

来街地ベース不完全データへの入口来街頻度と 回遊パターン同時逆推定法の拡張と評価[†]

梶井昌邦*, 斎藤参郎**

1. 研究のねらいと目的

近年、多くの地方中核都市で中心商業地の空洞化が問題とされ、それが単に商業者にとっての経済的な問題のみではなく、都市の存立基盤にかかわる問題であるとされるようになってきた。それは、地方中核都市にとって、中心商業地は都市魅力の核であり、それを失うことは、都市魅力の大半を失うとの考えからである。その結果、都心商業政策が、旧来の大店法にみられる産業政策から、中心市街地活性化法のように「まちづくり」の中で捉えられるようになってきた。ここでの中心概念は、まちの「にぎわい」である。このような流れの中で、様々な都心商業環境整備の施策を取捨選択していくためには、「にぎわい」の観点から、これらの施策を評価することが必要である。

以上のような問題意識から、筆者らは「にぎわい」を回遊行動で捉え、消費者の回遊性に資するまちづくりという独自の視点から消費者の回遊行動にもとづく都心商業環境の評価枠組みの構築を行ってきた(斎藤 [6], 斎藤・石橋 [18], Saito・Ishibashi [19], 石橋 [2], Saito・Kakoi・Nakashima [22], 斎藤・梶井・中嶋 [23], 梶井 [5])。

都心に訪れた消費者は、まず都心での入口となる商業地を訪れ、次いで回遊によって他の商業地を訪問し、最終的に帰宅する。このような、消費者の都心における商業地間の渡り歩き行動を回遊行動という。消費者の回遊行動の吸収定常マルコフ連鎖モデルによる定式化(斎藤 [6])から出発した回遊行動研究は、その基礎となる消費者行動モデルの理論的拡張や実証研究を経て(斎藤 [7] [8]), 都心への来街頻度の諸概念を推定または予測可能な枠組みへと発展してきた(斎藤 [9] [10] [11] [12], 斎藤・石橋 [18], Saito・Ishibashi [19], 斎藤・梶井・中嶋 [21] [23], Saito・Kakoi・Nakashima [22], 斎藤・熊田・石橋 [24], Saito・Kumata・Ishibashi [25], 梶井 [5])。最近では、大規模再開発による都心構造変化計測の実証研究(斎藤編 [15] [16] [17], 斎藤・中嶋・梶井 [26])や商業地の販売額予測を行う金額ベースの評価枠組み等へと展開されつつある(石橋 [2], 石橋・斎藤・熊田 [4], 斎藤・石橋・熊田 [20])^(註1)。

[†] 本稿は、第37回日本地域学会年次大会(於、東北学院大学)において発表したものを加筆修正したものである。討論者の労をとって頂いた中央大学の浅田統一郎先生、北海道大学大学院の内田賢悦先生をはじめ、多数の方から有益なコメントを頂戴した。ここに記して厚く謝意を表します。

* 福岡大学経済学部講師・福岡大学都市空間情報行動研究所

** 福岡大学経済学部教授・福岡大学都市空間情報行動研究所所長

^(註1) 消費者の回遊行動による都心構造評価の考え方や、これまでの回遊行動研究のレビューは、石橋・斎藤 [3], 斎藤 [13] に詳しい。

このように、回遊行動研究は様々な形で展開されつつあるが、その評価枠組みの要点は、まちの「にぎわい」を、何人都心に訪れたか、また、何人都心部内を回遊したかについての様々な来街頻度という度数ベース概念での評価を可能とした点にある、と本研究は考える。

回遊行動研究では、消費者の回遊行動により都心商業空間における来街頻度概念を区別する。消費者が都心に入り最初に立ち寄った、すなわち、消費者の都心における入口選択の結果として各商業地にもたらされた来街頻度を入口来街頻度、また、回遊によりもたらされた来街頻度回遊来街頻度といい、それらの和を総来街頻度と呼ぶ^(註2)。

さて、これまでの回遊行動研究は来街頻度を推定、予測する順序から大きく2つに分けることが出来る。一つは、来街頻度推定・予測問題を、入口来街頻度、総来街頻度の順に、消費者の回遊行動の因果順序に従い推定する「順問題」と捉え、予測・推計方法のモデル化を行う研究（齋藤 [6]、齋藤・石橋 [18]、Saito・Ishibashi [19]）、一方は、消費者回遊行動の因果順序とは「逆」に、総来街頻度から入口来街頻度を推定する「逆問題」と捉え、その解法を構成しようという研究である（Saito・Kakoi・Nakashima [22]、齋藤・梶井・中嶋 [23]、梶井 [5]）。

回遊マルコフモデルを、実際のデータに適用するには、通常、まず、鉄道の乗降客数といった都心に何人入っているかの入込み者数に関する外部の情報をもとに、各店舗への入口来街頻度を推計し、これを入力とし、都心部回遊行動調査から得られる回遊選択確率をもちいて、総来街頻度を推定・予測する。これは消費者の回遊に関する意思決定の因果順序に従った自然な方法といえる。

ところが、実際の推計作業では、既存データが皆無のため、回遊マルコフモデルの入力となるべき入口来街頻度の推定こそが、実は最も困難な作業となっている。その一方で、現在、主要な大規模店舗では、ほとんどが自店舗への来店者数をカウントしており、回遊マルコフモデルの出力である各店舗への総来街頻度のデータは得られる可能性がある。

