

# トラフィックシミュレーションを用いた路側観測交通量からの動的OD交通量の推定

## Estimation of a Time Dependent OD Matrix from Traffic Counts Using Dynamic Traffic Simulation

吉井稔雄\*\*, 桑原雅夫\*\*\*, 赤羽弘和\*\*\*\*, 堀口良太\*\*\*\*\*

Toshio YOSHII, Masao KUWAHARA, Hirokazu AKAHANE, Ryota HORIGUCHI

### 1. はじめに

経路選択機能を内生化するネットワークシミュレーションモデルを用いて、交通状況を動的に再現することにより、新路線の建設、交通規制あるいは経路誘導などの交通施策によって交通流が受ける影響を、より詳細に評価しようとする試みがなされている。しかし、その入力として必要となる時間変動するOD交通量については、直接観測することが非常に困難であることから、比較的簡単に観測できる路側観測交通量を用いた推定方法<sup>1)</sup>が提案されている。この方法では、OD交通量を推定する際に、各交通が観測地点を通過するのかわからないのかといったOD交通量と観測交通量の関係を与える必要がある。しかし、OD推定の際に仮定する関係（経路選択確率）とシミュレーションにより達成される関係が一致しない場合には、推定されたOD交通量を用いてシミュレーションを実行しても、観測交通量が再現されるとは限らない。そこで、本研究では、推定されたOD交通量をもとにシミュレーションを実行した場合に、観測交通量が再現されるような、動的OD交通量の作成方法を提案する。さらに、実際のネットワークへの適用を通して、その推定精度とシミュレーションの再現精度との関係、あるいはどのような情報を付加すればより精度の高いODが得られるのかなどについて考察を加える。

### 2. 既往の研究

面的な広がりを持った道路ネットワークを対象として、リンクの路側観測交通量から動的なOD交通量を推定するモデルとしては、Nguyenら<sup>2)</sup>、Cascettaら<sup>3)</sup>、楊ら<sup>4)</sup>、Ashokら<sup>5)</sup>によって提案されているモデルがあげられる。しかし、これらのモデルは、順にリンクコストの時間変化を考慮していない、経路を列挙する必要があり複雑なネットワークでの適用が困難である、経路選択率に固定値を用いている、既存のOD交通量

や経路選択確率を必要とする、といった問題点をそれぞれに抱えている。また、小根山ら<sup>1)</sup>によって提案されたモデルでは、これらの問題点は解消されたものの、得られたOD交通量を用いてシミュレーションを実行した場合に、観測交通量を必ずしも再現する保障がないという問題点が残されている。

### 3. 動的なOD交通量の推定方法

本研究で提案するOD推定モデルは、小根山らによって提案されたモデル<sup>1)</sup>を基本としたものであり、大きく(a)OD交通量とリンク交通量（路側観測交通量）の関係の記述(b)エントロピー最大化法を用いたOD推定の2つの部分に分けられる（図1）。

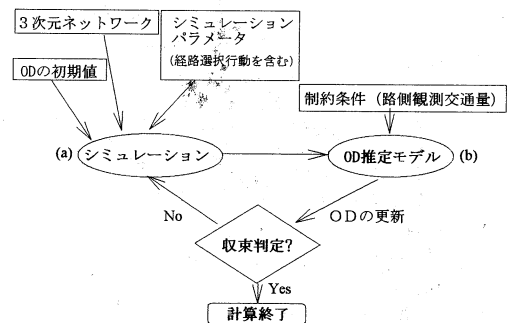


図1 OD推定の概要

まず、シミュレーションモデルを実行することで(a)の関係を求め、得られた関係をもとに(b)のOD推定を行う。このとき、一般には、推定されたODがシミュレーションに用いたODと異なるため、得られたODをもとに再度シミュレーションを実行しても、推定に用いた(a)の関係は達成されない。そこで、この2つの部分を繰り返し実行することで、推定されたOD交通量をもとにシミュレーションを実行した場合に、達成されるOD交通量とリンク交通量の関係が、推定に用いられた関係に一致するような、動的OD交通量を求めるのが本研究で提案するOD推定法である。その計算アルゴリズムを以下に示す。

