

高速道路における冬期路面状況の推定

田辺 啓輔¹・松田 曜子²・佐野 可寸志³・高倉 拓実⁴・加藤 哲平⁵・
原山 哲郎⁶

¹ 非会員 長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学分野 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)
E-mail: s193275@stn.nagaokaut.ac.jp

² 正会員 長岡技術科学大学 環境社会基盤系 准教授 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)
E-mail: ymatsuda@vos.nagaokaut.ac.jp

³ 正会員 長岡技術科学大学 環境社会基盤系 教授 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)
E-mail: sano@vos.nagaokaut.ac.jp

⁴ 非会員 エヌシーイー株式会社 (〒950-0954 新潟県新潟市中央区美咲町 1 丁目 7 番 25 号)
E-mail: T-Takakura@nceinc.co.jp

⁵ 正会員 長岡技術科学大学 環境社会基盤系 講師 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)
E-mail: tkato@vos.nagaokaut.ac.jp

⁶ 正会員 東日本高速道路株式会社新潟支社道路事業部 (〒950-0145 新潟市江南区亀田早通 3233)
E-mail: t.harayama.aa@e-nexco.co.jp

本研究では、高速道路における冬期路面状況の推定を行った。推定の対象は 2022 年 1 月の関越自動車道湯沢管理事務所管内とした。下り線 165.3KP 付近に設置されたカメラで 30 分おきに取得した画像から湿潤、黒シャーベット、白シャーベット、圧雪、積雪の 5 種類に目視で判別したものを目的変数として用い、気象条件と交通量、除雪車通過からの経過時間などを説明変数とした機械学習を行い構築したモデルから推定を行った。推定の結果、モデル全体の精度は 85% 程度であり、湿潤状態は 95% 以上の確率で推定することができた。一方で圧雪、積雪状態など出現頻度が低い路面状況は推定精度が大幅に低下した。説明変数のうち除雪車通過からの経過時間や前時間の路面状況が推定に重要な変数であることが確認できた。これらの結果をもとに、路面状況の変動に合わせた的確な除雪作業を行うための情報提供に活用できることを目指す。

Key Words: machine learning, winter road surface conditions, snowfall, road surface temperature, elapsed time from snow removal operation

1. はじめに

(1) 背景

冬期の道路では、気温の低下や降雪によって路面積雪が増大し一般車両の走行環境が悪化する。このような状況下では走行性の低下や事故・スタック発生の危険性が高くなる。齊田ら¹⁾は降雪による走行環境の変化が走行速度および時間信頼性に及ぼす影響の評価を行い、路面平坦性の悪化が走行速度の低下に及ぼす影響を明らかにしている。高崎ら²⁾は路面積雪状態を推定し気象条件、交通量と路面状況の関係性を明らかにし、路面状況を推定するモデルの構築を行っている。

一方でこれらは一般道での推定であり、高速道路では路面積雪の推移などの特性が異なっていると考えられるため、検討が必要である。

(2) 研究目的

高速道路における冬期の路面状況に関しては、一般道と比較してより高次元での管理が行われている。このため圧雪などの路面状況の出現パターンは一般道と異なると考えられる。これらのことから本研究では高速道路における冬期路面状況の推定を行うことを目的とし、気象条件等が高速道路の路面状況に与える影響を分析した。これらの結果をもとに路面状況推定モデルを構築した。

2. 研究概要

(1) 分析対象

本研究では、我が国有数の豪雪地帯である新潟県を通過している関越自動車道を対象としている。降雪の影響

を受けやすく、冬期路面管理が重要となる路線である。

実際の路面状況を把握するため、東日本高速道路株式会社新潟支社より提供していただいたライブカメラの画像を取得した。分析期間は 2022 年 1 月であり、30 分間隔の画像から路面状況の分類を行った。画像取得位置は図-1 に示す関越自動車道下り線 165.3KP 付近である。図-2 に対象期間の湯沢町の降雪量を示す。対象期間では平均気温は例年より低く、降雪量は多くなった³⁾。

(2) 分析手法

本研究では、教師有り機械学習により路面状況を推定するモデルを構築した。主に使用したアルゴリズムは Random Forests (以下 RF) である。これはアンサンブル学習の一種であり、複数の決定木 (tree) を用いて森 (forest) を構成して判別を行うものである。

