

日本における路面電車の現状分析及び発展可能性についての研究

環境システム工学専攻 都市交通研究室 繁田慶一
 指導教員 松本昌二
 佐野可寸志

1. はじめに

現在、我が国の交通問題として渋滞、渋滞による大気汚染・騒音、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、これに伴う交通弱者の増加、自動車利用施設の増加による中心街の衰退等、様々な問題が指摘されている。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公共交通機関としてバス・路面電車（LRT）等の利活用施策等、効率的な運用が望まれている。

近年、諸外国では路面電車が見直され、LRTの名称の下、新たな交通機関としての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ているが、実際は、新たな路線が作られているわけではなく、多くの都市では乗客が減少し、不採算のために路線が縮小されるケースも見受けられる。

そこで本研究では、平成18年現在日本の19都市で運行されている路面電車21路線について、沿線データ、運行データ、路線データを取得し、現状の路面電車についての問題点を把握する。また、欧米（フランス、イギリス、アイルランド）で運行しているLRTについてもデータを取得し、日本の路面電車との比較を行い、日本の路面電車と英仏のLRTの違いについて検討することを目的とする。

2. 研究対象路線とデータ

本研究は路面電車、LRT (Light Rail Transit) を対象として調査を行った。日本の路線としては現在運行されている19路線、及び2005年3月31日に廃線となった岐阜市内軌道線、美濃町軌道線、欧米の路線としてフランス14路線、アイルランド2路線、イギリス5路線を対象として調査、研究を行った。表-1に対象路線、表-2に対象データを示す。

表-1 対象路線一覧

国	運行都市	事業者	路線名
日本	札幌市	札幌市交通局	一条山線軌道線
	函館市	函館市交通局	市内軌道線
	東京都	東急電鉄	世田谷軌道線
	豊橋市	豊橋鉄道	三の輪早稲田軌道線
	岐阜市	名古屋鉄道	市内軌道線
	富山市	富山地方鉄道	美濃町軌道線
	高岡市	万葉線株式会社	市内軌道線
	福井市	福井鉄道	万葉線
	大津市	京阪電鉄	福武線
	京都市	京福電鉄	大津軌道線
	大阪市・堺市	阪堺電気軌道	阪堺線・上町線
	岡山市	岡山電気軌道	東山線・清輝橋線
	広島市	広島電鉄	市内軌道線
	高知市		宮島線
	松山市	伊予鉄道	土佐電気鉄道
	長崎市	長崎電気軌道	市内軌道線
	熊本市	熊本市交通局	市内軌道線
	鹿児島市	鹿児島市交通局	市内軌道線
	フランス	運行都市	路線名
	グルノーブル	LineA	
		LineB	
	イルド=フランス	LineT1	
		LineT2	
	リヨン	LineT1	
		LineT2	
	モンペリエ	Line1	
		Line1	
	ナント	Line1	
		Line2	
		Line3	
	オルレアン	Line1	
	ルーアン	Line1	
	ストラスブール	LineA	
		LineB	
アイルランド	ダブリン	LineA	
		LineB	
イギリス	ウェスト・ミッドランド		
	クロイドン		
	シェフィールド		
	マンチェスター		
	ノッティンガム		

表-2 使用データ一覧

日本		欧米	
都市データ	都市人口 都市面積 可住地面積 人口密度 DID人口密度 DID面積 内部率点率 産業別人口構成 中間人口比率 通勤時間 乗用車保有台数 乗用車保有率 就業者数 高等学校数 病院数 世帯数	都市データ	都市人口 都市面積 就業者数 圏域人口 圏域人口密度
路線データ	路線距離 開業年月日 車両軌間 路線系統数 停留所数 車両数	路線データ	路線距離 停留所数 車両数 開業年 分離路線割合 専用路線割合 平均駅間距離
運行データ	走行キロ ヒーク時運行間隔 ヒーク時運行本数 平均運行回数 平均運行間隔 表定速度 初乗り運賃 平均運賃 運賃収受方式 職員数 1km当り路面電車数	運行データ	平均運賃 初乗り運賃 1日乗車券料金 週の定期券料金 月の定期券料金 料金制度 割引制度 1km当り路面電車数 ヒーク時運行間隔 走行キロ 表定速度 オフピーク時運行間隔
業務成績	乗車人数 通勤乗車人数 通学乗車人数 定期外乗車人数 旅客入キロ 平均通過数量 平均輸送キロ 運賃収入 営業収入 事故件数	業務成績	利用者数 平日1日当り利用者数 1km当り路面電車数 利用者当りのコスト
経費	営業費 運送費 人件費 経費 修繕費 鉄軌道 営業損益	経費	

