2 カ年の航空レーザ測量結果を用いた 山間部における積雪分布と地形の関係に関する研究

A study on relationship between snow depth and topography using airborne scanning conducted twice

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

積雪寒冷地では，春先の融雪水をダムに貯留して夏季にかけての水利用を賄っており，積雪は水資源として重要である．一方で，融雪水は融雪出水の原因ともなる．このため，融雪が始まる前に流域の積雪包蔵水量をできるだけ正確に把握することは，水資源管理及び融雪期における出水の規模を想定する上で非常に重要である．

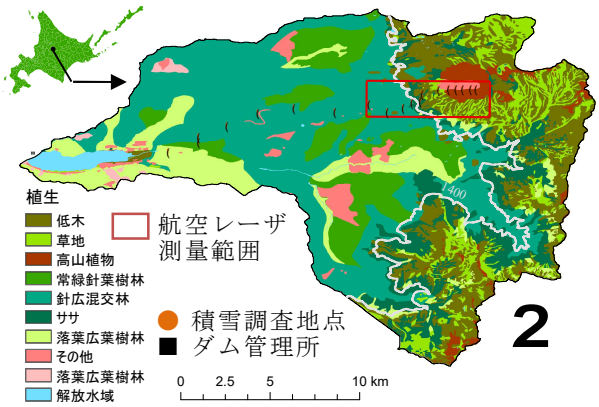

図１　対象ダム流域（忠別ダム流域）

これまでに，山間部の積雪分布を把握するため，日本各地で積雪調査が行われてきた（例えば山田ら[1]）．雪崩等の危険が伴い，多大な労力を必要とすることから，調査地点は限られるものの，調査の積み重ねにより，樹林帯においては標高と積雪深との間に概ね線形の関係があること，高標高帯においては地形を平坦化するように積雪が再堆積する傾向があること等，積雪分布に関する様々な事項が明らかにされている．また，これらの調査によって明らかになった事項は，ダム管理の現場において，積雪包蔵水量を推定する際の実務にも活用されている．しかし，冬季の立ち入りが困難な高標高帯の積雪分布に関しては，調査結果が少なく，積雪分布の推定手法が確立していない．このような地上からのアプローチが困難な範囲を対象に，筆者らのグループは，航空レーザ測量を用いて，上空から広範囲にわたる積雪分布を高精度で計測し，地形との関係を分析してきた．このうち，北海道の大雪山系に位置する忠別ダム流域においては，同一範囲の積雪分布を 2012 年及び 2015 年の 2 回にわたって計測し，積雪分布の特徴に関して，より一般性の高い分析を可能にした．そこで，本研究では，2 カ年分の航空レーザ測量の結果を用い，積雪分布と地形との関係を分析した結果を報告する．

２．対象流域

対象流域は図 1 に示す忠別ダム流域である．忠別ダムは北海道中央部の大雪山系に位置し，流域面積は 239 km^2，流域の標高帯は 400 m～2,300 m 付近である．図 1 には，自然環境保全基礎調査の結果を用いて 10 分類した植生を示している．図中の白線は標高 1,400 m の等高線であるが，標高 1,400 m 付近を境に主たる植生が森林から草地やササといった森林以外に変化する．流域面積の約 6 割が樹林帯，約 4 割が森林限界以上の高標高帯である．

