

航空レーザ測量を用いた積雪深計測作業 Snow Depth Measurement Using Airborne Laser Scanning

中国地方測量部 北原敏夫

Chugoku Regional Survey Department Toshio KITAHARA

地理調査部 鈴木義宜・野口高弘・飯田 誠

Geographic Department Yoshinori SUZUKI, Takahiro NOGUCHI and Makoto IIDA

要 旨

平成 16 年新潟県中越地震で甚大な被害が発生し、立ち入りが規制された旧山古志村（長岡市）では、「61 年豪雪」以来 19 年ぶりとなる大雪による雪崩の発生及びその後の融雪による土砂災害が懸念された。

地理調査部では、旧山古志村を始め防災関係機関へ雪崩等による災害対策の基礎資料を提供するため、航空レーザ測量を積雪深の調査に初めて使用した。本稿では計測作業とデータの活用、今後の課題について報告する。

1. はじめに

地理調査部では、平成 16 年新潟県中越地震の斜面崩壊、河道閉塞による湛水域に関連し、その後の大雪による雪崩等による災害が懸念された新潟県芋川流域の積雪深の計測作業を行った。この作業では、雪崩等による災害対策の基礎データを迅速に防災関係機関に提供するため、最大積雪時とした 2 月 18 日に積雪面標高の計測を航空レーザ測量により実施した。また、計測した積雪面標高データと地震後の無雪期の標高データとの差分を求め積雪深図及び積雪深数値データを作成し、2 月末に防災関係機関に提供した。

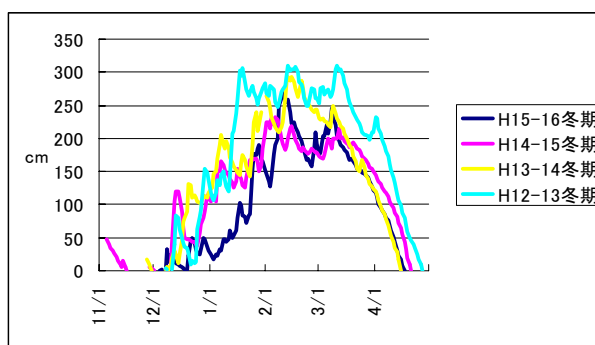
航空レーザ測量による積雪深の計測作業は、国土技術総合研究所、日本道路公団などで適用性について検討がされていた。しかしながら、面的な積雪深分布の把握には効果があるものの、冬期の飛行機の運行、地盤高抽出技術の改善、植生密度・樹高データの検証などの課題があった。このため、本作業では、各工程の精度管理については受注機関と個別に検討、調整を踏まえながら進めた。

2. 積雪深の調査

雪崩等による災害対策のためには、降雪・積雪の深さの測定値が必要となる。積雪は、気温、風、日射といった外部の気象条件によって内部の性質が変化するので、通常雪板（積雪板）を使用して「降雪の深さ」の測定と、雪尺を使用して「積雪の深さ」の測定を行っている。

降雪の深さとは、ある時間に地表に積もった雪の鉛直方向の深さのことをいい、積雪の深さとは、自然に積もっている雪、あられなどの鉛直方向の深さのことで、降雪、積雪の深さとも cm 単位で表す。また、融雪期の出水の推定などには積雪水量が使われるが、積雪の密度は気候により大きく変化するため、雪の深さだけでは正確な積雪水量はわからない。このため、単位面積あたりの積雪の質量または積雪を溶かして水にしたときの水深から積雪水量を求めている。

従来、豪雪地帯の積雪深調査は、現地での積雪深実測に危険が伴うことや、広域の調査に膨大な時間を要するなど、広範囲を均一な精度で調査する方法が無かった。一方、空中写真を利用した場合は、地形データ取得に多くの時間がかかる他、積雪表面が白いため実体視が難しく正確なデータが得られないなど、積雪深の計測では課題が多かった。本作業では、広域の地表面データを短時間で取得できる航空レーザ測量により、最大積雪期の積雪面標高を計測し、地震後の無雪期の標高データとの差分を求め積雪深とした。また、その精度を検証するため実測積雪深と比較した。併せて積雪の質量について現地計測を行った。



図－1 定点観測点（種芋原保育所）の積雪深

3. 計測日の設定

この地域の過去 5 年間の積雪状況を踏まえて計測基準日を 2 月 20 日とした（図－1）。

4. 計測作業の概要

4. 1 対象地域

計測対象地区は図-2に示す新潟県中越地方芳川流域の約42k m²とした(赤の範囲は無雪期のデータがないところ)。



図-2 計測対象地区

4. 2 作業規程

航空レーザ測量による「数値地図5mメッシュ(標高)」作成作業規程を準用した。なお、標高精度は標準偏差で±30cm以内とした。

4. 3 作業の流れ

航空レーザ計測により積雪期の標高データを取得し、無雪期の標高データとの差分を計算し、積雪深数値データ等を作成した。

- 1) 航空レーザ計測作業
- 2) 三次元計測データ作成
- 3) 調整用基準点, 積雪深の計測
- 4) オリジナルデータ作成
- 5) 標高データ作成
- 6) 積雪深数値データ作成
- 7) 積雪深図等の作成

