

気象と路面の知識による路面状態予測の提案

三枝 昌弘¹藤原 祥隆²

1 株式会社システムサプライ

2 北見工業大学

北海道・東北地方において、冬期間の路面凍結による交通障害は深刻な問題である。それを解消するためにロードヒーティングはとても大きな役割を果たしているが、その一方で運用・維持費が問題視されている。この費用の要因として予熱状態を保持する時間が考えられ、路面凍結時刻が予測できればこの予熱時間を減らすことが可能である。本論文では、現地気象データと日本気象協会からの配信データを組み合わせて短期、中期の路面状態（凍結、圧雪、乾燥、湿潤の4状態）予測を行うアルゴリズムについて検討を行い、その結果について評価を行った。

A proposal of the road surface condition estimate by the knowledge of the weather and road surface

Atsuhiko SAEGUSA¹ Yoshitaka FUJIWARA²

1 SystemSupply CO.,LTD.

2 Kitami Institute of Technology

The traffic fault by the road surface freeze during the winter is a serious problem in Hokkaido and Tohoku. The road heating fulfills a very big role. However, the cost of operation and maintenance are regarded as being a problem. The time which maintains a preheating condition as the factor of this cost is thought of. If the road surface freeze can be estimated, it thinks that it is possible for the preheating time to decrease. In this paper it combined local weather data and Japan Weather Association data and it examined about the algorithm of the road surface condition estimate (4 conditions of Freeze, Snow, Dryness and Dampness) in the middle with being short-term.

1 はじめに

近年、北海道・東北地方において、横断道路等の整備により広域的な交流が活発化し、主要都市を中心に日常生活圏が拡大するなど、道路環境はめざましい発展を遂げている。しかし、冬期間における道路状況は、スパイクタイヤの禁止やスタッドレスタイヤの普及に伴い非常に滑りやすい路面が発生し、渋滞・事故の多発による交通障害が深刻な問題となっている。この交通障害が、雪国地帯に住む人々の安全面に大きな影響を及ぼしている。ロードヒーティングは、安全を確保するためにとっても大きな役割を果たしているが、運用・維持費といったコスト面が深刻な問題となっており、地域によっては運用の見合わせが行われている。コスト増大の要因の一つとして道路状態が凍結していない、又は凍結する見込みがないにもかかわらず、予熱状態を保持する時間が考えられる。

路面凍結時刻が予測できれば、予熱時間を減らすことが可能であると考えられ、また、道路の安全管理のための路面凍結抑止剤散布の判断の目安にすることも可能である。

これらのことから本論文では、現地気象データと日本気象協会からの配信データ（MICOS）から、短期予測（3 時間後）、中期予測（24 時間後）の実用的な路面状態予測（凍結、圧雪、乾燥、湿潤の 4 状態）のアルゴリズムを検討する。

また路面状態予測に必要とされる気温予測と路面温度予測のアルゴリズムについても同様に検討する。

2 基本アルゴリズム

基本アルゴリズムは日本気象協会から配信される広域メッシュデータを現地データにより補正を行い、3 時間後、

24 時間後の予測（それぞれ短期予測、中期予測）を行う。

ここで現地データは、毎時観測地点から取得する気象データで、気温・風速・風向・湿度・天気・路面温度・積雪深・日射・降雪有無・路面状態の 10 項目の情報が得られる。

広域メッシュデータは日本気象協会から配信されるデータである。広域予測メッシュとは日本を北海道・東北・関東中部・関西四国・九州・沖縄の 6 ブロックにわけ、図 2.1 に示すように、緯経度に沿って緯度方向 2.5'、経度方向 3.75' の約 5Km 格子を 120×120 の格子状に編集した気象データである。配信される回数は 1 日 2 回で 1 回の配信で 51 時間後まで 1 時間単位の予測値が格納されている。

