

デジタルツインによる冬期道路交通マネジメントシステムの技術開発

◆研究概要・体制

道路行政の技術開発ニーズ	インフラ分野のDX	ETC.2.0とAIを活用した交通マネジメントサービス
	経済の好循環を支える基盤整備	道路交通マネジメントの実践・高度化を可能とする技術
	防災・減災が主流となる社会の実現	被災後の交通状況をリアルタイムに把握し、情報提供できる技術
公募タイプ(研究分野)		ソフト分野
研究の概要		
冬期道路環境をエッジコンピュータにより低通信量かつリアルタイムに収集しつつ、AIを活用してデジタルツインを構築し、道路交通マネジメントに反映することにより、冬期の人やモノの移動にかかる負担軽減、効率化を実現する。		

氏名	所属・役職	主な担当テーマ
○ 高橋 翔	北海道大・工学研究院・准教授	1・2・5
八木 雅大	北海道大・工学研究院・博士研究員	1・2・5
吉井 稔雄	北海道大・工学研究院・教授	1・3・5
萩原 亨	北海道大学・名誉教授、(一財)北海道道路管理技術センター・顧問	1・4・5
有村 幹治	室蘭工業大学大学院・工学研究科・教授	3・4・5
浅田 拓海	室蘭工業大学大学院・工学研究科・准教授	2・3・5
Tran Vinh Ha	室蘭工業大学大学院・工学研究科・博士研究員	3・4・5
永田 泰浩	(一社)北海道開発技術センター地域政策研究所・次長	1・2
大井 元揮	(一社)北海道開発技術センター地域政策研究所・室長	4・5
芝崎 拓	(一社)北海道開発技術センター調査研究部・上席研究員	4・5
小西 信義	(一社)北海道開発技術センター調査研究部・主任研究員	4・5
丹治 和博	(一財)日本気象協会北海道支社・統括主幹	1・3・5
小松 麻美	(一財)日本気象協会北海道支社・主任技師	1・5
槌本 陽	(一財)日本気象協会北海道支社	1・5
山本 郁淳	(株)ドーコン交通事業本部交通部都心交通企画室・室長	3・5
内藤 利幸	(株)ドーコン交通事業本部防災保全部・グループ長	1・4・5
松田 真宣	(株)ドーコン交通事業本部交通部・グループ長	1・4・5
平川 貴志	(株)ドーコン交通事業本部交通部・主任技師	1・4・5
高橋 歩夢	(株)ドーコン交通事業本部防災保全部・主任技師	1・4・5
坂本 信	(株)ドーコン交通事業本部防災保全部・技師	1・4・5

【研究の構成】

フィジカル空間（現実世界）

【テーマ1】 冬期の路面や視界等の情報収集・活用に関する技術開発



【テーマ4】 冬期における人の移動の負担軽減に資する情報提供に関する技術開発



道路API

【テーマ2】 冬期道路交通マネジメントを可能とするデータ集積プラットフォームに関する技術開発

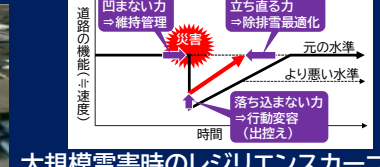
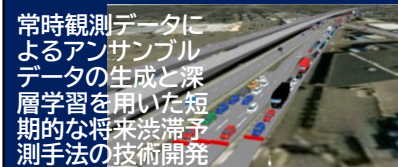
道路・交通を高度化する各種機能が共通して利用するデータ・解析結果を提供するインターフェース機能を実装した基幹システム

時々刻々と変化する道路交通状況・気象状況等の動的データや予測・解析結果をデジタルツインとして再現



道路API

【テーマ3】 冬期道路交通マネジメントのための交通・気象データを利用したシミュレーション等に関する技術開発



道路API

サイバー空間

国土の災害脆弱性とインフラ老朽化を克服した安全に安心して暮らせる社会の実現

(「2040年、道路の景色が変わる」より)

