

# 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

地球環境工学研究室 上林颯

指導教員 熊倉俊郎

## 1. はじめに

大雪時には、車両の立ち往生や公共交通機関の遅延・運休、道路の通行止めなどの交通障害をはじめ様々な被害が生じることで社会生活に大きな影響を及ぼす。これらの被害を軽減もしくは防止するためには狭い間隔で降水種別や降水量を高密度で観測しなければならない。そこで求められるのが安価かつ頻繁なメンテナンスがいらぬ観測器である。そこで、本研究室では近赤外線を用いた光学式観測器（光学式反射型観測器）を開発し、研究を進めてきた。この観測器単独で降水種別判別及び降水量推定を実現させることが目標であるが、降水種別判別及び降水量推定手法が確立されていないため既存の観測器のデータを参照して降水種別及び降水量推定手法を検討、検証した。

## 2. 光学式反射型観測器について

図 1 に示す光学式反射型観測器（以下、反射型観測器）は水平方向に近赤外線を照射し、その照射領域（観測領域）を通過する降水粒子による反射光を検知して反射光の強さに比例する電圧のアナログ信号を AD 変換して 0.2 ms 間隔で出力する仕様となっている。反射型観測器には降水粒子が観測領域のどこに落ちてきたのか特定できず、降水粒子と観測器との距離によって出力信号の大小が変化するという問題点があるため個々の粒子の特性を表現できない。したがって一定時間あたりの統計値を算出して降水粒子の特性を表現するデータとして用いた。



図 1 光学式反射型観測器

## 3. 使用データについて

解析に用いたデータは防災科学技術研究所雪氷防災研究センター敷地内にある降雪粒子観測施設（図 2 参照）で 2017/1/22～2017/2/24 に観測したデータである。この観測場所には重量式雨量計である Geonor 降水量計（図 2 赤丸）、光学式ディストロメーター PARSIVEL（図 2 黒丸）、反射型観測器（図 2 紫丸）が設置されている。なお、石坂ら（2013）が提案する CMF（Center of Mass Flux）による降水種別データも使用するためこの観測場所の近くに設置されている降雪粒子をビデオ撮影する装置のデータも用いた。



図 2 降雪粒子観測施設の様子

#### 4. 方法

##### ◆粒径に相当する値・落下速度に相当する値

反射型観測器には前述した問題があり個々の降水粒子の特性を表現できない。そこで、多数の降水粒子がランダムに落下してくると仮定して一定時間あたりの統計値を算出し、その統計値を粒径に相当する値 $D'$ 、落下速度に相当する値 $w'$ として解析を行った。粒径に相当する値 $D'$ は図3に示すように観測器と降水粒子の距離 $L$ を一定、降水粒子が直径 $D$ の球と仮定して最大電圧 $V_{max}$ に比例する反射強度 $I'$ が断面積に比例するという関係から $\sqrt{V_{max}}$ の一定時間あたりの平均値を用いた。また、落下速度に相当する値 $w'$ は図2に示すように観測領域の厚さ $d$ に比べ粒径が小さい降水粒子が通過すると考え、厚さ $d$ を一定と仮定して反射強度継続時間 $t_d$ の逆数の一定時間あたりの平均値を用いた。ここで、一定時間は5分とした。

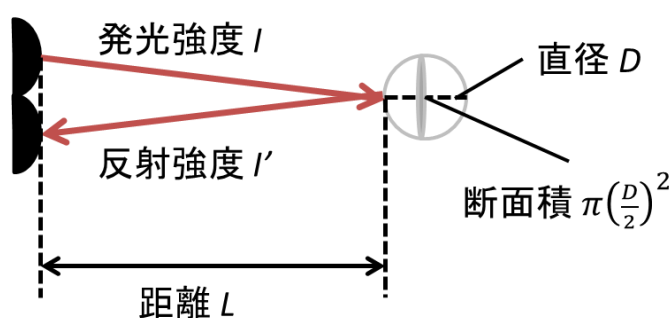


図3 粒径に相当する値の概念図

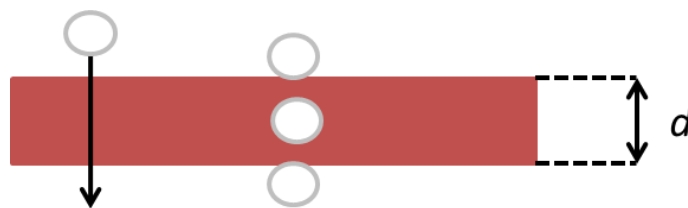


図4 落下速度に相当する値の概念図

##### ◆降水種別判別

一定時間（5分間）あたりに多数の降水粒子が観測されている（観測粒子数50個/5min以上）、みぞれを除外するために気温 $0^{\circ}\text{C}$ 以下、PARSIVELの降水種別5つ（1分計測 $\times$ 5）がすべて同じ種別だったデータを抽出して解析データとした。降水種別判別はPARSIVELによる降水種別とCMFによる降水種別を参照して同時刻に観測された反射型観測器のデータの降水種別を決めたデータセットを作成した。降水種別判別手法を検討するにあたり作成したデータセットを学習データと検証データに分割して学習データを用いてマハラノビス距離による判別分析によって $D'$ と $w'$ を説明変数とした判別関数を導出し、検証データに適用して検証も行い、1冬季分のデータを用いて判別関数を導出した。

