

土研新技術ショーケース2023in東京

AI画像認識を用いた路面雪氷推定システム

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

研究の背景

冬期の路面雪氷状態（路面すべりやすさや積雪状況など）に関する情報は、除雪や凍結防止剤の実施要否やタイミングの決定、通行止め実施の判断などを適切に行う上で重要となる

これまでに様々な手法で路面雪氷状態を計測する手法が開発されてきた

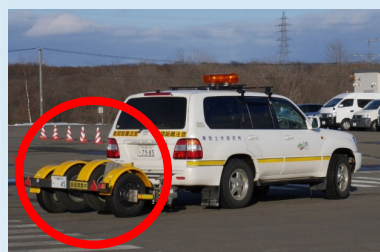
例えば…



路面すべり摩擦計測装置

- ▶ 計測輪にブレーキをかけ生じる摩擦力から路面すべり摩擦係数を計測

- 路面すべり摩擦係数を高精度に計測可能



連続路面すべり抵抗計測装置

- ▶ 計測輪に生じる横力から路面すべりやすさを計測

- 走行経路上の路面すべりやすさを連続的に計測可能



非接触式路面雪氷計測装置

- ▶ 近赤外光の反射率を計測することで路面の性状やすべり摩擦係数を計測

- 可動部等が少なく比較的軽量の装置で計測可能

研究の背景

一方で…

既存の路面雪氷状態計測機器は**高価**であり、
計測機器の取り扱いや保守に**知識・労力**を要する



路面すべり摩擦計測装置

- ▶ 価格：数千万円
(装置と一体化している
車両を含む)
- × 機器操作・運転に
熟練が必要、
多数の可動部・消耗品あり



連続路面すべり抵抗
計測装置

- ▶ 価格：数百万円～
(写真のカーブ対応型
装置は一千万円以上)
- × 計測時の車両運転に
熟練が必要、
装置に可動部あり



非接触式路面雪氷
計測装置

- ▶ 価格：百万円～
(センサ本体のみ、別途
制御ソフトウェアが必要)
- × 近赤外線の光源や
路面状態センサは精密機器、
取扱いに注意が必要

▶ 路面雪氷状態をより**安価かつ簡単に計測**する手法が必要

3

研究の背景

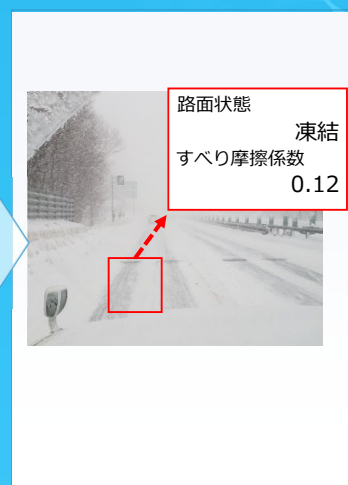
一般的なカメラとAI(深層学習モデル)を用いて、
**路面画像を撮影するだけで定性的な路面雪氷状態や路面のすべりやすさ
などを推定する技術を開発**



路面の画像を撮影



深層学習モデルに
路面画像を入力



撮影地点の
定性的な路面雪氷状態や
すべり摩擦係数などを推定

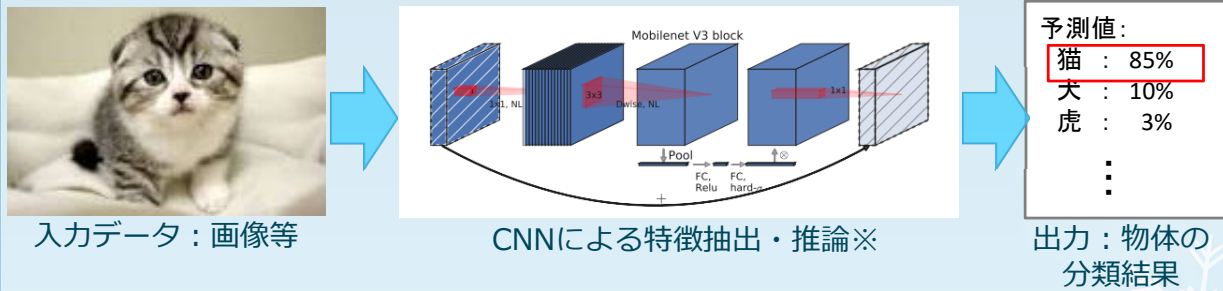
4

AIを用いた路面雪氷推定手法の概要

深層学習の一種である畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional Neural Network, CNN)を用いて、画像中の路面のすべり摩擦係数や路面性状を推定する手法を構築

