

雪庇と吹きだまりの形成過程と構造の解明に向けて（その 2）

Towards Elucidating the Formation Processes and Internal Structures of Snow Cornices and Snowdrifts 2

西村 浩一^{1,2}, 安達 聖³, 布川 大暉², 田邊 章洋³, 齋藤佳彦²,
山口悟³, 伊藤 陽一³, 大風 翼⁴

Kouichi Nishimura^{1,2}, Satoru Adachi³, Taiki Nunokawa², Takahiro Tanabe³, Yoshihiko Saito²,
Satoru Yamaguchi², Youichi Ito², Tsubasa Okaze⁴

Corresponding author: knishi99@gmail.com (K. Nishimura)

¹名古屋大学, ²株式会社雪研スノーイーターズ, ³防災科学技術研究所, ⁴東京科学大学

¹Nagoya University, ²Yukiken SNOW EATERS Co., Ltd., ³NIED, ⁴Institute of Science Tokyo

The vulnerability of snowdrifts formed by blowing snow is a key factor in avalanche initiation. An intensive observation campaign was conducted near the summit of Niseko Moiwa Ski Resort during severe blizzard events to investigate the formation of cornices and snowdrifts and their structural characteristics. Multiple anemometers, snow-depth sensors, and Snow Particle Counters (SPCs) were deployed to monitor snow transport and accumulation. Snow samples were collected for X-ray computed tomography (CT) analysis of the three-dimensional internal structure of snowdrifts.

1. はじめに

雪崩の発生, 特に厳冬期に発生する乾雪表層雪崩は, 一般に積雪層内に形成された構造的に強度の弱い層（弱層）の上に雪が堆積し, そのせん断応力が弱層のせん断強度を上回った場合に発生するとされ, その形成過程や強度については古くから研究が進められてきた. 一方で, 猛吹雪の中で成長する吹きだまり（スラブ）は単に上載加重の増加として作用するだけでなく, 吹きだまりそのものの不安定性が雪崩発生の重要な因子となることがスキーパトロールや登山者から指摘されている. しかし, 吹きだまりは, 一般に風速が 20m/s に達する猛吹雪の中で発達するため, 観測が困難であること, 粒子間の結合による安定化が早いこと吹雪がおさまった後の観測では実態が把握できないなどの理由で, 研究事例はほとんど存在しないのが実状である.

2. 観測

上記の背景を踏まえて, 雪庇と吹きだまりが形成される気象条件とそのプロセス, さらには両者の脆弱性を含めた構造を理解することを目的に, 北海道のニセコモイワスキー場の山頂近傍で集中観測を実施した. 風速計とスノーパーティクルカウンタ（SPC）による風速と吹雪フラックスや雪粒子の粒径分布の時間変動, 積雪深, LiDAR を用いた雪庇の成長過程, UAV-LiDAR による吹雪前後の雪面形状の変化の計測を行った（図 1）.

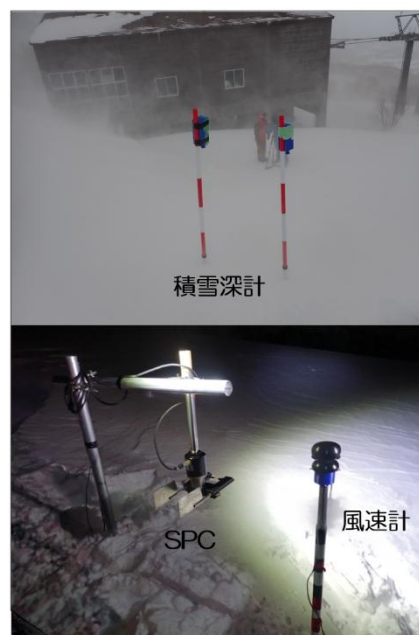


図 1 ニセコモイワスキー場の山頂付近に設置された観測機器（上：積雪深計、下：風速計と SPC）

さらに形成された吹きだまりの積雪を採取して防災科学技術研究所の新庄雪氷環境実験所に輸送し, X 線 μ CT 解析装置による積雪の微細な 3 次元構造を非破壊で定量的に解析した.

