

新潟大学災害・復興科学研究所
共同研究報告書

表題 斜面積雪を安定・不安定化する積雪樹木間の力学的相互作用の定量評価

研究代表者氏名 勝島 隆史¹⁾
研究分担者氏名 河島 克久²⁾
松元 高峰²⁾
宮下 彩奈³⁾
竹内 由香里¹⁾
佐々木 明彦⁴⁾
伊豫部 勉⁵⁾

1) 森林総合研究所 2) 新潟大学災害・復興科学研究所 3) 栃木県林業センター
4) 信州大学 5) 京都大学

研究要旨

全層雪崩の発生や、積雪地帯の造林、樹木植生の生存戦略に対して影響を与える斜面積雪と樹木間の力学的相互作用を解明するために、匍匐した状態の灌木が高密度に成育する雪崩斜面において、斜面中の樹木の変形、埋没倒伏状態の非破壊計測を実施するとともに、斜面積雪と樹木の力学状態について考察を行った。研究の結果、測定した全ての木の樹幹において弾性限界を超えるひずみ量が発生していた。また、積雪のグライド速度が加速し始める時点以前においては、観測した全ての木の樹幹が地面の位置まで倒伏したことで樹木の群杭効果による抵抗力が減少したと推測された。これらのことから、今回のような雪崩斜面においては、樹木が立木として成長することは非常に困難であることが示唆されるとともに、全層雪崩の発生予測には斜面積雪と樹木の力学状態の時間変化を定量的に把握していくことが極めて重要であることが示唆された。

A. 研究目的

斜面上の樹木は、重力による斜面積雪の移動に対して抵抗力として作用することで積雪の移動を抑制する安定化作用を持つとともに、積雪内に埋没・倒伏した場合には滑らかな抵抗力の少ない斜面状態を形成するため、積雪の移動を助長させる不安定化作用を持つ。一方で、積雪の移動量が多い斜面においては、樹木は斜面積雪から極めて大きな荷重を受けるため、樹木の生存や高木化が困難となる。このように、斜面積雪と樹木とは力学的に相互に作用する関係となっていることから、全層雪崩の発生予測や、積雪地帯の造林、樹木植生の生存戦略を精緻に考えるには、斜面積雪と樹木間の力学状態を総合的に評価する必要がある。しかしながら、実際の斜面形状や樹木の生育状態は非常に複雑であることに起因して、これ

らを総合的に計測した事例はこれまでにない。

本研究では、斜面積雪と樹木との力学的相互作用を現地計測により定量評価する手法を開発することを目的として、斜面中の樹木の変形、埋没倒伏状態の非破壊計測を実施するとともに、それらの力学状態について考察を行った。あわせて、斜面積雪の斜面下方向の移動量（グライド量）の測定を実施し、樹木による積雪の安定化効果について考察した。

B. 研究方法

新潟県魚沼市大白川の破間川左岸に面した斜面において、水平方向に幅約5m、斜面傾斜方向に50mの調査区を設定し、研究を実施した。

積雪内部での樹木の埋没・倒伏状態を測定し、

樹木の持つ斜面積雪の移動の抑制効果を推測するために、ひずみゲージを用いて匍匐した状態で成育する灌木の樹幹に発生するひずみ量の測定を実施した。調査区内に成育する木本に対して、地際から 1m 程度の位置(樹幹直径 4-6cm)に、ひずみゲージ(東京測器, FLA-5-11-5LJRA)を樹幹の山側と谷側に各 1 枚接着し、30 分間隔でひずみ量を測定した(同, MD-111, NSW-024C)。ひずみゲージは、斜面上部から約 10m の位置に株立ちした状態で成育するマンサク(4 本)と、同じく約 20m の位置のヒメヤシャブシ(4 本)に設置した。測定期間は、2017 年 12 月 4 日から 2018 年 4 月 20 日とした。同時に、斜面積雪のグライドと樹木の倒伏との関係を推測するために、グライドメータによる積雪のグライド量を測定した。さらに樹木と積雪の状態を稜線上の 2 箇所を設置したインターバルカメラで監視するとともに、斜面对岸にあたる破間川右岸の平坦地に設けた観測露場で、各種の気象・積雪観測を実施した。また上記の調査に先んじて、サイト内の簡易地形測量および毎木調査を実施し、斜面傾斜角や生育する木の樹種や樹形、分布を記録した。毎木調査では地際の直径が 3cm 以上の木のみを測定した。

