

小型マイクロ波ドップラー装置を用いた降水種別判別と降水量の推定

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 2年 瓜生大地

1. はじめに

日本では、北海道から山陰地方にかけて、日本海側の地域では毎年多くの降雪がみられ、実際に、国土面積の 50.8%が豪雪地帯に指定されており、人口比で 14.5%の人々が生活しているため、降雪が人々の生活に与える影響は大きい。この影響を左右するのは、固体降水量や固体降水種別であることから、これらの観測は重要である。

本研究では、簡易的で省スペースな小型マイクロ波ドップラー装置を作製した。装置内のドップラーセンサでは、対象物を見かけの断面積を捉えている点に着目し、降雪粒子の断面積と体積の関係から降水量の推定を行い、その結果から粒子判別の可能性を検討することを目的とした。

2. 観測機器・実験について

2. 1. 小型マイクロ波ドップラー装置

24 GHz 帯の K バンドマイクロ波を用いたドップラーセンサで、出力中間周波数範囲の 1 Hz–1 MHz に対応して、同位直交出力の位相の変化を検知することで 6.2 mm/s–6.2 km/s のセンサ向き速度を計測可能である。対象物の速度は出力中間周波数で出力され、反射強度信号の振幅は見かけの立体角に比例している。45 度×35 度の楕円形の指向性を持ち、この内部角内ではほぼ同じ大きさの信号を放射している。この装置より出力される IF 信号を 5 kHz で A/D 変換し、デジタルデータとして保存した。5 kHz でサンプリングした場合には 30 m/s 程度の速度まで計測が可能である。

2. 2. 人工降雪実験における観測

防災科学技術研究所 新庄雪氷環境実験所の雪氷防災実験棟にドップラー装置を設置し、人工降雪実験を行った。設置概略図を図 1 に示す。実験での降雪は、樹枝状結晶（降雪 A）と球状の氷球（降雪 B）の 2 種類で、降雪強度はそれぞれ 5 段階あるうちの 1（最も弱い）、3（中程度）、5（最も強い）の 3 段階、計 6 パターンを用いた。また、後述する真の降水量

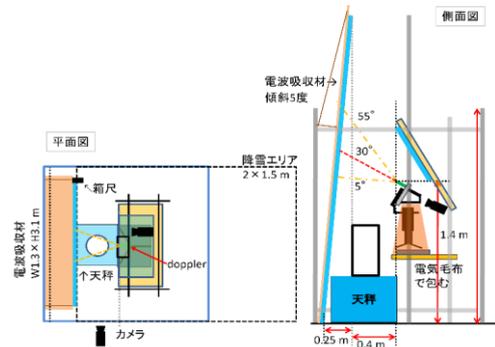


図 1. ドップラー装置の設置概略図

算出のための電子天秤はドップラー装置による観測範囲の直下に設置した。

2. 3. 実際の降水量の計算

ドップラー装置の観測結果から降水量を推定するにあたり、比較として真の降水量を求める必要がある。本研究では真の値として電子天秤の計測値を換算したものを利用する。今回使用した電子天秤は 0.1g 単位で、断面積 $121\pi \text{ cm}^2$ の筒を通過した粒子を、1 分毎に記録する。これを換算し 1 分あたりの降水量 $Pr_{min} \text{ mm/min}$ として使用する。

2. 4. 観測データの処理

観測された電波強度はセンサからの見かけの断面積に比例している。また、ドップラー速度は波の周波数で表されるためその波の包絡線が実際の振幅となる。そこで、ヒルベルト変換により包絡線処理を行い、得た振幅の絶対値を積分することにより見かけ上の断面積の平均値を求める。ここでは、AD 変換した観測値に対し処理を行い、カウントごとの包絡線の数値 E を 1 分間足し合わせ、これを 1 分間あたりのカウント数 ($5\text{kHz} \times 60\text{sec}$) で除したものを 1 分間における数値 E の平均値 \bar{E} とした。これは粒子の大きさの 2 乗に比例する量を考えられる。また、 \bar{E} はノイズを含まない \bar{E}_T と観測場におけるノイズ \bar{E}_{noise} が合わさっているものと考えられる。

3. 結果と考察

3. 1. 降水量と観測結果

降雪 A・B について、電子天秤の計測結果より得られた降水量 Pr_{min} をそれぞれ図 2 と図 4 に、観測結果を 2.4 の手法で処理した平均値 \bar{E} をそれぞれ図 3 と図 5 に示す。赤線は降雪強度を切り替えたタイミングを表す。(A は 3→5→1→5, B は 1→3→5)

