

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*

Application of a Combined Network Equilibrium Model to Mega Metropolitan Area*

円山 琢也**・原田 昇***・太田 勝敏****

By Takuya MARUYAMA**, Noboru HARATA***, and Katsutoshi OHTA****

1. はじめに

(1) 研究の背景と目的

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⁾。このモデルは、対象地域に代表的個人の存在を仮定し、その行動にランダム効用理論に基づくNested Logitモデルを適用し、一貫した行動記述を行うものである。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。

一方、交通は派生的需要であり、トリップ発生之源である活動の種類によって行動は大きく変化するため、それらを的確に記述することが必要とされる。旧来の四段階推定法においても発生集中・分布・分担段階においては、交通目的別のモデルを作成することで、それらは近似的に表現されてきた。しかしながら、通常、統合均衡モデルは利用者の属性を均一に扱っており、交通目的別のモデルを作成することは少ない。また、実際都市への適用事例も限られている。

本研究では、以上の背景のもと、発生・分布・分担・配分統合型確率均衡モデルをトリップ目的別のモデルへ拡張し、東京都市圏を対象として、モデルの有効性を実証的に検討することを目的とする。また、東京都心部における鉄道の混雑を適切に表現するために、鉄道ネットワークにおいても確率的利用者均衡状態を仮定し、時間帯別のモデル化を行う。

(2) 既存研究のレビュー

交通需要統合型ネットワーク均衡モデルの理論の発展経緯、過去の適用事例はテキスト³⁾にまとめられているので、ここでは、比較的最近の統合モデルの実都市への適用事例についてレビューする。河上らは、名古屋市への分担配分統合モデル³⁾⁴⁾⁵⁾および分布・分担・配分統合モデル⁶⁾の適用を行っている。Abrahamsson and Lundqvist⁷⁾は、ストックホルムにおいて分布・分担・配分統合モデルについて、分布と分担の上下構造を変化させた場合の比較検討を行っている。Safwatらは、4段階を統合したモデルの実証検討⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾を行っている。Kaneko et al.¹²⁾は、マルチクラス型の分担・配分統合モデルをバンコク都市圏に適用している。円山ら¹³⁾¹⁴⁾は東京都市圏へ分担・配分統合モデルを適用した。

既存研究をまとめると、統合モデルは、確立した理論が構築されたものの、都市圏レベルへの実証分析は十分ではないといえる。特に、統合モデルでも4段階をすべて統合したモデルの適用事例は少ない。唯一の例であるSafwatらのモデルに対しては、利用者の行動論的根拠が無いという批判ができる。また、利用者の属性を均一に扱っている場合が多く、配分段階には確定的均衡モデルを仮定している場合がほとんどである。時間帯別のモデル化の事例も少ない。本研究のフレームは、発生・分布・分担段階は、利用者のトリップ目的を区別し、経路選択にもLogit型確率的均衡配分を利用し、鉄道のネットワークにおいても混雑現象を考慮した上で、時間帯別の適用を行うものである。このモデルは、既存研究のほとんどを、その特殊形として内包する一般的なモデルとなる。この一般的なフレームにもとづいたモデルを本研究のような大規模な都市圏に適用した事例は、筆者らの知る限り存在しない。

2. 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

(1) 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 においてトリップを行うか否か、トリップを行う場合の、利用交通手段、目的地、目的地までの経路の選択行動を考える。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。伝

キーワード: 発生交通, 分布交通, 交通手段選択, 配分交通

** 学生会員, 修, 東京大学大学院新領域創成科学研究科

*** 正会員, 工博, 東京大学大学院新領域創成科学研究科

**** フェロー, Ph.D, 東京大学大学院工学系研究科

(〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, Tel 03-5841-6234,

Fax 03-5841-8527)

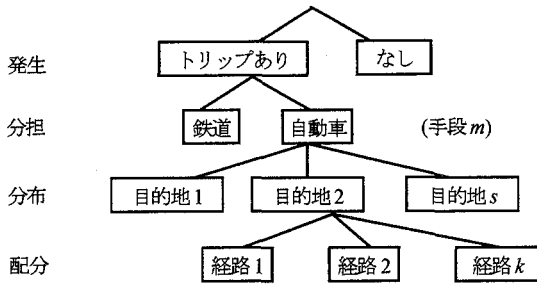


図-1 Nested Logit 型の選択構造

統的な交通モデルでは、目的地の選択が手段の選択よりも上位の場合が多い。本稿では、後述する実際の都市への適用事例のパラメータの推計結果から、手段選択を上位とする構造を採用している。

なお、当然のことながら、選択構造の上位下位とは、利用者の行動仮説における選択の順序を意味しているわけではない。今回の場合、利用者は、最初に手段を選択して、目的地を選ぶという仮定がなされているわけではなく、モデルの行動仮説は、あくまで、手段と目的地（さらには、トリップの有無、経路）を同時に決定しているというものである。Nested Logit モデルの選択構造とは、効用の誤差項の分散スケールによって、すなわち実データによるパラメータの推定結果によって決定されるものであることに注意したい。

以下、この選択構造の下位の段階からモデルを具体的に述べる。手段選択を下位とする場合も、モデルの若干の変更で対応可能となる。

(a) 経路選択行動

トリップ目的 i で OD ペア rs 間で手段 m を選ぶ条件のもと、経路 k を選択する確率は、以下で与えられるとする。

$$\Pr(k | i, r, s, m) = \frac{\exp[-\theta_1^m c_{k,m}^{rs}(t)]}{\sum_k \exp[-\theta_1^m c_{k,m}^{rs}(t)]} \quad (1)$$

ここで、 $c_{k,m}^{rs}(t)$ は、時間帯 t における OD ペア rs 間で手段 m における k 番目経路の交通一般化費用であり、ネットワークの混雑水準により変化する。 θ_1^m は、手段 m の経路選択に関する分散パラメータである。一般に、交通目的 i 別に経路選択モデルを構築することも考えられるが、単純化のため、本稿では経路選択に関して目的別の区別は行わず同一のモデルを仮定する。

(b) 目的地選択行動

次に、トリップ目的 i で発ゾーン r 、手段 m を選択するという条件のもと、目的地に着ゾーン s を選択する確率は、以下で与えられるとする。

$$\Pr(s | i, r, m) = \frac{\exp[-\theta_2^{im} \{V_s^{im} + S_r^m(t)\}]}{\sum_s \exp[-\theta_2^{im} \{V_s^{im} + S_r^m(t)\}]} \quad (2)$$

$$S_r^m(t) = -\frac{1}{\theta_1^m} \ln \sum_k \exp[-\theta_1^m c_{k,m}^{rs}(t)] \quad (3)$$

