

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 16 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350490

研究課題名(和文) 冬季道路の線的路面管理システムの構築

研究課題名(英文) Forecast model for road surface conditions along winter roads

研究代表者

堀井 雅史 (HORI, Masafumi)

日本大学・工学部・教授

研究者番号：00165581

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、凍結防止剤の効率的な事前散布を支援するための線的路面凍結予測モデルを作成し、積雪寒冷地において冬季交通安全の確保、雪氷管理費の削減さらには環境負荷の低減を可能にする冬季道路の線的路面管理システムの構築を目指すものである。このためにニューラルネットワーク、判別分析を用いて路面温度予測モデル、路面上水分検知モデルを作成し、両者の結果を統合することによって、路線上の複数地点の路面凍結予測がある程度の精度で予測可能なモデルを示した。

研究成果の概要(英文)：We proposed a forecast model that uses a neural network to predict what the winter road surface conditions will be after three hours in order to increase the efficiency of anti-icing programs. In order to establish the forecast model, learning models of the road surface temperature and detecting water on road surfaces at a specific site were created. These learning models were then applied to other sites along an expressway and national highways and the correct classification of the road surface conditions was examined. The results of the present study revealed that the road surface conditions along an expressway and national highways can be predicted with acceptable precision three hours in advance by applying a learning model to the time series variation of the road surface temperature and other variables.

研究分野：交通工学

キーワード：路面凍結予測 ニューラルネットワーク 判別分析

### 1. 研究開始当初の背景

積雪寒冷地において、道路管理者は冬季交通を確保するために凍結防止剤散布等を実施しているが、凍結防止剤の散布は土壌や植生などの自然環境への影響に対する懸念、コンクリート構造物の損傷を引き起こしている。また、冬季の道路交通を確保するため、降雪深の変動に応じて薬剤散布費を支出しており、最近の豪雪時に見られるように雪氷対策費は増大し、財政負担を高めている。

限られた財政の中、周辺地域への環境悪化を最低限に押さえながら冬季交通を確保するためには、事前に道路の路面凍結が予測でき、路面凍結前に凍結防止剤散布を可能にする冬季路面管理システムの構築が要請されている。この場合、現場での道路管理では、路線ごとに行われるので、より簡便で路線全体にわたる線的予測手法が要求される。しかしながら、このような実用的な予測モデルは確立されていない。

### 2. 研究の目的

本研究は、路面凍結が問題となっている地点に容易に適用できるように、道路管理者が現在収集している気象データのみで予測モデルを構成することを目指している。このためにニューラルネットワークを用いた路面凍結予測モデルを構築し、得られた予測モデルを用いて路線上の他の地点の路面凍結予測、いわば線的予測モデルを提案し、このモデルを一般道路、高速道路に適用して、その予測精度について検討を行ったものである。

### 3. 研究の方法

#### (1) 路面温度予測モデル

路面温度予測モデルは階層型ニューラルネットワークとし、学習には少ない学習回数で収束が可能な拡張カルマンフィルタによるニューラルネットワークを用いる。予測モデルは3層構造とし、入力層には路面温度、交通量、凍結防止剤散布状況、GPVデータの時系列的データを用い、出力層は3時間後の路面温度として、ある時点から過去の路面温度などの変化により、3時間後の路面温度を予測できるモデルを作成する。なお、入力時間数と中間ユニット数を変化させ、再現時、予測時の精度の最も良いモデルを選択する。

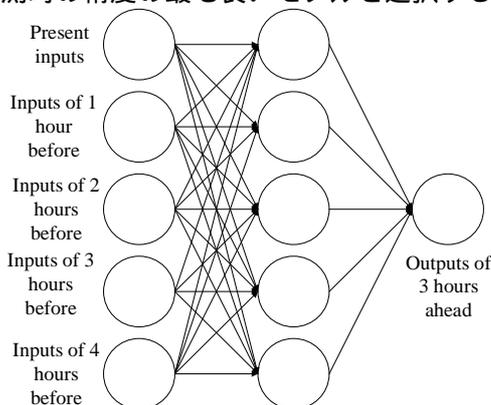


図-1 路面温度予測モデルの構造

また GPV とは Grid Point Value のことで、天気予報に用いられる基礎データである。図-1 に路面温度予測モデルの一例を示す。

#### (2) 路面上水分検知モデル

路面上の水分検知モデルを変数選択式判別分析とニューラルネットワークの2種類の方法を用いて構築を試みる。出力は両者とも3時間後に路面上の水分が存在するか否かの0,1変数とする。ここで路面上の水分なしとは、路面状態が乾燥の場合であり、その他は水分ありとした。

