

路面電車利用者数の需要モデルによる活性化策の可能性*

Feasible Schemes for Tram Revitalization Based on Passenger Demand Models

松本 昌二**・蘇 陽***・佐野 可寸志****・土屋 哲****

Shoji MATSUMOTO・Yang Su・Kazushi SANO・Satoshi TSUCHITA

1. はじめに

近年、諸外国では路面電車（トラム）が見直され、ライトレール、LRT の名称の下で、新たな都市の公共交通機関として新路線の建設が進んでいる。日本においても、路面電車の再評価や低床車両などの新型車両導入などが行われ、富山港線のLRT化である富山ライトレールの開業が注目されている。しかし、既存の路面電車では乗客数が減少傾向にあり、中には不採算のために路線が縮小・廃止されるケースも見受けられる（2005年、岐阜市内線、美濃町線の廃止）。まだ日本では実現していない新路線の建設を促進するためには、既存の路面電車を活性化することが不可欠であり、そのためにはハード、ソフトにわたる既存システムの改良が必要である。

我々は、日本で運行されている路面電車について、2002年データを用いて輸送需要のクロスセクション分析を行い、さらに欧米（フランス、イギリス、アイルランド）で運行しているLRTとの比較を行った。¹⁾しかし、需要分析は本来、時系列分析を行う必要があるため、本研究では時系列データを使用して需要関数の推定を試みる。

そこで本研究では、18都市で運行されている路面電車21路線（2004年現在）について、1992～2004年の時系列データを使用して需要関数の推定を行い、特に運賃やサービス水準（運行頻度）などに対する弾力性を算定し、路面電車活性化の方策を検討することを目的とする。需要関数の推定にあたっては、個別路線毎の需要関数の推定をベースとして、複数路線をプールした需要関数の推定を行い、統計的に適合度のよい需要関数の推定を検討する。

2. 路面電車の運行の現状

路面電車の運行状況を「鉄道統計年報」により整理

*キーワード：公共交通運用、サービス水準

** 正会員、長岡技術科学大学環境・建設系（新潟県長岡市上富岡町、shoji@nagaokaut.ac.jp）

*** (株)NTC ドリームマックス

**** 正会員、長岡技術科学大学環境・建設系

すると、以下の通りである。²⁾

- ① 全国18都市で19の営業団体により運行され、札幌市電、函館市電、都電荒川線、熊本市電、鹿児島市電は地方自治体交通局、残りは民間の鉄道会社が運営している。
- ② 料金制度は均一制、区間制、対キロ区間制の3タイプで、主に均一制が多く、運行距離が10km未満の路線はすべて均一制が使用されている。
- ③ 運行距離は3～26km、路線数は1～7系統となっている。主に10km前後の路線距離で、1～2系統が多く、広島市内線においては7系統と多くの路線が運行している。
- ④ 表定速度は11～27km/hと、平均15km/h前後が多くなっている。

全国の利用者数の傾向を把握するため、21路線合計の乗車人数の年推移（1992～2004年）を図-1に示す。全国利用者数は1996年まで横ばいを維持してきたが、1997年から2004年まで連続して減少傾向にある。

路線距離と利用者数の推移により路線を分類すると、表-1の通りである。利用者数の時系列推移をみると「増加継続」、「増加後減少」、「減少継続」の3タイプに分類できる。その中で、東急世田谷線は唯一「増加継続」の路線であり、その他全てはいずれにしろ減少傾向にある。「増加後減少」の広島宮島線について乗車人数の推移を図-2に示す。

広島市を例に乗客数の推移をみると、市内線、宮島線とも1998年から減少傾向が明確になっている。その減少要因として考えられることは、以下の通りである。

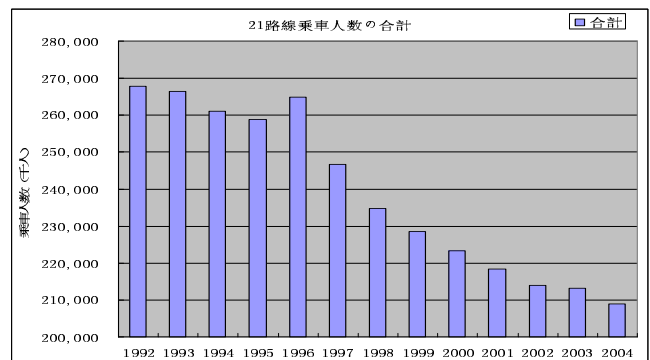


図-1 全国の路面電車利用者数の年推移(1992-2004)