以上のような問題意識から、都心への来街頻度推定問題を総来街頻度データと回遊行動調査から得られる回遊のパタンの情報から、入口来街頻度と回遊パタンの同時推定法の構成を行う研究が後者である。この課題は、消費者行動の因果順序とは「逆」に、総来街頻度から入口来街頻度を推定するという問題となっておりこの意味でこれを「逆問題」と呼ぶ。この「逆問題」に取り組みその具体的解法を構成した Saito・Kakoi・Nakashima [22]、齋藤・梶井・中嶋 [23]、梶井 [5] は、1) 調査で得られた回遊トリップチェーンデータから、回遊パタンの情報を引き出す際に、回遊トリップチェーンデータをプールして扱うと生じる choice-based バイアスの問題が伴うことを初めて明らかにした点、および、2) 既存研究で、2つの独立の問題として考えられていた入口来街頻度の推定問題と回遊パタンの推定問題を、「Choice-based を伴った逆問題」という視点で2つの問題を統一の枠組みで捉え、その解法を与えた点で注目すべき研究である。しかし、新しい方法であり推定法の適用範囲の拡張や理論的拡張に関するいくつかの課題を残していた。

^(註2) 商業地を個店レベルで考えるとき、各店舗の総来街頻度は来店者数に対応する。

本研究の目的は、これらの課題の中で総来街頻度データが完全には得られないケースでの入口来街頻度と回遊パタンの同時推定逆問題を取り上げ、その解法を与えることである。観測データが皆無である入口来街頻度データに対し、総来街頻度データは入手が可能であるものの、一般的に、当該都心の全商業地の総来街頻度データが得られることは少ない。本研究は、既存の推定法を複雑かつ規模の大きな都心部に適用しうる、より実効性の高い枠組みへと発展させることにそのねらいをおいている。

2. 問題の定式化

本章では、問題の定式化を行っていく。具体的な定式化に入る前に、2.1で回遊行動研究における来街頻度概念を整理し、2.2で本研究の問題を提示する。そして、2.3で総来街頻度データが完全には得られないケースでの入口来街頻度と回遊パタンの同時逆推定問題の解法を与えることとする。

2.1 都心商業空間における来街頻度の概念

消費者の購買行動を考えよう。自宅を出発した消費者は、まず都心での入口となる商業地を訪れ、次いで回遊によって他の商業地を訪問し、回遊を繰り返す、最終的に帰宅する、といったループ状のトリップとなっている。このような、消費者の都心における商業地間の渡り歩き行動を回遊行動というが、回遊行動研究では都心における来街頻度の概念を回遊行動により次のように区別する。消費者が都心に入り最初に立ち寄った商業地への来街頻度を入口来街頻度、回遊により商業地にもたらされた来街頻度を回遊来街頻度といい、それらの和を総来街頻度という。そして、ある商業地から、別の商業地にどれだけの渡り歩きがあるかを表わす来街頻度ベースのOD (Origin-Destination) フローを回遊パターンと呼ぶ。さらに、本稿では、自宅ノードを含めた来街頻度のODフローを拡張回遊パターンと呼ぶこととする。

n 商業地をもつ都心商業空間を考えよう。商業地ノードを N とし、 N は仮想ノードである自宅ノード h を含むと仮定する。商業地 i から j への任意のODフロー、すなわち拡張回遊パターンを $V_{ij} (i \in N, j \in N)$ とすると、商業地 j の入口来街頻度は $V_{hj} (j \in N - \{h\})$ 、回遊来街頻度は

表 2.1 来街者のODフロー

From \ To						計	
	商業地 1		商業地 j		商業地 n		自宅 h
商業地 1	V_{11}	...	V_{1j}	...	V_{1n}	V_{1h}	V_{1+}
商業地 i	V_{i1}	...	V_{ij}	...	V_{in}	V_{ih}	V_{i+}
商業地 n	V_{n1}	...	V_{nj}	...	V_{nn}	V_{nh}	V_{n+}
自宅	V_{h1}	...	V_{hj}	...	V_{hn}	V_{hh}	V_{h+}
計	V_{+1}	...	V_{+j}	...	V_{+n}	V_{+h}	V_{++}

$\sum_{i \in N - \{h\}} V_{ij} (j \in N - \{h\})$, 総来街頻度は $V_{+j} (= \sum_{i \in N} V_{ij})$ で表すことができる。ここで, $i=j$ ならば, $V_{i+} = V_{+j}$ が成立する (例えば, 石橋 [2] を参照)。

2.2 入口来街頻度と回遊パタンの同時逆推定問題

前節で都心商業空間におけるいくつかの来街頻度概念を見てきた。これらの来街頻度をいかに推定していくかが問題である。この問題に対する従来の方法は次である。まず, 鉄道の乗降客数といった都心に何人入っているかの入込み者数に関する外部の情報をもとに, 各店舗への入口来街頻度を推計し, これを回遊マルコフモデルの入力とし, 都心部回遊行動調査から得られる回遊選択確率をもちいて, 回遊来街頻度, 総来街頻度, 回遊パターンを推定・予測する。ここで, 都心部回遊行動調査とは, 都心内のいくつかの主要な店舗にサンプリング地点を設置し, 商業地や店舗の渡り歩きの回遊トリップチェーンデータを収集する来街地ベース調査である。Saito・Kakoi・Nakashima [22], 齋藤・梶井・中嶋 [23], 梶井 [5] は, 都心における来街頻度推定問題を消費者の回遊行動の因果順序とは逆に推定する次の問題として捉えた。

