高蔵寺ニュータウンにおける AI オンデマンド交通を含む交通手段選択モデルの構築

羽佐田　紘之[1]・水野　杏菜[2]・北村　清州[3]・金森　亮[4]

[1]正会員　一般財団法人計量計画研究所　研究本部（〒162-0845 東京都新宿区市谷本村町 2-9）

E-mail:hhasada@ibs.or.jp (Corresponding Author)

[2]正会員　一般財団法人計量計画研究所　研究本部（〒162-0845 東京都新宿区市谷本村町 2-9）

E-mail:smizuno@ibs.or.jp

[3]正会員　一般財団法人計量計画研究所　研究本部（〒162-0845 東京都新宿区市谷本村町 2-9）

E-mail:skitamura@ibs.or.jp

[4]正会員　名古屋大学特任教授　未来社会創造機構（〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町）
E-mail:kanamori.ryo@nagoya-u.jp

AI オンデマンド交通のような新たなモビリティサービスは，時空間の高解像度な需要推計が難しいために，不十分なサービスレベル・不適切な運賃設定で導入されることが少なくない．路線バスのサービス改善・代替・補完手法を検討することが多い郊外住宅地においては，導入前に利用意向を分析して，公共交通再編を検討することが期待されている．本研究では，高蔵寺ニュータウンの住民アンケート調査の基礎分析と交通手段選択モデルの構築を行い，AI オンデマンド交通の利用意向を分析する．これにより，身体的な制約だけでなくバスのサービスレベル自体も移動制約と捉えられていることや，高齢者ほど利用意向が大きいことが明らかになる．そして，混合ロジットモデルを活用することで，RP/SP の回答特性の違いや嗜好の異質性を考慮した運賃の感度を分析する．また，モバイル位置情報データに基づく OD 表へと交通手段選択モデルを適用することで，運賃を適切に設定したスマートモビリティの将来需要推計が，より詳細な時空間単位で可能となる．

Key Words: *RP-SP model, ICLV model, MMNL model, on-demand transportration service,newtown*

1. はじめに

(1) 背景・目的

本研究では，AI（人工知能）を利用してユーザーの予約に対してリアルタイムで車両を最適に配車する交通サービスである，AI オンデマンド交通を含めた交通手段選択モデルを構築する．デマンド交通は，低密な需要に対して効率的に供給できるため，高齢化が進む郊外の住宅地でも導入されることが多い．ゆえに，衰退傾向にあるバスなどの従来の公共交通の代替としての役割を果たすことが期待されている．

しかし，デマンド交通が実装された際には，需要と供給の不一致という問題に直面することが少なくない．これは，利用者の特徴や適切な運賃体系を事前に把握していないことに起因することが多い．そして，サービスを一度実装した後に，ダイナミックプライシングなど需給調整を目的とした運賃体系等に変更することはまだ現実的ではない．デマンド交通の導入を各地で成功させるためには，利用意向者の特性を把握し，地域公共交通会議で協議運賃を議論できるような年度単位の需要予測の方法論の構築が求められる．

本研究の目的は，ニュータウンのような郊外住宅地において，1) AI オンデマンド交通に関心を持つ利用意向者の特性と，2) その運賃に対する需要の感度を分析することである．高蔵寺ニュータウンにおいて実施された RP（Revealed Preferences：顕在選好）と SP（Stated Preferences：表明選好）を組み合わせたアンケート調査を活用して，交通手段選択モデルを構築する．

本研究の貢献の 1 つは，交通手段選択モデルの高度化として，RP-SP モデルと ICLV（Integrated Choice and Latent Variable）モデルを統合したモデルを構築し，デマンド交通の利用意向者の特性と需要を明確に把握できること

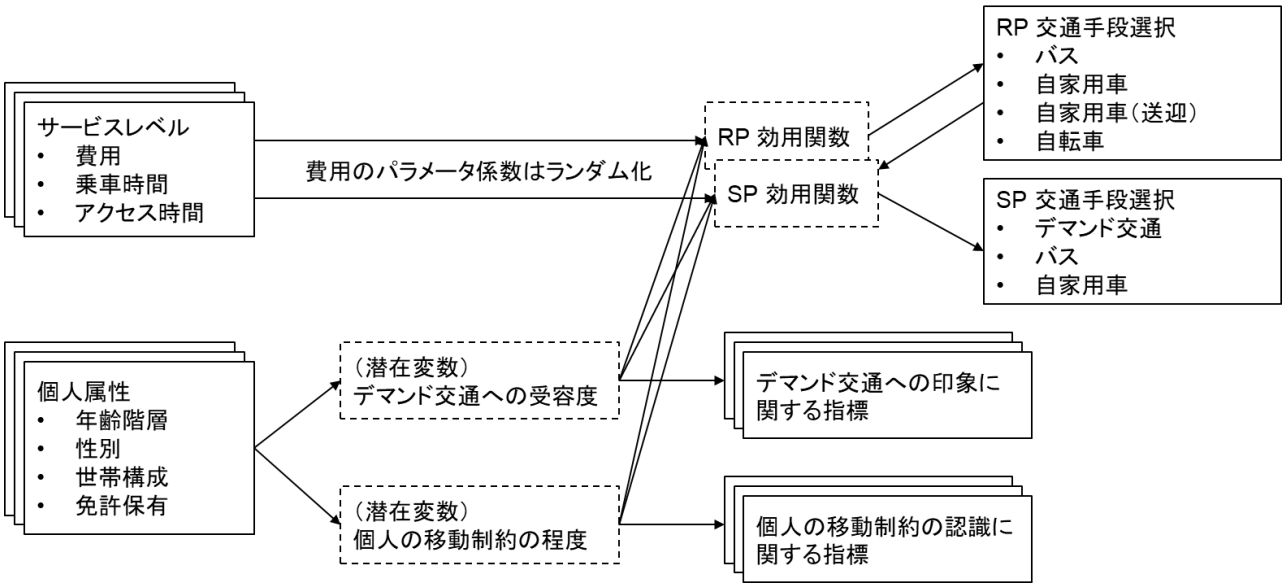


図-1 構築モデルのフレームワーク

を示すことである．RP と SP の効用関数をスケールパラメータで調整する RP-SP モデル [1]により，実際の需要と未実装のサービスへの利用意向の両者をより精緻に分析できる．ICLV モデル [2) 3)]は，様々な指標を個人属性により説明する構造方程式を組み込むため，利用意向の背後にある構造が理解しやすい．構築したモデルの推定結果により，年齢，性別，世帯構成，免許保有といった属性が，移動制約や AI オンデマンド交通の受容性に対して統計的に有意であり，それが利用意向に影響するという知見が得られる．

