

吸収マルコフ連鎖を用いた観測交通量からの OD推計法に関する研究

高山純一¹・杉山智美²

¹正会員 工博 金沢大学助教授 工学部土木建設工学科(〒920 石川県金沢市小立野2-40-20)

²学生会員 金沢大学大学院 工学研究科土木建設工学専攻(〒920 石川県金沢市小立野2-40-20)

都市内の限定された地域を対象として、対象地域内で観測される道路区間交通量と交差点での右左折直進交通比率から、吸収マルコフ連鎖モデルを応用してOD交通量を推計する方法を考える。この方法では、交差点での右左折直進比率などから吸収マルコフモデルのOD遷移確率を与えれば、未知変量は発生交通量のみとなる。そこで、近年、組み合わせ最適化問題の解法として注目される遺伝的アルゴリズム(GA)を利用して未知である発生交通量を与える方法を提案する。

本研究では、発生交通量のみを未知変量とする既存の推計法と比較することによって、この推計法の収束性を検討する。また、東京駅周辺の主要交差点における実測データを利用して、その適用性の検討を行う。

Key Words : observed link flows, Absorbing Markov Chain, Genetic Algorithm

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、都市内の限定された狭い地域を対象とする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、従来からいくつかの方法^{1)~8)}が提案されている。しかし、これらの方法においても、①経路選択率が所与として必要であったり^{1)~3)}、②既存のOD交通量が必要であったり^{4)~6)}、実測の交通量のみからOD推計を行うモデル^{7), 8)}は少ないようである。

また、この実測交通量からのOD推計法においても、従来の方法の多くが都市圏全体を対象としたモデル構築となっており^{1)~6)}、ある限定された都市地域を対象とした推計モデル^{7), 8)}は少ない。

そこで、本研究ではそれほど費用がかからず、し

かも手軽に推計が行える簡便なOD推計法を提案する。この方法は、具体的には対象地域内の道路区間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モデルを応用してOD交通量を推計する方法(「GAマルコフOD推計モデル」と呼ぶ)である。ここでは、収束性についての検討ならびに東京駅周辺の主要交差点における観測データを用いた提案モデルの適用性の検討を行う。

2. 街路のモデル化と吸収マルコフ連鎖モデル

一般街路の自動車交通流をマクロな視野で眺めた場合、交通流は交差点で1つの確率に従って方向を変え、次の交差点に向かって流れていく。そして、その交差点でまた別の確率に従って方向を変えて流れていくように観察される。このような状況を定式化したのが、佐佐木の吸収マルコフモデル⁹⁾である。そこで、ここでは一般街路を次のようにモデル化し、OD交通量の推計モデルとして利用する。

まず、本研究では対象地域をいくつかのゾーンに区分し、各々のゾーンにそれぞれ一対の発生源(O:発生ノード)と吸収源(●:集中ノード)を設定する。図-1は主要交差点数が4つの場合を例として示したものであるが、ゾーン区分の仕方によって

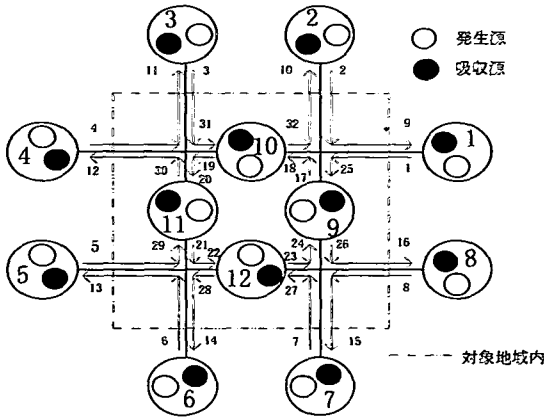


図-1 対象地域のゾーニングと街路のモデル化

交差点に発生・吸収源を設定する場合と道路区間上に設定する場合の2通りが考えられる。ここでは、交差点付近で発生・吸収される交通流は少ないものと考え、道路区間上に発生・吸収源のノード(図-1ではノード⑨~⑫)を設定した。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と吸収源を設定する。図-1では①~⑧のノードに対応する。

