

冬季積雪路面の変化に関する研究

藤井 崇(北海道大学低温科学研究所)

岡村智明(日本気象協会北海道支社)

石川信敬(北海道大学低温科学研究所)

1. はじめに

積雪寒冷地においては、冬季の凍結路面による車両の物損事故や歩行者の転倒事故は重大な社会問題となっている。そのため、北海道開発局や札幌市は安全な交通・運輸の確保のため、除雪や排雪とともに薬剤散布を施している。しかし、現状では薬剤散布の基準は目視による判断が主であり、個々の経験による差が生じたり客観的な判断に欠けたりするという問題が存在する(舟橋・浅野, 2005)。また、過度の薬剤散布は土壌や地下水あるいは生態に影響を与えており(Dobson, 1991; Blomqvist, 1998), 効率的な薬剤散布が要求される。

凍結路面の発生予測に関する研究は精力的に行われている。凍結路面の予測に重要なのは道路の表面温度であるが、現状では表面温度の実測は少なく、気温を用いる場合が多い。また表面温度を用いる場合でも、表面温度は熱収支あるいは統計的なモデルを用いて算出している。しかし、広域での表面温度算出には多点の気象データや地理学的パラメータが必要であり、作業が煩雑になる。そこで本研究では、もっと簡便な方法として、通常観測される気温から表面温度を推定する方法を開発するために、表面温度を実測し、まず気温と表面温度の関係を求めることを目的とした。

2. 観測方法

観測は2004年12月から3月にかけて、

札幌市清田区美しが丘の国道36号線で行った(図1)。観測項目は、道路の表面温度、気温、路温、湿度、風速、日射量、降水量、交通量、路面状態である。なお表面温度は放射温度計を用いて観測した。また観測項目と使用測器を表1に、観測の模式図を図2に示す。



図1. 観測場所。札幌市清田区美しが丘。

表1. 観測項目と使用測器。

観測項目	使用測器	観測項目	使用測器
気温	白金抵抗温度計	表面温度	放射温度計
風速	3杯式風速計	路面温度	白金抵抗温度計
湿度	静電容量式湿度計	路面状況	ビデオカメラ
日射量	全天日射計	交通量	ビデオデッキ
降水量	転倒マス雨量計	記録装置	データマーク

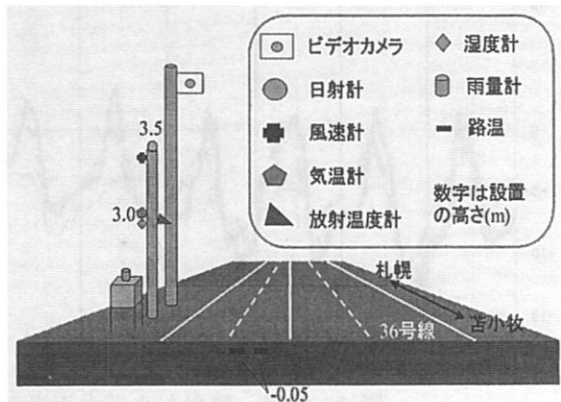


図2. 観測の模式図。

3. 路面状態の分類とその時間変化

気温や表面温度の変化に伴う路面状態の変化を見るために、ビデオカメラで得られた画像から路面状態を乾燥、湿潤、積雪、凍結の4つに分類した。分類の基準を表2に示し、各状態の画像を図3に示す。

表2. 路面状態分類の基準。	
乾燥	路面全体が乾燥している。
湿潤	降水、残雪の融解で濡れている。 車による水しぶきが見られる。
積雪	積雪による凹凸がある。
凍結	凹凸が見られず、氷板がある。

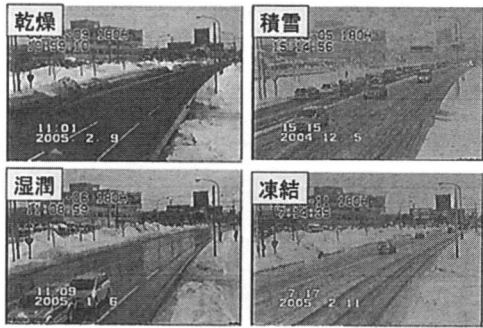


図3. 各路面状態の画像。

次に、気温、路温および表面温度の時間変化と路面状態の2月11日から20日までの時系列変化を図4に示す。図にお

いて、太実線は表面温度、点線は路温、細実線は気温である。またグラフ上段の帯は路面状態を表しており、灰色が乾燥と湿潤、黒色が積雪と凍結を表している。なお表面温度の観測値の妥当性を示すため手動で観測を行い、その値を三角印で示した。

