

兵庫県受託研究成果報告

# ビッグデータを活用した新たな公共交通の整備にか かる人流動態の分析

令和4年3月

織田澤 利守

神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻・教授

# 目次

1	はじめに	1
2	大阪・関西万博会場方面へ向かう人流の現況分析	2
2.1	データの概要	2
2.2	データ分析	4
(1)	交通手段	4
(2)	移動時間	6
(3)	移動経路	7
2.3	まとめと考察	9
3	観光周遊行動モデル	11
3.1	既往研究の概要と本分析の位置付け	11
3.2	分析の枠組み	12
(1)	モデルの構造	12
(2)	周遊選択モデル	13
(3)	滞在時間モデル	16
(4)	第1目的地選択モデル	17
4	データと推定結果	18
4.1	分析対象	18
4.2	記述統計	19
4.3	推定結果	21
(1)	2日目(帰宅日)	22
(2)	1日目(出発日)	24
5	シミュレーション分析	28
5.1	シミュレーションの方法	28
5.2	現況再現性の検証	29
5.3	新たな海上交通機関の導入	29
(1)	観光周遊行動モデルの改良	29
(2)	想定シナリオ	30

	(3) シミュレーション結果 . . . . .	33
6	おわりに	39
	参考文献	40

# 1 はじめに

中核産業である製造業の稼ぐ力が落ち込む中、兵庫県の沿岸地域を含む大阪湾ベイエリアでは、その国際的な交流基盤を活かし、製造業の集積エリアからの転換、国内外から人が集う大交流エリアとして発展することを目指している。また、2025年には大阪・関西万博の開催が予定され、国内外から関西圏への来訪者の増加が見込まれるが、これを契機として、阪神・淡路ベイエリアの発展に繋げるためには、エリア内の各地域における観光資源の充実やそれらを結ぶ交通のアクセス性向上、また多様な移動手段の確保などによって、人の流れを創出していく必要がある。そうした取り組みの一つとして、大阪湾内の拠点を結ぶ海上交通の導入が検討されている。現在、大阪湾ベイエリアでは空港間を結ぶ海上交通サービスが提供されているが、上記の意味で十分な役割を果たしているとは言えない。神戸市や淡路島と大阪湾岸エリアなどを結ぶ新たな海上交通の導入により、ベイエリアの回遊性向上が期待される。海上交通には、海から街を臨む景観や船上でのイベント参加による非日常的体験など、他の交通手段では得られない魅力がある。すなわち、移動手段としてだけではなく、新たな観光資源としても捉えることができる。

以上の問題意識に基づき、まず、(1) 大阪・関西万博会場方面へ向かう人流の現況分析を行う。次に、(2) 大阪湾ベイエリアにおける新たな海上交通の導入が広域的な観光交通需要に及ぼす影響について分析を行う。いずれの分析でも携帯電話の位置情報ビッグデータを活用する点が本研究の特徴である。本稿の構成は、以下の通りである。2章では、分析(1)について述べる。分析(2)については、3章で観光周遊行動モデルについて述べる。4章では、分析に用いたデータの概要を述べた上で、モデルの推定結果を示す。さらに、5章では新たな海上交通機関の需要予測を行うためのシミュレーション分析の方法と結果について述べる。最後に、6章で本分析のまとめと今後の課題を示す。

## 2 大阪・関西万博会場方面へ向かう人流の現況分析

本章では、携帯電話の位置情報ビッグデータを活用し、兵庫県南部の沿岸地域から大阪・関西万博会場である夢洲付近への人流に関する現況分析を行う。具体的には、移動者数、移動手段、主な経路、所要時間などについて分析する。

### 2.1 データの概要

ブログウォッチャー社から購入した位置情報データを利用して、神戸市、姫路市、西宮市、尼崎市、明石市、加古川市、洲本市、淡路市及び南あわじ市の9市内からユニバーサルスタジオ・ジャパン（以下では、USJ と記す）へ移動する人流について分析を行う。分析対象期間は新型コロナウイルス感染症拡大前の春と秋の休日から選定し、2019年5月4日（土・祝）、5日（日・祝）及び10月6日（日）、20日（日）とした。上記9市内に居住し、かつ期間内にUSJを訪問したユーザーの移動ログデータを抽出<sup>\*1</sup>し、分析に用いる。対象期間中の各日にUSJを訪問したユーザー数及び拡大推計値を表2.1に示す。

表 2.1 USJ への訪問者数

日付	訪問ユーザー数		拡大推計値	
	全体	対象エリア	全体	対象エリア
2019-05-04	4,985	145	87,171	2,560
2019-05-05	4,090	134	72,175	2,401
2019-10-06	3,948	210	70,974	3,682
2019-10-20	5,293	241	100,342	4,446

各日に観測されたサンプル数は全体として4~5千程度、その内、対象エリアに含まれる居住地を出発し、USJまで移動したユーザーは134~241人であった。また、サンプル

<sup>\*1</sup> 具体的な抽出条件は、以下の通り。

- USJ ポリゴン内のユニークな adid 数を来訪者数として想定
- 分析対象エリアが居住地 (125m メッシュ) と推定される adid に限定
- 同じ日に居住地と推定される場所で位置情報が存在する adid に限定
- 居住地を出発してから USJ に到着するまでの時間 (USJ 区画への最初のログ時間-居住エリアの最終ログ時間) が 5 分以上 180 分以内の adid に限定

を拡大して推計した訪問者数は全体で7~10万人、対象エリアからの訪問者数は2.5千~4.5千人であった\*2。

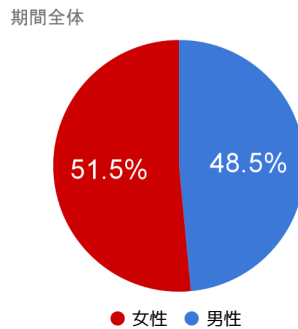


図 2.1 USJ 訪問者の性別割合 (対象エリア)

男女比は男性48.5%、女性51.5%とやや女性が多い(図2.1)。年代別の比率は、男性、女性ともに20代、30代、40代、50代以上がそれぞれ1/4程度であった\*3。50代以上の年代では、女性は50代と60代以上がほぼ同程度であるのに対して、男性は50代が多いことが見て取れる(図2.2)。

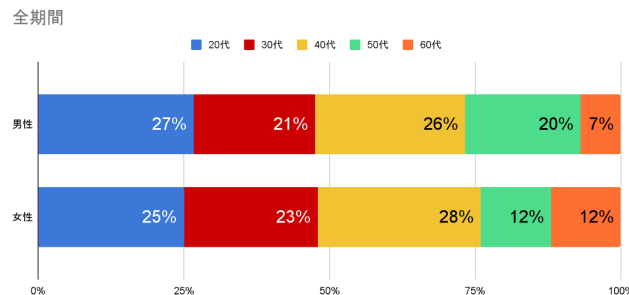


図 2.2 USJ 訪問者の性別・年代別割合 (対象エリア)

表 2.2 は、市別のサンプル数と割合 (%) を示している。全期間における来訪者の割合は、神戸市からが42.5%、西宮市と尼崎市がそれぞれ約20%、姫路市と明石市が6%、加古川市が4%であった。淡路島については、洲本市から1名のみが抽出された。

\*2 2019年のUSJ来場者数は約1,450万人であり、1日あたりの平均4万人弱、繁忙日は7-10万人である。これより表2.1の拡大推計値がおおよそ妥当な数字であると言える。

\*3 ブログウォッチャー社の提供するデータには、精度確保の観点から10代のサンプルは含まれてない

表 2.2 市別のサンプル数（下段は %）

日付	神戸市	姫路市	西宮市	尼崎市	明石市	加古川市	淡路市	洲本市	南あわじ市
2019-05-04	59 (40.7%)	14 (9.7%)	31 (21.4%)	22 (15.2%)	9 (6.2%)	10 (6.9%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
2019-05-05	47 (35.6%)	11 (8.3%)	22 (16.7%)	32 (24.2%)	13 (9.8%)	9 (6.8%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
2019-10-06	98 (46.7%)	10 (4.8%)	42 (20.0%)	46 (21.9%)	10 (4.8%)	4 (1.9%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
2019-10-20	106 (44.0%)	9 (3.7%)	50 (35.5%)	51 (36.2%)	15 (10.6%)	9 (3.7%)	0 (0%)	1 (0.7%)	0 (0%)
全期間	310 (42.5%)	44 (6.0%)	145 (19.9%)	151 (20.7%)	47 (6.4%)	32 (4.4%)	0 (0%)	1 (0.1%)	0 (0%)

## 2.2 データ分析

### (1) 交通手段

位置情報データから移動者の主要交通手段を判定する。ただし、データの性質上、「鉄道」か「鉄道以外」かのみ判定可能であり、鉄道以外の手段について、「自動車」か「バス」かまでは判定できない。以下、本分析で採用した判定方法について述べる。ある移動者の全ログ数の内、鉄道路線上に位置するログ数の割合（%）を路線接触率と定義する。例えば、居住地から USJ までの全ログ数が 10 個でそのうち 5 個のログが路線に接触する場合、路線接触率は 50% となる。

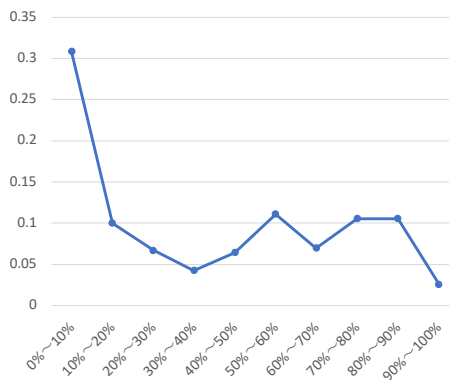


図 2.3 路線接触率と移動者数

図 2.3 は、路線接触率（横軸）と移動者割合（縦軸）の関係を示す。路線接触率 10% 以下は自家用車による移動であると想定され、全体の移動者のうち 3 割強を占めている。一

方、路線接触率 50% 以上の移動者も合計で 3 割強存在しており、主要交通手段として鉄道を利用していることが想定される。また、グラフから 30-40% で移動者数は極小値をとり、それを境界として全体を 2 つの集団に分割できることが見てとれる。これより、以降では路線接触率 40% 以上の移動者を「鉄道利用」、40% 未満を「非鉄道利用」と判定する。

図 2.4 は、交通手段と性別毎の来訪者の年代の割合を表す。「鉄道利用」については、図 2.2 とほぼ同様である一方、「非鉄道利用」については、30-40 代が 55-60% を占めており、子育て世代が自動車を利用する傾向が表れている。

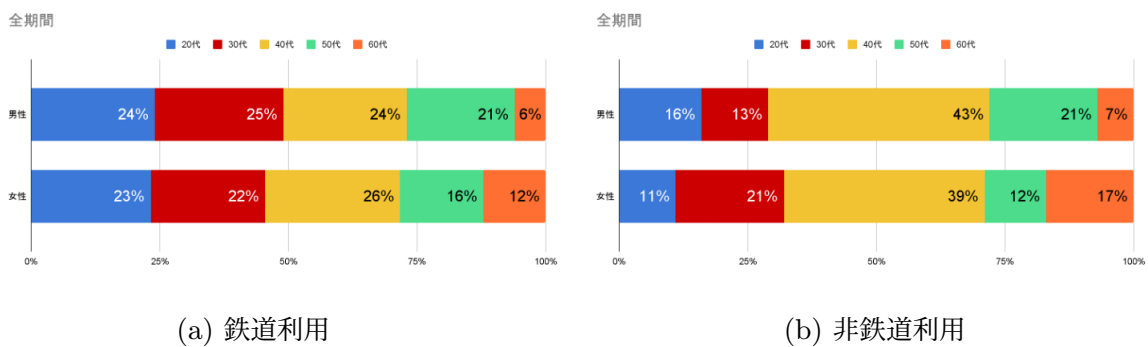


図 2.4 USJ 訪問者の性年代別割合 (対象エリア・交通手段別)

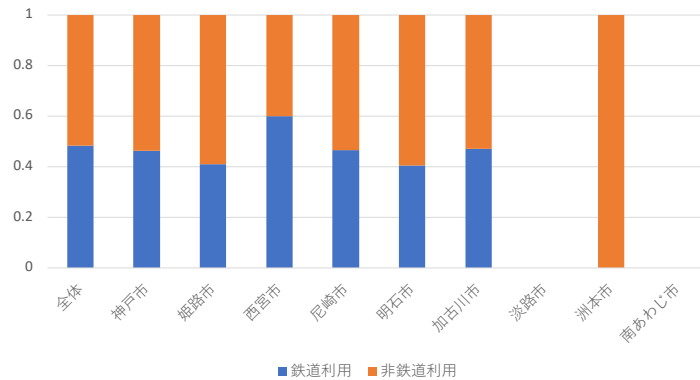


図 2.5 交通手段分担率 (市別)

