

## 児童による雪結晶の観察を組み合わせた雪氷防災教育と 雪崩研究への活用

宮田秀介 (京都大学 防災研究所)

勝島隆史 (国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所)

勝山裕太 (国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所)

竹之内健介 (香川大学創造工学部)

## 目次

1. はじめに .....	1
2. 防災教育とぼうさい空日記 .....	2
3. 積雪粒子の撮影と粒子構造定量評価の試み .....	4
4. 降雪粒子の観測 .....	8
5. おわりに .....	11
付録 .....	12

## 1. はじめに

雪崩は時に大きな人的被害をもたらすが、多くは居住地域から離れて発生するため、一般には危険性への認識は低い。穂高砂防観測所の地域（岐阜県高山市奥飛騨温泉郷）では日本最大の雪崩災害である H12.3.27 左俣谷雪崩災害が過去に起こっており、土砂災害とともに雪崩災害も防災の重要な対象である。雪崩は積雪層内の弱層をすべり面として発生するが、積雪は時間の経過とともにその結晶構造が変化することで弱層となる。このような積雪の時間変化は計測の困難さから事例がほとんどなく、その手法も確立していない。一方、このような積雪の変化は一般的にあまり認知されていない。そこで、小学校で雪氷災害に関する防災教育を行うとともに、その成果を雪崩の危険度予測へ活用する手法を開発する。防災教育では講義形式だけでなく、児童が簡便な方法で積雪結晶の撮影を継続して行うことで積雪構造の変化に対する認識を涵養することを目的とした。

本研究の体制および各担当を以下に示す。

### 研究代表者

宮田秀介（流域災害研究センター・穂高砂防観測所）：防災授業とりまとめ、気象観測、総括

### 共同研究者

勝島隆史（国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所）：防災授業、積雪結晶の画像解析

勝山裕太（国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所）：降雪粒子観測  
竹之内健介（香川大学）：ぼうさい空日記とりまとめ、教育効果の評価

## 2. 防災教育とぼうさい空日記

栃尾小学校では、穂高砂防観測所と連携し、年4回の防災教育を2016年以降、継続的に実施している。この中で、「ぼうさい空日記」というブラウザを利用した日記ツール (Fig.2.1) を利用し、児童たちが雨や雪などの現象を観察することで、土砂災害や雪崩災害などに対する意識を向上させることを図っている。本研究では、2021年の冬季に実施する第4回目の防災教育を活用し、栃尾小学校4年生児童8名を対象に、雪氷に関する防災教育を実施した。また併せて、2021年12月10日から2022年3月22日にかけて、日直当番が「雪のぼうさい空日記」の記録を行った。本節では、これらの防災教育の実施結果を示すとともに、児童への教育効果について確認する。

まず雪氷に関する防災教育を、対面形式により、2021年12月10日に実施した。この授業の主な内容は、(1) 積雪と雪による災害、(2) 雪崩の発生要因、(3) 雪氷と雪崩、(4) 雪のぼうさい空日記、で構成されている。教室での授業後、校庭において雪氷観測の方法と雪のぼうさい空日記の記録方法を確認した (Fig.2.2)。授業で観察する雪は、防災科学研究所雪氷防災研究センターの協力の下、複数の結晶を観察できるように、新雪やこしまり雪などを用意した。

雪のぼうさい空日記は、Fig.2.1 に示したように、(1) 名前、(2) 時刻、(3) 1時間雨量、(4) 雪の深さ、(5) 雪の形、(6) 雪のかたさ、(7) あなたが思う今日のなだれの危険、(8) 今日の天気で構成されている。選択肢から選ぶものについては、Table2.1 に示すものが用意されている。児童が理解しやすいように、専門用語でなく、身近な表現を利用したものとなっている。後述するように、雪のぼうさい空日記は、研究者らの雪氷研究への応用を想定しており、児童たちも研究者の一員として位置づけている。また、日常で降る身近な雪の観察を通して、天候や気温などによる雪氷の変化を理解することにつながるものである。



Fig.2.1 雪のぼうさい空日記記録画面



Fig.2.2 校庭における雪の結晶観察の様子

Table 2.1 雪のぼうさい空日記の選択肢

雪の形	雪のかたさ	なだれの危険	今日の天気
①新雪	①こぶしが入る	①すぐにでも起きそう	①晴れ
②丸まった雪	②指4本が入る	②かなり心配	②くもり
③少し丸まった雪	③人差し指が入る	③心配	③雨
④角ばった雪	④えん筆が入る	④少し気をつける	④みぞれ
⑤しめった雪	⑤もっとかたい	⑤まだ安心	⑤ひらひら、大きい雪
⑥雪がない・雨がふって る	⑥雪がない・雨が降って る	⑥起こりそうにない	⑥シャーシャー、小さい雪
			⑦あられ

これらの防災教育を通じて、大雪や雪崩による災害リスクに対する意識の変化を確認した。その結果の一例を Fig.2.3 および Fig.2.4 に示す。それぞれ大雪による災害への関心と雪崩による災害への関心について、授業実施直前（プレアンケート）と 2022 年 3 月（ポストアンケート）に実施したアンケート結果を基に比較したものである。この結果から、雪に関する災害リスクへの関心が高まっていることが確認される。また大雪による災害を感じる積雪深については、防災教育前後において、平均 65cm（30cm-100cm; 2名は無回答）から平均 159cm（70cm-300cm）に変化が見られた。今回の対象期間における児童たちの日記の結果によると、最深積雪は 30cm であった。また参考として、栃尾小学校に最も近い積雪観測を行うアメダス地点である神岡観測地点における 1978 年 11 月~2022 年 4 月期間の月最深積雪は最大で 166cm である。このことから、対象期間における観測から数十 cm であれば問題ないという理解が深まる一方、実際にどの程度の積雪深になると危険かまでは、十分に理解が深まらなかった可能性が考えられる。

このように、雪のぼうさい空日記による雪氷観察を通じ、児童たちは大雪や雪崩の災害リスクに対する関心の向上が確認された。一方で、実際にどの程度危険な状態であるのかという点については、過去の観測結果や災害事例を紹介するなどの補足が必要と考えられる。今後、気温や積雪量など、どのような気象状況において、雪による災害の危険認識に至っているのか、また児童によって違いがどの程度あるのか、調査を継続していきたい。

