

南アルプス仙丈ヶ岳で発生した雪崩の規模の推定及び災害対応について

南信森林管理署

一般職員 ○棚橋 和彦

信州大学大学院総合理工学研究室

修士2年 ○石澤 淳

要旨

平成 29 年に南アルプス仙丈ヶ岳で発生した大規模な雪崩は、南アルプス林道付近まで到達しました。その災害に伴う南信森林管理署の復旧治山工事及び信州大学農学部による研究、現在までの取組状況について報告します。

はじめに

南アルプスは、日本列島の中央に位置する我が国を代表する山岳地帯であり、雪崩が流れ込んだ「藪沢」は、山梨県境に接する仙丈ヶ岳を源流部とし、「三峰川」へ注ぐ支流の一つとなります。「南アルプス林道」は、多くの人たちの悲願であった南アルプスへの道として、また三峰川流域の林業振興と地域開発の期待を担い、13年の歳月を経て完成しました。長野県伊那市長谷の戸台口から標高 2,032m の北沢峠までの全長 22.8 km の林道で、仙丈ヶ岳、甲斐駒ヶ岳への登山基地として年間約 5 万 2 千人が利用しています。

大規模な雪崩が藪沢を流れ下ったのは、平成 29 年の春でした。5 月 10 日、南アルプス林道の除雪作業にあっていた伊那市長谷総合支所から、黒河内国有林内で大規模な雪崩が発生していると南信森林管理署へ連絡がありました。現地確認したところ、「馬の背」（標高 2,715m）の東斜面で発生した雪崩は「藪沢」に流れ込み、下流の「南アルプス林道」付近まで到達していました（図 1、写真 1）。



図 1 位置図



写真 1 藪沢に堆積した流木

1 雪崩の実態調査

大規模な森林被害をともなう雪崩がいつ発生し、どのような規模（ボリューム）の雪崩によってどれほどの森林が被害（面積）を受けたのかを明らかにすることを目的として、実態調査をおこないました。雪崩の実態調査として、次の 5 項目をおこないました（図 2）。

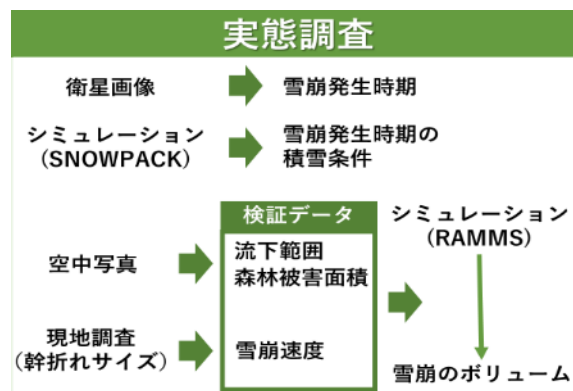


図 2 調査項目

【実態調査の内容】

- (1) 衛星画像判読による雪崩発生時期の推定
- (2) シミュレーション(SNOWPACK)による雪崩発生時期の積雪条件の推定
- (3) 空中写真判読による流下範囲及び森林被害面積の推定
- (4) 現地調査で計測した幹折れサイズ(樹種・幹折れ高・幹折れ高直径)を用いた雪崩速度の推定
- (5) (3)と(4)でえられた結果をもとにしたシミュレーション(RAMMS)による雪崩のボリュームの推定

(1) 衛星画像判読による雪崩発生時期の推定

衛星画像判読の結果、2017年2月16日には森林が消失しておらず、2月25日には雪崩による森林被害の様子が確認されたことから、雪崩は2月16～25日の10日間の間に発生したと考えられました(以下、2017年2月16～25日の期間を雪崩発生時期とします。)。近傍のアメダス観測点(伊那)で観測された気象データを調べたところ、雪崩発生時期のうち、2月17日、20日、23日に日本海低気圧が通過した際にそれぞれ18.5mm、17.5mm、22.0mmの降水が観測されていました。雪崩はとくにこの3日間の間に発生した可能性が高いと考えられましたが、より詳細な雪崩発生時期を推定するために、アメダス観測点(伊那)のデータを用いたシミュレーション計算をおこないました(図3)。



