

# ロケーションデータとスマートカードデータの融合によるバス運行実態の分析手法

森田 琢雅<sup>1</sup>・溝上 章志<sup>2</sup>・中村 嘉明<sup>3</sup>・森 俊勝<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社（〒101-8462 東京都千代田区神田錦町3丁目22番地）  
E-mail:takumasa.morita@tk.pacific.co.jp

<sup>2</sup>正会員 熊本大学大学院 先端科学研究部（〒860-8555 熊本市中央区黒髪2-39-1）  
E-mail:smizo@gpo.kumamoto-u.ac.jp

<sup>3</sup>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

<sup>4</sup>非会員 熊本大学大学院 先端科学教育部（〒860-8555 熊本市中央区黒髪2-39-1）  
E-mail:toshikatsu.mori@gmail.com

利用者の利便性を向上させるシステムの普及を背景に、公共交通分野でも交通ビッグデータの活用に注目が集まっている。本研究ではロケーションデータ（車両位置の記録）とスマートカードデータ（運賃決済の記録）を用いて、1) 路線バスの運行実態と利用実態を把握する手法の検討、2) 両データから再現される運行軌跡の乖離の評価、3) 各停留所間の所要時間に影響を与える要因の検討を行った。結果として、両交通ビッグデータの標準化手法を提案し、スマートカードデータから実際の通過時刻が得られた場合は高い水準で運行実態が再現可能であること、各停留所間で所要時間に影響を与える要因が異なることなどを明らかにした。

**Key Words:** location data, smart card data, travel time reliability

## 1. はじめに

1970年代をピークに全国の公共交通の利用者数は減少を続けており、その傾向は地方都市の路線バス事業で特に顕著である。バス事業者は利用者数の減少による運賃収入の減少のために不採算路線の減便や廃線をせざるを得ず、それがバスの利便性を低下させ更なる利用減少をまねく悪循環が起こっている。この悪循環を無くすためには、適切で利便性の高い公共交通ネットワークを形成すると同時に、ソフトの面から定時性・信頼性の高いサービスを提供し、バス利用を促進することが重要である。1980年頃からバスロケーションシステム（以後、バスロケと記す）、2000年頃からはスマートカード（Suicaやnimoca等の交通系ICカード）システムが全国の路線バスに導入され、路線バスの利便性をソフトの面から一定水準向上させてきた。

近年、それらのシステムによって蓄積された膨大な運行ログデータや決済データ、いわゆる交通ビッグデータを運行の改善や新規利用者の獲得に活用する手法や研究への注目が高まっている。車載GPSによる時々刻々の車

両位置情報であるロケーションデータを用いた研究には、遅延要因や旅行時間信頼性の分析<sup>1,2)</sup>、ロケーションシステムそのものの在り方の検討<sup>3,4)</sup>のように、運行管理に主眼をおいた研究が多い。一方、主として利用者の決済記録情報であるスマートカードデータを用いた研究には、利用者ごとのトリップ特性を抽出して需要構造を分析している研究<sup>5,6,7)</sup>が多い。さらに決済データから利用者の行動特性を分析し、その結果をダイヤ編成に活用する方法を示した研究<sup>8)</sup>はスマートカードデータの持つ情報の有効な利用方法を示したものである。しかし、ロケーションデータとスマートカードデータそれぞれの特性と利点を活かして、より高い付加価値情報を抽出している研究<sup>9)</sup>は多いとはいえない。

本研究では、まず、熊本都市バスの第一環状線を分析の対象として、バスロケとスマートカードの2種類のデータから遅延時間や乗客数の推移を可視化して、運行実態と利用実態を明らかにする。次に、スマートカードの運賃決済データからバス停への到着と出発の時刻を特定化することによって再現できる車両の運行軌跡とバスロケから得られる運行軌跡とどの程度の差があるか、また

これらの差の出現の特徴を分析する。最後に、各便の停留所間所要時間に対して、乗客数やその他の影響要因との分散分析を行うことによって、遅延の要因とその理由を考察する。

## 2. 実証フィールドと取得するデータ

### (1) 対象地概要

実証フィールドは熊本市都市バスの第一環状線（図-1参照）である。この路線上で特に乗降客が多い停留所は鉄道との乗換ができる熊本駅前と上熊本駅前、近隣に教育機関がある京町本丁や尚綱校前、大江渡鹿、子飼橋などである。右回りと左回りの2系統があり路線長は約11km、平日は左右それぞれ1日約40便、7時~9時のピーク時は4便/時、13時~15時の昼のオフピーク時でも2便/時の運行頻度があり、1日約2,500人の利用がある。特徴的な停留所として、左回りのみ停車する熊本駅森都心プラザ前と、交差点の前後に標柱がありどちらでも停車可能な大江渡鹿がある。データの取得期間は7月1日から9月30日のうち、特別ダイヤでの運行日である8月14日、15日と、スマートカードデータが欠損している9月13日を除く3か月間とした。期間中の時刻表上の全運行便数は7,002便で、期間中雨が降ったのは27日であった。



図-1 第一環状線の運行経路と主要バス停名

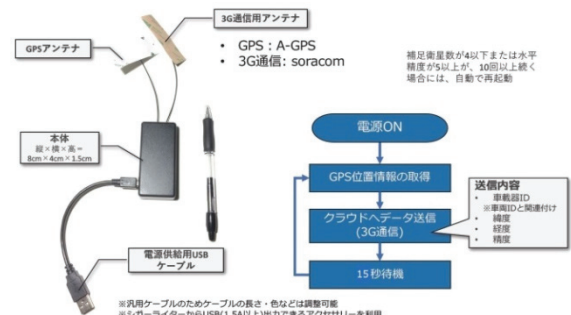


図-2 車載器と通信の仕組み

### (2) 車載器と測定誤差

2016年の熊本地震によって旧来型のバスロケのサーバーが故障し、現在は熊本県内のバスにはバスロケシステムは運用されていない。そのため、第一環状線を運行する車両15台に車載器（図-2参照）を搭載した。この車載器は市販の部品により研究室で独自に製作したものであり、2~3万円程度である。