3. 現状分析

日本の路線の現状を把握するため、年推移で分析を行った。

図-1には走行キロと乗車人数の関係を平成2～14年まで4年おきで示す。グラフの傾きの傾向から、全国の路線において、走行キロが乗車人数に与える影響が年推移で減少していることがうかがえる。また、広島市内軌道線においては他の全国の路線の傾向よりも走行キロ数に対する乗車人数が多くなっている。大津市内軌道線においては乗車人数が年推移で減少していることが分かる。

4. 旅客需要の計量分析

現存の路面電車（岐阜市内線、美濃町軌道線を含む）を評価するため、乗車人数、旅客人キロ、営業収入、営業費についてそれぞれ沿線、路線、運行データとの比較を行い、乗車人数、旅客人キロに与える要因について分析を行った。

(1) 日本の路線に関する分析

日本の路面電車の乗車人数に影響する要因を探るため、走行キロ、平均往復運行間隔、路線系統数と乗車人数の関係を図-2、図-3、図-4に表す。

図-2のグラフをみると走行キロが乗車人数に影響を与えていることがわかる。全路線の傾向よりも広島市内軌道線、長崎市内軌道線、都電荒川線、世田谷軌道線が走行キロに対しての乗車人数が多い傾向が見られる。広島市内軌道線においては日本最大の規模を持つ路面電車であり、沿線には観光施設、生活に必要な様々な施設が多くなっており、利便性が非常に高く、広島市の主流な交通手段として利用されている。他の路線の走行キロ数に対する乗車人数の傾向よりも乗車人数が多いのはこのためだと考えられる。長崎市内軌道線においては市内の主な観光手段として利用されており、均一制料金で100円と大変安価なために利用者が多いと考えられる。

図-3のグラフを見ると運行間隔が短いほど乗車人数が多い傾向が見られ短ければ短いほどに乗車人数の増加傾向は強いことがわかる。万葉線、岐阜市内線の2路線の運行間隔が長くなっている。この2路線は共に走行キロ数の減少により営業損益の赤字を減らしている路線である。走行キロ数の要素として運行間隔、路線距離などがあるが、その中で運行間隔を減らすことにより赤字の減少を行った路

線だということが考えられる。また広島市内軌道線、荒川線が特に運行間隔に対しての乗車人数が多い傾向がみられたが、路線規模の多さ、人口密度の多さがそれぞれ効いていると考えられる。

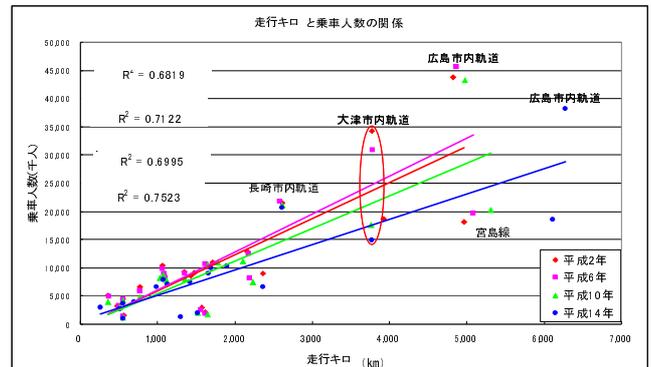


図-1 走行キロと乗車人数の関係 (平成2～14年)

