

気温と路面温度の相関に基づく 路面温度予測の広域化手法に関する研究

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム ○藤本 明宏
同上 徳永 ロベルト
同上 高橋 尚人

本研究では、路面温度予測の範囲拡大を目的に、気象メッシュデータを用いた新たな路面温度予測の広域化手法を構築している。本論文では、気温と路面温度の相関関係を明らかにし、実測値との比較から気温メッシュデータを用いた路面温度予測の広域化手法を検証した。

本研究により、夜間であれば気温と路面温度の相関性は高く、従来手法と同程度の予測精度で気温メッシュデータを用いて広域に路面温度を予測できる可能性が示された。

キーワード：冬期道路管理、路面温度予測、広域化、コスト縮減、効率化

1. はじめに

路面温度は冬期道路管理を行う上で欠かせない情報であり、その予測モデルは様々な研究機関で開発されている。最近の当テーマの研究動向は路面雪氷状態・すべり摩擦係数予測への発展およびモデルの広域化である。予測モデルは統計的手法と物理的手法に大別され、本研究では物理的手法を採用している。物理的手法は場所を選ばないが、多くのパラメータを要するなどモデルが複雑になりやすく、開発は容易でない。代表的な物理的手法を用いたモデルとして、Chapman and Thomes¹⁾および齊田ら²⁾の研究が挙げられる。Chapman and Thomes¹⁾のモデルは定点の路面温度予測に路面からの天空画像を用いて建物による日射の遮蔽を考慮することで路面温度路線分布 (Thermal Map: TM) の計算を可能にした。一方、齊田らのモデル²⁾は路面上の熱・物質収支を基本とした多地点同時路面温度解析によって予測範囲を点から線・面に拡張したものであり、現在、計算の高速化について研究が継続されている。当研究所では、Chapman and Thomes¹⁾のモデルを参考に熱収支による定点路面温度予測に事前に計測したTMを組み合わせることで、TMを予測するモデル (以下、路面温度推定モデル) を構築した (2章に詳述)³⁾。しかしながら、Chapman and Thomesのモデルと同様にこのモデルは、走行試験が必須であり、その労力とコストの負担が対象エリアの拡大、さらにはモデル普及の障害となっている。なお、現在の当研究所モデルの予測延長は約600 kmであり、これまでのモデル開発におよそ10年費やした。参考までに北海道の国道総延長は約6700 kmである。

このように、いずれのモデルも技術的あるいは実務的

な課題があり、依然として冬期道路管理に広く普及するに至っていない。そこで本研究では、近年の気象メッシュ予報の空間分解能の精緻化 (1 km) に着目し、気象メッシュデータを用いた路面温度予測モデルの広域化について検討してきた。本論文では、気象メッシュデータを用いた路面温度予測の広域化手法を提案するとともに、気温と路面温度の相関性および提案する手法の推定精度について記載する。

2. これまでの研究

(1) 路面温度推定モデル

当研究所では、気象予報データから路面温度および路面状態を予測する手法 (路面凍結予測手法、特許第4742388号) をこれまでに開発した。路面凍結予測手法は、路面温度推定モデル³⁾と路面状態推定モデル⁴⁾から構成される。

図-1に路面温度推定モデルの概念を示す。本モデルでは、気温、風速、相対湿度、大気放射量、日射量などの気象条件や交通量を入力条件に路面の熱収支を解析して路面温度が出力される。路面温度推定モデルおよびその理論の詳細については参考文献3)を参照されたい。

本研究では取り上げないが、参考までに路面状態推定モデルの概要を以下に記載しておく。路面状態推定モデルは、道路テレメータ地点のみであるが、路面上の雪・氷・水の収支を解析することで路面温度に加えて路面状態 (乾燥、湿潤、シャーベット、圧雪、アイスバーン等) を予測できる。

