

UAV を用いた SfM 解析による樽前山源頭部における積雪調査の取組み

日本工営株式会社 ○梅谷涼太 松山洋平 上條孝徳 矢野隆宏
株式会社オンデック 佐伯哲朗
国土交通省 北海道開発局 室蘭開発建設部 苫小牧砂防海岸事務所 岩田清徳 本間雄介 宮崎亮直*
(*現所属 北海道開発局 小樽開発建設部 倶知安開発事務所)

1 はじめに

近年、無人航空機の利活用が広まりつつあり、災害対応や様々な調査への利用が進んできている。積雪深調査では、観測が難しい山地においても積雪深を面的に計測する手法として航空レーザ測量を用いた積雪分布の分析が行われている。

山地における積雪分布に関する知見として、山田ら¹⁾は森林限界を境界として積雪傾向が異なり、樹林帯では標高の増加に伴い積雪深が増加する一方で森林限界以上の高山帯では標高との関連性が失われること、高山帯では雪が風に吹き流されて凹部で厚く堆積し、凸部で薄く堆積し地形の凹凸を平坦化する傾向があることを報告している。また、航空レーザ測量結果を用いて分析した結果では、西原ら²⁾は曲率が凹地形を示すようになると積雪の堆積が進むことや地上開度³⁾が大きくなるにつれて積雪深が減少することを報告している他、海外では Christopher et al.⁴⁾が標高や植生、斜面方位や風速の影響を受けることを確認した上で影響の程度が植生種(森林帯・低木帯・高山帯)で異なることを報告している。

既往の報告はいずれも1シーズン中に1回の計測を比較したものであり、1シーズン中に複数回計測を行う等高山帯における積雪の発達過程を示した事例はない。また、既往の報告事例では数十 km²単位の地形を対象に解析した事例が多いが、火山噴火対応上は溪流ごとに被害想定を行う等、数 km²単位の流域内の積雪深が重要となる。筆者らのこれまでの調査によれば、火山源頭部のガリー等の微地形においても積雪深が大きく異なることを確認しているが、微地形における開度等の地形条件との関係性を検証した事例は少ない。

以上の点を踏まえ、森林限界以上の積雪過程の解明や源頭部微地形における地形指標の適用性の検証を目的として、UAV-SfM 手法による積雪期間中 3 回の積雪深調査を実施した。

2 調査実施箇所

調査実施箇所は北海道苫小牧市の樽前山南麓に位置する覚生川源頭部(図 1)とした。覚生川は融雪型火山泥流の発生が想定されている流域の一つであり、噴出する火砕流の堆積物が融雪を引き起こすとされている。融雪型火山泥流の融雪水量は、火砕流堆積物堆積厚の約 8 倍の積雪深を融解すると想定されており、実際に冬期に噴火が発生した際には積雪全量を溶かすと考えられている。積雪深の把握は、火山噴火対応として実施する被害想定の中でも重要である。

今回の積雪深の計測範囲は、積雪の実態が明らかになっていない森林限界以上の火山源頭部とし、標高約 600m 以上の約 0.51km²の範囲とした。

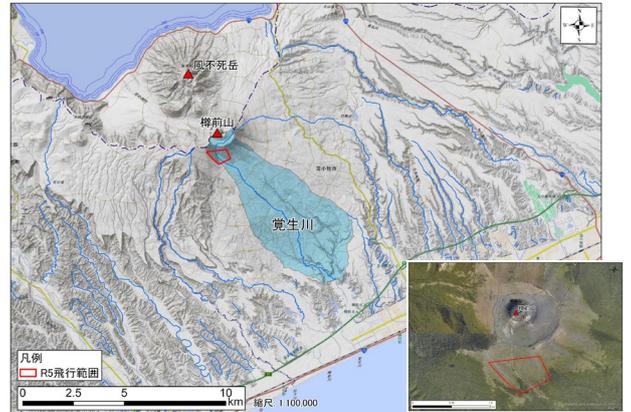


図 1 調査実施箇所

3 調査手法

積雪深の計測は、UAV で撮影した写真から SfM 解析を行い、3次元モデル(Digital Surface Model)を作成して異なる 2 時期の DSM の差分解析により求めた。写真の撮影は、自律飛行で写真撮影が可能な Mavic3 Enterprise を用いた。樽前山は風が強く、外輪山より高い箇所では特に強風となりやすい。外輪山を超えないよう対地高度 100m で飛行ルートを設定した。

