令和8年度　土研新技術ショーケースin新潟

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

齊田　光

発表の内容

1．はじめに

2．既往の路面雪氷状態把握手法 / 研究の目的

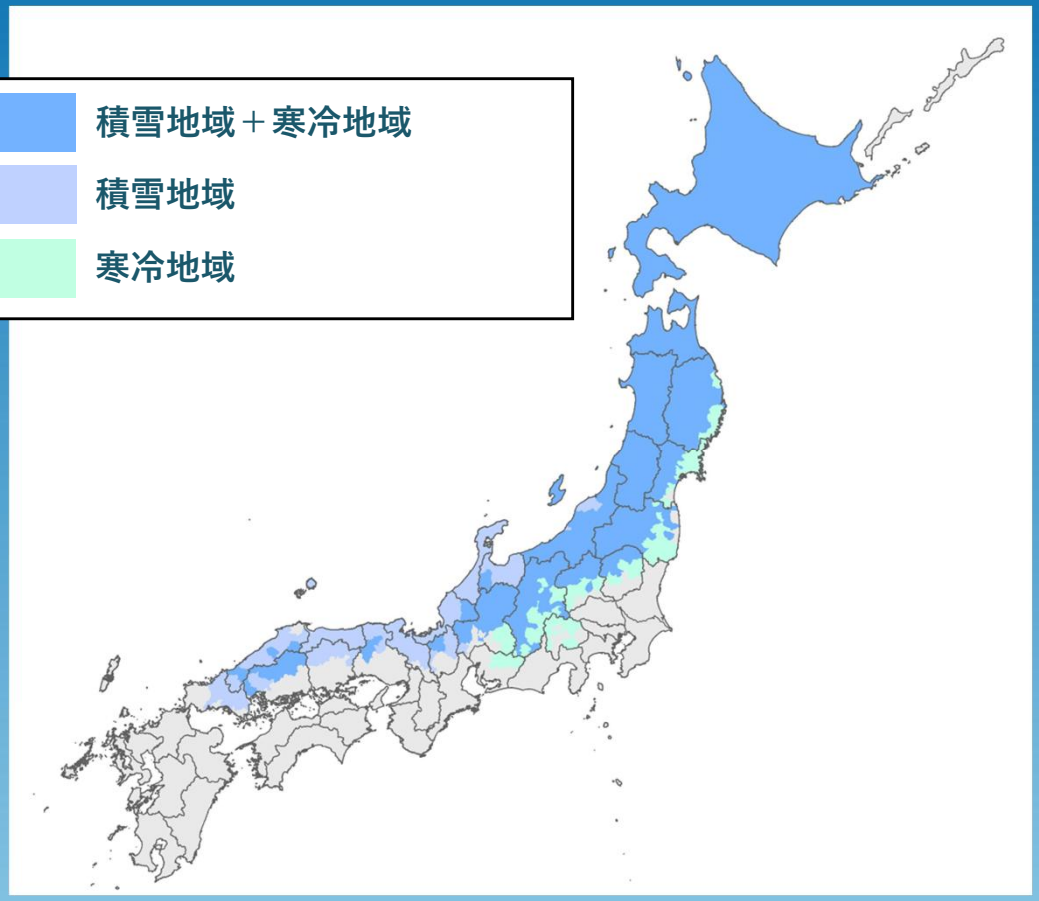
3．AIを用いた路面雪氷状態の把握手法

- AIの種類と活用方法
- 路面性状、すべりやすさ、積雪時の凹凸深さを推定するAIの作成
- 路面雪氷状態の推定精度検証

4．AIによる路面雪氷状態把握技術の活用

5．おわりに

積雪寒冷地の道路交通を取り巻く環境



日本の積雪地域・寒冷地域の分布※



気温の低下により
発生する凍結路面

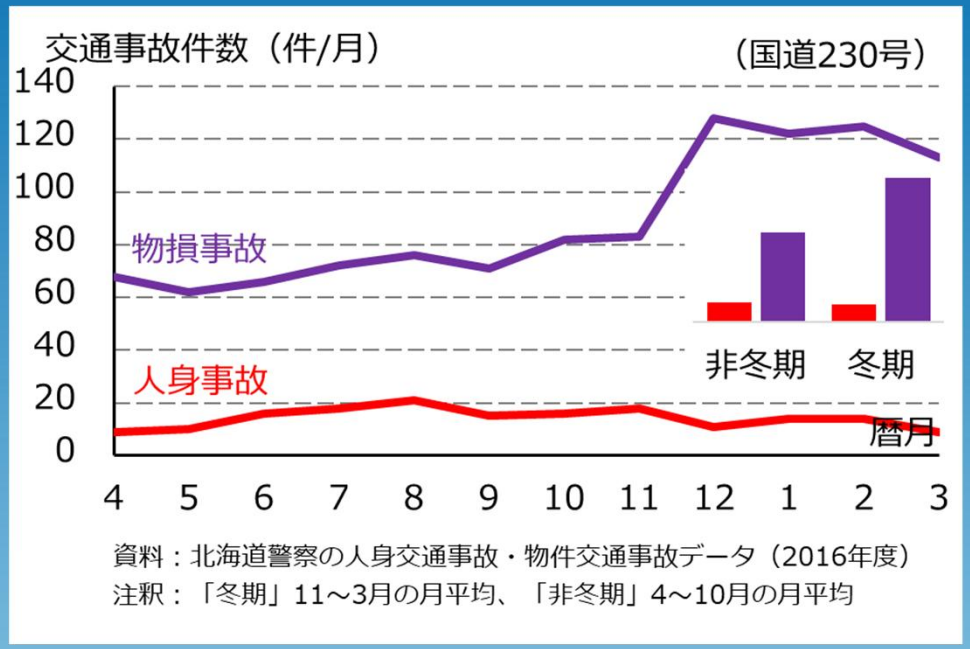


路面状態悪化に伴う
速度低下による交通渋滞

日本の面積の約60%は積雪寒冷地域であり、
これらの地域では冬期の降雪・路面凍結により様々な交通障害が発生

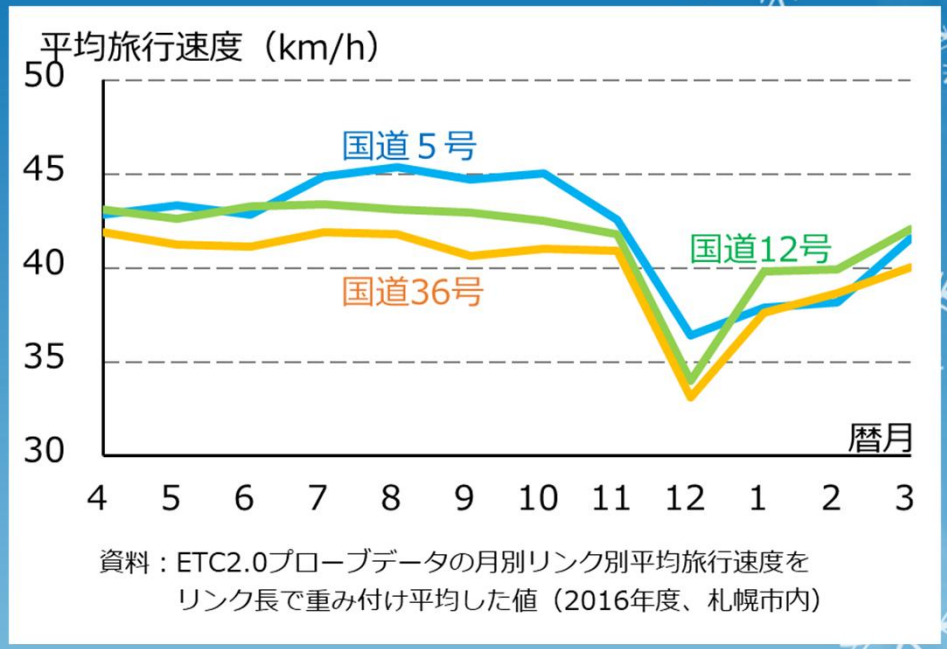
※国土交通省Webサイト「道路雪防災の目的」
https://www.mlit.go.jp/road/bosai/fuyumichi/project.html

積雪寒冷地の道路交通を取り巻く環境



資料：北海道警察の人身交通事故・物件交通事故データ（2016年度）
注釈：「冬期」11～3月の月平均、「非冬期」4～10月の月平均

物損事故は冬期に多発
（非冬期の1.6倍）



