

南アルプス大規模雪崩跡地の初期森林回復にキイチゴ類繁茂が及ぼす影響

信州大学大学院 総合理工学研究科 修士2年 ^{ながた}永田 ^{ひろむ}紘夢

はじめに

雪崩は、高山帯における主要な攪乱のひとつです (Holtmeier et al. 2018)。近年、地球温暖化の進行に伴い、雪崩の大規模化が懸念されています (Katsuyama et al. 2020)。大規模な雪崩は広範囲にわたる森林破壊をもたらす、生態系に大きな影響をおよぼします。しかし、日本においては、大規模雪崩後の森林回復過程に関する研究事例は限られています (Kajimoto et al. 2004)。

これまでの雪崩後の森林回復過程は地表攪乱強度によってパターンが分けられています (梨本・石井 1999; 梨本ら 1999)。富士山の亜高山帯における雪崩後の森林回復では、弱度の攪乱では林冠層が破壊されますが、林床は破壊されず、シラビソの前生稚樹が残存します。その後、前生稚樹が成長することで、森林はシラビソ林として回復します。一方、中度および強度の攪乱を受けた雪崩跡地では、林冠層と林床の両方が破壊され、中度の攪乱地ではダケカンバが、強度の攪乱地ではカラマツが主体となって回復します。しかし、ダケカンバやカラマツは雪崩後に雪崩跡地へ侵入した後生樹であるため、前生稚樹が残存した場合と比較すると、森林回復には大きな遅れが生じます。さらに、雪崩後の林床に競合植生が存在する場合、回復過程はより複雑になります。例えば、八幡平では雪崩後にササ類が速やかに再生し、後生樹の更新を阻害することが報告されています (Kajimoto et al. 2004)。この場合、ササよりも背の高い数少ない前生稚樹が、森林回復を主導すると考えられます。

また、地球温暖化による攪乱レジームの著しい変化は、森林生態系を別の安定状態へ移行させる可能性があります (Johnstone et al. 2018)。その一例として、陽性高木種が更新・成長する前に低木や草本が一面に繁茂し、遷移が停滞する「アレステッドサクセッション」が挙げられます (Soto and Puettmann 2020)。多くの研究により、攪乱の大規模化がアレステッドサクセッションへの移行と正の相関を示すことが指摘されています (Reyer et al. 2015)。そのため、大規模雪崩跡地においては従来とは異なる森林回復プロセスが示される可能性があります。

2017年に南アルプス^{やぶさわ}藪沢で発生した雪崩は、約4.1haにわたる森林被害をもたらした大規模なものでした。雪崩跡地は、外縁と中央付近で地表攪乱強度が異なることから、「林縁部」と「走路部」の2つに区分されます (宮城 2022)。このうち、林縁部では雪崩後に生残した前生稚樹の密度が高かったことから、前生稚樹主体の森林回復が予測されました。一方、走路部では前生稚樹は雪崩によってほとんど消失しました。さらに、雪崩跡地にはキイチゴ類が侵入し、広範囲に繁茂しました。キイチゴ類は、雪崩後の森林回復において後生実生（雪崩後に更新した実生）と競合する植生であり、その抑制的な効果が強い場合には、アレステッドサクセッションが進行する可能性もあります。本研究では、後生実生の更新状況とキイチゴ類群落の繁茂状況をもとに、雪崩後7年目における森林回復段階を明らかにし、その後の森林回復について考察することを目的としました。



写真-1 藪沢雪崩跡地走路部の様子

1 調査地と方法

(1) 藪沢雪崩跡地の概況

調査地とした藪沢雪崩跡地は南アルプス仙丈ヶ岳の東斜面、長野県伊那市黒河内国有林内に位置します。雪崩発生時期は2017年の2月と推定され、発生した雪崩は標高2716mから1850mまで流下し、4.1haの森林被害をもたらしました。周囲の森林はシラビソ、オオシラビソ、コメツガ、トウヒが優占しダケカンバ、カラマツなどが混交する亜高山帯針葉樹林でした。また、周囲の森林の林床は主にコケに被覆され、ササ類は確認されていません。

