

都市交通戦略の策定に向けた統合型交通需要予測手法の開発 *

Development of a Comprehensive Transport Demand Forecasting Method for Urban Transport Strategies *

金森 亮 **・三輪富生 ***・山本俊行 ****・森川高行 *****

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

1. はじめに

自動車交通量配分業務におけるより論理的で客観的な説明責任への対応として、利用者均衡配分モデルをはじめとした均衡モデルの適用が勧められており、それを目的としたテキスト¹⁾も刊行されている。また、確率的利用者均衡配分モデル、マルチクラス配分モデル、時間帯別利用者均衡配分モデルなど、様々な前提条件を緩和するモデルの開発により、交通量配分業務への適用は問題がない環境にあるといえよう。

一方、近年の交通政策はネットワーク整備のようなハード施策に加えて、TDM（交通需要マネジメント）に代表されるソフト施策を対象とすることが多く、導入評価の際には自動車のリンク交通量や旅行時間に加えて、交通手段別OD交通量や個人人の交通行動の変化を算出することが求められる。つまり、配分交通量に加えて、四段階推定法という発生・分布・分担の各段階の交通量を分析対象とする必要がある。都市圏レベルの交通需要予測手法として実用化されている四段階推定法であるが、TDMの評価モデルとしては多くの問題が指摘されている。例えば、北村²⁾は、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、行動論的基盤の欠落、各段階間の交通サービスレベルの不整合、誘発需要の把握不可、時間軸の欠落、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。これらの指摘事項より、四段階推定法のある段階（配分段階など）のモデル改良だけでは効果的な対処とはならず、総合的・統合的に交通行動を扱った新たな都市圏レベルの交通需要予測手法の開発が必要であることが分かる。

著者らは、四段階推定法に代わる新たな都市圏レベルの交通需要予測手法の開発として、発生段階から配分段階までを均衡モデルの枠組みで統合し、時間帯別均衡

配分モデルを組み込んだ“活動選択を考慮した時間帯別・統合均衡モデル”（以下、開発モデル³⁾）を構築し、名古屋都市圏に適用している。本稿では、この開発モデルの概要、これまでの改良と残された課題を紹介するが、今後の都市圏レベルの交通需要予測手法の開発・改良に関する話題提供となれば幸いである。

2. 従来の統合型交通需要予測手法の整理

総合的・統合的に交通行動を扱った交通需要予測手法はこれまでに多数提案されており、時空間上の活動との関係で交通を捉えるActivity-Based Approachは有力な考え方である。最近では、Bowman and Ben-Akiva⁴⁾がNested Logitモデルを用いて1日の活動スケジュールリングを詳細に表現している。また、個人の活動・交通行動選択を逐次的な意思決定と仮定したモデル[PCATS]と、相互依存関係にある交通サービスレベルを動的交通流シミュレーター[DEBNetS]にて算出し、これらを繰り返し計算によって組み合わせたマイクロシミュレーターが開発され、実都市圏に適用されている⁵⁾⁶⁾。

均衡モデルを拡張した統合均衡モデルも四段階推定法の部分的な代替モデルとして数多く提案され、発生段階まで全て統合したモデルも理論的に構築⁷⁾されている。しかし、実都市圏への適用は円山⁸⁾、著者³⁾と少ない。円山⁸⁾は移動目的別に時間帯別・確率的統合均衡モデルを構築し、自動車に加えて鉄道ネットワークでも混雑現象を考慮している点が特徴であるが、トリップ単位の分析であることが課題として挙げられる。著者らの開発モデルについては3章で概説するが、時間帯別均衡配分モデルにActivity-Based Approachの考え方を導入することで、個人の活動・交通行動の前後の連関性を考慮でき、各時間帯の滞在箇所を把握できるように工夫したものである。