畳み込みニューラルネットワーク (CNN) とは？

深層学習アルゴリズムの一種で、入力したデータの特徴を抽出することで画像中に映っている物体の分類などを行う手法



畳み込みニューラルネットワーク (CNN) による画像分類の例

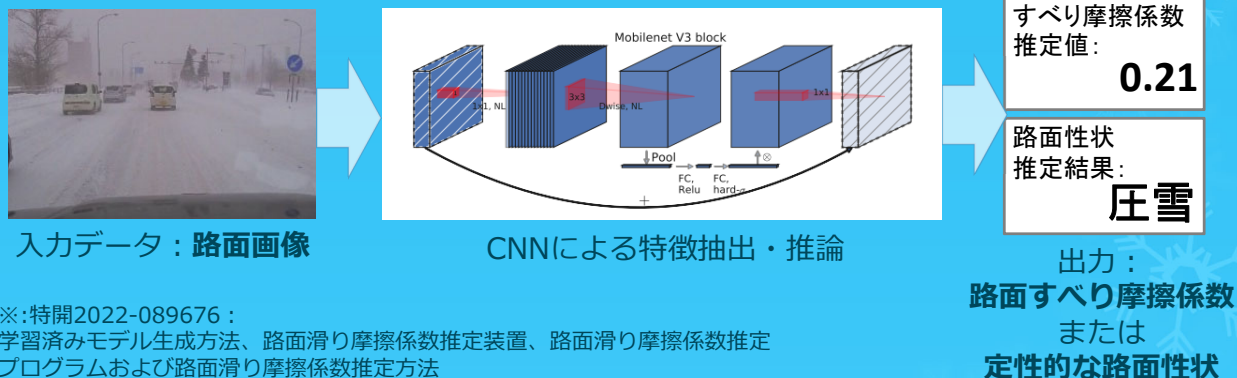
※画像引用元: Andrew Howard et al. : Searching for MobileNetV3, arXiv preprint, arXiv:1905.02244v5, 2019.

路面すべり摩擦係数・路面性状を推定するAIの作成方法

「路面画像と路面すべり摩擦係数の計測値」、または「路面画像と定性的な路面性状」を1組とする学習用データを大量に作成

学習用データを用いて深層学習モデルの学習を実施

路面すべり摩擦係数または定性的な路面性状の推定を行うAI (深層学習モデル)を生成※



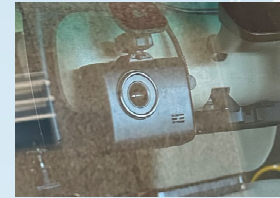
※:特開2022-089676 : 学習済みモデル生成方法、路面滑り摩擦係数推定装置、路面滑り摩擦係数推定プログラムおよび路面滑り摩擦係数推定方法

学習用データの作成方法

学習用データの作成には路面画像、路面すべり摩擦係数および定性的な路面性状判別結果データが必要

以下に示す路面状態計測車両を用いてデータを収集

連続路面すべり抵抗測定装置
(Halliday Technologies RT3-Curve):
路面すべり抵抗値(HFN)を10Hzで計測



ドライブレコーダー(Yupiteru Y-4K):
路面画像を4k/23fpsで撮影



路面性状等記録システム:
路面性状等の目視判別値を入力・記録

7

学習用データの作成方法

学習用データの収集は

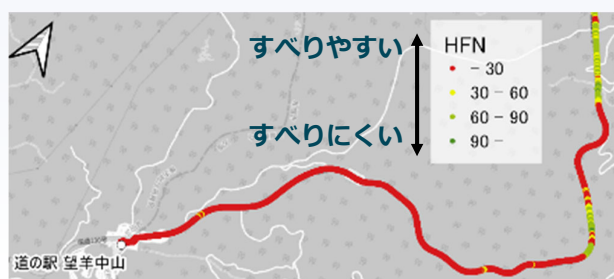
- ・非積雪時、積雪・路面凍結時の
- ・日中および夜間に、
- ・北海道内の一般国道・高規格道路で実施

