積雪寒冷地における冬季道路の路面凍結予測システムに関する検討

日本大学大学院　学生会員　○福嶋　孝太
日本大学工学部　　正会員　　堀井　雅史

１．　はじめに

積雪寒冷地において, 道路管理者は安全で円滑な冬季交通を確保するために除雪作業や凍結防止剤[1]　(塩化ナトリウム)の散布を実施している。しかし一方で、薬剤の大量散布により土壌や植生への環境問題、道路構造物の劣化を引き起こしている。また、薬剤の散布量はスパイクタイヤの規制以降、年々増加傾向であったが、近年では降雪深の変動とともに凍結防止剤は増減しており[2]、それによる財政の圧迫化も懸念される。したがって、道路管理者は薬剤散布を必要最小限、かつ効率的に行うなど冬季路面を適切に管理することが重要となってきている。

そこで、本研究では薬剤の効率的な散布を支援するために、ニューラルネットワークを用いた路面凍結予測システムを構築し、その適用性を検討するものである。

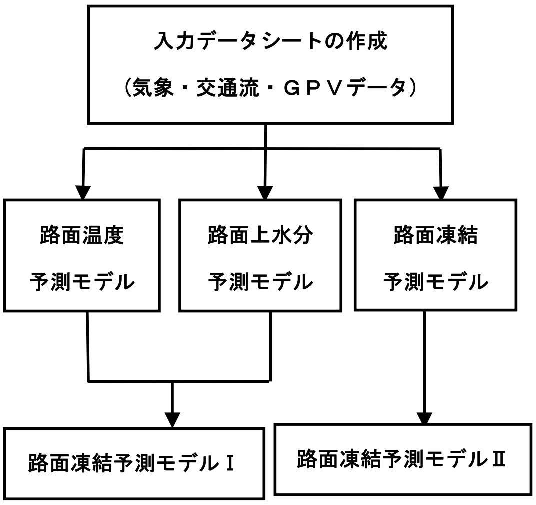

図-1　路面凍結予測システム

２．　路面凍結予測システム

図－1 に示すように、路面凍結予測は２つの手法を用いる。路面凍結予測モデルⅠは、入力データシートを基に判別分析、ニューラルネットワークを用いて路面温度予測、路面上水分予測を行い、両者の予測結果を統合して路面凍結予測を行う手法である。路面凍結予測モデルⅡは、ニューラルネットワークを用いて直接路面凍結予測を行う手法である。ニューラルネットワークは、入力層、中間層 1 層、出力層の階層型ニューラルネットワークを使用し、学習回数は既往の研究[3]と同様に 100 回とする。なお、入力ユニット数、中間ユニット数は個数を変化させるものとする。学習アルゴリズムは誤差逆伝播法に加え、少ない学習で収束が可能である拡張カルマンフィルタ法[4]を用いる。

３．　分析データおよび分析方法

分析地点は福島県国道 49 号における七折峠トンネル(147.4KP)、藤トンネル(155.2KP)、車トンネル(170.5KP)とした。入力データは、冬季気象データ[5]として七折峠トンネル郡山側坑口付近で 1 時間毎に観測されている路面温度(℃)、気温（℃）、東西風速(m/s)、南北風速(m/s)、積雪深(cm)、路面状態(乾燥、湿潤、積雪、凍結)、気象予報データとして分析地点付近の GPV(Grid Point Value)データ、さらに国道 49 号 140.2KP 地点(河沼郡会津坂下町大字宮古)で観測されている上り車線の交通流データ[6]を用いる。分析期間は、2010 年 12 月～2011 年 3 月の 4 ヶ月間とし、学習期間は分析期間のうちで凍結頻度が最も高い 1 月とした。

路面温度予測モデルを除く各予測モデルの入力変数は、それぞれの路面状態に関係すると思われる変数、または変数選択式判別分析で選択された変数とする。各入力値は入力時間数を指定し、中間層のユニット数を変化させ出力値は、路面温度、水分有無、凍結有無とする。的中率を算出し、最も精度の高いものを予測モデルとして採用する。入力値は各変数の時系列データとし、路面温度予測モデルについては入力時間数を 3～10 時間分変化させる。それ以外の予測モデルの入力時間数は、路面上水分予測・路面凍結予測ともに各 3～5 時間分に変化させる。中間ユニット数については全モデル共通に 3～10 に変化させるものとする。

キーワード：凍結防止剤　路面凍結　ニューラルネットワーク
連 絡 先：〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1　日本大学工学部土木工学科　TEL：024-956-8711

４． 分析結果

分析結果の一例を以下に示す。まず、表－1 に路面温度予測モデルの適合数を示す。ここで見逃しとは、実測値が 0℃以下に対し、予測値が 0℃を超えていた場合で危険側の誤判別を示している。空振りとは実測値が 0℃超えているのに対し、予測値が 0℃以下である場合を示し、安全側の誤判別となる。学習期間、予測期間ともに的中率が高く、見逃し率も少ないことから精度の高い予測モデルを構築することができた。つぎに、路面上水分予測モデルの構築を行った。入力変数は水分有無に加え、判別分析によって選択された変数を用いる。その結果、水分有無、相対湿度(950hPa 面上)、中層雲量の 3 変数 3 時間分をニューラルネットワークの入力値とした。表－2 に路面上水分予測モデルの適合数を示す。路面温度同様、学習期間、予測期間ともに精度の高い予測モデルを構築することができた。

