

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：22604

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2020

課題番号：19K22030

研究課題名（和文）シングルショット偏光ライダーを用いた降雪予測法の新提案

研究課題名（英文）Proposal of snowfall prediction method using single-shot polarized lidar

研究代表者

柴田 泰邦（Shibata, Yasukuni）

東京都立大学・システムデザイン研究科・准教授

研究者番号：10305419

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は雪災害情報の提供を目指し、ライダーで直接降雪領域の高度分布を計測する新たな手法を確立することを目的とする。個々の降水粒子の偏光成分を計測するシングルショット偏光ライダーシステムおよび観測データを取得する専用アプリを開発した。これらのシステムを用い、2021年1月23～24日の降雪時に17時間連続観測を行った。雲から降り注ぐ個々の降水粒子を検出し、その偏光解消度を計測した。高度300m付近の雲が2時間で高度100m付近まで降下し、地上において雨は雪に変化した。この時、地上気温は3℃から0℃まで急降下した。これらの観測結果は寒気の下降により降雪が開始したことを示唆する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

シングルショットでリアルタイム信号処理する高速処理装置および雨雪判別アルゴリズムという、ライダー信号処理分野における新たな挑戦の有用性が実証された。将来計画として、本研究で開発する降雪検知シングルショット・ライダーを他点配置し、立体的な降雪情報を取得することにより、大雪時の交通障害の回避や物流の確保、雪氷災害軽減の実現につなげる。さらに、上空の雨雪状況、特に2重偏波レーザーでは取得が難しい降水粒子種の組成率の取得を実現することで、気象学的、特に数値モデル分野へのインパクトが大きいと思われる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to provide information on snow disasters and to establish a new method for directly measuring the altitude distribution of snowfall areas with a lidar. We have developed a single-shot polarized lidar system that measures the polarization component of individual precipitation particles and a dedicated app that acquires observation data. Using these systems, continuous observations were carried out for 17 hours during the snowfall on January 23-24, 2021. Individual precipitation particles falling from the clouds were detected, and the degree of depolarization was measured. Clouds at an altitude of around 300 m fell to an altitude of around 100 m in two hours, and the rain turned into snow on the ground. At this time, the surface temperature of 3℃ plummeted to the 0℃. These observations suggest that snowfall started due to the fall of cold air.

研究分野：リモートセンシング

キーワード：ライダー 降水粒子 雨 雪 判別 偏光 パーティクル

1. 研究開始当初の背景

本研究は雪災害に対する防災・減災情報の提供を目指し、リモートセンシング技術の一つであるライダーを用いて降雪の高度分布をリアルタイムで計測する手法を確立することを目的とする。観測結果は積雪予測の高精度化に貢献でき、交通・物流や雪災害の減災にも役立つ。平成26年2月の南岸低気圧大雪の損害は5,000億円（損害保険含む）にも及ぶと言われ、交通・物流の復旧に時間が必要となり、物流に関しては地震の被害に次いで損害額が大きくなることが判明した。日本の交通・物流の中心である首都圏は非雪国であり、現在気象庁アメダスの積雪深観測地点は、東京に1箇所、関東全域でも15箇所ほどしかない。雨になるか雪になるかは上空の気温高度分布に大きく依存し、1℃違うと雨雪の状況が変わることから数値計算による予測精度は高くない。また、ラジオゾンデによる直接的な気温高度分布の計測手段があるが、関東全域で多数のラジオゾンデを連続的に放球することは現実的でない。二重偏波レーダーを利用して降水粒子が雨か雪かを判別する手法が研究されているが、電波の指向性の広さにより、個々の降水粒子が雨か雪かを判別することはできず、領域の代表的な降水粒子種を示すだけである。したがって、個々の降水粒子を雨・雪・みぞれ・雹などに分類できれば組成率を計測することができる。このことは、インフラや農業といった社会基盤だけでなく、気象学においても有益な情報として期待されるだろう。

2. 研究の目的

本研究では、個々の降水粒子からのミー散乱を受光し、その偏光解消度を計測することにより雨か雪を判別する手法を確立することを目的とする。ライダーは散乱体までの距離を測るためにパルス光を用いる。受光信号の時間応答波形を記録して、時間遅れに対応する距離毎に散乱強度（ミー散乱+レイリー散乱）を求める。ライダーに使うレーザパルスは、通常10 ns程度のパルス幅を持ち、空間分解能に換算すると約3 mである。一般的な偏光ミー散乱ライダーの使われ方は、エアロゾルや雲の分布と組成を観測するもので、SNを向上させるため、時間的・空間的に積分された形でアウトプットされている。一方、本手法はエアロゾルや雲より散乱強度が大きい雨滴や雪片が対象となるためレーザパルス単発、つまりシングルショットでの観測が可能で、結果として個々の散乱体の偏光解消度の測定値から雨か雪かを判別可能となる。したがって、雨と雪が混在する曇りの状態でも、雨と雪の構成比率まで知ることができる。また、湿った雪は雪片が大きく、乾いた雪は単結晶であるため偏光解消度に違いが出ることから、雪質を知ることが可能となる。よって、上層の気温0℃付近で雪が融解して形成される融解層の把握や、融解層の下降速度から、地上での降雪（降水）開始時間予測が可能となり、今までにない付加価値のある降雪情報を提供できる。シングルショットでリアルタイム信号処理するための高速処理装置の開発、雨雪判別アルゴリズムの開発が必要で、これらはライダー信号処理分野における新たな挑戦である。