ここで、開発モデルとマイクロシミュレーターは良く似た特徴を有するが、開発モデルは交通サービスレベルの内部整合性を厳密に考慮でき、マイクロシミュレーターは個人の活動・交通行動を詳細に表現可能なモデル導入に関する制約が少ない利点がある。そのため、交通需要予測と所要時間短縮効果などを中心とした便益評価を行うのであれば、均衡モデルを拡張した開発モデルを適用することが望ましいといえる。

*キーワード：交通ネットワーク分析，交通行動分析，TDM

**正会員，博（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C1-3（651），TEL:052-789-3730，
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
（TEL:052-789-3565，E-mail:miwa@civil.nagoya-u.ac.jp）

****正会員，博（工），名古屋大学大学院工学研究科
（TEL:052-789-4636，E-mail:yamamoto@civil.nagoya-u.ac.jp）

*****正会員，Ph.D.，名古屋大学大学院環境学研究所
（TEL:052-789-3564，E-mail:morikawa@nagoya-u.jp）

3. 開発モデルの概要

各時間帯（本稿では1時間と設定）における個人の活動・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．活動内容選択としては、PT調査の代表的な移動目的区分である出勤、登校、自由、業務、帰宅に加えて、滞在箇所〔同一ゾーン〕での滞在（移動しない）を導入している．また、滞在箇所〔施設〕によって活動内容の選択肢集合は異なるため、個人の滞在箇所として自宅、勤務先・通学先、その他外出先の3箇所に区別してモデルを適用する．目的地選択としては、滞在ゾーンと同一のゾーンも選択肢集合に入れることで内々交通を再現できるようにしている．交通手段選択としては、自動車、鉄道、バスに加えて、内々交通や短距離移動の際に主に利用される自転車・徒歩を導入する．

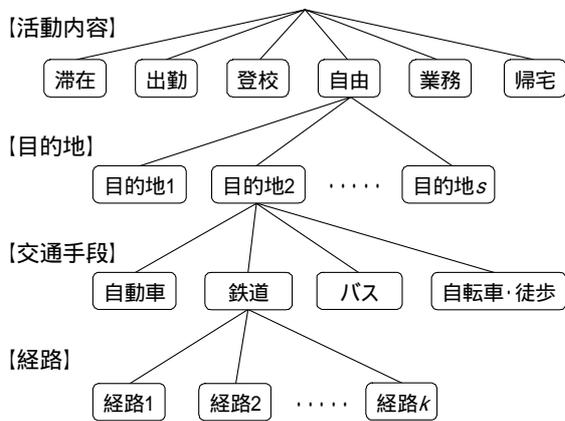


図-1 活動・交通行動の選択ツリー構造

滞在活動や内々交通も含めてモデル化することで、各時間帯の各個人の滞在箇所を連続的に把握することができ、基準時刻から逐次的にモデルを実行することで1日の個人の活動・交通行動を再現することができる。同時に、前時間帯までの活動・交通行動履歴も反映することができるため、活動・交通行動の前後の連関性（トリップチェーン）や誘発需要をより適切に把握できる特徴を有する。

活動・交通行動モデルのパラメータ推定はPT調査データを用いて個人属性による交通特性や直前トリップの利用交通手段、滞在時間などの影響を通常の非集計モデルのように導入し、推定時の入力データとなる交通サービスレベルは、プローブカーの蓄積データ⁹⁾から時刻別に算出したDRMリンク所要時間や鉄道・バスの各会社の時刻表から作成した精緻なデータを設定することで説明力向上を図っている。また、均衡配分実施時には、特に自動車は時間帯間の相互干渉（渋滞の影響）を考慮できる赤松ら¹⁰⁾の時間帯別利用者均衡配分モデル〔固定

需要型〕を導入しているため、通常の利用者均衡配分モデルよりも所要時間の再現性向上が期待される。

各時間帯における活動・交通行動と交通サービスレベルとの均衡状態は、等価最適化問題を解くことで算出することができる。等価最適化問題の定式化については、紙面の都合上本稿では記載しないが、詳細は既存研究³⁾ ¹¹⁾を参考されたい。

