

# 航空レーザ測量を用いた 山間部における樹木と積雪深との関係に関する一考察 A study on the relationship between trees and snow depth in mountainous regions using airborne laser scanning

西原 照雅, 谷瀬 敦 (国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所)  
Terumasa Nishihara and Atsushi Tanise

## 1. はじめに

積雪寒冷地においては、融雪水は水資源として重要である。一方で、融雪水は融雪出水及び土砂災害の原因にもなる。このため、融雪が始まる前に山間部の積雪分布をできるだけ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。

北海道は温帯性落葉広葉樹林帯から亜寒帯性針葉樹林帯への移行帯に位置することから、針広混交林が多く分布している<sup>1)</sup>。北海道のダム流域は、その大部分がこのような樹林帯に位置している。森林流域にもたらされた降雪は、降雪が地面に到達せずに消失する降雪遮断が生じる。樹冠によって遮断された降雪は、一時的に樹冠に貯留された後、滴下、樹幹流下、遮断蒸発に再分配される。これまでの研究をまとめると、樹冠による遮断率は年間降雪量の 0 から 60%の間であり、遮断された降雪の多くが昇華することから、推定で年間降雪量の 50% までが昇華による水の損失に繋がっていることが報告されている<sup>2)</sup>。

近年、航空レーザ測量の普及により、立ち入りが困難な山間部においても、上空から広範囲わたる地表面を精度良く計測できるようになった。航空レーザ測量により取得されたデータは、DSM (Digital surface model) や DEM (Digital elevation model) に加工されたデータの利用が進んでいるが、レーザ測量により取得された点群データには、各点が反射した地物の位置及び高さ、反射強度が記録されている。例えば、Zheng et. al.<sup>3)</sup>は、航空レーザ測量から得られた点群データを用いて、樹木及び樹冠の疎密の程度を表現する指標である Penetration Fraction (以降 PF と表記) を算出し、積雪深との関係を分析している。結果、PF が大きい (樹木及び樹冠が疎である) ほど積雪深が大きくなったことを報告している。しかし、樹林が積雪に与える影響を広範囲に分析した事例は少ない。

そこで本研究では、北海道旭岳周辺において積雪ピーク期に取得した航空レーザ測量データを用い、広範囲の樹林帯を対象に、樹木が積雪深に与える影響を評価した。

## 2. 航空レーザ測量範囲

図 1 に航空レーザ測量を実施した範囲を示す。面積は 10 km<sup>2</sup>であり、北海道大雪山系旭岳周辺に位置し、石狩川上流域に位置する忠別ダムの流域に含まれる。測量範囲の標高帯は概ね 1100 m～2300 m であり、標高 1450 m 付近に森林限界がある (図 1)。航空レーザ測量は、無積雪期の 2009 年 9 月 22 日～25 日、積雪ピーク期の 2015 年 3 月 27 日に実施した。積雪深は積雪ピーク期及び無積雪期の二時期の標高差とした。データの水平解像度は 5m である。点群データの取得数は 7.7/m<sup>2</sup>である。

## 3. 点群データの特徴と Penetration Fraction

航空レーザ測量により取得した点群データの特徴を示す (図 2)。航空レーザ測量を実施した時期は積雪のピーク期であることから、測量範囲においては、下層植生の大部分は積雪下に埋没している。このため、取得した点群データは、データの大部分が樹木 (樹冠上の着雪

