

北海道のリアルタイム道路モニタリングのための エッジAI技術の検討

—地域道路経済戦略研究会 北海道地方研究会における取組—

国土交通省 北海道開発局 建設部 道路計画課 ○村上 恵介
松本 一城
株式会社ドーコン 交通事業本部交通部 松田 真宜

地域道路経済戦略研究会北海道地方研究会では、新たな道路施策の実現を目指しAIやICTなどを活用した道路のリアルタイムモニタリングについて研究している。

本稿では、研究会で実施するカメラ映像の取得と同時にAIでデータ解析を行い、道路の視界、路面状況、堆雪状況、舗装性状、景観、路面振動などの道路データを即座に取得し、メタデータとして伝送、蓄積を行う「エッジAI技術」への取り組みを紹介するとともに、道路交通施策におけるエッジAI技術の適用領域について考察を行う。

キーワード：エッジAI、リアルタイム道路モニタリング、冬期道路、道路舗装、道路の快適性

1. はじめに

地域道路経済戦略研究会は、国土交通省道路局により設置される有識者からなる研究会であり、情報通信技術や多様なビッグデータを最大限に利活用し、道路を賢く使う、新たな道路政策に挑戦・実行していくための政策提言を行い、道路空間の有効活用による地域経済活性化戦略とこれを実現するための社会実験・実装について研究を行うことを目的に、2015年12月より設置されている。各地方整備局には、地方研究会が設置され各地域の特色に合わせた研究テーマが推進され、北海道では、AIやICT技術が進展してきたことからリアルタイムに道路状況のモニタリングを行う事を目的に研究を行っている。本稿では、北海道におけるリアルタイムモニタリングの必要性や将来像、AIやICTを活用したリアルタイムモニタリング技術に関するこれまでの取り組みについて紹介するものである。

2. リアルタイム道路モニタリングの必要性

我が国では、経済社会構造が急速に変化する中、限られた資源を有効に活用し、信頼性の高い政策や施策を実行するために、各省庁において「DX」（Digital transformation）や「EBPM」（Evidence based policy making：証拠に基づく政策立案）が実行に移されつつ

ある。EBPMは、変化が生じた要因についての事実関係をデータで収集し、どのような要因がその変化をもたらしたかを考え、データにより検証し政策を立案しようとするものである。すなわち、「データ駆動型の政策推進」が求められることからリアルタイムの道路や交通に関するモニタリングデータの重要性は今後も高まるものと考えられる。

北海道は広域分散型の地域であることから、都市間移動、生産空間（農漁村地域）から都市部への移動は、高速性と確実性の確保が極めて重要であり、道路インフラの長期保全の観点から効率的で効果的な道路の維持管理が必要であることに加え、近年では災害の頻発化や激甚化により予測不能なインフラ損傷や交通障害の発生が増加していること、積雪寒冷地であることから積雪・堆雪による交通混雑、視程障害、路面凍結など道路状況が時々刻々と変化し、円滑な移動や安全な移動を阻害する要因となっていることから、リアルタイム性の高い道路や交通に関するデータをモニタリングし、即応型の対策立案が求められるケースが多くなっている。

3. エッジAI技術とリアルタイムモニタリング

2012年にトロント大学がCNN（Convolutional Neural Network）を開発し、画像処理による高い物体識別能力

を示したことからディープラーニングによる物体や状況識別の技術が進展してきた。また、スマートフォンに代表されるような小型で演算性能の高い通信機能を持ったコンピュータが登場したことから、定点もしくは移動体にカメラ付きのコンピュータを設置し、取得した映像データを解析し、サーバーへ伝送することでデータをリアルタイムに取得するエッジAI技術が着目されている。これまでの道路や交通に関するリアルタイムデータは、有線ネットワークで接続された定点での交通量の常時観測やCCTVカメラの映像からの取得やETC2.0道路プローブデータなどのGPSでの車両位置情報等に限定されてきたが、エッジAIの活用は、定点や移動体を問わず、多様なデータを安価に取得でき、様々な道路マネジメントへの活用が期待される。

道路マネジメントに必要な道路や交通に係るデータは多層的・多様なデータの収集が必要となるが、蓄積すべきリアルタイム道路データを大分すると、①道路状況データ、②道路上を通行する車両や歩行者等の移動データ、③交通を制御するための信号機などのデータ、④気象状況などのデータから構成され、将来的にはこれらのデータがプラットフォーム上で管理され、各プラットフォーム間やサービスにAPI（Application Programmers Interface）を介してリアルタイムにデータが交換される状況が想定される（図-1）。本稿ではデータプラットフォームでのデータ統合を見据えて北海道で取り組む、①、②に関するモニタリング技術を紹介する。



