

# 小型自動運転車による中量輸送システム導入 に関する基礎的研究

町田 弦<sup>1</sup>・中村俊之<sup>2</sup>・山本 俊行<sup>3</sup>・森川高行<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 非会員 (〒510-0826 四日市市赤堀 2-7-6)

E-mail: genn1997@yahoo.co.jp

<sup>2</sup> 正会員 名古屋大学特任准教授 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

E-mail: tnakamura@mirai.nagoya-u.ac.jp

<sup>3</sup> 正会員 名古屋大学教授 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

E-mail: yamamoto@civil.nagoya-u.ac.jp

<sup>4</sup> 正会員 名古屋大学教授 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

E-mail: morikawa@nagoya-u.ac.jp

本研究では愛知県名古屋市守山区のガイドウェイバス路線を対象に現状の課題点を明らかにし、小型公共交通車両 (personal rapid transit: PRT) の自動運転サービス導入による課題の解決およびより良い価値提供の可能性について検討した。さらに実際の利用シーンを想定した仮想調査データを用いて交通手段選択モデルを作成し、分析を行った。その結果、現状の課題点に対して PRT でのより大きな価値提供が可能なること、PRT の利用選択に影響のある現在の利用交通手段・費用の感度を明らかにした。

**Key Words:** Autonomous Vehicles, Public Transportation, PRT, Travel Mode Choice Model

## 1. 序章

### (1) 研究背景

現在、我が国の都市部では朝夕の通勤・通学時におけるバス・電車の甚だしい混雑状況が依然として問題であり、公共交通機関の価値を下げる一因となっている。さらに、昨今のコロナ禍の影響もあり、混雑緩和への要望は大きくなっている。環境負荷の低い交通手段への転換を図るモーダルシフトの観点からも、公共交通機関の価値向上が重要となってくる。課題の解決に向けて大きく期待されるのが自動運転技術の導入である。

近年、自動運転技術の導入によって公共交通の課題を解決しようという試みが多くあり、運営コストを抑制し、運転手不足を解消するとともに、高齢者等の安全かつ円滑な移動に資するものとしてラストマイル自動走行実証

(自動運転による移動サービス実証) が日本各地で行われている。現状では技術面での有用性は確かめられているものの、需要の変動および事業採算性の課題、さらに移動目的以外の付加価値も重要であることが分かっている。

本研究では、愛知県春日井市高蔵寺駅から名古屋市名東区大曾根駅の区間で運用されているガイドウェイバス「ゆとりーとライン」に注目し、無人自動運転サービスの導入による現状の課題解決および利用者へのより良い価値提供の可能性を検討する。ゆとりーとラインは主に名古屋市守山区を走行し、地下鉄が通っていない同区の基幹となる交通手段である。その大きな特徴は、大曾根ー小幡緑地間約 4.5km は専用高架軌道を走行し、その他区間は一般道路を走行するデュアルモードシステムである。一般に、自動運転サービスの実施は混雑

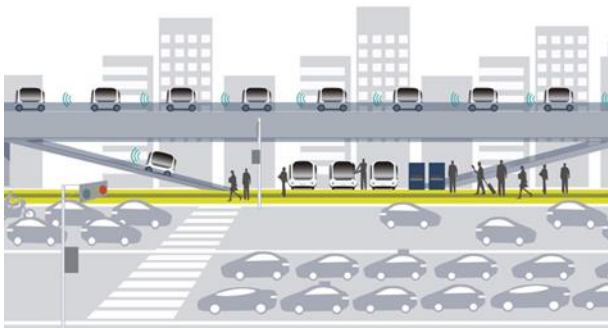


図-1.1 PRT の運用イメージ

の多い都市部の混在空間では困難であるが、一般車両・歩行者の往来のない高架専用軌道の存在により、このゆとりとライン路線での自動運転サービスの実施は比較的容易であると言え、現状の課題解決および移動の付加価値向上を期待することができる。

## (2) 導入を想定する自動運転サービス

本研究では、バス路線「ゆとりとライン」に対し小型公共交通車両 personal rapid transit (PRT)の無人自動運転サービスを導入することを想定し、各分析を行う。本サービスは、図-1.1のように多数の小型自動運転車両によって運用される旅客中量輸送システムである。現在のゆとりとラインバスとのサービス比較を表-1.1に示す。従来の交通サービスとの大きな違いはその運行車両数の多さであり、ピーク時では1000台/時の運行を想定している。そのため、車両が絶え間なく到着・出発し、利用者の待ち時間が発生しない。また、現状のゆとりとラインにおけるピーク時の移動需要量(約1500人時)においても、最大2分の車両待ち時間で利用することができることを想定している。なお、この数字は1人1台の車両利用を想定したシミュレーション結果によるものであるが、現在のバス停の容量での実施が可能かどうかは別途検討が必要になる。他にも、乗車定員は座席定員(1~4人を想定)と等しく、必ず着席できることおよび車両内の混雑が発生しないことも大きな利点である。この従来にないサービスであるPRT導入に際し、社会的受容性と需要分析が必要となる。

## (3) 既往研究と本研究の位置づけと目的

本研究の目的と流れを説明するため、既往研究についてまとめる。自動運転について、近藤ら(2020)は自動運転シェアリングサービスの利用意向および鉄道駅から目的地までの具体的な利用シーンの利用交通手段選択に

表-1.1 PRT とバスのサービス比較

	ゆとりとライン	PRT
運行本数	23台/時 (ピーク時)	1000台/時 (ピーク)
運行間隔	時刻表による	0分(オフピーク) ~2分(ピーク)
着席	座れない可能性	必ず座れる
車両混雑	発生	なし

関して分析し、交通手段選択時には所要時間と費用が重要な選択要因であり、同乗者の有無が手段選択に影響を与えることを確認した。また、紀伊ら(2017)は共有型完全自動運転(LV5)車両の普及モデルを構築し、車両価格、都市半径、人口、走行速度が普及に与える影響を分析した。公共交通機関の受容性の分析について、南ら(2016)は新潟県三条市の相乗りタクシーに関して、コンジョイント分析を用いて知らない人との相乗りに対して重要視する要因の金銭的価値を定量的に評価した。また利用目的別、利用者特性別の相乗りの受容性を明らかにした。また需要分析について富田ら(2020)はバスの費用構造の分析として住吉台くるくるバスを対象として分析を行い、運行費用と費用に関して考察を行っている。

このように自動運転サービスの受容性・利用選択についての分析や、公共交通機関の相乗りの受容性・需要分析を行っている研究は見られるものの、実際に自動運転サービス導入の対象地域を定めて分析を行っているものは少ない。本研究ではゆとりとライン運行区間において小型自動運転車両PRTを導入すると仮定した場合のPRTの社会的受容性及び需要分析を目的とする。

現状のガイドウェイバスの課題点を十分に考慮し、その区域でPRTの受容性が潜在的にあるかどうか分析する。交通手段利用選択モデル構築を行い、現在の利用者の特性毎に需要量を推定する。

## (4) 本論文の構成

本論は、本章を含め全5章で構成される。第2章以降の構成は以下の通りである。

第2章では、使用したデータの概要について述べる。第3章では、現状の交通手段の課題点と併せてPRTの受容性向上に必要な要因を分析する。第4章では、PRT利用選択の推定方法を説明し、結果お

よび考察を示す。第 5 章では、本研究の結論と今後の課題について述べる

## 2. データ概要

表-2.1 アンケート概要

実施時期	2020年2月	回答数	561名
内容			
個人属性	性別, 年齢, 結婚, 子持ち, 職業, 年収, 自動車免許・自動車保有		
ゆとりーとラインの利用状況	利用頻度, 最寄りバス停, ゆとりーとラインのOD		
一番最近のゆとりーとラインの利用	利用時期・曜日・時間帯, 目的, 待ち時間, 着席可否・混雑認知, 同行者		
ゆとりーとラインへの改善要求	料金, 遅延の多さ, 運行間隔など (5段階評価)		
PRTについて	求めるサービス, 座席のデザイン・相乗りの許容度		
SP調査	栄または名駅へのトリップについて, 現状の交通手段とPRTのどちらを利用したいかを選択		

