

都心部における循環型バスサービスが 来街者の回遊行動に及ぼす影響分析 - GPS による行動軌跡データを用いて

羽岡 陽平¹・寺山 一輝²・小谷 通泰³

¹ 学生非会員 石川工業高等専門学校 環境都市工学科 (〒929-0392 石川県河北郡津幡町北中条)

E-mail: s173207@gm.ishikawa-nct.ac.jp

² 正会員 石川工業高等専門学校 環境都市工学科 (〒929-0392 石川県河北郡津幡町北中条)

E-mail: terayama@ishikawa-nct.ac.jp

³ 正会員 神戸大学大学院 海事科学研究科 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町 5-1-1)

E-mail: odani@maritime.kobe-u.ac.jp

都心地域の賑わいを創出するためには、魅力的な都市空間を整備するとともに来街者の回遊行動を促進することが必要である。このとき、都心地域が広範囲な場合には、移動手段を徒歩にのみ依存することは限界がある。そこで本研究では、神戸市の都心部を対象として GPS による来街者の行動軌跡データをもとに、循環型バスサービスが来街者の回遊行動に及ぼす影響を明らかにする。まず、GPS データから来街者ごとに訪問箇所と移動を抽出するとともに、交通手段の判別モデルを構築し、トリップチェーンデータを作成する。次に、個人属性・交通手段の組合せパターン別に訪問箇所数、移動距離、移動時間、滞在時間にみられる特徴を明らかにするとともに、空間分布特性を把握する。最後に、二次モーメントを用いて個人の活動目的地群の広がりを計測し、それらにみられる特徴について考察する。

Key Words: travel behavior, loop bus system, the central area of the city, GPS trajectory data

1. はじめに

(1) 研究の背景と目的

わが国では、全国各地で都心の空洞化が大きな問題となっており、都心商業地域の賑わいを創出することが重要な課題となっている。

一方、都心の賑わいを創出するためには、様々な特色を兼ね備えたエリアを個別に整備するのではなく、それらのエリアを相互にネットワーク化することが必要である。このためには、回遊のための移動手段を徒歩のみに依存することには限界がある。諸外国では、都心部の回遊を促進するために LRT を水平方向のエレベータとして機能させたり、また国の内外を問わず、都心部での循環型バスやシェア型の自転車の導入が図られている。このように、多様なモビリティの利用を総合的に考慮することも都心の活性化においては極めて重要である。

そこで本研究では、神戸市の都心部を対象として GPS による来街者の行動軌跡データをもとに、循環型バスサービスが来街者の回遊行動に及ぼす影響を明らかにする。具体的には、得られた GPS データから来街者ごとに

訪問箇所（ストップ）と移動（トリップ）を抽出するとともに、交通手段の判別モデルを構築し、トリップチェーンデータを作成する。その上で、個人属性・交通手段の組合せパターン別に訪問箇所数、移動距離、移動時間、滞在時間などの回遊行動の特性を示す諸指標にみられる特徴を明らかにするとともに、空間分布特性を把握する。さらに、二次モーメントを用いて、個人の活動目的地群の広がりを定量化し、セグメント別にその大きさにみられる特徴を明らかにする。

(2) 既往研究の整理

これまで都心商業地域における回遊行動分析を行った研究は数多く存在し、それらの多くが歩行者を対象としたものである。例えば、辰巳・堤¹⁾は、再開発後の消費金額・来街頻度を分析しており、小谷・寺山²⁾は、数量化 I 類分析を適用して、回遊パターンを抽出している。氏原ら³⁾は既存の商店街と駅周辺の再開発エリアの選択要因を明らかにしている。また、高田ら⁴⁾や荒木ら⁵⁾は歩行者の回遊行動モデルを構築し、政策シミュレーションを行っている。

一方、GPS データを用いて歩行者の回遊行動を分析している研究として、佐藤・円山⁶⁾は GPS データから簡便に回遊圏域・回遊時間を抽出する方法を提案している。また、大山ら⁷⁾は、離散・連続モデルを適用して、小滞在の発生メカニズムを分析している。

