

# 航空レーザ測量を活用した森林内における 積雪分布と地形との関係に関する考察

## Study of Relationship between Snow Depth Distribution and topography in the Forest Using Airborne Laser Scanning

西原照雅 ((独) 土木研究所寒地土木研究所),  
中津川誠 (室蘭工業大学大学院), 浜本聡 ((独) 土木研究所寒地土木研究所)  
Terumasa Nishihara, Makoto Nakatsugawa and Satoshi Hamamoto

### 1. はじめに

積雪寒冷地の多目的ダムでは、融雪水を貯留し、夏季にかけての水利用を賄っている。このためダムでは、毎年3月頃に積雪調査を行い、流域の積雪包蔵水量を推定している。しかし、積雪調査は厳冬期に行われるため、調査できる地点は限られる。一方、近年、航空レーザ測量により広範囲の三次元空間データを得ることが可能となった。積雪に関しては、無積雪期と積雪期の二時期の測量の標高差から積雪深を求め、地形との関係を分析した報告がある。しかし、積雪分布の特徴が異なる森林内と森林外に分けて分析した例はない。著者らは、定山溪ダム流域において、広範囲に実施された航空レーザ測量結果を入手した。そこで本研究では、航空レーザ測量結果から求めた積雪深分布と標高、傾斜、曲率、斜面方位との関係を分析し、これらの地形因子を用いて積雪深分布を推定する方法を提案する。なお、森林内の積雪深分布に焦点を当てるため、土地利用の大部分が森林である範囲を解析範囲とした。

### 2. 解析範囲及び基礎資料

積雪深分布と地形との解析範囲は、図-1 に赤枠で示した定山溪ダム流域の南～南西向き斜面とした。標高帯は380 m～1100 m、面積は67 km<sup>2</sup>である。航空レーザ測量は、無積雪期(2010年6月6日～12日)と積雪期(2010年4月8日)に実施し、二時期の測量の標高差を積雪深とした。解析範囲には、テレメータで積雪深を自動観測している春香山地点が含まれているため、航空レーザ測量日の積雪深を比較すると、テレメータで観測した積雪深2.18 mに対し、航空レーザ測量より求めた積雪深は2.13 mであった。航空レーザ測量データの水平解像度は5mである。なお、植生は環境省が公開している自然環境保全基礎調査の結果を用い、図-1 に示すように9分類した。解析範囲の土地利用は86%が森林である。

