

4 段階統合 Nested Logit 型確率的ネットワーク均衡モデルに関する実証研究

東京大学大学院 学生会員 円山琢也
 東京大学大学院 正会員 原田 昇
 東京大学大学院 フェロー 太田勝敏

1. はじめに

施設拡充型から需要調整型へといった交通計画の変化の必要性が指摘されるなか、需要予測ツールとしての旧来の四段階推定法の問題点が繰り返し指摘されている。その問題点の主なものは、段階推計であることにより、段階間で OD 所要時間などの変数の不整合性が生じていること、行動論的基盤の欠如、時間軸の欠如、トリップベースであることである。

一方、配分段階を主な対象としていたネットワーク均衡分析の分野では、発生・分布・分担・配分段階を同時的かつ整合的に扱うことのできる統合均衡モデルの理論が構築されるに至っている^{1), 2)}。このモデルに従えば、先にあげた四段階推定法の問題点のうち、段階推定であることによる不整合性と行動論的基盤の欠如に関しては解決できる。しかしながら、この交通需要統合モデルの実際都市への適用例は少ない状況にある。本研究では、発生・分布・分担・配分の4段階の全てをNested Logit型で記述しつつ、自動車と鉄道の各手段における混雑状況を確率均衡モデルで表現した統合モデルを構築し、東京都市圏への適用検討を行う。発生・分布・分担段階に関しては、トリップ目的別のモデル化を行っている点が特徴である。

2. モデルの定式化

ゾーン r に滞在する代表的個人が、ある時間帯 t において、トリップ目的 i で、交通手段 m を利用して目

的地ゾーン s へネットワーク上の経路 k を利用して移動する行動を図-1のようなNested Logit型のツリー構造で記述できると仮定する。さらに、ネットワーク上の混雑状況は、対象時間帯内で手段別に独立に静的均衡による定常状態として記述できると仮定すると、今回のトリップ目的別発生・分布・分担・配分統合型確率的交通ネットワーク均衡モデルは、以下の最適化問題として定式化される。

$$\begin{aligned} \min & Z(\mathbf{x}, \mathbf{q}, \mathbf{O}) \\ &= \sum_{m,a} \int_0^{x_a^m} t_a^m(\omega) d\omega + \sum_{r,s,m,k} \frac{1}{\theta_1^m} f_{m,k}^{rs} \ln(f_{m,k}^{rs} / q_m^{rs}) \\ &+ \sum_{i,r,s,m} \frac{1}{\theta_2^{im}} q_m^{i,rs} \ln(q_m^{i,rs} / O_r^{im}) + \sum_{i,r,m} \frac{1}{\theta_3^i} O_r^{im} \ln(O_r^{im} / O_r^i) \\ &+ \sum_{i,r} \frac{1}{\theta_4^i} [O_r^i \ln(O_r^i / N_r^i) + O_{r0}^i \ln(O_{r0}^i / N_r^i)] \\ &+ \sum_{i,r,s,m} q_m^{i,rs} V_s^{im} + \sum_{i,r,m} O_r^{im} V_m^{ir} + \sum_{i,r} O_r^i [V_i^r + V_i(t)] \\ \text{s.t.} & O_r^i + O_{r0}^i = N_r^i, \sum_m O_r^{im} = O_r^i, \sum_s q_m^{i,rs} = O_r^{im}, \\ &\sum_i q_m^{i,rs} = q_m^{rs}, \sum_k f_{m,k}^{rs} = q_m^{rs}, x_a^m = \sum_{r,s,k} \delta_{a,k}^{m,rs} f_{m,k}^{rs}, \\ &x_a^m \geq 0, f_{m,k}^{rs} \geq 0, q_m^{i,rs} \geq 0, q_m^{rs} \geq 0, O_r^{im} \geq 0, O_r^i \geq 0, O_{r0}^i \geq 0 \end{aligned}$$

