

ICカードデータによる熊本市電利用者の行動特性分析とダイヤ編成への活用

森田 琢雅¹・溝上 章志²・中村 嘉明³

¹学生会員 熊本大学大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1)

E-mail: 166d8833@st.kumamoto-u.ac.jp

²正会員 熊本大学教授 大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1)

E-mail: smizo@gpo.kumamoto-u.ac.jp

³正会員 構造計画研究所 (〒869-1235 熊本県菊池郡大津町室1315)

E-mail: nakamuray@kke.co.jp

近年、地方では公共交通利用者数の減少による事業者の赤字経営が問題となっている。また多くの利用がある都市部の公共交通でも、渋滞緩和や乗換の待ち時間調整などの課題は尽きない。より正確で詳細な公共交通の利用実態の把握、問題の原因発見や運行の見直しが必要とされている。

本研究では熊本市電を対象に、ICカードデータを利用して、利用者特性分析と実績ダイヤの作成・分析を行った。具体的には、クラスター分析による利用者の分類と定期券購入前後での利用変動の分析、ダイヤ編成支援システムとの結合による実績ダイヤの作成、問題点の考察を行った。

Key Words : smart card data, Kumamoto city tram, trip behavior, cluster analysis, actual diagram

1. はじめに

以前より、日本では自動車の分担率が上昇し、公共交通の利用者数は減少している。これにより大気汚染や交通渋滞、公共交通事業の赤字経営等、様々な社会的な問題が発生している。公共交通の利用減少の負のサイクルを止めるため、事業者は利用者にとって便利で定時性や信頼性の高い公共交通サービスを提供することはもちろん、需要の変動や利用特性を正確にとらえ、それに応じた適切なサービスをいかに設計するかが求められている。しかし長年行われている乗客のカウント調査やアンケート調査では、ある特定の日のデータや、少数一部の利用者の回答しか把握できないといった問題がある。

一方、公共交通の乗車券としての交通系ICカードの利用は急速に進んでおり、その発行枚数、利用可能地域は年々増加している。国土交通省の発表¹⁾によると、平成28年現在では1億枚を超えるカードが発行されており、旅客交通サービスレベルの向上や訪日外国人旅行者2,000万人に向けた取り組みの一環として、平成32年の東京オリンピック開催までに全国で相互利用可能な交通系ICカードをすべての都道府県で使えるようにするという目標も定めている。これにより、各鉄道会社には大量の

利用履歴データが収集、蓄積されており、今後もデータ数は増加していくことが予想されている。熊本市でも平成26年3月に全国相互利用可能なICカード「でんでんnimoca」を熊本市電に、平成27年4月に熊本地域振興ICカード「くまモンのIC CARD」を路線バス・電鉄電車に導入した。

国内ではICカードは主に決済ツールとして利用されているだけであるが、海外を中心にICカードデータから得られる種々の情報を交通の分析や計画に活用する研究が



図-1 熊本市電路線図

行われている。湧口²⁾が紹介しているPelletierら³⁾の論文レビューでは、海外の研究は、1) 戦略的（長期のネットワーク計画や需要予測など）、2) 戦術的（ダイヤ調整や移動の連続的パターン分析など）、3) 運用（路線別の需要・パフォーマンス指標やICカードの運用適正化に関係する分析など）の3つのレベルに分類できること、研究の数としては戦術的レベルのものが最も多く、その成果が注目を集めていることを明らかにしている。国内の研究事例としては、西内・轟⁴⁾はICカードデータから得られる利用者の時間的・空間的利用履歴情報を用いて高知市における路面電車・バス利用者の分類を行い、分類の結果得られた非定期利用者に対する利用促進施策の重要性を提言した。松本ら⁵⁾はICカードの移動利用データを用いて、静岡市におけるバス利用者の交通特性を分析し、潜在的利用者の抽出を行い、低頻度利用者の利用促進に繋がる基礎的な特性を抽出した。

本研究ではこれらの成果を参考にして、市電で導入されている全国相互利用ICカードの利用履歴データを用いて、市電利用実態の把握と非集計型クラスター分析による利用者の分類、定期券購入による利用変動の分析を行う。さらに電車遅延の原因究明やダイヤ編成支援への最初のステップとして、任意の日のデータを収集して実際の運行ダイヤを作成し、問題点や改善点を示すことを目的とする。

2. 利用データの概要

(1) 分析に用いるデータ

2014年4月1日から2015年3月31日までの1年間、熊本市交通局には全国相互利用のICカードによる約170万の処理データが蓄積された。本研究ではこの中からICカードとしての登録処理、乗車情報のない乗降処理、エラー処理らを除く有効乗降処理約165万サンプルを用いて分析を行う。利用者1人が複数枚のカードを使用している可能性も考えられるが、本研究ではカード1枚のデータを利用者1人のデータとして扱う。現在は熊本県内のバスの料金決済のために導入された地域ICカードである「くまモンのICカード」も市電で利用可能になっている。

(2) カード属性

データ項目の「カードID」から、全10種類の全国のICカードが識別できるようになっている。本研究ではこれら10種類のカードを、表-1のカード属性分類に示すように販売されている地域によってnimoca（熊本県内で販売）、九州圏内（熊本外の九州内で販売）、九州圏外（九州外で販売）の3つに分類した。図-2にカード属性毎の利用回数と利用人数を示す。利用者1人あたりの年

表-1 ICカードから得られるデータの内容

	内容
期間	2014年4月1日～2015年3月31日
有効処理	1,707,103回
有効乗降処理	1,652,648回
出現カード枚数	209,494枚
カード属性分類	nimoca (nimoca), 九州圏内 (はやかけん, SUGOCA), 九州圏外 (TOICA, Suica, Kitaca, ICOCA, PASMO, PiTaPa, manaca)
データ項目	カードID, 利用日時 (分単位まで), 乗車電停, 降車電停, 乗車人数, 車両番号, 系統等
処理種類	購入, 乗降車, チャージ, 返却等

