

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成30年 6月26日現在

機関番号：10106

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2014～2017

課題番号：26702008

研究課題名(和文) 雪上滑走型岩石なだれに関わる岩石と雪の相互作用の解明

研究課題名(英文) Exploration the interaction between snow cover and rock for rock-on-snow avalanches

研究代表者

山崎 新太郎 (Yamasaki, Shintaro)

北見工業大学・工学部・助教

研究者番号：40584602

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 16,200,000円

研究成果の概要(和文)：雪上で岩石なだれが長距離移動する条件を探るため実験と野外観察を実施した。実験は野外で自然に雪層を形成させた長さ28mの斜面に対して、5.8立方メートルの岩石破砕物を落下させた。計4回の実験うち2つでは岩石破砕物は雪層に接触した後単純に外側に押し出して急停止した。2つの実験では雪層が剥がれ岩石を運搬した結果、H/Lの比較で全二者より10-12%より遠方まで流れた。そのときの雪層は凍結融解作用によってできた硬い雪層が表面にあり、下方に柔らかい雪層が残存している時であった。断片化した硬い雪層は、粉末状の雪とは異なり、岩石粉砕物に取り込まれた。この観察状況は長距離移動の発生状況にもあった。

研究成果の概要(英文)：We explored whether certain snow cover characteristics facilitate long travel distances. We dropped about 5.8 cubic meters of rock fragments on 28-m-long slopes covered by snow. At the experiment site, snow falls from November to March, and in the early and late season, freeze-thaw cycles occur; as a result, snow cover conditions evolve depending on meteorological conditions. To simulate erosion of the snow cover by flowing material, we carried out four experiments on these slopes with various snow cover conditions and two slope angles. In two experiments, the flowing materials stopped after short travel distances and just pushed on its lower snow cover. In contrast, in the other two experiments, the flowing materials spread more widely and traveled farther. The H/L ratio of the latter two experiments were smaller than those of the former two experiments. The hard surfaces of the base snow covers in the latter tests formed under freeze-thaw conditions.

研究分野：応用地質学

キーワード：岩石雪なだれ 地すべり 落石 雪崩 崩壊 雪 豪雪地帯

1. 研究開始当初の背景

2011年3月に発生した長野県北部地震は、近代科学の開始以降、初めて豪雪地域で多雪期に発生した直下型地震であった。その際、斜面災害の研究上注目すべき現象が発生した。それが小規模崩壊の異常な長距離流動現象である。この現象は、斜面の崩壊によって発生した数千から数十万立方メートルの岩石が最大1.5kmに渡って流下し、滑落崖からはるか遠い下方の集落付近まで迫った。申請者らの発生直後の検討により、この現象は岩石が雪と混合しながら一体的な移動体となり雪上を滑走して発生したこと、そして、移動体の底層に大規模な液化があったことが確かめられた。以上の災害で注目される、雪や氷の上の長距離岩石なだれ現象は、国際的には重要な研究課題と認識されている。例えば、氷河上の岩盤崩壊が異常な長距離流動をすることが知られており、約35km流送して多数の死者を出した例(2002年ロシアKolka災害、死者140人)がある。この原因には、摩擦熱によって移動体底層で氷雪起源の液化層が形成され、その液化層の上で移動体が滑動するというメカニズムが有力とされている。しかし、議論は収束しておらず、申請者の研究でも、前述の液化層の成因について結論を出せていない。我が国では、岩石と雪は、互いに近接しているにも関わらず、それらが一緒に流れる状況での、岩石と雪の相互の作用は検討されたことは無かったと思われる。

申請者は、災害直後から、長野北部地震で発生したものと同様の現象を再現すべく冷凍庫内に設置した模擬雪層に岩石(重量数kg)を落下させる実験を行ってきた。しかし、その実験結果では長距離流動は実現せず、それはおろか、雪自体にクッションのように機能する衝撃緩和効果があり、むしろ滑りにくくなること、また、水を含めた岩石を落下させると雪と岩石の間に、雪だるまのように吸着力が働き、さらに滑り難くなるという現地の観察とは相反する結果が出た。そのため、未だにこの現象の本質的解明に至っていない。