#### (3) 路面凍結予測モデル

路面凍結は、路面温度が0以下になり、水分が存在する場合に発生する現象であることから、路面温度予測モデルと路面上水分検知モデルの予測結果を統合し、3時間後の路面凍結予測を行う。さらに、得られた路面凍結予測モデルを用いて路線上の他地点の予測、すなわち路面凍結の線的予測を試み、その精度について検討する。

### 4. 研究成果

#### (1) 分析対象路線と期間

本報告書では、すでに成果の公表をしている福島県内の磐越自動車道における線的路面温度予測結果<sup>1),2)</sup>について報告する。対象地点は3カ所とし、磐越自動車道のA地点(99.1kp)を学習地点とし、このモデルを用いてB地点(105.3kp)、C地点(121.5kp)の路面温度予測を試みた。なお、kpとは起点からの距離を示す。予測モデル作成のための分析期間は2013年12月から2014年3月までとし、この中からA地点において0未満が最も多く出現した2014年1月を学習期間とし、残りの期間を予測期間とした。

#### (2) 路面温度の地点予測(A地点)

入力変数は、路面温度の時系列的データ、路面温度、交通量、凍結防止剤散布状況の時系列的データ、路面温度を0で分割し、その2群のデータに対する変数選択式判別分析で有意な変数の時系列的データの3種類に対して計算を行った。出力値は3時間後の路面温度とし、ある時点から過去の路面温度などの変化により、3時間後の路面温度を予測できるモデルを作成する。なお、今回は、路面温度の全体的中率が高い入力変数、路面温度0以下の的中率が高い入力変数についての結果を示す。

まず入力変数として路面温度に影響すると考えられる路面温度、時間交通量、凍結防止剤散布状況の3変数について説明する。これらの3変数の入力時間数と中間ユニット数を変化させ、再現時(学習結果)、予測時(予測期間)の精度の最も良いモデルを選択した。学習回数は100回とした。

図-2、表-1に学習結果に関する計算結果を示す。この場合は、入力変数として路面温度

6 時間，時間交通量 3 時間，凍結防止剤散布状況 3 時間分とし，中間ユニット数を 9 とした．これらによるとまず路面温度の変動を予測値がかなり正確に再現しているといえる．また全体的中率，路面温度 0 未満の危険側の的中率とも 90%程度という的中率を得た．

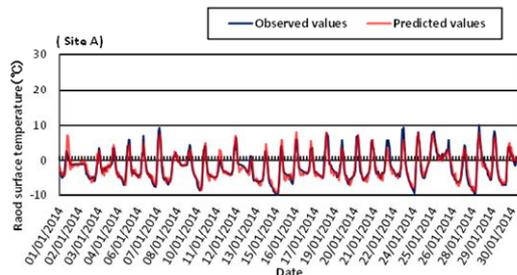


図-2 学習時における路面温度の変動  
(入力変数 ，2014 年 1 月)

表-1 路面温度の学習結果  
(入力変数 ，2014 年 1 月)

Measured conditions	Predicted conditions		Correct classification
	Below zero	Above zero	
Below zero	496	38	92.9%
Above zero	40	151	79.1%
Correct classification	92.5%	79.9%	89.2%

この学習モデルを用いて他の 3 ヶ月間を予測した結果を表-2 に示す．これによると全体的中率が 80%弱，危険側の的中率が 90%となった．また路面温度変動を 2013 年 12 月について示したのが図-3 である．この場合も路面温度の高いところで実測値との乖離は見られるものの，路面凍結が問題となる 0 付近の変動を正確に予測しているといえる．

表-2 路面温度の予測結果  
(入力変数 ，2014 年 1 月)

