

AIを活用した冬期道路管理支援技術開発について

田中 一美¹・田中 宏二¹

¹九州地方整備局 九州技術事務所 防災・技術課 (〒830-8570 福岡県久留米市高野1-3-1)

冬期の道路管理においては、気象情報・雪氷予測資料、CCTVや道路巡回等による現地情報などにに基づき、凍結防止剤を散布しているが、経験によるところが少なくないため、各種観測データから路面状態（凍結、積雪等）をAI予測する技術を開発し、道路管理の高度化を図ることを目的に検討を進めている。本稿では、これまで蓄積されたデータを用いて、AI技術を活用した路面凍結予測モデル、路面積雪状態判定モデルの開発状況について紹介する。

キーワード AI技術、路面凍結予測、路面積雪状態判定、冬期道路管理、塩分濃度

1. はじめに

冬期の道路安全を確保するため、道路管理者は、気象協会の予測情報や気象センサーによる現状の気象情報、また現地状況を踏まえ路面凍結を予測し、塩化ナトリウムの事前散布を判断している現状である。しかし、路面凍結は道路が位置する地形や気象特性等の違いがあり、職員の経験や知見に頼ることや、人的な判断のバラツキが懸念される等の課題がある。

近年、短時間で集中的に降雪する豪雪の発生傾向が高まっており、降雪の少ない九州地方でも、2021年1月に大雪が発生した。このような状況を踏まえ、道路管理者が突発的な降雪や道路積雪を迅速に発見し、適切なタイミングでの塩化カルシウムの事後散布が求められる。

上述の課題に対し、各事務所・出張所で実施されている冬期道路管理業務の効率化・高度化を目指し、これまでに収集されてきたデータを活用したAIモデルを軸とし、薬剤散布判断の支援を行うシステムの検討を行うものである。

2. 冬期道路管理の対応状況・ニーズの把握

冬期道路管理支援システム開発に関するニーズ等を把

握するため、阿蘇国道維持出張所および小浜維持出張所を対象に、過去の災害時における対応状況を事例に、ヒアリング調査を実施した。

ヒアリング調査により、詳細な冬期道路管理対応を把握するとともに、課題やシステム構築に向けた方向性を検討した。主な結果を表-1に示す。

3. 路面凍結AI予測モデルの技術開発

国土交通省が設置した気温、路面状態、路面温度等観測機器より収集したデータを活用し、路面凍結している時の環境条件を分析した。さらに、凍結に起因する環境条件の将来値の予測モデルを構築することで、将来の路面状態（凍結有無）を予測することとした。

(1) 路面凍結の判断と凍結予測の実施方針

凍結状態の判断は、路面状態センサーによる路面状態判断基準を用いる。

図-1に既設路面状態センサーの判断の仕組みを示す。路面温度と路面乾湿状態（路面水分量）を計測・観測し、凍結・凍結予知・湿潤・乾燥の4つカテゴリーに分類する仕組みである。例えば、①路面温度が低く、②湿潤状態である場合に、凍結と分類される。

表-1 冬期道路管理における課題と対応方針

No.	課題	対応方針
課題①	天気予報や気象センサーを用いて、出張所担当者が路面凍結するかどうかを見極める必要がある	気象センサーなどのデータを用い、AIによる路面状態変化を予測し、予測結果を出張所担当者に通知する。⇒路面凍結AI予測モデルの構築
課題②	降雨時等で追加散布が必要かどうかを判断する必要がある	散布後の塩分濃度の変化を観測し、追加散布に関する知見を得る ⇒塩分濃度データの観測
課題③	塩ナト・塩カルの切替タイミングの判断で迷いが生じる	既往のCCTVカメラを活用し、AIによる降雪判定を行い、塩カルを散布する状況を周知する。⇒路面積雪状態判定モデルの構築