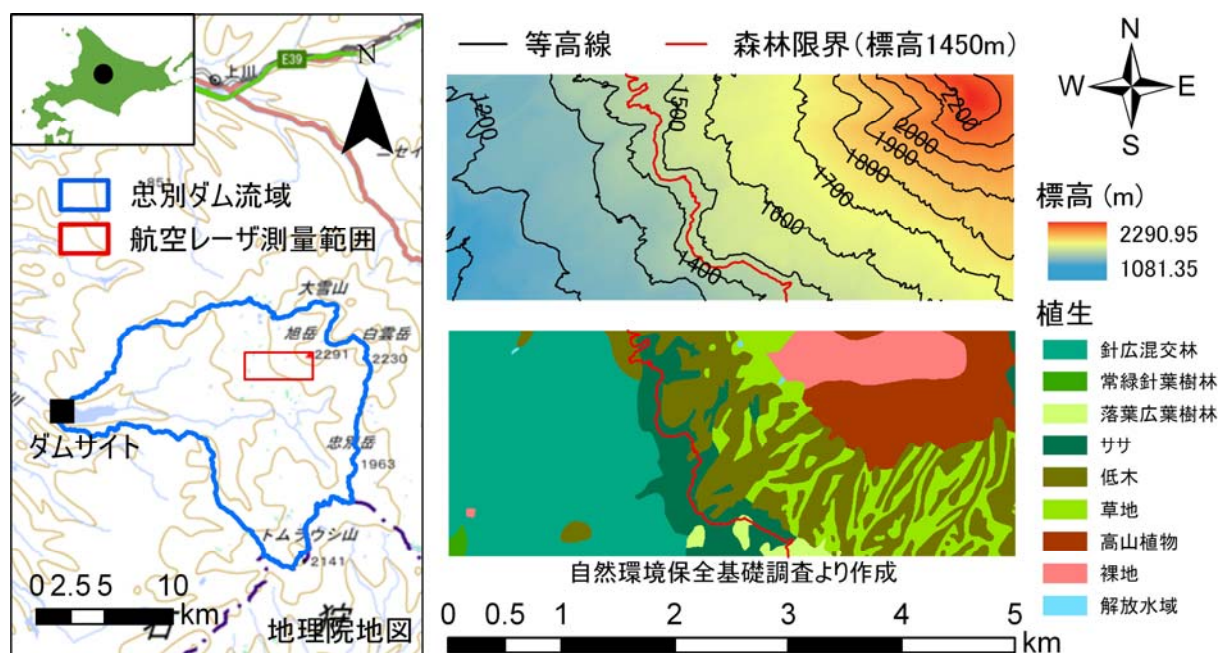


図1 航空レーザ測量範囲（左），航空レーザ測量範囲の標高分布（右上）及び植生（右下）

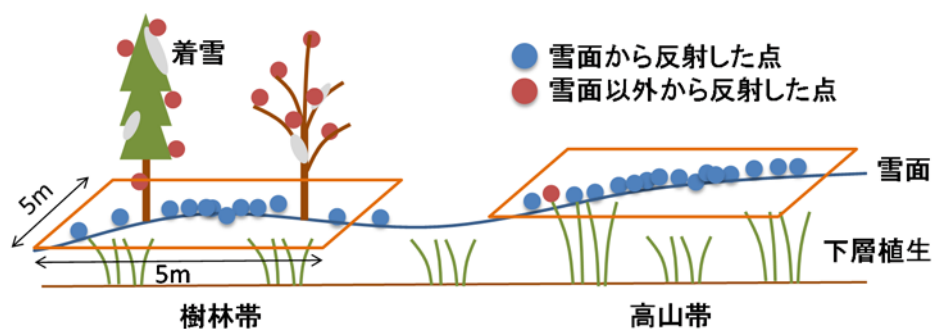


図2 点群データの特徴（模式図）

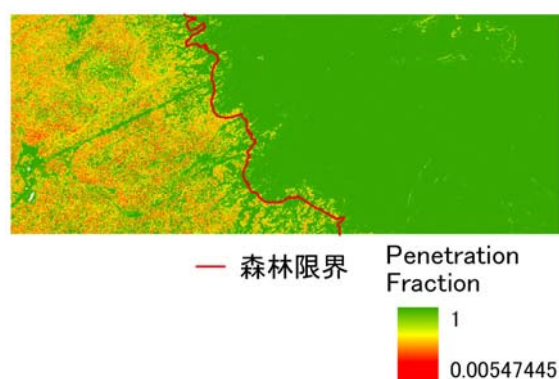


図3 Penetration Fraction の分布

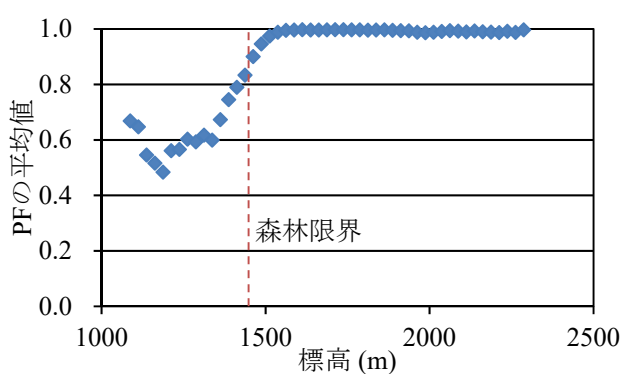


図4 標高と Penetration Fraction の関係

を含む) もしくは積雪表面から反射したものと考えられる。

このような特徴を有する点群データを用い，Zheng et. al.<sup>3)</sup>は，樹木及び樹冠の疎密の程度を表現する指標として，Penetration Fractionを提案している．具体的には，対象範囲を任意の大きさの正方形メッシュに区分し，各メッシュ内において反射した全点数に対する，雪面から反射した点の数と定義している．この定義により，PFは，雪面以外の地物から反射した点が多い，つまり樹木や樹冠が密であるメッシュほど0に近づく性質がある．本研究では，PFの計算に十分なサンプル数が得られるよう，メッシュの大きさは5mとした。

