

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 29 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2011～2014

課題番号：23310124

研究課題名(和文) 山岳地における気温・日射量を指標とした融雪強度モデルの汎用化と雪崩防災への適用

研究課題名(英文) Establishment a general-purpose snowmelt model and its application to prevention of snowmelt-induced disasters in mountain regions

研究代表者

河島 克久 (Kawashima, Katsuhisa)

新潟大学・災害・復興科学研究所・准教授

研究者番号：40377205

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,100,000円

研究成果の概要(和文)：気温と日射量から融雪強度を推定するTemperature-Radiation Index Melt Modelの山岳地における汎用化手法の構築を目的として、多地点での融雪熱収支観測データに基づきモデル係数の変動特性を調べた。また、本モデルと積雪層浸透モデルを組み合わせて得られる積雪底面流出量の短時間変化に着目して、湿雪全層雪崩の危険度評価手法を検討した。その結果、モデル係数を決定する手法の開発までは至らず、今後の課題として残されたが、積雪層浸透モデルについては新たなモデルを提示することができた。本成果は、気象データが限られる山岳地域の融雪期の雪崩に対して、実用的な発生予測手法の確立につながる。

研究成果の概要(英文)：A large quantity of meltwater which infiltrate into the ground during melt season causes a decrease in stability of slope and snowpack, and thus may lead to slope failures and snow avalanches. Aiming at establishing a general-purpose snowmelt model (temperature-radiation index melt model), we investigated the variability characteristics of the model coefficients based on the heat balance observations at melting snow surface in many mountain regions. In addition, we studied a risk evaluation method of wet snow avalanches by focusing on the outflow from the bottom of a snowpack during melt season. Consequently, although a general-purpose snowmelt model was not completed in this study, a new percolation model with high estimate accuracy was proposed, which will contribute to the prevention of snowmelt-induced disasters in mountain regions where available meteorological data is limited.

研究分野：雪氷防災学

キーワード：防災 雪氷災害 雪崩災害 融雪モデル 積雪層浸透モデル

1. 研究開始当初の背景

山岳地の融雪災害・雪崩災害の防止・軽減のためには、高時間分解能で融雪強度を推定できる実用的モデルの確立が重要である。山岳域では入手可能な気象データが極めて少ないことを踏まえ、気温と日射量のみを指標とする Temperature-Radiation Index Melt Model (TR モデル) の広域適用化が望まれる。TR モデルの推定式の形式は様々であるが、本研究では Konya *et al.* (2004) が提案した次のモデルを用いる。

$$Q_M = aK_d + bT_a + c$$

ここで  $Q_M$  は融雪熱量 ( $W/m^2$ )、 $K_d$  は全天日射量 ( $W/m^2$ )、 $T_a$  は気温 ( ) である。係数  $a$ 、 $b$ 、 $c$  は、熱収支法によって求めた 1 時間毎の融雪熱量を目的変数、全天日射量と気温の観測データを説明変数とする重回帰分析によって求められる。TR モデルの大きな課題は、係数  $a$ 、 $b$ 、 $c$  の最適値が、地域や季節によって異なることであり、様々な山岳地へ適用する上で大きなネックとなる。このため、多様な気候条件下にある山岳地での集中的な観測に基づき、指標気候値による係数のパラメータ化が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、複数の山岳地での集中的な融雪熱収支観測に基づき、モデル係数の地点による相違やそれをもたらす要因について検討し、係数のパラメータ化を行うことが目的である。また TR モデルと積雪層浸透モデルを組み合わせ得られる積雪底面流出量の短時間変化に着目して、湿雪全層雪崩とスラッシュ雪崩の危険度評価手法を検討する。

3. 研究の方法

本研究では多様な気候下でのデータ (モデル係数) を得るため、大佐渡山地 (標高 800m)、魚沼市大原 (標高 630m)、魚沼市大白川 (標高 360m)、荒沢岳 (標高 1000m)、立山室堂 (標高 2430m)、志賀高原 (標高 1620m)、乗鞍高原 (標高 1590m)、宝剣岳千畳敷 (標高 2630m)、富士山南斜面 (標高 2380m)、北海道張碓 (標高 40m)、チリ・パタゴニアの Portezuelo Ibanez (標高 1110m) で融雪熱収支観測を実施する。

