

活動選択を考慮した時間帯別・統合均衡モデルの構築と適用*

Semi-dynamic Combined Equilibrium Model considering Activity choices*

金森 亮**・三輪富生***・森川高行****

By Ryo KANAMORI**・Tomio MIWA***・Takayuki MORIKAWA****

1. はじめに

四段階推定法は、交通施策検討のための需要予測モデルとしてこれまで広く適用され、交通計画立案のための重要な資料作成に大いに貢献してきた。しかし、TDM 施策をはじめとする近年の多様な交通施策の検討に際して、交通行動を簡略的に扱う四段階推定法に対する問題点が指摘されている。北村¹⁾は、①ゾーン単位の統計量への集約による非効率なデータ利用、②行動論的基盤の欠落、③各段階間の交通ネットワークサービスレベルの不整合、④誘発需要の把握不可、⑤時間軸の欠落、⑥トリップ単位の解析、を重大な指摘事項として挙げている。このような四段階推定法の欠点を克服するため、意思決定者の交通行動を非集計行動モデルにより詳細にモデル化する試みが盛んに行われてきた。これにより、詳細な意思決定機構を捉えた、理論的な、また各段階の整合性を備えた交通需要予測が可能となると考えられている。

しかし、非集計行動モデルによる交通施策評価や需要予測において、これまでの多くの研究では交通ネットワークの容量を十分に考慮しているとは言い難い。例えば、道路ネットワークの各リンクには交通容量が存在し、これを超える交通量がリンクを通過する際には渋滞が発生する。渋滞が発生しなくとも、リンク走行速度が交通量の増加に対して比較的敏感に変化することはごく自然な現象である。従って、交通施策のより詳細な評価には、交通ネットワーク、特に道路ネットワークが示す需給関係を考慮する必要がある。

統合均衡モデル^{2) 3)}は、道路ネットワークの容量を明示的に扱い、四段階推定法における発生-分布-分担-配分の各段階におけるサービスレベルを、利用者均衡の枠組みで整合させることが可能である。既に、発生段階まで統合されたモデルが理論的に構築されており^{4) 5) 6)}、

四段階推定法の問題点③、④を解消することができる。また、個人の交通行動に対して非集計行動モデルを適用することで、集計モデルと比較して個人属性など政策評価に適した説明変数を組み込みやすく、問題点①、②を緩和/解消することができる。加えて、問題点⑤を緩和するモデルとして時間帯別均衡配分モデル^{7) 8) 9)}が開発されており、1時間程度の時間帯幅の計算を逐次的に実行することで時間軸を近似的に導入することができる。また、問題点⑥を解消するモデルとしては、トリップチェーンを明示的に扱ったモデル¹⁰⁾が開発されている。

発生段階まで統合された均衡モデルを都市圏レベルの交通需要予測に適用した例は、東京都市圏を対象とした円山ら¹¹⁾の研究を除けば極めて少ない。円山ら¹¹⁾は目的別に時間帯別・確率的統合均衡モデルを構築し、鉄道ネットワークにも混雑現象を考慮している点が特長である。一方、およそ市区町村境界レベル (PT 調査中ゾーン) にてモデルを構築し、ゾーン内々交通を除外しているため、利用可能交通手段を自動車と鉄道に限定していること、発生モデルは自由(私事)・業務目的への適用のみであり、誘発需要に付随して変動する帰宅目的に適用していないこと、次の時間帯に影響を及ぼす残留交通量(時間帯間の相互干渉)を考慮していないこと、トリップ単位の分析であること、等が改善点として挙げられる。

本研究で構築するモデルは、四段階推定法の問題点①～④を解消/緩和することができる発生段階まで統合した確率的統合均衡モデルに、時間帯間の相互干渉を考慮することができる時間帯別均衡配分モデル(自動車のみ)を組み込んだものである。加えて、発生(活動内容選択)モデルの選択肢に滞在と帰宅目的を導入し、より詳細なゾーンレベルにてゾーン内々交通も取り扱う。そのため、時間軸に沿って逐次的にモデルを実行することで近似的な時間軸の導入、トリップチェーン(活動・交通行動の前後の連関性)を再現することができ、問題点⑤、⑥の緩和を図ることができる。

本研究の目的は、都市圏レベルの交通施策評価に資する需要予測モデルとして、四段階推定法の問題点①～⑥の全てを解消/緩和した“活動選択を考慮した時間帯別・統合均衡モデル”を構築し、名古屋都市圏に適用することでモデルの有効性・実用性を確認することである。

*キーワード：発生交通、ネットワーク交通流、誘発需要、トリップチェーン

**学生会員，修（工），名古屋大学大学院環境学研究所

（名古屋市千種区不老町，TEL052-789-3730，

E-mail：kanamori@trans.civil.nagoya-u.ac.jp）

***正会員，博（工），名古屋大学大学院工学研究科

（TEL052-789-3565，E-mail：miwa@civil.nagoya-u.ac.jp）

****正会員，Ph.D.，名古屋大学大学院環境学研究所

（TEL052-789-3564，E-mail：morikawa@nagoya-u.jp）

2. 活動選択を考慮した時間帯別・統合均衡モデルの構築

活動選択を考慮した時間帯別・統合均衡モデルの構築として、時間帯間の相互干渉を考慮できる時間帯別均衡配分モデル、四段階推定法の発生-分布-分担-配分の各段階に対応する活動・交通行動モデルを概説し、等価最適化問題の定式化を行う。

(1) 時間帯別均衡配分モデル

本研究では確率的統合均衡モデルへの組み込みが可能であること、従来の均衡モデルでは再現することが困難であった渋滞状態を明示的に表現でき、所要時間の再現性向上が見込まれることから、赤松らの時間帯別均衡配分モデル⁹⁾ [固定需要型]を採用する。なお、モデルの有効性・実用性については、円山ら¹²⁾により検証されている。

赤松らのモデル⁹⁾を概説する。時間帯 T は任意のODペア間の所要時間よりも長く、状態変化は時間帯間のみで起こり、時間帯内では定常状態にあると仮定する。また、各リンクは非渋滞領域での走行による出口までの移動を表す“走行リンク”と、リンク下流端で生じる渋滞待ち行列を表す“待ち行列リンク”の2種類のサブ・リンクから構成されていると考える。加えて、待ち行列は物理的な長さを無視した“point queue”で考える。

時間帯間で生じる状態変化は、

$$\begin{cases} X_a^T = X_a^{T-1} + x_a^T - \mu_a & \text{if } X_a^T > 0 \\ X_a^{T-1} + x_a^T \leq \mu_a & \text{if } X_a^T = 0 \end{cases} \quad (1)$$

X_a^T : 時間帯 T におけるリンク a の待ち行列台数

(時間帯 T において X_a^{T-1} は与件の定数)

x_a^T : 時間帯 T におけるリンク a の流入率 (台数)

μ_a : リンク a の(1時間当りの)最大流出率 (台数)

と表される。このとき、時間帯 T におけるリンク a の通過所要時間は次式の通りである。

$$t_a = t_a(x_a^T) + \max.(X_a^{T-1} + x_a^T - \mu_a, 0) / \mu_a \quad (2)$$

$t_a(\cdot)$: 時間帯 T におけるリンク a の走行リンクの通過所要時間 (BPR 関数等)

ここで、通常のリンクコスト関数 (BPR 関数) を式 (2) に修正することで等価最適化問題が定式化でき、均衡交通量 $x^* = \{x_a^*\}$ を算出することができる。また、均衡状態での待ち行列台数 X^* 及び待ち行列遅れ e^* は、

$$\begin{aligned} X_a^* &= \max.(X_a^{T-1} + x_a^* - \mu_a, 0) \\ e_a^* &= X_a^* / \mu_a \end{aligned} \quad (3)$$

で与えられ、 X_a^* は次の時間帯の残留交通量として扱われる。

(2) 活動・交通行動モデル

時間帯 T におけるゾーン r の滞在箇所 l に居る個人の活動・交通行動は、図-1に示す活動内容-目的地-交通手段-経路の4レベルの選択ツリー構造からなる、Nested Logit モデルにて記述できると仮定する。以下では、各レベルの選択確率等について示す。

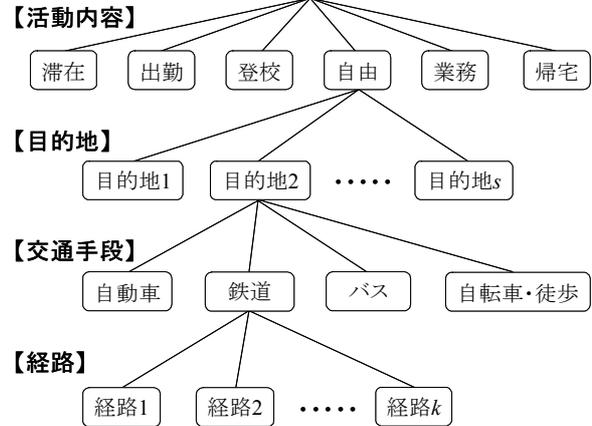


図-1 活動・交通行動の選択ツリー構造

a) 経路選択

時間帯 T において、移動目的 i にてODペア rs 間を交通手段 m で移動する場合、経路 k の選択確率は以下の式で表現できる。

$$\Pr[k | i, rs, m] = \frac{\exp[-\theta_1^{i,m} C_{m,k}^{i,rs}(T)]}{\sum_k \exp[-\theta_1^{i,m} C_{m,k}^{i,rs}(T)]} \quad (4)$$

