

グライドと全層雪崩発生とに及ぼす低木広葉樹の倒伏過程と初冬の気象条件の影響

ー3 冬季データの比較からー

○松元高峰¹・勝島隆史²・宮下彩奈³・小田憲一⁴・河島克久¹

(1:新潟大学災害・復興科学研究所 2:森林総合研究所十日町試験地 3:森林総合研究所 4:日本大学理工学部)

1. はじめに

急斜面に生育する樹木と積雪との力学的相互作用を解明することは、全層雪崩発生へとつながる積雪の不安定化の過程を知る上で極めて重要であり、これまでに遠藤・秋田谷(1977)や山野井(2005)が、ササや樹木の倒伏過程とグライドなどとの関係を、現地観測や実験に基づいて議論している。著者らは、新潟県魚沼市大白川において、雪崩斜面における積雪動態や低木広葉樹の埋雪・倒伏過程などの観測を4冬季にわたって観測しており、2017/18年冬季における倒伏過程と降積雪およびグライドとの関係については、すでにその結果を報告している(松元ら, 2018; 松元, 2020)。

本研究では、2017/18年冬季のデータと、それ以降の(積雪の極端に少なかった2019/20年冬季を除く)2冬季のデータを比較することによって、低木広葉樹の倒伏過程と降積雪条件、グライド、全層雪崩の発生との関係を整理し、その特徴を見出すことを目的とする。なお、全層雪崩の発生には、その直前時期における積雪の状態とその変化も大きく影響すると考えられるが、本研究では、主に初冬(積雪季の初期)における気象条件と倒伏過程とに注目して議論を行なうことにする。

2. 研究方法

現地観測は、新潟県魚沼市大白川の破間川左岸に面した斜面で実施した。この斜面は主に匍匐した樹形をもつマルバマンサク・ヤマモミジ・ハンノキ類などの低木広葉樹に覆われており、斜面上部の傾斜は30~45°程度である。

2017/18年冬季以降、稜線から約10 m下方に生えている同一のヤマモミジなど、複数の広葉樹に自記傾斜計を設置して、積雪季における樹幹傾斜の変化を計測している。同じ斜面では、ほかに広葉樹の幹の変形、積雪のグライド量、地温などの計測も継続して実施している。さらに、樹木と積雪の状況を稜線上の2カ所に設置したインターバルカメラで監視するとともに、破間川右岸の平坦地に設けた観測露場では、各種の気象・積雪観測を実施した。

3. 結果と考察

3. 1 降積雪・グライド・全層雪崩発生の状況

図1に、大白川観測露場における3冬季間の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ヤマモミジの樹幹傾斜の時間変化を示す。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。また、2020/21年冬季については、傾斜計の取り付け位置が少し変わった関係で、無雪期の傾斜や完全に倒伏したと考えられる時季の傾斜が、ほかの2冬季よりも10°ほど大きくなった。そこで、図1やこれ以降の議論では、便宜的に計測値から10°を引いた値を用いることにする。

2017/18年冬季は、12月中旬に平坦地の観測露場における積雪深が1 m近く増加するような大雪があった後、積雪が次第に増加して2月中旬に最大積雪深(3.74 m)に達した。この積雪深の推移は、2020/21年冬季の場合とかなり似か

