

ICカードデータを用いた路面電車の減便による利用者数の変化に関する研究

—土佐電気鐵道を対象として—

A Study on the Change of the Number of Tram Users by Tram Frequency Reductions Using Smart Card Data

- A Case Study of Tosa Electric Railway -

指導教授 轟 朝 幸

M2011 小林 康 之

1. はじめに

近年、わが国の公共交通は人口減少や高齢化、自動車依存などにより利用者数が減少しており、持続可能な公共交通の運営のために様々な検討がなされている。高知県においても、利用者数の減少に伴う公共交通事業継続の危機に直面しており、2012年11月1日に路面電車の減便が実施され、運行区間によって、以前の60~80%程度の運行本数となった。1994年にも減便が実施されているが、事業者の予想以上の利用者離れにより採算が取れず1年後に撤回されている。また、これまでの交通計画は、PT調査などのアンケート調査が主であり、減便による電停ODペア別の影響を把握することは困難であった。しかし、2009年にICカード「ですか」が導入されたことにより連続的かつ大量のデータ収集が可能となり、利用者行動から空間的な減便の影響や時系列的変動を把握できるようになった。さらに、利用者数の増加・減少という変化をもたらす要因を抽出することができれば、利用者数維持のための施策を講じることが可能となる。

そこで本研究では、ICカードデータを用いて、空間的・時間的変動の視点から、減便による電停ODペア別の利用者数への影響ならびに利用者数を変化させる要因を把握することを目的とする。

2. 既存研究の整理

公共交通利用者行動の変動に着目した分析について整理した。高山ら¹⁾は、交通行動の日変動が公共交通計画に適用可能かを検討し、有用な情報になると述べている。井上ら²⁾は、変動要因をダミー変数として扱い、時系列が変動する要因について把握している。佐々木ら³⁾は、ETCカードから交通計画に資する有益な情報を抽出するため、既存論文²⁾を参考に、主にマーケティング分野で用いられている状態空間モデルを適用することで、交通量の変動特性

を定量的に明らかにしている。高田ら⁴⁾は、現象の時系列的要素、変動的要素を考慮することができる生存時間分析を援用することで航空路線の撤退要因を明らかにしている。本研究では、ICカードから得られる時系列データに状態空間モデルと生存時間分析を用いることで目的を達成する。

3. ICカード「ですか」

(1) 「ですか」の概要

ICカード「ですか」は2009年1月25日に導入され、土佐電気鐵道(株)、土佐電ドリームサービス(株)、高知県交通(株)、(株)県交北部交通と高知県交通が運営する路面電車および路線バスで利用可能なカードである。図-1はICカードデータの形式例である。

利用年月日	カードNo.	乗車時間	乗車停留所	降車時間	降車停留所	券種
2012/9/1	DE1234-5678-XX	6:05	A駅	6:15	D駅	大人無記名
2012/9/1	DE1234-5688-XX	6:23	A駅	6:38	E駅	大人無記名
2012/9/1	DE1234-5698-XX	6:52	B駅	7:03	D駅	ナイスエイジ
2012/9/1	DE1234-5608-XX	7:01	C駅	7:22	D駅	小児
⋮						
2012/9/1	DE1234-5618-XX	19:21	E駅	6:53	A駅	大人無記名
2012/9/1	DE1234-5628-XX	19:52	D駅	20:03	B駅	ナイスエイジ
2012/9/1	DE1234-5638-XX	20:05	D駅	20:26	C駅	小児
⋮						

図-1 ICデータのデータ形式例

(2) 対象期間

本研究は2011年1月1日から2012年12月31日の2年間の利用者データを用いており、減便した期間も対象に含まれている。特に2012年9月1日から12月31日の122日間のデータは図-1が示すような電停ODを把握することができる。利用者数の変動を捉えるためにはある程度の需要が必要となるため、122日間で1,000トリップ以上行われた235電停ODを本研究の分析の対象とした。

4. 状態空間モデルによる変動特性の抽出

(1) 状態空間モデルの概要

路面電車の利用実態の時系列的な変動を把握するため、状態空間モデルによって利用者数の変動特性

を抽出した。時系列データは式(1)に示すように複数の成分から構成されるとした。

$$y_n = T_n + D_n + AR_n + \varepsilon_n \quad (1)$$

トレンド成分は長期的な変動傾向を表現し、式(2)のように k 階の確率差分方程式として表現することができる。

$$T_n = \sum_{i=1}^k c_i^{(k)} t_{n-i} + v_{n1} \quad (2)$$

循環変動成分は一定の周期を繰り返す変動成分である。循環変動成分は式(3)の形式で表現され、 q は期数を表す。

$$D_n = -\sum_{i=1}^{q-1} D_{n-i} + v_{n2} \quad (3)$$

自己回帰（以下、 AR ）成分はトレンド成分では表現できない短期的な周期変動を捉えることが可能であり、式(4)で表現される。 m は AR で考慮される過去の次数を表す。