ここで、 $S_r^m(t)$ は手段別の経路選択に関する期待最小費用である。 V_s^{im} は、目的地選択要因のうちゾーン間費用以外の目的地の固有の要因で、目的 i に応じて適切な説明変数の利用が望まれる。例えば、通勤目的では従業員数、買物目的ではサービス従業者数などである。 θ_2^{im} は、トリップ目的 i の目的地選択に関する分散パラメータであり、目的地選択については、トリップ目的別にモデルを作成する。

(c) 手段選択行動

次に、トリップ目的 i で発ゾーン r という条件のもと、手段 m を選択する確率は、以下で与えられるとする。

$$\Pr(m | i, r) = \frac{\exp[-\theta_3^i \{V_m^{ir} + S_r^m(t)\}]}{\sum_m \exp[-\theta_3^i \{V_m^{ir} + S_r^m(t)\}]} \quad (4)$$

$$S_r^m(t) = -\frac{1}{\theta_2^{im}} \ln \sum_s \exp[-\theta_2^{im} \{V_s^{im} + S_r^m(t)\}] \quad (5)$$

ここで、 $S_r^m(t)$ は、目的地選択に関する期待最小費用である。 V_m^{ir} は、手段選択要因のうちゾーン間費用以外のものであり、発ゾーンの駐車場料金、自動車保有率などから目的 i に応じて適切な説明変数の導入が望まれる。 θ_3^i は、トリップ目的 i の手段選択に関する分散パラメータであり、手段選択についても、目的別にモデルを作成する。

(d) トリップ発生選択行動

最後に、ゾーン r に滞在する利用者が、対象時間帯に、トリップ目的 i を行うために、トリップを発生させる確率が以下で与えられるとする。

$$\Pr(i, r) = \frac{\exp[-\theta_4^i \{V_r^{ir} + V_i(t) + S_r^i(t)\}]}{1 + \exp[-\theta_4^i \{V_r^{ir} + V_i(t) + S_r^i(t)\}]} \quad (6)$$

$$S_r^i(t) = -\frac{1}{\theta_3^i} \ln \sum_m \exp[-\theta_3^i \{V_m^{ir} + S_r^m(t)\}] \quad (7)$$

ここで、 $S_r^i(t)$ は目的別の手段選択に関する期待最小費用であり、ゾーン r におけるアクセシビリティ指標に相当する。 V_r^{ir} は、ゾーン r から目的 i のトリップを行うことによる固有の非効用で、ゾーン r の社会経済属性からトリップ発生に影響を与えると考えられる変数の導入が考えられる。 $V_i(t)$ は、時間帯 t に目的 i のトリップを行うことによる固有の非効用である。これは、トリップの本源的需要である活動を対象時間帯に行うことによる非効用でもある。例えば、買い物行動では、店舗の営業時間などが関連する。本研究の枠組みでは、時間帯別のダミー変数でこれらを近似的に表現することになる。 θ_4^i は、トリップ目的 i のトリップ発生選択に関する分散パラメータであり、トリップ発生選択についても、目的別にモデルを作成する。なお、(6)式は、トリップを行うあるいは行わない選択行動が 2 項ロジットモデルで記述できるとして、トリップを行わない効用をゼロに基準化し

たものである。また、このモデルでは、対象時間帯における一人あたりの最大トリップ数を1トリップに限定することになるため、適切な時間帯区分が必要となる。

(2) 等価な最適化問題

(1)~(7)式の選択確率を用いると、手段別の経路交通量 $f_{m,k}^{rs}$ 、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 は、それぞれ次のように表される。

$$f_{m,k}^{rs} = q_m^{rs} \Pr(k | i, r, s, m) \quad (8)$$

$$q_m^{rs} = \sum_i q_m^{i,rs} \quad (9)$$

$$q_m^{i,rs} = O_r^{im} \Pr(s | i, r, m) \quad (10)$$

$$O_r^{im} = O_r^i \Pr(m | i, r) \quad (11)$$

$$O_r^i = N_r^i \Pr(i, r) \quad (12)$$

$$O_r^i + O_{r_0}^i = N_r^i \quad (13)$$

ここで、 N_r^i は、トリップ目的 i の生成要因の人口指標で、 $O_{r_0}^i$ は、そのうち対象時間帯にトリップを行わない利用者数である。

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しよう。この仮定の下で、これら需要パフォーマンスについての各状態をすべて整合的に記述するためには、利用者の行動に関する非線形連立方程式系(1)~(13)とネットワーク上のフロー均衡条件を同時に解く事が必要とされる。これは、以下の等価な最適化問題を定式化し、その問題を解くことで、比較的容易に行える。

$$\begin{aligned} \min. Z(\mathbf{x}(f), \mathbf{q}, \mathbf{O}) \\ = \sum_{m,a} \int_0^{x_a^m} t_a^m(\omega) d\omega + \sum_{r,s,m,k} \frac{1}{\theta_1^{rs}} f_{m,k}^{rs} \ln(f_{m,k}^{rs} / q_m^{rs}) \\ + \sum_{i,r,s,m} \frac{1}{\theta_2^{im}} q_m^{i,rs} \ln(q_m^{i,rs} / O_r^{im}) + \sum_{i,r,m} \frac{1}{\theta_3^{ir}} O_r^{im} \ln(O_r^{im} / O_r^i) \\ + \sum_{i,r} \frac{1}{\theta_4^i} [O_r^i \ln(O_r^i / N_r^i) + O_{r_0}^i \ln(O_{r_0}^i / N_r^i)] \\ + \sum_{i,r,s,m} q_m^{i,rs} V_s^{im} + \sum_{i,r,m} O_r^{im} V_r^{ir} + \sum_{i,r} O_r^i [V_r^i + V_i(t)] \end{aligned} \quad (14a)$$

$$s.t. \quad O_r^i + O_{r_0}^i = N_r^i, \quad \forall i, r \quad (14b)$$

$$\sum_m O_r^{im} = O_r^i, \quad \forall i, r \quad (14c)$$

$$\sum_s q_m^{i,rs} = O_r^{im}, \quad \forall i, r, m \quad (14d)$$

$$\sum_i q_m^{i,rs} = q_m^{rs}, \quad \forall r, s, m \quad (14e)$$

$$\sum_k f_{m,k}^{rs} = q_m^{rs}, \quad \forall r, s, m \quad (14f)$$

$$x_a^m = \sum_{r,s,k} \delta_{a,k}^{m,rs} f_{m,k}^{rs}, \quad \forall m, a \quad (14g)$$

$$x_a^m \geq 0, f_{m,k}^{rs} \geq 0, q_m^{i,rs} \geq 0, q_m^{rs} \geq 0, \quad (14h)$$

$$O_r^{im} \geq 0, O_r^i \geq 0, O_{r_0}^i \geq 0, \quad \forall i, r, s, m, k, a$$