また，AI オンデマンド交通の運賃を様々な値に設定したときの需要を推定することによって，実装時の最適な運賃体系の検討を可能にしたことも大きな貢献である．本研究では，時間価値が個人で異なる中でもより精緻な需要推定を目指して，費用のパラメータが確率的な分布を持つと仮定した．こうして MMNL モデル（Mixed Multi-Nomial Logit モデル; 混合ロジットモデル）を組み込むことによって，モデル自体の性能も向上する．

⑵ 本研究の位置付け

デマンド交通の導入可能性を検証する研究は，近年増加している．長谷川・鈴木 [4)5)]は，デマンド交通を含む各交通サービスが優位に成立する条件を，都市モデル上で理論的に導出した．彼らは他の研究 [6)]において，国内 3 都市を対象にデマンド交通の配車方法とバス路線網を模擬的に決定し，デマンド交通とバスの最良な提供バランスを経済性，環境性，健康性の観点から導いている．高野・森本 [7)]は，デマンド交通の実測値と離散連続モデルを用いた需要予測値の乖離を検証している．辰巳ら [8)]は，自治体職員が行う地域公共交通の検討に資することを目指して，デマンド交通やコミュニティバスの運営状況に関するアンケート調査を市町村へ実施した．冨岡ら [9)]は，宇都宮市を対象に MaaS の普及を前提としたシミュレーションを行い，最適なデマンド交通の運行と人口分布を人口規模ごとに提案した．尹鍾進ら [10)]は，デマンド交通の配車システムを開発して，人的に配車がされている地域にてシミュレーションを実施し，配車システムの導入可能性を検証した．

また，RP および SP の調査から ICLV モデルに類するモデルを構築して，デマンド交通の利用構造を捉えた研究もある．Alemi et al.[11)]は，Uber や Lyft といったデマンド交通の利用に関するハイブリッドモデルを構築した．Xie et al.[12)]は，デマンド交通の利用に関する全ての意思決定を統合するフレームワークを提案した．このフレームワークは，アプリで収集した RP および SP の調査結果を利用するものであり，サブスクリプション入会に関するハイブリッドモデルを含んでいる．Said et al.[13)]は，SP 調査を実施し，感染症の流行の有無を踏まえて Uber や Lyft を始めとしたオンデマンド交通の需要を予測する MIMC（Multiple Indicator Multiple Cause）モデルを開発した．

本研究は，デマンド交通を含む交通手段選択の予測のために，RP-SP モデルと ICLV モデルを統合する，初めての試みと位置付けられる．加えて，都心部向けのデマンド交通を対象とした既存のモデルとは異なり，郊外でのデマンド交通の導入可能性の検討を意図していることも重要である．

2. モデル

(1) フレームワーク

本研究で構築するモデルのフレームワークは，**図-1** に示すように，各交通手段のサービスレベルや個人属性から，交通手段の選択行動を予測するというものである．RP-SP モデルと ICLV モデルを統合し，費用のパラメータ係数についてはランダムパラメータモデルを組み込む．

本モデルの選択肢集合には，デマンド交通に加えて，バス，自家用車，自転車も含まれる．回答負担を軽減するため，SP の選択肢集合はデマンド交通，バス，自家用車に限定する．新サービスであるデマンド交通は，RP の選択肢集合には含まれない．RP-SP モデルにより RP と SP の効用関数のスケールを調整することによって，デマンド交通のシェアを正確に把握することができる．

そして，ICLV モデルを統合することによって，2 つの潜在変数が RP および SP の効用関数に組み込まれる．デマンド交通への印象に関する指標を説明する潜在変数は，デマンド交通への受容度を表す．一方，個人の移動制約の認識に関する指標を説明する潜在変数は，移動制約の程度を表す．加えて，これらの潜在変数は，年齢階層，性別，世帯構成，運転免許保有といった個人属性により説明される．こうした明快な構造のおかげで，デマンド交通を嗜好する人の特性を，より精緻に理解できることが期待される．なお，RP の選択結果が SP の選択に及ぼす影響を考慮するため，状態依存の慣性項（現状の選択している交通手段のダミー変数）を組み込んでいることに注意されたい．

さらに，費用のパラメータ係数について MMNL モデル（混合ロジットモデル）を導入し，時間価値の異質性を考慮する．

(2) 定式化

本モデルは，以下の定式化で表すことができる．

$$y_{njt} = \begin{cases} 1 & \text{if } u_{njt} = \max\{u^*_{nj't} \mid \forall j' \in \{1,\dots,J\}\} \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (1)$$

$$u^{*RP}_{nj} = \mu^{RP}(\boldsymbol{\beta}_j \boldsymbol{x}_{nj} + \boldsymbol{\gamma}\boldsymbol{x}^*_n) + \varepsilon_{nt}\,, \quad (2)$$

$$u^{*SP}_{njt} = \mu^{SP}(\boldsymbol{\beta}_j \boldsymbol{x}_{njt} + \boldsymbol{\gamma}\boldsymbol{x}^*_n + \delta y^{RP}_{nj}) + \varepsilon_{nt}\,, \quad (3)$$

$$\boldsymbol{x}^*_n = \boldsymbol{\alpha}\boldsymbol{x'}_n + \boldsymbol{\nu}_n\,, \quad (4)$$

$$\boldsymbol{z}_n = \boldsymbol{\zeta}\boldsymbol{x}^*_n + \boldsymbol{\eta}_n\,, \quad (5)$$

