

2021年3月2日に道央圏で同時多発した雪崩について

Dry-snow avalanches occurred due to non-rimed precipitation particles on March 2, 2021

松下 拓樹¹

Hiroki Matsushita¹

Corresponding author: matsushita-h@ceri.go.jp (H. Matsushita)

2021年3月2日、道央圏の複数箇所において同時多発的に雪崩が発生した。これらの雪崩は前日から降り続いた新雪層が崩れた乾雪表層雪崩で、降り始めから雪崩発生までの降雪量は20~30cm程度と通常の雪崩発生条件より少ない降雪量で雪崩が発生した。この降雪は東北北部を通過中の低気圧から延びる温暖前線に伴うもので、雲粒付着の少ない板状結晶や針状・鞘状結晶などからなる降雪であった。これらの降雪結晶により形成された積雪は脆弱なため、普段より少ない降雪量で雪崩が発生したと考えられる。

1. はじめに

2021年3月2日の12時頃を中心に、北海道の道央圏において相次いで雪崩が発生し、道路の通行止め等の影響が生じた。本稿では、今回の雪崩が広域で同時多発的に発生した点を重視し、今後の対策や対応に資するため、これらの雪崩の概要と発生条件に関する考察について報告する。

2. 2021年3月2日に道央圏で多発した雪崩

2.1 雪崩発生の概要

2021年3月2日の10時から14時頃にかけて、北海道の国道に関わる雪崩が5件発生した。雪崩発生箇所は、国道5号共和町稲穂峠、国道393号小樽市毛無峠、国道453号恵庭市北奥漁、国道452号芦別市芦別、国道275号幌加内町政和である(図1)。いずれも降雪中に発生した乾雪表層雪崩で、デブリが道路の両側車線を覆った箇所もあった。また、雪崩発生箇所周辺では、道路に到達していない小規模な雪崩も複数確認された。

以下では、著者が雪崩発生箇所に向いた4箇所の雪崩(幌加内町の雪崩以外)について、当日の気象概況や積雪の特徴などを述べる。

2.2 気象概況と降雪状況

図1は、気象庁 AMeDAS により観測された3月1日と2日の降雪量の合計値である。この2日間で40~50cmのまとまった降雪となった地点があるが、雪崩が多発した道央圏は30cm程度の箇所が多かった。図2は、雪崩発生箇所周辺の3月1~2日の降雪量(積雪深の1時間ごとの差)の累計値と気温の時系列である。1日13時頃から