図3 雪崩発生時期シミュレーション計算

(2) シミュレーション(SNOWPACK)による雪崩発生時期の積雪条件の推定

雪崩発生時期の積雪条件を推定するために、スイス連邦雪・雪崩研究所(SLF)で開発され、日本における観測や実験データに基づいて改良されてきた積雪変質モデル(SNOWPACK)を利用しました(Hirashima *et al.*, 2011など)。SNOWPACKは、気温や降水量、日照時間などの気象データを入力することで、積雪深や雪質などの積雪条件を出力するモデルとなっています。出力される積雪条件の中に積雪安定度(SI)があります。SIは雪崩発生危険度を表す指標であり、雪崩のすべり面の雪質により決まる強度を雪崩として流下する積雪(スラブ)の重さで除すことによって求められ、 $SI \leq 1.5$ が雪崩発生の目安とされています(Sommerfeld, 1984; 遠藤, 2000)。計算の結果、日本海低気圧による降水が観測されていた17日と23日に $SI \leq 1.5$ となっており、とくに雪崩が発生した可能性が高いと考えられました(図4)。

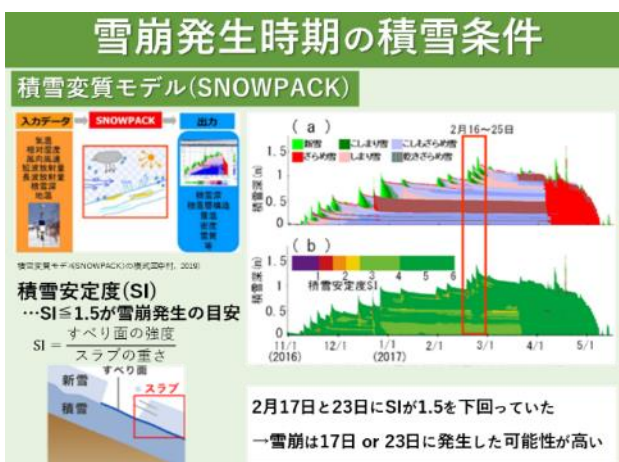


図4 雪崩発生時期の積雪条件

(3) 空中写真判読による流下範囲及び森林被害面積の推定

続いて、2017年2月に発生した雪崩の流下範囲と雪崩による森林被害面積を推定するために、雪崩発生前後の空中写真(図5、6)の比較をおこないました。図7は、2時期の空中写真の比較によってえられた雪崩の流下範囲と森林被害箇所を表しています。空中写真判読の結果、雪崩によって4.1 haの森林が被害を受けていたと見積もられました。図8は、図7に示す地形図上の測線(A-B)に沿った斜面の縦断形状を表しています。解析の結果、雪崩が発生した斜面は、下流ほどなだらかになっており、雪崩は、発生区上端(A)から流下範囲末端(B)にかけて、およそ、1,486 m流下していたと見積もられました。

森林被害面積と流下距離の推定結果から、発生した雪崩の規模はカナダで用いられている雪崩の分類方法(雪崩ハンドブック、2007)で、“Large(大規模)”に分類されるレベル4クラスのものであったと推定されました(図8)。



