

利尻島ヤムナイ沢雪渓における 2021 年現地調査報告

Report of field survey in 2021 at Yamunaisawa snow patch in Rishiri Island

波多 俊太郎^{1,2}, 杉山 慎¹, 箕輪 昌紘¹, 日下 稜¹, 近藤 研^{1,2}, Wang Yefan^{1,2}, 渡邊 果歩^{1,2},
Shuntaro Hata^{1,2}, Shin Sugiyama¹, Masahiro Minowa¹, Ryo Kusaka¹, Ken Kondo^{1,2}, Wang Yefan^{1,2}, Kaho
Watanabe^{1,2}

Corresponding author: shuntaro.hata@frontier.hokudai.ac.jp (S. Hata)

北海道利尻島に位置するヤムナイ沢雪渓は、日本最北の多年性雪渓の一つである。ヤムナイ沢雪渓では浅層コア掘削により 8 m のフィルン層の下に 1.4 m の氷体が確認されている。しかしながら浅層コア掘削以外の現地観測は行われておらず、雪渓の質量収支、氷体の流動性の有無および氷体の生成・維持機構の詳細は明らかになっていない。そこで我々はヤムナイ沢雪渓の流動・質量収支の測定を目指して、2021 年 7 月・9 月に現地でドローン空撮・ステークの設置・GNSS 測量を行った。現地調査の結果、雪渓表面の土砂被覆が雪渓の維持に重要である可能性が示唆され、消耗期末期の雪渓の標高分布が得られた。

1. はじめに

飛騨山脈の多年性雪渓は、厚さ 30 m を越える氷体およびその流動が観測され、氷河と考えられている^{1,2)}。これまで氷河調査チームの調査により、国内に分布する多年性雪渓のうち、7 つが氷河と考えられている^{3,4)}。

北海道北部に位置する利尻島には、ヤムナイ沢雪渓という多年性雪渓が知られている。川島ら⁵⁾は、ヤムナイ沢雪渓を対象とした初めての学術雪氷調査として 4.62 m, 4.08 m のフィルンコアを掘削した。しかしながら雪氷内部に含まれる礫により掘削が妨げられた結果、深部の雪氷構造は得られず、氷体の存在を確認することができなかった。井上ら⁶⁾は、2018 年にヤムナイ沢雪渓の浅層コア掘削を行い、9.93 m の浅層コアを得た。川島ら⁵⁾と同様、雪氷内部の礫によって最深部到達は妨げられたものの、得られたコアの最下部 1.4 m が連続した氷化層であると報告した⁶⁾。

多年性雪渓の変動は「短期の気候変動の指標」となり得る⁷⁾。しかしながら、ヤムナイ沢雪渓でこれまで実施された雪氷学的調査は上記のコア掘削に限られており、雪渓の形状やその変動、質量収支、氷・積雪厚に関して基礎的なデータは存在しない。そこで我々は、ヤムナイ沢雪渓の流動および質量収支の測定を目的として 2021 年 9 月および 7 月に現地調査を行った。本稿では、現地調査の概要と初期解析の結果を報告する。

2. 研究対象地

ヤムナイ沢雪渓は北海道利尻島の南東部のヤムナイ沢（北緯 45.17 度、東経 141.25 度）に位置する雪崩涵養型の多年性雪渓である。1996 年の消耗期末期において全長は 800 m 程度であり⁵⁾、北海道では最大級の多年性雪渓である。ヤムナイ沢は土砂災害警戒区域に指定されており、土砂災害軽減のために砂防ダムが多く建設されている。一方で、砂防ダム建設のために林道が整備されており、ヤムナイ沢の標高約 500 m 地点までは車で移動可能である（図 1）。

