

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：13102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25820249

研究課題名(和文) データオリエンテッド型交通行動モデルの構築と公共交通マーケティングへの適用

研究課題名(英文) Development of Data Oriented Travel Behavior Model and its application for Public Transport Marketing

研究代表者

西内 裕晶(NISHIUCHI, HIROAKI)

長岡技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：40548096

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、2012年11月に路面電車の減便を実施した土佐電気鉄道における減便後の利用者数の変化について、ICカードデータから得られる電停間OD利用者数を用いて分析した。分析には、ある時点から着目する事象が発生する時間までを分析することで知られる生存時間分析を適用し、路面電車の減便開始後からデータ取得期間中に確認される利用者数の変化について考察を行った。分析の結果、減便後の電停間OD利用者数の変化の仕方に電停ODペアの立地条件が異なることを示し、今後の路面電車利用者数維持のために運行会社が考えるべき事項について考察をした。

研究成果の概要(英文)：This study analyzes change of number of tram passenger after public transport company investigated tram frequency reduction measurement on November 2012 in Kochi city by number of Origin-Destination passenger between tram stops data that collected from smart card data. Survival time analysis has been applied to analyze how much change the number of passengers and to examine what kind tram stop OD pair significantly changed. Through the analysis, results shows short distance OD pair has higher probability of reduction of the number of passengers, but not for long distance OD pairs such as trip from suburban area to city center. That information can be fundamentals to discuss how improve public transport usage.

研究分野：交通計画学

キーワード：ICカードデータ 公共交通 マーケティング 生存時間分析

## 1. 研究開始当初の背景

近年、わが国の地方における公共交通は、少子高齢化や人口減少、自動車依存などによって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調査や研究(例えば、大井(2007)、大山ら(2012))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2月に高知県公共交通運営対策委員会が立ち上げられ、高知市公共交通総合連携計画の策定がなされた。委員会の資料によると、路面電車の利用促進施策として、路線の延長や休祝日ダイヤの導入、ICカード「ですか」の導入、イベント時の増発といった対策が行われている。しかしながら、依然として利用者数は減少傾向にあるため、1994年の減便に続き、2012年11月1日より路面電車の昼時間帯の減便ならびに路線バス運行ルートの変更が実施された。路面電車は運行区間によって減便前の60~80%の運行本数となった。筆者らが公共交通事業者に対して実施したヒアリング調査によると、事業者らは、1994年の減便で利用者が減少したことから、今回の減便においても利用者数が減少することを懸念している。そこで、各種交通施策に関する効果を利用者の交通行動に関係するデータを用いて検証することは重要である。

しかし、多くの検証は、従来の交通計画はパーソントリップ調査等によるアンケート調査結果に基づいて行われることが一般的である。すなわち、利用者の実際の行動履歴に基づき、利用者のトリップ特性を理解した上で、どのような利用者に対して減便の影響がどの程度あったのか等の定量的な把握は少ない。一方で、前述したように、2009年1月25日にICカード「ですか」が導入されたことによってパーソントリップ調査では得ることが困難であった連続的かつ長期的な大量のデータ収集が可能となった。ICカードデータの特徴を活かすことで、時間的・空間的な公共交通の利用実態を把握することが期待されている。また、ICカードの導入は、ダイヤ改正やネットワークの効率化、路線再編等をする上で有益な情報となる。さらに、

事業者による交通施策実施に対する利用者の変化等を把握することは、今後の公共交通の運営のみならず、ICカードデータの活用による顧客への細かな交通サービスを検討する上で重要である。よって、ICカードデータを用いた研究は既に世界各国で多く進められ(Pelletier et al(2011))、公共交通利用者の移動パターンの解析(Chapleau and Chu(2007)、Morency et al(2007)、Nishiuchi et al(2013)、Ma et al.(2013)、Kieu et al.(2014))や利用特性に基づくマーケティングのための情報収集等(Seaborn et al.(2009)、Páez et al.(2011)、Asakura et al.(2012))で成果が得られている。しかしながら、ICカードデータを用いた公共交通サービスレベルの変更による公共交通利用者の行動変化に関する解析例は少ない。

## 2. 研究の目的

筆者らの研究グループでは、高知市都市圏のバス・路面電車において利用可能なICカード「ですか」の利用履歴に基づいて集計された電停間OD(Origin-Destination)利用者数データを用いて、土佐電気鐵道が2012年11月1日より実施した路面電車減便後の利用者数の変化について考察を行ってきた(小林(2013))。具体的には、利用者数の推移について時系列的要素や変動要素を考慮することができる生存時間分析を適用し、減便後の利用者数の変化を分析した。しかしながら、当該研究(小林(2013))では、構築したモデルを用いて、どのような電停間ODペアについて減便後の利用者数の変化を把握するに留まっている。そこで、本稿では、小林の研究(2013)に加えて変化の要因に関して考察することを目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1) 生存時間分析におけるCox比例ハザードモデル

