

雪崩の発生機構の演示実験—積雪の破壊から表層雪崩に至る過程について—

Demonstration materials for educating slab avalanche release mechanism — The process from destruction of snow cover to release of slab avalanche —

尾関 俊浩¹, 渡會 航平¹, 秋田谷 英次²

Toshihiro Ozeki¹, Kohei Watarai¹, Eizi Akitaya²

Corresponding author: Ozeki.toshihiro@s.hokkyodai.ac.jp (T. Ozeki)

We studied educational materials to teach the avalanche release mechanism for avalanche safety education of youths. We developed three materials that contained weak layers fracture phenomena. In the model where the slab layer on the bed surface was represented by bellows or drawers, an indication of tensile fracture at the crown and formation of the stauwall was provided by the tensile deformation of the bellows or the drawer. In the model where the weak layer due to surface hoar was represented by plates of polystyrene foam, the failure of the weak layer was caused by the overturning of the plates like domino toppling.

1. はじめに

2017 年 3 月 27 日に那須で発生した表層雪崩は、登山研修中の高校生ら 8 名が亡くなるいたましい結果となった。日本における中高生の雪や雪崩に対する学習は十分に行われていないのが現状であり、この事故を未来の若者のための教訓とするには、ユース向けの雪崩の安全教育が重要となる。2011 年の東日本大震災の後に発行された中学校理科の教科書では自然災害の記載が充実する傾向にあるが、雪害については大雪の記載に止まっている。これは国土の 1/2 が豪雪地帯であることを勘案すると、学習が不足している感は否めない。また雪崩の観点から斜面上の物体の力学について見ると、中等教育で扱われている内容はたいへん限定的である。

2. ユース向けの雪崩安全教育のためには？

雪崩に遭わないためには積雪を調べて、弱層の確認をすることが不可欠である。そのためには雪や雪崩の知識と積雪観測の実習を合わせて行うことが大切である。しかし雪崩のユース教育を勘案すると、破壊現象についても弱層についても（もちろん）中等教育では扱われていない。本研究では現在の中高生の理科の知識でも理解できるような、表層雪崩の発生機構を説明する演示模型を試作することを目的とした。

3. 演示実験の教材研究

本装置は教室でも演示できることを前提とするので、雪ではないもので積雪の破壊現象をイメージさせることが肝要となる。物性が違い、空間スケールが違い、時間スケールが違う実験であること、さらに教育のためのデモンストレーションであることを念頭に、雪崩を「再現」することにとらわれすぎないように心がけた。すなわち、現象の根幹をなす家庭の理解のために、学習してもらいたいポイントは何かを強調する仕様とした。

最近の 10 年間に雪氷学会北海道支部雪氷災害調査チームが調査した主要な表層雪崩 12 件を表 1 に示すが、すべて弱層の破壊が雪崩発生の原因であった¹⁾。その内訳をみると 8 例がこしもざらめ雪・しもざらめ雪からなる弱層であり、降雪結晶が弱層を形成した例が 4 例であった。そこで対象とするのは雪崩事故が多い面発生表層雪崩とし、滑り面となる弱層に相当する部分が入った模型を複数種類作成した^{2),3)}。本発表ではそのうち 2 種類 3 例について紹介する。

3.1 表層雪崩の発生機構をイメージさせる装置

従来から、積雪層内に弱層があるとき、その斜面に人が侵入すると、その力学的刺激で弱層が破壊して表層雪崩を誘発すると言われている。この外部からの力学的刺激で積雪内の特に弱い層が剪断破壊を起こし（剪断）、その上の積雪が下の

¹北海道教育大学 札幌校
Sapporo Campus, Hokkaido University of Education
²NPO 法人 雪氷ネットワーク
NPO Network of Snow and Ice Specialists

表 1 雪氷災害調査チームが 2007～2017 年に観測した表層雪崩における弱層の特徴. 北海道 (立山の 1 例を含む). 表層霜とは雪面直下で成長し埋もれたしもぞらめ雪・こしもぞらめ雪, 深部霜とは積雪の下の方で成長したしもぞらめ雪・こしもぞらめ雪を表す. 尾関ら¹⁾による.