ただし，費用のパラメータ係数については，次式の通り平均μ，分散σ^2の確率分布$P(\mu,\sigma^2)$に従う，

$$\beta_j \sim P(\mu,\sigma^2)\,, \quad (6)$$

ここで，y_{njt}は個人nの RP および SP のt問目における交通手段jの選択の有無，$u^{*RP}_{nj}, u^{*SP}_{njt}$は RP および SP の効用関数，$\mu^{RP}, \mu^{SP}$は RP および SP のスケールパラメータ，$\boldsymbol{x}_{njt}$は各交通手段のサービスレベル，$\boldsymbol{x'}_n$は個人属性，$\boldsymbol{x}^*_n$は潜在変数，$\boldsymbol{z}_n$は指標，$\boldsymbol{\alpha}, \boldsymbol{\beta}_j, \boldsymbol{\gamma}, \delta, \boldsymbol{\zeta}$は推定されるパラメータ係数，$\varepsilon_{nt}, \boldsymbol{\nu}_n, \boldsymbol{\eta}_n$はランダム項を表す．

式(1)の交通手段選択の有無は，多項ロジットモデル（MNL; Multi-Nomial モデル）により，効用関数(2)および(3)に基づく．RP の効用関数(2)は，各交通手段の費用，乗車時間，アクセス時間といったサービスレベルや潜在変数を説明変数とする．SP の効用関数(3)では，加えて RP の慣性項が付加される．RP と SP の効用関数は，RP-SP モデルのスケールパラメータを掛けることによって，スケールが調整される．潜在変数は，式(4)より，年齢階層，性別，世帯構成，免許保有といった個人属性によって説明される．測定方程式(5)は，デマンド交通への印象や個人の移動制約の認識に関する指標を潜在変数で説明するものである．ICLV モデルでは，これらの潜在変数が効用関数(2)および(3)に組み込まれる．また，式(6)に示すように，費用のパラメータ係数が固定値ではなく確率分布に従うと仮定する MMNL モデルが統合されている．

3. アンケート調査

(1) 対象地域

本研究では，愛知県春日井市の高蔵寺ニュータウンを対象地域とする．高蔵寺ニュータウンは，名古屋市の郊外に位置し，7.02 ㎢の面積に約 4 万人の居住人口を有する．まちびらきから 50 年以上が経過し，初期の入居者が同時期に高齢者となったために，高齢化率は 37%に達している．通勤・通学交通から高齢者の多様な移動をデマンド交通で担うことができるかの検証として，行政主導ではない事業モデルの社会実装の可能性の有無の観点からも興味深い対象地域である．

高蔵寺ニュータウンは JR 高蔵寺駅にほど近く，路線バスネットワークも比較的よく整備されている．しかし，高齢化のために通勤・通学時のピーク時需要は減少傾向にあり，路線バスの本数も最高時から 3/4 にまで減少した．そのため，デマンド交通のような新たな交通サービスが路線バスの一部を代替・補完することによって，持続可能な公共交通システムを確保することが期待されている．

(2) 調査概要

本研究で活用する，高蔵寺ニュータウンで 2022 年 3 月に実施されたアンケート調査を概説する．この調査は，個人属性などを尋ねる世帯票と，生活・交通に関わる質問を設けた個人票から構成される．個人票では，普段の移動状況や交通手段（RP），仮想的な状況下での交通手段（SP），デマンド交通や路線バスの認知・印象，移動制約などの質問が設けられた．RP および SP ではい