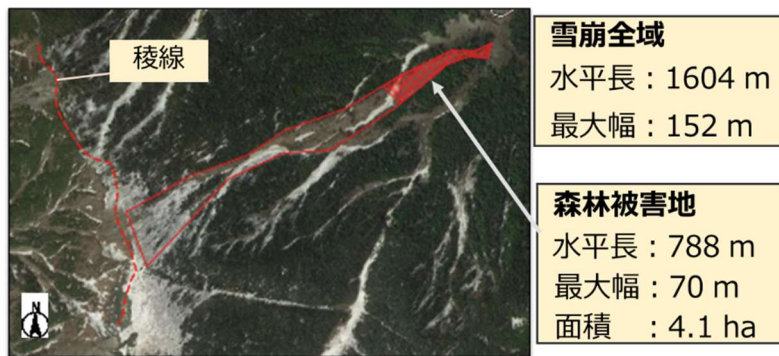


写真-2 藪沢雪崩の流路・森林被害面積

雪崩跡地は、雪崩によって森林が破壊され、林冠木が一切残っていません。破壊された林冠木は幹折れや根返りを起こし、地面に堆積しています。雪崩跡地内には、クマイチゴ、ミヤマニガイチゴ、エビガライチゴ、ミヤマウラジロイチゴ、シナノキイチゴなどが繁茂しています。

(2) ラインプロット

雪崩跡地を横断するように、3本のラインプロットを設置し、斜面上部から順にライン1、ライン2、ライン3としました（写真-3）。各ラインの標高は順に2000m、1990m、1960mであり、長さはそれぞれ56m、60m、60mです。ラインの始点は、非攪乱森林部との境界に設定しました。ライン上には、2m間隔で1×1mの方形区を設置しました（図-1）。本研究では、走路部に該当する方形区を対象に解析を行いました。走路部に該当する方形区の数、ライン1が23個、ライン2が19個、ライン3が15個でした。

