

路温を用いた路面積雪状態の推定

中野 翔太¹・河島 克久²・渡部 俊²・村田 晴彦³・松元 高峰²

(1: 新潟大学理学部 2: 新潟大学災害・復興科学研究所 3: 新潟大学大学院自然科学研究科)

1. はじめに

路面積雪の厚さや雪質といった路面積雪状態の変化は、冬期道路交通機能の低下を誘発する。そのため、道路管理者は路面積雪状態に応じて除雪作業を行い、道路利用者の安全確保に努めている。より効果的かつ効率的に冬期道路管理を行うためには、路面積雪状態の正確な把握が重要である。

路面積雪状態を把握するために、道路にはセンサーが設置されている。路面積雪状態をリアルタイムで可視化するセンサーは道路管理のために活用されているが、設置費用の観点から多地点に設置することは困難である。そのため、様々な研究機関において路面積雪状態を推定するモデルの構築が行われてきた。しかし、モデルには多くの気象要素が必要であるため、現在は観測環境の整った限られた地域のみでしか活用されていない。したがって、道路管理のために既に取得されているデータを活用するなど、より入手しやすい気象データから簡便に路面積雪状態を推定できることが望ましい。

路温は路面凍結対策のために多地点で取得されており、その値は路面の熱収支の結果で決まる。例えば路面に積雪がない場合、路面は直接大気の影響を受ける一方で、路面に積雪がある場合には熱伝導率が非常に小さい積雪層を介して大気の影響を受ける。そのため、積雪がない場合と比較して積雪がある場合の路面は大気の影響を受けづらくなる。とくに、積雪が水を含む湿雪の場合、積雪層全体が 0°C となり温度勾配がなくなるため、路面はほとんど大気の影響を受けないと考えられる。

このように、積雪の有無や雪質などの路面積雪状態の変化は路面の熱収支に影響を与え、路温を変動させている。そこで、路温データを分析することで逆に路面積雪状態を推定できるのではないかと考えた。本研究では路温を用いて路面積雪状態を推定する方法を確立することを目的に、実際の道路における路温のデータ分析と冬期の野外観測を行った。

2. 研究方法

2.1 実際の道路における路温データの分析

路面積雪の有無による路温の特徴の違いを明らかにするため、実際の道路で観測された路温データの分析を行った。分析には関越道の湯沢 IC～土樽 PA 間において 2020/21 年冬期 (12 月～2 月) に観測された路温データと気象観測データ (NEXCO 東日本新潟支社提供) を使用し

た。積雪の有無に注目するにあたり、路面の積雪深データがないため、本研究では、1 時間降雪量 3 cm 以上の時間を積雪あり、前 24 時間降雪量 0 cm の時間を積雪なしとそれぞれみなして、積雪の有無による路温の特徴の違いを分析した。

2.2 冬期の野外観測

路面積雪の雪質の違いによる路温の特徴を分析するために冬期に路温の野外観測を行った。この観測では、アスファルトで作成した円筒状の供試体 (直径 15 cm, 高さ 6 cm) の表面に温度センサー (Pt100) を埋め込んだ装置を地中に埋めて路温を測定した。また、気温と供試体上の積雪深の測定を行うとともに、降雪時には路面積雪の雪質 (湿雪, 乾雪, 凍結) を記録した。観測地点は新潟大学構内 (新潟市西区) と魚沼市大白川の 2 ヶ所である。

3. 研究結果

3.1 積雪の有無と路温の関係

分析対象とした冬期の 3 ヶ月間において、上記の降雪量の条件でデータの抽出を行った結果、113 個の積雪ありのデータと 1096 個の積雪なしのデータが得られた。これらについて路温 T_r (°C) の分布域に注目すると、図 1 に示すように積雪ありのデータは $-3 \leq T_r \leq 0$ の範囲に全体の 88% が集中していた。一方、積雪なしのデータは $6 \leq T_r \leq 20$ の幅広い範囲に分布していた。

積雪がある時、路温の値が限定的な範囲内を示すことから、路温から積雪の有無を判別できる可能性がある。しかし、積雪がない時も積雪がある時の路温範囲 ($-3 \leq T_r \leq 0$) になることもあるため、路温のみでは積雪の有無を正確に判別することが困難である。そこで、 $-3 \leq T_r \leq 0$ に

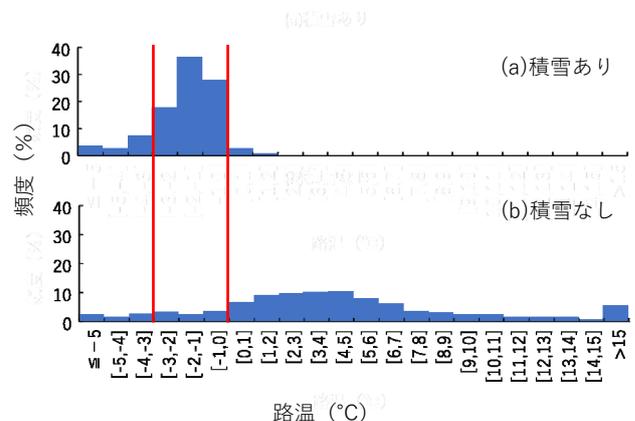


図 1 路温の頻度分布 (a: 積雪あり, b: 積雪なし)

おける積雪ありと積雪なしのデータについて、路温と気温 T_a (°C) の関係を分析した。その結果、積雪ありのデータは $T_r \geq T_a$ であるのに対して、積雪なしでは $T_r < T_a$ になるという傾向がみられた。

