

## 2 回の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関する研究

### A study on similarity of snow depth distributions based on airborne laser scanning measurements

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両面で非常に重要である。

ダム管理を例にすると、毎年 3 月に積雪調査を行い、この結果から流域の積雪包蔵水量を推定することが一般的である<sup>1)</sup>。しかし、積雪調査は雪崩等の危険や多大な労力と伴い、調査地点は冬期に入山できる範囲に限られる。一方、近年では、航空レーザ測量を用いて、森林限界以上の高標高帯のような冬期に立ち入りが困難な範囲を含む広範囲の積雪分布を計測した例がある<sup>2), 3), 4)</sup>。これらのうち西原ら<sup>4)</sup>は、北海道大雪山系旭岳において、同一範囲の積雪分布を 2012 年及び 2015 年の 2 度にわたって計測し、両年の積雪分布のパターンに類似性が見られること、この類似性を用いてダム流域等の山間部において、簡易にかつ低コストで精度良く積雪分布を推定できる可能性があることを報告している。しかし、西原ら<sup>4)</sup>は積雪分布のパターンの類似度を多面的に評価するには至っていない。そこで、本研究では様々な観点から積雪分布のパターンの類似度を評価した。

#### 2. 航空レーザ測量範囲及び計測された積雪分布の特徴

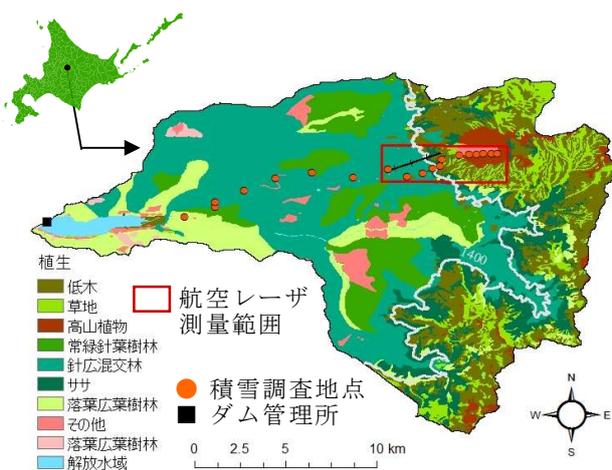


図 1 測量範囲 (忠別ダム流域)

図 1 に航空レーザ測量により積雪分布を計測した範囲を示す。計測した範囲は、忠別ダム流域に位置し、赤枠で示した南北方向の長さが 2km、東西方向の長さが 5km、面積が 10km<sup>2</sup>である。図 1 には環境省の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た。図中の白線は標高 1,400m の等高線であるが、標高 1,400m 付近に森林限界があり、ここ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している。積雪分布を計測した範囲の標高帯は概ね 1,100m~2,300m である。

積雪分布を計測した範囲の森林限界は概ね標高 1,450m であり、標高 1,450m 以上の範囲では、約 98%が森林以外の植生である。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、積

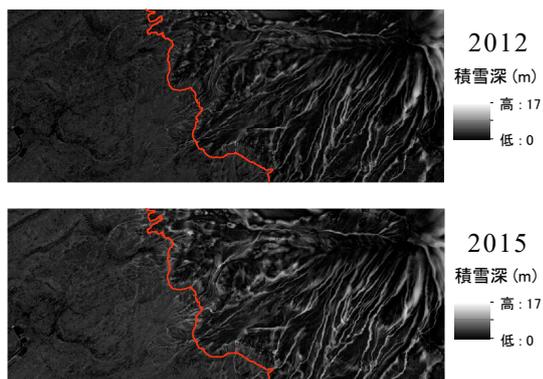


図2 計測された積雪分布<sup>4)</sup>

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5mである。測量に使用した機器の計測精度を基に算出した積雪深の計測精度は±30cmである。