いま、対象地域内のノードおよび対象地域外との境界道路上に存在するノードを合わせて r 個のノードが存在するものとする。そして、それぞれのノードには一対の発生源と吸収源が存在し、対象地域内の交差点と道路区間上のノードとの間あるいは対象地域外ノードと対象地域内交差点とを結ぶ道路上の過渡状態(発生・吸収のない道路区間)の数を s 個とすると遷移確率行列 P は式(2.1)のように表される。

$$P = (P_{ij}) = \begin{array}{c} \begin{array}{c} \text{吸収源} \\ \text{発生源} \\ \text{過渡状態} \end{array} \\ \begin{array}{c} 1 \dots r \\ r+1 \dots r+r \\ 2r+1 \dots 2r+s \end{array} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{c} \text{発生源} \\ \text{過渡状態} \end{array} \\ \begin{array}{c} 1 \dots r \\ r+1 \dots r+s \end{array} \end{array} \begin{array}{c} \text{吸収源} \\ \text{発生源} \\ \text{過渡状態} \end{array} \quad (2.1)$$

R と Q について、発生源の性質(発生源への他の状態からの遷移はないということ)と、本モデルの構成型(本モデルでは、発生源からの遷移は必ず

一度過渡状態を経過し、直接吸収状態へ遷移しないということ)を考慮に入れると、さらに式(2.2), (2.3)のように定義できる。

$$R = \begin{array}{c} \begin{array}{c} \text{吸収源} \\ 1 \dots r \end{array} \\ \begin{array}{c} 1 \\ \vdots \\ r \\ r+1 \\ \vdots \\ r+s \end{array} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{c} \text{発生源} \\ 0 \end{array} \\ \begin{array}{c} R_2 \\ \text{過渡状態} \end{array} \end{array} \quad (2.2)$$

$$Q = \begin{array}{c} \begin{array}{c} \text{吸収源} \\ 1 \dots r \end{array} \\ \begin{array}{c} 1 \\ \vdots \\ r \\ r+1 \\ \vdots \\ r+s \end{array} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{c} \text{過渡状態} \\ Q_1 \\ Q_2 \end{array} \\ \begin{array}{c} \text{発生源} \\ \text{過渡状態} \end{array} \end{array} \quad (2.3)$$

よって、式(2.1)(2.2)(2.3)より

$$[I - Q] = \begin{array}{c} \begin{array}{c} 1 \dots r \\ r+1 \dots r+s \end{array} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{c} 1 \\ \vdots \\ r \\ r+1 \\ \vdots \\ r+s \end{array} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{c} I \\ -Q_1 \\ 0 \\ I - Q_2 \end{array} \end{array} \quad (2.4)$$

であるから、基本行列 $[I - Q]^{-1}$ は次のようになる。

$$[I - Q]^{-1} = \begin{array}{c} \begin{array}{c} 1 \dots r \\ r+1 \dots r+s \end{array} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{c} 1 \\ \vdots \\ r \\ r+1 \\ \vdots \\ r+s \end{array} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{c} I \\ Q[I - Q_2]^{-1} \\ 0 \\ [I - Q_2]^{-1} \end{array} \end{array} \quad (2.5)$$

ここで、 P_1, P_2 を次のように定義する。

$$\begin{pmatrix} P_1 \\ \vdots \\ r \\ =r+1 \\ P_2 \\ \vdots \\ r+s \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I & Q[I-Q_2]^{-1} \\ 0 & [I-Q_2]^{-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ R_2 \end{pmatrix} = [I-Q]^{-1} R \quad (2.6)$$

$$P_1 = Q[I-Q_2]^{-1} R_2$$

$$P_2 = [I-Q_2]^{-1} R_2$$

$[I-Q]^{-1}R$ は $(r+s)$ 個の非吸収状態それぞれから1台の車が発生した場合に、 r 個の吸収状態それぞれに吸収される確率を示している。つまり、 P_1 と発生交通量からそれぞれの吸収状態に吸収される交通量が求められる。