【テーマ5】 道路APIを備えたデジタルツインによる冬期道路交通マネジメントシステムの社会実装方法の検討

- ・ 道路情報の新たな価値
- ・ 情報サービス提供範囲
- ・ 冬期以外の道路異状への応用



(1) デジタルツインのデータ拡充

- 冬期路面や視界等の情報収集・活用に関する技術開発に向けて、道路走行環境のリアルタイムモニタリング車両を拡充
 - 時間解像度の向上: 「札幌－稚内」で最大1.4倍, 「札幌－枝幸」で最大2.5倍
 - 空間解像度の向上: 「旭川－鬼志別」路線追加によりモニタリング道路路線数1.5倍
- デジタルツインが構築可能な時空間解像度の向上を達成。

【モニタリング車両の台数】					
路線	区間・主な路線	R4	R5	R6	
わっかない号 (2～3往復/日)	稚内～札幌 R40/R232/E62/E5	4	7	10	
えさし号 (2～3往復/日)	枝幸（鬼志別）～ 旭川・札幌 R275/R40/E5	-	2	5	



【宗谷バスの車両】



【モニタリング車両の経路】

(2) 先読み情報の構築

① 気象情報

- 令和6年度は、降水量、降雪量、気温、風向風速、視程の5項目とした。降水量以外は日本気象協会が独自に解析した気象情報。
- 令和7年度は、多様な気象要素の解析で得られる吹雪量、路面状態、路面積雪量の推定値の導入を検討中。

【デジタルツインで配信する気象情報】				
気象要素	名称	R05年度実施	予測の有無	備考
降水量	高解像度降水ナウキャスト	○	30分先まで	250mメッシュ、5分毎に更新
降雪量	JWA独自メッシュ		6時間先まで	1kmメッシュ、毎時更新
気温	JWA独自メッシュ		6時間先まで	1kmメッシュ、毎時更新
風向風速	JWA独自予測	○	予測発表から69時間先まで	1kmメッシュ相当、12時間毎に更新
視程	JWA独自メッシュ	○	6時間先まで	1kmメッシュ、毎時更新

② 車載カメラ映像による視界・路面情報

【路面判別】

- 車載カメラの画像を入力とする深層学習に基づく判別器により、路面状態を判別。
- 高規格道路のデータで学習した判別器を、一般道のデータにそのまま適用した場合には、判別精度の低下が懸念される。
- 令和6年度には、既存の判別器を使って路面状態を判別した後、必要に応じて、その判別結果を訂正可能とする手法を構築した。さらに、深層学習に基づく判別器を効率的に再学習する手法を構築した。
- 広範に分布する各エッジ(=モニタリングシステム搭載車両)が新たに取得するデータを用いて、判別器を逐次的に再学習可能な機能をデジタルツインに搭載することで、多様な道路の環境を正確にモニタリングすることが可能となる。

【視界レベルの推定】

- 車載カメラの画像からWeighted Intensity of Power Spectra(以降、WIPS)を計算することで、視界状況を定量化。
- WIPSは、主に日中の視界状況を定量化するものであるため、夜間の精度に課題。
- また、維持除雪作業の各種判断へ対応するため、100m単位で視界等の道路状況判断できることが求められることからエッジでの推定処理の軽量化が必要。
- 令和6年度は、特徴量算出に用いるパッチ数およびフレーム数の削減、軽量の物体認識モデルの導入、そして特徴ベクトル算出の並列化を図る手法について検証。
- その結果、100m走行にかかる時間9秒以内に視界レベルの判別が可能となった。

③ 視界状況の空間的・時間的先読み方法の検証

- 令和5年度は、「特急わっかない号」の車両前方画像による視界情報と、走行路線上の道路管理用CCTVカメラの道路画像より求めた視界情報の関係性を分析し、車両が走行していない時間帯の時系列データを推定する方法を検討、確立。
- 令和6年度は、上記の空間的先読み方法により、令和5年度冬期の視界状況推定結果の検証を実施。
- また、時間的な視界状況の先読みの可能性について、令和5年度冬期のCCTVカメラの視界情報と、日本気象協会が有する気象メッシュデータを比較し、気象データから、吹雪や降雪による視界情報の低下を把握できるかどうかを分析予定。

④ 到着遅れ時間

- 視界不良や路面凍結の影響を受けて、旅行速度が低下することにより、到着遅れ(時間損失)が発生。
- 冬期の速度低下の要因として、視界状況や路面状態の悪化などが考えられるが、その要因は定量的には明らかになっていない。
- 令和6年度には、冬期道路の環境を表す路面状態、視界状況および風速のデータと車両速度の関係を分析。平均速度及び最低速度ともに、視界状況を表す数値である平均WIPSと最低WIPSとやや強い相関を確認。
- 今後、積雪量や風速のデータから到着遅れを推定可能なアルゴリズムの構築に取り組む予定。