資料：ETC2.0プローブデータの月別リンク別平均旅行速度を
リンク長で重み付け平均した値（2016年度、札幌市内）

冬期になると旅行速度が大きく低下

冬期の降雪・路面凍結に起因する交通障害を防ぎ、
安全・快適な道路交通を確保するために様々な取り組みが行われている

積雪寒冷地の道路交通を取り巻く環境





路面雪氷状態の把握：
CCTVカメラ、パトロールによる確認、
道路テレメータ等





路面雪氷状態の改善作業の実施：
除雪や凍結防止剤、防滑材（砕石等）の散布





交通規制や早期の通行止めなどによる
交通障害の発生予防



道路設備による路面雪氷対策の実施：
ロードヒーティング・散水融雪など

路面雪氷の対策技術には様々なものがあるが、
効果的な対策を行うためには路面雪氷状態を正しく把握することが重要

計測装置による路面雪氷状態の把握

目視による路面雪氷状態の判別は、作業者の経験などにより
判別精度に差が生じる

計測装置を用いた、客観的・定量的な路面雪氷状態の計測手法が
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な装置で計測可能

計測装置による路面雪氷状態の把握

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

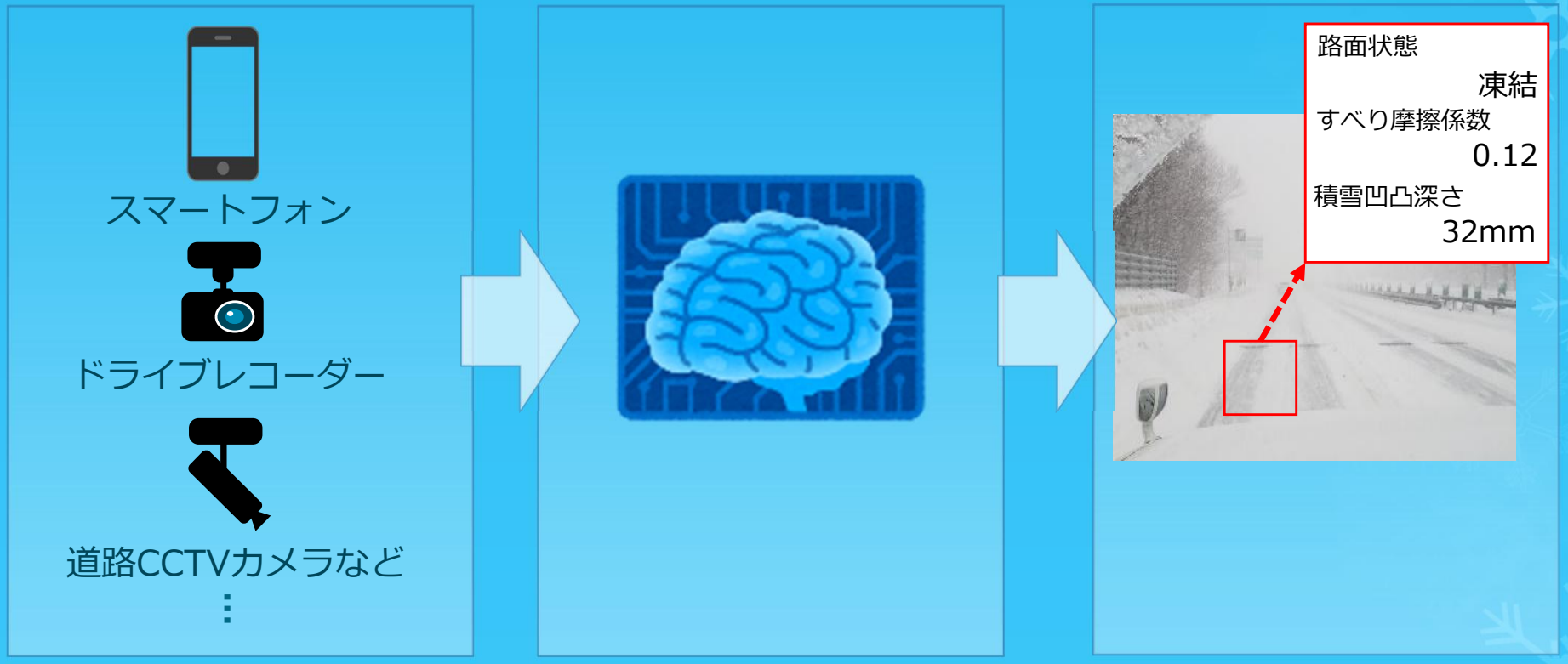
- 価格：**百万円～**※
  （センサ本体のみ、別途制御ソフトウェアが必要）
- ×近赤外線の光源や路面状態センサは精密機器、取扱いに注意が必要

