

タクシー・バス会社からの提供データを活用した路面凍結予測手法改良の試み

平島寛行¹・美寺寿人²・佐藤友紀^{3,4}

(1:防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター 2:東邦産業株式会社 3:新潟県ハイヤー・タクシー協会

4:新潟市ハイヤー・タクシー協会)

1. はじめに

冬期の凍結防止剤散布の作業において、降雪量や最低気温等の予測に基づいて待機計画や出動の判断が決定されている。その際に、安全安心な道路管理とコストの削減を両立するために、路面状態予測の適正化や精度向上が求められている(山下ら, 2019)。防災科学技術研究所が開発した道路雪氷予測モデルは、地形や道路、気象データを入力値として与えることで、路面温度など物理量の変化の状態を予測することが可能である。最近では、気象災害軽減イノベーションセンターの長岡サテライト(現 SnowCoIN)の道路雪氷 WG において、民間気象会社の SnowCast と提携して路面温度の予測配信を行ってきた。

一方、道路管理者や自治体等と行ってきた道路雪氷勉強会において、路面凍結予測に対するニーズが提起されている。路面凍結は路面温度の低下時に路面上の水分が凍結することにより発生するため、路面が乾燥している時は路面温度が低下しても凍結しない。そのため、路面のぬれ状態に関するモデルが必要となる。一方で、ぬれ状態は道路の構造や周辺環境に大きく左右されるため、気象条件を入力した物理計算のみで各々の道路に対応したぬれ状態を推測するのは困難で、少なくとも乾燥、ぬれ路面を一定期間実測したデータが必要である。そこで本研究では、凍結予測に対する需要が高い地点において、公共交通機関であるバスやタクシーの協力を得て路面状態の情報を収集し、凍結予測モデルの構築を試みた。

2. 道路雪氷予測モデル

道路雪氷予測モデルの詳細に関しては平島ら(2009)において報告している。モデルの概略図を図1に示す。路面温度は観測または予測された気象データを用いて以下の熱収支式を解くことで得られる。

$$Q_r + Q_g + Q_h + Q_e + Q_x + Q_m = 0 \quad (1)$$

ここで、 Q_r : 放射収支量(短波、長波)、 Q_g : 道路雪氷(もしくはアスファルト)内の伝導熱量、 Q_h : 顕熱、 Q_e : 潜熱、 Q_x : 車両から路面に供給される熱量であり、これらは路面に熱が向かう時に正の値としている。また、 Q_m は融雪熱量であり、融解時に使用される熱を負の値で示している。 Q_x は

交通量に依存するが、影響が不確定であることや、主なターゲットが交通量が少ない早朝であることから現時点では0と仮定している。

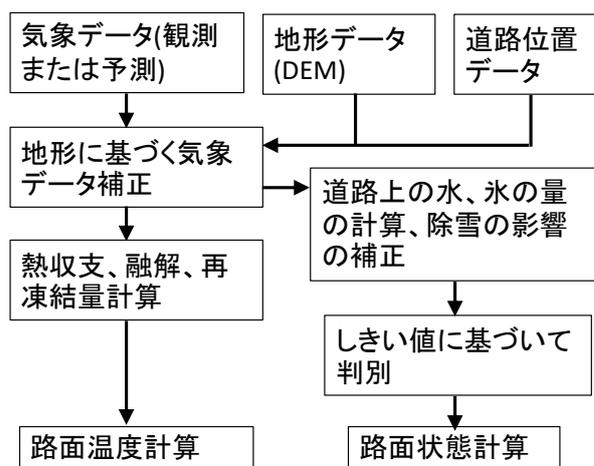


図1 道路雪氷予測モデルの概略図(平島ら, 2009)



図2 本研究における路面状態取得地点(1:松浜橋, 2:下山一日市線, 3:弁天橋, 4:横雲橋, 5:小阿賀野橋, 6:富月橋, 7:有明大橋, 8:新潟五泉間瀬線)。地理院地図使用

