

LSTM（Long Short-Term Memory）を用いた冬期路面温度予測手法の開発

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 正会員 ○齊田 光
国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 正会員 奥村 航太
国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 正会員 大廣 智則
国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 正会員 伊東 靖彦

1. はじめに

路面雪氷状態に関する予測情報は、冬期道路管理作業の作業内容の判断を適切に行う上で重要である。冬期道路管理作業を適切に行うためには、積雪や路面凍結の可能性が高い区間を面的に把握することで効率的な作業方法を決定する必要があるため、広域にわたり路面雪氷状態を予測する手法が必要となる。

路面雪氷状態を予測する手法としては熱収支法¹⁾や統計的手法²⁾などが提案されており、例えば寒地土木研究所が開発している路面雪氷状態予測手法は16～24時間先までの路面雪氷状態を予測可能である³⁾。当該手法は路面温度を広域かつ安価に予測可能であるが、路面温度の予測誤差は二乗平均平方誤差（RMSE）で2.3℃であり、予測精度の向上が課題となっている。

一方、近年の機械学習や深層学習に関連する技術の発展は著しく、路面雪氷状態予測の分野においても、機械学習を活用することで高精度かつ安価に路面雪氷状態を予測する手法を開発できる可能性があると考えられる。

本研究は、機械学習を用いることで安価かつ高精度に路面雪氷状態を予測することを最終目的とする。このうち本論文では、路面雪氷状態に大きな影響を及ぼす路面温度を LSTM（Long short-term memory、長・短期記憶）を用いて予測する手法を開発し、予測精度の検証を行ったので結果を報告する。

2. LSTM による路面温度の予測手法

LSTMは再帰型ニューラルネットワークを用いた機械学習アルゴリズムの一種であり、時系列データや文章デ

ータのような連続したデータの前後関係を考慮して次に続くデータを推測することが可能である。LSTMによる路面温度予測モデル（以降、LSTM予測モデル）を作成するためには、目的変数（路面温度計測値）と説明変数（路面温度計測値の計測時刻以前における気象時系列データ）を1組とした訓練用データを用いてLSTM予測モデルの学習を行う必要がある。LSTM予測モデルの訓練には、目的変数として北海道開発局の道路テレメータ100地点のうちランダムに選択した90地点で2021/11/8から2022/3/19に計測された路面温度を、説明変数として気象庁MSMから取得した道路テレメータ設置地点における気象データ解析値（気温、相対湿度、降水量、日射フラックス、南北および東西方向風速）とMSMの気温および雲量から算出した長波放射フラックスを使用した。なお、MSMは京都大学生存圏研究所が運営する生存圏データベース⁴⁾によって収集・配布されたものを用いた。訓練用データセットは、路面温度および路面温度計測時刻よりも前の期間における複数時刻の3時間毎気象データを1組とするデータとした。本研究では、LSTM予測モデルに入力する気象データの期間の長さとして路面温度予測誤差の関係を検証するために、訓練用データのうち3時間毎気象データの期間長を6時間（2つの時刻における気象データ）から672時間（28日間、224の時刻における気象データ）の間で変化させてLSTM予測モデルの生成を行った。

図-2はLSTM予測モデルの構造を示す。LSTM予測モデ



図-1 LSTM 予測モデルの訓練および精度検証に用いるデータセットの概要

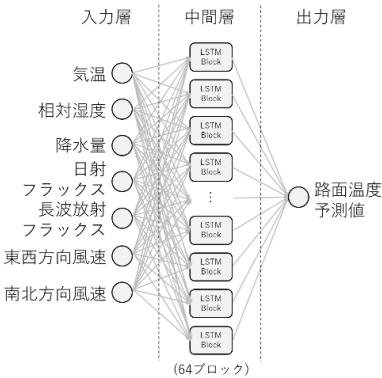


図-2 LSTM 予測モデルの構造

キーワード 冬期道路管理，路面温度予測，LSTM
連絡先 〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1-34
国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 TEL：011-841-1738，e-mail：saida-a@ceri.go.jp

ルは入力層、中間層および出力層の3層で構成される。入力層は気温、相対湿度、降水量、日射フラックス、長波放射フラックス、南北および東西方向風速を入力する7個のノードから成る。中間層は64個のLSTMブロックから成り、個々のLSTMブロックは情報を記憶するためのセルとLSTMブロック内情報の追加・削除を行う入力ゲート、出力ゲートおよび忘却ゲートから構成される。本研究で用いるLSTMブロックにはHochreiterにより考案された内部構造⁹⁾を用いた。出力層は路面温度予測値を出力する1個のノードから成る。以上の方法で作成したLSTM予測モデルは、予測対象時刻より前の3時間毎気象データを6時間分から672時間分にわたり入力することで、予測対象時刻における路面温度予測値を出力する。

