

令和 2 年 4 月 24 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2015～2019

課題番号：15K01271

研究課題名（和文）流下する雪崩に対する森林の減勢効果の研究

研究課題名（英文）Study on the braking effect of forests on flowing avalanches

研究代表者

竹内 由香里（Takeuchi, Yukari）

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：90353755

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：森林には流下する雪崩の進行を妨げ、速度を落として破壊力を弱めることにより雪崩災害を軽減する機能がある。本研究では、妙高山域幕ノ沢および岩手山において実際に発生した大規模な雪崩の流下を運動モデルで再現し、森林の減勢効果を数値シミュレーションによって確かめた。運動モデルでは、雪崩の流下に対する森林の抵抗を、底面摩擦角を大きくすることにより表わした。森林がない場合を仮定してシミュレーションした結果、雪崩は実際の到達点より、幕ノ沢では200 m以上、岩手山では200～600 m以上も遠くまで流下し、雪崩に対する森林の減勢効果を定量的に示すことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

流下する雪崩に対する森林の減勢効果については、早くから経験的に知られていたが、定量的に示した研究はほとんどなかった。本研究では森林がないと仮定した場合には、雪崩は実際より長距離を流下することを数値モデルのシミュレーションで示し、森林の減勢効果を定量的に示したことに学術的な意義がある。さらにこの成果は、災害軽減効果の高い森林の配置を具体的に示すことに貢献でき、社会的な意義もある。

研究成果の概要（英文）：Mountain forests have a role of decelerating and stopping flowing snow avalanches. In this study, we ascertained forest braking effect by numerical simulations using the avalanche dynamics program, TITAN2D, to model large-scale avalanches. One of these avalanches occurred in the Makunosawa valley, Myoko, and damaged a cedar forest; the others occurred on Mt. Iwate and damaged a subalpine forest. In our simulations, the resistance of the forests to avalanches is simulated using a larger bed friction angle. Simulations reveal that without the forest, the avalanche would have traveled at least 200 m farther than the forest's actual end in the Makunosawa valley, and at least 200 m and possibly up to 600 m farther on Mt. Iwate. This study therefore clearly shows that forests provide a braking effect for avalanches.

研究分野：雪氷学

キーワード：雪崩 森林

1. 研究開始当初の背景

2014年2月に南岸低気圧の通過により関東甲信地方が記録的な大雪に見舞われ、山梨県、群馬県、埼玉県を中心とした「非雪国」において様々な雪氷災害が多発した。この大雪の最中に雪崩が100件以上発生し、道路を通行する車両や住宅が被災した事例も多数報告された(和泉ら, 2014)。日本海側の多雪地域では、雪崩防止対策が施されてきたので、近年では雪崩により通行車両や住宅が被災することはなくなったが、積雪の少ない「非雪国」では雪崩に対する備えが十分でないため、道路や住宅が被災するという近年にはない事態を招いた。「非雪国」において今後も大雪が降る可能性はないとは言えないどころか、気候の変化に伴って大雪の頻度が高まることも危惧される。

「非雪国」の今後の雪崩対策としては、日本海側の多雪地域と同等の防護施設を新たに建造するよりも、森林を雪崩防止施設として活用し、森林により雪崩災害を軽減するのが望ましい。そのためには、森林の雪崩災害軽減機能を定量的に明らかにし、どのような森林であれば、どれくらいの規模の雪崩に対してどの程度の減勢効果があるのかを見積もることが必要となる。

森林には、流下する雪崩の進行を妨げ、速度を落として破壊力を弱める機能があることが経験的には知られている。その効果は、雪崩の種類や規模、森林の面積や単位面積あたりの立木の本数(立木密度)、幹の直径、樹種、さらに地形などの条件によって異なると考えられる。しかし、これらとの関係を示すデータはなかなか得られるものではなく、これまで森林の減勢効果を定量的に示すことができなかった。言い換えると、森林に雪崩の流下を妨げる効果があるとわかっただけでは、そのために必要な森林の面積やどのような森林であれば効果が高いかを具体的に示すことができていなかった。