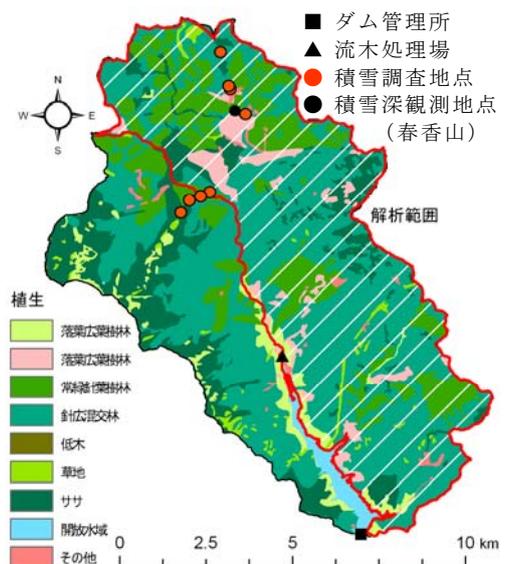


図-1 解析対象ダム流域

### 3. 積雪深と地形の関係

航空レーザ測量で得られたデータは約250万個あり、そのままでは積雪深と地形との関係を捉え

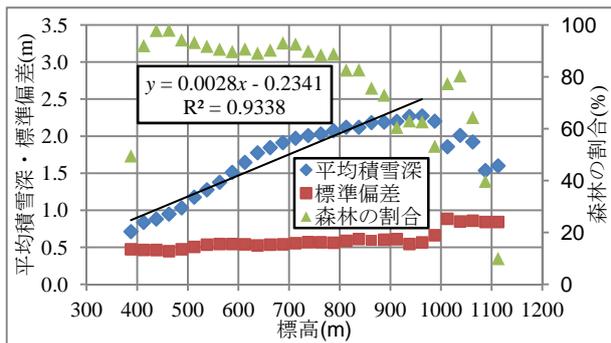


図-2 標高と積雪深の関係

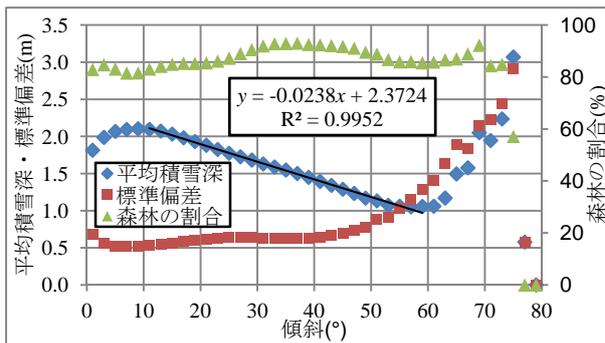


図-3 傾斜と積雪深の関係

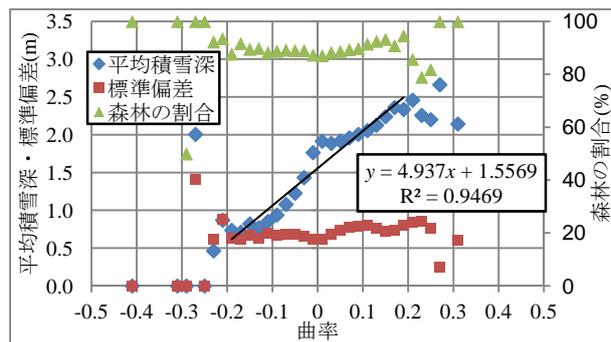


図-4 曲率と積雪深の関係

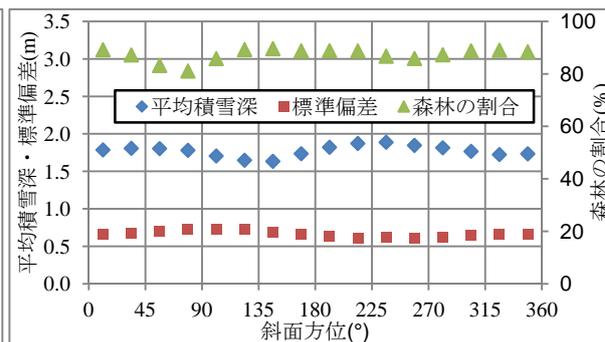


図-5 斜面方位と積雪深の関係

ることが困難である．このため、標高を 25 m、傾斜を 2°、曲率を 0.02、斜面方位を 16 方位に区分して、区分した範囲の平均積雪深と地形との関係を考察する．

はじめに、図-2 に示した積雪深と標高の関係を見ると、積雪深がピークになる 975 m まで、標高の増加とともに積雪深は高い相関で線形に増加しており、既往研究と傾向が一致している（例えば山田ら<sup>1)</sup>）．次に、積雪深と傾斜の関係を示した図-3 を見ると、傾斜が 10°～60°の範囲では、傾斜の増加とともに積雪深は高い相関で線形に減少している．続いて、図-4 に積雪深と曲率の関係を示すが、曲率は負の値が凸地形、正の値が凹地形を表す．図より曲率が-0.2～0.2 の範囲で、曲率が増加するとともに高い相関で積雪深が線形に増加している．ここまでに述べた線形の関係が見られた範囲は、いずれも森林の割合が概ね 80% 以上であり、積雪深の標準偏差は 0.5～0.8 付近でほぼ一定である．笹ら<sup>2)</sup>は森林に堆雪効果があり、森林内では積雪が安定して堆積することを報告しており、標高、傾斜、曲率と積雪深との間に線形の関係が見られたこと、積雪深の標準偏差が小さくほぼ一定であることは、森林の効果によるものと考えられる．また、北陸地方の立山で行われた航空レーザ測量を基に、本稿と同じく積雪深と地形との関係を分析した花岡ら<sup>3)</sup>の報告と傾向が一致しており、本稿の結果は森林内の積雪深の一般的特徴と考えられる．最後に、図-5 に斜面方位と積雪深の関係を示す．本解析は南～南西向きの斜面を対象としたが、データの水平解像度が 5 m であり、微地形を捉えている．このため、各方位のサンプル数は十分確保されている．図より斜面方位と積雪深、標準偏差、森林の割合の関係を見ると、ほぼ一定であり、これまでに考察した地形因子と比較して、これらの数値の変動が小さいことがわかる．なお、図-2～4 において積雪深と地形との線形の関係が見られない範囲、標準偏差が変動している範囲は、風により雪が飛ばされやすい草地やササが多い範囲や航空レーザ測量のサンプル数が少ない範囲である．

### 4. 積雪深分布の簡易推定式

地形因子を考慮して森林内の積雪深分布を簡易に推定する以下の式を提案する.

