

パーティクル偏光ライダーによる降水粒子の雨雪判別

柴田 泰邦

東京都立大学 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

Rain / snow classification using particle polarized lidar

Yasukuni SHIBATA

Tokyo Metropolitan Univ., 6-6 Asahigaoka, Hino, Tokyo 191-0065

Abstract: Dual-polarized radars that operate at X-band frequencies (wavelength ~ 3 cm) to identify precipitation particles have been developed. The ratio between horizontal and vertical reflectivity factors can determine the size and shape of precipitation particles. But various precipitation particles (type, particle size, shape, inclination, concentration) exist, and these precipitation particles coexist in the sampling volume of the radar. It is difficult to estimate the mixture of precipitation particle types using dual-polarized radars. Then, a particle polarized lidar is developed because of the rain-snow classification of individual precipitation particles. Individual precipitation particles are detected from single shot lidar signals and, raindrops and snowflakes are classified from the depolarization of the precipitation particles. This paper reports the classification principle of raindrops and snowflakes by the particle polarization lidar and the result of lidar measurements at the time of snowfall on 23-24 January, 2021 at Tokyo Metropolitan University.

Key Words: polarized lidar, precipitation particles, raindrop, snowflake,

1. はじめに

降雪による交通インフラの停止や交通事故増加は、首都圏において重大な社会問題となっている。二重偏波ライダーによる降水粒子の種別判定法が研究・開発されているが、ライダーは指向性が広いと、照射空間領域で多数を占める種別が判別されている。このため、複数種の降水粒子が混在していると、誤判定の要因となる。そこで、ライダーを用いて個々の降水粒子からの散乱光に含まれる偏光情報を元に、その降水粒子が雨か雪かを判別する手法を提案する。本講演では、2021年1月23日夜の降雪前後に、東京都立大学日野キャンパスにおいて観測した降水粒子中の雨粒と雪片の鉛直分布を示す。

2. パーティクル偏光ライダーによる雨雪判別法

直線偏光したレーザー光が球形の粒子に照射されると、その後方散乱光の偏光面は保持され、非球形粒子の場合は偏光面が変化する。偏光解消度 δ は散乱体の非球形性を表すパラメータで、レーザー偏光面と平行の散乱光 $P_{//}$ と垂直の散乱光 P_{\perp} の比 $P_{\perp} / P_{//}$ で表される。光散乱の偏光の乱れを利用して雲やエアロゾルの種別を判別する偏光ライダーは、黄砂のような非球形エアロゾルの観測や、水雲と氷雲の判別などに利用されている。本研究では従来型の偏光ライダーと違い、雲やエアロゾルと比べて大気中に疎に分布し、散乱強度の大きい降水粒子が対象となる。降水粒子の後方散乱係数は大気分子やエアロゾルより1桁以上大きい。したがって、大気に照射されたパルス光が降水粒子に当たれば、パルス状の散乱信号が受光される。一般的な偏光ライダーはパルス積算することでSNを向上させているが、本ライダーは個々の降水粒子からのパルス状の散乱信号に含まれる偏光成分を検出するために1ショットごとにライダー信号を記録する。これにより、個々の降水粒子からの δ を正確に計測できる。先行研究では雨粒の δ は0.1以下、雪片の δ は0.4~0.5程度であることが分かっている^{1,2}。個々の粒子（パーティクル）の偏光情報を計測するライダーをパーティクル偏光ライダーと呼ぶこととする。

3. 雨粒子と雪粒子の鉛直分布観測

2021年1月23日 12:54から24日 5:57に東京都立大学日野キャンパス（東京都日野市）において、Fig. 1に示すパーティクル偏光ライダーを用いて雨粒子と雪粒子の鉛直分布観測を行った。レーザー波長1064 nm、出力10 mJ、パルス幅10 ns、ビーム径10 mm、受光望遠鏡口径50.8 mmで、光検出器はAPD（アバランシェフォトダイオード）を用いた。降水粒子がレーザー光を横切るようにライダーは仰角 42° に傾けている。望

遠鏡で受光された光は、中心波長 1064 nm のバンドパスフィルターを通して背景光を除去し、偏光ビームスプリッター (PBS) で P_{\perp} と P_{\parallel} に分離される。