ここで、リンクフロー x_a^m 、リンクコスト関数 $t_a^m(\cdot)$ 、リンク経路接続行列 $\delta_{a,k}^{m,rs}$ 、手段別経路交通量 $f_{m,k}^{rs}$ 、手段別目的計 OD 交通量 q_m^{rs} 、手段別目的別 OD 交通量 $q_m^{i,rs}$ 、手段計目的別発生交通量 O_r^{im} 、目的別発生交通量 O_r^i 、トリップ目的 i の生成要因の人口指標 N_r^i 、対象時間帯にトリップを行わない利用者数 O_{r0}^i とする。 θ_1^m 、 θ_2^{im} 、 θ_3^i 、 θ_4^i は、パラメータ、 V_s^{im} 、 V_m^{ir} 、 V_i^r 、 $V_i(t)$ は、各選択段階に対応する固有の非効用項である。

3. 入力データ・設定条件とパラメータ推定

ゾーン数は東京都市圏 PT 調査の中ゾーン 144 および東京都市圏以外周辺 5 県の合計 149 ゾーンとし、貨物車の OD 表は H06 年度道路交通センサス、それ以外の PT 目的別 OD 表は、H10 年度東京 PT 調査のデータを利用する。自動車および鉄道のネットワークは既存

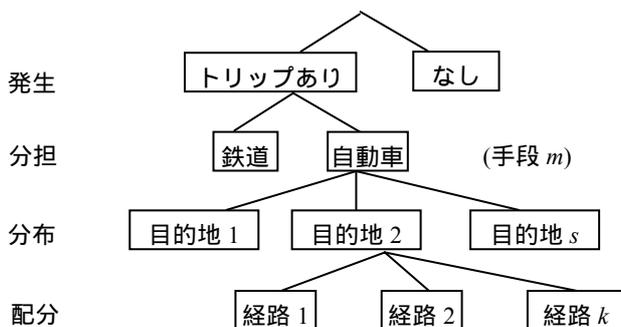


図-1 Nested Logit 型の選択構造

キーワード: 交通統合需要モデル, 誘発交通

連絡先: 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, Tel.03-5841-6234, Fax03-5841-8527

研究³⁾で構築されたものを利用した。また、既存研究では、鉄道の混雑を考慮していないため、今回、鉄道配分モデルの均衡モデルへの改良を行っている。PTは、通勤、通学、業務、私事、帰宅の5分類の目的区分を行い、これにセンサスの貨物車を加えた合計6分類の利用者層のモデルを作成する。また、業務私事目的のみ発生段階までの統合モデルを構築する。

パラメータ推定は、現況がNested Logit型の確率的利用者均衡状態にあると仮定し、下位から順に段階推定により行った。推定結果の一部を表-1に示す。全体として推定されたパラメータの符号条件、統計的有意性の問題は生じていない。また、推定されたパラメータは、各目的、時間帯ごとに、 $\theta_1 > \theta_2 > \theta_3 > \theta_4$ の条件を満たしているため、図-1の構造のNested Logitモデルは、ランダム効用理論と整合的なモデルとなることが確認できる。

4. 均衡計算結果と政策評価の例

推定されたパラメータを元に、時間帯別に部分線形化法により均衡計算を行った。最終出力結果について、

表-1 トリップ発生・手段・目的地選択モデル推定結果

	トリップ目的	通勤	業務	私事
発生	発生要因人口指標 N_r^i		従業人口	昼間人口
	期待最小費用 $-\theta_4$		-0.006	-0.003
	3次従業人口比率		1.122	
	無職人口比率			1.458
	時間帯別のダミー		(略)	(略)
	相関係数 R		0.978	0.827
手段	期待最小費用 $-\theta_3$	-0.017	-0.016	-0.018
	山手線ダミー		1.210	0.810
	23区ダミー			0.347
	定数項	-4.44	-11.26	-6.09
	尤度比 ρ^2	0.16	0.28	0.14
目的地 自動車	$\ln(\text{ゾーン面積})$	1.00	1.00	1.00
	期待最小費用 $-\theta_2^{car}$	-0.041	-0.033	-0.036
	$\ln(\text{就業者数密度})$	-0.06		
	$\ln(\text{従業者数密度})$	0.56		
	$\ln(2\text{次従業者数密度})$		0.15	
	$\ln(3\text{次従業者数密度})$		0.38	0.36
	相関係数 R	0.80	0.81	0.69
目的地 鉄道	$\ln(\text{ゾーン面積})$	1.00	1.00	1.00
	期待最小費用 $-\theta_2^{rail}$	-0.022	-0.018	-0.021
	$\ln(\text{就業者数密度})$	-0.31		
	$\ln(2\text{次従業者数密度})$	0.17		
	$\ln(3\text{次従業者数密度})$	1.03	1.10	0.86
	相関係数 R	0.87	0.97	0.78