これに対して、本研究では、公共交通利用時における回遊行動にみられる特徴を明らかにする。

2. 分析対象地域と使用データの概要

(1) 分析対象地域の概要

分析対象地域は、図-1 に示す、神戸市中央区に位置する都心商業地域であり、北野、三宮、元町、神戸ハーバーランド地区から構成される。対象地域では、地下鉄、JR、私鉄、路線バスとともに、図に示すように4つの地区を巡回するバス(愛称：シティー・ループ、1 周約 65 分、平日 3~4 本時、休日 4~5 本時)が運行されている。

(2) 使用データの概要

神戸市では、平成 28 年 8・9 月、10・11 月の 2 期にわたり、都心商業地域内の観光客の移動実態およびゾーン内均一料金制に対する利用意向の把握を目的とした、社会実験を行っている。この社会実験では、アンケート調査と GPS 調査を同時に実施している。被験者は、モニター募集およびスタッフの声掛けによって募っている。アンケート調査票および GPS ロガーの配布・回収場所は、三宮駅の総合インフォメーションセンター、新神戸駅の観光案内所、神戸空港の 3 カ所である。本研究では、このうち 2 期目の調査結果を利用することとし、調査の概要は以下に示すとおりである。

この 2 期目の調査では、鉄道乗車券とシティー・ループバスの 1 日乗車券を配布し、アンケート調査と GPS 調査を行っている。得られたサンプル数は 175 名である。アンケート調査では、個人属性(性別、年代など)に加えて、当日の訪問箇所名、移動手段、使用金額、社会実験に対する満足度などを尋ねている。

被験者の個人属性・トリップ属性には以下の特徴がみられる。被験者の男女比については、女性が 69%、男性が 31%と女性の割合が高くなっている。年齢構成は、60 代以上の割合が最も多く、これに次いで、40 代の割合が高い。居住地については全体の約 46%が県外であった。回遊行動に主たる活動目的については、被験者の 63%が観光であり、買い物・飲食目的は 3 割程度であった。



図-1 分析対象地域(神戸市中央区)

3. トリップチェーンデータの抽出

(1) 移動-滞在の判別

本研究で使用する GPS データは、5 秒間隔で緯度・経度と速度が取得されており、来街者の詳細な移動経路などを把握することができる。しかし、本データには、既存研究で用いられている GPS データと同様に誤差データが含まれている。

そこで本研究では、5 秒間隔で取得されているデータを 1 分間のデータに縮約することで、この誤差を平均化する。そして、この 1 分間のデータを用いて移動と滞在の判別を行う。具体的には、本研究では、10 分以上停止した場合、被験者は何らかの目的をもってその地点に滞留したと仮定した。停止は、2 地点間の速度が時速 2km 以下の場合とした。本研究では、10 分以上停止した座標群の重心を求めることで訪問箇所を特定し、トリップチェーンデータを作成した。

(2) 交通手段の判別モデルの構築

アンケート調査では、トリップごとに交通手段・出発・到着時刻を尋ねている。そのため、訪問箇所を特定した GPS データとアンケート調査結果で交通手段のマッチングが行える。しかし、アンケート調査に不備がみられる(交通手段を回答していないものについてはマッチングを行うことができず、多くの GPS データが欠損データとして処理されてしまう。そこで本研究では、多項ロジットモデルを用いて、各 GPS 座標の交通手段の判別モデルを構築し、被験者の利用交通手段の補正を行う。具体的には、徒歩・シティー・ループ・鉄道の 3 選択肢を判別する。本データでは、5 秒おきに GPS データが取得されているため、サンプル(座標)数は十分に確保され

ている。しかし、交通手段ごとに座標数に偏りがみられる(徒歩の割合が高い)。そのため本研究では、上述の 3 選択肢のサンプルをランダムに 1,000 座標ずつ抽出し、パラメータを繰り返し推定することとした。

