

高山帯における積雪分布に風が与える影響の評価

Evaluation of the effect of wind on snow distribution in alpine zones

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 ○正 員 山田 嵩 (Takashi Yamada)

国土交通省 北海道局 正 員 西原 照雅 (Terumasa Nishihara)

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 正 員 村上 泰啓 (Yasuhiro Murakami)

1. 本文(ここから)

積雪寒冷地において積雪は非常に重要な水資源であり、春から夏にかけて長期間安定した水を供給している¹⁾。一方、融雪期の豪雨による融雪出水や土砂災害の要因となる場合もある、このため、山間部における積雪の量及びその分布を正確に把握することは、水資源管理及び防災の面で重要である。

最近、UAV 写真測量が急速に普及している。UAV 写真測量による地表面の計測は、コストが低く、機動性が高いことから、高頻度の観測が可能である。

UAV 写真測量での積雪の計測については、内山ら²⁾が雪崩災害調査に雪崩災害調査に適用した例や、小花和ら³⁾が山地斜面を対象に計測した例がある。これらによると、UAV 写真測量により、高解像度で高精度の積雪分布のデータが高頻度で得られるといったメリットが示されている^{2),3)}。しかし、以上の事例で使用された UAV は、航続時間が短いことから観測範囲が狭いこと、強風や降雪等により視界が悪い時に計測が難しいといった課題や、積雪表面からの太陽光の反射により写真のコントラストの低下を防止する必要があることが示されている^{2),3)}。

山地斜面における積雪は、風及び重力により再分配される。しかし、この影響は一般的な融雪流出解析モデルや流域の積雪包蔵水量推定には考慮されていない。

本研究では、北海道の旭岳ロープウェイ姿見駅周辺の高山帯において、UAV 写真測量による積雪分布の計測結果をシミュレーションモデルにより再現し、風の影響を評価することを目的とした。

2. 対象領域

対象領域を図-1 に示す。また、図-2 には標高分布を示す。計測範囲及び解析範囲は黒枠で示した、旭岳ロープウェイ姿見駅周辺である。対象領域における主たる植生は、樹高が 1 m～2 m 程度のハイマツ、高山植物であり、一部に裸地や露岩している箇所がある。積雪期には、これらの植生等は積雪下に完全に埋没した状態になる。

対象範囲周辺における気象データは、姿見駅の屋根の上に図-3 に示す複合気象センサー (VAISALA 社製 WXT536) を設置して取得した。取得した気象要素は、気温、湿度、風向風速、気圧、降雨量である。加えて、対象領域からは離れているが、旭岳温泉 (旭岳観測所) にて、旭川開発建設部が降水量及び積雪深を観測している。また、観測データの明らかな異常値は除外し、欠測データと合わせて線形補間した。

