Ⅳ-201 行動の連鎖性と時間制約を考慮した非集計交通行動モデル

名古屋大学工学部　正　河上省吾
名古屋大学工学部　正　○磯部友彦
東海ゴム工業　正　山本吉久

1. はじめに

本研究は、Kitamura[1)] によるトリップチェインの考えを導入した非集計目的地選択モデルが、吸収マルコフ連鎖モデルとして説明されることを示し、1日中還移確率が不変であるという仮定を拡張し、自由裁量時間の残りの長さにより還移確率が変化することを表現できる非集計交通行動モデルの作成を行う。

2. Kitamuraのトリップチェインを導入した目的地選択モデル[1)]

Kitamuraは，目的地選択モデルにおける目的地の魅力度を表す指標として,目的地の属性だけによる効用でなく，その目的地へ立寄った後に訪れる目的地の期待効用を定義し，この期待効用と距離による非効用との合計効用の最大の目的地を選択するという仮定に基づいた非集計目的地選択モデルを提案している。

$$U_j = \begin{cases} V_j + \sum \gamma P_{jk} (U_k - \theta d_{jk}) & \forall j \in A \\ 0 & j = h \end{cases} \qquad (1)$$

ここに，U_j：ゾーンjの期待効用，V_j：ゾーンjの属性により単独に決定される効用指標，P_{ij}：ゾーンiからゾーンjへの還移確率，d_{jk}：ゾーンjk間の距離，θ：単位距離当りの非効用，γ：トリップ主体による将来トリップに対する効用の重み，

$A = \{ j : j = 1, \cdots, J \}$：活動ゾーンの集合，$J$：活動ゾーン数，$h$：家に居る状態，$E = A \cup \{h\}$

$\mathbb{U}' = (U_1, \cdots, U_J)$，$\mathbb{V}' = (V_1, \cdots, V_J)$，$\mathbb{P} = \begin{pmatrix} P_{11} & \cdots & P_{1J} \\ \vdots & \ddots & \\ P_{J1} & & P_{JJ} \end{pmatrix}$

$\mathbb{d}' = (\sum_{k \in E} P_{1k} d_{1k}, \cdots, \sum_{k \in E} P_{Jk} d_{Jk})$　とすると，

$$\mathbb{U} = \mathbb{V} + \gamma \mathbb{P} \mathbb{U} - \gamma \theta \mathbb{d} \qquad (2)$$

$$\mathbb{U} = (\mathbb{I} - \gamma \mathbb{P})^{-1} (\mathbb{V} - \gamma \theta \mathbb{d}) \qquad (3)$$

となる。

ゾーンiに居る個人が感じるゾーンjの効用をS_{ij}，ランダム変数をϵ_{ij}とすると，(4)式が得られる。

$$S_{ij} = U_j - \theta d_{ij} + \epsilon_{ij} \qquad (4)$$

ここで，ϵ_{ij}をワイブル分布と仮定すると，ゾーンiに居る個人がゾーンjを選択する確率P_{ij}は，次式のlogit式で与えられる。

$$P_{ij} = \exp(U_j - \theta d_{ij}) \Big/ \sum_{k \in E} \exp(U_k - \theta d_{ik}) \qquad (5)$$

Kitamuraは，実績データを用いてパラメータ推定を行っているが，式(3)の$\mathbb{P}$には実績値の集計値を代入して，さらに家に居る状態hはパラメータ推定上の都合により除いている。

3. Kitamuraモデルの吸収マルコフ連鎖モデルによる説明

まず，吸収マルコフ連鎖モデルを文献(2)(3)により説明する。吸収マルコフ連鎖モデルでは，還移確率を発生吸収源と過疲状態とに分けて次のように表現する。

$$\begin{array}{r|c|c|} & \text{吸収源} & \text{過疲状態} \\ \text{吸収源} & \mathbb{I} & \mathbb{O} \\ \hline \text{過疲状態} & \mathbb{R} & \mathbb{P} \end{array} = \mathbb{Q} \qquad (6)$$

