

## Choice-based サンプリングにもとづく 入口来街頻度と回遊ODパタンの同時逆推定法の動学化

01110746 福岡大学経済学部

\* 梶井昌邦 KAKOI Masakuni

01204786 福岡大学経済学部 福岡大学都市空間情報行動研究所

齋藤参郎 SAITO Saburo

### 1. 研究のねらいと目的

本研究では、都心における商業地、もしくは、店舗への来街頻度の推定問題を取り上げる。都心に訪れた消費者は、まず都心での入口となる店舗を訪れ、次いで回遊によって他の店舗を訪問し、最終的に帰宅する。入口として各店舗を訪れた来店者の数を入口来街頻度、また、回遊によって各店舗を訪れた人の数を回遊来街頻度といい、それらの和を総来街頻度と呼ぶ。齋藤らによる一連の回遊行動研究は(齋藤[4], 齋藤・石橋[5], 齋藤・梶井・中嶋[7], 梶井[2], 梶井・齋藤[3])、都心商業環境の評価枠組みを構築することを狙ったものであり、回遊行動調査データを用いた来街頻度の推定、予測問題を主な研究対象としている。

さて、これまでの回遊行動研究は来街頻度を推定、予測する順序から次のように大別することが出来る。(1)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」として予測・推計方法のモデル化を行う回遊マルコフモデル(齋藤[4], 齋藤・石橋[5])、(2)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、入口来街頻度と回遊パタンの同時逆推定法の定式化を行う研究である(齋藤・梶井・中嶋[8], 梶井[2], 梶井・齋藤[3])。本研究は、(2)の流れに属するものであるが、これは、入口来街頻度の観測データが皆無である一方、総来街頻度データは観測可能であることから実用上有用であるとともに、これまで指摘されたことがなかった「来街地ベース」回遊行動調査に伴うchoice-basedバイアスの所在を明らかにし、その除去方法を示した点で注目すべき研究である。しかし、新しい方法でありいくつかの課題を残している。本研究のねらいと目的は、齋藤・梶井・中嶋[7], 梶井[2], 梶井・齋藤[3]を、時間帯別の来街頻度、及び、回遊ODパターンを推定可能な枠組みへと拡張することである。

### 2. 入口来街頻度と回遊パタンの同時逆推定法

$n$  商業地からなる都心商業空間を考える。はじめに、梶井・齋藤[3]での記号の定義に従い、本研究で用いる記号を整理しよう。商業地ノードを  $N$  とし、自宅ノード  $h$  を含むと仮定する。自宅ノード  $h$  は、当該都心以外を表す仮想ノードである。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) を拡張回遊パターンといい、これを、 $V_{ij}$  ( $i \in N, j \in N$ ) で表わす。消費者が都心に訪れ、最初に立ち寄った店舗への来街頻度である入口来街頻度、回遊によりもたらされた来街頻度を回遊来街頻度といい、両者の和を総来街頻度という。これらは、拡張回遊パターン  $V_{ij}$  ( $i \in N, j \in N$ ) によりそれぞれ、 $\sum_{i \in N - \{h\}} V_{ij}$  ( $j \in N - \{h\}$ ),  $V_{ij}$  ( $j \in N - \{h\}$ ),

$v_{,j} = \sum_{i \in N} V_{ij}$ , と記述することができる。ノード分割を店舗単位とすると、総来街頻度は来店者数に対応する。全てのパス

またはルートの集合を  $R$  としよう。ここで、 $R$  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渡り歩いたかの回遊トリップチェーンを表す。 $f_r$  ( $r \in R$ ) をパス  $r \in R$  上の度数分布とする。ここで、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が、ここで、全てのODペアの集合を  $W$  ( $W = \{(i, j) | i, j \in N\}$ ), ODペア  $(i, j)$  を含む全パスの集合を  $R_{ij}$  ( $R_{ij} = \{r \in R | (i, j) \in r, i, j \in N\}$ ) と定義する。

梶井・齋藤[3]のI-射影モデリングによって、入口来街頻度と回遊パタンの同時逆推定法は次である。

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、次の関係が成立する。

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

これより、パス  $R$  上度数分布  $f_r$  ( $r \in R$ ) と、観測総来街頻度、発地確率  $P_{ij}^{OBS}$ , そして着地確率  $P_{is}^{OBS}$  との間の、次の関係が導出できる。

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

$$\sum_{r \in R_{ij}} f_r - P_{ij}^{OBS} \sum_{k \in N} \sum_{r \in R_{ik}} f_r = 0 \quad (2)$$

$$\sum_{r \in R_{is}} f_r - P_{is}^{OBS} \sum_{k \in N} \sum_{r \in R_{ik}} f_r = 0 \quad (3)$$

一般化 Kullback-Leibler 情報量  $D(f, g)$  の定義は次である。

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

制約集合  $K$  は、 $K = \{(1)(2)(3) \text{を満たす } f_r, r \in R\}$  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。

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

この解  $\hat{f}_r$ ,  $r \in R$  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  $\hat{V}_{ij}^t (i \in N, j \in N)$ ,  $\hat{V}_{ih}^t (i \in N)$  を得ることが出来る。