表-2.2 SP調査に用いたPRTの条件

条件 (数字は水準名)									
条件	A	B	C	D	E	F	G	H	I
総費用	1	1	1	2	2	2	3	3	3
総所要時間	1	2	3	1	2	3	1	2	3
待ち時間	1	2	3	2	3	1	3	1	2
水準設定									
	総費用			総所要時間			バス停での待ち時間		
水準	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	現在より ()円安い	現在と同じ	現在より ()円高い	現在より ()分減少	現在と同じ	現在より ()分短縮	0分	2分	4分

表-2.3 SP調査の回答数

PRT運用条件		回答数	
		高架区間利用者	平面区間利用者
ドアツードア		3	2
ゆとりーとライン運用区間	高架区間のみ (小幡緑地で乗換有)	3	2
	高架区間+平面区間 (小幡緑地で乗換無)	3	2
合計		6	6

表-2.4 SP調査の水準の変化値

ゆとりーとライン運用区間のみ (大曽根で乗換)			ドアツードア (乗換無)		
利用者の最寄りバス停	総費用	総所要時間	利用者の最寄りバス停	総費用	総所要時間
大曽根～金屋	50円	2分	大曽根～金屋	100円	2分
川宮～小幡緑地		5分	川宮～小幡緑地		5分
平面区間		10分	平面区間		10分

本章では、用いたデータの概要について説明する。ゆとりーとラインの利用状況を把握および PRT の受容性・利用選択意向を把握するため、愛知県守山区住民のゆとりーとライン沿線住民を対象としてアンケート調査を行った。

(1) アンケートの概要

アンケートの調査内容は表-2.1 の通りである。アンケートではまず、ゆとりーとラインについて、現在の利用状況を聞き、利用経験のある人を対象に一番最近の利用についての具体的な利用状況について質問した。併せてゆとりーとラインへのサービスについて改善要求度を 5 段階での評価を尋ねた。次に PRT について、PRT の概要を説明した後、PRT に期待するサービスについて質問した。また、座席配置と相乗り条件ごとに 7 種類の車両デザインを提示し、各デザインの許容度・満足度について 5 段階での評価を尋ねた。また、具体的な利用シーンにおける PRT の利用選択意向を分析するため、図-2.1 にある様な質問を用いて SP 調査を実施した。SP 調査では PRT が導入された場合を仮定して、目的地へ移動する際に現状の交通手段に代わって PRT を利用するか質問した。目的地は栄地区または名駅地区で回答者ごとに直近に訪れた方を設定した。この SP 調査では、導入する PRT の種類として、(1) 現状のバス路線のみを走行する条件のものと、(2) ドアツードア (タクシーのように利用可能) での条件のもの 2 通りを想定している。また、平面区間利用者には (1) の条件において、(ゆとりーとライン高架区間と平面区間の接続点である) 小幡緑地バス停での乗換が発生してしまう場合を設けた。これは、実際の PRT の実験的運用に際して、高架区間内のみでの運用が想定されるためである。

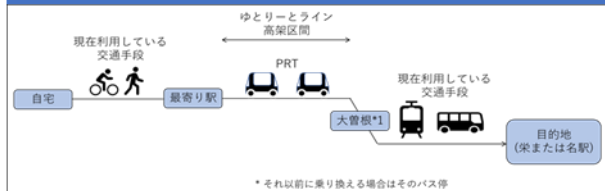
この調査では、総費用や総所要時間、バス停での待ち時間の条件を表-2.2 の通りに変化させ、表-2.3 の通りに一人につき計 6 回答を得た。条件の増減値について、総所要時間の条件は、感覚が回答者間で概ね等しくなるように表-2.4 の通りに調整を行った。また総費用についてはドアツードアでの運用条件において、より大きい値に設定した。

(2) アンケート回答者

守山区住民に対してスクリーニング調査を行い、回答者は 1368 名であった。この中からゆとりーとラインの利用経験がなく 2 km 圏内にバス停がない人、つまり利用可能性の低い人を除き、本調査回答者 561 名から回答を得た。この結果、表-2.5 に示すように、本調査回答者の中でゆとりーとラインを一度でも利用したことのある人は 70% 程度となった。本調査回答者 561 名について、属

性別集計結果を表-2.6 に示す。また、SP 調査では自宅から目的地へ直接移動する際にゆとりーとラインを利用する可能性の低い地域として最寄りバス停との距離が 1.5km 以上ある地域を除外し、本調査回答者 561 名のうち 405 名の SP 調査データを使用した。

**Q**  
 あなたが自宅から名駅地区へ、一人で移動する場合を思い浮かべてください。  
 これから 6 回、PRT を利用するときの条件が変動します。  
 下記条件のとき、あなたはゆとりーとラインと PRT、どちらの交通手段を利用しますか。  
 ※PRT の座席は 4 人乗りで他人と同乗なしとします。



\* それ以前に乗り換える場合はそのバス停

選択肢 1. PRT  
 2. 従来の交通手段 (ゆとりーと以外)

図-1.1 SP 調査の質問例

表-2.5 本調査回答者のゆとりーとラインの利用状況

ゆとりーとラインの利用経験		
	人数	割合(%)
有	405	72.2
無	156	27.8
ゆとりーとラインの利用頻度 (人数)		
	2020年4月以前	現在
週1日以上	70	56
月1-3日	76	51
年3-4日	95	70
年1日以下	155	80
利用していない	165	304

表-26 回答者の属性別集計結果

	本調査	SP調査
回答者数	561名	405名
性別	割合(%)	割合(%)
男性	48.7	46.7
女性	51.3	53.3
世帯年収	割合(%)	割合(%)
200万未満	3	3
200～400万未満	17.5	18.5
400～600万未満	23.2	23.5
600～800万未満	18	18.8
800～1000万未満	8.6	8.4
1000万円以上	9.7	8.9
わからない/無回答	20.2	19
年齢	割合(%)	割合(%)
20代	6.6	5.7
30代	22.3	23.5
40代	29.4	29.1
50代	26.9	27.2
60代以上	14.8	14.6
自動車免許および自動車所持	割合(%)	割合(%)
免許所持・自動車所持	86.5	89.6
免許所持・自動車非所持	7.1	5.7
免許非所持	6.4	4.7

### 3. PRTの受容性

本章ではアンケート調査を用いて、ガイドウェイバス「ゆとりーとライン」の現状の課題点および PRT の受容性を向上させる要因の把握に努める。ゆとりーとラインの現状の課題点については、混雑状況、待ち時間など PRT での問題解決の見込みのある項目を中心に分析し、全体的なサービスレベルについてもアンケート回答から簡単に把握することを目的とする。PRT の受容性向上に関しては、求められるサービスの分析と、座席・相乗り条件別のデザインに関してより良い在り方を考察する。

