

年齢階層を考慮した都市鉄道需要分析方法に関する研究*

A Study on Urban Railway Demand Analysis consideration Passengers' age group *

山下良久**・日比野直彦***

By Yoshihisa YAMASHITA**・Naohiko HIBINO***

1. はじめに

これまでの都市鉄道計画における交通需要予測は、事業採算性分析や費用便益分析のためのインプットデータ作成作業といった側面が強かったように思われる。莫大な事業費が必要となる鉄道整備において、国や自治体が補助金を拠出する正当性の検討や、運輸収入を原資とした事業主体の返済能力を検討することは都市鉄道計画において必要不可欠であり、そのための基礎データの出力が需要予測の重要な役割であった。

一方、東京都市圏における都市鉄道整備は、混雑緩和や乗換回数の低減、空港・新幹線アクセスの改善等を整備目標として進められてきた。計画路線の終日交通量をもとに30年間で事業採算性や費用便益比が計算され実現可能性が議論された。計画路線の開業等により、主要区間の最混雑時間帯における平均混雑率が170%台まで低下する等、これまでの整備目標は達成されつつあると言える。

しかしながら、高齢者の増加、慢性的な列車遅延、人身事故等による輸送障害の頻発、ターミナル駅の混雑等新たな問題が深刻化しつつある。これらの諸問題への対応策を検討するためには、需要予測における分解能を上げることが必要である。すなわち、時間や空間における旅客流動やサービス水準の変動、利用者属性によるサービス水準の評価等が需要予測からアウトプットされることが求められる。

このような問題意識を端として、筆者らはこれまで大都市交通センサスを用いて、年齢階層や世代による鉄道経路選択行動の差異について分析を行ってきた^{1), 2)}。本稿ではその成果を再整理するとともに、その成果から得られた知見をもとに、今後の鉄道計画において必要になる駅構内の旅客流動分析を試み、高齢者の増加が駅構内の旅客流動、施設計画に与える影響について考察する。

* Keywords：年齢階層，経路選択行動，駅構内旅客流動

** 正会員，博(工)，社会システム株式会社

TEL 03-5773-0001，E-mail yamashita@crp.co.jp

*** 正会員，博(工)，政策研究大学院大学 准教授

TEL 03-6439-6215，E-mail hibino@grips.ac.jp

2. 年齢階層を考慮した鉄道経路選択行動分析

(1) 分析データ

本研究では、年齢階層による鉄道経路選択行動の差異を分析するため、非集計ロジットモデルにより年齢階層別鉄道経路選択モデルを構築する。

分析データとして 1990, 1995, 2000, 2005 年における大都市交通センサスの通勤サンプルデータを用いる。パラメータ推定に用いるサンプルデータとしては、ODの違いによるパラメータへの影響を極力小さくするため、あらかじめ抽出するゾーン間ODを特定し、各年次、各年齢層についてそれらのゾーン間ODを有するサンプルデータを抽出する。ゾーン間ODの特定は、4 年次すべてにおいてサンプルが存在する 22,422 ODとする。抽出されたサンプル数を表-1に示す。

(2) サンプルに付与するサービス水準データ

各サンプルの実選択経路に関する交通サービスデータとして、運賃、乗車時間、乗換時間、列車内混雑状況、端末時間のデータを整備する。各データの整備方法を以下に示す。

運賃：1ヶ月通勤定期を月40回利用とみなし、1回あたりの運賃を算出し設定する。

乗車時間、乗換時間：乗車時間は、列車に乗車している総時間のことであり、駅間通過時間の総和である。各年次の時刻表よりピーク1時間帯における各駅間の平均所要時間を求め計算する。なお、ピーク1時間は都市交通年報における最混雑時間帯とする。

表-1 分析に用いるサンプル数

	1990年	1995年	2000年	2005年
20歳代	21,917 (44.7%)	17,193 (42.4%)	8,675 (29.9%)	2,398 (10.2%)
30歳代	11,021 (22.5%)	8,570 (21.1%)	6,309 (21.8%)	5,822 (24.8%)
40歳代	8,827 (18.0%)	7,196 (17.8%)	5,191 (17.9%)	6,242 (26.6%)
50歳代	5,304 (10.8%)	5,442 (13.4%)	6,203 (21.4%)	6,285 (26.8%)
60歳代	1,967 (4.0%)	2,127 (5.2%)	2,596 (9.0%)	2,691 (11.5%)
計	49,036 (100.0%)	40,528 (100.0%)	28,974 (100.0%)	23,438 (100.0%)