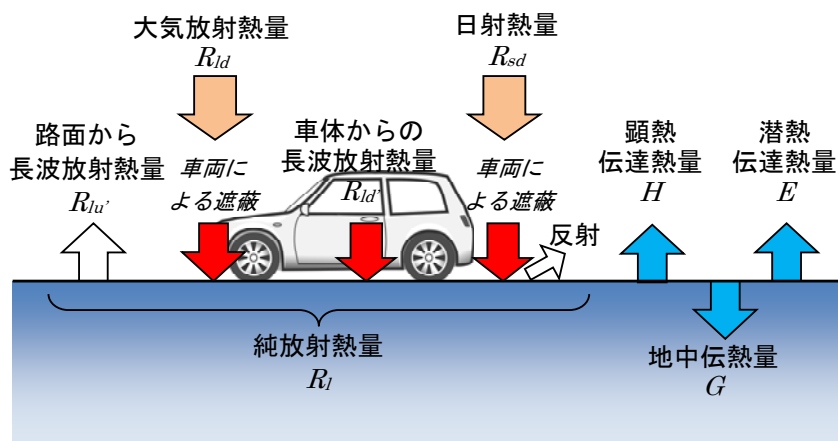


図-1 路面温度推定モデルの概念図



写真-1 TM 作成のための走行試験の様子

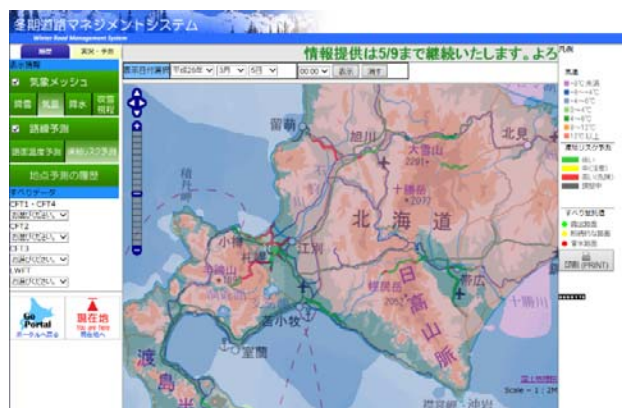


図-2 冬期道路マネジメントシステムの画面

(2) 路面温度路線分布の作成 (従来の広域化手法)

写真-1はTM作成のための走行試験の様子である。同写真に示されるように、車体の前部に放射温度計を取り付け、走行しながら路面温度は計測される。この計測データを基にTMが作成される。計測は日射の影響を受けない夜間に実施される。一回あたりの計測延長は時空間的な気象変化の影響を受けないように長くても40 km程度とした。

TMの予測では、路面温度推定モデルによって予測される定点の路面温度を基準として、この定点と同じ地点のTMの路面温度を合わせ、定点の路面温度の変動に合わせてTMも変動させる。このようにしてTMが予測される。

(3) 冬期道路マネジメントシステム

路面温度推定モデルによる予測情報は、試行運用ではあるが、冬期道路管理の効率性向上の支援を目的に開発された冬期道路マネジメントシステム(図-2)によって道路管理者に提供されている。

当該システムは、平成17年度から冬期間に情報提供を始めた。提供される情報は、路線温度予測情報の他に、

気象予測情報、路線凍結リスク予測情報、定点路面状態予測情報およびCCTVカメラによる道路状況である。気象予測情報は最大6時間先まで、路線温度予測情報、路線凍結リスク予測情報および定点路面状態予測情報は最大16時間先まで、それぞれ閲覧できる。当システムの詳細については参考文献5)を参照されたい。

3. 気象メッシュデータを用いた路面温度予測の広域化

図-3に気象メッシュデータを用いた路面温度予測の広域化手法の概念図を示す。本手法では、気温と路面温度の相関式を作成し、気温メッシュデータから路面温度メッシュデータへ変換する。この路面メッシュデータからTMは作成される。2.(2)で述べた計測したTM(以下、計測TM)と区別するために気象メッシュデータから作成したTMを以下では統計TMと呼ぶことにする。

以下に、理解しやすいように統計TMの作成方法とそれを用いたTM予測の手順をまとめておく。

- i 実道での路面温度・気温測定の実施

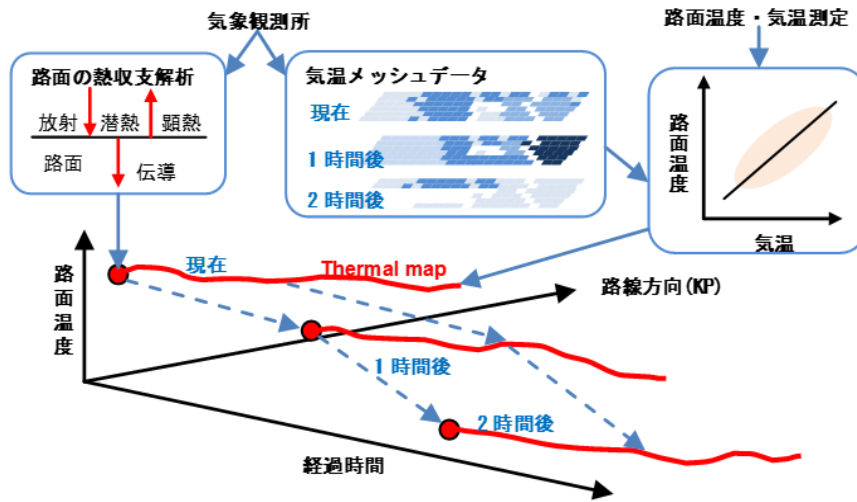


図-3 気象メッシュデータを用いた路面温度予測の広域化手法の概念図



図-4 実道での路面温度・気温測定の概要

- ii. 気温と路面温度の相関式作成
- iii. iiを用いて気温メッシュデータから統計TM作成
- iv. 定点路面温度予測 (2.(1)に記述)
- v. iii.とiv.を組み合わせるとTM予測

