

# 蔵王火山亜高山帯のオオシラビソ林における積雪グライドの観測

佐々木明彦<sup>1)2)</sup>・河島克久<sup>3)</sup>・松元高峰<sup>3)</sup>・伊豫部 勉<sup>4)</sup>・倉元隆之<sup>5)</sup>・鈴木啓助<sup>2)</sup>

1) 本学文学部非常勤講師, 2) 信州大学 理学部, 3) 新潟大学 災害・復興科学研究所,  
4) 京都大学 大学院工学研究科, 5) 福島県環境創造センター

## I. はじめに

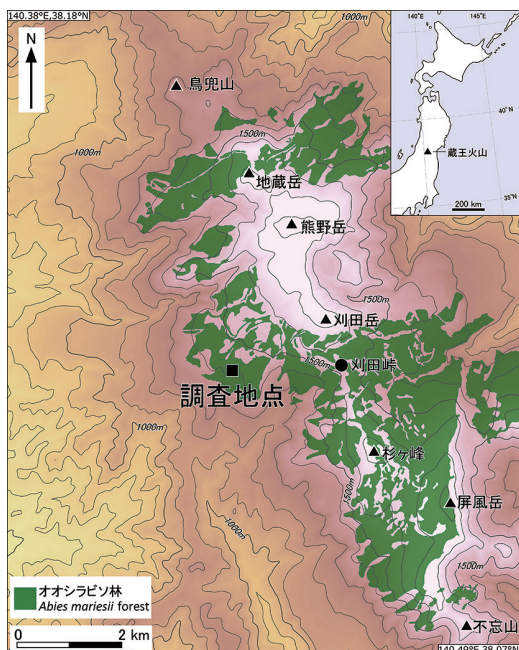
多雪地域の斜面にみられる積雪は、時間の経過とともに雪質が変化するだけでなく、自重によって斜面下方に緩慢に動こうとする。その運動は、積雪層内部での塑性流動と積雪層の接地面での滑りの2種であり、前者はクリープ、後者はグライドとよばれる(たとえば、秋田谷、1974)。積雪のクリープやグライドは、積雪層の緩慢な動きではあるものの、積雪層の沈降圧と移動圧の合力として大きな雪圧を斜面にかけるので、積雪下の道路構造物を破壊したり、積雪期間を通じて樹木などにストレスを与え続けることになる。たとえば、雪圧を受ける樹木は、自然林と人工林の区別なく根曲がりをおこす(片岡・佐藤、1959; 小野寺・若林、1971)。また、ブナ林の伐採後の斜面において、積雪グライドによって伐根の転倒が生じ、それに伴う表層崩壊が発生したり(たとえば、相浦ほか、1996)、伐根本数の減少が進むと全層雪崩が発生するようになるなどの報告もある(たとえば、佐伯ほか、1981)。加えて、積雪グライドは、定常時には1日あたり1cm以下の速度で動くが、雪崩の発生直前には速度が急激に加速することが明らかになっている(納口ほか、1986)。このことから、積雪グライドは雪崩の発生予測という点で防災上たいへん重要な現象といえる。以上のように、造林や生態学、防災などの観点から、積雪グライドの観測は、北海道や東北・北陸地方において1970年代以降盛んに実施されてきた(たとえば、秋田谷、1974; 山田、1977; 秋田谷・遠藤、1985; 塚原ほか、

1996; 大丸・大原、2004; 飯倉ほか、2013)。

ところで、斜面の雪圧は積雪水量が最大になるときに最大値を記録する(たとえば、高橋ほか、1971)。このことから斜面の雪圧は積雪深ではなく、積雪水量に比例すると考えられる(下川・山田、1993)。また、森林帯における積雪水量は標高に比例してほぼ直線的に増加する(山田ほか、1979; 松山、1998)ので、積雪グライド量は丘陵・山地帯よりも亜高山帯のほうが大きい可能性がある。しかしながら、亜高山帯では、これまで積雪グライドの観測はほとんど行われたことがない(大丸・大原、2004)。亜高山帯における積雪グライド量の観測は、同地域における雪崩の発生予測という観点でたいへん重要である。また、亜高山帯針葉樹林の優占種であるアオモリトドマツ(*Abies mariesii*)林の発達阻害要因などの検討をするうえでも積雪の挙動の観測は重要であると考えられる。そこで、日本海側多雪山地における積雪グライドの発生機構とその環境への影響を明らかにする研究の一環として、本論文では山形県蔵王火山の亜高山帯において実施した積雪グライド量の観測結果を報告する。