C. 研究結果

表 1 および図 1 に、対象斜面の毎木調査の結果を示す。表 1 は本数の多い樹種の上位 5 種の結果を示しており、多雪急傾斜地に適応する低木性樹種が多く成育していた。図 1 より、成育する木のほとんどは地際の直径が 10cm 以下であり、直径の増加に伴い、成育する本数は減少していた。立木密度は 1.2(本/m²)であった。これらのことから対象とした雪崩斜面では、直径の小さな低木性樹種が極めて高密度に成育していた。

表 1 調査区に成育する樹種と本数

樹種	n
ヤマモミジ	69
リョウブ	46
マンサク	42
アブラチャン	20
ヒメヤシャブシ	17

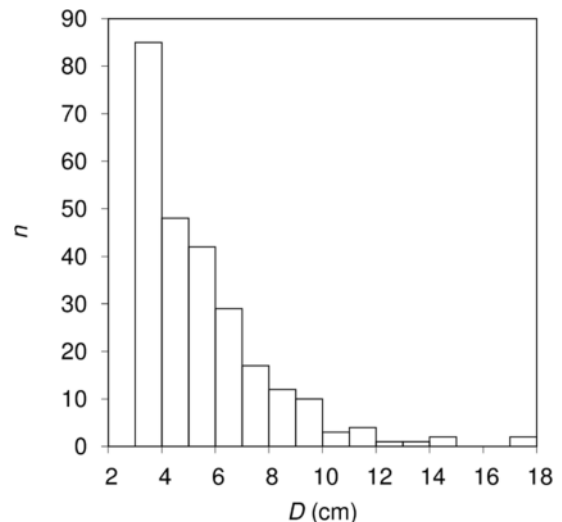


図 1 地際直径の頻度分布

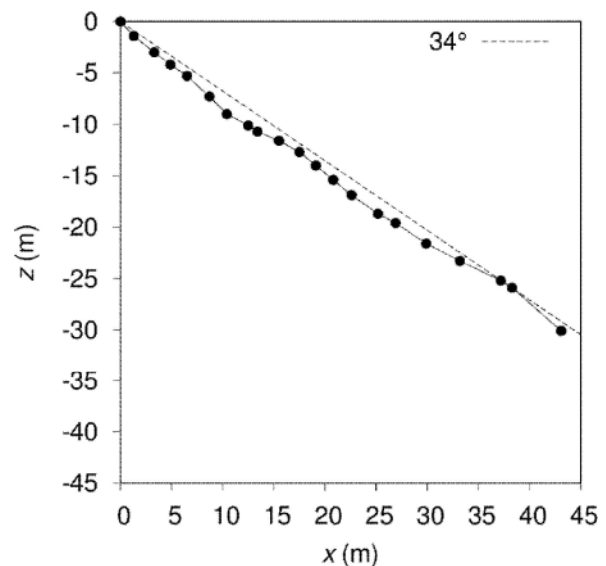


図 2 調査区の地形の縦断面図

また図 2 に簡易地形測量により得られた地形の縦断面図を示す。調査地は、これまでに発生した全層雪崩の発生区にあたる箇所である。平均斜度は 34° であるが、斜面中に小さな起伏が存在しており、傾斜の急な個所は 45° 程度、緩い箇所は 25° 程度であった。

図 3 に、大白川観測露場における積雪深と融雪ライシメーターを用いて計測した積雪底面流出量、そして雪崩斜面上部におけるグライド量と広葉樹の樹幹傾斜 (No. 1)、傾斜を計測した木の周辺における表層地温の時間変化を示す。なお、樹幹傾斜は幹が鉛直上向きするとき 0°、水平に倒れて 90°、そして地表面傾斜が約 40° なので、地

表まで完全に倒伏した場合の値は 130° 前後となる。インターバルカメラの画像から、傾斜計が積雪に完全に埋もれたのは 12 月 28 日であり、それ以前の期間において樹幹傾斜が小さな変動を繰り返すのは、降雪時に幹や枝に冠雪が発達すると傾斜が大きくなり、冠雪が落ちると元へ戻るという過程を示すことが分かった。12 月末から、木の先端まで完全に埋雪した 1 月末までの期間には、傾斜計より先の部分の幹が降雪の際に傾きながら埋雪することで、傾斜計部分の樹幹傾斜も増加している。木全体が雪に埋もれてしまうと、傾斜の変化はそれ以前より小さくなるが、積雪層の圧密に伴う樹幹傾斜のわずかな増加は続いている。積雪のグライドは 1 月下旬頃から始まり、3 月に入ると次第に活発になる。この時期に、樹幹傾斜の増加は再び大きくなっているが、このことは、グライドに伴う「抜け出し」が起こって倒伏が進むことを示すと考えられる。3 月下旬になると傾斜は 130° 近くに達して、地表面まで完全に倒伏したことが分かる。