乗換時間は、乗換駅での移動にかかる時間と乗車するためにホーム上で列車を待つ時間の総和である。移動時間については、データの制約上2005年の各駅における時間とする。待ち時間については、各年次の時刻表より各駅におけるピーク1時間の列車本数をカウントし、運行間隔の1/2の時間として設定する（例えば、10本/時の場合、運行間隔が6分であるから待ち時間は3分となる）。これらを合計し乗換時間を算出する。

列車内混雑状況：列車内の混雑に対する不快感を示す指標で式1で表現される。この指標は、2000年の運輸政策審議会答申第18号における鉄道経路選択モデル³⁾に取り入れられたものである。なお、各駅間の混雑率は、2005年については大都市交通センサスの調査結果をもとに設定し、その他の年次については推計を行なう。具体的には、主要区間については都市交通年報で公表されている混雑率を採用し、その他の区間については、主要区間における混雑率の2005年との比率を乗じて算出する。

$$\text{混雑指標} = \sum_{\text{発駅}}^{\text{着駅}} (\text{駅間乗車時間} \times \text{駅間混雑率}^2) \quad (\text{式} 1)$$

端末時間：端末時間とは、出発ゾーンから乗車駅までのアクセス時間と最終降車駅から目的ゾーンまでのイグレス時間の総和である。データの制約から、年次別に駅アクセス交通の状況を把握できなかったため、2005年時点における時間を設定する。

（３）代替経路の設定

各サンプルに付与する代替経路については、サンプルのODゾーンをもとに経路探索を行い複数の経路を取得した上で、経路の総所要時間が実選択経路と近い順に2経路抽出し代替経路として設定する。

（４）パラメータ推定結果

抽出されたサンプルおよび先に示したサービス水準データ・代替経路の設定方法をもとに、年齢階層別鉄道経路選択モデルのパラメータを推定する。モデルは、20歳代から60歳代まで10歳区分で構築する。

表-2に推定されたパラメータを示す。「1990年」、「1995年の60歳代」、「2000年の60歳代」を除く13モデルについて、統計的に有意なモデルが推定された。以降では、同じ世代について比較が可能な1995年と2005年の結果をもとに考察を行うこととする。

（５）時間価値の比較

図-1～3は、乗車時間、乗換時間、端末時間の時間価値を示したものである。

共通の特徴として、時間価値は、1995年に比べ2005年の方が高くなっていること、どの年齢階層においても

乗車時間に比べ、乗換時間、端末時間の時間価値が高くなっており、乗車時間の短縮よりも、乗換時間、端末時間の短縮に大きなインパクトがあると読み取れる。

乗車時間に着目すると、どちらの年次においても20～50代にそれほど大きな差は無いことが見て取れる。一方、同じ世代で推移を見た場合、1995年50歳代が2005年に60歳代に移行してもそれほど時間価値に変化がないことが見て取れ、他の世代と異なる傾向を示している。

乗換時間に着目すると、1995年においては20歳代から40歳代にかけて、2005年においては20歳代から50歳代にかけて時間価値の上昇が見られる。また、1995年は40歳代の時間価値が最も高いのに対し、2005年には50歳代にその傾向が表れている。この世代には、団塊世代が含まれており、団塊世代は他の世代に比べ乗換時間の短縮に対し高い価値を有していると推察される。一方、1995年50歳代が60歳代に移行したことによる変化は、乗車時間と同様に大きくない。

端末時間については、同じ世代での推移を見ると、どの世代も時間が経過しても時間価値が大きく変化していないことが見て取れ、加齢による変化は小さいと考えられる。

（６）混雑に対する抵抗感の比較

図-4は、列車内混雑状況のパラメータを運賃のパラメータで除した値を示したものである。1995年には30歳代の抵抗が最も大きいのに対し、2005年にはその傾向が40歳代に表れており、この世代が混雑に対し強い抵抗感をもつ世代であることが読み取れる。一方、1995年には50歳代の抵抗が最も小さく、2005年にはその傾向が60歳代に表れている。この世代は混雑に対する抵抗感が他の世代に比べると小さいことが読み取れる。この世代の混雑に対する抵抗感が小さい理由として、混雑を避けた通勤行動を行なっていることが挙げられる。図-5は、年齢階層別に自宅を出発する時刻帯を7:00～8:59をピーク、それ以外をオフピークとして集計し、それらの占める割合を示している。これによると、当該世代が他の世代に比べオフピーク時間帯に通勤している割合が高くなっている。また、このグラフは年齢が高くなるほどオフピーク時間帯の割合が高くなる傾向を示しており、高齢になるほど経路選択ではなく、出発時間選択により混雑を回避する行動をとるようになることが読み取れる。