**Step 0** OD交通量の初期値を設定

**Step 1** シミュレーションモデルを実行し、各OD交通

\*キーワード：分布交通、経路選択、ネットワーク交通流

\*\*正会員、工修、東京大学生産技術研究所

連絡先：〒106 港区六本木 7-22-1, TEL.03-3402-6231,

FAX 03-3401-6286, E-mail yoshii@nishi.iis.u-tokyo.ac.jp

\*\*\*正会員、Ph.D、東京大学生産技術研究所

\*\*\*\*正会員、工博、千葉工業大学 土木工学科

\*\*\*\*\*正会員、工博、(株)熊谷組 エンジニアリング本部

が、何時、どのリンクを通過するのかという、OD交通量とリンク交通量の関係を、時間的に動的に求める。

**Step 2** Step 1で得られた関係をもとに、エントロピー最大化法を用いて、OD交通量の推定を行う。

**Step 3** OD交通量を更新する。

**Step 4** 収束判定を行い、収束していれば計算終了。収束していなければ Step 1へ戻る。

### 3. 1 3次元ネットワーク

本モデルでは、図2に示すような3次元ネットワークを作成する。時間軸については、図2、図3に示すように時間間隔に分割する。例えばこのネットワーク上で、図3の軌跡に示されるように時刻  $t_r$  に起点を出発した交通がリンク  $a \sim f$  を通過して目的地に向かう場合には、3次元ネットワーク上で車両の軌跡は、図2に示す太線で表される。これは、時間間隔  $h_r$  ( $h_r \leq t < h_r + dt$ ) にリンク  $a, b$  を通過し、時間間隔  $h_r + dt$  にリンク  $c, d, e$  を通過し、時間間隔  $h_r + 2dt$  にリンク  $f$  を通過した後、目的地に到達することを示している。

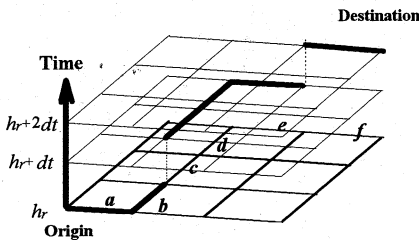


図2 3次元ネットワーク

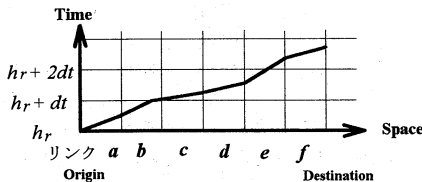


図3 Time-Space 平面上での車両の軌跡

### 3. 2 経路選択モデル

経路選択モデルには、Logitモデルを仮定し、Dial配分を行う。これは、経路が  $n$  本有り、それぞれの経路  $k$  の旅行時間が  $T_k$  で与えられるとき、経路  $k$  の選択確率を  $\theta$  をパラメータとして

$$Prob(k) = \frac{\exp(-\theta \cdot T_k)}{\sum_i \exp(-\theta \cdot T_i)} \dots (1)$$

で与えるものである。

### 3. 3 シミュレーションモデル

本推定では、動的交通シミュレーションモデルとし

てSOUNDモデル<sup>6)</sup>を採用する。SOUNDモデルはドライバーの経路選択行動が内生化されたシミュレーションモデルで、時間帯別のOD交通量の入力を必要とし、さらにリンク交通容量、経路選択モデルのパラメータなどのシミュレーションパラメータの設定を行う必要がある。

### 3. 4 ODの更新

繰り返し計算実行時のstep.3におけるOD交通量の更新方法は、Method of Successful Average<sup>7)</sup> (式(2))を用いる。

$$Q_{rsh}^{n+1} = \frac{n \cdot Q_{rsh}^n + R_{rsh}^n}{n+1} \dots (2)$$

$Q_{rsh}^n$ :  $n$  回目繰り返し計算開始時点での、時間間隔  $h$  に起点  $r$  を出発し、目的地  $s$  に向かうOD交通量  
 $R_{rsh}^n$ :  $n$  回目繰り返し計算のstep2で計算される、時間間隔  $h$  に起点  $r$  を出発し、目的地  $s$  に向かうOD交通量