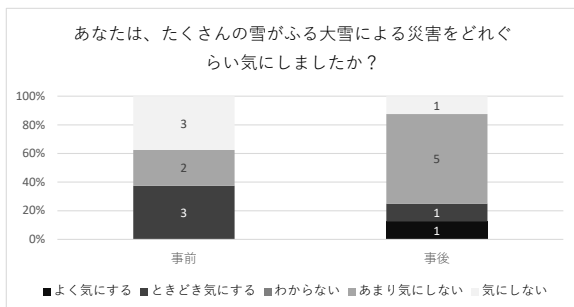


Fig.2.2 防災教育前後における児童の大雪に対する関心の変化

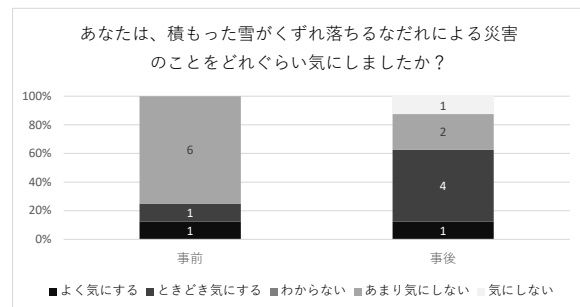


Fig.2.4 防災教育前後における児童の雪崩に対する関心の変化

### 3. 積雪粒子の撮影と粒子構造定量評価の試み

児童が「雪のぼうさい空日記」による雪氷観察を行う際に、積雪粒子の写真を撮影する活動を行った。この活動は、雪の形を目視により判別するとともに、その状況を画像として記録することで、雪の形の違いや、形の時間変化を児童たちが実感として感じられることを目的としたものである。一方で、積雪の粒子の形状やつながりなどの粒子構造は雪崩の危険度を把握する上で重要であるが、粒子構造の観測は目視により行う必要があるため多大な労力を要する。今回の「雪のぼうさい空日記」で得られる時系列的な積雪粒子の画像は科学的にも希少である。そこで本研究では、市民科学的な手法で得られた積雪粒子の情報を雪崩危険度予測技術へ活用する手法を開発することを目的とする。本節では、カメラに不慣れな児童でも確実に操作することができる簡便な積雪粒子の撮影方法を提案する。次に、児童による雪の形の判別結果について検証する。最後に、児童が撮影した画像を用いて積雪の粒子構造の画像解析を試みる。

本研究で使用した積雪粒子の撮影装置を Fig.3.1 に示す。積雪粒子の撮影では、ピンボケと手ぶれ、撮影時の粒子の融解をいかにして防ぐか、そして、いかにして簡便なシステムとして実現するかが重要となる。今回は、顕微鏡モードの撮影モードがあるデジタルカメラ（WG-7、リコーイメージング）を使用した。1mm 方眼が記載された OHP シートを差し込んだカードケースに雪を載せ、そのカードケースにカメラを載せた状態で撮影を行った。その際、お椀を撮影台として使用した。カメラのレンズ周辺に取り付けられた LED ライトを点灯し、お椀の中で光を散乱させることで、撮影時の照明とした。この装置を使用して児童が撮影した積雪粒子の写真の一部を、Fig.3.2 に示す。この撮影装置を使用することで、多くの児童が良好な画像を取得することができており、児童が撮影した写真は雪の形を目視判別に供するものであることを確認した。ただし、児童への事後アンケートでは、ほとんどの児童は写真撮影が難しかったと回答しており、更なる装置の改良が必要なのかもしれない。



Fig.3.1 積雪粒子の撮影装置

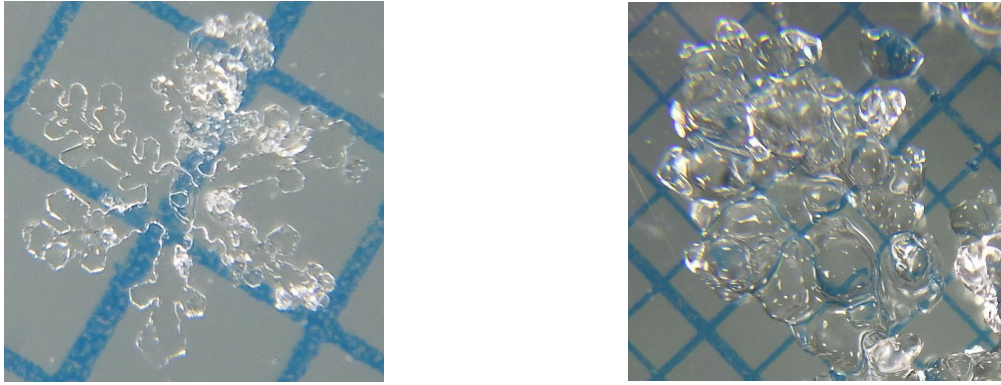


Fig.3.2 児童が撮影した積雪粒子の写真の例. 左) 新雪 (2022 年 1 月 21 日)、右) ざらめ雪 (2021 年 12 月 24 日)

次に、児童による雪の形の判別結果と、児童が撮影した積雪粒子の写真から専門家が判別した結果とを比較し、検証を行った。2021/12/20 から 2022/1/25 の期間に行われた 13 例の「雪のぼうさい空日記」による雪氷観察の結果を対象とした。その内、3 例については写真撮影が行われなかったり、判別結果の記述がなかったりしたことから検証から除外した。観察は昼休み時間中の 12 時 30 分前後に行い、一部は放課後に行った。グラウンドの積雪表面から採取した雪の形を観察し、雪の形の判別を行った。記録用紙に雪の形の区分と、その典型的な積雪粒子の写真に記載し、判別結果を記録用紙に直接記入する選択回答形式とした。雪の形の区分は、積雪分類(日本雪氷学会, 1998)を基にしながら、児童が理解しやすいような表現を利用し、新雪、少し丸まった雪(こしまり雪)、丸まった雪(しまり雪)、角ばった雪(こしもざらめ雪)、しめった雪(ざらめ雪)の 5 つの区分とした。

Fig.3.3 に、雪の形の判別結果を示す。専門家による判別では、新雪が 4 例、少し丸まった雪が 1 例、しめった雪が 5 例であり、丸まった雪や角ばった雪は出現しなかった。しめった雪は主に 12 月下旬の観察で出現しており、12/19 の降雪が、その後の融解によりざらめ雪と変態したものを観察したものと思われる。それ以外では降雪中の観察事例が多く、新雪が 4 例出現した。新雪の事例では、雲粒付着の少ない降雪結晶が多く観察された。