Copyright © 2016 公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

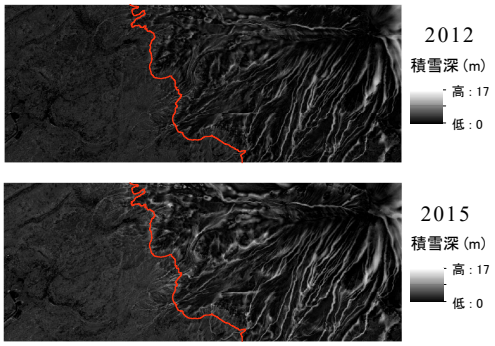

図 2　計測された積雪分布

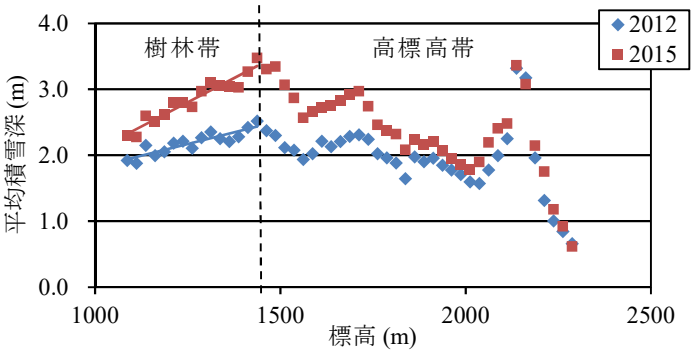

図 3　標高と積雪深の関係 [2)]

次に，解析に使用した資料を示す．航空レーザ測量は，図 1 の赤枠で示す範囲で実施した．測量範囲の面積は 10 km^2，標高帯は 1,100 m～2,300 m 付近の主に南から西向きの斜面である．測量範囲の植生は標高 1,450 m 付近を境に森林と森林以外に分かれ，標高 1,450 m 以上の範囲では，98%が森林以外である．航空レーザ測量は，無積雪期の 2009 年 9 月 22 日～25 日，積雪期の 2012 年 3 月 10 日及び 2015 年 3 月 27 日に実施した．積雪深は，積雪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 5 m である．計測した範囲においては，2012 年と比較して 2015 年の積雪が多い．

３．積雪分布の特徴

図 2 に航空レーザ計測により得られた積雪分布を示す．図中の赤線は森林限界であり，赤線の左側が樹林帯，右側が森林限界以上の高標高帯である．樹林帯と高標高帯の積雪分布が異なることは，多数の論文によって指摘されているが，航空レーザ測量の結果を見ると，このことが明解となる．概観すると，樹林帯の積雪深は 1 m から 3 m 程度の範囲に分布しているのに対し，高標高帯の積雪深は 0 から 10 m を超える範囲に幅広く分布し，尾根に沿って積雪の少ない箇所，谷に沿って積雪の多い箇所が分布している．また，両年の積雪分布には同様のパターンが見られる．

４．標高と積雪深の関係

航空レーザ測量により得られたデータは約 40 万個あるため，そのままでは積雪深と地形との関係を捉えることが困難である．このため，標高 25 m ピッチのように，幅を持った区間に区分し，この区間の平均積雪深を求め，地形因子との関係を考察する．図 3 に標高と積雪深の関係を示す．標高は 25 m ピッチで区分した．図に示した 2012 年及び 2015 年の積雪深を概観すると，標高に対する積雪深の増減の傾向がほぼ同一である．これは，3 章において示したように，同様の積雪分布のパターンが両年に見られることが一因と考えられる．また，両者の差は，各年の積雪の多寡が反映されたものと考えられる．標高 1,450 m までは樹林帯と対応し，この範囲では，既往の研究結果と同様に，標高と積雪深との間に線形の関係が見られる．標高 1,450 m 以上は森林限界以上の高標高帯と対応し，積雪深が大きく変動している．

５．高標高帯における地形の凹凸と積雪深の関係

西原ら [2)]は，森林限界以上の高標高帯における積雪深は，地上開度との間に線形の関係があることを報告している．ここで，地上開度とは，横山ら [3)]が開発した地形の凹凸

Copyright © 2016 公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

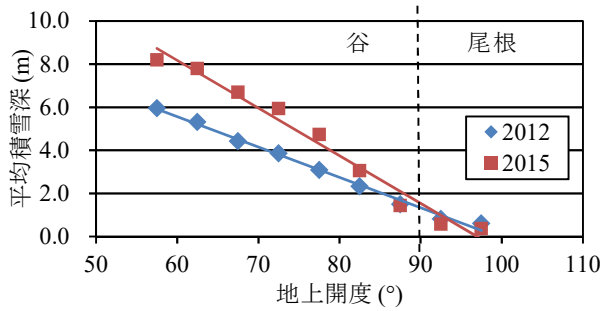

図 4　地上開度と高標高帯の積雪深の関係 [2)]

