

短時間多量降雪による雪崩の危険度評価に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 27～平 30

担当チーム：土砂管理研究グループ

（雪崩・地すべり研究センター）

研究担当者：石田孝司、松下拓樹

【要旨】

2014年2月14日から16日にかけて関東甲信地方は記録的な大雪となり、各所で雪崩が同時多発的に発生し、一般的には発生しにくい樹林帯でも雪崩が発生した。このような短時間多量降雪時の雪崩発生に関わる指標を見いだすことを目的として、山梨県河口湖を例に、2014年2月の大雪事例と過去の大雪事例の降雪状況の比較検討を行った。その結果、積雪深と降雪強度の時系列変化に着目することで、短時間多量降雪に伴う雪崩の発生を把握できる可能性を示した。また、短時間多量降雪時の雪崩発生に関わる二次的な指標として、気温や降水量も重要と考えられる。

キーワード：雪崩、短時間多量降雪、降雪強度、積雪深、気温

1. はじめに

2014年2月14日から16日にかけて、本州南岸を通過した低気圧により関東甲信地方は記録的な大雪となった。この大雪は、短時間に多量の降雪となり（図1）、各所で雪崩が同時多発的に発生したことが特徴であった（図2）^{1)~4)}。さらに、この大雪に伴い一般的には発生しにくい樹林帯^{5),6)}でも多くの雪崩が発生した^{1)~4),7),8)}。本研究は、このような短時間多量降雪に伴う雪崩の発生条件を解明し、雪崩発生の危険度評価手法を提案することを目的とする。

国立研究開発法人土木研究所雪崩・地すべり研究センターが、これまでに行った2014年2月の短時間多量降雪に伴う雪崩発生条件に関する検討^{7),8)}では、一般的には斜面積雪を支える樹林帯^{9),10)}で雪崩が発生したという観点から、同様な現象と考えられる雪崩予防柵が設置されている斜面における雪崩の発生条件^{11),12)}との比較を行った。その結果、山梨県などではこの大雪時の降雪状

況が柵をすり抜けて発生する雪崩の発生条件に近い可能性があることが示された。

その他、短時間多量降雪時の雪崩発生条件に関しては、いくつかの既往研究^{13)~15)}において検討されてきたが、斜面積雪の安定性を考慮した理論計算が必要になるなど、現場での活用には課題があると考えられる。雪崩対策の現場では、可能であれば気象観測データなどのようにすぐに入手でき、容易に判断できる指標が望まれる。

ここでは、「短時間多量降雪による雪崩の危険度評価に関する研究」の第一歩として、短時間多量降雪時の雪崩発生に関わる気象観測データに基づいた指標を見いだすことを目的に、山梨県河口湖を例に、2014年2月の大雪事例と過去の大雪事例の降雪状況を比較検討した結果を報告する。

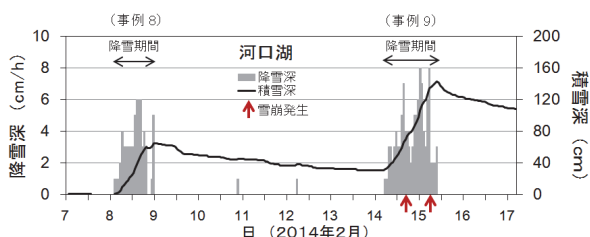


図1 2014年2月の山梨県河口湖の積雪深と降雪深



図2 2014年2月の山梨県における雪崩発生事例

2. データと解析方法

解析には、河口湖（気象庁 AMeDAS、標高 860m）の気温、積雪深、降水量の観測値を用いた。対象期間は、1時間間隔の観測値が得られる 1990 年 1 月から 2015 年 3 月までの期間である。ただし、2003 年 10 月以前の積雪深と降雪深は、9 時と 15 時の観測値である。大雪事例は、一つの降雪期間の降雪深（積雪深差の合計）が 30cm 以上となる事例とした。

1 時間間隔の積雪深の観測値がある場合は、その差が正である場合を降雪ありと判断して、降雪の中断が 5 時間未満であれば一つの降雪期間とした。降雪深 (cm) は降雪期間における積雪深差の合計とし、降雪強度 (cm/h) は降雪深を降雪期間 (h) で除して求めた。