開発モデルの実行フレームは図-2の通りである。入力データは時間帯別交通サービスレベルデータ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）となる。つまり、基準時刻にゾーン毎に個人属性別夜間人口を設定すれば、開発モデルを逐次的に実行することで、PT調査データと同程度の各個人の活動・交通行動に関する情報を内生的に算出することができ、TDMの導入評価などで必要となる詳細な出力データを得ることができる交通需要予測モデルである。

〔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閾値パラメータ、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/イグレス距離)
- ・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(滞在于者数+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)
滞在于者数、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 実行フレーム

4. 実都市圏への適用

開発モデルの有効性・実用性の検証として、大都市圏レベルに相当する名古屋都市圏（名古屋市を中心とした約40km圏域）に適用する。

活動・交通行動モデルのパラメータ推定は2001年に実施された第4回中京都市圏PT調査データを用いて最尤推定法にて行い、ゾーンレベルは名古屋市内はPT調査最小区分である小ゾーン（市内を259区分）、名古屋市外は基本ゾーン（256区分）とした。基準時刻（本稿では午前3時）の属性別夜間人口の設定は、2000年国勢調査の夜間人口をゾーン毎に性・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・自動車保有有無の区分にて推計した約764万人である。また、活動・交通行動モデルの対象外である貨物車交通については、1999年道路交通センサスODデータより、時間帯別に集計した結果を配分している。

(1) 先行研究における問題点と改良方法

先行研究³⁾において、開発モデルを名古屋都市圏に適用した結果、以下の問題が発生した。

外出先からの自由・業務目的の発生量の再現精度が低く、午後1時以降に過小推計の傾向が強く、総生成量の再現率が84%である

内々交通の再現性が低く、10km未満の近距離トリップが過大推計の傾向にある

自動車OD交通量の過小推計が原因の可能性もあるが、プローブカーの観測値よりも自動車OD間所要時間の推計値が過小推計の傾向にある

これらの問題に対し、今回は以下のような改良を行い、現況再現性の向上を目指す。

1) 先行研究では、均衡解の一意性を保証するため交通量を連続変数として扱っている。しかし、開発モデルの交通量は個人属性に加えて、直前トリップの移動目的と利用交通手段、自宅ゾーンと自宅出発時の利用交通手段などの活動・交通行動履歴が各レベルの選択確率算出時に必要となり、基準時刻より逐次的に実行されるため、ある時間帯以降は非常に小さな交通量が算出される。そのため、計算上の桁落ちを防ぎ、都市圏全体の人口を保持するために、0.001以下に算出された交通量は選択確率の高い選択肢に吸収させる補正を最終ステップ（均衡状態成立後）に行っていた。つまり、外出先における自由・業務目的など発生確率が低い活動は滞在・帰宅に吸収させられる可能性が高いため、午後1時以降は発生量が過小推計になっていたと考えられる。従って、本稿では、基準時刻に設定する個人属性別夜間人口を一人ひとり個別に扱い、最終ステップではシミュレーションと同様、0-1の一樣乱数を発生させて離散的に選択させることとする。この際、均衡解の一意性は保証されないものの、複数回実行した各交通量の平均値は均衡解とみなせ、標準偏差などから交通量の分布を算出することもでき、前提条件である人口設定に加えて予測モデル自体の不確実性を考慮、つまり予測値に幅を持たせることができる。

2) 先行研究では、目的地選択モデルのパラメータ推定の際、全てのゾーンが同程度の確率で選択可能であると仮定し、20ゾーンの選択肢集合をランダム抽出

により作成し、選択肢別抽出標本における定数項補正¹²⁾として内々ダミーの補正を行っていた。しかし、内々交通は全体の2割以上と実際の選択確率は高く、また、近いゾーンは目的地として選択されやすい傾向にある。従って、本稿では、効率的な推定用選択肢集合の設定方法¹³⁾を参考にして、選択ゾーン、内々ゾーン、同一市区町村内ゾーン、同一地域内ゾーンに区別し、それぞれの層からランダム抽出を行い、内々ダミーが全サンプルに含まれるようにしてパラメータ推定を行うこととした。