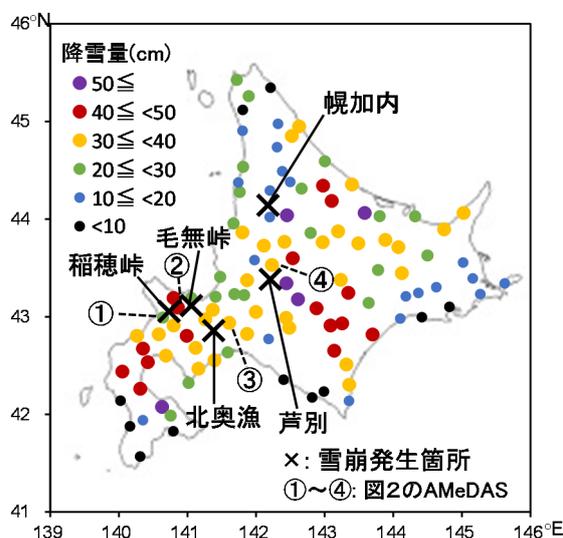


図1 2021年3月1~2日の降雪量の累計値

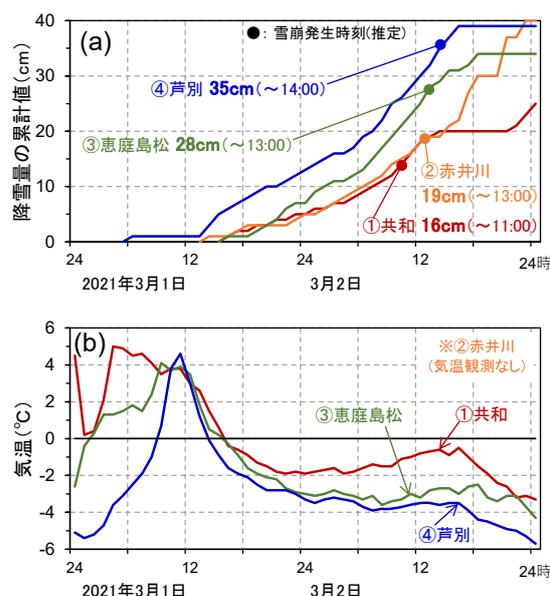


図2 3月1~2日の(a)降雪量と(b)気温の推移

¹ 土木研究所 寒地土木研究所

Civil Engineering Research Institute for Cold Region, PWRI

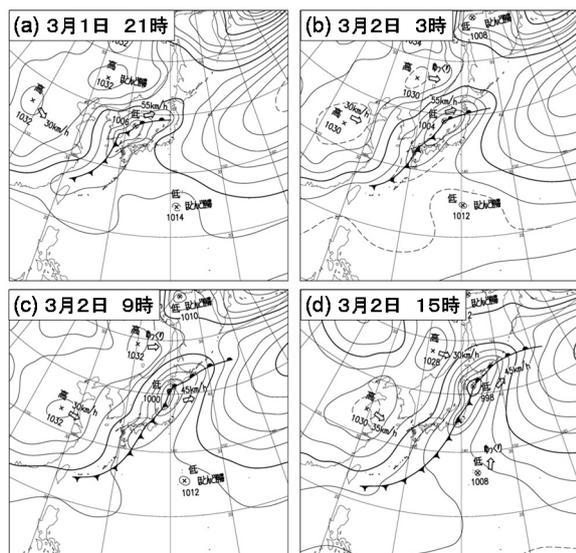


図3 3月1～2日の地上天気図（気象庁作成）

雪が降り始め、2日の雪崩発生時も降り続いていた。降り始めから雪崩発生時刻（推定）までの降雪量の累計値は16cmから35cmであった。特に20cm以下の普段より少ない降雪量で雪崩が発生した箇所があることが、今回の雪崩の特徴の一つである。また、降雪前の3月1日の気温は、各地とも0℃を上回っていた。

図3は、降雪期間中の地上天気図である。低気圧が日本海から東北地方北部を東進し、この低気圧の温暖前線が北海道の南岸に継続的に位置していた。今回の雪崩発生に関わった降雪は、この低気圧の温暖前線に伴う降雪であった。この低気圧が北海道の東海上に去った後は、目立った降雪はなく、3月3日の天候は晴れ、4日以降は各地で気温0℃以上となった。

2. 3 降雪結晶と積雪の特徴

図4は、3月2日深夜に札幌市で撮影した降雪結晶の写真である。今回積もった新雪層は、雲粒付着の少ない板状結晶（図4b）や鞘状または針状結晶（図4c）などから構成されていた。このような降雪結晶は雪崩発生箇所でも確認され、今回の雪崩はこの新雪層が崩れて発生した。また、同様な降雪結晶は札幌市北区¹⁾でも確認されており、道央の広い範囲で雲粒付着の少ない降雪結晶による脆弱な積雪が形成されたと考えられる。なお、雲粒付着の少ない降雪結晶が積もると、特に夜間において光を反射して雪面がいつも以上に輝く特徴がある¹⁾。