これと並行して、山岳地の湿雪全層雪崩とスラッシュ雪崩を取り上げ、融雪強度を入力データとした危険度評価手法の開発に取り組む。ここでの着目点は、融雪水・降雨の積雪内浸透による積雪底面流出量の短時間変化が雪崩発生の指標となり得ることを、観測点近傍における雪崩監視データと、TR モデルと積雪層浸透モデルを組み合わせ得られる積雪底面流出量の短時間変化とを照合することによって検証する。積雪層浸透モデルとしては線型貯留関数モデルを基本とするが、融雪ライシメータ観測を実施し、その結果に基づいてモデルの改良にも取り組む。

4. 研究成果

(1) 2012 年について融雪熱量に占める各熱収支成分の割合を表 1 に示す。どの地点も放射収支の割合が最も大きい。風速が比較的大きい富士山南斜面・Portezuelo Ibanez・北海道張碓では顕熱が他に比べて大きく、しかも潜熱が負の値を示している。また、7 月まで消雪しない荒沢岳と立山室堂では潜熱の割合が他に比べて大きいことが分かる。

表 1 融雪熱量に占める各熱収支成分の割合

地点	放射収支	顕熱	潜熱	雨水熱量
大佐渡山地	74	19	6	1
魚沼市大原	81	14	5	1
魚沼市大白川	74	18	6	2
荒沢岳	70	14	14	2
立山室堂	64	21	12	3
志賀高原	86	13	0	0
乗鞍高原	94	8	-3	1
富士山南斜面	112	40	-53	1
Portezuelo Ibanez	65	56	-21	0
北海道張碓	82	43	-25	0

(2) 重回帰分析によって地点ごとにモデル係数を求めたところ、係数  $a$  は 0.302 ~ 0.601、係数  $b$  は 1.6 ~ 19.6 ( $W/m^2/$  )、係数  $c$  は -50.0 ~ -0.9 ( $W/m^2$ ) の範囲となり、地点によって係数の最適値に大きな違いがみられた。係数  $a$  は全天日射量にかかる係数であることから、雪面アルベドと良い相関があることが明らかになった (図 1)。

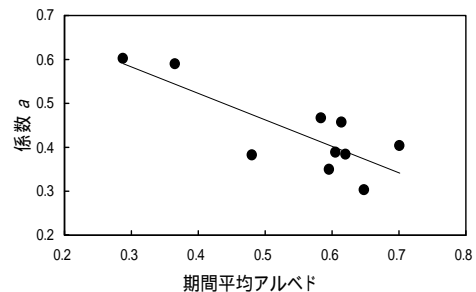


図 1 係数  $a$  と期間平均の雪面アルベドとの関係

(3) 係数  $b$  の決定要因は融雪熱量に対する気温関連要素 (長波収支・顕熱・潜熱・雨水熱量) の寄与率に依存すると考えられる。つまり、気温一定のもとでは、気温関連要素の融雪熱量に対する寄与率が大きくなるほど係数  $b$  も大きくなる可能性がある。そこで、気温関連要素が融雪熱量に占める割合と係数  $b$  の関係を調べてみると、両者の間には高い相関関係があることが分かった。

(4) 同一地点では、係数  $c$  は融雪期の推移とともに減少する傾向が認められた。これは夜間の融雪強度を  $bT + c$  で表現しなければならないことに関係している。つまり、気温関連要素による融雪強度 (以下、気温関連融雪強度) と  $bT$  を時間単位で比較したところ、両者には夜間にほぼ一定の差が見られ、 $bT$  は融雪強度を過大評価していることが明らかになった。この  $bT$  の過大評価を調整するのが係数  $c$  の役割であり、夜間における  $bT$  と 気温

関連融雪強度の差と係数 c との間には高い相関が認められた。

(5) 上記(2)～(4)より、係数 a は単純な指標気候値でパラメータ化することは困難であり、適用地域の雪面アルベド特性を把握した上で決定する必要がある。任意の地点の係数 b、c の値を決定するためには、その地点における融雪熱収支特性を明らかにする必要がある。しかし日本の積雪地域全域の融雪熱収支特性を観測から明らかにすることは困難であり、全国的な観測網が整備されているアメダス等の気象データから融雪熱収支特性を評価することが望まれる。以上から、本研究ではメッシュ気候値等の指標気候値から任意地域のモデル係数を決定する手法の開発まではいたらず、今後の課題として残された。

(6) 積雪層浸透モデルに関しては、従来使用してきた線型貯留関数モデルを精度向上のために改良し、非線型べき乗貯留関数型の積雪層浸透モデルを新たに開発した。これにより、融雪ライシメータによる積雪底面流出量を高精度（推定誤差 RMSE：0.6 mm/h 程度）で再現できるようになった（図 2）。

