

吸収マルコフ連鎖を用いた観測リンク交通量からの OD推計法の改良に関する研究*

A study on improvement in O-D estimation model

by observed link flows using absorbing Markov chain*

高山純一**、杉山智美***

By Jun-ichi TAKAYAMA** and Tomomi SUGIYAMA***

1. はじめに

都市内のある特定地域において、交通規制の見直しや信号制御の最適化を行うためには、対象とする地域の現状OD交通量を詳細に把握することが不可欠である。しかし、従来のパーソントリップ調査を基本としたマクロなOD推計モデルでは、都市圏全体を対象とするような場合には有効であるが、都市内のある限定された狭い地域を対象とするような場合には、推計精度上限界のある場合が多い。また、ビデオ撮影によるナンバープレートマッチング法では、調査費用とマッチングの労力が大きく、ある程度広範囲になるとマッチングミスによる精度への影響も大きい。

このような場合、実測の道路区間交通量から対象地域内のOD交通量を推計する方法が有効であり、従来からもいくつかの方法が提案されている。しかし、これらの方法においても、例えば①経路選択率が所与として必要であったり、②既存のOD交通量が必要であったり、実測の交通量のみからOD推計を行うモデルは少ないようである。その中で、実測の交通量のみからODを推計できる方法としては、対象地域内の道路区間上で観測される実測交通量と交差点での右左折直進比率から吸収マルコフ連鎖を用いて、OD推計を行うモデルが考えられる。

そこで、我々はその解法にGA（遺伝的アルゴリズム）を用いた方法（「GAマルコフOD推計モデル」）を、既に提案している⁴⁾。しかし、その方法には、いくつかの課題が残されており、ここではその問題点を明らかにするとともに、それらを考慮して、GAマル

コフOD推計モデルを改良するための提案を行う。具体的には、既存のOD交通量等が必要ではある（実際にはGAマルコフOD推計モデルにより推計したOD交通量を既存OD交通量として用いる）が、吸収マルコフ連鎖モデルより現実的な道路区間利用率を与えることができると考えられる「Dialの確率配分法」を導入した2つの方法を提案する。

2. 街路のモデル化と吸収マルコフ連鎖モデル

(1) 街路のモデル化

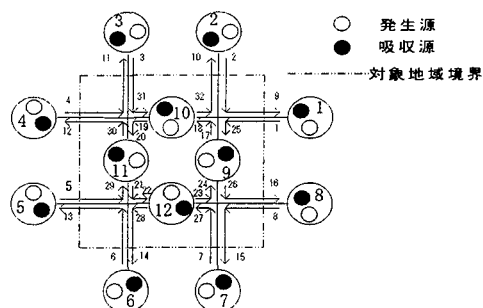


図-1 対象地域のゾーニングと街路のモデル化

ここでは、道路区間上に発生源・吸収源を設定する図-1のような街路モデルを作成した。また、対象地域外からの交通に対しては、対象道路網の周辺部道路（対象地域の境界線上の道路）に、その背後地を代表とする発生源・吸収源を図-1のように設定する。

(2) 吸収マルコフ連鎖を適用したOD推計

佐佐木の吸収マルコフモデル¹⁾では、発生交通量 $[v]$ が与えられれば、式(2.1)と式(2.2)より、道路区間交通量 (x) ：過渡状態としての配分交通量と各ノードへの吸収交通量 (u) ：OD交通量が推計できる。そこで、遷移確率行列 (P) を、観測値である各交

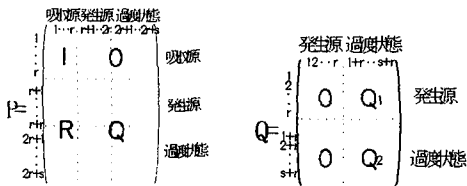
* キーワーズ：OD分布、経路選択

** 正員、工博、金沢大学工学部土木建設工学科

*** 学生員、金沢大学大学院工学研究科

差点における右左折直進交通量の分岐確率などにより推定する。また、対象地域外のノードの場合は、発生源から過渡状態、または過渡状態から吸収源への遷移確率は、1.0とすることにより、未知変量は各ノードの発生交通量のみとなり、これを何らかの方法により推定できれば、簡単に道路区間交通量とOD交通量を推定することができる。