3) 自動車OD間所要時間は交通手段選択に大きな影響を及ぼすため、高い再現精度が求められる、そのため、先行研究では、プローブカーの観測値が作成したネットワークでも再現されるよう、地域特性パラメータによる補正¹⁴⁾を行った。道路交通センサスの時間帯別ODデータを時間帯別均衡配分したが、補正パラメータは全時間帯で統一させていた。従って、本稿では、時間変動など更なる再現性向上に向け、時間帯別に補正パラメータを推計することとした。

(2) 現況再現性の確認

開発モデルの名古屋都市圏への適用として、PT調査データと推計値との比較を行う。本来であれば、複数回の計算を行い各交通量の平均値や標準偏差にて現況再現性を検証すべきであるが、今回は1回だけのシミュレーション結果で検証している。複数回の計算結果による検証は稿を改めて報告したい。

時間帯別発生量の再現性をみると（図-3）、発生量の時間変動は精度良く再現されており、総量再現率は1.01倍と良好である。つまり、改良1)によって、都市圏の発生量の再現性は大きく改善されたことが分かる。また、生成原単位と外出率を検証すると、PT調査データはグロス：2.35トリップ/人日、ネット：2.70トリップ/人日であり、推計値はグロス：2.27トリップ/人日、ネット：2.64トリップ/人日、外出率はPT調査データ：86.9%、推計値：85.9%であり、共に良好であった。

続いて、帰宅目的と内々交通を除いたOD距離帯別の自動車/鉄道利用状況を見ると（図-4）、概ね妥当な再現性が確認できるが、20km以上で自動車利用が過小推

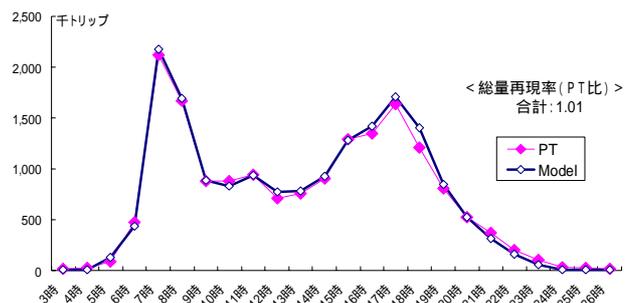


図-3 時間帯別発生量（都市圏計）

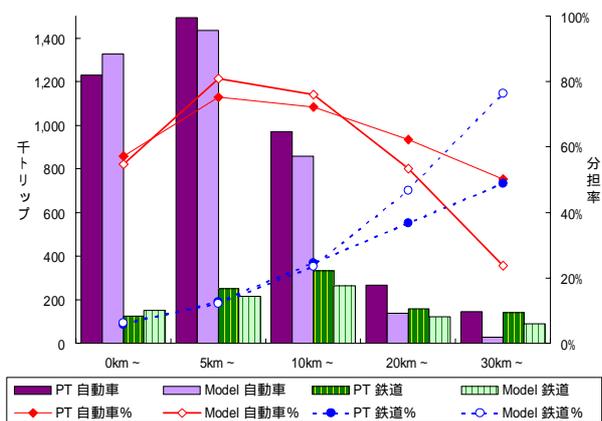


図 - 4 OD 距離帯別自動車/鉄道利用状況
(帰宅目的, 内々交通除く)

計の傾向が強い。原因としては、モデル適用時には推定時よりも郊外地域のゾーンが追加されており³⁾、地域特性を十分に反映できていないことなどが考えられる。内々交通に関しては、名古屋市内で1.08倍、市外で1.16倍と過大推計の傾向にあり、自転車・徒歩の分担率が大きく推計されたが、先行研究と比べると再現精度は向上しており、改良2)の効果はあったといえる。