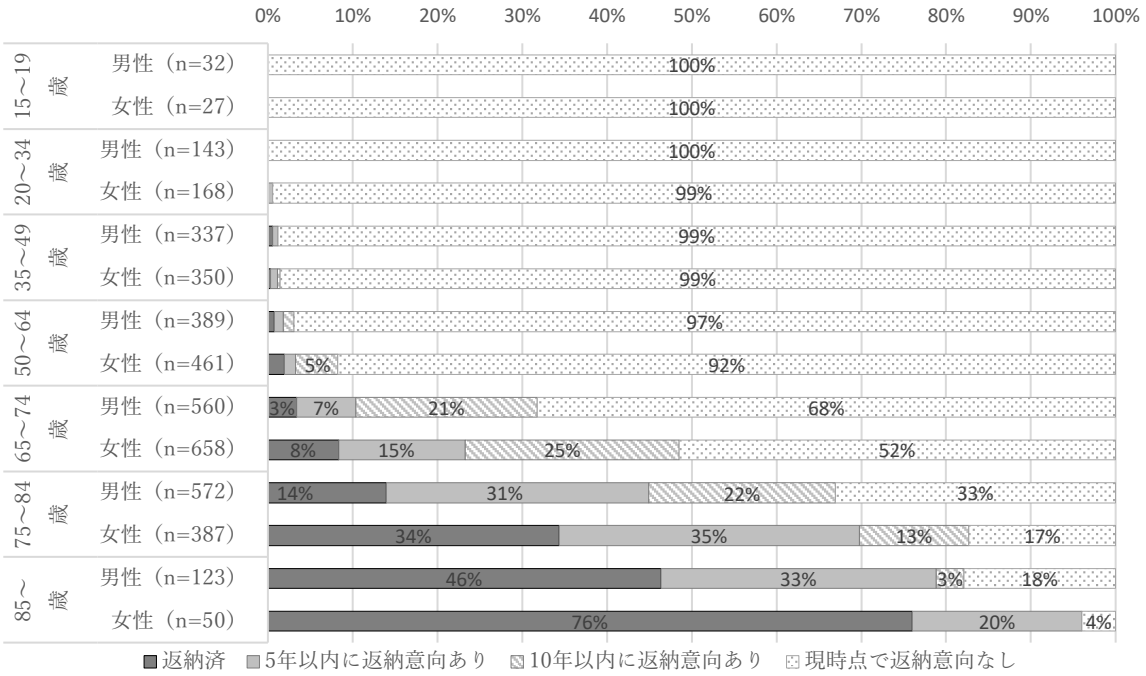


図-3　年齢階層・性別別の運転免許返納意向

ずれも，高蔵寺ニュータウン内の中心的な商業地区である「センター地区」への交通手段が尋ねられた．

SP 調査では，デマンド交通，路線バス，自家用車それぞれの乗車時間，徒歩時間＋待ち時間，運賃，他人との相乗りの有無が直交表に基づいて設定された．ただし，デマンド交通の徒歩時間＋待ち時間，路線バスや自動車の他人との乗り合いの有無，自動車の運賃は一律で設定無しとされた．なお，SP の 3 問のうち 1 問目のみにおいて，自家用車が選択肢に含められた．

調査票は 9,915 世帯に発送され，有効な個人票の回答は 4,655 件，RP・SP 両調査の有効回答は 3,276 件であった．これは，全住民の約 1 割を占める．

⑶　基礎分析

前節で概説したアンケート調査の集計結果のうち，交通手段選択モデルの検討に有用なものを示す．

図-2 は，本研究で対象とする「センター地区」への普段の移動の主な目的を集計した結果を示す．買物や食事・娯楽といった私事目的が大多数だが，通勤，業務といった目的で「センター地区」へ移動する住民も一定数存在すると分かる．構築モデルへ入力する「センター地区」への移動時の交通手段については，こうした移動目的を念頭に置いた回答であることに留意する必要がある．

図-3 は，回答者の年齢階層・性別別の運転免許返納意向の比率を示す．高齢者の多くは 5～10 年以内に免許を返納する意向があることが分かる．特に，75～84 歳のおよそ半数が返納意向を有する．免許の保有状況は交通手段選択に大きな影響を及ぼすため，特に AI オンデマンド交通の将来需要を予測する際には，返納意向を考慮することが不可欠である．

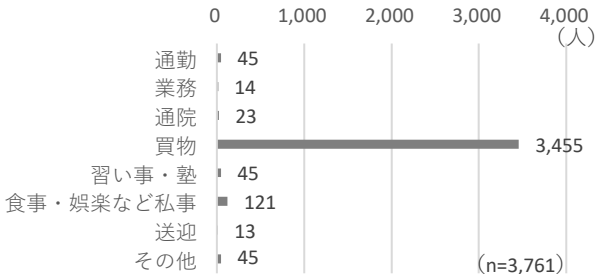


図-2　「センター地区」へ行く主な目的

図-4 は，デマンド交通への印象についての複数選択の回答結果を示す．「移動が早くできそう」「使うのが簡単そう」「コストが安そう」といった好意的な印象よりも，それらの反対である消極的な印象の回答の方が多い傾向にある．デマンド交通に対して受容的であり，かつ利用意向を有する住民の特徴を明らかにすることが求められる．

図-5 は，移動にあたっての制約についての複数選択の回答結果を示す．「問題はない」という回答が多数だが，様々な観点の移動制約を有する住民が一定数存在することが分かる．特に，身体的な制約だけでなく，「バス利用にあたり時間調整が難しい」「バスの運行本数が少ない」「バス停が近くにない」といった，バスのサービスレベルに関わる項目を移動制約と捉える住民が多いことは，重要な知見である．移動制約を有する住民の特徴や，移動制約が交通手段の選択に与える影響についても，モデルでは捉える必要がある．

