

短時間の降雪重量を簡易に計測する装置の開発

上之 和人

国立研究開発法人 土木研究所 雪崩・地すべり研究センター

1. はじめに

2014年2月中旬の関東甲信地方の広域で多発した雪崩のように、短い時間に急激に積雪深が増加する降雪によって雪崩が発生する事例がある。その実態を解明するため、短時間の多量降雪に起因する雪崩発生前後の気象と積雪の観測を長野県松本市乗鞍高原で実施した¹⁾。積雪断面観測から、新雪層の密度の小さい箇所は相対的に強度の弱い層になり、その上下に密度の大きい降雪があると表層雪崩発生の可能性が高くなることが示唆された。このことから短時間の多量降雪による雪崩発生には降雪深ばかりでなく新雪層内の密度の分布を知る必要がある。

現地に設置したレーザー積雪深計で計測した積雪深差と近隣のアメダスの降水量から新雪の密度を推定することは可能であったが、アメダスの降水量に欠測が多く正確に新雪の密度の時間推移を評価することはできなかった。新雪の密度の時間推移を正確に把握するために、現地に設置可能な重量計が必要である。しかし、一般に積雪重量計は装置が大きく設置が大がかりなうえ高価である。本研究では、短時間の降雪重量を計測する簡易で安価な装置を開発し、新雪の密度を推定し実測と比較することを目的とする。

2. 研究方法

2.1 降雪重量計の概要

図1は開発した降雪重量計の全体像であり、詳細は以下の通りである。

1) ノート PC、バッテリーを収納したボックス上の四隅に A&D 製ボタン型 USB 対応デジタルロードセル (型式: LCCU21N100) を取り付ける。容器 (幅 54 cm×奥行 38 cm×高さ 60 cm) 下に接着したアクリル板がロードセル中央の突起部に接触すると容器とアクリル板の重量がかかり、さらに容器の中に雨や雪が取り込まれると重量が増加する。容器の上の淵と側面に市販の雪付着防止剤を塗布している。

2) ロードセルとその付属ソフトウェア WinCT-DLC を用いると、バッテリーが稼働している限り、設定したサンプリング間隔で降雪重量を連続して取得できる。WinCT-DLC はロードセルからノート PC へ計測データを転送する Windows データ通信ソフトウェアである。図1は、4隅のロードセルに番号を付したとき、ノート PC 上に WinCT-DLC が番号順に起動した状態を示す。1個のロードセル当たり 100 N の重量が計測可能である。

