

道路政策の質の向上に資する技術研究開発

【研究状況報告書（2年目の研究対象）】

①研究代表者	氏名（ふりがな）		所属		役職	
	塩見 康博（しおみやすひろ）		立命館大学		教授	
②研究 テーマ	名称	特殊車両の折進可否判定の自動化と特車フリー道路ネットワーク計画手法の研究開発				
	政策 領域	[主領域] 新たな行政システムの創造		公募 タイプ	タイプIV（ソフト分野）	
		[副領域] 道路ネットワークの形成と有効				
③研究経費（単位：万円）	令和3年度	令和4年度	令和5年度	総合計		
※R3は精算額、R4は受託額、R5は計画額を記入。端数切捨。	4,964	4,942	4,764	14,670		
④研究者氏名	（研究代表者以外の主な研究者の氏名、所属・役職を記入。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）					
氏名		所属・役職				
Ali-Gul Qureshi		京都大学大学院・准教授				
Jan-Dirk Schmöcker		京都大学大学院・准教授				
島田 孝司		立命館大学・客員教授				
須崎 純一		京都大学大学院・教授				
坪田 隆宏		愛媛大学・講師				
中尾 聡史		京都大学大学院・助教				
服部 宏充		立命館大学・教授				
安田 昌平		東京大学大学院・助教				
山田 忠史		京都大学大学院・教授				

⑤ 研究の目的・目標

本研究は、国内における効率的で柔軟かつ安定した陸上輸送を実現するため、【テーマ1】特車に関する道路システムのDXに向けたデータベース（DB）の構築、【テーマ2】特車通行許可判定の自動化に資する技術の開発、および【テーマ3】特車フリー道路ネットワーク計画手法の開発に取り組むものである。各テーマの概要と相互の関係性を図1に示す。

【テーマ1】では、通行許可協議を行う行政担当者へのヒアリングを通して特車行政に関わる課題を精査するとともに、本研究で開発するシステムのユースケースの精査を行う（サブテーマ1-1）。さら

に、一般・特車DRMデータや道路情報便覧データ、特車通行許可申請データ、各種プローブデータなどを統合したDBを構築し、テーマ2・テーマ3での技術開発や、道路管理者の特車関連業務を支援するための可視化システムを構築する（サブテーマ1-2）。

【テーマ2】では、特車の折進可否とその条件判定、および折進軌跡描画を自動化するために必要な要素技術の開発を行う。具体的には、空中写真を用いて車道部、歩道や中央分離帯、路面標示などを自動識別して図面化する技術（サブテーマ2-1(1)）、および3次元点群データを用いて交差点構造を抽出する技術（サブテーマ2-1(2)）を構築する。また、設計車両毎の折進可否と通行条件を交差点特性値と対応させて学習することで、方向別の折進可否と通行条件を自動判定するモデルを構築する（サブテーマ2-2）。さらに、特車の自動車工学的な挙動をモデル化した上で、交差点内の通行可能領域における折進時の走行軌跡を描画して折進可否判定を行うモデルを構築する（サブテーマ2-3）。

【テーマ3】では、効率的な道路情報便覧の更新や交差点・道路改良を行うための計画手法を開発する。そのため、まず、商用車運行記録、ETC2.0等のプローブデータに基づき、特車の経路選択行動特性を分析、モデル化する（サブテーマ3-1）。それを踏まえた上で、特車に対応した道路ネットワークの改善を図る計画手法を構築する（サブテーマ3-2）。

これらを統合することで、特車の運行やそれに関わる諸手続の効率性改善に寄与することを本研究の目標とする。

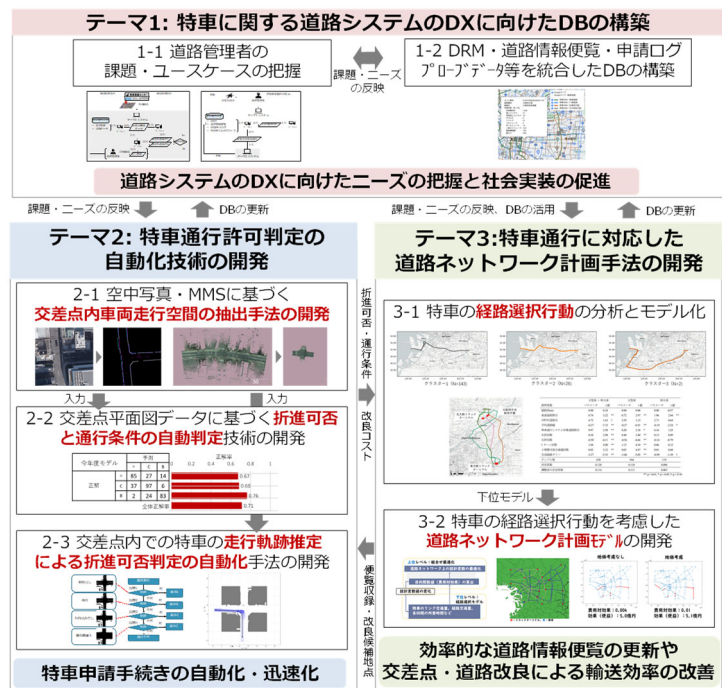


図1 本研究課題の全体像とテーマ間の関係

⑥これまでの研究経過

【テーマ1】

テーマ1では、特車に関わる行政上の課題を抽出するとともに、特車に関する諸データを統合したデータベースを構築する。これらは、本研究プロジェクトの行政上のニーズを把握し、かつ分析基盤を得ることを目的としたものである。

サブテーマ1-1：ヒアリング調査による特車行政の課題と提案技術のユースケースの検討

(1) ヒアリング・アンケート調査の概要

令和3年度に実施したヒアリング調査において、特車制度にかかる多くの課題が都道府県に集中している状況が示唆されたので、令和4年度は都道府県に焦点を当てた調査を行っている。

各都道府県を「自治体申請システム」を元に、A:本庁一括管理型／B:地方組織分散対応型に分類し、19の都道府県（A:7/15(47%)+B:12/32(38%)=全体:19/47(40%)）を候補として打診・相談しヒアリング対象として確定した。

都道府県の現場はいずれも極めて多忙なので、6～9月に事前に訪問し現況を伺った上でヒアリングの趣旨を説明し準備を進めて貰い、10～12月に本アンケート調査を行う段取りとした。

アンケートの主な項目を表1に一覧にする。各項目は事前ヒアリング時に回答可能性を確認し、また各現場での課題も盛り込んだ。いずれも選択式ではなく、自由記述で回答を求める方式とした。2022年12月16日現在、15の都道府県(A:3, B:12)から一次回答を得ている。なお、以降では道路情報便覧を単に便覧と略して記載する。

表1 ヒアリング項目の一覧

I 基礎的情報	便覧収録数、協議・申請数、職員数	
II 課題	① 便覧収録	市区町村道の交差点の課題、付随的な課題、道路台帳状況
	② 協議・申請	便覧収録不足の影響、超寸法・新規格車・クレーンの状況
III 事例	課題となっている具体的な交差点、市区町村の収録課題	
IV 研究	テーマ2・3に関する期待、ユースケース	
V その他	確認制度の影響・機体、全般的な課題	

これらヒアリング項目の中から本報告書では、「II 課題の① 便覧収録」について精査した結果を以下に述べる。ここで、分析対象としている都道府県道と市区町村道の交差点の便覧収録上の課題についての背景を説明する。

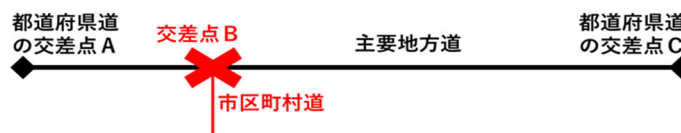


図2 便覧収録上の典型的課題

令和3年度調査により明確化された典型的な課題を図2に示す。これは、便覧収録されている主要地方道のスパンA-C上に市区町村道との交差点Bが実在するが、便覧には収録されていないケースである。令和3年度に認識した課題は、上位機関である都道府県が交差点Bを収録し、市区町村が下に

表2 「Ⅱ 課題 ①便覧収録」に関するアンケート項目の位置付け

	便覧収録		管理台帳の整備状況・信頼度		必要なツールや支援
	典型課題に関わる課題	付随する課題	道路台帳	橋梁台帳	
都道府県	項目1-a	項目2-a	項目3-a	項目3-b	項目4
市区町村	項目1-b	項目2-b	項目3-c	項目3-d	
地域	-	項目2-c	-	-	