図5 雪崩発生前



図6 雪崩発生後



図7 森林被害面積

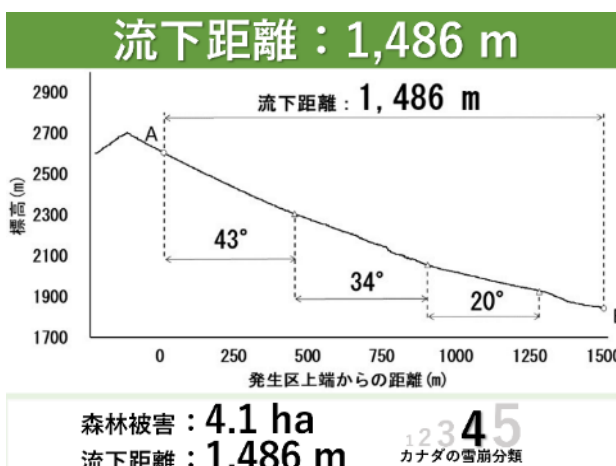


図8 流下距離の推定

(4) 現地調査で計測した幹折れサイズ(樹種・幹折れ高・幹折れ高直径)を用いた雪崩速度の推定

図9は、雪崩の流下範囲内でおこなった大径の幹折れ木を対象とした幹折れサイズの計測結果を表しています。計測対象は77本で、幹折れ高直径の平均は0.40 m、最大径は0.92 mでした。計測を行った幹折れ高直径の分布をみると、流下範囲の下流では幹折れ高直径が大きく、上流では直径が小さい傾向がみられました。これは、上流では比較的小規模な雪崩が頻繁に発生することによって、樹木の生長が阻害されていることが示唆される結果でした。

図 10 は、計測した幹折れサイズから、竹内ら(2010, 2014)によっておこなわれている方法によって雪崩速度を推定し、逆距離荷重法(IDW)によって空間補間をおこなった結果を示す等値線図です。幹折れサイズが上流から下流にかけて増加する傾向に依存して、下流ほど速度が大きくなる結果となりました。図 11 は、等値線図(図 10)の上流から下流にかけて引いた測線(A-B)に沿った雪崩速度の推移を表しています。等値線図が示す結果と同様に、上流では速度が小さく、下流で大きくなる傾向がみられました。図 11 に示す速度の推移を平均すると、雪崩は 141 km/h(39 m/s)程度の速度であったと見積もられました。既往研究では、幹折れ高直径 0.37 m という値から 191 km/h(53 m/s)という値が報告されていることから、えられた値はおおむね妥当なものであったと考えられました。