図-1 道路モニタリングデータプラットフォーム

4. リアルタイム道路モニタリングへの取り組み

(1) 冬期道路状況のモニタリング

a) 冬期視界や路面状況の判別

積雪寒冷地である北海道においては、冬期の視界や路面が時々刻々と変化するため、ドライバーへの情報

提供による気象条件に合わせた運転や行動抑制の促しが重要となる。また、積雪寒冷地での自動運転の普及には走行する車両が相互に道路状況を交換し車両制御の高度化が求められることから、冬期視界や路面状況の判別に関する研究を行っている。冬期視界の判別においては、視界が昼夜で見た目が異なる事に配慮し、4つの画像特徴（空間周波数、明度、Optical flow、Inception v3）をELM（Extreme learning machine）、SVM（Support Vector Machine）の識別器へ投入して視界レベルを1次判別し、1次判別結果から出現頻度が高い視界レベルを現在の視界レベルと判別する工夫を行い高精度に視界状況を判別するモデルを構築した（図-2、図-3）。また、CNNを用いた路面状態（乾燥・凍結など）を識別する軽量なAIも搭載しており、リアルタイムに視界と路面状況を識別する。本モニタリング技術は、車載可能なエッジAI機器を都市間バスに設置しモニタリング試験を行っている（図-4）。

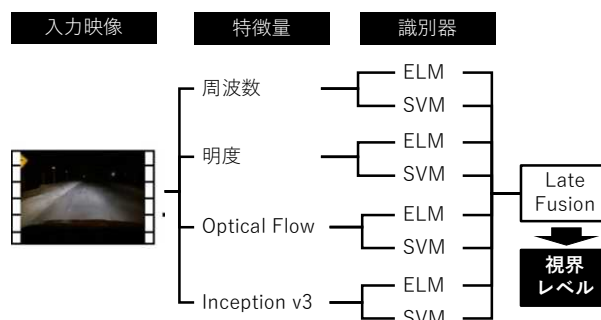


図-2 視界レベルの判別モデル

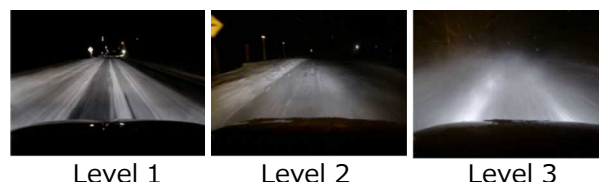


図-3 エッジAIデバイスと視界レベルの出力

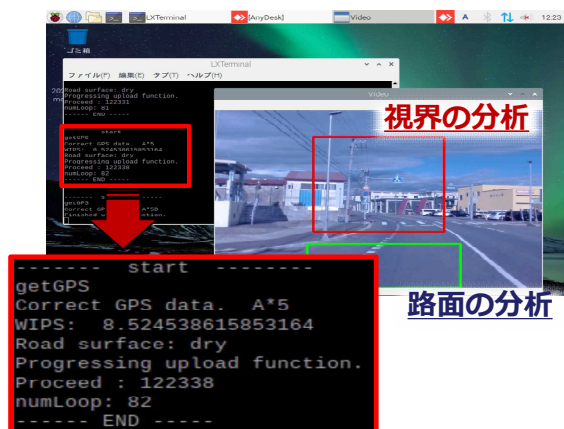


図4 視界と路面データの判別状況

b) 堆雪による道路の狭窄状況の判別

都市部における除排雪の効率化等における活用を目指し堆雪による道路の狭窄状況を識別するAIの検討を行っている。狭窄状況の把握にはエッジAI機器のカメラ映像から画像の色や空間周波数、車載する車両周辺の車両検出や信号機検出、深度マップなどの複数特徴をELM (Extreme learning machine) を用いて狭窄の進行度合いを判別する(図-5)。なお、色・空間周波数は積雪量に応じて変化する白色や低周波成分、信号機の位置は狭窄の進行で限定される横位置の把握、周辺車両の位置は狭窄の進行で限定される周辺車両との距離、深度マップは積雪量に応じて変化する堆雪の高さを表現するための特微量である。狭窄状況の出力は図-6のように、3レベルで判別される。Level1は、堆雪がなく問題なく並走可能な状態、Level2は、堆雪があるが4車線道路において3車線程度の幅が確保されている状態、Level3は、堆雪があり4車線道路において2車線が閉塞されている状態である。例えば、バスやタクシー等の車両にエッジAI機材を車載できると都市全体の狭窄状況を把握し効率的な除排雪の計画が立案できることとなる。