(3) 使用データ

a) 路面画像

分析にあたって目視での路面状況分類により教師データの作成を行った。路面状況は図-3 に示す東日本高速道路 (株) 新潟支社から提供された判別フローに従って目視によって 7 つの路面に分類を行った。総画像枚数は 1,488 枚となった。表-1 に分類結果を示す。今回の分類期間では乾燥、凍結の出現は確認できなかった。

b) 気象データ

路面状況推定モデルの説明変数として路面画像取得位置付近に設置された観測所で観測された降雪量、気温、風速、路温のデータを用いた。



図-1 路面画像取得地点

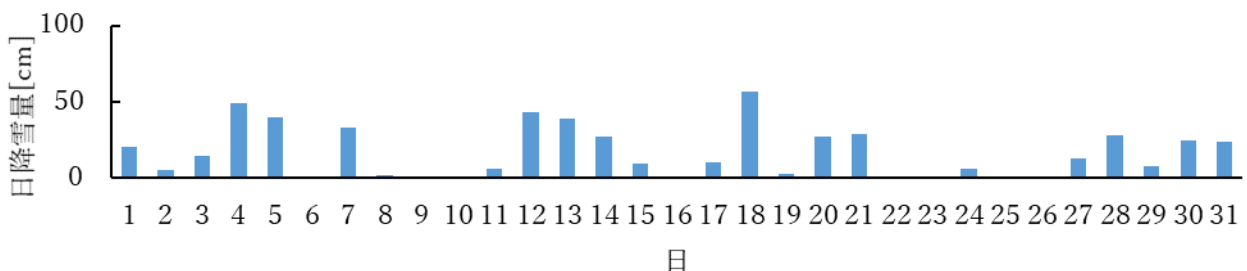


図-2 2022年1月 湯沢町の日降雪量

c) 除雪データ

除雪作業による路面状況の変化を考慮するため、除雪車GPSデータを用い除雪作業からの経過時間を算出した。GPS データに含まれるキロポスト情報からライブカメラ設置位置の通過時刻を算出した。データの性質上カメラ取得位置をピンポイントで通過しているデータが取得できていない場合があるため、そのような場合には前後のキロポスト通過時の時刻から推定して通過時刻を算出している。