#### (1) ゆとりーとラインの利用状況

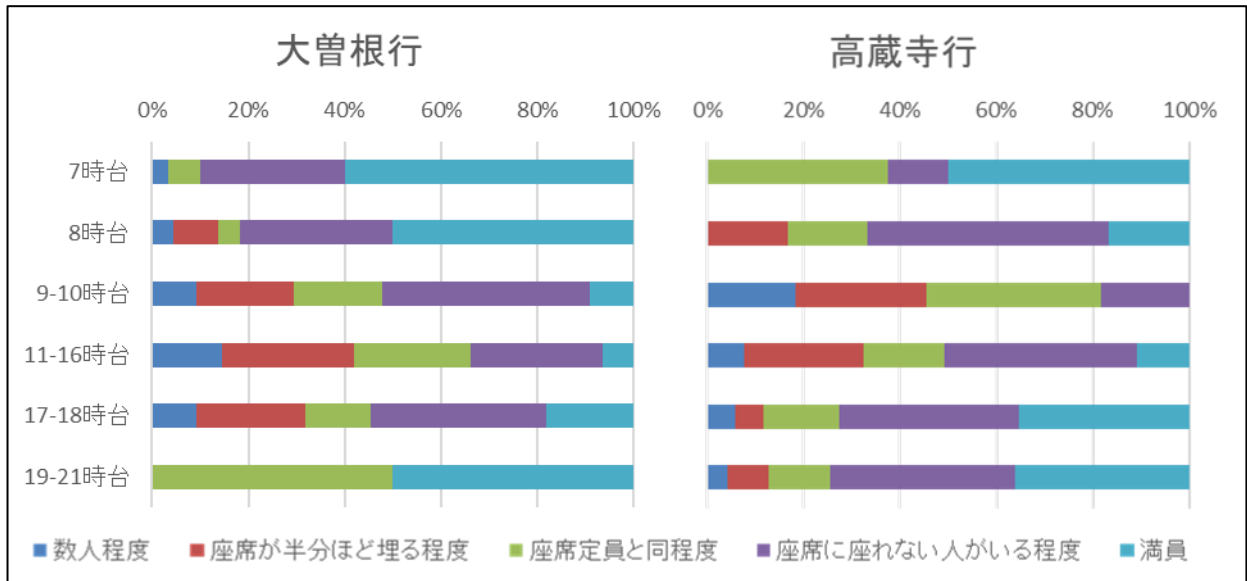


図-3.1 ゆとりーとラインの混雑程度 (平日)

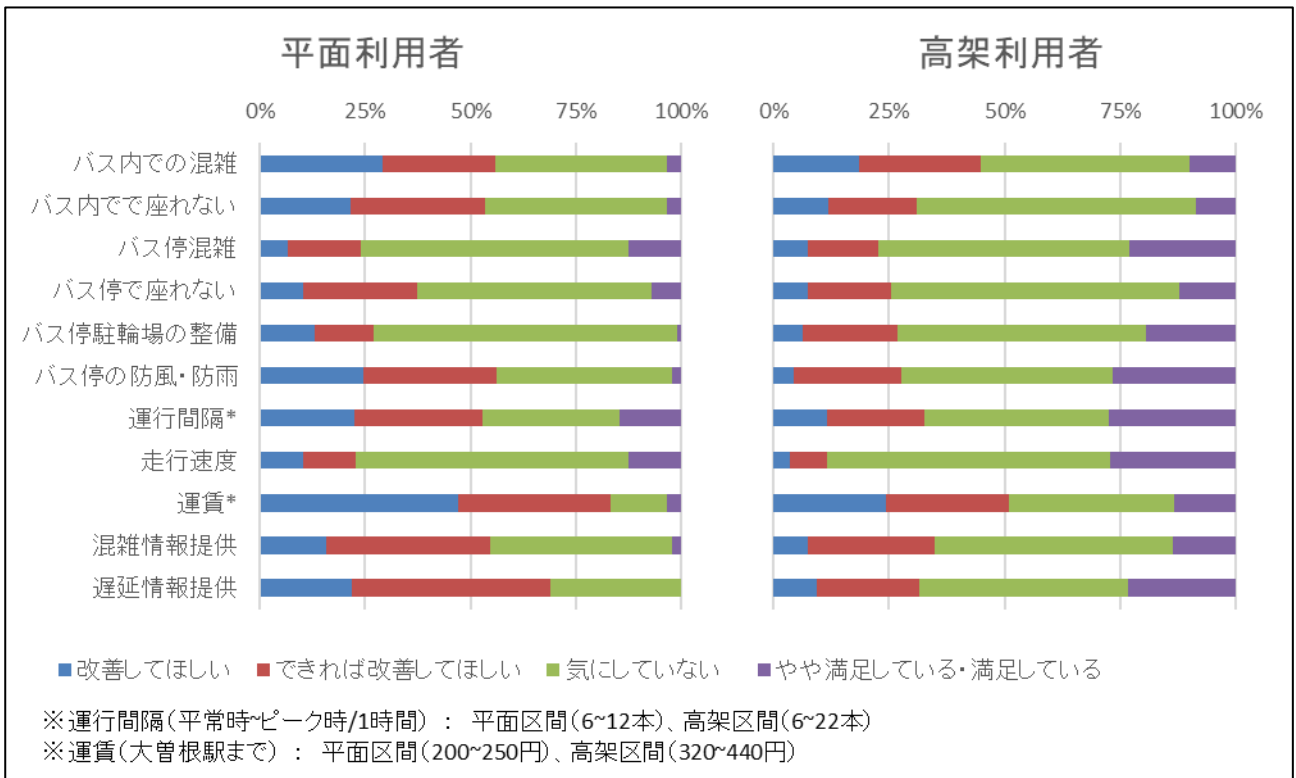


図-3.2 ゆとりーとラインへの各サービスの改善要求度

a) ゆとりーとラインの混雑状況

ゆとりーとラインでの混雑状況に関して、アンケート回答から集計したものを図-3.1 に示す。大曽根行の 7-8 時台では 50~60%以上が満員である。帰り(高蔵寺行)はある程度時間のばらつきがあり混雑度は比較的小さいものの、30%以上が満員となっている。また昼間でも全員が着席できるわけではない状況が一定程度あり、PRT による状況改善が期待される。

b) ゆとりーとラインへの改善要求

ゆとりーとラインのサービスごとに 5 段階で改善要求度(満足度)を質問した結果を図-3.2 に示す。運賃、運行本数が異なるため、大曽根までの距離が長い高架区間と、短い平面区間に分けて集計した。

まず、バス車内について、全体で半数程度の人が混雑や着席できないことへの不満があることが分かる。この

ことは PRT の提供する「確実に座れる」価値を大きく感じる事が期待できる。

バス停に関して、バス車内よりは少なくなるものの混雑・着席に不満があることが分かる。更に駐輪場や屋根などの設備への不満があることから、車両だけでなく、短いバス停での滞在時間もある程度重視されていることが分かる。

サービスレベルについて、運行間隔は平面区間では不満である人が半数を超えており、ピーク時に 22 本のバスが発車する高架区間でも約 30% が不満を感じている。高架区間利用者はピーク時ではなく平常時の運行間隔に不満があると思われるが、都市近郊のバス輸送の運行間隔を更に短くすることにまだまだ需要があることが考えられる。走行速度に関しては比較的不満度は低く、バス輸送の速度に一定の評価・理解が得られているものと感じる。一方、運賃は全項目の中で最も不満度が高く、自由記述欄でも運賃に関するものが多かった。平面区間でのみ利用では一律 210 円であるのに対して高架区間利用時の料金が割増しになることに抵抗を感じている意見も複数あった。料金体制への理解が得られておらず、PRT 導入に際しても十分に検討が必要な事項であることは間違いない。

情報提供について、平面区間では遅延が多く発生しており、情報をよりよく伝達することで利用者のストレスを大きく下げられる可能性がある。専用軌道の高架区間

でも、平面区間と一体運用のため遅延もあり、少なからず情報提供改善の余地があることが分かる。

(2) PRT の受容性向上にむけた分析

a) PRT へ期待するサービス

PRT に期待するサービスを 5 段階評価で質問した結果を図-3.3 に示す。まず、防犯・プライバシーについて、防犯カメラの設置が最も期待されている項目となった。それに比較するとプライバシーの項目が低いのは公共交通機関に慣れているためだと考えられる。それでも車内でのプライバシー確保は 60% 以上の期待があり、車両デザインの際の重視すべき点となるだろう。設備について、Wi-Fi の設備を期待する人が大きく、導入できれば PRT の大きな価値向上につながる。また、同程度に期待度が大きかったのが大きな荷物を置くスペースであった。現状でも混雑時の車内で大きな荷物を扱いにくそうにしている乗客はおり、混雑のない PRT では状況は異なるだろうが、空間的な余裕ができるかが課題となる。一方で机や飲料のサービスなどへの期待値は低い。これは、飲料は簡単に持参できるためと考えられ、ワークスペースに関してもスマホやタブレットの普及があり、机よりも Wi-Fi・電源への期待が高いためだと考えられる。今回の調査では 10 代の回答者は含まれていないため、学生の意見が考慮できていないことは注意が必要である。