交通手段の判別に用いる説明変数は、速度、シティー・ループ路線 50m 圏域ダミー、鉄道路線 50m 圏域ダミーとした。

表-1 は、パラメータを 200 回繰り返して推定した結果(平均値)を示したものである。これより以下のことがわかる。パラメータの有意性に注目すると、いずれの変数も有意水準 5%以下となっている。

次に、各パラメータについてみてみると、速度は、徒歩が負の値、シティー・ループ・鉄道が正の値を示している。すなわち、2 地点間の速度が小さいほど、徒歩として判別される確率が高まり、反対に速度が大きいほど、シティー・ループ・鉄道と判別される。また、シティー・ループと鉄道の速度のパラメータの絶対値を比較すると、鉄道の方がシティー・ループよりも大きくなっている。すなわち、2 地点間の速度が大きいほど、鉄道として判別される。シティー・ループ路線・鉄道路線の圏域ダミーについては、いずれも正の値を示している。したがって、路線の圏域内に位置している場合には、シティー・ループもしくは鉄道として判別される。

この推定結果を用いて、現況再現性を求めた結果、徒歩については 85%、シティー・ループについては 97%、鉄道については 88%と高い再現性が得られた。

(3) 利用交通手段の組合せパターン

交通手段の判別モデルを用いて、トリップチェーンデータに利用交通手段を付加した。なお、ここではトリップ内における代表交通手段を求めている。表-2 は被験者の利用交通手段の組合せパターンを示したものである。「徒歩とシティー・ループ」を組合わせたパターンが最も多く、全体の 48%を占めている。これに次いで、「徒歩+シティー・ループ+鉄道」「徒歩のみ」「徒歩+鉄道」の順で多くなっている。このように本データでは、シティー・ループを利用するパターンが多い。これは、鉄道に加えて、シティー・ループの 1 日乗車券を配布していることが影響していると考えられる。

図-2 は、男女別・年代別に利用交通手段の組合せパターンの構成を示したものである。これより以下のことがわかる。まず、男女別についてみてみると、男性よりも女性の方が徒歩と公共交通を組合わせるパターンが多くなっている。次に、年代に着目すると、高齢になるにつれて、徒歩のみで回遊するパターンが減少していることがわかる。また、20 代以下と 50 代以上については、半数以上が徒歩とシティー・ループを組合わせるパターンとなっている。

表-1 パラメータの推定結果

	パラメータ (平均値)	t値 (平均値)
速度 [徒歩]	-0.142	-14.52 ***
速度 [シティー・ループ]	0.006	2.16 **
速度 [鉄道]	0.028	19.88 ***
シティー・ループ路線50m圏域ダミー [シティー・ループ]	2.808	23.06 ***
鉄道路線50m圏域ダミー [鉄道]	0.893	13.77 ***
定数項 [シティー・ループ]	-2.660	-20.70 ***
定数項 [鉄道]	-1.431	-21.43 ***
調整済み尤度比(平均値)	0.043	

*: 10%有意, **: 5%有意, ***: 1%有意

表-2 交通手段の組合せパターン

		N
シティー・ループ利用者	徒歩+シティループ	73
	徒歩+シティループ+鉄道	28
	徒歩+シティループ+その他	1
非利用者	徒歩のみ	27
	徒歩+鉄道	20
	徒歩+鉄道+その他	1
	徒歩+その他	1