（７）分析結果からみた需要予測の方向性

乗車時間、乗換時間、端末時間の時間価値の年齢階層および世代による比較から、今後高齢者の仲間入りをする2005年50歳代の時間価値は、若い世代と比較して同等もしくは高い傾向であることが示された。また、1995年50歳代が2005年に60歳代に移行した際の時間価値の変化

表 - 2 パラメータ推定結果

	1995 20歳代		1995 30歳代		1995 40歳代		1995 50歳代		2000 20歳代		2000 30歳代		2000 40歳代	
	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	パラメータ	t値
運賃	-0.00520	-22.8	-0.00463	-14.9	-0.00493	-14.6	-0.00615	-14.9	-0.0053	-16.4	-0.00468	-13.5	-0.00365	-10.1
乗車時間	-0.0509	-12.0	-0.0430	-7.00	-0.0388	-5.78	-0.0289	-3.74	-0.0427	-7.39	-0.0389	-5.83	-0.0400	-5.53
乗換時間	-0.125	-20.7	-0.120	-14.0	-0.146	-15.5	-0.130	-11.8	-0.0586	-11.4	-0.0658	-10.6	-0.0712	-9.79
乗換回数	-0.904	-24.6	-0.901	-17.7	-0.799	-14.2	-0.963	-14.5	-1.21	-26.3	-1.09	-21.8	-1.15	-20.1
混雑指標	-0.00456	-6.87	-0.00611	-6.71	-0.00561	-5.45	-0.00399	-3.14	-0.0107	-8.76	-0.0101	-7.95	-0.00700	-5.04
端末時間	-0.152	-36.6	-0.145	-24.4	-0.149	-23.2	-0.147	-19.8	-0.145	-26.3	-0.127	-19.2	-0.130	-18.4
尤度比	0.189		0.173		0.193		0.223		0.193		0.170		0.170	
サンプル数	17,193		8,570		7,196		5,442		8,675		6,309		5,191	
	2000 50歳代		2005 20歳代		2005 30歳代		2005 40歳代		2005 50歳代		2005 60歳代			
	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		
運賃	-0.00524	-15.2	-0.00515	-8.96	-0.00459	-12.6	-0.00439	-13.3	-0.00394	-12.2	-0.00556	-11.4		
乗車時間	-0.0369	-5.56	-0.0792	-6.57	-0.0711	-8.91	-0.0698	-9.52	-0.0558	-7.78	-0.0201	-1.95		
乗換時間	-0.0708	-10.2	-0.133	-8.63	-0.146	-14.5	-0.153	-16.1	-0.146	-15.7	-0.126	-9.50		
乗換回数	-1.15	-21.8	-0.849	-9.29	-0.792	-13.8	-0.659	-12.5	-0.846	-15.7	-0.615	-7.64		
混雑指標	-0.00455	-3.81	-0.00501	-2.26	-0.00764	-5.34	-0.00861	-6.34	-0.00667	-5.04	-0.00426	-2.06		
端末時間	-0.129	-19.4	-0.152	-13.1	-0.153	-19.8	-0.140	-19.4	-0.125	-17.5	-0.114	-11.1		
尤度比	0.192		0.179		0.174		0.167		0.186		0.178			
サンプル数	6,203		2,398		5,822		6,242		6,285		2,691			

はわずかであることも示された．この2つの結果から推測できることとして，2005年50歳代が定年延長等により今後も通勤交通を行うとすると，乗換駅や端末交通整備が重要となることが挙げられる．年齢階層別の旅客数や一般化費用等が需要予測より出力されることで，どのような整備が有効であるかの検討が可能となる．年齢階層別の需要予測が果たす役割は大きいと考えられる．また，混雑に対する抵抗感の比較から，高齢になるほど出発時刻選択で混雑回避を行う傾向があることが示された．時間帯による有料着席列車の導入等の検討を行う場合は，このような特性を考慮し，出発時刻選択も含めた需要予測が必要になると考えられる．