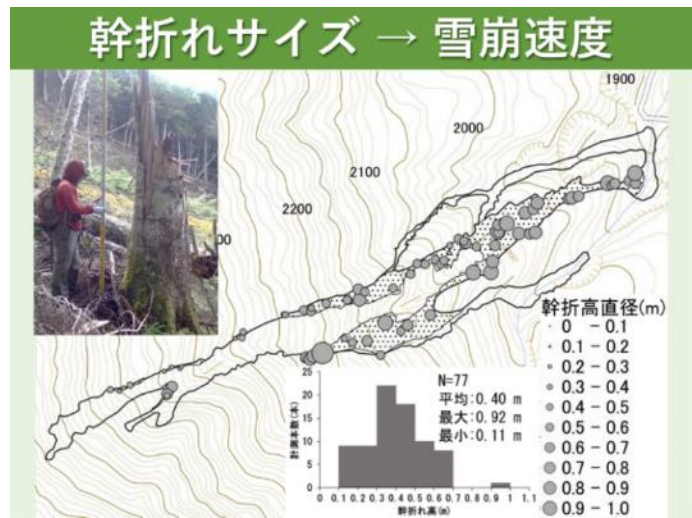


図 9 雪崩による幹折れサイズ

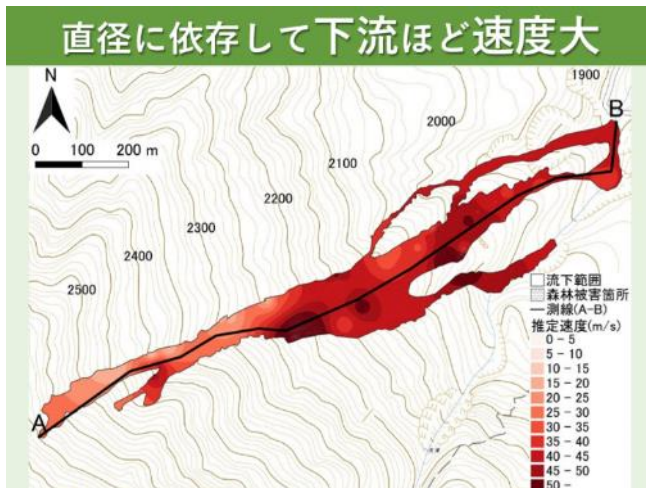


図 10 雪崩速度の推定

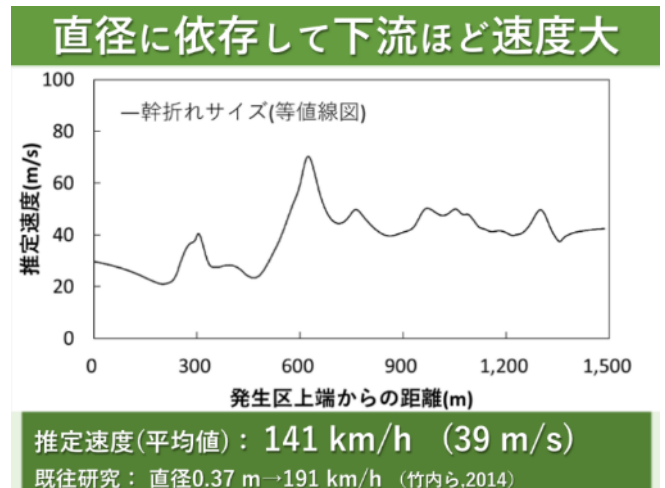


図 11 上流から下流の雪崩速度の推移

(5) (3)と(4)でえられた結果をもとにしたシミュレーション(RAMMS)による雪崩のボリュームの推定

空中写真判読によってえられた流下範囲と幹折れサイズから算出された雪崩速度を検証データとして、雪崩シミュレーションによって雪崩のボリュームを推定しました。シミュレーションには、スイス連邦雪・雪崩研究所(SLF)で開発された連続体モデル(RAMMS)を利用しました。計算に用いる地形データは、国土地理院から取得した 5 m-DEMを利用しました。森林は雪崩の速度を落として流下を妨げる働きがある(Christen *et al.*, 2010; Teich *et al.*, 2012)とされています。そのため、森林エリアの底面摩擦を大きく設定すること

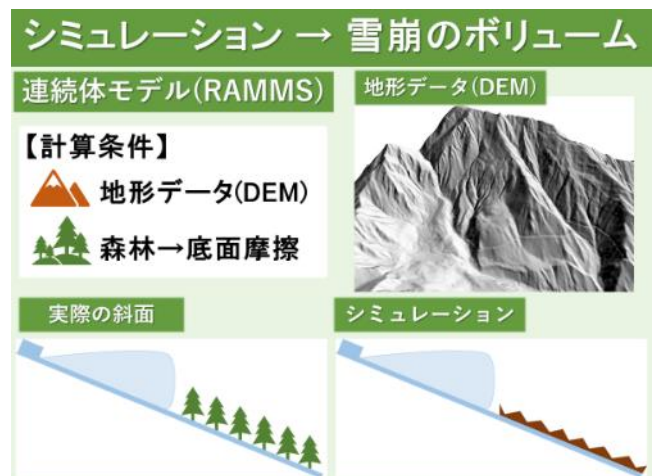


図 12 雪崩のボリューム推定

で、森林による雪崩減勢効果を表しました（図 12）。計算には、スラブ厚、雪崩発生域の面積、森林エリアを与えました（図 13）。雪崩発生域の面積にスラブ厚を乗じることで雪崩のボリュームを算出しました。発生域の面積は図 13 に示す 4.9 ha とし、スラブ厚をさまざまに変化させて計算をおこないました。森林エリアは 2017 年 2 月の雪崩発生前に森林であったエリアを設定しました。