図 2.5 は、対象エリア全体及び市別の交通手段分担率を表す。鉄道利用は、対象エリア全体で 48.2% であった。市別にみると、姫路市や明石市が約 40%、神戸市、尼崎市、加古川市が約 46%、西宮市が 60% となっており、USJ への距離が近いほど鉄道利用の割合が多い傾向にある。なお、洲本市は、抽出された唯一の移動者が「非鉄道利用」であった。



## (2) 移動時間

図 2.6 は移動者全体の移動時間分布であり、平均 79.2 分、最頻値 50~60 分であった。

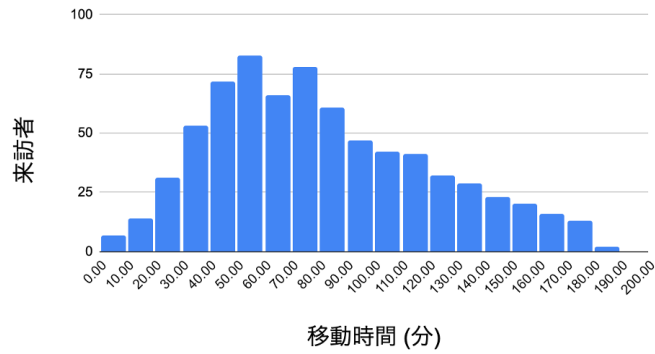
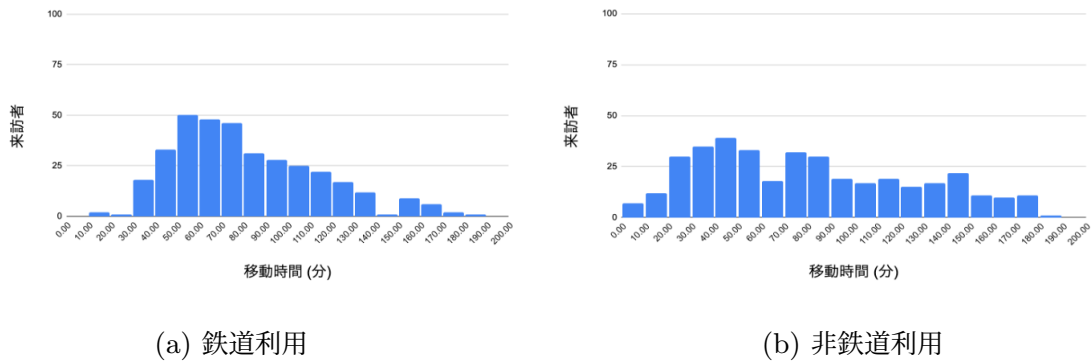


図 2.6 移動時間分布



(a) 鉄道利用

(b) 非鉄道利用

図 2.7 移動時間分布 (交通手段別)

図 2.7 は交通手段別の移動時間分布を表す。(a) 鉄道利用は平均 81.0 分、最頻値 50~60 分であるのに対し、(b) 非鉄道利用者は平均 77.5 分、最頻値は 40~50 分であった。両図を見比べると、非鉄道利用の方が移動時間の分散が大きく、幅広く分布していることが見て取れる。図 2.8 は出発地の市別・交通手段別の移動時間の平均と中央値を表す。また、図 2.9 では、同様の内容を神戸市内の区ごとに表したものである。これらの図より、(1) USJ からの距離が遠いほど移動時間が長いこと、(2) 一部を除くほぼ全ての市区において、非鉄道利用の方が鉄道利用に比べて平均移動時間が同等か短いこと、(3) 平均に比べて中央値の方が同等か小さい (移動時間分布の右裾が厚い) ことが明らかとなった。

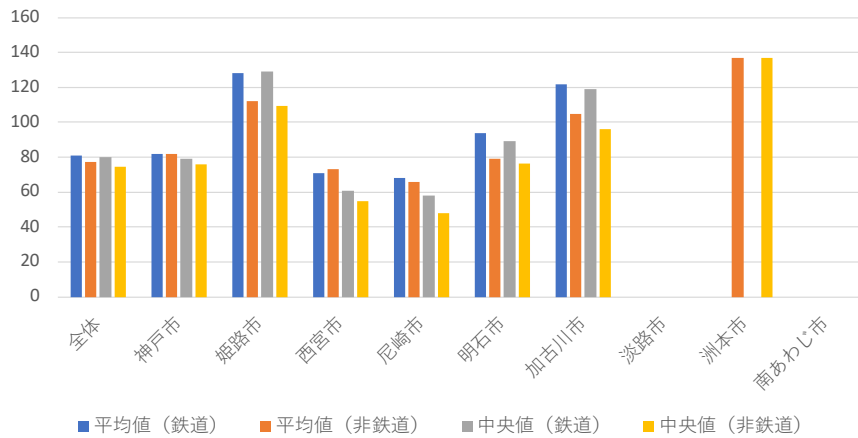


図 2.8 市別・交通手段別の移動時間（平均・中央値）

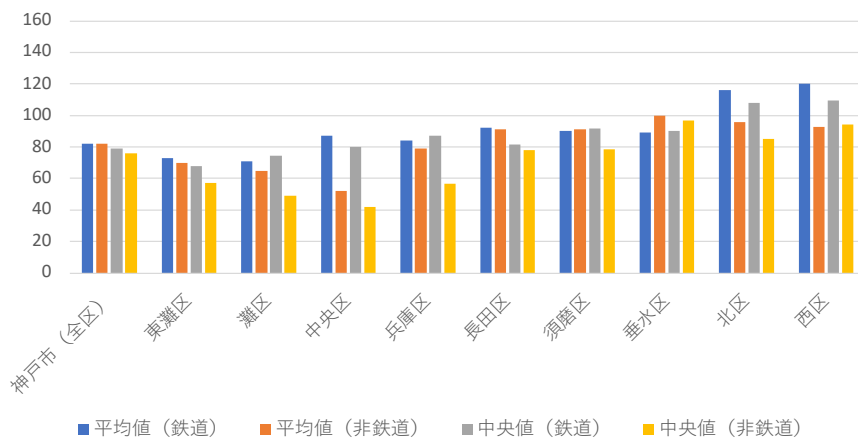


図 2.9 神戸市内区別・交通手段別の移動時間（平均・中央値）

### (3) 移動経路

移動ログデータを交通手段別に地図上にプロットして図 2.10 を作成した。紫色は鉄道利用の移動者のログデータを、緑色は非鉄道利用の移動者のログデータを表す。鉄道路線上にはほぼ紫色の点が、高速道路上にはほぼ緑色の点がプロットされていることから、上述した主要移動手段の判定精度が概ね良好であることが確認できる。

非鉄道利用のプロットに着目しよう。東西方向の移動については、阪神高速 3 号神戸線・国道 43 号線（浜手幹線）と 5 号湾岸線に沿ってプロットが分布しており、交通量が

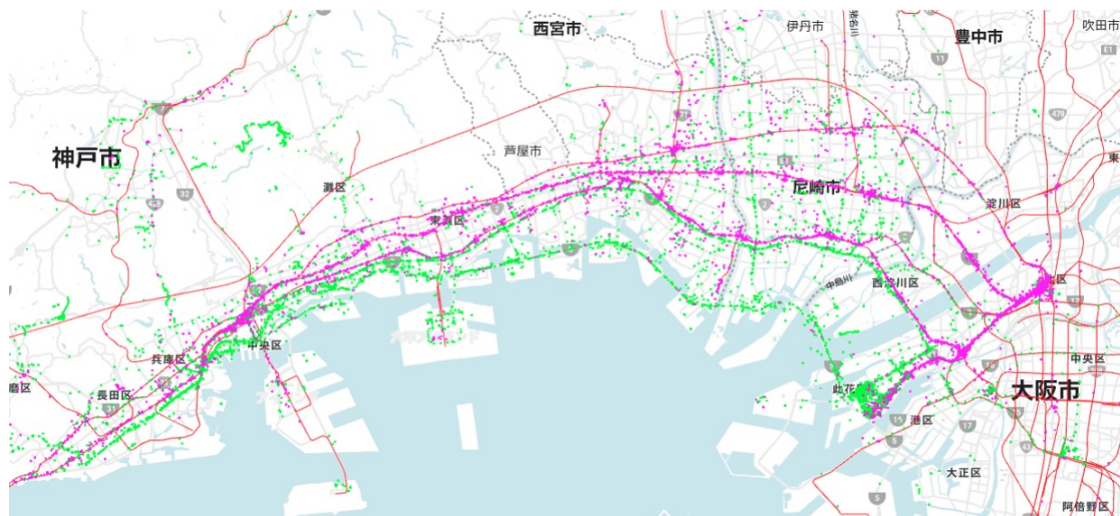


図 2.10 交通手段別の移動経路

この2つの経路に概ね同程度に配分されていることがわかる。また、南北方向の移動では、県道42号線（尼崎宝塚線）が比較的に多く利用されている。目的地であるUSJ周辺の道路上にはプロットが多く分布しており、交通量が集中していることがわかる。その他の地点では、神戸市中央区の沿岸エリアでプロットが集中しており、道路混雑が発生している可能性を示唆している。

表 2.3 鉄道路線の利用率（上位20）

鉄道会社名	路線名	利用ユーザー数	鉄道会社名	路線名	利用ユーザー数
JR 西日本	ゆめ咲線	271	神戸新交通	ポートアイランド線	39
JR 西日本	大阪環状線	264	神戸市営	山手線	34
JR 西日本	神戸線	230	大阪メトロ	御堂筋線	33
阪神電鉄	本線	164	阪急電鉄	神戸高速線	32
阪神電鉄	阪神なんば線	129	神戸市営	海岸線	28
阪急電鉄	神戸線	115	阪神電鉄	神戸高速線	28
JR 西日本	東西線	82	神戸新交通	六甲アイランド線	26
JR 西日本	山陽線	78	阪急電鉄	宝塚線	25
JR 西日本	福知山線	71	阪急電鉄	今津線	18
山陽電鉄	本線	65	神戸市営	西神線	17

表 2.3 は鉄道利用者の利用路線の上位20を示している。USJの最寄駅であるユニバーサルシティ駅を含むJRゆめ咲線の利用率が最も多い\*4。東西方向の移動については、JR神戸線、阪神本線、阪急神戸線がおおよそ4:3:2の比率で利用されている。

\*4 JRゆめ咲線など利用区間が短い路線では、乗車中のログが残らず利用ユーザーとしてカウントされていないサンプルが存在している。

## 2.3 まとめと考察

前節では、携帯電話の位置情報ビッグデータから兵庫県南部の沿岸地域から USJ を訪問する移動者の交通手段、移動時間、移動経路について分析した。得られた結果と考察を以下に整理する。

- 交通手段
  - 鉄道分担率は対象エリア全体で 48.2% であり、市別にみると、姫路市や明石市が約 40%、神戸市、尼崎市、加古川市が約 46%、西宮市が 60% となっており、USJ への距離が近いほど鉄道利用の割合が多い傾向にある。
  - 鉄道利用者の性別・年代別の割合は来訪者全体とほぼ同じである一方で、非鉄道利用者の 55-60% を 30-40 代が占めており、子育て世代が自動車を利用して移動する傾向が現れている。
- 移動時間
  - 移動時間は移動者全体で平均 79.2 分（最頻値 50~60 分）、鉄道利用者で平均 81.0 分（最頻値 50~60 分）、非鉄道利用者で平均 77.5 分（最頻値は 40~50 分）である。なお、非鉄道利用の方が移動時間の分散が大きく、幅広く分布している。
  - 一部を除くほぼ全ての市区において、非鉄道利用の方が鉄道利用に比べて平均移動時間が同等か短い
  - 市区・交通手段に関わらず、平均に比べて中央値の方が同等か小さい（分布の右裾が厚い）
- 移動経路
  - 非鉄道利用
    - ・ 東西方向の移動では、阪神高速 3 号神戸線・国道 43 号線（浜手幹線）と 5 号湾岸線に沿ってプロットが分布しており、交通量がこの 2 つの経路に概ね同程度に配分されている。南北方向の移動では、県道 42 号線（尼崎宝塚線）が比較的によく利用されている。
    - ・ 目的地である USJ 周辺の道路上にはプロットが多く分布しており、交通量が集中していることがわかる。その他の地点では、神戸市中央区の沿岸エリアでプロットが集中しており、道路混雑が発生している可能性がある。

