

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

荒木 雅弘¹・溝上 章志²・円山 琢也³

¹学生会員 名古屋大学大学院工学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

E-mail: araki.masahiro@j.mbox.nagoya-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 熊本市中央区黒髪2-39-1)

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

³正会員 熊本大学准教授 政策創造研究教育センター (〒860-8555 熊本市中央区黒髪2-39-1)

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

近年、熊本市では、中心市街地の魅力と活力向上のために様々な施策がとられている。その中でも、人々の回遊行動を促進させることは、中心市街地を活性化させる有効な施策のひとつであると考えられている。そのためには、歩行者の回遊行動の実態を詳細に分析し、回遊行動に影響を及ぼす要因とメカニズムを明らかにすることが必要である。本研究では、街路構成指標なども説明変数として導入して、まちなかの空間的魅力向上のための政策提言に活用できるモデルを構築する。その後、現在熊本市が計画している桜町地区の再開発事業「桜町地区第一種市街地再開発事業」が来街者の回遊行動に与える効果を政策シミュレーションによって分析することを目的としている。

Key Words : excursion behavior, nested logit model, survival analysis, city center, space syntax theory

1. はじめに

九州新幹線鹿児島ルートの中線開通や政令市への移行などにより、近年、熊本市を取り巻く環境は大きく変化し、政令指定都市としてさらなる飛躍が期待されている。一方で、居住者や商業機能の郊外移転による中心商店街での歩行者交通量や小売販売額の減少、低・未利用地の増加など、中心市街地の活力の低下が懸念されている。

これらの課題を解決する為に、熊本市は熊本市中心市街地活性化基本計画の策定や花畑・桜町地区の再開発事業の計画を進めており、中心市街地の魅力創造と活力向上に力を入れている。これらの施策のなかでも、来街者の回遊を促進することは中心市街地を活性化させる有効な施策の一つと考えられる。そのためには、歩行者の回遊行動の実態を詳細に分析し、回遊行動に影響を及ぼす要因とそのメカニズムを明らかにすることが必要である。

本研究では、市街地の空間・街路網構成などを表す評価指標を説明変数に導入し、まちなかの空間的魅力向上のための政策の提言に利用できるように回遊行動の調査方法とその記述モデルを提案する。その後、現

在、熊本市が都市計画決定した桜町地区の再開発事業「桜町地区第一種市街地再開発事業」が来街者の回遊行動に与える影響を、回遊行動モデルを組み込んだ政策シミュレーションを用いて予測することを目的とする。本研究の対象エリアは、図-1に示す熊本市中心市街地活性化基本計画の対象エリアである通町・桜町地区である。

本研究は全6章で構成される。2章では回遊行動を記



図-1 分析対象エリア

述する目的地選択モデルと滞在時間モデルからなる時空間回遊行動モデルの構造と定式化、およびモデルの推定のためのデータとして用いる熊本中心市街地における歩行者回遊行動アンケート調査とゲートカウント調査について説明する。目的地選択は地区の界限性や入り込みやすさのような街路網構成にも依存する。3章では、中心市街地の街路網構成の評価指標として導入したスペースシンタックス理論によるインテグレーション値 (*Int* 値) の概念と算出方法について解説し、回遊行動モデルへの導入方法について説明する。4章ではそれぞれのモデルの推定結果を述べ、その考察を行う。5章では構築した回遊行動モデルの現況再現の検証、および桜町地区第一種市街地再開発事業への政策シミュレーションの結果を考察する。最後に本研究の成果と今後の課題について6章でまとめる。

2. 回遊行動調査と回遊行動モデル

(1) 既存研究の課題

来街者の回遊行動と中心市街地の空間構成との関係を分析した研究は幾つか存在する¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。筆者らも来街者の中心市街地での回遊ルートと訪問先での滞在時間を予測する時空間回遊行動モデルのプロトタイプを提案し、休日に行った熊本中心市街地回遊行動アンケート調査データを用いたモデルの推定を行ってきた。しかし、いずれも、回遊行動モデルに導入された説明変数が店舗への移動時間や店舗面積などの標準的な変数であり、街路網構成によって創出される訪問先店舗が存在する街区全体のもつ雰囲気などの特性が考慮されていない、また、適合度があまり良くないなどの課題があった。より詳細に来街者の回遊行動を表現するためには、現訪問店舗からの移動時間や目的地店舗の店舗面積などの直接的要因だけではなく、店舗への空間的なアクセスのしやすさや店舗の存在する地区全体が持つ空間的魅力などを考慮するなど、多様でより詳細な要因を導入する必要がある。さらに、上述の回遊行動モデルは休日サンプルを用いたモデルの推定を行っているため、平日サンプルを用いたモデルの推定も行い、平日と休日の比較分析を行い、その違いを明らかにすることもことも有用であろう。本研究では、店舗選択モデルに街路構成指標などを説明変数に追加的に導入し、平日および休日のサンプルによるモデル推定を行って、来街者のまちなかにおける回遊行動を詳細に分析することを目的とする。

(2) 回遊行動モデルの概要

本研究では、回遊行動を中心市街地の入口から出発

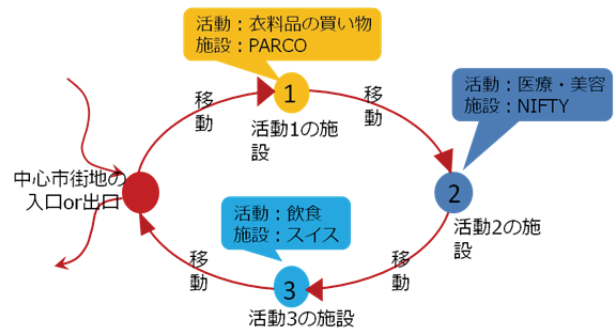


図-2 回遊行動の概念図

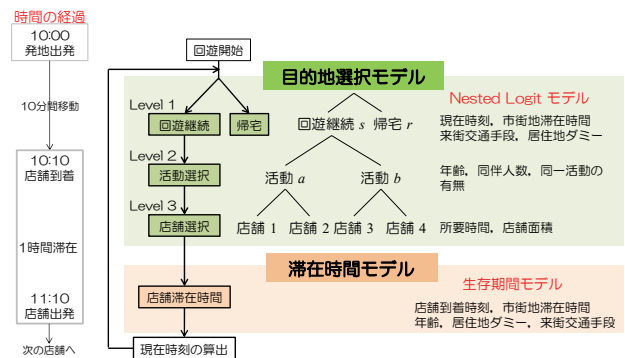


図-3 回遊行動モデルの概要

して、時間の経過に沿っていくつかの店舗を訪問した後には出口から帰宅するといった、時・空間上の一連の流れと定義する。図-2にその概念図を示す。来街者の回遊行動を、回遊を継続するか、継続するという条件下でどの活動を行うか、その活動を行うという条件下でどの店舗を訪問し、そこで何分間滞在するかという段階的な離散選択と継続時間選択行動として記述する。

図-3に示すように、3レベルのネステッドロジットモデルによる目的地選択モデルと生存期間モデルによる店舗滞在時間モデルを組み合わせることによって、時空間回遊行動をモデル化する。目的地選択モデルでは、Level-1で回遊継続か帰宅か選択、Level-2で買物や飲食などの活動内容の選択、Level-3で活動内容を選択した条件下での各店舗の選択という構造を仮定している。

目的地選択モデルによって店舗が決定すると、その時点の現在時刻に発地点からその店舗までの所要時間を加えることで到着時刻を求めることができる。店舗到着後はその店の魅力度や到着時刻などによって滞在時間が決定されると仮定する。これら店舗間の移動時間と店舗滞在時間の総和が市街地滞在時間となる。これらに影響をうけてLevel-1における回遊継続か帰宅するかの選択に戻る。これを帰宅が選択されるまで繰り返す。

