

S5-1-7 乗車券カードデータを用いた路面電車運行状況の抽出と乗客の反応

○神 野 一 (広島大学大学院)

[土] 奥 村 誠 (広島大学大学院)

[土] 塚 井 誠 人 (立命館大学)

Extracting the Information of Tram Situation and Reaction of Passenger Using Card Data

Hajime Jinno (Hiroshima University)

Makoto Okumura, Member (Hiroshima University)

Makoto Tsukai, Member (Ritsumeikan University)

The certainty of time of the bus and the tram is lower than ordinary railway service. The tram operating company can do operation that improves passenger's satisfaction by grasping the travel time distribution and the reaction of passengers. To grasp these phenomena, a great deal of samples is necessary. However, to acquire sufficient samples in travel behavior surveys becomes more and more difficult because of severe survey budget or technical restrictions, decline of the effective respondent ratio due to increasing recognition of privacy. This research aims to clarify travel time distribution by focusing on the tram movement, and grasp how passengers react to the uncertain operation of the tram, using the fare card data of Hiroshima Tram.

キーワード：カードデータ，所要時間分布，不確実性，運行計画

Keywords：fare card data, travel time distribution, uncertainty, operation plan

1. はじめに

近年，公共交通においても，利用者の満足度を向上させるようなきめ細かなサービスが求められるようになってきている．特にバスや路面電車などは定時性が低く，所要時間の不確実性への対処が重要である．

そのために事業者は，路面電車の所要時間の分布と，それと関連する利用者の行動パターンを把握することができれば，ダイヤ改正の際に利便性を高めるための目安を得たり，日々の運行のなかで利用者の行動に合わせて調整を行うことが可能となる．

路面電車の所要時間の分布は，GPS等の計測機を用いて路面電車の動きを追跡することで明らかとなる．一方，路面電車の運行状況に対する利用者の反応を知るためには，電車ごとの利用者数を分析すればよいが，そのための交通行動調査を新たに行うことは簡単ではない．予算的・技術的制約から地点・時点サンプル数が限られること，プライバシー意識の高まりのため回答率が低下していることなどから，必要なデータ量の確保が難しくなっているためである．

現在，広島市内の路面電車には乗車券カードが導入されており，カード利用者の乗車データ（乗車便，乗車地

点，乗車時刻，降車地点，降車時刻等）が車内のカードリーダーに蓄積される仕組みになっている¹⁾．この蓄積されたカードデータからは，大量かつ長期にわたって，運行時刻と利用者数の情報を同時に得ることができる．

そこで本研究では乗車券カードデータを用いて，路面電車の運行状況と乗客の反応を分析し，運行計画へ応用するための基礎的研究を行う．

本研究では，路面電車がJRと連絡している西広島駅を主な対象として分析を行う．すなわち，西広島駅への路面電車利用者の中には，JRに乗り遅れないために安全余裕時間を見込んで行動している者が多く含まれていると考えて分析を行う．

2. 路面電車の運行状況

本研究では，広島都市圏の2003年5,6月のカード利用者の乗車データを用いる．カードリーダーには乗車時刻は10分単位でしか記録されていないので，1分単位の降車時刻の情報を使用する．よって，停留所間の所要時間を「前の停留所に電車が着いて最初の降車がなされた時刻から，次の停留所に着いて最初の降車がなされた時刻までの時間」を用いて計測する．さらに時間帯や曜日

によって所要時間の平均及び分散に統計的に有意な差があるか否かを明らかにするため、t検定とF検定を行う。

到着地を西広島駅とするODの利用者数を抽出した結果、最も多かったのは、広島市の中心部である紙屋町西を出発地とするODで、サンプル数は28621であった。

(1) 路面電車の平均所要時間

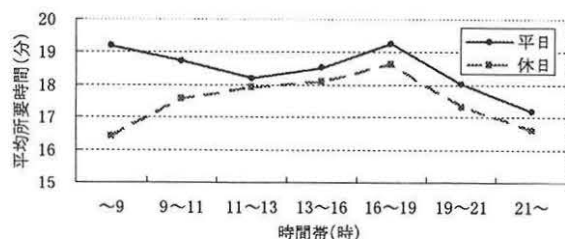


図1 紙屋町西—西広島の時間帯別平均所要時間

図1は、紙屋町西—西広島の時間帯別平均所要時間である。この区間では全ての時間帯において休日より平日の方が平均所要時間が有意に長い。また、時間帯による変動のパターンが平日と休日によって異なることが分かる。平日は、朝方と夕方に平均所要時間が長くなり、昼間と夜間は短くなるという2山型のパターンである。休日は、昼から夕方にかけて長くなり、朝と夜は短くなる1山型のパターンである。