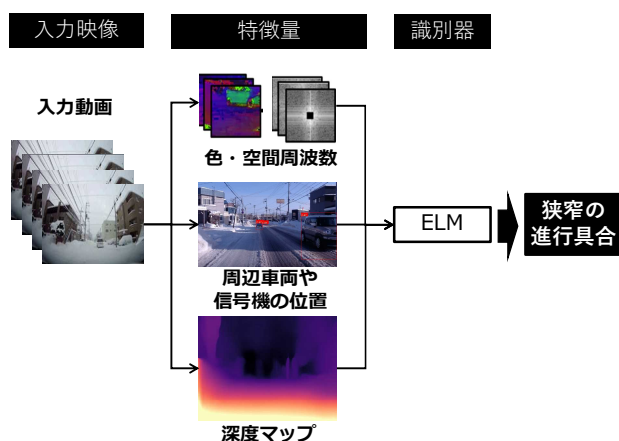


図5 エッジAIデバイスと視界レベルの出力

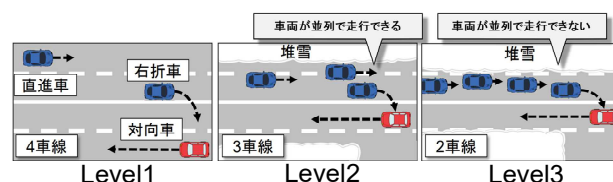


図-6 狭窄の進行具合

(2) 道路舗装のモニタリング

a) 道路舗装のネットワークレベル評価

北海道は道路延長が長いことから効率的に修繕を行う事が求められ、路面計測データや住宅立地データの空間結合による修繕対象の優先順位付けを行うなどエビデンスに基づく修繕計画の立案が欠かせない。

このような認識のもと、市販カメラを用いた大規模調査(室蘭市全管理道路・道内国道・道道)を行い、AIによる路面状態(ひび割れ、IRI、わだち、区画線、自転車快適性)の計測手法の開発を行っている。図-7は、CNNの一種であるU-netを用いたピクセルレベルのひび割れ検出を行った例を示す。AIによる判別結果は、予測結果や推定結果に至るプロセスが人間により説明困難な場合もあることから、人間にとって説明可能なAIであることに配慮し、「説明可能なAI」(XAI: Explainable artificial intelligence)を目指し損傷原因と損傷個所の可視化(図-8)や損傷原因の地域比較(図-9)についても研究を行っている。