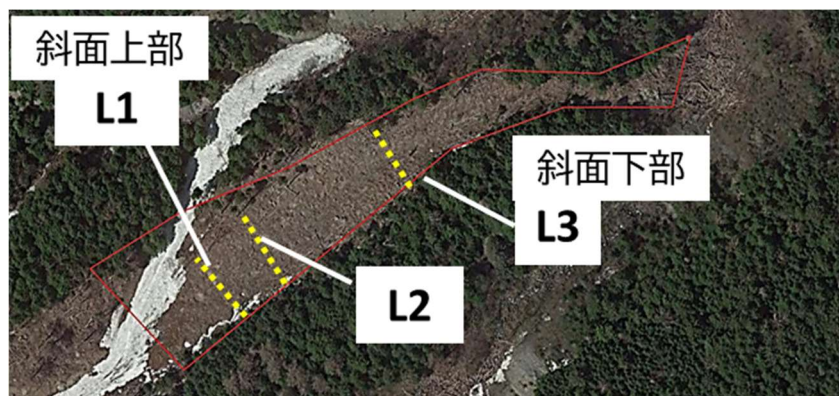


写真-3 プロット位置

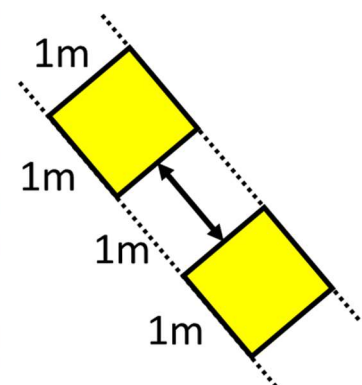


図-1 方形区の模式図

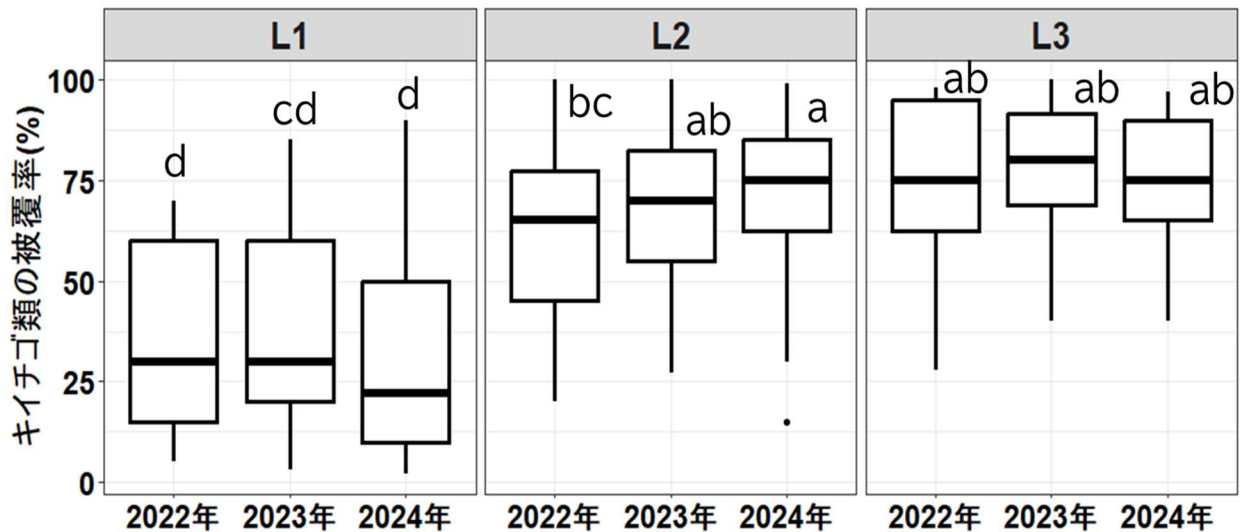
(3) 調査項目

調査は、2022年、2023年、および2024年の7月から9月にかけて実施しました。方形区内に含まれる雪崩後に更新した後生実生を対象とし、計測を行いました。後生実生は、計測年に発芽した当年生実生と、計測年以前に発芽した1年生以上の実生に区別し、それぞれの個体数および自然高を測定しました。調査対象としたのは、周囲の森林の主要構成樹種であるコメツガ、シラビソ、オオシラビソ、トウヒ、カラマツ、ダケカンバです。ただし、シラビソとオオシラビソの実生段階での判別が困難であったため、両種はまとめてシラビソ類として扱いました。加えて、方形区内のキイチゴ類の被覆率を測定しました。

2 結果および考察

(1) キイチゴ類の被覆率のライン間差および年次変化

キイチゴ類の被覆率は、3年間を通じてライン2およびライン3で高く、ライン1で低い傾向が共通して見られました。また、同じライン内では、3年間を通じて顕著な成長や衰退は確認されませんでした。



図－2 キイチゴ類の被覆率のライン間差および年次変化
 ノンパラメトリック二元配置分散分析，交互作用の多重比較（Holm 法）
 同じアルファベットが付された値は有意に異なる（ $p = 0.05$ ）

藪沢雪崩跡地におけるキイチゴ類の発達プロセスの詳細は明らかではありませんが、キイチゴ類が斜面下から上へと徐々に拡大したことが報告されています。したがって、各ラインにおける被覆率の違いは、キイチゴ類の侵入時期を反映していると考えられました。

