

AIによる画像認識技術を用いた 冬期路面すべり推定手法の開発

国立研究開発法人土木研究所
寒地土木研究所
寒地道路研究グループ
寒地交通チーム
研究員 齊田 光



1 はじめに

冬期の道路管理を効率的に行う上で、路面雪氷状態、特に路面のすべりやすさを把握することは重要です。路面のすべりやすさを計測する手法には、車両に独立した計測輪と制動装置を搭載し計測輪にブレーキをかけることで生じる摩擦力を測定する方法(図1)や、車両進行方向に対して斜めに取付けた計測輪に生じる横力から路面すべりやすさを計測する方法(図2)など、様々な手法が提案されています。

一方、冬期道路管理に割り当てられる予算や人員には限りがあり、既存の手法よりも安価かつ簡単に路面すべりやすさを把握する手法が求められています。本稿では、当研究所で開発中の、一般的なカメラとAIによる画像認識技術を組み合わせた、路面すべり摩擦係数の推定に向けた取り組みを紹介します。

2 AIを用いた路面すべり摩擦係数推定手法

(1) 路面すべり摩擦係数推定手法の概要

本取り組みでは路面すべり摩擦係数の推定手法として、AIの一種である畳み込みニューラルネットワークを使用しました。畳み込みニューラルネットワークは脳の神経回路を模した数理モデル(ニューラルネットワーク)の一種で、画像に映っている物体が何であるかを判別する手法などに広く用いられています。畳み込みニューラルネットワークは道路管理分野への応用も行われており、例えば路面を撮影した画像から舗装のひび割れ率を評価する手法¹⁾や、車載カメラの画像から降雪時の視程を推定する手法²⁾などで畳み込みニューラルネットワークを用いることが提案されています。寒地土木研究所寒地交通チームで開発中の路面すべり摩擦係数の

推定手法では、カメラで撮影した路面画像をこの畳み込みニューラルネットワークに入力することで、画像に映る範囲内のすべり摩擦係数を推定します(図3)。



図1 既存の路面すべり計測機器の例
(路面すべり計測車両)



図2 既存の路面すべり計測機器の例
(連続路面すべり抵抗測定装置)

(2) 畳み込みニューラルネットワークの作成方法

路面すべり摩擦係数を推定する畳み込みニューラルネットワークを作成するためには、あらかじめ学習用データを用いて畳み込みニューラルネットワークの訓練を行う必要があります。学習用データには、「路面すべり摩擦係数の計測値」と「路面すべり摩擦係数を計測した地点の路面画像」を一組とするデータが多数必要となります。

路面すべり摩擦係数の計測値の収集には、カーブ対応型連続路面すべり抵抗測定装置を使用しました。カーブ対応型連続路面すべり抵抗測定装置はけん引式の装置で、2つの測定輪が車両進行方向に対してそれぞれ異なる角度で取り付けられています(図4)。本装置を車両に取り付けて走行すると2つの計測輪に横力が生じるため、横力を計測し路面すべりやすさに換算することでカーブ区間を含む走行経路上の路面すべりやすさを計測することができます。なお、カーブ対応型連続路面すべり抵抗測定装置は路面すべりやすさとして、装置の開発元が独自に作成した指標(HFN, Halliday Friction Number)を出力します。HFNと図1に示す路面すべり計測車両で計測した路面すべり摩擦係数の間には相関があるため、本取り組みではHFNと路面すべり摩擦係数の関係式³⁾を用いて路面すべり摩擦係数の計測値を取得しました(図5の(1a))。

また、路面すべり摩擦係数を計測した地点の路面画像は、カーブ対応型連続路面すべり抵抗測定装置をけん引する車両にドライブレコーダーを取り付けることで取得しました。ドライブレコーダーで撮影したデータは動画データであるため、それを静止画像データに変換することで路面すべり摩擦係数を計測した地点の画像を生成します(図5の(1b))。