計測された積雪分布を図2に示す。図中の赤線が森林限界であり、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。計測範囲における2012年及び2015年の積雪の総量は、それぞれ $2.13 \times 10^7 \text{ m}^3$ 、 $2.71 \times 10^7 \text{ m}^3$ であり、2012年と比較して2015年の積雪が多い。

図2を概観すると、樹林帯と高標高帯の積雪分布の特徴が明瞭に異なる。樹林帯においてはほとんどが暗色であることから積雪深が小さく、狭い範囲に分布しているのに対し、高標高帯においては明暗が明瞭であることから積雪深が幅広く分布し、尾根沿いに積雪の少ない箇所、谷沿いに積雪の多い箇所が分布しているといった両年の積雪分布に同様のパターンが見られる<sup>4)</sup>。

### 3. 積雪深のヒストグラムの比較

山間部の積雪分布は樹林帯及び森林限界以上の高標高帯においてその特徴が異なる。そこで、森林限界と考えられる標高1,450mの等高線を境界として、計測範囲を樹林帯と高標高帯に区分し、それぞれの範囲における積雪深のヒストグラムを比較する。

はじめに、図3に樹林帯における積雪深のヒストグラムを示す。図中の赤線はヒストグラムに正規分布を当てはめた結果であるが、両年の積雪分布は概ね正規分布に一致している。積雪量の多い2015年のヒストグラムは、積雪量の少ない2012年のヒストグラムと比較して、最も出現度数の大きい積雪深の度数が18%小さく、積雪深の標準偏差が23%大きい。次に、図4に高標高帯における積雪深のヒストグラムを示す。図中の赤線はヒストグラムに指数分布を当てはめた結果であるが、両年の積雪分布は概ね指数分布に一致している。2015年のヒストグラムは、2012年のヒストグラムと比較して、最も出現度数の大きい積雪深0の度数が約14%小さく、積雪深の標準偏差が17%大きい。また、積雪量の多い2015年のヒストグラムは2012年のヒストグラムと比較して、積雪深が1m以下の度数が24%減少している点に特徴がある。全体的に見ると、積雪分布は樹林帯において正規分布、高標高帯において指数分布であること、積雪深の多い年は、最も度数が多い積雪深の度数が小さくなり、積雪深の分布する幅が積雪深の大きい方に向かって大きくなることが示された。

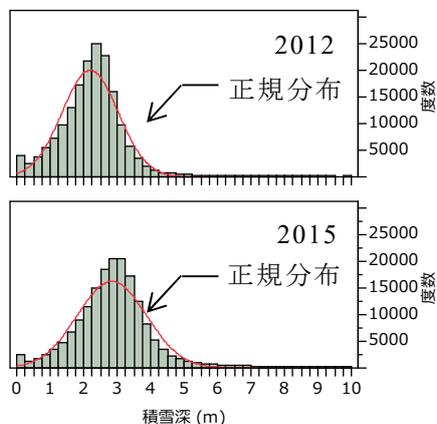


図3 樹林帯の積雪深の分布

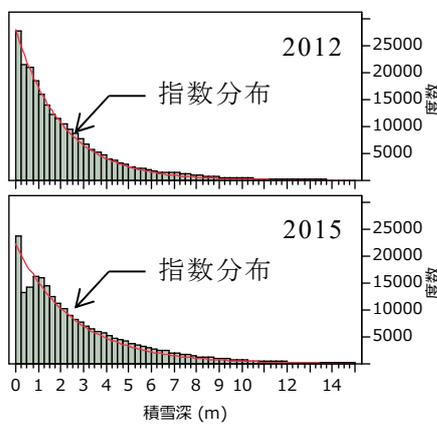
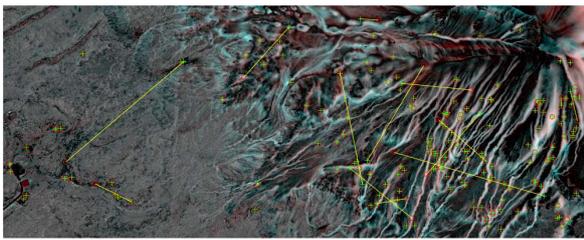