## 4. モデルの適用

### 4. 1 対象ネットワーク

対象ネットワークとしては、豊田市周辺のネットワーク(図4)を用いた。ネットワークの起点ノード数は18、終点ノード数は31、ODペアの数は540である。また、交通量を観測した交差点数は21であり、さらに駐車場入庫車両の観測もあわせて行った。各観測地点では方向別に交通量を観測し、対象時間を朝ピーク時(午前6時30分~9時30分)の15分単位としたため、総観測数は1998となった。

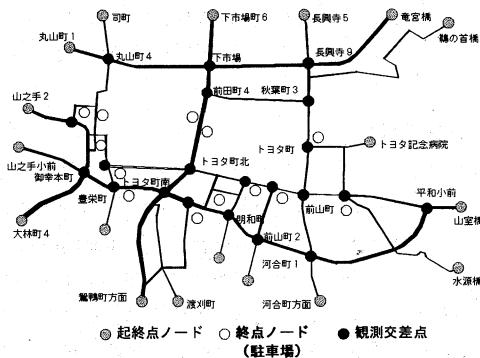


図4 豊田市周辺ネットワーク

### 4. 2 初期設定

OD交通量の初期値として、全てのOD交通量を1[台/15分]として設定した。また、シミュレーションモデルのパラメータについては、各リンクの交通容量はそれぞれ幾何構造により設定し、経路選択モデルのパラメータ(Dialのパラメータ  $\theta$ )については0.01[1/秒]に設定した。

### 4. 3 適用結果

適用は、現実の観測交通量をもとに行なった場合に加えて、仮定のOD交通量を与えてシミュレーションを行い、その結果として得られた各観測地点での交通量を用いた場合も併せて行った。図5に、仮定の交通状況を仮定したケースの評価フレームを示す。このケースでは、OD交通量の真値が与えられているので、推定されたOD交通量の精度に関する考察が可能になる。

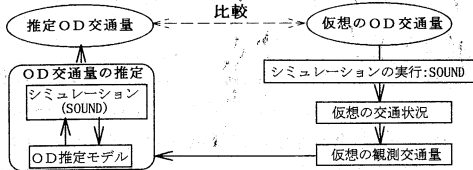


図5 評価フレーム

図6は、上記2ケースにおける、路側観測交通量(15分間)と得られたOD交通量をもとにシミュレーションを実行した場合に再現される各観測地点での交通量を、その差の二乗和(式(3))を用いて比較したものである。図より、数回の繰り返し計算でほぼ結果が収束していることが読みとれる。さらに、図7は、10回の繰り返し計算終了時における、各観測地点での、観測交通量とシミュレーションにより再現される観測交通量を比較したものであり、その相関係数は、現実の状況下では0.87、仮想状況下では0.97である。さらに、その差の絶対値の平均(式(4))を計算すると、それぞれ21.7と3.7であった。

$$E_{flow}^{sqd} = \sum_a \sum_h |v_{ah}^{sim} - v_{ah}^{obs}|^2 \quad \dots \dots (3)$$

$$E_{flow}^{avg} = \frac{\sum_a \sum_h |v_{ah}^{sim} - v_{ah}^{obs}|}{N^{obs}} \quad \dots \dots (4)$$

$v_{ah}^{sim}$ : シミュレーションによって、時間間隔  $h$  にリンク  $a$  で再現される交通量

$v_{ah}^{obs}$ : 時間間隔  $h$  にリンク  $a$  で観測された交通量

$N^{obs}$ : 総観測数

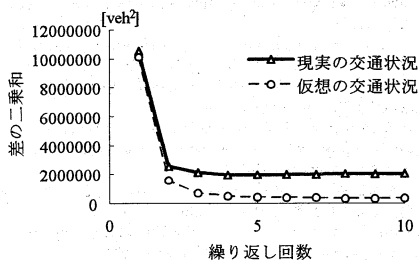


図6 観測交通量と再現交通量の比較 (差の二乗和)