$C_{m,k}^{i,rs}(T)$: 時間帯 T において、移動目的 i にてODペア rs 間を交通手段 m で移動するときの経路 k の交通一般化費用 (所要時間, 通行料金 p_a , 運賃, 乗換回数, アクセス/イグレス距離等を時間価値 τ^i 等で一般化所要時間に変換したものであり、時間帯別の混雑状況, 運行頻度により変化)
 $\theta_1^{i,m}$: 移動目的 i の交通手段 m における経路選択に関するスケールパラメータ

競合する経路を適切に考慮しなければ交通需要予測の過大評価に繋がるという知見¹³⁾もあるように、競合経路の考慮は重要である。しかし、バス、自転車・徒歩については適切な代替経路や所要時間の設定が困難であったため、所要時間最短経路を選択するものとし、経路選択モデルは適用していない。従って、自動車および鉄道利用時のみに経路選択モデルを適用している。

b) 交通手段選択

時間帯 T において、移動目的 i にてODペア rs 間を移動する場合、交通手段 m の選択確率は以下の式で表現できる。

$$\Pr[m | i, rs] = \frac{\exp[-\theta_2^i (V_m^{i,rs} + S_m^{i,rs}(T))]}{\sum_m \exp[-\theta_2^i (V_m^{i,rs} + S_m^{i,rs}(T))]} \quad (5)$$

$$S_m^{i,rs}(T) = -\frac{1}{\theta_1^{i,m}} \ln \sum_k \exp[-\theta_1^{i,m} C_{m,k}^{i,rs}(T)] \quad (6)$$

$V_m^{i,rs}$: 移動目的 i にて OD ペア rs 間を交通手段 m で移動することで得られる効用の内、交通手段 m を選択することのみから得られる効用の確定項

$S_m^{i,rs}(T)$: 時間帯 T において、移動目的 i にて OD ペア rs 間を交通手段 m で移動するときの期待最小費用

θ_2^i : 移動目的 i の交通手段選択に関するスケールパラメータ

交通手段選択モデルはゾーン間の移動のみに適用している。交通手段選択肢として自動車、鉄道、バス、自転車・徒歩を設定するが、名古屋市以外ではバス分担率が低いいため、バスは名古屋市内々交通のみに設定している。

また、自動車運転免許非保有かつ自動車非保有者が自宅から移動する場合、自動車を選択肢集合から除外し、鉄道・バスにてそれぞれ目的地まで到着できない(営業範囲外や営業時間外) 場合、選択肢集合から除外している。

c) 目的地選択

時間帯 T において、移動目的 i にてゾーン r から移動する場合、目的地 s の選択確率は以下の式で表現できる。

$$\Pr[s | i, r] = \frac{\exp[-\theta_3^i (V_s^i + S_{rs}^i(T))]}{\sum_s \exp[-\theta_3^i (V_s^i + S_{rs}^i(T))]} \quad (7)$$

$$S_{rs}^i(T) = -\frac{1}{\theta_2^i} \ln \sum_m \exp[-\theta_2^i (V_m^{i,rs} + S_m^{i,rs}(T))] \quad (8)$$

V_s^i : 移動目的 i にて目的地 s を選択することで得られる効用の内、目的地 s を選択することのみから得られる効用の確定項

$S_{rs}^i(T)$: 時間帯 T において、移動目的 i にて OD ペア rs 間を移動するときの期待最小費用

θ_3^i : 移動目的 i の目的地選択に関するスケールパラメータ

トリップチェーン再現のためにゾーン内々交通も対象としているため、ゾーン内々ダミーを導入してその効用を表現する。また、帰宅目的の場合、目的地は自宅ゾーンに固定されるため目的地選択モデルは適用していない。

d) 活動内容選択

時間帯 T においてゾーン r の滞在箇所 l から活動(移動目的) i を行う選択確率は、以下の式で表現できる。

$$\Pr[i | r, l] = \frac{\exp[-\theta_4^i (V_{r,l}^i + S_r^i(T))]}{1 + \sum_i \exp[-\theta_4^i (V_{r,l}^i + S_r^i(T))]} \quad (9)$$

$$S_r^i(T) = -\frac{1}{\theta_3^i} \ln \sum_s \exp[-\theta_3^i (V_s^i + S_{rs}^i(T))] \quad (10)$$

$V_{r,l}^i$: ゾーン r の滞在箇所 l にて活動(移動目的) i を行うことで得られる効用の内、活動(移動目的) i を選択することのみから得られる効用の確定項

$S_r^i(T)$: 時間帯 T において、移動目的 i にてゾーン r を移動するときの期待最小費用

θ_4^i : 滞在箇所 l における活動内容選択に関するスケールパラメータ

活動内容の選択肢としては、滞在、出勤、登校、自由、業務、帰宅を設定するが、選択肢集合は滞在箇所や職業、活動履歴によって異なる。そのため、滞在箇所を“自宅”、“勤務先・通学先”、“その他外出先”に区分して、モデルを適用している(自宅は帰宅、勤務先・通学先は出勤・登校を選択肢集合から除外)。加えて、就業者は登校、就学者は出勤、主婦・無職は出勤・登校を選択肢集合から除外し、出勤・登校は前時間帯までに行われている場合には選択肢集合から除外するなど、状況に合わせて適宜選択肢集合を設定している。また、本モデルでは滞在(移動しない)の効用を基準値として「0」と設定している。

一方、本モデルは各時間帯内における活動回数を1回のみ限定していることになるため、適切な時間帯幅の設定が必要となる。平均移動時間、交通需要の時間変動、自動車の混雑状況や鉄道・バスの運行頻度、時間帯別均衡配分モデル⁹⁾の初期条件等を勘案して、本研究では時間帯幅を「1時間」と設定する。

(3) 等価最適化問題

前節にて示した各レベルの選択確率を用いると、時間帯 T における各種交通量は、以下の様に個人の活動・交通行動結果を集計することで得られる。(ここで、時間帯 T を表す添字は省略)

$$f_{m,k}^{i,rs} = q_m^{i,rs} \Pr[k | i, rs, m] \quad (11)$$

$$q_m^{i,rs} = Q_{rs}^i \Pr[m | i, rs] \quad (12)$$

$$Q_{rs}^i = O_r^i \Pr[s | i, r] \quad (13)$$

$$O_r^i = \sum_l O_{r,l}^i \quad (14)$$

$$O_{r,l}^i = N_{r,l}^{T-1} \Pr[i | r, l] \quad (15)$$

$$\sum_i O_{r,l}^i + O_{r,l}^0 = N_{r,l}^{T-1} \quad (16)$$

$f_{m,k}^{i,rs}$: 移動目的別・交通手段別経路交通量、 $q_m^{i,rs}$: 移動目的別・交通手段別 OD 交通量、 Q_{rs}^i : 移動目的別 OD 交通量、 O_r^i ; 移動目的別発生量、 $O_{r,l}^i$; 滞在箇所別・移動目的別発生量、 $O_{r,l}^0$; 滞在箇所別滞在者数、 $N_{r,l}^{T-1}$: 前時間帯の滞在箇所別滞在人口(前時間帯の滞在者数と到着した人数(集中交通量)の和)