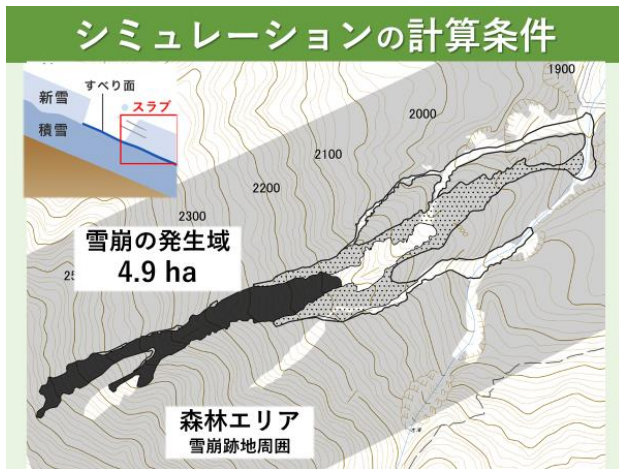


図 13 森林による雪崩減勢効果計算

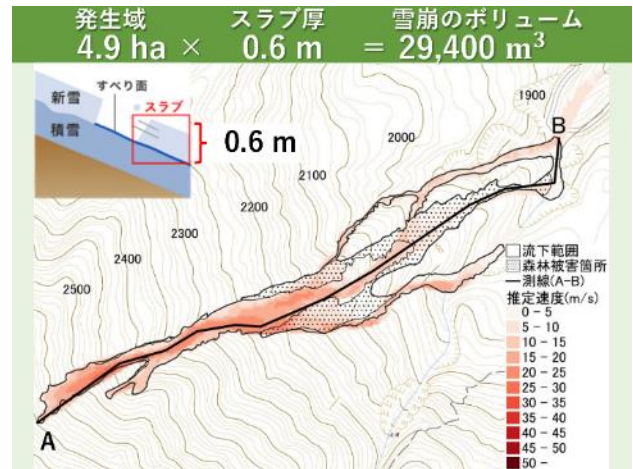


図 14 シミュレーション結果(スラブ厚 0.6m)

図 14 は、RAMMS によるシミュレーションの結果を表しています。試行錯誤の結果、スラブ厚を 0.6 m としたとき、もっとも過不足なく流下範囲を再現することができていました。このことから、雪崩発生域の面積を 4.9 ha (49,000 m³)、スラブ厚を 0.6 m とすると、発生した雪崩のボリュームはおおよそ 29,400 m³ であったと見積もられました。

図 15 は、図 14 の発生区上端(A)から流下範囲末端(B)にかけての速度の推移を表しています。斜面勾配に依存して、斜面勾配が急な上流側では加速し、勾配が緩やかになるにつれて速度が減衰していく様子が表されています。また、発生区上端からの距離が 1,000 ~ 1,300 m のエリアでは、森林の減勢効果によって減速した様子が再現されています。

図 16 は、RAMMS によるシミュレーション結果と幹折れサイズから算出された推定速度を比較した様子を表しています。両者を比較したところ、幹折れサイズから算出された推定速度に比べて、シミュレーションによりえられた推定速度が全体的に小さい傾向がみられました。シミュレーションによりえられた速度が小さい原因の一つとして、地形データに積雪による地表面の平滑化が加味されていないことが、シミュレーションが速度を過小評価したと考えられました。

