

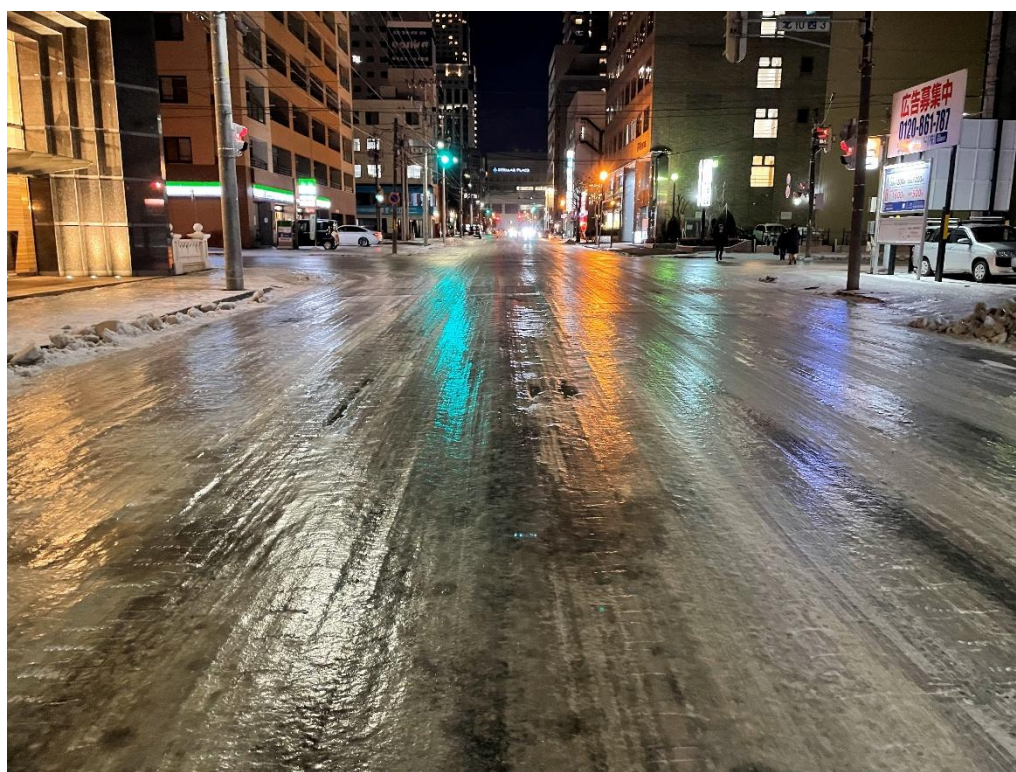
ISSN 1340—7368

公益社団法人 日本雪氷学会北海道支部機関誌

北海道の雪氷

Annual Report on Snow and Ice Studies in Hokkaido

第44号



2025 年 7 月

発行 公益社団法人 日本雪氷学会北海道支部

目 次

巻頭言	-----1
2025 年度日本雪氷学会北海道支部研究発表会発表論文	-----7
公益社団法人日本雪氷学会 北海道支部 2024 年度事業報告	-----103
公益社団法人日本雪氷学会 北海道支部 2025 年度事業計画	-----107
公益社団法人日本雪氷学会 北海道支部 2024 年度収支報告	-----109
公益社団法人日本雪氷学会 北海道支部 2025 年度予算	-----110
公益社団法人日本雪氷学会 北海道支部 2025 年度役員名簿	-----111
公益社団法人日本雪氷学会 北海道支部 支部規程施行内規	-----112

表 紙

写真：永田 泰浩

題字：福沢 卓也

（表紙解説）美しくて見惚れてしまうほどのつるつる路面

北海道開発技術センター

永田 泰浩

写真は 2023 年 12 月 18 日の 20 時 30 分ごろに、札幌市北区にて撮影しました。

前日の 2023 年 12 月 17 日は、未明から午前中にかけてみぞれや湿った雪が降り、午後から急激に気温が低下しました。翌 18 日の午前 7 時には、札幌アメダスの気温でマイナス 6.8℃を記録しています。このような中、札幌市内は非常に滑りやすい路面状況となり、18 日の転倒による救急搬送者数は 33 名と急増しました。

さらに、12 月 19 日～21 日も好天が続いたため、3 日間の転倒による救急搬送者数の合計は 150 名に達しました。



巻 頭 言

北海道支部長 尾関俊浩（北海道教育大学札幌校）

令和 7 年 6 月より日本雪氷学会理事・北海道支部長を拝命しました。また支部理事も新旧交代があり、新しい体制となってスタートを切りました。北海道支部が今後ますます発展するよう支部理事一同精一杯努めてまいります。本支部は雪氷に関する研究活動の盛んな地域にあり、また雪氷災害調査チームや雪氷教育など社会貢献活動にも積極的に取り組んでおります。会員の皆様にはぜひ今後も活発な支部活動を支えていただきますよう、お願い申し上げます。さらに来年度、令和 8 年は北海道支部が全国大会の当番ですので、実行委員会と連携をとりつつ、良い大会が開催できるよう尽力して参ります。

北海道は日本海側の豪雪地帯から太平洋側の小雪地帯、海水が広がるオホーツク海沿岸と、多彩な雪氷環境が魅力的な地域ですが、地球温暖化が進む昨今は雪氷を取り巻く環境が年々変化しています。幸い日本の一番北にあって寒冷な地域なため、雪／雨の境となる本州の他地域程には極端な積雪の減少は見られていないものの、大雪災害に見舞われたり、流氷の勢力が弱まったりと、冬期ごとに気象・海象が異なるのを実感します。雪氷研究に携わる我々ができること、やるべきことが尽きることはありません。皆様のご活躍をぜひ支部にご報告ください。

さて、この度「北海道の雪氷」第 44 号を刊行する運びとなりました。本誌には 5 月 23 日～24 日に開催の研究発表会で発表された内容を元にした論文 27 編を収録いたしました。北海道支部総会と同日に開かれる研究発表会は、支部にとって年に一度、会員が一堂に会して行われる研究発表の場であり、会員交流の場でもあります。支部の基幹行事であるのはもちろんですが、若い研究者にとっては全国大会を前に発表の機会を提供する場になっております。今年は会場を札幌市内のかでる 2・7 研修室に変更し、55 名の参加者がありました。発表は雪氷物理、結晶のようなミクロな研究から、氷河・氷床や海水などメソスケールの研究、そして社会基盤に関わる研究と多岐に渡り、北海道支部らしい発表会となりました。発表およびご参加いただいた皆様、研究発表会の運営にご活躍いただいた担当理事、支部会誌の発行にご尽力いただいた担当理事の皆様には感謝申し上げます。

本誌収録の 2025 年度事業計画にありますように、北海道支部は今年度後半には雪崩の講演会、カーリングホールの氷メイキングに関する地域講演会の開催や、8 月 6 日札幌開催のサイエンスパークへの参加、紋別わくわく科学教室への後援など雪氷に関する多彩な行事を予定しております。今後とも北海道支部の取り組みへの皆様のご支援をよろしくお願い申し上げます。

2025 年度日本雪氷学会北海道支部研究発表会発表論文 目次

【雪氷と社会基盤・結晶】

流雪溝の利便性向上に向けた機械投雪実験とその運用方法の検討	7
小西 信義（北海道開発技術センター）， 吉田 透（ドーコン）， 三原 夕佳（北海道開発技術センター）， 滝本 慎二（ドーコン）， 坂下 淳一（一二三北路）， 石原 敬規（一二三北路）， 原 文宏（北海道開発技術センター）， 倉内 公嘉（岩田地崎建設（前北海道開発技術センター））	
「吹雪の視界情報」の吹雪時における活用状況	11
越國 一九（土木研究所 寒地土木研究所）， 大宮 哲（土木研究所 寒地土木研究所）， 武知 洋太（土木研究所 寒地土木研究所）	
博物館におけるダイヤモンドダストの体験展示	15
平松 和彦（士別市立博物館）， 本部 哲矢（士別市立博物館）	
北海道の雪巻物 2025	17
納口 恭明（日本雪氷学会 関東・中部・西日本支部， 株式会社 雪研スノーイーターズ）， 和泉 薫（日本雪氷学会 北海道支部，株式会社 環器）	
札幌市における 2024 年度冬期の転倒による救急搬送者数の動向	19
永田 泰浩（北海道開発技術センター）， 富田 真未（北海道開発技術センター）， 三原 夕佳（北海道開発技術センター）， 金田 安弘（北海道開発技術センター）	
冬道での転倒者を対象としたアンケート調査 -2024 年度冬期調査報告-	23
富田 真未（北海道開発技術センター）， 金田 安弘（北海道開発技術センター）， 永田 泰浩（北海道開発技術センター）	

複数の定点カメラ画像で学習した AI を用いた車載カメラ画像による視程判別について	27
丹治 和博（日本気象協会）、 荻島 葵（日本気象協会）、 西村 浩一（日本気象協会、名古屋大学名誉教授）	
雪の結晶は“環状水”によってつくられる	31
油川 英明（日本雪氷学会 北海道支部、NPO 法人 雪氷ネットワーク）	
下陸別に設置した海水タンクにおけるフロストフラワー生成実験	35
中山 雅茂（北海道教育大学釧路校）、 の場 澄人（北海道大学低温科学研究所）、 飯塚 芳徳（北海道大学低温科学研究所）、 西野 沙織（北海道大学大学院環境科学院）	
【積雪】	
2024-2025 年冬期に道内 4 地点で観測された積雪中ブラックカーボン濃度について	39
三村 慧（北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所）、 野口 泉（北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所）、 山口 高志（北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所）、 秋山 雅行（北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所）、 鈴木 啓明（北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所）、 大屋 祐太（北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所）、 堤 拓哉（北海道教育大学 旭川校）	
積雪変質モデルの再現性向上に向けた北海道内における 2024-2025 年冬季の積雪観測	43
鈴木 啓明（北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所）、 大屋 祐太（北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所）、 野口 泉（北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所）、 三村 慧（北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所）、 堤 拓哉（北海道教育大学旭川校）	
雪庇の数値計算について	47
植松 孝彦（株式会社 雪研スノーイーターズ）	
地上粒子分布を考慮した降雪の移流距離推定に向けた感度分析	51
大屋 祐太（北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所）、 野口 泉（北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所）、 鈴木 啓明（北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所）、 三村 慧（北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所）	

北アルプス・上高地における降積雪量分布	55
近藤 ひかる (北海道大学大学院環境科学院, 北海道大学低温科学研究所), 的場 澄人 (北海道大学低温科学研究所), 佐々木 明彦 (国土館大学), 西村 基志 (信州大学), 鈴木 啓助 (信州大学)	
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	57
白川 龍生 (北見工業大学), 八久保 晶弘 (北見工業大学), 大橋 康樹 (北見工業大学大学院工学研究科)	
北見における積雪最下層の水安定同位体比の変化	61
八久保 晶弘 (北見工業大学), 大橋 康樹 (北見工業大学), 白川 龍生 (北見工業大学)	
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	63
大橋 康樹 (北見工業大学), 白川 龍生 (北見工業大学), 八久保 晶弘 (北見工業大学)	
北海道における過去 5 年間 (2021-2025) の雪崩事故の特徴	65
出川あずさ (特定非営利活動法人日本雪崩ネットワーク)	
北海道尻別岳の雪崩から発生した超低周波音の観測	67
ー 緊急雪崩速報システムの開発に向けて ー 替地 青羅 (北海道情報大学大学院 経営情報学研究科), 柿並 義宏 (北海道情報大学 宇宙情報センター)	
【雪氷と社会基盤・海氷・氷河・氷床】	
許容応力度計算に基づく北海道における既存木造住宅の耐雪性能	71
千葉 隆弘 (北海道科学大学 工学部), 高橋 徹 (千葉大学大学院 工学研究院)	
寒冷期避難生活対策としてのテント on the ベッドの有用性	75
根本 昌宏 (日本赤十字看護大学附属災害救護研究所 災害救援技術部門), 曾篠 恭裕 (日本赤十字看護大学附属災害救護研究所 災害救援技術部門)	

多重事故は災害か？	79
竹内 政夫（日本雪氷学会 北海道支部，雪氷ネットワーク）， 米田 和広（一般財団法人北海道交通安全協会）	
グリーンランド南東ドームアイスコアに含まれる不溶性微粒子の定量的測定	83
桐生 紗稀人（北海道大学大学院 環境科学院，北海道大学低温科学研究所）， 的場 澄人（北海道大学低温科学研究所）， 飯塚 芳徳（北海道大学低温科学研究所）	
グリーンランド北西部カナック氷河における UAV 測量	87
矢澤 宏太郎（北海道大学 環境科学院，北海道大学 低温科学研究所）， 今津 拓郎（北海道大学 環境科学院，北海道大学 低温科学研究所）， 杉山 慎（北海道大学 低温科学研究所，北海道大学 北極域研究センター）	
2024 年冬季のオホーツク海・網走沖における氷況の特徴	91
舘山 一孝（北見工業大学 地球環境工学科）	
知床ウトロ沿岸における海水密接度の予測と精度検証	95
吉田 彩乃（北見工業大学大学院 工学研究科）， 舘山 一孝（北見工業大学 地球環境工学科）	
サロマ湖における結水面積と湖水厚の変動	99
野原 大我（北見工業大学大学院 工学専攻）， 舘山 一孝（北見工業大学大学院 地球環境工学科）	

流雪溝の利便性向上に向けた機械投雪実験とその運用方法の検討

A study on mechanical snow throwing and operational strategies for enhancing the usability of Snow-Flowing Gutters

小西 信義¹, 吉田 透², 三原 夕佳¹, 滝本 慎二², 坂下 淳一³, 石原 敬規³, 原文 宏¹, 倉内 公嘉⁴
Nobuyoshi Konishi¹, Toru Yoshida², Yuka Mihara¹, Shinji Takimoto², Junichi Sakashita³,
Takayuki Ishihara³ Fumihiko Hara¹, Kimiyoshi Kurauchi¹

Corresponding author: konishi@decnet.or.jp (N. Konishi)

¹北海道開発技術センター, ²ドーコン, ³一三北路, ⁴岩田地崎建設 (前北海道開発技術センター)

¹ Hokkaido Development Engineering Center, ² Docon Co., Ltd.,

³ Hifumi-Kitamichi Co. Ltd., ⁴ Iwata Chizaki Co., Ltd.

道内の流雪溝および融雪溝における現代的課題として、高齢化や過疎化に伴う投雪作業の担い手不足により、施設本来の機能が十分に発揮されていない現状がある。この課題の解決策として投雪作業の利便性向上が重要であり、具体的にはハンドガイド式除雪機の使用可能性を検討することが有益であると考えられる。本稿では、令和6年度冬季に実施したハンドガイド式除雪機による模擬流雪溝投雪実験と、その結果を基に算出した限界投雪量を報告する。結果、13馬力の除雪機を使用することで、最大10か所の投雪口において同時投雪が可能であることが判明した。

1. はじめに

高齢化や過疎化により、流雪溝への投雪作業を担う人手の確保が困難になっている。これに伴い、既存の流雪溝施設が本来の機能を十分に発揮できていない地域もある。

このような背景のもと、流雪溝の排雪機能を将来的にも維持するためには、一人当たりの投雪量を向上させるとともに、少人数でも効率的に排雪作業を行える環境整備が必要であり、特に、ハンドガイド式除雪機の活用可能性を検討することが有効と考えられる。

一方、三原ら¹⁾の調査では、ハンドガイド式小型除雪機による機械投雪が可能な流雪溝は、道内では全体の19%に過ぎないことが示されている。そこで、本稿では、実験により限界投雪量の机上推量を行い、小型除雪機による機械投雪の導入可能性を検討するとともに、導入時の具体的な運用方法を提案する。

2. 限界投雪量の考え方

限界投雪量の机上推量を行うにあたり、『積雪寒冷地における流雪溝マニュアル(案)』²⁾を参考とする。本マニュアルでは、流雪溝の限界投雪量を「溢水事故を起こさない範囲での単位時間あたりの最大投雪可能量」と定義し、新雪密度と流水量によって求められる(式1)。

$$W = 2 \cdot \rho_{ns} \cdot Q \quad (\text{式 1})$$

W : 限界投雪量(t/s)

ρ_{ns} : 新雪密度=0.1 (t/m³)

Q : 流水量 (m³/s)

なお、同マニュアルでは、新雪密度を0.1と仮定するとともに、北海道の一般的な流雪溝の流水量が0.20m³/sで計画されていることを前提とし、限界投雪量は0.04 t/sと設定している。

これらは設備側からの要求水準である一方、一人あたりの投入歩掛の想定に基づいた「最大投入雪量」という水準も設けられている。この基準は、1路線あるいは1区間からの単位時間あたりの最大投入雪量であり、区間延長、平均投入口間隔、雪密度、投入口1か所あたりの投入体積で求められる(式2)。加え、この値は、限界投雪量、つまり、0.04t/s以内でなければならない。

$$W_c = \ell / e \cdot \rho \cdot v \quad (\text{式 2})$$

W_c : 単位時間あたりの最大投入雪量 (t/s)

ℓ : 区間延長 (m)

e : 平均投入口間隔 (m)

ρ : 雪密度 (t/m³)

v : 投入口1か所あたりの投入体積(m³/s)

ここで機械投雪導入の可能性を検討するにあ

たり, 最大投入雪量 W_c が限界投雪量 W ($0.04(t/s)$) 以下となる l/e (投雪口数), つまり, 機械投雪でも溢水が発生しない範囲の投雪口数を算出することが, 机上推量における重要な手順となる。

以上, 本稿では, 機械投雪における ρ : 雪密度と v : 投入口1か所あたりの投入体積を求め, 使用可能な投雪口数を算出した。

3. 実験の概要

3. 1 機械投雪実験の方法

機械投雪における ρ : 雪密度と v : 投入口1か所あたりの投入体積を求めるにあたり, 実験環境下における機械投雪実験を行った。具体的には, $1m^3$ の木箱(図1)に機械投雪し, 木箱がいっぱいになるまでの秒数(s), 木箱内の雪密度(ρ), 木箱内の雪の高さ(h)を計測することとした。

また, 木箱上部には転落防止用の安全格子を模した鉄製のフレーム(図2)を設置し, 現実の流雪溝の設置環境に極力近似することに努めた。



図1 木箱 (1×1×1m)



図2 模擬安全格子 (1メッシュ: 238×238mm)

このような木箱への機械投雪作業を小型除雪機の馬力別(後述)で各3回, 模擬安全格子の有無で計18回行った。さらに, 小形除雪車の機械投雪は格子有りのみ3回の投雪作業を行った。

3. 2 機械投雪実験の諸環境

実験は令和7年2月3日11:00~16:00に, 札幌道路事務所花畔除雪ステーションにて実施した。当日は一日中曇りで, 気温は氷点下であった。

対象としたハンドガイド式小型除雪機は6馬力, 11馬力, 13馬力の3種類(図3)で, それぞれ格子有り・格子無しの条件で投雪能力を評価した。評価には $1m^3$ の木箱を用い, 満杯になるまでの時間から単位時間あたりの投入体積を算出した。ハンドガイド式小型除雪機による機械投雪は必ずしもすべての投雪結果が投雪口に入り切

ることはないことから, 投雪口付近に木板を設置し, 木板に当たった雪が投雪口に自然落下できるようにした。この作業は, 現実よりも投入雪量を増やす作業であり, 溢水リスクを高める作業とも言えるが, 現実の投雪作業よりも安全寄りの数値であることから木板の設置を許容した(図4)。

馬力と安全格子の有無の組み合わせで投雪した時間帯及び当日の気温の推移を示す(図5)。



小型除雪機 (6馬力)
(ホンダ HS660)



小型除雪機 (11馬力)
(ホンダ HS1090)



小型除雪機 (13馬力)
(クボタ KSR100)



小形除雪車 (126馬力)
(NICHIGO HTR142)

図3 実験で用いた除雪機



図4 こぼれ落ち防止方法

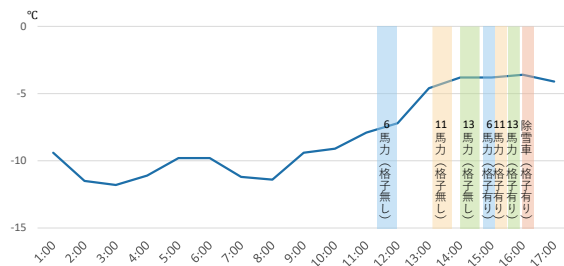


図5 投雪した時間帯及び当日の気温の推移 (気温は気象庁(観測点: 石狩))

4. 実験結果

4. 1 単位時間あたりの投雪量

小型除雪機及び小形除雪車からの投雪を木箱で受け止め、雪密度と投入体積から最大投入雪量(W_c)を算出した。

図6及び図7は、馬力と安全格子の有り無しの組み合わせごとの、単位時間あたりの投雪量である。図6が示す通り小形除雪車の投雪量は小型除雪機を圧倒し、机上推量をした結果、1か所でも投雪すると溢水といった結果を示した。

図7は、小形除雪車を省いた小型除雪機の単位時間あたりの投雪量のグラフである。13馬力の投雪量が最も多く、格子の有り無しで投雪量の違いはほとんど見られなかった。

なお、13馬力で突出している2回の試技(図7点線枠)は、熟練者の操作によるもので操作者の技量に依存することがわかった。また、留意点として、昼過ぎは雪山が日射で融けて硬くなったようで、除雪機がかみ合わずそり上がることが多々あった。さらに、11馬力はオーガの刃が摩耗していて性能が落ちていた可能性があり、6馬力と11馬力の間に投雪量の差が見られなかった。

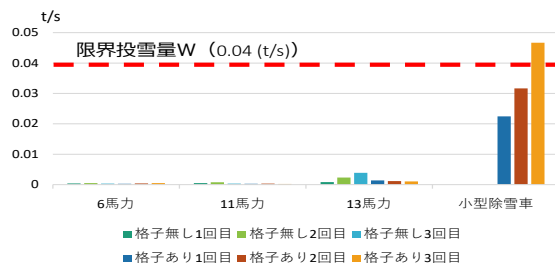


図6 除雪機・除雪車ごとの投入量

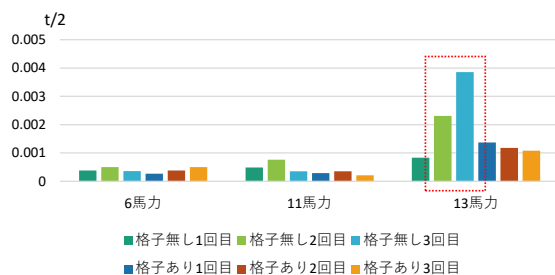


図7 小型除雪機ごとの投入量

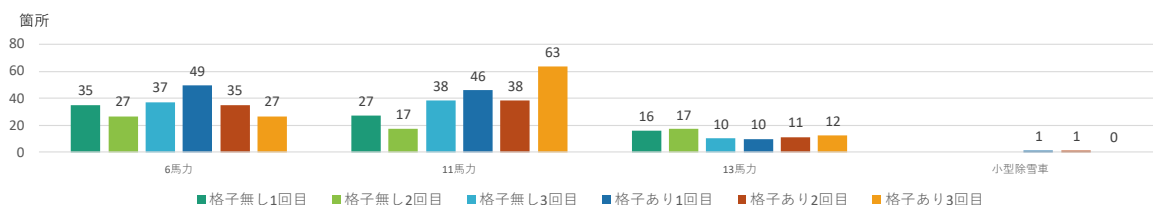


図8 除雪機・除雪車ごとの利用可能投雪口数

4. 2 操作者の違いで生じる投雪量の違い

前項で触れた13馬力の試技から、操作者の技量の違いが顕著に確認されたことから、利用可能投雪口数の推量にあたり、操作者の技量の違いを考慮し評価する必要を認識した。

ヤマハ製11馬力の小型除雪機を日常利用している操作者による13馬力小型除雪機による単位時間あたりの投雪量の単純平均は、0.001t/sだった。一方、日常的に小型除雪機による道路除雪作業を業務で行っている職員による単位時間あたりの投雪量の単純平均は、0.003t/sだった。したがって、普段使っている機械とは違う機械を使用した操作者に対し、熟練操作者はおおよそ3倍の技術を持っていると仮定し、次項で投雪口数を算出した。

4. 3 利用可能投雪口数

図6で示した小型除雪機ごとの投入雪量から、利用可能投雪口数(l/e)を算出した(図8)。なお、算出には一般操作者と熟練操作者の技量の違いをもとに調整している。

6馬力は、平均35箇所、11馬力は、平均38.2箇所、13馬力は平均12.7箇所での同時投雪可能という結果となった。なお、図6のとおり小形除雪車においては3回目の試技にて限界投雪量を上回ったことで溢水を招く可能性が示されたことから利用可能投雪口数はゼロと判別した。

より安全側の結果を重視し、各馬力の机上推量における最少利用可能投雪口数を採用し、6馬力では27箇所、11馬力では17箇所、13馬力は10箇所が安全側の利用可能投雪口数とした(表1)。

表1 小型除雪機ごとの利用可能投雪口数

馬力	投雪量 (t/s)	利用可能投雪口数	
		単純平均	安全側
6馬力	0.001	35.0	27
11馬力	0.003	38.2	17
13馬力	0.004	12.7	10

5. 考察

実験結果及び利用可能投雪口数の推量結果を踏まえ、機械投雪導入時の具体的な運用方法を検討する。

北海道の流雪溝はおおむね 400～500m を 1 区間として 10 メートルごとに 1 個の投雪口を設置していることから、1 区間あたり 40～50 箇所の投雪口を有していることが一般的である。そのため、安全側で 27 箇所の同時投雪が可能な 6 馬力なら周囲の投雪状況を気配りすれば十分投雪可能と言えよう。また、安全側で 10 箇所の同時投雪が可能な 13 馬力の除雪機であれば、1 区間あたり投雪口 5 箇所ごとに 1 台までの機械投雪が可能という制約を設ければ、溢水のリスクは計算上回避できると考える。

本実験は、実際の運用現場に近い条件下を極力人工的に作り出し、機械投雪の実用性を検証するものであった。使用した雪は、除雪ステーションに一冬期堆積したもので、現実において流雪溝付近で生じる道路除雪（新雪除雪や拡幅除雪）による堆雪の雪質に近いと推察され、目測の限りにおいて粒径がおおよそ直径 1～5cm ばらつきがあった。このような形や大きさに違いのある堆雪を機械投雪したにも関わらず、安全格子の有無で投雪量の違いが生じなかった理由としては、機械投雪後の雪は小型除雪機を経由していることから粒径が細くなり、安全格子のメッシュを通過しやすくなったためであると考えられる（図 9）。



図 9 堆雪の様子（左：投雪前、右：投雪後）

このことは、安全格子を通過するための雪砕き作業（図 10）が必要となる人力投雪作業と比べ、省人化・省力化にも寄与することを示唆している。機械投雪における省人化・省力化の実例はあり、苫前町古丹別地区で確認された汎用自立型流雪溝投雪補助装置が挙げられる³⁾（図 10）。この装置は単管パイプを自家溶接した高さ約 1m、幅約 0.5m の鉄枠にテント生地が張られたもので、流雪溝の開閉蓋に装着させることで自立し、小型除雪機のシューターの的となる。的に当たった雪塊

は安全格子よりも細くなり、流雪溝に自然落下する。そのため、スコップによる雪砕き作業が不要となるため、投雪作業の単独作業化が可能となる。このように機械投雪の有効性はすでに実践の場で先行的に見出されている。

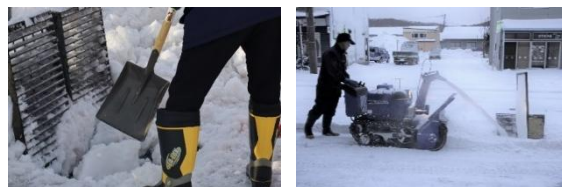


図 10 雪砕き作業と汎用自立型流雪溝投雪補助装置（古丹別地区流雪溝は公式に機械投雪可）

6. 結論

道内の流・融雪溝に関する現代的な課題として、高齢化や過疎化に伴う投雪作業の担い手不足により、施設の機能が十分に発揮されていない現状がある。この課題の解決策として投雪作業の利便性向上が重要であり、ハンドガイド式除雪機の使用可能性を検討することが有益であると考えられる。

本稿では、令和 6 年度冬季に実施したハンドガイド式小型除雪機による模擬流雪溝投雪実験を行い、利用可能投雪口数を推量した。結果、13 馬力の除雪機を使用することで、最大 10 箇所の投雪口において同時投雪が可能であることが判明した。

今後、この結果の妥当性を専門家等の意見を交え検証し、『積雪寒冷地における流雪溝マニュアル（案）』の追補を行い、「機械投雪でも安全に投雪可能」という根拠を整備していきたい。

【参考文献】

- 1) 三原夕佳, 小西信義, 小村健太, 原文宏, 高野伸栄, 倉内公嘉 (2024) : 北海道における流・融雪溝供用地域の自治体を対象としたアンケート調査結果報告。北海道の雪氷, 43, 37-40.
- 2) 北海道開発技術センター (1990) : 積雪寒冷地における流雪溝マニュアル（案）。
- 3) 小西信義, 三原夕佳, 西大志 (2023) : 暮らしの寒地技術抄～その 1: 林メソッド～。第 40 回寒地技術シンポジウム（ポスター発表）。

「吹雪の視界情報」の吹雪時における活用状況

Utilization of “Visibility Information for Snowstorms” in the event of the storm

越國 一九¹, 大宮 哲¹, 武知 洋太¹

Ikku Koshikuni¹, Satoshi Omiya¹, Hirotaka Takechi¹

Corresponding author: koshikuni-i22aa@ceri.go.jp (I. Koshikuni)

¹ 土木研究所 寒地土木研究所

¹ Civil Engineering Research Institute for Cold Region Public Works Research Institute

The Civil Engineering Research Institute for Cold Region has been experimentally providing current and forecast information on visibility during snowstorms in Hokkaido on its Internet site “Kitanomichi Navi: Visibility Information for Snowstorms”. In the winter 2024/2025, a questionnaire survey was conducted on the Internet site to understand how users actually use during snowstorms. As a result, about 90% of users who answered that they use the service for purposes other than gathering information responded that they would change their behavior.

1. はじめに

積雪寒冷地の道路では、吹雪による視程障害や吹きだまりが発生し、多重衝突事故や車両の立ち往生などの交通障害を引き起こすことがある。筆者らは、インターネットサイト「北の道ナビ吹雪の視界情報」¹⁾ (以下、「吹雪の視界情報」という) において、北海道内の吹雪時の視界の現況と予測情報 (24 時間先まで) (図 1) の提供を行っている。「吹雪の視界情報」では、過去にもアンケート調査を実施しているが²⁾³⁾、これらは、冬期が終了した後に行った振り返りの要素が多く、情報を得た利用者がリアルタイムで交通行動を変えているのか不明であった。そこで、令和 6 年度の冬期間に「吹雪の視界情報」の利用者が、吹雪が予測される場合にリアルタイムでどのような交通行動を行っているかの情報を把握するために、「吹雪の視界情報」のサイト上で調査を行った。本稿では、調査の概要とその結果について報告する。

2 「吹雪の視界情報」

「吹雪の視界情報」は、吹雪時の道路利用者の交通行動の判断を支援するため、平成 25 年 2 月よりインターネットサイト「北の道ナビ吹雪の視界情報」において実験的に情報の提供を開始した。また、同年 12 月より道路利用者への注意喚起を目的として「吹雪の視界情報メールサービス」の配信も開始、加えて、令和元年 12 月からは暴風雪により視界不良が予測された場合に SNS の X(旧 Twitter)を活用した視程予測情報の投稿も開

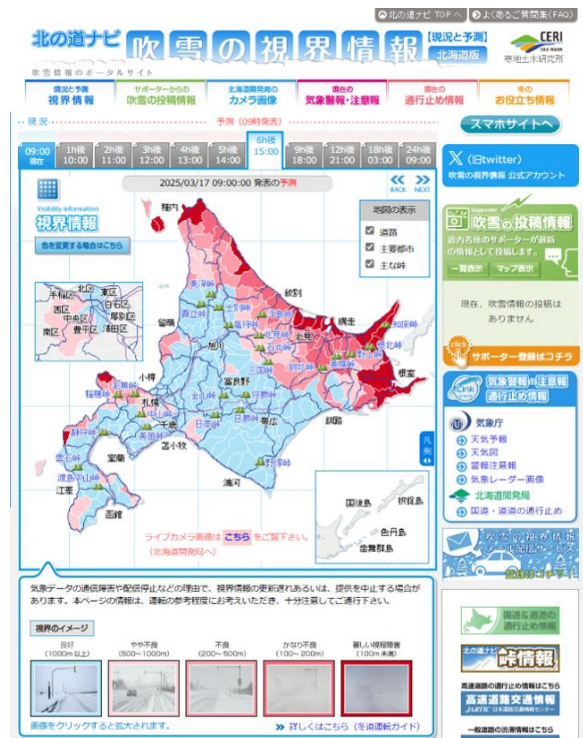


図 1 吹雪の視界情報提供画面
令和 7 年 3 月 17 日 9 時予測画面
URL: <https://northern-road.ceri.go.jp/navi/touge/fubuki.htm>

始した。インターネットサイトのアクセス状況は、徐々に増え続け、令和 5 年度冬期に日平均 1 万件を超え、開設した平成 24 年度のアクセス数の約 7 倍となった(図 2)。

3 調査の概要

調査は、事前に天候の悪化が予想された令和 7

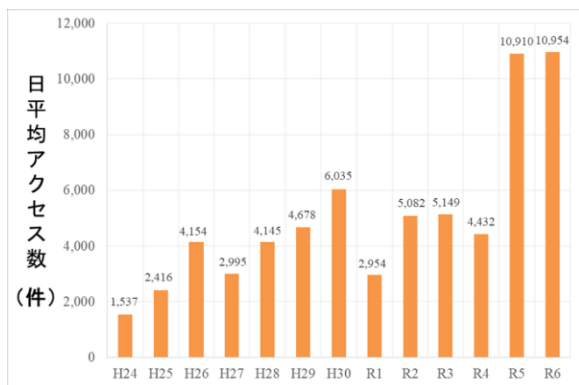


図2 吹雪の視界情報
年度別日平均アクセス数
(平成24年度～令和6年度)

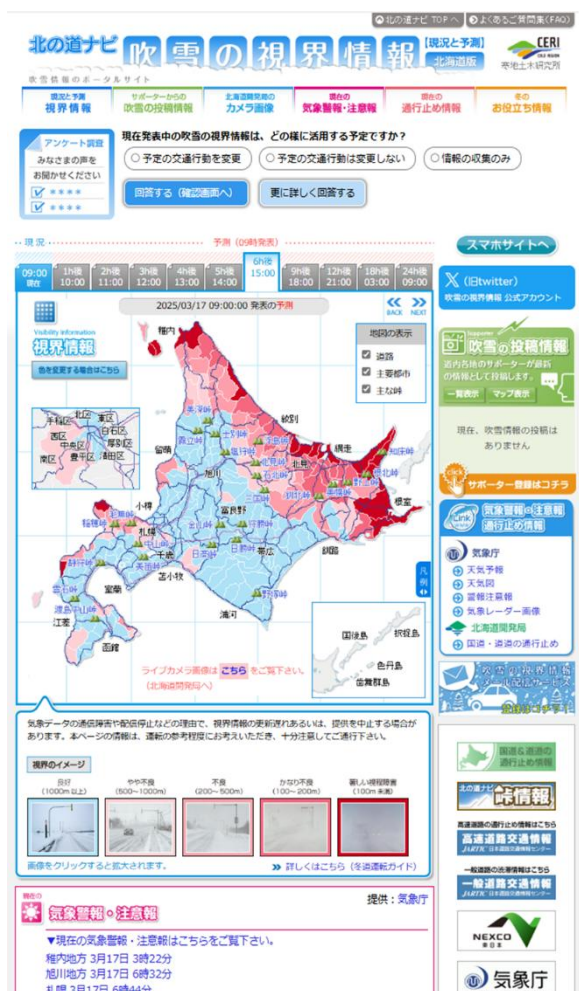


図3 アンケート画面
(PC画面 基本調査項目)

年2月18日～21日と令和7年3月14日～18日の期間に「吹雪の視界情報」の画面上にアンケートフォームを表示させ、あらかじめ設定した選

択肢から回答を得る方式で調査を実施した(図3)。アンケート項目は、「吹雪の視界情報」で情報を得た利用者のこの後の交通行動の変更予定とし、加えてメタデータとして回答者の属性、運転頻度、移動予定距離など合計8項目を設定した。回答数は1回目に578人、2回目に626人、合計1,204人から回答を得る事が出来た。

4. 調査結果と考察

今回の調査について、アンケート項目は多岐にわたるが、本項では調査の主目的である道路利用者の交通行動の変更に関する部分に着目して調査結果とそれに関する考察を以下にまとめる。

4-1 交通行動の変更について

アンケート項目の1つめでは、「吹雪の視界情報」の活用予定について、「予定の交通行動を変更する」、「予定の交通行動は変更しない」、「情報

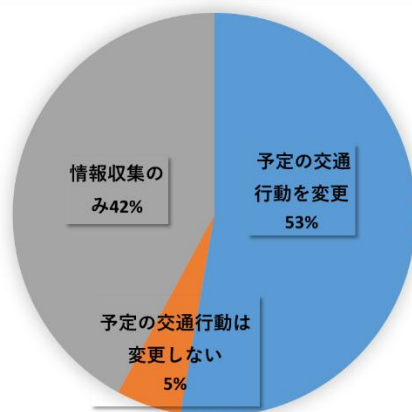


図4 予定の交通行動を変更するか

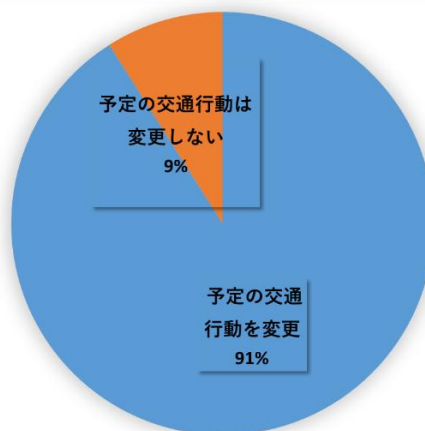


図5 予定の交通行動を変更するか
(情報の収集を除く)

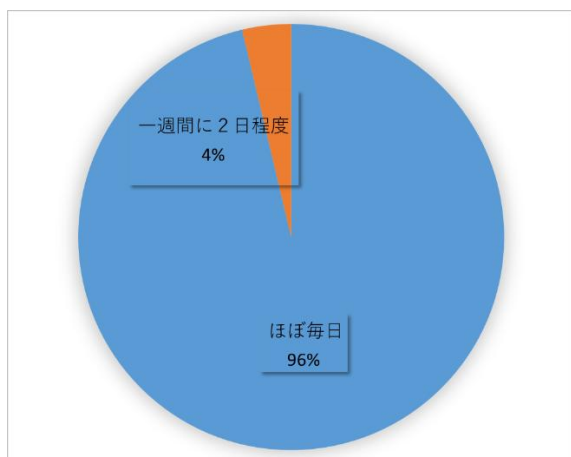


図6 交通行動を変更しなかった
回答者の運転頻度
(情報の収集を除く)

収集のみ」の三つの選択肢により調査した。その結果、回答者の53%が「吹雪の視界情報」の情報を元に「予定の交通行動を変更する」と回答した(図4)。「情報収集のみ」を選択した回答を除くと、回答者の91%が「予定の交通行動を変更する」と回答した(図5)。このことから「吹雪の視界情報」で提供している情報を利用した道路利用者の大半が、交通行動を変更していることを把握出来た。

4-2 交通行動を変更しなかった回答者

1つめのアンケート項目で予定の交通行動を変更しなかった回答者について、冬期間の運転頻度について調査した。回答者の96%が「ほぼ毎日運転する」と回答した(図6)。また、回答者の年齢構成を確認したところ、図7の上段の構成となった。参考に北海道トラック協会が令和5年度に協会員に対して行ったアンケート調査⁴⁾にある回答者は図7の下段の年齢構成であった。両者を比較したところ、ほぼ同じような年齢構成であった。これらのことから、今回の調査において交通行動を変更しなかった回答者は運送業に従事する方々が大半ではないかと推測される。

5 おわりに

今回の調査では、「吹雪の視界情報」の情報を参考にした回答者が直前に交通行動を変更することがわかった。また、交通行動を変更しない回答者の大半は運送業に従事する方々ではないか

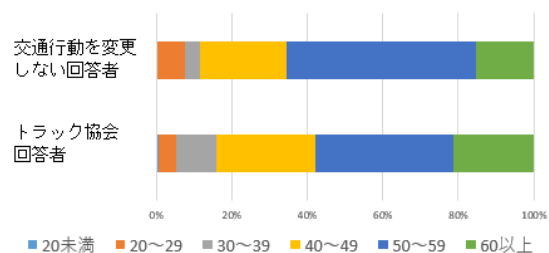


図7 回答者の年齢構成
上段：交通行動を変更しない回答者
下段：トラック協会アンケート回答者

と推測することが出来た。次期冬期においても今回の調査結果を参考とし一層情報の充実を図り、情報提供を充実させ、暴風雪災害の軽減に貢献したいと考えている。

謝辞：本調査の実施に関して、気象条件が悪い状況にも係わらずアンケートに回答を頂いたユーザー各位に謝意を表す。また、本調査の実施に当たって、アンケートフォームの作成、回答の集計にご協力を頂いた株式会社シーイーサービスに謝意を表す。

参考文献

- 1) 北の道ナビ吹雪の視界情報：<https://no-northerosd.ceri.go.jp/navi/touge/fubuki.htm>, (2025年6月18日確認)。
- 2) 大久保幸治, 原田祐介, 武知洋太, 大宮哲, 高橋丞二, 松澤勝, 2020: インターネットサイト「吹雪の視界情報」の利用者アンケートについて, 第32回ふゆトピア研究発表会。
- 3) 國分徹哉, 武知洋太, 大宮哲, 原田祐介, 松下拓樹, 西村敦史, 2022: 吹雪の視界情報メール配信サービスの活用状況について-Webアンケート及びユーザ登録情報からの一考察-, 寒地土木研究所月報 第837号, 44-51。
- 4) 公益社団法人北海道トラック協会, 2024: 2024年問題に対応し物流クライシスを回避するために, 北海道トラック協会調べによる会員実態調査, 31。

博物館におけるダイヤモンドダストの体験展示

Hand-on exhibition on diamond dust (ice crystal) in museum

平松 和彦¹, 本部 哲矢¹

Kazuhiko Hiramatsu¹, Tetsuya Hombe¹

Corresponding author: hiramatz@gmail.com (K. Hiramatsu)

¹ 士別市立博物館

¹ Shibetsu City Museum

士別市立博物館で開催された「雪と氷の世界」における体験展示の中から、本稿では主として「ダイヤモンドダストの観察」を取り上げ、期間中会場に設置した実験装置と観察方法について報告する。従来の方法を踏襲しつつ、いくつかの工夫を加えることによって、これまで以上に再現性を高めることができた。この装置のほか、会場に設置されたサンプラーの再現実験の装置などについても言及する。

1. はじめに

2024 年度の士別市立博物館の企画展「雪と氷の世界—雪の結晶から氷河まで」は 2025 年 1 月 11 日~3 月 23 日の長期間にわたり写真やパネルによる展示解説のほか、体験展示を 3 点設置した。

士別市は北海道北部の道内有数の積雪寒冷地であることから、積雪を中心にして「雪の結晶→降雪・積雪→万年雪→氷河」という流れを軸にして展示パネルを作成し、地元の人々も厳冬期にしばしば目にしているサンプラーの展示や積雪下で保存する越冬野菜の話題などをコラムの形で挿入した。

会場には体験展示として「ダイヤモンドダストの観察」、「サンプラーの再現実験」、「六角ナットで作る雪の結晶」のスペースを設置し、来館者に楽しんでもらうようにした。本稿ではダイヤモンドダストの観察で使用した装置と観察方法について論じ、さらサンプラーの再現実験などほかの体験展示についても紹介したい。

2. ダイヤモンドダストの装置と観察方法

2-1 装置の選択

ダイヤモンドダストを発生させる低温環境を実現するためには、ドライアイスを使う方法と冷凍庫を使う方法の 2 つがある。2 か月以上にわたる今回の企画展では、経済性を考慮して後者の方法を選択した。かつてはガラス製の上蓋がスライドするタイプのアイスクリームストッカーを使用されることが多かったが、最近姿を消したので、この企画展では市販のディープフリーザー（極低温冷凍庫）を活用し、再現性を高めるため工夫を施した。

2-2 発生装置および小道具

ディープフリーザー、(ツインバード工業: SC-DF25WL) ストープ用円筒 (直径 11 cm)、発泡ポリスチレン製上蓋 (加工して使用)、シリンジ、梱包用気泡緩衝材 (通称プチプチ)、小型ライト (マグライトもしくは平行光線が得られるタイプ)、小型超音波式加湿器 (ライフオンプロダクツ: PR-HF060)、透明アクリル板

2-3 観察の手順

- ① 冷凍庫を -30°C に設定して庫内温度を下げる。
- ② 加湿器で水蒸気・水滴を供給する。
- ③ シリンジに緩衝材を 1 個入れて潰し、破裂による断熱膨張で降温を促す。(過冷却水滴の自己凝結には約 -40°C 以下の低温環境が必須なためである)
- ④ 上方からライト (平行光線) を照射する。
- ⑤ 円筒の上に透明アクリル板で覆い、観察者の吐息が入るのを防ぐ。

3. 結果と考察

上記の方法によりダイヤモンドダストの発生はきわめて安定的かつ再現性の高いものとなり、一般の来館者や雪氷研究者からは好評を得た。

これまでの実験では吐息で加湿することが多かったが、今回の展示ではもっぱら小型加湿器を使用した。コロナ禍の時期を経て、吐息の活用よりも安全面を考慮したためである。この方法によれば約 36 度前後の吐息よりも低温で加湿できる上に、噴霧の勢いが微弱なため筒内の空気の擾乱を防ぐという利点がある。

毎年1月下旬に実施している子ども対象の雪氷実験の講座ではドライアイスを使用していたが、長期に及ぶ企画展では経費がかさむためディープフリーザーを設置した。電源を入れてから2時間もすれば温度が安定するので、とくに支障をきたすことはなかった。



図1 ディープフリーザー



図2 緩衝材をつぶして光を当てる



図3 発生したダイヤモンドダスト

4 そのほかの体験展示

4-1 サンプラーの再現実験

冬季間の士別・名寄地域は旭川よりもさらに厳寒で、サンプラーを見る機会が多い。会場には原理を説明する装置を自作して設置したが、ダイヤ

モンドダストや板状の雪結晶とサンプラーの出現との関連性の理解を深めてもらう上でも、この展示の意義があったと考えられる。



図4 サンプラーの再現実験(右は点灯時)

4-2 六角ナットで雪の結晶をつくろう

子どもが遊べるような体験展示として、日本雪氷学会が主催するアウトリーチ活動(雪氷楽会)でも人気のある展示のブースを設けた。



図5 六角ナットとガイド付きのシート

参考文献

- 1) 平松和彦, 2009: ダイヤモンドダストを観察してみよう, 雪氷教育レシピ 7.5, 243, 日本雪氷学会北海道支部 50 周年記念誌「雪氷研究の系譜」所収
- 2) 平松和彦監修, 日本科学技術館編, 2022: 「ダイヤモンドダストを再現しよう」自然現象のメカニズム展, 1-10
- 3) 秋田谷英次, 2009: 不思議, 朝日が光の柱になった(サンプラーの再現実験), 雪氷教育レシピ 7.2, 241, 日本雪氷学会北海道支部 50 周年記念誌「雪氷研究の系譜」所収
- 4) 大鐘卓哉, 2009: 六角ナットで雪の結晶をつくろう, 雪氷教育レシピ 7.28, 254 日本雪氷学会北海道支部 50 周年記念誌「雪氷研究の系譜」所収

北海道の雪巻物 2025

Snow scroll in Hokkaido 2025

納口 恭明^{1,3}, 和泉 薫^{2,4}

Yasuaki Nohguchi^{1,3}, Kaoru Izumi^{2,4}

Corresponding author: nadarenja@snow-eaters.com (Y. Nohguchi)

¹ 日本雪氷学会 関東・中部・西日本支部, ² 日本雪氷学会 北海道支部, ³ 株式会社 雪研スノーイーターズ, ⁴ 株式会社 環器

¹ Kanto, Chubu and Nishi-Nihon Branch, the Japanese Society of Snow and Ice, ² Hokkaido Branch, the Japanese Society of Snow and Ice,

³ YUKIKEN Snow Eaters Co., Ltd, ⁴ KANKI Co., Ltd

We report on rolls of snow, *snow scroll*, that form on car windshields in Hokkaido 2025.