また、基本行列 $[I-Q]^{-1}$ は非吸収状態を出発した1台の車が、それぞれの吸収状態を通過する回数の期待値を示すものであるから、これと発生交通量から、それぞれの過渡状態を通過する交通量が求められることになる。

ここで、発生交通量を v とすると、吸収交通量 u と道路区間交通量 x が次の式により求められる。

$$[u] = [v] \cdot [I-Q]^{-1} R \quad (2.7)$$

$$[x] = [v] Q [I-Q_2]^{-1} \quad (2.8)$$

3. 遺伝的アルゴリズムを用いた簡易OD推計法

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(2.7)ならびに式(2.8)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。

$$\text{目的関数 } Z = \sum_i (RX_i - EX_i)^2 \rightarrow \min \quad (3.1)$$

$$\text{制約条件 } \text{式(2.6)}$$

ただし、対象地域の境界線(対象地域への流入方向)上で道路区間交通量が観測されておれば、それが対象地域外ノード(周辺部ノード)の発生交通量と一致するため、対象地域内ノード(道路区間上)の交通量のみが未知となる。なお、この問題は非線形の最適化問題であるため、次に示すような遺伝的アルゴリズム(GA)^{10), 11)}により解くことを考える。

(a)未知変量の発生交通量を2進数の線列としてコーディングし、ランダムに数組を発生させる。

(b)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を式(2.6)へ代入し道路区間交通量(EX_i)を推定する。

(c)道路区間交通量の実測値(RX_i)との残差平方和 Z を式(3.1)より計算し、逆数 f を適応度とする。

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

(d)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(a)から(c)を繰り返す。

ただし、(a)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。

①適応関数と選択

一般に、最適化の初期には適応関数の値がかなりばらつき、後期には適応関数の差が小さくなると考えられる。そこで、本研究では上記の式(3.2)を用い、以下のようなスケールリングを行い、式(3.3)を適応関数とした。なお、選択の方法としては、ルーレット方式、ランキング方式、エリート方式、期待値による方法などがあるが、本研究ではルーレット方式を用いることにした。

$$\frac{f'_{\max}}{f'_{\min}} = n$$

$$f'_{\max} - f'_{\min} : f'_{\max} - f'_{\min} = f'_{\max} - f'_{\min} : f'_{\max} - f'_{\min}$$

$$f' = f'_{\max} + \frac{(1-n^{-1})f'_{\max}}{f'_{\max} - f'_{\min}} (f - f'_{\max}) \quad (3.3)$$

$$f'_{\max}, f'_{\min} : f \text{の最大値および最小値}$$

$$f'_{\max}, f'_{\min} : f' \text{の最大値および最小値}$$

②交差と突然変異

本研究では〈選択〉でルーレット方式を用いているので、線列集合の並びには偶然性が伴っているとみなし、上下2線列での交差を行った。交差法にはいくつかの方法が提案されているが、本研究では1点交差法、または2点交差法を用いた。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。

