

交通系 IC カードデータを用いた COVID-19 下における熊本市電の利用実態分析

宮崎 一貴¹・円山 琢也²

¹学生会員 熊本大学大学院 自然科学教育部工学専攻 (〒860-8555 熊本市中央区黒髪 2-39-1)
E-mail:227d9221@st.kumamoto-u.ac.jp

²正会員 熊本大学教授 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:takumaru@kumamoto-u.ac.jp (Corresponding Author)

近年、公共交通利用者数は減少傾向にあるが、COVID-19 の影響でさらに減少している。既往研究では COVID-19 の影響による利用者数の減少に関する研究はなされているが、停留所ごとの時間帯別利用特性の変化については十分に明らかになっていない。そこで、本研究ではスマートカードの利用履歴データを用いて利用者の利用実態の変化を明らかにすることで、COVID-19 の影響の大きさを把握する。具体的にスマートカードの利用履歴データを可視化やクラスター分析を用いることで停留所の特性を明らかにする。その結果、特に深夜帯の行動の変化が確認され、停留所の利用特性について、3 のグループに分けることができた。したがって、COVID-19 流行下においては、利用実態は変化するものの、停留所の利用特性は大きく変化しない可能性を示すことができた。

Key Words: smart-card data, Kumamoto city tram, COVID-19, trip behavior, cluster analysis

1. はじめに

(1) 研究背景

地方部の公共交通機関の利用者数は減少傾向にある。熊本市交通局が運行する路面電車（以下、熊本市電）の 2019 年度の利用者数は約 1,101 万人であり、これは利用者数が最多であった 1963 年度の 1/4 程度である¹⁾。また、2020 年以降世界的に流行している COVID-19 の影響を受けて、より公共交通利用が低下する出来事が続いている。

一方、公共交通における効率的な決済を目的として導入されるスマートカードを用いた決済システムの導入が全国的に進められている。国内の代表的なカードである Suica の累積発行枚数が 2 億枚を超えるなど、利用者が増えていることが分かる²⁾。熊本市内の公共交通機関でもスマートカードの導入が進められている。熊本市電は 2014 年 3 月 28 日より、でんでん nimoca を導入した³⁾。この nimoca のシステムは、全国で相互利用が可能である 10 種類カード（以下、10 カード）の 1 つである。

このような、ログデータを交通系ビッグデータと呼び、ログを解析することが注目されている。スマートカードを導入するメリットは、システムとなっているため、データ取得を自動で行えること、情報共有が容易であるこ

とがある。デメリットは、トリップ目的や目的地が不明であることや導入コストが高いことが挙げられる⁴⁾。利用目的や個人属性については、決済のパターンや決済形態により、一部の利用者は、予測や推計することができるが、アンケート調査に比べるとこの点で精度は劣る。決済を目的として収集されているデータのため、アンケート調査の代わりとはいかないもの、分析の幅が広いことから分析がなされている。

(2) 既往研究

a) スマートカードを利用した研究

スマートカードから得られるデータを対象とした研究は国内外問わず行われている。Pellertier et al.⁴⁾や嶋本ら⁵⁾は、スマートカードから得られるデータを用いた研究のレビューを行い、戦略レベル、戦術レベル、運用レベルの研究と分けた。特に、戦略レベルの研究は、長期的な利用者数などの利用者の行動についての研究であり、古くから多く行われている。本研究も戦略レベルの枠組みで分析を行うことで、熊本市内の公共交通の利用実態の把握を行い、利用促進に向けたマーケティングにおける基礎的な知見の蓄積を目標とする。

表-1 スマートカードのデータの概要

種類	10カード 都度払い (nimoca, Suica など)	10カード IC 定期券 (nimoca, Suica など)	熊本地域振興 IC カード (くまモンの IC CARD)	おでかけ IC カード 障がい者 (くまモンの IC CARD)	おでかけ IC カード 高齢者 (くまモンの IC CARD)
期間	2014/4/1-2021/3/31	2014/10/12-2021/3/31	2015/8/7-2021/3/31	2016/3/1-2021/3/31	
総 ID 数 (ID7年)	1,829,492		150,852		
			89,058	61,794	
トリップ有 ID 数 (ID7年)	1,814,295		150,668		
	1,797,855	23,661	88,972	9,779	52,270
項目	ID, 決済日時, 処理内容, 乗車時間, 乗車停留所, 降車時間, 降車停留所, 運賃, 残高, 定期種別 (1 か月, 3 か月, 通学), 利用者属性 (大人, 小人, 障がい者), 車両番号, 系統, 操作ボタンなど				

b) COVID-19 の影響の研究

近年, 社会問題となっている COVID-19 の影響についての研究がなされている. 中村・神田⁹⁾は, 広島県内のバス路線の 6 路線を対象とし, スマートカードの利用履歴データから分析を行った. 第 1 回の緊急事態宣言の発令期間においては, 乗車人数が前年平均値と比較し半数程度まで減少している. それ以降は, 定期利用者はある程度まで需要が回復しているが, 都度払い利用者の 8 割程度に留まっている. 時間帯別にみると昼間の利用者が大きく減少していることが分かる. しかし, 個人属性やバス停の属性を考慮した分析がなされていない. また, 西内ら⁷⁾は, 高知県都市圏を対象に, 11 年分のスマートカードの利用履歴データを分析した. 緊急事態宣言をイベントとして, Cox 比例ハザードモデルを構築することで, 元の水準への戻りやすさを示した. 通勤・通学や市町村役場, 郵便局への行動は戻りやすく, 観光施設に向けた行動や病院からの行動, 小児や長距離利用は戻りにくいことを示した. しかし, 高頻度利用者のみを対象にしており, 旅行者や稀に利用する利用者の行動を考慮していない. そのため, 本研究では, 旅行者や高齢者, 障がい者を含めた利用者全体的の分析を行う.

c) 熊本県域における既往研究

熊本市電を対象とした研究はいくつかある. 森田ら⁸⁾は, 2014 年 4 月から 1 年間のデータを対象とした分析を行った. 利用者の利用実態をクラスター分析することで, スマートカードの発行した地域で利用実態が異なることを明らかにした. 導入期における分析であるため, 傾向が異なる恐れがある. 現在では, データが長期にわたるため, 時間特性について考慮する必要がある. また, この研究は 10 カードを対象とした分析である. 熊本市電では, 熊本地域振興カード (以下, 地域振興カード) などの異なるカードも導入されているがこれらの分析はなされていない.

(3) 研究目的

本研究は, 熊本市電のスマートカードの利用履歴デー

タを用いてスマートカードデータの特性を明らかにする. また, スマートカードの利用履歴データから利用実態の変化を明らかにすることで, COVID-19 の影響の大きさを把握する. COVID-19 の影響の大きさを把握することで, 公共交通の利用を控える影響を把握することができる. そのため, 公共交通の利用促進に向けた交通マーケティングにおいて活用することができるだろう.

本論の構成は以下の通りである. 2. では, 分析に用いたデータについて説明を行う. 3. では, データの特徴について把握する. 4. では, COVID-19 流行下における利用の変化について把握する. 5. は, クラスタ分析を用いて, COVID-19 流行下における停留所単位の影響の評価を行う. 6. では, 本論の結論と課題について述べる.

