ＬＲＴの輸送特性を考慮した新規路線の需要予測手法の検討*

A study on demand forecasting method for new light rail transit system*

杉田　崇**・金森　亮***・倉内慎也****・森川高行*****

By Takashi SUGITA**・Ryo KANAMORI***・Shinya KURAUCHI****・Takayuki MORIKAWA*****

１．はじめに

排気ガスによる大気汚染や慢性的な渋滞による都市機能の欠如など自動車依存型社会の危険性の認識にともない，公共交通の重要性が見直されつつある．こうした流れから，欧米の都市では LRT（Light Rail Transit）が多くの利点を持つ公共交通として導入されており，環境問題改善や都市再生など一定の成果を上げている．

我が国でも，国土交通省により LRT 整備の財的支援制度の拡充や「まちづくりと一体となった LRT 導入計画ガイダンス」が策定されており，導入検討の準備が整いつつあるといえる．また，超高齢化社会に突入し始めた現在では，低床式車両により段差なく乗降可能という点でも LRT に期待されるところが大きい．2006 年 4 月には，富山市で日本初となる LRT 路線「富山ライトレール」が開業した．開業前の 2006 年 2 月 9 日と開業後の同年 6 月 27 日に京都大学等が実施した乗降客数調査[1]では，LRT 導入によって乗降客数が 1.85 倍に増加したとの結果が得られ，公共交通利用者数が増加している．

大都市圏のなかでも自動車分担率が特に高いとされる名古屋市でも，自動車依存からの脱却を目指す動きがみられる．“なごや交通戦略”では，現在の公共交通と自動車との利用割合「3 対 7」を，2010 年には「4 対 6」にするという数値目標を掲げている[2]．この目標達成のために，P&R や ITS による移動支援，トランジットモール化などの各交通施策が，地域特性に合せてパッケージ化されて提案されている．これらの施策パッケージに加えて，著者らは，道路幅員が広い名古屋市において，新たな公共交通システムとして注目される LRT 導入は，より抜本的な政策として有効であると考えている．

導入検討にあたっては交通需要予測が必要となるが，LRT には乗降利便性や定時性の確保など，鉄道やバスとはそれぞれ異なる特性を持つ．信頼性の高い需要予測を行うには，このような特性を適切に考慮する必要がある．本研究では，名古屋市における LRT 導入の初期検討として，LRT の需要予測の際に考慮すべき要因を整理し，LRT と輸送特性が比較的近いとされる既存の基幹バスやガイドウェイバスの利用特性を最大限に考慮した交通需要予測モデルの構築を試みるものである．

２．LRT の交通需要予測に考慮すべき要因の整理

これまでの交通需要予測では，各 OD 間の鉄道利用可能経路として，最寄り駅利用経路や OD 所要時間最短経路など 1 経路のみを設定することが多かった．しかし，森川らの桃花台線ピーチライナーの事後評価[3]によると，競合路線が適切に設定されていなかった事が大きな予測誤差の原因として挙げられている．つまり，信頼性の高い交通需要予測を行うためには，名古屋市内など既存の鉄道網が整備されている場合，競合路線の設定は必要不可決である．

LRT に関連する研究は近年多く行われている．廣畠ら[4]は豊橋市の路面電車を対象として，運行・利用実態や利用者意識等について分析し，利用者満足度は車両の段差に対して低くなり，所要時間，運行本数，定時性などで高くなるとの結果を得ている．水野ら[5]は，宇都宮市在住の高齢者を対象として，LRT 導入時における交通行動の変化と意向をアンケート調査し，高齢者は LRT を利用するという意向を持ち，LRT 導入によってこれまで潜在化していた外出活動が活性化される可能性があることを分析している．

また，藤原ら[6]は広島市で導入された LRV（Light Rail Vehicle）を事例として，路面電車の特性，特に低床式車両の主観的価値を CVM（仮想評価法）によって定量的に評価している．その結果，乗降性や車両の揺れに対する評価は高く，質的な改善効果を考慮しないと導入効果が過小評価される危険性があることを示している．

以上の既存研究の知見を参考とし，LRT の需要予測の際に考慮すべき要因を整理すると，次の 4 点が挙げられる．

- 適切な競合路線の設定
- 定時性確保
- 乗降利便性とそれに伴う高齢者の交通行動
- 潜在的な利用意向，心理的な満足度(SP 調査の実施)