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**

※2020～2021年当時の価格

本研究の目標

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、積雪により生じた路面凹凸の深さなどを推定する技術を開発



路面の画像を撮影

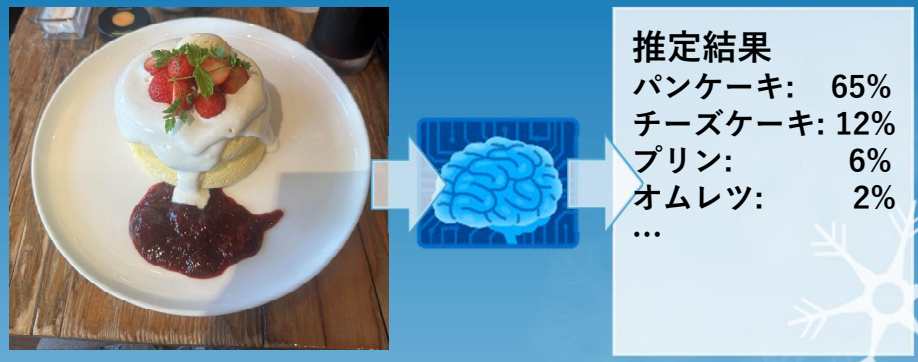
深層学習モデルに
路面画像を入力

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

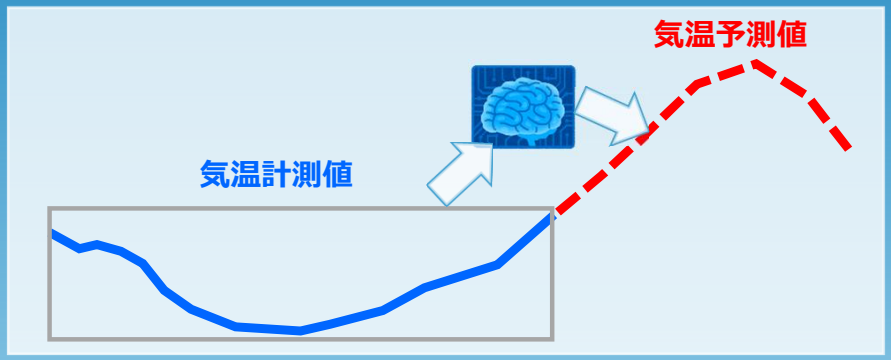
AIの種類と活用方法



物体検出(YOLOなど)・追跡(DeepSORTなど)



画像分類（VGG-16, MobileNetなど）



時系列予測(RNN・LSTM、Transformerなど)



生成AI(ChatGPT, Gemini, Claudeなど)

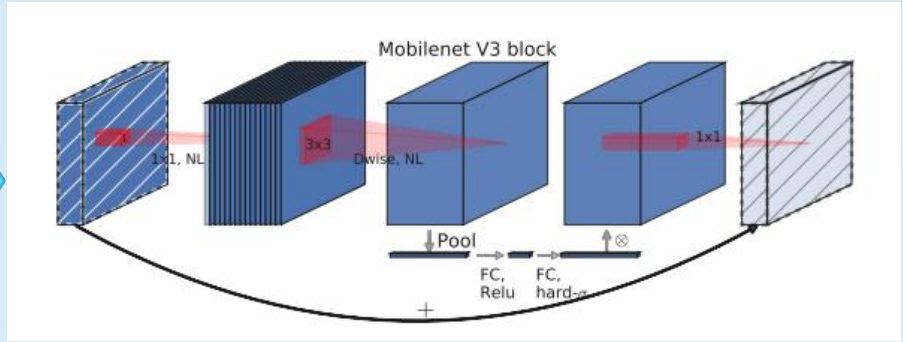
AIの種類と活用方法：

画像の分類を行う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などを推定する手法を構築

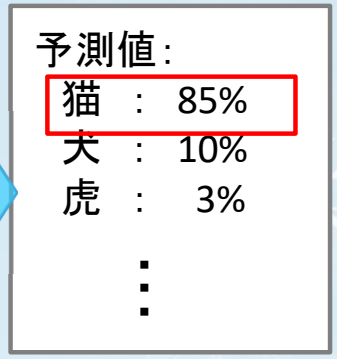
入力したデータの特徴を抽出することで
画像中に映っている物体の分類などを行う手法



入力データ：画像等



CNNによる特徴抽出・推論※1



出力：分類結果

画像分類を行うアルゴリズムのうち、推論処理を高速に実行できる
MobileNet ※1やEfficientNet ※2を基に路面雪氷状態を推定するAIを構築

※1: Andrew Howard et al. : Searching for MobileNetV3, arXiv preprint, arXiv:1905.02244v5, 2019.

※2: M. Tan and Q. Le : EfficientNetV2: Smaller models and faster training、Proceedings of the 38th International Conference on Machine Learning、 PMLR 139:10096-10106、2021.

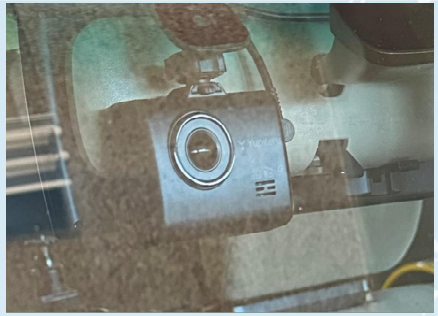
AIモデルができるまで：路面すべり・路面性状データの収集

路面すべりや定性的な路面性状を推定するAIモデルを作成するには、
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