3. 研究の方法

雪片など非球形粒子の測定には、ミー散乱ライダーに付加的な機能を追加して、偏光解消度を測定することが有益である。直線偏光のレーザ送信し、受信光のうちレーザの偏光に水平な偏光成分 $P_{//}$ と、垂直な偏光成分 P_{\perp} を分けて検知する。受信光の偏光の垂直成分と水平成分の比を偏光解消度と呼ぶ。図1のように、散乱体が球形の場合は散乱によって偏光は変化しないが、非球形な散乱体の場合は垂直成分が現れる。波長532 nmにおける雪（氷晶）の偏光解消度は0.2～0.5で、さらに溶けかけ雪は偏光解消度が高くなることが知られている。一般的な偏光ミー散乱ライダーの使われ方は、エアロゾルや雲の分布と組成を観測するもので、SNを向上させるため、時間的・空間的に積分された形でアウトプットされている。一方、本提案手法では、個々の降水粒子からのミー散乱を受光し、その偏光解消度を計測することにより雨か雪を判別する。エアロゾルより散乱強度が数桁大きい雨や雪が対象となるため、シングルショット、つまりレーザパルス単発での観測が可能となる。したがって、雨と雪が混在する曇りの状態でも、雨と雪の構成比率まで知ることができる。

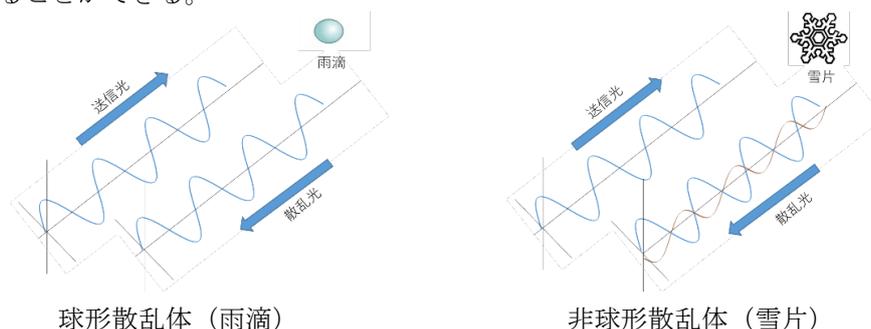


図1 散乱体の違いによる偏光特性

4. 研究成果

波長 1064 nm のパルス Nd:YAG レーザ (出力 10 mJ, 繰り返し 2 Hz, パルス幅 10 ns)、ビーム成型用のコリメータからなる送信部、口径 75 mm の屈折型望遠鏡、偏光ビームスプリッタ、1064 nm 用バンドパスフィルタ、光検出器 (APD) からなる受信部、オシロスコープ、記録・制御用 PC からなるシングルショット偏光ライダーを製作した (図 2 参照)。パルス出力ごとにライダー信号は 1 つのファイルとして記録される。図 3 に観測されたライダー信号例を示す。縦軸は高度、横軸は距離 2 乗補正信号 (ライダー信号に距離の 2 乗を掛けたもの) を示す。ライダーの送信ビームは仰角 42° に傾けられているので、レーザービームを横切る降水粒子からのエコーはデルタ関数的に得ることができる。また、連続するショット間では同じ時間 (距離) に出現しない。一方、雲は厚みがある分、そのエコーは距離方向に幅があり、連続するショット間ではほぼ同じ場所に出現する。以上のことから降水粒子からのエコーは分離可能である。降水粒子と判別された信号については偏光解消度の値が 0.2 未満のとき降水粒子は「雨」と判別し、0.2 以上のとき降水粒子を「雪」と判別する。