延べ4,500km以上にわたり
データを収集

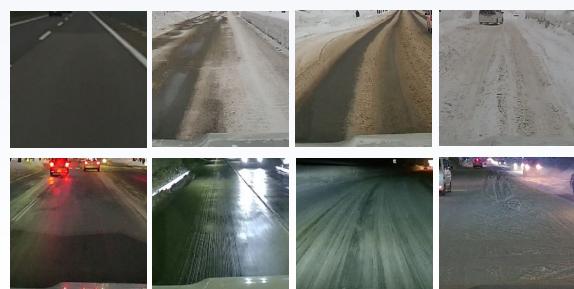


連続路面すべり抵抗測定装置

一般国道230号 札幌市内におけるデータ収集



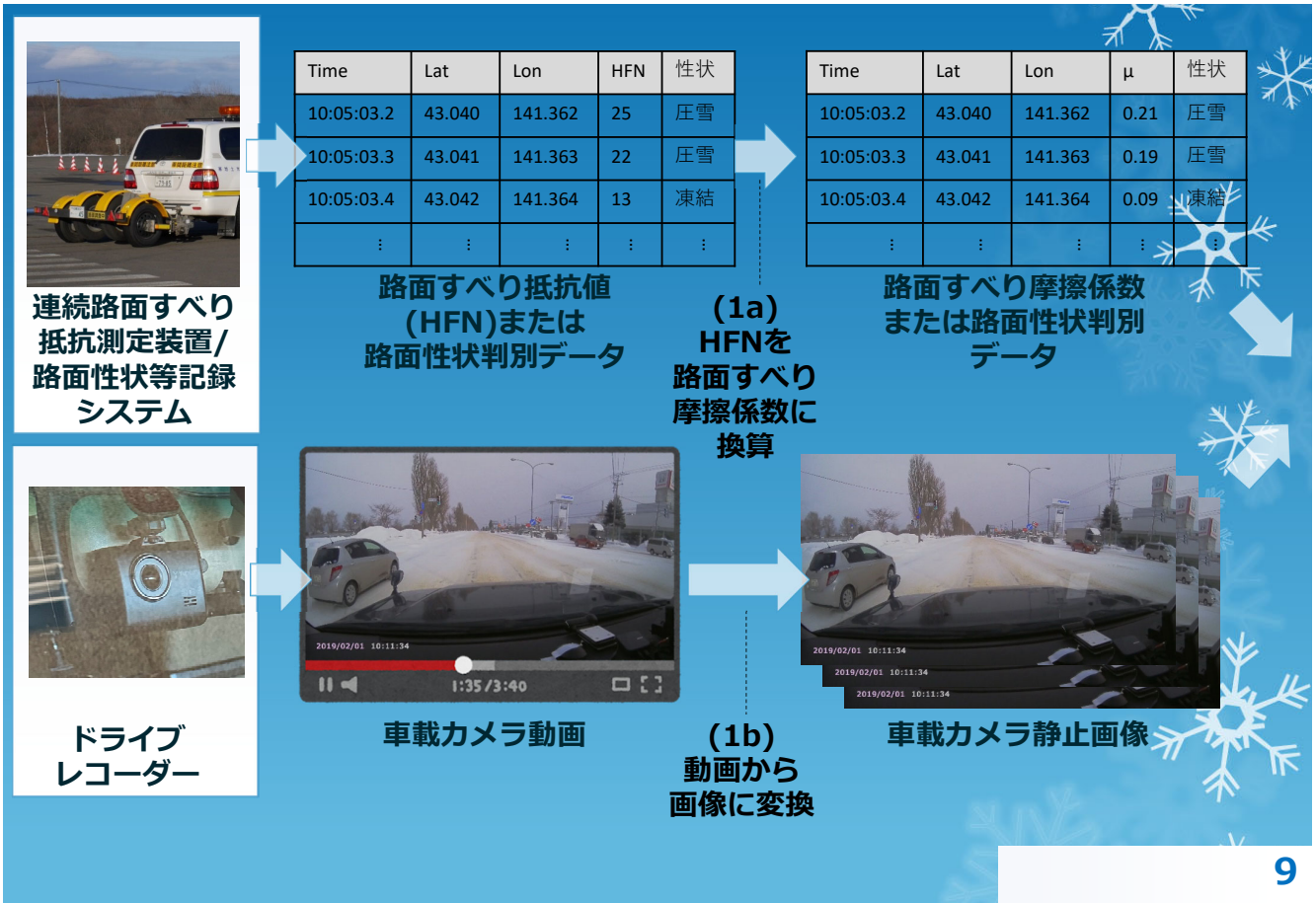
路面すべり計測データ空間分布の例



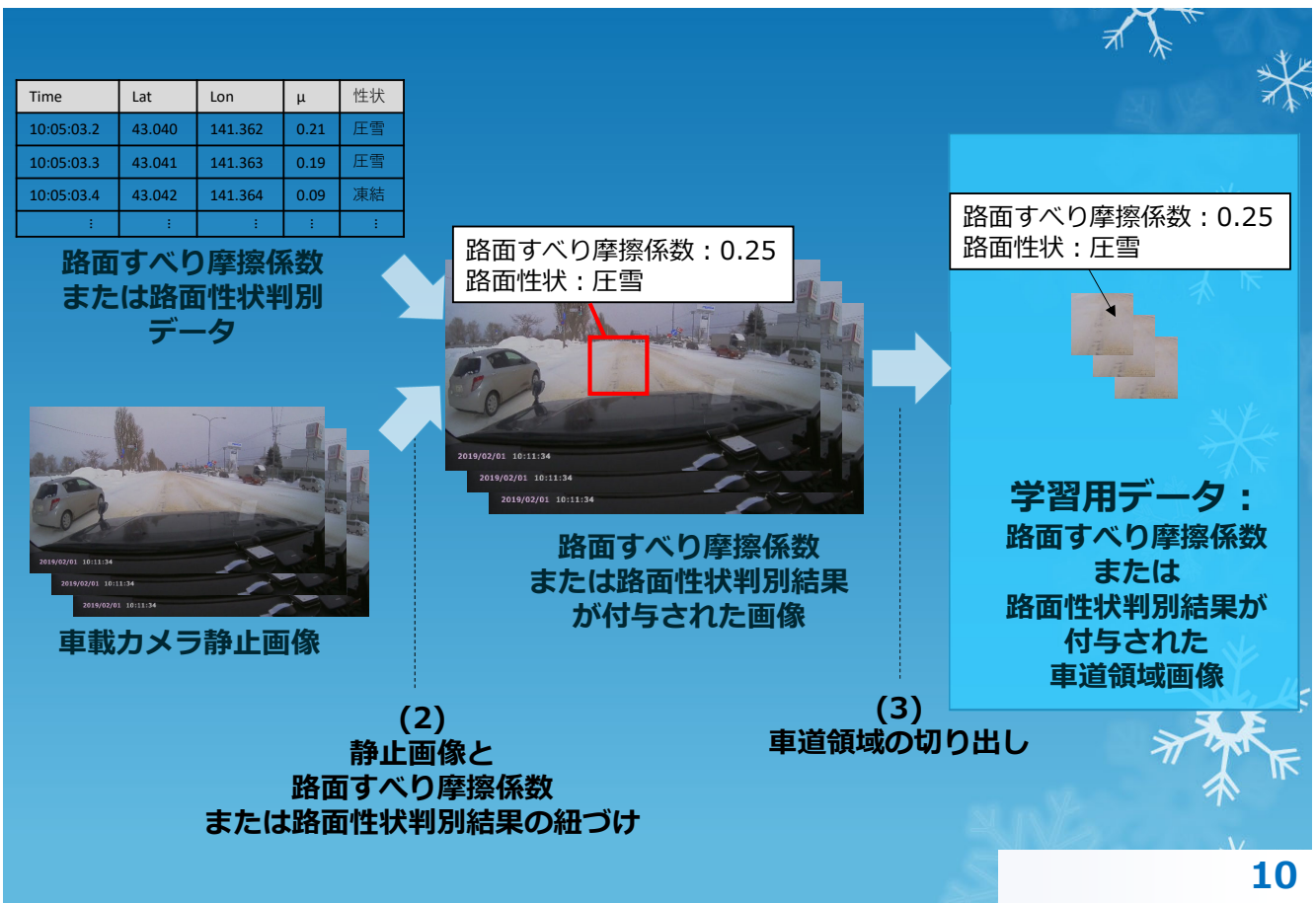
路面画像の撮影例 (上段: 日中、下段: 夜間)