このとき、個人の活動・交通行動を Nested Logit モデルで記述するとともに、時間帯別のネットワーク均衡条件を満足するような交通フローパターンを求める均衡モデルは、マルチクラス型の時間帯別・確率的統合均衡モデルとして表され、以下の等価最適化問題として定式化できる¹¹⁾。(ここで、時間帯 T を表す添字は省略)

$$\begin{aligned}
\min. Z = & \sum_a \int_0^{x_a} t_a(\omega) d\omega + \sum_{i,a} x_a^i p_a / \tau^i \\
& + \sum_a \left\{ \max.(X_a^{T-1} + x_a - \mu_a, 0) \right\}^2 / (2\mu_a) \\
& + \sum_{i,rs,m,k} \frac{1}{\theta_1^{i,m}} f_{m,k}^{i,rs} \ln(f_{m,k}^{i,rs} / q_m^{i,rs}) \\
& + \sum_{i,rs,m} \frac{1}{\theta_2^i} q_m^{i,rs} \ln(q_m^{i,rs} / Q_{rs}^i) \\
& + \sum_{i,rs} \frac{1}{\theta_3^i} Q_{rs}^i \ln(Q_{rs}^i / O_r^i) \\
& + \sum_{r,l} \frac{1}{\theta_4^i} [O_{r,l}^0 \ln(O_{r,l}^0 / N_{r,l}^{T-1}) + \sum_i O_r^i \ln(O_{r,l}^i / N_{r,l}^{T-1})] \\
& + \sum_{i,rs,m',k} f_{m',k}^{i,rs} C_{m',k}^{i,rs} + \sum_{i,rs,m} q_m^{i,rs} V_m^{i,rs} \\
& + \sum_{i,rs} Q_{rs}^i V_s^i + \sum_{i,r,l} O_{r,l}^i V_{r,l}^i
\end{aligned} \tag{17a}$$

$$\text{subject to } \sum_i x_a^i = x_a, \quad \forall a \tag{17b}$$

$$x_a^i = \sum_{rs,k,a} f_{m,k}^{i,rs} \cdot \delta_{a,k}^{i,rs}, \quad \forall i,a \tag{17c}$$

$$\sum_k f_{m,k}^{i,rs} = q_m^{i,rs}, \quad \forall i,rs,m \tag{17d}$$

$$\sum_m q_m^{i,rs} = Q_{rs}^i, \quad \forall i,rs \tag{17e}$$

$$\sum_s Q_{rs}^i = O_r^i, \quad \forall i,r \tag{17f}$$

$$\sum_l O_{r,l}^i = O_r^i, \quad \forall i,r \tag{17g}$$

$$\sum_i O_{r,l}^i + O_{r,l}^0 = N_{r,l}^{T-1}, \quad \forall r,l \tag{17h}$$

$$f_{m,k}^{i,rs} \geq 0, \quad q_m^{i,rs} \geq 0, \quad Q_{rs}^i \geq 0, \tag{17i}$$

$$O_r^i \geq 0, \quad O_{r,l}^i \geq 0, \quad O_{r,l}^0 \geq 0$$

x_a^i : 移動目的別自動車リンク交通量,

$\delta_{a,k}^{i,rs}$: OD ペア rs 間の移動目的別自動車交通の経路 k にリンク a が含まれるとき 1, 含まれないとき 0

この問題の最適解が満足すべき Kuhn-Tucker 条件を求めると、先に示した Nested Logit モデルの式 (4) ~ (10) を導出することができる。また、目的関数の凸性は、

$$t_a(x_a) > 0, \quad \frac{\partial t_a(x_a)}{\partial x_a} > 0, \quad \theta_1^{i,m} > \theta_2^i > \theta_3^i > \theta_4^i > 0$$

の条件下で狭義凸関数となることがわかる。制約条件による実行可能領域は凸集合であることから、目的関数 (17) の解の一意性は保証される。

目的関数 (17) は経路交通量により定式化されているが、起点別リンク交通量による表現も可能¹⁴⁾である。従って、部分線形化法を用いることで、都市圏レベルの大規模ネットワークでも効率的に計算が可能となる²⁾。

3. 活動・交通行動モデルのパラメータ推定

名古屋市を中心とした約 40km 圏域である名古屋都市圏へのモデル適用に向け、2. (2) の活動・交通行動モデルのパラメータ推定を行う。使用データや各種設定条件を示し、推定結果について考察する。

(1) 使用データ・設定条件

a) 活動・交通行動データ

本研究では、2001 年に実施された第 4 回中京都市圏 PT 調査データ (PT データ) を推定用の活動・交通行動データとして用いる。つまり、平日の各個人の活動・交通行動実績 (個人属性、出発・到着地、出発・到着時間、移動目的、利用交通手段、等) より、パラメータ推定を行う。

ゾーンレベルは、名古屋市内は PT 調査の最小区分である小ゾーン (259 ゾーン)、名古屋市外は基本ゾーン (推定時: 113 ゾーン、適用時: 256 ゾーン) である。推定時と適用時でゾーン数が異なるのは、後述するプローブカーデータの精度に配慮しているためである。

本モデルは基準時刻 (午前 3 時と設定) に個人属性別夜間人口を各ゾーンに設定し、時間軸に沿って逐次的に均衡計算を実行することで、個人の 1 日の活動・交通行動を再現するものである。そのため、トリップデータに加えて、1 日中自宅から外出しない非外出者のデータも必要となる。PT データよりランダム抽出を行い、最終的に 10,318 人の活動データ (1,622 人の非外出者を含む)、23,070 トリップの交通行動データを得た。

b) 交通サービスレベル (LOS)

PT 調査では代替経路を把握することが不可能な上、出発・到着時刻が 00, 15 分などに丸めて報告される傾向にある¹⁵⁾ため、客観的な LOS データの作成が望ましい。

名古屋都市圏では 2002 年に大規模なプローブカー実験 (タクシー 1,570 台、9 ヶ月間) が実施され、平日/休日別・時刻別にデジタル道路地図 (DRM) のリンク所要時間を把握することができる¹⁶⁾。そのため、PT 調査実施年次とは異なるが、より精度の高い LOS 作成のため、プローブカーによるリンク旅行時間蓄積データ¹⁶⁾より自動車の所要時間を算出している。

自動車の代替経路の設定は困難であるため、時間帯毎に確率的利用者均衡状態が成立していると仮定し、Dial のアルゴリズム¹⁷⁾のリンクウェイトを用いて、交通手段選択モデルにおける期待最小費用を直接算出している。この際、経路選択に関するスケールパラメータは 0.5 (1/分)、時間価値は PT データより推定した高速道路利用選択モデルより算出された出勤・登校・業務目的: 83.4 円/分/台、自由・帰宅目的: 43.9 円/分/台を外生的に設定している。

表-2 交通手段選択・経路選択モデルの推定結果

＜経路選択モデル＞							
選択肢	変数名	推定値					
自動車	スケール[全目的]	0.50	-				
	時間価値(円/分)	83.4	-				
	[出勤・登校・業務目的] 時間価値(円/分) [自由・帰宅目的]	43.9	-				
鉄道	スケール[全目的]	0.322	*				
	乗車時間(時間)	-9.84	*				
	乗車外時間(時間)	-16.2	*				
	費用(百円)	-0.742	*				
	乗換回数(回)	-0.322	*				
	アクセス距離(km)	-1.92	*				
	イグレス距離(km)	-1.86	*				
代表駅ダミー(アクセス側)※1		0.417	*				
＜交通手段選択モデル＞							
選択肢	変数名	推定値	推定値	推定値	推定値	推定値	
全手段	スケール	0.095	*	0.091	*	0.092	*
	直前トリップ利用手段ダミー※2	-	-	2.32	*	2.49	*
	自宅発手段依存ダミー※3	-	-	-	-	-	4.44
自動車	駐車料金(千円)※4	-0.787	*	-	-	-1.02	*
	免許保有ダミー	2.56	*	2.15	*	1.63	*
	自動車保有ダミー	3.27	*	-	-	2.18	*
	男性ダミー	0.685	*	-	-	-	0.927
鉄道	定数項	4.79	*	2.87	*	1.47	*
	65歳以上ダミー	-	-	-	-	0.855	*
バス	定数項	4.39	*	1.29		1.50	*
	乗車時間(時間)	-	-	-	-	-2.94	*
	乗車外時間(時間)	-	-	-	-	-1.81	*
	費用(百円)	-	-	-	-	-0.480	*
	アクセス距離(km)	-	-	-	-	-0.546	*
	イグレス距離(km)	-	-	-	-	-0.614	*
自転車・徒歩	定数項	6.44	*	6.03	*	4.21	*
	所要時間(時間)	-	-	-	-	-7.34	*
サンプル数		14,698					
初期尤度		-23,796					
最終尤度		-9,276					
自由度調整済み決定係数		0.608					

※1:代表駅ダミー:乗換可能駅,特急・急行等停車駅
 ※2:直前トリップ利用手段ダミー:出発地が自宅以外にて,直前トリップの利用交通手段と同じ場合「1」,それ以外「0」
 ※3:自宅発手段依存ダミー:直近の自宅出発時の利用交通手段と同じ場合「1」,それ以外「0」
 ※4:駐車料金:出勤目的は到着ゾーンの平均月極料金/20日,自由・業務目的は平均時間賃料金
 (駐車場所構成(有料/無料)はPTデータよりゾーン別に集計し作成)
 「*」:1%有意,「**」:5%有意,「」:5%有意未満,「-」:設定値

鉄道は2001年の時刻表が入
 手できなかったため,2005年の
 時刻表より都市圏内の全鉄道駅
 間について,1時間毎に所要時
 間,待ち時間,乗換時間の平均
 値を算出した.その上で2001年
 のネットワーク状態を再現し,
 各経路の乗車内時間,乗車外時
 間,乗換回数,運賃を算出した.
 また,アクセス/イグレス距離は
 DRMより駅までの最短経路距離
 を設定した.代替経路の設定方
 法は,ゾーン毎に最寄り駅上位
 3駅,最寄り代表駅(乗換可能
 駅等)上位3駅,バスアクセス
 所要時間が短い上位2駅の最大
 8駅を当該ゾーンの利用可能駅
 として選定し,利用可能駅ペア
 の総所要時間が最短経路所要時
 間の2倍以上,もしくは30分以
 上長い経路を取り除いている.