児童と専門家の判別結果を比較したところ、10 例中 8 例において判別結果が一致した。専門家がしめった雪と判別した事例では、全ての事例で児童と専門家との判別結果が一致していた。しめった雪では、雪の形のみならず含水状態も判別の指標となるため、判別に用いられる指標が多いことから一致率が高かったものと思われる。一方、専門家が新雪と判別した事例では、その半分にあたる 2 事例において、児童が少し丸まった雪、丸まった雪と誤判別していた。その例を Fig.3.4 に示す。少し丸まった雪と判別した事例では、雲粒が付着した雪片が撮影されていた。おそらく雲粒の丸い形を特徴として捉えたため、少し丸まった雪と判別したものと想像する。新雪の典型的な形状として選択欄に樹枝と広幅六花の写真のみを提示したため、新雪の多様な形状の特徴を正しく教授できていない可能性がある。丸まった雪と判別した事例では、少し融解した雲粒付着の少ない角板状結晶が、水滴とともに撮影されていた。この事例では観察を昼休み時間に行っており、日射の影響により観察中に粒子が融解したため、



結果として新雪を丸みを帯びた形状として誤判別した可能性がある。前述の事後アンケートでは、雪を融かさずに撮影することや、雪をばらして撮影することが、写真撮影が難しかった理由として挙げている。撮影には熟練が要するものと示唆される。

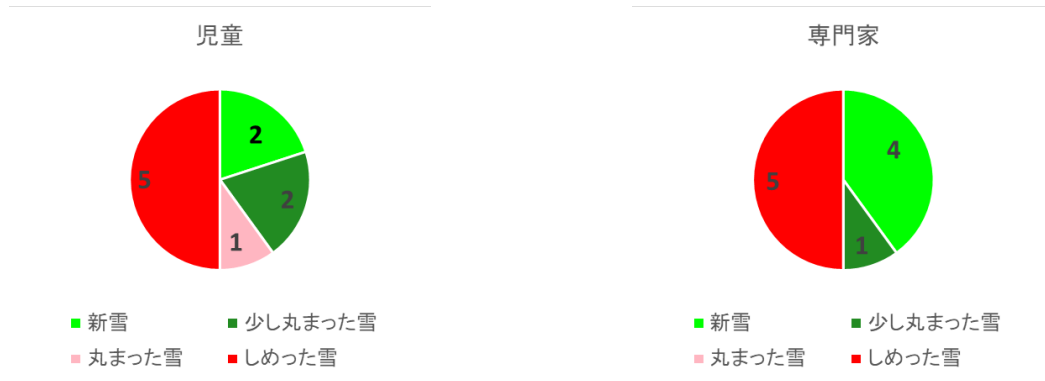


Fig.3.3 雪の形の判別結果. 左) 児童、右) 専門家

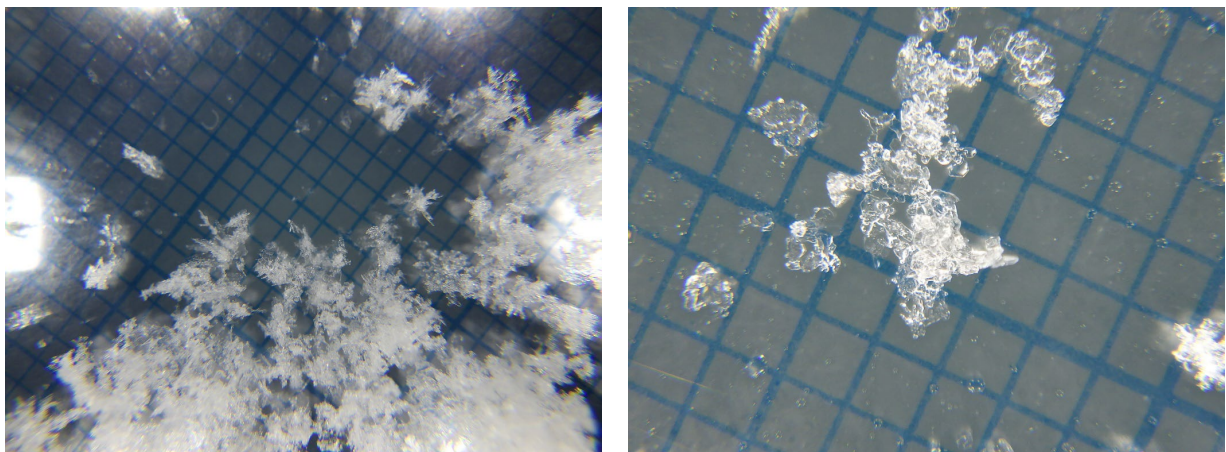


Fig.3.4 児童が誤判別した観察事例. 左) 少し丸まった雪と判別 (2022年1月18日)、右) 丸まった雪と判別 (2022年1月14日)

最後に、児童が撮影した画像を用いて積雪の粒子構造の画像解析を試みた。雪氷分野では専用の X 線マイクロ CT や MRI といった特殊な装置により得られた画像を用いて形状解析が行われているが、今回は写真という簡便に得られる二次元情報での解析を試みた。今回の撮影手法では、主に透過光により輪郭が強調された透明な積雪粒子として可視化される。通常の粒子の形状解析では、前処理として画像の輝度値に基づいて二値化処理により粒子とそれ以外とに区別する必要があるが、透明な積雪粒子ではそれらの輝度値の差が小さく、二値化処理が困難である。また、前処理として個々の粒子を特定する分割処理が必要であるが、画像では粒子同士が結合し、重なりあっているため、正確に個々の粒子に分割することは難しい。そのため、二値化処理と粒子分割処理を施す解析手法は適応が困難である。今回は、個々の粒子を特定する解析手法によらず、粒子の輪郭を対象とする解析手法を試みた。粒子の輪郭は、キャニー法によるエッジ検出を用いて抽出した。その結果の一例を Fig.3.4 に示す。新雪では直線や角



を持つ輪郭が抽出することができたが、ざらめ雪では実際の粒子の輪郭以外の箇所を輪郭として多く抽出していた。ざらめ雪では照明の状況に起因して輪郭が白色や黒色となっており、これにより画像解析により輪郭をうまく抽出することができなかったものと思われる。画像解析に適した照明方法の更なる検討が必要であると考えられる。