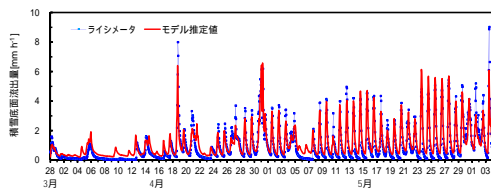


図 2 積雪底面流出量の実測値と推定値の比較

(7) 積雪層浸透モデル（非線型べき乗貯留関数モデル）に含まれる係数を斜面ライシメータの観測データから決定したところ、 $0.5 \times 10^{-4} \sim 3.2 \times 10^{-4}$  の範囲であることが明らかになった。この係数を用いることによって、斜面における積雪底面流出量の推定が可能である。雪崩監視データとの比較から、融雪初期には日最大積雪底面流出量が 2mm/h を超え始めると全層雪崩が頻発する傾向が確認された。しかし、厳冬期には 1mm/h 程度の日最大積雪底面流出量でも全層雪崩が発生することがあり、このような時期による違いを危険度評価手法に反映させることが重要であると言える。

(8) 2014 年 9 月に御嶽山水蒸気噴火が発生し、火山灰や火砕流堆積物が山地斜面に堆積したため、融雪期の雪泥流や融雪泥流の発生が懸念された。そこで本研究課題で開発した融雪強度モデル（御嶽山に近い乗鞍高原の解析結果を使用）と積雪層浸透モデルを御嶽山に適用し、融雪量と積雪底面流出量の推定を行った。これらのデータは積雪期火山防災情報プラットフォーム（図 3）というサイトを設けてリアルタイムで公開し、被災自治体の災

害対応に有意義に活用された。



図 3 積雪期火山防災情報プラットフォーム

## 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 12 件)

外狩麻子、河島克久、伊豫部勉、融雪水量推定手法の開発、JREA、査読無、2013、56 巻、37781-37784

河島克久、伊豫部勉、松元高峰、チリ・パタゴニアにおける雪氷圏環境変動の観測、新潟大学災害・復興科学研究所年報、査読無、2013、2 号、81-82、[http://dSPACE.lib.niigata-u.ac.jp/dSPACE/bitstream/10191/29612/1/2\\_81-82.pdf](http://dSPACE.lib.niigata-u.ac.jp/dSPACE/bitstream/10191/29612/1/2_81-82.pdf)

伊豫部勉、河島克久、外狩麻子、温暖多雪地域に適用可能なアルベドモデルの検討、新潟大学災害・復興科学研究所年報、査読無、2013、2 号、77-78、[http://dSPACE.lib.niigata-u.ac.jp/dSPACE/bitstream/10191/29555/1/2\\_77-78.pdf](http://dSPACE.lib.niigata-u.ac.jp/dSPACE/bitstream/10191/29555/1/2_77-78.pdf)

山中勤、脇山義史、鈴木啓助、中部山岳地域における融雪流出特性の標高依存性、地学雑誌、査読有、2013、122 巻、682-693、DOI:doi.org/10.5026/jgeography.122.682

鈴木啓助、中部山岳地域における気象観測の現状とその意義、地学雑誌、査読有、2013、122 巻、553-570、DOI:doi.org/10.5026/jgeography.122.553

鈴木啓助、中部山岳地域における気候変動を考える、青淵、査読無、2013、779 巻、26-29

鈴木啓助、日本の山岳地域の降積雪は地

球規模での気候変動に如何に影響を受けるか?、山岳文化、査読無、2013、14 巻、6-13

鈴木啓助、佐々木明彦、志賀高原における気象観測、信州大学教育学部附属志賀自然教育研究施設研究業績、査読無、2012、49 巻、10-13、

<https://soar-ir.shinshu-u.ac.jp/dspace/bitstream/10091/15769/1/shiga49-03.pdf>

石井洋之、鈴木啓助、日本における降雪深変動の地域性とその要因、日本水文学会誌、査読有、2011、41 巻、27-37、[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jahs/41/2/41\\_2\\_27/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jahs/41/2/41_2_27/_pdf)

河島克久、伊豫部勉、大佐渡山地の霧と気象、新潟応用地質研究会誌、査読無、2011、76 号、55-60

栗原靖、飯倉茂弘、鎌田慈、穴戸真也、高橋大介、河島克久、斜面積雪の安定性指標に基づく雪崩警備方法、鉄道総研報告、査読無、2011、25 巻、19-24、

<http://bunken.rtri.or.jp/PDF/cdroms1/0001/2011/0001003466.pdf>

外狩麻子、島村誠、森島啓行、河島克久、伊豫部勉、松元高峰、山口英俊、積雪層からの融雪水量推定手法の構築、鉄道工学シンポジウム論文集、査読有、2011、第 15 号、183-189