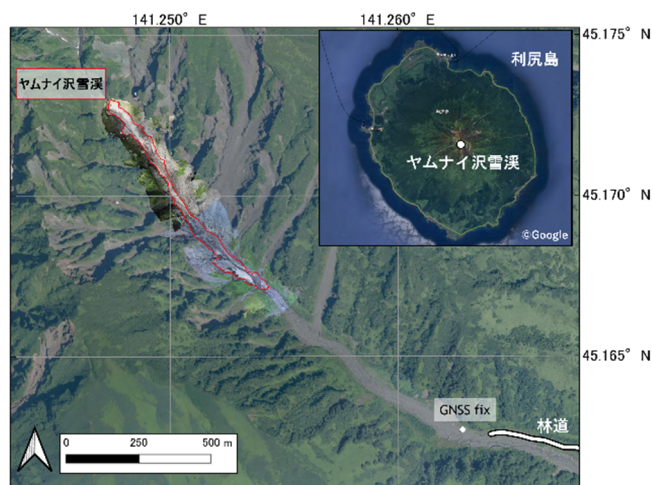


図 1 ヤムナイ沢雪渓の航空写真。（国土地理院，2017 年 8 月 7 日撮影）

¹ 北海道大学低温科学研究所

² 北海道大学大学院環境科学院

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

1923 年測図の 5 万分の 1 地形図ではヤムナイ沢雪溪の存在は確認できないが、ヤムナイ沢の下流に位置する鬼脇村付近にはヤムナイの地名が確認できる。「ヤムナイ」は冷たい川を指すアイヌの言葉であるため、この時代からヤムナイ沢には多年性雪溪が存在し、流れ下る冷たい融解水が認識されていた可能性がある。ヤムナイ沢雪溪が維持されていることを示す資料には、過去に撮影された航空写真がある。夏季にヤムナイ沢雪溪を確認できる最も古い航空写真は 1973 年の 8 月のものであり、現在と同様の姿が確認できる⁸⁾。

3. 研究手法

2021 年 7 月 29-30 日および 9 月 19-20 日に、ヤムナイ沢雪溪で現地観測を実施した。

(1) ドローンによる雪溪観察

DJI 社 Phantom 4 pro を用いて雪溪全体の空撮を行った。Metashape pro を用いて空撮画像を用いた写真測量を行い、数値標高モデルとオルソ画像を構築した。構築した数値標高モデルは鉛直座標の補正および精度評価を今後行うため、ここでは紹介を割愛する。

(2) 流動・質量収支測定

スチームドリルを用いて塩化ビニル製のパイプを連結したポール（ステーク）を積雪に設置した。7 月には全長 5 m のポールを 3 本、9 月には 12 m のポールを 2 本設置した（図 2a）。融雪期末期にステークの先端と積雪表面からの距離を用いて、質量収支を測定する。

ステークの移動距離を測定することで雪溪の変位を測定する。ステークの先端に GNSS アンテナ（Leica System 1200）を取り付け、サンプリング間隔 1 秒で 30 分間のスタティック測位を行った。砂防ダムに設置した GNSS 基準局（Enabler Ltd., GEM-2），を用いたスタティック干渉測位法によって、空間座標を得た。

(3) 表面標高測定

2 周波 GNSS（Leica System 1200）を用いたキネマティック測量法を用いて雪溪の表面標高測定を行った。雪溪の中心線に沿って約 20 m の間隔でそれぞれ 20 秒間の測定を行った。9 月の観測時には、ハンディ GPS（Garmin eTrex）を用いて 7 月の測定点を探索し、再測定を行った。また、

