

## 春季の低温下における積雪内部の融解・凍結構造の観測例

### Observations of melt-freeze structures within snowpack under low-temperature conditions in spring

白川 龍生<sup>1</sup>, 八久保 晶弘<sup>1</sup>, 大橋 康樹<sup>2</sup>

Tatsuo Shirakawa<sup>1</sup>, Akihiro Hachikubo<sup>1</sup>, Koki Ohishi<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>北見工業大学, <sup>2</sup>北見工業大学大学院工学研究科

<sup>1</sup> Kitami Institute of Technology, <sup>2</sup> Graduate School of Engineering, Kitami Institute of Technology

本研究は、近年観測事例が増えている「凍結した水みちの痕跡」を手がかりに、北海道北見にて春季の低温環境下における融雪・凍結構造の観察を行った。この時期は気温が 0 °C を境に上下するゼロクロッシング期間に相当する。平均気温は氷点下であるが、日中の気温上昇時に雪面近くの層の含水率が上昇することにより、融水が積雪内を流下し水みちを形成する。その後、気温低下により再凍結してつらら状の氷塊となる。融解と凍結の過程で強化される。含水率測定により検証した結果、この仮説は概ね成立するといえる。

#### 1. はじめに

本研究は、北海道北見で実施した、春季の低温環境下における融雪・凍結構造の観察事例を報告するものである。筆者らは 2024 年 3 月、北見にて積雪内に「凍結した水みちの痕跡」の存在を確認した(図 1)<sup>1)</sup>。これは積雪内に形成された氷板または凍結ざらめ雪が日中の気温上昇時に含水し、融水が積雪内を流下した際に形成された水みちで、その後の気温凍結により再凍結し、つらら状の氷塊になったものである。2025 年 2 月には、北見、釧路、留萌、帯広で同様の現象が確認された(後述)ことから、この現象には再現性があると考えられる。そこで本研究では、春季の低温下(ゼロクロッシング期間)において積雪内の氷板および水みち周辺の含水率を測定し、積雪内部の融解・凍結構造を観測したので報告する。