[入口来街頻度・回遊パタンの同時逆推定問題]

所与の総来街頻度 $V_{i+}^{OBS} (i \in N - \{h\})$ と来街地ベース回遊行動データ $D^{(s)}$ が与えられたもとで, 未知の入口来街頻度 $V_{hj} (j \in N - \{h\})$ と回遊パターン $V_{ij} (i \in N - \{h\}, j \in N - \{h\})$ を推定せよ。

Saito・Kakoi・Nakashima [22], 齋藤・梶井・中嶋 [23], 梶井 [5] は, 上記の問題は従来の方法の単純な応用では解けなかったことを明らかにするとともに, その原因として「来街地ベース」でサンプリングされた回遊トリップチェーンデータに伴う choice-based バイアスの問題を初めて指摘した。個人が行った選択結果によって母集団を分け, 各々の層からランダムサンプリングを行う方法を choice-based サンプリングというが, choice-based バイアスとは, このような choice-based サンプリングデータにともなうバイアスのことである。「来街地ベース」回遊行動調査にともなう choice-based バイアスの問題に対する彼らの説明は以下である。

来街頻度の推定に用いる回遊トリップチェーンデータは, 都心内のいくつかのサンプリング地点でのサンプル数をあらかじめ決め, そのサンプル数に従いランダムサンプリングをおこなう「来街地ベース」回遊行動調査によって得られる。このようにして集められた回遊トリップチェーンデータから, ある商業地から都心内のほかの商業地への行先選択確率といった回遊パタンの情報を引き出す際, 次のような choice-based バイアスの問題が生ずる。2つのサンプリング地点 s, t で得られたデータに共通の発地 i をもったサンプルがある時, その発地 i からの行先選択確率 P_{is}, P_{it} の推定を, 当該サンプル地点 s, t のデータをプールして推定を行おうとすると, それは, choice-based サンプリングを行ったことと同じことになる。従って, 複数サンプリング地点から

の来街地回遊トリップチェーンデータをプールして回遊パタンの推定を行うと、choice-based バイアスが生ずるのである。

単一サンプリング地点 s から得られたデータをもとに得られる、 s からの行先選択確率 P_{sj} や s への着地確率を推定するには何の問題も生じない。以上から、Saito・Kakoi・Nakashima [22], 斎藤・梶井・中嶋 [23], 梶井 [5] は、来街地ベース回遊行動調査から得られる s からの行先選択確率 P_{sj} や s への着地確率 P_{is} , に加え、全商業地の総来街頻度に対する商業地 i の総来街頻度の割合を制約条件とする I-射影モデリングにより入口来街頻度・回遊パタンの同時逆推定法を構成した。ある凸制約を満たしつつ、Kullback-Leibler 情報量を最小化する分布を求める凸制約付き最小化問題を、I-射影問題という。I-射影モデリングは、I-射影問題によって定式化された統計的モデリングのことを指す (Saito [14])。Saito・Kakoi・Nakashima [22], 斎藤・梶井・中嶋 [23], 梶井 [5] は、行先選択確率 P_{sj} や s への着地確率 P_{is} , そして、総来街頻度割合を制約とする I-射影モデリングからパス R 上の分布 q_r を推定し、それから、入口来街頻度と回遊パタンの同時推定を行っている。

本研究の目的は、総来街頻度データが完全には得られないケースでの入口来街頻度と回遊パタンの同時逆推定法の構築であった。本研究で取り上げる課題は次である。

[不完全総来街頻度データのもとでの入口来街頻度・回遊パタンの同時逆推定問題]

所与の総来街頻度 V_{i+}^{obs} ($i \in L \subset N - \{h\}$) と来街地ベース回遊行動データ $D^{(s)}$ が与えられたもとで、未知の入口来街頻度 V_{hj} ($j \in N - \{h\}$) と回遊パターン V_{ij} ($i \in N - \{h\}, j \in N - \{h\}$) を推定せよ。但し、 L は総来街頻度が観測可能な商業地集合である。

Saito・Kakoi・Nakashima [22], 斎藤・梶井・中嶋 [23], 梶井 [5] では、総来街頻度の情報として全商業地の総来街頻度に対する商業地 i の総来街頻度の割合を用いているため、実際のデータに推定法を適用するためには対象となる都心の全商業地の総来街頻度データが得られる必要があった。もし、直接、商業地 i の総来街頻度を用い I-射影モデリングの制約条件を構成することができれば、この問題は解決できるはずである。総来街頻度の割合と総来街頻度の大きな違いは、前者が確率概念である一方で、後者は度数概念であることである。この度数を直接取り扱うべく、パス R 上の確率分布 q_r ($r \in R$) を度数分布 f_r ($r \in R$) に置き換え、次節以下で既存の方法を拡張する。