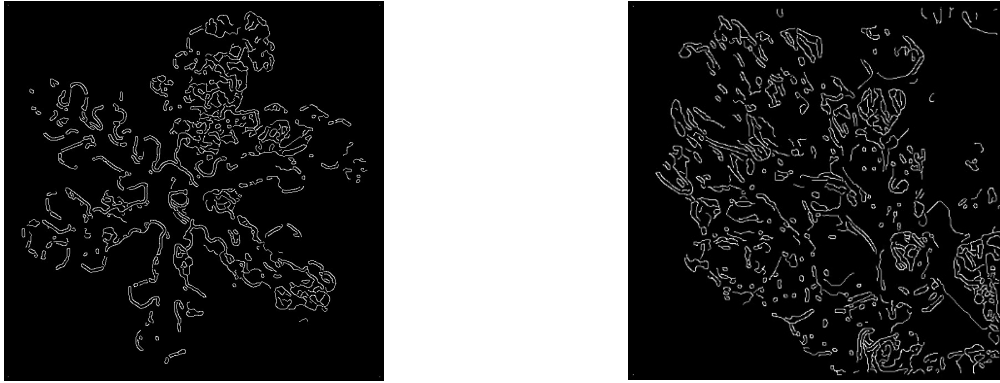


Fig.3.4 児童が撮影した積雪粒子の写真の二値化処理の例. 左) 新雪、右) ざらめ雪

## 4. 降雪粒子の観測

雪のぼうさい空日記は、児童たちも研究者の一員として位置づけており、その観察結果は雪氷研究に応用することを想定している。児童たちには雪の降り方を「みぞれ」、「ひらひら、大きい雪」、「シャーシャー、小さい雪」、「あられ」の4つに主観的に分類してもらった。これら分類のうち、「ひらひら、大きい雪」は、複数の降雪結晶が互いに絡み合って大きな降雪粒子となる雪片を、「シャーシャー、小さい雪」は雪片とはならず降雪結晶が単体で落下してくる様子を模して選択肢として設定した。このような降雪粒子の違いは、特に新雪を原因とする雪崩危険度の予測技術開発においては重要な情報となる。しかし、児童たちの印象によって得られる4つの分類と客観的な気象観測結果との関係性が不明であり、そのまま雪氷研究に応用することは難しい。そこで、降雪粒子の粒径と落下速度を自動計測する気象観測装置（以降はディストロメーター）を、栃尾小学校近くの京都大学防災研究所穂高砂防観測所の屋上に設置し、2021年12月から翌年3月まで連続観測を実施した。

設置したディストロメーターは、ビデオカメラを用いて落下中の降雪粒子を撮影することで、降雪粒子の粒径と落下速度を観測するものである（Fig. 4.1）。通常、ディストロメーターは非常に高価であるが、ビデオカメラを用いたものは、安価に自作することが可能でありながらも市販品と同等以上の精度で観測が可能である。ここでは、2022年1月18日、21日の児童たちによる観察結果とディストロメーターによる観測とを比較する。



Fig. 4.1 設置したディストロメーター. 写真中央の黄色い箱の中にビデオカメラが収められている.

1月18日のディストロメーターによる観測では、粒径は大きいもので約10mmとやや大きい雪が降っていた（Fig. 4.2 左）。落下速度については、ばらつきが大きかったが、およそ1m/sの落下速度の粒子が多く、比較的落下速度の低い粒子が多かった（Fig. 4.2 左）。このような粒径・落下速度の特徴は、雪片に特徴的なものである。児童が撮影した降雪粒子の写真（Fig. 3.4 左）においても、複数の降雪粒子が絡み合って10mm程度の塊となっている様子が示されており、実際に雪片が降っていたことが伺える。一方で、この時の降雪の様子を観察した児童は、雪の降り方を「シャーシャー、小さい雪」と表現していた。研究者の想定した雪の降り方のイメージと児童の感じ取るイメージが一致していなかった可能性がある。今後は、「ひらひら、大きい雪」に対応する雪の降り方の動画を児童に予め見せておくことやよりの確な選択肢の表現を考えるなどの対策が必要である。

1月20日のディストロメーターによる観測では、粒径は大きいもので約5mmと小さい雪が主体的に降っていた（Fig. 4.2 右）。この事例においても落下速度についてはばらつきが大きかったが、速いものでも2m/s程度の落下速度であり、多くの粒子は1

m/s 以下の落下速度であった (Fig. 4.2 右)。このような特徴は、降雪結晶が互いに絡み合わずに単体として落下している場合によくみられる特徴である。児童の撮影した写真 (Fig. 3.2 左) においても、雲粒付着のない樹枝状六花の降雪結晶がはっきりと記録されており、単結晶が主体の降雪だったことが伺える。この時の降雪を観察した児童も、雪の降り方を「シャーシャー、小さい雪」と表現しており、整合的である。このような雲粒付着のない降雪粒子は、雪粒子同士の結合力の弱い積雪層を形成することが知られている。よって、雪の降り方の主観的な観察によって注目すべき降雪種かどうかを認識できるかどうかは防災上重要となる。本年は、児童による観察が行われたタイミングで雪が降っていた事例が少なかった。より系統的な議論とするためには、今後も同様の取り組みを継続する必要がある。

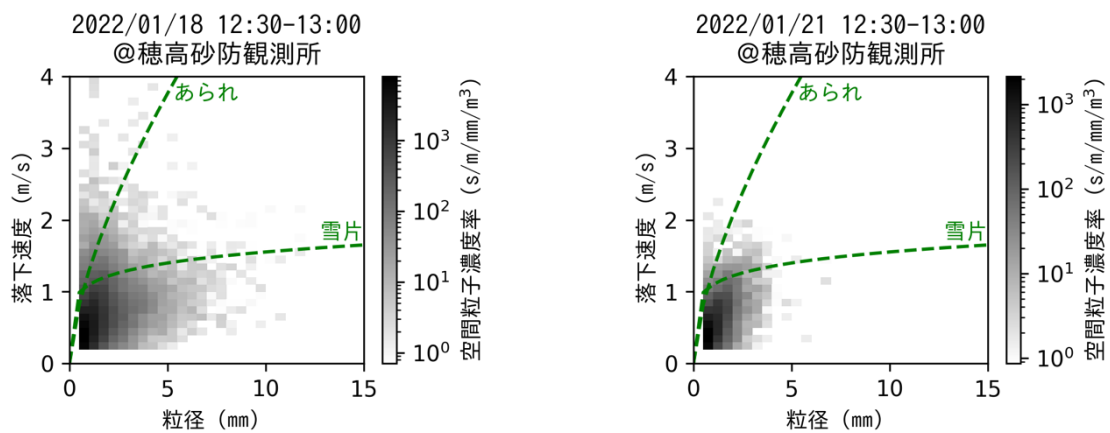


Fig. 4.2 ディスドロメーターによる観測結果. 左) 1月18日、右) 1月21日の事例. 補助的に、既往研究により分かっている雪片とあられの最適粒径-落下速度関係式を破線で記入した.