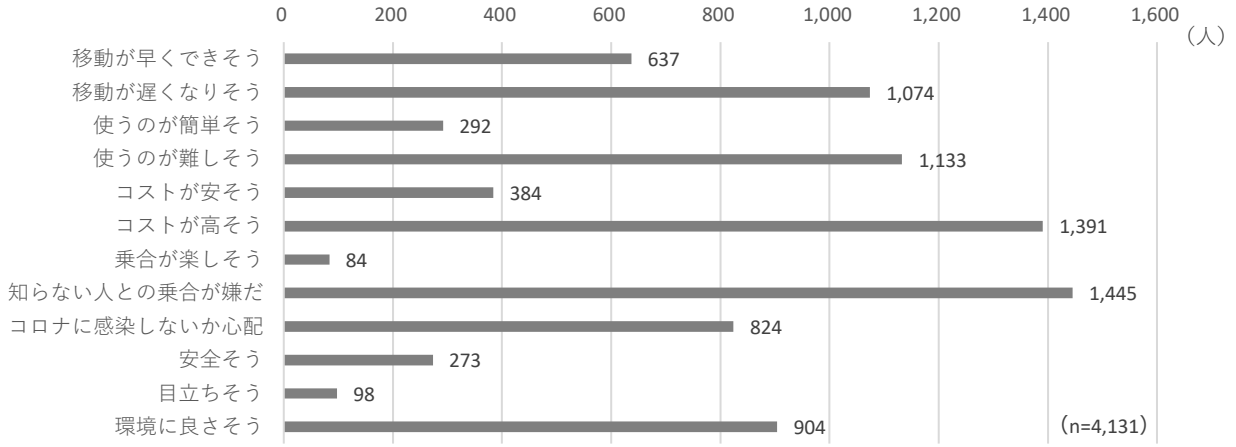


図-4　デマンド交通への印象

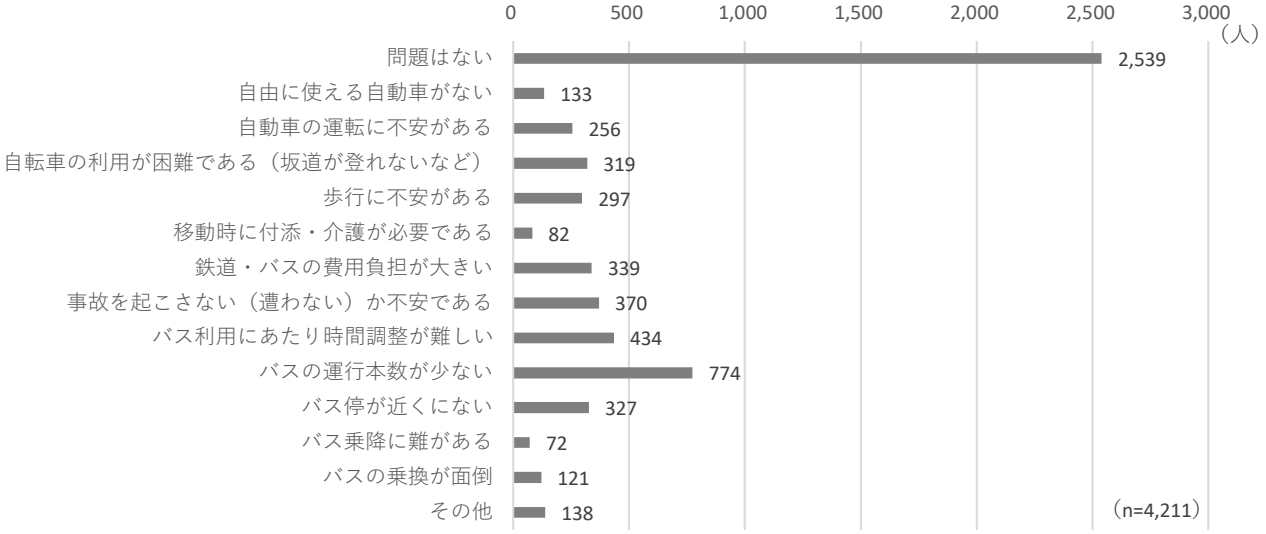


図-5　移動にあたっての制約

4.　推定の結果と考察

(1)　モデルの推定値

本研究で構築するモデルは，RP-SP モデル，ICLV モデル，MMNL モデルを統合したものである．構築したモデルと比較するために，より簡易なモデルとして，MMNL モデル，ICLV モデル，RP-SP モデルを順に除いたモデルを 3 つ用意した．なお，これらのモデルでは，バスに対応する定数項と RP のスケールパラメータを固定した．SP に対する RP の状態依存性については，選択肢集合に自家用車が含まれる 1 問目のみ考慮した．費用のパラメータ係数は，正規分布に従うと仮定した．R 言語のパッケージである Apollo[14]を使用して推定した結果を，**表-1** から**表-4** に示す．

表-1 は，構築したモデル（RP-SP & ICLV & MMNL）と比較用のモデル（MNL，RP-SP，RP-SP & ICLV）の基礎情報を示す．RP-SP モデル，ICLV モデル，MMNL モデルを組み合わせることにより，交通手段選択の調整済み尤度比が向上する結果が得られた．

表-2，**表-3**，**表-4** は，各モデルのパラメータ推定値を示す．推定値の符号は，いずれも妥当である．デマンド交通への受容度を表す潜在変数（LV1）を説明する個人属性のうち，高齢の年齢階層ダミーが統計的に有意であった（**表-3**）．75～84 歳および 85 歳以上に対応するパラメータ推定値は，65～74 歳のものよりも高く推定された．また**表-2** より，効用関数において LV1 に付される交通手段別の係数の中では，デマンド交通が最も大きい．これらの結果より，特に 75 歳以上の高齢者が，デマンド交通に対して受容的であり，その利用意向も強いといえる．そして**表-4** より，こうした利用意向者は，特にデマンド交通の使いやすさ，速さ，安全性に対して魅力を感じている傾向にある．なお**表-3** について，女性や 1 人世帯のダミーが統計的に有意と推定される結果は得られなかった．これは，デマンド交通の受容度の大小は，年齢が重要な要因であるのに対して，性別や世帯構成にはあまり影響されないことを示唆している．

表-1 各モデルの基礎情報

	MNL	RP-SP	RP-SP & ICLV	**RP-SP & ICLV & MMNL**
回答者サンプル数	3276	3276	3276	**3276**
RP回答数	3276	3276	3276	**3276**
SP回答数	9235	9235	9235	**9235**
LL(0)（交通手段選択）	-12223.6	-12223.6	-12223.6	**-12223.6**
LL(final)（交通手段選択）	-6527.9	-6524.4	-5897.9	**-5891.4**
調整済み尤度比（交通手段選択）	0.465	0.465	0.517	**0.518**
AIC	13075.8	13070.9	58085.9	**57909.0**

表-2 各モデルの効用関数のパラメータ推定値

			MNL		RP-SP		RP-SP & ICLV		**RP-SP & ICLV & MMNL**	
			推定値	t値	推定値	t値	推定値	t値	**推定値**	**t値**
定数項	デマンド交通	SP	-0.706	-8.95	-1.970	-3.74	-2.465	-3.67	**-0.136**	**-0.85**
	バス	RP	0		0		0		**0**	
	自家用車	RP	1.459	16.35	-0.524	-0.66	21.879	4.95	**17.852**	**5.74**
		SP	-0.116	-1.07	-0.292	-0.95	29.163	4.28	**22.238**	**4.94**
	自家用車（送迎）	RP	-0.447	-4.42	-2.430	-3.06	6.287	5.36	**7.372**	**7.65**
	自転車	RP	-1.385	-11.05	-3.682	-3.97	1.144	0.99	**3.054**	**3.78**
乗車時間			-0.043	-5.52	-0.109	-3.80	-0.130	-3.98	**-0.056**	**-3.20**
アクセス時間			-0.068	-10.66	-0.194	-3.76	-0.172	-3.59	**-0.061**	**-3.51**
運賃			-0.004	-25.27	-0.011	-3.80	-0.009	-3.81		
		平均							**-0.008**	**-5.17**
		標準偏差							**0.005**	**5.40**
（LV1）デマンド交通受容	デマンド交通						3.525	3.87	**0.853**	**3.39**
	バス						0		**0**	
	自家用車						3.495	3.58	**0.745**	**2.01**
	自家用車（送迎）						1.024	5.08	**0.276**	**1.26**
	自転車						0.246	1.39	**0.080**	**0.42**
（LV2）移動制約	デマンド交通						0.135	1.28	**-0.134**	**-2.94**
	バス						0		**0**	
	自家用車						-13.209	-4.33	**-10.333**	**-5.04**
	自家用車（送迎）						-3.353	-7.87	**-3.471**	**-7.72**
	自転車						-1.570	-5.15	**-1.865**	**-5.38**
慣性項	バス		2.735	13.08	7.742	3.69	2.293	2.68	**0.988**	**3.01**
	自家用車		1.534	12.77	4.345	3.68	-14.821	-4.21	**-11.389**	**-4.75**
スケールパラメーター		RP	1		1		1		**1**	
		SP	1		0.353	-7.03	0.733	-1.32	**1.579**	**1.52**