伸びる市区町村道部分について同期をとって収録する必要があるが、市区町村側が収録しない、あるいは迅速に対応しないことがある、ということが課題であった。加えて、交差点Bを収録することによりスパン分割(図2中、A-BとC-B)が生じるので、これに伴う都道府県側の便覧更新の負担が大きい場合があることも課題であった。この負担の大小は道路台帳や橋梁台帳の整備状況・活用状況に影響されることが推察できたため、本アンケート調査において「Ⅱ 課題 ① 便覧収録」に関わるアンケート項目として確認した。

ここでの小項目は10個あり、表2にそれらの位置付けを表す。「便覧収録上の課題」に関しては、上記の典型課題そのものとそこから付随的に生じる課題に分け、各々都道府県側と市区町村側及び、地域の特性によるものに分けた。

(2) 回答結果の都道府県比較

まず、便覧収録にあたっての都道府県のもつ課題(項目1-a)を類型化した。その結果、主なものとして、①道路台帳の不備、②便覧更新作業・システムの負担、③便覧情報収集の負担、④市町村への働きかけや市町村道に関わる情報収集の負担、⑤異動による人材育成・引き継ぎ不足、⑥人員・時間不足、⑦財源不足、⑧専門知識の欠如、⑨過去の協議データベースの不在、に大きく分類できた。各課題を抱える都道府県数を、A:本庁一括管理型/B:地方組織分散対応型に分けて示したものが図3である。これより、最も課題に感じていることは市町村との関係であることが分かる。これは、都道府県は立場上、市町

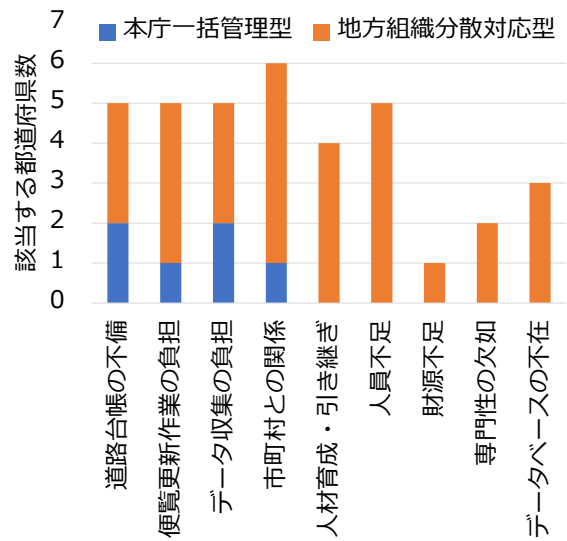


図3 便覧収録に関わる課題 (項目 1-a)

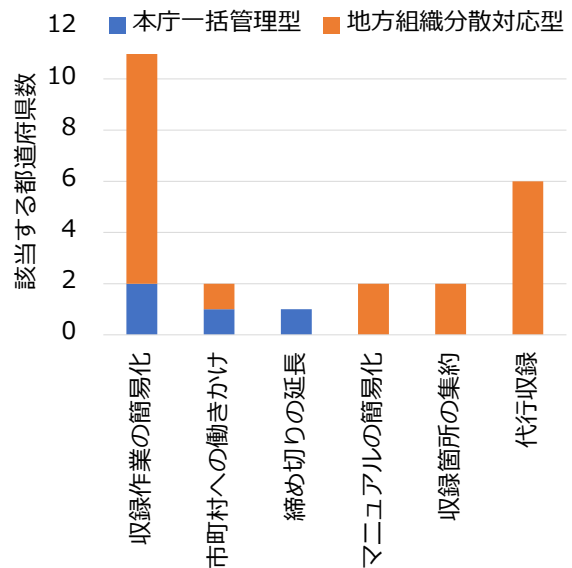


図4 必要なツール・支援 (項目 4)

最も課題に感じていることは市町村との関係であることが分かる。これは、都道府県は立場上、市町

村を指導する立場にはないものの、便覧の拡充のためには市町村の協力は必要不可欠であり、その関係性をマネジメントすることの難しさを反映したものと考えられる。また、人材・時間不足を挙げている都道府県は多いものの、財源不足を指摘する都道府県は1つだけであった。A:本庁一括管理型/B:地方組織分散対応型を比較すると、Aの課題は①～④のみに該当し、⑤～⑨には該当していないことが分かる。Aに属する都道府県のサンプルが少ないことによる可能性も考えられるが、Bの運用では、各事務所での担当者数に限りがあり、業務が属人的になっていることが示唆される。

次に、項目4に関して、便覧収録を進める上で望ましい支援やツールへの回答を類型化した結果、①収録に関わる補助ツール・作業の簡易化、②市町村への働きかけ、③作業時間の延長、④マニュアルの簡易化、⑤収録箇所の集約、⑥代行収録に分類された。その結果を図4に示す。多くの都道府県が、収録のための補助ツールの充実による作業負担軽減の必要性を訴えており、このことは本研究で開発する手法の有用性を示すものである。A:本庁一括管理型/B:地方組織分散対応型を比較すると、Bでは代行収録を希望する声がある一方、Aに該当する都道府県ではそのような回答は見られなかった。これは、Aの場合、作業が分担できる体制が整っているため、自前での便覧収録が可能であるためであると考えられる。

(3) アンケートにおける特徴的な回答

項目1-a,項目1-b,項目4に関して、上記には分類されない特徴的な自由記述回答を下記に示す。

a) 項目1-a

- ・都道府県側が市区町村の収録を代行し、人員不足に陥るなど負のスパイラルに陥っているケースがある
- ・協議にかかる負担と収録にかかる負担のジレンマの中で調整し悩んでいる様子が窺える
- ・都道府県管理道路に関して、未収録より既収録情報の精度向上を課題視している

b) 項目1-b

- ・タイプA/Bともに個別審査の多い箇所を重点的に収録したいという希望は共通する
- ・市区町村への働きかけとしては、タイプAの多くが働きかけている一方、タイプBでは約半数が働きかけていない（道路管理者として対等であることなどが足枷になっている模様）
- ・タイプBでは地域間での密着度が高く、市区町村との良好な関係性の構築に注力する都道府県もある
- ・収録の必要な箇所が多いことを伝えると逆に収録を見送られる状況がある

c) 項目4

- ・タイプA/Bともに簡易軌跡図の折進角度のパターン追加を希望する都道府県がある
- ・国道事務所が管理する国道に接続する未収録交差点に絞った調査を希望する例がある
- ・算定システムの仕様に関して、自治体版を直轄版に合わせて欲しいという要望がある

サブテーマ1-2：特車関連データのデータベース化と可視化

一般・特車DRMデータや道路情報便覧データ、特車通行許可申請データ、各種プローブデータな

どを統合したDBを構築し、テーマ2・テーマ3での技術開発や、道路管理者の特車関連業務を支援するための可視化システムを構築するため、これらのデータを相互に参照可能な対応表の作成及びデータベース上のディレクトリ構成案の作成を行った。作成した対応表及びディレクトリ構成案に基づいて、道路情報便覧データに格納されているスパン諸元等の情報やETC2.0により取得した実際の走行経路情報、申請ログ、そして経路選択モデルより算出された理論的な選択確率等を比較可能とするため、これら全ての情報が相互参照可能とした状態で各種データを格納したデータベースを現在構築している。これにより、データベース上で任意の一般DRMリンクまたは特車DRMリンクを指定することで、道路情報便覧データ、実際の走行経路情報、申請ログ、一般・特車DRMネットワークベースで行われた各種解析結果へ高速にアクセスすることが可能となる。

上記で作成した対応表およびディレクトリ構成案を活用し、GIS上に表示されたネットワークデータをベースとして各種情報を表示可能な可視化システムのプロトタイプを構築した。図5は特車DRMをベースとして申請許可件数を可視化したものである。可視化のベースは一般DRMに変更することも可能である。現在は、GIS上で指定されたリンク・ノード・表示させる情報の組み合わせに対応する集計データをデータベース上で探索し、GIS上に表示させるインタラクティブな可視化システムの実装を目指しているところである。

【テーマ2】

テーマ2は交差点・道路空間を諸データから定量化し、特車の通行可否判定を支援する技術を開発するものである。

サブテーマ2-1：交差点内の車両走行空間の抽出

(1) 空中写真を用いた交差点構成要素のセグメンテーション

昨年度は地上解像度5cmの航空写真を用いて、セマンティックセグメンテーションにより交差点の構成要素（背景・車道・歩道・区画線・中央分離帯・横断歩道・停止線・ゼブラゾーン・自動車・その他白線・その他オクルージョン部分）をピクセルレベルで自動識別する手法を開発した。この結果は、車両通行可能空間を抽出し、のちのサブテーマ2-2、サブテーマ2-3で行う折進可否の自動判定モデルのインプットとして用いることを想定しているが、識別精度が折進可否判定に大きな影響を及ぼすと考えられる。また、地上解像度5cmの空中写真ではなく、国土地理院の収集した航空写真やgoogle mapの衛星画像に対してセグメンテーションを行った場合には、十分な識別精度