1. 雪巻物とは

納口ら^{1),2),3)}は茨城県つくば市の自宅にある車のフロントガラスに巻物状の雪ができることを発見し, この雪巻物の正体を肉眼による形成過程の観察から明らかにした. 一見, 雪まくりのように見えるが, 雪まくりのような動的な現象ではなく, フロントガラスの積雪の静的なグライドによって中央部分に雪のしわができ, その雪しわが下流部にある積雪層と上流部にある積雪層の2層を同時に巻き取って巻物状に変形したものである.



写真1 札幌市で撮影した雪巻物 (3月30日)

2. 北海道の雪巻物

この雪巻物が北海道でも形成されていることを確認するため2024-25年冬季に北広島市と札幌市で降雪後に, 駐停車中の車のフロントガラスの調査を行った. 北広島では12月18日, 札幌では2月19日, 3月4日, 3月14日, 16日, 30日. この結果, 雪に覆われた車のフロントガラスに多くの雪巻物を観察することができた(写真1, 写真2, 写真3).



写真2 札幌市で撮影した雪巻物 (3月14日)

【参考文献】

- 1) 納口恭明, 罇優子, 2024: 車のフロントガラスにできる雪まくりのような雪の巻物の正体. 雪氷研究大会 (2024 長岡), 137-137.
- 2) 納口恭明, 罇優子, 2024: 巻物型の雪しわ『雪巻物』と雪まくりの比較検討. 雪氷研究大会 (2024 長岡), 211-211.
- 3) 納口恭明 (2025): 雪氷写真館 164 車のフロントガラス上にできる雪まくりのような巻物の正体. 雪氷, 87(1), i - ii.



写真3 札幌市で撮影した2本の雪巻物

札幌市における 2024 年度冬期の転倒による救急搬送者数の動向

Pedestrian's slip and fall accidents on the icy slippery roads in 2024/25 winter

永田 泰浩¹, 富田 真未¹, 三原 夕佳¹, 金田 安弘¹
Yasuhiro Nagata¹, Mami Tomita¹, Yuka Mihara¹, Yasuhiro Kaneda¹

Corresponding author: nagata@decnet.or.jp (Y. Nagata)

¹ 北海道開発技術センター,

¹ Hokkaido Development Engineering Center

札幌市における 2024 年度冬期の冬道での自己転倒による救急搬送者数は、12-3 月で 1813 人（※速報値）となり、1 年前の 2023 年度冬期に記録した過去最多の救急搬送者数（12-3 月で 1748 人）を更新した。特に 2025 年 2 月は月間の救急搬送者数が 617 人（※速報値）となり、過去の月間最多救急搬送者数（2014 年 12 月の 540 人）を大きく上回った。2024 年度冬期の転倒による救急搬送の特徴を把握するとともに、月別の救急搬送者の増加要因を分析した。

1. はじめに

1. 1 本研究の背景と目的

ウインターライフ推進協議会の事務局を務める当センターでは、これまで、札幌市消防局との連携により、札幌市における冬道での転倒による救急搬送者について整理、分析を行い、転倒予防のための啓発活動を行ってきた。札幌市における冬期（以後、本研究では“12 月～3 月”を“冬期”と称する）の救急搬送者数は、2022 年度までの 27 冬期については、2012 年冬期の 1317 人が最多であったが、2023 年度冬期に、自己転倒による救急搬送者数が 1747 人と記録を一気に塗り替えた^{1) 2)}。さらに 2024 年度冬期は、速報値であるものの、1813 人と前年度に塗り替えた最多記録を 2 年連続で更新した。

本研究では、これまでの蓄積データとの比較を行い、2024 年度冬期の転倒による救急搬送の特徴を把握するとともに、月別の救急搬送者の増加要因を分析、把握することを目的とした。

1. 2 使用データについて

分析に用いたデータは、札幌市消防局が収集した 1996 年度から 2024 年度まで 29 冬期の救急搬送データのうち、「雪道の自己転倒」に分類されたデータである。2023 年度までのデータは、救急搬送の発生年月日と時刻、救急車の到着場所、救急搬送者の年齢、性別、けがの程度の情報が含まれている自己転倒の個別確定データであるが、2024 年度のデータについては、札幌市消防局の web サイトで公表されている速報値を用いた。

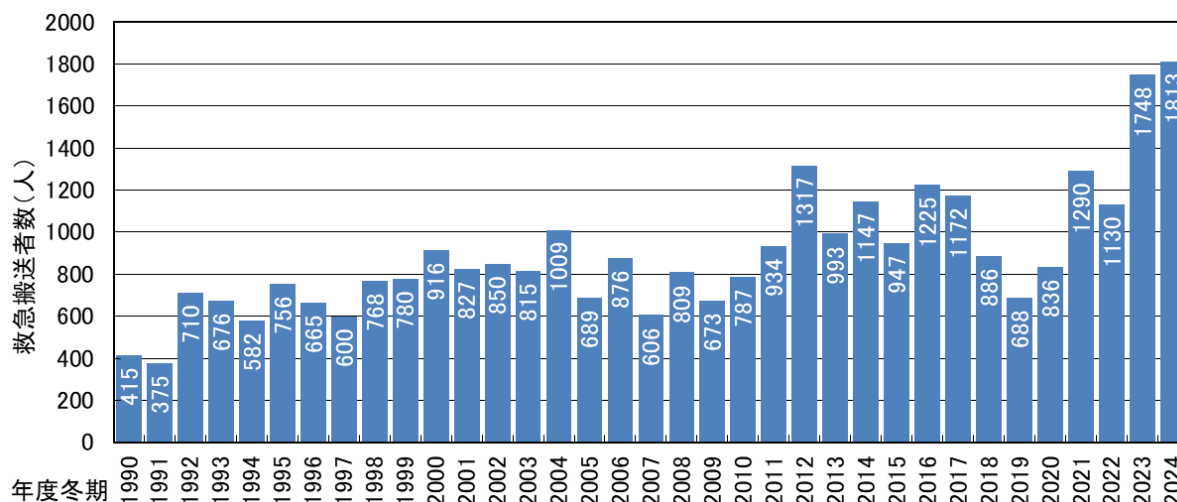


図1 自己転倒による各年度冬期（12 月～3 月）の救急搬送者数の推移

2024 年 12 月と 2025 年 1 月も過去 3 番目に多く、2025 年 3 月も 2012 年度に次ぐ 2 番目の救急搬送者となり、冬期を通じて救急搬送者数が多かった。

2. 7 日別の救急搬送者数

2024 年度までの日別救急搬送者の上位 10 傑を表 1 に示した。2025 年 2 月 27 日は、1 日で 69 人が救急搬送されており、過去 29 冬期で 4 番目に救急搬送者の多い日となった。また、2024 年 12 月 27 日も 56 人で、過去 7 番目に救急搬送者が多かった。

表 1 日救急搬送者数が多い日 (29 冬期)

順位	年月日	日救急搬送者数
1	2014 年 12 月 21 日	163 人/日
2	2014 年 12 月 22 日	84 人/日
3	2021 年 2 月 2 日	77 人/日
4	2025 年 2 月 27 日	69 人/日
5	2023 年 1 月 16 日	57 人/日
	2012 年 12 月 5 日	57 人/日
7	2024 年 12 月 27 日	56 人/日
	2018 年 3 月 9 日	56 人/日
9	2016 年 12 月 28 日	53 人/日
10	2023 年 12 月 21 日	52 人/日

3. 月別の救急搬送者の増加要因

3. 1 12 月について

月救急搬送者数と各月の気象条件、気象データ (真冬日、0℃クロスの回数、降雪の深さ、24 時間以上降雪なしの回数) との相関係数 (真冬日、0℃クロス回数は 29 冬期、降雪の深さ、24 時間以上降雪なしの回数は 20 冬期) を表 2 に示した。

表 2 のように、12 月は、降雪が多く、24 時間以上降雪なしの回数が多いほど、月の救急搬送者数が多かった。また、真冬日の日数が多いほど、月の救急搬送者数が多い傾向がみられた。12 月は冬期の中では気温が高く、積雪が少ない。気温が低く、降雪の多い 12 月ほど、救急搬送が増加しやすくなると考えられる。

表 2 月救急搬送者数と各月の気象条件・気象データとの相関係数

相関係数	12 月	1 月	2 月	3 月
月救急搬送者数と 真冬日	0.25	-0.41	-0.27	0.46
月救急搬送者数と 0℃クロスの回数	-0.13	0.40	0.34	0.21
月救急搬送者数と 降雪の深さ	0.41	-0.11	0.18	0.43
月救急搬送者数と 24 時間以上降雪なしの回数	0.50	0.20	0.00	0.36

3. 2 1 月について

表 2 より、1 月は、真冬日が少なく、0℃クロスの回数が多いほど、月の救急搬送者数が多かった。1 月は冬期の中では気温が低い月である。真冬日が多く、寒い 1 月は圧雪路面が続く、融解再凍結によるつるつる路面が発生しづらい。一方で、真冬日が少なく、気温が日中に 0℃を超えるような日が多い冬期は、融解再凍結によるつるつる路面が発生しやすくなると考えられる。

図 8 には、月救急搬送者数と真冬日、0℃クロスの回数、降雪の深さの経緯を示した。1 月の最多救急搬送者数を記録した 2024 年 1 月とともに、3 番目に多かった 2025 年 1 月も、真冬日が少なく、0℃クロスの回数が多く、暖かい冬期であったことがわかった。

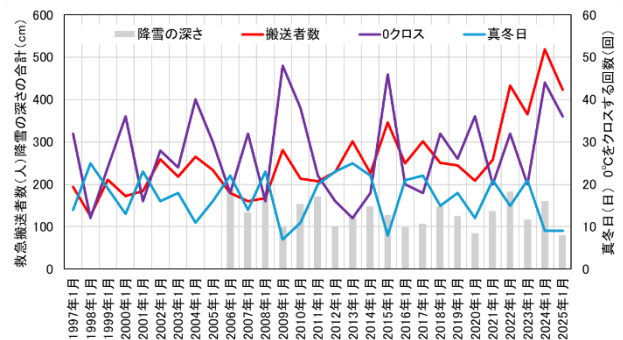


図 8 搬送者数と気象条件・データの推移 (1 月)

3. 3 2 月について

表 2 より、2 月についても、1 月と同様に、真冬日が少なく、0℃クロスの回数が多いほど、月の救急搬送者数が多い傾向がみられた。2 月も元々の気温が低く、真冬日が多い。真冬日が少なく、気温が日中に 0℃を超えるような日が多いような暖かな冬は、融解再凍結によるつるつる路面が発生しやすくなると考えられる。

図 9 には、月救急搬送者数と真冬日、0℃クロスの回数、降雪の深さの経緯を示した。2 月の最多救急搬送者数を記録した 2025 年 2 月は、真冬日が過去 29 冬期で最も少なく、0℃クロスの回数が最も多かった。

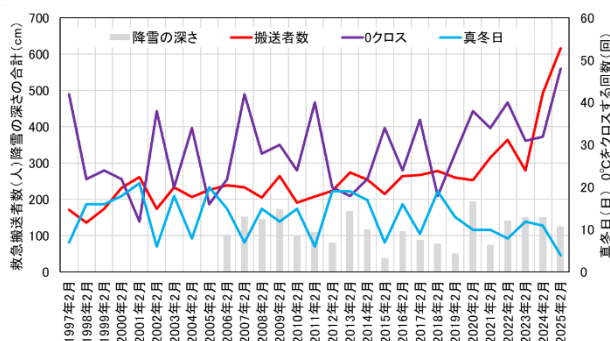


図9 搬送者数と気象条件・データの推移(2月)

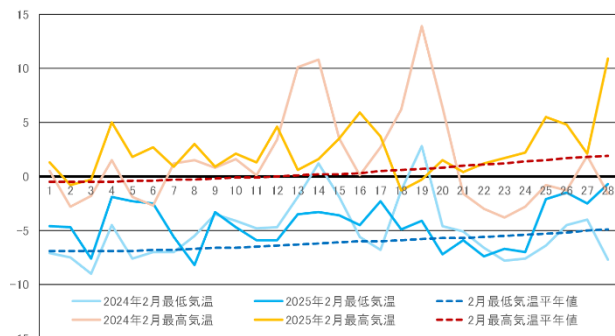


図10 2024・2025年度と平年の気温経過(2月)

図10には、2024年度冬期、2025年度冬期と平年の2月の日最高気温と日最低気温の経過を示した。2025年度冬期は2月上旬から日最高気温が毎日0℃以上に達している。日最低気温はマイナス5℃まで近くまで低下しており、毎日のように融解再凍結が繰り返されたと考えられる。

3. 4 3月について

表2のように、3月は、真冬日が多く、降雪が多いほど、月の救急搬送者数が多い傾向にある。1月は、12月と同様に、冬期の中では気温が高い。気温が低く、降雪の多い12月ほど、救急搬送が増加しやすいと考えられる。

4. まとめ

4. 1 結果

2024年度冬期は、12～3月の自己転倒による救急搬送者数が1813人と過去最多を記録した。特に2月は過去最多、3月が過去2番目、12月と1月は過去3番目の救急搬送者数であった。

過去平均と比較した2024年度冬期の救急搬送の特徴としては、男女別では女性がやや多く、軽度のけがでの搬送が増える傾向があった。年齢層別では、過去平均に比べて、20代や30代が過去平均の倍以上と急増していた。60歳以上の搬送

者もかなり多くなっていた。

救急搬送者の増加した要因について分析を行った結果は、以下のような傾向が確認できた。

- 12月・3月：気温が低く、降雪の多いほど、救急搬送が増加しやすい
- 1月・2月：真冬日が少なく、気温が日中に0℃を超えるような日が多い冬期は、融解再凍結によるつるつる路面が発生しやすくなり、救急搬送が増加しやすい

実際に、2月の最多救急搬送者数を記録した2025年2月は、真冬日が過去29冬期で最も少なく、0℃クロスの回数が最も多かった。

4. 2 考察

著者らは既存研究³⁾において、札幌市の将来推計人口は減少傾向であるものの、転倒による救急搬送者数については、救急搬送のリスクの高い高齢者の増加によって、2035年まで増加することを示している。一方で、その際に推定された冬期の救急搬送者数は約1150人であり、現状の搬送者数とは大きく異なる。本研究では、地球温暖化による冬期の気温上昇による影響を示したが、それにしても2冬期連続で、1747人、1813人と過去最多記録を更新する状況は、想定範囲外であった。スマートフォンの普及や、外国人観光客の増加など、他の要因も隠れている可能性があり、さらに分析を進めたいと考えている。

【謝辞】

救急搬送者データをご提供いただいた札幌市消防局様に深く御礼を申し上げます。

【参考文献】

- 1) 永田泰浩, 金田安弘, 富田真未, (2024): 札幌市における2023年度冬期の自己転倒による救急搬送者数. 北海道の雪氷, **43**, 49-52.
- 2) 永田泰浩, 金田安弘, 富田真未, (2024): 2023-24年冬期の冬道での転倒事故について(その1) -札幌市における自己転倒による救急搬送者数の整理と分析-. 雪氷研究大会(2024・長岡)講演要旨集, 50.
- 3) 永田泰浩, 金田安弘, (2014): 増加する冬道での転倒による救急搬送者について. 寒地技術シンポジウム論文・報告集, **30**.

冬道での転倒者を対象としたアンケート調査 -2024 年度冬期調査報告-

Questionnaire survey of pedestrians who experienced falls on icy roads during the 2024-2025 winter season

富田 真未¹, 金田 安弘¹, 永田 泰浩¹
Mami Tomita¹, Yasuhiro Kaneda¹, Yasuhiro Nagata¹
Corresponding author: tomita@decnet.or.jp (M.Tomita)

¹ 北海道開発技術センター

¹ Hokkaido Development Engineering Center

冬期歩行者転倒事故の現状は、被害者の属性やケガの有無など、消防局による救急搬送データを基に分析され、多くの知見が得られている。そこで、転倒実態をより詳細に把握することを目的に、2024 年度冬期の転倒者を対象にアンケート調査を実施した(回答数 / 425 件)。全体の約 3 割強の人が転倒するとケガに繋がっており、うち、「病院に 1 回以上行った人」は約 5 割であった。また、「救急車を呼ばなかった人」は約 9 割で、救急搬送データからは確認できなかった冬道転倒事故の実態を把握できた。

1. はじめに

札幌市における冬道の歩行者転倒事故による救急搬送者数は、2023 年度、2024 年度冬期の 2 年連続で約 1,800 件となり、過去最高を記録した。全国版のテレビやラジオ等のメディアでは、大雪が予想されるたびに、降雪予報等とともに、冬道での歩き方のコツや滑りやすい場所などについて注意喚起がなされるなど、冬道での歩行者による転倒事故は、全国的に社会問題化していると言える。

高野ら¹⁾が実施した札幌市民を対象とした転倒事故の実態把握アンケート調査によると、ポスティング調査の課題はあるものの、札幌市民の 10%以上が一冬に冬道転倒でケガをし、約 1%の人が入院している可能性があり、自動車事故と比較しても桁違いに大きな割合であると報告している。

Hippi²⁾によると北欧のフィンランドでは、冬道での転倒事故により、病院での治療を受けた人は、一冬に約 7 万人を数えるが、転倒事故の総数はこの数字よりもはるかに大きいと報告されている。また、フィンランドにおいて、冬道転倒事故による国の経済損失は医療費、休業日数、福祉費を含めると、年間約 24 億ユーロ(1EUR = 170JPY とすると、日本円で約 4,100 億円)と推定されており、交通事故の損失をはるかに上回るとされている。

冬道の転倒事故による経済損失について、日本での報告は著者らが知る限りないが、日本に限ら

ず海外を含めた積雪寒冷地全体の大きな社会問題であることを再認識する必要がある。

著者らが所属するウインターライフ推進協議会(以下、協議会)では、産学官が連携し、冬道での歩行者転倒事故防止に向けた様々な普及啓発活動を行ってきた。その一つとして、札幌市消防局による救急搬送者のデータから、冬道転倒事故の特徴を調べ、滑りやすい場所や冬道の歩き方のコツをまとめ、協議会の運営サイト『転ばないコツおしえます。』にて情報発信を行ってきた³⁾(図 1)。

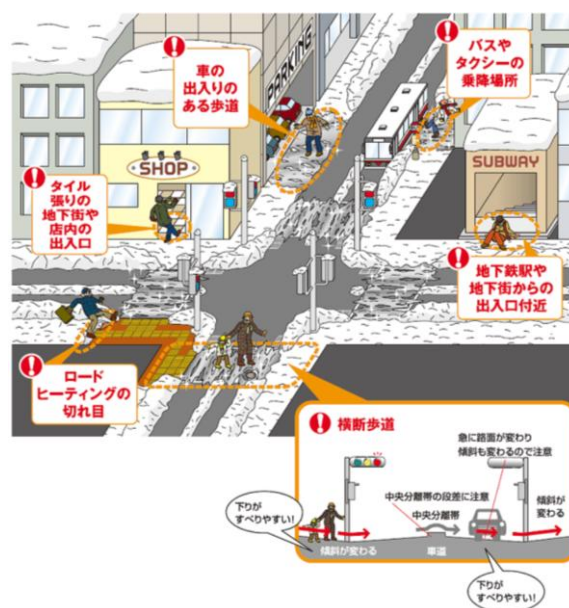


図 1 冬に滑りやすい場所をまとめたサイト画面

2. 調査目的と概要

冬道で転倒した人の実態を把握することは、これまで発信してきた注意喚起等の内容が、より確かな情報として信憑性が増し、また、転倒を未然に防ぐための新たな解決策を見出すことに繋がることが期待できる。

そこで今回、実際にどんな状況で、どんな時に転んでいるのか、転倒してケガに繋がっているのかなど、詳細な事故発生時の実態を把握するため、転倒した方を対象とした Web によるアンケート調査を実施した。

【調査期間】2025 年 2 月 1 日～4 月 7 日

【回答条件】2024 度冬期(2024 年 11 月～2025 年 3 月末まで)に冬道で転倒した方
(1 回の転倒で 1 回答)／対象:全国

【調査項目(設問)】

1. 属性(居住地、性別、年齢)
2. 転倒した場所
3. 転倒した場所の路面状況
4. 転倒してケガをしたか ⇒ケガをした体の部分、ケガの種類、ケガの程度 ⇒救急車を呼んだか
5. 転倒した際の意識(滑らと思っていたか)
6. 転倒した際の行動
7. 転倒した際の歩き方 ⇒意識していたか、どのような歩き方をしていたか
8. 転倒した際の服装(装備)

3. 調査結果と考察

アンケート回答数は、全 425 件であった。そのうち、居住地では、「道内」が 86%で 366 件、「道外」は 14%で 59 件であった。性別では、「男性」が 59%、「女性」は 41%であった。年齢では、「50 歳代」がもっとも多く、次いで「40 歳代」「60 歳代」であった。

3. 1 転倒した場所

転倒した場所では、「歩道」がもっとも多く 50%、「車道」は 13%、「横断歩道」は 9%であった。「駐車場や敷地」が 17%、「建物や地下歩道などの出入り口」は 6%であり、これまで情報提供してきた滑りやすい場所(図 1)を裏付ける結果となったが、駐車場や敷地など道路以外の場所でも相当数の人が転倒していることがわかった。

3. 2 転倒してケガをした人の割合

転倒してケガをした人は、35%で 149 件であった(図 2)。この割合は道内と道外でみてもほぼ

変わりなく、転倒した際に約 3 割の人は、なんらかのケガに繋がっている。

3. 3 転倒して救急車を呼んだ人の割合

冬道転倒事故による救急搬送者数は長期間にわたって蓄積されているが、転倒者の実数の把握は長年にわたる課題であった。今回の調査により、転倒してケガをした際に「救急車を呼んだ人」は約 1 割であることがわかった(図 2)。札幌市では近年、一冬に約 1800 人が救急搬送されていることから、逆算すると約 2 万人弱の人が、一冬に転倒してケガをしていることになる。粗いサンプルデータによる推測であり、先の高野らの報告²⁾も含めて推定値に幅があるのは否めないが、救急搬送者数以上の数倍のかなりの方が冬道転倒でケガしているのは間違いはない。

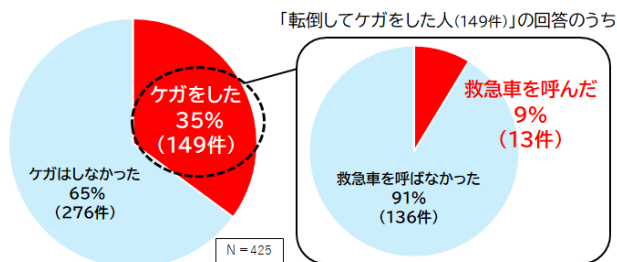


図 2 冬道転倒でケガをした人の割合と冬道転倒によるケガで救急車を呼んだ人の割合

3. 4 ケガをした体の部分、ケガの種類と程度

ケガをした体の部分では、「手」が 45 件でもっとも多く、次いで「脚」が 41 件、「腕」は 37 件であった(図 3)。

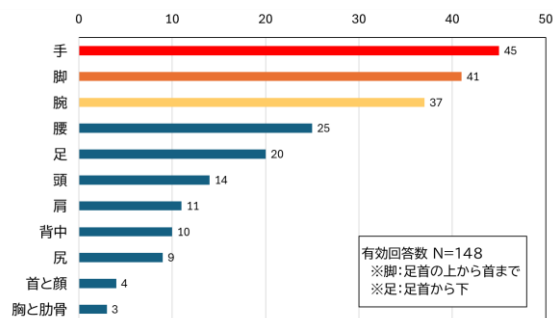


図 3 転倒した際のケガをした部分(複数回答可)

ケガの種類では、「打撲」が 80 件でもっとも多く、次いで「骨折」は 50 件であった(図 4)。

ケガの程度では、「病院に行かなかった」が 56%で、「通院した」が 29%、「入院した」は 15%であった(図 5)。

「打撲」や「骨折」のケガの場合は、ほとんどの人が救急車は呼んでいなかった。「頭」と回答した14件のうち10件は「通院・入院」で一度は病院に行っているが、転倒時には救急車を呼ばずに後で通院している。いずれも救急搬送データからは見えなかった冬道転倒実態が今回の調査からわかった。

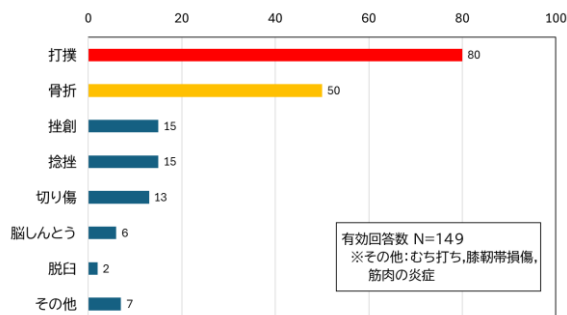


図4 転倒した際のケガの種類（複数回答可）

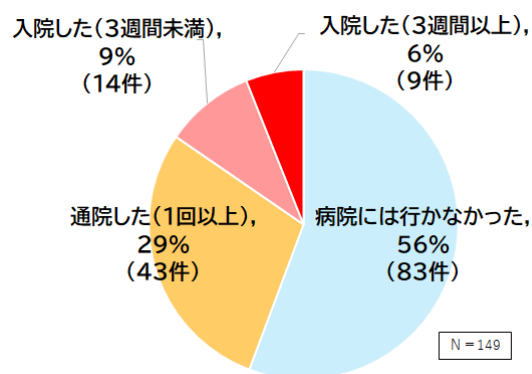


図5 転倒した際のケガの程度

3. 5 転倒時の路面への意識や歩き方

冬道路面の滑りに対する意識では、「滑ると思って注意していた人」は58%であり、全体の約6割の人が注意して歩いているにもかかわらず転倒している（図6）。また、転倒した際の行動では、「足元(路面)を見ていなかった」や「片手(両手)に荷物を持っていた」、「急いでいた」が多く、「考え事をしていた」「スマホをみていた」「おしゃべりをしながら」などの回答もあった。

滑ることを意識していても、何かに気を取られた時や注意力が散漫になった時に転倒している傾向がみられた。

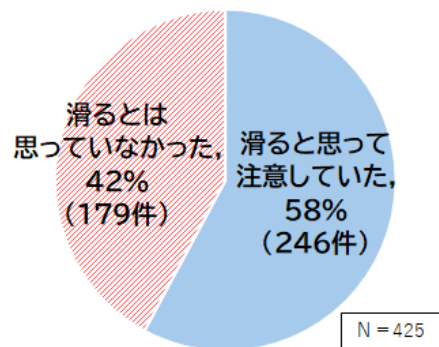


図6 転倒した際の路面の滑りに対する意識

転倒した際の歩き方では、「雪道にあった歩き方を意識して歩いていた」は53%であった（図7）。「脚をあまり上げすぎないように」「小幅で、ゆっくり」「すり足」など、協議会のサイトで推奨している歩き方のコツと同様の回答であったが、歩き方を意識していても転倒していることがみられた。歩き方の工夫に関する自由記述では、「すり足」に該当するような歩き方を「ペタペタ」「そろりそろり」「ペンギン歩き」など、様子がわかり易い表現が用いられていた。より多くの人へ情報提供する際、より伝わりやすい的確な表現として、今後の参考としたい。

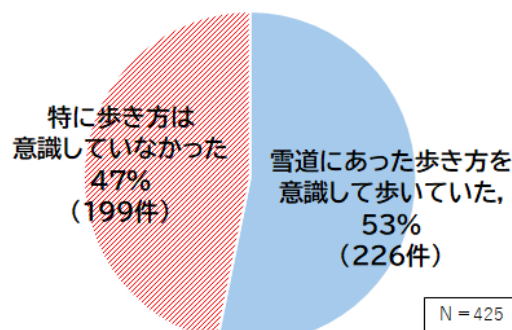


図7 転倒した際の歩き方への意識

3. 6 転倒時の服装や装備

転倒した際に身に着けていたものについては、「滑らない靴を履いていた」が236件、「手袋をしていた」は235件で、いずれも約5割の人が身に着けており、次いで「リュックサックを背負っていた」が133件、「帽子をかぶっていた」が86件、「コートやジャンパーのフードをかぶっていた」が76件であった（図8）。帽子やジャンパーなどのフードをかぶることは、転倒時に頭を守るための重要な役割を示すことから、今後はこれら

に対する注意喚起にも力を入れていく必要がある。

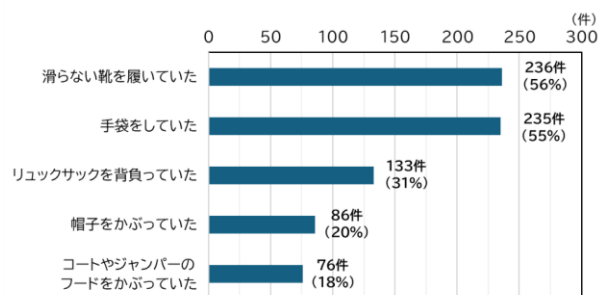


図8 転倒してケガをしないために効果的と思われる冬装備（複数回答可）

協議会では、冬道転倒時のケガを少しでも軽減させるために重要な基本冬装備として、滑らない靴と合わせて、「帽子・手袋・リュック」の3点を特に推奨している。これらを全て身に着けていた場合と全く身に着けていなかった場合を比較した結果が図9である。基本冬装備を全て身に着けていた場合は、約7割の人がケガに繋がっていない。また、冬装備を全く身に着けていない場合は、救急搬送には至らないまでも、約4割の人がケガに繋がっている。このことから、基本冬装備の推奨3点セットは、転倒時のケガの軽減に役立っていると考えられる。

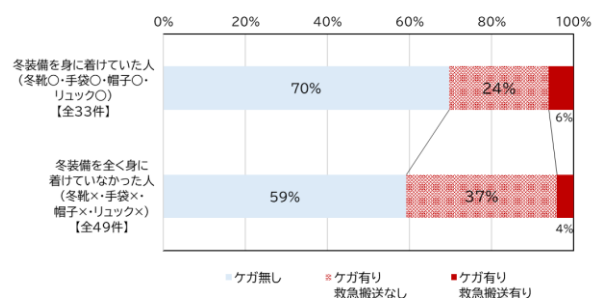


図9 基本冬装備を身に着けていた場合と全く身に着けていなかった場合の冬道転倒によるケガをした人の割合

4. まとめ

これまでは主に救急搬送者数をベースに冬道転倒事故の特徴を調べてきたが⁴⁾、今回、実際に転倒した人に具体的な転倒時の状況を確認することができたことから、救急搬送データだけでは見えなかった転倒の実態がわかった。冬道転倒による救急搬送者は氷山の一角であると言われてきたが、実際にはその数倍の人が冬道転倒でケガ

しており、雪国の大きな社会問題の一つであることが再認識できた。これは日本に限らず世界の積雪寒冷地共通の課題とも言える。

本調査結果から、これまで冬道転倒防止啓発サイト等で情報提供してきた内容を概ね裏付ける結果が得られ、より信憑性が増した。また、歩き方のコツや装備の工夫で、仮に転倒してもケガを軽減できる可能性があることがわかった。

冬道転倒事故を防ぐためには、雪道の道路管理者や気象予測情報の提供のほか、転倒事故防止に向けて歩行者自らが意識を変え、必要な装備をすることが必要不可欠である。

現在の情報提供内容は一部の転倒者からの聞き取りや、限られた転倒事故データに基づくものであった。今回、定量的かつ具体的な冬道転倒実態がわかったことで、今後、冬道転倒防止のための効果的な情報内容を工夫し、冬道転倒防止活動につなげていくことができる可能性が示された。

調査結果は、広く誰にでもわかりやすい表現でまとめ、啓発サイトの情報内容やパンフレットの見直しを行うことで、冬道転倒実態に即した、より強いメッセージ性を持った情報提供を進めていきたい。

【謝辞】

本調査の実施にあたり、ご協力いただいたウインターライフ推進協議会の皆様、並びに本アンケート調査への回答のご協力いただきました皆様に、心より感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 高野伸栄, 戸部啓太郎, 金田安弘(2015): 札幌市における冬期歩行者転倒事故実態について, 寒地技術シンポジウム, **31**, 124-127.
- 2) Marjo Hippel (2012): Born Slippy, An pavement model predicts icyness. *Meteorological, Technology International*, 70-71.
- 3) ウインターライフ推進協議会, 転ばないコツおしえます, [https://tsuruturu.jp/\(2025.06.29.閲覧\)](https://tsuruturu.jp/(2025.06.29.閲覧)).
- 4) 永田 泰浩, 金田 安弘(2020): 令和元年度冬期の札幌市における転倒による救急搬送者の状況, 寒地技術シンポジウム, **36**, 169-172.

複数の定点カメラ画像で学習した AI を用いた

車載カメラ画像による視程判別について

Visibility classification from onboard camera images using AI trained with multiple fixed-point surveillance cameras

丹治 和博¹, 荻島 葵¹, 西村 浩一^{1,2}
Kazuhiro Tanji¹, Aoi Ogishima^{1,3}, Koichi Nishimura^{1,2}
Corresponding author: tanji@jwa.or.jp (K. Tanji)

¹ 日本気象協会, ² 名古屋大学名誉教授

¹ Japan Weather Association, ² Nagoya University

多数の固定カメラで学習した AI を用いて、移動体である車両から前方を連続撮影した静止画に対して視程判別を試みた。その結果を移動気象観測車に搭載した側方散乱型視程計の観測視程と比較したところ、両者の視程変化の傾向は概ね一致した。しかし、ワイパーや前方車両の映り込みなど、一部の静止画では AI が誤判定となる事例があった。車両から撮影した他の静止画に対してもこの AI 学習モデルを試したところ、個々の事例に対する課題はあるものの、この AI が移動体からの画像にも適用できる可能性を確認した。

1. はじめに

北海道のような積雪寒冷地では降雪や吹雪による道路上の視程障害が大きな課題であるが、その線的または面的な分布の把握は困難である。道路の視界に関わる情報は道路管理者等が設置した CCTV カメラに限られるが、現在ではドライブレコーダの普及により車内からの道路映像は手軽に撮影が容易となっている。

筆者らは過去に収集した多数の固定カメラで撮影された画像から AI 学習による視程判別技術を構築し、その運用を行っている¹⁾。この AI による学習モデルが、移動体である車内から撮影した画像にも適用可能であれば、道路上の視界状況を面的に把握することが可能になる。そこで、移動気象観測車から前方を撮影した静止画を AI で視程判別させた結果と、移動気象観測車で計測した視程を比較した。これにより、多数の固定カメラから学習した AI 学習モデルの車内画像への適用可能性や課題を確認した。

2. 研究方法

2. 1 固定カメラ画像による AI 学習

本研究では、複数の固定カメラで撮影された約 12 万枚の静止画をもとに、視程階級間の偏りが少なくなるようにアンダーサンプリングした 9,698 枚の静止画から、Convolutional Neural Network (CNN) による視程判別の AI 学習を行っ

たモデルを用いた。9,698 枚の静止画のうち 7,757 枚を学習用、1,941 枚を検証用に用いた。その結果、AI の適中率は 81.0% で、1 階級の空振りを許容した適中率は 91.2%、 ± 1 階級の誤差を許容した適中率は 97.3% であった (表 1)。

表 1 検証用データによる AI 視程判別の精度

単位: %		AI による判定結果						
		50m未満	100m未満	200m未満	300m未満	300m以上	不明	休止
目視視程	50m未満	79%	8%	0%	0%	0%	4%	0%
	100m未満	17%	72%	9%	0%	0%	1%	0%
	200m未満	1%	18%	72%	6%	0%	2%	0%
	300m未満	0%	1%	16%	76%	10%	2%	0%
	300m以上	0%	0%	2%	18%	90%	3%	0%
	不明	3%	1%	1%	0%	0%	86%	0%
	休止	0%	0%	0%	0%	0%	1%	100%
		適中率						
		適中率 (−1階級含む)						
		適中率 (± 1 階級含む)						

AI で判定した視程階級に対する目視視程の正解率 (%) を示す。

2. 2 移動気象観測車による視程観測

車内から撮影した静止画に対する AI 視程判別結果を検証するため、側方散乱型視程計を搭載した移動気象観測車にインターバルカメラを取り付けて同時に観測・撮影を行った (図 1)。視程計のサンプリング間隔は 1 秒である。インターバルカメラでは車内から前方を 10 秒間隔で撮影した JPG 画像 (130 万画素) が AVI 動画で記録される。今回は強い冬型気圧配置に伴い石狩湾から帯状の雪雲が札幌方面に侵入した 2025 年 2 月 19 日 (往路: 7 時 8 分〜7 時 47 分、復路: 7 時 56 分〜8 時 27 分) に、図 2 に示す国道 337 号の石狩市花畔大橋〜小樽市銭函間で観測・撮影を実施した。



図1 移動気象観測車とインターバルカメラ

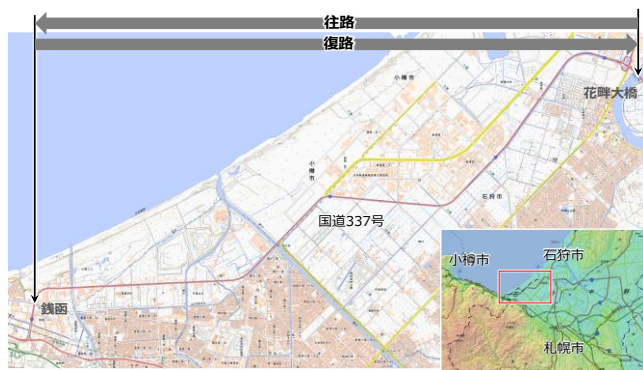


図2 観測区間

3. AIによる視程判別結果の検証

静止画からのAIによる視程判別結果と車載した視程計による観測値を比較したのが図3である。AI視程判別からは視程50m未満、100m未満、…という階級値が得られるので、図3では視程50m未満を視程50m、視程100m未満を視程100m、…として表示した。その結果、往路および復路ともに視程の変動傾向は概ね一致しているものの、AI視程判別結果の方がやや低視程寄りであった。これはAI学習に用いた画像が道路を俯瞰的に撮影した画像であるのに対して、車内からの画像は、より路面に近い高さで撮影しているため飛雪の影響を受けやすく低視程に判定されたものと思われる。

個々の時刻のAIの結果を見ると、視程計の観測値と著しく異なる時刻が散見できる。観測値が100m前後であるのに対し、AIによる判別が500m以上の空振りとなった時刻もある。図3の時間経過図の下部にはAIに用いた静止画を40秒間隔で掲載した。この図からわかるように、静止画の撮影のタイミングによってはワイパーや前走車の映り込みがあることから、AI判定に影響を与えたと考えられる。

図4にもAIの視程判別結果と視程計の値が異なった際の静止画の例を示す。図中の①、②ではAIの判別結果が視程300m以上であるのに対し、視程計の値はともに100m未満であったが、静止画を見る限り視程計の方が実際の値に近いように見える。この時も静止画からはワイパーの影響

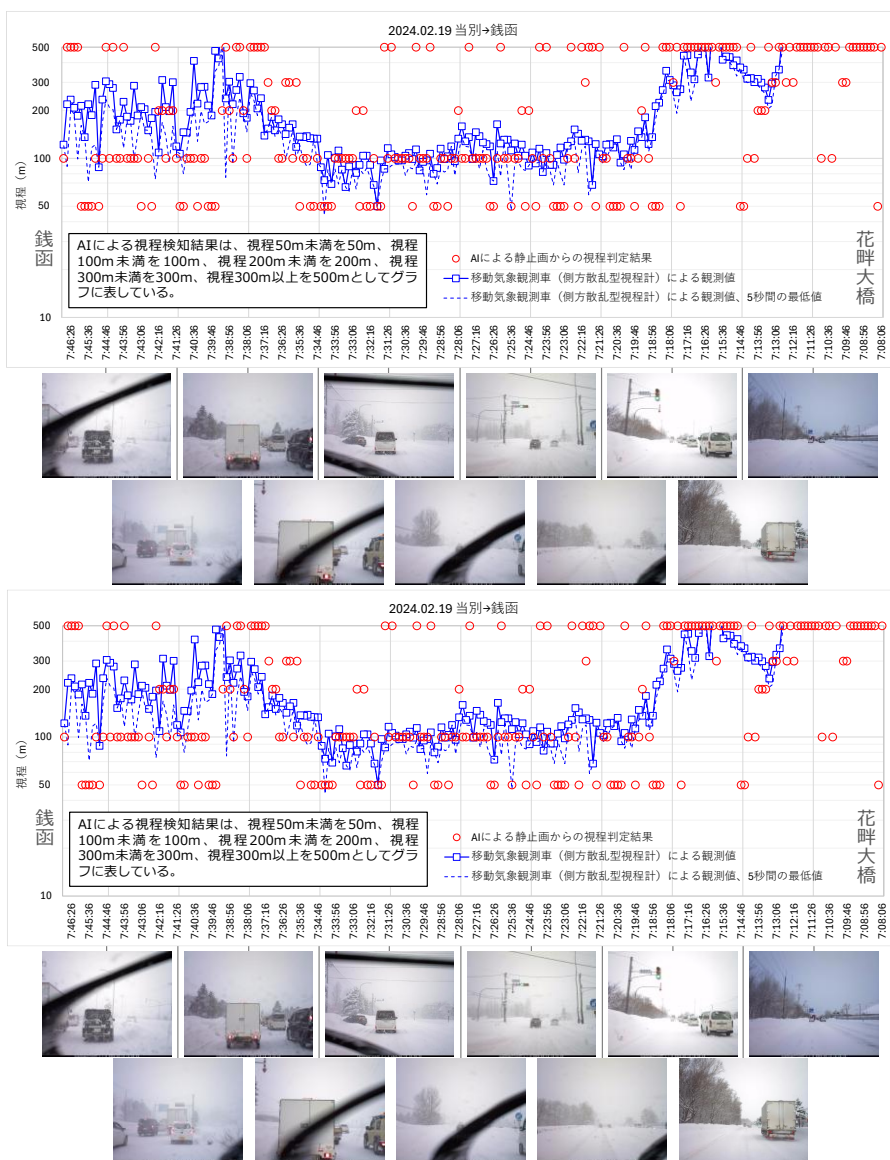


図3 AIによる視程判別結果と視程観測値の比較 (上：往路，下：復路)

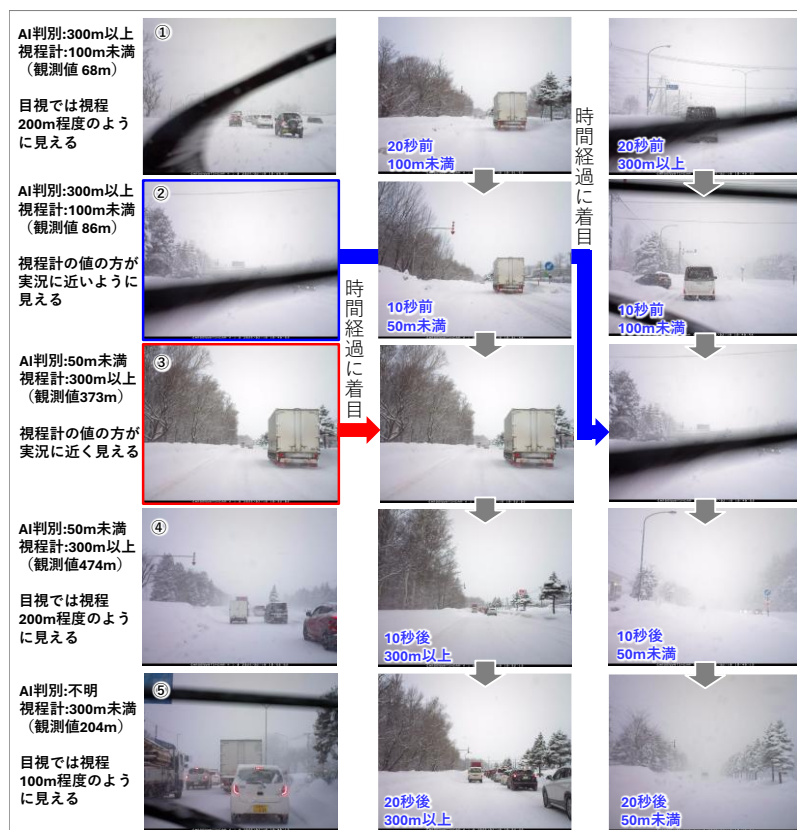


図4 AIが誤判定したと考えられる事例

が疑われる。そこで②の前後 20 秒間の AI 判別結果と静止画を確認すると、ワイパーの映り込みのない時は両者がほぼ一致することが示された。

一方、③は AI では視程 50m 未満となるのに対し、視程計の観測値は 373m でこちらの方が実況に近いように見える。静止画から前方のトラックの影響が疑われることから、同様に前後 20 秒間の結果を確認すると、トラックのいない時刻やトラックとの距離が離れる時刻の AI 判別結果はほぼ妥当であることがわかった。④は実況に比べて AI では小さい視程に判別され、視程計の値は実際より大きな視程を計測しているように見る。また、⑤で AI が不明と判別したのは車両の影響と考えられる。

図 5 は AI が誤判定した事例に対して、連続する 5 枚の静止画と AI の結果を示したものである。図 5 の左列の写真 (事例 A) からは実際の視程は 100~200m に見えるが、AI は 50m 未満の判別が連続した。これは道路面を含めて白一色の画像であること関係している可能性がある。図 5 の右列の写真 (事例 B) は前方にトラックがいた際の AI 判別結果である。20 秒後の視程 50m 未満は誤判定と考えられるものの、その前後の判別結果は妥当であり、誤判定の原因が必ずしも画像に映りこ

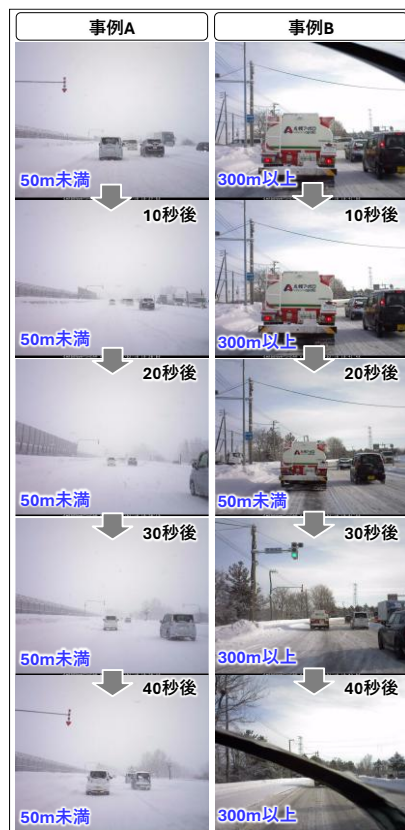


図5 誤判定事例の前後の結果

む前方車の大きさには依存しないこともわかる。このように、前走車による AI の誤判定を導く原因はまちまちで特定は難しい。

4. このほかの車内画像による AI の試行結果

4. 1 動画からのスキャナ画像による AI 判別

2022 年 2 月 21 日に国道 272 号別海町 (図 6) で観測した移動気象観測結果についても、撮影した動画 (wmv) から 1 秒間隔で静止画 (png) を取り出し、同じ AI 学習モデルで判別を実施した。

その結果、視程計の観測値は 100~200m を推移しているが、AI では視程 50m 未満が多く、低視程に大きく偏った結果となった (図 7)。原因



図6 国道 272 号での移動気象観測区間

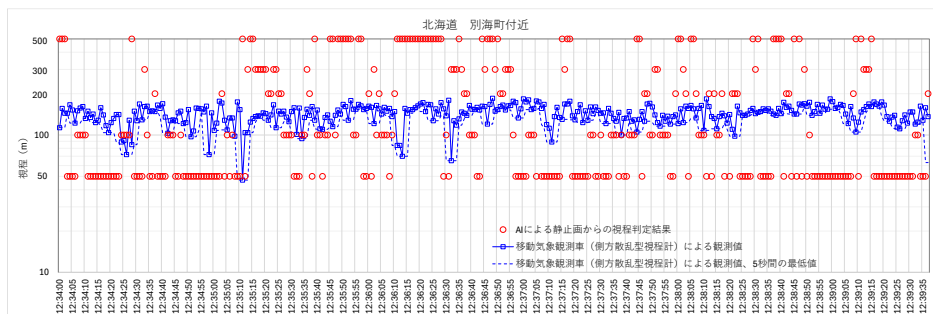


図7 動画から取り出し静止画による AI 視程判別結果と観測視程の比較
としては動画から抽出した静止画を用いたため、画質が AI の判別精度に影響を与えたと推定される。

4. 2 地吹雪事例に対する本 AI 技術の適用性

2025 年 2 月 20 日に新得町内で図 1 のインターバルカメラにより撮影された地吹雪時の静止画に対し、この AI 学習モデルを試した。この日は、降雪はなく晴天が広がっていたものの、強風により断続的に地吹雪が道路上に吹き込み、局所的な視程障害が発生していた。AI による視程判別は概ね 500m 未満と 500m 以上を推移しているが、視程 50m 未満を 2 回記録した（図 8）。その時の静止画からは道路上に地吹雪が激しく吹き込んでいる様子が確認できる。AI による視程判別はやや低視程側に偏るが、本システムが地吹雪による視程障害に対しても適用できる可能性を示している。

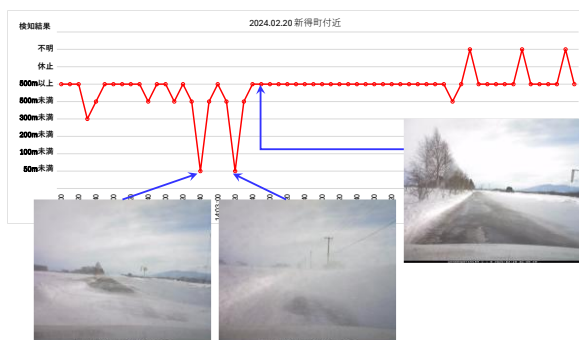


図8 地吹雪事例に対する AI 視程判別結果

4. 3 夜間の静止画への適用性について

本研究の AI モデルに用いた学習データは日中と夜間の画像を同数含んでいる。そのため、表 1 は夜間を含めた判定精度を有している。そこで、夜間に車内から撮影した静止画（観測方法は図 1 と同様）への適用を試みたが、その結果は誤判定が著しく多く、現時点では実用性に欠ける結果となった。原因としては車の移動速度と周囲の暗さとの関係で使用した画像のブレが大きかったことが原因と考えられる（図 9）。つまり、夜間の判

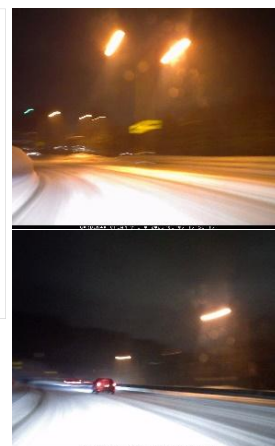


図9 AI 視程判別が誤判定した夜間の静止画
（上は視程 50m 未満、下は視程 100m 未満と判別）

5. まとめ

多数の固定カメラでは視程 100m 未満と判別撮影された道路画像で学習した AI を用いて、移動する車内から撮影した画像を対象に連続的な視程判別を試みた。この結果を同時に観測した車載型視程計の観測値と比較したところ、視程の変化傾向は概ね一致したが、一部には誤判別となる画像も見られた。ワイパーや前方車両の映り込みが主な原因と考えられたが、原因が不明な画像もあった。この他の画像も用いて同様に視程判別を試みた結果、いくつかの課題も確認されたものの、地吹雪による視程の低下も検知できる可能性が示された。

筆者らの開発した AI 学習モデルは、様々な固定カメラでの汎用性を重視していることに特長がある。この特長を維持しつつ、車載画像に転用して判別精度を向上させる方法としては転移学習の導入が候補となる。転移学習は学習が完成した AI を用いて関連する別の機能の AI を作成する技術で、短時間かつ小規模なデータセットでの学習が可能という長所がある。今後はこの転移学習を用いた車載画像からの視程判別の精度向上に加えて、誤判別となりやすい画像の除去方法や夜間の車載画像への対応策も検討していきたいと考えている。

【参考文献】

- 1) 丹治和博, 岩井清彦, 小松麻美, 村上駿介, (2023): AI による道路カメラ画像からの降雪・吹雪時の視程判別について。雪氷研究大会 (2023・郡山) 講演要旨集, 175.