##### ◆降水量推定

Geonor 降水量計は不凍液が入ったバケツの重量を3つの張力センサーで計測し、その測定値の平均値を降水量とした。降水量推定は解析に用いたデータから算出されるレイノルズ数に従うと遷移状態に属していることが明らかになったため降水粒子を球形と仮定して遷移状態の場合の終端速度の式から降水量推定式を導出し、Geonor 降水量計による降水量と回帰をして推定式の係数を決定した。

### 3. 結果・考察

#### ◆降水種別判別

CMFによる降水種別と PARSIVELによる降水種別を比較すると CMF で「aggregate」と分類され、PARSIVEL で「Freezing rain」と分類されているように両者の降水種別が異なる事例がみられたため両者の降水種別から合議的に降水種別を決めて判別分析を行った結果を示す。合議的に決めた降水種別は「Snow flake」(CMF で「aggregate」かつ PARSIVEL で「Snow」), 「Graupel」(CMF で「graupel」かつ PARSIVEL で「Freezing rain」)である。図 5 は 2017 年 1, 2 月 (2017/1/22~2017/2/24) のデータを用いて判別分析を行った結果である。なお、図中の曲線はマハラノビス距離による判別分析によって導出した判別関数である。この判別関数を適用した場合の判別結果を表 1 に示す。Snow 事例 (314 事例) のうち 296 事例が雪と判別され、Graupel 事例 (21 事例) のうち 19 事例があられと判別された。適中率は 9 割で Snow (雪) 事例に比べ Graupel (あられ) 事例が少なく、あられの適中率は 5 割となっているが、降水種別判別手法として適用できるのではないかと考えられる。

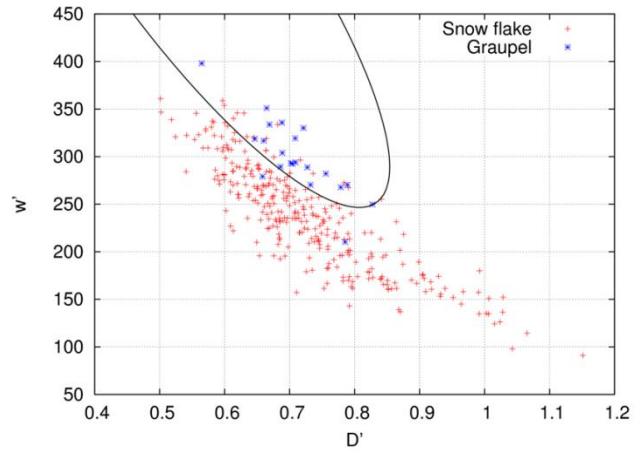


図 5 判別結果

表 1 混合行列

	判別結果		
	雪	あられ	
snow flake	296	18	94.3%
Graupel	2	19	90.5%
	99.3%	51.4%	94.0%

#### ◆降水量推定

遷移状態の場合の終端速度の式は

$$mg = \frac{1}{2} \frac{10}{\sqrt{Re}} \rho V^2 \frac{\pi}{4} D^2$$

で表される。mは降水粒子の質量、gは重力加速度、Reはレイノルズ数、ρは空気の密度、Vは落下速度、Dは降水粒子の粒径である。この式を変形すると

$$m \propto D^{\frac{3}{2}} V^{\frac{3}{2}} \propto D'^{\frac{3}{2}} w'^{\frac{3}{2}}$$

となる。この関係から次のような降水量推定式を導出した。

$$P' = kNm = kND'^{\frac{3}{2}} w'^{\frac{3}{2}}$$

Nは一定時間あたりに観測された粒子数である。

2017年1, 2月(2017/1/22~2017/2/24)のデータを用いて Geonor 降水量計の降水量と回帰をすると係数kは  $2.33 \times 10^{-7}$  となった. この推定式を用いて算出した推定降水量と実測降水量の結果を図6に示す.

導出した推定降水量と Geonor 降水量計による実測降水量との相関係数は 0.884 と適合性が高いことが分かった. 降水量推定手法としてこの推定式が適用できるのではないかと考えられる.

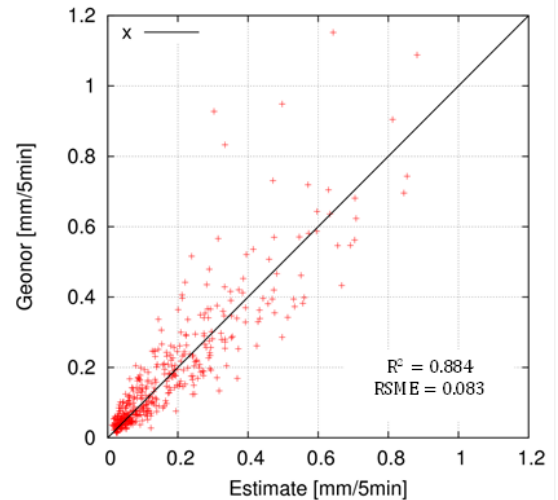


図6 推定降水量と実測降水量の関係

#### 4. まとめ

反射型観測器単独で降水種別判別と降水量推定を実現させるために既存の観測器のデータを参照して反射型観測器のデータを解析することで降水種別判別及び降水量推定手法の検討を行った. 限定的なデータを用いた解析結果であるが, 降水種別判別については適中率は9割程度で雪事例に比べられ事例が少なくあられの適中率が5割程度となっているが降水種別判別に適用できるのではないかと考えられる判別関数を導出できた. 降水量推定については, 終端速度の式から降水量推定式を導出し, その推定式を用いて算出した推定降水量と実測降水量の適合性が高いことが分かった.