⇒ 大阪万博開催時には更なる道路混雑の発生が予想されることから、神戸港や尼崎西宮芦屋港（尼崎港区）などを拠点とする海上交通による旅客輸送力の強化は検討に値する。

－ 鉄道利用

- ・ 東西方向の移動については、JR 神戸線、阪神本線、阪急神戸線がおよそ 4 : 3 : 2 の比率で利用されている。

## 3 観光周遊行動モデル

以降では、第2の目標である大阪湾ベイエリアにおける新たな海上交通の導入が広域的な観光交通需要に及ぼす影響について分析を行う。本章では、そのための第1段階として、広域的な観光周遊行動を分析するためのモデルを構築する。

### 3.1 既往研究の概要と本分析の位置付け

観光交通を対象とする研究はこれまでに数多く報告されている。特に、観光周遊交通に着目した研究は1980年代中頃から活発に行われ、ランダム効用理論に基づく様々なモデルが開発された。Kitamura<sup>1)</sup>は、ある目的地への訪問以降に続くトリップの属性をその目的地の効用を構成する要因の中に内生化することによって、トリップチェーンをランダム効用理論を用いて数学モデル化した。森杉ら<sup>2)</sup>は、自動車交通を用いた広域観光行動を集計 Nested Logit モデルで表現し、岐阜県北部の飛騨地域を対象としたケーススタディを行なっている。溝上ら(1991)<sup>3)</sup>、溝上ら(1992)<sup>4)</sup>は、観光地域の総合的魅力度が各観光地域が固有に持つ観光資源の量や質による魅力度とその観光地域を訪問することによってそれ以降に訪問可能な観光地域から得られると期待できる魅力度の和で構成されるとしてモデルを拡張した。なお、地域固有の観光資源の魅力度の計測を試みた研究には、鎌田・山内<sup>5)</sup>などがある。

森地ら<sup>6)</sup>は、目的地選択と経路選択を含む多階層の周遊行動モデルと観光地滞在時間モデルをつなぎ合わせることにより、時間軸を考慮した観光周遊行動モデルを構築した。さらに、溝上ら(2000)<sup>7)</sup>は、観光地の魅力度を需要変動型確率均衡配分モデルを応用して推定する枠組みへ拡張している。森川ら<sup>8)</sup>は、時間帯ごとに選択行動を明確に表現するために、旅行者の観光行動を出発以前のスケジュール段階と、実際の周遊過程における実際行動段階の2つに区分した分析枠組みを提案している。

本分析は、兵庫～大阪間を結ぶ新たな海上交通機関の需要分析を行う。特に、新たな海上交通が単なる交通手段としてではなく、それ自体が観光的な魅力を持つという性質を考慮できる分析枠組みの開発を目指す。本章では、宿泊を含む広域的な観光周遊行動を多階層の Nested Logit モデルとして定式化する。

## 3.2 分析の枠組み

### (1) モデルの構造

図 3.1 は、本分析で想定する観光周遊モデルの枠組みを表している。特に、広域的な観光周遊行動について分析するために、対象地域内での宿泊を伴う観光周遊を対象とする。具体的には、まず、1) 旅行初日に自宅から第 1 目的エリアを選択する段階を「第 1 目的地選択モデル」、2) 目的地で滞在する時間を決定する段階を「滞在時間モデル 1」、3) その後、滞在地で宿泊するか、周遊を継続するかを選択し、周遊を継続する場合に次の目的地を選択する段階を「周遊選択モデル 1」、4) 2 日目に滞在地（宿泊地を含む）から自宅に帰宅するか、周遊を継続するかを選択し、周遊を継続する場合に次の目的地を選択する段階を「周遊選択モデル 2」、5) 目的地で滞在する時間を決定する段階を「滞在時間モデル 2」でそれぞれ記述する。なお、各旅行者の交通手段（自動車か公共交通か）は与えられたものとし、交通手段の選択は明示的に扱わない、以下では、各モデルについて述べる。

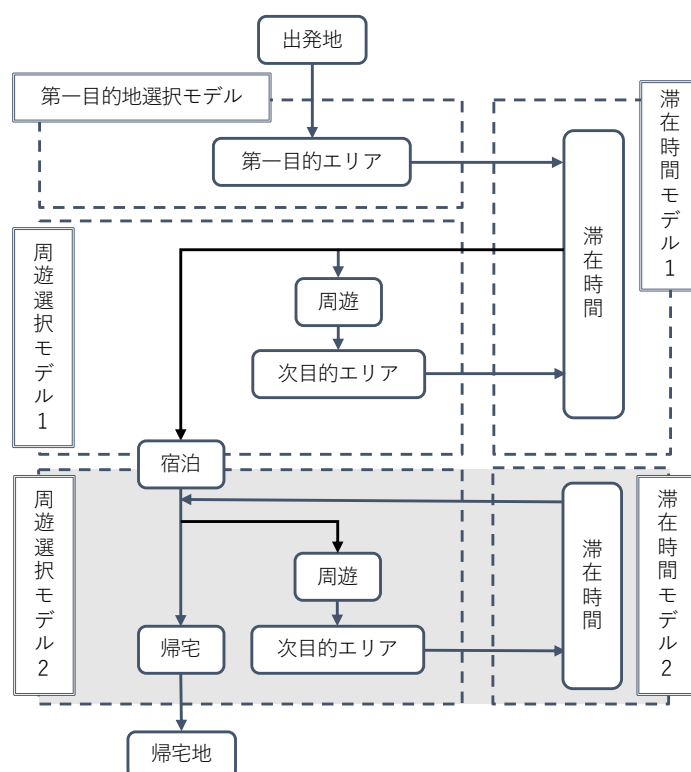


図 3.1 観光周遊行動モデルの枠組み

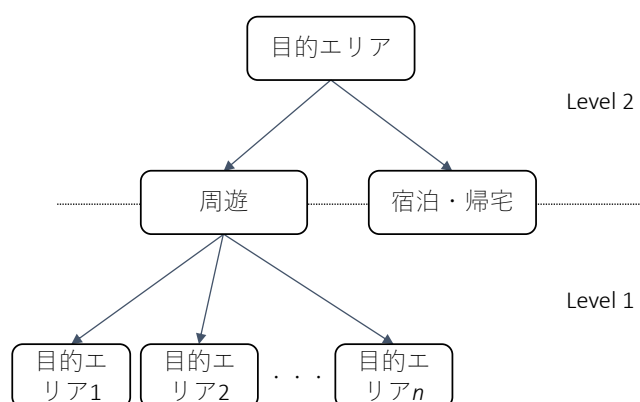


図 3.2 周遊選択モデルの構造

## (2) 周遊選択モデル

### (a) モデルの定式化

周遊選択モデルの構造を図 3.2 に示す。周遊選択モデルでは、まず、現時点で滞在しているエリアにおいて宿泊（2 日目の場合は、帰宅）するか、周遊を継続するかを選択し、周遊を継続する場合には次の目的を選択するという 2 段階の意思決定構造を持つ（各段階をツリー構造の下層から順にレベル 1、レベル 2 とする）。このような多段階選択行動の定式化には、Nested Logit モデル<sup>10)</sup>の適用が有効である。ここでは、周遊選択モデル 2 の定式化について詳述する\*<sup>1</sup>。

既に観光エリア  $d = m$  にいる個人  $i$  の選択行動に着目しよう。周遊・帰宅選択の選択肢を  $e = \{1, 0\}$ 、目的エリア選択の選択肢を  $d^{i,m} = \{1, \dots, n, \dots, N - 1\}$  ( $d \neq m$ ) と表す。なお、 $e$  は周遊 (excursion) する場合を 1、帰宅する場合を 0 とする。また、 $m, n (\neq m)$  は観光地を表すインデックス、 $N$  は観光地の総数である。同時選択  $ed$  の効用  $U_{ed}^{i,m}$  は、以下のように表される。

$$U_{ed}^{i,m} = V_e^{i,m} + V_d^{i,m} + V_{ed}^{i,m} + \epsilon_e^{i,m} + \epsilon_{ed}^{i,m} \quad (3.1)$$

ただし、 $V_e^{i,m}$  は周遊・帰宅選択枝  $e$  に特有な効用の確定項、 $V_d^{i,m}$  は目的エリア選択枝  $m$  に特有な効用の確定項、 $V_{ed}^{i,m}$  は選択枝  $e$  と選択枝  $d$  の組み合わせで決まる効用の確定項、 $\epsilon_e^{i,m}$  は選択枝  $e$  に特有な効用の確率項 ( $\max_d U_{ed}^{i,m}$  がスケールパラメータ  $\mu_d$  をもつ

\*<sup>1</sup> 周遊選択モデル 1 も同様の方法で定式化できる。



ガンベル分布になるような分布に従うと仮定),  $\epsilon_e^{i,m,d}$  は選択肢  $e$  と選択肢  $d$  の組み合わせで決まる効用の確率項 (スケールパラメータ  $\mu$  を持つ IID ガンベル分布に従うと仮定) である. 以下では, 表記の煩雑さを避けるため, 必要な場合を除いて添字  $i, m$  を省略する. ここで, レベル 2 で帰宅を選択する ( $e = 0$ ) 場合には, 次の目的エリア選択は行わない (つまり,  $V_d = V_{ed} = \epsilon_{ed} = 0$ ) ため, 効用  $U_{0d}$  は

$$U_{0d} = U_0 = V_0 + \epsilon_0 \quad (3.2)$$

となる.

レベル 2 で周遊を選択する ( $e = 1$ ) 場合, 共通の確率項  $\epsilon_1$  があるために選択肢  $1d$  ( $= 11, 12, \dots, 1N$ ) の間の確率項に相関が生じる. 通常の多項 Logit モデルを適用する上では, この点が問題となる. そこで, 選択肢  $1d$  の選択確率は, 以下のように条件付き確率と周辺確率の積によって表されることに注目する.

$$P(1, d) = P(d|e = 1)P(1) \quad (3.3)$$

ここで, 周辺確率を導出しよう.

$$\begin{aligned} P(1) &= \Pr\left[\max_d U_{1d} \geq U_0\right] \\ &= \Pr\left[V_1 + \epsilon_1 + \max_d (V_d + V_{1d} + \epsilon_{1d}) \geq V_0 + \epsilon_0\right] \end{aligned} \quad (3.4)$$

$\epsilon_{ed}$  は, スケールパラメータ  $\mu$  を持つ IID ガンベル分布に従うと仮定しているので,  $\max_d (V_d + V_{1d} + \epsilon_{1d})$  も同じスケールパラメータ  $\mu$  を持つガンベル分布に従い, その位置パラメータ  $V'_1$  の値は以下のようなになる.

$$V'_1 \equiv \frac{1}{\mu} \ln \sum_d \exp\{\mu(V_d + V_{1d})\} \quad (3.5)$$

この値は, 下位レベル (ここでは, レベル 1) の合成効用 (inclusive value) を表し, ログサム (logsum) 変数と呼ばれる. これを用いて式 (3.6) を書き直すと,

$$P(1) = \Pr[V_1 + V'_1 + \epsilon_1 + \epsilon'_1 \geq V_0 + \epsilon_0] \quad (3.6)$$

ただし,

$$\epsilon'_1 \equiv \max_d (V_d + V_{1d} + \epsilon_{1d}) - V'_1 \quad (3.7)$$

で定義される新たな誤差項である. 仮定より,  $\epsilon_1 + \epsilon'_1 - \epsilon_0$  がスケールパラメータ  $\mu^d$  を持つガンベル分布であることから, 周遊 ( $e = 1$ ) の周辺確率は以下のロジット式で与え

られる。

$$P(1) = \frac{\exp\{\mu^d(V_1 + V'_1)\}}{\exp\{\mu^d(V_1 + V'_1)\} + \exp\{\mu^d V_0\}} \quad (3.8)$$

ここで、 $\mu^d V'_1$  に含まれる  $\mu^d/\mu$  に着目すると、ガンベル分布のスケールパラメータは標準偏差に反比例し、式 (3.7) より  $\epsilon'_1$  のスケールが  $\epsilon_{1d}$  と同じであることから以下が成立する。

$$\frac{\mu^d}{\mu} = \sqrt{\frac{\text{Var}(\epsilon_{1d})}{\text{Var}(\epsilon_1 + \epsilon'_1)}} = \sqrt{\frac{\text{Var}(\epsilon_{1d})}{\text{Var}(\epsilon_1 + \epsilon_{1d})}} \leq 1 \quad (3.9)$$

