

降雪粒子観測と積雪断面の対応に基づく積雪初期構造形成の解析

—2025/26 冬期 北海道北見市の観測から—

Analysis of the Formation of Initial Snowpack Structure Based on Observations of Snowfall Particles and Snow Cross-Sections manuscript preparation -Observations from the 2025/26 Winter in Kitami Hokkaido-

大橋 康樹¹, 白川 龍生²

Koki Ohashi¹, Tatsuo Shirakawa²

Corresponding author: shirakaw@mail.kitami-it.ac.jp (T. Shirakawa)

¹北見工業大学大学院, ²北見工業大学

¹ Graduate School of Engineering, Kitami Institute of Technology

² Kitami Institute of Technology

本研究では、北海道北見市において 2025/26 冬期の降雪イベントを対象に、降雪粒子観測と積雪断面観測を対応付けることで、同一地点・同一冬期における降雪から積雪形成に至る過程を連続的に捉えた。従来、降雪粒子観測と積雪断面観測は個別に行われることが多く、降雪から積雪形成に至る連続的な対応関係は十分に検証されてこなかった。代表事例として 12 月 14, 15 日の降雪事例、全体事例として今冬期の降雪粒子特性（粒径、落下速度）がどのように積雪の密度推移、圧縮粘性係数推移に影響を及ぼしているかに着目する。その結果より、降雪粒子の特性が積雪初期構造に反映される関係性を示し、積雪層形成における初期条件の重要性を明らかにすることを目的とする。

1. はじめに

降雪粒子の粒径や落下速度といった物理的特性は、地表に積もった後の積雪層の形成に影響を与えると考えられる。これまで、降雪粒子の特性に焦点を当てた研究は数多く行われてきた^{1,2)}。同様に、降雪後の変質過程においても知見が示されている³⁾。しかし、従来の研究では、降雪粒子の観測と、積雪断面観測はそれぞれ個別に行われることが多く、降雪から積雪形成に至るまでの連続的な対応関係は十分に検証されていない。

本研究の新規性は、同一冬期・同一地点において取得したディストロメーターによる降雪粒子観測と積雪断面観測結果とを対応付けることで、降雪から積雪形成に至る過程を連続的に明らかにしようとする点にある。本研究では、はじめに代表事例として、一晩で 56 cm もの降雪が観測され、なおかつ降ってくる時間により降雪粒子特性（粒径・落下速度）が変化していた 12 月 14, 15 日の降雪事例に着目する。そして最後に今冬期の全体事例に着目する。降雪から積雪に取り込まれる過程の中で降雪粒子特性（粒径、落下速度）がどのように積雪の密度や圧縮粘性係数に影響を及ぼしているかについて着目し、その関係性を

示し、積雪層形成における初期条件の重要性を明らかにすることを目的とする。

2. 研究方法

2025/26 冬期に北見工業大学敷地内にディストロメーターを設置し降雪粒子観測を行った。並びに、同地点にて積雪断面観測を実施した。そこでは、降雪イベントに対応する積雪層の密度などを現地で測定した。圧縮粘性係数は、低密度の雪においても適応可能と報告されている、遠藤ら（1990）を参考にして値を算出している³⁾。

本研究では、ディストロメーターの降雪粒子データおよび、降雪時の天気図との対応を考慮し、3 時間という時間幅を 1 つの降雪イベント（積雪層）として定義した。ただし、十分な厚さの積雪層が形成されず、密度が測定できなかった場合や、対応関係が不明瞭な場合は解析から除外した。はじめに、今冬期の代表例として、12 月 14, 15 日の降雪事例を紹介する。そして、全体事例では、降雪粒子特性（粒径、落下速度）ごとの積雪密度の時間変化、圧縮粘性係数の時間推移を求め、それらの関係を解析した。