2. データの概要

(1) 本研究の対象地域

本研究では, 熊本市中心部を運行する熊本市電を対象とする. 熊本市東区の健軍町を起点とし, 中心市街地の辛島町停留所で分岐する 2 系統からなる. JR 熊本駅方面を結ぶ A 系統 (路線距離 9.2 km) と JR 上熊本駅を結ぶ B 系統 (9.4 km) あり, 路線長 12.1 km からなる¹⁾. 路線上には, 繁華街である上通や下通, 健軍町商店街がある. また, 観光地である熊本城や熊本市動植物園, 水前寺成趣園などへのアクセスが良好なため, 観光客の利用が見込める. 市役所や県庁, 高校なども近くにあるため, 地域の通勤・通学の足としても使われる.

(2) 使用するデータの概要

本研究で使用するデータは熊本市交通局から提供されたスマートカードの利用履歴データである. データの概要については表-1 に示す. 熊本市電では, 大きく 4 形態のスマートカードが利用できる. でんでん nimoca などを含む 10 カードは, 2014 年 3 月 28 日からチャージ式の都度払いでの利用が行われている. 2014 年 10 月 1 日より,

nimoca で利用できる定期券である IC 定期券（以下、定期）が利用可能となった。導入以前は 3 区間に分かれていたが、IC 定期券では全路線を利用可能である。旧定期券は 2014 年 9 月 30 日を持って廃止されて、順次 IC 定期券に移行された。熊本県内のバス会社で導入が進められていた地域振興カードは、2015 年 8 月 7 日より利用可能となった⁹⁾。地域振興カードは熊本県内のみでしか利用できないことやバスにおける定期券であるため熊本県内在住における利用者が多いと考えられる。最後に、障がい者や高齢者を対象としたおでかけ IC カード（以下、おでかけカード）がある。このカードは、熊本市の福祉政策として導入されている。以前は、磁気カードであるおでかけ乗車券が運用されていたが、2016 年 3 月 31 日を持って廃止となり、その後継として 2016 年 3 月 1 日より利用可能となった。熊本市が発行するさくらカード（熊本市優待証）とおでかけカードを提示することで、市内の運賃が障がい者は 1 割、高齢者は 2 割となる。

本研究では、2014 年 4 月 1 日から 2021 年 3 月 31 日までの 2,557 日を分析の対象期間とした。対象期間に観測された ID 数は、約 198 万 ID となった。ここから、条件に合わせて適宜抽出を行った。また、形態時の種別で利用形態を分けた。そのため、同一 ID が異なる形態で含まれていることもある。

3. データの基礎分析

熊本市電のスマートカードの利用履歴データから、日々の利用者の変化やスマートカードの特性、行動パターンの把握を行う。

(1) 利用者数の推移

利用実績を抽出したスマートカードの利用履歴データを日ごとに集計した。熊本市電は、午前 5 時代から深夜 1 時代まで運行を行っているため、1 日を 3 時から 27 時と定義した。スマートカード利用者数の推移を図-1 に示す。10 カードの都度払い利用者の利用が多く、時間的に右肩上がりに増加傾向である。定期利用者や障がい者、高齢者の利用者は導入当初は増加傾向にあるが、ほぼ横ばいに推移していることが分かる。また、地域振興カード利用者数は微減傾向に推移していることが分かる。また、日々の変動が大きいことが見て取れる。そのために、曜日変動などの周期的な変動があるだろう。それぞれのスマートカードが対象期間内に初めて観測された ID 数の推移を図-2 に示す。10 カードの都度払い利用者の利用者数が多く、日々 500 ID 増えることが分かる。地域振興カードは導入直後には、新規利用者がいたが、次第に減少している。おでかけカードの障がい者や高齢者はおでかけ

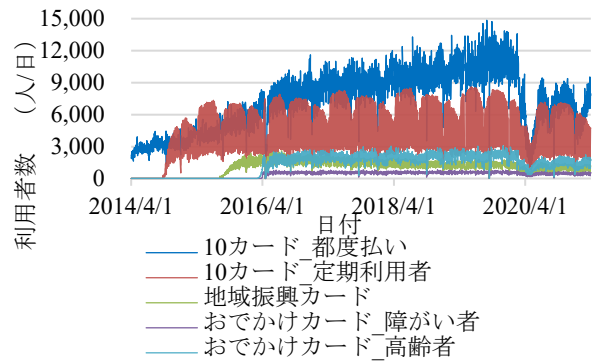


図-1 スマートカードの利用者数の推移

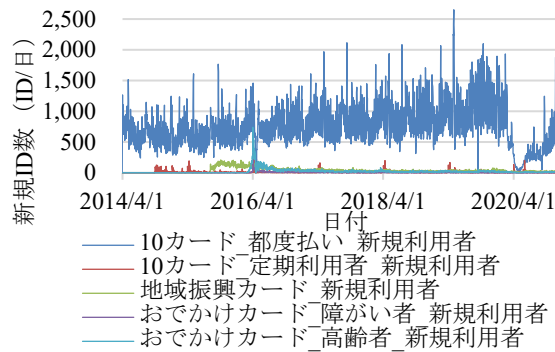


図-2 スマートカードの決済数の推移

表-2 スマートカード導入以降の熊本市電の沿革¹¹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾

日付	内容
2014/3/28	でんでん nimoca の導入
2014/10/3	超低床車両の導入
2015/8/7	地域振興カードの運用開始
2016/2/1	全線 150 円から 170 円に値上げ
2016/4/16	熊本地震本震より運休
2016/4/19	一部運行再開
2016/4/20	全線運行再開（速度規制）
2016/5/1	速度規制解除
2017/3/21	熊本市電ナビ（ロケーション）運用開始
2017/4/1	市営バス事業廃止
2019/4/1	くまもとフリーWi-Fi の導入
2020/4/25	COVID-19 の影響に伴う運行ダイヤの見直し
2020/9/14	女性優先車両試験導入 (2021 年 4 月 1 日より正式導入)

乗車券切り替え時に利用者が増えたが、新規利用者は多くないことが分かる。10 カードの都度払い利用者は 8 月に新規利用者数が増えていることから、観光目的で利用したと考えられる。2020 年 2 月下旬以降は大きく減少していることから、COVID-19 の流行による外出自粛が新規利用者の減少即ち、旅行者の減少であるだろう。定期利用者は、4 月上旬に増えることから、新生活が始まる