表-3 各モデルの潜在変数に対する説明変数のパラメータ推定値

		RP-SP & ICLV		**RP-SP & ICLV & MMNL**	
		推定値	t値	**推定値**	**t値**
（LV1）デマンド交通受容	65～74歳	0.120	2.04	**0.224**	**3.32**
	75～84歳	0.252	3.66	**0.407**	**5.34**
	85歳～	0.279	2.04	**0.437**	**3.06**
	女性				
	一人世帯				
	免許非保有				
（LV2）移動制約	65～74歳	0.154	2.64	**0.177**	**3.44**
	75～84歳	0.423	6.74	**0.469**	**8.14**
	85歳～	0.812	7.18	**0.829**	**9.38**
	女性	0.384	7.74	**0.300**	**6.95**
	一人世帯	0.175	2.56	**0.180**	**2.94**
	免許非保有	1.890	29.74	**1.877**	**36.09**

個人の移動制約を表す潜在変数（LV2）を説明する属性の中では，**表-3** に示すように，高齢者，女性，1 人世帯，および運転免許非保有が統計的に有意であった．そのパラメータ値は，高齢ほど大きく推定され，特に免許非保有者が最も大きく推定された．また，LV2 に付される係数パラメータは，デマンド交通やバスに対応するものが大きく推定された（**表-2**）．これらの結果より，高齢者，女性，1 人世帯，および免許非保有といった属性を有する人が，移動が制約される傾向にあり，デマンド交通やバスへの強い利用意向を有するといえる．**表-4** の

表-4 各モデルの測定方程式のパラメータ推定値

			RP-SP & ICLV		**RP-SP & ICLV & MMNL**	
			推定値	t値	**推定値**	**t値**
（LV1）デマンド交通受容	デマンド交通を認知している	定数	0.267	7.26	**0.238**	**6.06**
		係数	0.157	2.90	**0.299**	**4.86**
	移動が早くできそう	定数	-2.056	-28.43	**-2.312**	**-23.81**
		係数	0.709	8.85	**1.003**	**9.79**
	使うのが簡単そう	定数	-3.305	-22.74	**-4.428**	**-13.79**
		係数	1.169	9.38	**2.042**	**8.46**
	コストが安そう	定数	-2.839	-28.31	**-3.082**	**-23.54**
		係数	0.760	7.54	**0.985**	**8.18**
	知らない人との乗合が嫌だ	定数	-0.726	-17.91	**-0.705**	**-14.79**
		係数	-0.422	-6.82	**-0.737**	**-8.69**
	安全そう	定数	-2.935	-29.05	**-3.279**	**-22.07**
		係数	0.670	6.39	**1.025**	**7.86**
	環境に良さそう	定数	-1.423	-28.24	**-1.584**	**-23.40**
		係数	0.406	6.16	**0.697**	**8.39**
（LV2）移動制約	問題はない	定数	0.772	14.76	**0.728**	**14.83**
		係数	-0.558	-14.01	**-0.533**	**-13.64**
	自由に使える自動車がない	定数	-4.887	-20.99	**-4.831**	**-21.57**
		係数	0.770	7.58	**0.761**	**7.69**
	自動車の運転に不安がある	定数	-3.103	-29.53	**-3.052**	**-30.48**
		係数	0.314	4.97	**0.281**	**4.46**
	自転車の利用が困難である	定数	-3.026	-29.34	**-2.990**	**-30.12**
		係数	0.412	6.98	**0.399**	**6.82**
	歩行に不安がある	定数	-3.929	-25.42	**-3.733**	**-26.99**
		係数	0.823	11.55	**0.733**	**10.95**
	移動時に付添・介護が必要である	定数	-5.421	-18.58	**-5.149**	**-19.86**
		係数	0.846	7.12	**0.729**	**6.43**
	バス乗降に難がある	定数	-5.387	-18.34	**-5.185**	**-19.29**
		係数	0.771	6.25	**0.684**	**5.68**

表-5 各モデルの RP および SP の再現結果

		アンケート調査	MNL	RP-SP	RP-SP & ICLV	**RP-SP & ICLV & MMNL**
RP	バス	199	199.0	199.0	206.8	**210.5**
	自家用車	2529	2529.0	2529.0	2539.1	**2511.7**
	自家用車（送迎）	376	376.0	376.0	362.9	**381.3**
	自転車	172	172.0	172.0	167.2	**172.4**
SP	デマンド交通	1378	1378.0	1378.0	1433.8	**1468.7**
	バス	5212	5212.0	5212.0	5361.3	**5349.9**
	自家用車	2645	2645.0	2645.0	2440.0	**2416.5**

測定方程式の推定結果は，自由に使える自動車がない人や，歩行に不安がある人，移動時に付添・介助が必要な人にとって，デマンド交通やバスが特に魅力的であることを示唆している．