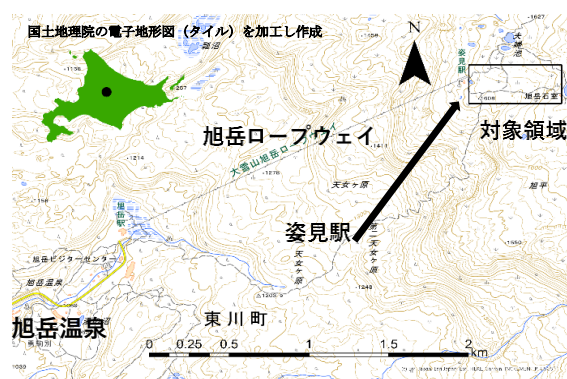


図-1 対象領域

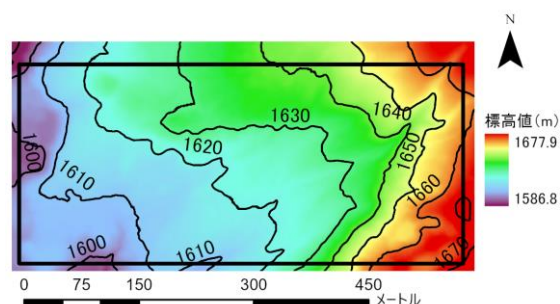


図-2 対象領域の標高分布

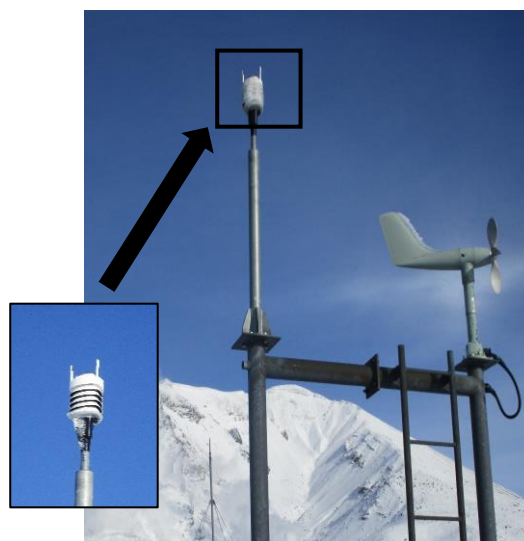


図-3 複合気象センサー

3. UAV 写真測量

UAV 写真測量は2020年1月から3月の間で、概ね1ヶ月間隔で3回実施した。計測日は2020年1月7日、2020年2月、2020年3月である。UAVにはDJI社のINSPIRE2を用いており、カメラには同じくDJI社のZENMUSE X4S（有効画素数2000万画素）を用いた。UAVには後処理方式高精度測位GNSSを搭載しており、隣接空中写真との重複度がオーバーラップ80%以上、サイドラップ60%以上になるように撮影を行った。また、撮影する空中写真の地上画素寸法は0.02m以内を目安とした。積雪表面の形状は降雪及び強風により変化するため、各回、標定点及び検証点を設置及び観測し、UAVによる空中撮影後に撤去した。

撮影した空中写真及び標定点を用いて、計測日ごとに1つのデータに合成した。撮影した写真の位置情報は仮想電子基準点を用いた後処理キネマティック方式で処理している。このデータを0.5mメッシュにフィルタリングし、地物等を除去した後、点群データを抽出し、積雪表面のDEMを作成した。座標系は平面直角座標12系である。積雪深は旭川開発建設部から提供を受けた地表面のDEM（水平解像度は1m）との差分値である。ただし、差分値がマイナスになったメッシュは集計から除外した。

4. 積雪分布の再現計算

4.1 モデル概要

積雪分布の再現計算には、スイス連邦雪・雪崩研究所により開発されたAlpine3D⁴⁾を用いた。Alpine3Dは3次元積雪・地表モデルであり、山岳地形上の大気、雪及び土の間で起こる物理過程をシミュレーションできる。日本でも栃木県的那須岳を対象にした適用した検討事例⁵⁾がある。

4.2 入力データ

入力データには気象データとして降水量、気温、湿度、風速・風向、長短波放射量が必要である。このうち、気温、湿度、長短波放射量は同時観測している必要がある。他の入力データとして、土地の植生情報及び標高が必要である。

(1) 気象データ

気象データについては、基本的には姿見駅にて観測しているデータを用いており、不足するデータは降水量及び長短波放射量である。

これらの内降水量は旭岳温泉の観測データ（標高：1077m）を、短波放射量は忠別ダム管理所の観測データを用いており、長波放射量は太田⁶⁾の手法を用いて推定した。データの時間解像度はいずれも1時間である。

また、降水量は雨雪判別を行い、降雪となった場合の降雪量の補正式は下記に示す。

$$P_s = A[1 + B(H_{point} - H_{gauge})]P_{gauge}$$

ここで P_s は補正後の降雪量(mm)、 A は捕捉率補正係数、 B は標高補正係数、 H_{point} は姿見駅の標高(m)、 H_{gauge} は旭岳温泉の標高、 P_{gauge} は観測降雪量(mm)である。また、本研究では試行錯誤的に $A = 1.1$ 、 $B = 0.0007$ とした。

(2) 土地の植生情報及び標高データ

土地の植生情報には環境省の自然環境保全基礎調査の結果を基に10分類した植生分布を用いた。また、標高データには先述の旭川開発建設部より提供を受けた、地表面のDEMを用いた。ただし、標高値は整数値である必要があるため、小数点以下を切り捨てて整数値としている。

4.3 計算条件

計算期間は2019年11月1日1時から2020年4月30日24時までである。計算範囲はUAV写真測量の範囲が収まる範囲として設定した。また、Alpine3Dでの解像度は計算負荷を考慮して5mメッシュとした。

