

熊本都心部の回遊地区選択・回遊時間配分分析 へのflexible MDCEVアプローチ

吉川 駿汰・渡邊 萌¹・円山琢也²

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

² 正会員 熊本大学准教授 くまもと水循環・減災研究教育センター
(〒860-8555 熊本市中央区黒髪 2-39-1)

E-mail: takumaru@kumamoto-u.ac.jp

中心市街地への訪問者が減少傾向にある日本の地方都市において、中心市街地の活性化政策が注目を集めている。2019年に熊本では大規模な再開発事業が完成している。再開発事業を評価するには、再開発前後の人々の訪問・滞在パターンの変化を明確にする必要がある。本研究の目的は熊本市街地の再開発前の訪問者の回遊パターンを調べることである。本研究ではBhat(2018)によるFlexible MDCEVモデルを人々の回遊行動に適用し、MDCEVモデルとの比較をしながら分析を行った。推定結果より、MDCEVモデルでは有意でなかった変数でもflexible MDCEVモデルでは離散選択・連続量選択のどちらかのみが有意となっている結果がいくつか示され、人々の回遊行動の詳細が明らかになった。また、モデルの挙動を確認することを目的にシミュレーション分析を行った。

Key Words : travel behavior, smartphone-based survey, MDCEV model, flexible MDCEV model

1. はじめに

近年、日本の地方都市の中心市街地への訪問者が減少傾向にある。この問題の対策として再開発事業を中心とした都心部の活性化政策が注目されている。また、施策の中でも、来街者の回遊行動を促進させることは対策案として有効である。そのためには、来街者の回遊行動を分析し、詳細を明らかにすることが必要になる。

人々の回遊行動を分析する手法として、離散選択が挙げられる。福田・力石¹⁾は、離散連続モデルの研究動向に関するレビューを行い、離散連続モデルをミクロ経済学の観点より導出された“構造型”、現象を直接既述した“誘導型”、ミクロ経済理論への整合性を考慮した誘導型モデルである“折衷型”の3つに分類した。福山ら²⁾は“構造型”の中でも複数の離散選択肢を同時に選択し、連続量を配分するMDCEVモデルを用い、歩行者の目的地選択行動を離散選択、その目的地への移動及び滞在に要する時間配分を連続量選択に当てはめ、歩行者行動分析を行った。

竹田ら³⁾は熊本市中心市街地を8つの地区に分類し、MDCEVモデルを用いて、来街者の回遊行動分析を行い、回遊行動に影響を及ぼす要因を把握した。しかしながら、

MDCEVモデルは、離散選択行動と連続量選択行動を同一の効用関数で表現しているため、具体的な回遊行動を記述することが困難であるといった弱みを抱えている。これに対し、本研究では、MDCEVモデルの派生モデルであるflexible MDCEVモデルを用いることで、回遊行動に影響を及ぼす要因を離散・連続の選択行動に分けてより詳細に把握することができる。

MDCEVモデル並びにflexible MDCEVモデルについての詳細は後述するが、MDCEVモデルの特徴として、計算性が著しく高いことが挙げられ、一方でflexible MDCEVモデルは効用関数を離散選択と連続量選択2つに分けて設定することによって、説明変数が離散選択に影響を与えているのか、連続量選択に影響を与えているのかを区別してモデリングできるという点が挙げられる。

本研究では、flexible MDCEVモデルを用いて、サクラマチクマモト開業前の熊本市中心市街地における人々の回遊行動を分析する。これにより既存の研究では得られなかった来街者の回遊地区選択、回遊時間選択別に影響を及ぼす要因を数値として把握し、明らかにすることが目的である。また、本研究では滞在時間についてのシミュレーションを行う。これは、モデルの挙動を確認し、シミュレーションの精度を高めることが目的である。

2. 分析手法

(1) MDCEVモデル

従来の MDCEV モデルは複数個の地区選択と回遊時間選択を同時に行うことが可能なモデルである。Bhat⁴⁾により定式化され、効用関数は(1)のように書き表される。MDCEV モデルは、財に限界効用逓減性を仮定することにより、経済学とも整合した形で複数財への資源配分行動を記述するモデルである。効用関数は(1)のように書き表され、個人はある財の消費量 x_k を総効用 $U(x)$ を最大化するように決定すると仮定している。

$$U(x) = \frac{1}{\alpha_1} \psi_1 t_1^{\alpha_1} + \sum_{k=2}^K \frac{\gamma_k}{\alpha_k} \psi_k \left\{ \left(\frac{t_k}{\gamma_k} + 1 \right)^{\alpha_k} - 1 \right\} \quad (1)$$

where $\psi_1 = \exp(\varepsilon_1)$, and $\psi_k = \exp(\beta' z_k + \varepsilon_k)$

このとき、

ψ_k : 基準限界効用関数

$\alpha_k \gamma_k$: 飽和パラメータ

ε_k : ガンベル分布に従う誤差項

β' : 未知パラメータ

z_k : 説明変数

t_k : k 財の消費量

K : 全選択肢数

式(1)の α_k および γ_k は飽和パラメータであり、これにより限界効用の逓減性を表現している。しかし、Bhatでも示しているように、 α_k と γ_k を同時に推定することは困難である。本研究では推定を簡略化するため、 α_k を0に、 γ_k を1に固定をして推定を行う。その場合の効用関数を式(2)となる。

$$U(x) = \psi_1 \ln t_1 + \sum_{k=2}^K \psi_k \ln(t_k + 1) \quad (2)$$

本研究では熊本都心部における人々の時間配分行動を6つにゾーニングした各地区への時間配分としてモデルを構築する。このとき、調査の参加者個人の6地区での総回遊時間以外の時間を外部財とし、各地区と外部財を含めた選択肢への時間配分行動のモデル化を行う。ただし、個人は個人によって異なる回遊時間の時間制約の下、効用最大化理論に基づくMDCEVモデルに従って、時間配分を決定していると仮定する。そのため、回遊する地区の順番や時間軸、時間割引率は考慮されていないまた、誤差項 ε_k にガンベル分布を設定しているため、選択肢の6つの地区の独立性を仮定している。

