

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K04655

研究課題名(和文) 雪氷災害の把握・予測に利用可能な高分解能降雪水平分布観測に関する研究

研究課題名(英文) A study on generating high resolution horizontal distribution of snowfall with dense observations.

研究代表者

熊倉 俊郎 (KUMAKURA, Toshiro)

長岡技術科学大学・工学研究科・准教授

研究者番号：00272865

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：狭領域に短時間で降る大雪の観測事例は不足している。ここでは短い時間間隔で測定を行え、簡易的でメンテナンス性に優れた光学式反射型降水強度測定・降水種別判別機器を前回の研究から継続して開発すること、落下速度の遅い固体降水についてレーダー降水量から地上降水量を推定する手法の開発を、また、簡易型の車載用マイクロ波ドップラー装置を用いた固体降水観測の試行を目的とした。反射型機器については、準リアルタイムで降水量と降水種別を出力できるようになり、レーダー降水量については、気象シミュレーションの出力を用いた後方流跡線解析により推定が行え、ドップラー装置についても野外計測から使用可能性を探ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

固体降水粒子の不規則性や測定手法の問題などにより、固体降水の測定にはまだ研究の余地が多く残されている。ここでは、短時間間隔での固体降水量の推定手法の1つを示し、また、落下速度の遅い降雪の水平移動を考慮したレーダー観測値からの地上降水量推定手法を示した。さらに既販であるものの精度が保てていない場合がある小型マイクロ波ドップラー装置を用いた固体降水落下速度の直接観測を試みた。いずれも現状を打開するために有用なものと考えられ、学術的にも社会的にも意義あるものである。

研究成果の概要(英文)：Heavy snowfall which falls in a narrow area in a short period of time is less observed. The objectives of this study are to continue the development of an optical reflector type precipitation intensity measurement and precipitation type discrimination device that can make measurements at short time intervals, to develop a method to estimate ground precipitation from radar precipitation for solid precipitation with slow fall velocity, and to test a simple vehicle-mounted microwave Doppler device for solid precipitation observation. For the reflective instruments, we were able to output precipitation amount and type in quasi-real time, and for radar precipitation, we were able to estimate it by a backward trajectory analysis using the output of local weather simulations, and for the Doppler device, we were able to obtain the possibility of observing solid precipitations from field measurements.

研究分野：気象雪氷学

キーワード：降雪地上計測 降雪計測機器 降雪レーダー計測 地上降雪分布 雪氷災害防除

## 1. 研究開始当初の背景

道路が閉塞する、また農業被害が出るなど、狭領域に短時間で降る大雪の観測事例の蓄積や対策は十分ではない。例えば、2016年から2017年にかけて新潟県中越地域や中国地方で起きた降雪は交通障害や農業被害をもたらし、特に降雪の多い地域では除雪の遅延で車両が降雪に埋まるなど社会的な影響が大きかった。この事例でも見られる通り、狭い領域での多量の降雪がもたらされるため、十分な観測機器を展開できないなど、結果的にも観測事例が不十分と言えよう。現状では、全国にレーダー網を整備し、さらに実際の災害から得られた知見を利用して対策を立てており、徐々に対策が練られてはいるが、災害なくす努力は続けられている。

降雪の問題は、降雪粒子の種類が多く、しかも個々の粒子の形状も一定ではないなど、量的あるいは質的な観測の両方が難しいという学術的な問題点が多数残されている。このような状況で最も進んでいると思われる観測がレーダー観測であろう。近年はマルチパラメータレーダー（以下、MPレーダー）などにより降水種別の判別もできるようになってきている。地上観測では、道路などで災害対策として拡充されているものの、用地や費用の問題で降雪雲を解像できる程の数は展開できていない。

レーダー観測については、災害対策を行うにあたり、次のような問題点がある。近年は、XRAINと呼ばれるXバンドレーダー観測網についてはすべて、気象庁のCバンドレーダー観測網についても順次、MPレーダーが使われている。このMPレーダーでは降雨に関しては雨粒子の扁平度を用いた降水量推定などが行われ観測の改善が進んでいるが、降雪に関しては、降水粒子種別判別が確立されつつあるものの降水量強度に関しては反射強度因子を用いたZ-R関係により導出されている。これにより強い降水領域の裏側まで見えない可能性が降雨時よりも高まる。また、種別判別の技術も開発途中で一般的に用いる例はほとんどない。また、冬季の降雪雲は背が低く、特に標高の高い地域では観測できない問題もある。これは標高の比較的高い地域で道路災害が多いことを考えると適当ではない。