ディスドロメーターによる観測では、落下速度のばらつきが大きい事例が散見された。降雪中に強い風が吹いていると落下速度のばらつきが大きくなることもあり、これが原因となった可能性がある。1月18日や21日における平均風速は約3 m/s となっており (Fig. 4.3)、瞬間的にはより強い風が吹いていた可能性がある。強風下では、降雪粒子は終端速度とならずにディスロメーターに取り込まれてしまうことがあり、結果的に落下速度の大きいばらつきの要因となったと考えられる。本年度は、ディスロメーターの設置場所として、穂高砂防観測所の屋上を選定したが、より風の弱い他の場所を検討する必要がある。また、その他の対策として、防風ネットの二重化も有効と考えられる。

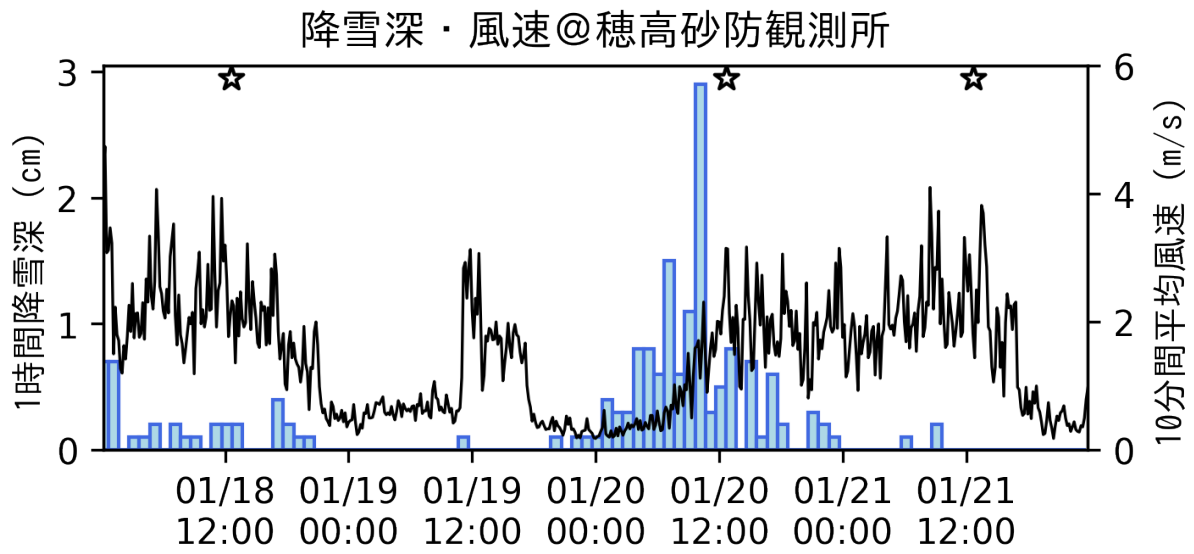


Fig. 4.3 穂高砂防観測所で観測された1時間降雪深（棒グラフ）と10分間平均風速（折れ線グラフ）. ☆印は児童による観察を実施した時点を示す.

## 5. おわりに

本研究では岐阜県高山市立栃尾小学校 4 年生を対象として雪氷災害に関する授業および児童によるぼうさい空日記、積雪結晶の撮影を行った。その結果、大雪や雪崩の災害リスクに対する関心の向上が確認された。一方で、実際にどの程度危険な状態であるのかという点については、過去の観測結果や災害事例を紹介するなどの補足が必要と考えられる。

児童による簡便な方法で積雪を採取し撮影する手法を実施したところ、児童による積雪結晶の分類と専門家の分類が結晶の種類によっては概ね一致した。一方、新雪などは判別が難しく、これらの判別については授業での伝達方法の改善が要することが判った。市民科学的手法の試みとして、児童が撮影した結晶写真による結晶構造の定量評価を行うための画像解析を実施した。ざらめ雪などでは輪郭をうまく判別することができず、結晶の輪郭を捉えるための二値化処理を適正に行うためには照明や撮影場所などに工夫が必要であることが判った。

児童の降雪の印象によって得られる 4 つの分類と客観的な気象観測結果との関係性を明らかにするために、穂高砂防観測所において降雪粒子径および降雪速度を計測するディストロメータによる観測を行った。観測結果と児童の降雪の分類はあまり一致せず、研究者側が想定した降雪の分類が児童の感想と異なっていた可能性が考えられた。授業の際に各分類の降雪の動画を見せて解説するなどの工夫が必要と考えられた。

本研究では雪氷災害に関する防災授業の一環として児童が得た観測結果を雪崩に関する研究に利用するという市民科学的手法を採用するにあたっての課題が得られた。栃尾小学校での防災授業は 2022 年度以降も継続していく予定であり、授業内容および観測手法を改善して質の良いデータ取得および高い教育効果を得る努力を続ける。最後に、ここに授業やぼうさい空日記といった取り組みに協力していただいた栃尾小学校の教職員、児童の皆様に感謝を記します。

### 引用文献

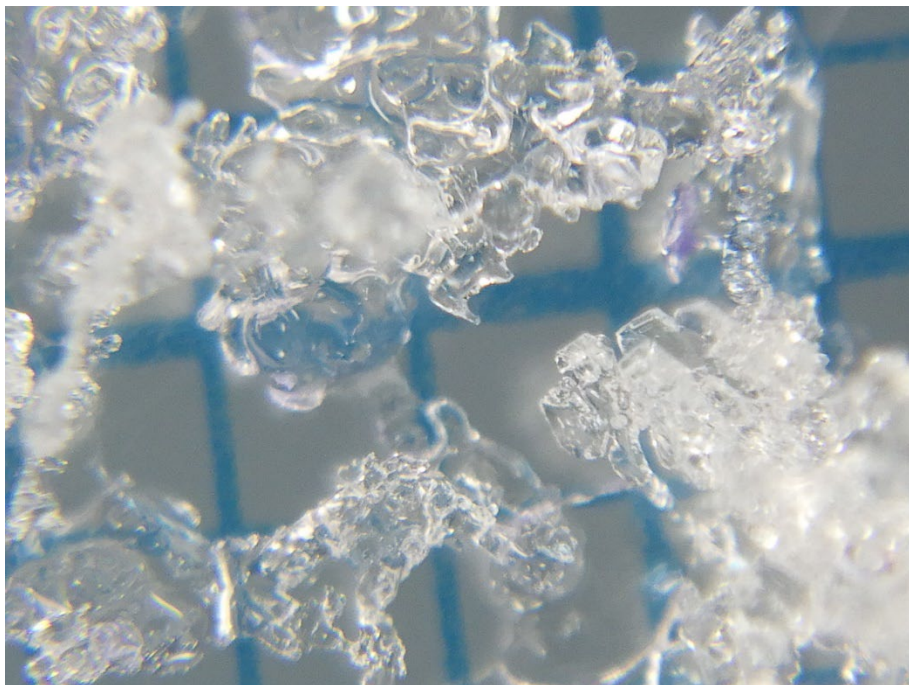
日本雪氷学会 (1998) : 日本雪氷学会雪崩分類, 雪氷, 60(5), 437-444