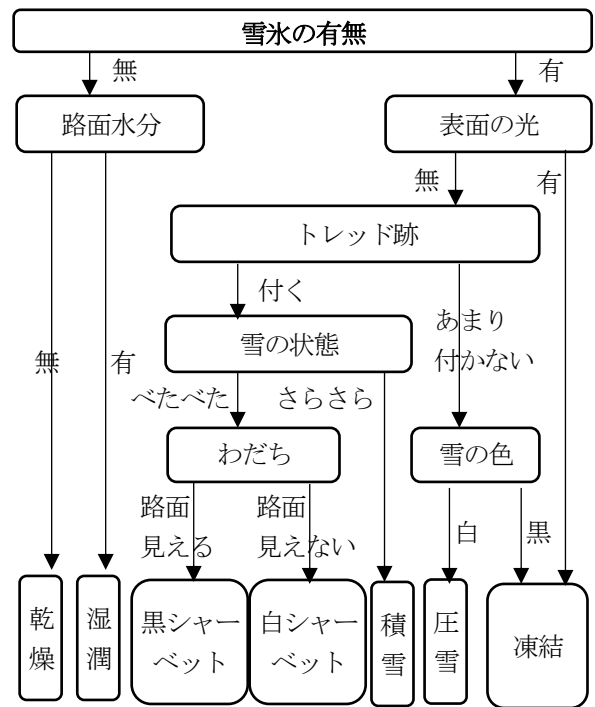


図-3 路面状況判別フロー

表-1 路面状況出現数

	路面状況				
	湿潤	黒シャーベット	白シャーベット	圧雪	積雪
出現数	1033	265	131	52	7

3. 説明変数の検討

(1) 気象条件と路面状況の関係

路面状況推定モデルに用いる説明変数のうち、降雪量、気温、風速、路温について各路面状況との関係性の分析を行った。

a) 降雪量

図-4 に降雪量と各路面状況の関係を示す。図中の箱ひげは各路面状況の最大値、第三四分位数、中央値、第一四分位数、最小値を示している。また各路面状況ごとの平均値を線で結んでいる。湿潤では降雪量が0cmに近く、シャーベット、圧雪と悪化するにつれて降雪量は増加する傾向がみられた。このことから降雪強度に応じて路面状況が悪化することが確認できた。またいずれの路面状況においても箱ひげ図のひげが上下に長くのびていることがわかる。これは強い降雪、弱い降雪があった時刻において既に路面状況が形成されていたためと考えられる。

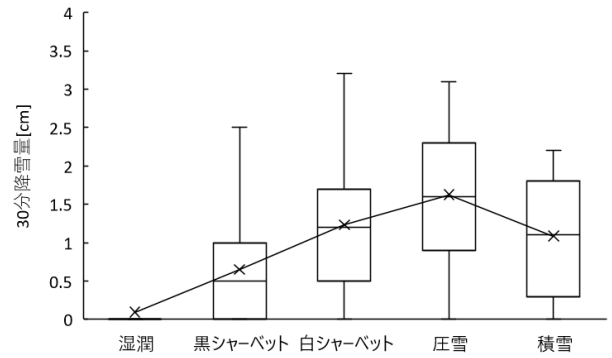


図-4 降雪量と路面状況

b) 気温

図-5 に気温と各路面状況の関係を示す。路面状況の悪化に従って出現する気温は低下する傾向がみられた。また湿潤では他の路面状況と比較してひげが上下に長く伸びていることがわかる。これは晴れている日の夜間に起こる放射冷却によって強く冷え込んだためと考えられる。

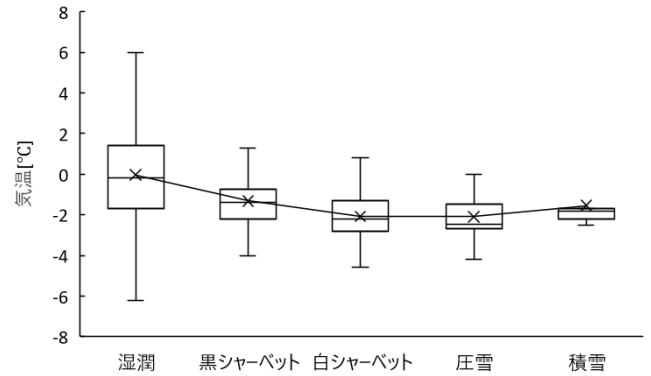


図-5 気温と路面状況

c) 風速

図-6 に風速と各路面状況の関係を示す。路面状況が湿潤から積雪に向かうに従って風速は強くなる傾向がみられた。これは観測地である新潟県では、日本海から吹く季節風が強いと山間部で大雪となる⁴⁾特徴が関係していると考えられる。

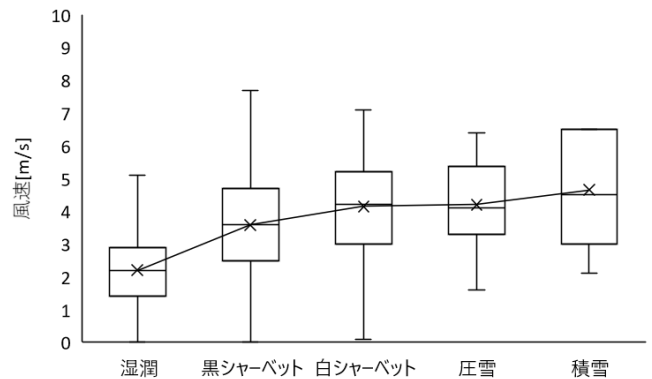


図-6 風速と路面状況

d) 路温

図-7 に路温と各路面状況の関係を示す。降雪量、気温、風速と異なり湿潤以外の路面状況間であまり差がみられなかった。これは路面に雪氷があることで天候によらず路温の変化幅が抑えられたためと考えられる。湿潤でのひげが上下に大きくのびていることから路面積雪がある状況では路温の変化が妨げられていることがわかる。