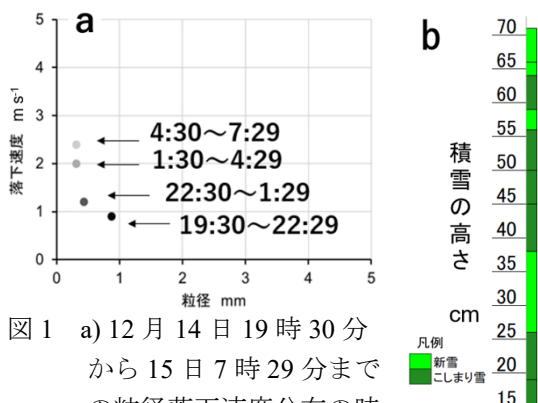


図1 a) 12月14日19時30分から15日7時29分までの粒径落下速度分布の時間変化。
b) 新たに積もった部分の雪質（地面からの高さ15 cmより上の部分）。

3. 研究結果および考察

3. 1 代表事例（12月14、15日の大雪）

図1は、12月14、15日の北見における大雪事例である。なおこの際、積雪断面観測結果の新たに積もった部分の雪質より、一晩に56 cmもの降雪量が確認された。図1aより、14日の最初の時間帯（19時30分から22時29分）では、平均粒径が0.875 mmの降雪粒子であったが、次の時間帯（22時30分から翌日1時29分）では、0.438 mm、1時30分から4時29分および4時30分から7時29分では平均粒径が0.313 mmとなり、時間が経つにつれ、降雪粒子は粒径が小さくなっていった。また、平均落下速度についても、最初の時間帯（19時30分から22時29分）では、 0.9 m s^{-1} という値であったが、一連の大雪事例の終盤である時間帯（15日4時30分から7時29分）では、平均落下速度が 2.4 m s^{-1} となっており、こちらも時間が経つにつれ平均落下速度が大きくなっていった。

図1bは12月14、15日の大雪で新たに積もった部分の雪質である。26~38 cm層の密度は 81 kg m^{-3} と測定され、他の層に比べ低い値の層であった。15日の積雪断面観測より、この層は一連の大雪の序盤に降雪した層であることが確認された。また、期間の序盤は $-4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 前後であったこと（図2c）、総降雪粒子数も他の期間と比べ少なかったことなどを考えると（図2b）、26~38 cm層は、期間の序盤である19時30分から22時29分に観測された降雪と対応すると推定される。一方、59~64 cm層の密度は 153 kg m^{-3} と測定され、他

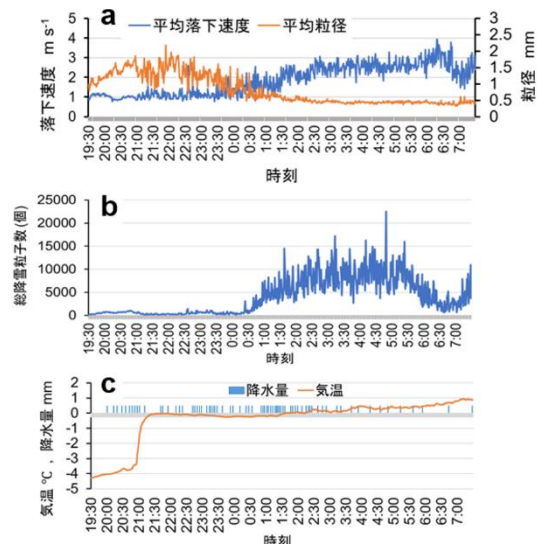


図2 12月14日19時30分から15日7時29分までの各推移（1分おき）。
a) 平均粒径，落下速度の推移。
b) 総降雪粒子数の推移（a，bとも15日3時22、23分は欠測）。
c) 気温と降水量の推移。

の層に比べ高い値の層であった。15日の積雪断面観測より、この層は一連の大雪の中盤から終盤に移行する時期にかけて降雪した層であることが確認された。この期間は気温が $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ または $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ をわずかに超えていたこと（図2c）、総降雪粒子数も他の期間と比べ多かったことなどを考えると（図2b）、59~64 cm層は期間の中盤から終盤である15日1時30分から4時29分に観測された降雪と対応すると推定される。また前述もしたが、 $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ を超えている期間もある降雪であったため湿雪であったと考えられる。図2では、12月14日19時30分から12月15日7時29分までの1分ごとの平均落下速度、平均粒径、総降雪粒子数、気温、降水量の推移を示している。図2aより、期間の序盤は、平均落下速度が 1 m s^{-1} 前後の降雪粒子が多かったが、時間が経つにつれ徐々に大きくなっていき $2 \sim 3 \text{ m s}^{-1}$ と変化した。平均粒径についても、22時前後では、1.5 mm程度の粒子が確認されたが、期間の終盤では、0.5 mm程度に変化した。図2bは総降雪粒子数である。期間の序盤は少なかったが、中盤から終盤にかけては多かった。図2cは気温と降水量の推移である。期間の序盤は、 $-4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 前後での降雪であったが、期間の中盤以降では、気温が $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ または $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ をわずかに超えている状況での降雪であった。