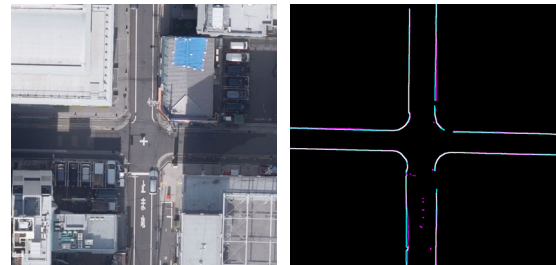
図5 申請許可件数の可視化

が得られないという課題があった。そこで、今年度は、(i) 学習用データの拡充による精度向上、(ii) 識別精度への影響要因の特定、および(iii) 低解像度画像の加工によるセグメンテーション精度改善の可能性の検討に取り組んでいる。

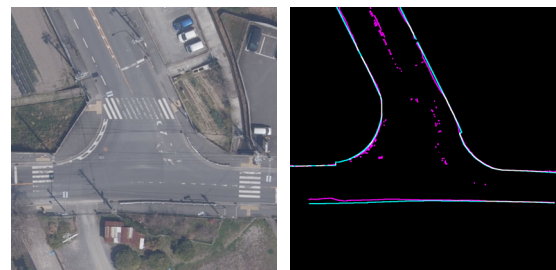
(i)に関しては、これまで400地点の交差点を学習用データとして用いていたが、新たに200地点のアノテーション画像を作成している。

(ii)に関しては、精度検証用に用いた48地点について、決定木分析を用いることで、構成要素ごとのIoU (Intersection over Union) 指標に影響を及ぼす交差点特性の検証を行った。とりわけ、特車の折進可否を判定するためには、車道と歩道、あるいは車道と民地の境界線を適切に判定する必要がある。そこで、セグメンテーション画像にモルフォロジー変換を適用して境界線を抽出し、正解画像と推定画像における境界線の重複率 (IoU) を求め、それへの影響要因を分析した。その際、許容する誤差を5cmから25cmまでの5cm間隔で設定し、それぞれで検証を行った。図6に10cm以内の誤差を想定した場合の境界線抽出結果の例を示す。図中の水色線は正解、ピンク線は推定結果、白線は正解と推定の重複部分を表している。これより、概ね適切に境界線を抽出できてはいるものの、推定値には一定のノイズが含まれている他、多少のズレがあることが見受けられる。次に、精度への影響要因を把握するため、IoU値を目的変数、画像に含まれる各交差点構成要素のピクセル数の割合、角地の土地利用や車線数など交差点特性を表した変数を説明変数とし、決定木分析を行った。その結果を図7に示す。これより、歩道部分の割合が低く、画像内に含まれる車両の割合が高くなるほど精度が低くなるのが分かる。また、最下層では角地が公園・緑地帯となっている場合に精度が下がることが分かる。

(iii)に関しては、敵対的生成ネットワーク (GAN) を用いて、汎用性の高い空中写真から地上解像度5cmの航空写真に相当する解像度、およ



(a) 都市部の例



(b) 郊外部の例

図6 境界線の抽出

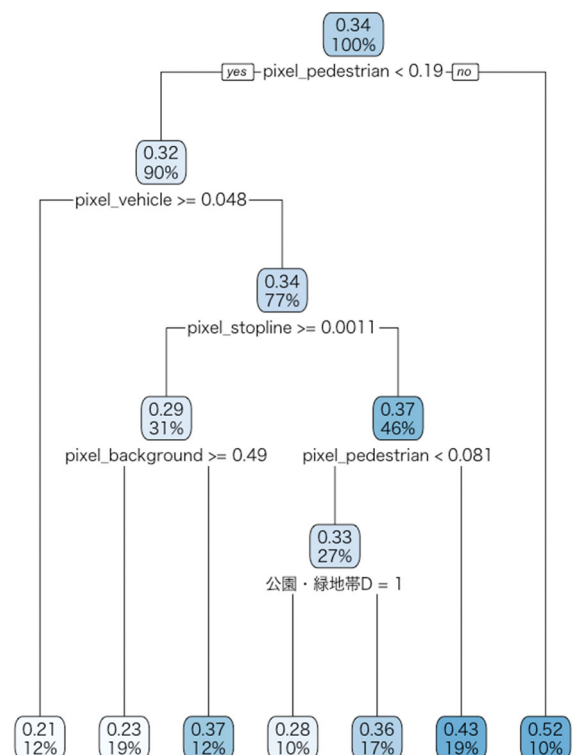


図7 境界線のIoUへの影響要因

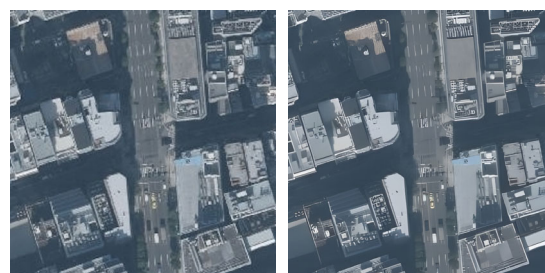
び色調の画像を生成し、それに対してセグメンテーションを行う手法の開発を行っている。図8に示すとおり、GANによって高解像度化、色調変換が可能であることは明らかとなっており、セグメンテーション精度の向上が期待される。

(2) 3次元点群データを用いた交差点の抽出

本研究は、MMS (Mobile Mapping System)データを用いて各交差点の位置と各交差点の平面図を自動的に抽出し、折進条件の自動判定に必要な交差点属性を推定する手法を構築するものである。今年度、アルゴリズムの構築は完了し、2つの道路区間に適用した結果、良好な結果が得られることが判明した。更なる有効性の評価のために、他の交差点での抽出結果の検証を予定している。また、トンネル構造の抽出アルゴリズムの構築も完了し、3本のトンネルに対して適用した結果、こちらも妥当な結果が得られると判明した。

まず、交差点の抽出手法について詳しく説明する。各交差点の位置を決めるためのステップとしては、道路境界線を抽出し、セクションに分割し、各セクションの道幅を計算する。道路が連続する場合には道幅に大きな変化はないが、交差点周辺では道幅が急激に変化する。その幅員の差を利用し、交差点の位置を抽出する。そのためには道路境界線の抽出が重要になる。本研究の手法として、道路断面の形状を利用し、道路部分とそれ以外の部分を分離する。排水溝があるため道路断面は図9に示すように、2つの側線が低く、中央部が高い凸面になっている。この特徴を利用し、RANSAC (Random sample consensus)アルゴリズムを用い、道路平面を他の平面と分離し、道路境界線を抽出できる。具体的な処理としては、道路を小さなセクションに分割し、各セクションを直線と見なし、RANSACを適用すれば道路平面を抽出できる。そして、各区間の最大道幅を計測し、所定の閾値以上のセクションを交差点エリアとして抽出する。

提案手法を徳島県内の全長約1.3 kmの4つの交差点が含まれている道路MMSデータ (図10) に適用した。その結果、実際の交差点が4箇所、非交差点が1箇所の合計5箇所が抽出された。次に、交差点平面図を取得するために、異なるパラメータを利用し、同じ方法を4つの交差点エリアに適用した。抽出された平面図は実際の道路境界線に近く、良好な結果となった。最後に各交差点の道幅を抽出



(a) 高解像度化



(b) 色調の変換

図8 GANの適用結果
(左：元画像、右：GAN適用後)

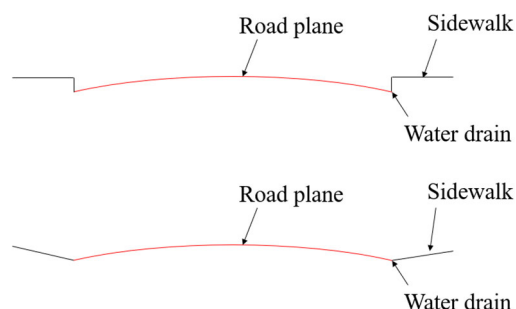


図9 道路断面の形状

し、実際の値と比較したところ数cmの誤差と十分な精度が得られた。同じ手法を青森県の道路に適用した結果を図11、図12に示す。図11は道路平面を他の平面と分離した結果である。