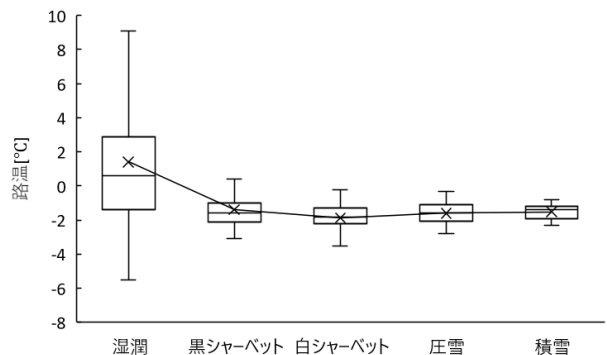


図-7 路温と路面状況

(2) その他の説明変数

上記に加え、冬期路面形成に影響を与えると思われる時刻、除雪作業からの経過時間を説明変数に用いた。なお、除雪作業には新雪除雪、拡幅除雪など様々な種類があるが、今回は除雪作業の中心であり、対象区間において主に行われている新雪除雪⁵⁾を対象としている。

また、冬期路面では圧雪から湿潤状態まで短時間で変化するなどの急激な路面状況の変化は考えにくい。そのため前時間（30分前）の路面状況を説明変数に追加することで路面の時間的連続性を考慮した。

4. 機械学習モデルによる路面推定結果

(1) モデル構築

RF 法によりモデルの構築を行った。今回使用したデータは湿潤のサンプルサイズが多くなっている。このような不均衡データでモデル構築を行うと正解率が上がってしまい表面上は良いモデルになってしまう恐れがある。そこで湿潤をランダムに抽出し削除することでサンプル数を減らし、偏りを軽減させる措置を取っている。またモデル内で各クラスごとのサンプル数の重みづけを行うことでも偏りの是正を図っている。

モデル構築時には学習用データと検証用データに分割し、学習用データでモデル構築、検証用データで精度の確認を行った。これらはランダムに振り分けられているが、偏りを防止するため交差検証法により 5 回のサンプリングを行っている。

(2) モデルによる推定結果と分析

モデルによる路面状況の推定結果を表-2 に示す。これは検証用データの推定結果であり、モデルの正解率は 85.7% となった。また各路面状況ごとの正解率を表-3 に示す。湿潤では 97.3% と非常に高い正解率となった。黒シャーベットでも 89.8% と高い値であるが、白シャーベット、圧雪では低くなる結果となった。このことから構築したモデルは路面状況によって偏りがあるため、汎用性が高いとはいえない結果であると考えられる。また、教師データは目視での路面分類であり、多少の判別誤差が含まれていることが想定される。特に夜間や吹雪による視界低下、大雪によりライブカメラに着雪しているような場合には目視での路面判別が困難になる。このような判別が困難な状況では正解率の低い路面状況の出現率が高いことも正解率の低下の原因になっていると考えられる。

各説明変数の重要度を表-4 に示す。ここでの重要度とは、ターゲット（目的変数）の分類においてその説明変数がどの程度寄与しているかを測る指標である。これをみると、前時間の路面状況が最も高い重要度を示している。重要度はあくまでノード分割の指標であるが、前時間の路面状況が現時間の路面状況に与える影響は大きいといえる。また次点で気温、路温の重要度が高くなっている。3 において両者とも各路面状況ごとの差がある程度明確に現れていることが確認されており、ノード分割において指標になりやすいデータであったことがうかがえる。

一方で、降雪量、除雪からの経過時間では重要度が低い結果となった。まず降雪量についてだが、3 章で示したように各路面状況とも降雪強度の出現幅が広がって

いる。つまり同じ降雪強度であったとしてもどの路面状況になるかはそれまでの路面状況の推移などに大きく影響を受けるといふことであり、降雪量のみで路面状況を推定することは非常に困難であると考えられる。モデルの性質上、教師データをなるべく純度が高くなるように分割していくため降雪量あまり寄与しなかったのではないかと考えられる。