ここで、交通手段 m のリンク a におけるリンクフローを x_a^m 、リンクコスト関数を $t_a^m(\cdot)$ 、 $\delta_{a,k}^{m,rs}$ はリンク経路接続行列とする。この問題の解の一意性は、エントロピー関数の凸性により目的関数が凸関数となることと、制約条件が凸領域であることから明らかといえる。また、この問題の最適解が満たすべき Kuhn-Tucker 条件を求めると、前述の Nested Logit 型の方程式系(1)~(13)が導出できることから等価性も証明される。

旧来の四段階推定法と比較すると、このモデルはランダム効用理論に基づく Nested Logit モデルによる目的別の一貫した行動記述を行いつつ、発生・分布・分担の各段階に相当するモデルにはログサム変数の形式で配分段階のゾーン間所要費用の影響が反映されている点で優れたモデルといえる。

本稿では、時間帯別に上記モデルが独立に均衡状態にあると仮定し、時間帯別の計算を行うこととする。時間帯間の残留交通量の影響考慮などは今後の課題としたい。

(3) 計算アルゴリズム

今回の(14)式のモデルを部分線形化法により解く場合、アルゴリズムは、以下ようになる。

Step 0: 初期許容解 $\mathbf{X}^{(1)} = \{\mathbf{x}^{(1)}, \mathbf{q}^{(1)}, \mathbf{O}^{(1)}\}$ を与える。繰り返し回数 $n=1$ 。

Step 1: 元の問題を部分線形近似した補助問題を解き、その解を $\mathbf{Y} = \{\mathbf{x}^{sub}, \mathbf{q}^{sub}, \mathbf{O}^{sub}\}$ とする。

Step 2: 以下の1次元探索を行い、ステップサイズ α を求める。

$$\min. Z(\mathbf{X}^{(n)} + \alpha(\mathbf{Y} - \mathbf{X}^{(n)})), \quad s.t. 0 \leq \alpha \leq 1$$

Step 3: 解の更新。 $\mathbf{X}^{(n+1)} = \mathbf{X}^{(n)} + \alpha(\mathbf{Y} - \mathbf{X}^{(n)})$

Step 4: 収束していれば終了。そうでなければ、 $n=n+1$ として Step1 へ。

Logit 型確率配分の解法として、Dial のアルゴリズムを用いる場合、Step 1 の補助問題の具体的な解法は、以下のようになる。

Step 1.1: リンクコストの更新。 $t_a^m = t_a^m(x_a^{m,(n)})$, $\forall m, a$

Step 1.2: 手段別ネットワークについて、Dial のアルゴリズムの前進処理(forward pass)を行い、リンクウェイト $\{W\}$ を求める。

Step 1.3: 手段別の OD 間の経路選択に関する期待最小費用を求める。

$$S_{rs}^m(t) = c_{\min}^{rs,m} - \frac{1}{\theta_1^{rs}} \ln \sum_{j \in J} W[j \rightarrow s], \quad \forall m, r, s$$

ここで、 $c_{\min}^{rs,m}$ は、OD ペア間の最短交通費用で、 J は、着ノードに接続するノード集合である。

Step 1.4: (1)~(13)式に従い、目的地選択および手段選択に

関する期待最小費用を求め、発生交通量、OD 交通量に関する補助変数 Q^{nb} , q^{nb} を得る。

Step 1.5: 求めた手段別 OD 交通量を、Dial のアルゴリズムの後退処理(backward pass)により各手段のネットワークに配分し、リンク交通量の補助変数 x^{nb} を求める。

Step 1.3 の経路選択に関する期待最小費用の算出では、(3)式の定義式ではなく、経路列挙を行わずに求めている¹⁵⁾ため、今回、対象とする大規模ネットワークでも計算が可能となる。また、Step 2 で必要な目的関数の評価においても、経路変数を用いずに、起点別リンク交通量を用いた方法が可能である^{11,15)}。もしくは、逐次平均法(MSA)¹⁾によって、Step 2 の一次元探索を行わずに、 $\alpha = 1/n$ と定める方法がある。後者の手法は、計算機の容量を節約でき、アルゴリズムが単純になるという利点がある。今回は、これら起点別リンク交通量を用いた部分線形化法と、逐次平均法の両方のアルゴリズムを試行したが、その比較結果は後述する。

また、確率配分の計算に Dial のアルゴリズムを用いる場合、経路選択枝集合が逐次計算のたびに変化することより、必ずしも収束は保証されない。厳密解を求めるために、この問題の解決を試みるのであれば、アルゴリズムの改良^{16,17)}が必要である。ただ、今回の適用においては、Dial のアルゴリズムをそのまま利用しており、この収束性の問題についても後に触れる。

3. 入力データ・設定条件

東京都市圏を対象として、モデルの適用検討を行う。以下、利用したデータ、設定条件を詳述する。

(1) OD データ・ネットワーク・各種設定条件

ゾーン数は 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。ゾーン内々トリップは分析から除外した。PT 中ゾーンは、およそ市区町村境界に対応する比較的大きなゾーンであるが、このゾーンを用いているのは、目的地選択モデルの推定の際に必要なゾーン毎の地域データの入手可能性と、パラメータの安定的な推定を行うために必要な OD 表のサンプル数の確保を勘案してのことである。これらの条件のもとでは、PT で代表交通手段が鉄道または自動車のトリップが全体の 89.5%を占めており、このスケールでの分析では、利用可能な交通手段を自動車と鉄道の 2 手段に限定しても大きな問題はないと判断できる。また、これらの OD データは、モデルの直接的な外生変

数ではなく、Nested Logit モデルのパラメータを推定する際に用いることになる。発生モデル、目的地選択モデルの説明変数となるゾーン別の常住人口、産業分類別従業者数などの地域データは、H07 年度国勢調査を用いる。

自動車および鉄道のネットワークは既存研究^{13,14,18)}で構築されたものを利用する。ネットワーク要素数を表-1に示す。自動車のネットワークにおけるリンクコスト関数などのサービス条件、時間価値等も、既存研究^{13,14,18)}と同等とする。