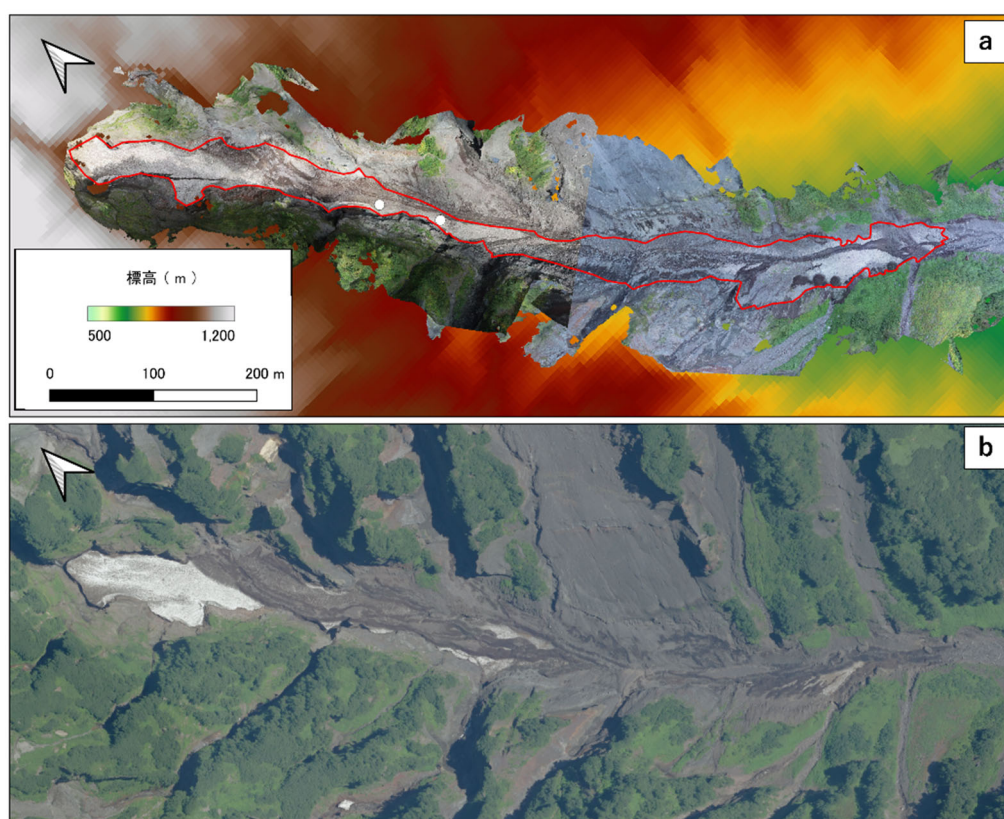


図2 (a) 2021 年 9 月のヤムナイ沢雪溪のオルソ画像。オルソ画像から描画したヤムナイ沢雪溪の輪郭を赤線で、9 月に再設置したステーク位置を○でそれぞれ示す。背景に国土地理院の数値標高モデルを示す。(b) 国土地理院による航空写真（2017 年 8 月 7 日撮影）。

流動測定と同じく砂防ダムに設置した GNSS 基準点を用いた。

4. 結果と考察

(1) ヤムナイ沢雪溪の表面状態

9 月のオルソ画像を基に雪溪の周囲を描画したところ、融雪末期のヤムナイ沢雪溪の全長は 864 m、面積は $3.0 \times 10^4 \text{ m}^2$ であった(図 2)。河島らの報告する全長約 800 m と整合的な結果である。

7 月と 9 月の調査時において、ヤムナイ沢雪溪の表面は礫や土砂に覆われていた(図 2)。礫の大きさはばらつきがあるものの数 10 cm 程度の礫が多く見られた。中には長径が 7 m に達する巨礫が確認された(図 3 矢印)。観測中には側方斜面からの土砂崩壊および落石が生じ、雪溪表面の礫が日中の積雪融解によって転がり落ちることも確認された。

下流の雪溪表面では土砂の流下したような土砂の分布帯が確認できる(図 3 黄)。この土砂被覆帯の幅は 4-10 m 程度であった。2017 年 8 月の雪溪表面は、2021 年の観測時よりも大規模な土砂被覆が確認できる(図 2)。雪溪中流部では、上流部と下流部が分断されているように見えるが、これは中流部が土砂に覆われているためと考えられる。利尻島のアメダス杓形観測所では、集中的な豪雨が記録されている。例えば 2016 年 9 月 6 日には 167 mm、2020 年 8 月 7 日には 96 mm の日降水量が頻繁に記録されている。2017 年、2021 年の雪溪表面の土砂被覆は、2016 年、2020 年にそれぞれ記録された集中的な豪雨によって生じた土砂崩れによって形成されたと推測される。