次に、周遊する場合に次の目的エリアを選択する確率である条件付き確率を求める。目的エリア選択では、選択枝間の共通項  $V_1$  や  $\epsilon_1$  は関与しないので以下のように表される。

$$\begin{aligned} P(d|e=1) &= \Pr[U_{1d} \geq U_{1d'}, d = \{1, 2, \dots, m\}, d \neq d' | e=1] \\ &= \Pr[V_d + V_{1d} + \epsilon_{1d} \geq V_{d'} + V_{1d'} + \epsilon_{1d'}, d \neq d' | e=1] \end{aligned} \quad (3.10)$$

仮定より、 $\epsilon_{1d}$  はスケールパラメータ  $\mu$  を持つ IID ガンベル分布に従うことから、条件付き確率は以下の通常のロジット式で与えられる。

$$P(d|e=1) = \frac{\exp\{\mu(V_d + V_{1d})\}}{\sum_{d'} \exp\{\mu(V_{d'} + V_{1d'})\}} \quad (3.11)$$

## (b) モデルの推定法

推定にあたっては、各レベルにおける選択に影響を及ぼす要因を特定し、効用関数に説明変数として加える。具体的には、以下の特定化を行う\*2。

[レベル 1]

$$V_d^{i,m} + V_{1d}^{i,m} = \beta_1 + \beta_2 s_m^i + \beta_3 t_{md}^i + \beta_4 c_{md}^i + \beta_5 \delta_d \quad (3.12)$$

ここで、 $s_m^i$  は個人  $i$  の観光エリア  $m$  での当日の総滞在時間 (分)、 $t_{md}^i$  は観光エリア  $m$  から次の目的エリア  $d$  への交通所要時間、 $c_{md}^i$  は交通費用を表す。また、 $\delta_d$  は次の目的エリアが  $d$  であれば 1、それ以外であれば 0 をとるダミー変数であり、観光地としての魅力など目的地  $d$  に特有の効用と解釈できる。 $\beta_k$  ( $k = 1, \dots, 5$ ) は回帰パラメータである。

[レベル 2]

$$V_1^{i,m} + V_{1d}^{i,m} = \gamma_1 + \gamma_2 T_m^i + \gamma_3 t_{mh}^i + \gamma_4 V_{1d}^{i,m} \quad (3.13)$$

$$V_0^{i,m} = 0 \quad (3.14)$$

\*2 推定にあたって  $V_d^{i,m}, V_{1d}^{i,m}$  を個別に特定化する必要がないため、式 (3.12), (3.13) のようにまとめて扱う

$\tau_m^i$  は意思決定時点での時刻（分換算）、 $t_{mh}^i$  は観光エリア  $m$  から自宅への交通所要時間（分）、 $V_{1d}^{i,m}$  は式 (3.5) で定義されるログサム変数であり、 $\gamma_k$  ( $k = 1, \dots, 4$ ) は回帰パラメータである。なお、2つのスケールパラメータ  $\mu$  と  $\mu^d$  を同時に推定することはできない。レベル 1 の推定で通常のリジットのように  $\mu = 1$  に定めると、レベル 2 の推定におけるログサム変数の係数  $\beta_4$  として  $\mu^d$  が推定され、式 (3.9) からその値は 0 と 1 の間になくはならない。

Nested Logit モデルの推定方法には、同時推定と段階推定の 2通りの方法があるが、ここでは段階推定を採用する。ただし、同時推定が厳密な最尤推定法であるのに対し、段階推定は推定作業が簡便である一方で、得られた推定量は一致性のあるものの、有効性を満たさないことに注意が必要である。実際の推定は、以下のようなステップで行う。なお、推定作業には R の mlogit パッケージを用いた。

- Step 1 レベル 1 の目的エリア選択モデルの選択確率式 (3.11) を用いて、回帰パラメータ  $\beta_k$  ( $k = 1, \dots, 5$ ) を推定する。この際、スケールパラメータ  $\mu$  は 1 に正規化される。
- Step 2 推定されたパラメータを用いて、式 (3.5) よりレベル 1 のログサム変数値（合成効用値）を算出する。
- Step 3 算出したログサム変数を説明変数とみなし、式 (3.8) よりレベル 2 の周遊・帰宅選択モデルを推定する。つまり、回帰係数  $\gamma_k$  ( $k = 1, \dots, 4$ ) を推定する。

### (3) 滞在時間モデル

当該目的エリアでの滞在時間を決定する滞在時間モデルには、ワイブル分布を仮定した生存時間モデルを用いる\*<sup>3</sup>。生存時間モデルとは、観測を始めてからある事象が発生するまでの期間を分析する確率モデルであり、ここではある観光エリアに到着してから次の目的エリアへの移動、もしくは宿泊や帰宅を開始するまでの時間が確率変数である。

時間  $t$  まで当該観光エリアに滞在している確率（生存関数）は、以下のように表される。

$$S(t) = \exp \left[ -t^{1/\sigma} \exp \left( \frac{-\beta \mathbf{X}_{im}}{\sigma} \right) \right] \quad (3.15)$$

ここで、 $\sigma$  はスケールパラメータ、 $\beta$  は未知パラメータ、 $\mathbf{X}_{im}$  は個人  $i$  に対する目的エリア  $m$  の特性ベクトルであり、当該エリアへの到着時刻や観光地魅力度、訪問順番などが

\*<sup>3</sup> ここでは、エリア内で宿泊する際の宿泊地での滞在時間選択の問題は扱わない。

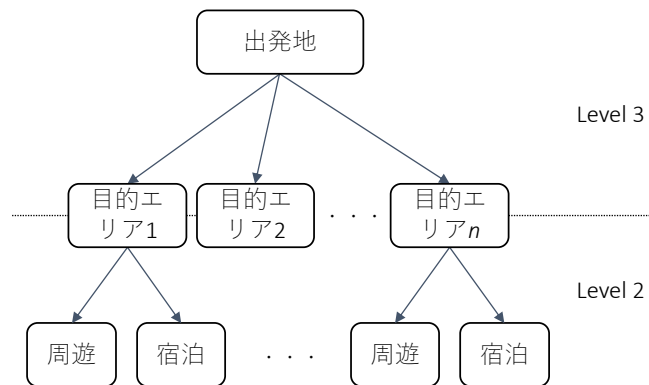


図 3.3 第 1 目的地選択モデル

考えられる。

#### (4) 第 1 目的地選択モデル

第 1 目的地選択モデルの構造を図 3.3 に示す。第 1 目的地選択モデルは周遊選択モデル 1 の上位階層に位置するものとする。ここでは、モデルの詳細な説明は省略する。なお、推定においては、上述した Nested Logit モデルの推定法の通り、下位層モデルの推定結果から算出したログサム変数を上位モデルの説明変数として用いる要領で下位から上位に向かって順に推定を行えば良い。

## 4 データと推定結果

### 4.1 分析対象

本分析では、観光周遊行動モデルの推定にブログウォッチャー社から購入した位置情報データを用いる。具体的には、(居住エリア及び勤務エリア以外で)近畿圏内で一泊以上したトリップに関する移動軌跡データ(市区町村間 OD トリップチェーン・データ)と市区町村間の移動手段\*<sup>1</sup>及び個人属性データである。購入データは、2019年の4月27日-5月6日(ゴールデンウィーク)及び10月4日(金)-6日(日)、10月18日(金)-20日(日)の3期間であるが、本稿では、10月18日(金)-20日(日)のデータを利用する。

近畿圏2府4県を19の地域(エリア)区分に分割し、エリア間の観光周遊行動を分析する。19区分とそれらに属する主な市区町村は、表4.1の通りである。推定では、移動軌跡データを19エリアをODとするトリップチェーンとして集計したデータを用いる。

表 4.1 19 地域区分と主な市区町村

エリア名	代表的な市区町村
滋賀北部	米原市, 彦根市, 長浜市, 近江八幡市
滋賀南部	大津市, 草津市, 甲賀市
京都北部	宮津市, 舞鶴市, 福知山市, 伊根町
京都中部	京都市, 亀岡市, 長岡京市
京都南部	宇治市, 京田辺市, 木津川市
大阪内陸北部	大阪市, 豊中市, 高槻市, 東大阪市
大阪内陸南部	富田林市, 松原市, 羽曳野市
大阪市湾岸	大阪市(此花区, 港区, 大正区, 住之江区)
泉州	堺市, 泉大津市, 泉佐野市, 泉南市
阪神内陸部	篠山市, 三田市, 三木市, 丹波市
阪神南部	西宮市, 尼崎市, 伊丹市, 宝塚市
神戸市	神戸市
播磨	姫路市, 明石市, 赤穂市, 宍粟市
但馬	豊岡市, 朝来市, 新温泉町
淡路島	洲本市, 淡路市, 南あわじ市
奈良北部	奈良市, 橿原市, 生駒市, 斑鳩市
奈良南部	吉野町, 五條市, 十津川町
和歌山北部	和歌山市, 御坊市, 高野町
和歌山南部	白浜市, 田辺市, 新宮市, 串本町

\*<sup>1</sup> 移動手段については、ブログウォッチャー社の判定基準によって位置情報ログデータから推定されたものである。

## 4.2 記述統計

本節では、データの記述統計を示す。移動者数は 13,693 人である。一人当たりの平均トリップ数（帰宅トリップは除く）は 2.86 回、最大は 16 回、最小は 2 回であった。

表 4.2 基礎集計データ

移動者数（人）	13,693
総トリップ数（回）	39,113
平均トリップ数（回/人）	2.86
最大トリップ数（回）	16
最小トリップ数（回）	2
トリップ数の分散	1.54

図 4.1 は、出発地毎のトリップ数を表している。全体の約 47% が 19 目的エリア以外の地域からの来訪者であった。

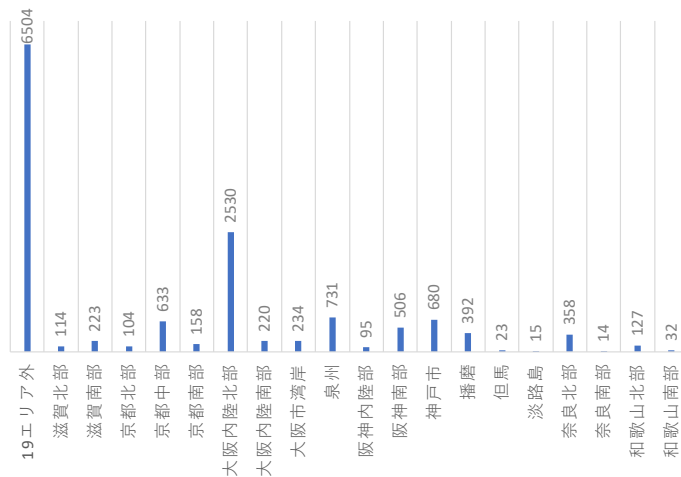


図 4.1 出発地毎のトリップ数（第 1 目的地選択）

一方、図 4.2 は各目的エリアを到着地とするトリップ数を表す。大阪内陸北部が全体の約 40%、京都中部が 21.7%、神戸市が 11% をそれぞれ占めている。

全ての移動について位置情報ログデータから交通手段を判定した。判定可能な交通手段は、「飛行機」、「鉄道」、「その他（自動車、バスを含む）」の 3 つである。その上で、移動者毎に交通手段を集計し、「飛行機のみ」、「鉄道のみ」、「鉄道・飛行機+その他」、「その他のみ」の 4 つに分類し、「飛行機のみ」、「鉄道のみ」、「鉄道・飛行機+その他」の 3 つをまとめて「公共交通」、「その他のみ」を「自動車」として想定する。図交通手段分担率を 4.3 のように整理した。公共交通の分担率は、全体では 30% 弱、19 エリア外からの来訪者に限れば約 35% であった。

