

画像処理を利用した路面凍結検知システムの開発に関する研究

建設設計工学研究室

磯部 生

指導教官

鳥居 邦夫

1. はじめに

図1に1997年の全国高速道路通行止め要因を示す。高速道路通行止め要因の65%は「気象障害」によるものであり、そのうち42%は「路面積雪凍結」によるものである。

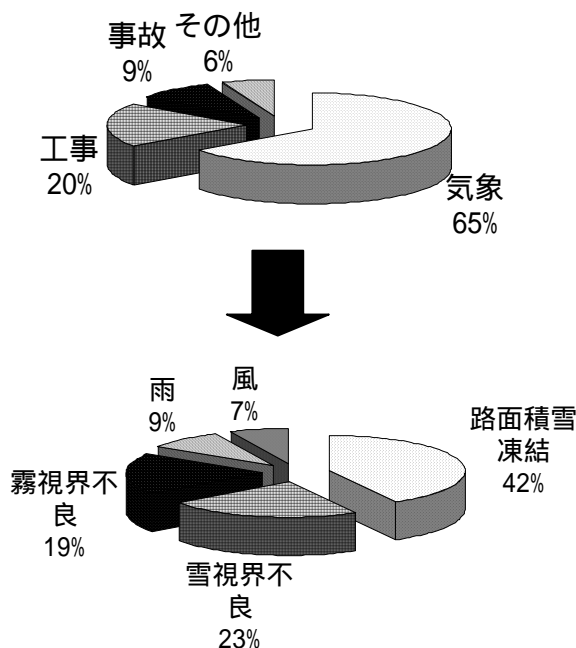


図1 全国高速道路通行止め要因 (1997年)

そのため、降雪地域において、冬季の交通安全や経済活動の安全を確保することは重要である。また、人々が生活を営む上で、路面状況の情報は不可欠である。そこで現在では、路面の積雪、凍結の状況などを判断し、人々に情報を提供するシステムとして、路面凍結検知システムが開発されている。このシステムは、センサなどの情報収集機器により、路面の状態を判断するために必要なデータを収集する。これをもとに、路面の状態が乾燥しているか、湿潤しているかなどを判断する。次に、外気温、路面

温度を測定し、これらと合わせて最終的に路面状況を判断する。そして、得られた判断結果を、ラジオや電光標識を通して人々に提供する。

2. 路面凍結検知システムの問題点

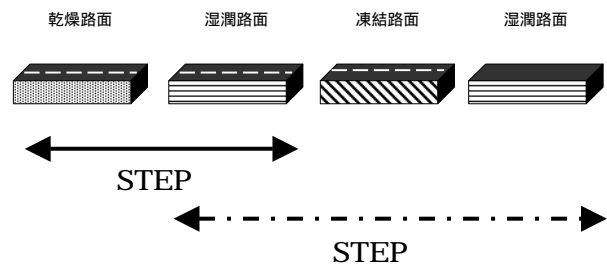
現在、情報収集器は光ファイバや静電容量センサなどがある。光ファイバは線のセンシングであり、それ以外は小領域(80cm²程度)の点のセンシングであり、どちらも路面を網羅した制御情報となっていない。またそれらは、水、氷、雪のそれぞれの判別はできない。さらに路面埋設式のセンサは、摩擦・劣化などにより誤作動が生じる。したがって既存のシステムは検知器精度と信頼性に問題がある。

3. 研究目的

本研究は、非接触でかつ広範囲に検出できる方法として、赤外線カメラと CCD カメラを利用した画像処理による水、氷、雪の水分検知を行う路面凍結検知システムの開発を目的とする。

4. 本研究の路面凍結検知システム

図2に示すような赤外線カメラと CCD カメラを併用した路面凍結検知システムを考案した。



STEP : 赤外線カメラ
路面の水分検知
路面温度の推定



5 以下なら

STEP : 赤外線カメラ CCD カメラ
路面温度の推定 路面状況を検知



湿潤路面と判断したら

STEP

図2 路面凍結検知システム

ここで、路面の水分検知は2値化処理を行うことで検知する。次に、路面温度の推定は、温度差と出力電圧の間には線形の関係が存在することがわかっている。そして、赤外線カメラには基準温度はなく物体の相対温度差を白黒画像で表示される。したがって、図3に示すように路面上に氷と水を置き、それらの温度と画像輝度を線形補間して路面温度を推定する。