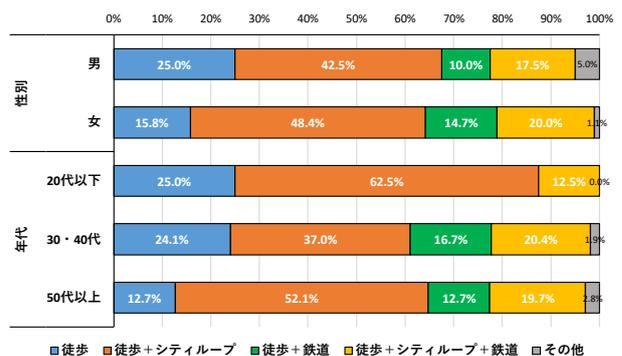


図-2 個人属性別にみた交通手段の組合せパターンの構成

4. セグメント別にみた回遊行動特性

(1) トリップチェーン内における交通手段の選択行動

ここでは、回遊行動中の交通手段の選択行動にみられる特徴を明らかにする。被験者ごとにトリップ数の合計が異なる。そこで本研究では、トリップの順位をトリップ数の合計で割ったものを 5 区分に分けて、区分ごとに利用交通手段の構成を求める。その結果を示したものが図-3 である。これより、いずれのトリップ区分においても、徒歩の利用率が高くなっている。しかし、回遊の

後半になるにつれて、その利用率は減少傾向にある。一方、シティー・ループと鉄道の利用率に着目すると、鉄道は回遊の前半に利用する割合が高く、シティー・ループは、回遊の後半に利用率が高くなる傾向にあることがわかる。

(2) 回遊行動諸指標にみられる特徴

図-4 は、個人属性・交通手段の組合せパターンごとに訪問箇所数・回遊距離・移動時間・滞在時間の平均値を算出した結果をそれぞれ示したものである。これらより以下のことがわかる。

まず、平均訪問箇所数についてみると、被験者全体の平均は 54 箇所である。男女間で比較すると、男性よりも女性の方が訪問箇所数が多くなっている。年代別に見てみると、高齢になるにつれて訪問箇所数が多くなる傾向にある。交通手段の組合せパターンについては、徒歩のみで回遊するパターンの訪問箇所数が最も少なく、公共交通を組み合わせることで訪問箇所数が増加する。

次に、回遊距離についてみると、全体の平均は 10.2km である。男女間を比較すると、男性よりも女性の方が若干長くなる傾向にある。年代については、20 代以下の距離が最も長く、これに次いで 50 代以上、30・40 代の順となっている。交通手段の組合せパターンについては、徒歩・シティー・ループ・鉄道を組み合わせるパターンの距離が最も長く、徒歩のみのパターンと比較すると 2 倍以上の差がある。

移動時間に着目すると、全体の平均は 3.8 時間である。性別については、男女間で顕著な差異は認められない。年代については、回遊距離と同様の傾向を示しており、20 代以下の移動時間が最も長くなっている。交通手段の組合せパターンについては、パターンごとに明確な差異は認められないものの、公共交通を利用することで移動時間が若干長くなる傾向にある。

最後に、滞在時間についてみると、全体の平均は 2.2 時間である。先に示した移動時間の平均は 3.8 時間であることから、被験者の移動と滞在時間の比率はおおよそ 6:4 である。男女間で比較すると、移動時間とは異なり、女性の方が男性よりも滞在時間が長くなっている。年代については、30・40 代が最も長く、これに次いで 50 代以上、20 代以下の順となっている。交通手段の組合せパターンについては、徒歩のみで回遊するパターンの滞在時間が最も短く、公共交通を組み合わせることで滞在時間が増加する。