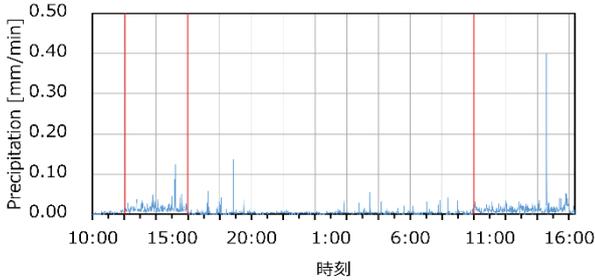


図 2 降雪 A の降水量

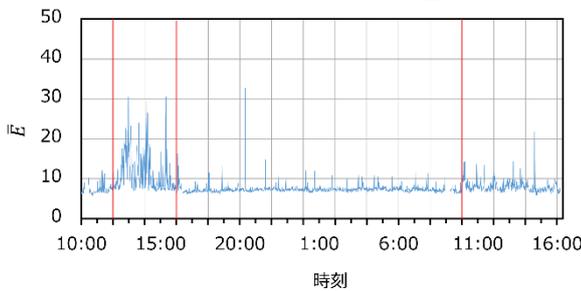


図 3 降雪 A の平均値 \bar{E} の推移

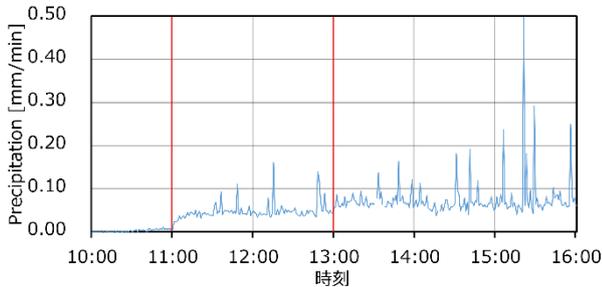


図 4 降雪 B の降水量

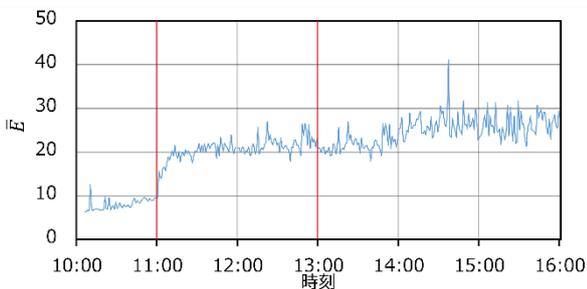


図 5 降雪 B の平均値 \bar{E} の推移

3. 2. 降水量—平均値 \bar{E} の関係

降水量 Pr_{min} と平均値 \bar{E} を 1 分間ごとにプロットしたものを図 6 に示す。観測している粒子を密度一定の完全な球形であるとみなすと、観測値は粒子を断

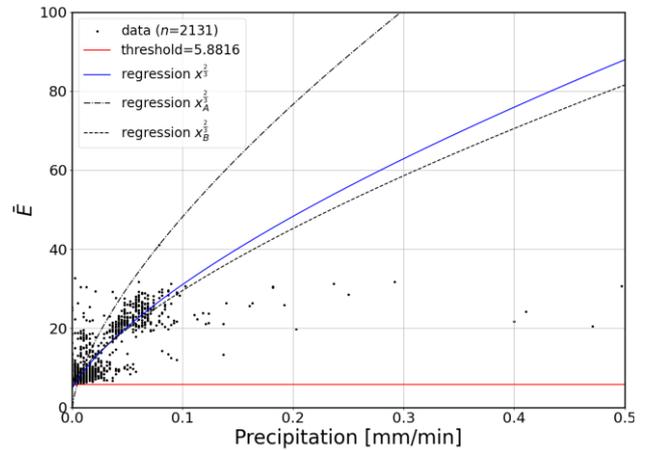


図 6 降水 A・B における降水量と平均値 \bar{E} の関係

面積で捉えていることから、平均値 \bar{E} は粒子の大きさの 2 乗に比例する量であり、粒子の体積は平均値 \bar{E} の 3/2 乗に比例すると考えられ、体積と降水量が比例することから、平均値 \bar{E} は降水量とも比例関係にあるといえる。よって図中には、描画したデータに対し平均値 \bar{E} の 3/2 乗で回帰した曲線を降雪 A・B およびデータ全体について描いた。この結果、回帰曲線の式は降雪 A では $Pr_{min} = 0.00058 + 0.00030\bar{E}_A^{3/2}$ 、降雪 B では $Pr_{min} = -0.01159 + 0.00070\bar{E}_B^{3/2}$ 、降雪 A・B をあわせた全体では $Pr_{min} = -0.0639 + 0.00061\bar{E}^{3/2}$ が得られた。降水種別が既知である場合、降雪 A に近い樹状結晶であるときには降雪 A の式を、球状モデルに近いときには降雪 B の式を適用することで降水量の推定ができる。降水種別が未知であるときには、代表値として降雪 A・B をあわせた全体の式を与える、もしくは降雪 A と降雪 B の式に平均値 \bar{E} をあてはめることで降水量の範囲が推定できる。なお、回帰曲線から外れている点は、まとめて雪が落ちてきたためにドップラー装置で観測できた値が減少したために降水量が過小評価され、粒子同士が結合して降雪粒子が球状よりも水平方向に大きくなり断面積が増えたために過大評価した可能性が考えられる。降水量の推定において、降雪 A・B において回帰曲線の式が異なっていることから、降雪粒子の判別ができる可能性が示唆された。

参考文献

熊倉俊郎, 山崎正喜, 本吉弘岐, 中井専入, 齋藤隆幸: マイクロ波ドップラー装置を用いた降水観測, 雪氷北信越 41 号, p. 51, 2021.