

都市鉄道利用者を対象とした出発時刻選択モデルの選択肢設定に関する基礎的考察*

Comparative analysis of choice set for commuting time of day choice model in urban railway networks*

岩倉成志**・原田知可子***・鈴木修司****

By Seiji IWAKURA**・Chikako HARADA***・Shuui SUZUKI****

1. はじめに

東京圏の都市鉄道は、ピーク時の非常に高い混雑率に加えて、列車速度の低下という相乗的なサービス悪化が問題となっている。輸送力の増強によるサービス改善が必要であるが、供給側の対策のみでの混雑緩和は困難であり、フレックスタイム制度や時間差料金制度など、需要側の利用時間分散策の推進が必要と言える。

こうした政策の需要変動を事前に分析するためには、時刻別の需要予測手法が必要である。筆者ら¹⁾は、RPとSPを融合した出発時刻選択モデル、就業制度や始業時刻によって異なる出発時刻の選択肢集合の選別モデルを構築し、ピークロードプライシングやフレックスタイム制度の効果計測を可能にした。

ここで作成した出発時刻選択モデルは、選択肢区分をアブリオリに30分間隔の8肢選択モデルとした。一方で、家田ら²⁾は選択肢区分を10分間隔とする36肢選択モデルを構築している。選択肢区分を細かくすることによって、出発時刻の選択行動を詳細に記述できるが、パラメータの安定性が低下したり、尤度比が低下する恐れがある。選択肢区分の粗密がパラメータやモデルの精度に与える影響に関する知見は数少ない。また、出発時刻選択モデルの選択肢間の類似性についての指摘³⁾がなされており、その点でも選択肢区分の設定方法に関する知見の蓄積は重要な課題と考える。

そこで本研究では、選択肢区分の設定を変更した場合のモデルの再現精度、パラメータ感度の変化、選択肢間の誤差相関に関する実証分析を試みる。具体的には、東京圏の都市鉄道である東海道線戸塚駅、小田急小田原線新百合ヶ丘駅の周辺に居住し、東京都心へ向う通勤者を対象に、自宅出発時刻のRPデータをアンケート調査によって取得する。非集計ロジットモデルによって出発時刻選択モデルを構築するが、その際15分ピッチ、30分ピッチ、60分ピッチの選択肢区分でモデルを構築し、モデル

表1. 調査概要

対象駅	①JR東海道線 戸塚駅	②小田急小田原線 新百合ヶ丘駅
対象駅を利用する通勤者へのはがきアンケート調査		
配布場所	駅周辺及びバス停	
配布枚数	2499枚	2435枚
配布日時	6(火)	13(火)
(2002年11月)	7(水)・8(木)	14(水)
回収枚数	718枚(28.7%)	816枚(33.6%)
調査内容	計1534枚(31.1%) 家を出る時刻、出発可能な時間幅、アクセス手段、鉄道経路、出発時刻決定要因、業務形態、個人属性など	
終着地点が調査対象であるバスのGPSIによる運行時間調査		
調査日時	11(月)～15(金)	18(月)～22(金)
対象バス系統	始発～9:30	
(バス停数/距離)	①ドリームハイツ発(17/5.0km)、汲沢団地発(8/2.1km)	
	②聖マリアンナ発(21/6.6km)、新百合グリーンタウン発(10/2.7km)	

間のパラメータの比較と再現精度の比較を行う。さらに、Mixed Logitモデル(以下、MXL)によって選択肢間の誤差相関に関する考察を加える。

2. データ概要

本研究では、鉄道を利用し都心へ通勤する就業者を対象に出発時刻選択に関するアンケート調査と、自宅から最寄駅までのアクセス所要時間を把握するためのGPS端末を用いたバス所要時間調査を独自に行った。調査概要を表1に示す。調査対象地は、JR東海道線戸塚駅周辺(以下、戸塚)、小田急小田原線新百合ヶ丘駅周辺(以下、新百合)である。いずれの地域も都心までの鉄道乗車時間が30分圏内の地点に当たり、地域間比較が行い易いと考えて選定した。ただし、小田急線の駅間距離が短いこと、またこの地域の鉄道路線の密度が高いことから、新百合は戸塚に比べてバス利用者のアクセス時間が短くなるという交通環境上の違いがある。

(1) 調査の方法と概要

アンケート調査は、通勤者を対象に、複数のバス停留所で午前中のバス利用者、対象駅周辺で夕刻の帰宅者に配布した。配布枚数は、4934枚で、回収率は30%以上であった。また、調査票のうち出発時刻選択モデルに関連する項目として、家を出る時刻、最寄駅までのアクセス手段と所要時間、鉄道の通勤経路、会社始業時刻やフレックスタイム制度適用などの就業形態、個人属性を設けた。

GPSによるバス所要時間調査は、神奈川中央交通(戸

*キーワード：TDM、交通行動分析、公共交通運用

**正員、工博、芝浦工業大学工学部土木工学科

(〒108-8548 東京都港区芝浦3-9-14、

TEL03-5476-3049, FAX03-5476-3166)