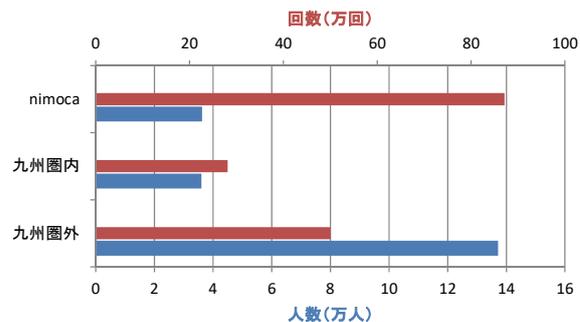


図-2 カード属性別年間の利用回数と利用人数

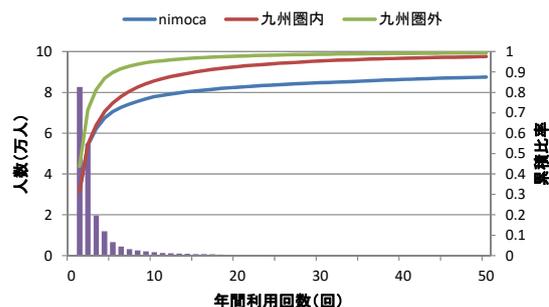


図-3 年間利用回数の分布と累積比率

表-2 カード属性別高回数利用者数

年間利用回数	nimoca	九州圏内	九州圏外
201~250	668	47	39
251~300	326	21	29
301~350	109	19	14
351~400	55	13	9
401~450	38	7	5
451~500	12	4	4
501~550	5	3	0
551~600	2	0	0
601~682	2	0	0
総計	1,218	114	100

間利用回数（利用回数/利用人数）が最も多いのはnimocaで24.0回/人、次が九州圏内で7.81回/人、九州圏外は少なく、3.64回/人であった。九州圏外の1人あたりの利用回数が少ないのは、遠方から熊本市にきた人が多く含まれていることに起因すると考えられる。図-3は年間利用回数50回以下の利用者の分布と各カード属性の全利用者に対する累積比率を示している。年間で1~2回しか利用し

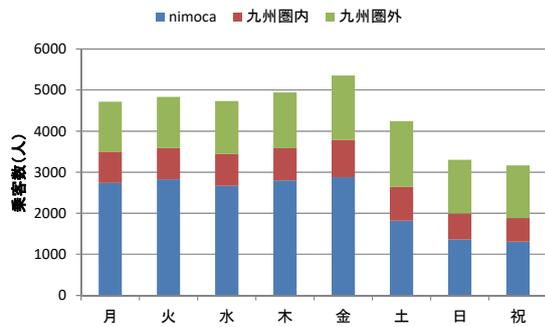


図-4 曜日別1日あたりの利用回数

ていない利用者は137,567人で、全体の65%にもなり、そのうちの約7割(98,234人)は九州圏外が占め、来訪者の割合が多いことが明らかになった。しかし、高回数利用者のカード属性を示す表-2を見て分かるように、年回利用回数が多い九州圏内・九州圏外も、少数ではあるが存在する。これは、カード属性だけで利用者の特性、たとえば県外からの来街者であるかなどを分類することができないことを示している。4章ではICカードから得られる各種の情報をもとに、利用者を属性別に分類する。

(3) 曜日・時間帯利用回数

図-4は年間の曜日別1日あたりの利用回数を示している。土・日・祝日の利用回数は平日より減少しているが、九州圏内や九州圏外のICカードの利用回数にはほとんど減少はなく、nimoca利用者だけが減少していることが分かる。

図-5、図-6は平日と休日の時間帯別カード属性別の利用者数の比率を示している。平日では、nimocaによる7時～9時頃に短時間の高密度な朝ピークが、16時～20時頃にも比較的長時間の低密度な夕方ピークが見られる。また、夕方ピーク時間帯には16時頃の学生の下校によるピークと18時頃の社会人の帰宅によるピークがあること、休日については、nimocaによる朝ピークが若干見られるものの、九州圏内、九州圏外カードと同様に、1日を通して時間的に大きな変動がなく利用されていることが分かる。休日の市電利用者数減少やいくつかのピークの存在は従来より感覚的に分かっていたが、ICカードデータの分析により、客観的に明らかになった。

3. ICカードデータの信頼性

(1) 電停間乗降客数の推計値の精度

熊本市電での運賃の支払い方法は現金による支払いや運転手への乗車券等の提示といったものもあることから、ICカードによる決済から得られるデータはサンプルデータである。そのため、真の利用実績とICカードから得ら

