

小型マイクロ波ドップラー装置を用いた人工降雪実験の施行

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 ○瓜生大地
長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻 熊倉俊郎
防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター 大川元造
防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター 安達 聖
山崎正喜
株式会社 スノーテック新潟 山倉祐也
株式会社 スノーテック新潟 齋藤隆幸
防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター 中井専人

1. はじめに

北陸・東北・北海道など日本海側の地域では、毎年多くの降雪がみられ、この降雪によって人間の活動はさまざまな影響を受ける。影響と一言にいえども、生活や産業面での利用ができる利雪という側面もあれば、積雪や吹雪、着雪などに起因する災害、すなわち雪害を引き起こすという側面もある。このような雪によるメリットを引き出し、デメリットを抑えるためには、降水量はもちろんのこと、降水種別の把握が不可欠である。降水種別は目視による確認のほか、対象となる雪片の粒径やその落下速度を計測することでも推測することが可能である。これを観測する機器の一つにドップラーセンサーを利用したものが存在するが、これらの観測結果では、各個の粒子を分離して観測できているわけではない。

本研究は、人工降雪装置を利用し、その粒子を小型マイクロ波ドップラー装置で観測し、観測結果から降水種別を判別できるかを調べるとともに、観測結果の時間幅を変えて解析を行った場合に、大小の粒子が混合したような複数粒子をより細かく捉えることができるかどうか検証することを目的とする。

2. 実験方法

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

ーセンサーで、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 から 6.2 km/s までのセンサー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。また、先行研究より 10 cm×10 cm の四角板が直交状態で 50 m 程度まで検知されることがわかっている。この装置より出力された信号を 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 10 m/s 程度の速度まで計測が可能である。

2-2. 観測装置の設置方法の検討（実験 1）

2-1 で示した小型マイクロ波ドップラー装置の設置方法を検討するために、2021 年 7 月 1・2 日に防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター（長岡市）の低温室にて、装置一式の組立を行った。小型マイクロ波ドップラー装置が常に真上方向を向くようにジンバル上に設置し、このジンバルをパッシブの上に設置した。また、観測する面積を絞り粒子の数をコントロールする目的と観察する方面に対して発生しうるノイズを低減する目的で電波吸収材を設置し、そのうち水平方向に設置する電波吸収材 A については扇状に穴をあけた。穴のサイズについて

は、センサーを中心としたときの指向性の限界である半径 37.2 cm よりも内側になるように設定した。このほかに、設置したラックの足にブロックを置き、ノイズの低減が可能であるかを検討した。

ノイズ対策ができていないかどうかの検証、及び、氷片を落下させたときの観測結果がどのようになるかを調べ、電波吸収材 A にあける穴の位置の決定する目的で計測を行った。このとき用いた氷片は、ふるいを用いて粒径を 3.35~4.00 mm に揃えたもので、これを手動で落下させた。

これらの結果をもとに人工降雪実験での観測装置の設置方法が図 1 のように決定された。

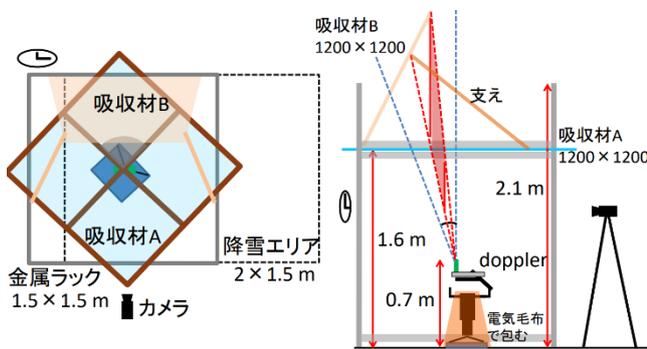


図 1. 観測装置設置概略図

2-3. 人工降雪実験（実験 2）の概要

2-2 で検討した装置を用いて、2021 年 8 月 16 日~19 日に、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て人工降雪実験を行った。このとき、電波吸収材 A を、観測する面積が観測可能な面積に対して 5~10% の範囲になるように設定し、カットした。また、現地にて装置組立について変更点があり、図 1 にて示した装置の側面のうちカメラを設置していない 3 面に衝立を設置し、装置上面にある隙間をビニール袋などで塞ぐことで、ビデオカメラで撮影した際の視認性向上を図ったり、センサーの配置を中心から穴の反対側へ 1 cm 離すことでよりノイズを低減したりした。

そして、今回解析のターゲットにする時間帯は 2021 年 8 月 19 日 16 時台である。理由として、人工降雪実験終了の準備として、実験室のヒーターやファンを停止させたためにノイズが少ない状態であり、かつ降雪ドラムからは雪が降っているという好条件が揃った時間帯であることから選定した。