$$AR_n = \sum_{i=1}^m \alpha_i AR_{n-i} + v_{n3} \quad (4)$$

本研究ではトレンドの階差 k および AR 成分の次数 m は、AIC 最小基準を参考に、それぞれ 1、1 に決定した。

(2) 状態推定結果

① トrend成分

トレンド成分の推計値を図-2に示す。2011年と2012年の月別比較をみると、1月から8月は2012年のトレンド成分の方が高いが、9月以降は2011年のトレンド成分の方が高くなっている。この原因の1つとして2012年11月に行われた減便が挙げられる。また、9月から利用者数が減少した理由として、定期券の更新を機に、路面電車の利便性の観点から他の交通機関に変更した可能性が推察できる。

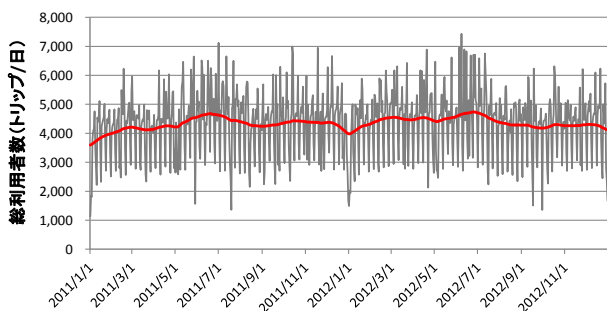


図-2 2011-2012年のトレンド成分推計値

② 曜日変動成分

曜日変動成分の推計値を図-3に示す。平日は月曜日の利用者が低く金曜日の利用者が多い傾向にあることが把握できた。月曜日の利用者数が少ない原因の1つとして、図書館や公民館など公共施設の休館日であることが考えられる。また、休日の変動成分は負の値となっている。これは、路面電車が主に通勤・通学目的で利用されており、自由目的のトリップで利用されていないことが推察できる。

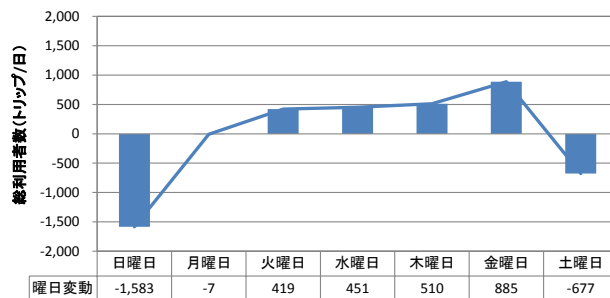


図-3 2011-2012年の曜日変動成分推計値

③ AR成分

AR 成分の推計値を図-4に示す。 AR 成分の変動から、曜日変動で考慮されていない祝日における利用者数の減少、また雨天時の利用者数の増加が表現されたと解釈でき、特異日変動成分と解釈できる。これより、曜日以外に雨天や祝日も利用者数を変動させる要因となることが把握でき、-3,400 から 2,000 トリップ/日の間で変動していることから、雨天や祝日が利用者数の変化に与える影響は大きいといえる。

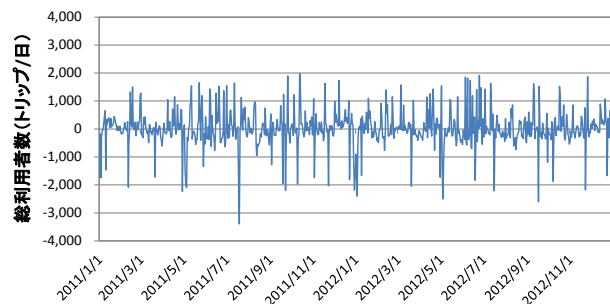


図-4 2011-2012年のAR成分推計値

5. 利用者数の変化に影響する要因分析

本研究は、4章の状態空間モデルによって推定された235電停ODの時系列データの変動特性を、生存時間分析の説明要因として組み込むことによって、減便の影響ならびに利用者数の減少要因の把握を行った。

(1) 生存時間分析の概要

トレンド成分の推計値より、利用者数が維持している期間を求めた。その期間を生存時間と捉え、生存時間分析を行った。生存時間モデルは式(5)に示される。なお、生存分析の中で基準ハザード関数の分布形を仮定しないCoxの比例ハザードモデルを採用した。

$$h_k(t) = h_0(t) \exp(\beta x_i) = h_0(t) \exp\left(\sum_{i=1}^m \beta_i x_i\right) \quad (5)$$

$h_k(t)$: ハザード関数 (減少確率) $h_0(t)$: 基準ハザード関数
 β : 説明変数の係数 x : 共変量 (説明変数)