雪崩発生日	雪崩場所	弱層雪質	弱層の記述	弱層成因
2007.11.17	上ホロメツク下降ルンゼ	□△, ~2mm	明らかに柔らか、指1本	深部霜／表層霜
2007.11.23	上ホロメツク化粧物岩	○□、~2mm	底面に近い層が破壊	深部霜
2009.2.8	ニセコノブフリ南西斜面	□、~1mm	指4本	表層霜
2009.3.2	羊蹄山	雲粒なし、~1mm	同じ低気圧下を北村で撮影	低気圧性降雪
2010.1.16	尻別岳989m峰	□、~1mm	日射融解と温度勾配	表層霜
2010.11.30	立山・国見峠	□、~1mm	指4本	表層霜
2011.1.1	ニセコ西方斜面	○□、~1mm	日射内部融解と放射冷却	表層霜
2012.12.16	三段山で発生した雪崩	/ +、~2mm	つぶみ、広幅六花鮮明	雲粒なし降雪
2013.4.22	富良野岳北尾根	25cm、/ + ; ~1mm	雲粒なし広幅六花	雲粒なし降雪
2014.1.16	ニセコノブフリ西斜面	/ +、~2mm	雲粒なし樹枝の枝残る	雲粒なし降雪
2015.12.30	旭岳(奥盤の沢)	● □、~1mm?	角ばった結晶が観察	表層霜
2016.3.26	羊蹄山	□、~0.5mm		表層霜

記号: □ こしもぞらめ雪, △ しもぞらめ雪, + 新雪, / こしまり雪, ● しまり雪, ○ ざらめ雪.

支えが無くなり斜面下方に引っ張られて破壊し(引張), その結果, 割れ目より下方の積雪が移動して圧縮破壊を誘発して(圧縮), 表層雪崩となる(図 1). 図 2 および図 3 の装置では剪断, 引張, 圧縮の 3 つの破壊形式が関与していることをイメージできるようにした.

図 2 は上載積雪を蛇腹で表現したモデルである. 図 2(c)に蛇腹部の拡大写真を載せる. 4 つの蛇腹は磁石で連結されており, スキーヤー姿のおもいを載せると上部では引っ張り, 下部では圧縮の様子を見せることができる(図 2(a)). スキーヤーの上端で磁石が外れると, 下部破断面に相当する下端の斜面がスライドして雪崩が発生する(図 2(b)). 瞬間的に破壊が伝搬して雪崩に繋がる様子が面白い.

図 3 は上載積雪を引出しで表現したモデルである. 図 3(c)に引出し部の拡大写真を載せる. 3 つの引出しは磁石で連結されており, スキーヤー姿のおもいを載せると(図 3(a)), 上部では引っ張り力により引出しが出てきて, 下部で破断面ができ, 雪崩が発生する. このとき, 上流側の引出しが一斉に斜面を落下する(図 2(b)).

これらのデモンストレーションでは, いずれも先にスキーヤー姿のおもいを載せた状態で, 斜度を徐々に上げていき, 強度限界を超えたところで破断が発生する様子を示した.

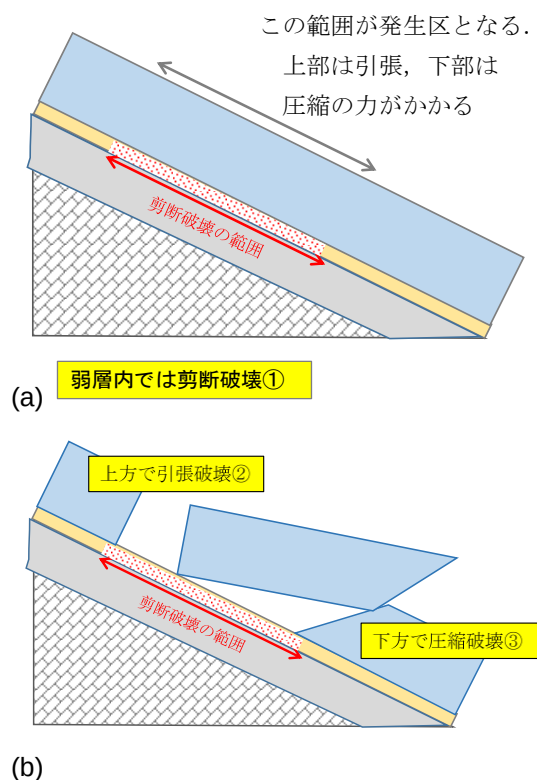


図 1 弱層を含んだ積雪の破壊模式図. (a)弱層が何らかの要因で破壊した様子. 上載積雪上部で引張, 下部で圧縮の力がかかる. (b)雪崩の発生と上部破断面, 下部破断面.