ときに定期券を購入することが分かる。合わせて、関連のあるイベントや政策について表-2にまとめる。

(2) 熊本市統計書との比較

スマートカードを分析することで熊本市電利用者全体を分析していることになるのか、考慮すべき傾向を把握する必要がある。熊本市電利用者全体の人数については、熊本市統計書の熊本市電の輸送人員数より抽出した¹⁴⁾。スマートカードのデータと熊本市統計書が重複する期間である2014年4月から2020年3月までの比較を行った。

a) 都度払い

熊本市統計書の定期外輸送人員数とスマートカードの定期外の利用者数の推移、統計書とスマートカードの割合を図-3に示す。10カードのみが利用が出来た期間である2014年4月から2015年7月までの期間は1割程度で推移している。2015年8月から2016年5月にかけて、スマートカードの利用割合が急増した。特に2016年3月から5月にかけて顕著である。これは、地域振興カードやおでかけカードの利用開始によるものと考えられる。2016年5月から2020年3月までは5割から6割程度で推移している。10カードのスマートカードの保有者が増加傾向にある現状踏まえると現金利用者が次第にスマートカードの利用者に移行していると考えられる。また、統計書より、3月や8月の利用者が多く、1月や2月の利用者数が少ないといった周期性が存在することが確認できる。この傾向は都度払いのスマートカードの傾向にも類似しているように見える。以上より、都度払い利用者を分析するにあたり、特に10カードの利用者においては、スマートカードの利用割合が微増傾向にあることを考慮しつつデータの解釈をすることが望ましいことが分かる。

b) 定期券

都度払いと同様に定期利用者の推移と割合を図-4に示す。IC定期券導入後3ヶ月で統計書とスマートカードの利用実績がほぼ一致した。7月から9月は統計書とスマートカードの利用者推移に差が存在するがこの原因については不明である。定期利用者は統計書と比較的類似する値を示したことから、スマートカード導入直後以降は実態を表していると分かる。都度払い利用者と異なる点として、1月から3月や8月の利用者が少ないといった周期性があることが確認できる。通勤・通学による需要が減少するために利用が低下したものだと思われる。

(3) スマートカードの種類別の基礎分析

スマートカードの決済情報を基に、詳細な分類分けを行う。カードの種類や形態などを加味すると52分類に分けることが可能である。地域外の観光客や障がい者利用者など行動が稀であることから、日常的な公共交通の利用実態を把握することを踏まえると適切ではない。今

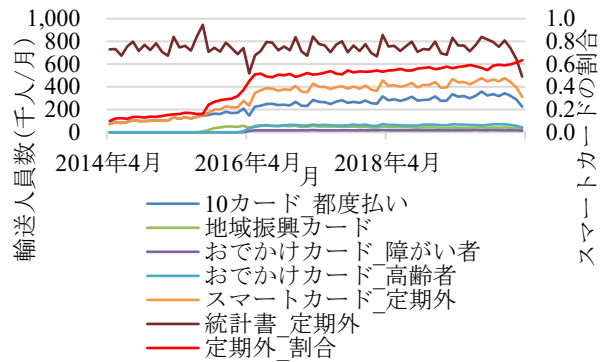


図-3 統計書とスマートカードの比較

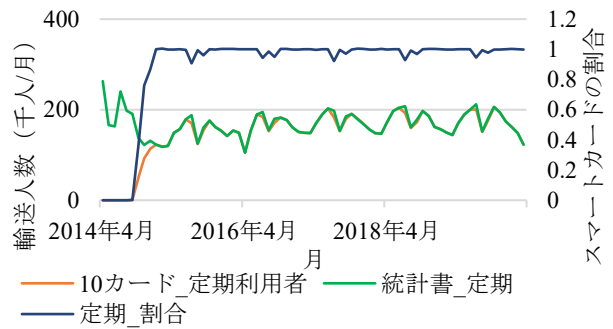


図-4 統計書とスマートカードの比較

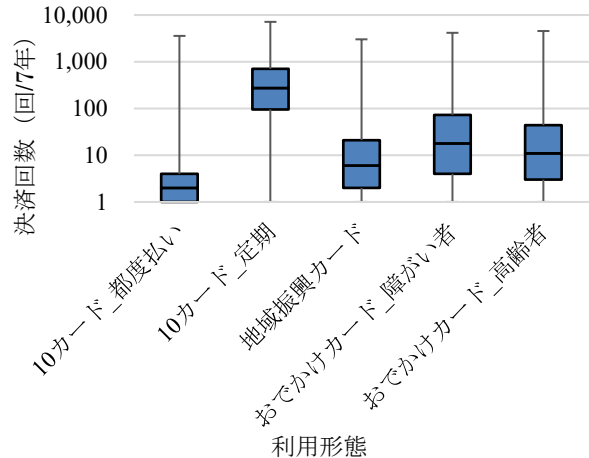


図-5 属性別決済回数

回は表-1で示す5分類とした。各IDの決済回数が種類によって異なるかを調べるために、属性別決済回数の箱ひげ図を図-5に示す。決済回数は数回程度が多く、次第に減少していく様な分布であった。中央値は定期利用者の利用回数が最も多く、障がい者、高齢者の順となった。旅行者が見込まれる10カードの都度払い利用者が最も低い値となった。中央値に差があることを示すために、標本が5群のノンパラメトリック検定である近似クラスカ

ル・ウォーリスのH検定を行った。カイ2乗値は156,310, 自由度4, p値は 2.2×10^{-16} となった。そのため, 群間に有意な差があるといえる。次に, 多重比較検定を行った。ノンパラメトリック検定である近似のウィルコクソンの順位和検定を全ての組み合わせを行い, ボンフェローニ補正をした。全ての組み合わせにおいて, p値が 2.2×10^{-16} 以下となり, 2 群間に差があるという結果となった。そのため, スマートカードの属性により決済回数異なることが分かる。

(4) OD特性

5種類のカードの利用背景が異なることを示してきた。それぞれのカードにおいても行動が変化しているかを示す。OD情報を取得するにあたり, データの加工を行った。

a) データの加工

熊本市電では, 乗車時と降車時にスマートカードを読み取り機にかざすシステムを採用している。しかし, 一部のデータには, 乗車時に読み取り機にかざされていないために, 停留所情報が欠損または始発に補完されている。補間の際に, 乗車時間が00時00分や空白, 88時88分などの記録となることが確認された。また, 10カードでは, 運転手のボタン操作ログが記録されている。そのため, 運転手のボタン操作ログや存在しない時間が補完されているデータと思われるトリップを除外した。乗車実績と比較するとID数は最大3.2%減少し, 決済回数は4%減少した。全体でみると影響は小さいだろう。ODを抽出するに当たり, 日付による判定は行っていない。そのため, サービス以前の値が含まれるが傾向を見る上では影響は小さいだろう。

b) カードごとにおけるODの違い

カードの形態で利用者属性が異なるが, ODにも違いがあるのかを示す。可視化方法としては, GuZが公開しているコードダイアグラムを用いた¹⁵⁾。10カードの都度払い利用者のコードダイアグラムを図-6に示す。10カードの定期利用者のコードダイアグラムを図-7に示す。

10カードの都度払い利用者は熊本駅, 通町筋, 辛島町の占める割合が多いことが分かる。一方, 定期利用者は, 水前寺駅前, 健軍町, 通町筋, 熊本駅前の割合が多い。

10カードの都度払い利用者は旅行者などの利用が見込まれることから, JR熊本駅と繁華街入り口に位置する通町筋や辛島町の利用者が多いと考えられる。また, 定期利用者の水前寺駅前停留所の利用が多い理由は, JR水前寺駅との結節点であり, 朝ラッシュ時(7時半から8時半)の平均乗車率が100%を超えており, 積み残しの問題が発生していることが知られている¹⁾。そのため, 通勤・通学による利用が多いといえる。