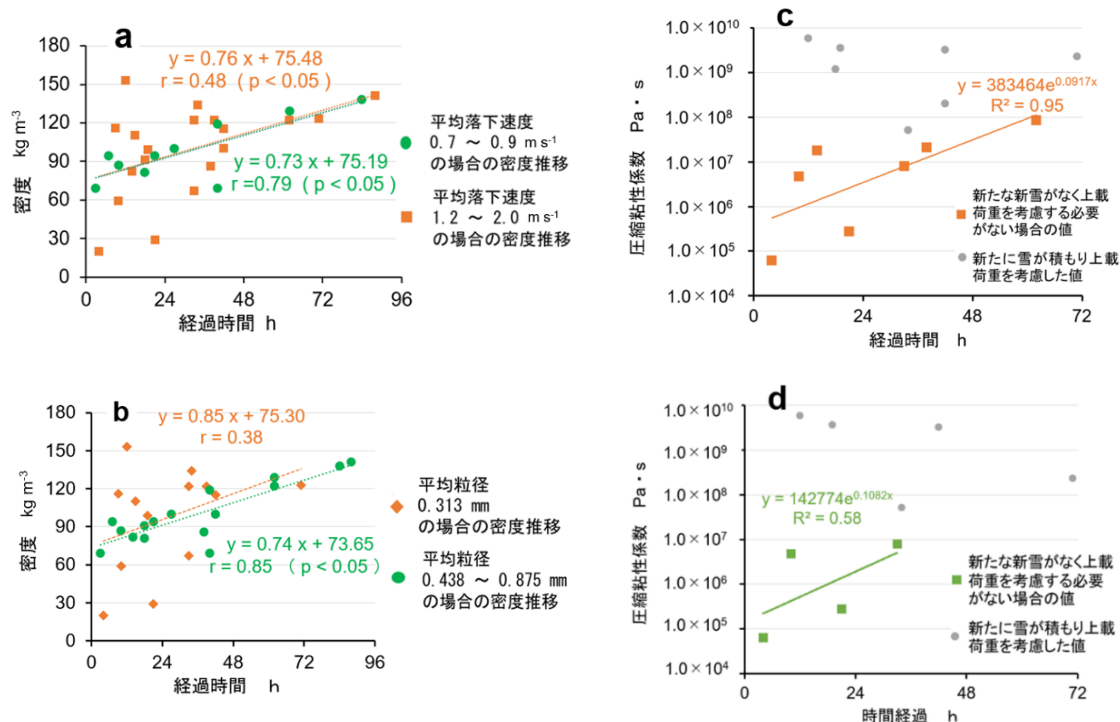


図3 a) 降雪粒子の落下速度分類による密度推移.
b) 降雪粒子の粒径分類による密度推移.
c) 平均粒径が 0.313 mm の場合の圧縮粘性係数推移.
d) 平均落下速度が 1.2 m s^{-1} の場合の圧縮粘性係数推移.

以上の結果より 12 月 14, 15 の代表事例では、降り始めは平均粒径が大きく、平均落下速度が小さい降雪粒子であった。しかし中盤から終盤にかけては、平均粒径が小さく、平均落下速度が大きい降雪粒子に変化した。気温については、 0°C または 0°C を超えている状況の降雪期間では湿雪であったと考えられる。