③収束条件

GAでは、必ずしも全ての線列が同じになるまで計算を進める必要はなく、ある時点で計算を終了し、

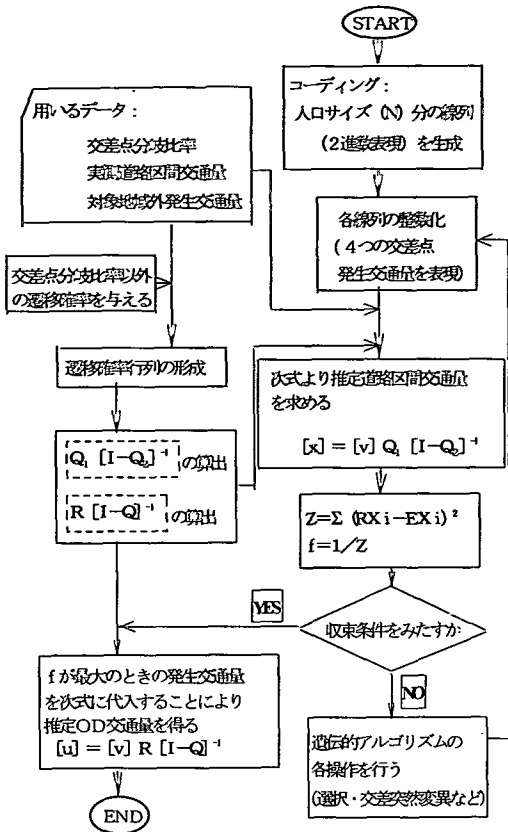


図-2 GA法によるOD推計のフローチャート

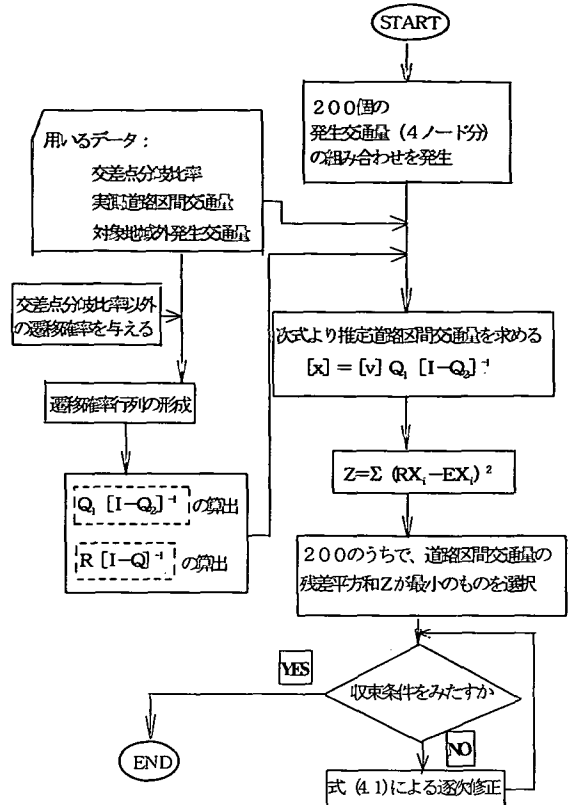


図-3 逐次修正法のフローチャート

さかのぼって最良の結果を得た線列を探すのが良いと考えられる。本研究では、以下のいずれかの条件が満た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. 解の収束性の検討

(1) OD推計の手順

GAによる解である発生交通量の妥当性を明らかにするために、図-1で示した小規模な道路網を対象としてモデルシミュレーションを行う。発生交通量のみを推計する場合の既存の方法として、飯田の発生交通量のみを未知変量とした実測交通量による交通需要推計法²⁾がある。その方法では、式(4.1)を用いて逐次修正を行っていくため、以下、「逐次

修正法」と呼ぶこととする。本研究では、この逐次修正法によって発生交通量を推計した場合とGAを用いて発生交通量を推計した場合について、推計された解(発生交通量)の収束性を比較する。

a) GAによる方法(GA法)

発生交通量として、最初に人口サイズ分(Nパターン)を生成させ、繁殖・淘汰、交差、突然変異の操作を行う。交差、突然変異はあらかじめ与えた確率以下で行うこととする。なお、最大世代数に達したとき、全ての線列が同じになったとき、計算を終了する。ここでは、N=200、交差率は2種類、交差確率は3種類、突然変異確率は2種類設定する。図-2にGA法を用いたOD推計の手順を示す。

b) 逐次修正法

ただし、(q)は計算回数を表し、式(4.1)の右辺第1項が0に十分近づくまで修正計算を行う。

なお、GAを用いる場合、発生交通量として最初に人口サイズ分(Nパターン)を生成させるため、逐

● : GA法
▲ : 逐次修正法

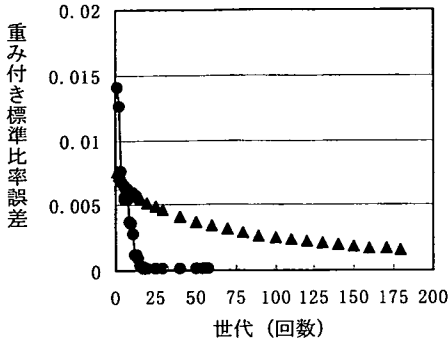


図-4 道路区間交通量の重み付き標準比率誤差

次修正による方法においても、同数(Nパターン)発生させ、道路交通量の残差平方和が最も小さい1パターンについて逐次修正していく方法を用いた。また、発生交通量が与えられた後は、どちらの場合も吸収マルコフ連鎖の式(2.5)と式(2.6)を用いて推定道路区間交通量とOD交通量を推計する。本研究で用いた逐次修正法の手順を、図-3に示す。