路面状態を計算する際には、雨雪判別のしきい値より低い気温における降水がある時は降雪とみなし、降雪がある際には堆積する。ただし、除雪等の影響を考慮するために積雪深は最大で1cmの上限値とし、含水率は重量含水率において50%を最大値とし、それ以上になると排水させている。また雪があり乾いている時は圧雪、雪があり、かつ

含水もある時は水べたとして判別している。

ここで、雪がない時のぬれ路面と乾燥路面の判断に関しては、降水後の蒸発量を計算することで推定が可能である。その際に、それを決定するしきい値については道路の特性が影響するため、それを決定するための実データが必要となる。

3. データの取得

新潟市内においては、図2に示す8ヶ所で路面温度の予測発信を行っている。この路面温度予測に加えてぬれ状態を判定して凍結予測につなぐためには、一定期間の路面状態の情報が必要である。しかしながら、全てに対してそれを監視するセンサーを設置するのは費用的に困難である。本研究において、センサーを用いず対象箇所のそれぞれの状況を観測し、記録する方法について検討したところ、公共交通機関であるバスやタクシーがそれらの場所を通過する際に路面状態を記録して提供してもらうことが可能になれば、最適化を行うためのデータが確保できるのではないかと考えた。そこで、道路雪氷WGでお願いしたところ、新潟県ハイヤー・タクシー協会、新潟市ハイヤー・タクシー協会及び路線バス事業者である新潟交通から、公共交通機関としての責任と交通事故防止のためにと快諾していただいた。

新潟交通においては、対象8路線のうち、定期路線である5路線の始発および最終バスにおいて、予測箇所の通過時に日付、時刻、路面状態、路肩の雪の有無を記録していただいた。また、ハイヤー・タクシー協会に所属するタクシーにおいても凍結しやすい夜間(22時)から早朝(7時)の間で路線の対象箇所を通過の際に同様の情報を記録していただいた。ここで、対象箇所が橋と周辺道路を含む場合は、凍結の違いを考慮するため、両方の情報に対しても記録するようにした。

タクシー協会からの協力に関しては協議の結果、2019年12月12日に一般社団法人新潟県ハイヤー・タクシー協会、新潟市ハイヤー・タクシー協会と路面状況データに関する連携協定を締結して、一層強固の関係で取り組むことにした。データは12月16日から3月末日まで収集された。

12月から3月にかけて、バスのデータは約950件、タクシーのデータは約1,200件が収集された。収集された路面状態の割合を図3に示す。今冬は記録的な暖冬少雪であったため、ほとんどはぬれ路面または乾燥路面であったが、2月上旬の一時期をはじめ、路面凍結が確認された日が数回みられた。また、今冬の観測では橋と周辺道路で路面状態が異なる事例は19件あり、橋のみが凍結した事例があった一方で周辺道路のみが凍結という事例も見られた。