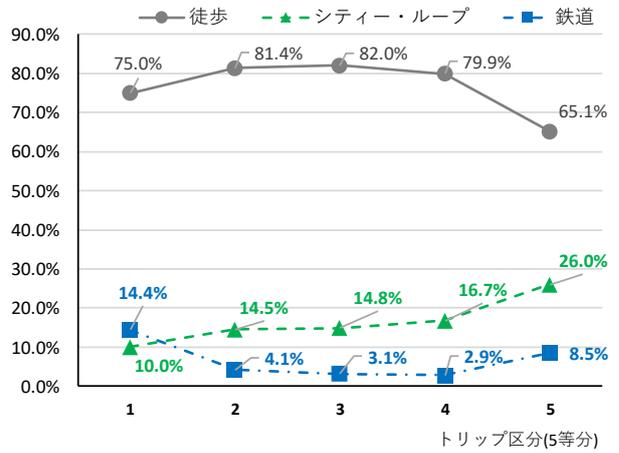


図-3 トリップチェーン内の利用交通手段の構成

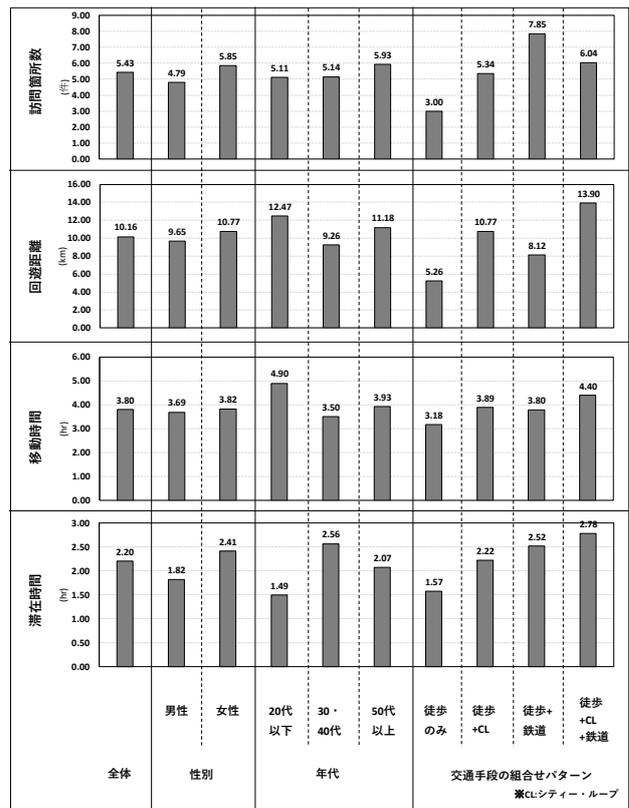
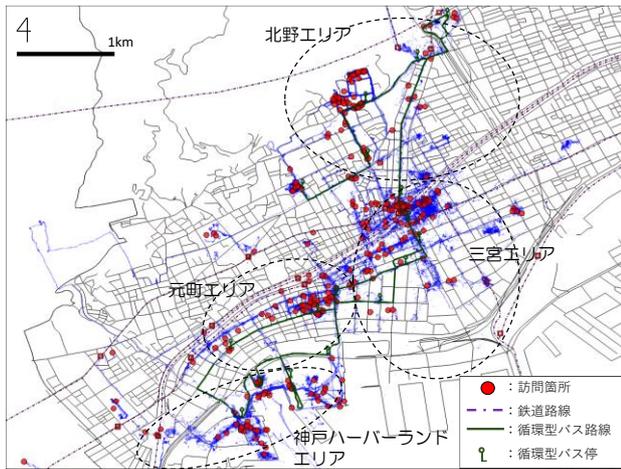


図-4 回遊行動の諸指標にみられる特徴

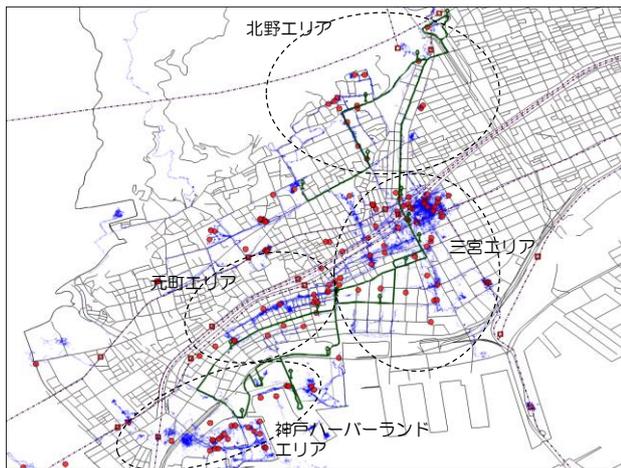
(3) 回遊行動の空間分布特性

図-5a),b)は、シティー・ループの利用の有無別に歩行経路と訪問箇所の空間分布をそれぞれ示したものである。なお、歩行経路については、マップマッチングの処理を行わず現データをプロットしている。訪問箇所については、3 章で述べたように、滞在と判定された座標群の重心を求めてその結果をプロットしている。これらより以下のことがわかる。

