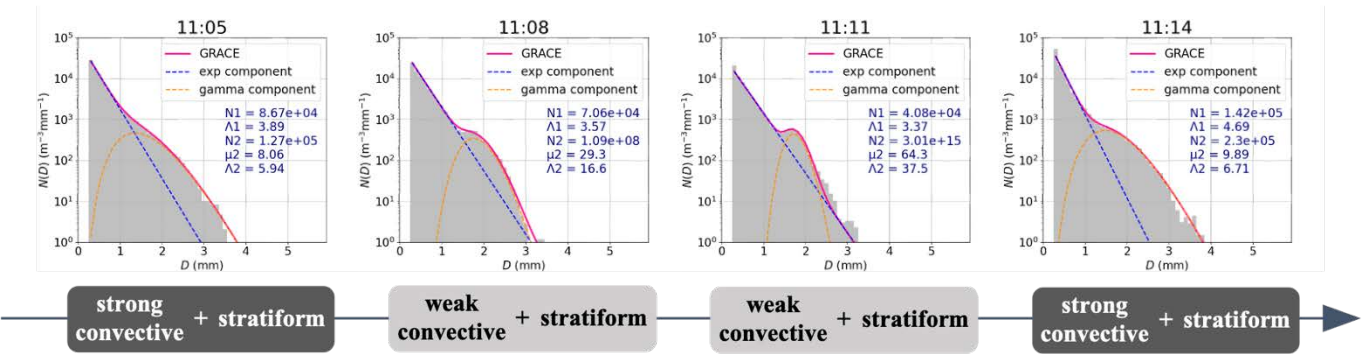


図1 層状・対流混合降雨において観測された雨滴粒径分布の時間変化

キーワード

雨滴粒径分布, 二峰性, 層状・対流混合降雨, GRACE 分布

連絡先

〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄 京都大学防災研究所 E-mail: okazaki_m@storm.dpri.kyoto-u.ac.jp

ズの雨粒の存在により、幅が広い形状をしていた。対流性降雨が弱まり、降雨強度が減少した時間帯においては、雨滴粒径分布は二峰性となった。また、GRACE 分布の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得られたパラメータを用いて、次式に示す粒径分布の3次モーメントを算出した;

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

3次モーメントは含水量に相当する物理量であり、m3ratio においては、GRACE 分布に含まれる指数分布項とガンマ分布項の比に対応する。対流性降雨が強かった時間帯においては、m3ratio が1より大きくなり、ガンマ分布項が卓越していた。一方で対流性降雨が弱まり、層状性降雨が主に観測された時間帯において m3ratio は1より小さくなり、指数分布項が卓越することがわかった。この結果は、GRACE 分布のフィッティングパラメータを用いることで降水現象と関連づけた粒径分布の時系列変化が調べられることを指し示す。

4. 考察

二峰性分布が観測された時間帯における 2DVD 上空では、偏波レーダーのパラメータである Z_{DR} を用いて算出された粒径分布の中央値 D_0 が鉛直方向下向きに増加傾向であることが明らかになった。このことから、衝突併合過程による粒子の成長が継続していたことが示唆される。また、同時刻の6分後に該当するレーダー直上の鉛直風のデータより、上昇流が存在する高度帯が確認された。ここで、Atlas and Ulbrich (2000) では、上昇流と同程度の落下速度を持つ粒子は滞空時間が長くなるために、成長過程が続きやすいことが示されている[4]。二峰性分布の形成には、対流性降雨の減少に伴い大きな粒子が消失し、また小さな粒子が減少したことと、衝突併合過程の継続に伴い小さな粒子の補足による極大値を形成する粒子が成長したことが関与していると考えられる。さらに、局所的な上昇流が存在したことで、極大値を形成する粒子が衝突併合によって成長しやすい環境が存在していたことが考えられる。

5. まとめ

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、層状・対流混合降雨において観測された雨滴粒径分布の形状変化について調べた。その結果より、層状性降雨と対流性降雨が存在したことで降雨が強くなった時間帯においては、双方の影響により幅が広い分布が観測された。また対流性降雨が減少し、層状性降雨が卓越した時間帯においては、二峰性分布が観測された。二峰性分布の形成メカニズムとしては、降水強度の減少や上昇流の存在により促進された衝突併合過程が複合的に関与していたことを考察した。今後は、二峰性分布形成に重要な役割を果たすことが予想される、降水粒子の落下と上昇流による相対的な鉛直運動を定量的に調べることを検討している。本研究で有用性が示された GRACE 分布を用いることで、気象レーダーによる降水強度推定や数値モデルによる現実大気の大気・降水過程の再現がこれまでよりも精度良く行われることが期待される。

参考文献

- [1] Barthes, L., and C. Mallet, 2013: Vertical evolution of raindrop size distribution: Impact on the shape of the dsd. *Atmospheric Research*, 119, 13–22.
- [2] Das, S. K., M. Konwar, K. Chakravarty, and S. M. Deshpande, 2017: Raindrop size distribution of different cloud types over the western ghats using simultaneous measurements from micro-rain radar and disdrometer. *Atmospheric Research*, 186, 72–82, doi: 10.1016/j.atmosres.2016.11.003.
- [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, *Atmospheric Science Letters*. DOI: 10.1002/asl.1155 (accepted, 4 Jan 2023).
- [4] Atlas, D., and C. W. Ulbrich, 2000: An observationally based conceptual model of warm oceanic convective rain in the tropics. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 39, 2165–2181.