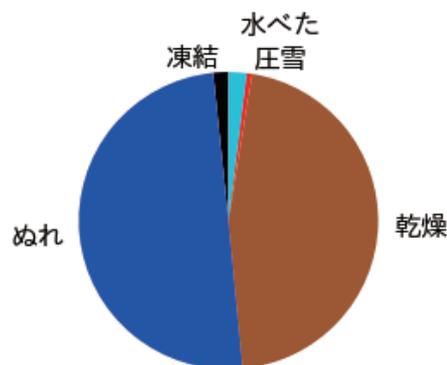


図3 収集された路面状態の割合。

4. データの比較と最適化にむけた試み

道路雪氷モデルは気象庁の観測気象データを入力に用いて計算した。モデルでは熱収支計算の際に潜熱が計算されるため、路面からの蒸発量を計算可能である。そこで、降水後にどれだけ蒸発したか見積もるため、蒸発量に比例する潜熱の累積量を計算し、それが一定値を超えたら乾燥路面として扱う形とした。毎時の潜熱がプラス(蒸発しているとき)の時に限り潜熱量を累積して計算し、降水があった際には0にリセットした。また、乾燥路面の場合は路面温度が下がっても凍結路面にならない設定とした。乾燥路面とぬれ路面を判別するしきい値に関して、降水後の潜熱の累積量(以降、累積蒸発潜熱とよぶ)が100,200及び300Whの3種類の設定値で感度実験を行った。感度実験の結果と実測を比較したものを図4に示す。しきい値を低くすると乾燥路面の割合が増えて路面温度が下がっても凍結路面と判別されなくなる。そのため、空振りの回数は減少する一方で、見逃しの回数は増加することになる。比較した結果では、300Whをしきい値とした場合に凍結予測的中率を維持したまま空振りを減少させることが確認できた。

本研究では、新潟市内8地点で路面状態のデータが得られており、それぞれの路線に対するしきい値の最適値を決定することが可能である。ここで、データを収集した場所の一つである一般国道460号(富月橋)のデータを例に、路面状態を判断するしきい値の最適値を計算した。図5に日付時刻をx軸に、計算された累積蒸発潜熱をy軸に、路面状態を色のプロットで示した。ここで最適となるしきい値を決定するために累積蒸発潜熱及び路面温度を学習データ、実測路面状態を教師データとして決定木を作成したところ、図6のように累積蒸発潜熱が237Wh以上で乾燥路面、それ以下では濡れ路面、ただし路面温度が -1.35°C 以下の場合凍結といった結果が得られた。同様の手法で蒸発量のしきい値をだしたところ、8路線のうち、データが十分である6路線においては70~80%的中率でぬれ路面が判断できることが確認された。

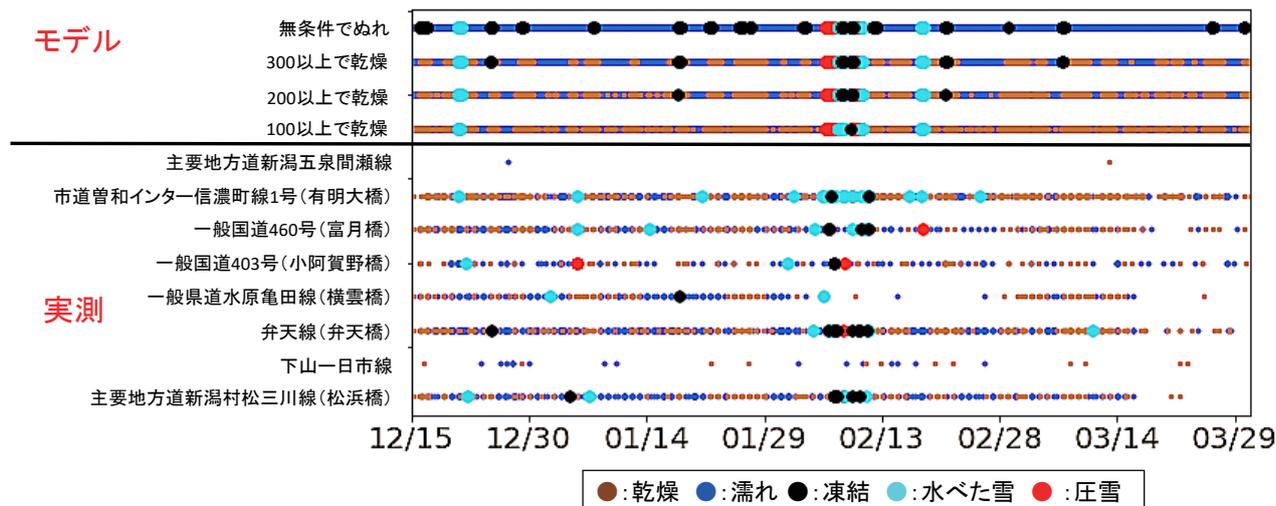


図4 入手した路面状態とモデルで計算した路面状態の比較。累積蒸発潜熱が300Whを超えると乾燥とした時に凍結の見逃し事例を増やさずに空振り事例を減らせているのがわかる。

