

積雪ピーク期に見られる積雪分布のパターンの類似性

A similarity of patterns of snow depth distribution at the peak of snow accumulation season

西原 照雅, 谷瀬 敦

Terumasa Nishihara and Atsushi Tanise

Corresponding author: Nishihara-t22aa@ceri.go.jp (T. Nishihara)

Patterns of snow depth distribution calculated from LiDAR data at the peak of snow accumulation season in mountainous regions near Mt. Asahidake, Hokkaido, Japan, were analyzed. We observed that the pattern of snow depth distribution at the peak is similar for the four years. Furthermore, it found that amount of snow in certain amount of area might estimate from snow depth measured at the representative site.

1. はじめに

積雪寒冷地では水資源を融雪水に依存している。一方、融雪水は融雪出水や土砂災害の要因となる。このことから、融雪が始まる直前の積雪ピーク期における積雪状況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。

過去には、山間部の積雪分布を調査するため、国内各地において積雪調査が盛んに行われた (Yamada¹⁾ 他多数)。これらの調査から、樹林帯においては、標高と積雪深との間に線形の関係があることが報告され、この関係は、ダム管理の現場において、流域における積雪包蔵水量を推定する際に活用されている。しかし、積雪調査は厳冬期に調査者が直接入山して実施するため、多大な労力を要し、雪崩等の危険を伴うことから、調査可能な地点が限られる。

近年、レーザ測量技術の発達により、地表面の状態を広範囲に高解像度で高精度に計測できるようになった。これにより、冬季に立ち入りが困難な山間部における積雪分布を広範囲に計測することが可能になり、航空レーザ測量により計測された積雪深と、地形や植生との関係を分析した例が報告されている (例えば西原ら²⁾)。最近では、レーザ測量により積雪深を計測したデータの蓄積が進み、同一範囲を複数回計測したデータを分析した例や、異なる地域における積雪分布を比較した例が報告されている。

Schirmer et. al.³⁾ は、アルプス山脈に位置し、主たる降雪が北西風を伴う荒天時に発生する範囲において、地上レーザスキャナを用い、積雪期に同一箇所の積雪分布を複数回計測している。結果、個々の荒天によって様々な積雪分布のパターン

が現れるものの、積雪期に数回発生する北西風を伴う荒天が積雪分布に与える影響が大きく、積雪ピーク期には毎年類似した積雪分布のパターンが見られることを示した。

また、Grünwald et. al.⁴⁾ は、アルプス山脈、ピレネー山脈、ロッキー山脈において、積雪ピーク期に、航空レーザ測量により積雪分布を計測したデータを用い、標高、傾斜、斜面方位といった地形パラメータや、風の影響を考慮するパラメータから、積雪深を推定する線形重回帰モデルの構築を試みている。結果、積雪ピーク期を対象に構築したモデルを、同一範囲の他の年の積雪ピーク期における積雪分布の推定に適用できる可能性があることを示している。

北海道の日本海側では、西高東低の冬型の気圧配置の際に降雪が多い特徴があり、この際の卓越風向である北西から西の風が積雪分布に大きく影響していると考えられる。西原らは、北海道旭岳付近において、積雪ピーク期に航空レーザ測量による積雪分布の計測を複数回実施した結果、樹林帯及び高山帯の両方において、また、西高東低の冬型の気圧配置の際の卓越風向に対する風衝斜面及び風背斜面の両方において積雪分布のパターンの類似性があることを報告している^{5), 6)}。このような類似性を活用して、ダム流域のような山間部におけるピーク期の積雪分布を簡易に推定できる可能性があると考えられる。しかし、これらの報告は2~3カ年のデータに基づくものであり、十分なサンプルを有しているとは言い難い。