$$SD = a_1x_{ele} + a_2x_{slo} + a_3x_{cur} + a_4 \cos(x_{asp} - 45) + a_5 \quad (1)$$

ここで,  $SD$ : 積雪深(m),  $x_{ele}$ : 標高(m),  $x_{slo}$ : 傾斜( $^{\circ}$ ),  $x_{cur}$ : 曲率,  $x_{asp}$ : 斜面方位( $^{\circ}$ ),  $a_1 \sim a_5$ : 回帰係数である. 右辺の前半 3 項は, 積雪深と標高, 傾斜, 曲率との線形の関係それぞれ表現した. また, 他の因子と比較して寄与は小さいと考えられるが, 右辺第 4 項は, 熱負荷の影響を受け, 積雪深が斜面方位に対して周期性を持つこと<sup>4)</sup>を表現した.

式(1)について回帰分析を行った結果を表-1 に示す. 回帰係数は, 残差平方和が最小となるように決定した. 比較のため, 積雪深と標高との線形関係のみを考慮した場合の結果を併せて示す. 図-6 及び図-7 に地形 4 因子を考慮した方法, 標高のみを考慮した方法で推定した積雪深分布をそれぞれ示す. 図中の線は等高線である. 推定に用いて地形メッシュの大きさは 5 m である. 図を比較すると, 標高のみ考慮した場合は, 積雪深分布が等高線とほぼ同一となったのに対し, 地形 4 因子を考慮した場合は傾斜, 曲率, 斜面方位により積雪深が調整されていることがわかる. 航空レーザ測量より求めた積雪深を真値としてメッシュ毎に積雪深の誤差を求め, RMSE を算出したところ, 地形 4 因子を考慮した場合で 0.51, 標高のみを考慮した場合で 0.57 であった. このことから地形 4 因子を考慮した方の精度が高いことを確認できる. 図-8 は地形 4 因子を考慮した方法で推定した積雪深と航空レーザ測量より求めた積雪深との絶対誤差を示した. 全メッシュの 42 % を誤差  $\pm 25$  cm 以内, 73 % を誤差  $\pm 50$  cm 以内で積雪深を再現できた. また, 積雪深を推定した範囲に含まれる春香山地点の積雪深は, テレメータ観測 2.18 m に対し, 地形 4 因子を考慮した方法で 1.83 m, 標高のみを考慮した方法で 1.36 m であった.

表-1 回帰分析結果

	地形 4 因子 考慮	標高のみ 考慮
$a_1$	0.00248	0.0028
$a_2$	-0.0154	—
$a_3$	7.106	—
$a_4$	-0.0737	—
$a_5$	0.449	-0.234

### 5. 積雪深の頻度分布

鳥谷部ら<sup>5)</sup>は積雪深がほぼ正規分布であることを報告している. そこで, 標高を 100 m に区分し, 積雪深のヒストグラムを描いたのが図-9 である. 紙面が限られている

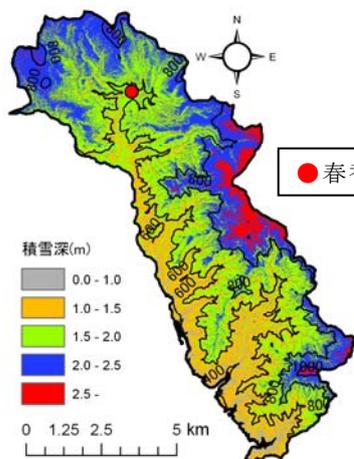


図-6 積雪深の再現結果 (地形 4 因子考慮)

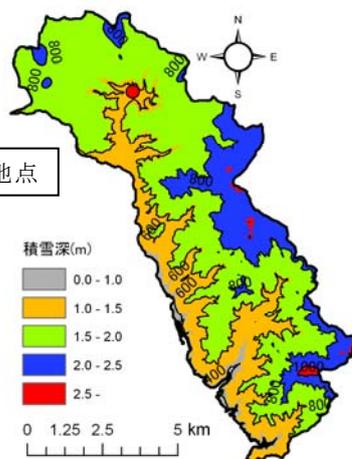


図-7 積雪深の再現結果 (標高のみ考慮)