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た。鉄道の路線容量は、時刻表から得られる時間帯ごとの路線運行本数と資料¹⁹⁾から時間帯別に推定した。利用者の混雑負効用関数は、既存研究²⁰⁾の値を参考に設定した。この鉄道確率均衡配分の詳細は、別途報告したいと考えているが、鉄道 OD を所与とした固定需要型配分の結果では、混雑を考慮した均衡配分が All or Nothing 配分よりも再現性が高く、経路選択の不確実性を考慮できる確率均衡配分モデルの再現性がさらに高くなることを確認している。

時間帯の幅は 1 時間とし、発時刻毎に集計したデータを利用する。これは、鉄道の混雑現象を現実味のある形で表現するのに必要な時間幅と判断したためであるが、今回の広域な対象地域では、この時間幅では時間帯内に目的地に到着できない残留交通の影響が大きいものとなっており、モデルの改良を含めて今後の課題としておきたい。

モデル適用の基準年次は、PT 調査の実施された H10(1998)年を想定するが、入手の都合上、リンク交通量の照合などの各種データとは若干の年次の違いが生じていることに、注意が必要である。

表-1 ネットワーク要素数

	ノード数	リンク数	ダミーリンク数
自動車	10,692	22,911	1,324
鉄道	2,177	4,620	3,426

(2) トリップ目的区分と発生モデルの扱い

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、貨物車は、鉄道への転換は無いものとする。

(6)式のトリップ発生モデルには、対象ゾーンの交通サービス水準を示す $S_p^*(t)$ が導入されており、交通施設整備によるアクセシビリティ改善による狭義の誘発交通の存在を考慮したモデルが構築できる。一方、発生モデルに、このアクセシビリティ指標を導入しない場合、発生モデルと、それ以降の分布・分担・配分段階を独立に計算

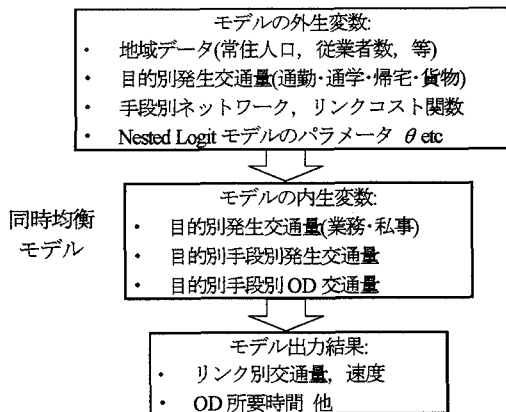


図-2 モデルの全体構造

しても、同時に計算しても同じ結果が得られる。実際に誘発交通が起こりうる具体的なトリップ目的は業務・私事目的と言え、これらの目的では(6)式型の発生モデルを推計することとする。他方、業務・私事目的以外では、発生モデルは扱わず、発生交通量を外生的に与えることとした。本稿では、同時均衡モデルの構築と適用に主眼があるためである。今回、トリップ生成要因人口指標 N_i^j は、業務目的では従業人口、私事目的では昼間人口(従業人口+非就業就学人口)を用いるが、この値を発生モデルから計算されるトリップ発生確率に乘じることで時間帯別の発生交通量が算出されることになる。従来のモデルと比較すると、本モデルは、原単位法の発生モデルの原単位をロジット型の確率モデルで表現している形式といえる。今回、外生的に与えた私事・業務目的以外の発生交通量は、将来予測の際には、時間帯別の発生交通量モデル²¹⁾等で別途推定する必要がある。また、本来ならば、帰宅目的の交通量も、業務・私事目的の誘発交通に付随して変動することになるが、今回はモデルの構造上、それらは考慮しないものとする。

結局、今回の適用でのモデルの全体構成は図-2 のようになる。目的別手段別の OD 交通量がモデルの内生変数として取り扱われ、OD 間所要時間などの変数がモデル内部で一致した値となっている点が特徴である。

4. パラメータの推定

(1) パラメータの推定方法

統合均衡モデルのパラメータの推定法に関して、多くの手法があるが^{21, 7, 22, 23, 24)}、本研究では、次のような段階推定法を用いる。基本的な考えとして、現状の交通状況が、前述の Nested Logit 型の確率的利用者均衡状態にあると仮定する。その上で、図-1 の下位から順に、段階推定を行う。ある段階で推定されたパラメータを元に、その段階における期待最小費用を計算し、その上位の段階

の推定に用いることを繰り返す。推定は基本的に最尤推定で行うが、選択枝数が膨大となる目的地選択に関しては、後述のように最小二乗法も併用する。

(2) パラメータ推定結果

推定結果の一部を表-2, 3 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、目的別に、

$$\theta_1 > \theta_2 > \theta_3 > \theta_4$$

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っていることが確認できる。なお、データ入手の都合上、拡大後の PTOD 表を基本的な対象サンプルとしているため、 t 値は全体的に高めの値を示している¹⁾。以下に推定法、外生的に設定したパラメータなどを詳しく述べる。

(a) 経路選択モデルのパラメータ

経路選択の実データは、現状では観測が困難であるため、経路選択パラメータは、手段別 OD を所与とした固定需要型配分におけるキャリブレーションにより求めることとした²⁾。この結果、自動車は $\theta_1^{car} = 0.5$ (/min)、鉄道は、 $\theta_1^{rail} = 0.05$ (/min) と定められた。鉄道のパラメータが小さな値となっているのは、料金抵抗、乗換抵抗の個人差、ゾーンの空間集計誤差の影響を表現しているためと

表-2 通勤 通学 手段・目的地・経路選択モデル推定結果

	トリップ目的	通勤		通学	
		推定値	(t 値)	推定値	(t 値)
手段	期待最小費用 $-\theta_3$	-0.017	(-808.9)	-0.012	(-164.)
	定数項	-4.44	(-687.9)	-2.65	(-81.2)
	尤度比指数 ρ^2	0.16		0.69	
目的地 自動車	$\ln(\text{ゾーン面積})$	1.00	(-)	1.00	(-)
	期待最小費用 $-\theta_2^{car}$	-0.041	(-156.8)	-0.047	(-74.2)
	$\ln(\text{就業者数密度})$	-0.06	(-5.5)		
	$\ln(\text{従業者数密度})$	0.56	(150.1)		
	$\ln(\text{従学者数密度})$			0.30	(21.9)
	サンプル数 N	6,328		876	
経路 自動車	相関係数 R	0.80		0.62	
	回帰係数 a	0.54		0.35	
	一般化費用 $-\theta_1^{car}$	-0.50	(-)	-0.50	(-)
目的地 鉄道	$\ln(\text{ゾーン面積})$	1.00	(-)	1.00	(-)
	期待最小費用 $-\theta_2^{rail}$	-0.022	(-131.5)	-0.019	(-97.9)
	$\ln(\text{就業者数密度})$	-0.31	(-33.8)		
	$\ln(\text{従学者数密度})$			1.002	(256.8)
	$\ln(2 \text{ 次従業者数密度})$	0.17	(6.4)		
	$\ln(3 \text{ 次従業者数密度})$	1.03	(44.1)		
経路 鉄道	サンプル数 N	8,028		5,770	
	相関係数 R	0.87		0.81	
	回帰係数 a	1.04		0.73	
	一般化費用 $-\theta_1^{rail}$	-0.05	(-)	-0.05	(-)