2.3 問題の定式化

その定式化は、linked トリップ回遊行動データの集計 (aggregation) の考え方と密接に関連している。本節では、入口来街頻度や回遊パターンといった都心商業空間における来街頻度の概念と関連付けつつ、linked トリップデータを unlinked トリップに分解し、OD (Origin-Destination) 行列に集計していく方法をみていくこととする。

n 商業地が立地する都心商業空間を考える。 N を商業地ノードの集合とする。ここで、商業地ノード N は、仮想ノードである自宅ノード h を含むと仮定する。全てのパスまたはルートの集合を R としよう。 R の任意の要素 $r \in R$ は、ある消費者が都心商業空間の商業地ノードをどのようにに渡り歩いたかという1つの回遊トリップチェーンを表す。 $f_r (r \in R)$ をパス上の度数分布とする。任意の OD ペアはトリップチェーンの間の引き続く2つのノードのペアとして現れることとなる。すなわち、 N の任意のノード $i \in N$ は、発地ノード (origin), 着地ノード (destination) の両方のノードになりうる。全ての OD ペアの集合を W としよう。

$$W = \{(i, j) \mid i, j \in N\} \quad (1)$$

そして、 R_{ij} を OD ペア (i, j) を含むすべてのパスの集合とする。

$$R_{ij} = \{r \in R \mid (i, j) \in r, i, j \in N\} \quad (2)$$

拡張回遊パタンの (i, j) 要素 $V_{ij} (i \in N, j \in N)$ とパス度数分布 $f_r (r \in R)$ の間には、

$$V_{ij} = \sum_{r \in R_{ij}} f_r \quad i \in N \quad j \in N \quad (3)$$

の関係が成立している。(3) 式は、回遊トリップチェーンデータから来街者の度数ベース OD フローの集計、すなわち拡張回遊パタンの集計する方法を表現したものに他ならない。

L を総来街頻度が観測可能な商業地集合とし、商業地 i の観測総来街頻度の観測データを $V_{i+}^{OBS} (i \in L \subset N - \{h\})$ と表そう。すると、これは次となる。

$$V_{i+}^{OBS} = \sum_{j \in N} V_{ij} \quad (4)$$

R 上の度数分布 $f_r (r \in R)$ は未知である。(3) より、商業地 i の観測総来街頻度 $V_{i+}^{OBS} (i \in L \subset N - \{h\})$ と $f_r (r \in R)$ との間には、次の関係が成立する。

$$V_{i+}^{OBS} = \sum_{k \in N} \sum_{r \in R_{ik}} f_r$$

これより、

$$V_{i+}^{OBS} - \sum_{k \in N} \sum_{r \in R_{ik}} f_r = 0 \quad (5)$$

観測発地確率を $P_{sj}^{OBS} (j \in N)$ と表そう。パス度数分布 $f_r (r \in R)$ が来街地ベース回遊行動調査データの情報と整合性を保つためには、調査地点 s における観測発地確率 $P_{sj}^{OBS} (j \in N)$ との間には次の関係が成立せねばならない。

$$\begin{aligned} P_{sj}^{OBS} &= V_{sj} / V_{s+} \\ &= \sum_{r \in R_{sj}} f_r / \sum_{k \in N} \sum_{r \in R_{sk}} f_r \end{aligned}$$

これより、

$$\sum_{r \in R_{sj}} f_r - P_{sj}^{OBS} \sum_{k \in N} \sum_{r \in R_{sk}} f_r = 0 \quad (6)$$

同様に、パス度数分布 f_r ($r \in R$) と調査地点 s における観測着地確率 P_{is}^{OBS} ($i \in N$) との間には次の関係が成立せねばならない。

$$\sum_{r \in R_{is}} f_r - P_{is}^{OBS} \sum_{k \in N} \sum_{r \in R_{ks}} f_r = 0 \quad (7)$$

2.4 不完全総来街頻度データのもとでの入口来街頻度・回遊パタンの同時逆推定問題のための I-射影モデリング

Saito・Kakoi・Nakashima [22], 斎藤・梶井・中嶋 [23], 梶井 [5] では、入口来街頻度・回遊パタンの同時逆推定問題に対し I-射影モデリングを用いている。I-射影モデリングとは、所与の初期確率分布 π のもとで、凸制約 K を満たしつつ、Kullback-Leibler 情報量 $I(q, \pi)$ を最小化する確率分布 q を求める方法である (Saito [14])。本研究でも同様に、I-射影モデリングで不完全総来街頻度データのもとでの入口来街頻度・回遊パターン同時逆推定問題の解法を構成することとするが、度数分布 f_r , $r \in R$ の推定を行うべく、初期度数分布 g が与えられたもとで、凸制約 K を満たしつつ、一般化 Kullback-Leibler 情報量 $D(f, g)$ (例えば Teboulle [27] を参照) を最小にする度数分布 f_r , $r \in R$ を推定するという問題に置き換える。

一般化 Kullback-Leibler 情報量 $D(f, g)$ は次のように定義される。

$$D(f, g) = \sum_{i=1}^n f_i \log \frac{f_i}{g_i} + \sum_{i=1}^n g_i - \sum_{i=1}^n f_i$$

制約集合 K は、

$$K = \{(5) (6) (7) \text{ を満たす } f_r, r \in R\} \quad (8)$$

となり、パス R 上の度数分布 f_r , $r \in R$ を求める I-射影問題は以下となる。

$$D(\hat{f}, g) = \min_{f \in K} D(f, g) \quad (9)$$

(9) 式の解 \hat{f}_r , $r \in R$ が得られたならば、これを (3) 式に代入することで、直ちに拡張回遊パターン、入口来街頻度の推定値 \hat{V}_{ij} ($i \in N, j \in N$), \hat{V}_{ih} ($i \in N$) を得ることが出来る。