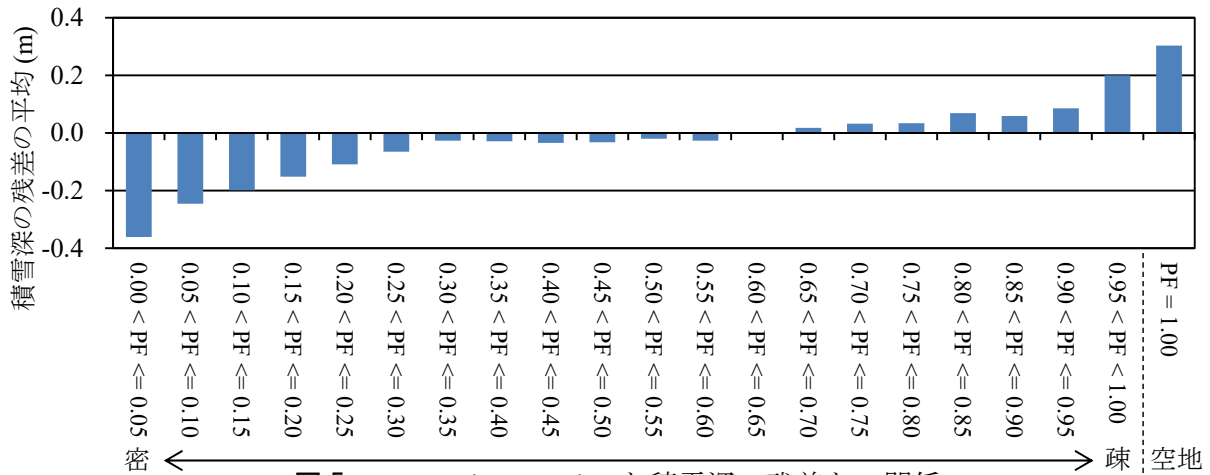


図5 Penetration Fraction と積雪深の残差との関係

図3にPFの分布を示す。図より、森林限界を境に、PFのばらつきが大きい範囲(西側)と1に近い値が多く分布している範囲(東側)に分かれていることがわかる。樹林帯においては、樹木の密度の差、常緑樹と落葉樹との間の樹幹密度の差、局所的な空地の存在によりPFがばらつくと考えられ、高山帯においては、植生が積雪下に埋没していることからPFがほぼ1になると考えられるが、図示したPFはこのような性質を反映していると考えられる。図4に標高とPFとの関係を示す。図示したPFは標高25m区間の平均値である。図を見ると、樹林帯におけるPFは0.5~0.7程度であるが、森林限界である標高1450m前後の標高帯においてPFが急激に増加し、森林限界においてはPFが0.9程度となっている。また、高山帯においては、全域でPFがほぼ1である。

#### 4. Penetration Fraction と積雪深の関係

ここからは標高1450m以下の樹林帯を対象にPFと積雪深の関係を分析する。対象範囲の主たる植生は針広混交林である。対象範囲は標高差が400m程度あることから、以下に示す方法により、標高が積雪深に与える影響を取り除いた残差を用いて分析を行う。はじめに、標高を25mピッチに区切り、各標高帯における平均積雪深を算出し、標高の中央値と平均積雪深の線形回帰分析を行う。得られた線形回帰式から推定した各メッシュの積雪深を、航空レーザ測量により計測された同一メッシュの積雪深から差し引いて残差を求める。これは、航空レーザ測量により計測された各メッシュの積雪深から、同じ標高における代表的な積雪深(平均値)を差し引くことに相当する。残差が正である場合は、航空レーザ測量により計測された積雪深が、同じ標高における代表的な積雪深より大きいこと、負である場合は小さいことを示す。図5にPFと積雪深の残差との関係を示す。ここで、積雪深の残差は、PFを0.05ピッチに区切った区間における平均値である。PF=1は空地を示している。図より、PFが大きくなるに伴い、積雪深の残差が大きくなっている。このことは、樹木や樹冠が密であるほど樹冠遮断により地表面に到達する降雪量が少なくなることを反映していると考えられる。樹冠遮断が無いと考えられるPF=1の範囲と比較すると、PFが0.50~0.55の箇所は平均で約0.32m、PFが0.00~0.05の箇所は約0.66m積雪深が小さい。また、PFが0.60~0.65の箇所において積雪深の残差がほぼ0mとなっていることから、対象範囲の樹林帯においては、代表性の高い積雪深はPFが0.60~0.65の範囲に出現していることが示唆される。