8

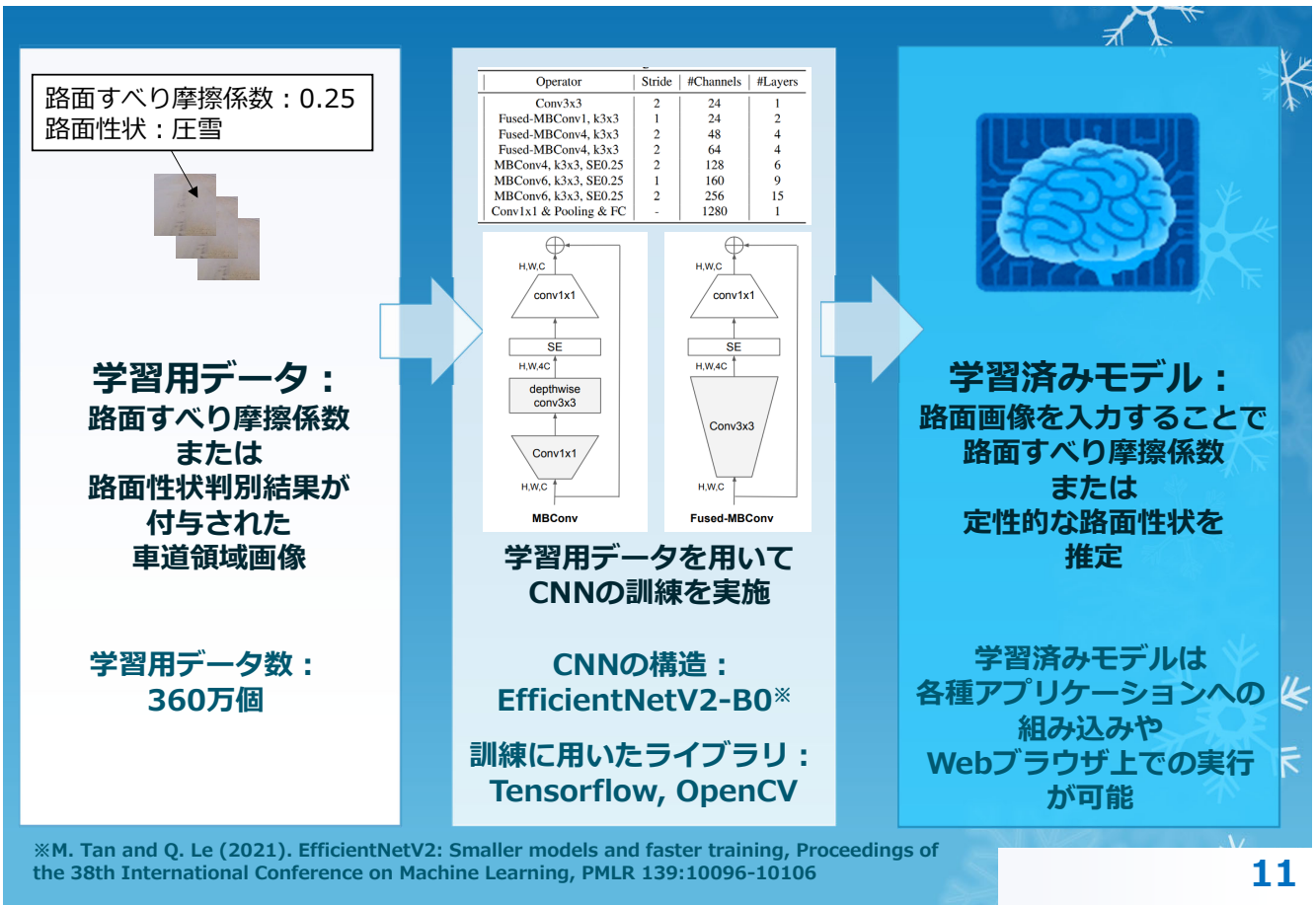
学習用データの作成方法



学習用データの作成方法

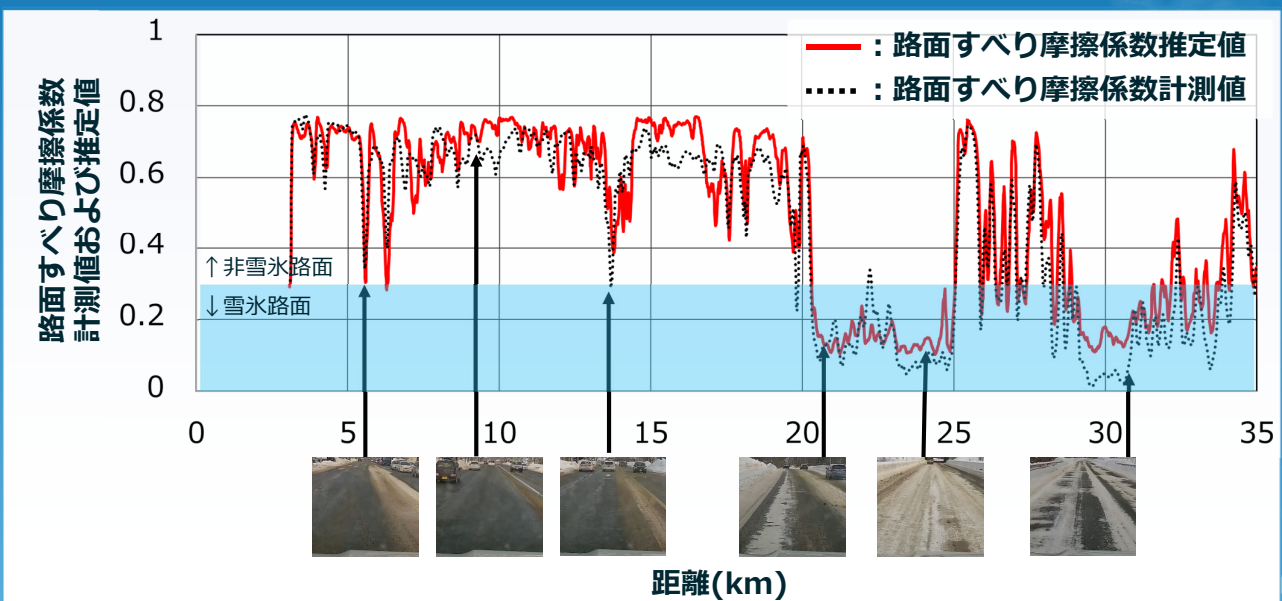


路面すべり摩擦係数・路面性状を推定するAIの作成手順



路面すべり摩擦係数の推定精度

2023年1月23日 北海道札幌市内における
路面すべり摩擦係数の計測値および推定値 :



路面すべり摩擦係数の推定誤差 : 0.081
(二乗平方平均誤差)

路面すべり摩擦係数の推定的中率 : 81%
(路面すべり摩擦係数の計測値と推定値の差が0.1未満であるときの的中とした場合)

