

新潟大学災害・復興科学研究所
共同研究報告書

雪おろシグナルと機械学習手法を組み合わせた
湿雪型落雪危険度推定システムの開発

研究代表者氏名 平島寛行¹⁾

研究分担者氏名 河島克久²⁾, 本谷研³⁾, 佐野浩彬⁴⁾

1) 防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター 2) 新潟大学 災害・復興科学研究所
3) 秋田大学 4) 防災科学技術研究所

研究要旨

屋根雪被害軽減を目的に開発された「雪おろシグナル」は、家屋破損や転落事故の軽減には有効であるが、屋根からの落雪事故は対象外であった。そこで一昨年度より、雪おろシグナルを応用した落雪危険度予測の研究を開始した。本研究では、湿雪による落雪事故事例を対象とし、雪おろシグナルで用いる SNOWPACK の計算結果と機械学習を組み合わせた落雪危険度推測手法の開発を試みた。スイスで湿雪雪崩を予測するために用いられた手法を参考に、気象データ及び SNOWPACK の計算結果を説明変数に使用し、2020 年度～2023 年度の 49 件の湿雪型の落雪事故事例を教師データとしてモデルを構築した。その結果、落雪危険度が高まるタイミングを予測できる可能性が示されたが、汎化性能に関しては改善の余地が残った。これを踏まえ、昨冬までの教師データに基づくモデルを今冬の雪おろシグナルに適用し、落雪危険度分布を予測するシステムのプロトタイプを開発した。

A. 研究目的

雪氷災害は毎年 100 名前後の犠牲者を出し、その中でも屋根雪に関連した事故が最多である。これには、雪下ろし中の転落や家屋倒壊、落雪による埋没などが含まれる。これまでの共同研究で開発してきた「雪おろシグナル」は、適切な雪下ろしのタイミングを判断してもらうために積雪重量情報を発信しており、転落事故や家屋の破損の軽減には有用である一方で落雪の危険性は把握できない。一方、同システムで用いている積雪変質モデル SNOWPACK は、密度や積雪重量に加え、雪質、含水率、積雪安定度のプロファイルや底面からの流出量も計算できるため、これらの情報を利用することで落雪危険度推定への応用が期待できる。そこで本研究では、SNOWPACK の計算結果と落雪事故の情報を用い、湿雪型の落雪を対象とした機械学習による落雪危険度予測モデルを構築し、その予測可能性を検討した。

B. 研究方法

B-1 雪おろシグナルの適用範囲拡大

雪おろシグナルは年々適用範囲を拡大している。昨年度は北海道、東北、北信越に加え、群馬県や滋賀県北部をカバーすることで特別豪雪地帯全域まで拡大した。さらに本年度は京都府、栃木県北部、中国地方の豪雪地帯エリアを新たに加え、山梨と静岡を除く豪雪地帯全域をカバーした。これにより、本研究で進める落雪危険度予測のシステムも豪雪地帯のほとんどが対象となった。

B-2 機械学習モデルの構築

雪氷防災研究センターが取りまとめた雪害データベースにおける人工物落雪の情報に基づいて、2020/21 冬期から 2023/24 冬期までの落雪事故に関する発生場所と日時をまとめた。その結果、130 事例の落雪事故が確認された。各事故について、雪おろシグナルで SNOWPACK の計算を行っている積雪深観測地点のうち最も近い場所を抽出し、同地点の SNOWPACK 計算結果と気象データを機械学習の説明変数に用いた。なお、本研究では

湿雪型の落雪を対象とするため、SNOWPACK の計算結果に基づいて乾雪型と湿雪型に分類し、130 事例中 49 事例を湿雪型として解析対象にした。

説明変数には、SNOWPACK の入力に用いる気象データ（気温、日射量、降水量、積雪深等）および SNOWPACK の出力項目（積雪水量、底面流出量、積雪安定度、顕熱、潜熱フラックス等）が含まれる。また、積雪層構造の情報を反映するため、層構造データを加工し、以下のスカラー値を作成した：全層平均温度、平均密度、平均含水率、含水率の最大値、湿雪の深さ、湿雪の割合、上部 15cm の平均含水率と湿雪の割合、下部 30cm の平均含水率と湿雪の割合。これらは、SNOWPACK と機械学習を組み合わせて湿雪雪崩の予測手法を開発した Hendrick et al. (2023) の手法を参考にした。彼らは雪崩発生日と非発生日を目的変数として扱っている。本研究でも、気象・積雪データを日平均値に変換して説明変数とし、落雪事故発生日を危険な日、冬の初めから事故の前日までを安全な日として目的変数を設定し、ランダムフォレストを用いて機械学習モデルを構築した。