4. 4 航空レーザの計測

当該地域の過去の積雪状況から平成17年2月20日を計測基準日とし、2月18日に表-1により積雪期の計測を実施した。一方、無雪期の標高データは、前年12月上旬に計測したものを使用した。

表-1 積雪期の計測の主な諸元

項目	スペック
スキャン角度	30° ~ 35°
対地高度	1950m ~ 2400m
コース間隔	400m
飛行速度	203Km/h
パルスレート	40,000Hz ~ 45,000Hz
スキャンレート	24Hz ~ 26Hz
サイドラップ率	約50% ~ 60%
平均計測点密度	約2.2m ~ 約2.4m

4. 5 実測による積雪深計測

航空レーザ計測を行った翌日(2月19日)に、現地において測深棒による積雪深計測を33個所で行った。この場所の水平位置はGPS観測により求めた。また、積雪の質量の計測を5箇所で行った。レーザ計測の翌日に実施できたことで、融雪、降雪の影響を最小限に抑えることができた(写真-1, 2, 図-3)。



写真-1 測深棒による積雪深の計測



写真-2 積雪重量の測定

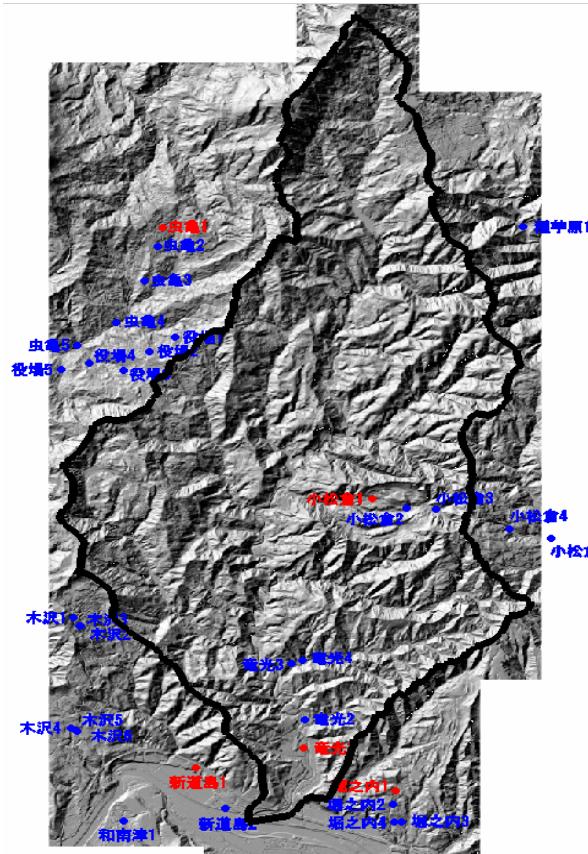


図-3 積雪深・積雪重量の計測箇所

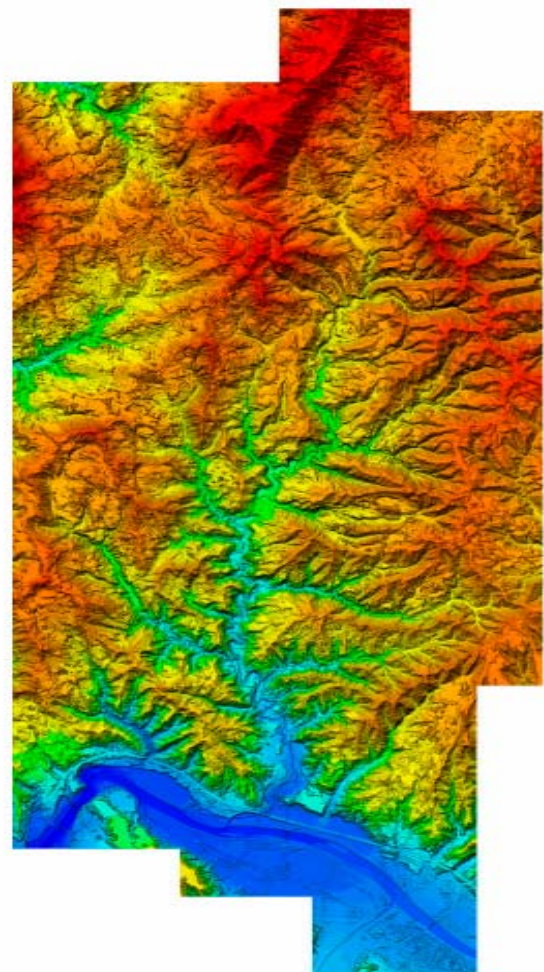


図-4 カラー陰影段彩図

4. 6 積雪深

2月18日に計測した積雪期のデータを用いてフィルタリング処理（オリジナルデータから、家屋・橋等の人工構造物，樹木等の植生データを除去）を行い，これを積雪面の標高データとした．これから12月上旬の無雪期の標高データとの差分をとり積雪深とした．