積雪深の 1 時間観測値が無い場合、降水量と気温から降雪期間を判断し、9 時と 15 時の積雪深や降雪深の観測値から降雪深と降雪強度を推定した。

また、降雪期間の合計降水量 (mm) と降水強度 (mm/h) も求めた。ただし、降水粒子に対する降水量計の捕捉率に関する補正¹⁶⁾は行わなかった。

3. 結果

3.1 過去の大雪山事例

表 1 は、河口湖の 1990 年 1 月から 2015 年 3 月までの期間において降雪深が 30cm 以上となった大雪事例である。この表より、河口湖で降雪深が 30cm 以上となった事例は、2014 年 2 月の 2 事例を除くと 7 事例である。これらの事例のうち降雪期間中または降雪直後に雪崩の発生記録が確認できたのは、2014 年 2 月 14～15 日（事例 9）のみである。

3.2 2014 年 2 月の大雪事例の降雪状況の特徴

2014 年 2 月 14～15 日の大雪時の特徴は、短時間に多量の降雪であったことと、樹林帯で雪崩が発生したことである⁷⁾。樹林帯での雪崩発生や積雪が柵をすり抜ける現象が発生する時の特徴として、降雪時の気温が低くて降雪強度または降雪深が大きいことが指摘されている⁷⁾、¹²⁾、¹⁷⁾。また、短時間多量降雪時の雪崩発生に関わる重要な指標の一つに、時間あたりの積雪深の増加量や降雪強度がある^{13)～15)}。

以上のような短時間多量降雪時の雪崩発生に関わる特徴を考慮して、表 1 の各大雪山事例の降雪期間における平均気温と降雪深の関係をみたのが図 3 である。図 3 より、各事例の降雪期間の平均気温と降雪深を比べると、2014 年 2 月の 2 事例（図中の■）は、過去の事例（図中の○）より降雪時の気温が低い。さらに、2014 年 2 月 14～15

表 1 河口湖における降雪深 30cm 以上の大雪事例

No.	降雪期間		降雪時間 hrs	降雪深 cm	降雪強度 cm/h	降水量 mm	降水強度 cm/h	平均気温 ℃	雪崩発生	
	年 月 日 時	～ 月 日 時								
1	1992	1 31 18	～ 2 1 10	※ 17	35	2.1	30.0	1.8	-2.0	
2	1998	1 15 1	～ 1 16 3	※ 27	73	2.7	92.0	3.4	-2.3	
3	2001	1 27 3	～ 1 27 20	※ 18	64	3.6	63.5	3.5	-3.0	
4	2002	1 26 18	～ 1 27 9	16	45	2.8	59.0	3.7	-0.9	
5	2003	3 6 19	～ 3 7 12	18	37	2.1	46.0	2.6	-0.3	
6	2005	1 15 2	～ 1 16 3	26	49	1.9	47.0	1.8	-0.7	
7	2013	1 14 5	～ 1 14 17	13	43	3.3	43.0	3.3	-0.5	
8	2014	2 8 2	～ 2 8 23	22	66	3.0	59.0	2.7	-4.7	
9	2014	2 14 5	～ 2 15 9	29	112	3.9	60.0	★ 2.1	★ -3.4	○