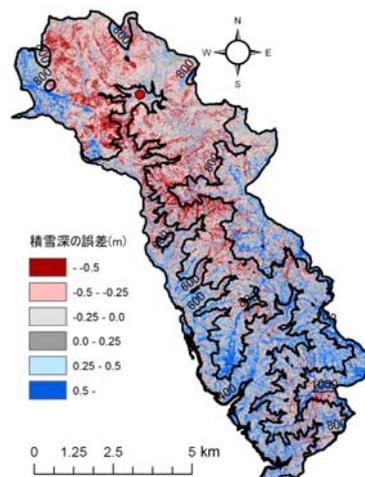


図-8 積雪深の再現誤差

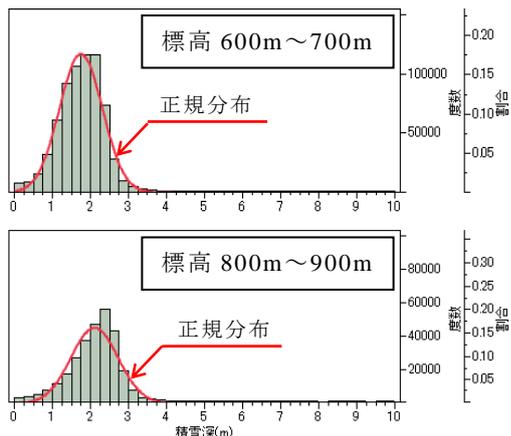


図-9 積雪深の頻度分布

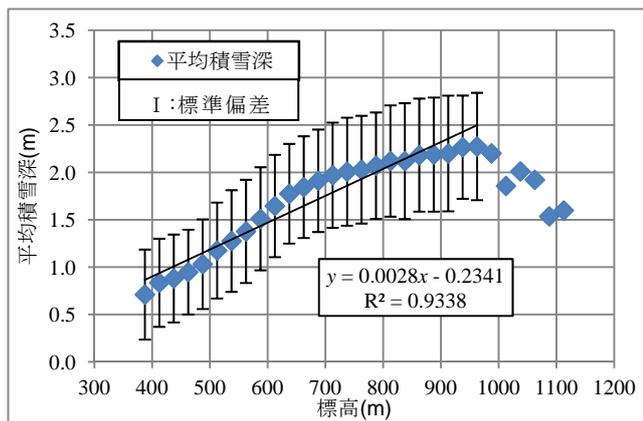


図-10 平均積雪深と標準偏差

ため2つの標高帯のみ示すが、ほぼ正規分布であることがわかる。

解析範囲の積雪の総量（メッシュの積雪深×面積の合計値）を算出すると、航空レーザ測量で  $119 \times 10^6$  m に対し、地形4因子を考慮した場合が  $120 \times 10^6$  m、標高のみを考慮した場合が  $113 \times 10^6$  m となった。標高のみを考慮した場合でも精度良く積雪の総量を推定できているが、これは積雪深が正規分布であり、標高との関係が図-10のようになることが要因と考えられる。つまり、限られた地点の積雪深しか調査できない場合でも、平均積雪深が得られる調査点を複数選定できれば、積雪の総量は標高を考慮するだけで良い精度で推定できることを示している。

## 6. まとめ

- 1) 二時期の航空レーザ測量より求めた積雪深の空間分布と、標高、傾斜、曲率、斜面方位との関係进行分析し、森林内における積雪深は標高に加えて、傾斜及び曲率との線形の関係があることを示した。
- 2) 積雪深との関係を考察した結果から、標高、傾斜、曲率、斜面方位を考慮して森林内の積雪深を推定する簡易式を示した。この式を用いると、標高のみを考慮した場合と比較して、精度良く積雪深を再現できることがわかった。
- 3) 広い範囲の積雪の総量を推定する場合、平均積雪深が得られる調査点を複数選定できれば、標高を考慮するだけで良い精度で推定できることを示した。

## 【参考・引用文献】

- 1) 山田知充, 西村寛, 水津重雄, 若浜五郎 : 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**, pp1-12, 1978.
- 2) 笹賀一郎, 藤原滉一郎, 佐藤冬樹 : 森林の強風地における堆雪効果, *北海道大学農学部演習林研究報告*, **46(4)**, pp801-828, 1989.
- 3) 花岡正明, 本間信一, 渡正昭, 飯田肇 : 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*, pp524-525, 2007.
- 4) 西原照雅, 中津川誠 : 斜面方位を考慮した積雪最盛期におけるダム流域の積雪包蔵水量の推定, *土木学会論文集B1(水工学)*, **Vol.68 No.4**, I\_337-I\_342, 2012.
- 5) 鳥谷部寿人, 中津川誠 : 高解像度DEMの積雪分布を用いたダム流域の積雪水量の推定の試み, *水工学論文集*, **第55巻**, pp421-426, 2011.