森林は大規模な雪崩では倒壊することが多く、倒壊した森林が元の状態に回復する前に再び雪崩が発生すると、雪崩に対する減勢効果は期待できない。そして通常ハザードマップを作成する場合には大規模な雪崩を想定して到達範囲を推定する。このような理由で、これまで大規模な雪崩を想定した運動モデルでは森林の影響は無視できるほど小さいとみなされ、考慮されていなかった。しかし、森林の効果は雪崩の規模によって異なり、大規模な雪崩より発生頻度の高い中～小規模の雪崩に対しては、森林の減勢効果の重要性が見直され、スイスなどで森林を考慮した雪崩の運動モデルの開発が精力的に進められていた。山地に森林の多い日本においても、雪崩に対する森林の効果の解明は、必要性の高い課題であった。

研究代表者は、新潟県妙高山域の幕ノ沢において2000年冬期から雪崩の観測を継続して行ない、これまでに7件の大規模雪崩の観測に成功した。このうち2008年の表層雪崩は国内最大級であった上に、雪崩の一部がスギ林に流入し、林内で停止したので、流下経路や到達範囲など雪崩そのもののデータと同時に樹木の倒壊状況など森林の減勢効果の解明につながる稀少なデータセットを得ることができた(竹内ら, 2009, 2010; Takeuchi et al., 2011)。さらに、2011年冬期に岩手山の西斜面で発生した表層雪崩により7haに及び広範囲の亜高山帯林が倒壊した。空中写真によると、この雪崩は樹木を倒しながら林内を500m以上も流下していたことから、標高約1,730mの森林限界より高所で発生した乾雪表層雪崩で、樹木のない斜面を流下しながら速度を上げ、高速になって森林に流れ込んだと考えられた。現地で樹木(アオモリトドマツ、ダケカンパ)の倒壊状況を調査するとともに、写真や気象データを収集して雪崩の発生状況を明らかにした(竹内ら, 2014)。このように雪崩に対する森林の減勢効果を解明するために必要不可欠でありながら入手困難な雪崩と森林のデータセットが得られ、本研究が可能となった。

2. 研究の目的

雪崩により森林が倒壊した状況を調査したデータおよび雪崩の運動モデルを用いた数値シミュレーションに基づいて、森林が表層雪崩の流下を阻止する減勢効果を定量的に示し、森林の雪崩災害軽減機能を解明することを目的とする。

3. 研究の方法

新潟県妙高山域の幕ノ沢および岩手山西斜面で発生した雪崩を対象に、運動モデルTITAN2D(Pitman et al., 2003)を適用して実際の地形(数値標高データ)上で雪崩の流下を計算した。その際、現地調査で明らかになった雪崩の流下経路や到達範囲、雪崩の速度を再現するように底面摩擦角を決定した。このモデルでは、地形は考慮されているが、森林の有無という植生は考慮されていないので、森林が雪崩の流下を妨げる抵抗の大きさを底面摩擦角に置き換えて表し、森林の有無を底面摩擦角により区別することにした。森林のないところと森林内を雪崩が流下する際の底面摩擦角をそれぞれ求めて、森林がなかった場合を想定したシミュレーションを行なった。その結果と実際の雪崩を比較することにより森林の減勢効果を定量的に示した。

4. 研究成果

(1) 雪崩流下の底面摩擦角の決定方法

運動モデルTITAN2Dでは、地形は考慮されているが、森林の有無という植生は考慮されてい

ない。そこでまず、計算結果と実際の雪崩を比較しながら試行錯誤で森林のないところと森林内それぞれの底面摩擦角を求めた。2008年の妙高・幕ノ沢の雪崩は底面摩擦角を $13\sim 14^\circ$ とすると、実際の流下経路や到達距離、スギ林に流入したときの速度をよく再現できることがわかった。また、スギ林内を流下する際には、底面摩擦角を 25° とすると実際の流下距離とよく一致したので、雪崩がスギ林内を流下する際の抵抗は底面摩擦角に置き換えると 25° に相当すると考えた。