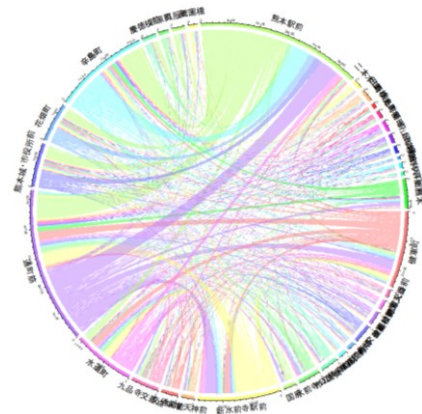


図-6 10カード都度払い利用者のOD分布

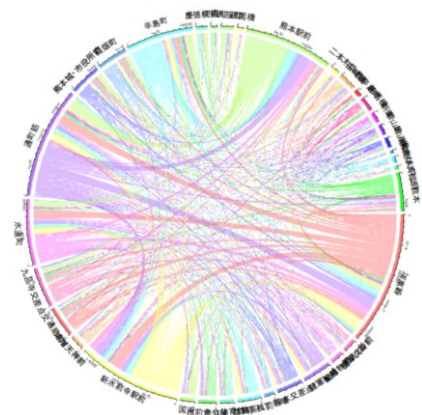


図-7 10カード定期利用者のOD分布

4. COVID-19における利用の変化

(1) COVID-19による影響

2020年から世界的に流行しているCOVID-19において, 感染症対策が行われている。日本政府は, 医療提供体制のひっ迫を踏まえ, 緊急事態宣言などの対策を行ってきた。具体的には, 新型コロナウイルス感染症緊急事態宣言が2020年4月7日に発出された。のちの16日に区域変更より, 全国各地が対象となった。5月14日の区域変更より, 熊本県は除外された¹⁶⁾。2021年1月に一部地域に2回目の緊急事態宣言が発出された。熊本県は対象外であったが, 熊本県独自の緊急事態宣言を発表した¹⁷⁾。期間は, 2021年1月18日から2月7日であった。

熊本県の感染者数とスマートカードの総利用者数を図-8に示す。感染者数は厚生労働省の公開データを用いた¹⁸⁾。熊本県では, 2020年2月22日に初めて感染者が確認された。以降, 減少傾向にある。3月は微増傾向にあったが, 4月に入ると大きく減少した。3月下旬より感染者数が増えていることを踏まえ, 利用が抑制されたら

う。5月の連休明けの平日以降から利用者数が増加に転じた。6月頃になると感染者数によらず、横ばいに推移していることが分かる。熊本県独自の緊急事態宣言中は緊急事態宣言より減少が小さい。

感染状況とスマートカードの新規利用者数の総数を図-9に示す。初めての感染者が出た2月下旬より新規利用者数が大きく減少した。2月下旬より横ばいに推移している。3月20日の春分の日を含む3連休に、一時的に利用者数が増えるものの、減少傾向にある。4月1日に定期利用者による新規利用者が確認できたが以降は減少傾向にある。緊急事態宣言の対象期間も減少傾向は続き、最小34人を記録するなど減少傾向が続いている。連休明けの平日より、微増傾向に転じた。6月1日に、定期利用者による新規利用者が確認できた。これは、熊本市立の学校再開による登下校によるものだと考える¹⁹⁾。以降は横ばいに新規利用者数が推移している。政府は、7月22日から、一部地域を除き、宿泊費などを支援するGo To Travelキャンペーンを実施した²⁰⁾。12月28日に中止されている。そのため、祝日を含む3連休以上の日において、新規利用者数が増加している。9月6日から7日は、令和2年台風10号による一時的な減少である。また、9月から12月にかけて増加傾向にある。しかし、年末から新規利用者数は減少傾向に転じた。熊本県独自の緊急事態宣言中の新規利用者数は少なくなっている。解除以降は増加傾向にある。

(2) カードごとの違い

次に、中村・神田⁹⁾を参考に、カードの種別ごとの影響の大きさをみる。平日と休日の影響をみるため、日曜日と木曜日で比較を行う。木曜日を採用する理由としては、2020年における祝日の日数が少ないためである。2019年の日曜日、木曜日の日平均値を100%とした、対日平均値を示す。

日曜日の推移を図-10-a)に示す。日曜日の2月中旬から利用者数が減少していることが分かる。緊急事態宣言中は、10カードの定期利用者とおでかけカードの障がい者が4割程度、地域振興カードとおでかけカードの高齢者が2割程度、10カードの都度払い利用者が1割程度である。緊急事態宣言明けは、回復に向かっている。定期利用者は8割程度、障がい者やおでかけカードは6-7割、高齢者と都度払い利用者が5-6割程度であった。年末から熊本県独自の緊急事態宣言期間中にかけて、1-2割程度減少した。以降は回復に向かっているが5-8割程度である。

木曜日の推移を図-10-b)に示す。日曜日に比べて全体的に割合が高いことが分かる。2月中旬から減少傾向になる。緊急事態宣言中は、障がい者は6-7割、定期利用者が5割程度、地域振興カードと高齢者は4割、都度払

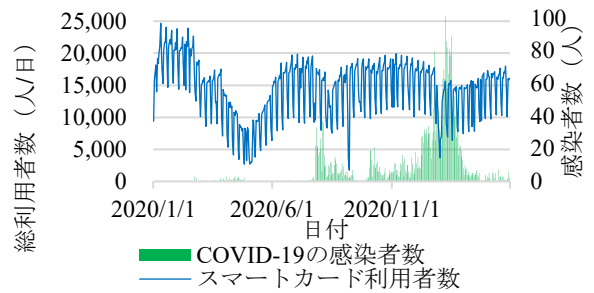


図-8 COVID-19感染者数と熊本市電のスマートカード利用者数の推移

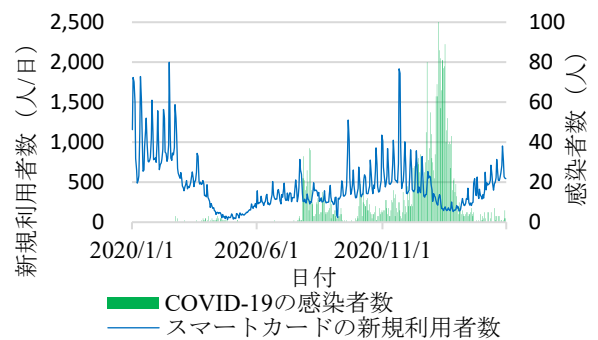
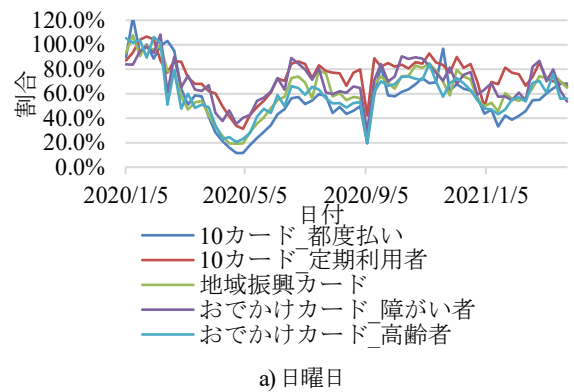
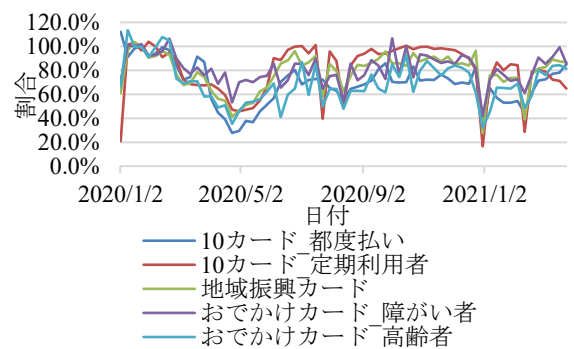