3. シーサイドももち回遊行動調査データへの適用

3.1 データ

本研究では、1) 総来街頻度データとして福岡市観光局が公表している 1996 年のシーサイドももちの各施設の来街者数データ、2) 来街地ベースパーソントリップデータとして、シーサイドももち消費者回遊行動データを用いる (Saito・Kakoi・Nakashima [22], 斎藤・梶井・中嶋 [23], 梶井 [5] を参照)。シーサイドももち消費者回遊行動調査は、福岡大学経済学部斎藤研究室が実施したシーサイドももち地区の来街者に対する約 10 分間の聞き取りアンケート調査である。調査日は 1996 年 1 月 6 日, 7 日, 27 日, 28 日の合計 4 日間、調査地点は、福岡ドーム、シーホーク、福岡タワー、マリゾンの 4ヶ所である。そこでは、シーサイドももち地区の来街者が当日立ち寄っ

た店舗，目的を生起順に尋ねる回遊履歴項目を中心に，個人属性や出向頻度等を尋ねている。

シーサイドももちは，面積約 150 ha の 1989 年に完成した福岡市のウォーターフロント開発地区である。現在では，シーサイドももちには，ホテルや，レストランをはじめ，テレビ局や，福岡市の博物館，ハイテクセンター，ドーム型の野球場等様々な施設が立地しているが，1996 年時点には，(1) 福岡ドーム (2) シーホークホテルアンドリゾート (3) 福岡タワーそして，(4) マリゾンといった 4 つの大規模な施設が立地しているのみであった。

3.2 シーサイドももち地区における I-射影モデリング

本節では，総来街頻度データが，完全に得られないケースでのシーサイドももち地区における入口来街頻度，及び，回遊パタンの同時逆推定問題の定式化を行っていく。

I-射影問題は，次である。

$$D(\hat{f}, g) = \min_{f \in K} D(f, g) \quad (10)$$

次に，制約条件 K についてみていくこととする。今回は簡単化のため，総来街頻度の制約と福岡ドームにおける着地確率ととの 2 つの制約を取り上げた。

(1) 総来街頻度の制約

シーサイドももちにおける商業地ノードは，1. 福岡ドーム，2. シーホークホテルアンドリゾート，3. 福岡タワー，4. マリゾンの 4 つである。全ての商業地ノードの観測総来街頻度データ V_{i+}^{obs} ， $i=1, \dots, 4$ が観測されたとき，総来街頻度の制約はそれぞれ次となる。

$$V_{1+}^{OBS} - \sum_{k \in N} \sum_{r \in R1k} f_r = 0 \quad (11)$$

$$V_{2+}^{OBS} - \sum_{k \in N} \sum_{r \in R2k} f_r = 0 \quad (12)$$

$$V_{3+}^{OBS} - \sum_{k \in N} \sum_{r \in R3k} f_r = 0 \quad (13)$$

$$V_{4+}^{OBS} - \sum_{k \in N} \sum_{r \in R4k} f_r = 0 \quad (14)$$

次節以下で考察する総来街頻度のデータが不完全にしか得られないケースでは，これらの制約のうち観測可能な総来街頻度データの制約のみを用いる。

シーサイドももち地区での観測総来街頻度を表 3.1 に示す。

(2) 福岡ドームにおける着地確率の制約

福岡ドームにおける着地確率の制約は次となる。

$$\sum_{r \in R11} f_r - P_{i1}^{OBS} \sum_{k \in N} \sum_{r \in Rk1} f_r = 0 \quad (15)$$

表 3.1 各商業地への総来街者数 (単位: 10,000 人/年間)
(出所: 福岡市観光統計)

1. 福岡ドーム	2. シーホーク	3. 福岡タワー	4. マリゾン	計
800	350	78	157	1,385

表 3.2 福岡ドームでの観測着地確率
(出所：1996年シーサイドももち地区来街地ベースパーソントリップ調査)

1. 福岡ドーム	2. シーホーク	3. 福岡タワー	4. マリゾン	計
0.000	0.125	0.011	0.074	0.790

福岡ドームでの観測着地確率を表 3.2 に示す。

4. 推定結果

シーサイドももち地区では、主要な 4 施設に関して、福岡市が毎年公表している来店者数のデータがあり、全施設の総来街頻度データが観測可能である。本研究では、いくつかの施設の総来街頻度データが観測できなかったケースを想定し、以下の 4 つのケースで推定を行った。

ケース 1: 福岡ドーム, シーホーク, 福岡タワー, マリゾンの全施設で総来街頻度データが観測されるケース

ケース 2: マリゾンの総来街頻度データが観測されないケース

ケース 3: 福岡タワー, マリゾンの総来街頻度データが観測されないケース

ケース 4: シーホーク, 福岡タワー, マリゾンの総来街頻度データが観測されないケース

入口来街頻度の推定結果を表 4.1 から表 4.4 に、拡張回遊パターンの推定結果を表 4.6 から表 4.9 に示す。推定結果の比較のため、表 4.5, 表 4.10 に斎藤・梶井・中嶋[23]による入口来街頻度, 拡

表 4.1 入口来街頻度の推定結果(単位 10,000 人/年間)
(全施設で総来街頻度データが観測されるケース)

1. 福岡ドーム	2. シーホーク	3. 福岡タワー	4. マリゾン	計
632	109	16	54	810

表 4.2 入口来街頻度の推定結果(単位 10,000 人/年間)
(マリゾンの総来街頻度データが観測されないケース)

1. 福岡ドーム	2. シーホーク	3. 福岡タワー	4. マリゾン	計
632	85	13	99	828

表 4.3 入口来街頻度の推定結果(単位 10,000 人/年間)
(福岡タワー, マリゾンの総来街頻度データが観測されないケース)

