

凍結粒子を加えた雲微物理スキームを用いた線状対流系豪雨の形成過程の解明  
Clarification of the formation process of linear convective heavy rainfall systems using a cloud  
microphysics scheme with frozen particles added

○酒井良佑・山口弘誠・鈴木賢士・中北英一

○Ryosuke SAKAI, Kosei YAMAGUCHI, Kenji SUZUKI, Eiichi NAKAKITA

Observations with the Rainscope, the latest model of a video sonde, have revealed many "frozen particles," which are raindrops launched by convection and frozen at  $0 \sim -10^{\circ}\text{C}$  altitude during heavy rainfall. However, these frozen particles are classified as graupel in most cases in current mesoscale weather models and are not represented in detail. In this study, we developed a 4ICE (ice crystal, snow, graupel, frozen particle) scheme that adds frozen particles to the 3ICE (ice crystal, snow, graupel) scheme of the cloud resolving model CReSS, and investigated the effect of the introduction of frozen particles on the formation of linear convective systems. The results show that the lifetimes of strong rainfall areas are increased by the 4ICE scheme, suggesting that the presence of freezing particles may contribute to the maintenance of linear convective systems. (136words)

## 1. 本研究の背景と目的

近年、線状対流系豪雨による被害が国内各地で増加している。将来の豪雨被害を抑えるためには、線状対流系豪雨のメカニズムを解明し、そのメカニズムを正確に再現・予測できるような気象モデルの改良が必要である。その改良の手段の1つとして、気象モデル内の雲微物理過程の変更が挙げられる。

ビデオゾンデの最新型であり、上空の雨粒及び固体粒子を高解像度で撮影し、粒子のより正確な分類を可能にした、Rainscopeによる撮影では、 $0 \sim -10^{\circ}\text{C}$ 高度にて雨粒が対流により打ち上げられ、凍結することで発生したと考えられる、“凍結粒子”の存在が多く見られた。この凍結粒子は、気象モデル内では、ほとんどの場合で“霰”(もしくは“雹”)の一部として分類されており、単一での表現をされていないが、雨粒が凍結することにより発生する凍結粒子は雪片や霰といった他の氷粒子に比べ、大きな密度及び落下速度を持っていると考えられる。したがって凍結粒子をモデル内の雲微物理スキームに導入することは、下降流及びコールドプールの強め、対流活動を促進するという現象を再現し、線状対流系豪雨の予測精度改善に繋がる可能性があると考えられる。本研究では、凍結粒子を雲微物理スキームに加えたことによる計算結果の変化を解析し、凍結粒子の存在が、豪雨イベントのどのような面に影響するのかについて検討す

る。

## 2. 計算設定と4ICEスキームの開発

解析の対象事例として顕著なバックビルディングにより発生した2017年7月九州北部豪雨を扱い、豪雨が発生し始めた時刻である12時から9時間後の21時までの計算を行った。気象モデルには雲解像モデルCReSSを用い、計算における水平解像度を1km、鉛直解像度を250mとした。計算結果の比較には、従来のCReSSのスキームである3ICE(氷晶、雪片、霰)スキームと本研究にて開発した4ICE(氷晶、雪片、霰、凍結粒子)スキームを用いる。また、CReSSは2-momentバルクモデルであり、氷粒子に関しては、混合比と数濃度の2変数の計算を行っている。

従来のスキームから4ICEスキームを作成する際、雨粒が霰に変化する過程の一部(雨粒が凍結する過程すべてと(過冷却の)雨粒が氷粒子と衝突する過程の一部)を凍結粒子に変化する過程に変更した。密度は、霰が $0.4\text{g}/\text{cm}^3$ であるのに対し、凍結粒子は $0.9\text{g}/\text{cm}^3$ と設定した。本研究における凍結粒子と4ICEモデルの既往研究で扱われる雹との相違点は、凍結粒子は凍結に関連する過程のみ発生する粒子であるという点である。霰がライミングにより成長した粒子は本研究のモデルでは霰のまま分類している。

### 3. 計算結果の比較と考察

4ICE スキームによる計算では、主に強い対流が発生する際に、凍結粒子が発生することが確認できた。固体粒子混合比の鉛直分布を 3ICE と比較したところ、霰混合比が減少した分、凍結粒子混合比が増加したような分布となり、固体粒子混合比の総量として、大きな差異は現れなかった。また、凍結粒子単体の分布に関して、観測的事実の通り、0~-10°C高度に一定量分布させることに成功した。しかし、観測では確認されていない、それ以上の高度での存在も見られ、より現実に基づいた分布をモデル内で表現することに関して課題が残る。