図10に示すように、MMSデータには交差点抽出にとってノイズとなる不要なデータが多数含まれている。図11では道路以外を処理することで道路境界線が明確になり、建物や歩道などのノイズの大半が除去された。その後、道幅を利用して交差点位置を決め、図12に示すように交差点の平面図が抽出された。

最後に、トンネルの抽出作業を説明する。交差点抽出の手法と一部重なり、まずは小さいセクションに分割する。各断面を図13に示す。次に、3次元点群を2次元平面に投影し、RANSACを利用してトンネルの半円形部分を抽出する。抽出結果を図14に示す。道路の抽出結果と合わせることで、トンネルまでの通行可能な高さの計測が可能になる。

サブテーマ2-2：交差点諸元による特殊車両の折進可否判定モデル

昨年度構築したニューラルネットワークモデルによる交差点折進可否判定モデルの精度向上に向けた検討と、入力データの感度分析を実施した。具体的には、モデルの学習に使用する

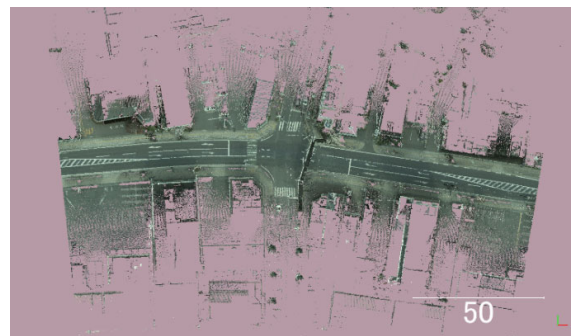


図10 MMS データ

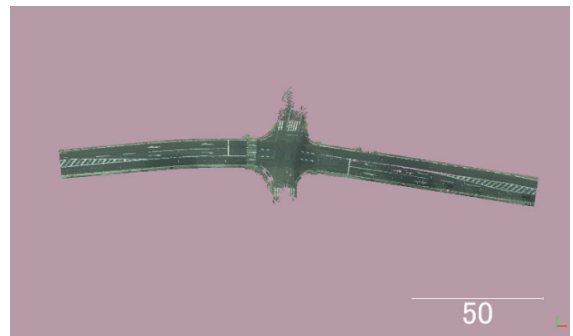


図11 抽出した道路平面

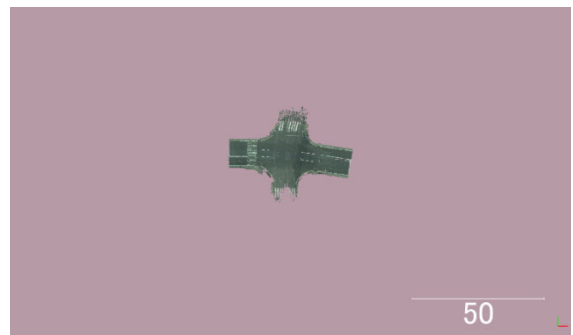


図12 抽出した交差点平面

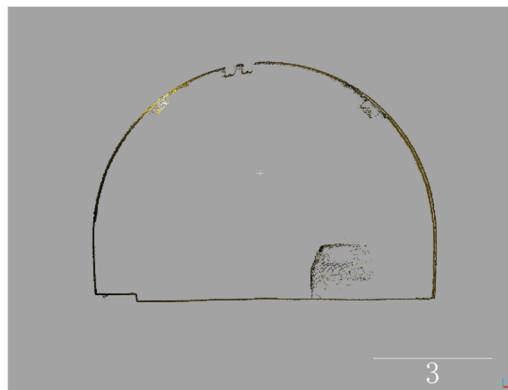


図13 トンネルの断面

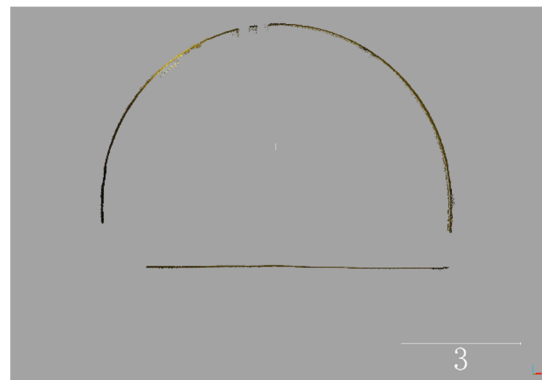


図14 トンネルの抽出結果

折進可否判定の正解データの見直しと、分析対象交差点の拡充をした上で、新たに収集したデータセットを用いてニューラルネットワークモデルを構築した。また、サブテーマ2-1で重点的に着目すべき交差点構成要素を明らかにするために、構築したモデルに対して入力データの感度分析を実施した。

はじめに、昨年度モデルで正解データに用いていた道路情報便覧（以下、「便覧」）の折進可否情報と、特殊車両通行許可に関わる電子データの収集支援ツール（以下、「軌跡ツール」）を用いた分析者による折進可否判定結果を比較したところ、217交差点1,247折進のうち、3割以上の410折進について便覧の情報と軌跡ツールによる判定結果が異なることが分かった。便覧の折進可否情報は、交差点の幾何構造上の制約に加えて、交通規制情報等を加味して付与される為であると推察される。また、便覧記載の折進判定時期と、軌跡ツール内の交差点撮影時期が異なる可能性も考えられる。本技術開発では、交差点の幾何構造に基づく折進可否判定を目指しているため、便覧の折進可否情報は使用せずに、軌跡ツールによる折進可否判定情報を用いてモデルを作成する方針とした。

次に、多様な交差点形状を可能な限り網羅でき、かつ折進可否分類のバランスを配慮しつつ交差点を選定し、モデル構築に使用する交差点諸元情報を収集した。収集データは、昨年度と同様に、交差点面積、停止線間距離、流入/流出道路幅員、中央分離帯/歩道部の侵入可否、折進角度等であり、いずれもGoogle EarthとGoogleストリートビューから判読した。正解データとなる折進可否判定については、前述の通り、分析者が軌跡ツールを用いて、国土交通省：調査資料作成マニュアルに記載の手順に従って車両分類・折進毎に作成した。最終的に、愛媛県、香川県、高知県等から217交差点を対象に、1,247方向の折進可否と交差点構造を対応付けたデータセットを作成した。

続いて、ニューラルネットワークモデルによる交差点折進可否判定モデルを構築した。ハイパーパラメータは昨年度モデルと同様のものを採用し、新たに収集したデータセットを用いて学習した。学習に用いていないテストデータによる精度検証結果を図15に示す。また、比較の為に昨年度モデルの結果を図16に示す。今年度モデルでは全体正解率が71%と、昨年度モデルの57%を大きく上回る結果となった。また、クラス別正解率においても×とB判定の折進に対しては大幅に正解率が向上している。これらの精度向上の一因は、学習データの拡充によるものと考えられる。一方、C判定の折進については正解率が大きく低下するとの結果となった。しかしながら、C判定の誤答のうち、8割以上の37ケースについては×判定への誤答となり、安全側への誤りあるため、運用上の懸念は低いと考えられる。今後は、危険側への誤答ケースを最小化するよう改良を進める予定である。

最後に、感度分析結果を図17に示す。全入力データを学習に使用したモデルと、いずれか1つの入力を除外して学習したモデルの正解率を比較したところ、幅員、折進角度、停止線間距離、および交差点面積がモデルの正解率に強い影響を与えていることが明らかとなった。今後は、サブテーマ2-1で抽出された交差点構成要素情報から、これらの諸量を自動抽出するアルゴリズムの開発が必要であると考えられる。