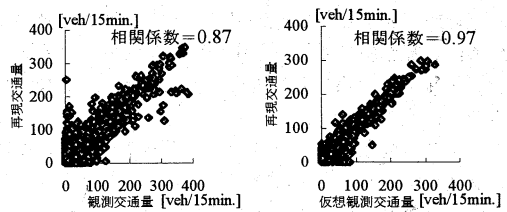


図7 観測交通量と再現交通量

これらの結果より、仮想状況下では現実の状況下よりも、観測値との差が小さくなっていることがわかる。これは、現実の状況では、観測誤差、シミュレーションの再現精度などの様々な誤差要因が含まれるのに対し、仮想状況下では、そういった要因が含まれないことによるものと考えられる。

### 5. 推定ODの精度

図8は、10回の繰り返し計算終了時における、仮想OD交通量と推定OD交通量を比較したものであり、その相関係数は0.42である。この図と図7を比較することで、観測交通量に関しては高い精度で再現されるのに対して(相関係数=0.97)、推定されたOD交通量の推定精度はかなり低くなっていることがうかがえる。一般には、推定するODペア(未知数)の数は観測交通量(制約条件)の数よりも大きいため、観測交通量が再現可能なODパターンは複数存在するのであるが、本研究によるモデルは、その中からエントロピーを最大にするODパターンを推定ODとしているため、必ずしも正確なODパターンが得られないということが、推定精度の低い原因であるものと考えられる。

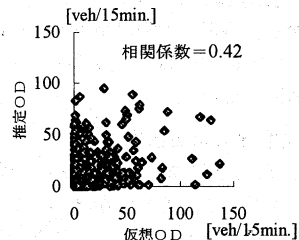


図8 仮想ODと推定OD

#### 5. 1 シミュレーションパラメータの感度分析

ここでは、シミュレーションパラメータの精度が推定ODの精度に及ぼす影響について考察を加える。

各リンクの交通容量は、シミュレーションの再現性にもっとも影響を及ぼすパラメータの一つであり、この設定の精度が推定ODの精度に及ぼす影響を示したものが図9である。計算は、各設定値に乱数を利用して最大±1%、±3%の誤差を与えて行い、違う乱数系列を用いて行った10回の計算結果の平均値を示している。

さらに、図10には経路選択モデルの影響を調べるために、仮想の交通状況を作り出す際に用いたDialのパラメータに、誤差を含ませて推定されたOD交通量の精度を示す。

いずれの場合も、パラメータ値の誤差が結果に影響を及ぼしていることが確認できる。このことより、OD推定の精度を良くするためには、シミュレーションの再現精度を上げることが必要であることが確認された。

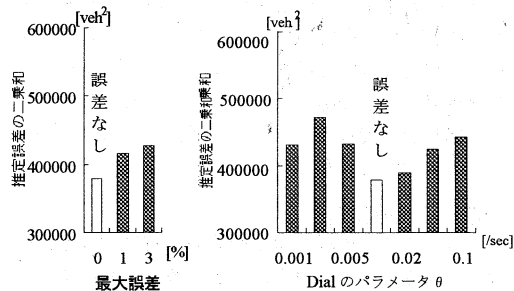


図9 交通容量に誤差

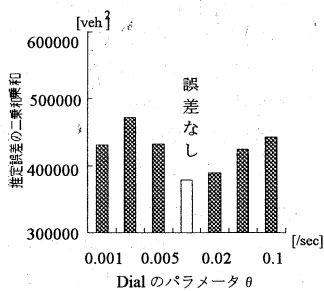


図10 パラメータに誤差

## 5.2 観測地点数による影響

路側観測の地点数が、推定されるOD交通量の精度に与える影響を調べるために、観測地点数（正確には各地点に観測時間帯数をかけ合わせた観測数）を変えて、OD推定を行った。図11に、観測数を1998から1096と642に減らしてOD推定を行った場合の推定精度（推定誤差の二乗和）を示す。図より、観測地点数によって推定されるOD交通量の精度がかなり影響されることが読みとれる。このことから、推定精度を上げるためには観測地点数を多くすれば良いものと考えられる。しかし、実際には観測地点数を増やすには限界があり、一般的にはODペア数並みの観測地点を確保するのは困難である。