雪の結晶は“環状水”によってつくられる

Snow crystals are created from "cyclo-water"

油川 英明^{1,2}

Hideaki Aburakawa^{1,2}

Corresponding author: abu440407@yahoo.ne.jp (H. Aburakawa)

¹ 日本雪氷学会 北海道支部, ² NPO 法人 雪氷ネットワーク

¹ Hokkaido Branch, the Japanese Society of Snow and Ice, ² NPO Network of Snow and Ice Specialists

雪の結晶は、従来、水蒸気の昇華作用により生成する（中谷，1949）と言われてきたが、昇華成長説は天然の現象に対して根本的な矛盾を抱えている。雪の結晶が水蒸気からではなく、過冷却微水滴（雲粒）から生成するものとするれば、この矛盾は解消されることになり、このことは実験的にも確かめられてきた（油川，2023）。雪の結晶を生成する過冷却微水滴は、一般的な液相の水とは異なり、水分子が六員環のクラスターを形成した、いわゆる“環状水”（シクロウォーター、cyclo-water）と仮称する液相の水であると推察される。さらに、雪の結晶の形状は“環状水”の分子配座によって決められるものとみなされる。

1. はじめに

中谷の「雪の研究」¹⁾において述べられている雪結晶の昇華成長説は天然の現象とは相いれない内容を含んでいる。このことから、雪結晶は過冷却微水滴（雲粒）により液相から直接に成長することをこれまで実験的に示してきた²⁾。

雪結晶が過冷却微水滴から生成する過程は比較的スムーズであることから、その液相には結晶化のための水分子の構造が「準備」されているのではないかと考えられる。それは氷結晶の主要な結晶面である底面及び柱面を構成する六員環の構造とみなされ、ここではその構造水を“環状水”（シクロウォーター、cyclo-water）と仮称する。

天然において過冷却雲粒がこの“環状水”を形成するのは、地表面から蒸発した水蒸気が比較的緩慢に上昇し、氷点下のもとで緩やかに凝結して過冷却の状態となり、雪雲を形成することによるものとみなされる。他方、水蒸気の凝結が急激であったり、常温の微水滴が過冷却した場合、その液相は“環状水”が形成され難く、従ってそのような過冷却雲粒は雪結晶とはなれず、霰などの氷球を形成することになる。

2. 過冷却微雲粒から雪結晶の生成へ

図1は、過冷却微水滴の凍結実験³⁾による氷晶への成長過程を示したものである。過冷却微水滴は、図の②ではすでに六角形状となっているが、その中心部は図の①と変わりがないので、この部分は液相のままであると推察される。そして、そ

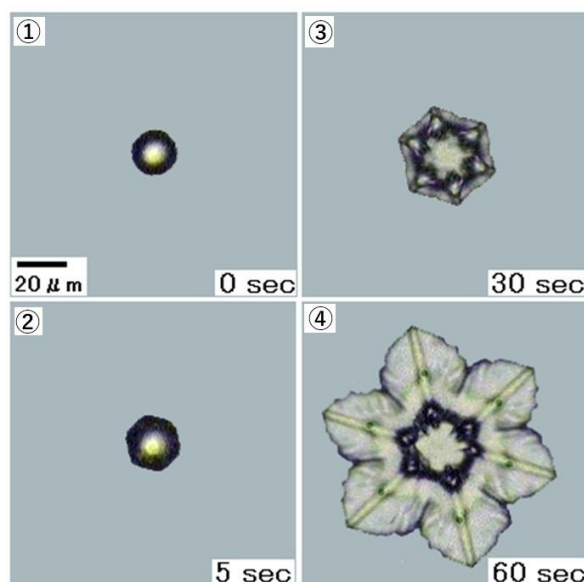


図1 過冷却微水滴の凍結実験。実験温度は－15℃。各図右下の数は経過時間（秒）

の後は氷晶として成長を示し、60秒後の図の④では六花状に発達している。この結晶は、近傍に過冷却微水滴があれば、それを捕捉して六花の枝を成長させて樹枝状結晶などになっていく²⁾。この成長は、従来の人工雪では30分ほどかかるが、この図のようにかなり短い時間で進行している。

図1のような氷晶の生成過程は、水蒸気の過飽和条件などの昇華成長説が再検討されるべき可能性を示している。また、図の雪結晶を生成する過冷却微水滴は、一般的なチリなどの凝結核により形成されることから、雪結晶の生成には氷晶核

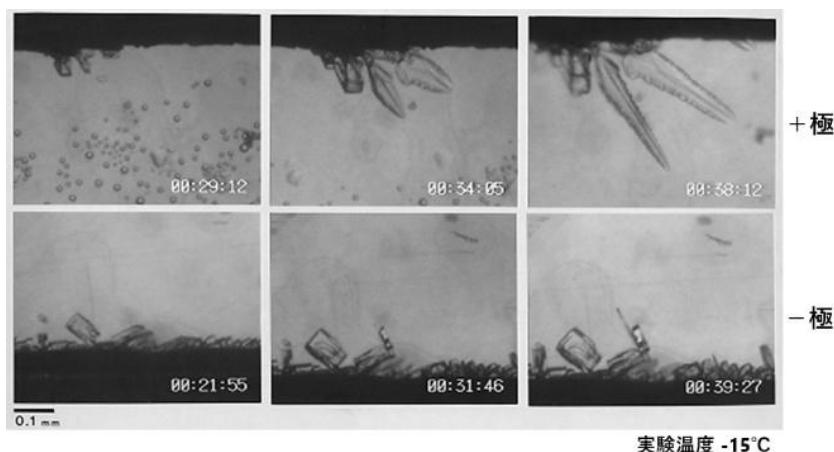


図2 電場を付加したときの氷晶の成長. 上方の写真は正(+)極側, 下方は負(-)極側. 時間の経過は左から右で, 上方は9秒間, 下方は18秒間の映像

などの特別な物質は必要としないと言える.

ところで, 図1の過冷却微水滴は, 液相から固相へと相変化が進行しているが, 一般的な過冷却微水滴の凍結とは異なり, 図の②以降, その表面には急激な凍結による亀裂などが認められず, また, その周りには潜熱の放出・昇温による霜の生成も見られない. このようなことから, 図1の相変化は一般的な潜熱が伴っていないのではないかと推察される. つまり, この相変化は, 水から氷への通常の凍結現象とは異なるものとみなされる. なお, このことについては後に触れる.

図1の過冷却微水滴が①から②への相変化をさせるためには, ①の微水滴が比較的安定な過冷却の状態にあることから, 何らかの刺激を与えることが必要である. 今の場合はこの微水滴に少し急激に水蒸気を凝結させることであった. このようなトリガー効果は, 過冷却微水滴の粒径やそれに含まれる凝結核の径が大きいものほど顕著で, 雪雲のなかで氷晶と雲粒が混在する現象もこのような効果が作用していると考えられる.

冬の朝, 景色が一変するほどの積雪を経験することがあるが, これは夜間の気温の低下により上空の雪雲が冷却され, 雲粒への水蒸気の凝結が盛んとなり, 上記のような効果によって雪結晶の生成が促進されるためであると推察される.

3. 電場の影響による氷晶の成長

図2は, 過冷却微水滴による氷晶の成長実験²⁾で, 電場を付加(1 cm 間に 20V)したときの+極と-極の側における結晶の成長を示している.

この図には二つの興味あることが見られる. 第一には, +極と-極において成長している結晶の形態が異なることで, 前者は板状結晶が, 後者は柱状結晶が成長している. このようなことは従来の人工雪においても若干見られ, 例えば, 中谷ダ

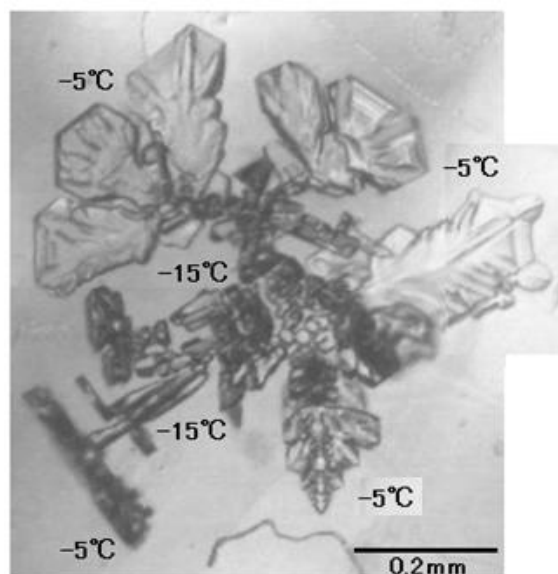


図3 負に帯電した薄膜(ポリ塩化ビニリデン)上での氷晶の成長. 図中に実験温度を示す.

イヤグラム³⁾において板状結晶の成長領域に角柱が2個ほど記載されているなどがあげられる. これは人工雪の装置が負極に帯電したことによる静電気の影響ではないかとみなされる.

興味ある第二は, +極の側には過冷却微水滴が多く付着し, -極ではほとんど見られないことである. これは過冷却微水滴が電氣的に負に帯電するため, +極の側に集中するものと考えられる.

図3は, 負に帯電した薄膜上における氷晶の成長実験による結果を示したものである. 図の写真に示されたように, -15°Cでは柱状結晶が成長し, それを-5°Cに温度を高めると樹枝状結晶の成長が見られる. このような現象は, 従来の人工雪の実験では見られないことである.

なお, 実験に使用した薄膜はポリ塩化ビニリデン製の調理用ラップであるが, 同様の実験を正に

帯電したポリエチレンラップにより行った場合は、従来の人工雪の成長と同じように、 -15°C では樹枝状結晶が、 -5°C では角柱の結晶が成長することが確かめられている。このような現象については以下において考察を行う。

4. “環状水”としての過冷却微水滴

先の図1のように微水滴が結晶化するのは過冷却による現象であるが、常温の微水滴を過冷却させるとか、水蒸気の急激な凝結により形成された過冷却微水滴は氷晶へと結晶化せず、一般的な氷球に凍結する。このような過冷却微水滴の現象は、液相から固相へと相変化するときの水の分子構造に起因しているものと考えられる。

雪結晶の形態は、基本的には板状結晶と柱状結晶の二種である。これらは、氷結晶の底面及び柱面が特別に卓越した形態であることから、上記のように雪結晶へ相変化する過冷却微水滴（雲粒）は、これらの結晶面の構造が液相として形成され、準備されているものと推察される。

氷結晶の底面及び柱面は、図4に示すように、6個の水分子を単位として構成された六員環の特有な立体構造となっている。ここで、六員環の典型としてのシクロヘキサン(C_6H_{12})の構造⁴⁾を援用して、水分子の六員環について検討を試みることにする。

図4において、赤で示された六員環は「いす形」と呼ばれ、水分子（下図の黒丸）が氷結晶の底面を構成している配座である。また、青で示された六員環は「舟形」と呼ばれ、氷結晶の柱面の配座となっている。このような水分子の構造が過冷却微水滴（雲粒）において形成されていれば、それが相変化したとき、「いす型」が卓越している場合は板状結晶へ、「舟形」が卓越している場合は柱状結晶へ成長することになるとみなされる。

この「いす形」及び「舟形」のパターンは以下のようにして導かれる。すなわち、六員環を真横に見て、4個の質点が連なった一本の弦と仮定する。そして、両端の質点が固定され、その間にある二個の質点による弦の二次元振動を考えると、質点の運動が均等であれば、この弦の運動は二つの基準振動により表され、先の二つのパターンである「いす形」と「舟形」が得られる⁵⁾。

過冷却雲粒の水分子の配列が上記の二つのパターンによるものであるとすれば、天然の雪結晶が板状結晶と柱状結晶及びそれらの組み合わせ

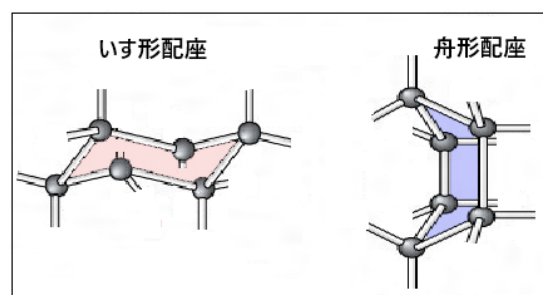
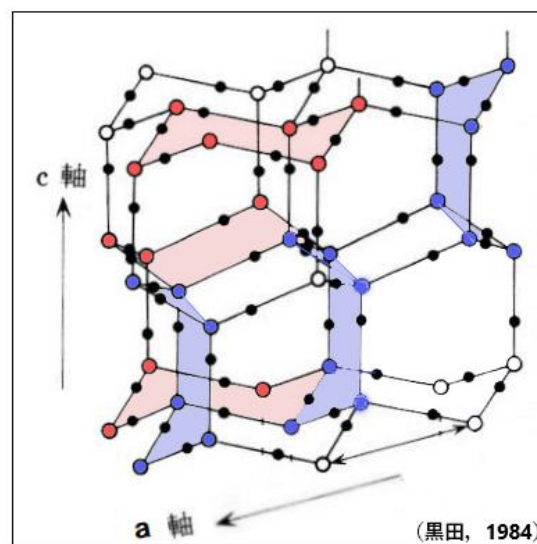


図4 氷の結晶格子⁶⁾ (上)と分子の立体配座 (下). 図上下の赤と青は各々符合となることは理解ができる。

このような水分子の六員環による液相の水について、ここでは(H_2O)₆と表示することとし、その液相の水を“環状水”（シクロウォーター、cyclo-water）と呼称することにする。

過冷却微水滴がこのような氷結晶状の分子結合により形成されているならば、一般的な過冷却水とは異なり、固相への相転移に伴う潜熱は、氷結晶状の分子結合の相当分だけ液相の時に「先払い」が行われ、発熱はそれだけ少なくなるとみなされる。先の図1の場合がその例である。

5. 六員環の水分子配座と成長結晶の形態

電場の付加により成長した結晶の形態をまとめて図5の上図に示す。従来の人工雪の実験は、正(+)極に帯電したポリエチレン膜上の成長と同じであるが、負(-)極に帯電したポリ塩化ビニリデン膜上では、結晶の成長形態が正反対になっている。このような現象は、“環状水”（シクロウォーター）の特性に因るものと考えられる。

水分子の六員環に関わってシクロヘキサンの分子配座をさらに援用すれば、“環状水”には「い

す形」と「舟形」の他にその異種があり、それらは「半いす形」と「ねじれ舟形」である。そして、これら4種の配座は、構成分子の形成エネルギーに関係している。六員環の分子配座とエネルギーレベルの関係を概念的に図5の下図に示す。

この図において、エネルギーレベルの低い方から順に、いす形(A)、ねじれ舟形(B'), 舟形(B)、半いす形(A')となっている。六員環の結合様式は、シクロヘキサンが炭素原子の共有結合で、水分子の場合は水素結合によるものであるが、ここでは水分子へ類推的に援用するものである。

ところで、先の図2において述べたように、結晶を生成する過冷却微水滴は負に帯電しているものとして、これが正に帯電したポリエチレン膜上では微水滴の電荷が中和される。そして、温度が -15°C の低温においては“環状水”の六員環はエネルギーレベルの最も低い、図5の下図に示されたようないす形(A)の分子配座になるとみなされ、それが結晶化して板状結晶が形成されると考えられる。また、ポリエチレン膜上の過冷却微水滴の温度が -5°C と高められれば、エネルギーのレベルがそれだけ上昇し、六員環の分子配座は舟形(B)あるいはねじれ舟形(B')になり(BとB'はエネルギーレベルが近いのでいずれか)、そして柱状結晶が生成されることになる。

他方、負に帯電したポリ塩化ビニリデン膜上に凝結した負の電荷の過冷却微水滴は、電気的な反発・励起作用により、温度が -15°C と低くてもエネルギーレベルが比較的高く、分子配座は舟形(あるいはねじれ舟形)となり、結果として柱状結晶が形成されることになる。そして、この温度を上げて -5°C としたとき、過冷却微水滴のエネルギーレベルがさらに上昇することによって分子配座がその上位の半いす形(A')となり、これにより図3のようにやや表面が不規則な板状結晶が生成されることになると考えられる。

6. おわりに

雪結晶は“環状水”(シクロウォーター, cyclo-water)の過冷却雲粒から生成する。このとき、緩やかに凝結した過冷却雲粒(環状水)は雪結晶となり、余り潜熱を伴わないものとみなされ、急激に凝結した過冷却雲粒(非環状水)は霰などを形成する氷球となり、一般的な潜熱を伴う。

常温の水や海水が緩やかに過冷却したときにも“環状水”が形成され、円盤状氷、角板状氷、

	ポリエチレン(+)	ポリ塩化ビニリデン(-)
-5°C	柱状結晶 (舟形)	板状結晶 (いす形)
-15°C	板状結晶 (いす形)	柱状結晶 (舟形)

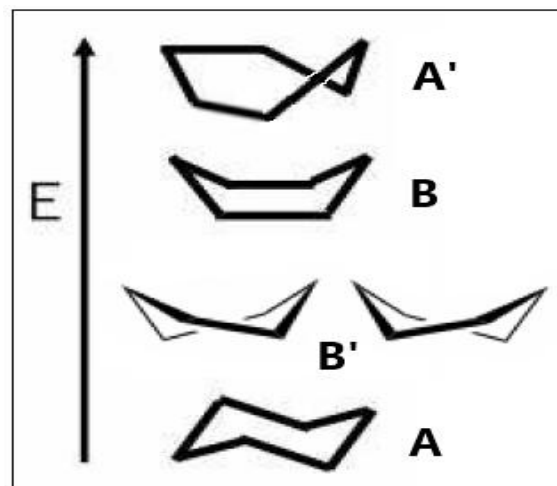


図5 温度と電場による結晶の成長形態(上)及び種々の六員環の分子配座とエネルギーの関係⁴⁾(下)。

樹枝状氷、フラジライスなどが生成される。

雪結晶の形態は、主に板状と柱状の二種であるが、これは“環状水”の水分子配座が大略、二種であることに起因していると考えられる。そして、この結晶形態は電場が付加されたとき正極と負極では異なり、各々の側で成長した結晶は、見かけ上、正反対の形態となる。

結晶の形状は“環状水”の水分子配座により決まるとみなされるが、この配座の形態は水分子のエネルギーレベルにより定まり、温度や電場などによるエネルギーの増減で変遷する。

【参考文献】

- 1) 中谷宇吉郎, (1949): 雪の研究, 岩波書店, pp.161
- 2) 油川英明, (2023): 雪の結晶は氷晶核の必要なく生成する, 北海道の雪氷, **42**, 65-68
- 3) Nakaya, U., (1954): Snow Crystals, Harvard Univ., pp.510
- 4) <https://ja.wikipedia.org/wiki/シクロヘキサンの立体配座> (2025年5月1日閲覧)
- 5) 坪井忠二, (1946): 振動論, 河出書房, pp.512
- 6) 黒田登志雄, (1984): 結晶は生きている, サイエンス社, pp.265

下陸別に設置した海水タンクにおけるフロストフラワー生成実験 Frost flower formation experiment in a sea ice tank installed in Shimo Rikubetsu

中山 雅茂¹, 的場澄人², 飯塚芳徳², 西野沙織³

Masashige Nakayama¹, Sumito Matoba², Yoshinori Iizuka², Saori Nishino³

Corresponding author: nakayama.masashige@k.hokkyodai.ac.jp (M. Nakayama)

¹北海道教育大学釧路校, ²北海道大学低温科学研究所, ³北海道大学大学院環境科学院

¹ Hokkaido University of Education, Kushiro Campus, ² Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University,

³ Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University

冬季夜間の冷え込みが期待できる北海道足寄郡陸別町内の陸別町しばれ技術開発研究所下陸別観測所にて、2025年1～2月に海水上フロストフラワーの生成実験を行った。貯水タンクに蓄えた海水の表面を自然冷却によって結氷させ、氷表面にフロストフラワーが成長する様子をとらえることに成功した。氷表面を移動するように成長と衰退を繰り返す状況や、特徴的な形状に成長するフロストフラワーが確認された。

1. はじめに

海水上のフロストフラワーは、人工衛星データを用いた海水のリモートセンシングに影響を及ぼすことや、大気への化学物質放出との関わりが指摘されている²⁾。一方で、実際に海水上でフロストフラワーを観測する機会は限られる。そこで本研究では、海水のマイクロ波放射計観測用に開発された海水タンク³⁾を利用し、屋外・陸上でのフロストフラワー生成実験を行った。

2. 実験

2. 1 実験地

実験地は、北海道足寄郡陸別町内の陸別町しばれ技術開発研究所下陸別観測所である。この下陸別観測所は、気象庁が設置する地域気象観測所(アメダス観測所)の観測所名:陸別(リクベツ)から1.3 kmほど離れた地点にあり気象観測タワーが設置され、これまでに様々な実験や観測が行われている。これまでの観測結果から1～2月の夜間には、 -20°C 以下になることが期待できる場所である^{4,5)}。

2. 2 実験装置の設置

直径135 cm×深さ70 cmの円形タンクに海水を入れ、外周は建築用断熱材およびコンパネで囲い、夜間の冷え込みによる自然冷却によって、水面のみが冷却されるようにした。使用したタンクは、ターポリン(補強布入り塩ビシート)で作られており、海水が結氷した後もタンクの壁面に固着することが無く、海水のフリーボードが維持される。

また周囲からの風の影響をできるだけ軽減する目的で、上部外周を図1に示すようにビニールシートまたは防風ネットで囲った。天井部は覆っていない。また、氷表面の様子や温度変化をとらえるために小型カメラと携帯型気象計、温度計を設置した。

2. 3 実験期間

2024年12月25日に、釧路市の東部にある桂恋漁港より採水した海水(31.1psu)を同日に陸別に運搬し、貯水タンクへ移し替えた。その後、2025年1～2月の2ヶ月間を実験期間とした。期間中、夜間の気温の冷え込みが期待された表1に示す夜間に、小型カメラでコマ撮り撮影を行うとともに、氷表面の状態を目視でも確認し記録した。

3. 結果

表1に、観測日ごとにおける日没後の実験開始時から翌日実験終了時までにおけるフロストフ



図1 設置した貯水タンクの外観。

ラワの有無を確認した結果と、最低気温の値、貯水タンク直上に設置した携帯型気象計が記録した気温と相対湿度をまとめた。観測日ごとの最低気温の値は、図1の実験装置に隣接する陸別町しばれ技術開発研究所の気象観測タワーで観測された地上高1.5mでの値である。

7回の実験において、3回フロストフラワーが確認された。図2に確認されたフロストフラワーの撮影画像を示す。なお、1月11～12日の実験の際は、実験中にわずかな降雪があった。

4. 考察

7回の実験の中でも、1月11～12日の実験でフロストフラワーが多数確認されたのは、気温が低い中、わずかな降雪があったことで、氷表面に落ちた雪の結晶が起点となり、霜の成長が始まりやすかったと考えられる。2月23～24日の実験で確認されたフロストフラワーは図2(b)に示す1つだけである。1月11～12日と2月23～24日の気温や湿度の値に大きな違いはなく、確認されたフロストフラワーの形状も似ている。これらを踏まえると、氷表面に落ちる雪結晶や氷表面の凹凸の状況が、フロストフラワーの出現のしやすさに大きく影響を与えているものと考えられる。

次に、2月24～25日の実験で確認されたフロストフラワーの形状は、霜が針状に成長した様子がなかった。今回の実験で撮影された画像を詳しく確認したが、残念ながら詳細な成長過程を確認することはできなかった。2月23～24日の実験と比べて、最低気温が3度ほど高いことや、氷上2cmにおける気温も-20℃に達していないなどの違いはあるが、この形状の違いの要因を明らかにするには、さらに実験が必要である。

5. おわりに

今回、海水のマイクロ波放射計観測用に開発された海水タンクを利用し、屋外・陸上でのフロストフラワー生成実験を行った。その結果、-22～-23℃以下に冷え込む環境を整えば、フロストフラワーの実験を行うことが可能であることが確認できた。今後は、フロストフラワーを繰り返し成長させる環境を整え、フロストフラワーに取り込まれる化学物質の分析にも着手したいと考えている。

【参考文献】

- 1) Kwok, R. et al. (1998): Laboratory measurements of sea ice: connections to microwave remote sensing. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, **36**(5), 1716-1730, doi: 10.1109/36.718640
- 2) Hara, K. et al. (2017): Frost flowers and sea-salt aerosols over seasonal sea-ice areas in northwestern Greenland during winter-spring. *Atmos. Chem. Phys.*, **17**, 8577-8598, doi: 10.5194/acp-17-8577-2017
- 3) Nakayama, M. et al. (2024): Development of a sea-ice tank system for measuring microwave properties of sea ice. *J. Glaciol.*, **70**, doi: 10.1017/jog.2024.6
- 4) 空井猛寿, 浜田始, 亀田貴雄, 高橋修平 (2016) 日本一寒い町, 北海道陸別 一気象庁による2007年から2016年までの10年間の観測データに基づく一, 天気, **63**(11), 27-35.
- 5) 亀田貴雄, 高橋修平, 渡邊興亜, 平沢尚彦, 佐藤秀昭, 浜田始 (2018) 北海道陸別町での雪氷分野の実験・観測の経緯および主要な成果 (1991年～2017年), 雪氷, **80**(6), 541-554.

表1 各実験日におけるフロストフラワーの有無の確認結果と最低気温および氷上の気温と湿度

実験日 (夜間～日の出前後)	フロストフラワー 有無	隣接する気象観測タワー		貯水タンク直上に設置した小型気象観測装置			
		最低気温が記録 された時刻(JST)	最低気温 (℃)	氷上105cmにおける		氷上2cmにおける	
				気温(℃)	湿度(%)	気温(℃)	湿度(%)
1月7-8日	—	1/8 7:55	-17.8	—	—	-16.3	85.8
1月8-9日	—	1/9 3:54	-12.5	—	—	-12.6 (1分後 -13.6)	84.9 (1分後 92.8)
1月9-10日	—	1/10 4:23	-15.3	—	—	-12.9	82.8
1月10-11日	—	1/11 5:59	-9.7	—	—	-9.8	88.3
1月11-12日	多数	1/12 5:14	-23.7	—	—	-22.9 (1分後 -23.3)	89.0 (1分後 91.8)
2月23-24日	樹枝状1つ	2/24 5:31	-22.3	-23.2	79.0	-19.3 (7分後 -20.1)	86.3 (7分後 94.2)
2月24-25日	糸状1つ	2/25 6:27	-18.8	-19.2	80.9	-17.0 (2分前 -17.7)	88.1 (2分前 92.7)



図2 確認されたフロストフラワーの撮影画像

(a) 撮影日時：2025年1月12日 5時43分

(b) 撮影日時：2025年2月24日 5時58分

(c) 撮影日時：2025年2月25日 6時04分

2024-2025 年冬期に道内 4 地点で観測された 積雪中ブラックカーボン濃度について

Variations of black carbon concentrations in snow sampled at 4 observation sites in Hokkaido during the 2024-2025 winter

三村 慧¹, 野口 泉¹, 山口 高志¹, 秋山 雅行¹, 鈴木 啓明¹, 大屋 祐太¹, 堤 拓哉²

Satoru Mimura¹, Izumi Noguchi¹, Takashi Yamaguchi¹,

Masayuki Akiyama¹, Hiroaki Suzuki¹, Yuta Ohya¹, Takuya Tsutsumi²

Corresponding author: mimura-satoru@hro.or.jp (S. Mimura)

¹北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所,

²北海道教育大学 旭川校

¹ Research Institute of Energy, Environment and Geology, Hokkaido Research Organization (HRO),

² Asahikawa Campus, Hokkaido University of Education

Concentrations of black carbon (BC) in snow, which are estimated from light-absorbance of Light-Absorbing Particles accumulated on membrane filter, were obtained by snow-sampling at 4 observation sites in Hokkaido during the 2024-2025 winter. Time and spatial variations in snow BC concentrations were revealed, which seemed to be affected by atmospheric transport in Japanese winter. Additional data of BC concentration in atmosphere and analyses about BC concentration in snowfall and contribution of snowmelt may help to understand about definition processes of BC concentration in snow.

1. はじめに

1. 1 雪観測の経緯

積雪寒冷地である北海道において、雪解けは社会生活に関わりの深い現象である^{1,2)}。例えば、農地であれば農作物の作付け時期を、スキー場であれば冬季営業の終了時期をそれぞれ決定する。また、水資源の安定性を考える上で水源域の融雪特性は重要な要素となる^{3,4)}。このことから、融雪予測は社会生活にとって重要な情報と言える。

融雪予測に有効な手法の一つに積雪変質モデルが挙げられる。このうちスイスで開発されたオープンソースの SNOWPACK は、先行研究における検証の結果、日本での利用においていくつかの課題が指摘されている⁵⁾。そこで我々は、これら課題解決に資する気象や積雪に関する知見を蓄積する目的で、2023-2024 年冬期から札幌における積雪観測を開始した⁶⁾。

得られた観測結果について SNOWPACK による再現計算を実施したところ、雪解け時期の融雪量を SNOWPACK が過大評価する傾向が見られた。この要因の一つとしては、SNOWPACK における雪面反射率（アルベド）を含む日射影響の再現性不足が疑われる。

1. 2 本研究の目的

SNOWPACK では、入力した気象データを基に積雪の量や内部構造の時間変化が計算される。ここで日射は融雪の重要な熱源となる⁷⁾が、“雪の汚れ”⁸⁾に起因するアルベド変化については、積雪変質モデル単体では計算されない。

雪の汚れをもたらし光吸収性エアロゾル (Light-Absorbing Particles: LAPs) に関しては、極域をはじめとする雪氷圏に与える影響について、雪氷アルベド・フィードバックを介した気候変動への影響の観点からこれまでに多くの議論がなされている^{9,10,11)}。一方で北海道など季節積雪の地域における影響については、気象庁気象研究所を中心とした札幌での継続的な研究実績がある^{12,13)}ものの、相対的には研究事例が少なく、特に時空間分布に関する報告は見当たらない。

このような背景から本研究は、北海道における LAPs の積雪中濃度の時空間分布の実態や、アルベド変化を介した融雪への影響、また LAPs の大気輸送が積雪中 LAPs 濃度の時空間分布に与える影響を把握し、得られた知見を積雪変質モデルにフィードバックすることを目的とする。本論文では、2024-2025 年冬期の観測結果を報告する。



図 1 札幌における雪観測の様子

2. 手法

2. 1 観測手法

札幌では2023-2024年冬期と同様に積雪重量と各種気象要素を観測した⁶⁾のに加え、本冬期は新たに積雪深観測、積雪断面観測、および積雪コアサンプリングを定期的実施した。積雪深は、積雪重量計付近に設置した標尺を基準として、定点カメラによるタイムラプス撮影画像と週3日ほどの現場観測から、目視によっておよそ日ごとの観測値を得た(図1a)。積雪断面観測と積雪コアサンプリングについては、およそ1週間間隔で積雪重量計から東方に少し離れた位置で実施し、後者についてはステンレス製円筒型サンプラー¹⁴⁾を用いて、積雪全層分のコアを1本以上採取した(図1b)。なお積雪断面観測に関する詳細は、本誌に別途掲載の鈴木らによる報告に詳述される。

札幌ではこれらに加え、観測サイトに隣接する建屋の屋上にガラス製ビーカーを試験的に設置

し、およそ1週間間隔でビーカーを取り替えることにより、降雪試料の採取も実施した(図1c)。

また本冬期は、札幌の他に新たに旭川、美瑛、上富良野(吹上温泉)の3地点を観測サイトに加え、それぞれ計3回ずつ積雪断面観測と積雪コアサンプリングを実施した(概要は図2のとおり)。

2. 2 分析手法

LAPs 濃度の分析については、観測で得られた雪試料を1-2日程度冷蔵室もしくは常温で融解させた後、濾過器を用いてメンブレン濾紙(ADVANTEC製、47mmφ、ポアサイズ:0.8μm)に集積させ、大きなゴミは取り除いた上で積分球を用いて濾紙の吸光度を測定した。そして大気試料を基に事前に確認されている検量線¹⁶⁾に基づき、吸光度をブラックカーボン(BC)濃度に変換した。

3. 結果と考察

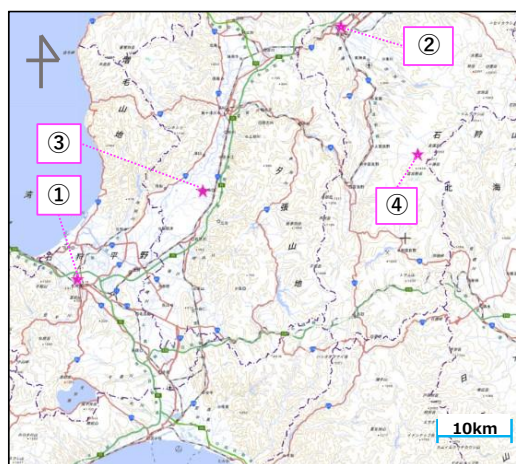
3. 1 積雪中BC濃度の時空間分布

図2の各サイトでそれぞれ得られた積雪中BC濃度の時間変化について図3に示す。ここで、札幌の結果については、得られたサンプルの重量と積雪重量計観測の比較から、氷板下の弱層が十分に採取できなかった可能性が高い1サンプル(※)について、網掛けとしている。

4地点の分布を比較すると、①いずれの地点でも冬の終わりにかけてBC濃度が増加する傾向が見られた。一方で、地点による濃度の差も見られ、②特に標高の高い吹上温泉については、BC濃度の増加が小さい結果となった。

3. 2 LAPsの大気輸送の影響

図3の結果をLAPsの大気輸送の観点から考察するため、4地点を通して観測を行った各観測日(図2の②~④を参照)前15日間の後方流跡線をそれぞれ7日間分計算した^{17,18)}。



番号	サイト名	(およその位置)			周囲の 地形/土地利用	観測時期
		緯度 [度]	経度 [度]	標高 [m]		
①	札幌	43.0812	141.3336	12	低地/市街地	1週間おき (1月以降)
②	旭川	43.7881	142.3466	107	段丘/市街地	2/12, 2/27, 3/10
③	美瑛	43.3287	141.8160	18	低地/農地	2/10, 2/25, 3/10
④	吹上温泉	43.4317	142.6430	1014	山地/ 笹地・森林	2/13, 2/26, 3/11

図 2 観測サイトの概要(地理院地図¹⁵⁾に追記)

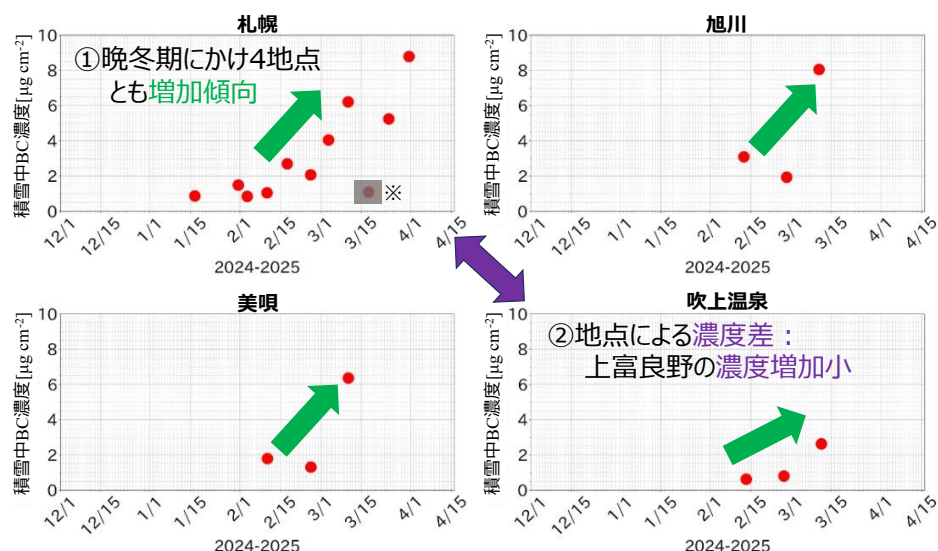


図 3 道内 4 地点で観測された積雪中 BC 濃度の時間変化

図 4 に札幌の(a)2 月 12 日と(b)3 月 11 日の観測についての結果を示す。両者を比較すると、前者の移流経路が比較的北寄りで分散傾向である一方、後者では北西方向から大陸上を通り直線的に移流する経路が主となっていた。この傾向は、他 3 地点でも同様に見られた。北日本付近では、2 月は冬型の気圧配置が比較的多く見られたのに対し、3 月には大陸からの低気圧や前線の通過が多く見られ、図 4 の結果に反映されたと考えられる。図 4 に見られる移流経路の差が図 3①に寄与した可能性について、札幌サイト内の国設大気観測局で観測された大気中 BC 濃度¹⁹⁾を参照したが、本稿執筆時点では 2 月までのデータしか公開されておらず(2 月は積雪中 BC 濃度と同様に大気中 BC 濃度も増加が小さいことを確認)、考察を今後に譲った。図 3②については、大気の水方向の移流経路に地点による差は見られず、より局地的な影響の寄与が考えられた。

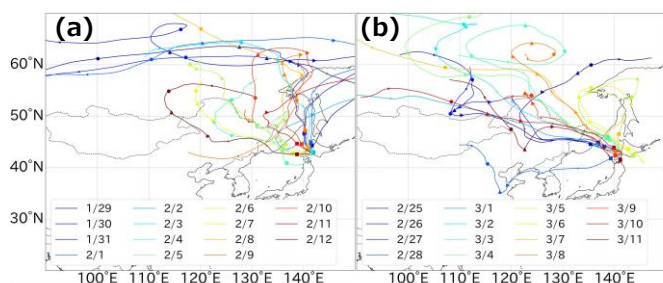


図 4 札幌を起点とした後方流跡線計算の結果
(各日とも日本時間午前 10 時を起点に計算)

3. 3 降雪・積雪の変化による影響

札幌における降雪試料中の BC 濃度(表 1)は

3 月末に増加し、積雪中 BC 濃度の変化と一定の対応があった。今後は大気中 BC 濃度を用いて乾性沈着の影響を分離し、降雪中 BC 濃度の変化による影響の考察を目指す。また、積雪中 BC 濃度の増加が融雪期に重なることから、融雪の影響についても考察していく必要がある。

表 1 ビーカーで採取された降雪試料中 BC 濃度

ビーカー 設置日	ビーカー 回収日	BC濃度 [$\mu\text{g cm}^{-3} \text{ day}^{-1}$]	ビーカー 設置日	ビーカー 回収日	BC濃度 [$\mu\text{g cm}^{-3} \text{ day}^{-1}$]
2024/12/25	2025/1/16	0.18	2025/2/25	2025/3/3	0.78
2025/1/27	2025/1/31	1.13	2025/3/3	2025/3/10	1.19
2025/1/31	2025/2/3	0.52	2025/3/10	2025/3/17	0.50
2025/2/3	2025/2/10	0.12	2025/3/17	2025/3/24	0.65
2025/2/10	2025/2/17	1.20	2025/3/24	2025/3/31	2.62
2025/2/17	2025/2/25	0.24			

4. まとめ

2024-2025 年冬期に道内 4 地点において積雪観測を実施した。積雪コアサンプリングにより得られた雪試料を融解・濾過して LAPs を濾紙に集積させ、積分球による吸光度分析と検量線を基に積雪中 BC 濃度を得た。その結果、①4 地点とも晩冬にかけて BC 濃度が増加する傾向が見られた一方、地点間の比較では②特に標高の高い吹上温泉について、BC 濃度の増加が小さい結果となった。後方流跡線からは、移流経路の違いがこれら特徴に寄与した可能性が示唆された。今後は、観測データのさらなる収集と追加解析により、積雪中 BC 濃度が決定されるプロセスについて、より具体的に考察していく。

【謝辞】

積雪観測について、旭川では北海道教育大学旭川校の敷地内にて、美唄では農業・食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センター美唄試験地敷地内にて、吹上温泉では吹上温泉保養センター白銀荘の管理敷地内にて、それぞれ実施させて頂きました。吸光度分析は、北海道大学大学院工学研究院環境工学部門地域環境研究室の積分球を用いて実施させて頂きました。

【参考文献】

- 1) 野口泉, 濱原和広, 芥川智子, 山口高志, 鈴木啓明, 長谷川祥樹, 小野理, (2021): 積雪寒冷地における気候変動の影響評価と適応策に関する研究I-降雪・積雪の変化の影響-. 北海道立総合研究機構エネルギー・環境・地質研究所報告, **1**, 69-74.
- 2) 野口泉, 鈴木啓明, 山口高志, 長谷川祥樹, 大屋祐太, 芥川智子, 小野理, 濱原和広, (2024): 積雪寒冷地における気候変動の影響評価と適応策に関する研究 III -冬および雪の変化に関する気候変動影響の分類-. 北海道立総合研究機構エネルギー・環境・地質研究所報告, **3**, 1-7.
- 3) 山田朋人, (2024): 流域を対象とした過去・将来における水資源の利用可能性. 北海道河川財団研究所紀要, **35**(8), 145-168.
- 4) 川村一人, 中津川誠, 臼谷友秀, (2010): 気候変動が積雪地域の水循環と水利用へ与える影響について. 水工学論文集, **54**, 445-450.
- 5) 平島寛行, 山口悟, 小杉健二, 根本征樹, 青木輝夫, 的場澄人, (2015): 断面観測結果を用いた積雪変質モデルの検証. 雪氷, **77**(1), 5-16.
- 6) 大屋祐太, 鈴木啓明, 野口泉, 三村慧, 堤拓哉, (2024): 積雪重量計を用いた札幌市における 2023-2024 年冬季の観測について. 北海道の雪氷, **43**, 123-124.
- 7) 近藤純正, (1994): 水環境の気象学 -地表面の水収支・熱収支-. 東京, 朝倉書店, 350pp.
- 8) 青木輝夫, 田中泰宙, (2008): 1. 大気エアロゾルの沈着が積雪アルベドに与える影響 (2007 年度秋季大会シンポジウム「雪氷圏から語る気象と気候」の報告). 天気, **55**(7), 538-547.
- 9) Hansen, J., Nazarenko, L. (2004): Soot climate forcing via snow and ice albedos. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, **101**(2), 423-428.
- 10) Skiles, S.M., Flanner, M., Cook, J.M., Dumont, M., Painter, T.H. (2018): Radiative forcing by light-absorbing particles in snow. *Nat. Clim. Chang.*, **8**, 964-977.
- 11) Kang, S., Zhang, Y., Qian, Y., Wang, H. (2020): A review of black carbon in snow and ice and its impact on the cryosphere. *Earth-science reviews*, **210**, 103346.
- 12) Aoki, T., Motoyoshi, H., Kodama, Y., Yasunari, T. J., Sugiura, K., Kobayashi, H., (2006): Atmospheric aerosol deposition on snow surfaces and its effect on albedo. *SOLA*, **2**, 013-016.
- 13) Niwano, M., Kajino, M., Kajikawa, T., Aoki, T., Kodama, Y., Tanikawa, T., Matoba, S. (2021): Quantifying relative contributions of light - absorbing particles from domestic and foreign sources on snow melt at Sapporo, Japan during the 2011 - 2012 winter. *Geophys. Res. Lett.*, **48**(16), e2021GL093940.
- 14) 佐竹研一, (2000): 酸性雨研究と環境試料分析-環境試料の採取・前処理・分析の実際-. 東京, 愛智出版, 291pp.
- 15) 国土地理院: 地理院地図(電子国土 WEB). <https://maps.gsi.go.jp> (2025 年 6 月 24 日閲覧).
- 16) 本多宏充, (2013): 大気汚染測定フィルターを再利用した黒色炭素エアロゾルの測定. 平成 24 年度北海道大学修士論文.
- 17) 国立環境研究所: 地球環境データベース 流 跡 線 解 析 (METEX). <https://db.cger.nies.go.jp/ged/metex/ja/index.html> (2025 年 6 月 24 日閲覧).
- 18) Saha, S., Moorthi, S., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., Behringer, D., Hou, Y.-T., Chuang, H.-y., Iredell, M., Ek, M., Meng, J., Yang, R., Mendez, M. P., van den Dool, H., Zhang, Q., Wang, W., Chen, M., Becker, E. (2011): NCEP Climate Forecast System Version 2 (CFSv2) Selected Hourly Time-Series Products. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research; Computational and Information Systems Laboratory, Boulder, CO.
- 19) 環境省: PM2.5 成分自動測定データ. https://www.env.go.jp/air/osen/pm_resultmonitoring/post_25.html (2025 年 6 月 24 日閲覧).