下流で勾配と森林の効果で減速

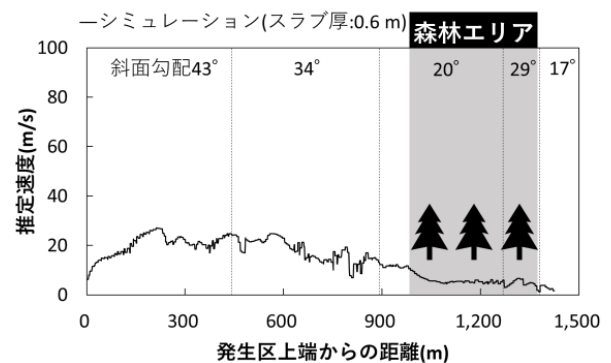


図 15 勾配と森林による減速の推定

シミュレーションの速度は過小評価？

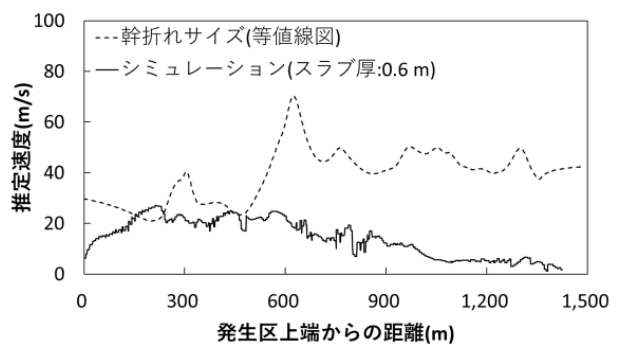


図 16 推定速度の比較

図 17 中の写真は、2020 年 5 月に撮影された谷が積雪によって平滑化されている様子を表しています。雪崩が発生したのは厳冬期の 2 月であったため（図 3、4）、斜面は積雪に覆われて、谷を含めた微地形は平滑化されていたと推測されます。このように、シミュレーション上では地形データに積雪が加味されていないことで底面摩擦が大きく見積もられることで、シミュレーションにより得られた雪崩速度は過小評価されたと考えられました。そのため、実際に発生した雪崩の速度はシミュレーション結果よりも大きな値であったと推測されます（図 18）。

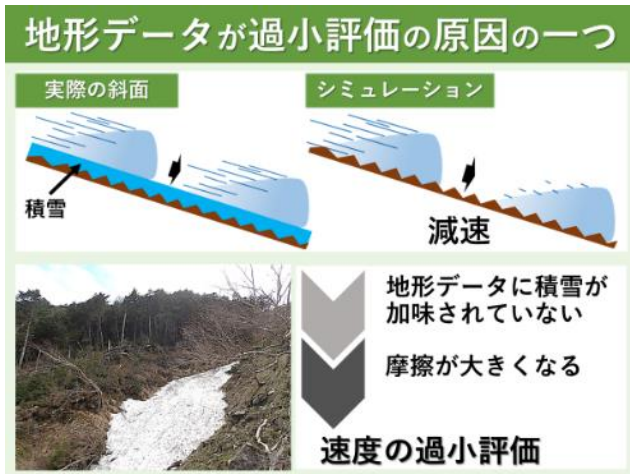


図 17 積雪による摩擦軽減

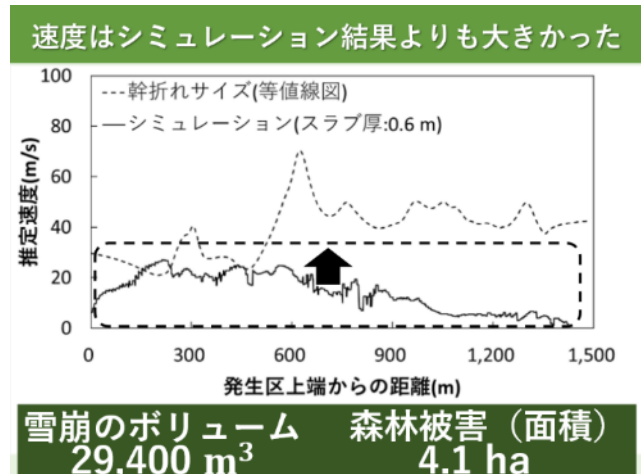


図 18 シミュレーションの誤差

以上のように、RAMMS によるシミュレーションには課題が残されているものの、雪崩発生箇所のでられる幹折れ木の痕跡やシミュレーションの結果を用いると、発生した雪崩は 29,400 m³ ほどのボリュームであり、この雪崩によって 4.1 ha の森林が被害を受けたと推定されました。