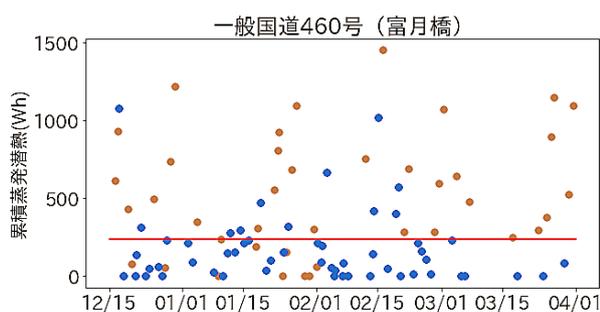


図5 累積蒸発潜熱と路面状態 (青:濡れ路面、茶:乾燥路面)。赤線は237Whをしきい値とした時の境界線。一般国道460号(富月橋)の例。

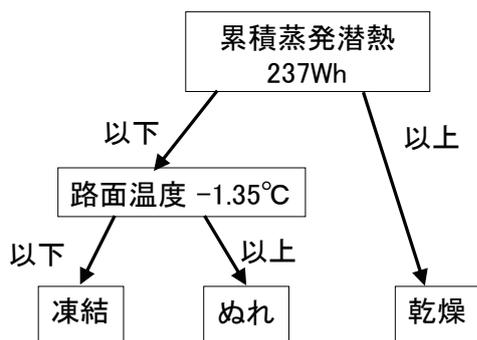


図6 取得路面状態データ及び路面予測モデルから作成した決定木。一般国道460号(富月橋)の例。

ただし、ここで求められた値は的中率が最も高くなる値であるため、空振りと見逃しの間で深刻度が異なる場合は、安全をとるためにしきい値を調整する必要がある。

より高い的中率を得るために入力に用いられている気象データやそれらを直近3時間または6時間の合計値等も学習データに用いて数種類の機械学習手法を試みたが、現段階では累積蒸発潜熱のしきい値を用いて決定木を作成する方法が最もの中率が高かった。図5に見られるように累積蒸発潜熱が低い一方で乾燥路面が観測されたケースや、逆にそれが高い一方でぬれ路面が観測されたケースもあり、それらの原因について検討してモデルの改良を試みるのが、ぬれ路面判定の精度向上に対して現実的と思われる。

5. まとめ

凍結路面予測のニーズに対応するため、路面のぬれ状態を予測するモデルを開発した。路線ごとに異なる条件を考慮するため、タクシー及びバス会社の協力を得て検証に用いるための路面状態のデータを取得した。解析の結果、現段階では降水後の累積蒸発潜熱量のしきい値を用いることで70~80%的中率で予測可能であることが確認された。より高い精度を得るために今後改善を進める予定である。また、今冬は記録的な暖冬少雪であったため凍結路面に関するデータは少なかった。したがって、実測に基づいて凍結となる最適な温度のしきい値を決めるためには寒冬における情報も必要となる。そのため、今後もデータ取得を継続するとともに、センサー等を用いたより効率的な情報取得手法も検討している。

謝辞

本研究は気象災害イノベーションハブ長岡サテライトにおける道路雪氷 WG の一環として行われた。本研究で使用した路面状態のデータ取得において、新潟市内の複数のタクシー会社にご協力頂きました。また、バスの運行中に路面状態の情報を頂いた新潟交通の方々に感謝致します。

文献

平島寛行・小杉健二・上石勲・佐藤威・本吉弘岐・佐藤篤司 2009: 雪氷災害発生予測システムを用いた路面状態の推定, 寒地技術論文・報告集, 25, 337-340.

山下克也・山口悟・諸橋和行・齋藤隆幸・神田英一朗・平島寛行・杉浦聡・竹内祐貴, 2019: IoTを用いた冬期交通網管理の最適化に関する研究. 北陸雪氷シンポジウム 2019, 1, 10-15.