

サーマルマップを用いた凍結危険箇所の予測に関する研究

交通工学研究室 平石 哲夫
指導教官 丸山 暉彦

1. はじめに

冬期の路面は、気象条件およびその周辺環境の影響を受け、車両通行に支障をきたす凍結危険箇所が点在している。凍結防止剤の散布は、凍結危険箇所に対して道路管理手法として最も効果的な手法である。しかしながら、各所に設置されている定点観測装置のみでは、1 路線に渡っての危険箇所を正確に把握することが困難であるため、実作業においては道路管理者とオペレータの経験を基に凍結防止剤の散布タイミングが決定されており、その散布量はかなりの量に及んでいる。中越地区の平成 14 年度の凍結防止剤総散布量は、約 500 万kgにものぼり、そのため凍結防止剤の散布量の削減が望まれるところである。

2. 研究概要

先の背景を受け、本研究では 1 路線に渡っての凍結危険箇所を把握し、それを基に凍結防止剤散布の意思決定システムを構築することを前提とした、凍結防止剤散布に関する道路管理システムの検討を目的とする。図 - 1 には、この道路管理システムの概略を示す。

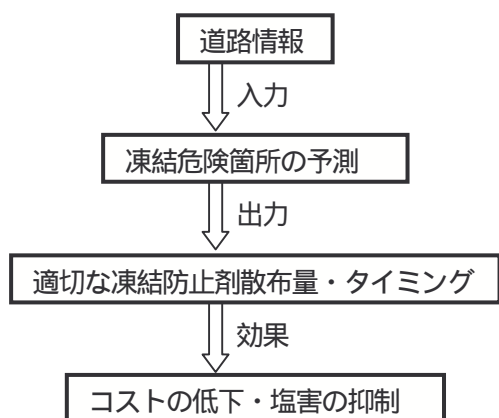


図 - 1 道路管理システム概略

ここで、凍結危険箇所の予測として路面温度に着目し、1 路線における路面温度分布であるサーマルマップを予測することとした。サーマルマップを予測することにより、1 路線に渡っての凍結危険箇所を把握することができ、それを基に凍結防止剤散布の意思決定システムを構築する。図 - 2 には、サーマルマップの例を示す。

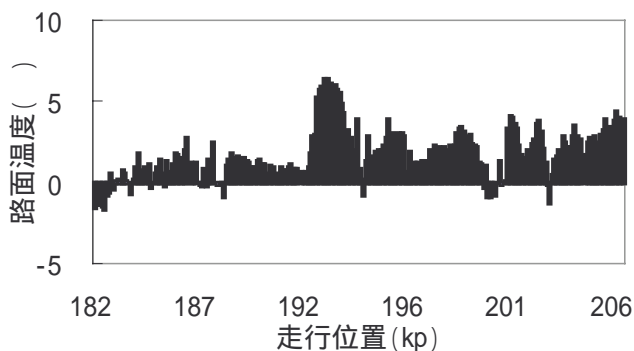


図 - 2 サーマルマップ

3. 路面温度情報の収集

本研究の目的である凍結危険箇所の予測にあたり、実際の冬期路面における様々な条件下での路面情報が必要となる。そこで、走行試験や定点観測装置の情報より、冬期路面におけるデータベースを構築し、それを用いて解析を行う。

3.1 走行試験

走行試験区間は、新潟県中越地方国道 17 号塩沢付近から三国トンネル入り口までの約 32km である。測定区間の標高差は約 800m で、カーブの多い厳しい山道となっている。表 - 1 には、測定項目を示す。このうち天空率とは、測定用カメラに用いられている魚眼レンズに移る円の面積に対する、空の割合を表すものである。図 - 3 には、実際に天空率を測定した写真を示す。