Bhat⁵⁾により全選択肢 K のうち M 個の地区を選択した場合の同時選択確率は式(3)のように表される。

また、尤度関数はClosed-formで定義される。 t^* はその地

区への時間配分である。このとき、効用関数 V_k は式(4)のように定式化される。

$$P(t_1^*, t_2^*, \dots, t_M^*, 0, \dots, 0) = \left[\prod_{i=1}^M f_i \right] \left[\sum_{i=1}^M \frac{1}{f_i} \right] \left[\frac{\prod_{i=1}^M e^{V_i}}{(\sum_{k=1}^K e^{V_k})^M} \right] (M-1)! \quad (3)$$

where $f_i = \left(\frac{1}{t_i^* + 1} \right)$

$$V_k = \beta' z_k - \ln(t_k + 1) \quad \text{ただし } (k \geq 2) \\ V_1 = -\ln(t_1^*) \quad (4)$$

(2) flexible MDCEVモデル

flexible MDCEVモデルも同じく、Bhat⁶⁾により定式化され、効用関数は(5)のように書き表される。従来のMDCEVモデルと同様に、個人によって異なる回遊時間の時間制約の下、効用最大化理論に基づくflexible MDCEVモデルに従って時間配分を決定していると仮定する。また、 γ_k は財 k の消費量 x_k に伴う飽和パラメータであり、限界効用の逓減性を表現している。

$$U(x) = \psi_1 t_1 + \sum_{j=2}^J \gamma_k ([\psi_{kd}]^{1(t_k=0)} \times [\psi_{kc}]^{1(t_k>0)}) \ln \left\{ \left(\frac{t_k}{\gamma_k} + 1 \right) \right\} \quad (5)$$

ここで、 ψ_{kd} は財 k が消費されるかどうかを決定づける基準選好関数である。一方、 ψ_{kc} は財 k が消費された時の限界効用を表す。このように、flexible MDCEVモデルでは、従来のMDCEVモデルでは同一であった基準選好関数を財の消費量 t_k が0である場合とそうでない場合で分割している。それらをそれぞれ(6)に示す。

$$\psi_{kd} = \exp(\beta' z_k + \varepsilon_k), \quad \psi_{kc} = \exp(\theta' w_k + \xi_k) \quad (6)$$

z_k および w_k はそれぞれ離散選択要素と連続量選択要素における説明変数である。 β' 、 θ' はその未知パラメータである。また誤差項 ε_k および ξ_k には、ともにスケールパラメータ σ のIIDガンベル分布を仮定している。ここで、財 k の配分量 x_k の最適解をKKT条件を用いて解くと、全選択肢 K のうち M 個の地区を選択した場合の同時選択確率は式(7)のように表される。また、このとき効用関数 $\tilde{V}_{k,1}$ 、 $\bar{V}_{k,1}$ は式(9)のように表される。

z_1 は第一財(外部財)に対応した説明変数であり、通常は定数項や個人属性が導入されない。また、式(7)より、選択確率はClosed-formで記述されるため、一般的な最尤推定法を用いてパラメータベクトル $(\beta', \theta', \gamma', \sigma)$ を求めることができる。本研究では推定を簡略化するために、飽和パラメータ σ を1に固定して、 β' と θ' の推定を行う。

$$\begin{aligned}
 & P_1(t_1^*, t_2^*, \dots, t_{M+1}^*, 0, \dots, 0) \\
 &= |A| \int_{\eta_2=\tilde{V}_{2,1}}^{\eta_2=\infty} \dots \int_{\eta_{M+1}=\tilde{V}_{M+1,1}}^{\eta_{M+1}=\infty} \int_{\eta_{M+2}=-\infty}^{\eta_{M+2}=\tilde{V}_{M+2,1}} \dots \int_{\eta_K=-\infty}^{\eta_K=\tilde{V}_{K,1}} f(\eta_2, \eta_3, \dots, \eta_K; \tilde{V}_{2,1}, \tilde{V}_{3,1}, \dots, \tilde{V}_{M+1,1}) d\eta_K d\eta_{K-1}, \dots, d\eta_2 \\
 &= |A| \left[\sum_{S \subset \{2,3,\dots,M+1\}, |S| \geq 1} G_{K-1}(\tilde{V}_{2,1}, \tilde{V}_{3,1}, \dots, \tilde{V}_{M+1,1}, \tilde{V}_{M+2,1}, \dots, \tilde{V}_{K,1}) + \right. \\
 &\quad \left. (-1)^{|S|} G_{J-1+|S|}(\tilde{V}_{2,1}, \tilde{V}_{3,1}, \dots, \tilde{V}_{M+1,1}, \tilde{V}_{M+2,1}, \dots, \tilde{V}_{K,1}, \tilde{V}_{S,1}) \right], \tag{7}
 \end{aligned}$$