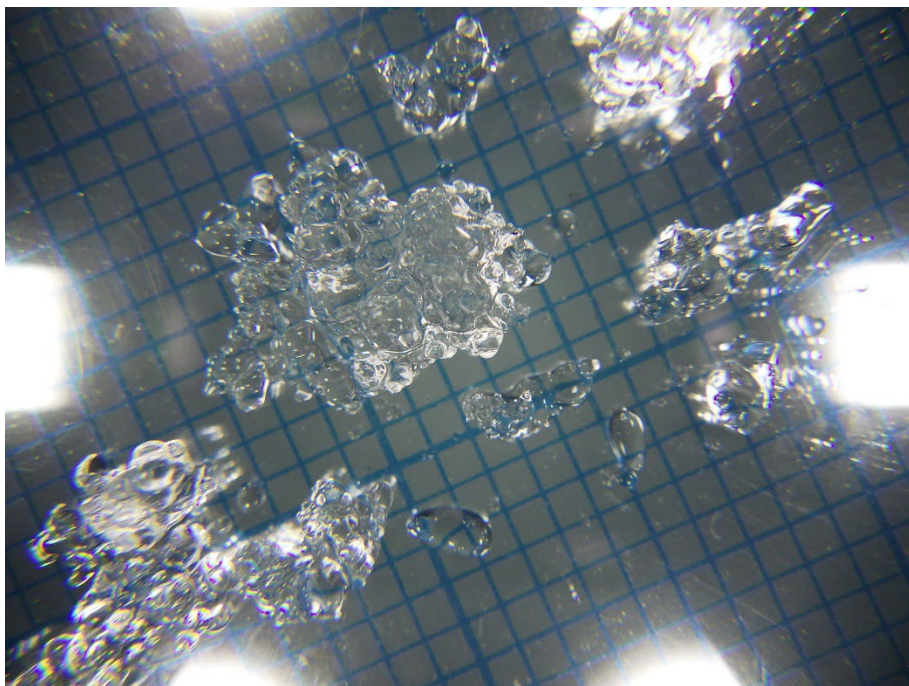
## 付録

積雪粒子の撮影結果（青線の格子間隔が 1 mm をあらわす）

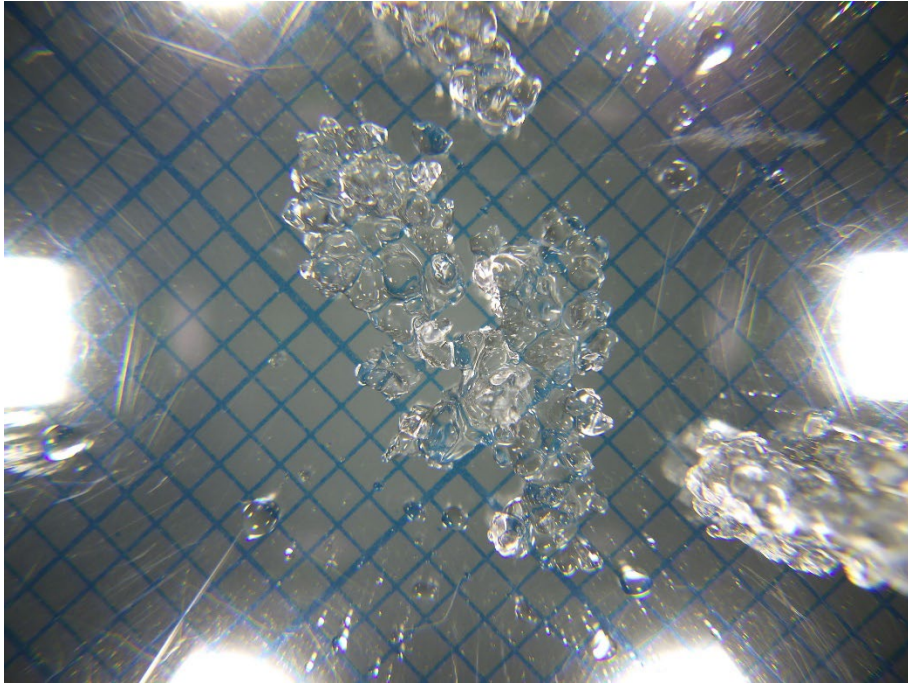
12月20日 12:41



12月21日 12:35



12月22日 15:05

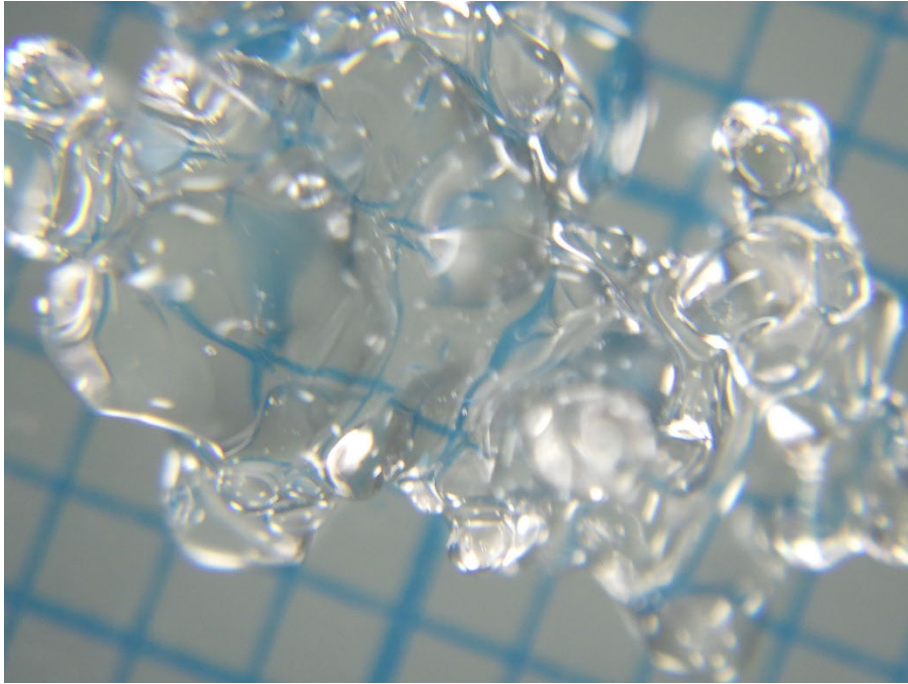