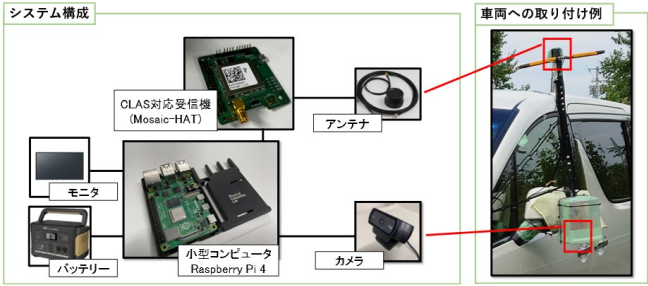
(1)プラットフォーム機能の拡充

①画像解析による走行ガイダンス機能付きセンチメートル級測位システムの構築

- 令和5～6年度は、道路上の区画線位置を正確に計測可能なシステムを構築した。
- 区画線の緯度経度情報が基準データとしてデジタルツインに搭載可能となれば、「夏期の走行履歴と区画線の距離」と「冬期の走行履歴と区画線の距離」が得られ、これらを比較することで、冬期に特異な走行が生じる様子を観測することが可能となる。

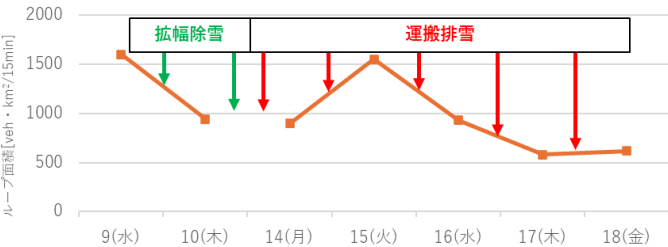
(2)道路APIの基幹システムの構築

- 初年度として、まずは複数の車載システムから常時送信される道路空間を撮影した画像およびエッジコンピューティングによって取得する解析結果のデータを受け入れるサーバのプロトタイプを構築した。
- 現状のサーバはデータ受け入れ以外のタスク、例えば、デジタルツインとしてフィジカル空間にフィードバックする可視化インタフェースの演算を行う場合には、ストレージへのアクセスなどのレスポンスに課題。
- 令和6年度には上記の課題解決を目標として、今冬の稼働に向けてシステムの拡張に取り組んでいる。
- 構築する新サーバは、昨年度と同様に、車載のエッジコンピューティングから、道路空間を撮影した画像と解析結果を受信すると共に、気象データやCCTVカメラの画像を分析した結果を集積する機能を実装する。加えて、各サーバ間でデータをやり取り可能な機能も実装する。



(1)雪害時における道路利用者の行動変容による効果検証

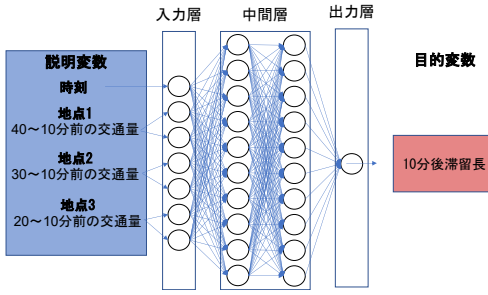
- 札幌市内の冬期道路ネットワークを対象として、集計QK図上に発現するループ面積が、運搬排雪・拡幅除雪により変化する交通流状態を定量的に表現可能であるかを検証。
- 2022年2月9日から2022年2月17日にかけて実施された拡幅除雪と運搬排雪に伴うループ面積の変化(下図)から、ループ面積により、運搬排雪・拡幅除雪により変化する交通流状態を定量的に表現可能となることが示唆された。



【ループ面積と運搬排雪・拡幅除雪の作業タイミング】

(2)ミクロ交通シミュレーションを活用した交通管制支援モデルの精度検証

- 道路上においてリアルタイムに通過車両台数をカウントし、シミュレーション上で予測される高速道路上の渋滞長を道路交通管理者に提供することが可能となれば、信号等のインフラ協調等、より高度な道路交通管理が可能になる。
- 道路空間上にあるエッジAIからリアルタイムに得られる入力値データをクラウド上の渋滞短期予測モデル(クラウドAI)で処理し、その予測結果をクラウドAIからAPIを介して車両や道路付属インフラを協調させるシステムの概念実証を試行。