※降雪期間を降水量から判断 ★欠測あり

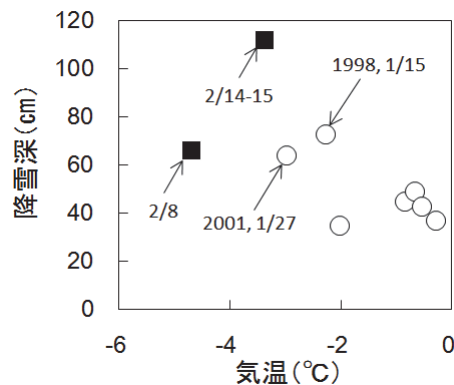


図 3 大雪事例の降雪期間の平均気温と降雪深の関係

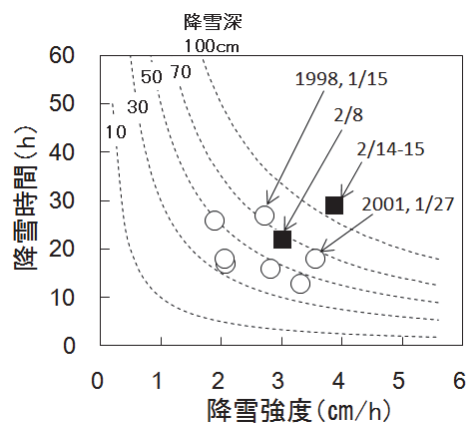


図 4 大雪事例の降雪時間と平均降雪強度の関係

日の事例は降雪深が 100cm を超え他の事例の降雪深より 1.5～3.2 倍程度大きい。

また、図 4 は、各大雪山事例の降雪時間と降雪強度の関係である。図 4 の降雪時間と降雪強度の関係において、2014 年 2 月 14～15 日の事例は、降雪強度が 3.9cm/h と最も大きく、かつ降雪時間が 29 時間と最も長かった。

以上、図 3 と図 4 より、2014 年 2 月 14～15 日の大雪事例は、気温が比較的低温で降雪強度の大きい状態が長時間継続したことが他の事例と比べて大きく異なる特徴といえる。

3. 3 雪崩発生に関わる簡便な指標について

3.2 節で示した、雪崩が発生した2014年2月14～15日の大雪事例の降雪時の特徴は、図5で示す降雪強度と降雪深の関係においてもみられ、降雪強度と降雪深が他の大雪事例に比べて大きかったことがわかる。ただし、図5より、2014年2月14～15日の大雪事例の雪崩発生前12時間の降雪強度と降雪深の関係(図中の□)をみると、降雪深は60cm程度と他の大雪事例とそれほど大きな違いはないが、降雪強度が5cm/hであり、他の大雪事例に比べて強い降雪状況にあったことがわかる。つまり、降雪期間全体の平均的な降雪状況(図3、図4)に着目することも大切だが、雪崩発生観点からは、より短時間の降雪状況も考慮する必要があると考えられる。

そこで、図6は、2014年2月の2つの大雪事例(表1の事例8と事例9)について、降雪強度と積雪深の時系列と雪崩発生との関係のみたものである。図6は、図中の実線が下から上に向かうにつれ、そのときの降雪強度に従って積雪深が増えていく時系列変化を示している。図6aの2014年2月14～15日の大雪事例をみると、河口湖周辺における雪崩は、積雪深が50cm以上になり降雪強度が6cm/h以上の強い降雪となった1～2時間後に発生したことがわかる。試みとして、図には積雪深50cm以上で降雪強度6cm/h以上の状況を破線で示した。一方、雪崩が発生しなかった2014年2月8日の事例(図6b)をみると、降雪強度が6cm/hに達した時間があったものの、それ以上の強い降雪とはならず、またそのときの積雪深は50cm未満であった。図6で示した積雪深50cm以上かつ降雪強度6cm/h以上の条件が、他の大雪事例あるいは他の地域で成り立つかは今後のさらなる検討が必要だが、図6の降雪強度と積雪深の時系列的な関係は、短時間多量降雪時の雪崩発生に関連する簡便な指標として活用できる可能性があると考えられる。