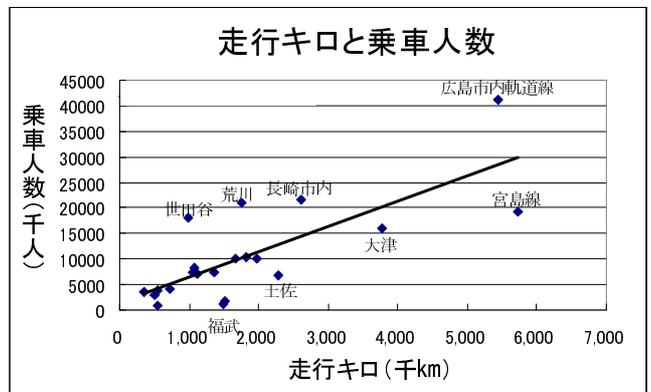


図-2 走行キロと乗車人数の関係

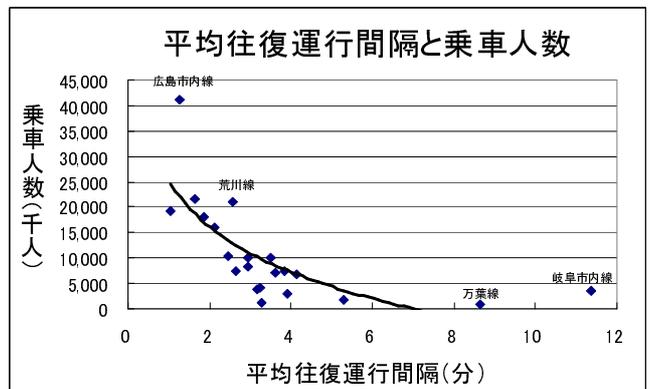


図-3 平均往復運行間隔と乗車人数の関係

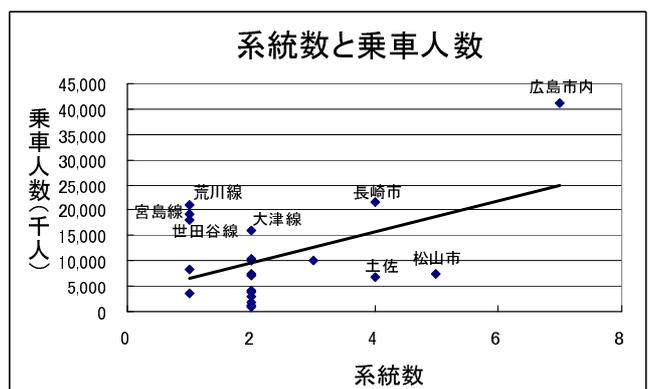


図-4 路線系統数と乗車人数の関係

図-4のグラフを見ると全国の路線は主に1~2系統が多いものの、路線系統数が多い路線ほど乗車人数が多い傾向が見られることがわかる。広島市軌道線においては7系統と多く、乗車人数においても多い傾向が見られる。

表-3には従属変数を日本の路面電車の乗車人数とした重回帰分析の出力結果を示す。説明変数を路線距離(km)、平均運行間隔(分)、路線系統数、DID人口密度(人/km²)、ダミー変数を東京都の2路線(都電荒川線、東急世田谷軌道線)、広島市内軌道線、宮島線、長崎市内軌道線とし、R²=0.843、自由度調整済R²=0.776の重回帰式を得た。

変数の符号を見ると、平均運行間隔がマイナスとなっており、運行間隔が長くなるほど乗車人数は少なくなるということがわかる。路線距離、系統数、DID人口密度の符号はプラスとなっており、変数の中で系統数のt値が2.183と高く1.96以上なため、5%有意となっている。この重回帰式から路面電車においては路線を長くするよりも、路線網を多くすることが考えられる。

日本の路面電車の旅客人キロに影響する要因を探るため、平均運賃、DID人口密度、平均運行間隔と旅客人キロの関係を図-5、図-6、図-7に示す。グラフを見ると各変数が旅客人キロに影響を与えていることがわかる。ここでも乗車人数の要因と同様に広島市内軌道線が他の路線よりも大きい傾向が見られた。

表-4には従属変数を旅客人キロ、説明変数を路線距離、平均運行間隔、DID人口密度、平均運賃、ダミー変数を東京都の2路線、広島、長崎の路線とした重回帰分析の出力結果を示す。R²=0.870、調整済R²=0.814の重回帰式が得られた。変数の符号を見ると、平均往復運行間隔、平均運賃がマイナスとなっており、運行間隔が長くなるほど乗車人数は少なくなるということがわかる。運賃について