***学生員、芝浦工業大学大学院建設工学専攻

****非会員、川崎市役所

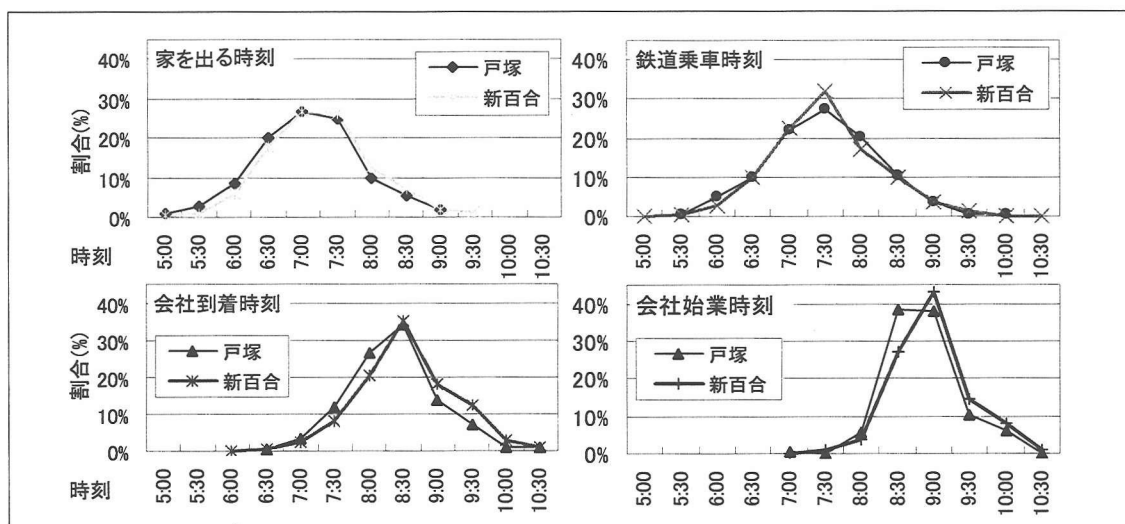


図1. 各地点の行動の時刻分布

表2. 各行動時刻の平均と分散

	戸塚		新百合ヶ丘	
	平均	分散	平均	分散
家を出る時刻	7:15	1864.3	7:24	1904.4
乗車時刻	7:42	1808.4	7:43	1878.5
会社到着時刻	8:34	1537.1	8:45	1857.0
始業時刻	8:56	973.0	9:03	1095.5
サンプル数	428		537	

塚), 小田急バス(新百合)に依頼して調査を行った。対象バス系統は, 各対象駅を終着地とする系統で, 経路が長く遅延が発生しやすい系統(戸50系: ドリームハイツ発, 新17系: 聖マリアンナ発)と, 比較的距離が短い団地を始発とする利用者が多い系統(戸53系: 汲沢団地発, 新10系: 新百合グリーンタウン発)とした。GPS端末のデータ取得が確実にできるように, 運転台の前の窓際のスペースにGPS端末を固定した。観測日時は, 平日5日間で, 路線ごと1日9台を用い始発~9:39までを約15分間隔で所要時間を計測できるように運行計画表をもとにバスを特定した。座標位置データは3秒ピッチで取得した。

(2) 通勤者の出発時刻選択行動の基礎的考察

本調査では1534サンプルを回収したが, 東京方面に向かうサンプルを抽出し, 戸塚が428サンプル, 新百合が537サンプルの計965サンプルを有効データとして分析を進める。

このサンプルの属性は, 各調査地点で男女比が7:3, 平均年齢は45歳(戸塚), 47歳(新百合)で調査地点での性年齢属性はほぼ同じである。両地点に共通して男性が高年齢層, 女性は若年齢層に偏っている。通勤者の業務形態は,

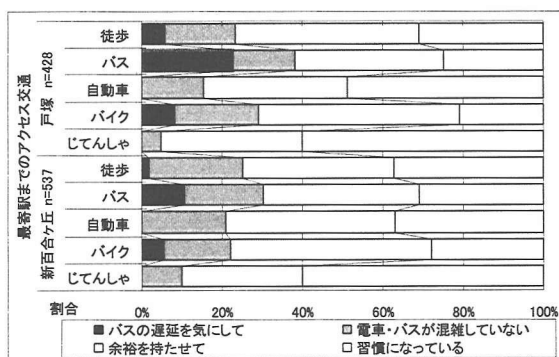


図2. アクセス交通機関別の出発時刻選択要因

定時出勤/フレックスタイム制度の割合が, 戸塚は82%/14%, 新百合ヶ丘は71%/18%で, 定時出勤の割合が小さい新百合の方が多様な就業形態となっている。被験者の就業地は, 都区内が非常に多く(特に, 港・品川・千代田・新宿・中央区に集中), 戸塚では, 都内・66%・神奈川県・32%(横浜市・24%・川崎市・9%), 新百合では, 都内・90%・川崎市・9.5%である。

鉄道乗車時刻は, 各調査地点とも7:30台に集中している。これは都市交通年報で報告されている最混雑時間帯(JR東海道線, 7:30~8:30川崎→品川間 209%, 小田急小田原線, 7:48~8:48世田谷代田→下北沢間 190%)とほぼ一致している。