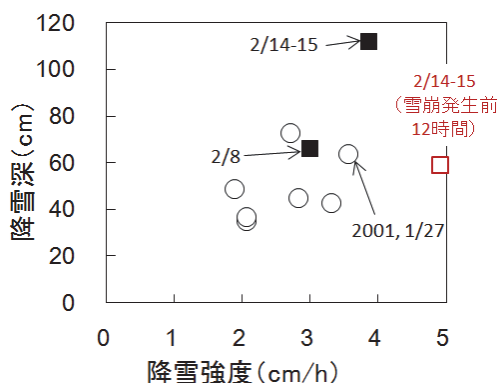


図5 大雪事例の平均降雪強度と降雪深の関係

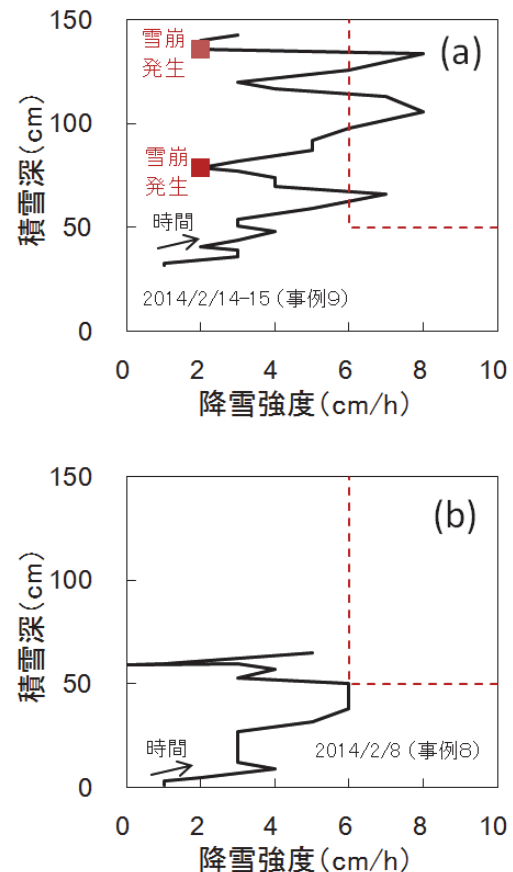


図6 2014年2月の大雪事例の降雪強度と積雪深の時系列と雪崩発生との関係。(a) 2月14～15日(事例9)、(b) 2月8日(事例8)。■は雪崩が発生した時刻。

なお、雪崩発生における降雪強度の重要性については、斜面積雪の安定性を考慮した理論的または統計的な検討^{13)~15)}でも指摘されている。例えば、遠藤(1993)¹³⁾によると、降雪強度が4～6cm/h程度以上の強い降雪が数時間続いた後に雪崩が発生しやすい。2014年2月14～15日の大雪事例(事例9)もこの条件に整合しており、この降雪状況をより単純化して示した一つの例が図6であると考えられる。

4. 考察

3.章では、積雪深や降雪強度など雪に関する観測値に着目して、雪崩発生との関係を検討した。しかし、表1の大雪事例の降水強度(降水=降雪+降雨)をみると、2014年2月の事例よりも降水強度が大きい事例があり、降水量でみるとこれらの事例は2014年2月より強い降雪であった可能性がある。そこで、降水強度や降水量の観点からもこれらの大雪事例の比較を行うこととする。

ただし、2014年2月14～15日（事例9）は降雪期間後半の7時間の降水量が欠測しており、この欠測期間を除いた値を用いて比較を行った。

図7は、表1の各大雪事例の降水強度と降雪強度の関係である。図7をみると、降水強度と降雪強度はおおむね一対一の比例関係にあり、降雪強度が大きければ基本的に降水強度も大きいといえる。よって、積雪深の観測を行っていない地域では、降雪強度や積雪深の代わりに降水強度や降水量を用いて、図6のような雪崩発生に関する検討ができると考えられる。

また、図8に降水量と降雪深の比（積雪の密度に関連）と気温の関係を示す。2014年2月の事例は、他の事例に比べて、降水量と降雪深の比が比較的小さくて気温が低いため、密度の小さい積雪が形成された可能性がある。密度が小さいと、積雪の強度も一般的に小さい¹⁸⁾ので、雪崩が発生しやすい積雪が形成された可能性があると考えられる。特に、樹林帯で雪崩が発生した2014年2月14～15日は、一週間前の2月8日にも同様な降雪がもたらされている（図1）。8日の降雪は積雪深0cmからの降雪であり（図1）、気温が低く強度の小さい積雪が形

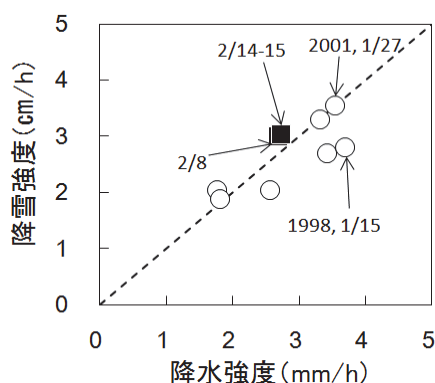


図7 大雪事例の平均降水強度と平均降雪強度の関係

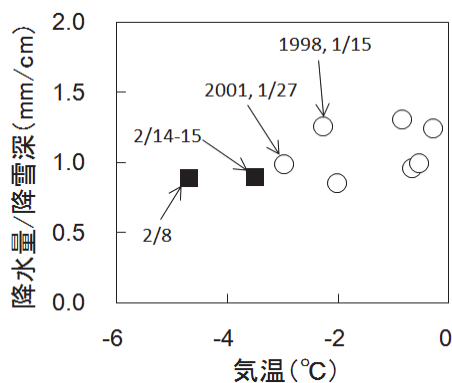


図8 大雪事例の平均気温と降水量と降雪深の比の関係

成されても地表面の凹凸が摩擦抵抗力として作用して斜面積雪を支えたために、雪崩が発生しなかった可能性が考えられる。一方、14～15日は、8日の積雪によって地表面の凹凸が積雪で覆われた状態で多量の降雪となった。つまり、樹林帯における雪崩発生において、ある程度の深さの積雪の上に、多量降雪による不安定で脆弱な斜面積雪が形成された可能性があると考えられる。このことが樹林帯において雪崩が発生したことに関係したと示唆される。