生存時間分析とは、ある事象とその事象が発生するまでの時間との関係に焦点を当てた分析方法である。ある事象とは、例えば医学分野であれば病気の再発や患者の死亡を扱い、工学分野であれば製品の故障などが扱われる(高田ら(2012))。すなわち、ある事象

が導入された際に、その後の経年的な変化を評価することが可能であり、分析対象に関する説明変数によりその変化や影響の要因を考察することが可能である。その観点から、今回のような減便対策が利用者にもたらす影響を考察することが可能となる。本研究では、利用者数の推移を対象としているため、既存の研究と同様の考え方で生存時間分析を適用することができない。そこで、作成した電停 OD ペアの時系列ごとに基準値を設け、分析対象期間中に基準値を超えた期間の合計を生存時間とした。なお、利用者数の変化には複数の要因が寄与する可能性があるため、共変量(複数の要因)を取扱うことが可能な Cox の比例ハザードモデルを適用することとした。

Cox の比例ハザードモデルとは、セミノンパラメトリックモデル(semi-non-parametric model)に分類される分析方法である。分布形を仮定することがなく Kaplan-Meier 法から生存関数を導くことができるため、現象の事実から分布形状を決定することができる(金(2007))。本研究で構築する Cox の比例ハザードモデルを式(1)に示す。ここで、式(1)に示すように、本研究では、電停間 OD 利用者数が減便後にデータ取得期間中に一定量変化するのかどうかを電停間 OD 利用者数の生存時間として捉える。そして、IC カードデータに基づいて設定された基準ハザード関数と各種変数を用いて構築されたモデルより、どのような電停間 OD ペアにおいて、変化の大小を考察するものである。なお、分析対象となる期間  $t$  は、減便後のデータが存在する 8 週間とした。各変数の詳細な定義については、次節にて示す。

$$\lambda_k(t) = \lambda_0(t) \exp\left(\sum_{i=1}^m \beta_i z_i\right) \quad (1)$$

$\lambda_k(t)$ : 電停間 OD ペア  $k$  の期間  $t$  における OD 利用者数減少確率

$\lambda_0(t)$ : 期間  $t$  における OD 利用者数維持確率(基準ハザード関数)

$\beta_i$  : 共変量  $i$  のパラメータ

$z_i$  : 共変量  $i$

## (2) Cox 比例ハザードモデルにおける各変数の定義

本節では、式(1)で示した Cox 比例ハザードモデルを構築するための各変数について概要を示す。

### 利用者数の維持・減少時間の定義

図 1 は、本研究で対象とする利用者数の維持・減少時間について示している。筆者らの研究(西内ら(2014))で得られた電停間 OD 利用者数の時系列データを次節にて示す状態空間モデルによって変動分解(トレンド成分、曜日変動成分、AR 成分)した際に得られるトレンド成分から利用者数の維持期間を定義する。本研究で対象とする 235 の電停間 OD ペアごとに基準値を設け、基準値以上の週数を利用者数維持期間数とした。本研究は、減便時から利用者数がどの程度減少し得るかを解析するため、その基準値は、減便が開始された 11 月 1 週目の週間平均値とした。図 1 の例では、基準値を超えた期間が 3 週間であり、生存時間は 3 週間となる。

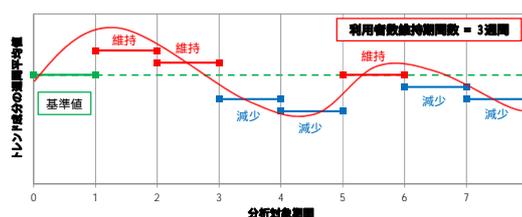


図 1 利用者数の維持・減少時間の集計例

### 基準ハザード関数の設定

基準ハザード関数とは、式(1)に示す通り、共変量  $z$  には依存せずに時間の経過によってその値が変わる関数である。具体的には、全サンプルについて、共変量がすべて 0 の場合の生存確率の時間変化を算出する関数である。本研究では、全電停間 OD ペアを代表する電停間 OD 利用者数の時間変化を示す関数となる。その設定方法としては、まず、前節の利用者数の維持・減少期間を全 235 電停間 OD ペアで集計し、各週でいくつの電停間 OD ペアが利用者数を維持できるのかを集計する。次に、各週におけるトリップ数を維持できる OD ペア数が全 235 電停 OD ペアに占める割合を図 2 のようにトリップ維持確率と