Measured conditions	Predicted conditions		Correct classification
	Below zero	Above zero	
Below zero	982	105	90.3%
Above zero	368	660	64.2%
Correct classification	72.7%	86.3%	77.6%

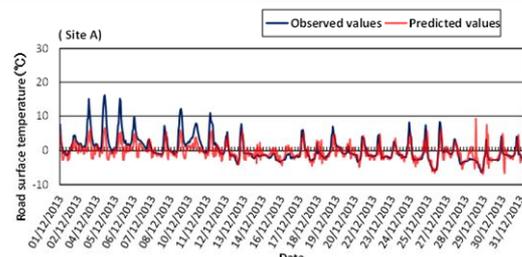


図-3 予測時における路面温度の変動  
(入力変数 ，2013 年 12 月)

つぎに，すべての入力変数に対して変数選択式判別分析を行った結果，路面温度，時間交通量，地上気温(GPV データ)，相対湿度(500hPa 面，GPV データ)の 4 変数(入力変数)が選択された．4 変数の入力時間数と中間

ユニット数を変化させ，再現時，予測時の精度の最も良いモデルを選択した．学習回数は 100 回とした．

図-4，表-3 に学習結果の計算例を示す．この場合は，入力変数として路面温度 8 時間，時間交通量 3 時間，地上気温(GPV)2 時間および相対湿度(500hPa 面，GPV)1 時間分とし，中間ユニット数を 7 とした．これらによるとまず路面温度の変動を予測値がかなり正確に再現しているといえる．また全体的中率，路面温度 0 未満の危険側の的中率とも 90%以上という的中率を得た．

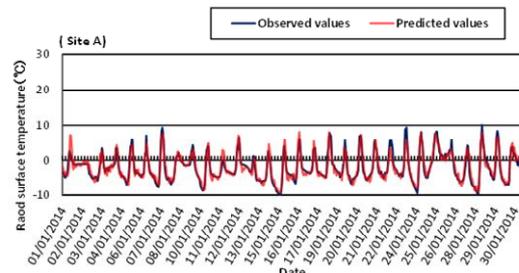


図-4 学習時における路面温度の変動  
(入力変数 ，2014 年 1 月)

表-3 路面温度の学習結果  
(入力変数 ，2014 年 1 月)

Measured conditions	Predicted conditions		Correct classification
	Below zero	Above zero	
Below zero	502	32	94.0%
Above zero	16	175	91.6%
Correct classification	96.9%	84.5%	93.4%

この学習モデルを用いて他の 3 ヶ月間を予測した結果を表-4 に示す．的中率に関しては全体，危険側とも 85%程度であり，路面温度の地点予測は可能である．あわせて図-5 に 2013 年 12 月の路面変動の計算結果を示す．この場合も路面温度の高いところで実測値との乖離は見られるものの，路面凍結が問題

表-4 路面温度の予測結果  
(入力変数 ，2013 年 12 月，2014 年 2~3 月)

Measured conditions	Predicted conditions		Correct classification
	Below zero	Above zero	
Below zero	933	154	85.8%
Above zero	169	859	83.6%
Correct classification	84.7%	84.8%	84.7%

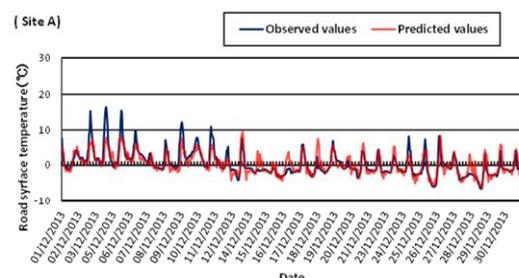


図-5 予測時における路面温度の変動  
(入力変数 ，2013 年 12 月)

となる 0 付近の変動を正確に予測している。

### (3)路面温度の線的予測

以上で得られた学習モデルを用いて他地点の路面温度予測を行った。入力変数 による B, C 地点の予測結果を表-5, 6 に示す。さらに入力変数 を用いた B, C 地点の予測結果を表-7, 8 に示す。まず入力変数 については、両地点の全体、危険側ともに 80%以上であり、特に全体の的中率は 86%と高い値が得られた。入力変数 に関しては、2 地点とも全体の的中率は 76%程度と若干低い値が得られたが、路面凍結予測において最も重要である 0 未満の的中率は 91, 93%と極めて高い値が得られた。