以上のように、雪崩発生に関連する指標として降雪時の気温も重要であり、気温は降雪深や降雪強度に次ぐ2番目の指標として、あるいは降水量を活用する場合の積雪強度の推定や雨雪判別等を行うための補足的な指標として活用することが望ましいと考えられる。

5. まとめ

2014年2月14日から16日にかけて関東甲信地方は記録的な大雪となり、各所で雪崩が同時多発的に発生し、一般的には発生しにくい樹林帯でも雪崩が発生した。このような短時間多量降雪時の雪崩発生に関わる気象観測データに基づく指標を見いだすことを目的として、山梨県河口湖を例に、2014年2月の大雪事例と過去の大雪事例の降雪状況の比較検討を行った。その結果、積雪深と降雪強度の時系列変化に着目することで、短時間多量降雪に伴う雪崩の発生を把握できる可能性を示した。また、短時間多量降雪時の雪崩発生に関わる二次的な指標として、気温や降水量にも着目することが重要であると考えられる。

短時間多量降雪時の雪崩発生に関して、これまでの既往研究でも降雪強度の重要性が指摘されてきたが、その多くは斜面積雪の安定性を考慮した理論検討^{13)~15)}が行われているため、現場で活用するには積雪の安定性に関する計算が必要になるなどの課題があると考えられる。しかし、3.3節で提案した積雪深と降雪強度の時系列変化（図6）は、積雪深の観測値があれば簡単に作成することができ実用的と考えられる。ただし、現場への活用の際は、あらかじめ過去の雪崩発生時の積雪深と降雪強度の時系列を図にプロットして比較することが望ましい。

また、2014年2月14～15日の大雪では、一般的には発生しにくいと考えられる樹林帯でも雪崩が発生したことが特徴であった¹⁷⁾⁴⁾。樹林帯での雪崩発生条件に関する検討は、これまでも数は少ないながら検討^{7), 8), 17), 19)~21)}が行われているが、明確に樹林帯での雪崩発生条件を示すには至っていない。今後は、樹林帯における雪崩発生

条件についても観測の実施等により検討する予定である。

さらに、2014年2月14～15日の短時間多量降雪に伴う雪崩により、建物への被害も生じている。そのため、このときの雪崩の流動性、発生層厚、密度、抵抗係数等の雪崩運動モデルのパラメータの適用性を検証するとともに、短時間多量降雪に伴う雪崩の衝撃力や到達範囲の定量的評価手法を検討²²⁾していく予定である。