図1は, 調査地別に, 自宅出発時刻, 最初の鉄道乗車(主に戸塚駅, 新百合ヶ丘駅)時刻, 会社到着時刻, 会社始業時刻の4つを30分間隔で集計したものである。出発時刻から目的地到着時刻までの時間を追うにつれ分散していた行動が集中していくことがわかる。会社到着時刻, 会社始業時刻において, 新百合が戸塚に比べ遅い時間に偏心している理由は, フレックスタイム制度の割合

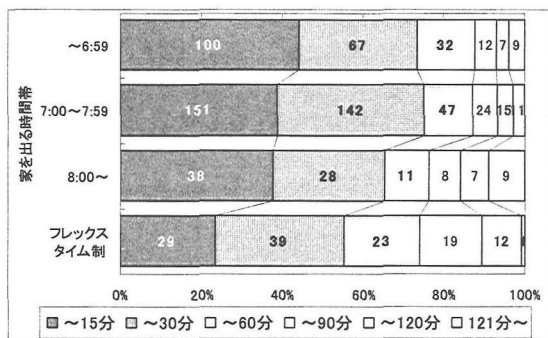


図3. 定時出勤とフレックスタイム制度の出発時刻幅

表3. 選択肢設定による選択肢集合の変化

	戸塚			新百合ヶ丘		
	18肢	9肢	5肢	18肢	9肢	5肢
2肢	33.1%	56.6%	76.2%	27.5%	52.4%	72.1%
3肢	22.1%	20.6%	16.3%	26.1%	21.4%	21.4%
4肢	11.5%	11.3%	6.2%	10.5%	12.0%	5.7%
5肢	12.0%	5.3%	1.3%	10.8%	7.5%	0.8%
6肢	4.3%	2.5%		4.5%	3.1%	
7肢	4.5%	2.2%		7.2%	2.2%	
8肢	3.2%	1.3%		2.4%	1.1%	
9肢	3.2%	0.3%		4.5%	0.3%	
10肢	0.8%			1.4%		
11肢	2.1%			1.7%		
12肢	0.3%			0.5%		
13肢	1.6%			1.2%		
14肢	0.3%			0.5%		
15肢	0.3%			0.5%		
16肢	0.5%			0.5%		
17肢	0.0%			0.0%		
18肢	0.3%			0.2%		
総計	375	320	227	418	359	262

の違いによるものと考えられる。会社始業時刻が戸塚に比して新百合の分散が大きい理由は、就業形態の割合の違いによるものと考えられる。

表2は、図1の各地点の時刻の平均と分散を示したものである。家を出る時刻は、戸塚が新百合より9分早い。家を出る時刻と乗車時刻の差は、戸塚は27分、新百合は16分であることから、戸塚の通勤者はアクセス所要時間が長い。目的地に近づくにつれ分散が小さくなっていくことがわかるが、家を出る時刻と鉄道乗車時刻とは分散の変化が少ないことから、アクセス所要時間が不確定であることが起因していることが考えられる。

図2は、最寄駅までのアクセス交通機関別に出発時刻選択要因のうち、多くの通勤者が答えた4つの要因について集計したものである。戸塚のバス利用者は、新百合と比較して「バスの遅延を気にして」の要因が多い。実際のバスの遅延状況は後述する。また、「余裕を持たせて」、「習慣になっている」と答えている通勤者が多い。

図3は、最も早い出発時刻と最も遅い出発時刻の差を出発時刻の選択可能な幅として、自宅の出発時間帯別に集計したものである。早く出発する人は選択幅が小さく、遅く出るとに従って出発時刻の選択幅は様々であることが分かる。特に、フレックスタイム制の通勤者は様々な時

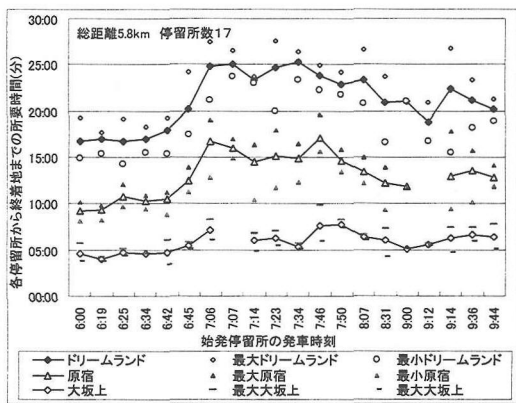


図4. ドリームハイツ発の各停留所毎の所要時間(戸塚)

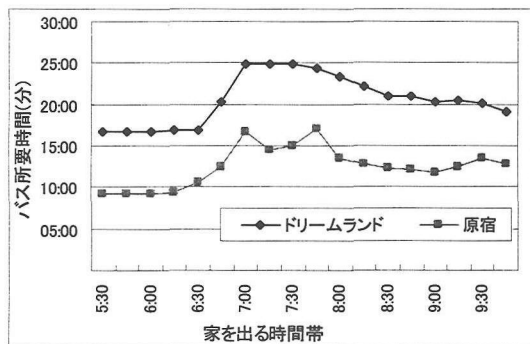


図5. 修正後のバス所要時間(戸塚)