表-1 路線距離と利用者数推移による分類

路線距離	乗車人数の年推移 (1993年と2004年の比較)			
	増加継続	増加後減少	減少継続 (-40%以下)	減少継続 (-40%以上)
15km以上		広島市宮島線 (-9%)	福武軌道線 (-38%) 阪堺軌道線 (-35%) 土佐電気鉄道 (-28%) 広島市内軌道線 (-15%)	大津軌道線 (-53%)
6.5km以上		熊本市内軌道線 (-11%) 長崎市内軌道線 (-7%) 鹿児島市内軌道線 (-3%)	嵐山軌道線 (-34%) 高岡市万葉線 (-26%) 函館市電 (-23%) 松山市内軌道線 (-23%) 札幌市電 (-21%)	岐阜市内軌道線 (-49%) 美濃町軌道線 (-47%)
6.5km以下	東急世田谷線 (4%)		豊橋市内軌道線 (-21%) 岡山市内軌道線 (-20%) 都電荒川線 (-17%)	富山市内軌道線 (-41%)

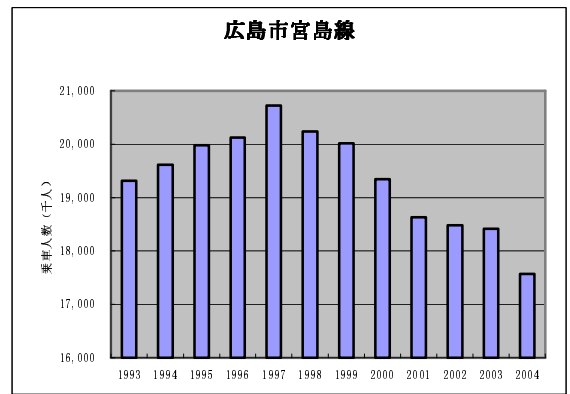


図-2 広島宮島線の利用者数の推移

- ・ 少子高齢化による就業人口、就学人口の減少
- ・ 不景気による就業人口の減少
- ・ 地方都市の都心部からの人口流出
- ・ 郊外型大型店舗の進出、百貨店の売上減少
- ・ 路面電車の運賃値上げ (1997年)

これらの要因は、広島市の路面電車に限らず各地の地方都市も同様の傾向が見られる。低床車両などの新型車両の導入、他交通機関との連続性の改良など、サービスの改善等により、事業者は利用者の増加に努めたが、今現在も依然として厳しい状態が続いている。富山港線のLRT化である富山ライトレールの開業が注目されていることは喜ばしいことであるが、一方では、既存の路面電車の乗客数が一貫して減少してきているのが現実である。

3. 需要モデルの計量分析

(1) 需要関数モデルの概要

路面電車 21 路線 (2004 年現在) について、1992～2004 年の時系列データを使用して需要関数の推定を行い、特に運賃やサービス水準に関する輸送需要の弾力性を算定する。

被説明変数は、輸送人員 (利用者数) および旅客人・キロの 2 つについて検討を行ったが、最終的には輸送人員 (利用者数) を採用した。説明変数は、運賃、サービス水準 (運行頻度、運行回数)、及び沿線地域住民の所得、乗用車保有台数、人口密度などが考えられる。輸送人員 (利用者数) (人/年)、平均運賃、運行回数は「鉄道統計年報」から取得した。²⁾ 平均運賃は、運賃収入を旅客人キロで割った値 (円/人・km) であり、運行回数 (本/日) は、総走行距離を運行路線延長で割った値である。個人所得 (円/人)、市の乗用車保有台数 (台)、沿線市の可住地人口密度 (人/km²) は、「地域経済総覧」の都市データから入手した。³⁾