通常、来街者には滞在時間に制約があることから、時間制約下で効用を最大にする活動や移動の選択を行

うという概念に基づいた、いわゆる活動時間配分型のモデルの適用も有効かもしれない。しかし、本モデルでは時間制約については明示的に考慮せず、回遊継続か帰宅かの選択肢の効用を現時刻や市街地滞在時間の関数とすることによって、間接的に時間制約を考慮している。この考え方は、トリップチェーンや広域観光周遊など、時空間的に連続する活動と移動の選択行動のモデル化にも活用できる。

a) 目的地選択モデル

図-3の目的地選択モデルに示した簡易的なネステッドロジットモデルの選択ツリーにおいて、店舗 i を選択する確率 P_i は次で表される。

$$P_i = P(s) \cdot P(a|s) \cdot P(i|a) \quad (1)$$

ここで、 $P(s)$ は回遊継続を選択する確率、 $P(a|s)$ は回遊継続を選択したという条件下で活動 a を選ぶ条件付き確率、 $P(i|a)$ は活動 a を選んだという条件下で店舗 i を選択する条件付き確率であり、それぞれ以下のように表される。

$$P(s) = \frac{\exp\{\lambda_2(V_s + I_s)\}}{\exp\{\lambda_2(V_s + I_s)\} + \exp\{\lambda_2(V_r + I_r)\}} \quad (2)$$

$$P(a|s) = \frac{\exp\{\lambda_1(V_{(a|s)} + I_a)\}}{\exp\{\lambda_1(V_{(a|s)} + I_a)\} + \exp\{\lambda_1(V_{(b|s)} + I_b)\}} \quad (3)$$

$$P(i|a) = \frac{\exp(V_{(i|a)})}{\sum_{i \in J_a} \exp(V_{(i|a)})} \quad (4)$$

ここで、 I_a 、 I_b 、 I_s 、 I_r は以下で定義される合成変数である。

$$I_a = \frac{1}{\lambda_1} \ln \left\{ \sum_{i \in J_a} \exp(\lambda_1 V_{(i|a)}) \right\} \quad (5)$$

$$I_b = \frac{1}{\lambda_1} \ln \left\{ \sum_{i \in J_b} \exp(\lambda_1 V_{(i|b)}) \right\} \quad (6)$$

$$I_s = \frac{1}{\lambda_2} \ln \left\{ \sum_{k \in K_s} \exp(\lambda_2 V_{(k|s)}) \right\} \quad (7)$$

$$I_r = 0 \quad (8)$$

なお、 J_a 、 J_b はそれぞれ活動 a 、 b が可能な店舗の集合、 K_s は活動の集合を示す。

V はそれぞれ個人 n がその選択肢を選択した際の効用で、 V_s は回遊継続の固有の効用、 V_r は帰宅の固有の効用、 $V_{(a|s)}$ 、 $V_{(b|s)}$ はそれぞれ活動 a 、 b を選択した際の固有の効用である。 $V_{(i|a)}$ 、 $V_{(i|b)}$ は活動 a 、 b を選択したという条件下での店舗 i の効用である。

効用 V には、年齢や性別、回遊したときの人数などの回遊者の属性、訪問店舗の面積や次の目的地までの所要時間、複合商業施設かどうかなどの従来から用いている変数に加えて、後述する街路構成指標などを新

たに説明変数として導入し、適合度の向上を目指す。

b) 滞在時間モデル

各店舗における滞在時間を求めるために、生存関数にワイブル分布を仮定した生存時間モデルを適用する。生存関数とは、生存状態から時間 t が経過した後に死亡状態へ移行している確率を表わす関数であるが、生存状態を訪問した店舗に滞在している状態、死亡状態を訪問した店舗を離れる状態とみなす。これによって、その店舗に訪問した時刻から時間 t の経過と共に減少する滞在者の生存確率を表現できる。一般的に生存関数には指数分布を用いるが、本研究では分布の形状を決定する形状パラメータを任意に考慮することができ、滞在時間を詳細に表現できるワイブル分布を仮定している。

時点 t において個人 n が店舗にいる確率 $S(t)$ として、その確率分布関数が

$$S(t) = \exp\{- (\beta t)^\alpha\} \quad (9)$$

のワイブル分布を仮定すると、時点 t において個体 n が店舗から離れている確率 $F(t)$ は次式で表わされる。

$$F(t) = 1 - \exp\{- (\beta t)^\alpha\} \quad (10)$$

また、その確率密度関数は次式で表わされる。

$$f(t) = \frac{df(t)}{dt} = \alpha \beta t^{\alpha-1} \cdot \exp\{- (\beta t)^\alpha\} \quad (11)$$

ここで、パラメータ α は時間的スケールに対応した尺度パラメータであり、 $\alpha > 1$ のとき、ハザード関数は t の単調増加関数であり、 $\alpha < 1$ のとき、 t の単調減少関数となる。一方、パラメータ β は分布の形状を決める形状パラメータであり、この値が大きいほど早い時間に急激に店舗から離れる確率が高くなることを示す。本研究では、上記のパラメータ β を

$$\beta = \exp(b_0 + b_1 y_1 + b_2 y_2 + \dots + b_m y_m) \quad (12)$$

のように定式化した。ここで、 y_i ($i=1, \dots, m$) は現在時刻や個人属性などの説明変数である。

(3) 中心市街地における回遊行動調査の概要

本研究では、2011年に実施した熊本中心市街地における商店街通行量調査、ゲートカウント調査、歩行者回遊行動アンケート調査のデータを使用する。以下にそれぞれの調査の概要を述べ、調査項目などの詳細を表-1～表-3に示す。

a) 商店街通行量調査

商店街通行量調査は、熊本市と熊本商工会議所によって例年8月の日曜と平日にそれぞれ1回ずつ実施されている歩行者の断面通行量調査⁶⁾である。中心市街地26地点を含む市内36地点で行われているが、新たに導入

したゲートカウント調査との重複のため、2011年には主要5地点でのみ行われている。

b) ゲートカウント調査

前述の商店街通行量調査は中心市街地の26の断面だけでの調査のため、市街地全体の空間的な歩行者の分布は捉えることが出来ない。ゲートカウント調査は、調査員が5分ごとに調査地点を移動しつつ、その間の通行量を記録する調査である。そのため299地点という多くの地点における通行量データを得ることができ、歩行者の空間的な分布を把握することが可能である。

c) 歩行者回遊行動アンケート調査

この調査は、熊本市中心市街地に訪問する人がどのような目的で来街し、どのようなルートで回遊し、活動を行っているかを把握するために実施された。バス停や電停、駐車場や駐輪場、バス停や電停、駐車場や駐輪場などの回遊の入出地点において、来街者が中心市街地から帰宅する際に、その日1日の回遊行動をヒアリングする方法で実施した。ここでは、被験者の個人属性や来街目的のほか、回遊開始地点から終了地点間の実際に通った回遊ルート、訪問した店舗・施設名、および、そこでの活動（買物、飲食、娯楽、観光など）と滞在時間、購入品目、消費金額などを質問している。

このアンケート調査はサンプル調査であるため、何らかの方法でサンプルを拡大する必要がある。拡大の具体的な方法については5章で後述する。

3. 街路構成の回遊行動モデルへの導入

本研究では、まちなかにおける人の回遊行動を誘引する要因として、著者らのプロトタイプモデルに導入されていた店舗間の移動時間や訪問先店舗の魅力度に加えて、空間的なアクセスのしやすさやその区域の限界性を表す街路構成指標として、スペースシンタクス (SS) 理論によるインテグレーション値 (*Int* 値)^{7,8)}を用いる。*Int* 値は、心理学における人の空間認知を考えた際の「見えること（視認可能）」や「真っ直ぐたどり着けること（直線的に移動可能）」による影響度を指標化したものであり、それによって人が通りやすい空間かどうかの評価や街路網構成の評価、犯罪の発生リスク分析などにも活用されている。

