

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04607

研究課題名（和文）山岳域の積雪・森林リモートセンシングを活用した「雪崩・倒木ハザードマップ」の構築

研究課題名（英文）Prediction of avalanche-induced tree fall area using remote sensing technology

研究代表者

福山 泰治郎（Fukuyama, Taijiro）

信州大学・学術研究院農学系・助教

研究者番号：60462511

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：2017年に南アルプス・仙丈ヶ岳の北東斜面で大規模な雪崩が発生し、倒木が生じた。そこで森林の被害形態や被害範囲を調査するとともに、雪崩の発生条件の推定を試みた。空中写真判読と現地調査から、標高2,200 m以上の急傾斜地で雪崩が発生し、3.5 haの森林を倒壊したことが明らかになった。倒木被害範囲および幹折れ木のサイズを現地調査し、シミュレーションによって得られた雪崩速度分布を補正し、雪崩による森林の被害範囲予測を行った。また、倒木によって地表面の粗度が減少することで、次の雪崩の到達範囲がどの程度拡大するかを予測した。さらに、根返りによって生じた裸地の面積や、生産された土砂量を見積もった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年の温暖化にともない降雪は少なくなるが、大雪の頻度が高くなると言われている。その場合、長期間積雪が少なく樹木が大きく育った斜面で突発的な降雪による雪崩が発生すると大規模な倒木をひきおこすおそれがある。本研究は、北アルプスに比べて雪崩が少ない南アルプス域における倒木をとまなう雪崩の事例を対象として、雪崩の流下範囲や森林の倒木被害範囲を予測することを試みるとともに、雪崩にとまなう倒木の形態（根返り・幹折れ）にも着目した。これらの研究を通して、雪崩による倒木の運搬や、河道に倒木が到達することによる流木リスク、斜面における不安定土砂の生産を見積もるのに重要なデータが得られた。

研究成果の概要（英文）：In 2017, a large-scale avalanche occurred on the northeastern slope of Senjogadake, Southern Alps, causing fallen trees. We investigated the damage pattern (bended or uprooted) and extent of forest damage, and attempted to find the weather condition and topographical features. Aerial photo and field survey revealed that the avalanche occurred on a steep slope at an elevation of 2,200 m or higher and destroyed 3.5 ha of forest. The extent of damage to forests caused by avalanches was estimated by correcting the avalanche velocity distribution obtained by simulation based on field surveys of the extent of damage and the size of broken trunks. We also predicted how much the reach of the next avalanche would increase as the roughness of the ground surface decreased due to fallen trees. Furthermore, we estimated the area of bare land and the amount of sediment caused by uprooting.

研究分野：砂防・森林科学

キーワード：雪崩 根返り 幹折れ ピット マウンド

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

日本では国土の半分が豪雪地帯や特別豪雪地帯に指定され、たびたび雪崩による災害を経験してきた。現在も、国や県による雪崩対策が行われるとともに、災害調査やシミュレーション等によって雪崩の発生メカニズムや予測、ハード対策、森林の雪崩減勢効果についての研究が進められている。最近になって、温暖化が進行した場合、日本の内陸で極端降雪が増加する可能性があることが気候シミュレーションで示された(気象研究所, 2016)。このことは、従来雪崩災害リスクが小さいエリアでもリスクが増大すること、そして森林では雪崩による倒木が発生し、林業被害や流木災害が生じることを示唆している。

近年になり、「森林の持つ雪崩減勢効果」の評価に雪崩シミュレーションが用いられ、雪崩に強い森林とは何かという分野横断的な取り組みが報告されるようになってきた。このような状況の中で、現行の「雪崩シミュレーション」には2つの課題があると考えられる。

第1の課題は、山岳域の積雪深が分からないことである。「積雪深」や「雪質」は雪崩の発生/非発生や雪崩の規模に影響する要素として無視できないにもかかわらず、山岳域では冬期の気象観測がほぼ行われていない。そのため本来ならば「積雪変質モデル」により AMeDAS の気象観測データを利用して山岳域の積雪深を予測することが現実的だが、検証に利用できるデータがないのが現状である。第2は、雪崩シミュレーションが「森林の影響を適切に評価していない」ことである。それは、雪崩の発生した森林において、雪崩による倒木範囲が2009年以降の8年間で斜面上部から徐々に下方に拡大している事実が認められたからである。

2. 研究の目的

本研究では従来の雪崩シミュレーションに山岳域の積雪深データと立木情報を組み込んだ新しい予測モデルを作成し、「雪崩・倒木ハザードマップ」を構築することを目的とする。そのために、2009年・2014年・2017年の3度、雪崩と倒木が発生した南アルプス亜高山帯針葉樹林を対象として、雪崩シミュレーションと検証に取り組む。

3. 研究の方法

(1) 雪崩の発生条件や流下範囲の把握

2017年2月に大規模な雪崩が発生した、南アルプス・仙丈ヶ岳北東の藪沢左岸の北東向き斜面および小仙丈ヶ岳北東斜面(雪投沢)を対象として、衛星画像や空中写真の判読、現地調査に基づいて、雪崩の発生時期や発生場、流下経路、倒木被害範囲の把握を試みた。また、雪崩発生時の積雪深や気象条件を推定するために、雪崩発生跡地で積雪深・融雪水量・気温・地温等の観測を行った。

(2) 雪崩速度と規模の推定

森林被害地において幹折れ木の直径・破断高・樹種を調査し、それぞれの地点の雪崩の速度を計算した。また、RAMMS (Rapid Mass Movement Simulation) による雪崩の速度分布や流下範囲を推定し、倒木範囲と照合することで、雪崩シミュレーションの再現性を検討した。