1. 福岡ドーム	2. シーホーク	3. 福岡タワー	4. マリゾン	計
632	68	84	97	881

表 4.4 入口来街頻度の推定結果 (単位 10,000 人/年間)
(シーホーク, 福岡タワー, マリゾンの総来街頻度データが観測されないケース)

1. 福岡ドーム	2. シーホーク	3. 福岡タワー	4. マリゾン	計
632	129	113	122	995

表 4.5 入口来街頻度の推定結果 (単位 10,000 人/年間)
(出所: 齋藤参郎・梶井昌邦・中嶋貴昭, “都心商業空間における商業施設への消費者来街者数と回遊パタンの同時推定逆問題について”, 地域学研究, Vol. 30, No. 1, 2000)

1. 福岡ドーム	2. シーホーク	3. 福岡タワー	4. マリゾン	計
632	142	22	65	861

表 4.6 拡張回遊パタンの推定結果 (単位 10,000 人/年間)
(全施設で総来街頻度データが観測されるケース)

	1	2	3	4	5	計
1. 福岡ドーム	0	197	42	64	497	800
2. シーホーク	100	0	15	31	204	350
3. 福岡タワー	9	18	0	8	43	78
4. マリゾン	59	26	6	0	66	157
5. 自宅	632	109	16	54	0	810
計	800	350	78	157	810	2,194

表 4.7 拡張回遊パタンの推定結果 (単位 10,000 人/年間)
(マリゾンの総来街頻度データが観測されないケース)

	1	2	3	4	5	計
1. 福岡ドーム	0	145	33	310	312	800
2. シーホーク	100	0	11	84	154	350
3. 福岡タワー	9	14	0	20	34	78
4. マリゾン	59	106	21	0	328	513
5. 自宅	632	85	13	99	0	828
計	800	350	78	513	828	2570

張回遊パタンの推定結果を示しておく。ここでは、上記4つのケースについて、全パスに13(万人)を一様に割り当てた分布を初期分布として想定している^(註3)。

表 4.1 と表 4.5, 表 4.6 と表 4.10 を比較しよう。既存研究と本研究とには、1) パス上の分布に確率分布を採用していることと度数分布を採用していること、2) 総来街頻度の制約に総来街頻度割合を用いていることと総来街頻度を直接用いていること等、といった違いがあるにもかかわらず

^(註3) ここでは、入口来街頻度の合計が860(万人)であると想定し、これを64のパスに一様に割り当てている。入口来街頻度の合計の値は、齋藤・梶井・中嶋[23]にもとづく。

表 4.8 拡張回遊パタンの推定結果 (単位 10,000 人/年間)
(福岡タワー, マリゾンの総来街頻度データが観測されないケース)

	1	2	3	4	5	計
1. 福岡ドーム	0	98	273	258	171	800
2. シーホーク	100	0	68	70	112	350
3. 福岡タワー	9	94	0	177	307	587
4. マリゾン	59	90	162	0	292	603
5. 自宅	632	68	84	97	0	881
計	800	350	587	603	881	3,221

表 4.9 拡張回遊パタンの推定結果 (単位 10,000 人/年間)
(シーホーク, 福岡タワー, マリゾンの総来街頻度データが観測されないケース)

	1	2	3	4	5	計
1. 福岡ドーム	0	216	241	227	116	800
2. シーホーク	100	0	171	175	281	727
3. 福岡タワー	9	195	0	192	306	702
4. マリゾン	59	186	178	0	292	716
5. 自宅	632	129	113	122	0	995
計	800	727	702	716	995	3,940

表 4.10 拡張回遊パタンの推定結果 (単位 10,000 人/年間)
(出所: 斎藤参郎・柁井昌邦・中嶋貴昭, “都心商業空間における商業施設への消費者来街者数と回遊パタンの同時推定逆問題について”, 地域学研究, Vol. 30, No. 1, 2000)

	1	2	3	4	5	計
1. 福岡ドーム	0	168	38	56	538	800
2. シーホーク	100	0	13	28	209	350
3. 福岡タワー	9	16	0	7	45	78
4. マリゾン	59	24	5	0	69	157
5. 自宅	632	142	22	65	0	861
計	800	350	78	157	861	2,246

ず, 入口来街頻度, 拡張回遊パタンの結果とも両方で極めて近い値となっている。これは, 本研究が既存研究と矛盾ない拡張となっていることを示す結果であると考えられる。

表 4.11 は, 上の全総来街頻度が得られるケース 1 で, 初期分布の想定を次のように変えた場合の入口来街頻度の推定結果を比較したものである。

- ケース 1.1: 全パスに 1 (万人) を一様に割り当てた初期分布
- ケース 1.2: 全パスに 5 (万人) を一様に割り当てた初期分布
- ケース 1.3: 全パスに 10 (万人) を一様に割り当てた初期分布
- ケース 1.4: 全パスに 15 (万人) を一様に割り当てた初期分布

表 4.11 初期分布の違いによる入口来街頻度の推定結果の比較 (単位 10,000 人/年間)
(全施設で総来街頻度データが観測されるケース)

	1. 福岡ドーム	2. シーホーク	3. 福岡タワー	4. マリゾン	計
ケース 1.1	632	103	15	52	801
ケース 1.2	632	105	15	52	804
ケース 1.3	632	107	15	53	807
ケース 1.4	632	110	16	54	811
ケース 1.5	632	112	16	55	814

ケース 1.5: 全パスに 20 (万人) を一様に割り当てた初期分布

今回の分析では、初期分布の設定に入口来街頻度の合計の情報を用いているが、表 4.11 より、一様な分布を想定する限り、推定結果はほとんど変化せず、入口来街頻度の合計の値に依存してないことが分かる。