12月23日 12:39

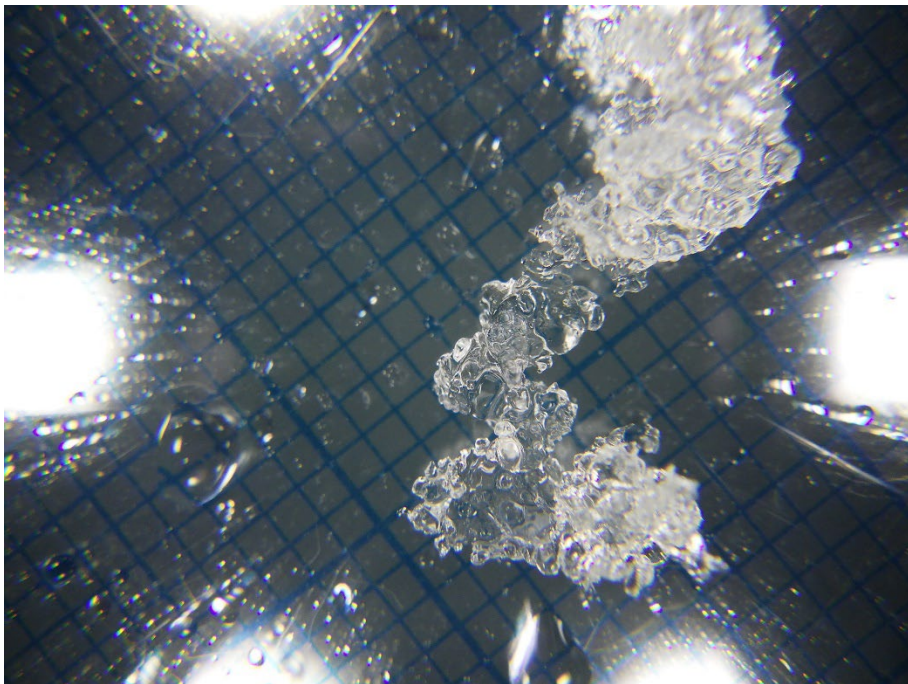




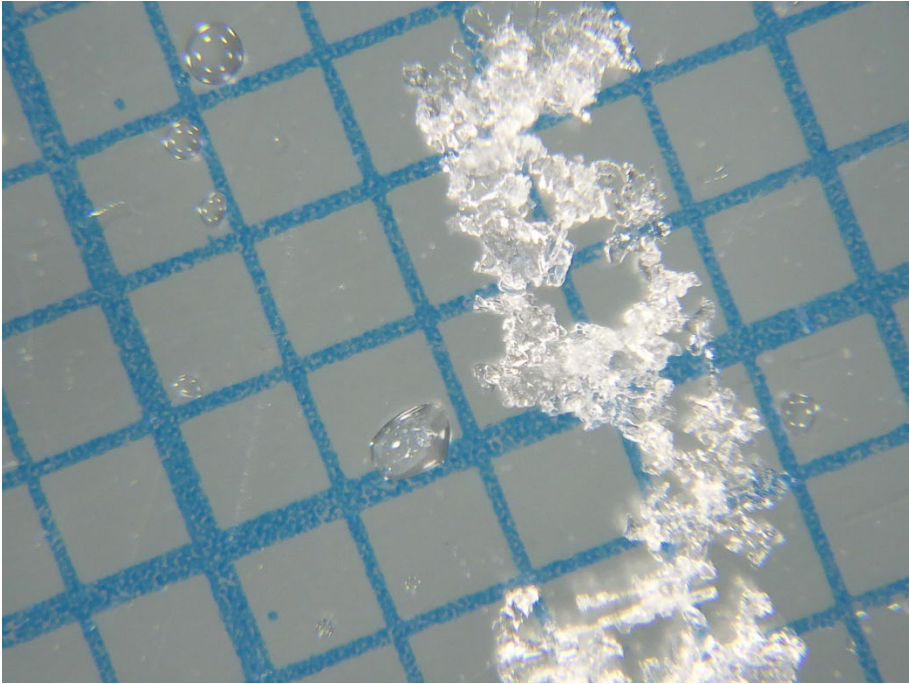
12月24日 12:33



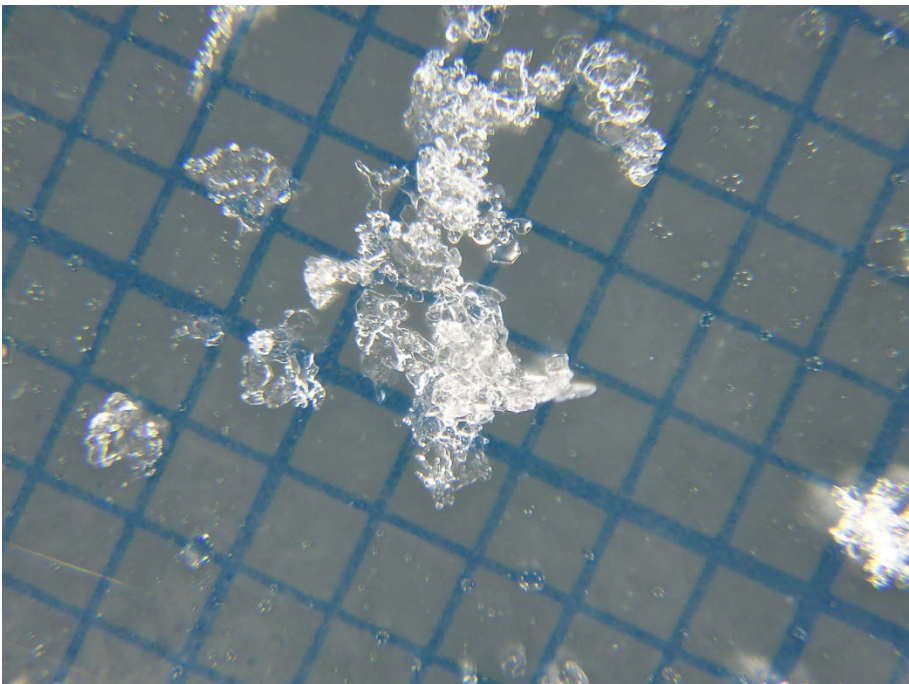
1月11日 12:42



1月13日 12:39