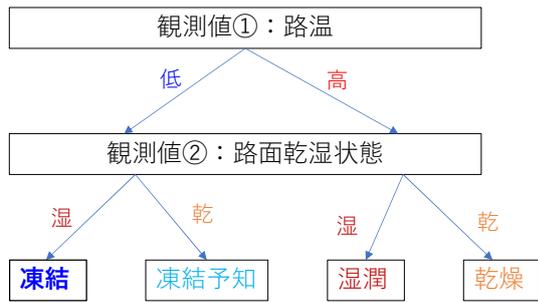


図-1 路面状態センサーの判断の仕組み

上記を踏まえると、将来の路面状態（路面状態センサーの分類結果）を予測するためには、将来の路面温度、湿潤状態を予測し、その結果から路面状態を分類する必要がある。

ただし、路面温度は数値データとして計測され、路面乾湿状態は分類データ（乾燥・湿潤の質的データ）として観測されていることから、それぞれ以下の方針で将来予測を実施することとした。

a)路温変化【量的データ】の将来値予測

路面状態センサーでは、路温を数値計測している。

路温に影響する因子や路面温度計測値を教師データとしてAIモデルに学習させることで、過去～現在の路面温度、気温、降雨量、日射時間、交通量データからディープラーニングの一つである再帰型ニューラルネットワーク（RNN）を用いて、現時刻～12時間後までの路温変化を予測する。

b)路面乾湿【質的データ】の将来値予測

路面センサーでは、湿潤状態・乾燥状態の2値分類を実施している。本検討では、湿潤状態と判別されるルール（湿潤状態となる条件）を探索した。

(2) 路面予測モデルの構築

a)AIモデル本体の構築

ディープラーニングの一種であるRNNを用いて、阿蘇国道管内「永草観測地点」、唐津維持管内「半田高架橋観測地点」、筑豊維持管内「石坂観測地点」における現時刻～12時間後までの路温予測モデルを構築した。

【路温予測モデルの解析手順】

- ① 入力層で入力データ（路温・時間の代替指標・季節の代替指標等）を入力
- ② 中間層で入力データの局所的特徴の抽出と路温予測を実施
- ③ 出力層で予測した路温を出力
- ④ 出力層の結果と実際の結果（正解）を比較し、正解を予測できるようにフィルタのパラメータを更新
- ⑤ 指定した学習回数分①～④の処理を繰り返す