も高ければ旅客人キロの減少につながるが、運行間隔ほどの影響が与えられていないことが分かった。路線距離、DID人口密度の符号はプラスとなっており、変数の中で路線距離のt値が高く有意となっている。この重回帰式から路面電車においては路線が長く、運行間隔が短いほど旅客人キロの増加につながるということがいえる。

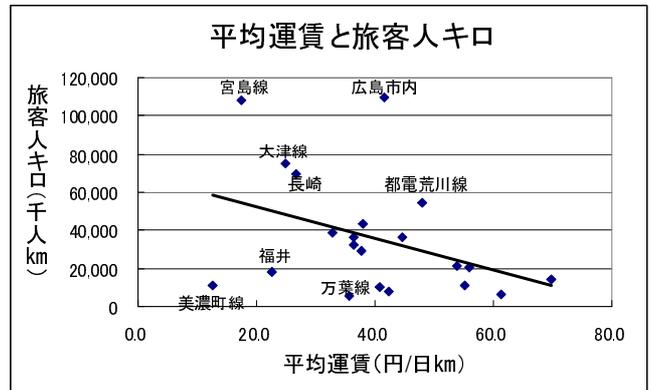


図-5 平均運賃と旅客人キロ

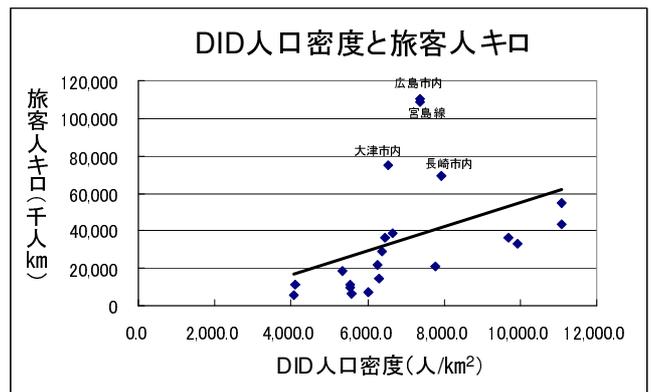


図-6 DID人口密度と旅客人キロの関係

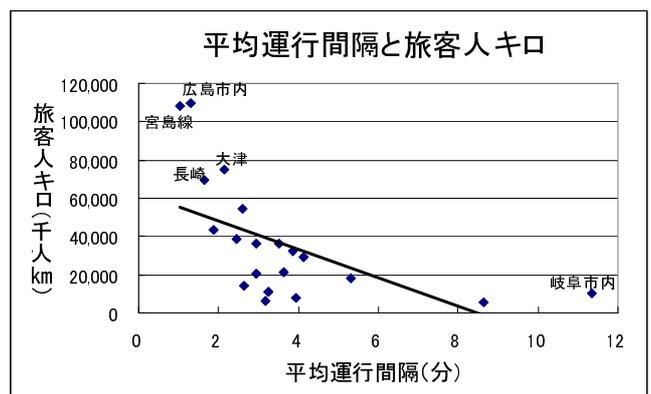


図-7 平均運行間隔と旅客人キロの関係

表-3 乗車人数の重回帰分析出力結果 (日本)

モデル1	乗車人数(千人/年)			
	説明変数	係数	標準化係数	t値
n = 21 R2 = 0.843 調整済R2 = 0.776	路線距離(km)	188.929	0.113	0.979
	平均運行間隔(分)	-551.395	-0.138	1.093
	系統数	1800.506	0.284	2.183
	DID人口密度(人/km ²)	0.810	0.170	1.073
	(定数)	-2936.199		-0.469
	ダミー変数	係数	標準化係数	t値
	東京ダミー	11392.734	0.360	2.270
広島、長崎ダミー	14724.623	0.555	4.360	

表-4 旅客人キロの重回帰分析出力結果 (日本)

モデル1	旅客人キロ(千人km)			
	説明変数	係数	標準化係数	t値
n = 21 R2 = 0.870 調整済R2 = 0.814	路線距離(km)	1754.456	0.321	2.784
	平均運行間隔(分)	-2949.355	-0.224	-1.985
	DID人口密度(人/km ²)	2.454	0.157	1.082
	平均運賃(円/人km)	-41.807	-0.167	-0.167
	(定数)	-686.184		-0.031
	ダミー変数	係数	標準化係数	t値
	東京ダミー	16510.008	0.159	1.107
広島、長崎ダミー	56078.834	0.643	5.597	