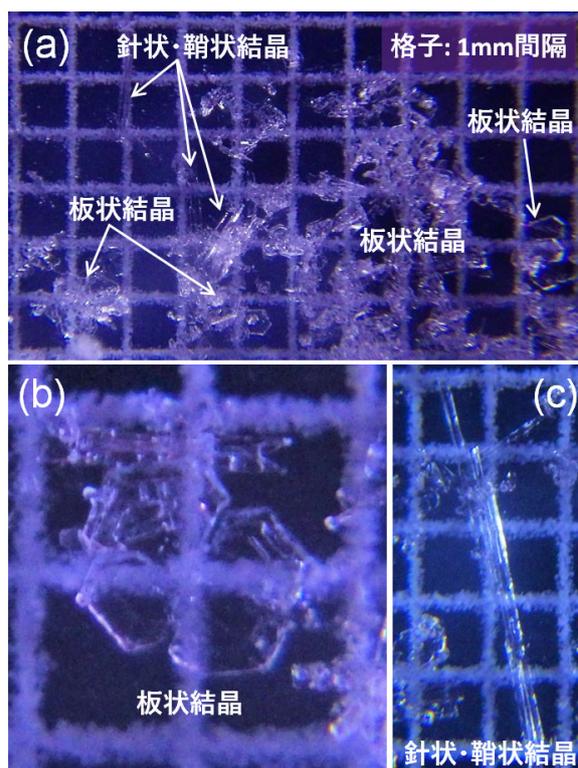


図4 降雪結晶（札幌市清田区、3月2日24時頃）

3. 考察

3.1 降雪結晶が要因の雪崩に関する既往知見

乾雪表層雪崩の発生要因となる弱層形成に、雲粒付着の少ない降雪結晶が関与することは古くから指摘されており^{2)~4)}、降雪結晶弱層による雪崩発生箇所の積雪断面観測^{5)~6)}や降雪結晶弱層の物理特性や脆弱性の持続性に関する観測^{7)~11)}が行われている。特に、大型で雲粒付着の少ない板状結晶により形成された積雪層は、他の新雪層よりも脆弱な状態が長期間継続する^{6)~11)}。ただし、降雪結晶弱層の脆弱性が継続するのは、数日間に限られる場合が多い^{6)~8)~10)}。

弱層に着目した広域調査例¹²⁾によると、その約半数が降雪結晶による弱層との報告がある。最近では、2014年2月の関東甲信や東北地方において、南岸低気圧による多量降雪時に各地で多数の雪崩が発生したが、このとき雲粒付着の少ない針状、柱状、板状などの降雪結晶が弱層として関与した可能性が指摘されている^{13)~15)}。北海道でも、日本雪氷学会北海道支部雪氷災害調査チームより、降雪結晶弱層が要因となった雪崩事例が報告されている^{16)~17)}。

雲粒付着の少ない降雪結晶は、温暖前線や低気圧前面等に形成される層状雲から降ることが多

い^{18),19)}. この新雪層の上に、時間を置かず低気圧通過に伴う対流雲や冬型気圧配置によるまとまった雪が積もると、雲粒付着の少ない降雪結晶が弱層として作用するため、乾雪表層雪崩が発生しやすい状況になると考えられる^{6),18)}.

3. 2 今回の雪崩の特徴と発生条件について

今回の雪崩事例(2章)と降雪結晶による雪崩の既往知見(3.1節)を比較すると、温暖前線に伴う雲粒付着の少ない降雪結晶が要因だった点が共通し、このような降雪結晶が降りやすい気圧配置の継続が、広域における同時多発の雪崩につながったと考えられる。しかし、今回北海道で発生した雪崩は、雲粒付着の少ない降雪結晶による新雪層そのものが崩れた点で、既往研究の降雪結晶が積雪内部で弱層として作用する雪崩と異なる。また、20cm以下の普段より少ない降雪量で雪崩が発生したことも特徴の一つである。

そこで、20cm程度の新雪層が崩れて雪崩発生に至る可能性があるのかについて、著者の過去の検討例を引用して考察する。図5は、雲粒付着の少ない板状結晶と雲粒付着が顕著な雪片などからなる降雪に対して、降り始めから斜面積雪が不安定化(安定度 $SI \leq 2.0$)するまでの降雪量を試算した結果である²⁰⁾。安定度 SI は、斜面積雪のせん断方向の応力と強度の比²¹⁾で、北海道の国道で発生した雪崩に関する既往研究²²⁾によると、 $SI \leq 2.0$ になると発生数が著しく増加する。図5は、これらの新雪層の密度と上積積雪荷重の時間変