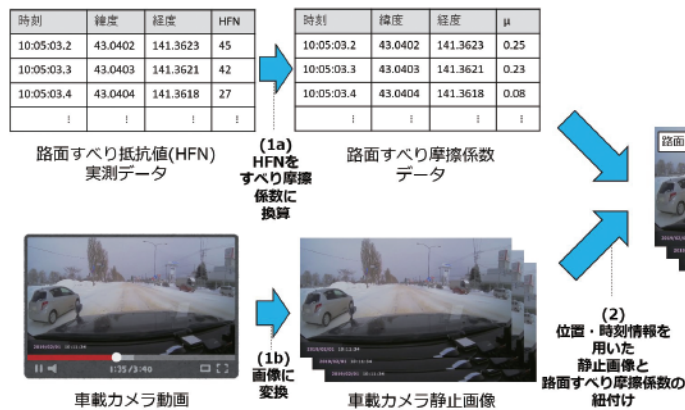


図5 学習用データの作成方法

その後、路面すべり摩擦係数の計測時刻・位置情報および画像の撮影時刻情報を用いて路面すべり摩擦係数と画像の関連付けを行いました(図5の(2))。画像には路面以外の領域が含まれているため、画像から計測車両の前照灯によって路面が照らされる領域(計測車両から5m前方の幅2.5m×奥行き5m程度の領域、幅224ピクセル×高さ112ピクセル)を切り出します(図5の(3))。最後に、路面すべり摩擦係数の大きさに応じて画像を8つのクラス(表1参照)に分類します(図5の(4))。以上の方法を用いて、畳み込みニューラルネットワークの訓練に用いる学習用データを作成します。

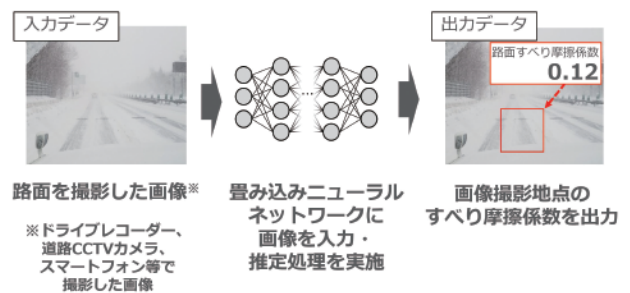


図3 畳み込みニューラルネットワークを用いた路面すべり摩擦係数推定手法



図4 路面すべり摩擦係数計測値、および路面画像の収集用車両

路面すべり摩擦係数推定値	画像分類クラス
0.10 未満	1
0.10 以上 0.20 未満	2
0.20 以上 0.30 未満	3
0.30 以上 0.40 未満	4
0.40 以上 0.50 未満	5
0.50 以上 0.60 未満	6
0.60 以上 0.70 未満	7
0.70 以上	8

表1 路面すべり摩擦係数と画像分類クラスの関係

この学習用データを用いて、路面画像を入力データ、画像分類クラス毎の分類確率を出力データとする畳み込みニューラルネットワークを作成しています。また、画像分類クラス毎の分類確率と各クラスの路面すべり摩擦係数中央値の加重平均を求めることで路面すべり摩擦係数の値を推定することが可能となります。

なお、本取り組みでは冬期道路管理の現場で安価かつ容易に路面すべりやすさを計測する手法を開発することを目的としており、一般に広く普及している車載可能な情報機器で高速に推論処理を行う必要があります。このため、畳み込みニューラルネットワークのアルゴリズムとして推論処理が高速なMobileNet V2⁴⁾を使用しました。

3 路面すべり摩擦係数の推定精度検証

学習用データとは別に撮影した画像から路面すべり摩擦係数を推定し、その値を連続路面すべり抵抗測定装置を用いて直接計測した路面すべり摩擦係数と比較して、推定精度の検証を行いました。一例として、日中の積雪・湿潤路面における比較結果を(図6)に示します。路面すべり摩擦係数の計測値は検証区間中程の湿潤路面区間(図中18kmおよび21km付近)では0.5から0.7程度、それ以外の積雪路面区間では0.2から0.4程度でした。路面すべり摩擦係数の推定値は湿潤路面区間で0.4から0.7程度、積雪路面区間で0.2から0.3程度であり、推定値は計測値とおおむね一致することが確認できました。

