

光学式反射型観測器を用いた降水量推定手法の改良に関する研究

水文気象研究室 佐々木 魁

1. 背景

降水量観測は日々行われており、気象予測や気象記録に活用されている。日本のアメダス観測地点などで多く使われている雨量計は転倒ます型雨量計であるが雪などの固体降水の観測には不向きである。融雪機構を持った温水式転倒ます型雨量計は大雪時に埋もれてしまう。固体降水に適しているディストロメーターであるLPMや2DVDは高価なものが多く、多地点配置に不向きである。現状、大雪時の固体降水の観測は、多地点において、ある程度の精度で観測を行うことが困難である。

2. 研究目的

固体降水の観測が可能であり、安価で多地点配置に適した雨量計の開発が必要となる。そこで、本研究室が開発した、固体降水の観測を目的とし、比較的安価で多地点配置に適した光学式反射型観測器を利用する。以降、光学式反射型観測器をPDSと呼ぶ。

PDSは安価である分、観測の精度が低くなることも考えられる。しかし、ある程度の精度を確保することができれば、多地点配置による観測を行うことで、精度を補うことができると考えられる。転倒ます型雨量計程度の精度を目標とし、固体降水の観測ができる降水量観測アルゴリズムを開発することが求められる。

上林(2018)の研究¹⁾ではPDSの最大電圧、観測領域を通過する時間から単純な計算のアルゴリズムで粒径、落下速度に相当する値を算出して降水量推定を行っている。本研究では、熊倉ら(2024)²⁾が示したより複雑な計算式で粒径、落下速度を算



図-1 PDS

出する。降水量推定は概ね同じ手法を用い、降水量推定の精度の向上を目的としている。

3. PDSの概要

PDSは水平に4つ並んだ発光部があり、発光部から近赤外線を照射する。照射した近赤外線が照射領域内を通過する降水粒子に反射し、その反射光を発光素子の下に取り付けた受光部で検知する。PDSの出力信号はアナログ信号なので、12ビットでAD変換する。信号は5kHzでサンプリングされる。PDSで得られるのは光の強さと時系列のみなので、各物理量は最大電圧 V_{max} と通過時間 t_d から推定する。また、粒子の大小の違いや粒子と機器の距離は観測できない。

4. 実験概要

(1) 実験場所・実験期間

山形県新庄市にある新庄雪氷環境実験所で実験を行ったデータを使用する。新庄雪氷環境実験所では人工降雪装置を使用して、人工降雪を降らせることができる。降雪装置は実験室内上部に取り付けられている。ベルトに霜を付着させ、ベルトを回転させながら霜をそぎ落とすことで降雪を発生させる。降雪強度を1~5で変化させることができ、降水量で0.1~1mm/h程度となる。

実験期間は2025/8/4~2025/8/7で、今回使用したデータは夜間(17:00~5:00)に無風状態で記録したものである。あらかじめ指定した時刻に降雪強度を変更して、実験を行った。

(2) 使用機器

光学式反射型観測器(PDS)、電子天秤、降雪装置を用いて実験を行った。

5. 解析手法

(1) PDSデータの解析・基礎的な物理量

PDSで観測したアナログ信号をAD変換する。最大電圧 V_{max} を求めることができるので、熊倉ら(2024)²⁾が示した式を使用して粒径 r_i 、落下速度 w_i を求める。

$$\bar{r} = 0.035\sqrt{V_{max}}$$

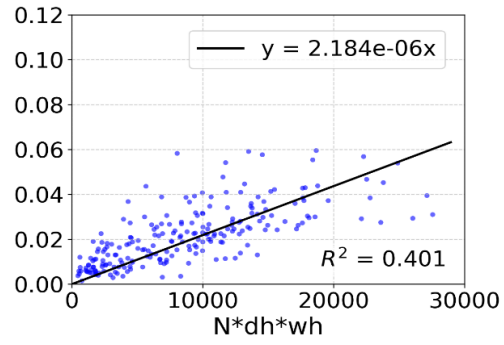
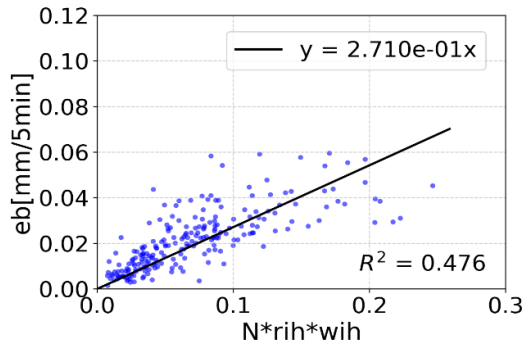


図-2 データ削除後の $eb - N \cdot r_{ih} \cdot w_{ih}$, $N \cdot d_h \cdot w_h$ の回帰分析結果

$$r_i = 8.27 \times 10^{-3} (\bar{r} \cdot V_{max})^{0.5}$$

$$w_i = (2r_i + 0.123 \cdot r_i^{0.75} \cdot \bar{r}^{-0.5}) \cdot t_d^{-1}$$

ここで求められた粒径 r_i [m], 落下速度 w_i [m/s]は粒子一つ一つの情報である。しかし、観測領域のどこに粒子が落ちてきたのかを特定することはできず、粒径が同じでも降水粒子と観測器の距離によって出力信号の大きさが変化するという課題があるため個々の粒子について表現することができない。そこで、前1分間の粒径の代表値を r_{ih} , 前1分間の落下速度の代表値を w_{ih} とし、解析に使用する。従来の手法では粒径に相当する値を d_h , 落下速度に相当する値を w_h としている。