地上観測の拡充という点からは、以下のような問題点がある。降雪観測を行う場合には降水量観測では雪を解かすことが多く行われており、ヒーターで温めるだけの電源の確保が最重要課題である。雪害対策で多く用いられている積雪深観測はその点有利ではあるが、雪の重みの測定ではない点が欠点といえる。両方とも強風に弱い、設置にそれなりの用地が必要という共通の問題点もある。

## 2. 研究の目的

レーダー観測と地上観測を併用していくという方針で今まで降水量観測が行われてきたが、それぞれの機器でいろいろな利点と欠点を持つ雪氷観測では、複数の観測を併用することは今後も重要と考えられる。ここではそれを鑑みて、レーダー観測を支援する一つの改善策を提示し、降水量と降水種別の密な地上水平分布の推定を行いたい。

申請者は今まで、簡易的で駆動部がなく電力消費も少ないメンテナンスフリーに近い、短時間間隔で降水を測定できる光学式反射型降水強度測定・降水種別判別機器（以下、反射型）を固体降水に特化した形で開発してきた。この機器は比較的安価なため、水平に密に配置することにより降雪雲の水平スケールもカバーできると考えた。この機器の開発を継続して行うことが目的の一つである。

もう一つは、レーダー観測に関するものである。レーダー観測結果はレーダー観測面上、つまり上空の降水量を推定したものであるが、降雪粒子は雨に比べて落下速度が遅く冬季の強風に流されて水平移動が大きいことから、これらの観測値から地上降水量を推定する手法を開発することを目的とする。これにより、レーダー観測から推定された地上降水量と上記のような地上観測降水量を直接比較できるようになる。また、現業のレーダー観測のように短時間間隔で観測されている場合には、地上のどの位置でも短時間間隔で地上降水量を評価できるようになる。

## 3. 研究の方法

### (1) 反射型の概要

ここで言う反射型とは、光の放射の対象物での反射を計測する機器のことである。この研究課題に先立つ前回の科学研究費の報告書にある通り、観測領域中に、様々な位置に様々な直径の粒子がランダムに通過することを仮定し、各粒子の測定電圧最大値 $V_{max}$ と信号継続時間 $t_d$ を用いて、時間平均（時間内に観測された粒子個数を $N$ とする）により、疑似直径 $\hat{D} = (1/N) \sum_t \sqrt{V_{max}}$ 、疑似落下速度 $\hat{W} = (1/N) \sum_t (1/t_d)$ を測定値から求めることができた。

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（長岡市）で2016年から2017年にかけて、反射型で得られたデータである。図1（左）では、その中で $t_d$ が50msec程度の観測継続時間だった粒子の計測生データの一部を示した。また、同時に重量測定式降水量計、椎名ら(2004)によって作成された画像処理手法を用いた自動降雪粒子判別機（以下、画像判別器）と、既販の光学式透過型測定機器（光シートを張り、そこを粒子が通過したときの光量の変化と遮蔽時間を基に粒子の大きさと速度を測る機器：以下、透過型）を併設して観測した。

## [反射型の仕様]

- 近赤外線発光素子と受光素子を使用（雨滴に感度が低い）  
発光：ピーク：940nm：半値幅：7.5deg、受光：ピーク：960nm：半値幅：12deg
- 素子は水平に並べて配置（風対策）
- 温度計を内蔵（高気温でオフ：オーバーヒート、素子寿命延命対策）
- 発光部と受光部の分離のためフロントパネルを専用で設計
- ハウジングは消雪パイプセンサーで野外設置に実績のあるもの
- パルス点燈（外乱光対策、素子延命）70 $\mu$ sec/cycle、デューティ比1/7
- 受光信号はパルス点燈を考慮した上でAD変換されて出力
- 外部出力は、16bit整数(有効12bit)で0.2msecごと（1m/sで0.2mm）
- 内部マイコン処理で、降水種別（雪片・あられ）、降水強度を導出可能

