

# 路面電車の利用者数に関する計量分析

都市交通研究室 蘇 陽  
指導教員：松本 昌二  
佐野 可寸志  
土屋 哲

## 1. はじめに

現在、わが国の都市交通問題として渋滞、騒音、渋滞による大気汚染、モータリゼーションの進展による公共交通機関の衰退とあり、これに伴う交通弱者の増加、自動車利用施設の郊外立地による中心街の衰退等、様々な問題が指摘されている。主として自動車交通に起因する運輸部門での CO2 排出量の増加について、早急な対策が求められる。京都議定書では明確な CO2 の削減目標が義務づけられているため、燃料消費効率の良いバス・路面電車 (LRT) 等の公共交通機関の利活用施策が望まれている。

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 (Light Rail Transit) の名称の下で、新たな都市の公共交通機関として役目を担うようになってきている。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が減少し、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)。既存の路面電車を活性化するためには、もちろんハード、ソフトにわたるシステムの改良が必要であるが、路面電車の運行実績から学ぶことも必要と考える。

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)2) 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。

すなわち、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) などに対する弾性値を算定し、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

### (1) 路面電車の概要

1895 年 (明治 28 年) に京都市で開通した京都電気鉄道 (後に京都市電に変更した) を初めとして、大正から昭和初期にかけて大都市圏を中心に、数多くの軌道が整備された。

1932 年には 65 都市 82 事業者、総路線長 1479km と最盛期となり、戦前から戦後には、都市の重要な交通手段として機能していた。1960 年代の高度成長時代に自動車の所有率が増加すると、モータリゼーションの流れに押され路面電車は渋滞の元凶だとされ、1970 年代末にかけて各地で廃止された。自動車の増加に伴い、道路の中央の狭い電停からはみ出して待つ利用者が自動車にはねられる危険性が増えたのも理由である。自動車技術の発展によりバスが大型化され、バスの定員が路面電車と遜色が無くなった為、運営コストの安いバスが選択されたのも自然の流れである。一部の大都市 (政令指定都市) では地下鉄が建設されたが、多くの都市ではバスが代替となった。そのため、2007 年現在日本で路面電車が走っているのは 20 箇所と少ない。それでも隣国の大韓民国においては全廃 (1968 年)、中華人民共和国においては長春・大連・香港の 3 都市にしかないことからすれば、アジア諸国の中ではかなり多い方である。

### (2) 路面電車の運行現状

路面電車の運行データを鉄道統計年報のデータにより把握する。

表1 路線データ (平成12年のデータ)

事業者名 (路線名)	開業年月日	路線距離 (km)	軌間 (mm)	系統数	停留所数	車両数 (台)
札幌市交通局 一条・山鼻軌道線	1910年05月01日	8.5	1,067	1	23	34
函館市交通局	1897年12月12日	10.9	1,372	2	26	41
東急電鉄 世田谷線	1907年03月06日	5.0	1,372	1	10	20
東京都交通局 都電荒川線	1882年06月25日	12.2	1,372	1	30	43
豊橋鉄道 東田本線	1925年07月14日	5.4	1,067	2	14	15
名古屋鉄道 岐阜市内線	1911年02月11日	10.9	1,067	1	10	41
美濃線・田中線	1911年02月11日	13.0	1,067	2	23	41
富山地方鉄道 市内線	1913年09月01日	6.4	1,067	2	20	17
万葉線株式会社	1948年04月10日	12.8	1,067	2	24	11
福徳鉄道 福徳線 市内線	1933年10月15日	21.4	1,067	2	23	34
京成電鉄 大津線 石坂線 京浜線	1912年08月15日	21.6	1,435	2	27	62
京電鉄 嵐山本線 引揚線	1910年03月25日	11.0	1,435	2	20	29
阪神電気鉄道 阪神線 上野線	1900年09月20日	18.7	1,435	3	40	40
岡山電気軌道 東山線 清見線	1912年05月05日	4.7	1,435	2	15	21
広島電鉄 市内線 宮島線	1912年11月23日	18.8	1,435	7	61	115
広島電鉄 宮島線	1922年08月22日	16.1	1,435	1	20	134
土佐電気鉄道	1904年05月02日	25.3	1,067	4	74	70
伊予鉄道 松山市内線 糠道線	1895年8月22日	9.6	1,067	5	27	37
長崎電気軌道	1915年1月16日	11.5	1,435	4	38	76
熊本市交通局	1924年08月01日	12.1	1,435	2	35	54
鹿児島市交通局	1914年07月03日	13.1	1,435	2	35	11