路面温度は写真-1に示したように放射温度計を、気温は温度計を、それぞれ車両に取り付けて走行しながら測定した。

4. 実道での路面温度・気温測定

測定は2014・2015年の1・2月の平日(約40日×2年)の早朝に行われた。対象路線は図-4に示すように一般国道230号の札幌(KP1.0)から中山峠(KP45.0)に至る延長44.0kmである。同図には、標高Eと日交通量Qも併せて示す。対象路線の標高は札幌の18mから中山峠の835mに向けて高くなる。対象路線の日交通量は札幌の都市部では約4万台/日、小金湯や定山溪温泉の郊外部や山間部では約1万台/日である。

5. 気温と路面温度の相関関係

図-5に本研究で得られた気温と路面温度の相関関係を示す。同図(a)は延長44.0kmの全区間における気温と路面温度の相関関係であり、(b)~(f)は郊外区間、山間区間、アンダーパス区間、トンネル区間および橋梁区間における気温と路面温度の相関関係である。(a)の全区間に着目すると、図中に示す赤丸で囲った箇所が全体の傾向から外れている。赤丸内は、後述するが、トンネルおよびアンダーパス区間のデータであり、これらの区間では他と比較して同じ気温であっても路面温度が高い。この理

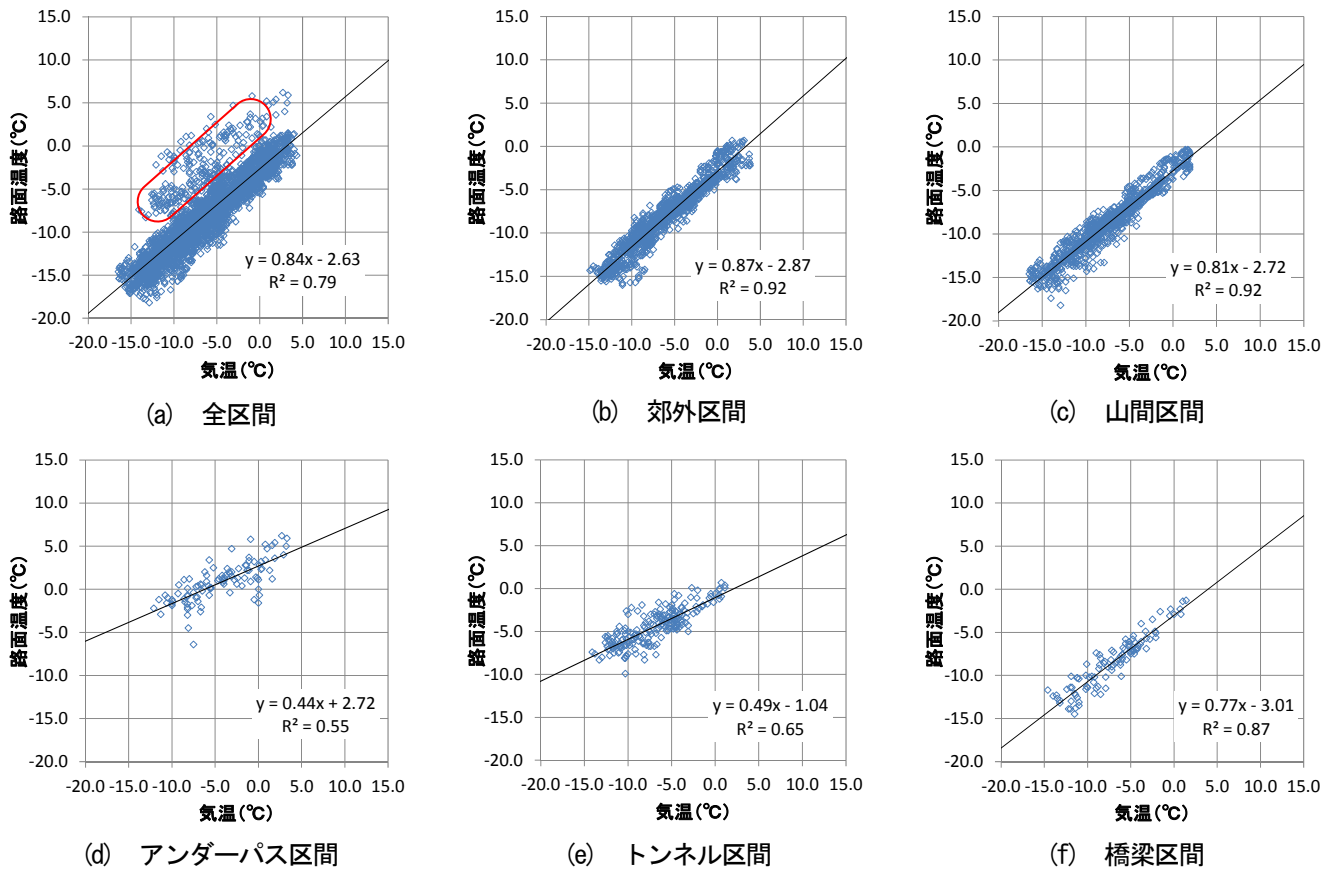


図-5 気温と路面温度の相関関係

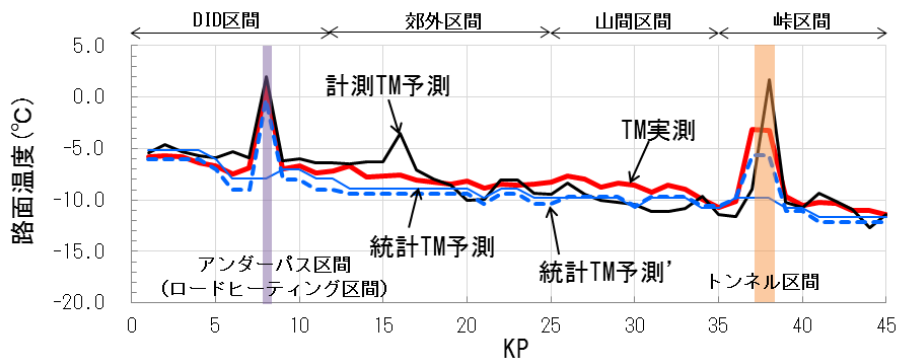


図-6 路面温度路線分布の実測値と予測値の比較

由として、今回の対象区間には1か所のアンダーパスがあり、ロードヒーティングが施されている。また、トンネル区間は道路周辺が地盤に覆われているため、後述するようにその路面温度は他の道路構造のそれより相対的に高い。(b)および(c)の郊外および山間区間を見ると、いずれも気温と路面温度の決定係数は0.92であり、両者の間には高い相関性が認められる。(d)および(e)のアンダーパスおよびトンネル区間は(b)および(c)の郊外および山間区間に比べて路面温度が2~5°C程度高い範囲に分布していることが確認できる。(f)の橋梁区間は(b)および(c)の郊外および山間区間と大差ない。

6. 路面温度路線分布の比較・検証