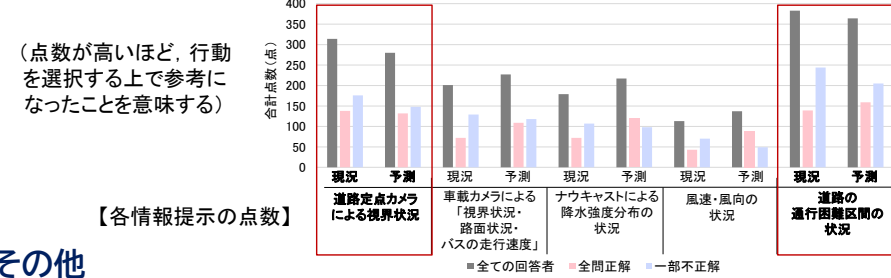
【機械学習モデルの構築】

(3)気象データと車両前方画像による冬期の路面状態のシミュレート手法

- デジタルツインでの道路の路面や視界の先読み情報を生成するため、過去の路面データと気象データに基づく空間方向および時間方向の系列データを用いて、積雪寒冷地における将来の路面状態をシミュレーションする手法を検討。
- 令和6年度では、前年度までの空間方向に加えて、時間方向の系列データを新たに導入することで、より高精度に路面状態をシミュレーション可能とすることを目標とした。
- 令和6年度に構築した手法では、空間方向および時間方向の系列データそれぞれを入力として路面状態予測を行うモデルを構築し、各モデルの暫定的な予測結果に対する確からしさ(以降、確信度)を用いることで、時空間の周期性を考慮した路面状態のシミュレーションを行う。

(1) 情報提供内容・手段の検討

- 令和5年度の研究では、ドライバー自身に安全な交通行動を促すようなソフト面での対策として、利用者の行動選択に訴求する情報提供内容について検討するため、Webシステムで情報提供されることを想定したアンケート調査を行い、情報提示方法の違いがドライバーの行動意図に与える影響と効果的な情報の提示方法について考察した。情報提示方法により、冬期における日常的な行動と、具体的な情報提示後の行動意図は異なるという結果が得られている。さらに、視界状況を文字情報だけでなく道路画像を用いて提示することが危険を回避する行動意図を促すことにおいて有効であることも明らかとした。
- 令和6年度の研究では、前年度と同様にドライバーに対してアンケート調査を行った。具体的には、2023年の冬期に試験的に提供した情報の提示を含んだアンケート調査を行い、道路状況や情報の理解度が行動選択に与える影響について考察した。令和5年度のアンケートと異なる点は、架空の情報ではなく実際に提供した情報を評価できる点、道路状況と情報の理解度による行動選択の変化を分析できる点である。

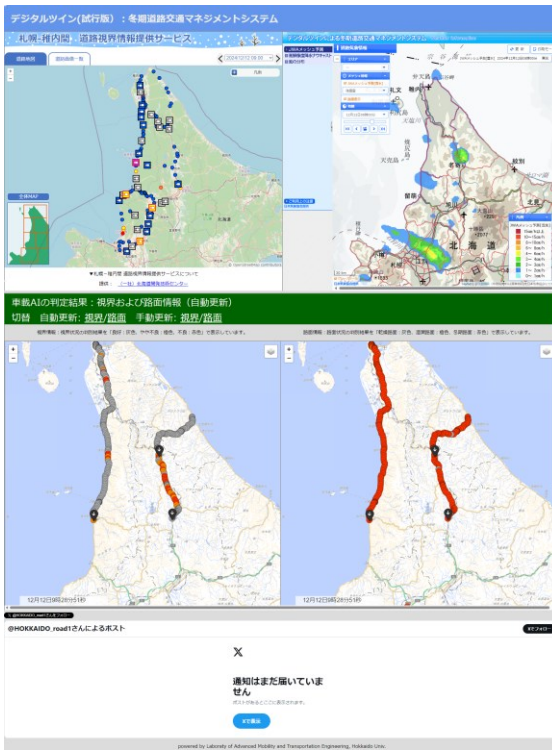


その他

(2) 実証実験の実施

- 令和6年12月から令和6年3月の期間で実証実験を行う。1次情報提供として、SNSであるX(旧Twitter)を用いてリアルタイム性の高い情報提供を行う。
- 令和6年度は、留萌・稚内の地域FM局の協力のもと、本システムで提供されている情報を活用した道路視界情報の提供をラジオを通じて行ってもらい、道路利用者の行動変容(経路変更、時間調整、取りやめ等)等の効果、や課題を整理する予定。