(2) イギリス、フランスの路線についての分析
 イギリス、フランスの路線の乗車人数に有効な変数について検討を行うために、それぞれの変数について比較を行った。現在あるデータについて相関の高い変数についてグラフに示した。

図-8は1km当り路面電車数と1日当り乗車人数、図-9にはピーク時運行本数と1日1km当り乗車人数、図-10には駅間距離と1日1km当り乗車人数のグラフを示した。グラフを見ると各変数が1日当り乗車人数、1日1km当り乗車人数に影響を与えていることがわかる。また欧米全体の路線よりも IDF の2路線については各変数による乗車人数が多い傾向が見られた。

(3) 日本とイギリス、フランスの路線
 取得したデータの中で日本の路線全てとフランス、イギリスの路線をLRTとして路面電車とLRTの比較を行った。

図-11には駅間距離と表定速度の関係について、日本とラフを見るとイギリス、フランスでは駅間距離が長いほど表定速度が速いという相関が強く見られた。日本では専用軌道を走行する路線(宮島線、大津市内軌道線)においては表定速度が速くなっているが、多くの路線では駅間距離が表定速度にあまり影響しておらず、駅間距離400m前後、表定速度が15km/h前後に分布している。またフランスの路線の多くは専用、併用に関わらず、表定速度が20km/h前後と速くなっている。

図-12にはピーク時運行間隔と1日1km当り乗車人数の関係を日本とイギリス、フランスの路線についてグラフに示した。グラフを見るとピーク時運行間隔が短いほど乗車人数が多い傾向となっている

間隔による乗車人数が日本の路線に比べ多い傾向が見られた。

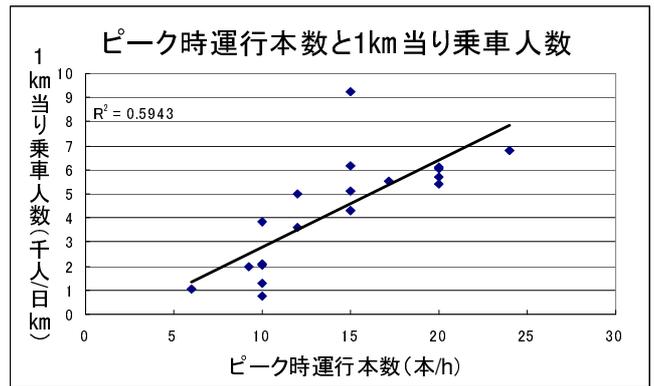


図-9 ピーク時運行本数と1km当り乗車人数 (英仏)

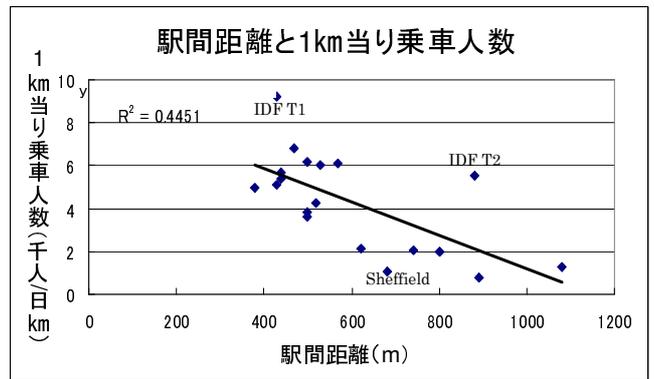


図-10 駅間距離と1km当り乗車人数 (英仏)

