

選択構造の個有性を考慮した個人の交通機関及び目的地選択モデルの構築 *A mode and destination choice model considering heterogeneity in choice structure*

木村 誠司* 藤井 聡** 北村 隆一***
 By Seiji Kimura, Satoshi Fujii, Ryuichi Kitamura

1. はじめに

近年、我が国では、労働時間の短縮や、週休2日制、長期休暇などが普及し、自由時間が増大した。それに伴い、交通計画においても、従来からの通勤ラッシュ等の問題に加え、休日における道路や公共交通機関の混雑等といった新しい問題が生じている。このような状況に対応した有効な交通計画を行うために、余暇活動のような自由度の高い活動に伴う交通行動を記述するモデルが必要となった。自由度の高い活動における交通行動では、トリップの発生、目的地、交通手段などあらゆる局面で個人や世帯の自由意思で決定がなされる。そのため、その活動に伴う交通行動には、様々な形で、個人の個有性が存在すると考えられる。近年、交通行動分析においてはそうした観点から、知覚値¹⁾、選択肢集合²⁾、説明変数の係数^{3,4)}等における個有性に焦点をあてた研究がさかんになされている。

一方、複数の選択行動を同時にモデル化する場合、複数の選択肢集合を階層化した選択構造を仮定するネステッドロジットモデル（以下、NLと呼ぶ）が適用されることが多い。一般に、NLでは複数の選択構造が仮定できるが、それらの中から1つの選択構造が分析者によって仮定される。しかし、選択構造にも個有性は存在することが考えられる。すなわち、選択構造が各個人によって異なっており、かつ、一個人においても日によって選択構造が異なっていることが考えられる。そこで本研究では、複数の選択構造を確率的に扱うことにより、選択構造の個有性を考慮した交通行動モデルの構築を行なう。これにより、より精度の高い、自由目的活動に伴う交通における需要予測手法の提案を図る。

2. モデルシステムの概要

本研究で提案するモデルシステムの構成を、図1に示す。本モデルシステムは客観的な顕在変数

キーワード：発生交通、交通手段選択
 * 学生員 京都大学大学院工学研究科応用システム科学専攻
 ** 正会員 工修 京都大学工学部交通土木工学教室 助手
 *** 正会員 Ph.D. 京都大学工学部交通土木工学教室 教授
 (606-01 京都市左京区吉田本町 Tel:075-753-5136 Fax:075-753-5916)

を入力とし、来訪頻度（個人がある目的地へ一定期間の間に来訪する頻度）を最終的な出力とする。このシステムでは、個人の目的別の交通発生および目的地・交通機関選択の2つの局面に着目する。モデルシステムを構成する各モデルはそれぞれの局面に対応した非集計モデルである。また、個人のそれぞれの行動は、個人属性や目的地属性、トリップ属性などの顕在変数を説明変数として、交通発生モデルを用いて発生頻度（個人が一定期間に行なう交通あるいは来訪の回数）を算出し、一方で、目的地、交通機関に対する意思決定を離散的な選択問題ととらえ、目的地・交通機関選択モデルにより、目的地・交通機関選択確率を算出する。こうして求められた目的別発生頻度、目的別目的地・交通機関選択確率から以下の式に従い、目的別・手段別の各地域への来訪頻度を推定する。

$$ND_{ij} = F_i Pr_i(i, j) \quad (\forall i, j, l) \quad (1)$$

ND_{ij} : 目的*l*における地域*j*に対する手段*i*での来訪回数
 F_i : 目的*l*における目的別発生頻度
 $Pr_i(i, j)$: 目的*l*において、地域*j*、手段*i*を選択する目的別目的地・交通機関選択確率