Int 値は位相幾何学的に空間相互の「繋がり方」を分析することで他の空間からのアクセスのしやすさを指標化できる。空間の「繋がり方」の捉え方によって、認知モデルと動線モデルという2種類の分析が可能である。前者は、直線的に認知可能な最長の軸線 (Axial

表-1 商店街通行量調査の概要

調査日	2011年8月19日(金), 21日(日)
調査時間	8:00~20:00の12時間
調査地点	熊本市中心市街地における5地点
調査対象	歩行者及び目転車通行者

表-2 ゲートカウント調査の概要

調査日	2011年10月21日(金) 2011年11月13日(日)
調査時間	8:30~9:30 9:30~10:30 10:30~11:30 12:00~13:00 14:00~15:00 15:00~16:00 16:30~17:30 18:00~19:00 19:00~20:00 上記のうちのそれぞれある5分間
調査地点	熊本中心市街地における299地点
調査対象	歩行者および自転車通行者

表-3 歩行者回遊行動アンケート調査の概要

調査日	2011年10月23日(金) 2011年11月13日(日)
調査時間	1:12:00~13:00 2:14:00~15:00 3:16:00~17:00 4:18:00~19:00
調査地点	中心市街地・熊本城周辺の主要出口 26箇所
調査項目	1:個人属性(性別・年齢・居住地等) 2:来街目的 3:来街手段 4:訪問先(活動・消費行動等) 5:回遊ルート
得られたサンプル	平日 561 サンプル 休日 603 サンプル

Line) を1つの空間とすることから、認識としての空間の関係性を数値化する。一方、動線モデルは、直線で移動可能な軸線を1つの空間とするもので、横断歩道や歩道の位置や形状、さらには障害物の有無などの情報をも考慮して線形化するため、実態としての歩行空間の関係性を数値化できる。これらの値の算出方法については文献9)を参照されたい。

図4に熊本市中心市街地の街路網を対象に算出した動線モデルによる *Int* 値を示す。一般的に *Int* 値が高い街路や空間ほど行きやすく、人の往来が多いアーケード商店街や国道では *Int* 値が高い。しかし、*Int* 値の高い上通りからの脇道や上乃裏通りなど、*Int* 値が急に小さくなる街路で構成される空間にも時間帯によっては回遊が多く見られる区域が存在する。したがって、訪問店舗までの経路上の *Int* 値の変化率や *Int* 値の地域全体の平均値なども人の回遊に影響を与えていると考えられる。本研究では、実際の回遊行動に即した形で回遊行動モデルへの *Int* 値の導入を図るために、動線モデルによる *Int* 値を街路構成指標に用いる。

表4 中心市街地における活動別の訪問店舗数

活動内容	訪問店舗数	
	平日(%)	休日(%)
1.買物	77(43.7)	60(51.7)
2.飲食交友	45(25.6)	43(37.1)
3.娯楽鑑賞	13(7.4)	18(15.5)
4.用事	34(19.3)	12(10.3)
5.美容	11(6.2)	8(6.9)
6.学習	21(19.3)	4(3.4)
7.観光	3(1.7)	2(1.9)
計	176(100)	116(100)
サンプル数	325	374

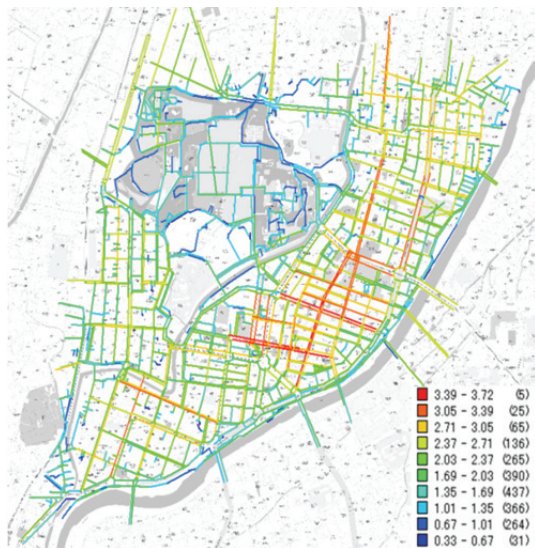


図4 動線モデルによるInt値の分布

4. 回遊行動モデルの推定

(1) 使用データ

本研究では、モデルの推定のためのデータとして2011年に実施した熊本中心市街地における歩行者回遊行動アンケート調査データを使用した。回遊行動を行ったサンプルのうち、モデル推定の際の説明変数となる個人属性や回遊開始時刻、発ゾーンや訪問先などが未記入もしくは不明なサンプルは削除している。最終的にモデル推定に使用できたサンプル人数は平日サンプルが325人分(642トリップ)、休日サンプルが374人分(574トリップ)となっている。

目的地選択モデルの訪問先店舗選択肢は、歩行者回遊行動アンケート調査に書かれている回遊経路上で一度でも訪問があった店舗の全てであり、平日が176店舗、休日が116店舗である。それらを実際にその店舗で行った活動別に分類したところ、表4で示すような数の店舗選択肢となった。表4より、1回の回遊についての平均トリップは、平日が1.97、休日が1.53、平均訪問店舗

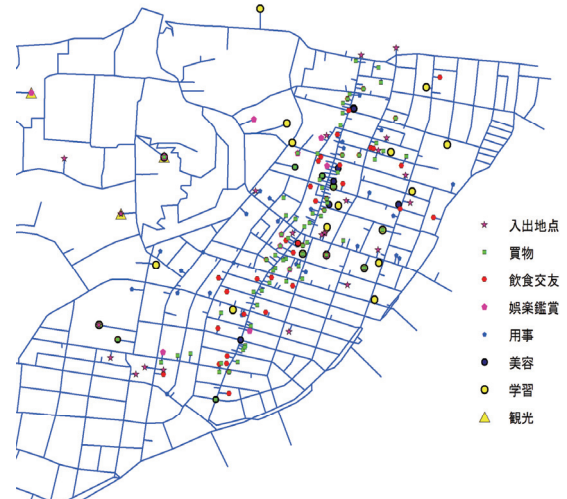


図5 中心市街地の街路網ネットワークモデル

数は平日が0.54、休日が0.31店舗でいずれも平日の方が多いたことが分かる。すべての選択肢店舗数に占める活動別の店舗選択肢数の比率は、買物と飲食交友、娯楽鑑賞活動で平日より休日の方がかなり高く、用事と学習活動では逆に平日の比率がかなり高いなど、平日と休日では選択肢の構成に違いが見られる。

(2) モデル推定のためのデータ整備

a) 店舗間移動時間

Level-3の訪問店舗選択モデルでは店舗間の移動時間が必要になる。ここでは、中心市街地の街路網をネットワークとしてモデル化し、このネットワーク上に全ての回遊行動サンプルの入出地点(26箇所)と選択肢となる全ての店舗(267箇所)から成るセントロイドを設定し、これらのセントロイド間の最短経路探索を行うことによってセントロイド間移動時間マトリックスを準備した。このネットワークを図5に示す。

b) 店舗面積

Level-3の訪問店舗選択モデルでは店舗の魅力度指標として店舗面積を用いる。選択肢となるすべての店舗の店舗面積はGISによって店舗の床面積を算出した。なお、2階以上の店舗については1階部分の床面積を用いた。また、ひとつの建物に複数の店舗が入居している複合商業施設についても、ひとつの店舗とみなし、1階部分の床面積を用いる。

c) Int値

Level-3の訪問店舗選択モデルでは、訪問店舗が存在する区域の空間的界索性や訪問先店舗までの街路構成による行きやすさなどの指標が必要になる。前者については、3章で示した各区域を構成している全てのAxial LineのInt値の平均値および分散を用いる。後者については、次に訪問する店舗までの目的地までの最短経路上