注) t 値を(-)としたものは、キャリブレーションにより求めたもの、もしくは、対象パラメータを固定して推定しているもの。

考えられ、単純に利用者の経路選択の認知誤差が自動車よりも鉄道が大きいと想定しているわけではないことに注意が必要である。これらの θ_1 のもとで、現状の手段別OD表を各手段のネットワークに確率均衡配分して得られるOD間手段別期待最小費用の値を利用して、以降の推定は行っている。

(b) 選択肢集合の確率的形成を考慮した目的地選択モデルの推定

吉田、原田²⁵⁾は、集計型の目的地選択モデルについて、PTデータのゼロトリップODの存在を利用し、選択肢の選別過程を考慮した2つのモデルを提案している。本研

究では、それらのモデルのうち、簡便で利用しやすい「選択肢自己サンプリングのモデル(SSA)」を利用し、目的地選択のパラメータを推定した。推定法の詳細は省略するが、まずPT調査のあるODペアに、トリップが存在するか否かのデータから、目的地選別の2項選択モデルを推定する。その後、ゼロトリップを除くODサンプルを対象に、最小二乗法による目的地選択モデルの推定を行う。これらの選別-選択型のモデルは、ある一定の仮定²⁵⁾が成立する条件下で、(2)式と同形式になるため、本研究のフレームにも適用可能となる。また、任意のゾーニングに対して選択確率の加法性が成立するような、効用関数形を設定している。

紙面の都合上、選別モデルの推定結果は省略し、選択モデルの推定結果のみを示している。どの目的において、着ゾーンの関連する人口指標を変数に含むことができていて、鉄道利用の目的地選択モデルの精度は比較的高いが、自動車利用のモデルの精度は、十分ではなく、改善の余地がある。また、通常のMNLモデル型の目的地選択モデルも推定したが、選択肢の選別を考慮する上記モデルが、より高い現状再現性を有することを確認している。

(c) 手段選択モデル

業務・私事目的の手段選択モデルには、発ゾーンが、山手線内、山手線外-23区内に対応して、山手線ダミー、23区ダミーの地域ダミーを導入している。これらは、東京都心部へ鉄道で通勤する利用者が、勤め先からの業務私事目的での移動において、利用手段が鉄道に限定されることを表現していると解釈される。なお、定数項を含めて、これらのダミー変数は、鉄道の効用項に導入しているため、この推定値が高いほど鉄道の選択率が高い状況になる。また、トリップ目的別に定数項の値は大きく異なっており、トリップ目的別のモデル化の有効性がうかがえる。

(d) トリップ発生選択モデル

発生モデルの説明変数には、発ゾーンのアクセシビリティを示す期待最小費用と時間帯ダミー、および発ゾーンの人口指標を利用している。発ゾーンの人口指標は、例えば業務目的では、従業者数のうち3次産業従業者の割合が多いゾーンのトリップ発生確率が高いという状況を表現している。

なお、本モデルは、経路選択モデルの段階において、外生的に与えた時間価値で通行料金等を一般化費用に変換して推定を行っている。したがって、パラメータの推計結果には料金等の政策変数は明示的には表れていないが、本モデルは料金や時間で表現される一般的な政策を評価可能である。将来的には時間価値も内生的に推定することが課題となる。

表-3 業務 私事 トリップ発生・手段・目的地・経路
選択モデル推定結果

	トリップ目的	業務		私事	
		推定値	(t値)	推定値	(t値)
発生	時間帯	09-18 時台		10-16 時台	
	期待最小費用 $-\theta_4$	-0.006	(-218.1)	-0.003	(-192.)
	3次従業人口比率	1.122	(128.1)		
	無職人口比率 ^{注)}			1.458	(240.)
	時間帯別のダミー				
	9 時台	0.995	(252.5)		
	10 時台	1.231	(321.9)	0.186	(77.4)
	11 時台	1.215	(317.5)	0.009	(3.8)
	12 時台	0.793	(196.7)	-0.193	(-73.8)
	13 時台	1.329	(351.3)	-0.005	(-2.)
	14 時台	1.211	(316.4)	-0.132	(-51.1)
	15 時台	1.217	(318.)	-0.122	(-47.4)
	16 時台	1.055	(270.4)		
	17 時台	0.826	(203.4)		
手段	定数項	-7.515	(-1149.)	-6.247	(-752.)
	相関係数 R	0.978		0.827	
	回帰係数 a	0.95		0.81	
	期待最小費用 $-\theta_3$	-0.016	(-248.5)	-0.018	(-409.)
	山手線ダミー	1.210	(306.5)	0.810	(205.7)
	23 区ダミー			0.347	(93.6)
	定数項	-11.26	(-297.7)	-6.09	(-436.)
	尤度比指数 ρ^2	0.28		0.14	
目的地 自動車	$\ln(\text{ゾーン面積})$	1.00	(-)	1.00	(-)
	期待最小費用 $-\theta_2^{car}$	-0.033	(-143.5)	-0.036	(-127.)
	$\ln(2\text{次従業者数密度})$	0.15	(4.5)		
	$\ln(3\text{次従業者数密度})$	0.38	(13.0)	0.36	(76.8)
	サンプル数 N	7,389		5,042	
	相関係数 R	0.81		0.69	
	回帰係数 a	0.50		0.34	
経路 自動車	一般化費用 $-\theta_1^{car}$	-0.50	(-)	-0.50	(-)
目的地 鉄道	$\ln(\text{ゾーン面積})$	1.00	(-)	1.00	(-)
	期待最小費用 $-\theta_2^{rail}$	-0.018	(-78.6)	-0.021	(-108.)
	$\ln(3\text{次従業者数密度})$	1.10	(212.2)	0.86	(214.6)
	サンプル数 N	3,131		5,976	
	相関係数 R	0.97		0.78	
	回帰係数 a	0.88		0.66	
経路 鉄道	一般化費用 $-\theta_1^{rail}$	-0.05	(-)	-0.05	(-)