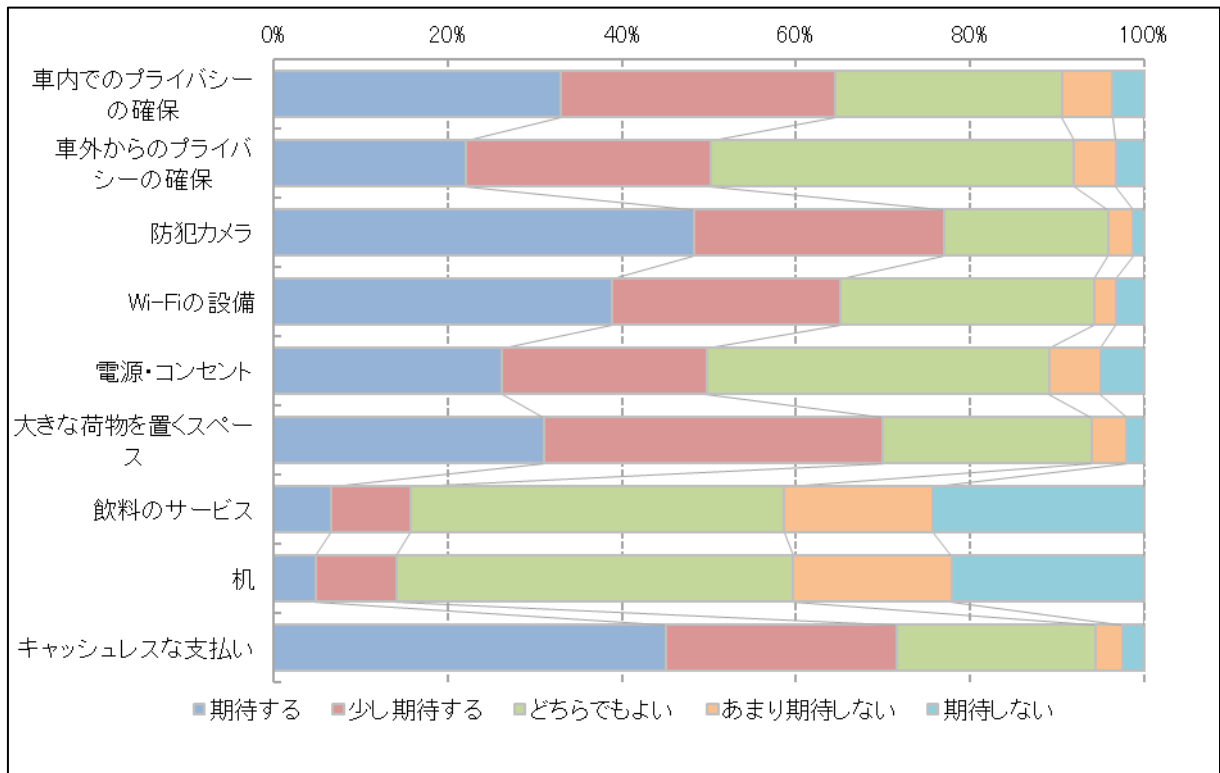


図-3.3 PRT に期待するサービス

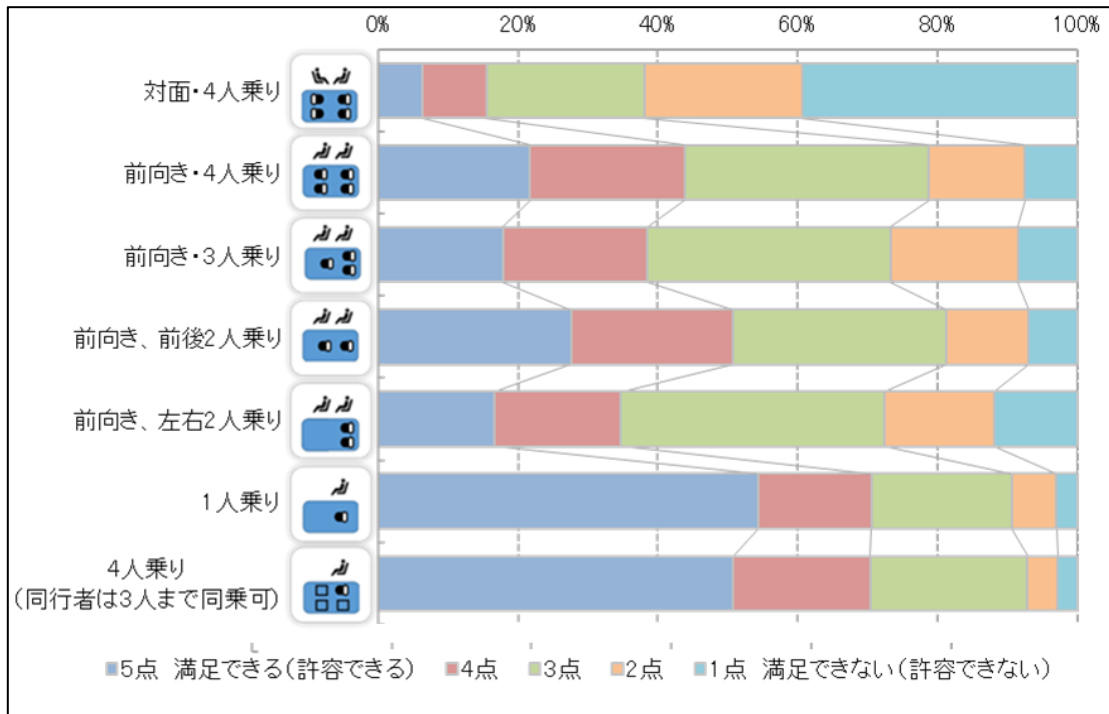


図-3.4 PRTデザインの満足度

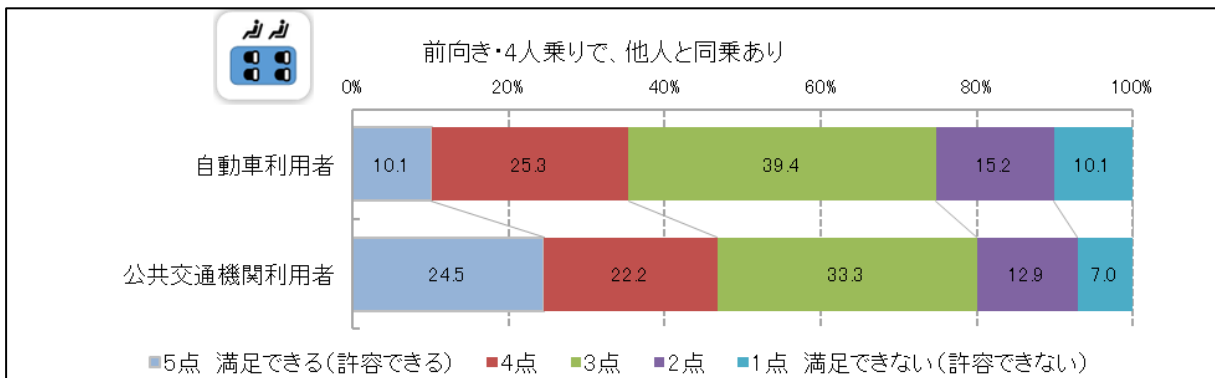


図-3.5 利用交通手段別の満足度

b) PRTの車両デザイン

アンケートでは PRT の車両デザインについて満足度・許容度を 5 段階評価で質問した。座席定員、座席配置・向き、他人との同乗有無の条件を変化させ、7 通りのデザインについての回答を得た。結果を図-3.4 に示す。