また、雪溪の下流部にはダートコーンと呼ばれる特徴的な構造物が観察された(図 3, 4)。土砂に覆われた円錐状の構造であり、氷河や雪溪の表面で観察される。ヤムナイ沢で観察されたダートコーンは直径約 10 m、高さ約 3-4 m であった。河島ら⁵⁾による 1996 年の調査でも数 m 程度のダートコーンが確認されており、形成地点も近い。そのため、その形成にはヤムナイ沢雪溪の土砂の運搬・堆積過程が関係している可能性がある。

表面を土砂に覆われた雪氷の融解過程は複雑である。例えば、ある厚さの堆積までは融解を促進し、閾値を超えると融解を抑制する⁹⁾。今回の調査で、ヤムナイ沢雪溪表面の土砂被覆は特徴的であり、融解過程が土砂に特徴づけられていることが示唆された。したがって、ヤムナイ沢雪溪を

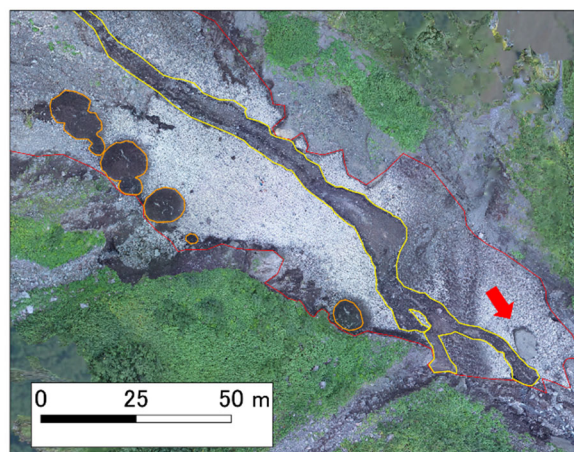


図3 ヤムナイ沢雪溪下流部のオルソ画像(2021年9月19日撮影)。黄線、橙線は特徴的な土砂被覆帯とダートコーンをそれぞれ示す。



図4 ヤムナイ沢雪溪で見られた大規模なダートコーン(2021年9月19日撮影)。

覆う土砂が雪溪の質量収支に影響を与えていると推測される。

(2) 表面融解量

7 月の調査時に、雪溪の中央流線沿いの 3 箇所設置した 5 m のステークは、9 月の調査時には 3 本すべてが融け出てきていた。7 月の設置時に、ステーク先端は 50 cm 雪溪表面から上方に位置していた。したがってこの期間のヤムナイ沢雪溪の融解量の下限は 4.5 m である。

(3) 表面標高変化

2021 年 7 月にはヤムナイ沢雪溪の下流端は 621 m に分布していた(図 5a)。2021 年 9 月には 7-9 月の融解によって面積が縮小し、下流端の標高は 651.8 m に上昇した(図 5a)。雪溪の中央線に沿った平均表面標高変化は $-5.1 \pm 3.0 \text{ m}$ だった。7 月