b)AIモデル本体の構築

構築したAIモデルへの入力データについては、現時刻までの路温、時間の代替指標、季節変動の代替指標等の7種類のデータ（表-2参照）を設定し、AIの学習を実施した。

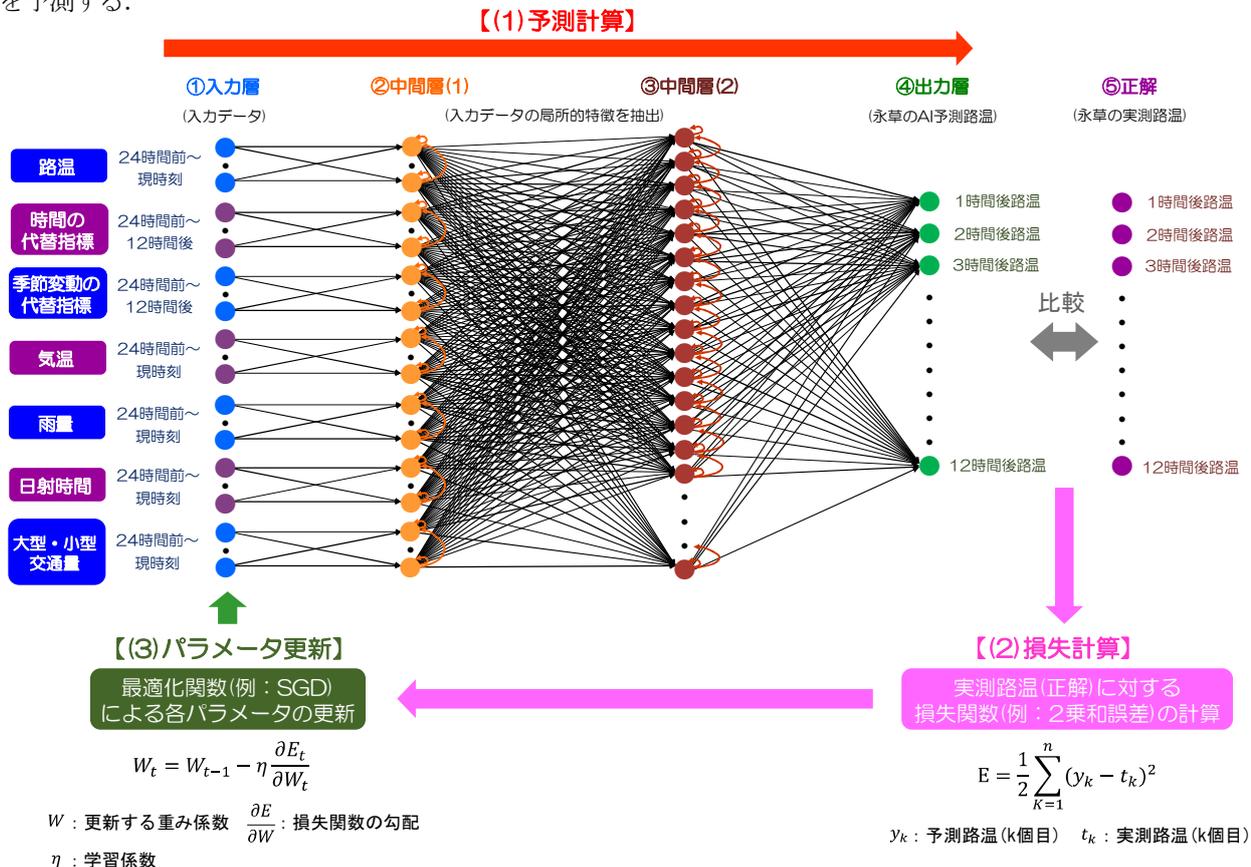


図-2 AIによる路温予測モデル(案)の概要図

表-2 AIモデルへの入力データ

No.	項目	期間(hr)	備考
1	路温 ^{※1}	過去：-24~0	【対象路温観測地点】 阿蘇国道維持：永草（国道57号(上り)） 唐津維持：半田高架橋（西九州道(下り)） 筑豊維持：石坂（国道201号(下り)）
2	時間の代替指標	過去：-24~0 将来：0~12	
3	季節変動の代替指標	過去：-24~0 将来：0~12	
4	気温	過去：-24~0	【近隣気象観測所】 阿蘇国道維持：阿蘇乙姫 唐津維持：飯塚 筑豊維持：唐津
5	雨量	過去：-24~0	
6	日射時間	過去：-24~0	
7	大型・小型交通量	過去：-24~0	【交通量観測地点】 阿蘇国道維持出張所：大津 ^{※2} 唐津維持出張所：浜玉~唐津 筑豊維持出張所：篠栗

※1 路温計測データに複数存在した-400°の値は異常値と判定し、直前の正常値で補完した

※2 「阿蘇」の方が近隣であるが、交通量が未計測であったため対象外とした

c)モデルの精度

学習後のAIモデルにより、テストデータに対する精度確認を実施した。精度評価指標については、RMSEを用いた。

表-3 路温予測モデルの精度

No.	路温観測地点	テストデータに対する 気温予測精度評価指標 RMSE(2乗平均平方根誤差)	
		予測時間	AI予測モデルRMSE
1	永草	1時間	0.71
		3時間	1.24
		6時間	1.85
2	半田高架橋	1時間	0.76
		3時間	1.56
		6時間	2.22
3	石坂	1時間	1.04
		3時間	2.04
		6時間	2.73

(3) 路面凍結予測モデルの精度検証

路面温度予測モデル、路面乾湿予測モデルを組み合わせることで、路面凍結予測が実施可能である。路面凍結は、図-1に示す通り、①路面温度が基準値よりも低いこと、②路面が湿潤状態であることの両方を満たすときに凍結状態と判定できると考える。