積雪変質モデルの再現性向上に向けた 北海道内における 2024–2025 年冬季の積雪観測

Snow observations in Hokkaido during the winter of 2024-2025 for improving the reproducibility of numerical snowpack model

鈴木 啓明¹, 大屋 祐太¹, 野口 泉¹, 三村 慧¹, 堤 拓哉²
Hiroaki Suzuki¹, Yuta Ohya¹, Izumi Noguchi¹, Satoru Mimura¹, Takuya Tsutsumi²
Corresponding author: suzuki-hiroaki@hro.or.jp (H. Suzuki)

¹北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所, ²北海道教育大学旭川校

¹ Research Institute of Energy, Environment and Geology, Hokkaido Research Organization, ² Asahikawa Campus, Hokkaido University of Education

2024-2025 年冬季に、札幌における積雪相当水量の連続観測および道内 4 地点における積雪断面観測を行い、積雪構造の違いの要因について気象要素との関係から考察した。札幌では気温の上昇や日射量の増加に対応してざらめ雪への変質が確認された。旭川や美唄では札幌に比べ多くの氷板が形成され、夜間の冷え込みによって積雪内の融雪水の再凍結が促された影響が考えられた。一方、標高が高く気温がプラスになる機会が限られる吹上温泉では、他地点でざらめ層への変質が進んだ 3 月中旬でもしり雪が卓越していた。

1. はじめに

北海道では、気候変動に伴い、積雪や融雪の変化に伴う産業や生活への影響が想定される¹⁾。将来の積雪・融雪予測では、降雪後のプロセスを考慮した SNOWPACK 等の積雪変質モデルの利用が有用であり^{2) 3)}、積雪変質モデルを道内の予測研究に幅広く活用することが望まれる。モデルを活用するためには、観測された積雪データに基づき、質的な変化を含めた積雪状況に関するモデルの再現性を確認し、向上させることが重要である。

このため本稿では、2024-25 年冬季に道内で積雪観測を行い、各地の積雪構造の違いについて考察したので報告する。

2. 対象地点と方法

対象地点を図 1 に示す。積雪相当水量 (Snow water equivalent, 以下 SWE) の連続観測は札幌で、積雪断面観測は札幌を含む道内 4 地点で行った。

SWE は株式会社スノーテック新潟製の積雪重量計 MN301 を使用し、積雪前に校正を行ってから観測に使用した。測定の詳細は、前年度の大屋⁵⁾の報告と同様である。ただし前年度と異なり、2024-25 年の測定は通常の仕様通り 4 枚のパネルで行った。なお、重量計で測定した SWE と積雪サンプラーで観測した SWE が整合しているかどうかを確認するため、この地点から西に約 10m 離れた地点で、1 月中旬から 3 月末までの間に計 11

回、SWE をサンプラーで観測し、重量計の測定値と比較した。その結果、1 回を除き、重量計の測定値はサンプラーの値よりも 14%~42% 大きいことが確認された。このことから、重量計の測定値は、年間を通した変動の傾向は適切に捉えていると考えられるが、現場周辺の代表的な SWE

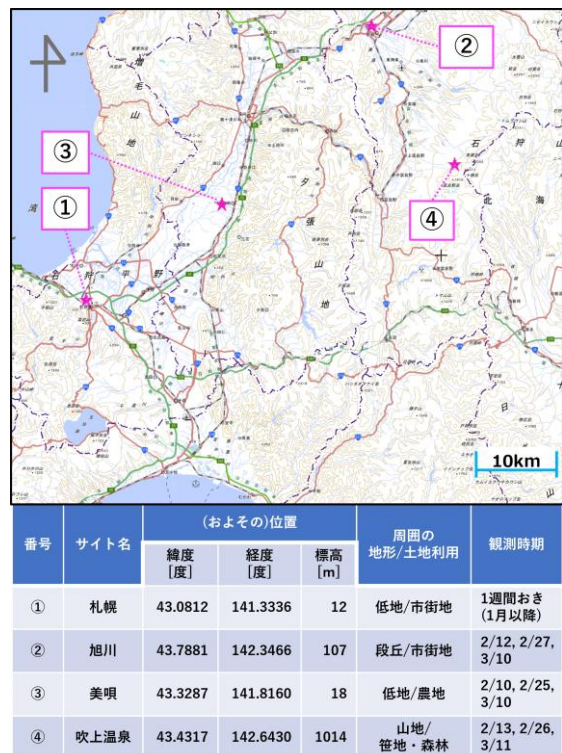


図 1 積雪観測地点
地理院地図⁴⁾に加筆して作成。

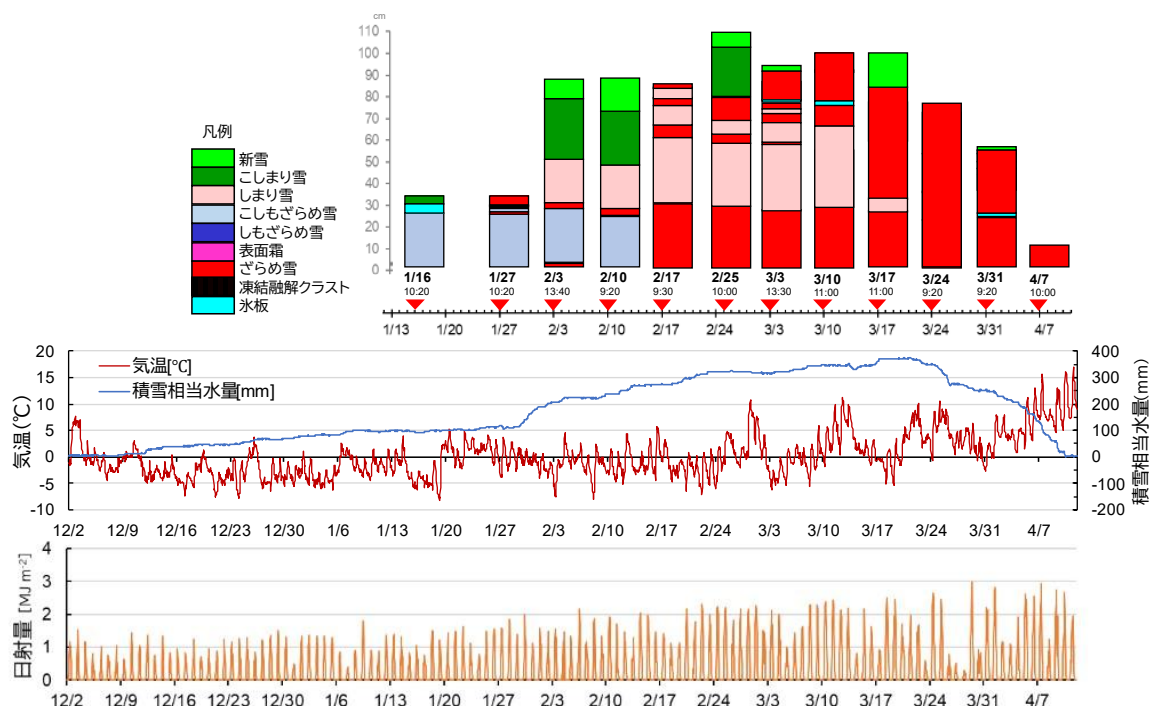


図2 札幌における 2024-2025 冬季の積雪断面観測結果 (上),
積雪相当水量及び気温 (中) 及び日射量の推移 (下)

よりも大きい可能性があることに注意する必要がある。

積雪断面観測は、周囲に樹木などが少ない平坦な雪に覆われた草地で、スコップで垂直に掘って断面を形成して行った。

気象要素については、札幌は隣接する国設大気環境測定所の値を、他の3地点は隣接するアメダスの値を使用した。

3. 結果と考察

札幌の積雪断面観測の結果と、同時期の重量計で測定したSWE、気温、日射量(時別)の推移を図2に示す。1月27日から2月10日までは、積雪層の大部分がしまり雪またはこしもざらめ雪であったが、2月10日から17日にかけてざらめ雪の層が増加した。2月10日から17日及びその前週には、気温が5℃前後まで上昇した日や、日射量が2 MJ m²以上となった日がみられ、積雪面の受熱量が増加し、積雪層の変質を促したことが考えられる。その後、3月17日から24日にかけて、積雪層全体がざらめ雪に移行した。この時期はSWEの値が減少に転じた時期(3月20日前後)と一致していた。

札幌を除く3地点の積雪観測結果を図3に示す。旭川と美唄では、3月10日前後で各4~5枚と、札幌よりも多くの氷板が観測された。旭川、

美唄、札幌の2月25日以降の累積降水量(図4)をみると、旭川と美唄(特に美唄)は札幌に比べて期間中の降水量(大半が降雪)が少なかったことから、積雪表面が新雪で覆われる期間がより短く、雪温が気温の影響を受けやすかったと考えられる。さらに、同期間の気温の推移(図4)をみると、3地点とも気温が0℃を超えたり下回ったりするゼロクロッシングを経験しているが、旭川および美唄では、札幌に比べ夜間の気温低下が著しかった。このことから、旭川と美唄では、夜間の強い冷え込みによって積雪内の融雪水の再凍結が促され、その結果、より多くの氷板が形成されたと考えられる。

吹上温泉では、他地点でざらめ層への変質が進んだ3月中旬でもしまり雪が卓越し、ざらめ雪はほとんど認められなかった。吹上温泉の山麓の上富良野アメダス(標高220m)で、2025年1月1日から3月10日までに最高気温が5℃以上の日は2日間にとどまった⁶⁾(2月28日の最高気温7.2℃、3月1日の最高気温8.0℃)。吹上温泉の標高は上富良野アメダス(標高約220m)より約800m高く、気温の逓減率(0.65℃/100m)からみて標高差により気温が約5℃低くなることを考慮すると、吹上温泉では気温がプラスになる機会が限られ、変質が進まなかったと考えられる。

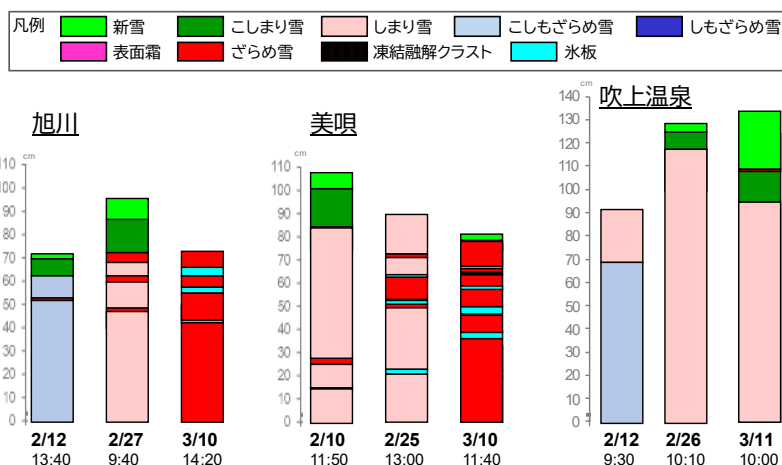


図3 旭川・美唄・吹上温泉における2024-2025冬季の積雪断面観測結果

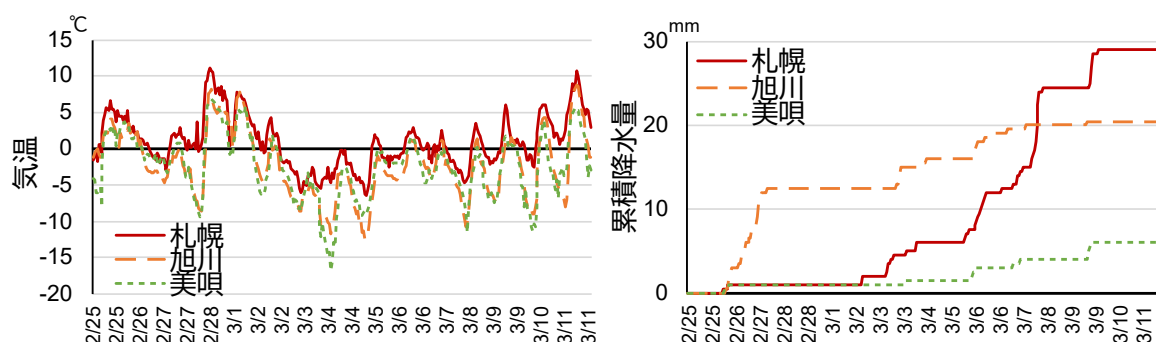


図4 旭川・美唄・札幌の2025年2月25日以降の気温及び累積降水量の推移

4. おわりに

2024-2025年冬季に、札幌におけるSWEの連続観測および道内4地点における積雪断面観測を行い、各観測地点における積雪構造の違いの要因について、気温などの気象要素との関係から考察した。今後は積雪変質モデルを用いて地点ごとの積雪構造の違いを表現できるか確認し、北海道の積雪状況を推定するためのモデルの計算条件について検証を進める。

【謝辞】

積雪観測は、旭川では北海道教育大学旭川校の敷地内にて、美唄では農業・食品産業技術総合研究機構 北海道農業研究センター 美唄試験地敷地内にて、吹上温泉では吹上温泉保養センター 白銀荘の管理敷地内にて、それぞれ実施させて頂きました。記して御礼申し上げます。

【参考文献】

- 野口泉, 濱原和広, 芥川智子, 山口高志, 鈴木啓明, 長谷川祥樹, 小野理, (2021): 積雪寒冷地における気候変動の影響評価と適応策

に関する研究 I -降雪・積雪の変化の影響- 北海道立総合研究機構エネルギー・環境・地質 研究所報告, 1, 69-74.

- Katsuyama, Y., Inatsu, M., Nakamura, K., Matoba, S. (2017): Global warming response of snowpack at mountain range in northern Japan estimated using multiple dynamically downscaled data. *Cold Reg. Sci. Technol.*, **136**, 62-71.
- Katsuyama, Y., Inatsu, M., Shirakawa, T. (2020): Response of snowpack to +2°C global warming in Hokkaido, Japan. *J. Glaciol.*, **66** (255), 83-96.
- 国土地理院: 地理院地図(電子国土 WEB). <https://maps.gsi.go.jp> (2025年6月24日閲覧)
- 大屋祐太, 鈴木啓明, 野口泉, 三村慧, 堤拓哉, (2024): 積雪重量計を用いた札幌市における2023-2024年冬季の観測について. 北海道の雪氷, **43**, 123-124.
- 気象庁: 過去の気象データ検索, <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2025年6月25日閲覧)

雪庇の数値計算について

Development of simulation method for snow cornices

植松 孝彦¹

Takahiko Uematsu¹

Corresponding author: uematsu@snow-eaters.com (T. Uematsu)

¹株式会社 雪研スノーイーターズ

¹Yukiken Snow-Eaters Co.,Ltd.

In snowy regions, snow cornices form on mountain ridges and the eaves of houses. In recent years, falling snow cornices have become a problem as buildings become taller. This paper discusses the development of numerical simulations as a means of predicting snow cornices, aimed to improve driftFluxFoam in OpenFOAM, which has been under development recently, and put it into practical use. The author compared the simulation results with previous wind tunnel experiments. The author obtained good agreement in the shape of the snow cornice and the range of wind speeds over which it grows, but there was a large difference in the rate of growth. The author plans to continue making improvements in the future.

1. はじめに

雪庇は、大きいものでは山の尾根に、小さいものでは、家の屋根に成長する。¹⁾近年では、建物が高くなり、雪庇が小さくても、落下時の危険は大きくなった。このため、雪庇の落下予防策や雪庇を成長させない策が見られるようになったが、これらの策の有効性についての客観的な手段がない。

本論文の目的は、この客観的な手段として、数値計算を開発することを目的とする。

1. 1 開発方針

雪庇は、吹雪により運ばれた雪粒子により形成されると考えられているため、吹雪の数値計算が応用できると予想された。そこで、フリーの応用できそうなモデルの活用を考え、OpenFOAMのDriftFluxFoam²⁾を採用することにした。このモデルは、基本方程式の数が少なく、シンプルであるため、計算時間が短くて済む利点がある。一方、シンプルであるため、雪庇の形成の探求などには制限がある。

1. 2 開発にあたっての検証資料—風洞実験結果—

数値計算は、なんらかの方法によって、検証されなければならない。今回は、平成23年に実施した風洞実験の結果を用いることとした。この実験は、雪を風洞内に、上あるいは風上の下部から導入して行ったもので国立研究開発法人防災科学技術研究所極端気象災害研究領域雪氷防災研究センター雪氷環境実験室において実施した。その結果は、イセンコほか

(2012)³⁾にまとめられている。図1には、風洞のイラストを示す。風洞内の模型は、34cmの段差をもつバックステップ形状とした。結果を、表1に示す。

風洞で形成された雪庇は大きく分けて、2種類でいわゆる段差から庇状にのびた「薄板、吹きだまりタイプ」と段差に着雪した「着雪タイプ」となる。今回、数値計算の対象としたのは、「吹きだまりタイプ」である。

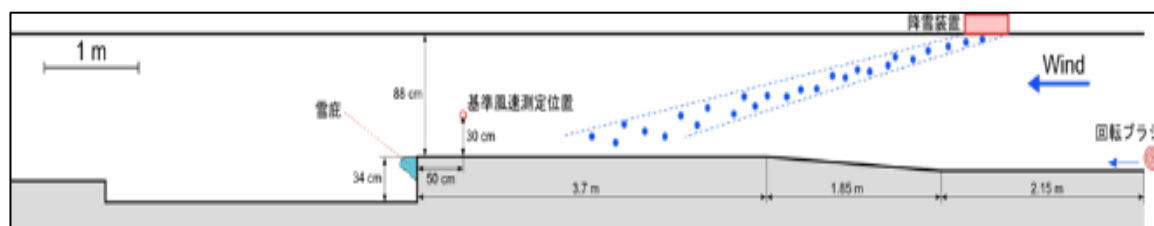


図1. 風洞のイラスト

表 1 風洞実験一覧

実験番号	風速 (m/s)	摩擦速度 (m/s)	雪底の長さ (cm)	雪底の厚さ (cm)	高さ3cmの 飛雪流量 (g/m ² /s)	雪底形成 タイプ
2	6	0.22	5.0	-	136.76	着雪
3	7	0.25	7.0	-	94.79	着雪
4a	5	0.17	22.0	4.0	49.28	吹きだまり
4b	5	0.17	3.0	-	49.28	薄板
4c	5	0.17	3.0	-	49.28	薄板
4d	5	0.17	9.0	-	49.28	着雪
6	6	0.22	3.0	-	133.69	着雪
7a	4	0.14	10.0	3.0	56.12	薄板
7b	4	0.14	10.0	-	56.12	着雪
8	8	0.29	1.5	-	-	着雪
9	5	0.17	12.0	-	128.19	着雪
10	5	0.17	9.0	-	-	着雪
11a	5	0.17	4.0	-	-	着雪
11b	5	0.17	18.0	2.4	-	吹きだまり
12	5	0.17	21.8	8.2	272.57	吹きだまり

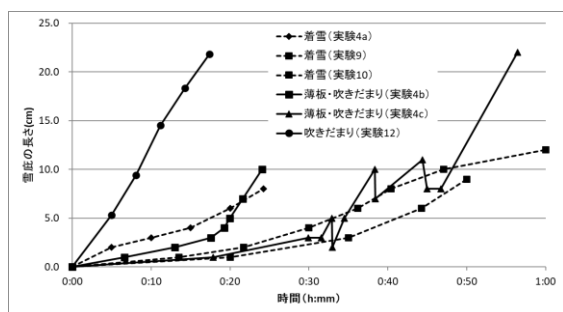


図 2 風洞実験の結果—雪底の長さ—

2 数値計算手法

2. 1 数値計算の地形、メッシュなど

数値計算の地形は、風洞実験に似せ、しかも、野外での実実験との比較を考慮して、風上から、5 m のところに高さ 4 m の段差を配置したバックステップとした。図 3 に、地形とメッシュを示す。メッシュは、風向に沿って 2 7 5 メッシュ、高さ方向に 5 0 メッシュ、風向直角方向に 3 メッシュとし、雪底部分を細かくした不等間隔とした。

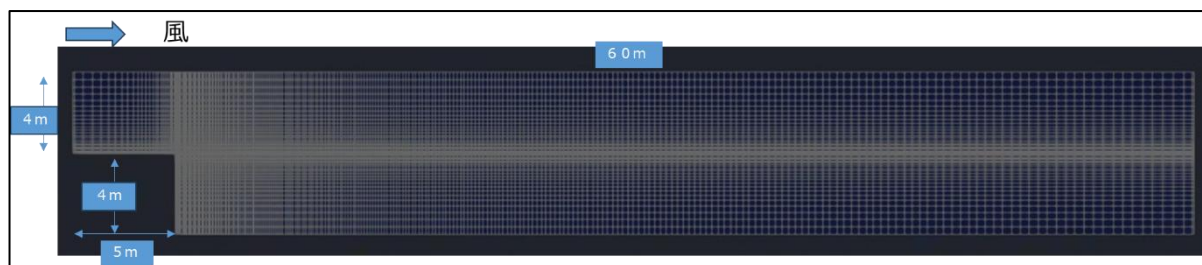


図 3 計算地形とメッシュ

2. 2 境界条件など

境界条件は、表 2 の通りである。

表 2 境界条件

風の境界条件	体積分率の境界条件
入力境界：一律風速 出口境界：0 左右境界：勾配 0 上面：0 下面：noSlip	入力境界： 地面から 1 m 範囲の一定値 風洞実験の結果から、0.03 とした。 出口境界：0 左右境界：勾配 0 上面：0 下面：slip

2. 2 基本方程式

基本方程式は以下のとおりである。(1) 式は、混相流の連続の方程式、(2) 式は、体積分率 α の保存の方程式、(3) 式は、混相流のナビエ・ストークスの方程式である。

$$\frac{\partial \rho_m}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_m u_m) = 0 \quad \dots (1)$$

$$\frac{\partial \rho_P \alpha}{\partial t} + \nabla \cdot \{ \alpha \rho_P (u_m + u_d) u_m \} = 0 \quad \dots (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial (\rho_m u_m)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_m u_m u_m) = & -\nabla p + \nabla \cdot (\mu_m \nabla u_m) - \\ & + \nabla \{ \alpha \rho_P u_d u_d + (1 - \alpha) \rho_f u_f u_f \} + \rho_m g_k \end{aligned} \quad \dots (3)$$

ここで、

$$\text{ドリフト速度: } u_d = u_p - u_m = \frac{\rho_f}{\rho_m} V_c 10^{-\alpha \alpha}$$

$$\text{流体速度: } u_f = \frac{\alpha \rho_P}{(1 - \alpha) \rho_f} u_d$$

$$\text{平均密度: } \rho_m = (1 - \alpha) \rho_f + \alpha \rho_P$$

$$\text{平均速度: } u_m = \frac{\alpha \rho_p u_p + (1 - \alpha) \rho_f u_f}{\rho_m}$$

粘性係数:

$$\mu_p = \mu_f + \text{Coeff} \cdot (10^{\text{exponent} \cdot \alpha} - 1)$$

平均粘性係数: $\mu_m = (1 - \alpha) \mu_f + \alpha \mu_p$
である。

ここで、このモデルの特徴は、ドリフト速度と粘性係数である。両者とも、体積分率の指数関数で表現されている。粘性係数は、Nishimura(1986)⁴⁾など²⁾を参考とした。また、ドリフト速度のVCの値はBrito(2023)⁵⁾を参考にし、 α は1.0とした。

3. 計算結果と風洞結果との比較

計算結果の一例を図4、5に示す。

この計算は、流入風速 $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ の例である。このように、計算では、60秒付近から長さ、厚さ、ともに変化が少なく、安定形になっている。

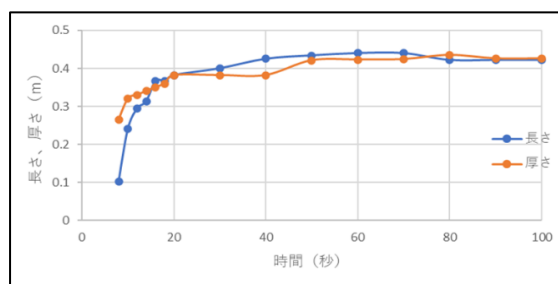


図4 計算結果 —雪底の長さ—

長さ、厚さともに60秒くらいで変化しない。

3. 1 形状の比較

図5に、計算による形状(安定形)と風洞実験による形状の比較を示す。楔状の形状はよく似ているが、風洞実験のほうが雪底先端に向けての上面の傾きが小さいように見える。雪底の下面の形状はよく似ている。

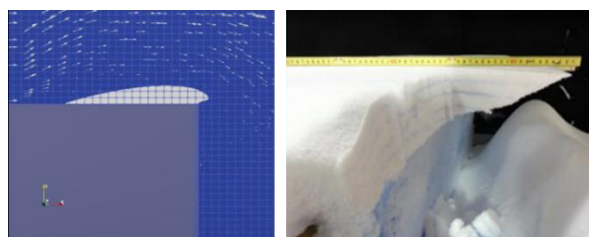


図6 数値計算の雪底と風洞の雪底の形状

左が数値計算結果(安定形)、右が風洞実験(12番)結果。

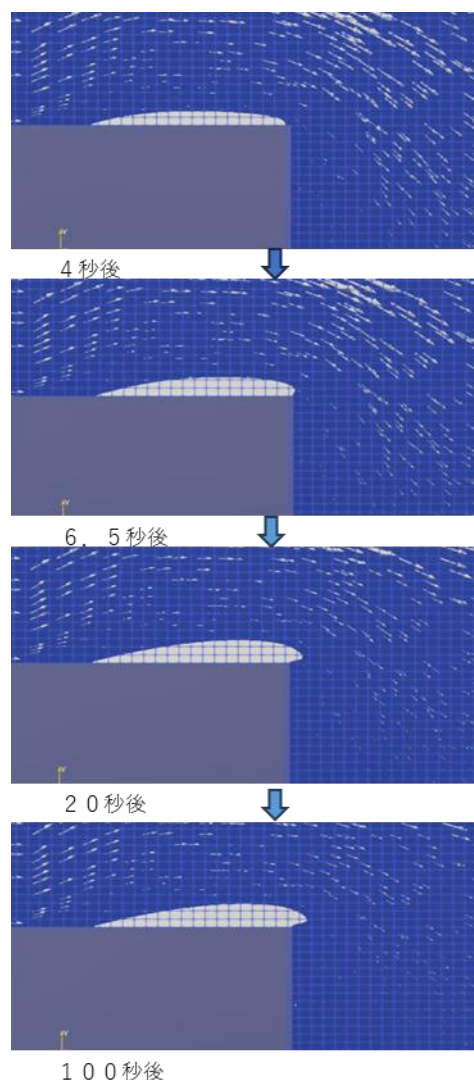


図5 計算結果—雪底の成長—

左の境界での風速 5 m/s 、流入体積分率は、地面から1mまで、0.03。矢印は、風向風速、白色の部分が積雪。画面の格子間隔は20cm。

3. 2 雪底ができる風速範囲

雪底ができる風速には範囲があることが知られている。内藤(1986)⁵⁾によれば、その範囲は $4 \sim 8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ としている。そこで、数値計算で、入力風速を3, 4, 5, $7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ とかえて、計算を行った。安定形状の図を図6に示す。これによれば、やはり、 $4 \sim 7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ が雪底の成長範囲となっており、過去文献を確認できた。

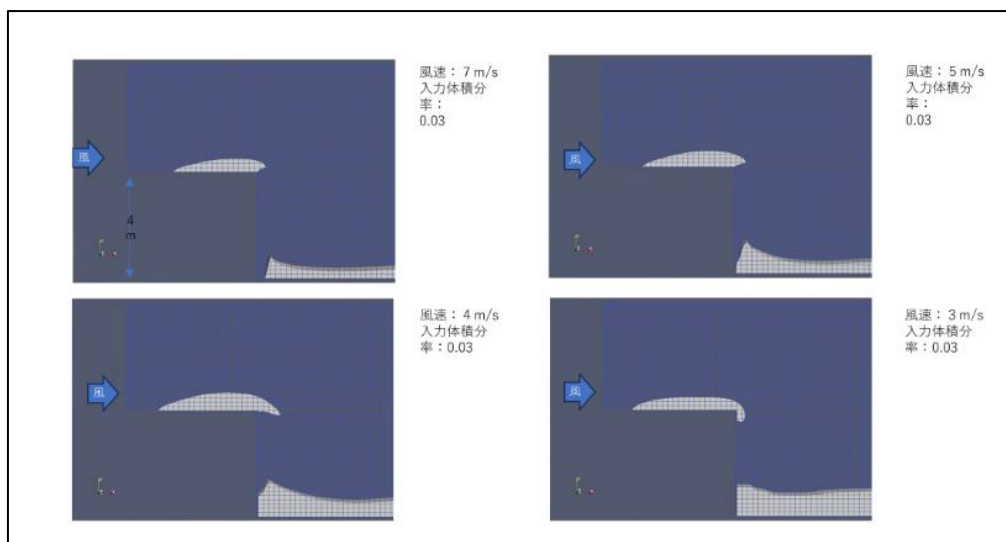


図6 風速を変えたときの雪庇の形状

4. 考察

数値計算において、風洞実験の「吹きだまりタイプ」の再現を試みた。形状に関しては、吹きだまりが風洞に比較して、厚かったものの、ほぼ再現できた。しかし、成長時間に大きな差がみられた。風洞実験では17分～56分で約20cmの長さに成長するのに対し、数値計算では1分位で安定形まで成長する。数値計算が粒子の沈着は考慮しているが、雪特有の変態に伴う圧密を考慮していないこと、雪粒子が雪面で静止するために必要な転動現象を組み込んでいないことなどが原因と考えられる。

また、数値計算では、形状が変化しない状態(安定状態)が現れたが、風洞においては確認されていないという相違が見られた。

5. まとめ

雪庇の数値計算手法の開発の中間報告である。driftFluxFoamを利用して、雪庇の数値計算を試みた。形状については過去にイセンコら(2012)に行った風洞実験の結果と似た結果を再現できたが、成長速度、密度に関しては、相違が見られた。今後は、雪の特性を顧慮した改良をする予定である。

【謝辞】

風洞実験のデータを提供いただきました齋藤佳彦様、イセンコエフゲーニー様、西田公平様に感謝します。

混相流ほかの論文の提供をいただきましたほか、内容につきまして、議論をいただきました西村浩一様に感謝します

OpenFOAMのdriftFluxFoamを利用させていただきました。感謝します。

【参考文献】

- 1) Seligman, G. et al. (1980) Snow structure and ski fields. I.G.S. pp555.
- 2) Amidu, A.M., AbdulRaheem, K.K., (2001) Numerical simulation of rectangular clarifier using drift-flux model in openFOAM. Research Square in print.
- 3) イセンコ・エフゲーニー, 齋藤佳彦, 根本征樹, 堤拓哉, 大槻政哉, 富永禎秀, 望月重人, (2012) 雪庇近傍の気流状況: 雪庇形成への影響についての考察, 雪氷研究大会.
- 4) Nishimura, K. (1996) Viscosity of fluidized snow. Cold Regions Science and Technology, **24**, 117-127.
- 5) 内藤ほか (1986) 雪庇の発生に関する実験的研究. 低温科学, **44**, 91-101.
- 6) Brito Melo, D. (2023) Snow transport in extreme environments: from small to large scale modeling. EPFL. pp130.

地上粒子分布を考慮した降雪の移流距離推定に向けた感度分析

Sensitivity analysis considering terminal fall velocity distribution of particles for estimating snowfall advection

大屋 祐太¹, 野口 泉¹, 鈴木 啓明¹, 三村 慧¹

Yuta Ohya¹, Izumi Noguchi¹, Hiroaki Suzuki¹, Satoru Mimura¹

Corresponding author: ooya-yuuta@hro.or.jp (Y. Ohya)

¹ 北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所

¹ Research Institute of Energy, Environment and Geology, Hokkaido Research Organization

To quantify how snow-particle properties modulate horizontal advection, we installed a laser precipitation monitor (LPM) disdrometer on the rooftop of the Energy, Environment and Geology Research Institute located in Sapporo, Japan and observed during the 2023/24 and 2024/25 winters. Observed particle diameter–fall velocity (D–V) distributions were objectively clustered with a self-organizing map (SOM), yielding several distinct snowfall classes. Composite radiosonde profiles indicate that wet-snow events occur under warmer, moister, and stronger-wind environments than dry-snow events. Finally, a sensitivity analysis assuming a uniform horizontal wind shows that realistic perturbations of the representative fall velocity substantially alter the estimated horizontal advection distance.

1. はじめに

降雪粒子は降雨粒子に比べて落下速度が遅く(孫野, 1954; Nakaya, 1954)、風の影響を強く受けるため水平移流が生じることが指摘されている(小野ら, 1990; 佐々木ら, 1999)。北海道における水平風による地表面付近の降雪粒子の移流を推計した研究(大宮, 2020)はあるが、雪粒子は結晶形状・含水率・密度などが多様であり、これらの物理特性が気流と相互作用する機構を定量化する試みは限定的である。

近年、気候変動に伴う気温上昇により、北海道のような積雪寒冷地域でも将来的には雪質が変化する可能性が示唆されている(e.g. Sato et al., 2023)。雪質が変化すると粒子の落下速度や空気抵抗が変わり、同一風場下でも粒子が地表に到達するまでの時間が変化するため、水平移流距離が大きく変動すると考えられる。既往の気候モデル

では雪質依存の落下時間や水平移流の影響が十分に考慮されておらず、降雪域の補正を必要とする。本研究の目的は、降雪粒子の物理特性と風場を観測から推定し、簡易的な水平移流推定による感度分析を実施する。これにより、降雪粒子の物理特性によって影響しうる水平移流の変化量を示し、気候変動下における降雪域の将来予測や積雪量評価モデルの検討に資する基礎知見を得る。

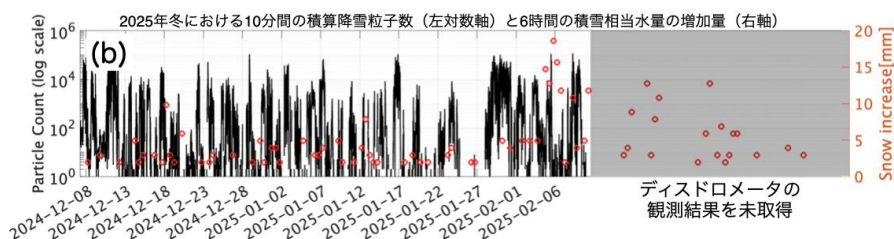
2. 手法

2. 1 観測手法

本研究の観測は、札幌市に位置する北海道立総合研究機構エネルギー・環境・地質研究所の敷地内で実施した。観測機器として、クリマテック株式会社製のレーザー式ディストロメーター(CTC-LPM)を使用した。CTC-LPMは、降水粒



図-1 (a) 観測機器の設置写真



(b) ディストロメーターによる観測結果

黒実線はディストロメーターの粒子数、赤丸は積雪重量計の増加量を示す

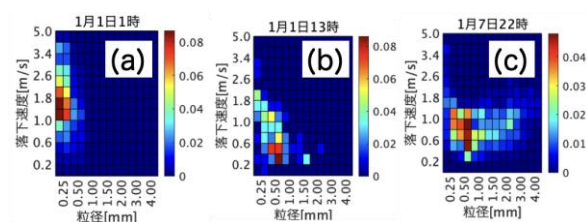


図-2 粒径(横軸)-落下速度(縦軸)の観測例

表-1 雪質タイプの分類

分類	特徴
乾雪	粒径が大きいほど落下速度が小さい
湿雪	粒径・落下速度とも分布が広い
大雪	湿雪のうち降水強度が突出して大きい
小雪	降水強度 5 mm h^{-1} 未満

子の粒径および落下速度を高精度で測定可能であり、冬季環境下でも安定した性能を有することが確認されている(中井ら、2023)。同機器は、メーカーによる点検後、研究所本館屋上(地上約10 m)に設置した(図-1)。データ記録には、専用のデータロガーを用い、1分間隔の積算値を取得した。2023-2024年シーズンでは microSD カードに、2024-2025年シーズンではクラウド通信サービスを介してデータを保存した。なお、風防オプションは使用しなかった。

2. 2 使用した気象データ

気象場の解析には、高層気象データおよび解析データを使用した。高層気象データは、観測地点から約2 km離れた札幌管区気象台で午前9時と午後9時に実施されるラジオゾンデ観測のデータを使用した。このデータは University of Wyoming のウェブサイトで公開されているものを取得した。さらに三次元的な気象データとして、気象庁のメソ数値予報モデル GPV データを使用した。このデータは、京都大学生存圏研究所の生存圏データベースから取得した。

2. 3 解析手法

ディストロメーターで得られた粒径および落下速度データは、粒径を22区分、落下速度を20区分に分類し、各組み合わせにおける粒子数をマトリクス形式で記録し、自己組織化マップ(SOM: Self-Organizing Map, Kohonen, 1990)を用いた機械学習によって 5×5 ユニットの投影し、粒径-落下速度パターンマップを生成した。観測期間内で

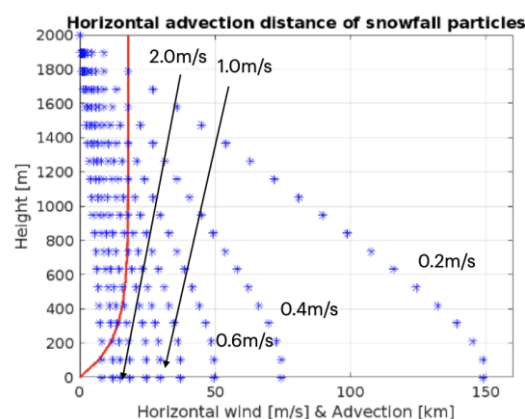


図-3 落下速度に対応する水平移流距離の比較
赤線はドップラーレーダーから推定した水平風速、青印は上空から落下する降雪粒子の軌跡

降雪が計測された時刻における観測データは、生成したパターンマップに分類したのち、雪質タイプを定義した。

内陸部にかけて大雪をもたらした代表事例について、降雪粒子の水平移流距離を推定する感度解析を実施した。水平風速の鉛直分布は、同時刻におけるドップラーレーダーの観測値から算出し、落下速度から求めた滞留時間を組み合わせることで、水平移流距離を求めた。

3. 結果

3. 1 降雪粒子の物理特性の分類

図-2は、ディストロメーターで取得した 粒径 22 区分 $\times$ 落下速度 20 区分(計 440 次元)の粒子数の観測事例を示す。図-2(a)は、落下速度が速い粒子が多く、図-2(b)(c)では、落下速度が遅い粒子が多いなど、観測事例によって落下速度には大きな幅を持つことがわかった。同観測結果を、大屋(2025)では自己組織化マップ(SOM, $5 \times 5 = 25$ ユニット)に投影し、粒径-落下速度パターンマップを生成した。生成したパターンマップに対して、観測期間内で降雪が計測された時刻における観測データを最も類似したパターンへ分類したのち、特に特徴的な4種については、雪質タイプを定義した(表-1)。

3. 2 降雪時の大気環境の特徴

地上から対流圏下層までの風向・風速は、降雪量の多い事例では、水蒸気供給層となる高度500–1000 m 付近で西北西から北北西の卓越風が吹き、降雪量が増すほど同高度の風速も強くなる。

対照的に小雪タイプは弱い南寄りの風が支配的である。一方、乾雪タイプは湿雪混在時に比べて地表から上空まで低温・低湿で発生しており、粒径が大きいほど落下速度が遅い乾雪特有の分布を示した。また石狩に設置された国土交通省のXRAINのドップラー速度から、水平風速はおおよそ15から20 m s⁻¹であることを確認した。

3. 3 水平移流の感度分析

気象条件を踏まえ、代表事例について一定の水平風速に複数の落下速度を組み合わせる感度解析を実施した(図-3)。その結果、降雪粒子の水平移流距離は、数kから数十kmまで変化し、特に落下速度1 m s⁻¹以下の乾雪が卓越するケースでは大きな水平移流(30km以上、最大80km規模)が起り得ることが分かった。

4. 考察とまとめ

落下速度0.6 m s⁻¹の乾雪粒子が大多数を占め、かつ高度400 m以上で20 m s⁻¹の強い風が吹いた大雪事例について、レーダーで得た地上より2km上空の降雪分布に、水平移流を加味して地上へ再配置したところ、推定される降雪分布には顕著な偏差が見られた。すなわち、水平移流を考慮しない現況レーダー速報値は、降雪域を下流側へ過小評価する可能性が示された。

【謝辞】

本研究の遂行にあたり、北海道大学山田朋人教授、富山大学島田互准教授から観測機器を提供いただきました。また国土交通省が提供し、文部科学省の補助事業により開発・運用されているデータ統合解析システム(DIAS)の下で収集・提供された

XRAINを利用しました。記して謝意を述べます。

【参考文献】

- 1) 孫野長治. (1954). 雪の結晶の落下速度. 雪氷, 15(6), 1-4.
- 2) NAKAYA, Ukichiro. Snow crystals: natural and artificial. Harvard university press, 1954.
- 3) 小野節夫, 菅原透, 笹本誠, 堺茂樹, & 平山健一. (1990). 風の影響を考慮した降雪分布予測について. 水工学論文集, 34, 103-108.
- 4) 佐々木憲孝, 長谷川俊介, 笹本 誠, 平山健一, 堺 茂樹 (1999): レーダによる降雪観測について. 水工学論文集, 43, 269-274.
- 5) 大宮哲, 國分徹哉, 松下拓樹, 高橋丞二, & 松澤勝. (2020). X バンド MP レーダによる地上吹雪の 定量的把握の可能性. 雪氷, 82(3), 145-156.
- 6) Sato, Y., Kamada, M., Hashimoto, A., & Inatsu, M. (2024). Future change in the contribution of riming and depositional growth to the surface solid precipitation in Hokkaido, Japan. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 63(10), 1097-1112.
- 7) 中井専人ら, 光学式ディストロメーター観測に基づく固相および液相の降水粒子自動分類. 天気, 2023, 70.1: 5-11.
- 8) KOHONEN, Teuvo. The self-organizing map. Proceedings of the IEEE, 78.9: 1464-1480, 1990.
- 9) 大屋祐太, 石狩川下流域における降雪粒径分布観測と雪質分類に基づく気象特性解析, 令和 6 年度研究助成「石狩川水系における冬期の水資源量の高度観測と将来予測」報告書, 2025.

北アルプス・上高地における降積雪量分布

The distribution of snowfall amount and snow depth in Kamikochi, the Northern Japan Alps

近藤 ひかる^{1,2}, 的場 澄人², 佐々木 明彦³, 西村 基志⁴, 鈴木 啓助⁴
Hikaru Kondo, Sumito Matoba, Akihiko Sasaki, Motoshi Nishimura, Keisuke Suzuki
kondo.hikaru.v5@elms.hokudai.ac.jp (H. Kondo)

¹北海道大学大学院環境科学院, ²北海道大学低温科学研究所, ³国士館大学, ⁴信州大学
¹ Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, ² Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University,
³ Kokushikan University, ⁴ Shinshu University

The spatial distribution of snowfall depth in Kamikochi, a basin-shaped area in the Northern Japan Alps, was examined using in-situ measured snow depth and meteorological data from 2014 to 2024. The snowfall depth did not show any clear dependence on the elevation across the region. Moreover, the distribution of snowfall varied significantly from year to year, and the distribution of snowfall depth fluctuated considerably with each snowfall event. These suggest that winter snowfall mechanisms vary from event to event due to pressure patterns and topographic effects.