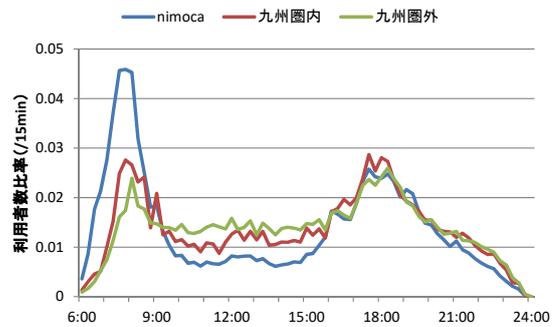


図-5 平日の時間帯別カード属性別利用者数の比率

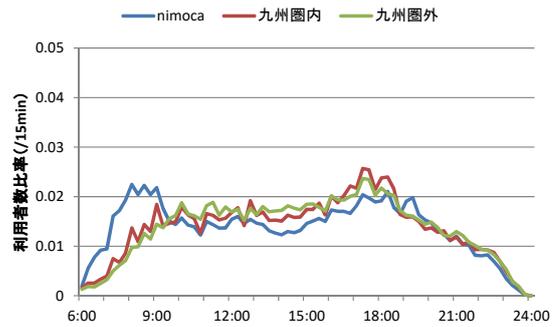


図-6 休日の時間帯別カード属性別利用者数の比率

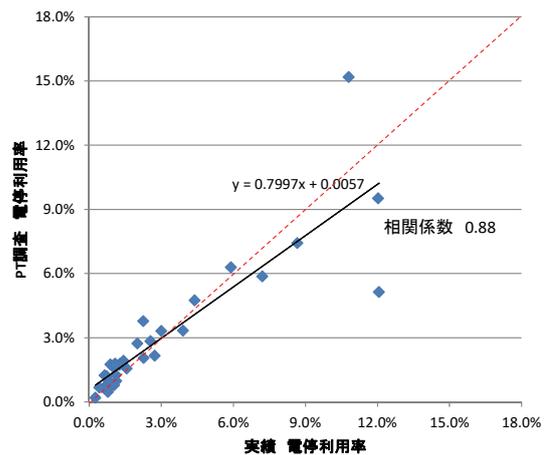


図-7 電停利用率の実績とPT調査データからの集計値との比較

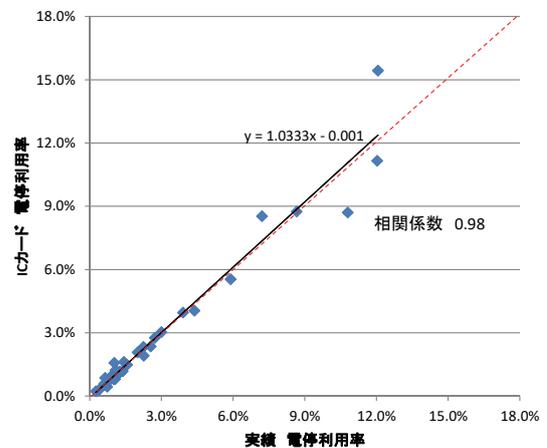


図-8 電停利用率の実績とICカードからの推計値との比較

れる限定的な情報との違いをあらかじめ把握しておく必要がある。ここでは、熊本市交通局が毎年実施している市電乗降調査を基に、実際の電停間乗客数を推計し、これを真値として、ICカードデータから得られる電停間乗客数の推計値の信頼性について検討する。参考のために、第4回熊本都市圏パーソントリップ調査（以下PT調査と記す）からの推計値の信頼性との比較も行った。

まず、熊本市交通局によって2014年10月の平日に実施された全数調査である停留所別乗降人員計数データと約20%抽出の路線別電停間乗客数調査データをもとに、前者の電停別乗降者数に一致するようにフレータ法を用いて後者の路線別電停間乗客数調査データを修正・拡大することによって、路線別電停間乗客数を推計し、これを真値と仮定する。

市電の電停間乗客数は、PT調査から得られる市電利用トリップを電停間で集計し、拡大率によって拡大することで求めることもできる。しかし、PT調査は公共交通機関利用者のサンプル数が少ないために、真値との差が大きいことが指摘されている。これに対して、ICカードのデータはPT調査データよりもサンプル数が飛躍的に増大するために、より実績に近い電停間乗客数を推計できると考えられる。

図-7と図-8は、前節で推計した電停間乗客数から得られる電停利用率に対して、それぞれPT調査データとICカードデータから推計された全35電停の電停利用率の分布を示している。電停利用率とは、電停別の乗車人数と降車人数の平均の全市電利用者数に対する比である。PT調査を先験とした場合は、電停利用率の相関係数は

0.88で相関は高いものの、線形近似直線を見てみると実績利用率が低い電停で過大に、高い電停で過小に推計されていることが分かる。これに対して、ICカードを先験とした場合では、相関係数は0.98と、非常に強い相関となる。近似直線を見ても再現性が高いことが分かる。また、それぞれの電停利用率の差からF検定を行うと、F値は4.37となり、2つの分布には有意な差があった。よって、PT調査データよりもICカードデータを先験として推計した電停利用率の方が信頼性は高いといえる。

(2) 誤差とICカードの利用率

10月の平日のすべてのICカード利用データから得られる、平日1日あたりの電停間利用者数の平均値を分子に、前節で求めたODの実績値を分母にし、各OD間のICカード利用率を表したものが図-9である。ただし信頼性が低いデータを除くため、実績利用者数が10人に満たない電停間のデータは除いている。

全利用者数に対するICカードの利用率は約15.6%であり、決して利用率は高いとは言えない。これは予想よりかなり低い値であったが、月日が経つにつれてカードの処理回数は増えており、2015年3月には2014年10月の約1.7倍のデータが収集された。今後も、ICカードの利用率はさらに増加することが期待できる。