〔学会発表〕(計 29 件)

河島克久、御嶽山の冬の気象・積雪・融雪と積雪期火山防災情報プラットフォーム、日本雪氷学会北信越支部講演会、2015 年 5 月 20 日、アオーレ長岡(新潟県長岡市)

河島克久、片岡香子、伊豫部勉、松元高峰、和泉薫、鈴木幸治、2014 年御嶽山火山噴火に対する取組み、新潟大学災害・復興科学研究所平成 26 年度研究成果報告会、2015 年 3 月 2 日、新潟大学(新潟県新潟市)

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 9 月 22 日、八戸工業大学(青森県八戸市)

宇野史睦、河島克久、伊豫部勉、松元高峰、外狩麻子、川瀬宏明、鈴木智恵子、石崎紀子、木村富士男、斜面全日射量の観測値と推定値の比較、雪氷研究大会(2014・八戸)、2014 年 9 月 20 日、八戸工業大学(青森県八戸市)

Fumichika Uno, Katsuhisa Kawashima, Tsutomu Iyobe, Hiroaki Kawase, Chieko Suzuki, Takao Yoshikane, Asako Togari, Fujio Kimura Variation of slope solar radiation on ideal and real topography during snowmelt season, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 11th Annual Meeting, 28 Jul to 1 Aug. 2014, Sapporo, Japan

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 7 月 15-17 日、北九州国際会議場(福岡県北九州市)

外狩麻子、河島克久、伊豫部勉、山口英俊、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 5 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)

松元高峰、河島克久、伊豫部勉、南米チリパタゴニアの落葉樹林が融雪プロセスに及ぼす影響、2014 年度日本雪氷学会北信越支部研究発表・製品発表検討会、2014 年 5 月 17 日、富山大学(富山県富山市)

伊豫部勉、富士山北斜面で 2013 年 4 月に発生したスラッシュ雪崩災害、新潟大学災害・復興科学研究所 第 3 回災害環境科学セミナー「山地積雪のモニタリング・変動と融雪災害」、2013 年 12 月 4 日、新潟大学(新潟県新潟市)

河島克久、気温・日射量を指標とした融雪強度モデルの山岳地への適用の課題、新潟大学災害・復興科学研究所 第 3 回災害環境科学セミナー「山地積雪のモニタリング・変動と融雪災害」、2013 年 12 月 4 日、新潟大学(新潟県新潟市)

飯田肇、立山連峰の近年の積雪変動、新潟大学災害・復興科学研究所 第 3 回災害環境科学セミナー「山地積雪のモニタリング・変動と融雪災害」、2013 年 12 月 4 日、新潟大学(新潟県新潟市)

上石勲、富士山(静岡県側)のスラッシュ雪崩について、新潟大学災害・復興科学研究所 第 3 回災害環境科学セミナー「山地積雪のモニタリング・変動と融雪災害」、2013 年 12 月 4 日、新潟大学(新潟県新潟市)

Takane Matsumoto, Tsutomu Iyobe, Katsuhisa Kawashima, Asako Togari, Makoto Shimamura, Estimation of outflow from the bottom of a snowpack with a simple combined snowmelt-percolation model for prevention of snowmelt-induced hazards, 8th Alexander von Humboldt International Conference, Natural Disasters, Global Change, and the Preservation of World Heritage Sites, 12-16 Nov. 2012, Cusco, Peru

伊豫部勉、河島克久、和泉薫、上石勲、安間荘富士山北斜面で 2013 年 4 月に発生したスラッシュ雪崩災害について、第 32 回日本自然災害学会学術講演会、2013 年 9 月 23-25 日、北見工業大学(北海道北見市)

河島克久、伊豫部勉、斜面積雪のグライド速度及び積雪層構造からみた全層雪崩の発生条件、第 32 回日本自然災害学会学術講演会、2013 年 9 月 23-25 日、北見工業大学(北海道北見市)

