

分布・配分交通量の同時推定に基づく交差点の右左折率推定に関する研究*

Turning Ratios at Intersections Based on Joint Estimation of Trip Distribution and Traffic Assignment*

仲野賢治**・中辻隆****・鈴木宏典****

By Kenji NAKANO**・Takashi NAKATSUJI****・Hironori SUZUKI****

1. はじめに

交通流シミュレーション解析の中で最も入手困難なデータは各交差点における右左折率(直進率も含む)である。仮に測定が容易な車両感知器のリンク交通量から右左折率を推定することが可能になれば、大幅な労力の削減が期待できる。

筆者らは過去に時系列データから右左折率の推定を行ったが、これには限界があった¹⁾。そこで本研究では利用者均衡配分(UE)の概念を導入し、車両感知器のリンク交通量データを用い、精度の向上を図ることを目的にしている。

また従来から分布(OD)交通量の推定には、リンク交通量を使用し推定することが一般的であった。しかし、未知数であるOD交通量のペアが条件式等と比べて非常に多く、さらに小規模ネットワークでは駐車場等の特定の目的地に交通量の偏りが生じてしまうことがあった。本研究では、発生交通量が判っている場合に目的地の魅力度も考慮し、分布交通量と配分交通量の同時推定からリンク交通量を推定する手法を基本的に用いた。そして反対にリンク交通量が判っている場合に発生交通量等を遺伝的アルゴリズム(GA)により逆推定し最終的に右左折率を推定することを目標としている。

さらに、右左折率を推定するためには経路交通量が必要である。確定論の利用者均衡配分では、経路交通量は一意的に定まらないので、本研究では確率的用户均衡配分(SUE)の概念を導入して経路交通量の推定をした後に、右左折率の推定を行う。

数値解析では、まず3×3の仮想ネットワークを基に上記の理論で作成した仮想リンク交通量データから逆推定した際の解の安定性を検証し、それを踏まえ実際の右左折率も観測されている実際の交通量データから精度を検証し、最終的には実際の車両感知器の交通量データを使用し、推定を行う。

2. 推定理論

(1) 推定手法

(a) 交通変量の定義²⁾

右左折率の推定に必要な交通変量は、以下の通りである。

O_r :発生ノード r の発生交通量

D_s :集中ノード s の集中交通量

q_{rs} :ノード rs 間のOD交通量

f_k^{rs} :ノード rs 間で k 番目の配分交通量

x_a :リンク a のリンク交通量

c_k^{rs} :ノード rs 間で k 番目の旅行時間

u_{rs} :ノード rs 間の最短旅行時間

M_s :集中ノード s の魅力度(時間換算)

$\delta_{a,k}^{rs} \begin{cases} 1 & \text{リンク } a \text{ が } rs \text{ 間の経路 } k \text{ に含まれる} \\ 0 & \text{リンク } a \text{ が } rs \text{ 間の経路 } k \text{ に含まれない} \end{cases}$

γ :分布 Logit モデルのパラメータ

β :配分 Logit モデルのパラメータ

(b) 確率的用户均衡配分理論

リンク交通量・OD交通量・経路交通量のそれぞれのベクトルを \mathbf{x} , \mathbf{q} , \mathbf{f} とし、OD交通量と配分交通量が Logit モデルで表現できると仮定すると、式(1)と式(2)のようになる。

$$q_{rs} = O_r \frac{e^{-\gamma(u_{rs} - M_s)}}{\sum_m e^{-\gamma(u_{rm} - M_m)}} \quad (1)$$

キーワード: 交通流, 交通制御, 交通管理, ITS

** 学生員, 北海道大学大学院工学研究科

(北海道札幌市北区北13条西8丁目, TEL&FAX011-706-6217)

**** 正員, 工博, 北海道大学大学院工学研究科

(北海道札幌市北区北13条西8丁目, TEL&FAX011-706-6215)

**** 正員, 工博, (財)日本自動車研究所

(茨城県つくば市刈間2530, TEL0298-56-0874, FAX0298-56-1121)

$$f_k^{rs} = q_{rs} \frac{e^{-\theta(c_k^{rs})}}{\sum_m e^{-\theta(c_m^{rs})}} \quad (2)$$

さらに、目的地の魅力度を M_s とすると目的関数と制約条件は以下の通りになる。

<目的関数>

$$z(\mathbf{x}, \mathbf{q}, \mathbf{f}) = \sum_a \int_0^{x_a} t_a(\omega) d\omega + \frac{1}{\gamma} \sum_{rs} q_{rs} (\ln q_{rs} - 1) - \sum_{rs} M_s q_{rs} + \frac{1}{\theta} \sum_{rs} \sum_k f_k^{rs} (\ln f_k^{rs} - 1) \quad (3)$$