注) 無職人口比率=非就業非従業人口/昼間人口、
昼間人口=非就業非従業人口+従業人口

5. 均衡計算結果

(1) 計算アルゴリズムの比較

推定されたパラメータを元に、時間帯ごとに統合均衡配分計算を行った。アルゴリズムとしては、前述したように、起点別リンク交通量を利用した部分線形化法(PL)と、逐次平均法(MSA)の2種類がある。これらのパフォーマンスの比較を、代表的な時間帯について表-4にまとめる。まず、今回対象とした大規模ネットワークにおいても、短時間で収束解が得られていることが分かる^[3]。繰り返し計算1回あたりの計算時間は、MSAがPLよりも少ない。これは、PLは、繰り返し計算毎に目的関数の1次元探索を行うが、今回の大規模ネットワークでは、この1次元探索のコストが無視できない量になっていることを意味する。ただし、PLは、この1次元探索で目的関数の情報を利用しつつステップサイズを決めているため、収束までの繰り返し計算の回数は、MSAよりも少なく済む。

図-3には、09時台について、横軸に計算経過時間、縦軸にその経過時間における各計算法による目的関数値を描いた比較図を示す。ここで、2つの計算法の差が明確になるように、収束した計算時間付近での拡大図を示している。まず、どちらの計算法においても、目的関数は単調に減少していることが確認できる。計算時間の初期

表-4 アルゴリズムの比較

時間帯	アルゴリズム	繰り返し1回あたりのCPU時間	収束までの繰り返し回数	収束までのCPU時間
01時台	MSA	8.4(s)	36	305(s)
	PL	26.2(s)	5	131(s)
09時台	MSA	8.1(s)	45	363(s)
	PL	25.8(s)	31	801(s)

注)CPU 2GHzの計算機による。また、収束基準は、以下のリンク交通量の最大変化率 $\varepsilon < 0.1$ を用いた。

$$\varepsilon = \max_{m,a} \left\{ \left| \frac{x_a^{m,(n+1)} - x_a^{m,(n)}}{x_a^{m,(n)}} \right| \right\}$$

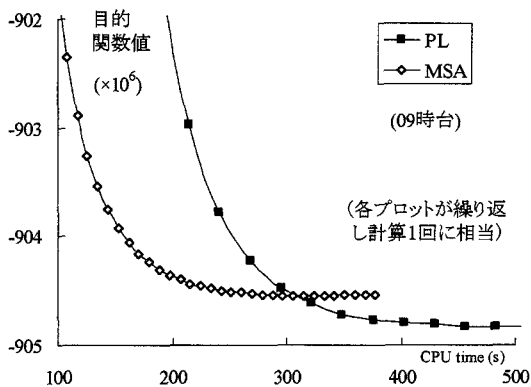


図-3 目的関数の収束状況の比較

においては、MSAがPLよりも目的関数値は小さいが、計算時間が進むにつれ、MSAは目的関数の降下が極めて緩慢になり、途中からはPLによる目的関数値が小さくなっている。目的関数値が小さいほうが、今回求めるべき均衡解に近い解となることから判断すると、MSAでは、未だ均衡解と離れた状況で収束しているといえる。また、同様な図を01時台についても描いたところ、MSAでは、計算時間の後期において目的関数が漸増する現象が観察された。これらは、MSAでは、2(3)で述べたDialのアルゴリズムの問題点が顕在化したためと考えられる。このMSAの収束解と均衡解との乖離度を具体的に計測するため、PLを多数回繰り返して得た真の均衡解とMSAの収束解のリンク交通量相互のRMSEを求めた。この値は、09時台の自動車リンク交通量で73.5(台/時)、鉄道リンク交通量で50.0(人/時)となり、集計的なフローパターンにも若干の差が生じていることが分かった。

従って、MSAは均衡解を簡便に求めるためには有効な計算法であるが、得られた収束解が必ずしも求めるべき均衡解と一致しないことに十分な注意が必要であるといえる。表-4において、09時台で、収束までの総計算時間は、MSAがPLよりも短い結果となっているが、MSAでのこの時間は、求めるべき解とは異なった点までの計算時間に過ぎない。最終的に求めるべき均衡解を与えるのはPLであり、以降ではPLによる計算結果を提示する。

(2) 現状再現性

ここでは、モデルの最終出力結果について、現状再現性の比較を行う。本モデルは手段別OD表を変動需要としている点が特徴の一つであり、まずその再現性をみる。図-4に、通勤目的トリップの距離帯別の手段別OD交通量の適合度を示す。若干の系統的バイアスが見受けられるものの、全体的には手段分担を含めて良好な再現性があることが確認できる。なお、この図の解釈においては、

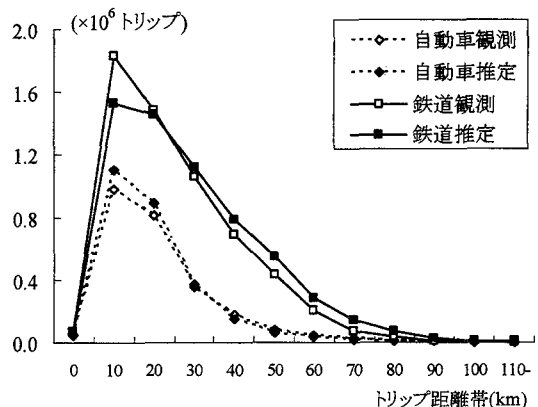


図-4 トリップ距離帯別にみた手段別分布交通量の再現状況 (通勤トリップ 全日)

本研究のモデルは、PT 中ゾーンという比較的大きなゾーンで、ゾーン内々交通量を分析から除外していることに注意が必要である。

さらに、モデルの最終出力結果を集計した指標として、自動車昼間 12 時間リンク交通量、鉄道全日リンク交通量、自動車 OD 所要時間、目的計手段別 OD 表についての現状再現性を表-5、図-5 にまとめる。また、比較のため、

表-5 現状再現性指標

指標	モデル	相関係数	回帰係数	RMSE
自動車 リンク交通量	固定 (a)	0.72	0.73	11,740 (台)
	統合 (b)	0.75	0.90	14,313 (台)
鉄道 リンク交通量	固定 (c)	0.95	0.82	122,615 (人)
	統合 (d)	0.94	1.16	139,263 (人)
自動車 OD 所要時間	固定 (e)	0.51	0.91	31.56 (分)
	統合 (f)	0.65	0.84	20.50 (分)
自動車 OD 表	統合	0.86	0.56	1,498 (台)
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。記号(a)-(f)は図-5 と対応している。

