

レーザースキャナを用いた三次元空間に分布する降雪粒子の観測手法

Observation method for snow particles distributed in three-dimensional space with 3-D Laser scanner

北海道大学大学院工学研究院 ○正 員 岡地寛季 (Hiroki Okachi)
北海道大学大学院工学研究院 准教授 正員 山田朋人 (Tomohito Yamada)
株式会社 福田水文センター 正 員 橋場雅弘 (Masahiro Hashiba)
株式会社 福田水文センター 正 員 西山典志 (Noriyuki Nishiyama)

1. はじめに

電磁波を用いた観測はレーザ観測やレーザ観測と呼ばれ、その分類は電磁波の波長による違いである。電磁波の波長が異なることにより、物質の有する電磁波に対する特性は異なる。電磁波を照射された物質は、その物質が有する誘電率と透磁率に応じて反射特性が変化する。降雪粒子は気温と水蒸気飽和度に応じて大きく変化するという中谷ダイアグラム¹⁾に示されるように形状が様々であるため、電磁波の散乱特性に変化が生じる。

本研究では降雪時に地上設置型レーザースキャナーによる降雪状況を観測し、同時刻の地上のディストロメータの観測値の比較を行った結果を記す。レーザースキャナは土木構造物の観測の計測に広く利用されている。レーザースキャナの空間解像度が高いため、降雨や降雪粒子が捉えられる。構造物の測量においては、その観測値はノイズとして取り除かれる。本研究では、レーザースキャナによる観測で従来ノイズとして取り除かれる降雪粒子の観測結果を用いて物理特性を明らかにすることを目的とする。同観測手法により降雪粒子の観測が可能となれば、レーザースキャナによる観測に対する付加価値をもたらすものである。

2. 降雪粒子による電磁波の散乱原理

レーダやライダーは波長の異なる電磁波（光）を用いた観測対象粒子の散乱特性とその波長依存性を利用することで、観測対象の物理量を推定する。降雨観測を対象とした気象レーダ観測では、レイリー散乱理論より雨滴粒径の6乗の総和に比例するため、レーダ観測より得られた受信電力から定量的な降雨強度を推定する。この際のレイリー散乱理論は球形を仮定している。一方で、降雪粒子はその形状が非球形であるためその計算は煩雑な

ものになる。Mishchenko²⁾らはランダムに方位した粒径分布をもつ相似形の多数の軸対象粒子による散乱を推定するアルゴリズムを構築した。同アルゴリズムに粒子の扁平率を表す軸比、電磁波の波長、粒子の複素屈折率と粒径分布のパラメータを与えることで反射率 η を算出することができる。

$$\eta = \frac{\sum \sigma_b}{V} = \int_{D_{min}}^{D_{max}} \sigma_b(D)N(D)dD \tag{1}$$

ここで、 σ_b はある粒径 D をもつ粒子の後方散乱断面積、 $N(D)$ は粒径 D を持つ粒子の単位体積 V に含まれる個数を表す。レーダの場合は、レーリー散乱を仮定して計算したレーダ反射因子 $[mm^6m^{-3}]$ を観測するので波長と屈折率 K_w を用いることで

$$Z = \eta \frac{\lambda^4}{\pi |K_w|^2} \tag{2}$$

となり、レーダ観測に相当する値を推定することができる。

本観測で使用したレーザースキャナは波長が近赤外の波長である。一方、ディストロメータは可視光を利用している。そのため、降雪粒子の有する反射特性が異なるが、電磁波に対する散乱であるため、大元の原理は同一である。

3. 観測概要

野外観測は北海道石狩市の寒地土木研究所石狩試験場でレーザースキャナー（RIEGL VZ-1000）とディストロメータ（Parsivel）を用いて行った。レーザースキャナは従来構造物や地形を対象とした3次元測量に用いるが高次空間分解能を有することから降雪観測に利用した。レーザースキャナの波長は近赤外（800～2500 nm）、パルス繰り返しレートは70 kHz、300 kHzである。空間分

表-1 観測結果概要一覧

No.	計測実施時刻	解像度[°]	最長測定距離[m]	パルス繰り返しレート [kHz]	地上気温 (°C)
1	11:45	0.03, 450m, 300kHz	450	300	-0.9
1	11:54	0.04° , 450m, 300 kHz	450	300	-0.9
3	12:59	0.08° , 1400m, 70 kHz	1400	70	-0.5
4	13:04	0.04° , 1400m, 70 kHz	1400	70	-0.5
5	13:52	0.08° , 1400m, 70 kHz	1400	70	0.1
6	16:13	0.08° , 1400m, 70 kHz	1400	70	0.2
7	16:17	0.03° , 1400m, 70 kHz	1400	70	0.2

解能は鉛直方向に 0.03, 0.04, 0.08 度とした。地上からの反射を計測しないためにレーザースキャナの設置高さから 10 m 以上を観測対象とした。観測より得られるデータはレーザースキャナを原点とした 3 次元直交座標系における座標情報と振幅、反射率が得られる。