3. 解析結果

今冬期は 2026 年 2 月と 3 月に集中観測をおこなったが, 本発表では 2026 年 3 月 7 日から 8 日

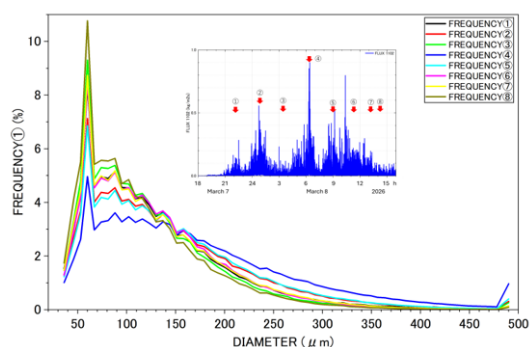


図2 観測期間中の吹雪フラックスと粒径分布

にかけて実施した集中観測の結果を紹介する。

図2は観測期間中のSPCによる吹雪のフラックスの時系列と①から⑧それぞれの時点での粒径分布を示す。降雪があった④の期間を除くと60 μ m程度の細かい粒子の出現頻度が極めて大きいようすがわかる。

図3は観測が終了した3月8日16時過ぎの雪面の様子である。スラブ上に足を踏み入れる、もしくはスコップを差し込むだけで不規則なクラックが入ったほか、わずかな負荷を加えるだけで細かなブロックとなり破断した。



図3 3月8日16時過ぎの雪面の様子

図4はこの時に採取した積雪サンプル(表面から1cmと1cmから2cm深)のX線 μ CTの画像である。目視でも粒子密度の成層構造が確認できる。解析では表面から6cm深までのデータから密度や比表面積の分布を求めた。また密度の大きい領域と小さい領域それぞれ厚さ0.5cmの層を2箇所抽出して、粒子の特性(粒径、表面積、球形度、粒子を楕円近似した際の長軸と短軸の比、長軸の傾きなど)、さらには粒子間の結合特性(配位数、接触面積、オイラーナンバー)を算出し、吹きだまりの構造特性に関する情報を取得した。この結果、密度の大きい層と小さい層では上記の粒径から長軸の傾きに至るまで雪粒子の特性に

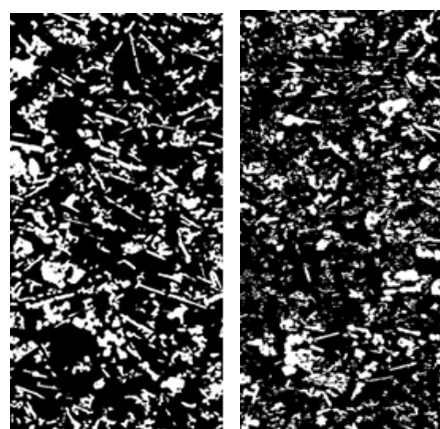


図4 X線 μ CT解析による吹きだまりの画像
左：表面から1cm深、右：1cmから2cm深

はほとんど相違が無い一方で、配位数、接触面積など粒子間の結合特性は前者の方が大きく、両者の間には強度に違いがあることが示された。

こうした成層構造(サンドイッチ構造)のもつ吹きだまりの脆弱性については、観測や理論、数値計算の結果に基づき近年主流となっている雪崩の発生理論、anticrack nucleation and propagation¹⁾、つまり弱層の部分的な崩壊により、その上に堆積した積雪層(スラブ)に曲げの力が生じ、そのエネルギーが破壊の伝搬を駆動するという考え方とアナロジーが成り立つと推定される。また細かなブロックとなる(図3)理由は、吹きだまりの硬い部分の密度が比較的小さいため曲げ強度が大きくないこと、さらに集中観測でも確認された吹雪・吹きだまりの空間的非一様性がcrack arrestに寄与しているものと推察される。

【謝辞】

本研究を遂行するにあたっては、ニセコモイワスキー場ならびにニセコ雪崩調査所の新谷暁生氏に多大な御協力をいただいた。この場を借りて深く感謝申し上げます。本研究はJSPS科研費(22K03747, 21H04601)の助成を受けた。

【参考文献】

- 1) Gaume, J., Gast, T., Teran, J. et al. Dynamic anticrack propagation in snow. *Nat Commun* 9, 3047 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05181-w>