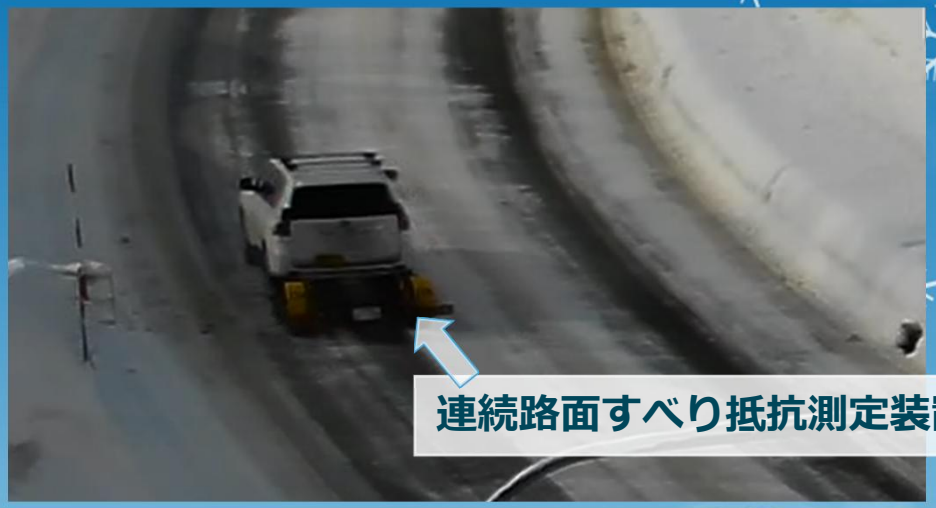


路面性状等記録システム：
路面性状等の目視判別値を入力・記録

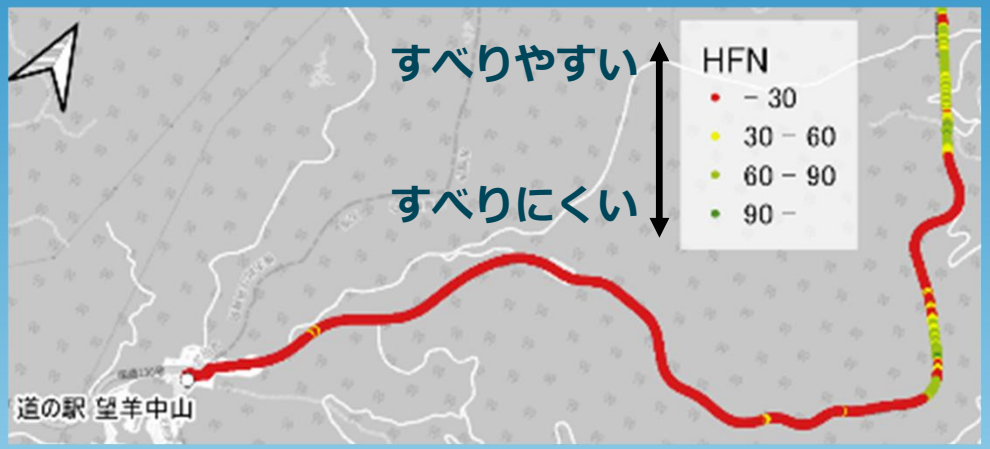
AIモデルができるまで：路面すべり・路面性状データの収集

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、
・一般国道・高規格道路
などで実施

延べ10,000km以上にわたりデータを収集



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

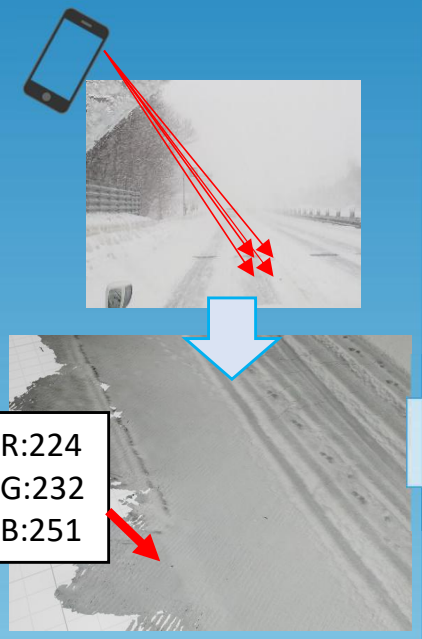


路面画像の撮影例（上段：日中、下段：夜間）

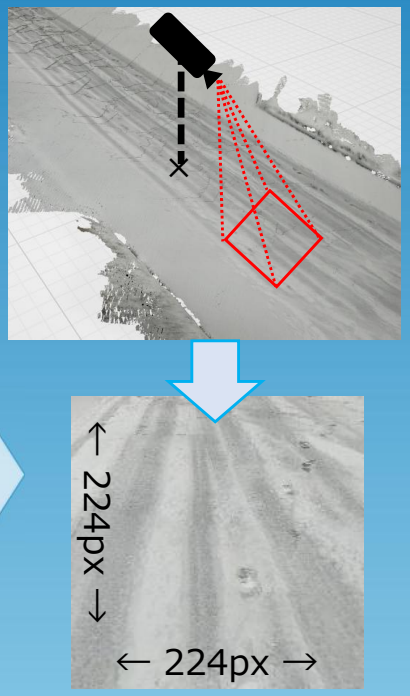
AIモデルができるまで：積雪路面凹凸深さデータの収集

積雪路面の凹凸深さを推定するAIモデルを作成するには、
路面画像と積雪路面の凹凸深さ計測データが必要

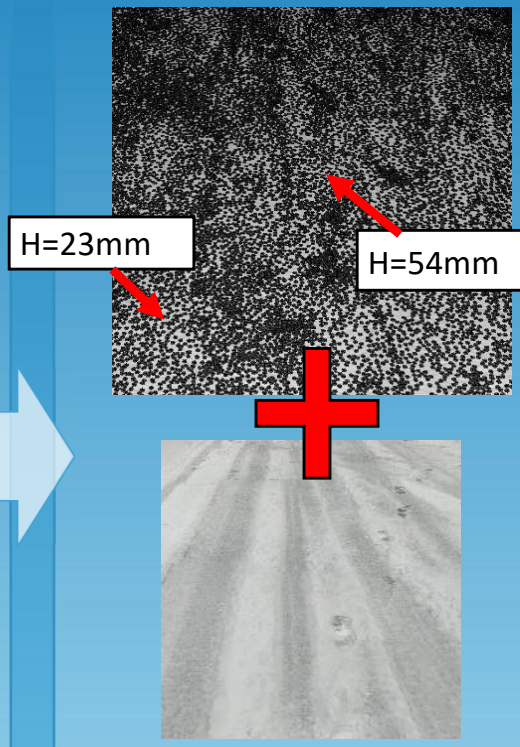
LIDARを用いて積雪路面の3次元形状を収集し、学習用データを作成



(1)iPhone・iPad搭載LIDARで
路面3次元形状を計測、
色情報を含む点群
データを取得