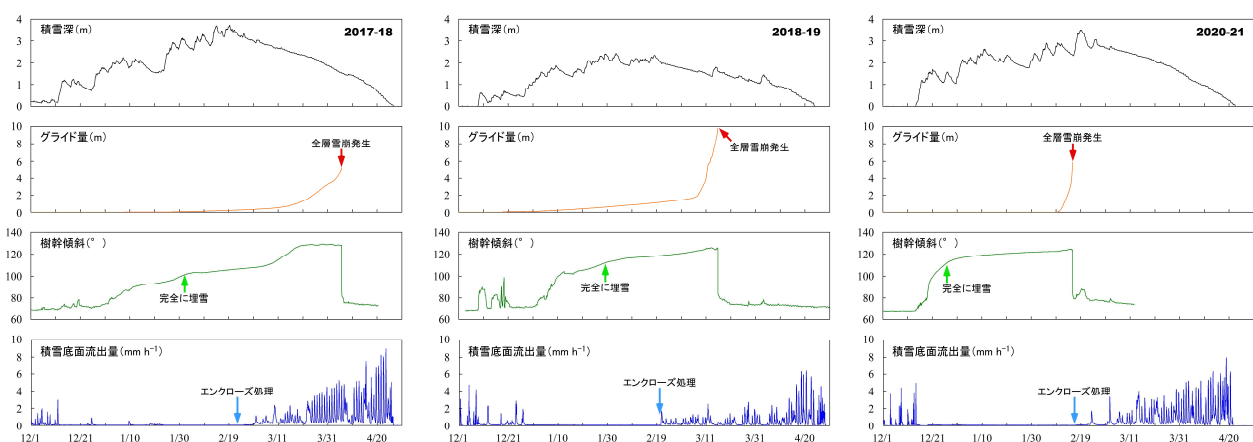


図1 2017/18年冬季, 2018/19年冬季, 2020/21年冬季における、大白川観測露場での積雪深・積雪底面流出量と、雪崩斜面上部でのグライド量・ヤマモミジの樹幹傾斜の時間変化。

っている。12月中旬に積雪なしの状態から一気に1.5 mに達する大雪があり、その後、最大積雪深は同じ2月中旬に3.51 mを記録している。これらに対して、2018/19年冬季は12月上旬から少しずつ積雪深が増えてゆき、急激な増加はないまま2月上旬に最大積雪深(2.43 m)を記録した。

一方、グライド量の推移と全層雪崩の発生日には、年ごとに顕著な違いがみられた。2017/18年冬季は1月下旬ころから徐々にグライドが始まり、融雪水の底面への供給が連続し始める3月になって次第に活発になっていく。そして4月5日になって全層雪崩が発生した。2018/19年冬季は、早くも1月初旬からグライドが始まり、2月下旬までは徐々に進行していった。そして3月上旬になるとグライドは急激に活発化し、3月15日には雪崩の発生に至った。2020/21年冬季の場合は、2月上旬までグライドは全く発生しておらず、2月10日からいきなり急速なグライドが始まったかと思うと、5日後には一気に雪崩の発生にまで至った。

3.2 低木広葉樹の埋雪・倒伏状況

斜面上部に生えているヤマモミジの樹幹傾斜の時間変化も、年ごとに著しい違いを示した。

2017/18年冬季の場合、12月中旬の大雪に際して、冠雪の発達と落下に伴う小刻みな傾斜変化は見られたが、埋雪して大きく幹が傾くことはなかった。その後、1月初旬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樹幹傾斜の増加が続き、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った。3月に入ると傾斜の増加はふたたび活発になる。このことは、グライドに伴う「抜け出し」(遠藤・秋田谷, 1977)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°近くに達しており、地表面まで完全に倒伏したと考えられる。その後、全層雪崩が発生するまでの間には、樹幹傾斜の小さな増減がみられた。

2018/19年冬季では、やはり1月初旬から、積雪増加に対

応する大きな傾斜変化が続いて、1月中旬には100°を超えた。その後は緩やかな傾斜の増加が3月上旬まで続き、3月10日には125°に達した。雪崩発生の3日前くらいからは、2017/18年冬季と同様に樹幹傾斜の小さな増減がみられた。

そして2020/21年冬季では、(2017/18年冬季とは違って)12月中旬の大雪の際に一気に埋雪して倒伏が進み、1月中旬の段階で、ほぼ地表面近くまで倒伏したと考えられる状態に達してしまった。その後の変化は極めて緩やかであるが、雪崩発生前の数日間には改めて樹幹傾斜が少し増加していた。