地区名	地区	主な通り, 建物	Int平均値	Int分散値
上通北	1-①	上林町	1.84	0.179
	1-②	並木坂	2.69	0.126
	1-③	上之裏通り北	2.48	0.184
	1-④	3号線北	2.27	0.252
上通南	2-①	オークス通り	2.14	0.168
	2-②	上通り	2.85	0.0887
	2-③	上之裏通り北	2.31	0.113
	2-④	3号線中	2.34	0.278
下通北	3-①	市役所	2.44	0.131
	3-②	下通り銀座北	2.61	0.185
	3-③	駕町～3号線	2.48	0.281
下通南	4-①	西銀座, 栄通り	2.86	0.0628
	4-②	下通り～新市街	3.03	0.156
	4-③	シャワー通り, 3号線南	2.38	0.319
桜町	5	交通センター	2.16	0.314
熊本城	6	熊本城	1.34	0.101

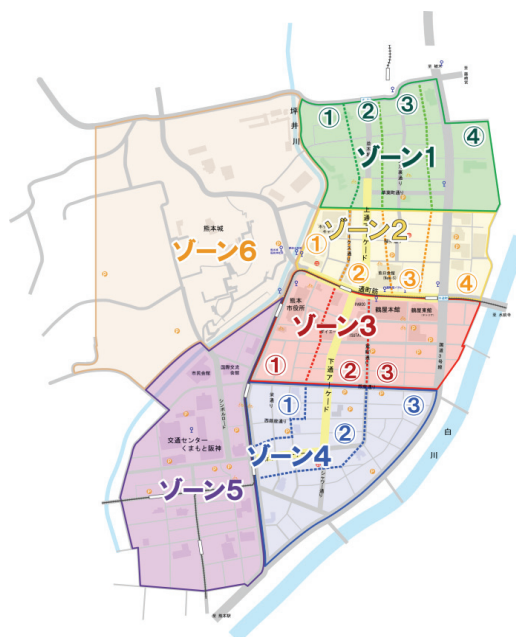


図-6 各ゾーンの Int 値の平均と分散

表-5 Level-3 訪問店舗選択モデルの推定結果

説明変数	平日		休日	
	推定値	t値	推定値	t値
最短経路の所要時間(h)	-7.91	-9.02	-3.08	-3.49
店舗面積(1000m ²)	0.0542	3.87	0.0368	2.87
複合商業施設ダミー(複合商業施設=1)	5.18	15.1	3.68	18.6
目的地のある地区の Int 平均値	-0.447	-2.78	0.235	1.17
目的地のある地区の Int 値の分散	1.05	1.61	3.37	4.73
目的地までの最短経路上リンク Int 値の分散	-0.764	-2.11	-1.42	-3.57
尤度比	0.589		0.397	
サンプル数	642		574	

のリンクを構成するAxial LineのInt値の分散などの指標を準備しておいた。図-6には、分析対象地域を15のゾーンに分割し、ゾーンごとに、ゾーン内にある全てのAxial LineのInt値の平均値と分散値を計算した結果を示す。

(3) 目的地選択モデルの推定結果

以下に目的地選択モデルの推定結果をそれぞれのLevelごとに示す。前述した街路構成評価指標であるInt値は、Level-3の訪問店舗選択において図-6に示したゾーン平均Int値(参照)、ゾーンのInt値の分散、目的地までの最短経路が持つInt値の分散という3つの指標を説明変数として導入している。ゾーン平均Int値とは訪問店舗が存在するゾーン内の全リンクのInt値の平均値であり、当該ゾーン全体の平均的な行きやすさを表す。ゾーンのInt値の分散はゾーン内の全リンクのInt値の分散であり、当該ゾーンの空間的界限性を表す。また、目的地までの最短経路が持つInt値の分散は、訪問店舗ま

での最短経路上のリンクのInt値の分散であり、経路上の空間構成の変動の程度を表す。

なお、本研究では、下位のLevel-3から順に上位のモデルの推定を行い、最終的にLevel-1の推定を行うという段階推定法を用いてモデルの推定を行っている。

a) Level-3 訪問店舗選択モデル

表-5にLevel-3の訪問店舗選択モデルの推定結果を示す。尤度比は高く、モデルの適合度は高い。また、いずれの変数のt値も高く、統計的に有意である。平日、休日ともに、所要時間の推定値の符号は負、店舗面積、複合商業施設ダミーの推定値の符号は正となっている。したがって、訪問店舗までの所要時間が短く、さらに店舗面積が広く、複合商業施設である方が効用が高いことを示しており、符号条件は論理的と言えよう。

目的地のある地区の平均Int値の符号は平日が負、休日が正の値をとっていることから、平日は地区平均Int値が小さい地区に存在する店舗の方が効用が高く、休

表-6 Level-2 活動選択モデルの推定結果

説明変数	平日		休日		
	推定値	t値	推定値	t値	
定数項	買物	3.65	2.36	4.01	2.62
	飲食交友	-0.573	-0.515	-0.567	-0.586
	娯楽鑑賞	-2.37	-1.73	-	-
	用事	-0.969	-0.864	-2.73	-2.45
	美容	-3.03	-2.03	-2.64	-2.04
	学習	-	-	-2.66	-1.97
	観光	3.09	2.33	2.06	2.11
活動人数	買物	-0.71	-2.81	-0.713	-3.65
年齢	娯楽鑑賞	-	-	-0.0418	-1.56
	学習	-0.0432	-1.44	-	-
同一活動ダミー	買物	0.948	1.97	-0.124	-0.307
λ_1		0.480	4.25	0.529	4.95
尤度比	0.497		0.558		
サンプル数	642		574		

表-7 Level-1 回遊継続, 帰宅選択モデルの推定結果

説明変数		平日		休日	
		推定値	t値	推定値	t値
回遊継続	現在時刻	-5.42	-2.44	-3.71	-1.67
	市街地滞在時間(h)	-0.634	-2.58	-1.86	-3.53
	居住地ダミー(熊本市在住=1)	-0.199	-0.691	-0.365	-0.864
帰宅	定数項	-1.04	-0.554	-3.18	-1.67
	公共交通ダミー(公共交通機関=1)	0.320	1.12	0.240	0.581
λ_2		0.650	2.70	0.422	3.58
尤度比	0.172		0.236		
サンプル数	642		574		

日にはその逆になっており、興味深い。これは、平日の方が、*Int*値の低い街路で構成された地区に存在するような店舗の選択確率が高まり、裏通りや奥まった空間にまで入り込むことがあること分かる。

ゾーンの*Int*値の分散の符号は平日、休日ともに正である。これは、地区ごとの*Int*値のばらつきが大きい複雑性の高いような地区に存在する店舗の方が効用が高いことを示す。目的地までの最短経路が持つ*Int*値の分散は平日、休日ともに負であり、訪問する店舗までの経路上のリンクの*Int*値の変化率が小さい経路をもつ店舗を選択することを示している。

b) Level-2 活動内容選択モデル

表-6にLevel-2の活動内容選択モデルの推定結果を示す。統計的に有意ではない変数もいくつか見られるものの、モデル全体の尤度比は高く、モデルの適合度は高い。

平日のモデルでは、年齢を学習、同一活動ダミーを買物の効用関数に、休日のモデルでは、年齢を娯楽鑑賞、同一活動ダミーを買物の効用関数に説明変数として導入している。同一活動ダミー（買物）の符号は平日が正、休日が負であることから、平日には同一の買物活動を続けて選択するほど買物の効用は高く、休日にはそれまでに買物をしていない方が同一の買物活動