3) モバイル WiFi ルーターをノート PC に接続しネットワーク環境を構築する。降雪が予想されるときに、Google

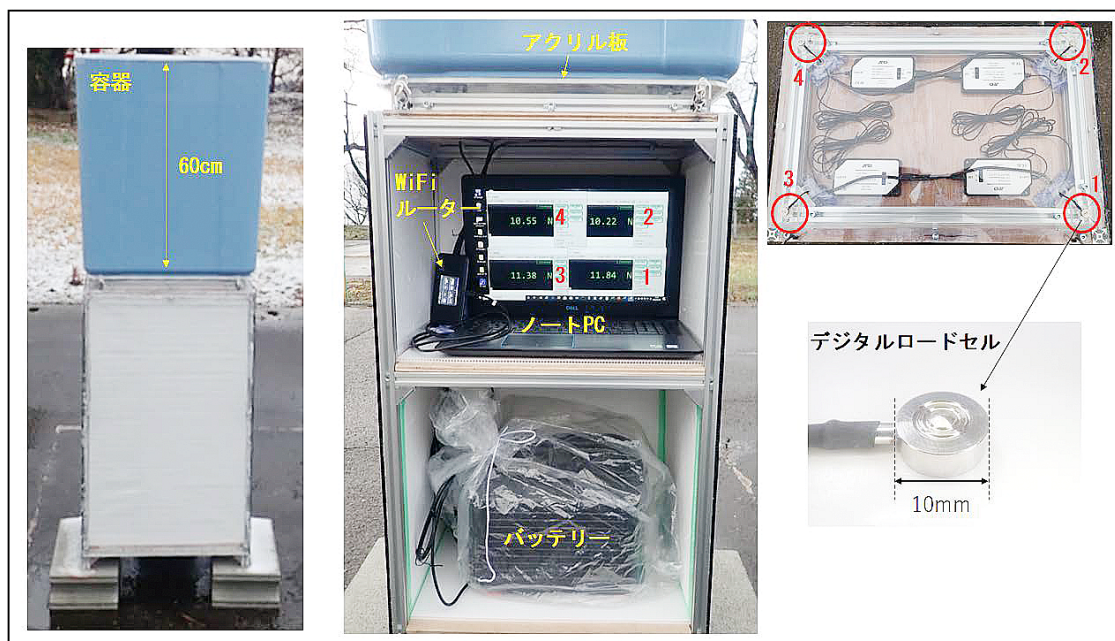


図1 降雪重量計

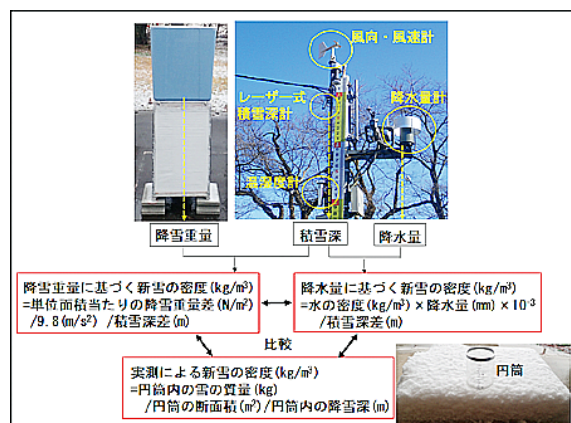


図2 本研究の概要

Chrome のリモートデスクトップ機能を用いることによって、別の端末から遠隔操作でボックスに収納したノート PC 中の WinCT-DLC を起動し図 1 に示す重量をモニタリングできる。重量の時系列データはクラウドストレージ (Windows10 の OneDrive) に CSV で保存され、必要ときに別の端末からアクセスし編集できる。

開発した降雪重量計は軽量のため運搬しやすく現地設置も容易であり、ノート PC とバッテリーを除くと約 20 万円程度と安価である。

2.2 新雪の密度の推定法

図 2 に本研究の概要を示す。雪崩・地すべり研究センター構内露場 (N37° 1' 1", E138° 14' 19", 標高 107m) には気象測器が設置され、風向・風速、気温、相対湿度、降水量、積雪深などを計測している。これらの時系列データはセンター内のパソコンへ CSV で保存される。図 1 の装置から取得した降雪重量、図 2 の降水量計およびレーザー式積雪深計から取得した降水量と積雪深を用いてそれぞれ次の 1) と 2) から新雪の密度を推定し、3) の実測による新雪の密度と比較する。

1) 降水量に基づく新雪の密度 (kg m^{-3}) = 水の密度 (kg m^{-3}) $\times$ 降水量 (mm) $\times 10^{-3}$ / 積雪深差 (m)。

2) 降雪重量に基づく新雪の密度 (kg m^{-3}) = 降雪重量差 (N m^{-2}) / 9.8 (m s^{-2}) / 容器の平均断面積 (0.505m $\times$ 0.35m) / 積雪深差 (m)。

3) 実測による新雪の密度 (kg m^{-3}) = 円筒内の雪の質量 (kg) / 円筒の断面積 (m^2) / 円筒内の降雪深 (m)。

3) の円筒内の雪の質量と降雪深には、図 2 に示すスノーサンプラー (断面積 50 cm^2) と呼ばれる円筒を平板上に堆積した雪の 5 か所に挿入し、それぞれの円筒内の雪の質量と高さを計測しその平均値を採用した。