バスのLOSは,2001年の時刻
 表,路線網を入手できなかった
 ため,2005年の時刻表より名古
 屋市内のOD間所要時間最短経
 路を設定している.この際,バ
 ス停のアクセス/イグレスの端末
 交通手段は大部分が徒歩のため,
 アクセス/イグレス所要時間は,
 DRMより算出した最短経路距離を徒歩の平均時速5km/h
 で除して算出している.また,乗換回数が3回以上(運
 賃800円以上)必要となる経路は対象外としている.

自転車・徒歩のLOSは,DRMより算出したOD間最
 短経路距離と平均時速より算出している.平均時速は徒
 歩:5km/h,自転車:8km/hと設定し,距離が1.5km未
 満は徒歩,1.5km以上は自転車を利用すると仮定している.

c) ゾーン属性

土地利用データ等をゾーン属性として利用する.具体的にはゾーン面積の他,町丁・字単位で集計された平成12年国勢調査(2000年)から得られる人口(年齢階級別・男女別人口,就業者数,就学者数等),平成13年事業所・企業統計調査(2001年)から得られる事業所数,従業者数について,GISを用いて集計している.

(2) パラメータ推定結果

各レベルのモデルのパラメータ推定結果について考察する.最尤推定法による推定を行ったが,サンプル数や

データセットの大きさから,経路選択モデルと交通手段
 選択モデルを同時推定,目的地選択モデルは移動目的別
 に,活動内容選択モデルは滞在箇所別にそれぞれ段階的
 に推定している.

a) 交通手段選択・経路選択モデル

交通手段選択・経路選択モデルの推定結果を表-2に示
 す.全てのパラメータは符号条件を満たし,主要なパラ
 メータは全て95%有意水準を満たしている.決定係数は
 0.608であり,モデルの適合度は良好である.

自動車の経路選択行動(高速道路利用選択における時
 間価値)は移動目的によって異なったが,鉄道,バス,
 自転車・徒歩の所要時間や費用に関するパラメータは移動
 目的によって有意な差異がみられなかったため,結果的
 に全ての移動目的で同一のパラメータとなっている.

鉄道経路選択に関する時間価値を算出すると,乗車時
 間:22.1円/分,乗車外時間:36.5円/分,乗換回数:43.4
 円/回と概ね妥当な結果となった.また,アクセス側の代
 表駅ダミーがプラスであることから,アクセス距離が少々

遠くとも、より運行頻度が高く、より乗換回数が少なくなる経路を選択する傾向が強くなっている。バスに関する時間価値を算出すると、乗車時間：10.2 円/分、乗車外時間：6.3 円/分となり、鉄道と比較して低くなった。これは名古屋市内のバスは均一運賃体系であり、トレードオフの情報に乏しいことが原因として考えられる。

交通手段選択は、個人属性や移動目的によって選択特性が異なる。自動車に注目すると、自動車運転免許保有者や自動車保有者、男性が利用しやすく、駐車場料金が相対的に高い目的地へ移動する場合は利用しにくい傾向にある。また、65 歳以上の高齢者が自由目的にて移動する場合、鉄道とバスを利用しやすい傾向にある。

また、自由・業務目的では直前トリップ、帰宅目的では自宅出発時の利用交通手段を利用する傾向がある。つまり、直前トリップや自宅出発時の利用交通手段は交通手段選択に大きな影響を及ぼしており、交通行動の前後の連関性を考慮する必要性を改めて確認できる。

b) 目的地選択モデル

目的地の選択肢集合は最大 372 ゾーンと大きくなる。そのため、実際に選択されたゾーンと移動可能なゾーン集合からランダム抽出された 19 ゾーンを加えた、合計 20 ゾーンからなる選択肢集合を新たに設定し、移動目的別に推定を行った。

本モデルでは、移動時間を適切に設定できないゾーン内々交通も取り扱うため、ゾーン内々ダミーを導入してその効用を表現する。ただし、推定に用いる選択肢集合はランダム抽出されたゾーン集合であるため、ゾーン内々ダミーを導入しても母集団のゾーン内々の移動シェアを再現できないことに注意が必要である。従って、一種の選択肢別抽出標本における推定であるとみなして、ゾーン内々ダミーを補正する。補正方法¹⁸⁾は式 (18) の通りである。

$$\beta = \beta' - \ln[H(g)/Q(g)] \quad (18)$$

β : 補正後の選択肢固有定数項
 β' : 補正前の選択肢固有定数項
 $H(g)$: サンプル内シェア
 $Q(g)$: 母集団シェア

目的地選択モデルの推定結果を表-3、ゾーン内々ダミーの補正結果（ゾーン内外の定数項を 0 に再基準化）を表-4 に示す。表-3 より、全てのパラメータは符号条件を

表-3 目的地選択モデルの推定結果

<目的地選択モデル>

変数名	出勤 推定値	登校 推定値	自由 推定値	業務 推定値
スケール	0.080 *	0.056 *	0.057 *	0.078 *
OD間距離(km)※1	-	-	-1.87 *	-
OD間距離[15歳未満](km)※1	-	-2.35 *	-	-
ln(ゾーン面積(ha))	1.00 -	1.00 -	1.00 -	1.00
ln(就業人口密度(人/ha))	-0.158 *	-	-	-
ln(就学人口密度(人/ha))	-	0.315 *	-	-
ln(従業人口密度(人/ha))	0.927 *	-	0.485 *	0.782 *
ln(店舗・飲食店密度(事業所/ha))	-	-	0.296 *	-
ln(事務所・営業所密度(事業所/ha))	-	-	-0.334 *	0.118
ln(工場・作業所等密度(事業所/ha))	-	-0.459 *	-0.169 *	-
ln(学校・病院等密度(事業所/ha))	-	0.476 *	0.329 *	-
ln(道路延長密度(m×km/ha))※2	0.158 **	-	-	-
施設(学校)ダミー※3	-	0.390	-	-
施設(SC)ダミー※4	-	-	0.552 *	-
内々ダミー[名古屋市内]※5	0.950 *	0.793 *	0.027	1.69 *
内々ダミー[名古屋市外]※5	-0.522 *	-1.58 *	-2.24 *	0.926 *
サンプル数	4,019	1,493	5,925	1,478
初期尤度	-13,446	-4,442	-19,426	-5,045
最終尤度	-6,336	-1,213	-4,318	-2,207
自由度調整済み決定係数	0.528	0.725	0.777	0.561

※1:OD間の最短経路距離(DRMより算出)

※2:道路延長:道路幅員×道路延長のゾーン合計(DRMより算出)

※3:施設(学校)ダミー:ゾーンに学校関連施設が地図検索対象施設としてある場合「1」、それ以外「0」

※4:施設(SC)ダミー:ゾーンにショッピングセンターが地図検索対象施設としてある場合「1」、それ以外「0」

※5:滞在ゾーンと同一ゾーンを選択する場合「1」、それ以外「0」

「*」:1%有意、「**」:5%有意、「」:5%有意未満、「-」:設定値

表-4 ゾーン内々ダミーの補正結果

	出勤	登校	自由	業務
名古屋市内	-1.909	-2.246	-3.060	-1.542
名古屋市外	-3.458	-4.028	-5.135	-2.110

満たし、主要なパラメータは95%有意水準を満たしている。決定係数は0.528~0.777であるためモデルの適合度は良好であり、スケールパラメータの推定結果より仮定した選択ツリー構造も妥当である。

移動目的別に選択特性をみると、出勤目的では間接的に就従比が大きいゾーンが選択されやすく、道路延長密度が高い、すなわち開発程度が進んだゾーンが選択されやすい。登校目的では15歳未満の個人に対してOD間距離が有意に推定されており、小学生・中学生は、高校生・大学生に比べてより近くの学校に通学している様相を表している。自由目的もOD間距離が有意に推定されており、就業者・就学者は平日1日の活動時間の大部分を勤務時間等に拘束されており、自由活動を行う時間的余裕が少ないため、比較的近くの目的地にて所用を済ます傾向が表現されている。業務目的は従業人口密度や事業所密度が高いビジネス街がより選択されやすく、直感に即した結果となっている。