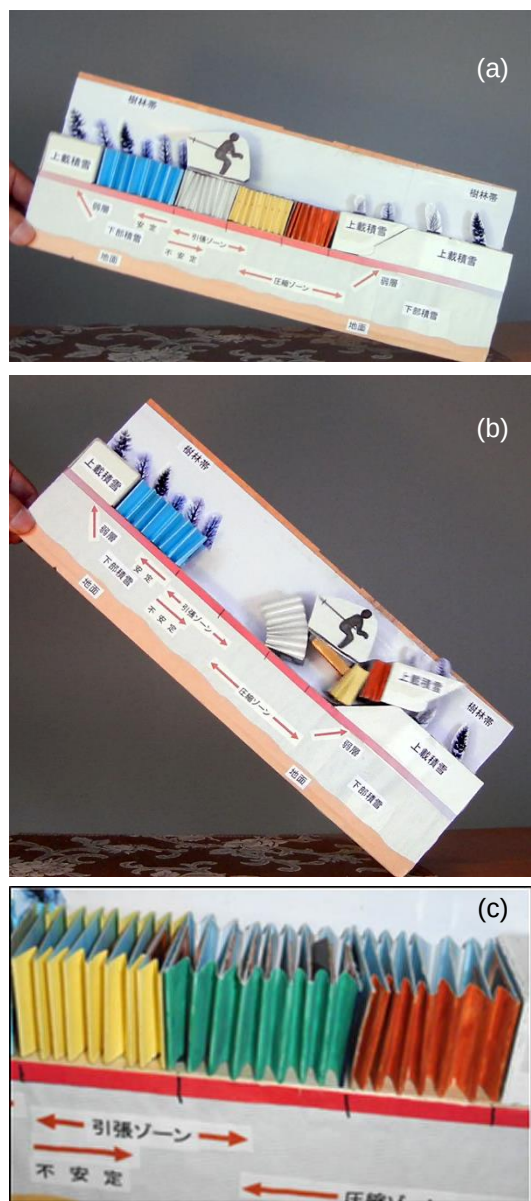


図 2 上載積雪を蛇腹で表現した弱層破壊モデル. (a)スキーヤー姿のおもりを載せた蛇腹. (b)角度を上げ、上端で磁石が外れて下部で破断が発生した様子. (c)蛇腹部.

3.2 表面霜をイメージした装置

スイスやカナダでの弱層の調査⁴⁾では 82 % の弱層は表面霜、こしもざらめ雪、しもざらめ雪から成る層であった. このような霜系の弱層が破壊する様子をイメージできるような模型を作成した (図 4). この弱層は疎な層を形成し、剪断力に弱い特徴があるので、その様子を示すために極端な層を作ることを心がけた. 本体は厚さ 3 cm のウレタンフォームであり、表面霜は厚さ 1.2 cm の

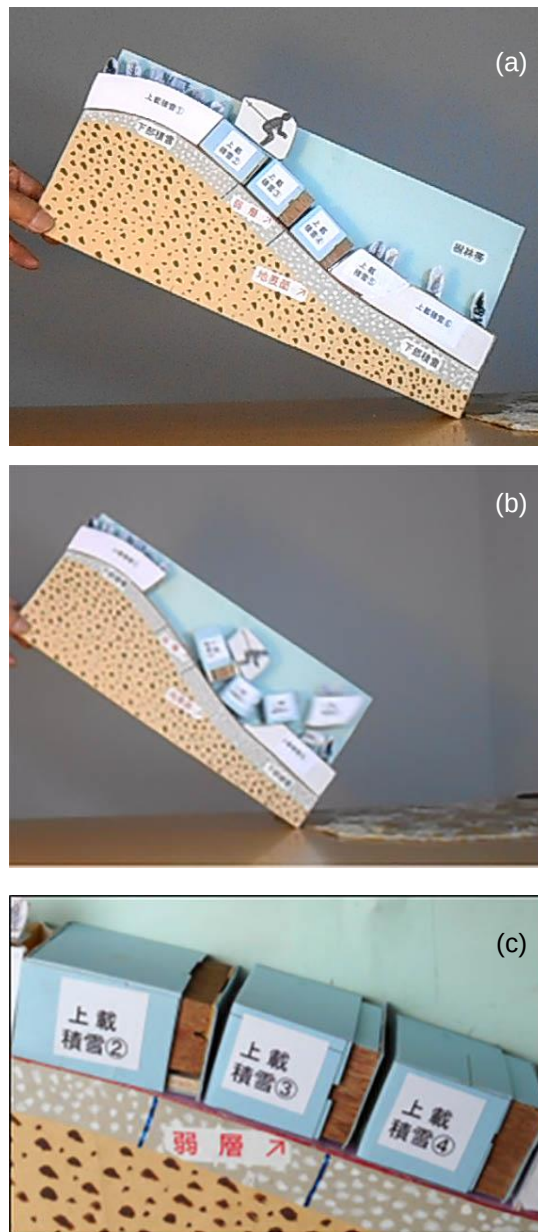


図 3 上載積雪を引出しで表現した弱層破壊モデル. (a)スキーヤー姿のおもりを載せた引出部. (b)角度を上げ、上端で引出しが出て下部で破断が発生した様子. (c)引出部.