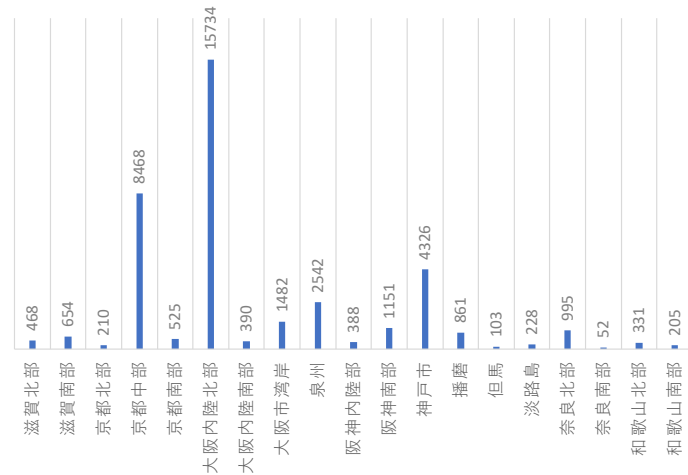


図 4.2 各目的エリアを到着地とするトリップ数

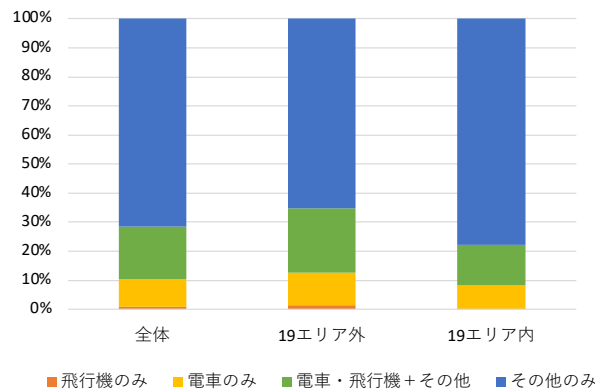


図 4.3 交通手段分担率

図 4.4 には目的エリア別の分担率を示した。大阪内陸北部、大阪市湾岸、京都中部、阪神南部など公共交通によるアクセスが良い都心部エリアで公共交通の分担率が 30% を上回る一方で、京都北部、阪神内陸部、但馬、淡路島、奈良南部、和歌山北部などの外縁部では自動車分担率が約 90% と高い水準となっている。

目的エリア毎の滞在時間の平均と分散を表 4.3 に整理した。位置情報ログデータを用いた滞在判定は、ブログウォッチャー社の基準に従って行った。具体的には、地域の面積の違いを考慮して、位置情報のログデータが区部であれば同一区内に 1 時間以上、市部であれば同一市内に 3 時間以上存在する場合に「滞在」と判定される。判定基準が区部と市部で異なるため、各エリアの滞在時間を直接的に比較することはできない点に注意が必要である。滞在判定法については再検討の余地がある。

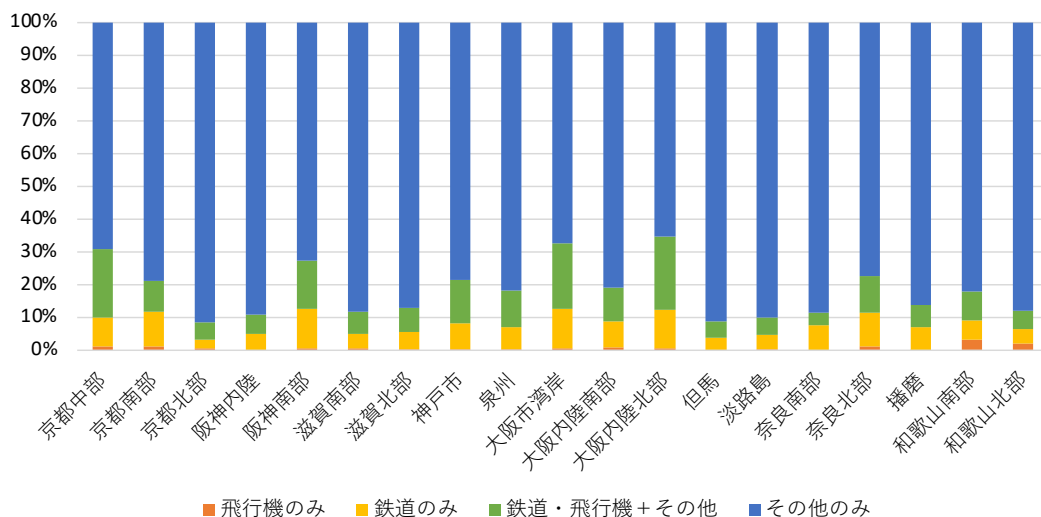


図 4.4 交通手段分担率 (エリア別)

表 4.3 目的エリア毎の滞在時間 (平均, 分散)

エリア名	平均滞在時間 (h)	滞在時間分散
滋賀北部	6.22	9.18
滋賀南部	6.01	7.69
京都北部	5.54	7.46
京都中部	2.94	5.37
京都南部	5.83	6.59
大阪内陸北部	3.74	8.09
大阪内陸南部	5.99	7.74
大阪市湾岸	3.41	7.48
泉州	4.07	9.59
阪神内陸部	5.89	7.70
阪神南部	5.97	8.40
神戸市	3.55	7.81
播磨	6.48	9.67
但馬	5.08	4.31
淡路島	5.52	6.56
奈良北部	5.68	6.74
奈良南部	5.60	3.64
和歌山北部	5.87	7.51
和歌山南部	5.64	6.03

## 4.3 推定結果

以下では、公共交通利用者のデータを用いて推定した結果を示す。



## (1) 2日目（帰宅日）

### (a) 周遊選択モデル2の推定結果

表 4.4 に周遊選択モデル2のレベル1の推定結果を示す。説明変数として、「エリア間所要時間」は各19エリアの移動に要する時間（分単位）であり、総合交通分析システム（NITAS）を用いて算出した。いずれも19エリアにおける中心市区町村の市役所および区役所、町役場をトリップの起点および終点と位置づけ、航空・鉄道・自動車利用などの複数考えられる手段・ルートの中で最も所要時間の小さくなる経路の値を用いる。また、「エリア間移動費用」は所要時間同様に総合交通分析システム（NITAS）を用いて算出したものであり、所要時間最小経路を選択した際にかかる費用となっている。「累積滞在時間」は19エリアそれぞれに2日目だけで何分間滞在していたかのデータであり、当該目的エリアの出発時間から到着時間を差し引いた滞在時間の累積値（分単位）である。目的地魅力度は、平成30年度観光統計の入込客数をエリア毎に集計した数値を平均0、分散1に標準化したデータ（図 4.5）を用いた\*2。

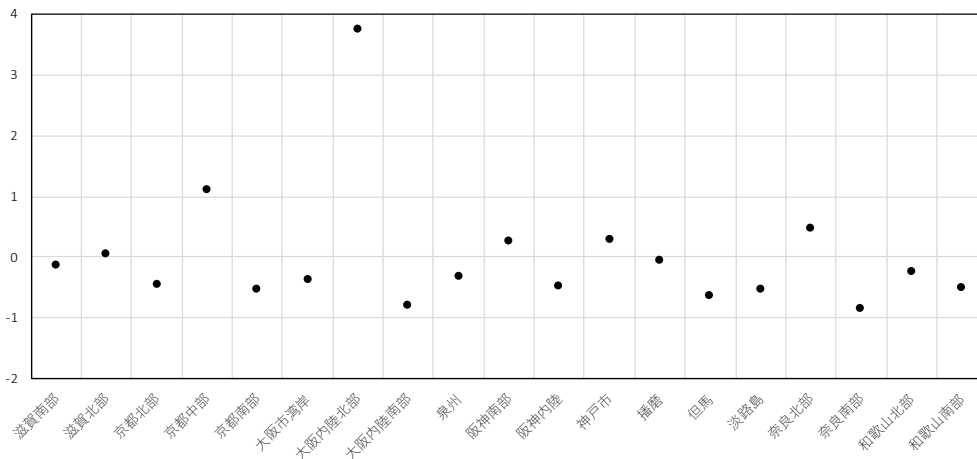


図 4.5 目的地魅力度（標準化した入込客数）

同表より、エリア間所要時間、エリア間移動費用、累積滞在時間の係数はいずれも負、目的地魅力度の係数は正と推定され、符号条件を満たしている。また、エリア間所要時

\*2 大阪府のみ非公開であるため、公開されている最も新しい平成21年度データを基に、政令指定都市を含む府県の平均増加率を乗じて推計した値を用いた。

表 4.4 周遊選択モデル 2 (Level 1)

	Estimate	Std. Error	z-value	Pr(>  z )
エリア間所要時間 (分)	-0.0295***	0.0023	-13.02	<2.2E-16
エリア間移動費用 (百円)	-0.0368	0.0030	-1.24	0.217
累積滞在時間 (分)	-0.0105***	0.0013	-7.97	1.55E-15
目的地魅力度	0.5374***	2.01E-02	26.70	<2.2E-16
観測数		943		
$L_{max}$		-1850.5		
$L(0)$		-2776.6		
Pseudo $R^2$		0.33		

\* :  $p < 0.1$ , \*\* :  $p < 0.05$ , \*\*\* :  $p < 0.01$ 

間、累積滞在時間、目的地魅力度はいずれも統計的に有意であった。一方、エリア間移動費用は有意ではなかった。この理由として、観光周遊行動においては予算的制約よりも時間的制約が強く、ある程度相関の高い所要時間の影響が強く表れたことが考えられる。

表 4.5 周遊選択モデル 2 (Level 2)

	Estimate	Std. Error	z-value	Pr(>  z )
出発時間 (分単位)	-0.0070***	0.0004	-19.65	<2E-16
帰宅所要時間 (分)	-0.0679***	0.0036	-19.10	<2E-16
ログサム変数	-0.719***	0.188	-3.82	1.31E-04
ゲートウェイダミー	-1.516***	0.179	-8.47	<2E-16
定数項	11.735***	0.719	16.31	<2E-16
観測数		3636		
$L_{max}$		-1614.2		
$L(0)$		-4162.3		
Pseudo $R^2$		0.61		

\* :  $p < 0.1$ , \*\* :  $p < 0.05$ , \*\*\* :  $p < 0.01$ 

次に、周遊選択モデル 2 のレベル 2 の推定結果を表 4.5 に示す。「出発時刻」は周遊するか帰宅するかを判断する時刻であり、サンプルごとの滞在エリアからの出発時刻 (分単位) である。「帰宅所要時間」は現在滞在しているエリアから自宅へ帰宅する際にかかる時間であり、NITAS により算出したエリアの中心市区町村から中心市区町村および各都道府県庁までの最小所要時間である。「ログサム変数」とはレベル 1 から得られる、周遊を選択した際に選択可能な目的エリアの効用のログサム値である。「ゲートウェイダミー」は関西圏にアクセスするための玄関口となる空港・新幹線駅が存在するエリアに 1、その他に 0 を付したダミー変数である。

同表より、いずれの変数も負で有意な結果となった。出発時間、帰宅所要時間、ゲート

ウェイダミーについては、出発時間が遅いほど、帰宅に要する時間が長いほど、ゲートウェイが近いほど帰宅を選択しやすいという妥当な結果であった。しかしながら、周遊のしやすさを表すログサム変数の係数は本来正の値をとるはずが、負の値として推定された。理由としては、他地域へ周遊しやすいエリアは帰宅の際にも利便性が高く、その影響が強く表れたことが考えられる。この点については、推定に用いる説明変数を再度検討する必要がある。

### (b) 滞在時間モデル 2 の推定結果

滞在時間モデル 2 の推定結果を表 4.6 に整理した。説明変数として、当該エリアへの「到着時間」(分単位)、「目的地魅力度」、当該目的エリアが最初の訪問先であるかを表すダミー変数「訪問順番 1」、2 番目であるかを表す「訪問順番 2」、先述した滞在判定の問題に対処するために、区部を含むエリアか否かを表す「区部ダミー」を用いた。いずれの変数も符号条件を満たし、訪問順番 2 以外は有意な推定結果を得た。

表 4.6 滞在時間モデル 2

	Estimate	Std. Error	z-value	Pr(>  z )
到着時間 (分単位)	-0.0012***	3.40E-05	-36.70	<2E-16
目的地魅力度	0.0278***	0.0052	5.35	8.80E-08
訪問順番 1	0.2033***	0.0405	5.02	5.20E-07
訪問順番 2	0.0425	0.0434	0.98	0.33
区部ダミー	-0.244***	0.0262	-9.31	<2E-16
定数項	6.471***	0.0542	119.42	<2E-16
Log(scale)	-0.638***	0.012	-54.29	<2E-16
観測数		4195		
$L_{max}$		-25809.8		
$L(0)$		-26556		
$\chi^2(df)$		1552.5 (6)		

\* :  $p < 0.1$ , \*\* :  $p < 0.05$ , \*\*\* :  $p < 0.01$

## (2) 1 日目 (出発日)

### (a) 周遊選択モデル 1 の推定結果

周遊選択モデル 1 のレベル 1 の推定結果を表 4.7 に示す。説明変数は、2 日目の周遊選択モデル 2 と同じである。いずれの変数も符号条件を満たすとともに、有意な結果となった。