3. 路面温度の予測精度検証

本研究では、上記の手法による路面温度の予測精度検証を行った。検証では、LSTM予測モデルに精度検証用データセットの気象データを入力し、出力された路面温度予測値と実際の路面温度を比較することで検証した。LSTM予測モデルで用いる精度検証用データセットは北海道開発局の道路テレメータ100地点のうち、訓練用データの作成に用いた地点を除く10地点における気象および路面温度データから、LSTM予測モデル用の訓練用データセットと同様の手法で作成した。

4. 路面温度の予測精度検証結果

図-3 は LSTM 予測モデルに予測対象時刻の前 6 時間分および 24 時間分の気象データを入力した場合の路面温度実測値と予測値の関係をそれぞれ示す。LSTM 予測モデルに予測対象時刻の前 6 時間分の気象データを入力した場合の路面温度実測値ー予測値間の二乗平方平均誤差 (RMSE) は 2.14℃であった。また、LSTM 予測モデルに予測対象時刻の前 24 時間分の気象データを入力した場合の路面温度実測値ー予測値間の RMSE は 1.74℃であり、6 時間分の気象データを入力した場合と比較して RMSE が小さくなった。

図-4 は LSTM 予測モデルに入力する気象データの期

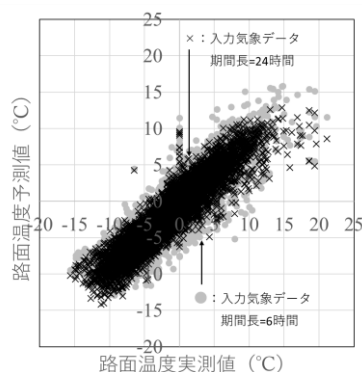


図-3 LSTM 予測モデルによる路面温度予測値と路面温度実測値の関係

間長と路面温度実測値ー予測値間の RMSE の関係を示す。RMSE は、入力気象データ期間長が 72 時間に達するまでは入力気象データ期間長を長くするほど小さくなった。一方で、入力気象データ期間長が 96 時間以上 420 時間以下の場合において RMSE は概ね同程度の値であり、入力気象データ期間長が 420 時間超となる場合の RMSE は入力気象データ期間長が 96 時間以上 420 時間以下の場合における RMSE よりも大きくなった。この結果からは、気象条件が路面温度予測に影響を及ぼす期間は最大で 72 時間程度であること、路面温度予測対象時刻から 72 時間前までの気象データを用いることで路面温度予測計算の精度向上と計算時間短縮を両立できることが明らかとなった。

5. おわりに

本研究により、LSTM と気象時系列データを用いて路面温度を予測できること、および路面温度を精度良く予測するためには予測対象時刻から 72 時間程度前までの気象データを用いれば良いことが明らかとなった。今後は気象以外の要因を考慮に入れることで更なる予測精度の向上を試みる。

参考文献

- 1) 例えば; 武市靖: 路面凍結の予測に関する研究, 土木学会論文集, No. 470/IV-20, pp. 175-184, 1993.
- 2) 例えば; 舟田久之: 道路凍結と降雪の予測, 地学雑誌, Vol. 101, No. 6, pp. 491-505, 1992.
- 3) 高橋尚人, 徳永ロベルト, 浅野基樹, 石川信敬: 冬期路面管理支援システムの構築と運用, 寒地土木研究所月報, No. 652, pp.8-17, 2007.
- 4) 京都大学生存圏研究所 生存圏データベース, <http://database.rish.kyoto-u.ac.jp>
- 5) Sepp Hochreiter and Jürgen Schmidhuber: Long Short-Term Memory, Neural Computation, Vol. 9, pp. 1735-1780, 1997.
- 6) 高橋ほか: 晴天時における大気放射量推定に関する研究, 雪氷研究大会 (2012・福山) 講演要旨集, p.124, 2012.

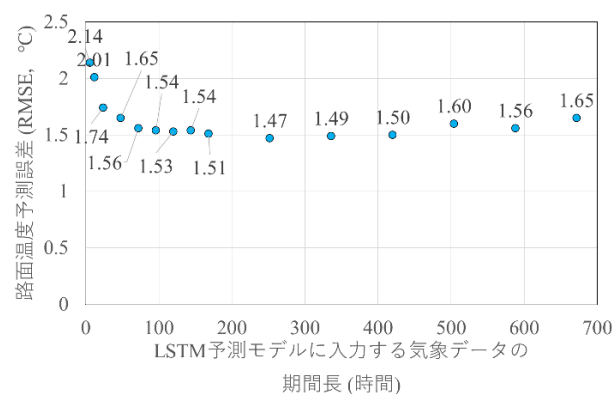


図-4 LSTM 予測モデルに入力する気象データの期間長と路面温度予測誤差の関係