図-9 COVID-19感染者数と熊本市電のスマートカード新規利用者数の推移



a) 日曜日



b) 木曜日

図-10 利用者数の前年比

い利用者は3割程度になった。以降は回復に向かっており、定期利用者は10割に近い値を示す。障がい者や地域振興カードは8割、高齢者と都度払い利用者は6-7割程度となった。熊本県独自の緊急事態宣言期間中は全体で2割減少した。解除以降は、定期利用者は減少傾向、以外は元の水準となった。

以上より、定期利用者と障がい者の利用者の回復が早いことが分かる。高齢者利用者は少し低い値を示した。これは、COVID-19が重症化しやすいということから外出を控えていると考えられる。都度払い利用者の回復が更に遅い。これは、利用頻度が少ない利用者や観光客の利用者が多いことが影響していることが分かる。

(3) 時間帯ごとの変化

COVID-19流行前の2019年と流行中の2020年を比較し時間帯利用の変化があるかを調べる。スマートカードの履歴データの決済時刻(=降車時刻)を1時間ごとに集計を行った。2019年と2020年の日別平均利用者数の時間帯推移を図-11に示す。バス・電車無料の日による利用者数が0の日は除外した。10カードの都度払い利用者図-11 a)は全体的に減少している。朝方の減少幅が相対的に小さい。2019年は、18時代が利用のピークであったが、2020年は、8時代と18時代はほぼ同程度である。熊本市電を稀に利用する利用者の中には、仕事終わりに中心市街地に行き、深夜に帰宅する利用者もいると考えられる。そのような利用はCOVID-19の流行下で行うのは難しくなったため、夕方の利用者の減少に繋がったと考える。10カードの定期利用者図-11 b)は全体的に減少しており、時間帯の変化について違いがなかった。時差出勤など勧められていたが、通勤・通学の行動は大きな変化がなかったといえるだろう。また、定期利用者の特徴として、昼間の利用者数が少ないことも分かる。地域振興カード図-11 c)は、6時から8時代の減少幅が小さく昼から夕方の利用者の減少幅は大きい。朝や夕方の利用者の中には、バスの定期利用者の可能性があり、乗り換えて利用している可能性が考えられる。おでかけカードの障がい者利用者図-11 d)も、全体的に減少している。障がい者利用者の特徴として、朝9時代と15時から16時代に利用のピークがあると分かる。おでかけカードの高齢者利用者図-11 e)も、同様に減少している。高齢者利用者の特徴として、11時代にピークを持つ山型の利用形態である。

(4) 電停ごとの違い

対象とする電停は、都度払い利用者が多い熊本駅前、定期利用者が多い新水前寺駅前、中心市街地の通町筋とした。熊本駅前の利用傾向を見る。JR熊本駅から利用することができ、都度払い利用者の利用割合が高い。都

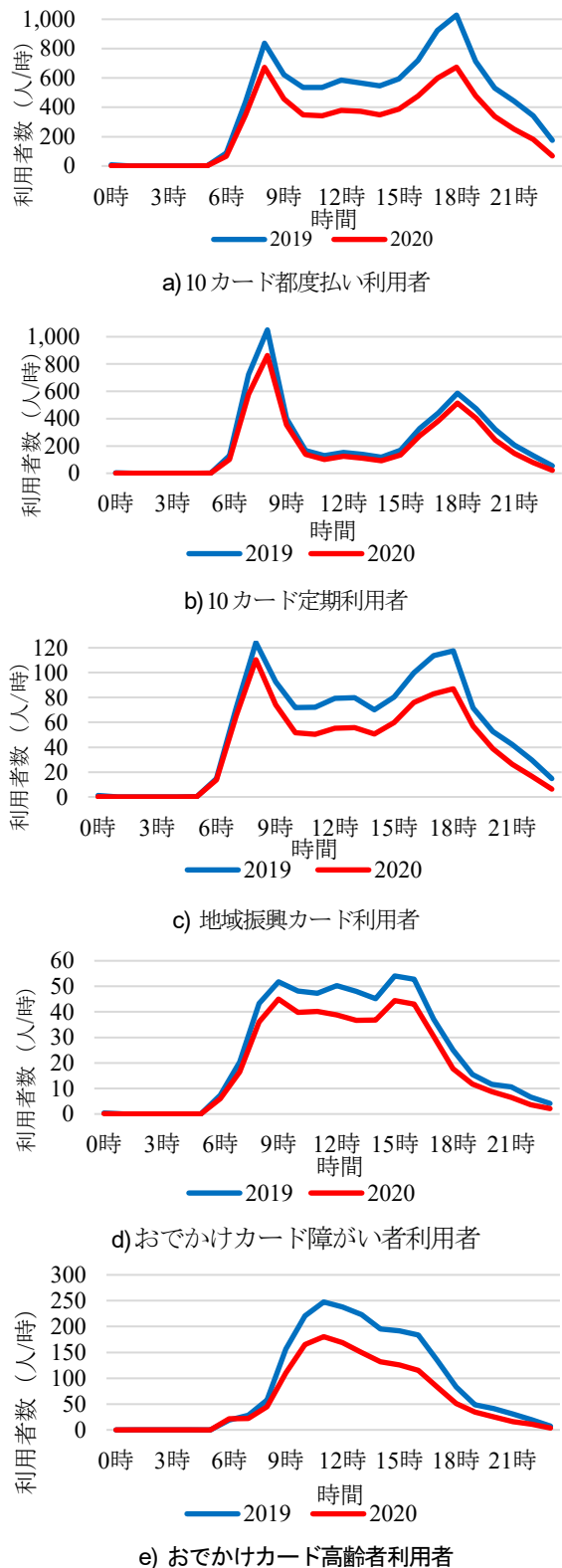


図-11 利用者数の時間帯分布

度払い利用者の時間帯の利用割合を図-12に示す。乗車人数、降車人数も減少傾向にある。交通結節点であるため、乗車も降車もどの時間帯であっても利用が確認できる。全体的に減少している。朝の乗車利用割合と16時