4. 利用者の行動特性

ICカード1枚ごとにデータを集計することで、利用

	健康町	健康駅前	商業高校前	新水前寺駅前	水道町	熊本城	辛島町	熊本駅前	田崎橋	洗馬橋	段山町	本妙寺入口上熊本駅前	○
健康町		9 5 9	6 18 8 5 15	19 10 9 12 10	12 10 12 14			17 11 25 12 15 10			13	31	12.3
健康文番前				29 4 18 12	17 11 5 8								13.8
動物園入口				5	21 5 24 6 15	13 9 24 18		21					13.7
健康駅前	4			14	17 14 14 14 12	13 18 43 14		17					15.5
市民病院前	13		22 8	18	9 16 19	15 30 21 13		17 2	18				16.2
八丁馬場	4			9	17	18 11 4							13.4
商業高校前	11			36	7 16 20	15 8 9			3				17.2
市立体育館前	8			33	30 12	13 7 17 20		7	7				15.1
水前寺公園	8 4		7	13	5 13	11 8 15 22		4	19				13.7
国府	12	10 20	4		21 12	11 17 23 12			7				14.2
新水前寺駅前	15 36 11 24 26		19 23 29 42 3		16 33 22	16 16 19 21	32 18 11	8 1		58	4	5 16	18.8
味噌天神前	11		8 4		14	26 17 15 11		8 16				0	13.5
交通局前	10	8 12	9 12 12 11		51	39 15 3 13 9		14 16			12		14.6
九品寺交差点	14 18 15 27 10		5 36 14 5		18 5	19 17 7 14		14 20		7 4			14
水道町	9 18 11 21 16		19 13 8 14 17		19 16 31	7 8 13 9		23 12 20	15		9		10
通町筋	13 16 18 10 18		14 12 8 20 13		13 12 8 8		15 11	7 9 9 12 19	9	8 16 10 17 7	7 9 16		13.9
熊本城	11 19 16 13 13		10 22 11 5		15 7 27		14	7 9 29 18 17 6		10 13 12 12	6 6		14.5
花畑町	15 15 7 29 9		7 12 23 8 33		20 23 14 21	5		9 13 22 25		8	3 7 24		16.8
辛島町	13 15 39 17 15		29 19 11 7 12		17 7 14 10 6	9 8 7		15 17 28 22 31 11		14 13 15 17	17 9 9 13		15.2
慶徳駅前	26				26	14 11 10			29				22.1
河原町	21		5		16	10 7 12	27 5 9 20		26				15.7
呉服町				9	14	9 8 10	12 14 36 7		26				14.9
紙園橋						7 5	14 14 6 14						12.8
熊本駅前	18	8 8 16	13 18 10		9 52 36 20 17	23 18 15 22	34 35 32 11						20.4
二本木口	13					9 11	25 84 21 18						21.9
田崎橋	10	9 11	2		17	10 18 17 17	3		5				11.8
西辛島町			7		17	7					3		13.9
洗馬橋	20				60	8 10	5 11 6 14					14 13 19	16.7
新町			1		9	8	15 17 21 10			5		5 5	11.2
前山町	9					14	7 19 21 27		26			3 2 12	14.6
段山町	20	20				25	23			7 4 2		4	15.3
杉塘	0						12			4			14.1
本妙寺入口	1					9 11	5 7 10			5 12 6	1	0	10.3
県立体育館前							5			5			10.0
上熊本駅前	17				17 4 13 14 20	13 15 13 12				28 31 6 7 18			16.0
D	13 20 14 17 16		14 18 14 13 13	18 13 14 16 14	15 14 15 16		25 17 14 17 19 19 13	15 19 12 13 13	13 8 13 16				15.6

図-9 電停間毎のICカード利用率 (%)

者の利用特性や利用変動を分析することができる。本章では、クラスター分析による利用者の分類と定期券サービス開始による利用回数の変化についての分析を行った。

(1) クラスター分析による利用者分類

特別な連休のない2015年2月1日～2015年2月28日の4週間の期間に乗車した35,670人の利用者を行動特性によって分類することを目的として、表-3を変数とした非階層的クラスター分析を行った。変数は時間的特性のみ採用しているが、空間的特性も考慮することが望ましい。これは今後の課題としたい。また、今回はクラスター数をシステマティックに決めるためにGap統計量を用いた。図-10に示す結果より、できるだけ多くのクラスターに分類し、かつ各クラスターの詳細な特徴を分析するため、それまでは連続的に減少しているGap統計量が再び増加するクラスターの最小の数であるk=6を採用し、非階層的クラスタリングを行った。表-4は各クラスターに属する利用者の人数とクラスター毎の各変数の平均値を示している。

表-3 クラスター分析の変数

変数	説明
カード属性	全国相互利用のカードの種類
利用回数	期間中の乗車回数
平日利用率	平日1日あたりの利用回数
休日利用率	休日1日あたりの利用回数
朝ピーク利用率	平日 7:00～9:00の利用率
夕方ピーク利用率	平日 16:00～20:00の利用率

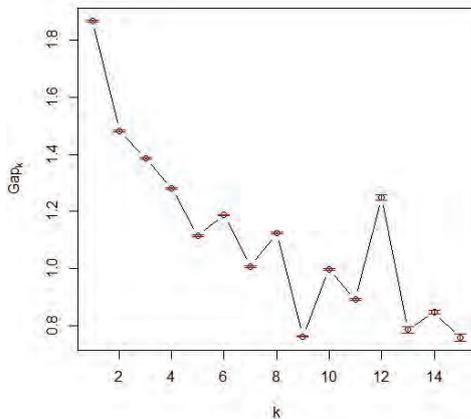


図-10 Gap 統計量

表-4 クラスター分析の結果

	クラスター					
	1	2	3	4	5	6
該当者数	1,325	7,138	12,226	10,277	2,101	2,693
nimoca	1,240	1,022	0	4,862	1,892	551
九州圏内	40	1,831	0	5,415	124	607
九州圏外	45	4,285	12,226	0	85	1,535
利用回数	43.53	1.78	2.34	3.13	32.66	3.20
平日利用率	1.65	0.06	0.08	0.11	1.56	0.13
休日利用率	1.36	0.06	0.09	0.11	0.32	0.07
朝ピーク利用率	0.23	0.01	0.01	0.02	0.36	0.71
夕方ピーク利用率	0.29	0.95	0.14	0.18	0.32	0.13