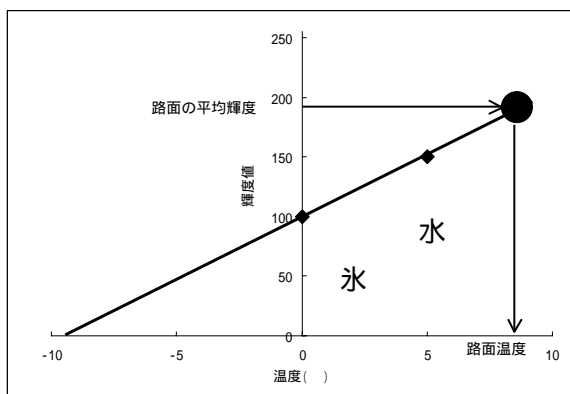


図3 路面温度の推定の概念

次にCCDカメラを用いた路面状況の検知について述べる。背景画像固定の背景差分を行い、しきい値より2値画像を取得する。この時のしきい値以上のPIXEL数をXとし、これを時間微分

した値がXとなる。実験結果より、凍結部分が溶け終わったときはXの負の最大値であった。また、路面凍結開始のときは、Xの正の最大値であった。

5. 屋内実験

赤外線カメラで路面温度を推定できるのか、また水分検知できるのか、そしてCCDカメラで路面凍結を検知できるのかを確認するために屋内でアスファルトを用意し実験を行った。

図4に路面温度の算出結果を示す。実測値と赤外線カメラより求めた差の平均は1.2となり路面温度の推定するのに十分な精度である。

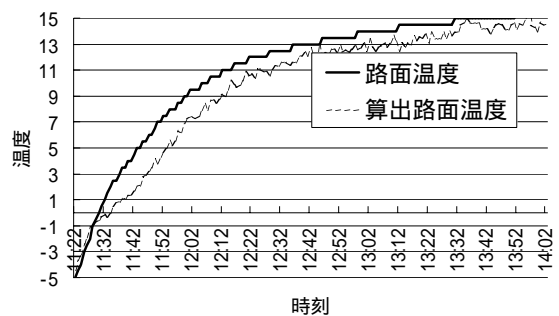


図4 路面温度の算出結果

図5に乾燥路面と湿潤路面をしきい値128で2値化した画像を示す。図6に乾燥路面と凍結路面をしきい値は120で2値化した画像を示す。この結果より、水分検知が可能であることがわかった。

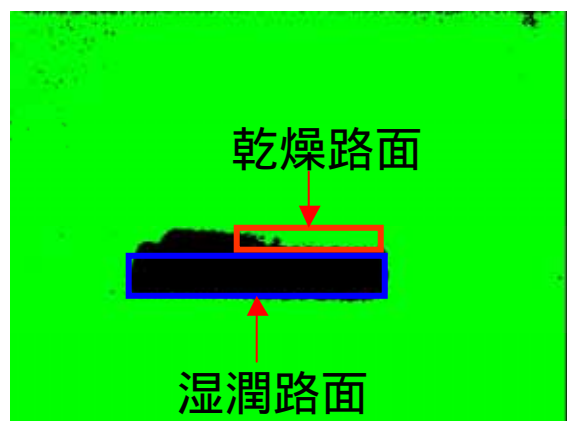


図5 乾燥路面と湿潤路面の2値画像

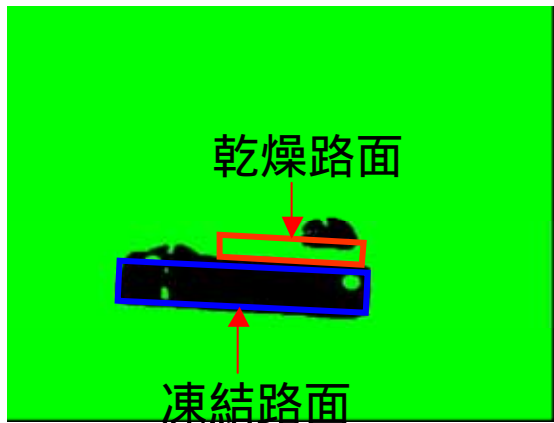


図6 乾燥路面と凍結路面の2値画像

次に、背景差分を行い、Xの経時変化を表したものが図7である。これより、溶けて行くにつれてXが増加しているが、12:52でXが減少している。このとき、Xは負の最大値であった。Xの経時変化を図8に示す。これにより、凍結部分が溶け終えたときを検知できた。