位置情報取得の仕組みは1) 車両エンジン起動により電源ON。2) 車載器の位置情報を取得。3) 取得した位置情報データを独自設定のサーバーのクラウドに3G回線で送信。4) 15秒待機。5) 再び2)に戻り、これを電源がOFFになる（エンジンが切れる）まで繰り返し続けるという簡易的なアルゴリズムからできている。ただし、観測精度を高めるため、観測衛星数が5つ以下のデータは削除している。また、通信エラーを極力避けるため、位置情報の取得にエラーが起り続けた場合、車載器が自動で再起動する機能を実装している。今回取り扱う車両位置情報は、これらのデータを約5秒間隔に線形補間し路線上の最近接点に移動させたものとする。期間中の通信回数は車載器全15台で1,989,466回であった。

### (3) スマートカードの利用実態

熊本市では平成27年4月、路線バスと電鉄電車に熊本

表-1 スマートカードのデータ概要

	内容
期間	2017年7月1日~2017年9月30日
有効乗降処理	79,978回
出現カード枚数	8,632枚
データ項目	カードID、利用日時（分単位）、乗車停留所、降車停留所、乗車人数、車両番号

地域復興カード「くまモンのIC CARD」が導入され、平成28年3月には全国相互利用ICカードでの乗車、いわゆる片利用も可能になった。本研究では熊本市都市バスの第一環状線のくまモンのIC CARDでの決済データを用いる。なお、熊本市都市バスへのヒアリング調査より、熊本市都市バスの全運行便におけるスマートカードの利用率は約75%、そのうちくまモンのICカードの利用率は約75%であることが分かっている。したがって、分析対象路線においても全乗客の約半数の決済データが取得されると予想される。

スマートカードデータの概要を表-1に示す。乗車時刻、降車時刻のデータは分単位に切り捨て加工がされている。カード1枚のデータを利用者1人のデータと仮定すると、期間中の利用者1人あたりの利用回数は9.27である。また、決済データの内、約3割が高齢者及び障害者が割合で乗車できる「おでかけICカード」での決済である。

### 3. 分析データの標準化

#### (1) ロケーションデータ

本研究の主目的である停留所間の所要時間の算出の為に、位置情報とその計測時刻だけのロケーションデータから各停留所での到着、出発、通過時刻を決定する必要がある。図-3に示すようなフローに従ってこれらを決定するが、準備するものとしては、「車両」と「運行交番」との対応データ、および「運行交番付き時刻表」データが必要となる。運行交番とは、任意のバス1台（もしくは乗務員1人）が1日に運行する複数便を組み合わせたものの総称である。本研究の対象経路である第一環状線は、平日両回りの88本の運行を13の運行交番に割り振って運行している。

全便の各停留所での到着、出発、または通過時刻は、図-4に示すような停留所通過時刻判定方法によって決定する。まず、前処理として位置情報データを約5秒間隔に線形補間して路線上で移動させる。次に、各停留所から15mの範囲を停留所範囲境界とし、位置情報が各停留所範囲内に連続して2つ以上ある場合には、その中で最も早い観測時刻を到着時刻、最も遅い観測時刻を出発時刻とする。停留所範囲内の位置情報が1つの場合はその観測時刻を通過時刻とし、停留所範囲内に位置情報がない場合は通過情報なしとする。プログラムを用いて到着、出発時刻や通過時刻をシステムティックに決定した後、目視の確認で明らかに時刻がずれている誤判定を除去する。この操作により、全7,002便の運行に対して144,312個の停留所での到着、出発、通過時刻を決定した。

#### (2) スマートカードデータ

スマートカードデータは、個人ごとの料金決済データであるため、ある個人に注目した利用特性などの分析を行うことは比較的容易であるし、その結果は有用である<sup>8)</sup>。一方で、運行便ごとの決済データに着目すると、路線ごと、運行便ごとの日々の運行に関する分析を行うこともできる。今回は車両と運行交番の対応データを用いて、図-5に示す手順で運賃決済データから各便の停留所到着時刻と出発時刻を算出した。なお、スマートカード利用者の乗降車がない停留所では通過時刻が不明となるため、図-6を例に、以下のようなアルゴリズムを用いて推定通過時刻を算出した。もし、停留所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）を乗じた時間（4分）をAB間所要時間とし、それをA出発時刻に加算した時刻（9:04）をBの推定通過時刻とする。また始発までもしくは終着まで通過時刻が連続して不明な場合は時刻表上の所要時間をそのまま加減している。このため、スマートカードデータから算出した停留所通過時刻