2 災害対応

今回の現地調査や検証により解明された雪崩の規模は、とても大きなものであったことが推定されました。それにもかかわらず南アルプス林道が被災しなかったのは、藪沢に既設されていた治山ダムにより、雪崩の速度が抑えられたことが大きな要因であると考えます。

流木の多くが既設治山ダムに堆積していたことから推察でき、治山ダムが機能を発揮していたことが分かりました（図 19）。

しかし、その治山ダムを覆い被すように堆積した木々は、今後の降雨等により流出の危険があり、新たな災害の発生が懸念される状況でした。そのため、出水による二次災害の不安を解消し、林道施設及び観光客の安全を確保するため「藪沢復旧治山工事」を行い 377 トンの流木が処理されました（写真 2）。また、上流部に堆積した倒木については、流木捕捉のため鋼製スリット谷止工を設置することにより懸念された二次災害の未然防止を図ることが出来ると考えています。



図 19 治山ダムと流木の堆積箇所

今回処理された流木の中には樹齢 200 年を超える巨木も含まれており、利用可能なものについては地元で家具を扱う業者へ売り払い「ダケカンバ」と「カラマツ」は現在、伊那市役所市民ホールのテーブルや椅子へと生まれ変わり、市役所を訪れた人たちの憩いの場として利用されています（写真3）。

藪沢復旧治山工事 流木処理工

工期：平成30年8月21日～平成30年10月16日



処理前

処理後

写真2 流木処理工の様子

椅子やテーブルとして生まれ変わった被害木

職人たちの技によって「家具」として新しい命が吹き込まれ、伊那市役所市民ホールに置かれた椅子やテーブル。



写真3 流木の活用

おわりに

現在「藪沢」においては、「雪崩発生直後から植生動態をモニタリングし、森林回復過程を明らかにした事例がほとんど見られない」との理由から試験地を設置し、今後も信州大学と連携を図りながら調査の協力をしていきます。また、南信森林管理署は流域周辺の森林を保護し下流域を土砂災害から守るための治山事業を継続的に実施し、災害の未然防止に努めて参ります。

【参考文献】

- Christen, M., P. Bartelt and J. Kowalski, 2010: Back calculation of *In den Arelen* avalanche with RAMMS: interpretation of model results. *Ann. Glaciol.*, 51(54), 161-168.
- 遠藤八十一, 2000: 雪崩の分類と発生機構. 雪崩と吹雪, 基礎雪氷学講座Ⅲ, 東京, 古今書院, 13-51
- Hirashima, H., O. Abe, and Sato, 2011: Parameterization of the shear strength of faceted crystals during equi-temperature metamorphism. *Ann. Glaciol.* 52(58), 111-118.
- 国土地理院 <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php> (2021/2/19 アクセス)
- McClung, D. and Schaerer, P., 2006: The avalanche handbook, 3rd edition. Seattle, WA., The mountaineers books, 322pp.
- Sommerfeld, R. A., 1984: Instructions for using the 250 cm² shear frame to evaluate the strength of a buried snow surface. *USDA Forest Service Research Note*, RM-466. 1-6
- 竹内由香里, 鳥田宏行, 西村浩一, 坂本知己, 萩野裕章, 後藤義明, 村上茂樹, 遠藤八十一, 2010: 妙高山域幕ノ沢の大規模表層雪崩によるスギ林の倒壊状況と雪崩速度の推定. 雪氷, 72(2), 115-125.
- 竹内由香里, 鳥田宏行, 野口正二, 伊豫部勉, 平島寛行, 小杉健二, 根本征樹, 佐藤研吾, 平山順子, 阿部修, 2014: 岩手山で 2010-11 年冬期に発生した大規模雪崩による亜高山帯林の倒壊状況と雪崩速度の推定. 雪氷, 76(3), 221-232.
- Teich, M., P. Bartelt, A. G. Regamey and P. Bedi, 2012: Snow avalanches in forested terrain: Influence of forest parameters, topography, and avalanche characteristics on runout distance. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 44(4), 509-519.