３．交通需要予測モデルの概要

(1) 本研究で想定する LRT 導入経路とサービスレベル

本研究における名古屋市への LRT 導入時の仮想経路は，図 1 の通りである．名古屋駅から栄地区などの繁華

*キーワーズ：LRT，新交通システム計画
**学生会員，名古屋大学大学院環境学研究科
（名古屋市千種区不老町，TEL052-789-3730）
***学生会員，修（工），名古屋大学大学院環境学研究科
****正会員，博（工），愛媛大学工学部環境建設工学科
*****正会員，Ph.D.，名古屋大学大学院環境学研究科

街を通り抜け，名古屋市東部地区の名古屋大学までを結ぶ，総延長 8.6km の経路である．表定速度は 25km/h，停留駅は 14 駅，各駅の平均待ち時間を 30 秒と設定した．その結果，名古屋駅→吹上の所要時間は 14 分となり，同様の OD を結ぶ地下鉄桜通線の 12 分と大差ないサービスレベルとなった．運賃については，様々なケースを想定して検討する必要があるが，今回はゾーン制運賃体系として，名古屋駅⇔吹上間をゾーン 1，吹上⇔名古屋大学間をゾーン 2 と設定し，ゾーン内々乗車の場合は 100 円，ゾーン間乗車の場合は 200 円と設定している．

図 1　名古屋市の LRT 導入経路（仮想）

(2) LRT の需要予測の際に考慮すべき要因の反映方法

a）適切な競合路線の設定

図 1 の LRT 導入経路の場合，既存の名古屋市営地下鉄と競合することが予想される．また，同一路線内においても，乗換可能駅など利便性の高い駅を利用する場合も考えられるため，同一路線内の競合駅も考慮することが望ましい．そのため，本研究では個人の鉄道経路選択を考慮可能な予測モデルを構築する．具体的には，LRT と地下鉄の他，同一路線内の鉄道駅の選択特性を考慮するために，アクセス/イグレスの鉄道端末交通手段選択を組み込んだネスティッド・ロジットモデル（NL）を構築する．

b）定時性確保

LRT は，地下鉄のように改札を抜けて階段を上下することなく車両に乗り降りできる路面専用軌道走行方式であり，バスのように自動車の混雑状況によってサービスレベルが変化することがない．その上，既存の交通手段ではカバーされにくい中量輸送機関の範疇に該当し，既存の交通機関では路面電車，基幹バス，ガイドウェイバスと類似している．名古屋市には，道路中央に専用走行レーンをもつ「基幹バス」と，高架上に専用走行レーンが設けられた「ガイドウェイバス」が既に導入されており，鉄道やバスでは把握することが困難である LRT の特性を近似的に把握することが可能である．

本研究では，LRT の定時性確保に対する評価として，地下鉄などの鉄道，基幹バス，ガイドウェイバスの利用者から把握することとする．つまり，これらの利用者の効用関数に“定時性ダミー”を導入し，この値を LRT の定時性確保に対する評価として取り扱う．

c）乗降利便性とそれに伴う高齢者の交通行動

LRT は先に述べた通り，路面専用軌道走行方式であるため，地下鉄のように乗降の際に階段等を利用する必要が無い．この乗降利便性を考慮するため，バスは同様の特性を持つと仮定し，バス利用者の乗降利便性に対する評価を LRT の乗降利便性に対する評価として扱う．

図 2 は，PT 調査データを用いて 65 歳以上の高齢者の鉄道とバスの利用比率を集計したものである．高齢者は乗降利便性やアクセス距離が近いと考えられるバスを利用しやすい傾向がみられる．そのため，乗降利便性に対する評価は高齢者にとってより重要であると考えられ，年齢階層別に乗降利便性を考慮する．

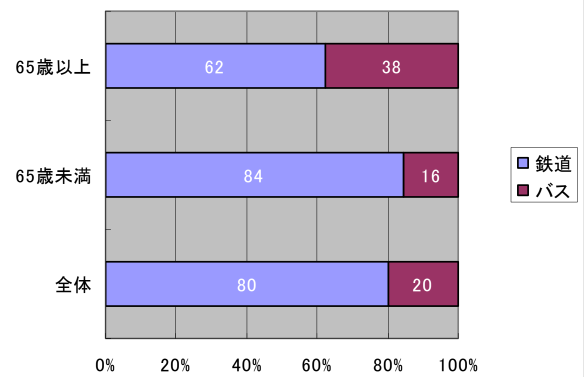

図 2　高齢者の鉄道・バス利用状況（名古屋市）

d）潜在的な利用意向，心理的な満足度

現存しない交通サービスに対する利用意向は SP 調査にて，潜在的な利用意向，心理的な満足度等を把握することが有効である．しかしながら，名古屋市ではその様な調査は実施されておらず，今回はこれらの要因を考慮することができない．LRT に関する SP 調査の実施，その結果を用いた需要予測は今後の課題である．