吸収源の数をS，過疲状態の数をMとするとき，$\mathbb{I}$は$S \times S$単位行列，$\mathbb{O}$は$S \times M$零行列，$\mathbb{R}$は$M \times S$行列，$\mathbb{P}$は$M \times M$正方行列である。行列$\mathbb{P}$は一般に，

$$\mathbb{I} + \mathbb{P} + \mathbb{P}^2 + \cdots + \mathbb{P}^n + \cdots = (\mathbb{I} - \mathbb{P})^{-1} \qquad (7)$$

なる関係式が成立し，右辺は吸収マルコフ連鎖の基本確率行列と呼ばれる。この基本確率行列のij要素は，iから出発して吸収されてしまうまでにjを通過する回数の期待値を与えている。

次に，Kitamuraモデルの性質を考えてみる。式(3)の効用関数は，$J = 2$，$\gamma = 1$のとき，次式となる。

$$\begin{aligned} U_1 &= V_1 + P_{11}(U_1 - \theta d_{11}) + P_{12}(U_1 - \theta d_{12}) + P_{1h}(U_h - \theta d_{1h}) \\ U_2 &= V_1 + P_{21}(U_1 - \theta d_{21}) + P_{22}(U_2 - \theta d_{22}) + P_{2h}(U_h - \theta d_{2h}) \\ U_h &= V_h + P_{h1}(U_1 - \theta d_{h1}) + P_{h2}(U_2 - \theta d_{h2}) + P_{hh}(U_h - \theta d_{hh}) \end{aligned} \qquad (8)$$

ただし　$\sum_j P_{ij} = 1$

ここで，式(8)のP_{ij}をh，1，2の順に行列表示すると，$P_{h1} = P_{h2} = 0$，$P_{hh} = 1$　であるから，

$$\mathbb{Q} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ P_{1h} & P_{11} & P_{12} \\ P_{2h} & P_{21} & P_{22} \end{pmatrix} \qquad (9)$$

となる。これは，吸収点が1つ（h）で，過疲状態の確率行列　$\mathbb{P} = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{pmatrix}$　を含む吸収マルコフ連

鎖過程の遷移確率行列そのものである。

Kitamuraは、式(2)の右辺の$\mathbb{U}$と左辺の$\mathbb{U}$とを同じものとし，$\mathbb{U}$について連立方程式を解いて式(3)を求めている。この$\mathbb{U}$の意味を考えると，$\mathbb{U}$は極限状態（トリップ回数が無限大）におけるゾーンの効用を表している。これを式(5)のlogitモデルの効用関数として用いていることは、ゾーンの効用$\mathbb{U}$は、一日を通じて不変であり，そのゾーンを訪れる回数の期待値（$(\mathbb{I}-\mathbb{P})^{-1}$）によって値が決まることを仮定している。そして，$(\mathbb{I}-\mathbb{P})^{-1}$は、吸収マルコフ連鎖の基本確率行列であり，トリップの連鎖パターンによって決まる。

このことから，Kitamuraモデルは，トリップチェインの吸収マルコフ連鎖過程を想定して、目的地選択における効用関数を設定し，非集計logitモデルによりゾーン間遷移確率を求めるものとなっている。

4. 帰宅確率の変化を考慮した交通目的・目的地選択モデル

本研究では，Kitamuraモデルを次のように拡張する。

i)交通目的と目的地の組合せを1つの遷移状態とする。

ii)過渡状態から吸収源への遷移確率つまり帰宅確率は、自由裁量時間の残り時間により変化する。

iii)過渡状態間の遷移確率行列$\mathbb{P}$において，$P_{ij}/\sum_k P_{ik}$の比率は1日中不変であるが，$\sum_j P_{ij} = 1 - P_{ih}$ は，帰宅確率P_{ih}の変化に伴ない変化する。

以上の仮定に基づいて、モデルの定式化を行なう。

〈交通目的・目的地同時選択モデル〉

$$P_{aij}^{nh} = \exp(S_{aij}) \Big/ \sum_{a'k} \exp(S_{a'ik}) \tag{10}$$

$$S_{aij} = U_{aij} - \theta_1 d_{ij} - \theta_2 d_{jh^*} \tag{11}$$

$$U_{aij} = V_{aij} + \sum_{a'k} P_{a'jk}(U_{a'k} - \theta_1 d_{jk} - \theta_2 d_{jh^*}) \tag{12}$$