表-5 路面温度の線的予測結果  
(B 地点, 入力変数 , 2013 年 12 月 ~ 2014 年 3 月)

Measured conditions	Predicted conditions		Correct classification
	Below zero	Above zero	
Below zero	1160	215	84.4%
Above zero	194	1271	86.8%
Correct classification	85.7%	85.5%	85.6%

表-6 路面温度の線的予測結果  
(C 地点, 入力変数 , 2013 年 12 月 ~ 2014 年 3 月)

Measured conditions	Predicted conditions		Correct classification
	Below zero	Above zero	
Below zero	888	197	81.8%
Above zero	189	18566	89.2%
Correct classification	82.5%	88.8%	86.4%

表-7 路面温度の線的予測結果  
(B 地点, 入力変数 , 2013 年 12 月 ~ 2014 年 3 月)

Measured conditions	Predicted conditions		Correct classification
	Below zero	Above zero	
Below zero	1283	92	93.3%
Above zero	585	1191	60.1%
Correct classification	68.7%	90.5%	76.2%

表-8 路面温度の線的予測結果  
(C 地点, 入力変数 , 2013 年 12 月 ~ 2014 年 3 月)

Measured conditions	Predicted conditions		Correct classification
	Below zero	Above zero	
Below zero	987	98	91.0%
Above zero	565	1190	67.8%
Correct classification	63.6%	92.4%	76.7%

路面温度の変動に関しては、A 地点より最も離れている C 地点の計算結果を図-6(入力変数 ), 図-7(入力変数 )に示す。両者とも 0 付近の路面温度変動に予測値が正確に

追従しており、約 20km 離れた地点の路面温度予測、すなわち線的予測は可能であることを示した。

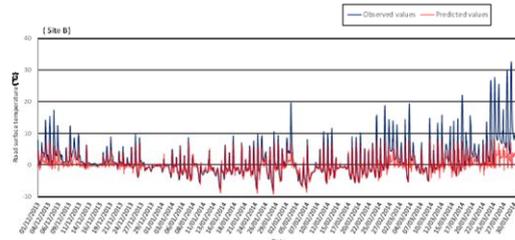


図-6 路面温度の線的予測  
(C 地点, 入力変数 , 4 ヶ月間)

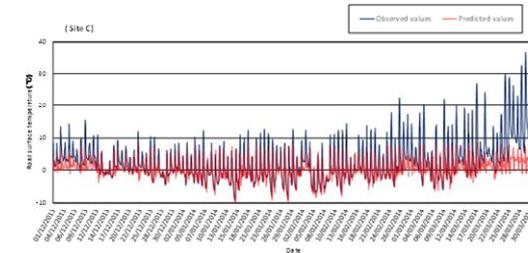


図-7 路面温度の線的予測  
(C 地点, 入力変数 , 4 ヶ月間)

#### < 引用文献 >

- 1) Masafumi Horii and Takayuki Hayami, Model for forecasting expressway surface temperature in snowy areas, Journal of Natural Disaster Science, Vol. 37, No.2, 2016, 49-64.
- 2) 堀井雅史, 早見隆之, 高速道路の線的路面温度予測モデルの構築, 雪氷研究大会(2015, 松本)講演要旨集, 2015, 99.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Masafumi Horii and Takayuki Hayami, Model for forecasting expressway surface temperature in snowy areas, Journal of Natural Disaster Science, 査読あり, Vol. 37, No.2, 2016, 49-64.

〔学会発表〕(計 1 件)

堀井雅史, 早見隆之, 高速道路の線的路面温度予測モデルの構築, 雪氷研究大会(2015, 松本)講演要旨集, 信州大学理学部(長野県・松本市), 査読無, 2015.9.16, 99.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：

権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

堀井 雅史 (HORII, Masafumi)  
日本大学・工学部・教授  
研究者番号：00165581

##### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：

##### (4) 研究協力者

( )