図 1 積雪内に形成された「凍結した水みちの痕跡」(2025 年 3 月 6 日, 北見)。

#### 2. 2024/25 年冬期における北見の積雪概況

図 2 は、2024/25 年冬期に北見工業大学内で実施した積雪断面観測<sup>2), 3)</sup>と関連気象要素である<sup>4)</sup>。

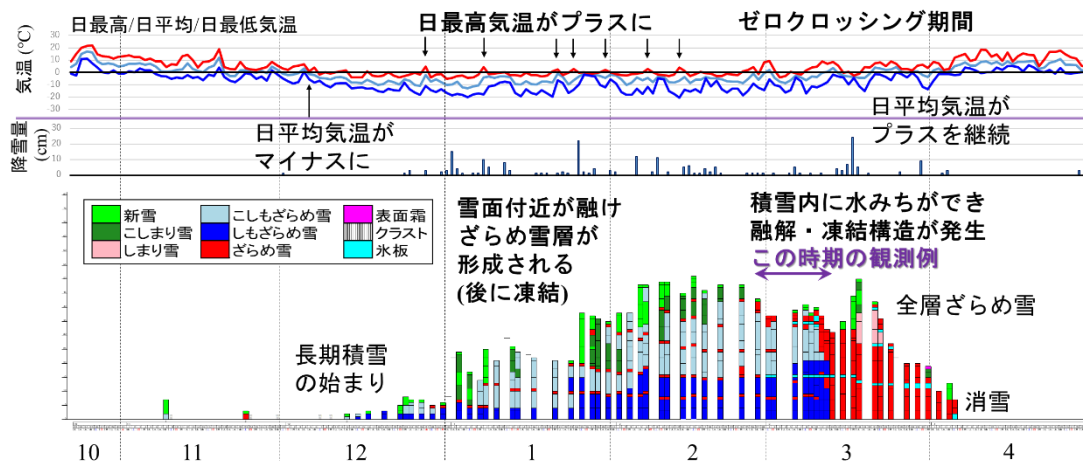


図 2 2024/25 年冬期、北見における積雪断面観測結果と関連する気象要素(北見アメダスの値)。

12月12日からの長期積雪期間は116日間、これは筆者らが観測した2013/14年冬期以降の平均的な値であったが、最深積雪51cmはこれまでの最小値となった。図2に示すように、12月下旬から2月中旬にかけて日最高気温がプラスとなる日が計7日あり、このとき雪面付近が融けざらめ雪の層が形成された。これらの層は後に凍結し、凍結ざらめ雪として融雪期まで積雪内に存在した。上下の層に比べ通気性が低く、この層を境界に、こしもざらめ雪やしもざらめ雪が発達した。2月下旬以降は春季の低温下(気温が0°Cを境に上下するゼロクロッシング期間)に入り、積雪内に複数の氷板が形成された(図3, 図4)。この時期、日中に雪面付近が濡れると融解水が生じ、積雪内を鉛直下向きに流下する(水みち形成)。途中、雪温がマイナスとなると、融解水が凍結する。水みちはやがて下の氷板に到達し、上下の氷板層を結ぶ経路ができた(図1)。気温上昇に伴い積雪内部で融解水が増加すると、水みちの数は増加した。日平均気温がプラスとなり全層ざらめ雪になると、周囲の雪も濡れるため、水みちは境界が不明瞭となった。その後、積雪は4月5日に消雪した。



図3 雪面付近に形成された氷板(光が透過)。

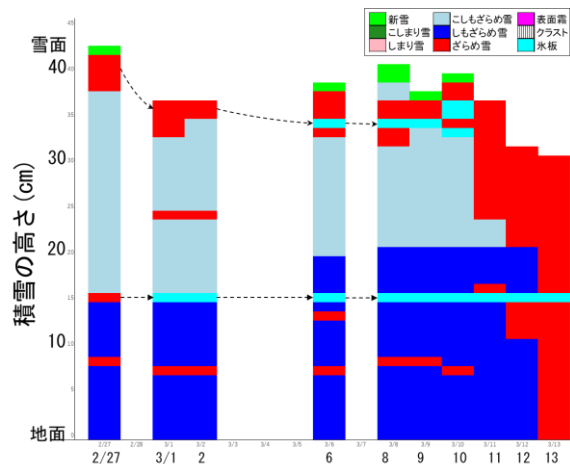


図4 ゼロクロッシング期間の積雪相位図。

### 3. 氷板・水みちの含水率測定

積雪内の氷板は、厳冬期に不透水層として機能するが、ゼロクロッシング期間は日中の気温上昇時に含水していると考えられる。筆者らは、鉛直下向きに流れる水みちのように、氷板は水平方向の水の通り道として機能していると仮説を立て、氷板および水みちの含水率を測定した。測定は秋田谷式含水率計<sup>9)</sup>を用いて、3月11日から13日の3日間、いずれも12時台、14時台、16時台に実施した(図5; 最終日は16時頃の1回のみ)。(1) 3月11日(気温: +8.4, +9.3, +7.9°C)

最表層(数cm分)の含水率は約22%であり、かなり高い。既往の観測事例等を鑑みても、氷体内にある程度の液体水が含まれないとこの値には達しないと考えられる。一方、その下層については含水率がやや低い。12時台の時点では、まだ水みちと下の氷板(地面から15cm)は凍結している。14時台になると、含水している水みちがみられ、下の氷板も含水していた。16時台の時点では、氷板の含水率が約13%まで増加した。水みち(長さ: 約20cm)の上部・下部での含水率は差異がみられなかった。この時刻においては、