## 5.3 追加情報による影響

追加情報を与えた場合に、推定されるOD交通量の精度がどの程度改善されるのかを調べるため、ここでは、いくつかのODペアについて正確なOD交通量を与えて、OD推定を行った。図12に、12 ODペア（×12時間帯=144）、90 ODペア（×12時間帯=1080）について正確なOD交通量を与えた場合の推定ODの精度を示す。なお、全ODペア数は540（×12時間帯=6480）であり、全OD交通量32347トリップに対して、情報として与えた交通量の総和は、それぞれ2313（7%）と8339（26%）トリップであった。図により、OD情報を与えることで、わずかながら推定ODの精度は高くなっていることが読みとれるが、観測地点数の影響に比べてその効果は小さいという結果が得られた。

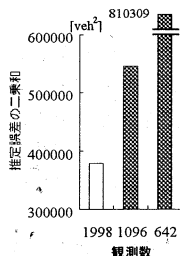


図11 観測数の影響

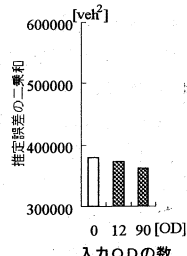


図12 OD情報の影響

## 6. まとめ

本研究で提案するOD推定方法は、推定されたODをもとにシミュレーションを実行した場合に、高精度の路側観測交通量の再現性は実現されるものの、精度の高いOD交通量を得ることは保障されない。高精度のOD交通量を得るためには、(a)シミュレーションの再現精度の向上、(b)観測地点数の追加、(c)追加情報の獲得といった方法が考えられるが、これらによって推定ODの精度が高くなることを確認した。今後は、追加情報の内容として、時間的、空間的に集約されたOD情報をはじめとする、比較的簡単に入手できる情報を与えた場合についての分析を加える予定である。また、ここで得られた結果は、1ケースのみの適用に対するものに過ぎず、一般性を持つものではないため、様々なネットワーク、ODパターンのもとでの検討を加える必要がある。さらに、サンプル調査をはじめとする種々の方法を用いて推定されるOD交通量について、その精度を吟味する方法の確立に加えて、推定されたODをもとに再現されたシミュレーション結果が、OD交通量、経路選択モデル、交通容量などのパラメータなどに起因する誤差の影響をどの程度含むものであるのかについて、検討を重ねていきたい。

なお、現在これらの検討を可能にするデータセットの作成が進められている<sup>8) 9)</sup>。

### 参考文献

- 1)小根山、桑原：路側観測交通量からの時間変化するOD交通量の推定、交通工学、Vol.32, No.2, pp5-16, 1997
- 2)S. Nguyen et al: Discrete Time Dynamic Estimation Model for Passenger Origin/Destination Matrices on Transit Networks, Transpn. Res., Vol.22 B No.4, pp.251-260, 1988
- 3)E. Cascetta et al: Dynamic Estimators of Origin-Destination Matrices Using Traffic Counts, Transpn. Sci. Vol.27 No.4, pp.363-373, 1993
- 4)橋、他：観測リンク交通量を用いた時間OD交通量の動的推計法、土木計画学研究講演集、No.13, pp599-606, 1990
- 5)K. Ashok, M. E. Ben-Akiva: Dynamic Origin-destination Matrices Estimation and Prediction for Real-Time Traffic Management Systems, Transpn. and Traffic Theory, pp465-484, 1993
- 6)岡村、他：一般街路網シミュレーションモデルの開発と検証、第16回回交工学研究発表会論文報告集、pp93-96, 1996
- 7)Sheffi Y.: Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods, Prentice Hall, 1985
- 8)花房、他：交通シミュレーションシステムの再現性検証用データセットの構築、第52回土木学会年次学術講演会投稿、1997
- 9)堀口、他：ネットワークシミュレーション用のベンチマークデータセットの構築～車両経路の抽出、第52回土木学会年次学術講演会投稿、1997