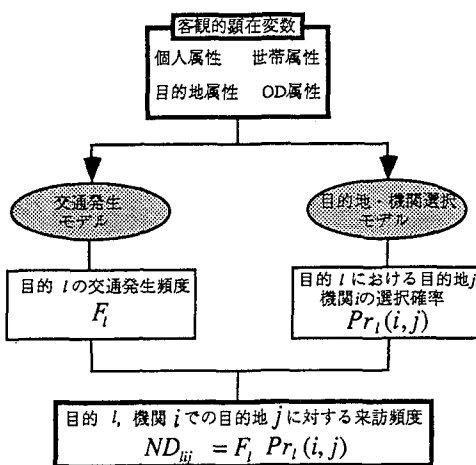


図1 モデルシステムの概略

3. 交通発生モデル

個人の交通発生頻度を推定する交通発生モデルには、線形構造方程式モデルを適用することとした。また、発生頻度は0における左側打ち切り変数と捉えることとし⁹⁾、以下の様に定式化した。

$$F_i = \begin{cases} F_i^* & \text{if } (F_i^* > 0) \\ 0 & \text{if } (F_i^* \leq 0) \end{cases} \quad (2)$$

F_i : 目的 i の発生頻度

F_i^* : F_i に対応する潜在変数

$$F^* = BF^* + \Gamma t + \pi \quad (3)$$

F^* : F_i^* を要素とするベクトル

B, Γ : パラメータ行列

t : 発生頻度を規定する要因ベクトル

π : 多変量正規分布に従う誤差項ベクトル

ここで、 t として、個人属性、世帯属性、居住地属性などの要因を用いることとする。

4. 目的地・機関選択モデル

一般にNLでは、より重要であると考えられる選択行動を上位の階層とした選択構造を全ての個人に対して仮定して、同時選択確率を以下のように定式化する。ただし、以下では、レベル2の選択肢 t 、レベル1の選択肢 s の組み合わせを (s, t) と表すこととする。

$$Pr_i(s, t) = Pr_i(t)Pr_i(s | t) \quad (4)$$

$$Pr_i(s | t) = e^{V_{is}} / \sum_u e^{V_{iu}} \quad (5)$$

$$Pr_i(t) = e^{VM_{it} + \lambda \Lambda_{it}} / \sum_u e^{VM_{iu} + \lambda \Lambda_{iu}} \quad (6)$$

ここに、

$$V_{is} = \gamma X_{is} \quad (7)$$

$$VM_{it} = \delta X_{it} \quad (8)$$

$$\Lambda_{it} = \ln(\sum_u e^{V_{iu}}) \quad (9)$$

$Pr_i(s, t)$: 目的 i で、 (s, t) を選択する同時確率

$Pr_i(t)$: 目的 i で、 t を選択する確率

$Pr_i(s | t)$: 目的 i で、 t を選択した条件の基で s を選択する確率

V_{is} : レベル1における選択肢 s の確定効用

VM_{it} : レベル2における選択肢 t の確定効用

Λ_{it} : ログサム変数

λ : ログサム変数に対するパラメータ

γ, δ : 未知パラメータベクトル

X_{is}, X_{it} : 説明変数ベクトル

目的地選択と機関選択にNLを適用する場合、図2に示すような2つの選択構造が考えられる。以下、それぞれの構造を、構造1、構造2、そしてこれらの構造の下位階層をレベル1、上位階層をレベル2とする。本研究では、NLにおいて仮定されていた

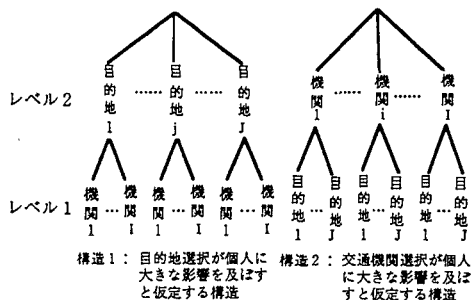


図2 目的地・機関選択モデルの概念図

選択構造の同質性の仮定を緩和するために、各個人は上記の2つの選択構造を確率的に選択するものと仮定して、目的地・機関選択同時確率を以下のように定式化する。また、この定式化によって構築されるモデルを、以下では、構造確率化NLとよぶこととする。

$$Pr_i(s, t) = \sum_k Pr_i(k, s, t) = \sum_k Pr_i(s, t | k) \times P_i(k) \quad (10)$$