して集計するものである。本研究では、各週のトリップ維持確率について近似曲線により関数形を決定し、その関数形を基準ハザード関数として分析に用いる。

#### 共変量の設定

検討した共変量(説明変数)は、事業者が操作可能な指標である政策変数と路面電車の利用状態を示す状態変数として集計した。

まず、政策変数については、運行本数の変更を考慮するために、「減便本数」や「運行本数の平均値」ならびに「運行本数の変動係数」のように、交通事業者のサービス改定を示す変数を政策変数として扱った。

次に、状態変数については、筆者らの研究(西内ら(2014))において状態空間モデルにより分解した電停間 OD 利用者数の時系列データの変動成分(「曜日変動成分」と「特異日変動成分」と、路面電車の利用状態を示す「総利用者数」の平均値ならびに変動係数、「当該電停間 OD ペアにおいてデータ取得期間中に出現した IC カードのカード ID 数」に関する平均値ならびに変動係数とした。

ここで、状態空間モデルとは、時系列データの変動を周期により分解するモデルである。本研究では、電停間 OD 利用者数の時系列データの変動は、トレンド成分  $T_n$ 、循環変動成分  $D_n$ 、自己回帰成分  $AR_n$ 、誤差成分  $n$  の 4 つの成分から構成される仮定している。トレンド成分  $T_n$  は、長期的な変動傾向を表現する。循環変動成分  $D_n$  は、 $q$  を周期数とする毎年や毎月といった一定の周期を繰り返す変動成分である。本研究では日データを対象としているため、曜日変動を考慮するために 7 を周期数として設定した。自己回帰成分  $AR_n$  はトレンド成分と呼ばれ、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。本研究ではトレンドの階差  $k$  および自己回帰成分  $AR_n$  の次数  $m$  を、モデルの適合度を示す AIC が最小となるパラメータ推定結果となるよう、それぞれ 1 としている。既往研究(西内ら(2014))による自己回帰成分  $AR_n$  の考察では、土曜日雨天時に変動量が増加し、日曜祝日の雨天時に変動量が低下することを確認しており、ここでは、自己回帰成分  $AR_n$  を特異日変動成分として説明変数を

集計した。その他、本モデルから得られた電停間 OD 利用者数の変動解析の詳細は、紙面の都合上、既往研究(西内ら(2014))に譲るが、状態空間モデルから得られた曜日変動成分と特異日変動成分の統計量を用いて状態変数を生存分析モデルの共変量として設定する。なお本稿では、両変動成分の平均値以外に変動係数を集計し、ばらつきを考慮することとした。また、両変動成分に関して、IC カードデータから得られた電停間 OD 利用者数について、分析対象期間を全ての日、平日のみ、休日のみで平均値ならびに変動係数を集計した。

## 4. 研究成果

### (1) 基準ハザード関数の推計

図 2 には、集計したトリップ水準維持確率の傾向を指数近似で関数形を推定した結果を示す。これが、式(1)の基準ハザード関数となる。トリップ水準維持確率が 8 週目では 30%と低く、多くの土佐電気鐵道の電停間 OD ペアでは、基本的に利用者数が減少傾向にあることが分かった。

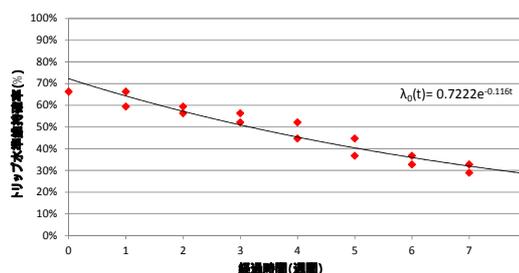


図 2 基準ハザード関数の推定結果

### (2) 共変量パラメータの推計

表 1 はパラメータの推定結果である。モデルについては政策変数が有意な変数となるように変数を組み合わせた。その後、パラメータの符号や AIC を参考に変数を決定した。

はじめに、減便を表現した「減便本数」であるが、パラメータがマイナスとなり利用者数を減少させる要因であることが把握できた。しかし他の変数のパラメータと比較すると小さな値となり、影響力としては小さい結果となった。つまり、減便を開始して 2 か月間では利用者の推移に対する減便の影響は

あまり与えていないということである。また、「運行本数」の変動係数についてパラメータが正となり、減便量が少ない市内の電停に比べて多い郊外部の電停に関しては、利用者の減少確率が小さくなることを意味している。