表 - 1 測定項目

観測項目	観測機器	観測間隔	入力方法
路面温度	赤外線 放射温度計	1 秒	パソコン にて 自動入力
天空率	車載デジタル カメラ	1 秒	



図 - 3 天空率写真

測定結果の例として、図 - 4, 5 に 2003 年度のデータを示す。縦のラインは構造物を表している。構造物内の路面温度はばらつきが小さく安定しているのに対し、構造物外の路面温度はばらつきが大きく、比較的安定していないことが分かる。これは、構造物内の路面温度というのは雪、雨、風などの環境要因の影響を受けにくいためであると考えられる。これらの図から言えることは、地点ごとに路面温度特性は異なり凍結防止剤散布量・タイミングを選定する際には、その地点ごとの路面温度特性を考慮する必要がある。

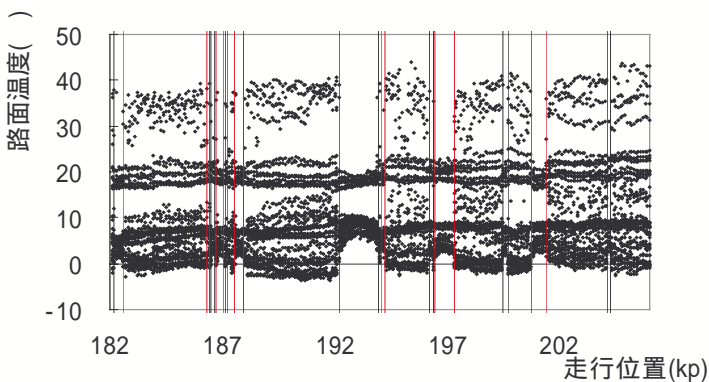


図 - 4 走行試験結果 (2002 年度)

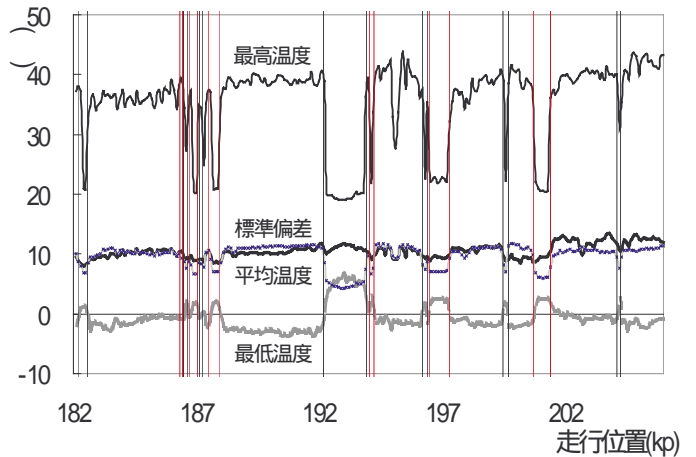


図 - 5 路面温度特性 (2002 年度)

3.2 定点観測装置

測定区間に設置されている定点観測装置より、定点における路面温度・気温データを収集した。定点観測装置データは年間を通して測定されており、また測定間隔も 15 分と短い。次に説明するサーマルマップ予測モデルの作成においては、これらのデータが重要なパラメーターとなっている。

4. サーマルマップ予測モデルの作成

路面温度とは、周辺の環境要因の影響を受け、その地点ごとに異なった挙動を示す。その環境要因は気温、日照、天候、地熱など様々で、これらを解析するのは困難である。そこで、シミュレーションモデルを構築するにあたり、本研究ではニューラルネットワークを用いた。ニューラルネットワークは、理論的に説明付けることは困難であるが、過去のパターンに基づいて、適切に予測をたてることが望まれる実現象において、有効な解析手法であると考えられる。

4.1 ニューラルネットワークの概要

ニューラルネットワークは、図 - 6 に模式的に示したニューロンで構成されたものである。このニューロンとは、生物の脳を形成している神経細胞のことであり、情報処理を行っている。ニューロンは、樹状突起、細胞体、シナプス、神経繊維の 4 つの部分から構成されている。樹状突起では、信号伝達部のシナプスを介して、他のニューロンからの信号を受取る。細胞体では、ニューロン本体であり、各シナプスで受取った信号をアナログ電位の形で加算される。この加算された

電位がしきい値を越えると、神経インパルスによって、情報が他のニューロンに神経繊維をとおして送られる。このときシナプスで、他の細胞への結合の程度を変化させることにより、ネットワークの学習が行われると考えられる。