表1 路線データには平成12年の路線名、事業者名、開業年月日、路線距離、軌間距離、系統数、停留所数、車両数を各々の路線について示す。

- ・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。
- ・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。
- ・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、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。
- ・表定速度は11~27km/hと、平均15km/h前後が多くなっている。

全国で路面電車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を図2.1に示す。図1を見ると時系列データより1996年から2004年まで全国的に乗車人数が減少傾向にある。

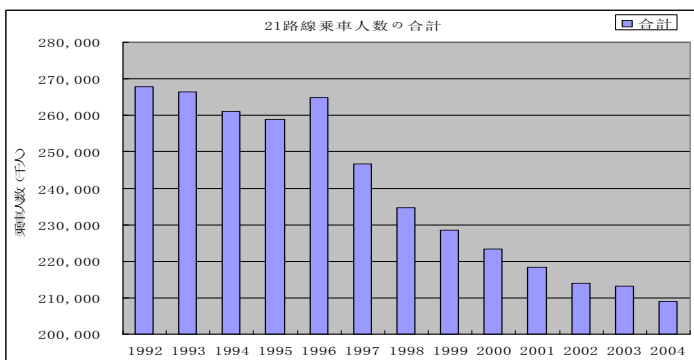


図1 全国利用者数の年推移 (1992-2004年)

利用者数の推移と路線距離により路線を分類すると表2の通りである。利用者数の推移による分類は「増加継続」、「増加後減少」、「減少継続」の3つになる。その中に、増加する東急世田谷線と、増加後減少の広島宮島について乗車人数 (1993年から2004年まで) のグラフを示す。なお、図2の東急世田谷線は唯一増加継続の路線である。

表2 利用者数の推移・路線距離による分類

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%)

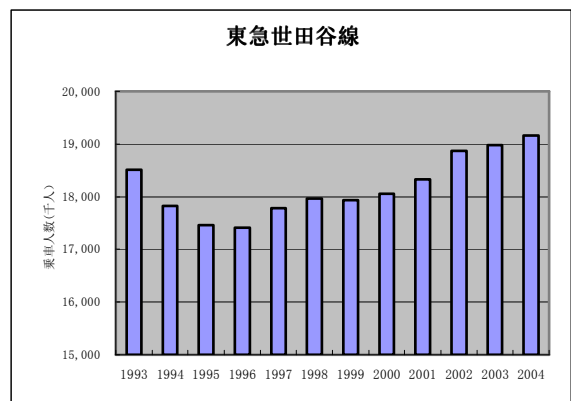


図2 東急世田谷線利用者数の年推移 (1993年-2004年)

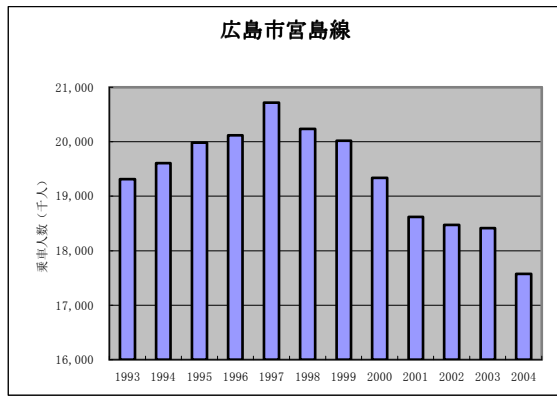


図3 広島宮島線利用者数の年推移  
(1993年-2004年)

広島を例に乗客数の変化をみると、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。この減少要因として考えられることは以下のような点である。

- ・ 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

これらの要因は、広島市に限らず各地の地方都市や地方鉄道も同様の傾向が見られる。また、サービスの改善等で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。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が減少し、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)。

### 3. 旅客需要の計量分析

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、特に乗車人数または旅客人キロの運賃やサービス水準(運行頻度)などに対する弾性値を推定する。