## II. 調査地域

蔵王火山の主部は、中央蔵王火山体と南蔵王火山体に大きく分けられる。中央蔵王は、北から烏兜山(標高1,387m)、地蔵岳(標高1,736m)、熊野岳(標高1,841m; 最高峰)、刈田岳(標高1,758m)などからなる火山体で(第1図)、100万年前から活動を開始し、32万年前~12万年前



第1図 調査地域

等高線図の作成には国土地理院の基盤地図情報数値標高モデル(10mメッシュ)を使用した。オオシラビソ林の分布は、環境省自然環境局生物多様センターの「自然環境保全基礎調査Web-GISデータ」をダウンロードして使用した。

頃に火山体の大部分が形成された(高岡ほか、1989)。南蔵王は刈田峠から南側の稜線をつくる火山体で、杉ヶ峰(標高1,745m)、屏風岳(標高1,825m)、不忘岳(標高1,705m)などからなる(第1図)。南蔵王は28万年前頃を中心に形成された(八木、2005)。

蔵王火山の植生は、標高1,300~1,400m付近までが山地帯で、ブナ(*Fagus crenata*)やミズナラ(*Quercus crispula*)を主体とする落葉広葉樹林が占めている。それ以上は亜高山帯で、オオシラビソ(*Abies mariesii*)が占める。ただし、急斜面や崩壊地にはオオシラビソは生育せず、かわりにダケカンバ(*Betula ermanii*)が林分をつくる。また、標高1,600m以上の主稜線にはオオシラビソ林は成立せず、ハイマツ(*Pinus pumila*)群落やミネズオウ(*Loiseleuria procumbens*)やガンコウラン(*Empetrum nigrum* var.



第2図 調査地点の状況

*japonicum*)などの低木群落が分布する(菊池・菅原、1978)。亜高山帯の大部分を占めるオオシラビソ林は、1000年前以前に分布を拡大したことが花粉分析学的研究によって明らかになっている(守田、1985)。

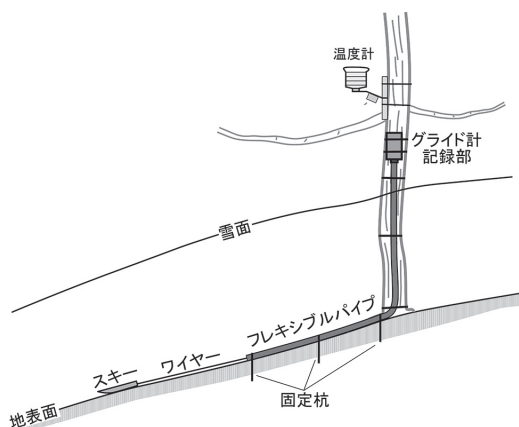
観測は蔵王火山西斜面の亜高山針葉樹林帯の下限に近い標高1,400m(38°07'5.8"N、140°25'50.4"E)地点で実施した。斜面の平均傾斜は16°である。本地点は樹高7mほどのオオシラビソが優占する林分に位置し、樹木の密度は高いが、林分の一部に、斜面長9m、幅8mの林冠ギャップがみられる(第2図)。ここでは、前者を林内、後者を林外とよぶ。林床にはチシマザサ(*Sasa kurilensis*)がおもに分布するが、その被度は低く、リター層が見えている。また、林床には落枝が多数みられ、倒木も存在する。