他の代表的な停留所間についても平均所要時間を算出した結果、平日には上述の区間と同様の2山型のパターンと、上述の区間の休日のような1山型のパターンのどちらかのパターンが存在する。平日に2山型のパターンが見られたのは市内の中心部やJRの駅に向かう区間であり、通勤・通学の影響を受けていると考えられる。休日には、この区間のような1山型のパターンのみが見られた。山が特に強く現れたのは中心部であり、買い物などの影響を受けていると考えられる。

(2) 所要時間の分散

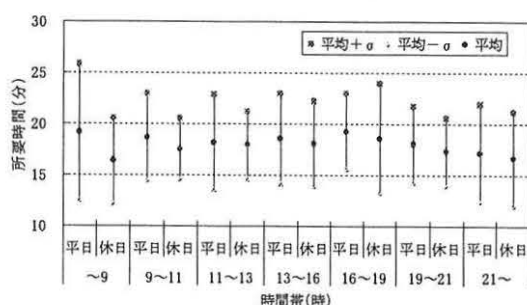


図2 紙屋町西—西広島の時間帯別の標準偏差

図2は、紙屋町西—西広島の所要時間の標準偏差を時間帯別に見たものである。所要時間のバラツキは13時までの時間帯は休日より平日の方が有意に大きく、16時~19時の時間帯は平日より休日の方が有意に大きい。そ

他の時間帯は有意な差は見られなかったものの、休日より平日の方がバラツキが大きくなっており、1日を通してみると休日より平日の方がバラツキが大きい区間である。

他の代表的な停留所間についても所要時間の分散を算出した結果、以下ようになっていた。平日の所要時間のバラツキは朝方に大きく、他の時間帯はだいたい安定している。休日の所要時間のバラツキは16時~19時を除く時間帯で安定している。

3. 利用者の行動

3.1 西広島駅の概要

路面電車の広電西広島駅は、JR山陽本線の西広島駅と結節している。また、広島市内の軌道を走る市内線の西端の駅であり、郊外の鉄道宮島線の起点駅にもなっている。1日の乗車人数は、同じくJR山陽本線と結節している広島駅や都心の紙屋町駅・八丁堀駅につづき、5千人を超えている²⁾。

西広島駅へ到着する路面電車の最終便の時刻は、市内線は11時頃、宮島線は11時40分頃である。JRの本数は、夜になると少なくなる。特に22時以降は上下線合わせても1時間あたり4本程度しかない。

本章では西広島駅における降車データを対象として、利用者がJRに乗り遅れないような行動をとっているかを分析する。その際、JRの影響をみるため、JRの本数が少なくなる夜間を対象とするが、その時間帯に西広島駅へ向かう利用者は宮島線よりも市内線の方が多いので、21時、22時の時間帯について考える。

3.2 モデルの概要

1台の路面電車に多くの人々が乗車していた場合、降車行動は路面電車の西広島駅到着時刻以降の数分間に渡って発生することになるが、その場合でも全ての降車人数を最初の降車が行われた時刻の値としてカウントする。路面電車に乗車していた人数は、運行間隔が長い程多くなるので、降車人数を、前の路面電車が到着してから時間で基準化した「路面電車待ち時間1分あたりの人数（以下、「NPM」と略称）」に変換した上で、JRの時刻や路面電車の到着時刻からの影響を統計的に分析する。図3に平日のNPMと到着本数、図4に休日のNPMと到着本数を示す。路面電車の到着時刻「 P_j 」は、期間中に路面電車の到着本数が多かった時刻である。具体的には、1分毎の到着本数の5項移動平均を算出し、それを元にピークを決定した。

NPMは式(1)のように、JRの時刻の影響を受ける人数「JRT」、路面電車の到着時刻の影響を受ける人数「LRT」、時間帯の影響を受ける人数「POT」の和の形で表されると考える。