間幅をもっていることがわかる。

次に、バスの時刻別所要時間の変動について述べる。図4に戸塚のドリームハイツ発(戸50系)の戸塚駅までのバス所要時間をバス停別に示す。5日間のデータであるため、各時刻各バス停で最大5サンプルを取得している。横軸がドリームハイツを出発した時間、縦軸が各バス停から終着地までの所要時間である。ドリームランドから戸塚駅までの平均所要時間は6:00発では16分、7:06発では25分であり、平均日変動では9分である。また、週変動は7:23発で最大27分、最小20分で差は7分である。これより特定の時間帯で週変動、日変動が大きいことが確認できた。新百合の時刻別の所要時間変動は、戸塚と比べると小さく、平均日変動は5分であった。これにより、図2の戸塚のバス利用者が「バスの遅延を気にして」いることが裏付けられた。

(3) 出発時刻選択モデルに用いるデータ

出発時間帯が5:30~9:59までの被験者を対象にモデル構築のデータ整備を行う。モデルの変数はアクセス所要時間(分)(以下、access time)、鉄道乗車時間×混雑率(分・%) (以下、congestion)、早着時間(以下、time early)、遅着時間(以下、time late)とした。

既往の出発時刻選択モデルには、定数項を用いないケースが多い。例えば、家田ら²⁾は、多くのスケジュールコストの変数のみであるし、また、Chin⁷⁾やSmall⁸⁾は、5分ピッチの11～12選択モデルの構築を行っている。変数には、2～4つのスケジュールコストと、多くの属性ダミーとスケジュールコストを組み合わせた変数を用いている。定数項や多くのダミーを用いることで、モデル精度自体は向上すると考えられるが、研究目的の一つが、選択肢設定区分による各パラメータの感度の相違の分析であり、選択肢の設定によって定数項の設定が変わること、モデル構築に用いるサンプルが異なるため、サンプルに含まれる個人属性の割合が変化することから、複雑な変数や定数項は用いずに出発時刻選択モデルに一般に用いられる基本的なパラメータを設定することとした。

LOSは、それぞれ以下のように設定した。まず、15分ピッチのLOSデータの作成方法について述べる。

access timeは、バス利用者が図4に示したGPS調査で計測した15分ピッチの平均所要時間を用いた。GPSデータは、5日間調査の各停留所で最大5サンプルを取得しているが、欠損データが存在すると、隣り合う時間帯で所要時間変動が非常に大きく異なる。この問題に対処するために平均的な時間を取るように平滑化を行った。平滑処理を行った後のバス所要時間分布を図5に示す。なお、バス以外のアクセス交通機関（徒歩を含む）の利用者には、アンケートに記述された所要時間を用い時間帯による変動は設定していない。

congestionは、駅間の乗車時間に駅間混雑率（断面交通量÷輸送力）を乗じたものである。通勤者の利用経路に基づき、時刻表（東京時刻表2002年11月、弘済出版社）によって出発時刻を始発-9:59までの15分ごとに駅間所要時間と輸送力（列車本数と車輛編成数）を作成した。混雑率は平成12年大都市交通センサスデータから15分ピッチの駅間断面交通量を用いて駅間混雑率データを作成した。乗換時間は全データ同一に5分と設定した。

time early, time lateについては、通勤者の会社到着時刻と会社始業時刻を元に作成した。

選択肢の設定を30分ピッチ、60分ピッチとした場合のLOSは、その時間帯に当たる15分間隔のLOSを平均して設定した。選択肢設定によって異なるサンプルレートを表3に示す。離散選択モデルであるため2肢以上選択するサンプルでモデル推定を行う。18肢は15分間隔で30分以上の出発時刻幅があるサンプルとなる。9肢は30分間隔、5肢は60分間隔であり、9肢では半数の選択肢集合が、5肢では大半のサンプルがバイナリーの選択肢集合となっている。

3. 選択肢区分による出発時刻選択モデルの比較

(1) 選択肢区分による出発時刻選択モデルの推定

表4に出発時刻選択モデルの推定結果を示す。戸塚と新百合データをプーリングしたモデル「統合（戸塚+新百合）」と、地域差を把握するための「戸塚」と「新百合」のモデルを推定した。15分ピッチの18肢、30分ピッチの9肢、60分ピッチの5肢選択でそれぞれ多項ロジットモデル（以下、MNL）とMXLを推定し18種類のモデルを構築した。なお、MXLでは隣り合う選択肢間の誤差相関に関わるパラメータを推定した。

time early, time lateの2変数はいずれのモデルも1%有意である。congestionも概ね有意で、access time以外の符号条件は成立している。

(2) モデルの精度に関する考察

モデル全体の精度を示す尤度比は、選択肢数が少なければ、また変数が多いMXLのほうが上昇するのは当然のことであるので、相関係数、平均残差、期待値、最終尤度を指標にしてモデルの精度を検証する。表5に各指標に基づいて計算されたモデル精度の比較表を示す。3種類の選択肢設定のデータセットに対して3種類のモデルパラメータがどの程度の再現性をもつかを確認するための表となっている。