where $|A| = [\prod_{k=2}^M f_k]$, $f_k = \frac{1}{t_k^* + \gamma_k}$,

$$\begin{aligned}
 G_{J-1}(\tilde{V}_{2,1}, \tilde{V}_{3,1}, \dots, \tilde{V}_{M+1,1}, \tilde{V}_{M+2,1}, \dots, \tilde{V}_{K,1}) &= \left(\frac{M!}{\sigma^M} \times \frac{\prod_{j=2}^{M+1} e^{-\frac{(\tilde{V}_{j,1})}{\sigma}}}{\left(1 + \sum_{k=2}^{M+1} e^{-\frac{(\tilde{V}_{j,1})}{\sigma}} + \sum_{k=M+2}^J e^{-\frac{(\tilde{V}_{k,1})}{\sigma}} \right)^{M+1}} \right), \text{ and} \\
 G_{K-1+|S|}(\tilde{V}_{2,1}, \tilde{V}_{3,1}, \dots, \tilde{V}_{M+1,1}, \tilde{V}_{M+2,1}, \dots, \tilde{V}_{K,1}, \tilde{V}_{S,1}) &= \left(\frac{M!}{\sigma^M} \times \frac{\prod_{k=2}^{M+1} e^{-\frac{(\tilde{V}_{k,1})}{\sigma}}}{\left(1 + \sum_{k=2}^{M+1} e^{-\frac{(\tilde{V}_{k,1})}{\sigma}} + \sum_{k=M+2}^J e^{-\frac{(\tilde{V}_{k,1})}{\sigma}} + \sum_{i \in S} e^{-\frac{(\tilde{V}_{i,1})}{\sigma}} \right)^{M+1}} \right). \tag{8}
 \end{aligned}$$

where $\tilde{V}_{k,1} = \beta' z_1 - \beta' z_k$, and $\tilde{V}_{k,1} = \beta' z_1 - \theta' w_k + \ln\left(\frac{t_k^*}{\gamma_k} + 1\right)$ ($k = 2, 3, \dots, K$). $\tag{9}$

3. 分析対象地域とデータ

(1) 分析対象データ

調査手法はスマホを用いた回遊行動調査である。これは、調査参加者自身が保有するスマホに専用のアプリを配布し、GPS機能を用いて移動軌跡等を収集するものである。調査主体が準備できるGPS機器数の制約がないため、サンプルサイズが大幅に増加しても問題がないという特徴がある。

本研究では、2013年11月から12月の土・日曜の計6日間で熊本中心市街地で実施された、スマホアプリを用いた回遊調査で得られたデータを分析対象とする。調査参加者は熊本中心市街地での回遊を開始する前に専用アプリを参加者個人が所有するスマホにインストールし、回遊の開始とともにアプリを起動する。それにより位置情報を取得し、回遊軌跡を記録する。その間、参加者は中心市街地を普段通りに回遊し、帰宅前にポート(対象地域に4箇所設置された受付)でアンケートに回答後、調査参加の謝礼(商品券500円)を受け取る。本調査で得られる情報として、GPSで記録された移動軌跡やアプリ利用の登録時の情報から、調査参加者の性別、年齢、就業状態、居住地があり、アンケート調査からは、来街目的、来街交通手段、来街場所、同行者などが挙げられる。本調査に参加し、ポートでのアンケートに回答したのは6日間で延べ1,086サンプルであった。調査参加者の属性

分布等を含めた調査の詳細は別途報告されている⁷⁸⁾。

(2) 分析対象地域

本研究では回遊地区別回遊時間配分行動モデルを構築し、分析する。竹田らは熊本都心部を8つの地区に分類したが、flexible MDCEVモデルの計算負荷を削減するために、図-1に示すように熊本都心部を6つの地区に分類する。



図-1 分析対象地域とゾーニング

4. 地区別延べ来街者数及び平均滞在時間に関する基礎分析

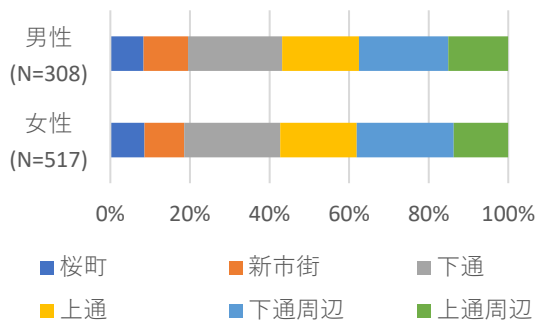
本章では、回遊地区別の延べ来街者数及び平均滞在時間と個人属性との関係について分析する。本章では次章で分析するflexible MDCEVモデルの説明変数の候補の検討が目的である。従来のMDCEVモデルでは回遊時間選択のみを考慮するが、flexible MDCEVモデルでは回遊地区選択も同時に行うため、地区選択は差はないが、回遊時間選択では差があるというような傾向に違いがある場合には、離散選択と連続量選択を別に表現する必要性が示唆される。

まず、図-2のa), b)に性別の延べ来街者数及び平均滞在時間分布の構成比を示す。回遊人数の割合に大きな違いはみられないが、回遊時間の割合は「桜町」で女性の回遊時間の割合が大きく、「新市街」と「上通」で男性の回遊時間の割合が大きいことがわかる。「桜町」には当時、県民百貨店があり、買い物を目的として来街した女性の回遊時間が大きかったためと考える。また、「新市街」にはパチンコ店が多くあるため、男性の回遊時間の割合が大きくなっていると考えられる。