補正後のゾーン内々ダミーは名古屋市内/市外ともに推定値に比べてマイナス側に補正され、ランダム抽出によるバイアスが除去されている。その結果、ゾーン内々ダミーは、ゾーン内々移動時間を0分と設定しているため、移動に伴う不効用が含まれていると解釈できる。

c) 活動内容選択モデル

活動内容選択モデルは前述した通り、自宅、勤務先・通学先、その他外出先と滞在箇所別に推定する。また、

表-5 活動内容選択モデル【自宅】の推定結果

＜活動内容選択モデル【自宅】＞				
変数名	出勤 推定値	登校 推定値	自由 推定値	業務 推定値
スケール[自由・業務]	-	-	0.009 *	-
定数項	-3.91 *	-7.24 *	-7.31 *	-9.78 *
ln(滞在時間(時間)+1)	0.314 *	1.90 *	-0.051 **	-0.610 *
就業者	-	-	-	1.80 *
就業者_8-11時台	-	-	0.206 *	-
就業者_15-19時台	-	-	0.658 *	-
就学者_15-19時台	-	-	0.874 *	-
主婦・無職_8-16時台	-	-	0.692 *	-
3-4時台, 22時台-[滞在以外]	-	-	-2.56 *	-
5時台	-0.445 *	-	-	-
6時台	0.930 *	0.718 *	-	-
6-7時台	-	-	1.40 *	2.66 *
7時台	2.70 *	3.95 *	-	-
8時台	3.13 *	4.61 *	2.92 *	4.38 *
9時台	2.01 *	2.74 *	3.33 *	-
9-10時台	-	-	-	4.78 *
10時台	0.997 *	-	3.96 *	-
11時台	-	-	3.43 *	-
11-12時台	-	-	-	3.67 *
12時台	-	-	2.15 *	-
13-14時台	-	-	-	4.36 *
13-15時台	-	-	3.00 *	-
15-16時台	-	-	-	3.58 *
16-17時台	-	-	2.58 *	-
17-18時台	-	-	-	1.85 *
17-21時台[出勤・登校]	-	-2.42 *	-	-
18時台	-	-	2.09 *	-
19-20時台	-	-	1.13 *	-
サンプル数	20,712			
初期尤度	-216,569			
最終尤度	-29,769			
自由度調整済み決定係数	0.862			

「*」:1%有意, 「**」:5%有意, 「」:5%有意未満, 「-」:設定値

表-6 活動内容選択モデル【勤務先・通学先】の推定結果

＜活動内容選択モデル【勤務先・通学先】＞			
変数名	自由 推定値	業務 推定値	帰宅 推定値
スケール[滞在以外]	-	0.008 *	-
定数項	-8.25 *	-6.08 *	-7.41 *
ln(滞在時間(時間)+1)	0.064	-1.453 *	-
ln(滞在時間(時間)+1)_16時台到着以前	-	-	0.860 *
ln(滞在時間(時間)+1)_17時台到着以後	-	-	1.08 *
男性_就業者	-	1.66 *	-
女性_就業者_12-14時台	-	-	1.64 *
女性_就業者_15-16時台	-	-	1.32 *
女性_就業者_15-17時台	1.78 *	-	-
就学者_12-14時台	-	-	1.91 *
就学者_15-16時台	-	-	2.84 *
就学者_15-17時台	1.57 *	-	-
9-10時台	-	0.758 *	-
11時台	1.40 *	-	-
11-12時台	-	0.120	-
12時台	2.65 *	-	-
13時台	-	1.65 *	-
13-14時台	1.77 *	-	-
14-15時台	-	0.911 *	-
15-16時台	1.64 *	-	1.20 *
16-17時台	-	0.806 *	-
17時台	2.71 *	-	3.72 *
18時台	3.64 *	-	-
18-19時台	-	0.668 **	-
18-20時台	-	-	4.00 *
19-20時台	3.19 *	-	-
21-22時台	-	-	4.42 *
23時台-	-	-	4.29 *
サンプル数	6,034		
初期尤度	-72,026		
最終尤度	-15,669		
自由度調整済み決定係数	0.782		

「*」:1%有意, 「**」:5%有意, 「」:5%有意未満, 「-」:設定値

表-7 活動内容選択モデル【その他外出先】の推定結果

＜活動内容選択モデル【その他外出先】＞					
変数名	出勤 推定値	登校 推定値	自由 推定値	業務 推定値	帰宅 推定値
スケール[滞在以外]	-	-	0.011 *	-	-
定数項	-4.27 *	-3.54 *	-4.54 *	-5.31 *	-1.84 *
ln(滞在時間(時間)+1)	-0.916 *	-1.28	-	-	-
ln(滞在時間(時間)+1)_自由目的到着	-	-	-0.049	-3.10 *	-0.923 *
ln(滞在時間(時間)+1)_業務目的到着	-	-	-0.989 *	-1.25 *	-1.34 *
就業者	-	-	-	1.96 *	-
主婦・無職_10-12時台	-	-	0.408 *	-	0.426 *
主婦・無職_13-16時台	-	-	0.515 *	-	0.699 *
65歳以上_10-12時台	-	-	-	-	0.271 *
3-5時台, 23時台-	-	-	-	-	2.72 *
13時台-[出勤・登校]	-	-1.05 *	-	-	-
9-10時台	-	-	-	0.366	-0.449 *
9-11時台	-	-	0.647 *	-	-
11時台	-	-	-	1.16 *	-
11-12時台	-	-	-	-	0.564 *
12時台	-	-	0.631 *	1.09 *	-
13-14時台	-	-	-	1.28 *	0.171
13-15時台	-	-	0.506 *	-	-
15-16時台	-	-	-	1.57 *	1.07 *
16-17時台	-	-	-	-	-
16-18時台	-	-	0.970 *	-	-
17-18時台	-	-	-	1.65 *	2.05 *
19-20時台	-	-	-	-	1.36 *
21-22時台	-	-	-	-	2.24 *
サンプル数	6,619				
初期尤度	-19,074				
最終尤度	-11,962				
自由度調整済み決定係数	0.371				

「*」:1%有意, 「**」:5%有意, 「」:5%有意未満, 「-」:設定値

活動選択内容の選択肢集合は、滞在箇所、職業、活動履歴の状況に応じて適切に設定している。

活動内容選択モデルの推定結果を表-5~7に示す。自宅の活動内容選択モデルにおいて、出勤・登校は典型的な

習慣行動¹⁵⁾である。そのため、これらの活動は交通サービスレベルの変化の影響を受けないと仮定し、下位レベルの期待最小費用を考慮していない。

推定結果をみると、主要なパラメータは全て95%有意

水準を満たし、決定係数は0.371~0.862であることからモデルの適合度は良好である。これは、時間帯別ダミーと個人属性の導入が大きな要因であると考えられる。スケールパラメータをみると全ての滞在箇所での0及び目的地選択に関するスケールパラメータから有意に離れているため、仮定した選択ツリー構造は妥当であり、また、目的関数(17)の凸性の条件も満たしている。

4. モデルの適用

推定された活動・交通行動モデルのパラメータ、ネットワークデータ等を用いて、時間帯毎に均衡計算を実行する。モデルの実行フレーム、均衡計算実行のための各種入力データを示し、現況再現性の確認を通じてモデルの有効性・実用性を検証する。

(1) モデルの実行フレーム

モデルの実行フレームを図-2に示す。入力データは、時間帯別のLOSやネットワークデータ、活動・交通行動モデルパラメータに加えて、前時間帯の出力データから算出される各ゾーンの滞在箇所別の滞在人口、リンク残留交通量(渋滞待ち行列台数)である。従って、逐次的な均衡計算の実行により、時間帯間の相互干渉の考慮や時間帯毎の個人の滞在箇所を把握することができ、トリップチェーンを再現することができる。

均衡計算において活動・交通行動モデルを適用するためには、各個人の個人属性に加えて、現時間帯の滞在ゾーンと滞在箇所、自宅ゾーン、勤務先・通学先ゾーン、直前トリップの移動目的と利用手段と出発時間帯、自宅出発時の利用手段、活動履歴を個人毎に記憶する必要がある。そのため、膨大なメモリーが必要となるため、本研究では、スーパーコンピュータ¹⁹⁾を用いて均衡計算を実行している。

(2) 入力データ

a) LOS・ネットワークデータ

鉄道、バス、自転車・徒歩のLOSは3.(1)にて作成したものと同一データを利用する。

自動車のLOSは活動・交通行動モデルのパラメータ推定時にはプローブカーによるリンク旅行時間蓄積データより算出したが、均衡計算ではネットワークから算出する必要がある。自動車ネットワークはDRMの幹線道路を基に作成し、ゾーンレベルに応じてリンクを補完している。その結果、ノード数:7,600、リンク数:22,463のネットワークとなった。

リンクの通過所要時間(式(2))算出のためのリンクコスト関数は、道路種別毎に推定されたパラメータ²⁰⁾²¹⁾を設定し、渋滞待ち行列を算出する際の最大流出台数は

[入力データ]