### Ⅲ. 調査方法

#### 1. 積雪グライド量の観測

高橋ほか(2014)が作成した積雪グライド計を参考に積雪グライド計を自作し、林内と林外にそれぞれ設置した(第3図)。

積雪グライド計は、記録部と可動部からなる。可動部は、ワイヤーを付けたプラスチック製のスキーを地表に置き、ワイヤーは塩化ビニル製のフレキシブルパイプを通して記録部に接



第3図 積雪グライド計の設置状況

続した。フレキシブルパイプは地表に直線状に這わせ、動かないように地表に杭で固定した。スキーの厚みは突起部で2.5cmである。

記録部はプラスチック製の箱のなかにスチール製コンベックスとインターバルカメラを設置して、コンベックスとワイヤーを接続した(第4図)。グライドが発生するとスキーが斜面下方に引きずられ、ワイヤーに接続したコンベックスが引き出されることになる。このコンベックスの目盛りをインターバルカメラで1時間おきに撮影し、グライド量を記録する。インターバルカメラはBrinno社のTCL200Proを用いた。記録部は雪面に埋もれない高さでオオシラビソの樹幹にゴムバンドで固定した。



第4図 積雪グライド計の記録部

## 2. 気温の観測

林内の積雪グライド計を設置した場所で気温の観測を実施した(第3図)。T&D社のサーミスター温度センサー付きデータロガー(TR-52)を用いて、60分インターバルで観測した。温度センサーの感温部への直射日光を遮るため、白色で自然通風が十分に可能な、直径12cm、高さ15cmの通風管を用いてセンサーを格納した(第3図)。なお、使用したサーミスター温度センサーの測定精度は、温度 $-20^{\circ}\text{C}$ ~ $80^{\circ}\text{C}$ の範囲で平均 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ である。

## 3. 積雪深の観測

林外の積雪グライド量の観測地点において、雪尺を立て、それをインターバルカメラで1時間おきに撮影して、積雪深の変化を記録した。

## 4. 積雪断面観測

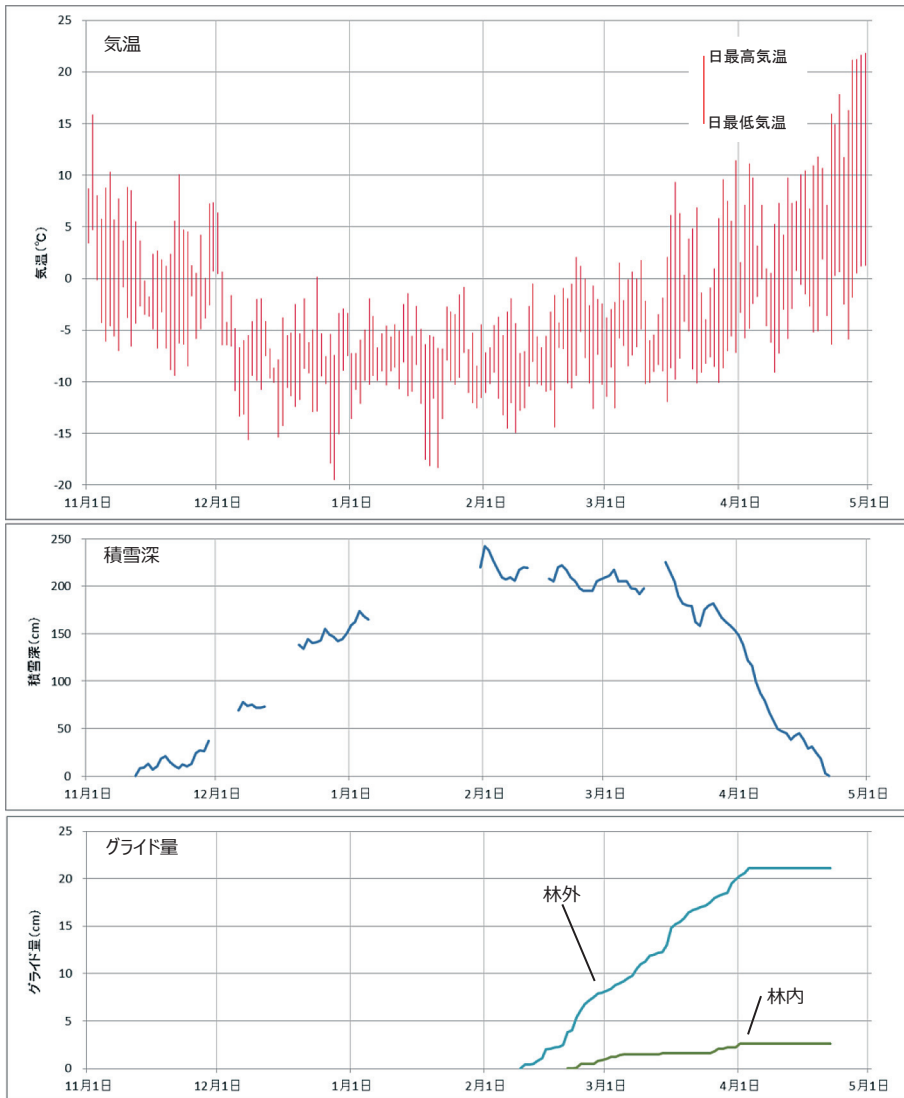
積雪深の観測地点の直近で、積雪断面の観測を4回実施した。積雪層の層位を記載し、積雪層の密度と雪温を3cm毎に測定した。