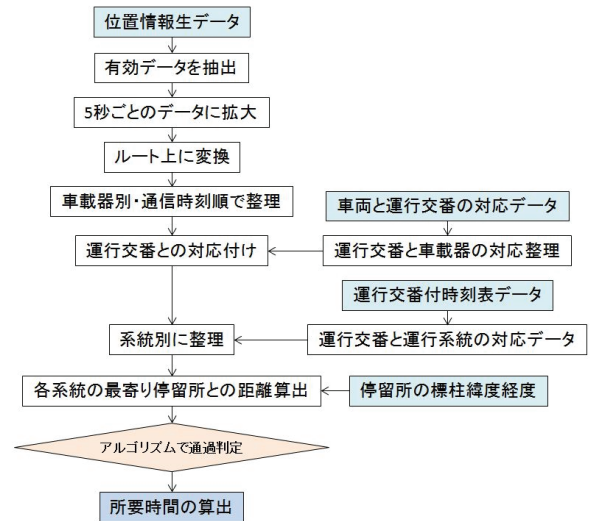


図-3 ロケーションデータ加工フロー

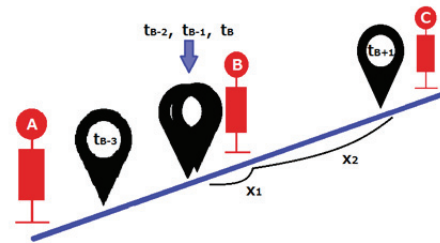


図-4 停留所通過判定

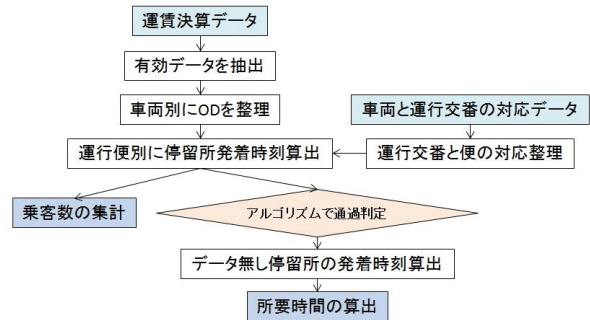


図-5 スマートカードデータ加工フロー

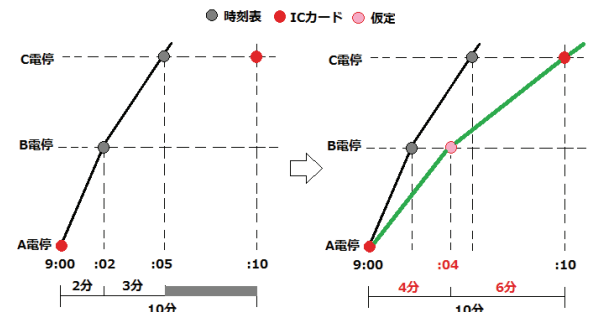


図-6 推定停留所通過時刻の算出

には、到着時刻と出発時刻、および推定通過時刻の2種類がある。

### 4. 利用実態と運行実態の可視化

本章では、スマートカードデータから、利用日時別乗客数、利用者の利用頻度特性、停留所間ODなどの利用実態を、バスロケーションデータから停留所間遅延時間や各停留所における時間信頼性指標などの路線運行実態を明らかにする。

#### (1) 利用実態

図-7は対象期間中の日別の乗客数の推移を示している。沿線に文教施設が多く立地している第一環状線は通勤通学目的の利用者も多い。夏休み期間である7月下旬から9月上旬の期間はお盆期を中心に平日の利用者数が極端に減り、利用者が最少の日（8月17日）の利用者数712人は利用最多日（7月3日）の1,549人の46%である。

図-8は対象期間中の時間帯別の乗車人数と運行便数を示している。第一環状線では平日は7時から9時頃までの朝ピークと17時から19時頃までの夕ピークがあることが分かる。また、平日朝ピークは1便あたり約18人の乗客であるのに対し、平日10時から14時までのオフピーク時は1便あたり約11人となるなど、乗客数に対して運行便

数が過剰の傾向がある。

図-9は9月の月間利用回数の分布と累積比率を示している。月間の利用回数が1回の利用者が全体の40%、5回以下が74%を占めるのに対し、月間30回以上乗車する高頻度利用者も152人存在することがわかった。

図-10は3ヵ月間の平日の停留所間OD表である。期間中最も利用の多かった停留所間ODペアは尚綱校前 - 熊本駅前（2,589人と1,862人）であった。尚綱高校前停留

