

## 2010/11 冬季における雪崩災害とその予測可能性 —積雪変質モデルで積雪の不安定性は再現されていたか—

平島寛行\*・上石 勲\*

### Predictability of Avalanches Occurred in the Winter of 2010/11 — Evaluation of Snowpack Un-stabilization Calculated using Numerical Snowpack Model —

Hiroyuki HIRASHIMA and Isao KAMIISI

*\*Snow and Ice Research Center,  
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan  
hirasima@bosai.go.jp, kamiisi@bosai.go.jp*

#### Abstract

Validation of the avalanche prediction was carried out for 14 avalanches occurred in 2010/11 winter. For this purpose, the stability index simulated by SNOWPACK model at the timing of the avalanche release was investigated. Instability of the snowpack for the surface avalanches was reproduced well whereas that for the full depth avalanche was not reproduced sufficiently. However, the phenomena closely related to full depth avalanche release such as water movement in the snowpack was reproduced. Reproducibility of instability for full depth avalanche is expected to be improved with the progress of finger flow modeling and the formulation of shear strength change associated with wet snow metamorphism.

**Key words** : Snow disaster forecasting system, Avalanche prediction, Numerical snowpack model, Stability index

#### 1. はじめに

2010/11 冬季は、西日本を中心に大雪となり、それに伴い多くの雪崩が発生した。雪崩に巻き込まれて6人の死者が出たほか、多くのけがや、家屋の破損、道路通行止め等の被害が出た。

防災科学技術研究所ではこのような雪氷災害を事前に防ぐためのソフト面での対策として、雪氷災害発生予測システムの開発を行っている<sup>1)</sup>。その予測システムにおいては雪崩発生予測も行っている<sup>2)</sup>。本報告では、今冬(2010/11 冬季)に発生した雪崩の中から発生地点および日時わかるものに対して、積雪変質モデルを用いて積雪安定度を計算し、発生事例と比較して積雪の不安定性が再現されていたかまとめた。

#### 2. 今冬に発生した雪崩災害

今冬発生した雪崩災害のうち、新聞報道や関連HP、現地調査などから発生日時や位置、斜面の情報が得られて

いるものについて、表1にまとめた。本報告では、これらの雪崩事例に対して積雪変質モデルを用いて積雪安定度を計算し、発生時における積雪の不安定化が再現されたかについて述べる。

計算の際には、雪崩発生地点から最も近いところにあるアメダスまたは雪氷防災研究センターの積雪・気象監視ネットワーク(SW-Net)<sup>3)</sup>のデータを入力に用いた。観測点と雪崩発生斜面の間には標高差があるため6.5°C/kmの逓減率で気温補正を行った。アメダスのデータを使用した際には、近藤ら(1991)<sup>4)</sup>の補正式を用いて日照時間、日時および気温のデータから、日射量および長波放射量を算出した。また斜面方位、傾斜角の情報から、Funk and Hoelzle(1992)<sup>5)</sup>と同様の手法を用いて日射量を補正して、入力データとして用いた。

#### 3. 計算結果

積雪変質モデルを用いて計算された結果について、そ

\* 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

れぞれの雪崩に対する発生時の積雪状態の計算結果を表1にまとめた。これらのうち、代表的なものをいくつか解説する。

まず、鳥取県奥大山スキー場で雪崩が発生した時(雪崩番号1)に対する雪質および積雪安定度の変化の計算結果を図1に示す。この計算では防災科学技術研究所が観測している大山鏡ヶ成のデータを使用した。雪崩の発生した2010年12月31日には多量の降雪があり、圧密する前に大きな荷重がかかって発生時刻である午後1時頃には新雪の層が不安定になっていたと計算された(図1b)。この時の積雪安定度は0.8と計算されており、安定度が2以下になると表層雪崩が発生しやすくなるという目安<sup>6)</sup>を大きく下回り、現場でも雪崩発生時にはこのような積雪状態であったと考えられる。