$$A_i^{(q)} = \left(\sum_k RX_{ik} - \sum_k EX_{ik}^{(q-1)} \right) \frac{A_i^{(q-1)}}{\sum_k RX_{ik}} + A_i^{(q-1)} \quad (4.1)$$

A_i : ノード*i*の発生交通量
 RX_{ik} : ノード*i*から*k*への実測道路区間交通量
 EX_{ik} : ノード*i*から*k*への推定道路区間交通量

本研究では、道路区間交通量と交差点での右左折直進交通量が観測値として与えられるため、OD交通量の推計には、一般に観測誤差および吸収マルコフ連鎖における経路選択に関する誤差が含まれると考えられる。しかし、ここではGAによる解の収束性を検討するという点で、GAの操作における誤差を確かめることを目的としている。したがって、あらかじめ設定した発生交通量と分岐比率を用い、吸収マルコフ連鎖によって道路区間交通量を算出し、それらの値をそれぞれ真実値(実測値)として取り扱うこととする。具体的には、前述の2つの方法により推計された道路区間交通量および発生交通量について、残差平方和(式(3.1))と重み付き標準比率誤差(式(4.2))を用いて収束性の検討を行う。

表-1 GA及び逐次修正法の結果

交差	交差 差率	突然 変異	世代 (回数)					Z
				9	10	11	12	
1	0.6	0.1	58/100	10	50	98	501	2.5
		0.05	21/100	11	51	95	496	40.5
	0.7	0.1	38/100	7	54	78	505	352.9
		0.05	31/100	7	51	97	499	18.4
	0.8	0.1	56/100	8	48	127	497	625.6
		0.05	40/100	16	27	127	480	1095.4
2	0.6	0.1	28/100	11	49	97	498	15.4
		0.05	84/100	12	48	96	497	30.7
	0.7	0.1	59/100	12	48	97	497	24.9
		0.05	88/100	12	50	100	493	51.5
	0.8	0.1	81/100	8	48	99	505	17.6
		0.05	96/100	12	49	101	489	111.7
逐次修正法			147	11	50	100	501	3.7

$$\sqrt{\frac{1}{R_x} \sum_i \sum_j R X_{ij} \left(\frac{EX_{ij} - R X_{ij}}{R X_{ij}} \right)^2} \quad (4.2)$$

RX_{ij} : 道路区間交通量の実測値
 EX_{ij} : 道路区間交通量の推計値
 R_x : 道路区間交通量の実測値の合計

(2) 結果と考察

世代(回数)と道路区間交通量の重み付き標準比率誤差の関係を図-4に示す。ここでのGAの操作条件は{交差1, 交差確率0.6以下, 突然変異確率0.1以下}である。また、収束時の発生交通量の推計値と道路区間交通量の残差平方和を、表-1に示す。

シミュレーションにおいて設定した各ノードの発生交通量の真実値は、{ノード9=10, ノード10=50, ノード11=100, ノード12=500}である。

図-4よりGAを用いた場合、収束は非常に早く、収束時の道路区間交通量の重み付き標準比率誤差も小さいため、収束状態はよいといえる。

表-1より、GAによる方法のうち、目的関数である道路区間交通量の残差平方和Zが最小であるのは、操作条件{交差1, 交差確率0.6以下, 突然変異確率0.1以下}の場合であり、逐次修正法と比較しても小さいということがわかる。しかし、交差方法、交差、突然変異の確率によっては、逐次修正法よりも大きい値で収束している場合もある。