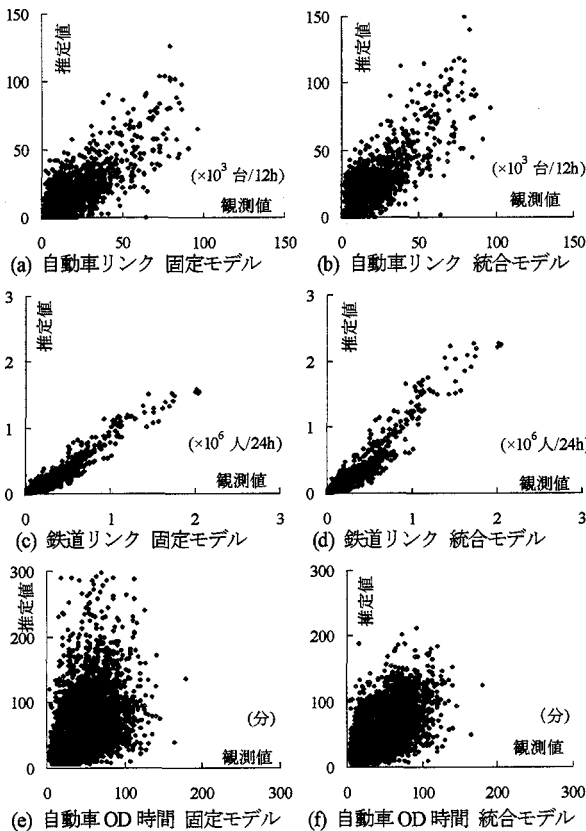


図-5 手段別リンク交通量 OD 所要時間の再現性

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。

図-5(a)-(d)からは、鉄道リンクの適合度が道路の適合度よりも高いようにみえるが、そもそもの経路選択の自由度が異なるためこれらは一概に比較できるものではない。道路リンクの再現性は必ずしも十分ではないが、これは統合モデルに限らず固定需要モデルにおいても共通の課題であり、リンクコスト関数の設定法の改善²⁹⁾などにより改良が期待されるものである。

図-5(e),(f)の自動車 OD 所要時間で見た場合、固定需要モデルで過大推計であった箇所が統合モデルでは改善されていることが読み取れる。これは、固定需要モデルは、OD 表の観測誤差の影響を受けやすいのに対して、統合型モデルでは、そのような OD 表の偏りを弾力的に吸収しているためと考えられる。

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。なお、Nested Logit モデルの推定の際に、時間帯別の推定や、多数の地域別ダミーの導入などを行えば、現状再現性は更に向上すると考えられるが、地域別ダミーが θ の推定値に与えるバイアスの問題、推定値の将来予測時の安定性の問題が生じる。本稿では、モデルに含まれるパラメータ数を必要最低限に絞り推計していることを付記しておきたい。

6. おわりに

本研究は、トリップ目的別の枠組みで発生・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を構築し、東京都市圏を対象として適用検討を行った。理論的には完成されている統合モデルを実務に適用していくためには、人間の行動分析で得られている多くの知見や、分析手法を積極的にモデルに取り入れていく必要があると考えられる。本研究で示したトリップ目的別のモデリングや、選択肢集合の確率的形成を考慮した目的地選択モデルの推定はその一例である。本研究ではこれらの改良により、モデルの現状再現性は高まり、今回対象とした大規模な都市圏においても統合モデルの有効性が確認できたといえる。

今後の課題としては、時間帯間の相互干渉の考慮、出発時刻選択の内生化が挙げられる。現在のモデルでは、時間帯間の残留交通を考慮していないことに起因すると考えられるピーク時の過大推計が生じている。また、通勤目的については、着地制約型の分布モデルを適用するなど目的ごとにモデル構造を変化させる発展も望ましいであろう。パラメータの推定に関しては、Nested Logit モデルの各段階の同時推定、さらには均衡フローとの同

時推定の必要がある。後者に関しては、収束の保証された推定アルゴリズムの開発が必要である。

統合モデルの各段階をより精緻化する発展も望ましい。道路交通のモデルについて高速道路転換率モデル^{27,28)}の組み込み、鉄道のモデルについては、アクセス・イグレス手段選択モデル²⁹⁾の導入、経路の途中での手段の変更の考慮³⁰⁾、などが挙げられる。これらは、すべて本研究のNested Logit モデルのフレームと理論的な整合性・一貫性を保った形で展開が可能である。また、Nested Logit モデルの誤差項の仮定を一般化した GEV モデル系のモデル(GNL モデルなど)への発展もありうる³¹⁾。Closed form 形のモデルであれば、等価な最適化問題が構築しやすいため均衡問題と整合的な展開が期待できる。

謝辞

なお、この研究の遂行に際し、東京都市圏交通計画協議会から、H10 年度東京都市圏 PT 調査のデータのご提供をいただいた。鉄道確率均衡配分モデルの構築には、東京大学大学院湯浅誠氏の協力を得た。また、匿名の査読者にも的確なご指摘と有用な修正意見を賜りました。厚くお礼申し上げます。

補注

- [1] 今回、PT 調査の個票データが入手できなかったため、拡大後のサンプルを真のサンプルと仮定しての推定作業を行っている。一般に、同一のサンプルセットを n 倍して推定を行うと、 t 値は、 $\sqrt{n}$ 倍になることが知られている。今回の場合で概算すると、PT 調査の抽出率が 1%(拡大率 100)と仮定すると、 t 値は、 $10(=\sqrt{100})$ 倍程度過大になっている可能性がある。ただし、仮にこれらの補正を行っても大多数の変数において統計的有意性の問題は生じない。
- [2] 具体的には、 θ_1 の値を少しずつ変化させて固定需要型配分を多数回実施し、リンク交通量の再現性が最も高くなる値に定めた。ただし、最終的に設定した θ_1 の近傍での再現性の違いは明確なものではない。
- [3] 今回の適用計算において計算時間が比較的短時間となった理由は次のようにまとめられる。
 - ・ 効率的なアルゴリズムを利用している。
 - ・ ネットワークに比して少ないゾーン数を設定した。
 - ・ 道路網に階層構造のネットワークを設定した^{18,13)}。
 - ・ 配分段階においては、単一の利用者区分を設定した。これらのうち後の 3 点については、それらの改良を加えた場合、計算時間は増加することになるが、今後の計算能力の向上で十分対応可能と考えられ、計算費用という観点では、統合型均衡モデルの適用上の問題は少ないといえる。

