

論文名 : Vertical profiles of snow and rain in Tokyo, Japan, examined by Micro Rain Radar (MRR)

著者 : Tomoki Koshida, Shin Miyazaki, Taikan Oki, Shinjiro Kanae, Kei Yoshimura and Masahiro Koike

査読結果 : 掲載するかどうかの判断の前に本質的な改正が必要。

マイクロレインレーダ (MRR) は降水のドップラー速度スペクトルのプロファイルを地上から高度 3km 程度まで測定できる鉛直ドップラーレーダである。MRR の大きな特徴として、安価、小型であることから、今後、雲物理研究や様々な応用分野で利用されていくものと考えられる。このため、本論文でおこなっている研究の意義はある。また、本論文では、雨と雪のケースについて観測されたドップラー速度スペクトルの鉛直分布が紹介されており、興味深い。しかしながら、1960 年代におこなわれた、鉛直ドップラー速度スペクトルを用いた降水過程の研究について、全く触れられておらず、この手法の問題点について把握しないままに、議論を進めているのではと危惧します。以下、具体的にコメントします。

本論文は、2004 年 12 月 31 日に東京地方にもたらされた降雪と降雨について、マイクロレインレーダ (MRR) による観測データの解析結果を述べたものである。著者らは、①従来、MRR による観測は降雨に限られていたが、本論文では降雪についても扱っている点が新しい点であり、②MRR により得られるドップラー速度スペクトルの鉛直プロファイルは、雨と雪の判別に有効であると述べている。

コメント 1 ①の主張に関して

- (1) 1960 年代に多くなされた、鉛直上向きのマイクロ波のドップラーレーダ観測による降水粒子の粒径分布の研究によれば (例えば、Atlas et al. 1973, *Doppler radar characteristics of precipitation at vertical incidence*, Review of Geophysics and Space Physics, Vol. 11, pp.1-35)、この手法が適用できるのは、大気鉛直流が無視できる層状性の雨の場合であり、大きな鉛直流が存在し、また、乱流状態にあると考えられる対流性の雨には適用することは困難であるとされている。これは、ドップラー速度スペクトルは、雨滴粒子の落下速度のみで決まるものではなく、大気鉛直流、乱流、レーダビームを横切る水平風などが関係してくるからである。従って、この手法は、これらの影響が無視できる場合か、なんらかの方法でこれらの情報が得られている場合を除き、有効ではないと考えられている。
- (2) さらに、降雪の場合には、降雪粒子の形状により落下速度が変化する。また、落下速度自体小さいために、大気鉛直流の影響を受けやすい。このために、降雪粒子の情報や大気鉛直流の情報がわかっていないと、ドップラー速度スペクトルの正しい解釈は困難である。MRR による降雪の観測はこれまででなされていないというのは事実かも知れないが、何故行われていなかったかを理解しておく必要がある。

コメント2 ②の主張に関して

- (1) 筆者らがおこなっているのは落下速度の大小から雨か雪かを推定しているにしか過ぎず、スペクトルの情報を活かし切れていない。よって、**abstract**にある **MRR** により得られるドップラー速度スペクトルの鉛直プロファイルは、雨と雪の判別に有効であるという表現は不適切である。なお、本文では、ドップラー速度スペクトルの鉛直プロファイルから雨雲および雪雲の微物理過程を議論しているが、コメント1で述べたように、**MRR** の観測結果だけで議論するには問題がある。
- (2) ドップラー速度スペクトルによる雨と雪の判別は、1960年代にすでに多くの研究がなされており、速度分散を用いて、**snow**、**melting snow**、**rain**、**hail** などの判別が試みられている（例えば、**Battan 1973, Radar observation of the Atmosphere, Univ. Chicago Press. P119-**）。これらの結果を参考に、また、コメント3にもあげているが、事例が層状性の雨で、かつ、大気鉛直流が無視できると仮定できるのならば、スペクトル幅のデータを解析して雨と雪の判別を試みてはどうか？

