

## 豪雨をもたらす雲物理メカニズム解明のための降水粒子直接観測 Hydrometeor Measurements for Understanding of Microphysical Mechanisms of Heavy Rain

○鈴木賢士・高見和弥・大東忠保・山口弘誠

○Kenji SUZUKI, Kazuya TAKAMI, Tadayasu OHIGASHI, Kosei YAMAGUCHI

A new balloon-borne precipitation particle imaging radiosonde named "Rainscope" has been developed. It was first deployed in the intensive observation campaign, which was conducted in Kyushu region during the Baiu rainy season in 2022. The clear particle images captured by the Rainscope enable us to get more detailed information of particle shapes, surface conditions, and contours, making it easier to evaluate their shapes quantitatively. In addition, Rainscope was modified to be ground-mounted for solid hydrometeor measurements in winter. In the sleet case, it provided the relationship between particle size and the fall velocity in the melting process of graupel.

### 1. はじめに

2017年九州北部豪雨のような線状降水帯では活発な雷を伴うが、2018年西日本豪雨では雷はほとんど発生していなかった。雷発生は雲内の雲物理プロセスに密接に関連しており、同じように大量の降水をもたらす豪雨であっても雲内のプロセスが異なることがわかっているが、残念ながらその微物理内部構造を直接的に観測した例は少ない。雲内の降水粒子の直接観測には、撮像した粒子画像を地上に送信する気球搭載型のビデオゾンデ (Takahashi 1990) が使われてきた (中北ら 2009, Suzuki et al. 2014 ほか) が、近年、デジタル画像伝送による新しい降水粒子撮像ゾンデが開発された (Suzuki et al. 2023)。本研究ではこの新しい粒子撮像ゾンデ Rainscope を用いて、梅雨期に発達する降水雲の観測を行うとともに、地上設置型 Rainscope を用いて冬季降雪観測を実施した。

### 2. 新しい粒子撮像ゾンデ Rainscope の開発

Rainscope は、1680MHz 帯でアナログビデオ信号を送信するビデオゾンデ (Takahashi, 1990) を改良し、デジタル化した圧縮画像を 400MHz 帯で送信する新しい降水粒子撮像ゾンデである (Suzuki et al. 2023)。ビデオゾンデに比べ非常に鮮明な粒子画像が得られるとともに、2つの赤外線センサーを通過する時間を記録することで粒子の落下速度を測定する仕組みも新たに搭載されている。また、この気球搭載型 Rainscope を地上設置型に改良し、冬季の固体降水粒子直接観測にも利用されている (図 1)。



図 1. Rainscope (気球搭載型(左)と地上設置型(右))

### 3. 梅雨期対流雲への Rainscope 放球

2022年6～7月の梅雨期に線状降水帯の内部構造の理解を目的とした集中観測が実施され、我々は熊本県阿蘇にて Rainscope 放球を行った。2022年6月25日は上空に寒気が入り、阿蘇周辺では午前中からガストを伴う降雨が断続的にみられた。九州の南西から連なる降水エコーが接近、南西から北東にのびるライン状に組織化し、雷を伴って阿蘇サイトを通じた。図 2 は 13 時 09 分に放球した Rainscope から得られた降水粒子の粒径-高度分布、図 3 に特徴的な粒子画像を示す。0°C層すぐ上では、半透明で球形に近く輪郭が滑らかな凍結粒子が多く存在した。その上層では次第に輪郭が滑らかでなくなり、形状も不規則な霰が観測されるようになり、さらに上層では非常に多くの氷晶がみられた。霰と凍結粒子の形状に着目し、鮮明な粒子画像から粒子の形状を定量的に評価したところ、凍結粒子、下層の霰、上層の霰で粒子の形状に違いが見られ (図 4)、凍結粒子起源の霰の存在が示唆された。