続いて曜日変動成分の平均値であるが、平日・休日ともに有意となった。パラメータも正であり、平均値が大きくなればなるほど利用者数が増加するということである。また、休日の曜日変動と特異日変動成分(AR成分)のばらつきが利用者数の推移に有意な影響を及ぼすことが明らかとなり、土日祝日や降雨日の利用が平日に比べて増えているような電停では利用者の減少確率は小さくなることを示している。

### (3) 電停間 OD 利用者数の変化分析

本章では、これまでに求めた基準ハザード関数ならびに推定されたパラメータを用いて、本研究で対象とした 235 電停 OD ごとの利用者数の減少確率を推定した。図 3 に電停間 OD 利用者数減少確率の推定結果を示す。結果より、後免線・いの線から乗車している郊外部乗車の方が市内部乗車よりも減少確率が低い結果となった。この原因の 1 つとして、路面電車は、郊外部において、通勤・通学者の足として機能しているため減便が実施されても利用者数が減る確率が小さく見積もられたと考えられる。また、市内においては減便による不便を感じたためか利用者数の減少確率が高く算出された。今回の減便では、市内の利用者を離してしまう可能性があると考えられる。ここで、特に、郊外部における各 OD ペアの利用者数の水準(10 トリップ/日以上)を考えると既に必要最小限の利用者しか存在していないことも考えられる。よって、今後、カード ID に着目した利用日数や利用頻度に関する詳細な分析や別途アンケート調査等を実施することにより、本稿で得られた分析結果を改めて考察することが必要であろう。

表 1 共変量パラメータの推定結果

共変量	単位	パラメータ	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	変動係数	6.366	3.27	0.0011	**
状態変数	平均曜日変動成分(平日)	(トリップ/日)	12.85	2.838	0.0045	**
	平均曜日変動成分(休日)	(トリップ/日)	6.12	2.623	0.0046	**
	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(AR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

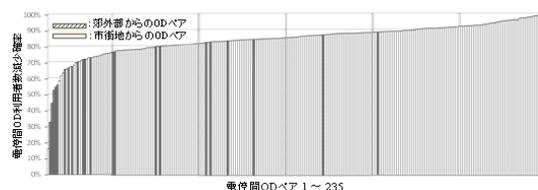


図 3 電停間 OD 利用者数減少確率の推定

### 参考文献

Asakura, Y., Iryo, T., Nanakajima, Y., and Kusakabe, T. (2012), "Estimation of Behavioural Change of Railway Passengers Using Smart Card Data", *Public Transport*, Vol.4(1), pp.1-16.

Chapleau, R., and Chu, K.K. A. (2007), "Modeling transit travel patterns from location-stamped smart card data using a disaggregate approach", *Proceedings of World Conference on Transportation Research*, Vol.11, CD-ROM.

Kieu, L. M., Bhaskar, A., and Chung, E. (2014), "Transit passenger segmentation using travel regularity mined from smart card transactions data", *Proceedings of the 93rd Annual Meeting of the Transportation Research Board*, USB.

金明哲(2007)『Rによるデータサイエンス - データ解析の基礎から最新手法まで』森北出版.

小林康之(2013)「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-」『日本大学修士論文』

Ma, X., Wu, Y. J., Wang, Y., Chen, F., and Liu, J. (2013), "Mining smart card data for transit riders' travel patterns", *Transportation Research Part C*, Vol.36, pp.1-12.

Morency, C., Trépanier, M. and Agard, B. (2007), "Measuring transit use variability with smart-card data", *Transport Policy*, Vol.14, pp.193-203.

Nishiuchi, H., King, J., and Todoroki, T. (2013), "Spatial-Temporal Daily Frequent Trip Pattern of Public Transport Passengers Using Smart Card Data", *International Journal of ITS Research*, Vol.11(1), pp.1-10.

西内裕晶・小林康之・川崎智也・轟朝幸(2014)「状態空間モデルを用いた公共交通利用者数の変動特性に関する分析-土佐電気鐵道利用者を対象として」『第 34 回交通工学研究発表会論文報告集』, pp497-500.

大井尚司(2007)「第三セクター地方鉄道の経営に関する定量分析」『神戸大学博士論文』

大山英朗・三寺潤・川上洋司(2012)「沿線住民の認識を通じた地方鉄道の価値に関する研究-えちぜん鐵道を事例として-」『都市計画論文集』, Vol.47, No.3, pp319-324.

Páez, A., Trépanier, M., and Morency C. (2011), "Geodemographic analysis and the identification of potential business partnerships enabled by transit smart cards", *Transportation Research Part A*, Vol.45, pp.640-652.

