

BIN 型雲モデルを用いた対流降水系内の流れ場に起因する雨滴粒径分布の時空間構造
Spatiotemporal structure of raindrop size distribution due to flow field in a convective precipitation system simulated by bin cloud microphysics model.

○岡崎恵・山口弘誠・柳瀬友朗・中北英一

○Megumi OKAZAKI, Kosei YAMAGUCHI, Tomoro YANASE, Eiichi NAKAKITA

The raindrop size distribution (DSD) is a fundamental physical parameter needed to understand the precipitation process. In weather radar and numerical models with the bulk method, DSDs cannot be directly observed or calculated. Therefore, approximate functions are used for the DSD, but there are distributions of shapes that cannot be represented by commonly used approximate functions in natural rainfall. One of them is the bimodal DSD that this study focuses on. To understand the formation process of the bimodal DSD, we conducted a two-dimensional simulation of a multicellular convection with the spectral bin scheme. Bimodal DSDs appeared during the mature stage of the simulated multicell convection. In addition, bimodal DSDs were formed between the updraft and downdraft regions. We will investigate the trajectory followed by each particle that composes the bimodal DSD. Moreover, reproduction simulation of the observed cases will be used to compare with the observations. (147 words).

1. はじめに

降水粒子は衝突併合、分裂、凝結、蒸発などの雲物理過程を辿りながら成長し、地上の雨となって観測される。雨滴の単位体積あたりの粒径サイズごとの数密度関数である雨滴粒径分布は、これらの雲物理過程によってその形状を時空間的に変化させる。雨滴粒径分布の形状は様々であるが、気象レーダーでは雨滴粒径分布を直接観測することができない。数値モデルに用いられる雲物理スキームである bulk 法においては、計算コストの問題で雨滴粒径分布を直接計算しない。気象レーダーや bulk 法においては、雨滴粒径分布に対して近似関数を用いる。近似関数として広く使用されてきたのが、指数分布[1]とガンマ分布[2]である。一方でこれらの近似関数では表しきれない形状の分布が現実大気には存在する。このような分布の形成メカニズムを解明することは、気象レーダーや数値モデルで降水過程を表現する上で重要である。

その内の一つが、二峰性の雨滴粒径分布(二峰性分布)である。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数密度の極大値を持つ。衝突併合・分裂過程が十分に進行し、平衡状態となったときに、雨滴粒径分布は二峰性となることこれまでの数値モデルベースの研究において議論されてきた(e.g., McFarquhar 2004[3]; Prat and Barros 2009[4])。一方で、近年の観測ベースの研究においては、二峰性分布の形成メカニズムにおける対流

活動の重要性が指摘されている(Radhakrishna and Rao, 2009[5])。また Okazaki et al. (2023)において実施された観測では、二峰性分布は対流性降雨が減少したタイミングで現れた[6]。以上のように複数の先行研究が存在するが、降水システムの中で二峰性分布の形成に寄与する雲物理過程を定量的に明らかにすることはできていない。

本研究においては、雲物理パラメタリゼーションとして bin 法を用いたマルチセルのシミュレーションを行い、マルチセルのライフサイクルの中における雨滴粒径分布の空間変化を調べる。

2. データ

本研究では Scalable Computing for Advanced Library and Environment-Regional Model (SCALE-RM; Nishizawa et al. 2015[7]; Sato et al. 2015[8]) version 5.4.5 を用いて、理想的な数値シミュレーションを行った。降水過程を単純化して理解するために、水平・鉛直の二次元について計算した。領域は水平 500 km, 鉛直 12 km とし、解像度は水平 1 km, 鉛直 100 m に設定した。雲物理過程は bin 法を用いて計算した(Suzuki et al. 2010)[9])。初期状態として Redelsperger et al. (2000)で議論された熱帯のスコールラインの sounding データを設定した[10]。初期場に水平 400 km 地点を中心に半径 7 km のコールドプールを設置し、20 分間冷やし続けることで対流を発生させた。また、水平方向の境界条件は周期境界とした。

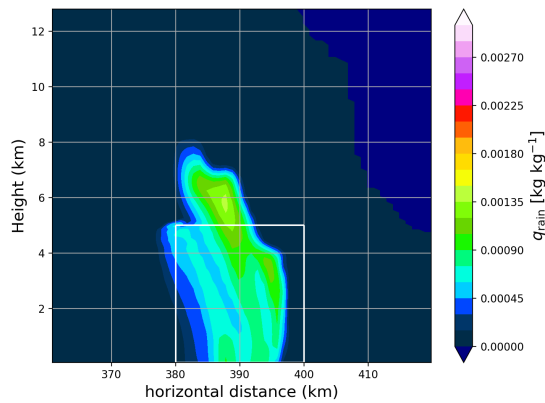


図1 シミュレーション開始から80分後における雨水の混合比(kg kg⁻¹)の水平鉛直断面図

3. 結果

マルチセルは2時間のライフサイクルの中で、発達期・成熟期・減衰期を経験した。シミュレーション開始から80分が経過したマルチセルは成熟期となり、雨域が発達期よりも弱く、水平方向に広がった(図1)。また80分経過後の成熟期においては、広がった雨域の中に上昇流域と下降流域の両方が存在していた。この上昇流域と下降流域の間において二峰性分布が形成された(図2)。