から 20 時の降車利用割合の減少割合が低く、乗降ともに、21 時以降の減少幅が 2019 年の 4 割を超え高いことが分かる。

新水前寺駅前の利用実態を示す。新水前寺駅前は、積み残しの問題がある。そこで、10 カードの都度払い利用者と定期利用者を対象とし、時間帯推移を示す。定期利用者の時間帯の利用割合を図-13 に、都度払い利用者の時間帯の利用割合を図-14 に示す。定期利用者は通勤・通学時間帯である朝 6 時から 8 時代の間一日の半数以上を乗車利用がある。2020 年は通勤・通学時間帯の割合が増え、他の時間帯は微減した。降車時間は、帰宅時間に当たる 16 時から 20 時の利用が多い。2020 年は、16 時から 19 時の時間帯の利用割合が多い。COVID-19 の流行で時差出勤が進められていたが、JR 水前寺駅から通勤・通学での利用者は時間帯による変化が少ないことが分かる。都度払い利用者は朝と夕方に利用割合が高くなる分布である。昼間の利用割合は定期利用者に比べて高いことが分かる。朝 8 時代の日平均利用者数で見ると、11.4 人の減少に留まっている。そのため、夕方から深夜帯の行動が大きく変わったと考えられる。2019 年の夕方の乗車割合が高いことや深夜の降車割合が高いことから、中心市街地などでの飲み会による往復のトリップと考えられる。しかし、COVID-19 流行下でなくなったため、深夜の利用形態が変化していると考えられる。

最後に、中心市街地に位置する通町筋を見る。通町筋は、上通と下通と呼ばれる市街地アーケードの間に位置している。繁華街の利用実態を把握する上で適切であると考えられる。都度払い利用者の時間帯の利用割合を図-15 に示す。繁華街であることから、朝の乗車は少なく、夕方の乗車が多いことが分かる。降車は朝から夕方まで利用されていることが分かる。朝や昼間の乗降は旅行者などの娯楽目的の利用であると考えられる。夕方の降車利用は、飲み会などを目的とした利用であると考えられる。COVID-19 で飲み会などが難しくなったため利用が減少しただろう。飲み会による中心市街地を利用する利用者数が減少していると言える。

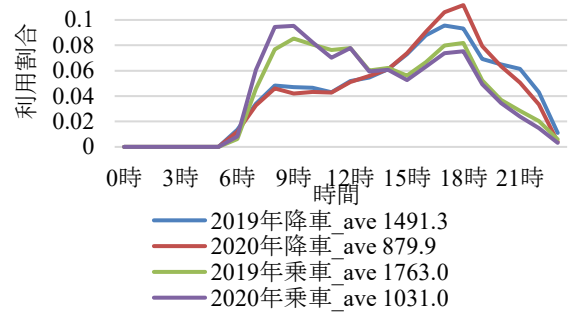


図-12 10 カード都度払い利用者の熊本駅前の時間帯割合

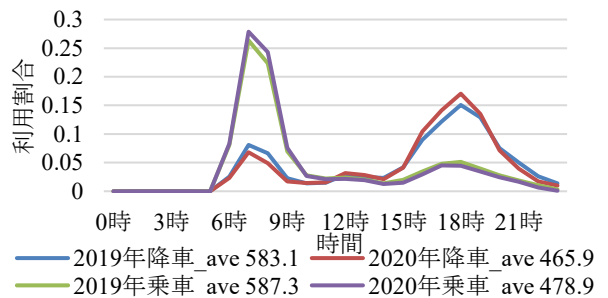


図-13 10カード定期利用者の新水前寺駅前の時間帯割合

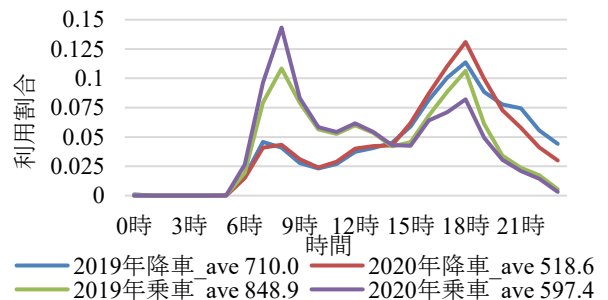


図-14 10 カード都度払い利用者の新水前寺駅前の時間帯割合

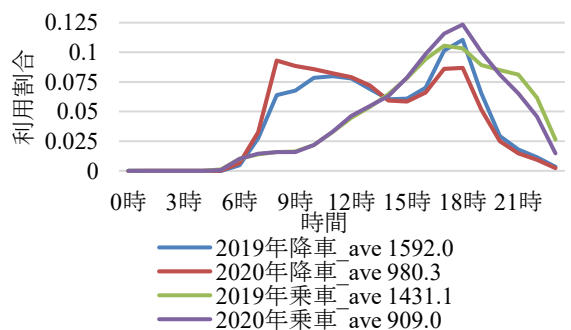


図-15 10カード定期利用者の通町筋の時間帯割合

5. クラスタ分析を用いた COVID-19 における停留所の利用変化分析

(1) クラスタ分析とデータの概要

COVID-19 の影響を受けて、利用者数が減少していることや、通勤・通学時間帯の利用が相対的に増えるなどの変化が確認できた。停留所の利用目的が異なることから停留所の利用実態にも変化があると考えられる。しかし、4. (4) のように全ての停留所と全てのカード特性を可視化することは、数が膨大となるため難しい。そこで、類似する特徴量をまとめることで可視化の個数を減らしつつ、停留所の特徴を把握する。階層型クラスタ分析を用いることでデータの値の類似度が近いものを集めることができる。そのため、集めた各グループの特徴量を把握は、停留所の特性を明らかにすることにつながる。COVID-19 流行前後それぞれ分析することで、グループの特徴量の変化やグループの内訳の変化があれば、COVID-19 の影響を受けて、甚大な影響があったといえるだろう。用いたデータについて表-3 に示す。1 日の平均利用数と運行していない 1 時台から 4 時台を除いた、5 時代から 0 時代までの 1 時間単位の平均利用割合の 21 変数をスマートカードの種類ごとに乗降記録ごとをまとめたものを停留所ごとに作成した。1 日平均利用者数と時間帯別平均利用者割合ではスケールが異なるため、それぞれを変数ごとに正規化した。クラスタ分析には、距離行列をユークリッド距離と定義し、Ward 法を用いて結合を行った。

(2) クラスタ分析の結果

2017 年から 2020 年までのデータをそれぞれでクラスタ分析を行った。COVID-19 流行前後である 2019 年と 2020 年のデンドログラムを図-16、図-17 に示す。2019 年と 2020 年ともに、3 つのグループに分けることができた。2019 年と 2020 年の一日平均利用者数のグループ平均値を表-4 に示す。2017 年から 2020 年のグループの移り変わりについて表-5 に示す。グループ A は、中心市街地付近の停留所が集まっている。グループ B は、中心市街地

周辺部や学校、合同庁舎などが多い。グループ C は、住宅地や JR 九州との結節点など多くの停留所が対象となった。各グループの特徴について示す。10 カードの都度払い利用者のグループごとの平均値の時間帯別利用割