次に、ニューロンをモデル化したものを 図 - 7 に示した。ニューロンに入力する他のニューロンの出力値 (x_n) と、それに対応する結合荷重 (w_n) の積の総和 (net) でニューロンに入力し、関数を用いてそのニューロンの 出力値 ($f(\text{net},)$) に変換される。出力値は、教師データと比較し、希望どおりの出力値を得るように、結合荷重およびしきい値を任意に変化させる。この過程を学習といい、最も重要な作業である。

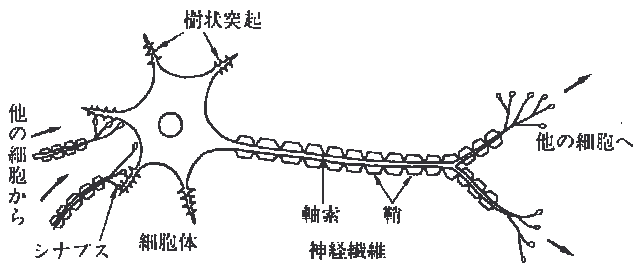


図 - 6 ニューロン構造

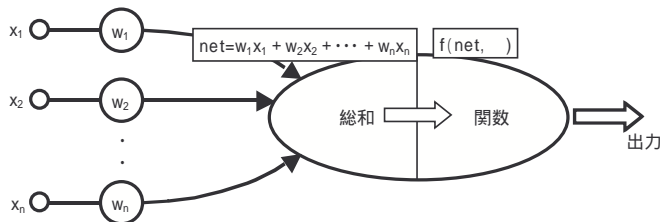
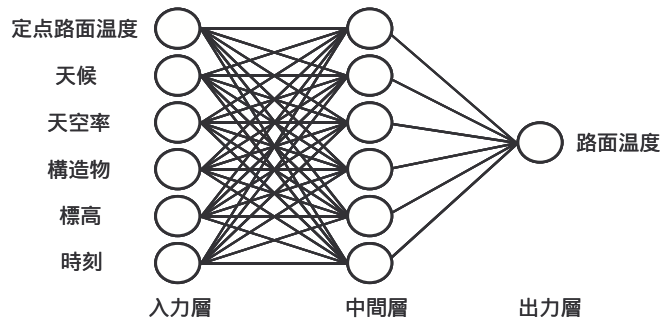


図 - 7 ニューロンモデル

4.2 シミュレーションモデルの構築

本研究で使用した、ニューラルネットワーク予測モデルの概念図を図 - 8 に示す。モデルは入力層、中間層、出力層の 3 層で構築した。入力層における入力要素は、どれも現場に行かなくともリアルタイムで取得できるものとした。また、出力層における出力要素は、入力要素の時刻の 2 時間後における路面温度とした。これにより本シミュレーションは、現時点のデータを入力することにより、その 2 時間後の路面温度を予測できるモデルとなっている。各入力要素の詳細につい

て、表 - 2 に示す。走行試験のデータより入力要素および教師データからなるデータセットを作成し学習さ



せ、シミュレーションモデルを構築した。

図 - 8 シミュレーションモデル

入力要素	データの入手先
定点路面温度	気象テレメーターからの情報
天候	
天空率	事前調査による走行試験からの情報
構造物	国道 17 号線平面図からの情報
標高	
時刻	シミュレーション時の時刻

表 - 2 入力要素詳細

4.3 シミュレーションモデルの評価

シミュレーションモデルには、入力要素のデータを満たしている 2002 年 11 月 7 日から 2004 年 2 月 6 日までのデータを用いた。ここでは、シミュレーションの予測精度を検証するため、2002 年 12 月 3 日の 8:30 ~ 9:00 に測定したデータを除いて学習させた後、学習から除いたデータを入力し路面温度を出力した。その結果を、図 - 9、表 - 3 に示す。この図では、走行試験で得た測定値と本研究によるシミュレーションモデルから出力した予測値を示している。推測値が直線になるのは、それぞれの区間で入力データの平均値を用いて、一定にしているためである。図より、測定値と予測値との大まかな路面温度の波形を比べると、完全とは言わないが一致していることがわかる。表記した相関係数の高さからも、相関の高さが伺える。しかしながら、一部の地点においては誤差が生じている。この誤差のうち、測定値が予測値を下回る箇所は、危険箇