3.3 降積雪状況・倒伏過程・グライドの関係

上にみたように、積雪深の推移には年によってそれほど大きな違いがなかったにも関わらず、樹幹傾斜とグライド量の推移には年ごとに著しい違いがあった。これら3つの要素の間にはどのような関係があるのか、既存の知見を踏まえながら整理してみることにする。

初冬の最初の大雪で低木広葉樹が一気に埋雪・倒伏してしまった2020/21年冬季には、極めて短期間で地表近くまでの倒伏が進んだ。積雪のない状態から、樹木が新雪層に取り込まれて急激に倒伏する場合、新雪層の圧密によってもさらに倒伏が進むと考えられるので、地表近くまで一気に傾くことが可能であったのであろう。これに対して、18/19年冬季の場合は0.5 m前後の積雪深になった後から、また17/18年冬季の場合には1 m以上の積雪深になった後から、埋雪・倒伏が始まっている。これらの場合には、たとえ大雪の際にかなり倒伏が進んだとしても、下位の積雪層を超えて一気に倒伏することは難しいであろう。したがって、グライドが少しずつ進み始めてから、幹や枝の「抜け出し」過程を経た上で、ようやく地表面付近まで倒伏することになるものと考えられる。以上の結果は、これまでに指摘されてきたような、「初雪が大量に積もってそのまま根雪になると、植生は最初から地面に倒伏してしまう。この場合は全層雪崩の発生が稀な斜面

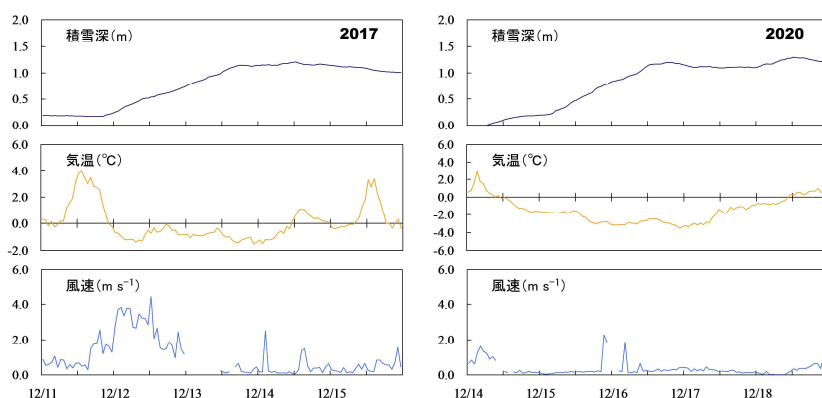


図2 2017年12月11日～15日と2020年12月14日～18日における、大白川観測露場での積雪深・気温・風速の時間変化。



図3 雪崩斜面上部における低木広葉樹の冠雪状況。

でも発生に至ることがある。一方、少しずつ積雪が増加していく場合には、植生は倒れたり起き上がったりしながら、最終的には積雪層の中にがっしりと食い込み、滑り抵抗は大きくなる。このような年では、長期間にわたって植生が雪を支えることになり、雪崩が起こることになるとしても融雪がかなり進んでからということになる」(例えば秋田谷ら, 2002)という知見を、具体的な計測データの形で裏付けるものだということができる。

一方で、3 冬季に共通している特徴としては、樹幹傾斜が $120^{\circ}\sim 130^{\circ}$ に達してはじめて、グライドの急速な進行や全層雪崩の発生につながるという点が挙げられる。このことは斜面上のほとんどの樹木が地表面まで完全に倒伏することが、グライドを促進する条件となることを示している。ただし、2018/19 年冬季と 2020/21 年冬季の場合には、その条件に達するとすぐにグライドが急速に進行して雪崩の発生に至ったのに対して、2017/18 年冬季の場合は、樹幹傾斜が 130° 近くに達しても、ほかの 2 冬季ほどの急速なグライドの進行はみられず、雪崩の発生までには約半月を要している。その原因についてはまだ分かっていない。