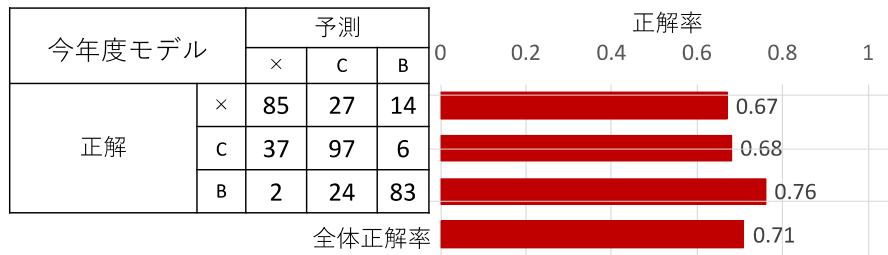


図 15 今年度モデル クラス別正解率

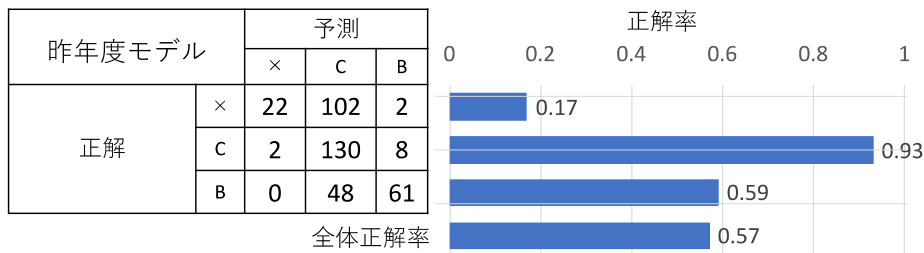


図 16 昨年度モデル クラス別正解率

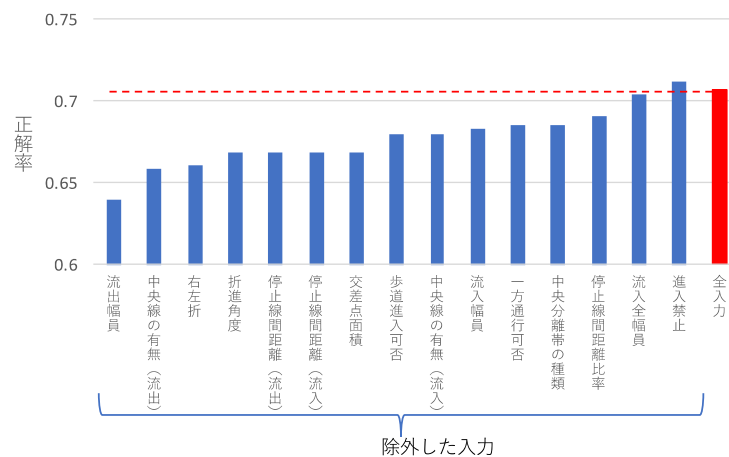


図 17 折進可否判定モデル感度分析

サブテーマ2-3：交差点内での特車の走行軌跡推定による折進可否判定の自動化手法の開発

(1) 空撮画像にもとづく車両走行軌跡の自動抽出

実際の交通環境における特車の走行の実態を把握・分析するための、交差点内走行軌跡のデジタルデータ化に関して、前年度開発した手法に基づく精度向上、ならびに多経路の走行軌跡推定の実現を試みた。

提案手法の手続きは、従来、1) 深層学習に基づくオブジェクト検出、2) オブジェクトに関する新規検出・既検出の判別、3) 軌跡生成であった。今年度は、まず、1) のオブジェクト検出に関連し、新たな動画が撮影されたことを受けて、特車、および交差点環境に特化した学習用データセットを作成し、ニューラルネットワークのトレーニングを実施した (図

18)。また、オブジェクト検出アルゴリズムを最新のYoloV7に移行し、検出精度の向上を図った。本軌跡生成手法により、特車の走行経路のデジタルデータを低作業コストで蓄積できる。

また、走行軌跡の推定に関連した手法の拡張を行った。ここでは、任意の時点での車両の状態（それまでの走行経路、速度などの物理情報）を基に、2秒後までの走行経路を最大5つ推定し、出力する事とした。図19には推定軌跡を赤で出力しており、またその中で最も走行可能性が高い経路を黒で表示している。この推定走行経路情報を蓄積することにより、交差点内の各地点に関して、特車の通過可能性を知ることができ、推定経路のシーケンスをたどることで、交差点進入時からの最尤走行経路を求めることも可能である。

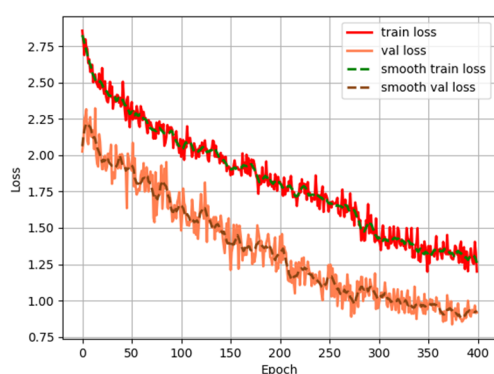


図18 物体検出モデルのロスプロット

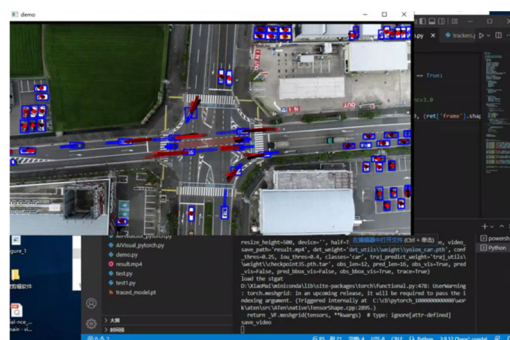


図19 走行軌跡の抽出結果

(2) Path Findingアルゴリズムを用いた折進条件の自動判定

昨年度はPath Findingアルゴリズムの1つであるHybrid A*アルゴリズムを適用し、交差点内の車両走行空間内で対象車両が折進する軌跡を推定する手法を構築した。今年度は、この手法に基づき、サブテーマ2-1(1)で用いた交差点のセグメンテーション画像を用いた折進条件の自動判定アルゴリズムを構築した。具体的には、交差点画像中の背景・中央分離帯・区画線（センターライン）・区画線（車線区分線）を特車通行上の障害物としてグリッドマップを作成したものを段階1（制限無し）、段階1から区画線（車線区分線）を削除したものを段階2（徐行）、段階2から区画線（センターライン）を除去したものを段階3（対向はみ出し）、さらに段階3から歩道を除去したものを段階4（隅角部侵入）とし、各段階において折進軌跡を自動描画することで折進の可否を判定し、折進が可能となる段階に応じて図20に示すように折進条件を判定する。13交差点26折進に適用し、本手法で判定された折進条件と軌跡ツールを用いて判断した折進条件、および便覧に登録されている折進条件を比較した結果を表3に示す。これより、本手法の判定結果は厳しめになる傾向はあるものの、概ね適切な判定が可能であることが示された。

また、図21に示すとおり、本手法はサブテーマ2-1(1)の手法で空中写真から推定したセグメンテーション結果を用いても軌跡の描画が可能であることを確認している。今後は、トラクター・トレーラーなど多様な車種への適用を進める予定である。

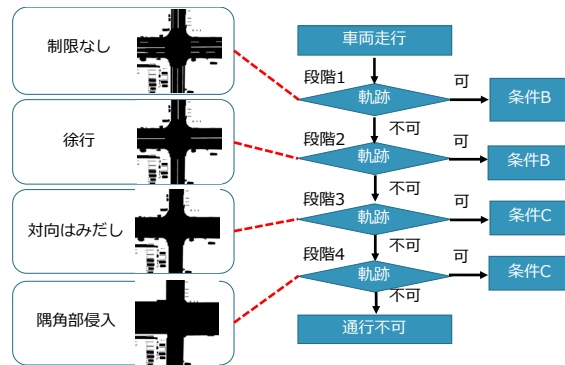
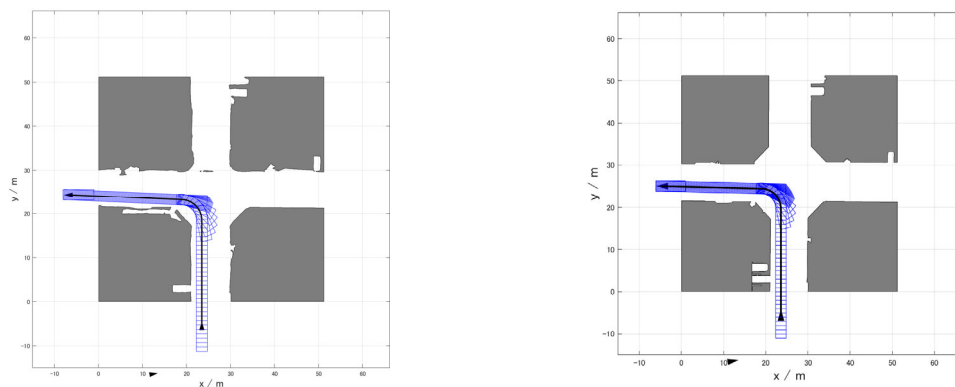


