



道路政策の質の向上に資する技術研究開発
成果報告レポート
No. 29-2

研究テーマ

対流型地域圏における自動走行システム普及に
向けた新たな道路ストック評価手法

研究代表者：東京大学教授	原田 昇
共同研究者：東北大学教授	桑原 雅夫
東京大学教授	羽藤 英二
熊本大学准教授	円山 琢也
東京大学教授	布施 孝志
東京大学講師	日下部 貴彦
名古屋大学准教授	金森 亮
愛媛大学准教授	倉内 慎也
愛媛大学助教	片岡 由香
広島大学准教授	力石 真
東京大学特任研究員	福山 祥代
ドーコン	澤 充隆
ドーコン	片桐 広紀
ドーコン	松田 真宜

令和2年7月

新道路技術会議

目次

研究概要（様式3）	1
第1章 研究の背景と目的	3
1.1 研究の背景	3
1.2 研究の目的	3
1.3 研究の概要	4
第2章 自動走行対応型道路ネットワーク整備計画の検討	5
2.1 技術・研究動向に関する基礎調査	5
2.2 道の駅運営実態調査	11
2.3 自動走行対応型道路ネットワーク整備計画（素案）の検討	13
2.4 自動走行対応型道路ネットワーク整備計画ガイドラインの作成	17
第3章 自動走行サービス評価手法の検討	21
3.1 実証実験の標準的な調査・評価手法の検討	21
3.2 自動走行システム導入・運営評価モデル検討	25
3.3 自動走行対応型道路ネットワーク整備計画評価・認証ガイドラインの作成	47
第4章 次世代モビリティプラットフォームの検討	50
4.1 プラットフォーム構築に向けた基礎研究	50
4.2 プラットフォーム構築	50
第5章 研究成果のとりまとめ	53
5.1 研究成果のまとめ	53
5.2 研究成果の活用に向けて	53

研究概要（様式3）

【様式3】

「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」（平成29年度採択） 研究概要

番号	研究課題名	研究代表者
No.29-2	対流型地域圏における自動走行システム普及に向けた新たな道路ストック評価手法	東京大学 教授 原田昇

中山間地域の人流・物流ネットワークへの自動走行システムの導入・普及を目指し、道の駅を拠点とする自動運転サービスの実用化を目指した実証実験を通じて、自動運転に対応した道路インフラと地域の小さな拠点となり得る道の駅が有すべき機能を明確化し、自動走行対応型道路ネットワーク整備計画の立案と、ストック評価のためのデータプラットフォーム及び自動走行対応型道路の路線計画評価モデルの開発を行うものである。

1. 研究の背景・目的

近年、公共交通事業者や物流事業者における乗務員の高齢化や人材不足による経営環境悪化等により、公共交通サービスや宅配サービスの空白地拡大が懸念される状況にある。また、国土のグランドデザイン2050では、急激な人口減少・少子化・高齢化への対策として、生活拠点機能の「コンパクト化」と地域の公共交通網再構築と高次の都市機能維持に必要な圏域人口の確保を図る「ネットワーク化」の必要性が示されている。

現在、技術開発が進められている自動走行技術の「ネットワーク化」への導入は、このような担い手不足の問題を解決する一方策となると考えられる。ただし、自動走行システムの導入にあたっては、一般車両と混在下での交通状況への影響を考慮した効率的なルーティングや専用レーンの配置など、従来とは異なる問題を解決するためのネットワークデザインが必要になる。自動走行時代の道路ストックの最大化に向け、その手法は確立されていない。

本研究は、中山間地域など担い手不足の懸念される地域の人流・物流ネットワークへの自動走行システムの導入・普及を目指し、道の駅を拠点とする自動走行サービスを想定した実証実験や調査を通じて、自動運転に対応した道路インフラと道の駅が有すべき機能を明確化し、自動走行対応型ネットワーク整備計画を立案するとともに、実証実験や調査により得られたデータに基づき自動走行サービスの導入評価・運営支援を行う手法を開発し、これらのデータ及び評価手法を政策評価・交通計画策定者や運行マネジメント実施者、研究開発者と共有し活用してもらうことで自動走行サービス導入・普及を支援する次世代地域モビリティプラットフォームを開発することを目的とする。

2. 研究内容

テーマ1：自動走行対応型道路ネットワーク整備計画の検討

自動走行対応型道路ネットワークの検討に向けて、自動走行に係る技術・研究動向のレビュー及び企業ヒアリング等の基礎調査、国内外の自動運転サービスの展開に関する調査、自動走行サービスの導入にあたって必要となる道の駅及び周辺道路ネットワークの条件等の戦略を検討し、全国各地域で自動走行サービスのネットワーク構築を検討する際に役立つ基礎資料として「自動走行対応型道路ネットワーク整備計画検討ガイドライン」を作成した。

テーマ2：自動走行サービス評価手法の検討

自動走行サービスの評価手法の開発に向けて、導入効果評価・サービス設計・運営評価に関するデータ収集と評価モデルの構築を行うとともに、整備計画の投資効率性や事業採算性を適切な評価を支援するための「自動走行対応型道路ネットワーク整備計画評価・認証ガイドライン」を作成した。

テーマ3：次世代地域モビリティプラットフォームの検討

データ及び評価手法を政策評価・交通計画策定者や運行マネジメント実施者、研究開発者と共有し活用してもらうことで自動走行サービス導入・普及を支援する「次世代モビリティプラットフォーム」を検討・構築した。

3. 研究成果

(1) 自動走行対応型道路ネットワーク整備計画の検討

- 技術・研究動向に関する基礎調査を行い、国内外の既存研究等のレビュー、企業ヒアリング、国内外の自動運転サービスプロジェクトの事例収集及び分析等を実施し、自動走行サービスの導入・普及に向けた取り組みを幅広く収集した。
- 自動走行サービスの導入エリア・サービスによるカテゴリと、利用者や道路管理者など自動運転に関わる様々な立場からのニーズを踏まえて道路ネットワークに必要なとされる道路条件、道路施設等の戦略について検討し、「自動走行対応型道路ネットワーク整備計画検討ガイドライン」を作成した。

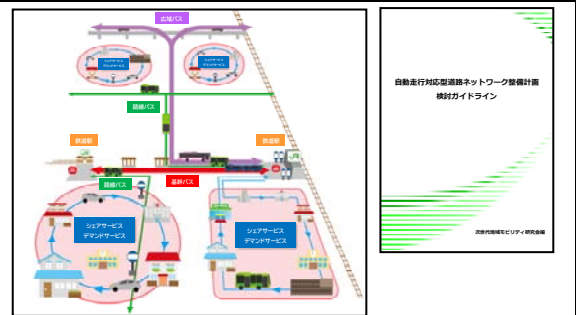


図 自動走行対応型道路ネットワーク整備計画検討ガイドライン

(2) 自動走行サービス評価手法の検討

- 評価モデルの整備として、交通・都市活動への影響評価が計測可能なマイクロシミュレーション、貨客混載自動走行交通サービス評価モデル等の評価モデルの手法検討及び構築を行った。
- 評価・認証プロセスの検討を行い、その枠組みを検討するとともに、自動走行対応型道路ネットワーク整備計画評価・認証ガイドラインの構成や具体的内容を検討し、「自動走行対応型道路ネットワーク整備計画評価・認証ガイドライン」を作成した。

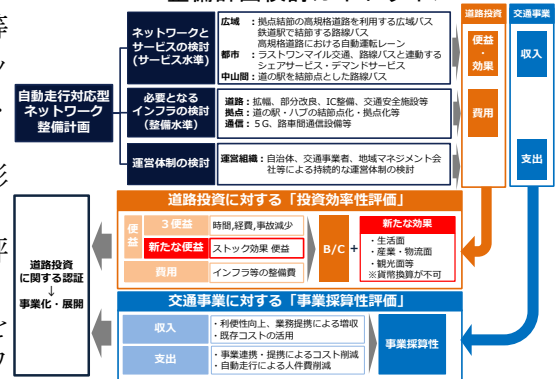


図 自動走行対応型道路ネットワーク評価・認証の枠組み検討

(3) 次世代モビリティプラットフォームの検討

- 次世代型交通計画評価のための基盤となるデータ・コードプラットフォームと、そのデータを用いたデータ処理ツール、計画・設計評価モデル、サービスモデルからなる「次世代モビリティプラットフォーム」を開発した。

4. 主な発表論文

- (1) M.Chikaraishi, S.Fukuyama, H.Yamane, M.Sawa, E.Hato : Estimating willingness-to-pay for autonomous pickup services for agriculture products in rural areas of Japan, ITS AP Forum, May 8-10, 2018.
- (2) M.Chikaraishi : (2018) Empirical estimation of temporal utility profiles under time-spaceprism constraints, Presented at the 15th International Conference on Travel Behaviour Research, Santa Barbara, CA, United States, July 16-19, 2018.
- (3) T.Fuse and N.Yokozawa : Development of a Change Detection Method with Low-Performance Point Cloud Data for Updating Three-Dimensional Road Maps, ISPRS International Journal of Geo-Information, Vol.6, No.12, 398, 2017.
- (4) 倉内慎也 : 四国地方における高速道路整備に伴う利用者便益計測に関する考察, 交通工学 Vol.54, No.3, 2019.

5. 今後の展望

- 本研究では計画の検討及び評価・認証に関する一定のフレームワーク（ガイドライン）を提示したが、実際のフィールドで活用できるように各種調整と改善が望まれる。また、実際に計画を立案する際には、自動走行に関する技術の進展、各地域の特性・課題・実現すべき将来像を十分に議論し、地域へ様々なストック効果が発現する計画となることが望まれる。
- 研究開発では、代表的な効果を計測するための評価モデルについて検討・開発したが、プラットフォームに収録するデータや評価モデル等を用いてモデルが発展していくことにより、今回取り扱っていない効果項目・領域についても計測できるようになることが望まれる。

6. 道路政策の質の向上への寄与

- 本研究を通じ、自動走行対応型道路ネットワークの形成促進に向けた考え方や手順が参考とされ、将来必要となる道路投資の計画的な展開に寄与することを期待する。

7. ホームページ等 無

第1章 研究の背景と目的

1.1 研究の背景

新たな国土形成計画（全国計画）は、本格的な人口減少社会の到来、異次元の高齢化、巨大災害の切迫等、国土を取り巻く厳しい状況変化のなかで、我が国がこれからも経済成長を続け活力ある豊かな国として発展できるか否かの重要な岐路にさしかかっているという認識のもと、2015年から概ね10年間の国土づくりの方向性を定めるものとして、2015年8月14日に閣議決定された。

この中で、国土の基本構想として「対流促進型国土」が掲げられており、「対流」とは、多様な個性を持つ様々な地域が相互に連携して生じる地域間のヒト、モノ、カネ、情報の双方向の活発な動きを意味し、「対流」そのものが地域に活力をもたらし、多様で異質な個性の交わりや結びつきによってイノベーション（新たな価値）を創出するものとされ、個性豊かな地域の形成により、全国各地でダイナミックに対流が湧き起こる国土を目指す方向性が示された（図-1）。

1.2 研究の目的

近年、我が国の急激な人口減少、少子化、高齢化は、経済規模の縮小のみならず、公共交通事業者や物流事業者の乗務員不足などのサービス供給能力の低下を招きかねない問題に発展しつつある。公共交通サービスや宅配サービスの空白地の進展は、地域の個性を活かして対流型国土を形成することへの大きな障壁となることから、国土のグランドデザイン2050では、これらの課題への対応として、生活拠点機能の「コンパクト化」と地域の公共交通網再構築と高次の都市機能維持に必要な圏域人口の確保を図る「ネットワーク化」の必要性が示されているところである（図-2）。

現在、技術開発が進められている自動走行技術は、国土の「ネットワーク化」に向けて、移動サービスに係る担い手不足を解決する一方策となると考えられている。一方で、自動走行システムの導入にあたっては、一般車両と混在することとなるため、必要に応じて専用レーンの配置や、モビリティをシェアし移動する効率的なルーティングなどが必要となり、走行環境と交通結節点の適切な配置、これらの運用方法など、新たな視点でのネットワークデザインが必要になる。また、この自動走行時代を見据えたネットワークデザインは、既存の道路ストックを最大限活用し、ストック効果の最大化が求められるが、その手法についても確立が必要となる。

本研究は、このような認識のもと、都市部はもとより、中山間地域など担い手不足の懸念される地域の人流・物流ネットワークへの自動走行システムの導入・普及を目指し、道の駅を拠点とする自動走行サービスを想定した実証実験や調査を通じて、自動運転に対応した道路インフラと道の駅が有すべき機

能を明確化し、自動走行対応型ネットワーク（図-3）整備計画を立案するとともに、実証実験や調査により得られたデータに基づき自動走行サービスの導入評価・運営支援を行う手法を開発し、政策評価・交通計画策定者や運行マネジメント実施者、研究開発者と共有し活用してもらうことで自動走行サービス導入・普及を支援する次世代地域モビリティプラットフォームを開発することを目的とする。

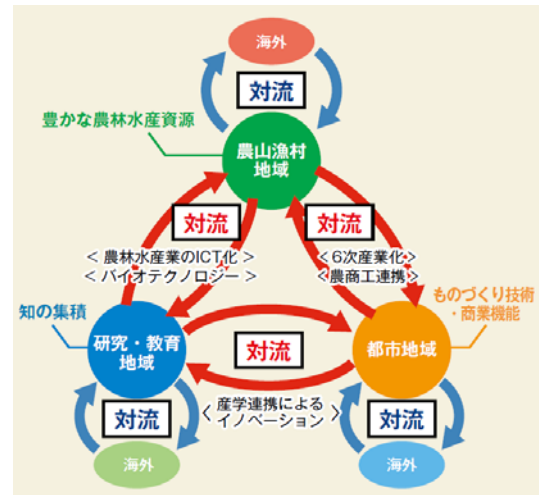


図-1 「対流」のイメージ：「個性」と「連携」

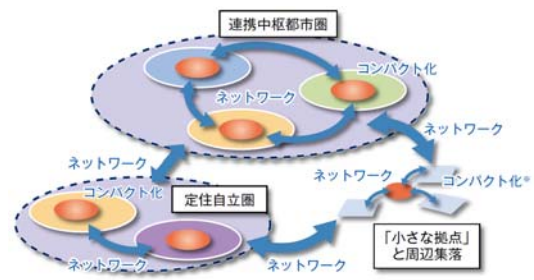


図-2 「コンパクト+ネットワーク」のイメージ

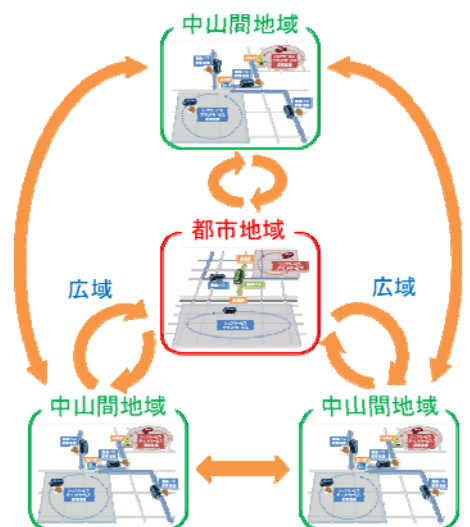


図-3 本研究が目指すネットワークの概念

1. 3 研究の概要

本研究では、人流・物流ネットワークへの自動走行システムの導入・普及を目指し、以下の研究を行った。図-4に研究概要図を示す。

(1) 第2章 自動走行対応型道路ネットワーク整備計画の検討

自動走行対応型道路ネットワークの整備計画を検討するにあたっての、技術・研究動向に関する基礎的な調査を実施した。

また、道の駅を拠点とした自動走行サービスの導入可能性を検討するための、道の駅の運営実態調査を実施した。加えて、自動走行対応型道路ネットワーク整備にかかる計画素案の検討を行い、自動走行対応型道路ネットワーク整備計画検討ガイドラインを作成した。

(2) 第3章 自動走行サービス評価手法の検討

実証実験において標準的な調査や評価が行えるように調査手法・評価手法を検討するとともに、自動走行システム導入・運営評価モデルを検討し、評価モデルの整備を行った。

また、構築を行った各種評価モデルが広く活用できるように自動走行対応型道路ネットワーク整備計画評価・認証ガイドラインの作成を行った。

(3) 第4章 次世代地域モビリティプラットフォームの検討

評価プラットフォーム構築に向けた基礎的研究として、道の駅に関する行動実態調査、データ・各種ツールに関する検討、評価プラットフォームの基礎的仕様の検討を行った。また、基礎的仕様検討を踏まえ、プラットフォームのサーバー環境の構築を行い、評価に必要となる各種データや評価システムの収録を行った。

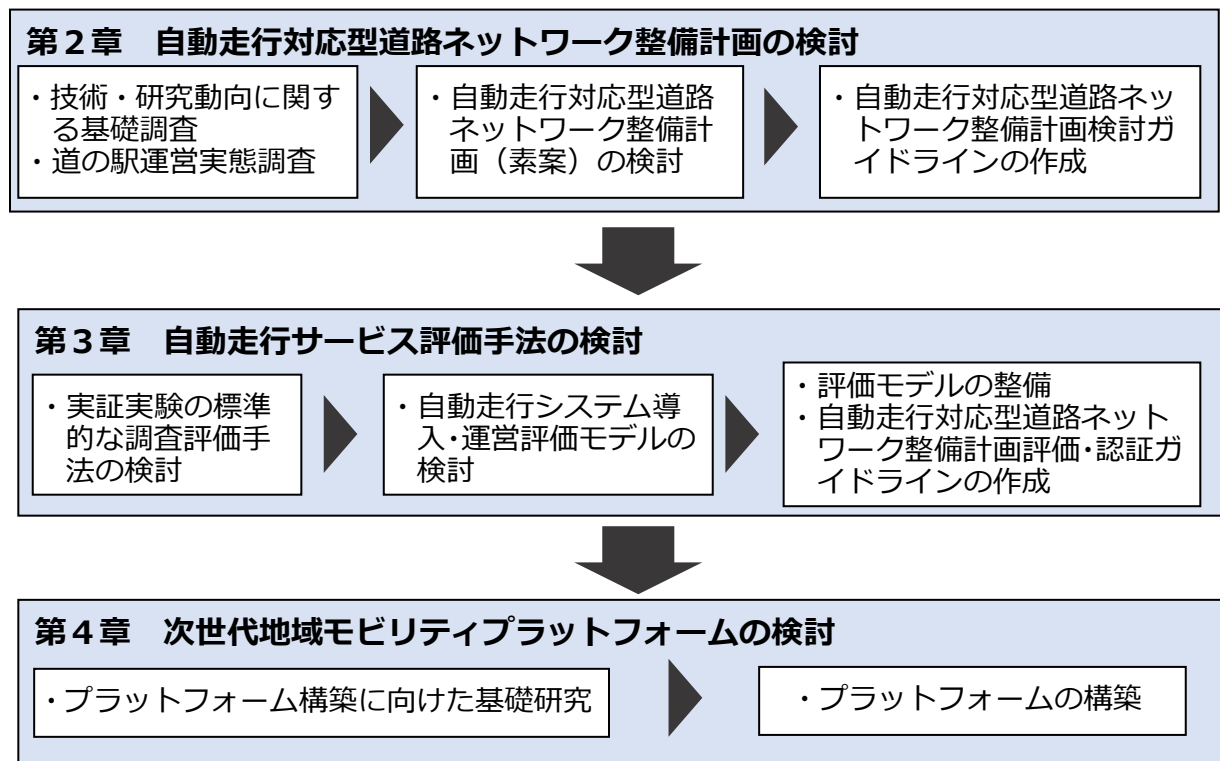


図-4 研究概要

第2章 自動走行対応型道路ネットワーク整備計画の検討

2.1 技術・研究動向に関する基礎調査

(1) 既存研究等のレビュー

国内外の自動走行にかかる技術動向や新たなサービス技術・研究動向を明らかにするため、文献や国際・国内学会等での情報収集により既存研究のレビューを行った。

a) TRBにおける研究動向レビュー

2018年1月7日から11日まで、米国のワシントンのワシントンコンベンションセンターにて開催されたTRB2018 (Transportation Research Board (TRB) 97th Annual Meeting)¹⁾におけるセッションごとのテーマや技術論文の概要をチェックし、自動運転やシェアリングに関連する動向を把握した。具体的には、MaaS (Mobility as a Service) の特徴や各地の事例の特性比較が得られ社会実験や実装化が各国で展開されていること、UbigoのMaaS実験結果の報告からMaaSを5段階に分類していること、今後の技術革命(自動化、電子化、シェアドモビリティ)を活かすことにより二酸化炭素の排出量を80%削減できると見込まれていること、2050年までに3Rにより都市の車両交通コストの削減に向けてライドシェアリングと再生可能エネルギーは不可欠であるなどの報告を得た。

b) プラットフォームに関するレビュー

自動走行システムの普及に向けて必要な評価プラットフォームに関する国内外のレビューを行った。

Next Generation Simulation (NGSIM)²⁾は、FHWAと商業用マイクロシミュレーションソフトウェア開発者、学術研究コミュニティ、交通シミュレーションコミュニティとの間の独自の官民パートナーシップであり、商業シミュレーション市場のファシリテーターとしての役割を果たし、官民協調の協力的環境を促進することによって、データ蓄積と評価ツールとしての商業シミュレーション市場を活性化させる役割に寄与している。

Travel Model Improvement Program (TMIP)³⁾は、交通計画と環境意思決定プロセスのニーズに対応した分析手法の開発と改善を目指し、分析的ニーズの特定やツール・技術・手順を開発している。また、計画機関がトリップデータとその分析手段を開発し、提供するための能力を有するまでの支援をして、技術面での支援や、知識と情報の共有を促進する枠組みを提供している。さらに、人・モノの輸送に関する意思決定に関する分析ツールやアプリケーションの効果的な使用方法を特定し、ベストプラクティス情報などの提供も行っている。

oneTRANSPORTイニシアチブ⁴⁾は、新しいインテリジェントモビリティサービスの振興を目的としており、ニューモビリティの出現を妨げている英国の輸送部門に存在する課題解決を目的に英国政府の要請に応えて、2013年に策定された。フィールドテストは、InnovateUK (英国経産省の諮問会議)の支援を受け、地方自治体、運輸業界の専門家、Internet of Things (IoT) 技術提供者、ビッグデータ分析の専門家からなるコンソーシアムとして2015年10月より活動を行っている。

HERE⁵⁾は、北米・ヨーロッパで8割のシェアを誇るナビゲーションシステムの地図提供会社であり、タグ付けされた位置情報データベースを提供している。Open Location Platform⁶⁾と称される、データ・サービスプラットフォームを展開している。

CATAPULT Transport Systems⁷⁾は、ダイソンレポート「Ingenious Britain: Making the UK the leading high tech exporter in Europe」⁸⁾、ハーマンレポート「The Current and Future Role of Technology and Innovation Centres in the UK」⁹⁾において科学基盤を商業化に結び付ける力が劣るとの指摘を受けた事を契機として、英国キャメロン首相が技術戦略委員会 (Technology Strategy Board) を通じて、4年間で2億ポンドの予算立てを行い、全国に技術・イノベーション・センターのネットワークを構築するテクノロジー戦略である。これらの各センターはカタパルト (Catapult) と命名され、その1センターが Transport systemsセンターを位置づけている。ステークホルダーとの協議を重ねて作成されたこの戦略では、ユーザー中心の交通サービス及び持続可能な交通システムの構築や、安全性・セキュリティの向上、経済的利益の確保、生産性の改善、すべての人のアクセシビリティ向上などのビジョンが示されている。またCatapultは、ビジネス界とアカデミック界の連携を促進し、インテリジェントモビリティの市場導入をサポートすることなどが盛り込まれている。

東京大学(羽藤研究室)における行動モデル夏の学校¹⁰⁾では、社会基盤・建築・都市計画を専門に学ぶ全国の大学院生・エンジニアや若手研究者を対象に、都市計画や交通計画で用いられている離散選択モデルの基礎と専門知識の修得を目的に2002年から開催されている。

公共交通オープンデータ協議会における東京公共交通オープンデータチャレンジ¹¹⁾では、東京オリンピック・パラリンピック2020大会において、世界中から多種多様な国籍、年齢、職業、身体特性を持った来訪者が東京を訪れる事を背景に、世界一複雑とも言われる「東京」の公共交通を、訪日外国人の方、

障碍を持つ方、高齢者の方を含む、誰もがスムーズに乗りこなせるようにすることを目指し、公共交通関連データのオープン化を進めている。「東京公共交通オープンデータチャレンジ」では、首都圏の様々な公共交通機関のデータを公開し、「東京」を応援するアプリケーションやアイデアを募集している。

総務省のG空間プラットフォーム¹²⁾では、G空間情報と情報通信技術(ICT)を融合させ、暮らしに新たな革新をもたらすため、関係府省や民間企業、地方自治体等と連携し、「G空間×ICT」プロジェクトを平成25年度より推進している。プロジェクトでは、G空間情報の円滑な利活用を可能とする「G空間プラットフォーム」と最先端の防災システムや地域活性化・新産業創出を実現する「G空間シティ」を実施し、先行的な成果が得られている。

c)3次元道路地図に関するレビュー

自動運転システムの普及に向け必要な3次元道路地図に関して、2017 Optical Metrology; Videometrics, Range Imaging, and Applications XIV¹³⁾よりレビューを行った。

Investigation of indoor and outdoor performance of two portable mobile mapping systems¹⁴⁾については、図-5のように取得される可搬式のポータブルレーザスキャナの精度評価を行ったものである。高頻度に3次元点群データが取得可能なセンサーとして、有用なものである。複数のポータブルレーザスキャナの屋内外における精度評価を行う事を想定した研究であるが、多数の車両にレーザスキャナが搭載されていない現状を踏まえると、3次元点群データからの変化検出においては、仮想的なデータを作成し精度検証を行う必要がある。本論文では、3次元点群のデータスペックや精度向上のためのアルゴリズムも検討されており、本研究が対象とする変化点検出等の検討において多くの示唆を与えるものである。

A generic point error model for TLS derived point clouds¹⁵⁾については、本論文は、レーザスキャナによる計測において、センサーからの点群データの距離・方向の誤差モデルを検討したものである。距離・方向の誤差モデルにおいては、水平方向・垂直方向・方向角において、包括的に誤差評価を行い、誤差モデルの構築を行っている。3次元点群データからの変化検出においては、点群データの誤差の影響があるため、その精度評価は非常に重要であり、有用なものである。特に、変化検出においては、空間を格子状に分割するが、その格子サイズは各方向の誤差傾向に影響を受ける。また、占有格子法においても、レーザ計測の誤差モデルを導入しているが、その誤差モデルの検討にも貢献している。

d)3次元計測技術に関する情報収集

2019年12月2日～3日にフランスのストラスブールにて開催されたOptical 3D Metrology Workshop¹⁶⁾に参加し、関連研究の動向について情報収集を行った。

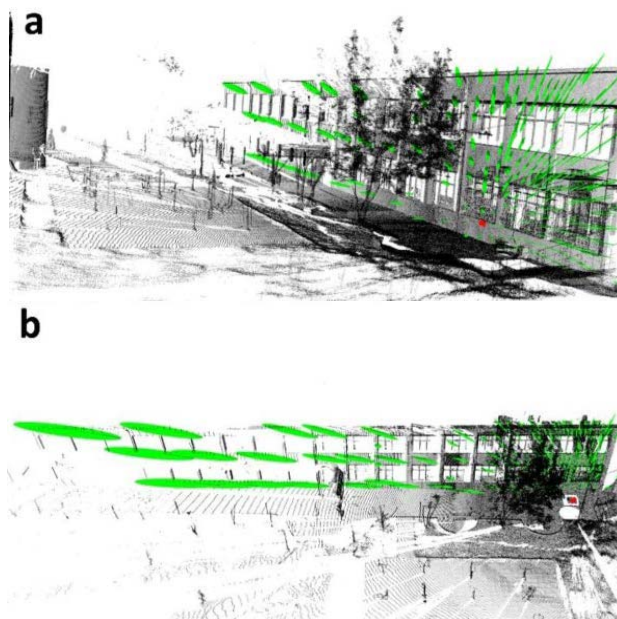


図-5 レーザーセンサーによるスキャニング例

この会議は、3次元計測の方法論に関して討議する場であり、国際写真測量・リモートセンシング学会(International Society for Photogrammetry and Remote Sensing)がサポートしている海外である。

本会議の基調講演では、イギリスのUniversity College London(UCL)のStuart Robson教授から“Low cost, high accuracy photogrammetric robot tracking in large volume factory spaces”と題した講演がなされた。Stuart Robson教授は、3次元計測分野における世界的権威である。本講演では、ロボットの制御における3次元情報の重要性、及びそれらを低コスト、かつ高精度で整備するための方法論やプロジェクトが説明された。ロボット制御はそのまま車両の制御につながるものであり、本委託研究で対象としている3次元道路の基盤データの整備手法について、有用な知見が得られた。もう1件の基調講演では、スイスのImetric 4D Imaging社のHorst Beyer氏から“Photogrammetry and structured light for high accuracy data capture in the dental industry”と題した講演がなされ、歯学を対象とした3次元計測を事例に説明がなされていたが、その変化形状認識手法は、道路空間の変化認識に対しても適用可能であり、本委託研究における異常事象・変化認識手法の開発に重要な情報であった。

一般論文については、下記の発表が本委託研究を推進する上で、参考になった。

まず、道路空間の計測について、“Scanning tunnels with two very high-resolution laser devices and a stacker”の発表が挙げられる。近年普及が目覚ましいレーザスキャナ2台を同期させ、トンネル空間の3次元計測を高精度に行うものである。2台のレーザスキャナは、相対位置を事前に計測することにより、複数計測データの接続処理が効率的に行うことが可能である。さらに、フーリエ変換を併

用し、局所形状の特徴を利用したマッチングを行うことにより、高精度のデータを作成する。今後、自動運転のための道路基盤データが必要になるが、それらを効率よく取得するために、有用な技術である。さらに、計測機器台数を増加させることにより、当然のことながら、データ量も増加する。本委託研究で開発したデータ圧縮手法は、フーリエ変換との相性が良いため、効果的な適用が期待できる。

本委託研究では、レーザ計測データの取得において、Mobile Mapping System (MMS) を前提としている。MMSは、車両にレーザスキャナ・カメラ・GNSS・IMUなどを搭載し、車両の走行に伴って3次元データを取得するものである。“Theoretical accuracy prediction and validation of low-end and high-end mobile mapping system in urban, residential and rural areas”の発表では、都市部から中山間地における、高性能機器と低性能機器の精度予測と検証を行った。高性能機器によれば、非常に高精度な3次元データの取得ができるものの、そのコストから頻度の面では課題が残る。一方で、低性能機器によれば、精度は限定的になるものの、高頻度でデータ取得が可能になる。さらに、今後の高精度データ取得のための計画にも役立つことができる。道路空間の3次元データ取得においても、要求精度が存在するが、高性能・低性能機器それぞれにおいて異なってくる。前述の通り、MMSは、様々なセンサの組み合わせにより成り立っているが、本発表の手法を用いれば、最終成果品としての精度を事前に推定することが可能になる(図-6)。さらに、都市部・中山間地などの環境の相違、絶対・相対精度に対する精度も検証している。

このように、本発表では、MMSの包括的な精度予測を可能にした(図-7)。本委託研究で想定するシステムにも本手法は適用可能であり、有用性の高いものである。

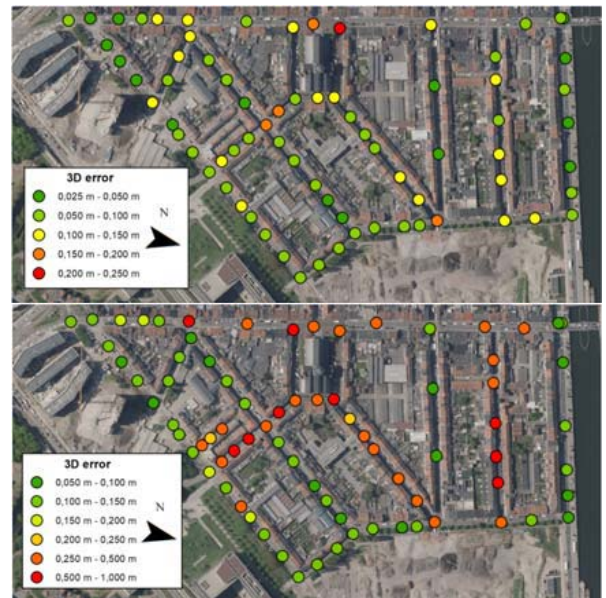


図-7 精度検証結果(上：低性能機器・下：高性能機器)

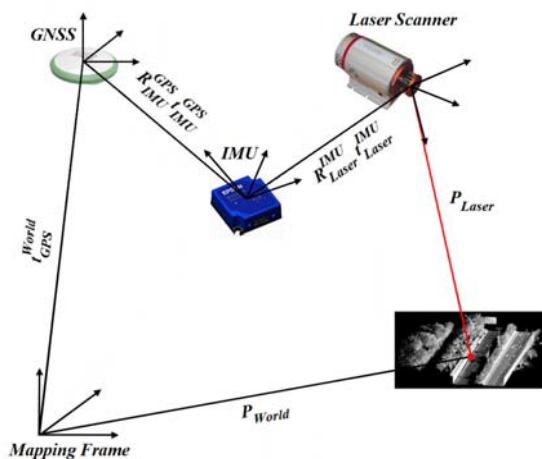


図-6 センサを組み合わせた包括的精度予測の枠組み

e)可視化に関するレビュー

2018年1月17～19日にシドニーで開催された7th International Symposium on Transport Network Reliability (INSTR 2018)¹⁷⁾に参加して得られた、自動走行システムの普及に向けた様々な情報の可視化に関する技術動向を整理した。

ライドシェアリングの需給バランスの検討を行うために、交通系ICカードデータによる公共交通機関を使用した人流データ及び、Bluetoothセンサーを用いた車両経路データをそれぞれ縮約し、分析を行っている。分析では、交通系ICカードデータによるOD情報をもとに、地域を小さなセルに分割し、セル単位での評価を行っている。このような方法を用いることで、454,986人のバス利用者、235,272経路の車両軌跡が情報の概略を把握している。

このようなグラフをもとに可視化を行うだけでなく、ホットスポットとなる起終点を判別したうえで、それらの需給を可視化することで、地域ごとの需要特性の把握を行っている。また、将来的には、ネットワーク構造を分析することで、時空間的な需要構造を明らかにしようとしている。

ニューヨークのタクシーシステムのデータを用いた、ネットワークの可視化を示している。対象のデータは、1日あたり45万トリップ、100万人以上の乗客がタクシーを利用したデータであり、2015年2月の14,025,351トリップのデータを対象としている。空間を1km²の格子で区切ったうえで、時間帯ごとの利用を有向グラフで記述している。

(2) 企業等に対するヒアリング

国内の自動走行にかかる技術動向や新たなサービス技術・研究動向を明らかにするため、企業等に対するヒアリングを行った。

a)大手建設会社へのヒアリング

「東京臨海部 Smart Mobility Town 構想」についてヒアリングを実施した。

豊洲地区を中心とした東京臨海部のポテンシャルは、交通インフラの整備（東京8号線延伸・羽田アクセス線・都心部臨海地域地下鉄構想）、オリンピック・パラリンピック施設の整備、大規模開発需要の高まりなど、極めて高い。

地域における公共交通の課題については、開発需要に対応した輸送力の確保（増加交通需要への対応、輸送力・速達性の高い公共交通機関が通っていない地区への対応）、道路交通混雑への対応（公共交通への転換の推進、物流と人流の双方を考慮した道路空間の活用）、端末交通の普及（シェアサイクルの推進）、交通結節点の確保（乗り継ぎ抵抗の低減）、ユニバーサルデザイン・バリアフリーの推進、計画区域内外の東京2020大会施設等への対応（新たな恒久施設へのアクセス確保、環境先進都市のモデル実現）など、地域における公共交通の課題が顕在化している。

「東京臨海部 Smart Mobility Town 構想」として、交通結節点機能の充実や多様な端末交通及びシェア

リングによるエリア内交通の充実などを目標に、多様な公共交通の連携や乗り継ぎ等の利用者への移動手段選択の多様性の提供を考慮しており、超小型モビリティを利用したカーシェアやドア・トゥー・ドア移動等のモビリティと建物との連携を目指している。

b)大手駐車場管理会社へのヒアリング

モビリティに関する取り組みやその方向性についてヒアリングを実施した。

国土交通省関東地方整備局東京国道事務所は「道路空間を活用した小型モビリティによるカーシェアリング社会実験」を実施しており、大手駐車場管理会社が参画していることからヒアリングを行った。

日本有数の繁華街である東京・銀座では、「とめたいところに駐車場がない」、「渋滞で目的地まで時間がかかる」などの、駐車に関するストレスを感じることなく、快適に買い物やお食事を楽しむ手伝いをする『バレーパーキングサービス』を実施中である。

また、高速バス停周辺の駐車場にカーシェアリング車両を配備し、高速バスとカーシェアリングの連携を強化させることで、高速バス利用者の行動圏の拡大による観光振興や、地域活性化の可能性を探る『高速バス&カーシェアリング社会実験』を実施している。

移動に関する地域ごとの課題に対応した未来のモビリティとしては、域内交通の主な問題として、都心部ニュータウンや地方部では、公共交通の減少、タクシー運転手不足や高齢化により地域住民の足が不足しており、こうした地域ごとの課題に対応した移動手段の確保として、ニューモビリティについて研究を進めているところである。

c)経営コンサルタント会社へのヒアリング

「宮城県石巻エリアをモデル地区とした地域ITS実証研究、並びにその社会実装」についてヒアリングを実施した。

石巻エリアにおいては、共助のモビリティとコミュニティ形成や、モデル化と新しい地域交通、及び地域交通間の連携並びに最適化プランの取組みを実施している。「地域交通情報プラットフォーム」は、統合するデータとして、人口動態・物流情報・行動予定（予約情報）・交通機関運行・利用情報、地域拠点利用情報などであり、それらを、交通連携プラットフォーム、動態予測・交通シミュレーション、小規模交通網支援システム、高齢世帯向け双方向情報配信システム、域内決済システム（マイナンバー連携）などの評価ツール・アプリケーションと連動する形を想定している。

「地域交通情報プラットフォーム」を活用した地域交通の最適化実証事業、リファレンスモデルの構築にも取り組んでおり、高齢者（要支援未滿）、移動手段を持たない住民、学生・生徒など、移動や生活に課題を抱える方々の移動支援・買物支援など、地域活動における拠点（道の駅等）の利活用策として、地域交通と物流の結節点化、及びモビリティの自動

運転化を目指しているものである。

(3) 国内外の自動運転サービスの展開に関する調査

a) 事例データの収集整理の方法

Webによる調査にて、自動走行サービスに関する展開事例調査を実施した。展開事例調査はWebにより、148のプロジェクトの事例を収集した。収集事例は、調査項目として表-1、表-2に示す項目を設定し、各事例の情報収集を行った。

b) 事例収集の分析

1) 自動走行サービスプロジェクトの開始時期

各国の自動走行サービスの検討や実装は、2014年頃より増加し、2018年頃にピークとなっており、サ

ービスの展開はヨーロッパが早く、アメリカ、オーストリア、アジアにプロジェクトが広がっている。サービス展開の予定も3年後の2023年のものが確認されるなど、長期的な計画に基づくサービス展開がなされている（図-8）。

2) 自動走行サービスの展開場所

自動走行サービスの展開場所は都市部が9割、地方部が1割という比率であり、都市部や地方部のラストワンマイルを支える交通システムへの展開が多い状況にある（図-9）。

3) 自動走行サービスの車両

自動走行サービスの車両は、EasyMile minibusが50%、Navya minibusが27%、その他が23%となっており、8割がEasyMile社またはNavya社の車両を利用している。

表-1 調査項目の整理様式

調査項目		調査項目の概要
事業名称		プロジェクトの名称
概要説明		プロジェクトの概要を記載
重要視されているポイント		プロジェクトで重要視されているポイントを記載
実施場所	国	プロジェクトを実施している国
	地域	プロジェクトを実施している国
	座標	プロジェクトを実施している国
実施期間		プロジェクトの実施機関
実施者 (又は共同実施者)	主たる実施者	プロジェクトの主たる実施者を整理
	交通機関	プロジェクトに関係する交通事業者等
	研究機関	プロジェクトに関係する研究機関
	技術提供者	プロジェクトへ自動運転技術を提供する者
その他実施者		上記以外の実施者がいる場合記載
種別		都市・地域等の区分 ※別表を参照
ルート		自動走行サービスが走行するルートに関する情報
新交通サービス/既存サービスの置換		新しい交通手段としての提供か既存の交通サービスを置換するものかを整理 ※別表参照
使用している車両		サービスに使用する車両を記載
実施環境		実環境、閉鎖環境の別について記載
現在のステータス		現在の運用状況を記載
利用者、又は利用制限		利用に関する制限の有無について記載
事業予算		事業予算について記載
資金拠出元		資金の拠出もとについて記載
情報ソース		URL等の情報を記載

表-2 種別に関する補遺

区分	説明	
都市部	都市	密度の高い交通インフラが整備された都市内で運用されている。
	専用空間/BRT地	専用空間での運用であり、専用空間やBRT、バスデポのような空間を用いた自動化サービス。
	シェアリングを含むサービス	ライドシェア、カーシェアを含む、若しくはそれと一体的に運用される自動運転サービス。代表的な例としては、UberやLyftなどの企業が提供を目指しているようなものを指す。
	施設内空間	大学のキャンパスや公園、工業団地、ビジネスパーク、病院、緑化エリアなど、屋内外の施設内交通
地方部	地方部、農村、過疎エリア	平均的な農村やそれ以下の面積、人口密度を持つ過疎エリア、地方部、農村などで運用されている。
	地域間	より長い距離をカバーし、一例としては都市間の接続や空港と都市の中心部を繋げるサービス

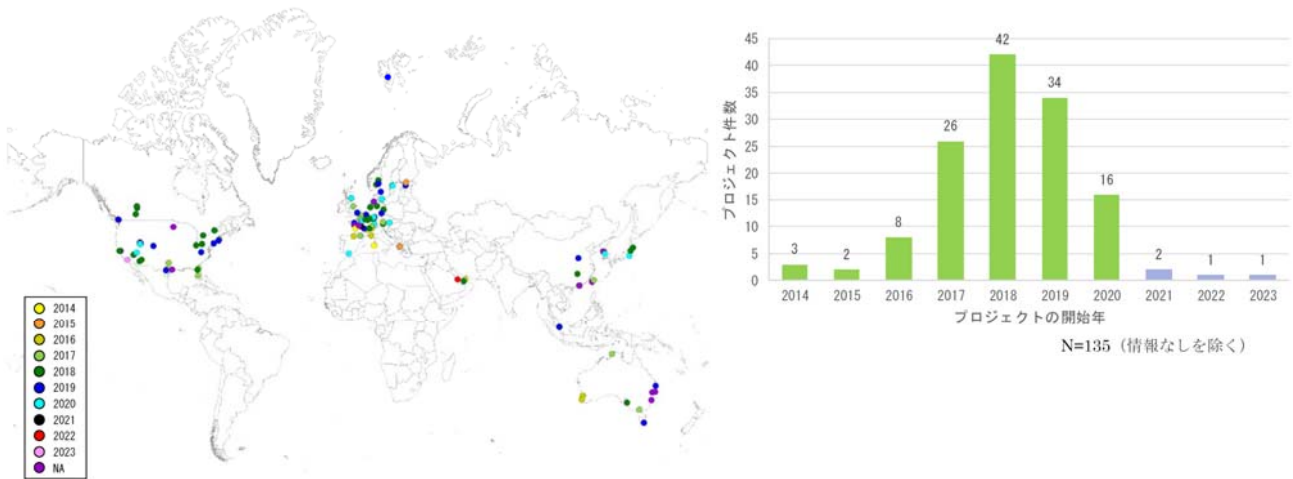


図-8 プロジェクトの開始年と分布



図-9 プロジェクトの展開場所と分布

(4) 成果報告会を通じた知見の収集

関連する研究開発プロジェクトにおいて得た知見を収集・共有することを目的として、土木計画学研究発表会でのスペシャルセッションへの参加及び成果報告会を実施した。

第57回土木計画学研究発表会スペシャルセッション：自動運転システムと次世代地域モビリティ¹⁸⁾
有村幹治、原田昇・片岡由香・力石真・金森亮・高橋清・岸邦宏・萩原亨

日時：平成30年6月10日(日)
会場：東京工業大学 (大岡山キャンパス)
主催：公益社団法人 土木学会
参加者数：100名以上

成果報告会：多様なビッグデータを活用した道路技術研究開発

日時：令和元年2月22日
会場：東京大学本郷キャンパス
主催：神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻井料研究室、
広島大学工学部第四類社会基盤環境工学プログラム 地域環境計画学研究室
東京工業大学環境・社会理工学院土木・環境工学系 福田研究室
参加者数：100名以上

成果報告会：自動運転社会の実現に必要な道路技術研究開発

日時：令和2年2月12日(水) 13:00～18:00
会場：東京大学本郷キャンパス
主催：東京大学大学院教授 原田昇、
室蘭工業大学大学院准教授 有村幹治
参加者数：100名

2. 2 道の駅運営実態調査

全国で設置が進められている「道の駅」は、3つの機能（休憩機能、情報発信機能、地域連携機能）を有する施設として平成5年から本格的に整備が開始され、現在では1,100駅を超えるに至っている。近年では、中山間地域における小さな拠点や自動運転サービスの運用拠点など、地域の拠点としての機能も期待されている。しかしながら、各道の駅の立地や施設、運営形態や収支状況等は実に多様であり、全体像が把握されていない状況にある。また、自動運転サービスとしても、既存の公共交通の代替・補完や、集荷・宅配などの物流・生活支援、観光における周遊促進としての活用など、様々な導入シーンが考えられると共に、それらに要するコストをいかにシェアしてゆくのかの検討も不可欠であろう。

本研究では、道の駅を核とした自動運転サービスが地域交通の一端を担う可能性を検討するため、全国の道の駅を対象に実施したアンケート調査を用いて、どのような地域の道の駅にどのような自動運転サービスが適しているのかについて基礎的検討を行うことを目的として調査を行った。

(1) 道の駅プレ調査

a) プレ調査概要

アンケート調査票を設計する上で、数件の道の駅を対象にしたプレ調査では、主に、各道の駅の1) 整備プロセス、2) 運営者の組織体制など運営の仕組み、3) 収益の分配方法、4) 利用実態、などについてヒアリング調査を実施した。

b) プレ調査結果

道の駅A：商工組合が中心となって協同組合を結成し運営しており、県内の中小企業団体のほか、企業39団体、個人の出荷者284名で構成されているが、協同組合は事業主の集まりでもあるので、意見の調整・とりまとめが難しいことが課題。

道の駅G：地域の産業振興や兼業農家の収入向上などを目的に設置が検討され、議員らによる協議会設立後に整備された。行政出資（行政92%出資、企業・団体8%出資）の有限会社が運営し、行政に賃料を支払っているが、労働者不足や後継者不足が課題。

(2) 道の駅の運営に関するアンケート調査

a) アンケート調査実施概要

本調査では、道の駅1,134駅のうち、登録済みではあるがオープンしていない駅や、休止中、積雪などにより閉鎖期間中の駅（計25駅）を除く、1,109駅を対象とした。調査方法は、全13問のアンケート票送付による郵送調査にて実施した。調査概要と調査項目を表-3に示す。

b) アンケート調査結果

各道の駅周辺や敷地内に乗り入れている公共交通手段については、路線バスが最も多く、次いでコミュニティバス、高速バスの順となっている（図-10）。鉄道駅からアクセス可能な道の駅は少なく、公共交通手段を用いてのアクセスが難しい立地に位置していることが推察される。

道の駅の運営・管理方式においては、最も多かったのが「指定管理方式」で、次に「第3セクター」、「（行政の）直営」、「PFI方式」の順であった（図-11）。また、指定管理方式のうち、公募か随意契約かについては、ほとんど差が見られなかった（図-12）。常勤社員の職員数については、10人以下との回答が47%となり最も多かった。また、30人以上という回答が12.4%あり、運営規模については、大規模と小規模との二極化していると考えられる（図-13）。

c) まとめ

少数の道の駅において、レンタルサイクルや乗り合いバスの運行を、地域団体と道の駅が連携しているケースが見られたが、多くの道の駅において、利用者の居住地域からのアクセス方法が自動車利用中心となっており、地域のモビリティ再編計画と併せた拠点化を目指していく必要があると考えられる。この点については、道の駅が設置されている自治体を対象に、公共交通の運営実態を尋ねるアンケート調査を実施するなどして、公共交通運行にかかるドライバーの人件費削減としての自動運転システムの導入や、道の駅を含む交通結節点への端末交通サービスとしての自動運転システムの導入、ならびにそれに対する公的資金の投入等を検討する必要があると考えられる。

また、少数ではあるが、周辺地域とのイベント実施など、地元との連携を有する道の駅が見られた。しかしながら、連携の内容としては、道の駅が地域活動の舞台となっており、地域の活動に道の駅関係者が介入するなどの例は少ない。今後、道の駅を自動運転運用の拠点として機能させていくためには、まず道の駅と地域との連携（地域住民が道の駅に日常的に通う仕組み）が必要と考える。

表-3 調査項目

調査対象	全国の道の駅 1,109 駅
調査期間	平成 30 年 2 月 16 日発送～3 月 5 日投函分
調査方法	アンケート郵送調査 各道の駅の設置者宛に調査票を郵送し、道の駅の運営面に詳しい担当者（駅長や支配人など）に回答いただくよう依頼 返信用封筒にて回答（一部メール送付での回答有り） 回収率：約 45%
調査項目	各道の駅の運営に関する項目を中心に全 13 問 Q1：道の駅の名称 Q2：道の駅周辺の公共交通について Q3：道の駅の来場者について Q4：道の駅の来場者（リピーター）について Q5：道の駅の運営方式、常勤職員数、道の駅内の各施設の管理主体・運営主体・整備主体について Q6：運営に関する出資者について Q7：施設の運営・管理費について Q8：施設の収入について Q9：農産物等の物販の有無、農産物等の出荷者件数、道の駅への出品方法や販売手数料、年会費等について Q10：地元産品を用いたオリジナルサービスの有無と内容 Q11：他の道の駅や団体との連携イベント等の有無と活動内容 Q12：道の駅の運営者が、道の駅以外の事業運営をしているかの有無と内容 Q13：来客増加のための工夫について

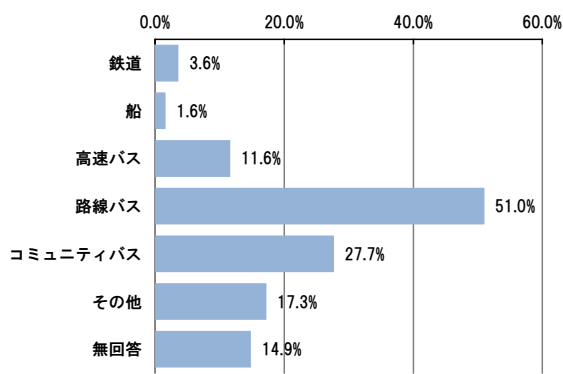


図-10 道の駅への公共交通手段について

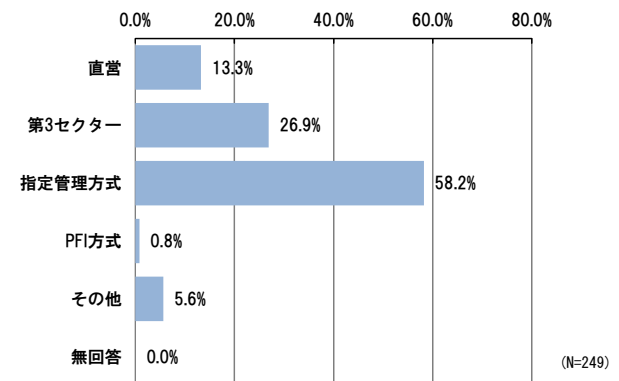


図-11 道の駅の運営・管理方式(複数回答有)

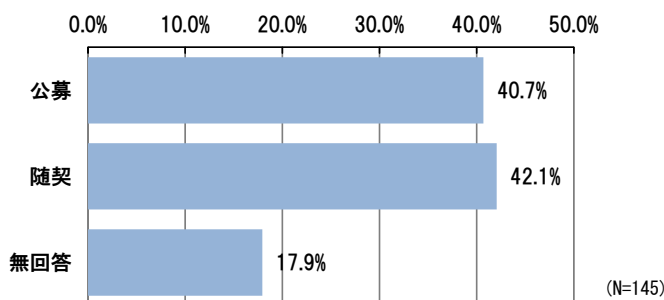


図-12 指定管理方式の場合の内訳(複数回答有)

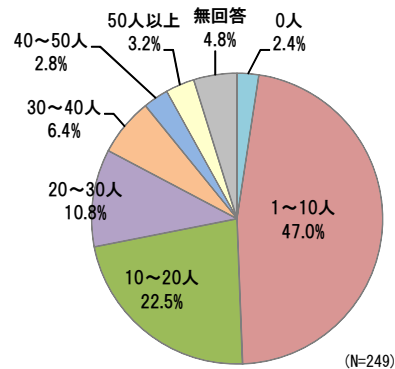


図-13 非常勤職員の人数

2.3 自動走行対応型道路ネットワーク整備計画(素案)の検討

平成29年度に整理した自動走行サービスの導入エリア・サービスによるカテゴリと、利用者や道路管理者など自動運転に関わる様々な立場からのニーズを踏まえて、道路ネットワークに必要とされる道路条件、道路施設等の戦略について検討し、自動走行対応型道路ネットワーク整備計画(素案)を作成した。

自動走行対応型道路ネットワーク整備計画(素案)の作成にあたっては、官民ITSロードマップ¹⁹⁾など様々な既存文献をもとに、自動走行サービスの事業区分や、デバイス、実現フェーズ等の情報を整理し、それらを元に、適用エリア・分野毎、実現フェーズ毎に、メリット(期待される効果)のあるデバイス・サービスを提案し、同時にデメリット(新たに生まれる課題)を挙げ、自動走行システムを運行する上で新たに必要となる環境整備の内容(情報/道路条件・道路施設/プロトコル：地域ルール等)を整理した。

(1) ベースとなる情報の整理

運転には、ドライバーが全ての運転操作を行う状態(レベル0)から、自動車の運転支援システムが一部の運転操作を行う状態(レベル1～レベル2)、ドライバーの関与なしに走行する状態(レベル3～レベル5)まで、自動車の運転へのドライバーの関与度合の観点から、表-4に示す自動運転レベルが定義されている。

a)自動運転システムによる社会的期待

自動運転システムは、今後すぐに世の中に普及する訳ではないものの、表-5に示す通り、今後10～20年の間にも急速な普及が予想されており、これに伴い今後社会に対して大きなインパクトを与える可能性がある。

b)自動運転システムを巡るデータ・アーキテクチャー

自動運転システムにおいては、表-6に示すような自動車の周辺情報等の多数のデータを様々な方法により収集し、自動車の操作に活用することとなる。情報収集に係る技術の種類観点から、「モバイル型」についても、広義の「協調型」に含めた(なお、明確な定義はないが、「モバイル型」に加え、「路車間通信型」、「車車間通信型」を活用する自動車を、「コネクテッドカー」と呼ぶ場合あり)。一方、「モバイル型」と、「路車間通信型」、「車車間通信型」については、リアルタイム性に加え、普及戦略の在り方が全く異なることから、本文章においては、以下、「協調型」とは、原則、「モバイル型」を除き、「路車間通信型」、「車車間通信型」を指す。

c)交通関連データの流通基盤の今後の方向性

今後、自動運転システムの進化に伴い、これらのデータに係る民間の入手状況、ニーズの有無を踏まえつつ、これらのデータを用いてダイナミックマップの効率的な維持・管理が実現されていく方向性が検討されている。

表-4 自動運転レベルの定義の概要

レベル	概要	安全運転に係る監視, 対応主体
	運転者が一部又は全ての動的運転タスクを実行	
レベル0 運転自動化なし	・運転者が全ての動的運転タスクを実行	運転者
レベル1 運転支援	・システムが縦方向又は横方向のいずれかの車両運動制御のサブタスクを限定領域において実行	運転者
レベル2 部分運転自動化	・システムが縦方向及び横方向両方の車両運動制御のサブタスクを限定領域において実行	運転者
	自動運転システムが(作動時は)全ての動的運転タスクを実行	
レベル3 条件付運転自動化	・システムが全ての動的運転タスクを限定領域において実行 ・作動継続が困難な場合は、システムの介入要求等に適切に応答	システム (作動継続が困難な場合は運転者)
レベル4 高度運転自動化	・システムが全ての動的運転タスク及び作動継続が困難な場合への応答を限定領域において実行	システム
レベル5 完全運転自動化	・システムが全ての動的運転タスク及び作動継続が困難な場合への応答を無制限に(すなわち、限定領域内ではない)実行	システム

表-5 自動運転システムの市場化・サービス実現期待時期

	レベル	実現が見込まれる技術（例）	市場化等期待時期
自動運転技術の高度化			
自家用	レベル 2	「準自動パイロット」	2020 年まで
	レベル 3※	「自動パイロット」	2020 年目途※ 3
	レベル 4	高速道路での完全自動運	2025 年目途※ 3
物流サービス	レベル 2 以上	高速道路でのトラックの後続車有人隊列走行	2021 年まで
		高速道路でのトラックの後続車無人隊列走行	2022 年以降
	レベル 4	高速道路でのトラックの完全自動運転	2025 年以降※ 3
移動サービス	レベル 4※ 2	限定地域での無人自動運転移動サービス	2020 年まで
	レベル 2 以上	高速道路でのバスの自動運転	2022 年以降
運転支援技術の高度化			
自家用		高度安全運転支援システム（仮称）	（2020 年代前半） 今後の検討内容による

表-6 安全運転支援システム・自動運転システムの情報収集技術の種類

情報収集技術の種類		技術の内容（情報入力の手法）
自律型		自動車に設置したレーダー、カメラ等を通じて障害物等の情報を認識
協調型（広義）	モバイル型	GPS を通じた位置情報の収集、携帯ネットワーク網を通じてクラウド上にある各種情報（地図情報を含む）を収集
	路車間通信型	路側インフラに設置された機器との通信により、道路交通に係る周辺情報等を収集
	車車間通信型	他の自動車に設置された機器との通信により、当該自動車の位置・速度情報等を収集

(2) 自動走行対応型道路ネットワーク整備計画(素案)の検討

自動走行サービスの導入エリア・サービスによるカテゴリと、利用者や道路管理者など自動運転に関わる様々な立場からのニーズを踏まえて、道路ネットワークに必要とされる道路条件、道路施設等の戦略について検討し、自動走行対応型道路ネットワーク整備計画（素案）を作成した。

自動走行対応型道路ネットワーク整備計画(素案)の検討手順は、表-7に示す4つのカテゴリに分類し、自動走行に関する情報として整理し、適用エリアにおける自動走行サービスの実現フェーズ毎に、効果が期待されるデバイスやサービス（メリット）を抽出した。次に、抽出された各デバイス・サービスについて新たに生まれる課題（デメリット）を挙げ、自

動走行システムを運行する上で新たに必要となる環境整備を以下の分類で整理した。

- ・情報
- ・道路条件・道路施設
- ・プロトコル(地域ルール等)

これらの検討を集約し、エリアごとのサービスとその実現時期、必要となる情報、道路条件・道路施設、地域ルール（プロトコル）を集約した、自動走行対応型道路ネットワーク整備計画(素案)を図-14、図-15のように取りまとめを行った。

以上の素案を基に検討を進めて、自動運転に対応した道路インフラ(図-16)と道の駅が有すべき機能(図-17)を明確化するとともに、各地域の自動走行対応型ネットワークのあり方として、図-18、図-19、

表-7 自動運転に関わる情報の分類カテゴリ

自動走行サービスの事業区分	・ヒト：バス・タクシー・カーシェア・自家用 ・モノ：トラック・配送ロボット
デバイス	・運転補助・追尾・ゆっくり・中速・高速
実現フェーズ	・2020年・2025年・2030年・2040年以降
適用エリア	・全国・広域 ・広域生活圏（中山間地域と中心都市） ・中山間地域・オールドニュータウン ・都心部

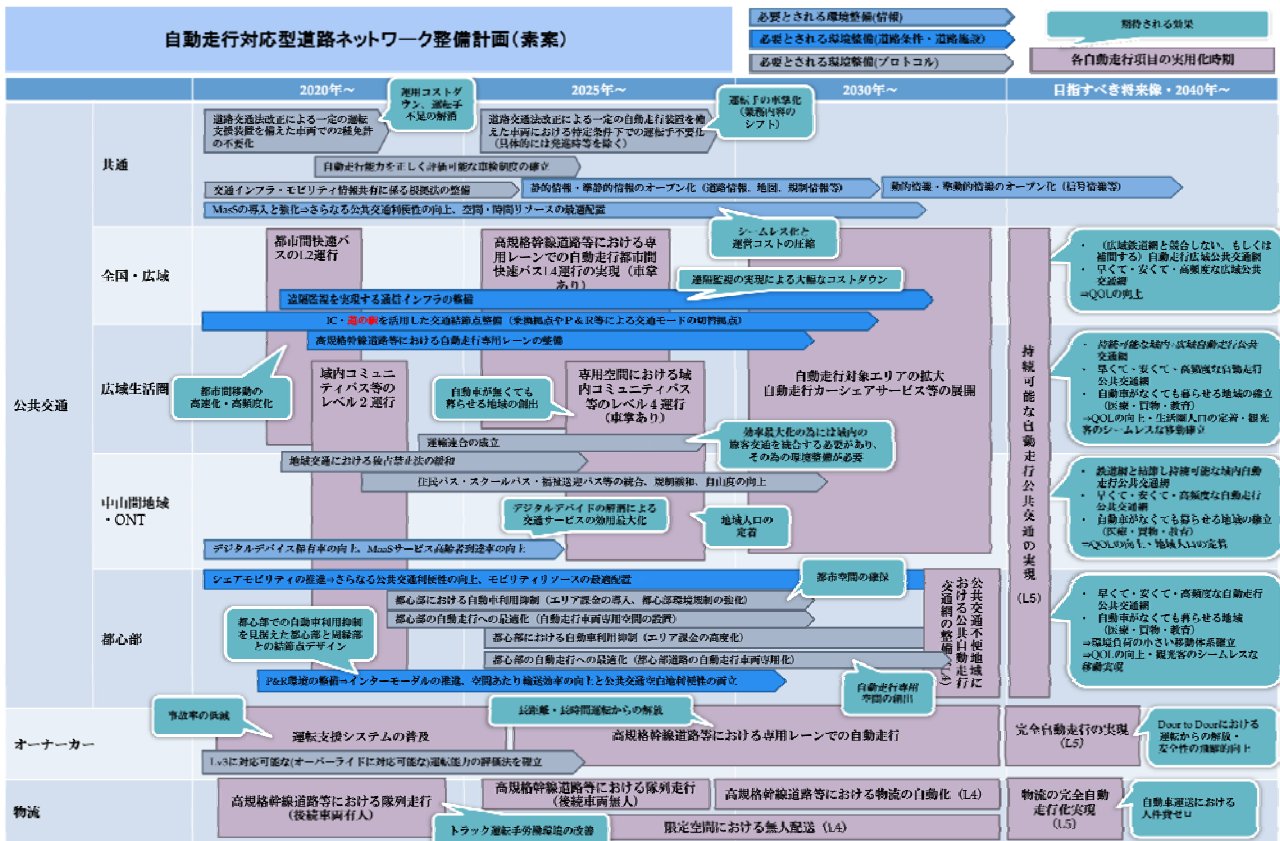


図-14 自動走行対応型道路ネットワーク整備計画（素案）

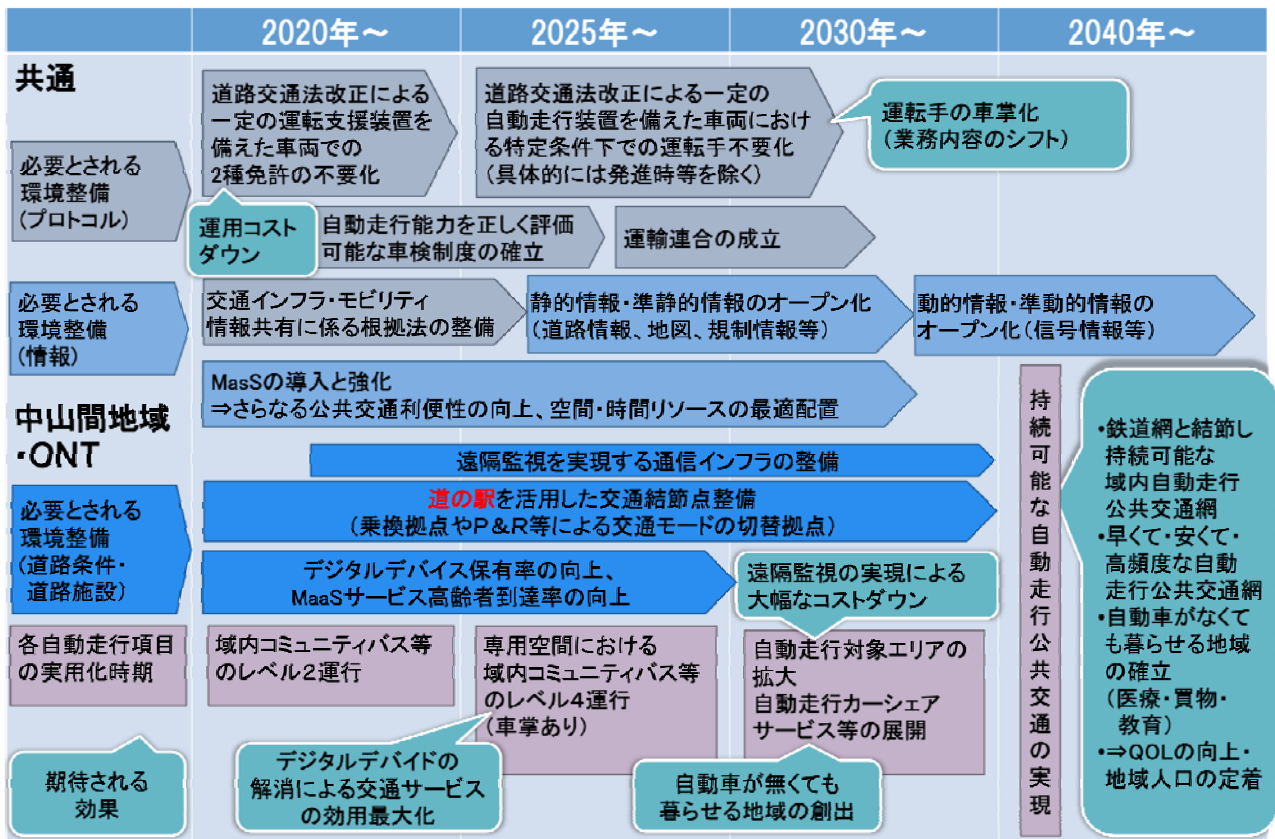


図-15 自動走行対応型道路ネットワーク整備計画（中山間地域抜粋素案）

図-20, 図-21に示す各地域の整備計画のイメージを整理した。なお, 各地域の整備計画の素案は, 無人で運行可能となるレベル4, レベル5による将来の自動走行サービスの中長期的なあり方を示しており, サービスの導入に当たっては, 地域に必要なサービスや技術の動向を踏まえつつ, ロードマップを策定し, 順次導入していくことを想定している。

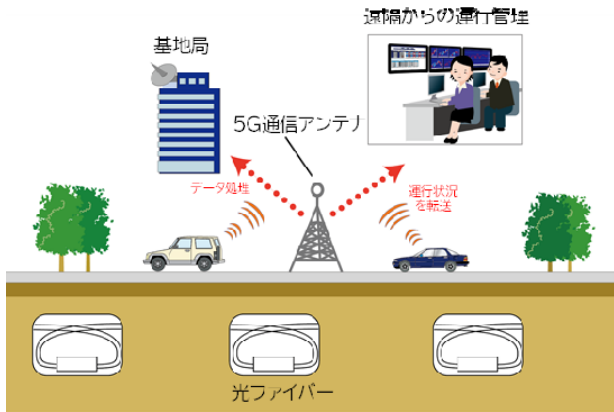


図-16 自動運転に対応した道路インフラ



図-17 結節点としての道の駅が有すべき機能

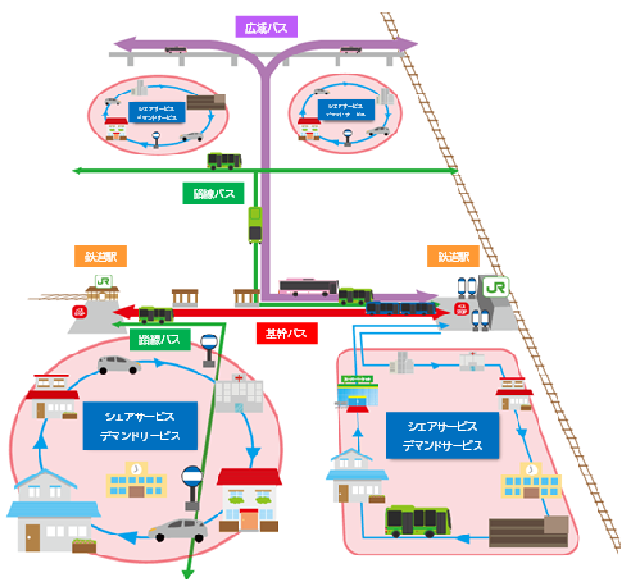


図-18 都市におけるネットワーク整備計画

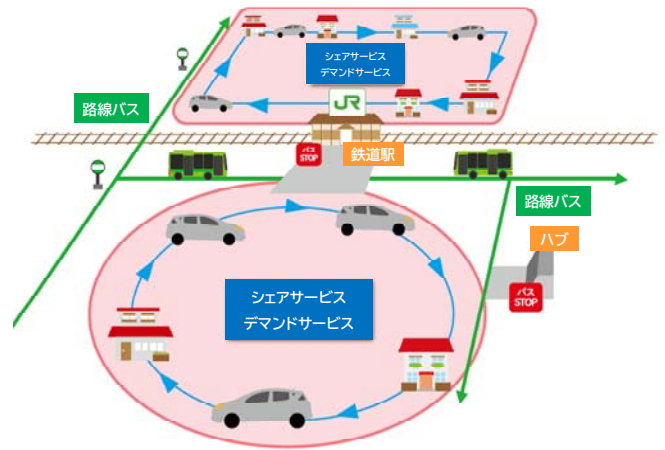


図-19 オールドニュータウンにおけるネットワーク整備計画

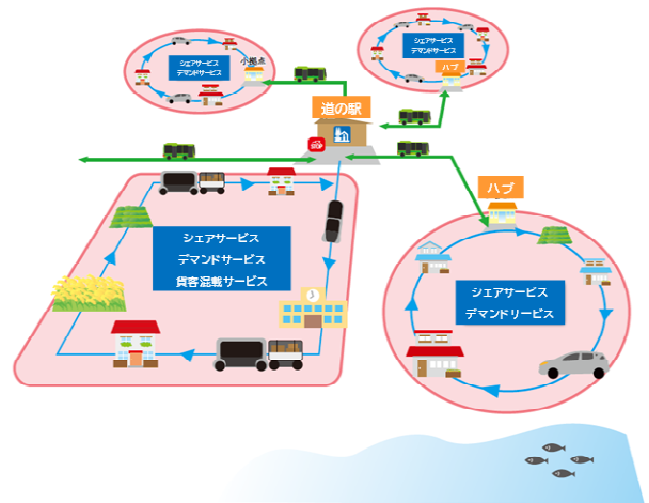


図-20 中山間におけるネットワーク整備計画

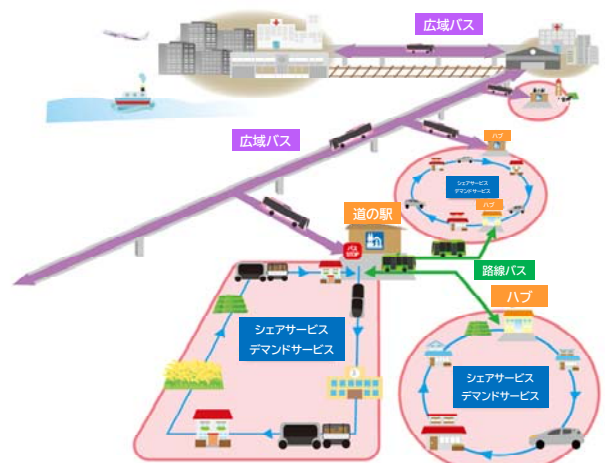


図-21 広域におけるネットワーク整備計画

2.4 自動走行対応型道路ネットワーク整備計画ガイドラインの作成

(1) 目的

a)はじめに

自動走行対応型道路ネットワーク整備計画(素案)に基づき、全国各地域で自動走行サービスのネットワーク構築を検討する際に役立つ基礎資料として自動走行対応型道路ネットワーク整備計画ガイドラインを別冊の資料として作成した。

b)自動走行対応型道路ネットワーク整備計画の位置づけ

我が国は地域特性が多様で、エリア毎に交通体系も異なるため、抱える移動課題も多岐に渡る。例えば、都市地域では、日常的な交通渋滞や、ラストワンマイル移動手段が徒歩等に限定されるなどの課題が挙げられる一方で、中山間地域では、公共交通の利便性・事業性が低下し高齢者の移動手段の確保が難しくなっているなどの課題が挙げられる。

地域公共交通の維持・改善は、これらの交通分野の課題解決のみならず、まちづくり、観光、更には健康、福祉、教育、環境などのクロスセクターで大きな効果をもたらすことが期待²⁰⁾されるが、地域が抱える課題は様々であるため、解決すべき課題が異なれば、地域における公共交通の“必要性”や“あり方”も異なるものと考えられる。

これまで公共交通計画は、行政が策定する公共交通の計画に対し、民間事業者がその実現を担う役割が大きかったが、国土交通省発出の「地域公共交通網形成計画²¹⁾及び地域公共交通再編実施計画²²⁾作成のための手引き」を踏まえると、今後は地域の総合行政を担う地方公共団体が中心となって、地域戦略の一環として持続可能な公共交通ネットワークの形成を進める必要性が高まるものと考えられる。

一方、急速に技術開発が進展している自動運転技術は、人間による運転と比べて、より安全で円滑な運転を可能とし、将来的には、我が国で生じている道路交通に関する様々な課題を解決することが期待²³⁾され、その活用を前提とした公共交通の計画立案が必要となる。地域公共交通の維持・改善を目的として地域公共交通網形成計画及び地域公共交通再編実施計画を策定するにあたっては、バスやタクシーなどの公共交通車両を用いた自動走行サービスは、新たな公共交通手段の選択肢として大きな期待が寄せられる。このため、これらの車両の自動走行サービスを支援する自動走行ネットワークの導入を促進することは、地域公共交通の維持・改善効果に寄与する役割を果たすと考えられる。

「自動運転に対応した道路空間に関する検討会(中間とりまとめ)」²⁴⁾では、「自動運転車が安全で円滑に走行するために必要とされる区間や箇所は、インフラ側が先行して対応することにより、自動運転技術の開発や実社会への導入を促進させることもできる」と示唆している。これに対し、一般的に道

路整備をはじめとしたインフラ整備は、整備に関する計画から供用までに至る時間を要する性質があり、自動走行サービスの導入・普及に向けては、それぞれの地域課題に応じ、地域公共交通の維持・改善に必要なネットワークの整備を、計画的に進めることが必要と考えられる。この際、事前に自動走行対応型道路ネットワーク整備計画の策定を行うことで、自動走行対応型道路ネットワークの適切かつ着実な整備の実現が期待できる。

また、自動走行対応型道路ネットワーク整備計画の検討にあたっては、「自動走行サービスの導入・普及を行おうとする整備計画策定者」、「自動走行サービス運行マネジメント実施者」、及び、「関連する政策評価者」は、自動走行対応型道路ネットワーク整備計画を立案する際の検討手順を共有し、検討の効率化と検討内容の精緻化の両面を行う必要があり、本ガイドラインがその計画立案プロセスの一助になるものと考えられる。

(2) 自動走行型道路ネットワーク整備計画ガイドライン

自動走行対応型道路ネットワーク整備計画検討ガイドラインは、**図-22**に示す手順にて検討を進めるものとし、ガイドラインとしては、「検討ガイドライン」(本章にて詳述)及び「評価・認証ガイドライン」(第3章にて詳述)の2分冊で構成するものとした。これらのガイドラインは、本研究での調査、分析や実証実験を通じた実例を交えながら体系的な整理に留意し作成した。

(3) 検討ガイドライン

検討ガイドラインでは、**図-23**に示す検討プロセスの通り、計画を行うエリア設定を行い、地域課題の把握を行い、地域課題に対応する整備計画を新たに作成するプロセスとして定義し、計画者はこのプロセスに則り、計画の策定事を想定している。

a)エリア分類の選定

整備計画の対象地域を大きく都市部と地方部に大別した上で、さらに①都市地域、②オールドニュータウン、③中山間地域、④広域に区分する。検討主体は、自動走行対応型道路ネットワークの整備を考えている対象地域に適合するエリアをこれらのエリア分類の中から選定し計画を立案する。

b)地域課題の把握

ガイドラインに記載するエリア分類別の地域課題イメージを参考に、計画を検討しているエリアの地域課題として、地域実態を把握するための調査等を行い、地域課題に対応した計画に反映させる必要がある。計画エリア毎の代表的な地域課題を把握するための調査項目、調査手法について、**表-8**に示す。

c)自動走行ネットワークの設定

公共交通ネットワーク体系の構成要素は、**表-9**に

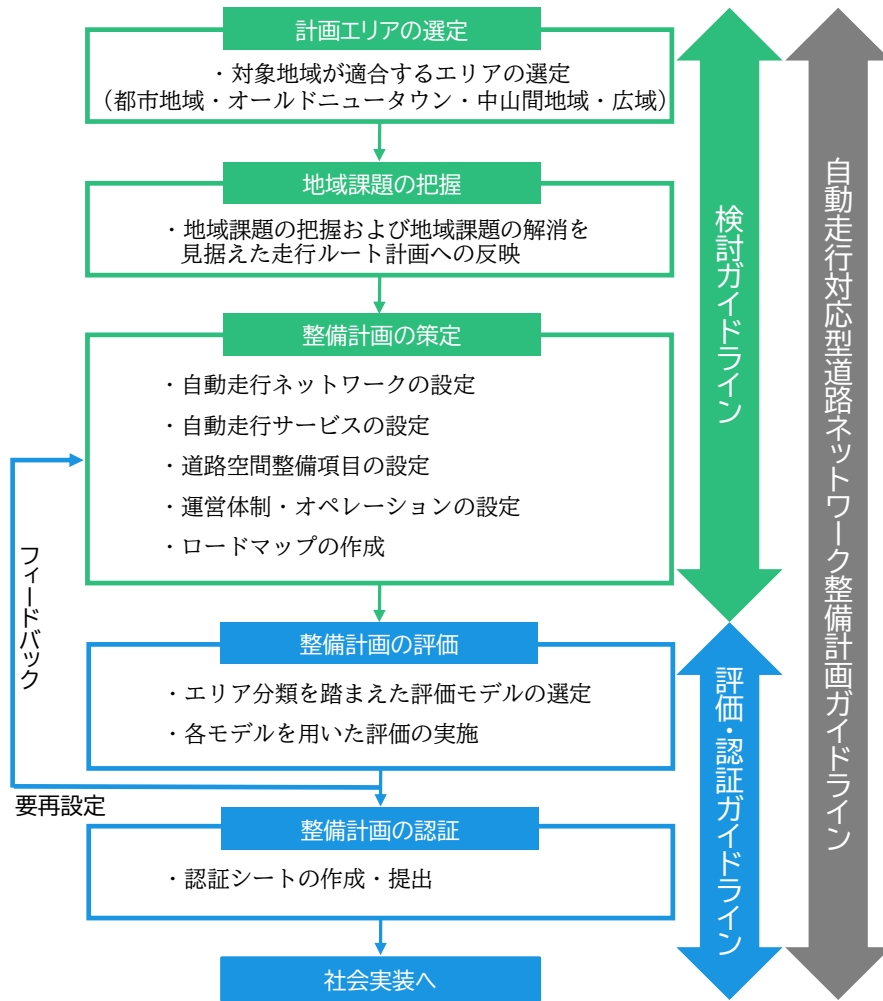


図-22 自動走行型道路ネットワーク整備計画ガイドラインの構成

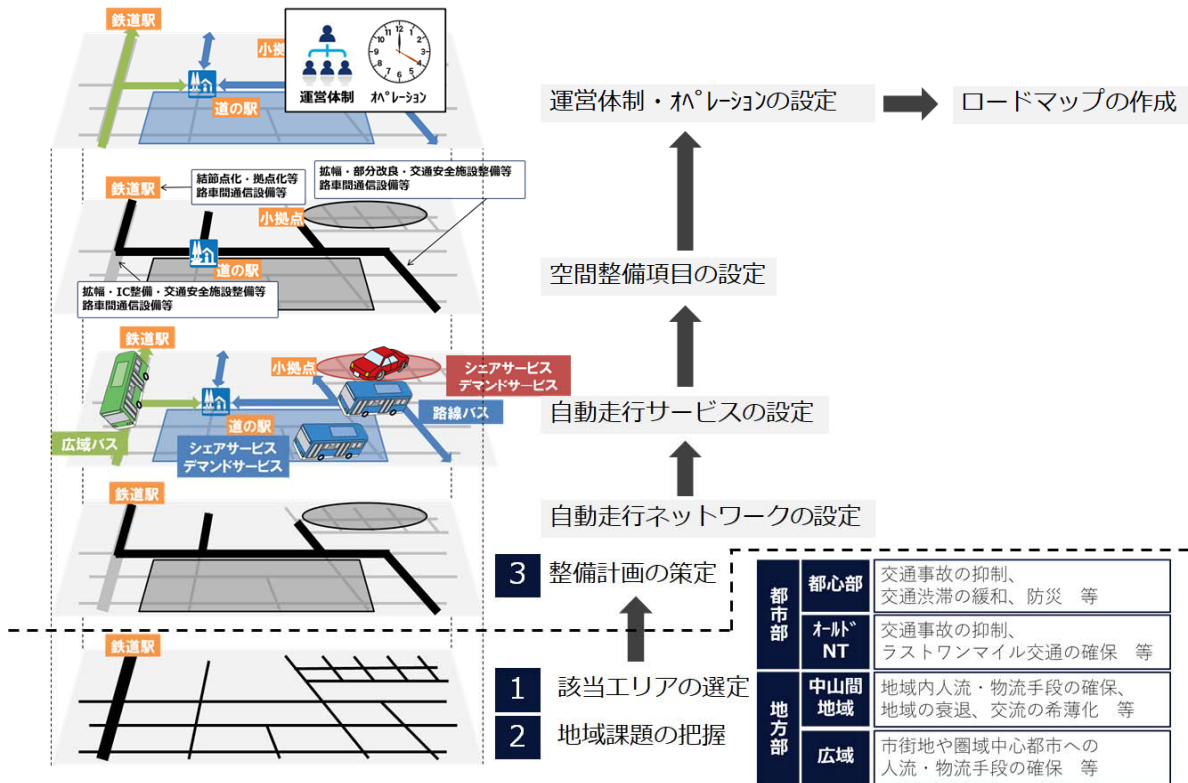


図-23 自動走行型道路ネットワーク整備計画「検討ガイドライン」における検討プロセス

表-8 都市地域の地域課題把握手法

	地域課題	調査項目	調査手法例
人口面	都市開発等による将来的な常住人口や就業人口の増加	人口増減	国勢調査
交通面	同一ルートにおける複数路線の重複		
	過大な交通量による道路渋滞の発生、交通事故の誘発 道路交通渋滞による路線バス等の時間信頼性低下	交通量 旅行速度 道路状況	道路交通センサス
	CO ₂ 排出量の増加	交通量 CO ₂ 排出量原単位	道路交通センサス 排出原単位データベース
空間面	鉄道不便地域等における公共交通の確保問題	計画エリアの移動実態	パーソントリップ調査
生活面	通信やインターネット販売の進展等による外出機会の低下	計画エリアの生活実態	地域住民アンケート

表-9 公共交通ネットワークの分類

分類	概要	対象交通
広域交通	都市間や拠点間の長距離移動のための交通	基幹バス 広域バス
域内交通	都市内、市町村内の中距離移動のための交通	路線バス シェアサービス デマンドサービス 貨客混載サービス
ラストワンマイル交通	都市内、市町村内における最終目的地までの短距離移動のための交通	シェアサービス デマンドサービス 貨客混載サービス

表-10 自動走行サービス導入における車両別の課題

道路環境	自動走行サービス導入における課題項目	基幹バス	広域バス	路線バス	シェアサービス	デマンドサービス	貨客混載サービス
一般道路	一般車両、歩行者、自転車との走行空間の混在	○	○	○	○	○	○
	路上駐車車両の存在	○	○	○	○	○	○
	狭隘路におけるすれ違い			○	○	○	○
	沿道の雑草等		○	○	○	○	○
	道路脇の堆雪		○	○	○	○	○
	特定箇所(トンネル、橋梁下、強電波箇所等)におけるGPS検知不良	○	○	○	○	○	○
	降雪や霧等の気象条件によるセンサ機能低下	○	○	○	○	○	○
	バス停における停車バスとの錯綜	○	○	○			○
	一般車両との走行速度差を起因とした交通渋滞の発生	○	○	○	○	○	○
	高速道路	路面の区画線の消えかき、かすれ		○			
路面のオプティカルドットや減速マーク、カラー舗装による認知誤差			○				
分岐部の破線の不連続等による車線の認知誤差			○				
分合流部や車線減少部における周辺車両の流入困難			○				
GPS位置精度の低下による車線維持精度の低下			○				
車載センサでは把握できない外部からの情報不足(路面状況、工事規制、渋滞状況等)			○				

示す通り、各サービスがカバーする移動距離や輸送能力から、広域交通、域内交通、ラストワンマイル交通の3種類から設定することとし、地域の移動実態に即したネットワーク化の検討を行う。

d)自動走行サービスの設定

ネットワークの設定後、ネットワークの要件に応じたサービスを選定する。各公共交通サービス(基幹バス、広域バス、路線バス、シェアサービス、デマンドサービス、貨客混載サービス)の選定は、必要とされる車両性能要件(移動距離、輸送力、速度、戸口性)及びコストに関する要件(初期コスト、維持コスト、必要な道路設備整備等)に基づき車両を選定する。

e)道路空間整備項目の設定

自動走行サービスの導入には、道路空間及び車両技術上、様々な課題が発生する。これらの課題については、各地の自動運転導入に向けた実証実験において明らかになってきており、表-10に自動走行技術をサービスに適用した際の課題を整理する。

自動運転技術は近年の技術革新により日々急速に進化しているもの、現状の技術レベルで自動走行サービスを導入すると、様々な道路環境及び車両技術上の課題が発生することが予想される。自動走行サービスの導入における道路環境課題としては、他の車両との関係性に起因する要因、走行阻害要因、認知に関する要因等が考えられる。

自動走行サービス導入に際し必要となる道路環境整備としては、路車間通信環境整備、結節点整備、道路環境整備が挙げられる。

f)運営体制・オペレーションの設定

導入する自動走行公共交通サービスを運営する主体と、運営をサポートする主体をそれぞれ設定する。運営に際して、地域の路線バス、貸し切りバス、タクシー等の運行を行う交通事業者は大きな役割を果たすことが期待される。また、地方行政は地域全体の中央行政との協議を行いながら、補助金等を活用し総合交通体系の観点から、同じく大きな役割を果たすことが期待される。そのほか、地域施設・企業においては病院や学校、商店等の送迎サービスが現存する可能性があり、それらのサービスとの連携も期待できる。

また、中間運営組織の設立を新たに行うことで、各関係主体からのサポートを受けながら、自動走行公共交通サービスの運営を一括で行う方法も検討される。

更に、自動走行公共交通サービスのオペレーション内容として、通常の公共交通とは異なる特有のオペレーションが必要となる。自動走行サービスを運営していく上では、計画した運営体制に沿って、各関係主体が行うオペレーションについて設定を行う。

g)ロードマップの作成

立案した整備計画の実現に向けて、必要とされる環境整備や、導入可能な自動運転技術レベルを考慮し、時系列で施策の展開時期を整理するロードマップの作成を行う。作成例を図-24に示す。

なお、作成したロードマップは、自動運転技術並びに必要とされる環境整備に係る道路技術について、国内外の新たな産業・技術動向等の進展を踏まえ、必要に応じて実情に即して修正を行い、計画の実装状況に関するPDCAサイクルに組み込む事が望ましい。

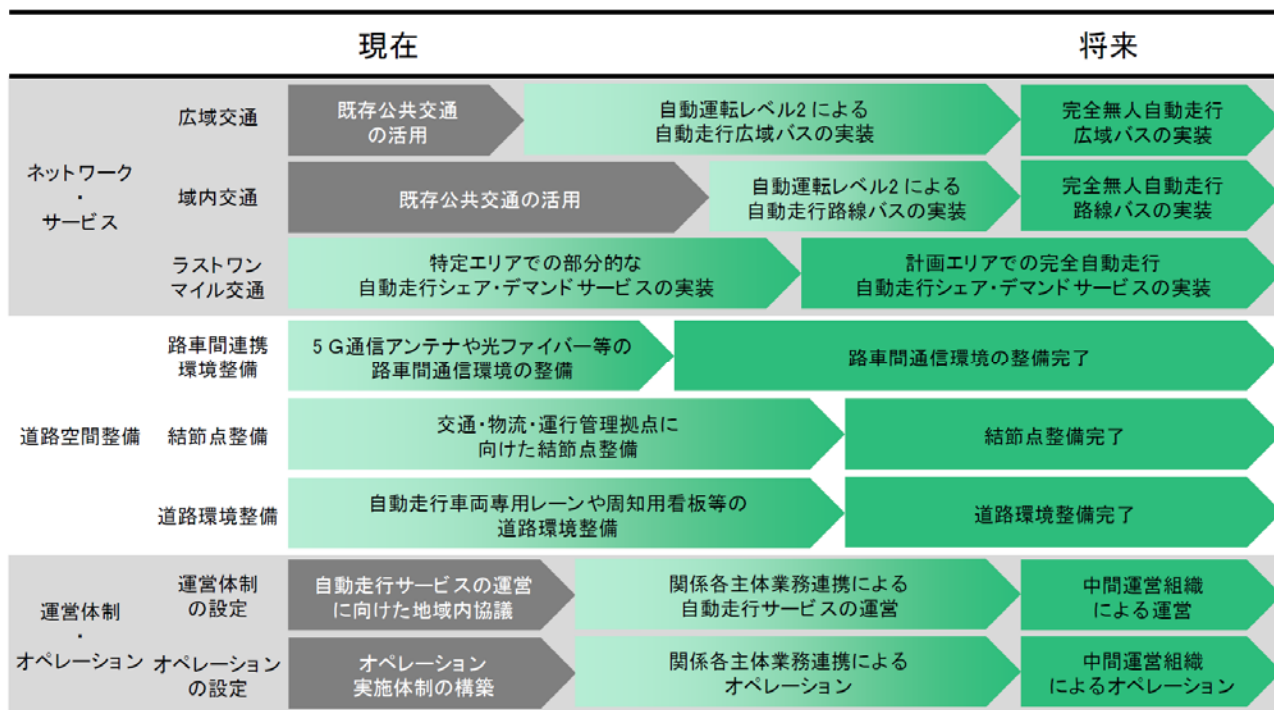


図-24 ロードマップの作成例

第3章 自動走行サービス評価手法の検討

3.1 実証実験の標準的な調査・評価手法の検討

(1) 実証実験の標準的な実施・評価手法の検討

自動走行サービスの導入効果を検証するために、施策と効果の体系(表-11)や実証実験における標準的な調査体系(表-12)について整理を行った。

(2) 実証実験に関する基礎的調査・検討

a) オールドニュータウンにおける移動サービスの導入に向けた検討

名古屋圏の代表的なオールドニュータウンである高蔵寺NTでの自動運転サービスの受容性を把握することを第一目的に、2つの住宅団地で自動運転デマンド交通実証実験と自動運転ラストマイル実証実験の

実施概要(図-25)とアンケート調査結果を整理した。

平成29年度に実施した住民アンケート調査では、デマンド交通サービスへの期待度は高く(図-26)、ニュータウン内の路線バスなど既存交通システムとの連携もできるような多様なサービスを提供できる自動運転車両の開発が求められており、また乗車体験を通じて技術信頼度を理解してもらい、普及への受容性を醸成することが効率的である事を確認した。

加えて、高齢者の移動支援などへの期待も大きく、共同利用方式や保有方式の両方から利用者ニーズを丁寧に把握し、公共交通システムの一部を担える新たなサービスとして今後も検討していく必要があることも実験結果を通じて確認した。

表-11 自動走行サービスの導入における施策と効果の体系

区分	施策		社会的な効果	効果の帰着先		
	内容	施策パフォーマンス				
1. 生活の足の確保に向けたサービス	地域モビリティ運行の自動化・デマンド化	ドライバー不要	ドライバー不足の解消 運行収支の向上	行政		
		フリークエンシー向上	地域内での外出利便の向上	地域居住者		
		運転免許不要	地域内での外出機会の増加	地域居住者		
		時間信頼性向上	バス利用ニーズに応じたルート最適化 バス利用待ち時間の低減(余裕時間の増加)	行政 地域居住者		
	地域モビリティと広域バスの接続	接続シームレス化	最寄中心都市等域外への外出利便の向上 最寄中心都市等域外への外出機会の増加	地域居住者 地域居住者		
		2. 地域物流の確保に向けたサービス	地域モビリティによる物流の自動化・デマンド化	ドライバー不要	ドライバー不足の解消 物流コストの低減	地域物流事業者 地域生産者・関連事業者
時間信頼性向上	荷物需要に応じたロジスティクスの最適化 荷受待ち時間の低減(余裕時間の増加)			地域物流事業者 地域居住者		
集荷配送効率向上	地域内での生産者・事業者間の流通の効率化			地域生産者・地域関連事業者		
地域物流と広域物流の接続	集荷配送効率向上		広域での生産者・事業者間の流通の効率化	地域内外生産者・地域内外関連事業者		
	3. 観光活性化に向けたサービス		地域モビリティ運行の自動化・デマンド化	フリークエンシー向上	観光地滞在時間の増加	来訪者、地域観光事業者、行政
				デマンド対応	観光周遊利便の向上	
地域モビリティと広域バスの接続		接続シームレス化	広域移動のスムーズ化			
4. 道の駅でのビジネスモデル構築に向けたサービス	地域物流の自動化・デマンド化	集荷配送効率向上	道の駅での特産品販売の拡大	地域生産者、地域関連事業者、行政		
5. 都市型道の駅による地域防災計画	地域モビリティ運行の自動化・デマンド化	デマンド対応	地域内での避難行動の迅速化 地域内での救援物資供給の迅速化	地域居住者		
6. 都市型道の駅による回遊の活性化	パーカーキングシステムの導入	駐車場検索不要	都心部への来訪利便性の向上	来訪者、地域商業事業者		
			都心部の回遊性の向上			
			消費行動時間の増加			
		駐車場利用の適正化(料金収入の増加)	地域駐車場事業者			
		路上駐車台数低減	都心部の自転車・歩行者の交通安全の向上 荷捌き利便の向上	来訪者 地域物流事業者		

表-12 実証実験における標準的な調査体系

項目	調査項目	調査により取得するデータ	調査ツール
道路・交通	①道路構造 ②道路管理 ③混在交通対応	ビデオ映像(前方・後方・車内・ドライバー撮影データ)	ビデオ映像(ドライブレコーダー、カメラ)
		センサ情報(LiDAR検知情報、可視光カメラ検知状況)	レーザセンサ 可視光カメラ
		人の介入に関する情報(マニュアル操作介入情報、緊急停止ボタン使用情報)	運行記録
		GPS情報(位置情報・速度情報・受信感度)	GPSセンサー
		ブレーキ情報(自動ブレーキ) 3軸加速度情報(前後、左右、上下のG) 点群データ	車両情報 GPSセンサー レーザセンサ
地域環境	気象条件 通信条件	天候データ	天候記録
コスト	車両コスト等	車両コストデータ	
社会受容性	輸送サービスの受容性	アンケートデータ	モニターアンケート
	周辺交通への影響、自動運転技術への信頼	アンケートデータ	近隣住民アンケート
	自動運転技術への信頼	アンケートデータ	ドライバーアンケート
地域への効果		アンケート・ヒアリングデータ	住民・事業者アンケート・ヒアリング
行動調査		行動ログデータ	スマホアプリ・GPSカー
点群調査		ダイヤリーデータ	ダイヤリー調査
QOL調査		点群データ	レーザセンサ
		インタビューデータ	インタビュー
		アンケートデータ	アンケート

ニュータウン



- ・高齡化進展，自動車運転への不安度増加
- ・自動運転サービスを含む，新たなモビリティ・サービスへの期待増加

ゆっくり自動運転[®]

- ・自動運転レベル4以上の早期社会実装を第一目的
 - ・低速度運行で安全性向上，他交通手段との並走可能
- ⇒参加・健康・楽しみをもたらし外出支援



オンデマンド配車予約システム

- ・自家用車利用と同じ感覚で，車両配車
- ・同一車両乗合い，他の交通手段との連携，貨客混載などサービス連携・拡充



⇒地域モビリティサービスのプラットフォーム

自動運転サービスの検討，シミュレーション評価

図-25 高蔵寺ニュータウンにおける検討概要

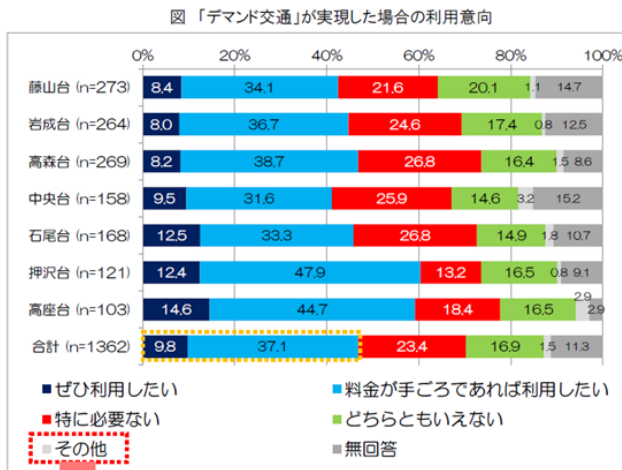


図-26 デマンド交通が実現した場合の利用意向

b) 都心部におけるバレーパーキングの導入に向けた検討

札幌大通地区は，通過型及びアクセス型の交通が流入する都市構造となっており，慢性的な交通渋滞が発生している。また，駐停車車両も多く自転車の歩道走行の助長，バス利用者の安全性低下等が課題となっている。そこで，アクセス型自動車交通流入の削減を目的としたバレーパーキングと自動走行シェアリング車両の導入による効果把握の基礎検討として，自動車での来街者を対象とした利用意向と行動調査を実施した。調査はバレーパーキングの事業性検討の基礎データ収集として，自動車利用の来訪者の消費傾向，来訪動機，駐車場選択と都心部移動，バレーパーキングの利用意向と価格感度についてアンケート調査を行う(図-28)とともに，商店街が実施する共通駐車券事業との連携に向けた基礎データ収集として，共通駐車券利用者の周遊動向等について調査を行った(図-29)。調査結果として，①都心部のフリンジに位置する大通地下駐車場においても都心部への周遊が十分に発生し(図-27)，②公共交通に比べたアクセス性，荷物や子供を伴う移動の利便

性が車での来訪動機の上位を占め，都心部からやや外れたフリンジの位置にバレーパーキングする場合でも，一定の需要が見込まれることを確認した。また，③一つの駐車場から2件以上の商業施設を訪問するものが半数以上であり回遊性があること，④駐車場選択においては，買い物での割引サービスが重視されていること，⑤駐車場の利用時間は，3時間以内の利用が約8割を超えることなどの知見を得た。以上より，商店街が展開する共通駐車券事業との連携により，バレーパーキングの受容性が増す可能性が示唆された。

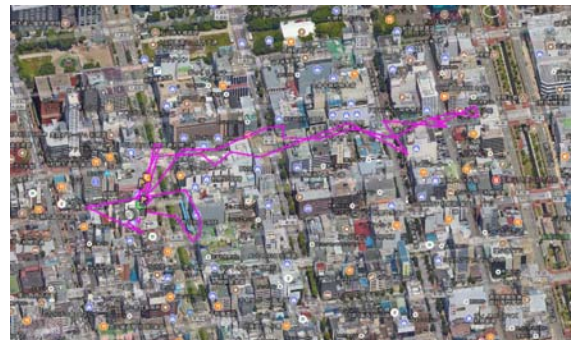


図-27 GPSロガーデータから見る周遊実態

事業性検討に向けた基礎データを収集

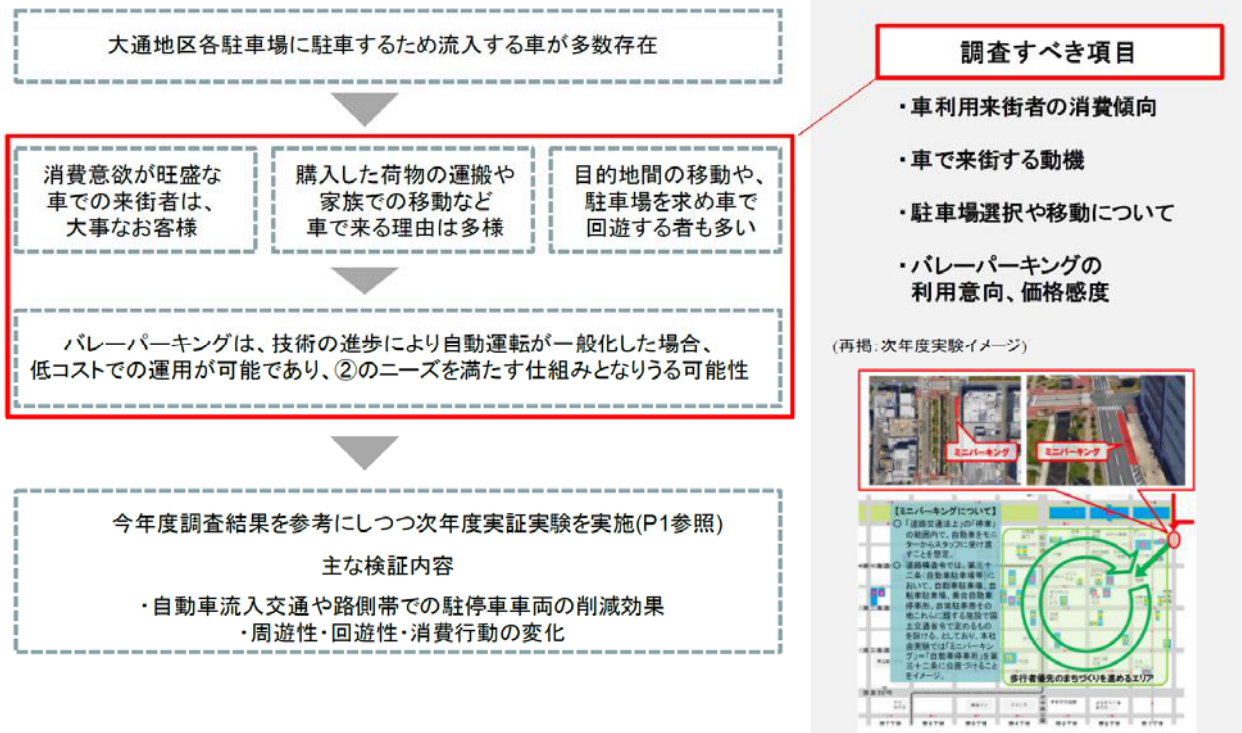


図-28 パレーパーキングの事業性検討に向けた基礎データの収集概要

共通駐車券事業(カモンチケット)との連携に向けた基礎データの収集

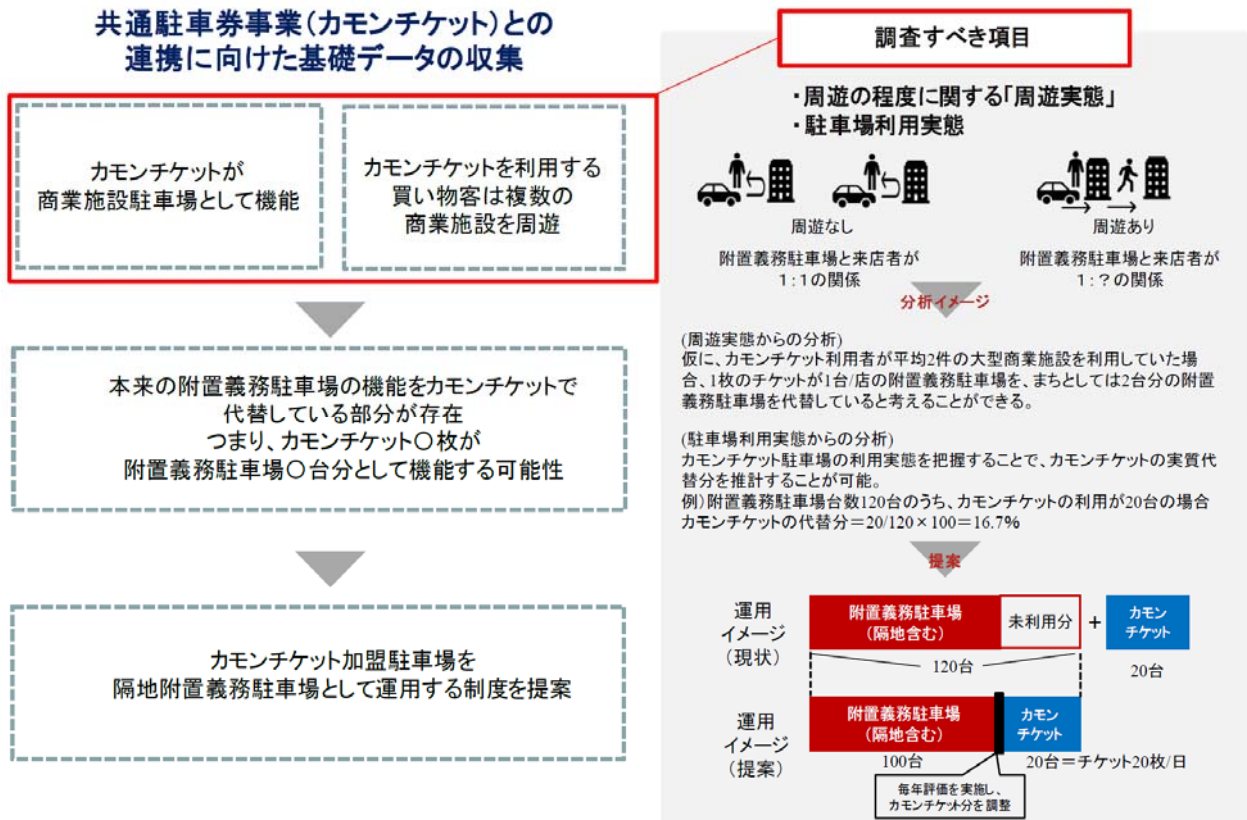


図-29 共有駐車券事業との連携による受容性検討と周遊実態調査の概要

c)道の駅に関する行動実態調査

国土交通省が2017年度に実施した自動運転実証実験²⁵⁾に合わせ、(1)地域の拠点としての道の駅の実態把握、(2)自動運転サービス導入による道の駅の拠点性への影響評価を目的とした一週間の行動実態調査を行った。

選定した道の駅は、国土交通省が2017年度に自動運転実証実験を行った13カ所の道の駅から選定した道の駅であり、予算制約、地元自治体の協力等を考慮して最終的に下記4カ所(図-30)を選定した。被験者は当該道の駅の近隣住民とした。

- ・島根県：道の駅 赤来高原
- ・熊本県：道の駅 芦北でこぼん
- ・秋田県：道の駅 かみこあに
- ・北海道：道の駅 コスモール大樹

本調査の表-13に示す調査項目としたが、関心は、(1)地域内でどの程度お金が循環しているか(地域経済循環)、(2)道の駅においてどの程度地元農作物の取引があるか(地産地消)、(3)周辺環境が道の駅の利用にどのような影響を及ぼすか、(4)農家の方のような農作物をどの程度道の駅に卸しているか、といった点にあるため、農家の方のサンプルが一定程度確保されるように配慮した。

行動実態調査では、紙面による一週間の行動ダイアリー調査を実施した。ただし、最大30世帯に対してはGPSロガー(又はスマートフォン)を貸与し、移動履歴情報についても併せて収集した。

また、調査結果概要としては、コスモール大樹においては農業従事世帯が少ないこと、かみこあににおいては回答者数が少ないことに起因して農業従事世帯のサンプルサイズが小さくなっている(図-30)。

集荷サービス利用意向の分析では、過疎地域における拠点としての道の駅が重要な役割を果たしているケースが散見される。とりわけ道の駅に設置される

農産物の直売所は、地域経済の活性化の観点から重要な役割を果たしているといえる。本研究では、農産物の直売所への出荷を後押しする施策として農作物集荷サービスに着目し、農業従事者の本サービスへの支払意思額を推計する。特に、(1)自動運転車の社会実装が近づきつつある現在、こういったサービスで大きな人件費をかけずに集荷サービスを提供できる可能性が高まっていること、(2)貨客混載型のサービス形態を採用することにより、需要不足に悩まされていた公共交通サービスを維持できる可能性が高まること(すなわち、貨客混載型の交通サービスを採用することにより、人に対する公共交通サービスを改善することができる可能性が高まること)、を踏まえ、農作物集荷サービスを導入する意義は大きいと考えられる。

農家の農作物集荷サービスの利用意向は、価格や最大積載量、予約システムといったサービス水準だけでなく、どのような農作物を育てているか、自動車を何台保有しているかといった要因にも影響を受けると考えられる。以下、本研究において考慮する影響要因について整理する。

まず集荷サービス自体のサービス水準については、価格、一回当たり最大積載量、予約システム(何時間前までに予約する必要があるか)の3つを考慮する。集荷サービス需要の価格に対する弾力性の推定はとりわけ重要であり、例えば貨客混載サービスをデザインする場合の収益計算に直結する。

重量が大きくても売り上げが小さい農作物と、重量が小さくかつ単価の高い農作物では、集荷サービスや最大積載量に対する感度が大きく異なると考えられる。また、傷みやすい農作物とそうでない農作物で集荷サービスの利用意向は大きく異なることが想定される。

表-13 調査項目

世帯票	個人票
<p>◆世帯属性 住所、居住年数、農地まで距離、年収等</p> <p>◆世帯構成員の属性 性別、年齢、職業、免許、交通手段、携帯有無等</p> <p>◆農産物生産量 農産物名、農地まで距離、生産量、収穫時期、売上、出荷先</p> <p>◆将来農産物出荷意向 増減産意向、出荷先意向、育成作物意向、集荷サービス導入時の出荷先意向</p> <p>◆農産関係の情報交換者の属性 年齢、性別、職業、居住地、交流頻度等</p>	<p>◆自地域の価値観 地域への誇り、自然景観良さ、食材良さ等</p> <p>◆困った時の助けや相談できる人数 自宅距離帯別の人数 年齢、性別、職業、居住地、交流頻度等</p> <p>◆一週間の簡易交通日誌調査</p>



図-30 調査結果概要

3.2 自動走行システム導入・運営評価モデル検討

(1) はじめに

自動走行システム導入やその運営評価を行うモデルを検討して、都市部の都心部、オールドニュータウン、地方部の中山間地域、広域のエリア区分に対応する評価モデルを構築した。また、エリア区分ごとにスタディエリアとしてフィールドを設定し、実際の地域の実情に応じた計画やサービス内容を検討し、対象フィールドにおける調査データに基づく評価モデルやツールの構築を行い「自動走行対応型道

路ネットワーク整備計画」を成立させるために役立つ評価に役立てる事を目的に整備した(図-25)。また、本研究では開発した評価手法の体系的な整理を行い、道の駅を拠点とする「自動走行対応型道路ネットワーク整備計画」の評価・認証を行うことも目的とするため「評価・認証ガイドライン」を作成した。評価を行う際には、自動走行システムの導入による効果を明確化する必要があることから、図-26に示すようなエリア区分毎に自動走行サービスが導入された際の代表的な効果項目の検討についても行った。

		フィールド	サービス	評価モデル	運営体制	基盤
都市部	都心部	東京臨海部	・鉄道 ・基幹バス ・路線バス ・シェアデマンド	・自動走行交通サービス評価モデル	-	自動運転の実現性を高めるための基盤技術開発 ① 3次元道路地図の変化箇所検出・形状認識 ② 3次元点群データを効率的に圧縮する手法
	オールドNT	高蔵寺ニュータウン	・鉄道 ・路線バス ・シェアデマンド	・デマンドサービスオペレーションモデル	-	
地方部	中山間地域	飯南町(道の駅赤城高原)	・路線バス(貨客混載) ・シェアデマンド(貨客混載) ・道の駅活用	・自動走行貨客混載サービス評価モデル	・持続可能な運営体制のあり方	
	広域	南十勝地域(道の駅コスモール大樹) ※有村プロジェクト	・広域バス ・路線バス ・シェアデマンド ・道の駅活用	・広域バス ・路線バス ・シェアデマンド ・道の駅活用	・持続可能な運営体制のあり方	

図-31 自動走行サービス評価手法検討の枠組み

	NW・サービス	対流型地域圏域における代表的な効果				
		渋滞緩和	空間の質向上	生活面	物流・産業面	観光面
都市部	・自動走行レーン ・デマンド ・シェアリング ・路線バス ・鉄道駅等の結節点	・交通容量の増加 ・渋滞緩和 ・速達性アップ	・アメニティスペースの創出 ・緑化の促進	・空白地域解消 ・外出機会向上	・物流効率化 ・産品の高付加価値化	-
オールドニュータウン	・デマンド ・シェアリング ・鉄道駅等の結節点	-	-	・生活の足確保 ・外出機会増加 ・安心安全の確保(免許返納)	・生活物流の確保	-
中山間地域	・貨客混載 ・デマンド ・シェアリング ・道の駅、ハブ等の結節点	-	-	・生活の足確保 ・外出機会増加	・生活物流の確保 ・産品の出荷増加	交流の促進 滞在・消費の増加
広域 ※他プロジェクト	・路線・高速バス ・貨客混載 ・デマンド ・シェアリング ・道の駅、ハブ等の結節点	-	-	・生活の足確保 ・外出機会創出 ・就学機会創出 ・医療圏の確保 ・人口定着 ・QOLの向上	・生活物流の確保 ・産品の出荷増加	交流の促進 消費増加

図-32 自動走行サービス評価手法の体系的整理

(2) 評価モデルの整備

a) 交通・都市活動への影響評価が計測可能な マイクロシミュレーション

・背景と課題

主に都市部・都市地域での自動走行サービス導入及び自動走行対応道路ネットワーク整備が、交通・都市活動に及ぼす影響を評価するための手法を、対象フィールドを東京臨海部として開発した。

東京臨海部を例に、本項で提案する手法の目的と適用イメージを説明する。図-33に示すように、東京臨海部では、既存公共交通の駅構内の混雑や環状方向の輸送力の不足、慢性的な交通渋滞、駅までの歩行距離の長さや駅周辺歩道の混雑が現状で問題になっており、さらに居住者・就業者の増加傾向から将来的な混雑の深刻化が懸念される状況にある。このような課題に対し、臨海部と都心部の主要駅を結ぶ自動走行交通サービスや、自動運転専用レーンを導入することにより、解決を図ることが考えられる。このようなサービス導入を検討する際には、鉄道や歩道の混雑といった現状の課題の解決に効果があるか、さらに利用者の活動を活性化し社会的余剰の増大に寄与することができるか、一方で専用レーンの整備が道路混雑にどのような影響を及ぼすのかなど、交通行動全体への影響を評価する必要がある。このために、導入する政策によって生じる対象者の行動をマイクロシミュレーションにより推計し、この計算結果を集計的に用いることで、政策の影響に関する定量的な評価指標を導出することを考える。

・分析概要

評価モデルの適用イメージにて対象地域の行動特性の把握やシミュレーションモデルのパラメータの決定等に必要となる行動データを収集してデータプラットフォームを拡充するとともに、政策の影響を評価する手法として、対象地域内の活動全体を模擬するマルチモード・アクティビティベースのマイクロシミュレーションを構築した。

・分析に係る基礎情報

交通サービス導入評価におけるデータプラットフォーム拡充のため、オリンピック・パラリンピックの開催を契機として都市構造や交通網の形成、人の移動における大きな変化が予想される東京臨海部を対象とした行動調査(プローブパーソン調査及びアンケート調査)を実施した。収集したデータは、評価シミュレーションに用いる行動モデルのパラメータ推定等に必要となるものである。調査対象エリアを東京臨海地域(勝どき、月島、晴海、東陽町、清澄白河、門前仲町地域)とし、モニターが保有するスマートフォンにアプリをダウンロードする形で実施した。

プローブパーソン調査での取得データは、トリップ情報が約3.8万レコード、交通手段情報が約7.8万レコード、測位情報が約1,884万レコードである。

目的別トリップ数は、通勤通学が約83百トリップ、買物が約39百トリップ、業務が約32百トリップ、食事が約25百トリップとなっている(図-28)。

交通手段別トリップ数は、公共交通機関へのアクセス手段である徒歩と、地下鉄及び鉄道による移動が主となっている(図-29)。

[東京臨海部の課題]

- ✓ **既存公共交通** : 駅構内の混雑、環状方向の輸送力が不足
- ✓ **自動車交通の混雑** : 慢性的な交通渋滞
- ✓ **歩行環境** : 駅までの歩行距離が長く、駅周辺の歩道は混雑
- ✓ **土地利用変化による居住者・就業者の増加** : 将来的な混雑の深刻化が懸念

公共交通の自動走行交通サービス化や自動走行オーナーカー等の導入による交通全体の効果を計測するための自動走行交通サービスの評価モデルを開発



図-33 評価モデルの適用イメージ

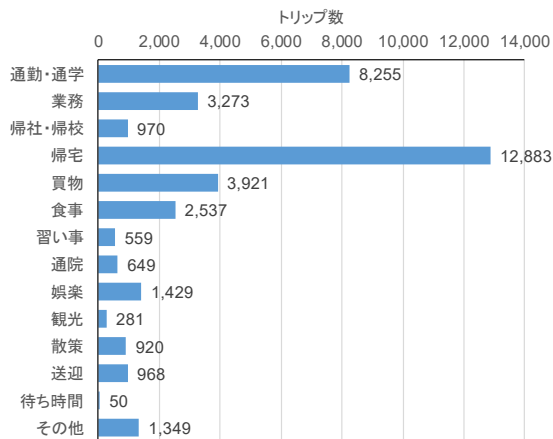


図-34 目的別トリップ数

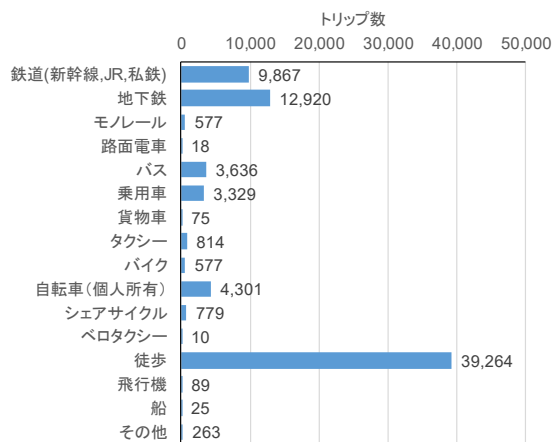


図-35 交通手段別トリップ数

アンケート調査は、プローブパーソン調査のモニターに対して、プローブパーソン調査の終了後に実施した。アンケートでは、プローブパーソン調査結果からは得られない、各モニターの移動・行動の制約条件や、行動の変更可能範囲情報を得ることを目的としている。昨年度モニターのうち51名は紙の調査票を配布する形で、それ以外のモニターに対してはWEBアンケートの形式で調査を実施した。両調査を合計して281名の回答を得た。

通勤実態については、就業先への到着時刻（始業時間）については63%が制約を有しており、そのうち8割程度が8時台～9時台の就業先への到着が求められている（図-36）。

本調査期間中や調査期間前に東京都により実施された「スムーズビズ（各個人が通勤行動を変更することで、全体の通勤混雑を減少・分散させることを目的とした取り組み。具体的には、参加企業を募集し、休暇取得・テレワーク・時間差出勤・通勤手段や経路の変更といった行動変化が推奨された。）」については、「取り組みを知っていて参加した」「取り組みを知っていて参加しなかった」「取り組みを知らなかった」の回答数がそれぞれ同程度であった。なお、参加した人の約7割が任意での参加であった（図-37）。

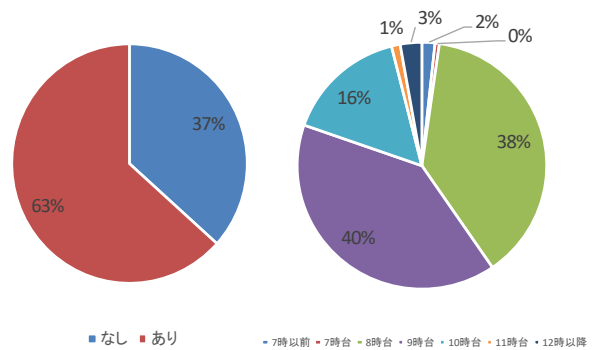


図-36 就業先への必着時刻の有無と到着時刻

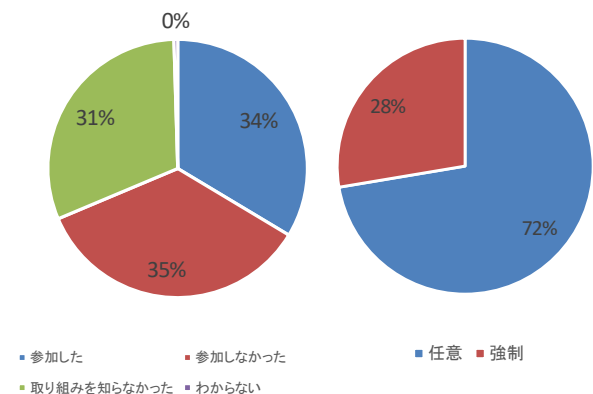


図-37 スムーズビズの認知・実施状況（左）と参加形態（右）

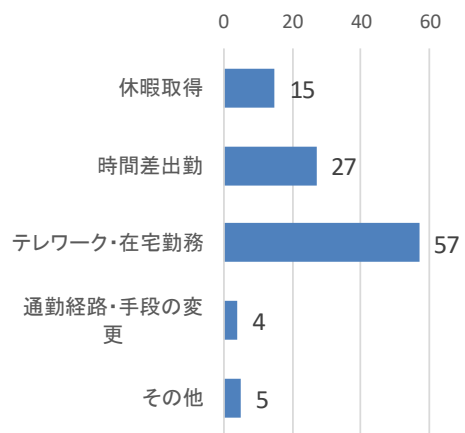


図-38 スムーズビズで実施した行動

スムーズビズにおいて実施した行動として最も多かったのはテレワーク・在宅勤務であり、以下、時間差出勤、休暇取得と続いた（図-38）。

仮にスムーズビズが強制力を持った取り組みとなった場合の、「入社時刻が30分早まる（30分早く帰宅できる）場合の帰宅後の行動変化」（図-39）と、「入社時刻が30分遅くなる場合の家から就業先に向かう間の行動変化」の想定（図-40）について尋ねた。入社時刻が早まり帰宅後の余裕時間が増える場合の行動変化を想定する人が多く、特に買い物、趣味、食事などの余暇活動の行動頻度が高まると回答した人が多い。

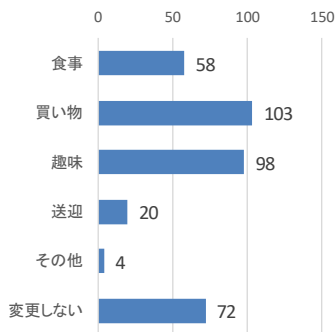


図-39 (帰宅時刻が30分早まる場合) 帰宅後に頻度が高まると考えられる行動

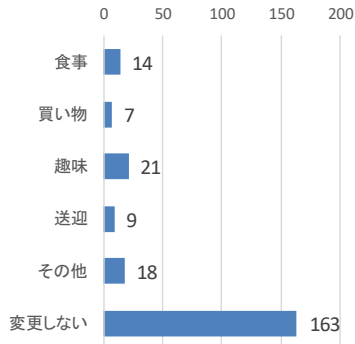
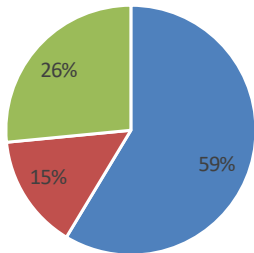


図-40 (出社時刻が30分遅くなる場合) 出社前に頻度が高まると考えられる行動



・自動運転サービスへの乗り換え・自動運転サービスから乗り換え
 ・自動運転サービスのみの使用

図-41 自動運転サービスの乗り換え利用意向

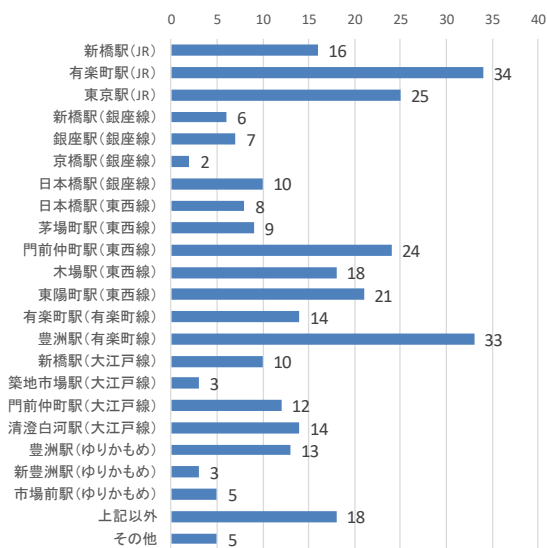


図-42 自動運転サービスの乗り換えポイント

東京湾岸部での自動運転サービス利用時の他交通機関への乗り換え意向については、7割程度が乗り換え利用を想定していることが確認された(図-41)。乗り換えポイントについては、調査対象エリア内では豊洲駅(有楽町線)、門前仲町駅(東西線)、東陽町駅(東西線)が比較的多く、対象エリア外では有楽町駅(JR)、東京駅(JR)などに回答が集中した(図-42)。

・モデル構築

自動走行交通サービスの導入や自動走行対応道路ネットワーク(専用レーンなど)の整備に伴う交通・都市活動への影響評価を行うことを主な目的として、以下の3つの特徴をもつシミュレーションシステムを構築した(図-43、図-44)。

- ①交通サービスの導入等による活動場所や活動時間への影響が表現可能なアクティビティシミュレーション
- ②交通手段の転換が表現可能なマルチモードシミュレーション
- ③車両による車線選択の記述と車線単位の混雑状況の把握が可能なマイクロシミュレーション

本シミュレーションでは、混雑状況等の変化による経路の効用の変化を逐次的に経路選択行動に反映したシミュレーションを行うために、Discounted recursive logit (DRL) model(Oyama and Hato, 2017)²⁶⁾を基本のモデルとして採用する。DRLモデルは、将来の選択肢の期待効用を考慮した逐次的なリンク選択を表すRecursive logit model (Fosgerau et al, 2013)²⁷⁾を基礎とするモデルであり(図-45)、将来効用に対する時間割引率を導入することで、計画的な行動から近視眼的な行動までを、意思決定における将来効用の重みの違いにより表現することができる。

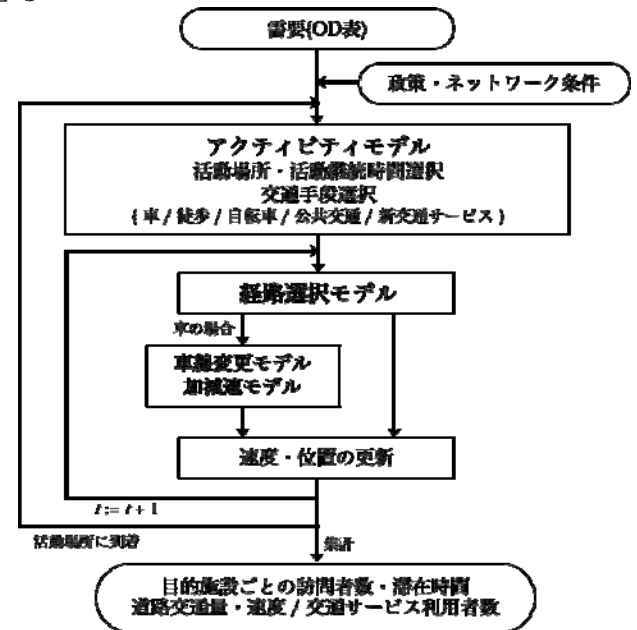


図-43 シミュレーションモデルのフロー

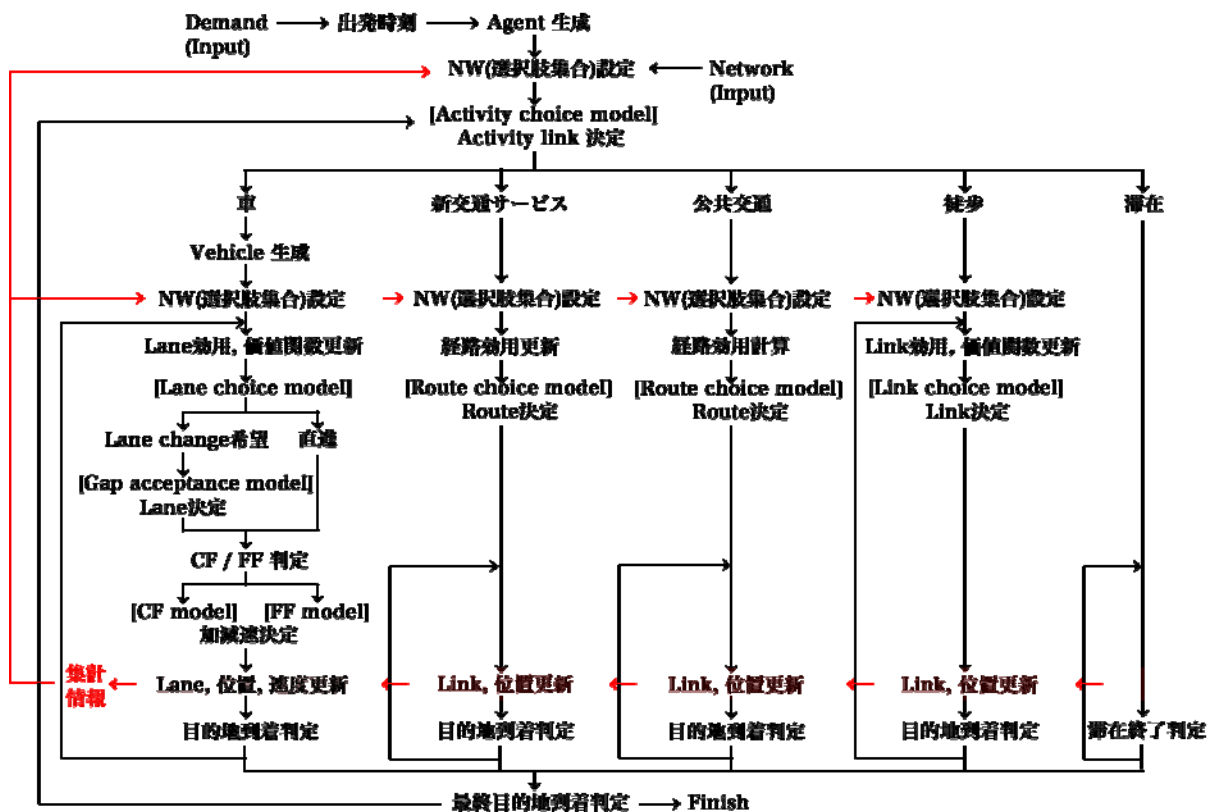
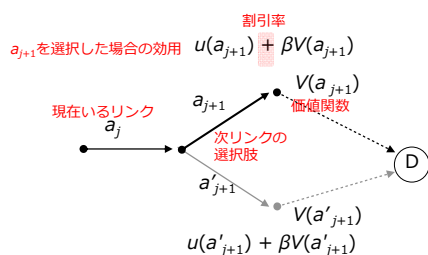


図-44 交通サービスごとのシミュレーション方法

- ① 交通サービスの導入等による活動場所や活動時間への影響が表現可能なアクティビティシミュレーション
- ② 交通手段の転換が表現可能なマルチモードシミュレーション
- ③ 車両：車線選択の記述と車線単位の混雑状況の把握が可能なマイクロシミュレーション

モデル

Discounted Recursive Logit (DRL) model (Oyama and Hato, 2017)



導入 Activity scheduling model
Route choice model (車以外)
Lane-route choice model (車)

混雑状況等の変化による経路の効用の変化を逐次的に経路選択行動に反映したシミュレーションが可能

図-45 DTLモデルの概要

b)道の駅所在自治体の公共交通運営実態と自動運転サービス導入に係るコストシェア方策の検討

・背景と課題

自動運転システムを活用した地域交通サービスの展開に際しては、現状の地域公共交通サービスを踏襲しつつ、それらのうちどのサービスを自動運転システムで代替・補完するのかについての検討が不可欠となる。しかしながら、公共交通の運営実態に着目した研究の大半は、特定の自治体や路線を対象としたものであると共に、特に中山間地域の公共交通サービスの運営実態について全国規模で調査・分析した事例はほぼ皆無である。そこで本研究では、その多くが中山間地域に立地している道の駅の所在自治体を対象に昨年度実施した公共交通運営実態に関するアンケート調査データを用いて、公共交通サービスの提供や利用状況、それに対する公的支援の状況等について分析を行った。

・分析概要

道の駅等を拠点とした自動運転システムによる地

域交通サービスの展開可能性や、それにかかるコストシェア方策を検討するために、図-46に示す道の駅の運営特性に関する実態把握、道の駅所在自治体を対象に実施した公共交通運営実態調査、中山間地における移動実態の把握調査及び分析を行い自動運転サービスの展開可能性について検討を行った。

・分析に係る基礎情報

道の駅の運営特性に関する実態としては、道の駅の約30%は地元市町村からの来訪であり、地域内公共交通でのアクセスが可能な駅は約75%であった(図-47)。また、多くの道の駅が農産物を販売し、出品者の持込みによる輸送が大半であった(図-48)。

道の駅を有する自治体における住民の移動実態としては、中山間地域で免許非保有の高齢者の移動は送迎に大きく依存しており、今後そのような人が急激に増加する可能性がある。また、送迎の大半は親族によるが、病院等による民間の無料送迎サービスの割合も2割弱であった(図-49、図-50)。

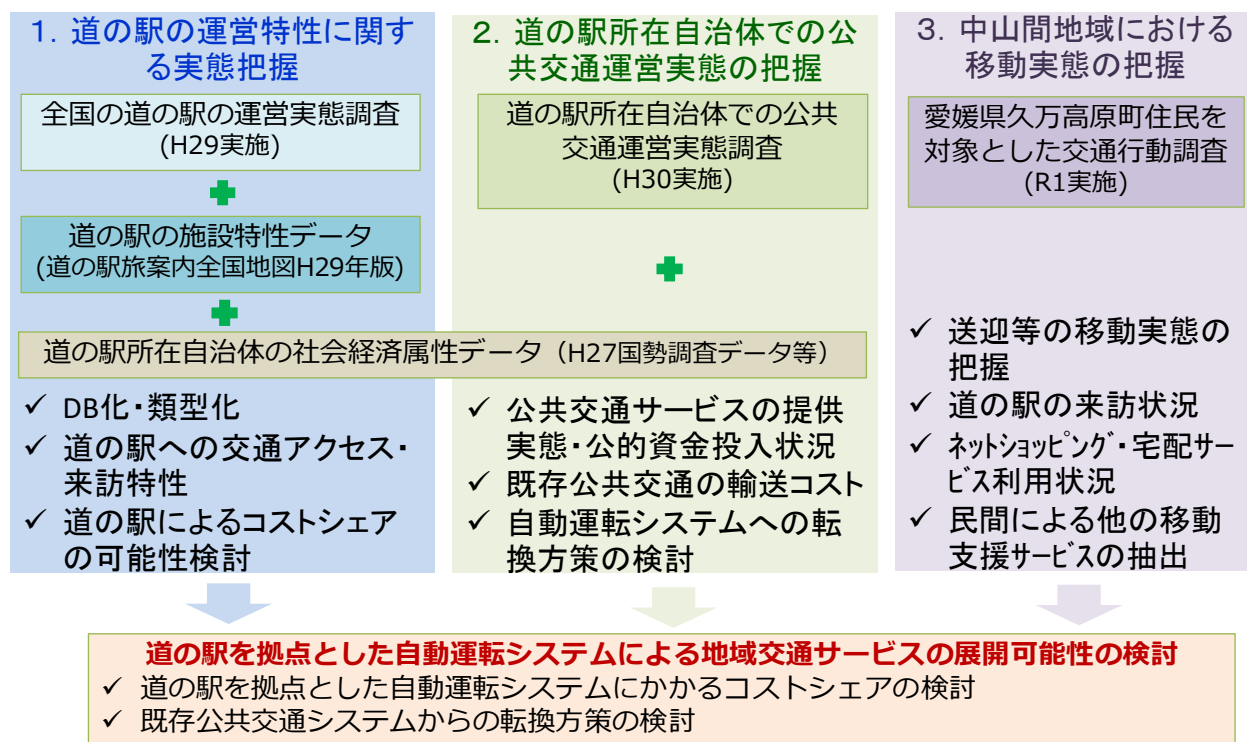


図-46 検討フレームワーク

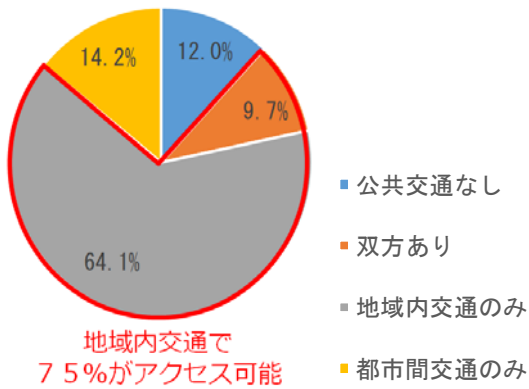


図-47 公共交通の乗り入れ状況

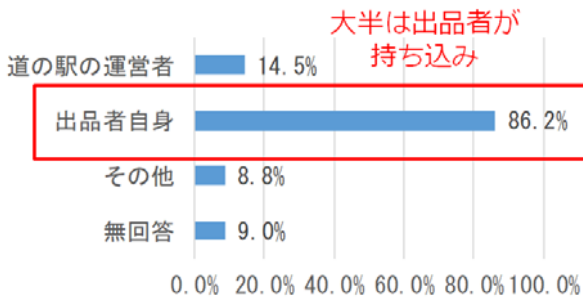


図-48 農産物品の持ち込み者

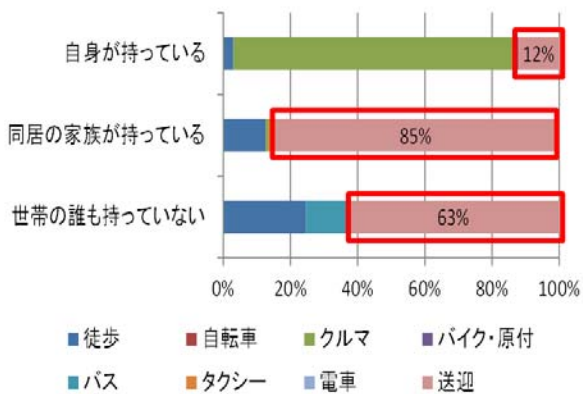
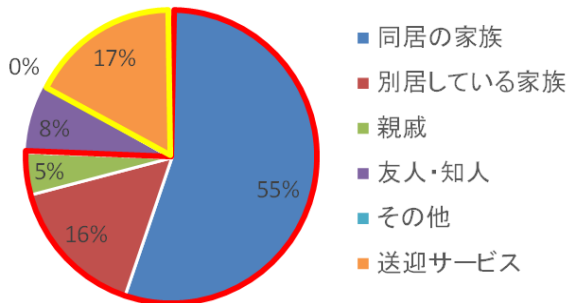


図-49 高齢者の免許保有状況別移動手段

送迎サービス利用は約2割



親族が送迎の大半を占める

図-50 送迎者の内訳

道の駅所在自治体での公共交通サービスの提供実態と支援状況としては、50人/km²以上の自治体では、人口密度が素になるほどデマンド型公共交通サービスを導入する自治体が増加しており、50人/km²を下回る人口密度の自治体では鉄道やバスのみでの提供となる割合が高い(図-51)。一方で、デマンドバスの一人あたりコストは1,400円程度と他の交通手段に対してコストが割高であることが課題である(図-52)。

・モデル構築

外出が送迎に依存している人の行動パターンとしては、せっかくの機会であるがゆえに複数の目的を立ち寄るようなパターンと、気がねするなどして単一の目的地のみを訪れるようなパターンの双方が考えられる。そこで、トリップ間の関連性を把握するために、トリップダイアリー調査で得られたデータをトリップチェーン別に集計した。結果を図-53に示す。なお、図の右端の数字は対象とするトリップチェーンのサンプル数を示したものである。

トリップチェーンの番号1-1~1-3は、自宅から1つの目的地へ移動し、そのあと帰宅するというピストンタイプのトリップチェーンである。同様に、2-1~2-7は、自宅から目的地を2つ経由したのちに帰宅するもので、3-1~3-5は、自宅から目的地を3つ経由したのち帰宅するもの、4-1~4-4は、ピストンタイプのツアーを2回繰り返すトリップチェーンである。なお出発地/目的地については、アンケート回答者の大半が高齢者であることを踏まえ、自宅(home)、職場(work)、病院(hospital)、その他(other)の4区分を用いている。

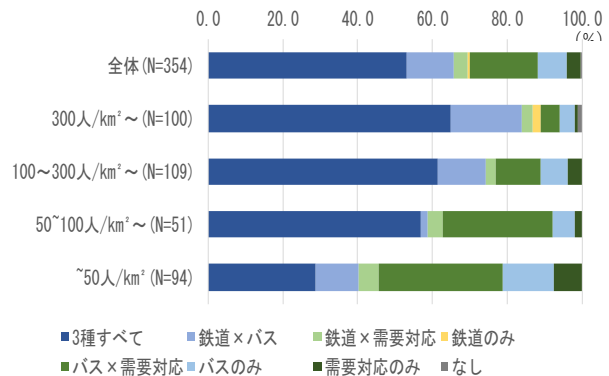


図-51 公共交通の提供状況(デマンドバス・有償運送)

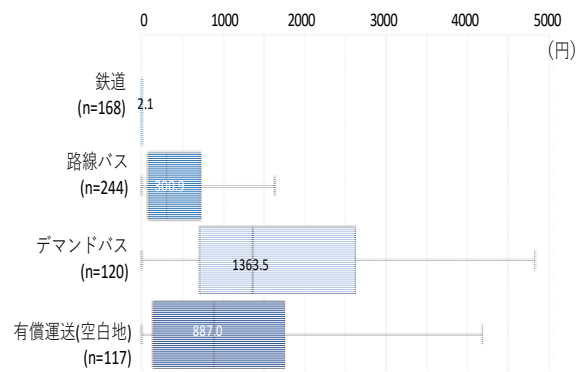


図-52 1乗車当りの公的資金投入額

図-54は、このトリップチェーンの集計結果を、免許保有状況の分類に基づいて改めて集計した結果を示している。まず、1-1~1-3のピストンタイプの外出に注目すると、運転可能者から運転不可能者にかけて割合が多くなっている。逆に、2-1~2-7の2つ以上目的地があるトリップチェーンを形成する人の割合は少なくなっている。また、4-1~4-4の1日に2回の自宅ベースのツアーを行う人は「車運転可能者」「車運転不可能、世帯内に運転可能者」には見受けられるが、「運転不可能者」には存在しない。以上より、世帯内に誰も自動車免許を保有していないような人は、ピストンタイプの外出を行う割合が相対的に高いと言える。

また、すべてのグループにおいてピストンタイプのトリップチェーンが最も多いが、その中でも通勤・通学目的、自由目的、通院目的があり、自由目的と通院目的のツアーは運転不可能者の方が割合が多いことがわかる。これは通院目的の外出が多い高齢者層が車運転不可能層に多く属しているためである。さらには、2-1~2-3のような通勤とその他の目的の外出の双方を行っている人は車運転可能層に集まっていること、また、「車運転可能者」や「車運転不可能、世帯内に運転可能者」層については、通院時に他の目的地に立ち寄るケースが一定割合存在するものの、車運転不可能層ではその割合が極めて少ないことがわかる。

1-1		-	work	-					41
1-2	home	-	other	-	home				26
1-3		-	hospital	-					15
2-1		-	work	-	work	-			10
2-2		-	work	-	other	-			9
2-3		-	other	-	work	-			1
2-4	home	-	other	-	other	-	home		18
2-5		-	other	-	hospital	-			1
2-6		-	hospital	-	other	-			34
2-7		-	hospital	-	hospital	-			1
3-1		-	work	-	work	-	work	-	1
3-2		-	work	-	other	-	other	-	3
3-3	home	-	other	-	other	-	other	home	3
3-4		-	hospital	-	hospital	-	other	-	2
3-5		-	hospital	-	other	-	other	-	1
4-1		-	work	-		-	work	-	1
4-2	home	-	work	-	home	-	other	-	1
4-3		-	work	-		-	hospital	-	1
4-4		-	other	-		-	other	-	1

図-53 トリップチェーンの分類結果

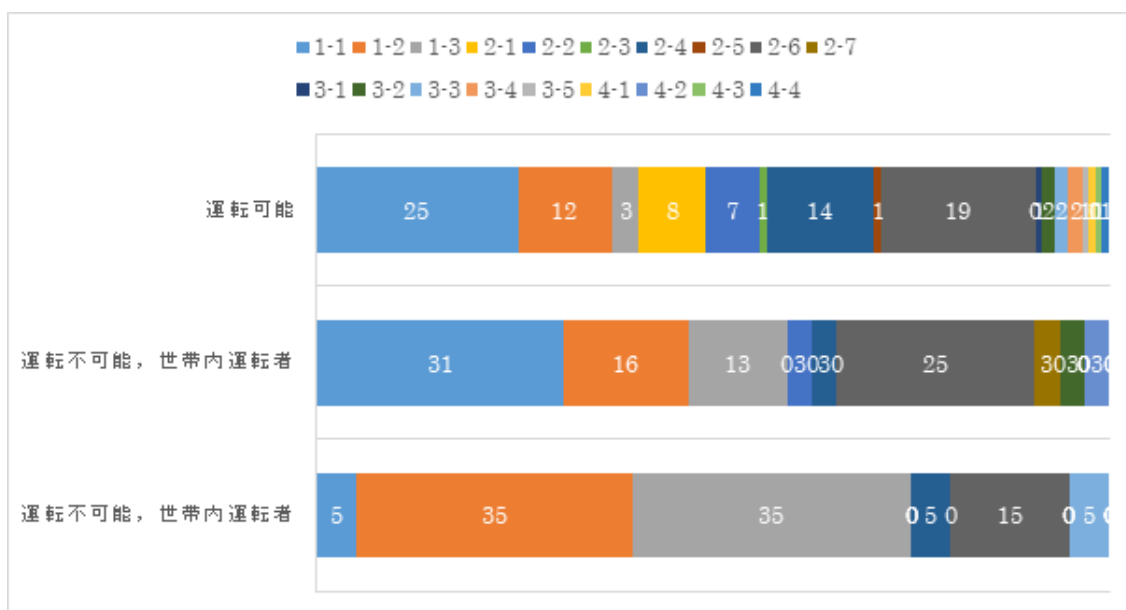


図-54 免許保有状況別のトリップチェーンの内訳

・まとめ

今回分析対象とした久万高原町面河地区では、高齢者のモビリティが危機的状況にあることが確認された。加えて、現状で運転可能な高齢者についても、自身の運転に関して恐怖感を抱いている人が多く存在することが判明した。(図-56)

ゆえに、自動運転システムの導入は、それらの問題を大幅に緩和する手段として早急に導入が望まれると言えよう。その際、導入や維持管理に関するコストが大きな問題となるが、前項で述べたように、自治体や国・県からの公的支援を柱としつつも、現在、送迎サービスを実施している民間の医療・福祉系の事業所等に、独自のサービスを廃止する代わりに、自動運転システムの費用負担を依頼することがコストシェアの方策として考えられる。

実際、個々の事業所単位で送迎サービスを行った場合、ドライバーの人件費や車両の購入・維持管理費等の観点でかなり非効率であると考えられるため、事業者のCSRという観点からも実現の可能性は充分に見込めるであろう。

同様に、10年後に移動に支障をきたす可能性が高い65～69歳の層は、ネットショッピングの利用率が高いことから、物流会社と協働して、道の駅等からのラストワンマイルを貨客混載方式で運用するような展開も検討する必要があると考えられる。

c)貨客混載自動走行交通サービス評価モデル²⁸⁾

中山間地域においては、居住する人口の少なから交通需要そのものが小さく、公共交通のサービスレベルの低さと相まって、自動車依存型のライフスタイルが定着し、公共交通も採算面から課題が大きいことから、最低限のサービスを維持する事も困難な状況になりつつある。一方で、中山間地域には農林水産、観光資源が豊富で大都市の食やアメニティを支えている側面がある。貨客混載自動走行サービスは、地域の足として、人流と地域の産品を地域拠点(ここでは道の駅を想定)に輸送し、ヒトとモノのコストシェアを図ることにより、地域モビリティを維持する手法として着目されているが(図-55)、本研究では、このようなモダリティミックスかつ、自動走行サービスによる地域の足の確保の視点と、地域産品が道の駅に集積され、来訪者により購入されることによるストック効果も含めて評価可能な評価モデルの構築を行う事を目的とする。

	地域のモビリティとしての効果	運営面への効果
貨客混載型自動走行サービスの導入	・地域住民の足の確保 ・生産者の出品支援	・ドライバーレスによる運行コスト低減
ルート等の見直し(需要集積)	・病院等の施設巡回による利便性向上	・通院需要等を集積 ・料金収入が増加
コストシェア	・モビリティサービスの持続性向上	・既存地区内交通の置き換えによる補助金の活用 ・病院等の無料送迎サービスとの連携

図-55 中山間地域における自動運転システムの展開可能性

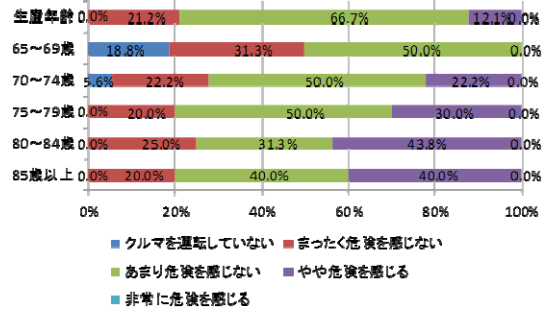


図-56自身の運転に対する危険意識



【使用した車両】
(アイサンテクノロジー(株))

- 事前に作成した高精度3次元地図を用いて走行
- 運転手が監視しながらの走行(レベル2)も可能

図-57 飯南町における取組み

・分析概要

国土交通省が実施した島根県飯石郡飯南町赤来地域を対象とした実証分析(図-57)に合わせて、2017年11月6-12日に実施された1週間の交通日誌データを用いる地域内行動特性を把握し、モデルの構築を行う。なお、交通日誌調査の被験者数は、87世帯181個人であり、一部被験者にはGPSロガーを配布、移動軌跡情報を取得した。

・分析に係る基礎情報

交通日誌調査データより得られた交通手段分担率の集計結果より、(1)仕事目的では約75%のトリップ、仕事以外の目的では約90%のトリップが自動車により行われていること、(2)町外への移動の9割強は自動車によって行われていることが確認できる。また、町外へのトリップ、仕事以外のトリップを行う際に他人が運転する車に同乗する傾向にあることが確認できる(図-58)。送迎に依存している個人が自動走行サービスを利用する可能性が高いことを踏まえると、仕事以外のトリップ、町外への移動の支援を行う自動走行サービスを導入することが望ましい可能性がある。

出発時刻(目的地別)の集計においては、町内の移

動については8時台にピークが見られるのに対し、町外の移動については時間帯を問わず概ね一定の需要が7:00から17:00まで続いていることが確認できる(図-59)。

また、出発時刻(トリップ目的別)の集計において、仕事目的の移動については8時台にピークが見られるのに対し、仕事以外の移動については時間帯を問わず概ね一定の需要が7:00から17:00まで続いていることが確認できる(図-60)。

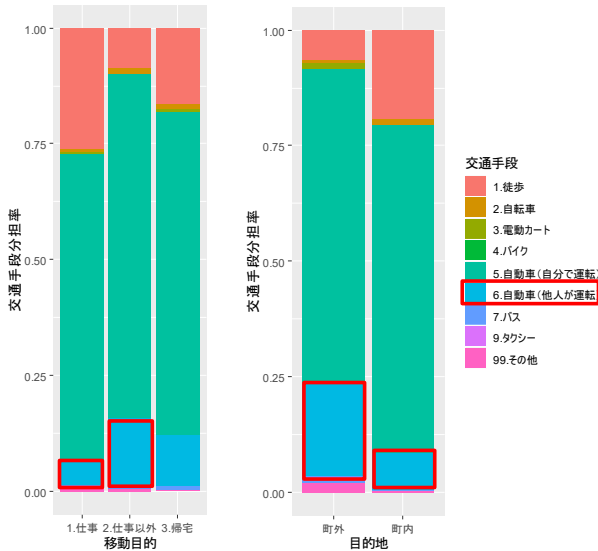


図-58 移動目的別/目的地別交通手段分担率

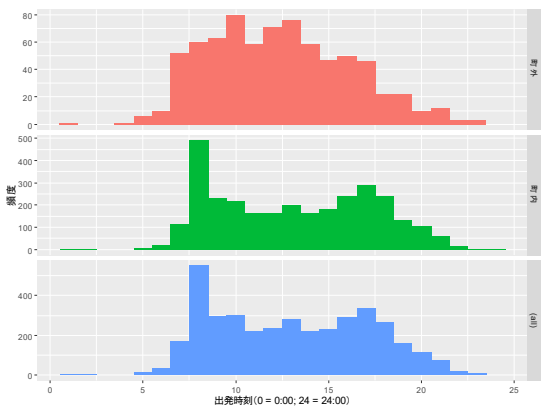


図-59 目的地別出発時刻分布

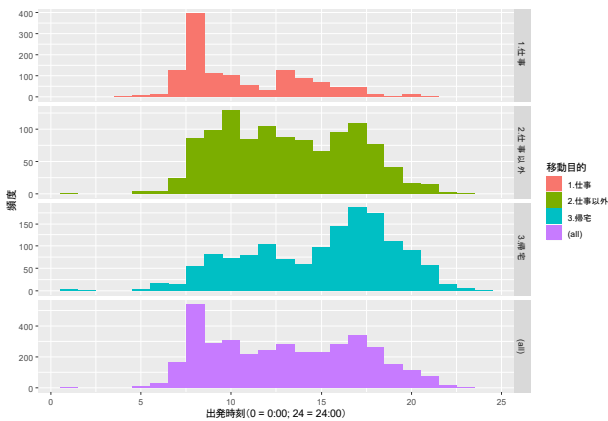


図-60 トリップ目的別出発時刻分布

・モデルの概要

自動走行による貨客混載サービスの提供による生活行動の変化に伴う効果は、移動がスムーズになる移動リンク効用の効果と生産者の出荷行動の変化や道の駅に産品が集積することによる道の駅に滞在する効用変化が考えられる(図-61)。これらの効果を表現するために、時空間ネットワークを用い、時間軸上の効用プロファイルとして移動(マイナス効用)と滞在(プラス効用)を定義する(図-62)。対象地域の住民の行動は、この時空間ネットワーク上をリカーシブルロジットモデルにより、逐次選択を行う事により表現を行う事を基本としてモデルを構築した。

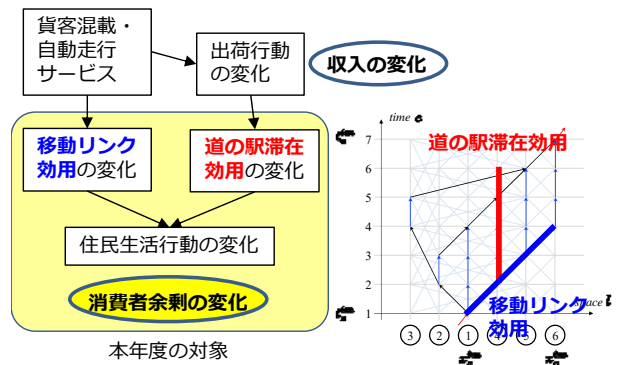


図-61 モデルの概要

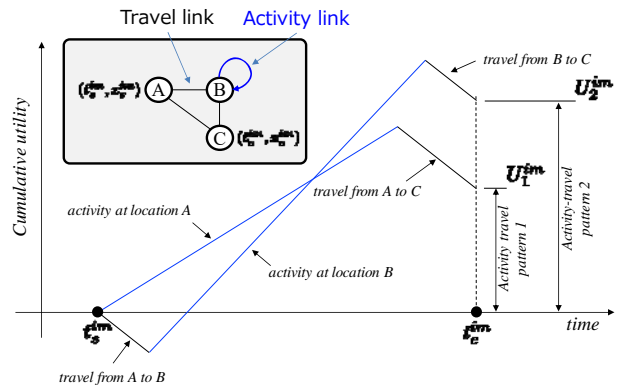


図-62 効用プロファイルによる行動の記述

・モデルデータの作成

1) 時空間ネットワークの設定

提案モデルは、生活行動を、活動リンクと移動リンクから成る時空間ネットワークデータ上の経路選択行動として表現するものである。本モデルは、概念的には容易に他の行動側面(活動目的選択, 経路選択, 交通手段選択など)を考慮することが可能であり、生活行動を詳細に表現したい場合、活動リンクを目的別に作成することで活動目的選択を内生化することができる。同様に、移動リンクを交通手段毎に設定することにより、交通手段選択を内生化することができる。加えて、実際の交通ネットワークを用いてすべての結節点(駅, バス停)に目的地ゾーンを設定すれば、経路選択モデルを内生化することができる。本研究では、過疎地域の移動のほとん

どが自動車に依存していること、対象エリアの道路ネットワーク形状は極めてシンプルであり経路選択行動を記述する必要性は小さいと思われることから、交通手段選択、経路選択はモデル化の対象外とする。

活動目的選択については、本研究においても積極的に扱うべきであるが、価値関数の計算負荷の問題から、活動目的選択の側面も捨象することとした。

時空間ネットワーク作成においては、時間及び空間を離散化する必要がある。その単位時間を事前に設定しておく必要がある。ここでも計算負荷と表現の正確さの間にトレードオフが発生する。具体的には、単位時間を短く設定すればするほど、ゾーンを詳細に設定すればするほど生活・交通行動をより正確に再現できる一方、ネットワークの規模が極めて大きくなるという問題が発生する。本研究では、時間は1時間毎に離散化、空間は16ゾーン（赤名、上赤名、下赤名、上来島、下来島、野萱、小田・真木、谷、(旧)頓原町、雲南市、出雲市、松江市、島根県内他、広島県三次市、その他、赤来高原）に離散化し時空間ネットワークを構成した。

2)行動データの作成

行動データの作成においても、何点か工夫が求められる。第一に、ゾーン間の移動が1単位時間に完了しない場合、OD間に複数の移動経路が発生する問題に対処する必要がある。本研究ではこの問題に対し、当該OD間で最短経路探索を実行し、最短経路を通過したと仮定して行動データを作成した。次に、上述したように、本モデルは、場所・時間が定められた固定活動を排除し、自由活動のみを対象としてモデル化することを基本としているが、どのような活動を固定活動とすべきかを判断する必要がある。例えば、農作業は時間が固定されていないケースが多く、これらを固定活動として扱うべきかどうかを判断する必要がある。本研究では、上述したように、活動目的選択の側面を捨象しているため、すべて自由に決定可能な活動であるとしてモデル化を実行した。

・モデル推定結果

1)説明変数

本研究の目的を鑑みると、自動車を利用できない層の交通行動を詳細に再現し、自動運転の導入がそれらの層の交通行動・消費者余剰に及ぼす影響を確認すべきといえる。そこで本研究では、自動車利用者（1週間の調査期間中、少なくとも一度は自ら自動車を運転した者）と自動車非利用者（調査期間中、一度も自ら自動車を運転していない者）に分けてモデルを推定した。なお、本来は自動車非利用者の旅行時間は自動車以外を用いた場合の旅行時間とすべきであるが、この場合、旅行時間が交通結節点までのアクセス時間/イグレス時間に大きく依存することになり、同一ゾーン内でも旅行時間に大きなばらつきが出ることから、自動車を利用した場合の旅行時間を使用することとした。

また、目的地の魅力度については、店舗数及び人口の2つを検討した。両変数の相関が高いため、政策シミュレーションにおいて有用と考えられる店舗数のみを説明変数として採用した。なお、「島根県内他」や「その他」のゾーンにおける店舗数のカウントは難しいことから、これらの目的地のダミー変数を追加することとした。

最後に、シミュレーション時のトリップの発生量を制御する目的で、滞在→移動ダミー（滞在リンクから移動リンクに移動する場合1、そうでない場合0）、移動→滞在ダミー（移動リンクから滞在リンクに移動する場合1、そうでない場合0）の2つを追加した。1時間毎に移動を繰り返すことは少ないため、期待されるパラメータの符号は、滞在→移動ダミーは負（基本的には同じ場所に滞在しようとする傾向にある）、移動→滞在ダミーは正（移動直後はその場所に滞在しようとする傾向にある）である。

表-14 モデル推定結果

	全サンプル		自動車利用者		自動車非利用者	
	推定値	t 値	推定値	t 値	推定値	t 値
自動車旅行時間[10 分]	-1. 900	-240. 50	-1. 887	-235. 99	-2. 191	-29. 18
滞在→移動ダミー	-4. 371	-20. 49	-4. 365	-20. 00	-4. 427	-4. 21
店舗数[1000 店]	0. 325	48. 95	0. 326	48. 42	0. 328	5. 77
その他地域ダミー	0. 761	38. 83	0. 768	38. 90	0. 744	3. 13
移動→滞在ダミー	2. 818	12. 97	2. 842	12. 80	2. 580	2. 29
サンプル数（個人・日数）	1075		1007		68	
サンプル数（link 選択数）	16664		15602		1062	
最終対数尤度	-13249. 75		-12751. 96		-464. 98	

表-15 自動車利用者と自動車非利用者のログサム値（赤来地域：24時間）

	1 赤名	2 上赤名	3 下赤名	4 上来島	5 下来島	6 野萱	7 小田・真木	8 谷
全サンプル	760. 26	647. 77	751. 68	346. 72	161. 26	457. 15	199. 12	693. 05
自動車利用者	941. 12	798. 75	928. 02	434. 95	201. 60	570. 34	248. 35	866. 39
自動車非利用者	64. 11	58. 41	68. 68	22. 44	11. 53	32. 63	14. 80	77. 67

表-16 異なるシナリオ下における自動車非利用者のログサム値（赤来地域：24時間）

	1 赤名	2 上赤名	3 下赤名	4 上来島	5 下来島	6 野萱	7 小田・真木	8 谷
現状	64. 11	58. 41	68. 68	22. 44	11. 53	32. 63	14. 80	77. 67
シナリオ1	390. 45	347. 22	380. 95	99. 01	42. 29	149. 95	57. 43	128. 80
シナリオ2	102. 19	98. 13	104. 89	27. 10	13. 26	40. 20	17. 27	80. 50
シナリオ3	102. 28	98. 22	104. 98	27. 12	13. 27	40. 24	17. 28	80. 52

2)モデル推定結果

推定結果を表-14に示す。表より、旅行時間が短く、店舗数が多い目的地ほど選択される傾向にあることが確認できる。また、自動車利用者 비해、自動車非利用者の旅行時間に対するパラメータが負で大きな値をとっていることから、自動車非利用者の方が、移動抵抗が大きい可能性がある。また、滞在→移動ダミーは負であることから、基本的には同じ場所に滞在しようとする傾向にあり、その傾向は自動車非利用者の方が大きいことが確認できる。移動→滞在ダミーは正で有意であり、移動直後はその場所に滞在しようとする傾向にあることが確認できる。なお、全サンプルを用いた場合の最終対数尤度と自動車利用者、自動車非利用者の最終対数尤度の和に対して尤度比検定を実施すると有意に異なることが確認できることから、行動を規定するパラメータは自動車利用者と自動車非利用者の間で有意に異なることが予想される。

3)ログサム値

構築したモデルより算出されるログサム値を表-15に示す。なお、こちらはログサム値であり、次元を持たないこと、モデル間の値の比較はできないことに注意が必要である。所得や費用の限界効用を表すパラメータ値はないものの、旅行時間の限界効用の算出は可能であるので、適当な時間価値を設定することで価格の単位を持つ消費者余剰に変換することができる。ログサム値より、小田・真木や下来島といった国道54号から外れた地区のログサム値が低くなっていることが確認できる。

4)シミュレーション分析結果

以下では、次の3つのシナリオ下におけるログサム値の変化、及び、目的地分布・トリップ発生量の変化を確認する。シナリオ1は、赤名、上赤名、下赤名の拠点性が高まり、他エリアからのアクセスが

改善された状況を想定している。シナリオ2は、2017年度に行われた自動運転走行実験時同様、道の駅を中心とした狭い範囲の交通サービスが改善される状況を想定している。シナリオ3は、シナリオ2に加え、道の駅のサービス改善がなされた状況を想定している。

シナリオ1: 全てのゾーンと赤名、上赤名、下赤名までのアクセスが改善（旅行時間20%減少させることで表現）
 シナリオ2: 赤名、上赤名、下赤名間のアクセスのみ改善（旅行時間20%減少させることで表現）
 シナリオ3: 赤名、上赤名、下赤名間のアクセス（旅行時間20%減少させることで表現）+道の駅のサービス水準を改善（店舗数を5つ追加することで表現）

5)ログサム値の変化

表-16に上記3つのシナリオ下における自動車非利用者のログサム値を示す。

シナリオ1では、赤名、上赤名、下赤名へのアクセス性が向上することにより、すべてのエリアのログサム値が大幅に改善することが確認できる。また、シナリオ2では、赤名・上赤名・下赤名間の交通改善のみがなされた状況であるが、上来島や野萱といった、国道54号沿いの地区においてもログサム値が改善することが確認できる。一方、シナリオ2及びシナリオ3のログサム値の比較から、道の駅の施設改善（店舗を増やすこと）の効果は限定的であることが確認された。

6)交通行動の変化

各シナリオ下における赤名住民の行動変容について考察する。以下では、14時間の利用可能時間がある場合の行動を再現する。

再現結果としては、自動車利用者は移動頻度が高い(14時間の利用可能時間の間に約5トリップの移動を実施する)のに対し、自動車非利用者の移動頻度は、14時間の利用可能時間の間に約2.5トリップ程度と低くなっていることを確認した。また、自動車非利用者は、自宅ゾーン(赤名)に留まる傾向にあることが確認でき、外出時の目的地は自動車利用者と自動車非利用者の間で大きな違いは生じていない。

次に、シナリオ1の状況下における自動車非利用者の行動変化結果を考察するが、赤名・下赤名、上赤名へのアクセスが20%改善することにより、概ね自動車利用者と同程度のトリップを行うことが確認できた。ただし、自宅ゾーン(赤名)に留まる割合は自動車利用者のそれに対して若干高くなっており、外出先での滞在時間は短くなる傾向にあることが確認できる。

シナリオ2の状況下における自動車非利用者の行動変化は、シナリオ1に比べてトリップ数の増加は限定的であるものの(14時間の利用可能時間の間に約3.5トリップ)、上赤名や下赤名へのトリップが増加することを確認した。シナリオ3では、道の駅の店舗数を増加させているが、行動パターンはシナリオ2からほとんど変化が生じていないことが確認できた。

・まとめ

貨客混載自動走行交通サービス導入の影響評価を行うためのモデルを提案し、島根県飯石郡飯南町を事例に実証分析を行った。簡単なシミュレーション分析を行った結果、本研究で特定したモデル構造のもとでは、施設の改善よりも交通サービスの改善が消費者余剰を改善する上で重要であることが示された。また、地域外への移動を強化することによりログサム値は大きく増加するものの、地域内を目的とした移動が減少する可能性が示唆された。

地域内の施設維持が地元の利用者数に依存して決まる可能性が高いことを踏まえると、地域外へのアクセスを大幅に改善する施策は、地域内の施設の衰退をもたらす恐れがあることを示唆する。

このような影響を定量的に捉えるためには、商業施設等の発展/衰退を利用者数の関数として表現したモデルを別途構築し、交通サービスが商業施設等の空間分布に及ぼす影響を内生化することが重要であると考えられる。

d)貨客混載サービス利用意向評価モデル²⁹⁾

・モデル概要

農産物の直売所への出荷を後押しする施策として農作物集荷サービスに着目し、農業従事者の本サービスへの支払意思額を推計する。特に、(1)自動運転車の社会実装が近づきつつある現在、こういったサービスで大きな人件費をかけずに集荷サービスを提供できる可能性が高まっていること、(2)貨客混載型のサービス形態を採用することにより、需要不足に悩まされていた公共交通サービスを維持できる可能性が高まること(すなわち、貨客混載型の交通サービスを採用することにより、人に対する公共交

通サービスを改善することができる可能性が高まること)、を踏まえると、農作物集荷サービスを導入する意義は大きいと考えられる。

農家の農作物集荷サービスの利用意向は、価格や最大積載量、予約システムといったサービス水準だけでなく、どのような農作物を育てているか、自動車を何台保有しているかといった要因にも影響を受けると考えられる。以下、本研究において考慮する影響要因について整理する。

まず集荷サービス自体のサービス水準については、価格、一回当たり最大積載量、予約システム(何時間前までに予約する必要があるか)の3つを考慮する。集荷サービス需要の価格に対する弾力性の推定はとりわけ重要であり、例えば貨客混載サービスをデザインする場合の収益計算に直結する。

重量が大きくても売り上げが小さい農作物と、重量が小さくかつ単価の高い農作物では、集荷サービスや最大積載量に対する感度が大きく異なると考えられる。また、傷みややすい農作物とそうでない農作物で集荷サービスの利用意向は大きく異なることが想定される。

世帯内に自動車を利用できる農業従事者が複数いる場合、無理なく農作物を自ら出荷できる可能性が高まるため、農作物の集荷サービス利用意向は低くなることが想定される。また、自動車保有者は自ら農作物を出荷するオプションを有しているため、自動車を利用できない農家に比べて、サービス水準に対する感度が高くなる可能性がある。最後に、現在直売所に出荷しているかどうかとも重要な変数と考えられる。具体的には、現在出荷している農家の方が当該サービスの利用意向は高いことが想定できる。

・集荷サービスの利用意向モデルの構築

以上の変数の影響を踏まえ、図-63に示す5つのモデル構造を仮定し、それらのモデルの推定を通じて各変数が集荷サービスの利用意向に及ぼす影響を把握する。なお、Model 3-5において考慮している交互作用項はすべて同時に考慮することが望ましいと考えられるものの、サンプルサイズの制約から、個別に交互作用項を推定する方法を採用している。

5つのモデルの推定にはパネルミックスドログジットモデルを使用する。これは、SP調査において同一人物から複数回の回答を得た場合、その回答値が相関を持つことによって生じるパラメータのバイアスを除去するためである。農家 n が t 回目の設問において選択肢 i (1:集荷サービスを利用したい, 0:その他)を選んだことにより得られる効用を $Unit = \beta x_{nit} + \eta_{ni} + \epsilon_{nit}$ とする。ここで β はパラメータベクトル、 x_{nit} は説明変数ベクトル、 ϵ_{nit} はスケールパラメータ1の標準ガンベル分布に従うランダム項、 η_{ni} は平均0分散 σ^2 の正規分布に従うランダム項(その密度分布を $\phi(\eta)$ と表記する)である。以上の定義のもと、本研究にて使用するモデルは以下で定式化される。

$$P_{nit} = \int_{\eta} \frac{\exp(\beta x_{nit} + \eta)}{\sum_j \exp(\beta x_{njt} + \eta)} \phi(\eta) d\eta \quad (1)$$

認できる。

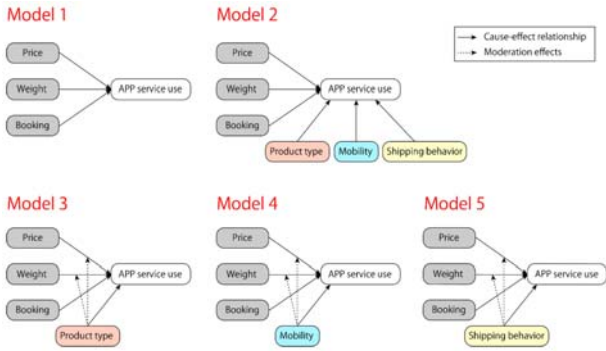


図-63 本研究にて検証する5つのモデル構造

モデルの推定に使用した変数を表-17に示す。農作物の種類については、表に示す5つのダミー変数を用いる。農作物と集荷サービス変数との交互作用については、サンプルサイズの制約から、個別に交互作用を確認し、最終的にFruitに対して交互作用項を導入している。モビリティについては、ほとんどすべての農家において自動車を保有していることから、自動車有無の影響を直接評価することができない。ここでは、免許を保有する世帯内農業従事者数を説明変数として用いることとした。

表-18より、まずランダム項のない通常のリジットモデル(Model 0)に比べて、パネルミックスド2項リジットモデル(Model 1)を採用することで最終対数尤度が大幅に改善されていることが確認できる。次に、Model 1-5を比較すると、果菜類ダミー(Fruit_veggie)と集荷サービス水準の交互作用を考慮したModel 3の最終対数尤度が最も高いことが確

表-17 変数の定義

変数名	定義	平均
集荷サービス		
Price	一回当たりの費用 [100 円]	2.312
Volume	一回当たりの最大積載量 [100kg]	0.504
Booking	予約のタイミング [hour]	5.723
農作物の種類		
Rice	1: 米生産者; 0: その他	0.641
Fruit	1: 果物生産者; 0: その他	0.313
Fruit_veggie	1: 果菜類生産者; 0: その他	0.422
Leaf_veggie	1: 葉菜類生産者; 0: その他	0.430
Root_veggie	1: 根菜類生産者; 0: その他	0.367
モビリティ		
Licensed	免許を持った世帯内農業従事者数	1.941
現在の出荷行動		
Farm_market	1: 直売所に出荷している; 0: その他	0.520
地域ダミー		
Shimane	1: 島根県民; 0: 熊本県	0.484

なお、農作物の種類、モビリティ、現在の出荷行動のいずれも出荷サービスの利用意向に直接的な影響はなく、基本的には集荷サービス変数の影響を調整する役割を果たしていることが確認された。集荷サービスに関する変数については、価格(Price)と最大積載量(Volume)については有意な影響がみられたが、予約(Booking)についてはすべてのモデルにおいて有意な結果はみられなかった。有意でない理由として、計画的に農作物の出荷が可能な場合、事前予約の負担は小さいことが考えられる。各モデルより得られる支払意思額では、100kgの農作物の出荷に対する平均的な支払意思額は190円程度であること、果物を生産していたり、世帯内に免許を保有する農業従事者数が多い場合に支払意思額が高くなることが確認できた。

表-18 集荷サービス利用意向モデル推定結果

	Model 0		Model 1		Model 2		Model 3		Model 4		Model 5	
	Parameter	t-value	Parameter	t-value	Parameter	t-value	Parameter	t-value	Parameter	t-value	Parameter	t-value
集荷サービス												
Price	-0.347	-4.30	-0.768	-4.34	-0.759	-4.39	-0.629	-3.49	-0.750	-2.78	-0.705	-3.26
*Fruit_veggie	0.0	-	0.0	-	0.0	-	-0.341	-1.19	0.0	-	0.0	-
*Licensed	0.0	-	0.0	-	0.0	-	0.0	-	-0.032	-0.31	0.0	-
*Farm_market	0.0	-	0.0	-	0.0	-	0.0	-	0.0	-	-0.067	-0.26
Volume	0.658	1.69	1.447	2.05	1.436	2.06	0.625	0.79	-0.933	-0.61	1.233	1.27
*Fruit_veggie	0.0	-	0.0	-	0.0	-	2.523	1.84	0.0	-	0.0	-
*Licensed	0.0	-	0.0	-	0.0	-	0.0	-	1.248	1.65	0.0	-
*Farm_market	0.0	-	0.0	-	0.0	-	0.0	-	0.0	-	0.278	0.22
Booking	0.015	0.45	0.066	0.98	0.068	1.02	0.085	1.30	0.072	1.00	0.068	1.06
農作物の種類												
Rice	0.0	-	0.0	-	-0.395	-0.42	-0.235	-0.27	0.0	-	0.0	-
Fruit	0.0	-	0.0	-	1.329	1.22	0.667	0.54	0.0	-	0.0	-
Fruit_veggie	0.0	-	0.0	-	1.006	0.88	0.673	0.64	0.0	-	0.0	-
Leaf_veggie	0.0	-	0.0	-	-0.555	-0.47	-0.194	-0.18	0.0	-	0.0	-
Root_veggie	0.0	-	0.0	-	0.420	0.36	0.161	0.15	0.0	-	0.0	-
モビリティ												
Licensed	0.0	-	0.0	-	0.477	1.31	0.0	-	0.016	0.03	0.0	-
現在の出荷行動												
Farm_market	0.0	-	0.0	-	0.426	0.43	0.0	-	0.0	-	0.912	0.79
地域ダミー												
Shimane	-0.201	-0.68	-0.611	-0.67	-0.303	-0.30	-0.231	-0.25	-0.559	-0.57	-0.490	-0.57
定数項	-0.597	-1.71	-1.502	-1.68	-3.344	-2.01	-1.980	-1.55	-1.649	-1.17	-1.921	-1.72
ランダム項 (σ)	-	-	3.363	-	3.212	-	2.963	-	3.622	-	3.051	-
サンプルサイズ	256	-	256	-	256	-	256	-	256	-	256	-
初期対数尤度	-177.4	-	-177.4	-	-177.4	-	-177.4	-	-177.4	-	-177.4	-
最終対数尤度	-138.8	-	-116.9	-	-114.4	-	-113.3	-	-114.3	-	-116.3	-

e) オールドニュータウンでの自動走行デマンドサービス評価

・背景と課題

高度成長期に開発されたニュータウン（NT）は丘陵地にあることが多く、計画的に歩車分離された道路が整備されている一方、急勾配や段差が多い歩行空間となっている。居住者の高齢化進展に伴い、自動車利用に依存した生活スタイルの維持が難しくなるケースも生じてきており、公共交通の利便性向上策として、自動運転サービスを含めたモビリティサービスのあり方と導入検討が必要となっている。また、生活支援・介護予防サービスを通じた地域包括ケアシステムの構築も必要であり、モビリティサービスの検討との連携が期待される。

研究フィールドとして選定した高蔵寺ニュータウンにおいては、名古屋の増加した人口に対応すべく昭和40年代に開発が進められ、JR中央本線の高蔵寺駅が最寄り駅となり名古屋駅まで約30分の丘陵地である。NTは7つの住宅地区があり、さらにセンター地区として商業エリアが設けられている。

NT内の公共交通はバスが中心であり、高蔵寺駅から各住宅地区には多くの路線バスが運行しており、さらに循環バスも運行している。ただし、バスの利用者数は通勤・通学者の減少、住民の高齢化に伴って減少傾向にある。

平成23年に実施された中京都市圏パーソントリップ調査結果³⁰⁾では、高蔵寺NTに関連する移動の自動車分担率は5割以上であり、NT内の公共交通利用は非常に少ないのが現状である。高齢者の居住者が多くなる中、バス停までの移動手段の補完としても、自動運転サービスへの期待は大きい。

・分析概要

自動運転サービスの主たる想定利用者は免許返納等で自家用車利用ができない高齢者であり、パーソントリップ調査などでは把握されづらい問題がある。そのため、高齢者の交通行動を把握するため、高蔵寺NTの居住者、特に高齢者モニターを募集し、日常の交通行動、幸福感等を計測し、実証実験後にアンケート調査にて、利用意向等を把握した。

・分析に係る基礎情報

高齢者の行動把握として、MBによる外出頻度、利用交通手段の変化を把握するため、高齢者モニターの毎日の交通行動データを収集した。モニターには、「交通行動日誌」を配布し（図-64）、毎日就寝前に交通行動を振り返ってもらい、同時に幸福感と健康状態も主観的に回答してもらった。交通行動データとしては、出発時間帯、訪問施設と具体的な名称、主な目的、利用交通手段、同行者数、を移動毎に記録してもらう。幸福度は、すごく幸せ-いつも通り-すごく不幸の5段階、健康状態もすごく良い-いつも通り-すごく不良の5段階で該当する項目を主観的に判断した。

交通日誌にて得られた外出先について、緯度経度情報を生成（ジオコーディング化）し、高蔵寺NTの高齢者モニターの交通状況を把握する。137名の2カ

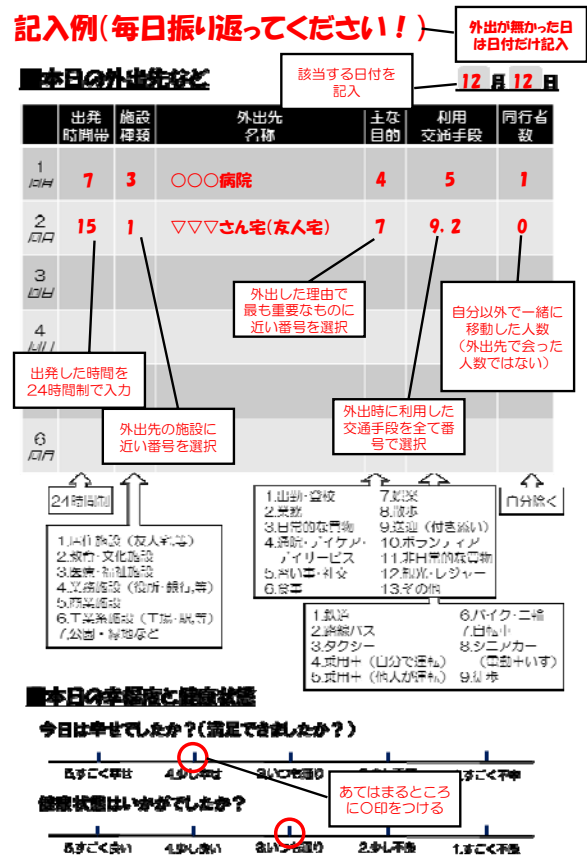


図-64 交通日誌記載例

月間の外出先の回答結果としては、8,500程度の結果が得られた。なお、帰宅トリップは記入漏れの傾向が高く、長期間で高齢者（情報リテラシーがそれほど高くない方）の交通行動データの把握としては、GPSで軌跡データを把握するなど、検討が必要である（単純な調査項目であり、PT調査の代替まではできない状況であった）。

今回の高齢者モニターは、「自分で自家用車を運転」と「徒歩」が多く、公共交通サービスの利用は稀であった。250mメッシュ別に自動車と公共交通（バス・タクシー）、徒歩の集中量をみると、徒歩は自宅周辺の移動とすると、自動車の方が行動圏域は広く、各モニターが必要な場所に移動している様子が確認できる（図-65）。自動車、公共交通、徒歩とそれぞれの移動はセンター地区（商業施設等が立地している場所でバスの利便性が高い地区）に集中している。

また、今回のMBの新たな移動サービスとして提供した相乗りタクシーやボランティア輸送は、既存の公共交通サービスよりは期待は高くなっており、相乗りタクシーへの期待がより高くなっていることが確認できる（図-66）。

・モデル構築及び結果

デマンドサービスのオペレーション評価として、SAVSシミュレーションによるリアルタイム・オンデマンド乗合サービス（相乗りタクシー）の導入評価³¹⁾を実施した。ケース①は、相乗りタクシーの車両サイズ（定員3名と8名）とした場合の結果であり、定員に関わらず300台で待ち時間10分以下、デマンド

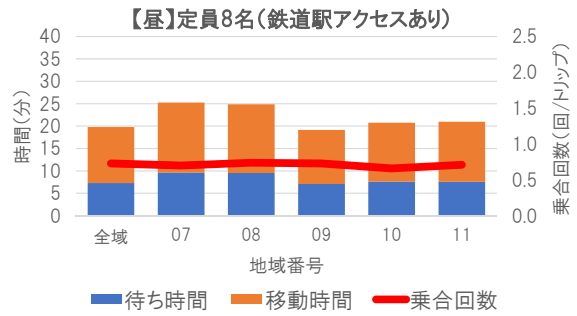
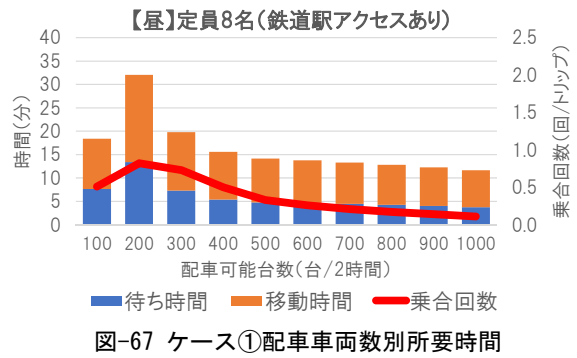
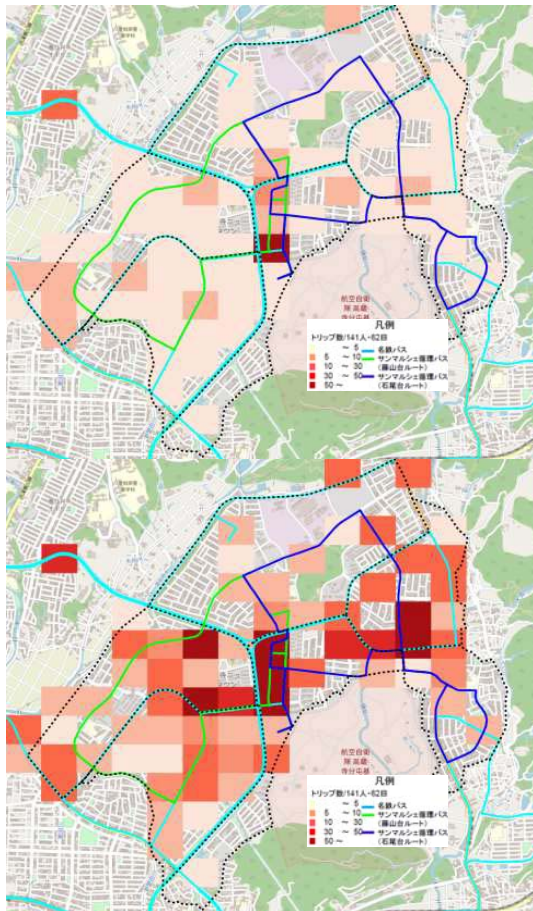


図-65 訪問先(上：公共交通利用時，下：自動車利用時)

図-68 ケース②コミュニティ毎の所要時間

個々人の利用意向に即した選択肢を多様化するモビリティブレンド (MB) が有用と考えている。

名古屋大学では、地元行政団体である春日井市と協力し、オールドニュータウンとして様々な課題が顕在化しつつある高蔵寺ニュータウンを対象に、公共交通の利便性向上策として、自動運転サービスを含めた新たなモビリティサービスのあり方と導入検討を行っている。本研究では、昨年度に実施した140名程度の高齢者モニターに対して、毎日の交通行動調査と事後アンケート調査を実施し、通常の交通行動の把握と新たなモビリティサービスの利用者ニーズの把握を行った。データ分析結果から、今回の高齢者モニターの大部分が自家用車利用で移動しており、現時点で移動制約に関する危機感が高くはなく、MBの利用実績が少ない状況であった。

一方、自動運転サービスへの期待は高く、取組みを継続することで、免許返納後の移動環境が確保される可能性が高いことを認識してもらい、無理に免許保有と自動車運転をさせない地域としていくことが重要であることが分かった。

今後の検討課題としては、以下の通りである。

- ・ 健常者は現状の自動車依存からすぐには脱却できないが、MB の認知度を高め、将来的に利用頻度を高めるにはサービスを継続することが重要
- ・ 具体的なサービス内容は地元のタクシー組合、バス会社を含めて、利用者目線からサービス設計(料金体系含む)の議論が必要
- ・ 路線バス・循環バスなど既存公共交通サービスとの連携、世帯属性や身体能力、移動利便性などに応じた、きめ細やかな移動支援(モビリティマネジメント)の議論が必要

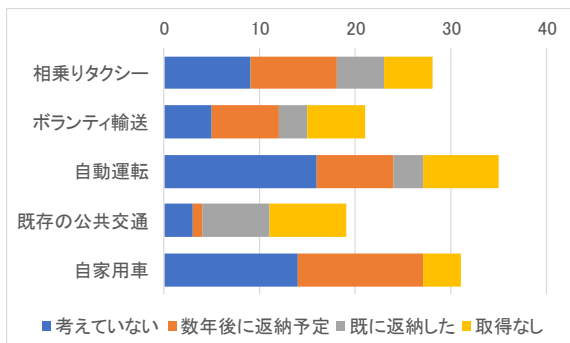


図-66 新たなモビリティサービスへの期待

サービスのトリップ数が2,200トリップであることから、仮に全員がマイカーで移動していると仮定すると、1/7の車両数でモビリティ確保できる(図-67)。また、ケース②は、コミュニティ毎に車両を共有した場合であり、相乗り率が高まると想定される団地単位での車両の共有では、所要時間に団地間差は生じるものの、所要時間の増加は5分程度で問題は大きくはない事が示唆される(図-68)。

・まとめ

高齢者居住者の割合が高くなるニュータウンなどでは、坂道や階段が多い特徴があることから自転車や徒歩での移動が困難となることが想定され、免許返納後の移動環境を確保するためには、既存公共交通サービスを補完する自動運転サービスや相乗りタクシーなど新たなモビリティサービスを組み合わせ、

f)低精度データと高精度データを組み合わせた異常事象検出モデル

・検討概要

自動走行に寄与する3次元道路地図を念頭に、その基準になる3次元のレーザ点群データから異常を検出するモデルを開発する。3次元道路地図を継続的に利用するにあたり、その維持更新が重要な問題になる。3次元道路地図は高い精度が要求されるが、高価なMMS(Mobile Mapping System)を利用して頻繁に計測することは現実的ではない。また、今後簡易なセンサーを搭載した自動運転車両の普及が期待されるが、取得されるデータの精度は低く、直接3次元道路地図の更新に利用することは困難である。しかし、簡易センサーは多数の車両に搭載可能であることから、高頻度なデータ取得が可能であり、それらのデータを利用することで変化地点を抽出し、ピンポイントでMMSによる計測を行えば、頻度と精度を両立した地図の維持更新が実現すると考えられる。以下、異常検出として道路空間の変化検出を扱う。

簡易センサーの点群データを利用するには、①MMSの点群データに比べて精度・密度が低いことに加えて、②多数の車両において取得されるデータ間の計測領域が一致しない、③異なる時期に取得された簡易センサーのデータは、道路空間の変化だけではなく、他の車や歩行者などの移動物体を含んでいるという特徴を有する。そのため、提案手法においては、(I)位置合わせ、(II)占有格子法の導入を通じて確率的モデルを構築する。モデルの全体像を図-69に示す。

・分析結果

小規模変化と大規模変化がそれぞれ発生したとする2つのシナリオを想定し、それぞれMMSのデータ1つと、簡易センサーのデータ9つ、合計10回分の計測データが取得されているとする。このうち、恒常的な変化は簡易センサーのデータのうち、4つのデータで観測されているものとし、一時的な変化は全てのデータで表現するものとする。恒常的な変化は、発生した後に取得されたすべてのデータで観測されることから、簡易センサーのデータを取得時期順に並べた場合、取得時期の新しいものから4番目までのデータで再現することにする。表-19にセンサーの性

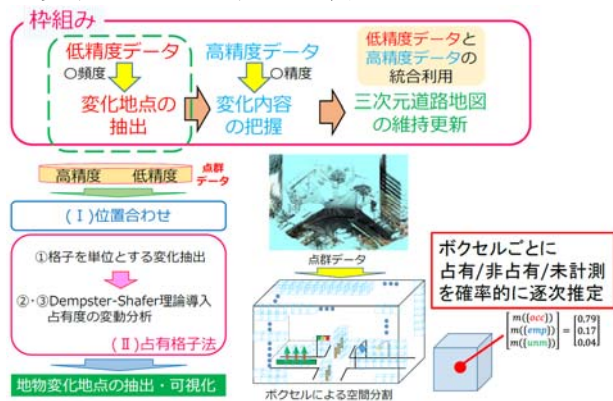


図-69 異常検出モデルの全体像

能と観測される変化を示す。

ボクセルサイズは、抽出対象とする道路空間の変化を考慮し、0.5メートルに設定する。また、複数回の予備実験を行った結果を踏まえ、各パラメータを $(\lambda, c, \kappa) = (8, 10, 6)$, $(10, 8, 12)$, $(20, 10, 18)$ とした。

一時的変化の認識率を表-20にまとめる。いずれも高い割合で正しく一時的変化として認識することに成功している。なお、本実験で利用したMMSの走行軌跡(計測位置)のデータにずれが存在し、それを補正して利用したため、歩行者や自動車の変化の一部を対象として影領域の変化を再現している。追加した歩行者の認識率が低下しているが、これは最後に結合したデータにおいて歩行者を追加したため、占有度が元に戻らなかったことが原因であると考えられる。また、後述するように、低精度データは点密度が疎であることから、抽出洩れが少なくなく、その結果として一時的変化として誤抽出しなかった可能性がある。この点について、今後点密度を一定にした比較実験を行う必要がある。

構造物の変化は10地点行ったが、変化前後の占有状況に応じて、抽出可否や抽出率に相違が見られた。MMSの点群データでは観測されていた構造物が撤去された場合、抽出洩れや構造物を含むボクセルの一部しか正しく変化を抽出できない結果が得られた。

これは、実際に構造物が存在している場合でも、点群が疎であるために非占有であると判定されることが多く、構造物が消失した後に取得したデータを結合しても、占有度の変動が生じないことが原因と考えられる。また、構造物が撤去された後、未計測状態となる領域では占有度の変動が生じないため、提案手法では原理的に抽出することができなかった。

一方、元々非占有であると判定されていた領域に構造物が設置された場合、構造物を含むボクセル中の点密度が低く、 $m(\{occ\})$ が上昇しないことがあり、抽出洩れが多く見られた。最後に、不明と判定されていた領域に新たに構造物が設置された場合、比較的良好に抽出できた。これは一部のデータでは点が観測されなかった場合でも不明と判定されるため、 $m(\{occ\})$ が低下せず占有度の変動が明確に生じるためであると考えられる。また、点密度が低いことに

表-19 実験で想定する計測データと道路空間変化

No (計測順)	センサ	性能(簡易センサのみ)	観測される変化
1	MMS	-	-
2	簡易1	高	一時的
3	簡易2	低	一時的
4	簡易3	低	一時的
5	簡易4	高	一時的
6	簡易5	低	一時的
7	簡易6	低	一時的・恒常的
8	簡易7	低	一時的・恒常的
9	簡易8	高	一時的・恒常的
10	簡易9	低	一時的・恒常的

表-20 一時的変化の認識率

一時的変化		総数	認識件数	認識率[%]
歩行者	追加	23	18	78.3
	削除	13	13	100
車両	追加	7	7	100
	削除	9	9	100
影領域	発生	10	9	90
	消失	8	8	100

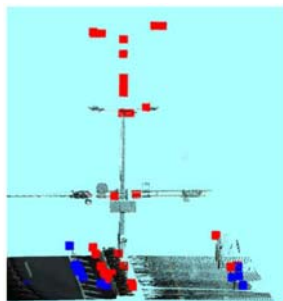
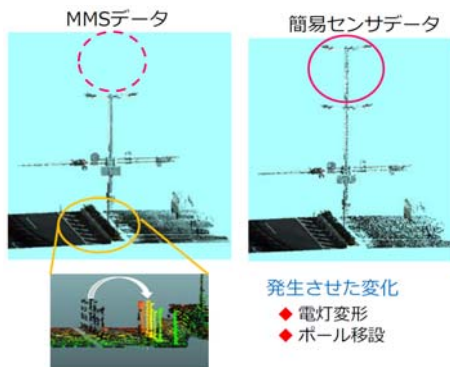


図-70 構造物変化の抽出法

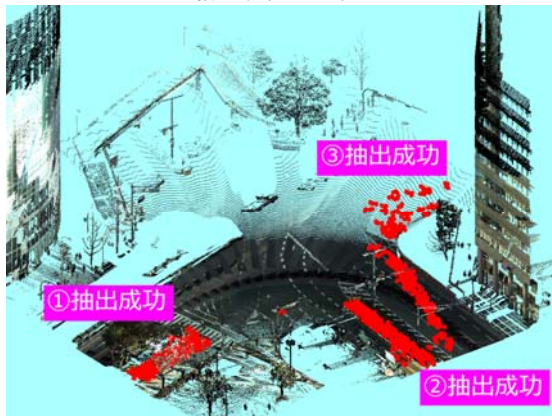


図-71 道路構造変化の抽出

よって、実際には変化していない部分の誤抽出が全体的に多く見られ、後述する補正処理を行う必要があった。適用結果の一例を、図-70に示す。

道路構造の変化のうち、高さがボクセルの一辺に満たない中央分離帯の変化抽出を行うことはできなかった。一方、車線の増減は抽出できるものの、過剰抽出が多く、変化地点の把握は困難であった。ところが、過剰抽出したボクセルは①離散的に分布しているものが多く、②MMSの走行軌跡から大きく離れていたたり、植栽や柵の影となっていて元来点密度が十分でない領域に多く見られた。そこで、①3つ以上

のボクセルが連結していないもの、②柵・植栽等の影となっている領域、③車道以外の領域のボクセルを削除する補正処理を行った。これにより、抽出精度の向上を図ることができた(図-71)。

・まとめ

低精度データの性質に対応した、位置合わせから変化地点の可視化まで一貫して行う手法を開発した。そして実際の道路空間を対象に実験を行い、一定の有効性を確認した。今後は異なる諸元のデータ、異なる道路空間を対象に手法を適用していくとともに、パラメータの決定方法や使用する関数の設定といったセンサーモデルに関する知見や、道路空間の変化と占有度の変動に関する知見を蓄積することで、抽出率の向上を図る必要がある。

g)時系列3次元点群データを用いた異常事象・変化認識手法

・背景と課題

これまで3次元点群データの非可逆圧縮手法が開発されてきた。Cao et al. (2019)³²⁾では、既存手法をLOD(Level of Detail)ベースの手法、クラスタリングベースの手法、他変数空間への変換ベースの手法の3種類に分類している。LODベースの手法とは、3次元点群データを表現する際に、対象空間を分割し、各部分空間を異なる詳細度で表現することで、データ量を削減する手法である。LODベースの手法で最も代表的なものは、8分木ボクセルを用いた圧縮手法である。8分木ボクセルを用いた手法では、空間中に多数のボクセルを入れ子状に配置し、各ボクセル内に点群が存在するか存在しないか(占有状況)によって、1ビットのボクセル値で点の存在を表現するものが一般的である(Schnabel and Klein, 2006;Huang et al.³³⁾, 2006;Huanget al.³⁴⁾, 2008)。これらの手法は、対象データ中の点群の位置に偏りが少ない場合には、圧縮性能が大きく落ちるという課題がある。クラスタリングベースの手法は、対象データの各点を属性情報や空間的近傍性などによってクラスタリングした後に、各クラスタ毎に圧縮を行う手法である。

Morell et al. (2014)³⁵⁾やNavarrete et al. (2018)³⁶⁾では、RGB情報と位置情報から、入力点群をクラスタリングし、各クラスタを平面で表現することで、データ量を削減している。しかし、この手法は、属性情報を持たないデータや、平面構造が少ないデータに対する圧縮性能が落ちるため、汎用性にも課題がある。最後に他空間への変換ベースの手法がある。Wiman and Qin, (2009)³⁷⁾では、入力点群の各座標値を抽出して得たベクトルに対して、ウェーブレット変換を施す。変換後に点群系列パターンの類似度に基づき、量子化を行うことで圧縮が可能になる。この手法は、実装が簡易であり計算速度も速いことが利点であるが、圧縮性能には課題が残されている。

以上のように、3次元点群データの圧縮に対しては、高い圧縮性能は当然のこと、データが持つ多様な空間的規模・特性に対して、高い汎用性を持つことが求められる。また、3Dモデリングへの利用を考えた場合、局所形状を保存できる手法であることも要件として挙げられる。さらに、今後益々大規模化していくことが予想されるデータセットに対して、圧縮性能を保持できることは重要な点になる。これらの要件を満たすことができる手法として、本章では、深層学習に注目した。深層学習では、入力データから特徴量を抽出する表現学習を自動で行うことができる。また、変換関数は強い非線形性を有するため、多様なデータにも対応可能であり、高い汎用性が期待できる。さらに、深層学習を用いた手法では、既存手法では考慮できていなかった、複数データ間の類似性を考慮することができる。そのため、類似した形状のデータをモデルが学習している場合には、大幅に圧縮性能を向上させることが可能になる。

深層学習ベースの3次元点群データの非可逆圧縮手法として、Yan et al. (2019)³⁸⁾が挙げられる。しかし、この手法で作成されたモデルでは、近傍点間の関係性を考慮していないため、局所的な形状を保存できない。3次元点群データは、道路上の縁石等の微細な形状を含む対象の3Dモデリングを目的として用いられることが多いため、局所的な形状を保存する性能は必須である。また、3次元点群データの圧縮手法は、大量の入力点数に対して、圧縮性能を保持することが必要である。しかし、このモデルは、入力点数の増加に伴い、学習するパラメータ数が大きく増加するため、学習が困難になり、圧縮性能が低下することが課題である。以上の欠点を改善した深層学習のモデルを作成することで、要件に沿った3次元点群データの非可逆圧縮手法を構築することが期待できる。

・分析概要

局所形状の保存、及び大量の入力点数に対する圧縮性能の保持が可能な深層学習モデルの作成による、3次元点群データの非可逆圧縮手法の開発とする。

具体的には、近傍点間の関係性を考慮したエンコーダーを開発することにより、局所形状の保存を可能にする。また、パラメータ数が入力点数に依存しないデコーダーを開発することで、大量の入力点数に対する圧縮性能の保持を目指す。適用においては、オープンなベンチマークデータセットであるShapeNet Dataset、及びMMSから取得したデータを対象とする。これらの適用を通して、提案手法の有効性を検証する。

・分析に係る基礎情報

梅田駅周辺MMSデータ、渋谷駅周辺MMSデータ、新百合ヶ丘市街地MMSデータに対して、提案手法を適用した。いずれのデータも平面直角座標系（第6系及び第9系）における、x, y, z座標値とRGB値や反射強度などの属性情報から構成されるLASデータである。使用した2台の計測器の諸元を表-21に示す。

梅田駅周辺データは、大阪市北区の大阪梅田駅を中心として、阪急中津駅付近から京阪中之島駅付近までが対象地域である。対象地域には、片側4車線の国道1, 2号線を含む道幅が広い道路が多く存在する。また、道路沿いの構造物として、高層ビルが多く存在することも特徴である。前処理を行った後のデータセットにおける梅田のデータは4, 100個である。

渋谷駅周辺データは、渋谷駅北西部のスクランブル交差点を中心に神宮通り、及び国道246号線沿いに計測を行っている。データ中に含まれる道路は、ほとんどが道路幅15m以上、片道2車線である。街路樹等の植生がデータ中に含まれる他、歩行者もデータ中に含まれる。前処理を行った後のデータセットにおける渋谷のデータは、688個である。

新百合ヶ丘市街地データは、川崎市麻生区の新百合ヶ丘駅を中心として、市街地のデータを取得したものである。市街地のデータには、街路樹などの植生が多く存在する他、電柱などの構造物も多く存在する。道路幅5m未満の1車線の狭い道路も多数存在する。新百合ヶ丘のデータは、10, 012個である。

3地点の対象データ(図-72)は、道路幅、路上構造物、植生の有無等の点で非常に多様である。今回は、このデータの内、座標値のみを圧縮対象とする。まずは、対象のLASファイルを以下に示す手順で分割、正規化する。

まず、10m×10m×10mの範囲を切り出す。各LASデータに対して、z軸の1m区切りで各区切り内の点数をカウントする。各区切り内の点数が、全区切り中の点数の平均値を超えるような区切りの内、z軸の値が最も小さいものを仮想的な路面と考え、この区切りから高さ10mまでを対象のzの範囲とする。続いて、対象範囲をx, y座標で10m毎に分割し、2, 048点以上の点群がある範囲のみを取り出す。このデータに対して、FPSによってサンプリングを行うことで、対象データを得る。対象データはそれぞれ、各座標値の平均が0になるようにしてから、ネットワークに入力する。訓練データを13, 320個、テストデータを1, 480個とした。また、 $\lambda=0.01, 0.1, 1.0$ の3種類のパラメータで学習を行った。

・モデル構築

学習したモデルを全テストデータに対して適用した後、地点ごとにテストデータを分けて検証した。この時のデータ数は、渋谷80、梅田424、新百合ヶ丘976であり、図-73以降においては、縦軸の値として、以下に定めるmean-distanceを用いる。

表-21 トリップチェーンの分類結果

MMS		三菱電機 MMS-XV210ZAL	Nikon-Trimble MX-5
GNSS/IMU	ロール精度	0.36 deg	0.008 deg
	ピッチ精度	0.72 deg	0.008 deg
	ヘディング精度	0.18 deg	0.02 deg
レーザーキャナ	レーザーキャナ	SICK LMS511 (前方) PENTAX S-2100 (後方)	Riegler VQ450
	照射数	27.1 kHz (前方) 1016 kHz (後方)	550 kHz
	スキャン速度	100 Hz (前方) 200 Hz (後方)	200 Hz
	最大到達距離	187 m	800 m

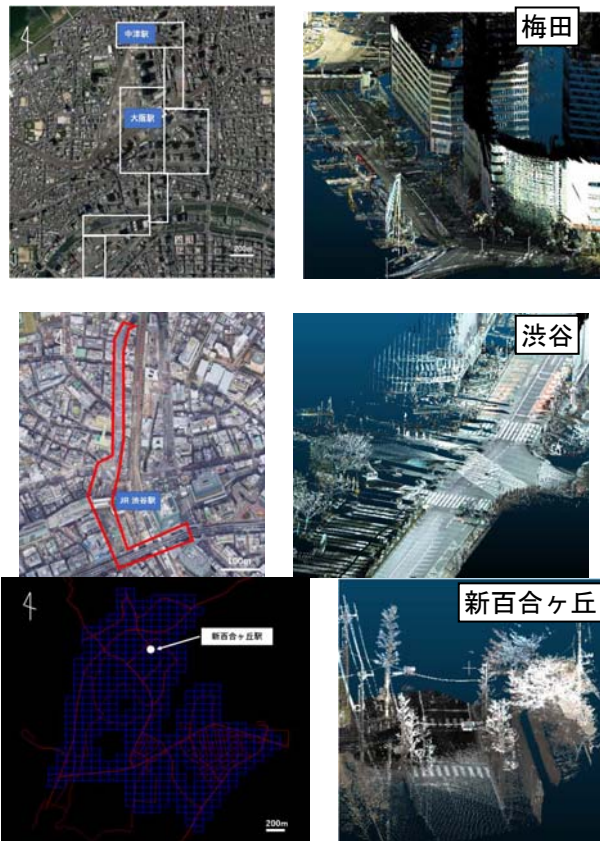


図-72 対象範囲及び点群データ例

mean-distanceは、 $\text{mean-distance} = \sqrt{D_{ch}/2N}$ で表される量で、その単位はmである。ここでは、元点群と復元点群間の誤差を表すと考える。全テストデータの結果では、モデルAの圧縮性能が最も悪くなっていることが分かる。モデルBは、同程度のbppで、モデルAよりもmean-distanceが小さくなっている。また、モデルCは、mean-distanceはモデルAと同程度で、より大きな圧縮率を達成している。モデルAと比較して、同程度のmean-distanceで、最大23.8%にまで、容量を圧縮している。MMS取得データに対しても、ShapeNetmの適用例と同じく、モデルDが最も高い圧縮性能を示した。同程度のbppでのmean-distanceを比較すると、およそ16%の誤差減少を達成している。地点間の結果を比較すると(図-74)、渋谷の結果で、どのモデルも圧縮性能が悪化していることが分かる。

また、梅田と新百合ヶ丘では、ほとんどのモデルの圧縮性能が変わらないが、モデルDのみ、梅田のデータに対して、有意に性能が良いことが分かる。復元された点群の可視化では(図-75、図-76)、梅田のデータにおいては、道路と道路脇の街路灯、及び背丈の低い植生から構成されるデータである。これらの図で比較すると、モデルA~D全てにおいて、道路面は精度良く復元されていることが分かる。一方で、街路灯については、最も精度良く復元できているのはモデルDである。その他のモデルの復元結果では、街路灯を認識することは難しい。また、植生については、全てのモデルでその形状を正確に復元することはできなかった。

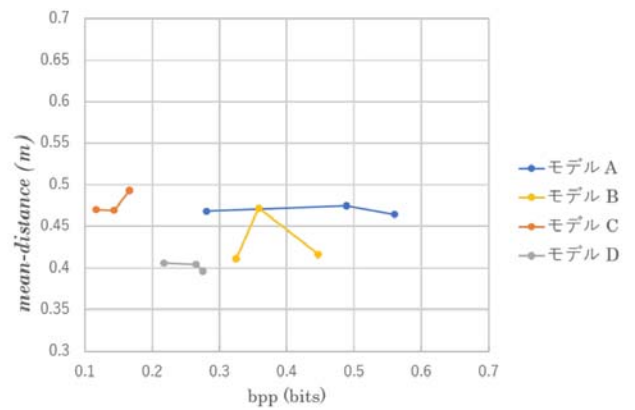


図-73 全データに対する各モデルの適用結果

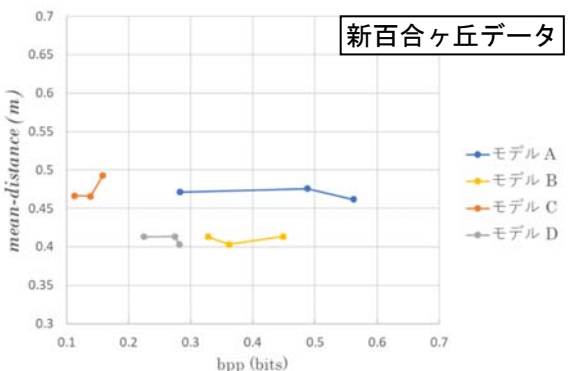
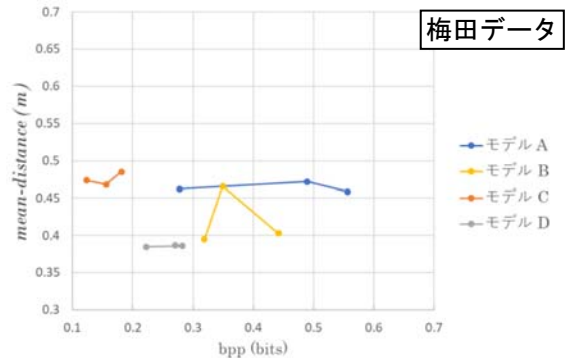
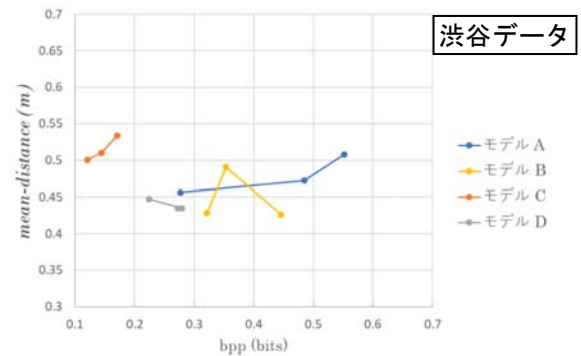


図-74 各データに対する各モデルの適用結果

新百合ヶ丘のデータについては、地表面と植生から構成されるデータである。復元の結果、全てのモデルで地表面を精度良く復元することができた。植生については、モデルBが最も良く復元しており、続いてモデルDの復元が良いことが分かる。

考察としてまず、地表面の復元について考察する。新百合ヶ丘のデータに対して、地表面の復元精度を比較した(図-77)。モデルA、Cは、地表面に対する

上下のばらつきが大きい。

また、モデルBは、左端で地表面から逸れた復元をしてしまっている。一方で、モデルDでは、地表面を精度良く復元できている。この理由として、モデルDでは、畳み込みベースのエンコーダーによって、地表面の形状を抽出するような表現を学習できたためと考えられる。

次に地点間の差異について考察する。梅田のデータに対する圧縮性能と新百合ヶ丘のデータに対する圧縮性能を比較すると、モデルDのみ新百合ヶ丘のデータに対する圧縮性能が有意に低下した。モデルBの結果にこのような差異は見られないため、モデルDのエンコーダーに起因する差異だと考えられる。モデルDのエンコーダーは、モデルAのエンコーダーと異なり、近傍点の情報を畳み込む。この畳み込みの際には、中心点に対する相対位置に対して、線形変換を施す。そのため、近傍点までの距離が安定しており、点が均質に取得されている対象に対して、モデルAのエンコーダーは非常に有効である。今、梅田の点群データと新百合ヶ丘の点群データを比較すると、梅田のデータは、新百合ヶ丘のデータと比較して、ビルなどの構造物が多く、植生が少ない。ビルは、平面的な構造を持つため、均質な点群を取得しやすいと考えられる。そのため、学習を通じて、より均質に点を取得できる梅田のデータに対する学習が進み、近傍点までの距離が不安定な新百合ヶ丘のデータに対する学習が進まなかった可能性がある。結果として、モデルDの新百合ヶ丘のデータに対する圧縮性能が悪化したと予想される。また、ShapeNet及びMMSから取得したデータに対して提案手法を適用し、既存手法との比較を行った。Chamfer距離での定量的評価、及び目視による定性的評価を通じて、提案手法が既存手法よりも優れた圧縮性能を持つことを確認した。また、優れた圧縮性能を示した理由の一つとして、提案手法のパラメータ数が、既存手法と比較して大幅に少ないことが挙げられる。

これにより、過学習が起こりにくくなっている。ここでは、変動係数を用いて、過学習の度合いについても定量的に示した。さらに、既存手法との比較を通じて、提案手法が入力点数の増加に対して、圧縮性能を保持できることを定量的に示した。

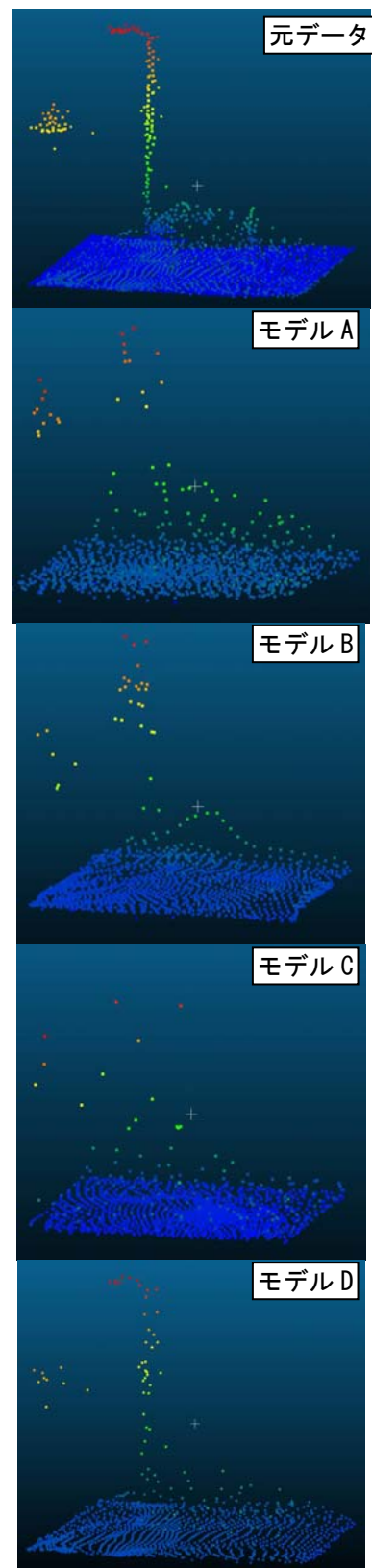


図-75 梅田データに対する各モデルの適用結果

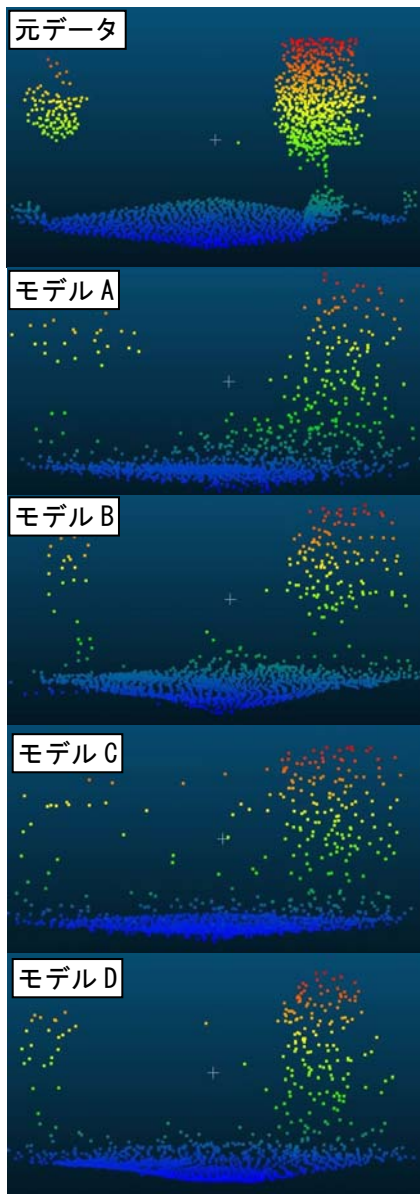


図-76 新百合ヶ丘データに対する各モデルの適用結果

これは、入力点数の増加に伴いパラメータ数が膨大になるという、既存手法での欠点を改善するデコーダーを構築した成果である。提案手法では、畳み込みベースのエンコーダーを開発することにより、既存手法では考慮されていなかった、近傍点間の関係性を抽出することを目指した。ShapeNetへの適用を通じて、提案のエンコーダーにより、局所形状を抽出・復元できることを確認した。3次元点群データは、微細な形状を含む対象に用いられることが多いため、その圧縮において、対象の局所形状を抽出・保存する性能は重要である。局所形状を抽出・保存できることを検証したことにより、今後様々な対象への応用が期待される。また、主にサンプリングの有無の点で異なる2種類の畳み込みベースのエンコーダーを適用し、局所形状の復元精度について検証を行い、エンコーダーに対する知見を深化させた。

以上のような成果を得た一方で、今後の圧縮性能の向上には、以下のような課題が存在する。まず、提案手法の適用を通して、多様な形状の特徴を抽出

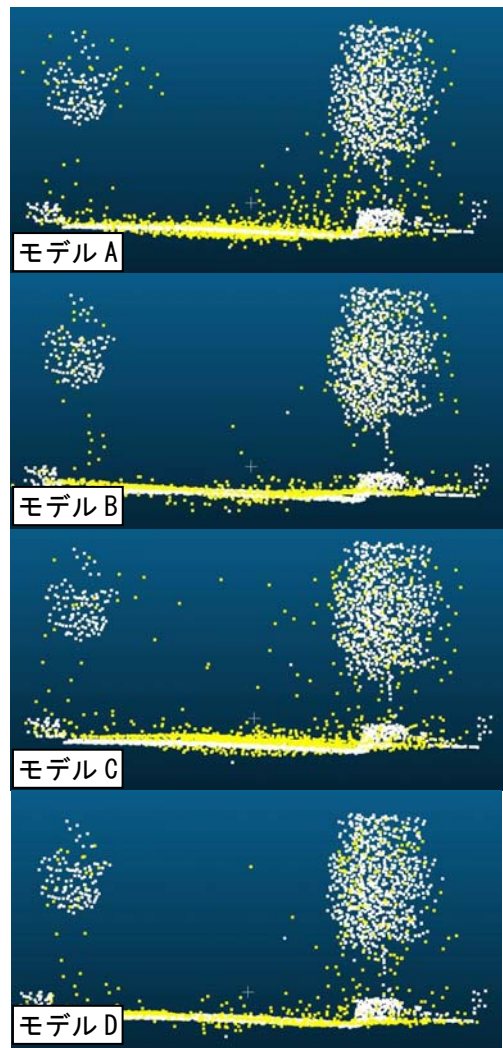


図-77 地表面復元の比較

できることを示した一方で、一つのモデルで表現できる形状には限りがあることが確認された。これに対し、対象をセグメント化し、それぞれのセグメントに特化したモデルを学習することで、さらなる圧縮性能の向上を図ることができると考えられる。例えば、特定の座標値によるセグメント化や対象にウェーブレット変換を施した周波数値などによるセグメント化が考えられる。また、提案手法では、保存する特徴量ベクトルの長さを固定したモデルを構築したが、入力データ毎に、その表現のために必要な特徴量ベクトルの長さは異なると考えられる。より少ない特徴量で表現できるデータについては、その特徴量ベクトルが冗長になっており、さらなる圧縮が可能である。そこで、特徴量ベクトルのL1ノルムなどを制約として誤差関数に加えることで、よりスパースな特徴量になり圧縮性能の向上が期待できる。

・まとめ

3次元点群データに対する汎用的な非可逆圧縮手法の開発においては、深層学習ベースの非可逆圧縮

手法を開発した。まず、エンコーダーにおいて、入力3次元点群データから特徴量ベクトルを抽出する。ここで、深層学習における強い非線形性を有した変換を行うことにより、多様な入力の形状に対して、汎用性の高い手法となる。また、抽出された特徴量に量子化を施し、算術符号化によって更なる圧縮を行った後、データを保存する。復元時には、デコーダーによって、復号化された特徴量から元点群を復元する。圧縮後のデータ量と復元精度の重み付け和を最小化することにより、エンコーダーとデコーダーのパラメータを学習する。これにより、入力データの形状を復元するための有効な特徴量の表現を学習する。提案手法を、オープンなベンチマークデータセットであるShapeNetのデータセット、及びMMSから取得した道路空間のデータという、規模や形状が異なる対象に適用した。いずれのデータに対しても、提案手法は一定の圧縮性能を達成し、その汎用性の高さを示した。

3.3 自動走行対応型道路ネットワーク整備計画評価・認証ガイドラインの作成

(1) 目的

急速に技術開発が進展している自動運転技術は、人間による運転と比較してより安全で円滑な運転を実現することが期待され、将来的には、自動運転技術を活用して、わが国で生じている道路交通に関する様々な課題を解決することが望まれている。例えば、自治体では、自動走行サービスの導入により、コミュニティバス、デマンドタクシーの拡充や自治体負担の軽減、移動サービス新設時の負担軽減などが期待できる。自動走行サービスの導入・普及に向けては、2章に示した通り、自動走行対応型道路ネットワーク整備計画の策定を行うことで、自動走行対応型道路ネットワークの適切かつ着実な整備の実現が期待できる。これに加え、策定した整備計画内容の妥当性を評価すること、計画に対して認証を行い計画実現に向けた財政的支援を行うことが、それぞれ必要であると考えられることから「自動走行対応型道路ネットワーク整備計画評価・認証ガイドライン」を作成した。

(2) 評価・認証ガイドラインの構成

自動走行対応型道路ネットワーク整備計画の評価は、投資効率性の評価と事業採算性の評価の2種類の評価を行うものとする。この際、投資効率性の評価にあたっては、図-78に示すように既存の3便益に加えて、貨幣換算可能な新たな便益、貨幣換算が困難な新たな効果も含めて評価を行うものとする。

ガイドラインにおいては、図-79に示すような、実証実験や調査により得られたデータに基づき開発された自動走行サービスの導入評価・運営支援手法を用いて、自動走行対応型道路ネットワーク整備計画の内容を評価し、認証を行う手順を示すものとして策定する。自動走行対応型道路ネットワーク整備計画評

価・認証ガイドラインを用いた検討手順としては、図-80に示すエリア分類を踏まえた評価モデルの選定、各モデルを用いた評価の実施、認証の実施の3段階の構成とした。

(3) 具体的検討方法

整備計画で定めた内容に基づき、対象地域が該当するエリア分類を確認する。定義されたエリア分類に基づき、評価モデルの基本パッケージを図-81の選択肢から選定する。なお、実際に導入する交通サービスが基本パッケージで位置付けている交通サービスと異なる場合は、適切に評価を行えるように、適宜モデルを取捨選択するものとする。基本パッケージで位置付けている各モデルの概要を表-23に示すが、各モデルは、交通サービスのオペレーション内容設定、投資効率性の評価、事業採算性の評価、自動走行を支える基盤の評価に用いることができる。

出力されたアウトプットデータを用いて、自動運転交通サービスの導入に伴う投資効率性評価と事業採算性評価に用いる指標として、表-22に示す評価指標を算出する。投資効率性評価のうち、便益に関する評価指標については、貨幣換算可能な便益指標と貨幣換算が困難な新たな便益指標が存在するが、その双方を算出するものとする。

表-22 各評価モデルを用いて算出する評価指標

		貨幣換算可否	評価指標
投資効率性評価	便益	可	走行時間短縮 走行経費減少 道の駅滞在効用変化
		不可	外出率向上 回遊性評価 移動性評価 人口定住 世帯構成別世帯数 将来人口変化
	費用	道路整備コスト	
事業採算性評価	収入		料金収入 赤字額充当
	支出		交通サービス走行経費 交通サービス事業コスト



図-78 必要となる道路投資を認証する枠組み

1 評価モデルの選定

2 各モデルを用いた評価の実施



3 認証の実施

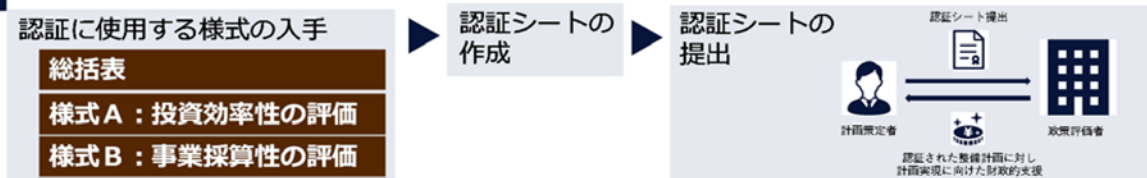


図-79 自動走行型道路ネットワーク整備計画評価・認証ガイドラインの全体像

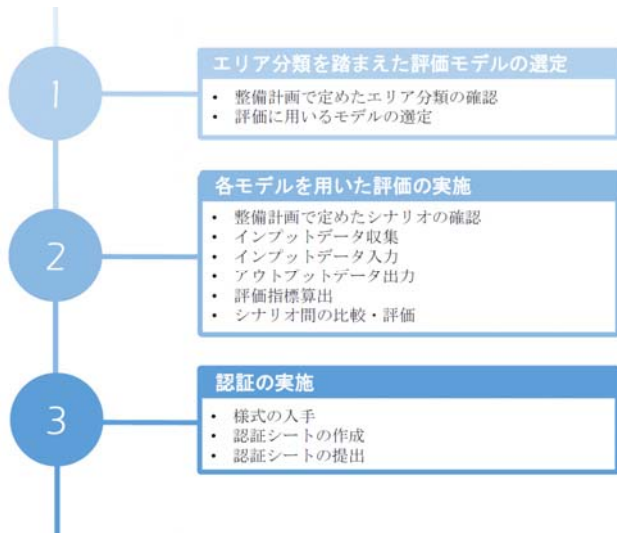


図-80 自動走行型道路ネットワーク整備計画評価・認証ガイドラインの構成

表-23 各評価モデルの概要

	ねらい	Input	Output
デマンドサービスオペレーションモデル	自動運転相乗りタクシーのサービスレベル評価	NW サービス水準 時間帯別 OD	必要台数 車両サイズ 運行頻度
自動走行交通サービス評価モデル	自動走行交通サービス導入を行った場合の効果評価	NW OD	利用者数 移動時間 交通機関選択変化 運賃収入
自動走行貨客混載サービス評価モデル	貨客混載自動走行交通サービス導入時の効果評価	3次元 NW OD(人流・物流) サービス水準	移動にかかる効用値 道の駅の潜在効用値 消費者余剰の変化
広域自動走行公共交通サービス評価モデル	道の駅を結節点とした広域自動運転公共交通サービスの導入時における交通需要やサービスの供給量を決定	NW 人口分布 サービス水準	アクセシビリティ変化 QOL 変化 定住意識変化 需要・料金収入
コスト・収入評価モデル	収入、通院バス等とのコストシェアによる補填を加味した運営収支評価	運営体制 コスト 公的負担 料金収入	年次ごとの収支
道の駅コストシェアモデル	受益者または運営事業者にコストシェアしてもらう枠組み・方法論	来訪特性 コスト	持続可能な運営体制のあり方
自動走行車両制御モデル	自動運転の実現性を高めるための基盤技術	レーザー計測 3次元点群データ	3次元道路地図の変化箇所検出・形状認識 3次元点群データを効率的に圧縮

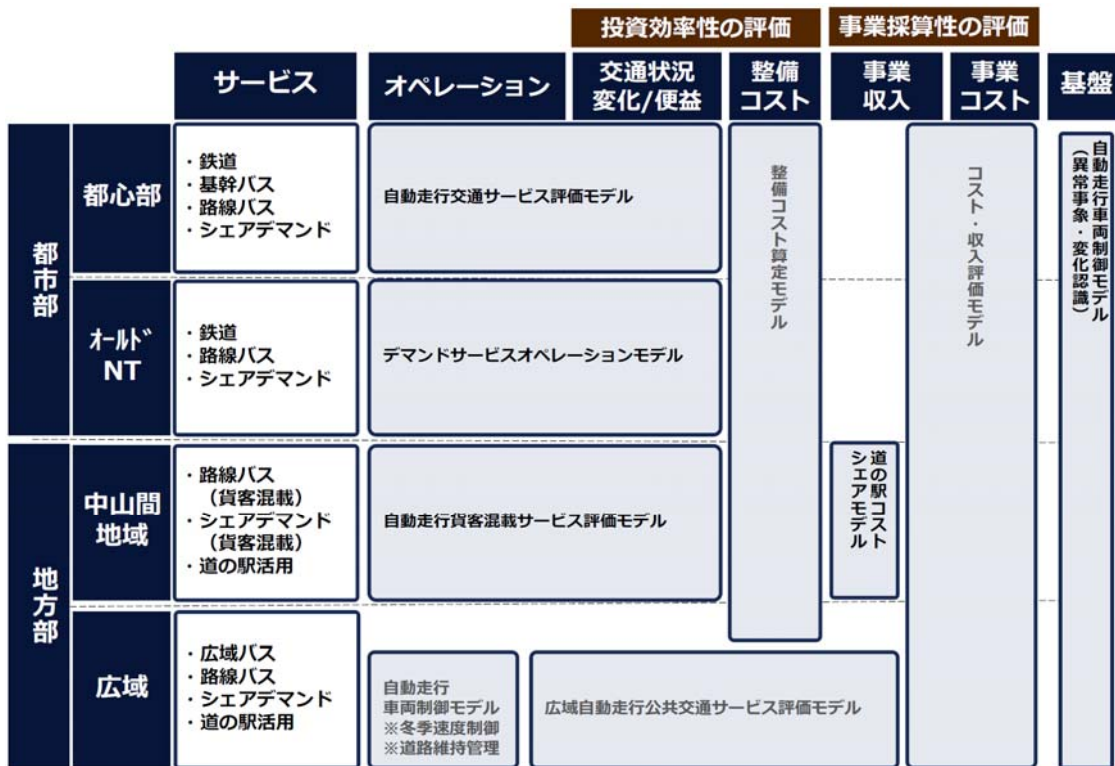


図-81 エリア別の評価モデルの基本パッケージ

第4章 次世代モビリティプラットフォームの検討

4.1 プラットフォーム構築に向けた基礎研究

(1) プラットフォームのあり方検討

自動走行に対応すべき道路機能の評価や、道の駅を拠点とした自動走行導入による地域生活・地域経済への影響評価が可能な「次世代地域モビリティプラットフォーム」の基礎的仕様について検討した。

「次世代地域モビリティプラットフォーム」は、次世代型交通計画評価のための基盤となるデータ・コードに関するプラットフォームと、そのデータを用いた一次データ処理ツール、計画・設計評価モデル、サービスモデル（アプリケーション）から構成されると想定し検討を行った（図-82）。

(2) プラットフォームのプロトタイプ構築

本研究において得たデータ群、ツール・モデル群等を用いて「次世代地域モビリティプラットフォーム」のプロトタイプを構築（図-83）。

プロトタイプは、評価プラットフォームのインターフェイスや各種データ（国土交通調査が実施した「中山間地域における道の駅等を拠点とした自動運転サービス実証実験」における自動運転の実験車両のMMSから収集される点群データや、ドライブレコーダー情報、自動走行サービス利用者のアクティビティデータ等がデータ）やコード（経路選択モデル、行動モデル、シミュレーションモデルのソースコード）等を検索、ダウンロードするための基本構成の検討を行った（図-84）。

4.2 プラットフォーム構築

(1) サーバー環境の構築

レンタルサーバー上にサーバー環境を構築し、各種デバイスの設定を行った（図-85）。

サーバー環境は、PrivateSegmentとDMZSegmentの領域を分ける構成としている。PrivateSegmentはデータベースサーバを置く場所なので直接外部からアクセスできない領域とし、DMZSegmentはWebサーバーやファイルサーバを利用するため外部からのアクセスが出来る領域としている。Firewallでは不要なポートなどを開放しないように、不正アクセスを防ぐ役割をしている。

(2) データやコードを共有する仕組みの検討

プラットフォームのデータやコードにアクセスする利用者は、一般的にどのようなデータやコードが収録されているか、データの対象地域、年次、フォーマット、データ量などの情報を把握し、利用目的に合致するデータを入手したいというニーズがある。一方で、多種多様なデータの収録を考えると民間のビッグデータの有料提供やデータ加工サービス等の有料サービスの提供も視野に入れた柔軟なシステム設計が求められ、データの閲覧者の限定などのアクセス権（アクセス権、アクセス期間）などの設定を

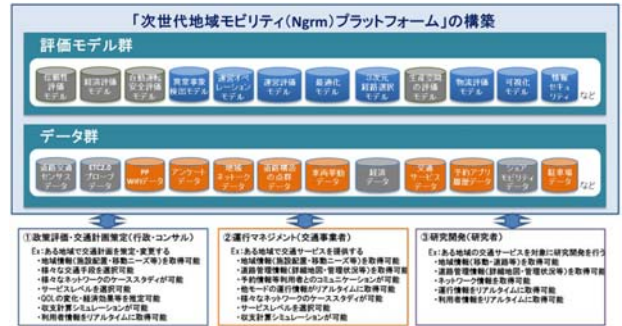


図-82 プラットフォームのイメージ

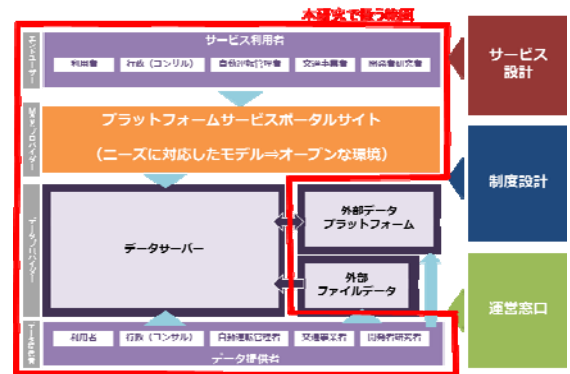
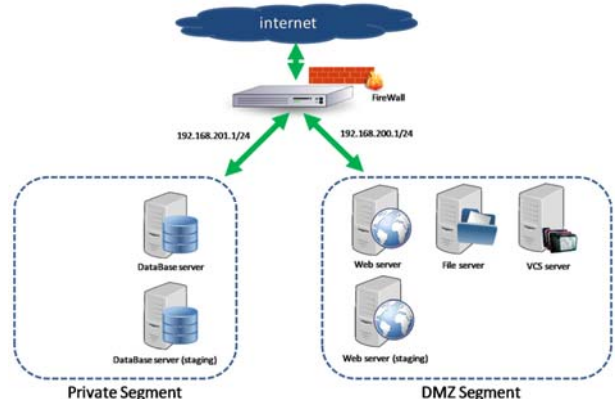


図-83 「次世代地域モビリティプラットフォーム」のプロトタイプ構成



図-84 プロトタイプトップページ



FireWall : 不正アクセス防止

DataBase server : 各種データの格納に利用

Web server : ポータルサイトAPI機能に利用

File server : 関係者間のファイルの相互受渡利用

VCS server : Version Control System開発ソースの管理に利用

図-85 システム構成図

行える事や、管理上、外部からの不要なサーバーへの攻撃を避けるため、WebAPIの利用者を限定したいなどのニーズも想定される。利用者と管理者のニーズと必要な情報・機能を分類する。

プラットフォーム構築においては上記の認識から、「無闇に排除しない」と「データセキュリティの確保」を両立する点に留意し、誰もがPFへアクセス可能な仕組みとして、オープン領域とファイル、データ毎にアクセス権を設定し、ログインをすることでアクセス可能な領域であるクローズ領域を設定し、これらを検索インターフェイスにより切り替える設計を行った(図-86)。

(3) WebAPIおよびバックエンド機能の構築

プラットフォームは、データを検索しダウンロードによるデータの共有機能の他に、管理者の作業として、ファイルの整形、登録情報の整理、データのサーバーへの取り込みがあり、これらのデータをプラットフォームに取り込みを行った際には、個人情報等の秘匿処理、特異データのクレンジング処理、検索やダウンロードなどのリクエストに高速にレスポンスするための1次集計処理などが必要となる。また、リアルタイム性の高いデータ処理やデータ交換に対するユーザーニーズもあり、このようなリクエストにはWebAPIによるリクエストとサーバーによるレスポンスが必要となる。ここではこれらの要求に対する機能を検討し、プラットフォームへの実装を行う(図-87)。

(4) インターフェイスの検討

データやコードの利用者は、プラットフォームに収録されているデータの対象地域、年次、フォーマット、データ量などの情報を把握し、利用目的に合致するデータを入手したいというニーズを持っている。一方、多種多様なデータの収録を考えると、民間のビッグデータの有料提供やデータ加工サービス等の有料サービスの提供も視野に入れた柔軟なシステム設計が求められ、データの閲覧者の限定などアクセス権(アクセス権、アクセス期間)を設定できることや、外部からの不要なサーバーへの攻撃を避けるためにWebAPIの利用者を限定することなど、セキュリティ確保の措置が必要になる。このため、アクセスが自由なオープン領域とログインが必要なクローズ領域を設け、オープン領域には収録データのリストや仕様、オープンデータを収録、クローズ領域では、ファイルやデータ毎のアクセス権を個人単位で設定できるようにするとともに、WebAPIの利用には登録ユーザーに紐づくAPI Keyを発行するなど、アクセス権の管理を可能とするシステムを開発した。プラットフォームのインターフェイスとして、利用者が検索によって必要なデータやコードにアクセスするための機能と、管理者がデータの登録やデータの加工を行う機能を実装した。また、データの検索には、利用者が直感的にデータにアクセスできるように「マップ検索」と「キーワード検索」の2つのインターフェイスを準備した(図-88、図-89)。

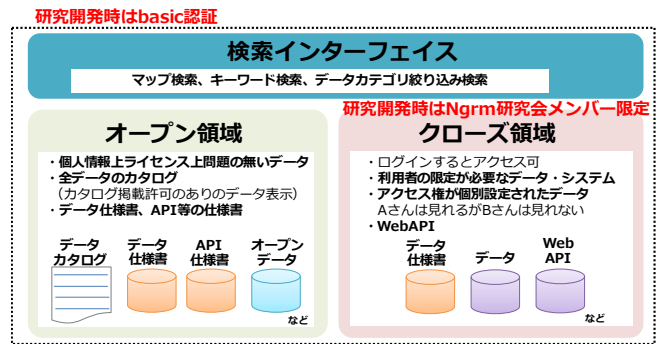


図-86 プラットフォームの基本設計

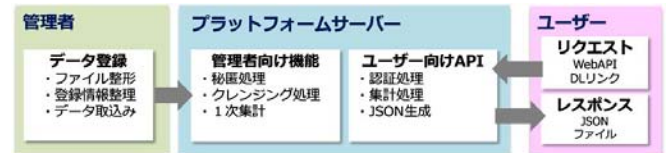


図-87 WebAPIとバックエンド機能のイメージ



図-88 マップ検索画面



図-89 キーワード検索画面

プローブパーソン(PP)調査データは、トリップ目的、交通手段等の情報とGPSによる行動軌跡を把握する調査であり、評価モデルの構築に有益なデータである。一方で、データ規模が大きくなることから、データ処理の利用者負担が発生ため、負担を軽減するWebAPIを実装するとともに、WebAPIの利用方法とコードサンプルを公開する機能をプラットフォームに盛り込んだ(図-90)。また、利用者が新規にPP調査データを格納する事を想定し、データの品質を担保するためのデータクレンジングに関する機能を実装した。実装を行った項目は、重複データの削除機能、誤差の大きいデータの削除機能、特異点データの削除機能等である。

(5) データ及び評価モデルの搭載

本研究で得られた調査データについて、プラットフォームへ追加格納を行った(表-24)。また、新道路技術開発において自動運転をテーマとする本プロジェクト(原田プロジェクト)と有村プロジェクトにおいて開発された評価モデルを表-25のように整理プラットフォームに格納する。入出力データ及び実行プログラムの格納を基本としているが、本研究外にて作成され、本研究で利用プログラム等の知的財産を含む場合は、評価モデルに関する概要とモデルに関する問い合わせ先を収録した。また、自動走行対応型ネットワーク整備計画が全国各地で計画される事を勘案し、「自動走行対応型ネットワーク整備計画検討ガイドライン」及び「自動走行対応型ネットワーク整備計画評価・認証ガイドライン」についても、プラットフォームに収録した(図-91)。



図-90 API仕様書およびサンプルコードの公開ページ

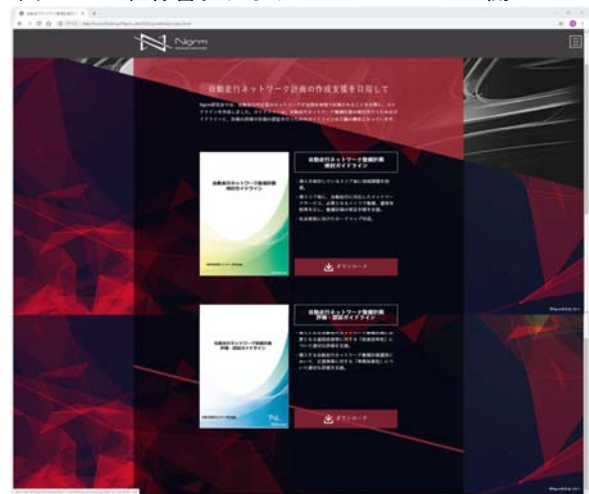


図-91自動走行対応型ネットワーク整備計画検討ガイドラインの紹介ページ

表-24 収録対象としたデータ

整理収集を行うデータ		調査年	データ種別
原田プロジェクト	東京臨海部を対象としたプローブパーソン調査データ	2019	・プローブパーソンデータ (DBへ格納) ・アンケート調査票 ・アンケート集計結果
	飯南町を対象としたアンケート調査データ	2018	・アンケート調査票 ・アンケート集計結果
	高蔵寺ニュータウンを対象としたアンケート調査データ	2018	・アンケート調査票 ・アンケート集計結果
	自動走行サービスの国内外の事例収集シートおよびGISデータ	2000	・事例収集シート ・GISデータ
有村プロジェクト	生産空間からの転居実態および道の駅に関する調査	2019	・アンケート調査票 ・アンケート集計結果
	道の駅を拠点とした公共交通サービスに対する定住意識に関する調査	2019	・アンケート調査票 ・アンケート集計結果

表-25 収録対象とした評価モデル

整理収集を行うデータ		検討主体	モデルの格納状況
原田プロジェクト	東京臨海部を対象とした評価モデル(Hongo)	東京大学	・入出力データ ・実行プログラム
	貨客混載自動走行サービス評価	広島大学	・入出力データ ・実行プログラム
	オールドニュータウンでの自動走行デマンドサービスの評価	名古屋大学	・入出力データ概要 ・シミュレーション実施を行う場合の問い合わせ先
有村プロジェクト	生産空間における道の駅を活用した広域自動運転公共交通サービスの評価	室蘭工業大学 北海道大学 北見工業大学 豊橋技術科学大学	・入出力データ ・実行プログラム

第5章 研究成果のとりまとめ

5.1 研究成果のまとめ

本研究における主要な成果を以下にまとめる。

- (第2章) 自動走行対応型道路ネットワーク整備計画の検討として、最新の技術や研究動向に関する基礎調査を行った。基礎調査においては、既存研究のレビュー、企業等へのヒアリングにより最新動向を聴取した。また、国内外の自動運転サービスに関する調査を実施し、動走行サービスの展開状況、サービス内容等に関する事例を収集した。また、自動走行対応型ネットワークが道の駅を活用して転換されることから、道の駅の運営実態調査を行い、道の駅を活用した自動走行サービスにおけるコストシェアの可能性について把握した。

また、上記の調査結果を参考に「自動走行対応型ネットワーク整備計画」の素案を検討し、道の駅を活用した自動走行ネットワーク整備計画を立案するための「自動走行型道路ネットワーク整備計画ガイドライン」の作成を行った。

- (第3章) 自動走行対応型ネットワーク整備計画の立案後、道の駅等を活用した自動走行サービスの評価のための各種モデルの構築を行うために、実証実験を通じた調査評価手法の検討を行った。調査は、オールドニュータウンにおける自動走行型移動サービスの導入に向けた調査、都心部におけるバレーパーキングの導入に向けた調査、道の駅の行動調査について実施した。オールドニュータウンにおいては、高齢化が進展し、マイカーでの移動が困難になる住民を対象とした交通日記調査やアンケート調査を実施した。また、都心部におけるバレーパーキングの導入に向けた調査では、都心部へ流入する自動車交通のドライバーに対して、都心部のフリッジにおけるバレーパーキングの利用と都心部のラストワンマイルの移動手段として自動走行交通サービスを組み合わせ導入する際の利用意向調査及び、ドライバーを対象としたGPS調査を実施した。道の駅に関する行動調査においては、全国4箇所の道の駅周辺住民に対してアンケートを行い、日常移動に関するダイアリー調査を行うとともに、営農者については、道の駅を活用した自動走行貨客混載サービスが導入された場合における利用意向に関するアンケート調査を実施し、道の駅周辺における移動ニーズや地域産品の集出荷実態と貨客混載交通への期待や利用意向を把握した。自動走行サービスの評価モデルとしては、6つの評価モデルの構築を行った。

- 1) 交通・都市活動への影響評価が可能なマイクロシミュレーションモデルを構築し、
- 2) 自動運転サービス導入に係るコストシェア方策の検討については、道の駅や周辺施設との自動走行公共交通のコストシェアの可能性を示した。
- 3) 貨客混載型自動走行サービス評価モデルでは
- 4) 貨客混載利用意向評価モデル
- 5) オールドニュータウンでの自動走行デマンドサービス評価
- 6) 時系列3次元点群データを用いた異常事象・変化認識手法

また、上記のモデルを活用した評価手法のフレームワークを提示することが自動走行サービスの実現性を高めることから、「自動走行対応型ネットワーク整備計画」を評価する際の考え方・手順を示した「評価・認証ガイドライン」を作成した。

- (第4章) 次世代モビリティプラットフォームの検討においては、プラットフォーム構築に向けた基礎研究として、プラットフォームにあり方を検討するとともにプラットフォームのプロトタイプを作成し、運用を通じた改善点の把握を行った。プラットフォームの構築については、プラットフォームの要件や機能を満たすサーバー環境の構築を行うとともに、データやコードを共有する仕組みやAPIを実装した。また、プラットフォームの管理を容易にするための工夫として、バックエンドのインターフェイスについても構築した。プラットフォームのデータやコードについてはマップやリストで検索可能なインターフェイスを実装した。また、本研究において行った各種調査や評価モデルをプラットフォームに格納し、本成果を元に発展的な研究が行える環境整備についても行った。

5.2 研究成果の活用に向けて

本研究では計画の検討・評価・認証に関する一定のフレームワークを提示したが、実際に計画を立案する際には、自動走行に関する技術の進展、各地域の特性・課題・実現すべき将来像を十分に議論し、地域へ様々なストック効果が発現する計画となることが望まれる。表的な効果を計測するための評価モデルについては、プラットフォームに収録するデータや評価モデル等を用いてモデルが発展していくことにより、今回取り扱っていない効果項目・領域についても計測できるようになることが望まれる。

参考文献および出典等の補足

- 1) TRB2018(Transportation Research Board (TRB) 97th Annual Meeting)-CD-ROM
http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/am/2018/TRB_2018_Final_Program.pdf(2020年7月時点)
- 2) Next Generation Simulation (NGSIM)
<https://ops.fhwa.dot.gov/trafficanalysistools/ngsim.htm>(2020年7月時点)
- 3) Travel Model Improvement Program(TMIP)
<https://tmip.org/>(2020年7月時点)
- 4) oneTRANSPORT イニシアチブ
<https://onetransport.io/>(2020年7月時点)
- 5) Here社におけるReality Indexに関する情報
<https://www.here.com/company/vision/reality-index>
- 6) Here社におけるOpen Location Platform
<https://www.here.com/platform>(2020年7月時点)
- 7) CATAPULT Transport Systems
<https://ts.catapult.org.uk/wp-content/uploads/2016/04/Transport-Systems-Catapult-Five-Year-Delivery-Plan-to-March-2018.pdf>(2020年7月時点)
- 8) ダイソンレポート「Ingenious Britain : Making the UK the leading high tech exporter in Europe」
<https://catapult.org.uk/wp-content/uploads/2016/04/Ingenious-Britain-James-Dyson-Report-2010.pdf>(2020年7月時点)
- 9) ハーマンレポート「The Current and Future Role of Technology and Innovation Centres in the UK」
<https://catapult.org.uk/wp-content/uploads/2016/04/Hauser-Report-of-Technology-and-Innovation-Centres-in-the-UK-2010.pdf>(2020年7月時点)
- 10) 行動モデル夏の学校 東京大学羽藤研究室
<http://bin.t.u-tokyo.ac.jp/model19/>(2020年7月時点)
- 11) 東京公共交通オープンデータチャレンジ
<https://tokyochallenge.odpt.org/>(2020年7月時点)
- 12) G空間プラットフォームの開発について
https://www.soumu.go.jp/main_content/000390992.pdf(2020年7月時点)
- 13) 2017 Optical Metrology; Videometrics, Range Imaging, and Applications XIV14
<https://spie.org/conferences-and-exhibitions/optical-metrology>(2020年7月時点)
- 14) Mehdi Maboudi, Dávid Bánhidí, and Markus Gerke:Investigation of indoor and outdoor performance of two portable mobile mapping systems Proc. of SPIE Vol. 10332
- 15) Fabio Remondino, Mark R.Shortis:Videometrics: A generic point error model for TLS derived point clouds,Videometrics, Range Imaging, and Applications XIV, Proc. of SPIE Vol. 10332
- 16) Optical 3D Metrology Workshop
<https://o3dm.fbk.eu/>(2020年7月時点)
- 17) 7th International Symposium on Transport Network Reliability (INSTR 2018)
<http://instr2018.org/>(2020年7月時点)
- 18) 有村幹治, 原田昇・片岡由香・力石真・金森亮・高橋清・岸邦宏・萩原亨:第57回土木計画学研究発表会スペシャルセッション,自動運転システムと次世代地域モビリティ
- 19) 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議:官民ITSロードマップ
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20190607/siryu09.pdf>(2020年7月時点)
- 20) 西村和記,土井勉,喜多秀幸:社会全体の支出抑制から見る公共交通が生み出す価値:クロスセクターベネフィットの視点から,土木学会論文集D3,Vol.70 pp809-818
- 21) 地域公共交通網形成計画:国の基本方針に基づき地方公共団体が交通事業者など地域の関係者と連携し策定する公共交通のマスタープラン
<https://www.mlit.go.jp/common/001267992.pdf>(2020年7月時点)
- 22) 地域公共交通再編実施計画:地方公共団体が交通事業者との合意の上で地域公共交通再編事業を実施するための計画
<https://www.mlit.go.jp/common/001267992.pdf>(2020年7月時点)
- 23) 2) 坂井康一, 大口敬, 須田義大(2018). 自動走行システムの高度化・普及展開の姿およびその社会的・産業的インパクトに関する検討. 生産研究. 2018 vol: 70 (2) pp: 19-24.
- 24) 「自動運転に対応した道路空間に関する検討会(中間とりまとめ)」
https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/road_space/index.html(2020年7月時点)
- 25) 国土交通省:国土交通省による道の駅等を拠点とした自動運転サービス実証実験
<https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/automatic-driving/pdf06/01.pdf>(2020年7月時点)
- 26) Oyama yuki and Eiji Hato, A discounted recursive logit model for dynamic gridlock network analysis, Transportation Research Part C: Emerging Technologies
- 27) Fosgerau, M., Frejinger, E., & Karlstrom, A. (2013). A link based network route choice model with unrestricted choice set. Transportation Research Part B:Methodological, 56, 70-80.
- 28) Makoto CHIKARAISHI:Empirical estimation of temporal utility probes under time-space prism constraints IATBR2028
- 29) Makoto Chikaraishi, Sachiyo Fukuyama, Hironori Yamane, Mitsutaka Sawa, and Eiji Hato :Estimating willingness-to-pay for autonomous pickup services for agriculture products in rural areas of Japan, ITS FUKUOka2018
- 30) 中京都市圏パーソントリップ調査
<https://www.cbr.mlit.go.jp/kikaku/chukyo-pt/index.html>(2020年7月時点)
- 31) SAVSシミュレーションについて
<https://www.aperza.com/catalog/page/7028/30695/>(2020年7月時点)
- 32) Chao Cao, Marius Preda, and Titus Zaharia. 3D point cloud compression: A survey. In The 24th International Conference on 3D Web Technology, pages 1-9. ACM, 2019.
- 33) Yan Huang, Jingliang Peng, C-C Jay Kuo, and M Gopi. Octree-based progressive geometry coding of point clouds. SPBG, 6:103-110, 2006.
- 34) Yan Huang, Jingliang Peng, C-C Jay Kuo, and M Gopi. A generic scheme for progressive point cloud coding. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 14(2):440-453, 2008.
- 35) Vicente Morell, Sergio Orts, Miguel Cazorla, and Jose Garcia-Rodriguez. Geometric 3D point cloud compression. Pattern Recognition Letters, 50:55-62, 2014.
- 36) Javier Navarrete, Diego Viejo, and Miguel Cazorla. Compression and registration of 3D point clouds using gmms. Pattern Recognition Letters, 110:8-15, 2018..
- 37) Hakan Wiman and Yuchu Qin. Fast compression and access of lidar point clouds using Wavelets. In 2009 Joint Urban Remote Sensing Event, pages 1-6. IEEE, 2009.
- 38) Wei Yan, Shan Liu, Thomas H Li, Zhu Li, Ge Li, et al. Deep autoencoder-based lossy geometry compression for point clouds. arXiv preprint arXiv:1905.03691, 2019.