本研究では風の影響を考慮するため、Alpine3Dに付属している、固体降水量の再分配を計算するアルゴリズムである、Winstral⁷⁾を用いた。Winstralは、地形と風の影響を考慮して、メッシュの降水量を計算するアルゴリズムであり、スイスにて適用実績⁸⁾がある。比較のために、Winstralを用いないケースでの計算も行った。以後、Winstralを用いた計算を風あり計算、用いない計算を風なし計算という。また、Alpine3Dには風による雪の再分配を計算する「Snowdrift」というモジュールがあるが、本研究では用いていない。「Snowdrift」にはARPS等の気象モデルによる3次元の風速場が必要であり、計算負荷も大きいためである。

5. 結果

5.1 気象観測結果

図-4に旭岳温泉の実際の積雪深を示す。これを見ると積雪深は11月頃から増加し始めて、UAV写真測量を行った1月から3月は、概ね1.5mから2.5mの範囲で推移している。また、積雪深の最大値は2.6mである。2009年から2019年の積雪深の平均値は3.2mであり、最小値は2.8mであることから、今シーズンは非常に少雪であったといえる。図-5には姿見駅の風配図を示す。主に北西方向の風が卓越しており、「西高東低」の冬型の気圧配置の影響と考えられる。

5.1 UAV 写真測量結果

図-6にUAV写真測量による積雪分布の計測結果を示す。積雪分布を見ると、1月の時点で堆積傾向の見られる窪地や谷沿いの領域では3月まで増加傾向にある。一方で、平坦な領域では1月から2月にかけて減少傾向があった後、3月では増加傾向が見られる。北西部に堆積傾向が見られるのは、窪地になっているためである。

5.1 積雪分布の計算結果

図-7及び図-8にAlpine3Dによる積雪分布の計算結果を示す。ここで、図-6及び図-7と図-8の凡例は異なる。風あり計算では全体的過大評価ではあるが、図中に示す赤枠の堆積傾向は概ね再現できている。一方で、風なし計算では、積雪分布を全く再現できておらず、積雪深の範囲も限定されている。

表-1にはUAV写真測量及び積雪分布計算の解析範囲における各メッシュの積雪深の総和を示す。風なし計算では過大評価だが、風あり計算ではUAV写真測量の値に近づいている。

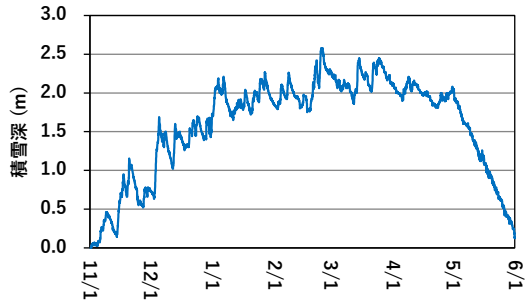


図-4 旭岳温泉の積雪深

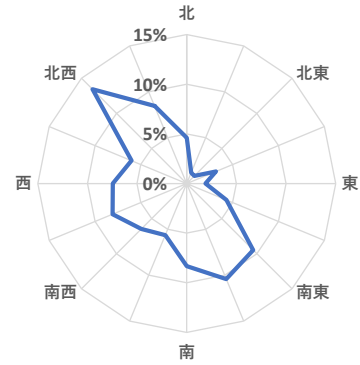
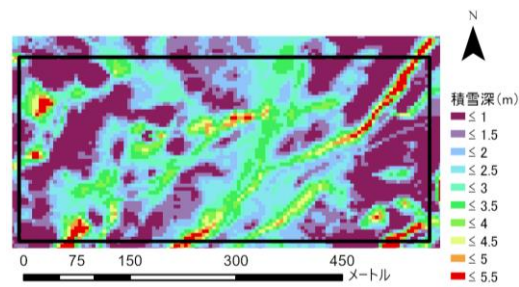
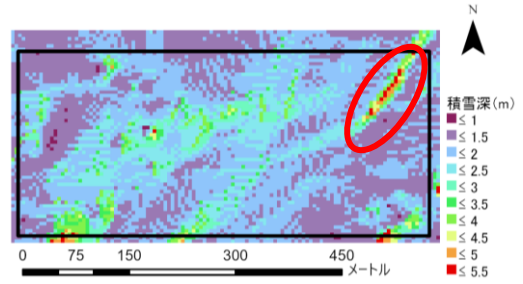