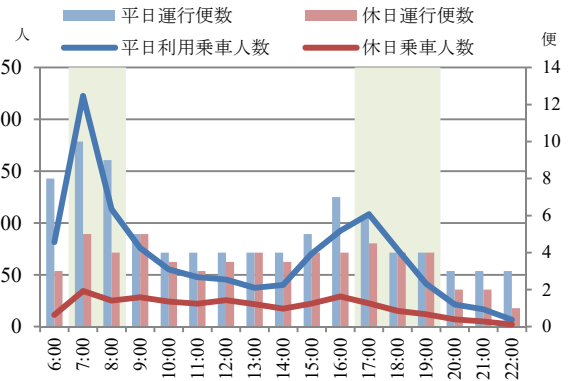


図-8 時間帯別乗車人数と運行便数

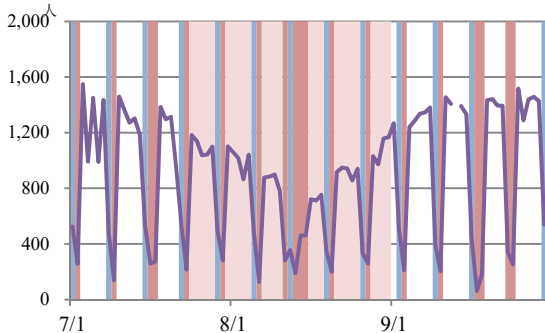


図-7 日別乗客数の推移

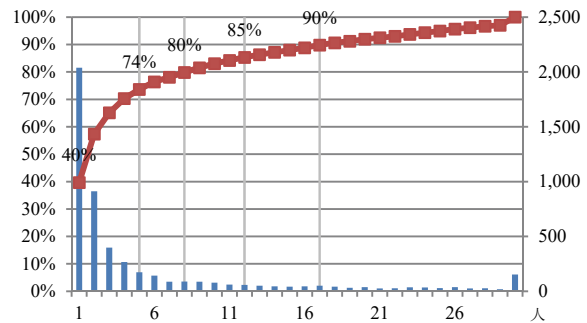


図-9 月間利用回数の累積比率

平日	熊本駅前	本山上営業所	本荘町	尚綱校前	大江渡鹿	子飼橋	京町柳川	上熊本駅前	新町	北園神社前	O
熊本駅前	0	1 22 89 243	217 802 1,095 347 1,862	245 7 696 1,728 102	146 120 53 108 86	146 120 53 108 86	112 164 370 56 535	612 442 181 28 31 1	10,499		
本駅森都心	0	5 55 97	42 261 245 190 181	36 2 85 221 73	18 2 0 0 1	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 0 1 0	1,515		
本山上営業所	30	0 0 3	0 136 31 7 154	9 2 11 20 1	4 0 0 0 1	30 0 2 0 0	2 5 0 8 0 0	2 5 0 8 0 0	456		
州中央リハハ	183	0 3 0	14 93 53 66 173	42 1 15 36 27	102 43 0 0 1	4 7 4 4 0	16 2 7 8 14 8	16 2 7 8 14 8	926		
迎宝町	219	0 11 6	0 50 103 188 90	127 19 11 77 1	30 6 3 14 3	82 11 98 0 7	0 7 13 1 2 9	1,188			
本荘保育園前	357	0 3 2 0	35 68 40 303	138 2 49 145 13	85 6 11 21 0	243 10 5 0 1	2 2 3 9 3 1	1,557			
本荘町	1,068	0 112 200 66	24 8 46 298	243 4 75 329 29	291 95 17 10 14	87 11 21 27 3	2 3 4 4 4 1	3,096			
大学病院前	1,362	0 23 83 69	20 6 0 244	335 1 76 222 50	288 49 17 9 34	31 31 41 25 8	3 14 2 1 0 3	3,047			
労働会館入口	509	0 15 57 114	42 50 0 12	93 1 17 93 23	110 22 17 3 58	90 10 3 0 3	7 1 12 0 7 0	1,369			
尚綱校前	2,589	0 55 48 83	218 282 391 3	6 1 20 132 92	145 77 13 9 15	71 57 2 0 0	0 4 2 3 0 0	4,318			
大江四丁目	342	0 25 120 173	287 380 385 73 14	2 45 205 262	442 73 174 92 80	469 40 2 0 1	3 0 8 2 2 1	3,702			
新屋敷一丁目	14	0 0 0 53	2 4 12 0 3	0 0 7 3	18 0 20 0 3	38 2 0 0 0	0 0 0 0 1 0	180			
消防局前	791	0 6 22 20	16 45 27 39 20	65 2 9 10	235 34 6 97 8	283 109 14 0 0	6 0 2 0 0 2	1,868			
大江渡鹿	1,600	0 36 17 48	136 354 343 103 84	200 7 3 3	328 163 92 301 132	1,258 325 36 7 10	108 9 37 12 3 1	5,754			
大江川橋	367	0 4 60 0	11 108 89 15 149	166 0 17 1	121 43 22 75 20	745 200 41 0 0	31 15 3 4 43 0	2,350			
子飼橋	161	0 6 56 46	136 279 474 94 116	538 32 310 449 79	9 71 161 184	710 705 76 6 95	54 17 7 13 1 0	4,885			
浄行寺	78	0 1 31 5	5 103 83 36 55	78 15 84 198 4	8 11 23 93	412 704 42 1 86	56 43 6 6 0 1	2,268			
坪井横町	23	0 0 0 5	2 11 11 12 6	141 25 32 82 24	84 8 0 40	192 99 25 0 19	12 51 40 5 3 8	960			
内坪井	85	0 0 0 49	0 13 47 5 38	60 7 26 147 53	192 26 0 7	91 119 17 3 4	4 5 8 22 15 19	1,062			
京町柳川	50	0 9 0 2	3 37 62 64 16	52 8 15 162 28	275 85 39 11	0 45 13 2 5	58 21 2 22 1 4	1,091			
京町本丁	123	0 12 1 82	149 108 56 79 10	287 85 164 877 556	678 347 155 88 1	122 235 43 276	216 388 135 45 44 14	5,376			
上熊本駅前	222	0 1 1 5	22 18 45 16 54	25 2 99 389 256	700 846 176 138 109	373 11 20 81	78 78 36 44 32 78	3,955			
本妙寺電停前	356	0 1 2 35	2 4 63 4 2	8 1 28 36 33	101 30 34 11 11	341 34 0 13	52 55 79 61 104 33	1,534			
杉達	60	0 0 4 0	0 52 4 0 0	1 0 8 5 0	8 8 1 1 2	132 10 2 0	23 13 9 23 4 6	376			
段山	483	0 0 0 59	0 2 12 1 0	2 0 1 27 1	151 62 47 7 35	749 99 40 1	1 5 14 34 12 67	1,912			
蔚山町	477	2 0 8 0	2 5 7 2 0	5 0 5 71 28	68 34 12 15 18	304 103 60 5 2	10 37 86 24 154	1,544			
新町	556	0 1 3 4	1 9 27 1 0	1 0 2 6 9	18 49 25 15 119	489 112 101 12 30	4 4 44 73 54	1,769			
明八橋	137	0 4 7 1	3 1 12 15 2	1 0 7 4 0	5 3 19 32 9	281 33 81 9 12	23 6 1 11 30	749			
五福校前	66	0 2 12 3	7 7 8 7 1	3 0 0 57 6	23 5 5 25 8	63 47 48 7 44	31 30 2 3 19	539			
福園橋	9	0 0 0 3	1 8 0 0 1	0 0 0 5 1	1 0 1 0 9	30 9 51 3 13	13 5 7 0 0	172			
北園神社前	1	0 1 6 2	0 2 1 0 0	4 0 0 0 0	0 1 22 5 1	4 2 11 2 27	40 22 16 17 0	187			
D	12,318	3 358 890 1,270	1,362 3,265 3,762 1,453 3,888	2,911 228 1,901 5,738 1,767	4,675 2,246 1,063 1,271 1,102	7,712 3,220 1,452 233 1,275	1,457 1,253 676 503 438 516	70,204			