### (2) 反射型の計測からの降水種別の導出

ある時間内の平均値としての疑似直径 $\hat{D}$ と疑似落下速度 $\hat{W}$ が、それぞれ直径 $D$ と落下速度 $W$ にほぼ比例する量と仮定できると考えられるため、それぞれを横軸、縦軸にプロットする( $\hat{D}-\hat{W}$ 図)と、従来からある直径-落下速度図( $D-W$ 図)において、ある一定の時間幅内の直径および落下速度の平均値の点を打つことに相当する。よって、ほかの手法で測定された直径と落下速度を用いて、その相当図を作成し、比較することによって様々なことがわかれると考えた。ここでは、 $\hat{D}-\hat{W}$ 図を他の手法で観測された降水種別のうち、雪片とあられについて描画し、それらを判別分析することで種別の決定を図った。手法については、先に述べた2つの機器を用い、判別式作成には主に画像判別器の結果を、検証には雪片・あられそれぞれについての2機種観測の積集合となる時刻のデータを用いて行った。なお、平均時間は5分とし、5分間に粒子種が変化する事例は除いた。また、今回開発する計測機器は安価で消費電力も少ないことが要求されるため、内臓マイコンで高度な演算は避けるべきである。よって、最終的には $V_{max}$ と $t_d$ をそのまま用いて判別分析を行い、計算を容易にした。

### (3) 平均時間の区間に左右されない疑似平均値の導出

疑似平均を次のように定める。疑似平均値 $\hat{C}_v$ は既にあるものとし、測定された値 $C_v$ とは、時定数 $\tau_{th}$ を用いて次のような1次線形系を仮定する。

$$\frac{dC_v}{dt} = \frac{1}{\tau_{th}}(C_v - \hat{C}_v)$$

ここで、オイラー型の離散化を行い、整理すると、

$$\hat{C}_v(i) = \hat{C}_v(i-1) + \frac{1}{\tau_{th}/\Delta t}(C_v(i) - \hat{C}_v(i-1))$$

という、時間に沿った番号 $i$ の漸化式で疑似平均値を測定値に合わせて順次更新していくことができる。実際には、粒子の落下が観測されたときにこの式で平均を評価しなおすこととした。この式は等時間間隔 $\Delta t$ で評価される場合には考えやすいが、今回は不定期に現象が観測されるため、 $\Delta t$ が一定でない。よって、時定数が粒子の落下ごとに見かけ上変化するような振る舞いとなり、観測間隔が2倍になると平均値との残差による修正量が2倍になる。粒子の観測頻度を平均的に考え、時定数 $\tau_{th}/\Delta t$ は5分程度になるようにした。さらに、測定開始時には疑似平均値には適当な初期値を与え、ある一定の時間内に粒子の観測がなく、粒子が観測された場合にはその観測に対してのみ修正は行わないこととした。

### (4) 反射型の計測からの降水量推定

降水量を算定するにあたって、疑似平均直径と疑似平均落下速度を用いて導出する必要がある。降水粒子を球と仮定し、その密度（降雪密度に近い値）を $\rho$ とし、粒子個数を $\hat{N}$ とすれば、

$$\hat{p}_r = \hat{N}\rho\frac{4}{3}\pi\left(\frac{\hat{D}}{2}\right)^3$$

と書けるが、密度については、層流を仮定した落下粒子の終端速度 $w = \{g(\rho - \rho_f)D^2\}/(18\eta)$ を用いて $\hat{W}$ と $\hat{D}$ で置き換え、 $\hat{N}$ については、粒子入射平均時間間隔を疑似平均算定法で求めておけば、それで設定時間幅を割れば求めることができる。そして、実験式から求まる係数を $K$ とすれば、

$$\hat{p}_r = K\hat{N}\hat{D}\hat{W}$$

となり、他の機器で測定した降水量と $\hat{N}\hat{D}\hat{W}$ の散布図を描き、傾きを調べれば降水量推定式が導出される。

### (5) 気象数値モデルの出力を用いた後方流跡線解析

防災科学技術研究所雪氷防災研究センターでは、毎冬、気象庁NHMを用いた気象予測を行っている。NHMは、水平解像度1.5km、鉛直50層を取り、新潟県を中心とした320 $\times$ 240グリッド