図 20 判定アルゴリズムのフロー



(a) 推定画像に基づく軌跡

(b) 正解画像に基づく判定

図 21 自動軌跡描画による折進判定

表 3 各手法の折進条件判定結果の比較

交差点		提案手法	軌跡ツール	便覧登録
交差点 1	折進 1	C	C	B
	折進 2	C	B	B
交差点 2	折進 1	C	C	B
	折進 2	C	B	B
	折進 3	C	C	B
	折進 4	B	B	B
交差点 3	折進 1	C	C	B
	折進 2	B	B	B
	折進 3	C	C	B
	折進 4	B	B	B
交差点 4	折進 1	C	B	B
交差点 5	折進 1	B	B	B
交差点 6	折進 1	C	C	B
	折進 2	C	C	B
	折進 3	C	C	B
	折進 4	C	C	B
交差点 7	折進 1	B	B	B
交差点 8	折進 1	C	C	B
交差点 9	折進 1	C	B	B
	折進 2	C	B	B
交差点 10	折進 1	C	C	B
交差点 11	折進 1	C	B	B
	折進 2	C	C	B
交差点 12	折進 1	C	C	B
交差点 13	折進 1	C	B	B

(3) 特車折進軌跡の空撮データに基づくPath Findingアルゴリズムの妥当性の検証

上記のHybrid A*アルゴリズムで示された折進軌跡は必ずしも実際の走行軌跡と整合していると

は限らない。また、実際の折進軌跡はドライバーによるばらつきがあり、必ずしも想定している折進条件を満たしているとも限らない。そこで、今年度はUAV（Unmanned Aerial Vehicle）を用いた交差点における特車の折進軌跡データの収集を行った。

図22は、2022年11月30日に調査を行った滋賀県東近江市妹北交差点を対象に、MTC社製の軌跡描画ツールで12mの普通自動車を想定して描画した南アプローチから西アプローチへの走行軌跡を示したものである。当該交差点では計12台の特殊車両の同方向の折進を観測した。なお、サンプル数の関係上、ここでは車両諸元の違いは考慮していない。上流地点、下流地点それぞれに観測断面を設定し、各車両の右前輪の通過位置（道路縁石からの画像内ピクセル距離）を計測した。その累積分布と断面上の中央線位置、および軌跡描画ツールで描いた折進軌跡における右前輪位置を図23に示す。当該の交差点は便覧には登録されておらず、個別に判定されている地点であるが、軌跡描画ツールでは対向はみ出しなく折進できるものの、多くの車両で対向車線にはみ出して走行されている実態が分かった。折進条件の判定にあたっては、これらの点に留意が必要であるといえる。

今後は、UAVで観測した地点を対象に、上記の折進軌跡自動描画ツールを適用した際の軌跡と実際の折進軌跡の比較を行う予定である。

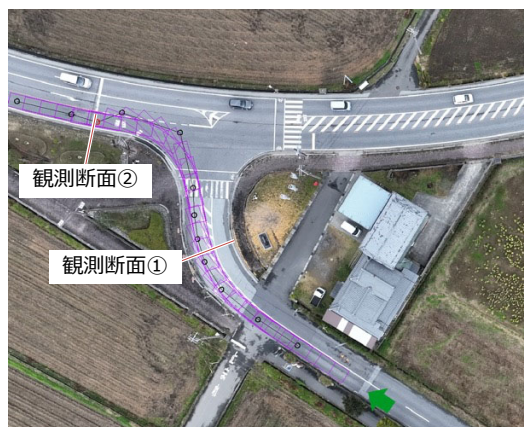
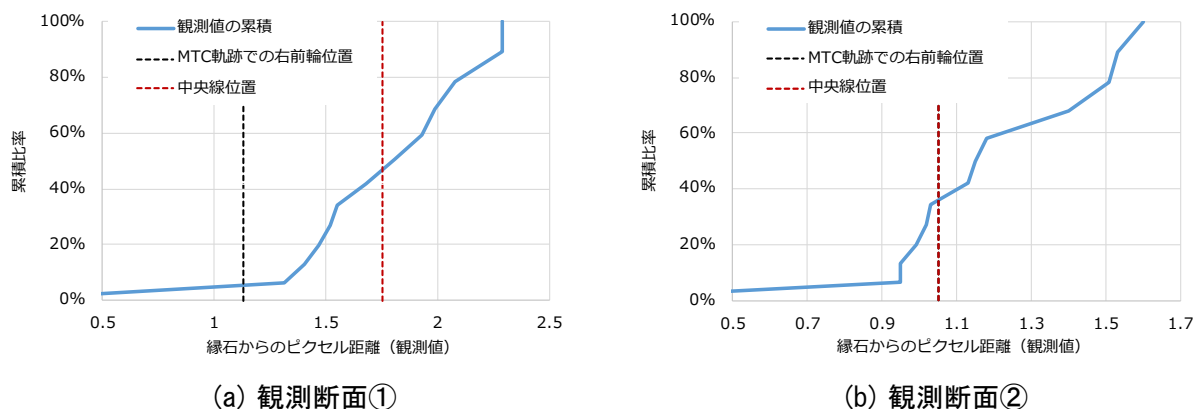


図22 妹北交差点



(a) 観測断面①

(b) 観測断面②

図23 断面通過時の右前輪位置

【テーマ3】

サブテーマ3-1：特車の経路選択行動特性の分析とモデル化

特車の経路選択特性を把握するため、ETC2.0車両区分における特大車と大型車の商用車プローブ

データを用いた分析を行った。対象期間は2020年9月1日から2020年11月30日までの3か月、対象エリアは図24に示す二次メッシュ10区画分である。ユニークな車両台数は、特大車、大型車のそれぞれ3,690台、17,710台である。

(1) 走行軌跡クラスタリングによる経路選択影響要因の分析

商用車プローブデータを用いて、QuickBundlesアルゴリズムに基づいた走行軌跡クラスタリングを行うことで、選択されやすい経路群と選択されにくい経路群に分類した上で、経路選択影響要因を検証した。走行軌跡クラスタリングで分類した結果の例を図25と表4に示す。経路数に着目すると、クラスター1が最も選択されていることが確認できることから、クラスター1を選択されやすい経路群、クラスター2とクラスター3を選択されにくい経路群として分類した。選択されやすい経路の特性を把握するため、選択されやすい経路群(=1)、選択されにくい経路群(=0)の二値変数を従属変数とした、2項ロジットモデルを用いた分析を行った(表5)。この結果から、特大車と大型車は、右左折や交差点が少ない経路、平均速度が高く平均交通量が少ない経路、車線数が多く中央分離帯が少ない経路を選択する傾向にあることが確認された。

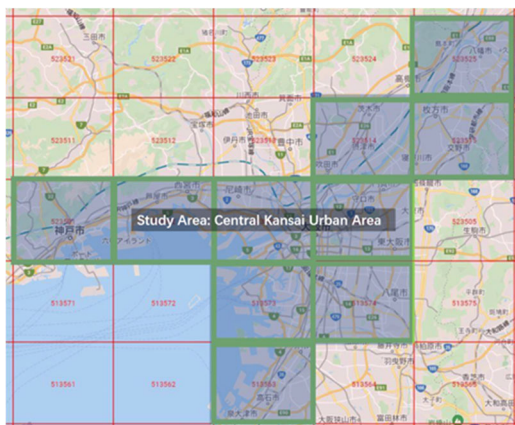


図24 商用車プローブデータのエリア

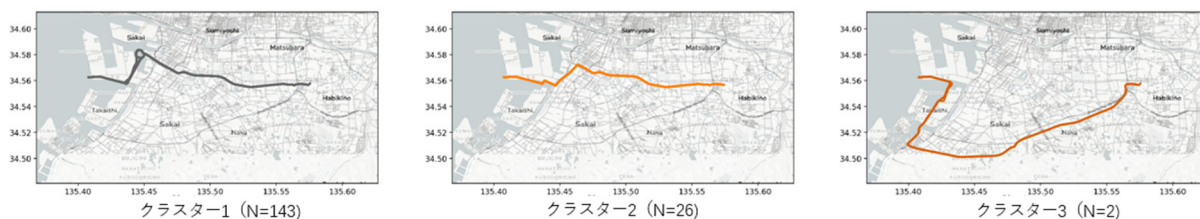


図25 走行軌跡クラスタリングの例

表4 走行軌跡クラスタリングの結果の内訳

クラスター	経路数	経路長	所要時間	大型車割合 (%)	道路管理者別の通過距離割合 (%)					
					西日本高速道路	阪神高速道路	国道	都道府県道	市町村道	その他
1	143	16258	2233	97.90%	-	1.75%	16.31%	64.48%	2.08%	15.38%
2	26	15456	1693	92.31%	-	-	22.57%	59.21%	1.93%	16.28%
3	2	24679	2080	100.00%	28.61%	19.59%	19.06%	23.31%	-	9.44%