2016年1月9日夜間を例に測定したTM（以下、TM実測）と計測TMおよび統計TMを用いて予測したTM（以下、計測TM予測、統計TM予測）を比較する（図-6）。統計TMは全区間（図-5(a)）の気温と路面温度の関係式を基に作成した。また、土工部、トンネル、アンダーパスなどの道路構造別の気温と路面温度の相関式を用いて作成した統計TMによるTM予測（以下、統計TM予測'）も併せて示す。今回の例では、計測TM予測はTM実測と概ね一致している。統計TM予測もTM実測よりやや低いものの大差ない。統計TM予測'はTM実測におけるアン

ダーパスおよびトンネルの区間の温度上昇を概ね再現できた。夜間の計102回の走行試験におけるTM実測と計測TM予測および統計TM予測の平均二乗誤差RMSEは両者ともに2.3°Cで差がなかった。

7. おわりに

本研究により、夜間かつ土工部であれば気温と路面温度の相関性は高く、従来のThermal Mapを用いた場合と同程度の精度で気温メッシュデータを用いて路面温度予測の広域化ができる可能性が示された。今後は、大気放射熱と気温を説明変数とした路面温度の重回帰式を作成し、気象メッシュデータを用いた広域路面温度予測の精度向上を目指す。また、降雪メッシュデータを入力条件に加えて、路面状態や路面凍結リスクの広域化について検討を始める。

参考文献

- 1) Chapman, L. and Thomes, J.E.: A geomatics-based road surface temperature prediction model, *Science of The Total Environment*, 360, 1-3, 68-80, 2006.
- 2) 齊田光、田中雅人、藤本明宏、寺崎寛章、福原輝幸：広域路面滑り－雪氷状態予測モデル、*日本雪工学会論文集*、Vol. 32、No. 1、pp. 1-16、2016.
- 3) 高橋尚人、浅野基樹、石川信敬：熱収支法を用いた路面凍結予測手法の構築について、*寒地技術論文・報告集*、21、201-208、2005.
- 4) Takahashi, N., Tokunaga, R., Sato, T. and Ishikawa, N.: Road surface temperature model accounting for the effects of surrounding environment, *雪氷*、Vol. 72、No. 6、pp. 377-390、2010.
- 5) 切石亮、徳永ロベルト、高橋尚人：冬期道路マネジメントシステムの試行運用について、第57回（平成25年度）北海道開発技術研究発表会、2014.