(3) 予測モデルの構造

LRT の需要予測の際に考慮すべき要因の反映方法の検討結果より，本研究では，個人の交通手段選択行動は，図 3 に示す選択ツリー構造にて記述できると仮定する．これは，第 1 レベルは代表交通手段選択，第 2 レベルは鉄道経路選択，第 3 レベルは鉄道端末交通手段選択とする 3 レベルの NL である．代表交通手段としては鉄道，

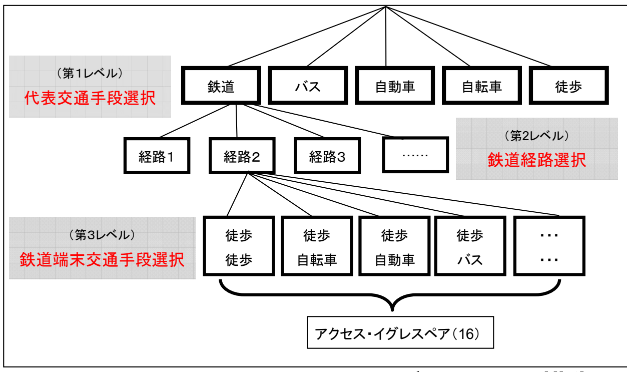

図 3　ネスティッド・ロジットモデルのツリー構造

バス，自動車，自転車，徒歩の 5 種類，鉄道端末手段としてはバス，自動車，自転車，徒歩の 4 種類を設定し，アクセス/イグレスの組合せを設定している．鉄道経路選択肢集合については後述する．

４．予測モデルのパラメータ推定

(1) 使用データ・設定条件

パラメータ推定に用いる交通行動データは，第 4 回中京都市圏 PT 調査（2001 年）データである．LRT の駅間距離は比較的短いため，より詳細なゾーン区分にて予測モデルを構築することが望ましい．そのため，ゾーンレベルは，名古屋市内は PT 調査の最小区分である小ゾーン，名古屋市外は基本ゾーンとしている．

(2) 交通サービスレベル（LOS）の設定

本研究における LOS はゾーン区分が詳細なため，より高い精度で作成することが必要となる．そのため，自動車は 2002 年に名古屋市周辺にて実施されたプローブカー実験結果より作成された時刻別 DRM リンク平均所要時間より OD 間最短所要時間を時間帯別（時間帯幅は 1 時間）に算出している．また，費用は燃費 8km/ℓ，ガソリン価格 110 円/ℓとして算出した．鉄道とバスは 2005 年時点の時刻表を用いて，2001 年の鉄道路線網を再現し，全駅間，バス停間について時間帯別に平均所要時間等を算出した．その他の LOS は，DRM を用いて最短経路距離を算出し，交通手段別の平均速度（自転車：8km/h，徒歩：5km/h）にて所要時間を算出している．また，自転車と徒歩に関する費用は 0 円としている．

鉄道経路選択肢集合については，各ゾーンから利用可能性のある鉄道駅として，最寄り駅上位 3 駅，乗換可能駅および準急列車以上の列車が停車する駅（代表駅）について最寄り上位 3 駅，バスアクセス所要時間が短い駅上位 2 駅の最大計 8 駅までを選定し，利用可能駅ペアを利用可能な鉄道経路とした．

鉄道端末交通手段については，ゾーンシステムによる観測誤差の影響が大きいと考えられるため，自動車，自転車，徒歩については DRM による最短経路距離と平均時速（自動車：20km/h，自転車：8km/h，徒歩：5km/h）を用いて算出した．バスについては運行頻による待ち時間の影響が無視できないとし，時刻表と路線網より実際の所要時間を設定している．