表5 二項ロジットモデルの推定結果

	係数	標準誤差	P値
切片	2.9892	0.2425	<0.0001
左折	-3.2092	0.2102	<0.0001
右折	-1.6419	0.2023	<0.0001
Uターン	2.9933	0.4942	<0.0001
合流地点	-9.4811	0.8663	<0.0001
分岐点	6.0480	0.8620	<0.0001
大規模交差点	-0.4654	0.0576	<0.0001
中規模交差点	-1.1743	0.0930	<0.0001
小規模交差点	-1.6220	0.0731	<0.0001
平均速度	0.0392	0.0114	0.0006
平均車線数	1.1657	0.1111	<0.0001
平均幅員	-0.1424	0.0283	<0.0001
中央分離帯率	-1.2509	0.2143	<0.0001
高速道路率	-5.1706	0.8362	<0.0001
平均交通量	-0.0490	0.0034	<0.0001

N = 9889, R² = 0.238

(2) 商用車プローブデータを用いた特殊車両の経路選択モデルの構築

特大車、大型車の選択経路特性を把握するため、北大阪トラックターミナル周辺と東大阪トラックターミナル周辺を発着とする経路を対象に、多項ロジットモデル（MNLモデル）を用いた分析を行った。商用車プローブデータから得られる経路選択肢に加えて、リンクペナルティ法を用いて新たな経路を生成し、実際の車両が選択しなかった経路としてMNLモデルに加えた（図26）。大型車と特大車を区別しないモデル、大型車のみを対象としたモデル、特大車のみを対象としたモデルの推定結果を表6に示す。その結果、特大車は、大型車と比較して、高速道路を選択しやすい傾向や、左折よりも右折を選択しやすい傾向にあることが確認された。今後は、特殊車両の経路選択特性を把握するため、ETC2.0や道路情報便覧を使用して分析を進めていく予定である。

サブテーマ3-2：特車の経路選択特性を考慮した道路ネットワーク計画モデルの開発

今年度は、上位レベルの組合せ最適化問題の解法の精緻化を中心に検討を行い、試行的に

簡易なケーススタディを行った。

モデルの基本構造は図27の通りである。上位レベルの設計変数は既存の交差点やリンクにおいて特車の通行が可能となるか否かなどの離散0-1変数であるため、上位レベルの離散型ネットワーク設計は、組合せ最適化問題となる。また、その解法は、下位レベルの経路選択モデルの影響を受けるが、経路選択モデルが複雑となる場合や対象とする道路ネットワークのサイズが大きい場合を想定して、高速で高精度な近似解法の一つであるMPBPSO (modified Probability-based discrete Binary PSO) を改良したMPBPSO-MSTF (Modified Probability-based discrete Binary Particle Swarm Optimization with Modified S-shaped Transfer Function)の適用を検討し、計算性能、計算時間の向上を確認した。

実際に、問題サイズを180箇所の子二値最適化とした仮想問題を設定し、パラメータ推定を行った上で、大阪府の高速道路と国道をモデルとしたネットワーク (図28) を対象として、港湾とトラックターミナル間の輸送を想定したケーススタディを試行した。目的関数は、費用対効果 (道路や交差点の改良費用に対する特車のみのコスト削減効果) の最大化として、輸送コスト、交差点・道路改良コスト、認識一般化費用を適宜設定し、どの道路や交差点を改良するのがよいかという組合せ問題を求解した。ケーススタディの一例として、効果 (便益) 下限を5億円と設定した場合の結果を図29に示す。赤線、赤点は、それぞれ改良候補として選ばれた道路、交差点である。なお、現段階においては、下位モデルとして既往研究の経路選択モデルを採用しているが、今後はテーマ3-1で構築された経路選択モデルを用いた分析を行う予定である。

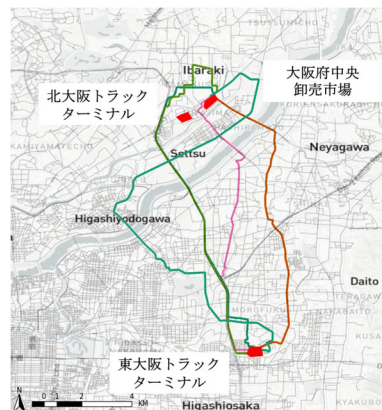


図26 リンクペナルティ法によって生成した経路

表6 MNLモデルの推定結果

説明変数	大型車 + 特大型車		大型車		特大型車	
	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値
経路長(m)	0.00	0.24	0.00	0.08	0.00	-0.57
高速道路割合	0.74	3.22 **	0.72	2.97 **	1.96	2.84 **
市町村道割合	4.72	1.63 †	3.39	1.13	2.71	0.64
平均道路幅	-0.27	-7.15 **	-0.27	-6.91 **	-0.19	-2.24 *
特車通行システム対象道路割合	9.97	2.58 **	8.20	2.18 *	6.16	1.25
左折回数	0.34	2.98 **	0.40	3.40 **	0.13	0.89
右折回数	-0.50	-4.11 **	-0.56	-4.66 **	-0.14	-0.79
Uターン回数	1.04	4.00 **	1.13	4.34 **	0.06	0.12
小規模交差点通過回数	0.02	3.12 **	0.03	4.47 **	0.01	0.68
生成経路ダミー	-3.27	-5.35 **	-3.48	-5.85 **	-0.99	-1.39 †
サンプル数	630		544		119	
決定係数	0.120		0.118		0.096	
調整済み決定係数	0.114		0.111		0.063	

** : p < 0.01, * : p < 0.05, † : p < 0.10

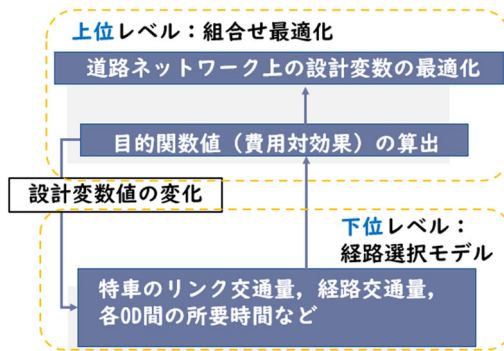


図27 モデルの基本構造

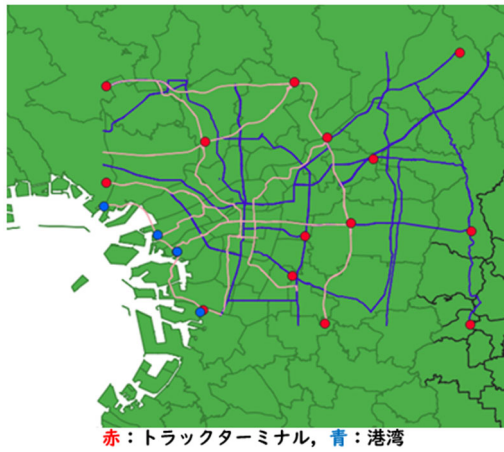


図28 大阪府をモデルとしたネットワーク

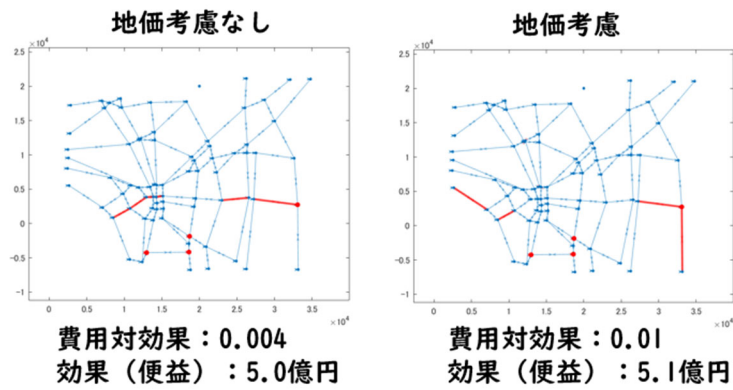


図29 結果の一例

⑦研究成果の発表状況

1. Yufeng Gong and Junichi Susaki: Extraction of crossroads area utilizing MMS data, 第47回土木情報学シンポジウム, 2022.
2. Yufeng Gong, Junichi Susaki, Kakuya Matsusima, Hitomu Kotani: Automatic extraction of crossroads position from MMS data, 第66回土木学会土木計画学研究発表会, 2022.
3. 島津 弘輝・坪田 隆宏・中谷 勇太・塩見 康博: 交差点諸元による特殊車両の折進可否判定モデルの構築, 第66回土木学会土木計画学研究発表会, 2022.
4. Yue Ma, Jan-Dirk Schmöcker, Wenzhe Sun, Satoshi Nakao, Tadashi Yamada, Ali Gul Qureshi: Analysis of influencing factors in oversize truck route choice using GPS trajectory clustering, 第66回土木学会土木計画学研究発表会, 2022.
5. 松岡直・Jan-Dirk Schmöcker・西垣 友貴・中尾 聡史・山田 忠史・Ali Gul Qureshi: 商用車プローブデータを用いた特殊車両の経路選択特性に関する基礎的検討, 第66回土木学会土木計画学研究発表会, 2022.
6. 志野有・塩見康博: Path planning modelを用いた特殊車両の折進可否判定の自動化, 第66回土木学会土木計画学研究発表会, 2022.
7. 島田孝司・塩見康博・中尾聡史: ヒアリング調査に基づく地方自治体における特殊車両通行許可制度の実務課題に関する研究, 第66回土木学会土木計画学研究発表会, 2022.
8. 志野有・塩見康博: 交差点における特殊車両の折進条件の自動判定アルゴリズム, 第20回ITSシンポジウム, 2022.