図-3は、6時間後の路面温度予測モデルと正解値（観測路面温度をもとに判定した結果）の比較である。下段の図に着目すると6時間後モデルの場合、正解値で凍結判断とされた1点で予測値では凍結判断できていない。上段の図では誤検知点では予測路面温度を過大に評価し、閾値を上回る路面温度となっていることが確認できた。

凍結予測は可能となったが、路面温度予測の精度向上が課題である。

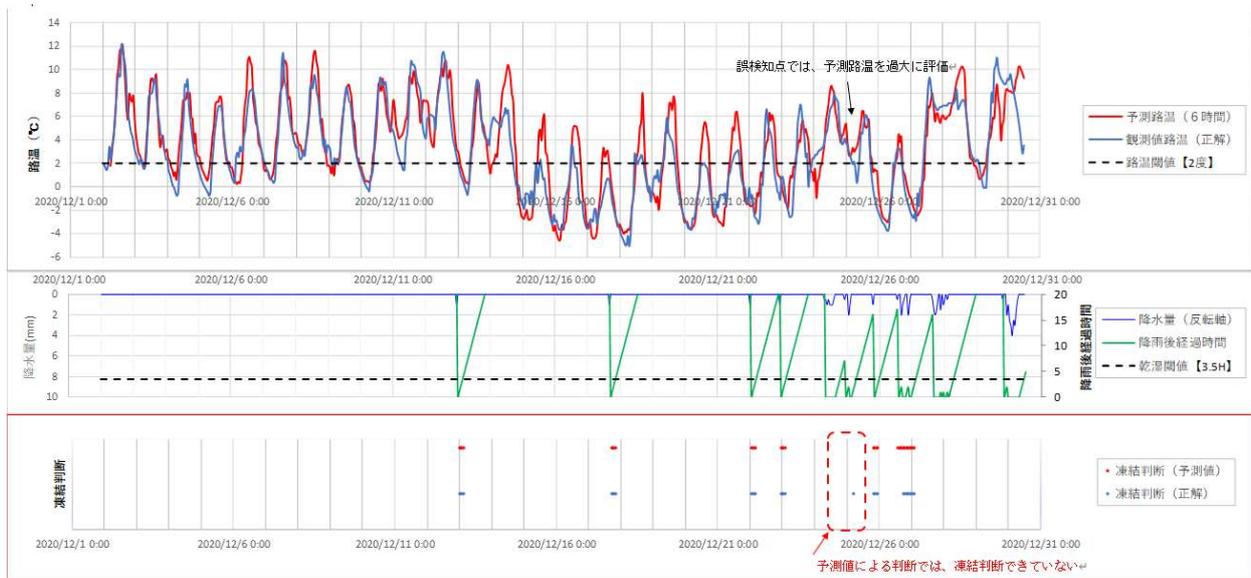


図-3 6時間後予測モデルの精度検証

4. 塩分濃度データの観測

凍結防止用の塩化ナトリウム（以下、薬剤という）の散布後、雨等によって道路上の塩分が流れてしまう場合もある。そのため、本検討は道路上の残留塩分濃度や、凍結防止効果が発揮する期間を調査し、薬剤の追加散布の必要性の有無を確認した。

(1) 塩分濃度調査の実施

車載式塩分濃度計測システムを搭載した車両（図-4）を用いて、薬剤を散布後の残留塩分濃度や路面温度の計測を行った。



図-4 塩分濃度調査車両

(2) 調査結果

図-5は、残留塩分濃度の調査結果の一例を示す。2月9日の23時に薬剤散布されているが、その1時間後に降雨となった。薬剤散布から2時間後の25時から計測を開始しているが、塩分濃度が約1~2%となっている。散布後約4時間後（2月10日3:00）、塩分濃度が1%未満となった。この結果をみると、降雨後、4時間後には再散布が必要である。しかしながら調査期間において、同様の事例が少なかったこともあり、継続的な調査を行う方針である。

