

降雨を誘因とする表層崩壊に森林が与える影響 ～林齢構成の異なる2時期の崩壊を対象とした検討～

新潟大学大学院自然科学研究科 ○井浦 礼生
新潟大学農学部 権田 豊

1. はじめに

日本は国土の約7割を山地が占め、地形が急峻、地質が脆弱、多降水量といった条件をもつため、土砂災害の発生ポテンシャルが高い。このため、これまで土砂災害に対する様々な対策が行われてきた。その一つに山地斜面の森林整備がある。これは斜面上の樹木の根の土壌緊縛効果による斜面安定性向上を目的としたものである。従来の研究により、森林の崩壊抑制機能は樹木の生長とともに、林齢20年までに急激に増加、その後は緩やかに低下するものの、樹木が存在しない場合と比べ、大きく向上することが明らかにされている（例えば塚本，1987；沼本，2000）。

しかし、森林の崩壊抑制機能には限界があることも指摘されている。近年、極端な豪雨により森林の存在する斜面が崩壊し、流木が発生、被害を拡大させる事例が生じている。また、現在日本の森林は高齢化しているが、これまでの研究は、主に森林の伐採、新植、成長に伴う崩壊抑制機能に焦点が当てられており、比較的若齢な森林が対象であった。このため高齢林における崩壊抑制機能はよく分かっていない。そこで本研究では、林齢構成の大きく異なる2時期に豪雨を誘因として崩壊が発生した、新潟県村上市と関川村の境界に位置する山地を対象とした。地形因子、森林因子、降雨因子を考慮した単因子解析と数量化理論Ⅱ類による統計解析を行い、高齢林を含めた森林が崩壊に与える影響を検討した。

2. 解析対象地と解析方法

解析対象地は新潟県村上市と関川村の境界に位置する山地である。本対象地では、1967年と2022年に、ともに豪雨を誘因とする表層崩壊が多発した。本研究では、2時期の林班図・森林管理簿を使用して、1967年と2022年の森林状態を再現した。また、主に航空写真を利用し、林班図範囲内の崩壊地を判読し、崩壊地ポリゴンを作成した。さらに、国土地理院基盤地図情報DEMより、地形因子ラスタを作成した。加えて、1967年当時の総雨量分布は地上観測データを用いて、2022年当時の総雨量分布はXRAINを用いて作成した。これらのデータを使用して、単因子解析に

よりそれぞれの因子と崩壊の関係を解析し、また数量化理論Ⅱ類による統計解析により、各因子の崩壊に与える影響を定量的に評価した。数量化理論Ⅱ類の解析にあたり、2022年は1967年に比べて総雨量レンジが大きい（1967年：416 - 499 mm，2022年：299 - 585 mm）ことを考慮し、2022年については、解析範囲全体（2022年①）、1967年の降雨レンジと同等の総雨量400 - 525 mmの範囲（2022年②）、1967年の総雨量以上の範囲である総雨量525 mm以上の範囲（2022年③）の3通りの解析を行った。

3. 結果と考察

崩壊地の面積は、1967年は35.6 ha，2022年は38.1 haと同程度だった。一方で、1967年と2022年の崩壊地重複面積は2022年の崩壊面積の5.7%に過ぎず、1967年の崩壊地では2022年時点でも土層が未発達であるため、崩壊が同一斜面で発生しにくくなる「崩壊の免疫作用」が働いたと可能性がある。

単因子解析の結果、崩壊発生箇所の地形因子は1967年と2022年で類似の傾向を示し、両時期で地形的に類似した斜面で崩壊が発生していることが分かった。表1は数量化理論Ⅱ類による解析結果のうち、各因子の崩壊への寄与度を表す指標であるレンジの順位を示している。1967年2022年ともに傾斜角度が1位で最も崩壊に寄与しており、平面曲率も大きく崩壊の発生に寄与していた。また、数量化理論Ⅱ類の結果から、傾斜角度は30度以上で、平面曲率は負の値（谷地形）で崩壊が発生しやすいことが示されたが、これは単因子解析の結果と一致した。

つぎに1967年と2022年の森林状態を整理する。2022年では林齢50年以上の高齢林が約9割を占めていた（図1）。また単因子解析の結果、1967年では、林齢30年付近までは林齢の増加とともに崩壊占有面積率が減少した。一方2022年では林齢50年以降で崩壊占有面積率の増加傾向が見られた（図2）。また樹種別にみると、アカマツ、スギでは崩壊が起こりにくく、無立木地では崩壊が起こりやすく、広葉樹はその中間の傾向を示した。1967年の数量化理論Ⅱ類による解析結果では、林齢30年付近まで、林齢の増加

とともに崩壊が発生しにくくなる傾向が見られた。また、2022年②の解析結果でも、林齢の増加とともに崩壊が抑制される傾向が見られたが、林齢が75年以降になると逆に崩壊が発生しやすくなる傾向がしめされた。また、林齢の崩壊への寄与度は、総雨量によって異なる可能性が示された。表1より、2022年②では林齢が傾斜角度に次いで崩壊の発生に大きく寄与していたが、2022年③では、林齢の崩壊への寄与は4位と低くなった。この結果は、降雨の規模が極端に大きい場合に、森林の崩壊抑制機能が十分に発揮されない可能性を示している。一方で、樹種はいずれの数量化理論Ⅱ類の解析においてもレンジ順位が5位または6位と、崩壊への寄与度が低く、単因子解析とは異なる結果が得られた。