で、気象庁 GPV を初期値・境界値とした 36 時間予報を 12 時間ごとに行っている。水平風速の 2 成分の 1 時間ごとの出力を用いたが、出力は Z\*系ではなく、Z 系に変換されたものを用いている。変換は、Z\*系の 50 層の各高さをそのまま Z 系として変換しており、大幅な解像度の低下はない。また、水平方向は等距離格子点座標を一度それとほぼ同等の等緯度・等経度座標に変換したデータを利用した。なお、非静力モデルなので鉛直流も計算されているが、今回は鉛直方向へは粒子の落下速度のみで評価した。この落下速度については、雪片が降っているとき限定の解析を行うこととして、1m/s の速度を与えた。

後方流跡線解析するにあたり解析値の方が適していると考えられるが、地表面近傍から 3000m 以下であることから、通常は指定気圧面のデータのみ利用可能なものより、計算解像度に近い鉛直解像度のデータを用いることができるため、有利と考えた。また、将来の利用形態を考えると解析値の出待ちをすることはできないので、あらかじめ入手可能な予測値を用いておくべきだろう。さらに、北陸冬季は風が強く、今回考慮していない乱流過程の影響が大きいと推察できることを考えれば、予測値と解析値で大きな違いはないと考えた。

後方流跡線解析については、任意の緯度経度標高で与えられる空間の 1 点の任意の時刻から計算を開始することとし、時空間的にすべて距離と時間で線形内挿し、最初の座標から 1 分前の座標を求め、それを繰り返すことにより後方流跡線を算出した。

#### (6) MP レーダー観測値と流跡線解析を組み合わせた地上降水量推定

使用した MP レーダーについては、古野電気株式会社との共同研究により設置した長岡技術科学大学環境システム棟屋上（経度:138.77819°，緯度:37.42318°，標高:88.9m）の小型 X バンド偏波ドップラーレーダーを用いた。2 分毎にスケジュールされた PPI 観測のうち、最低の角度として設定された仰角 3 度のデータを使用した。主な仕様としては、周波数は 9.4GHz 帯、最大観測距離は 70km である。

解析期間は 2020 年 2 月 5 日から 14 日の 10 日間としたが、この期間は、低気圧が通過後冬型になるサイクルが 2 回、うち 2 回目は冬型後に北陸地域を小低気圧が通過していた。

レーダー観測が 2 分毎であるため(5)で示した後方流跡線解析も 2 分毎とした。個々の流跡を求めていき、レーダー観測面と交差する前後の位置・時刻を求め、それらから線形的にレーダー観測面との交点と時刻を求めた。レーダー観測値は、古野電気で定めた  $B$ 、 $\beta$  を用いて出された降水量とし、交差点の位置を中心とした直径 1.5km の観測面円内のデータの距離重み付け平均を求め、それを交差時刻の前後の観測からそれぞれ求めて時間的に線形に内挿した。今回は、対象期間中のアメダス観測点のデータと比較するため、後方流跡線解析の時間的終点を以下の 6 つのアメダス観測点とした。長岡、柏崎、守門、小出、十日町、津南の 6 点である。これらは、レーダーサイトである長岡市からレーダー観測距離内にある降水量、積雪深、気温を測定している地点である。雪片を対象とするため、降雪深速度 1cm/h 以上でかつ気温 2 度以下の事例を用いた。1 時間観測値を用いて比較を行うため、2 分毎の推定値は 1 時間値に積算した。

#### (7) 車載用小型マイクロ波ドップラー装置を用いた降水観測機器の試作

反射型を多数作製して設置する予定であったが、反射型の作成を依頼した企業が今後作製を続けることはないとのことで、その作製費用を使って、他の原理に基づく降水量・種別観測機器を試作することにした。

ここでは、車載用で作られた小型のマイクロ波ドップラーモジュールを用いた機器の作製を試みた。作製したものは、24GHz 帯の K バンドマイクロ波を用い、出力波形の中間周波数範囲からドップラー速度として 6.2mm/s から 6.2km/s の範囲を測定可能で、反射強度信号の振幅電圧が物体の見かけの立体角の大きさに比例、指向性は 45 度×38 度の楕円で、出力信号を AD 変換して 5kHz でサンプリングしたものを記録した。そのため、約 30m/s 以上の速度は測定できないが、10m/s 程度の雨粒の落下速度には対応できる。

今回は、評価機を作製し、野外に鉛直上向きに設置し、ドップラー速度の違う事例が確認できるかどうかを試した。対象期間は 2021 年 1 月 7 日とした。この日は朝方に 3,4 度だった気温が、夕方からマイナスになり、気温が低下するタイミングで降水が観測された。