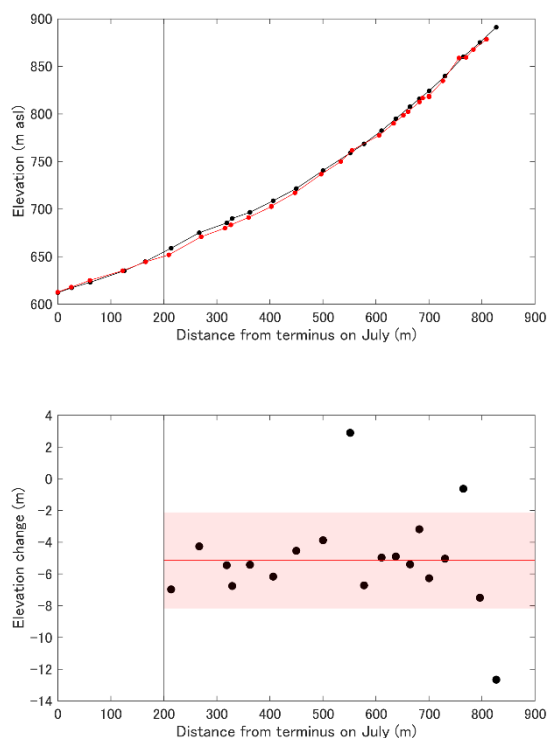


図5 (a) ヤムナイ沢雪渓中央線に沿った表面標高。黒線と赤線は2021年7月と2021年9月の値をそれぞれ示す。(b) 2021年7-9月の雪渓表面標高変化。

に設置したステークの融け出しから推測される >4.5 mの融解量と矛盾しない結果だった。

6. まとめと今後の展望

2021年7月29-30日および9月19-20日に、利尻島南東部に位置する多年性雪渓であるヤムナイ沢雪渓で現地観測を実施した。現地調査とドローンの空撮画像によって雪渓全体の観察を行い、雪渓表面の土砂被覆が雪渓の維持に重要である可能性が示唆された。雪渓表面に設置したステークの測量によって雪渓の流動測定を試みたが、2か月間で >4.5 mの激しい融解によってステークが融け出したため、2021年7-9月の流動は測定できなかった。GNSS機器を用いた測量によって、2021年7-9月の雪渓表面の標高変化は -5.1 ± 3.0 mと測定された。これは、この表面低下量は、ステーク観測によって同期間に対して見積もられた融解量と整合的である。

今後は、ドローン空撮画像を用いた雪渓表面の数値標高モデル作成とその補正・不確実性評価を行い、雪渓表面全体にわたる数値標高モデルを構築する。また、ステークの再測量によって雪渓流動の有無、表面質量収支の測定を行う。さらに、地中レーダを用いて、雪渓内部構造や氷厚の測定を実施する。上記測定を実施することで、ヤムナイ沢雪渓が現存する氷河である可能性を議論する予定である。

【謝辞】

本研究はArCS II 北極域研究加速プロジェクトの助成を受けた。

【引用文献】

- 1) 福井幸太郎, 飯田肇, 2012: 飛騨山脈, 立山・剣山城の3つの多年性雪渓の氷厚と流動-日本に現存する氷河の可能性について-, *雪氷*, **74**(3), 213-222.
- 2) 福井幸太郎, 飯田肇, 小坂共栄, 2018: 飛騨山脈で新たに見出された現存氷河とその特性, *地理学評論*, **91**(1), 43-61
- 3) 有江賢志朗, 奈良間千之, 福井幸太郎, 飯田肇, 高橋一徳, 2019, 飛騨山脈北部, 唐松沢雪渓の氷厚と流動, *雪氷*, **81**(6), 283-295
- 4) Arie, K., C. Narama, R. Yamamoto, K. Fukui and H. Iida, 2022: Characteristics of mountain glaciers in the northern Japanese Alps, *Cryosphere*, **16**, 1091-1106.
- 5) 河島克久, 納口恭明, 小林俊市, 佐藤雅彦, 2000: 表層コア掘削による利尻山の多年性雪渓の雪氷学的調査, *利尻研究*, **19**, 79-87.
- 6) 井上峻, 河島克久, 松本高峰, 沖田竜馬, 佐藤雅彦, 2019, *雪氷研究大会講演要旨集*, 19
- 7) 樋口敬二, 1969: 多年性雪渓の地球科学的意味, *雪氷*, **31**(3), 11-16.
- 8) 国土地理院, 地図・空中写真閲覧サービス, (<https://mapapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>, 最終閲覧日: 2022年6月30日)
- 9) 坂井亜規子, 2014: 岩屑に覆われた氷河の融解過程-最近の研究から-, *雪氷*, **76**(1), 79-89.