- ・**交通サービスレベル(時間帯別)、ネットワークデータ**
自動車ネットワーク(BPR関数パラメータ、交通容量、通行料金、等)
鉄道経路データ(OD別経路選択肢集合、所要時間、乗換回数、運賃、等)
バス、自転車・徒歩のサービスレベル(所要時間、運賃、アクセス/クロス距離)
- ・**ゾーン特性**
人口・施設数(個人属性別夜間人口、従業人口、事業所数、等)
その他(面積、OD間距離、駐車料金、道路延長、等)
- ・**活動・交通行動モデルパラメータ**
- ・**貨物車OD交通量(時間帯別)**
- ・**前時間帯の出力データ(時間帯別)**
滞在人口(滞在者数+集中交通量)、自動車リンク残留交通量

[均衡計算]

[出力データ]

- ・**モデル内生変数(時間帯別)**
滞在者数、目的別発生交通量、目的別・交通手段別OD交通量
自動車リンク交通量、自動車リンク残留交通量、鉄道経路交通量、等
- ・**モデル出力変数(時間帯別)**
自動車OD間所要時間/速度、CO₂排出量、等

図-2 モデルの実行フレーム

交差点交通容量を設定している。既存研究²⁰⁾²¹⁾では設計速度からリンク自由旅行時間を算出しているが、本研究では設計速度を入手することができなかつたため、規制速度を用いている。また、ネットワークより算出されるOD間所要時間は、実際の所要時間(プローブカーデータによる算出結果)と乖離することが想定されるため、地域特性パラメータ²⁰⁾を導入して補正を行うこととした。時間帯別OD交通量として平成11年道路交通センサス(1999年、センサスデータ)を用いて事前に配分した結果、地域特性パラメータは1.842と算出された。

b) 属性別夜間人口

基準時刻の滞在人口として、ゾーン毎に属性別夜間人口を設定する。本研究で考慮する個人属性は、性・年齢階層(5~14歳/15~64歳/65歳以上)・職業(就業者/就学者/主婦・無職)・自動車運転免許保有有無・自動車保有有無である。具体的には、平成12年国勢調査結果を基に、PTデータより集計した地域別の免許保有率・自動車保有率を乗じて、フレーター法により収束させている。対象者数は第1回PT調査圏域内ゾーンの約764万人である。

その他のゾーン特性は3.(1)にて作成したものと同一データである。

c) 時間帯別貨物車OD交通量

PTデータには含まれない貨物車OD交通量は、センサスデータより時間帯別に集計し、設定している。貨物車の目的地変更ではなく、固定型のOD交通量である。また、時間価値は87.4円/分/台²⁰⁾としている。

(3) 現況再現性の確認

モデルの有効性・実用性を検証するため、出力データの現況再現性を確認する。なお、自動車の平均乗車人員

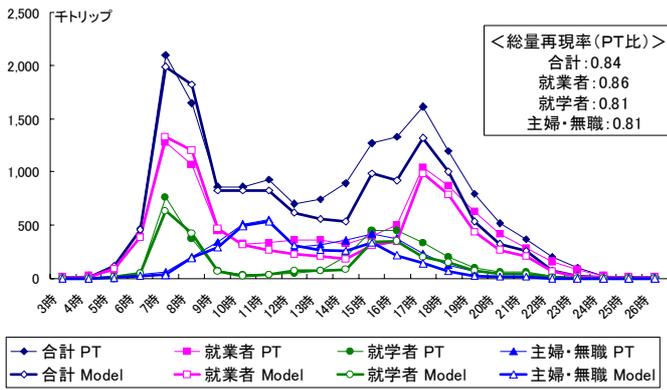


図-3 職業別・時間帯別発生量

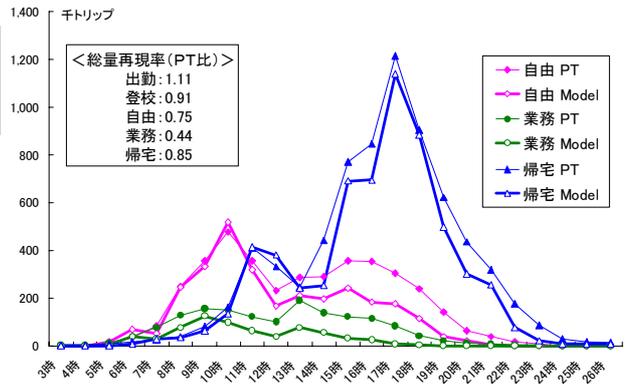


図-4 目的別・時間帯別発生量

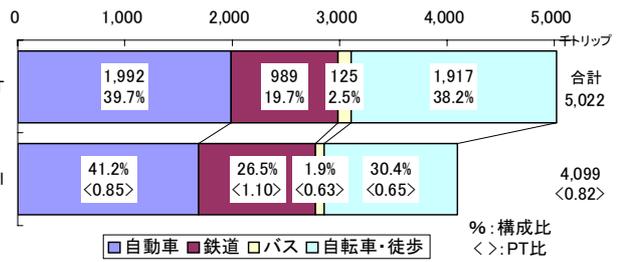
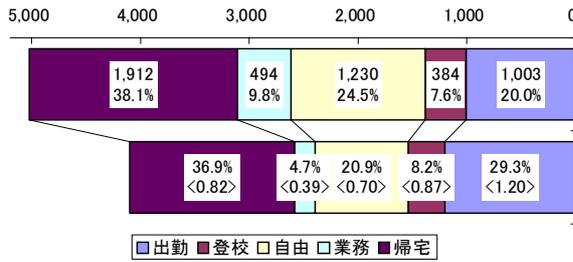


図-5 名古屋市中集中量(目的別/交通手段別)

は1.0人/台、各時間帯の収束条件は繰り返し計算の前後における各交通量の変動が1%以下と設定している。

時間帯別発生量を職業別に集計した結果を図-3、目的別に集計した結果を図-4に示す。図-3より発生量(合計)の時間変動は概ね再現されていることが確認できる。詳細にみると、午前中の再現性は非常に高く、13時以降は過小推計の傾向にあり、総量再現率は84%である。就業者・就学者の出勤・登校目的にあたる朝ピークも再現され、自宅からの第1トリップの再現性は高いといえる。図-4より帰宅目的の再現性も概ね良好であり、午後の過小推計の原因は自由・業務目的にあることが分かる。各々の総量再現率は自由目的：75%、業務目的：44%であり、特に業務目的が過小推計となっている。これは、1度外出した後、滞在や帰宅といった活動と比べて自由・業務活動を行う割合が低いこと、活動内容選択モデルにて対象時間帯内での活動回数を最大1回に限定していること、逐

次的な均衡計算により、モデルの誤差が時間帯間で伝播拡大している可能性があること、などが理由として挙げられる。活動内容選択モデルの今後の改良点としては、対象時間帯内での複数回の活動の考慮や、人口予測が困難になる可能性もあるが、営業やパートなどより詳細な職業分類を考慮することが考えられる。

名古屋市への集中量(目的別/交通手段別)を図-5に示す。発生量の過小推計に伴い、集中量も過小推計となっている。自由・業務目的が過小の分、出勤目的の構成比が高くなっている。また、手段構成では鉄道は過大に、自転車・徒歩は特に過小に予測されている。

図-6は帰宅目的とゾーン内々交通を除いた、OD距離帯別の自動車/鉄道利用状況を示している。自動車は10km未満では過大、10km以上では過小推計、鉄道は全距離帯で過大推計の傾向が見られる。特に30km以上では総

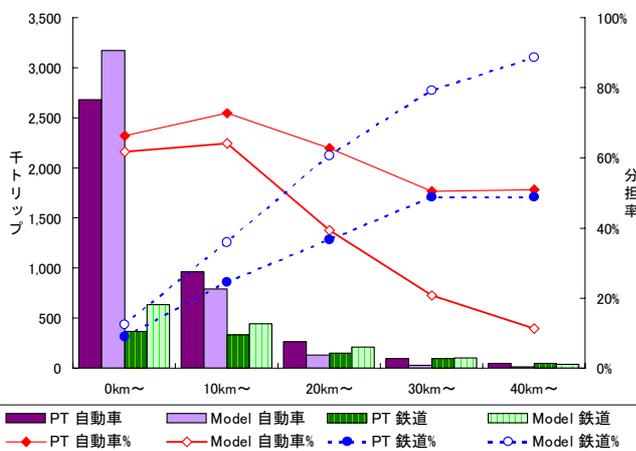


図-6 OD距離帯別自動車/鉄道利用状況(帰宅目的、ゾーン内々交通除く)