路面状態の変化に着目すると、夜間凍結→日中湿潤→夜間凍結という変化が多く見られる。一方、表面温度の変化は、凍結から湿潤に変化するときには0℃以上となり、湿潤から凍結に変化するときには0℃以下となっており、路面状態の変化に対応している。しかし、この期間の気温は常に氷点下であり、気温のみでは路面状態の変化を説明することはできない。路面状態の変化を予測するには、表面温度の変化を捉えることが重要であることが分かる。

4. 気温と表面温度の相関

気温から表面温度を推定するため、気温と表面温度の相関図を図5に示す。図中の値は1時間平均値である。気温と表面温度の相関は高い。しかし、気温に対して表面温度は約10℃ばらついており、

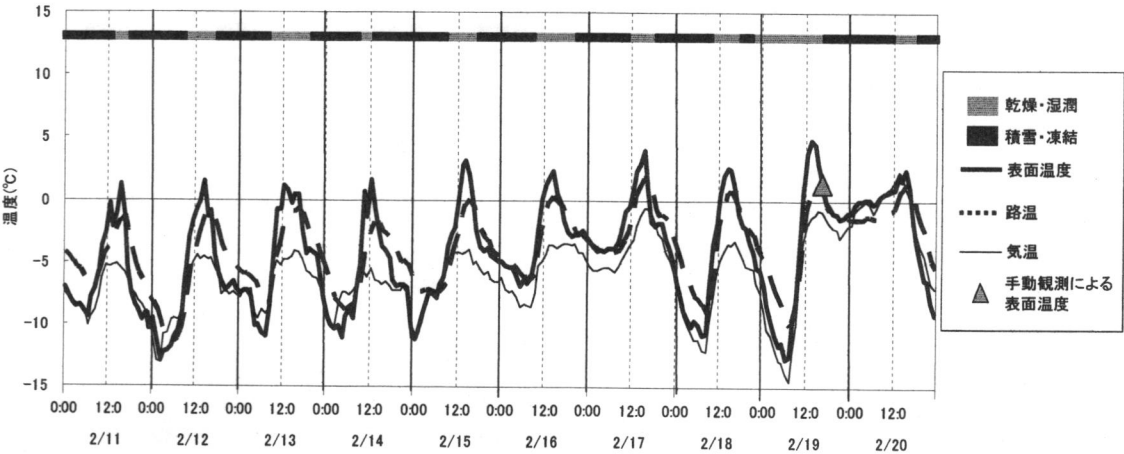


図4. 気温、路温および表面温度と路面状態の時系列変化

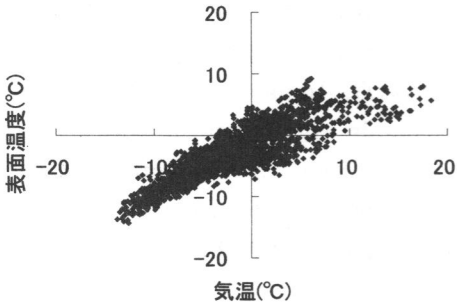


図 5. 気温と表面温度の相関。

このままでは表面温度を推定することはできない。そこで、データをさらに路面状態と気象条件で場合分けして両者の関係を見ることにする。

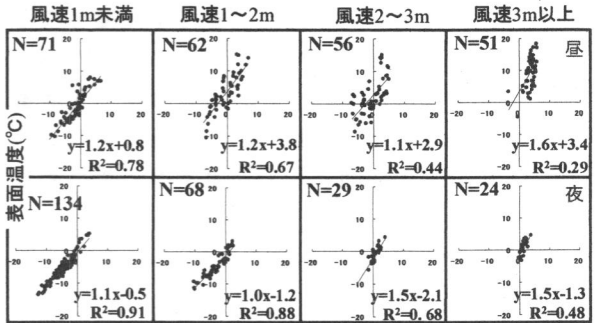
5. 場合分けの方法とその結果と考察

以下に示すように場合分けを行った。まず気温と表面温度の全データを、4種類の路面状態(乾燥, 湿潤, 積雪, 凍結)に分けた。次にそれぞれの路面状態において、昼(日射量>0)と夜(日射量=0)に分け、さらに、風速別(1m/s 未満, 1~2m/s, 2~3m/s, 3m/s 以上)に分けた。