ここに，P_{aij}^{nh}：ゾーンiからjへ目的aで行く確率，S_{aij}：ゾーンiからjへ目的aで行くときの効用，d_{ij}：ゾーンij間の時間距離，d_{jh^*}：ゾーンjから家(h^*)までの時間距離，U_{aj}:目的aで訪れる場合のゾーンjの効用，V_{aj}:目的aで訪れる場合のゾーンjの効用指標　（$V_{aj} = \sum_m \alpha^m X_{aj}^m$ ；X_{aj}^mは，目的aでゾーンjを訪れたときのm番めのゾーン指標，α^mは係数）

d_{jh^*}の導入は、目的地選択において，常に各目的地と家までの距離を考えていることを表している。

〈帰宅モデル〉

$$P_i^h = \exp(U_i^h) \big/ \{\exp(U_i^h) + \exp(U_i^{nh})\} \tag{13}$$

$$P_i^{nh} = 1 - P_i^h \tag{14}$$

（帰宅しない効用） $$U_i^{nh} = \lambda_2/\lambda_1 \ln \sum_{aj} \exp(\lambda_1 S_{aij}) \tag{15}$$

（帰宅する効用） $$U_i^h = \alpha_0 Y + \beta T + \sum_m \alpha^m Z^m \tag{16}$$

ここに，Y：性別ダミー，T：残余自由裁量時間，Z^m：直前のトリップ目的ダミー，λ_1, λ_2, α_0, α^m, βは係数，P_i^h, P_i^{nh}：ゾーンiから帰宅する確率，しない確率。

そして、交通目的・目的地遷移確率P_{aij}は，次式で求まる。

$$P_{aij} = P_i^{nh} \times P_{aij}^{nh} \tag{17}$$

モデル作成に用いたデータは，S56中京PTSデータの内，名古屋市居住の就業者で，退社してから帰宅するまでにどこかへ立寄った人のトリップチェインデータである。このような交通行動は，出勤，登校に比べて目的地選択の自由度が高く，また職場から家に帰るという制約下での行動であるので、この制約が交通行動に与える影響度を検証できる。目的地と交通目的の組合せは、名古屋市を6ゾーンに分け、日常，非日常，業務の各目的と組合せ，さらに一時帰宅（帰宅後，同じ日に再度トリップする）を加えた19個を過渡状態とし，式(10)の選択肢とする。パラメータの推定結果を表1，2に示し，考察は省略し講演時に行うことにする。

表－1　交通目的・目的地選択モデルの推定結果

説明変数				係数値	t 値
所要時間(ゾーン間) (分)			θ_1	0.092	21.4
所要時間(目的地から家まで)(分)			θ_2	0.043	9.6
ゾーン指標	日常(小売販売額)(100億円)		α_1	0.56	4.3
	非日常(〃)(〃)		α_2	0.005	1.0
	業務(卸売販売額) (〃)		α_3	3.7	2.2
一時帰宅目的ダミー			α_4	-0.019	2.6
退社第一トリップダミー			α_5	3.9	8.7
直前トリップ目的ダミー	(日常=1)		α_6	3.7	8.2
	(非日常=1)		α_7	4.1	11.2
	(業務=1)		α_8	4.3	4.3
サンプル数				718	
選択肢数				19	
尤度比 ρ^2				0.32	
的中率	(全体)			0.41	
	(ゾーン別)			0.52	
	(目的別)			0.45	

表－2　帰宅モデルの推定結果

説明変数				係数値	t 値
帰宅しない場合の効用 logsum			λ_2/λ_1	0.22	2.4
帰宅する場合の効用	性別ダミー (男＝1)		α_0	-1.6	6.8
	自由裁量時間 (分)		β	-0.0078	13.6
	直前トリップ目的ダミー	(日常=1)	α_6	5.6	12.7
		(非日常=1)	α_7	5.1	10.2
		(業務=1)	α_8	5.4	10.2
サンプル数				1014	
選択肢数				2	
尤度比 ρ^2				0.61	
的中率				0.89	

〈参考文献〉 1) Kitamura, R：INCORPORATING TRIP CHAINING INTO ANALYSIS OF DESTINATION CHOICE, Transpn Res, 18B-1, 1984. 2)佐佐木綱：交通流理論，技術書院，1965. 3)近藤勝直：トリップチェイン手法を用いた都市内交通需要推計プロセス，1977.