3. 2 全体事例

今冬期、降雪イベントと積雪層との対応が確認された事例は 12 回あった。ディストロメーター観測からは平均粒径が $0.313 \sim 0.875 \text{ mm}$ 、平均落下速度は $0.7 \sim 2.0 \text{ m s}^{-1}$ の範囲であった。図 3 では密度および圧縮粘性係数についての推移を平均粒径、平均落下速度別に示す。その結果、図 3a に示す落下速度分類に基づき、平均落下速度が 1.0 m s^{-1} より小さい $0.7 \sim 0.9 \text{ m s}^{-1}$ の場合と、 1.0 m s^{-1} より大きい $1.2 \sim 2.0 \text{ m s}^{-1}$ の場合に降雪イベントを分類した。 $0.7 \sim 0.9 \text{ m s}^{-1}$ の降雪イベントでは有意な相関が認められた ($r = 0.48$, $p < 0.05$)。また、 $1.2 \sim 2.0 \text{ m s}^{-1}$ の降雪イベントにおいても有意な相関が認められた ($r = 0.79$, $p < 0.05$)。こ

れらの結果から、両者とも時間と密度の間に対応関係が示された。以上より、本解析範囲では、落下速度の違いにおける密度の変質過程について明瞭な差は確認されなかった。その上で、落下速度以外の物理的要素が変質過程に影響を及ぼすであろうと考え、粒径に着目した。図 3b は降雪粒子の粒径分類による密度推移である。平均粒径が 0.313 mm の場合と平均粒径が $0.438 \sim 0.875 \text{ mm}$ の場合に分けた。これは、平均粒径が 0.313 mm の場合の降雪イベントが多かったという理由があり、この粒径とそれより大きい粒径に分類したということである。結果より、平均粒径が 0.313 mm の場合において、有意な相関は認められなかった ($r = 0.38$, $p > 0.05$)。一方、平均粒径が $0.438 \sim 0.875 \text{ mm}$ の場合では、有意な相関が認められ ($r = 0.85$, $p < 0.05$)、時間と密度の間に対応関係が示された。上記より、平均粒径が 0.313 mm の場合において有意な相関が得られなかった原因は、積雪層が形成されたと推定される時刻からの経過時間が短く、密度のばらつきが大きかったためであると考察される。また、降雪時

の気象条件も密度形成に影響を及ぼすと考えられ、更なる検討が必要である。

図3cおよびdは、圧縮粘性係数の推移である。圧縮粘性係数とは、積雪粒子の抵抗する力が小さく、圧密しやすいと小さい値になる。一方、積雪粒子の抵抗する力が大きく、圧密しにくいと大きな値をとる数値である。ここでは、今冬期降雪事例が多かった、降雪粒子の平均粒径が 0.313 mm の場合と平均落下速度が 1.2 m s^{-1} の場合に着目して、解析を行った。図3cは、平均粒径が 0.313 mm の場合の圧縮粘性係数推移である。新たな新雪がなく上載荷重を考慮する必要がない場合に着目した結果、図に記載した回帰式が得られた ($R^2=0.95$)。それに対し、図3dでは平均落下速度が 1.2 m s^{-1} の場合に着目した。こちらの場合でも図に記載した回帰式が得られた ($R^2=0.58$)。以上、両者から得られた回帰式より、自然対数の係数部分(初期値を表す指標)は粒径、落下速度ごとに大きく異なっていた。一方、自然対数の指数部分(変質過程を表す指標)は類似した値を示しており、積雪の変質過程については同様の傾向を示す可能性が示唆された。

4. まとめ

本研究では、北海道北見市において 2025/26 冬の降雪イベントを対象に、降雪粒子観測と積雪断面観測を対応付けることで、降雪から積雪形成に至る過程を連続的に捉えた。落下速度について検討したところ、本解析範囲では、密度の変質過程に明瞭な差は確認されなかった。加えて、圧縮粘性係数の初期値は粒径、落下速度ごとに大きく異なっていたことが確認された。今後は、降雪時の気象条件をより詳細に考慮することで、本研究で示した積雪形成における初期条件の重要性が、さらに明確にできると考えられる。

【参考文献】

- 1) Ishizaka *et al.* (2013) : A New Method for Identifying the Main Type of Solid Hydrometeors Contributing to Snowfall from Measured Size-Fall Speed Relation. *JMSJ*, **91**, 747-762.
- 2) Katsuyama, Y., and M. Inatsu. (2021) : Advantage of volume scanning video disdrometer in solid-precipitation observation.

SOLA, **17**, 35-40.

- 3) 遠藤八十一, 大関義男, 庭野昭二 (1990) : 低密度の雪の圧縮粘性係数と密度の関係. 雪氷, **52**(4), 267-274.