<制約条件>

$$\sum_k f_k^{rs} = q_{rs} \quad \sum_s q_{rs} = O_r \quad f_k^{rs} \geq 0 \quad q_{rs} \geq 0 \quad (4)$$

両側拘束の場合は $\sum_r q_{rs} = D_s$ も制約条件になる

ここで式(3)の右辺において、第1項は一般的な利用者均衡、第2項はOD交通量に関するLogitモデル、第3項は目的地の魅力度、第4項は確率的利用者均衡配分に基づく経路交通量のLogitモデルに対応している。

(c) 分布・配分交通量の同時推定

発生交通量 O_r を与えて q_{rs} と x_a を同時に推定する。その際、集中交通量 D_s が与えられていないものは片側拘束問題となり、 D_s が与えられているものは両側拘束問題となる。

(d) Double-Stage 法

可能解の方向探索の際、最短経路に q_{rs} を配分する all-or-nothing 法の代わりに、 n ステップ目のノード rs 間の最短旅行時間 $u_{rs}^{(n)}$ を使用した式(5)の多項Logit関数によって可能分布交通量 $v_{rs}^{(n)}$ を推定することでより早くの収束解が得られる方法である。

$$v_{rs}^{(n)} = O_r \frac{e^{-\gamma(u_{rs}^{(n)} - M_s)}}{\sum_m e^{-\gamma(u_{rs}^{(n)} - M_s)}} \quad (5)$$

(e) 確率的利用者均衡配分の推定の流れ

以上の理論を基に確率的利用者均衡の推定の流れは図-1の通りになる。ただし、図中の補正経路旅行時間 $c_k'^{rs}$ は、各経路の旅行時間 c_k^{rs} を補正した式(6)から算出し、各リンク交通量 x_a は式(7)から求められる。

$$c_k'^{rs} = c_k^{rs} - \frac{1}{\gamma} \ln q_{rs} - M_s + \frac{1}{\theta} \ln f_k^{rs} \quad (6)$$

$$x_a = \sum_{rs} \sum_k f_k^{rs} \delta_{a,k}^{rs} \quad (7)$$

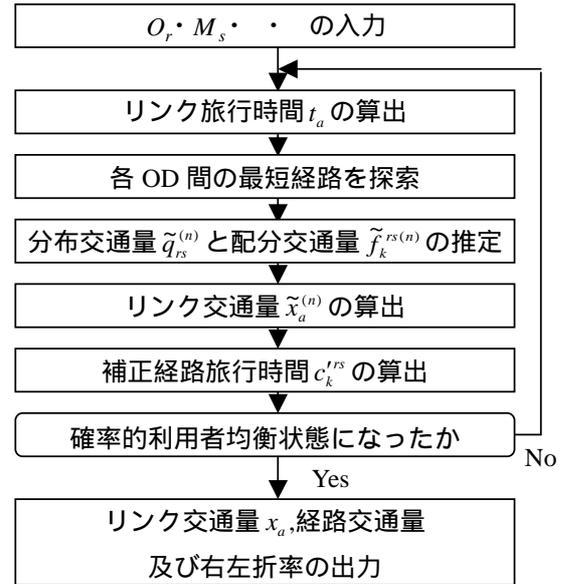


図-1 確率的利用者均衡の推定フロー

(2) 逆推定手法

(a) 遺伝的アルゴリズム (GA)³⁾

本研究では、一部のリンク交通量が判っている場合に、発生交通量、目的地の魅力度、及びLogitモデルに使用したパラメータを未知数として逆推定し、その結果から右左折率を推定した。その際使用したGenocopIII⁴⁾プログラムの目的関数と制約条件は以下の通りである。ただし、両側拘束問題の場合は、集中交通量も未知数として加える。

<目的関数>

$$J(\hat{x}, \tilde{x}) = \sum_a (\hat{x}_a - \tilde{x}_a)^2 \quad (8)$$

ここで

\hat{x}_a : 計測リンク交通量

\tilde{x}_a : 推定リンク交通量

<制約条件>

・発生交通量 $O_{ri} Min \leq O_{ri} \leq O_{ri} Max$ (9)

・目的地魅力度 $M_{sj} Min \leq M_{sj} \leq M_{sj} Max$ (10)

・分布Logitモデルパラメータ $\gamma_{Min} \leq \gamma \leq \gamma_{Max}$ (11)

・配分Logitモデルパラメータ $\theta_{Min} \leq \theta \leq \theta_{Max}$ (12)