最後に、路面凍結予測モデルについて検討を行った。表－3 に路面凍結予測モデルⅠ、表－4 に路面凍結予測モデルⅡの適合数を示す。路面凍結予測モデルⅠでは、見逃し率が低く、凍結発生はよく予測できているといえる。しかし空振り率に関しては、若干高く、凍結以外の路面状態予測については今後改良する必要がある。その原因としては、路面状態の積雪路面を凍結路面と誤判別するケースが多くみられためと考えられる。路面凍結予測モデルⅡでは、凍結有無、路面温度、総交通量の各 3 時間分を入力変数とし、的中率を算出した。前者の路面凍結予測モデルと比較すると空振り率が低く、全体の的中率も高い結果が得られた。しかし見逃し率が若干高く、改善の余地があると考えられる。

表-1　路面温度予測モデルの適合数

学習期間：2011年1月
RMSE= 2.58 相関係数= 0.759

実測値＼予測値	≦0℃	＞0℃	的中率
≦0℃	524	43	92.4%
＞0℃	69	108	61.0%
的中率	88.4%	71.5%	84.9%
見逃し率	5.8%		
空振り率	9.3%		

予測期間：2010年12月、2011年2月、3月
RMSE= 5.06 相関係数= 0.752

実測値＼予測値	≦0℃	＞0℃	的中率
≦0℃	794	79	91.0%
＞0℃	285	984	77.5%
的中率	73.6%	92.6%	83.0%
見逃し率	3.7%		
空振り率	13.3%		

表-2　路面上水分予測モデルの適合数

学習期間：2011年1月

実測値＼予測値	水分有り	水分無し	的中率
水分有り	707	0	100.0%
水分無し	14	23	62.2%
的中率	98.1%	100.0%	98.1%
見逃し率	0.0%		
空振り率	1.9%		

予測期間：2010年12月・2011年2月・3月

実測値＼予測値	水分有り	水分無し	的中率
水分有り	1318	96	93.2%
水分無し	192	540	73.8%
的中率	87.3%	84.9%	86.6%
見逃し率	4.5%		
空振り率	8.9%		

表-3　路面凍結予測モデルⅠの適合数

2010年12月･2011年2月･3月　予測

実測値＼予測値	凍結有り	凍結無し	的中率
凍結有り	545	96	85.0%
凍結無し	364	1126	75.6%
的中率	60.0%	92.1%	78.4%
見逃し率	4.5%		
空振り率	17.1%		

表-4　路面凍結予測モデルⅡの適合

学習期間：2011年1月

実測値＼予測値	凍結有り	凍結無し	的中率
凍結有り	296	62	82.7%
凍結無し	68	318	82.4%
的中率	81.3%	83.7%	82.5%
見逃し率	8.3%		
空振り率	9.1%		

予測期間：2010年12月・2011年2月・3月

実測値＼予測値	凍結有り	凍結無し	的中率
凍結有り	452	182	71.3%
凍結無し	267	1245	82.3%
的中率	62.9%	87.2%	79.1%
見逃し率	8.5%		
空振り率	12.4%		

５． まとめ

本研究は、ニューラルネットワークを用いて路面凍結予測モデルⅠ、Ⅱ両モデルについて比較検討したものである。以下に得られた結果を示す。

1. 路面温度予測モデルに関しては全期間を通して十分に予測できることがわかった。同様に路面上水分予測モデルに関しても、学習期間・予測期間ともに高い的中率が得られた。

2. 路面凍結予測モデルに関しては、モデルⅠにおいて、見逃し率は全期間を通して低い値を得ることができた。しかし、積雪路面を凍結路面と誤判別し、空振り率が若干高くなった。よってモデル改善が必要である。ただし、これは安全側の誤判別であるので道路管理上は差し支えないと思われる。モデルⅡでは、全体の的中率、空振り率は良い結果が得られた。しかし見逃し率は若干高い結果となった。今後、両モデルともに改良を行い、精度の向上に努めていきたい。

参考文献

1)日本道路公団試験所：技術手帳,路面凍結防止剤, 1991.
2)堀井雅史：道路の路面凍結について,日本雪氷学会東北支部設立 25 周年記誌,P.104-108,2010.
3)福嶋孝太・堀井雅史：雪氷研究大会(2011・長岡)講演要旨集,P67,2011.
4)村瀬治比古,小山修平共著,石田良平：パソコンによるカルマン・ニューロコンピューティング, 1994.
5)国土交通省東北地方整備局郡山国道事務所：H23 年度国道 49 号冬季気象データ, 2011.
6)国土交通省東北地方整備局郡山国道事務所:H23 年度国道 49 号交通流データ,2011.