

新潟大学災害・復興科学研究所
共同研究報告書

Rain-on-Snow 型落雪の危険度推定にむけた雪おろシグナル情報の応用研究

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 (400 字以内)

これまでの研究で屋根雪被害の軽減を目的に開発してきた「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に関しては対象外であった。そこで昨年度より雪おろシグナルの情報と落雪事故との関連の研究を開始した。本研究では、これまでとりまとめた落雪事故の事例のうち、Rain-on-Snow 型の落雪事故時における雪おろシグナルの計算結果を用いて落雪危険度を推測する手法の開発を試みた。SNOWPACK から出力される層構造データを濡れ雪の落雪に関係しそうなスカラー量に変換して特徴量として扱い、ランダムフォレストを用いて機械学習を行った結果、学習に用いた事例に対しては落雪事故に対する安全・危険を分類できたことが確認できた。また、その学習モデルを用いて落雪危険度分布作成手法のプロトタイプを開発した。今後は実用化にむけてデータやモデルの改良を進めて汎化性能を向上させていく。

A. 研究目的

雪氷災害は毎年 100 名前後の犠牲者を出しており、その中でも屋根雪に関連した事故は最も多い。屋根雪関連事故は雪下ろし中の転落事故や家屋の倒壊、また落雪による埋没等がある。これまでの共同研究の中で開発してきた「雪おろシグナル」は適切な雪下ろしのタイミングを判断するための材料として積雪重量の情報を発信し、雪下ろし中の転落事故や家屋倒壊を軽減するために用いられてきた。一方で、落雪の危険性に関しては雪おろシグナルで得られる積雪重量分布から読み取ることはできない。しかしながら、雪おろシグナルで用いられている積雪変質モデル SNOWPACK は密度や積雪重量だけでなく雪質や含水率、積雪安定度等の積雪のプロファイルや、底面からの水分の流出量等も計算できるため、落雪の危険度推定にも応用できる可能性を持っている。そこで昨年度の共同研究において、SNOWPACK の計算結果と落雪事故事例の比較を行った。SNOWPACK を用いることにより落雪時には雪が乾いていたか、あるいは水が浸透していたかなど、落雪時の積雪状態を

推測することができる。それを利用して、各落雪事例に対して乾雪型、融雪型、Rain-On-Snow (ROS) 型の 3 パターンに分類した。本研究は雪おろシグナルでそれらの落雪の危険度を発信可能にすることを目指しており、本年度は ROS 型の落雪事例に対して雪おろシグナルを利用した落雪危険度の推定の可能性について検討を行った。

B. 研究方法

B-1 落雪事故情報の取得と SNOWPACK の解析
防災科研では、2000 年度より、新聞やネットニュース等から雪害事故に関する情報を記録し、雪害データベースとしてまとめている。記事では落雪事故の起きた市町村地域や発見の日時が記載されている。本研究では、落雪の事故に関する情報を抽出してまとめるとともに、SNOWPACK の計算結果との比較を行った。

比較の際には、落雪事故の発生した地点から最も近い雪おろシグナルの計算地点を積雪荷重計算サイトから確認した。比較の際には、毎時更新される積雪深観測点のデータを優先的に使用し

た。対象とした積雪深観測点における SNOWPACK の計算結果から、昨年度に行ったと同様の方法で乾雪型、融雪型、ROS 型の 3 つに分類し、そのうち ROS 型の落雪について落雪の危険度を推定する機械学習モデルを作成した。

B-2 落雪危険度推定の機械学習モデル

SNOWPACK と落雪危険度を結びつけるために、目的変数として危険度指標、特徴量として気象データや SNOWPACK の計算結果を用いた。ここでは、気象データから気温、降雨量、風速、SNOWPACK のデータから底面流出量、積雪深、積雪水量、また SNOWPACK の層構造データを加工して平均含水率、平均温度、平均密度、濡れ雪割合、新雪割合の情報を作成し、それぞれを時系列の特徴量として扱った。目的変数の危険度は、昨年度の解析手法同様、落雪発見日時 12 時間前から落雪発見日時 12 時間前までを危険、雪の積もりははじめから落雪発見日時 12 時間前までを安全と定義した。機械学習の手法としてはランダムフォレストを用いた。ランダムフォレストは決定木とアンサンブル学習を組み合わせた手法であるが、雪の研究で同手法が用いられた海外の事例として、気象、積雪データから水みちが形成されるか判定するモデル¹⁾や、SNOWPACK の計算結果から雪崩危険度を判定するモデル²⁾の開発等がある。精度の評価指標には適合率と再現率から計算する F1 スコアを用いた。

C. 研究結果

C-1 落雪事例の分類

2019 年度以降の落雪事故に対して、雪おろシグナルの対象地域において SNOWPACK 計算を行い、乾雪型、融雪型、ROS 型の 3 つのパターンに分類した。その結果を表 1 に示す。2019/20 及び今冬である 2023/24 は少雪だったこともあり ROS 型の落雪事故事例はほとんど見られなかった。したがって、解析は主に 2020/21, 2021/22, 2022/23 の 3 冬期の ROS 型落雪事故を対象に行った。

C-2 危険度推定の可能性

ランダムフォレストでは特徴量の重要度を出力することができる。ここで、今回の学習において示された重要度の結果を図 1 に示す。ROS 型の落雪については、平均含水率や湿雪割合が重要度として最も高かった。一方、降雨量の重要度は低い結果になった。これは降雨があっても落雪事故