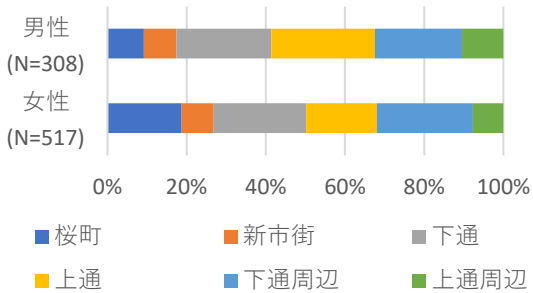
次に、図-3のa), b)に延べ来街者数及び平均滞在時間分布の構成比を示す。「桜町」では、年齢が上がるにつれて回遊人数の割合が大きくなる傾向にあることがわ

かる。これは県民百貨店を年齢層の高い方がよく利用していたためと考えられる。

一方で回遊時間の構成比をみると「下通」での10代の回遊時間の割合が大きいことがわかる。「下通」には若者に人気のファストフード店やカフェ、カラオケ店など

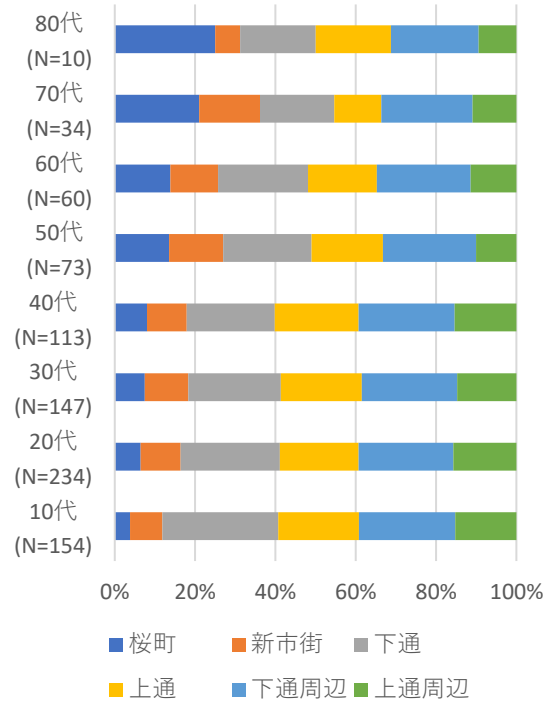


a) 延べ来街者数構成比

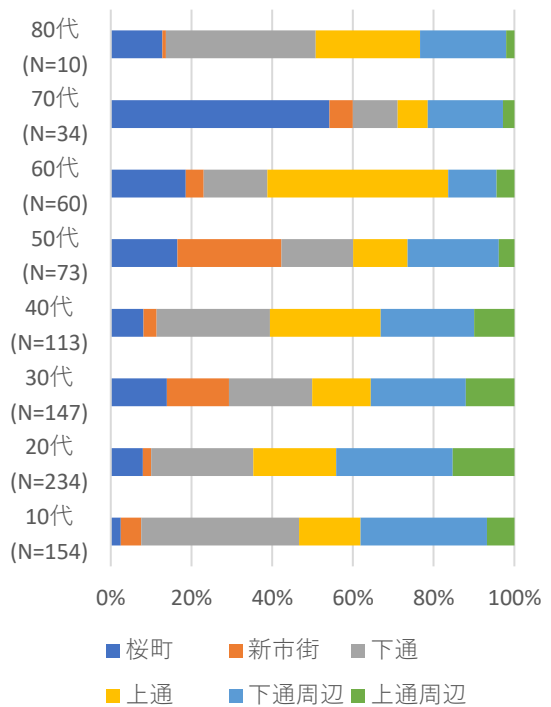


b) 平均滞在時間構成比

図-2 性別の地区別延べ来街者数構成比と平均滞在時間構成比



a) 延べ来街者数構成比

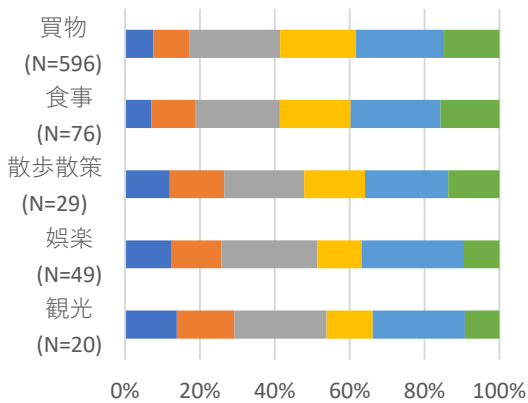


b) 平均滞在時間構成比

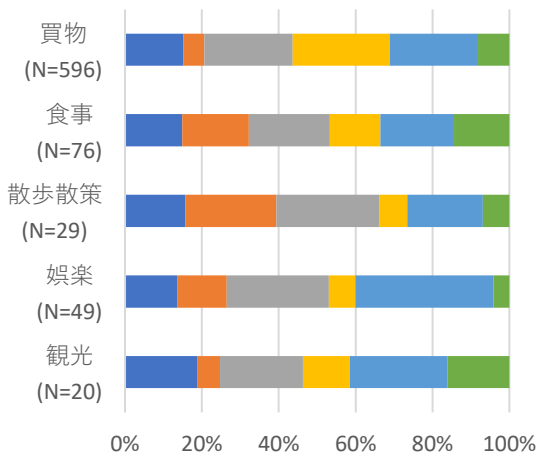
図-3 年齢別の地区別延べ来街者数構成比と平均滞在時間構成比

が多く立ち並ぶことから10代の回遊時間が大きくなっていると考えられる。また、「新市街」での特に30・50代の回遊時間の割合が大きかった。これはパチンコ店等の娯楽施設が多く立ち並ぶため、これらの年代の方の回遊時間が多くなったと考えた。