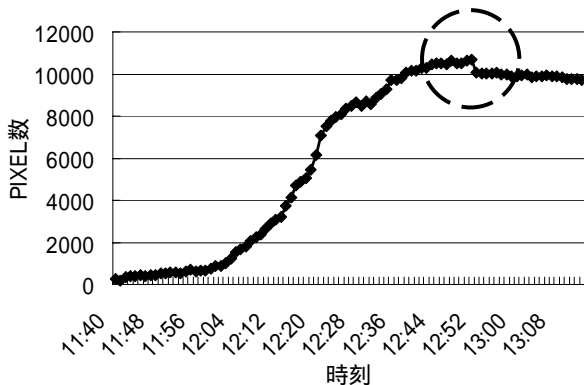


図7 Xの経時変化

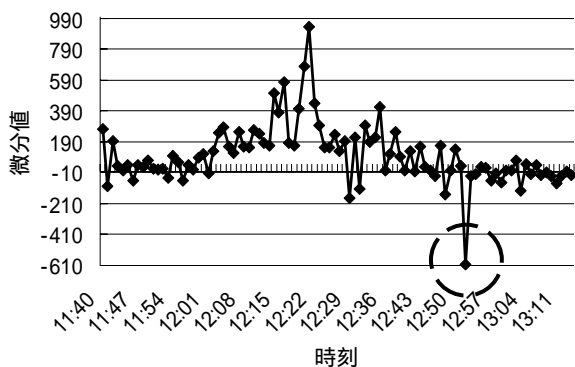


図8 Xの経時変化

6. 現場実験

本システムの有用性と限界を確認するために長野県大町市で現場実験を行った。

路面温度の算出結果を図9に示す。実測値との差が1.1と推定するのに十分な精度であった。

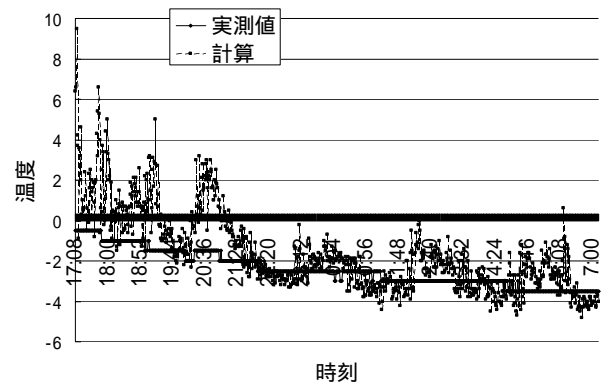


図9 路面温度の算出結果

積雪路面と凍結路面をしきい値180で2値化した画像を図10に示す。これより、水分検知が可能であることがわかった。

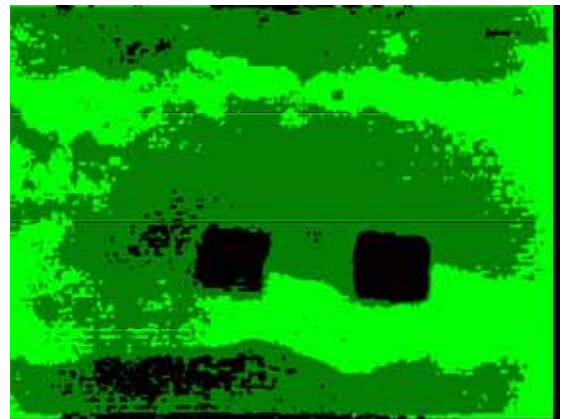


図10 積雪路面と凍結路面の2値画像

路面が湿潤から凍結へ移るときの凍結開始を検知できたので、図11にXの経時変化を示す。図12にXの経時変化を示す。図12より、Xが正の最大値のとき、路面凍結が開始すると検知できる。