1. はじめに

山岳域の積雪は、「天然の白いダム」と呼ばれるように、水を固体の状態ですぐに地上に貯留し、広く利用される重要な水資源である。

平野部における、地球温暖化が降積雪に及ぼす影響についての研究は多く行われており、平野部を含む標高 1500 m 未満の地域では、今後の地球温暖化により、降雪量が現在と比較して顕著に減少すると予測されている¹⁾。一方、南北方向への気温勾配 (1°C/118 km) に対し、鉛直方向への気温勾配 (1°C/154 m) は、約 800 倍である²⁾ことから、山岳域は気候変動の影響を受けやすく、気候変動に伴う降積雪量の変動は平野部とは異なる可能性がある。例えば、イタリア北部の山岳地帯では、標高 2000 m 以上の地域では冬季の積雪深の減少傾向は弱く、1-3 月にはわずかな増加傾向を示す³⁾。本研究対象地域である上高地梓川流域においては、梓川の 5-7 月の流出高の増加傾向は、降積雪量の増加に起因すると報告されている⁴⁾。

山岳域での降積雪の増加は、水貯留量や雪氷災害の増加に寄与する可能性があり、その可能性を検討するには、現在の山岳域における降積雪量の分布を知る必要がある。先行研究では、高標高山岳域である北アルプス・乗鞍岳において、東西斜面の積雪分布が異なることが明らかになっている⁵⁾。しかし、観測機器の設置や維持の難しさから、山岳地域における気象観測が十分に整備されておらず⁶⁾、山岳域の谷や盆地における降積雪量の分布に関する研究は少ない。

そこで、本研究では、周囲を 3000 m 級の山々に囲まれた山岳域の盆地状地形である上高地において、降雪量の空間的分布の有無を明らかにすることを目的とする。

2. 方法

本研究は、北アルプス・上高地を対象とした。上高地内 5 地点 (観測地点名: K-1, K-2, K-3, K-4, K-5) において、積雪深と気温の観測を行った (図 1)。積雪深はレーザー式積雪深測定装置 (North one, KADEC21-snow) を、気温は自然通風筒内に設置したサーミスターセンサー (T&D, TR-5106) を用い、正時の値をデータロガーに記録した。解析には、西穂山荘 (観測地点名: Nishiho)、蝶ヶ岳ヒュッテ (観測地点名: Chou) で計測している総合気象観測データも使用した。観測機器の詳細については、鈴木・佐々木⁶⁾を参照されたい。

解析期間は、2014 年冬季から 2024 年冬季までの 11 冬季分とした。ここで冬季とは、前年 11 月から当年 4 月とする。ただし、観測機器の制約により、蝶ヶ岳ヒュッテは 2022 年冬季から 2024 年冬季のデータを解析に用いた。

当該日の積雪深は、その日の最大積雪深と定義し、日降雪深は次のように定義した。

$$\text{日降雪深} = \sum_{i=1}^{i=24} \text{sd}_i - \text{sd}_{i-1} \quad (1)$$

ここで、sd は毎時積雪深データ、i は時間を表す。

風による積雪の再分配などの、降雪以外での積雪深の増加を除くために、積雪深観測地点 5 地点のうち、2 地点以上で 3 cm 以上の降雪があった日を降雪日と定義した。

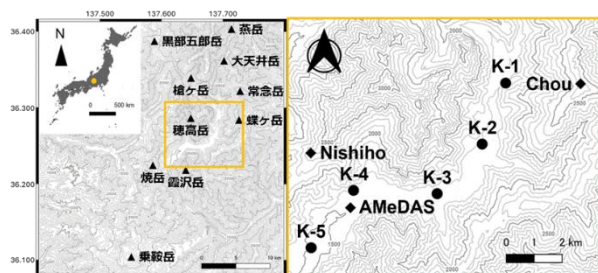


図 1 研究対象地域と観測地点

3. 結果と考察

解析期間において、2015 年冬季は多雪年、2016 年冬季及び 2023 年冬季は少雪年であった。

標高は、K-1、K-2、K-3、K-4、K-5 の順に高いが、年最大積雪深及び年累積降雪深の大小は標高や年に依存した単純なものではなく、全ての観測地点において経年的な増減傾向はみられなかった。また、特に 2019 年冬季は、年最大積雪深及び年累積降雪深とも地点間のばらつきが最も大きく、K-1 では多雪傾向を示したにも関わらず、他の地点では少雪傾向を示した。

次に、日降雪深について考察する。K-1 及び K-5 は、5 地点の中で最も大きな日降雪深を記録した頻度が高いが、その他の地点においても、最も大きな日降雪深を記録した日があった。また、日降雪深の空間的分布は、降雪イベント毎に異なっており、例えば他の地点が 3cm 以上の降雪深を記録しているにも関わらず、降雪深が 0cm を記録する地点があるイベントが存在した。

以上から、降雪深の空間的分布は降雪イベントごとに大きく変化しており、これは標高などの単純な要素で説明できないことから、降雪イベントを気圧配置などで場合分けし、降雪現象を詳細に考察する必要性が示唆された。

4. 結論

本研究は、北アルプスの盆地状地形である上高地において、2014 年から 2024 年の冬季の降積雪深を観測し、その空間的分布の有無を検討した。

その結果、降雪深の空間的分布に標高の依存性は見られず、多雪・少雪傾向の分布は年ごとに異なることが明らかになった。乗鞍岳を対象とした

先行研究⁵⁾においては、山岳稜線の東西の積雪分布は気圧配置と地形効果によって変動することが示唆されており、本研究対象地域においても冬季の降雪パターンをもたらす気圧配置と地形効果について、今後検討を行う。

【参考文献】

- 1) Hara, M., Yoshikane, T., Kawase, H., and Kimura, F. (2008): Estimation of the Impact of Global Warming on Snow Depth in Japan by the Pseudo-Global-Warming Method. *Hydrological Research Letters*, **2**, 61–64, doi:10.3178/hrl.2.61.
- 2) 鈴木啓助 (2012): 山岳地域における雪氷水文学的研究と気象観測問題. 日本水文学会誌, **42**, 109-118, doi:10.4145/jahs.42.109.
- 3) Bertoldi, G., Bozzoli, M., Crespi, A., Matiu, M., Giovannini, L., Zardi, D., and Majone, B. (2023): Diverging snowfall trends across months and elevation in the northeastern Italian Alps. *International Journal of Climatology*, **43**, 2794-2819, doi:10.1002/joc.8002.
- 4) 鈴木啓助 (2018): 上高地における近年の気候・水循環変動. 雪氷, **80**, 103-113, doi:10.5331/seppyo.80.2_103.
- 5) Nishimura, M., Tanaka, R., Sasaki, A., and Suzuki, K. (2022): Spatiotemporal variations of snow cover in Mt. Norikura, the Northern Japanese Alps. *Japanese Journal of Mountain Research*, **5**, 1-12, doi:10.34532/jasms.5.0_1.
- 6) 鈴木啓助, 佐々木明彦 (2019): 中部山岳地域における気象観測網の展開. 地学雑誌, **128**, 9-19, doi:10.5026/jgeography.128.9.

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¹, 八久保 晶弘¹, 大橋 康樹²

Tatsuo Shirakawa¹, Akihiro Hachikubo¹, Koki Ohishi²

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

¹北見工業大学, ²北見工業大学大学院工学研究科

¹ Kitami Institute of Technology, ² 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)¹⁾。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^{2), 3)}と関連気象要素である⁴⁾。

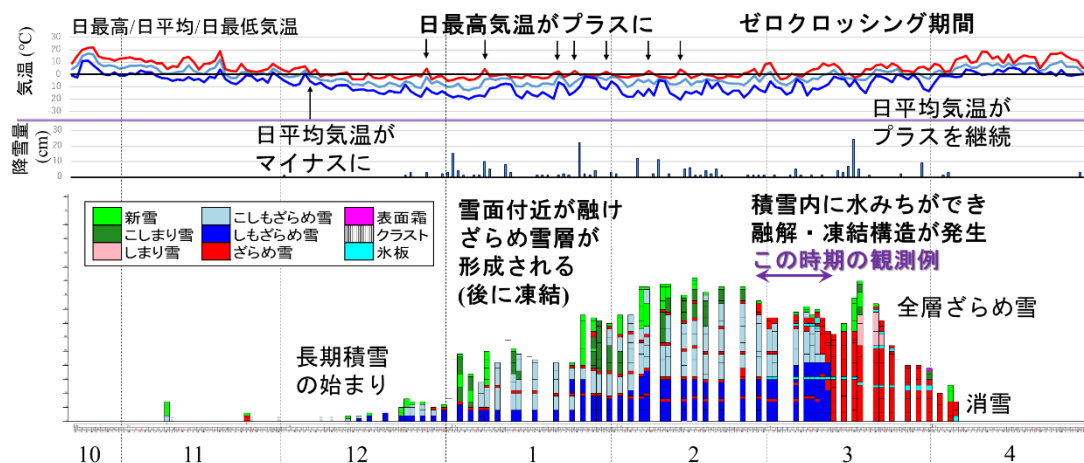


図 2 2024/25 年冬期、北見における積雪断面観測結果と関連する気象要素(北見アメダスの値)。

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℃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）。

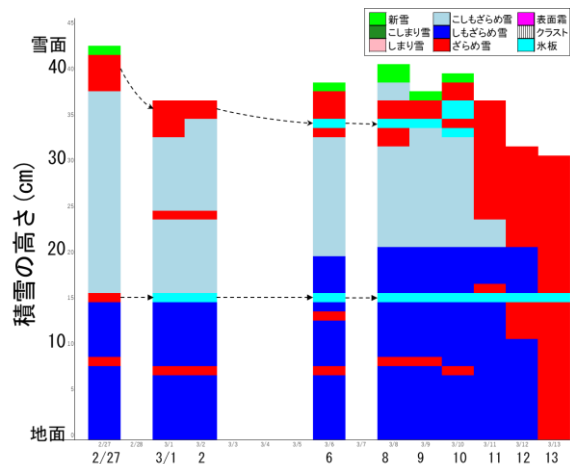


図4 ゼロクロッシング期間の積雪相位図。

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中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⁹⁾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℃）

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、

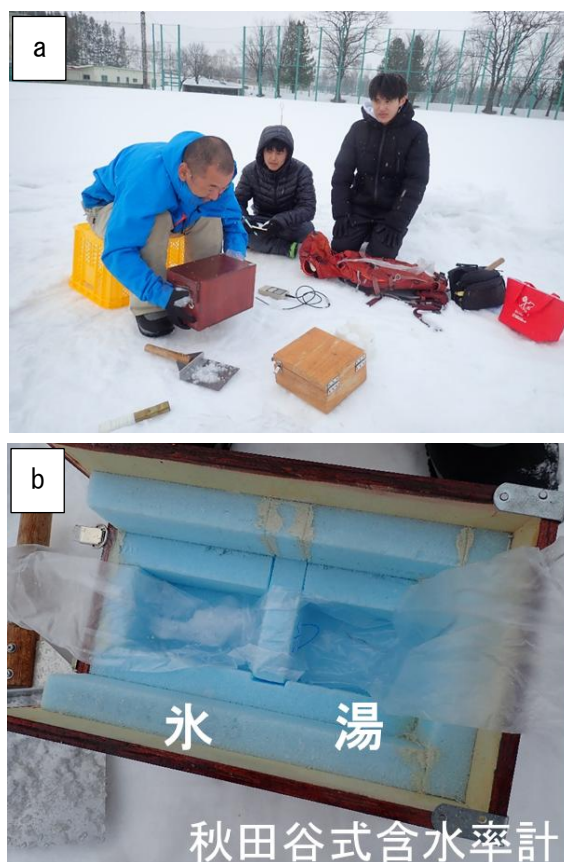


図5 含水率の測定（a: 測定中，b: 装置内）。

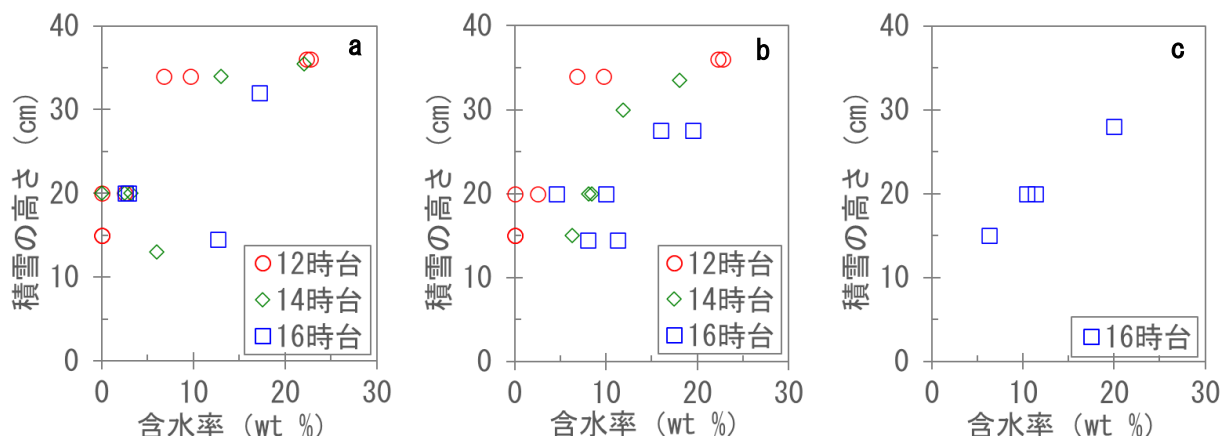


図6 含水率と積雪相位の関係 (a: 3月11日, b: 同12日, c: 同13日; 雪質は図4を参照).

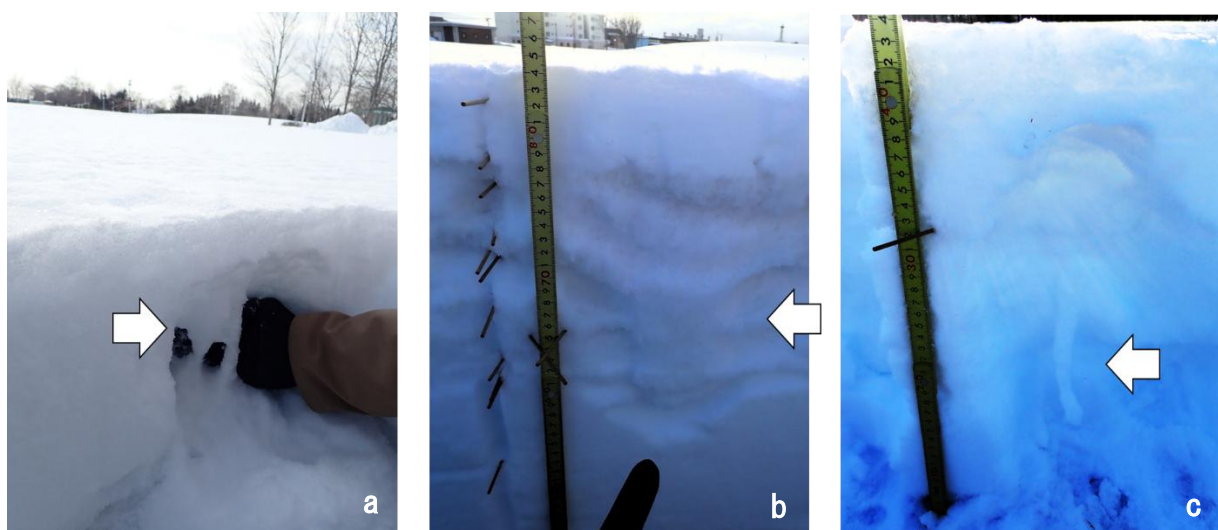


図7 北海道内他地域でも観察された、凍結した水みちの痕跡 (a: 2025年2月16日 釧路, b: 同20日 留萌, c: 同26日 帯広). 帯広については図8も参照.

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⁶⁾。

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⁶⁾(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)

北見における積雪最下層の水安定同位体比の変化

Variation of water stable isotopes in the bottom layer of seasonal snow at Kitami

八久保 晶弘¹, 大橋 康樹¹, 白川 龍生¹
Akihiro Hachikubo¹, Koki Ohashi¹, Tatsuo Shirakawa¹
Corresponding author: hachi@kitami-it.ac.jp (A. Hachikubo)

¹ 北見工業大学

¹ Kitami Institute of Technology

積雪初期における、北見での積雪最下層の水安定同位体比プロファイルの経時変化を観測した。根雪となる12月中旬の降雪層はわずか2 cm程度の厚さであり、極めて大きな温度勾配がかかり、数日でしもぎらめ雪に変化した。この層の $\delta^2\text{H}$ は、降雪直後は約-120‰であったが、わずか9日間で-55‰まで増加した。 $\delta^{18}\text{O}$ も同様に、-19‰から-8‰まで増加した。 $d\text{-excess}$ は32から2まで減少した。北見のように積雪の比較的少ない地域では、積雪初期の急激なしもぎらめ化により昇華蒸発が卓越し、 δ 値と $d\text{-excess}$ が極端に変化すること、またそのプロファイルが融雪期まで長期間維持されることがわかった。

1. はじめに

しもぎらめ雪は、積雪中の温度勾配が水蒸気濃度勾配を形成し、高温側の積雪粒子が昇華蒸発し、水蒸気が空隙を拡散して低温側の積雪粒子に昇華凝結することで成長する。発達すると元の粒子は次第に消失し、かつ粒子間のボンドの発達が妨げられるため、典型的な弱層の一つとして雪崩研究者に注目されてきた。また、降雪結晶が水安定同位体比として保持する生成時の温度情報等は、しもぎらめ雪の生成にともなう相変化により変質する。極地氷床コアの解析においては、過去の気温等の解釈等に影響を与える過程でもある。

北見工業大学では、大学敷地内の野球場および陸上競技場にて冬季間に積雪断面観測および気象観測を実施している¹⁾。昨シーズンからは、積雪断面観測時に積雪層の水安定同位体比プロファイルの変化を記録している²⁾。以前の報告では、積雪最下層の $d\text{-excess}$ が極めて小さい特徴が示されたものの、積雪初期の記録が欠けていたために、詳細な過程が不明であった。本報告は、特に2024-2025シーズンの最初期の積雪に注目し、安定同位体プロファイルの変化を記録した例について報告する。

2. 野外観測

2024年12月中旬~4月上旬まで、北見工業大学敷地内の露場にて積雪断面観測を実施した。ここでは例年、週2回程度の雪質・粒径・雪温・密度プロファイルの観測が行われている。積雪の最初期では12/12と12/16にそれぞれ降雪があり、

本稿ではこの2層に注目した。雪質の記録とともに、ポリエチレン袋に積雪層それぞれ数10 gを採取し、のちに室内で融解させてポリビンに保存し、速やかに水安定同位体比を測定した。

水安定同位体比測定には、DELTA Q (Thermo Fisher Scientific) および前処理装置にGasBench II (同)を用いた。水の水素・酸素同位体比($\delta^2\text{H}$ ・ $\delta^{18}\text{O}$)については、同位体平衡法の原理によりそれぞれ測定された。同位体比データはいずれもV-SMOWスケールに換算し、両者のデータから $d\text{-excess}$ を求めた。以上の同位体解析法については前報告²⁾と同様である。

3. 測定結果および考察

測定結果を図に示す。12/12の降雪は2 cmで、わずか2日後には骸晶の発達したしもぎらめ雪に変化した。露場では、白金抵抗温度計を用いて積雪下面温度(地面温度)が測定されており、また赤外放射計により雪面温度が見積もられている。積雪深がわずか数cmであったため、データの正確さには欠けるものの、これらの温度差は夜間に最大で8℃、日中でも2~6℃に達しており、常に雪面温度が積雪下面温度より低かった。温度勾配は数℃ cm⁻¹に達していることから、福澤・秋田谷³⁾が報告した雪面近傍でのしもぎらめ雪の急激な発達過程と同様、短時間でもしもぎらめ化したと考えられる。積雪下面温度は日中を除いて常に-5℃以下であり、ほぼ凍結しているために地熱で積雪下層が融解して失われていくことはない。したがって、積雪層は上方への昇華蒸発によ

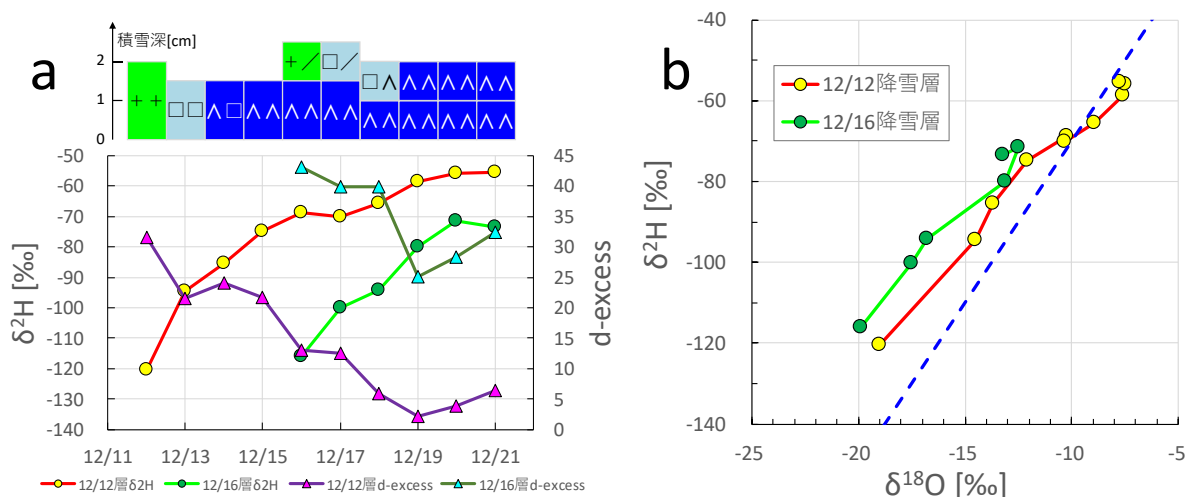


図 a) 積雪 2 層の層位記録, および水素同位体比 ($\delta^2\text{H}$) と d-excess の経時変化.
b) 積雪 2 層の $\delta^2\text{H}$ と酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) との関係.

る消耗しかないことは明らかである.

12/16 には新たな降雪があり, こちらも 3 日後にはしもぎらめ化した. これらの 2 層のしもぎらめの発達具合には差があり, 下層 (12/12 降雪層) では結晶が鉛直方向に連結した, よく発達したしもぎらめ雪特有の形状が維持されていた.

これらの 2 層の水安定同位体比の変化をみると, 下層は $\delta^2\text{H}$ が 9 日間で -120‰ から -55‰ まで増加し, 上層は 5 日間で -116‰ から -73‰ まで増加した. この増加に呼応するように, d-excess は下層で 32 から 2 まで, 上層は 43 から 25 まで減少した. 12/20–21 の 2 日間は d-excess の変化が増加に転じており, $\delta^2\text{H}$ の増加もやや鈍っている様子がわかる. 12/20–21 では, それまでと比較して積雪中の温度勾配は比較的小さかったものの, 気象条件に関する明確な違いはみられなかったため, d-excess の増加傾向は大気中の水蒸気による影響と考えられる.

2 層の $\delta^{18}\text{O}$ は $\delta^2\text{H}$ と同様に増加したが, d-excess の傾向で示されるように, 増加率はやや大きい. しもぎらめ雪を人工的に生成し, その安定同位体比プロファイル調べた結果⁴⁾では, 昇華蒸発が卓越する積雪層では d-excess が小さくなり, 図(b)のように安定同位体比の変化グラフの傾きは天水線の傾きである 8 よりも小さくなる. すなわち, 北見で 12 月に観察された 2 層の薄い積雪層は, 大気中の水蒸気とのやりとりによって相対的に軽い水分子が失われた結果, 上図のような安定同位体比の増加につながったとみられる.

その後, 積雪最下層の d-excess は変動しつつも

小さな値を維持し続け, 昨シーズンと同様に融雪期まで継続した. 比表面積の大きい上層では, 時間とともに安定同位体プロファイルは均されていくものの, 比表面積の小さい下層ではその変化が小さく, プロファイルの特徴が積雪シーズン全体にわたって維持されやすいと考えられる.

4. まとめ

積雪表面では大気中の水蒸気とのやり取りにより, 水安定同位体比の増加・減少の両方向の変化がありうる. 「積雪表層であり, かつ積雪最下層」でもある 12 月の北見の積雪について調べた結果, 昇華蒸発傾向が卓越し, $\delta^2\text{H} \cdot \delta^{18}\text{O}$ とともに劇的に増加し, その特徴的な同位体プロファイルは融雪期まで維持されていた.

【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—少雪, 2 月の暖気, その後の低温の影響—. 北海道の雪氷, **43**, 91-94.
- 2) 八久保晶弘, 滝澤楓, 白川龍生 (2024): 北見における積雪層の水安定同位体比プロファイルの季節変化. 北海道の雪氷, **43**, 95-96.
- 3) Fukuzawa, T. and Akitaya, E. (1993): Depth-hoar crystal growth in the surface layer under high temperature gradient. *Ann. Glaciol.*, **18**, 39-45.
- 4) Hachikubo, A., Hashimoto, S., Nakawo, M. and Nishimura, K. (2000): Isotopic mass fractionation of snow due to depth hoar formation. *Polar Meteorol. Glaciol.*, **14**, 1-7.

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 Characteristics of snow particles observed in Kitami, Hokkaido, during the 2024/25 winter season

大橋 康樹¹, 白川 龍生¹, 八久保 晶弘¹
Koki Ohashi¹, Tatsuo Shirakawa¹, Akihiro Hachikubo¹
Corresponding author: shirakaw@kitami-it.ac.jp (T. Shirakawa)
¹ 北見工業大学
¹ Kitami Institute of Technology

本研究では、2024/25 年冬期に北海道北見市において、ディストロメーター（降雪粒子計測システム）を用いて降雪粒子の初期状態（粒径、落下速度）を観測した。観測データの中から複数の降雪事例を抽出し、粒径および落下速度の分布図を作成した。本調査は、寒冷地である北見市における降雪粒子の特性を明らかにすることを目的として実施した。北見工業大学では 2024/25 年冬期に週 2 回以上の頻度で積雪断面観測を行い、各層の雪質・粒径・密度などを継続的に記録している。これらの積雪断面データと降雪粒子の観測結果を組み合わせ、降雪後の積雪変質過程についても詳細に考察する。

1. はじめに

ディストロメーター（降雪粒子計測システム）は、降雪時における粒子数、粒径、落下速度などを測定するため広く用いられている。更科・安永¹⁾は、北陸地方・富山県において、降雪粒子の粒径および落下速度と、降雪時の積雪変化量との関係を明らかにした。また、積雪の変質過程については、白川・八久保²⁾により、しもざらめ雪に変態したあとの密度に関する知見が示されている。本研究では、2024/25 年冬期において、降雪が長時間にわたって継続した事例や、積雪量の顕著な変化が確認された 9 事例を抽出した。寒冷地である北海道北見市において、降雪粒子の要素（粒径、落下速度）が積雪変化量に及ぼす影響を検討するとともに、降雪粒子の特徴を明らかにすることを目的とする。あわせて、降雪後の積雪変質過程についても考察を行う。

2. 研究方法

北見工業大学の敷地内にディストロメーターを設置し、降雪粒子を観測した（図 1）。

使用した機器は、Thies Clima 社製 CTC-LPM であり、降水粒子によって遮蔽されるレーザー光の減衰量から粒径および落下速度を測定する光学式ディストロメーターである³⁾。粒径は 0.125 mm 以上を対象に 22 クラス、落下速度は 0.0~20.0 m/s の範囲で 20 クラスに分類され、両者の組み合わせによって最大で計 440 クラス（20×

22) の粒子数を観測することができる。あわせて、本研究では気象観測および積雪断面観測も実施した。

3. 降雪粒子の粒径・落下速度分布図の作成 各降雪粒子の特徴

特徴を記述する際には、一定の時間幅を設定する必要がある。観測時間幅が短すぎると降雪粒子数が不足し、逆に長すぎると降雪粒子の特徴が不明瞭となるためである。本研究では、降雪粒子数の多少や降雪時の天気図の変化などを考慮し、特定の時刻を基準に前後 2 時間、計 4 時間の観測データを 1 つの事例とした。この 4 時間に観測された全降雪粒子の総数を「総降雪粒子数」と定義した。分布図の作成に当たっては、Katsuyama and Inatsu³⁾を参考にし、各クラスの降雪粒子数が総降雪粒子数に占める割合として表示した（図 2）。さらに、各降雪事例を粒径・落下速度の分布特性に基づき、本吉ら⁴⁾の分類も参照して、A~C の 3 つの型に分類した。分類 A は、粒径が小さく落下速度が大きいグループ、分類 C は、粒径が大きく落下速度が小さいグループとした。分類 B は、A と C の中間的な特性をもつグループと定義した。



図 1 大学敷地内に設置したディストロメーター

4. 降雪粒子の特徴および降雪後の積雪変質過程

第1章で述べた通り9事例に絞り抽出した. 総降雪粒子数において, 分類Cではいずれの場合も分類Aより少なかった(図2). また分類

B, Cでは積雪深さが増えていた. 分類Aでは, 落下速度が大きいという点から, 水分を多く含んだ降雪(湿雪)が主となっている場合も考えられ, 積雪増加量に変化が見られない事例もある. 今回抽出した分類Aは2事例しかないが, 積雪増加量に変化がある事例とない事例が認められ, 分類Aで積雪増加量に変化がある割合が50%となっており, 北見での観測特有の結果が今冬期得られた. そして分類Cにより積もったと推定される降雪粒子では積雪断面観測結果より雲粒がない雪片が多く, 分類A, Bにより積もったと推定される降雪粒子は雲粒が付着している降雪粒子が多かった.

積雪変質過程においては, 分類Bで積雪した層も, 分類Cで積雪した層も降雪した日から2週間ほど経つと, ざらめ層化するまで, ほぼ一定の値(250 kg/m^3 前後)をとった.

分類Aにおいて積雪したと推定された事例は本研究より少なかったが, 積雪した事例もあったため報告する. 3月18日13時10分の積雪断面観測における, 地面から46-49 cm(こしまり雪層)は分類Aで積雪したと推定され, 層の密度は 212 kg/m^3 であった. 41-46 cm(新雪層)で観測した層の密度は 133 kg/m^3 となっており, 46-49 cm層の方が密度は大きかった. これは降雪粒子の要素(粒径, 落下速度)によるものではないかと推測した. 実際, 降雪粒子数は多かった. ただ46-49 cmが形成されたと考えられる時間は図1における事例9の期間と思われ, その時刻は風速が 3.0 m/s を超えている時間も多かった. 梶川⁹⁾によると降雪時の風速が強い際は, 降雪の密度が大きい値を示すとしており, 積雪後の圧密の影響よりも

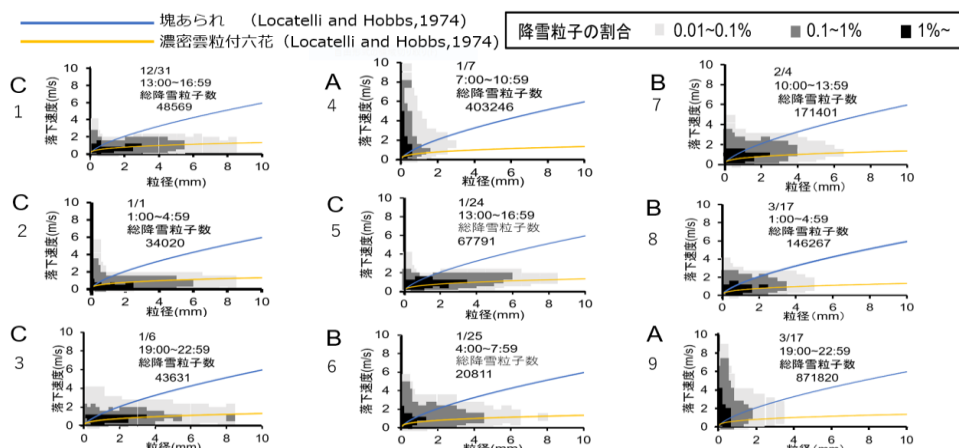


図2 A, B, Cと3分類した粒径, 落下速度分布図. 各々の図には Locatelli and Hobbs⁵⁾による経験式, 降雪粒子の割合を示した.

降積雪時の風速の影響が大きいと考察される.

5. まとめ

北海道北見市において, 分類Aによる積雪事例のうち, 積雪増加量に変化が見られる事例も確認された. 富山県で行われた先行研究では, 粒径が小さく落下速度が大きい降雪粒子による積雪割合が北見より少なかったことから, 本研究は僅かではあるが, 地点により異なる傾向を示す結果となった. また, 積雪変質過程においては, 分類Aにより形成された積雪層の密度についても考察を行った.

【参考文献】

- 1) 更科孟, 安永数明 (2019): 富山における積雪深増加時の降水粒子特性に関する研究. 自然科学, **38**, 201-212.
- 2) 白川龍生, 八久保晶弘 (2018): 北海道北見で実施した積雪断面観測および冬季気象観測 (2017-2018). 北海道の雪氷, **37**, 67-70.
- 3) Katsuyama, Y. and Inatsu, M. (2021): Advantage of Volume Scanning Video Disdrometer in Solid-Precipitation Observation. SOLA, **17**, 35-40.
- 4) 本吉弘岐, 中井専入, 石坂雅昭 (2011): NHMを用いた降雪予測実験と地上降水粒子観測との比較, ワークショップ「第13回非静力学モデルに関するワークショップ(長岡)」講演予稿集.
- 5) Locatelli, J. D. and P. H. Hobbs (1974): Fall speeds and masses of solid precipitation particles. J. Geophys. Res., **79**, 2185-2197.
- 6) 梶川正弘 (1989): 新積雪の密度と降雪粒子の結晶形との関係. 雪氷, **51** (3), 178-183.

北海道における過去 5 年間 (2021-2025) の雪崩事故の特徴

Characteristics of avalanche accidents in Hokkaido over the past five years (2021-2025)

出川あずさ¹

Azusa Degawa¹

Corresponding author: degawa.azusa@gmail.com

¹ 特定非営利活動法人日本雪崩ネットワーク

¹ Japan Avalanche Network

北海道では過去 5 シーズン (2021-2025) で公的救助隊が出動した雪崩事故が 20 件発生した。これは同期間における国内の雪崩事故の 3 割にあたる。これらの事故で 32 人が雪崩に遭い、10 人が死亡し、15 人が怪我を負った。事故の発生場所は山岳 17 件、スキー場 1 件、道路 1 件、施設 1 件である。活動区分は余暇 13 件、業務 5 件、その他 2 件であった。活動の内訳等を見るとスキーガイド業を営む者の事故が 6 件あり、また、外国籍の活動者による事故が山岳での事故の 4 割を占めることなどがわかった。

1. はじめに

日本雪崩ネットワークでは雪崩情報・雪崩教育・事故調査・リソースを 4 つの柱に冬季アウトドアに関わる雪崩安全対策を進めている。事故調査は事案の実態把握と安全対策の改善に必要であるため、全国各地で現地調査や当事者からの聞き取りを実施している。また、本組織では 2021 年 1 月から後志地域 (ニセコ・羊蹄山・余市岳・尻別岳) を対象に雪崩情報の発表していることもあり、近傍 5 年間の雪崩事故の特徴を整理した。

2. 手法

2. 1 調査

本組織あるいは雪氷災害調査チームが実施した現地調査の結果、山岳関連 6 団体に組織された日本雪崩捜索救助協議会で共通化したインシデント報告フォームを使用した事故関係者からの聞き取り、あるいは公的救助機関への取材に基づき、データは整理された。調査の範囲は公的機関が出動した事故とし、雪崩に遭遇し、軽微な怪我等を負ったものの自力下山するなどして当該グループで対処できたものは除外した。

2. 2 区分

事故の発生場所は「山岳」「スキー場」「作業現場」「施設」「道路」の 4 区分としている。山岳とは、安全対策の施されていない自然環境を指す。スキー場は、外周となるコース境界線で囲まれた範囲内である。作業現場は、除雪や各種工事が行われている場所を指す。

3. 結果

3. 1 発生件数と被害人数

過去 5 シーズン (2021-2025) の雪崩事故の発生件数と被害人数について表 1 に示す。表 1 の件数にある括弧内の値は死亡事故の数である。

死亡原因は窒息 8 人、外傷 1 人、不明 1 人である。怪我は重傷 7 人、軽傷 8 人であり、重傷の内、6 人が足の骨折であった。

同期間に国内では公的救助隊に関わった雪崩事故が 68 件発生している。主な県は長野県 16 件、群馬県 7 件、新潟県 5 件であり、北海道とこれら 3 県で全体の 7 割を占める。また、重大事案である死亡事故の件数も北海道が 9 件で最も多い。

表 1 北海道での雪崩事故の件数と被害人数

シーズン	発生 件数	被害人数		
		遭遇	死亡	怪我
2021	4(2)	5	2	2
2022	1(0)	4	0	1
2023	4(4)	4	4	0
2024	7(3)	13	4	8
2025	4(0)	6	0	4
合計	20(9)	32	10	15

3. 2 発生場所と活動区分

雪崩事故の発生場所と活動区分における件数を表 2 に示す。表内における括弧内の値は死亡事故の件数である。雪崩事故の 85 % は山岳で発生しており、死亡事故 9 件もすべて山岳である。

山岳での活動区分では余暇が 13 件、業務が 4

件であった。山岳での業務 4 件は、すべてガイドツアーの事故である。また、余暇の内の 2 件は、休日にプラベートで出かけたガイド業を営む者の事故であり、死亡事故が 1 件含まれている。

スキー場の事故はスキーパトロールの雪崩管理作業時の発生、施設の事故は建物に雪崩が流入し住民が怪我をしたもの、道路の事故は通行車両の運転手の怪我である。

表 2 北海道での雪崩事故の発生場所と件数

場所	件数	活動区分		
		余暇	業務	その他
山岳	17 (9)	13 (6)	4 (3)	—
スキー場	1	—	1	—
施設	1	—	—	1
道路	1	—	—	1

3. 3 山岳での雪崩事故

山岳で発生した雪崩事故とその山名を図 1 に示す。東狩場山はスノーモービル、大麓山はスノーバイクによる事故であり、他はすべて滑走者による事故である。

山岳での事故で死亡あるいは怪我を負った人数は 22 人で、その年齢構成は 10 代 1 人、20 代 5 人、30 代 7 人、40 代 5 人、50 代 2 人、60 代 2 人となる。性別は男性 17 人、女性 5 人であった。



図 1 山岳での雪崩事故の発生場所と件数

山岳での事故の多くは余暇であるが、利尻山、余市岳、羊蹄山、狩場山では各 1 件ずつ業務となるガイドツアーでの事故が発生している。これらの事故で顧客 3 人が死亡、4 人が怪我を負った。

外国籍の事故は 7 件発生しており、山岳での事故の 4 割を占める。これらの事故で 4 人が死亡し、4 人が怪我を負った。被害者は、訪日客あるいは訪日客へのサービス提供者である。

山岳での雪崩の弱層を破断面調査によって把握できたものは 4 件あり、新雪 1 件、こしまり雪 2 件、ウィークインターフェイス 1 件であった。これ以外の事故でもフィールド調査は複数実施されているが、破断面が風雪で不明瞭化する、あるいは破断面に到達できず、観察自体が実施できていないものが大多数である。

4. 考察とまとめ

近年、北海道で発生した雪崩事故のほとんどが山岳での滑走に関わることがわかった。また、被害者の年齢が夏季の山岳遭難者に比べ、比較的若い年齢層が中心であることは、これまでの雪崩死者 (Degawa, 2023) と同じ傾向であった。

一方で、スノーモービルや初事例となるスノーバイクの事故は、北海道の特徴であるようにも思われる。国内において 30 年間 (1991-2020) でのスノーモービルの死亡事故は 2 件あり、いずれも北海道で発生している。

ガイドツアーでの死亡事故が多いことも特徴的である。35 年間 (1991-2025) でガイドツアーの死亡事故は全国で 13 件であり、内 7 件が北海道である。そして、7 件の内 5 件が直近の 6 年間 (2020-2025) で発生している。ツアーを引率したガイドの資格は、専門組織の資格所持者と無資格者が混在する。そして、国ごとのガイド資格の異なりに起因する問題、さらに行政の不備もあり、山岳域の国際化に伴い、状況は混沌化している。

積雪の特徴と雪崩事故の関係は、データが乏しく、不明瞭である。また、本組織の後志地域の雪崩情報が毎日の発表となったのは 2025 シーズンからであり、それ以前では雪崩情報が発表されていない日に同地区での事故は発生している。

今後は積雪状況の把握により努め、既に進めている国際協力関係の文脈に沿って雪崩情報を効果的に活用する手法で事故防止に取り組みたい。

【参考文献】

- 1) Degawa, A. (2023): Characteristics and Trends of Avalanche Fatalities in Japan (1991-2020), *Proceedings of the International Snow Science Workshop*, 2023, Bend, OR., USA, 729-735.

北海道尻別岳の雪崩から発生した超低周波音の観測

— 緊急雪崩速報システムの開発に向けて —

Observation of infrasound emitted from avalanches at Mt. Shiribetsu, Hokkaido - Towards the development of an Avalanche Early Warning System -

替地 青羅¹, 柿並 義宏²

Seira Kaechi¹, Yoshihiro Kakinami²

Corresponding author: kakinami@do-johodai.ac.jp (Y. Kakinami)

¹北海道情報大学大学院 経営情報学研究科, ²北海道情報大学 宇宙情報センター

¹ Graduate School of Business Administration and Information Science, Hokkaido Information University,

² Space Information Center, Hokkaido Information University

To develop an Avalanche Early Warning System using infrasound (subaudible sounds below 20 Hz) associated with avalanches, we have been observing infrasound at Mt. Shiribetsu in Hokkaido during the winter seasons from 2022 to 2025. In this paper, we introduce the overview and results of the observations conducted during the winter season of 2023/2024.

1. はじめに

雪崩は、積雪地域において人命やインフラに甚大な被害をもたらす自然災害である。現在、雪崩の監視には地震計、レーダー、監視カメラが用いられている¹⁻²⁾。これらは夜間や悪天候時、発生場所によっては雪崩の検出が困難な場合がある。一方、雪崩の発生時には超低周波音（20 Hz 以下の可聴下音）が発生することが複数の研究で報告されており³⁻⁵⁾、雪崩検知の可能性が注目されている。しかし、国内外問わず、超低周波音を利用した雪崩の即時通報システムは未だ実用化されていない。もしこのようなシステムが開発できれば、早期に広範囲の雪崩を把握でき、防災・減災に大きく貢献することが期待さ

れる。

著者らは 2022/2023 年（第 1 次観測）、2023/2024 年（第 2 次観測）の冬季に北海道尻別岳で雪崩から発生した超低周波音の観測を行ってきた⁶⁾。本論文では、2023/2024 年の冬季の尻別岳での観測概要、観測結果を紹介する。

2. 第 2 次観測（2023/2024 年）

2. 1 観測概要

尻別岳を観測対象として、2023 年 11 月下旬～2024 年 4 月中旬まで観測を行った。超低周波音センサーは尻別岳を囲うように最長 1.6 km 間隔で三角形になるように 3 台配置した（図 1）。KBT, RRH



図 1 尻別岳とセンサーの位置

は人の出入りがほとんどない屋内、PCD は締め切っていない倉庫内に設置した。このように3台配置し、観測波形の相互相関を求めることで、局所的なノイズとは異なる雪崩からの超低周波音を特定でき、そのシグナルの到来時刻差から発生位置・発生時刻の推定できる。

KBT には水晶振動式絶対圧力計 6000-16B (Paroscientific 社製)を設置し、出力を専用データロガーNL-6000 (100 Hz サンプリング, 44 Hz の high-cut filter を適用)で記録し、PCD, RRH には容量式差圧計 INFRASOUND-SENSOR ADXIII-INF04LE (SAYA Inc 製)を設置し、PC (100 Hz でサンプリング)で記録した。それぞれのロガーはGNSSを利用した時刻補正を採用している。

2. 2 観測結果

日本時間 2024 年 4 月 4 日 22 時 3 分頃、全てのセンサーで 1 分 30 秒ほど続くシグナルを確認することができた。RRH で最大振幅が約 0.35 Pa, KBT で約 0.3 Pa, PCD で約 0.24 Pa のシグナルが確認できた (図 2a)。このシグナルは 10 Hz 以下にピークを持つことが確認できる (図 2b)。これらの音は KBT-PCD 間の距離が 1.3 km, PCD-RRH 間の距離が 1.6 km 離れていることから局所的なノイズとは考え難い。さらに, Havens et al. (2014) で示された雪崩の超低周波音⁷⁾と記録されたシグナルが紡錘型で類似しており、同様に 1~10 Hz にピークを持っていることから、雪崩からの超低周波音の可能性が高い。しかし、尻別岳周辺でカメラによる監視を行っていないこと、さらに観測装置の不具合も重なり、シグナルの発生位置と時刻を特定することができず、現時点では雪崩であると断定することは難しい。

3. まとめと今後の展望

本論文では北海道尻別岳を観測対象として超低周波音センサーによる雪崩の観測を 2023/2024 年 (第 2 次観測) の冬季に行い、その観測概要と結果について紹介した。数 km 離れた全てのセンサーで局所的なノイズとは異なる雪崩の超低周波音とみられるものを特定できた。発見した波形は、先行研究の雪崩による超低周波音と整合的である。ただし、雪崩発生を直接とらえることができる監視カメラによる情報がなく、観測機器の時刻精度の問題から、音源の発生時刻・場所の特定が困難であったため、見つかった超低周波音が真に雪崩起源によるものかは確証が得られていない。

これらの経験を踏まえ、2024/2025 年 (第 3 次観測) では、4 点の超低周波音観測に加え、雪崩発生を捉えるためにカメラの設置も行った。第 3 次観測データは現在分析中である。分析を進めることで、雪崩から発生した超低周波音の波形特性や周波数帯を明らかにする。さらに、リアルタイムでの運用が可能な観測装置、システムの構築を検討し、緊急雪崩速報システムの開発を目指す。

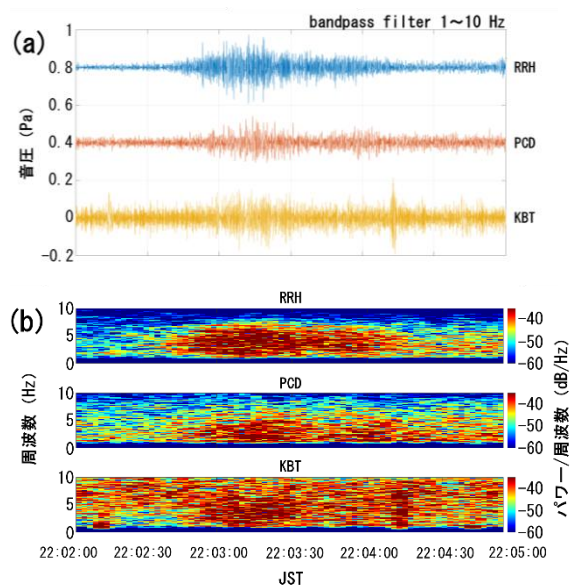


図 2 (a) 時系列データ, (b) スペクトログラム

【謝辞】

超低周波音センサー設置に協力していただいたルストリゾート 信原靖氏, 有限会社クライスデール 森井光輝氏, 久保田農産物直売所 久保田志郎氏, 谷口農産物直売店 谷口美代子氏, ルストファーム 高澤氏, また超低周波音センサーを貸与していただいた高知工科大学 山本真行教授に感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 今西他, 2004: 地震動の観測による雪崩の研究, 雪氷, 66(1), 3-10.
- 2) Schimmel, et al. 2017: Automatic detection of avalanches: evaluation of three different approaches, *Natural Hazards*, 87, 83-102.
- 3) Adam, et al. 1998: Infrasonic monitoring of snow avalanche activity: What do we know and where do we go from here?, *Annals of Glaciology*, 26, 324-328.
- 4) 村山他, 2015: インフラサウンド観測による自然災害遠隔監視の試み, 月間地球, 37, 7, 299-308.
- 5) Arai, et al. 2017: Detection of avalanche locations

using infrasound array data. *Bulletin of Glaciological Research*, 35, 1–6.

6) 替地他, 2024 : 北海道尻別岳の雪崩から発生したインフラサウンドの観測, 北海道の雪氷, No.43, 17-20.

7) Havens, et al. 2014 : Calculating the Velocity of a Fast-Moving Snow Avalanche Using an Infrasound Array. *Geophysical Research Letters*, 41, 6191–6198.

許容応力度計算に基づく北海道における既存木造住宅の耐雪性能

Snow resistance of wooden houses in Hokkaido based on allowable stress calculations

千葉 隆弘¹, 高橋 徹²
Takahiro Chiba¹, Toru Takahashi²
Corresponding author: chiba@hus.ac.jp (T. Chiba)
¹北海道科学大学 工学部, ²千葉大学大学院 工学研究院

¹ Faculty of Engineering, Hokkaido University of Science, ² Graduate School of Engineering, Chiba University

In this study, the authors conducted allowable stress calculations on two existing wooden houses, 30 and 13 years old, with different snow loads set at the time of the design. As the result, it became clear that the 30-year-old wooden house did not possess snow resistance performance, and large-scale renovation or rebuilding is an urgent necessity. On the other hand, it was revealed that the 13-year-old wooden house can continue to be used without the structural renovation.

1. はじめに

木造住宅の構造規定である建築基準法施行令第3章第3節が大幅に改訂され, 2025年4月から当該規定が施行された. 改訂のポイントは, 木造住宅の重量化が進んでいることを考慮し, 固定荷重が大幅に見直され, それに伴い柱の小径および地震力の算出方法が改訂されたことである. さらに, 保有耐力の算出方法も見直され, 耐力壁の適用範囲が拡大された. これらの改訂は, 建築基準法に規定されている構造計算法の一つである許容応力度計算に基づいている. また, 建築確認の法制度においても改訂され, 2階建て木造住宅では, 新築および大規模リフォームにおいて建築確認申請時に許容応力度計算による構造計算書を提出し, 審査を受けることが義務化された. このように, 新築のみならず大規模リフォーム時においても, これまでに比べて高い水準の構造性能

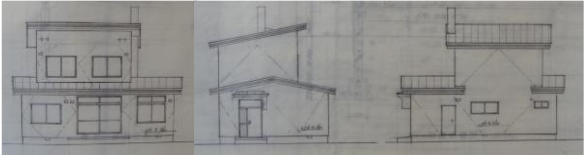
が要求されるようになった. 従って, 構造安全性に関して既存木造住宅との格差が拡大することが予想され, その格差を定量的に把握するとともに, 大規模リフォームの必要性や補強箇所を把握しておく必要がある.

このようなことから本研究では, 設計時に設定された垂直積雪量が異なる2棟の既存木造住宅を対象に許容応力度計算を行い, 保有している耐雪性能に対して考察した.