4 路面すべり摩擦係数推定システムの開発

本取り組みでは、これまでに紹介した手法を用いて安価かつ簡単に路面すべり摩擦係数を把握するためのシステム(路面すべり摩擦係数推定システム)を開発しています。令和3年度はスマートフォンなどの携帯端末上で動作する路面すべり摩擦係数推定アプリケーションの開発を行いました。このアプリケーションではWebブラウザ上で畳み込みニューラルネットワークなどの深層学習モデルを実行するライブラリ⁵⁾を用いることで、特別な機器を使用することなく路面すべり摩擦係数推定が行えるようにしました。路面すべり摩擦係数推定アプリケーション

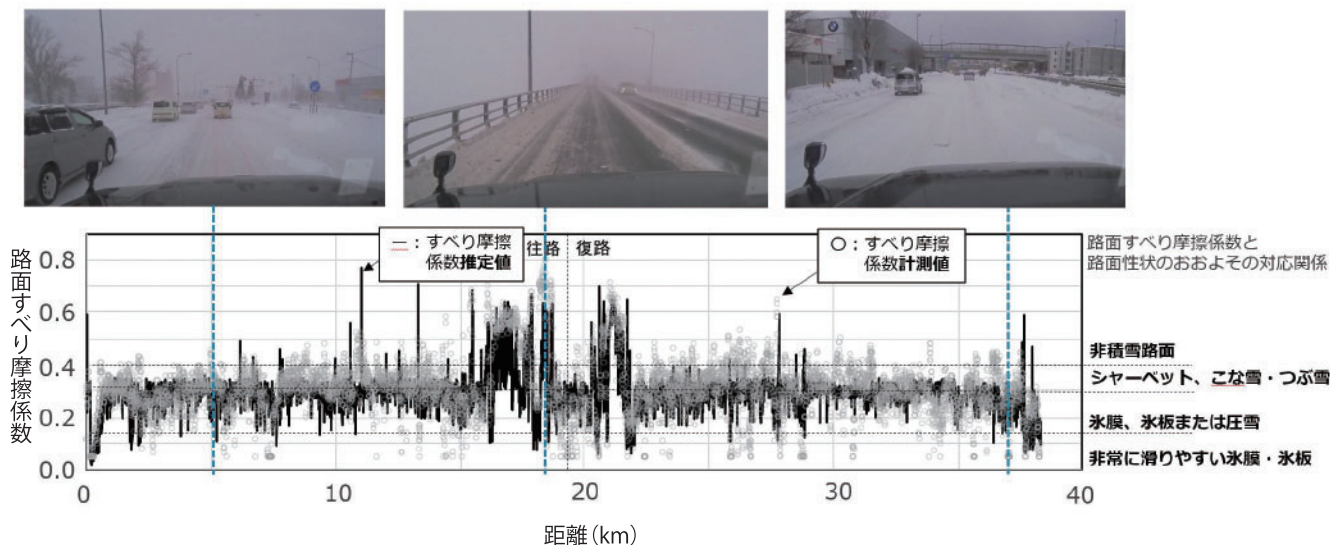


図6 路面すべり摩擦係数の推定値と計測値の比較

は、Webブラウザから所定のURLにアクセス後、携帯端末のカメラを路面に向けるだけで路面すべり摩擦係数の推定を行うことが可能です。また、携帯端末を車両のダッシュボード等に取付けた状態でアプリケーションを動作させることで、車両の走行経路上の路面すべり摩擦係数を推定することも可能です(図7)。路面すべり摩擦係数の推定結果はサーバーにアップロードされ、地図上で確認することができます(図8)。スマートフォン等を車両に搭載すると、走行経路上の路面すべり摩擦係数を簡単に推定することも可能となります。