AI画像認識を用いた路面雪氷推定システムの実装例： 冬期路面すべりモニタリングシステム

スマートフォン等のWebブラウザ上で処理：

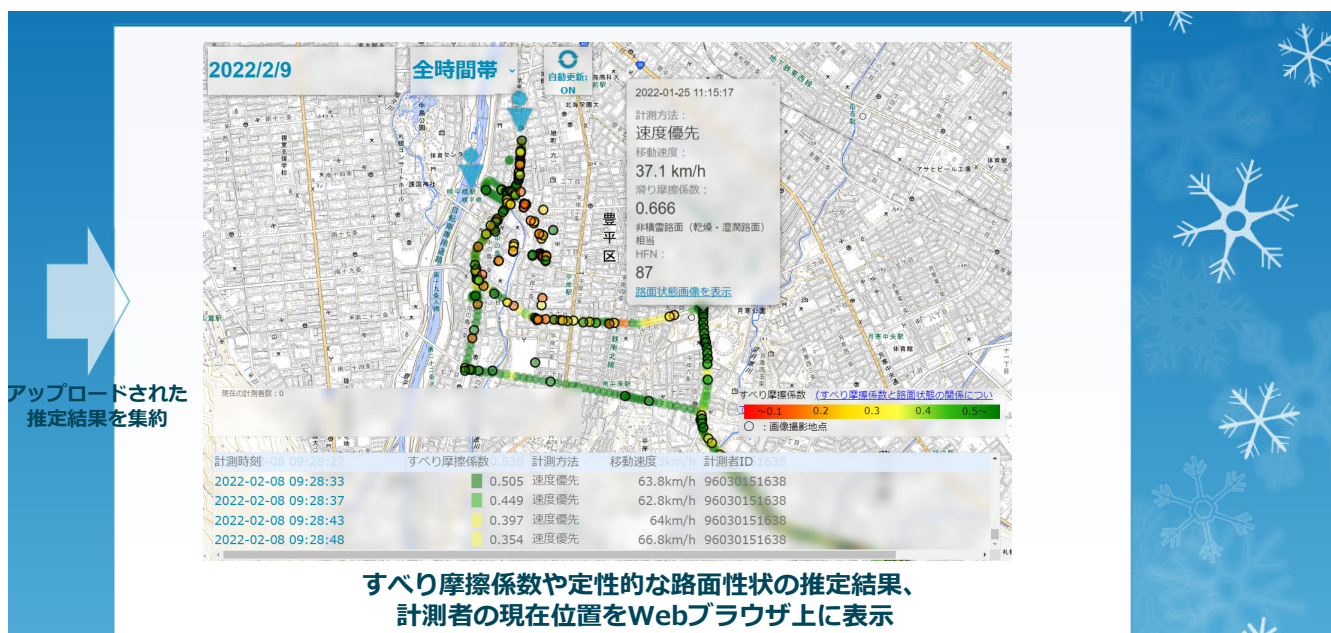


スマートフォン等を用いて、走行経路上等の路面すべり摩擦係数や路面性状を推定し、推定結果を共有するシステム

AndroidやiOS、WindowsなどのWebブラウザ上で動作し、QRコードなどから計測用URLにアクセスするだけで使用可能

13

AI画像認識を用いた路面雪氷推定システムの実装例： 冬期路面すべりモニタリングシステム

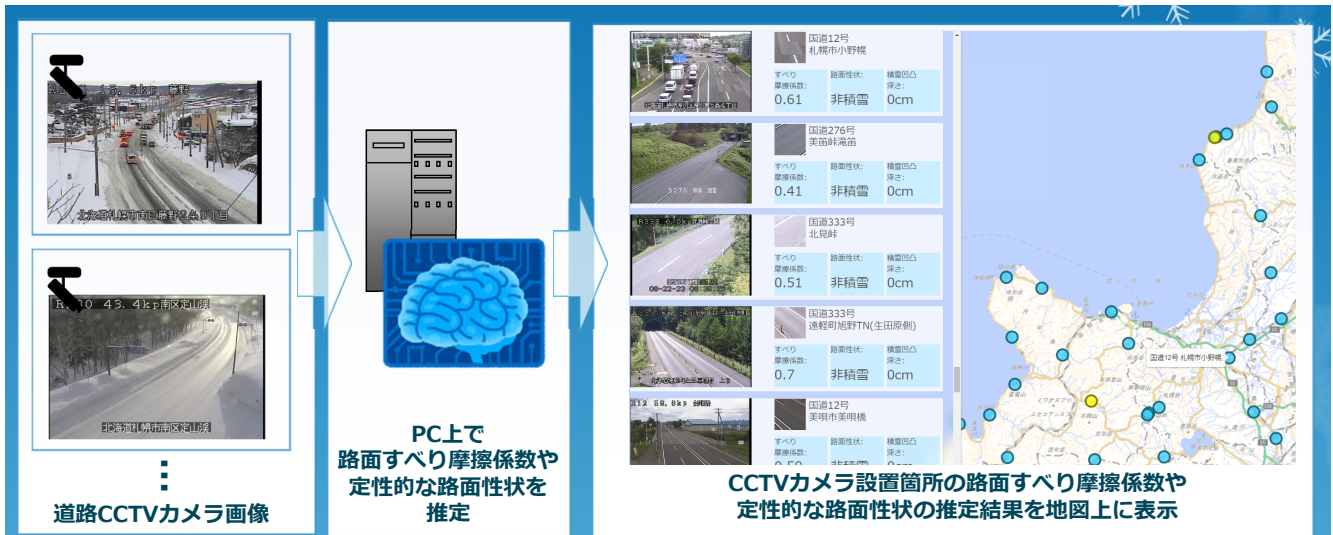


すべりや路面性状の推定結果はWebサーバにアップロードされ、地図上からリアルタイムに確認可能

スマートフォン等の広く普及した機器とレンタルWebサーバ(数百円/月~)を組み合わせることで、安価にシステムを構築・維持することが可能

14

AI画像認識を用いた路面雪氷推定システムの実装例： 道路CCTVカメラ画像を活用した路面状態監視システム



CCTVカメラ画像から路面すべり摩擦係数や定性的な路面性状などを推定し、推定結果を表示するシステム

多数のCCTVカメラ画像を一定時間毎に自動的に監視し、路面状態が悪化した場所を通知することが可能

AI画像認識を用いた路面雪氷推定システムの今後の展開： 凍結防止剤散布支援システムとの連携

凍結防止剤散布支援システム

凍結防止剤散布車

1. 指示支援ツール