直感的には雪は衝撃的な圧力によって硬化する特異な物質である。例えば、湿り雪を手に取り、瞬時に握りつぶすと硬化し、前述の緩和能力及吸着力は低下する。このいわば「衝撃硬化」が落下した岩石の真下で発生すれば、岩石がスケートのように雪上を滑るようになる。長野北部地震の被災地では、発生後に摩擦痕が雪面に形成され、岩石粉末が付着している様子が直後に確認されている。この現象は、流下中に雪が瞬時に「硬い」物性を発揮したと想像すると理解しやすい。また、硬化した雪の吸水能力が低下するために、たとえ摩擦等で移動体の底層に液体の水が生じて、それが下方に浸透せずに、底層付近に保持される。しかし、雪の物性には環境依存性がある。同じ雪でも、低温の乾き雪を握

りつぶすといった条件では、申請者が想定する「衝撃硬化」は起きにくい。そして、もしこれが鍵であるならば、同じく豪雪地域の中でも、雪上滑走型岩石なだれの危険地域が絞られる可能性がある。例えば、北海道・東北・北陸では雪質は大きく異なる。そして、以上の実証には、これまでに誰も実現していない実験的なアプローチが鍵になる。以上が本研究の着想の経緯である。

2. 研究の目的

以上の背景に鑑み、筆者は、岩石と雪が接触した場合に生じる相互の物性の変化と岩石雪なだれの長距離運動への寄与を念頭に、多様な積雪層を形成させて、そこへの岩石粉砕物の落下実験を行った。そして、より規模の大きな事例の調査として2011年長野北部地震以外での天然の類似事例の分析を行った。ここでは、実験に関して詳しく報告する。

3. 研究の方法

(1) 実験サイト

筆者は北海道美幌町の土取場(標高60m、北緯43度47.4分、統計144度08.8'分)に斜面を形成した。形成した斜面は、図-1の通りである。この場所を選んだ背景は、11月から3月にかけて十分な積雪があり、11月から12月前半にかけてと3月は凍結融解環境に積雪が置かれること、そして、1,2月は低温であり融解環境とならないためである。この場所では、本州日本海側の積雪から北海道東部の低温積雪まで様々な積雪が再現できた。

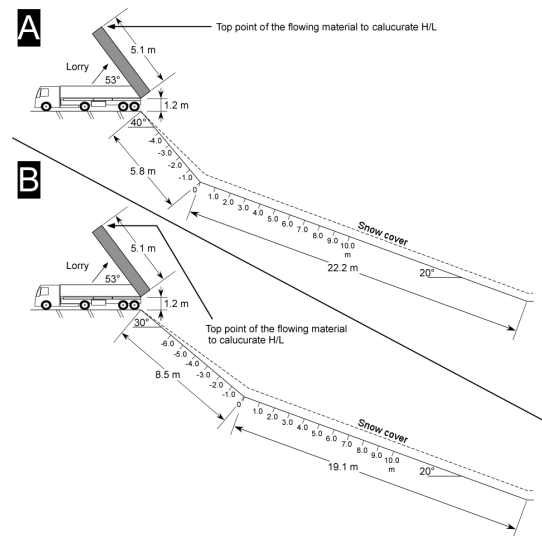


図 - 1 実験の概念図

土取場近隣から乾燥した岩石破砕物を採取し、それを10tダンプカーに積載、ダンプカーの後部バケット(5.8m<sup>3</sup>)を傾斜することで積雪斜面に岩石破砕物を落下させ、それによって、積雪上に落下する岩石なだれの再現を行った。この岩石粉砕物は安山岩と軽石、

火山灰の混合物で1立方メートルあたり1930 kgである。つまり、一度に落下させる質量は10.2トンとなる。なお、この岩石破砕物の温度は+0.5度Cから+4.4度Cであった。バケツから岩石破砕物が落下して、雪上を運動し停止するまでの時間は概ね3秒以内である。斜面は傾斜の異なる2種類の斜面を利用した(図-1)。