図-10 平日停留所間OD表

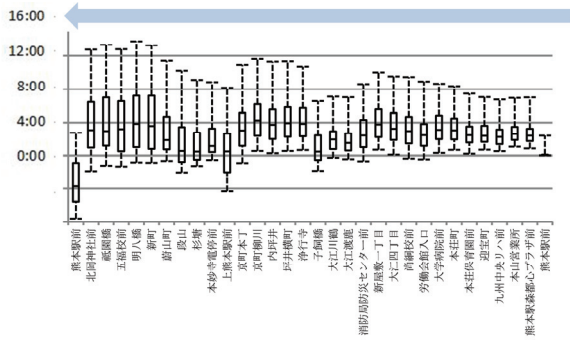


図-11 平日7時～9時の運行軌跡 左回り

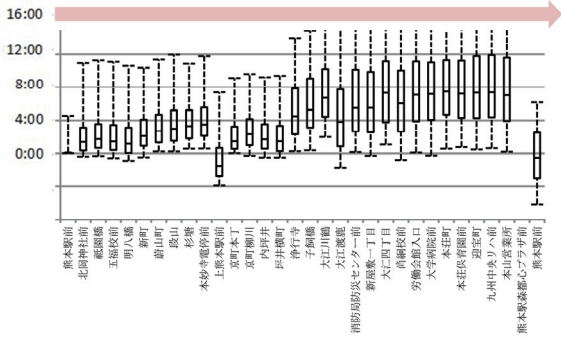


図-13 平日7時～9時の運行軌跡 右回り

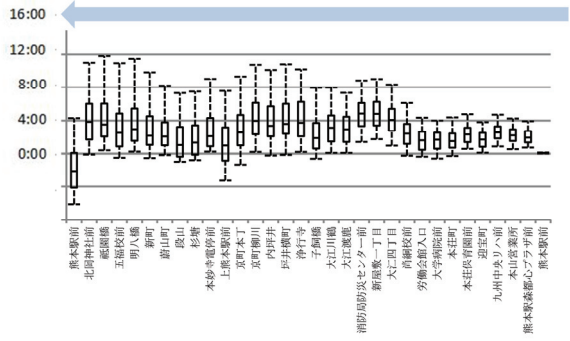


図-12 平日12時～15時の運行軌跡 左回り

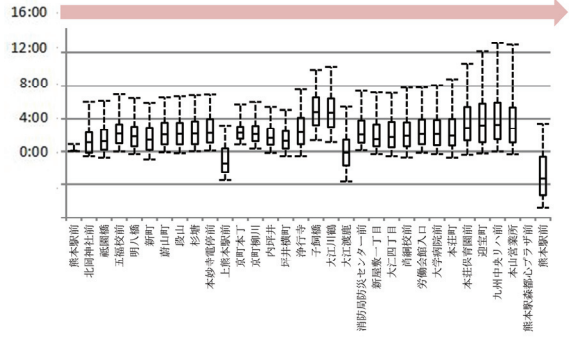


図-14 平日12時～15時の運行軌跡 右回り

表-2 旅行時間信頼性指標

指標	定義式	備考
PIT	$TT_{95}/TT_{min}$	旅行計画時間の指数化指標 歪度指標 分散指標
$\lambda_{skew}$	$(TT_{90}-TT_{30})/(TT_{30}-TT_{10})$	
$\lambda_{var}$	$(TT_{90}-TT_{10})/TT_{30}$	

注)  $TT_x$ : x%タイル所要時間,  $TT_{min}$ : 最小所要時間

所には中学校や高校、大学も隣接しており、多くの学生が通学に利用しているためと考えられる。その他、熊本駅前、大江渡鹿、大学病院前、京町本丁、上熊本駅前、浄行寺、子飼橋などで利用が多く、新屋敷一丁目や杉橋などでは少ないことが一目瞭然である。

(2) 運行実態

図-11, 12と図-13, 14は、それぞれロケーションデータから算出した平日の7時～9時の朝ピーク時間帯、12時～15時の昼オフピーク時間帯の左・右回りの各停留所

での遅延時間を箱ひげ図で示したものである。箱ひげ図は、ひげの上端95%、下端5%、箱の上端75%、中央線50%、下端25%タイル値を示している。遅延時間の平均とばらつきはピーク時に大きく、オフピーク時にはあまり差がないなど、時間帯によって大きく異なることが視覚的にもわかる。

次に、所要時間の変動を表す指標として、表-2に示す3つの旅行時間信頼性指標を算出した。PIT (Planning Time Indexの略称) は利用者が旅行計画を立てる目安の旅行時間を指数化したものである $\lambda_{skew}$ は平均到着時刻からの遅延時間と早着時間の歪度を、つまり極端な遅れの有無を、 $\lambda_{skew}$ 。

図-15, 16に遅延時間ばらつきの歪度指標である $\lambda_{skew}$ を左回り、右回りの停留所ごとに示す。時間調整が設定されている停留所では小さくなるが、左回りの子飼橋停

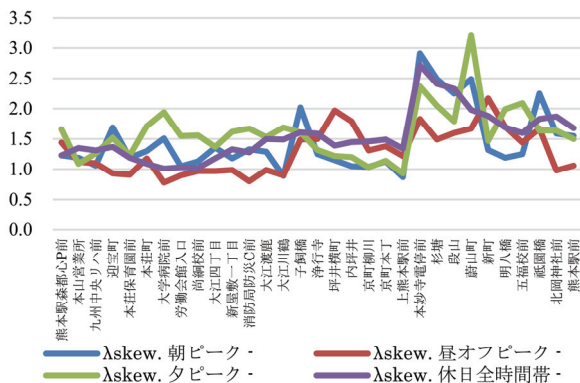


図-15 左回りの歪度指標

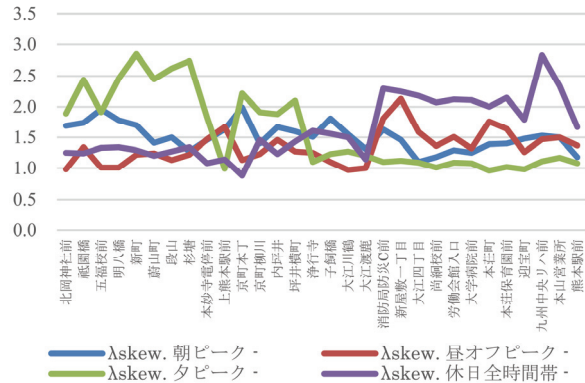


図-16 右回りの歪度指標

留所では、朝ピーク時間帯で2.02、休日でも1.61と大きな値をとっている。子飼橋には運行の大半が時刻表の通り到着しているものの、まれに到着時刻が特段に遅くなる便があることがわかる。また左回りでは朝と夕方と休日全体の上熊本駅前以降の停留所で、右回りでは夕方ピークのルート前半、休日のルート後半の停留所で  $\lambda_{skew}$  が大きな値を示している。