3. 結果

3.1 気象概況

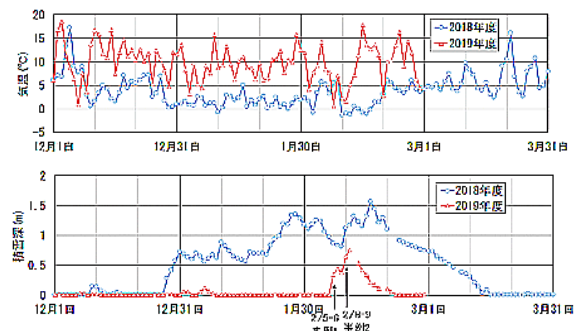


図3 2018 年度冬季と2019 年度冬季の気温と積雪深の比較

図 3 は、雪崩・地すべり研究センター構内露場で 2018 年度冬季 (2018 年 12 月 1 日～2019 年 3 月 31 日) と 2019 年度冬季 (2019 年 12 月 1 日～2020 年 2 月 28 日) に計測した気温と積雪深を示す。2018 年度冬季は、12 月下旬から 2 月中旬まで気温が 0°C 近い状態が継続し、この期間に積雪深も増加している。一方、2019 年度冬季は、気温の低下した 2020 年 2 月 5 日～6 日 (事例 1) と 2020 年 2 月 8 日～9 日 (事例 2) に短時間に多量の降雪が観測されたのみで、これらの期間以外は気温が高く降水があっても雨やみぞれが多かった。今冬季は全国的に記録的な暖冬であり、気象庁は、上空の偏西風が北に蛇行して寒気が流れ込みにくかったためとしている。

3.2 比較検証

図 3 に示したふたつの多量降雪イベント、2020 年 2 月 5 日～6 日 (事例 1) と 2020 年 2 月 8 日～9 日 (事例 2) に観測を実施した。以下では事例 2 に対する測定結果の詳細を示す。図 4 は観測の様子、図 5 は取得した気象要素 (気温、相対湿度、降水量)、降雪重量、積雪深を示す。

2 月 8 日 18:00 に観測を開始した。降雪重量計の近くに図 4 に示す積雪板と平板を 1 時間おきに交互に置き降雪深を取得した。また図 4 は、容器の中に堆積した雪と容器のまわりに付着した雪の様子の写真を 1 時間毎に示す。実際の撮影時刻は図 4 に表示した時刻より数分後である。

図 5 (a) は気温と相対湿度に基づく雨雪判別図を示し、融解開始線は乾雪と湿雪の境界を表す²⁾。2 月 8 日 20:00 を経過すると湿雪から乾雪に変わり、その後は乾雪が継続した。

図 5 (b) の降水量計による降雪質量 (kg m^{-2}) は、2.2 節 1) の水の密度 (kg m^{-3}) $\times$ 降水量 (mm) $\times 10^{-3}$ の値、重量計による降雪質量 (kg m^{-2}) は、2.2 節 2) の降雪重量差 (N) を重力加速度 9.8 (m s^{-2}) と容器の平均断面積 (0.505m $\times$ 0.35m) で除した値、実測の降雪質量 (kg m^{-2}) は、2.2 節 3) の円筒内の雪の平均質量 (kg) を円筒の断面積 50 cm^2 で除した値である。これらは積雪水量または積雪水当量とも呼ばれている³⁾。降水量計と重量計による降雪質量は、全体的に



図4 2020年2月8日-9日(事例2)の観測写真

実測に比べ小さく、特に、2月8日21:00と2月9日1:00と2:00に小さい。図4の2月8日20:00と2月9日0:00の写真が示すように、20:00と0:00の直後、撮影前に重量計容器の上の淵と側面の雪を払い落したために次の1時間の降雪質量が小さくなった可能性がある。雨量計の受水口にも雪が堆積し、雨量計の中に雪が取り込まれにくくなり降水量を過小評価している可能性がある。

図5(c)の積雪深差(レーザー式)は図2のレーザー式積雪深計を用いて計測したもの、降雪深は2.2節3)の円筒内の雪の平均高さである。実測した円筒内の降雪深は3~8cmであり短時間に多量の降雪が継続したことを示す。全体的にレーザー式積雪深計による1時間毎の積雪深差は実測による降雪深に比べ小さく、図5(b)の降雪質量のときと同様、特に2月8日21:00と2月9日1:00と2:00の積雪深差が実測に比べ小さい。