図-4のa), b)に目的別の延べ来街者数及び平均滞在時間分布の構成比を示す。観光目的では「桜町」で回遊人数の割合及び回遊時間の割合が大きくなっており、「上通周辺」で回遊時間の割合が大きいがわかる。これは熊本県の有名な観光スポットである熊本城と距離が近いこと、熊本城へ行くついでに訪れる人が多かったためと予想される。また、「下通」「上通」での買い物目的の回遊時間の割合が大きくなっている。これは、「下通」や「上通」にはアパレルショップやファッションビルが立ち並んでおり、買い物をするために長時間滞在してい



a) 延べ来街者数構成比

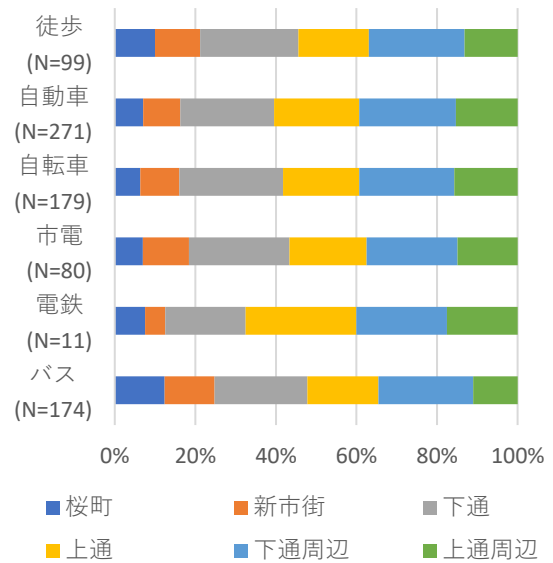


b) 平均滞在時間構成比

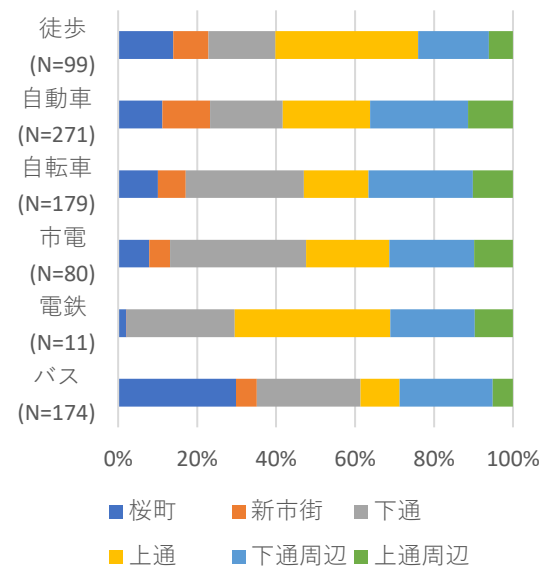
図-4 目的別の地区別延べ来街者数構成比と平均滞在時間構成比

るからであると考えられる。

図-5のa), b)に来街交通手段別の延べ来街者数及び平均滞在時間分布の構成比を示す。延べ来街者数構成比に関してはいずれの交通手段も構成比は似たようなものになっている。しかし、平均滞在時間に関しては、徒歩、自動車、自転車、市電に関してはある程度構成比が似た傾向にあるが、熊本電鉄とバスに関しては少し傾向が異なっている。熊本電鉄の最寄り駅である藤崎宮駅は上通の北側にあるため、熊本電鉄で来街した人は回遊が北側に偏っていることが考えられる。一方で、バスは熊本市



a) 延べ来街者数構成比



b) 平均滞在時間構成比

図-5 来街交通手段別の地区別延べ来街者数構成比と平均滞在時間構成比

のバスの拠点であった交通センターが「桜町」にあったため、「桜町」での回遊時間の構成比が大きく、また、「桜町」から距離のある「上通」や「上通周辺」での回遊時間の構成比が小さいことがわかる。

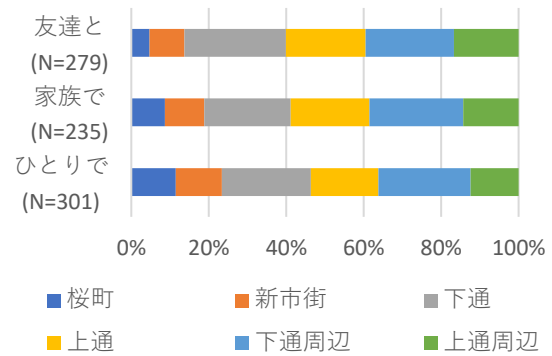
また、図-5のa), b)より、バスに関して、「桜町」を訪れる人の構成比は、そのほかの交通手段の構成比と大きな差はないが、「桜町」に滞在する時間の構成比に関しては割合がかなり大きいことがわかる。これにより、バスで来街し「桜町」を訪れる人は回遊する時間の多くを「桜町」で消費していると解釈できる。

図-6のa), b)に同行者別の延べ来街者数及び平均滞在時間分布の構成比を示す。延べ来街者数の構成比に関しては同行者がいずれの場合でも、大きな差はないことがわかる。一方で、滞在時間の構成比に関しては、「下通」、「上通」、「下通周辺」、「上通周辺」ではそれほど差がないことがわかる。そのほかの地区で見ると、ひとりで来街すると、「桜町」では回遊地区選択、回遊時間選択ともにほかの同行者の割合よりも大きくなっている。しかしながら「新市街」ではひとりで回遊する時間の割合が小さくなっている。これより、女性は単独行動の傾向が比較的高いため、買い物目的で県民百貨店のある「桜町」では回遊しやすく、娯楽施設の多い新市街では回遊時間が短くなったと考えられる。

