

シングルショット偏光ライダーによる雨雪判別法の検討

柴田 泰邦, 今村 啓

首都大学東京 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

Discrimination of rain and snow in precipitation particle by single shot polarization lidar

Yasukuni SHIBATA, and Kei IMAMURA

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

Abstract: We propose a method to discriminate of rain and snow using a single-shot polarization lidar. This research is expected to improve the accuracy of snow forecasting and will alleviate the social loss and the traffic disturbance caused by snow. The single-shot polarizing lidar can suppress the multiple scattering effect and acquire polarization information of precipitation particle itself. The depolarization was measured for each precipitation particle on the ground and particles were discriminated as rain or snow. These depolarization values were in good agreement with those of previous studies.

Key Words: Polarization lidar, Precipitation particle, Rain, Snow

1. はじめに

交通・流通インフラは雨や雪などの天候の変化にたびたび影響を受ける。現在、気象庁は気象観測に主に電波を用いたレーダーを利用しているが、レーダーでは雨、雪などの降水粒子の有無しか分からず、上空の気温、湿度を推定して雨雪判別を行っている。雨か雪かは上空の気温に依存し、1℃の変化で降水状況が大きく変わるため降雪予想の精度は高くない。そこで偏光ライダーを利用することで雨雪の判別精度の向上を図るだけでなく、雨雪の高度分布の取得を可能にする。

従来の偏光ライダーはショット積算するため、雨と雪が混在する雲に対して雨と雪の偏光情報が混ざってしまう。さらに、多重散乱による偏光の重ね合わせが判別精度に影響を与える。そこで、シングルショットのレーザーパルスから得られる個々の降水粒子からの後方散乱光の偏光解消度を計測することで、一つ一つの降水粒子が球形(雨)か非球形(雪)かを直接判別する手法を提案する。また、測定した粒子の情報から雨と雪の境界高度(融解層)の時間的な推移を予測することで地上での降雪開始時間の推定精度が向上し、インフラへの影響緩和が期待できる。

2. シングルショット偏光ライダー

偏光ライダーは、散乱光の垂直成分 $P_{\perp}$ を水平成分 $P_{//}$ で割った値である偏光解消度 $\delta (= P_{\perp} / P_{//})$ を計測することで粒子の非球状性を調べることができる。例えば、粒子がほぼ球形の雨の場合、 δ は 0 に近い値となり、非球形の雪の場合は 0.4

程度となる^{1,2)}。降水量が増えると、降水粒子の多重散乱による影響が無視できなくなる。偏光面が回転した単散乱成分が次の粒子に当たると、さらに偏光面が回転し、降水粒子の正しい δ を計測することが難しくなる。地上設置ライダーの場合、多重散乱の影響を減らすには視野を極力絞り、多重散乱光の受光を抑制する手法がとられるが、完全な分離は困難である。

そこで、シングルショットのパルス光から得られる個々の降水粒子からの δ を計測する手法を提案する。シングルショット観測の場合、多重散乱信号は Fig.1 で示すように最初の降水粒子からの強いパルス状の散乱光が手前で得られ、次の降水粒子に当たるまでの時間分だけ遅れて2次散乱による散乱光が計測される。つまり、最初の強いパルス状の散乱光が1次散乱光とみなせる。信号処理の段階で、後段のパルス状の散乱光を除去することにより、個々の降水粒子からの δ を正確に計測でき、雨と雪が混在する雲の状態でも、雨と雪の構成比率まで知ることができる点が新しい試みである。

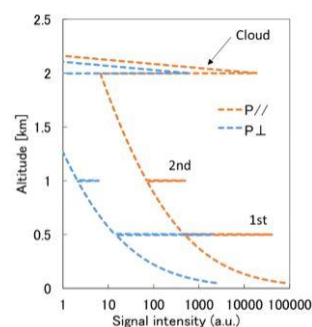


Fig.1 An example of multiple scattering signals.