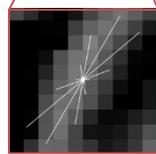
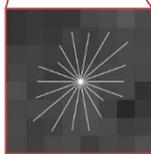
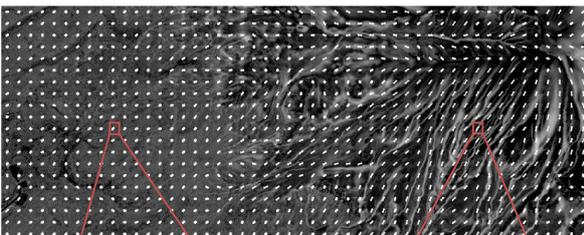
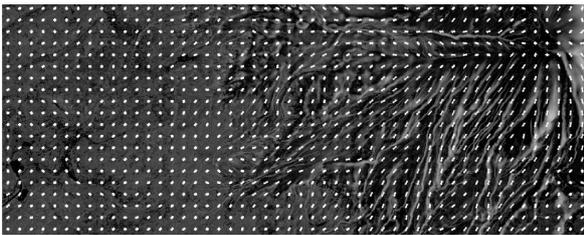
図4 高標高帯の積雪深の分布

4. 積雪分布の画像特徴の比較



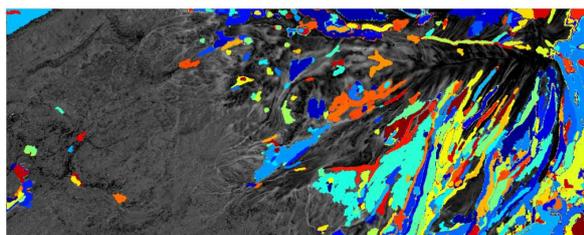
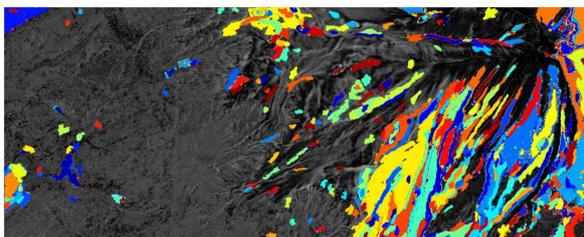
○2012 +2015

図 5 SURF 特徴量の比較



上：2012年，下：2015年

図 6 HOG 特徴量



上：2012年，下：2015年

図 7 MSER 特徴量

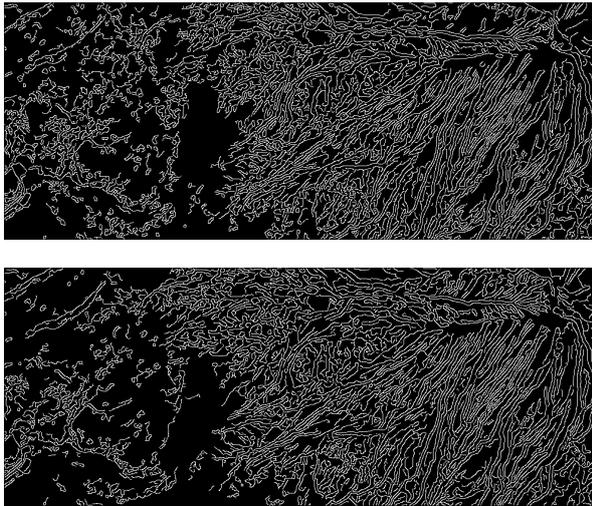
画像特徴<sup>5)</sup>とは、デジタル画像を対象として、計算機がその中に含まれる物体を認識するために用いられる諸量であり、3章で示したヒストグラムは対象とする物体全体の情報を示す特徴量に位置づけられる。4章では、図2に示した積雪分布を8ビットの整数に変換した画像から、局所領域の輝度の変化やエッジに着目した特徴量を算出し、比較を行う。計算には技術計算用語 MATLAB を用いた。