次に、図 4 に斜面上部に成育するマンサクにおけるひずみ量の時間変化を示す。測定により得られたひずみ量より、幹の変形は積雪期の初期から、おそらく冠雪の影響を受けながら速やかに起こった。その後、ひずみ量には、増減の少ない個体と（図 4 上）、増加傾向の個体とが（図 4 下）みられた。これらは、初期の冠雪で地面に完全に倒伏している個体と、若干浮いた状態で倒伏し、積雪期後半に向かって倒伏度合いを増していった個体を表しているものと思われる。また、同一の木の樹幹の山側と谷側で、1.5~2 倍程度のひずみ量の差が生じており、どちらの木においても谷側でひずみ量が大きく、山側で小さな値となっていた。これは、過去に木が積雪から受けた外力によって生じる生理学的反応により、樹幹の山側の木部において「あて材」が形成されたことで、山側のヤング率が大きくなったためと推測される。図 4 下より、グライドが始まった 1 月下旬からひずみ量が増加し、グライド速度が加速し始めた 3 月下旬にひずみ量が最大となった。3 月下旬以降においては、樹幹傾斜の振る舞いと同様に、それまでは比較的安定していたひずみ値が不安定になった。その後、大幅な増減はなく、4 月 5 日の雪崩発生後に一気にゼロに近い値まで回復した。