筆者らは、2018年3月に旭岳付近の風衝斜面を対象として、4回目の航空レーザ測量を実施した。本稿では、北海道大雪山系旭岳付近の風衝斜



図1 航空レーザ測量範囲

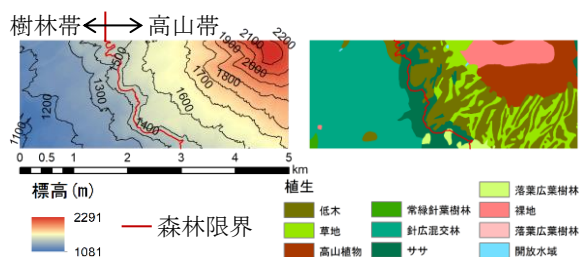


図2 測量範囲の標高及び植生の分布

面において、4カ年の積雪ピーク期に航空レーザ測量により計測した積雪分布のパターンの類似性について報告する。

2. 対象範囲

図1に航空レーザ測量を実施した範囲を示す。測量範囲は、北海道大雪山系旭岳付近に位置し、石狩川上流域に位置する忠別ダムの流域に含まれる10 km²の範囲である。測量範囲の標高帯は概ね1,100 m～2,300 mであり、標高1,450 m付近に森林限界がある(図2)。無積雪期の航空レーザ測量は2009/9/22～25、積雪ピーク期の航空レーザ測量は2012/3/10、2015/3/27、2017/3/13、2018/3/21に実施した。測量範囲には国土交通省が設置している積雪深計(旭岳温泉地点)があり、表1に示した各年の航空レーザ測量を実施した日の積雪深から、2017年の積雪深が最も多いこと、2012年の積雪深が最も少ないこと、2017年と2018年の積雪深がほぼ同等であることがわかる。測量範囲においては、積雪期の荒天時における卓越風向は北西から西であり⁷⁾、測量範囲は主に風衝斜面で構成される。

3. 分析の方法

はじめに、航空レーザ測量により取得したデータから積雪深を算出する方法である。無雪期に取得したデータから地表面のDEM(Digital Elevation Model)を、積雪ピーク期に取得したデータから積雪表面のDEMをそれぞれ作成し、各年

表1 旭岳温泉地点の積雪深

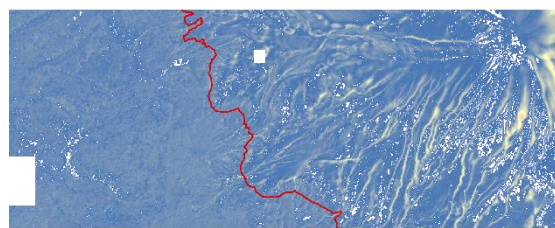
航空レーザ測量	積雪深 (m)
2012/3/10	2.08
2015/3/27	2.77
2017/3/13	3.18
2018/3/21	3.03

の積雪表面のDEMから地表面のDEMを引いた値を各年の積雪深とした。DEMの水平解像度は5 mに統一した。積雪深がマイナスとなったメッシュはデータから除外した。なお、傾斜が55°以上の斜面には積雪が堆積しない⁸⁾ことが報告されていることから、該当するメッシュにおける積雪深は0とした。加えて、人工構造物が多い旭岳温泉地区及び旭岳ロープウェイの施設周辺をデータから除外した。

次に、積雪ピーク期における毎年の積雪分布の類似度を評価する方法である。同一メッシュにおける2カ年の積雪深の関係に対して、原点を通る(切片=0)の直線を当てはめる回帰分析を行い、決定係数を評価する。この際、積雪分布の特徴が異なる樹林帯と高山帯に分けて評価を行う。また、樹林帯における積雪深は標高との間に線形の関係があること、高山帯における積雪深は地表面の凹凸を表す地上開度⁹⁾との間に線形の関係があることが報告されている^{2),5)}ことから、このような関係を有しているかを検証する。

4. 結果と考察

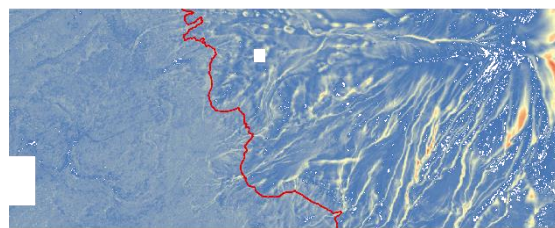
図3に各年の積雪分布を示す。白抜きのメッシュは、積雪深がマイナスとなったメッシュ及び旭岳温泉周辺等のデータから除外したメッシュである。図より、樹林帯における積雪分布の特徴と高山帯における積雪分布の特徴が異なることが明瞭である。樹林帯においては、積雪深が1 m～6 m程度の出現割合が多く、積雪深のばらつきが小さい。一方で、高山帯においては、積雪深が0の箇所や積雪深が10 mを超える箇所が見られ、積雪深のばらつきが大きい。積雪分布を概観すると、毎年同様のパターンが見られており、積雪が堆積しにくい箇所及び積雪が堆積しやすい箇所は年によらず同じである可能性がある。同一メッシュにおける2カ年の積雪深について、回帰直線を当てはめた際の決定係数と傾きを表1に示す。直線を当てはめる際、x軸は表の1行目に示す年、y軸は表の1列目に示す年とした。表より決定係数は0.72～0.86に分布しており、ピーク期における積雪分布は類似度が高いことがわかる。樹林帯