SURF 特徴量を図5に示す。SURF 特徴量は輝度変化が大きいエッジを抽出したものである。図には検出された特徴点のうち、両年にマッチングする点をプロットしており、誤った点がマッチングされた場合は点同士をつなぐ線が描かれている。検出された特徴点は高標高帯に多く、概ね正しくマッチングしている。

HOG 特徴量を図6に示す。HOG 特徴量は局所領域における輝度の勾配方向ヒストグラムであり、個々のプロットはローズダイアグラムで表示した。図を概観すると、樹林帯は輝度変化(積雪深の変化)が小さいため、どの方向にも概ね同じ大きさのダイアグラムとなっているのに対し、高標高帯は輝度変化が大きいため、

輝度の変化に応じてダイアグラムの形状が変化している。両年の同位置におけるダイアグラムの形状を見ると、概ね同様の形状となっている。

MSER 特徴量を図7に示す。MSER 特徴量は輝度が近い領域を1つの領域にまとめていくことで、画像を特徴の近い領域に分割したものである。図より MSER 特徴量は、森林限界以上の高標高帯において輝度の変化が大きい範囲に多く検出され、樹林帯においてはほとんど検出されていない。高標高帯において検出された範囲を見ると、両年の画像に対して、比較的類似した形状の領域が検出されて



上：2012年，下：2015年

図8 Canny エッジ

ら、積雪深が幅広く分布し、尾根や谷といった積雪深が局所的に変化する箇所が多い、つまり輝度の変化が大きく、エッジが明瞭となる高標高帯において検出数が多くなったと考えられる。一方で、積雪深が狭い範囲に分布している樹林帯においては、輝度の変化が小さくエッジが不明瞭となるため、画像特徴が検出されにくかったと考えられる。

## 5. まとめ

同一範囲の積雪分布を2012年及び2015年の2度にわたって航空レーザ測量により計測した結果を用いて、積雪分布のパターンの類似度を評価した。積雪分布は樹林帯において正規分布、高標高帯において指数分布であること、積雪深の多い年は、最も度数が多い積雪深の度数が小さくなり、積雪深の分布する幅が積雪深の大きい方に向かって大きくなることが示された。また、積雪深が幅広く分布し、尾根や谷といった積雪深が局所的に変化する箇所が多い森林限界以上の高標高帯に関しては、画像特徴を用いて積雪分布のパターンの類似性を評価できる可能性を示した。

### 【参考・引用文献】

- 1) (独)土木研究所 寒地土木研究所, 2012: ダムにおける積雪包蔵水量推定ガイドライン(案).
- 2) 花岡正明, 本間信一, 渡正昭, 飯田肇, 2007: レーザ計測を用いた積雪深分布解析, 平成19年度砂防学会研究発表会概要集, 524-525.
- 3) 鈴木啓助, 佐々木明彦, 2012: 上高地梓川流域における積雪深分布推定, 2012年雪氷研究大会概要集, 145.
- 4) 西原照雅, 谷瀬敦, 2017: 積雪分布のパターンの類似性に着目した積雪分布の推定手法の検討, 土木学会論文集 B1(水工学), 73(4), I\_37-I\_42.
- 5) 例えば, 山下隆義, 藤吉弘亘, 2008: 特定物体認識に必要な特徴量, 情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), 221-236.

いる。

Canny エッジを図8に示す。エッジとは輝度が急激に変化する経路に沿った曲線である。図より、樹林帯と比較して、高標高帯において多くのエッジが検出されていることがわかる。図8に示した両年の画像をメッシュ毎に比較すると、全メッシュの88%が一致した。

ここまで、複数の画像特徴及びエッジを抽出し、2012年及び2015年の積雪分布のパターンを比較した。特徴量により検出数は異なるが、森林限界以上の高標高帯に関しては、比較的多くの特徴が検出され、概ね一致した傾向が見られた。使用した画像特徴は局所領域における輝度の変化やエッジに着目していることか