

航空レーザ測量を用いた ダム流域の積雪調査地点に関する一考察

Study on the snow survey points in the dam basin using airborne laser scanning data

西原照雅, 渡邊和好 ((独)土木研究所 寒地土木研究所)

Terumasa Nishihara and Kazuyoshi Watanabe

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, 夏季にかけての水需要を賄っている. このため, 冬季にダム流域に蓄積された積雪包蔵水量を精度良く推定することは, 水資源管理の観点から重要である.

現在のダム管理の実務では, 毎年 3 月頃に積雪調査を行い, この結果からダム流域の積雪包蔵水量を推定する. この際, 積雪調査結果を用いて, 標高と積雪相当水量の間に線形の回帰式を作成し, この式を用いて流域全体の積雪包蔵水量を推定する方法が一般的である¹⁾. したがって, 標高帯に対して代表性を有する観測値が得られる地点において積雪調査を実施する必要がある.

広域積雪調査の方法に関してまとめられた文献によると^{2), 3)}, 調査ルートや観測点は, 雪崩発生等の危険が無いこと, 移動や立ち入りが容易であること, 地表面に大きな凹凸が無く平坦な開けた場所であることが求められる. また, ダム流域は森林が大部分を占め, 調査範囲が森林内にあることが多いため, 自然な積雪の堆積が樹林や冠雪により妨げられないこと, または落葉樹の疎林地であることも必要な条件となる. このように, ダム流域における積雪包蔵水量の推定には, 様々な制約条件の下で, 観測可能な地点の限られたデータが用いられている. また, 調査地点の妥当性を直接検証することは困難であり, ダム地点で観測しているダム流入量と気象データから融雪期の水収支を求め, 水量の総量を用いて間接的に検証することが一般的である¹⁾.

一方, 最近では, 様々な GIS 情報がインターネットを通じて公開されている. いくつかの例を挙げると, 国土地理院は日本全国の標高データを公開しており, このデータを用いれば, 傾斜, 曲率等の様々な地形パラメータを計算することができる. また, 環境省は自然環境保全基礎調査の結果を公開しており, 日本全国の植生を把握することができる. また, 筆者らは, 国土交通省が積雪期に実施した航空レーザ測量の結果を入手しており, 前述した標高データとの差分により, ダム流域における積雪深の空間的分布を把握することができる. そこで, 本稿では, 航空レーザ測量結果及び GIS データを用いて, 積雪調査地点の妥当性を直接評価することを試みた.

2. 対象ダム流域

対象としたダム流域は, 図-1 に示す定山溪ダムである. 定山溪ダムは, 札幌市を貫流する豊平川の上流域に位置し, 流域面積は 104km², 標高帯は 300m から 1,300m 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, 9 分類した植生を示しているが, 流域面積の約 8 割が森林である. 積雪調査は, 積雪相当水量がピークとなる毎年 3 月上旬に, 図に示した 2 コース 8 地点において実施されている. 調査地点の

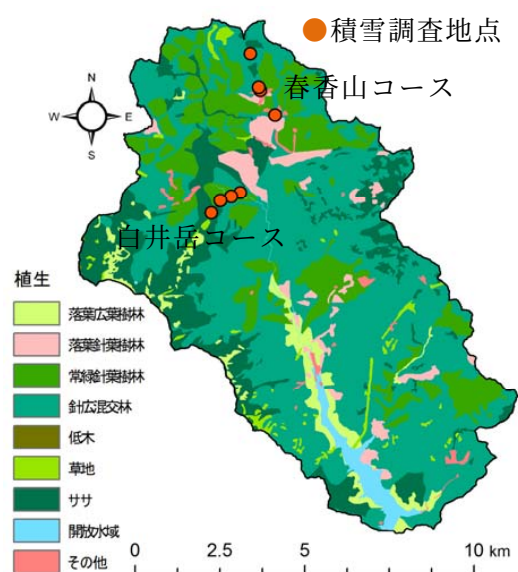


図-1 定山溪ダム流域と積雪調査地点

標高帯は 500m から 900m 付近である。

3. 積雪調査地点の地形の評価

文献^{2), 3)}によると、積雪調査地点は、地表面に大きな凹凸が無く平坦な開けた場所であることが求められる。そこで、各調査地点の傾斜及び地上開度を求め、地点の評価を行った。計算に使用した GIS データは、基盤地図情報数値標高モデルである。なお、局所的な地形が捉えられること避けること、また、GPS による積雪調査地点の位置計測の誤差を考慮し、積雪調査地点を中心に、25m 四方の範囲の平均値で評価することとした。ここで、地上開度とは横山ら⁴⁾が開発した指標であり、着目する地点が周辺に

比べて地上に突き出ている程度及び地下に食い込んでいる程度を数量化したものである。地上開度は、式(1)で求められる。

$$\phi = (\phi_0 + \phi_{45} + \phi_{90} + \phi_{135} + \phi_{180} + \phi_{225} + \phi_{270} + \phi_{315})/8 \quad (1)$$