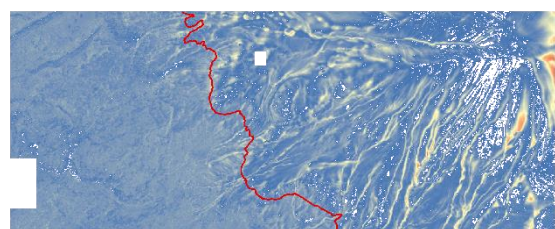
(a) 2012/3/10



(b) 2015/3/27



(c) 2017/3/13



(d) 2017/3/13

図3 積雪分布



と高山帯で大きな差は見られない。また、傾きを見ると、2012年及び2015年を横軸とした場合に1を超えていること、2018年を横軸とした場合に1を下回っていることは、表1に示した旭岳温泉地点の積雪深の傾向と一致している。

図4に標高と積雪深との関係を示す。図示した積雪深は標高25m区間に含まれるメッシュの積雪深の平均値である。図には樹林帯における標高と積雪深との間の線形回帰式を併せて示している。図より樹林帯においては標高の増加とともに積雪深が線形に増加する傾向が毎年見られる。標高に対する積雪深の増減の傾向は、年によらず一致している。

図5に森林限界以上の高山帯における地表面の地上開度と積雪深の関係を示す。図示した積雪深は、地上開度1°区間に含まれるメッシュの積雪深の平均値である。図には地上開度と積雪深と

表2 線形回帰式の決定係数と傾き

樹林帯	2012	2015	2017	2018
2018	0.75 1.38	0.84 1.07	0.83 0.93	
2017	0.73 1.48	0.72 1.15		
2015	0.76 1.27		上段：決定係数 下段：傾き	
2012				

高山帯	2012	2015	2017	2018
2018	0.84 1.27	0.76 1.02	0.86 0.90	
2017	0.84 1.38	0.78 1.12		
2015	0.78 1.16		上段：決定係数 下段：傾き	
2012				

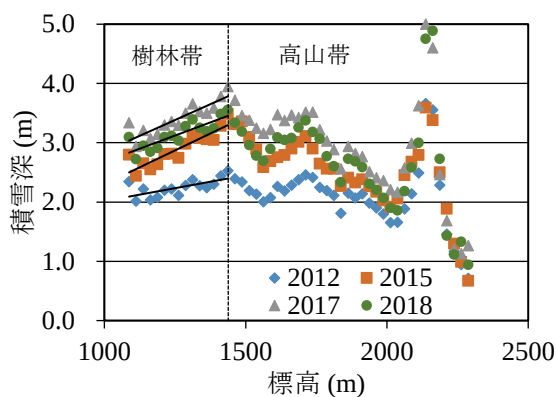


図4 標高と積雪深の関係

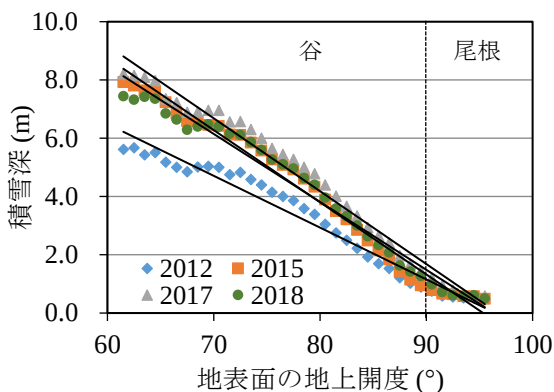


図5 地上開度と積雪深の関係 (高山帯)

の間の線形回帰式を併せて示している。図より高山帯においては地上開度の増加とともに積雪深が線形に減少する傾向が毎年見られる。地上開度に対する積雪深の増減の傾向は、年によらず一致している。また、地上開度が90°を超えた範囲では年によらず積雪深がほぼ一定である。これは、強風が吹き抜ける高山帯の尾根においては、積雪が1m程度しか堆積できないことを示唆していると考えられる。