岩手山の雪崩についても、森林限界より高標高の森林のないところと森林内のそれぞれの底面摩擦角を検討した。一般に、雪崩の規模が大きくなるほど底面摩擦角は小さくなることから、岩手山の雪崩の底面摩擦角は妙高・幕ノ沢で得られた 14° 以上になると仮定し、現地調査で得られた雪崩速度の推定値と雪崩の到達距離を再現し、森林内の底面摩擦角が森林のないところよりも大きくなるようにしたところ、森林のないところの底面摩擦角の範囲は $14^\circ\sim 19^\circ$ で、これに対応した森林内の底面摩擦角は、 $25^\circ\sim 23^\circ$ となった。

(2) 雪崩の減勢効果を示した数値シミュレーション

妙高・幕ノ沢の雪崩に対するスギ林の減勢効果を明らかにするため、上述の底面摩擦角を用いて、スギ林が無い場合の雪崩の流下のシミュレーションを行なった。スギ林の上端の位置から、森林がないところと同じ底面摩擦角を与えて雪崩をスタートさせた結果、到達距離はスギ林上端から $310\sim 350\text{ m}$ となり、スギ林内を流下した実際の到達点より、約 200 m も遠くまで流下する結果になった(図1a)。つまり、幕ノ沢のスギ林は、雪崩を減速させ、流下距離を 200 m 縮める減勢効果があったといえる。同様に岩手山の雪崩についても森林がないと仮定し、森林限界より低標高の森林内も森林のないところと同じ底面摩擦角を与えてシミュレーションを行なった結果、森林内を流下した実際より $200\text{ m}\sim 600\text{ m}$ も遠くまで流下した可能性が示された(図1b)。これらの結果により、流下する雪崩に対する森林の減勢効果を定量的に示すことができた。