#### (1) 需要関数モデルの概要

説明変数とデータの収集も含めて説明する。本研究では現在日本の18都市で運行されている路面電車21路線について、1992~2004年まで運行データ、沿線データを取得し、回帰分析を行う。被説明変数は輸送人員(利用者数)および旅客人・キロとする。それらに影響を与える要因は運賃、

サービス水準(運行頻度、運行本数)、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、サービス水準(運行本数)は「鉄道統計年報」から取得した。平均運賃は運賃収入を旅客人キロで割った値(円/人・km)とする。サービス水準は運行本数(本/日)とし、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/km<sup>2</sup>)は、「地域経済総覧」の都市データから入手した。

輸送需要関数は、一般式(1)のように表された。

$$Q_{Rt}^* = f(F_{Rt}, S_{Rt}, I_{Rt}, M_t, D_{Rt}) \quad (1)$$

モデル式の理論式からの展開

$$\ln Q_t = \alpha + \beta_1 \ln F + \beta_2 \ln S + \beta_3 \ln I + \beta_4 \ln M + \beta_5 \ln D + \theta \ln Q_{t-1} \quad (2)$$

モデル式(2)は理論的な展開により得られる部分調整モデル(Partial Adjustment Model)である。

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: サービス水準(運行本数 千本/年) 総走行距離を運行路線延長で割った値である。

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/km<sup>2</sup>)

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)

$\theta$ : 調整係数 ( $0 \leq \theta < 1$ )

$\beta_k$ : k番目のパラメータ

モデル式(2)において運賃やサービス水準に対する短期と長期の弾性値は以下のように求められる。

$$\text{短期弾性値 } E_{SR} = \theta \quad (3)$$

$$\text{長期弾性値 } E_{LR} = \frac{\theta\beta}{\theta} = \beta \quad (4)$$

$\theta$ : 運賃又はサービス水準のパラメータ

輸送需要の回帰モデルは、通常の線形式と対数線形式を検討する。係数の符号について、運賃はマイナス、サービス水準はプラス、所得と乗用車保有台数はマイナスとなるのが理論に合う。可住

地人口密度は他の説明変数との相関が高いため、説明変数に入っていない。

表3 平均運賃グループの推定結果

番号	路線	定数	前年の利用者数	運賃	調整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4 サービス水準グループの推定結果

番号	路線	定数	前年の利用者数	サービス水準	調整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

(2) モデルの推定結果

各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。その結果、線形式よりは対数式の方が全般的により適合度を得られ、被説明変数は旅客人・キロよりは輸送人員（利用者数）の方がよい適合度を得られた。また、説明変数には「前年の輸送人員」を加えた方が適合度が高くなることわかった。従って、望ましい需要関数モデルは、輸送人員（利用者数）を被説明変数とし、説明変数に「前年の輸送人員」を加えた対数線形式、すなわち部分調整モデル(Partial Adjustment Model)であることが判明した。

しかし、路線別の回帰分析では適合度や符号条件等がよくない路線がみられた。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。平均運賃を説明変数とする回帰分析結果を表3に、サービス水準（運行回数）の回帰分析結果を表4に示す。なお、平均運賃とサービス水準の2変数を説明変数とする回帰分析は良好な結果が得られなかった。

表3は8路線をプールし、前年の利用者数と平均運賃を説明変数とするモデル式の推定結果である。式(3)と式(4)によれば、運賃の短期弾性値は-0.445であり、長期弾性値は-3.870である。

表4は5路線をプールし、前年の利用者数とサービス水準（運行回数）を説明変数とするモデル式の推定結果である。式(3)と式(4)によれば、サービス水準の短期弾性値は0.071であり、長期弾性値は2.029である。

4. 費用の計量分析

1992～2004年の時系列データを使用して費用関数の推定を行い、特に利用者数やサービス水準（運行頻度）などに対する弾性値を求めた。被説明変数として、運送費または営業費を費用関数として、パラメータを推定する。

費用関数は次式によって定義される。

線形式

$$C = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots \quad (1)$$

対数線形式

$$\ln C = \beta_0 + \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 \ln X_2 + \dots \quad (2)$$

被説明変数C：運送費計（千円/年）

または営業費合計（千円/年）

説明変数X<sub>1</sub>：輸送人員（利用者数）（千人/年）

又は旅客人キロ（千人・キロ/年）

説明変数X<sub>2</sub>：サービス水準（運行本数千本/年）

1992～2004年の時系列データを使用して費用関数の推定を行う。表5は、豊橋、富山、嵐山、阪堺と広島宮島のグループをプールした結果である。サービス水準の短期弾性値は0.562である。