次に除雪からの経過時間では、前述のように算出を行った除雪車 GPS データの取得間隔からライブカメラ設置位置をちょうど通過したときのデータが得られておらず、その前後の位置でのデータから補正を行っている場合がある。算出の際には除雪車は一定速度で走行しているとの仮定をしたうえで計算しているため、ある程度の誤差が生まれることが想定される。また除雪後に完全に路面上の積雪が除去されない場合があり、これらが影響して重要度が低くなったと考えられる。

表-2 モデル推定結果

	予測結果					
	湿潤	黒シャ	白シャ	圧雪	積雪	
実際の路面	湿潤	95	3	0	0	0
	黒シャ	2	53	4	0	0
	白シャ	1	5	17	2	0
	圧雪	0	1	3	7	0
	積雪	0	0	2	0	0

表-3 正解率

路面状況	正解率 (%)
湿潤	97.3
黒シャーベット	89.8
白シャーベット	68.0
圧雪	63.6
積雪	-
全体	85.7

表-4 重要度

説明変数	重要度
降雪量	0.019
気温	0.135
風速	0.094
路温	0.115
時間	0.091
除雪からの経過時間	0.093
前時間の路面状況	0.455

(3) 決定木の解釈

RF 法は複数の決定木を組み合わせて構成されているため、モデル内部について容易に解釈をすることができ、図-8 に実際に構築された決定木の一部を示している。モデル構築時には階層の深さを 5 階層、決定木数を 10000 本で推定を行っているが、出力には向かないものであるため簡易的な決定木を提示しているものである。なお示している簡易的な決定木は実際の決定木と比べて上部層でのノード分割方法などは同様になっていることを確認している。

決定木のアルゴリズムでは各ノードで分割を行う際にジニ不純度が小さくなるよう分割していき、最終的な分類を行う。各ノードに示されている条件に合致したものは左側に分岐し、そうでないものは右側に分岐していく。最上部のノードをみてみると、前時間の路面状況が湿潤であるかの分割が行われている。そうでない場合には前時間が黒シャーベットであるか判断がされている。いずれにおいても前の時間（30 分前）の路面状況がその後の路面状況に大きく影響していることが考えられる。前時間が湿潤であった場合には風速による分割、さらに除雪車通過からの経過時間による分割が行われていることが確認できた。

5. まとめ及び課題

(1) まとめ

本稿ではまず冬期路面状況と降雪量、気温、風速、路温の関係を図化し確認した。その結果それぞれで路面状

況との関連がみられた。特に路温では湿潤とそれ以外の路面状況の出現についておよそ 0°C を境界に明確な差があることが判明した。これらに加え除雪車通過からの経過時間などを説明変数に加えた路面状況推定モデルの構築を行った結果、正解率 85.7% のモデルを構築することができた。またモデル内では前時間の路面状況が判別に大きく寄与していることが判明した。これらの成果から実際の道路管理において作業実施の目安として活用できるよう検討を行っていく。

(2) 課題

ここまでの分析から、いくつかの課題が挙げられる。本研究で構築したモデルは一カ所のデータを使用しており、冬期にスタックや事故確率が高くなる箇所をピンポイントで観測し対応することは可能であるがより広域での汎用的な活用が可能かは未知数である。そのため複数個所でのデータを使用しモデルの改良が必要である。

また冬期の路面を形成するうえで重要な要素である交通量を検討できていないため、今後検討が必要である。

路面状況別にモデル結果をみてみると路面状況によってモデル精度に大きく差がある。現時点のモデルは精度が良い湿潤の推定結果によるところが大きい。道路管理への活用は難しい。他の路面状況のサンプル数をさらに増やしていく必要がある。また分析を行うにあたりまず目視での路面判別を行っているが、夜間など判別が困難な路面の考慮も必要となる。対策として現在はその前後の路面状況や降雪の様子から路面を判別しているが、判別精度をランク付けし精度の高いデータのみでの分析を行うことなどが考えられる。

