

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—

日本大学大学院 学生会員 ○小林 康之
長岡技術科学大学 正会員 西内 裕晶
日本大学 正会員 轟 朝幸
日本大学 正会員 川崎 智也

1. はじめに

近年、我が国の地方の公共交通利用者数は人口減少や高齢化、自動車依存などにより減少傾向にある。このような背景から、持続可能な公共交通の運営のためにサービスレベルの改定など様々な検討がなされている。高知県でも、2010年2月に高知県公共交通運営対策検討委員会¹⁾が立ち上げられたが、委員会の資料によると、図-1に示す様に、年々、利用者数が衰退していることがわかる。1994年には持続可能な運営を行うための対策として路面電車の減便を行ったが、利用者数が想定以上に減ってしまったことから1995年に運行頻度を戻している。公共交通の運営維持のための決定的な対策が打てない中、2009年にスマートカード「ですか」が導入された。

「ですか」が導入されたことで、従来のアンケート調査からは把握できなかった長期的かつ連続的な利用者行動を把握することが可能となった。そして「ですか」導入後、初めてのサービスレベル改定が行われ、2012年11月より路面電車の昼時間帯の運行頻度は60~80%程度に減便された。事業者が戦略的な運営を行うためにもサービスレベル改定の影響を把握することが重要となる。

そこで本研究は、減便による利用者への影響を考慮した路面電車利用の変動特性を、要因ごとに定量的に把握することで戦略的に運営するための知見を得ることを目的とする。

2. データ概要

本研究では、2009年1月25日に利用が開始されたスマートカード「ですか」の利用履歴データを用いる。路面電車及びバスで利用可能なカードで、土佐電気鉄道(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

のバス車両が運行する高知高陵交通の須崎~杉の川・榑間間で利用することができる(図-2参照)。カードは主に無記名式、紛失時対応の記名式と定期券で構成されている。

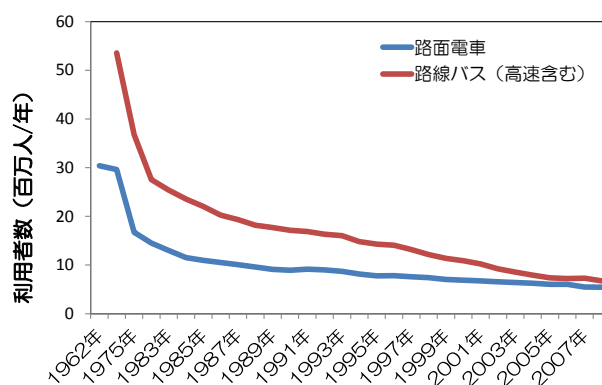


図-1 高知県の路面電車・路線バスの乗員数推移



図-2 「ですか」を利用可能な停留所の分布

本研究で用いるデータ期間は、2011年1月1日から2012年12月31日の2年間で高知都市圏の路面電車の利用データである。データの概要を表-1に示す。

表-1 使用する「ですか」データの概要

項目	内容
期間	2011年1月1日~2012年12月31日(2年間)
データ内容	利用年月日、カードNo.、利用交通機関 乗車時間、乗車停留所、降車時間、降車停留所
交通機関	土佐電鉄・路面電車 土佐電鉄・バス、土電ドリーム 高知県交通、県北部交通

キーワード 公共交通、スマートカード、状態空間モデル、周期変動、マーケティング

連絡先 〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1 744 号室 TEL. 047-469-5219 Email:csya12011@g.nihon-u.ac.jp

リップ数を図-3に示す。

利用データ総数は約 3,170,000 トリップで、一日当たりの平均トリップ数は約 4,300 トリップとなっている。定性的な傾向としては6月にトリップ数が増加傾向となっているが、ほぼ横ばいといった傾向が見られる。また、祝日ではトリップ数が特に少なくなる傾向がある。さらに、既存論文³⁾では雨天時に利用者数が増加する特性を把握している。