(b) 逆推定の流れ

本研究における逆推定の流れは図-2の通りであり、目的関数 J が収束した状態における経路交通量を右左折・直進毎にリンク交通量を集計し右左折率を求める。

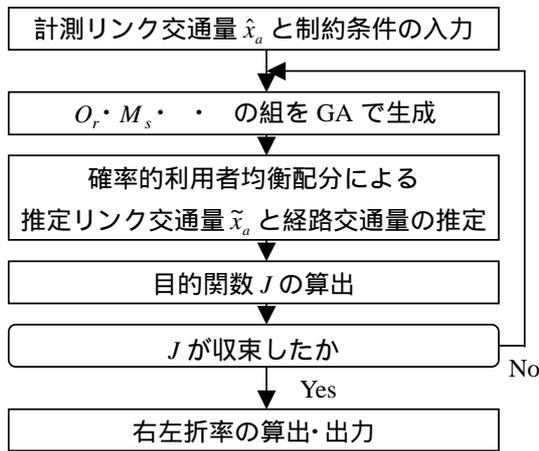


図 - 2 逆推定のフロー

3. 数値解析

(1) 仮想データによる検証

図 - 3 の様な発生・集中ノード各 8，内部リンク 24 の 9 交差点の仮想ネットワークにおいて，前述の理論で作成した仮想リンク交通量のデータから逆推定した。その際，計測されていると仮定し実際に推定で使用したリンク交通量の数(4～24 箇所)の 6 ケース)による精度の違いを検証した。表 - 1 は推定した各変量と実際の数値との相関係数を表したものであり，図 - 4，図 - 5 はリンク交通量と元の仮想データのリンク交通量との散布図を示す。

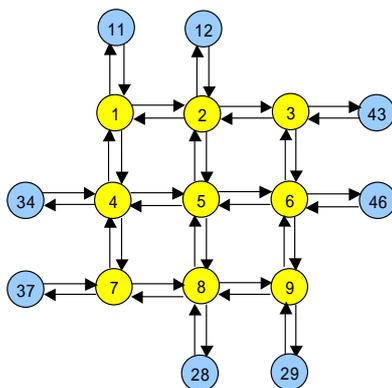


図 - 3 仮想ネットワーク

表 - 1 各推定値の相関係数

推計に使用したリンク交通量の数	リンク交通量の相関係数	右左折率の相関係数
4	0.516	0.736
8	0.879	0.796
12	0.841	0.792
16	0.944	0.773
20	0.979	0.775
24	0.963	0.791

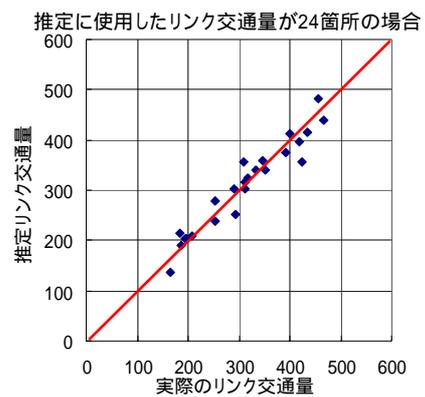


図 - 4 リンク交通量の散布図(1)

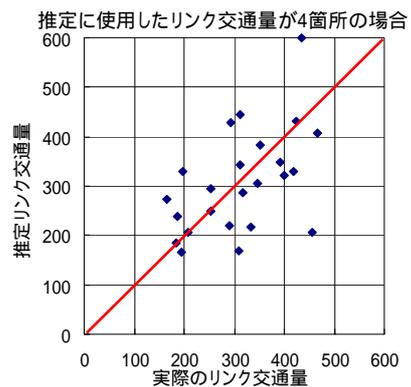


図 - 5 リンク交通量の散布図(2)

図 - 4 の様にリンク交通量が全て利用できると仮定した場合には相関が非常に高く再現性も高いが，図 - 5 の様にリンク交通量をほとんど利用できない場合には極端に相関が悪くなった。だが表 - 1 から，全体の 2/3 の 16 リンク分のリンク交通量が利用できると仮定した場合には，全部が利用できた場合とほぼ同程度の相関が出たので，ある程度リンク交通量が判らない状態でも推定の精度には問題はないと言える。

また，表 - 1 の右左折率の相関を見ると，推定に使用したリンク交通量の数による大きな違いは見られなかった。これは，仮想データが逆推定の際と同様に利用者均衡状態になると仮定して作成されたからではあるが，片側拘束問題として推定した場合の精度の限界であると考えられる。