広域予測メッシュデータは気温・風向・風速・降水量・湿度・天気の 6 項目の情報が配信される（以下それぞれメッシュ気温、メッシュ風向、メッシュ風速、メッシュ降水量、メッシュ湿度、メッシュ天気、とする）。

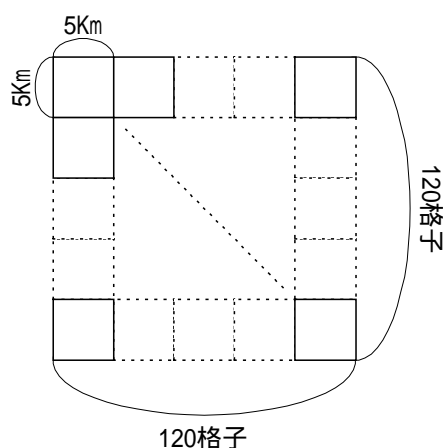


図 2.1 広域予測メッシュモデル

これらの情報を条件に気温予測、路面温度予測および路面状態予測のアルゴリズムについて述べる。

3 気温予測アルゴリズム

気温予測アルゴリズムは、日本気象協会から配信されるメッシュ気温を現地気温により補正を行い、気温予測を行う。

図 3.1 に任意時刻における ($t = 0$) メッシュ気温 $Tam(t)$ を示す ($-24 < t < 24$)。まずはこのメッシュ気温 $Tam(t)$ ($0 < t < 24$) の無次元化を行う。無次元化気温 $H(t)$ はメッシュ気温 $Tam(t)$ の最高気温 $Mmax$ と最低気温 $Mmin$ から以下の関係式で表される。

$$H(t) = (Tam(t) - Mmin) / (Mmax - Mmin) \quad (0 < t < 24)$$

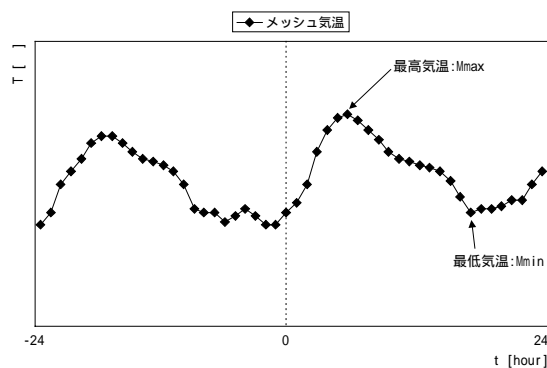


図 3.1 気温予測アルゴリズム 1
(メッシュ気温の無次元化)

仮に、予測すべき気温の最高気温 $Ymax$ と最低気温 $Ymin$ が与えられれば、この無次元化気温 $H(t)$ を用いて予測気温を算出することが可能であり、以下の関係式で表すことができる。但し $y(t)$ は仮の予測気温とする。

$$y(t) = H(t) \times (Ymax - Ymin) + Ymin$$

次に式における、仮予測気温 $y(t)$ の最高気温 $Ymax$ と最低気温 $Ymin$ の計算方法について記す。現在から過去 24 時間まで ($-24 < t < 0$) の、メッシュ気温 $Tam(t)$ と現地気温 $Tag(t)$ の最高

温および最低気温の差分をそれぞれ 1、2 とする。この差分を補正量とし図 3.2 に示すように、メッシュ気温の最高気温 $Mmax$ 、最低気温 $Mmin$ に重み付けをする。従って仮予測気温 $y(t)$ の最高気温 $Ymax$ 、最低気温 $Ymin$ は、以下の関係式で求められる。