同試験場に設置したディストロメータは 650nm の可視光を使用している。計測は水平面 180 x 30 mm の範囲に照射されたシート状のレーザを通過した降雪粒子によるレーザ強度の減衰量と変化時間から降雪粒子の大きさ、個数、落下速度、レーザ反射強度が得られる。

観測は 2018 年 3 月 1 日 11 時 45 分から 16 時 17 分の間に実施した。ディストロメータは同期間中、10 秒毎の観測を行った。レーザスキャナによる観測は 7 回実施し、一度の観測で 10 秒間の観測結果が得られる。観測実施時刻、計測時のレーザスキャナの設定、同時刻における地上気温を表-1 に示す。

3. 降雪観測結果

図-1 にレーザスキャナによる観測結果の一例を示す。同図は 10 秒間に得られる全てのデータである。色は反射率を表し、濃い青ほど反射率が大きい。レーザスキャナによる観測では降雪粒子の三次元分布を観測可能である。一方で、ディストロメータの観測結果は小さな空間での観測であるが、粒子の個数と大きさを観測することが可能である。

図-2 にレーザースキャナによる反射率とディストロメータの反射強度の比較を示す。レーザスキャナは 10 秒間の時空間平均値と標準偏差の幅を示す。ディストロメータは同時刻の観測値を示す。反射強度が大きくなると標準偏差の幅が大きくなる傾向が見られた。

3. まとめ

本研究では、土木構造物の計測に広く利用されるレーザースキャナを用いて降雪粒子の観測を行った。従来、レーザースキャナは土木構造物の計測に広く用いられ、

降雪や降雨粒子はノイズとして取り除かれる。本研究では、電磁波の散乱原理に着目し、レーザースキャナによって得られる降雪粒子の電磁波の反射率の物理特性を明らかにすることを目的とする。同観測結果を降雨・降雪粒子の観測に用いられるディストロメータと比較した。10 秒間に空間に分布する降雪粒子の反射率とディストロメータより得られる反射強度の比較を行った。レーザースキャナは近赤外の波長を有し、ディストロメータは可視光の波長を有するため、反射特性が異なる。今後は量波長帯における反射特性を考慮して観測結果を比較することで、レーザースキャナの観測結果から降雪粒子の物理特性を明らかとする。

謝辞

本研究は ArcsII, 科研費基盤研究(B) 19H02241, 基盤研究 A(18H0379108), (19H00815)の支援を受けた。また観測は寒地土木研究所石狩試験場での観測実施を行った。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Nakaya, Ukichiro, Masando Hanajima, and Jiro Muguruma. "Physical investigations on the growth of snow crystals." 北海道大學理學部紀要 5.3 (1958): 87-118.
- 2) Mishchenko, M. I., L. D. Travis, and A. A. Lacis, 2002: Scattering, absorption, and emission of light by small particles. Cambridge University Press, Cambridge.

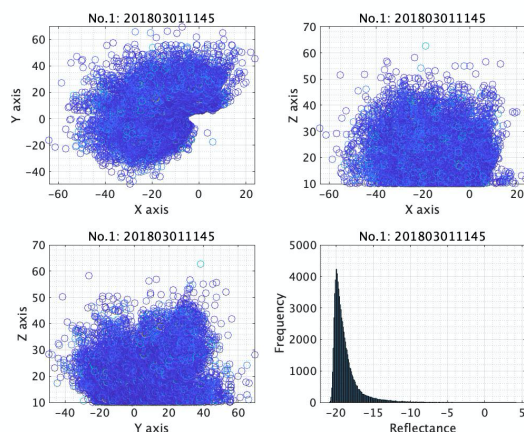


図-1 レーザースキャナによる観測結果。(a) x-y 平面, (b) x-z 平面, (c) y-z 平面, (d) 反射率の頻度分布を示す。(a)-(c)において色は反射率の大きさを示す。

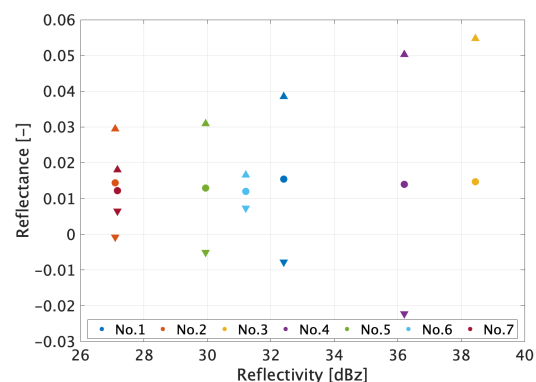


図-3 レーザスキャナの反射率とディストロメータの反射強度の比較。丸印は 10 秒間の観測による時空間平均を表し、上三角と下三角は標準偏差の幅を示す。