5. 積雪判断AI画像解析モデルの技術開発

突発的な積雪、夜間積雪等の状況に対応するため、CCTVカメラ画像内の路面積雪状態をAI技術により判定するモデルを試験開発した。積雪判定には、AI技術の深層学習(ディープラーニング)を用い、カメラ画像内の路面積雪領域を算出し、路面積雪状態を判定するモデルとした。

(1) 路面積雪状態判定モデルの概要

本検討では、積雪状態を判定する「路面積雪検知モデル」と路面区域か否かを判別する「路面検知モデル」の2つのモデルを組合せ、路面区域における積雪領域を定量的に検出した（図-6）。

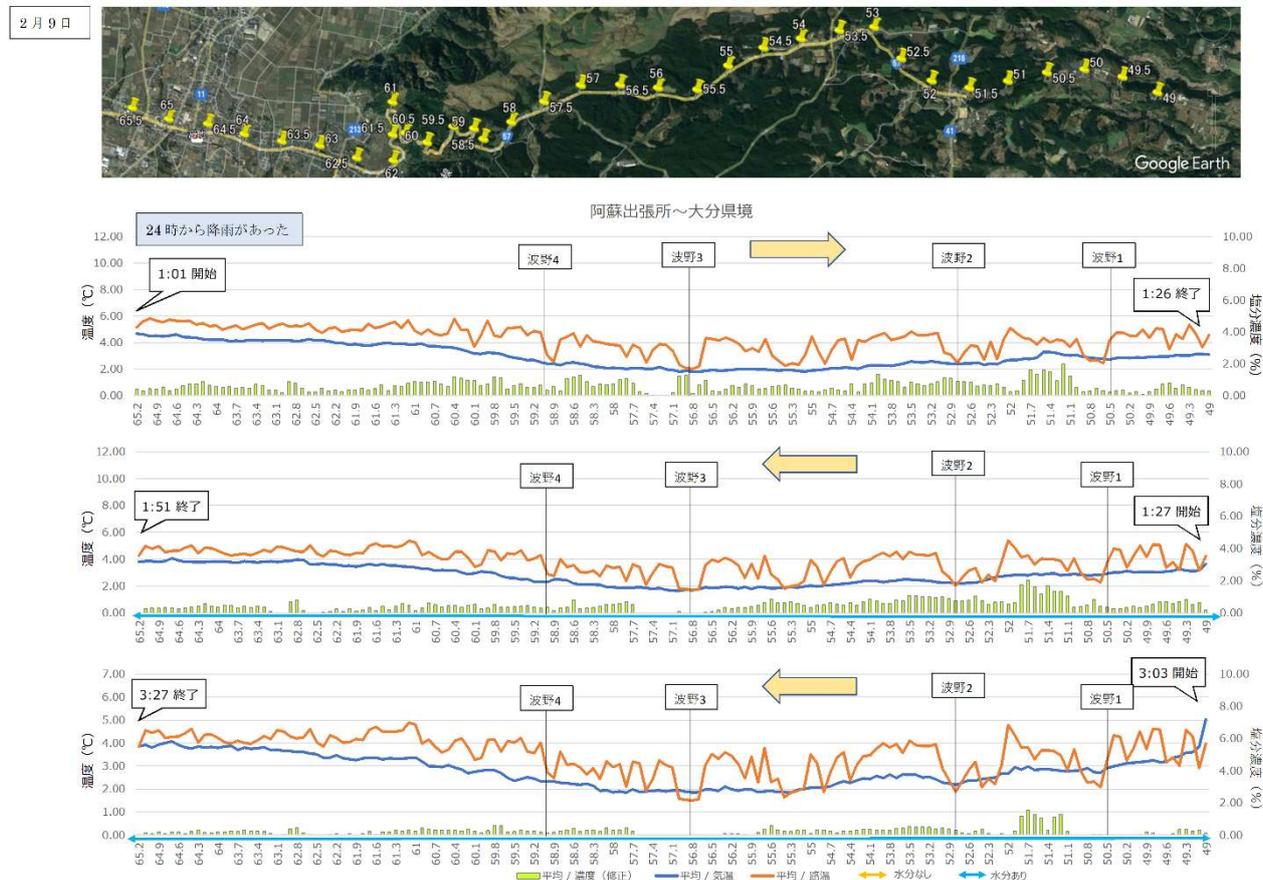


図-5 降雨による残留塩分濃度の確認



図-6 路面積雪状態判定モデルの構成図