また，構築したモデルにおいて，乗車時間の時間価値の平均値は 409.7 円/時，アクセス時間の時間価値平均値は 452.0 円/時と推定された．これらの推定値は，最低賃金の半分未満であり，アクセス時間への負担が乗車時間より大きく認識されていることを踏まえると，妥当といえる．なお，費用のパラメータを固定値と仮定した RP-SP & ICLV モデルでは，乗車時間の時間価値は 839.3 円/時，アクセス時間は 1,109.2 円/時へと急増する．デマンド交通を新たに導入する際には，運賃体系に対する感度の異質性を理解することが重要である．

⑵ 再現性

表-5 は，各モデルにおける RP および SP の再現結果を示す．特筆すべきは，ICLV モデルを組み込み，構造方程式や測定方程式の尤度を尤度関数へ統合した場合にも，一定程度は選択結果を再現できることである．特に，MMNL モデルを組み込んだ構築モデルでは，再現性が高い．

⑶ 運賃設定に対する感度

最後に，デマンド交通の運賃を様々な値に設定した場合の需要の感度を分析する．**図-6**，**図-7** は，各運賃において予測されたデマンド交通，バスの選択数を示す．デマンド交通の運賃は，0 円から 1000 円まで 100 円刻みで均一に設定した．なお，デマンド交通の乗車時間は自家用車の 1.5 倍，アクセス時間は 0 に設定した．構築した

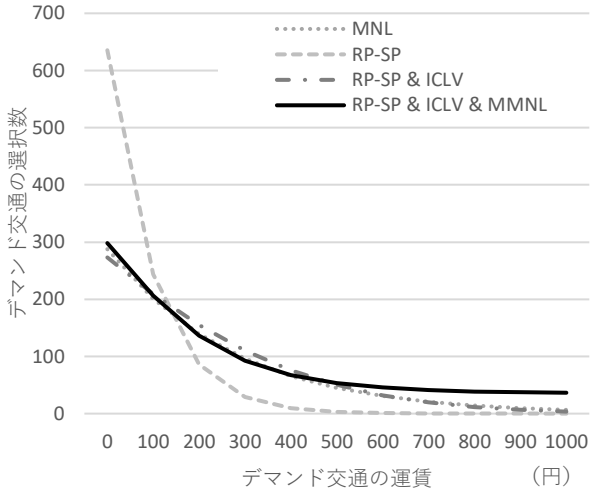


図-6 運賃設定に対するデマンド交通の需要の感度

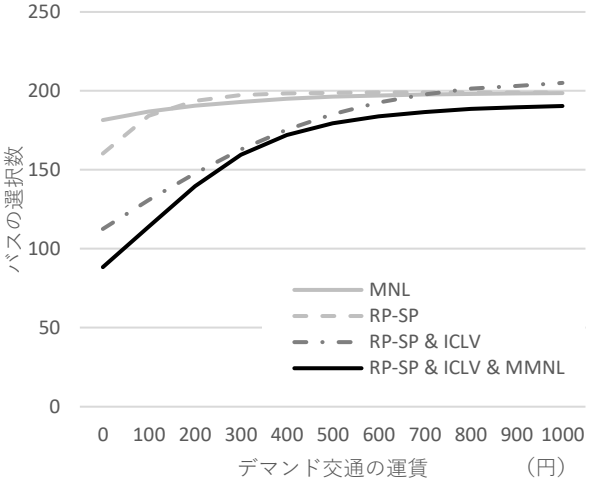


図-7 運賃設定に対するバスの需要の感度

モデル（RP-SP & ICLV & MMNL）では，運賃が 500 円～1000 円の場合，デマンド交通の需要が約 50 人で安定する結果が得られた．一方，運賃が 400 円未満の場合，需要が増加すると予測された．この結果は，デマンド交通の運賃を 500 円前後に設定した場合に，収益バランスを最適化できることを示唆している．

図-6，**図-7** では，構築モデル以外の 3 モデル（MNL，RP-SP，RP-SP & ICLV）の予測結果も示している．運賃設定に対する需要の感度は，構築モデルが他のモデルよりも小さい．これは，4（1）節で示したように，構築モデルは他のモデルよりも時間価値を低く推定しているためである．また，構築モデルのような ICLV モデルが，デマンド交通の競合と考えられるバスからの利用転換を予測できていることは，重要なポイントである．なお，単純な RP-SP モデルは，デマンド交通の定数項が嗜好の異質性を捉えきれないために，運賃に対する感度を過大評価していると考えられる．

5. おわりに

本研究では，高蔵寺ニュータウンの RP および SP の調査を活用して，交通手段選択モデルを構築した．RP-SP モデル，ICLV モデル，および MMNL モデルを組み合わせることで，デマンド交通の利用意向者の特性を明確に理解できるようになることを示した．加えて構築したモデルは，運賃に対する需要の感度がより精緻であると期待されるため，デマンド交通の実装時の検討において有益な知見をもたらす．本研究の枠組みは，他地域展開をも意図して設計されたものであり，デマンド交通の新規導入を目指す国内各地においても有用であろう．

今後の研究としては，潜在変数や指標，費用のパラメータ係数の確率分布をさらに検討していくことを予定している．さらに，ポイント型 GPS データから構築した将来 OD 表を基にして，空間的および時間的に詳細な需要を予測することを目指す．これらの取り組みは，配車する車両数やモビリティ・マネジメントの方策といった具体的な検討の一助となるだろう．

なお，高蔵寺ニュータウンでは，2023 年 2 月から，7 人乗り自動運転カートを使用したデマンド交通サービスが運行されている．デマンド交通用のモデルと自動運転サービス用のモデルを統合することによって，新モビリティサービスの利用意向者の特性の把握と需要の予測のためのフレームワークを確立することが期待される．

謝辞：本研究は，愛知県春日井市および独立行政法人都市再生機構から受託した調査研究業務の成果の一部を発展させて実施されたものである．また，本研究に際して貴重な助言をいただいた，名古屋大学教授山本俊行先生に，感謝の意を表する．

