

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：13101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26560189

研究課題名(和文) 全層雪崩の発生予測にブレイクスルーもたらす大型斜面ライシメータ観測

研究課題名(英文) Observations of outflow from the bottom of a snowpack on slope with a large-size snow lysimeter for the purpose of developing a prediction method for the glide avalanche release

研究代表者

河島 克久 (Kawashima, Katsuhisa)

新潟大学・災害・復興科学研究所・教授

研究者番号：40377205

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、積雪底面流出モデルを斜面積雪に適用する場合のモデル係数の最適化を図ることを主目的としたが、結果的にその変動幅が大きく、モデルの汎用性向上のためには積雪構造の違いをモデルに取り込む必要があることが分かった。また、積雪底面流出量とグライド速度の関係については、全層雪崩の発生予測につながる良好な結果が得られなかったが、グライド加速モデルの妥当性とそれを用いた全層雪崩の短時間予測の可能性を示すことができた。

研究成果の概要(英文)：This study primarily intended to optimize an unknown parameter used in a model for estimating outflow from the bottom of a snowpack in case it is applied to snowpack on slopes. Consequently, the fluctuation range of the parameter value was found to be considerably large, indicating that the improvement of model versatility requires the incorporation of effects of snowpack structure into the model. Although the relationship between outflows from the bottom of a snowpack and snow glide rates was not able to be clarified, the possible presence of the short-time forecast of glide avalanches was indicated by using the mathematical model for instability in snow gliding motion, proposed by Nohguchi (1989).

研究分野：雪氷防災学

キーワード：全層雪崩 発生予測 積雪グライド 斜面ライシメータ 積雪底面流出量

1. 研究開始当初の背景

全層雪崩の発生危険度は積雪底面流出量 (= 積雪底面への水の供給量) の増大に伴って高まるという認識は世界共通であるが、斜面における積雪底面流出量の実測データがこれまで全くなく、発生予測手法を確立する上で大きな障壁となっている。これまでの積雪内浸透に関するモデルは、いずれも平地における観測結果 (ライシメータ観測を含む) に基づいて開発されてきたものであり、平地と斜面とでは積雪層内の水の浸透プロセスが著しく異なるため、平地のデータで斜面積雪の現象をモデル化 (積雪底面流出モデル) するには限界がある。また、全層雪崩は積雪グライド (積雪の滑動) の加速によって発生するが、これまで斜面における積雪底面流出量とグライド速度の関係把握はなされていない。さらに、非平衡状態にあるグライドの物理過程を記述する「グライドの加速モデル」が提案されているその検証は不十分であり、モデルに含まれる未知のパラメータのとり得る範囲も特定されていない。

2. 研究の目的

本研究では大型斜面ライシメータを設置して斜面の積雪底面流出量を実測し、研究グループが全層雪崩予測を目的として開発した積雪底面流出モデルに含まれるモデル定数の最適化を行うことを目的とする。また、全層雪崩の前兆現象である積雪グライドの観測と雪崩モニタリングを行い、積雪底面流出量とグライド速度の関係を解明するとともに、連携研究者が提示したグライド加速モデルを検証し、全層雪崩の短時間予測の可能性を探る。

3. 研究の方法

受水部 4 m x 4 m の大型斜面ライシメータを新潟県南魚沼市のスキー場跡地斜面 (標高 365 m) に 2014 年 11 月に設置した。設置場所は傾斜 15° の南東向き斜面であり、ゲレンデとして使用されていたため整地されており、比較的均一かつ一定傾斜である。受水部は現場打ちコンクリートであり、末端部中央に集水枘が設けてあり、水量は転倒ます型量水計 (転倒容量 10^{-3} m^3) で測定した (分解能 0.065 mm)。得られたデータは、代表性を評価した上で、研究グループが提案している積雪底面流出モデルに含まれるモデル定数の最適化の解析等に用いた。現地には、融雪熱収支観測機器、土中水分センサ、Web カメラも取り付けるとともに、定期的に現地を訪れ斜面における積雪断面観測を実施した。また、積雪グライド観測も南魚沼市の現場近傍で実施したが、結果的にグライドが活発化しにくい斜面であったため、積雪底面流出量とグライド速度の時間的対応や規則性の有無を調べることはできなかった。そこで全層雪崩が多発する新潟県魚沼市の斜面にグライド観測機器を移し、グライド加速モデルの検証