続いて、図2に富山県の立山室堂において雪崩が発生した時(雪崩番号2)の積雪安定度の変化を図2に示す。雪崩の発生した2010年11月30日には新たに積もった雪の下に不安定な弱層があることがわかる。防災科学技術研究所が北海道雪氷災害調査チームおよび日本雪崩ネットワークと共同で現地調査した結果ではこしもざらめ雪の層が弱層になっていたことが確認されている<sup>7)</sup>。また、図3に富山県剣岳の池ノ谷ガリーにおいて雪崩が発生した時(雪崩番号3)の積雪安定度の変化を示す。ここでも、積雪内部に弱層が形成されている。これらは雪崩発生時には積雪が不安定と計算され、モデルで危険性が予測ができた例である。

図4に新潟県長岡市山古志南平地区において全層雪崩が発生した時(雪崩番号8)の計算結果を示す。含水率の変化を見たところ(図4a)、全層雪崩発生時において液体水が底面に到達しており、現地積雪観測結果と一致する。しかしながら、このときの積雪安定度は、表層近くでは不安定となっているものの底面部分が不安定とはなっておらず、このケースは全層雪崩の発生がうまく予測されたとは言えない例である。

また、防災科学技術研究所で設置した監視カメラが肘折で発生した雪崩(災害発生には至らなかった)をとらえた事例についても計算を行った(雪崩番号12~14)。その結果の一例として、3月に発生した時の計算結果(雪崩番号14)を図5に示す。この日は午前中から降雨があり、水が底面に到達し、それにより底面が不安定化したことで雪崩が発生している。この不安定化の過程はモデルで再現されたものの、実際に発生した全層雪崩発生のタイミングより2時間ほど遅れた。計算において不安定化が遅れた原因は、このモデルが現段階では水みちをつたった水の移動を考慮しておらず、浸透速度が過小評価されているためと考えられる。

全層雪崩の発生予測は現在改良中であり、積雪中の均一な水の浸透に関しては実験結果をもとに改善されているが<sup>8), 9)</sup>、水みちをつたった水の移動や、底面に水が到達した際の積雪の不安定化についてはまだモデル化が不十分であるため、今後研究を進めていく予定である。

#### 4. まとめ

本報で示したように、積雪変質モデルによって表層雪崩発生時の不安定性は比較的よく再現されているが、全層雪崩発生時の不安定性の再現性はまだ十分ではない。また、アメダスの観測点と雪崩斜面が離れているため、雪崩斜面を対象として入力する気象データの精度は不十分で、これらが雪崩の発生予測の精度を低下させる原因にもなっている。全層雪崩発生を引き起こす積雪の不安定性の再現と気象データの補正技術向上は、第3期プロジェクトにおいて重点をおいて研究する内容の一部である。

#### 参考文献

- 1) 佐藤篤司・石坂雅昭・清水増治郎・小林俊市・納口恭明・西村浩一・中井専人・山口 悟・岩本勉之・佐藤 威・阿部 修・小杉健二・望月重人(2003): 雪氷災害発生予測システム. 寒地技術論文・報告集, **19**, 786-789.
- 2) Hirashima, H., Nishimura, K., Yamaguchi, S., Sato, A., and Lehning, M. (2008): Avalanche forecasting in a heavy snowfall area using the snowpack model. *Cold Reg. Sci. Technol.*, **51**(2-3), 191-203.
- 3) Yamaguchi, Y., Abe, O., Nakai, S., and Sato, A. (2011): Recent fluctuations of meteorological and snow conditions in Japanese mountains. *Ann. Glaciol.*, **52**(58), 209-215.
- 4) 近藤純正・中村 亘・山崎 剛(1991): 日射量および下向き大気放射量の推定. *天気*, **38**, 41-48.
- 5) Funk, M. and Hoelzle, M. (1992): A model of potential direct solar radiation for investigating occurrences of mountain permafrost. *Permafrost and Periglacial Processes*, **3**, 139-142.
- 6) 平島寛行・西村浩一・山口 悟・佐藤篤司・Michael Lehning (2006): 雪崩発生予測モデルで計算した雪崩災害発生時の積雪安定度. 寒地技術論文・報告集 Vol.22, 26-30.
- 7) 山口 悟・佐々木大輔・出川あずさ・池田信二・廣田雄介・横山 巖・高月泰治(2011): 富山県立山雪崩事故調査. [http://www.bosai.go.jp/seppyo/kenkyu\\_naiyou/seppyouaigai/report\\_20101201\\_tateyama\\_nadare.pdf](http://www.bosai.go.jp/seppyo/kenkyu_naiyou/seppyouaigai/report_20101201_tateyama_nadare.pdf).
- 8) Yamaguchi, S., Katsuhima, T., Sato, A., and Kumakura T. (2010): Water retention curve of snow with different grain sizes. *Cold Reg. Sci. Technol.*, **64**(2), 87-93.
- 9) Hirashima, H., Yamaguchi, S., Sato, A., and Lehning, M. (2010): Numerical modeling of liquid water movement through layered snow based on new measurements of the water retention curve. *Cold Reg. Sci. Technol.*, **64**(2), 94-103.