需要関数は、種々の形式を試みたが、最終的には理

論的な展開によって得られる「部分調整モデル (Partial Adjustment Model)」を適用する。部分調整モデルは、長期的な均衡需要と現実需要のギャップの一部分 θ ずつ、現実需要が近づいていくと仮定するモデルであり、式 (1) によって表現される。⁴⁾⁵⁾

$$LnQ = \alpha + \beta_1 LnF + \beta_2 LnS + \beta_3 LnI + \beta_4 LnM + \beta_5 LnD + (1-\theta) LnQ_{t-1}$$

ここで、 (1)

Q: 輸送人員 (利用者数) (千人/年)

又は旅客人キロ (千人・キロ/年)

F: 平均運賃 (円/km)、平均運賃は運賃収入を旅客人キロで割った値 (円/km)

S: 運行回数 (千本/年)、総走行距離を運行路線延長で割った値

I: 個人所得 (円/人)

M: 沿線市の乗用車保有台数 (台)

D: 沿線市の可住地人口密度 (人/km²)

Qt-1: 前年の輸送人員 (利用者数) (千人/年)

又は旅客人キロ (千人・キロ/年)

θ : 調整係数 ($0 \leq \theta < 1$)

β_k : k 番目のパラメータ

式 (1) において、平均運賃や運行回数に対する短期弾力性と長期弾力性はそれぞれ式 (2) (3) で求められる。

$$\text{短期弾力性 } E_{SR} = \beta \quad (2)$$

$$\text{長期弾力性 } E_{LR} = \frac{\beta}{\theta} \quad (3)$$

長期需要と現実需要のギャップが p までになるのに要する年数は式 (4) で求められる。

$$\text{長期弾力性に至る年数 } n = \frac{Ln(1-p)}{Ln(1-\theta)} \quad (4)$$

(2) モデルの推定結果

既に述べたように、路線毎に需要関数の推定を様々なケースについて行った結果、被説明変数を輸送人員(利用者数)とする「部分調整モデル」で最もよい適合度が得られた。長崎市内線、熊本市内線、鹿児島市内線の3路線を除いて、決定係数0.85以上が得られた。しかし路線別の回帰分析において、平均運賃と運行回数の両方が有意な変数となることはなく、どちらかの変数のみで説明するモデルとなった。また、可住地人口密度は他の説明変数との相関が高いため、説明変数に入らなかった。

そこで、路線別に比較的良好な推定結果が得られた路線について、データをプールし、路線グループの回帰分析を行った。ここでも平均運賃と運行回数の2変数が同時に有意となることはなかった。平均運賃を説明変数とするグループの需要モデル(単路線とプール)を表-2に、運行回数グループのモデル(単路線とプール)を

表-2 平均運賃グループの需要モデル

番号	路線	定数	前年の利用者数	運賃	調整済R2	Esr	1-θ	θ	Elr
5	豊橋市内軌道線	5.235	0.529 (2.364)	-0.488 (-0.933)	0.930	-0.488	0.529	0.471	-1.036
6	岐阜市内軌道線	-0.210	0.999 (6.427)	-0.247 (-1.753)	0.989	-0.247	0.999	0.001	-247.0
8	富山市内軌道線	1.018	0.875 (8.500)	-0.416 (-2.504)	0.991	-0.416	0.875	0.125	-3.328
11	大津軌道線	4.653	0.912 (5.218)	-0.685 (-1.556)	0.964	-0.685	0.912	0.088	-7.784
12	嵐山軌道線	9.736	0.601 (3.921)	-0.915 (-1.837)	0.993	-0.915	0.601	0.399	-2.293
13	阪堺軌道線	0.489	0.986 (13.667)	-0.276 (-2.022)	0.982	-0.276	0.986	0.014	-19.714
15	広島市内軌道線	1.935	0.782 (5.239)	-0.583 (-1.917)	0.907	-0.583	0.782	0.218	-2.674
16	宮島線	1.299	0.815 (5.196)	-0.415 (-3.471)	0.847	-0.415	0.815	0.185	-2.243
5-6-8-11-12-13-15-16		1.035	0.885 (31.222)	-0.445 (-5.583)	0.998	-0.445	0.885	0.115	-3.870