図6に航空レーザ測量を実施した日における

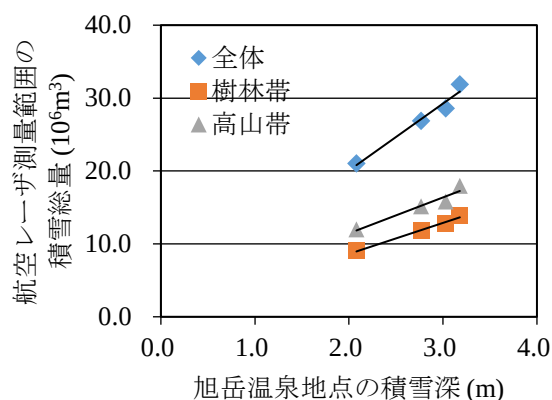


図6 旭岳温泉地点の積雪深と
航空レーザ測量範囲の積雪総量の関係

旭岳温泉地点の積雪深と、航空レーザ測量範囲における積雪の総量との関係を示す。サンプル数が少ないものの、旭岳温泉地点の積雪深と航空レーザ測量範囲の積雪の総量の間に線形の関係が見られる。決定係数は、全体が $R^2 = 0.97$ 、高山帯が $R^2 = 0.94$ 、樹林帯が $R^2 = 0.99$ であった。このことは、代表地点として旭岳温泉地点の積雪深を用いることにより、航空レーザ測量を実施した範囲におけるピーク期の積雪の総量を簡易に推定できる可能性を示唆している。このような関係が代表地点とダム流域のピーク期における積雪の総量との間に確認されれば、ダム流域における水資源の管理を省力化できる可能性があるが、データの取得及び蓄積が課題となる。最近、人工衛星画像から高精細のDEMを作成する技術が開発され、このようなDEMから求めた積雪深の精度を検証した例¹⁰⁾がある。人工衛星からは、ダム流域全域を一度に撮影することが可能であり、航空レーザ測量と比較して低コストでDEMを作成出来ることから、このような技術の発展を注視していくことが必要と考える。

5. まとめ

北海道大雪山系旭岳周辺の風衝斜面において、4カ年の積雪ピーク期に航空レーザ測量により計測した積雪分布を分析し、ピーク期における積雪分布のパターンが類似していることを示した。

また、代表地点において観測した積雪深から、ダム流域のような広範囲における、ピーク期の積雪総量を推定できる可能性があることを示した。

【謝辞】

ワカサリゾート(株)旭岳事業部に測量場所を提供して頂いた。ここに記して謝意を表す。

【参考・引用文献】

- 1) Yamada, T., 1983: Studies on accumulation-ablation processes and distribution of snow in mountain regions, Hokkaido, *Contributions from the Institute of Low Temperature Science*, A31, 1-33.
- 2) 西原照雅, 谷瀬敦, 2018: 航空レーザ測量を用いた風衝斜面及び風背斜面における積雪分布の分析, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.74, No.4, I_883-I_888.
- 3) Schimer, M., Wirz, V., Clifton, A. and Lehning, M., 2011: Persistence in intra-annual snow depth distribution: 1. Measurements and topographic control, *Water Resour. Res.*, **47**, W09516.
- 4) Grünwald, T., Stötter, J., Pomeroy, J. W., Dadic, R., Moreno Baños, I., Marturià, J., Spross, M., Hopkinson, C., Burlando, P. and Lehning, M., 2013: Statistical modeling of the snow depth distribution in open alpine terrain, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **17**, 3005-3021.
- 5) 西原照雅, 谷瀬敦, 2017: 3回の航空レーザ測量結果から分析した山間部における積雪分布の特徴, 雪氷研究大会(2017・十日町)講演要旨集, 237.
- 6) 西原照雅, 谷瀬敦, 2019: 2カ年の航空レーザ測量データを用いた風衝斜面と風背斜面の積雪ピーク期における積雪分布の分析, 土木学会北海道支部平成30年度年次技術研究発表会, B33.
- 7) 菊地時夫, 金田安弘, 山田知充, 1979: 大雪山における積雪期の気象状況について, 天気, **26**, 751-757.
- 8) Farinotti, D., Magnusson, M., Huss, M. and Baudar, A., 2010: Snow accumulation distribution inferred from time-lapse photography and simple modeling, *Hydrol. Processes*, **24**, 2087-2097.
- 9) 横山隆三, 白沢道生, 菊池祐, 1999: 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, 第38巻4号, 26-34.
- 10) 西原照雅, 谷瀬敦, 2019: 人工衛星画像から作成した無雪期及び積雪期の標高モデルから求めた山間部の積雪分布の精度検証, 河川技術論文集, 第25巻, 193-198.