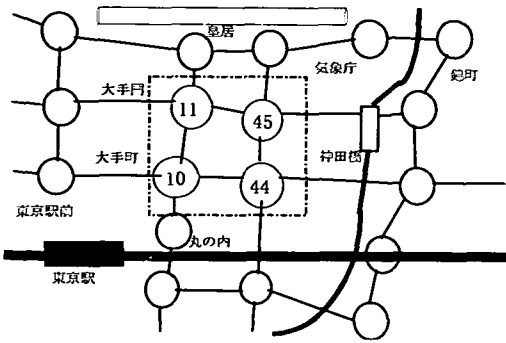


図-5 東京駅周辺の主要道路網

いずれにせよ、GAによる方法と逐次修正法のどちらを用いた場合にも、発生交通量として真実値にかなり近い値が与えられることがわかる。

以上より、GAを用いて発生交通量を与えた場合解の唯一性は保証されないが、真実値にかなり近い値が得られており、したがってOD推計へのGAの有用性が確認できたといえる。しかし、その操作条件については、何種類かの場合について計算を行い、評価関数のもっとも優れた条件を選択する必要があるといえる。ここでは、非常に小さな道路網を用いたため、計算時間は、GA、逐次修正法ともに約5秒であり差がみられなかった。推計精度、計算時間の比較のためにも、対象地域を拡大した場合の検討も、今後行っていく必要がある。

5. GAを用いた簡易OD推計法の適用性

(1) OD推計法の手順

東京駅周辺の主要交差点(井型モデルに対応する4つの交差点、図-5における交差点番号10、11、44、45)における分岐交通量の実測データ(朝・昼・夕の各2時間交通量)を用いて、本推計法の適用性を検討する。図-5に、ここで用いる交差点番号および道路区間番号を示す。また、本推計法の適用にあたって、入力するデータは次の通りである。

①実測の道路区間交通量(32区間：既知)

右左折直進交通量の観測データを方向別に合計することによって得られる。

②対象地域外のノードからの発生交通量(既知)

過渡状態1～8から各交差点に流入する交通量(道路区間1～8の交通量)をそのまま用いる。

③遷移確率行列(交差点での遷移確率：既知)

4つの交差点における分岐比率(各交差点で観測された右左折直進交通量比率)により作成する。

(朝のデータによる)

- : 1～8の道路区間交通量
 - ▲ : 9～16の道路区間交通量
 - : 17～32の道路区間交通量
- $Z = 247834$

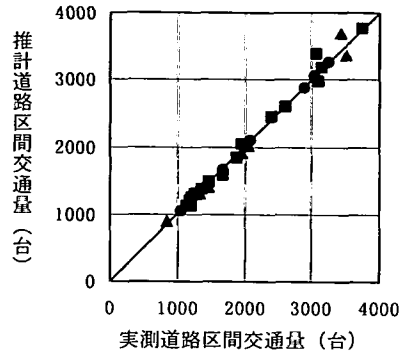


図-6 道路区間交通量の実績値と推計値の関係

④遷移確率行列(交差点以外での遷移確率：仮定)

交差点以外での過渡状態から過渡状態への遷移確率および過渡状態から吸収状態への遷移確率、また、対象地域内ノードの発生状態から過渡状態への遷移確率は未知であるので、それぞれ適宜仮定する。

また、朝、昼、夕のそれぞれの時間帯では交差点分岐比率に違いがみられ、時間帯別にOD交通量が異なると考えられる。そこで、朝・昼・夕それぞれ2時間の時間帯を対象にOD推計を行った。なお、GAの適用に当たっては、未知発生交通量のオーダー(桁数)を最大1000程度に限定し、乱数発生により非現実的な値をとらないように配慮した。

(2) 結果と考察

a) 道路区間交通量の推計精度

推計結果の一例を図-6に示す。この図は朝の時間帯における道路区間交通量の実測値と推計値の相関を示したものである。また、Zの値は残差平方和の値を示している。この推計で仮定した交差点以外での遷移確率は次の通りである。

- 交差点以外での過渡状態から過渡状態・・・0.9
- 過渡状態から吸収状態・・・0.1
- 対象外ノードの発生状態から吸収状態・・・0.5

図-6より、観測データより得られる実績道路区間交通量とマルコフモデルにより計算される推計道路区間交通量の誤差はかなり小さいことがわかる。

(朝のデータによる(変更後))