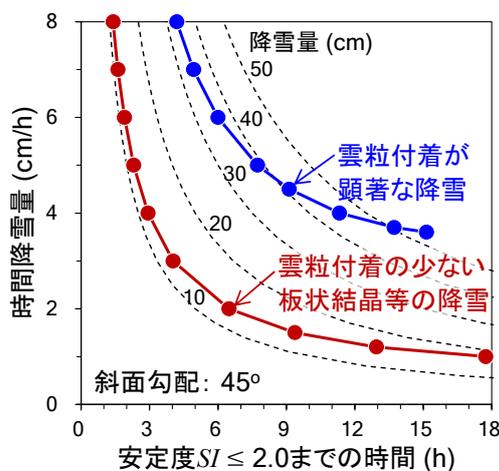


図5 降り始めから斜面積雪の安定度 SI が2.0以下になるまでの時間と時間降雪量、累計降雪量の関係。Matsushita *et al.*²⁰⁾の図を改変。

化に関する現地観測結果¹¹⁾から、遠藤²¹⁾の新雪層の安定性評価手法に用いる圧縮粘性率を定式化して求めたものである²⁰⁾。図5の縦軸は時間降雪量、横軸は斜面積雪の安定度 SI が2.0以下になるまでの降り始めからの時間であり、図中の破線が降雪量の累計値である。この図より、雲粒付着の少ない板状結晶からなる降雪の場合、15~20cm程度の降雪量でも安定度 SI が2.0以下となるため、雪崩発生の可能性があると考えられる。

ただし、図5は一回の観測に基づく結果である。今後、降雪結晶の種類による圧縮粘性率や安息角などの物理特性の違い^{23),24)}を考慮した、より系統的な検討が必要である。なお、今回の雪崩では、降雪前の気温上昇(図2)の影響を受けた雪面と、この降雪結晶との結合の弱さ(weak interface²⁵⁾)も要因の一つとして考えられる。

3. 3 今後の対策に向けた課題

今回のような雲粒付着の少ない降雪結晶が要因となる雪崩に対して、効果的かつ効率的な対策や対応を行うために、次のような課題がある。

降雪結晶による弱層が広域に形成される傾向があるため、雪崩発生の可能性の高い箇所(絞込み(斜面方位や植生条件などによる特定)を可能とする知見が必要である。今回の雪崩は、雪崩発生履歴のない箇所でも発生した。しかし、なぜこれらの箇所でも発生したのか、現時点では、具体的な地形や植生などの条件は不明である。

また今回の事例のように、普段より少ない降雪量で雪崩が発生する可能性があるため、発生条件や脆弱性の持続(斜面積雪の安定化に要する時間)に関するさらなる客観的かつ実用的な知見の蓄積が必要である。発生条件に関しては、3.2節が考察の一例である。脆弱性の持続については、現時点の既往知見^{6),8),10)}より、数週間に渡って持続することはないと考えられる。今回の雪崩では、雲粒付着の少ない降雪結晶の新雪層の上に降雪が生じなかったことと、2日後の3月4日には気温が 0°C 以上に上昇したため、斜面積雪が不安定だった期間は限定的だったと考えられる。

4. おわりに

降雪結晶が要因となる雪崩は、今回のように広域で発生する可能性があり、今後も留意すべき現象と考えられる。しかし、この雪崩の対策や対応

という観点からみると、まだまだ解明すべき点や課題が多いことも事実である。最近、数値気象モデルによる降雪結晶の雲粒付着の程度を考慮した予測実現に向けた取り組みがなされている²⁶⁾。将来、このような新たな技術も、雪崩対策の判断材料の一つとして活用することが期待される。