ている。

クラスター毎の特徴を表-5にまとめ、それぞれのクラスターに属する利用者特性について考察できることを述べる。

クラスター1：カード属性ではnimocaが大半を占め、利用回数、平日利用率だけでなく休日利用率も最大であり、朝ピーク利用率と夕方ピーク利用率もある程度大きな値を示している。平日の通勤、通学の利用と共に、休日の利用も多い定期的な日常利用者であると考えられる。

クラスター2：半数以上が九州圏外であり利用回数は1.78回である。夕方ピーク利用率が0.95と非常に高く、数回の利用がほとんど夕方ピークの時間に該当した利用者で、月に数度夕方に利用している利用者である。

クラスター3：九州圏外のみで構成されており、利用回数も2.34回と低いことから、対象期間中の九州圏外からの来訪者と考えられる。

クラスター4：nimocaと九州圏内のみで構成されているが、利用回数は3.13回にとどまっている。通勤、通学では利用していないが、時々利用する熊本市内在住の利用者と、対象期間中に熊本市を訪れた九州圏内に在住の来訪者と考えられる。

クラスター5：クラスター1に良く似ているが、休日利用

表-5 各クラスターにおける行動特性

クラスター	該当者数 構成比	特徴
1	1,325人 3.71%	平日休日共に高頻度で利用している。休日も通学・通勤をしているが、通勤・通学以外でも利用。
2	7,138人 19.96%	数回の利用はほぼ夕方ピーク時。毎回ラッシュや遅延に乗り合わせている可能性が高い。
3	12,226人 34.19%	九州圏外からの熊本来訪者。朝ピーク時と夕方ピーク時には利用していない。
4	10,277人 28.74%	対象期間に利用した熊本県内・九州圏内に在住の利用者。朝ピーク時の利用はほとんどない。
5	2,101人 5.88%	平日は高頻度で利用。休日の利用もあるがほとんどは平日の通勤・通学での利用。
6	2,693人 7.53%	数日の利用があり、多くが朝ピーク時に利用。夕方ピーク時の利用はほとんどない。

率が低くなっている。さらに朝ピーク利用率・夕方ピーク利用率はクラスター1に比べて大きくなっている。特に通勤、通学での定期的な利用しているが、休日はあまり利用していない日常利用者であると考えられる。

クラスター6：カード属性の割合がばらけており、利用回数は3.20回である。朝ピーク利用率が0.71と高く、月に数度朝のラッシュ時に乗車する利用者であり、通勤ピークに乗り合わせる可能性が高い。

(2) 定期券サービスの開始による行動変動

でんでんnimocaには2014年10月以降、定額料金の前払いで市電のどの区間にも乗り放題の定期券機能をつけることが可能になった。このサービスの利用によって生じた利用者の行動変化の分析として、平日、休日別に利用率の変化を分析する。

2015年10月1日～2015年10月31日の1ヶ月間に、利用中のでんでんnimocaカードに定期券機能を追加した利用者190人を対象に、定期券購入日から前後1ヶ月間ずつの平日、休日の1日あたりの利用回数の変動数の分布を図-11に示す。平日、休日の利用頻度について、1.0回/日を境に、それ以上を高頻度、以下を低頻度と仮定し、タイプA：平日低頻度・休日低頻度、タイプB：平日高頻度・休日低頻度、タイプC：平日低頻度・休日高頻度、タイプD：平日高頻度・休日高頻度の4種類に分類した。

図-11では各利用者の定期券購入前のタイプ別の色とマークを変えている。全体の利用回数は平日平均が1.25回/日、休日平均が0.61回/日増加した。タイプAであった利用者は、平日平均が1.40回/日、休日平均が0.68回/日増加した。このタイプの利用者は、通勤、通学に市電を利用していなかった低頻度の利用者であると考えられるが、定期券を購入したことによって、平日の通勤、通学での市電利用が増えたり、休日の仕事や外出にも市電を利用するようになったことが考えられる。タイプBであった利用者は、平日平均が0.18回/日、休日平均が0.12回の増加にとどまった。このタイプは以前から平日に高頻度で利用しており、休日の利用頻度が少なかったグループであり、定期券購入によって休日にも市電を利用するようになるということも容易に想像できたが、一概にそうとは言えないことが分かった。タイプCであった利用者は、今回存在しなかった。タイプDであった利用者は5人のみで、平日平均が0.20回/日、休日平均は0.11回/日のみ増加した。このタイプの利用者は、定期券購入前から平日、休日ともに高頻度で利用していた利用者であるため、大きな変化は見られない。

定期券購入前後の各タイプの人数の推移を表-6に示す。タイプAは147人減少、タイプBは96人増加、タイプCは0人から7人に増加、タイプDは44人増加した。定期券購入後、休日高頻度であるタイプCとタイプDになった利

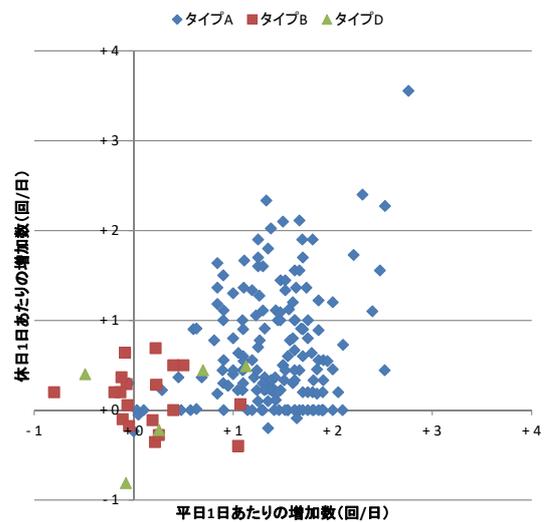


図-11 定期券購入者の購入前後の利用回数変化

表-6 定期券購入前後の各タイプの人数変動

		購入後				合計
		A	B	C	D	
購入前	A	18	97	6	45	166
	B	1	17	0	1	19
	C	0	0	0	0	0
	D	0	1	1	3	5
合計		19	115	7	49	190

