

光学式反射型固体降水種別判別・降水強度計を用いた種別判別と 降水量推定の短時間間隔測定法の改良

長岡技術科学大学 大学院工学研究科 環境社会基盤工学専攻 非会員 ○小柳颯輝, 瓜生大地
長岡技術科学大学 環境社会基盤工学専攻 正会員 熊倉俊郎
防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター 非会員 中井専人, 安達聖, 鈴木紘一
工房雪測 非会員 山崎正喜
スノーテック新潟 非会員 齋藤隆幸, 山倉祐也

1. 背景

我が国では、冬季間に国土の広い範囲で降雪が起
こり、降雪に関する様々な研究が行われている。ま
た、気象予報や防災のために、降雪の降水量や降雪
粒子の観測が行われている。現在、主流となってい
る降雪観測機器は高価であるため、多観測地点を
実現することは難しい現状にある。そこで、多観測
地点を実現するための降水種別・降水量観測機器と
して、熊倉ら（2018）が光学式反射型固体降水種別
判別・降水強度計（PDS）を提案した¹⁾。本研究では、
この PDS を用いた種別判別と降水量推定の短時間
間隔測定法の改良を試みる。

2. 観測機器と室内実験

2.1 PDS¹⁾

PDS（**図-1**）は水平に並ん
だ近赤外線発行素子と受光
素子を備えており、照射領域
を通過する降水粒子の反射
光強度を 5 kHz でサンプリ
ングし、そこから、降水粒子
の反射強度継続時間と、近赤
外線照射域における最大電



図-1 PDS

圧を求める。この観測値と、常に保持している平均
値との差を変化率として、平均値を修正し、降水粒
子の実際の直径、落下速度と比例すると考えられる
疑似直径 \hat{D} [A.U.] や疑似落下速度 \hat{W} [A.U.]、任
意の時間内に観測される粒子の個数 \hat{N} が推定され
る。ここで、終端速度を層流と仮定した場合の降水
量 \hat{P}_r [mm/min] は、式 (1) のように推定される¹⁾。

$$\hat{P}_r = K_{pr} \hat{N} \hat{D} \hat{W} \quad (1)$$

ここで、 K_{pr} は経験的に求める適当な定数である。

2.2 LPM

本研究では、光学レーザー方式によって個々の降
水粒子の粒径 D や落下速度 W を連続測定できる
Laser Precipitation Monitor (LPM) を併用し、LPM で
得られた D [mm] と W [m/sec] から石坂ら（2013）が提
案した CMF^2 [5min] を求めて PDS と比較した。CMF
は大きさと落下速度の平均を質量フラックスで重
み付けしたものであり、力学における重心と同じよ
うに求められる。

2.3 室内実験

前述した PDS と LPM に加えて、0.1g 単位まで計
測が可能な電子天秤を人工降雪実験装置下部に設
置し、一般的な降雪に近いような結晶型（降雪 A）
とあられに近い雪片（降雪 B）の 2 種類のパターンの
降雪を降らせ、観測実験を行った。この実験のデ
ータをもとに、PDS から推定される \hat{D} 、 \hat{W} 、 \hat{N} 、 \hat{P}_r
が LPM と電子天秤の観測値に対してどのような挙
動をするのかについて解析を行った。

3. 結果と考察

降雪 A・B における \hat{D} 、 D 、 \hat{W} 、 W の推移をそれぞ
れ **図-3** と **図-4** に示した。また、 \hat{D} - D と \hat{W} - W の散布
図を **図-5** に示した。**図-3** から、降雪 A の \hat{D} と \hat{W} は、
 D と W と同じような挙動で推移していることがわか
る。また、**図-4** から、降雪 B における \hat{D} と D は降雪
A と同様に同じような挙動で推移していることがわか
る。しかしながら、 \hat{W} については、13 時付近の \hat{W}
の上昇など、 W の波形との乖離が見られる。**図-5** の
 \hat{D} - D 関係からは、降雪 A と B の回帰直線の傾きはお
およそ一致しており、 \hat{D} と D は降雪 A、B の違いによ
らず同じような挙動をしていることがわかる。 \hat{W} - W