$Pr_i(k, s, t)$: 目的 i での構造 k 、選択肢 (s, t) の同時選択確率

$Pr_i(s, t)$: 目的 i での選択肢 (s, t) の同時選択確率

$Pr_i(s, t | k)$: 目的 i での構造 k における (s, t) の同時選択確率

$P_i(k)$: 目的 i での構造 k の選択確率

式(10)に含まれる未知パラメータを推定する方法として、1) 式(10)に基づいて尤度関数を定式化して、全ての未知パラメータを同時推定する方法、2) $P_i(k)$ に含まれるパラメータを推定し、その後に $Pr_i(s, t | k)$ のパラメータを推定する方法が考えられる。

前者の推定方法は、式(10)がパラメータについての非線形性が非常に強いいため、推定が困難となることが欠点として挙げられる。また、本研究では、いずれの選択構造に基づいて目的地・機関選択行動を行うかについての情報がアンケートから得られているため、後者の段階推定方法でパラメータを推定することとする。

5. 構造選択モデルの定式化

本研究では、線形構造方程式に基づいて、各個人の構造選択確率 $P_i(k)$ を算出する。測定方程式、構造方程式を以下に示す。

測定方程式

$$d_i = \begin{cases} 1 & \text{if } (d_i^* \leq \theta) \\ 2 & \text{if } (d_i^* > \theta) \end{cases} \quad (11)$$

d_i : 構造選択結果(1:構造1を選択、2:構造2を選択)

表1 交通発生モデルの推定結果

構造方程式	日常発生頻度		非日常発生頻度	
	日常発生		非日常発生	
変数	パラメータ	t値	パラメータ	t値
日常発生			0.33	9.24
非日常発生				
性別	-0.113	-2.79		
運転頻度	-0.069	-1.70	-0.072	-2.41
高速利用頻度			0.123	3.58
個人収入	-0.104	-3.01		
子供人数			-0.069	-2.24
家族人数	-0.087	-2.78	-0.132	-4.22
世帯収入	0.080	2.72		
端末機関	-0.309	-6.08		
端末時間	-0.195	-6.09		
自動車数	0.121	3.85		
居住年数	-0.051	-1.95	0.094	2.68
メインユーザ			0.058	1.91
売上	-0.057	-4.20	0.023	3.58
ランプ数	0.097	3.15		
重相関係数	0.122		0.1722	

GFI : 0.9997

AGFI : 0.9962

 $\chi^2(22) : 11.29$ (p-value=0.97) *(自由度)

サンプル数 : 420

 θ : しきい値 d_i^* : d_i を規定する潜在変数

構造方程式

$$d^* = BX + \zeta \quad (12)$$

 B : 未知パラメータ行列 d^* : d_i^* を要素とするベクトル ζ : 正規分布に従う誤差項 X : 説明要因ベクトル

以上より推定される B_i , G , θ および誤差項の共分散行列に基づいて、構造選択確率を求める。

6. 事例研究

構造選択モデル、および、目的地・機関選択モデルを大阪湾岸地域における住民に対して行なわれたアンケート調査に基づいて推定した。

ここではその数値計算例として、日常的自由活動と非日常的自由活動を対象とした交通発生モデルの推定結果を表1に示す。表1において、日常の発生頻度の非日常の発生頻度に対するパラメータが0.33と大きく、かつ値も高い。これより、日常の行動が非日常の行動に大きな影響を与えていることが分かる。日常発生頻度は、最寄り駅までの端末時間の減少、自動車保有台数の増加に応じて増加するという結果となっている。一方、非日常発生頻度は、高速利用頻度の増加、家族数の減少に応じた増加率が大きいことが分かる。