(2)点群データを3DCG
ライブラリ※により描画、
任意の位置・角度から
撮影した路面画像を取得



(3)取得した画像の
範囲内の点群データを
抽出し積雪凹凸深さを計算

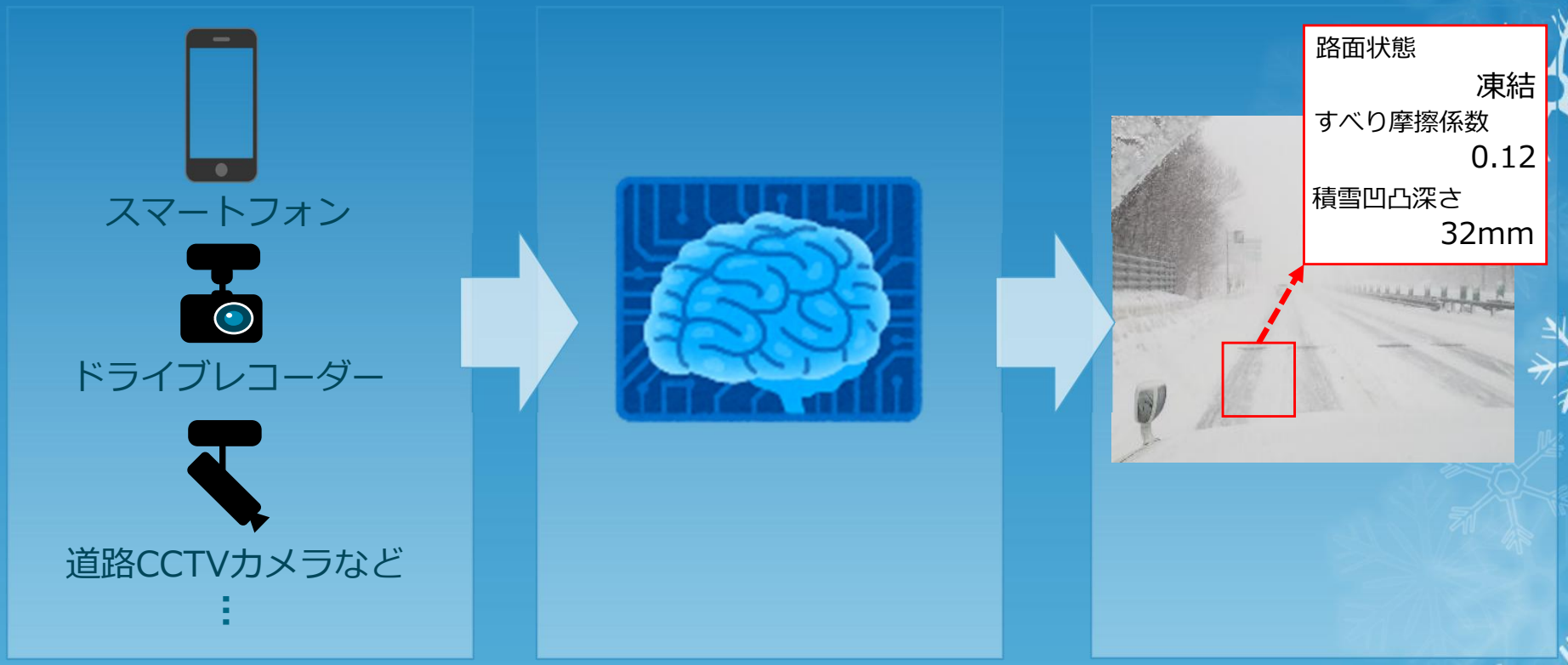


**(4)学習用データ：
積雪凹凸深さ計測値が
付与された路面画像**

※Open3Dを使用、https://www.open3d.org/

AIモデルができるまで：AIモデルの実行

学習済みモデルをPC・スマートフォンのアプリケーションやサーバ上で
動作するプログラムに組み込む、
Webブラウザ上から実行する※ことで路面雪氷状態を推定



路面の画像を撮影し
学習済みモデルに入力
入力データ:224x224pxの画像

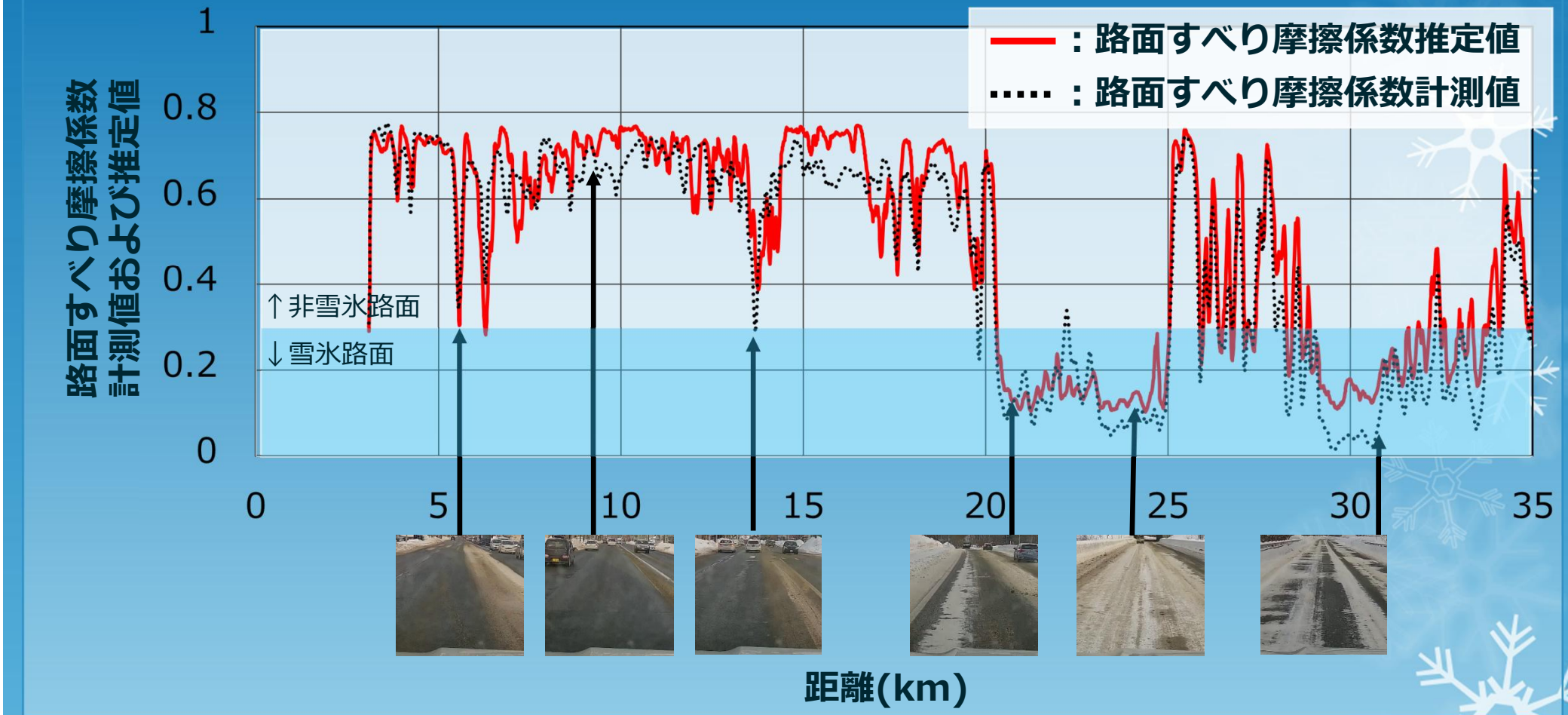
学習済みモデル

**出力：定性的な路面性状、
路面すべり摩擦係数、
積雪凹凸深さ**

※: 学習済みモデルをWebブラウザ上で実行するライブラリ
(TensorFlow.js, https://www.tensorflow.org/js?hl=ja など)を使用

AIモデルの推定精度検証：路面すべり摩擦係数

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未満であるときを的中とした場合)