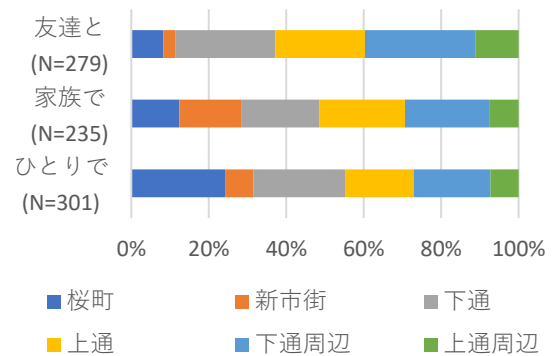
5. MDCEVモデル・flexible MDCEVモデルによる個人属性を導入した分析

MDCEVモデル及びflexible MDCEVモデルでパラメータ推定を行った。説明変数に関しては、主に個人属性を導入した。推定結果を表-1に示す。推定結果はMDCEVモデルの場合、正で有意の場合、その地区を選択しやすく、かつ、回遊時間も長くなりやすいと解釈する。逆に負の場合はその地区を選択しにくく、かつ、回遊時間も短くなりやすいと解釈できる。一方でflexible MDCEVモデルの場合は、離散選択が正で有意の場合、その地区を選択しやすく、連続量選択が有意の場合、その地区に長い時間滞在しやすく解釈する。なお、本研究ではMDCEVモデルでの推定結果とflexible MDCEVモデルでの推定結果を比較するために両方のモデルについて同一の説明変数を用いて推定を行う。

「桜町」では、MDCEVモデルで年齢、バスダミーが正に有意になり、flexible MDCEVモデルでも、離散選択・連続量選択ともに正に有意になった。しかしながら、MDCEVモデルでは有意にならなかった性別がflexible MDCEVモデルでは連続量選択のみ負で有意となった。これより、「桜町」は高齢の方ほどまたバスで来街する人ほど訪れやすく、長時間滞在しやすいということが示



a) 延べ来街者数構成比



b) 平均滞在時間構成比

図-6 同行者別の地区別延べ来街者数構成比と平均滞在時間構成比

されている。また、女性は長い時間「桜町」を回遊する傾向にあると解釈できる。この理由として、「桜町」には県民百貨店や交通センターがあったことから、比較的年齢の高い方やバスで「桜町」を訪れる方が多くなったと考えられる。また、バスの利用者に高齢者が多いことも要因として考えられる。

「新市街」では、MDCEVモデルで年齢ダミーが正で有意となった。flexible MDCEVモデルでは、年齢が離散選択・連続量選択両方で正で有意となり、娯楽ダミーの連続量選択が正で有意となった。これより、「新市街」は高齢の方ほど訪れやすく、長時間滞在しやすいことが分かる。また娯楽目的で来街している人ほど、長時間回遊していると解釈できる。これは、パチンコ店やカラオケ店、映画館など「新市街」には回遊が長くなりやすい娯楽施設が集まっているためだと考えられる。

「下通」では、MDCEVモデルで定数項のみが正で有意となった。flexible MDCEVモデルでは、市電ダミーが離散選択で、学生ダミーが離散選択・連続量選択で負で有意となった。「下通」には、ファンションビルやファーストフード店、カラオケ店など多種多様な店舗があるた

表-1 推定結果

Original MDCEV				Flexible MDCEV			
				離散選択		連続量選択	
地区名	説明変数	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値
桜町	定数項	-5.71	-25.9 ***	-2.66	-13.64 ***	1.42	6.84 ***
	年齢	0.04	8.24 ***	0.04	9.32 ***	0.02	3.91 ***
	性別	-0.02	-0.12	0.02	0.15	-0.44	-2.86 ***
	バスダミー	0.46	2.640 ***	0.60	3.840 ***	0.42	2.55 **
新市街	定数項	-4.65	-23.66 ***	-1.36	-8.81 ***	0.80	4.69 ***
	年齢	0.02	3.51 ***	0.02	4.23 ***	0.02	3.89 ***
	娯楽ダミー	0.40	1.33	0.42	1.63	0.46	1.69 *
下通	定数項	-3.09	-26.44 ***	0.59	8.39 ***	2.17	33.97 ***
	市電ダミー	0.04	0.13	0.38	1.90 *	0.01	0.56
	学生ダミー	0.12	0.67	0.34	2.79 ***	0.21	2.11 **
上通	定数項	-3.53	-22.22 ***	-1.06	-1.01	1.78	16.86 ***
	電鉄ダミー	0.95	1.51	6.44	0.19	1.01	2.55 **
	買物ダミー	0.26	1.59	0.36	3.11 ***	0.34	2.93 ***
下通周辺	定数項	-3.32	-15.56 ***	0.39	3.00 ***	1.77	15.52 ***
	年齢	0.01	1.38	0.01	2.76 ***	0.01	3.78 ***
	娯楽ダミー	0.21	0.62	0.25	1.09	0.15	0.74
上通周辺	定数項	-3.72	-36.09 ***	-0.36	-5.56 ***	1.49	22.81 ***
	電鉄ダミー	0.51	0.83	0.66	1.47	0.30	0.68
サンプルサイズ			825	サンプルサイズ			825
初期尤度			-5701.2	初期尤度			-14644.62
最終尤度			-5635.6	最終尤度			-14610.48