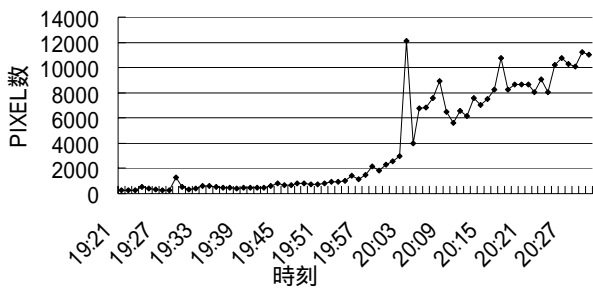


図 1 1 X の経時変化

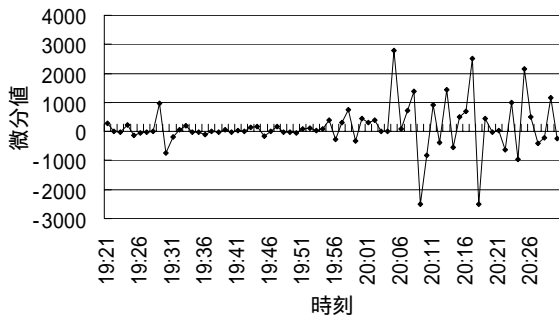


図 1 2 X の経時変化

7. 路面凍結予測

現場から得られたデータより、湿潤路面から凍結路面まで（背景画像：湿潤路面）と、凍結路面から湿潤路面まで（背景画像：凍結路面）の時刻と X の間には図 13 のような関係があると考えられる。

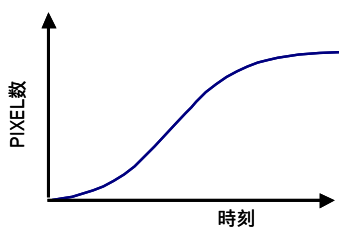


図 1 3 時刻と X の関係

そこで、成長曲線 $y = ab^{\exp(-cx)}$ を適用させた。湿潤路面から凍結路面間での結果を図 14 に、凍結路面から湿潤路面までの結果を図 15 に示す。

これらより、成長曲線との相関が非常に強いので路面凍結予測が可能である。

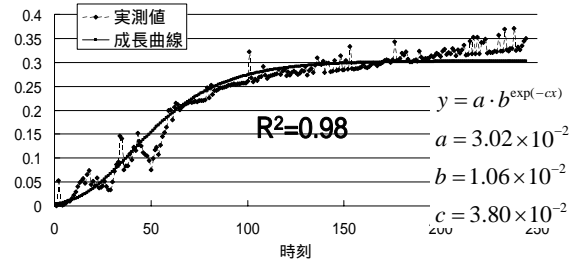


図 1 4 湿潤から凍結まで

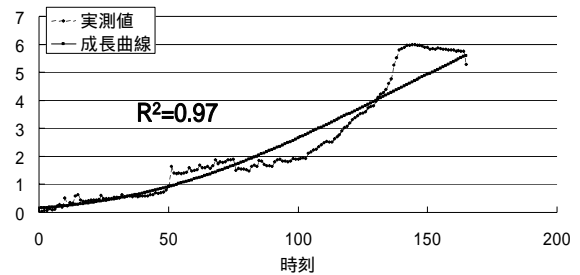


図 1 5 凍結から湿潤まで

8. 結論

本研究の結論を以下に示す。

- (1) 実験により非接触式かつ広範囲に検知のできる路面凍結検知システムを構築した。
- (2) 成長曲線を適用させることで路面凍結予測が可能である。

9. 今後の課題

- (1) 路面凍結検知システム
 - ・リアルタイム化
 - ・しきい値の決定について検討
- (2) 路面凍結予測
 - ・成長曲線の係数の物理的意味を解明する

参考文献

- 1) 波ら：赤外光を利用した路面凍結検知装置の開発，北海道立工業試験場報告，平成 13 年
- 2) 西村：CCD カメラ斜面監視システムによる地すべり動態観測に関する研究，長岡技術科学大学，平成 14 年