続いて、表 4.8 は周遊選択モデル 1 のレベル 2 の推定結果を表している。2 日目のモデ

表 4.7 周遊選択モデル 1 (Level 1)

	Estimate	Std. Error	z-value	Pr(>  z )
エリア間所要時間 (分)	-0.0434***	0.0067	-6.44	<1.2E-10
エリア間移動費用 (百円)	-0.0164**	0.0078	-2.11	0.04
累積訪問時間 (分)	-0.0085***	0.0014	-6.05	1.48E-09
目的地魅力度	0.5336***	4.85E-02	11.00	<2.2E-16
観測数		3496		
$L_{max}$		-330.87		
$L(0)$		-524.1		
Pseudo $R^2$		0.37		

\* :  $p < 0.1$ , \*\* :  $p < 0.05$ , \*\*\* :  $p < 0.01$

ルと同様に「出発時間」と「ログサム変数」を説明変数とした。また、2日目のモデルが周遊か帰宅かを選択するのに対して、1日目のモデルでは周遊か宿泊かを選択するため、宿泊の効用を表す変数として当該目的エリアの「複合型観光資源」を新たに変数に加えた。複合型観光資源は、(財)日本交通公社の観光資源台帳に収録される観光資源のうち、「集落・街」、「郷土景観」、「温泉」、「食」のカテゴリーに含まれる資源の数をエリア毎に集計した値である。

表 4.8 周遊選択モデル 1 (Level 2)

	Estimate	Std. Error	z-value	Pr(>  z )
出発時間 (分単位)	-0.0072***	0.0007	-9.73	<2E-16
複合型観光資源	-0.0826***	0.0313	-2.64	0.0084
ログサム変数	0.270	0.230	1.18	0.240
定数項	6.927***	0.834	8.30	2E-16
観測数		429		
$L_{max}$		-407.91		
$L(0)$		-580.09		
Pseudo $R^2$		0.30		

\* :  $p < 0.1$ , \*\* :  $p < 0.05$ , \*\*\* :  $p < 0.01$

同表より、出発時間、複合型観光資源ともに負で有意な結果を得た。出発時間が遅いほど、複合型観光資源の数が多いほど宿泊を選択する確率が上がることから符号条件も満足している。一方で、ログサム変数の係数は正であるものの有意とはならなかった。したがって、当該エリアからの周遊のしやすさは必ずしも周遊継続の意思決定に影響を及ぼさないことが明らかとなった。この点についても、説明変数を追加するなど再検討する必要がある。

表 4.9 滞在時間モデル 1

	Estimate	Std. Error	z-value	Pr(>  z )
到着時間 (分単位)	-0.0013***	0.0001	-12.83	<2E-16
目的地魅力度	0.004	0.016	0.25	0.799
訪問順番 1	0.237*	0.133	1.78	0.075
訪問順番 2	0.103	0.138	0.74	0.454
区ダミー	-0.232***	0.0748	-3.10	0.0019
定数項	6.524***	0.173	37.81	<2E-16
Log(scale)	-0.612***	0.0361	-16.94	<2E-16
観測数		1393		
$L_{max}$		-2623.75		
$L(0)$		-2717.9		
$\chi^2(df)$		188.44 (6)		

\* :  $p < 0.1$ , \*\* :  $p < 0.05$ , \*\*\* :  $p < 0.01$

### (b) 滞在時間モデル 1 の推定結果

表 4.9 に滞在時間モデル 1 の推定結果を示す。結果は 2 日目のモデルとほぼ同じ傾向であるが、目的地魅力度の係数が有意ではなかった。今回、採用した入込客数データが魅力度の指標として適当であるかについて検証する必要がある。

表 4.10 第 1 目的地選択モデル (Level 3)

	Estimate	Std. Error	z-value	Pr(>  z )
所要時間 (分)	-0.0103***	0.001	-10.03	<2.2E-16
移動費用 (百円)	-1.51E-05**	6.71E-06	-2.25	0.025
目的地魅力度	1.157***	0.0660	17.52	<2.2E-16
ログサム変数	1.038***	0.0951	10.91	<2.2E-16
大阪ダミー	-1.770***	0.233	-7.61	<2.8E-14
神戸ダミー	0.891***	0.0791	11.27	<2.2E-16
観測数		2700		
$L_{max}$		-7950.0		
$L(0)$		-4909.0		
Pseudo $R^2$		0.38		

\* :  $p < 0.1$ , \*\* :  $p < 0.05$ , \*\*\* :  $p < 0.01$

### (c) 第1目的地選択モデルの推定結果

最後に、第1目的地選択モデルの推定結果を4.10に示す。「所要時間」は、NITASで算出した自宅から各エリアの中心地までの移動にかかる時間の最小値であり、「移動費用」は所要時間最小経路を選択した際にかかる費用である。「ログサム変数」は、当該エリアから周遊を開始する際に選択可能な目的地からの効用と宿泊による効用の合成効用である。なお、実際に訪問した目的エリア以外のエリアで滞在時間はデータが存在しないため、実際に各目的エリアを選択したサンプルの平均値を用いてログサム値を算出した。

いずれの説明変数も有意であり、符号条件も満足している。ただし、ログサム変数の係数が1を上回っている点についてはさらなる検討が必要である。

# 5 シミュレーション分析

## 5.1 シミュレーションの方法

現況再現性の検証と需要予測を行うために、サンプルに含まれる個人毎の観光周遊行動を再現するモンテカルロ法によるマイクロシミュレーションを行う。シミュレーションの手順は図 5.1 に示す通りである。なお、シミュレーションは公共交通利用者（サンプルサイズ  $N = 3819$ ）のみを対象として実施する\*<sup>1</sup>。

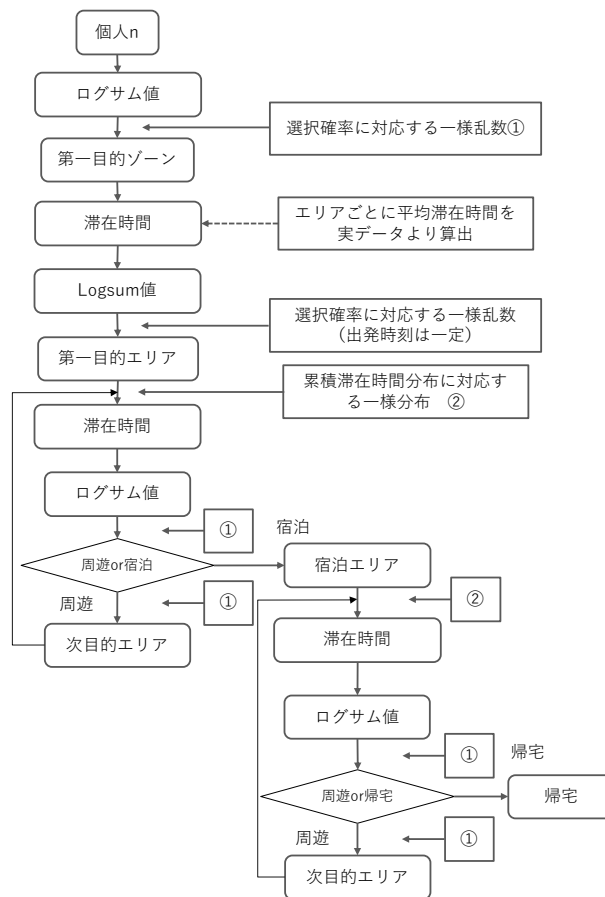


図 5.1 シミュレーションのフローチャート

\*<sup>1</sup> 先述した通り、本分析では旅行者の交通手段（自動車か公共交通か）は与件として扱い、交通手段の選択は考慮していない。本来、海上交通の導入によって自動車から公共交通（海上交通を含む）への手段変更が生じることが考えられるため、本シミュレーションによる海上交通機関の需要予測は過小となる可能性がある点には十分に留意する必要がある。

## 5.2 現況再現性の検証

推定したモデルがどの程度現況を再現できるかを検証する。図 5.2 の緑のプロットは実際の第 1 目的地選択割合を、青のプロットはシミュレーションから導出された選択割合を表す。シミュレーション結果は京都中部と大阪市湾岸でやや過小、神戸市でやや過大となっているものの、両プロットはほぼ一致しており、前章の周遊選択モデルが高い推定精度を有することが確認できる。

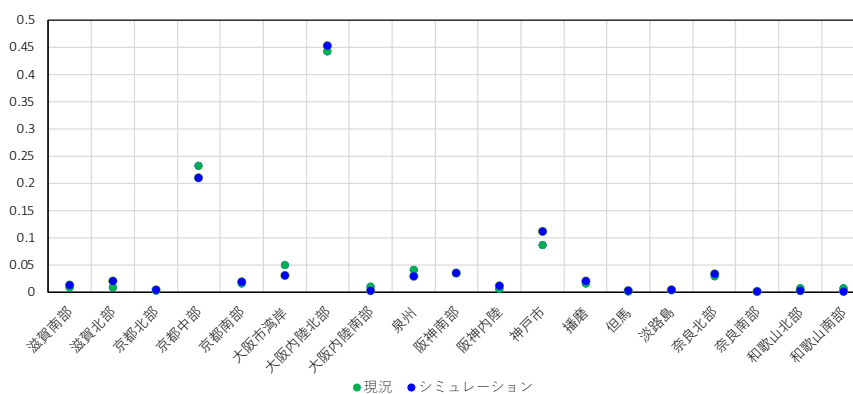


図 5.2 現況再現性の検証 (第 1 目的地選択割合)

## 5.3 新たな海上交通機関の導入

### (1) 観光周遊行動モデルの改良

本節では、新たな海上交通の導入が広域的な観光交通需要に及ぼす影響について分析する方法について検討する。ここで新たな海上交通とは、単なる交通手段ではなく、短距離航路のクルーズ船などのようにそれ自体が観光的な魅力を持つものを想定する。以下では、新たな海上交通を表現するために、図 3.1 で示す観光周遊モデルの改良を図る。

周遊選択モデルのレベル 1 に着目する。いま、新たな海上交通が就航する沿岸部の目的地群をゾーン  $c$  と呼び、この海上交通はゾーン  $c$  内の目的地間の移動においてのみ利用可能であるとする。ゾーン  $c$  に含まれる任意の目的地を  $m^c$ 、または  $n^c$  ( $m^c \neq n^c$ ) と表す。ここで、ゾーン  $c$  内の目的地  $m^c$  にいる個人の次の目的地選択に対して、同じくゾーン  $c$



内の別の目的地  $n^c$  ( $m^c \neq n^c$ ) に海上交通を利用して訪問する選択を新たな目的地として選択肢集合に加える（なお、元々考慮している交通手段を利用して訪問する選択もそのまま選択肢集合に残しておく）。その際に、交通所要時間や費用などの説明変数は海上交通を利用した場合の値を用いるとともに、海上交通の魅力度を目的地  $n^c$  に元来備わっている魅力度に加算（上乘せ）する。これによって、新たな海上交通の利用は旅行者にとっての魅力ある観光体験として考慮され、沿岸部の目的地ゾーンのみならず、対象地域全体の観光魅力度の向上に寄与することが表現可能となる。

上述の方法には問題点も存在する。通常の Nested Logit モデルでは、各階層の選択行動を規定する確率効用項は独立と仮定している。そのため、周遊行動内の選択どうしの連関性、例えば、どの観光地とどの観光地が同時に周遊されやすかを明示的に扱うことができないという問題点がある。選択肢間の類似性<sup>11)</sup> や交通手段と目的地の組合せなど選択肢間の相互依存性<sup>12),13)</sup> を考慮できるモデルへの拡張は今後の課題である。

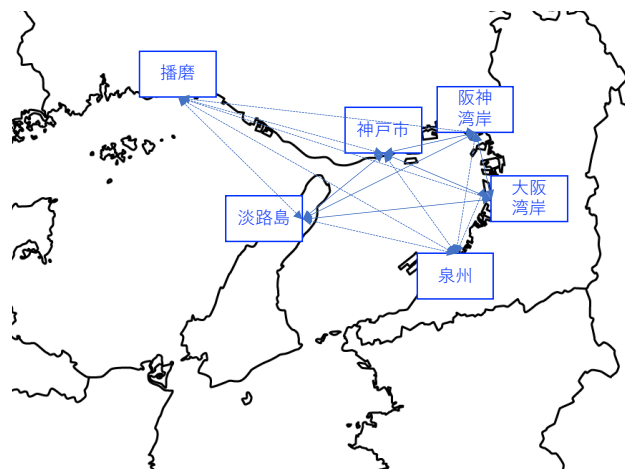


図 5.3 新たな海上交通の想定航路

## (2) 想定シナリオ

神戸市、阪神南部、播磨、淡路島、大阪市湾岸、泉州の6エリア間を相互に結ぶ航路の新設を想定する（図 5.3）。海上交通の所要時間及び乗船費用については、現在神戸港からのクルージングを行っている、KOBE RESORT CRUISE 「boh boh KOBE」号<sup>\*2</sup>を