B-3 落雪危険度予測システムの構築

構築した機械学習モデルを用いて、今冬稼働している雪おろシグナルの情報と組み合わせ、落雪危険度分布の変化を算出するシステムを構築した。また、落雪危険度分布を今冬に発生した落雪事例と比較し、本システムの実用性を検討した。

C. 研究結果と考察

C-1 機械学習モデルの構築

ランダムフォレストモデルでは各説明変数の重要度が出力される。その出力結果では、上部 15cm の湿雪割合や含水率の合計が最も強い影響を示しており、上部の濡れ具合が湿雪型落雪に対して最も重要となることが示された。また、融解再凍結による内部エネルギー変換量も高い重要度を示し、融解の進行が次いで重要な要素であることが明らかとなった。

この学習結果を用いて、2022 年 12 月 24 日の山形県長井市および 2021 年 1 月 13 日の新潟県上越市柿崎における落雪事例に対し、SNOWPACK 計算結果と落雪危険度の時系列変化を図 1 に示した。

長井市の例(a)は、多量の降雪後に降雨があった際に発生した落雪である。下図の青線は落雪が起きた 12 月 24 日を危険度 1、それ以前の日を 0 として表示しており、橙の線は予測された危険度を示している。青線が 1 になるタイミングで橙の線が上昇した場合は正しく予測したことになる。本例では落雪日に急上昇して 0.6 に達しており、落雪危険度の増加を的確に捉えていた。上越市の例(b)では、融雪が進む時期に危険度がやや高まる日があったが、落雪が発生した 1 月 13 日には 0.5 に達しており、この例でも正しく予測できた。

危険度から安全か危険かで 2 値化する際に、その閾値を 0.05 に設定してすべての落雪事例で検証した結果、平均して落雪発生までに 2~3 回の誤警報を許容したら、49 事例中 47 事例の落雪危険が的中した。本結果から、フィッティング段階においては機械学習手法による落雪危険度予測の高い可能性が示された。

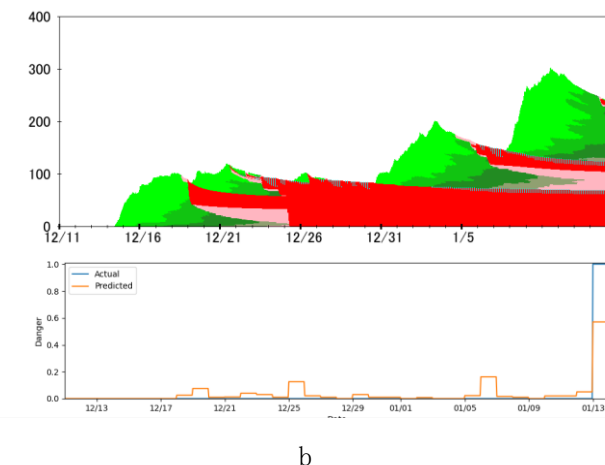
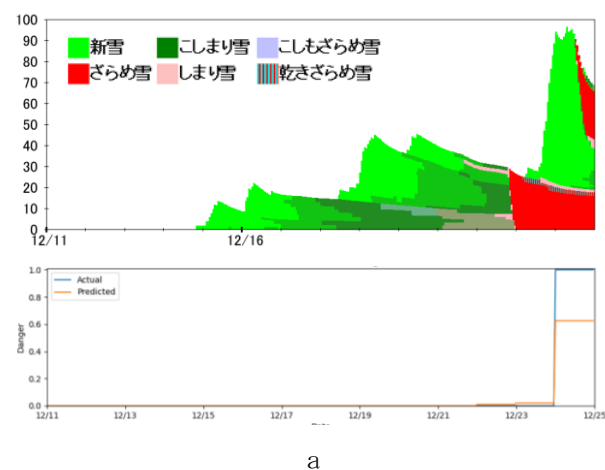