まず、データセットの作成方法と各精度指標の算出方法について説明する。18肢、9肢、5肢のモデル構築に用いたサンプルを抽出し、そのサンプルの選択結果、選択肢集合およびLOSをそれぞれ15分ピッチ、30分ピッチ、60分ピッチのデータに変換し、計9種類のデータセットを作成した。例えば、データセット18でモデル18の場合は15分ピッチのデータをそのまま利用するが、データセット18でモデル9の場合は、18肢モデルの構築に用いたサンプルの15分ピッチの選択結果、選択肢集合およびLOSを30分ピッチに集約したデータセットで、9肢モデルを用いて選択確率を推計し、モデル精度の指標を算出する。同様に、データセット18でモデル5の場合は、15分ピッチのデータを60分ピッチに集約し、5肢モデルを用いてモデル精度の指標を算出する。データセット9でモデル5の場合も同様の方法をとった。

なお、最終尤度を計算する際に、選択肢集合の集約によって選択可能性が1つとなるサンプルが発生するが、その場合の選択確率は、18肢から9肢、9肢から5肢の場合は選択確率を1/2と与え、18肢から5肢の場合は選択確率を1/4と与えた。このような処理を行った最終尤度の指標であることに留意する必要がある。

一方、データセット9でモデル18の場合は、18肢モデルの構築に用いたサンプルの選択結果、選択肢集合およびLOSから9肢モデルの構築に用いたサンプルを抽出したデータセットを用いる。18肢モデルで選択確率を推計してモデル精度の指標を算出する。なお、サンプルの選

表4. パラメータの推定結果

	統合 (戸塚+新百合ヶ丘)				戸塚				新百合ヶ丘			
	MNL		MXL		MNL		MXL		MNL		MXL	
選択肢数 = 18												
	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値
ACC	-4.095	-0.94	-4.017	-0.86	-2.834	-0.57	-0.164	-0.03	4.921	0.51	6.376	0.47
Congestion	-0.998	-2.63	-0.994	-2.38	-0.434	-0.56	-0.138	-0.15	-1.819	-3.32	-2.565	-2.82
time early	-2.533	-9.43	-2.650	-8.59	-2.176	-5.32	-2.293	-4.29	-3.155	-7.76	-4.036	-3.71
time late	-7.334	-9.71	-10.041	-8.15	-5.989	-5.29	-11.490	-3.72	-8.467	-8.13	-11.959	-5.99
s(5:30_5:45)	-	-	0.806	0.69	-	-	1.432	1.18	-	-	0.111	0.07
s(5:45_6:00)	-	-	0.024	0.03	-	-	0.269	0.28	-	-	0.045	0.04
s(6:00_6:15)	-	-	0.068	0.08	-	-	0.109	0.11	-	-	1.040	1.00
s(6:15_6:30)	-	-	0.068	0.10	-	-	0.066	0.07	-	-	0.493	0.38
s(6:30_6:45)	-	-	0.058	0.11	-	-	0.005	0.01	-	-	0.006	0.01
s(6:45_7:00)	-	-	0.011	0.03	-	-	0.158	0.16	-	-	0.024	0.06
s(7:00_7:15)	-	-	0.004	0.02	-	-	0.012	0.04	-	-	0.065	0.15
s(7:15_7:30)	-	-	0.058	0.10	-	-	0.023	0.04	-	-	0.599	0.20
s(7:30_7:45)	-	-	0.021	0.06	-	-	0.018	0.04	-	-	0.098	0.16
s(7:45_8:00)	-	-	0.113	0.15	-	-	0.005	0.01	-	-	1.143	0.85
s(8:00_8:15)	-	-	0.044	0.08	-	-	1.989	1.24	-	-	0.010	0.02
s(8:15_8:30)	-	-	3.133	3.83	-	-	0.281	0.13	-	-	3.574	3.24
s(8:30_8:45)	-	-	0.369	0.29	-	-	4.952	2.46	-	-	0.000	0.00
s(8:45_9:00)	-	-	0.860	0.35	-	-	0.031	0.02	-	-	0.025	0.02
s(9:00_9:15)	-	-	3.253	2.34	-	-	6.714	2.30	-	-	0.016	0.01
s(9:15_9:30)	-	-	0.045	0.03	-	-	0.024	0.02	-	-	0.074	0.05
s(9:30_9:45)	-	-	0.030	0.01	-	-	0.096	0.03	-	-	0.020	0.01
初期尤度	-1035.357		-1035.357		-479.987		-479.987		-555.370		-555.370	
最終尤度	-923.882		-917.723		-441.424		-433.506		-479.084		-472.674	
尤度比	0.108		0.114		0.080		0.097		0.137		0.149	
サンプル数	793		793		375		375		418		418	
選択肢数 = 09												
	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値
ACC	-5.432	-1.24	-5.087	-1.23	-2.944	-0.60	-2.110	-0.43	1.458	0.12	4.401	0.34
Congestion	-1.025	-2.59	-1.037	-2.58	-0.855	-1.22	-1.231	-1.68	-1.912	-2.76	-2.076	-2.36
time early	-2.720	-9.85	-2.911	-8.99	-2.174	-5.50	-2.494	-4.56	-3.471	-7.86	-4.110	-3.18
time late	-6.918	-9.91	-7.670	-7.35	-5.823	-5.63	-9.429	-3.80	-8.200	-8.18	-9.195	-3.72
s(5:30_6:00)	-	-	0.718	1.27	-	-	0.580	0.47	-	-	1.180	1.08
s(6:00_6:30)	-	-	0.131	0.45	-	-	0.169	0.51	-	-	0.672	0.95
s(6:30_7:00)	-	-	0.074	0.40	-	-	0.079	0.13	-	-	0.598	0.87
s(7:00_7:30)	-	-	0.199	0.76	-	-	0.131	0.70	-	-	0.880	0.50
s(7:30_8:00)	-	-	0.156	1.25	-	-	0.002	0.01	-	-	0.004	0.02
s(8:00_8:30)	-	-	0.152	0.27	-	-	0.586	0.81	-	-	0.293	0.44
s(8:30_9:00)	-	-	1.033	1.01	-	-	4.148	1.33	-	-	0.145	0.32
s(9:00_9:30)	-	-	1.708	1.97	-	-	3.594	2.22	-	-	0.239	0.73
初期尤度	-677.467		-677.467		-313.706		-313.706		-363.762		-363.260	
最終尤度	-565.207		-562.948		-274.365		-269.213		-287.792		-286.613	
尤度比	0.166		0.169		0.125		0.142		0.209		0.211	
サンプル数	679		679		320		320		359		359	
選択肢数 = 05												
	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値
ACC	-1.498	-0.40	-0.950	-0.21	-0.476	-0.11	-0.460	-0.11	3.345	0.19	15.376	0.39
Congestion	-0.633	-1.58	-0.712	-1.61	-1.187	-1.48	-1.194	-1.55	-0.878	-1.27	-1.703	-0.99
time early	-2.321	-8.47	-2.539	-6.31	-1.910	-4.96	-1.917	-5.09	-2.705	-6.18	-5.913	-1.84
time late	-5.206	-9.30	-5.569	-7.11	-5.121	-5.64	-5.136	-4.34	-5.704	-7.09	-11.659	-1.87
s(5:30_6:00)	-	-	0.336	0.32	-	-	0.137	0.68	-	-	4.197	1.39
s(6:00_7:00)	-	-	0.008	0.04	-	-	0.075	0.51	-	-	0.801	0.22
s(7:00_8:00)	-	-	0.820	1.06	-	-	0.110	0.20	-	-	0.136	0.06
s(8:00_9:00)	-	-	0.258	1.19	-	-	0.028	0.22	-	-	2.581	1.40
初期尤度	-401.340		-401.340		-184.800		-184.800		-216.540		-216.540	
最終尤度	-315.496		-314.540		-150.943		-150.900		-163.339		-160.991	
尤度比	0.214		0.216		0.183		0.183		0.246		0.257	
サンプル数	489		489		227		227		262		262	