表5 費用関数の推定結果

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
	広島線のダミー変数	0.559	6.340

## 5. 利用者数増加による活性化方策

### (1) 利用者数と採算性の検討

本節では運賃とサービス水準の改善による活性化方策を検討する。検討には運賃とサービス水準（運行回数）のそれぞれ短期と長期の弾力性を使用する。運賃20%値下げとサービス水準2倍に上げる2つ改善方法の検討を行う。

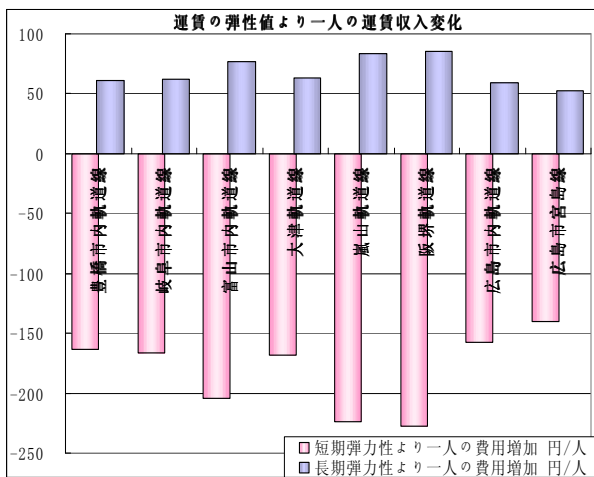


図4 運賃20%値下げによる影響

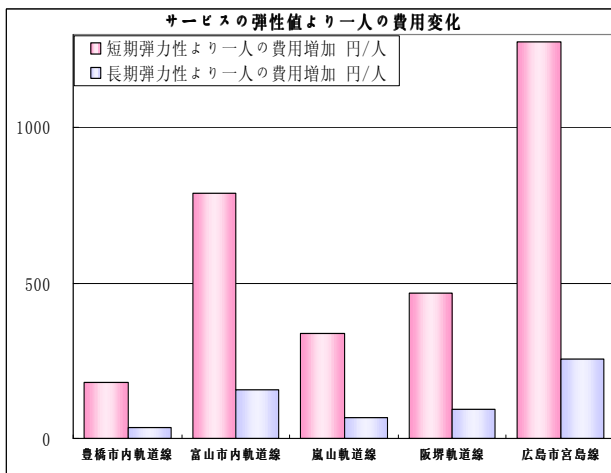


図5 運行回数2倍による影響

図4は運賃20%値下げしたときに生じる一人当たり運賃収入変化である。豊橋市内軌道線を例に挙げて説明する。

短期弾力性値 $E_{SR}$ は-0.445の時に、運賃20%値下げして、乗車人数の増加より、運賃収入は減少して、乗車人数一人が増加することより運賃収入は163.1円減少する。長期弾力性値 $E_{LR}$ は-3.870の時に、運賃20%値下げして、乗車人数の増加より、運賃収入は増加して、乗車人数一人が増加することより運賃収入61.1円増加する。長期弾力性値の絶対値が1より大きいので、運賃収入は増加することになる。

図5は運行回数が2倍にしたときに生じる一人当たり費用変化である。豊橋市内軌道線を例に挙げて説明する。

短期弾力性値 $E_{SR}$ は0.071の時に、運行回数が2倍にして、乗車人数の増加より、費用は増加して、乗車人数一人が増加することより96.2円をかかった。長期弾力性値 $E_{LR}$ は2.029の時に、運行回数が2倍にして、乗車人数の増加より、費用は増加して、乗車人数一人を増加することより13.4円をかかった。

### (2) 経済性（費用便益）の検討

表3、表4に示すグループの需要関数を用いて、平均運賃20%値下げと運行回数2倍にした場合の費用便益分析を行う。例えば、運賃20%値下げした場合、需要関数による消費者余剰の差が便益 $\Delta B$ であり、運賃収入の減少分が費用 $\Delta C$ である。運行回数を2倍にした場合、2つの需要関数を用いて、運行回数を運賃（金額）に換算した上で、消費者余剰の差が便益 $\Delta B$ であり、表5費用関数を用いて、運行回数増加による費用増が費用 $\Delta C$ となる。