表-3 クラスタ分析の変数

変数	種類
停留所	35
スマートカードの種類	5
乗車記録	1
降車記録	1
一日平均利用者数	1
1時間単位の日平均利用割合 (1-4時台を除く)	20

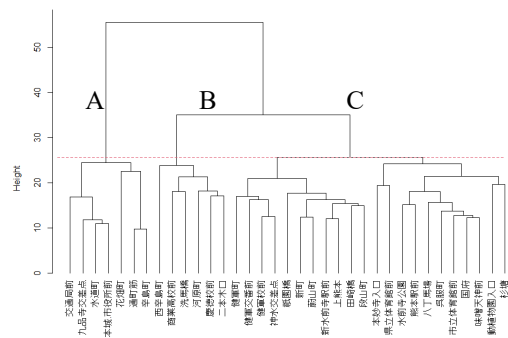


図-16 2019年の停留所のデンドログラム

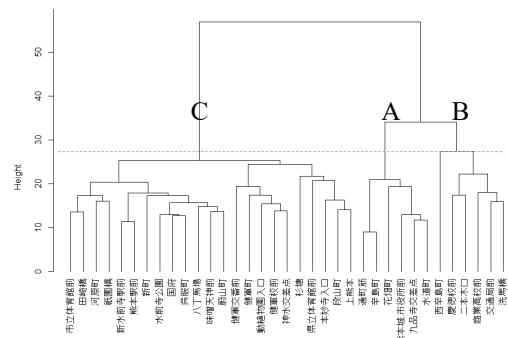


図-17 2020年の停留所のデンドログラム

表-4 一日平均利用者数のグループ平均値

	グループ	降車				乗車					
		10カード都度払い	10カード定期利用者	地域振興カード	おでかけカード障がい者	おでかけカード高齢者	10カード都度払い	10カード定期利用者	地域振興カード	おでかけカード障がい者	おでかけカード高齢者
2019	A	676.9	299.3	83.5	33.6	129.3	556.0	284.8	73.5	31.3	117.9
	B	82.6	66.9	12.5	4.3	18.1	90.8	63.5	12.8	4.8	19.9
	C	226.0	146.2	29.0	14.4	50.4	262.2	151.7	32.1	15.0	53.5
2020	A	489.1	265.3	68.0	29.1	95.7	409.9	256.4	60.6	27.6	87.7
	B	67.0	73.7	12.3	5.5	15.2	69.6	70.0	12.3	5.1	15.8
	C	150.1	114.5	21.6	11.1	34.5	170.1	117.8	23.6	11.7	36.4

合の2019年を図-18-a)に2020年を図-18b)に示す。また、通勤・通学が見られなかったおでかけカードの高齢者のグループごとの平均値の時間帯別利用割合の2019年を図-18c)に2020年を図-18d)に示す。

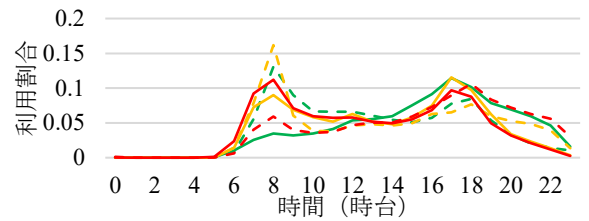
(3)各グループの特徴と COVID-19 の影響について

2019年と2020年を比較することグループの平均値や時間帯別利用割合について大きな変化がなかった。また、グループが変更した停留所は2つしかなかった。そのため、COVID-19の影響を受けて停留所の利用特性が変化することは言えないことが分かった。

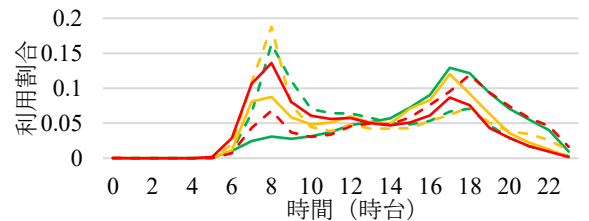
得られた3つのグループについての特徴をまとめる。表-6に示す。グループAは、中心市街地に多く、通勤・通学時間の降車利用が多く、夕方の降車利用も多い。周辺部に住宅地域も少ないことから、朝の乗車利用や夕方

表-5 所属グループの年間比較

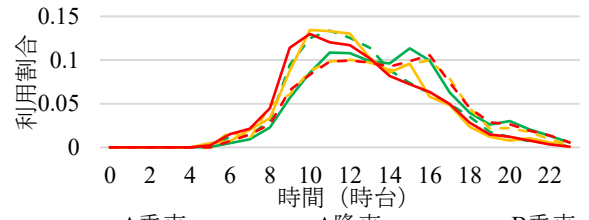
	2017	2018	2019	2020
健軍町	C	C	C	C
健軍交番前	C	C	C	C
動植物園入口	C	C	C	C
健軍校前	C	C	C	C
神水交差点	C	C	C	C
八丁馬場	C	C	C	C
商業高校前	B	B	B	B
市立体育館前	C	C	C	C
水前寺公園	C	C	C	C
国府	C	C	C	C
新水前寺駅前	C	C	C	C
味噌天神前	C	C	C	C
交通局前	B	A	A	B
九品寺交差点	B	A	A	A
水道町	A	A	A	A
通町筋	A	A	A	A
熊本市役所前	A	A	A	A
花畑町	A	A	A	A
辛島町	A	A	A	A
慶徳校前	C	B	B	B
河原町	C	C	B	C
呉服町	C	C	C	C
祇園橋	C	C	C	C
熊本駅前	C	C	C	C
二本木口	B	B	B	B
田崎橋	C	C	C	C
西辛島町	B	B	B	B
洗馬橋	C	B	B	B
新町	C	C	C	C
蔚山町	C	C	C	C
段山町	C	C	C	C
杉塘	C	C	C	C
本妙寺入口	C	C	C	C
県立体育館前	C	C	C	C
上熊本	C	C	C	C



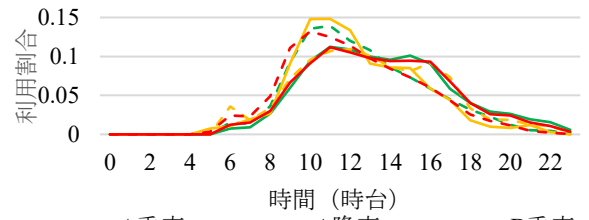
a)2019年の10カード都度払い利用者



b)2020年の10カード都度払い利用者



c)2019年のおでかけカード高齢者利用者



d)2020年のおでかけカード高齢者利用者

図-18 グループごとの平均値の時間帯別利用割合

表-6 グループの特徴

グループ	名称	特性
A	中心市街地	平均利用人数が多い 朝の乗車利用が少ない 朝と夕方の降車利用が多い
B	通勤・通学目的地	平均利用人数が少ない 朝の乗車利用が少ない 朝に降車利用が多い 夕方以降にも利用がある
C	通勤・通学出発地	平均利用人数が平均なみ 朝の乗車利用が多い 夕方以降の降車利用が多い

から夜間にかけての降車利用が少ないと考えられる。B は、通勤・通学目的地の特性を持つ。通勤・通学目的地であるため、朝の降車利用が高く、夕方の乗車利用が高い。また、夕方から夜間にかけて帰宅のための利用がされていると考えられる。グループ C は、通勤・通学出発地である。朝の乗車の利用が高く、夕方の降車利用が多い。また、夕方から夜間にかけて帰宅のための利用がされていると考えられる。