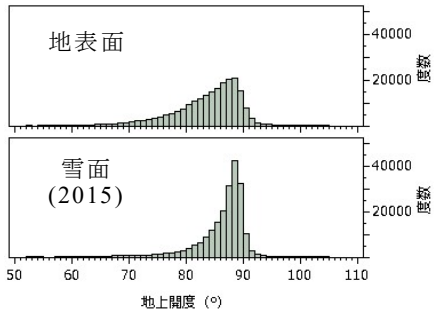

図 5　地表面と雪面の地上開度分布

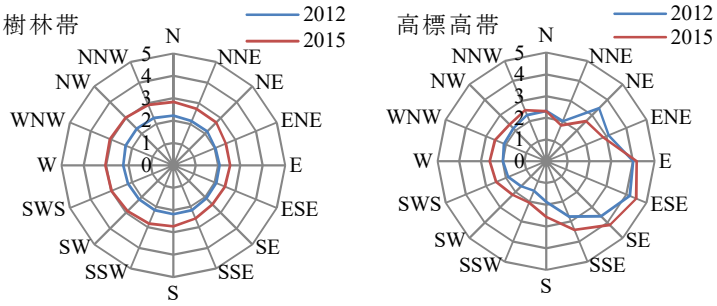

図 6　16 方位毎の積雪深

を表す指標であり，着目地点が谷の場合に地上開度 $\phi < 90°$，尾根の場合に地上開度 $\phi > 90°$，平地の場合に地上開度 $\phi = 90°$となる．無雪期における地表面の地上開度と積雪深との関係を図 4 に示す．積雪深は森林限界である標高 1,450 m 以上の範囲を抽出し，地上開度を 5°ピッチで区分して算出した平均値である．図を見ると，2012 年及び 2015 年の両年とも，地上開度が大きくなるに伴い，積雪深が線形に減少している．線形式の傾きは，各年の積雪の多寡が反映されている．谷の積雪深が大きく尾根の積雪深が小さいことは，風による移動後の積雪分布の特徴であり [1)]，航空レーザ測量により計測された積雪深は，風による移動後の再堆積分布であると考えられる．

また，過去の調査では，高標高帯の積雪は地形の凹凸を平坦化するように堆積することが報告されている．これは，無雪期の地表面と雪面の地上開度が異なり，雪面の地上開度は 90°付近に多く分布することに相当する．図 5 に地表面と代表して 2015 年の雪面の地上開度分布を示す．図より，積雪により地上開度の分布が大きく変化し，雪面の地上開度は 90°付近の度数が非常に大きくなっている．このことから，高標高帯の積雪は地形の凹凸を平坦化するように堆積していることが確認できる．

６．風が高標高帯の積雪分布に与える影響

森林限界以上の高標高帯における積雪分布は風の影響を強く受ける．この影響を分析するため，樹林帯及び高標高帯毎に，16 方位に区分して平均積雪深を算出した．図 6 に示した樹林帯における積雪深の分布を見ると，2012 年及び 2015 年の両年ともほぼ円形となっていることから，方位によらずほぼ均一の積雪深となっている．一方で，高標高帯における積雪深の分布を見ると，北東から南東にかけての積雪深が大きく，北西から南西にかけての積雪深が小さくなっており，方位による偏りが大きい．航空レーザ測量を実施した範囲において実測の風向風速が得られなかったため仮説になるが，冬の北海道の日本海側においては，風による積雪の移動が起こるような荒天時には，強い西風が吹く傾向があるため，この西風により積雪が移動した結果，北東から南東にかけての積雪深が大きく，北西から南西にかけての積雪深が小さいといった積雪深の偏りが生じたと考えられる．図 7 に現象のイメージを示したが，尾根を境