2. 研究方法

本研究で対象とした既存木造住宅の概要を表1に示す. 建築年が1994年(築30年)のWH1994と2011年(築13年)のWH2011の2棟を対象とした. WH1994は, 垂直積雪量が100 cmの区域に建築された2階建て木造住宅であり, 柱の断面が105×105 mm, 梁の断面が105×105~270

表1 許容応力度計算の対象とした既存木造住宅の概要

WH1994		WH2011	
建築年	1994年	建築年	2011年
垂直積雪量	100 cm	垂直積雪量	140 cm
床面積	1階: 56.7 m ² 2階: 24.3 m ²	床面積	1階: 78.67 m ² 2階: 62.94 m ²
柱	断面: 105×105 mm 樹種: 道産無等級材	柱	断面: 105×150 mm 樹種: 集成材 (E120-F330)
梁	断面: 105×105~207 mm 樹種: 道産無等級材	梁	断面: 105×105~330 樹種: 集成材 (E102-F330)
			
【立面図】		【立面図】	

mm の在来軸組構法である。使用された木材の樹種は柱と梁のいずれも道産無等級材である。WH2011 は、垂直積雪量が 140 cm の区域に建築された 2 階建て木造住宅であり、柱の断面が 105 × 150 mm、梁の断面が 105 × 105 ~ 330 mm の在来軸組構法である。使用された木材は集成材であり、等級は E120-F330 である。

許容応力度計算は、KIZUKURI Ver.8.1 を用いて行った。固定荷重は、計算の対象とした木造住宅の実況に応じて算出した。積載荷重、積雪荷重、風圧力、および地震力は、建築基準法施行令第 85 ~ 88 条に従いそれぞれ算出した。本研究では、積雪荷重に対する検定比に着目して木造住宅の耐雪性能を考察した。なお、検定比とは、許容応力度に対する部材に作用した応力度の比であり、検定比が 1.0 以下の場合、部材に作用した応力度が許容応力度を下回ることを意味する。

3. 研究結果

WH1994 における柱の検定比を図 1 に示す。1

階と 2 階のいずれにおいても柱の検定比は 1.0 以下であり、1 階の 1 本の柱で検定比が 1.0 となった。このように、WH1994 の柱は、許容応力度計算で設定される固定荷重、積載荷重、および積雪荷重の総和となる鉛直荷重に耐えられる結果となった。次に、WH1994 における梁の検定比を図 2 に示す。2 階床梁では 6 本の梁の検定比が 1.0 を超え、小屋梁では 1 本の梁の検定比が 1.0 を超えた。特に、2 階床梁では 2.0 を超える、あるいは、2.0 に近似するほど検定比が大きくなった。これらの梁の上部は 2 階が存在しており、2 階の固定荷重および積載荷重、さらに、屋根の積雪荷重が伝達して作用する箇所となっている。しかし、室内の用途が居間や和室となっており、柱を配置することが難しい条件であったことが伺える。また、このような検定比が大きい梁は積雪荷重が作用した際のたわみが大きくなり、冬期においては梁のたわみに伴いドアや襖の開閉が困難になるケースが多くなることが予想される。このように、WH1994 では 2 階床梁における梁の検定比が 1.0

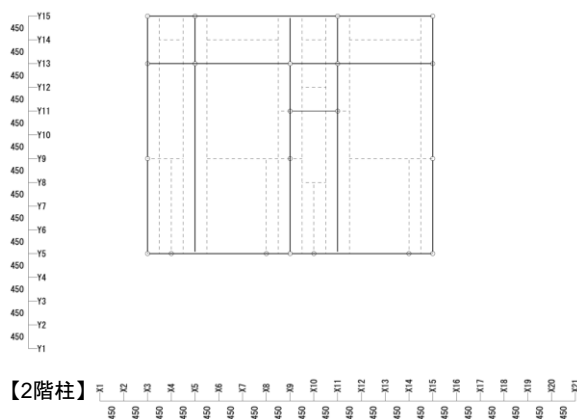
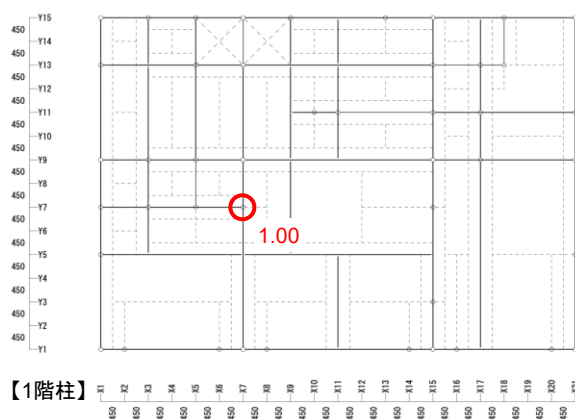


図 1 WH1994 における柱の検定比

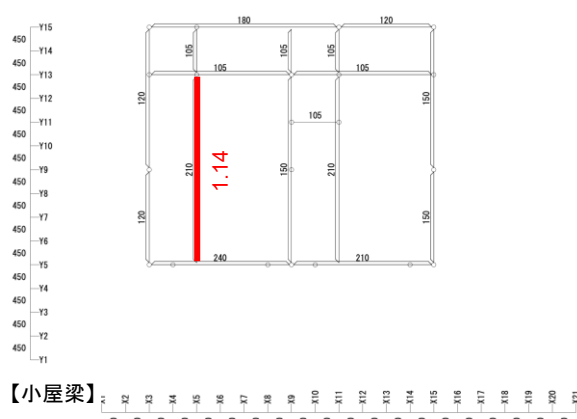
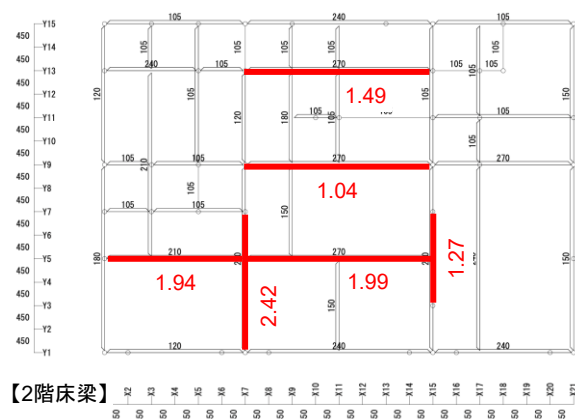


図 2 WH1994 における梁の検定比

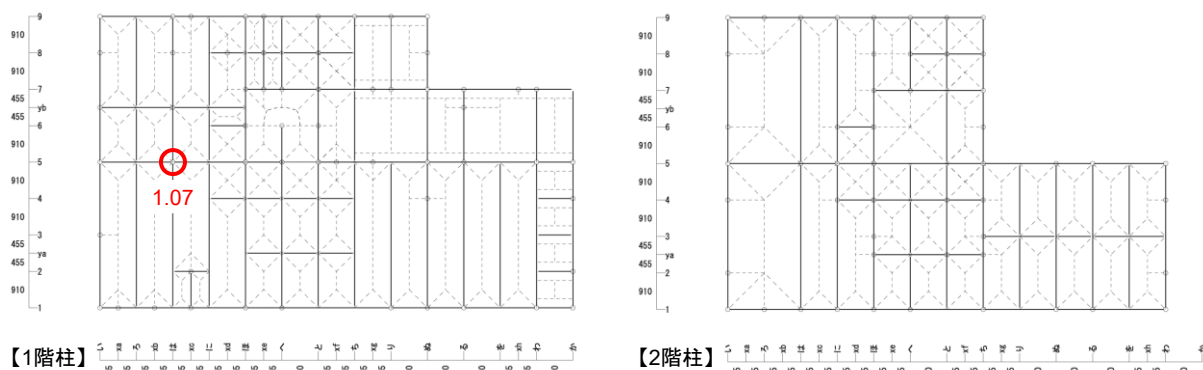


図3 WH2011における柱の検定比

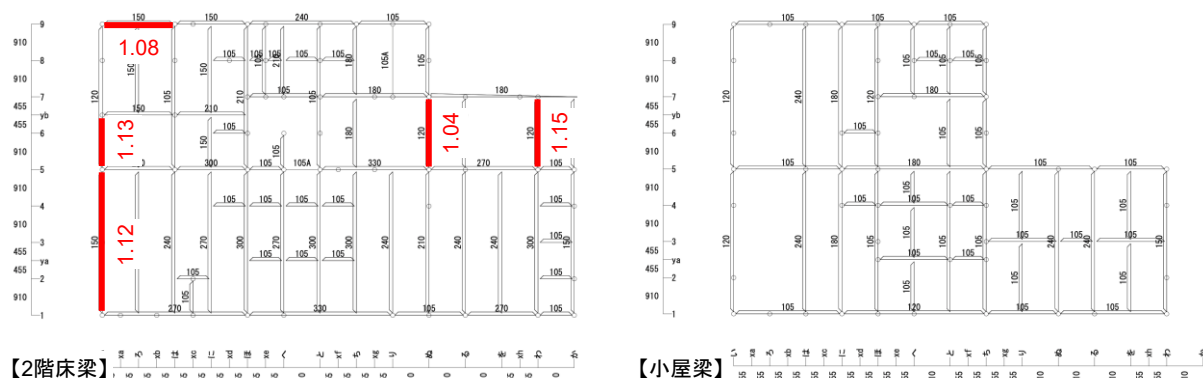


図4 WH2011における梁の検定比

を大きく上回ったが、2階の床面積を広くして1階外壁からのセットバックを作らない、すなわち、1階屋根の面積を小さくし、2階の固定荷重および積載荷重、さらに、屋根の積雪荷重を1階の外壁側に伝達させるように設計する重要性を示唆している。

WH2011における柱の検定比を図3に示す。1階における1本の柱でわずかに検定比1.0を超えているものの、2階の柱も含めて他の柱は検定比1.0を下回った。検定比1.0を超えた要因は柱の不足であると考えられるが、許容応力度計算には安全率が考慮されており、柱の損傷に伴う建築物の倒壊が切迫している訳ではないことから、早急な補強の必要性は低いと考えられる。次に、WH2011における梁の検定比を図4に示す。2階床梁および1階小屋梁で検定比が1.0を超える梁が存在しているものの、前述のWH1994に比べて検定比が小さく、1.2を下回っている。1階柱と同様に、許容応力度計算には安全率が含まれていることから、梁の損傷に伴う建築物の倒壊が切迫している訳ではないことから、早急な補強の必要性は低いと考えられる。

ここで、許容応力度計算で考慮されている安全率を考慮せず、損傷限界状態の検定比を算出して耐雪性能を考察することとした。梁の検定比は、WH1994およびWH2011のいずれも荷重継続期間が中短期の曲げ検定比が最大値となっていた。曲げ基準強度を F_b 、中短期の荷重継続期間影響係数を1.6/3とすると、中短期の曲げ許容応力度 f_b は、以下の式(1)で表される。

$$f_b = \frac{1.6}{3} F_b \quad (1)$$

このように、中短期の許容応力度は、1.6/3を基準強度に乗じて低減している。この安全率を考慮せずに基準強度に対する梁の検定比を算出した。その結果を図5に示す。WH1994の場合をみると、6本の梁のうち、3本が検定比1.0を下回り、3本が検定比1.0を上回った。1.0を上回った検定比をみると最大で1.29であり、耐雪性能が不足していることは明らかである。なお、曲げ基準強度は、節などの影響による木材強度のばらつきを考慮し、下限5%の値が用いられており、無

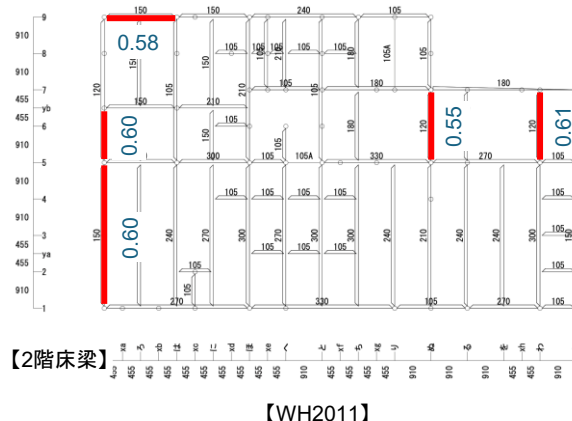
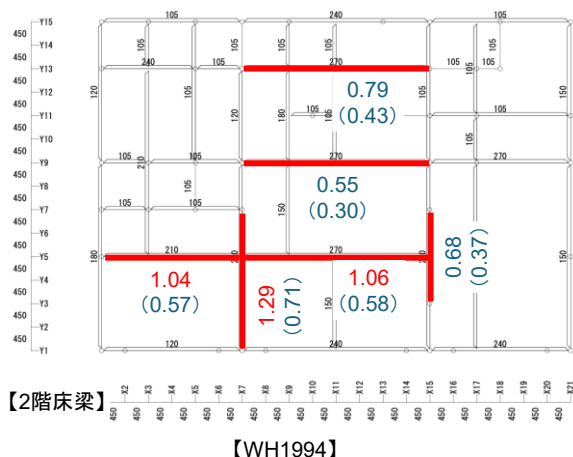


図6 曲げ基準強度に対する梁の検定比
(WH1994における括弧書きの数値は曲げ強度の平均値に対する検定比)

等級材は 22.2 N/mm^2 となっている¹⁾。これに対し、曲げ強度の平均値は 40.7 N/mm^2 であり²⁾、曲げ基準強度の 1.83 倍である。このような基準強度の安全率を考慮せず、曲げ強度の平均値に対する検定比を算出すると、全ての梁の検定比が 1.0 を下回るようになる。すなわち、木材における強度の弱点である節等が梁に存在しなければ積雪荷重が作用しても損傷に至らない可能性がある。次に、WH2011 の場合をみると、曲げ基準強度に対する検定比はいずれも 1.0 を下回り、許容応力度計算水準の性能は保有していないものの、設計用の積雪荷重が作用することによって損傷に至る可能性が低いことがわかる。

以上に示す結果をみると、WH1994 は、積雪荷重が作用しても梁が損傷に至らない可能性があるものの、許容応力度計算水準の耐雪性能は保有していないと判断できる。従って、大規模な補強を伴うリフォームは避けられないと考えられ、建て替えも合理的な判断の範疇となる。なお、本研究では耐雪性能に着目したが、耐震性についても許容応力度計算に基づいて検討しており、耐震性が大きく不足していることを把握している。従って、今後の大地震に備えた耐震補強が急務である。しかし、空き家の場合は、所有者に対して耐震補強等による適正な維持管理が望めないため、除却することが望ましい。

次に、WH2011 は、許容応力度に対する検定比が 1.0 を超えた柱および梁が存在したものの、基準強度に対する検定比が 1.0 を下回っており、設計用の積雪荷重が作用しても梁の損傷には至らない可能性が高い。なお、耐震性については、検

定比 1.0 を若干上回る方向が存在するものの、垂れ壁や腰壁のような準耐力壁を考慮すると許容応力度計算水準の耐震性を満たす。このような状況をみると、WH2011 については、リフォームや建て替えを行わずに継続利用することが可能であると考ええる。

4. まとめ

本研究では、設計時に設定された垂直積雪量が異なる築 30 年および築 13 年の 2 棟の既存木造住宅を対象に許容応力度計算を行い、保有している耐雪性能に対して考察した。その結果、築 30 年の木造住宅は、許容応力度計算水準の耐雪性能を保有しておらず、耐震性も不足していることもあり、大規模な補強と伴うリフォームあるいは建て替えが急務であることが明らかとなった。これに対し、築 13 年の木造住宅は、設計用の積雪荷重が作用した場合においても柱および梁が損傷する可能性が低く、許容応力度計算水準に準ずる耐雪性能を保有しており、リフォームや建て替えを行わずに木造住宅を継続利用できると考えられることが明らかとなった。

【参考文献】

- 1) 杉山英男, 菊池重昭, 野口弘行, 鈴木秀三, 神谷文夫, 安村基 (2008): 木質構造 第 4 版. 共立出版, 305-308.
- 2) 飯島泰男, 園田里見 (2010): 国内の製材曲げ強度試験データの収集と分析その 1 収集データの概要と分析方法. 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, 33-34.

寒冷期避難生活対策としてのテント on the ベッドの有用性 Usefulness of “Tent on the Bed” as a cold winter living solution in disaster shelter

根本 昌宏¹, 曾篠 恭裕¹

Masahiro Nemoto¹, Yasuhiro Soshino¹

Corresponding author: nemoto@rchokkaido-cn.ac.jp (M. Nemoto)

¹ 日本赤十字看護大学附属災害救護研究所 災害救援技術部門

¹ Disaster Relief Technology Division, Disaster Management Research Institute, Japanese Red Cross College of Nursing

積雪ならびに寒冷が厳しい東北・北海道地域の冬の災害対策は道半ばである。我々はこれまで 15 年間にわたり仮想冬期避難所を立ち上げ実践検証を進めてきた。本研究では避難所における寒冷対策とプライバシー対策を解決するための手法を検討した。床からの冷気をベッドで抑えつつ、保温性とプライベート空間を確保できるソロテントを上置した“テント on the ベッド”の温熱性能と居住性について検討した。暖房がなくともテント内温度は室内気温プラス 4℃以上を保持することを確認し、テント on the ベッドが避難者の健康保持につながることを期待される。

1. はじめに

災害によって自宅に居住できない住民に対し、避難所という空間の提供のみではいのちを護り、健康を維持することができない。これはこれまでの大災害における災害関連死の動向を見ても明らかである。特に寒冷期、避難所に逃げることできたとしても避難所として指定されている小中学校や公民館などの施設は、電気を使用した灯油や重油を燃料とする暖房設備を使用しているため稼働しない。東北・北海道で想定される屋外気温が氷点下 10 度前後のとき、無暖房の室内気温は 0 度。体育館の床の温度も気温とほぼ同等となる^{1,2)}。体育館に敷設されやすいブルーシートの温度も 0 度であり、冷蔵庫内の温度より低い(図 1)。立っているだけでもままならないブルーシート上で就寝することは不可能であり、たとえ室内の気温が 15℃あったとしても床からの冷気で眠りにつくことは難しい。そればかりか、ブルーシートから発生するノイズを気にしてトイレに行くことを控え、そのために水を飲まず、エコノミークラス症候群の発症が危惧される状況ともなる。加えて、雑魚寝をしていると絶えず顔の上を空気が流れる。気づかぬうちに大量のほこりを吸い込み、これまで関与した避難所においても就寝後に咳き込む光景を数多く確認している。これらの課題に対する解決策として、避難所の簡易ベッド化が進みつつある。東日本大震災で J パックス社が開発した段ボールベッドは、床から 35cm の高さを保持し、段ボールの素材特性で温

熱を維持することで床に眠るより就寝面を約 10℃上昇させ、風が流れる床面から体を離れた就寝場所を作る^{3,4)}。しかし段ボールベッドのみでは室温がそのまま顔面にさらされるため、冷気が就眠を妨げる。段ボールベッドの天板を立てることで衝立を作ることではできるが、周りからの視線や音、すなわちプライバシーの確保は難しい。

避難所において、ベッドの確保とともに、パーティションを用いたプライバシーの確保が進められている。現在行政が備蓄を進めているパーティションは家族ごとの仕切りを設けることを目的としており、天井の無いタイプでは室内空間を作ることにならない。

我々は段ボールベッドの上にキャンプ用のソロテントを上置した「テント on the ベッド」を見出した(図 2)。テントの自重によって安定した運用が可能で、段ボールベッドの温熱効果を高めることが期待される。そこで本研究は雑魚寝型とテント on the ベッド型を冬期避難所と想定される体育館に設置し、就寝空間における温度比較を実施した。

2. 方法

実験は幅 23 メートル、奥行 32 メートル、高さ 11 メートルの学校型体育館で冬期に実施した。これまでの避難所でも良く見られていたブルーシート上に毛布のみで就寝する雑魚寝型の想定(図 1)と、避難所で展開されるようになってきた段ボールベッド(暖段はこベッド、J パッ



図1 床面に雑魚寝想定 of 就寝設定



図2 テント on the ベッド of 就寝設定

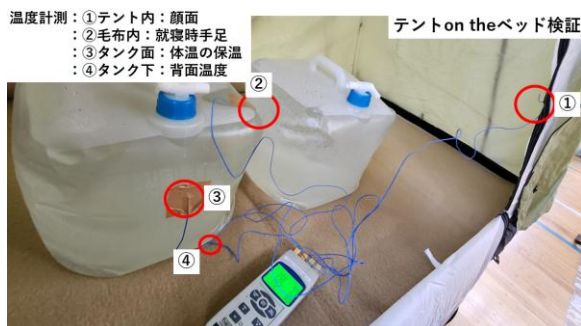


図3 テント on the ベッド内の計測風景

クス社製) の上にソロテント (レジストドームテント, ワークマン社製) を設置したテント on the ベッド設定 (図2) で実施した. 冬期の想定であるため, 毛布は2枚とし, 1枚の毛布は就寝面に, もう1枚の毛布は掛け毛布として使用した. 人体のファントムを想定し, 40℃に調整したお湯を満たした2本のウォータータンク (計40kg) を上記設定上に設置した. 実験期間中の外気温, 室温, 毛布内温度, タンク表面温度, タンク下面温度は温度ロガーで5分ごとに記録した (図3).

3. 検証結果

実験時間内の屋外最低気温は翌朝2時のマイナス9℃, 最高気温は実験開始時のマイナス2℃

であった. 体育館の室温は開始時 (16時) が最も高く約3℃であり, 最低気温は実験終了時 (翌朝9時) の約1℃であった. この気温はこれまで我々が実証している厳冬期の停電下無暖房の体育館と同等であり, 東北・北海道の避難所の評価に適していた (図3, 雑魚寝室温参照).

テント on the ベッドの室内には居室内にあるタンク (人の体温想定) からの熱が充満し, 開始時は12℃, 終了時においても約5℃を確保した. テントで覆われていない場合との温度差は4℃以上あり, この温度上昇は体育館でジェットヒーターを2台フル稼働させた際と同程度の温度保持である¹⁾.

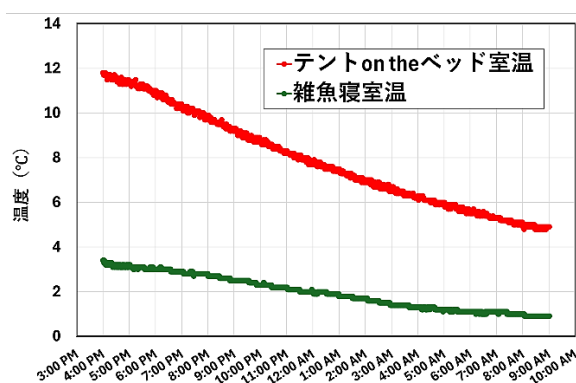


図4 雑魚寝室温ならびにテント内室温の推移

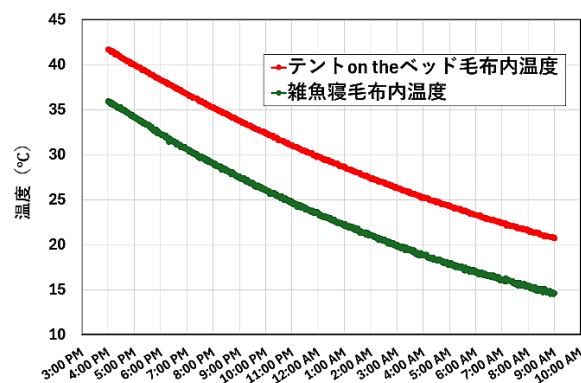


図5 毛布内の温度推移

就寝時の手足で感じる温度に相当する毛布内の温度推移を図5に示した. テント on the ベッドの毛布内は, 実験時間内すべてで雑魚寝想定よりも約8℃高い推移を示し, 就寝時の体全体への体感温度を上昇させることが明らかとなった. このことを裏付けるように, 雑魚寝想定 of ポリタンク水温は実験終了時に16℃まで低下していたのに対し, テント on the ベッド内のポリタンク水温は21℃を確保していた (図6).

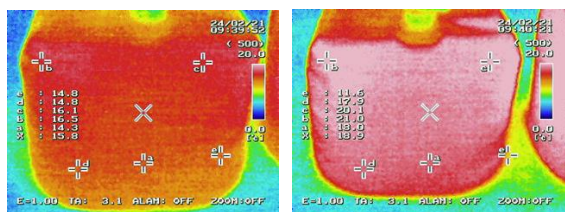


図6 雑魚寝 (左), テント on the ベッド (右) に設置した温水タンクの実験終了時の熱画像

4. 考察

テント on the ベッドは、テントで覆われていない空間での就寝と比して、顔に感じる冷氣, 毛布内で保持させる体温ともに明らかな有用性があることを証明した. 人の体温を想定した温熱タンクは初期設定こそ 40℃であるが人のように熱産生能力はないため, 経時的に自然に低下する. 実際に一晩明けたあとのポリタンクの水温は雑魚寝で 16℃まで低下したが, テント on the ベッドでは 21℃を確保していた. これは人から熱が奪われる機会を減らすことを意味する. 37℃を随時確保するヒトが滞在した場合には, 温熱タンクよりも室内気温をこれ以上高くさせると推測され, テント on the ベッドの使用が居住空間内温度の快適化に寄与すると考える.

温熱環境だけでなく, テントの幕地によって風が遮られるためほこりの吸引を劇的に下げることが可能となる. 避難所内は掃除がしにくく床面にほこりがたまりやすい. 多くの住民が行き来するため生活空間にほこりが舞い, それが咳の誘因や感染症にも関わる. テント on the ベッドは床からの接触感染, 空間からの飛沫感染を防ぐことにもなるため, Covid-19 によって提言された三密の回避としても有用となる.

同時に空間への音の伝搬もある程度遮ることができる. 避難所内では, 就寝時にトイレに行く際の足音, いびき, 咳など, 生活音が気になり不眠を訴えるケースは少なくない⁴⁾. 体育館は球技等のスポーツで使用するために天井が高い. 地震後の避難時には, 余震により天井の電灯等が揺れることで恐怖を感じる. また就寝した際に高い天井が見えることでも不安を感じやすい. テント内に居住することで, 居室内の空間を保持し, 恐怖感を軽減することにつながる.

これら温熱・空間居住環境をはじめとする利点を含め, テント on the ベッドの有用性をまとめると以下の6点となる.

1. 暖房機器に依存しない温暖環境
2. プライバシー・安全の提供
3. 展開スピードが速い
4. 屋外 (屋上) 避難においても有用
5. 軽量・備蓄体積を取らない
6. 安価

テント on the ベッドは一人ひとりの専用空間を災害後超急性期から提供することができる. 着替えなどのプライバシー空間はもちろん, ファスナーに鍵を施せば貴重品の保管を可能とする. 見ず知らずの方との共同生活となる避難所においてパーソナルロッカーの役割も果たす. 2人以上の家族においては, ソロテントではなくベッド3台の上に設置できる 3 人用テント等を展開することにより家族のリビング・就寝スペースを提供することが可能である. 一つの空間に 3~4 人が居住することは, 人体からの熱放出が多くなり, 居室内温度のさらなる上昇も期待される.

今回使用したソロテント (レジストドームテント, ワークマン社) は 1 基あたり 5,800 円と極めて安価である. また収納時は 60cm×15cm とコンパクトで避難所内では使用することのないペグ類を含めても 3kg しかない. 万が一にしか使用しない防災資機材は, コストを最低限とすることはもちろんのこと, 備蓄倉庫を占有しないようコンパクトに, 輸送を考えると軽量なものが求められる. もちろんソロテントとして学校宿泊体験等の子どもたちのイベントで普段使いすることもできる.

テント on the ベッドにはもう一つ重要な役割がある. それが屋外避難である⁵⁾. 冬期の津波避難時に高台へ逃げた際, その場所での寒冷対策は必須である. しかし着の身着のままの避難が求められる津波避難に対し, 避難時持出品として暖房機材を揃えることは難しい. テント on the ベッドの段ボールベッド部分をスチールベッドやキャンプ用のコットとして展開すれば, 最低限の備蓄資材で, 雪や風をしのげる最低限の温暖空間を実現することができる. レジストドームテントは冬期想定で設計されているため, フライシート (緑の幕地) のスカートが長く, ベッド横からの冷氣の流入が少なく, 屋外避難においての活躍が期待される. 現在様々な地域で整備が進んでいる津波避難タワーにおいても停電想定 of 暖房の整備が

問題となっている。最低限の温熱を保持するためにテント方式についても議論の対象としたい。

令和7年1月、北海道北見市において厳冬期災害演習が行われ、ここで初めてテント on the ベッドを大規模に展開した。数多くの利点が見出された反面、課題も浮き彫りとなった。実験レベルの研究を社会実装するために、さらなる検証が不可欠である。

5. おわりに

令和6年能登半島地震における災害対応検証を踏まえ、令和6年11月、国は避難所“開設”時にパーティションとベッドの設置、キッチンカーを活用した食事の提供、トイレトレーラーの分散備蓄などを今後の日本の防災指針として公表した⁹⁾。また文部科学省は体育館施設に対する臨時特例交付金を新設して体育館の断熱化ならびにエアコン設置を進めている。これらの方針は、避難生活環境を劇的に改善し、厳しかった避難所環境の質を向上させることにつながることは間違いない。

災害が起きてから資機材をバラバラに供給すると現場の混乱を招くばかりか、避難者に役立つものが使われずに放置されることにもつながる。災害想定は市町村ごと、さらに地域ごとに異なるため、それぞれの地域に合った資機材を見出さねばならないが、現在のようなバラバラな規格の資機材の乱立を避け、災害対応資機材の標準化が求められる。そのような資機材について、防災訓練だけでなく様々な機会に住民とともに展開し、可能な限り普段使いをさせて、地域で発生する災害において、展開漏れのないよう整備ができるようにしたい⁵⁾。

本稿を執筆している令和7年6月現在、令和6年能登半島地震の災害関連死は全体の死者数の6割を超えている。災害時の避難者の身体的・精

神的負担を軽減し、災害関連疾患の発症を抑制し、災害関連死をゼロとすることが令和型減災に求められる。まだ色濃く残る我慢・根性を強いる昭和型防災から脱却し、自らの力を強め、災害大国日本で生きるための常識を創り出す必要がある。

【謝辞】

本研究はJSPS 科研費 JP22K04658 の助成を受けたものである。

【参考文献】

- 1) 根本昌宏, 植田信策, 水谷嘉浩, (2024): 令和6年能登半島地震における避難所対応を踏まえた北海道の冬期災害対策, 寒地技術論文・報告集, **40**, 192-197.
- 2) Masahiro Nemoto and Yasuhiro Soshino, (2024): Emerging Technologies to Avoid Preventable Death in Emergencies: A Case Study on Hypothermia Prevention in a Refugee Center in Winter, Technology Innovation for Sustainable Development of Healthcare and Disaster Management, Pages 101-123, Springer
- 3) 水谷嘉浩, 根本昌宏, (2017): 冬期の避難所における段ボールベッドの防寒・保温効果の評価, 北海道の雪氷, **36**, 101-104.
- 4) 根本昌宏, (2019): 備蓄型段ボールベッドの導入による避難所環境の改善, 平成30年北海道胆振東部地震建築設備関連被害報告書, 空気調和・衛生工学会北海道支部, 9-12.
- 5) 根本昌宏, (2023): 寒冷期の大規模災害において想定される避難行動・避難生活, 日本防火・防災協会, **53**, 4-7.
- 6) 内閣府, (2024) 令和6年能登半島地震を踏まえた災害対応の在り方について, [https://www.bousai.go.jp/jishin/ noto/taisaku_wg_02/index.html](https://www.bousai.go.jp/jishin/ното/taisaku_wg_02/index.html) (2025年6月10日閲覧)。

多重事故は災害か？

Are multiple vehicle accidents in reduced visibility natural disasters?

竹内 政夫^{1,2}, 米田 和広³

Masao Takeuchi^{1,2}, Kazuhiro Yoneta³

Corresponding author: masao.takeuchi@gmail.com (M. Takeuchi)

¹ 日本雪氷学会 北海道支部, ² 雪氷ネットワーク, ³ 一般財団法人北海道交通安全協会

視界不良による多重事故は規模の大きさや防止対策の困難さなどから災害とされてきた。ドライブレコーダーの映像から、多重事故は一つの事故が発端になり後続車の追突が重なり大きくなる事が分かった。自然災害として半ば諦めていた多重事故も、単に過失などの事故であれば人為で対応できる。沿道環境、道路構造やドライバーの目線の高さ、運転の違いなどで乱れる車の流れがコントロールできなくなり事故が発生する。多重事故を防止するには、ホワイトアウトになり前方の安全確認ができない路上に事故車、停止車がある事も予測し減速、徐行そして安全を確認して停止するなど、余裕を持った運転が必要である。

1. まえがき

北海道の道路では長い間、降雪や吹きだまりにより道路が閉鎖されても、鉄道が通っていれば災害とは言われない時代があった。今ではハード、ソフトを含めた沿道環境、道路構造、車の改良が進んで降雪やふぶき、路面の雪が原因で車が走れなくなることは極めて稀になっている。しかし視界不良には視界が白一色のホワイトアウトを伴う時間があり、ドライバーには手の施しようの無い状況になり追突事故や多重事故の誘因となっている¹⁾。視界不良の中で低速車や退避し停止した車に、後続の車が次々に追突し前後の車を巻き込み 100 台を超えるような多重事故が発生している²⁾。しかし多重事故が人為的な過失により始まっていけば、当事者には不可避であったとしても自然災害とは言えないのでは無いかとの疑問が生まれる。またこれまでの研究に加えて多重事故の映像³⁾から、ドライバー個々の視界情報は様でなく大きなギャップがある場合も見られることから、視界ギャップが及ぼす事故発生メカニズムを分析し多重事故の防止策を考える。

2. 多重事故の発生と交通の流れ

ふぶき(吹雪)による視界不良は車の流れに乱れを生み、更に視界不良が続く事で、その乱れが大きくなり、事故が発生する。映像で多重事故が追突から始まり、次々に追突を重ね大きな多重事故になるのを見た時にこの仮説が浮かんできた。この考えにしたがえば視界不良による多重事故の発生は人為的なものであり、自然災害として諦めず

にドライバーの力で防ぐべきである。

2. 1 ドライバーの視界は様でない(視界ギャップ)

ふぶきは降雪強度と風速の強さ等の気象に比例して強くも大きくもなる。ドライバーの視界は、防雪柵等防雪施設の切れ目、橋梁から盛土や切土への変換部など、沿道環境や道路構造の不連続部でも大きく変化する。またドライバーの目線の高さ(運転席の高さ)による視界の違いは、後述するように路側の雪堤の高さによって大きく変化する。このように気象変化や道路構造等の様々な不連続だけでなく、目線の高さなどによって視界は急に大きく変化しドライバーによって異なり様でない(ギャップがある)。

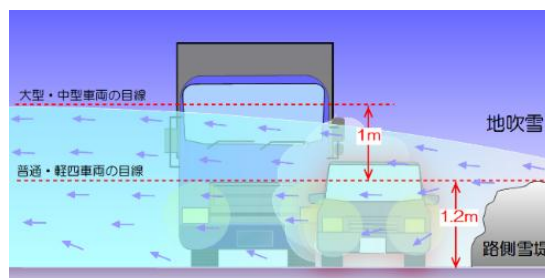


図 1. 路側雪堤による影響

ドライバーの目線が雪堤より低いと雪堤を越えて目線より高く雪が飛び、濃度の高い飛雪粒子に視界が遮られホワイトアウトになり、目線が雪堤より高いと視界が良好になる。このように目線が雪堤より高いか低いかで大きな視界ギャップができる。道路は運転席の高さが異なる様々な車

が高速で走る混合交通であり、車による視界ギャップが原因で発生する事故の危険は大きい。

2.2 ドライバーによる運転の違い（運転ギャップ）

視界ギャップに加えて同じ視界でも、ドライバーによって運転の仕方が異なり交通の流れを乱し事故になることがある。ほぼ同じ時間・区間でホワイトアウトを含む視界不良に乗り入れたドライバーの運転反応・操作が違っていたのが動画にも捉えられていた。後ろから追突されるのを避けようと、減速し停止した車と走り続けた車との運転ギャップ例を示す。

① 先行車に追突するのを避け停止した車

ホワイトアウトで先行車が見えなくなり、スピードを上げ飛雪の中から急に車が現れたので追突を避けようと、スピードを落としながら路側に寄って停止した。これなどは落ち着いて対応した例であるが、雪道の経験が少なくパニックになり急ブレーキを踏み後続車に追突を受けるなどドライバーには反応に違いがある。

② 走行し続けて先行車に追突した車

ホワイトアウトになっても速度を落とさず走り続け、停止していた車群を見つけ急ブレーキを踏んでもスリップし追突し、衝突の勢いで無傷で停止していた車を玉突きのように弾き出した例である。弾き出された車はその前の停止車へと追突は何度かくり返し、衝突音は何度も聞こえた例もある。このように視界ギャップだけでなくドライバーの反応のギャップ（運転ギャップ）があり多重事故の原因になっている。

2.3 映像から見た視界不良時の運転ギャップ

事故車（ドライブレコーダー車載）の映像³⁾から、運転ギャップを述べる。



図 2. 多重事故現場に接近する状況

事故発生までの映像から 4 枚の静止画を抽出し分析した。1 枚目（図 2）は、多重事故現場に接

近中の映像であり、右側ガードロープ側に黒色の車が停車している。路面に残る黒色の線は、先行車のタイヤ痕である。



図 3. 多重事故現場手前の停止車両

2 枚目（図 3）は多重事故現場手前の停止車両の状況で、右側の黒い車の左方の左側ガードロープ側に白色のワゴン車がハザードランプを点滅させ停止している、図 2 で確認できなかった車である。冬の視界は車体色による視認性が大きいことが良く分かる。



図 4. 多重事故現場の停止車両

3 枚目（図 4）は車線いっぱいに広がって停止する事故車群であり、通り抜ける事は不可能である。タイヤ痕は左側の停止車両を避ける様に残っている。



図 5. 白い車は直後に追突される

ドライブレコーダー車載車は事故車群後方の白色車に追突した、4 枚目（図 5）はその寸前の映像である。追突直後に後方からの車に強く追突され、弾き出されて再び白い車に追突した。

3. 多重事故を防ぐ(視界ギャップや運転ギャップによる事故を防ぐ)

多重事故の映像によって、事故の発生から終了までの模様が鮮明に得られるようになった。これによって「ドライバーの視界ギャップにより交通の流れが乱れ多重事故が発生する」という多重事故発生までの流れを見ることができた。視界ギャップと運転ギャップによって大きくなる交通の乱れが、ドライバーのコントロールが効かない激しいものになり多重事故が発生するという見方によって多重事故防止について考えた。多重事故に遭わないためには、

- ① 道路管理者は気象情報で危険が予想されたら、早期に通行止めにする。
- ② 視界不良になったらホワイトアウトになることを予測し、いつでも止まれる安全速度に減速し、場合によっては徐行、停止する。
- ③ 天候を確認し運転中止または安全なルートに変更する。

以上はこれまでも言われてきた事である。

- ④ 道路や車種による視界ギャップに注意。
気象の変化や走行中の道路構造などの変化に伴う視界の変化・ギャップに対応できる余裕ある速度で車を運転する。
- ⑤ 運転ギャップがあることを理解し、他のドライバーの危険運転を想定し対応できるように運転する。

これは多重事故の映像から学んだことであり、交通安全のための防衛運転(3原則):「危険を予測する」「無理しない運転」「譲り合い運転」に共通する。

4. あとがき

視界不良になると視界全体がぼんやりとなり、ドライバーの遠近の距離感・スピード感を狂わせる。交通量が多く様々な車が走る道路では、車やドライバーにより視界や運転にギャップが発生しそれによって車の流れの乱れが大きくなる。秒単位でもホワイトアウトが加わると更に交通の乱れは増幅し、車の速度差や停止車がでてくると追突事故が発生する。追突事故は交通の流れを無秩序な乱流状態にし、特に交通量の多い高速道路では一気に多重事故となる危険が高くなる。

これが多重事故発生を映像で見た、発生までの流れである。これらの中で視界不良やホワイトアウトは自然現象で不可避であるが、その他ドライ

バーの関わることは全て人為であり、ドライバーで解決すべき問題であると考えて多重事故はドライバーの防衛運転により解決できる人為的災害であるとした。

参考文献

- 1) 竹内政夫、2002:吹雪災害の要因と構造、雪氷 64-1,97-105.
- 2) 竹内政夫、米田和広、2023:多重事故の発生要因について、北海道の雪氷 43,19-
- 3) 北海道交通安全協会 2022, YouTube チャンネル、「吹雪など視界不良時における交通事故の実態 2 白い闇の危険!!」. 交通安全教育映像.

グリーンランド南東ドームアイスコアに含まれる 不溶性微粒子の定量的測定

Quantitative measurement of insoluble particles in an ice core from the southeastern Greenland Ice Sheet

桐生 紗稀人^{1,2}, 的場 澄人², 飯塚 芳徳²
Sakito Kiryu^{1,2}, Sumito Matoba², Yoshinori Iizuka²

Corresponding author: kiryu.sakito.i9@elms.hokudai.ac.jp (S. Kiryu)

¹ 北海道大学大学院 環境科学院, ² 北海道大学低温科学研究所

¹ Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, ² Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University

In this study, dust particle concentrations were measured with seasonal resolution in the southeast dome of the Greenland ice sheet (SE-Dome II) ice core, which has a high accumulation rate (1.04 ± 0.20 m w.e. yr⁻¹) area in Greenland, covering the past 60 years. The obtained dust concentrations were used to statistically cluster the particle sizes and investigate their trends. The relationship with ionic composition and NAO index was also investigated by correlation analysis.