## 4. 研究成果

### (1) 反射型の計測からの降水種別

1 分毎のあられと雪片の  $D-W$  図と  $\hat{D}-\hat{W}$  図を描くと、ほぼ予想通りの似通った分布となり、それぞれ直径と落下速度を代表させて良いことがわかった。

方法で述べたように、5 分平均直径 2mm 以上のデータを用い、画像粒子判別装置の結果を用いて判別するための式を導いた。画像粒子判別装置であられになった個数分布と雪片の分布を 5 個ごとの等値線で描き、直線を仮定した判別分析によって境界線を求め、 $t_d = 0.005V_{max} + 0.002$  という式を得た。これの上に位置する場合には雪片、下の場合はあられと判別される。

これにより、画像粒子判別装置と透過型機器で共通であられ、雪片と判別された事例を取り出し、本判別式にて判別を行ったところ、あられに関しては 75%、雪片に関しては 82% の事例が正しく判別された。

(2) 反射型の計測からの降水量推定

先に示した方法で $K$ を決定することにより降水量を求めた。 $t_d$ が短いものと長いものは測定機器の分解能の観点と落下速度が 0.5m/s 程度以上が通常であることから削除し、5分間値を再現する時定数を用い、さらに、本来は密度の違いが予想されるため雪片とあられを別々に解析すべきだが、あられの分類と雪片の分類が重複していることから、今回は aggregate と判断された雪片とあられのデータを用いた。これらを用いて $K$ の決定をすると、約  $1.83 \times 10^{-5}$  となり、重み付き決定係数は 0.80 で、推定式は十分に有意であった。この推定式を、種別を問わずすべての時系列データに適用して観測値と比較した図を図1に示す。降水量積算の観測値との比較からは、時間変化がほぼ再現されており、十分に利用可能であると考えられる。

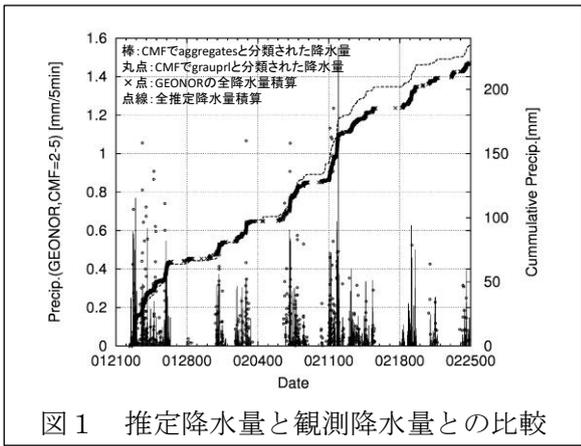


図1 推定降水量と観測降水量との比較

(3) レーダー観測値と流跡線解析を組み合わせた地上降水量推定

対象期間のアメダス 6 地点の 1 時間ごとの時系列図からは、1 時間値に関しては全体的にほぼ一致した時系列分布になっていることがわかったが、時々降り始めにレーダー値が大きく観測されているものは、気温の状況からブライトバンドではないかと推察される。その一方で、2分毎に求めた推定値と垂直値の時系列を図2に示した。図2(左)は守門の2月6日12時台の推定値と垂直値が異なる例で、図2(右)は小出の2月8日10時台の両者がほぼ重なるような状況の例である。このように2分毎の挙動を見ると、必ずしも一致しない事例は多くみられる。守門の解析からは、レーダー降水量の水平面図と照らし合わせると、団塊状の降雪雲が通過している最中であり、垂直上空の様子とは明らかに異なる事例であった。1 時間値にすると一致して見えるのは、後方流跡線に沿って雲が動く事例が多く、時間的に数 10 分程度ずれるだけで降っている量は長期的に見てあまり変わらないためと考えられる。よって、急な強い降雪などを重要視する場合には、後方流跡線解析をしないと正しく地方面での降水量が推定されない場合があると推測される。