### 5. ロケーションデータとスマートカードデータの融合

時々刻々の位置情報が得られるロケーションデータは、遅延運行実態を把握するのに有用である。一方、スマートカードデータは、運行軌跡に関する情報は乗・降時の時刻情報しかないので、バス停間の移動軌跡はもちろん、バス停での到着時刻や出発時刻についても前述したように推計の必要がある。しかし、決済情報が得られるため、各バス停での乗・降客数やバス停間利用者数など、利用実態を分析することができる。もし、スマートカードデータから推計されたバス停での到着時刻や出発時刻の誤差が許容できる範囲のものであれば、スマートカードデータだけで、利用実態と運行実態を示すデータが同時に得られることになることから有用である。そのためには、両者の誤差の程度や特性を分析しておく必要がある。

本章では、ロケーションデータから得られる運行軌跡を真とし、スマートカードデータから得られる運行軌跡がこれとどの程度乖離しているかについて分析する。次に、スマートカードデータのみが得られる場合と両データが得られる場合で、運行分析の結果がどの程度変わるのかを検証するために、それぞれの場合で運行の総所要時間と乗客数との相関分析を行い、結果を比較する。

#### (1) 誤差発生の原因

熊本都市バスの第一環状線に設置した車載器から送信される15秒間隔の車両位置情報からは、5秒単位でほぼ正確な停留所の通過時刻が取得できる。一方で、スマートカードデータから運行軌跡の全体を得るためには、停留所の推定通過時間を用いる必要があるため、両者の間には乖離が起こる。特にスマートカードでの乗降が少ない日の便や、そもそも乗客の少ない時間帯の便は、その差が大きくなると考えられる。さらに、熊本都市バスのスマートカードデータは乗降時刻が分単位に切り下げられている。このデータ特性も両者に乖離を生じさせる要因として考えられる。

#### (2) 所要時間の差の実態分析

図-17は各停留所におけるロケーションデータとスマ

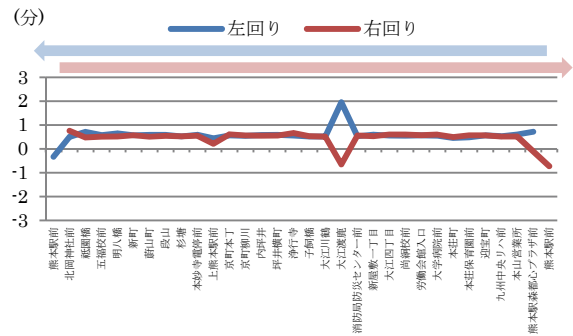


図-17 到着時刻の差 (推定値を含まない)

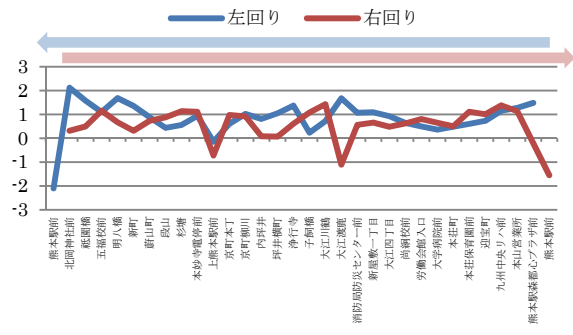


図-18 到着時刻の差 (推定値を含む)

ートカードデータそれぞれから推計した到着時刻の差の平均値を示している。これらは通過する運行便のデータは含まず、スマートカードデータから到着時刻が得られており、かつロケーションデータからも正確な到着時刻が得られたデータだけを用いている。終着停留所の熊本駅前と交差点の前後両方に標柱がある大江渡鹿を除いた全ての停留所で、ロケーションデータの方が30秒程度、平均到着時間が遅くなっており、停留所によるちがいはほとんどない。この差は、スマートカードデータの時刻データが分単位に切り下げられているためである。この結果から、特定の停留所を除いて、スマートカードデータから直接取得できる停留所到着時刻とロケーションデータから算出できる停留所到着時刻の差は小さいことが証明された。

通過する運行便の通過時刻を到着時刻として上記データに含めて同様の分析を行ったのが図-18である。図-17と比較して両者の差はかなり大きく、停留所によるばらつきも大きくなっており、左回りで平均59秒、右回りでは47秒、分散も左回りで0.09から0.52に、右回りでは0.12から0.46に増加した。終着停留所とその手前のいくつかの停留所や時間調整を行えるよう時刻表を設計している上熊本駅前、子飼橋とその周辺の停留所での差が大きい。

次に停留所間所要時間の差について分析する。連続する2つの停留所でスマートカードの利用があった停留所間について、横軸にロケーションデータから、縦軸にスマートカードデータから得られる所要時間をプロットしたものが図-19である。両者の相関係数は0.79、回帰直線

は  $y = 0.8115x + 0.5574$  となり、スマートカードから算出される停留所刊所要時間は、真の所要時間が短いと過大に、長くと過小に算出されるが、回帰直線縁により