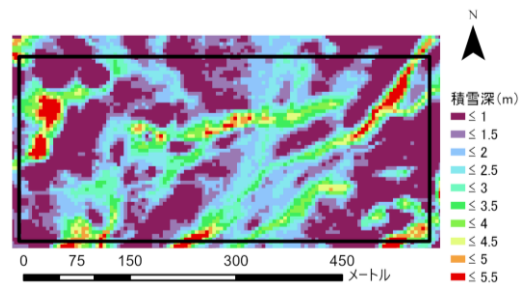
図-5 姿見駅の風配図



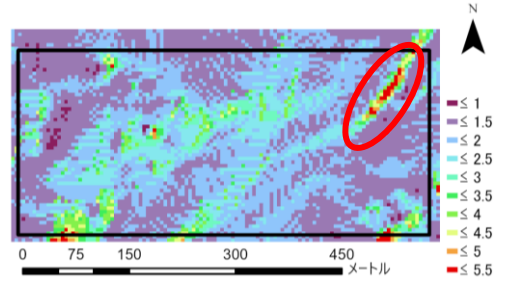
2020年1月7日



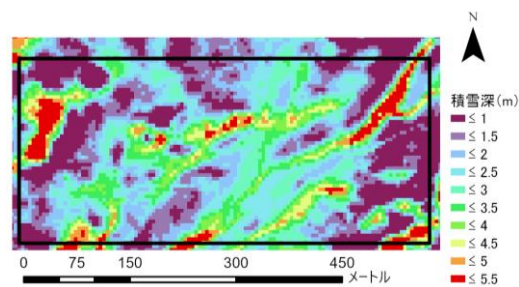
2020年1月7日



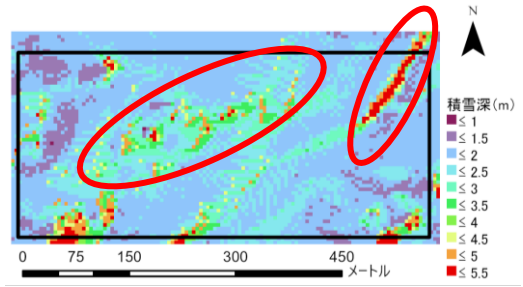
2020年2月10日



2020年2月10日



2020年3月2日



2020年3月2日

図-6 UAV写真測量による積雪深

図-7 Alpine3Dによる積雪深(風あり)

6. 考察

積雪深の分布を見ると、風あり計算では全体に過大評価ではあるが、図中の赤枠で示す堆積傾向は概ね再現できている。一方で、風なし計算では、積雪分布を全く再現できていない。この積雪分布は標高分布に近くなっており、積雪深が標高に線形比例する結果と考えられる。そのため、高標高帯においては積雪分布の計算には風の影響を考慮することが重要と考えられる。

積雪分布が過大評価となった原因の一つとして、降水量の時空間分布誤差が考えられる。降水量を観測している旭岳温泉は対象領域とは2.5 km程度離れており、加えて標高差が500 m程度あることから、誤差が大きくなった可能性がある。また、降雪量補正の影響も考えられるが、捕捉損失補正及び標高補正のどちらも不要とは考えにくく、どちらも現実的な値を用いており補正の影