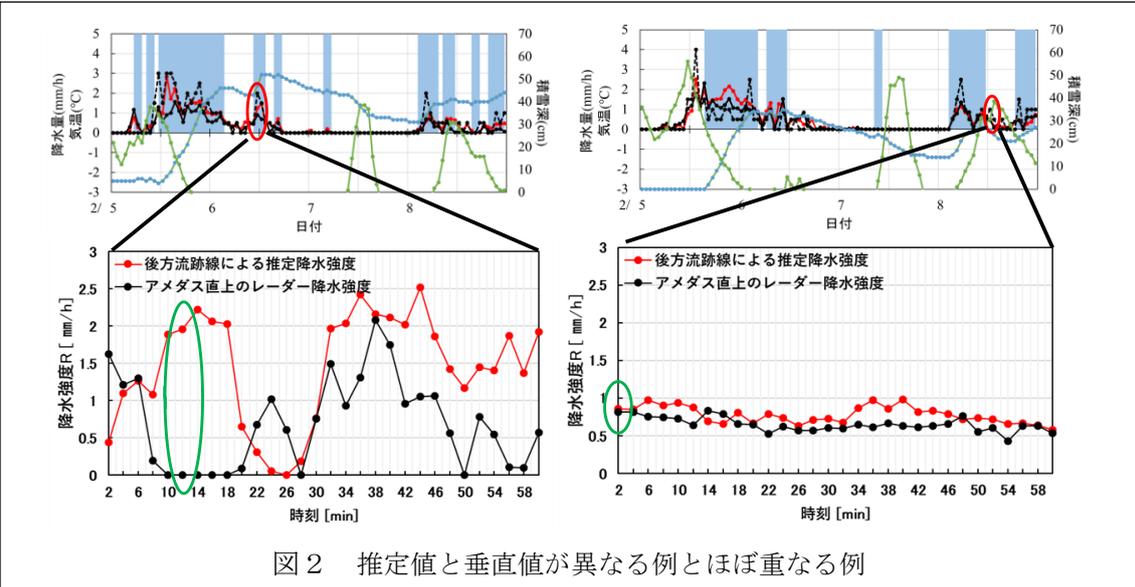


図2 推定値と垂直値が異なる例とほぼ重なる例

(3) 車載用小型マイクロ波ドップラー装置を用いた降水観測機器の試作

2021年1月7日13時はまだ気温2度程度であったが、19時には0度となった。他の降水粒子判別装置の結果を見ていないが、状況的に13時は雨、みぞれ、あられのいずれかと考えられ、19時はあられか雪片であろうと考えられる。観測結果からは、13時にはドップラー周波数は1000Hz (ドップラー速度 6.2m/s) 程度までの信号が計測され、19時には500Hz (3.1m/s) 程度であることがわかる。よって、19時の例に多く見られた200Hz以下程度の信号は1m/s程度なので、雪片にあたると考えられ、3~6m/s程度のものはあられかみぞれと考えられる。鉛直上向きに扇形に広がった観測領域の鉛直下向きベクトルの受信センサー向き成分の空間平均は観測値の1.02倍なので、補正の必要がある精度の議論ではないので今回は無視した。また、粒子ごとの解析には使えるが、分離できない粒子群についてはさらに検討が必要である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 遠藤 優斗	4. 巻 1
2. 論文標題 光学式反射型固体降水観測器の降水量に対する風向風速依存性に関する研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 長岡技術科学大学環境社会基盤工学専攻修士論文	6. 最初と最後の頁 1-77
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 西内 勇貴	4. 巻 1
2. 論文標題 光学式反射型固体降水観測器と積雪モデルを用いた積雪深推定に関する研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 長岡技術科学大学環境社会基盤工学専攻修士論文	6. 最初と最後の頁 1-57
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 上林 颯	4. 巻 1
2. 論文標題 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	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 長岡技術科学大学修士論文	6. 最初と最後の頁 1-52
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 柴田 賢太	4. 巻 1
2. 論文標題 レーダー観測と地上観測における降雪の時空間的な整合性について	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 長岡技術科学大学課題研究論文	6. 最初と最後の頁 1-35
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 古橋知季	4. 巻 1
2. 論文標題 上空で測定されたレーダー降水量と3次元風速場を用いた地上到達固体降水量の推定と検証	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 長岡技術科学大学修士論文	6. 最初と最後の頁 1-71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計18件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 山崎正喜・熊倉俊郎・西内勇貴・遠藤優斗・中井専人・齋藤隆幸
2. 発表標題 超小型Doppler Radarを用いた地吹雪検知の検討
3. 学会等名 2019年度日本雪氷学会北信越支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西内勇貴・熊倉俊郎・山崎正喜・本吉弘岐・山下克也・中井専人・齋藤隆幸
2. 発表標題 光学式反射型固体降水観測器を用いた積雪深の推定
3. 学会等名 2019年度日本雪氷学会北信越支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 遠藤優斗・熊倉俊郎・山崎正喜・西内勇貴・本吉弘岐・山下克也・中井専人・齋藤隆幸
2. 発表標題 光学式反射型固体降水観測器の風向風速依存性に関する観測について
3. 学会等名 2019年度日本雪氷学会北信越支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 遠藤優斗, 熊倉俊郎, 山崎正喜, 西内勇貴, 本吉弘岐, 山下克也, 中井專人, 齋藤隆幸
2. 発表標題 光学式反射型固体降水観測器の風向風速依存性に関する観測と検証