Fig. 2 にシングルショットでの P_{\perp} と P_{\parallel} の受信信号例を示す。高さ分解能は 5.0 m (距離分解能 7.5 m) である。高度 200 m 付近の大きな盛り上がりは雲からのエコーである。高度 110 m 付近のスパイク状の信号が降水粒子からのエコーで、 P_{\perp} と P_{\parallel} から δ を求め、雨雪を判別する。Fig. 3 と 4 に降水粒子の雨粒と雪片の鉛直分布、および地上気温の経時変化を示す。パルス光 1 発ごとのライダーデータから降水粒子の有無を調べ、個々に雨雪を判別した。地上では 18:00 までは雨で時々雪が混じる程度だった。18:20 ごろを境に降雪が強まった。このときの地上気温を見ると、ほぼ同じタイミングで 3 °C 前後だった気温が 0.6 °C まで急降下している。20:00 過ぎに気温が上昇に転じ、降雪 (降水) が 22:00 の段階で一度弱まり、その後降水に変わっている。

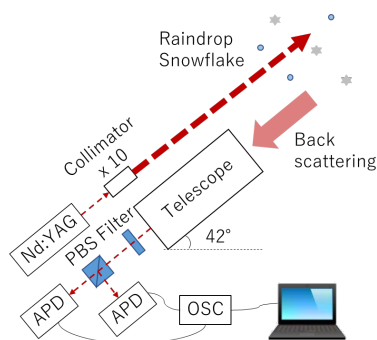


Fig. 1 Block diagram of particle polarized lidar.

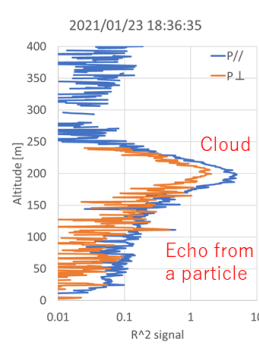


Fig. 2 Example of range corrected lidar return signals of P_{\perp} and P_{\parallel} with a single shot laser.

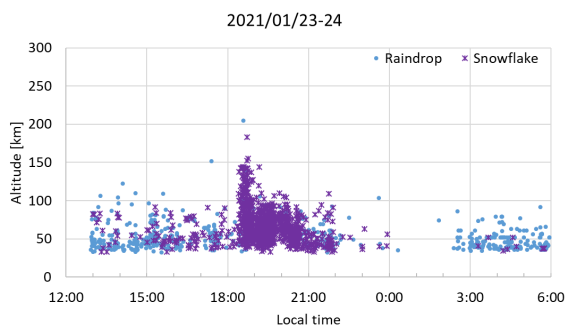


Fig. 3 Time-height cross section of raindrops and snowflakes on 23-24 Jan 2021 over Tokyo Metropolitan University.

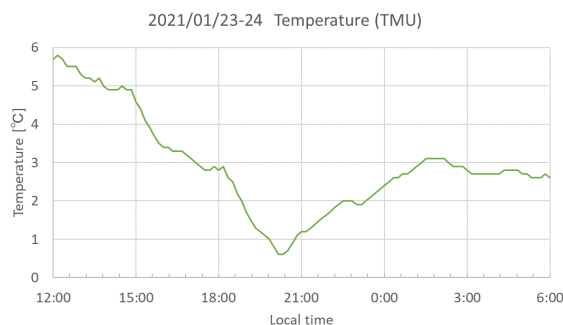


Fig. 4 Every 10 minutes changes in air temperature on 23-24 Jan 2021 in Tokyo Metropolitan University.

4. まとめ

降水粒子の雨雪判別を行うため、パーティクル偏光ライダーを開発した。シングルショットのライダーデータからパルス状の降水粒子エコーを検出し、その偏光解消度を計算することで、雨粒と雪片の判別が可能となる。また、ライダー観測において得られた雨雪の判別結果は、目視で確認した降水・降雪状況、および地上気温から良い相関がえられた。今後、雪の状態 (曇、雹など) の識別および、雪片の大きさの計測手法について検討を進める。

謝 辞

本研究は JSPS 科研費 JP19K22030 の助成を受けた。

参考文献

- 1) S. R. Pal, A. I. Carswell: *J. Appl. Meteo.*, 16, (1977) 70.
- 2) 斎藤典生 他: 応用物理, 54, (1985) 952.