<sup>\*2</sup> 同船は、2021年11月10日に行われた兵庫県の海上交通実証実験に用いられた船である。

参考に設定する。以下の表 5.1～5.4 には、神戸港で就航中のクルーズ船の概要とゾーン c の 6 エリア間における海上交通利用時の距離、時間、費用の入力値を示す。

表 5.1 神戸港で就航中のクルーズ船の概要

boh boh KOBE号		
定員	600名	
総トン数	427トン	
全長	38m	
幅	10.66m	
深さ	3.5m	
航海速力	14kt・26km/h	
乗船料	60分	1,800円
	90分	2,200円

表 5.2 想定航路距離

	大阪市湾岸	泉州	阪神南部	神戸市	播磨	淡路島
大阪市湾岸		30	10	20	80	40
泉州	30		35	30	75	30
阪神南部	10	35		15	80	40
神戸市	20	30	15		65	25
播磨	80	75	80	65		45
淡路島	40	30	40	25	45	

(km)

表 5.3 想定航海時間

	大阪市湾岸	泉州	阪神南部	神戸市	播磨	淡路島
大阪市湾岸		90	50	70	190	110
泉州	90		100	90	180	90
阪神南部	50	100		60	190	110
神戸市	70	90	60		160	80
播磨	190	180	190	160		120
淡路島	110	90	110	80	120	

(分)

表 5.4 想定乗船費用

	大阪市湾岸	泉州	阪神南部	神戸市	播磨	淡路島
大阪市湾岸		1,900	1,100	1,500	3,900	2,300
泉州	1,900		2,100	1,900	3,700	1,900
阪神南部	1,100	2,100		1,300	3,900	2,300
神戸市	1,500	1,900	1,300		3,300	1,700
播磨	3,900	3,700	3,900	3,300		2,500
淡路島	2,300	1,900	2,300	1,700	2,500	
						(円)

海上交通が就航する 6 エリアの目的地魅力度及びエリア間の所要時間と乗船費用の水準を以下のように変化させた，合計 24 ケースについてシミュレーションを実施する。

- 目的地魅力度：海上交通が就航する 6 エリアに対して，図 4.5 の水準にそれぞれ 0, 0.5, 1 を加えた 3 ケース（図 5.4）
- 所要時間：表 5.3 の水準をそれぞれ 1 倍，3/4 倍，2/3 倍，1/2 倍にした 4 ケース
- 乗船費用：表 5.4 の水準をそれぞれ 1 倍，1/2 倍にした 2 ケース

ここで，目的地魅力度の追加が 0 で所要時間と乗船費用がそれぞれ 1 倍のケースを Case[0, 1, 1] とし，その他のケースも同様に表記するものとする。

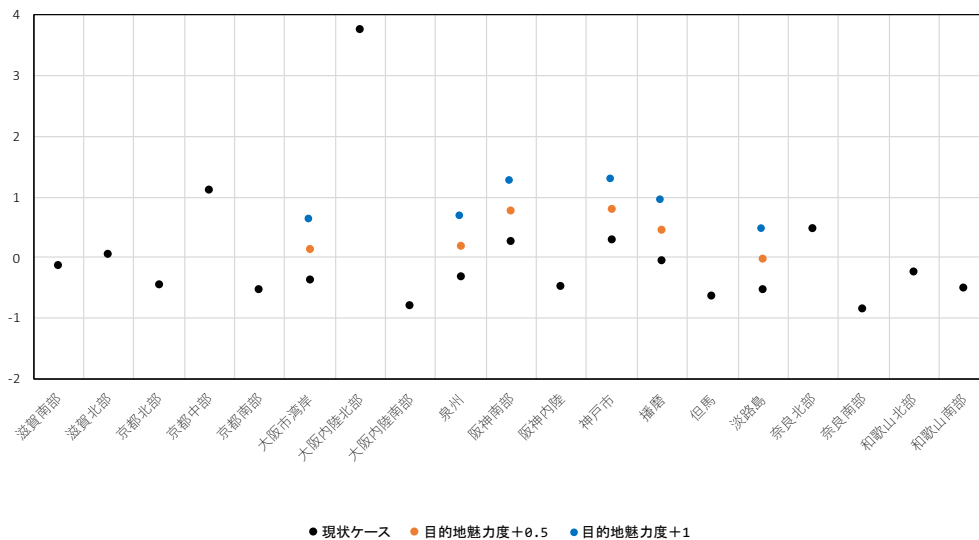


図 5.4 目的地魅力度の設定

表 5.5 基本ケースの分析結果

	現状ケース		基本ケース 1		基本ケース 2	
	カウント数	拡大推計値	カウント数	拡大推計値	カウント数	拡大推計値
周遊トリップ総数	5,164	103,280	5,157	103,140	5,201	104,020
ゾーン c 内トリップ数	275	5,500	304	6,080	358	7,160
海上交通トリップ数	-	-	6	120	54	1080
海上交通利用率	0		0.02		0.15	

### (3) シミュレーション結果

#### (a) 基本ケース

次に示す 3 つのケースのシミュレーション結果を示す。1 つ目は海上交通が導入されていない現状ケースである。2 つ目は Case[0, 1, 1] であり、海上交通が観光的魅力を持たない交通手段として導入されるケースである。なお、所要時間と乗船費用は表 5.3 及び 5.4 の水準に設定する。このケースを基本ケース 1 と呼ぶ。3 つ目は Case[0.5, 2/3, 1/2] であり、海上交通を利用することによって目的地魅力度が 0.5 標準偏差だけ向上する場合である。また、所要時間は表 5.3 の水準の 2/3 倍、乗船費用は 5.4 の水準の 1/2 倍に設定する。このケースを基本ケース 2 と呼ぶ。

各ケースに対してシミュレーションを 1 回実行して得られた結果を表 5.5 にまとめる。同表には、周遊トリップ総数、ゾーン c 内トリップ数、海上交通トリップ数、海上交通利用率 (=海上交通トリップ数/ゾーン c 内トリップ数) を示している\*<sup>3</sup>。なお、データ抽出率 (約 5%) を考慮した拡大推計値も合わせて記載した。周遊トリップ総数はケースによって大きな違いはないが、ゾーン c 内トリップ数及び海上交通トリップ数は海上交通の導入による効果が見られる。特に、基本ケース 2 では海上交通トリップ数が大幅に増加し、ゾーン c 内トリップにおける海上交通の利用率も 15% と高い水準となった。次に、各エリアの訪問トリップ数を集計した結果を図 5.5 に示す。ゾーン c 内のエリアに着目して現状ケースと基本ケース 2 を比較すれば、海上交通の導入によって、元々需要の多い大阪市湾岸や阪神南部では訪問トリップ数がやや減少する一方で、神戸市や泉州、播磨、淡路島で増加することがわかった。また、ゾーン c 外のエリアでは、近畿地方で最も観光交

\*<sup>3</sup> 本分析では、宿泊を伴う広域観光周遊行動をモデル化し、2019 年 10 月 18 日 (金) から 20 日 (日) に近畿圏内で一泊以上した個人の移動軌跡データを用いて推定したパラメータに基づいてシミュレーションをおこなった。そのため、需要予測の結果には、日帰り観光旅行者等による需要は含まれないことに注意されたい

通需要の多い京都中部と大阪内陸北部の両エリアで増加が見られる。以上を整理すると、海上交通の導入は、(1) 就航ゾーン内の周遊利便性を向上させ、公共交通（海上交通を含む）による観光交通需要を増加させること、(2) 就航ゾーン内では比較的需要が少ないエリアへの需要が増加すること、その一方で、(3) 就航ゾーン外では観光需要の多いエリアで需要が増加することが明らかとなった。

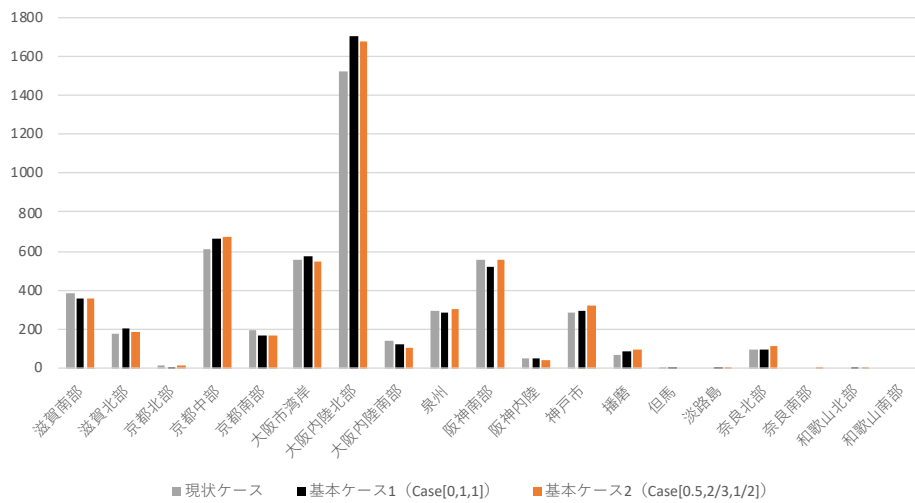


図 5.5 基本ケースにおける各エリアの訪問トリップ数

次に、基本ケース 2 において OD エリア別の海上交通トリップ数を図 5.6 に示す。なお、ここでは微小確率で生じるトリップを再現するためにシミュレーションを 20 回実行した。同図において、例えば、「阪神南部-泉州」は OD ペアを構成するエリアの組み合わせを表し、青の棒グラフは「阪神南部」を出発エリア、「泉州」を到着エリアとする OD 交通量、橙の棒グラフは逆方向の OD 交通量をそれぞれ表す。ゾーン c のエリアの組み合わせは 15 パターン存在するが、両方向の OD 交通量がゼロであった「神戸市-播磨」、「大阪市湾岸-播磨」以外の 13 パターンを図示している。

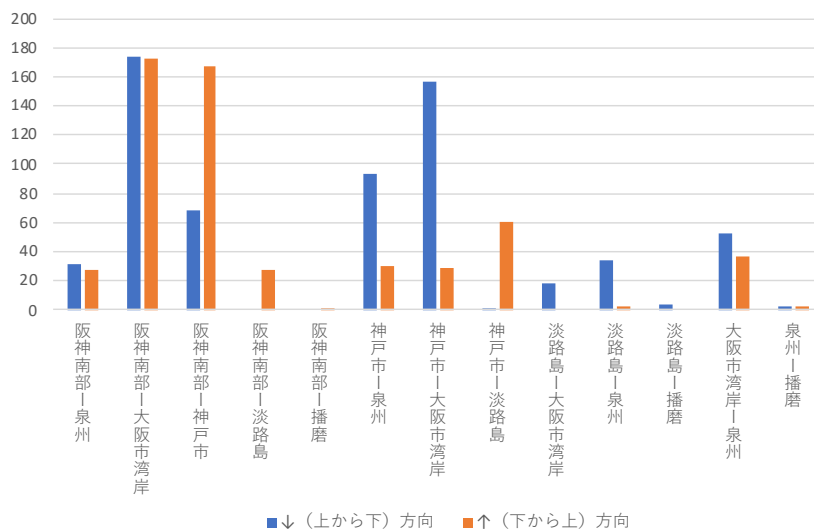


図 5.6 OD エリア別海上交通トリップ数（基本ケース 2：Case[0.5,2/3,1/2]）

まず、「阪神南部」、「神戸市」、「大阪市湾岸」を結ぶ航路は比較的に大きな需要が発現している。ただし、「阪神南部」や「大阪市湾岸」から「神戸市」に向かう需要はやや少ないことがわかる。次に、各エリアから「泉州」へ向かう需要と「淡路島」から各エリアに向かう需要がそれぞれある程度存在することが見て取れる。現状では「泉州」や「淡路島」とその他のエリア間の公共交通によるアクセス性が比較的低いため、海上交通の導入によるアクセス性向上の効果と考えられる。ただし、本分析では各エリアから「淡路島」への需要がほとんど発現していない。原因としては、淡路島を訪問する旅行者の大半が自動車利用であり公共交通の利用者はほとんどいないため、そのことがパラメータの推定値に影響した可能性が高い。「淡路島」への海上交通需要を正確に把握するためには、自動車からの手段変更を考慮するモデルへ拡張する必要がある。