図6にPFを0.2ピッチに区切り、それぞれの区間に対する標高と積雪深の関係を示す。図示した積雪深は標高25mピッチに区切った区間の平均値である。図より、PFが大きい、つまり樹木や樹冠が疎であるほど積雪深が大きくなる傾向が見られる。PFの区間による差に着目すると、標高が1300mを超えると疎で区間と密である区間における積雪深の差が大きくな

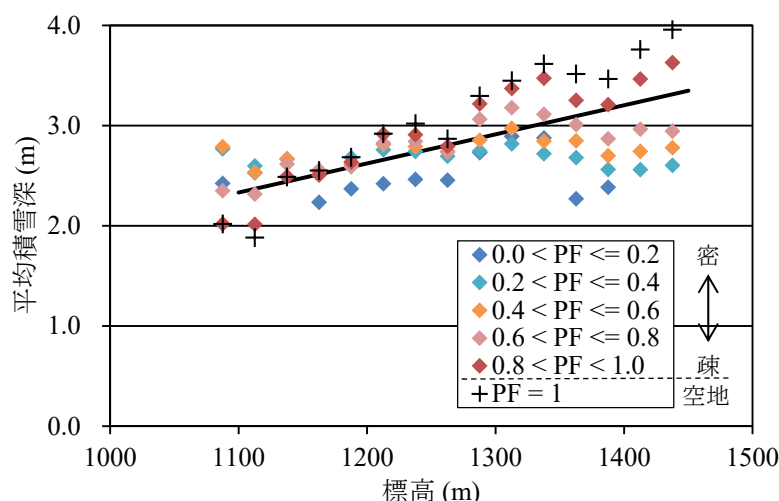


図6 Penetration Fraction 別の標高と積雪深の関係

る。標高が 1300 m 以下の PF が大きい箇所は樹木に囲まれた閉じた領域であるのに対し、標高が 1300 m 以上の PF が大きい箇所は、高山帯と連続した領域が見られる (図 2)。このことから、1300 m 以上の PF が大きい箇所は風が吹き抜けやすく、風により積雪深が大きくなった可能性がある。また、標高が 1100 m 付近において PF=1 の箇所の積雪深が小さくなっているのは、旭岳温泉地域における除雪の影響と

考えられる。積雪深が市街地や風の影響を受けにくいと考えられる標高 1200 m~1300 m を対象に、PF = 1 の範囲の積雪深に対する積雪深の減少率 (樹冠による降雪の遮断率に相当) の平均値を求めると、PF が 0.0~0.2 の範囲で 17 %、0.2~0.4 の範囲で 9 %、0.4~0.6 の範囲で 7 %、0.6~0.8 の範囲で 5 %、0.8~1.0 の範囲で 2 % であった。久野ら<sup>4)</sup>は、針広混交林内の開空率が 0~70% の範囲にある複数点において、積雪期に定期的な積雪調査により降雪遮断率を求めたところ、4.3~19.0 % であったことを報告しており、本研究の結果と概ね一致する。このことから、航空レーザ測量により取得した点群データを用い、樹木や樹冠が積雪深に与える影響を定量的に評価できる可能性があると考えられる。

## 5. まとめ

北海道旭岳周辺において、広範囲の樹林帯を対象に、積雪ピークの航空レーザ測量により取得した点群データから算出した Penetration Fraction を用い、樹林と積雪深との関係を定量的に分析した。結果、PF が大きくなる (樹木及び樹冠が疎になる) に伴い、積雪深が大きくなること、対象とした樹林帯における代表的な積雪深は PF が 0.60~0.65 の範囲に出現していることを示した。また、対象とした針広混交林においては、樹冠の降雪遮断率が 2~17 % であり、積雪調査から求めた遮断率と概ね一致した。航空レーザ測量により取得した点群データを用いることで、樹木や樹冠が積雪深に与える影響を定量的に評価できる可能性がある。

## 【参考・引用文献】

- 1) Tatewaki, M., 1958: Forest ecology of the island of the north pacific ocean, *Journal of the Faculty of Agriculture*, Hokkaido University, **50**(4), 371-486.
- 2) Moeser, D., Stähli, M. and Jonas, T., 2015: Improved snow interception modeling using canopy parameter delivered from airborne LiDAR data, *Water Resour. Res.*, **51**, 5041-5059, doi: 10.1002/2014WR016724.
- 3) Zheng, Z., Kirchner, R. B. and Bales, R. C., 2016: Topographic and vegetation effects on snow accumulation in the southern Sierra Nevada: a statistical summary from lidar data, *The Cryosphere*, **10**, 257-269, doi: 10.5194/tc-10-257-2016.
- 4) 久野友靖, 兒玉裕二, 中井太郎, 石川信敬, 2009: 樹冠による降雪遮断量の評価, 北海道の雪氷, **29**, 45-48.