図5 含水率の測定(a: 測定中, b: 装置内)。

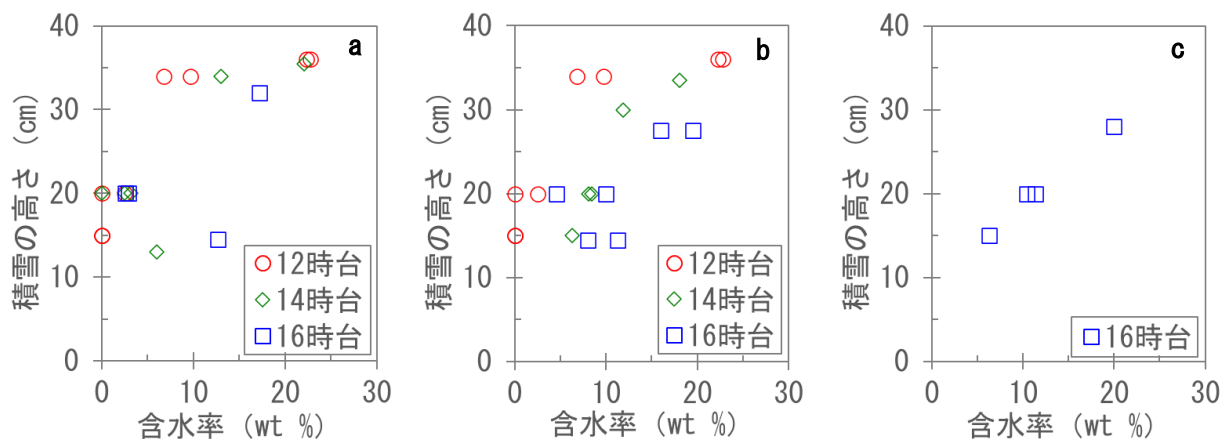


図6 含水率と積雪相位の関係 (a: 3月11日, b: 同12日, c: 同13日; 雪質は図4を参照).

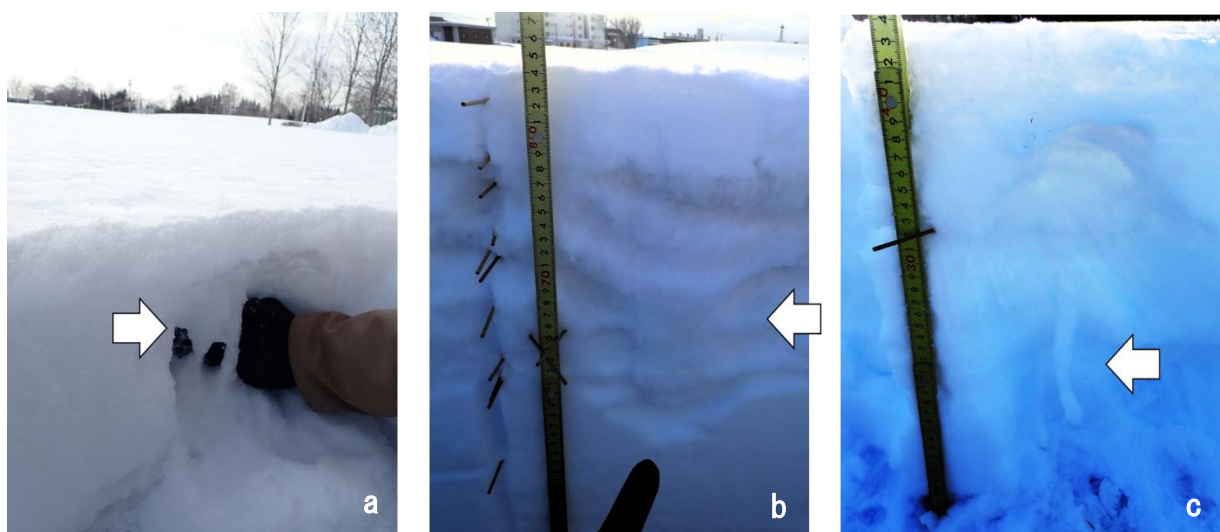


図7 北海道内他地域でも観察された、凍結した水みちの痕跡 (a: 2025年2月16日 釧路, b: 同20日 留萌, c: 同26日 帯広). 帯広については図8も参照.