表-3 運行回数グループの需要モデル

番号	路線	定数	前年の利用者数	サービス水準	調整済R2	Esr	1-θ	θ	Elr
3	東急世田谷線	1.830	0.424 (3.686)	0.270 (4.970)	0.848	0.270	0.424	0.576	0.469
4	都電荒川線	5.084	0.670 (3.257)	0.449 (1.082)	0.931	0.449	0.670	0.330	1.361
7	美濃町軌道線	3.789	0.826 (5.786)	0.111 (1.171)	0.970	0.111	0.826	0.174	0.638
8	富山市内軌道線	1.018	0.875 (8.500)	0.065 (0.206)	0.991	0.065	0.875	0.125	0.520
14	岡山市内軌道線	0.188	0.957 (6.357)	0.213 (0.712)	0.956	0.213	0.957	0.043	4.953
3-4-7-8-14		-0.029	0.965 (31.713)	0.071 (1.768)	0.998	0.071	0.965	0.035	2.029

表-4 費用モデルの推定結果

Model 2	運送費		
		係数	t値
n = 60	定数	1.757	3.723
R2 = 0.976	輸送人員の対数値	0.691	8.191
調整済R2 = 0.973	サービス水準の対数値	0.562	3.357
	富山市内線のダミー変数	0.460	3.089
	嵐山線のダミー変数	0.232	2.763
	阪堺線のダミー変数	0.397	4.219
	宮島線のダミー変数	0.559	6.340

表-3に示す。

表-2の8路線プールデータによる推定結果から、平均運賃の短期弾力性は-0.445、長期弾力性は-3.870である。同様に表-3から、運行回数の短期弾力性は0.071であり、長期弾力性は2.029である。長期需要とのギャップ $p=0.9$ と仮定すると、必要な年数は運賃では19年、運行回数では64年と極めて長いことがわかる。

4. 運送費用の計量分析

路面電車のサービス改善のために運行回数を増やした場合、運送費用がどれだけ増加するかを予測するために、1992~2004年の時系列データを使用して費用関数の推定を行った。被説明変数は、鉄道統計年報の運送費合計または営業費合計(千円/年)とする。説明変数は、輸送人員(利用者数、千人/年)または旅客人キロ(千人・キロ/年)、及び運行回数(千本/年)とする。費用関数として、線形と対数線形を比較したところ、適合度は対数線形の方が高くなったのでそれを採用し、被説明変数は運送費合計を採用することとした。

費用モデルの推定結果は、決定係数や係数符号など一般的に好ましくないものであった。そこで比較的良好な結果が得られた路線をプールすることとし、表-4は、豊橋、富山、嵐山、阪堺、広島宮島の5路線をプールした推定結果である。運行回数の短期弾力性は0.562である。

5. 利用者数増加の活性化方策検討

平均運賃と運行回数それぞれの短期弾力性と長期弾力性(プールデータのモデル)を使用して、運賃と運行回数(サービス水準)の改善による既存路面電車の活性化方策を検討する。具体的には例として、平均運賃20%値下げ、及び運行回数2倍のサービス改善を想定して、限界的な利用者数の変化を検討する。