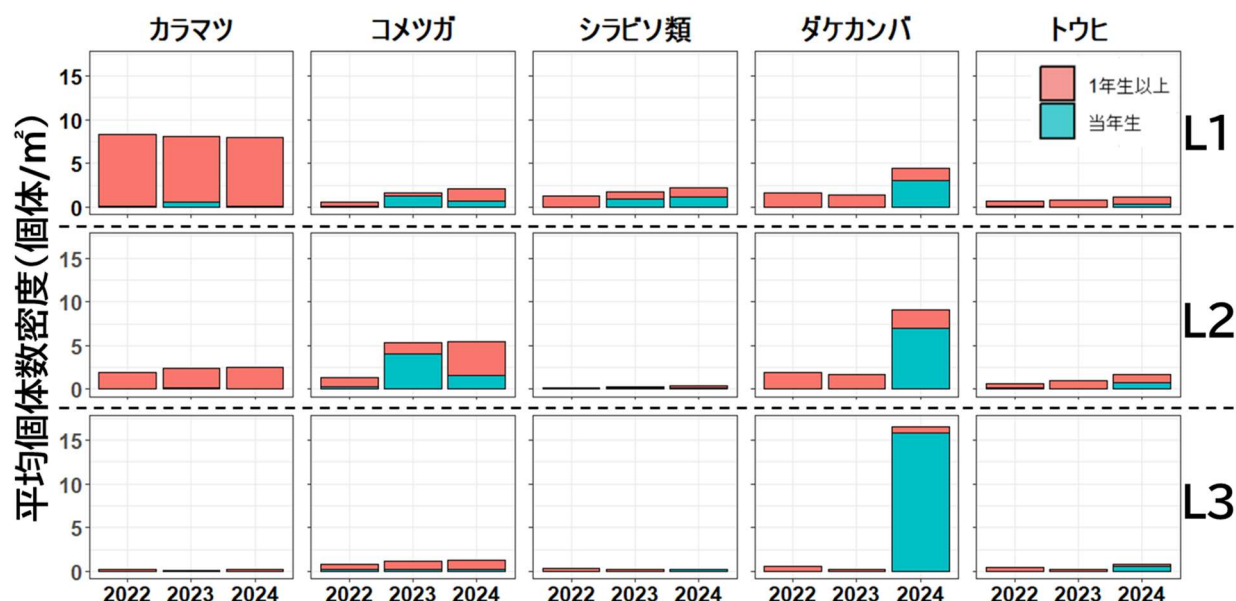


写真－4 2024年における各ラインのキイチゴ類の繁茂状況

(2) 後生実生の個体数密度のライン間差および年次変化

後生実生の個体数密度は、ラインごとに大きく異なりました。ライン1では、3年間を通じてカラマツの個体数密度が際立って高い傾向が見られました。ライン2では、カラマツの個体数密度がライン1と比較して大きく減少しました。一方で、2023年にはコメツガの当年生実生が増加し、それに伴い全体の個体

数密度が増加しました。この傾向は2024年も維持され、さらに2024年にはダケカンバの当年生実生の顕著な増加が確認されました。最後に、ライン3では2024年にダケカンバの当年生実生の顕著な増加が見られましたが、それ以外の樹種の個体数密度は著しく低くなりました。