まず、訪問箇所の分布に着目すると、シティー・ループ利用者の方が非利用者よりも訪問箇所が増加していることがわかる。また、非利用者は、鉄道駅(三宮駅)周辺や、各エリアの主たる施設(元町エリア：商店街、神戸



a) 循環型バス利用者



b) 非利用者

図-5 循環型バスの利用の有無別にみた空間分布

ハーバーランドエリア：モザイク，北野エリア：異人館)に集中しており，回遊範囲が限られている．これに対して，シティー・ループ利用者は，こうした主たる施設に加えて，その周辺の施設や，シティー・ループ路線周辺の施設まで選択している．

次に，歩行経路についてみると，シティー・ループ利用者・非利用者ともに，各エリアの主たる訪問先の周辺の街路を選択する傾向にある．両者を比較すると，シティー・ループ利用者は非利用者に比べて，北野エリアの通行量が多くなっている．

5. 活動空間の大きさの計測・評価

(1) 活動空間の大きさの計測方法

本研究では，Susilo and Kitamura⁸⁾が提案した手法を用いて，個人の活動空間の大きさを計測する．この方法では図-6に示すように，個人の1日の活動空間の大きさを二次モーメントにより定量化している．活動空間の大きさ

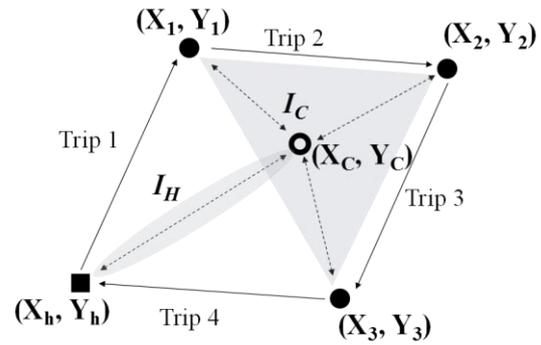


図-6 活動空間の大きさの概念

は「発着地から活動空間までの隔たり(I_H)」と「活動拠点を中心とする活動目的地群の空間的な広がり(I_C)」によって表現される．これらの指標は以下のように定式化されている．

$$X_C = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N X_n, \quad Y_C = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N Y_n \quad (1)$$

$$I_H = (X_h - X_C)^2 + (Y_h - Y_C)^2 \quad (2)$$

$$I_C = \sum_{n=1}^N \left\{ (X_n - X_C)^2 + (Y_n - Y_C)^2 \right\} \quad (3)$$

ここで，式(1)の X_C と Y_C は，活動目的地群の中心座標であり，活動目的地($n=1,2,\dots,N$)の座標の平均値である． I_H は式(2)に示すように，回遊開始地点(X_h, Y_h)から活動目的地群の中心座標までの距離の二乗で表される． I_C は式(3)に示すように，活動目的地群の中心座標からそれぞれの目的地(X_n, Y_n)までの距離の二乗の和をとったものである．

本調査の出発地点は，GPS ロガーの貸し出し地点である．しかし，得られた GPS データの出発地点をみると，被験者が GPS を起動した箇所となっており，貸し出し地点とは必ずしも一致しない．そのため，被験者の「発着地から活動空間までの隔たり(I_H)」を比較することは困難である．そこで本研究では，「活動拠点を中心とする活動目的地群の空間的な広がり(I_C)」のみを計測し，個人間で比較することとする．なお，「活動拠点を中心とする活動目的地群の空間的な広がり(I_C)」指標は，面的に移動することでその値が大きくなるという特性をもつ．すなわち，目的地間をピストンで移動するとその値は小さくなる傾向にある．