1. はじめに

1. 1 氷床アイスコアから復元する古環境

地球の極域まで輸送されたエアロゾルは氷床表面に乾性または湿性沈着する。またグリーンランド氷床では雪が断続的に降り積もっており、沈着したエアロゾルは氷床の内部へと保存される。したがって、氷床を垂直に掘削して得られる円柱状の氷試料アイスコアは、過去から現在にかけての古環境を復元する古環境記録媒体となる。

アイスコアに含まれる微粒子（以下ダスト粒子）は気候システムに影響を与える成分の 1 つとされており¹⁾、ダスト粒子の経年変動を定量的に知ること、過去の気候システムの変動メカニズムを理解するうえで重要である。ダストの濃度変動と、その起源や輸送過程の変化は、半球的大気循環の変化や、環境変動に対するダストの応答を復元する手がかりとなる。

1. 2 研究対象

本研究はグリーンランド氷床において高涵養の地域に当たる (1.04 ± 0.20 m w.e. yr⁻¹) グリーンランド南東ドーム (SE-Dome II: 67° 19' 17" N, 36° 47' 03" W, 3161 m a.s.l.) において 2021 年に掘削された全長 250m のアイスコア (SE-Dome II アイスコア) を用いた²⁾。高涵養域で採取されたこのアイスコアは季節単位の高時間分解能で環境変動の復元が可能で、かつエアロゾルなどの物質の保存性が優れている利点を持つ。SE-Dome II アイスコアの年代は過酸化

水素 (H₂O₂) 濃度の季節変動を用いた年層カウントによって、過去 221 年間に相当することが推定された³⁾。

2015 年には同地域で SE-Dome I (67° 18' N, 36° 36' W, 3165 m a.s.l.) アイスコアが採取され³⁾、過去 60 年間の古環境記録が復元され、ダストの解析から、近年、掘削地点近傍のローカルな起源のダスト粒子の増加が示されている⁵⁾。

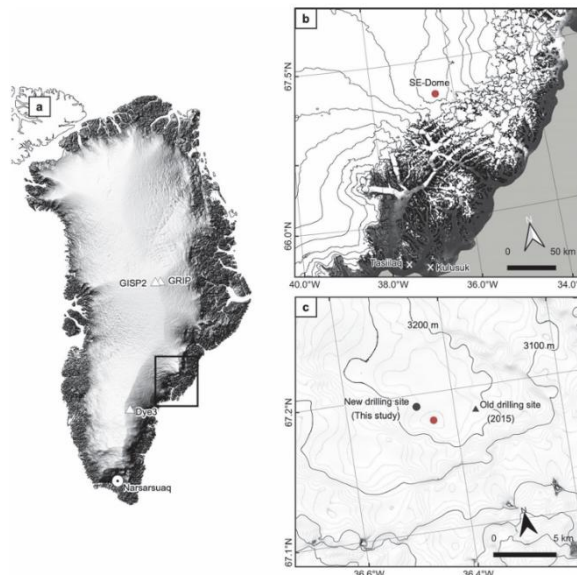


図1 (a) グリーンランド氷床全体図, (b) グリーンランド南東部を拡大した図, (c) SE-Dome サイトを拡大した図²⁾。

1. 3 研究目的

本研究では高時間分解能な記録を持つ SE-Dome II アイスコア中に含まれるダスト粒子の濃度と粒径分布を季節分解能で測定し、グリーンランド氷床南東部に沈着するダスト粒子の定量的な経年変動を捉えること、イオン成分や大気循環のインデックスなどと比較照合し、それらとダスト粒子との関係性を解明することを主な研究目的とした。

2. 分析手法

ダスト粒子の測定には精密粒度分布測定装置コールターカウンターMultisizerTM3 (Beckman Coulter 社製)を使用した。30 μm 孔径のアパチャーを用い、測定粒径は 0.60 μm から 18 μm であった。試料は季節毎に分注したコア融解水 3 mL を電解液 12 mL で希釈して調整を行い、100 μL 中に含まれるダスト粒子の粒径と個数の測定を 5 回実施した。その 5 回の平均を当該季節のダスト濃度とした。誤差を表す 5 回の分析の変動係数は個数濃度が 0.95% から 64% (平均 6.4%)、体積濃度が 4.1% から 111% (平均 37%) であった。なお季節は 12 月から 2 月を冬季、3 月から 5 月を春季、6 月から 8 月を夏季、9 月から 11 月を秋季とした。本研究では 1960 年から 2021 年までの 245 サンプルを分析した。

3. 測定結果

過去 60 年間におけるダスト粒子の個数濃度 ($\# \text{mL}^{-1}$) および体積濃度 ($\mu\text{m}^3 \text{mL}^{-1}$) の経年変化を図 1, 2 に示す。個数濃度の 10 年移動平均は 2000 年頃から増加した (図 1)。一方の体積濃度の移動平均は顕著な変化はなく、単発的な濃度ピークが複数みられた (図 2)。

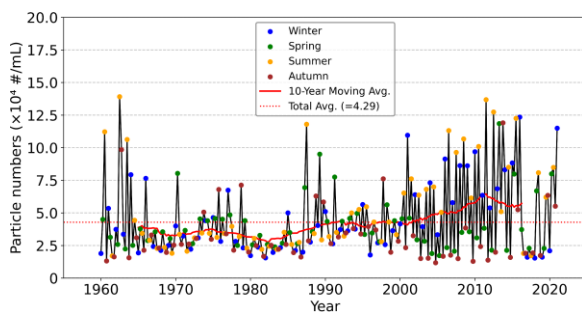


図 1 1960 年から 2021 年までの個数濃度 ($\# \text{mL}^{-1}$) の経年変化

(青：冬季，緑：春季，黄：夏季，茶：秋季，
赤実線：10 年移動平均，赤点線：平均値)

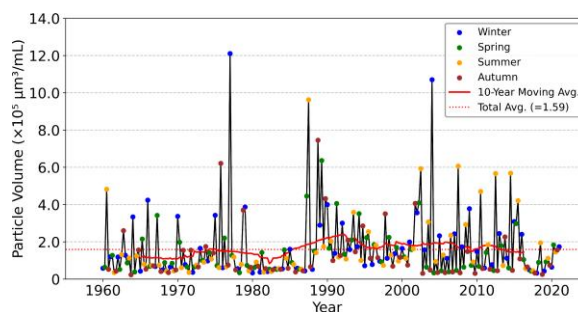


図 2 1960 年から 2021 年までの体積濃度 ($\mu\text{m}^3 \text{mL}^{-1}$) の経年変化

4. 解析と考察

4. 1 粒径の分類と経年変化

過去 60 年間の粒径分布のデータを混合ガウスモデル (GMM; Gaussian Mixture Model) を用い粒径分布の多峰性検定を行った。このモデルは元となるデータが複数のガウス分布の混合によって生成されたと仮定し、データ全体の確率分布を表現する統計モデルである。この統計モデルはクラスタリングの手法として有用であることから本研究で用いた。なお本研究では、粒径分布を三峰性と仮定をして解析した。その結果、粒径を Mode 1 [0.60, 2.64], Mode 2 [2.64, 9.2], Mode 3 [9.2, 18] の範囲で分類された。

5 μm 以上の粒子は近距離輸送による供給の寄与が強くなるとされている^{5,7,8)}。SE-Dome I コア⁵⁾では 1995 年頃から近距離輸送の自然起源のダストが増加したことが指摘された。本結果でも 1990 年頃から Mode 2 のダスト濃度が高くなっており、この指摘と整合的である。

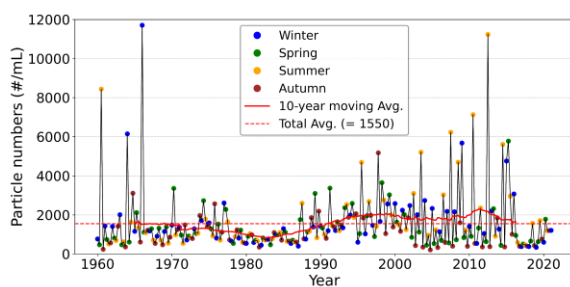


図 3 Mode2 [2.94, 9.2] の個数濃度 ($\# \text{mL}^{-1}$) の経年変化

4. 2 イオン濃度との相関解析

ダストの個数濃度、体積濃度と主要イオン (Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , NH_4^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) の濃度との相関を表 1 に示す。個数濃度は Ca^{2+} 濃度との間に、低いが有意な相関関係があった (表 1)。先行研究⁵⁾においてはダストの個数濃度は主に陸域起源の成分とされる Ca^{2+} との間に強い正の相関 ($R=0.66$) があると主張した。本結果においても、陸域起源のダスト粒子の沈着が反映されていると考えられる。

表 1 イオン濃度 (ppb) との相関係数 R と p 値
(括弧内; $p<0.1$ で R を斜体, $p<0.01$ で太字)

n=245	Particle numbers (# mL^{-1})	Particle volume ($\mu\text{m}^3 \text{mL}^{-1}$)
Na^+	0.03 (0.59)	0.03 (0.65)
Mg^{2+}	-0.03 (0.66)	0.01 (0.88)
Ca^{2+}	0.24 (<0.001)	0.08 (0.23)
NH_4^+	0.06 (0.35)	-0.02 (0.73)
Cl^-	0.03 (0.67)	0.02 (0.71)
NO_3^-	0.13 (0.037)	0.11 (0.074)
SO_4^{2-}	-0.12 (0.054)	-0.04 (0.53)

4. 3 北大西洋振動との関係性

中緯度から高緯度にかけての大気循環の変動は、グリーンランドに沈着する物質やその沈着量も変化させるとされている⁹⁻¹¹⁾。そこでアイスランド低気圧とアゾレス高気圧の気圧差を示す指標である、北大西洋振動 (NAO; North Atlantic Oscillation) に着目した。この NAO インデックスが正であるとアイスランド低気圧およびアゾレス高気圧ともに強く気圧差が大きくなることから偏西風が直線的になる。一方 NAO インデックスが負であると低気圧、高気圧ともに弱く気圧差が小さくなることから偏西風の南北方向の蛇行が強くなり、大気の流れが変化する¹²⁾。

ダスト濃度と NAO インデックスとの相関関係をまとめたものを表 2 に示す。NAO インデックスはアメリカ海洋大気庁 (NOAA; National Oceanic and Atmospheric Administration) で提供されているデータベースを用いた¹³⁾。全期間 (All) では相関はみられなかったが、季節別では NAO との関係が異なることが判明した。特に夏季の個数濃度とは有意な負の相関関係 ($n=61$, $R=-0.52$, $p<0.001$) がみられた。これは夏季に偏西風の南北方向の蛇行が強まることで、中緯度域由来の微小粒子の長距離輸送が活発

になったと考えられる。

表 2 ダスト濃度と NAO インデックスとの相関係数 R と p 値 (括弧内; $p<0.1$ で R を斜体, $p<0.01$ で太字)

vs NAO index	Particle numbers (# mL^{-1})	Particle volume ($\mu\text{m}^3 \text{mL}^{-1}$)
All (n=245)	-0.14 (0.028)	-0.10 (0.12)
Winter (n=62)	-0.04 (0.77)	-0.17 (0.19)
Spring (n=61)	0.18 (0.16)	0.33 (0.01)
Summer (n=61)	-0.52 (<0.001)	-0.37 (0.0031)
Autumn (n=61)	0.10 (0.46)	0.07 (0.12)

5. 総括

本研究ではグリーンランド氷床の高涵養地域で採取されたグリーンランド氷床南東ドーム (SE-Dome II) アイスコアを用い、季節分解能で過去 60 年間 ($n=245$) のダスト粒子の濃度測定を行った。混合ガウスモデルによる多峰性検定の結果、Mode1 [0.60, 2.64], Mode2 [2.64, 9.2], Mode3 [9.2, 18] の 3 つのモードに分類された。特に中間粒子にあたる Mode2 は 1990 年頃から増加傾向を示した。これは 1995 年以降近距離輸送のダストが増加したという先行研究の主張と整合的であった。個数濃度は、主に陸域起源とされる Ca^{2+} とのみ低い有意な相関関係 ($R=0.24$, $p<0.001$) がみられた。さらに北大西洋振動 (NAO) との関係性を調べたところ、インデックスが負のときにダスト濃度が高くなることが判明し、特に夏季に顕著であり ($n=61$, $R=-0.52$, $p<0.001$)、中緯度域からの長距離輸送に伴うダスト粒子の沈着が寄与していることが考えられる。

【参考文献】

- 1) Kok, J. F., Ward, D. S., Mahowald, N. M. and Evan, A. T. (2018): Global and regional importance of the direct dust-climate feedback. *Nature Communications*, **9**, 241.
- 2) Iizuka, Y., Matoba, S., Minowa, M., Yamasaki, T., Kawakami, K., Kakugo, A., Miyahara, M., Hashimoto, A., Niwano, M., Tanikawa, T., Fujita, K. and Aoki, T. (2021): Ice core drilling and related

- observations at SE-Dome site, southeastern Greenland Ice Sheet. *Bulletin of Glaciological Research*, **39**, 1-12.
- 3) Iizuka, Y., Matoba, S., Yamasaki, T., Oyabu, I., Kadota, M. and Aoki, T. (2016): Glaciological and meteorological observations at the SE-Dome site, southeastern Greenland Ice Sheet. *Bulletin of Glaciological Research*, **34**, 1-10.
 - 4) Iizuka, Y., Uemura, R., Fujita, K., Hattori, S., Seki, O., Miyamoto, C., Suzuki, T., Yoshida, N., Motoyama, H. and Matoba, S. (2018): A 60 year record of atmospheric aerosol depositions preserved in a high-accumulation dome ice core, Southeast Greenland. *Journal of Geophysical Research: Atmosphere*, **123**(1), 574-589.
 - 5) Amino, T., Iizuka, Y., Matoba, S., Shimada, R., Oshima, N., Suzuki, T., Ando, T., Aoki, T. and Fujita, K. (2020): Increasing dust emission from ice free terrain in southeastern Greenland since 2000. *Polar Science*, **27**, 100599.
 - 6) Kawakami, K., Iizuka, Y., Sasage, M., Matsumoto, M., Saito, T., Hori, A., Ishino, S., Fujita, S., Fujita, K., Takasugi, K., Hatakeyama, T., Hamamoto, S., Watari, A., Esashi, N., Otsuka, M., Uemura, R., Horiuchi, K., Minowa, M., Hattori, S., Aoki, T., Hirabayashi, M., Kawamura, K. and Matoba, S. (2023): SE-Dome II ice core dating with half-year precision: Increasing melting events from 1799 to 2020 in southeastern Greenland. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **128**(20), e2023JD038874.
 - 7) Kjær, H. A., Zens, P., Black, S., Lund, K. H., Svensson, A., and Vallelonga, P. (2022): Canadian forest fires, Icelandic volcanoes and increased local dust observed in six shallow Greenland firn cores. *Climate of the Past*, **18**(10), 2211-2230.
 - 8) Simonsen, M. F., Baccolo, G., Blunier, T., Borunda, A., Delmonte, B., Frei, R., Goldstein, S., Grinsted, A., Kjær, H. A., Sowers, T., Svensson, A., Vinther, B., Vladimirova, D., Winckler, G., Winstrup, M. and Vallelonga, P. (2019): East Greenland ice core dust record reveals timing of Greenland ice sheet advance and retreat. *Nature Communications*, **10**(1), 4494.
 - 9) Mayewski, P. A., Meeker, L. D., Twickler, M. S., Whitlow, S., Yang, Q., Lyons, W. B. and Prentice, M. (1997): Major features and forcing of high - latitude northern hemisphere atmospheric circulation using a 110,000 - year - long glaciochemical series. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, **102**(C12), 26345-26366.
 - 10) McConnell, J. R., Edwards, R., Kok, G. L., Flanner, M. G., Zender, C. S., Saltzman, E. S., Banta, J. R., Pasteris, D. R., Carter, M. M. and Kahl, J. D. (2007): 20th-century industrial black carbon emissions altered arctic climate forcing. *Science*, **317**(5843), 1381-1384.
 - 11) Preece, J. R., Mote, T. L., Cohen, J., Wachowicz, L. J., Knox, J. A., Tedesco, M. and Kooperman, G. J. (2023): Summer atmospheric circulation over Greenland in response to Arctic amplification and diminished spring snow cover. *Nature Communications*, **14**(1), 3759.
 - 12) Báez, J. C., Gimeno, L. and Real, R. (2021): North Atlantic Oscillation and fisheries management during global climate change. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, **31**(2), 319-336.
 - 13) National Centers for Environmental Information (2025): North Atlantic Oscillation (NAO). <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/nao/> (2025 年 6 月 25 日閲覧) .

グリーンランド北西部カナック氷河における UAV 測量

UAV surveys on Qaanaaq Glacier, northwestern Greenland

矢澤 宏太郎^{1,2}, 今津 拓郎^{1,2}, 杉山 慎^{2,3}

Kotaro Yazawa^{1,2}, Takuro Imazu^{1,2}, Shin Sugiyama^{2,3}

Corresponding author: yazawa.kotaro.z2@elms.hokudai.ac.jp (K. Yazawa)

¹北海道大学 環境科学院, ²北海道大学 低温科学研究所, ³北海道大学 北極域研究センター

¹ Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, ² Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University,

³ Arctic Research Center, Hokkaido University

グリーンランド沿岸部における著しい氷河変動を明らかにするため、グリーンランド北西部カナック氷河において 2012 年から流動速度と質量収支が継続的に観測されている。2022–2024 年 7–8 月には従来の観測に加えて、氷河消耗域において UAV (unmanned aerial vehicle) 測量を実施した。取得した画像データから高解像度の数値標高モデル (DEM) とオルソ画像を作成して、流動速度及び表面標高変化を解析した。オルソ画像に画像相関法を適用して測定した流動速度は、GNSS による精密測定に対して平均誤差は 0.32 m a^{-1} であり、標高 700 m 付近で最大速度 (20.5 m a^{-1}) が得られた。標高 600 m 以下の範囲における 2022–2024 年の平均表面標高変化量は $-1.01 \pm 0.11 \text{ m a}^{-1}$ であった。本研究は、氷河変動を広範囲で定量化する手法として UAV 測量の有用性を示した。

1. はじめに

グリーンランド沿岸部における著しい氷河変動を明らかにするため、著者らはグリーンランド北西部カナック氷河 ($77^{\circ}28'N$, $69^{\circ}14'W$) で 2012 年から現地観測を継続している¹⁾。氷河上に設置したステーク (アルミニウムポール) を用いた観測に加えて、高い時空間解像度で広範囲の測量が可能な UAV (unmanned aerial vehicle) による観測を 2022 年から実施している。UAV 画像から作成された高解像度の数値標高モデル (DEM) とオルソ画像によって、流動速度と表面標高変化の詳細な解析が可能である。例えば氷河の流動速度分布から氷の歪みを推定すれば、氷河表面高度の変化を浮上速度と質量収支に分離できる²⁾。本研究では、2022–2024 年 7–8 月にカナック氷河消耗域で実施した UAV 測量の結果から、流動速度と表面標高変化量を定量化した。

2. 研究対象地

カナック氷帽 ($77^{\circ}28'N$, $69^{\circ}14'W$) はグリーンランド北西部に位置し、その表面積は 259 km^2 である。カナック氷河は同氷帽から南西方向に流れる溢流氷河の 1 つであり (図 1)、グリーンランド沿岸部で質量収支が長期モニタリングされている 5 つの氷河・氷帽の 1 つである³⁾。2012 年以降毎年夏期に、氷河上に設置したステークを用

いて、表面質量収支と流動速度の観測 (標高 244–982 m の計 6 地点) が実施されている (図 2)¹⁾。2022 年から 2024 年の夏期には、カナック氷河の標高 200–800 m において UAV 測量を実施した。

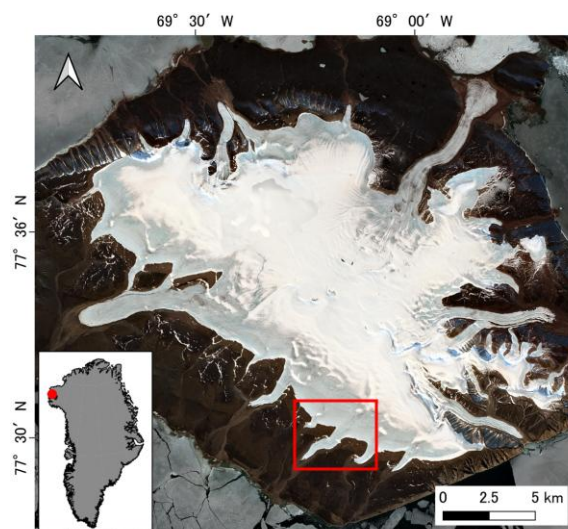


図 1 カナック氷帽 (Sentinel-2, 2024 年 7 月 5 日撮影)。赤丸はグリーンランドにおける研究対象地、赤枠はカナック氷河を表す。

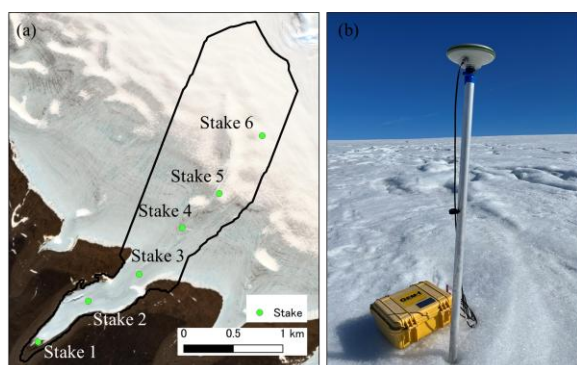


図2 (a) カナック氷河流域（実線）と質量収支の長期観測点（○）。背景は2024年7月5日撮影のSentinel-2画像。(b) Stake 4におけるGNSS測量の様子。

3. 手法

3. 1. UAV 測量

UAV 測量には、DJI Phantom4 Pro V2.0 (2022, 2023 年) と DJI Mavic3 Multispectral (2024 年) を使用し、飛行高度を 120 m に設定した。氷河消耗域を標高 200–600 m, 600–800 m の 2 つの範囲に分けて (図 3), 計 6 日 (2022 年 8 月 10, 11 日, 2023 年 7 月 20 日, 8 月 4 日, 2024 年 7 月 18, 24 日) にわたって測量した。撮影された画像を用いて、3.3 から 3.5 に示す解析を行った。

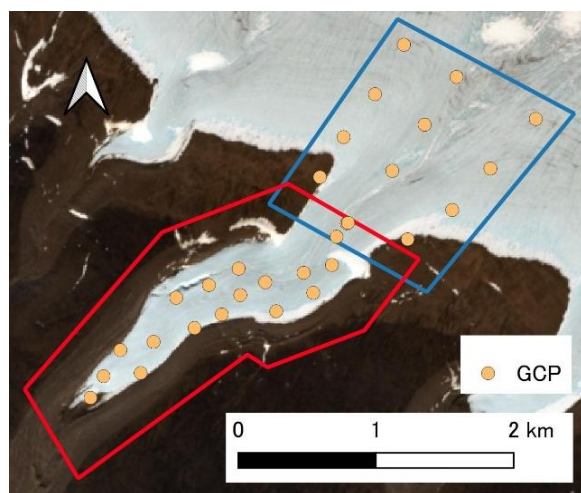


図3 カナック氷河の UAV 測量範囲。赤枠と青枠は 2 つにわけられた調査範囲を示す。背景は 2024 年 7 月 5 日撮影の Sentinel-2 画像。

3. 2. GNSS 測量

氷河の表面標高と地上基準点 (GCP: ground control point) は Global Navigation Satellite System (GNSS) (GS10; Leica Geosystems 社) で測量し

た。氷河の表面標高は、バックパックに GNSS アンテナを入れ、氷河上を歩いて測定し (図 4a), 解析時にアンテナ高を差し引いた。30 cm 四方の板を氷河上と岩盤上に設置し (図 4b), GCP として測量した。カナック村に設置した GNSS 基準局のデータを用いてキネマティック干渉測位を行い、測量点の三次元座標を得た (図 4c)。2024 年は GNSS を搭載した UAV を使用し、カナック村に設置した基準局を用いて後処理によるキネマティック測位を行い、UAV の位置座標を得た。

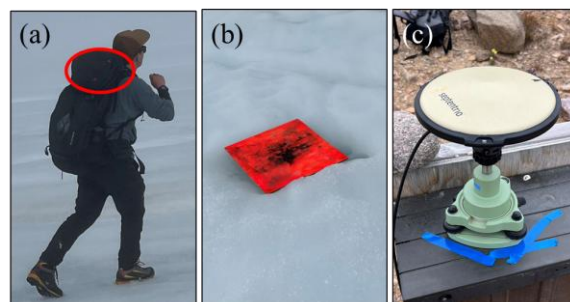


図4 (a) 氷河表面標高測定の様子。赤丸はアンテナの位置を示す。(b) 氷河上に設置した GCP。(c) カナック村に設置した基準局。

3. 3. DEM の生成と検証

UAV 測量で取得した画像から DEM とオルソ画像を作成するために、Structure-from-Motion 法 (Metashape; Agisoft 社) を使用した。この手法では、UAV の位置座標を用いてアライメントされた多数の写真を用いて、隣り合う画像の中から特徴点を見つけ出し、三次元座標を示す点群を構築した。この時ソフトウェア上で計算されたレンズの較正值によって、カメラレンズの歪みを補正した。GCP を手動で追加して三次元座標を補正した後、高密度クラウド構築により密な点群を得た。これに DEM を作成し、DEM に合わせて歪みを除いたオルソ画像を作成した。

GNSS で測定された表面標高を基準として、作成した DEM の精度を検証した。2022 年 8 月 11 日における DEM は、GNSS で測定された標高に対して平均誤差 -0.075 m, 標準偏差 0.192 m であった (図 5a)。2024 年 7 月 18 日については、平均誤差 -0.176 m, 標準偏差 0.121 m であった (図 5b)。DEM の標高値が GNSS の測定値に沿うよう、得られた平均誤差を用いて DEM を補正した。

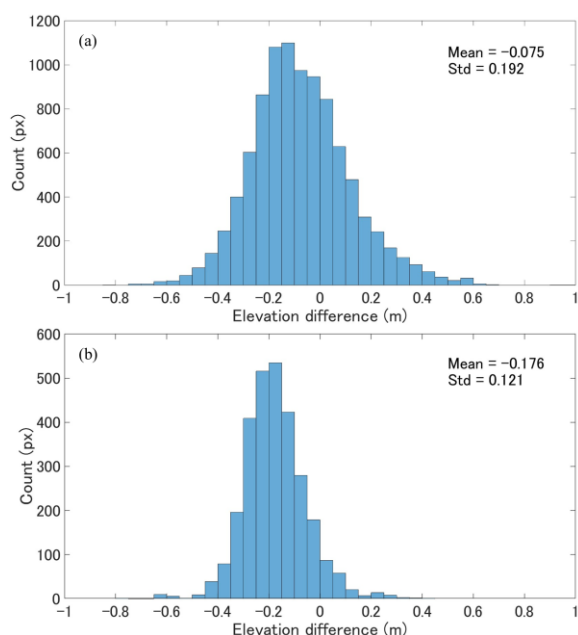


図5 (a) 2022 年 8 月と (b) 2024 年 7 月における, DEM の標高値と GNSS で測定された標高値の差分.

3. 4. 流動速度

3.3 で作成した 0.5 m 解像度のオルソ画像(2022 年 8 月 10 日と 2023 年 8 月 4 日, 2022 年 8 月 11 日と 2023 年 7 月 20 日, 2023 年 8 月 4 日と 2024 年 7 月 24 日, 2023 年 7 月 20 日と 2024 年 7 月 18 日)に画像相関法 (ImGRAFT; MATLAB) を適用し, 氷河の流動速度を算出した. 基準画像における参照範囲と対象画像における検索範囲はそれぞれ 100×100 ピクセル, 250×250 ピクセルに設定し, 約 1 年の間において撮影された 2 枚の画像間の移動距離を求めた. 標高 200–600 m の画像に対して, 信号対雑音比が 9 以下の相関の低いピクセルを削除した. 測定されたすべての流動速度に対して, 隣接する 8 ピクセルとの流動速度差が 2 m a^{-1} 以上のピクセルを外れ値として削除した. 速度が得られなかったピクセルには, 隣接する 8 ピクセルの平均値を内挿した. 岩盤は不動であるとして計算された誤差は 0.5 m a^{-1} (標高 200–600 m), 0.7 m a^{-1} (標高 600–800 m) であり, Stake1–4 の GNSS 測量に対する平均誤差は 0.32 m a^{-1} であった.

3. 5. 表面標高変化

GIS ソフトウェア (QGIS) と MATLAB を用いて, 2022 年 8 月 11 日と 2024 年 7 月 18 の DEM の差分から標高変化量を求めた. 岩盤は不動であ

るとして計算された誤差は 0.11 m a^{-1} であった.

4. 結果と考察

4. 1. 流動速度

流動速度分布は, 氷河の中央において流動速度が速く, 氷河の末端や岩盤付近において速度が遅い傾向があった (図 6). 氷河の中央流線における Stake 3 と 4 の間 (標高 700 m 付近) で最大速度 (20.5 m a^{-1}) が得られた (図 7).

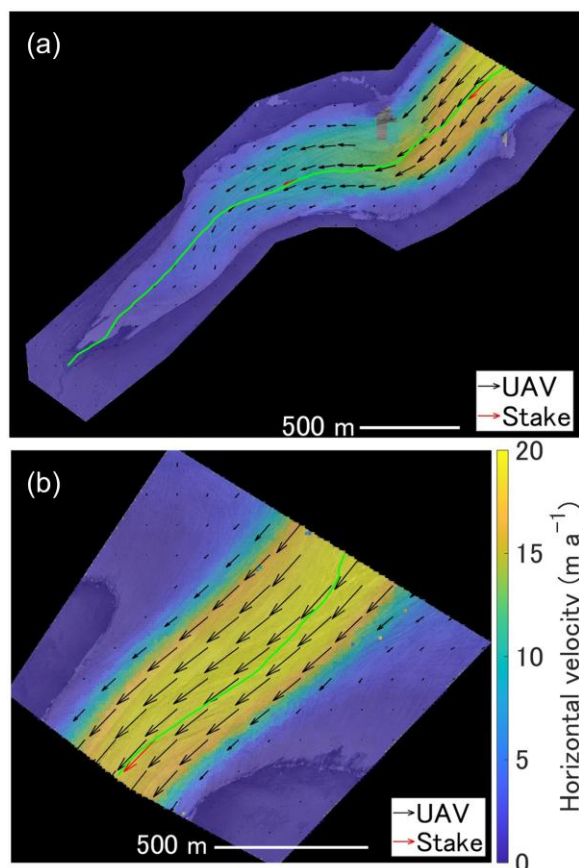


図6 (a) 2022 年 8 月 11 日から 2023 年 7 月 2 日における標高 200–600 m 及び (b) 2022 年 8 月 10 日から 2023 年 8 月 4 日における標高 600–750 m の流動速度 (カラースケール) とそのベクトル. 赤い矢印は GNSS で測定した流動ベクトル. 緑の実線は中央流線を示す.

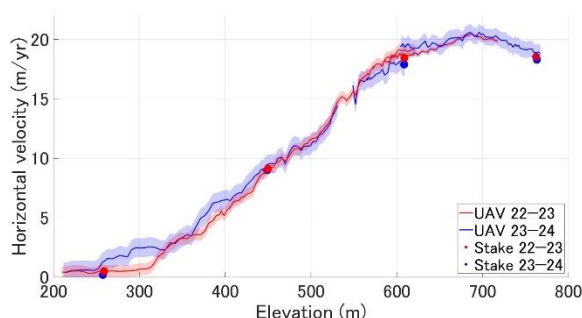


図7 氷河の中央流線における, 2022–2023 年

(赤), 2023–2024 年 (青) の流動速度. 実線と丸印はそれぞれ UAV 及び GNSS で測定した流動速度.

4. 2. 表面標高変化

標高 600 m 以下の消耗域における, 2022 年 8 月 11 日から 2024 年 7 月 18 日の平均表面標高変化速度は, $-1.01 \pm 0.11 \text{ m a}^{-1}$ であった. 標高 400 m 付近の氷河上及び岩盤との接触域において大きな表面標高低下がみられた (図 8). 融解水が氷河上水路と岩盤との接触域を侵食することにより, 氷損失が加速したと考える. さらに, 氷河末端付近において顕著な表面標高低下がみられた. 氷河末端の側壁では, 15 m の表面標高低下, 9 m の後退が確認された (図 9). この側壁には土砂が多く, 裸氷よりもアルベドが小さい. そのため, 融解が促進されたと考える.

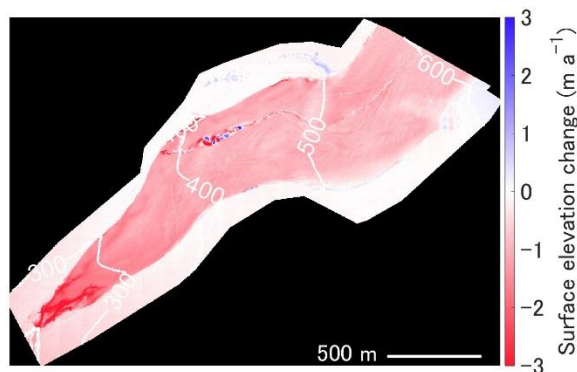


図 8 2022 年 8 月 11 日から 2024 年 7 月 18 日における, 標高 600 m 以下の範囲での平均表面標高変化速度.

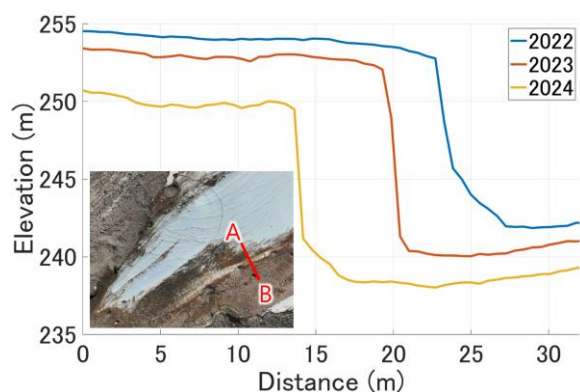


図 9 氷河末端の側壁における A 点から B 点での標高変化.

5. まとめ

グリーンランド北西部カナック氷河において 2022–2024 年の 7–8 月に UAV 測量を実施した. 取得した画像から高解像度の DEM とオルソ画像を作成した. 作成された DEM の鉛直誤差は 0.2 m 以下であった. これらのデータを用いて, 流動速度と表面標高変化を測定した. 測定された流動速度は, Stake1–4 の GNSS 測量に対して平均誤差 0.32 m a^{-1} であり, 標高 700 m 付近で最大速度 (20.5 m a^{-1}) であった. また, 標高 250–600 m における平均表面標高変化は $-1.01 \pm 0.11 \text{ m a}^{-1}$ であり, 特に標高 400 m 付近と末端部の側壁で顕著な表面標高低下と後退がみられた. 氷河上水路やアルベドは氷河の表面標高低下に影響を与えると考える. 本研究は, 氷河変動を広範囲で定量化する手法として UAV 測量の有用性を示した. 今後は, カナック氷河で観測された氷厚データを用いて, 氷フラックスや浮上速度を算出し, 表面標高変化の要因について詳細に解析する.

【謝辞】

本研究は, ArCS-II 北極域研究加速プロジェクト (JPMXD1420318865) 及び ArCS-3 北極域研究強化プロジェクト (JPMXD1720521001) の一環として実施した.

【参考文献】

- 1) Sugiyama et al., 2025: Changes in the coastal environments and their impact on society in the Qaanaaq region, northwestern Greenland. *Polar Science*, in press, 101206. doi: 10.1016/j.polar.2025.101206
- 2) Lander et al., 2021: Estimating surface mass balance patterns from unoccupied aerial vehicle measurements in the ablation area of the Morteratsch–Pers glacier complex (Switzerland), *The Cryosphere*, 15, 4445–4464. doi: 10.5194/tc-15-4445-2021
- 3) Machguth et al., 2016: Greenland surface mass-balance observations from the ice-sheet ablation area and local glaciers, *Journal of glaciology*, 62(235), 861–887. doi: 10.1017/jog.2016.75

2024 年冬季のオホーツク海・網走沖における氷況の特徴

Characteristics of drift ice conditions in the Sea of Okhotsk and off Abashiri in 2024 winter

舘山 一孝¹

Kazutaka Tateyama¹

Corresponding author: tateyaka@mail.kitami-it.ac.jp (K. Tateyama)

¹ 北見工業大学 地球環境工学科

¹ School of Earth, Energy and Environmental Engineering, Kitami Institute of Technology

This study investigated the causes behind the latest first appearance of sea ice in Abashiri, observed in February 2025. During the 2024 winter season, the East Asian winter monsoon weakened from December to January, which likely delayed sea ice formation in the Sea of Okhotsk. As a result, the southward-drifting sea ice was smaller in extent and thinner than the winter average. In addition, sea surface temperatures in the northeastern part of the Sea of Japan have been rising year by year, creating conditions in which the first sea ice arriving along the coast of Hokkaido is more susceptible to melting due to the influence of the Soya Warm Current. These combined factors are presumed to have contributed to the latest sea ice arrival observed in Abashiri.

1. 研究背景と目的

2025 年 2 月 7 日に地球全体の海氷域面積が衛星観測史上最小値を記録した¹⁾。オホーツク海においても海氷面積は平年値を大きく下回り、網走の流氷初日は統計開始以来、最も遅い記録となった²⁾。本研究は 2025 年 2 月に網走での流氷初日が最も遅くなった要因を明らかにすることを目的とし、衛星観測による海氷面積および海氷厚と、気象・海象データの比較分析を行った。

2. 使用したデータおよび解析方法

2. 1 海氷面積・海氷厚

海氷面積の解析には、JAXA が G-Portal 経由で提供するマイクロ波放射計 AMSR-E (2002 年 6 月 1 日～2011 年 10 月 4 日) と AMSR2 (2012 年 7 月 2 日～2025 年 4 月 30 日) の Level-3 の輝度温度および海氷密接度データ (空間分解能 10km) を使用した。海氷厚は、これらのデータに基づき、Krishfield らのアルゴリズム³⁾を用いて推定した。解析範囲は図 1 に示すオホーツク海全体と北海道周辺海域である。

2. 2 流氷初日・流氷接岸初日

流氷初日および接岸初日に関する解析には、気象庁が提供する北海道の沿岸海氷観測の統計資料のうち、網走地方気象台によって目視観測された 1946 年 1 月から 2025 年 2 月の網走における観測値を用いた。

2. 3 気温・東西指数

気象庁が提供する地域平均気象データのうち、北海道オホーツク海側における月平均気温の平年差を使用した。また、冬季間のモンスーンの強さを定量的に評価する指標として、イルクーツクと根室の気圧差で計算される冬季モンスーンインデックス⁴⁾を使用した。このインデックスの計算には、欧州中期予報センター (ECMWF) が提供する ERA5 再解析データの海面更正気圧 (mean sea level pressure) を使用した。

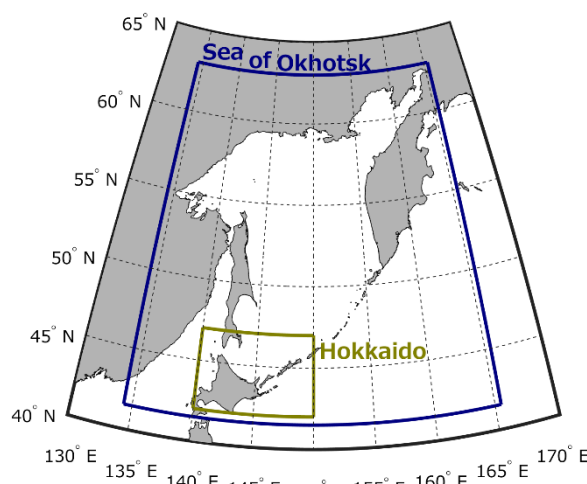


図 1 海氷面積の解析範囲。オホーツク海全体 (北緯 41.5～63.0 度, 東経 134.3～165.5 度) と北海道周辺 (北緯 42.0～47.0 度, 東経 140.0～150.0 度)。

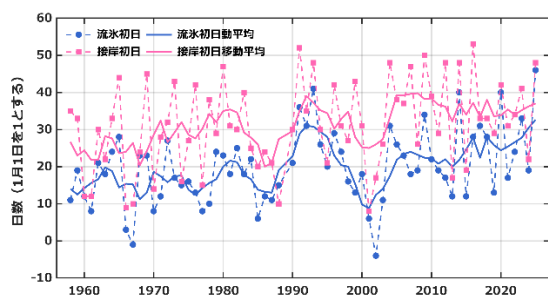


図2 網走における流氷初日・流氷接岸初日の変動。青色の点と実線は流氷初日とその移動平均，ピンク色の点と実線は流氷接岸初日とその移動平均を示す。

2. 4 海水温

海面水温については，気象庁が提供する海面水温の長期変化傾向（日本近海）データのうち，日本海北東部の月別海域平均値を使用した。

3. 結果と考察

3. 1 氷況の変動

図2に1946年1月から2025年2月の網走の流氷初日と流氷接岸初日の変動を示す。縦軸は1月1日を基準とした経過日数を表している。1990

年以前は流氷初日が1月中旬，流氷接岸初日は1月下旬に現れていたが，1990年代は2週間程度も遅い時期があり，2000年代で早い時期に回復した後，2010年代以降は流氷初日の時期が年々遅くなっている傾向がみられた。

気象庁によると，オホーツク海の海水面積は，約10年周期で最大値と最小値を繰り返す傾向がある。図3は，衛星搭載のマイクロ波放射計 AMSR-E および AMSR2 によって観測された，オホーツク海全体の海水面積の日変化，冬季最大値，および季節平均を示している。2002年から2010年にかけては最大面積に明瞭な周期的変動が認められたが，2012年以降はそのような周期性は顕著ではなく，海水面積の減少傾向も明確には確認されなかった。2025年の冬季最大面積は，2015年，2022年に次いで観測史上3番目に小さい面積を示した。

図4は，図3に示した海水面積を冬期ごとに積算したものであり，どれだけ多くの海水が，どれだけ長い期間存在したかを示している。積算海水面積は2000年代に減少傾向が見られた一方で，2010年代にはやや増加傾向を示し，全期間を通

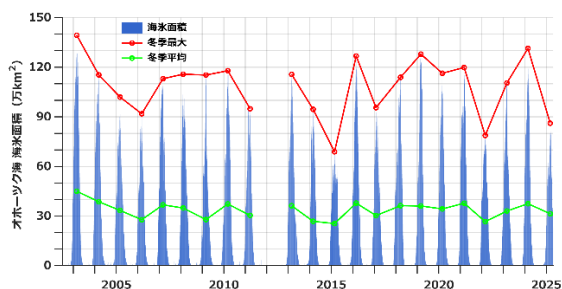


図3 オホーツク海全体の海水面積の変動。

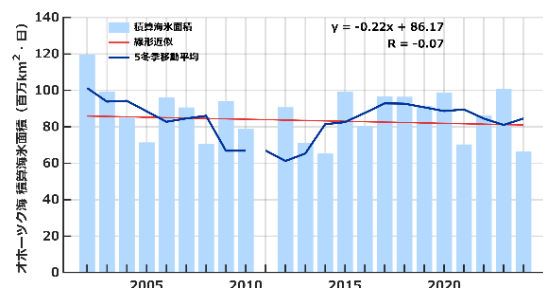


図4 オホーツク海全体の積算海水面積の変動。

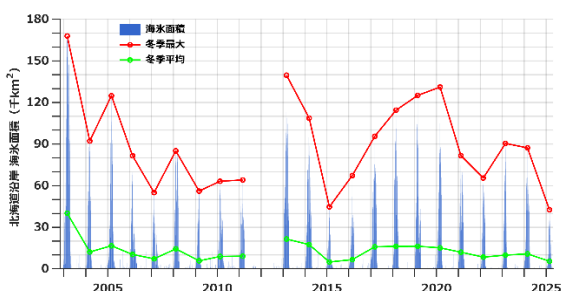


図5 北海道周辺海域の海水面積の変動

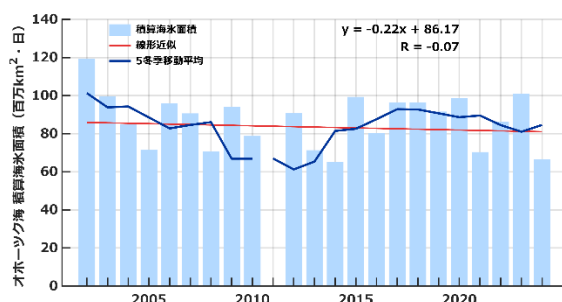


図6 北海道周辺海域の積算海水面積の変動。

じてみると概ね横ばい，あるいはわずかな減少傾向にある。2024年度の積算海水面積は，観測史上最も少なかった2014年度と同程度の水準となった。

図5および図6は，図3および図4と同様に，北海道周辺海域における海水面積の日変化，冬季

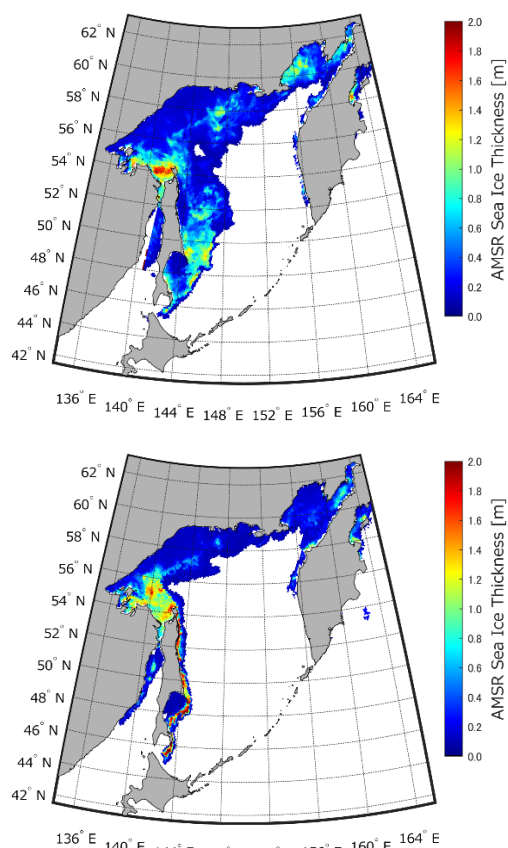


図7 1月31日の推定海氷厚の比較。
(左) 平成並みの分布を示した2020年
(右) 2025年

最大値・平均値、および積算海氷面積の年変化を示している。オホーツク海全体と同様に、冬季最大面積には周期的な変動がみられ、さらに北海道周辺ではその減少傾向がより顕著に現れていた。2025年の冬季最大面積は、過去最小を記録した2015年と同程度の低水準であった。積算海氷面積については、2000年代は減少傾向を示し、2010年代には一時的に増加傾向を示したが、2020年代に入って再び減少傾向に転じた。全期間を通して、オホーツク海全体よりも北海道周辺海域の方がより明瞭な減少傾向を示している。特に2024年度の積算海氷面積は、観測史上最も少ない値を記録した。

図7はAMSR2の輝度温度から推定した1月31日の海氷厚分布を示しており、左図は平成並みの分布を示した2020年、右図は2025年を示している。この図から、2025年は2020年に比べて南下した海氷の frontline に厚い海氷がふくまれていたものの、北緯45度から50度にかけての海域で海氷厚0.5m以上の厚い海氷がかなり少なく、南

下中に融解してしまったことが示唆された。

以上から、オホーツク海全体では海氷の冬季最大面積および積算海氷面積は約10年周期で変動

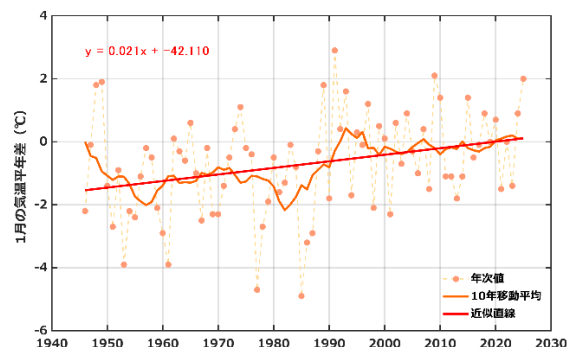


図8 北海道オホーツク海側の1月の気温の年平均差の変動。

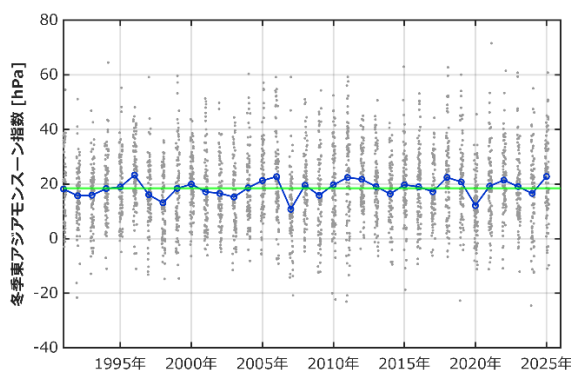


図9 冬季東アジアモンスーンデックスの経年変動。灰色点は日別値、青線は冬季平均(12月～2月)、緑線は冬季間の平年値を示している。

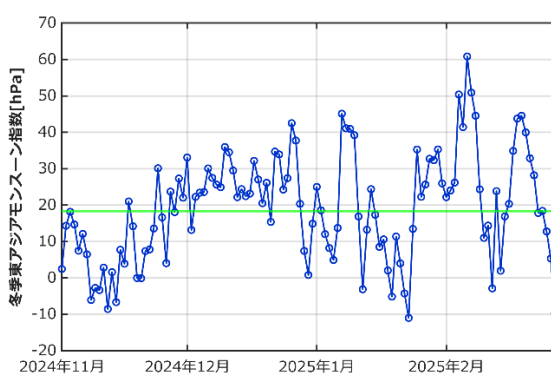


図10 2024年11月から2025年3月までの冬季東アジアモンスーンデックスの日変動。緑線は図9同様に冬季間の平年値を示している。

し、わずかに減少傾向を示していた。一方で、オホーツク海の南端に位置する北海道周辺海域で

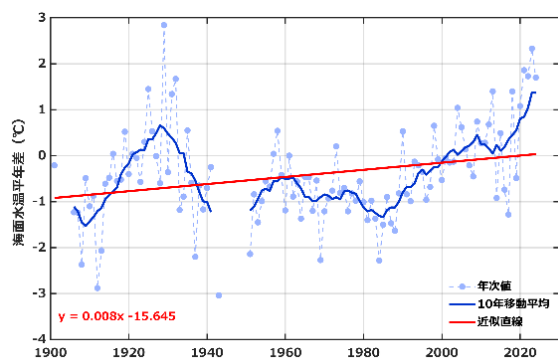


図 11 日本海北東部における海面水温の平年値からの偏差の変動。

は海氷面積の減少傾向がより明瞭に表れており、特に 2024 年度は厚い海氷の南下量が少なく、観測史上最低の積算海氷面積を示した。このような北海道に南下する海氷の弱まりが網走での流氷初日が観測史上最も遅くなった要因の 1 つであると考えられる。

3. 2 気温と海水温の変動

図 8 は、1946 年から 2025 年までの北海道オホーツク海側の 1 月の気温平年差の年ごとの変化を示している。1940 年代～70 年代前半は寒冷な傾向がみられたが、1980 年代以降は顕著に気温が上昇している。特に 2025 年 1 月の平均気温は平年を大きく上回る高い値を示した。このことが北海道沿岸海域への海氷の南下を遅らせた要因の 1 つと考えられる。

次に、2025 年 1 月の気温が高かった理由を考察する。図 9 は 1990 年 12 月から 2025 年 2 月までの冬季東アジアモンスーンインデックスの経年変化を示している。この指標の数値が大きいほど冬季モンスーンが強いことを意味している。緑線は冬季間の平年値を示しており、この解析期間では長期的な変動傾向はみられなかった。2024 年度の冬季平均値は平年よりも高い値を示し、冬季モンスーンが強かったことを示した。図 10 は 2024 年度の冬季間の冬季東アジアモンスーンインデックスの日変動を示している。2024 年度は 2 月に高い値を示したため、結果として冬季平均値が高くなったが、11 月中および 12 月末から 1 月末にかけて低い値を示し、オホーツク海での海氷生成が遅れる原因となった可能性が示唆された。

図 11 は、日本海北東部における 1901 年から 2024 年までの秋季海面水温平年差の経年変動を示している。1980 年代までは海面水温偏差は低

下傾向を示していたが、1980 年代以降は急激な上昇傾向に転じ、1980 年代半ばから 2024 年までの間に約 4℃も上昇した。2023 年秋季は観測史上 2 番目、2024 年秋季は観測史上 5 番目に高い水温偏差を記録した。夏季に温められた日本海の高温の海水は、対馬暖流によって北上し、宗谷暖流を通じてオホーツク海の北海道沿岸に流入する。これにより周囲の海域が温められ、1 月末に南下した海氷の融解を促進したことが考えられる。

4. まとめ

2024 年度は 12 月から 1 月にかけて冬季東アジアモンスーンが弱まっており、その影響でオホーツク海での海氷生成が遅れ、南下する海氷が平年よりも面積が少なく、厚さが薄かったことが考えられる。日本海北東部の海水温が年々上昇しており、宗谷暖流によって北海道沿岸に最初にやってくる海氷が融かされやすい状況が続いている。これらの要因が相まって、網走における流氷初日が最も遅くなったと推察される。

【参考文献】

- 1) 宇宙航空研究開発機構 (2025) : 2025 年 2 月地球上の海氷域面積が衛星観測史上最小値を記録。
<https://earth.jaxa.jp/ja/earthview/2025/05/20/8815/index.html> (2025 年 5 月 20 日閲覧)。
- 2) 網走地方気象台 (2025) : 網走・紋別地方海氷情報 第 1 号。
https://www.jma-net.go.jp/abashiri/shosai/seaice_report/seaice_report2025-1.pdf?utm_source=chatgpt.com (2025 年 2 月 15 日閲覧)。
- 3) Krishfield, R. A., Proshutinsky, A., Tateyama, K., Williams, W. J., Carmack, E. C., McLaughlin, F. A., and Timmermans, M.-L. (2014). Deterioration of perennial sea ice in the Beaufort Gyre from 2003 to 2012 and its impact on the oceanic freshwater cycle. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, **119**, 1271–1305.
- 4) Hanawa, K., Watanabe, T., Iwasaka, N. and Suga, T. (1988): Surface thermal conditions in the western North Pacific during the ENSO events. *Meteor. Soc. Japan*, **66**, 445–456.