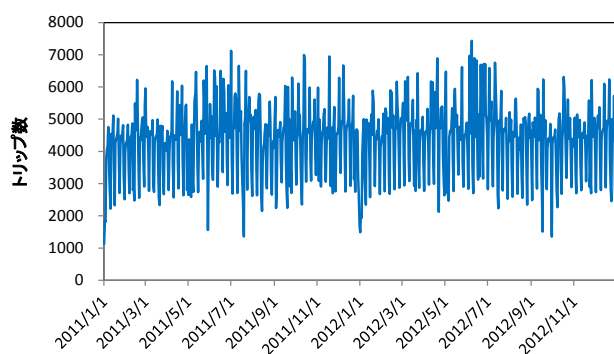


図-3 日交通量とトレンドの推計値

3. 状態空間モデル

本研究では、複雑な変動を繰り返すトリップを複数の成分に分解することができる状態空間モデルを用いる。このモデルは時系列の継続的な関係維持し、さらに各成分を同時に推定することが可能なため時間的な変動特性の考察だけでなく成分同士の関係を考察することができる。本研究では、姜・野田ら²⁾の提案する AR 成分付きの季節調整モデルを用い、1 か月単位での月内変動および1 週単位での周期変動を考慮した。「ですか」データによるトリップ数 y_n は(1)式の観測方程式によって表される。

$$y_n = T(n) + M(n) + AR(n) + \varepsilon_n \quad (1)$$

ここで各成分は、 T は長期的な変動を表すトレンド成分、 M は 30 日を周期とした月変動成分、 AR は限られた周期範囲の中で決定される変動成分、および観測ノイズ ε である。また、各成分の式は(2)~(5)で表される。

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

式(2)はトレンド成分を表し、係数 $C_i^{(k)}$ は階差 k によって決まる定数となっている。本研究では $k=1$ を採用した。

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

式(3)は循環変動成分を表している。本研究では1 か月を 30 日と仮定し、30 日が周期になるような月変動成分を設定した。

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

(4)式は AR 成分を表しており自己回帰モデルと呼ばれる。 α_i は AR 係数であり、次数 m は AIC 最小法によって決まる。 $m=1 \sim 7$ の範囲で推定した結果、周期を 7 とした循環変動が最も AIC が小さくなった。7 周期は曜日変動を表していると考えられる。

$$\varepsilon_n \sim N(0, \sigma^2) \quad (5)$$

(5)式は観測ノイズを表しており、月変動や曜日変動で考慮されない特性が反映される。例えば、誤差成分の変動に考慮される要因として祝日や雨天時の影響が考えられる。

4. 状態推定結果

(1)トレンド成分

トレンド成分の推定結果を図-4に示す。赤線は推定されたトレンド成分であるが、月変動や曜日変動以外の各種変動が含まれていると考えられる。トレンド成分は 3,600~4,600 トリップ前後で推移しており、1 年を通し1月から6月にかけてトレンド成分は上昇傾向にあり、6月下旬をピークに7月以降は下降する傾向にあることがわかった。最も期待値が低い1月の平均値と最も期待値が高い6月の平均値の差は約 539 トリップ/日であった。これよりトレンド成分には変動成分の1つとして季節変動が考慮されていること示唆している。

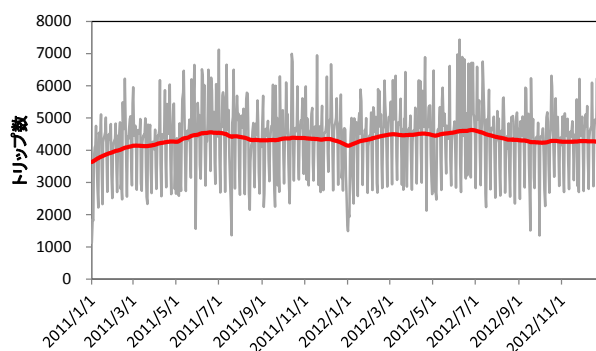


図-4 トrend成分の推移/日

表－２は、各月のトレンド成分の平均値を 2011 年と 2012 年別で集計した結果を示す。2011 年のトレンド成分の平均値は 4,274 トリップ/日、2012 年のトレンド成分の平均値は 4,390 トリップ/日と 2012 年の方が利用者数の期待値が約 100 トリップ/日多いことがわかった。また月ごとの差に着目すると、トレンド成分は 9 月以降から 2011 年の平均値を下回った。11 月と 12 月のトレンド成分の差から減便対策は利用者が急激に離れはしないことがわかった。2011 年は 9 月以降にトレンドが上昇しているが 2012 年は 6 月以降下降する一方であり、9 月以降の利用を促すような対策が必要であるといえる。