3ICE と 4ICE の間の 9 時間 (12:00-21:00) 積算降水量 (図-1) を比較したところ、4ICE の方が強い降雨域がより東側に伸び、豪雨イベントの後半の時間帯 (18:00-21:00) における降水量が増加した。降水量が強化された地点周辺での水平面における解析を行ったところ、高度 600m 付近での水平収束と温位低下 (図-2) の強化が降雨域に沿って線状の形で起きていることが確認できた。その線状に沿った鉛直断面における降水粒子混合比と温位変化を図-3 に示す。強い上昇流によって、凍結粒子が発生し、その減少 (凍結粒子の融解) に伴って、下降流が発生、コールドプールの強化、対流の促進という一連の流れが見られた。

豪雨イベントの後半においてこの現象が最も顕著に見られたという点や前半における降水量の減少の原因の解明に関しては、今後の解析の課題であるが、凍結粒子の存在は、線状対流系豪雨の維持に貢献している可能性が今回の解析結果により示唆された。また、凍結粒子を気象モデルの雲微物理スキームに導入することで、対流性の強い事例の予測において降雨強度や降雨の継続時間の過小予測を減らすことができる可能性も見られた。

### 4. 今後の課題

4ICE スキームの作成にあたって、雲微物理過程やそれに関連する計算式に様々な変更を加え、感度実験を行ってきたが、凍結粒子の落下速度の設定が、降水量に大きく影響を及ぼすことがわかった。しかし、凍結粒子の落下速度の定式化に関する研究は少なく、モデル内における凍結粒子の落下速度の設定に課題が残っている。凍結粒子や霰などの落下速度に関する研究をもとに、本研究で扱うモデル内により適合するような定式を行うことが今後の研究の課題である。

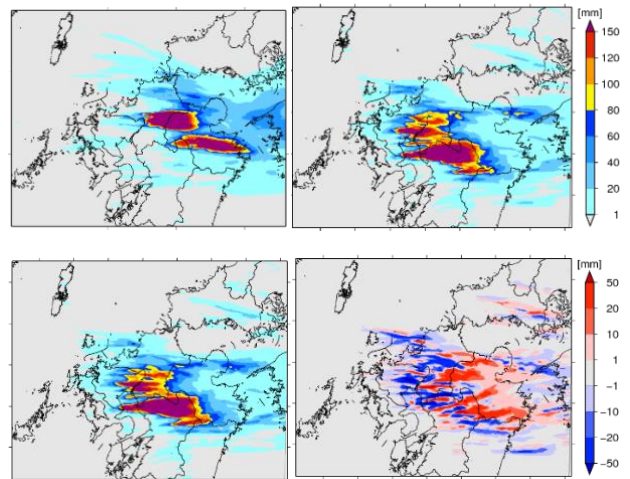


図-1 9 時間積算降水量. 左上図:XRAIN, 右上図:3ICE 左下図:4ICE, 右下図:4ICE-3ICE

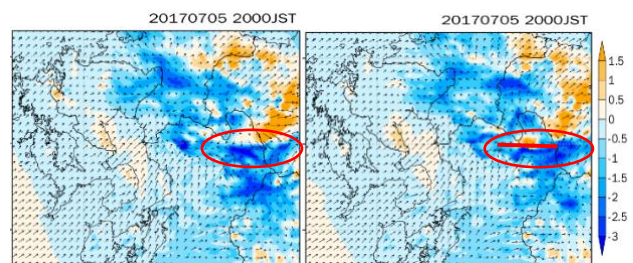


図-2 高度 600m における温位変化. 左図:3ICE, 右図:4ICE

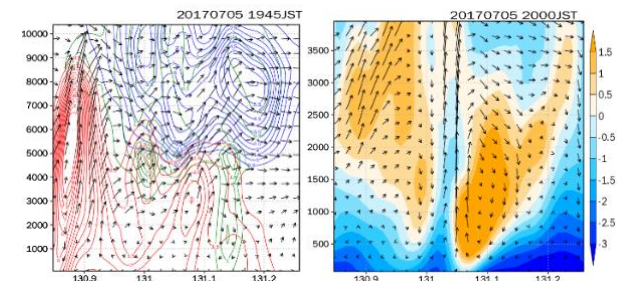


図-3 粒子混合比と温位変化の鉛直分布 (断面の位置は図-2 の赤線). 左図:19:45 における粒子混合比 (赤:雨粒, 青:霰, 緑:凍結粒子), 右図:20:00 における地上付近の温位変化

### 参考文献

- 1) Suzuki, K et al. (2023): Development of a new particle imaging radiosonde with particle fall velocity measurements in clouds: SOLA, Vol.19, pp.261-268.
- 2) Tsuboki, K. (2023): High-Resolution Simulations of Tropical Cyclones and Mesoscale Convective Systems Using the CRESS Model. :Numerical Weather Prediction: East Asian Perspectives, pp.483-534.