3.2 雪質の違いと路温の関係

野外観測の結果、63 個の積雪ありのデータと 430 個の積雪なしのデータが得られた。積雪ありのデータを雪質別に分類をすると、湿雪が 31 個、乾雪が 6 個、凍結が 24 個であった。これらについて雪質別の路温の分布を分析した結果、湿雪は 0°C 付近に集中する一方で、乾雪は $-2 \leq T_r \leq -0.5$ の範囲に分布し、凍結は $T_r \leq -2$ のみに分布するというように出現範囲に違いがみられた。さらに、路温と気温の分布を雪質別にみると、図 2 に示すように出現範囲が分かれた。乾雪の分布域は 3.1 節の積雪ありの結

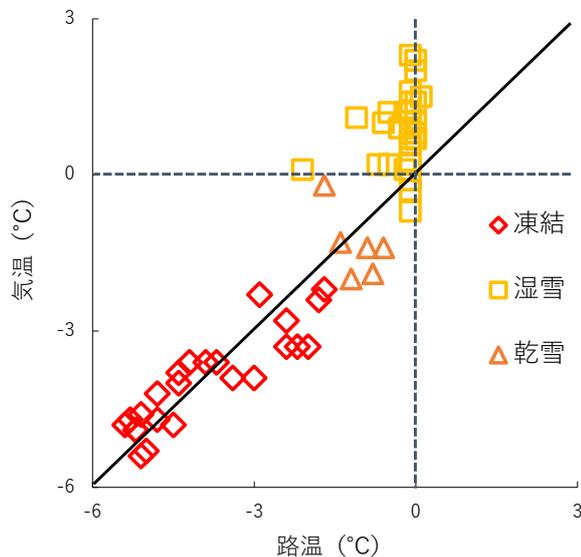


図2 雪質別にみた路温と気温の関係

果と同様に $-3 \leq T_r \leq 0$ かつ $T_r \geq T_a$ であった。したがって、路温と気温の範囲によって雪質が異なることが明らかになった。

4. 路面積雪状態の推定方法の提案と精度評価

以上の結果を踏まえ、路温と気温から「湿雪」、「乾雪」、「凍結」、「積雪なし」の 4 種類の路面積雪状態を推定する方法として図 3 のフロー図を提案する。この推定方法について、分析に使用した野外観測のデータを用いて積雪の有無の推定精度を適中率、空振り率、見逃し率、スレットスコアで確認した。各スコアを算出すると、適中率 96%、空振り率 19%、見逃し率 16%、スレットスコア 70% となった。また、積雪があると判別された内の各雪質の判別正解率を求めたところ、湿雪 88%、乾雪 100%、凍結 74% となった。

5. まとめ

本研究では、雪質による路温と気温の出現範囲の違いに注目して条件を設定することで、路面積雪状態を推定する方法を提案することができた。この推定方法によって、路面積雪状態は湿雪、乾雪、凍結、積雪なしの 4 種類に分けることができる。本研究では推定精度の評価に十分なデータを得ることができなかつたが、路温と気温のみで路面積雪状態の推定がある程度の精度で可能であることから、本手法の精度向上を図ることによって冬期道路管理への適用が期待される。

謝辞

路温データ等をご提供いただいた NEXCO 東日本新潟支社の関係各位に謝意を表します。本研究は、JSPS 科研費 20K05043, 22H01737 の助成を受けて実施された。

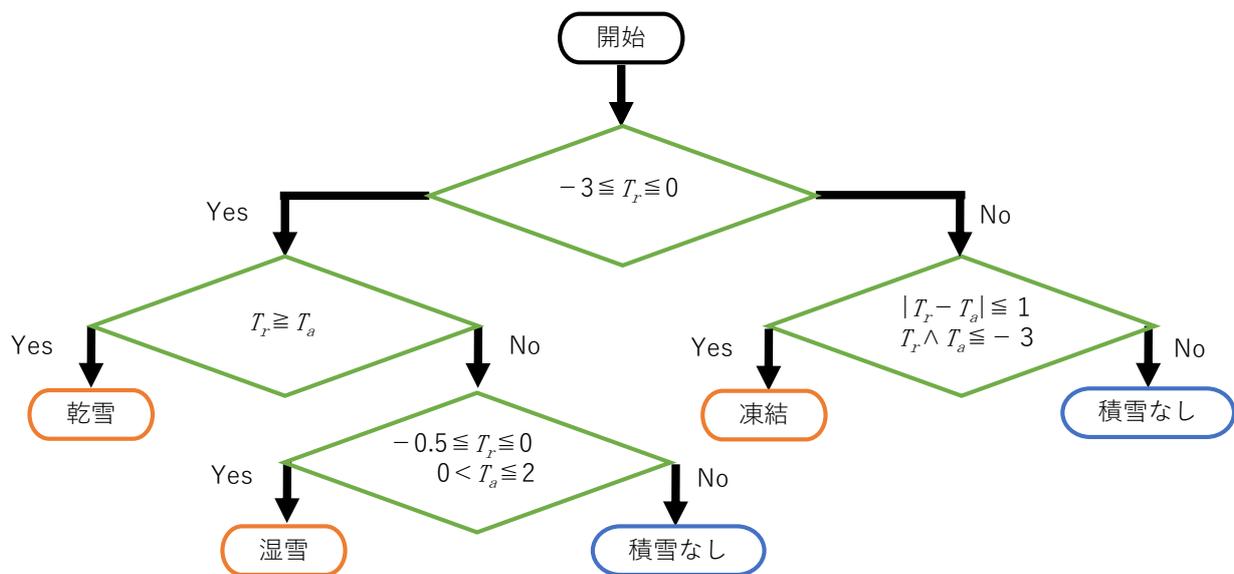


図3 路面積雪状態の推定フロー図