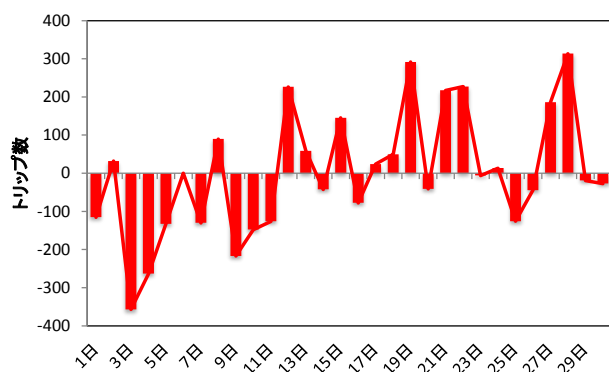
表－２ 年別のトレンド成分平均値

トレンド成分	2011年	2012年	2012年-2011年
1月	3808	4250	442
2月	4048	4422	373
3月	4140	4479	339
4月	4240	4498	259
5月	4382	4504	122
6月	4535	4601	66
7月	4468	4506	38
8月	4344	4348	4
9月	4321	4273	-48
10月	4376	4266	-111
11月	4350	4269	-81
12月	4273	4262	-11

(単位:トリップ/日)

(2) 月内変動成分

次に月内変動成分について考察する。月内変動とは 1 か月間の中で繰り返し起こる変動特性である。図－５は各日の月変動成分の平均値を表しているが、月内変動の特徴として、2 週目まで利用者が少なく 2 週目以降に利用者が増加する傾向にある。つまり、公共交通の利用を促進させるためには 2 週目までの期間に対策を打つ必要があるといえる。



図－５ 月変動成分の平均値/日

表－３では、年別の月内変動成分の最大・最小値を示している。2011 年の最大値は 321～326 トリップ/日を取りほぼ横ばいに変化がない。最小値に着目すると-355～-346 トリップ/日で大きく変動しないが、月を重ねるごとに徐々に拡大する傾向にあることが把握できた。また、2012 年の最大値は 306～320 トリップ/日で変動しており、徐々に縮小している傾向にあることが把握できた。2012 年の最小値は-373～-353 トリップ/日で変動しており、徐々に拡大傾向にあることを明らかにした。2011 年と 2012 年の各月の最大・最小値の差に着目すると、どの月も 2012 年の値が低くなることを示している。これらより月を重ねるごとにわずかながらではあるが着実に路面電車を用いたトリップが行われなくなっていることを把握した。

表－３ 年別の月内変動成分の最大・最小値

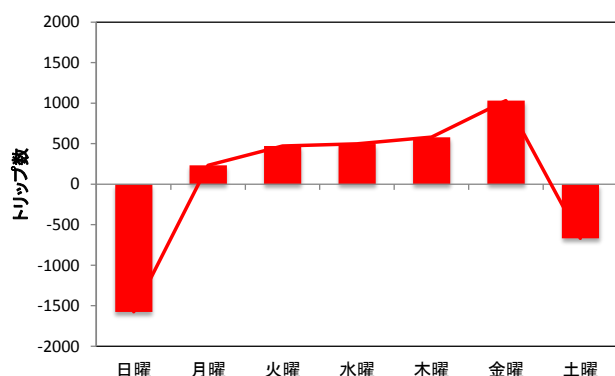
月内変動成分		2011年	2012年	2012年-2011年
1月	最大値	322	320	-2
	最小値	-347	-357	-10
2月	最大値	322	318	-3
	最小値	-346	-359	-12
3月	最大値	323	315	-8
	最小値	-347	-361	-14
4月	最大値	325	310	-15
	最小値	-346	-363	-17
5月	最大値	326	308	-18
	最小値	-347	-366	-20
6月	最大値	326	306	-20
	最小値	-346	-369	-23
7月	最大値	324	306	-17
	最小値	-347	-369	-23
8月	最大値	321	308	-13
	最小値	-347	-370	-23
9月	最大値	320	309	-11
	最小値	-347	-370	-23
10月	最大値	321	308	-13
	最小値	-350	-372	-22
11月	最大値	322	307	-15
	最小値	-353	-373	-21
12月	最大値	321	307	-15
	最小値	-355	-372	-17