4. 7 点検測量

航空レーザで計測した積雪深と実測による積雪深に大きな較差がないことが絶対条件となる．このため，実測による積雪深と航空レーザ計測から求めた積雪深との点検を行った．その結果，標準偏差で±22.4cmと航空レーザ測量としては妥当な精度が得られた．

4. 8 データ解析

積雪期，無雪期の標高データ（メッシュ間隔は5m）から算出した積雪深数値データを使用してカラー陰影段彩図，積雪深図を作成した．

4. 8. 1 カラー陰影段彩図

積雪期のデータから作成したもので，積雪面データの標高の高い方を赤色とし，標高が低くなると青色系となるよう配色し，一定方向から光源を与える

ことで立体感を持たせている．縮尺は1/12,500とした（図-4）．

4. 8. 2 積雪深図

積雪深の階層を赤色ほど積雪深が大きく，青色ほど積雪深が少ないように表現した．縮尺は1/12,500とし，積雪深の区分を0m以下で3区分，0m以上で8区分とした．また，旧山古志村東竹沢の湛水域を除き標高の大幅な低下が見られないことから0m以下を1区分とし，積雪深の状況を視覚的に理解しやすいよう青系を使用したものを同時に作成した．この図では，淡い青は積雪深が大きく，濃い青は積雪深が少ない8区分とした．

5. 積雪深図（図-5, 6）から読み取れること

- 1) 積雪深は，おおむね3m前後（平均2.9m）．
- 2) 中央の濃い青の部分は，旧山古志村東竹沢の河道閉塞に伴う湛水域の水位の低下によるもの．12月初旬に比べ10m程度低下している．

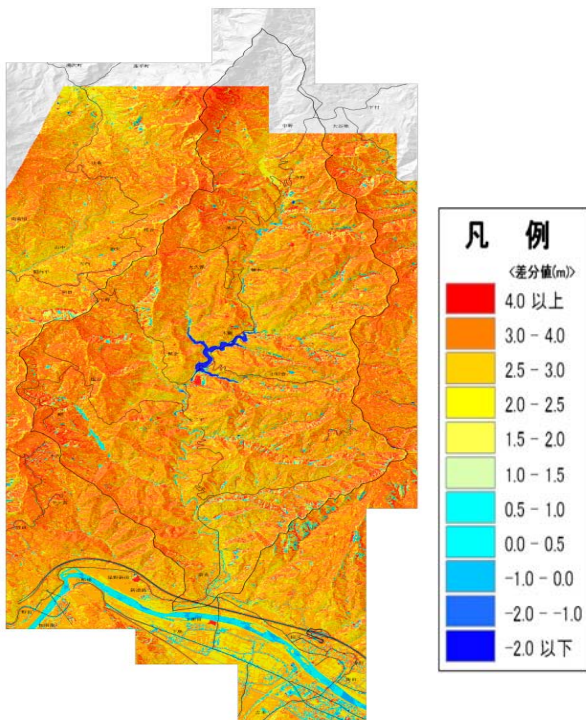


図-5 積雪深図

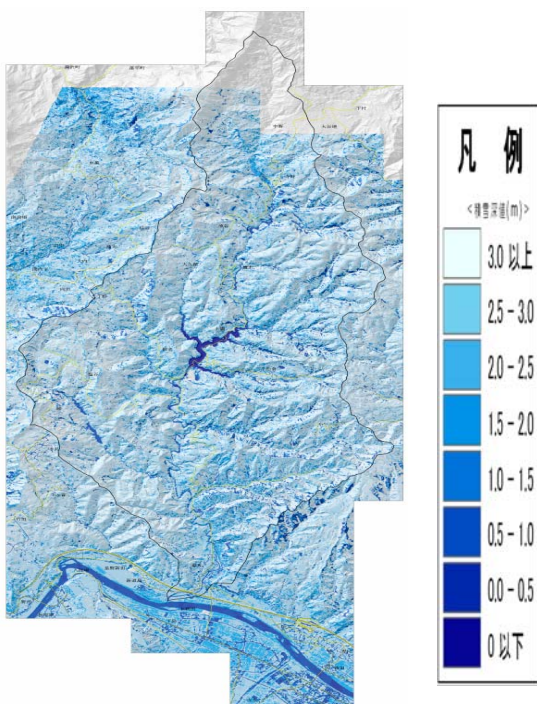


図-6 積雪深図(青系)