COVID-19 の影響を受けて、利用者数が大きく減ることや、夕方から夜間にかけての利用が減少し、相対的に通勤・通学時間帯の利用が増える。しかし、COVID-19 の影響を受けて、停留所の利用特性が変化するとは言えない。

6. まとめ

本研究では、スマートカードから得られる情報を整理することで、熊本地震や COVID-19 などの影響の大きさを多面的に評価した。

本研究で得られた知見についてまとめる。

スマートカードの利用形態により利用実態が異なり、定期利用者や福祉政策によるおでかけカード利用者の利用頻度が高い。

- 1) 熊本市電の利用者数は曜日により利用者数が増減している。また、定期利用者においては、曜日のみならず、年単位で類似していることが分かる。
- 2) COVID-19 により利用者数は減少しており、2021 年時点では、2019 年の 6-8 割程度となった。また、飲み会などが減少したことから夕方以降の利用が減少した。また、定期利用者は時差出勤が推奨されていたものの変化は確認できなかった。
- 3) 停留所の利用特性は大きく 3 つにグループ分けが可能である。中心市街地、通勤・通学目的地と通勤・通学出発地に分けることができる。
- 4) COVID-19 流行禍においても、停留所の利用特性が変化することがなく、全体的な利用が減少した。

また、今後の課題についてまとめる。

- 1) 今回はマクロな視点の分析に留まっている。ミクロな視点で分析することで、利用促進につなげていきたい。
- 2) 1 時間単位かつ年単位の分析に留まっている。15 分単位や月単位などの詳細な分析を行うことにより、小さな変化を追うことが可能である。
- 3) クラスタ分析では年平均を使用した。緊急事態宣言期間中など、月単位などより短期間の特徴を把握することや時系列データとして時間を考慮したのグループ分けが挙げられる。

- 4) 利用特性を用いたクラスタ分析を行ったが、停留所周辺部の人口分布や産業などの特性をする必要がある。
- 5) 熊本市電のスマートカードの利用履歴は、10 カードと地域振興カードで異なるフォーマットで整備されている。今後、異なる事業者間など対象範囲を広げた際に分析が難しくなる。データが示す情報の把握や共通フォーマット化など整備など対策が必要である。

謝辞：本研究を進めるにあたり、助言を賜りました、溝上章志教授、渡邊萌さんには、心より感謝申し上げます。また、貴重なデータを提供していただいた熊本市交通局の皆さまにも深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 熊本市交通局, 「熊本市交通局経営計画 (2021-2028)」, http://www.kotsu-kumamoto.jp/common/UploadFileDsp.aspx?c_id=57&id=818&set_doc=1, 2022.2.2 [閲覧]
- 2) JR 東日本メカトロニクス株式会社, 「交通系 IC カード発行累計 2 億枚の達成について」, <https://www.jrem.co.jp/common/pdf/202109.pdf>, 2020.2.2, [閲覧]
- 3) 株式会社ニモカ「熊本市電 IC カード「でんでん nimoca」3 月 28 日サービス開始」, https://www.nimoca.jp/oldrelease/pdf/140306_denden.pdf, 2022.2.2 [閲覧]
- 4) 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.
- 5) 嶋本寛, 倉内文孝, Schmöcker, J.-D. 羅罕勳, Hassan, S. : スマートカードデータを用いた公共交通利用者行動分析の可能性, 土木計画学研究・講演集, Vol. 45, 2012.
- 6) 中村陸哉, 神田佑亮 : IC カードデータを用いた COVID-19 禍の公共交通利用の影響分析, JCOMM モビリティ・セミナー, 2020
- 7) 西内裕品, 松田紗奈, 板垣伸政 : IC カードデータを活用した生存時間分析による緊急事態宣言下での公共交通利用特性の把握, AI・データサイエンス論文集, 2 巻, J2 号, p. 503-509, 2021
- 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, 73 巻, 5 号, p. I_993-I_1001, 2017
- 9) くまモンの IC CARD, 「4 月 1 日 熊本地域振興 IC カードサービスインセレモニー開催」, http://www.kumamotoiccard.jp/wp-content/uploads/2015/03/kumamonnoiccard_ceremony.pdf, 2022.2.2 [閲覧]
- 10) 熊本市交通局, 「事業概要」, http://www.kotsu-kumamoto.jp/one_html3/pub/Default.aspx?c_id=24, 2022.3.5 [閲覧]
- 11) 熊本市交通局, 「市電車内での「くもとフリーWi-

- Fi」提供開始！」, http://www.kotsu-kumamoto.jp/kihon/pub/detail.aspx?c_id=3&id=997&pg=1, 2022.3.5 [閲覧]
- 12) 熊本市交通局, 「新型コロナウイルスの影響に伴う市電運行ダイヤの見直しについて」, http://www.kotsu-kumamoto.jp/kihon/pub/detail.aspx?c_id=3&id=1087&pg=1, 2022.3.5 [閲覧]
- 13) 熊本市交通局, 「女性優先車両本格導入について」, http://www.kotsu-kumamoto.jp/kihon/pub/detail.aspx?c_id=3&id=1160&pg=1, 2022.3.5 [閲覧]
- 14) 熊本市統計書, 「WEB 熊本市統計書 第 11 章」, https://www.city.kumamoto.jp/hpkiji/pub/List.aspx?c_id=5&class_set_id=2&class_id=2515, 2022.2.3 [閲覧]
- 15) Gu, Z., Gu, L., Eils, R., Schlesner, M., and Brors, B.: *circulize* implements and enhances circular visualization in R., *Bioinformatics*, Vol. 30, Issue 19, pp.2811-2812, 2014.
- 16) 内閣官房, 「新型コロナウイルス感染症 新型コロナウイルス感染症緊急事態宣言の区域変更」, https://corona.go.jp/news/pdf/kinkyujitaisengen_gaiyou0416.pdf, 2022.2.2 [閲覧]
- 17) 熊本県, 「熊本県独自の【緊急事態宣言を発令します】」, <https://www.pref.kumamoto.jp/soshiki/0/81481.html>, 2022.2.2 [閲覧]
- 18) 厚生労働省, 「新型コロナウイルス感染症についてオープンデータ」, <https://www.mhlw.go.jp/stf/covid-19/open-data.html>, 2022.2.2 [閲覧]
- 19) 熊本市 新型コロナウイルス感染症情報サイト「学校再開に伴う感染防止対策等のガイドライン」, https://www.city.kumamoto.jp/common/Upload-FileDsp.aspx?sub_id=8&prvck_cat_id=5&prvck_kiji_id=28374&c_id=5&id=28374&sub_id=1&flid=208407, 2022.2.2 [閲覧]
- 20) 国土交通省 観光庁, 「Go To トラベル事業関連情報」, https://www.mlit.go.jp/kankocho/page01_000637.html, 2022.2.2 [閲覧]

(Received ????,??, ????)

ANALYZING KUMAMOTO-CITY-TRAM USER'S USAGE IN COVID-19 USING SMART CARD DATA

Kazuki MIYAZAKI and Takuya MARUYAMA