

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：82105

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2021

課題番号：20K22437

研究課題名（和文）大量気象データを用いた広域雪崩災害リスク評価とその温暖化影響に関する研究

研究課題名（英文）Global warming response of avalanche risk based on large ensemble climate simulations

研究代表者

勝山 祐太（Katsuyama, Yuta）

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・任期付研究員

研究者番号：10877921

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000 円

研究成果の概要（和文）：大量の気象シミュレーションの結果であるd4PDFを積雪変質モデルの入力値とする数値実験を行った。その結果、気温上昇により、弱層の強度増加の速度がこれまでよりも早くなるため、多くの地域で弱層の頻度は低下することが分かった。一方で、弱層よりも上層の積雪層の重さ（上載積雪荷重）の将来変化を調べたところ、新雪の弱層に対応する上載積雪荷重は、太平洋側の地域で増加し、しもさらめ雪に対応する上載積雪荷重は、日本海側の高標高帯で増加することが分かった。上載積雪荷重は、弱層が破壊されたときに流下する雪の量を表しており、以上の結果は起こりうる雪崩の規模が大きくなることを示唆している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

なだれ防止保安林の整備などの山地災害対策を策定するにあたって、国内のどの地域にどれだけの雪崩災害リスクがあるか、そして、地球温暖化によってそのリスクが将来どれだけ変化するかを把握することが求められる。本研究では、地球温暖化による影響を考慮しつつ雪崩災害の潜在的リスクを北日本の広範囲で推定した初めての研究である。得られた成果は、なだれ防止保安林や雪崩防止柵等の最適な整備計画策定に寄与するものである。

研究成果の概要（英文）：A numerical simulation using the snowpack model forced with a result of a large ensemble climate simulation was performed. The result showed that weak layers formed less frequently over northern Japan because the snow layer would be mechanically stronger in a shorter period due to warmer air temperatures. However, global warming would increase the overburden on the weak layer in the Pacific side of Japan for weak layers made from precipitation particles and in the mountainous area along the Sea of Japan for weak layers made from facets. The increase in the overburden would indicate the increase in the avalanche magnitude.

研究分野：雪氷学

キーワード：雪崩 地球温暖化

## 1 . 研究開始当初の背景

積雪が崩れやすい状態、すなわち、積雪が不安定な状態であることが雪崩発生条件となる。このような積雪不安定化の要因は、積雪自体の強度が弱いことと、短期間の多量降雪による急激な積雪荷重の増加の2つが挙げられる。これらのうち、積雪が温められたのちに冷やされることで、積雪下部と上部で温度差が生じ、雪粒子同士の結合力が弱い性質の雪(しもざらめ雪)に変質することが代表的な要因である。この変質プロセスは、積雪の物理的性質を予測する数値モデル(積雪変質モデル)にも組み込まれ、積雪のせん断強度と積雪荷重を基に計算される積雪安定度を指標にして雪崩発生のポテンシャルが診断される(Hirashima, 2019)。

2014 年関東甲信大雪などの事例を通して、雪崩災害は温帯低気圧通過時に同時多発的かつ広範囲で発生することが報告されている(石坂ら, 2014)。低気圧通過は、気温上昇・下降を伴い、同時に大雪をもたらすこともある。これはまさに上述の積雪不安定化のための条件である。一方で、低気圧通過が必ず雪崩災害に繋がるわけではない。これは、低気圧の強度・通過経路によって、降雪量・気温などの気象条件が大きく異なるためと推測されるが、雪崩災害に関する研究は雪崩発生地点のみに着目して行われることや積雪不安定化は低頻度な現象であることから、低気圧通過がどれほど普遍的に積雪を不安定化させているかは不明である。これは、広域的な雪崩災害リスク評価ができない原因にもなっている。雪崩災害リスク評価のためには、大量の積雪不安定化事例を広域で収集する必要がある。

地球温暖化に伴い、標高の高い山地においては短時間に多量の雪が降る頻度が高まることが予想されている(Sasai et al., 2019)。これらは積雪の不安定化と関係が深いことから、山地における雪崩災害のリスクが今後増加することやこれまでと異なる地域で雪崩災害が発生することが懸念される。しかし、温帯低気圧による積雪不安定化と同様に、短期間の大雪についても低頻度な減少であるため、大雪による雪崩災害リスク評価のためには、大量の積雪不安定化事例が必要となる。そのため、雪崩災害リスクが地球温暖化の影響で将来的にどのように変化するかを広域的に予測した研究は例がない。

雪崩災害リスクを評価する上でのポイントは、低頻度な積雪不安定化の事例をどのようにして大量に用意するかである。近年では、膨大な数の気象パターンを基にした気候モデルによる温暖化シミュレーション(大規模アンサンブル気候予測)が行われるようになり、それら実験結果は「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース(d4PDF)」として公開され、豪雨・豪雪災害に関するリスク評価に役立てられている(Mizuta et al., 2017)。この大規模なアンサンブル気候予測データを積雪変質モデルの入力値とすることで、低頻度な積雪不安定化事例であっても大量に用意することが可能である。

## 2 . 研究の目的

気候モデルにより地球温暖化を考慮して将来予測した大量の気象データを用いて、積雪変質モデルにより積雪の安定度とその確率分布を推定し、日本の積雪地域の広域を対象として雪崩災害リスクを評価する。これにより、不安定な積雪はどの程度広域に分布しているのか、そのような積雪がどの程度の頻度で出現し、地球温暖化によってどれだけ変化するのか、を明らかにする。