とパラメータの変動範囲の分析を行うこととした。

4. 研究成果

(1) 大型斜面ライシメータによる積雪底面流出量観測の結果

大型斜面ライシメータは積雪期を通して正常に稼働した。日積算した積雪底面流出量と融雪量 (熱収支解析から算出)・雨量の変化を比較したところ、両者は非常によく対応して変動していた。12 月~1 月の初冬でも積雪底面流出量の上昇が合計 5 回確認され、これらは全て降雨 (Rain-on-Snow Event) 時に生じていた。融雪期における積雪底面流出量と斜面表土の水分量の変動の一例 (3 月 27 日~4 月 3 日) を図 1 に示す。この時期はまだ積雪深が 2 m 程度あるため、積雪底面流出量のピークは融雪量・雨量のピークに対して 2~6 時間遅れて出現している。一方、表土の体積含水率は、積雪底面流出量の立ち上がりとはほぼ同時に急増しており、両者の時間的対応が極めていいことが分かった。

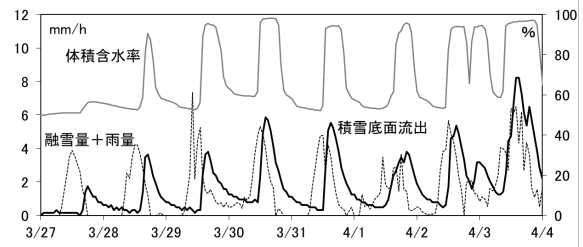


図 1 融雪期における斜面の積雪底面流出量と表土の水分量の変動

(2) 積雪底面流出モデルに含まれるモデル定数の最適化

2014/15 年積雪期 (多雪年) と 2015/16 年積雪期 (少雪年) について、非線型貯留関数型の積雪底面流出モデルに含まれる係数 m' の最適値を、大型斜面ライシメータのデータを用いて、観測値とモデル推定値の二乗平均平方根誤差が最小となるように決定した。その結果、融雪期間全体を通じた係数の最適値は、多雪年と少雪年とで 10 倍以上の違いが認められ、係数を一定値で与えることが困難であることが明らかになった (表 1)。このモデルでは係数が大きくなるほど、積雪底面流

表 1 積雪底面流出モデルの係数の最適値

2014/15年冬季				
解析期間	解析日数	最適 m' ($\times 10^{-4}$)	RMSE (mm h^{-1})	R^2
2/26~4/26	62	0.35	0.68	0.70
3/6~4/26	51	0.86	0.79	0.71
3/16~4/26	41	0.94	0.82	0.71
3/27~4/26	30	1.07	0.84	0.72
4/2~4/26	24	1.31	0.79	0.76
2015/16年冬季				
解析期間	解析日数	最適 m' ($\times 10^{-4}$)	RMSE (mm h^{-1})	R^2
1/1~3/20	79	6.24	0.31	0.82
2/12~3/20	37	6.16	0.42	0.80
2/18~3/20	31	5.02	0.41	0.74
2/28~3/20	21	4.61	0.47	0.73

出量がピークに達するまでの立ち上がりと最低流出量に達するまでの流出量の変化が鋭い波形となることを意味しており、両積雪期の積雪断面観測データや気象データから、係数の最適値は積雪構造（ざらめ化の進行度、層構造の複雑さなど）や融雪期の強い降雨の頻度などに依存している可能性があることが分かった。しかし、最適な係数が与えられた場合、非線型貯留関数モデルによる積雪底面流出量の推定精度は良好であり、研究グループが開発した積雪底面流出モデルが斜面積雪においても適用可能であることが示された（図2）。