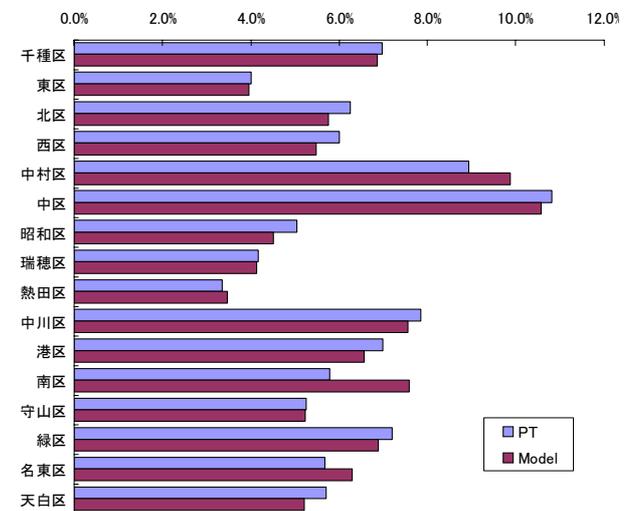


図-7 名古屋市中集中量の区別構成分布

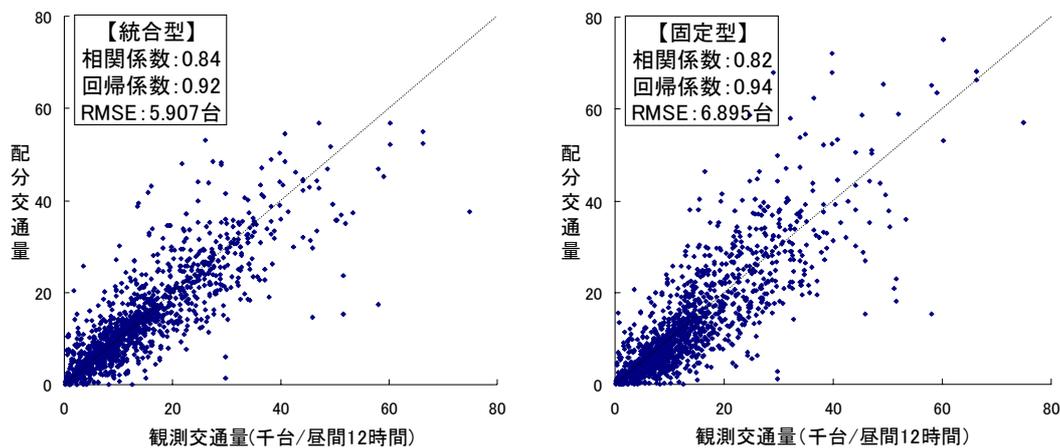


図-8 自動車リンク交通量の散布図 (昼間12時間)

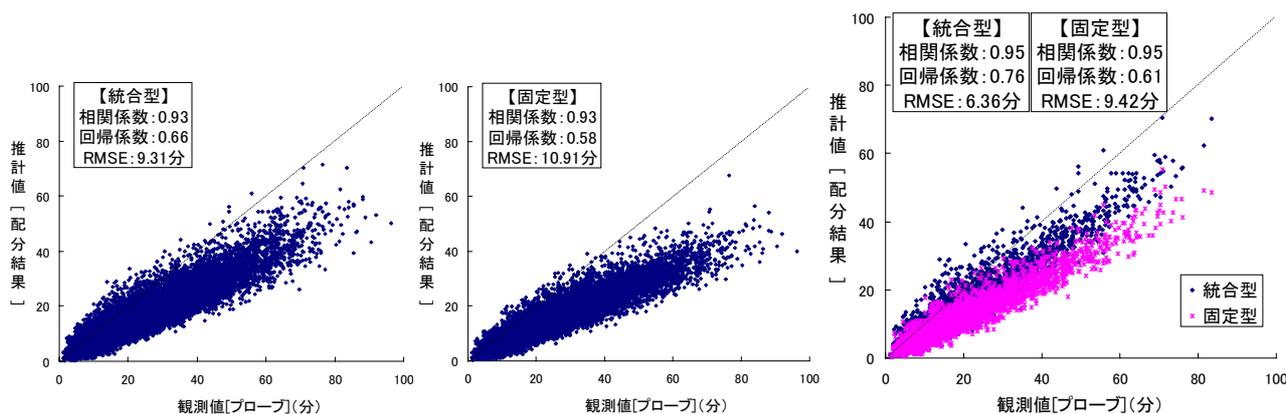


図-9 自動車 OD 間所要時間の散布図 (昼間12時間)

図-10 自動車 OD 間所要時間の散布図 (朝ピーク: 7~9時)

量自体は少ないものの、PT データでは自動車と鉄道の分担率が同程度であるのに対し、推計値では鉄道分担率が相対的に高くなっている。帰宅目的の利用交通手段は自宅出発時の利用手段に大きく影響を受けるため、全移動目的における鉄道利用者数の過大推計はさらに大きくなる。原因としては、モデル適用時には推定時よりも鉄道利用率が低い郊外地域のゾーンを追加しており、地域特性を十分に反映できていないこと、鉄道経路選択肢集合に重複度合いが高い選択肢が多数存在することによるパラメータ推計の誤差²²⁾、自動車の経路選択に関するスケールパラメータの設定方法²³⁾、等が考えられる。

一方、10km 未満では自動車、鉄道ともに過大推計であるものの分担率の再現性は概ね妥当であることから、バスや自転車・徒歩も過大推計されていることが分かる。従って、より近い目的地を選択する傾向が強い可能性がある。ここで、従来の需要予測で用いられるゾーンレベル (PT 調査中ゾーン) として名古屋市内の区別集中量の構成分布を図-7 に示す。工業地域のみ的小ゾーンを含む南区で過大となっているが、従来の需要予測レベルの目的地分布の再現性は比較的高いことが確認できる。

最後に、自動車リンク交通量 (図-8)、自動車 OD 所要時間 (図-9~10) の再現性を確認する。比較のため、通常の時間帯別・目的別自動車 OD 交通量を所与 (PT デ

ータの集計値) とし、時間帯間の相互干渉を考慮しない固定需要型の確率的均衡モデル (固定型) の配分結果も示す。自動車リンクの観測交通量は平成 11 年センサデータの断面交通量より、自動車 OD 所要時間の観測値は 3. (1) で述べたプローブカーデータより得たものである、

図-8 の昼間 12 時間の配分結果より、本モデル (統合型)、固定型ともに、自動車リンク交通量の現況再現性は高いといえる。若干ではあるが固定型で過大推計であるリンクが統合型では改善されており、渋滞状況や残留交通量を考慮している効果であると考えられる。図-9 に示す昼間 12 時間の自動車 OD 所要時間の再現性も、統合型と固定型ともに概ね妥当であるが、固定型で過小推計されている OD ペア間が統合型では改善されている。特に渋滞が発生する朝ピーク (図-10) では、時間帯間の相互干渉を考慮している統合型の再現性が高くなることが確認できる。統合型においても自動車 OD 所要時間は若干の過小推計の傾向にあるが、これは自動車交通量が、特に OD 距離が 10km 以上で過小推計であること、リンクコスト関数の地域特性パラメータによる補正のみでは名古屋都市圏の特性を十分に反映できていないことが考えられる。

(4) モデルの有効性・実用性

本モデルの現況再現性は自由・業務目的の発生量が過小、鉄道利用が過大に推計される傾向があるものの、従来の需要予測モデルと優劣がないことが確認できた。そのため、都市圏レベルの交通施策評価モデルとして本モデルは有効であると判断できる。

一方、本モデルを実都市圏に適用する際には、活動・交通行動モデルのパラメータ推定を含めた入力データ作成、均衡計算の実行に多大な労力と時間が必要となる。特に、均衡計算の実行では、時間帯毎に予測対象者全員の個人属性、自宅・勤務先、直前トリップ情報、活動履歴等が必要となるため、膨大な記憶容量が必要となり、データが大きくなるに連れて計算時間も増大する。本研究では約764万人を対象としており、例えば、18時台の均衡計算では実行用データのサイズは約11GB、計算時間は約4日間であった^[1]。本研究では、スーパーコンピュータの利用でこれらの問題を一時的に対処しているが、更なる実用性向上に向けてプログラムの並列化^[2]など計算方法の改善、施策評価に適したゾーンレベルの設定、活動・交通行動モデルのパラメータの設定に関する検討などが必要である。

5. 結論と今後の課題

本研究では、これまでの四段階推定法の問題点を解消/緩和し、都市圏レベルの交通施策評価に資する需要予測モデルとして、“活動選択を考慮した時間帯別・統合均衡モデル”を構築し、名古屋都市圏に適用した。特に個人属性などの施策評価に適した説明変数の組み込み、時間帯間の相互干渉とトリップチェーンを考慮していることが大きな特徴として挙げられ、誘発需要の影響をより詳細に把握することが可能なモデルが構築できたといえる。

活動・交通行動の前後の連関性を考慮することで、直前トリップや自宅出発時の利用交通手段が交通手段選択に大きな影響を及ぼすことを確認し、パラメータ推定の適合度が向上した。また、より詳細なゾーンレベルにてモデルを構築し、自動車OD間所要時間として、より精度の高いプローブカーのリンク旅行時間蓄積データを用いたことも適合度向上に貢献していると考えられる。