- 青色が密集している地域は、現地調査でも確認された北向き斜面の雪崩発生箇所。
- 赤色と青色が対で表示されている部分は、急斜面をなす場合が多く、斜面の積雪が雪崩で谷底に移動し堆積したことを示す。

また、積雪深データから求めた芋川流域の積雪の総量は約 10,420 万 m^3 で、これから積雪重量を測

定した 5 箇所の平均積雪密度 ($456\text{kg}/\text{m}^3$) を使って融雪推量を推定すると、東京ドームで約 38 個分の水量となった。

6. 作業の経過

- 2月18日航空レーザ計測作業 17 コース実施。
- 2月19日現地において積雪深計測を 33 箇所、積雪重量計測を 5 箇所を実施。
- 2月23日航空レーザ計測の速報版としてカラー陰影段彩図、計測オリジナルデータを作成。
- 2月28日までに次の成果がまとまる。
 - カラー陰影段彩図 (縮尺 1/20,000)
 - 積雪深図(縮尺 1/20,000, 25cm 間隔)
 - オルソフォト (縮尺 1/12,500)
 - 等高線オルソフォト重ね図 (縮尺 1/12,500, 5m 間隔)
 - オリジナルデータ

7. データの提供

積雪深図、積雪深数値データは、北陸地方整備局、関係自治体、(独)土木研究所新潟試験所、(独)防災科学技術研究所長岡雪氷防災研究所、新潟大学積雪地帯災害研究センター等に提供し、各機関で融雪対策等に活用された。院内では地理地殻活動研究センター作成の「新潟中越地方芋川流域の雪崩に関するハザードマップ基礎情報図」基礎データとして活用された。また、3月1日に本省砂防課、3月4日に旧山古志村復旧・復興支援部会、3月9日には北陸地方整備局で説明を行った。

8. まとめ

航空レーザによる 2 時期の地表面計測データの差分から積雪深を迅速に求めることができた。一方、今回の作業をとおして次のような課題が残った。

- 計測作業が天候に左右されるため、同一日の計測完了を優先する必要がある。このため、仕様どおりの基準で実施できない可能性が高いことから、スキャン角度、計測密度については個別に協議する必要がある。
- 点検測量は計測後速やかに現地に入る必要があるが、現地の道路交通規制、立ち入り制限箇所について事前の情報収集が必須である。今回は、旧山古志村への進入は一部の路線を除き困難であったため、その周辺で実施した。
- 航空レーザ計測システム全体においてメーカーが示す高さの平均的な誤差 $\pm 0.15\text{m}$ に近い結果が得られた。ただし、樹木が密生している場所での点検が実施されていない。このため、どの程度の樹木密度まで計測可能かどうか比較検証が必要である。

- 4) 積雪深を計測するには、無積時の高精度3次元データが必要になる。現在豪雪地域をはじめ国内の高精度3次元データの整備は一部の地域を除き進んでいない。
- 5) 航空レーザ計測と同時に撮影するデジタル画像より作成したオルソフォト（図-7、縮尺1/12,500）により、積雪表面の状況、樹木の有無などを確認することができた。有効な点検資料ではあるが、その活用について十分な検証が必要である。

今回は、冬期かつ大雪という状況においての作業であったが、限られた機会を逃さず計測ができた。航空レーザ測量は、写真測量と同様天候に左右されることから、必要な時期に確実な災害情報等の提供が保証されていない。今後、航空機搭載型合成開口

レーダ（航空機 SAR）などとの併用についての検討も必要となるであろう。

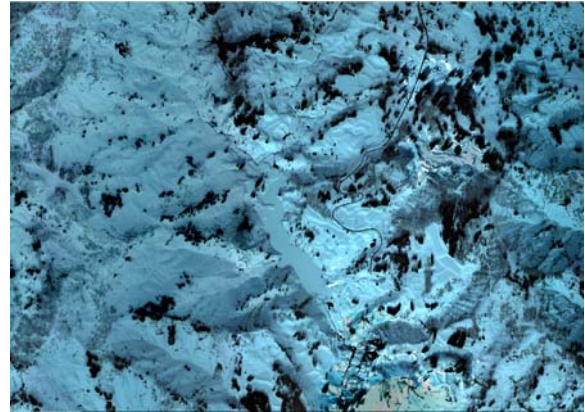


図-7 オルソフォト

参考文献

日本雪氷学会北海道支部編（1991）：雪氷調査法，北海道大学図書刊行会，244.