まず、他人との同乗のある条件について注目する。対面・4 人乗りのデザインが最も低く、許容できないと回答した人は 60%を超えた。一方で、同じ 4 人乗りでも前向きにするだけで満足度が劇的に改善するという結果が得られた。他には、左右 2 人乗りでの条件が最も低くなっているのは注目すべき点であり、他人と同乗する場合に 2 人では抵抗があることが分かる。全体として、2~4 人乗りで許容度に大きな違いは見られず、デザインとして前向き・4 人乗りが最も合理的であると言える。さらに、図-3.5 に示すとおり、このデザインを利用交通手段

別に集計したところ、自動車利用者の満足度が比較的小さくなる結果となった。ただ、満足できない割合に (1 点, 2 点の割合) 大きな変化はなく、PRT 利用への大きなネックにはならないと考えられる。

他人との同乗のない条件について、1 人乗りと 4 人乗りでの満足度の差に大きな違いは見られなかった。ただ、若干ながら、1 人乗りについて許容できないと答えた人が多かった。これは家族など同行者を伴う人の影響があるとみられる。

結論を述べる。他人との同乗有の場合では前向き・4 人乗りのデザインが最も合理的であることが明らかになった。他人との同乗なしの場合では同乗有に比べ満足度がとても高く、1 人乗り座席と 4 人乗り座席の条件では差異がほとんどないことが分かった。



#### 4. PRTの利用選択

本章では具体的な目的地を想定した SP 調査を用いて PRT の利用選択に影響を与える要因について考察する。栄地区または名駅地区へ移動する際に現在利用している交通手段と PRT のどちらを選ぶかを被説明変数、料金や所要時間、待ち時間などを説明変数として交通手段選択モデルを構築し、PRT の利用意向について分析を行っていく。なお、PRT の車両デザインは「4 人乗り・他人と同乗無し」で統一した。また、SP 調査対象地域を図 4.1 に示す。

##### (1) 現状利用されている交通手段

まず、目的地への交通手段の現在の利用状況を把握する。アンケート結果で目的地までの利用交通手段を回答してもらった結果、表 4.1 に示す通り利用交通手段を 8 種類に分類できることが分かった。併せて利用交通手段の概要を図 4.1 に示す。ゆとりーとライン区間での PRT 運用時における各利用者の PRT 利用可能性について考えると、まず、目的地へ向かう際にゆとりーとラインを利用している人 (①) が最も PRT を利用しやすいと考えられる。JR または名鉄で移動し、大曽根駅で別の交通機関に乗り換える利用者 (②, ③) についても乗換負担が変わらず、各路線の距離も近いため PRT 利用可能性が高いと言える。一方、公共交通機関する場合でも乗車駅から目的地まで乗換がない利用者 (⑤, ⑥), 大曽根駅まで直接向かう利用者 (④) およびバスのみで移動

する利用者 (⑦) は PRT 利用時に乗換負担が増えるため、PRT 利用可能性が少ないと考えられる。以降では簡単のため、表 4.1 に示したように各交通手段利用者を分類名称 (YL+, JR+ など) で記述する。

##### (2) 基礎集計

利用交通手段による分類ごとにまとめた PRT 利用選択率の基礎集計を図 4.3 に示す。

まず、(1) ゆとりーとライン区間で PRT を運用した場合について注目する。当然のことながら、① YL+ 利用者は比較的 PRT 利用選択率が高いものの、50%未滿に留まっている。意外にも② JR+ が最も高い PRT 利用選択率となっている。これは JR 駅とゆとりーとラインバス停がとても近く、利用可能性が① YL+ 並みに高いことが分かる。一方で、大曽根駅での乗換の無い④ 直接+, ⑤ JR のみ, ⑥ 名鉄のみ, ⑦ バスのみは利用選択率が 30%未滿となっている。⑧ 自動車の PRT 利用選択率は 40%程度となっており、これは① YL+ に次ぐ高さである。自動車利用者でも条件次第で公共交通機関となる PRT への利用意向可能性を示しており、興味深い。第二に、

(2) ドアツードア条件で PRT を運用した場合について注目する。全体的に PRT 利用選択率が高く、⑦を除き 50%程度以上となっている。⑧ 自動車利用者の選択率も他の交通手段と同程度であり、(1) 条件と同様に興味深い。⑦ バスのみ利用者の選択率が低い要因については、守山区の一部から両目的地までの直通バスがあり、その満足度が高いことが考えられる。



図 4.1 SP 調査の対象地域

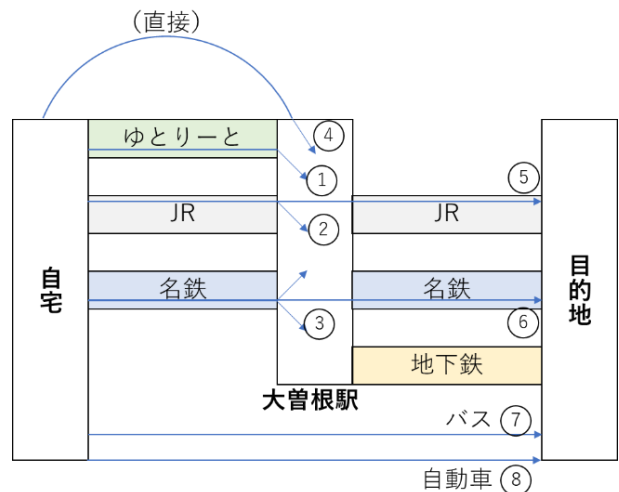


図 4.2 利用交通手段による分類の概要

表4.1 利用交通手段による8分類

大曽根駅での乗換	大曽根駅までの主な交通手段	大曽根駅からの交通手段	分類名称	利用者数	利用分担率(%)
乗換有	ゆとりーとライン	JR・名鉄・地下鉄	①YL+	68	16.8
	JR	名鉄・地下鉄	②JR+	23	5.7
	名鉄	JR・地下鉄	③名鉄+	24	5.9
乗換無	徒歩・自動車など	JR・名鉄・地下鉄	④直接+	22	5.4
	JR (名駅地区のみ)		⑤JRのみ	101	24.9
	名鉄 (栄地区のみ)		⑥名鉄のみ	69	17
	市バス・名鉄バス		⑦バスのみ	6	1.5
(自動車)	自動車		⑧自動車	92	22.7
合計				405	100

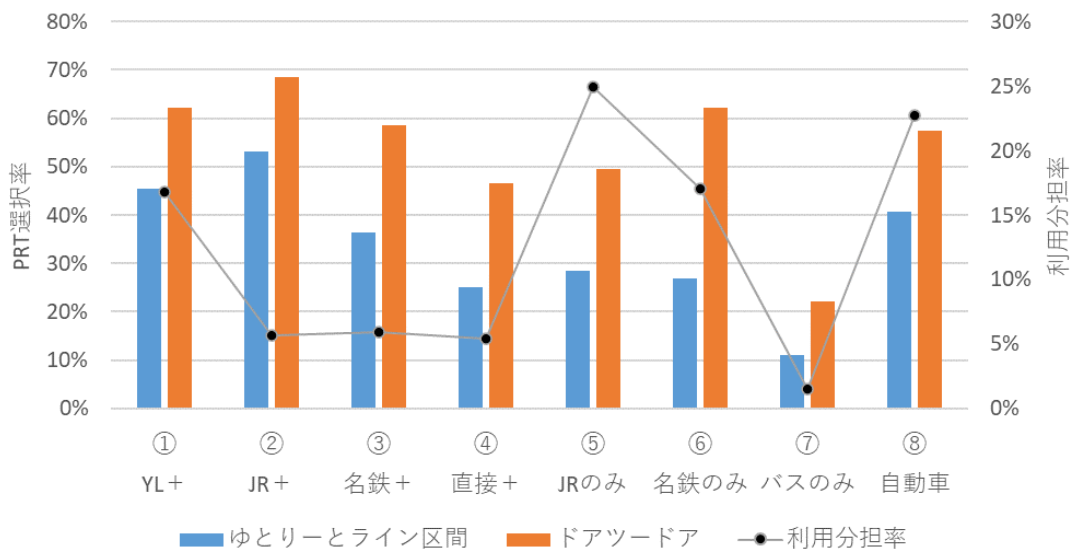


図4.3 PRT 利用選択率の基礎集計

(3) PRT の利用選択の分析方法

本分析では、「PRT」と「個人の現状利用している交通手段」という2つの選択肢についての交通手段選択モデルとして、2項選択の mixed logit model を用いる。ここでは選択の例を挙げてモデルについて説明する。