均衡計算による現況再現性は概ね妥当であり、従来の需要予測モデルと優劣がないことから、本モデルの有効性は高い。しかし、自宅以外の滞在先における自由・業務目的の発生量は過小推計、鉄道利用が過大推計の傾向にあり、今後、現況再現性の向上を目指す場合には、より詳細な個人属性の考慮、地域特性ダミーの導入、OD距離別・時間帯別でのモデル構築など、更なるモデルの精緻化が必要である。また、本研究では鉄道端末交通手段選択は対象としておらず、より総合的なTDM施策の評

価ツールを目指すには取り扱う必要性が高い。例えば、吉田・原田^[25]の鉄道端末交通手段選択モデルを導入することは理論的に可能である。加えて、ロードプライシングや高速道路通行料金の時間帯割引など、出発時刻の変更をもたらす交通施策を適切に評価するためには、出発時刻選択モデルの内生化が望ましい。

モデルの更なる精度向上とともに、モデルの実用性を高める必要がある。現在のところ、スーパーコンピュータを利用しなければ本モデルを実行することは困難である。計算方法の改善は当然ながら、どの程度まで詳細にモデル化するかを十分に検討することが肝要である。

名古屋都市圏では本研究の対象年次である2001年から2005年に開催されたEXPOに向けて、インフラ整備が急速になされた。具体的には中部新国際空港の開港、名古屋都市高速、伊勢湾岸自動車道、東海環状自動車道をはじめとした高速道路の延伸、市営地下鉄の環状線化、あおなみ線やリニモなど新規鉄道路線の開通などが挙げられ、誘発需要を含めて交通行動が変動していると考えられる。今後は本モデルを用いてこれらのインフラ整備による誘発需要の影響を分析していきたい。

補注

- [1] 本研究では、経路選択モデルは自動車と鉄道のみ適用するため、経路交通量は自動車と鉄道のみ算出される(目的関数第4項の m は自動車と鉄道を表す)。また、リンク交通量は自動車のみを対象とし、現実には存在するバスの運行によるリンク所要時間の変動は無視している(相互干渉は考慮していない)。鉄道は所要時間や運賃に加えて、乗換回数やアクセス/イグレス距離などを経路選択モデルで考慮するため、リンクベースではなく、経路ベースで交通一般化費用を設定している。自動車のように利用者数によって時間帯内の所要時間の変動は考慮せず、時間帯別に経路ごとの交通一般化費用を設定している。つまり、目的関数第8項は鉄道のみに関連する項となる(m' は鉄道を表す)。
- [2] スーパーコンピュータ(Fujitsu PRIMEPOWER HPC2500)の利用時におけるプログラム性能向上として、本研究では、コンパイラの自動並列化機能を利用している。そのため、8CPUの並列処理をバッチジョブとして実行している。その結果、1日分(24時間)の総計算時間は1ヶ月半程度となった。

参考文献

- 1) 北村隆一：交通需要予測の課題：次世代手法の構築に向けて、土木学会論文集，No.530/IV-30，pp.17-30，1996。
- 2) 土木学会：交通ネットワークの均衡分析—最新の理論と解法—，丸善，1998。
- 3) Boyce, D. : Forecasting Travel on Congested Urban Transportation Networks: Review and Prospect for Network Equilibrium models, Networks and Spatial Economics, Vol.7 No.2, pp.99-128, 2007.
- 4) 宮城俊彦, 加藤晃：ランダム効用理論を基礎とした交通統合モデル，土木計画学研究・論文集，No.1，pp.99-106，1984。

- 5) Safwat, K.N.A. and Magnanti, T.L. : A Combined Trip Generation, Trip Distribution, Modal Split, and Trip Assignment Model, *Transportation Science*, Vol.18 No.1, pp.14-30, 1988.
- 6) Oppenheim, N. : *Urban Travel Demand Modeling: from Individual Choices to General Equilibrium*, John Wiley & Sons, N.Y., 1995.
- 7) 藤田素弘, 松井寛, 溝上章志: 時間帯別交通量配分モデルの開発と実用化に関する研究, *土木学会論文集*, No.389/IV-8, pp.111-119, 1988.
- 8) 宮城俊彦, 牧村和彦: 時間帯別交通配分手法に関する研究, *交通工学*, Vol.26 No.2, pp.17-28, 1991.
- 9) 赤松隆, 牧野幸雄, 高橋栄行: 時間帯別 OD 需要とリンクでの渋滞を生じた準動的配分, *土木計画学研究・論文集*, No.15, pp.535-545, 1998.
- 10) Maruyama, T. and Harata, N. : Incorporating trip chaining behavior in network equilibrium analysis, *Transportation Research Record*, No.1921, pp.11-18, 2005.
- 11) 円山琢也, 原田昇, 太田勝敏: 大規模都市圏への交通需要統合型ネットワーク均衡モデルの適用, *土木計画学研究・論文集*, Vol.19 No.3, pp.551-560, 2002.
- 12) 円山琢也, 室町泰徳, 原田昇, 太田勝敏: 渋滞を生じた準動的な交通均衡配分モデルの有効性に関する実証的検討, 第20回交通工学研究発表会論文報告集, pp.181-184, 2000.
- 13) 森川高行, 永松良崇, 三古展弘: 新交通システム需要予測の事後評価ーピーチライナーを例としてー, *運輸政策研究*, Vol.7 No.2, pp.20-29, 2004.
- 14) Akamatsu, T. : Decomposition of path choice entropy in general transport networks, *Transportation Science*, Vol.31 No.4, pp.349-362, 1997.
- 15) 北村隆一, 森川高行, 佐々木邦明, 藤井聡, 山本俊行: 交通行動の分析とモデリング, 技報堂出版, 2002.
- 16) Miwa, T. Sakai, T. and Morikawa, T. : Route Identification and Travel Time Prediction Using Probe-Car Data, *International Journal of ITS Research*, Vol.2 No.1, pp.21-28, 2004.
- 17) Dial, R.B. : A probabilistic multipath traffic assignment algorithm which obviates path enumeration, *Transportation Research*, Vol.5, pp.83-111, 1971.
- 18) 土木学会: 非集計行動モデルの理論と実際, 丸善, 1995.
- 19) 名古屋大学情報連携基盤センター,
(<http://www2.itc.nagoya-u.ac.jp/index.html>)
- 20) 土木学会: 道路交通需要予測の理論と運用 第I編 利用者均衡配分の適用に向けて, 丸善, 2003.
- 21) 吉田禎雄, 石谷昌之, 原田昇: 交通常時観測調査データによるリンクコスト関数の推定, *交通工学*, Vol.40 No.6, pp.80-89, 2005.
- 22) 屋井鉄雄, 清水哲夫, 坂井康一, 小林亜紀子: 非 IIA 型選択モデルの選択肢集合とパラメータ特性, *土木学会論文集*, No.702/IV-55, pp.3-14, 2002.
- 23) 岡田良之, 三輪富生, 森川高行: 確率的利用者均衡配分モデルにおける分散パラメータに関する研究, *土木計画学研究・論文集*, Vol.22 No.3, pp.523-530, 2005.
- 24) 牛島省: OpenMPによる並列プログラミングと数値計算法, 丸善, 2006.
- 25) 吉田朗, 原田昇: 鉄道の路線・駅・結節交通手段の選択を含む総合的な交通手段選択モデルの研究, *土木学会論文集*, No.542/IV-32, pp.19-31, 1996.

活動選択を考慮した時間帯別・統合均衡モデルの構築と適用*

金森 亮**・三輪富生***・森川高行****

TDM 施策検討を行う際に指摘されている四段階推定法の問題点を解消/緩和した, 都市圏レベルの交通需要予測モデルとして, 発生-分布-分担-配分の各段階を統合し, 時間軸の導入と時間帯間の相互干渉, トリップチェーンを考慮することができる時間帯別・確率的統合均衡モデルを構築した. 加えて, 名古屋都市圏へ適用し, モデルの有効性・実用性を確認した. その結果, 現況再現性は概ね妥当であり, 交通施策導入による誘発需要を含めた, より詳細な交通行動変化を分析することが可能なモデルであることを確認した. しかし, 計算実行に関するコストが大きいため現段階では実用性は高くはなく, 今後の改善が必要である.

Semi-dynamic Combined Equilibrium Model considering Activity choices*

By Ryo KANAMORI**・Tomio MIWA***・Takayuki MORIKAWA****

It is difficult to evaluate TDM policies by the Four-Step forecasting model because this model presents some significant drawbacks. "Semi-dynamic Combined Equilibrium Model considering Activity choices" is one of models which can overcome and/or modify those problems. Our model integrates trip generation, destination choice, mode choice and route choice behavior, and considers the time-axis and the remnants of flows. Thus we can not only measure induced traffic but also analyze in trip-chain approach. Our model is valid according to the reproducibility applied to the Nagoya Metropolitan Area, although it is necessary to improve the calculation efficiency.