(2) 降水量推定

降水量推定では降水量の変化を明確なものとするため、5分間の積算値の降水量として推定を行う。電子天秤データは1分ごとの降水量が記録されているため、5分間の積算値とした。PDSデータでは、1分間の降水量を推定し、5分間の積算値とする。

r_{ih} , w_{ih} を使用し、レイノルズ数 Re を算出する。 Re から決定される抵抗係数 C_D で層流域、中間域、乱流域に分けて定義され降水量推定式が求められる。本研究では r_{ih} , w_{ih} から降雪の密度を示す式を用い、降水量とした。電子天秤が真値であるとして、これらの値と電子天秤の重量から算出される5分間の降水量との回帰分析を行い、回帰係数を算出する。決定係数 R^2 を算出し、従来の手法と新たな手法の精度を比較する。

6. 結果と考察

(1) PDS データの解析

(a) 粒径-落下速度

PDSで観測したデータから算出した r_i に対しての w_i についての粒径分布を作成した。等値線を引き、粒子の密集度合いを表現した。

(b) 前1分間の粒径, 落下速度の代表値

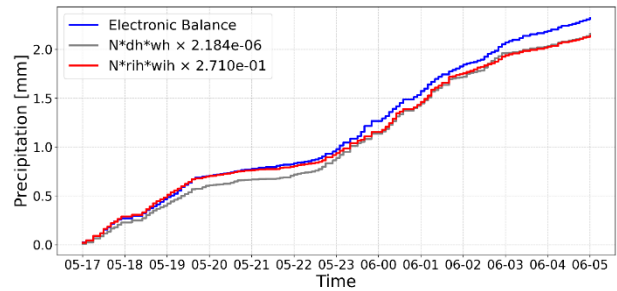


図-3 (a) データ削除後の eb , $kN \cdot r_{ih} \cdot w_{ih}$, $kN \cdot d_h \cdot w_h$ の積算降水量の比較 (8/5~8/6)

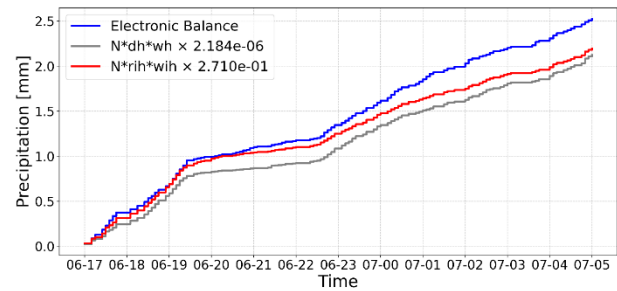


図-3 (b) データ削除後の eb , $kN \cdot r_{ih} \cdot w_{ih}$, $kN \cdot d_h \cdot w_h$ の積算降水量の比較 (8/5~8/6)

r_{ih} に対する w_{ih} の粒径分布を作成した。粒子の分布から、降水種別がrimed aggregates (雲粒付雪片) であると考えられる。

(2) 降水量推定

レイノルズ数の算出から、中間域に属すると考えられたが、層流域と仮定して降水量推定を行った方が精度が高くなることが分かった。そこで、 k を比例係数、 N を5分間の粒子数として、降水量推定式は次式とする。

$$P' = kN \cdot r_{ih} \cdot w_{ih}$$

降水量推定を行った結果、初日の8/4-8/5では降水量の増加挙動が電子天秤とPDSで同様とは言えなかった。より正確な検証を行うため、解析範囲を初日を除いた8/5-8/7とするべきだと考える。

解析範囲を初日を除いた8/5-8/7とした結果、 r_{ih} ,

w_{ih} を用いた新たな手法の方が d_h , w_h を用いた従来の手法より精度が高くなった。積算降水量を作成したところ、データとしては相応しくない急激に降水量が増加している部分が確認された。この原因は降雪装置の構造上、突発的な落雪が発生してしまうことによるものだと確認されている。そのため、突発的な落雪と考えられるデータを削除する。

図-2 に突発的な落雪と考えられるデータを削除し、解析範囲を初日を除いた 8/5~8/7 として回帰分析を行った結果を示す。 r_{ih} , w_{ih} を用いた場合に R^2 値で 0.476, d_h , w_h を用いた場合に R^2 値で 0.401 となった。図-3 に積算降水量の比較を示す。 r_{ih} , w_{ih} を用いた新たな手法の方が d_h , w_h を用いた従来の手法より降水量の増加挙動が電子天秤に近づいたことが分かる。

7. まとめ

r_{ih} , w_{ih} を用いることで降雪装置で想定する粒径, 落下速度に準ずる値を算出できることが分かった。また、突発的な落雪を削除し、解析範囲を初日を除いた 8/5~8/7 として回帰分析を行った結果、新たな手法の方が従来の手法よりも精度が高くなり、降水量増加挙動もより電子天秤に近づいた。これらのことから、降水量を推定する際には、熊倉らが示した新たな粒径, 落下速度の算出式を用いるべきだと考えられる。

8. 参考文献の引用とリスト

- 1) 上林颯, 光学式反射型観測器による降水種別判別及び降水量推定手法の検証, 大学院修士論文, 2018
- 2) 熊倉俊郎, 光学反射を利用した固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