REFERENCES

1) Ben-Akiva, M., Morikawa, T.: Estimation of switching models from revealed preferences and stated intentions, *Transportation Research Part A: General*, Vol. 24, No. 6, pp. 485–495, 1990.
2) McFadden, D.: The Choice Theory Approach to Market Research, *Marketing Science*, Vol. 5, No. 4, pp. 275–297, 1986.
3) Train, K. E., McFadden, D. L., Goett, A. A.: Consumer Attitudes and Voluntary Rate Schedules for Public Utilities, *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 69, No. 3, pp. 383–391, 1987.
4) 長谷川大輔，鈴木勉：都市規模・密度に着目したデマンド型交通成立条件に関する理論的考察, 都市計画論文集, Vo. 46, No. 3, pp. 817–822, 2011. [Hasegawa, D., Suzuki, T.: Urban Size and Density Condition for the Introduction of Demand Responsive Transport, *Journal of the City Planning Institute of Japan*, Vol. 46, No. 3, pp. 817–822, 2011.]
5) 長谷川大輔, 鈴木勉：需要密度・移動距離に着目した多様な公共交通システムの優位性に関する理論的考察, 都市計

画論文集, Vol. 52, No. 3, pp. 1284–1289, 2017. [Hasegawa, D., Suzuki, T.: Theoretical Approach for the Selection of Public Transport Systems Considering Urban Density and Travel Distance, *Journal of the City Planning Institute of Japan*, Vol. 52, No. 3, pp. 1284–1289, 2017.]

6) 長谷川大輔, 鈴木勉：路線網形状を考慮したバス・デマンド型交通併用効果の分析, GIS-理論と応用, Vol. 27, No. 1, pp. 1–11, 2019. [Hasegawa, D., Suzuki, T.: Evaluation of Effectiveness by Combining of Bus and Demand Responsive Transit Service Focusing Bus Route Network Configuration, *Theory and Applications of GIS*, Vol. 27, No. 1, pp. 1–11, 2019.]
7) 高野穂泉, 森本章倫：デマンド交通における利用者数の実測と予測の乖離に関する研究, 土木学会論文集 D3（土木計画学）, Vol. 68, No. 5, pp. I_851 – I_856, 2012. [Takano, H., Morimoto, A.: The Difference Between Actual User and Predicted User of Demand Responsive Transit, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. D3 (Infrastructure Planning and Management)*, Vol. 68, No. 5, pp. I_851 – I_856, 2012.]
8) 辰巳浩, 堤香代子, 吉城秀治：地方別人口規模別にみたコミュニティバスおよびデマンド交通の運営状況, 交通工学論文集, Vol. 5, No. 2, pp. B_24 – B_33, 2019. [Tatsumi, H., Tsutsumi, K., Yoshiki, S.: Administration Situation of Local Public Transport Managed by Local Governments according to Region and Population Scale, *JSTE Journal of Traffic Engineering*, Vol. 5, No. 2, pp. B_24 – B_33, 2019.]
9) 冨岡秀虎, 村上僚祐, 高山宇宙, 森本章倫： MaaS の普及を想定した公共交通と人口分布に関する研究, 土木学会論文集 D3（土木計画学）, Vol. 76, No. 5, pp. I_793 – I_801, 2021. [Tomioka, H., Murakami, R., Takayama, K., Morimoto, A.: A Study on Transportation Network and Population Distribution in Consideration of MaaS, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. D3 (Infrastructure Planning and Management)*, Vol. 76, No. 5, pp. I_793 – I_801, 2021.]
10) 尹鍾進, 堀口拓未, 森地茂：デマンド交通の導入による地方のモビリティ向上に関する研究, 運輸政策研究, Vol. 24, pp. 27–34, 2022. [Yoon, J., Horiguchi, Y., Morichi, S.: Smart Mobility for Rural Areas: On-demand Mobility, *Transport Policy Studies' Review*, Vol. 24, pp. 27–34, 2022.]
11) Alemi, F., Circella, G., Handy, S., Mokhtarian, P.: What influences travelers to use Uber? Exploring the factors affecting the adoption of on-demand ride services in California, *Travel Behaviour and Society*, Vol. 13, pp. 88–104, 2018.
12) Xie, Y., Danaf, M., Azevedo, C. L., Akkinepally, A. P., Atasoy, B., Jeong, K., Seshadri, R., Ben-Akiva, M.: Behavioral modeling of on-demand mobility services: general framework and application to sustainable travel incentives. *Transportation*, Vol. 46, No. 6, pp. 2017–2039, 2019.
13) Said, M., Soria, J., Stathopoulos, A.: Shifting Mobility Behaviors in Unprecedented Times: A Multigroup MIMIC Model Investigating Intentions to Use On-Demand Ride Services During the COVID-19 Pandemic. *Transportation Research Record*, Vol. 2677, No. 4, pp. 704–722, 2023.
14) Hess, S., Palma, D.: Apollo: A flexible, powerful and customisable freeware package for choice model estimation and application, *Journal of Choice Modelling*, Vol. 32, 100170, 2019.

MODE CHOICE MODEL INCLUDING AI-ON-DEMAND SERVICE IN KOZOJI NEWTOWN

Hiroyuki HASADA, Anna MIZUNO, Seishu KITAMURA and Ryo KANAMORI

New mobility services such as AI-on-demand service are often introduced with inadequate service levels and inappropriate fare system due to the difficulty of high-resolution demand estimation. In suburban residential areas where local bus services are in decline, it is required to analyze user intentions before introducing the new services as a redesign of public transportation. In this study, we conduct a basic tabulation of RP and SP surveys for residents in the Kozoji New Town, develop a mode choice model, and analyze their intention to use the service. It is clarified that not only physical constraints but also the low service level of buses are regarded as a personal mobility restriction. In addition, we find that the older a person is, the greater the intention to use the service. By incorporating a mixed multi-nomial logit model, the sensitivity of fares is also identified with heterogeneity considered. Applying the proposed model to OD tables based on GPS data enables more detailed estimation of future demand for the service with appropriate fares.