(2011年9月16日原稿受付,  
2011年11月16日改稿受付  
2011年12月13日再改稿受付,  
2011年12月13日原稿受理)

表 1 2010/11 冬季に発生した雪崩. 使用データに \* のついているものは入力に SW-Net の気象観測値を用いたもの.  
 Table 1 Avalanches occurred in 2010/2011 winter. Asterisk means meteorological data observed at SW-Net was used for input data.

番号	雪崩発生場所	発生日時	被害	使用データ	雪崩の種類	雪崩発生時の積雪状態(計算結果)
1	鳥取県江府町 奥大山スキー場	2010年12月31日 午後1時ごろ	スキー場で雪崩 巡回中の職員ら4人死亡	大山鏡ヶ成*	乾雪表層雪崩	多量の降雪、新雪部分が不安定となり雪崩の危険性が上昇
2	富山県立山町 芦崎寺 立山室堂アルペンルートの大谷付近	2010年11月30日 午前8時55分ごろ	スキーヤーらが6人巻き込まれ1人死亡 1人重体	上市	乾雪表層雪崩	新雪の下に弱層
3	富山県上市町 北アルプス・剣岳の「池ノ谷ガリー」	2011年2月28日 午後1時20分ごろ	山岳警備隊の訓練中に3人が巻き込まれ、2人重体	上市	乾雪表層雪崩	50cmの深さのところに弱層
4	新潟県十日町市 猿倉 一般国道353号 猿倉スノーゼットの事前	2011年2月2日 午後3時15分ごろ	道路をふさぐ 全面通行止め	津南	湿雪全層雪崩	計算では安定
5	新潟県十日町市(松之山温泉入口付近) 主要地方道松代天越線	発生時刻不明	道路をふさぐ 全面通行止め	津南	湿雪全層雪崩	積雪下部にぬれ雪があり比較的不安定
6	新潟県十日町市 JR 飯山線 越後鹿渡駅近く	2011年2月2日 午後4時30分ごろ	十日町駅～森宮野原駅間の上り列車が運休	津南	湿雪全層雪崩	計算では安定
7	長野県北安曇郡白馬村の北アルプス 白馬岳の白馬大雪渓	2011年4月29日 午後4時ごろ	下山中の9人のパーティーが巻き込まれ1人死亡 2人けが	白馬	湿雪表層雪崩	複数の帯水層が形成されて不安定
8	長岡市山古志南平地区 県道脇の斜面	2011年1月9日 午後1時すぎ	雪が路面を覆い通行止め	長岡	湿雪全層雪崩	全層雪崩発生時とほぼ同時期に積雪底面に水が到達。不安定化は計算されていない。
9	長岡市山古志虫亀地区 県道	2011年1月10日 午前11時すぎ	道路をふさぐ	長岡	湿雪全層雪崩	全層雪崩発生時とほぼ同時期に積雪底面に水が到達。不安定化は計算されていない。
10	長岡市塚野山 県道柏崎小国線	2011年1月11日 午前11時半ごろ	雪が路面を覆い通行止め	長岡	湿雪全層雪崩	あまり不安定でない
11	妙高市関山の燕温泉	2011年2月3日 午前1時前	土産物店が破損。けが人はなし。再び雪崩が起きる危険があるとして3軒5人に自主避難を呼びかけた。	関山	乾雪表層雪崩	安定
12	山形県大蔵村	2011年1月21日 午前9時48分	被害なし(監視カメラが雪崩を撮影)	肘折	乾雪表層雪崩	安定
13	山形県大蔵村	2011年2月18日 午前0時4分	被害なし(監視カメラが雪崩を撮影)	肘折	湿雪表層雪崩	安定
14	山形県大蔵村	2011年3月20日 午後2時17分	被害なし(監視カメラが雪崩を撮影)	肘折	湿雪表層雪崩	積雪底面付近まで水が到達