(2) 路面積雪状態判定モデルの構築

a) 教師データの作成

路面積雪状態判定モデルを構成する「路面積雪検知モデル」, 「路面検知モデル」を開発するため, 各モデルの教師データを作成した (図-7) .

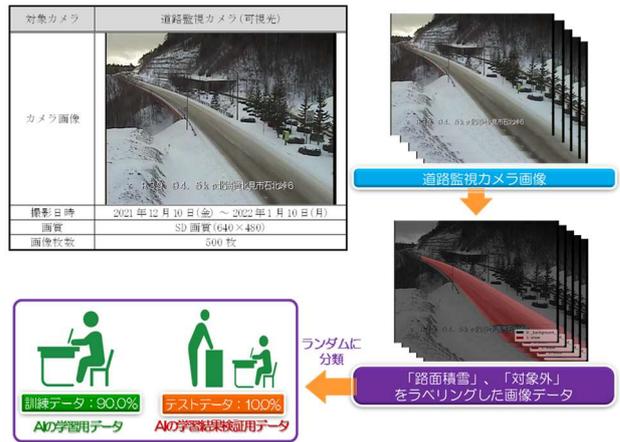


図-7 路面積雪検知モデル用の教師データ作成イメージ図

b) 路面積雪状態判定モデルの構築

路面積雪状態判定モデルを構成する「路面積雪検知モデル」, 「路面検知モデル」をそれぞれ構築した.

c) 路面積雪状態判定モデルの構築

下記の解析手順により, 道路監視カメラ画像に含まれる「路面積雪」の特徴を抽出し, その検知を実施するモデルを開発した. モデルの構成図を図-8 に示す.