所を把握できていない恐れがあるが、その誤差は最大でも 2 程度であった。そこで本研究においては、凍結危険箇所の判断の際には、2 程度の誤差を考慮することとした。

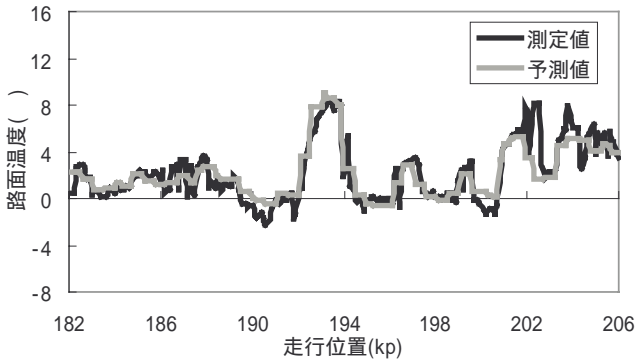


図 - 9 シミュレーション結果

表 - 3 結果詳細

種別	平均温度()	相関係数
予測値	-0.18	0.78
実測値	0.57	

5. 凍結防止剤散布の意思決定システムの構築

凍結危険箇所の把握にあたって、路線における凍結危険箇所の定義を決定する必要がある。次に示すのは、その要素として考えられるものである。

- ・ 路面温度
- ・ 路面上の水分(雪)
- ・ 勾配, 曲率
- ・ 構造物
- ・ 温度変化が激しい地点

本研究においては、サーマルマップ予測モデルを活用するため、これらの要素のうち路面温度に着目し、凍結防止剤散布の意思決定システムを構築するものとした。そこでこの前提をふまえ、予測モデルの 2 の誤差を考慮した意思決定システムにおける凍結危険基準の概要を表 - 4 に示す。

表 - 4 凍結危険基準

路面温度	種別
0 以下	凍結危険箇所
0 ~2	注意箇所
2 以上	安全箇所

この凍結危険基準を用いて、実際に予測モデルより出力した結果について凍結防止剤散布箇所を表示した例を図 - 10 に示す。このデータは、2002 年 12 月 3 日の 7:30 について検討したものである。図中では、散布箇所(凍結危険箇所)、非散布箇所(注意箇所、安全箇所)に分けて示してある。この結果を基に、実際の凍結防止剤散布の判断基準を提案できると考えられる。

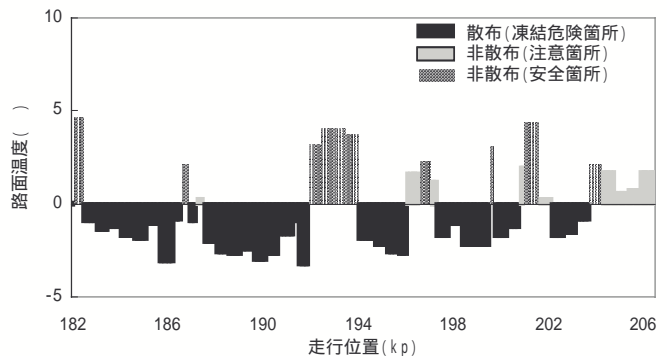


図 - 10 散布箇所表示図

6. まとめ

凍結防止剤に関する道路管理システムの検討として、次のことを行った。

- ・ サーマルマップ予測モデルの精度を確認
- ・ 予測モデルの誤差を考慮したうえでの、凍結防止剤散布箇所の表示

これらの検討より本研究においては、凍結防止剤散布箇所の判断基準を提案した。

参考文献

- 1) 岸田正憲, 丸山暉彦: 道路交通量シミュレーションを用いた冬期路面管理に関する検討, 長岡技術科学大学修士論文, 2003
- 2) 国土交通省長岡国道事務所: 道路除雪計画, 国土交通省長岡国道事務所, 2003