そこで、3章では、吸収マルコフ連鎖モデルを適用した簡便なOD推計モデルを提案する。



$$[u] = [v]R[I - Q]^{-1} \quad (2.1)$$

$$[x] = [v]Q[I - Q_2]^{-1} \quad (2.2)$$

v : 各ノードの発生源から発生する発生交通量

u : 各ノードの吸収源へ吸収する集中交通量

x : 道路区間交通量の推計値 (配分交通量)

3. GAを用いた簡易OD推計法

(1) 最適化問題の定式化

一般に、各ノードの発生交通量は未知であるが上述のように何らかの方法により推定できれば、式(2.1)ならびに式(2.2)より道路区間交通量とOD交通量を推定することができる。したがって、この問題を次のような最適化問題として定式化する。

目的関数

$$Z = \sum (RX_i - EX_i)^2 \quad (3.1)$$

制約条件

式(2.2)

なお、この問題は非線形の最適化問題であり、一般に陽の形で解が求まらない。そこで、次のような遺伝的アルゴリズム(GA)²⁾により解くことを考える。

- ①未知変量の発生交通量 A_i を2進数表現の線列としてコーディングし、ランダムに数組の線列を発生させる。
- ②各線列を発生交通量に変換したものと交差点分岐確率などから推定される遷移確率行列 P を式(2.2)へ代入することにより道路区間交通量

(EX_i) を推定する。

- ③道路区間交通量の観測値 (RX_i) との残差平方和 Z を式(3.1)より計算し、その逆数 f を適応度とする。

$$f = 1/Z \quad (3.2)$$

- ④適応関数が最大値 (道路区間交通量に関する残差平方和の最小化) を取るまで①から③を繰り返す。

ただし、①の線列を繰り返し発生させる過程にGAを適用する。そこで以下に、GAの定式化の具体的な方法と収束条件を示す。

(2) GAの解法手順

(a) 適応関数と選択

式(3.2)を用いて、スケーリングを行い適応関数とした。選択の方法は、ルーレット方式を用いる。

(b) 交差と突然変異

本研究では、1点交差法を用い上下2線列での交差を行った。また、突然変異については、線列の1つのビットを任意に反転させる方法を用いた。なお、その確率は交差確率よりも低く設定される。

(c) 収束条件

本研究では、以下のいずれかの条件が満足した場合に計算を終了させた。

- (ア) 最大世代数に達した場合
- (イ) すべての線列が同じになった場合
- (ウ) 適応関数の最大値が以降の20世代で更新されない場合

4. GAマルコフOD推計モデルの課題とDial確率配分法

(1) GAマルコフOD推計モデルの課題

吸収マルコフ連鎖モデルの長所は、遷移確率行列 P を、観測値である各交差点における右左折直進交通量の分岐確率などにより推定できれば、既存のOD表などが存在しない場合にも、未知変量は各ノードの発生交通量のみとなる点である。そして、GAを組み合わせることによって、より簡単にOD推計ができるGAマルコフOD推計モデルを提案することができた。

しかし、GAマルコフOD推計モデルの課題として、次のような点があげられる。

- ①吸収マルコフ連鎖モデルを適用しているため、各

交差点での右左折率によって何台かの車がぐるぐるまわって、なかなか吸収されない事態が生じる。そのため、発生交通量を与えた場合、実際の交通量以上に各街路に交通量が流れることになる。

②対象地域内の各ノードにおける吸収確率を仮定しているが、実際には観測などによって与えなければならない。

(2) Dial確率配分法

観測道路区間交通量からOD交通量を推計する際に、経路選択率の求め方は精度に影響を与える1つの要因である。しかし、吸収マルコフ連鎖モデルには、前述の①のような問題点がある。そこで、式(4.1)で表されるロジットモデルを用いて、効率的経路に配分するDail確率配分法を導入する³⁾。ここで、効率的経路(parallel probabilistic assignmentによる定義)とは、この経路を進むことにより必ず出発点から遠ざかる経路のことを言う。