図 1 落雪事故発生日までの SNOWPACK の雪質の計算結果(上)及び落雪危険度の変化(下)。a:長井市の例、b:上越市の例

続いて汎化性能を検証するため、全 49 事例から 15 事例をテストデータとして学習から外して精度検証を行ったところ、15 事例中 13 事例の落雪危険を捉えるのに 8~9 回の誤警報が生じた。新たなデータに対しては精度は大きく下がり、現段階ではまだ改善の余地があるが、今後学習データの拡充等により精度向上を目指す。

C-2 落雪危険度予測システムの構築

前節で構築した機械学習モデルで作成した ROC 曲線に基づき、雪おろシグナルと同様の ISO22324 に準拠した危険度の色を以下のように設定した。

- ・緑 : 0~0.02 落雪の可能性ほぼなし
- ・黄緑 : 0.02~0.05 落雪の可能性は低い
- ・黄色 : 0.05~0.1 落雪の可能性多少あり
- ・橙 : 0.1~0.4 落雪の可能性あり
- ・赤 : 0.4~ 落雪の可能性が高い

昨冬までの 49 事例全データで学習させた機械学習モデル及び上記の色設定を用いて、図 2 に示される豪雪地帯のほとんどの地域をカバーする今冬の雪おろシグナルのデータに適用し、各積雪深観測地点の落雪危険度分布の推移を算出した。



図 2 豪雪地帯に拡大した雪おろシグナル

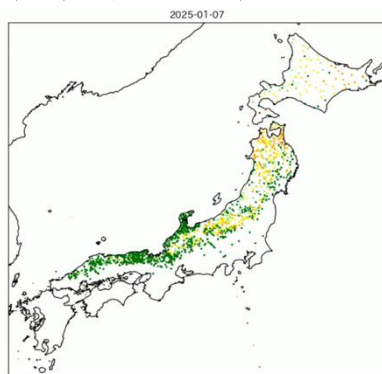


図 3 2025 年 1 月 7 日における落雪危険度分布

一例として、2025 年 1 月 7 日の落雪危険度分布を図 3 に示す。この日は青森県の弘前市と藤崎町で、翌 8 日には青森市で落雪事故が発生したが、該当する青森県内はほとんどが黄色または橙であった。このように落雪危険性を示したものの、全体的には精度面でまだ改善の余地が残っている。

D. 結論

雪おろシグナルの情報と機械学習手法を用いた落雪危険度予測の可能性を検討した結果、フィッティングの段階では一定の精度は実現できたものの、汎化性能には改善の余地があることが示された。現在は教師データが限られているため、今後はより多くの過去データを取り入れるとともに、落雪事故データだけでなくカメラ画像など直接的な落雪有無に関する情報も学習に組み込む必要がある。プロトタイプとして危険度分布情報の作成は可能となったため、今後は落雪危険度予測の精度向上を試みるとともにどのように発信するかを検討も進める。

参考文献

- 1) Hendrick et al., 2023: J. Glaciol., 69, 1-14.

E. 研究発表

1. 論文発表 (掲載誌名・巻号・頁・発行年を記入し、掲載論文あるいは PDF ファイルを別紙で 1 部提出)

Hirashima et al., Journal of Disaster Research, 19(5), 741-749, 2024.

2. 学会発表 (学会名・発表年月・開催地なども記入)

平島ら：雪おろシグナルを用いた落雪危険度推定の試み - 積雪変質モデルと機械学習手法の連結 -, 雪氷研究大会, 2024 年 9 月, 長岡

本谷ら：診断型積雪分布モデルによる北海道における積雪水量分布の再現 -2023-24 年冬季の積雪状況把握への適用-, 雪氷研究大会, 2024 年 9 月, 長岡

F. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

1. 特許取得
なし
2. 実用新案登録
なし
3. その他
なし