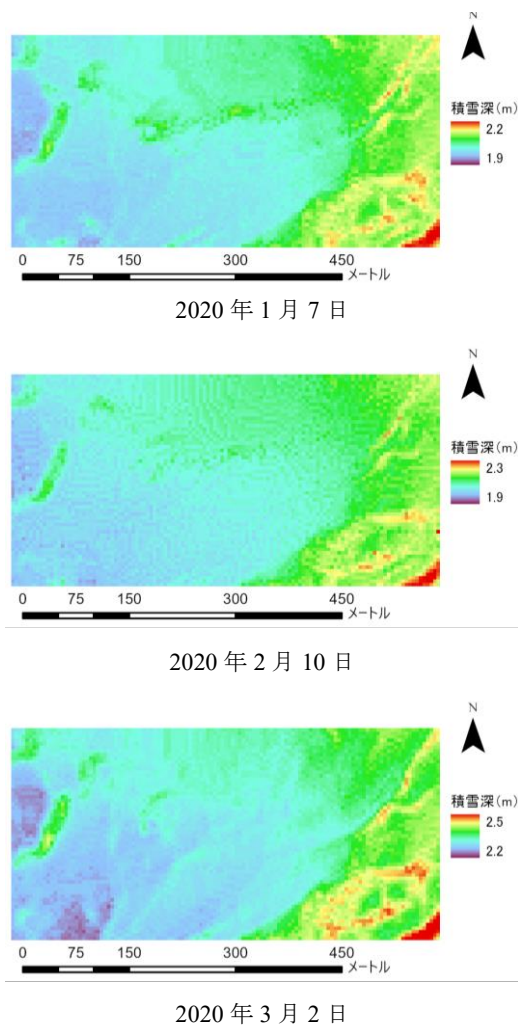


図-8 Alpine3D による積雪深（風なし）

表-1 解析範囲における各メッシュの積雪深の総和

日付	積雪深の総和 (m)		
	UAV 写真測量	計算 (風あり)	計算 (風なし)
1 月 7 日	11870	11278	12247
2 月 10 日	10776	11090	12549
3 月 2 日	13817	13362	14180

響は小さいと考えられる。

表-1 に示す積雪深の総和を見ると、風あり計算の方が、UAV 写真測量の値に近くなっている。また、計算値同士を比較すると、風あり計算の方が小さくなっている。これは風により降雪が流域外へ移流した量が、流域内へ移流した量を上回ったことが原因と考えられる。すなわち実際の流域でも、高山帯においては降雪が流域外へ移流、あるいは流域内へ移流している可能性が示唆される。

今後は積雪分布の再現計算の高精度化を行い、風による積雪分布への影響評価を流域スケールに拡張していく必要がある。また、風の影響を考慮した積雪分布を、融

雪流出解析に反映させる必要がある。

7. まとめ

本研究では、旭岳ロープウェイ姿見駅周辺の高山帯において、UAV 写真測量により積雪分布を計測し、その結果をシミュレーションモデルと比較し風の影響を評価した。その結果、風なしでは UAV 写真測量の計測結果を全く再現できず、風あり計算では、堆積傾向を概ね再現できた。また、計算値同士でも風あり計算の方が、積雪深の総和が小さくなっていた。今後は、影響評価を流域スケールに拡張し、融雪流出解析に反映させる必要がある。

8. 謝辞

UAV 写真測量を行うに当たり、ワカサリゾート(株)旭岳事業部(旭岳ロープウェイ)に協力のご協力で観測機器を設置させて頂いた。また、1m メッシュの DEM、忠別ダム管理所及び旭岳温泉の気象データは旭川開発建設部から提供を受けた。ここに記して謝意を表す。

9. 参考文献

- 1) 小野延雄, 石川信敬, 新井正, 若土正暁, 青田昌秋: 雪氷水文現象 (基礎雪氷学講座VI), 前野紀一・福田正巳編, 古今書院, 17, 1994
- 2) 内山庄一郎, 鈴木比奈子, 上石勲, 中村和樹: 雪崩災害調査への UAV-SfM の適用: 2017 年那須町雪崩災害の事例, 自然災害科学 JJSNDS, 37, 特別号, 119-135, 2018.
- 3) 小花和宏之, 河島克久, 松元高峰, 伊豫部勉, 大前宏和: 小型 UAV を用いた積雪分布の三次元計測, 雪氷, 78 巻, 5 号, 317-328, 2016.
- 4) Michael Lehning, Ingo Völksch, David Gustafsson, Tuan Anh Nguyen, Manfred Stähli, Massimiliano Zappa: ALPINE3D: a detailed model of mountain surface processes and its application to snow hydrology, Hydrological Processes, 20, 2111-2128, DOI: 10.1002/hyp.6204, 2006.
- 5) 上石 勲: 2017 年 3 月 27 日に栃木県那須町で発生した雪崩災害に関する調査研究, 平成 29 年度科学研究費補助金 (特別研究促進費) 研究成果報告書, 2018.
- 6) 太田岳史: 森林内外における積雪面上の純放射量の推定と表層融雪量, 水文・水資源学会誌, pp19-26, 1992.
- 7) Adam Winstral, Kelly Elder, Robert E. Davis, Spatial Snow Modeling of Wind-Redistributed Snow Using Terrain-Based Parameters, Journal of Hydrometeorology, Volume 3, 524-538, DOI: [https://doi.org/10.1175/1525-7541\(2002\)003<0524:SSMOWR>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1525-7541(2002)003<0524:SSMOWR>2.0.CO;2), 2002.
- 8) Schirmer, M., Wirz, V., Clifton, A., Lehning, M, Persistence in intra-annual snow depth distribution: 1. Measurements and topographic control, Water Resources Research, Volume 47, Issue 9, DOI:10.1029/2010WR009429., 2011.