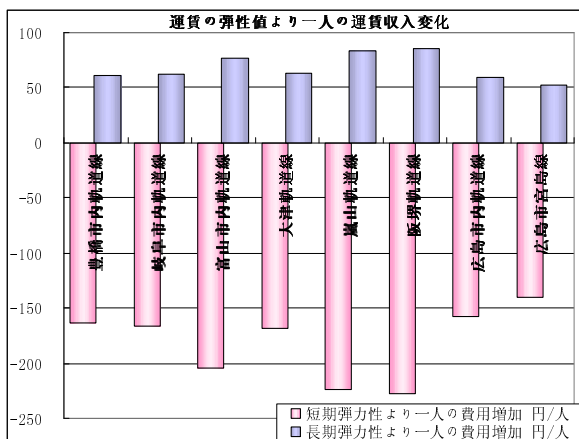


図-3 運賃 20%値下げによる影響

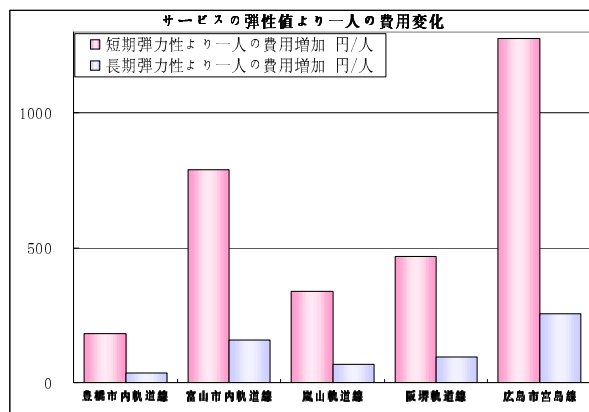


図-4 運行回数 2 倍による影響

図-3 は、運賃 20%値下げしたときに利用者数の増加 1 人当たりの運賃収入変化(短期と長期)を示している。豊橋市内軌道線を例に挙げて説明する(弾力性はプールデータ、その他の変数は豊橋市内線データ)。短期弾力性が-0.445であるので、運賃20%値下げすると、乗車人数は非弾力的にわずかに増加し、運賃収入は当然減少する。このとき、乗車人数が限界的に1人増加すると、運賃収入は163.1円減少する。また長期弾力性が-3.870であるので、運賃20%値下げすると、乗車人数は弾力的に増加し、運賃収入も増加する。このとき乗車人数が限界的に1人増加すると、運賃収入が61.0円増加する。豊橋市内線以外の7路線についても同様な傾向が伺える。運賃20%値下げしたとき、短期的には運賃収入が減少し、長期的に幾分改善すると期待できるけれども、長期均衡に至るには約20年かかることからみて、長期均衡に到達するとは期待できない。

図-4は、運行回数を2倍に改善したときに利用者数の増加 1 人当たりの費用増加を示している。やはり豊橋市内軌道線を例に挙げて説明する。短期弾力性は0.071であるので、運行回数を2倍にすると、乗車人数の増加による運賃収入の増加よりも運行費用が増加して、乗車人数が限界的に1人増加すると費用が181.7円増加する。

また長期弾力性は2.029であるので、運行回数を2倍にするとやはり運行費用は増加して、乗車人数が1人増加すると費用が36.3円増加する。豊橋市内線以外の4路線については、豊橋よりもさらに費用の増加が著しい。このように運行回数の2倍増加は、短期的も長期的にもかなりの費用増加をもたらすので、望ましい方策ではないと考える。

6. まとめ

鉄道輸送統計の時系列データを使用して、複数路線データをプールすることによって、部分調整モデルによる利用者数の需要関数、及び運送費の費用関数を推定することができた。ただし、需要関数では平均運賃と運行回数(サービス水準)の説明変数を同時に導入することができなかったため、それぞれ別の関数として推定せざるを得なかった。

路線プールして推定した需要関数と費用関数をベースとして、平均運賃20%値下げと運行回数2倍のケースについて、事業者収支(採算性)の評価を行った。平均運賃20%値下げは短期的に収支がかなり悪化し、長期的には多少改善していく。運行回数2倍は短期的にさらに収支が悪化する。

本論文では述べていないけれども、短期的な経済性を評価すると、平均運賃20%値下げでは費用便益比が1.0より大きく、運行回数2倍は1.0よりかなり小さい。これより、平均運賃の20%値下げは運賃収入を減少させるけれども、社会的には効率的であり、公共補助をしても運賃を低下させ利用者数の増加を図ることが望ましいと言える。

参考文献

- 1) 繁田慶一・松本昌二・佐野可寸志：乗車人数の計量分析による日本と英仏の路面電車(LRT)の比較、土木計画学研究・講演集, 33, 21, 2006.
- 2) 国土交通省鉄道局監修：「鉄道統計年報」、平成2～16年度.
- 3) 週刊東洋経済：「地域経済総覧」、平成2～16年度.
- 4) Joyce M.Dargay and Mark Hanly：The Demand for Local Bus Services in England、Journal of Transport Economics and Policy, 36, 1, 73-91, 2002.
- 5) Joyce M.Dargay and Mark Hanly：Bus Fare Elasticities、Report to the Department of the Environment, Transport and the Regions、ESRC transport Studies Unit University College London, 1999.