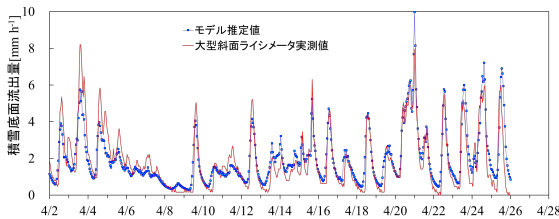


図2 積雪底面流出量の実測値とモデル推定値の比較（2015年4月2～26日）

(3) グライド加速モデルの検証

全層雪崩に至る積雪グライドの良好なデータが得られた3事例について解析した結果、全層雪崩の発生に至る積雪グライドの加速過程は uniform motion, constant acceleration motion, increasing acceleration motion の3段階のステージからなることが明らかになった（図3）。この中で、最後のステージは全層雪崩の予測にとって最も重要であるが、このステージではグライド加速度がグライド速度の2乗に正比例する関係が成立することが分かった（図4）。これは、Nohguchi (1989) がグライドの数理モデルの研究によって示した関係と同じであり、このモデルの実斜面での適用性が検証されたことになる。また、グライド加速度とグライド速度の関係式の比例定数を用いることによって全層雪崩発生までの時間を推定することが可能であることを示した（図5）。さらに、この比例定数は、新潟県の雪崩斜面においては、 $0.0008 \sim 0.0012 \text{ mm}^{-1}$ 程度の値をとることが分かった。

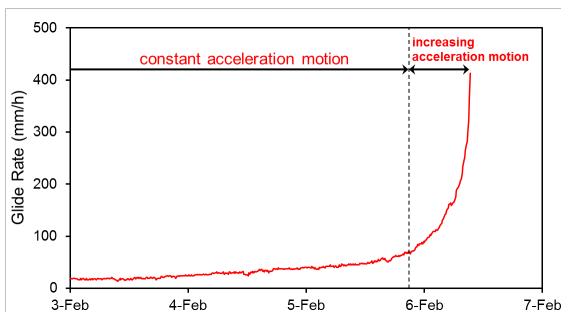


図3 新潟県魚沼市の雪崩斜面におけるグライド速度の時間変化の一例

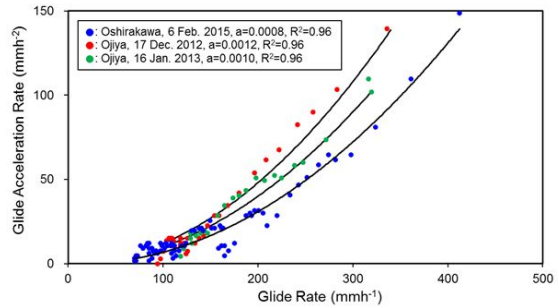


図4 increasing acceleration motion のステージにおけるグライド速度とグライド加速度との関係

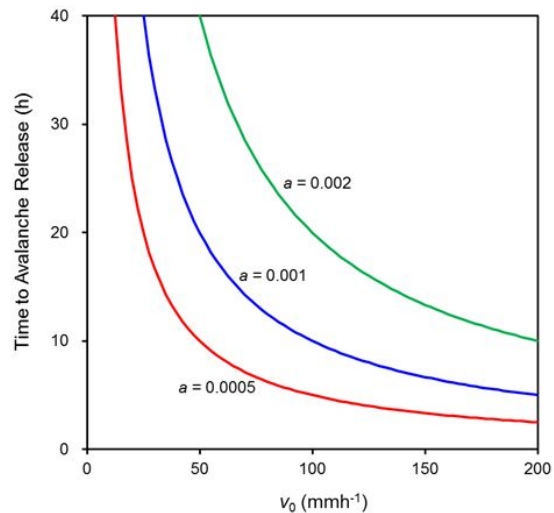


図5 グライド速度 v_0 と全層雪崩発生までの時間との関係 (a はグライド加速度とグライド速度の関係式の比例定数)