Copyright © 2016 公益社団法人日本雪氷学会北海道支部

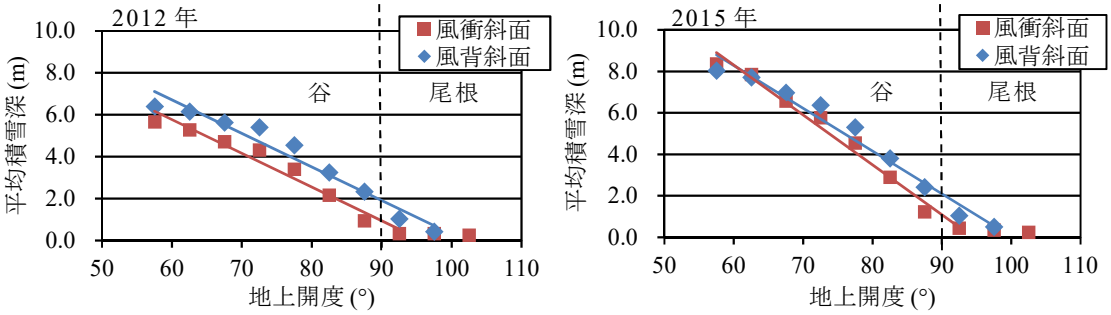

図 8　地上開度と高標高帯の積雪深の関係

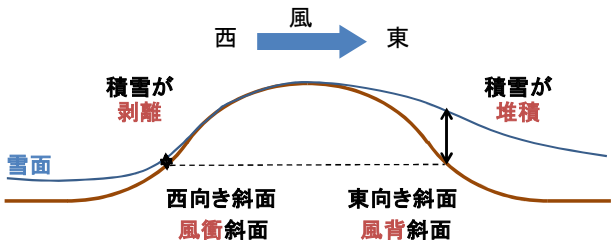

図 7　風の影響を受けた積雪深のイメージ

に，西向き斜面は風衝斜面であるため積雪が剥離し，東向き斜面は風背斜面であるため積雪が堆積したと考えられる．また，図の点線で示したように，地上開度が同一であっても，風衝斜面に位置する場合と風背斜面に位置する場合では積雪深が異なる．そこで，高標高帯を対象に，方位を風衝斜面（北～西～南）及び風背斜面（北～東～南）の 2 つに区分し，それぞれの地上開度と積雪深の関係を図 8 にプロットした．図より，地上開度が同じ場合でも，風衝斜面と比較して風背斜面の積雪深が大きいことが分かる．風背斜面においては尾根地形である地上開度が 95°程度で積雪深が 0 となるのに対し，風衝斜面においては平地である地上開度が 90°程度で積雪深が 0 となっている．風衝斜面においては，地形が平地であっても積雪が堆積しづらい環境になることが確認された．なお，地上開度が小さい範囲では 2012 年及び 2015 年の傾向が異なっている．これは，対象範囲を方位及び地上開度を用いて区分した際にサンプル数が少なくなることが要因の一つと考えられることから，引き続きデータの蓄積に合わせて分析を進めていきたい．

7．まとめ

航空レーザ測量による同一範囲を対象に実施した 2 カ年の積雪分布の計測結果を用いて，積雪分布と地形との関係に関し，より一般性の高い分析を行った．結果，過去に行われた積雪調査の結果の積み重ねにより明らかとなった事項を検証すると同時に，高標高帯において顕著となる風が積雪分布に与える影響に関して詳細に分析をすることができた．

【参考・引用文献】

1)　山田知充, 西村寛, 水津重雄, 若浜五郎, 1978: 大雪山旭岳西斜面における積雪の分布と堆積・融雪過程, 低温科学物理篇, **37**, 1-12.

2)　西原照雅, 谷瀬敦, 渡邉和好: 森林限界以上の高標高帯における積雪分布と融雪・流出計算に適用する降雪分布について, 2016：土木学会論文集 B1（水工学）**,72(4)**, I_475-I_480.

3)　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, **38(4)**, 26-34.

Copyright © 2016 公益社団法人日本雪氷学会北海道支部