コメント3 解析事例に関して

本文 P3 右コラム 下から 12 行〜に **melting layer** から下での雪から雨への遷移について議論しているが、以下の点で論理展開の矛盾を感じた。

- (1) 通常、**melting layer**（あるいは **bright band**）が反射因子の **time-height cross section** に現れる場合には、層状性の雨と定義されるが、著者らはこの事例を対流性の雨と位置づけている（P3 左コラム上から 26 行）。
- (2) しかしながら、**Fig.6** では **Layer2** と **Layer3** を **melting layer** とし、地上までの降水粒子の相変化を議論している。これはまさに層状性の雨の過程を説明するものである。

これらの矛盾を解決するためには、議論のもとになっているデータについて、再考する必要がある。**Supplement 3** の反射因子の **time-height cross section** には **bright band** らしきものは見えないし、**Fig.6** の Z の鉛直プロファイルにも、明瞭な **bright band** が見られない。これは、降雨減衰によるものなのかどうかをまず **check** して欲しい。もし、減衰の影響ならば、減衰補正をおこなうことによって **bright band** が明瞭になってくる可能性はある。その場合、この事例は層状性の雨として扱うことができ、ドップラー速度スペクトルから雨と雪の判別、さらには雨滴の粒径分布を推定することができるかも知れない。

コメント4 今後の解析、観測に関して

ドップラー速度スペクトルの鉛直プロファイルを簡単に測定することができる **MRR** は、その価格からも、今後様々な利用方法があると考えられるので、これまでわかっている、問題点を整理し、この方法が利用できる事例を慎重に選んで、しっかりとした解析を行って欲しい。微物理過程を議論するためには、**MRR** 単独の観測では限界があるので、可能ならば、地上での降水粒子の観測、**PPI** や **RHI** レーダ（特に偏波レーダ）観測、ウィンドプロファイラー観測、ビデオゾンデ観測などと同期してやってほしい。

コメント5 そのほか

- (1) 鉛直レーダ観測では、観測している降水系が定常状態にないときには、平均化の時間によっては、その結果の解釈が困難になる。本論文では、雪の場合には1時間、雨の場合には45分の平均化をおこなっているが、微物理過程の議論をおこなうには無理があるのではないかと。10分間の平均ではだめでしょうか？また、MRR鉛直観測結果を解釈する場合には、降水系のどの部分を観測していたかを押さえておく必要がある。
- (2) Fig.1 と Fig.4 は本論文の鍵となる図であるがわかりづらい。表現方法を工夫して欲しい。例えば、Gossard and Rogers 1990, Evolution of droplet size distributions in liquid precipitation observed by ground-based Doppler radar. JATEC., 7, 815-823.
- (3) Supplement 3 で 1330-1515 の期間、反射因子が不自然です。MRR システムのなんらかの異常によるものでしょうか？ドップラー速度は正常でしょうか？また、1100-1330 の反射因子が弱いのはアンテナ面への積雪のためか？
- (4) Abstract 下8行目 ... detect vertical velocities using Doppler radar reflectivity. とあるが、Doppler radar reflectivity ではなく、Doppler spectrum ではないか？
- (5) P1 の 1.Introduction 下3行目 Tokyo had not experienced snow cover on 31 December for 24 years prior to our study. とあるがあまり意味はない。都市交通の麻痺などが論文の主題になれば意味はあると思うが。
- (6) P1 右コラム1行目 Raindrop-size distributions can then be calculated at each vertical level using the equation by Gunn and Kinzer (1949)は前文とのつながりが不明。なお、Gunn and Kinzer (1949)の式は静止大気中の雨滴の落下速度と粒径の関係式で、粒径分布が直接この式から求まるわけではない。
- (7) P2 の Fig3 キャプションが図と一致しない。
- (8) P3 の左コラム本文上22行 supplement2 は supplement3 の間違い。
- (9) 英文表現について、読みとりづらい部分がある。

以上