図5(d)の降水量計と重量計による新雪の密度は、それぞれ2.2節1)と2)を用い推定したものであり、積雪深差は図5(c)のレーザー式積雪深計によるものを用いた。実

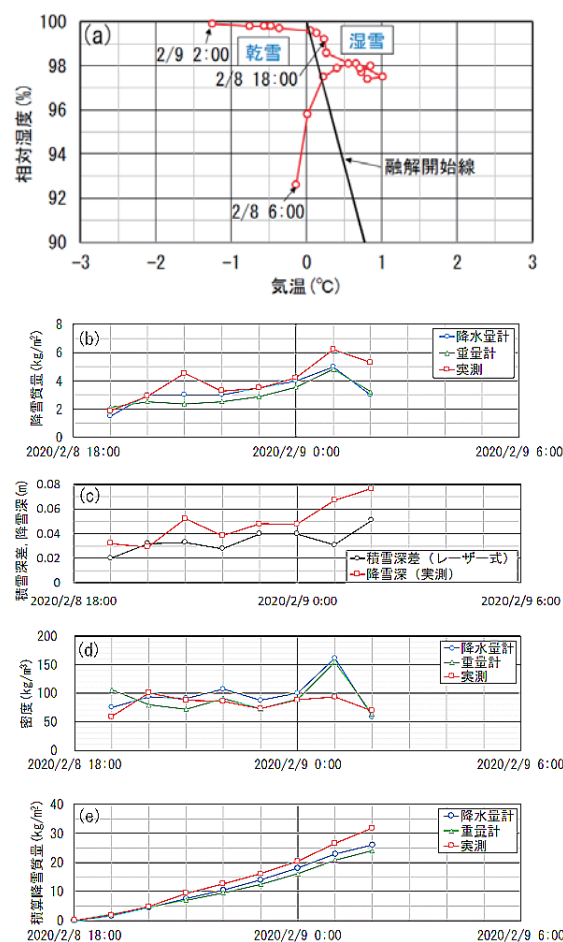


図5 (a) 雨雪判別図, (b) 降雪質量, (c) 積雪深差, 降雪深, (d) 密度, (e) 積算降雪質量

測による新雪の密度は2.2節3)による。図5(d)に示すように、2月9日1:00の積雪深差は実測の降雪深に比べ半分以下のため、降水量や降雪質量に基づく新雪の密度を実測に比べ過大評価することになる。また、実測による新雪の密度は、2月8日20:00より減少し始め、23:00に最小となり2月8日1:00にかけて増加しているが、降水量や降雪質量に基づいて推定した新雪の密度はこの傾向を再現できていない。

図5(e)は図5(b)の降雪質量を積算したものである。20:00以降、実測による積算降雪質量と降水量計や重量計による積算降雪質量の差が増加している。2月8日20:00と2月9日0:00の直後に重量計容器の上の淵と側面の雪を払い落したために、実測との差が大きくなったと考えられる。

4. 考察

ここでは事例1に関する測定結果の詳細は省略したが、事例1と事例2とも観測終了後の降水量計と降雪重量計による積算降雪質量は実測のものに比べて2~3割小さい。これは、受水口のある降水量計や降雪重量計容器からの