次いで、表 4.2 から表 4.4、表 4.6 から表 4.9 をみていこう。総来街頻度データが観測されなかった施設への来街頻度が、入口来街頻度、回遊による来街頻度とも高めに推定される傾向がみられる。これは、ある施設の総来街頻度データが観測されなければ、I-射影モデリングの制約条件として当該施設の総来街頻度の制約を導入できないため、その施設を含むパスの推定値が初期分布の想定に大きく左右されてしまうためであると考えられる。施設の規模や施設間の距離、そしてパスの長さ、といった追加的な情報によってパスにウェイトをかけ初期分布を設定することや、これらの要素を考慮した制約条件を構成すること等を今後の課題としたい。

5. 結論と今後の課題

本研究では、既存の来街地ベースのパーソントリップデータと総来街頻度データからの入口来街頻度と回遊パターンを同時逆推定法の拡張を行った。具体的には、パス上の確率分布を推定し、推定されたパス上の確率分布に基づき入口来街頻度と回遊パターンの推定を行っていた既存の枠組みを、1) パス上の度数分布を推定し、それから、入口来街頻度と回遊パターンの推定する枠組みと捉え直し、それにより、2) 総来街頻度という度数概念を直接制約条件として取り扱う I-射影問題を構成し、その具体的解法を与えるとともに、3) 福岡市のウォーターフロント開発地区であるシーサイドももちにおける来街地ベースパーソントリップデータに適用し、推定法の評価を行った。

既存研究の枠組みを実際のデータに適用するためには、分析対象となる地区の全ての店舗や施設の総来街頻度データが揃っている必要があった。実際には、分析対象地区の全ての店舗や施設の来店者数、すなわち、総来街頻度データを得られることは多くなく、既存枠組みの制約は、一般のより規模の大きな地区や複雑な都心に分析対象を拡張する上で障害となっていた。

本研究の意義は、上記拡張を行うことにより、総来街頻度データが部分的にしか得られないケー

スでの入口来街頻度と回遊パタンの同時逆推定問題を定式化し、その解法を与えたことにある。

今回は、事前には、入口来街頻度の合計の情報のみしかえられないと考え、初期分布に一樣な分布を想定したが、1) 商業施設における売場面積や客席数等の施設の規模や施設間の距離、そしてパスの長さ等、といった追加的な情報を加えた初期分布の設定は今後の課題としたい。また、2) これらの要素を考慮した新たな制約条件の構成することや、3) 総来街頻度の欠損データの補完法の開発、また、4) より複雑な都心への適用等応用範囲の拡張も今後の重要な課題である。また、入口来街頻度の観測データは皆無であり、今回は推定精度の検証は行わなかったが、5) ブートストラップ等、リサンプリングにより精度検証を行うことも今後の課題としたい。また、テーマパークでは、入口での来園者数とともに、各アトラクションの利用者数をカウントしている。6) テーマパークで来園者のトリップチェーン調査を行い本研究の推定法を適用することや、これによる推定精度の検証も課題としたい。

参 考 文 献

- [1] Csiszár, I. Why least square and maximum entropy? An axiomatic approach to inference for liner inverse problem. *Annals of Statistics*, **19**, 1989, pp. 2032-2066.
- [2] 石橋健一、『回遊行動モデルによる中心商業地計画評価に関する研究』, 東京工業大学大学院理工学研究科, 博士論文, 1998.
- [3] 石橋健一・斎藤参郎, “回遊行動モデルからみた都心空間評価”, 熊田禎宣編, 『公共システムの計画学』第11章, 技報堂出版, pp. 177-193, 2000.
- [4] 石橋健一・斎藤参郎・熊田禎宣, “来街頻度に基づく販売額予測非集計回遊マルコフモデルの構築—小倉都心商業地区への適用—”, 『都市計画論文集』, No. 33, 1998a, pp. 349-354.
- [5] 梶井昌邦, 『Choice-based バイアスをともなった統計的逆問題の理論と応用—都心部への入込み者数および回遊パタンの同時逆推定法の構成と評価—』, 福岡大学大学院経済学研究科, 博士論文, 1999.
- [6] 斎藤参郎, “延岡地域商業地の現状と課題”, 『延岡地域商業近代化計画報告書』, 1983, pp. 36-96.
- [7] 斎藤参郎, 『修正ハフモデルに関する調査研究報告書—佐賀市商業政策事前評価システム SCOPES (Saga COmmercial Policy Evaluation System) の開発—』, 1984a.
- [8] 斎藤参郎, “消費者の商業地間回遊を考慮した非集計多段階選択ハフモデルの構築—佐賀市商業政策事前評価システム SCOPES の試み—”, 『計画行政』 No. 13, 1984b, pp. 73-82.
- [9] 斎藤参郎, “都心空間における回遊行動の回遊目的生起順序について”, 『都市計画論文集』, No. 23, 1988a, pp. 55-60.
- [10] 斎藤参郎, “回遊特性からみた都心空間評価の試み”, 『福岡大学経済論叢』, Vol. 33, 1988b, pp. 47-108.
- [11] 斎藤参郎, 『歩行者の回遊行動からみた紫川周辺市街地開発計画の比較評価 報告書』, 1993.
- [12] 斎藤参郎, “消費者の回遊行動からみた都心構造分析”, 『日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集』, 1997a, pp. 20-21.
- [13] 斎藤参郎, “消費者の回遊行動からみた街づくり”, 日本行動計量学会第25回大会公開シンポジウムパネリスト, 『発表論文抄録集』, 1997b, pp. 22-25.
- [14] Saburo Saito, *Extensions of Iterative Proportional Fitting Procedure and I-projection Modeling*, Kyushu University Press, 1998.
- [15] 斎藤参郎編, 『福岡都心部回遊行動調査報告書』, 1998.
- [16] 斎藤参郎編, 『福岡都心部回遊行動調査報告書』, 1999.
- [17] 斎藤参郎編, 『福岡都心部回遊行動調査報告書—地下空間と日韓都市魅力比較に焦点をあてて—』, 財団法人福岡都市科学研究所, 2000.
- [18] 斎藤参郎・石橋健一, “説明変数を含んだマルコフチェーンモデルによる都心再開発に伴う回遊行動の