さらに、式(5)より利用者数の減少確率を定義すると式(6)となる。

$$Exit_prob(t) = 1 - h_k(t) \quad (6)$$

本研究での生存時間分析適用の考え方を図-5に示す。分析対象期間を2012年11月1日から12月31日までの利用者数の増加・減少を対象とした。分析対象期間中、利用者数は何らかの影響を受けながら増加・減少をしていると考えたと生存時間分析を適用できる。トレンド成分から1週間ごとの平均値を算出し、11月1週目の平均値を基準値と定め利用者数の増加・減少を判断した。基準値以上の期間数を“利用者数維持期間数”と定義する。図-5では、赤線で示される期間の合計が利用者数維持期間数となり、3週間維持したと捉える。

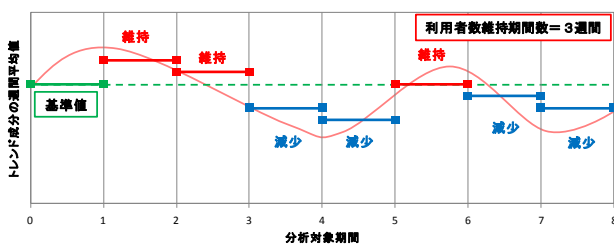


図-5 生存時間分析の考え方

(2) 共変量の設定

減便の影響を考慮するために減便前後の運行本数の差や平均運行本数などを変数として採用した。さらに、状態空間モデルより推定された各変動成分の平均値と変動係数を変数として採用した。これにより、利用者数の増加・減少という変化に影響する利用者数変動を明らかにすることができる。つまり、利用者数が減少する時の兆候を察知することができ

るため、事業者は利用者数を維持するための戦略的な経営・運営を行うことが可能となる。共変量として扱った変数一覧を表-1に示す。なお、減便によって利用者数が変化すると仮定しているため、運行本数を表現する変数が有意となるようにAIC最小基準を参考に組み合わせた。

表-1 共変量として扱った変数一覧

共変量の候補		内容	
政策変数	減便本数	【減便前の運行本数 - 減便後の運行本数】	
	運行本数	【平均値】サービスの高さ【変動係数】サービスのばらつき	
	運賃	【電停ODの運賃】【市内運賃ダミー】	
	電停OD距離	各電停ODごとの距離(単位: km)	
状態変数	曜日変動成分	全日	【平均値・変動係数】対象期間すべてを対象
		平日	【平均値・変動係数】対象期間中の平日を対象
	特異日変動成分	全日	【平均値・変動係数】対象期間中の休日・祝日を対象
		平日	【平均値・変動係数】対象期間中の平日を対象
	総利用者数	カードNo.	【平均値・変動係数】各電停ODの総利用者数を対象
		カードNo.	【平均値・変動係数】各電停ODで記録されたカードNo.を対象

(3) 推定結果

生存時間分析の推定結果を表-2に示す。パラメータの符号がマイナスである場合、利用者数の減少確率が高くなることを意味する。

表-2 パラメータの推定結果

共変量		単位	パラメータ	t値	p値	有意水準
政策変数	減便本数	(本/日)	-0.005376	-2.433	0.015	*
	運行本数の変動係数	変動係数	6.366	3.27	0.0011	**
	平均曜日変動成分(平日)	(トリップ/日)	12.85	2.838	0.0045	**
状態変数	平均曜日変動成分(休日)	(トリップ/日)	6.12	2.823	0.0048	**
	曜日変動成分(休日)	変動係数	0.3819	3.239	0.0012	**
	特異日変動成分	変動係数	0.1887	3.408	0.00065	***
	サンプル数	電停OD		235		
AIC			1604.6			
尤度比			0.629			

*:0.05 **:0.01 ***:0.001

減便の影響を表す共変量として減便本数が有意に影響していることが明らかとなった。パラメータはマイナスとなり、減便本数が多くなるほど利用者数が減少する確率が高くなる。つまり、減便本数が大きくなるほど利用者数維持期間数が少なくなるため、パラメータの大きさは他の共変量と比べ小さい推定結果ではあるが、対策を行う上で注意しなければならない要因であると考えられる。

状態変数において利用者数の変化に有意な影響を与えていた共変量は、平日の曜日変動成分の平均値、休日の曜日変動成分の平均値、休日の曜日変動成分の変動係数、特異日事象成分の変動係数であった。曜日変動成分の平均値のパラメータは共にプラスであるため、平均値が大きくなればなるほど利用者の減少確率が低くなることを表す。

休日の曜日変動の変動係数であるが、パラメータはプラスであるため変動係数が大きくなるほど利用者数の減少確率が低くなる。状態空間モデルによって推定された休日の曜日変動成分はマイナス値であ