シングルショット観測において個々の降水粒子からの散乱光を得ることが可能か調べるため、レーザーパルスを打ってどの程度の降水粒子に当たるかをシミュレーションする³⁾。直径 1 mm のレーザー光をパルス繰り返し 10 kHz、パルス時間幅 1 μ s に設定し、雲底高度 1,000 m、降水量 1.0 mm/h の条件で雨粒子（直径 1.0 mm）、霰粒子（直径 0.8 mm）、針状雪粒子（直径 0.1 mm、長さ 0.8 mm）に対して 1 秒間にレーザーパルス光が当たる粒子数の数値シミュレーションを行った。雨粒は 4 個程度、霰粒子は 8 個程度、針状結晶は 347 個程度がパルス光に散乱されるという結果を得た。1 秒間に 10,000 回レーザーパルスを発射して数個から数百個の降水粒子が検出されることから、降水量 10 mm/h 程度までであれば、1 発のパルス光が 2 つ以上の降水粒子を検出することは稀であることが分かった。

3. 試作機による雨と雪の偏光観測

降水粒子の δ を計測するための試作機を製作した。光源は波長 1,550 nm、水平偏波のパルスレーザー光（平均出力 80 mW、パルス繰り返し 20 kHz、パルス幅 10 μ s）を用いた。レーザー光を横切る降水粒子からの散乱光は、口径 50.8 mm の屈折型望遠鏡で受光され、偏光ビームスプリッター（PBS）で水平成分 P// と垂直成分 P $\perp$ に分離された後 APD で受光し、オシロスコープで散乱パルス波形を記録した。降水粒子が直接望遠鏡開口部に当たらないことと、地面に積もった雪からの反射光を抑えるため、試作機は地面から仰角 45° 傾けてレーザー光を出射した。またレーザー光と望遠鏡視野の重なりは、比較的強い信号が得られる試作機から約 40~60cm の範囲に限定した。

2019 年 1 月 31 日の降雪時に、首都大学東京日野キャンパスにおいて偏光測定を行った。Fig.2 に雨粒からの散乱信号と Fig.3 に雪粒からの散乱信号の例を示す。受光信号部分の面積比を δ と定義すると、雨粒の δ は 0.13 で球形に近く、雪粒の δ は 0.46 で、文献 2 に示されている雪の偏光解消度 0.46 ± 0.12 に近い値を得た。

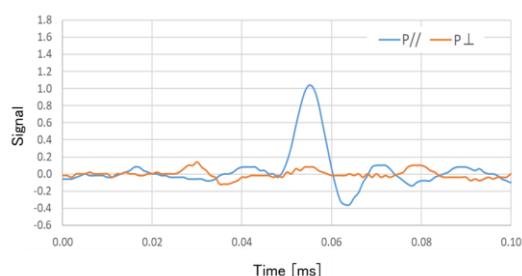


Fig.2 Scattered signals of horizontal component and vertical component from a raindrop.

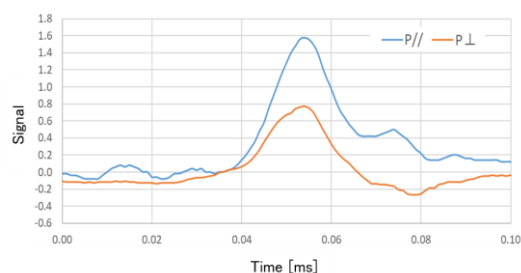


Fig.3 Scattered signals of horizontal component and vertical component from a snowflake.

4. まとめ

降水粒子が雨か雪かを知ることは、都市防災を考えるうえで重要な情報となる。本研究ではシングルショット偏光ライダーを用いて個々の降水粒子が雨か雪かを判別する手法を新たに提案した。シングルショット観測により、多重散乱の影響を抑えることができる。時間降水量 1 mm/h と仮定した条件では、10 kHz のレーザーパルスに対し 1 秒間に雨粒からは 4 個程度、霰粒子からは 8 個程度、針状結晶からは 347 個程度の信号を受信できることが分かり、単一パルス光で単一の降水粒子からの散乱光が可能であることが分かった。さらに、試作した偏光ライダー観測による雨粒および雪粒の偏光解消度 δ は、従来から知られている文献値と概ね同じ値となり、個々の降水粒子からの δ の値を使って雨雪の判別が可能であることが実証された。今冬、製作したライダーを用いて降水粒子の雨雪高度分布の取得を計画している。

参考文献

- 1) 斎藤典生, 丹野直弘, 高橋良男, 横戸健一, 清水浩, 杉本伸夫, 松井一郎, 笹野泰弘, 応用物理, 54, 952-958, 1985.
- 2) S. R. Pal, A. I. Carswell, J. Appl. Meteo., 16, 70-80, 1977.
- 3) 熊井基, 樋口敬二, 気象集誌. 第 2 輯, 30, 345-355, 1952.