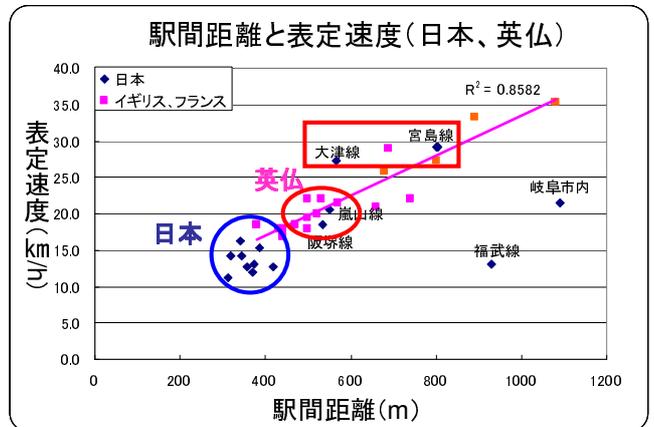


図-11 駅間距離と表定速度の関係

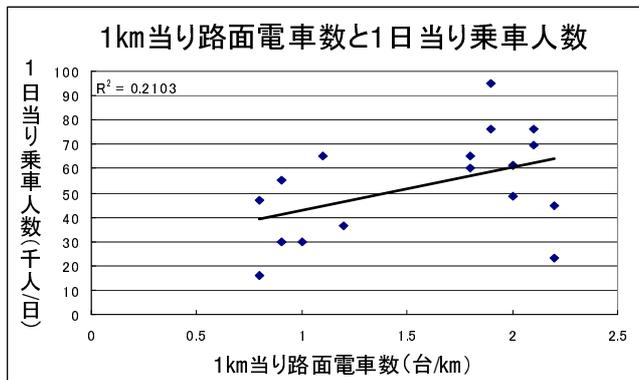


図-8 1km当り路面電車数と1日当り乗車人数 (英仏)

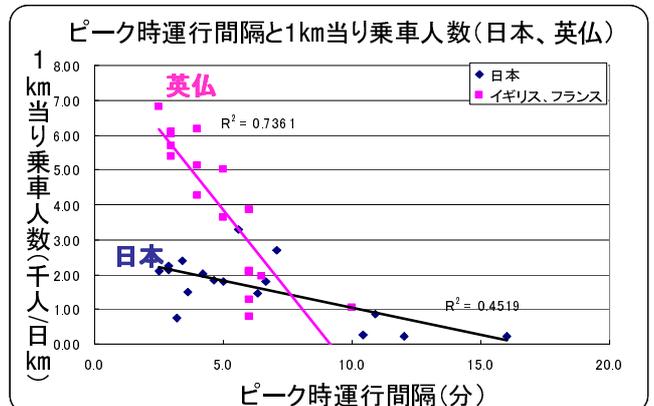


図-12 ピーク時運行間隔と1km当り乗車人数の関係

ことがわかる。イギリス、フランスの路線では運行

表-5には従属変数を1日当り乗車人数とした重回

帰分析の出力結果を示す。説明変数を1km当り路面電車数、駅間時間、400m圏域人口、ダミー変数をIDF、イギリスの郊外路線（クロイドン、シェフィールド、マンチェスター、ノッティンガム）、ストラスブールとし、 $R^2=0.871$ 、調整済 $R^2=0.781$ の重回帰式を得た。変数を見ると、1km当りの路面電車数はt値が3.590と高く、平日1日当りの乗車人数の要因として強い影響を与えているといえる。

表-6には従属変数を1日1km当り乗車人数とした重回帰分析の出力結果を示す。説明変数をピーク時運行本数、駅間距離、ダミー変数をIDF、イギリスの郊外路線、ストラスブールとし、 $R^2=0.928$ 、調整済 $R^2=0.898$ の重回帰式が得られた。変数の中でピーク時運行本数のt値が4.256と高く、1日1km当り乗車人数の要因として強い影響を与えているといえる。