表5. 選択肢区分によるモデルの精度の比較

データセット	モデル	統合(戸塚+新百合ヶ丘)				戸塚				新百合ヶ丘			
		相関係数	平均残差	期待値	最終尤度	相関係数	平均残差	期待値	最終尤度	相関係数	平均残差	期待値	最終尤度
18	18	0.938	14.5	7:25	-923.9	0.933	15.5	7:18	-441.5	0.942	13.6	7:29	-479.1
	9	0.929	15.6	7:26	-644.9	0.927	16.4	7:21	-312.6	0.930	14.9	7:30	-329.3
	5	0.899	17.9	7:23	-746.6	0.902	18.2	7:19	-357.8	0.894	17.7	7:27	-387.8
サンプル数/真の期待値		793 / 7:21				375 / 7:15				418 / 7:26			
9	18	0.917	17.3	7:27	-568.4	0.912	18.4	7:24	-275.7	0.920	16.2	7:31	-289.6
	9	0.918	16.9	7:27	-565.2	0.914	17.9	7:23	-274.4	0.921	16.0	7:31	-287.8
	5	0.897	18.1	7:24	-453.3	0.899	18.5	7:21	-216.6	0.894	17.8	7:28	-236.5
サンプル数/真の期待値		679 / 7:22				320 / 7:18				359 / 7:26			
5	18	0.911	17.4	7:29	-285.2	0.904	18.7	7:26	-137.2	0.915	16.2	7:32	-146.4
	9	0.875	21.0	7:29	-318.8	0.879	22.4	7:27	-153.2	0.873	19.7	7:32	-163.3
	5	0.881	20.1	7:27	-315.5	0.885	20.9	7:24	-150.9	0.876	19.4	7:30	-163.3
サンプル数/真の期待値		489 / 7:23				227 / 7:19				262 / 7:26			

表6. 選択肢区分による LOS の最大値と最小値の差

最大値と最小値の差		戸塚			新百合ヶ丘		
		18肢	9肢	5肢	18肢	9肢	5肢
access time (min)	平均値	3.16	3.33	4.20	2.02	1.82	1.42
	最頻値	0.70	1.80	6.90	2.00	1.30	1.60
	標準偏差	2.54	2.41	2.37	1.62	1.32	0.55
congestion (min・%)	平均値	19.02	21.56	24.38	28.10	27.89	31.89
	最頻値	4.68	3.87	9.21	1.16	21.88	23.76
	標準偏差	18.29	17.65	16.72	21.74	18.40	14.67
time early (min)	平均値	37.38	41.66	51.82	35.89	39.58	48.94
	最頻値	15.00	30.00	45.00	15.00	30.00	38.00
	標準偏差	29.98	27.48	26.71	29.02	26.76	24.53
time late (min)	平均値	11.72	16.44	27.01	16.44	21.62	33.23
	最頻値	0.00	0.00	23.00	0.00	0.00	11.00
	標準偏差	25.80	27.96	29.81	28.20	30.39	32.29
サンプル数		375	320	227	418	359	262