(3) パラメータ推定

本研究では，紙面の都合上，交通状況によって交通行動を変更しやすいとされる自由目的の結果についてのみ記載する．最尤推定法による推定を行ったが，サンプル数やデータセットの大きさから，まず鉄道端末交通手段モデルを推定し，その後，ランダム抽出された4,000サンプルを用いて代表交通手段･鉄道経路選択モデルを推定している．

a) 鉄道端末交通手段モデル

鉄道端末交通手段モデルのパラメータ推定結果は省略する．スケールパラメータは1.0と設定している．アクセス所要時間，イグレス所要時間，費用，アクセス徒歩ダミー（1km以内），端末交通手段ペアに対する定数項などが説明変数として採用され，符号条件や95%有意水準は満たされている．アクセス・イグレスの時間価値はそれぞれ，3.7円/分，4.0円/分と非常に小さくなった．これは，費用が掛からない徒歩や自転車の利用が大部分を占めること，LOS設定の際のゾーンシステムによる誤差によると考えられる．

b) 代表交通手段・鉄道経路選択モデル

代表交通手段・鉄道経路選択モデルの推定結果を表1に整理した．当初は鉄道経路選択を上位レベル，鉄道端末交通手段選択を下位レベルとなる選択ツリー構造を仮定していたが，パラメータ推定の結果，誤差相関は確認されなかった．そのため，表中のスケールパラメータは代表交通手段選択に関するものである．

鉄道のラインホールの時間価値は，238円/分と算出され，少々高い値となった．これは鉄道経路選択肢集合に問題があると考えられる．本研究では，各ゾーンから利用可能な駅を最大8駅選出し，全ての駅ペアを選択肢集合としている．そのため，所要時間や費用に差異がほとんど無い経路が複数含まれていること，経路間の相関が無視できないこと，が原因であると考えられる．

3章で検討した鉄道，基幹バス，ガイドウェイバスの定時性確保による効用を表すための定時性ダミーは，符号条件や統計的に有意な値とならなかったため，説明変数から取り除いている．出勤目的では有意に推定されたことから，時間的制約が少ない自由目的では定時性の確保は有効な評価指標とは考えられていないともいえる．また，鉄道とバスの高齢者ダミーを比較すると，バスの

表1　代表交通手段・鉄道経路選択モデルの推定結果

	自由目的	
	推定値	t値 (1からのt値)
代表交通手段選択段階のパラメータ		
鉄道定数項	−13.3	−12.7
バス定数項	−8.6	−7.4
自動車定数項	−15.5	−15.9
自転車定数項	−4.0	−14.6
端末所要時間(バス)	−19.6	−6.2
高齢者ダミー(鉄道)	0.8	1.4
高齢者ダミー(バス)	6.1	8.3
男性ダミー(自動車)	0.6	1.9
免許保有ダミー(自動車)	5.7	12.2
自動車保有ダミー(自動車)	6.8	10.2
無職･主婦ダミー(自動車)	−1.1	−3.2
都心部ダミー(鉄道)	2.2	4.1
スケールパラメータ	0.3	17.2(51.6)
2段階共通のパラメータ		
費用(千円)	−2.3	−1.2
ラインホール所要時間(時間)	−33.1	−23.4
サンプル数	4000	
ラインホール時間価値（円/分）	238.3	
バスの端末時間価値（円/分）	140.9	
修正 $\rho 2$ 値	0.4	

値が大きくなっており，高齢者はバスを利用しやすい傾向を再現している．これは乗降利便性に起因するものと解釈でき，LRT導入予測の際，バス高齢者ダミーをLRTの特性として表す．

5．LRT の利用者数の予測

(1) LRT導入による代表交通手段分担率の変化

名古屋市周辺部ではPT調査が実施された2001年からEXPO開催に向けて鉄道網の整備がなされた．具体的には，2005年3月に東部丘陵線の開業，同年10月に市営地下鉄名城線の環状線化及びあおなみ線の開業など，現在の交通状況はPT調査時とは異なることが予想される．そこで，本研究では，PT調査実施年次の2001年，現在（2005年），LRT導入時の交通状況を予測することとした．LRT導入時には，先に述べた通り，LRTは鉄道経路の1つとして取り扱っているが，乗降利便性を考慮するため，鉄道の高齢者ダミーに代えて，バスの高齢者ダミーをつけている．

代表交通手段分担率の予測結果を図4に示す．2001年の再現性は自動車分担率が若干の過大推計となっているが，概ね妥当である．鉄道整備かなされた2005年は，2001年と比較して鉄道分担率の上昇は僅かであり，期待していた程高くはなかった．また，LRT導入によって鉄道分担率は2005年より0.1ポイント上昇した．