$$Ymax = Mmax + 1$$

$$Ymin = Mmin + 2$$

および式から求められた予測気温の最高気温 $Ymax$ と最低気温 $Ymin$ を式に適用することにより仮予測気温 $y(t)$ を求めることができる。

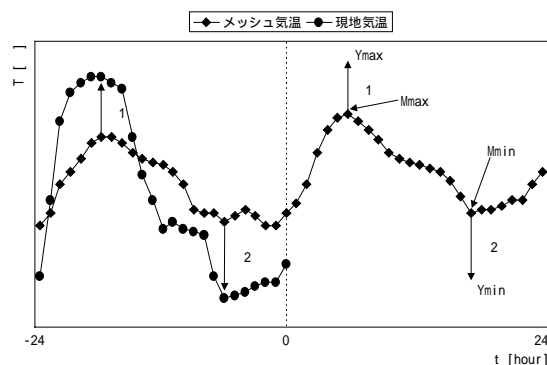


図 3.2 気温予測アルゴリズム 2
(予測最高気温および最低気温の算出)

最後に、求められた仮予測気温 $y(t)$ の評価を行う。評価方法は図 3.3 に示すように、現在時刻 ($t = 0$) における仮予測気温 $y(0)$ と現地気温 $Tag(0)$ との差分 $S0$ の算出を行い、仮予測気温 $y(t)$ に重み付けを行う。

補正量 $S0$ に重み付けを行うことにより、最終的な予測気温 $Tae(t)$ を算出することができる (図 3.4)。従って予測気温 $Tae(t)$ は、以下の関係式により求められる。

$$Tae(t) = y(t) + S0$$

この補正量 S_0 は、言い換えると学習量である。学習量により毎時学習(補正)を行うことにより、予測気温 $T_{ae}(t)$ と現地気温 $T_{ag}(t)$ の値の傾向がずれ始めても補正をしてくれる値となる。

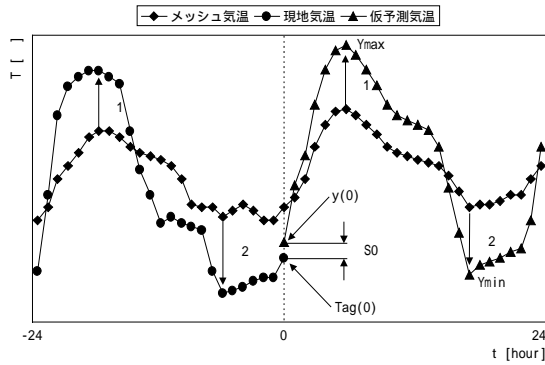


図 3.3 気温予測アルゴリズム 3
(仮予測気温の評価)

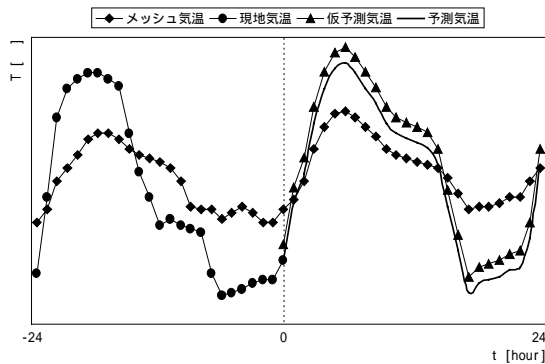


図 3.4 気温予測アルゴリズム 4
(予測気温の算出)

4 路面温度予測アルゴリズム

路面温度に影響を与える因子として気温および日射が考えられる。これらを考慮した定性的区分けに天気がある。『晴れ』であれば日射が考慮されており、『曇り』ならば日射が極めて少ない。

そこで本論文では、天気を考慮し、気温から路面温度を算出するアルゴリズムについて述べる。気温から路面温度を求める場合、天気情報で分類分けをすると共に、1時間ごとにさらなる分類分け

をする必要がある。これによって昼夜の影響も考慮できる。

まず、図 4.1 に示すように現地気温 $T_{ag}(t)$ と現地路面温度 $T_{rg}(t)$ の差 T_{arg} について調べる。今回は過去 3 日分 ($-72 \leq t \leq 0$) のデータを対象に T_{arg} を調べた。

