HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	低気圧に伴う降雪に起因する表層雪崩発生危険度の予測手法の開発［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	中村, 一樹
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(環境科学)
Dissertation Number	乙第7186号
Issue Date	2023-12-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/91174
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Kazuki_Nakamura_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士（環境科学）　　氏 名 中村 一樹

学 位 論 文 題 名

低気圧に伴う降雪に起因する表層雪崩発生危険度の予測手法の開発
(Development of a potential estimation algorithm for surface avalanches caused by snowfall with extratropical cyclones)

近年、太平洋側でも南岸低気圧よって大雪がもたらされ、交通障害とそれに伴う長期孤立の発生に加え、表層雪崩の発生や建築物の倒壊、農業被害、着雪による停電等、太平洋側特有の災害が生じている。コストの面からも、これまで想定していたハード対策中心の日本海側の豪雪地帯を中心とする雪氷災害対策だけではなく、太平洋側や日本海側の平野部のような普段雪があまり降らない地域に対するソフト対策が必要である。

バックカントリーや登山者等の山岳ユーザーの安全面からも、道路交通や物流、さらには経済への影響を考えても、国内の雪崩災害に対するソフト対策は重要な課題である。2014年2月に関東甲信地方から東北地方に多数発生し交通、物流に大きなダメージを与えた表層雪崩や、2000年以降に日本で起きた雪崩事故としては犠牲者が最大となった2017年3月に太平洋側の那須岳で発生した雪崩事故のように、近年、ハード対策が不十分な太平洋側で大きな雪崩災害が生じた。その原因となったのは、いずれも低気圧に伴う層状雲から降った雲粒付着が少ない降雪結晶が積雪中で弱層となった表層雪崩である。これまでいくつかの表層雪崩の危険度の予測に関わる研究例があるが、現在までに低気圧に伴う降雪による表層雪崩の発生メカニズムを考慮した雪崩危険度の予測アルゴリズムを開発した研究に取り組んだ例はなかった。

2014年2月に関東甲信地方から東北地方に多数発生した雪崩や、2017年3月に発生した那須岳の雪崩事故で明らかになったように、山岳ユーザーの低気圧に伴う降雪による表層雪崩に対する理解と認識が不足しているため、事前に低気圧に伴う降雪による表層雪崩の発生危険性を可視化し、容易に危険性の認識を可能にする情報の創出は最優先課題である。低気圧に伴う降雪は広範囲に降ることから、危険なエリアが比較的広範囲に広がっていることが予想される。したがって、雪崩危険度を効果的に認識するには、低気圧に伴う降雪による表層雪崩発生危険度を地図上に可視化した情報が必要となる。しかし、既存の情報では、低気圧に伴う降雪に起因する表層雪崩発生メカニズムの考慮が不十分である。また、現在行われている雪崩のリスクの現況情報では山域が限定されており、広い範囲の空間分布を認識することができない。低気圧に伴う降雪に起因する表層雪崩発生危険度の可視化情報を必要とするユーザーとして、入山前に情報を得て山岳を選択し、実際に足を踏み入れ、自らの判断で行動する登山者、バックカントリースキーヤー（スノーボーダー）、スキー場管理者、道路管理者などのインフラ管理者などが想定される。これらの山岳ユーザーが活用可能な形で、雪崩発生危険度を地図上に面的に可視化することが課題となる。

このような背景と課題から、これまで行われたことがない低気圧に伴う降雪による表層雪崩の発生危険度の予測アルゴリズムを開発し、予測情報を地図上に可視化するシステムを開発して実証するとともに、雪崩発生危険度予測システムを実装した場合の予測情報の活用方法について検討することを本研究の目的とした。