図－3 各樹種の個体数密度の3年間の推移

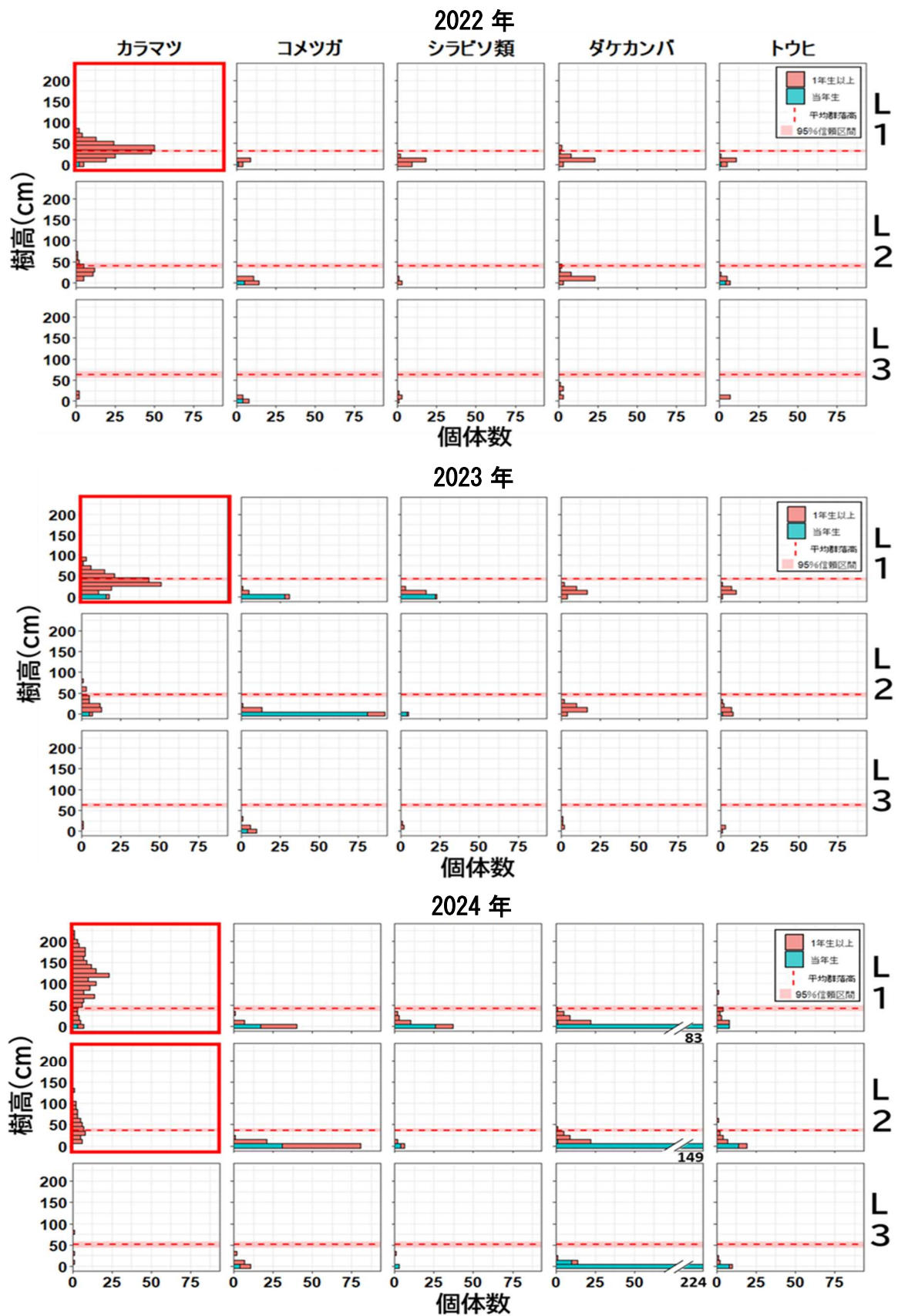
このように、個体数密度には時空間的に大きな変動が見られました。特に、時間的な変動については、1年生以上の実生の変動が小さく、主に当年生実生の変動が大きかったことから、種子豊凶の影響を強く受けると考えられます。調査対象とした樹種はいずれも、種子生産に豊凶周期があることが報告されています（林 1969）。

ライン間の差異については、樹種ごとに個体数密度が高かったラインが異なっていたことから、それぞれの母樹の空間的な偏りが推察されます。調査対象とした5樹種はすべて風散布型の種子をつけることが知られており（林 1969）、風散布型の種子は母樹から離れるほど種子散布量が減少すると報告されています（酒井 2013）。特に、藪沢雪崩跡地においてカラマツの母樹はライン近傍の非攪乱森林部には出現せず、航空写真の解析および現地踏査の結果、ライン1のさらに斜面上部に小群落が確認されました。したがって、カラマツの明瞭なライン間の差異は、母樹からの距離と整合すると考えられます。