り休日の変動係数もマイナス値となるため、変動係数を大きくするためには、休日の利用者を増加させるか利用者数のばらつきを小さくすることが必要だといえる。最後に特異日変動成分の変動係数であるが、パラメータがプラスであるため、この共変量においても変動係数が大きくなるほど利用者数の減少確率が小さくなる。図-4を参考にすると、変動係数を大きくするためには雨天時の利用者数の増加を促進させることや、祝日の利用者の増加またはばらつきを小さくさせるような施策を講じる必要がある。

続いて、推定されたモデルを用いて利用者数の減少確率を算出した結果を図-6に示す。緑色のバーは市内の電停から乗車した電停ODペア、橙色は減便によって70%程度の運行本数になった郊外の電停から乗車した電停ODペア、赤色は減便によって60%程度の運行本数になった郊外の電停から乗車した電停ODペアである。

結果として、市内から乗車するよりも郊外から乗車する電停ODペアの利用者数の減少確率が低くなることがわかった。郊外から乗車した電停ODペアの方が市内乗車よりも減少確率が低くなった原因の1つとして、路面電車が郊外の利用者にとって通勤・通学の手段として機能していると推察できる。

6. おわりに

本研究では、状態空間モデルによって路面電車の利用者数の変動特性を定量的に把握し、その変動と減便が利用者数の変化に影響を与えていると考え、生存時間分析を援用することで、減便の影響ならびに事業者が着目すべき変動を把握することができた。路面電車利用者の移動について詳細を把握するために、さらなるデータ解析や移動目的を把握するため

のアンケート調査などの必要はあるが、本研究で得られた知見より、「雨天時の利用者促進対策」「既存の休・祝日のポイント付与サービスの見直し」などが挙げられる。また、利用者数の減少確率の推定結果より、市内の減少確率が高く推定されており市内の利用者を優先して確保する必要があるといえる。

今後の課題として、競合する路線バスを運営する事業者の考慮や利用者の乗り継ぎ考慮、個人属性の考慮、時間単位の変動を考慮可能な状態空間モデルの拡張などが挙げられる。

参考文献

- 1) 高山純一, 塩土圭介: 公共交通計画から見た通勤者の交通手段変更の実態に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.15, pp.517-525, 1998.
- 2) 井上英彦, 奥村誠, 塚井誠人: カレンダー情報を利用者した本四連絡橋日交通量の時系列分析, 土木計画学研究・論文集, Vol.20, No.4, pp.843-848, 2003.
- 3) 佐々木邦明, 中沢航太, 山本隆, 川崎健史: ベイズ型状態空間モデルを用いた交通量変動の分析, 交通工学, Vol.47, No.2, pp.27-32, 1(2), 2012.
- 4) 高田和幸, 藤生慎: 航空事業者の路線撤退要因に関する分析, 土木学会論文集 D3, Vol.68, No.5, pp.1079-1085, 2012.

謝辞:

株式会社ですか様には、貴重なデータ提供とともにヒアリング調査にもご協力いただきました。ここに記し、感謝の意を表します。

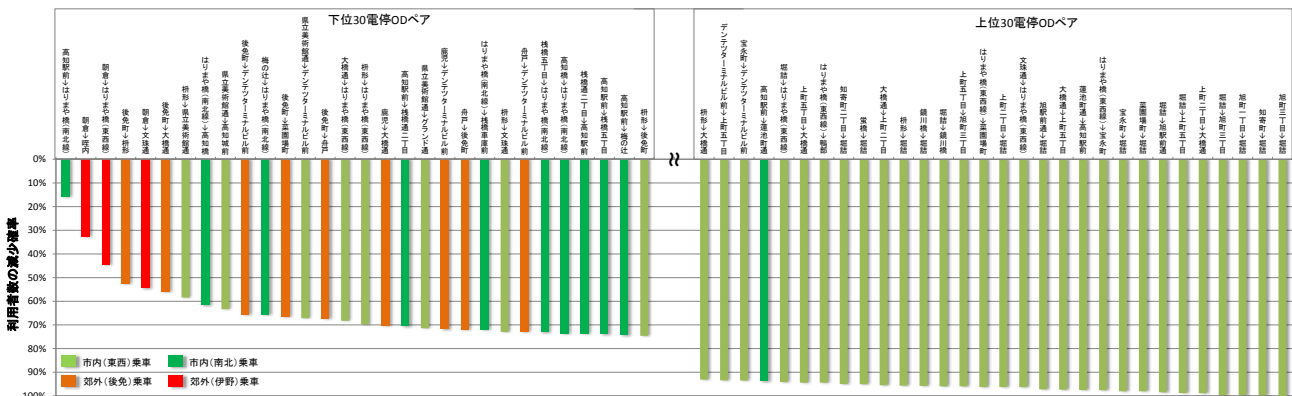


図-6 利用者数の減少確率算出結果 (減少確率上位・下位30電停ODのみ)