を行う効用が高いなど、平日と休日で異なる推定結果が得られた。活動人数の符号が平日、休日ともに負であることから、買物は回遊人数が少ないほど効用が高く、年齢の符号が負であることから、学習、および娯楽鑑賞は年齢が低いほど効用は高くなるなど、符号条件についてもおおよそ論理的なモデルが推定されているといえよう。 λ_1 は $0 \leq \lambda_1 \leq 1.0$ を満たしており、仮定した選択肢の階層構造の妥当性を示している。

c) Level-1 回遊継続, 帰宅選択モデル

表-7にLevel-1の回遊継続か帰宅かの選択モデルの推定結果を示す。尤度比はおおむね高く、モデルの適合度は高い。また、*t*値は居住地ダミーと公共交通機関ダミーが低い値となっているが、その他の*t*値はおおむね高い値をとっている。回遊継続の効用関数には、滞在時間、回遊時の現在時刻、居住地ダミー、公共交通機関ダミー、居住地ダミーをそれぞれ説明変数として導入している。推定結果をみると、回遊継続の効用関数である現在時刻、市街地滞在時間、居住地ダミーの推定値符号はいずれも負になっている。現在時刻、市街地滞在時間が負ということは、現在時刻が早く、それまでの市街地滞在時間が短いほど回遊継続の効用が高くなるということであり、符号条件も論理的である。ま

表-8 滞在時間モデルの推定結果

説明変数		平日		休日	
		推定値	t値	推定値	t値
形状パラメータ β	居住地ダミー(熊本市内在住=1)	-0.295	-2.53	0.312	3.35
	公共交通機関ダミー(公共交通=1)	-0.364	-3.39	-0.213	-2.41
	性別(男性=1)	-0.212	-1.72	0.0742	0.828
	市街地滞在時間(h)	0.202	6.72	0.227	5.87
	現在時刻	0.528	2.35	-0.799	-4.42
尺度パラメータ α		0.253	8.30	-0.0558	-1.82
最大対数尤度		-647		-594	
サンプル数		570		545	

た、居住地ダミーが負ということは、熊本市外在住者のほうが回遊継続の効用が高いことを示している。また、帰宅の効用関数である公共交通機関ダミーの推定値の符号が正になっている。これは公共交通機関を利用して来街した人のほうが帰宅の効用が高く、遠方からマイカーなどで来街している人ほど回遊を継続しやすい、ということであり、これも符号は論理的である。また、 λ_2 は $0 \leq \lambda_2 \leq 1.0$ を満たしており、あらかじめ仮定した選択肢の階層構造は妥当である。

(4) 滞在時間モデルの推定結果

本研究では、来街者が回遊した全ての店舗での滞在時間データを使って滞在時間モデルを推定した。表-8に推定結果を示す、性別ダミーのt値は低くなっているが、その他の値は高く、統計的に有意である。

形状パラメータ β には説明変数として市街地滞在時間、現在時刻、居住地ダミー、公共交通機関ダミー、性別ダミーを導入している。形状パラメータ β の値が大きくなるほど早期に急激に店舗から離れる確率が高くなることを表しており、推定値の符号が正であれば、符号が負のものより滞在を打ち切りやすい（滞在時間が短くなる）ことを示す。居住地ダミー、公共交通機関ダミー、性別ダミーが負であることから、平日には、熊本市外在住で来街交通手段が公共交通機関ではない女性ほど滞在時間が長くなる。さらに、現在時刻と市街地滞在時間の符号が正であることから、現在時刻が早く、市街地滞在時間が短いほど、訪問先の店舗に長く滞在することを示している。一方、平日は現在時刻の符号が正であるのに対し、休日は負である。これは、現在時刻が遅くなったときに、平日の方がより急激に店舗から離れる確率が高くなることを示している。市街地滞在時間の符号は平日、休日ともに正であるが、休日の推定値の方が大きくなっている。これは市街地滞在時間が長くなれば、平日よりも休日の方が急激に店舗から離れる確率が高くなることを示している。サンプルを個別に見ると、平日は市街地滞在時間が長く

なったとしても、業務などで訪問先の店舗に滞在し続けているサンプルが多く見られる。

5. 回遊シミュレーション

(1) サンプルの拡大

a) 拡大の方法

ここでは、回遊行動アンケート調査のサンプルを拡大する方法について述べる。サンプルベースの回遊行動データと断面交通量のデータを組み合わせる拡大方法について最も基本的な考え方は、断面交通量を出来るだけ再現するようにサンプルのツアー数を拡大する方法である。ここでツアーとは、ある断面を通る回遊行動のことを指す。本研究では、商店街通行量調査、ゲートカウント調査を行った熊本市中心市街地の断面交通量を利用してサンプル全体を一律に拡大する。

拡大率を α とすると、拡大後の断面 i ($i=1, \dots, n$)の通行量の推定値 V_i は下記となる。

$$V_i = \alpha v_i \quad (13)$$

ここでは v_i サンプル上の断面 i の通行量である。

拡大後の断面交通量の推定値が、観測された断面交通量 V_i^* に出来るだけ一致するように拡大係数を求める問題は、次のように表現できる。

$$\min : S = \sum_i^n (V_i - V_i^*)^2 = \sum_i^n (\alpha v_i - V_i^*)^2 \quad (14)$$

S を最小化する α は、 $dS/d\alpha = 0$ より、次式となる。

$$\alpha = \frac{\sum_i^n v_i V_i^*}{\sum_i^n v_i^2} \quad (15)$$

b) 拡大結果

本研究では、ゲートカウント調査地点のうち商店街通行量調査の地点に一致する26地点の中で、歩行者回遊サンプルデータの作成したネットワークと一致する21地点を用いて拡大係数を推定した。

式(15)に帰着する拡大係数の推定結果を表-9に示す。また、図-7、図-8には商店街通行量調査の実測値とモデルによる推計値を示す。休日については、概ね実績値

表-9 拡大係数と相関係数

	平日	休日
拡大係数	73	118
相関係数	0.90	0.93
決定係数	0.81	0.87

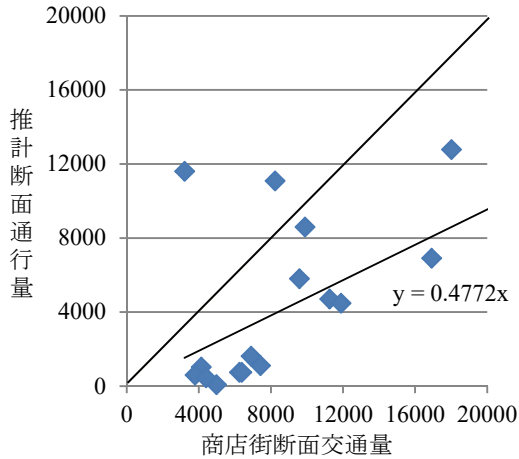


図-7 実測値と推計値の相関 (平日)

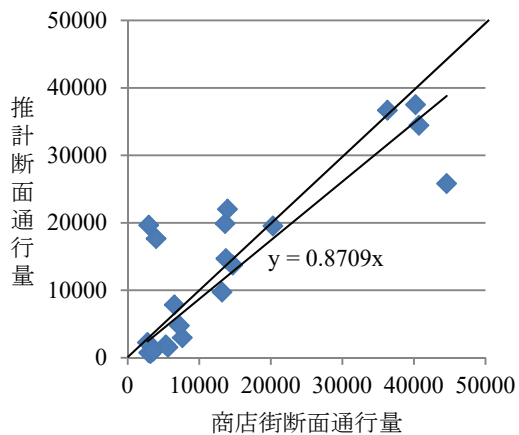


図-8 実測値と推計値の相関 (休日)