水みちとして機能しているものと、そうでないものが混在している。

(2) 3月12日 (気温: +6.1, +5.3, +5.7°C)

12時台の最表層(数cm分)は含水率がかなり高く、前日の3/11とほぼ同程度である。これ以上増加すると融解水が積雪中を流下すると考えられる。

この日は、水みちと同じ深度の積雪層(16-32cm)でも含水率を測定した。周囲の層では上層が高く(約8%),下層で低い(約3%)傾向がみられた。水みちとの含水率の差は有意ではなく、概ね同じと考えられる。この観察結果より、水みちは前日に比べ相対的に柔らかくなり、周囲の積雪層との差が小さくなったと考えられる。

(3) 3月13日 (気温: +9.9°C; 16時台のみ実施)

この日は、気温上昇に伴い積雪が全層ざらめ雪

となった。含水率の鉛直分布は直線的となり、水みちは上の氷板層と下の氷板層の中間的な値を示すようになった。水みち周囲の濡れ雪の含水率は14.6%で、これは融解・凍結を繰り返す水みちよりも高い値であった。

この日を境に、水みちと周囲の積雪(ざらめ雪)との差は不明瞭となった。

#### 4. 他地域で観察された「凍結した水みちの痕跡」

先述のように、2024/25年冬期には他の現場でも同様の事例が確認された(図7)。特に図7bの留萌では複数の氷板が沈降し、それらを貫く太い水みちが形成された痕跡が明瞭に確認された<sup>6)</sup>。

帯広については、2025年2月4日の記録的大雪の際に生じた厚い雪層が積雪内に存在しており、同地で採取したサンプルは、他の現場に比べ





図8 帯広における凍結した水みちの痕跡. 2025年2月4日の大雪に伴う特徴がみられる.

相対的に長かった<sup>6)</sup> (図8).

これらの現象は、既往の報告事例が見当たらず、近年の気候変動に伴う雪氷環境の変化の現れとも考えられ、今後注目に値する現象といえる。

### 5. まとめ

本研究では、春季の低温環境下における融雪・凍結構造の観察を行った。この時期は気温が0°Cを境に上下するゼロクロッシングの時期に相当する。平均気温は氷点下であるが、日中の気温上昇時に雪面近くの層の含水率が上昇することにより、融水が積雪内を流下し水みちを形成する。その後、気温低下により再凍結し、つらら状の氷塊となる。水みちは融解と凍結の過程で強化され、やがて周囲の積雪が全層ざらめ雪になると両者の境は不明瞭となる。含水率測定により検証した結果、この仮説は概ね成立することがわかった。この事例は従来報告事例がなかったが、2024/25年冬期は北見に限らず北海道内の複数地点でも観察された。

### 【謝辞】

本研究は JSPS 科研費 24K07984 の助成を受けたものです。

### 【参考文献】

- 1) 白川龍生, 八久保晶弘, 大橋康樹 (2024) : 2023/24 年冬期, 北見で見られた積雪の特徴

一少雪, 2月の暖気, その後の低温の影響一、北海道の雪氷, 43, 91-94.

- 2) 八久保晶弘, 大橋康樹, 白川龍生 (2025) : 北見における積雪最下層の水安定同位体比の変化. 北海道の雪氷, 44, 印刷中.
- 3) 大橋康樹, 白川龍生, 八久保晶弘 (2025) : 2024/25 年冬期, 北海道北見市において観測された降雪粒子の特徴. 北海道の雪氷, 44, 印刷中.
- 4) 気象庁ウェブサイト「過去の気象データ検索」, <http://www.jma.go.jp/jma/index.html> (2025年6月30日閲覧)
- 5) 秋田谷英次 (1979) : 熱量計による積雪含水率計の試作. 低温科学. 物理篇, 36, 103-111.
- 6) 白川龍生 (2025) : 道央・道東・道北 42 地点における広域積雪調査 (データ集: 2025 年). 北見工業大学雪氷防災研究室研究資料, 20pp. <https://kitami-it.repo.nii.ac.jp/records/2000792> (2025年6月30日閲覧)