Pelletier, M. P., Trépanier, M., and Morency, C. (2011), "Smart card data use in public transit: A literature

review”, *Transportation Research Part C*, Vol.19, pp. 557-568.  
Seaborn, C., Attanucci, J., Wilson, N. (2009), “Analyzing Multimodal Public Transport Journeys in London with Smart Card Fare Payment Data”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2121, pp.119-126.  
高田和幸・藤生慎(2012)「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 D3a、第 68 巻.5 号、pp.1079-1085.

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 4 件)

- 1) Hiroaki Nishiuchi, Tomoyuki Todoroki and Yusuke Kishi: A Fundamental Study on Evaluation of Public Transport Transfer Nodes by Data Envelop Analysis Approach Using Smart Card Data, *Transportation Research Procedia*, Vol.6 (4th International Symposium of Transport Simulation (ISTS'14) Selected Proceedings), pp. 391-401, 2015.
- 2) 西内裕晶, 轟朝幸, 川崎智也: 生存時間分析を用いた路面電車の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-, *交通学研究 2014 年研究年報*, Vol. 57, pp.113-120, 2015.
- 3) 小林康之, 西内裕晶, 川崎智也, 轟朝幸: IC カードデータを用いた公共交通利用者数の変動特性に関する分析-土佐電気鐵道利用者を対象として-, *土木学会 鐵道工学シンポジウム論文集*, Vol. 19, pp.193-200, 2015.
- 4) 西内裕晶, 佐野可寸志, 轟朝幸: IC カードデータを活用した降雨による公共交通利用者の行動変化に関する基礎的分析, *土木学会 鐵道工学シンポジウム論文集*, Vol. 18, pp163-169, 2014.

〔学会発表〕(計 11 件)

- 1) Hiroaki Nishiuchi, Tomoyuki Todoroki and Tomoya Kawasaki: Evaluation of Public Transport Transfer Nodes by Data Envelop Analysis Approach Using Smart Card Data, *TRB 94th Annual Meeting Compendium of Papers*, online, 2015.
- 2) Hiroaki Nishiuchi, Tomoyuki Todoroki and Yusuke Kishi: A Fundamental Study on Evaluation of Public Transport Transfer Points by Data Envelop Analysis Approach using Smart Card Data, *ISTS'14 and IWTCDS'14*, 2014.
- 3) 西内裕晶, 轟朝幸, 川崎智也: 生存時間分析を用いた路面電車の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 -, *日本交通学会 第 73 回研究報告会 予稿集*, online, 2014.

- 4) 西内裕晶, 小林康之, 川崎智也, 轟朝幸: 状態空間モデルを用いた公共交通利用者数の変動特性に関する分析-土佐電気鐵道利用者を対象として, 第 34 回交通工学研究発表会論文報告集 (CD-ROM), pp497-500, 2014.
- 5) 新井佑枝, 西内裕晶, 佐野可寸志: 空間的トリップパターンの類似性を考慮した IC カード利用者の行動特性に関する基礎的検討, 第 50 回土木計画学研究・講演集, CD-ROM, 2014.
- 6) 西内裕晶, 塩見康博, 轟朝幸, 佐野可寸志: IC カードデータを用いた公共交通利用者の滞在時間へ与える影響要因に関する基礎分析, *土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集*, CD-ROM, 2014.
- 7) 小林康之, 西内裕晶, 轟朝幸: 状態空間モデルを用いた公共交通利用変動特性の分析 -高知都市圏の路面電車利用者を対象として-, *土木学会 第 41 回関東支部技術研究発表会*, CD-ROM, 2014.
- 8) 新井佑枝, 西内裕晶, 佐野可寸志: DTW 距離を用いた IC カード利用者のトリップパターンの類似度算出に関する基礎的検討, *土木学会 第 41 回関東支部技術研究発表会*, CD-ROM, 2014.
- 9) 新井佑枝, 西内裕晶, 佐野可寸志: DTW 法を用いた IC カード利用者のトリップ類似性に関する研究, 第 31 回 土木学会 関東支部新潟会研究調査発表会, 2013.
- 10) 西内裕晶, 塩見康博, 轟朝幸: IC カードですかデータを用いた公共交通利用の滞在時間に関する基礎分析, 第 48 回土木計画学研究・講演集, CD-ROM, 2013.
- 11) 西内裕晶, 岸悠介, 轟朝幸: 公共交通系 IC カードデータを用いた包絡分析法による乗り継ぎ結節点評価に関する基礎的研究, *土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集*, CD-ROM, 2013.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

特になし

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

西内裕晶 (Hiroaki Nishiuchi)

長岡技術科学大学環境社会基盤学専攻・助教

研究者番号: 40548096