発泡スチロールを用いた. 一枚のサイズは高さ 7 cm, 横幅 4.5 cm であり、合計 12 枚で上載荷重を支える設計である (図 4(a)). 表面霜には下流側へ倒れるように蝶番を用いた. 自然界の表面霜の弱層は、その形状から根元が破壊することが予想されるが、装置を組み立てる上では根元を蝶番で固定する方法をとった.

斜度を一定に保ち、上載するおもり (ペットボトルの水量) を変化させて、弱層の破壊をデモンストレーションした (図 4(b)).

4. まとめと今後の展望

本研究では、雪崩のユース教育を目的に、面発生表層雪崩を対象とした教育用弱層モデルを作成した。いずれの装置も、はっきりと弱層の破壊現象をデモンストレーションできたことから、これらの装置を用いて演示できるような1つの教育プログラムを作成することが次のステップとなる。さらに、中高生を対象に実践を行うことを計画しているので、この演示実験による学習効果をアンケートにより検証し、より効果的な演示実験になるようにフィードバックさせる予定である。

【謝辞】

本研究はJSPS 科研費 18K02929 の助成を受けたものである。

【引用文献】

- 1) 尾関俊浩, 荒川逸人, 八久保晶弘, 原田裕介, 岩花剛, 兒玉裕二, 中村一樹, 榊原大貴, 榊原健一澤柿教伸, 下山宏, 杉山慎, 山野井克己, 山口悟, 秋田谷英次, 2017: 2007~2017年に観測した北海道の表層雪崩における弱層の特徴, 雪氷研究大会(2017・十日町)講演要旨集, 214.
- 2) 堀尾沙希, 尾関俊浩, 秋田谷英次, 2018: 雪崩の発生機構の教材開発ー弱層モデルと摩擦モデルー, 北海道の雪氷, 37, 71-74.
- 3) 秋田谷英次, 尾関俊浩, 堀尾沙希, 渡會航平, 2018: 積雪の破壊から表層雪崩に至る過程を動画で再現, 雪氷研究大会(2018・札幌)講演要旨集, 231.
- 4) Schweizer, J. and J.B. Jamieson, 2000: Field observations of skier-triggered avalanches, *Proc. Int. Snow Sci. Workshop*, Big Sky, MO, 192-199.

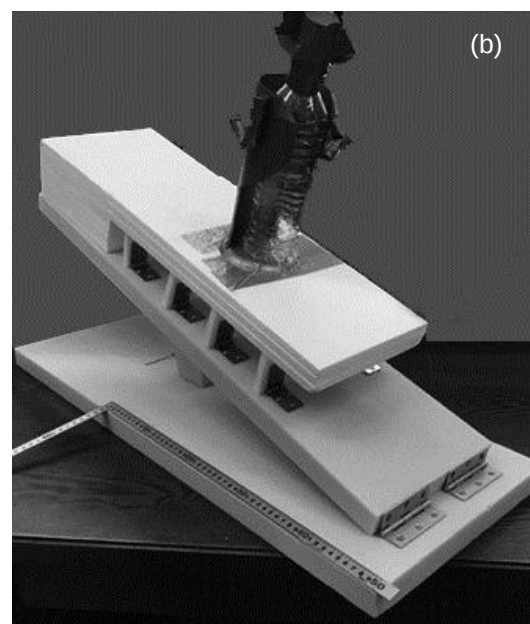
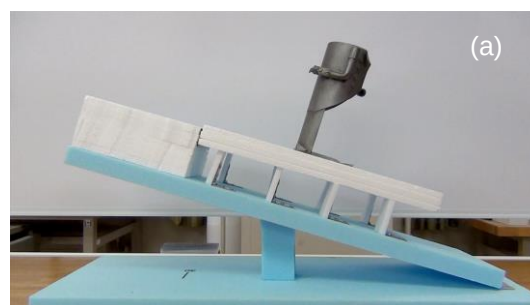


図4 霜系の弱層が破壊する様子をイメージした弱層破壊モデル。(a) 表面霜が斜面に直立して上載荷重を支えている様子。(b) 斜度を固定し、ペットボトルの水量で上載荷重を変化させる。