5. 弾性値による比較分析

日本とイギリス、フランスの路線において運行頻度を変化させた場合の乗車人数の増加傾向を弾性値分析により比較する。

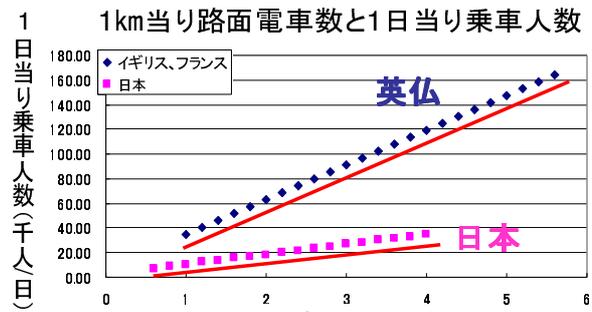


図-14 1km当り路面電車数と乗車人数

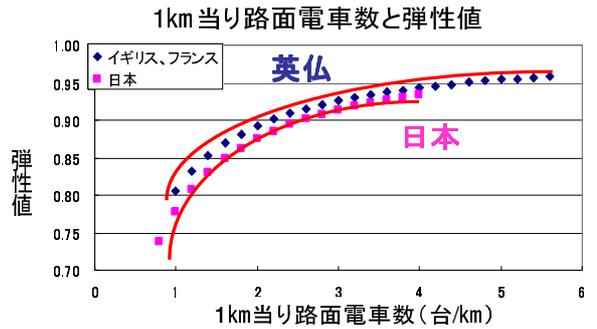


図-15 1km当り路面電車数増加による弾性値

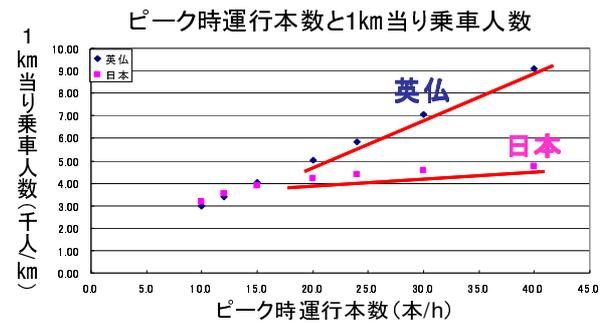


図-16 ピーク時運行本数と乗車人数

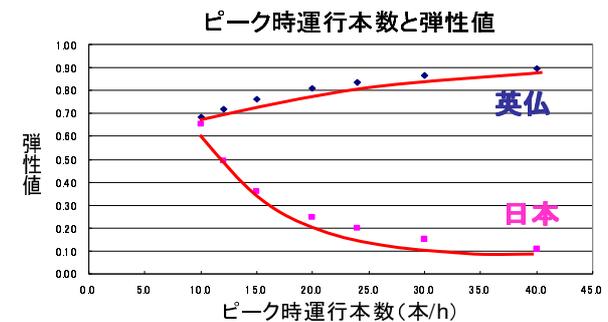


図-17 ピーク時運行本数増加による弾性値

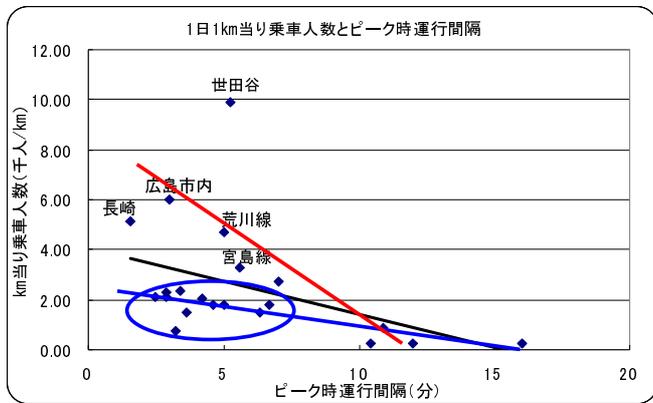


図-13 ピーク時運行間隔と1km当り乗車人数(日本)

表-5 1日当り乗車人数の重回帰分析出力結果(英仏)

モデル1	フランス、イギリス 平日1日当り乗車人数(千人/日)			
	説明変数	係数	標準化係数	t値
n = 6	1km当り路面電車数(台/km)	28.033	2.103	3.581
R ² = 0.871	駅間時間(分)	30.860	0.264	0.187
調整済R ² = 0.761	400m圏域人口(千人)	0.467	0.626	2.132
	(定数)	-76.435		-1.677
	ダミー変数 係数		標準化係数 t値	
	IDFダミー	-70.720	-1.338	-2.526
	UKダミー	40.621	0.901	3.093
	Strasbourgダミー	21.888	0.414	2.817

表-6 1日1km当り乗車人数の重回帰分析出力結果(英仏)

モデル1	フランス、イギリス 1日1km当り乗車人数(千人/日)			
	説明変数	係数	標準化係数	t値
n = 5	ピーク時運行本数(本/h)	0.204	0.438	4.256
R ² = 0.926	駅間距離(m)	-0.006	-0.504	-5.318
調整済R ² = 0.898	(定数)	0.455		4.238
	ダミー変数 係数		標準化係数 t値	
	IDFダミー	3.455	0.476	5.902
	UKダミー	-0.015	-0.003	-0.027
	Strasbourgダミー	0.692	0.095	1.118