- 宇野史睦、河島克久、伊豫部勉、外狩麻子、川瀬宏明、原政之、木村富士男、融雪期における斜面全天日射量の斜面傾斜角・方位角による変化特性、雪氷研究大会(2013・北見) 2013年9月17-21日、北見工業大学(北海道北見市)
- 河島克久、伊豫部勉、松元高峰、佐藤亮太、鈴木啓助、上石勲、飯田肇、外狩麻子、栗原靖、気温・日射量を指標とした融雪強度モデルの山岳地への適用化に関する研究(1) - 地点によるモデル係数の相違 -、雪氷研究大会(2013・北見) 2013年9月17-21日、北見工業大学(北海道北見市)
- 外狩麻子、河島克久、伊豫部勉、加藤永子、解析日射量を使用した積雪底面流出量の推定 - enclosed snowmelt lysimeter との比較 -、雪氷研究大会(2013・北見) 2013年9月17-21日、北見工業大学(北海道北見市)
- 飯田肇、福井幸太郎、長田和雄、北アルプス・立山の高山地域における冬期降水量の推定、雪氷研究大会(2013・北見) 2013年9月17-21日、北見工業大学(北海道北見市)
- 河島克久、伊豫部勉、初冬期における斜面積雪のグライドの挙動、日本地球惑星科学連合2013年大会、2013年5月19-24日、幕張メッセ国際会議場(千葉県千葉市)
- ②① 河島克久、斜面における融雪と積雪底面流出量、第4回積雪モデルに関するワークショップ、2013年3月18日、防災科学技術研究所雪氷防災研究センター(新潟県長岡市)
- ②② 佐藤亮太、河島克久、伊豫部勉、松元高峰、外狩麻子、島村誠、気温と日射量を指標とした融雪強度モデルの広域適用化に関する研究-モデル係数の季節的变化の考察-、雪氷研究大会(2012・福山) 2012年9月26日、福山市立大学(広島県福山市)
- ②③ 伊豫部勉、河島克久、松元高峰、外狩麻子、島村誠、簡易な積雪層浸透モデルを用いた積雪底面流出量の推定 - enclosed snowmelt lysimeter との比較 -、雪氷研究大会(2012・福山) 2012年9月26日、福山市立大学(広島県福山市)
- ②④ 河島克久、伊豫部勉、松元高峰、外狩麻子、島村誠、斜面における積雪底面流出量の測定- 斜面と平地における同時ライシメータ観測 -、雪氷研究大会(2012・福山) 2012年9月26日、福山市立大学(広島県福山市)
- ②⑤ 河島克久、伊豫部勉、松元高峰、チリパタゴニア・シンプソン川流域における雪氷圏環境変動の観測、雪氷研究大会(2012・福山) 2012年9月26日、福山市立大学(広島県福山市)
- ②⑥ 伊豫部勉、河島克久、松元高峰、外狩麻

- 子、島村誠、温暖積雪地域へ適用可能なアルベドモデルの検討 - 山崎モデルの改良と表面融雪量モデルへの導入 -、第30回日本自然災害学会学術講演会、2011年11月17日、東京大学(東京都目黒区)
- ②⑦ 伊豫部勉、河島克久、松元高峰、外狩麻子、島村誠、Temperature-Radiation Index Modelによる表面融雪量の推定精度の評価、雪氷研究大会(2011・長岡) 2011年9月21日、ハイブ長岡(新潟県長岡市)
- ②⑧ 河島克久、伊豫部勉、松元高峰、外狩麻子、島村誠、簡易なSnowmelt-Percolation Modelによる積雪底面流出量の推定精度の検証 - 気象観測点からの距離による推定誤差の変化 -、雪氷研究大会(2011・長岡) 2011年9月21日、ハイブ長岡(新潟県長岡市)
- ②⑨ 栗原靖、飯倉茂弘、鎌田滋、高橋大介、河島克久、伊豫部勉、阿部修、上石勲、グライド量予測手法の開発(その1) - グライド量に影響を与える要因 -、雪氷研究大会(2011・長岡) 2011年9月21日、ハイブ長岡(新潟県長岡市)

## 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・准教授  
研究者番号：40377205

### (2) 研究分担者

鈴木 啓助 (SUZUKI, Keisuke)  
信州大学・理学部・教授  
研究者番号：60145662

上石 勲 (KAMIISHI, Isao)  
独立行政法人防災科学技術研究所・雪氷防災研究センター・総括主任研究員  
研究者番号：60455251

飯田 肇 (IIDA, Hajime)  
公益財団法人立山カルデラ砂防博物館・学芸課・学芸課長  
研究者番号：70574309

伊豫部 勉 (IYOBE, Tsutomu)  
新潟大学・災害・復興科学研究所・特任助教  
研究者番号：50397155

### (3) 連携研究者

和泉 薫 (IZUMI, Kaoru)  
新潟大学・災害・復興科学研究所・教授  
研究者番号：50114997

### (4) 研究協力者

松元 高峰 (MATSUMOTO, Takane)