(2) 右左折率既知の交通量データによる検証

図 - 6 の様な札幌市北区北 10 条西 3 丁目周辺の発生・集中ノード各 8，内部リンク 8 の 4 交差点ネットワークにおいて，実際に直進・右左折台数を観測し，右左折率が既知である全 8 箇所のリンク交通量データから右左折率を推定した。

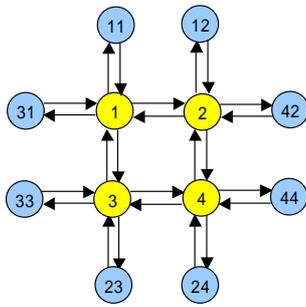


図 - 6 北 10 条西 3 丁目周辺のネットワーク

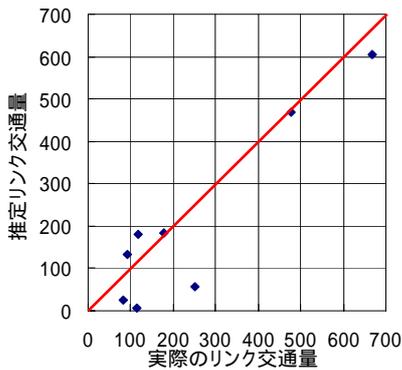


図 - 7 リンク交通量の散布図

図 - 7 からわかるようにリンク交通量の再現性は比較的高く、リンク交通量の相関係数は 0.925 であった。しかし、右左折率の相関係数は 0.401 と低かった。原因としては、この推定が集中交通量を制約しない片側拘束状態で推定したもので、使用した交通量データが朝のラッシュ時のデータで北方面(ノード No.11,12)から南方面(ノード No.23,24)への通行に極端に偏り、利用者均衡状態に近いものではなかったのではないかと考えられる。

(3) 車両感知器データによる検証

図 - 8 の様な JR 大分駅周辺の発生・集中ノード各 7、内部リンク 8 の 4 交差点ネットワークにおいて、車両感知器で実際に計測された 1 時間分の全 8 箇所のリンク交通量データから、右左折率の推定を行った。

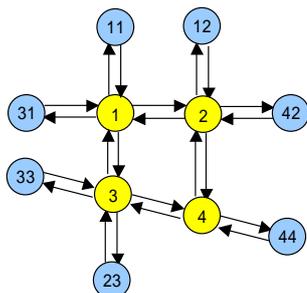


図 - 8 大分駅周辺のネットワーク

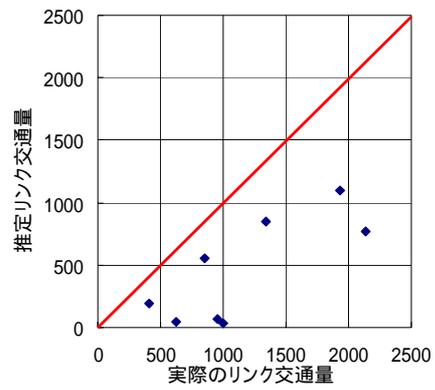


図 - 9 リンク交通量の散布図

リンク交通量の相関係数は 0.782 と比較的高かったが、図 - 9 の様に、推定リンク交通量が実際のリンク交通量より小さく推定され、大きく乖離してしまった。これは実際の交通量データを見ると前後のリンクと比較して極端に交通量が少ない箇所が存在するからであると考えられ、車両感知器の設置状況等を確認する必要があると言える。

5 . おわりに

本研究の成果としては、以下の通りである。

- 1) 仮想のリンク交通量データから右左折率を推定した結果、全体の 2/3 程度のリンクで交通量データがあれば、推定には十分問題ないと言える。
- 2) 実際の交通量データで行った推定では、リンク交通量の精度が必ずしも高くはならなかった。今後の課題としては、以下が挙げられる。
 - 1) 本研究では集中交通量は推計に考慮しなかったが、これらのデータも取り込める両側拘束の推定で精度を向上させる必要がある。
 - 2) 右折、左折により違いがある交差点の通過遅れによる旅行時間の変化も考慮に入れなければならない。

参考文献

- 1) 仲野他：時系列データによる交通ネットワークの右左折率推定に関する研究，第 26 回土木計画学研究発表会，2002 .
- 2) Y.Sheffi : Urban Transportation Networks ,Prentice Hall ,1985 .
- 3) Hyunmyung Kim et al. : Origin-destination matrices estimated with a genetic algorithm from link traffic counts ,Transp. res. rec , No.01-0120 , pp.156-163 , 2001 .
- 4) Zbigniew Michalewicz : Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs , Springer , 1992 .