3. 学会等名 雪氷研究大会(2019・山形)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西内勇貴, 熊倉俊郎, 山崎正喜, 本吉弘岐, 山下克也, 中井專人, 齋藤隆幸
2. 発表標題 光学式反射型固体降水観測器及び積雪モデルを用いた積雪深推定に関する研究
3. 学会等名 雪氷研究大会(2019・山形)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上林颯・熊倉俊郎・山崎正喜・石丸民之永・本吉弘岐・中井專人
2. 発表標題 反射型固体降水観測器による降水種別判別の検討
3. 学会等名 日本雪氷学会北信越支部研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石丸民之永・山崎正喜・羽賀秀樹・熊倉俊郎
2. 発表標題 降雪深増率計の開発 - 2017～2018 積雪板式時間降雪深計との比較 -
3. 学会等名 日本雪氷学会北信越支部研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 熊倉俊郎・山崎正喜・西内勇貴・上林颯・本吉弘岐・中井専人・山下克也・山口悟・富樫数馬・石丸民之永・齋藤隆幸・丸山敏介
2. 発表標題 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
3. 学会等名 雪氷研究大会（2018・札幌）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石丸民之永・熊倉俊郎・山崎正喜・羽賀秀樹
2. 発表標題 降雪深増率計の開発 - 2017-2018 積雪板式時間降雪深計との比較 -
3. 学会等名 雪氷研究大会（2018・札幌）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上林颯・熊倉俊郎・西内勇貴・山崎正喜・齋藤隆幸・本吉弘岐・山下克也・中井専人
2. 発表標題 光学式反射型観測器の統計量を用いた降水種判別と降水量推定に関する研究
3. 学会等名 雪氷研究大会（2018・札幌）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 熊倉俊郎・山崎正喜・上林颯・本吉弘岐・中井専人・山口悟・富樫数馬・石丸民之永・齋藤隆幸・丸山敏介
2. 発表標題 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
3. 学会等名 防災科研雪氷防災研究センター降雪ワークショップ（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柴田堅太・熊倉俊郎・中井専人
2. 発表標題 レーダー観測と地上観測における降雪の時空間的な整合性について
3. 学会等名 2021年度日本雪氷学会北信越支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 熊倉俊郎・山崎正喜・本吉弘岐・中井専人・齋藤隆幸
2. 発表標題 マイクロ波ドップラー装置を用いた降水観測
3. 学会等名 2021年度日本雪氷学会北信越支部大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 瓜生大地・熊倉俊郎・大川元造・安達聖・山崎正喜・山倉祐也・齋藤隆幸、中井専人
2. 発表標題 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
3. 学会等名 第39回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 覺道由郎・熊倉俊郎・中島大岳・早野真理子・中井専人・本吉弘岐
2. 発表標題 大雪を対象としたレーダーによる上空降水量と地上観測降水量の比較
3. 学会等名 第39回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 猪狩吉弘・熊倉俊郎・中井専人・早野真理子・中島大岳
2. 発表標題 広域にわたるMPレーダーを用いた固体降水種別解析について
3. 学会等名 第39回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 古橋知季・熊倉俊郎・早野真理子・中島大岳・本吉弘岐・中井専人
2. 発表標題 上空で測定されたレーダー降水量と3次元風速場を用いた雪片の地上到達降水量の推定
3. 学会等名 第39回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 熊倉俊郎・古橋知・中島大岳・早野真理子・本吉弘岐・中井専人
2. 発表標題 上空で測定されたレーダー降水量と3次元風速場を用いた地上到達固体降水量の推定と検証
3. 学会等名 2022年度日本雪氷学会北信越支部大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------