## 3 . 研究の方法

水平解像度 20km の d4PDF を積雪変質モデルに入力することで、日本の広範囲における積雪安定度を計算する。ここで使用する d4PDF には、現在気候 3000 年分と温暖化気候 5400 年分の大量の気象データが格納されている。本研究では、計算機リソースの制約により、現在気候・温暖化気候それぞれ 1800 年分のデータを使用した。それでもなお、気象データは膨大であり、低頻度な積雪不安定化事例に着目することが可能である。ここで、現在気候は、1951 年～2011 年を、温暖化気候は、全球平均気温が産業革命以前と比較して 4 °C 上昇した年代を指す。使用する積雪変質モデルは、積雪深や多種多様な雪質を広域で再現できることが既に確認されており、積雪安定度の計算も可能である。弱層は、代表的な 2 種類(新雪としもざらめ雪)について、積雪安定度が全積雪層の中で最も小さくなる値が 1.5 以下の場合とした。また、診断された弱層の上部に載っている積雪の重さを上載積雪荷重とした。これらを現在気候・温暖化気候の双方で計算し、それらを比較することで、積雪安定度の広域分布と確率分布の地球温暖化影響を調べる。

## 4 . 研究成果

現在気候下では、北陸・新潟の山間部を中心に新雪の弱層形成の頻度が高く、全積雪期間のうち 20%以上で弱層が形成されていた。また、しもざらめ雪の弱層形成頻度は、北海道を中心に約 15%と高かった。北日本の多くの場所で、新雪、および、しもざらめ雪の双方の弱層形成の頻度は、地球温暖化に伴い減少したほか、しもざらめ雪の弱層は、北海道の一部の除き、ほとんど形成されなくなった。一方で、北陸・新潟の山間部における新雪の弱層形成頻度の減少は、相対的に他の地域に比べて小さかった。これら弱層形成頻度の減少は、気温上昇により積雪層の強度増

加の速度が速くなったためと考えられる。

現在気候における上載積雪荷重が多い地域は、北陸・新潟の山間部などの降雪量の多い地域であった。また、しもざらめ雪の弱層に対応する上載積雪荷重は、新雪のそれと比べて二倍以上多かった。これは、しもざらめ雪の方が長期間弱層として存在することがあり、その間に降り積もる降雪量が多くなるためと考えられる。地球温暖化に伴い、多くの場所で上載積雪荷重は減少傾向を示した。一方で、新雪の弱層に対する上載積雪荷重は本州太平洋側の地域や北海道中央部で30～70%の増加を、しもざらめ雪の弱層に対する上載積雪荷重は北陸・新潟の山間部と北海道中央部で10～30%の増加を示した。

弱層形成頻度は雪崩発生の頻度を、上載積雪荷重は弱層が破壊されたときに流下する雪の量を示唆している。したがって、本研究で得られた結果は、地球温暖化により雪崩の発生頻度は低下するが、一部地域においては、一度弱層ができるとそれに伴う上載積雪荷重はこれまでより多くなり、起こりうる雪崩の規模は大きくなることを示唆している。以上の研究成果をまとめた英語論文は、現在、国際誌にて査読中となっている。

#### <引用文献>

- Hirashima, H. (2019): Numerical snowpack model simulation schemes for avalanche prediction in Japan, *Bulletin of Glaciological Research*, 37S, 31–41
- 石坂雅昭，藤野丈志，本吉弘岐，中井専人，中村一樹，椎名徹，村本健一郎（2014）：2014年2月の南岸低気圧時の新潟県下における降雪粒子の特徴 関東甲信地方の雪崩の多発に関連して - ，雪氷，77，285-302
- Sasai, T., Kawase, H., Kanno, Y., Yamaguchi, J., Sugimoto, S., Yamazaki, T., Sasaki, H., Fujita, M., and Iwasaki, T. (2019): Future projection of extreme heavy snowfall events with a 5-km large ensemble regional climate simulation, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124, 13,975–13,990
- Mizuta, R., Murata, A., Ishii, M., Shiogama, H., Hibino, K., Mori, N., Arakawa, O., Imada, Y., Yoshida, K., Aoyagi, T., Kawase, H., Mori, M., Okada, Y., Shimura, T., Nagatomo, T., Ikeda, M., Endo, H., Nosaka, M., Arai, M., Takahashi, C., Tanaka, K., Takemi, T., Tachikawa, Y., Temur, K., Kamae, Y., Watanabe, M., Sasaki, H., Kitoh, A., Takayabu, I., Nakakita, E., & Kimoto, M. (2017): Over 5,000 Years of Ensemble Future Climate Simulations by 60-km Global and 20-km Regional Atmospheric Models, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(7), 1383–1398

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 勝山祐太
2．発表標題 積雪変質モデルを用いた雪崩発生確率の温暖化影響評価の試み
3．学会等名 日本森林学会大会
4．発表年 2021年

1．発表者名 勝山祐太，勝島隆史，竹内由香里
2．発表標題 20-km解像度の大規模アンサンブル気候予測データを使った弱層形成頻度と上載積雪荷重の将来予測
3．学会等名 日本雪氷学会雪氷研究大会
4．発表年 2021年

1．発表者名 勝山祐太，勝島隆史，竹内由香里
2．発表標題 雪崩発生確率とその規模に関する温暖化影響評価
3．学会等名 日本森林学会大会
4．発表年 2022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
---------	---------