### (2) 積雪層の形成

積雪層は自然積雪のものを利用した。前述したように、実験時期を変化させることで多様な積雪を形成することが可能である。我々は4年かけて、条件が均一な4度の実験を試行した。実験は積雪が20cm以上に層厚に達したときに行った。その積雪が形成された条件および、実験時の気象条件の記録は、美幌観測点(北緯43度46.2分, 144度10.3分)におけるデータを利用した。ここは3.1キロメートル実験サイトと離れているが、標高が同じで、実験サイト同じく山などの影にもならないため、実験サイト同一の気象条件とみなすことができた。その記録は図-2である。

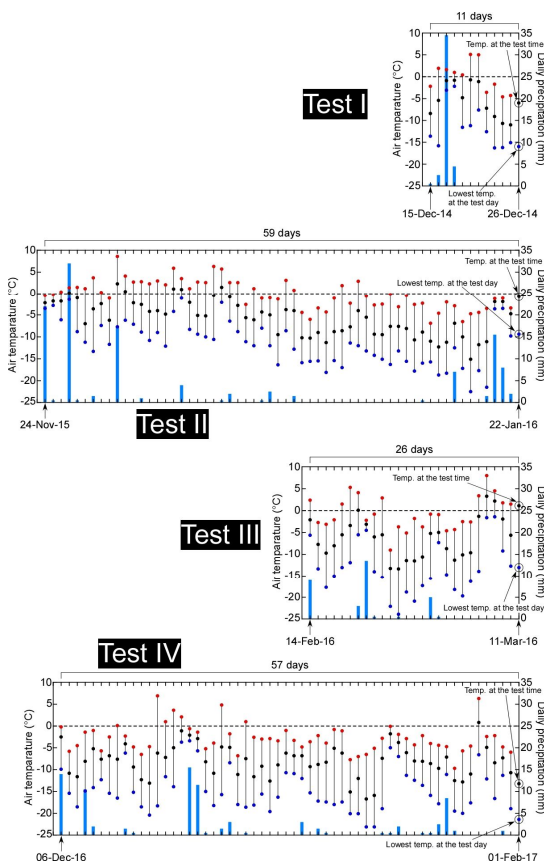


図-2 気象観測データと各種試験

### (3) 試験後の調査方法

試験後の調査方法として、発生した岩石・雪なだれの縦断面のトレンチ掘削を行った。それにより、落下した岩石破砕物の雪層の衝突・侵食・運搬のプロセスを考察した。特に試験後の雪層の物性変化のプロセスを定量的に測定するため、一つのテストは小型コー

ンペネトロメータ、もう一つはディスク型ペネトロメータを用いた。さらに雪の密度測定を、定体積箱を用いた雪密度測定計によりおこなった。

### 4. 研究成果

実験後の結果に関して、図-3に示す。斜面の傾斜角、積雪層の厚さはそれぞれ異なるが、これより傾向を読み取ることができる。さらにトレンチ掘削により、それぞれの岩石破砕物と雪の移動形状を観察することができた。