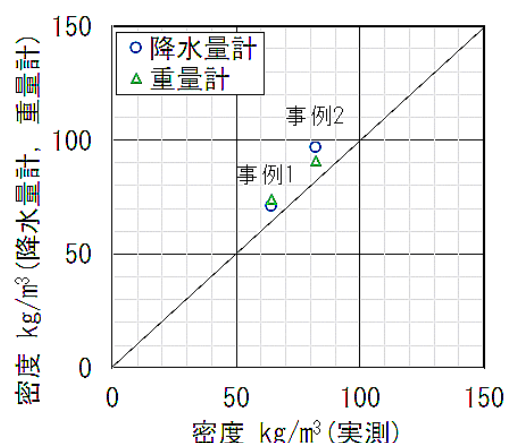


図 6 実測による新雪の密度と降水量計または降雪重量計による新雪の密度の比較

雪の取り込みは積雪板や平板への雪の取り込みより捕捉率が低下しているためと考えられる。

図 6 は、事例 1 の 2 月 5 日 17:00 から 6 日の 1:00 までの 1 時間毎、また事例 2 の 2 月 8 日 19:00 から 9 日の 2:00 までの 1 時間毎の降水量、降雪重量に基づく新雪の密度の平均値を、同期間の実測による 1 時間毎の密度の平均値と比較した結果である。実測、降水量、降雪重量に基づく新雪の密度は、事例 1 では、それぞれ 64 kg m^{-3} , 71 kg m^{-3} , 74 kg m^{-3} , 事例 2 では、それぞれ 82 kg m^{-3} , 97 kg m^{-3} , 91 kg m^{-3} であった。降水量と降雪重量に基づく密度は実測に比べ 10 ～ 15 % 過大となった。

図 5(c) で示したように、レーザー式積雪深計から得られた 1 時間毎の積雪深差は、実測した降雪深に比べ小さい。事例 1 の観測期間の実測による積算降雪深は 43.3 cm, レーザー式積雪深計による積算積雪深差は 30.1 cm であり、13.2 cm の差がある。また、事例 2 の観測期間の実測による積算降雪深は 39.1 cm, レーザー式積雪深計による積算積雪深差は 27.5 cm であり、11.6 cm の差がある。両事例とも気温はほぼ氷点下であったため積雪の融解を無視すると、積雪深は上載荷重による雪の圧縮により厚さが減少したと考えられる。1 時間内における積雪の圧縮・融解は相対的にわずかであると仮定し、積雪深の 1 時間差を時間降雪深の近似値に用いるときがあるが⁴⁾、本事例はその近似が成り立たないことを示している。このことが降水量と降雪重量に基づく密度が実測に比べ過大となった原因と考えられる。

5. まとめと今後の課題

降水量計または降雪重量計による降雪質量をレーザー式積雪深計による積雪深差で除して求めた新雪の密度は実測に比べ常に大きくなる傾向があることが明らかにな

った。この主要因は実測による降雪深を積雪深差で代用したことによる。今後、平板に堆積した雪の質量と高さを実測する方法を自動化する。開発した降雪重量計に口のある容器の代わりに平板を置き、上載荷重による雪の圧縮による厚さの減少を回避するため、平板に堆積した雪を指定時間後自動で排除できるように装置を改良する。また、重量計に小型レーザー測定器を装着し、平板に堆積した雪の表面に直接レーザー光を照射し雪の高さを自動で取得する。これにより降雪質量と降雪深が同じ装置で同時に取得可能となり新雪の密度評価の精度が向上すると期待できる。また、短時間の多量降雪の事例を増やし、雪片サイズを気象要素と関連付けることによって新雪の密度が事例毎に異なる理由を詳細に検討し、新雪密度の時間推移を短時間の多量降雪による雪崩発生への予測へ活用する。

謝辞

本研究は、第 24 回「北陸地域の活性化」に関する研究助成事業の助成金によって行われた。また、新雪密度の実測方法について（一財）砂防フロンティア整備推進機構の秋山一弥氏、降雪重量のデータ解析について株式会社パスコの石川泰裕氏にご教示頂いた。ここに記して謝意を表す。

文献

- 1) 原田裕介, 上之和人, 石川茂 (2018) : 短時間多量降雪に起因する雪崩発生の特徴-長野県乗鞍高原での調査事例, 寒地技術論文・報告集, Vol. 34, pp. 158-163
- 2) 松尾敬世 (1984) : 大気における雪片の融解現象に関する研究, 気象研究所技術報告, 第 8 号, p. 49
- 3) 社団法人 日本雪氷学会 編集 (2010) : 積雪観測ガイドブック, 朝倉書店, p. 16
- 4) 二宮洗三 (2008) : 日本海の気象と降雪, 成山堂, p. 63