表2 構造選択モデルの推定結果

測定方程式		日常活動		非日常活動	
しきい値		0.17		0.036	
構造方程式					
変数	パラメータ	t-値	パラメータ	t-値	
年齢	0.043	2.30			
性別	-0.20	-7.43	-0.24	-9.54	
職業			-0.165	-4.72	
免許	-0.169	-7.22	-0.078	-3.18	
高速利用頻度	0.123	5.49	0.072	3.14	
個人収入	-0.162	-6.22	-0.24	-10.24	
子供人数	0.106	5.12	0.22	10.02	
家族人数			-0.156	-9.16	
世帯収入	0.052	3.42			
端末時間			0.082	4.98	
自動車数	0.086	4.07	0.127	6.46	
居住年数	-0.060	-3.63			
メインユーザ	-0.057	-2.34	-0.162	-6.43	
Tacc	0.099	5.52			
Caac			-0.174	-9.91	
ランプ数	-0.140	-8.35	-0.114	-8.56	
重相関係数	0.085		0.124		

共分散 (ζ_1, ζ_2) = 0.61 (t-statistic: 58.31)

GFI : 0.9995

AGFI : 0.9923

 $\chi^2(16) : 25.30$ (p-value=0.064) *(自由度)

サンプル数 : 420

次に、日常的自由活動と非日常的自由活動を対象とした構造選択モデルの推定結果を表2に示す。表2から、構造方程式における誤差項の共分散は、大きな値をとっており、構造選択の目的別の系列相関の存在が確認できる。次に、外生変数と構造選択水準との関係について述べる。なお、ここでは各要因のパラメータが負となっている場合構造1を、正の場合構造2を選択する傾向が強くなると解釈できる。日常活動においては、性別、免許保有、個人収入などの個人属性が強い規定要因となっていることが分かる。一方、非日常活動では、居住地域属性、世帯属性などの個人属性以外の要因が大きな構造選択に大きな影響を与えていることが分かる。これより、日常活動の交通行動は個人の都合で決定されるが、非日常活動では個人の都合のみでは決定できない傾向にあることが考えられる。

次に、非日常的自由活動について、構造1、構造2のそれぞれを仮定したNLの推定結果を表3に、構造確率化NLの推定結果を表4にそれぞれ示す。なお、各々の構造、レベルにおける交通機関選択モデルでは、パラメータが正の場合、自動車の選択に正の効果を与えることになる。表3において、構造1、構造2いずれもログサム変数の値、t値ともに高くなっている。これは、非日常活動において、目的地選択の説明変数が交通機関選択に及ぼす影響、および、その逆の影響が強いことを示す。

ものであり、この場合、いずれか一方の構造のみを先験的に規定するよりも、両方の構造を与えるほうが望ましいと考えられる。なお、構造2では1を超過しているが、1からのt値は低い。一方、NLを用いてモデルを推定した場合、 ρ^2 が構造1で0.091、構造2で0.045と低い一方、表4の構造確率化NLによる推定では、 ρ^2 が0.18と高い値をとっており、構造を確率的に捉えることにより、モデルの適合度が向上したことが分かる。また、表4において、構造2のログサム変数の0、および1からのt値が低いものの、0と1の間の値を取っており、目的地選択と交通機関選択の属性が互いの選択行動に影響を及ぼしていることが確認できる。