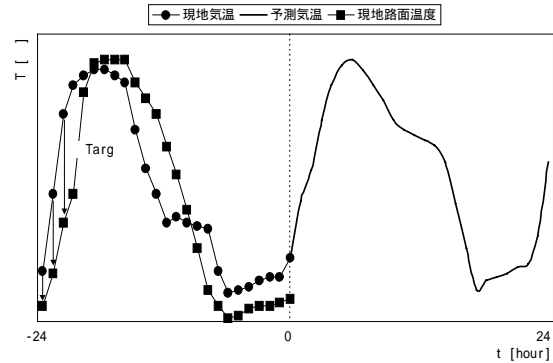


図 4.1 路面温度予測アルゴリズム 1
(T_{arg} の算出)

ここではまだ、 T_{arg} は天気を考慮された値にはなっておらず、時間のみにより区分される。そこでこの T_{arg} を、時系列毎および天気毎に区分された T_{arg} テーブルの作成を行う。 T_{arg} テーブルは、時間毎に各種天気と毎時間の平均値に分けて作成する(図 4.2)。

また、ここで使用する天気は現地データに含まれる天気を利用し、晴・曇・雨・みぞれ・雪の 5 つの状態に分類するものとする。

時間	平均	晴	曇	雨	みぞれ	雪
00:00	-5.5	-2.7	-6.0			-7.8
01:00	-5.9	-6.7	-5.1			
02:00	-5.8					
...
23:00	-5.0				-5.0	

図 4.2 T_{arg} テーブル

この T_{arg} テーブルから、路面温度

予測を行うが、Targ テーブル作成時と同様、路面温度予測時にも天気が必要となる。この時の天気はメッシュ天気を利用する。ただし、メッシュ天気は現地天気と多少表現方法が違うため図 4.3 に示す変換を行い、互いを統一した。

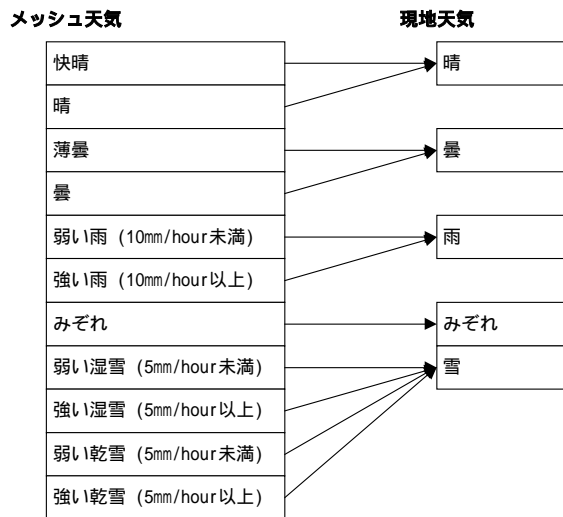


図 4.3 天気的相关図

従って、これら 3 つの情報から予測路面温度 $T_{re}(t)$ の算出を行うことができ、以下の関係式により求められる(図 4.4)。

$$T_{re}(t) = T_{ae}(t) + T_{arg}$$

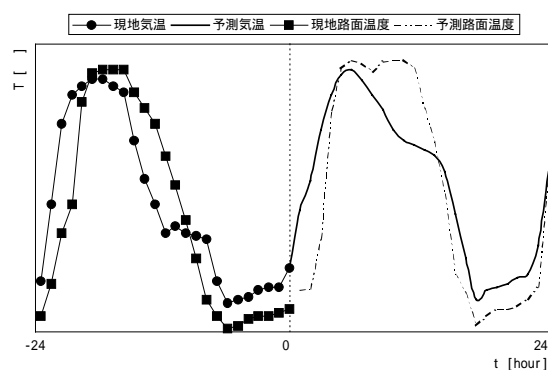


図 4.4 路面温度予測アルゴリズム 2 (予測路面温度の算出)