さらに、後生実生のライン間の差異は、キイチゴ類の影響も受けていると考えられます。特に、ライン3における1年生以上の実生の個体数密度は、すべての樹種で共通して著しく低い傾向が見られました。キイチゴ類は密な被覆を形成し、光を遮ることで他の樹種の生育を抑制することが報告されています。したがって、被覆率が特に高いライン3では、実生が定着しにくい環境である可能性が考えられます。

（2）後生実生のサイズ構造の変化

後生実生の樹高とキイチゴ類の群落高を比較すると、2022年においては、ライン1のカラマツのみがキイチゴ類と競合している状態であり、それ以外の樹種はキイチゴ類よりも樹高が低く、その被陰の影響を受ける段階にありました。この傾向は2023年においても同様でした。一方で、2024年にはライン1およびライン2のカラマツが顕著なサイズ構造の変化を示し、キイチゴ類の群落高を超える成長を遂げることが確認されました。一方で、それ以外の樹種は依然としてキイチゴ類よりも樹高が低い状態が続いていました。



図－4 3年間の樹種ごとのサイズ構造の変化とキイチゴ類群落高との比較

このようなカラマツの顕著なサイズ構造の変化は、カラマツが攪乱跡地での再生に適応していること（梨本ら 1999）や、初期の成長速度が速い特性を持つことによるものと考えられます（中川ら 2018）。今後、キイチゴ類の群落高を超えたカラマツに対しては、キイチゴ類の影響が小さくなることが予想されます（原山ら 2018）。

3 総合考察

これまでの結果より、藪沢雪崩跡地の初期の森林回復の過程は、空間的に不均質であることが明らかになりました。すなわち、ライン1ではカラマツの密度が特に高く、他の樹種やキイチゴ類よりも顕著に成長している段階にありました。ライン2においてはカラマツの密度が大幅に低下するものの、ライン1と同様の傾向が見られ、さらにコメツガの更新も確認されました。一方で、ライン3ではすべての樹種の密度が低く、キイチゴ類よりも樹高が低い状況にありました。

また、この結果から、キイチゴ類の衰退の程度もラインごとに異なることが予想されます。キイチゴ類は、他の樹種の被陰によって衰退することが報告されています（Donoso and Neyland 2006）。このことから、ライン1ではキイチゴ類の被覆率が低く、カラマツによる被陰が進むため、数年以内に衰退すると考えられます。ライン2においても同様にキイチゴ類の衰退が予想されますが、ライン1よりも時間がかかると考えられます。一方で、ライン3ではキイチゴ類よりも樹高が高い樹種が存在しないため、キイチゴ類の衰退は起こらず、今後も繁茂が継続すると考えられます。

以上の結果から、森林回復の過程そのものもラインごとに異なると考えられました。まず、ライン1ではカラマツの幼樹群落が形成されたことから（第6章）、カラマツを主体とした森林回復が進行すると考えられます。この再生様式は、富士山において最も強い地表攪乱を伴った雪崩跡地における再生過程と一致しています（梨本ら 1999）。

一方、ライン2においてもカラマツが主体となる再生様式が見られますが、その密度は低く、初期段階ではカラマツが局在する林が形成されると考えられます。また、既に個体数密度が高いコメツガは耐陰性が高いため、キイチゴ類群落の下においてもさらに個体数を増やすことができると考えられます。しかし、コメツガは成長が遅いため、カラマツ林が形成された後に優占することが予想されます。この遷移は、南アルプスにおいて報告された土砂移動を伴う攪乱跡地における遷移と類似しています（馬場 1989）。

最後に、ライン3ではすべての樹種の個体数密度および樹高が低く、特に他のラインで森林回復を主導すると考えられるカラマツの個体数密度が著しく低い状況です。そのため、他のラインと比較して高木林の成立が大幅に遅れることが予想されます。さらに、ライン3ではキイチゴ類の被覆率が最も高く、キイチゴ類の繁茂が後生実生の更新に先行している状態となっています。したがって、現在の状況から推察すると、ライン3ではキイチゴ類が優占する状態が長期間続く「アレステッドサクセッション」に移行する可能性が高いと考えられます。