低気圧に伴う降雪に起因する表層雪崩の発生を気圧配置から検討すると、2つのパターンに分類することができる。1つ目のパターンは、2017年3月に那須岳で発生した雪崩のように、低気圧進行方向前面の層状雲から降った雲粒なし降雪結晶（例えば板状結晶）で弱層が形成され、さらに同じ低気圧から降った雪が上載積雪となり表層雪崩が生じる場合である。ここでは、１つ目のパターンをパターンAと定義した。もう一つのパターンは、2015年1月の宮城県関山峠国道48号で発生した雪崩のように、低気圧進行方向前面の層状雲から降った雪で弱層が形成され、低気圧が通過した後の冬型の気圧配置による対流雲からの降雪が上載積雪となって表層雪崩が生じる場合である。二つ目のパターンをパターンBと定義した。

雪崩発生危険度の予測アルゴリズムの構築と検証のために、低気圧に伴う降雪に起因する表層雪崩事例のうちパターンAの6事例、パターンBの5事例の合計11事例を取り上げた。11事例のうち10事例については、自ら雪崩発生現場あるいは近隣エリアに赴いて調査を行った。調査結果から雪崩の特徴を抽出し、地形データや気象データを用いて分析を行うことで、低気圧に伴う降雪に起因する表層雪崩危険度算定アルゴリズムを構築して検証を実施した。

抽出した共通の特徴を基に、1)傾斜角を判断基準とする雪崩危険斜面を含むメッシュの抽出、2)気温による降雨、降雪の判別、3)低気圧に伴う降水と冬型の気圧配置に起因する降雪の判別、4)積算降雪量の算出、5) 表層雪崩危険度の判定の5つのプロセスから成り立つ低気圧に伴う降雪による表層雪崩危険度算定アルゴリズムを構築した。MSMを入力値とする構築したアルゴリズムを用いることで、低気圧に伴う降雪により発生するパターンAとパターンBの表層雪崩の発生危険度を5ｋｍメッシュで算定することが可能になった。分析した雪崩事例では低気圧に伴う降雪が20㎜相当以上累積した時点から雪崩が発生していることから、危険度の判定を積算降雪量（㎜）を用いて行った。低気圧に伴う降雪のみで雪崩が生じるパターンAでも、低気圧が通過した後の冬型の気圧配置の時に表層雪崩が生じるパターンBでも、20㎜以上を警戒（地図上では赤色）とする等、危険度なし（無色）も併せて合計6段階の色で表現した。検証の結果、低気圧に伴う降雪によるパターンA及びパターンBの表層雪崩危険度算定アルゴリズム自体の妥当性を示すことができた。

開発したアルゴリズムを用いて、低気圧に伴う降雪による表層雪崩発生危険度を1時間毎に39時間先まで5ｋｍメッシュで予測計算し、3時間毎に更新する実証試験用のWeb閲覧システムを構築した。予測情報の効果や情報設計上の課題を明らかにするため、パターンAの雪崩を対象に構築した実証試験用のWeb閲覧システムを用いて、2017-18年冬季に、山岳ガイド等の山岳関係者26名に情報を提供する実証実験を行った。

被験者へのアンケート調査の結果、情報は有用であり、予測時間の長さ、更新頻度、情報の細かさ、危険度の表現については、概ね実証試験内容で満足していることがわかった。ただし、使い方によっては、さらに長い時間の予測情報や、さらに更新頻度が短く、より空間分解能が高い情報へのニーズがあることがわかった。また、情報の提供方法については、提供多くの登山者は、入山前、入山中にスマートフォンで情報収集しているため、PC画面用のWebでのほかに、スマートフォンでの提供が望まれていることがわかった。提供された情報の活用方法として、入山前、入山時に自分の行動に結び付けているケースが多く、さらには、教育や研究用途でも活用可能であることが示された。

山岳ユーザーにおける低気圧に伴う降雪による表層雪崩危険度予測情報の位置付けとスケールに留意した情報の活用方法について考察した。その結果、本稿で実装した雪崩発生危険度予測システムによる雪崩危険度予測情報は、山岳ユーザーが雪崩ハザードを評価するために活用する情報の位置付けとなり、それを基に危険に対する暴露を減らし、雪崩に遭わない行動を選択するための意思決定をする情報の一つとして利用され得ることが示唆された。