注)***1%有意, **5%有意, *10%有意

め、買い物目的や娯楽目的など様々な目的で学生の回遊が多くなったと考えた。また、「下通」の南端にある市電電停から非常に距離が近いこともあり、市電で来街した人は、「下通」を訪れやすい傾向にあると考えられる。

「上通」では、MDCEVモデルで定数項のみが負で有意となった。一方、flexible MDCEVモデルでは、買い物ダミーが離散選択・連続量選択で正で有意となり、電鉄ダミーが連続量選択で正で有意になった。「上通」には大型のデパートである鶴屋百貨店の別館や多くの衣料品店が集まっているため、買い物目的での回遊が多くなっていると考えられる。また、上通の北に位置する最寄り駅から来ている人は、電鉄の料金を支払っている分、長時間滞在する傾向にあったと考えた。

「下通周辺」はMDCEVモデルで定数項のみが負で有意となり、flexible MDCEVモデルでは、年齢が離散選択・連続量選択で正で有意となり、高齢の方ほど「下通周辺」を訪れやすく、長時間滞在しやすいことを確認した。

「上通周辺」はMDCEVモデル、flexible MDCEVモデルともに定数項のみ有意となった。「上通」と同じく、熊

本電鉄の駅が近いこと、電鉄ダミーが正で有意になると思われたが、有意とならなかった。これより、電鉄で来街する人は「上通」には長時間の回遊がしやすいが、「上通」を外れた周辺地区では、回遊しやすいという傾向にあるわけではないことが分かった。

このように、MDCEVモデルでは有意でなかった変数でもflexible MDCEVモデルでは離散選択・連続量選択のどちらかのみが有意となっている結果がいくつか示された。これによりMDCEVモデルから得られた結果だけでは明らかにできなかった、地区選択の頻度は低いが、一度の回遊時間が長いといった回遊や、反対に地区選択の頻度は高いが回遊時間が長くないといったより詳細なまちなかの回遊状況を記述できた。また、竹田らの研究で推定された8地区から6地区にしたことで、下通の学生ダミーのように有意だった変数が有意でなくなったり、有意でなかった変数が有意になったものも示された。

6. シミュレーションによるモデルの挙動確認

ここでは、モデルの挙動を確認することを目的にいくつかのシミュレーション分析を示す。

本研究では、flexible MDCEVモデルで推定したパラメータを用いて、滞在時間に関するシミュレーションを行った。なお、本章でのシミュレーションは計算負荷の削減のために6地区から3地区に変更している。表-2にシミュレーションに用いた3地区でのパラメータ推定結果を示し、図-7,8,9にくまもとまち歩き調査(3章)で得られた

観測データと得られたデータを用いて、滞在時間シミュレーションを行った推定値のヒストグラムの比較を示す。以下にシミュレーションの概要を記述する。シミュレーションを行う地点は「桜町」、「下通」、「上通」の3地点であり、説明変数は年齢と性別については3地点とも共通である。それに加えて、「桜町」にはバスダミーを、「下通」には市電ダミーを、「上通」には電鉄ダミーを導入した。なお、24時間のうち18時間を外部財と設定し、残りの6時間で時間配分すると仮定している。また、ここではN=825のサンプルに対して、100回のシミュレーションを行い、計82500個のデータで各地区の滞在時間の予測を行い、滞在時間ヒストグラムを作成した。

図-8,9より、「0分」においての観測値とシミュレーション結果に10%~15%の差異があることがわかる。また、3地点すべてにおいて「~120分」より大きな時間になると観測値とわずかにずれる傾向がある。これより、このモデルは離散選択と長期的な時間については改善の余地があると考えられる。しかし、それ以外は観測値と比べて似たような傾向になっており、本研究で用いているモデルでは比較的観測値を再現できていると考えられる。

表-2 3地区でのパラメータ推定結果

地区名	離散選択			連続量選択	
	説明変数	パラメータ	t値	パラメータ	t値
桜町	定数項	0.05	0.32	0.08	0.32
	年齢	-0.02	-5.24 ***	0.04	8.20 ***
	性別	-0.01	-0.08	-0.15	-0.81
	バスダミー	0.12	0.83	0.08	0.40
下通	定数項	0.18	1.16	0.20	1.26
	年齢	0.01	2.47 **	0.05	13.87 ***
	性別	-0.03	-0.23	0.06	0.47
	市電ダミー	0.09	0.44	0.02	0.01
上通	定数項	0.36	2.37 ***	0.01	0.07
	年齢	-0.01	-1.60	0.05	12.62 ***
	性別	0.003	0.03	-0.28	-2.01 **
	電鉄ダミー	0.06	0.11	-0.13	-0.25
サンプルサイズ				825	
初期尤度				-9677.72	
最終尤度				-8318.19	