(円/分)

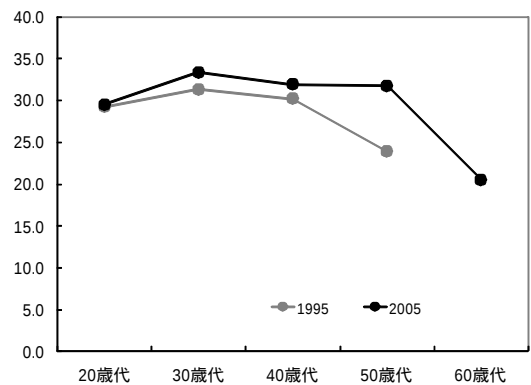


図 - 3 端末時間の時間価値

(円/分)

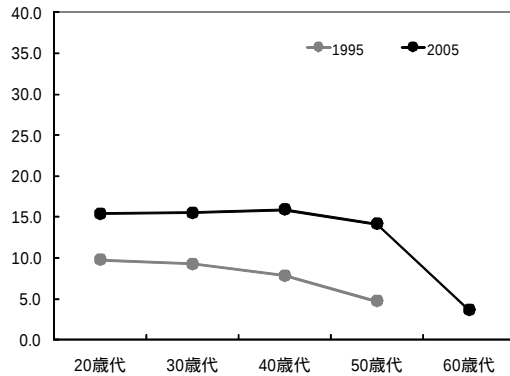


図 - 1 乗車時間の時間価値

(円/分)

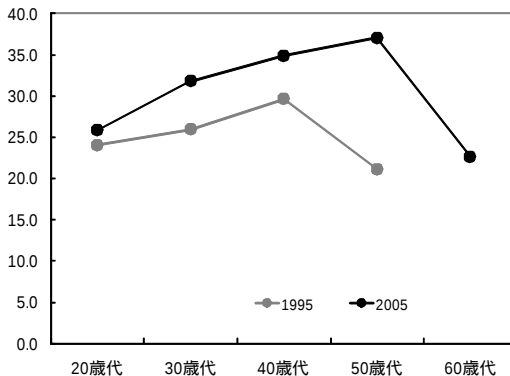


図 - 2 乗換時間の時間価値

2.5

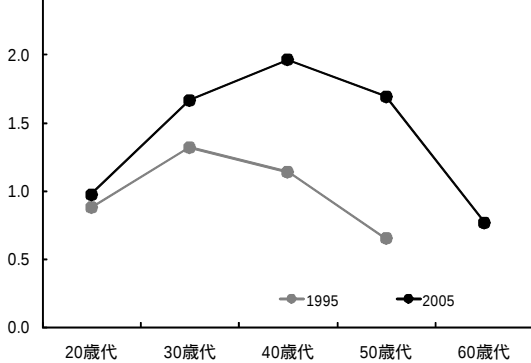


図 - 4 列車内混雑状況と運賃のパラメータの比率

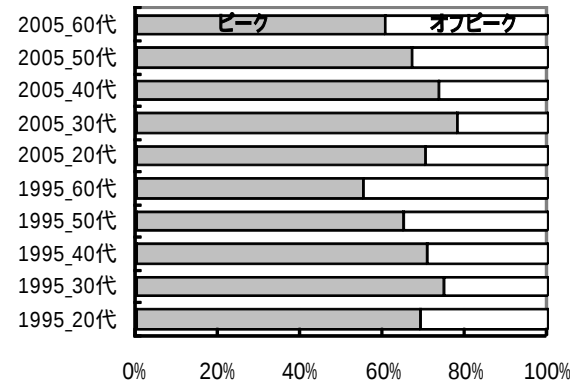


図 - 5 年齢階層別出発時間比率

3. 年齢階層を考慮した駅構内旅客流動分析

(1) 分析のねらいと分析システムの概要

年齢階層別経路選択行動の分析結果より、今後の鉄道計画において乗換駅整備が重要となる可能性が示唆されたことから、駅構内の施設配置計画や動線計画に関する検討の必要性が高まるものと考えられる。そのため、年齢階層を考慮した駅構内旅客流動分析について検討する。