用者の91% (51人/56人) が定期券購入前にタイプAであった利用者であることから、定期券サービスの効果によって休日の利用回数が増加したといえるのは、その大半が通勤・通学に市電を利用していなかった利用者 (タイプA) であることが分かった。

5. ICカードデータによる運行・需要の分析可能性

(1) ICカードデータによる問題の分析

バスロケーションシステムから得られる各車両の位置データがあれば、遅延や渋滞がいつどこで起こっているのかといった運行に関する分析は可能であるが、乗降客数などの利用実態データと組み合わせない限り、遅延の原因などの分析はできないので、適切なダイヤ再編のための基礎データとしては使えない。一方、ICカードデータからは、電停ごとの最早の乗車時刻、または降車時刻を到着時刻、最遅の乗車、または降車時刻を出発時刻と仮定することによって、車両の移動軌跡の追跡が可能になる。また、時刻表上の到着時刻と実績到着時刻との差である遅延時間、電停での出発時刻と到着時刻の差である停車時間、電停ごとの (全数ではなく、決済数に比

例した)乗降人数,連続した電停間の乗客数などの情報が容易に算出できる.このように,運行だけでなく利用の実態を詳細に把握することができることから,運行と利用の相互関係を分析することも可能である.なお,ICカード利用者の乗車・降車がない電停では通過時刻が不明となる.このような場合,図-12を例に,以下のようにして通過時刻を推定した.もし,電停Bにおける通過時刻が不明の場合,AC間実測所要時間(10分)にAB間時刻表所要時間/AC間時刻表所要時間(2/5)を乗じたもの(4分)をAB間所要時間とし,それをA出発時刻に加算したもの(9:04)をBの到着時刻および出発時刻とする.

本研究ではその検討例として,ICカードの乗降時刻データから実際の運行状況を観測して時刻表ダイヤに重ねることで,実際の運行状況の可視化,乗客の数と電車の

遅延の関係の分析などを行い,これまでは発見できなかった熊本市電の運行上の課題の発見と今後の課題解決のための提言を試みた.

(2) 運行と利用実績の分析

バス・鉄道の運行ダイヤを作成するダイヤ編成支援システムは,数多くの会社によって製作,販売,運用が行われている.本研究では,今回必要な実際の運行実態を時刻表ダイヤに重ねる機能を持つフリーのダイヤ編成支援システム「その筋屋」を使用して可視化し,以後の分析を行う.実際の運行状況をダイヤで示した実績ダイヤは図-13,図-14に示すように,乗客が多いほど,遅延が長いほど暖色を示すように設定している.

ここでは2015年2月19日(木)のA系統上下線の朝と夜の計6時間の実績ダイヤを可視化し分析を行う.この日の天候は午前中曇り時々晴れ,午後は晴れ,最高気温は6.4℃で,例年と比べて寒い日であった.

図-15は6:00-9:00の乗車人数を,図-16は同時間帯の遅

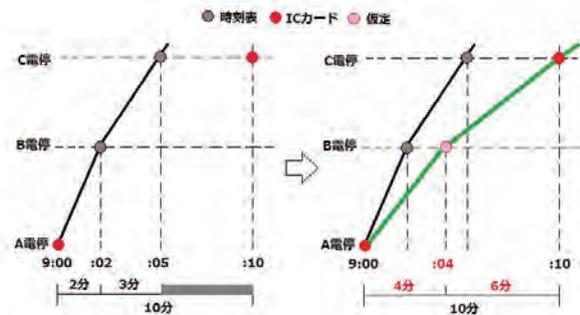


図-12 電停の通過時刻の算出方法



図-13 乗車人数の配色(人)



図-14 遅延時間の配色(分)