3. 4 初冬の大雪時の気象条件が及ぼす影響

ところで、2017/18 年冬季の場合、2020/21 年冬季と同じように、12 月中旬にかなりの大雪が降ったにも関わらず、なぜ低木広葉樹は全く埋雪・倒伏しなかったのであろうか。

図 2 に、両年の 12 月中旬における大雪前後 5 日間の積雪深、気温、風速の時間変化を示す。また図 3 の画像は、インターバルカメラで撮影した、2017 年 12 月 12 日午後と 2020 年 12 月 15 日午後とにおける、斜面上部の植生(樹幹傾斜を計測したヤマモミジの木を含む)の状況を示している。

両期間における積雪深の増加傾向は(大雪以前に 20 cm 程度の積雪があったか無かったかを除けば)ほぼ同じだが、図 3 に見られるように、2017/18 年冬季の場合は低木広葉樹への冠雪量が少なく、幹はあまり傾いてはいない。一方で、2020/21 年冬季の場合は、幹や枝に多量の冠雪が載っており、かなり傾いている木も多い。この冠雪状況の大きな違いが、埋雪・倒伏における大きな差につながったものと考えられる。

それでは、冠雪量の違いを生じた原因は何だろうか。気温については、両期間とも降り始めころにプラスからマイナスに低下し、その後は降雪期間を通じてマイナスであった。その一方で風速を比較してみると、とくに降雪期間の前半において、2020/21 年冬季よりも 2017/18 年冬季の方がかなり大きかったことが図 2 から分かる。すなわち、強風による頻繁な冠雪の落下のために、2017/18 年冬季の場合には、大雪に際しても埋雪・倒伏が全く進まなかったのであろう。このことは、「初雪が大量に積もってそのまま根雪になる」場合であっても、降雪時の気象条件によっては樹木への冠雪量が少なく、倒伏に至らないことがあることを示す。したが

って、(草本やササではなく)低木広葉樹に覆われる雪崩斜面の場合には、単に初冬の降雪量だけではなく、冠雪(着雪)の形成・発達に関わる気温や風速などの気象条件も、その後のグライドの進行や全層雪崩の発生に影響を及ぼすということが明らかとなった。

4. まとめ

新潟県魚沼市大白川の低木広葉樹に覆われた雪崩斜面上で、2017/18 年、2018/19 年、2020/21 年の 3 冬季において実施した積雪動態や低木広葉樹の埋雪・倒伏過程などの観測データを比較した結果、積雪深の推移には年によってそれほど大きな違いがないにも関わらず、樹幹傾斜とグライド量の推移、全層雪崩の発生日には年ごとに著しい違いが生じていることが分かった。そして、初冬における降雪量と降雪時の気象条件の違いが、低木広葉樹の埋雪・倒伏過程に大きな差を生み、それが冬季を通じてのグライドの進行や全層雪崩の発生にまで影響を及ぼすことが明らかとなった。

謝辞

現地調査にあたっては、魚沼市大白川の浅井隣一さんをはじめとして多くの方々の御協力をいただきました。記して御礼申し上げます。また、本研究の一部は JSPS 科研費 18K18918、および新潟大学災害・復興科学研究所共同研究の助成を受けて実施されました。

文献

- 秋田谷英次, 成瀬廉二, 尾関俊浩, 福沢卓也(2002): 雪崩の発生メカニズム. 北海道雪崩事故防止研究会編: 決定版 雪崩学, 山と溪谷社, 39-64.
- 遠藤八十一, 秋田谷英次(1977): 笹地斜面における積雪のグライド機構 I. 低温科学 物理篇 **35A**, 91-104.
- 松元高峰(2020): 深い雪の中で形を変えて生きる低木広葉樹. 森林科学, **88**, 16-20.
- 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. 雪氷北信越, **38**, 28.
- 山野井克己(2005): 豪雪山地の低木広葉樹林が斜面積雪の安定性に及ぼす効果. 寒地技術論文・報告集 **21**, 269-275.