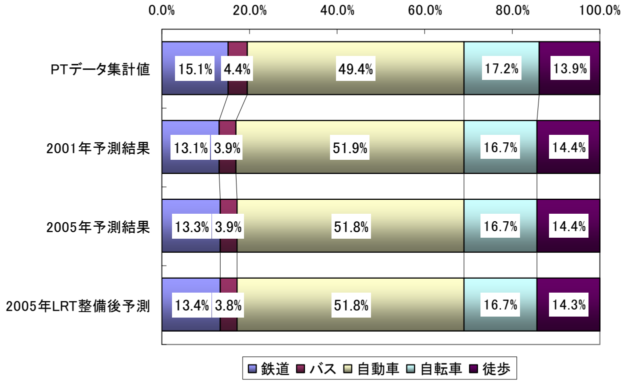

図4　交通手段分担率の予測結果（自由目的）

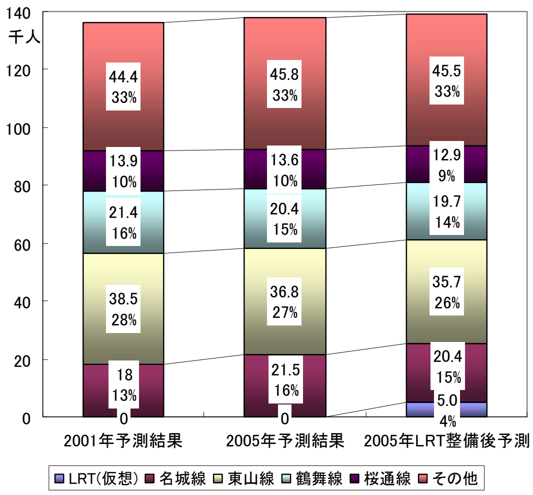

図5　鉄道路線別の乗車人員予測結果（自由目的）

(2) 鉄道路線別の乗車人員の予測

鉄道路線別の乗車人員の予測結果を図5に示す．2005年は環状線化により名城線の乗車人員が増加している．また，LRT導入により乗車人員は約5千人と推計された．一方，他の路線の乗車人員は減少しており，これは地下鉄路線と競合しているためであると考えられる．

以上より，図4の結果も合せて考えると，LRT導入によっても自動車からのLRTを含めた鉄道への手段転換は少なく，LRTの利用者は他の競合路線からの転換が主であると本モデルでは推計された．

6．おわりに

本研究では，名古屋市におけるLRT導入を想定し，まず需要予測の際に考慮すべき要件の整理を行った．その後，LRT導入に適切な需要予測モデルの構築と利用者数の予測を行った．

初期的な研究として，既存の調査データのみから鉄道競合路線の設定，LRTの定時性確保や乗降利便性の考慮した予測モデルの構築を試みたが，多くの課題が明らかとなった．特に，LRTの短い駅間距離を考慮するために，より詳細なゾーン区分にてモデルを構築したが，ゾーンシステムで表現されるPT調査では限界があるように思われる．特に鉄道経路選択や鉄道端末交通手段選択モデルでは，ゾーン設定により個人の最寄り駅が適切に表現することができない．そのため，より詳細な交通行動データが必要となるが，調査コストや個人情報保護の関係上，大規模に調査を実施することができない．そのため，ゾーン内での滞在箇所を確率的に表現するモデル等の開発・実用化が強く望まれる．また，鉄道経路選択肢集合の設定（選別基準）に関する問題，鉄道経路間の相関の考慮の必要性も明らかとなった．

今後，より信頼性のある需要予測を行うには，上記の課題を克服しうるモデルの開発と適用が必要である．同時に，自動車からの手段転換が期待された程多くはみられなかったため，やはり，既存にない交通機関であるLRT導入の需要予測には，SP調査を実施し，潜在的な利用意向等を把握する必要性が高いといえる．

参考文献

1）望月明彦，中川大，笠原勤：わが国の公共交通政策における富山ライトレールプロジェクトの意義に関する研究，日本都市計画学会 都市計画論文集No.42-1,pp.63 -68，2006.

2）名古屋市交通問題調査会：「なごや交通戦略」諮問第2号 答申, 2004.

3）森川高行，永松良崇，三古展弘：新交通システム需要予測の事後評価―ピーチライナーを例として―,運輸政策研究，Vol.7,No.2，pp20-29，2004.

4）廣畠康裕・リムイブ・小松広和：豊橋市における路面電車の現況分析と公共交通改善検討のための意識・行動分析，土木計画学研究・論文集,vol.20,no3，pp.771-778,2003.

5）水野絵夢，古池弘隆，森本章倫，藤井聡：LRTの導入が高齢者の交通行動に及ぼす影響に関する意向データ分析，計画学研究・論文集，23,(3),pp.687-692,2006.

6）藤原章正・杉恵頼寧：仮想評価法を用いた低床式路面電車の評価，土木学会年次学術講演会講演概要集第４部，Vol.55巻, pp.124-125,2000.