(3) 倒木が雪崩挙動に及ぼす影響の検討

雪崩により森林が一部失われたことで、その後発生する雪崩の挙動がどのように変化するか、

どの程度の森林被害が起こるかを検討するために、2017年の雪崩前の森林分布と雪崩後の森林分布で、同じ条件を与えた雪崩シミュレーションで、流下にもなう速度の変化を比較した。

(4) 根返りにもなう表土かく乱の評価

雪崩跡地において、根返りの規模や分布、根返りによって生産される不安定土砂量を調査し、立木のサイズと倒木にもなう生じる裸地面積や不安定土砂量の関係を検討した。

(5) 雪崩による倒木の被害形態に関する力学的検討

雪崩が作用した樹木が、「幹折れ」または「根返り」のどちらの被害形態を示すのか、力学的に検討した。樹木がもつ幹折れに対する抵抗力を幹折れ抵抗力 P_s 、根返りに対する抵抗力を根返り抵抗力 P_r とする。樹木の被害形態は、雪崩の流体力 P_a 、幹折れ抵抗力 P_s 、根返り抵抗力 P_r の3者の大小関係によって決まると考えられる。抵抗力の算出において、樹幹は円柱形とし、樹冠は考慮しなかった。雪崩は流れ層と雪煙層の2層構造と考え、雪崩の流体力は樹幹に集中荷重で作用するとした。幹折れ抵抗力及び根返り抵抗力は、胸高直径と生育地点の斜面傾斜角の関数とした。

4. 研究成果

(1) 雪崩の発生条件や流下範囲の把握

雪崩の発生時期は衛星画像から2月16日~2月25日の間とみられた。藪沢では馬ノ背尾根の三角点付近を発生区として藪沢本川まで流下し、南アルプス林道付近の治山ダムに堆積した。この雪崩による森林のかく乱範囲は空中写真判読から3.53 ha程度とみられる。雪崩発生区における積雪の上部破断面を三角点付近の尾根部とすると、雪崩の流下距離は約1,600 m、比高は866 m、見通し角は33°であった。

小仙丈ヶ岳北東斜面(雪投沢)でも藪沢と同時期に雪崩が発生したものと考えられた。幹折れ木の最高地点が標高2,600 mにあったことと空中写真判読から、発生区は標高2,500 m以上の斜面とみられる。森林のかく乱範囲は4.7 ha程度とみられる。雪崩の流下距離は約1,300 m、比高は約640 m、見通し角は26°程度と推定された。

(2) 雪崩速度と規模の推定

幹折れ木から推定した雪崩速度は平均24 m/s(15~60 m/s)と推定された。RAMMS(Rapid Mass Movement Simulation)による雪崩の速度分布や流下範囲を推定し、倒木範囲と照合したところ、スラブ厚を1.0 mとした場合、流下範囲が倒木範囲に最も近く、森林被害地内の速度が15~20 m/sとなった。この時の雪崩速度は最大35 m/s(126 km/h)、流下した雪崩の体積は約110,000 m³と見積もられた。

(3) 倒木が雪崩挙動に及ぼす影響の検討

雪崩シミュレーションにより雪崩の速度分布を再現したところ、20~25 m/sの速度分布が下流に250 m延伸し、道路まで到達すると推定された。また、森林の倒壊によって雪崩が速い速度を維持したまま下流に到達すると予測された。したがって、森林の損壊により、将来的な雪崩の速度や到達範囲が変化し、倒木による林道遮断や倒木が河道まで到達することによる流木化が示唆された。2021年の春に雪崩が発生し、倒木範囲が道路付近まで拡大する状況が確認された。

(4) 根返りにともなう表土かく乱の評価

倒木の胸高直径と、土を抱えた根鉢の体積や、根返りによって生じた窪地(ピット)の面積の間には正の相関がみられた。空中写真判読により雪崩流下範囲の裸地を抽出すると、標高 2,200 m 以上の裸地面積は 1,695 m² で、雪崩跡地に占める裸地面積率は 5.1 % と見積もられた。

(5) 雪崩による倒木の被害形態に関する力学的検討

倒木発生時の雪崩のシミュレーション(前田ら, 2022)から、現地調査された幹折れ及び根返り発生地点における雪崩の流体力を抽出し、幹折れ抵抗力、根返り抵抗力と比べると、対象地の大部分の被害木において力の大小関係が、 $P_s < P_r < P_a$ となり被害形態を判別できなかったが、胸高直径が同程度の個体であっても、作用した雪崩の速度が大きいと幹折れになることが示唆された。また、根返り抵抗力と幹折れ抵抗力の比(P_r/P_s)によって検討すると、胸高直径が小さい個体、斜面傾斜角が大きい場所に生育する個体では、相対的に幹折れになりやすいと考えられた。この傾向は現地の被害状況と一致していた。

2 回の雪崩を想定した場合、1 回目の雪崩で幹折れしたと仮定すると、2 回目の雪崩発生時は、斜面傾斜角が 25°以上の場所に生育する胸高直径 30 cm、40 cm の個体において、幹折れ抵抗力 P_s が根返り抵抗力 P_r を上回り、根返りになると判別された。この結果から、雪崩が複数回発生した可能性も含めて、被害形態を判別する必要があると考えられた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 嵐裕介, 福山泰治郎
2. 発表標題 雪投沢における雪崩によって形成された根返りによる土砂生産
3. 学会等名 砂防学会研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 前田耕平, 福山泰治郎
2. 発表標題 大規模雪崩による森林被害の再現と予測
3. 学会等名 砂防学会研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木村温, 福山泰治郎, 堤大三
2. 発表標題 雪崩による倒木の被害形態に関する力学的検討
3. 学会等名 砂防学会研究発表会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------