### (b) 感度分析

本節では、目的地魅力度や所要時間、乗船費用が及ぼす影響について感度分析を行う。図 5.7 は所要時間（横軸）と海上交通トリップ数の拡大推計値（縦軸）の関係を示す。なお、横軸は、表 5.3 の水準を基準として所要時間がその何倍であるかを表している。また、図中の黒線は海上交通導入によって 6 エリアの目的地魅力度に変化がない場合、橙線は目的地魅力度が 0.5 標準偏差だけ上昇する場合、青線は 1 標準偏差上昇する場合を表す。いずれの曲線でも所要時間の短縮に伴い、海上交通トリップ数が非線形的に増加することがわかる。所要時間の水準が大きい（1 倍）場合、目的地魅力度の向上はトリップ数に対し

てそれ程効果を及ぼさないが、所要時間が短縮されるにつれてその効果（3 曲線の差）が大きくなっている。

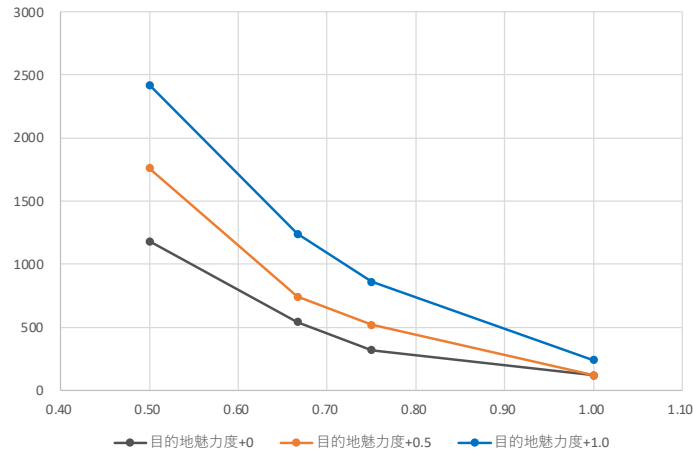


図 5.7 所要時間と海上交通トリップ数の関係（目的地魅力度の影響）

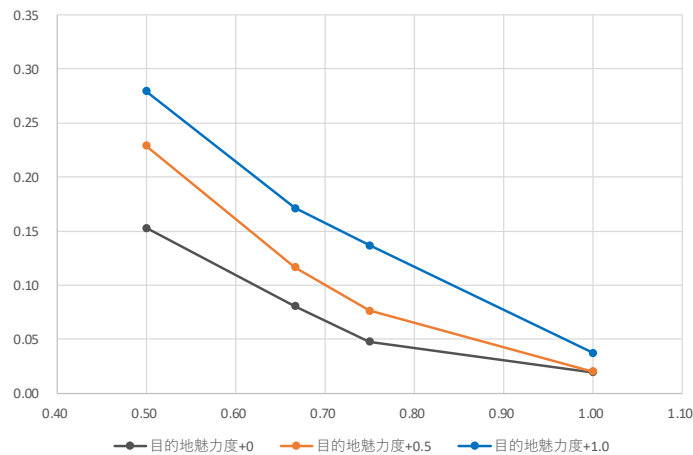


図 5.8 所要時間と海上交通利用率の関係（目的地魅力度の影響）

図 5.8 は、図 5.7 の縦軸を海上交通利用率（=海上交通トリップ数/ゾーン c 内トリップ数）に置き換えた図である。やはりいずれの曲線でも所要時間の短縮に伴い、海上交通利用率が非線形的に増加している。海上交通の導入は海上交通利用率の分子（海上交通トリップ数）と分母（ゾーン c 内トリップ数）を共に増加させる（表 5.5）が、この結果は分子である海上交通トリップ数の増加率が分母の増加率を上回ることを意味している。

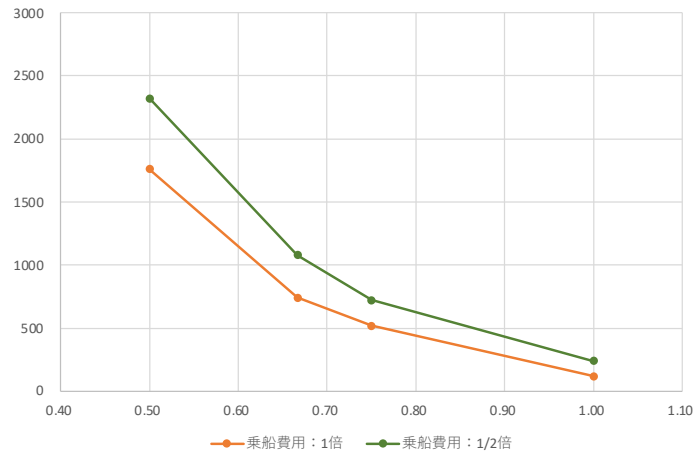


図 5.9 所要時間と海上交通トリップ数の関係（乗船費用の影響）

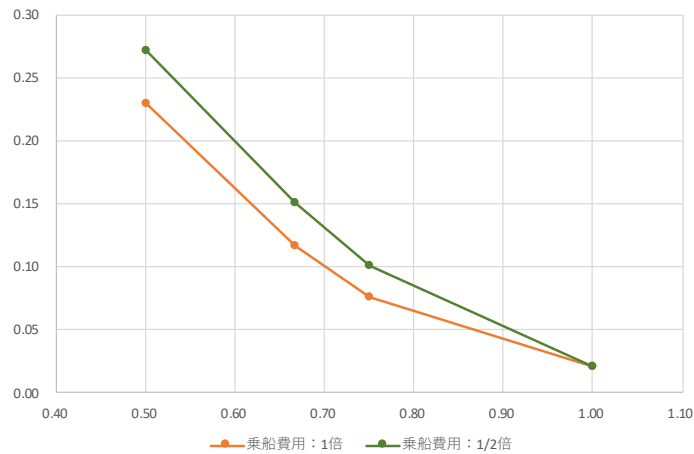


図 5.10 所要時間と海上交通利用率の関係（乗船費用の影響）

図 5.9 及び 5.10 は、所要時間（横軸）と海上交通トリップ数の拡大推計値（図 5.9 の縦軸）、海上交通利用率（図 5.10 の縦軸）の関係に対して乗船費用が及ぼす影響をそれぞれ表している。これまでの議論と同様に、所要時間の水準が大きい場合、乗船費用の低下が及ぼす効果は小さいが、所要時間が短縮されるにつれてその効果が大きくなっている。

海上交通は単なる交通手段としてはではなく、船上からの景色、食事やイベントといった船内で提供されるサービスなどそれ自体が観光資源としての魅力を有する。その一方で、海上交通による移動は他の交通手段に比べて所要時間が長く、費用も高いというデメリットも存在する。特に、観光周遊を考えた場合、所要時間が長く目的地への到着が遅く



なるとその後の周遊行動に制約を課すこととなる。感度分析の結果は、所要時間の短縮を図ることによって、海上交通の観光資源としての魅力による効果を増幅させられる可能性を示唆している。

## 6 おわりに

本分析では、(1) 大阪・関西万博会場方面へ向かう人流の現況分析と(2) 大阪湾ベイエリアにおける新たな海上交通の導入が広域的な観光交通需要に及ぼす影響について分析を行った。まず、分析(1)では、携帯電話の位置情報ビッグデータから兵庫県南部の沿岸地域からUSJを訪問する移動者の交通手段、移動時間、移動経路について分析した。特に、鉄道と道路のそれぞれについて、利用路線を特定した点は、今後、大阪・関西万博開催時の交通状況を予測する上で重要な知見を得たといえる。

次に、分析(2)では、広域的な観光周遊行動を表現するモデルを構築した上で、位置情報ビッグデータを用いてモデルの推定を行った。さらに、シミュレーションモデルを構築し、推定モデルの現況再現性を確認した上で、新たな海上交通の導入による影響を分析した。海上交通の導入は、(1) 就航ゾーン内の周遊利便性を向上させ、公共交通（海上交通を含む）による観光交通需要を増加させること、(2) 就航ゾーン内では神戸市や泉州、播磨、淡路島への需要が増加すること、一方、(3) 就航ゾーン外では元々、観光需要の多い京都中部や大阪内陸北部で需要が増加することが明らかとなった。また、ODエリア別の海上交通トリップ数に着目すれば、(4) 「阪神南部」、「神戸市」、「大阪市湾岸」を結ぶ航路は比較的に大きな需要が発現している一方で、「阪神南部」や「大阪市湾岸」から「神戸市」に向かう需要はやや少ないこと、(5) 各エリアから「泉州」へ向かう需要と「淡路島」から各エリアに向かう需要がそれぞれある程度存在することが明らかとなった。さらに、目的地魅力度や所要時間、乗船費用が及ぼす影響について感度分析を行った結果、(6) 所要時間の短縮を図ることによって、海上交通の観光資源としての魅力による効果を増幅させられる可能性が示唆された。

今後の課題として、まず、(i) 位置情報ログデータから旅行者の移動手段や滞在時間を判定するより精緻な手法を確立する必要がある。さらに、本稿で示した(ii) 分析結果を改めて精査した上で、(iii) 観光周遊行動モデルの改良、(iv) 異なるシナリオでのシミュレーション分析の実施が挙げられる。(iii)については、まず、交通手段選択を考慮できるモデルへの拡張がある。また、提案した枠組みを地域の観光施策の立案・評価に用いるためには、実際に地域に存在する観光資源の量や質を反映した観光魅力度の指標を作る必要がある。あるいは、現時点で架空の交通手段である海上交通の魅力を定量化する方法として、コンジョイント分析を用いた手法が考えられる。(iv)については、就航するエリアの範囲や航路の順路などについて複数のシナリオを作成して検討を行いたい。

## 参考文献

- [1] Kitamura, R., Incorporating Trip Chaining into Analysis of Destination Choice, *Transportation Research*, Vol.18, No.1, pp.67-81, 1984.
- [2] 森杉壽芳, 林山泰久, 平山賢二, 集計 Nested Logit-Model による広域観光行動予測, 土木計画学研究・講演集, vol.8, pp.353-358, 1986.
- [3] 溝上章志, 森杉壽芳, 林山泰久, 広域観光周遊交通の需要予測モデルに関する研究, 土木計画学研究・講演集, vol.14, No.1, pp.45-52, 1991.
- [4] 溝上 章志, 森杉 壽芳, 藤田 素弘,, 観光地域魅力度と観光周遊行動のモデル化に関する研究, 都市計画論文集, Vol. 27, pp.517-522, 1992.
- [5] 鎌田裕美・山内弘隆, 観光需要に影響を及ぼす要因について - 「魅力度」計測への試み -, 国際交通安全学会誌 Vol. 31 No. 3 pp.186-194, 2006.
- [6] 森地茂, 兵藤哲朗, 岡本直久, 時間軸を考慮した観光周遊行動に関する研究, 土木計画学研究・論文集, vol.10, pp.63-70, 1992.
- [7] 溝上 章志, 朝倉 康夫, 古市 英士, 亀山 正博, 観光地魅力度と周遊行動を考慮した観光交通需要の予測システム, 土木学会論文集, Vol.639, pp.65-75, 2000.
- [8] 森川高行, 佐々木邦明, 東力也, 観光系道路網整備評価のための休日周遊行動モデル分析, 土木計画学研究・論文集, vol.12, pp.539-547, 1995.
- [9] 柴崎 隆一, 荒牧 健, 加藤 澄恵, 米本 清, クルーズ客船観光の特性と寄港地の魅力度評価の試み, 運輸政策研究, Vol.14, No.2, pp.2-13, 2011.
- [10] 北村隆一, 森川高行, 佐々木邦明, 藤井聡, 山本俊行, 交通行動の分析とモデリング - 理論/モデル/調査/応用 -, 技報堂出版, 2002.
- [11] 杉恵頼寧, 藤原章正, 森山昌幸, 奥村誠, 張峻屹, 道路整備が観光周遊行動に及ぼす影響の分析, 土木計画学研究・論文集, No.16, pp.699-705, 1999.
- [12] 福田大輔, 森地茂, 選択枝間の相互依存性に着目した観光交通行動分析, 土木計画学研究・論文集, No.18, pp.699-705, 1999.
- [13] Ye, X., Pendyala, R. M., Gottardi, G., An exploration of the relationship between mode choice and complexity of trip chaining patterns, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol.41, Issue 1, pp.96-113, 2007.