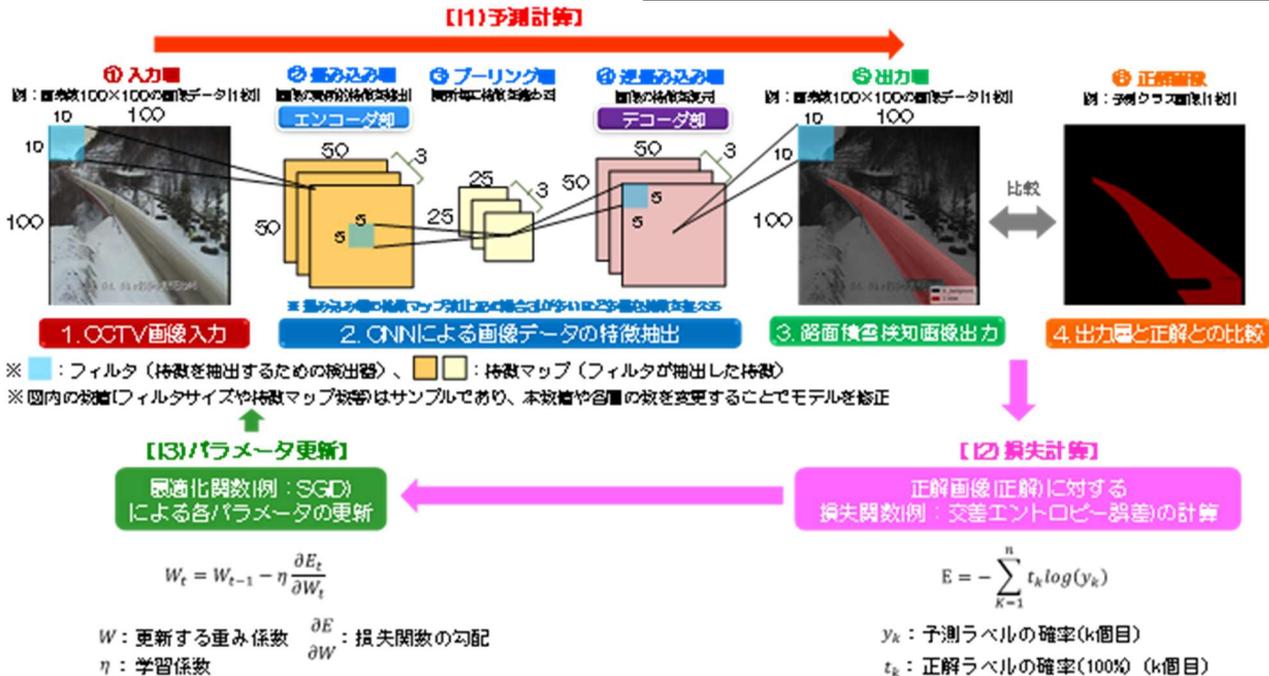
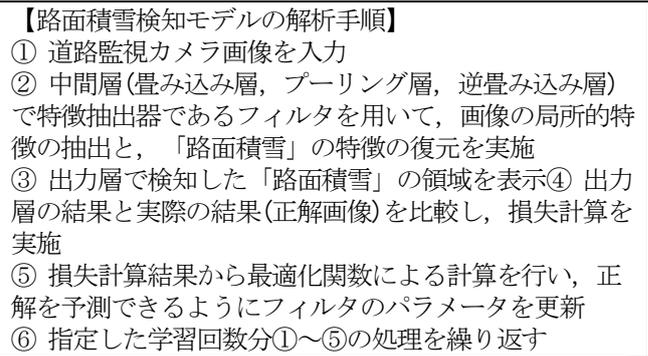


図-8 路面積雪検知モデルの構成図

d) 路面検知モデルの構築

下記の解析手順により、道路監視カメラ画像に含まれる「路面」の特徴を抽出し、その検知を実施するモデルを開発した。モデルの構成図を図-9に示す。

【路面検知モデルの解析手順】

- ① 道路監視カメラ画像を入力
- ② 中間層(畳み込み層, プーリング層, 逆畳み込み層)で特徴抽出器であるフィルタを用いて, 画像の局所の特徴の抽出と, 「路面」の特徴の復元を実施
- ③ 出力層で検知した「路面」の領域を表示
- ④ 出力層の結果と実際の結果(正解画像)を比較し, 損失計算を実施
- ⑤ 損失計算結果から最適化関数による計算を行い, 正解を予測できるようにフィルタのパラメータを更新
- ⑥ 指定した学習回数分①~⑤の処理を繰り返す

(3) 路面積雪状態判定モデルの精度検証

「路面積雪状態判定モデル」は, 「路面積雪検知モデル」ならびに「路面検知モデル」が検知した路面積雪と路面区域から路面積雪領域を算出 [式 (1a)] し, その値が閾値(令和3年度時点では20%に設定)を超えた場合に路面積雪状態と判定する。結果として, 約87% (120枚中102枚が正当) の判定精度が得られた。また, 精度が低下した要因についても, 路面の多くを誤検知する等同様であった。

判定例を図-10に示す。

$$\text{路面積雪領域} = \frac{\text{路面積雪検知領域(路面積雪検知モデル)}}{\text{路面検知領域(路面検知モデル)}} \quad (1a)$$



図-10 路面積雪状態判定 (国道10号 大分 立石2)

6. おわりに

AI技術を活用し, これまで開発した「路面凍結予測モデル」, 「路面積雪状態判定モデル」をプロトタイプシステムとして改良し, 現場への適用性を確認する必要がある。さらに, 新たな技術開発の実現性として, 今後, 塩分濃度を路面凍結AI予測モデルへの活用法についても構築していきたい。