を再現するような拡大率が得られたのに対して、平日についてはかなり過小推計されるような拡大率となった。これは全サンプルを一律に拡大する単一の拡大係数を推定したためである。精度の向上を図るためには来街利用交通手段や歩行者回遊行動アンケートの実施地点など、セグメントごとの拡大率を推定すると良い。その方法と結果については文献9)に譲る。信頼性にやや課題はあるものの、ここでは、上記の拡大率を用いて回遊シミュレーションを実行する。

(2) 現況再現性の検証

ここでは、推定したモデルがどの程度、実績を再現できるかを検証するため、2章の図-3で示した行動を再現するシミュレーションを行い、現況の推定値と実績値との比較を行う。

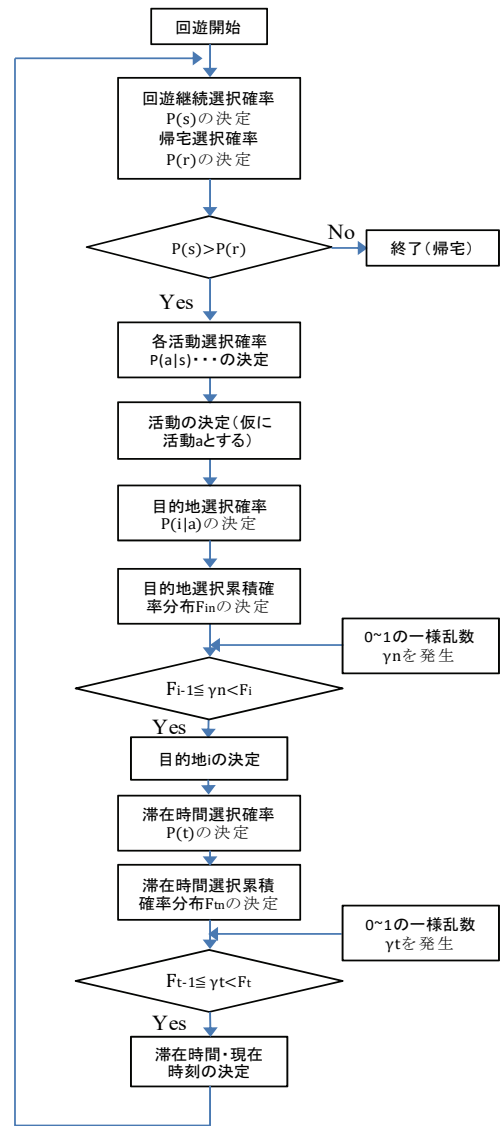


図-9 ミクロシミュレーションのフロー

a) シミュレーションの方法

モンテカルロ法によって個人の回遊行動を再現するミクロシミュレーションのフローを図-9に示し、各段階の手順を示す。

手順1：発ゾーン、現時刻を入力する。

手順2：目的地選択モデルに個人 n の個人属性や複合商業ダミーといった説明変数データを代入し、全ての目的地ごとの選択確率 P_{in} を求める。この時、どの個人も一度は店舗を訪問すると仮定する。求めた目的地選択確率から累積確率分布 F_{in} を作成する。

手順3：[0, 1]の一樣乱数 γ_n を発生させ、 γ_n の値が $F_{i-1} \leq \gamma_n < F_i$ を満たす店舗 i を目的地として選択するものとする。

手順4：滞在時間モデルに個人属性や市街地滞在時間、現在時刻等の説明変数データを代入し、累積滞在時間分布を作成する。手順3と同様に一樣乱数を発生させ、滞在確率に対応する滞在時間を決定する。市街地滞在

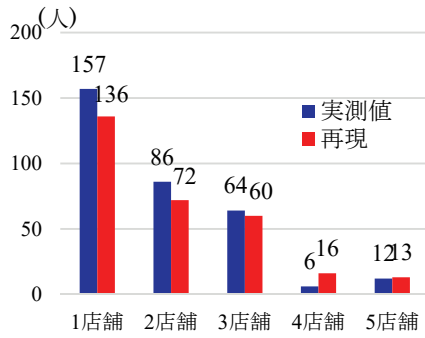


図-10 立ち寄り店舗数の再現性(平日)

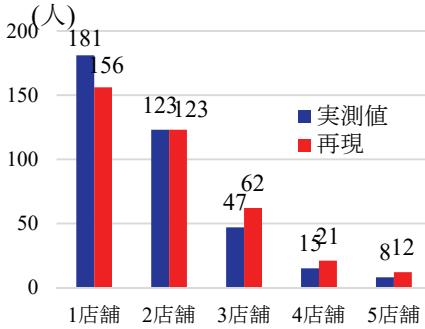


図-11 立ち寄り店舗数の再現性(休日)

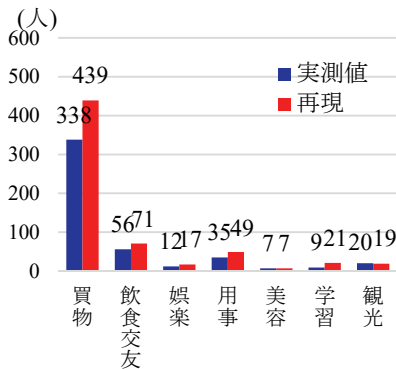


図-12 全活動別訪問店舗数の再現性(平日)

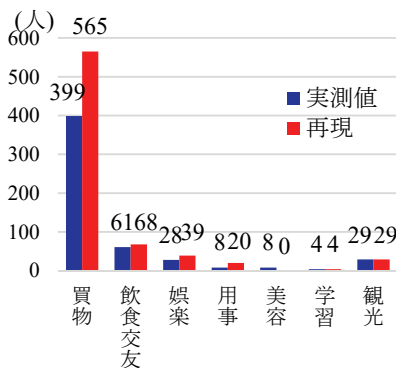


図-13 全活動別訪問店舗数の再現性(休日)

時間は発ゾーンから決定した店舗までの所要時間、現時刻は回遊開始時刻に市街地滞在時間を加えた値となる。

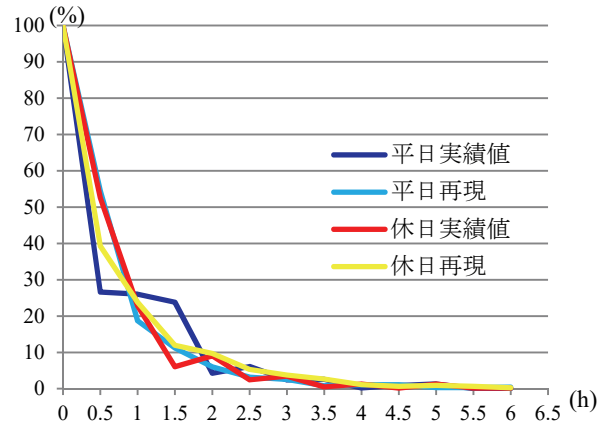


図-14 店舗滞在時間分布の再現

手順 5：手順 4 で求めた店舗滞在時間をそれまでの市街地滞在時間と当該店舗到着時刻に加えることによって、市街地滞在時間と現時刻を算出する。また、第 1 目的で行った活動と同一かどうかによって同一行動ダミーを求める。これらを目的地選択モデルの説明変数に代入して次の目的地の選択確率を求める。その後、手順 3 と同様にして次の目的地を決定する。

手順 6：手順 3～手順 5 の操作を回遊継続する個人がいなくなるまで繰り返す。ただし、5 店舗以上回遊したサンプルはごくわずかでであったため、第 5 目的地選択が終了した時点でシミュレーションを終了する。