UAV の写真撮影は非積雪期(2023/10/23)、積雪期(2023/12/21, 2024/1/11, 2/7)に実施した。撮影した写真は Metashape を用いてオルソ写真の作成及び点群データを作成し、水平解像度約 6cm の DSM を得た。

樹冠部や幹の影響を受け地表面のデータが作成されない植生地帯では、各月に実施した現地計測結果(表 1)と比較して、明らかに過剰な値や非積雪期よりもマイナス値を示しているメッシュを除外して積雪深の分析を行った(図 2, 図 3)。

また地上開度の算出のため、単一のガリーを複数のメッシュにより表現できる規模として 2m メッシュデータを非積雪期(10月)の DSM から作成した。地上開度は ArcGIS の Topographic Openness Tool を用いて算出した。作成した 2m メッシュには 6cm DSM の積雪深データのうち、植生の影響が含まれるメッシュを除去した上で 2m メッシュ内の平均値を割り当てた。

表 1 各月の現地積雪深と植生範囲内の除去値(cm)

	12月	1月	2月
現地積雪深(平均)	17.7	37.3	80.0
植生範囲内の除去値	50以上	100以上	150以上

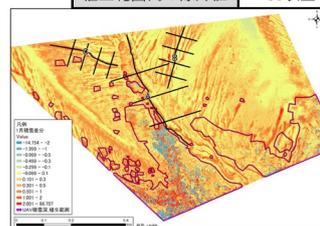


図 2 植生処理前(1月)

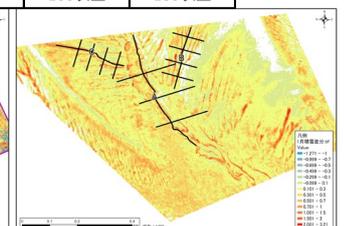


図 3 植生処理後(1月)

4 調査結果

4.1 積雪過程

谷中央のガリー(A 測線)及び左右岸斜面のガリー(右岸: B 測線,左岸: C 測線)に対し縦横断測線(下流側から 1,2,3...)を設定し, 6cm メッシュの積雪差分図から作成した 10 月(黒),12 月(青),1 月(橙),2 月(緑)の積雪深のグラフを図 4, 図 5 に示した。12 月は一様に積雪しているが, ガリーの凹部で多く積雪している様子が確認できる。1 月はガリーの凹部で積雪が進行し, ガリーの凸部や平滑部では積雪の進行は見られず, 左右岸上の規模の小さなガリーはほとんど雪で埋まり凹凸が平坦化した状態であった。2 月はガリーの凸部であった箇所も含め, 平坦化した斜面全体で一様に 1m 弱の厚さで積雪が進んでいる様子が確認された。

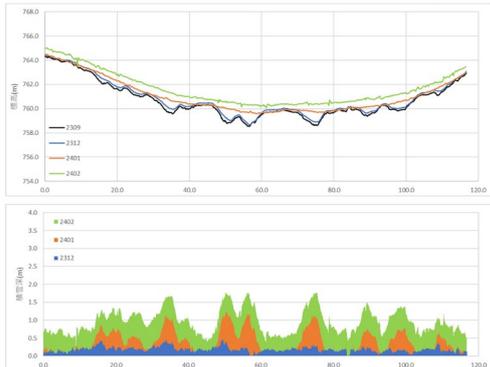


図 4 B4 横断

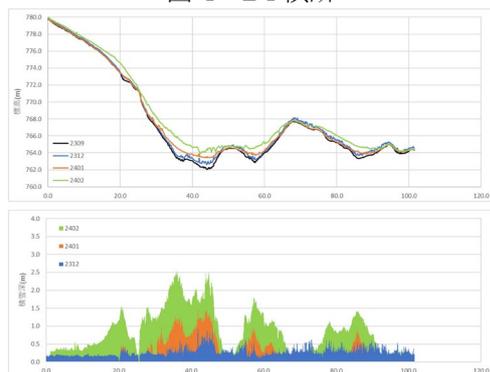


図 5 C2 横断

4.2 地上開度

地上開度は特定の地点から天頂と斜面方向の角度を 8 方位で平均した地形量を指す(図 6)。ArcGIS のツールによる地上開度を 5,10,20,30,50,100m で算出・比較すると, 5m ではガリー間の凸部まで表現できた(図 7, 図 8)ことを踏まえ, 5m の地上開度を用いて積雪深の推移を分析した。