5 路面状態予測アルゴリズム

路面状態予測を行う際に必要となるのが気温、路面温度および日射である。日射については前節でも述べたように天気を利用する。路面状態は乾燥・湿潤・凍結・圧雪の 4 種類に分類される。図 5.1 は現在の路面状態から次の状態への遷移を示す。

この図からも明らかなように、現在の状態から残り全ての状態(3 状態)に遷移が可能ではなく、ある特定の状態へのみ遷移すると仮定してある。ここで存在しないと仮定している遷移は「圧雪から乾燥」「乾燥から凍結」そして「凍結から乾燥」の 3 遷移である。この根拠は気象学的根拠にやや乏しいが実用的な簡易的基準として採用した。

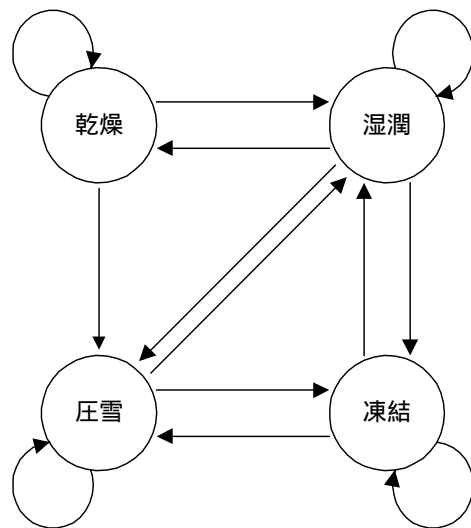


図 5.1 路面状態遷移

ここで、重要視しなければならない状態が凍結である。凍結の条件として、現在時刻の路面に水分があり(湿潤状態)、外気温が零度以下で路面温度も零度以下の場合が考えられる。ここで外気温を T_a 、路面温度を T_r とし、凍結の条件を式に表すと以下の関係が得られる。

【条件 1】

$Tr > 0$ and $Ta > 0$
無条件に路面凍結無し

【条件 2】

$Tr > 0$ and $Ta = 0$
 $dTa/dt < 0$: 路面凍結要注意
 $dTa/dt > 0$: 路面凍結なし

【条件 3】

$Tr = 0$ and $Ta = 0$
 $dTa/dt < 0$: 路面凍結
 $dTa/dt > 0$: 路面凍結 但し、解氷過程の可能性あり

これらの条件を考慮し凍結状態の予測と他の3つの路面状態の予測テーブルを作成すると表 5.1 のように表される。

現在の路面状態	2時間前			1時間前			現在			次の路面状態	
	天気	気温	路温	天気	気温	路温	天気	気温	路温		
乾燥							雨			+	湿潤
							みぞれ			+	湿潤
							雪			+	湿潤
湿潤		-	-		-	-	雪	-	-	-	凍結
	晴れ	+	+	晴れ	+	+	晴れ	+	+	+	乾燥
	雪			雪			雪			+	圧雪
凍結		+	+		+	+		+	+	+	湿潤
	雪			雪			雪			+	圧雪
圧雪		+	+		+	+		+	+	+	湿潤
	晴れ	-	-	晴れ	-	-	晴れ	-	-	-	凍結

1 : 10時～14時まで適用 2 : 16時～19時まで適用

表 5.1 路面状態予測テーブル

表 5.1 から明らかなように路面状態予測では現在、1時間前および2時間前の気温、路面温度および路面状態から次の時間の路面状態を求めることができる。ここで気温、路面温度についてはそれぞれ予測気温 $Tae(t)$ 、予測路面温度 $Tre(t)$ を利用し、天気についてはメッシュ天気を利用して、路面状態予測を行った。また表 5.1 に示すテーブルも図 5.1 と同様に、気象学的根拠に乏しいが簡易的基準として採用した。

6 結果

2000年～2002年の北東北における現地データを評価対象とし、各予測アルゴリズムによって求められた気温、路面温度及び路面状態の予測値の評価を行った。その結果について以下に記す。