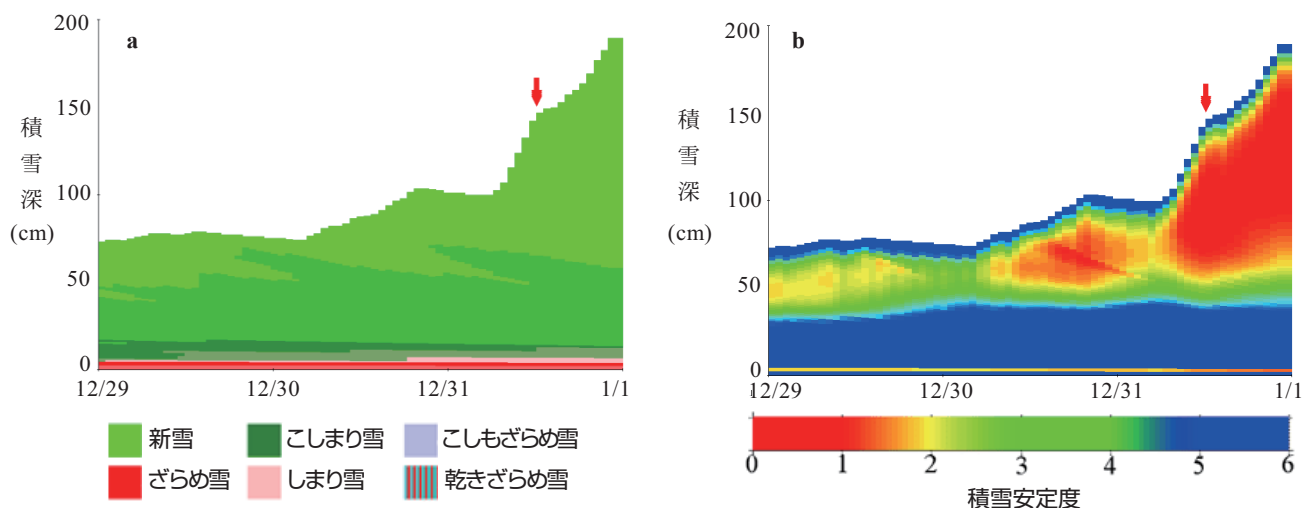


図1 奥大山スキー場の雪崩発生時の計算結果. 赤矢印は雪崩発生時刻. a: 雪質 b: 積雪安定度  
 Fig. 1 Simulated changes of snow profiles around the occurrence time of avalanche at Okudaisen ski area. Red arrow shows the time of avalanche release. a: grain type. b: natural stability index.