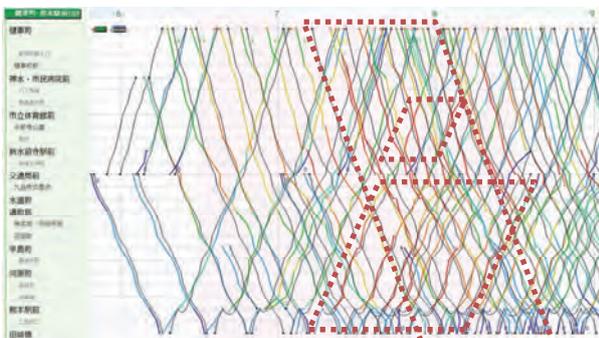


図-15 2015年2月19日(木) 6:00-9:00の乗車人数

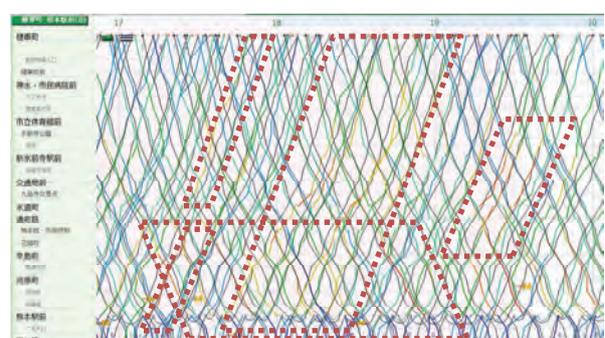


図-17 2015年2月19日(木) 17:00-20:00の乗車人数

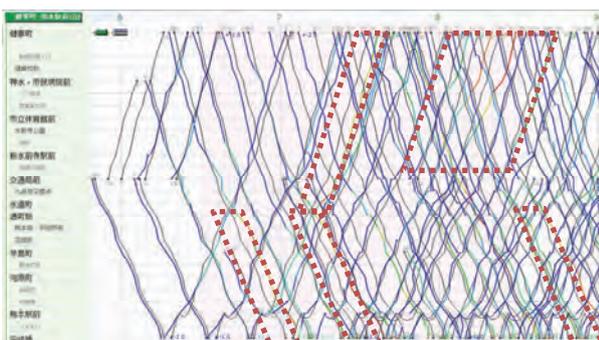


図-16 2015年2月19日(木) 6:00-9:00の遅延時間

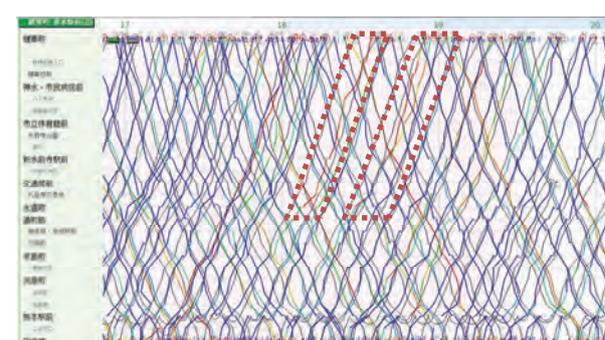


図-18 2015年2月19日(木) 17:00-20:00の遅延時間

延時間を示している。7:20頃から、上り路線では熊本駅～九品寺交差点辺りと新水前寺駅前～商業高校前辺りで、下り路線では健軍町～通町筋辺りで、乗客数の増加による朝の通勤・通学ラッシュが確認でき、どの電車も多くの客が乗車していることがわかる。しかし、遅れ時間を見ると、朝の時間では7便の電車にのみ、大きな遅延が起こっていた。上り路線では7:15~7:35頃の水道町～健軍町区間と8:00~8:45頃の新水前寺～健軍町区間で計4便、下り路線では6:40~7:05頃と7:00~7:30頃と8:30~9:00頃の通町筋～二本木口区間で計3便で大きな遅延があった。この時間帯の7便の遅延はいずれも乗客数が少ない区間で起こっている。朝の電車の遅延は、乗客数の増加から起こるのではなく、道路混雑や信号による遅れの影響が大きいことを示唆している。

図-17は17:00~20:00の乗車人数を、図-18は17:00~20:00の遅延時間を示している。夕方の時間帯では、朝に比べて長時間にわたって乗客が中密度の車両が多いことがわかる。その中でも、上り路線では17:15~17:30頃の熊本駅～熊本城・市役所前辺りと17:30~17:45頃の九品寺交差点～健軍町辺り、17:45~19:00頃の熊本駅～健軍町と19:15~19:50頃の花畑町～市立体育館前辺りで乗客が多く、下り路線では17:15~20:00頃までの通町筋～熊本駅までの区間で多くの車両が中密度の乗客で運行している。また図-18をみると、遅延がほとんどなかったこの日の夕方

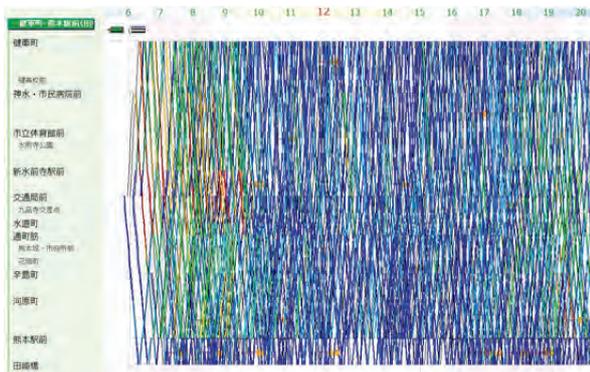


図-19 クラスタ1（日常利用者）の利用実績

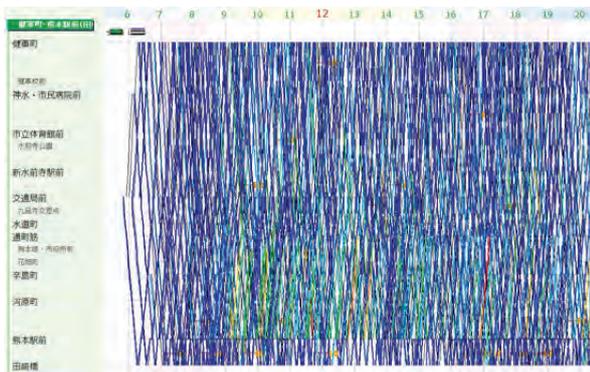


図-20 クラスタ3（来訪者）の利用実績

の時間帯において、上り路線の水道町～健軍町の区間における18:10~18:35頃と18:30~18:55頃と18:35~18:55頃に大きな遅延を引き起こした3便がある。この内の2便については、水道町での乗客の急激な増加と水道町～九品寺交差点区間の速度低下に起因していることが分かる。また、18:30~18:55頃のもう1便については、大きな遅延をした前の車両を追従することによって発生する遅延であることも読み取れる。