(4) まとめ

本研究では、斜面積雪に対する積雪底面流出モデルの係数の最適化を図ることを主目的としたが、結果的にその変動幅が大きく、モデルの汎用性向上のためには積雪構造の違いをモデルに取り込む必要があることが分かった。また、積雪底面流出量とグライド速度の関係については、全層雪崩の発生予測につながる良好な結果が得られなかったが、グライド加速モデルの妥当性とそれを用いた全層雪崩の短時間予測の可能性を示すことができた。

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7件)

Kawashima, K., T. Iyobe, and T. Matsumoto, Acceleration processes of snow glide prior to full-depth avalanche release on shrub slopes in the temperate heavy-snow region of Japan, Proceedings of the International Snow Science

Workshop 2016, 査読無, 2016, 525-532
小花和宏之, 河島克久, 松元高峰, 伊豫部勉, 大前宏和, 小型 UAV を用いた積雪分布の 3 次元計測, 雪氷, 査読有, 78, 2016, 317-328

柴田有貴, 河島克久, 鈴木博人, 新潟県における年最大積雪深および積雪期間の長期変動解析, 雪氷, 査読有, 78, 2016, 291-306

本谷研, 東北地方(秋田県周辺)における 2015-16 冬季の降積雪の特徴, 東北の雪と生活, 査読無, 31, 2016, 17-20, http://www.seppyo.org/%7Etohoku/journal_contents/SnowTohoku_no31_2016.pdf

伊豫部勉, 河島克久, 松元高峰, 佐々木明彦, 鈴木啓助, 冠雪火山における積雪水量の時間的・空間的変動特性に関する研究: 御嶽火山での観測事例, 寒地技術論文・報告集, 査読有, 32, 2016, 27-32

河島克久, 伊豫部勉, 本田明治, 小千谷市積雪期地域防災情報プラットフォームの構築, 日本雪工学会誌, 査読無, 32, 2016, 26-30

平井柔, 河島克久, 松元高峰, 伊豫部勉, 新潟地域における融雪災害をもたらす降雨イベント(ROS イベント)の発生特性, 第 30 回北陸雪氷シンポジウム論文集, 査読有, 30, 2015, 49-54

[学会発表](計 30 件)

飯倉茂弘, 佐藤亮太, 高橋大介, 河島克久, 伊豫部勉, 松元高峰, 本谷研, 積雪底面流出量の簡易推定方法の開発(2), 雪氷研究大会(2016・名古屋), 2016 年 09 月 28 日~2016 年 10 月 02 日, 名古屋大学(愛知県名古屋市)

河島克久, 松元高峰, 伊豫部勉, 平井柔, 北陸地方における rain-on-snow event に伴う雪崩・土砂・洪水災害の発生頻度と降雨特性, 雪氷研究大会(2016・名古屋), 2016 年 09 月 28 日~2016 年 10 月 02 日, 名古屋大学(愛知県名古屋市)

河島克久, 松元高峰, 伊豫部勉, 平井柔, アメダスデータからみた北陸地方の rain-on-snow event の発生頻度と長期変化傾向, 雪氷研究大会(2016・名古屋), 2016 年 09 月 28 日~2016 年 10 月 02 日, 名古屋大学(愛知県名古屋市)

伊豫部勉, 河島克久, 日本国内を対象とした準リアルタイム積雪分布監視システムの構築, 雪氷研究大会(2016・名古屋), 2016 年 09 月 28 日~2016 年 10 月 02 日, 名古屋大学(愛知県名古屋市)

河島克久, 松元高峰, 伊豫部勉, 平井柔, Rain-on-snow event が北陸地方の自然災害に与える影響, 第 35 回日本自然災害学会学術講演会, 2016 年 09 月 20 日~2016 年 09 月 22 日, 静岡県地震防災センター(静岡県静岡市)

伊豫部勉, 本田明治, 河島克久, 松元高峰,

2014 年 1 月 24~25 日に新潟県中・下越地域に局所的にもたらされた集中降雪, 第 35 回日本自然災害学会学術講演会, 2016 年 09 月 20 日~2016 年 09 月 22 日, 静岡県地震防災センター(静岡県静岡市)