AIモデルの推定精度検証：定性的な路面性状

2025年2月14日～3月13日　北海道札幌市内における定性的な路面性状の推定値：

2/15 17:20 推定結果：
非常に滑りやすい積雪・氷板路面



2/25 1:00 推定結果：
非積雪路面

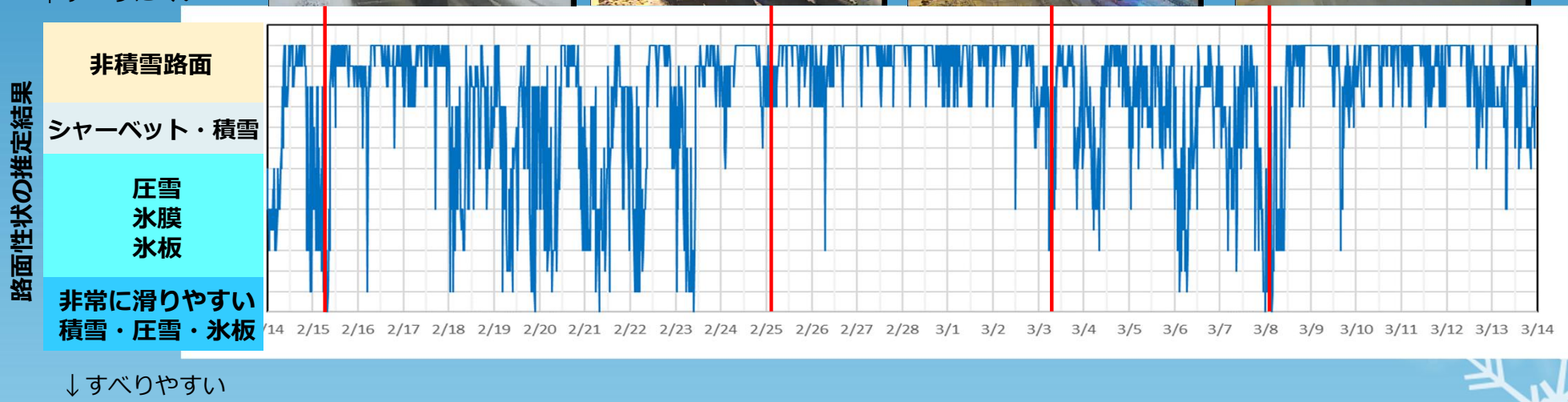


3/3 5:40 推定結果：
非常に滑りやすい圧雪・氷板路面



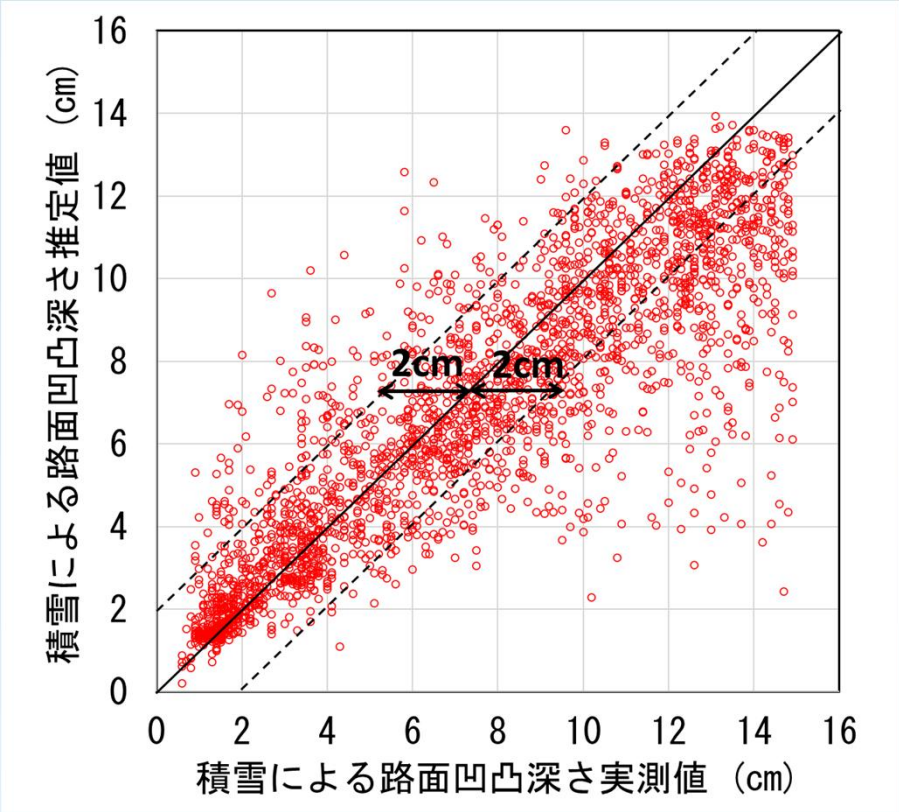
3/8 0:40 推定結果：
非常に滑りやすい氷板路面





AIモデルの推定精度検証：積雪凹凸深さ

2022年度~2023年度冬期　北海道札幌市および苫小牧市における積雪凹凸深さの計測値および推定値：



積雪凹凸深さ推定誤差(RMSE)：
2.3cm

誤差3cm未満を的中とした場合の的中率：
84%

実測値-推定値間の決定係数：
0.690

積雪による路面凹凸深さの推定誤差は3cm未満、概ね良好な精度で推定可

路面雪氷推定システム：スマートフォン等を用いた路面状態把握

スマートフォン等のWebブラウザ上で処理：



Webブラウザから冬期路面すべりモニタリングシステムのURLにアクセス、路面を撮影



路面画像をAIに入力、すべり摩擦係数や定性的な路面性状を推定(推定処理時間：0.1秒程度)