このとき必要な経路 ω の所要時間は、道路区間交通量の観測により、Q-V曲線を利用して決定することとする。また、この値は、推計の対象時間内では、一定のものとする。

5章では、GAマルコフOD推計モデルに、このDail確率配分法を導入する方法を提案する。

$$p_{\omega} = \begin{cases} \frac{\exp[\theta(\tau^* - \tau_{\omega})]}{\sum_{p \in P} \exp[\theta(\tau^* - \tau_p)]} & \text{if } p \in P \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.1)$$

θ : 配分パラメータ $0 \leq \theta \leq \infty$
 $\theta = 0$: 全経路に等確率
 $\theta = \infty$: 最短経路配分

p_{ω} : 経路 ω の選択確率
 P : 効率的経路の集合
 τ^* : 最短経路の所要時間
 τ_{ω} : 経路 ω の所要時間

5. Dial確率配分を導入したGAマルコフOD推計モデル

(1) GAマルコフOD推計法による推計値を既存ODの代わりとして用いる方法(改良法1)

Dail確率配分を導入した従来のモデル³⁾では、OD

交通量 T_{ij} は、式(5.1)のように表すことができる。また、OD間抵抗係数は、式(5.5)のように与える。ここでは既存のODが存在しないため、はじめにGAマルコフOD推計モデルでOD交通量を推計し、その値を式(5.5)の ST_{ij} に代入して、OD間抵抗係数 R_{ij} を与える。

$$T_{ij} = \alpha_i A_i \beta_j (A_j - \Delta D_j) R_{ij} \quad (5.1)$$

$$\Delta D_j = \sum_k RX_{jk} - \sum_k RX_{kj} \quad (5.2)$$

$$A_i = \sum_j T_{ij} \quad (5.3), \quad B_j = \sum_i T_{ij} \quad (5.4)$$

$$R_{ij} = \frac{ST_{ij}}{\sum_j ST_{ij} \sum_i ST_{ij}} \quad (5.5)$$

$$A_i^{(q)} = \left(\sum_k RX_{ik} - \sum_k EX_{ik}^{(q-1)} \right) + A_i^{(q-1)} \quad (5.6)$$

$$Z = \sum (RX_i - EX_i)^2 \rightarrow \min \quad (5.7)$$

A_i : ノードiからの発生交通量

R_{ij} : ノードij間のOD間抵抗係数

α_i, β_j : トリップエンド条件式(5.3)(5.4)を満たすための調整係数

ST_{ij} : 既存OD交通量(ここではGAマルコフOD推計モデルで推計されたODを用いる)など

以下に、推計手順を示す。

- ①GAマルコフOD推計モデルにより、OD交通量を推計する(「推計OD1」とする)。
 - ②道路区間mの実測交通量 RX_m 、所用時間 τ_m を与える。また、①で推計されたOD(推計OD1)を用いてOD間抵抗係数 R_{ij} を与える。
 - ③ A_i, θ に初期値 $A_i^{(0)}, \theta^{(0)}$ を与える。
 - ④式(5.1)により T_{ij} を求める。
 - ⑤Dialの確率配分法(式(4.1))を用いて T_{ij} を道路区間に配分する。
 - ⑥配分で得られた推計交通量を $EX_m^{(q-1)}$ とし、 $A_i^{(q)}$ の修正(式(5.6))を行う。
 - ⑦ $\theta^{(q)}$ の修正を行なう。
 - ⑧修正された $A_i^{(q)}, \theta^{(q)}$ を用いて道路区間交通量 $EX_m^{(q)}$ を推計する。
 - ⑨実測値との残差平方和(式(5.7))が小さくなるまで、⑤以下を繰り返す。
- ここで、⑥の A_i と、⑦の θ の修正は、従来のように

式(5.6)と式(5.7)を用いる方法で行う。また、GAを用いた方法を応用する(A と θ をGAの設計変数として、コーディングする)こともできると考えられる。

(2) GAマルコフOD推計モデルにDial確率配分を導入する方法(改良法2)

次に、GAマルコフOD推計モデルとの組み合わせを考える。吸収マルコフ連鎖モデルの問題点①の解決のために、この方法では、吸収マルコフ連鎖モデルを適用してOD交通量のみを推計し、道路区間交通量は、Dial確率配分を導入して推計する。