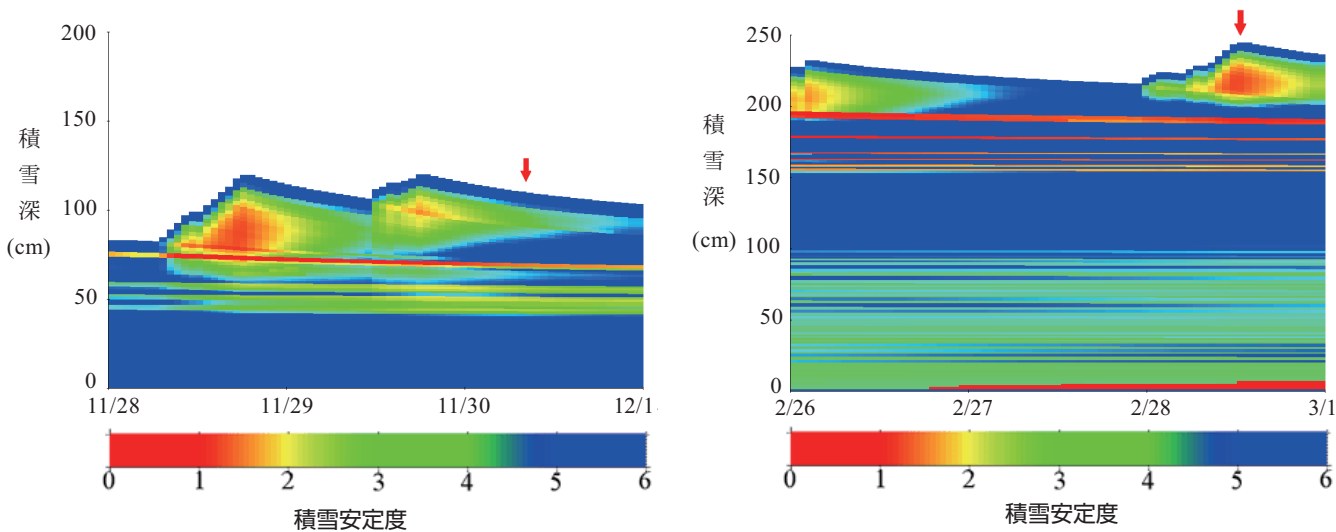


図2 立山室堂で雪崩が発生した際の積雪安定度の計算結果. 赤矢印は雪崩発生時刻  
 Fig. 2 Simulated changes of natural stability index around the occurrence time of avalanche at Tateyama Kurobe. Red arrow shows the time of avalanche release.

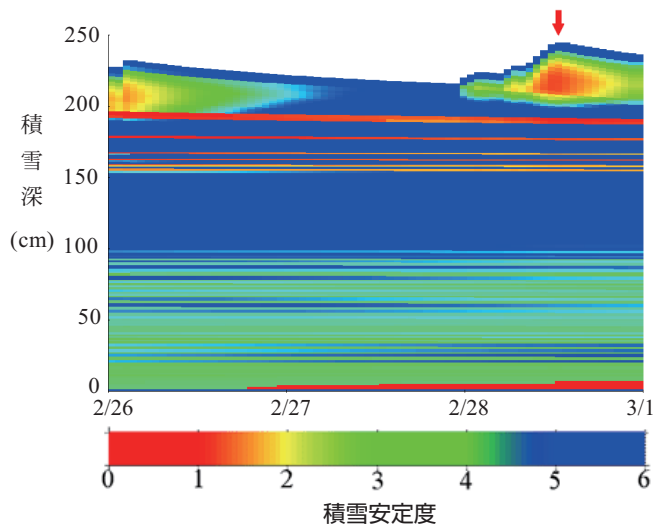


図3 剣岳で雪崩が発生した際の積雪安定度の計算結果. 赤矢印は雪崩発生時刻  
 Fig. 3 Simulated changes of natural stability index around the occurrence time of avalanche at Tsurugi-dake. Red arrow shows the time of avalanche release.