ここで、 ϕ ：地上開度(°)、 ϕ_i ：着目する地点から指定した探索距離以内で方位 i° 方向の空を見ることができる天頂角の最大値(°)である。着目する地点が谷の場合は地上開度が 90° 以下、尾根の場合は地上開度が 90° 以上であり、平地の場合は地上開度が 90° となる。なお、本研究で用いた地上開度の探索距離は 100m である。

表-1 及び表-2 に白井岳コース及び春香山コースの結果をそれぞれ示す。はじめに、傾斜であるが、すべての地点において 20° を下回っており、傾斜の大きい場所に調査地点は設定されていないことがわかる。次に、地上開度を見ると、すべての地点において、 $90^\circ \pm 5^\circ$ 以内に収まっており、調査地点は凹凸が無く、概ね平坦な場所に位置していることがわかる。なお、標高については、公称値と GIS の標高データの間ほとんど差は無く、適切な値が設定されていることを確認している。

4. 積雪調査地点の植生の評価

植生に関して、積雪調査地点は、自然な積雪の堆積が樹林や冠雪に妨げられないこと、または落葉樹の疎林地であることが求められる。そこで、自然環境保全基礎調査の結果を用いて、積雪調査地点の植生を確認した。結果を表-3 及び表-4 に示す。GIS 情報から判断すると、常緑針葉樹林内にある白井岳コース No.1, No.2, No.3, 春香山

表-1 積雪調査地点の傾斜と地上開度
(白井岳コース)

調査地点	標高(m)	傾斜(°)	地上開度(°)
No.1	530	8.0	89.3
No.2	560	7.1	90.6
No.3	598	12.4	88.9
No.5	698	19.7	89.2

表-2 積雪調査地点の傾斜と地上開度
(春香山コース)

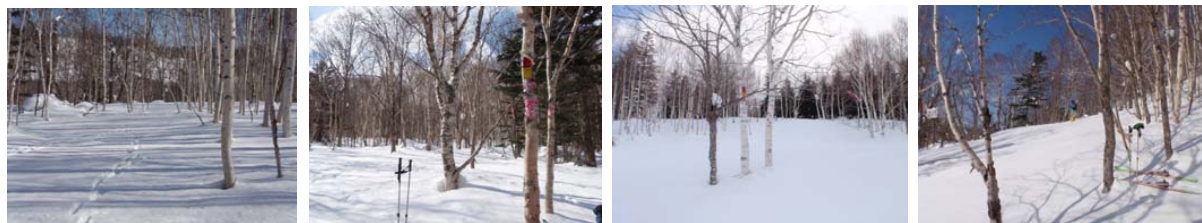
調査地点	標高(m)	傾斜(°)	地上開度(°)
No.3	580	6.7	86.1
No.5	680	13.6	89.0
No.6	710	18.5	88.4
No.9	853	10.9	88.3

表-3 積雪調査地点の植生（白井岳コース）

調査地点	植生
No.1	トドマツ植林
No.2	トドマツ植林
No.3	トドマツ植林
No.5	ササ-ダケカンバ群落

表-4 積雪調査地点の植生（春香山コース）

調査地点	植生
No.3	伐跡群落
No.5	エゾマツ-ダケカンバ群落
No.6	アカエゾマツ植林
No.9	エゾマツ-ダケカンバ群落



白井岳コース No.1 白井岳コース No.3 白井岳コース No.5 春香山コース No.6

図-2 積雪調査地点の状況

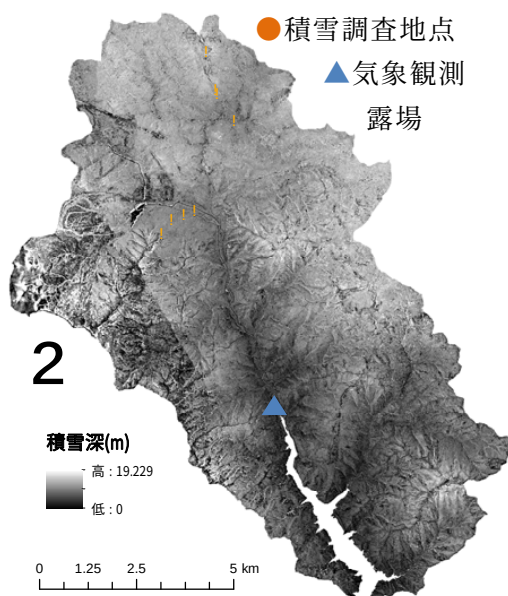


図-3 2010年4月8日の積雪分布

表-5 ダム流域の積雪包蔵水量

航空レーザ測量	ダム管理所水収支	相対誤差
$104.4 \times 10^6 \text{ m}^3$	$94.2 \times 10^6 \text{ m}^3$	9.8%