(2) 活動空間の大きさにみられる特徴

図-7 は被験者の活動目的地群の広がり(I_C)の分布を示したものである．被験者の大半が， 10km^2 圏内で回遊を

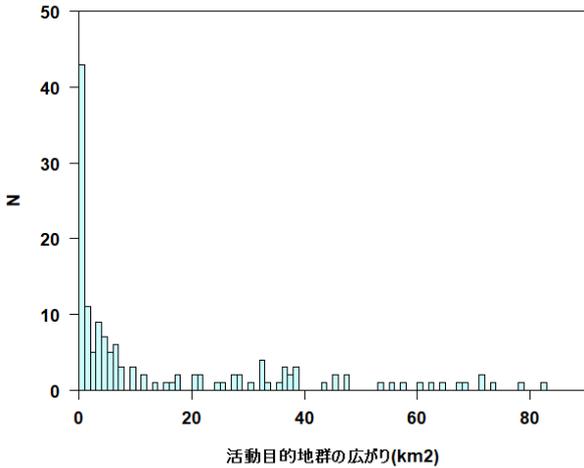


図-7 活動目的地群の広がり分布

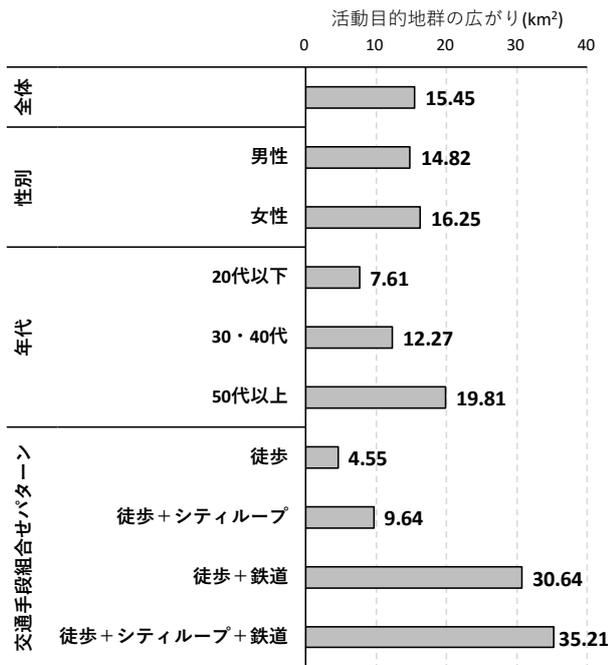


図-8 セグメント別にみた活動目的地群の広がり

行っている。その一方で、40km²以上の広範囲を移動している被験者も存在する。

図-8 は、個人属性・交通手段の組合せパターン別に活動目的地群の広がり(I_0)の平均値を算出した結果である。これより以下のことがわかる。

性別についてみると、男女間で顕著な差異は認められない。年代については、高齢になるにつれて活動目的地群の広がりが大きくなっている。交通手段の組合せパターンについては、徒歩のみで回遊するパターンが最も小さく、公共交通を組み合わせることでその広がりが大きくなる。徒歩のみの場合と比べて、徒歩とシティー・ループを利用すると活動目的地群の広がりが増加し、徒歩と鉄道の組合せは 6.7 倍、徒歩とシティー・ル

ープと鉄道を組み合わせるパターンは 7.7 倍増加する。3 章で示したように、高齢層は若・中年層に比べて、公共交通を合わせて回遊するパターンが多い。このことから、公共交通は高齢層の回遊行動の広域化に寄与すると考えられる。

6. おわりに

本研究では、神戸市の都心商業地域を対象として、GPS データによる行動軌跡データをもとに、来街者の回遊行動を分析した。以下に得られた成果を要約する。

1) 本研究では、多項ロジットモデルを適用して交通手段の判別モデルを構築した。その結果、良好な精度で GPS 座標のそれぞれについて交通手段を判別することが可能となり、トリップチェーンとして交通手段の組合せパターンを抽出することができた。個人属性ごとにそのパターンの構成を算出した結果、高齢になるにつれて公共交通を組み合わせるパターンが多いことが明らかとなった。