まず logit model について説明する。個人*i*は*J*個ある選択肢*j*について、最大の効用*U<sub>ij</sub>*を持つものを選ぶと考えられる。効用*U<sub>ij</sub>*について、確定項*V<sub>ij</sub>*とランダム項*ε<sub>ij</sub>*を用いて以下の式のように表すことができる。

$$U_{ij} = V_{ij} + \epsilon_{ij} \tag{4.1}$$

また確定項*V<sub>ij</sub>*は、選択肢*j*の定数項*α<sub>j</sub>*、個人*i*と選択肢*j*によって異なる変数*X<sub>ij</sub>*に対して共通のパラメータ*β*、個人*i*に固有の変数*Z<sub>i</sub>*に対して選択肢*j*ごとに異なるパラメータ*γ<sub>j</sub>*を用いて、以下の式のように表すことができる。

$$V_{ij} = \alpha_j + \beta X_{ij} + \gamma_j Z_i \tag{4.2}$$

このとき、個人*i*が選択肢*j*を選択する確率*P<sub>ij</sub>*は以下の式のように表すことができる。

$$P_{ij} = \frac{e^{V_{ij}}}{\sum_{j=1}^J e^{V_{ij}}} \text{ for } j = 1, 2, \dots, J \tag{4.3}$$

さらに今回は説明変数による影響が回答者間で異なると仮定した説明変数*X<sub>ij</sub>'*も考慮し、そのパラメータに確率分布を持たせた mixed logit model を構築する。この分布のパラメータを*θ*、分布の密度関数を*g(β'|θ)*とすると、確定項*V<sub>ij</sub>'*と選択確率*P<sub>ij</sub>'*について以下の式のように表すことができる。

$$V'_{ij} = \alpha_j + \beta X_{ij} + \beta' X'_{ij} + \gamma_j Z_i \tag{4.4}$$

$$P'_{ij} = \int \left[ \prod_{j=1}^J \frac{e^{v'_{ij}}}{\sum_{j=1}^J e^{v'_{ij}}} \right] \times g(\beta'|\theta) d\theta \quad (4.5)$$

そして最後に式(4.6)のように対数尤度lnLを求め、最尤法によりパラメータを推定する。本分析では統計ソフトRにおけるパッケージmlogitを利用した。

$$\ln L = \sum_i \ln P'_{ij} \quad (4.6)$$

この分析方法によって、選択肢間における各説明変数の影響度の差を推定することができる。今回の分析に用いた説明変数について、表-4.2 に示す。今回は現状の利用交通手段によって、表-4.3 に示すように大きく 3 グループに分類し、各利用者特性を考慮した。

- ・「change」は少なくとも大曽根で乗換のある経路で、条件（ゆとりーとライン区間）PRT を利用する際に乗換回数が変わらないグループである。
- ・「direct」は大曽根での乗換なく直接目的地へと向かうことができ、PRT 利用時に乗換負担が増えるグループである。
- ・「car」は自宅から目的地まで自動車のみで移動するグループである。

これらの3グループに対してそれぞれ定数項を推定した。なお、この定数項に確率分布（正規分布）を持たせている。また、総費用および総所要時間の効用は各交通手段によって異なると仮定し、3グループとPRTについて、それぞれ別に推定した。他には、条件（ゆとりーとライン区間）において高架区間のみでの運用となった場合を考慮して、平面-高架区間接続部（小幡緑地）での乗換有りダミー変数を導入した。

表-4.2 交通手段選択モデルに使用した変数

サービスレベル：3グループとPRTごとに設定	
cost	総費用（1円）
travel-time	総所要時間（1分）
PRTのサービスレベル	
PRTの待ち時間	待ち時間（1分）
平面-高架区間での乗換（条件[ゆとりーとライン区間]）のみ	乗換有ダミー。最寄りバス停が平面区間にある人のみ影響
個人属性	
man	男性ダミー
age	年齢（1歳）
passenger	同行者有ダミー

表-4.3 利用交通手段の大分類

分類名称	利用交通手段	平均総費用（円）	平均総所要時間（分）
change	①YL+, ②JR+, ③名鉄+	507	46
direct	④直接+, ⑤JRのみ, ⑦名鉄のみ, ⑦バスのみ	354	34
car	⑧自動車	747	41

(4) 交通手段選択モデルの結果と考察

PRTの運用条件を「ゆとりーとライン区間」と「ドアツードア」の2つの条件ごとに推定した結果を表-4.4 に示す。なお、各推定値は現状の交通手段を基準にして（推定値を0として）として分析を行っている。また各利用者に対する定数項の推定分布値を表-4.5 に示す。

本分析ではグループ名を「」で表記する。まず、定数項と総費用の影響について考察する。総費用はすべて有意となり、利用意向に大きな影響を与えていることが分かった。ゆとりーとライン区間条件およびドアツードア条件において、各グループごとの現状の総費用をそれぞれの平均総費用とした場合の、PRT 総費用と利用選択率の関係を図-4.4 に示す。どのグループも総費用が小さくなるほど利用意向が大きくなり、感度の大きさが確認できた。ただ、それぞれ費用の感度は大きく変わらないものの、現状の平均総費用がグループごとに大きく違い、利用意向はそれぞれ現状の総費用を基準として変化していることが分かる。例えば、ゆとりーとライン区間条件でのPRTは「change」の費用と同程度になる場合、この場合「car」および「change」からは多くのPRT利用が見込まれる一方、「direct」からの利用は全く望めないものとなる。

また、ドアツードア条件ではゆとりーとライン区間条件と比べて、より高い価格で同じ利用意向を示した。「change」が利用意向50%で+120円と最も差額が大きく、ドアツードア条件に大きな魅力を感じていることが分かる。ついで「direct」が100円、「car」が70円とそれぞれドアツードア条件に対して価値を感じているものの、その大きさが現状の交通手段によって異なることが分かる。

次に、総費用以外の説明変数の影響を考察するにあたり、条件ごとに説明変数の影響の大きさをPRT 総費用の影響と同等に比較するため、各説明変数の推定値を「PRT 費用価値」に換算する。式にすれば [説明変数

表-4.4 交通手段選択モデルの結果

	ゆとりーとライン区間			ドアツードア	
Log-likelihood	-647.7			-561.8	
AIC	1329.4			1155.7	
定数項	推定値	z 値		推定値	z 値
change	-1.580	-1.580		-3.958	-2.358 *
direct	-4.890	-4.410	***	-1.426	-1.600
car	-3.087	-2.665	**	-0.536	-0.500
総費用	推定値	z 値		推定値	z 値
cost : PRT	-0.023	-6.927	***	-0.017	-8.128 ***
cost : change	0.026	6.833	***	0.027	6.242 ***
cost : direct	0.024	7.052	***	0.020	8.193 ***
cost : car	0.023	6.891	***	0.018	8.052 ***
総所要時間	推定値	z 値		推定値	z 値
travel-time : PRT	-0.003	-0.161		-0.020	-0.640
travel-time : change	0.020	0.891		0.034	0.938
travel-time : direct	0.082	3.134	**	0.057	1.557
travel-time : car	0.065	2.633	**	0.047	1.268
PRT サービス	推定値	z 値		推定値	z 値
PRT 待ち時間	-0.153	-2.225	*	0.011	0.142
平面-高架区間での乗換	-1.575	-5.434	***		
個人属性	推定値	z 値		推定値	z 値
age	-0.031	-2.755	**	-0.011	-0.800
sex	1.105	4.279	***	-0.161	-0.538
passenger	0.883	3.298	***	0.534	1.790 (10%)
残差	推定値	z 値		推定値	z 値
sd.change	3.106	6.526	***	3.829	5.214 ***
sd.direct	4.020	6.416	***	3.083	5.026 ***
sd.car	3.549	6.628	***	4.404	6.307 ***