表-7 1日当り乗車人数の重回帰分析出力結果(日本)

モデル1	1日当り乗車人数(千人/日)			
	説明変数	係数	標準化係数	t値
n = 21	1km当り路面電車数(台)	8.113	0.523	3.933
R ² = 0.746	系統数	9.170	0.527	3.900
調整済R ² = 0.683	(定数)	-25.195		-2.195
	ダミー変数 係数		標準化係数 t値	
	東京ダミー	38.952	0.449	3.131
	広島、長崎以外ダミー	-2.831	-0.055	-0.390

表-8 1日1km当り乗車人数の重回帰分析出力結果(日本)

モデル1	1日1km当り乗車人数(千人/日) 広島、長崎			
	説明変数	係数	標準化係数	t値
n = 21	ピーク時運行間隔(分)	-0.347	-0.557	-2.977
R ² = 0.741	系統数	0.087	0.057	0.344
調整済R ² = 0.676	(定数)	4.997		3.155
	ダミー変数 係数		標準化係数 t値	
	東京ダミー	3.975	0.524	3.106
	広島、長崎以外ダミー	-1.800	-0.400	-2.210

図-13 には日本の路面電車のピーク時運行間隔と1日1km当り乗車人数の関係をグラフで表す。乗車人数の重回帰式では東京の2路線、広島市内軌道線、長崎市内軌道線、宮島線をダミー変数とした式を算出し、青枠の路線（運行間隔は短い、乗車人数が比較的少ない路線）についての重回帰式（青線）を算出していたが、青枠内にある路線にダミー変数を投入し、重回帰分析を行うことで、赤線のような広島、長崎の路線についての重回帰式を算出し、フランス、イギリスの路線と弾性値の比較を行う。

表-7、表-8 には広島、長崎の路線についての重回帰式の算出結果を示す。この際、表-5、表-6 のイギリス、フランスの重回帰式と従属変数を合わせるため、日本の路線の乗車人数を表-7では365日で割り、表-8ではさらに路線距離で割った1日当り乗車人数、1日1km当り乗車人数を従属変数とした重回帰式を算出した。

図-14、図-15 には表-5（英仏）と表-7（日本）の重回帰式による1km当り路面電車数増加による乗車人数の増加傾向、弾性値変化の傾向をグラフで示す。グラフを見ると1km当り路面電車数増加による乗車人数の増加傾向はイギリス、フランスが高くなっていることがわかる。弾性値においては大きな差は見られないものの、わずかながら日本が小さい値となっていた。図-16 にはピーク時運行本数増加による1日1km当り乗車人数の増加傾向を、図-19 には弾性値変化を示す。図-16 を見るとピーク時の運行本数が増加することで乗車人数は増加しているが、イギリス、フランスの増加傾向が運行本数20本から日本の増加傾向に比べ大きくなっている。弾性値を見ると日本の路線においては弾性値が減少している傾向が見られる。

5. まとめ

日本の主に併用軌道を通る路線においては表定速度が遅くなっているが、主に専用軌道を走行する路線においては路線距離にもよるが、表定速度が速くなっている。イギリス、フランスの路線においては併用軌道であっても表定速度が20km/h前後と速くなっている。この状況においては運行頻度をあげることによる弾性値の増加が1日当り乗車人数、1日1km当り乗車人数において見られた。日本とイギリス、フランスの路線の比較において1日当り乗車人数では共に運行頻度の増加による弾性値の増加はみられたが、1km当り乗車人数ではイギリス、フランスの路線のみ弾性値が増加している傾向が見られた。1日1km当り乗車人数において、弾性値が増加するという事は単に乗車人数が多くなるというだけでなくトリップ長が長いということがいえるため、イギリス、フランスにおいては全線での利用数が増加するということがわかった。

参考文献

- 1) 国土交通省鉄道局監修；平成2～14年度 鉄道統計年報
- 2) 総務省統計局；我が国の人口集中地区、人口集中地区別人口・境界図
- 3) South Yorkshire Passenger Transport Executive. ; Comparative performance data from French tramways systems, Final report. December 2003. SEMALY & FaberMaunsell.