## IV. 観測結果

各観測は2014年11月1日に開始し、2015年5月10日に終了した。以下、観測項目毎に結果を述べる(第5図)。

### 1. 気温

第5図に日最高気温と日最低気温を示した。11月いっぱいには凍結融解のサイクルが認められるが、12月1日~2月21日はほぼ氷点下で推移した。2月22日には最高気温が $2.1^{\circ}\text{C}$ となり、それ以後は最高気温が $0^{\circ}\text{C}$ 以上の日が断続的にみられる。4月1日以降は、最高気温が $10^{\circ}\text{C}$ を越えるようになる。観測期間の2014年11月~2015年4月の6ヶ月間の平均気温は $-3.7^{\circ}\text{C}$ 、日最低気温は $-19.5^{\circ}\text{C}$ 、日最高気温は $21.9^{\circ}\text{C}$ である。気温の日較差の最大値は2015年4月27



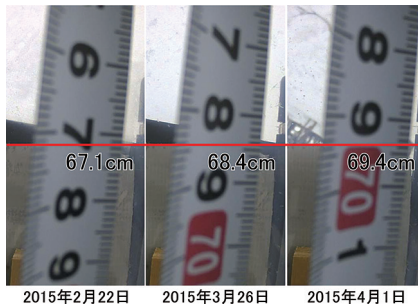
第5図 観測結果

日の23.0℃、最小値は2014年11月15日の1.9℃である。

## 2. 積雪深

2014年11月1日より積雪深の観測を開始したが、データは断続的に欠測した。積雪の開始は2014年11月13日で、積雪深は12月の中旬には100cmを超え、2015年1月初旬には150cmを超えた。最大積雪深は欠測があるため特定できない。しかし、12月～2月半ばの気温がほぼ氷

点下で推移していることから、この期間に大規模な融雪があったとは考えにくい。したがって、データが得られた期間のなかでの最大値がほぼ最大積雪深と考えてさしつかえないのではなかろうか。最大値は2015年2月1日の242cmであり、それに次ぐのが3月15日の225cmである。3月16日の降雪を最後に積雪深の増加はほぼみられず、積雪深は5cm～10cm/日の割合で減少する。積雪は4月21日に消失した。



第6図 グライド計観測例（林内）

### 3. 積雪グライド量

積雪グライドは、林内では2月21日に初めて生じた。以後3月5日まで断続的に滑動し、累積グライド量は1.5 cmとなった。3月5日～25日には滑動はほとんどみられず、3月26日～4月1日に1.0cm滑動して累積グライド量は2.6cmとなった（第6図）。