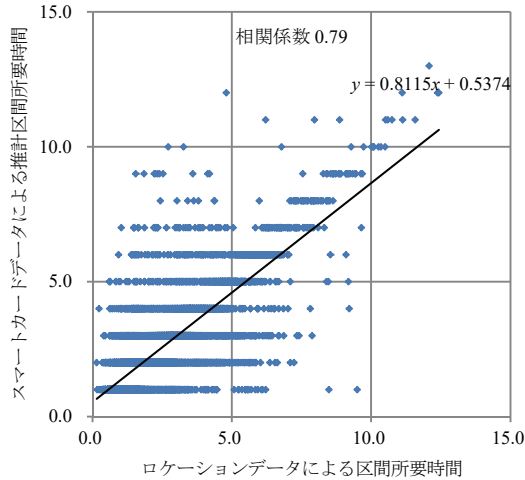


図-19 スマートカードデータによる推計区間所要時間

スマートカードからのデータにより停留所刊所要時間は推計可能である。

以上より、ロケーションデータから算出する運行軌跡とスマートカードデータから算出する運行軌跡について、以下がいえ。1) スマートカードでの乗・降車があった停留所の通過時刻の整合性はかなり高い、2) ただしスマートカードデータの通信時刻が分単位への切り下げのため、およそ30秒の誤差が出る。3) データの得られなかった停留所の推定通過時刻が真の通過時刻とずれていくため、通過時刻を推定すると、始発停留所と終着停留所の周辺では乖離値が大きくなる。4) スマートカードデータから得られる停留所間所要時間は、真の停留所間所要時間を推計可能である。5) 利用者が少ない時間帯はスマートカードのデータが少なくなるため、両データから算出される各停留所の通過時刻の差は大きくなる。

表-3 分散分析の要因と水準

要因	水準数	水準
乗降数	2	該当区間までの累積の乗降客数が時間帯別平均よりも多い、少ない
天候	3	晴れ、曇り、雨
時間帯	2	平日の朝・タピーク時間帯、その他

## 6. 遅延要因の分散分析

### (1) 路線バスの遅延要因

路線バスでは運行計画で定めている時刻より早く停留所を出発・通過する早発が許されていない。また、路線上で時間調整が可能な停留所も限られているため、停留所間の所要時間は最短所要時間で設定することが求めら

表-4 停留所間所要時間の分散分析有意性 (左回り)

左回り	乗降数	天候	時間帯	乗降数	乗降数	天候	乗降数
				* 天候	* 時間帯	* 時間帯	* 天候
熊本駅前 - 熊本駅森都心プラザ前		***	***	**	**	***	***
熊本駅森都心プラザ前 - 本山営業所	***						
本山営業所 - 九州中央リハ・・・前	***		***			*	
九州中央リハ・・・前 - 迎宝町	***	*	***		***	***	
迎宝町 - 本荘保育園前	***		***				
本荘保育園前 - 本荘町		***	***	***		***	***
本荘町 - 大学病院前	***		***	*	*		
大学病院前 - 労働会館入口	*	*	***	*	***		***
労働会館入口 - 尚綱校前	**		***	*			***
尚綱校前 - 大江四丁目	***				**		*
大江四丁目 - 新屋敷一丁目	*	*	***	*	**		*
新屋敷一丁目 - 消防局防災センター前			***		**		***
消防局防災センター前 - 大江渡鹿		***	***	***		***	***
大江渡鹿 - 大江川鶴			***				
大江川鶴 - 子飼橋			***				
子飼橋 - 浄行寺	***		***				
浄行寺 - 坪井横町	***	**	***				
坪井横町 - 内坪井	***	*	***			**	
内坪井 - 京町柳川	***		***		***		
京町柳川 - 京町本丁	***	*	***	*		**	
京町本丁 - 上熊本駅前	***	**	***				
上熊本駅前 - 本妙寺電停前	***		***		***		
本妙寺電停前 - 杉塘	***	***	***			***	
杉塘 - 段山	**	***	***			***	
段山 - 蔚山町	*	***	***			*	
蔚山町 - 新町		***	***				
新町 - 明八橋	**		***		*		
明八橋 - 五福校前	**	**	***				
五福校前 - 祇園橋		**	***	*	*	***	
祇園橋 - 北岡神社前			***				
北岡神社前 - 熊本駅前	**		***	**	***	***	

注) \*\*\* : 有意水準 1%, \*\* : 有意水準 5%, \* : 有意水準 10% 有意

れる。しかし、一般道を走行する路線バスは道路交通状況の影響を強く受け、走行時間のばらつきが大きい。さらに、車内が混雑して乗降に時間がかかる場合や多くの乗客が停留所で乗降する場合は、停留所での停車時間のばらつきも大きくなり、これらの結果として運行遅延が定常化しているのが現状である。運行遅延が一端発生すると時刻表上の到着時刻よりも到着が遅くなることから、それ以降の停留所での乗客が増加するため、遅延は派生的に大きくなることが報告されている。運行遅延から起こる到着時刻や乗車時間に対する信頼性の低下は、バス離れを引き起こす原因のひとつとなっている。

路線バス事業者は、運行遅延を減らすために、1) 任意の日の乗降数カウント調査、2) 運行毎の終着停留所への到着時刻の記録、3) 運転手の運行経験からの情報、4) 旧時刻表などを元に、時刻表を改正している。しかし、具体的にどのような要因が影響して各停留所への到着時刻、つまり停留所間所要時間に変動が発生するのかについては、各要因の影響度とその要因が発生する区間や時刻などの情報の取得の難しさから、十分な分析は行われてこなかった。本章では、スマートカードデータから算出した累積乗降客数を含む表-3に示す3つの外的要因の水準の違いがロケーションデータから得られる停留所間所要時間に与える影響の有無を3元配置分散分析によって検証する。

## (2) 停留所間別所要時間に影響を与える要因

表-4に左回りの停留所間所要時間の分散分析の結果を示す。また、図-20～図-22は3因子によって有意水準1%、5%、10%で主効果に有意に差がないとはいえないと判定された区間を路線図上に薄色、中間色、濃色で色付けしたものである。ここでは左回りのみの結果を記す。

乗降数は、熊本駅森都心プラザ前から新屋敷一丁目の区間と子飼橋から蔚山町五福校前の停留所間の所要時間に有意な差がないとはいえない。このことから、乗降数は左回りの新屋敷一丁目までの運行ルート前半と子飼橋以降の後半で、停留所間所要時間、つまり遅延に大きな影響を与える。