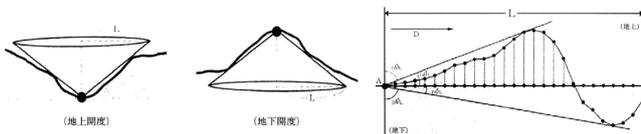


図 6 開度の概念図³⁾

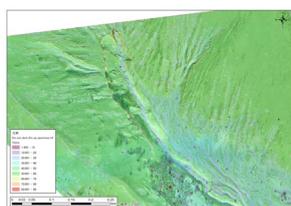


図 7 5m 地上開度

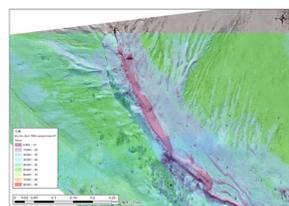


図 8 100m 地上開度

地上開度は 60-70 度が斜面上のガリー凸部, 50-60 度が斜面上の平坦部, 30-50 度が斜面上のガリー凹部, 10-30 度が谷筋のガリー凹部に該当(図 7, 図 9)していた。地上開度別に平均積雪深を算出(図 10)すると 12 月はどの地上開度でも平均的に 0.15m 前後の積雪が見られた。1 月には積雪の増加のピークは 10-50 度のガリー谷部であり, 0.4m 程度であった一方, 平坦部やガリー凸部では 0.2m 弱であった。2 月には積雪の増加のピークが地上開度の大きい地点に移り, 平坦部やガリー凸部においても積雪が大きく増加していた。

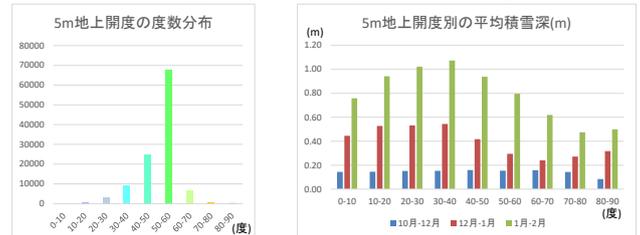


図 9 地上開度分布



図 10 地上開度別の平均積雪深

5 おわりに

積雪過程は次の順で進行すると考えられた。①積雪初期は地表面を覆うように積雪, ②積雪中期は凹地で堆積しガリー等地上開度が小さい箇所では積雪, ③積雪後期は凹地が積雪で埋まり, 平坦に近い地形となり一様に積雪が進行する。積雪中期における凹地での積雪の堆積は, 既往の報告にもあるように風に流された雪が風の影響の受けにくい凹地で堆積したと考えられる。

また, 既往報告では 100m で算出した地上開度において 70 度以下の積雪割合が 4.4%という報告³⁾もある。今回は微地形における分析のため, 定性的に判断し 5m で設定した結果, 60 度までの斜面が多数を占めた。算出に用いるメッシュサイズが小さいと隣接するメッシュの細かな高低差を拾っている可能性もある。定量的にメッシュサイズと地上開度の検証も必要であると思われる。

6 参考文献

- 1) 山田知充・西村寛・水津重雄・岩浜五郎. 大雪山旭岳西斜面における積雪の分布と堆積・融雪過程.北海道大学学術成果コレクション, 1979.
- 2) 西原照雅・中津川誠. 航空レーザ測量を活用した森林外の積雪相当水量分布の推定. 土木学会論文集 B1 (水工学) Vol.69, No.4, 2013.
- 3) 横山隆三・白沢道生・菊池祐. 開度による地形特徴の表示: 写真測量とリモートセンシング 38 巻 (1999) 4 号, 1999.
- 4) Christopher J. Tennant, Kathleen Ann Lohse, Sarah E. Godsey, Benjamin T. Crosby, Laurel G. Larsen, Paul D. Brooks, Robert W. Van Kirk, and Nancy F. Glenn. Regional sensitivities of seasonal snowpack to elevation, aspect, and vegetation cover in western North America. AGU PUBLICATIONS, Water Resources Research (10.1002/2016WR019374), 2016.
- 5) 山田嵩・山田朋人・横山洋. 航空レーザ測量に基づく谷地形での積雪量の推定. 日本水文科学研究発表会, 2023.