3. 結果

3-1. ノイズ対策について（実験 1）

実験 1 では、①電波吸収材の設置②パッシブの設置③ラックの足にブロックの設置を実施し、対策ごとにノイズの計測を行った。結果には、ノイズ対策をする前と効果のある対策を施した後の比較のために、図 2 および図 3 に示す。

なお、これらの図は、A/D 変換を行った生データを上段、1 秒ごとにフーリエ変換後、80—2000Hz の振幅の平均を中段に、1 秒ごとに周波数ごとの振幅を表したものが下段に示されている。

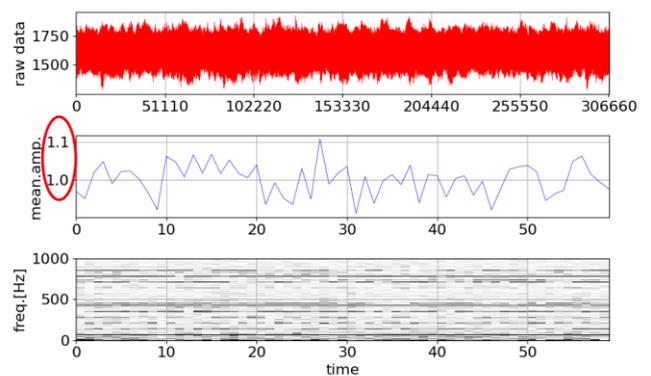


図 2. 電波吸収材・パッシブ設置前のノイズ

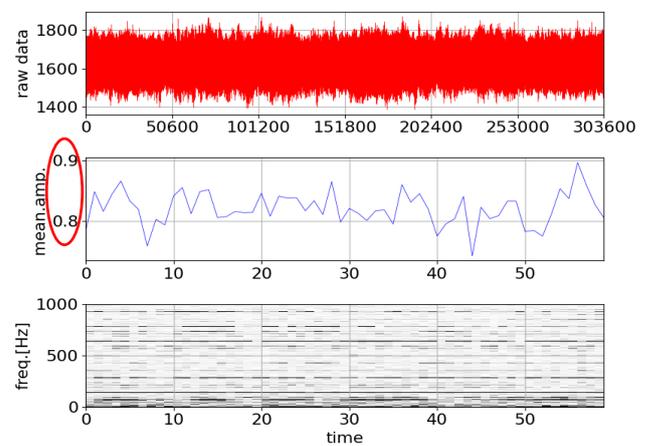


図 3. ノイズ対策後のノイズ

3-2. センサーの感度の確認（実験 1）

観測される位置により、信号強度がどれほど変化するかを確かめ、適切な位置に観測範囲を設定するために、粒径を揃えた氷片を電波吸収材の木枠の縁から一定間隔で落下させた。その結果を図 4 に示す。図 3 の結果は、センサー中心側から 5・10・15・20・25・28.8 cm の位置から順に、10 秒間隔で落下させたときのものである。

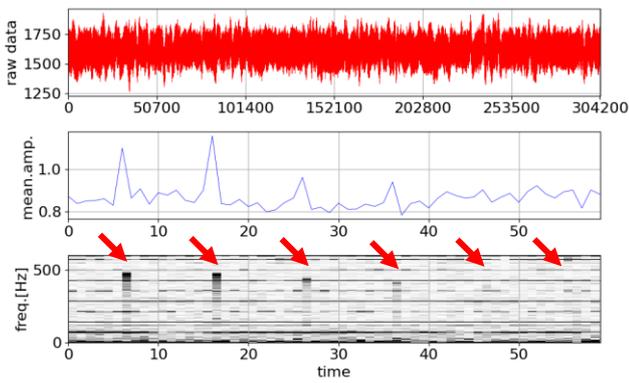


図4. センサーと中心からの距離による影響

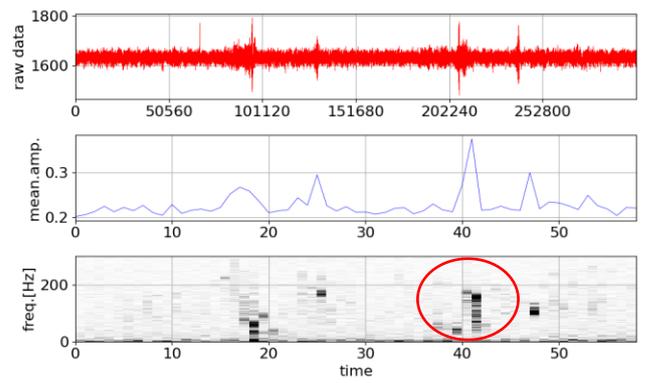


図7. 16時21分の観測結果 (③の事例)

3-3. 人工降雪実験の結果 (実験2)