$$NPM = JRT + LRT + POT \quad (1)$$

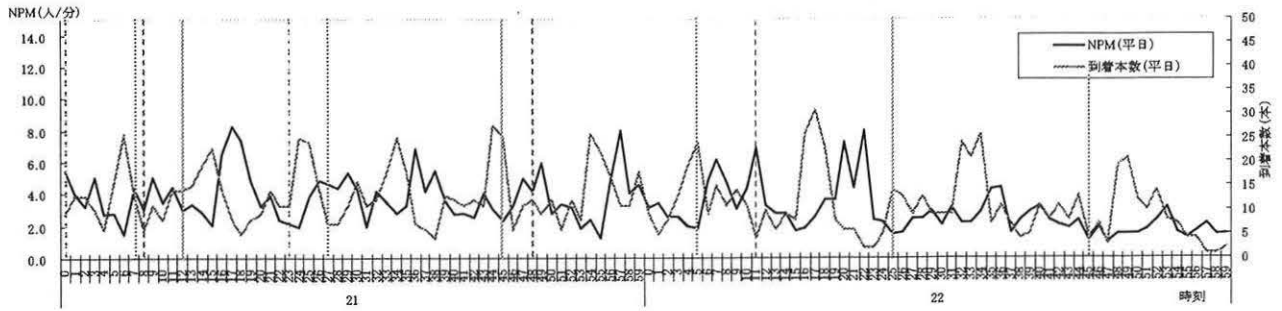


図3 平日の路面電車待ち時間1分あたりに集まる人数(NPM)と到着本数

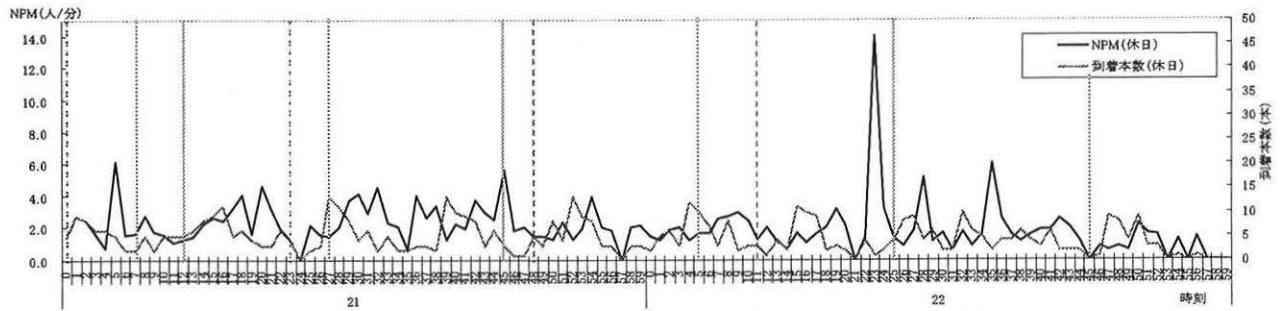


図4 休日の路面電車待ち時間1分あたりに集まる人数(NPM)と到着本数

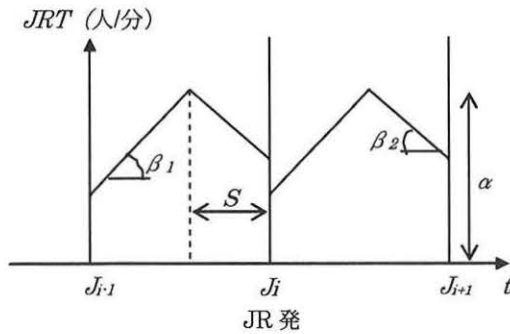


図5 JRTのイメージ図

$$JRT = \beta_1(t - J_i + S) + \alpha \quad (2)$$

$$JRT = -\beta_2(t - J_i + S) + \alpha \quad (3)$$

JRTのイメージ図を図5に示す。JRTは、JRの出発時刻を「 J_i 」、安全余裕時間を「 S 」とすると、 J_i の S 分前までは利用者は増加するが、乗り遅れる可能性が高くなる S 分前以降には利用者は減少すると考える。 J_i の S 分前にJRTが最大の α をとるとすると、 $J_{i-1} < t \leq J_i - S$ の場合は式(2)、 $J_i - S < t \leq J_i$ の場合は式(3)のように表される。路面電車のダイヤを改正する時に S を考慮することで、利用者の満足度は高くなると思われる。

JRの時刻の影響は、「休日は終業時間などの制約が無いので比較的自由にJRの時刻に合わせることができる」「21時、22時という遅い時間のため、JRに乗り遅

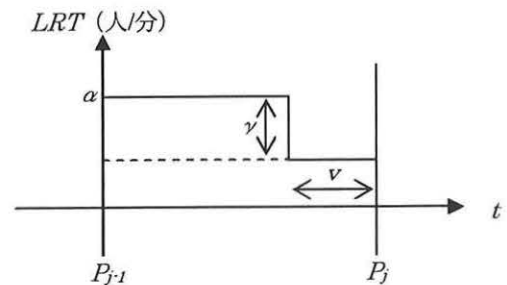


図6 LRTのイメージ図

$$LRT = -\gamma \quad (4)$$

$$POT = -\delta t \quad (5)$$

れた場合、休日はJRの降車駅からの交通サービスや西広島駅周辺で時間を潰すところが平日よりも少ないなどの理由から、平日より休日の方が強いと考えられる。

次に、LRTのイメージ図を図6に示す。LRTは、だいたい P_j に到着する路面電車の便に乗ろうとする客が不確実性を考慮して、早めに停留所に到着し乗り遅れないようにしていると考えられる。以下では、路面電車の早着や遅れがすでに乗車停留所の段階で発生している状況を念頭に考察を進める。各乗車停留所での行動時刻は、実際には以下の記述よりも所要時間分だけ前にずれていることに注意されたい。