さらに林縁部には前生稚樹が残存するため、そのまま常緑針葉樹林への回復が見込まれます（宮城 2022）。したがって、藪沢雪崩跡地は同一斜面内において多様な森林回復パターンとなることが予測され、これは既往研究と異なるパターンとなると考えられました。

4 結論

本研究から、藪沢雪崩跡地では複数の遷移系列が同時に進行する可能性が示されました。その要因として、残存した母樹の配置、前生稚樹の残存状況、低木の繁茂するタイミングなど、雪崩跡地の初期状態の違いが大きく影響していることが考えられます。雪崩跡地においてキイチゴ類が繁茂した事例の報告はこれまでになく、キイチゴ類が今後急激に衰退する可能性も否定できません。そのため、藪沢雪崩跡地において継続してモニタリング調査を行うことで、今後頻発化が予想される大規模雪崩後の森林回復に対して

の知見がさらに深まると考えられます。

参考文献

- 馬場多久男 (1989) 南アルプス鋸岳の熊穴沢における砂礫の安定とカラマツ植生の関係. 信州大学農学部演習林報告 26:31-56
- Donoso PJ, Nyland RD (2006) Interference to Hardwood Regeneration in Northeastern North America: The Effects of Raspberries (*Rubus* spp.) Following Clearcutting and Shelterwood Methods. NJAF 23:288-296
- 原山尚徳, 津山幾太郎, 倉本恵生, et al (2018) 雑草木による樹冠被圧がカラマツ植栽木の生残および初期成長に及ぼす影響. 日林誌 100:158-164
- 林弥栄. 1969. 有用樹木図説. 東京: 誠文堂新光社.
- Holtmeier F-K, Broll G (2018) Subalpine Forest and Treeline Ecotone under the Influence of Disturbances: A Review. J Environ Prot (Irvine, Calif) 09:815-845.
- Johnstone JF, Allen CD, Franklin JF, et al (2016) Changing disturbance regimes, ecological memory, and forest resilience. Front Ecol Environ 14:369-378.
- Kajimoto T, Daimaru H, Okamoto T, et al (2004) Effects of snow avalanche disturbance on regeneration of subalpine *Abies mariesii* forest, Northern Japan. Arctic, Antarctic, and Alpine Research 2004) 36:436-445.
- Katsuyama Y, Katsushima T, Takeuchi Y (2022) Large-ensemble climate simulations to assess changes in snow stability over northern Japan. Journal of Glaciology 1-14.
- 宮城昂 (2022) 南アルプス大規模雪崩攪乱跡地における亜高山帯高木種の更新阻害要因. 信州大学大学院 修士論文
- 中川昌彦, 喜綿真一, 有馬聡一, 佃勇作 (2018) カラマツの天然更新施業が可能な母樹林からの距離の再検討—紋別市における豊作年での一例—. 北森研 66:
- 梨本真, 石井孝 (1999) 森林の再生過程に関する研究—亜高山帯林のシラベ前生稚樹による再生様式—. 電力中央研究所報告
- 梨本真, 石井孝, 小林卓也 (1999) 森林の再生過程に関する研究—亜高山帯林のカラマツとダケカンバによる再生様式—. 電力中央研究所報告
- Reyer CPO, Brouwers N, Rammig A, et al (2015) Forest resilience and tipping points at different spatio-temporal scales: Approaches and challenges. Journal of Ecology 103:5-15.
- 酒井敦, 山川博美, 清和研二 (2013) 森林景観において境界効果はどこまで及んでいるのか? (特集) 森林の“境目”の生態的プロセスを探る). 日本生態学会誌 63:261-26
- Soto DP, Puettmann KJ (2020) Merging Multiple Equilibrium Models and Adaptive Cycle Theory in Forest Ecosystems: Implications for Managing Succession. Current Forestry Reports 6:282-293.