

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

氏 名 小松 麻美

論 文 題 目 Development of a snow avalanche warning system
(雪崩発生危険度予測システムの構築)

論文審査担当者

主 査 名古屋大学大学院環境学研究科 藤田 耕史 教授

副 査 名古屋大学宇宙地球環境研究所 檜山 哲哉 教授

副 査 名古屋大学大学院環境学研究科 坂井 亜規子 准教授

副 査 名古屋大学 西村 浩一 名誉教授

論文審査の結果の要旨

本研究は、積雪構造の変化を記述するモデルと、吹雪に伴う吹きだまりの分布を算出するモデルを開発し、両者を結合することで従来に比べてより精緻な雪崩発生危険度情報の提供を可能としたものである。

冬季の雪崩の発生危険度を高精度で予測するためには、対象とする領域における気象の推移とそれに伴う積雪構造の変化を表現可能なモデルの構築が不可欠である。すでにフランスやスイスでは精緻なモデルが開発されているが、多くの気象要素の入力が必要とされ、短い時間間隔で業務として情報提供することは困難である。こうした背景のもと、本研究では気温と降水量（降雪深）のみを入力して、雪崩の発生危険度に影響する、雪質、雪温、密度、せん断強度などの積雪構造を算出可能な簡易なモデル（Simple Snow-Cover Model: SSCM）を開発した。広い地域を細かい格子間隔かつ短時間で計算できるよう、物理過程を大幅に簡略化した。SSCM の出力を北海道内の 2 箇所で実施された積雪断面観測と比較し、スイスのモデルと同程度の精度で積雪構造を再現できることを確認した。そこで国内で過去に発生した雪崩 12 例について SSCM を用いて計算を行ったところ、積雪各層のせん断強度とそこに作用するせん断応力の比として定義される積雪安定度（Stability Index: SI）の平均値はこれまで雪崩発生時に国内外で観測された値と同程度となり、本モデルが雪崩発生危険度の推定に有効であることを示した。ただし、風の強い山岳域では、雪崩発生を十分に再現できなかった事例もあり、吹雪による吹きだまりの効果を考慮する必要性が示された。

そこで、次のステップとして、複雑な地形上での吹雪輸送と吹きだまりを算出するモデルを開発し、SSCM と結合した。対象領域には数多くのスキー場が存在し、地域独自の雪崩情報が提供されているニセコアンヌプリ山城を選定した。本来、吹雪現象は雪粒子と空気の二相混相流であるが、本研究では対象領域の気流場（風の分布）を解き、次にその気流場に基づいて飛雪場を解くという手順で数値シミュレーションを実施した。地形に沿った一般曲線座標系のもと、気流は乱流方程式を標準 $k-\epsilon$ モデルで、吹雪は雪面近傍の跳躍層でのフラックスと降雪量をそれぞれ下層と上層の境界条件として与え、浮遊層内での雪粒子輸送を拡散方程式により計算した。求められた風の場合については、当地に設置された 6 台の風速計の記録、風洞実験などと比較検討をおこなった。このうち山域内に設置された 6 地点での観測値との比較結果からは、モデルが十分に実用的な精度を持つことが示された。さらに吹雪輸送の収支から計算された吹きだまりの分布も、現地で目視確認された分布とおおむね一致した。このほか活性白土を用いた風洞実験とも、谷や尾根の風下側の斜面への堆積状況が良く一致した。上述の結果を踏まえ、北海道の稚内で発生した雪崩を対象に、SSCM と吹雪・吹きだまりモデルを結合して雪崩危険度を算出したところ、SI の低下により発生危険度が増加した時刻が実際の雪崩発生時刻と高い精度

で一致し、その有効性が確認された。

申請者が所属する（一財）日本気象協会では、現在は **SSCM** のみを用いて主として道路管理者に雪崩危険度情報を各種の媒体を通して発信しているが、今後本研究で開発した吹雪・吹きだまり情報を結合させることで、より精度が高い情報提供が可能になると期待される。また本システムは主に厳冬期に発生する表層雪崩を対象としているが、今後改良を加えることで春先に発生する湿雪雪崩も含めた広範な雪崩発生予測への拡張も可能であり、寒冷地域における雪氷防災に大きく貢献することが期待される。よって本論文の提出者 小松麻美氏は、博士(理学)の学位を授与される資格があるものと判定した。