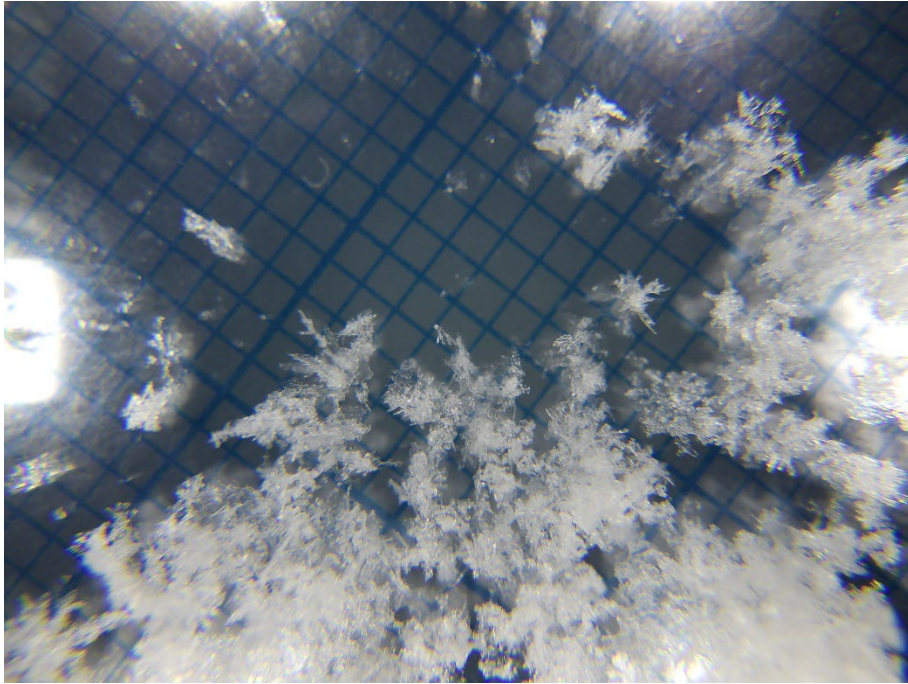


1月14日 12:48

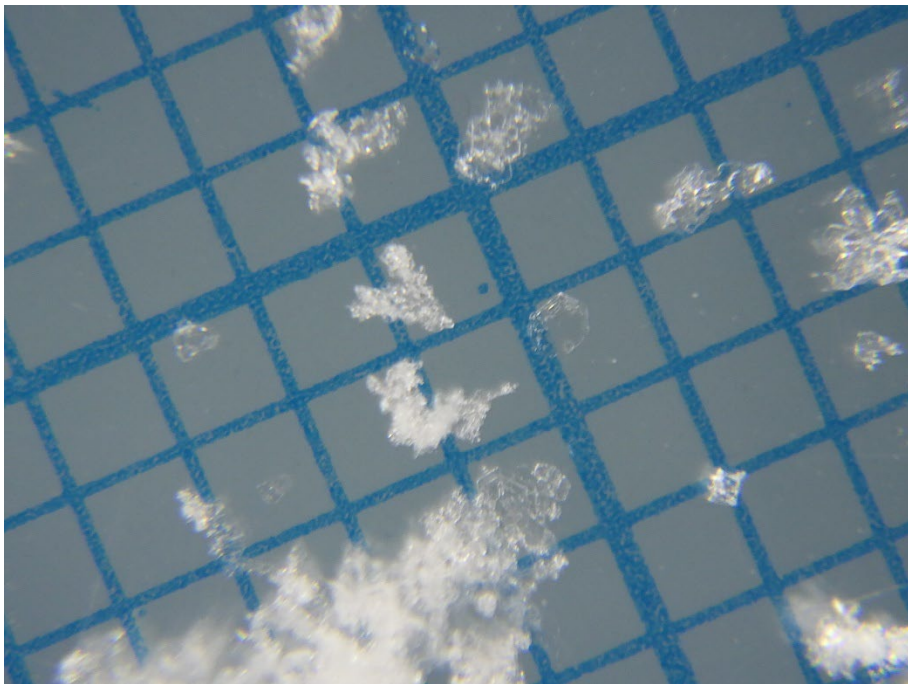




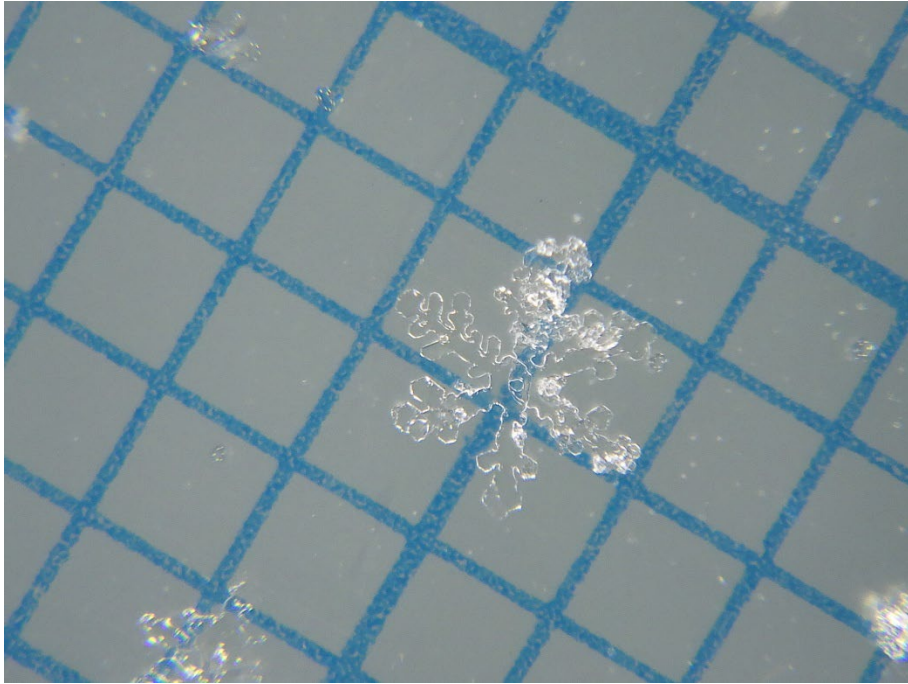
1月18日 12:38



1月20日 12:44



1月21日 12:44



1月25日 12:40