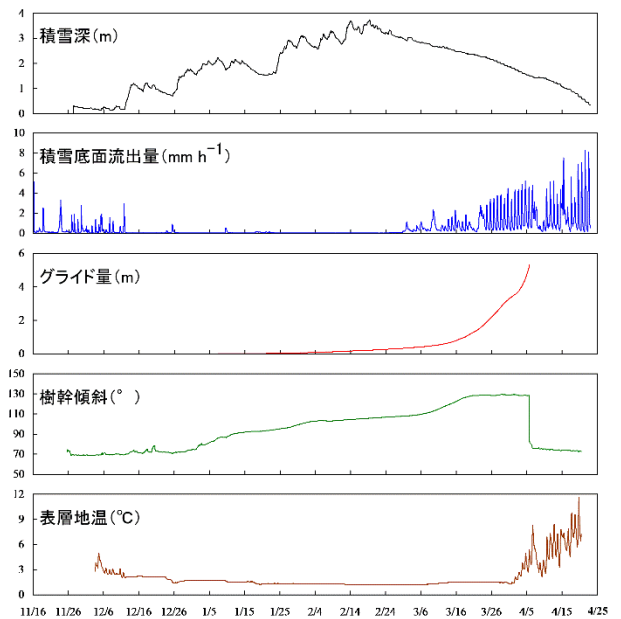


図3 2017/18冬季における大白川観測露場での積雪深・積雪底面流出量と、雪崩斜面上部でのグライド量・樹幹傾斜・表層地温の時間変化

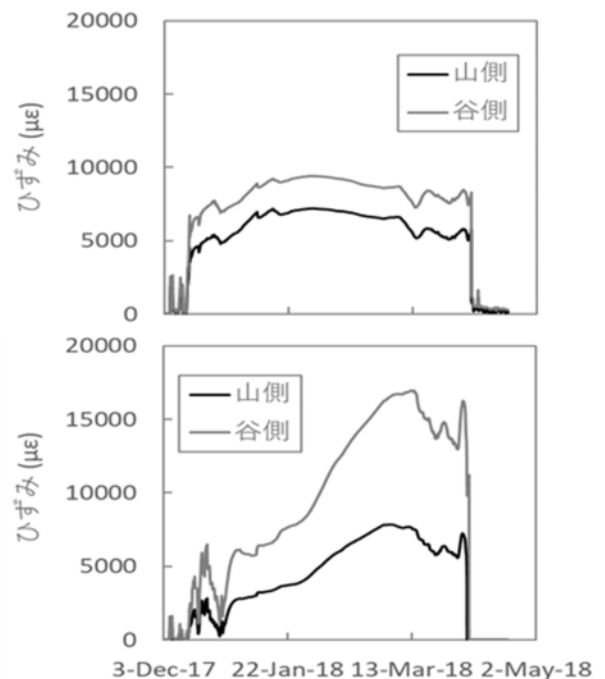


図4 斜面上部に成育するマンサクのひずみ量の時間変化。上：ゲージ部直径 4.1 cm。下：同直径 5.7 cm の個体。

D. 考察

木本の生育に影響を与える要因として、まず積

雪期の初期に地面の位置まで倒伏するかどうか
が重要であるといえる。例えば図4下に示した木の
ひずみ量の時間変化では、積雪の初期に大きな
ひずみ量が生じ、更にグライドの進行に伴いひず
み量は増加しているが、図4上の木では積雪の初
期において幹が地面の位置まで倒伏しており、こ
の時期にひずみ量は最大値となっていた。これら
によって生じるひずみ量は、積雪の初期に地面の
位置まで倒伏した木の方が小さい値であった。そ
のため、今回のような多雪急傾斜地において匍匐
した状態で成育する樹木は、樹幹が倒伏すること
により雪圧を受け流すことで、雪圧による外力環
境に適応しているものと推測される。一方で、幹
の成長などにより幹曲がりが増加し、倒伏が不
十分であった場合、雪圧によってより大きなス
トレスにさらされる危険性が増すと考えられる。

これまでの本研究参加者らの研究結果より、多
雪地の樹木の曲げにおける弾性限界はひずみ量
で5000 ($\mu\epsilon$)であることが示されており、この値
と比較して、今回の計測では全ての個体において
幹が弾性限界を超える変形を強いられていた。こ
のことは、雪圧による倒伏による曲げによって、
樹幹には雪圧が開放された以降もクリープが残
存する状態となることから、根曲がりが増加
することを示している。よって、今回のような雪
崩斜面では樹木が立木として成長することは非
常に困難であると考えられる。

次に、樹木が斜面積雪の移動を抑制する効果に
ついて推測する。図3および図4に示した樹幹傾
斜量およびひずみ量の測定結果より、3月下旬よ
りも以前の時期においては、いくつかの樹木は地
面の位置まで樹幹が倒伏しておらず、このような
倒伏状態では樹木の群杭効果によって積雪の移
動に対して抵抗力を発揮するものと推測される。
一方で、観測した全ての木の樹幹が地面の位置ま
倒伏したと推測される3月下旬以降においては、
これと時期を同じくしてグライド速度が加速し
始めている。このことは、樹木の倒伏と積雪から
の「抜け出し」によって、樹木が積雪の移動に対
して与える抵抗力が減少したものと推測される。

E. 結論

全層雪崩の発生や、積雪地帯の造林、樹木植生
の生存戦略に対して影響を与える斜面積雪と樹

木間の力学的相互作用を解明するために、匍匐し
た状態の灌木が高密度に成育する雪崩斜面にお
いて、斜面中の樹木の変形、埋没倒伏状態の非破
壊計測を実施するとともに、斜面積雪と樹木の力
学状態について考察を行った。研究の結果、測定
した全ての木の樹幹において弾性限界を超える
ひずみ量が発生していた。また、積雪のグライド
速度が加速し始める時点以前においては、観測し
た全ての木の樹幹が地面の位置まで倒伏したこ
とで樹木の群杭効果による抵抗力が減少したと
推測された。これらのことから、今回のような雪
崩斜面においては、樹木が立木として成長するこ
とは非常に困難であることが示唆されるとともに、
全層雪崩の発生予測には斜面積雪と樹木の力
学状態の時間変化を定量的に把握していくこと
が極めて重要であることが示唆された。

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

松元高峰, 河島克久, 勝島隆史, 宮下彩奈, 伊
豫部勉, 渡部 俊 (2018) : 雪崩斜面における樹
木の倒伏過程と降積雪およびグライドとの関係,
2018 年度日本雪氷学会北信越支部研究発表会,
2018 年 6 月 (予定), 富山県立大学

宮下彩奈, 松元高峰, 河島克久, 勝島隆史
(2018) : 雪崩斜面における積雪期間中の樹木の変
形モニタリング, 2018 年度日本雪氷学会北信越支
部研究発表会, 2018 年 6 月 (予定), 富山県立大学

G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし