



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. 29-3

研究テーマ

質の高い交通時代のモビリティの価値の
計測手法開発に関する研究

研究代表者：広島大学教授 藤原 章正
共同研究者：東京大学教授 加藤 浩徳
鳥取大学教授 桑野 将司
島根大学特任教授 塩飽 邦憲
広島大学准教授 力石 真
広島大学教授 張 峻屹

令和 2 年 7 月

新道路技術会議

目次

研究概要	1
第1章 はじめに	3
1.1 研究の背景と目的	3
1.2 研究体制	4
1.3 本報告書の構成	4
第2章 旅行時間価値の体系化	5
2.1 旅行時間価値の理論と推計方法	5
2.2 質の高い交通時代の旅行時間価値のパラダイムシフト	6
第3章 交通時間短縮の価値	11
3.1 過疎地域における貨客混載サービスに対する多様な時間短縮価値の計測	11
3.2 自動運転車内のマルチタスクが居住地選択行動に及ぼす影響の計測	13
3.3 グリーン・スロー・モビリティサービスの利用価値の計測	15
第4章 アクセシビリティ改善の価値	18
4.1 高齢者の自動車運転免許返納のための診断システムの開発	18
4.2 自動車運転免許返納に関する意思決定構造の計測	21
4.3 アンメットニーズに基づく高齢者の運転免許保有の価値の計測	27
4.4 ライドシェアサービスの成立可能性の計測	30
第5章 コネクティビティ改善の価値	36
5.1 自動運転車のリスク認知と社会的受容性の計測	36
5.2 仮想現実選択実験による自動運転バスとLRTの協調システムの価値の計測	39
5.3 公道実証実験による自動運転バスとLRTの協調システムの価値の計測	42
第6章 まとめ	50
5.1 研究の総括	50
5.2 今後の展望	50

「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. 29-3	質の高い交通時代のモビリティの価値の計測手法開発に関する研究	広島大学 教授 藤原 章正

異なる時間価値や時間制約を持つ移動主体が共生する質の高い交通時代のモビリティを実現するため、交通の価値の計測方法を再構築することを研究目的として、Connected 公共交通システムの社会的受容性の研究を実施する研究開発。

1. 研究の背景・目的

超高齢社会を迎えたわが国では「質の高い交通」サービスが求められている。質の高い交通とは、例えばヒューマンエンターを予防する自動運転車両など、革新的技術に支えられたきめ細かな移動サービスをいう。こうしたサービスは特に心身機能が低下した高齢者にとって有用と考えられるが、いくつかの点でモビリティの価値の計測方法を見直す必要がある。本研究は、異なる時間価値や時間制約を持つ移動主体が共生する超高齢社会において、モビリティの価値の計測方法を再構築することを目的とする。

2. 研究の内容

初年度は、時間価値計測に関する既往理論のレビューと理論研究、高齢者の運転免許返納意向や保有価値に関する調査、Connected 公共交通の仮想現実選択実験の設計、選好意識調査による自動運転の社会的受容性の計測を実施する。

2 年目は、異質な主体間／貨客間混乗バスの時間価値計測手法の研究、高齢ドライバーの運転機能の計測手法の適用による運転免許保有価値の研究、時間価値計測技術の有効性の検証に向けた仮想現実選択実験による Connected 公共交通システムの社会的受容性の研究を実施する。

最終年度は、Connected 公共交通システムの公道実証実験により社会的受容性を明らかにするとともに、質の高い交通時代の道路事業の包括的評価手法の有用性を示す。

3. 研究の成果(抜粋)

(1) 交通時間短縮の価値に関する知見

1) 過疎地域における貨客混載サービスに対する交通時間短縮価値の計測

物と人の移動を統合し効率的に運用する貨客混載サービスには時間価値の異なる多様な利用者が同乗するため、交通手段選択モデルを構築し、多様な時間短縮価値を計測した。そして、ひとつの輸送サービスとして統合した運行経路の最適化手法を開発した。

2) 自動運転車内のマルチタスク行動が居住地選択行動に及ぼす影響の計測

完全自動運転車では、移動中にマルチタスクが可能となり、長い旅行時間に対する抵抗感が低くなることをSP調査により実証した。活動種類ごとにマルチタスクの実施可能性を計測するとともに、居住地選択行動モデル (Panel Binary Mixed Logit Model) を構築して、この自動運転車の普及が都市構造の変化を引き起こす可能性を示した。

(2) アクセシビリティ改善の価値に関する知見

1) 高齢者の自動車運転免許返納のための診断システムの開発

認知症等の疾患が進行した高齢ドライバーが自動車運転免許を継続保有し運転することの可否を計測する診断システムを開発し、公道走行実験でその適用性を明らかにした。



図1 貨客混載サービスの SP 調査

Panel Binary Mixed Logit Model

$$P_{int} = \int_{b_n} \frac{\exp(V_{int} + b_{in})}{\sum_j \exp(V_{jnt} + b_{jn})} f(b_n) db_n$$

P_{int} : 時点 t 、個人 n 、居住地 i の選択確率
 V_{int} : 時点 t 、個人 n 、居住地 i の効用確定項
 b_n : 個人 n の確率効果

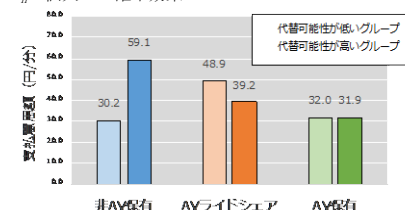


図2 AVによる通勤時間短縮の価値

2) 自動車運転免許返納に関する世帯の意思決定構造の計測

高齢者とその家族との間のコミュニケーションを通じた世帯の意思決定構造を表現する免許返納行動モデルを構築し、その有効性を検証した。

3) 中山間地域におけるライドシェアの成立可能性の計測

中山間地域において、運転者と利用者のミーティングポイントを設け、活動スケジュール制約のもとで運行するライドシェアの成立可能性を計測するシミュレーションモデルを構築した。



図3 運転免許返納診断システム

(3) コネクティビティ改善の価値に関する知見

1) 自動運転車のリスク認知と社会的受容性の計測

路車通信・車車間通信システムにより運行する自動運転技術に対する利用者のリスク認知マップを求め、自動運転技術に対する未知のリスク認知度は、他の科学技術よりも高いことを発見した。

2) 社会実験による自動運転バスとLRTの協調システムの価値の計測

自動運転バスが一般車道からLRT軌道敷に運転操作なしで侵入し、追従走行した後、再び車道へ戻るといった世界で初めての自動運転バスとLRTの協調システムの社会実験を実施した。同システムは軌道敷内を正確にレーンキープ走行し、停留所では先行停車車両を認知して正着すること、この技術を体験したモニターから自動運転バスの社会的受容性があることを確認した。

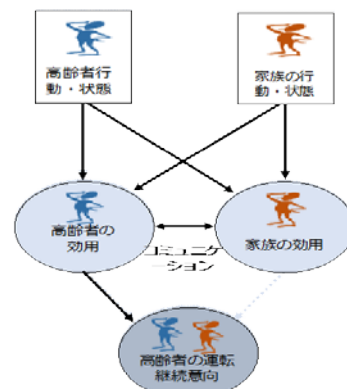


図4 高齢者と家族のコミュニケーションに基づく意思決定モデル

4. 主な発表論文 (研究代表者はゴシック、研究分担者は下線)

1. Moriwaki, T., Chikaraishi, M., Fujiwara, A. (2018) Numerical simulation on the feasibility of ride-sharing system in rural areas of Japan, Presented at the International Conference on Smart Mobility and Logistics in Future Cities, October 18-20, Hong Kong, 2018.
2. Namgung H., Chikaraishi, M., Fujiwara, A., et al.(2019) Estimating Heterogeneous Value of time for an Integrated Transport between Passenger and Goods: A Case study in a Japanese Rural area, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies 13, 1321-1332.
3. Kakujo R. Chikaraishi, M., Fujiwara, A., et al. (2020) Heterogenous effects of multitasking in autonomous vehicles on residential location choice behavior, TRB 2020 (CD-ROM).
4. Fukui N. Chikaraishi, M., Fujiwara, A. (2020) A collective household model of driving cessation of older adults, in "Mapping the Travel Behavior Genome" (K.G. Goulias and A.W. Davis, eds), Paperback ISBN: 9780128173404, eBook ISBN: 9780128173411, Elsevier
5. Chikaraishi M., Fujiwara, A., et al. (2020), Risk perception and social acceptability of autonomous vehicles: A case study in Hiroshima, Japan, Transport Policy, <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.05.014>

5. 今後の展望

自動運転バスとLRTの協調システムの実証実験により、技術的側面からシステムの導入可能性を検証することができた。社会的受容性を確実に確認するために、今後、条件の異なる多様な都市で同様の検証が必要となる。

6. 道路政策の質の向上への寄与

質の高い交通時代のモビリティの価値を高めるために、交通時間短縮策、アクセシビリティ改善策、コネクティビティ改善策、レジリエンス改善策は、いずれも有効な施策であること、これらを統合した包括的な道路政策が質の向上に寄与することを示した。現在、本研究成果を基礎として、自動運転車と交通信号機との路車間通信技術、一般車両、バスとLRTの車車間通信技術、中山間地域での自動運転技術に検証研究へと発展しており、質の高い交通サービスの実現に向けて、継続的な貢献、発展が期待できる。

7. ホームページ等

<https://danro.asahi.com/article/12990184>



図5 世界初、自動運転バスとLRTの協調システムの社会実験

第1章 はじめに

1.1 研究の背景と目的

(1) 研究の背景

超高齢社会を迎えたわが国では、近年、自動車の保有や移動の量が徐々に減っていく「ピークカー」現象が現れている(図1-1)。そこで、サービスの量に加えて「質の高い交通」サービスが求められている。質の高い交通とは、例えば異質な主体間・貨客間が混乗するデマンド交通、ヒューマンエラーを予防する自動運転車両(レベル3相当)、異モードが連携し共同運行するシームレスなマルチモーダルサービスなど、革新的技術に支えられて実現するきめ細かな移動サービスをいう。こうしたサービスは特に心身機能が低下した高齢者にとって有用と考えられるが、いくつかの点で交通の時間価値の計測方法を見直す必要がある。具体的には、

- 1) 異なる時間価値や時間制約を持つ多様な移動主体が混在する超高齢時代の社会的厚生水準評価のための地域レベルの時間価値の推計方法
- 2) 移動が発生する時刻や空間、取り巻く社会関係資本の程度により変動すると考えられる交通の時間価値の計測方法

などの開発が、質の高い交通時代の道路事業の包括的評価のためには重要となる。

(2) 研究の目的

そこで本研究課題では、質の高い交通時代のモビリティの価値の計測手法を開発し、実験的検証によりその有効性をあきらかにすることを目的とする。具体的には、

1) 理論研究: 価値の計測手法の再検討

多様な時間価値や時間制約を持つ移動主体が混在する社会において、道路事業の包括的評価手法の開発

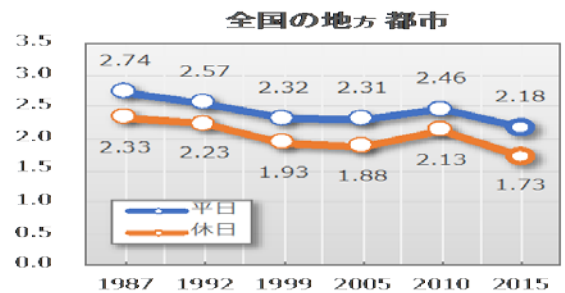
2) 事例研究: モビリティの価値の計測手法の開発

- ① 混乗サービスによる移動の価値
- ② 自動運転車両専用の特殊運転免許の保有価値
- ③ Connected公共交通(異モード間共同運行)の利用価値

である。本研究は平成21～23年度に行われた「道路交通の時間価値についての研究(主査:加藤浩徳)」の発展研究として位置づけられる。上記課題を解決する理

論研究を発展させ、当時よりも社会実装が進んだ3つの革新技術を対象にフィールド実験等を通じた事例検証することが可能となったことから、本研究の着想に至った。

なお、近年、アジア地域でも日本が経験した倍化係数を凌ぐ速度で高齢化が進む国が現れ、2015年の日ASEAN交通大臣会合ではQuality Transportがキーワードになっている。



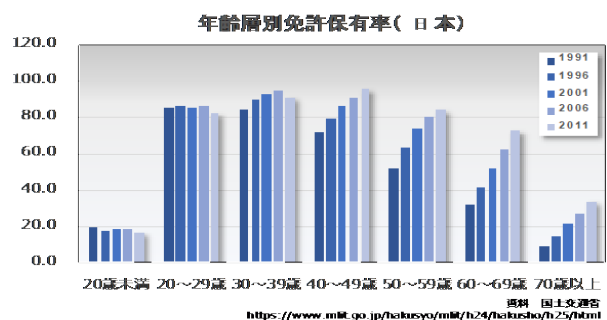
資料: 国土交通省「平成27年度全国都市交通特性調査結果(速報版)」
<https://www.mlit.go.jp/common/001156133.pdf>

(a) 外出機会の減少



資料: 自動車交通研究(2016)を基に修正
<http://www.nikkoken.or.jp/perspective.html>

(b) 車両走行距離の減少



資料: 国土交通省
<https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlk/h24/hakusyo/h25.html>

(c) 若者の免許保有率の低下

図1-1 ピークカー現象

1.2 研究体制

わが国の交通工学・交通計画の研究者に、予防医学の研究者を加えた6名からなる研究体制をとった。また、海外の交流協定大学から3名の専門家を海外研究協力者として加え、バランスの取れた研究体制を組んだ(図1-2)。さらに、個人情報保護と被験者への専門的対応のため、事例研究②の高齢ドライバーの運転機能の計測島根県内の自動車免許教習所および認知症医療機関等に、自動運転車両用運転免許保有の価値調査は地域コンサルタントにそれぞれ一部業務を発注した。

事例研究③の仮想現実(VR)選択実験についてはVR制作と実験実施のために、公道実証実験については実験環境(通信環境)の整備とビッグデータ収集のために、交通事業者およびコンサルタント等で構成するコンソーシアムを設立して産学官の推進体制を整えた。

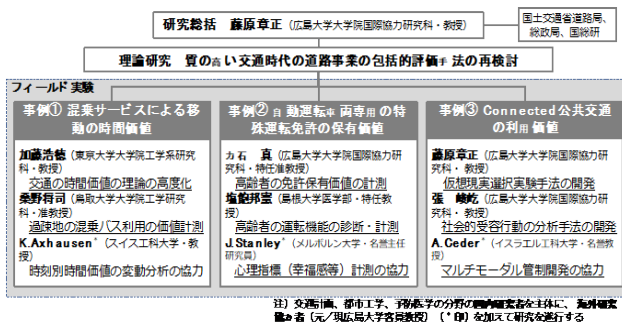


図1-2 研究体制

1.3 研究スケジュール

初年度は、時間価値計測に関する既往理論のレビューと理論研究、高齢者の運転免許返納意向や保有価値に関する調査、Connected公共交通の仮想現実選択実験の設計およびVR画像データ作成、選好意識(SP)調査による自動運転の社会的受容性の計測を実施した。

2年目は、異質な主体間/貨客間混乗バスの時間価値計測手法の研究、高齢ドライバーの運転機能の計測手法の適用による運転免許保有価値の研究、時間価値計測技術の有効性の検証に向けた仮想現実選択実験によるConnected公共交通システムの社会的受容性の研究を実施した。

最終年度は、Connected公共交通システムの行動実証実験により社会的受容性を明らかにするとともに、質の高い交通時代の道路事業の包括的評価手法の有用性を示した。

1.4 本報告書の構成

本報告書は、6章から構成されている。

第1章では、本研究課題の問題設定、研究の枠組み、研究体制及びスケジュールについて概要を示す。

第2章は理論研究であり、古典的な研究課題である旅行時間価値の定義や推計方法に関するレビューと自

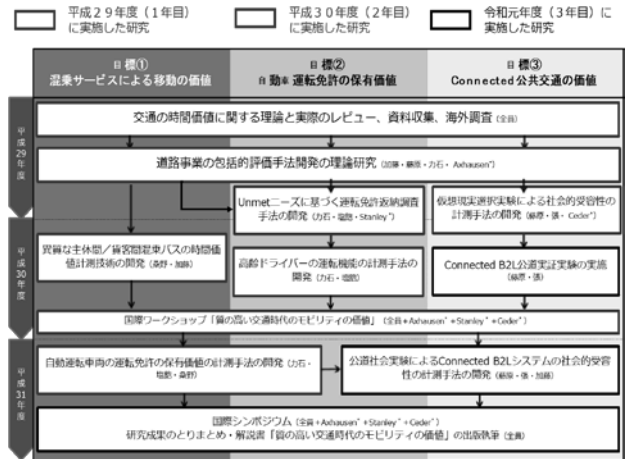


図1-2 研究スケジュール

動運転等の新しい技術に対応した旅行時間価値に関する研究及び政策の重要性について述べる。

第3章から、事例研究に入る。まず3章では、過疎地域における貨客混載サービスやグリーン・スロー・モビリティサービス、自動運転といった新しい交通サービスの旅行時間価値の考え方と計測について検討する。

第4章では、移動機会へのアクセシビリティについて検討する。高齢者世帯の自動車運転免許返納を見据え、運転機能診断システムの開発と運転免許保有の価値、運転免許返納の意思決定について検討する。また、返納後の代替移動手段としてライドシェアサービスの成立可能性の計測方法について検討する。

第5章では、新技術による交通のコネクティビティ改善をとりあげる。まず、自動運転車のリスク認知と社会的受容性の計測し、仮想現実選択実験および公道実証実験を通じて自動運転バスとLRTの協調システムの価値について検討する。

最後に第6章では、研究の成果を総括し、質の高い交通時代に求められる交通政策を展望する。

第2章 旅行時間価値の体系化

2.1 旅行時間価値の理論と推計手法

旅行時間価値 (VoTT) とは、移動者 (消費者) が旅行時間を短縮する貨幣価値 (すなわち、ある条件の下で所要時間を短縮するのに移動者がもつ支払意思額) をいう。旅行時間の短縮価値に限定する場合もあれば、広く活動のための旅行時間価値や時間制約を取り除く価値に拡張する場合もある (Kato, 2013)。旅行時間価値は時間と費用の限界効用の比で表され、限界効用の変動に応じて旅行時間価値も変動する。

本研究が対象と捉えている実務では、一般に、移動者は、旅行時間を短縮することにより正の便益を得ると考えられることから、しばしば旅行時間価値は旅行時間短縮価値 (VoTTS) と同義で使用される。旅行時間短縮価値は交通モデルや交通事業評価の要となる考え方である。

具体例として、交通需要予測モデルにおいて、一般化費用すなわち旅行時間と旅行費用の線形関数が旅行時間短縮価値の説明変数として使用される。この旅行時間価値は、交通手段選択モデルでは最良の手段を決定し、交通配分モデルでは最適パスを決定する役割を果たす。

本章では、旅行時間価値に関する古典的な論文、著名な教科書の一部を再掲し、本研究が取り上げる「質の高い交通」に関連する本法的な概念を再整理する。

(1) 交通時間価値の理論

消費者理論において、時間には3つの重要な役割があると考えられている。①効用関数において時間の大きさ記す標す変数としての役割、②時間制約を表す役割、③時間配分と財の消費を関連づける役割 (Jara-Diaz, 2000) である。

旅行時間価値に関する理論はこれまで広く議論されてきたが、その多くは Becker (1965) の時間配分モデルを基礎としている。人はどのくらい労働を供給するか、つまり、可処分時間の制約の下で、労働、余暇、移動などどの程度時間を割くかを選択しているという基本的な考え方に基づく。Becker (1965) によれば、経済分析の「生産的」消費とは消費財の質と量に及ぼす所得効果である (Becker, 1965; Gronau, 1970; Bruzelius, 1979)。

家計が生活必需品を生産するために時間と市場財を以下のように組み合わせると仮定する。

$$Z_i = f_i(X_i, T_i) \quad (2-1)$$

ここで、 $f_i(\cdot)$ は生産関数、 X_i は市場投入、 T_i は i 番目の消費財の生産に要する時間。

家計は次式の効用を最大化する行動をとる。

$$U = U(Z_1, \dots, Z_n) \quad (2-2)$$

効用関数を最大化する財の最善の組み合わせは、

$$U = U(Z_1, \dots, Z_n) \equiv U(f_1, \dots, f_n) \equiv U(X_1, \dots, X_n; T_1, \dots, T_n) \quad (2-3)$$

予算制約と時間制約の条件は以下の通り

$$\sum_{i=1}^n P_i X_i = Y \quad [\lambda] \quad (2-4)$$

$$\sum_{i=1}^n T_i = T_0 \quad [\mu] \quad (2-5)$$

ここで、 P_i は市場投入価格、 Y は所得、 T_0 は総消費行動時間、 λ と μ は当該制約に対するラグランジュの未定乗数。

ラグランジュ関数は以下の通り。

$$L = U(Z_1, \dots, Z_n) + \lambda(Y - \sum P_i X_i) + \mu(T_0 - T_i) \quad (2-6)$$

ここで、 λ は所得の限界効用、 μ は時間の限界効用。

制約条件(2-4)、(2-5)のもとで、効用関数(2-3)を最大化するためにラグランジュ法を適用すると、

$$\frac{\partial L}{\partial z_i} = \frac{\partial U}{\partial z_i} - \lambda P_i \frac{\partial X_i}{\partial z_i} - \mu \frac{\partial T_i}{\partial z_i} = 0 \quad (2-7)$$

活動 i の限界効用は以下の通り。

$$u_i = \frac{\partial U}{\partial z_i} = \lambda \left(P_i x_i + \frac{\mu}{\lambda} t_i \right) \quad (2-8)$$

ここで、 $x_i = \frac{\partial X_i}{\partial z_i}$ 市場財の限界投入、 $t_i = \frac{\partial T_i}{\partial z_i}$ は時間の限界投入で、 $\frac{\mu}{\lambda}$ は時間の (シャドウ) 価格と呼ばれる。

このモデルでは時間は労働と余暇の間で自由に移転できるものと仮定する。同時に、個人にとって財の消費の配分時間と労働の貨幣価値が等価であるとする。このため、旅行時間の短縮は労働所得の増加として使われるものと仮定する。

その後、この時間配分モデルは時間制約を考慮した De Serpa モデル (1971) へと発展する。このモデルでは、必ずしもすべての活動が労働の価値と等価になるまで配分されるわけではないため、消費財の量に依存して活動に要する最低時間が考慮されるようになる。この枠組みでは、時間価値は3つのタイプに定義される。①期

間を延長することによる資源としての時間価値であり、時間の限界効用と所得の限界効用の比に等しい;②ある活動に割り当てられる財としての時間価値であり、効用関数では時間と費用の代替率に等しい;③活動 i の時間価値は制約と限界効用の乗数の比となる(Mackie *et al.*, 2001).

以降、離散選択モデルの研究、離散選択モデルを使った旅行時間価値の研究はこの Becker (1965)と De Serpa (1971)の理論モデルを基礎として開発されてゆく。

(2) 旅行時間価値の推定方法

旅行時間価値の推定手法にはいくつかの代表的な理論がある。第一の手法は、交通サービスの様々な選択結果をもつ個人を比較する方法である(Beesley, 1965; Hensher, 2001)。Beesley が提案した旅行時間価値の計測手法は Beesley グラフとして知られており、各個人の時間と費用を一つの点として図上に描く。この研究では、公共交通手段は、旅行時間と旅行費用の2つの属性の変動に応じて4つの組み合わせに区分され選択される。第二の手法は、支払意思額として知られる表明選好(SP)を用いる方法である(Lee and Dalvi, 1971; Devarasetty *et al.*, 2012; Axhausen *et al.*, 2006, 2008; Yin *et al.*, 2009)。この手法では、直接個人に支払意思額を尋ねる。第三の手法は、重力モデルなど交通行動モデルの集計情報を用いる方法である。

旅行時間価値の推定は、顕在選好(RP)から表明選好(SP)へと変化してゆく。今では、旅行時間価値の SP 推定法は広く適用されているが、その普及過程は大きく3つの波に区分できる。

- ① 1990年以前:旅行時間価値は2項選択のSP推定法が適用された。時間と費用の単位で誤差尺度は一定とする確率効用モデルによる推定する手法であった。
- ② 1990年代:旅行時間価値は時間と費用の係数の比で明示的に求められる手法が適用された。
- ③ (3)1990年代以降:観測変数と非観測要素の指数関数として旅行時間価値を明示的に推定する手法が適用された(Daly *et al.*, 2014)。

以上のような理論研究に対して、実証研究のなかでは旅行時間価値の推定手法は以下のように区分される。

- ① 実証研究では、主に車内移動時間に着目して旅行時間価値を決定する有理境界を用いた研究が多い(Abrantes and Wardman, 2011; Ramjerdi and Flügel, 2010; Börjesson *et al.*, 2009; Axhausen *et al.*, 2008; Fosgerau *et al.*, 2007; Small *et al.*, 1999)。近年では、メタ分析を用いて異なる文脈による旅行時間価値の変動を計測する研究も多い(Wardman, 1998, 2001a, 2004; Zamparini and Reggiani, 2007; Shires and de Jong, 2009; Abrantes and Wardman, 2011)。
- ② 旅行時間価値の異質性に関しては、主に以下の2種類に区分される:
 - ・ 第1の手法:旅行時間価値の異質性を測るために包括的メタ分析を適用する方法。主として国レベルの分析に用いられる。

- ・ 第2の手法:離散選択モデルを適用する方法。旅行時間価値は所得水準、移動目的、移動の集団や個人によって変動する。客観的利便性と主観的利便性、それらの相互作用により旅行時間価値を計測することもある。また、集団内で旅行時間価値の異質性を無視すると、交通パターン予測が不正確になることが指摘されている(Bouscasse and de Lapparent, 2018)。

- ③ 短期的時間価値と長期的時間価値(Beck *et al.*, 2017; Duberbet *et al.*, 2018)については、以下の2つの異なる考え方がある:

- ・ 多くの時間価値研究では、被験者が置かれる移動手段や経路について、様々な旅行時間と費用の状況に応じて下される短期的決定を取り扱う。
- ・ 通勤行動の決定は、どこに暮らしてどこで働くかといった長期的な意思決定のもとに下される。就業地や居住地が移動者の多くの行動に影響を及ぼすため、移動時間や移動距離が伸びたときの限界費用によって推定する。

- ④ 旅行時間と旅行費用の関数についてはいくつかの考え方がある(Tjong *et al.*, 2018)。

- ・ 旅行時間価値は時間のインパクトと金銭的制約により直接に決まる。
- ・ 時間予算の影響の推定には非線形関数が用いられることがある。
- ・ 旅行時間価値は時間と費用に関する効用の1次偏微分 β_t と β_c の比で求められる。
 - 線形関数: $VoTT = \beta_t / \beta_c$
 - 非線形関数(2次式): $VoTT = (\beta_{t1} + \beta_{t2}T) / \beta_c$
 - 非線形関数(3次多項式): $VoTT = (\beta_{t1} + \beta_{t2}T + \beta_{t3}T^2) / \beta_c$

2.2 質の高い交通時代の旅行時間価値のパラダイムシフト

いわゆる Hensher アプローチは雇用者の意向だけではなく被雇用者の時間配分も考慮する(Truong and Hensher, 1985)。例えば、物流業と旅客運送業が共同する貨客混載サービスや複数のドライバーや旅客が同乗するライドシェアサービスなど、新しいモビリティの旅行時間価値を算出するには、前節までの古典的な旅行時間価値から、複数の個人間のコミュニケーションや最適化により意思決定がなされるという集団モデルの考え方が重要となる。そこでここでは、集団意思決定のメカニズムに基づき、集団効用関数を以下の通り定める:

$$U_G = U_G + \alpha U \quad (2-9)$$

ここで、 U_G および U は各々雇用者および被雇用者の効用関数、 α は重み。

雇用者および被雇用者の双方は以下のモデルのように利益を最大化すると仮定する:

$$\max_{X, T, T_w, t_w, t_l, Y} U_G = [P \cdot f(T_w - t_w) - (wT_w + c_w + Y)] + \alpha U(X, T, T_w - t_w, t_l, t_w) \quad (2-10)$$

条件として

$$X + c_w = wT_w + Y \quad [\lambda] \quad (2-11)$$

$$T + T_w + t_l = T' \quad [\mu] \quad (2-12)$$

$$t_w \geq \tilde{t}_w \quad [\kappa] \quad (2-13)$$

$$VoTTS = P \cdot \frac{\partial f}{\partial T_w} + \alpha \left(\frac{\partial U}{\partial T_w} - \frac{\partial U}{\partial t_w} \right) \quad (2-14)$$

ここで、 t_l 非業務旅行時間。

(1) 移動中の活動(マルチタスク)考慮した旅行時間価値の計測手法の検討

前述の通り、Beckerのモデル(1965)によると、個人の最大効用関する U は以下のように表される。

$$U = U(X, T) \quad (2-15)$$

ここで、 X は財の消費、 T は余暇時間。

時間制約と予算制約の条件は以下の通り。

$$T'_h = T + T_h + t \quad [\mu'] \quad (2-16)$$

$$Y = X + c \quad [\lambda] \quad (2-17)$$

ここで、 Y は所得、 c は旅行費用、 T'_h は可処分所得(関数)、 T_h は個人所得、旅行目的、運転免許保有状況、性別、年齢など他の要因の関数、 t はマルチタスクが可能な旅行時間、 λ と μ' は当該の制約に対するラグランジュ乗数。

ラグランジュ関数は以下の通りである。

$$L = U(X, \dots, T) + \lambda(Y - X - c) + \mu'(T'_h - T - T_h - t) \quad (2-18)$$

これを解くと、旅行時間短縮価値は以下の通りとなる。

$$VoTT = \frac{\mu'}{\lambda} \quad (2-19)$$

式(2-16)のマルチタスクの可能な旅行時間 t は、本来、諸活動への時間配分の結果内生的に決定されるものである。また、実行可能性は活動そのものの質や移動環境に左右されることが考えられる。これらについては十分な研究蓄積がなされていないことから、理論面と実証面で今後の研究テーマとして取り上げる必要がある。

(2) 異なる時間価値を有する個人が共同利用するサービスの時間短縮価値の計測手法の検討

Beesley (1965) が指摘するように、移動者の異質性を考慮に入れることは重要であり、とりわけ、非観測異質性の取扱いが旅行時間短縮価値を計測するのに重要な役割を果たす。Hensher (2001a, 2001b) は離散選択モデルに確率効果項を導入することで、非観測異質性を確率パラメータで記述することに成功した。注目すべきは、確率項により各選択肢の効用間の相関を扱うことができる点である(Bhat, 2001; McFadden and Train, 2000)。Mixed logitモデル(Train1997, 1999)はすべての効用関数のタイプIの極値分布とサンプル間の重みの正規分布を混合させることができる。このMixed logitモデルの確率パラメータは最尤推定シミュレーション法によって数値的に推定できる。

$$U_{ni} = \beta_n X_{ni} + \varepsilon_{ni} \quad (2-20)$$

ここで、 X_{ni} は個人 n 選択肢 i の観測変数、 β_n は個人 n の嗜好を表す変数の係数ベクトルで $\beta_n \sim f(\beta_n | b, \eta)$ 、 $f()$ は平均 b 、分散 η の一般化分布関数、 ε_{ni} はガンベル分布に従う誤差項。

個人 n が β_n の条件のもとに選択肢 i を選択する確率は、

$$L_{ni}(\beta_n) = \frac{\exp(\beta_n X_{ni})}{\sum_{j=1}^J \exp(\beta_n X_{nj})} \quad (2-21)$$

未知パラメータ β_n が分布するときの個人の選択確率(Mixed logit確率)は、

$$P_{ni} = \int L_{ni}(\beta_n) f(\beta_n | b, \eta) d(\beta_n) \quad (2-22)$$

このMixed logit確率は閉形式ではないため、確率は数値シミュレーションによって求める。具体的には、密度関数 $f(\beta_n | b, \eta)$ から任意の β_n を抽出して $L_{ni}(\beta_n)$ を計算し、すべての抽出値の平均をとる。その平均値は以下のようなシミュレーション確率となる。

$$\tilde{P}_{ni} = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R L_{ni}(\beta_n^r) \quad (2-23)$$

ここで、 R は抽出数、 β_n^r は母集団の密度関数 $f(\beta_n | b, \eta)$ から抽出した重み付け平均値。

以下のシミュレーション尤度を得るため、対数尤度関数にシミュレーション確率を代入する。

$$SLL = \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J d_{nj} \tilde{P}_{nj} \quad (2-24)$$

ここで、個人 n が選択肢 j を選択するとき $d_{nj} = 1$ 、その他は $d_{nj} = 0$ 。

近年、旅行時間短縮価値の計測のために確率効用モデルを適用した研究がみられるようになった(Algiers *et al.*, 1998, Hensher 2001a,b,c; Lapparent and de Palma, 2002; Cherchi and Ortuzar, 2003; Jara-Diaz and Guevara, 2003; Perez *et al.*, 2003; Cirillo and Axhausen, 2004, 2006; Hess *et al.*, 2005)。

旅行時間短縮価値の推定を扱った論文には、個人単独の意思決定モデルと共同移動者間の相互依存性を明示的に扱ったモデルがある。Ho *et al.* (2016)は集団意思決定モデルを用いて旅行時間短縮価値を推定した。集団意思決定モデルでは、効用関数のなかに集団構成員間の相互作用を取り入れ、集団の効用を最大にする選択肢を選ぶことができる。つまり、集団意思決定モデルは各構成員が集団(共同移動者)に依存することを許す。 g 人の共同移動者からなる集団が経路 k から得る効用は、

$$U_{gk} = \sum_{n=1}^g \theta_n V_{nk} + \varepsilon_{gk} \quad (2-25)$$

$$\sum_{n=1}^g \theta_n = 1 \text{ and } \theta_n \geq 0, \forall i \quad (2-26)$$

$$\theta_n = \frac{\exp(\gamma X_n)}{\sum_{m=1}^g \exp(\gamma X_m)} \text{ and } \theta_n \geq 0, \forall i \quad (2-27)$$

ここで、 V_{nk} は集団構成員 n が選択肢 k から得る観測効用、 θ_n は集団構成員 n の効用を拡大する重み(個人所得、移動目的および免許保有状態、性別、年齢などその他の要因の関数)であり、重要度の系統的な異質性を表す。 ε_{gk} は集団 g 、経路 k の非観測効用である。

個人及び集団の両方の意思決定を反映するために、モデルは以下のように拡張される。

$$U_k = d \sum_{n=1}^g \theta_n V_{nk} + (1 - d) \sum_{n=1}^g V_{nk} + \varepsilon_{gk} \quad (2-28)$$

ここで、個人 n が移動に参加するとき $d = 1$ 、参加しないとき $d = 0$ 。

2.3 発生時刻と社会関係資本の影響を考慮した交通の時間価値の計測研究

(1) 旅行時間価値に適した政策介入の検討

先に述べたとおり、旅行時間価値は効用関数を構成する旅行時間および旅行費用のパラメータ比で求められる。図 1-1 に示すようにパラメータ θ が外生変数 Z により構造化される($\theta = h(Z)$)とき、 Z は政策介入を表す調整変数と見なすことができる。つまり、旅行時間価値は見かけ上政策介入によって可変となることを意味する。

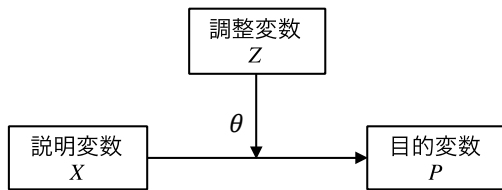


図 2-1 調整変数

移動に対する単位時間当たりの金銭価値すなわち旅行時間価値は、賃金率と時間制約が変わらない限り不変であるとする、真の時間価値 VOT と政策介入により変化する見かけ上の時間価値 \overline{VOT} との間には何らかの関係があると考えられる。

いま、個人 n の選択肢 i に対する効用の確定項 V_{ni} は以下の単純な式で表されるとする。

$$V_{ni} = \theta_c X_{cni} + \hat{\theta}_t X_{tni} \quad (2-29)$$

ここで、 θ_c は費用のパラメータ、 $\hat{\theta}_t$ は政策介入により見かけ上変化した時間のパラメータ。

政策介入の結果、調整変数 Z により真の時間パラメータ θ_t は見かけ上の時間パラメータ $\hat{\theta}_t$ へと変化するとすると、

$$\hat{\theta}_t = h(\theta_t, Z) = \theta_t + \eta_z \quad (2-30)$$

ここで、 η_z は固定効果または確率効果。

式(1-55)を式(1-54)に代入すると

$$V_{ni} = \theta_c X_{cni} + (\theta_t + \eta_z) X_{tni} \quad (2-31)$$

これより

$$\overline{VOT}_{ni} = \frac{\theta_t + \eta_z}{\theta_c} = \frac{\theta_t}{\theta_c} + \eta'_z = VOT_{ni} + \eta'_z \quad (2-32)$$

個人や選択肢によって変動する見かけ上の旅行時間価値は、真の時間価値の関数となる。

(2) 発生時刻選択と時間価値の検討

旅行時間価値の異質性の一つの視点は移動の発生時刻である。Small(2012)は、一般にオフピーク時よりもピーク時の方が旅行時間価値が高いと指摘する。これは、旅行時間価値は移動発生時刻により変化することを意味する。つまり、混雑が時々刻々変化する状況において、通常、移動者は目的地でのスケジュールに合わせて出発時刻を調整し、その結果、旅行時間は内生的に決まる。

スケジュールと旅行時間価値をつなげるために、Vickrey (1969)は $\alpha - \beta - \gamma$ 選好を提唱した。通勤者が時刻 t^* に到着しようとするとき、旅行時間に対しては1分当

たり α の費用を、早着に対して1分当たり β 、遅刻に対して1分当たり γ のスケジューリング費用を各々支払う。混雑が急に变化したとき、移動者の中には旅行時間費用を減らすためにスケジューリング費用を増やすことで最適になる者もいる。このバランスが、交通投資が1日の時刻によって旅行時間を削減できるか否かを決める。また外生的な変化に応じて移動パターンが変化し、その結果、混雑が発生することもある。

$\alpha - \beta - \gamma$ 選好は時刻によって変化するのか？ Vickrey(1973)は重要な理論を提唱した。移動者個人の時刻によって変化する好みは、活動場所で費やす時間の長さによって記述できる。Tseng and Verhoef(2008)によれば、時刻 t において自宅及び職場で費やす時間価値は各々 $H(t)$ および $W(t)$ とし、自宅と職場の間の移動時間は T であるとする、 $H'(t) < W'(t + T)$ のとき移動者は出発時刻 t_d を選択する。自宅および職場で失う時間は等価なので $H(t_d) = W(t_d + T) \equiv H^*$ となる。

移動時間が T_0 の時の状況は図1-2の通りである。消費者の移動時間が T_0 から $T_0 = T_0 + \Delta T$ に変化するときの損失値は $H_0^* \Delta T$ となる。

(3) 社会的相互作用が時間価値に及ぼす影響の検討

式(2-29)に示した通り、異質な時間価値をもつ構成員で構成される集団の旅行時間短縮価値は、既存の個人意思決定モデルの拡張により導出可能である。ただし、図2-2のように共同移動者間の交渉やコミュニケーションの結果、集団意思決定に変化が生じる場合には、社会的相互作用を考慮した意思決定モデルの構築が必要となる。

世帯 h が選択肢 j を選択する確率 P_{hj} は

$$P_{hj} = \frac{\exp(s \sum_{i=A,B} \theta_{hi} v_{hij})}{\sum_k \exp(s \sum_{i=A,B} \theta_{hi} v_{hik})} \quad (2-33)$$

$$V_{hj} = \sum_{i=A,B} \theta_{hi} v_{hij} \quad (2-34)$$

ここで、 v_{hij} は効用の確定項、

$$w_{h,A} = \frac{\exp(\beta Z_h)}{1 + \exp(\beta Z_h)} \quad (2-35)$$

交渉およびコミュニケーションによる集団意思決定のデータ収集およびモデルについては、本報告書の第4章で一部議論する。

2章に関連する参考文献

- 1). Abrantes, P. A., Wardman, M. R. (2011) Meta-Analysis of Uk Values of Travel Time: An Update. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(1), 1-17.
- 2). Algers, S., Bergström, P., Dahlberg, M., Lindqvist Dillén, J. (1998) *Mixed Logit Estimation of the Value of Travel Time*.
- 3). Axhausen, K. W., Hess, S., König, A., Abay, G., Bates, J., Bierlaire, M. (2006) State of the Art Estimates of the Swiss Value of Travel Time Savings. *Arbeitsbericht Verkehrs-und Raumplanung*, 383.
- 4). Axhausen, K. W., Hess, S., König, A., Abay, G., Bates, J. J., Bierlaire, M. (2008) Income and Distance Elasticities of Values of Travel Time Savings: New Swiss Results. *Transport Policy*, 15(3), 173-185.

- 5). Badoe, D. A., Miller, E. J. (1995) Analysis of Temporal Transferability of Disaggregate Work Trip Mode Choice Models. *Transportation Research Record*(1493).
- 6). Bates, J. (1999) *Value of Travel Time on Uk Roads 1994: An Assessment of the Hcg Accent Report*. The Hague, Netherlands.
- 7). Beck, M. J., Hess, S., Cabral, M. O., Dubernet, I. (2017) Valuing Travel Time Savings: A Case of Short-Term or Long Term Choices? *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 100, 133-143.
- 8). Becker, G. S. (1965) A Theory of the Allocation of Time. *The economic journal*, 493-517.
- 9). Beesley, M. E. (1965) The Value of Time Spent in Travelling: Some New Evidence. *Economica*, 32(126), 174-185.
- 10). Bhat, C. R. (2001) Quasi-Random Maximum Simulated Likelihood Estimation of the Mixed Multinomial Logit Model. *Transportation Research Part B: Methodological*, 35(7), 677-693.
- 11). Börjesson, M. (2014) Inter-Temporal Variation in the Travel Time and Travel Cost Parameters of Transport Models. *Transportation*, 41(2), 377-396.
- 12). Börjesson, M., Eliasson, J. (2014) Experiences from the Swedish Value of Time Study. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 59, 144-158.
- 13). Borjesson, M., Fosgerau, M., Algers, S. (2009) Identifying the Value of Travel Time Distribution–Evidence from the Swedish Value of Time Study 2008, Paper presented at the European Transport Conference, 2010 Association for European Transport.
- 14). Börjesson, M., Fosgerau, M., Algers, S. (2012) On the Income Elasticity of the Value of Travel Time. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(2), 368-377.
- 15). Bouscasse, H., de Lapparent, M. (2018) Perceived Comfort and Values of Travel Time Savings in the Rhône–Alpes Region, Paper presented at the The Transportation Research Board 97th Annual Meeting. Washington D.C, US.
- 16). Bruzelius, N. (1979) *The Value of Travel Time: Theory and Measurement*, 3, Taylor & Francis.
- 17). Cherchi, E., Ortuzar, J. d. D. (2003) Alternative Specific Variables in Non-Linear Utilities: Influence of Correlation, Homoscedasticity and Taste Variations, Paper presented at the 10th International Conference on Travel Behaviour Research, Lucerne, Switzerland.
- 18). Cherlow, J. R. (1981) Measuring Values of Travel Time Savings. *Journal of Consumer Research*, 7(4), 360-371.
- 19). Cirillo, C., Axhausen, K. W. (2006) Evidence on the Distribution of Values of Travel Time Savings from a Six-Week Diary. *Transportation Research Part A: policy and practice*, 40(5), 444-457.
- 20). Daly, A., Tsang, F., Rohr, C. (2014) The Value of Small Time Savings for Non-Business Travel. *Journal of Transport Economics and Policy (JTPEP)*, 48(2), 205-218.
- 21). De Borger, B., Fosgerau, M. (2008) The Trade-Off between Money and Travel Time: A Test of the Theory of Reference-Dependent Preferences. *Journal of Urban Economics*, 64(1), 101-115.
- 22). De Lapparent, M., De Palma, A., Fontan, C. (2002) Non-Linearities in the Valuation of Time Estimates. *Publication of: Association for European Transport*.
- 23). DeSerpa, A. C. (1971) A Theory of the Economics of Time. *The Economic Journal*, 81(324), 828-846.
- 24). Dubernet, I., Dubernet, T., Axhausen, K. W. (2018) Comparing Short-and Long-Term Values of Travel Time Savings Derived from a Joint Modelling Framework, Paper presented at the The Transportation Research Board 97th Annual Meeting. Washington D.C, US.
- 25). Fosgerau, M., Hjorth, K., Lyk-Jensen, S. V. (2007) The Danish Value of Time Study. *Danmarks Transport Forskning Report*.
- 26). Fowkes, A. S. (2001) *Principles of Valuing Business Travel Time Savings*. Institute of Transport Studies, University of Leeds, UK.
- 27). Fowkes, T., Fowkes, A., Nash, C. (1991) *Analysing Demand for Rail Travel*, 4, Avebury.
- 28). Fox, J. (2011) Temporal Transferability of Mode-Destination Models: Summary of Literature, Initial Findings, Paper presented at the European Transport Conference - Association for European Transport Transportation Research Board. 2011.
- 29). Fox, J., Hess, S. (2010) Review of Evidence for Temporal Transferability of Mode-Destination Models. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*(2175), 74-83.
- 30). Gronau, R. (1970) The Value of Time in Passenger Transportation: The Demand for Air Travel. *NBER Books*.
- 31). Group, A. a. H. C. (1996) *The Value of Travel Time on Uk Roads-1994*. UK.
- 32). Gunn, H. (2001) Spatial and Temporal Transferability of Relationships between Travel Demand, Trip Cost and Travel Time. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 37(2-3), 163-189.
- 33). Gunn, H. F., Tuinenga, J. G., Cheung, Y. H. F., Kleijn, H. J. (1999) Value of Dutch Travel Time Savings in 1997, Paper presented at the 8th World Conference on Transport Research World Conference on Transport Research Society. 1999.
- 34). Hensher, D. A. (2001a) Measurement of the Valuation of Travel Time Savings. *Journal of Transport Economics and Policy (JTPEP)*, 35(1), 71-98.
- 35). Hensher, D. A. (2001b) The Sensitivity of the Valuation of Travel Time Savings to the Specification of Unobserved Effects. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 37(2), 129-142.
- 36). Hensher, D. A. (2001c) The Valuation of Commuter Travel Time Savings for Car Drivers: Evaluating Alternative Model Specifications. *Transportation*, 28(2), 101-118.
- 37). Hess, S., Bierlaire, M., Polak, J. W. (2005) Estimation of Value of Travel-Time Savings Using Mixed Logit Models. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 39(2-3), 221-236.
- 38). Hess, S., Daly, A., Dekker, T., Cabral, M. O., Batley, R. (2017) A Framework for Capturing Heterogeneity, Heteroskedasticity, Non-Linearity, Reference Dependence and Design Artefacts in Value of Time Research. *Transportation Research Part B: Methodological*, 96, 126-149.
- 39). Ho, C. Q., Mulley, C., Shiftan, Y., Hensher, D. A. (2016) Vehicle Value of Travel Time Savings: Evidence from a Group-Based Modelling Approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 88, 134-150.
- 40). Jara-Díaz, S. R. (2000) Allocation and Valuation of Travel Time Savings. *Handbooks in Transport*, 1, 303-319.
- 41). Jara-Díaz, S. R., Guevara, C. A. (2003) Behind the Subjective Value of Travel Time Savings. *Journal of Transport Economics and Policy (JTPEP)*, 37(1), 29-46.
- 42). Kaa, E. J. d. (2010) Sign-Dependent Value of Time in Stated Preference: Judgment Bias or Exposure of Genuine Preference? *EJTIR*, 4(10).
- 43). Karasmaa, N., Pursula, M. (1997) Transferability Analysis of Disaggregate Choice Models. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1607, 38-44.

- 44). Kato, H. (2013) *Value of Travel Time: Theory and Practice (交通の時間価値の理論と実際)*, ISBN:978-4-7655-1802-4. (In Japanese).
- 45). Lee, N., Dalvi, M. Q. (1971) *Variations in the Value of Travel Time: Further Analysis*. Department of Economics, University of Chicago.
- 46). Mackie, P., Fowkes, T., Wardman, M., Whelan, G., Bates, J. (2001) Three Controversies in the Valuation of Travel Time Savings, Paper presented at the PROCEEDINGS OF THE AET EUROPEAN TRANSPORT CONFERENCE, HELD 10-12 SEPTEMBER, 2001, HOMERTON COLLEGE, CAMBRIDGE, UK-CD-ROM.
- 47). Mackie, P., Jara-Díaz, S., Fowkes, A. (2001) The Value of Travel Time Savings in Evaluation. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 37(2), 91-106.
- 48). McCarthy, P. S. (1982) Further Evidence on the Temporal Stability of Disaggregate Travel Demand Models. *Transportation Research Part B: Methodological*, 16(4), 263-278.
- 49). McFadden, D., Train, K. (2000) Mixed Mnl Models for Discrete Response. *Journal of applied Econometrics*, 447-470.
- 50). Pérez, P. E., Martínez, F. J., Ortúzar, J. d. D. (2003) Microeconomic Formulation and Estimation of a Residential Location Choice Model: Implications for the Value of Time. *Journal of regional science*, 43(4), 771-789.
- 51). Ramjerdi, F., Flügel, S. (2010) The 2009 Norwegian Value of Travel Time Study. *Prepared for the Norwegian Public Roads Administration, The Norwegian National Rail Administration, The Norwegian Coastal Administration, Avinor AS and The Ministry of Transport and Communications*.
- 52). Shires, J. D., De Jong, G. C. (2009) An International Meta-Analysis of Values of Travel Time Savings. *Evaluation and program planning*, 32(4), 315-325.
- 53). Silman, L. A. (1981) The Time Stability of a Modal-Split Model for Tel-Aviv. *Environment and Planning A*, 13(6), 751-762.
- 54). Small, K. A. (1999) *Valuation of Travel-Time Savings and Predictability in Congested Conditions for Highway User-Cost Estimation*, 431, Transportation Research Board.
- 55). Small, K. A. (2012) Valuation of travel time, *Economics of Transportation*, 1(1).
- 56). Tapley, N., Wardman, M., Gunn, H., Hyman, G. (2007) Inter-Temporal Variations in Values of Time in Great Britain, Paper presented at the European Transport Conference. Leiden, The Netherlands, 2007.
- 57). Tjong, J., Hess, S., Dekker, T. (2018) Impact of Travel Time Constraints on Taste Heterogeneity and Non-Linearity in Simple Time-Cost Trade-Offs, Paper presented at the The Transportation Research Board 97th Annual Meeting. Washington D.C, US.
- 58). Train, K. (1978) A Validation Test of a Disaggregate Mode Choice Model. *Transportation Research*, 12(3), 167-174.
- 59). Train, K. (1999) *Halton Sequences for Mixed Logit*. Department of Economics, University of California.
- 60). California.
- 61). Train, K. E. (1997) Valuing Recreation and the Environment Using Recreation Demand Models, in "*Mixed Logit Models for Recreation Demand*". In: Kling, C., Herriges, J. (Eds.). Elgar Press, New York.
- 62). Truong, T. P., Hensher, D. A. (1985) Measurement of Travel Time Values and Opportunity Cost from a Discrete-Choice Model. *The Economic Journal*, 438-451.
- 63). Vickrey, W. S. (1969) Congestion theory and transport investment. *American Economic Review*, Papers and Proceedings 59(2), 251-260.
- 64). Vickrey, W. S. (1973) Pricing, metering, and efficiently using urban transportation facilities.
- 65). *Highway Research Record* 476, 36-48.
- 66). Wardman, M. (1998) The Value of Travel Time: A Review of British Evidence. *Journal of transport economics and policy*, 285-316.
- 67). Wardman, M. (2001a) Inter-Temporal Variations in the Value of Time, [Lecture]. Institute of Transport Studies, University of Leeds, unpublished.
- 68). Wardman, M. (2001b) A Review of British Evidence on Time and Service Quality Valuations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 37(2-3), 107-128.
- 69). Wardman, M. (2004) Public Transport Values of Time. *Transport policy*, 11(4), 363-377.
- 70). Welch, M., Williams, H. (1997) The Sensitivity of Transport Investment Benefits to the Evaluation of Small Travel-Time Savings. *Journal of transport economics and policy*, 231-254.
- 71). Yin, J., Tong, L., Di Bona, R. F. (2009) Value of Travel Time: An Sp Survey in Tianjin. *Urban Transport of China*, 2, 014.
- 72). Zamparini, L., Reggiani, A. (2007) Meta-Analysis and the Value of Travel Time Savings: A Transatlantic Perspective in Passenger Transport. *Networks and Spatial Economics*, 7(4), 377.

第3章 交通時間短縮の価値

3.1 過疎地域における貨客混載サービスに対する多様な時間短縮価値の計測

(1) 研究の背景と目的

超高齢化・過疎化が著しい中山間地域では、需要が低迷し公共交通の維持が難しい一方、運転機能の低下に伴い免許返納等が徐々に進み、公共交通なくしては外出機会の確保が難しい。この二律背反の状況を打破する試みとして、旅客運送と物資輸送を統合した貨客混載サービスの導入が進みつつある。

この効率性が高い貨客混載サービスにおいては、人流と物流、通勤利用と私事利用のように、時間価値や時間制約の異なる需要をひとつの供給サービスでまかなう必要がある。

そこで本章では、山陰地方にある2つの中山間地域を対象として取り上げ、貨客混載サービスを過疎地に導入した場合を想定して、

- ① 異なる時間価値や時間制約を持つ多様な移動主体が混在する超高齢時代の社会的厚生水準評価のための地域レベルの時間価値の推計方法、
 - ② 移動が発生する時刻や空間、取り巻く社会関係資本の程度により変動すると考えられる交通の時間価値の計測方法
- など、質の高い交通時代の道路事業の包括的評価のための調査分析手法を検討した。

(2) 異質な主体が混乗するバスの時間価値計測手法

混乗バスに関しては、平成30年9～10月に島根県邑南町で無作為抽出の2,000世帯を対象とした「旅行時間信頼性の経済価値に関するSP調査」を実施し、1,265個人のデータを収集した。調査概要は表3-1に示す通りである。

この調査では、旅行時間信頼性の価値に関するSP調査を実施した点に特徴がある。すなわち、予定到着時刻と比べて目的地へ早着あるいは遅刻する頻度を仮定し、旅行時間信頼性が異なる文脈のもと、サービス水準の異なる複数のバスを仮定し、その利用意向を尋ねたものである。

(3) 異質な主体間の時間価値計測

表3-1 島根県邑南町で実施した調査の概要

調査目的	住民の目的別の移動実態、移動サービスに対する満足度や改善ニーズ、利用意向等を把握し、潜在及び顕在ニーズ、公共交通の課題抽出や個別路線の見直し検討に活用する目的で実施する。														
調査対象	○町内の2,000世帯（石見740世帯、隠岐720世帯、羽後美540世帯）。 ○12地区別の世帯数を考慮し、人口が少ない地域からも一定以上の回答が得られるよう対象世帯を抽出する。														
調査方法	○調査票は郵送配布・回収とする。（回収は料金受取人払いとする） ○1世帯あたり2枚ずつ調査票を配布し、公共交通を必要としている高齢者を中心に回答を依頼（15歳以上） ※アンケートの実施に際しては、広報紙にアンケートを実施する旨の記事の記載や、自治会などを通じて回答の依頼を行い、回収率の向上を図る														
調査内容	<table border="1"> <tr> <td>個人属性</td> <td>○住所、性別、年齢、世帯構成、職業、自由に使える自動車の有無等</td> </tr> <tr> <td>免許証の保有</td> <td>○保有状況 ○今後の運転継続意向</td> </tr> <tr> <td>移動の実態</td> <td>○普段の主な移動手段 ○通院・買い物特別の移動実態（目的施設名、交通手段、滞在時間、頻度） ○その他よく出かける場所</td> </tr> <tr> <td>お悩みなバス</td> <td>○利用頻度、利用しない場合はその理由 ○よく利用する路線・区間 ○項目別の満足度、総合満足度</td> </tr> <tr> <td>公共交通に対する考え（うち2つを見て）</td> <td>○バスのサービス水準と経費負担の考え方 ○バスの利用や支援の意向</td> </tr> <tr> <td>生活全般について</td> <td>○地域での暮らしに対する将来不安 ○生活においてあるとありがたいサービス</td> </tr> <tr> <td>その他</td> <td>○自由意見</td> </tr> </table>	個人属性	○住所、性別、年齢、世帯構成、職業、自由に使える自動車の有無等	免許証の保有	○保有状況 ○今後の運転継続意向	移動の実態	○普段の主な移動手段 ○通院・買い物特別の移動実態（目的施設名、交通手段、滞在時間、頻度） ○その他よく出かける場所	お悩みなバス	○利用頻度、利用しない場合はその理由 ○よく利用する路線・区間 ○項目別の満足度、総合満足度	公共交通に対する考え（うち2つを見て）	○バスのサービス水準と経費負担の考え方 ○バスの利用や支援の意向	生活全般について	○地域での暮らしに対する将来不安 ○生活においてあるとありがたいサービス	その他	○自由意見
個人属性	○住所、性別、年齢、世帯構成、職業、自由に使える自動車の有無等														
免許証の保有	○保有状況 ○今後の運転継続意向														
移動の実態	○普段の主な移動手段 ○通院・買い物特別の移動実態（目的施設名、交通手段、滞在時間、頻度） ○その他よく出かける場所														
お悩みなバス	○利用頻度、利用しない場合はその理由 ○よく利用する路線・区間 ○項目別の満足度、総合満足度														
公共交通に対する考え（うち2つを見て）	○バスのサービス水準と経費負担の考え方 ○バスの利用や支援の意向														
生活全般について	○地域での暮らしに対する将来不安 ○生活においてあるとありがたいサービス														
その他	○自由意見														
調査期間	平成30年9月4日～平成30年10月2日														
回収率	回収率：45.0%（回収：899世帯/配布：2000世帯） （回収枚数1,265枚 1世帯当たり調査票を2通配布） 平成30年10月2日時点														

図3-1 旅行時間信頼性の経済価値に関するSP質問

問題11 以下の(1)～(4)の設問は、仮想的なバス(A～H)を示します。これらは運行に関して、それぞれ路線の枠内で回った特徴を持っています。

(1) 以下の①～③の移動目的に対して、次のバスAとバスBの特徴がある場合、どちらのバスを利用したいと思いますか。

① 移動の目的が通院で、9時00分から診察の予約をしている場合	1.バスAが望ましい 2.バスBが望ましい
② 移動の目的が私用で、9時00分から友人と待ち合わせをしている場合	1.バスAが望ましい 2.バスBが望ましい
③ 移動の目的が通勤で、9時00分から始業の場合	1.バスAが望ましい 2.バスBが望ましい

<バスAとバスBの特徴>
バスA、バスBはタクシーのようにあなたの希望する出発地から目的地まで直接運行します。バスA、バスBの運行における到着時刻と所要時間は、利用状況により変動する可能性があります。以下のカードに示す3つの到着時刻と所要時間の特徴が同じ「確率」で起こります。

バスA		バスB	
出発時刻	所要時間	出発時刻	所要時間
8時20分	38分	8時15分	33分
8時20分	39分	8時15分	34分
8時20分	40分	8時15分	35分
8時20分	41分	8時15分	36分
8時20分	42分	8時15分	37分
運賃：300円		運賃：200円	
所要時間の平均：40分		所要時間の平均：35分	

(2) 以下の①～③の移動目的に対して、次のバスCとバスDの特徴がある場合、どちらのバスを利用したいと思いますか。

① 移動の目的が通院で、9時00分から診察の予約をしている場合	1.バスCが望ましい 2.バスDが望ましい
② 移動の目的が私用で、9時00分から友人と待ち合わせをしている場合	1.バスCが望ましい 2.バスDが望ましい
③ 移動の目的が通勤で、9時00分から始業の場合	1.バスCが望ましい 2.バスDが望ましい

<バスCとバスDの特徴>
バスC、バスDはタクシーのようにあなたの希望する出発地から目的地まで直接運行します。バスC、バスDの運行における到着時刻と所要時間は、利用状況により変動する可能性があります。以下のカードに示す3つの到着時刻と所要時間の特徴が同じ「確率」で起こります。

バスC		バスD	
出発時刻	所要時間	出発時刻	所要時間
8時20分	22分	8時20分	28分
8時20分	27分	8時20分	29分
8時20分	30分	8時20分	30分
8時20分	33分	8時20分	31分
8時20分	38分	8時20分	32分
運賃：300円		運賃：300円	
所要時間の平均：30分		所要時間の平均：30分	

まず、島根県邑南町データを用いて、通勤、通院、私用目的の乗客のスケジュール効用関数の検討を行った。混合2項ロジットモデルにより、異なる時間価値を有する個人間で、公共交通サービスの早着／遅着／旅行時間／費用に対する感度を計測、比較した。異質な集団 g に属する個人 n の線形効用関数 U_{ng} は次式の通りと仮定する。

$$U_{ng} = \mu + \alpha_g \times ESDE_{ng} + \beta_g \times ESDL_{ng} + \gamma_g \times FARE_{ng} + \delta_g \times TT_{ng} + \epsilon_{ng} \quad (3.1)$$

ここで、ESDEは期待早着時間、ESDLは期待遅着時間、FAREは運賃、TTは所要時間で、 μ は効果を表す選択肢固有確率項であり、 α 、 β 、 γ 、 δ は固定効果を表す集団固有の係数、 ϵ_{ng} はiid極値分布に従う確率項である。効用関数の負値は不効用を、正値は満足度の大きさを表す。なお、推定は552人から得た6624サンプルのSP回答値を用いた。ここでは、異質な集団を規定する要因として移動目的を取り上げる。

表3-2のモデル推定結果を比較すると、通勤、通院、私用の順で時間価値が高くなっている。また、図3-2のスケジュール効用関数の形状を比較すると、早着および遅刻に対する感度も通勤、通院、私用の順で敏感であることが分かる。

表3-2 混合2項ロジットモデルを用いた異質な主体の時間価値の推定結果

異質な主体	通勤		通院		私用	
	係数	z値	係数	z値	係数	z値
定数項 μ	-0.065	-0.90	0.048	0.71	-0.112	-1.23
期待早着時間 α	0.104	7.88	0.084	6.75	0.025	27.8
期待遅着時間 β	-0.247	-6.02	-0.198	-5.42	-0.158	-1.72
運賃(100円) γ	-0.164	-3.56	-0.272	-6.07	-0.351	-9.32
所要時間 δ	-0.066	-5.77	-0.055	-4.90	-0.037	-40.6
早着時間価値	-63.4(円/分)		-30.9(円/分)		-7.1(円/分)	
遅着時間価値	150.6(円/分)		72.8(円/分)		45.0(円/分)	
所要時間価値	40.2(円/分)		20.3(円/分)		10.6(円/分)	

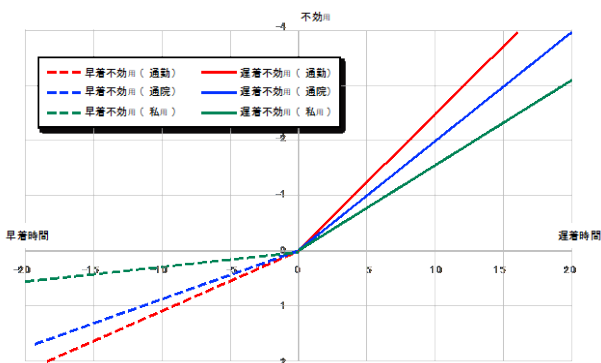


図3-2 異質な主体間のスケジュール効用関数の比較

(4) 貨客間混乗バスの時間価値計測手法の検討

貨客混乗サービスに関しては、平成30年11月に鳥取県岩美町で全4,200世帯を対象とした「貨客混乗サービスに関するSP調査」を実施し、1,732個人の有効データを収集した(図3-3、表3-3)。

サンプルの貨客混乗サービスの利用意向は図3-4の通りであり、貨物と旅客の両方の目的で利用意向を持つ者は全体の22%を占めた。

つ者は全体の22%を占めた。



人とモノと一緒に移動する貨客混載サービス

乗物A：貨客混載サービス

予約した各戸を巡回し、人とモノを輸送

徒歩は必要ない
乗車時間は立寄り戸数が増えれば長くなる
自宅外での待ち時間はなし
運賃はバスより高い
時刻表はない
モノの配送や搬送も利用できる

乗物B：コミュニティバス

決められた路線で人を乗せて定期運送

徒歩は最寄りバス停まで必要
乗車時間は時間帯によりばらつく
バス停での待ち時間は混雑によりばらつく
運賃は貨客混載サービスより安い
時刻表はある
モノの配送や搬送は利用できない

条件が異なる4つのケースについて、それぞれあなたは乗物Aと乗物Bのどちらを選びますか。

ケース1	乗物A	乗物B
総所要時間	30分	62分
徒歩距離(時間)	---	800m(12分)
乗車時間	25分	45分
総遅れ時間	5分	---
バス待ち時間	---	5分
料金	320円	210円

図3-3 貨客混載サービスの利用意向のSPアンケート質問

表3-3 鳥取県岩美町で実施した調査概要

調査名	岩美町住民の交通実態に関するアンケート
対象地区	鳥取県岩美町
調査期間	2018年11月1日～16日
対象者	町内全世帯主(4,200世帯)
調査方法	紙面調査票郵送配布・回収
有効回答数	1,732 サンプル

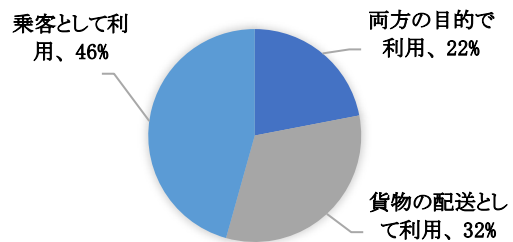


図3-4 貨客混載サービスの利用意向

(5) 貨客間混乗バスの時間価値計測

鳥取県岩美町データを用いて、貨客混乗バスの利用意向モデルを構築した。住民 n が選択肢集合 t から選択肢 i を選択する確率 P_{nit} および線形効用関数は以下の式で表される。前節の異質性を考慮するために、コミュニティバスと貨客混乗バスとの混合2項ロジットモデルとする。

$$P_{nit} = \int_{\mu_i} \frac{\exp(\beta x_{nit} + \mu_i)}{\sum_j \exp(\beta x_{njt} + \mu_j)} f(\mu_i) d\mu_i \quad (3.2)$$

$$U_{nit} = \beta x_{nit} + \mu_i + \epsilon_{nit} \quad (3.3)$$

ここで、 β は固定効果を表す係数、 μ_i は確率密度 $f(\mu_i)$ に従う選択肢固有確率項であり、 ϵ_{nit} はiid極値分布に従う確率項である。 x_{nit} は旅行費用と旅行時間(総所要時間、徒歩アクセス時間、乗車時間、総遅れ時間、バス停待ち時間)からなる説明変数である。

貨客混載サービスとコミュニティバスとの交通機関選択意向のSPモデルを、マーケットセグメント(年齢、通勤・通学行動、買物行動、通院行動、道の駅への農作物の搬送販売農家)毎に推定し(表3-4)、費用と時間の係数比をとって時間価値を算定した(図3-5)。

表3-4 セグメント別混合2項ロジットモデルの推定結果(年齢の例)

セグメント モデル	全サンプル				60歳以上				60歳未満			
	モデルA		モデルB		モデルA		モデルB		モデルA		モデルB	
定数	係数	P(<2=16)	係数	P(<2=16)	係数	P(<2=16)	係数	P(<2=16)	係数	P(<2=16)	係数	P(<2=16)
定数項平均	0.239	0.085	0.375	0.32	0.994	0.00016 ***	0.781	0.20	-0.197	-0.202	0.143	0.80
費用	13.2		13.2		13.2		13.2		12.5		13.4	
総所要時間	-0.018	<2=16 ***	-0.020	<2=16 ***	-0.018	<2=16 ***	-0.019	<2=16 ***	-0.020	<2=16 ***	-0.022	<2=16 ***
徒歩時間			-0.127	5.44<=05 ***			-0.122	<2=16 ***			-0.141	0.002 **
乗車時間			-0.140	<2=16 ***			-0.099	<2=16 ***			-0.188	<2=16 ***
総遅れ時間			-0.261	<2=16 ***			-0.116	<2=16 ***			-0.176	<2=16 ***
待ち時間			-0.383	3.24<=02 ***			-0.253	<2=16 ***			-0.525	3.5<=006 ***
初期尤度	-3114		-3114		-1326		-1326		-1562		-1562	
最終尤度	-2094		-2082		-867		-865		-1022		-1013	
調整尤度比	0.327		0.330		0.344		0.343		0.344		0.348	
サンプル数	4993				1913				2254			

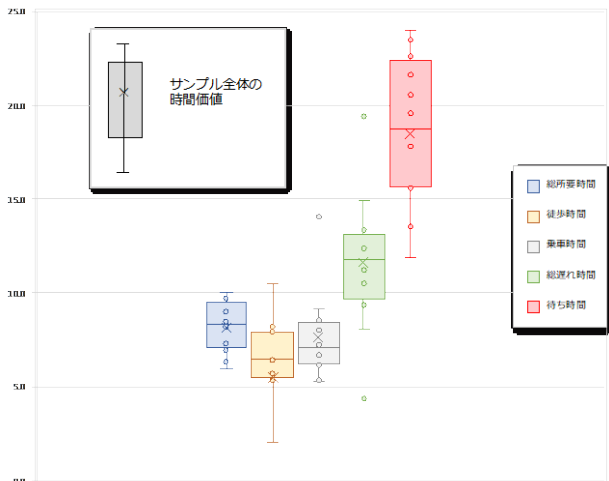


図3-5 各種交通時間価値(円/分)の異質性

3.2 自動運転車内のマルチタスクが居住地選択行動に及ぼす影響の計測

(1) 研究の背景と目的

近年、自動運転技術は急速に進化している。日本政府は、2020年までに高速道路上での自動運転及び限定地域での無人自動運転移動サービス、そして2025年には一般道を含む完全自動運転システムの実現を目指し、全国各地で実証実験を開始している。

完全自動運転システムが実現すると、システムが全ての運転タスクを実施することになる。したがって、ドライバーによる運転が不要となり、車内で様々な活動を行うことが可能となる。車内でのマルチタスク行動は生産性の向上等を伴うことが想定され、移動時間短縮に対する人々の支払意思額が低下する可能性が高い。加えて、

そういった支払意思額の低下は、居住地選択等比較的長期の意思決定に影響する可能性があり、次世代モビリティサービス(自動運転)の導入が様々な副次的影響をもたらす可能性が指摘されている。しかしながら、これらの副次的影響を扱った実証研究は限定的である。

本章では、(1)次世代モビリティサービスの導入がマルチタスク行動の発生にどのような影響を及ぼすか、(2)マルチタスク行動の実行が都市構造にどのような影響を及ぼすのか、を明らかにすることを目的とする。

(2) 自動運転車導入後の居住地選択に関する SP 調査

自動運転車導入後、実行可能となる車内活動が居住地選択に及ぼす影響を評価するために、2017年12月にアンケート調査を実施した。調査対象は、広島県広島市及び福岡県福岡市に自動車を利用して通勤(通学)する600名である。

本調査は、①自動運転車内の実行可能な活動、②自動運転車導入後の居住地選択に関する選好意識(SP)を尋ねる点に特徴がある。まず普段、回答者がどのような活動にどれくらいの時間を費やし、また、その内どれくらいの時間を車内で費やすのかを把握するために、Malokin et al.²⁾を基に17種類の当該活動を設定し、それぞれについて回答を得ている。さらに、自動運転車の導入形態により、車内で実行可能な活動が異なるという仮説の下、自動運転車に1人で乗る場合と、他人と同乗する場合のそれぞれで17種類の該当する活動の質を質問した。ここで、活動の質とは、日常生活における活動を基準として車内でどの程度活動を実行することができるかを、0~10点の尺度で計測したものである(図3-5)。

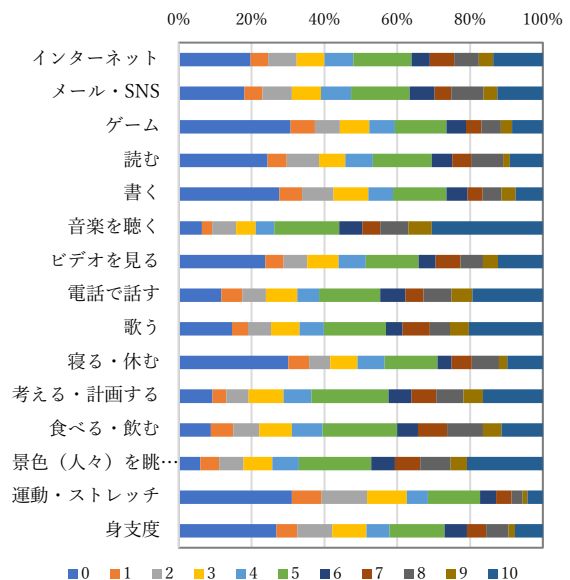


図3-5 実行可能な車内活動(1人乗車時)

次いで、山崎ら³⁾を参考に個人属性の問いで回答した職場までの通勤所要時間(単位:分)、家賃(単位:万円)、居住地の専有面積(単位:m²)、最寄りスーパーマーケットまでの所要距離(単位:m)、最寄り駅までの所要距離(単位:m)、最寄り

バス停までの距離(単位:m)からさらに-30%、-10%、0%、+10%、+30%をそれぞれランダムに加えた値を属性とした賃貸住宅A、賃貸住宅Bを設定し、①既存自動車(自ら運転)、②自動運転車(個人保有型)、③自動運転車(ライドシェアリング型)の3つのケースを想定してもらい、賃貸住宅A、Bの選好意識調査を行った。なお、当SP調査では各被験者から属性をランダムに変化させた計4回分の回答を得た。

表3-4 自動運転導入後の賃貸住宅選択SP実験の属性

属性 \ 賃貸住宅	賃貸住宅 A	賃貸住宅 B
専有面積	問 11 での RP 回答の ±()%(㎡)	問 11 での RP 回答の ±()%(㎡)
家賃	問 12 での RP 回答の ±()%(万円)	問 12 での RP 回答の ±()%(万円)
職場所要時間	問 13 での RP 回答の ±()%(分)	問 13 での RP 回答の ±()%(分)
スーパーまでの距離	問 14 での RP 回答の ±()%(m)	問 14 での RP 回答の ±()%(m)
最寄り駅までの所要時間	問 15 での RP 回答の ±()%(分)	問 15 での RP 回答の ±()%(分)
最寄りバス停までの所要時間	問 16 での RP 回答の ±()%(分)	問 16 での RP 回答の ±()%(分)

(3) 居住地選択行動分析

上記SPデータを用いて、居住地選択モデルを推定して自動運転車が導入された後の行動を分析する。個人間の非観測異質性を表現するために変量効果を考慮したパネル2項混合ロジットモデルを推定した。

$$P_{1it} = \int_{b_i} \left[\frac{\exp(V_{1it} + b_i)}{\exp(V_{1it} + b_i) + \exp(V_{0it})} \right] f(b_i) db_i \quad (3.4)$$

P_{jit} : 個人*i*が*t*回目の選択において選択肢1(賃貸住宅A)を選択する確率

V_{jit} : 個人*i*の*t*回目の選択における選択肢*j*の効用の確定項

b_i : 個人*i*の非観測要因の影響を表すランダム効果(正規分布*f*(b_i)を仮定)

モデル推定結果より、通勤所要時間、家賃、居住地の専有面積、最寄りスーパーまでの所要時間が、居住地選択行動に統計的に有意な影響を及ぼす要因であることは、既存の自動車利用と2種類の自動運転車利用とで変化がないことが確認される。一方、「自宅から職場までの通勤所要時間短縮に対する家賃の支払意思額」を計算すると、既存自動車の場合は445円/分、ライドシェア自動運転車の場合は442円/分、個人保有の自動運転車の場合は319円/分であり、個人保有の自動運転車を利用すると時間抵抗が小さくなるのがわかる。これは車内で日常的活動を行うことができれば、職場から離れた居住地を選択する傾向があることを示している。

また日常で実行していた活動を車内で代替可能な個人ほど、移動時間の居住地選択に対する影響は小さくなると考えられる。それぞれの車内活動の質を属性としたクラスター分析を行い、回答者を自動運転車内で活動実行可能性が相対的に低いグループ1と、相対的に高いグループ2に分けて支払意思額を分析した。

表3-5 居住地選択モデル推定結果

説明変数	既存自動車		自動運転車(ライドシェア)		自動運転車(個人保有)	
	パラメータ	z値	パラメータ	z値	パラメータ	z値
通勤所要時間(分)	-0.016	.06	-0.016	.00	-0.012	.35
家賃(万円)	-0.360	5.2	-0.352	.0	-0.384	.9
居住地専有面積(㎡/100)	2.031	1.9	1.760	6	1.884	.1
最寄りスーパー所要距離(km)	-0.374	.69	-0.334	14	-0.333	40
最寄り駅所要距離(km)	-0.002	.02	-0.033	30	0.003	35
最寄りバス所要距離(km)	-0.197	.99	0.011	5	-0.105	52
ランダム効果(b_i の分散)	0.064		0.041		0.046	
サンプル数	2170		2170		2170	
初期対数尤度	-1493.8		-1494.2		-1496.7	
最終対数尤度	-1280.7		-1301.9		-1279.1	
尤度比	0.142		0.129		0.145	

表3-6の比較から、自動運転車両の導入形態により程度は異なるが、日常の活動を車内でより多く代替できる個人の方が移動抵抗は低くなる傾向にあることが確認された。

表3-6 支払意思額の異質性

	グループ分 活動実行可能性の け無し	活動実行可能性の	
		低いグループ1	高いグループ2
既存自動車	445円/分	391円/分	468円/分
自動運転車(ライドシェア)	442円/分	637円/分	357円/分
自動運転車(個人保有)	319円/分	451円/分	261円/分

(4) まとめ

本研究では、地方都市の自動車通勤者615人を対象に、自宅を決定する際の重要となる要因や日常及び車内での活動実態、実行可能な車内活動、居住地選択に関する選好意識調査を実施した。得られた成果を以下にまとめる。

- ① 自宅から職場への移動時間が居住地選択に及ぼす影響は、ライドシェア型の自動運転車が導入された場合は既存の自動車と大きく変わらないものの、個人保有型の自動運転車が導入された場合、移動抵抗が小さくなり、職場から離れた居住地を選択する可能性が高いことが示唆された。
- ② 自動運転車内で様々な日常活動を実行できる個人ほど移動抵抗は低くなる傾向にあることが示された。本研究のモデルは強い前提条件にたつて構築したものである。今後、地価を内生変数として扱ったモデルを構築する必要がある。また物流施設や商業施設の立地、駐車場スペースの利活用といった個別事象をモデル化し、これらを統合したシステムモデルを用いた自動運転車導入効果を定量的に計測する必要がある。

3.3 グリーン・スロー・モビリティサービスの利用価値の計測

本章では、新しいモビリティサービスとしてグリーン・スロー・モビリティ(以下、GSM)の利用価値の計測を行う。具体的には、島根県雲南市の中心市街地において実際に乗合交通としてGSMを実証的に運行し、その際の評価および周辺住民の利用意向などから、GSMの利用価値について検証する。

(2) グリーン・スロー・モビリティ実証運行の概要

1) 実証期間

令和元年10月28日(月)～令和元年12月6日(金)
(6週間:29日間 ※平日のみ運行)

2) 運行の概要

- ・右外回り線、左内回り線の2コース
- ・乗車料金は無料

・運行時間は9:30から30分間隔で7便運行(2路線計406便)



図3-6 GSMの運行ルート

3) 実証期間中の調査

- ・住民アンケート調査: 回収調査票数 584
- ・利用者アンケート調査: 回収調査票数 36

4) 経路移動環境の計測

・GPS 端末を搭載した車両を走行させ、運行ルートの移動環境を計測した。

5) 実証運行の様子



図3-7 実証実験で使用したGSM

(2) グリーン・スロー・モビリティサービスの利用状況

・総運行便数

406 便

・総乗車人数

352 人

・1便当たり平均乗車人数

0.87 人/便

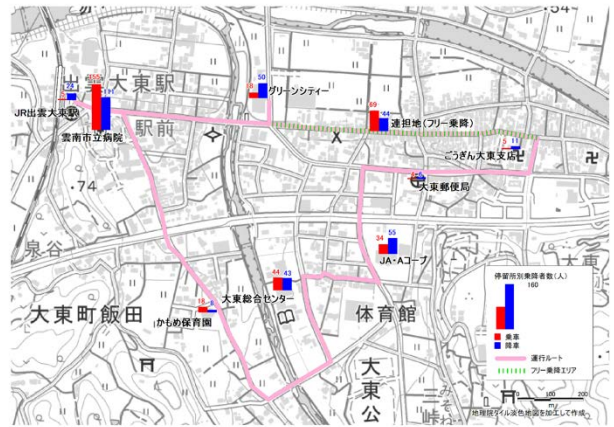


図3-8 停留所別総乗降者数(左内回り線・右外回り線合計)

表 3-7 属性別利用状況

週	月日	左内回り線						右外回り線						合計										
		乗降人数		～20代		20代～50代		60代～		乗降人数		～20代		20代～50代		60代～		乗降人数		～20代		20代～50代		60代～
第1週	10月28日	4	4	0	0	0	0	4	9	9	0	0	2	0	3	4	13	13	0	0	2	0	3	8
	10月29日	4	4	0	0	0	0	1	12	12	0	0	10	0	1	1	16	16	0	0	10	0	1	2
	10月30日	4	4	0	0	2	0	2	3	3	0	0	0	1	2	7	7	0	0	2	0	1	4	
	10月31日	14	14	0	0	2	0	3	7	5	3	0	0	2	2	11	19	0	0	4	2	5	9	
	11月1日	2	2	0	0	0	0	2	3	3	0	0	2	0	1	5	5	0	0	2	0	0	3	
第2週	11月5日	10	10	0	0	2	2	1	6	7	7	0	1	0	0	6	17	17	0	0	3	2	1	12
	11月6日	3	3	0	0	1	0	2	2	2	0	0	0	0	3	5	5	0	0	1	0	1	5	
	11月7日	11	11	0	0	0	0	1	7	7	0	0	0	3	4	18	18	0	0	0	0	3	15	
	11月8日	11	11	2	1	0	2	1	5	5	0	0	1	2	2	16	16	2	1	0	0	3	7	
	11月11日	7	7	0	0	1	2	0	4	7	7	0	1	2	1	2	14	14	0	0	2	4	1	9
第3週	11月12日	5	5	0	0	1	0	4	3	3	0	0	1	2	8	8	0	0	1	1	1	1	6	
	11月13日	7	7	0	0	0	0	7	5	5	0	2	1	3	12	12	0	0	2	0	1	1	10	
	11月14日	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	2	
	11月15日	12	12	0	0	4	0	1	6	16	16	2	4	0	4	6	28	28	2	4	4	0	5	12
	11月18日	2	2	0	0	0	0	0	2	8	8	1	1	2	2	0	19	19	2	1	5	5	2	
第4週	11月19日	2	2	0	0	0	0	0	2	2	0	0	2	0	0	4	4	0	0	2	2	0	0	
	11月20日	6	6	0	0	1	3	3	5	5	0	0	2	1	2	11	11	0	0	0	0	3	4	
	11月21日	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	2	
	11月22日	3	3	0	0	0	0	3	1	1	0	0	1	0	4	4	4	0	0	0	0	1	3	
	11月25日	5	5	0	0	1	1	3	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	1	1	3	
第5週	11月26日	7	7	0	0	2	1	0	3	13	13	0	1	1	4	7	20	20	0	0	3	2	4	10
	11月27日	13	13	0	0	2	1	6	9	9	0	0	0	0	6	22	22	0	0	1	2	1	12	
	11月28日	9	9	0	0	2	0	2	0	8	8	0	1	2	5	17	17	0	0	3	2	14	6	
	11月29日	5	5	0	0	0	2	5	5	5	0	0	0	0	5	10	10	0	0	0	0	2	10	
	12月2日	5	5	0	0	0	0	5	5	5	0	0	0	1	4	10	10	0	0	0	0	1	9	
第6週	12月3日	2	2	0	0	1	1	0	2	2	0	0	0	2	4	4	0	0	0	0	1	1	2	
	12月4日	3	3	0	0	0	2	1	1	1	0	0	0	1	4	4	0	0	0	0	0	0	2	
	12月5日	12	12	0	0	6	0	3	3	11	11	0	4	1	3	23	23	0	0	10	1	6	6	
	12月6日	13	13	0	0	1	2	5	5	4	4	0	0	2	2	17	17	0	0	1	2	7	7	
	合計	190	190	3	4	25	23	24	109	162	162	3	5	28	10	35	78	352	352	6	9	53	33	59

(3) 利用者アンケート調査

1) 調査の概要

■調査項目

- 個人属性(性別、年代等)
- スローモビリティ車両及び乗車時の環境について
- スローモビリティの実証運行全般について
- 自由意見

■調査対象

実証運行期間中のスローモビリティ利用者

■調査方法

実証運行利用時に調査票を配布し、郵送または所定の位置に設置した回収箱により回収

■回収状況

回収調査票数:36 通

2) 基礎集計結果

車両及び乗車時の環境について、満足している人は全体の 52%を示す、その理由として「ゆっくり景色が見

られるから」が63.9%で最も多く、次いで「乗り降りが楽だから」(58.3%)、「風を感じて気持ちいいから」(52.8%)となっている。

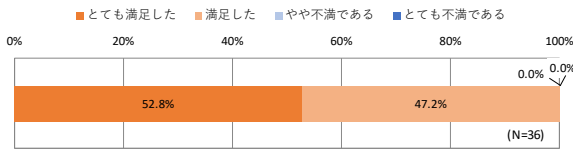


図 3-9 試験運行の車両について、満足しましたか

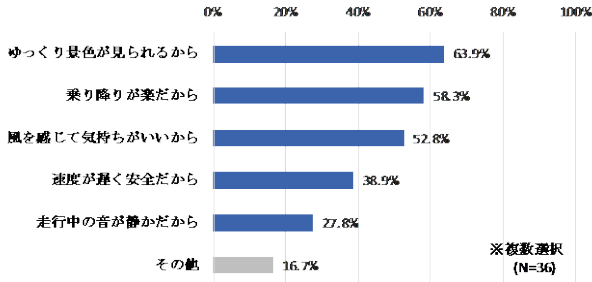


図 3-10 満足した理由

運転免許証の自主返納については、自動車免許保有者のうち半数を超える 53.7%が将来的には、運転免許証の自主返納を考えている。一方、「運転免許証の自主返納は必要だと感じているが、返納できない(したくない)」を選んだ理由としては、「自由に移動できなくなるから」が63.6%で、6割以上を占めている。また、次に、自動車が利用できない時、送迎してくれる人がいない住民が23.0%を占める。

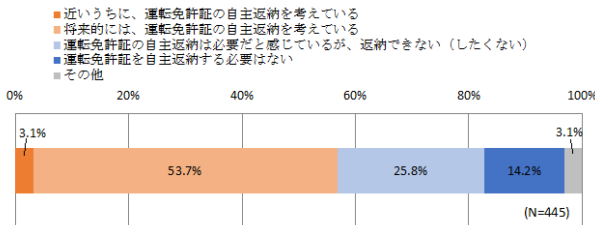


図 3-11 自分の持っている運転免許証の自主返納について考えたことがありますか

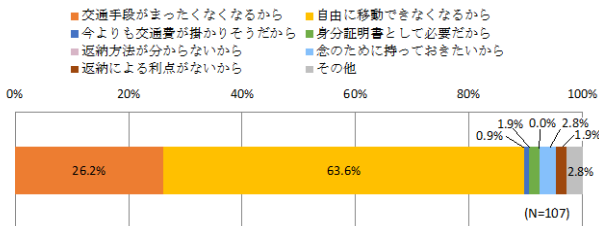


図 3-12 運転免許証の自主返納は必要だと感じているが、返納できない(したくない)理由

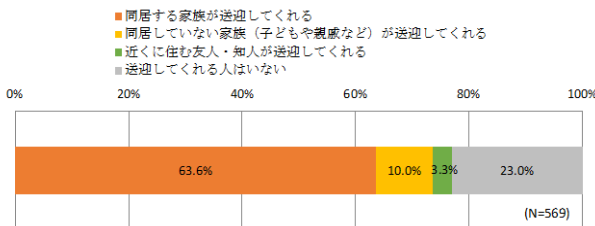


図 3-13 車を使うことができないときに、車で送迎してくれる人はいますか

次に、通院や買物の頻度は、通院は「年に数回」が54.1%で最も多いのに対して、買物は「ほぼ毎日」と「週1~2回」をあわせると過半数を超える。これらのほぼ全てが市内で済ませている。

交通手段は、7割を超える雲南市民が自分で車を運転して通院や買物に出かけており、午前中に出発し帰宅する人が多い。同様に7割以上の人将来の交通手段に不安を感じており、将来、自動車や二輪車を運転できなくなったときに、通院や買い物に利用すると考えられる交通手段としては、「自転車や徒歩の範囲の通院・買い物にとどめる」が38.0%で最も多く、「タクシーを利用する」(27.3%)、「家族にその都度、送迎を頼む」(27.2%)よりも高い。

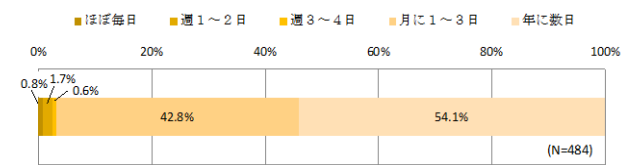


図 3-14 通院の頻度

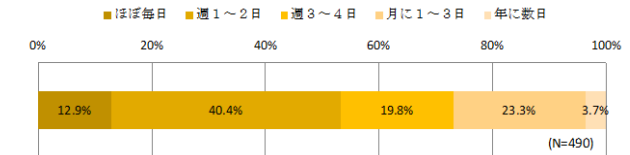


図 3-15 買物の頻度

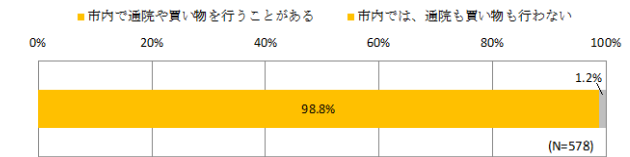


図 3-16 通院・買物の行き先

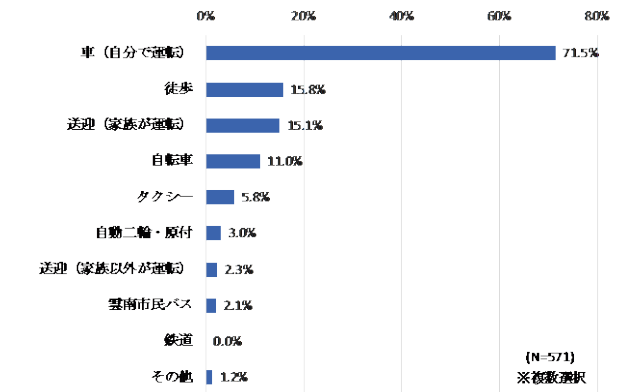


図 3-17 通院・買物に行く時の交通手段

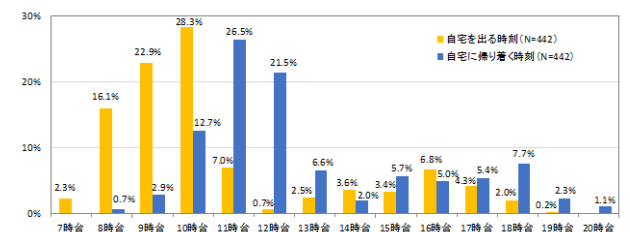


図 3-18 通院・買物に行く時間帯

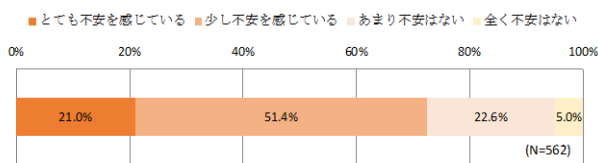


図 3-19 将来の交通手段への不安

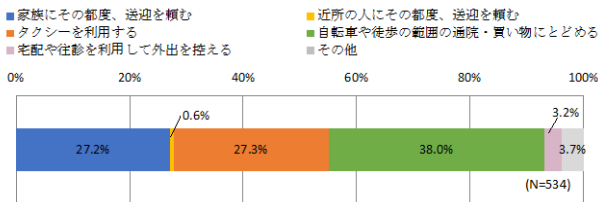


図 3-20 将来、自動車や二輪車を運転できなくなったときに、通院や買い物に利用すると考えられる交通手段

グリーン・スロー・モビリティに関して、実証運行中に GSM を利用した人は 7.5% に過ぎない一方、8 割近くの人が GSM を見かけたと回答しており、「とても危険だと思った」と「危険だと思った」住民はあわせて 12.7% にとどまった。

今後、市内の道路において GSM を自動運転で走らせることについて、「行ってもよいが不安である」と「行うべきではない」の否定的な意見は半数以下にとどまっている。否定的な意見の方が必要と考える対策としては、「実験の際に事故などが発生しないよう、事前に十分に調査や安全対策を行う」と「人が実験運転の運転席に乗車する」が、ともに約 6 割を占めている。

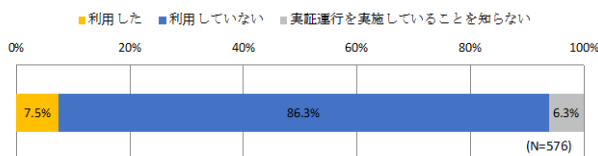


図 3-21 GSM の利用

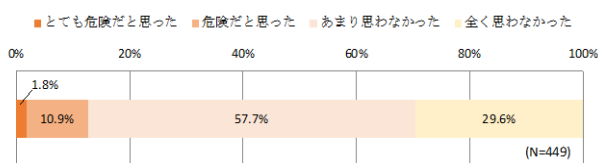


図 3-22 GSM が走ることに危険だと思うか

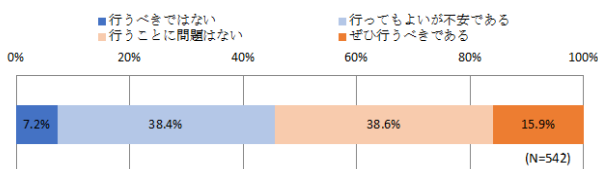


図 3-23 市内の道路において、将来的に GSM を自動運転で走らせることについて

最後に、周辺住民の GSM に対する将来の利用意向に関して、被験者全員が「ぜひ乗ってみたい」あるいは「乗っていてもよい」と考えており、1 回当たりの支払意思額は 200 円以下が 65% を占めている。市内の道路を GSM が走ることに危険を感じる人は、「とても危険だ

と思う」と「危険だと思う」をあわせて 23% 程度であり、危険リスクの認知度は高いとは言えない。

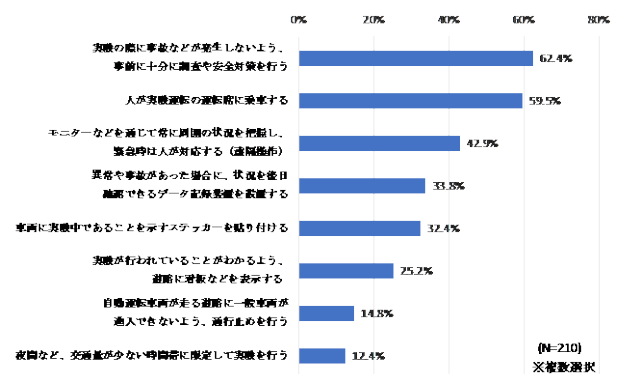


図 3-24 市内の道路で GSM を自動運転で走らせるために必要な対策

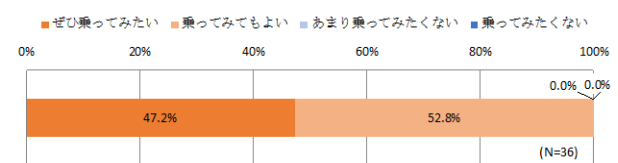


図 3-25 今回の実証運行が今後も続くとした場合の利用意向

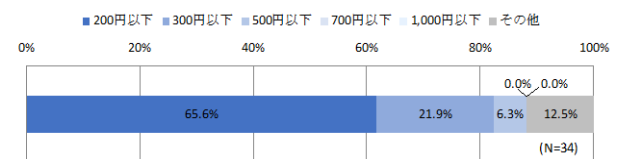


図 3-26 1 回あたりの支払意思額

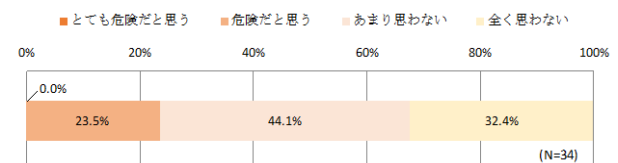


図 3-27 市内の道路を GSM が走ることに危険リスク認知

第 3 章関連の参考文献

- 1) IT 総合戦略本部(2017)「官民 ITS 構想・ロードマップ 2017」https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/senmon_bunka/detakatsuyokiban/dorokotsu_dai7/sankou2.pdf
- 2) Malokin A., Cirecella G. and Mokhtarian P, L. (2015) How Do Activities Conducted while Commuting Influence Mode Choice? Testing Public Transportation Advantage and Autonomous Vehicle Scenarios. Presented at the 94th Annual Meeting of the Transportation Research Board, January 11th-15th, 2015. Washington, D.C.
- 3) 山崎敦広、高見淳史、力石真、大森宣暁、原田昇 (2015) 居住地のメリット・デメリットの提示に着目した居住集約化誘導方策に関する基礎的研究: SP 調査に基づく個人の居住地選好の分析、都市計画論文集、Vol. 50、No. 1、pp. 20-27.

第4章 アクセシビリティ改善の価値

4.1 高齢者の自動車運転免許返納のための診断システムの開発

(1) 背景と目的

昨今、高齢ドライバーが第1当事者となる事故が増加しており、加齢によって運転能力が低下した高齢者に対して、運転免許証の返納や運転の取り止めを適切に促すことが求められている。こうした中で、公共交通サービスの提供や高齢者の生活支援、健康福祉等に関する取り組みは各地域・自治体で取り組まれているものの、依然として、高齢者やその家族は、車の運転に頼らざるを得ない生活を送っているのが実態であり、社会的に早急に対応すべき喫緊の課題となっている。ところが現実には、生活スタイルや居住環境、家族間のコミュニケーションなど、様々な要因により、高齢者への運転取り止めを勧められないジレンマが存在すると考えられる。こうした中で、高齢者とその家族が、共に納得のいくかたちで運転の取り止め（運転に頼らない生活）に向かう環境を提供することが求められている。

以上の背景のもと、本研究では高齢者やその家族が運転継続に関してどのようなジレンマの中で生活しているか、またこうした状況の中で客観的な運転診断や家族間でのコミュニケーションがもたらす効果は何かを明らかにすることを目的とする。具体的には、地方都市の中心部と山間部の異なる居住環境に暮らす高齢者とその家族を対象に、運転能力診断の簡易化を念頭に、スマートフォンデータを用いた運転技術測定手法を提案し、運転技能検定員資格保有者（以降専門家）による診断結果との比較を通じてその精度検証を行う。

(2) 高齢ドライバーの運転機能の計測手法の検討

島根大学医学部が開発した簡易認知機能検査アプリCADi2^{1),2)}を基盤とし、運転能力診断の簡易化を念頭に、スマートフォンデータを用いた運転能力計測システムを提案する。運転診断は、高齢者が日常暮らすような身近な地域で起こる事故への対策を対象とし、「①認知機能の検査（事前診断）」、「②検査官の同乗による路上での運転能力診断」、「③運転の振り返りと意識啓発」の三段階で実施する。さらに、診断後には運転診断を受けた高齢者とその家族との間でのコミュニケーション

を促進するツール（話し合いシート）を提供し、運転診断結果や今後の高齢者の運転について家族と話し合いをすることを促している（図4-1）

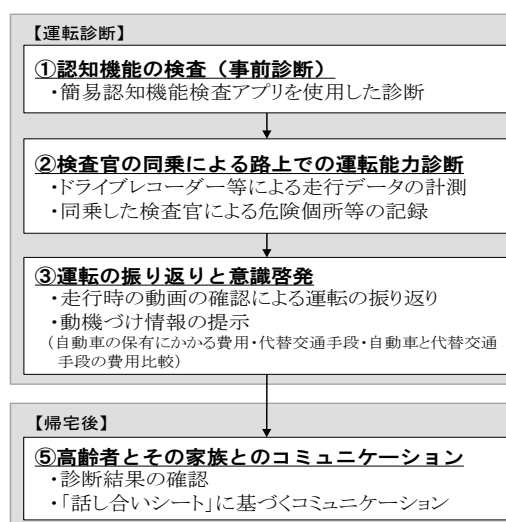


図4-1 高齢者運転診断の流れ

路上運転による計測は、自動車に設置する5台（前方3か所、運転者の姿、足元）のドライブレコーダー、およびスマートフォン端末を使用したGPSにより行う（図4-2）。また、助手席に同乗した検査官は、運転経路を指示しながら、危険な運転を確認した場合にはタブレットをタップし、事象発現時の時刻や位置情報と回数を記録する（図4-3）。この評価は、通常走行と走行速度、交差点等の項目に分かれており、高齢者特有の危険行動（ふらつき、低速度走行、確認不足等）を含んでいる。

走行後、被験者は記録した動画や走行データ等を確認しながら、検査官から運転危険個所の説明を受ける（図4-4）。さらに、上記の自身の運転行動の確認後、運転の取り止めや自動車に頼り過ぎない生活に向けた動機づけとして、自動車の保有や運転にかかる費用の試算結果、代替交通手段として自宅から目的ごとに利用可能な公共交通手段、自動車と代替交通手段との費用比較についての説明を受ける。

診断後は、運転診断結果や動機づけ情報等をまとめた印刷物およびインターネットによる診断時の運転動画

を通じて、診断の結果を家族と共有してもらう。さらに、この際に高齢者と家族との「運転についての話し合いシート」を持ち帰ってもらい、本シートに基づいて高齢者と家族との運転に対する考えを共有してもらうよう働きかけている(図 4-5)。



図 4-2 ドライブレコーダーとスマートフォンの設置

運転能力評価			
I 通常走行			
左右振り	0	右折時	一時停止標識
ふらつき	2	不適切走行位置	一時停止見逃し
車線またぎ	0	前方状況確認・判断	一時停止侵入
車間距離	0	不適切停車	0
ブレーキが遅い	0	左折時	その他
カーブ不適切走行	0	大回り	不適切交差点進入
左後方意図	0	0	信号標識見落とし
II 走行速度		歩行者急進	0
低速運転	1	反対車線進入	0
高速運転	0	0	0
速度不安定	0	0	0
IV 周囲を無視した行動			
合図なし 0			
車線変更・進路 0			
不必要減速・停止 0			
V 特異的事項			
行き先が分らない 0			
道に迷う 0			
幻視 0			
錯見 0			
危険運転 0			

図 4-3 タブレット端末による記録画面



図 4-4 ドライブレコーダーの動画の確認画面

B 運転についての話し合いシート

＜話し合いシートの内容＞

- 運転診断者とご家族とのクルマの思い出はありますか？
- 運転診断者は普段どんなときに車の運転をしていますか？
- 運転診断者は今後の自身の運転について、どのように考えているでしょうか？またそれはなぜでしょうか？
- 運転診断者は普段の運転でどんなときに不安を感じているでしょうか？
- お住まいの地域で利用できる公共交通機関にはどんなものがあるでしょうか？またそれらは運転診断者が普段の生活で利用できるでしょうか？
- 運転診断者が車の運転を控えるとしたら、周りの家族ができるサポートはありますか？

図 4-5 運転についての話し合いシート

(3) 運転診断モニター調査

上記の運転診断の一連の流れについて、高齢者を対象にしたモニター調査を実施した。調査対象は、生活利便施設や公共交通の利便性が高い島根県出雲市

中心部、および生活利便施設や公共交通が十分ではない山間部の島根県浜田市美又地域と今市地域に暮らす高齢者およびその家族(別居も含む)であり、それぞれ市役所や公民館を拠点に高齢者の運転診断を行った(表 2.1、図 2.6)。

表 4-1 運転診断モニター調査

調査期間	平成28年7月25日～28日	
調査対象	高齢ドライバーとその家族	
対象地域	(1)島根県出雲市	(2)島根県浜田市 美又地域・今市地域
運転診断の拠点	出雲市役所	美又公民館・今市公民館
対象家族	6組の高齢者とその家族	7組(美又3、今市4)の高齢者とその家族
募集方法	モニター調査募集ちらしを作成し周知(市役所関係者等を通じて募集)	公民館が主催となり、安全運転講習として募集

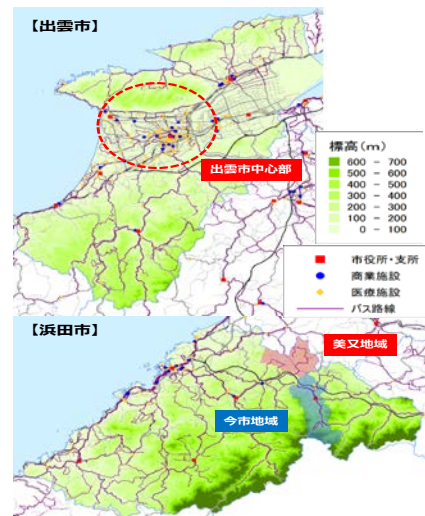


図4-6 運転診断モニター調査の対象地域

(4) 運転能力診断の自動化に関する基礎的検討

専門家が同乗して実施する運転能力診断結果は、現在の運転能力を客観的に把握し、より良い家族とのコミュニケーションを促す重要な材料となる。一方、専門家の同乗は費用面で現実的な解決策とは言えず、一定の精度を確保しつつ、より簡易で安価な運転能力診断方法を確立することが求められる。そこで本研究では、簡便に車両挙動を計測することのできるスマートフォンデータを用いた運転技術測定手法を提案し、その精度検証を行う。精度の検証は、専門家による診断結果と提案手法による診断結果の比較により実施する。具体的には以下の2点について検討を加える。

- ① 車両挙動データを用いた運転技術測定手法の提案
- ② 専門家の診断結果との比較を通じた精度検証

(5) 走行実験概要と分析方法

ここでは、2015年7月に行った走行実験データを用いる。走行実験は、健常者4名、高次機能障害者9名の計13名に対して行った。走行実験の手順は以下のとおりである。

- ① 被験者に対し実験意義や走行コースを説明
- ② 健康状態の確認、血圧の測定を行い、問題がなければ走行実験を開始

③ 走行後、専門家により運転危険行為／箇所の説明
 図 4-7 の走行コースの実験では、(1)専門家が助手席に同乗し、運転技能を測定するとともに、(2)カメラ・ジャイロセンサー、GPS を搭載したスマートフォンによる車両挙動・ハンドル操作データを収集した。

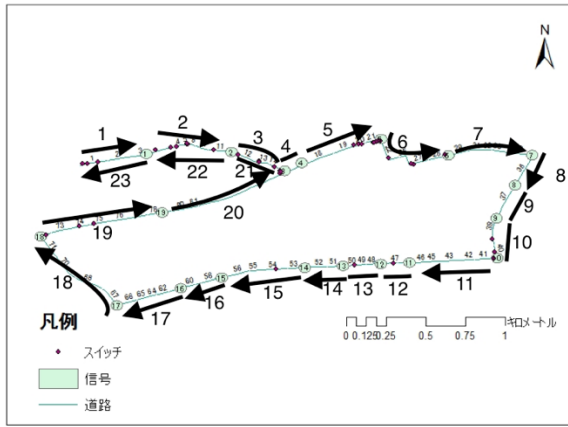


図 4-7 走行実験コース

本研究で使用するデータは、スマートフォンより観測された移動軌跡(速度、縦加速度、横加速度)である。計測は秒ごとに行われており、それぞれ健常者 4 名の測位点数が 6、616、高次脳機能障害者の測位点数が 19、453 であった。ここでは、機械学習の分野で発展してきた密度比推定(杉山、2010³⁾)を援用して危険な運転挙動を検出する。具体的な方法は以下のとおりである。

健常者の運転挙動データを $D = \{x(1), \dots, x(N)\}$ と定義する。次に、高次脳機能障害者の運転挙動データを、異常標本(危険運転挙動)が混入している疑いのあるデータ集合 $D' = \{x'(1), \dots, x'(N')\}$ とする。なお、機械学習の分野では、前者を訓練データ、後者をテストデータと呼ぶ。ここで、テストデータ x が出現する確率 $P_{test}(x)$ と訓練データ x が出現する確率 $P_{train}(x)$ の比 $r(x)$ (密度比と呼称)は、以下のように定義される。

$$r(x) = \frac{P_{test}(x)}{P_{train}(x)} \quad (4.1)$$

ここで、運転挙動 x における密度比が大きいということは、高次脳機能障害者は健常者と比較して運転挙動 x を頻繁に行う傾向にあることを示すことを意味する。従って、密度比 $r(x)$ がある閾値を超える場合、高次脳機能障害者の運転挙動は健常者のそれとは著しく異なるといえる。

本研究では、密度比 $r(x)$ に基づき危険な運転挙動を検出する。ここで、閾値は分析者が予め与えておく必要がある。先行研究がないため、本研究では、①密度比上位 1%、②密度比上位 3%、③密度比上位 5%、④ $r(x) > 3$ 、⑤ $r(x) > 4$ 、⑥ $r(x) > 5$ の 6 つの指標を試行的に設定した。なお、前者 3 つは常に一定割合のサンプルが危険と判断される意味で相対的な判断指標であり、後者 3 つは密度比の値から直接危険運転挙動を判断する絶対的な判断指標となっている。以上の危

険運転挙動の検知は、走行コースを信号毎に区切ったリンク区間毎に行う。

本研究では、Kanamori et al. (2009)⁴⁾が提案している拘束無し最小二乗重要度適合法 (uLSIF)を用いて密度比を推定する。本手法は、統計的には、目的変数を密度比とした重み付きカーネルリッジ回帰であり、以下のように定式化される。

$$\min_{\{\alpha_l\}_{l=1}^b} \left[\frac{1}{2} \sum_{l, l'=1}^b \alpha_l \alpha_{l'} \hat{H}_{l, l'} - \sum_{l=1}^b \alpha_l \hat{h}_l - \frac{\lambda}{2} \sum_{l=1}^b \alpha_l^2 \right] \quad (4.2)$$

ここで、 $\varphi_l(x)$ は基底関数、 α_l は未知パラメータ、 $\hat{H}_{l, l'} := \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varphi_l(x_i) \varphi_{l'}(x_i)$ 、 $\hat{h}_l := \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varphi_l(x'_i)$ である。

(6) 分析結果

スマートフォンで自動的に観測される GPS データから導き出した異常検知率(危険運転挙動率)を図 4-8 に示す。相対的な判断基準を採用するか、絶対的な判断基準を採用するかによって結果が多少異なるが、指標間の相関係数は 0.7 を超えており、6 つの指標間で大きな差異は確認されなかった。

次に専門家が危険運転挙動だと判断した回数と密度比推定による危険運転挙動検知回数の相関関係を表 2.3 に示す。表より、両者の相関係数は 0.3~0.6 であり、提案手法と専門家の診断結果の間に一定の相関が確認された。

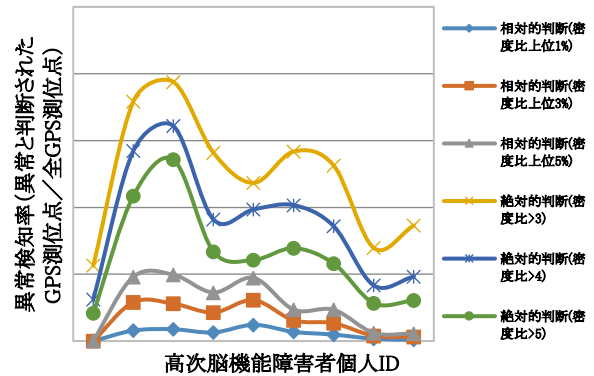


図 4-8 被験者のリンク毎異常検知数

表 4-2 密度比から求めた危険運転挙動と専門家による危険運転挙動判断の相関関係

	スイッチ(交差点含む)	スイッチ(交差点含まない)	密度比上位1%	密度比上位3%	密度比上位5%	$r(x) > 3$	$r(x) > 4$	$r(x) > 5$
スイッチ(交差点含む)	1.00							
スイッチ(交差点含まない)	0.96	1.00						
密度比上位1%	0.48	0.40	1.00					
密度比上位3%	0.52	0.44	0.96	1.00				
密度比上位5%	0.54	0.46	0.93	1.00	1.00			
$r(x) > 3$	0.58	0.41	0.74	0.84	0.88	1.00		
$r(x) > 4$	0.48	0.32	0.80	0.89	0.91	0.98	1.00	
$r(x) > 5$	0.47	0.32	0.71	0.82	0.86	0.97	0.99	1.00

(7) まとめ

本章では、専門家による運転能力診断と、その診断結果に基づく免許返納の可能性について基礎的な研究を行った。その結果、運転継続に伴うリスクと、免許返納に伴う利便性の低下の間でジレンマを有しており、これらは高齢者本人のみならず、他の世帯構成員についても同様であることが明らかとなった。また、運転能力診断の結果を受けて免許返納意向を変更する被験者もいたことから、運転能力診断結果が適切な判断を行う上での判断材料の一つになり得ることが示された。一方、専門家による運転能力診断は規模の拡大が難しいことから、スマートフォンにより観測された移動軌跡(速度、縦加速度、横加速度)データに基づく簡易な運転能力診断手法を提案した。精度検証の結果、専門家の判断と一定程度の相関を有することが示された。ただし、運転免許を返納するかどうか当事者のその後の生活の在り方を大きく左右することを鑑みれば、専門家の判断を代替可能な手法とは言えず、引き続き精度の向上を図る必要がある。

4.2 自動車運転免許返納に関する世帯の意思決定構造の計測

(1) 背景と目的

本章では、コミュニティの基本単位である「家族」を対象に、高齢ドライバーの運転継続・取り止めについての効果的な話し合いについての検証を行った。運転免許証を保有する高齢者が増加する中、高齢ドライバーが第1当事者となる事故が増加しており(図4-8)、加齢によって運転能力が低下した高齢者に対して、運転免許証の返納や運転の取り止めを適切に促すことが求められている。国内では、平成29年3月に改正道路交通法が施工され、75歳以上の運転者が違反行為を起こした場合の臨時認知機能検査や高齢者講習の実施、認知症のおそれがあると判断された場合の臨時適性検査などが義務付けられた。

一方で、むやみに高齢者の運転免許証返納(運転取り止め)を促しては、社会的便益を下げる可能性もある。例えば、高齢者が運転を止めることはうつ症状などのメンタルヘルスや外出活動レベルの低下を招く可能性が指摘されている他(Marottoli et.al, 1997; 2000)①②、自動車の運転が高齢者にとっては自身の人間像を形成する重要な要素であることなどが指摘されている(中川ら、2016)③。生活の主たる移動手段としての運転が高齢者の豊かな生活や精神的支えとしても重要な意味を有していると考えられ、このような社会的便益を損なうことなくいかに事故などの損失を減らすかが政策上の課題である。

上記のような高齢者の運転取り止め、継続に関する課題を踏まえると、運転寿命の延伸や取り止めのタイミングの見極め、また運転取り止め後の生活支援や取り止めに対して高齢者本人が肯定的な意識を見出すためにも、高齢者にとって身近な家族が重要な役割を果

たすと考えられる。既往研究においても、家族の対応が運転中止の過程や車をもたない生活への適応に影響するとされている他(野村ら、2007)④、国内外で家族向けの対応マニュアルが作成されている(NHTSA and ANA, 2007)⑤、荒井、2016)⑥)。

以上のように、高齢者の運転取り止め・継続に関しては、高齢者本人の運転能力や状態の他、例えば高齢者世帯で他の世帯構成員が免許証を保有していない場合の影響や、高齢者が返納した場合の子ども世代の送迎回数の増加といった家族の生活への影響、事故が起きた場合の家族としての責任など、その意思決定において家族と高齢者の意思が互いに影響し合い、世帯内での相互作用(コミュニケーション)に基づき意思決定がなされることが考えられる。

以上を踏まえ、本章では高齢ドライバーの運転継続・取り止めについて効果的な家族への介入手法に向けた示唆を得ることを目的に、世帯内での意思決定においてどのような内容の話し合いを行うことが有効かを検証する。また、効果的なコミュニケーションを行った場合の効果についてシミュレーション分析を行う。

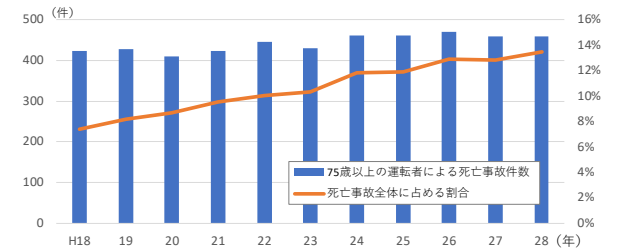


図 4-8 75 歳以上の運転者による死亡事故件数及び割合 (原付以上第 1 当事者)

(2) 調査の概要

調査は島根県および広島県内の高齢者を対象に、調査員によるヒアリング形式で行った(表4-3)。対象とする高齢者は現在または過去に運転免許証を保有していた人とし、認知症などにより本人の回答が困難な場合は家族への聞き取りを行っている。なお、本調査は高齢者とその家族との話し合いを踏まえた意思決定過程を把握することを目的にサンプリングしており、話し合いの実施状況(話し合いを行う家族の割合)などは母集団のそれとは異なる可能性もあるため留意が必要である。

表 4-3 調査の概要

調査期間	平成29年11月～平成30年5月
調査対象	65歳以上の高齢者を中心に、現在(または過去に)運転免許証を保有している(またはしていた)方(本人の回答が困難な場合は、家族による回答を依頼)
対象地域	島根県、広島県、他
調査方法	調査員による聞き取り調査(病院の待合室や地域の保健福祉活動などでの実施)
有効回収票	477

調査項目を表 4-4 に示す。調査では、高齢者の運転継続・取り止めに影響すると考えられる居住環境や運転の状況などに加えて、運転に関する家族との話し合い

の状況について確認を行った。特に運転に関する家族との話し合いに関しては、表 4-5 に示すような具体的な内容について、それぞれ高齢者本人が主張したか、家族が主張したかを確認している。この項目は、筆者らが実施した過去の調査(福井ら、2016)¹¹⁾や自治体の交通担当者等へのヒアリングなどを参考に設定した。また、本調査では話し合い前後の運転継続意向を確認しており、話し合い前的高齢者本人と家族のそれぞれの意向、および話し合い後の世帯(高齢者と家族)としての意向を7段階で確認している。

表 4-4 調査項目

項目	調査内容	項目	調査内容
居住環境 交通手段	・自宅から徒歩でいける施設 ・続けて歩行可能な時間 ・自宅周辺の公共交通の評価 ・自動車の必要性 ・車以外で普段利用する交通手段	運転に関する家族との話し合い	・運転についての家族の話し合いの有無 ・話し合いの形態(日常会話/真剣に) ・話し合う相手 ・話し合う相手との関係 ・話し合う相手の免許の保有 ・話し合い前後の本人、相手の運転継続意向 ・話し合いの内容 ・話し合い後の世帯としての運転継続意向 ・話し合いもしていない場合の運転継続意向
	生活		・外出頻度 ・生活の中で我慢している移動
家族	・世帯構成 ・運転免許証を保有する家族の人数 ・送迎を頼める家族(本人との関係、頻度) ・別居の場合の家族との距離	免許の返納 (返納または運転を取り止めた方のみ)	・返納した時期 ・返納に対して納得しているかどうか ・返納の決めで
	運転 (返納者は返納直前の状況)		・運転免許証の保有状況 ・運転できる時間 ・運転する車両 ・運転の目的 ・運転中以外の事故歴 ・苦手の運転 ・運転に対する自信

表 4-5 高齢者と家族の話し合い内容に関する項目

- ・高齢ドライバーによる事故のニュース
- ・運転能力や身体機能の低下
- ・事故にあった場合の本人への影響
- ・事故にあった場合の家族や他者への影響
- ・標識や一時停止など交通ルールに関する注意
- ・運転する時間帯や場所を限定する
- ・運転する場合は必ず他の人が同乗する
- ・車の安全技術の向上(自動ブレーキ搭載等)
- ・車の代わりの移動手段として、シニアカーの購入
- ・家族が運転する車で送迎することを増やす
- ・公共交通の利用を増やす
- ・公共交通・タクシーなど利用する上での資金を家族が援助する
- ・運転免許証を返納する具体的な時期
- ・高齢者向け教習の受講

(3) 高齢ドライバーの特性

回答者の属性、運転免許証の保有状況を図 4-9 および図 4-10 に示す。回答者は 65~84 歳までが 85% を占め、5 歳単位の年齢層では大きな偏りはない。男女比では男性が 64.5%、女性が 35.5%と男性がやや多くなっている。運転免許証の保有状況では、84.2%が「自動車免許があり運転をしている」と回答し、15.8%が「免許はあるが運転を取り止めた、または控えている」または「免許を返納した」と回答した。また、高齢者の健康状態の指標として、続けて歩行可能な時間も確認した(図 4-11)。これより、8 割以上の回答者が 15 分以上続けて歩行可能と回答している。

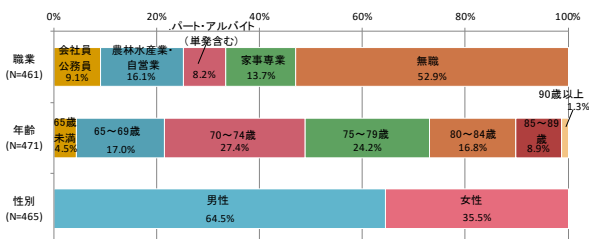


図 4-9 回答者(高齢ドライバー)の属性

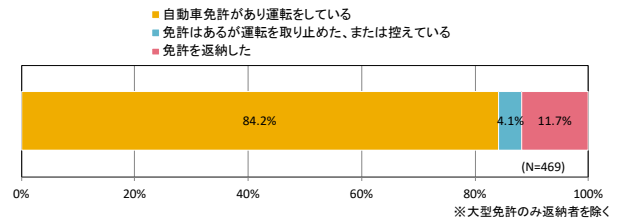


図 4-10 運転免許証の保有状況

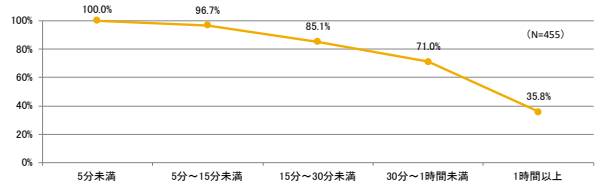


図 4-11 続けて歩行可能な時間

高齢者が居住する環境について、自宅周辺の公共交通の評価では、便利(とても便利, まあ便利)という回答が 31.2%、不便(あまり便利でない, 全く便利でない)という回答が 42.1%と、不便という回答が 1 割ほど多くなっている(図 4-12)。自動車の必要性(図 4-13)では、78.7%が「車がないと生活に支障がでる」と回答し、車以外で普段利用する交通手段(図 4-14)では、半数以上の 50.7%が「同居家族の送迎」を選択した。

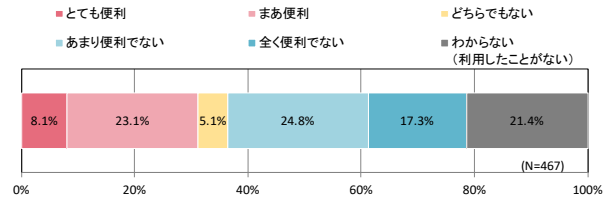


図 4-12 自宅周辺の公共交通(鉄道・バス)の評価

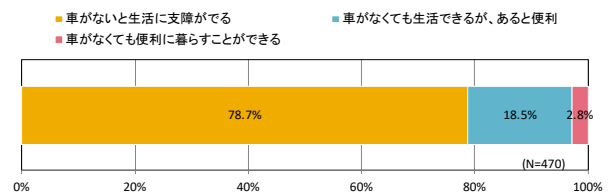


図 4-13 自動車の必要性

0% 10% 20% 30% 40% 50% 60%

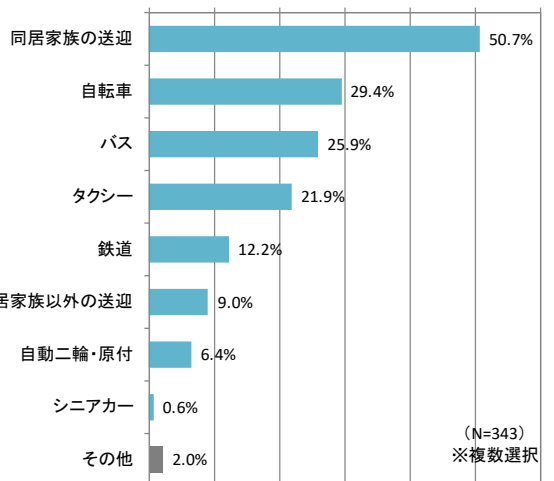


図 4-14 車以外で普段利用する交通手段

高齢者の外出の状況について、一週間当たりの外出の頻度を図 4-15 に、生活の中で我慢している移動(外出)の状況を図 4-16 に示す。日常の移動すべては 7 日(毎日)という回答が 36.9%であったものの、地域活動や趣味に関する移動では 7 日(毎日)が 9.3%となり、ほとんどないという回答が 27.2%となった。生活の中で我慢する移動の有無では、11.7%が「我慢することがある」と回答し、回数では月に 1~3 回が最も多く 44.1%となっている。我慢する移動の具体的な目的としては、買い物や趣味に関する移動を挙げる回答者が多かった。

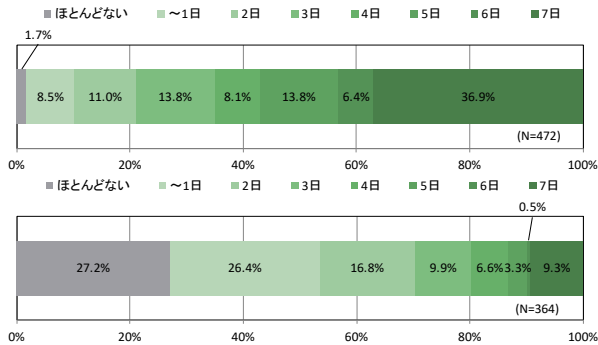


図 4-15 一週間あたりの外出の頻度
(上: 日常の移動すべて/下: 地域活動や趣味など)

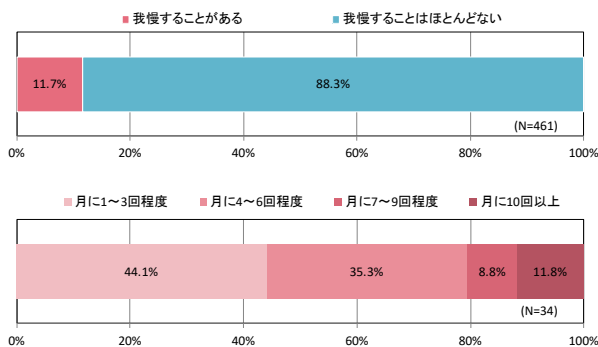


図 4-16 生活の中で我慢している移動(外出)の状況
(上: 我慢する移動の有無/下: 我慢する頻度)

一週間あたりの自動車運転頻度(図 4-17)では、43.0%が 7 日(毎日)と回答し、続けて運転できる時間(図 4-18)は 72.9%が 1 時間以上運転できると回答した。また、運転する車両(図 4-19)は AT 車が多く 67.3%、運転する目的(図 4-20)は、買い物や通院の選択率が高くなっている。過去 3 年以内の事故歴(図 4-21)では、20.5%が事故をした経験があり、そのうちの 73.7%が 1 回のみとなっている。一方、3 回以上の割合も 13.1%見られる。具体的な事故の内容(図 4-22)では、軽い物損事故や車を傷付けるなど単独によるものが多くなっている。苦手な運転(図 4-23)では、夜間の運転が最も選択率が高く、次いで積雪・凍結時が高くなっている。運転に対する自信(図 4-24)では、自信がある(とても自信がある、まあ自信がある)との回答が 57.2%に達した。

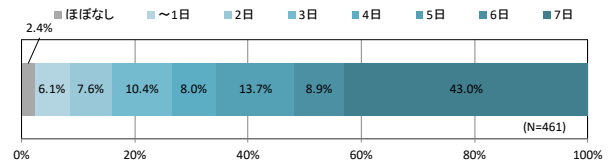


図 4-17 一週間あたりの自動車の運転頻度

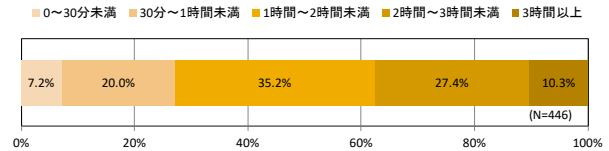


図 4-18 続けて運転できる時間

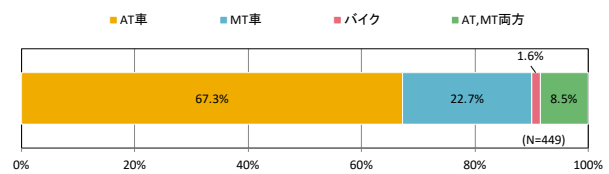


図 4-19 運転する車両タイプ

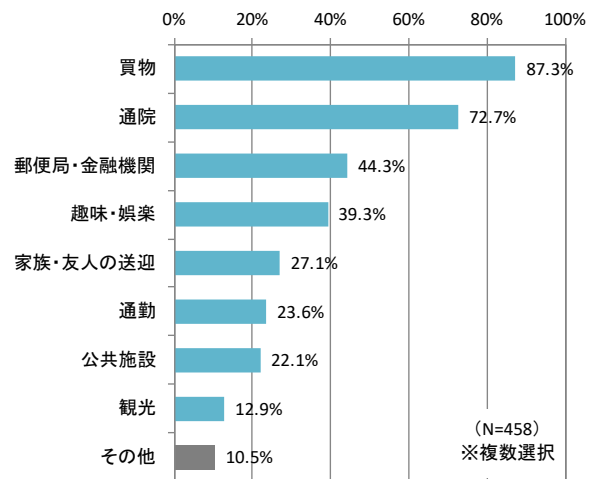


図 4-20 運転して外出する目的

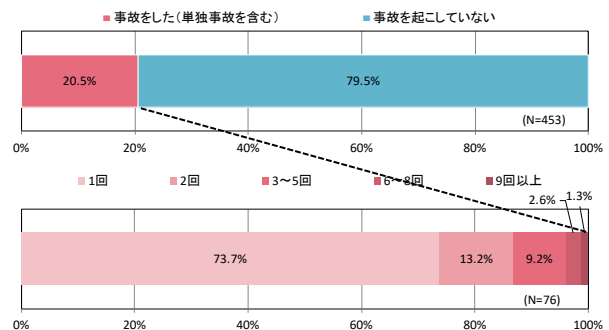


図 4-21 過去3年間の交通事故歴

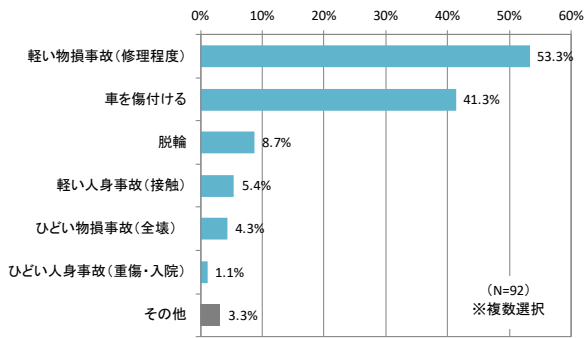


図 4-22 交通事故の内容

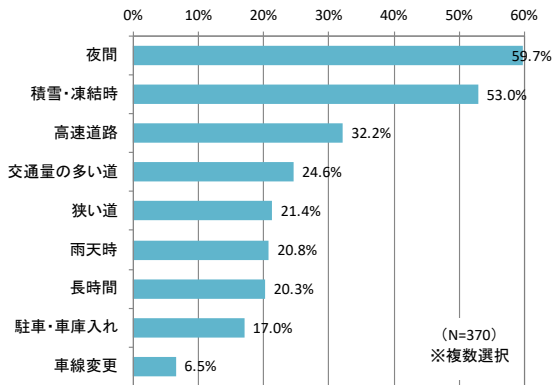


図 4-23 苦手な運転行為

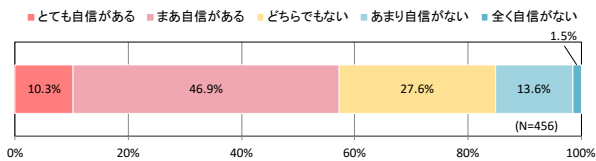


図 4-24 自動車の運転に対する自信

(4) 高齢者と家族の話し合いの状況

高齢者と家族の話し合いの状況を図 4-25 に、話し合いの程度を図 4-26 に示す。これより、回答者の約半数が運転について家族と話をすると回答し、話をする場合、複数回行われていることがわかる。話をする高齢者と家族の 15.8% が 10 回以上話をすると回答した。また、話をする相手(図 4-27)では、配偶者が最も多く、次いで同居の子どもでも多くなっている。

また、話しをする相手の免許証の保有状況(図 4-28)では、79.1% が保有していると回答した。また話をする相手が高齢者の運転する車に同乗するかどうかでは、73.5% が同乗することがあると回答し、週に 1~3 回程度が最も多くなっている(図 4-29)。

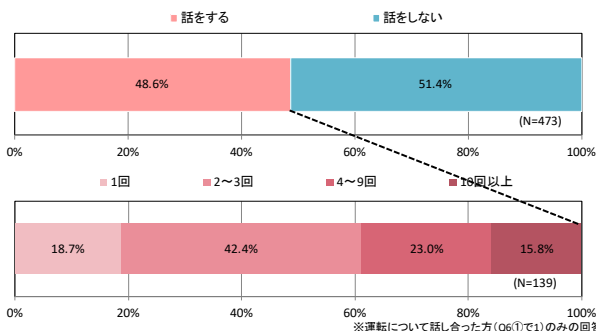


図 4-25 運転に関する高齢者と家族の話し合いの状況

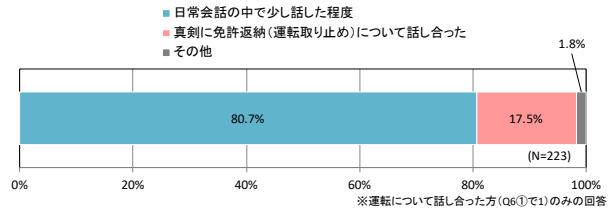


図 4-26 運転に関する高齢者と家族の話し合いの程度

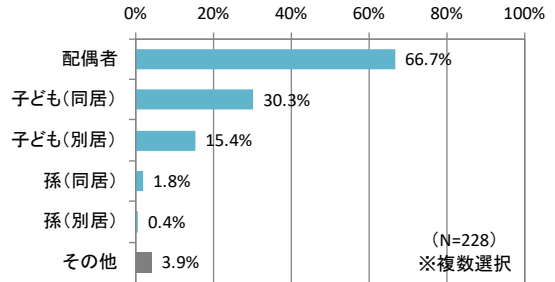


図 4-27 話をする相手

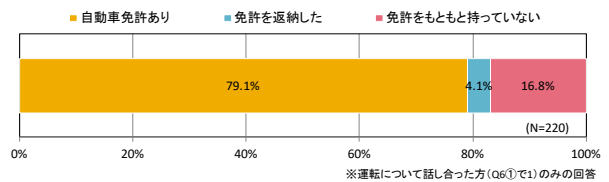


図 4-28 話をする相手の免許証の保有状況

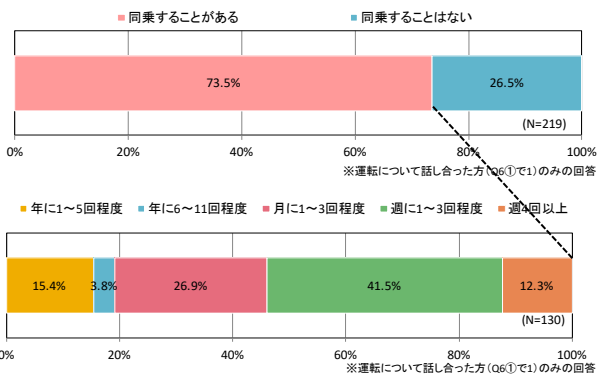


図 4-29 話をする相手が高齢者の運転する車に同乗する頻度

話し合い前的高齢者と家族の主張を図 4-30 に、話し合い後の世帯としての意思決定結果を図 4-31 に示す。これより、高齢者は「運転を継続したい」という意向をもつ一方、家族は「免許を返納してほしい」と考えている場合、またはその反対の場合の世帯が一定程度見られる。さらに、話し合い後の世帯としての意向と比較した結果は、図 4-32 のようになり、話し合いを受けて高齢者の意向が変化している様子が読み取れる。

話し合う相手の意向		話し合う相手の意向							合計	
		1	2	3	4	5	6	7		
高齢者の意向	免許を返納してほしい (運転を止めてほしい)	1	26	1		3				30
		2	1	2	1	2		1	1	8
		3	1	1	1	1	1	1	1	7
	どちらとも言えない	4	4	2		19	3	1	2	31
		5	5		1	7	6	6		25
		6	2	1	3	6	1	14	5	32
	運転を継続してほしい	7	3	1	3	7	5	7	37	63
合計		42	8	9	45	16	30	46	196	

図 4-30 話し合い前的高齢者と家族の意向(全体)

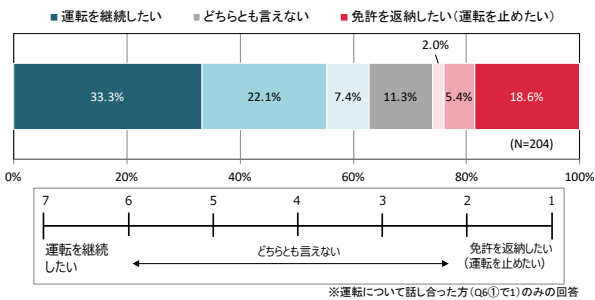


図 4-31 話し合い後の世帯としての意向(全体)

話し合い後の意向		話し合う相手の意向							合計	
		1	2	3	4	5	6	7		
高齢者の意向	免許を返納してほしい (運転を止めてほしい)	1	25	1		3				29
		2	1	1	1	1			1	5
		3	1							1
	どちらとも言えない	4	3			1				4
		5	5							5
		6	1							1
	運転を継続してほしい	7	2							2
合計		38	2	1	5			1	47	

図 4-32 話し合い前的高齢者と家族の意向
(話し合い後の世帯としての意向で「免許を返納する(1または2)」を選択した世帯)

(5) 高齢者の運転継続・取り止めにに関する世帯意思決定モデル

複数の世帯構成員の選好を明示的に考慮した「世帯意思決定モデル」が開発され始めたのは1990年代からである。典型的モデルの1つは離散選択モデルに基づき開発されており、例えば、山本ら(2001)¹²⁾は自動車を共有する世帯内でのメインドライバーの選択モデルを構築しており、選択肢は世帯構成員として、最も効用の大きい構成員を選択することを仮定している。

一方、このような世帯としての選択に離散選択モデルを適用することに対しては、モデルは効用最大化理論に基づき構築されているが、効用の意味が曖昧であるとされ、世帯意思決定のメカニズムが十分に反映されていないという指摘もある。ここで、世帯の意思決定メカニズムを明確に考慮したいいくつかのモデルが開発されており、例えば、Timmermans et al. (1992)¹³⁾は、情報統合理論

(information integration theory)に基づき、加法型効用関数を用いて各世帯構成員の選好を統合したモデルを構築している。これらのモデルの発想の中心は、世帯構成員の選考の加重平均が世帯の選考と仮定していることにあり、これによって個人の選好の変化が世帯の選好に与える影響を捉えることができる。

一方、Zhangら(2002, 2005)¹⁴⁻¹⁵⁾とZhang and Fujiwara (2006)¹⁶⁾は、世帯構成員の選好を加重平均に基づいて算出する世帯意思決定モデルは、世帯構成員相互の世話・気遣いなどの影響を反映することができないことを指摘し、構成員同士の相互作用を考慮した世帯意思決定モデルを提案している。また、小林ら(1996)¹⁷⁾は世帯内での送迎・相乗り行動について、2名の世帯構成員に関するランダム・マッチングモデルを、利他的動機や父権的動機も統合し構築している。これらのモデルでは、ある家族構成員の選好は他の世帯構成員の選好の影響を受けることを想定しており、それらは気遣いや利他的な態度・行動によるものである。

高齢者の運転に関しては複数の家族構成員での話し合いが行われることも想定されるが、本研究ではヒアリング調査で把握した2名の世帯構成員(高齢者、および話をする家族1名)による意思決定モデルを構築する。高齢者の運転に関しては、(4)の分析からも明らかなように、高齢者本人は運転継続意向が高くても、家族は安全性を考慮して免許の返納を選好する場合もある。このような場合、家族は高齢者の選好や効用以上に、高齢者の運転の安全性や生活の状況などを考慮していると考えられる。

上記のような特性を踏まえた世帯の意思決定モデルを構築するため、本研究では高齢者の状態に対する利他的動機を考慮した集団離散選択モデルを構築する。ここで世帯の効用関数は式(4.2)のような一般的な加法型効用関数を用いる。ここで、 V_i^h は世帯の効用、 \hat{V}_i^d は高齢者の効用、 \hat{V}_i^p は家族の効用であり、 ω^d と ω^p は、世帯の効用を決定する上での重みを表す。この重みはそれぞれの主張(話し合いの内容)に依存し、高齢者と家族、双方の選好が一致しない場合に、各構成員の主張(話し合いの内容)によってどのように世帯としての意思決定が行われるかの交渉過程を表現する。これによって、世帯の意思決定においてどのような話し合いを持った人の主張が優先されるかを確認する。

$$V_i^h = \theta(\omega^d \hat{V}_i^d + \omega^p \hat{V}_i^p), \quad \omega^d, \omega^p \geq 0 \quad (4.2)$$

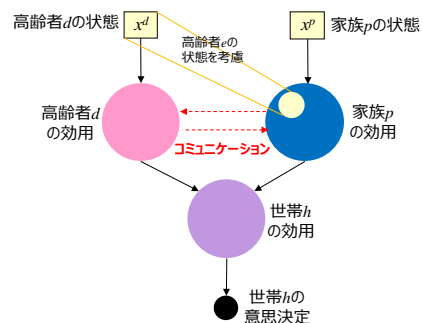


図 4-33 高齢者の運転継続・取り止めにに関する世帯意思決定モデルの概念図

(6) 世帯意思決定モデルの推定結果

高齢者と家族それぞれの高齢者の運転継続・取り止め意向(7段階評価:1 免許を返納~7 運転継続)を目的変数としたオーダードプロビットモデルの推定結果を表 4-6 および表 4-7 に示す。尤度比は、それぞれ 0.150、0.163 となり説明力は低くはない。

高齢者の運転継続意向モデルの推定結果では、“年齢”が負で 0.1%有意となり、“性別(男性 1, 女性 0)”と“職業(職業あり 1, 無職・家事専業 0)”は正で 1%有意、5%有意となった。これより、年齢が高いほど免許の返納意向が高くなり、一方で男性である場合や職業がある場合には運転継続意向が高くなるのが窺える。一方、自宅周辺の公共交通の評価に関しては、有意な結果は得られなかった。これは、今回分析したサンプルが主に地方都市を中心にしたものが多く、全体として公共交通のサービスレベルが十分高くはない可能性もある。この他にも、本モデルの推定にあたっては、説明変数として家族の免許証の保有状況や家族の送迎の状況なども検討したが、いずれも有意な結果は得られなかった。特に公共交通の評価に関しては、調査の対象が島根県および広島県の地方都市あるいは農村地域であり、いずれの地域も都市部ほどの公共交通の利便性が高くないことも影響していると考えられる。

続いて、家族の高齢者に関する運転継続意向モデルの推定では、家族に関する変数と高齢者に関する変数を説明変数として用いた。家族に関する変数では、“同居の子ども”または“別居の子ども”である場合に負で 0.1%有意あるいは 10%有意となった。特に常に高齢者本人の様子分かる同居の子どもである場合に推定値も高く、高齢者に免許を返納してほしい意向をもっていることが窺える。一方、高齢者の配偶者の場合には有意とならず、“話をする家族の免許保有(保有 1, 保有していない 0)”も有意な結果は得られなかった。高齢者に関する変数では、“高齢者の年齢”は負で 0.1%有意に、“高齢者の職業(職業あり 1, 無職・家事専業 0)”は正で 10%有意となり、高齢者の推定結果と同様の傾向が見られた。一方、“高齢者の過去 3 年以内の事故歴(あり 1, なし 0)”は、高齢者本人では有意にはならなかった一方、家族では負で 1%有意となり、推定値の絶対値も“同居の子ども”の次に大きくなった。特に、今回の調査結果では、軽い物損事故や車を傷付ける程度の事故の場合がほとんどであるが、この場合、高齢者本人は強く意識されない一方、家族では強く反応し、高齢者に免許を返納してほしい意向が高くなる事が確認された。

表 4-7 高齢者の運転継続意向モデルの推定結果

		推定値	t値
age	年齢	-0.042	-3.646***
male	性別 (男性1,女性0)	0.482	2.846**
accident	過去3年以内の事故歴 (あり1,なし0)	-0.239	-1.231
worker	職業 (職業あり1,無職・家事専業0)	0.460	2.428*
transportation	自宅周辺の公共交通 (バスや鉄道) の評価 (5段階)	-0.017	-0.271
サンプル数		196	
初期対数尤度 (LL0)		-381.398	
最終対数尤度		-324.173	
尤度比		0.150	

表 4-8 高齢者の運転継続意向モデルの推定結果

		推定値	t値
家族に関する変数	child_doukyu2	同居の子ども (同居の子ども1,その他0)	-0.735 -3.771***
	child_betukyuo2	別居の子ども (別居の子ども1,その他0)	-0.372 -1.651+
	male2	話をする家族の性別 (男性1,女性0)	0.04 0.2
高齢者に関する変数	carown2	話をする家族の免許保有 (保有1,保有していない0)	-0.139 0.634
	age	高齢者の年齢	-0.047 -3.914***
	male	高齢者の性別 (男性1,女性0)	0.111 0.551
	accident	高齢者の過去3年以内の事故歴 (あり1,なし0)	-0.424 -2.126**
	worker	高齢者の職業 (職業あり1,無職・家事専業0)	0.341 1.823+
サンプル数		196	
初期対数尤度 (LL0)		-381.398	
最終対数尤度		-319.198	
尤度比		0.163	

個人モデルにより推定されたパラメーターを、重みづけ平均の加法型世帯効用関数に代入し、重みパラメーターを推定した。この結果を表 4-9 に示す。

尤度比は 0.238 と比較的高い結果となった。パラメーターを解釈すると、“運転能力や身体機能の低下”で正に 1%有意となった。これは、高齢者と家族双方の意向が異なる場合に、どちらかが“運転能力や身体機能の低下”について話題に出した場合、その話題を出した側の意向にもう一方の意向が傾くと解釈できる。また、“高齢ドライバーによる事故のニュース”は負で 1%有意となり、話のきっかけとしては悪くはないかもしれないが、相手の意向を変えるまでの効果はないものと考えられる。一方、“家族が送迎する車で送迎することを増やす(家族が話す)”は、正に 10%有意の結果が得られた。これは、高齢者が家族に送迎してほしいことを依頼する場合には効果がないものの、家族が高齢者に送迎することを提案した場合には一定の効果があることを示していると考えられる。

表 4-9 高齢者の運転継続に関する世帯意思決定モデルの推定結果

		推定値	t値
高齢ドライバーによる事故のニュース		-0.275	-3.100**
運転能力や身体機能の低下		0.228	2.619**
家族が送迎する車で送迎することを増やす (高齢者が話す)		-0.247	-0.725
家族が送迎する車で送迎することを増やす (家族が話す)		0.594	1.925+
サンプル数		196	
初期対数尤度 (LL0)		-381.398	
最終対数尤度		-290.682	
尤度比		0.238	

(7) シミュレーション分析

以上の高齢者の運転継続・取り止めに関する世帯意思決定モデルの結果を踏まえ、効果的な話し合いを行った場合のシミュレーション分析を行った。結果を図 4-34 に示す。

これより、すべての家族において、家族が「家族の送迎を増やす」ことを話した場合、世帯の意思決定において「免許を返納したい(選択肢 1)」を選択する確率が 0.5 近くまで上がることが分かる。ただし、ここではすべての家族が免許を保有し送迎できる状態にあることを仮定しており、また送迎を増やすことに伴う家族の効用の低下や、具体的な意思決定のタイミングと会話についての詳細(例えば、免許を返納することを家族で意思決定した上で送迎について話をしている可能性もある)は本モデルにおいて示すことはできておらず、留意が必要である。

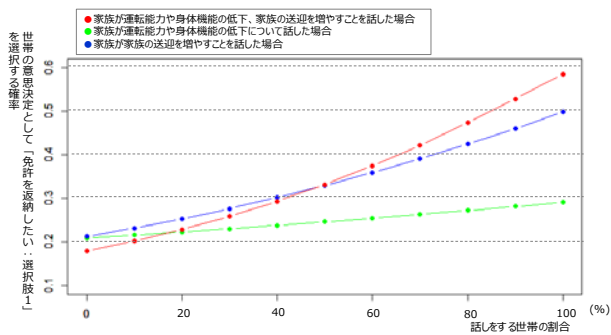


図 4-34 効果的な話し合いを行った場合のシミュレーション分析結果

(8) まとめ

本章では、高齢ドライバーの運転継続・取り止めについての効果的な家族への介入手法に向けた示唆を得ることを目的に、世帯内での意思決定においてどのような内容の話し合いを行うことが有効かを検証した。

まず、約 500 サンプルに及ぶヒアリング調査から、高齢者の運転継続・取り止めに関して、世帯内での高齢者と家族の意向、および話し合いの実態を明らかにした。高齢者と家族それぞれの高齢者の運転継続意向に関するモデルからは、高齢者の年齢や職業の有無が高齢者と家族の運転継続意向に影響する他、家族においては高齢者の事故歴にも強く反応することが確認された。また、世帯意思決定モデルからは、運転能力や身体機能の低下を話題に出した場合や、家族が送迎することを増やすことを家族が話した場合に、話した側にもう一方の意向が傾くことを明らかにし、シミュレーション分析によりその効果を定量的に明らかにした。

以上の結果からは、今後、高齢者の運転継続・取り止めに関して政策的に家族に介入するアドヴァイス手法（例えばモビリティ・マネジメントの実施など）を検討する上で、有用な示唆が得られたものと考えられる。今後は、モニター世帯を対象とした調査の実施などにより、具体的な介入手法のデザインを行うことなどが求められる。また、本研究では高齢者の家族に関するコミュニケーションを取り扱ったが、友人など家族以外とのコミュニケーションについては取り扱っていないため、今後の課題としたい。

4.3 アンメットニーズに基づく高齢者の運転免許保有の価値の計測

(1) 背景と目的

前章で議論したように、自動車運転免許の返納による高齢者の運転の停止はモビリティを著しく低下させ、結果的に社会厚生を低下させる恐れがある。免許返納にかかる制度は、理論的には、自動車をもたらすトリップの価値（便益）と事故リスク（費用）の両者を評価し、社会厚生が最大となるように設計することが望ましいと考えられる。一方、実用に耐えうる制度を構築するためには、費用や便益を広く受け入れられる形で定義すること、定義した費用・便益を正確に測定することが必要になる。

本章は便益の側面に着目する。従来の移動に関する便益の評価は、交通時間の短縮に対する支払意思額に基づく時間価値の理論に基づいている。従来の手法は、移動に制約の無い就業者や旅行者の移動価値の評価には有効であった。しかし、移動制約が緩和され、新たな移動が発生することに伴い生じる便益については十分に考慮されていない。特に、自動車運転ができない高齢者などの交通困難者が移動できることから得られる便益は、制約が強ければ強いほど大きいものと想定されるため、従来の手法では過小に評価される恐れがある。

そこで本研究では、活動参加のための移動の価値を推計する手法を提案する。具体的には、活動参加に係る制約程度を表現するアンメットニーズ (Unmet Needs) の観点から移動の価値推計を試みる。

(2) Unmet Needs に関する既往研究のレビュー

欧米諸国においては、交通は活動の派生需要であるという考えに基づく Activity-based アプローチの考えが普及し、実務においても需要予測に利用されることが一般的となりつつある。一方、Jones(2009)¹⁸⁾は、需要予測の視点からは Activity-based アプローチの普及が進んだものの、活動遂行の結果得られる便益については依然として移動時間短縮を利用しており、活動参加の価値評価の議論は十分にできていない点を指摘している。

高齢者の活動参加の価値評価に関して、Nordbakke and Schwanen (2014)¹⁹⁾は、福祉政策の観点から、満たされない外出活動を意味する Unmet Needs 概念を導入した。Nordbakke and Schwanen らは、モビリティの低下に伴う満たされない外出活動ニーズ（すなわち、行きたいがモビリティを確保できないために行うことができない外出活動）を Unmet Needs と定義し、外出活動における Unmet Needs のレベルを目的変数として順序回帰分析を行い、モビリティと well-being 間のリンクを分析している。分析の結果、Unmet Needs の発生要因として、運転免許の保有、公共交通機関へのアクセス性などを指摘している。

同様に、福祉的観点から移動の価値計測を試みた研究として Stanley et al. (2011)²⁰⁾の研究がある。具体的には、モビリティの低下に伴う社会的排除の危険度の大きさを目的変数とした Ordered Logit Model を用いてトリップ数と世帯収入の限界代替率を導出した結果より、1トリップ移動できることの価値を\$A19.30(約 1500 円)と推計している。しかしながら、Stanley et al.の方法は、インタビューによる詳細な調査を通じた社会的排除の危険度の測定が必要であり、大規模なモビリティ価値推計が難しいことが実装上の問題となる。また、世帯収入に関する情報が目的変数である社会的排除指数と説明変数の両方に含まれており、推計結果の妥当性についてもさらに検証を加える必要がある。

以上を踏まえ本研究では、Stanley et al.の課題であった測定の簡略化（調査手法の工夫）、及び Nordbakke and Schwanen の課題であったモビリティの価値計測への展開を試みる。

(3) 調査概要及び集計分析

本研究では、中国地方に居住する 65 歳以上の高齢者を対象としてアンケート調査を実施した。調査内容と結果の概要を表 4-10、4-11 に示す。調査では、モデル分析における説明変数となる世帯属性、個人属性といった設問に加えて、12 項目の外出目的ごとの現状の外出行動、モビリティが向上した場合を想定した外出行動の意向を質問した。本調査では、モビリティが向上した状況を「いつでも無料送迎を行う交通サービス(バスやタクシー)が利用できるようになり、自由に移動できる場合」とし、外出のニーズの把握を試みた。外出目的の選定は、高齢者の外出に関する猪井ら(2004)²¹⁾や水野(2004)²²⁾を踏まえて、目的の重複や漏れが少なくなるよう設定した。

表 4-10 調査の内容

世帯属性	世帯収入、住所、世帯構成員の個人属性
個人属性	年齢、性別、免許証、免許返納意向等
現状の外出行動	外出目的、頻度、主観距離等
モビリティが向上した場合を想定した外出行動の意向	外出目的、頻度

表 4-11 調査結果概要

調査対象	島根県出雲市、雲南市、浜田市に居住の 65 歳以上の高齢者
調査日時	H28 年 11、12 月
調査方法	市役所・集会所にて配布、郵送回収
配布数	589
回収数	221 (回収率 37.5%)、有効回答 184
調査対象	中国地方に居住の 65 歳以上の高齢者
調査日時	H29 年 3 月
調査方法	Web 調査
回答数	600

個人属性の集計結果を図 4-35 に示す。回答者の特徴として、男性が 6 割、前期高齢者が 7 割、運転免許保有者が 8 割以上を占めている、また、回答者の 7 割は 1km 以上負担を感じることなく歩行可能である。以上より、回答者の多くが活動的な高齢者であることが伺える。

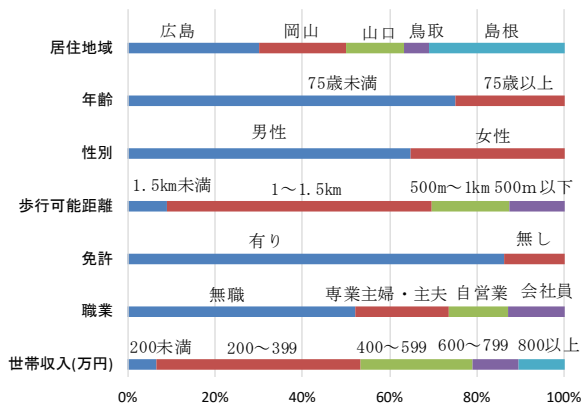


図 4-35 個人属性の集計結果

設定した 12 項目の外出目的ごとに、モビリティが向上した場合を想定した外出頻度と、現状の外出頻度との差である Unmet Needs を図 4-36 に示す。現状の外出頻

度では「買い物(食料品・生活必需品)」がとりわけ高く、次いで「仕事(農作業を含む)」が高い。Unmet Needs に着目すると、「買い物(食料品・生活必需品)」「外食」「行楽」が他の項目に比べて大きい。

本研究では、12 項目の外出目的ごとの Unmet Needs の合計を個人*i*の Unmet Needs の程度 UN_i として定義する。ここで、Unmet Needs による不便益は、Unmet Needs の程度が等しくても、現状の外出頻度の増加に伴い逓減するという経済学の限界効用逓減の観点から、外出ニーズに占める Unmet Needs の割合で定義される Unmet Needs 率 UNR_i により計測する。

$$UN_i = \sum_{j=1}^{12} (b_{ij} - a_{ij}), \quad j = 1, \dots, 12 \quad (4.2)$$

ここで、 a_{ij} : 現在の外出頻度

b_{ij} : モビリティが向上した場合の外出頻度

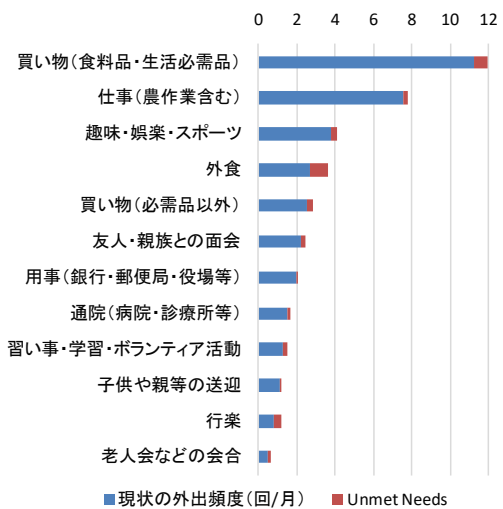


図 4-36 外出目的ごとの外出頻度と Unmet Needs

$$UNR_i = \frac{UN_i}{\sum_{i=1}^{12} (b_{ij})}, \quad j = 1, \dots, 12 \quad (4.3)$$

集計した Unmet Needs 率の分布を図 4-37 に示す。Unmet Needs 率を目的変数として推定を行うモデル分析においては、約半数の回答者は Unmet Needs が生じていないことが示されたため、回帰モデルは使用できない。従って、本研究では Unmet Needs 率を次のように順序付けられた目的変数として Ordered probit model によるモデル分析を試みる。

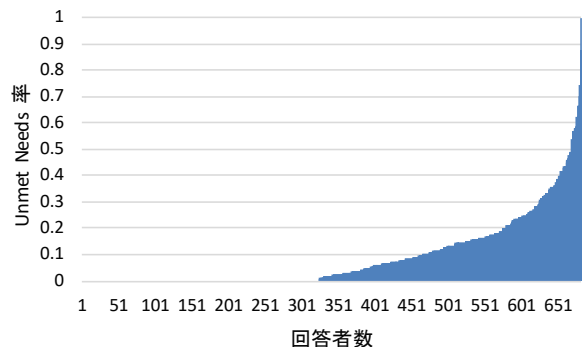


図 4-37 観測された Unmet Needs 率の分布

次に、外出目的ごとの性質の違いを比較する。具体的には、「運転免許を返納すると、公共交通やタクシーを使用しなければならず、移動する方の金銭負担が大きくなります。この時、交通費を税金で補助することが適切とお考えになりますか」と尋ねた。回答は5件法(1.そう思わない、2.多少そう思わない、3.どちらとも言えない、4.多少そう思う、5.そう思う)により得た。肯定意見である「そう思う」「多少そう思う」の回答割合を図4-38に示す。図から、「通院」「買い物(必需品)」「用事」「買い物(必需品以外)」の4項目と他の項目には明確な差があることが確認できる。

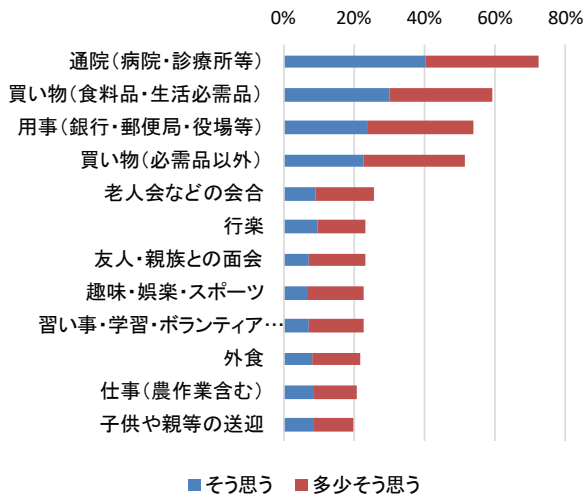


図4-38 税金による移動の補助が適切だと考えるか

(4) 移動の価値の推計方法

Ordered Probit Modelは、順序ある3つ以上の選択肢を同じ説明変数で説明する時に適している。本研究では、Unmet Needs 発生モデルは次の Ordered Probit Model により成り立つと仮定する。

$$UNR_i = \beta_{Income} x_{Income} + \beta_{Trip} x_{Trip} \quad (4.3)$$

ここで、 UNR_i : 観測された Unmet Needs 率

β_{Trip} , β_{Income} : 外出頻度及び世帯収入のパラメータ

x_{Trip} , x_{Income} : 外出頻度及び世帯収入の説明変数

(4.3)式を効用関数と捉え、説明変数 x_{Trip} , x_{Income} でそれぞれ偏微分を行うことで限界効用(marginal utility: MU)が得られる。

$$MU_{Inc} = \frac{\partial UNR_i}{\partial x_{Inc}} \quad (4.4)$$

$$MU_{Trip} = \frac{\partial UNR_i}{\partial x_{Trip}} \quad (4.5)$$

こうして得られた限界効用の比をとることで、限界代替率(marginal rate of substitution: MRS)が算出される。限界代替率 MRS は、Unmet Needs を一定に維持するに

は、外出数 x_{Trip} を1単位増加させたとき、収入 x_{Income} をいくら減らさなければならないかを表す。すなわち、外出数が1増えることに対する支払い意思額を意味する。

(5) モデルの推定結果

本研究では、式(4.6)のモデル式 Model 1 を基本として、世帯収入と外出頻度の説明変数を変化させて推計を試みる。変化させる説明変数と限界代替率の関係を表4-12にまとめる。

Model 1:

$$U_{UN} = \beta_{Inc} x_{Inc} + \beta_{Trip} x_{Trip} + \dots \quad (4.6)$$

$$MRS = \frac{MU_{Trip}}{MU_{Inc}} = \frac{\beta_{Trip}}{\beta_{Inc}} \quad (4.7)$$

表4-12 各モデルの説明変数とMRSの関係

モデル	説明変数	MRS
Model 1	x_{Trip} , x_{Income}	$MRS = \beta_{Trip} / \beta_{Income}$
Model 2	x_{Trip} , x_{Income}^2	$MRS = \beta_{Trip} / 2\beta_{Income} x_{Income}$
Model 3	$x_{Trip}^{0.5}$, x_{Income}	$MRS = \beta_{Trip} / 2\beta_{Income} x_{Income}^{0.5}$
Model 4	$\ln(x_{Trip} + 1)$, x_{Income}	$MRS = \beta_{Trip} / \beta_{Income} x_{Income}$

表4-13に各モデルでの推定結果を示す。なお、Dage75は75歳以上を説明するダミー変数、Dfemは女性を説明するダミー変数、Dwalは1.5m以上歩行可能であることを説明するダミー変数、Dclicは運転免許書保有を説明するダミー変数、thr1, 2は閾値を示す。

相関関係をみると、どのモデルにおいても75歳以上、女性はUnmet Needsを生じやすく、高所得者、外出頻度の大きい人、1.5m以上歩行可能、運転免許書保有者は生じにくい傾向が見られる。しかし、t値で判断すると世帯収入と外出頻度の有意水準は低い。

図4-39にトリップ数と世帯収入の限界代替率を示す。推計された限界代替率より、世帯収入が本調査における平均収入(1.52万円/日)である個人は、もう一回外出できることに対して3~4万円前後という非常に大きな支払意思額がすべてのモデルにおいて推計された。これは図3.5に見られるようにUnmet Needsと世帯収入の相関関係が弱いことに起因するものと考えられる。

表4-13 Ordered Probit モデルの推定結果

説明変数	Model 1		Model 2		Model 3		Model 4	
	Coefficient	t-value	Coefficient	t-value	Coefficient	t-value	Coefficient	t-value
Const	0.360	1.939	0.301	1.843	0.397	1.953	0.360	1.939
Income	-0.014	-0.255			-0.014	-0.253	-0.014	-0.255
Income^2			-0.0054	-0.379				
Trip			-0.050	-0.834				
Trip^0.5					-0.151	-1.107		
ln(Trip+1)	-0.162	-1.120					-0.162	-1.120
Dage75	0.322	3.199	0.322	3.197	0.322	3.202	0.322	3.199
Dfem	0.249	2.590	0.246	2.553	0.250	2.593	0.249	2.590
Dwal	-0.161	-1.812	-0.163	-1.837	-0.161	-1.810	-0.161	-1.812
Dclic	-0.237	-1.798	-0.247	-1.875	-0.236	-1.791	-0.237	-1.798
thr1	0.707	24.688	0.707	24.689	0.707	24.688	0.707	24.688
thr2	0.918	27.642	0.917	27.651	0.918	27.641	0.918	27.642
Sample size	677		677		677		677	
LL0	-849		-849		-849		-849	
LL1	-831		-831		-831		-831	
rho	0.0209		0.0211		0.0213		0.0213	
MRS	34061		30368		42705		44305	

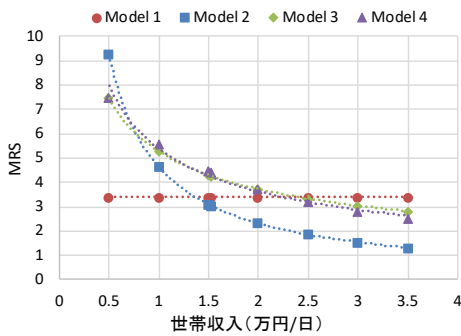


図 4-39 世帯収入とトリップ数の限界代替率

なお、Model 1 の MRS は、世帯収入に関わらず一定であるが、その他のモデルは MRS が世帯収入の増加に伴い減少することを示している。世帯収入の増加に伴う支払意思額の逓減は、英国財務省(2003)²³⁾による個人が消費から得られる効用は、所得の増加に伴い逓減するとの報告に基づき、MRS が世帯収入と逆比例するよう、外出頻度と世帯収入の説明変数を操作したためである。

(6) おわりに

本研究では、高齢者が活動参加によりえられる便益を計測するため、モビリティの低下を表現する指標として Unmet Needs 概念を導入し、移動の価値を推計する手法を提案した。具体的には、満たされない活動ニーズを把握するために高齢者の外出行動実態及び Unmet Needs を訪ねる調査を行い、測定された Unmet Needs を目的変数として Ordered Probit Model による分析を行った。個人属性等の説明変数を用いて Unmet Needs の説明を試みたが、外出頻度および世帯収入は有意とはならず、安定した推定結果を得ることはできなかった。今後、金額面に関しては、移動と関係の無い収入ではなく、期間内の交通費や交通機関に対する支払い意思額等の変数に置き換えることにより再度分析を行う必要があると考えられる。

4.4 ライドシェアサービスの成立可能性の計測

(1) 背景と目的

我が国では、特に中山間地域において人口減少、高齢化が進んでおり、バスや鉄道といった従前の公共交通サービスの維持が困難になってきている。このような地域は、人口密度が低く、生活関連施設まで比較的長距離を移動する必要があるという特徴を有する。一方、疎な需要に対し足の長い公共交通サービスを日常的な利用に耐えうるサービス水準のもとで提供することは一般に困難であり、現時点では自家用車で移動せざるを得ない状況にある。

一方で昨今、高齢者による交通事故が多発している背景から高齢ドライバーの運転免許自主返納の動きが活発になっている。これにともなって今後、高齢者は自ら運転する車での移動が難しくなることが予想され、家

族や知人の送迎に頼らざるを得なくなり、その結果、移動を控えて引きこもりがちになる恐れがある。

以上を踏まえると中山間地域においては、既存の交通手段に比べてより安価かつ効率的にモビリティを提供するサービスを設計、提供することが求められている。

海外では、Uber や Lyft といったライドシェアサービスがすでに提供されている。一方、これらのライドシェアは主に都市部を対象としたものであり、過疎地域の状況に適したライドシェアについては、事例が限られている。数少ない例外として、公共交通サービス水準の低い北海道の天塩町において、ライドシェアサービスを展開する notteco と天塩町が連携し、住民間のライドシェアに関する実証実験を行っている。特に我が国においては、自家用自動車を有償で運送の用に供することは法で定められた例外を除いて禁止されていることから(道路運送法第 78 条)、収益を目的としない形でライドシェアサービスを設計することが求められる。

そこで本章では、中山間地域での展開を念頭に、住民間のボランティアな送迎を前提としたライドシェアサービスの成立可能性について理論的な検討を行う。具体的には、Stiglic et al²⁴⁾が提案した(1)ドライバーが利用者をピックアップする地点(ミーティングポイント)を予め限定(空間的ミスマッチの緩和)、(2)利用者とドライバー間の事前のスケジュール調整(時間的ミスマッチの緩和)を前提としたライドシェアシステムの中山間地域における成立可能性を検証する数値シミュレーション解析を行う。

(2) 既往研究のレビュー

谷本ら²⁵⁾の鳥取県日南町における調査によると、買い物に行く際に 1 日に 6 往復ほど運行されているバスを利用する人の割合は 1 割程度となっており、買い物に行く人のほとんどが自家用車で移動している。代替の交通手段の 1 つとして、佐々木ら²⁶⁾は中山間地域におけるライドシェアの意識調査を行っている。

一方、Furuhata et al²⁷⁾に整理されているように、ライドシェアにおけるドライバーとライダーのマッチングについては様々な形態が考えられる。例えば Stiglic et al²⁴⁾は、より多くのドライバーがより多くの利用者に相乗りを提供するために、ミーティングポイントの導入を行っている。ミーティングポイントとは、ドライバーと乗客が落ち合う地点の事を指し、バス停もミーティングポイントの一つと言える。図 4-40 のようにいま、ドライバーとライダーが 1 人ずついる状況を考える。ドライバー・ライダーはそれぞれ矢印の向きに移動するものとし、矢印横の数字はその間の時間を指している。これまでのようにドライバーがライダーを出発地から目的地まで送迎を行うとすると、ドライバーは 21 の移動時間が必要であった。これを、ミーティングポイントを導入し、ライダーの乗降をミーティングポイントで行うことで、ドライバーの移動時間を 18 に減らすことができる。また、ミーティングポイントは移動時間のみならず移動距離についても同様に短縮可能である。このように、導入によってドライバーの負担を軽減することができるため、マッチング率が上昇することが示されている。さらに、ドライバーの負担を増大させることなく複

数人のライダーにサービスを提供することができる点もミーティングポイント導入のメリットといえる。

一方、Agatz et al⁹⁾はタイムウィンドウの概念を用いたライドシェアシステムを提案している。タイムウィンドウについて図 4-41 を用いて説明する。ここで e は最早出発時刻、 l は最遅到着時刻である。つまり、参加者の移動は e と l の間で完了する必要がある。 t_{od} は出発地から目的地に到着するまでに必要な時間で、 e と l の間の時間から t_{od} を図 4-41 のように引いたものがタイムウィンドウと呼ばれる時間である。このタイムウィンドウの中で出発時刻を調整することにより双方の移動ニーズを満たす形でライドシェアサービスを実現することができる。言い換えると、ライドシェアを成立させるためには、それぞれのタイムウィンドウが重複した時間が存在している必要がある。タイムウィンドウ導入の利点は、事前にスケジュールを調整することにより、マッチングの成立可能性が高まる点にある。Urber や Lyft をはじめとした都市部を対象としたライドシェアサービスでは、利便性を重視し、スケジュール調整を行わずにリアルタイムでマッチングするシステムとなっているが、人口が疎な過疎地域においては、スケジュール調整コストを負担してでもマッチング率を最大化するシステム設計が望ましいものと考えられる。

次節では、以上にみたミーティングポイント及びタイムウィンドウを導入したライドシェアのマッチングアルゴリズムを概説する。

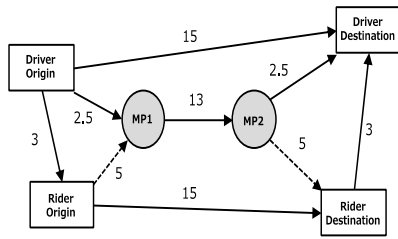


図 4-40 ミーティングポイント

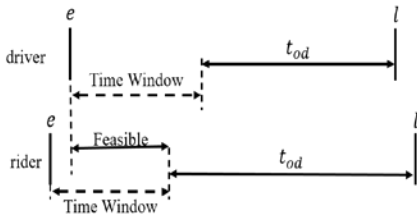


図 4-41 タイムウィンドウ

(3) ライドシェアマッチングアルゴリズム

本研究では、ドライバーの少ない中山間地域におけるライドシェアを想定する。ドライバーの負担を軽減するため、ドライバーは1度の移動においてライダーの乗降をそれぞれ1回ずつのみ行うものとする。これらの条件の上で、ミーティングポイントとタイムウィンドウの導入を行う。以下で概説するマッチングアルゴリズムは Stiglic et al²⁴⁾により提案されたものであり、詳細は Stiglic et al²⁴⁾を参照されたい。

ライドシェアのマッチングを行う上で、ライドシェアに参加し得るすべての人は情報 s を有していると考え。個人の情報 s は全員の情報 S の一部であり、出発地 o_s 、

目的地 d_s 、同様に最早出発時刻を e_s 、最遅到着時刻を l_s とする。参加者のスケジュールに余裕がある場合、 $l_s - e_s$ は出発地から目的地までを結ぶ移動時間よりも長くなる。

情報 S はドライバーの集合 D と、ライダーの集合 R に分けられる。 D に含まれるドライバー i が、ライドシェアリングに参加してライダーを乗せた場合に許容できる最大移動時間を T_i 、車両の乗車定員を C_i とする。また、ライダー j がミーティングポイントへ歩いていける最大歩行可能距離を m_j とする。さらに、ドライバー i の出発地、目的地を o_i, d_i 、ライダー j の出発地、目的地を o_j, d_j と定義する。 i から j の距離を d_{ij} 、二点間の移動時間を t_{ij} とあらわす。さらに、少なくとも 1 人は歩いて行けるライダーがいるミーティングポイントの集合を M とし、ライダー j が乗車可能なミーティングポイントの集合を M_j^p 、同様に下車できるミーティングポイントの集合を M_j^d とする。次に、乗車点と降車点の組み合わせを弧 a で表す。ライダー j にとっての弧は、弧 a の集合 $A_j = \{(k, l) | k \in M_j^p, l \in M_j^d\}$ で表せる。すなわち、ライダー j は M_j^p の中のいずれかのミーティングポイントで乗車し、 M_j^d の中のいずれかのミーティングポイントで下車する。最後に、ミーティングポイント m におけるライダーの乗降にかかる時間を τ_m とする。

以上のドライバー $i \in D$ 、ライダー j の集合 $J \in R$ 、弧 $a \in A$ の 3 つの情報に基づき、ライドシェアリングのマッチングを定式化する。以降 (i, J, a) と表す。上述したように、ドライバー、ライダーともに乗降それぞれ1ヶ所のミーティングポイントにのみ立ち寄り仮定すると、実行可能なマッチはすべて 2 か所のみミーティングポイントの弧である $a \in \bigcap_{j \in J} A_j$ で乗降点を持つ。また、ドライバー、乗車するライダーは同一のルートを通る必要があり、さらに、解は車両の容量制約のため $|J| + 1 \leq C_i$ を満たさなければならない。加えて、マッチングが成立するためには参加者全員が e_s と l_s の間で同時に、2 つのミーティングポイントの弧である a を利用する必要があり、かつドライバーの移動時間が T_i を超えてはならない。

ミーティングポイント $a = (k, l)$ を用いるマッチ (i, J, a) が時間的に実行可能であることを確認するため、それぞれの参加者にミーティングポイント k (乗車点) におけるタイムウィンドウを導入する。参加者 p (i または $j \in J$) におけるミーティングポイント k でのタイムウィンドウは図 4-42 のように $[e_p^k, l_p^k]$ で表される。ここで、 $e_p^k = e_p + t_{opk}$ 、 $l_p^k = l_p - (\tau_k + t_{kl} + \tau_l + t_{lap})$ である。時間的にマッチングが成立するためには、タイムウィンドウであるこの間の時間内に共通の時間帯が参加者全員に存在する必要がある。つまり、図 4-43 のように次の式(4.8)が成り立たなければならない。

$$\max \left(\max_{j \in J} e_j^k, e_i^k \right) \leq \min \left(\min_{j \in J} l_j^k, l_i^k \right) \quad (4.8)$$

$\max(\max_{j \in J} e_j^k, e_i^k)$ は参加者の中で最も遅い最早出発時刻、 $\min(\min_{j \in J} l_j^k, l_i^k)$ は参加者の中で最も早い最遅出発時刻であり、この 2 つの時刻の間にミーティングポイント k を出発すればライドシェアが成立する。さらに、

ドライバーが許容できる最大移動時間は T_i であることから、乗車時間は次の式(4.9)を満たさなければならない。

$$t_{oik} + \tau_k + t_{kl} + \tau_l + t_{ldi} \leq T_i \quad (4.9)$$

ここで、ドライバー i とライダーの集団 J が $a = (k, l)$ でマッチするとき、移動短縮距離 $\sigma_{(i,J,(k,l))}$ は

$$\begin{aligned} \sigma_{(i,J,(k,l))} &= d_{o_i d_i} - (d_{oik} + d_{kl} + d_{ld_i}) \\ &+ \sum_{j \in J} (d_{o_j d_j} - (d_{ojk} + d_{ld_j})) \end{aligned} \quad (4.10)$$

と定義される。 $\sigma_{(i,J,(k,l))}$ は、ドライバー、ライダーが相乗りをせずに個別に移動した際の総移動距離と相乗りをした場合の総移動距離の差分として定義されるため、通常、 $\sigma_{(i,J,a)}$ は正の値を取る。式(3)のライダー j の $d_{ojk}d_{ld_j}, d_{ojk}d_{ld_j}, d_{ojk}d_{ld_j}$ は歩行可能距離 m_j よりも小さくなければならない。 $\sigma_{(i,J,a)}$ の値が大きいほど、車両の持つキャパシティを効率的に活用しているといえる。

次に、マッチング問題を最適化問題として定式化するため、Agatz et al.²⁸⁾および Stiglic et al.²⁴⁾に倣い、図 4-43 に示す 2 部グラフを定義する。ドライバー i とライダー j のノードをつくり、ノード間に実現可能なマッチの組があればそれぞれをつなぐエッジを作成する。さらに、複数のライダーの集団 J についてもドライバー j と実現可能なマッチがあればエッジを作る。エッジは同一のライダー・ドライバーのペアに対して複数存在(すなわち、複数のミーティングポイントで乗降可能)する可能性があるが、その場合には最も運転短縮距離が大きくなるものをそのノードにおけるエッジとし、1 組のノード間には 1 つのエッジしか存在しないようにネットワークを構築する。各エッジ e ($e \in E$)に対して、マッチング参加人数 v_e 、最大運転短縮距離 σ_e の 2 つの情報を付与する。図 4-43 の例では、 d_2 は r_1 (及び r_1, r_2 のペア)に対して相乗りを提供できないことが確認できる。

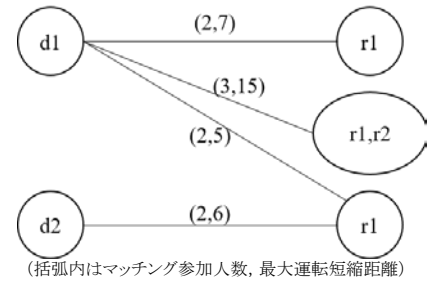


図 4-43 2部グラフ

以上に定義した 2 部グラフに基づくマッチング最適化問題として、マッチング参加人数の最大化と運転短縮距離の最大化の 2 種類を考えることができる。両者は類似した解を出すことが想定されるが、完全には一致しない点に注意が必要である。Stiglic et al.²⁴⁾をもとにその具体例を図 4-44 に示す。ここでは簡単のためドライバー 2 人(d_1, d_2)ライダー 2 人(r_1, r_2)、ミーティングポイント 2 地点(m_1, m_2)とする。矢印上の数字はノード間の距離を表している。最も運転距離が短縮されるのは d_1 もしくは d_2 のどちらかのみが 2 人のライダーとマッチをした時であり、距離を 6 短縮したことになる。一方、それぞれ 1 対 1 でマッチした場合、全員参加できるが、運転短縮距離は 4 と短くなる。このように、参加人数の最大化と移動短縮距離の最大で異なる解となる可能性がある。

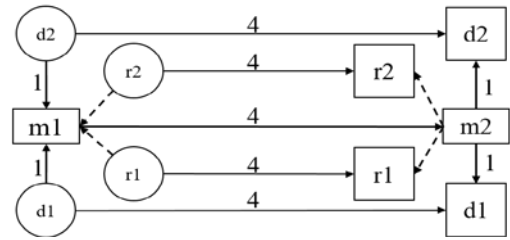


図 4-44 運転短縮距離とマッチした人数の関係

本研究では、辞書式目標計画法 (lexicographic goal programming) の考えに基づき、まずマッチング参加人数最大化問題を解き、得られた最適解を達成することを制約条件に加えた上で運転短縮距離最大化問題を解くことで最適なマッチングを導く。具体的には、マッチング参加者数最大化問題は次のように定義される。

$$\max z_1 = \sum_{e \in E} v_e x_e \quad (4.11)$$

$$\text{s. t. } \sum_{e \in E_i} x_e \leq 1 \quad \forall i \in D,$$

$$\sum_{e \in E_j} x_e \leq 1 \quad \forall j \in R, \quad (4.12)$$

$$\text{s. t. } x_e \in \{0,1\} \quad \forall j \in E.$$

ここで、 x_e はマッチングに参加するかどうかを表す決定変数、 E_i はドライバー i のエッジの集合、 E_j はライダー j のエッジの集合である。まず、式(4)の 0-1 整数計画問題を式(5)の制約条件のもとで解き、解 z_1^* を得る。次に以下で定義される運転短縮距離最大化問題を、式(4)、及び、 $\sum_{e \in E} v_e x_e \geq z_1^*$ の制約条件化で解く。

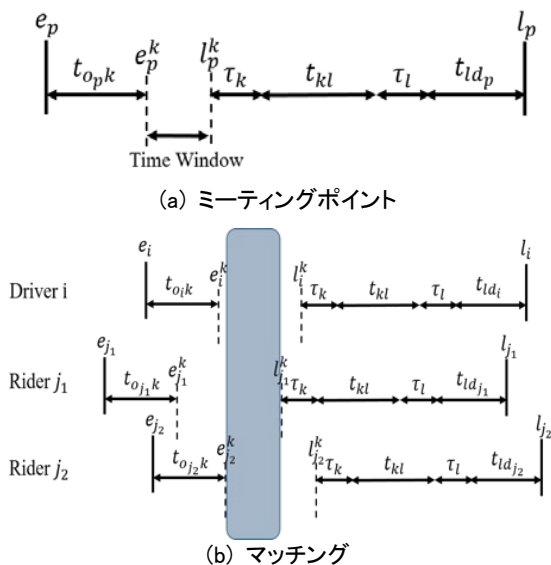


図 4-42 が成立するために必要なタイムウィンドウ

$$\max z_2 = \sum_{e \in E} \sigma_e x_e \quad (4.13)$$

(4) 数値計算

本研究では、島根県飯南町の地理情報、人口構成を参考に、乱数を用いた仮想データを作成し、100回の繰り返す数値計算を行う。一般的に、中山間地域においては買物や診察などのために離れた地方都市へ出向くトリップが多い。そこで本研究では、飯南町と広島県三次市の地理関係を仮想的に想定しマッチング率の分析を行う。飯南町と三次市はおおよそ30kmの距離がある。本研究では表-1、表-2のように条件を設定して計算を行う。ただし、後に述べるバスの場合のミーティングポイントの数は、表とは異なる。

本研究においては以下の3つの変化を仮定しマッチング率への影響を分析する。

① 出発地の空間的密度の変化

中山間地域においては居住地が空間的に疎に分布していることが多い。しかし、ミーティングポイントまで徒歩でアクセスすることを想定する場合、ドライバー及びライダーの空間分布が大きな影響を与えることが予想される。そこで、図4-45のようにライダーの居住地の範囲について3通りのシナリオ(OD_Scenario1~3)を想定し、それぞれ一辺の長さが2km、3km、4kmの正方形の範囲に居住地が密集している場合でどのようにマッチング率に影響があるのかを確認する。ただし、目的地はいずれの場合も一辺2kmの正方形の範囲に密集しているものとする。

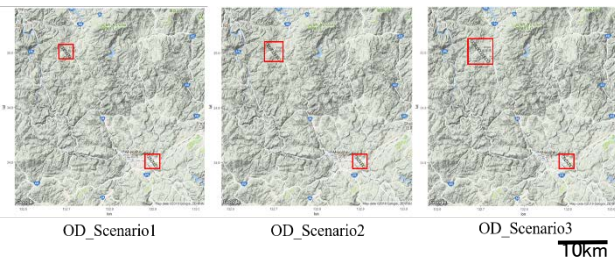


図4-45 ミーティングポイントの配置シナリオ

表4-14 本研究における設定

ミーティングポイントでの乗降時間	乗降時間 τ_m : 2分
歩行速度	4km/h
車両走行速度	40km/h
ミーティングポイントの数(出発地/目的地)	50/50

表4-15 ドライバー・ライダーの条件

ドライバー		ライダー	
最大の移動時間 T_i	$t_{kl} + 5 \sim 6$ 分	歩行可能距離 m_j	年齢によって異なる
乗車可能人数 C_i	5人	出発時間 e_j	8:00~9:30
出発時間 e_i	8:00~10:00	到着時間 l_j	$e_j + t_{kl} + 60$ 分
到着時間 l_i	$e_i + t_{kl} + 5 \sim 15$ 分		

② 人口・年齢構成の変化

今後、高齢化が進行した場合にどのようにマッチング率が変化するかを検証するため、人口減少・高齢人口

の割合の変化を2つ目の変数とする。本研究では島根県飯南町の人口・人口予測²⁹⁾を基に表4-16のように3通りのシナリオ(P_Scenario1~3)を設定する。また、年齢別のミーティングポイントまでの歩行可能距離、運転免許保有率³⁰⁾を表4-17のように設定する。ただし、ドライバーの5%、ライダーの20%がライドシェアリングに参加する意思があるものとして計算を行う。

表4-16 人口減少・高齢化のシナリオ

	P_Scenario1	P_Scenario2	P_Scenario3
人口	1000	850	700
~64歳	57%	50%	53%
65~74歳	18%	17%	13%
75~歳	25%	33%	34%

表4-17 年齢別の諸条件

	~64歳	65~74歳	75~歳
歩行可能距離	500m	800m	1200m
運転免許保有率	99%	70%	30%

③ 移動手段の変化

本研究ではタイムウィンドウを導入した場合のライドシェアの有効性を確認するため、路線バスの場合、ドライバーにタイムウィンドウがある場合、ない場合の3通りのシナリオを設定する。バスは、図4-45のように設定した範囲に、それぞれ対角線上におおよそ500m間隔でバス停を設置し、1時間に1便の運行頻度とした。ここではバス停へたどり着けば確実に乗れるよう時間を設定した。ドライバーにタイムウィンドウがある場合は、乱数で発生させた出発時間から5~15分の余裕を持たせており、タイムウィンドウを考慮しない場合は設定した8時~10時でどの時間でも出発できるものとした。本研究の結果ではそれぞれのシナリオをbus、normal、freeと区別している。

(5) シミュレーション結果

出発地、目的地ともにアクセス可能なミーティングポイントが存在し、かつ移動を提供してくれる可能性のあるドライバーが存在するライダーの数を、サービス利用意向を示した全ライダーで割ったものをポテンシャル率と呼ぶ。また、利用意向を示した全ライダーと、実際にマッチングに成功したライダーの人数の割合をライダーのマッチング率と呼ぶ。また、同様にドライバーの場合はドライバーのマッチング率と呼ぶ。

① ライダーのポテンシャル率・マッチング率

図4-46、図4-47にライダーのポテンシャル率、マッチング率の計算結果を示す。図4-46よりライダーの居住地の範囲が広がるほどポテンシャル率が低下していることがわかる。また、高齢化が進行することで徒歩圏が狭くなるため、高齢化が進むにつれてポテンシャル率が低下する傾向にあることが確認できる。しかし、移動手段がバスであった場合は、高齢化の進行による影響は限定的であることが確認された。図4-46、図4-47を比較す

ると、マッチング率が 5~10%程度低下しており、さらに分散が小さくなる傾向にある。バスを移動手段とした場合はポテンシャル率とマッチング率は同じ値になっている。

② ドライバーのマッチング率

ドライバーのマッチング率を図 4-48 に示す。bus の場合は公共交通であるため、ドライバーのマッチング率は考慮しない。ドライバーのマッチング率については、人口減少・高齢化による影響は小さい。また、出発地の範囲が広がるにつれてマッチできる組が減少することから、ドライバーのマッチング率も低下しているものと考えられる。

③ ドライバーの不足によりマッチできなかったライダーの割合

徒歩圏内にミーティングポイントがあり、かつ移動を提供してくれる可能性のあるドライバーが存在するライダーのうち、マッチングが成立しなかったライダーの割合を図 4-49 に示す。移動手段がバスの場合、ミーティングポイント(バス停)に到達できる利用者は必ずサービスを楽しむ一方、ライドシェアの場合、ミーティングポイントに到達できたとしてもドライバーがおらずサービスを楽しむことができないケースが発生することが確認できる。

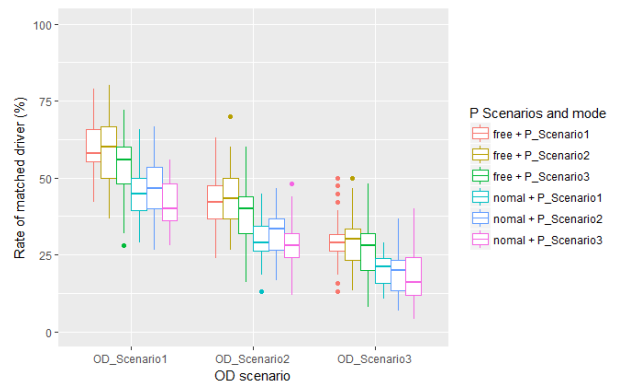


図 4-48 ドライバーのマッチング率

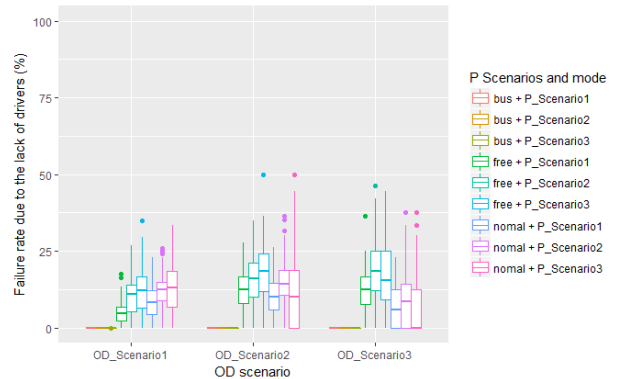


図 4-49 ドライバー不足によりマッチできなかったライダーの割合

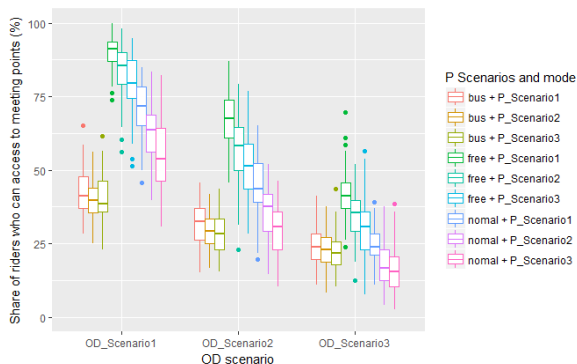


図 4-46 ポテンシャル率

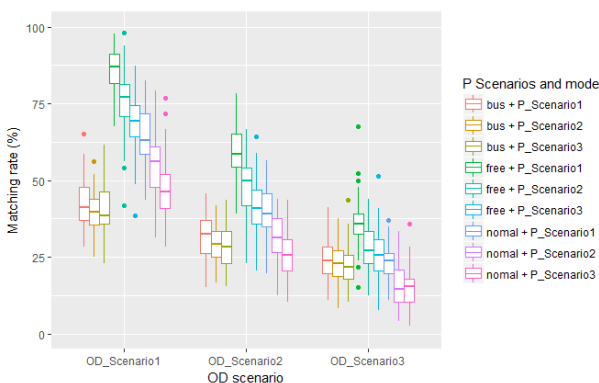


図 4-47 ライダーのマッチング率

(6) 結論

本研究では、Stiglic et al.¹⁾により提案されたライドシェアシステムの中山間地域における成立可能性を数値計算を通じて確認した。分析の結果、(1) 既存の路線バスに比べてライドシェアサービスの方がサービスを楽しむ総数が多い可能性があること、(2) ただし、その効率は地区の人口分布や高齢化率に依存しており、状況によっては路線バスのような形態の方が望ましい場合も存在することが確認された。

今回の分析では限られた数値計算を示すのみにとどまったが、今後、数値計算のシナリオを細かく設定し挙動の確認を進めるとともに、他のマッチングアルゴリズムとの比較や、実データを用いた分析の実施などを行う必要がある。また、マッチング率の目標値を設定していくことも今後の課題である。

4 章の参考文献

- 1) Onoda K., Hamano T., Aoyama A., Tkayoshi H., Nakagawa T., Ishihara M., Mitaki S., Yamaguchi T., Oguro H., Shiwaku K., Yamagushi S. : Validation of a new mass screening tool for cognitive impairment: Cognitive Assessment for Dementia, iPad version, Clinical Interventions in Aging, pp.353-360, 2013.
- 2) CADi 公開サイト、<http://www.shimane-u-internal3.jp/134.html>
- 3) 杉山将 (2010) 密度比に基づく機械学習の新たなアプローチ、統計数理、第 58 巻第 2 号 141-155.

- 4) Kanamori, T., Hido, S., Sugiyama, M., 2009. A Least-squares Approach to Direct Importance Estimation. *The Journal of Machine Learning Research* 10, 1391-1445.
- 5) Marottoli, R.A., Mendes de Leon, C.F., Glass, T.A., Williams, C.S., Cooney, L.M., Jr., Berkman, L.F., Tinetti, M.E.: Driving cessation and increased depressive symptoms: prospective evidence from the New Haven EPESE. *Established Populations for Epidemiologic Studies of the Elderly. Journal of the American Geriatrics Society* 45, 202-206. 1997.
- 6) Marottoli, R.A., de Leon, C.F.M., Glass, T.A., Williams, C.S., Cooney, L.M., Berkman, L.F.: Consequences of driving cessation: Decreased out-of-home activity levels. *Journal of Gerontology B* 55, 334-340. 2000.
- 7) 中川善典・重本愛美: 運転免許を返納する高齢者にとっての返納の意味に関する人生史研究, 土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol.72, No.4, pp.304-323, 2016
- 8) 野村美千江・豊田ゆかり・中平洋子・柴珠実・宮内清子: 初期認知症者の自動車運転中止の過程とその関連要因, 日本地域看護学会誌, Vol.9, No.2, pp.53-59, 2007
- 9) NHTSA and ASA, 2007. *Driving Well: Promoting Older Driver Safety and Mobility in Your Community*, U.S. DOT/NHTSA Pub. National Highway Traffic Safety Administration, U.S. Department of Transportation & American Society of Aging.
- 10) 荒井由美子: 認知症高齢者の自動車運転を考える 家族介護者のための支援マニュアル 認知症高齢者の安心と安全のために[第二版], 国立研究開発法人 国立長寿医療研究センター, 2016
- 11) 福井のり子・森山昌幸・藤原章正・力石真・塩飽邦憲・山本昌弘: 運転取り止めに対する高齢者と家族のジレンマ—運転診断とコミュニケーションの効果検証—, 第 54 回土木計画学研究発表会・秋大会, 2016
- 12) 山本俊行・北村隆一・河本一郎: 世帯内での配分を考慮した自動車の車種選択と利用の分析, 土木学会論文集, No.674, IV-51, pp.63-72, 2001
- 13) Timmermans, H., Borgers, A., van Dijk, J., Oppewal, H. (1992) Residential choice behavior of dual earner households: a decompositional joint choice model. *Environment and Planning A* 24, 517-533
- 14) Zhang, J., Timmermans, H., Borgers, A. (2002) Utility-maximizing model of household time use for independent, shared, and allocated activities incorporating group decision mechanisms. *Transportation Research Board* 1807, 1-8.
- 15) Zhang, J., Timmermans, H.J.P., Borgers, A. (2005) A model of household task allocation and time use. *Transportation Research Part B* 39, 81-95.
- 16) Zhang, J., Fujiwara, A. (2006) Representing household time allocation behavior by endogenously incorporating diverse intra-household interactions: A case study in the context of elderly couples. *Transportation Research Part B* 40, 54-74.
- 17) 小林潔司・喜田秀行・多々納祐一: 送迎・相乗り行動のためのランダム・マッチングモデルに関する研究, 土木学会論文集, No.536, p,49-58, 1993.
- 18) Jones, P.: Changing perspectives: Challenges for research and practice, *Proceedings of the Scottish Transport Applications and Research Conference*, 1st May 2009, Glasgow, 2009.
- 19) Nordbakke, S. and Schwanen, T.: Transport, unmet activity needs and wellbeing in later life: exploring the links, *Transportation*, 42(6), pp. 1129-1151, 2015.
- 20) Stanley, J., Hensher, D.A., Stanley, J., Currie, G., Greene, W.H., Vella-brodrick, D.: Social exclusion and the value of mobility, *Journal of Transport Economics and Policy*, 45(2), pp. 197-222, 2011.
- 21) 猪井博登、新田保次、中村陽子: Capability Approach を考慮したコミュニティバスの効果評価に関する研究, 土木計画学研究・論文集, 21, pp. 167-474, 2004.
- 22) 水野映子: 高齢者の外出の現状・意向と外出支援策, ライフデザインレポート, 第一生命経済研究所ライフデザイン研究本部, (163), pp. 4-15, 2004.
- 23) 英国財務省: グリーンブック: 中央政府による事前評価及び事後評価, 付録 5—分配面の影響—, pp. 104-108, 2003.
- 24) Mitja Stiglic, Niels Agatz, Martin Savelsbergh, Mirko Gradisar., The benefits of meeting points in ride-sharing systems, *Transportation Research Part B*, 82, pp.36-53, 2015.
- 25) 谷本圭志, 倉持裕彌, 土屋哲: 活動能力に着目した高齢者の買い物手段に関する考察—中山間地域を対象に, 土木学会論文集 D3, vol.70, No.5, 1_781-1_788, 2014
- 26) 佐々木邦明, 二五啓司, 山本理浩, 四辻裕文: 低密度居住地域における交通制約者の移動手段としてのライドシェアの可能性, *社会技術研究論文集*, vol.10, pp.54-64, 2013.
- 27) M. Furuhata, M. Dessouky, F. Ordóñez, M.-E. Brunet, X. Wang, and S. Koenig, "Ridesharing: The state-of-the-art and future directions," *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 57, pp. 28-46, 2013.
- 28) Niels A.H. Agatz, Alan L. Erera, Martin W.P. Savelsbergh, Xing Wang: Dynamic ride-sharing: A simulation study in metro Atlanta, *Transportation Research Part B* 45, pp.1450-1464, 2011.
- 29) 飯南町人口ビジョン: <http://www.iinan.jp/files/original/201603051331002810513.pdf>
- 30) 警察庁 運転免許統計 平成 29 年版 <https://www.npa.go.jp/toukei/menkyo/index.htm>

第5章 コネクティビティ改善の価値

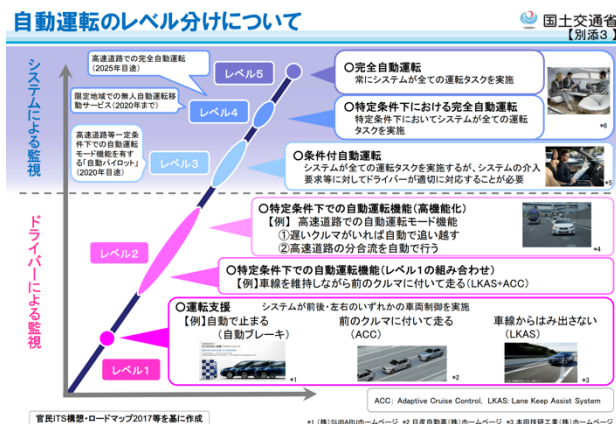
5.1 自動運転車のリスク認知と社会的受容性の計測

(1) 研究の背景と目的

自動運転車(AVs)の実装は、人為的な運転ミス(認知、判断、操作)の回避、渋滞緩和を通じた旅行時間の短縮や環境負荷の低減に加えて、過疎地域でのモビリティ確保等、様々な社会的便益をもたらすことが期待されている。一方、本格的な AVs 実装のためには、上に挙げた社会的便益の計測に加えて、要求される安全水準や交通事故時の責任の所在といった価値判断を伴う制度面の意思決定が重要になる。このような価値判断を含む制度を設計する上では、AVs を社会が受け入れるかどうかという社会的受容性を把握しておくことが有用と考えられる。

AVs の社会的受容性は、その実装形態(自動運転車を個人で保有するか、公共交通用の車両として利用するか)や、自動化レベル(図 5-1)に依存するものと考えられる。この自動化レベルは、国や機関によって定義が異なり、2020 年 7 月時点で共通化されていないことから、今後の国際比較を念頭に入れて、ここでは表 5-1 に示す 4 つの段階を考える。

本研究では、様々なリスク事象に対するリスク認知を広く比較する手法を提案した Slovic (1987)¹⁾の研究を参考に、導入形態別・レベル別の自動運転システムに対するリスク認知を把握する。



出典: 国土交通省 <https://www.mlit.go.jp/common/001226541.pdf>⁽²⁾

図 5-1 自動運転技術の自動化レベル

表 5-1 本研究で想定する自動化レベル

レベル	概要	無人走行およびドライバーの飲酒・睡眠	運転免許
1	アクセル・ハンドル・ブレーキのいずれかをシステムが行う状態	不可	必要
2	アクセル・ハンドル・ブレーキのうち複数の操作をシステムが行う状態	不可	必要
3	アクセル・ハンドル・ブレーキを全てシステムが行い、緊急時のみ運転手が対応する状態	不可	必要
4	アクセル・ハンドル・ブレーキを全てシステムが行い、運転手が全く関与しない状態	可	不要

(2) 既往研究のレビュー

Slovic¹⁾は、実際のリスクとリスク認知(その対象を各個人でどの程度リスクと認識するか)の間にズレがあり、人々はその事象を偏って認知して判断しているのではないかと、社会にすでに浸透している技術や活動の便益とリスクの関係を研究するための調査研究を行っている。その研究を通じて、リスクを構成する要素を主成分分析することで二次元解析し、リスクの認知地図が作成された。また谷口²⁾は、Slovic のリスクを相対的に分析する研究を応用し、未だ実装されていない AVs のリスクを検証するための研究を行っている。ドライバー、同乗者、歩行者としてレベル 3 およびレベル 4 の自動運転車に対してどの程度リスクを感じるかを「恐ろしさ」および「未知性」という 2 側面で解析し、リスク認知地図を作成し、その関係性を明らかにしている。自動運転車は他項目と比べて「未知性」が高く、実装には社会に対してその技術の詳細な情報公開を含む合意形成が必要になるということが指摘されている。

本研究では、様々なリスク事象に対するリスク認知を広く比較する手法を提案した Slovic¹⁾の研究を参考に、実装形態別・レベル別の AVs に対するリスク認知を把握する。谷口²⁾の研究との主要な違いは、動画を用いて AVs 実装の影響を具体的に想定してもらう点にある。

(3) 調査の設計

前述の Slovic¹⁾の研究を参考に、表 5-2 に挙げる 20 種類の開発技術の事象に対するリスク認知を尋ねるアンケート調査を行う。得られたデータを用いて、他の技

術と自動運転車に対するリスク構成因子の差異について考察する。

広島県に在住する方を対象に Web アンケートを実施した(サンプル数 1,442)。なお、未実装の自動運転車に対するイメージ偏向を防ぐために、AVs 技術の便益・不便益を解説する動画⁴⁾を視聴してもらっている(図 5-2)。不便益については、システムエラー、ハッキング、予期せぬ事態への対応限界の 3 種類の動画を準備し(表 5-3、詳細は付録のリンク先参照)、被験者間で異なる動画を視聴してもらうことにより、リスク情報の提示がリスク認知に及ぼす影響を確認する。

具体的な調査項目は、Slovic¹⁾に倣い、(1)自動運転車を含む全 20 項目に対する便益・リスク認知の評点付け、(2)9 種のリスク構成要素に対する評点付け、(3)リスクの社会的受容性の 3 つとした(表 5-4)。

表 5-4 リスクに対する質問項目

調査票の種類	質問分野	質問項目
世帯票	世帯属性	住所、世帯構成、車両保有台数など
	個人属性	性別、年齢、年収、職業、免許保有有無など
個人票	便益(メリット) 評点付け	最も低い項目を 10 点として、全 20 項目の評点づけ
	リスク評点付け	最も低い項目を 10 点として、全 20 項目の評点づけ
	受容性の数値化	3肢選択(a 現状よりリスクが高くても受け入れられる、b 現状のままで受け入れられる、c 現状よりリスクが低くないと受け入れられない) a および c を選択した場合は、その度合いを(倍)で回答
	9種類の評定	20 項目それぞれに対して、7 件法で評点付け(①自発性・②影響の即時性・③リスクについての既知性・④科学的知識・⑤制御可能性・⑥新しさ・⑦慢性・急性の大惨事・⑧恐ろしさ・⑨結果の致死性)

表 5-2 着目するリスク事象(20 項目)

1.原子力、 2.自動車、 3.銃、 4.喫煙、 5.アルコール飲料、 6.一般的飛行機利用、 7.巨大建設工事、 8.登山、 9.自転車、 10.エナジードリンク、 11.電力、 12.スキー、 13.鉄道、 14.遊園地のアトラクション、 15.ドローン、 16.抗生物質(処方薬)、 17.自動運転車(路線バスレベル3)、 18.自動運転車(路線バスレベル4)、 19.自動運転車(自家用車レベル3)、 20.自動運転車(自家用車レベル4)
--



図 5-2 AVs を説明する動画の概要

表 5-3 AVs の不便益を説明する動画組み合わせパターン

動画パターン	サンプル数	動画内容	
I ②	206	システムエラーの発生	
II ③	206	ハッキングの危険性	
III ④	206	予期せぬ事態への対応限界	
IV ②・③	206	システムエラーの発生	ハッキングの危険性
V ②・④	206	システムエラーの発生	予期せぬ事態への対応限界
VI ③・④	206	ハッキングの危険性	予期せぬ事態への対応限界
VII ②・③・④	206	システムエラーの発生	ハッキングの危険性
			予期せぬ事態への対応限界

(4) 分析結果

メリット認知とリスク認知の評点の平均値を図 5-3 に示す。両認知には緩やかであるが負の相関関係が見られ、メリット認知が高い技術ほどリスク認知が低くなる傾向がある。図中の黒色実線はメリット認知とリスク認知の評価が等しい点を示している。自動運転車を除くリスク事象はすでに社会に実在するものであることから、多くの項目のメリット認知の平均評点はリスク認知を上回っている。自動運転車に関してもメリット認知がリスク認知を上回る傾向が確認された。

次に、Slovic (1987)¹⁾の先行研究を参考に、9 種のリスク構成要素に対する評点付けデータを主成分分析にかけ、リスク認知に関する因子の抽出を行った。結果を図 5-4 に示す。リスクを構成する 9 種の評定は、「恐ろしさ」と「未知性」の 2 因子により集約されることがわかる。これは Slovic¹⁾と同じ結果である。

抽出したこれら 2 つの因子を座標軸にとり、リスク毎に得点をプロットしたリスクの認知マップを図 5-5 に示す。「恐ろしさ」が高い事象は拳銃、原子力、飛行機であり、エナジードリンク、ドローン、アルコール飲料は相対的に低い。自動運転車(レベル 3 のバス、レベル 4 のバス、レベル 3 の自家用車、レベル 4 の自家用車)は、「恐ろしさ」ちょうど中間的な位置にある。一方、「未知性」については、他の技術項目に比して自動運転車のリスク認知が最も高い。このリスク認知マップの結果から、自動運転車に対しては、それほど恐ろしくはないが、未知なものと認識される傾向にあることが確認された。

提示するリスク情報の差異がリスク認知に及ぼす影響を確認するため、視聴した動画毎にリスク認知を算出した(図 5-6)。その結果、ハッキングの危険性の動画を視聴した被験者は恐ろしいと感じやすいことが確認された。

最後にリスクの社会的受容性を目的変数(c 受け入れられないを 1, a, b 受け入れられるを 0)とする 2 項ロジットモデルを構築した。分析の結果、LKS(車線維持支援装置)利用経験者は受容性が高い一方、システムエラー及びハッキングの動画を視聴した人は受容性が低い傾向がみられた(表 5-5)。

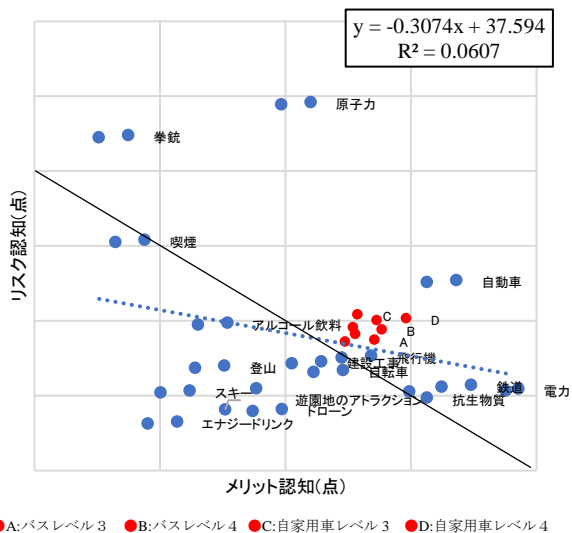


図 5-3 メリット認知とリスク認知の関係

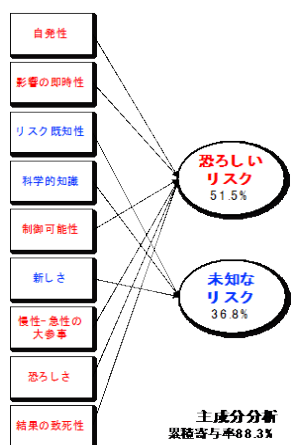


図 5-4 リスク因子の主成分分析結果

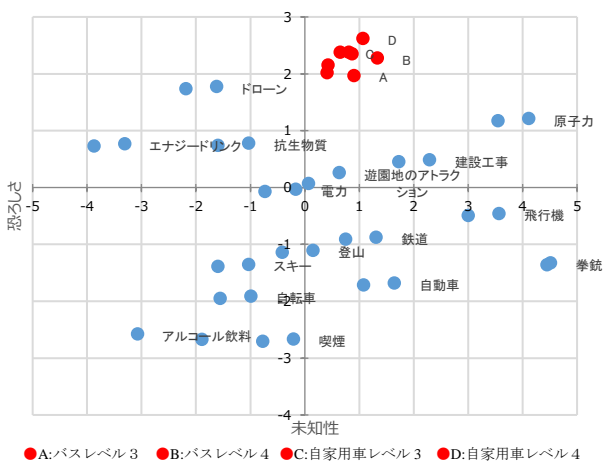


図 5-5 リスクの認知地図

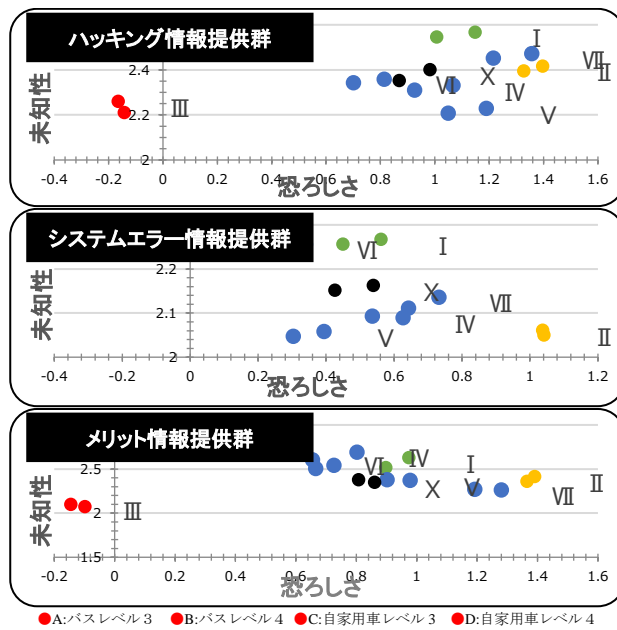
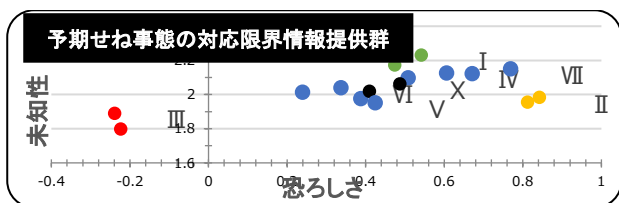


図 5-6 動画による提供情報とリスク認知マップ

表 5-5 2項ロジットモデルによる AVs リスクの受容性の要因分析

	バスレベル 3		バスレベル 4		自家用車レベル 3		自家用車レベル 4	
	Coefficient t	t-value	Coefficient t	t-value	Coefficient t	t-value	Coefficient t	t-value
定数項	0.492	2.60 **	0.322	1.73	0.527	2.80 **	0.323	1.73
男性中高年ダミー(40-59)	-0.306	-1.96 *	-0.242	-1.58	-0.241	-1.55	-0.184	-1.21
女性中高年ダミー(40-59)	-0.386	-1.96 *	-0.426	-2.17 *	-0.542	-2.76 **	-0.251	-1.29
男性高齢者ダミー(60-99)	-0.408	-2.19 *	-0.403	-2.17 *	-0.338	-1.81	-0.357	-1.92
女性高齢者ダミー(60-99)	-0.855	-2.50 *	-0.531	-1.56	-0.862	-2.50 *	-0.377	-1.11
車線維持支援装置利用者	0.549	2.62 **	0.519	2.58 **	0.585	2.82 **	0.438	2.20 *
動画情報：システムエラー	-0.074	-0.58	-0.238	-1.86	-0.250	-1.93	-0.307	-2.40 *
動画情報：ハッキング	-0.059	-0.45	-0.160	-1.24	-0.158	-1.21	-0.148	-1.15
動画情報：予期せぬ事態	0.090	0.69	0.089	0.69	0.115	0.89	0.075	0.59
尤度比	0.270		0.261		0.268		0.259	
サンプル数	1442		1442		1442		1442	

*, p<0.05, **, p<0.01, ***, p<0.001

(5) まとめ

本研究では、様々なリスク事象に対するリスク認知を比較する手法を提案した Slovic (1987)の研究参考に、2017年12月時点での AVs のリスク認知について検証を行った。その結果を以下にまとめる。

- ① AVs のメリットおよびリスク認知の関係性は既存の項目の傾向に沿ってメリット認知の方が優位であったので、実装の可能性が検証された。
- ② リスクの認知地図における分析結果では、AVs は未知性因子得点が高く、恐ろしさ因子得点は普遍的な数値を示した。このことから自動運転サービスに関するリスクの要因としては「未知である」という意味合いが強く、今後技術の未知性を補える情報や意見の交換が求められると考察された。
- ③ 動画組み合わせによる AVs のリスク分析では、ハッキングに対するリスク要素としては、恐ろしさ因子得点は高くなるという可能性が検証されたので、ハッキングによるテロや情報侵害を防ぐ技術を発展させることはもちろん、その恐れを緩和させるような施策を官民連携して行うことが重要であると考察された。

④ リスクの社会的受容性についての分析では、LKS（車線維持支援装置）利用経験者は受容性が高いため、技術が世間に浸透し、なじみ深いものとなっていくことで受け入れられやすくなると検証された。また、システムエラー及びハッキングの動画を視聴した人は受容性が低い傾向がみられたため、エラーを低減させること及び情報通信技術のセキュリティ強化を図ることでAVsの受容性を向上させることができると考察される。

5.2 仮想現実選択実験による自動運転バスとLRTの協調システムの価値の計測

(1) 仮想現実選択実験の目的

広島市では車車間通信および路車間通信システムを高度化させて、自動車、路線バス、路面電車の協調システムの構築に向けて各種事業を進めている。将来は、自動運転車を加えた安全で人に優しい交通システムの構築を目指している。こうした動きの中、本研究は路面電車と路線バス利用者（潜在利用者含む）を対象として、仮想現実（VR）を活用した新しいサービスの詳細を体感できる調査により、その受容性を計測することを目的とする。想定する新サービスは、自動運転走行の路線バスが路面電車軌道を走行することにより、PTPSによる信号待ち時間の減少や自動車交通の影響を受けない円滑な運行を可能とするものである。さらに、利用者は路面電車電停で両方の交通機関を利用可能となり、公共交通の運行頻度が増加するとともに目的地の選択肢も増加するメリットがある。

現存しない選択肢の需要予測には、従前よりSP調査が用いられてきたが、想定する仮想的条件を文章で説明するには限界があり、回答バイアスの削減努力がなされてきた。これに対し、事業前後のイメージを視覚的に表現することができ直感的な理解を助けるVRは、SP調査の課題を拡幅し、交通事業の円滑な合意形成を行うことが期待されている。本研究では、このVRの技術を利用しながらSP調査を併用することで被験者による更なる正確な回答を得ることが期待される。

公共交通利用者が上記のようなメリットに対して、図5-7のイメージ図に示すような未だ存在しない新しい自動運転バスとLRTの協調システム（協調型AB-Lシステム）に対する受容性がどの程度あるのかを計測することを目的とする。

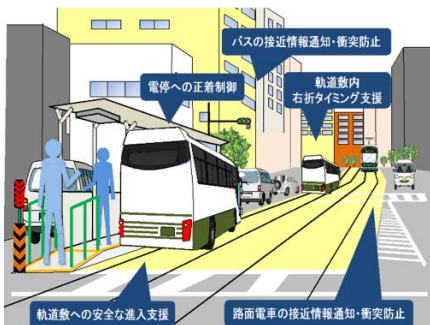


図 5-7 自動運転バスとLRTの協調システムのイメージ図

(2) 仮想現実選択実験の概要

広島市の路面電車起動と路線バスが並行して運行する舟入南交差点付近を対象として、自動運転バスがLRTと協調して軌道敷内を走行するVR選択実験を設計した。対象区間は図5-8の通りである。

VRゴーグルには図5-9に示す市販品（Acer社）を使用し、リアルタイム3D開発プラットフォーム上で世界中の開発者が使うVRおよびAR体験の開発ツールを提供しているVRソフト「Unity」で選択環境を開発した。開発した画面には、画像解像度の高度化、画像間のストーリーの一貫性、効果音の付加、注視点記録機能の追加などの工夫がなされている。

LRTと自動運転バスの異モード間協調サービスの社会的受容性について調べるために、2018年9～12月、交通関連イベント会場（広島バスまつり）及び平日の買物施設（フジグラン）において、15歳以上の合計90名のモニターを対象にVR選択実験を実施した。モニターは原則として自発的な参加者であり、VR体験終了後には、将来協調型AB-Lシステムが実現したときの選択意向を質問した。



図 5-8 仮想現実選択実験の対象道路区間



図 5-9 仮想現実選択実験で使用したVRゴーグル



広島バスまつり会場 フジグラン広島

図 5-10 仮想現実選択実験のシナリオ

(3) 仮想現実選択実験の手順とシナリオ

まず被験者に対して図 5-11 のパネルを利用して、図に示した5つのシーンの状況を説明する。すべての説明を終えた後に被験者に VR ゴーグルを着用させ、パネルで説明した5つのシーンを VR 体験させる。カメラとボイスレコーダーを用意し、VR を体験している間のモニターの注視点や言動を記録した。その後、①VR について、②自動運転について、③今回の VR 選択実験についてという大きく3点についてアンケート調査を行った。VR の前後で人々が自動運転バスに人々の異モード間協調サービスについての社会的受容性に対する印象がどのように変化するかによって人々の公共交通機関の選択がどのように変化がみられるのかを調べるためである。



図 5-11 仮想現実選択実験のフロー

VR 選択実験で被験者に体験させる VR 動画は大きく分けて、5つの想定状況に分かれている。

① 現状の上空鳥瞰シーン(図 5-12(a))

まず最初に被験者が体験するのは、現在の道路、信号機、電停、バス停及び周辺の土地利用など対象区間の全景を、走行する自動運転バスの上空から鳥瞰することができる。「このバスは道路を走っており、最後にバス停に止まろうとするものの前の信号機が赤信号であるために前の車が渋滞してバス停にたどり着かない」といった現状の交通課題がシナリオとして埋め込まれている。

② 現状の地上電停シーン(図 5-12(b))

次に被験者が体験するのは、現在の運行状況をバス停から見た視点である。実際にバス停に立って待っている被験者が、「バスが思ったように来ない」状況に対して被験者がどのように行動するかを調査する。

③ 将来の上空鳥瞰シーン(図 5-12(c))

3つめに被験者に体験してもらうのは、将来、自動運転バスが路面電車の軌道敷内を追従走行する協調型 AB-L システムを鳥瞰するものである。シナリオとしては、軌道敷内を LRT と共に自動運転バスが走り、両公共交通機関とも、現在の広島電鉄の舟入南町の電停で停車、乗客の乗降、乗り継ぎを経て、再び追従走行し、最後に自動運転バスは軌道敷内から車道へと移動する。

④ 将来の地上電停シーン(図 5-12(d))

4つ目に体験してもらうのは、3つ目のシーンを地上の電停で待つ乗客から見た視点からのものである。電停にいて実際に自動運転バスが来たら、どのように乗車するのかを把握することが出来る。

⑤ 将来の車内シーン(図 5-12(e))

最後に被験者に体験してもらうのは、協調型 AB-L システムを自動運転バスに乗った車内の視点を表したものである。

こうした VR ゴーグルで実際に被験者が見た体験動画の一連の流れの行動は動画とともに同期してパソコンに記録されており、かつ、VR 体験中に人々がそれぞれの場面でもどこを見ているかという注視点も自動的に記録される。これにより、実験後に人々がそれぞれの場面において、どこを注視し行動するかを分析することができる。また別途収集した体験前後のアンケート調査データとの関係性を調べることで、人々の協調型 AB-L システムに対する受容性を分析することが可能となる。

(4) 仮想現実選択実験前後のアンケート調査

この VR 選択実験の前後にアンケート調査を行い、協調型 AB-L システムに対する態度や利用意向の変化を調べた。アンケート調査は 19 題の質問から構成されており、第一部では、VR (バーチャルリアリティ) の知識や経験について聞くもので、被験者が VR の存在を知っているのか、また VR 利用経験の有無によって結果がどう変わるかを調べた。第二部では、自動運転技術に関する知識や経験についてである。被験者が自動運転という最先端の技術を知っているのか、また被験者が考える自動運転に対するメリットやデメリットを明確にして、被験者の自動運転に対する知識やその印象を明らかにした。第三部では、体験した VR 動画について、それぞれのシーンについて被験者がどう感じたかをありのままに答えてもらうように質問した。そしれ最後の問18で、

VR 体験前と VR 体験後で路面電車と自動運転バスどちらに乗ってみたいか? という交通機関選択について質問している。

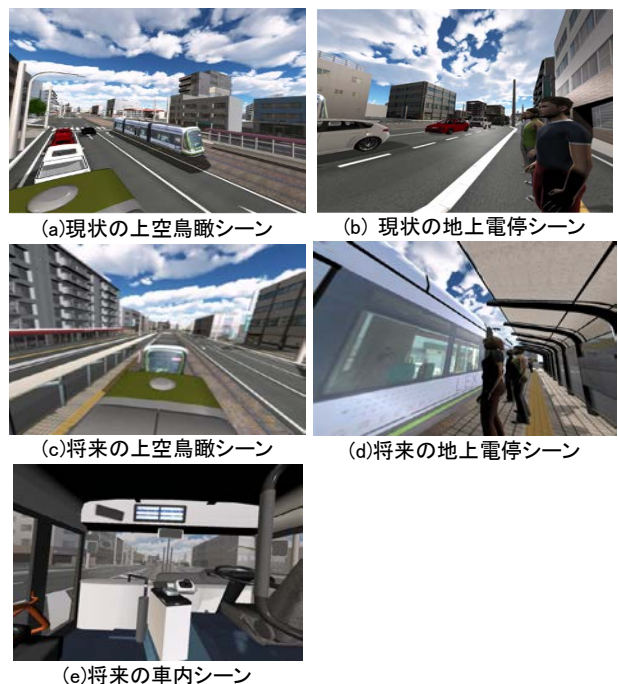


図 5-12 仮想現実選択実験のシナリオ

(5) アンケート調査データの分析結果

本アンケートの対象は 90 人であった。サンプル特性は図 5-13 に示す通りである。モニターの主な移動手段に関しては路線バスと自家用車が最も多く、次いで原付バイク、自転車であった。JR や路面電車を加えて、公共交通機関の利用者がモニター全体の 6 割と多く、今回の VR の調査対象である路面電車とバスを使用する人々が全体の 4 割を占めた。

VR (バーチャルリアリティ) に対する被験者の利用経験及び知識については、VR という技術を知っているモニターは 90 人中 80 人 (9 割) を占め、VR の認知度は高い。一方、過去に VR を使用した経験を有しているモニターは約 3 割に留まった。

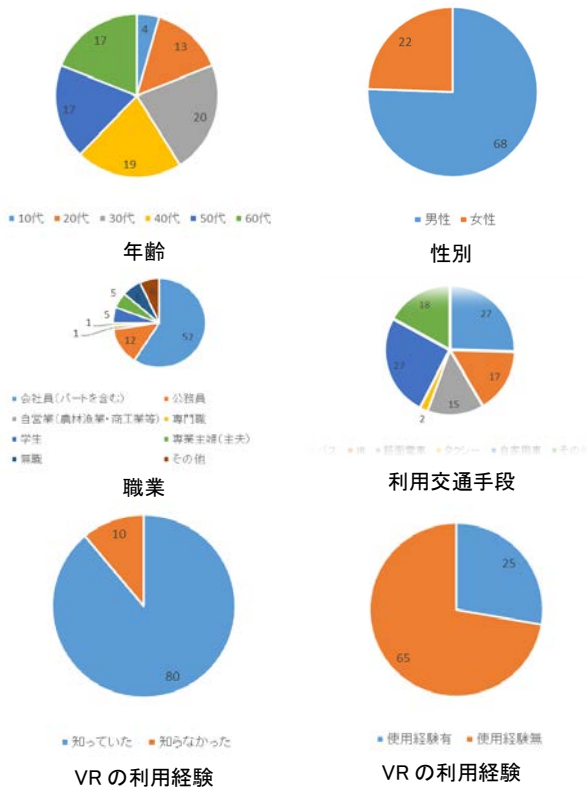


図 5-13 仮想現実選択実験のモニターの特性

アンケートでは被験者の自動運転に関する認識や人々の自動運転に対するメリット・デメリットの理解、それに加えて自動運転の導入の賛成の有無に関して被験者に対して質問した(図 5-14)。

自動運転という言葉を知っている被験者は 89 人中 84 人と多く、世の中への認知が広がっていることが分かった。また、6 割以上の被験者が自動運転の内容まで理解しており、今回の被験者の自動運転に対する関心の高さを理解することができた。

被験者が考える自動運転のメリットは、多いほうから順に「交通事故の減少」、「運転の手間を省ける」、「渋滞の緩和」であり、この 3 つで総回答の 8 割近くを占めた。一方、デメリットについて最も多くの回答があったのは、「予期せぬ事態の時の対応」と「車の故障時の対応」であり、全体の半数以上がこうした不測事態の対応について懸念を抱いている。

公共交通機関に自動運転を導入することに関しては有効回答 88 票のうち約 8 割に当たる 68 票が賛成を示した。本小サンプルのモニターに母集団代表性はないものの、自動運転の公共交通機関への導入に前向きである人がいることが確認された。賛成理由としては多様であり、多方面からメリットを感じていることが分かる。逆に反対する理由で一番多い回答が「システムエラーに関して恐怖を感じる」という点で過半数近くを占めた。「自動運転というシステム自体に不信感がある」という回答も次いで多く、この新しい技術の安全や安心に関して不信感を感じていることが明らかになった。

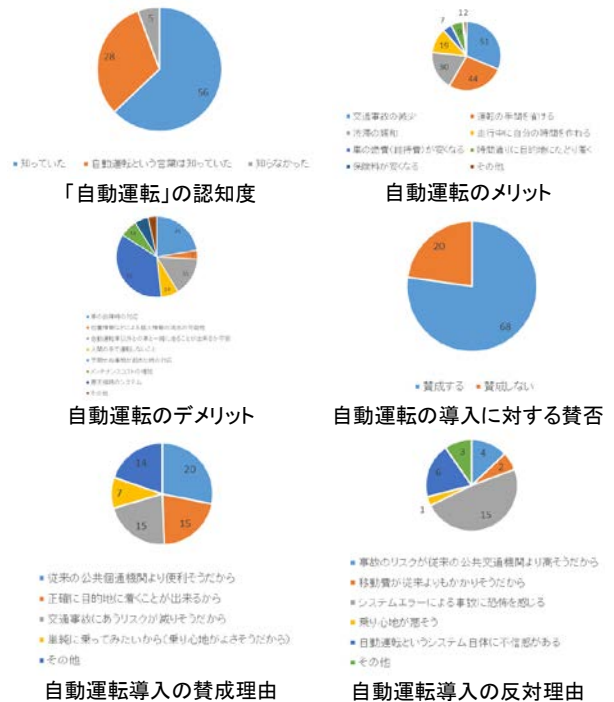


図 5-14 自動運転の認知と導入の賛否

最後に協調型 AB-L システムの選択意向について見ると(図 5-15)、全体の 8 割近くのモニターが利用意向を示した。この割合は与えられた情報内容が変わっても大きく変化するものではなかった。本モニターに関しては、同システムの利用について受容性が認められる。また、興味深い結果として、地上電停からのシーンを体験して、「路面電車が来なければ、自動運転バスを使ってみよう」という意思を持っている被験者が 48 人で全体の半数以上を占めた。また、「路面電車が同時に来た場合、自動運転バスに乗車する」と答えた被験者が 23 人と相対的に多く、自動運転バスが導入された場合、公共交通機関の中でも自動運転バスを選択的に利用する層が存在することがわかる。

また図 5-16 の結果より、VR 選択実験の経験がモニターの協調型 AB-L システムに対する選択意向に高める効果があることが確認された。自動運転バスの利用に対して正の回答を示した割合は 80%を数え、自動運転バスの分担率は VR 実験前後で 29%から 52%に増加した。これは本章前節のリスク認知の分析から得られた「人は自動運転技術に対して未知性(未知のリスク)を

感じている」ことと整合性があり、VR 選択実験を経験することで未知性が緩和されたものと考察できる。



図 5-15 自動運転の利用意向

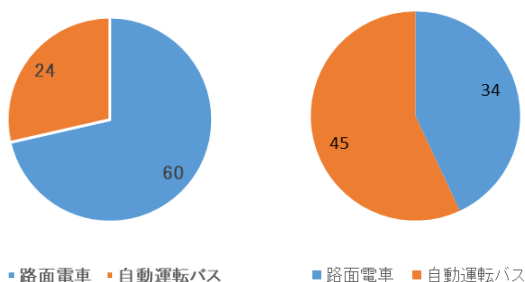


図 5-16 VR 選択実験前後の自動運転選択意向の変化

(6) VR 注視点分析

この節では被験者が VR 選択実験体験中に目を向ける注視点に焦点をあてる。ここで注視点とは、モニターは目が向けられた対象画像の中心(各画像に残る白い丸)を注視していると仮定し、時々刻々移動する視点を動的に分析したものである。

まず、VR 選択実験の開始当初は、各モニター共通の動きが見られる。多くのモニターはまず初めに自動運転バスの周囲と自分の足元を確認することである。これは今回の公共交通機関のバスの世界にきたことで周囲の環境を確認したり、バスの真上にいるので自分の安全を確認しようとしていたりすることがそのような反応が現れたもので思われる。つぎに、バスが動き始めると同時に被験者の注視点(白い丸)が細かくぶれる。これはバスの移動に関して恐怖や違和感を感じ、移動している間も周囲の環境を確認しているためと思われる。

また、信号のためにバスが停止した時、被験者の多くはバス停を見たり、その後にバス停の先にある信号機の方向を見たりすることが少なくない。一方、信号機により停車している途中に LRT が軌道敷を走行し始めても、多くの被験者は特に気にかけることなく信号機に注目していた。これは被験者が目の前の渋滞している車の先にある信号が変化するのを待ち続けていたと推察される。また、被験者は信号をまちつづけていることに集中して過ぎ去る LRT にはあまり意識していないことも同時にわかった。今後、データの蓄積が欠かせないが、このように、仮想空間であってもある程度現実と同じような注視行動を行うことが確認されたことは、VR 選択実験データの内部妥当性を一部裏付ける証拠になるものと考えられる。



図 5-17 被験者の注視点

(7) まとめ

VR 選択実験の結果から被験者を通して、一般の人々に対して自動運転を用いた公共交通機関の受容性を見ることに成功した。得られた知見は以下のとおりまとめられる。

- ① VR 選択実験前後自動運転バスの選択意向が高まることを確認した。これから SP 調査を行う前後で VR を見せることで人々の選択肢に一定の影響を与えた。これは、協調型 AB-L システムのような新しいサービスを地域住民へ説明する際に VR 技術を適切に使用すれば理解を高めることができる可能性を示唆するものである。
- ② VR 選択実験後のアンケートにおいてネガティブな選択肢を選んだ被験者が一定数存在した。その多くが、VR 選択実験中に視点が安定せずに細かく震えていた。このことから自動運転バスに対して、体験中に少なからず恐怖心を抱いており、それが自動運転バスの導入に対してマイナスな方向に働いたことが推測される。
- ③ 情報提供内容の異なる 1~5 のシナリオにおいて、協調型 AB-L システムの選択に 1 回でもネガティブな選択肢を選んだ被験者は 36 人(全体の 4 割)いる。与えられた情報のフレーミング効果については、サンプル数を増やし一層の統計分析が必要である。
- ④ VR 選択実験の動画の質、1 回あたりの所要時間(平均 10 分程度)など、被験者の声を取り入れて改善する必要があると思われる。

5.3 公道実証実験による自動運転バスと LRT の協調システムの価値の計測

(1) 研究の背景と目的

現下の社会情勢を前節では Connected 公共交通システム(自動運転バス、路面電車の異モードが電停を共有して連携するシームレスなマルチモーダルサービス)の仮想現実(VR)を活用した選択実験を行い、選好意識調査による自動運転、Connected 公共交通システムの社会的受容性の計測を実施した。本節では、仮想現実

(VR)で設定した環境を現実空間に置き換え、路面電車と協調して軌道敷内を走行する世界初の自動運転バスの公道実証実験とモニター調査を実施し、自動運転、Connected 公共交通システムに関する社会的受容性について確認することを目的とする。

(2) Connected 公共交通システムのイメージ

実証実験の対象地となる広島市の都心では、国内最大規模の路面電車ネットワークを有し、路線バス 12 社の路線が集中している。現状の路面電車と路線バスを乗り継ぐ場合、電停からバス停への乗継移動が発生し、切り込みの無いバス停では、バス停車中に後続の一般車両の走行を阻害し滞留が発生する。本研究で想定する Connected 公共交通システム(協調型 AB-L システム)は、路面電車と路線バスが電停を共有して連携することで、利用者の乗継移動の解消や、一般車両への交通阻害を緩和するサービスを想定している(図 5-17)。また、路線バスは軌道敷進入・退出や、軌道敷の狭いエリアで安全な走行が要求されるため、本研究では近年技術開発の進む自動運転技術の活用を想定した。

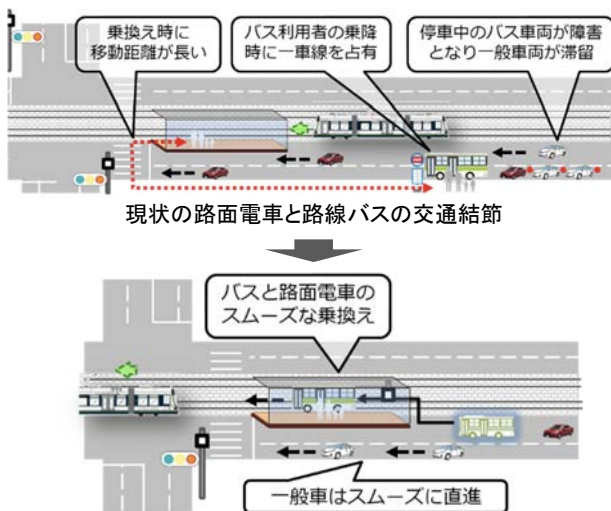


図 5-17 路面電車と路線バスが電停共有した交通結節

(3) Connected 公共交通システム実証実験の概要

実証実験は以下の日程で行った。実証実験の実施時間帯は、公共交通機関(路線バス、路面電車)の営業終了後とした。

- ◆ 実施日:2019年11月16日(土)~17日(日)
- ◆ 実施時間帯:23:00~5:30(通行規制準備 1h, 片付け 1hを含む。)

※11月12日(火)~14日(木)に、実証実験コースの電波状況の確認、制御システムの動作確認、軌道敷上での制動距離の確認、実証実験コースの走行データの取得等を、23:50~5:30(通行規制準備 1h, 片付け 1hを含む)で実施した。

実証実験に用いた自動運転バスは、日野ポンチョ型(図5-18、図5-19)とした。

- ◆ 乗車人数:定員28名、着座8名(安全上、公道実証実験時は着座のみで実施)
- ◆ 全幅、全高、全長:2,080mm(全幅)×6,990mm(全長)

×3,100mm(全高)

- ◆ 走行速度:速度維持制御(最高40km/h)
- ◆ 自動走行システム:車線維持制御(GNSS(GPS))、速度維持制御(ACC, PCS機能)、車線変更制御、バス停止着制御

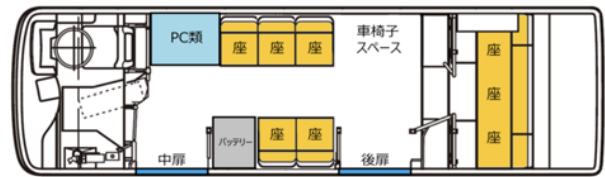


図5-18 自動運転バスの座席配置



(車両情報:先進モビリティ株式会社資料)

図5-19 自動運転バス

実証実験では、軌道敷乗り入れ区間の舟入川口町電停に路面電車(図 5-20)を配置し、自動運転バスの電停での路面電車後方の自動停止と、路面電車発車後の自動追従走行を実施した。



図 5-20 路面電車(グリーンムーバーLEX(1000 形))

自動運転バスの軌道敷乗り入れは、広島電鉄舟入川口町下り電停(L≒25m)を含む軌道敷乗り入れ区間(L≒225m)で実施した。モニターは運営本部で乗降し、運営本部から軌道敷乗り入れ区間の周回ルート(往路L≒1.9km、復路L≒1.0km)は手動運転により運行した。運営本部から交通規制をかけた軌道敷乗り入れ区間(実験区間)までは自動運転バスを手動運転とし、軌道敷乗り入れ区間内で自動運転に切り替えて走行した(図5-21、図5-22)。自動運転バスの公道走行実験(軌道敷乗り入れ~電停停車~軌道敷退出)のイメージは図5-23、図5-24のとおりである。

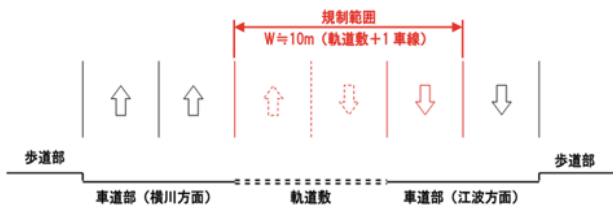


図 5-21 軌道敷乗り入れ区間横断イメージ(A-A 断面)

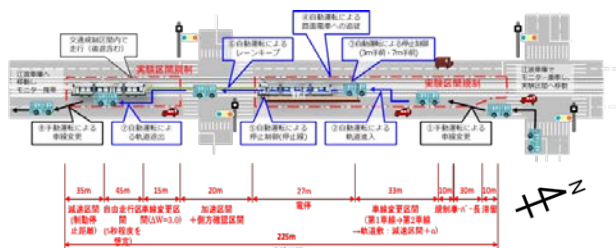


(この地図は、地理院地図(電子国土 Web)を使用したものである。)

図 5-22 軌道敷乗り入れ区間(交通規制範囲)



図 5-23 江波方面から舟入川口町電停を望む(南→北)



(軌道敷乗り入れ区間(L=225m)について交通規制を実施。軌道敷乗り入れ区間内の走行速度は時速15km以下とした。)

図 5-24 公道実証実験イメージ(軌道敷進入～電停停車～軌道敷退出)

(4) 実証実験の事前準備

ルート事前確認、地元警察等からの助言等と、「自動走行システムに関する公道実証実験のためのガイドライン 平成 28 年 5 月(警察庁)」⁵⁾を参考として、公道実証実験の実施前に表 5-6 の安全確認措置を行い、自動運転バスが安全に軌道敷上を走行可能であることを確認した。

公道実証実験実施前の安全確認措置では、主に表 5-7 の事項について状態を確認し、自動運転バスが軌道敷上を安全に走行できることを確認した上で、公道実証実験を実施した。

表 5-6 自動運転バスの走行に関する安全確認措置

	主な内容
実験実施前	【措置①:9/26(木)午後】 ・ 実証実験コースの電波状況、周回コースの道路状況等の確認 【措置②:11/12(火)朝夕】 ・ 路面電車車両車庫にて、実験で用いる車両と同形の路面電車を配置し、車両認識等の制御システムとの動作確認と、軌道敷での自動運転バスのブレーキ操作時における制動状況等を確認
	【措置③:11/12(火)23:50～13(水)5:30, 11/13(水)23:50～14(木)5:30 ※交通規制実施後】 ・ 実証実験コースにて走行データを作成し、路面電車を配置しない状態で走行データ通りに自動運転バスが走行できるかを確認。
実験当日	【措置④:11/16(土)※交通規制実施後、実験開始前】 ・ 実証実験コースにて路面電車を配置し、実験前に作成した走行データ通りに自動運転バスが走行できるか自動走行の安全性を最終確認。

表 5-7 自動運転バスの安全確認事項

項目	確認事項
実験実施前	<ul style="list-style-type: none"> バス扉の開閉時に乗降場に接触しないか
車両走行位置	<ul style="list-style-type: none"> 軌道の凹凸でステアリングを取られることはないか 軌道の凹凸で電停上屋等に接触することはないか
ACC (Adaptive Cruise Control)	<ul style="list-style-type: none"> 路面電車後方に2段階で停車できるか(1段階:6m後方で停止, 2段階:3m後方で停止)

自動運転バスの軌道敷上の走行確認では、図5-25の2ケースで電停乗降場に接触しない走行位置を検討した。走行確認の結果、Case 1の車両走行位置では路面に凹凸のある路面上を走行することになるが、バス扉の開閉、ステアリングへの影響等に問題がないことを確認した(図5-26、図5-27)。

なお、電停に近接して正着するための電停に寄せた走行は、走行中のステアリングへの影響を考慮した場合に乗降場側面からバス前輪内側までの間隔が最低483mm必要となるが、軌道上の凹凸形状の無い幅が約400mmしか無いことから(図5-28)、バスの乗降場接触の可能性を回避するため、今回の実証実験では内寄りの走行は実施しなかった。

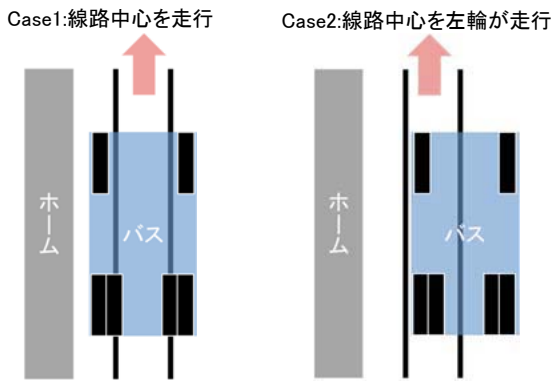


図 5-25 車両走行位置



図 5-26 車両走行位置 (Case1:線路中心を走行)



図 5-27 電停への正着状況 (Case1:線路中心を走行)



※前輪タイヤ内側から車両側面まで283mm, GPS精度は±150 mm, ドア開閉には50mm程度必要

図 5-28 電停寄りを走行した場合の軌道敷の状況

(5) 実験中の安全対策

実験中は、実験車両の正面、背面及び側面に「自動走行システム実証実験中」プレートを表示した(図5-29, 5-30)。また、実験車両にはドライバー1名、オペレータ1名を配することで、障害物回避等危険と判断された場合は、ドライバー、又はオペレータによる強制停止措置を行うこととした。

実証実験中の周辺交通、実証実験関係者等の安全確保のため交通規制を実施した(図5-31, 5-32)。軌道敷乗り入れ区間の軌道敷と市道1車線をカラーコーンで囲い交通誘導員を配置することで、一般車両が軌道敷内へ進入することのないよう配慮した(図5-33)。



図 5-29 実験車両の「自動走行システム実証実験中」表示

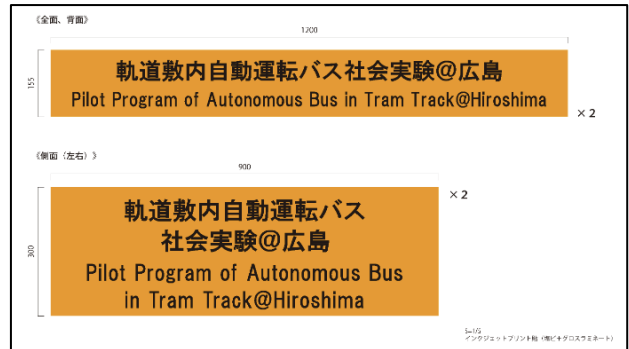


図 5-30 「自動走行システム実証実験中」プレート



図 5-31 舟入川口町交差点付近の交通規制状況

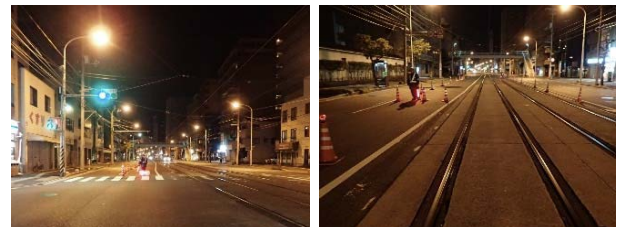


図 5-32 舟入川口町電停交差点～実験終点部の交通規制状況

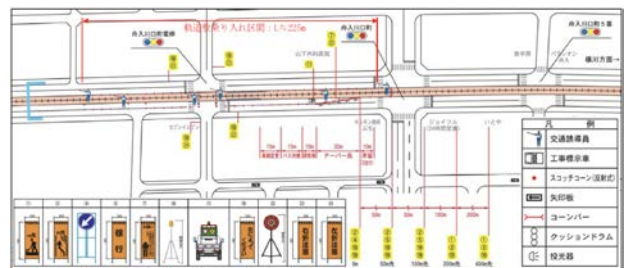


図 5-33 軌道敷乗り入れ区間の交通規制

実証実験は夜間の交通規制を伴った実施のため、町内会を通じて規制日時、場所、内容を周辺住民に周知した。また、報道機関に対して実験に関する事前説明会(2019.11.5)と、実験当日(2019.11.16～17)の取材に関する広報を実施した。

表 5-8 実証実験実施の広報

実施日	内容	実施方法と対象
2019.10.24	実証実験に伴う交通規制について	チラシの回覧、掲示周辺住民(舟入川口町、西川口町、舟入南1丁目～4丁目)
2019.10.29	事前説明会について	広島大学HP掲載報道機関
2019.11.15	実験当日の取材について	同上

(6) 実証実験の実施

Connected 公共交通の実証実験は、交通規制の準備・撤去を除いた 0:10～4:20(4 時間 10 分)で行った。この中で、モニター試乗は 1 回の自動運転バス試乗時間を約 25 分として設定し(表 5-9)、1 回当たり 8 人の試乗を 9 回繰り返し全 72 名のモニター試乗を行った(表 5-10)。

表 5-9 モニター試乗の工程(設定時間: 約 25 分)

- ① モニター乗車(運営本部) (図5-34(a))
- ② 手動運転によるバス移動(運営本部→軌道敷乗り入れ区間)
- ③ バス自動走行(出発点から軌道敷進入→電停で路面電車後方停止) (図 5-34(b), 5-34(c))
- ④ 電停後部でモニター降車
- ⑤ 路面電車の発進後、バスの路面電車後方自動追従(電停後部から電停前部で停止) (図5-34(d))
- ⑥ 電停前部でモニター乗車(図5-34(e))
- ⑦ バス自動走行(軌道敷退出→終点停止) (図5-34(f))
- ⑧ 手動運転によるバス移動(軌道敷乗り入れ区間→運営本部)
- ⑨ モニター降車(運営本部)



図 5-34 モニター試乗の工程写真

(7) 自動運転バスの走行結果

試乗 9 回の走行関係データ(走行位置、走行速度、側方誤差、縦加速度、横加速度)を図 5-35 に示す。走行速度を見ると、ACC による路面電車後方での 2 段階の停止時、軌道敷退出時で各走行のバラツキが見られた(図 5-35 Velocity)。これは、電停付近の周囲構造物、警備員、交通規制のためのカラーコーンへのセンサー

の認識誤差によるものと考えられる。側方誤差を見ると、電停区間で左側に寄ることが多く、各走行でバラツキも見られた(図 5-35 Lateral error)。これは、電停付近の軌道敷の凹凸路面性状の影響と考えられる。縦加速度を見ると、電停からの発信時、軌道敷退出後の車道走行時に最大約±0.1G が見られた(図 5-35 Accel(front-back))。横加速度を見ると、軌道敷進入時、退出時で最大約±0.05G が見られた(図 5-35 Accel(side))。

表 5-10 実証実験の工程 (2019.11.16～11.17)

時間	11/16		11/17				
	23時	0時	1時	2時	3時	4時	5時
交通規制準備・撤去			実証実験可能時間帯 (0:10～4:20)				
実証実験 (モニター試乗)							

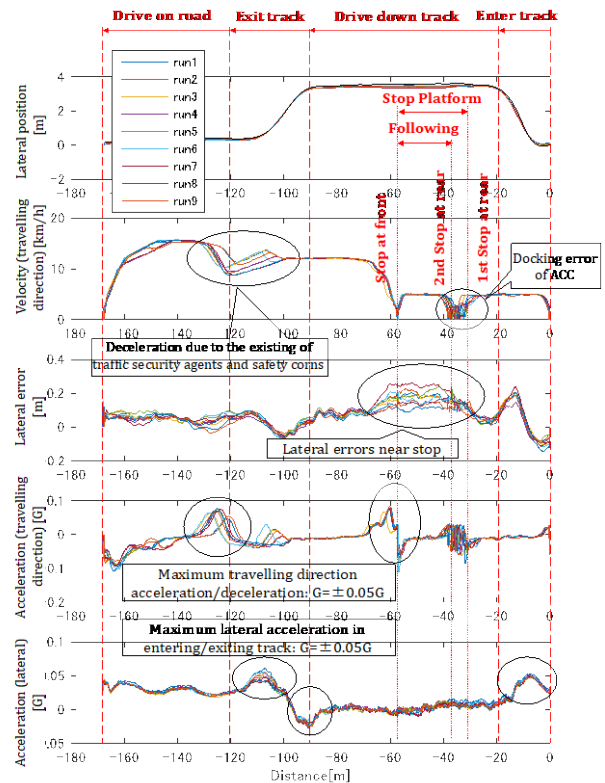
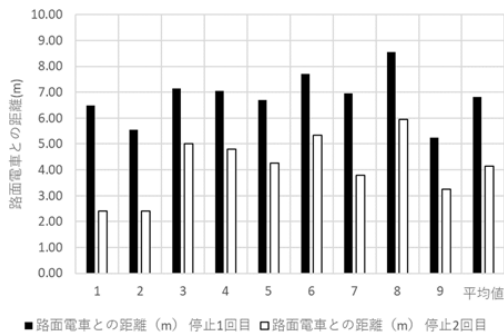


図 5-35 走行関係データと停車距離

電停で実施した路面電車後方での ACC による自動運転バスの 2 段階の自動停車状況を図 5-36 に示す。目標とした路面電車との離隔距離は、1 回目の停止で 6m、その後徐行で路面電車に接近し 2 回目の停止で 3m と設定した。目標値の誤差は 1 回目の停止で -0.75m～2.55m、2 回目の停止で -0.60m～2.95m が発生し、各走行の停止車間距離でややバラツキが見られた(表 5-11)。これは認識センサーの誤差による周囲構造物等

への反応と、ブレーキ制御の減速処理の誤差が要因と考えられる。



※停止制御は1回目の停止位置を路面電車の6m手前、2回目の停止位置を路面電車の3m手前を設定した

図 5-36 路面電車後方の停止車間距離

表 5-11 路面電車後方の停止車間距離

RUN	DATE	路面電車との距離 (m)		目標値との誤差 (m)		走行距離 停止1回目～ 停止2回目
		停止1回目	停止2回目	停止1回目 (6.0m)	停止2回目 (3.0m)	
1	2019/11/17 0:47	6.50	2.40	0.50	-0.60	4.10
2	2019/11/17 1:11	5.55	2.40	-0.45	-0.60	3.15
3	2019/11/17 1:36	7.15	5.00	1.15	2.00	2.15
4	2019/11/17 2:02	7.05	4.80	1.05	1.80	2.25
5	2019/11/17 2:26	6.70	4.25	0.70	1.25	2.45
6	2019/11/17 2:51	7.70	5.35	1.70	2.35	2.35
7	2019/11/17 3:16	6.95	3.80	0.95	0.80	3.15
8	2019/11/17 3:42	8.55	5.95	2.55	2.95	2.60
9	2019/11/17 4:06	5.25	3.25	-0.75	0.25	2.00
平均値		6.82	4.13	0.82	1.13	2.69
最小値		5.25	2.40	-0.75	-0.60	2.00
最大値		8.55	5.95	2.55	2.95	4.10

(8) Connected 公共交通のアンケート調査結果

Connected 公共交通の実証実験にあわせて、参加したモニターを対象として自動運転バス試乗前後のアンケート調査(以下、モニター調査)を実施した。このモニター調査は72名という限られたサンプルに基づく調査であるため、モニター調査結果の一般性を確認するため、あわせて一般市場調査を実施した。

一般市場調査とモニター調査の関係は表5-12のとおりである。モニター調査の事前調査と事後調査の結果を比較することで、Connected 公共交通システムの試乗体験前後におけるリスク認知や利用意向の変化を追跡できる。一方、事前調査において、モニター調査と一般市場調査の結果を比較することで、Connected 公共交通システムに対するリスク認知や利用意向のサンプル偏りを検出し、必要であれば偏向修正を行うことができる。



図 5-37 モニターアンケート調査の様子

モニター72名に対するアンケート調査は、自動運転バス試乗体験の実施前と実施後に、自動運転バスの軌道進入と路面電車電停の共有に対する社会的受容性を確認するために行った。

表 5-12 モニター調査と一般市場調査の関係

	モニター調査	一般市場調査
事前調査	<ul style="list-style-type: none"> 個人属性 自動運転バスに対する知識、リスク認知 現在の交通行動 Connected 公共交通に対する利用意向 	<ul style="list-style-type: none"> Connected 公共交通システムの乗車前後におけるリスク認知や利用意向
事後調査	<ul style="list-style-type: none"> 自動運転バスに対するリスク認知 Connected 公共交通に対する利用意向 	—

まず、年齢構成は、「30歳代」を除きほぼ均等な人数構成となった(図5-38)。性別構成は、「男性」が83.3%を占めた(図5-39)。

バスの利用頻度は「月に1回程度」31.9%、「2週間に1回程度」16.7%の順で多くなっている。なお、「利用しない」は6.9%となった(図5-40)。路面電車の利用頻度は「月に1回程度」29.2%、「利用しない」27.8%の順で多くなっている(図5-41)。

自動運転技術に対する認識について試乗前後で比較すると、自動運転バスのメリットは「交通事故が減少する」が試乗前後で最も多い。なお、「渋滞が緩和する」と答えた人は、試乗前後で19.4%増加した(図5-42)。一方、自動運転バスのデメリットは「予期せぬ事態が起きた時に柔軟に対応できない」が試乗前後で最も多く、試乗前後で12.5%増加した(図5-43)。

自動運転バス導入への賛否について試乗前後で比較すると、自動運転バスの導入について試乗前で93%が「賛成する」と答えており、試乗前後で更に4.2%増加した(図5-44)。同様に、自動運転バス導入時の利用意向を見ると、試乗前で68%が自動運転バスを利用すると答えており、試乗前後で更に4.2%増加した(図5-45)。

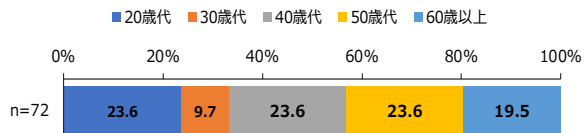


図 5-38 モニターの年齢構成

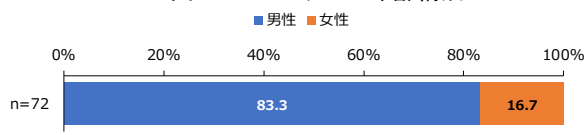


図 5-39 モニターの性別構成

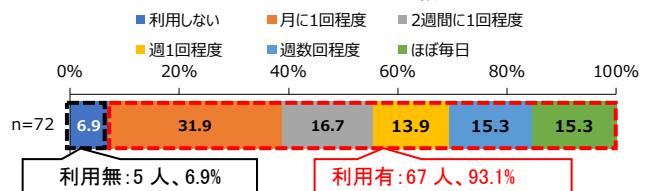


図 5-40 バスの利用頻度

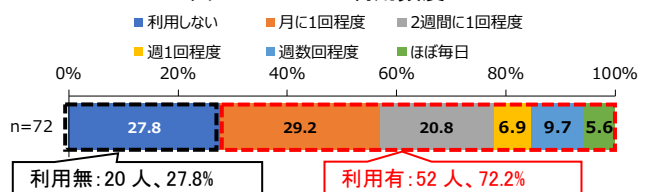


図 5-41 路面電車の利用頻度

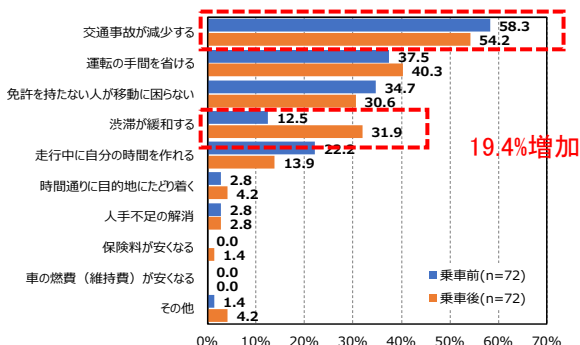


図 5-42 自動運転バスのメリット

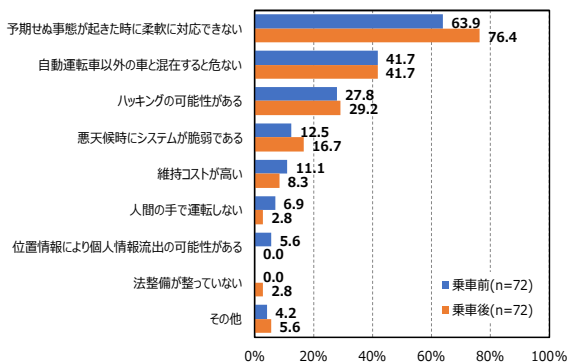


図 5-43 自動運転バスのデメリット

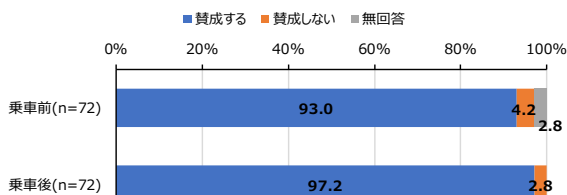


図 5-44 自動運転バスの導入について

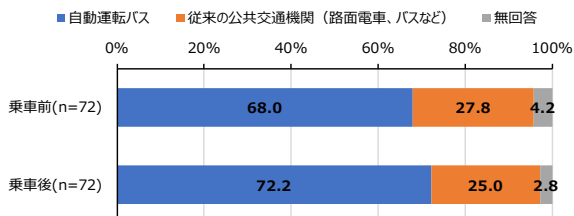


図 5-45 自動運転バスの利用意向

自動運転バス軌道敷内走行について、「安心して乗れる」、「交通事故にあうリスクが減る」、「路面電車との乗り継ぎが楽になる」の項目に対して肯定的な意見が多い(図 5-46)。

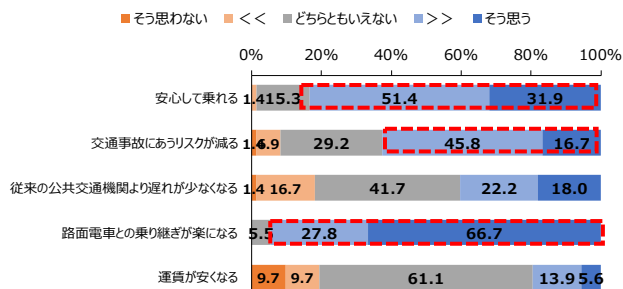


図 5-46 自動運転バスの軌道敷内走行について

次に、一般市場調査の分析結果を見てみる。一般市場調査は、限られた参加者によるモニター調査の一般性を確認するために行った。一般市場調査は、2020年3月6日～9日の間、広島県在住の住民を対象としてWeb調査で実施した。有効サンプル数は1035名であった。

まず被験者の個人属性について、年齢構成は、「20歳代以下」を除きほぼ均等な人数構成となった(図 5-47)。性別構成は、「男性」が54.1%、「女性」が45.9%となった(図 5-48)。

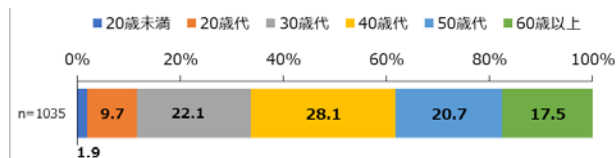


図 5-47 年齢構成

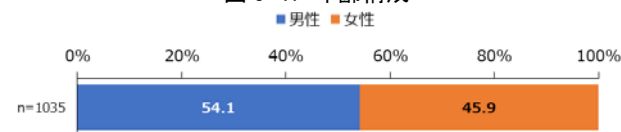


図 5-48 性別構成

移動運転技術に対して、「自動運転という言葉は知っていた」を含めて80%以上の住民が認知していることがわかる(図 5-50)。

自動運転技術のメリットに関しては、「交通事故が減少する」、「運転の手間を省ける」が多く(図 5-51)、デメリットは「予期せぬ事態が起きた時に柔軟に対応できない」が77%と高い(図 5-52)。メリット、デメリットともモニター調査と同様の傾向にある。

実証実験を行う自動運転バスの導入に対する賛否は、70%が賛成、30%が反対を表明した(図 5-53)。賛成の理由としては「交通事故の減少」が非常に高く(図 5-54)、反対の理由としては「システム自体への不信任」、「システムエラーによる事故の恐怖」が高い値を示した(図 5-55)。興味深いことに、公共交通機関の利用者のうち、従来の公共交通機関と自動運転バスの選択意向は、各々50%ずつと二つに分かれた(図 5-56)。

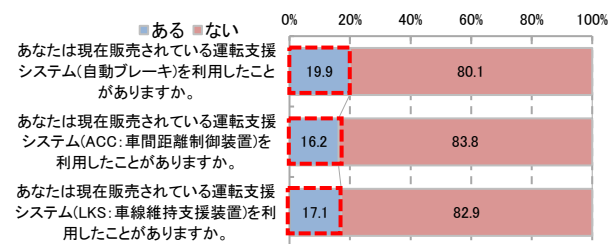


図 5-49 運転支援システムの利用経験

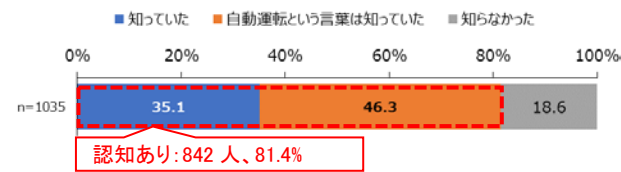


図 5-50 自動運転に関する認知度

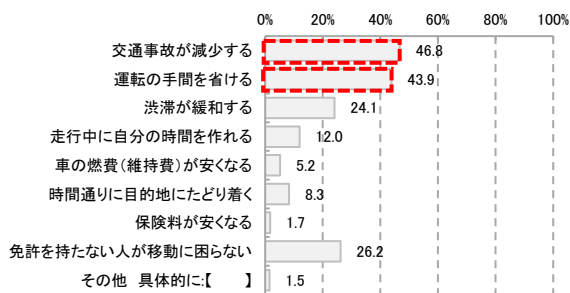


図 5-51 自動運転技術に関するメリット

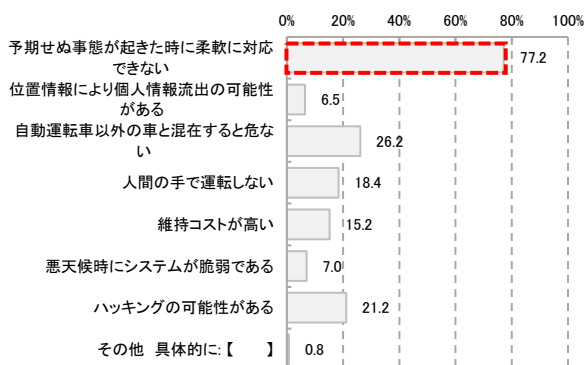


図 5-52 自動運転技術に関するデメリット

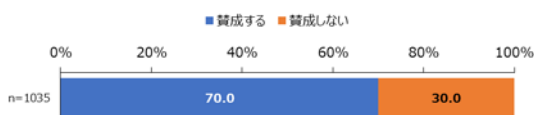


図 5-53 自動運転バスの導入について

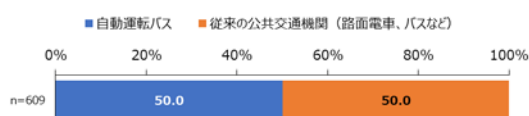


図 5-54 公共交通機関利用者の自動運転バスの選択意向

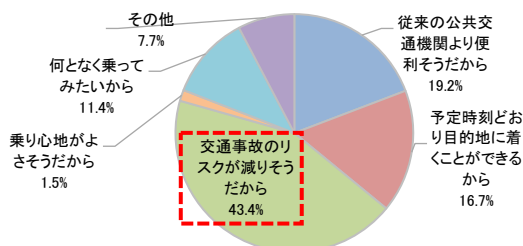


図 5-55 自動運転バス導入賛成の理由

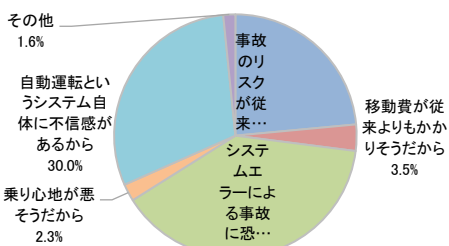


図 5-56 自動運転バス導入反対の理由

(9) 終わりに

本研究では、自動運転バスが車道から軌道敷内へ進入し、電停で路面電車後方に自動停止、追従走行した後、再び車道へと退出する一連の走行行程を実体験す

る、世界で初めての Connected 公共交通システムの公道実証実験を通じ社会的受容性を確認した。結果として、従来の公共交通と比較して自動運転バスが社会実装された後に利用意向をもつ住民は 70%を超えており、社会的受容性は十分に高い。特に、体験後には渋滞緩和効果への期待が高まることが示された。一方、乗務員がおらず予期せぬ事態への対応ができないことに対する不安が高く、社会への普及に向けて自動運転のリスクを払拭するための技術開発が求められることが明らかになった。Connected 公共交通システムのような「質の高い交通」サービスが実現することで、都市の移動環境、居住環境が変容し、今後のまちづくりに変革をもたらす可能性があると考えられる。

5章の参考文献

- 1) Slovic, P. (1987) Perception of Risk, Science, 236 (4799), 280-285.
- 2) 谷口綾子, 富尾祐作, 川崎優旗, Marcus Enoch, Petros Ieromonachou, 森川高行 (2017) 自動運転システムの社会的受容-賛否意識とリスク認知に着目して-, 第 56 回土木計画学研究発表会講演集.
- 3) 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)自動走行システム研究開発計画、2018 年 4 月 1 日 内閣府政策統括官(科学技術・イノベーション担当).
- 4) 安田万里, 藤原章正, 力石真(2019)自動運転技術のリスク認知に関する実証分析, 日本都市計画学会中国四国支部都市計画研究講演集, 16, 41-42.
- 5) 警察庁(2016) 自動走行システムに関する公道実証実験のためのガイドライン, 平成 28 年 5 月

第6章 まとめ

5.1 研究の総括

本研究で得られた知見を以下の視点で集約する。

(1) 交通時間短縮の価値に関する知見

① 過疎地域における貨客混載サービスに対する多様な時間短縮価値の計測

時間価値の異なる多様な利用者が同乗する貨客混載サービスの運行経路の最適化手法を開発した。

② 自動運転車内のマルチタスク行動が居住地選択行動に及ぼす影響の計測

レベル5の完全自動運転車では移動中にマルチタスクが可能となり、旅行時間に対する抵抗感が低くなる特性が都市構造の変化を招く可能性があることを示した。

③ グリーン・スロー・モビリティサービスの利用価値の計測

低速で移動し環境に優しいグリーン・スロー・モビリティサービスの利用価値を計測し、中山間地域においてGSMの導入の有用性を確認した。

(2) アクセシビリティ改善の価値に関する知見

① 高齢者の自動車運転免許返納のための診断システムの開発

認知症等の疾患が進行した高齢ドライバーが、自動車運転免許を継続して保有し、運転することの妥当性を計測するための診断システムを開発した。

② アンメットニーズに基づく高齢者の運転免許保有の価値の計測

高齢ドライバーが運転免許保有を継続することの価値を交通手段選択モデルにより計測した。

③ 自動車運転免許返納に関する世帯の意思決定構造の計測

高齢者当人と家族との間のコミュニケーションを通じた集団意思決定構造を組み込んだ免許返納行動モデルを構築し、その有効性を検証した。

④ 中山間地域におけるライドシェアの成立可能性の計測

運転者と利用者のミーティングポイントを設け、活動

スケジュール制約のなかで運行するライドシェアの成立可能性を計測するシミュレーションモデルを構築した。

3. コネクティビティ改善の価値に関する知見

① 自動運転車のリスク認知と社会的受容性の計測

自動運転技術に対するリスク認知マップの構築し、住民は自動運転車に対して他のどの科学技術よりも未知のリスク認知度が高いことを示した。

② 仮想現実選択実験による自動運転バスとLRTの協調サービスの価値の計測

仮想現実選択実験を通して、現存しない自動運転バスとLRTの協調サービスの価値を計測した。

③ 社会実験による自動運転バスとLRTの協調システムの価値の計測

世界で初めての自動運転バスとLRTの協調システムの社会実験を実施し、自動運転バスの走行精度と自動運転バスに対するリスク認知や利用意向を計測した。

5.2 今後の展望

2019年度に実施した自動運転バスとLRTの協調サービスの実証実験では、社会的受容性が確認され、技術的側面からシステムの導入可能性を検証することができた。今後も、条件の異なる多様な都市でConnected交通サービスの検証の蓄積が望まれる。また、2017年度に検討した中山間地域で運行する貨客混載サービスでは、時間価値の異なる利用者がひとつのサービスを共同で利用するときのサービス水準の決定原理として、功利主義やマクシミン原理などの適用性について検討した。合理的な意思決定ルール的一般化を図り、交通政策への判断基準の提案へとつなげる必要がある。

最後に、バーチャルリアリティを用いた仮想選択実験は、未知の先端的な開発技術を安全に社会に実装するための倫理観を醸成したり、利害関係者が立場を超えて相互にリスクコミュニケーションとる機会を提供したりする、有用なPIツールになる可能性を示唆した。

(2020年7月受理)

(2020年7月31日受理)