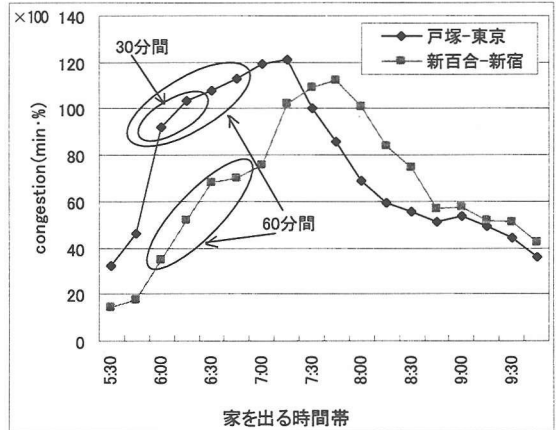


図6. 時間帯別の LOS の変化

択結果は30分ピッチであるのに対して、モデルは15分ピッチで選択確率が推計されるので、分割された2つの選択肢の選択確率を合算した。データセット5でモデル18の場合は4つの選択肢の選択確率を合算した。データセット5でモデル9の場合も2つの選択肢の選択確率を合算した。

相関係数は、実データ(回答された出発時刻)とモデルより推定された期待値との相関である。期待値は、各選択肢の選択確率と各選択肢の中央値時刻との積和により算出される。平均残差は、実データと期待値との差分の二乗和から得られる分散を、サンプル数で割り平方根をとっている。最終尤度は、選択確率の対数をとった値の総和で得られる。

相関係数と平均残差については、データセットとモデルセットの選択肢が大きいほど精度が向上する傾向にあり、統合18肢データセットの5肢モデルから18肢モデルの相関係数は0.899から0.938へ上昇し、平均残差は17.9分から14.5分と小さくなっている。

期待値を真の期待値(実データより算出)と比較すると、データセット内のモデル選択肢を集約(5肢)したほうが約2-3分の差ではあるが、真の期待値に近いように見える。しかし、全体的に比較すると18肢データセットの期待値が真の期待値に近い結果となっている。これ

は18肢データセットの場合の期待値が、15分ピッチでの中央値時刻で算出しているため、真の期待値との乖離が少ないことを表している。よって、モデル選択肢の60分ピッチ中央値時刻を代表値時刻としている5肢が真の期待値と近くなる傾向は偶然の結果と考える。

最終尤度は、選択肢区分が1ランク粗くなると大きくなった。これは、先に述べたように選択肢の集約によって選択肢集合が1つになってしまうサンプルの選択確率を1/2もしくは1/4と設定していることが原因と考えられる。例えば、統合データにおいて18肢から9肢にする場合、選択確率を0.5としたサンプルの割合は14%、18肢から5肢にしたときは選択確率を0.25としたサンプル割合は39%である。表3に示したように、選択肢集合は、選択肢数が少ないサンプルが多く、選択肢数が多くなるにつれてサンプルは少なくなる。このような選択肢集合の変化をも含めて精度を評価するためには、筆者らが以前に構築した選択肢集合の選別モデル¹⁾を併せて推計する必要があると考える。

(3) パラメータの感度に関する考察

選択肢ごとの各変数のパラメータ感度についてみると、オーダーに大きな差はないことが分かる。特に、18肢モデルと9肢モデルでは大きな差がない。18肢と9肢のパラ

メータ間でt検定を行った結果、有意水準5%で差がない結果となった。9肢と5肢のパラメータ間では有意水準10%でtime lateに差があったが、他のパラメータに差は見られない。5肢選択は、18肢、9肢に比べてパラメータの感度が多少低下している。特にtime early, time lateの2つの変数については感度が低くなる傾向にある。

そこで、表6に示すように、各サンプルのLOSの最大値と最小値との差の平均値、最頻値、標準偏差を比較する。ここではaccess time (バスのみ)の戸塚18肢のデータセットは、平均値が3.16分で標準偏差は2.54である。それと比較して、time earlyは平均値37.38分、標準偏差29.98で、time lateではtime earlyと同様に大きな値をとっている。また、18肢より5肢のほうがLOSの差は大きいことがわかる。この理由を、図6に示したcongestionの時刻別のLOSで考えると、15分ピッチの18肢のとき選択肢数が2~4の場合、LOSに差がない下での選択行動であるため、感度が大きく推定される。逆に5肢の場合は、1時間平均値のLOSとなり、さらに、18肢選択の2~3選択肢のサンプルはカットされるため、選択肢間のLOSの差が大きくなり、感度が小さく推定されると考えられる。

戸塚モデルでは、congestionが18肢において有意とならないが、5肢ではLOSの差が大きくなるため、推定されたパラメータが有意となる。これは、選択肢集合内での混雑率が被験者に認知できる程の差がないため、混雑を回避する行動をとっていないためと考えられる。