すべり摩擦係数や定性的な路面性状の推定結果を表示

推定結果をアップロード

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

路面雪氷推定システム：路面状態把握結果のリアルタイム共有

アップロードされ
推定結果を集約



**すべり摩擦係数や定性的な路面性状の推定結果、
計測者の現在位置をWebブラウザ上に表示**

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

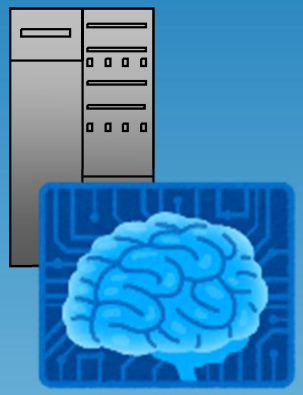
スマートフォン等の広く普及した機器とレンタルWebサーバ(数百円/月~)を
組み合わせることで、安価にシステムを構築・維持することが可能

路面雪氷推定システム：既存の道路CCTVカメラを活用した路面雪氷状態把握

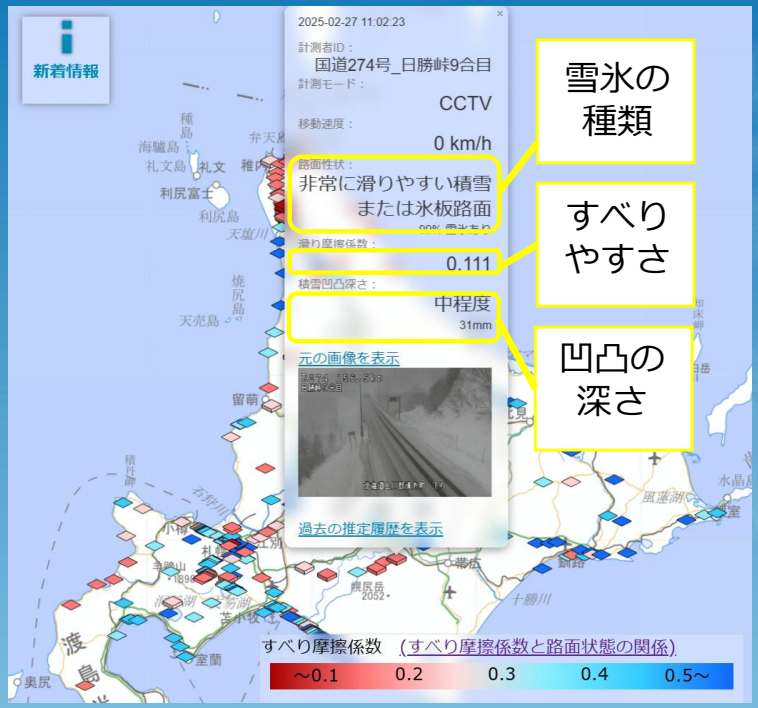




道路CCTVカメラ画像



PC上で
路面すべり摩擦係数や
定性的な路面性状を
推定



CCTVカメラ設置箇所の路面すべり摩擦係数や
定性的な路面性状の推定結果を地図上に表示

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

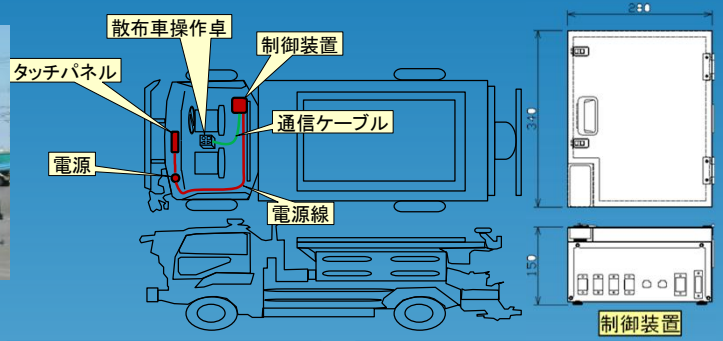
多数のCCTVカメラ画像を一定時間毎に自動的に監視し、
路面状態が悪化した場所を通知することが可能

凍結防止剤散布支援システムとの連携による散布自動化

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 KP	事由	散布量 g/m²	幅 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:ビ … …,
・50m手前:ビ, ビ, ビ
・0m 手前:ビ (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

凍結防止剤散布支援システムの概要

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

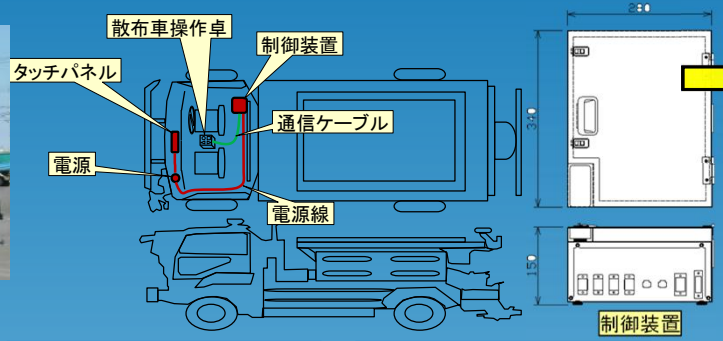
あらかじめ凍結防止剤を散布する
区間を指定、
散布区間に近づくと画像と音声で
散布作業を促すほか
散布装置の音声操作や自動散布を
行うことが可能