伊豫部勉, 河島克久, 2015/16 年冬期新潟県の積雪深分布について, 日本雪氷学会北信越支部今年の雪速報会 2015-16, 2016 年 06 月 22 日, まちなかキャンパス長岡(新潟県長岡市)

河島克久, 伊豫部勉, 松元高峰, 渡邊美德, 鈴木修, 鈴木博人, 全層雪崩の発生に至る積雪グライドの加速過程, 2016 年度日本雪氷学会北信越支部研究発表会, 2016 年 06 月 04 日, 妙高市勤労者研修センター(新潟県妙高市)

加藤和輝, 河島克久, 松元高峰, 伊豫部勉, 鈴木修, 佐々木明彦, 鈴木啓助, 降雨時の融雪熱収支特性 - 本州中部における盆地と山岳地の比較 -, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 2016 年 05 月 20 日~2016 年 05 月 25 日, 幕張メッセ(千葉県千葉市)

本谷研, 東北地方(秋田県周辺)における 2015-16 冬季の降積雪の特徴, 日本雪氷学会東北支部研究発表会 2016 年 05 月 14 日, 東北大学(宮城県仙台市)

Kawashima, K., Iyobe, T., Matsumoto T., Variations in snow glide rates prior to full-depth avalanche release on shrub slopes in the temperate heavy-snow region of Japan, International Symposium on Snow and avalanche, 2015 年 12 月 10 日~2015 年 12 月 12 日, Niseko Conference Center(北海道ニセコ町)

小花和宏之, 河島克久, 大前宏和, 小型無人航空機を用いた積雪量の 3 次元計測, CSIS DAYS 2015「全国共同利用研究発表大会」, 2015 年 11 月 19 日, 東京大学柏の葉キャンパス(千葉県柏市)

河島克久, 伊豫部勉, 松元高峰, 外狩麻子, 鈴木修, 鈴木博人, 全層雪崩の発生に至る積雪グライド速度の変動, 第 34 回日本自然災害学会学術講演会 2015 年 09 月 24 日, 山口大学(山口県山口市)

平井柔, 河島克久, 松元高峰, 伊豫部勉, 新潟地域における ROS イベントの発生特性と近年の変動, 雪氷研究大会(2015・松本), 2015 年 09 月 16 日, 信州大学(長野県松本市)

宇野史睦, 河島克久, 伊豫部勉, 松元高峰, 外狩麻子, 斜面日射量推定手法の時間・空間解像度依存性, 雪氷研究大会(2015・松本), 2015 年 09 月 16 日, 信州大学(長野県松本市)

和泉 薫, 伊豫部勉, 河島克久, 松元高峰, 事例解析から得られた 2014/15 冬期における雪崩災害の実態, 雪氷研究大会(2015・松本), 2015 年 09 月 15 日, 信州大学(長野県松本市)