2) 個人属性・交通手段の組合せパターンで訪問箇所数・回遊距離・移動・滞在時間を比較した結果、高齢層は若中年層よりも訪問箇所数・滞在時間が大きく、反対に回遊距離・移動時間が小さくなる傾向にあった。交通手段の組合せパターンについては、徒歩のみで回遊するよりも公共交通を合わせて回遊した方が、すべての回遊行動諸指標が増加する傾向にあることが明らかとなった。

3) 二次モーメント指標を用いて、個人の活動目的地群の広がりを実量化した結果、公共交通を利用した高齢層の活動目的地群の広がりが増加する傾向にあることが明らかとなった。こうしたことから、公共交通は高齢者の回遊行動の広域化に寄与することが推察された。

今後の課題としては以下の諸点が挙げられる。

本研究では 10 分間以上時速 2km 以下である GPS データを抽出して、それを滞在と判別した。今後は他の判別手法と比較することで、移動と滞在の判別の精緻化を行いたい。また、移動経路については、現データを使用しており、道路上にマッチングされていないため、マップマッチングを行う必要がある。そして、目的地や経路選択行動モデルを構築し、公共交通の利用が回遊行動の広域化にどの程度寄与するのかを定量的に明らかにしたい。

謝辞：本研究は、JSP 科研費(JP19K04646)の助成を受けて実施したものである。本研究で使用した社会実験データ(アンケート調査、GPS 調査結果)は、神戸市より提供を受けた。また、本研究を行うにあたっては、生野侑里

氏（元石川工業高等専門学校学生）の協力を得た。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 辰巳浩, 堤香代子: 福岡市都心部における休日の回遊行動に関する研究—JR 博多シティの開業にともなう回遊行動および意識の変化—, 都市計画論文集, Vol.48, No.3, 2013.
- 2) 小谷通泰, 寺山一輝: 都心商業地域における歩行者による回遊行動の実態と要因分析, 日本都市計画学会学術研究論文集, Vol.52, No.3, pp.239-246, 2017.
- 3) 氏原岳人, 阿部宏史, 入江恭平, 有方聡: 二極の特性の異なる商業エリアを有する中心市街地内の回遊行動の実態分析—岡山市の中心市街地を事例として—, 都市計画論文集, Vol.49, No.3, pp.801-806, 2014.
- 4) 高田淳司, 内田賢悦, 杉木直: 回遊行動のシミュレーションモデルによる都心部整備効果分析に関する研究, 第 33 回交通工学研究発表会論文集, pp.515-522, 2013.
- 5) 荒木雅弘, 溝上章志, 円山琢也: まちなか回遊行動の詳細分析と政策シミュレーションのための予測モデル, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.71, No.5, pp.323-335, 2015.
- 6) 佐藤貴大, 円山琢也: カーネル密度推定法を応用したスマホ型回遊調査データの時空間分析, 都市計画論文集, Vol.51, No.2, pp.192-199, 2016.
- 7) 大山雄己, 福山祥代, 羽藤英二: 活動欲求を考慮した離散-連続モデルによる小滞在発生メカニズムの分析, 都市計画論文集, Vol.49, No. 3, pp.375-380, 2014.
- 8) Susilo, Y. O. and Kitamura, R.: On An Analysis of the Day-to-day Variability in the Individual's Action Space: An Exploration of the Six-Week Mobidrive Travel Diary Data, *Transportation Research Record*, 1902, pp.124-133, 2005.

(2020. 10. 02 受付)

INFLUENCE OF LOOP BUS SYSTEM ON VISITOR'S TRAVEL BEHAVIOR IN THE CENTRAL AREA OF THE CITY -USING GPS TRAJRCTORY DATA

Yohei HAOKA, Kazuki TERAYAMA and Michiyasu ODANI