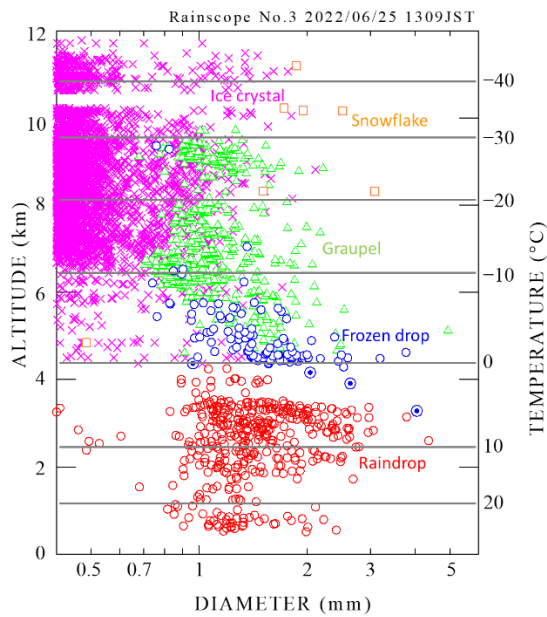


図2. 粒径-高度分布 (2022年6月25日13:09放球)  
赤: 雨滴, 青: 凍結粒子, 緑: 霰, 桃: 氷晶, 橙: 雪片

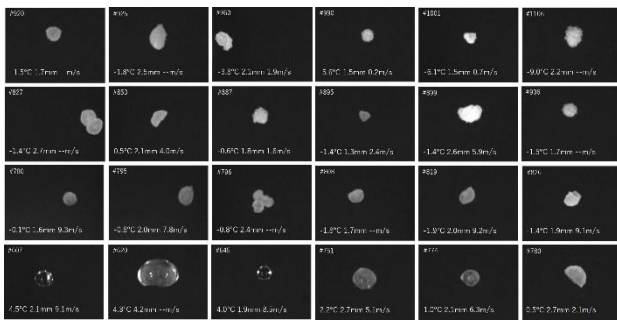


図3. Rainscope が捉えた降水粒子画像

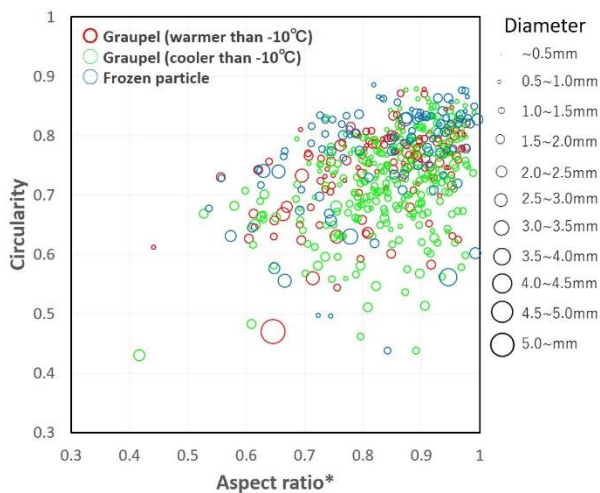


図4. 粒子の円形度と縦横比の関係. 赤:  $-10^{\circ}\text{C}$ より下層の霰, 緑:  $-10^{\circ}\text{C}$ よりも上層の霰, 青: 凍結粒子

#### 4. 地上設置型 Rainscope による冬季降雪観測

ゾンデによる降水雲内の粒子直接観測の弱点として、サンプリング数の少なさと観測頻度の限界

がある。例えば、ブライトバンドと呼ばれる厚さ数百mの融解層は数分で通過してしまい、雲物理的な構造を知るには十分なサンプル数が得られない。そこで、Rainscopeを地上設置型に改造し、新潟県南魚沼市塩沢において、地上でみぞれが観測されるような冬季に地上固体降水粒子直接観測を実施した。図5は地上気温が $0.9\sim 2.3^{\circ}\text{C}$ と比較的高かった2022年12月24日に観測された粒子画像であり、霰が融解している様子が捉えられた。他のディストロメータでは判別しにくい湿った霰と乾いた霰の違いも捉えられた。図6はRainscopeによる粒子の粒径と落下速度の関係を示す。完全に融解した雨滴から乾いた霰まで、落下速度が連続的に変化している様子がわかる。金沢(2023年1月25日, 気温:  $-3.4\sim -1.7^{\circ}\text{C}$ )で観測した霰の落下速度と比較すると、気温が高かった塩沢で観測した霰は落下速度が大きかったことから、より湿っており密度も大きいと推測される。

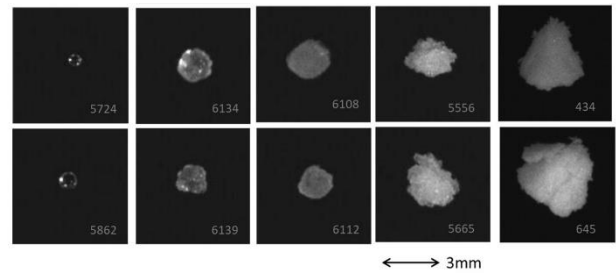


図5. 2022年12月24日新潟県南魚沼で地上設置型Rainscopeが観測した粒子. 左から雨滴(完全に融解した粒子), 融解途中の霰, 湿った霰, 乾いた霰.

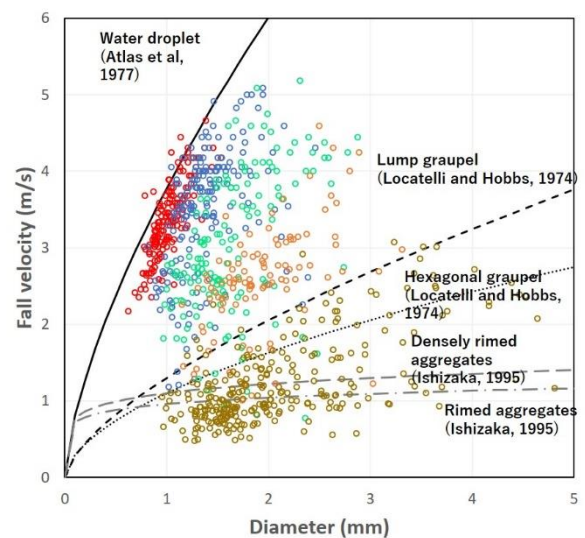


図6. 粒径-落下速度分布 (2022年12月24日9-10JST@南魚沼,  $0.9\sim 2.3^{\circ}\text{C}$ ) 赤: 雨滴, 青: 融解粒子, 緑: 湿った霰, 橙: 乾いた霰, 茶: 乾いた霰@金沢( $-3.4\sim -1.7^{\circ}\text{C}$ )