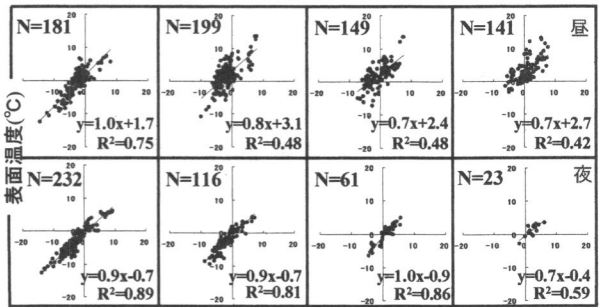
図 6 は条件別に分けた気温と表面温度の関係を示したものである。上から順に乾燥, 湿潤, 積雪, 凍結である。それぞれの図において、上段は昼、下段は夜であり、左から右に風速別に示した。いずれの図においても横軸は気温、縦軸は表面温度である。さらに、気温と表面温度の回帰式と相関係数 R^2 および用いたデータ個数 N も図中に示した。

いずれの路面状態においても日中より夜間、気温と表面温度の相関は高くなった。特に風速 2m/s の場合に両者の相関は高く(0.81 以上)、気温から表面温度が推定できることが推察される。なお夜間で風速が大きくなると両者の相関が幾分低くなるが、これは用いたデータ個数が少ないためであり、さらにデータを増やし

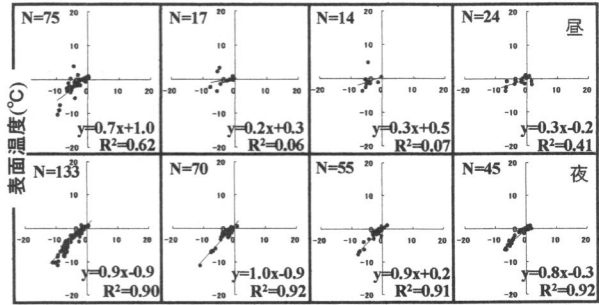
乾燥



湿潤



積雪



凍結

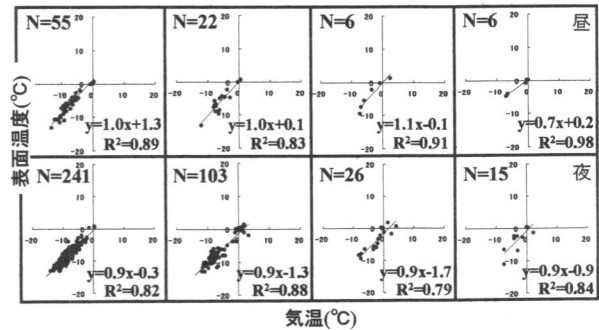


図 6. 場合分け後の気温と表面温度の相関。

て考察する必要がある。さらに、日中は凍結路面以外の路面状態では気温と表面温度の相関が低くなっている。その原因説明は進んでいないが、日射量や交通量の影響が考えられる。これらの条件も場合分けの要因として考慮する必要がある。う。

6.まとめ

札幌市内の国道沿いに定点を定め長期の道路気象観測を行い、以下の結果を得た。

- ・ 表面温度と気温を実測し、路面状態別、気象条件別に両者の相関を求めた。
- ・ 夜間、特に風速 2m/s 以下で気温と表面温度の相関が高く、これは路面状態によらない。
- ・ 得られた回帰式を用いて気温から表面温度を推定できる可能性が示唆された。
- ・ 日中においては凍結路面以外では気温と表面温度の相関は低くなった。昼間の表面温度を気温から推定するには、日射量や交通状況を考慮した解析が必要である。

7. 謝辞

現地観測において北大低温科学研究所田中夕美子博士には多大な援助を頂いた。さらに低温科学研究所水文気象グループの皆様には解析、結果、考察に関して有益な助言を頂いた。ここに深く感謝致します。

引用文献

舟橋, 浅野: 加速度計を用いた雪氷路面のすべり摩擦係数, 日本雪工学会誌, Vol21.No.2, pp116-120, 2005.4
Dobson, M.C.: De-icing salt damage to trees and shrubs. *Forestry*

Commission Bulletin 101. HSMO, London. 64pp. 1991.

Blomqvist, G.: Impact of de-icing salt on roadside vegetation—a literature review. *Swedish National Road and Transport Research Institute, 427A. 1998.*