知床ウトロ沿岸における海水密接度の予測と精度検証

Prediction and accuracy evaluation of sea ice concentration along the Utoro coast of the Shiretoko Peninsula

吉田 彩乃¹, 舘山 一孝²

Ayano Yoshida¹, Kazutaka Tateyama²

Corresponding author: m3255200340@std.kitami-it.ac.jp (A.Yoshida)

¹北見工業大学大学院 工学研究科, ²北見工業大学 地球環境工学科

¹ Graduate School of Engineering, Kitami Institute of Technology

² School of Earth, Energy and Environmental Engineering, Kitami Institute of Technology

This study aims to develop and validate a prediction model for sea ice concentration along the coast of Utoro, Shiretoko Peninsula, based on meteorological forecast data and satellite observations. As the extent and duration of sea ice in the Sea of Okhotsk have been declining in recent years, local tourism activities such as drift ice walks are significantly affected. By analyzing the correlation between wind components and ice concentration using AMeDAS, MSM, and AMSR2 data, and constructing a Random Forest model, we achieved a prediction accuracy of 78.18% in determining whether sea ice concentration exceeds 80%, which is the threshold for safe tourism operations.

1. はじめに

近年、オホーツク海における流氷の面積および結氷期間の減少が報告されており、地域の自然環境や観光資源への影響が懸念されている。中でも、図2に示す、北海道の知床半島西岸に位置するウトロ地域では、流氷ウォークと呼ばれる冬季観光アクティビティが盛んであり、地域経済において重要な役割を果たしている。流氷ウォークの実施状況は流氷の位置・状態と気象条件に依存している。特に沿岸部では変化が激しく、それに伴い実施可否や場所が変わる。

そこで、本研究では、知床連山とオホーツク海の影響を強く受けるウトロにおいて、流氷ウォー

(気象庁, 2024)

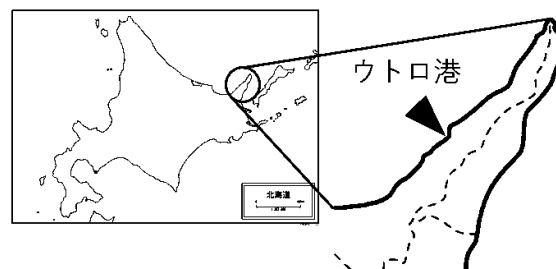


図2 知床半島ウトロの位置

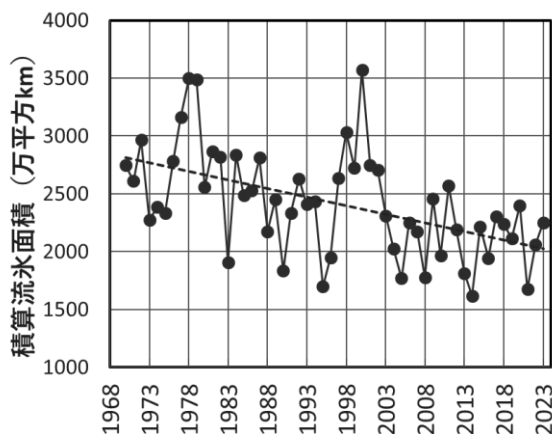


図1 オホーツク海の積算流氷面積の変動

クに適した流氷動態(接岸～定着～離岸)の予測を行うことで観光アクティビティに役立つ情報を提供し、地域貢献を図ることを目的とする。

流氷動態の予測手法を考案するために、流氷に影響を及ぼす気象条件を明らかにし、沿岸部における風と流氷の相関を求める。それらから導かれた条件をもとに、39時間前風予報から沿岸の海水密接度を予測し、精度検証を行う。

2. 使用データ

本研究では、知床半島ウトロ沿岸における海水密接度および気象条件に関する複数の観測・予測データを用いた。解析期間は、現地の氷況データが存在する2022年から2025年の各年1月から3月までと設定した。ウトロ周辺の海水密接度は、

現地で流氷ウォークを実施しているゴジラ岩観光より提供されたカメラ画像を用いて目視判別により求めた。海上保安庁の11段階密接度指標に従ってカメラ画像から海氷密接度の判定を行った。このとき、幌別エリアでは、密接度8以上が流氷ウォーク実施の目安とされている。

沖合の海氷密接度は、JAXAが提供するGCOM-W衛星に搭載されたマイクロ波放射計AMSR2による空間分解能10kmの海氷密接度と、空間分解能2.5kmの高解像度海氷密接度を用いた。高解像度海氷密接度は、高解像度輝度温度データからASIアルゴリズム(The ARTIST Sea Ice Algorithm)²⁾を適用して算出した。対象範囲は緯度44.0~44.3°N、経度144.5~145.5°Eに設定した。

気象データは、実測風および予報風の2種類を使用した。実測風は、気象庁が提供するアメダス宇登呂地点(緯度44.0617°N、経度144.9694°E)における地上風の日平均および日最大風速・風向データを用いた。予報風には、京都大学生存圏研究所が提供する数値予報モデルMSM-S(メソスケールモデル)に基づく地上風の39時間前予報値を使用した。このMSM風データは5km格子で提供され、流氷に作用する代表的な西風成分を抽出するため、風速と風向の合成から西風寄りの成分を求めた。

また、流氷への影響が大きい日の気象条件を把握するため、気象庁より公開されている天気図³⁾を用いて比較を行った。

流氷の接岸・離岸が頻繁に起こる1月から3月の期間を解析することで、沿岸および沖合における密接度の変動と風との関係を定量的に把握し、予測モデル構築のための学習データとした。なお、沿岸目視判別用の画像は日単位で収集され、AMSR2およびMSMデータと時系列的に整合をとって解析を行った。

3. 解析手法と結果

3.1 海氷密接度と風の相関分析

本研究では、ウトロ沿岸における海氷密接度と気象条件の関係を把握するため、2022年2月の期間において、目視で判定された沿岸海氷密接度とアメダス宇登呂地点で観測された地上風との相関を分析した。分析にあたっては、日平均風速・風向から西風成分(270°に向かう成分)を抽出し、相関係数を計算した。その結果、図3より、西風成分と沿岸の海氷密接度の間に正の相関($R=$

0.70)が確認された。

西風成分・北西風成分・北風成分と海氷密接度の相関を比較した際には、沿岸の海氷密接度と最も高い正の相関を示したのは西風成分ということが確認された。

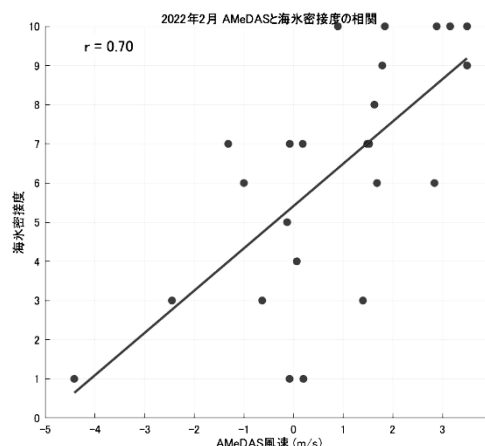


図3 アメダス宇登呂地点で観測された地上風の西風成分と海氷密接度の相関図

また、流氷動態の変化が大きかった期間を天気図と比較した結果は、2022年2月の複数の期間において、沖合では東風による離岸傾向と西風による接岸傾向を確認した。東風による離岸傾向があるときは日本海において低気圧の停滞がみられ、西風による接岸傾向があるときは冬型の気圧配置がみられた。

よって、強い西風成分が寄与することで知床半島が流氷をせき止める役割を果たし、ウトロ側では接岸傾向を示すと考えられ、風予報の西風成分から概ね流氷動態の予測が可能であることが分かった。

3.2 アメダス・MSM・海氷密接度の関係

入手した期間におけるアメダス・MSM・沿岸の海氷密接度の推移のデータ比較・検討を行った。

アメダスのデータとして、日平均風速と日最大風向から算出した西風成分と、日最大風速と日最大風向から算出した西風成分のどちらがより適切か比較した結果、日最大風速と日最大風向から算出した西風成分の方が海氷密接度とグラフの山と谷が一致していることから、より適切だと分かった。

次に、アメダス・MSM・沿岸の海氷密接度・沖合の海氷密接度の推移の比較を行った。その結果を図4に示す。1月や3月末のウトロ近海の沖合に

海氷が無い時期に、西風が作用しても接岸しないことから、その期間のデータによって風と海氷密接度の相関の低下を招いていることが判明し、対策として、閾値を設ける必要があることが分かった。

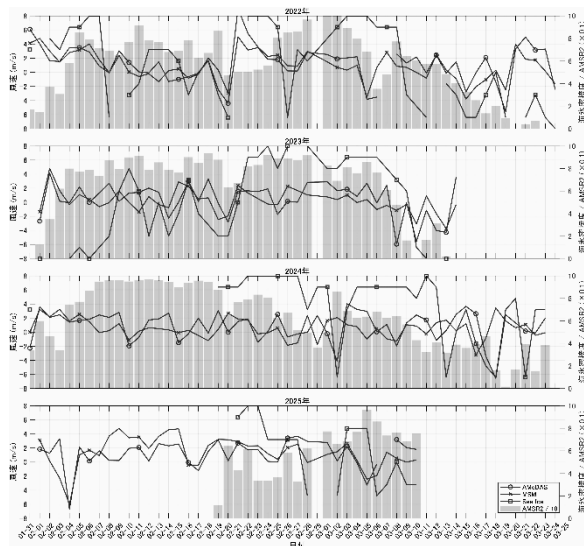


図4 アメダス実測風とMSM予測風、沿岸のAMS2高解像度海氷密接度、沖合の目視海氷密接度の推移

閾値の設定による効果を確認するために、データ選別のための閾値を2種類設定した。まず、海氷密接度が7以上の日が2日以上連続した場合、2日目以降のデータを除外することで、流氷がすでに接岸した状態に依存する観測値の影響を抑えたケースを閾値A、沖合の海氷密接度が10%未満である日は除外することで、接岸の可能性がそもそも低い日を排除したケースを閾値Bと設定した。閾値を設けたデータで送還を求めたところ、海氷密接度とアメダス地上風の西風成分の相関係数はさらに上昇し、予測精度の基礎となるデータが整備された。

3.3 閾値探索と機械学習モデルの構築

AMS2（沖合密接度）およびMSM（予報風）の2変数に対し、それぞれ10段階の閾値を設定し、合計で2057通りの閾値組み合わせをランダムに生成した。それぞれの組み合わせについて、「沿岸密接度8以上か否か」の判別正答率を計算し、正答率60%以上を達成した組み合わせのうち、上位30件を抽出して、機械学習モデルの学習用データとした。

予測モデルの構築にはランダムフォレスト(Random Forest)を用いた。教師データとしては、AMS2 閾値、MSM 西風成分、日付情報を用い、目的変数として密接度8以上か否かを二値分類させた。モデルの評価にはトレーニングとテストを7:3に分割して使用し、テストデータにおける最終的な正答率は78.18%を示した。

4. まとめと今後の課題

本研究で構築したモデルは、比較的シンプルな構造でありながら、沿岸流氷の接岸有無を78%以上の精度で予測することができた。これは、観光事業者が流氷ウォーク実施判断を行う上での有効な補助情報となる可能性があることを示した。

一方、実際の観光現場で活用されるには、以下のような改良が必要である。まず、入力データに気温・潮流・波浪などを加えることで、より正確な予測が可能となる。

また、地上風や海氷密接度の時間的変化を扱える時系列モデルの導入も今後の検討課題である。深層学習を用いることで、非線形な時間変化や遅延応答にも対応できる可能性がある。

【参考文献】

- 1) 気象庁 (2024): 海洋の健康診断表 海氷域面積の長期変化傾向 (オホーツク海), https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/shindan/a_1/series_okhotsk/series_okhotsk.html [閲覧: 2024年8月16日]
- 2) G. Spreen, L. Kaleschke, and G. Heygster. (2008): Sea ice remote sensing using AMSR-E 89GHz channels. *Journal of Geophysical Research*, **113**:C02S03, 2008.
- 3) 気象庁 (2022): 天気図【全号まとめ】 - 国立国会図書館デジタルコレクション 天気図令和4年2月 日本域地上天気図, <https://dl.ndl.go.jp/pid/12899809>

サロマ湖における結氷面積と湖水厚の変動 Fluctuations in ice cover and thickness in Saroma-ko lagoon

野原 大我¹, 舘山 一孝²

Taiga Nohara¹, Kazutaka Tateyama²

Corresponding author: m3255200222@std.kitami-it.ac.jp (T. Nohara)

¹ 北見工業大学大学院 工学専攻, ² 北見工業大学大学院 地球環境工学科

¹ Graduate School of Engineering, Kitami Institute of Technology,

² School of Earth, Energy and Environmental Engineering, Kitami Institute of Technology

In Saroma-ko lagoon, both the number of fully ice-covered days and the ice-covered period are decreasing. This study aims to clarify changes in ice area and lake ice thickness using observational data and assess potential impacts on local fisheries under future climate change. Using the Landsat satellite imagery from 1973 to 2025, we investigated long-term changes in ice coverage, spatial distribution of ice thickness, and their relationship with accumulated freezing degree-days. Our results indicate that full ice cover typically occurs after mid-February, with the eastern part of the lagoon, which freezes earlier, tended to have thicker ice than the western part. Since 2006, the frequency of ice-free years has increased, accompanied by a continued decline in both the number of freezing days and average ice thickness.

1. はじめに

近年, 地球温暖化による地球の環境の変化が深刻な問題として取り上げられている. 地球温暖化の進行に伴い高緯度地域での海水や湖沼の融解が進行しており, 結氷期間の短縮や氷厚の低下が顕著に観測されている¹⁾. サロマ湖は北海道東部に位置する汽水湖であり(図1), 2つの湖口を通じてオホーツク海と接続しているため, 湖水は外洋と類似した塩分を呈している. サロマ湖は日本有数のホタテガイの養殖地であり, 水産業は地域経済を支える重要な基幹産業である. 近年, サロマ湖においても全面結氷開始日が遅くなり, 全面結氷期間が減少していることが報告されている²⁾. しかしながら, サロマ湖の結氷特性に関する実測データに基づく詳細な分析は依然として不足しており, 今後の気候変動の進行に伴う水産業への影響についても明らかになっていない. そのため, 衛星観測による定量的な結氷面積の長期モニタリング³⁾と実測氷厚データを用いた解析が重要となる. 本研究の目的は, サロマ湖の結氷面積や湖水厚の変動を実測データの無い過去に遡って調べるために, 衛星データや気象データを用いることでサロマ湖の結氷面積や湖水厚の経年変化を明らかにすることである.

2. 使用データ

本研究ではサロマ湖の結氷状況および気象に

関する複数の観測データを用いた. 結氷面積に関しては, アメリカ地質調査所が提供する1973年から2025年までのLandsat衛星画像を用いて解析を行った. 全面結氷日および解氷日は, 1960年から2020年の期間において, サロマ湖漁業協同組合による目視観測データを用いた. 湖水厚については, 2013年から2025年の期間に北見工業大学によって観測された実測値を使用した. 日平均気温に関しては, 1978年から2025年の気象庁アメダスデータを用いた. 観測月は, Landsatによる結氷面積は1月から3月, 全面結氷・解氷日は12月から4月, 湖水厚は2月から3月, 気温は9月から3月までである. サロマ湖での湖水厚の観測は1km間隔で行われた. 日平均気温についてはサロマ湖付近にある3地



図1 サロマ湖の位置

点のアメダスを使用した。

3. 解析手法と結果

3. 1 結氷面積の算出

サロマ湖における 1973～2025 年までの結氷面積の変動は、Landsat を用いて算出された。Landsat のバンド 4 (B4:0.76～0.90 μm) とバンド 5 (B5:1.55～1.75 μm) から NDWI (Normalized Difference Water Index) を計算することで、結氷部分と未結氷部分を区別した。NDWI 画像とは水体の検出に特化したリモートセンシングの指標の一つであり、主に衛星画像や航空写真を使って湖・川・湿地などの水域を明瞭に抽出するために用いるものであり⁴⁾、次式から求められる。

$$NDWI = \frac{B4 - B5}{B4 + B5} \quad (1)$$

NDWI の画像例を図 2 に示す。サロマ湖内の色の明るい部分が未結氷部分であり、図中の赤い枠で囲っている部分が結氷部分である。作成した NDWI 画像に Otsu 法を適用することで湖内の結氷面積を求めた⁵⁾。Otsu 法とはヒストグラムのクラス間分離度が最大になるときの閾値を求めることにより自動で閾値を設定する手法である。閾値が妥当か確認を行うにあたってサロマ湖が全面結氷した年を Otsu 法で解析し、サロマ湖の面積と一致するかを見ることで妥当性を検証し、その後すべての年に適用して結氷面積を算出した。結氷面積の変動を表したものを図 3 に示す。図の赤い点が 1 月中旬の結氷面積であり、青い点が 2 月中旬の結氷面積である。図の破線を上回った場合に全面結氷とした。また、点のない年は晴れた日の衛星画像を入手できなかったため結氷面積を算出できなかった年である。図 3 からサロマ湖は 2 月中旬以降に全面結氷をすることが多いことがわかる。また、2006 年ごろからは全面結氷しない年が増加していることが分かった。

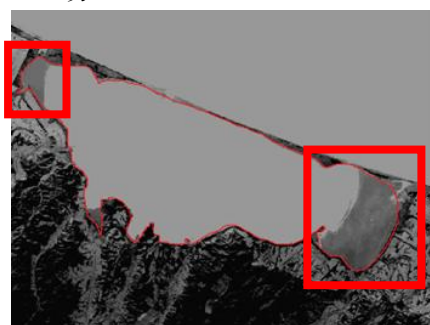


図 2 Landsat の NDWI 画像 (2025 年 2 月 23 日)

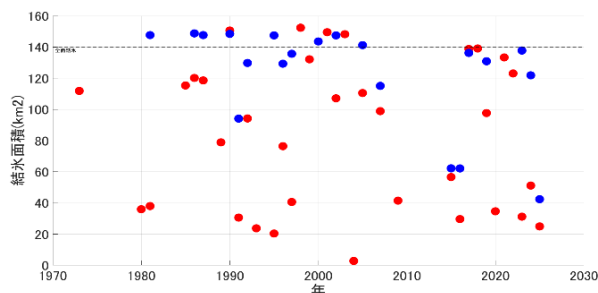


図 3 1973～2025 年の結氷面積の変動

青線：全面結氷面積

赤点：1 月中旬の結氷面積

青点：2 月中旬の結氷面積

3. 2 湖氷厚の分布

2013～2025 年のサロマ湖での実測データを用い、湖氷厚分布図を作成した。サロマ湖での湖氷厚の観測は 1km 間隔で行われており、最大で約 140 地点を観測した 2013 年の分布図を代表例として図 4 に示す。この図からサロマ湖は西部で湖氷が薄く、東部では湖氷が厚い傾向があることが分かった。湖氷厚の分布に差が出た原因として、結氷初期にフラジルアイスなどの新成氷が風の影響を受けて風下側に輸送される効果が考えられる。気象庁のアメダスから佐呂間の風向・風速を調べた結果を図 5 の風配図に示す。ここでは代表例としてサロマ湖北西部の佐呂間アメダスの結果を示している図 5 から風速 7m 以上の強い風が発生する場合は西方向からの風であることが多く、この風によって湖の東部に新成氷が輸送されることで東部が早く結氷し、湖氷が厚くなり湖内での湖氷厚に差が出ると考えられる。

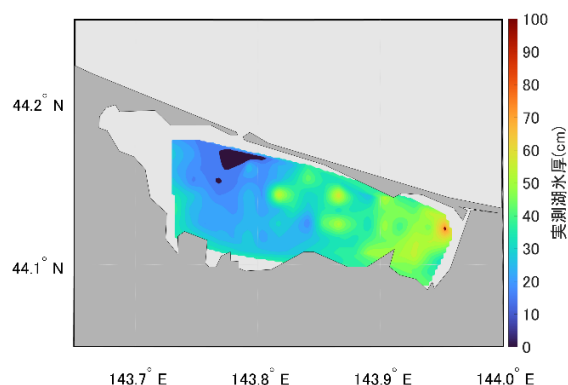


図 4 サロマ湖の湖氷厚の分布

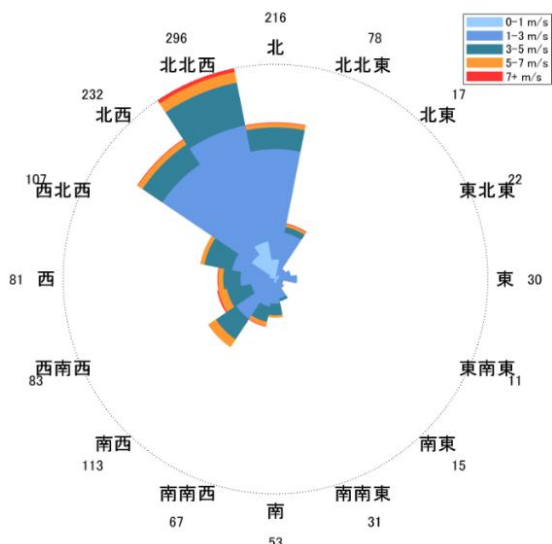


図5 佐呂間アメダスから作成した風配図

3. 3 積算寒度と湖氷厚の変動

気象庁のアメダスから入手した日平均気温を用いて1978～2025年までの積算寒度を算出した。積算寒度とはある期間にわたっての気温の低さの蓄積を表す指標であり、海水の結氷温度である -1.8°C 以下の日平均気温を積算したものである。その後、サロマ湖での現地観測を行った2013～2025年のすべての年で共通していた7地点（以降、共通観測地点と称す）を用いて各地点の氷厚係数を算出し、積算寒度を用いて過去の湖氷厚の変動を推定した。

湖氷の表面温度を $T (^{\circ}\text{C})$ と定義する。 T はサロマ湖湖水の結氷点を -1.8°C と仮定し、結氷点を基準して負の方向に測った氷温を意味する。積算寒度は $\Sigma T (^{\circ}\text{C}\cdot\text{day})$ で表される。氷の表面温度の代わりに日平均気温 $T' (^{\circ}\text{C})$ を用いた $\Sigma T'$ を計算することで、湖氷厚 $I (\text{cm})$ の近似解が得られる⁶⁾。

氷厚係数 $\mu (\text{cm}/(^{\circ}\text{C}\cdot\text{day})^{1/2})$ とは氷の成長のしやすさを表しており、氷の熱伝導率を k 、氷の融解潜熱を l 、密度を ρ_i とすると(2)式で定義される⁶⁾。

$$\mu^2 = \frac{2k}{l\rho_i} \quad (2)$$

μ と $\Sigma T'$ から I は、(3)式で求めることができる⁶⁾。

$$I^2 = \mu^2 \int_0^t T' dt \quad (3)$$

現地で k や ρ_i を実測して μ を観測することは困難であるため、本研究では(3)式を用いて実測氷厚 $I_i (\text{cm})$ とアメダスの日平均気温データから計算した $\Sigma T'$ を用い、各共通観測地点における推定氷厚係数 μ' を求めた。

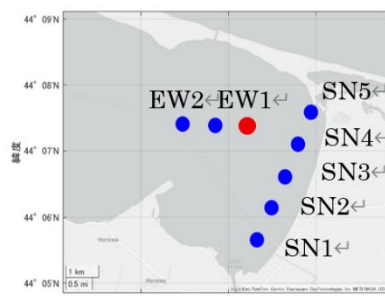


図6 2013年から2025年の共通観測地点

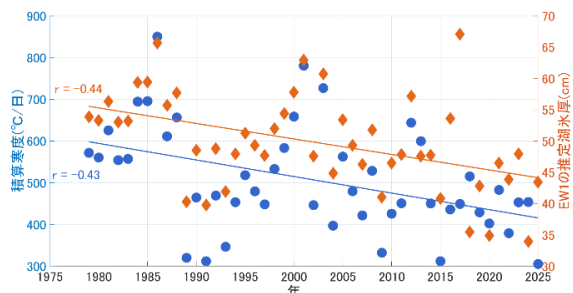


図7 積算寒度 $\Sigma T'$ (青点) と推定湖氷厚 I_e (赤点) の変動

(3)式で求めた地点ごとの μ' と過去のアメダス気温データから $\Sigma T'$ を用いることで、実測データのない1978～2012年までの推定湖氷厚 $I_e (\text{cm})$ を推定した。共通観測地点のうちEWにおける $\Sigma T'$ と I_e の経年変化を図7に示す。 $\Sigma T'$ は約14年周期で増減を繰り返す、期間全体を通じて減少傾向を示していた。 $\Sigma T'$ の変化に伴い、 I_e も周期性と減少傾向を示した。

4. まとめと今後の課題

本研究ではLandsat衛星画像から結氷面積の算出し長期間の結氷面積の変動を調査した。現地観測データを基に得られた氷厚係数と、日平均気温から計算した積算寒度を用いて、過去の湖氷厚の変動を推定した。その結果、全面結氷年の減少と積算寒度の減少に伴う推定湖氷厚の薄氷化が確認された。

今後の課題として、より正確にサロマ湖の結氷面積と湖氷厚の変動を調べるために、過去に取得されたサロマ湖湖水の塩分や積雪分布データを活用する。また、日平均気温を用いた積算寒度からだけでは湖氷厚推定に正確性に欠けるため、熱収支など他の要素を加えた解析を行うことでより信頼性の高い解析を行うことを目指したい。

【参考文献】

- 1) Field, C.B., Barros, V.R., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D. (2014) : Technical Summary. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. *Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 46.
- 2) サロマ湖養殖漁業協同組合 (2025) : 結氷状況.
<https://saromako.org/data/index.php> (2024 年 8 月 10 日閲覧)
- 3) 舘山一孝, 榎本浩之 (2011) : 衛星リモートセンシングによるサロマ湖の結氷状況の推定とその経年変化. 土木学会論文集 B3 (海洋開発), **67**(2), I_727-I_731.
- 4) Gao, B. C. (1996) : NDWI – A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water From Space. *Remote Sensing of Environment*, **58** (3), pp. 257–266
- 5) マクセルフロンティア株式会社 (2021) : 2 値化(大津の 2 値化).
<https://www.frontier.maxell.co.jp/blog/posts/4.html> (2025 年 5 月 3 日閲覧)
- 6) 福富孝治, 楠宏, 田畑忠司 (1950) : 海氷の研究 (第 6 報) : 海氷の厚さの増加について, 低温科学, **3**, 171-186.

公益社団法人日本雪氷学会北海道支部 2024 年度事業報告

1. 支部総会の開催

定時支部総会

開催形式：対面方式

開催日時：2024 年 5 月 31 日(土) 10:00~10:30

開催場所：北海道大学 学術交流会館 第 1 会議室

主要議題：(1) 2023 年度事業報告・収支決算報告・監査報告
(2) 2024 年度事業計画・収支予算の承認に関する件
(3) 2024 年度支部役員の選出に関する件について

出席者：24 名 賛成：24 名

2. 理事会の開催（全 4 回）

第 1 回

開催形式：対面方式

開催日時：2024 年 5 月 31 日(土) 10:45~11:30

開催場所：北海道大学 学術交流会館 第 1 会議室

主要議題：2024 年度 評議員・顧問の確認・承認

第 2 回

開催形式：ハイブリット方式

開催日時：2024 年 7 月 25 日(木) 15:30~17:30

開催場所：札幌市立大学会議室・オンライン(Zoom)

主要議題：(1) 支部研究発表会の総括
(2) 雪氷災害調査チームの活動について
(3) サイエンスパーク 2024 の参加について
(4) 今後の各理事の業務分担について
(5) 2026 年雪氷研究大会の開催都市について 他

第 3 回

開催形式：オンライン方式

開催日時：2024 年 12 月 3 日(木) 15:30~17:30

開催場所：オンライン(Zoom)

主要議題：(1) 「北海道の雪氷」の発刊準備状況
(2) 雪氷賞授賞者（候補者）の選定について
(3) 2024 年度地域講演会実施について
(4) 研究発表担当理事の兼任について
(5) 次期支部長候補の推薦について
(6) 理事体制の見直しについて
(7) 来年度の理事の後任について
(8) 業務の合理化、外注可能性について
(9) 北海道雪氷賞のあり方について、 他

第 4 回

開催形式：オンライン方式

開催日時：2025 年 3 月 6 日(木) 15:30~17:00

開催場所：オンライン(Zoom)

- 主要議題：(1) 2025 年度の総会、研究発表会について
(2) 2025 年度役員案について
(3) 支部 HP の運営および管理について
(4) 北海道の雪氷・北海道雪氷賞について
(5) 2025 年度地域講演会について
(6) 庶務作業の一部外注化について
(7) 2026 年度北見大会について 他

3. 顧問・評議会の開催

開催方式：対面方式
開催日時：2024 年 5 月 31 日(土) 11:30~12:00
開催場所：北海道大学 学術交流会館 第 1 会議室
主要議題：今年度の北海道支部の活動予定について

4. 研究発表会の開催

開催形式：対面方式
開催日時：2024 年 5 月 31 日(金) 13:00~17:15
2024 年 6 月 1 日(土) 9:15~14:45
開催場所：北海道大学 学術交流会館 第 1 会議室および小講堂
発表件数：32 件
参加者数：117 名（うち報道機関 7 名）

5. 北海道雪氷賞の表彰と選考

・2024 年度の北海道雪氷賞を、「北海道の雪氷(第 43 号)」の投稿論文または支部活動への貢献者を対象として選考し、以下の受賞者を決定。2025 年 1 月 10 日に支部 HP に掲載。

【北の風花賞】

受賞者：張 佳晏氏（北海道大学低温科学研究所・北海道大学環境科学院）
論文名：「アラスカ南東部タク氷河が前進から後退に転ずる時期の氷河末端位置と流動速度の変化」

【北の六華賞】

受賞者：千葉 隆弘氏（北海道科学大学工学部）
論文名：「北海道における雪による人身事故の発生状況について
－ 2020 寒候年以降における事故の発生状況と拡大要因に関する分析－」

【北の蛍雪賞】

受賞者：苫米地 司氏（北海道科学大学）
受賞名：「建築物と雪害に関する研究の発展ならびに支部活動への貢献」
受賞者：松岡 直基 氏（北海道気象技術センター）
受賞名：「雪氷災害に対する研究の発展ならびに防災活動への貢献」

6. 機関誌「北海道の雪氷」

○43 号の刊行

発刊日：2024 年 9 月 2 日
掲載論文数：32 件
発刊の形態：冊子体および電子媒体として支部ホームページ上に掲載

○国立国会図書館への納品

37-39 号、41-42 号、43 号の各 1 冊

7. 社会貢献事業

○雪氷災害調査チームの活動

- ・第32回講演会「雪崩から身を守るために」の開催
開催日：2024年10月26日(土)
参加者：450名
開催場所：北海道大学 高等教育推進機構 大講堂（札幌市）
主催：北海道大学体育会山スキー部、日本雪氷学会北海道支部、雪崩事故防止研究会
- ・プレシーズンミーティングの開催
開催日：2024年10月26日(土)
参加者：15名
開催場所：北海道大学 高等教育推進機構 N1 講義室
内容：チームの体制、活動報告、今後の予定
- ・雪氷災害調査チーム記者会見（2024年度雪氷災害調査チームの活動について）
開催日時：2024年11月18日(月)
開催場所：北海道庁 道政記者クラブ（札幌市）
出席者：4名（立本、尾関、塚原、原田）
- ・出動訓練研修会
開催日時：2024年12月4日(水)
参加者：12名
開催場所：札幌国際スキー場（札幌市）
- ・北海道内で発生した雪崩事故の情報収集（出動なし）
2月18日トマムスキー場（従業員1名負傷）
2月20日キロロ992（外国人1名負傷）
- ・利尻山雪崩事故およびバックカントリースキーでの事故防止啓蒙関連の報道対応
対応者：原田理事
対応日と対応相手：2月5日 北海道新聞（掲載なし）
2月5日 朝日新聞（2月6日掲載）
2月17日 日本経済新聞（2月24日掲載）
- ・第16回研修会（オフシーズンミーティングおよびフィールド研修）
開催日時：2025年4月2(水)～3(木)
参加者：オフシーズンミーティング：現地11名，オンライン3名
フィールド研修：13名
開催場所：蘭越町幽泉閣およびニセコ旧チセヌプリスキー場

○雪氷教育等

- ・サイエンスパークへの参加
主催：北海道、地方独立行政法人北海道立総合研究機構（道総研）、北海道大学
対象：小学生
会場体験プログラム
開催日：2024年8月9日(金)

場 所：北海道大学 高等教育推進機構（札幌市）

内 容：体験教室「雪の結晶を作ろう」

参加者：19 人

8. 支部ホームページの更新とメーリングリストの運営

- ・各種イベント（研究発表、主催・後援行事など）の告知
- ・「北海道の雪氷」公開
- ・メーリングリスト（hokkaido@seppyo.org）による会員への情報発信
- ・支部ホームページの移行の検討

9. 北海道支部地域講演会

テ ー マ：「北海道の交通と雪に関する寒冷技術」

開 催 日：2024 年 10 月 26 日（土）

参 加 者：24 名

開催場所：理研興業株式会社 本社（小樽市）

主 催：日本雪氷学会北海道支部

共 催：小樽市総合博物館

後 援：小樽市

10. 雪氷関連行事の共催・後援・協力・監修（研究成果普及事業）

【後援】

- ・第 11 回 紋別わくわく科学教室

開 催 日：2024 年 7 月 14 日（日）

参 加 者：1471 名

開催場所：北海道立オホーツク流水科学センター（紋別市）

主 催：北海道立オホーツク流水科学センター

- ・山岳研究発表会 「北海道の山岳研究 ―日本国内の極域環境変化―」

開 催 日：2025 年 3 月 1 日（土）

参 加 者：150 名（会場参加：52 名、オンライン参加：83 名、発表者・主催者：15 名）

開催場所：北海道大学地球環境科学研究所 大講義室（札幌市）、オンライン（Zoom）

主 催：岩花 剛（北海道大学・アラスカ大）・曾根敏雄（氷河・雪氷圏環境研究舎）・
白岩孝行（北海道大学）

公益社団法人日本雪氷学会北海道支部 2025 年度事業計画

1. 支部総会の開催

開催日時：2025 年 5 月 23 日（金）
開催場所：かでの 2・7 520 号研修室
主要議題：(1) 2024 年度事業報告・収支決算
(2) 2025 年度事業計画案・収支予算案
(3) 2025 年度支部役員について

2. 理事会の開催

第 1 回 理事会

開催日時：2025 年 5 月 23 日（金）
開催場所：かでの 2・7 520 号研修室
主要議題：(1) 理事の役割分担の確認
(2) 評議員・顧問の選出
(3) 今年度の支部活動について 他

上記を含み年 3～4 回開催する。

3. 顧問・評議員会の開催

開催日時：2025 年 5 月 23 日（金）
開催場所：かでの 2・7 520 号研修室
主要議題：2025 年度の雪氷学会北海道支部の活動予定について

4. 研究発表会の開催

開催場所：かでの 2・7 520 号研修室
開催日時：2025 年 5 月 23 日（金）～5 月 24 日（土）

5. 北海道雪氷賞の表彰および選考

- ・2024 年度に選考された北海道雪氷賞の受賞者の表彰を行う。
- ・北海道における雪氷研究の活性化のために、「北海道の雪氷（第 44 号：2025）」での投稿論文または支部活動への貢献者を対象として北海道雪氷賞の選考を行う。
- ・表彰選考委員会、選考基準、受賞者の決定、授章は、支部表彰規程に従う。

6. 機関誌「北海道の雪氷」44 号の刊行

- ・冊子体の有料化を継続する一方、電子媒体として支部ホームページ上に掲載する。

7. 社会貢献事業

7-1 雪氷災害調査チームの活動

- ・第 33 回講演会「雪崩から身を守るために」
- ・プレシーズンミーティングの開催
内 容：実技研修、ミーティング

- ・ 記者会見（雪氷災害調査チームの活動について）
- ・ 出動訓練研修会の開催
- ・ 雪崩災害への随時対応（雪崩事故調査、必要に応じて記者会見、啓蒙活動）
- ・ 第17回研修会（オフシーズンミーティング）
内 容：実技研修、ミーティング
※いずれも時期、開催場所は未定

7-2 雪氷教育等

- ・ サイエンスパークへの参加
開催日：2025年8月6日(水)
場 所：北海道大学 高等教育推進機構（札幌市）
内 容：体験教室「雪の結晶を作ろう」（前年度と同形式）

8. 支部ホームページの運営

- ・ 支部活動の紹介や支部関連イベントなどの会員向け情報（総会や講演会、研究発表会、雪氷災害調査チームの活動報告など）を支部ホームページに掲載し、メールマガジンリスト(hokkaido@seppy.org)を使って会員に通知する。
- ・ その他、雪氷関連情報の提供
- ・ 支部ホームページの移設

9. 地域講演会の開催

- ・ テー マ：カーリングホールのアイスメイキング技術と競技への影響（仮）
- ・ 開催時期：9月末～11月初旬
- ・ 会 場：北見工業大学、アルゴフラフィクス北見カーリングホール（北見市）

10. 雪氷関連行事の共催・後援（研究成果普及事業）

- ・ 研究成果普及事業の一環として、他分野や他組織による雪氷関連行事を共催または後援する。

【後援】（予定）

- ・ 第12回 紋別わくわく科学教室
開催日時：2025年7月20日（日）
場 所：北海道立オホーツク流水科学センター
内 容：教育関係者や研究機関、大学関係者のブース出展

公益社団法人日本雪氷学会 北海道支部 2024 年度収支報告

雪氷災害調査

2024 年度予算

2024 年度決算

収入			700,000	700,000	
資産勘定(雪氷災害調査基金)からの繰入			0	0	
寄附金			700,000	700,000	
前期繰越金			0	0	
支出			事業費 計	700,000	257,733
1 調査・研究	調査	雪氷災害調査	700,000	257,733	
		旅費交通費	450,000	117,135	
		通信運搬費	20,000	0	
		消耗品費	120,000	96,598	
		印刷費	70,000	0	
		会議費	0	0	
		保険料	20,000	0	
		謝金	20,000	0	
		振込手数料	0	0	
		委託費	0	44,000	
収支差額			0	442,267	

北海道支部研究発表会・支部表彰ほか

2024 年度予算

2024 年度決算

備考

収入合計			130,000	4,300	
当期収入			130,000	4,300	
事業収入 雑収入	会場費		130,000	0	
	受取利息		0	0	
	寄付金		0	0	
	その他		0	4,300	機関誌(バックナンバー)販売
支出合計			423,440	356,531	
事業費			347,940	356,323	
1 調査・研究	調査	雪氷災害調査	前表参照	前表参照	
	2 研究会研修会	研究発表会	北海道支部研究発表会・支部表彰	134,000	213,680
		研修会等	北海道支部講演会	35,000	5,534
		普及・啓発	雪氷教育ほか	26,000	8,354
		褒賞	北海道雪氷賞	22,440	9,900
	3 出版事業	支部等機関誌	北海道支部機関誌	130,500	118,855
		その他出版物		0	0
管理費			75,500	208	
	事務局費		55,000	0	
	会場費		19,500	0	
	支払手数料		1,000	0	
	雑費		0	208	切手購入
収支差額			-293,440	-352,231	

公益社団法人日本雪氷学会 北海道支部 2025 年度予算

雪氷災害調査

2025 年度予算

2025 年度決算

備考

収入				700,000	
資産勘定(雪氷災害調査基金)からの繰入				0	
寄附金				700,000	
前期繰越金				0	
支出				事業費 計	700,000
1 調査・研究	調査	雪氷災害調査		700,000	
		旅費交通費		450,000	
		通信運搬費		10,000	
		消耗品費		30,000	
		印刷費		30,000	
		会議費		0	
		保険料		20,000	
		謝金		0	
		振込手数料			
		委託費		160,000	
収支差額				0	

北海道支部研究発表会・支部表彰ほか

2025 年度予算

2025 年度決算

備考

収入合計				0	
当期収入				0	
事業収入	会場費			0	
雑収入	受取利息			0	
	寄付金			0	
支出合計				992,000	
事業費				916,500	
1 調査・研究	調査	雪氷災害調査	前表参照	前表参照	
2 研究会研修会	研究発表会	北海道支部研究発表会・支部表彰	94,000		
	研修会等	北海道支部講演会	35,000		
	普及・啓発	雪氷教育、HP 運営他	543,000		HP 移設作業委託費含む
	褒賞	北海道雪氷賞	14,000		
3 出版事業	支部等機関誌	北海道支部機関誌	130,500		
	その他出版物		0		
4 その他	委託費	事務処理作業委託	100,000		
管理費				75,500	
	事務局費		55,000		
	会場費		19,500		
	支払手数料		1,000		
	雑費		0		
収支差額				-992,000	

公益社団法人日本雪氷学会 北海道支部 2025 年度役員名簿

No.	職名		氏 名	所 属
1	理事	支部長	尾関 俊浩	北海道教育大学札幌校
2	理事	副支部長	白川 龍生	北見工業大学
3	理事	副支部長	千葉 隆弘	北海道科学大学
4	理事	庶務担当	大宮 哲	(国研)土木研究所 寒地土木研究所
5	理事	庶務担当	小西 信義	(一社)北海道開発技術センター
6	理事	会計担当	川村 文芳	(一財)日本気象協会
7	理事	会計担当	齋藤 佳彦	(株)雪研スノーイーターズ
8	理事	広報担当	杉田 明史	(株)環器
9	理事	事業担当	西田 浩平	(株)雪研スノーイーターズ
10	理事	事業担当	八久保 晶弘	北見工業大学
11	理事	事業担当	箕輪 昌紘	北海道大学 低温科学研究所
12	理事	事業担当	原田 康浩	北見工業大学
13	理事	事業担当	桑原 尚司	北海道立オホーツク流氷科学センター
14	理事	社会貢献担当	原田 裕介	(国研)土木研究所 寒地土木研究所
15	理事	社会貢献担当	大鐘 卓哉	小樽市総合博物館
16	理事	社会貢献担当	渡邊 祥史	札幌総合情報センター(株)
1	監事		金村 直俊	札幌総合情報センター(株)
2	監事		伊東 敏幸	北海道科学大学
1	評議員		河上 聖典	(一社)北海道開発技術センター
2	評議員		高山 健	北海道電力ネットワーク(株)工務部
3	評議員		早野 亮	(株)ドーコン
4	評議員		川合 文人	(一財)日本気象協会北海道支社
5	評議員		加納 民雄	北海道開発局開発監理部開発調整課
6	評議員		森田 克也	札幌管区気象台気象防災部
7	評議員		西 弘明	(国研)土木研究所寒地土木研究所
8	評議員		漆崎 卓哉	北海道 総合政策部地域創生局地域政策課
9	評議員		茂木 秀則	札幌市 建設局 土木部 雪対策室
10	評議員		進藤 州弘	北海道旅客鉄道(株)鉄道事業本部
11	評議員		青山 誠司	東日本高速道路(株)北海道支社
12	評議員		阿部 幹雄	雪崩事故防止研究会
13	評議員		白岩 孝行	北海道大学低温科学研究所
14	評議員		油川 英明	NPO 法人雪氷ネットワーク
15	評議員		石本 敬志	NPO 法人雪氷ネットワーク
1	顧問		前野 紀一	北海道大学名誉教授
2	顧問		竹内 政夫	NPO 法人雪氷ネットワーク

公益社団法人日本雪氷学会 北海道支部 支部規程施行内規

(名称)

第1条 本支部は、公益社団法人日本雪氷学会（以下、「本学会」と記す）北海道支部（以下、「本支部」と記す）と称する。

(事業)

第2条 本支部は、本学会定款第3条に定めた本学会の目的達成に必要な次の事項を行う。

- (1) 雪氷及び寒冷に関する調査・研究。
- (2) 雪氷及び寒冷に関する研究会、講演会、展示会などの開催。
- (3) 支部会誌その他資料の刊行。
- (4) 本部理事会が委嘱又は承認した事項。
- (5) その他本学会の目的達成に必要な事項。

(会員)

第3条 本支部の会員は、北海道に在住する本学会の会員とする。また、他支部に所属する会員であっても、本支部に所属することを希望する場合は、重複所属することを妨げない。

(役員)

第4条 本支部に次の役員をおく。

支部長	1名
副支部長	若干名
支部理事	若干名
支部監事	2名

(支部長の選出)

第5条 支部長は、本学会定款施行細則第28条により本学会定款第20条に定める本部理事の中から本部理事会において選出される。

(役員を選出)

第6条 支部理事および支部監事は支部総会において、支部会員の中から選出する。

- 2 副支部長は、支部理事会の議決を経て支部理事から選出し、支部長がこれを委嘱する。

(役員の職務)

第7条 支部長は本支部を代表しその会務を総理する。

第8条 副支部長は支部長に事故ある場合、その職務を代行する。

第9条 支部理事会は、支部長、副支部長、支部理事で構成され、支部会務執行に必要な協議、支部事業の企画、会計ならびにその他の会務、および支部長候補たる本部理事の推薦を行う。

- 2 支部理事会は、文書審議理事会をもって代えることができる。文書審議理事会には電子メール等による審議を含む。
- 3 支部理事会は支部長が招集し、議長は支部長とする。
- 4 支部理事会は、支部理事の3分の2以上の出席がなければ開会することができない。但し、他の出席理事に表決を委任した者及び書面にて議決に参加した者、双方向通信により遠隔から参加する者は出席者とみなす。
- 5 支部理事会の決議は、決議について特別の利害関係を有する支部理事を除く支部理事の過半数が

出席し、その過半数をもって行う。

6 議事録は本内規第 14 条に定めるところによる。

第 10 条 支部監事は支部の事業ならびに会計を監査する。

(役員の任期)

第 11 条 支部長は本学会定款第 24 条に基づくが、候補者の推薦にあたって任期を 2 年、再任は 1 回に限り可能とする。支部長を除く役員の任期は 2 年とし、再任は 1 年単位で 2 年までとする。その他は本学会定款第 24 条の定めるところによる。

(顧問、評議員)

第 12 条 本支部に顧問および評議員を置くことができる。

2 顧問および評議員は支部理事会の議決を経て支部長がこれを委嘱する。顧問および評議員は本支部の発展に寄与するものとする。

3 評議員および顧問の任期は 2 年以内とし、支部理事会が決定する。再任を妨げない。

(支部総会)

第 13 条 本支部は毎年 1 回定時支部総会を開くほか必要に応じ臨時支部総会を開く。

2 支部総会は、文書審議総会をもって代えることができる。文書審議総会には電子メール等による審議を含む。

3 議長は出席者の互選とする。文書審議総会の場合、支部長が議長に代わるものとする。

4 支部総会においては下記事項の承認を受けなければならない。

(1) 会務ならびに会計の報告

(2) 新年度の事業計画

(3) 役員の決定

(4) 施行内規の変更

(5) その他重要な事項

5 議事録は本内規第 14 条に定めるところによる。

(議事録)

第 14 条 支部理事会及び支部総会の議事録は議長が作成し、速やかに支部ホームページに掲示し、支部会員の閲覧に供さなくてはならない。

附 則

本内規は平成 25 年 5 月 17 日より施行する。

本内規の一部を改訂し、平成 29 年 5 月 13 日から施行する。(資産及び会計に関する第 15 条を削除)

本内規の一部を改訂し、令和 2 年 6 月 25 日より施行する。

本内規の一部を改訂し、令和 5 年 3 月 17 日より施行する。

北海道の雪氷 No.44

Annual Report on Snow and Ice Studies in Hokkaido

ISSN 1340-7368

2025 年 7 月 22 日発行

発行 公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

〒006-8585 札幌市手稲区前田 7 条

15 丁目 4-1

北海道科学大学 工学部内