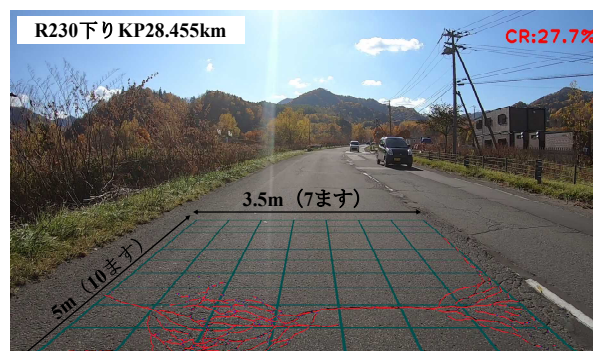


図-7 U-netを用いたピクセルレベルのひび割れ検出

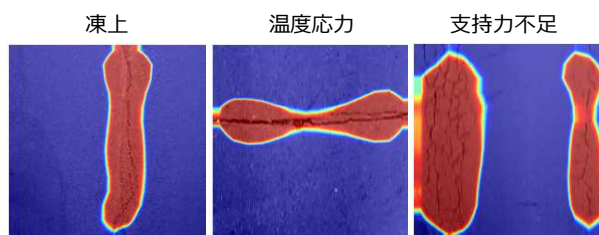


図-8 損傷原因の判別と根拠に関する可視化例

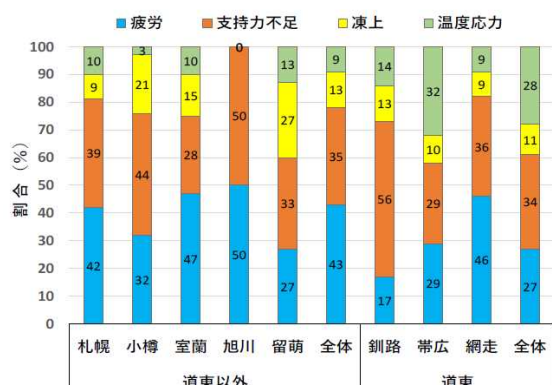


図-9 ひび割れ発生原因の地域比較

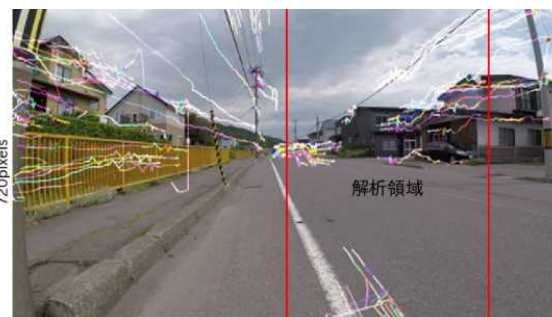


図-12 オプティカルフローによる振動不快度の検出

b) 道路の快適性評価

北海道は、景観的な魅力からサイクルツーリズムやドライブ観光に対する人気が高く、サイクルルート of 快適性や北海道らしい景観を楽しむためのドライブルート情報の提供を行う事で更なる魅力を高めることができると考えられる。このような背景から、サイクルルートの振動不快度に基づく自転車快適性や道路景観構造の数値化に関する研究を行っている。快適性や景観構造の数値化に当たっては、乗用車や自転車に搭載したGPS内蔵の市販カメラにより映像とGPSデータなどの走行調査を実施した(図-10)。景観構造の把握は取得した映像よりフラクタル次元、空の占有率、緑の占有率などの特徴量を取得し道路景観をクラスタリングする事で把握する。自転車の快適性は、サイクリストが感じる振動をシーケンス画像からオプティカルフロー(図-11, 図-12)を計算し、鉛直成分の大きさから把握する。これらの景観構造や快適性に関するデータはGPSデータとマッチングする事ができるため、道路景観構造のマップ(図-13)や自転車快適性のマップ(図-14)として把握する事が可能である。



図-10 快適性評価のための走行調査機材

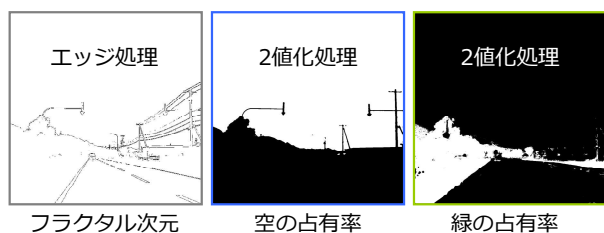


図-11 画像解析による道路景観データの抽出

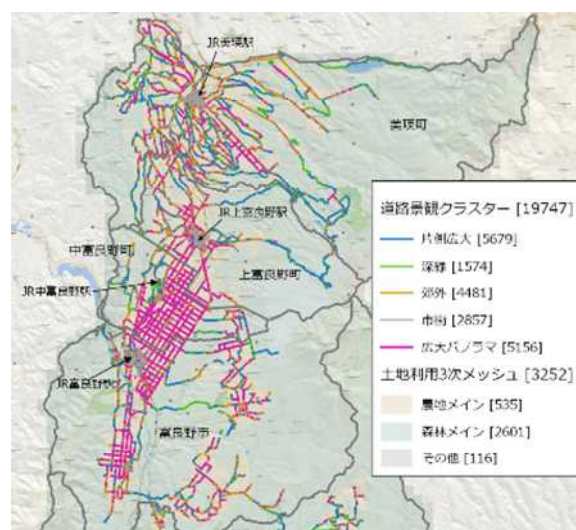


図-13 富良野エリアの道路景観構造



図-14 自転車快適マップの作製例

(3) 昼夜を問わない車両のモニタリング

夜間の映像データとして取得される画像データはAIの認識処理に最適ではない事があり、昼夜を問わないリアルタイムモニタリングにおいて識別精度が低下する可能性がある。そのため、図-15に示すような昼夜を問わず車両を検出可能とする画像の明瞭化を含む(AIのための見える化)認識モデルを検討した。明瞭化においては、オリジナル画像、ノイズ除去画像、コントラスト強調画像、ノイズとコントラスト強調を行った画