林外では、2月10日に初めて動き、2月14日に0.9cm/日、2月20日に1.3cm/日、2月24日に1.4cm/日と加速した後、速度が弱まるが、3月16日に1.9cm/日滑動した後、動きは収束した。累積グライド量は21.1cmであり、日平均で0.4cmの移動量であった。

### 4. 積雪断面観測

2015年2月16日、2月28日、3月21日、および3月29日に積雪断面観測を実施した（第7図）。観測結果を第8図に示す。

2月16日は、観測開始時の気温が $-5.4^{\circ}\text{C}$ であり、前述のように、気温が氷点下で推移している期間に含まれる。積雪層の層厚は201cmであった。雪質は大部分がしまり雪で、薄いざらめ雪の層や氷板を挟む。雪温は9cm深で最低の $-6.6^{\circ}\text{C}$ であり、全層氷点下であった。雪密度は最大で $465\text{kg}/\text{m}^3$ であり、全層の平均は $315\text{kg}/\text{m}^3$ であった。積雪水量は637.2mmである（第1表）。

最後の観測日である3月29日の積雪層の厚さ

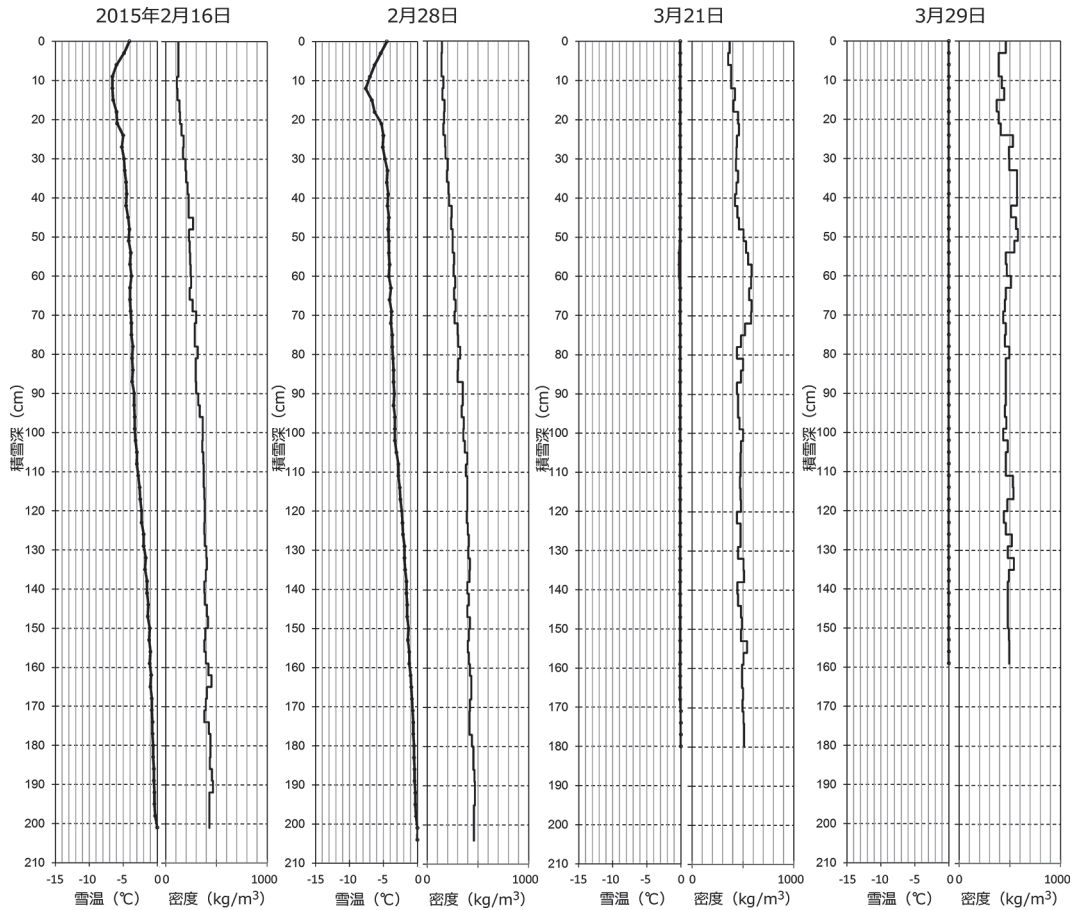


第7図 積雪断面観測の状況（2015年2月16日）

は159cmであった。雪温は全層 $0^{\circ}\text{C}$ となっている。最下部にしまり雪の層がみられる以外はざらめ雪からなり、多くの氷板を挟んでいた。雪密度は最大で $570\text{kg}/\text{m}^3$ であり、全層の平均は $478\text{kg}/\text{m}^3$ であった。積雪水量は760.0mmである。

## V. 考察

積雪グライドは、日平均気温が氷点下の期間でも緩慢に断続的に発生することが一般に知られている。しかし、本研究の観測地では、積雪期間の初期から中頃まで、積雪グライドは発生しなかった。オオシラビソ林のギャップである「林外」では、2月10日に初めてグライドが発生し、その後は日平均0.4cmの速度で緩慢に滑動した。一方、林内における積雪グライドは初めて活動した2月21日以降でも、その動きは極めて微弱で、断続的であった。これらの積雪グライドの動きが緩慢かつ断続的である理由は、斜面にそって雪をすべらそうとするせん断応力が地表面の抵抗力を上回らないためである。斜



第8図 積雪層の雪温と密度

第1表 積雪断面観測結果一覧

	積雪深 (cm)	平均密度 (kg/m <sup>3</sup> )	積雪水量 (mm)