6.1 予測気温評価

予測気温について図 6.1 及び図 6.2 にそれぞれ評価結果を示す。

図 6.1 は3時間後予測と24時間後予測を3章で述べたアルゴリズムにより求められた予測気温とメッシュ気温の的中率を示す。ここで、的中率は現地気温に対し、 ± 1 の範囲内で気温予測ができた場合を的中とした。また、路面凍結と深い関係があると思われる現地気温 $Trg(t)$ がマイナスのときについても評価を行った。予測気温とメッシュ気温を比較すると、24時間後予測では的中率に大きな違いは見られなかったが、3時間後予測ではメッシュ気温の的中率を大幅に上回り、約2倍の的中率が得られた。また、予測気温同士を比較すると、3時間後予測と24時間後予測では3時間後予測の的中率のほうが良い結果が得られた。

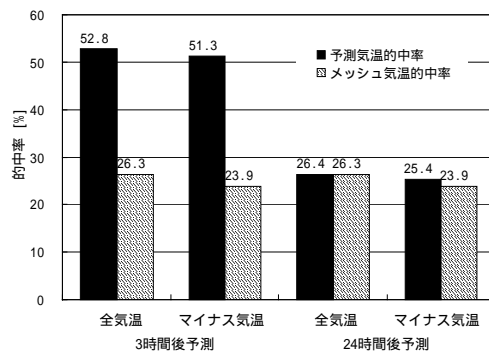


図 6.1 現地気温に対する予測気温の的中率

図 6.2 は24時間後までの任意時刻における予測気温、メッシュ気温および評

価対象の現地気温を示す。メッシュ気温と現地気温を比較すると、ほとんどの中している箇所を見つけれないが、予測気温と現地気温では、ほぼ同様の傾向を示しているのが確認される。実際、この図における的中回数はメッシュ気温の2回に対し予測気温では13回となった。しかしながら、この図からも明らかのように予測開始から5時間後までは現地気温と同様の傾向を示しているが、その後は現地気温から外れたり、不安定な予測値となっている。

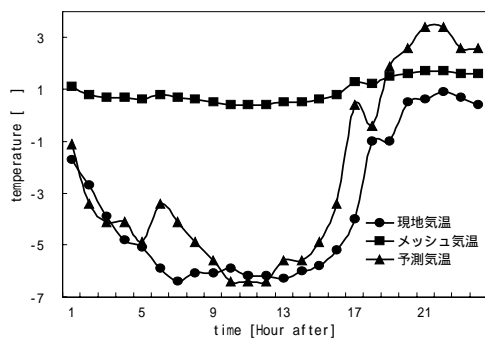


図 6.2 任意時刻における予測結果

6.2 予測路面温度評価

路面温度予測について図 6.3 及び図 6.4 にそれぞれ評価結果を示す。

図 6.3 は3時間後予測と24時間後予測を4章で述べたアルゴリズムにより求められた予測路面温度の的中率を示す。ここで、的中率は気温評価時と同様に、現地路面温度に対し ± 1 の範囲内で路面温度予測ができた場合を的中とし、現地路面温度 $T_{rg}(t)$ がマイナスのときのみについても評価を行った。路面温度の的中率は一番高い的中率でも36.2% (3時間後予測のマイナス気温時) と、気温予測に比べて数値的には極めて低い中率となっている。

しかし、路面状態予測では表 5.1 に示すように、気温と路面温度は符号(プラス又はマイナス)のみによる予測アルゴ

リズムのため、この的中率の低さは路面状態予測には大きな影響は及ぼさないと考えられる。

そこで、図 6.4 に路面温度の評価方法を符号(プラス又はマイナス)に着目した的中率を示す。3時間後予測、24時間後予測ともに高い的中率になっていることがわかる。また、3時間後予測については90%以上の的中率であることがわかる。