参考文献

- 1) 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。
- 2) Oppenheim, N.: *Urban travel demand modeling: from individual choices to general equilibrium*, John Wiley & Sons, N. Y., 1995。
- 3) 河上省吾, 石京: 多手段交通均衡モデルを用いた都市バス輸送計画の策定法に関する研究, 交通工学, Vol. 28, No. 5, pp.29-39, 1993。
- 4) 河上省吾, 石京: 公共交通システム解析のための分担・配分統合モデルの定式化とその実用性に関する研究, 土木学会論文集, No. 512/IV-27, pp.35-45, 1995。
- 5) 河上省吾, 石京, 藤田仁: 分担・配分統合モデルの改良と名古屋市鉄道計画の評価に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No. 12, pp. 657-664, 1995。
- 6) 杉野学, 河上省吾: 交通需要の統合型確率的利用者均衡モデルに関する実証的研究, 土木学会第 55 回年次学術講演会第 IV 部, IV-337, 2000。
- 7) Abrahamsson, T. and Lundqvist, L.: Formulation and estimation of combined network equilibrium models with application to Stockholm, *Transportation Science*, Vol. 33, No. 1, pp. 80-100, 1999。
- 8) Safwat, K. N. A.: Application of a simultaneous transportation equilibrium model to intercity passenger travel in Egypt, *Transportation Research Record*, 1120, pp. 52-59, 1987。
- 9) Safwat, K. N. A. and Walton, C. M.: Computational experience with and application of a simultaneous transportation equilibrium model to urban travel in Austin, Texas, *Transportation Research*, Vol. 22B, No. 6, pp. 457-467, 1988。
- 10) Hasan, M. K. and Al-Gadhi, S. A. H.: Application of simultaneous and sequential transportation network equilibrium models to Riyadh, Saudi Arabia, *Transportation Research Record*, 1645, pp. 127-132, 1998。
- 11) Hasan, M. K. and Safwat, K. N. A.: Comparison of two transportation network equilibrium modeling approaches, *Journal of Transportation Engineering*, ASCE, Vol. 126, No. 1, pp. 35-40, 2000。
- 12) Kaneko, Y., Fukuda, A., Srisurapanon, V., and Oda, T.: Estimation of the impact of area license scheme with multi-class user equilibrium model, *Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 4, No. 2, pp. 277-291, 2001。
- 13) Maruyama, T., Muromachi, Y., Harata, N., and Ohta, K.: The combined modal split/assignment model in the Tokyo metropolitan area, *Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 4, No. 2, pp. 293-304, 2001。
- 14) 円山琢也, 室町泰徳, 原田昇, 太田勝敏: 分担配分統合モデルを用いた東京圏における混雑料金政策評価, 第 21 回交通工学研究発表会論文報告集, pp. 93-96, 2001。
- 15) Akamatsu, T.: Decomposition of path choice entropy in general transport networks, *Transportation Science*, Vol. 31, No. 4, pp.

- 349-362, 1997.
- 16) Akamatsu, T.: Cyclic flows, markov process and transportation stochastic assignment, *Transportation Research*, Vol. 30B, No. 5, pp. 369-386, 1996.
 - 17) Leurent, F.M.: Curbing the computational difficulty of the logit equilibrium assignment model, *Transportation Research*, Vol. 31B, No. 4, pp. 315-326, 1997.
 - 18) 奥平剛次, 室町泰徳, 原田昇, 太田勝敏: 東京圏の自動車交通による排出ガス削減施策の効果分析, 第 20 回交通工学研究発表会論文報告集, pp. 221-224, 2000.
 - 19) 運輸省運輸政策局監修: 平成 11 年版都市交通年報, 2000.
 - 20) 志田州弘, 古川敦, 赤松隆, 家田仁: 通勤鉄道利用者の不効用関数のパラメータの移転性に関する研究, 土木計画学研究・講演集, No. 12, pp. 519-525, 1989.
 - 21) 松井寛, 藤田素弘, 神谷英次: 時間帯別発生集中および分布交通量の予測手法に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No. 9, pp. 77-84, 1991.
 - 22) 河上省吾, 溝上章志: 分担・配分結合モデルを用いた手段選択関数と均衡交通量の同時推定法, 土木学会論文集, No. 371/IV-5, pp. 79-87, 1986.
 - 23) Hicks, J. E. and Abdel-aal, M. M.: Maximum likelihood estimation for combined travel choice model parameters, *Transportation Research Record*, 1645, pp. 160-169, 1998.
 - 24) Boyce, D. E. and Zhang, Y. F.: Parameter estimation for combined travel choice models, in Lundqvist, L. et al. (eds.), *Network Infrastructure and the Urban Environment*, Springer, pp. 177-193, 1998.
 - 25) 吉田朗, 原田昇: 選択肢集合の確率的形成を考慮した集計型目的地選択モデルの研究, 土木学会論文集, No. 618/IV-43, pp. 1-13, 1999.
 - 26) 吉田禎雄, 原田昇: 均衡配分用 BPR 式パラメータの推計, 土木学会論文集, No. 695/IV-54, pp. 91-102, 2002.
 - 27) 松井寛, 藤田素弘: 高速道路を含む都市圏道路網における利用者均衡配分モデルの実用化に関する研究, 土木学会論文集, No. 653/IV-48, pp. 85-94, 2000.
 - 28) 松井寛, 藤田素弘: 大都市圏道路網を対象とした拡張型利用者均衡配分モデルの開発とその実用化, 土木計画学研究・論文集, No. 17, pp. 15-28, 2000.
 - 29) 吉田朗, 原田昇: 鉄道の路線・駅・結節交通手段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.
 - 30) 溝上章志, 河内誠: Mixed Mode ネットワーク均衡モデルによる P&R システムの需要予測, 土木計画学研究・論文集, No. 17, pp. 613-622, 2000.
 - 31) Bekhor, S. and Prashker, J. N.: Stochastic user equilibrium formulation for Generalized Nested Logit model, *Transportation Research Record*, 1752, pp. 84-90, 2001.

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*

円山 琢也**・原田 昇***・太田 勝敏****

旧来の四段階推計法について段階推計であることと行動論的基盤の欠如の問題点が指摘されている。これらの問題を解決可能な交通需要統合モデルは理論的には確立されているもの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った。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。適用計算の結果、本モデルは従来の固定需要モデルと同等程度の良好な再現性が得られることを確認した。

Application of a Combined Network Equilibrium Model to Mega Metropolitan Area*

By Takuya MARUYAMA**, Noboru HARATA***, and Katsutoshi OHTA****

The combined equilibrium models can overcome some problems of the conventional Four Step Models, but these models have rarely applied to a real metropolitan area. In this study, we build a Nested Logit type combined trip generation, trip distribution, modal split, and assignment model with stochastic user equilibrium in both automobile and railway networks, and apply this model to Tokyo Metropolitan Area. We formulate models for each traveler's trip purposes in trip generation, trip distribution, and modal split phase and the final results show good reproduction accuracy.