重点散布区間	アイスバーン	事由	散布量	幅
散布区間	KP	g/m ²	m	
1.7~2.0	合流部	15	2	
2.8~4.0	信号	15	2	
5.5~6.0	トンネル	30	2	
7.0~7.4	橋梁	20	2	

散布パターンをcsvや地図にマッピングして作成

2. 判断支援ツール

・200m手前:ピ... ..
 ・50m手前:ピ、ピ、ピ
 ・0m手前:ピ(連続音)

散布必要区間200m手前から画像や音声によって散布作業を促す

3. 操作支援ツール


・事前に設定した散布パターンをワンタッチするだけで自動散布が可能
 ・音声での散布や停止、画面にタッチしての散布や停止が可能

寒地土木研究所では、凍結防止剤散布装置の音声操作や散布区間の案内機能、装置の自動制御機能を有する凍結防止剤散布支援システムを開発

あらかじめ凍結防止剤を散布する区間を指定、散布区間に近づくと画像と音声で散布作業を促すほか、散布装置の音声操作や自動散布を行うことが可能


AI画像認識を用いた路面雪氷推定システムの今後の展開： 凍結防止剤散布支援システムとの連携

凍結防止剤散布支援システム



凍結防止剤散布車

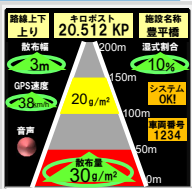
1.指示支援ツール



重点散布区間	アイスバーン		
散布区間	事由	散布量	幅
KP		g/m ²	m
1.7~2.0	合流部	15	2
2.8~4.0	信号	15	2
5.5~6.0	トンネル	30	2
7.0~7.4	橋梁	20	2