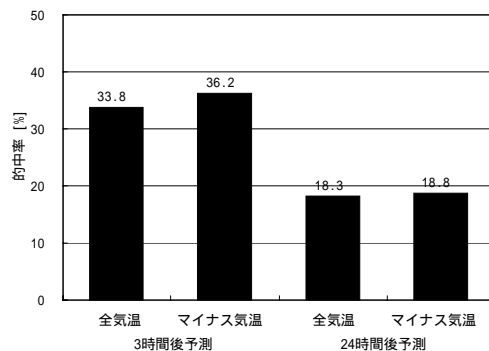


図 6.3 現地路面温度に対する予測路面温度の的中率 1

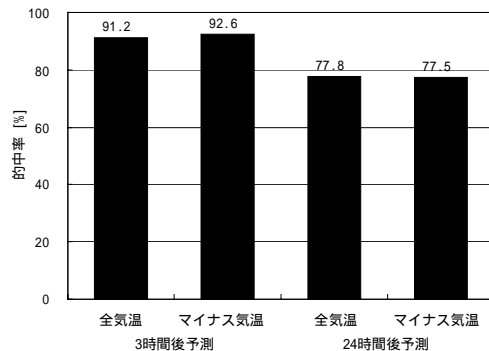


図 6.4 現地路面温度に対する予測路面温度の的中率 2

6.3 路面状態予測評価

路面状態予測について図 6.5 に評価結果を示す。

図 6.5 では3時間後予測と24時間後予測を5章で述べたアルゴリズムによって求められた予測路面状態の的中率を示す。ここで、的中率は4つの路面状

態（凍結・圧雪・乾燥・湿潤）を正確に予測できたかにより評価する。また、表 5.1 とは異なった路面状態予測テーブルが既に報告されているので[1]、そのテーブルを用いて得られた結果を比較対象とした予測結果の評価も行った。

的中率については、気温、路面温度と同様に 3 時間後予測で高い的中率が得られた。

また、既に報告されている手法と比較すると、8%程度ではあるが的中率が向上しているのがわかり、本アルゴリズムの有効性を確認することができた。

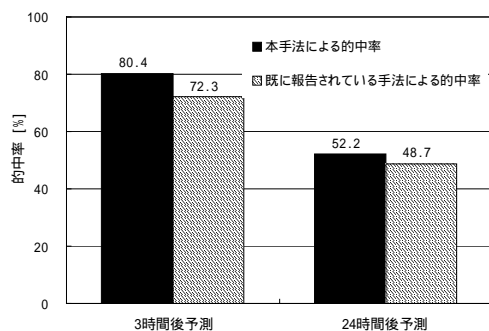


図 6.5 現地路面状態に対する予測路面状態的中率

7 おわりに

本論文にて示したアルゴリズムにより求められた、路面状態予測を検討した結果、すでに報告されている手法よりの中率を向上させることが実現できた。また、通常このような予測を行う場合、該当地域の気象の傾向を得るため 2, 3 年の継続的なデータ収集が必要とされる。

しかし、本手法では該当地域の気象傾向を、広域メッシュデータから得るため、継続的なデータ収集を過去 3 日分程度行うだけでよい。そのため、予測システム導入時の初期投資費用の削減に大きく貢献すると考えられる。以下に今後の課題を示す。

課題として、メッシュ天気の手取り扱いが挙げられる。

気温と路面温度については広域メッシュデータを現地データにて補正を行いながら予測を行っている。しかし、路面状態予測時に使用している天気は、メッシュ天気を全く補正せずに使用している。従って今後、路面状態予測に使用するメッシュ天気を補正する手法について検討を行う必要がある。

また、気温、路面温度および路面状態のすべての項目において 24 時間後予測の的中率が 3 時間後予測に比べ低い中率となっている。そのため、本論文で示したアルゴリズムは、短期的な予測のみに適していると考えられ、中期予測および長期予測（72 時間後予測）に関しては本アルゴリズムの見直しが必要であると思われる。

参考文献

- [1] 横河電子機器株式会社：路面状態予測システム，特開 2002-196085（P2002-196085A）