- 【情報提供内容】
- 1) 宗谷バスに設置した車載カメラから得られた視界状況
 - 2) 北海道開発技術センターによる、国道に設置されたCCTV画像を用いた道北・道央エリアの視界状況
 - 3) 日本気象協会北海道支社による、高解像度降水ナビキャスト、降雪量・吹雪視程・気温の1kmメッシュデータ、風向風速分布



【情報提供サイト画面】

行政機関等との連携

- 将来的な道路行政の現場への落とし込みを想定し、研究を進める上で適宜、行政機関(国土交通省北海道開発局、土木研究所寒地土木研究所、北海道等)と連携・意見交換を実施
- 北海道開発局 留萌開発建設部・稚内開発建設部と意見交換会実施済。12月下旬にも両開発建設部との意見交換会を実施予定。

民間企業等との連携

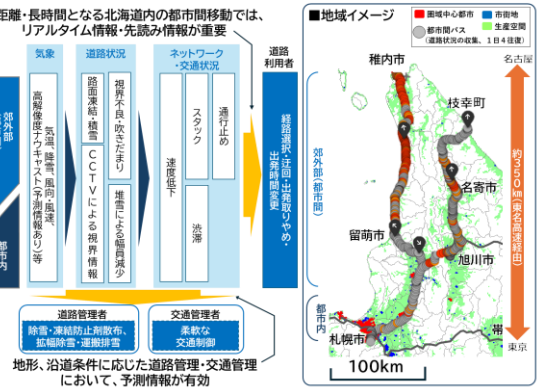
- 効率的、効果的な情報収集のため、協力企業(宗谷バス(株)などのバス会社、物流事業者等)との連携をはかっている。また、情報提供情報提供に対する協力企業・団体(道の駅、コミュニティFM等)との連携し、具体的な情報提供内容のニーズの把握や行動変容を把握。

学会等への参加状況

- 今年度も、第70回土木計画学研究発表会・秋大会(2024年11月15日~17日)にて、スペシャルセッションを立ち上げた。
- セッション名「デジタルツイン・情報技術による道路交通マネジメント 高橋翔(北海道大学大学院)」(11月16日(土) 09:00~10:30, 10:45~12:15)
- 今年度の論文投稿状況
 - IEEE 13th Global Conference of Consumer Electronics (GCCE2024)
 - 令和6年度 第1回 北海道ITS推進フォーラム講演会
 - 第44回交通工学研究発表会
 - 映像情報メディア学会 2024年冬季大会
 - 千歳市次世代モビリティを考えるシンポジウム
 - 第22回ITSシンポジウム2024
 - TRB Annual Meeting(2025)

令和5年度中間評価時における意見への対応

- 個別テーマ間の関係性を明らかにするとともに、研究開発全体のターゲットを明確にして研究開発を進めていただきたい。システムを適用する地域(都市・地方)や場面(平常時・異常時)等、現場での活用をイメージし、新たに何が実現するかを具体化して取り組んでいただきたい。
→冬期の北海道は、郊外部の視界不良等、都市内の幅員減少等の道路状況変化があり、都市間移動においては両者に対応したデジタルツインの構築が必要と考えている。(右図)
- テーマ1の「リアルタイムモニタリング車両・対象路線」やテーマ2などのシステム開発・実装系においては、仕様や要求水準をある程度明確にし、妥当性を判断して取り組んでいただきたい。テーマ2のデータ集積プラットフォームは、初期段階では安定的な稼働を目指し、拡張性を持たせつつも機能を絞り込むと良いのではないかと。
→令和7年度には他地域への展開などを見据え、仕様や要求水準についてこれまでに得た試行結果に基づいて明確にしていく。



- 「エッジコンピュータ」「アンサンブルデータ」等の道路管理者に不慣れな用語を、分かりやすく説明していただくようお願いしたい。
→今後、報告書で掲載する際に、留意する。