以上の操作を全サンプルに対して 10 回実行し、実績値と比較する評価指標の平均値を算出した。

b) 現況の再現性の検証

まず、図-10 と図-11 に平日と休日の立ち寄り店舗数を示す。平日、休日ともに実績を再現できていることが分かる。

図-12 と図-13 は回遊行動のなかで行った活動別の訪問店舗数を示している。平日、休日ともに、買物活動を除いた活動については、推計値は訪問店舗数の実績値と一致している。しかし、買物活動については、両日とも、過大に推計されている。

図-14 は平日と休日の時間経過に伴う店舗滞在者率の推移を示している。平日、休日ともに分布形状は類似していることから、現況の店舗滞在者率を精度良く再現できていると言えよう。

これらの結果から、サンプルベースでの現況再現性を見る限り、目的地選択モデルと滞在時間モデルを組み合わせた回遊行動モデルは熊本中心市街地での回遊行動を高い精度で表現できていると言える。

図-15 と図-16 に平日と休日のゾーンごとの入れ込み人数の実績値と再現値の比較を示す。その際、サンプルベースの再現値を拡大係数によって拡大した値を各地区の入れ込み人数とした。平日については、ゾーン 1

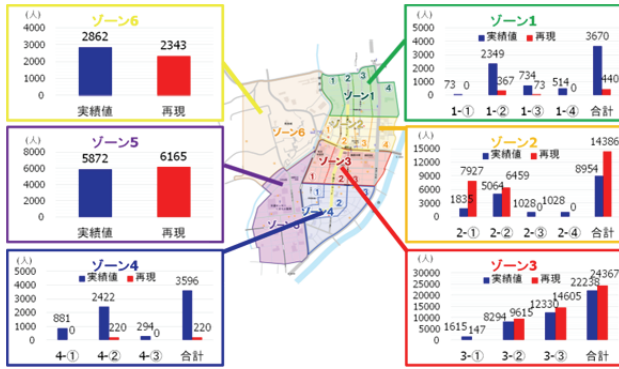


図-15 ゾーン別入れ込み人数の現況再現（平日）

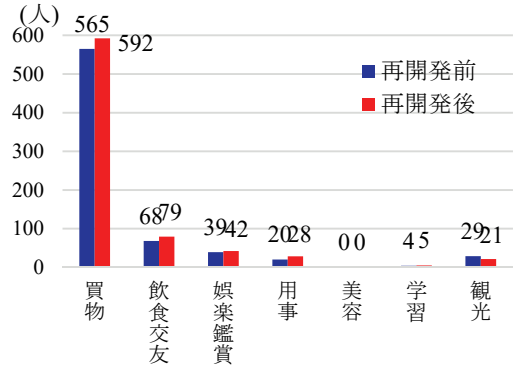


図-19 全活動別訪問店舗数の比較

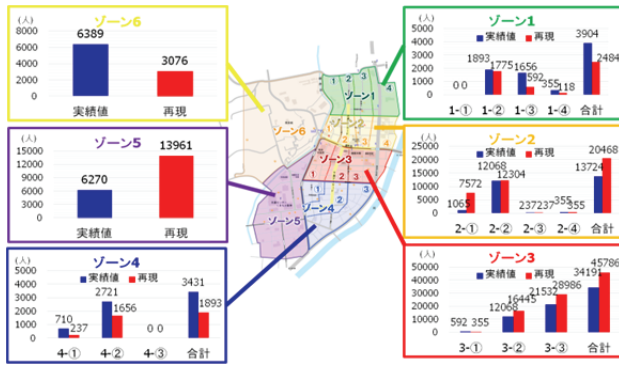


図-16 ゾーン別入れ込み人数の現況再現（休日）

表-10 小ゾーンごとの入れ込み人数の実績値と再現値の相関

相関係数	平日	休日
	0.95	0.97
R^2	0.91	0.95
補正済 R^2	0.89	0.93

とゾーン4で実績値より過小に推計されているが、その他のゾーンでは現況の入れ込み人数をうまく再現している。休日については、ゾーン2とゾーン5では過大に、ゾーン1とゾーン4では過小に入れ込み人数が推計されているが、その他のゾーンでは実績値に近い推計値が得られている。

表-10は小ゾーン（15ゾーン）ごとに入れ込み人数の実績値と再現値を比較した結果を示している。両者ともに相関係数は高く、小ゾーンごとに見ても、入れ込み人数の推計値の信頼性は高い。



図-17 花畑・桜町地区市街地再開発事業予定地

(3) 花畑・桜町地区再開発のシミュレーション分析

次に、現在熊本市が計画している花畑・桜町地区の再開発事業（桜町地区第一種市街地再開発事業）が完了した場合に回遊行動にどのような変化が見られるのかを回遊行動モデルを用いて予測する。再開発前後のゾーン別入れ込み人数の変化を(2)でシミュレートした結果を現況として比較する。設定としては、図-17に示す場所に商業施設やバスターミナルを備えた複合商業施設が建設（複合商業施設ダミー=1）されるために店舗面積が変化すると同時に、周辺の街路がプロムナードとして拡幅整備されるため、道路ネットワークが変化することによって、主として周辺の Int 値も変化する。今回は休日サンプルを用いてシミュレーションを行い、個人属性などの来街者の設定は調査時のままとした。

図-18は再開発前後での立ち寄り店舗数の比較と再開発前後での平均立ち寄り店舗数の変化を示している。再開発前は1店舗、もしくは2店舗目まで訪問していた人が減少し、3店舗、もしくは4店舗、5店舗目まで

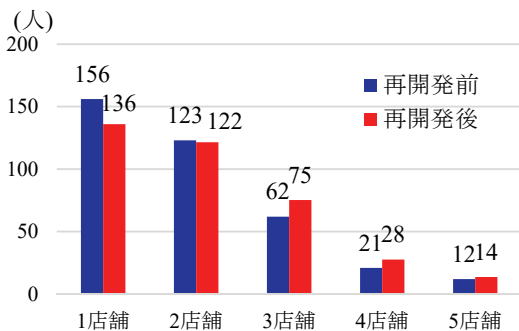


図-18 立ち寄り店舗数の比較

訪問している人が増加している。平均立ち寄り店舗数を見ると、再開発前は 1.95 回であったが、再開発後は 2.08 回であり、再開発事業により全体的に立ち寄り店舗数が増加することが分かる。これは、再開発前の訪問先に加えて、再開発後は複合商業施設を訪問する回遊に行動が拡大したためである。

図-19 は再開発前後での活動別の訪問店舗数の変化を示している。グラフ形状はほぼ一致しており、活動については再開発前後であまり変化は見られない。

図-20 は再開発前後での店舗滞在時間と回遊者全体の市街地滞在時間の変化を示している。店舗滞在時間分布は再開発前後で分布形状はほぼ一致しており、店舗滞在時間には再開発前後であまり変化は見られない。一方、回遊者全体の平均市街地滞在時間は再開発前は

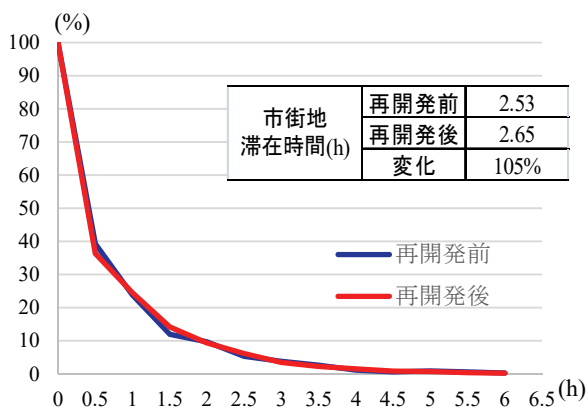


図-20 全活動別訪問店舗数の比較

約 2.53 時間であったが、再開発後は約 2.65 時間であり、で約 7 分間増加している。

図-21 は再開発前後でのゾーン別入れ込み者数の比較を示している。再開発予定地を含むゾーン 5 の入れ込み人数が増加していることが分かる。ゾーン 1 の入れ込み人数がやや減少しているが、その他のゾーンの入れ込み人数はあまり減少していないので、全体的な回遊回数が増えたうえで、ゾーン 5 に人が流入し、回遊行動が活発化していることが分かる。