(4) 選択肢間の誤差相関に関する考察

MXLでは、隣り合う選択肢間ごとに誤差相関を表すパラメータsを推定した。18肢の統合、戸塚、新百合データでは、ピークを過ぎた8:00~9:00において誤差相関が見られた。この理由として、8:00以降の時間帯の通勤者はフレックスタイム制度が多く選択幅が大きいことが図3で確認されている。この時間帯の通勤者は、効用の高い時間帯に必ずしも出発していない傾向があることも一因ではないかと考えられる。

9肢では(9:00_9:30)に相関が見られるものの、5肢では選択肢間に相関は見られない。30分ピッチ、60分ピッチの選択肢設定であれば、選択肢間の誤差相関に神経質にならなくても良いことが確認された。

4. おわりに

本研究では、選択肢の設定の違いによるモデルの精度とパラメータ感度の分析、そして、選択肢間の誤差相関の確認を行った。この分析結果から、選択肢区分の細かさモデルの精度は必ずしも相反しないこと、パラメータの感度はLOSの最大値と最小値の差と密接に関係していることが明らかとなった。3種のモデルでは、推定結

果、相関係数、期待値から判断して、15分間隔のモデルが望ましいと考える。但し、オフピーク時間帯で誤差相関が生じる可能性がある。この原因の1つとして、オフピーク時間帯では一部の時刻の選択結果の数が極端に少なくなることも理由として挙げられる。よってサンプル数を十分に取る必要がある。また、LOS(特に鉄道の混雑率や乗車時間)の精度を高めることが必要である。

9肢選択のMNLは、18肢と比較してパラメータ感度が大きく劣化しないこと、モデルの精度の劣化も小さいこと、IIAの問題に神経質にならなくて良いことなど実用上のメリットは大きいと考える。

謝 辞

Mixed Logit モデル推定にはカリフォルニア大学Berkely校のTrain教授作成のプログラムを使用した。バス所要時間調査については神奈川中央交通(株)、小田急バス(株)の協力を得た。また、平成12年大都市交通センサスによる断面交通量の推計は(株)ライテックに協力を得た。ここに記して謝意を表す。最後に、本論文投稿するにあたり幾つかの問題点を的確に指摘いただいた査読者にも謝意を表したい。

参考文献

- 1) 原田知可子・岩倉成志・森地茂[2002]都市鉄道の時刻別需要予測手法に関する研究、土木計画学研究・講演集、No.26, CD-ROM
- 2) 家田仁・土谷和之・ファン レ ビン・岡村敏之[2002]大都市圏鉄道需要の時刻集中特性予測モデルの構築と首都圏鉄道ネットワークへの適用、土木学会論文集、No.702, IV-55, pp.65-79
- 3) Yai, T., Shimizu[1998]: Multinomial Probit with Structured Covariance for Choice Situations with Similar Alternatives, Transportation Research Record 1645, pp.69-75
- 4) 藤原章正・神田祐亮・杉恵頼寧・岡村敏之[2000]時刻選択モデルの選択肢区分が選択肢の類似性及び不均一性に及ぼす影響、土木計画学研究・論文集、No.17, pp.599-604
- 5) 兵藤哲朗・章翔[2000]Mixed Logitモデルの汎用性に着目した特性分析、土木学会論文集、No.660, pp.89-99
- 6) 財団法人運輸政策研究機構[2002]平成13年版都市交通年報
- 7) T.H.Chin[1990]: Influence on commuter trip departure time decisions in Singapore, Transpn Res.-A, Vol.24, NO.5, pp.321-333
- 8) Kenneth A. Small[1982]: The Scheduling of Consumer Activities: Work Trip, The American Economic Review, Vol.72, No.3, pp.467-479

都市鉄道利用者を対象とした出発時刻選択モデルの選択肢設定に関する基礎的考察*

岩倉成志**・原田知可子***・鈴木修司****

本研究は、東海道線戸塚駅、小田急小田原線新百合ヶ丘駅を利用する都市鉄道通勤者の出発時刻選択モデルを構築し、出発時刻の選択肢区分の設定を変更した場合のモデルの再現精度、パラメータ感度の変化、誤差相関に関する実証分析を試みた。この結果、選択肢区分の細かさとモデルの精度は必ずしも相反しないことが明らかとなった。モデル精度や表現力からみれば15分ピッチのモデルが推奨される。ただし、選択肢間の誤差相関が生じるといった問題がある。30分ピッチのモデルであれば、15分ピッチに比較してパラメータ感度が大きく劣化しないこと、モデルの精度の劣化も小さいこと、IIAの問題に神経質にならなくて良いことなど実用上のメリットは大きいと考える。

Comparative analysis of choice set for commuting time of day choice model in urban railway networks*

By Seiji IWAKURA**・Chikako HARADA***・Shuuji SUZUKI****

We examine basic analysis on the choice set classification of discrete choice model for departure time decisions in urban railway network. This paper is to analyze departure time decisions factor on morning commuter such as access time variance, congestion ratio and work start time. The estimated time of day models are compared on the basis of model accuracy, parameter sensitivity and error correlation among alternatives.