注)***1%有意, **5%有意, *10%有意

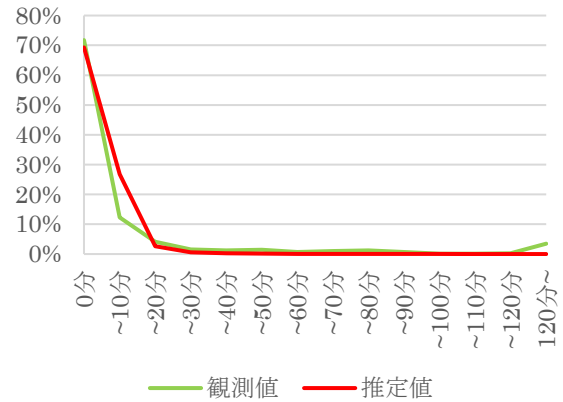


図-7 桜町地区滞在時間の観測値とシミュレーション結果

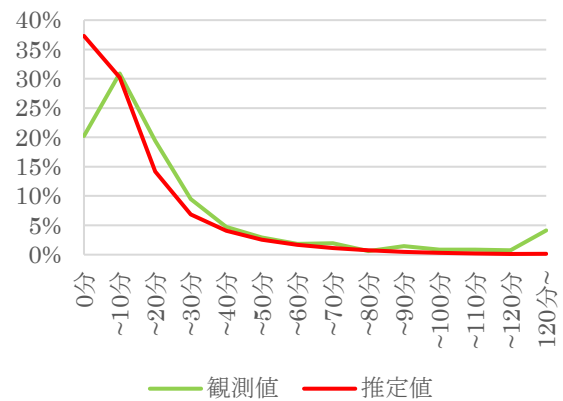


図-8 下通地区滞在時間の観測値とシミュレーション結果

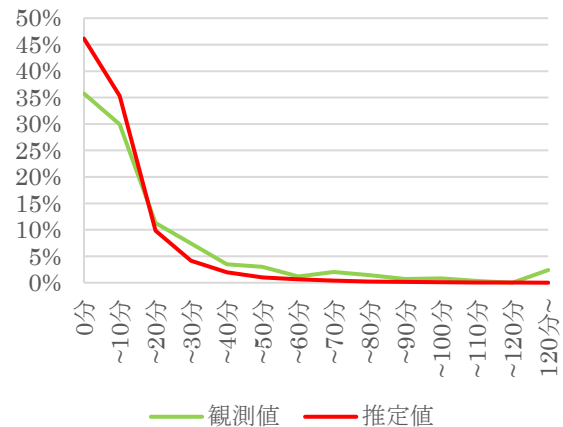


図-9 上通地区滞在時間の観測値とシミュレーション結果

7. 結論

本研究では、熊本都心部でのスマホ型回遊調査のデータを用い、MDCEVモデル及びflexible MDCEVモデルで回遊地区選択と回遊時間選択に関する分析とシミュレーション分析を行った。本研究の成果を以下に述べる。

- 1) 回遊地区別の回遊地区選択及び回遊時間選択と個人属性との関係を分析し、年齢や性別、来街目的、来街交通手段によって回遊する地区や回遊時間に違いが出ることがわかった。
- 2) 個人属性を説明変数として導入したMDCEVモデル及びflexible MDCEVモデルでの推定により、桜町における性別のようにMDCEVモデルでは有意にならなかった説明変数でもflexible MDCEVモデルでは離散選択・連続量選択どちらかしか有意とならない変数の存在が確認され、flexible MDCEVモデルの有効性を示した。

また今後の課題と展開を以下に挙げる。

- 1) 本研究の flexible MDCEVモデルでは推定の簡略化のために、飽和パラメータ σ を1に固定して推定を行ったが、 σ の値を変更することで分析結果がより詳細なものにできると考える。
- 2) 本研究では、選択肢である6つの地区の間には相関がないことを仮定として、各地区を離散選択肢としていたが、実際の回遊行動においては隣接した地区には回遊がしやすい、離れた地区だと回遊しにくい等、地区間には相関性がないとは言えないため、地区の相関を考慮したモデルでの分析を行うことで回遊行動の分析結果の精度向上につながると考える。

- 3) 本研究では、サクラマチクマモト開業前の回遊行動分析及びシミュレーション分析を行ったが、開業前のデータを用いた回遊行動予測と開業後の実際の回遊行動を比較することで、シミュレーション分析の精度の向上につながると考える。

参考文献

- 1) 福田大輔, 力石真: 離散-連続モデルの研究動向に関するレビュー, 土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol.69, No.5, pp.497-510, 2013.
- 2) 福山祥代, 羽藤英二: ネットワークの縮約表現に着目した離散・連続選択モデルによる歩行パターン分析, 第33回交通工学研究発表会論文集, pp.439-444, 2013.
- 3) 竹田有希, 川野倫輝, 渡邊萌, 円山琢也: 離散・連続モデルによる熊本都心部の回遊地区選択・回遊時間配分分析
- 4) 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D3(土木計画学), Vol.71, No.5, pp.323-335, 2015.
- 5) Bhat, C.R.: The multiple discrete-continuous extreme value (MDCEV) model: Role of utility function parameters, identification considerations, and model extensions, Transportation Research Part B: Methodological, Vol.42, pp.274-303, 2008.
- 6) Bhat, C.R.: A multiple discrete-continuous extreme value model: formulation and application to discretionary time-use decisions, Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 39, pp.679-707, 2005.
- 7) Bhat, C.R.: A new flexible multiple discrete-continuous extreme value (MDCEV) choice model. Transportation Research Part B: Methodological, Vol.110, pp.261-279, 2018.
- 8) 石野祐希, 円山琢也, 溝上章志: インタビュー型回遊調査とスマホ型回遊調査の参加者属性に着目した比較分析, 都市計画論文集, Vol. 50, No. 3, pp. 331-336, 2015.
- 9) 野原浩大朗, 福所誠也, 井村祥太朗, 円山琢也: スマホ・アプリを利用した熊本都心部回遊調査の分析, 第49回土木計画学研究発表会・講演集, Vol. 49, 2014.

A FLEXIBLE MDCEV APPROACH TO VISITING PLACE AND STAYING TIME ANALYSIS IN DOWNTOWN KUMAMOTO

Shunta YOSHIKAWA, Hajime WATANABE, Takuya MARUYAMA