【参考文献】

- 1) 秋田谷英次, 日本雪氷学会北海道支部雪氷災害調査チーム, 2021: さっぽろ積雪の情報 (2021-03-03), **29**, <http://avalanche.seppyo.org/snow/> (2021.07.07 閲覧).
- 2) 四手井綱英, 1953: 表層雪崩の一特異例, 雪氷, **14**, 116-119.
- 3) LaChapelle, E. R., 1967: The relation of crystal riming to avalanche formation in new snow, *Physics of Snow and Ice*, **1**(2), 1169-1175.
- 4) 秋田谷英次, 清水 弘, 1987: 積雪内の弱層形成に関する観察事例, 低温科学, **A46**, 67-75.
- 5) Bair, E. H., 2011: *Fracture mechanical and statistical properties of nonpersistent snow avalanches*, Ph.D. Thesis, University of California, 183pp.
- 6) 池田慎二, 2015: 無名沢雪崩事故の原因となった降雪結晶弱層による積雪不安定性の形成過程と持続性, 雪氷, **77**, 17-35.
- 7) 八久保晶弘, 秋田谷英次, 1996: プレート降雪結晶の弱層のせん断強度変化, 北海道の雪氷, **15**, 70-73.
- 8) Brown, C. and Jamieson, B., 2008: Shear strength and snowpack stability trends in non-persistent weak layers, *Proceedings Int. Snow Sci. Workshop (ISSW)*, 21-27.
- 9) 阿部 修, 望月重人, 2014: 雲粒のない板状結晶からなる弱層の観測と考察, 雪氷, **76**, 421-429.
- 10) 海原拓哉, 八久保晶弘, 尾関俊浩, 西村浩一, 秋田谷英次, 2011: しもぎらめ雪・あられ・降雪結晶からなる弱層のせん断強度変化の観測例, 雪氷, **73**, 133-142.
- 11) 松下拓樹, 石川 茂, 石田孝司, 2016: 南岸低気圧による降雪結晶弱層の密度と硬度の時間変化, 寒地技術論文・報告集, **32**, 120-125.
- 12) 尾関俊浩, 秋田谷英次, 1995: 弱層に着目した広域積雪調査, 北海道の雪氷, **14**, 32-35.
- 13) 和泉 薫, 河島克久, 伊豫部 勉, 松元高峰, 2014: 2014年2月中旬の大雪による雪崩災害の発生状況と特徴, 科研費研究成果報告書 (課題番号 25900003), 111-118.
- 14) 石坂雅昭, 藤野丈志, 本吉弘岐, 中井専人, 中村一樹, 椎名 徹, 村本健一郎, 2015: 2014年2月の南岸低気圧時の新潟県下における降雪粒子の特徴—関東甲信地方の雪崩の多発に関連して—, 雪氷, **77**, 285-302.
- 15) 中村一樹, 上石 勲, 阿部 修, 2014: 2014年2月の低気圧の降雪による雪崩の特徴, 日本雪工学会誌, **30**(2), 106-113.
- 16) 山野井克己, 中村一樹, 大西人史, 山本行秀, 菊池 基, 雪氷学会北海道支部雪氷災害調査チーム, 2013: 2012年12月に三段山で発生した雪崩の調査報告, 北海道の雪氷, **32**, 6-9.
- 17) 下山 宏, 阿部夕香, 双樹智道, 板垣 力, 山野井克己, 尾関俊浩, 雪氷災害調査チーム, 2020: トマム山で2020年1月30日に発生した雪崩の調査報告, 北海道の雪氷, **39**, 43-46.
- 18) 中村一樹, 佐藤友徳, 秋田谷英次, 2013: 降雪系弱層形成時の気象の特徴, 北海道の雪氷, **32**, 14-17.
- 19) 秋田谷英次, 中村一樹, 2013: 低気圧前面の降雪結晶による弱層形成, 北海道の雪氷, **32**, 10-13.
- 20) Matsushita, H., Takahashi, W., Matsuzawa, M. and Takahashi, J., 2018: Evolution of non-persistent weak layer and snowpack stability during snowfall. *Proceedings Int. Snow Sci. Workshop. (ISSW)*, 1001-1005.
- 21) 遠藤八十一, 1993: 降雪強度による乾雪表層雪崩の発生予測, 雪氷, **55**, 113-120.
- 22) 西村浩一, 平島寛之, Lehning, M., 石本敬志, 河見博文, 2006: 雪崩発生危険度指標図の作成II, 寒地技術論文・報告集, **22**, 31-35.
- 23) 梶川正弘, 小野 昇, 1990: 新積雪の圧縮粘性係数と降雪粒子の結晶形との関係, 雪氷, **52**, 283-287.
- 24) 成田英器, 竹内政夫, 2009: すり抜け雪崩と点発生乾雪表層雪崩を分ける安息角, 北海道の雪氷, **28**, 33-36.
- 25) Tremper, B., 2008: *Staying alive in avalanche terrain*, Mountaineers Books, 318pp.
- 26) 橋本明弘, 本吉弘岐, 三隅良平, 折笠成宏, 2018: 数値気象モデルによる降雪粒子予測の高度化, 北海道の雪氷, **37**, 63-66.