(3) 運行と利用との詳細な関係分析

ICカードデータから算出可能な種々の情報によって運行と需要との相互関係の分析が可能となる。ここではその一例を示したい。

4章で行ったクラスター分析による利用者の分類分けの結果を反映して、クラスターごとに外来者や日常利用者などと定義し、電車毎の外来者数や日常利用者数のばらつきを可視化することを試みた。図-19はクラスター1（日常利用者）、図-20はクラスター3（来訪者）だけを抽出したものである。それぞれのクラスターに属する利用者が乗車している暖色系のクラスター1では8時～9時台と19時以降、クラスター3では9時以降17時頃までと、利用を示す暖色系のスジ（電車）の時間帯が異なる。これらの情報より、たとえば来訪者がよく利用する時間帯には来訪者向けの車両やアナウンスサービスなどを提供するなどの運行計画策定のための情報として活用可能である。

その他、年間の運行実績データを重ねることで、スジ1本ごとに各電停での遅延時間のばらつきが可視化できることから、スジ1本（電車）ごとのダイヤの評価、設定された時刻表の問題点の発見、さらにはダイヤ編成への活用も期待できる。

6. おわりに

本研究では熊本市電を対象に、まずICカードデータが実際の利用状況を再現するツールとしてふさわしいことをPT調査データと比較することで示し、このデータから利用実態の分析及び利用者の特性分析、さらに実績ダイヤの可視化による運行分析を行い、問題点の考察を行った。

本研究の分析で明らかになったことと今後の課題を以下にまとめる。

- 1) 乗降数カウント調査を基に実際の電停間ODを推計して、PT調査データ、ICカードデータそれぞれと比較した結果、ICカードデータの方が現実の再現性が高いことを明らかにした。
- 2) 2014年10月の時点での乗客のICカード利用率は約

15.6%で、月日が経つごとに増加していると考えられるが、電停間毎に大きなばらつきがあり、拡大するにはそれを加味する必要があり、困難である。

3) カードの販売場所による分類で、利用回数などの大まかな特徴を捉えることができるが、それだけで利用者の利用特性を説明するには問題がある。

4) 10月からの定期券サービスの開始によって、nimocaの利用者数、1人あたりの利用回数は急激に増加したと考えられる。また、5月、8月、3月には大型連休の影響と考えられる来街者の増加が観測された。

5) 市電の利用者数は平日では金曜日が最も多く、月曜日が最も少ない。休日になると利用者数は大きく減少するが、これは熊本市に住む人の利用減少による影響であると考えられる。

6) 市電の朝ピークは7時～9時頃に短時間高密度で、夕方ピークは16時～20時頃に長時間低密度で起こっており、それぞれ異なる対応が必要であると考えられる。また、夕方のピーク時間中17時前後で一時的な利用者数の減少が起こっている。

7) 市電利用者を利用特性別に6つに分類すると、高頻度利用者が2つに、低頻度利用者が4つに分類され、それぞれの特徴を捉えることができた。

8) 10月に定期券購入した利用者は、平均で平日1.25回/日、休日0.61回/日利用頻度が増加した。また、休日の利用頻度が大きく増加した利用者は、大半が通勤、通学で市電を利用していなかった利用者である。

9) 実績ダイヤ図の可視化から分析を行い、各時間帯の電車の早発や、前を走る電車の遅れによる団子運行、電車の到着遅れによる次の運行始発の遅れなどの問題がいつどこで起こっているかの分析を行った。

10) 今の可視化システムでは、ICカード利用者の乗車・

降車がなかった電停での電停通過の時刻データがないため、所要時間を仮定して可視化するしか方法がなく、これを改善する必要がある。

11) 可視化による時刻表の問題発見には、数日間の調査データを重ねて可視化する機能が必要であり、これができることでダイヤ編成への活用の可能性が拡大する。

謝辞：著者らの依頼に応じて機能向上をしていただいたフリーのダイヤ編成支援システム「その筋屋」の製作者、およびICカードデータを提供していただいた熊本市交通局には、この場を借りて深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省：交通系ICカードの普及・利便性拡大に向けた取組，2015。
- 2) 湧口清隆：交通分野の電子カード・データの活用方法：世界各地の事例から，運輸政策研究，Vol. 14，No. 2，pp. 48-49，2011。
- 3) Pellertier, M., Trépanier, M. and Morency, C.: Smart card data use in public transit: A literature review, *Transportation Research Part C*, Vol. 19, pp. 557-568, 2011.
- 4) 西内裕晶，轟朝幸：交通マーケティング手法検討のためのICカードデータを活用した利用者行動特性の把握，土木学会論文集F3(土木情報学)，Vol. 68，No. 2，pp. II_8-II_17，2012。
- 5) 松本浩和，石神孝裕，石井良治，原田知可子，牧村和彦，岩本武範：交通系ICカードデータを用いたバスの潜在的利用者の抽出方法の検討，土木計画学研究・講演集(CD-ROM)，Vol. 51，No. 17，2015。
- 6) 熊本市交通局HP，<http://www.kotsu-kumamoto.jp/>
- 7) えきから時刻表，<http://www.ekikara.jp/top.htm>
- 8) 国土交通省気象庁「過去の気象データ検索」，<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?sess=6ef525a9cdef28cea634ce58ca736e68>

(2017.2. 24 受付)

ANALYSIS OF TRAM USERS' BEHAVIOR AND EVALUATION OF OPERATION BY USING SMART CARD DATA

Takumasa MORITA, Shoshi MIZOKAMI and Yoshiaki NAKAMURA

Use of the smart card when getting on public transportation, is increasing. Therefore a great deal of data is accumulated. The study which analyze using these data is receiving a lot of attention. There are many analysis of the public transportation users' behavior all over the world. In this study, I use smart card data in Kumamoto tram. The purpose of this study is three. The first one is an analysis of the actual use state. The second one is an analysis of the characteristic of user. The third one is analysis of the visualization of actual diagram.