(単位:トリップ/日)

(3) 週変動成分

最後に週変動成分であるが、1 週間の間に繰り返し起こる変動特性である。図－６は各曜日の週変動成分の平均値を示している。他の成分と比べ変動が大きいことから路面電車利用の中で曜日は最も影響を与える要因である。週変動成分の変動特性として、平日では月曜日が最も利用者が少なくなる曜日で金曜日が最も利用者が多くなる曜日である。休日の推定値は土・日とも負の値を取り、絶対値に着目すると平日と比較すると大きいことがわかる。休日の利

用者が少ない原因として、路面電車が利用される目的は通勤・通学によるトリップが多いと考えられる。



図－6 週変動成分の平均値/日

表－4は年別の曜日変動成分の平均値を表している。2011年は週末になるにつれてトリップ数が徐々に増加していく傾向にあったが、2012年になると月曜日のトリップ数が低く金曜日のトリップ数が高くなる傾向に変わった、2011年と2012年の差に着目すると火曜日と土曜日の成分以外は負の値になった。木曜日が最も差が開き、次いで日曜日の平均値の差が大きくなった。表－5は11月と12月のみに着目した曜日変動成分の平均値である。平日では月曜日と水曜日に特に利用されなくなっていることがわかった。これまでも月曜日の利用は少なかったが、減便の影響からこれまで以上に利用されなくなる可能性がある。

表－4 年別の曜日変動成分の平均値

曜日変動成分	2011年	2012年	2012年-2011年
日曜日	-1511	-1638	-127
月曜日	244	222	-22
火曜日	462	481	19
水曜日	500	493	-7
木曜日	668	492	-176
金曜日	1069	994	-75
土曜日	-724	-611	112

(単位:トリップ/日)

表－5 曜日変動成分の平均値 (11月・12月)

曜日変動成分		2011年	2012年	2012年-2011年
11月・12月	日曜日	-1411	-1526	-114
	月曜日	205	79	-126
	火曜日	427	440	14
	水曜日	599	322	-277
	木曜日	610	522	-88
	金曜日	973	1104	131
	土曜日	-661	-562	98

(単位:トリップ/日)

5. おわりに

本研究では、状態空間モデルを用いることで、スマートカードから得られた利用履歴よりトリップ数の推移、30日を周期とした月内変動成分や7日を周期とした曜日変動を定量的に推定し成分ごとに比較した。結果として、トレンド成分からは6月をピークとした長期的な変動が確認できた。月変動からは月末になるにつれトリップ数が増加傾向にあることがわかり、月の経過とともに徐々にトリップ数が減少していることを明らかにした。曜日変動はトリップ変動の中で最も影響を与える要因であり、週末にかけてトリップ数が段々と増加する傾向から、月曜日のトリップ数が低く金曜日のトリップ数が高くなる傾向に移ったことが確認できた。これらの知見より、路面電車の利用数を増加させるためには月初めの利用を促すことや月曜日ならびに休日の利用を促す対策することが望ましいといえる。

本研究の課題として、今回は路面電車のみを対象としたので路線バスを考慮することが挙げられる。また乗り継ぎや日内の変動、小児や高齢者といった個人属性を考慮することが挙げられる。今後は分解した成分同士の関係性を明らかにすることでトレンド成分が減少する原因を把握していく。

謝辞

本研究を行うに当たって、株式会社すかの内山様におかれましては、大変貴重なデータをご提供していただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 高知県公共交通経営対策検討委員：
<http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/121101/kento-uiinkai.html>
- 2) 姜 興起著：Rで学ぶデータサイエンスーベイズ統計データ解析ー，pp98-161，2010
- 3) 野上祐人，片岡源宗，熊谷靖彦：ICカード「ですか」を活用した高知中心地域の公共交通利用実態の基礎分析，土木計画学研究・講演集 Vol.44，2011