参考文献

- 1) 和泉 薫、河島克久、伊豫部勉、松元高峰：2014年2月中旬の大雪による雪崩災害の発生状況と特徴、科学研究費助成事業（課題番号 2590003）研究成果報告書、111-118、2014年8月
- 2) 中村一樹、上石 勲、阿部 修：2014年2月の低気圧の降雪による雪崩の特徴、日本雪工学会誌、Vol. 30、No. 2、106-113、2014年4月
- 3) 上石 勲、中村一樹、安達 聖、山下克也：2014年2月の南岸低気圧の降雪による雪崩被害と関連する大雪災害、科学研究費助成事業（課題番号 2590003）研究成果報告書、119-125、2014年8月
- 4) 秋山一弥、関口辰夫、池田慎二：2014年2月の大雪によって山梨県の早川周辺で発生した雪崩の特徴、雪氷、77巻、47-57、2015年1月
- 5) 建設省河川局：なだれ防災対策調査報告書、pp.200、1983年3月
- 6) 建設省河川局砂防部、社団法人雪センター：集落雪崩対策工事技術指針(案)、1996年2月
- 7) 松下拓樹、池田慎二、秋山一弥：樹林内における雪崩発生条件に関する一考察 - 2014年2月関東甲信の大雪時の事例一、雪氷、77巻、433-445、2015年9月
- 8) 松下拓樹、池田慎二、秋山一弥：短時間多量降雪時の積雪特性と雪崩発生との関係について、第27回ゆきみらい研究発表会論文集、応募論文No.26、2015年1月
- 9) 石川政幸、佐藤正平、川口利次：なだれ防止林の立木密度、雪氷、31巻、1号、14-18、1969年1月
- 10) Brang, P., W. Schönenberger, M. Frehner, R. Schwitter, J.-J. Thormann and B. Wasser, : Management of protection forests in the European Alps: an overview, J. Forest Snow Landsc. Res. , 80(1), 23-44, 2006
- 11) 松下拓樹、松澤 勝、伊東靖彦、加治屋安彦：雪崩予防柵を斜面積雪がすり抜ける現象の発生気象条件について 一大雪湖周辺の事例解析一、北海道の雪氷、No. 26、91-94、2007年7月
- 12) 松下拓樹、松澤 勝、伊東靖彦、加治屋安彦：斜面積雪が雪崩予防柵面をすり抜ける現象の発生条件、寒地土木研究所月報、No. 665、10-17、2008年10月
- 13) 遠藤八十一：降雪強度による乾雪表層雪崩の発生予測、雪氷、55巻、113-120、1993年6月
- 14) Conway, H., and C. Wilbour, : Evaluation of snow slope stability during storms, Cold Regions Sci. Technol., 30, 67-77, 1999
- 15) Gauthier, D., C. Brown and B. Jamieson, : Modeling strength and stability in storm snow for slab avalanche forecasting, Cold Regions Sci. Technol., 62, 107-118, 2010.
- 16) 横山宏太郎、大野宏之、小南靖弘、井上 聡、川方俊和：冬期における降水量計の捕捉特性、雪氷、65巻、303-316、2003年5月
- 17) Teich, M., C. Marty, C. Gollut, A. Grêt-Regamey and P. Bebi, : Snow and weather conditions associated with avalanche releases in forests: Rare situations with decreasing trends during the last 41 years, Cold Regions Sci. Technol., 83-84, 77-88, 2012
- 18) 松下拓樹、池田慎二、秋山一弥：積雪強度の推定手法に関する現状と課題、寒地技術論文・報告集、Vol. 30、18-23、2014年12月
- 19) Schneebeli, M., and M. Meyer-Grass, : Avalanche starting zones below the timber line structure of forest, Proc. Int. Snow Sci. Workshop (ISSW), 176-181, 1992
- 20) McClung, D. M., : Characteristics of terrain, snow supply and forest cover for avalanche initiation caused by logging, Ann. Glaciol., 32, 223-229, 2001
- 21) Vighietti, D., S. Letey, R. Motta, M. Maggioni and M. Freppaz, : Snow avalanche release in forest ecosystems: A case study in the Aosta Valley Region (NW-Italy), Cold Regions Sci. Technol., 64, 167-173, 2010
- 22) 池田慎二、松下拓樹、石田孝司、秋山一弥：2014年2月の関東甲信大雪時に発生した雪崩の運動の特徴、寒地技術論文・報告集、Vol. 31、70-73、2015年11月

A STUDY ON EVALUATION OF SNOW AVALANCHE RISK DURING HEAVY SNOWFALL WITHIN A SHORT PERIOD

Budget : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2015-2018

Research Team : Erosion and Sediment Control
Research Group (Snow Avalanche and
Landslide Research Center)

Author : ISHIDA Koji

MATSUSHITA Hiroki

Abstract : The heavy snowfall that occurred on February 14–15, 2014 caused many avalanches in the Kanto-Koshin region, Japan, where a thin snow cover exists during normal winter seasons. Avalanche release (i.e., new snow avalanches) in forests was one of the important features of this heavy snowfall during the short period.

To examine a simple parameter for the avalanche release that occurred during this heavy snowfall, cases including those of the past 9 heavy snowfall events in this region were analyzed using meteorological data. The results revealed that avalanche releases that occurred during the heavy snowfall can be detected using time variation diagrams of snow depth and snowfall intensity. In addition, air temperature during snowfall was found to be an important factor.

Key words : Avalanches, heavy snowfall within a short period, snowfall intensity, snow depth, air temperature