表 1 各年度の落雪事故の分類

年度	乾雪型	融雪型	ROS型	その他
2019	0	0	0	0
2020	24	17	12	5
2021	20	18	9	4
2022	11	2	6	0
2023	5	2	1	0

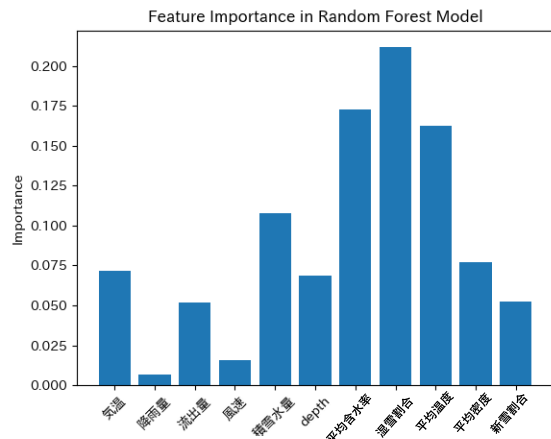


図 1 ROS 型落雪に対する各特徴量の重要度

が起きていない時は安全である方向に学習されるためと考えられる。危険度のより正確な予測には、教師データに使う目的変数で安全と危険の振り分け方に関して工夫が必要である。

学習させた 3 冬季間で検証を行った結果、2020 年度、21 年度、22 年度それぞれの年における F1 スコアは 0.82、0.93、0.97 と 3 冬季とも、よく的中していたが、学習データとテストデータを分けた結果ではないため、学習データに対するチューニングができた段階である。ここで、汎化性能を確認するため、22 年度のデータを除外して学習させたモデルに対して 22 年度をテストデータとして検証したが、この場合は F1 スコアは 0.11 となり、十分な中率を得ることができなかった。このようにランダムフォレストを用いることで、チューニングは可能になったものの汎化性能はまだ低く、落雪危険度予測は難しいのが現状である。しかしながら、データやモデルの追加、改良により今後精度の改善が進む可能性も示された。

D. 考察

本研究で作成された機械学習モデルを用いて今冬の 2023/24 の危険度分布の作成を試みた。SNOWPACK で計算しているそれぞれの地点において気象データと SNOWPACK の出力結果から各日時の危険・安全を判定した。それらをまとめた結果を図 2 のようにマッピングして危険度分布を作成した。2023/24 年度はほとんど安全との判定結果になった(a)。この年は ROS 型の落雪事故もほとんどなく、危険度分布の検証はできなかったため、2022/23 における危険度分布も作成した。落雪事故が発生した時期以外では、融雪期において中山間地で危険と出る傾向が見られた(b)。

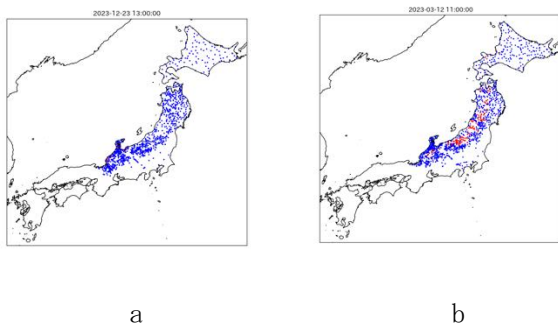


図 2 機械学習モデルから算出した危険度分布例(青：安全、赤：危険)

本研究では落雪事故事例と SNOWPACK の比較、それを用いた機械学習モデルの構築とその適用による危険度分布作成の一連のシステムのプロトタイプを構築した。本システムを実用的なものに持って行くには、目的変数の危険、安全の基準に対して教師データの改善も必要である。SLF における雪崩予測でランダムフォレストから危険度判定が行われた際には現地の雪崩予測者が判定した危険度ランクが教師データに用いられているが、本研究の落雪に関してはそのようなデータがなく、安全、危険を切り分ける基準に落雪事故事例を使っている。落雪事故事例だけでなく他の指標（例えば山形県や秋田県の雪下ろし注意情報）の基準を含める等の改良や、落雪に関する情報の非公開データなどが扱えれば今後精度の改善が期待できる。

今後も過去データを含めた追加、データ利用や機械学習モデルの改良等により改善を進める予定である。

E. 結論

これまでに開発してきた雪おろシグナルで扱っている SNOWPACK の計算結果を用いて、落雪事故発生時における計算結果と落雪事故事例の比較を行い、ROS 型落雪に対して SNOWPACK の計算結果を利用したランダムフォレストによる機械学習モデルの構築を試みた。その結果、学習モデルに適応した危険度判定のチューニングはできたが、現段階では十分な汎化性能は得られておらず、危険度推定にはまだ改良が必要であるという結果であった。本研究では危険度分布作成までのプロトタイプができたので、今後はデータや機械学習モデルを改良して実用的な落雪危険度判定につなげていく予定である。

参考文献

- 1) Avanzi et al., 2019: Water Resour. Res., 55, 10727-10746.
- 2) Pérez-Guillén et al., 2022: Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 22, 2031-2056.

F. 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)
・なし

2. 学会発表 (学会名・発表年月・開催地なども記入)

平島ら：雪おろシグナルを応用した屋根からの落雪危険度の推定にむけて、雪氷学会北信越支部研究発表会, 2023 年 6 月, 富山

平島ら：積雪変質モデルを用いた屋根落雪危険度推定に向けた試み, 雪氷研究大会, 2023 年 9 月, 郡山

G. 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