(10%)は 10%, \*は 5%, \*\*は 1%, \*\*\*は 0.1%で有意を示す

表-4.5 定数項の推定値分布

	ゆとりーとライン区間			ドアツードア			
	1st Qu.	Mean	3rd Qu.	1st Qu.	Mean	3rd Qu.	
change	-3.675	-1.580	0.515	change	-6.540	-3.958	-1.375
direct	-5.799	-3.087	-0.376	direct	-2.616	-0.536	1.544
car	-7.284	-4.890	-2.496	car	-4.397	-1.426	1.544

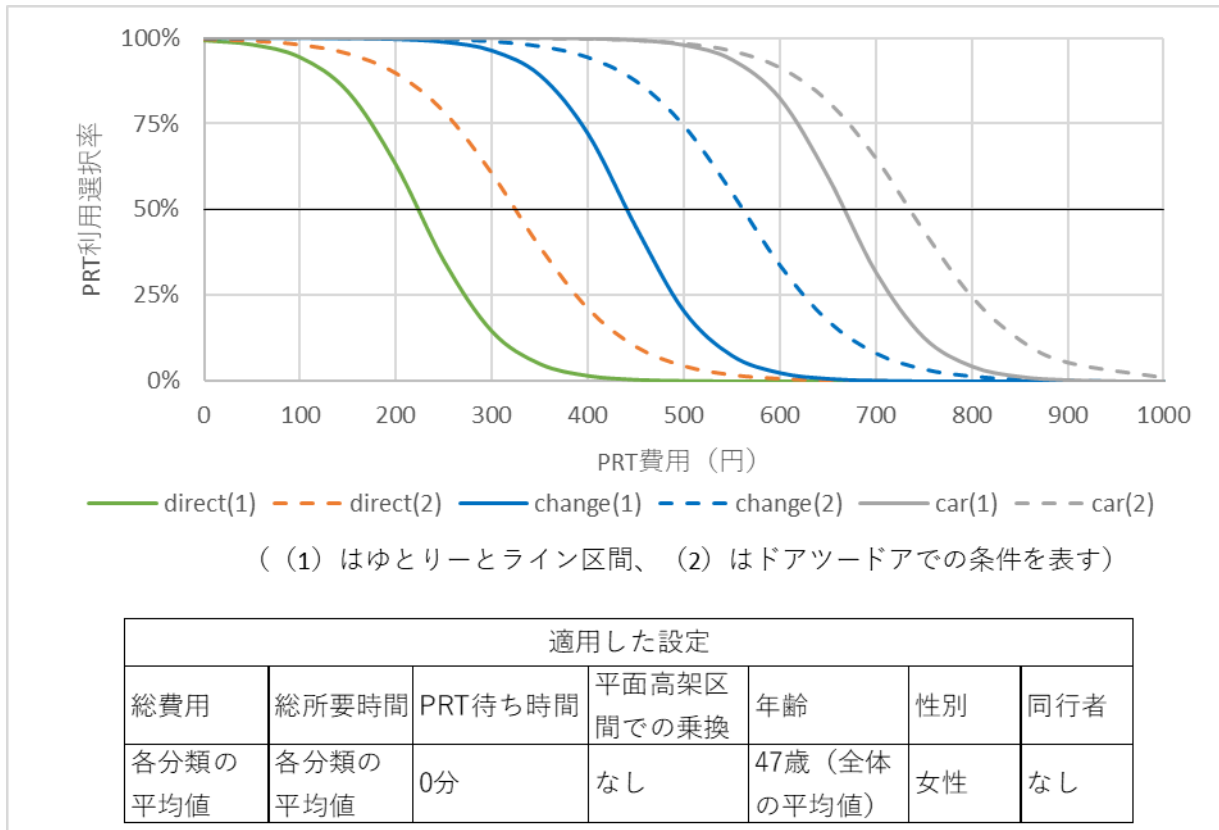


図4.4 PRT総費用との利用選択率

の PRT 費用価値 = [説明変数の推定値] / (-[PRT 総費用の推定値]) であり、その説明変数の影響が PRT の費用にして何円分の影響があるのかが分かる。符号に注意が必要であり、例えば PRT 費用価値が-50 円の場合、PRT の効用が減少し PRT 費用が 50 円値上がりしたのと同じ影響を持つと言える。各説明変数を PRT 費用価値に換算したものを表4.6 に示す。なお、説明変数は有意であるもののみを示した。

総所要時間について、ゆとりーとライン区間条件で「direct」「car」で現状の所要時間が長いほど PRT 利用意向が大きくなった。これは大曽根駅まで遠い人ほど経路の選択肢が増え、ゆとりーとライン区間を利用しやすくなるためだと考えられる。そのため、もともと大曽根駅で乗り換える「change」や、大曽根駅の関係のないドアツードア条件では有意とならなかったと言える。また、PRT の所要時間の影響はなく、設定した 5 分（ゆとりーとライン区間）～10 分（ドアツードア）の増減を気にしていないということである。このことは PRT 車両内の快適性に期待している結果とも考えることができる。PRT 待ち時間について、負の影響が確認できるが、実際に 0-2 分の待ち時間で PRT が運用できれば大きな影響はないと言える。なお、ドアツードア条件での待ち時間は影響しない。これは自宅での待ち時間であり、ストレスが全く発生しないためである。また、平面一高架での

乗換について、大きく負の影響を示し、PRT を高架区間のみで運用した際に大きなネックとなることが確認できた。

年齢について、高齢なほど利用意向が小さくなった。若い世代の方が自動運転技術への理解があるためだと考えられる。ただし、より便利なドアツードア条件では有意とならず、高齢者でも価値を感じていると言える。性別について、男性ダミーがゆとりーとライン区間条件で大きく正の値を示した。これは通勤男性が PRT 車内での快適性に期待しているからだと考えられる。ただ影響がとても大きいため、慎重な考察が必要であり、今後の課題となる。最後に、同行者ダミーが大きく正の値を示し、この調査で設定した PRT デザインである「4 人乗り・他人との同乗なし」の効用が十分に反映されていることが確認できる。

以上よりゆとりーとライン区間の条件に関しては推定値の多くが有意となり、適切なモデルと言える一方で、ドアツードアの条件に関しては多くが有意とならなかった。運用条件が大きく違うため、また具体的なイメージが難しいため、ドアツードア条件についてのより適切なモデル構築が今後の課題となる。

- (5) 交通手段選択モデルを用いた需要量の推定  
PRT をゆとりーとライン区間条件で運用した際に見込

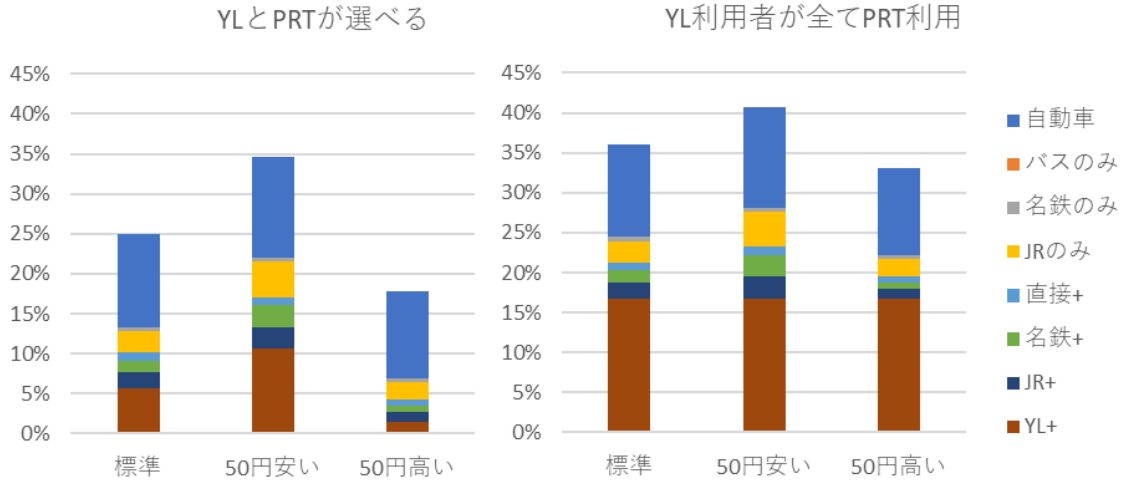


図-4.5 PRT利用選択率の期待値

まれる需要量について、構築した交通手段選択モデル（表-4.4）を用いて推定した。PRT の標準条件として、現状のゆとりーとラインを利用した時と同等の費用、所要時間を個人の住所ごとに設定した。また PRT 待ち時間は2分、平面-高架での乗換はありとした。