### 3. 入口来街頻度と回遊パターンの同時逆推定法の動学化

本章では, 梶井・斎藤[3]の方法を時間帯別に推定可能な方法へと拡張する。

ある期間の回遊行動を考える。分析対象期間を  $T$  分割し ( $t = 1, 2, \dots, T$ ),  $t$  時間帯に都心に入るバス  $r \in R$  の分布を  $f_r^t (r \in R)$  とする。そして,  $t$  時間帯の都心への入込み者の回遊パターン, 入口来街頻度, そして, 総来街頻度を, それぞれ,  $t$  期拡張回遊パターン  $V_{ij}^t (i \in N, j \in N)$ ,  $t$  期入口来街頻度  $V_{ij}^t (j \in N - \{h\})$ ,  $t$  期総来街頻度  $V_{i+}^t (i \in N - \{h\})$  とよぶこととする。ここで,  $t$  期に都心に入った回遊トリップは,  $t$  時間帯に一律に発生すると仮定する。そして,  $t$  時間帯を  $U$  分割し ( $u = 1, 2, \dots, U$ ),  $t_u$  期間の期首に生じた全ての商業地への回遊は,  $t_u$  期間の期末に終了すると仮定する。ここでは, 回遊 1 ステップに商業地への滞在時間, 移動時間を含むものと考えている。このとき,  $t$  時間帯の都心への入込み者数の合計は  $\sum_{r \in R} f_r^t$ ,  $t_u$  期間の都心への入込み者数の合計は,  $(1/U) \sum_{r \in R} f_r^t$  となる。以上の想定のもとでは,  $t$  期の来街頻度には,  $t$  期に発生したバスによってもたらされるものと,  $t$  期以前に発生したバスによるものが混在することになる。ここで,  $t$  期に観測される OD パターンを  $X_{ij}^t (i \in N, j \in N)$ ,  $i$  商業地への総来街頻度を  $X_{i+}^t (i \in N - \{h\})$  とし, これらをそれぞれ  $t$  期滞留 OD パターン,  $t$  期滞留人口と呼ぶこととする。そして,  $\delta_{ria}^t$  を,  $t$  期に都心に入ったバス  $r \in R$  の  $a$  商業地ステップ目が, 商業地ノード  $i$  を含むとき 1, それ以外るとき 0 をとる変数とする。

このとき,  $t$  期の観測滞留人口  $X_{i+}^{tOBS} (i \in N - \{h\})$  と  $f_r^1, f_r^2, \dots, f_r^t$  との間には, 次の関係が成立する。

$$X_{i+}^{tOBS} = \frac{1}{U} \left( \sum_{a=1}^U \delta_{ria}^t f_r^a + \sum_{a=U+1}^{2U} \delta_{ria}^t f_r^{a-1} + \dots + \sum_{a=(t-1)U+1}^{tU} \delta_{ria}^t f_r^1 \right) \quad (4)$$

これが, 観測滞留人口の制約条件となる。そして,  $\gamma_{Ua}$  を  $U$  を  $a$  で割った剰余  $\text{mod}(U, a)$  が 0 でないとき 1, それ以外るとき 0 をとる変数とし,  $t$  期の観測発地確率を  $P_{sj}^{tOBS} (j \in N)$  とすると, これと,  $f_r^1, f_r^2, \dots, f_r^t$  との間には, 以下の関係が成立する。

$$P_{sj}^{tOBS} = \frac{X_{sj} / X_{s+}}{X_{s+}} = \frac{\sum_{r \in R, a=1}^U \gamma_{Ua} \delta_{rja}^t f_r^a + \sum_{r \in R, a=U+1}^{2U} \gamma_{Ua} \delta_{rja}^{t-1} f_r^{a-1} + \dots + \sum_{r \in R, a=(t-1)U+1}^{tU} \gamma_{Ua} \delta_{rja}^1 f_r^1}{\sum_{k \in N, r \in R, a=1}^U \gamma_{Ua} \delta_{rka}^t f_r^a + \sum_{k \in N, r \in R, a=U+1}^{2U} \gamma_{Ua} \delta_{rka}^{t-1} f_r^{a-1} + \dots + \sum_{k \in N, r \in R, a=(t-1)U+1}^{tU} \gamma_{Ua} \delta_{rka}^1 f_r^1}$$

故に  $f_r^1, f_r^2, \dots, f_r^t$  が回遊行動調査の情報と整合性を保つためには,  $P_{sj}^{tOBS} (j \in N)$  との間には, 次の関係が成立せねばならない。

$$\sum_{r \in R, a=1}^U \gamma_{Ua} \delta_{rja}^t f_r^a + \sum_{r \in R, a=U+1}^{2U} \gamma_{Ua} \delta_{rja}^{t-1} f_r^{a-1} + \dots + \sum_{r \in R, a=(t-1)U+1}^{tU} \gamma_{Ua} \delta_{rja}^1 f_r^1 - P_{sj}^{tOBS} \left( \sum_{k \in N, r \in R, a=1}^U \gamma_{Ua} \delta_{rka}^t f_r^a + \sum_{k \in N, r \in R, a=U+1}^{2U} \gamma_{Ua} \delta_{rka}^{t-1} f_r^{a-1} + \dots + \sum_{k \in N, r \in R, a=(t-1)U+1}^{tU} \gamma_{Ua} \delta_{rka}^1 f_r^1 \right) = 0 \quad (5)$$

(5)式が, 観測発地確率による制約条件となる。

### 参考文献

- [1] Csiszar, 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] 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ー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
- [3] 梶井昌邦・斎藤参郎 “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”, 『地域学研究』, Vol. 31, No. 1, 2001, pp. 41-55.
- [4] 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
- [5] 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
- [6] 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.
- [7] 斎藤参郎・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ー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.
- [8] Teboulle, M. Entropic proximal mappings with applications to nonlinear programming. *Mathematical Operations Research* 17, 1992, pp. 670-690