ここで、名古屋市への集中量(目的別/交通手段別)を集計すると、集中量は合計で7%の過大推計となり、その原因は出勤・自由目的にあることが分かった。また、交通手段別では、自動車が過大、鉄道が過小推計となり、分担率ではそれぞれ3~4ポイントの差がみられた。

自動車のリンク交通量、OD間所要時間の再現性をみると、昼間12時間のリンク交通量は相関係数:0.84、回帰係数:1.07であり、昼間12時間のOD間所要時間は相関係数:0.94、回帰係数:0.67であった。自動車OD交通量の再現精度向上や改良3)による時間帯別の地域特性パラメータの導入によって、先行研究よりも改善しているが、OD間所要時間は依然として過小推計の傾向にある。これは、自動車交通量が中・長距離帯で過小推計であること、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などが考えられる。

以上の現況再現性の確認の結果、今回の改良によって総発生量の再現性は非常に高くなり、交通手段の利用構成も概ね妥当であることから、開発モデルはTDMなどの施策評価に資する交通需要予測手法であるといえる。一方、内生される自動車OD間所要時間や目的地選択の再現精度は依然として改良の余地があり、引き続きモデルの精緻化が必要である。

5. まとめと今後の課題

本稿では、四段階推定法に代わる都市圏レベルの交通需要予測手法として、著者らが開発中である“活動選択

を考慮した時間帯別・統合均衡モデル”を紹介した。先行研究からの改良により、都市圏全体の発生量の再現性は改善されたが、詳細なゾーンレベルにおける目的地選択、自動車OD間所要時間のさらなる精度向上の必要性が明らかになった。例えば、国勢調査の従業人口を与件としたり、複数回(時系列)のPT調査データによるパラメータ推定などにより、出勤・登校目的の目的地選択モデルの再現性は向上すると思われる。

一方、開発モデルはそのモデル構造によって、各時間帯内の活動回数を1回のみ限定している。今後は複数の活動を連続で行うことが増加するとも予想されるため、これらの考慮も重要な検討課題である。

最後に、先行研究で開発モデル適用の際に問題となった膨大な計算コストに関しては、スーパーコンピュータの利用とプログラムの並列化により、1日の計算時間が1ヶ月以上から1日程度にまで短縮することができ、十分な実用性が得られたことを報告しておく。

参考文献

- 1) 土木学会：道路交通需要予測の理論と適用 第 編 利用者均衡配分の展開，2006。
- 2) 北村隆一：交通需要予測の課題：次世代手法の構築にむけて，土木学会論文集，No.530/IV-30，pp.17-30，1996。
- 3) 金森 亮，三輪富生，森川高行：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，土木計画学研究・論文集，Vo.24 No.3，pp.545-556，2007。
- 4) Bowman, J.L. and Ben-Akiva, M.E.: Activity-based disaggregate travel demand model system with activity schedules, Transportation Research Part A, Vol.35 No.1, pp.1-28, 2001.
- 5) 藤井聡，菊地輝，北村隆一：マイクロシミュレーションによるCO₂排出量削減に向けた交通施策の検討 - 京都市の事例，交通工学，Vol.35 No.4，pp.11-18，2000。
- 6) 飯田祐三，岩辺路由，菊池輝，北村隆一，佐々木邦明，白水靖郎，中川大，波床正敏，藤井聡，森川高行，山本俊行：マイクロシミュレーションアプローチによる都市交通計画のための交通需要予測システムの提案，土木計画学研究・論文集，No.17，pp.841-848，2000。
- 7) 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。
- 8) 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。
- 9) 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.
- 10) 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。
- 11) 金森 亮：都市交通戦略の策定に向けた統合型交通需要予測手法の開発と適用，名古屋大学博士論文，2007。
- 12) 土木学会：非集計行動モデルの理論と実際，丸善，1995。
- 13) Ben-Akiva, M.E. and Lerman, S.R.: Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand, The MIT Press, 1985。
- 14) 土木学会：道路交通需要予測の理論と適用 第 編 利用者均衡配分の適用に向けて，丸善，2003。