- 高橋大介, 佐藤亮太, 鎌田慈, 宍戸真也, 飯倉茂弘, 盛土斜面における積雪底面流出量の測定, 雪氷研究大会(2015・松本), 2015年09月15日, 信州大学(長野県松本市)
- 佐藤亮太, 高橋大介, 飯倉茂弘, アメダスデータを用いた積雪性状推定モデルの開発, 雪氷研究大会(2015・松本), 2015年09月15日, 信州大学(長野県松本市)
- 本谷研, 東北地方における2014-15年冬季初頭の急激な積雪増加について, 雪氷研究大会(2015・松本), 2015年09月15日, 信州大学(長野県松本市)
- 佐々木明彦, 河島克久, 的場澄人, 伊豫部勉, 松元高峰, 倉元隆之, 鈴木啓助, 亜高山帯針葉樹林における積雪グライド量の観測, 雪氷研究大会(2015・松本), 2015年09月14日, 信州大学(長野県松本市)
- 河島克久, 伊豫部勉, 松元高峰, 飯倉茂弘, 本谷研, 石丸民之丞, 丸山敏介, 大型斜面ライシメータによる斜面積雪の底面流出量観測, 雪氷研究大会(2015・松本), 2015年09月14日, 信州大学(長野県松本市)
- 21 河島克久, 加藤和輝, 松元高峰, 伊豫部勉, 外狩麻子, 鈴木修, 新潟県大白川における降雨時の雪面熱収支特性, 雪氷研究大会(2015・松本), 2015年09月14日, 信州大学(長野県松本市)
- 22 小花和宏之, 河島克久, 大前宏和, UAVリモートセンシングによる積雪面の3次元計測および積雪深の測定 - SfM-MVS技術を用いて測定した積雪深の精度検証 -, 雪氷研究大会(2015・松本), 2015年09月14日, 信州大学(長野県松本市)
- 23 宇野史睦, 大竹秀明, 大関崇, 河島克久, 伊豫部勉, 松元高峰, 外狩麻子, 水平面全天日射量を用いた任意の傾斜角・方位角における日射量推定誤差評価, 電気学会平成27年電力・エネルギー部門大会, 2015年08月25日~2015年08月27日, 名城大学(愛知県名古屋市)
- 24 和泉 薫, 河島克久, 伊豫部勉, 松元高峰, 2014/15冬期における雪崩災害の特徴について, 2015年度日本雪氷学会北信越支部研究発表・製品発表検討会, 2015年06月06日, 信州大学(長野県松本市)
- 25 佐藤亮太, 宍戸真也, 飯倉茂弘, 鎌田慈, 高橋大介, 栗原靖, 積雪底面流出量の簡易推定手法の高度化に関する研究 - 積雪表面融雪量推定モデルのアルベド推定方法についての考察 -, 雪氷研究大会(2014・八戸), 2014年09月20日, 八戸工業大学(青森県八戸市)
- 26 高橋大介, 飯倉茂弘, 佐藤亮太, 宍戸真也, 鎌田慈, 栗原靖, 簡易なグライドメータを用いたグライド観測, 雪氷研究大会(2014・八戸), 2014年09月20日, 八戸工業大学(青森県八戸市)
- 27 外狩麻子, 河島克久, 伊豫部勉, 松元高峰, 加藤永子, 推定解析から算出した融雪水量

- 履歴に基づく対象選定の試行, 雪氷研究大会(2014・八戸), 2014年09月22日, 八戸工業大学(青森県八戸市)
- 28 平井柔, 河島克久, 松元高峰, 伊豫部勉, 新潟県における災害をもたらすROSイベントの発生特性, 雪氷研究大会(2014・八戸), 2014年09月20日, 八戸工業大学(青森県八戸市)
- 29 外狩麻子, 山口英俊, 河島克久, 伊豫部勉, 松元高峰, 融雪期の斜面不安定化捕捉に関する検討, 第50回地盤工学研究発表会, 2014年07月15日~2014年07月17日, 北九州国際会議場(福岡県北九州市)
- 30 外狩麻子, 山口英俊, 河島克久, 伊豫部勉, 松元高峰, 融雪期の斜面融雪浸透に関する一考察, 平成26年度砂防学会研究発表会, 2014年05月29日, 朱鷺メッセ新潟コンベンションセンター(新潟県新潟市)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河島 克久(KAWASHIMA, Katsuhisa)
新潟大学・災害・復興科学研究所・教授
研究者番号: 40377205

(2) 研究分担者

伊豫部 勉(IYOBE, Tsutomu)
京都大学・工学研究科・特定准教授
研究者番号: 50397155

飯倉 茂弘(IKURA, Shigehiro)
公益財団法人鉄道総合技術研究所・防災技術研究部・上席研究員
研究者番号: 30425988

本谷 研(MOTOYA, Ken)
秋田大学・教育文化学部・准教授
研究者番号: 40344303

(3) 連携研究者

納口 恭明(NOHGUCHI, Yasuaki)
国立研究開発法人防災科学技術研究所・アトリチ国際研究推進センター・契約専門員
研究者番号: 50360368

(4) 研究協力者

松元 高峰(MATSUMOTO, Takane)