総雨量と崩壊の関係について整理をすると、総雨量が大きいほど、崩壊占有面積率も大きい傾向があった(図3)。1967年と同じ総雨量のレンジで比較すると、2022年の崩壊占有面積率は1967年と比べて著しく低下した。また、図4は、総雨量差分(=2022年総雨量-1967年総雨量)を用いて単因子解析を行った結果である。総雨量差分が正の範囲は2022年において1967年よりも総雨量が大きい範囲であり、負の範囲はその逆である。解析の結果、総雨量差分25mm未満では1967年の崩壊占有面積率に比べて2022年の崩壊占有面積率が1/2以下と小さく、崩壊があまり起こっていなかった。これは、森林の崩壊抑制機能に加えて、前述の「崩壊の免疫作用」が相互に作用した結果と考えられる。一方で、総雨量差分25mm以上では、2022年の崩壊占有面積率が1967年の崩壊占有面積率の1.5倍以上と非常に大きい。これは、森林の崩壊抑制機能を超える総雨量だったことに加え、総雨量の増大により、1967年には崩壊しなかった斜面が多数崩壊したためだと考えられる。

4. まとめ

本研究では、対象範囲において崩壊の免疫作用と森林の崩壊抑制機能が働いていることが分かった。樹種の違いは崩壊の発生に大きく影響しない可能性が示された。また、若齢林では林齢の増加とともに崩壊抑制機能が増加するが、高齢林ではその崩壊抑制機能が従来考えられていたよりも大きく低下する可能性が示唆された。降雨の規模によっても崩壊抑制機能は変化し、極端な豪雨に対しては森林の崩壊抑制機能に限界がある可能性が示された。今後、高齢林において何が変化しているのか、現地調査による土層厚測定やシミュレーションにより明らかにする。

表1 数量化理論Ⅱ類による解析のレンジ一覧

総雨量範囲	1967年		2022年①		2022年②		2022年③	
	アイテム	レンジ	アイテム	レンジ	アイテム	レンジ	アイテム	レンジ
1	傾斜角度	0.029	傾斜角度	0.038	傾斜角度	0.012	傾斜角度	0.080
2	平面曲率	0.018	平面曲率	0.014	林齢	0.009	傾斜方向	0.037
3	林齢	0.012	傾斜方向	0.013	平面曲率	0.007	平面曲率	0.033
4	傾斜方向	0.004	林齢	0.011	傾斜方向	0.006	林齢	0.024
5	断面曲率	0.003	樹種	0.003	樹種	0.004	樹種	0.017
6	樹種	0.003	断面曲率	0.002	断面曲率	0.002	断面曲率	0.005

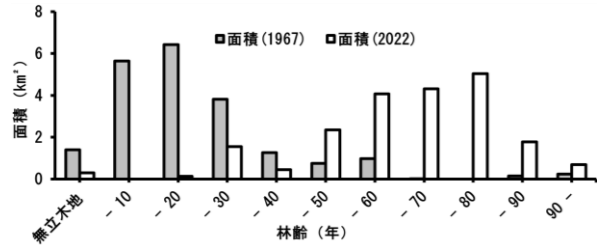


図1 1967年と2022年の林齢構成

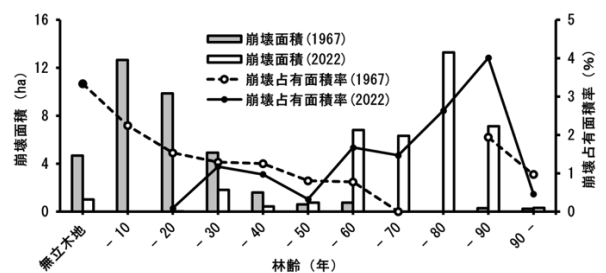


図2 1967年と2022年の林齢と崩壊の関係

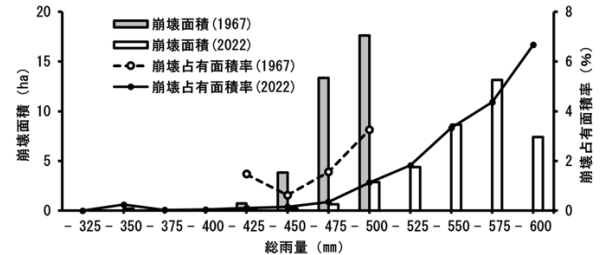


図3 1967年と2022年の総雨量と崩壊の関係

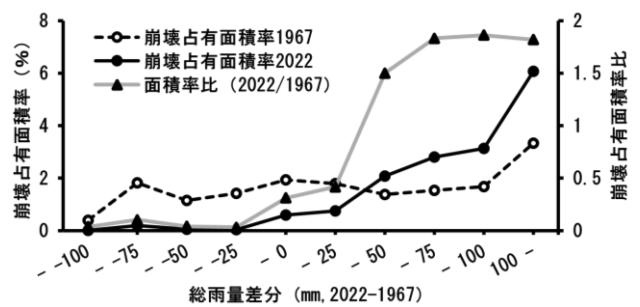


図4 総雨量差分ごとの1967年と2022年の崩壊占有面積率

引用文献

塚本良則 (1987) : 樹木根系の崩壊抑止効果に関する研究, 東京農工大学農学部 演習林報告, Vol. 23, p. 65-124
 沼本晋也 (2000) : 森林斜面における表層崩壊の動態に関する研究—東京大学千葉演習林における1970年豪雨事例を中心として—, 東京大学博士論文, p. 80-103