コース No.6 地点は、針葉樹林内に位置し、樹冠遮断により積雪の堆積が妨げられるおそれがある。一方、樹林の粗密の情報が含まれておらず、情報が不足している点もある。このように、GIS 情報だけで調査地点の適否を判断することは難しい。そこで、過去に行われた積雪調査の際に撮影された調査地点の写真を用いて状況を確認した。GIS 情報で常緑針葉樹林内とされた4地点の写真を図-2に示す。写真を見ると、いずれの地点の植生もシラカンバやダケカンバの疎林地と考えられ、調査地点として不適とは考えられない。以上のこ

とから、植生に関しては現時点で GIS 情報を用いて評価することは困難と考える。

5. 積雪調査地点の積雪深の評価

積雪調査地点の積雪深は、調査地点が位置する標高帯を代表する積雪深である必要がある。ここでは、定山溪ダム流域において積雪期に実施された航空レーザ測量の結果から求めた流域の積雪深分布を用いて評価することとした。

航空レーザ測量は、積雪期の2010年4月8日、無積雪期の2010年6月6日から13日及び8月19日から28日に行われており、積雪期と無積雪期の標高の差を積雪深とした。積雪深分布を図-3に示す。この積雪深分布の妥当性は、ダム管理所における観測データを用いて計算した水収支より確認した。航空レーザ測量結果を用いた場合、測量日におけるダム流域の積雪包蔵水量は、積雪深に積雪密度を乗じて求められる。ここで、積雪密度は、図-3の▲で示した地点において、測量日に観測された積雪深と積雪重量より求めた値を用い、流域全体に対して一定値とした。次に、ダム管理所地点における水収支から、ダム流域の積雪包蔵水量をダム流入量から流域平均降水量を

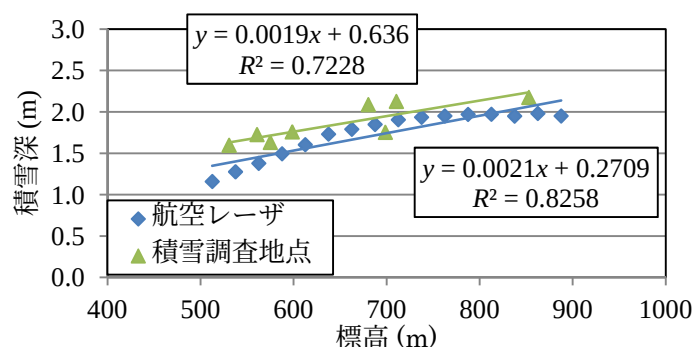


図-4 標高と積雪深の関係

表-6 ダム流域の全積雪量

航空レーザ測量	積雪調査	相対誤差
174.0×10 ⁶ m ³	178.2×10 ⁶ m ³	2.4%

積雪深の関係を評価する。結果を図-4に示す。ここで、航空レーザ測量と標記した積雪深は標高 25m ピッチの平均値、積雪調査地点と標記した積雪深は積雪調査地点を中心に、25m 四方の範囲の平均値をプロットしている。図を見ると、積雪調査地点の積雪深は、航空レーザの積雪深と比較して±30cm 以内に分布しており、標高帯を代表した積雪深が概ね得られていると考えられる。また、標高と積雪深の関係より得られた線形回帰式にも大きな違いは見られないことがわかる。

最後に、航空レーザ測量より求めた流域の全積雪量と、積雪調査結果より推定した全積雪量を比較する。積雪調査結果からは、図-4に示した緑の直線を用いて標高帯別の積雪深を算出し、これに標高帯別の面積を乗じてから、合算して求めている。結果を表-6に示す。積雪調査結果から推定した全積雪量は、航空レーザ測量結果を用いて求めた値とほぼ一致している。このことから、現在の積雪調査地点は、流域の積雪の総量を求めることに対し、適切な位置に設定されていると考えられる。

6. まとめ

航空レーザ測量結果及び GIS データを用いて、定山溪ダム流域に設定されている積雪調査地点の妥当性の評価を試みた。積雪深に関しては、ある一日の積雪深分布に対する評価しかできていない等、十分な評価ができていない点はあるものの、現在の調査地点は概ね妥当な位置に設定されていると推察される。

また、新たな調査地点を検討する場合、現地確認は欠かせないと考えられるが、今回用いたデータに、雪崩等の災害履歴の位置データ、林道等の移動ルートの情報等を重ねることで、ある程度の調査地点の絞り込みは可能であると考えられる。

【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) 日本雪氷学会北海道支部編, 1991: 雪氷調査法。
- 3) 日本雪氷学会編, 2010: 積雪観測ガイドブック
- 4) 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, pp.26-34.

引き、Hamon 法で推定した可能蒸発散量を加えた値として求めた。計算期間は、測量日の翌日から 6 月 30 日までである。結果を表-5に示す。表を見ると、航空レーザ測量より求めた積雪包蔵水量は、ダム管理所地点の水収支から求めた水量と 10%程度の相対誤差となっており、航空レーザ測量より求めた積雪深分布は概ね妥当であると判断した。

ここから積雪調査地点の評価に移る。はじめに、積雪調査地点が設定されている標高帯における、標高と