⑧研究成果の活用方策

(1) 実務への適用に向けた活用方法・手段・今後の展開等

2022年4月1日より特殊車両通行確認制度（以降、「特車確認制度」とよぶ）の運用が開始された。この制度は、申請者がシステム上でODを入力すると、それに関わる通行可能な経路をオンラインで確認し、通行許可を出すものである。経路探索にあたっては、道路情報便覧に登録されたデータが用いられるため、いかに効率的に道路情報便覧をアップデートしていけるか、が本制度の有効性を高めるために重要となる。

この特車確認制度に対応する本研究の貢献は図30に示す通りである。すなわち、本研究のテーマ2の技術を用いることで、道路管理者による通行経路に含まれる交差点での折進確認作業の簡略化、および道路情報便覧DBへの登録作業の簡略化が可能となる（技術の活用イメージを図31に示す）。また、本研究のテーマ1で構築するデータベースを用いることで、道路情報便覧DBに優先的に登録すべき交差点の可視化するとともに、テーマ3で構築する計画モデルによって、経路選択上のボトルネックとなっている箇所を特定することが可能となる（図32参照）。以上をもって、本研究で構築した技術を活用し、特車確認制度の運用の効率化、ひいては特車行政のDXを実現することを目指す。

本研究は各要素技術の開発と精度向上を図るものであるが、今後の実用化に向けては、さらなる精度向上を目指すとともに、提案技術をアプリケーションとしてパッケージ化する必要がある。

(2) 研究期間終了後における研究の継続性や成果活用の展開

提案技術のパッケージ化に向けて、国土交通省やコンサルタント会社など、特車行政に関わる関

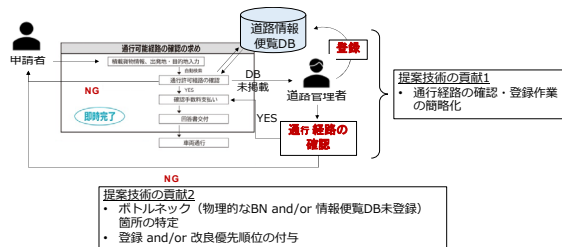


図30 本研究で提案する技術と特車確認制度の関係

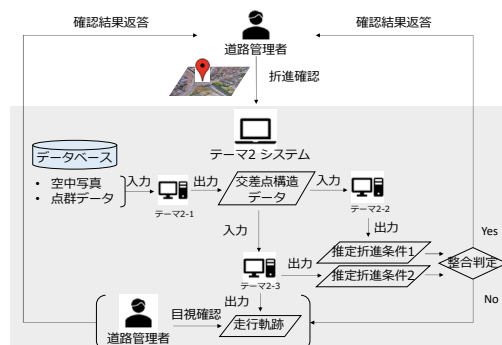


図31 テーマ2のユースケースイメージ

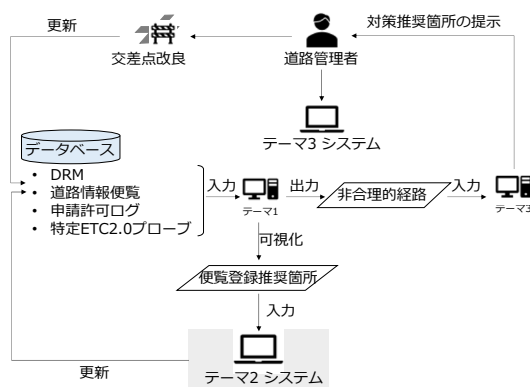


図32 テーマ1・3のユースケースイメージ

係団体と連携しながら継続的に取り組みを進める。各要素技術の精度向上については、提案手法を特車とは異なるアプリケーションへの活用方策を検討し、その推進に向けて学術的な研究予算の獲得を目指す。例えば、テーマ2で構築した技術は、道路台帳の更新作業への活用や走行軌跡に基づく交差点設計の自動化などへの転用が期待される。

⑨特記事項

(1) 昨年度中間評価結果コメントへの対応

【コメント1】

交差点の形状や周辺環境は極めて多様である。その中で折進可否判断を自動的に行うためには、膨大な事例を取り入れる必要がある。多様性を漏れなくカバーできるようなデータベースの工夫を望みたい。

【対応】

多様な交差点構造に対応できるよう、新たに200地点を学習用データとして追加してモデルの学習を進めています。また、空中写真とMMSの利用、DNNとPath finding algorithmの適用など、複数のアプローチを採用して研究を進めており、それらを融合させることで一定程度の対応が可能であると考えております。これらの融合に関しては、次年度に重点的に取り組む予定です。

【コメント2】

特車の通ることが出来る道路を加味してネットワークを計画することが出来れば、社会に大きく貢献できる内容となると思う。

【対応】

一般DRM・特車DRM・情報便覧データを取りまとめたDBは完成しているため、道路情報便覧データに格納されているスパン諸元を考慮した経路選択モデルの構築は現時点で可能です。具体的な結果は次年度の報告になると見込んでおります。

【コメント3】

テーマ3の「特車フリー道路ネットワーク」のイメージが不透明である。これらを明確化するとともに、それに向けた検討の加速化と具体化が必要である。

【対応】

本研究で開発する各技術について、**図31**、**図32**の通りにユースケースとテーマ間の相互関係を明確化しました。具体のモデルについても、今年度でデータ整理・プロトタイプモデルの構築が完了しているため、次年度にこれらの高度化を進めます。また、これらの技術が特車行政への課題解決に資するか否か、あるいは本技術をもってしても依然として残る課題は何か、といった点についても、ヒアリングで情報を収集しており、その内容も今後、研究方針に反映させる予定です。

【コメント4】

自動判定、自動生成によって100%の判定が困難であるとする、最終段階では人間による確認が必要になる可能性がある。それを受け入れるならば、人間による最終確認を容易にするシステムや仕組みも検討が必要かもしれない。

【対応】

この点を考慮して、**図31**のようなユースケースを想定しました。ここでは、本研究で提案する2つの折進条件判定結果を比較するとともに、両者が食い違う状況や判定精度が落ちる状況では人手によ

る確認を介することをワークフローとして提案しています。

【コメント5】

MMSでの道路上空間の把握が必須の場合、費用面での実装可能性についても検討をお願いしたい。

【対応】

空中写真だけでも精度よく交差点の走行空間を抽出できるケースもあれば、オクルージョンがあるために空中写真のみでは対応できずMMSが必要となるケースもありますので、その判別基準を明確にする必要はあると考え、推定精度への影響要因の分析を進めております。また、本研究で使用するMMSは、特車の折進判定のために収集したのではなく、他の用途で取得したものを援用しております。取得したデータを有効活用することで、費用面での課題はある程度、解決できるものと考えております。

(2) 進捗状況の自己評価

モデルエリアの選定、必要なデータの収集と整理、分析方法・モデル構築などは概ね確立できている。とりわけ、昨年度はデータの調達に時間を要したテーマ3（経路選択分析とネットワーク計画モデル）についても、当初予定通りの成果を得られている。折進軌跡を自動描画するテーマ2-3において、トラクター・トレーラー系への適用が遅れているものの、方法論としては目処が立っており、いずれのテーマに関しても、当初の予定通りに研究を進められていると考えている。

(3) 学内外へのインパクト

- ・ 第66回土木計画学研究発表会（琉球大学）において「特車通行を取り巻く諸課題」と題する企画セッションを開催した。特車の制度論や折進判定に関わる技術、特車の運行実態や新しいデータ利用の可能性に関する合計9本の論文発表がなされた。産・官・学と幅広い分野の聴講者が参加し、活発な質疑・議論が展開された。とりわけ、特車行政の効率化に向けた官民連携の必要性などについての意見交換がなされた。
- ・ 第20回ITSシンポジウム（2022年12月8日・9日開催）において、本プロジェクトの研究者らが発表した「交差点における特殊車両の折進条件の自動判定アルゴリズム（志野・塩見）」がベストポスター賞に選定された。