2015年2月16日	201	317	637.2
2015年2月28日	204	332	677.3
2015年3月21日	180	476	856.8
2015年3月29日	159	478	760.0

面の傾斜角が16°と緩いこと、林床に落枝や倒木があるという観測地斜面の抵抗力に対し、積雪層の厚さと密度がせん断応力を十分に生み出すには至っていないのであろう。積雪期間の初期の積雪密度データが無いので明確とはいえないが、本観測地では積雪水量に換算して少なく

とも637mm程度の積雪がもたらされないと積雪グライドは発生し得ないのであろう。また、林内と林外の積雪グライド量の違いは、樹木密度、あるいは樹木断面積の違いによるものと考えられる。林内と林外のグライド量の差は、積雪の移動圧を林内の樹木が受け止めたために生

じたと言えよう。

今回観測された積雪グライド量は非常に小さな値であり、雪崩の前兆になったりするような現象ではない。少なくとも本観測地は雪崩の発生区になるようなことはないであろう。しかし、亜高山帯針葉樹林の動態との関係で考えると、それなりのインパクトを地表面に与えている可能性がある。林床に分布するオオシラビソの実生は高さ2～5cmで、根を非常に弱く張っている。これがほんの数cmとはいえ積雪底面で積雪に引きずられれば、根抜け、あるいは根切れは容易に生じうると考えられる。今回オオシラビソ林内で観測された積雪グライドは、雪崩の前兆となったり地形を変えるようなインパクトはもっていないものの、亜高山帯の植生分布やその動態を考える上で非常に重要な現象であると考えられる。

## VI. まとめ

自作の積雪グライド計を用いて、蔵王火山亜高山帯のオオシラビソ林において積雪グライド量の観測を実施した。その結果、積雪水量換算で少なくとも637mm程度の積雪がもたらされないと、本観測地点では積雪グライドが発生しないことが明らかとなった。また、その累積量も林内で2.6cm、林外で21.1cmとごく小さな値となり、雪崩の発生に結びつくような積雪層の動きは認められなかった。林床の落枝や倒木などがつくる観測地斜面の抵抗力に対し、観測値斜面の傾斜や積雪の重量がせん断応力を十分に生み出すには至らないのであろう。少なくとも本観測地が雪崩の発生区になるようなことはないと考えられる。一方、この微弱な積雪グライドは、オオシラビソの実生の生長などにはインパクトを与えている可能性がある。積雪グライドと亜高山帯針葉樹林の動態との関係は亜高山帯針葉樹林の成立機構を考えるうえで今後検討すべき重要な課題である。