注) 推定パラメータはすべて5%有意。経路選択のパラメータはキャリプレーションにより $\theta_1^{car}=0.5$ 、 $\theta_1^{rail}=0.05$ と定めた。無職人口比率=非就業非従学人口/昼間人口、昼間人口=非就業非就学人口+従業人口。山手線ダミー、23区ダミーは、発ゾーンがそれぞれ山手線内、23区内の場合1、それ以外0。

現状再現性の比較を表-2に示す。通常の時間帯別手段別ODを所与とした固定需要型のモデルの値も示す。全体的に、統合モデルの再現精度は、固定需要モデルと優劣ない結果となっており、今回、構築した統合モデルは、政策評価を行うのに必要な精度を有していると判断される。

この統合モデルにより、対象都市圏において現実に計画されている東京外郭環状道路(関越道~東名高速間、約16km)の建設効果を計測したところ、その変化予測値は、通常の固定需要型のモデルから得られる数値よりも小さいものとなった(表-3)。これは、道路整備による自動車利用のアクセシビリティの増加に伴う、鉄道から自動車利用へ手段の変更、目的地の変更、トリップ頻度の増加という利用者の行動変化に伴う誘発交通を、統合モデルは考慮に入れているためである。これらの利用者の行動変化を考慮しない既存の固定需要型モデルでは、道路整備の時間短縮効果を過大に推計する可能性が高いことが示されている。

参考文献

- 1) 土木学会: 交通ネットワークの均衡分析, 丸善, 1998.
- 2) Oppenheim, N.: *Urban travel demand modeling: from individual choices to general equilibrium*, John Wiley & Sons, N. Y., 1995.
- 3) Maruyama, T., Muromachi, Y., Harata, N., and Ohta, K.: The combined modal split/assignment model in the Tokyo metropolitan area, *J. of EASTS*, Vol. 4, No. 2, pp. 293-304, 2001.

表-2 現状再現性指標

指標	モデル	相関係数	回帰係数	RMSE
自動車	固定需要	0.72	0.73	11,740(台)
	統合	0.75	0.90	14,313(台)
鉄道	固定需要	0.95	0.82	122,615(人)
	統合	0.94	1.16	139,263(人)
自動車	固定需要	0.51	0.91	31.56(分)
	統合	0.65	0.84	20.50(分)
OD所要時間	統合	0.86	0.56	1,498(台)
自動車OD表	統合	0.88	0.84	1,326(人)
鉄道OD表	統合	0.88	0.84	1,326(人)

注) 自動車リンク交通量は、都市圏内1,498箇所昼間12時間上下合計交通量(H09年度道路交通センサス)、鉄道リンク交通量は、1,050箇所駅間通過人員日単位上下合計値(H07年度大都市交通センサス)、OD所要時間は時間帯別平均値(H06年度道路交通センサス・マスターから異常値を除いた値)、手段別OD表は、149ゾーン間日合計値との比較値

表-3 誘発交通考慮の有無による交通・環境状況の変化予測

集計地域	23区内		全域	
	固定需要	統合	固定需要	統合
総走行台時	-6.08%	-3.11%	-1.52%	-0.23%
総走行台 ⁺ ₀	-3.95%	-2.38%	-0.79%	+0.01%
平均走行速度	+2.27%	+0.76%	+0.74%	+0.23%
NO _x 総排出量	-4.38%	-2.35%	-1.04%	-0.11%
CO ₂ 総排出量	-4.98%	-2.86%	-1.25%	-0.12%

注) 外環道 with /without の変化率