この方法の具体的な手順を、次に示す。

- ①未知の発生交通量 A_i をGAにより発生させる。
- ②各線列を発生交通量に変換したものと交差点分岐確率などから推定される遷移確率行列 P を式(2.1)へ代入し、OD交通量 T_{ij} を推定する。
- ③Dialの確率配分法(式(4.1))を用いて②で推定した T_{ij} を道路区間に配分し、 EX_{ij} を推定する。
- ④③で推定された道路区間交通量 EX_{ij} と観測値 R_{ij} との残差平方和 Z 、その逆数 f (適応度)を式(3.1)および、式(3.2)から計算する。
- ⑤適応関数が最大値(道路区間交通量に関する残差平方和の最小化)をとるまで①から④を繰り返す。

図-2に、各方法の概念図を示す。

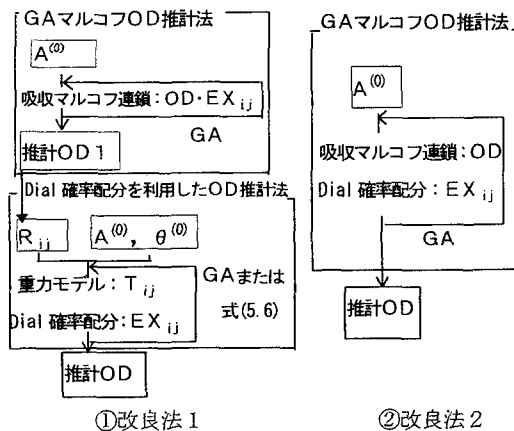


図-2 各方法の概念図

6. おわりに

本研究では、都市内のある限定された地域を対象とした交通需要推計法(GAマルコフOD推計法)を提案するとともに、その問題点を明らかにしモデルの改

良のための考察を行った。GAマルコフOD推計法の特徴は、対象地域内の交差点において右左折直進交通量の分岐比率を観測しておくだけで、簡単にOD交通量を推計できる点にある。しかし、仮定した経路選択モデルが吸収マルコフ連鎖モデルであるため、低い確率ではあるが吸収されるまでに同じ経路を何度も回ってしまう場合が生じるという課題が残る。

そこで本研究では、非現実的な経路選択を行わないように、Dial確率配分を導入した2つの方法を提案した。これらの方法でも、経路の所要時間は、道路区間交通量の観測により、Q-V曲線を利用して決定することとしたため、対象地域における事前情報(マクロゾーン区分の既存OD交通量や土地利用状況を表す人口・経済指標などのデータ)が全くない場合においてもOD推計が可能であり、その点では今後の実用性が期待できる。

しかし、改良法1では、GAマルコフOD推計モデルの推計値はOD間抵抗係数として使うため、対象地域内の各ノードにおける吸収確率の仮定が与える影響は小さいと考えられる。しかし、実質的には2種類のOD推計法を用い、どちらも繰り返し計算などが必要となるため、その作業効率が問題となる。改良法2では、OD交通量の推計には何度も回ってしまう交通量が含まれたままであり、道路区間交通量との間の矛盾が考えられる。また、対象地域内の各ノードにおける吸収確率を仮定する点が、改良されていないことが今後の課題となる。

最後に、本研究は文部省科学研究費、基礎研究(B)(代表者 名古屋工業大学教授 松井寛)により行われた研究成果の一部である。ここに記して感謝したい。

参考文献

- 1) 佐佐木綱：吸収マルコフ過程による交通流配分理論、土木学会論文報告集、第121号、pp.21~32、1965年
- 2) 宮沢丈夫：遺伝的アルゴリズムと最適化問題、現代科学の最先端、1991年
- 3) 飯田泰敬、高山純一、金井一二、水口玲二：Dial確率配分法を導入したリンク交通量による道路網交通需要推計法、第19回日本都市計画学会学術研究論文集、pp.13~18、1984年
- 4) 高山純一、杉山智美、藤岡寛之：GAを用いた吸収マルコフ連鎖による観測交通量からのOD推計法の適用性、土木学会年次学術講演会概要集、pp.142~143、1995年