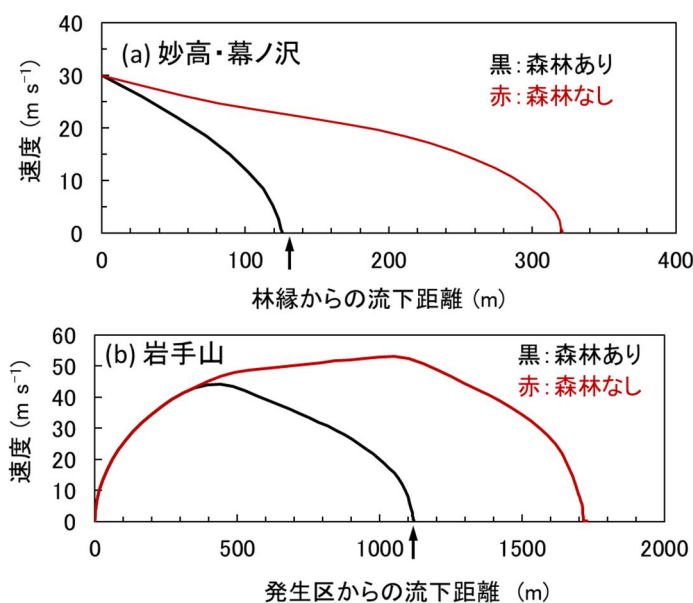


図1 森林の有無による雪崩の速度変化の比較。

森林内を流下した雪崩(黒線)に比べて、森林がないと仮定した計算(赤線)では、雪崩がなかなか減速せず、長距離を流下した。は実際の雪崩の停止位置を示す(Takeuchi et al 2018 を改変して引用)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 竹内由香里	4. 巻 88
2. 論文標題 森林は流れ下る雪崩の進行を止められるのか	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 森林科学	6. 最初と最後の頁 3-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 竹内由香里	4. 巻 1月号
2. 論文標題 雪崩の流下を妨げる森林の減勢効果	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 森林と林業	6. 最初と最後の頁 14-15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takeuchi, Y., Nishimura, K., Patra, A.	4. 巻 77
2. 論文標題 Observations and numerical simulations of the braking effect of forests on large-scale avalanches	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Annals of Glaciology	6. 最初と最後の頁 50-58
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1017/aog.2018.22	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 森啓輔、伊藤陽一、西村浩一、Abani Patra	4. 巻 80
2. 論文標題 連続体モデルTITAN2Dを用いた雪崩の運動のシミュレーション 室内実験との比較検討	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 雪氷	6. 最初と最後の頁 277-287
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 森啓輔、西村浩一、常松佳恵、阿部修、Abani Patra	4. 巻 80
2. 論文標題 連続体モデルTITAN2Dを用いた雪崩の運動のシミュレーション 雪崩への適用と多項式カオス求積法を用いたハザードマップの作成	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 雪氷	6. 最初と最後の頁 289-296
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Nishimura, K., Tsunematsu, K., Mori, K., Patra, A.	4. 巻 なし
2. 論文標題 Hazard mapping of snow avalanche flow with polynomial chaos quadrature	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. 3rd International symposium -Physics, chemistry and mechanics of snow-	6. 最初と最後の頁 42-43
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 竹内由香里	4. 巻 1591
2. 論文標題 雪崩災害を軽減する森林のはたらき	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 山林	6. 最初と最後の頁 18-27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 竹内由香里、勝島隆史、本吉弘岐
2. 発表標題 低気圧性降雪で形成された新雪の密度、硬度、せん断強度の関係
3. 学会等名 日本雪氷学会北信越支部研究発表会・製品発表検討会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹内由香里, 勝島隆史, 浅利一成, 井良沢道也, 落合博貴
2. 発表標題 秋田県湯沢市泥湯温泉で2018年2月13日に発生した雪崩の調査(速報)
3. 学会等名 日本雪氷学会北信越支部研究発表会・製品発表検討会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 TAKEUCHI Yukari, NISHIMURA Koichi, PATRA Abani
2. 発表標題 Observations and numerical simulations of the braking effect of forest on large-scale avalanches
3. 学会等名 International Symposium on Cryosphere and Biosphere (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹内由香里
2. 発表標題 雪崩災害を軽減する森林のはたらき
3. 学会等名 第10回災害環境科学セミナー(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西村浩一
2. 発表標題 粉粒体としての雪崩 - 発生と運動 -
3. 学会等名 粉体工学会 『計算粉体力学研究会』(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西村浩一
2. 発表標題 最新の科学による雪崩の解析 - その構造と運動
3. 学会等名 愛知県山岳連盟 『第21回遭難を考える講演会』(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Nishimura, K., Tsunematsu, K., Mori, K., Patra, A.
2. 発表標題 Hazard mapping of snow avalanche flow with polynomial chaos quadrature
3. 学会等名 International Symposium "Physics, Chemistry and Mechanics of Snow" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 TAKEUCHI Yukari, NISHIMURA Koichi
2. 発表標題 Numerical simulation of snow avalanche on the west-facing slope of Mt. Iwate, Japan
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2015大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 竹内由香里、西村浩一
2. 発表標題 岩手山西斜面の雪崩に対する森林の減勢効果
3. 学会等名 日本雪氷学会北信越支部研究発表会・製品発表検討会
4. 発表年 2015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
研究 分担者	平島 寛行 (Hirashima Hiroyuki) (00425513)	国立研究開発法人防災科学技術研究所・雪氷防災研究部門・主任研究員 (82102)	
研究 分担者	西村 浩一 (Nishimura Koichi) (10180639)	名古屋大学・環境学研究科・教授 (13901)	