経験的に路面電車のおおよその到着時刻を知っている利用者は、その分布のピーク時刻 P_j に間に合うように v 分の余裕をとって乗車停留所に集まると考えられるので、時刻 $P_j - v$ 以降の LRT は減少し、式 (4) のように表される。ここで、 $P_j - v < t \leq J_j$ の LRT は、路面電車の動きを経験的に認識していない利用者であり、 $J_j < t \leq P_j - v$ の LRT は、路面電車の動きを経験的に認識している利用者が $(\alpha - \gamma)$ 人と、認識している利用者が γ 人混在していることを表す。

経験的に P_j に出発する路面電車が、時刻 $P_j - v$ よりも早く出発してしまうと、路面電車の動きを経験的に認識している利用者が電車に乗り遅れることになり、利用者の満足度が低下してしまう。よって、路面電車の運転手は $P_j - v$ よりも早く停留所に到着した場合は $P_j - v$ までは待つ努力をすべきである。

2 章での分析から、21 時以降の時間帯で、西広島駅を目的地とする OD では、休日より平日の方が所要時間の分散が大きい区間が多く見られる。また、休日よりも平日の方が、路面電車の動きを経験的に認識している利用者が多いと思われる。そのため、路面電車の到着時刻の影響は、休日よりも平日の方が強いと考えられる。

POT は、時間帯が遅くなる程利用者が減少すると考え、式 (5) のように表される。

$\beta_1, \beta_2, \alpha, \gamma, \delta$ はパラメータである。

最小二乗法により、以上のモデルのパラメータを推定する。

3.2 推定結果

表 1 に平日の推定結果、表 2 に休日の推定結果を示す。

表 1 平日の推定結果

$S=5, v=5$		
パラメータ	推定値	t 値
β_1	0.02	1.33
β_2	0.17	2.78 **
α	2.92	18.05 **
γ	1.51	6.42 **
δ	0.02	6.06 **
決定係数	0.42	
修正済決定係数	0.40	

* 5% 有意, ** 1% 有意

表 2 休日の推定結果

$S=4, v=2$		
パラメータ	推定値	t 値
β_1	0.01	0.52
β_2	0.40	1.68
α	1.49	8.17 **
γ	0.56	1.74
δ	0.01	1.28
決定係数	0.19	
修正済決定係数	0.16	

* 5% 有意, ** 1% 有意

平日は、 $S=5, v=5$ の時に決定係数が最大となった。休日は、 $S=4, v=2$ の時に決定係数が最大となった。

(1) JR の時刻の影響

β_1 は平日も休日も有意ではなく、推定値もほぼ 0 であるので、平日は J_j の 5 分前までは約 2.92 人ずつ、休日は J_j の 4 分前までは約 1.49 人ずつ利用者が集まり、その後 JR への乗り遅れるを避けて利用者数は減少する。休日の β_2 は有意ではないが、推定値は平日のより大きく、利用者の減少の仕方が大きい。今後、路面電車のダイヤを改正する際は、平日は J_j の 5 分前、休日は 4 分前に西広島駅に到着するよう設定すれば良い。

(2) 路面電車の到着時刻の影響

v, γ は休日より平日の方が大きいので、路面電車の到着時刻の影響は平日の方が大きいと言える。路面電車の運転手は、平均的な運行より早く停留所に着いた時は、平日は 5 分、休日は 2 分以上早く出発しないように努力する必要がある。

4. おわりに

本研究では、広島市の乗車券カードデータを路面電車の運行計画へ活用するための基礎的研究を行った。具体的には、路面電車の動きを追跡して所要時間の分布を明らかにした。これにより、定時運行の努力や所要時間の短縮を行うべき箇所が分かった。また、利用者数を分析して利用者が JR や路面電車の運行時刻を考慮していることを明らかにした。これにより、ダイヤ改正を行う際の目安や、路面電車の運転手が日々の運行で意識すべき時間が分かった。

また、本研究で行った結果の妥当性を確認するためにも、同じ地点で路面電車の運行状況に変化があった前後での利用者の反応を比較分析する必要がある。特に、今回のモデルでは休日の決定係数が低かったため、他の要因を加えて改善する必要がある。

参考文献

- 1) 株式会社三陽電機製作所営業本部営業第 1 部：広島県におけるバス・電車共通カードシステム
- 2) 財団法人運輸政策研究機構：広島市における大量公共交通機関のあり方に関する調査報告書，1999
- 3) 頭川正信ほか：バス運行データを用いた路線バスの運行評価に関する研究，土木計画学研究・講演集 No.21(2), pp289~292, 1998
- 4) 安田幸司ほか：プローブカーデータを用いたバスの運行状況の評価に関する実証的分析，土木計画学研究講演集，No.28, 2003
- 5) 広島電鉄ホームページ：
http://www.hiroden.co.jp/trans/tr_top.htm