4. まとめ

本研究においては、bin法を用いた二次元のマルチセルの理想シミュレーションを行い、二峰性の雨滴粒径分布の形成過程について調べた。その結果より、二峰性分布はマルチセルの成熟期に発生したことがわかった。また、二峰性分布が形成されたのは、上昇流域と下降流域の間であった。

今後は、二峰性分布を構成する各粒子が空間的に辿った軌跡を定量的に明らかにする。また、観測事例の再現により、観測値との比較を行いたい。

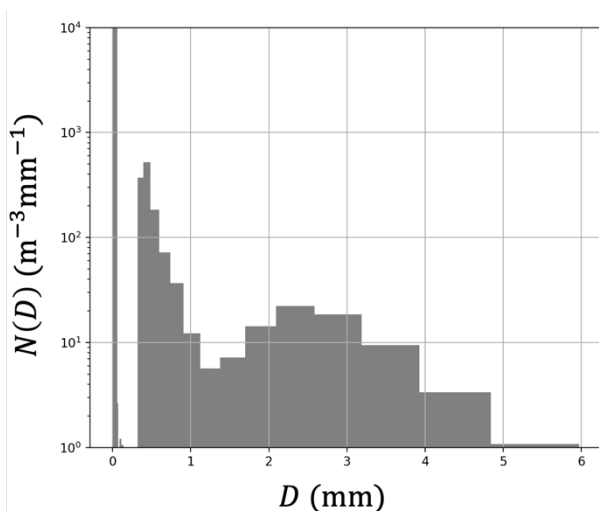


図2 シミュレーション開始から80分後の高度0.9 km、水平距離389 kmにおける二峰性分布

参考文献

- [1] Marshall, J. S., & Palmer, W. M. (1948). The distribution of raindrops with size., *J. Meteor.*, 5, 165-166.
- [2] Ulbrich, C.W. (1983). Natural variations in the analytical form of the raindrop size distribution, *J. Climate Appl. Meteor.*, 22(10), 1764-1775.
- [3] McFarquhar, G. M. (2004). A new representation of collision-induced breakup of raindrops and its implications for the shapes of raindrop size distributions. *J. Atmos. Sci.*, 61(7), 777-794.
- [4] Prat, O. P., & Barros, A. P. (2007). A robust numerical solution of the stochastic collection-breakup equation for warm rain. *J. Climate Appl. Meteor.*, 46(9), 1480-1497.
- [5] Radhakrishna, B., & Narayana Rao, T. (2009). Statistical characteristics of multipeak raindrop size distributions at the surface and aloft in different rain regimes. *Mon. Wea. Rev.*, 137(10), 3501-3518.
- [6] Okazaki, M., Oishi, S., Awata, Y., Yanase, T., & Takemi, T. (2023). An analytical representation of raindrop size distribution in a mixed convective and stratiform precipitating system as revealed by field observations. *Atmos. Sci. Lett.*, 24(6), e1155.
- [7] Nishizawa, S., Yashiro, H., Sato, Y., Miyamoto, Y., & Tomita, H. (2015). Influence of grid aspect ratio on planetary boundary layer turbulence in large-eddy simulations. *Geosci. Model Dev.*, 8(10), 3393-3419.
- [8] Sato, Y., Nishizawa, S., Yashiro, H., Miyamoto, Y., Kajikawa, Y., & Tomita, H. (2015). Impacts of cloud microphysics on trade wind cumulus: which cloud microphysics processes contribute to the diversity in a large eddy simulation? *Prog. Earth Planet. Sci.*, 2(23), 1-16.
- [9] Suzuki, K., Nakajima, T., Nakajima, T. Y., & Khain, A. P. (2010). A study of microphysical mechanisms for correlation patterns between droplet radius and optical thickness of warm clouds with a spectral bin microphysics cloud model. *J. Atmos. Sci.*, 67(4), 1126-1141.
- [10] Redelsperger, J.-L., Brown, P. R. A., Guichard, F., How, C., Kawasima, M., Lang, S., et al. (2000). A GCSS model intercomparison for a tropical squall line observed during TOGA-COARE. Part I: Cloud-resolving models. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 126(564), 823-863.

謝辞

本研究は、JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム JPMJSP2110 の支援を受けたものです。