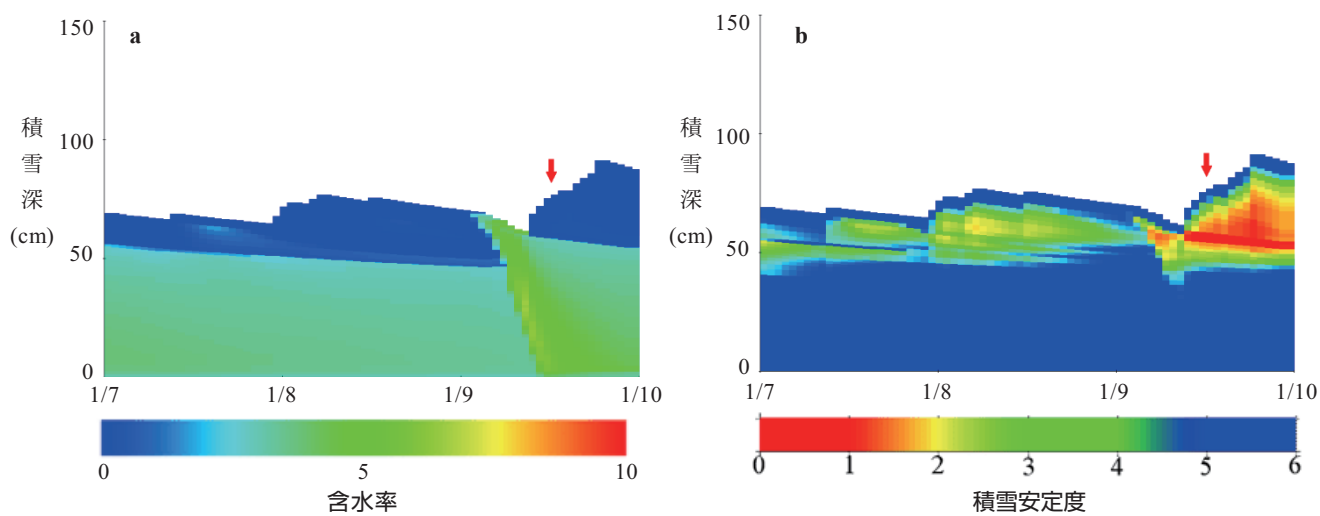


図4 山古志南平の雪崩発生時の計算結果. 赤矢印は雪崩発生時刻. a: 含水率 b: 積雪安定度  
 Fig. 4 Simulated changes of snow profiles around the occurrence time of avalanche at Yamakoshi Minamidaira.  
 Red arrow shows the time of avalanche release. a: volumetric water content. b: natural stability index.

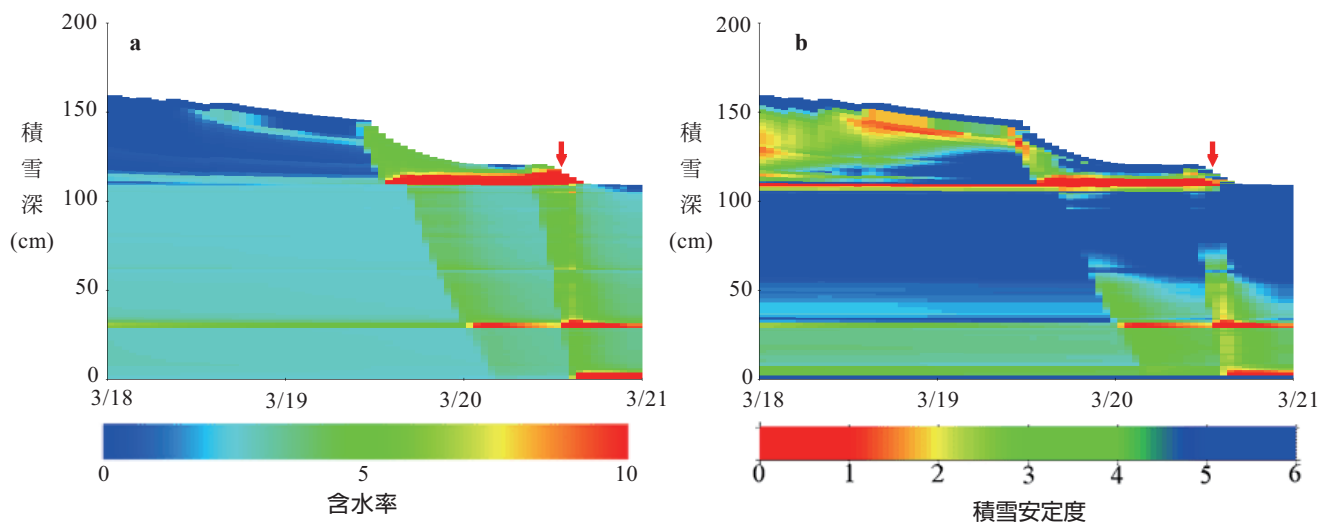


図5 肘折の雪崩発生時の計算結果. 赤矢印は雪崩発生時刻. a: 含水率 b: 積雪安定度  
 Fig. 5 Simulated changes of snow profiles around the occurrence time of avalanche at Hijiori.  
 Red arrow shows the time of avalanche release. a: volumetric water content. b: natural stability index.

## 要 旨

2010/11 冬季に発生した雪崩（14 事例）について、積雪変質モデルによって発生時における積雪の不安定性が再現されていたか検証を行った。表層雪崩に対しては不安定性が良く再現されていたが、全層雪崩に関しては不安定化の再現性は不十分であった。しかしながら、底面への水の到達など、全層雪崩予測につながる現象は再現されるようになってきており、研究の進展とともに再現性が向上することが期待できる。

**キーワード：**雪氷災害発生予測システム，雪崩予測，積雪変質モデル，積雪安定度