凍結防止剤散布支援システムとの連携による散布自動化

凍結防止剤散布支援システム



凍結防止剤散布車



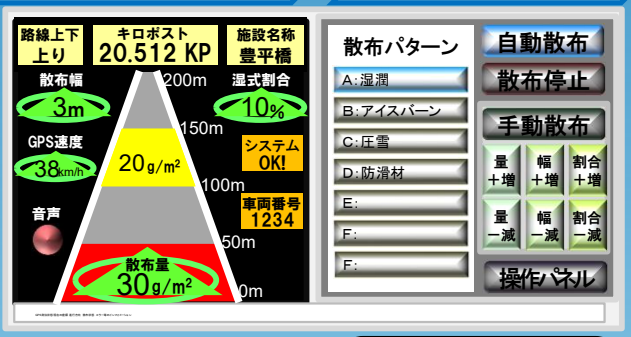
1.指示支援ツール



重点散布区間		アイスバーン	
散布区間 KP	事由	散布量 g/m²	幅 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:ビ … …,
・50m手前:ビ, ビ, ビ
・0m 手前:ビ (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





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

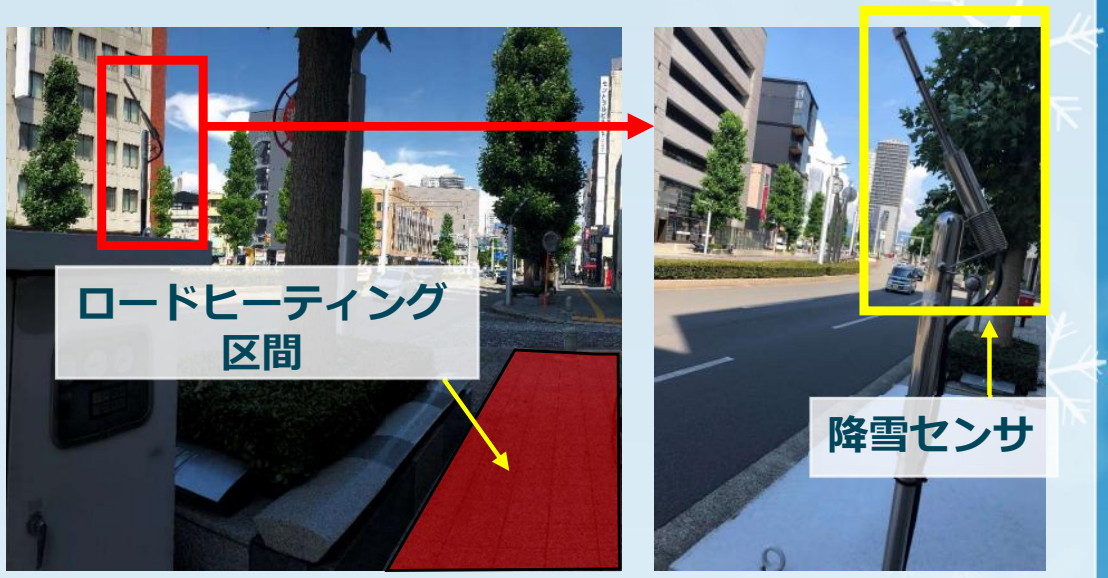
融雪システムとの連携による運転制御の効率化

冬期の積雪・路面凍結対策としては、ロードヒーティングや消雪パイプ（散水設備）などの融雪システムも広く使用されている

融雪システムは気温センサや降雪センサなどの計測結果をもとに運転・停止制御を行っているが…

- 融雪システムの運転および停止制御のタイミングに改善の余地がある
- センサ類が高価

等の課題あり

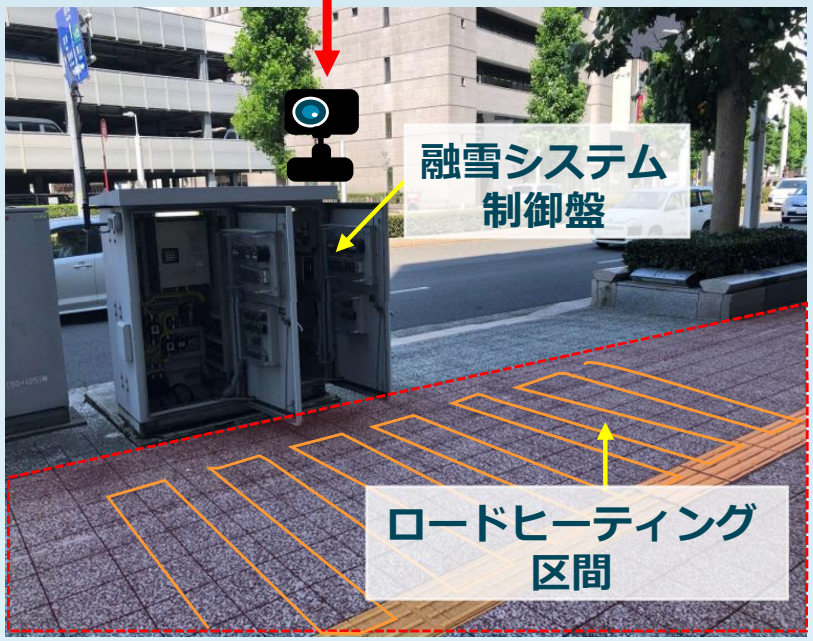


積雪や路面凍結が発生した時だけ融雪システムを運転するような制御が可能となれば、融雪システム運転に要するコストの削減や
散水量の削減による地下水資源の保全、下水処理施設への負荷軽減が可能

融雪システムとの連携による運転制御の効率化

カメラ画像からAIにより路面雪氷状態を把握し、融雪システムの制御を行うことで運転制御を効率化する手法を開発中

1.制御システムにカメラと小型コンピュータを追加





2.カメラで路面を撮影



3.路面すべり摩擦係数、路面性状や積雪時の凹凸深さ等を推定

路面状態：積雪
摩擦係数：0.23
凹凸深さ：6cm
…
制御：運転

4.路面雪氷状態の推定結果を用いて融雪システムの運転モードを決定

5.融雪システムを制御、一定時間毎に2.から5.を繰り返す

5. おわりに

これまでの研究では…

これまでの研究では、安価・簡単に路面雪氷状態を把握する手法として路面画像からAIを用いて**路面性状やすべりやすさ、積雪時の路面凹凸深さを推定**する手法を開発

実用に耐えうる精度で画像から路面雪氷状態を推定できることを確認

今後の研究では…

画像から路面雪氷状態を推定するAIを用いて、

・パトロール車両搭載カメラや道路CCTVカメラを用いた路面状態モニタリングシステムの開発
・凍結防止剤散布車両との連携による、散布作業の自動化
・路面雪氷状態の推定結果を用いた融雪システムの制御手法開発

等を行う予定

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
主任研究員　齊田　光
TEL: 011-841-1738、e-mail: saida-a@ceri.go.jp