これらのことから、花畑・桜町地区再開発が完了したときの回遊行動の変化を構築したモデルによって表現することができた。

6. おわりに

以下に本研究で得られた主な成果と今後の課題を併記する。

- 1) SS理論による lnI 値を導入した訪問店舗選択モデルを推定し、街路構成のもつ魅力度が回遊行動に与える影響を考慮したモデルを構築できた。
- 2) 目的地選択モデルと滞在時間モデルを組み合わせ、時間経過を考慮した歩行者の回遊行動を精度良く表現することができた。
- 3) 既存研究の課題であった平日、休日の両方のサンプルを用いた回遊行動モデルを構築し、熊本市中心市街地における平日と休日の回遊行動の比較をすることが

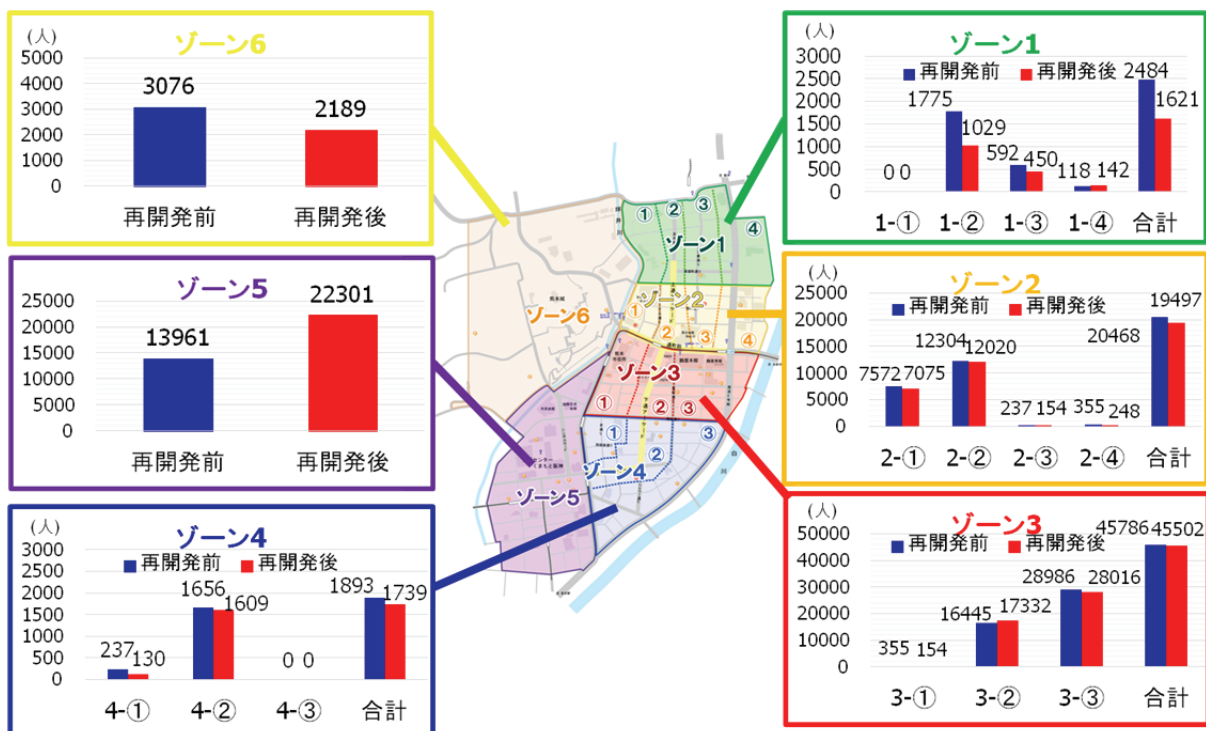


図-21 再開発前後のゾーン別入れ込み人数の比較 (休日)

できた。

4) 花畑・桜町地区再開発によって立ち寄り店舗数、およびゾーンへの入れ込み人数が増加することを示唆した。また、中心市街地での市街地滞在時間の増加が見込まれることが分かった。

5) 2013年11月から12月の土・日曜日の6日間、本研究の対象地域と同一の地域で実施されたスマートフォンアプリの「スマくま」を用いたまちなか回遊調査¹⁰⁾など、他の調査手法から得られた回遊行動データとの補完・融合・代替の可能性などについて、検討を行うことが求められる。

参考文献

- 1) 加藤憲一：業種別商業集積に基づく商業地域の回遊行動モデル，都市計画論文集，No.44-2，pp.8-13，2009.
- 2) 石川宏之：地方都市中心市街地における来街者の回遊行動と小規模賃貸店舗の展開に関する研究—青森県八戸市中心市街地を事例として—，都市計画論文集，No.44-3，pp.193-198，2009.
- 3) 福山祥代，羽藤英二：行動データに基づく歩行者行動特性を考慮した街路ネットワーク分析—渋谷歩行圏を対象として—，都市計画論文集，No.47-1，pp.62-67，2012.

- 4) 川辺充載，川島和彦：路面電車利用者の中心商業地区における回遊行動に関する研究—広島市における路面電車利用者の行動特性と中心商業地区の空間格子に着目して—，都市計画論文集，No.47-2，pp.168-173，2012.
- 5) 氏原岳人，阿部宏史，入江恭平，有方 聡：二局の特性の異なる商業エリアを有する中心地外地の回遊行動の実態分析，都市計画論文集，No.49-3，pp.801-806，2014.
- 6) 熊本商工会議所，商店街通行量調査：<http://www.kmtcci.or.jp/investigation/shopstreet.php>
- 7) Hillier, B. and Hanson, J.: *The Social Logic of Space*, Cambridge University Press, 1984.
- 8) Hillier, B. and Iida, S.: Network and Psychological Effects in Urban Movement, *Spatial Information Theory*, LNCS3693, pp.475-490, 2005.
- 9) 溝上章志，高松誠治，吉住弥華，星野祐司：中心市街地における空間構成と歩行者回遊行動の分析フレームワーク，土木学会論文集 D3 (土木計画学)，Vol.68，No.5，pp.I_363-I_374，2012.
- 10) 井村祥太郎，佐藤貴大，円山琢也：スマホアプリ型回遊調査のデータ特性と SVM による移動滞在判別の基礎分析，土木計画研究・講演集，Vol.50，Paper-No.225，2014.11.

(2015. 2. 27 受付)

AN ANALYTICAL METHOD OF INDIVIDUAL EXCURSION BEHAVIOR IN THE CENTRAL CITY AREA

Masahiro ARAKI, Shoshi MIZOKAMI and Takuya MARUYAMA

In recent years, Kumamoto has taken various measures to improve charm and vitality of central city area. Among them it is believed that promoting the excursion of the pedestrian is one of the effective measures to make central city active. To that end, we need to analyze the actual situation of the excursion of the pedestrian in details, and it is necessary to clarify the factors and mechanisms that have an influence on the excursion. This study has two purposes, the first one is to build the model that introduces the index of spatial configuration into explanatory variables which are able to contribute the policy proposal for spatial charm's improvement. The second one is to analyze the effect of the excursion behavior on a redevelopment project in Sakuramachi area by performing policy simulation that utilized the model.