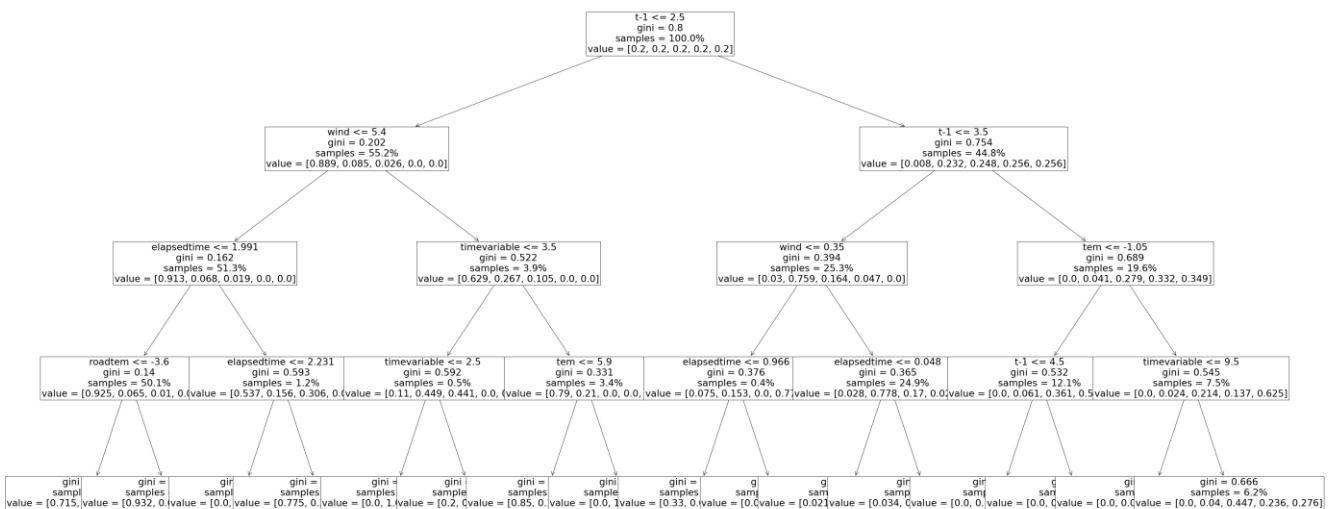


図-8 作成された決定木例

謝辞：本研究で使用した路面画像とその分類フロー、各種データは東日本高速道路株式会社新潟支社より提供していただいた。この場を借り、感謝の意を示す。

参考文献

- 1) 齊田光, 佐藤信吾, 大浦正樹：冬期路面および堆雪状態の変化が車両走行速度および時間信頼性に及ぼす影響の評価, 第 62 回北海道開発技術研究発表会, 2018
- 2) 高崎仁義：実測交通データを用いた冬期路面状態推定に関する研究, 交通工学論文集, 2021
- 3) 気象庁：令和 4 年発表資料, 冬の天候, <https://www.jma.go.jp/jma/press/2203/01b/tenko221202.html> (2022 年 9 月参照)
- 4) 新潟地方気象台：新潟県の気象の特徴, https://www.jma-net.go.jp/niiigata/menu/bou-sai/met_character.html (2022 年 9 月参照)
- 5) 新潟県：道路除雪について, <https://www.pref.niigata.lg.jp/sec/dou-rokanri/1203267677758.html> (2022 年 9 月参照)

？
？

Estimation of Winter Road Surface Conditions on Highways

Keisuke TANABE, Yoko MATSUDA, Kazusi SANO, Takumi TAKAKURA, Teppei KATO,
Teturou HARAYAMA

In this study, winter road surface conditions on expressways were estimated. The target area for the estimation was Yuzawa Management Office area of the Kanetsu Expressway in January 2022. Images taken every 30 minutes by a camera installed near 165.3KP on the downbound route were visually classified into five categories: wet, black sherbet, white sherbet, compacted snow, and snow cover, and these were used as the objective variables. Estimation was performed from the model.

The estimation results showed that the overall accuracy of the model was approximately 85%, and wet conditions could be estimated with a probability of over 95%. On the other hand, the estimation accuracy decreased significantly for road surface conditions that occur infrequently, such as compacted snow and snow cover. Among the explanatory variables, the elapsed time since the snowplow passed by and the road surface condition at the previous time were confirmed to be important variables for the estimation.

Based on these results, we aim to use this information to provide accurate snow removal operations in accordance with changes in road surface conditions.