散布パターンをcsvや地図にマッピングして作成

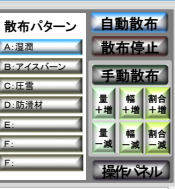
2.判断支援ツール



・200m手前:ピ...
・50m手前:ピ、ピ、ピ
・0m手前:ピ(連続音)


散布必要区間200m手前から画像や音声によって散布作業を促す

3.操作支援ツール

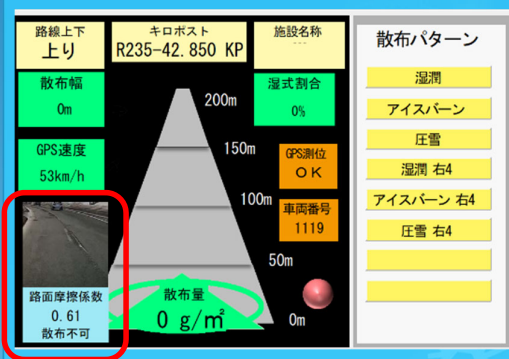


・事前に設定した散布パターンをワンタッチするだけで自動散布が可能
・音声での散布や停止、画面にタッチしての散布や停止が可能

路面すべり摩擦係数推定AI




路面すべり摩擦係数推定AI




路面摩擦係数 0.61 散布不可

車載カメラで路面雪氷状態の推定を行い、
すべりやすい区間で自動的に凍結防止剤を散布する機能を追加予定

AI画像認識を用いた路面雪氷推定システムの今後の展開： 積雪による路面凹凸深さ推定技術の開発




路面の画像を撮影




0.0cm 3.2cm 10.7cm ...

路面画像と積雪による路面凹凸深さ実測データを用いて深層学習モデルを訓練



深層学習モデルに路面画像を入力




路面状態 凍結
すべり摩擦係数 0.12
積雪凹凸深さ 4.6cm

撮影地点の積雪による路面凹凸深さを推定

路面を撮影した画像から、積雪時に生じる路面凹凸の深さを推定する技術を開発中

路面すべり摩擦係数と併せて積雪時の路面凹凸深さを推定することで、
車両立ち往生などの発生リスクが高い箇所を安価に把握可能

AI画像認識を用いた路面雪氷推定システムの今後の展開： 路面画像と付加情報を組み合わせた推定の高精度化



路面画像

+

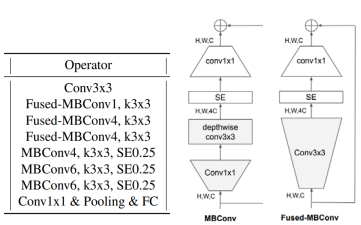
画像の撮影時刻

気温

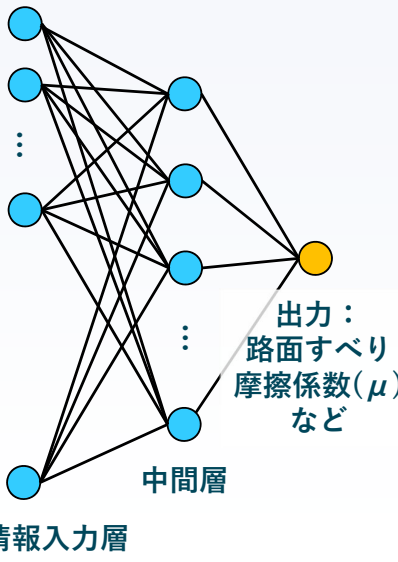
路面温度 など

付加情報：
路面画像撮影時の
時刻、気象条件など

畳み込みニューラルネットワーク



出力：
路面すべり
摩擦係数(μ)
など



付加情報入力層

中間層

路面画像に加えて画像撮影時刻や近隣の道路テレメータ・気象メッシュ等から得られた気象条件などを用いて路面すべり摩擦係数などを推定

画像のみでは判別が難しいブラックアイスバーンなどの路面条件下でも精度良く路面すべり摩擦係数などを推定する手法を開発中

ご清聴ありがとうございました。

本研究に関する問い合わせ先：
 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
 TEL: 011-841-1738、e-mail: saida-a@ceri.go.jp