7. おわりに

本研究で構築した来訪頻度を推定するモデルシステムは、交通発生モデル、および、目的地・交通機関選択モデルの2つで構成される。前者は、系列相関を考慮して線形構造方程式モデルを用いてモデル化し、後者は個人の選択構造の個有性を考慮した構造確率化NLを用いてモデル化した。また、構造確率化NLを構築する際、目的地を先決する構造1、機関を先決する構造2をそれぞれ選択肢集合とする離散選択問題を想定し、それを線形構造方程式モデルを用いてモデル化した。それらの結果、日常活動と非日常活動の発生頻度間には因果関係があること、日常活動と非日常活動における構造選択には強い系列相関があることが確認でき、さらに、構造を確率化することによってそれぞれの構造における各変数の効果を同時に選択確率に反映でき、モデルの適合度を向上させられることが確認できた。このように、本研究では、自由度の高い活動に伴う交通行動のモデルシステムを構築する際、目的ごとの因果関係、および、系列相関、そして、個人の選択構造の相違を考慮することができた。今後の課題としては、1) 構造選択と目的地・機関選択の相関を考慮すること、2) 目的地・機関選択モデルにおける系列相関を考

表3 非日常的活動における目的地・機関選択モデルの推定結果
(NLによる推定)

構造1				構造2			
変数	パラメータ	t-値		変数	パラメータ	t-値	
レベル2:	旅館数	0.37	3.93	レベル2:	性別	0.15	2.11
目的地選択	勤務地	0.018	0.17	機関選択	非勤務	-0.27	-2.94
レベル1:	年齢	0.56	6.14		定数	-0.56	-4.11
機関選択	非勤務	0.12	2.12	レベル1:	勤務地	-0.082	-0.33
	定数	-1.42	-9.65	目的地選択	所要時間	-0.21	-1.84
	電車時間	0.05	0.42		乗換え	-0.51	-1.18
	乗換え	-0.19	-0.83		ログサム	1.16	1.85(0.18)
	車時間	-0.27	-4.99				
	ログサム	0.34	2.6(6.0)				

サンプル数=178

L(0)=-514.49

L(B)=-489.22

$\chi^2=93.46$

$\rho^2=0.091$

(括弧内は1からのt-値)

サンプル数=178

L(0)=514.49

L(B)=-489.22

$\chi^2=50.53$

$\rho^2=0.049$

(括弧内は1からのt-値)

表4 非日常的活動における目的地・機関選択モデルの推定結果
(構造確率化NLによる)

構造1				構造2			
変数	パラメータ	t-値		変数	パラメータ	t-値	
レベル2:	旅館数	0.80	3.24	レベル2:	性別	-13.85	-1.32
目的地選択	勤務地	0.61	2.44	機関選択	非勤務	-0.18	-1.76
レベル1:	年齢	4.00	4.60		定数	-0.66	-2.90
機関選択	非勤務	1.30	3.13	レベル1:	勤務地	-0.50	-1.29
	定数	-6.97	-2.11	目的地選択	所要時間	-0.44	-2.17
	電車時間	0.16	0.67		乗換え	0.54	0.27
	乗換え	0.076	0.49				
	車時間	-2.16	-4.92				
	ログサム	0.68	3.52(1.68)		ログサム	0.32	0.46(0.98)

サンプル数=178

L(0)=-661.68

L(B)=-540.07

$\chi^2=243.24$

$\rho^2=0.18$

(括弧内は1からのt-値)

慮すること等を考えている。

最後に、調査、および資料の提供にご協力頂いた阪神高速道路公団に対して深甚な謝意を表します。

参考文献

- 1) 森川高行・佐々木邦明：主観的要因を考慮した非集計離散型選択モデル，土木学会論文集 No.470/IV-20, pp.115-124, 1993.7
- 2) Tversky, A.: Elimination by Aspects: A Theory of Choice, Psychological Review, Vol.79, No.4, pp.281-299, 1972.
- 3) 森川高行・佐々木邦明・杉本直：潜在セグメントを考慮した動的な休日買物目的地選択分析，土木計画学研究・講演集，No17, pp.43-46, 1995.
- 4) 山本俊行・藤井聡・北村隆一：個人の選好特性を考慮した交通機関選択分析，土木学会，講演集，pp.890-891, 1994
- 5) G.S.Madala: Limited-dependent and qualitative in econometrics, Cambridge University Press, pp.149-196, 1983.