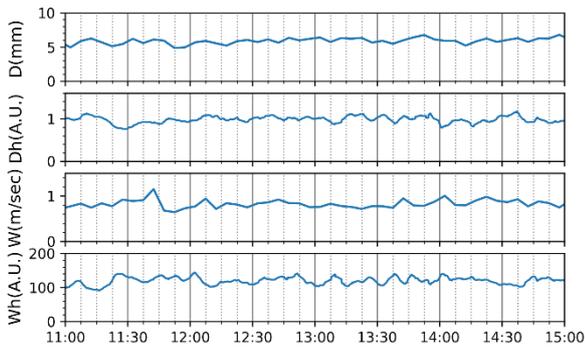


図-3 上から降雪 A における D , \widehat{D} , W , \widehat{W} の推移

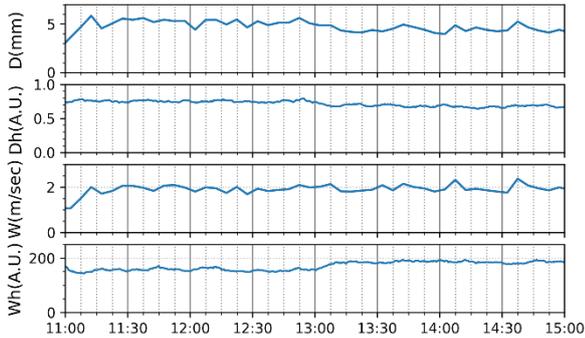


図-4 上から降雪 B における D , \widehat{D} , W , \widehat{W} の推移

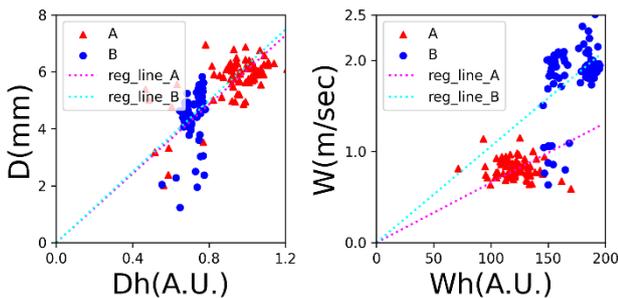


図-5 降雪 A、B における $\widehat{D} - D$, $\widehat{W} - W$ 関係

関係では、降雪 A と B の回帰直線の傾きは一致しなかった。傾きが一致しなかった要因として、前述した降雪 B における \widehat{W} の波形の乖離が見られたことから、降雪 B の \widehat{W} に問題があったと考えられる。その結果、 \widehat{W} と W が同じ挙動を示さなかったと考えられる。

降雪 A・B における粒子の個数 \widehat{N} [per/min] と N [per/min] については、時系列図の波形はほぼ一致し、 $\widehat{N}-N$ 関係の回帰直線の傾きも 0.98 をとった。よって、 \widehat{N} は N を十分に再現できていると考えられる。

降雪 A と降雪 B における、降水量 \widehat{P}_r [mm/min] と、電子天秤から推定される降水量 P_r [mm/min] の時系列図をそれぞれ図-6 と図-7 に示した。図-6 から、降雪 A において、 \widehat{P}_r と P_r の波形は一致しており、 \widehat{P}_r-P_r 関係の回帰直線の傾きにおいても 1.05 を示したため、降雪 A における \widehat{P}_r は 5% ほど P_r を過大評価した

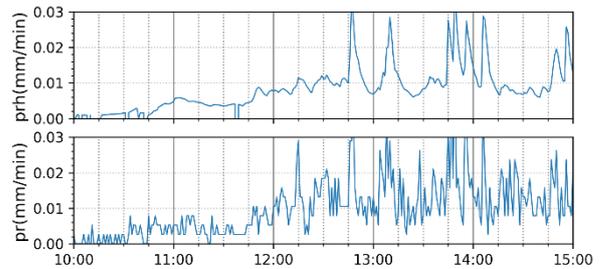


図-6 降雪 A における \widehat{P}_r と P_r の推移

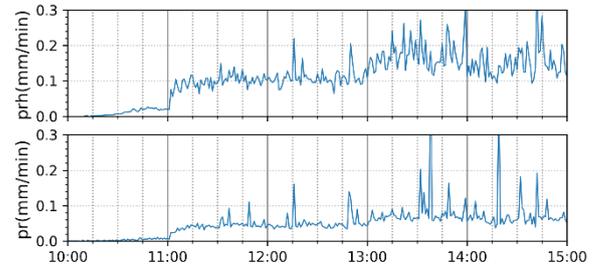


図-7 降雪 B における \widehat{P}_r と P_r の推移

ものの、 P_r はほぼ同じ挙動をしたと考えられる。

図-7 からは、 \widehat{P}_r と P_r の波形は似ているが、全体的に降水量を過大評価していることを確認できる。降雪 B の \widehat{P}_r-P_r 関係における回帰直線の傾きは 0.48 となり、降雪 B では P_r のおよそ 2 倍の \widehat{P}_r が推定されている。式 (1) によると、 \widehat{P}_r は、 $K_{pr} \widehat{N} \widehat{D} \widehat{W}$ によって決定される¹⁾。 \widehat{N} と \widehat{D} については挙動が似ていることが確認できているため、 \widehat{P}_r を過大評価してしまった要因はとして \widehat{W} の過大評価や、あられに近い降雪 B においては K_{pr} が適当でなかった可能性が考えられる。

4. 今後の展望

\widehat{W} の過大評価については、生データを確認して検討を行いたいと考えている。また、あられに近い降雪 B において K_{pr} が適当でなかった可能性については、 $\widehat{D}-\widehat{W}$ 関係から降雪 A と B を判別することで、降雪パターンに対して適当な K_{pr} を与え、どの程度 \widehat{P}_r が改善されるか検証を行いたいと考えている。

参考文献

- 1) 熊倉, 他: 光学反射を利用した個体降水測定機器の開発と出力の物理量化について, 雪氷研究大会, 2018
- 2) Ishizaka et al: A New Method for Identifying the Main Type of Solid Hydrometeors Contributing to Snowfall from Measured Size - Fall Speed Relationship, JMSJ, vol. 91, pp. 747-762, 2013