## 謝辞

本研究は、新潟大学災害・復興科学研究所平成26年度共同研究費（課題番号2014-#6、代表者：佐々木明彦）、ならびに日本学術振興会学術研究助成基金助成金（課題番号24501288、代表者：佐々木明彦）を使用して行われた。ここに記して御礼申し上げます。

## 文献

- 相浦英春・嘉戸昭夫・長谷川幹夫（1996）：多雪山地におけるブナ林皆伐後の伐根の転倒にともなう表層崩壊の発生。日本林学会誌，78，150-156。
- 秋田谷英次（1974）：斜面積雪の挙動の研究3 接地面での雪の移動（グライド）。低温科学物理篇，32，97-104。
- 秋田谷英次・遠藤八十一（1985）：斜面積雪の挙動の研究18 融雪期における斜面積雪のグライド速度とクラックの発生。低温科学物理篇，43，49-57。
- 飯倉茂弘・栗原 靖・高橋大介・鎌田 慈・穴戸真也・河島克久・伊豫部勉・藤井俊茂（2013）：雪氷研究大会（2013・北見）講演要旨集，225。
- 小野寺弘道・若林隆三（1971）：雪圧に対応する樹木の生活形。雪氷，32，24-27。
- 片岡健次郎・佐藤正平（1959）：積雪による杉造林木の根曲について。雪氷，21，13-19。
- 菊池多賀夫・菅原亀悦（1978）：自然公園蔵王連峰の植生『蔵王国定公園・県立自然公園蔵王連峰学術調査報告』52-66。
- 佐伯正夫・若林隆三・渡辺成雄・大関義男・庭野昭二（1981）：豪雪地帯の森林伐採と雪崩。雪氷，43，15-20。
- 下川和夫・山田真理（1993）：札幌近郊山地における積雪の作用1 一中山峠周辺の積雪環境と樹木の根曲り現象一。札幌大学女子短期大学部紀要，21，3-19。
- 大丸裕武・大原偉樹（2004）：八幡平におけるパッチ状雪食地の形成過程。地形，25，341-358。
- 高岡宣雄・今野幸一・大場与志男・今田 正（1989）：蔵王火山溶岩のK-Ar年代測定。地質学雑誌，95，157-170。
- 高橋喜平・佐藤正平・片岡健次郎（1971）：多雪地帯の経済的治山工法の研究（第1報）復旧工法の試験（1）。林業試験場研究報告，238，31-75。
- 高橋大介・飯倉茂弘・佐藤亮太・穴戸真也・鎌田 慈・

- 栗原 靖 (2014) : 簡易なグライドメーターを用いたグライド観測. 雪氷研究大会 (2014・八戸) 講演要旨集, 173.
- 塚原初男・大谷博捕・須藤昭一 (1996) : 豪雪地のスギ林における斜面雪圧の推定と軽減 (1) —積雪の流動と積算雪圧—. 山形大学紀要 (農学), **11**, 219-234.
- 納口恭明・山田 稔・五十嵐高志 (1986) : 全層なだれにいたるグライドの加速のモデル. 国立防災科学技術センター研究報告, **38**, 169-180.
- 松山 洋 (1998) : 巻機山における積雪密度・積雪水当量の季節変化と高度分布. 水文・水資源学会誌, **11**, 117-127.
- 守田益宗 (1985) : 蔵王山の亜高山帯における植生変遷. 日本花粉学会会誌, **31**, 1-5.
- 八木浩司 (2005) : 舟形・蔵王火山群. 小池一之・田村俊和・鎮西清高・宮城豊彦編『日本の地形3 東北』東京大学出版会, 169-176.
- 山田 譲 (1977) : 斜面積雪グライドの新測定法. 国立防災科学技術センター研究報告, **18**, 85-115.
- 山田知充・西村 寛・水津重雄・若浜五郎 (1979) : 大雪山旭岳西斜面における積雪の分布の堆積・融雪過程. 低温科学物理篇Series A, **37**, 1-12.