図6は運賃20%値下げ時に便益 $\Delta B$ と費用 $\Delta C$ の比較である。図7は運行回数2倍にあげる時に便益 $\Delta B$ と費用 $\Delta C$ の比較である。各路線の運賃収入、費用への影響を定量的に比較し、費用便益比を算出した。

表6と表7で費用便益比を算出した。運賃20%下げの方が、運行回数2倍にするよりも、経済効率性が高く、交通事業者の費用増加の負担が少ないことが分かった。

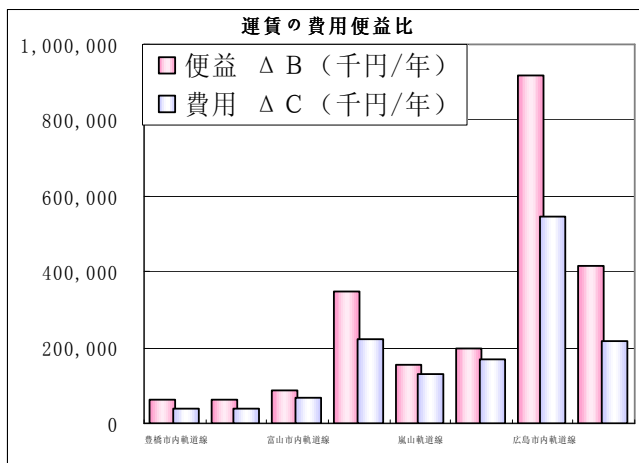


図6 運賃20%値下げによる費用便益

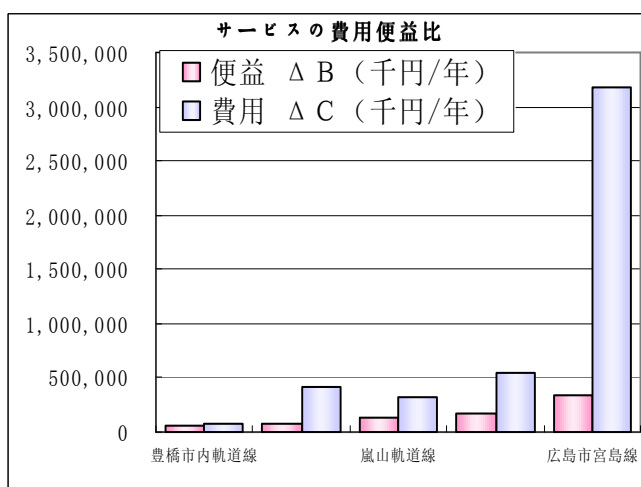


図7 運行回数2倍による費用便益

表6 運賃20%値下げによる費用便益比

番号	路線名	$\Delta B / \Delta C$
5	豊橋市内軌道線	1.6
6	岐阜市内軌道線	1.6
8	富山市内軌道線	1.3
11	大津軌道線	1.6
12	嵐山軌道線	1.2
13	阪堺軌道線	1.2
15	広島市内軌道線	1.7
16	広島市宮島線	1.9

表7 運行回数2倍による費用便益比

番号	路線名	$\Delta B / \Delta C$
5	豊橋市内軌道線	0.7
8	富山市内軌道線	0.2
12	嵐山軌道線	0.4
13	阪堺軌道線	0.3
16	広島市宮島線	0.1

(3) 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、利用者数の需要関数と運送費の費用関数を推定することができた。需要関数は部分調整モデルの適合度が最も高いので、それを採用することとして、短期と長期の弾性値を算定した。しかし、説明変数は平均運賃とサービス水準(運行回数)を同時に導入することができなかつたので、それぞれ別の関数として推定せざるを得なかつた。

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、平均運賃の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)と費用便益分析(経済性)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、運行回数2倍は短期的にさらに収支が悪化する。しかし、経済性を費用便益比によって評価すると、平均運賃20%値下げが1.0より大きく、運行回数2倍は1.0より小さいことから、平均運賃の20%値下げは地方自治体が公共補助をしてでも、運賃を低下させ利用者数を増加させることが妥当であることを示唆した。

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, Vol.33, No.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, Volume 36, Part 1, January 2002, pp.73-91.
- 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.