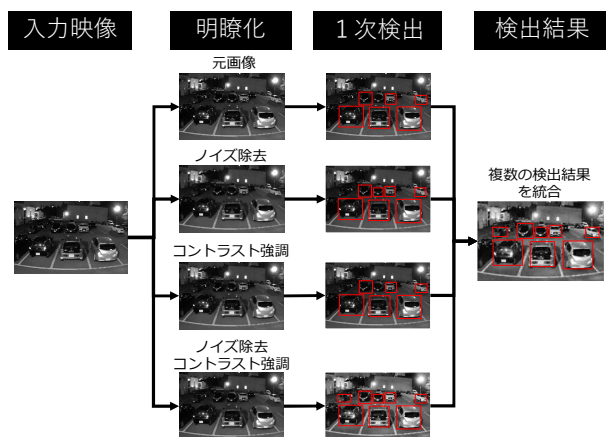


図-15 昼夜を問わない車両の判別モデル

表-1 提案手法と従来手法の精度比較

	適合率	再現率	F値
提案手法	0.880	0.994	0.934
従来手法	0.843	0.996	0.913

像の4種類を用いそれぞれにCNNを適用し車両を検出し、それぞれの検出結果を統合化することで検出精度の向上に期待できることを確認した（表-1）。なお、表に示す適合率は正と予測したデータのうち実際に正であるものの割合、再現率は実際に正であるもののうち、正であると予測されたものの割合、F値は適合率と再現率の調和平均を表す。

また、複数のカメラを設置し駐車場等における漏れの無い車両検出を行うために必要となる最小カメラ台数と配置の検討として、VRシミュレーションを用い様々な角度から取得したカメラデータの組み合わせ最適化問題を解き、識別精度の向上とカメラの台数や画角などの適応的なパラメータ設定の検討も行っている。

6. 道路交通施策におけるAI技術の適用領域

道路交通施策の検討や実施には様々なデータの蓄積とデータ分析による課題抽出、課題への対応策の検討や効果の把握が重要となることから、AI技術の適用領域の整理を行う。表-2は国土交通省所管の道路関連データとAIを活用し、センシング項目と必要なデータを整理したものであるが、カメラ映像は情報量が高いことから様々なデータを得やすいことがわかる。また、交通量の計測や道路環境の計測は、判別分析を基本とすることからCNNが適用でき、学習に必要なデータの蓄積によりセンシング項目の拡大や精度の改善や発展が期待される。渋滞や気象予測といった将来の予測においては、リカレントニューラルネットワーク一種であるLSTM(Long Short Term Memory)を利用した予測手法の適用が可能であることから、リアルタイムに得られ

表-2 AIでのセンシング項目例とデータソース

センシング項目		データソース	
		カメラ映像	ETC 2.0
交通流の計測	①常時交通量 自動車、歩行者、自転車	○	-
	②道路パフォーマンス 速度や交通流率等	○	○
	③車両挙動	○	○
道路環境の計測	④冬期の視界・路面	○	-
	⑤駐停車、雪の堆積状況	○	-
	⑥道路の舗装状態	○	△

るデータを利用した予測手法についても発展していくと考えられる。リアルタイムなAIを活用した分析や予測技術は、データから最適な施策を動的かつ自動的に導き社会にフィードバックするためのコア技術になると考えられ、例えば以下のような展開が考えられる。

<渋滞対策>

- ・ 過去の渋滞箇所、状況、要因をAIによる学習し、高精度な渋滞予測
- ・ 渋滞予測に基づく、交通信号の最適化や最適な経路情報の提供と行動変容

<暴風雪の対応>

- ・ 大雨、大雪等の道路パフォーマンスを低下させる気象条件の検出、事前に道路管理（計画的な除排雪、除排雪車両の偏在軽減）
- ・ 暴風雪などの事前情報を提供する事による行動変容の促し

7. まとめ

本稿では、地域道路経済戦略研究会 北海道地方研究会で取り組んでいる北海道のリアルタイム道路モニタリングのためのエッジAI技術の研究について紹介を行った。北海道で取り組む画像データ等を使ったAIによるセンシング技術の進歩は著しいことから、既往手法についても識別精度の向上やその適用範囲が拡大するものと考えられる。データ駆動型社会を目指すDXやEBPMの推進に欠かせないデータを多量かつ安価に取得が出来るようになってきており、今後も迅速な施策や対策の立案に向けてICTやAIの適用範囲を拡大するための研鑽を継続したいと考えている。

謝辞：地域道路経済戦略研究会北海道地方研究会の委員である北海道大学高橋翔准教授、室蘭工業大学浅田拓海助教が取り組むテーマから研究成果を紹介させていただいた。ここに深謝の意を表します。