5 おわりに

以上に述べたように、AIによる画像認識技術を活用することで、路面すべり摩擦係数を安価・簡単に把握できる可能性があることが分かりました。ただし夜間においては路面すべり摩擦係数の推定精度はやや低下しており、その改善が今後の課題となっています。本技術は開発中であり、今後は路面すべり摩擦係数推定システムの試験導入や路面すべり摩擦係数推定精度の向上に取り組む所存です。

【参考文献】

- 1) 全邦釘、井後敦史、南免羅裕治、黒木航汰、大窪和明: 車載カメラにより撮影された舗装画像からのディープラーニングによるひび割れ率評価、土木学会論文集E1(舗装工学)、Vol.73、No.3(舗装工学論文集第22巻)、pp. I_97-I_105、2017.
- 2) 李瑾、阿部雅人、杉崎光一、中村一樹、上石勲: AI技術を活用した冬季道路路面判別の効率化、AI・データサイエンス論文集、Vol.1、No.J1、pp. 210-216、2020.
- 3) 舟橋誠、徳永ロベルト、浅野基樹: 連続路面すべり抵抗値測定装置(RT3)の導入について、北海道の雪氷、No.26、pp.5-8、2007.
- 4) Mark Sandler, Andrew Howard, Menglong Zhu, Andrey Zhmoginov, Liang-Chieh Chen : MobileNetV2 : Inverted Residuals and Linear Bottlenecks, Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2018.
- 5) Daniel Smilkov et al. : Tensorflow.js : Machine Learning for the Web and Beyond, arXiv preprint arXiv : 1901.05350, 2019.



図7 路面すべり推定アプリケーション
(上:車載端末による路面すべり摩擦係数の推定実施例、
下:路面すべり摩擦係数の推定結果表示例)

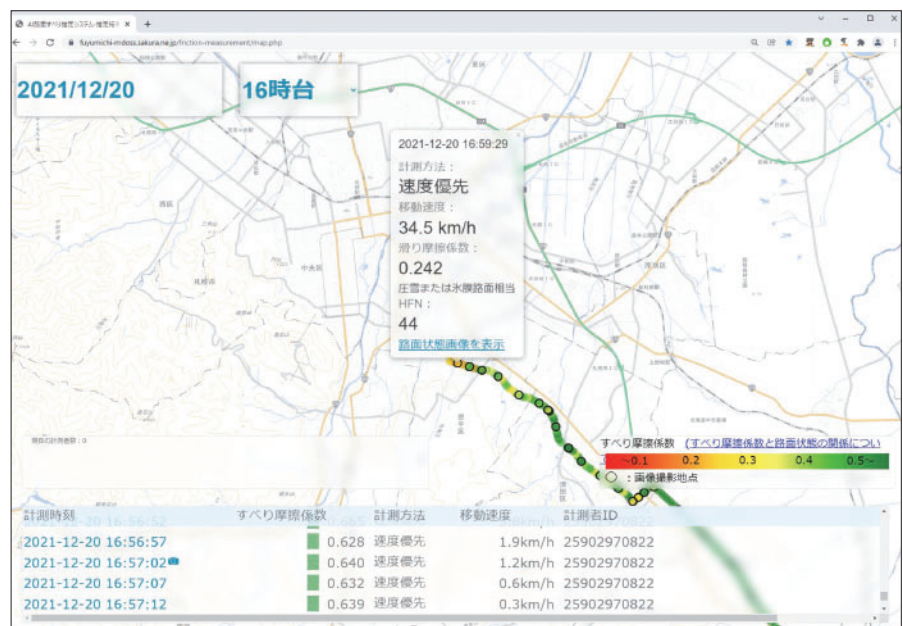


図8 路面すべり摩擦係数推定結果の表示例