- 変化予測”, 『都市計画論文集』, No. 27, 1992a, pp. 439-444.
- [19] Saito, S. and Ishibashi, K., “A Markov chain model with covariates to forecast consumer’s shopping trip chains within a central commercial district”, Paper presented at IV World Congress of RSAI at Mallorca, Spain, Also in Discussion Paper No. 21, Faculty of Economics, Fukuoka University, 1992b.
- [20] 齋藤参郎・石橋健一・熊田禎宣, “中心商業地河川の資産価値計測手法の開発と適用—北九州市都心紫川への消費者回遊行動アプローチの応用—”, 『地域学研究』, 投稿中. 『第36回日本地域学会年次大会論稿集』, 1999, pp. 335-342.
- [21] 齋藤参郎・梶井昌邦・中嶋貴昭, “来街地ベースサンプリングによる都心商業地への入込者数予測モデルの構築と評価”, 『地域学研究』, Vol. 29, No. 1, 1999, pp. 55-74. 『第35回日本地域学会年次大会論稿集』, 1998, pp. 165-172. Discussion Paper No. 48, 福岡大学経済学部, 1998.
- [22] Saito, S., Kakoi, M., and Nakashima, T., “Inverse Estimation of Entry Frequency from the Numbers of Visitors Observed at Shopping Sites under Consumers’ Shop-around”, Paper presented at 16th PRSCO (Pacific Regional Science Conference Organization) held at Seoul, Korea, 1999. Also in Discussion Paper No. 50, Faculty of Economics, Fukuoka University, 1999.
- [23] 齋藤参郎・梶井昌邦・中嶋貴昭, “都心商業空間における商業施設への消費者来街者数と回遊パタンの同時推定逆問題について”, 『地域学研究』, Vol. 30, No. 1, 2000, pp. 213-228. 『第36回日本地域学会年次大会論稿集』, 1999, pp. 343-350. Discussion Paper No. 51, 福岡大学経済学部, 1999.
- [24] 齋藤参郎・熊田禎宣・石橋健一, “来街者調査ベースポアソン回帰集客数予測モデルの提案とその応用”, 『都市計画論文集』, No. 30, 1995a, pp. 523-528.
- [25] Saito, S., Y. Kumata, and K. Ishibashi., “A choice-based Poisson regression model: Its integrated use with Markov shop-around model to evaluate city center retail redevelopment”, Paper presented at 3rd Recent Advances in Retailing and Services Science Conference held at Telfs-Buchen, Austria, Also in Discussion Paper No. 42, Faculty of Economics, Fukuoka University, 1996.
- [26] 齋藤参郎・中嶋貴昭・梶井昌邦, “消費者回遊行動からみた大規模再開発による都心部の構造変化に関する実証的研究”, 『地域学研究』, Vol. 29, No. 3, 2000, pp. 107-130. 『第35回日本地域学会年次大会論稿集』, 1998, pp. 157-164. Discussion Paper No. 49, 福岡大学経済学部, 1998.
- [27] Teboulle, M. “Entropic proximal mappings with applications to nonlinear programming.” *Mathematics of Operations Research* 17, 1992, pp. 670-690.

Simultaneous Inverse Estimation of Consumer's Entry Frequency and Shop-Around Pattern from On-Site Trip Chain Data and Incomplete Total Visit Frequency Data

Masakuni KAKOI* and Saburo SAITO**

In the previous paper, we raised the inverse problem to estimate entry frequency from both of data on the number of visitors observed at every shopping site and data obtained by on-site trip chain survey. To solve this, we developed simultaneous estimation method of consumer's entry frequency and shop-around pattern. While large retailers usually count the number of visitors at their shops, small retailers are not likely to count total visit frequency at their sites. Thus it is almost impossible to collect total visit frequency data at every size of shopping site. We necessarily face with the incomplete data problem where total visit frequencies at some shopping sites are missing. Hence some extension of our previous method is needed to enable one to do simultaneous estimation of entry frequency and shop-around pattern under the condition of missing data. The purpose of this paper is to make an extension of our previous method to tackle this problem. We apply the extended method to actual case of Fukuoka City and shows that our extended inverse estimation method is effective and accurate enough to estimate the entry frequency and shop-around pattern under missing data.

* Assistant Professor, Faculty of Economics, Fukuoka University ; Fukuoka University Institute of Quantitative Behavioral Informatics for City and Space Economy (FQBIC)

** Professor , Faculty of Economics, Fukuoka University ; Director, Fukuoka University Institute of Quantitative Behavioral Informatics for City and Space Economy (FQBIC)