天候に関しては、特に運行ルート後半の浄行寺から祇園橋までの区間で有意な差がないとはいえないほか、消防局防災センター前―大江渡鹿や本荘保育園―本荘町の停留所間など、主要交差点前後の区間でも有意な差があるなど、天候は停留所間所要時間に影響を与える区間とそうでない区間がある。

時間帯は、特に左回りでは運行開始直後の熊本駅森都心プラザ前―本山営業所停留所間と尚綱校前―大江四丁目停留所間を除く区間で大半の区間で停留所間所要時間に有意な差がある。

因子間の相互作用について見ると、乗降数と天候は本



図-20 乗降数の有意区間 (左回り)



図-21 天候の有意区間 (左回り)



図-22 時間帯の有意区間 (左回り)

荘保育園前から大江渡鹿で、乗降数と時間帯は本荘町から消防局防災センター前の区間で、天候と時間帯は上熊本駅前以降の運行ルート後半などで、相互作用による効果大きい。また、本荘保育園前から大江渡鹿の区間で停留所間所要時間に対して乗降数と天候と時間帯の3つの相互作用が大きい。



以上より、停留所間の遅延に影響を及ぼす因子は、影響する区間の多い順に時間帯、乗降数、天候であることがわかった。さらに要因ごとに所要時間に影響を与える区間は異なり、乗降数は熊本新都心プラザ前から新屋敷一丁目までの区間と子飼橋から五福校前あたりまでの区間で、天候は場所がまばらだが特に主要交差点の前後と運行ルートの後半で、時間帯は大半の区間で、停留所間所要時間に大きな影響を与えることが明らかになった。

## 7. おわりに

本研究ではバスロケーションとスマートカードから得られるデータを用いて、1) 乗客数や遅延時間の可視化および旅行時間信頼性指標による運行実態分析と利用実態分析、2) 両データから算出した停留所通過時刻の乖離値とその原因・影響の評価、3) 分散分析による各停留所間の所要時間へ影響を与える要因の考察をした。今後は、スマートカードデータから得られる運行軌跡をより正確に算出する手法の検討や、ロケーションデータから主要交差点の通過時刻を算出し、停留所間所要時間に影響を与える要因を詳細に分析する必要がある。

**謝辞：**本研究を行うに当たって、熊本都市バス株式会社からバスロケ車載器の装着、スマートカードデータの提供など、多大なご協力を得たことを記し、感謝の意を述べる。

### 参考文献

- 1) 折部雄太, 藤原章正, 張峻屹, 力石真, 瀬谷創: 路線バスの時間信頼性とその影響要因に関する基礎的研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.53, CD-ROM, 土木学会, 2016.
- 2) 荻原貴之, 岩倉成志, 野中康弘, 伊東祐一郎: 羽田空港リ

- ムジンバスを対象とした旅行時間信頼性の評価, 土木学会論文集D3, Vol.70, No.5, I\_589-I\_595, 2014.
- 3) 栗津千尋, 高田拓, 木滑英司, 小松川浩, 山川広人: 北海道千歳市におけるバスロケーションシステムの実証開発, 土木計画学研究・講演集, Vol.55, CD-ROM, 土木学会, 2017.
- 4) 中村嘉明, 溝上章志: バスロケーションシステムの導入・運用の実態と課題, 土木計画学研究・講演集, Vol.55, CD-ROM, 土木学会, 2017.
- 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, Vol.51, CD-ROM, 土木学会, 2015.
- 6) 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, Vol.68, No.2, II\_8-II\_17, 2012.
- 7) 嶋本寛, 北脇徹, 宇野伸宏, 中村俊之: ICカード履歴データを用いた公共交通需要変動分析, 土木学会論文集D3(土木計画学), Vol.70, No.5, I\_605-I\_610, 2014.
- 8) 森田琢雅, 溝上章志, 中村嘉明: 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, 土木学会論文集D3, Vol.73, No.5, I\_993-I\_1001, 2017.
- 9) 折部雄太, 力石真, 瀬谷創, 藤原章正: バスプロローブ及び公共交通ICカードを用いた旅行時間信頼性の面的評価, 土木計画学研究・講演集, Vol.55, CD-ROM, 土木学会, 2017.
- 10) 田中健裕, 高松瑞代, 菅原宏明, 田口東, 交通状況による遅延を考慮し円滑な乗換を保証するバス時刻表の設計 - 静岡県富士市の公共交通設計への最適化技術の活用, 都市計画論文集, Vol.52, No.3, 2017.
- 11) 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, pp48-49, 2011.
- 12) 中山晶一郎: 道路の時間信頼性に関する研究レビュー, 土木学会論文集D3, Vol.67, No.1, I\_95-I\_114, 2011.
- 13) 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.
- 14) 熊本都市バス株式会社HP: <https://www.kumamoto-toshibus.co.jp/>
- 15) 気象庁, 過去の気象データ検索: <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etm/index.php>.

(?????.?.? 受付)

## ANALYSIS OF IMPROVEMENT METHOD OF BUS SERVICE BY LOCATION DATA AND SMART CARD DATA

Takumasa MORITA, Shoshi MIZOKAMI, Toshikatsu Mori and Yoshiaki NAKAMURA

In recent years, the bus location system and the smart card system are rapidly spreading on fixed route bus. These systems produce traffic big data that enables analysis of traffic conditions. In this research, first, we will clarify the traffic state and the actual state of use of the target route using the data of the bus location system and the fare settlement data of the smart card system. Second, calculate the trajectory of each bus from the fare settlement data, and examine how much difference will occur in the operation trail reproduced from both systems. Finally, we examine factors affecting the required time for each stop section. As a result, it was revealed that, 1) the divergence from the true operation trace difference becomes large as the ratio of the estimated passing time of the stop where the smart card data can't be obtained increases, 2) the factor affecting the required time is not same by each stop section.