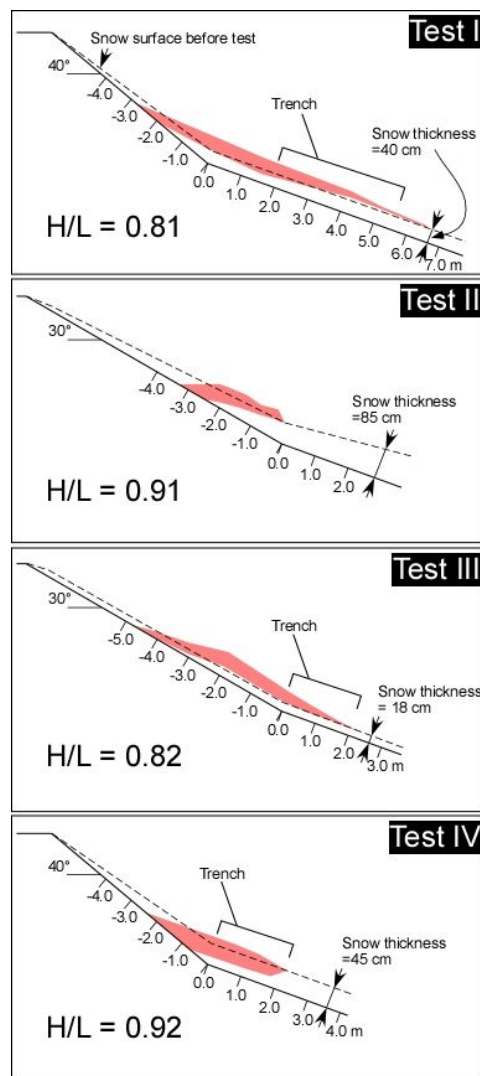
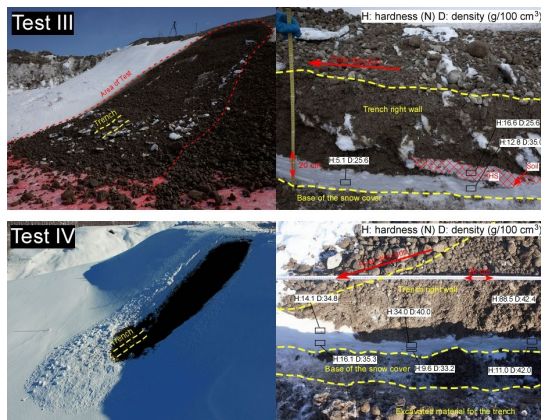


図-3 実験結果

テスト1では岩石破砕物は雪上を拡散したように見えたが、断面形状を観察すると、岩石破砕物が雪層を侵食し、雪層の断片が岩石中に取り込まれ、雪層の一部が移動していた。この雪層は、斜面の前方の一部からもたらされたものであり、斜面前方の雪が剥がれて、岩石破砕物を乗せて運搬してきたことがわかった。テスト2では、岩石破砕物は斜面前部で急停止した。雪層は岩石破砕物と接触していたが、単純に押しのけただけで雪は落下する岩石破砕物の運動に対する障害物とな

ったと思われる。テスト3ではテスト1と類似して末端部では岩石破砕物が拡散し、断面形状を観察するとテスト1と類似した状況が



認められた(図-4)。

図-4 実験後の写真(テスト3,4のみ)

テスト4ではテスト2と同様であった。これらの結果は斜面の形状と時期がことなるが、テスト1とテスト3の結果が類似し、またテスト2と4の結果が類似する。地すべりの運動特性の評価に使われるH/Lを求めると、10%程度テスト2と4が小さく、流動性が大きいと言える。そしていずれも岩石粉砕物に雪層を取り込み、雪層が岩石を乗せて移動している様子が確認できた。この成果は、現時点では学会発表を行ったのみであるが、近似中に論文として公表する予定である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

山崎 新太郎, 雪・氷・岩石なだれ, 日本地すべり学会誌, Vol. 53-2, pp. 31-33, 2016年, 査読有。

山崎 新太郎, 八木 浩司, 若井 明彦, 福岡 浩, 2015年ネパール・ゴルカ地震でランタン村を壊滅させた雪・氷・岩石なだれ, 地質学雑誌, Vol. 112, pp. III-IV, 2016年, 査読有。  
DOI:doi.org/10.5575/geosoc.2016.0020.

〔学会発表〕(計 2 件)

山崎新太郎・川口貴之・中村 大・川尻峻三・渡邊達也・山下聡, 雪・氷・岩石なだれの地質学的特徴, 日本地質学会第124年学術大会(招待講演), 2017年9月。

山崎 新太郎, 北海道における災害地質学の最前線, 日本地質学会北海道支部総会および講演会(招待講演), 2016年2

月。

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.yamasaki-geoscience.com/>

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者

山崎 新太郎 (YAMASAKI, Shintaro)

北見工業大学・工学部・助教

研究者番号: 40584602

(4)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

ハス・バートル (Has, Baator)

永田 秀尚 (Nagata, Hidehisa)