まず、ターゲットにした時間帯を1分ごとに解析し、撮影した映像と照らし合わせ、降雪パターンを分類した。その結果、大きく分けて①大きな粒子のみ②小さな複数の粒子③ ①②が混在した状態の3パターンが確認された。それぞれの場合を図5~図7に示す。事例の該当箇所は赤丸で示した。

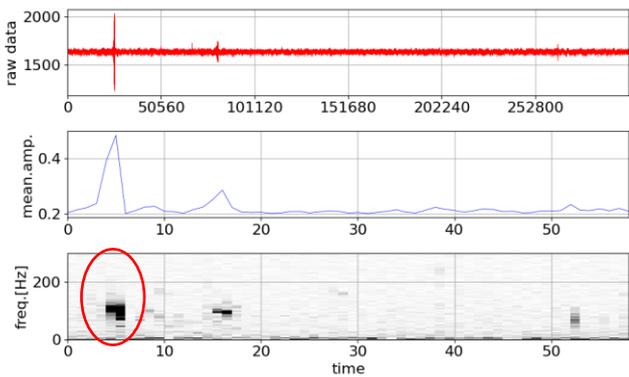


図5. 16時05分の観測結果 (①の事例)

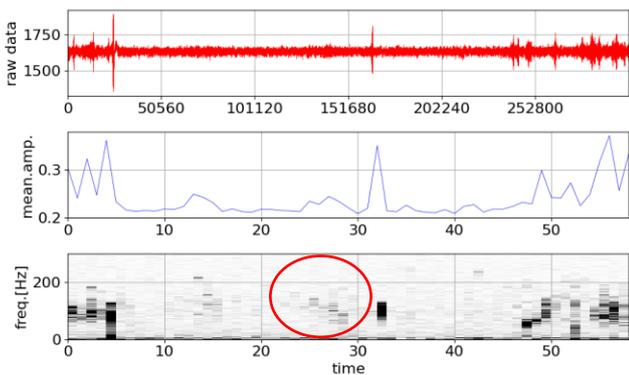


図6. 16時16分の観測結果 (②の事例)

次に、図5~7内の各事例について、2秒間ピックアップし、その区間に対し、フーリエ変換の時間窓長を1/8秒、1/4秒、1/2秒、1秒、2秒に変化させたものを図8~10に示す。時間窓長が2秒以外では青線が前半の1秒、赤線が後半の1秒である。