ゆとりーとラインと PRT が独立して存在し、どちらかを選べると仮定した（SP 調査で用いた）条件での PRT 利用選択率の期待値を図-4.5 左に示す。なお、PRT 価格が現在より 50 円増減した場合についても推定した。主に YL+, JR+, 自動車利用者からの需要が見込まれ、標準条件で全体の移動の 25%の需要があることが分かる。JR のみ利用者の利用意向が一定数あるのは駅まで自動車で行く人であり、現在の総費用が高くなっているためである。また 50 円の増減によって大きく需要量が変化することが分かる。PRT の価格設定の重要性が明らかになった。

また、PRT がゆとりーとライン区間で運用される場合、現在のゆとりーとライン利用者は PRT を使わざるを得なくなる。そのためゆとりーとライン利用者が全員 PRT を利用すると仮定した場合の推定結果を図-4.5 右に示した。この場合移動全体の 35%の需要が見込まれることが分かり、SP 調査実施地域の需要量を予測することができた。なお、正確な需要推定のために、全体の移動需要のサイズを把握することと、交通手段の利用分担率を改めて集計する必要があることに留意されたい。

表-4.6 各説明変数の PRT 費用価値

	PRT費用価値（円）	
	ゆとりーとライン区間	ドアツードア
総所要時間		
travel-time : PRT (1分)		
travel-time : change (1分)		
travel-time : direct (1分)	3.56	
travel-time : car (1分)	2.81	
PRTサービス	ゆとりーとライン区間	ドアツードア
PRT待ち時間 (1分)	-6.63	
平面-高架区間での乗換	-68.35	なし
個人属性	ゆとりーとライン区間	ドアツードア
age (1歳)	-1.33	
sex	47.94	
passenger	38.31	30.72

## 5. 結論

本研究ではゆとりーとラインの現状利用状況の把握と併せて PRT の受容性向上に向けて必要なサービス・デザインについて分析を行った。また、実際の利用シーンを想定して PRT 利用意向についての分析を行った。以下に得られた知見と今後の課題について示す。

### (1) 得られた知見

- a) 現状のゆとりーとラインの課題点について

- ・朝夕の混雑状況がひどく、不満が大きい
  - ・10分に1本以上の運行間隔にも関わらず不満がある
- b) PRTに必要なサービスについて
- ・防犯・プライバシーへの配慮が重視されている。
  - ・他人と同乗のある条件では4人乗り・前向き座席が最も合理的であり、許容度も大きい
- c) PRTの利用選択について
- ・総費用によって利用意向が大きく変化し、その基準は現状の総費用を基準となる。
  - ・利用意向に総所要時間は全く影響しない
  - ・ドアツードア条件の価値の大きさは、現状の交通手段によって変化する。
  - ・平面区間-高架区間での乗換発生の抵抗が大きい
  - ・実際の PRT 運用では移動全体の 35%の需要が予測される

(2) 今後の課題

今後の課題についてまとめる

- ・交通手段選択モデルに組み込むことができなかった PRT の他人と同乗のある場合の影響について、より詳しい分析が必要である
- ・ドアツードアの運用条件は、ゆとりーとライン区間条件と大きく異なるため、より適切な説明変数およびモデルの構築が必要である

謝辞

本研究はヤマハ発動機との共同研究の一環であり、多くの情報の提供があって初めて可能となりました。ここに記して深く感謝の意を表します。

付録

A1. アンケート内容 (抜粋)

今回用いたアンケートの内容 (抜粋) を以降に示す。

## PRTについて

以下のPRTという小型自動車の説明をよくお読みください。

将来、現在的大型バスに代わって1~4人乗りの小型自動運転車の活用が期待されています。この小型自動車をPRT (パーソナルピットランシット) といいます。

次のページからの抜粋では、このPRTがゆとりーとラインに代わって、ゆとりーとラインと同じ区間を運用されたり、自宅から目的地まで直接行ける乗り物として運用されたりするものと考えられています。

	現在のゆとりーとライン	PRT導入後
運行本数	ピーク時 23便/時	ピーク時 1000便/時
待ち時間	時刻表に合わせて前もって来る必要がある。また、ピーク時には乗員で乗れないこともある。	原則オンデマンドなので、時刻表を気にせずすぐ乗れる。
乗 座	混んでいると座席に座れないことがある	座席に必ず座れる

A2. SP調査に用いた画像例

## ゆとりーとライン区間 ・平面-高架での乗換無

\* それ以前に乗り換える場合はそのバス停

	PRT (+他の交通機関)
総費用	現在より50円高い
総所要時間	現在より2分短縮
待ち時間	バス停での待ち時間2分
乗換	大曽根で乗換 (1回)

## 参考文献

- 1) 国土交通省：自動走行ビジネス検討会報告書『自動走行の実現に向けた取組方針』Verison4.0（令和 2 年 5 月 12 日），  
[https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha\\_tk7\\_000015.html](https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_tk7_000015.html)
- 2) 名古屋ガイドウェイバス株式会社：ゆとりーとライン HP，<https://www.guideway.co.jp/>
- 3) 加藤博和・鈴木弘司・高須賀大索（2002）：ガイドウェイバスシステム導入による交通状況への短期的影響に関する調査分析—地上走行区間を対象として—，土木計画学研究・論文集，Vol.19no.3
- 4) 南亮太郎・佐野可寸志・西内裕晶（2016）：三条市乗合タクシーの相乗り意識に着目した利用者実態，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.72, No.5（土木計画学研究・論文集第 33 卷），L\_743-L\_750
- 5) 紀伊雅敦・横田彩加・高震宇・中村一樹（2017）：共有型完全自動運転車両の普及に関する基礎分析，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.73, No.5（土木計画学研究・論文集第 34 卷），L\_507-L\_515
- 6) 近藤恭志郎・金森亮・山本俊行・森川高行（2020）：研究報告 高度交通システムとスマートコミュニティ（ITS），2020-ITS-80，7号
- 7) 富田安夫，・石原駿佑・岩本浩気（2010）：住吉台くるくるバスの費用構造に関する分析，土木計画学研究・論文集，Vol.27no.5

(Received ?)

(Accepted ?)

## PRELIMINARY STUDY ON INTRODUCING MEDIUM-CAPACITY TRANSPORT SYSTEM OF SMALL-SIZED AUTONOMOUS VEHICLES

Gen MACHIDA, Toshiyuki NAKAMURA, Toshiyuki YAMAMOTO and Takayuki MORIKAWA

The issues of the guideway bus in Moriyama Ward, Nagoya City, Aichi Prefecture is clarified and examine introducing small-sized autonomous vehicles “PRT” help improving present condition and can give better service using the questionnaire. In addition, a travel mode choice model using stated preference data which consider practical situation and potential demand is analyzed. The results suggest, PRT can give much better service than at present and the effects of current transport modes and cost to choose PRT.