駅構内の旅客流動分析に当たり、シミュレーションツールとしてVISSIMを活用する。VISSIMは、歩行者モデルとしてSocial Force Modelを採用したシミュレーションである。Social Force Modelの基本的な考え方は、歩行者の進行方向と速度は4つの力（目的地から受ける引力、障害物から受ける斥力、他の歩行者から受ける斥力・引力）の和で決定されるとするものである⁴⁾。VISSIMでは、性別や年齢階層によって歩行者のタイプを区別することができ、タイプごとに上述の力を形成する希望歩行速度等の各種パラメータを設定することが可能である。

(2) 希望歩行速度の設定

ここでは、高齢者と非高齢者での希望歩行速度をそれぞれ設定する。筆者らの既往研究⁵⁾において同じ状況下において高齢者は非高齢者に比べ最大で20%～30%程度の速度低下となることが得られている。そのため、希望歩行速度を表-3のように設定する。

(3) シミュレーションの実行

東京圏のあるターミナル駅の駅構造を再現し、ホーム上での旅客捌き時間について比較を行う。当該駅は、平日朝の最混雑時間帯において、1分40秒間隔で列車が到着し、ほとんどが降車客となっているターミナル駅である。

まず、現況の旅客流動を再現するために、当該駅のピーク時間帯における1列車当たり降車客数、最混雑昇降施設利用旅客数（男女別）、ホーム上捌け時間の計測を行い、降車客数と最混雑昇降施設利用客数をシミュレーションにインプットして、現状のホーム捌け時間が再現できるよう各種パラメータの調整を行う。なお、その際希望歩行速度の設定においては、表-3の非高齢男性、非高齢女性の速度を設定する。表-4にシミュレーションの前提条件を整理する。

概ね再現ができたことを確認した上で、降車客の3割が高齢者となったとして、表-3で設定した歩行速度を設定しシミュレーションを実行する。表-5にホーム捌け時間の結果を示す。高齢者の比率が3割となり、歩行速度の遅い歩行者が増加することで、ホームの捌け時間が26秒増加する結果となっている。この結果は、今後高

表-3 希望歩行速度の設定

希望歩行速度 の範囲 (m/s)	非高齢 男性	高齢 男性	非高齢 女性	高齢 女性
最高	1.61	1.11	1.19	0.86
最低	0.97	0.97	0.72	0.72

表-4 シミュレーションの前提条件

	設定値
1列車当たり降車客数	757人
最混雑昇降施設利用客数	330人
男女比	7:3

表-5 シミュレーション結果

	現状	高齢者3割
ホーム捌け時間	1分54秒	2分20秒

齢の通勤者が増えることを想定した場合、駅におけるエスカレータ設置数や階段幅員、ホーム幅員、施設配置等に当たって歩行速度の低下を考慮することが必要であることを示唆している。

4. おわりに

本研究では、今後の都市鉄道計画における需要予測において、時間・空間による旅客流動の変動、サービス水準の変化、利用者属性によるサービス評価の違い等、これまでよりも分解能を上げた出力が必要になるとの問題意識から、年齢階層を考慮した需要分析方法について検討し、いくつかの重要となる視点を示すことができた。

駅構内旅客流動分析については、歩行者挙動パラメータの設定において十分な検証が行えていないことから、この点について分析を進めることが今後の課題として挙げられる。なお、本研究は、文部科学省科学研究費補助金（20760342）による助成を受けて実施したものである。

参考文献

- 1) 日比野直彦，山下良久：年齢階層別鉄道経路選択行動の時系列変化に関する研究，土木計画学研究・講演集，Vol.40，CD-ROM 4pages，2009.
- 2) 日比野直彦，山下良久：通勤鉄道利用者の年齢階層別経路選択特性に関する時系列分析，鉄道技術・政策連合シンポジウム（J-Rail 2009），4pages，2009.
- 3) 運輸省：東京圏における高速鉄道を中心とする交通網の整備に関する基本計画策定に向けての調査，平成11年度報告書，2000.
- 4) D.Helbing and P. Molnar: Social force model for pedestrian dynamics, PHYSICAL REVIEW E, Vol.51(5), pp.4282-4286, 1995.
- 5) 秋吉健，山下良久，福田一太，内山久雄：鉄道駅構内における属性別歩行速度分析，第63回年次学術講演会，2 pages，2008.