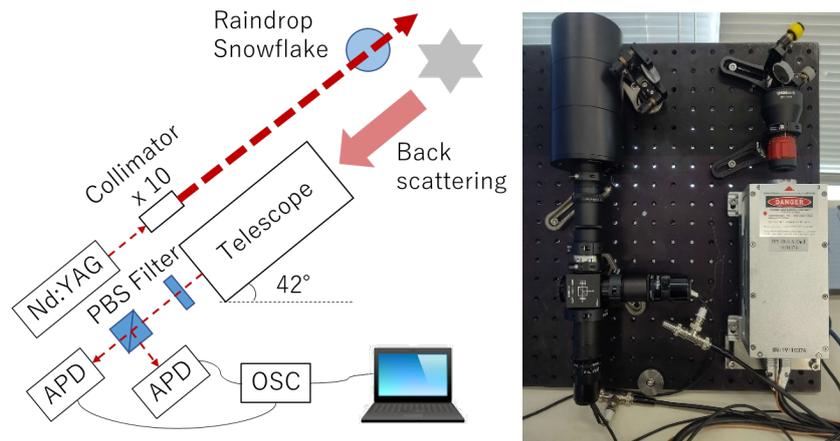


図 2 シングルショット偏光ライダーのブロック図と外観図

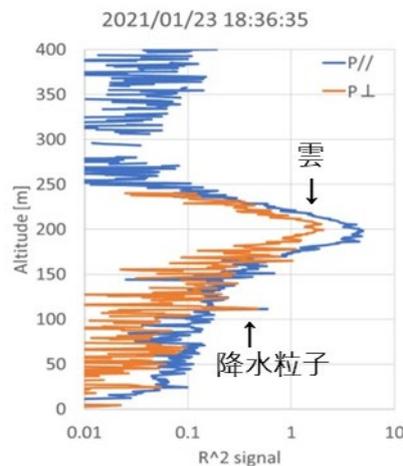


図 3 観測されたライダー信号例

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、シングルショット偏光ライダーを用いた雨粒子と雪粒子の鉛直分布観測を行った。図 4 に $P_{//}$ 成分から得た距離二乗補正信号、図 5 に降水粒子の雨・雪鉛直分布、図 6 に地上気温の経時変化をそれぞれ示す。距離二乗補正信号は雲の鉛直分布を示し、緑から暖色系は雲を示し、寒色系は散乱体が希薄である、つまり澄んだ空気であることを示している。地上では 18 時までは雨で時々雪が混じる程度だった。18 時 20 分ごろを境に雲が急激に下降し、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 時過ぎに気温が上昇に転じて雲が上昇し、降雪 (降水) が 22 時の段階で一度弱まり、その後降水に変わっている。これらのデータから、強い下降流によって降水粒子が蒸発し、その過程で周辺の空気が冷やされ降雪がもたらされたと推測される。

以上の成果から、シングルショットでリアルタイム信号処理する高速処理装置および雨雪判別アルゴリズムという、ライダー信号処理分野における新たな挑戦の有用性が実証された。将来

計画として、本研究で開発する降雪検知シングルショット・ライダーを他点配置し、立体的な降雪情報を取得することにより、大雪時の交通障害の回避や物流の確保、雪氷災害軽減の実現につなげる。さらに、上空の雨雪状況、特に2重偏波レーダーでは取得が難しい降水粒子種の組成率の取得を実現することで、気象学的、特に数値モデル分野へのインパクトが大きいと思われる。

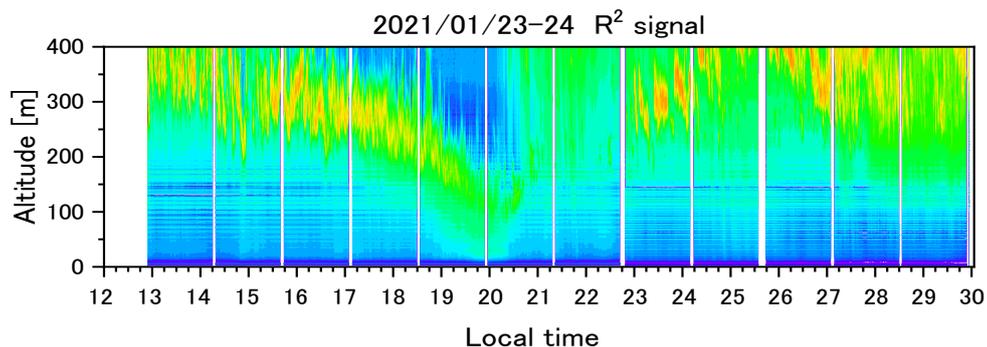


図4 水平成分の距離二乗補正信号（緑～黄～赤が雲）

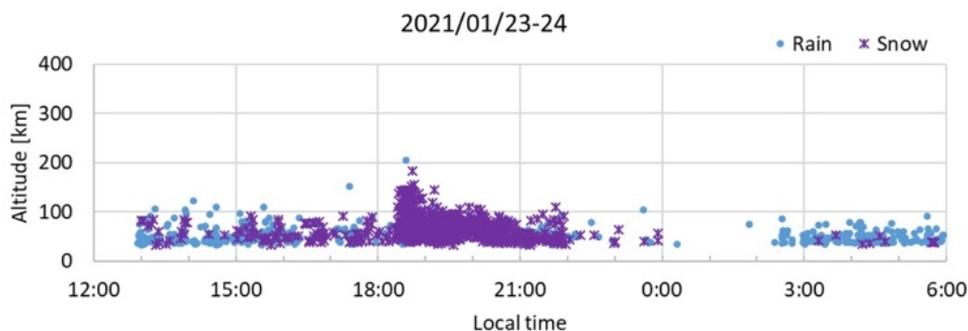


図5 降水粒子の雨・雪鉛直分布図



図6 八王子アメダスの気温（10分毎）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 柴田泰邦, 今村 啓
2. 発表標題 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
3. 学会等名 第37回レーザセンシングシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柴田泰邦
2. 発表標題 パーティクル偏光ライダーによって観測された雨粒子と雪粒子の鉛直分布とその経時変化
3. 学会等名 日本気象学会2021年度春季大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------