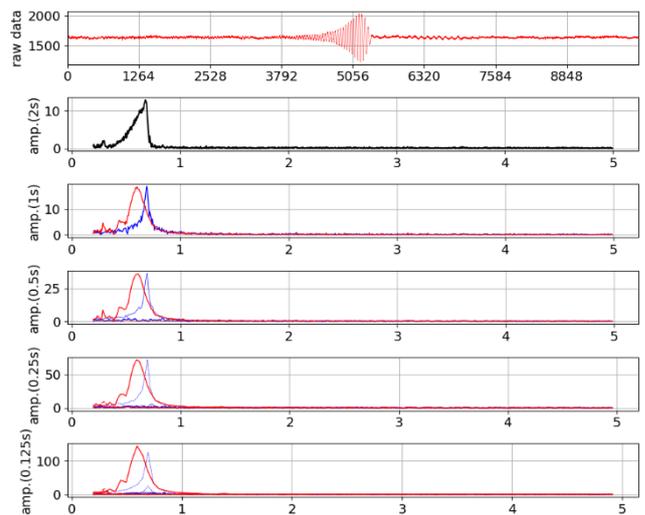


図8. 16時05分04~05秒の2秒間の解析

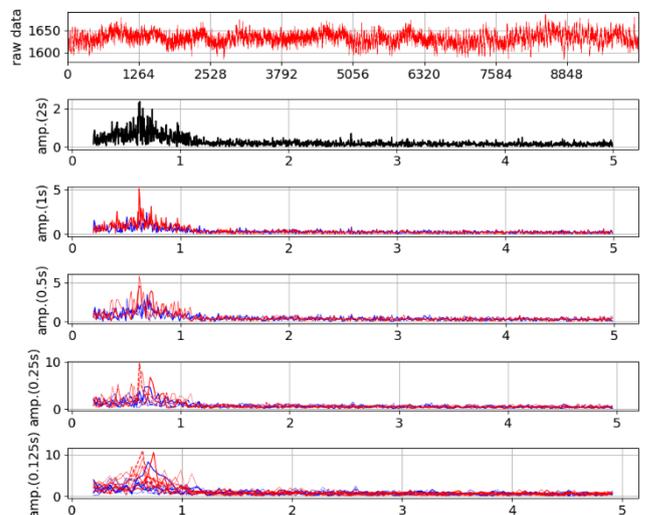


図9. 16時16分26~27秒の2秒間の解析

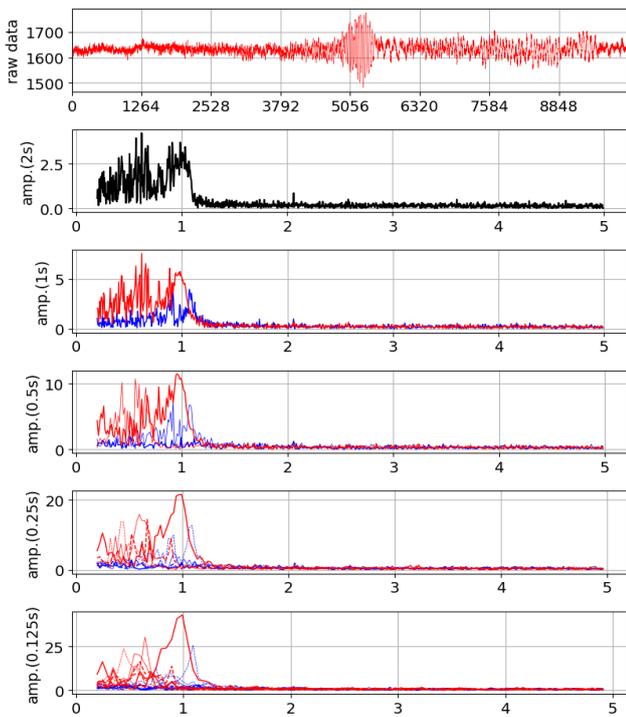


図 10. 16 時 21 分 40～41 秒の 2 秒間の解析

4. 考察

4-1. ノイズ対策について

結果には、ノイズ対策の前後の結果のみを示したが、各対策ごとにおいてもその前後にノイズ計測を行っており、電波吸収材とパッシブにおいてはノイズの減少がみられた。それに対し、ラックの足にブロックを置いた場合には対策前後での変化が見られなかった。このことから電波吸収材とパッシブには、ノイズ低減の効果があり、ブロックの設置はノイズ低減効果がないことが示唆された。実際に、効果のある 2 つを取り入れてノイズ計測を行った図 3 でも対策前の図 2 に対してノイズが減少していることが示されている。

4-2. 観測範囲の決定

図 4 について、下段の図をみると中心から離れるほど振幅が小さく、観測される周波数も小さくなるという傾向がみられる。また、25・28.8 cm から落とした氷片についてはほとんど観察ができていない。このことから人工降雪実験において電波吸収材に開ける穴の外側は中心から木枠込みで最大で 30 cm 以内に収める必要性があり、中心寄りで計測を行うほうがはっきりとしたデータが得られる。この条件に適し、かつ観測範囲が 5～10% になるようにし

たところ、中心からの距離で内側 9.1 cm・外側 25.1 cm の扇形で観測範囲は 7.7% となった。

4-3. 人工降雪実験

まず、図 5・図 7 の赤丸で囲んだ箇所について、大きな粒子ははっきりと信号で捉えられることがわかった。また、①の事例では大きな粒子が 100 Hz 付近で捉えられているのに対し、③の事例だと大きな粒子が 50～150 Hz 付近と幅広く捉えられている。そして、図 6 の赤丸で囲んだ箇所について、最初に 150 Hz 付近で信号がみられた後、数秒間かけて 50 Hz 付近までピークが移動していることがうかがえる。これは、まとまって雪が落ちるときの、早い粒子（＝高周波）が先に、遅い粒子（＝低周波）が後に落ちる様子を表していると考えられる。

次に、2 秒間の解析について、図 8・図 9 ではそれぞれ単一/複数粒子らしいピークがどの時間窓長においてもみられる。特筆すべき点は、図 10 についてである。まず、図 8・図 9 で見られたようなピークを合わせたようなピークがみられ、大きな粒子と細かい複数粒子が混合していることがわかる。さらに、大きな粒子がみられた時の信号強度に違いがみられる。単一のときに比べ、複数粒子と混合していた場合には、信号強度が弱くなっていることがうかがえる。これは、細かい粒子による信号により、大きい粒子の信号が打ち消されている可能性が考えられる。

5. まとめ

本研究では、小型マイクロ波ドップラー装置から得られた観測結果からの降水種別の判別と、複数粒子が観測された場合において、時間幅を変えて解析を行うことにより細かく捉えることができるかどうかを検証することを目的としたが、大まかではあるものの判別できる可能性が考えられる。今後、この装置を用いて実地での観測を行い、さらなる判別ができるかを考える。

6. 参考文献

熊倉俊郎, 山崎正喜, 本吉弘岐, 中井専人, 齋藤隆幸 (2021) : 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