- : 1～8の道路区間交通量
 - ▲ : 9～16の道路区間交通量
 - : 17～32の道路区間交通量
- Z = 52946

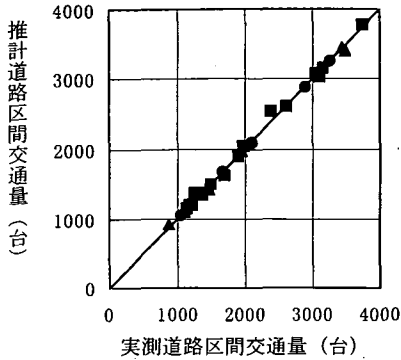


図-7 道路区間交通量の実績値と推計値の関係

表-2 道路区間交通量の推計精度

時間帯 \ 誤差	RM誤差	重み付標準比率誤差	相関係数
朝	0.204	0.039	0.995
昼	0.230	0.042	0.993
朝(変更後)	0.144	0.023	0.999

しかし、△の記号のなかに相関係数 $r = 1$ である直線から離れた点を示しているものもある。この主な原因としては、未知である対象地域内ノードへの吸収確率を便宜的に、上記のように与えていることが考えられる。そこで、交差点分岐比率以外の遷移確率を上記の配分結果を考慮して何通りか設定し、再計算を行った。その中で、推計精度が向上した遷移確率は次の通りである。(図-7)。

- ノード⑩→過渡期23 0.4
- ノード⑩→過渡期28 0.6
- 過渡期18→ノード⑩ 0.2

これらの推計結果の精度を道路区間交通量の誤差で示したのが表-2(RM誤差, 重み付標準比率誤差, 相関係数)である。

この結果、道路区間交通量の実績値と推計値の誤差は非常に小さいことがわかる。しかも、直観的ではあるが遷移確率の未知要素を更新することにより、さらに推計誤差を小さくすることが可能である。

表-3 OD交通量の推計精度

RM誤差	重み付標準比較誤差	相関係数
6.007	0.267	0.989

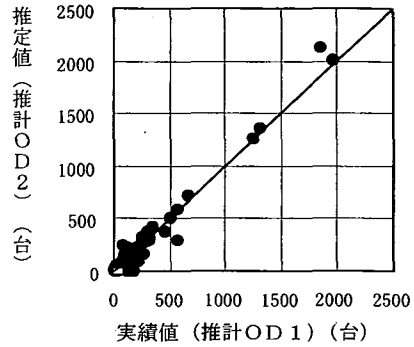


図-8 実績OD交通量(推計OD1)と推計OD交通量(推計OD2)の関係

b) OD交通量の推計精度

本研究で用いた観測データでは、実際のOD交通量が不明であるため、道路区間交通量の推計誤差が小さいとしても必ずしも推計されたOD交通量が実績(真実)OD交通量に近いという保証はない。そこで、OD交通量の推計精度を次の手順で確かめる。

- ①東京駅周辺における実測データ(道路区間交通量, 右左折直進交通量)を用いて推計されたOD交通量(推計OD1)を、既存の交通量配分モデル(等時間原則配分の近似解法である分割配分法をベースとし、信号交差点を考慮した時間交通量配分モデル)により、各道路区間に配分する。
- ②配分結果(道路区間配分交通量, 右左折直進交通量)を観測値とみなし、再びGAマルコフOD推計モデル(交通量の配分には吸収マルコフ連鎖モデルを用いている)によりOD交通量(推計OD2)を推計する。
- ③推計OD1(実測データを用いて1次推計した実績OD交通量)と推計OD2を比較する。

表-3にOD交通量の推計精度(RM誤差, 重み付標準比率誤差, 相関係数)を示す。また、その相関図を図-8に示す。

これらより、道路区間交通量の精度と比較すれば、OD交通量の精度は多少低い、相関係数も高く、重み付標準比率誤差で2.7%と比較的よい推計結果であることがわかった。

6. OD遷移確率の変動による影響分析

表-4 交差点分岐交通量の變動誤差分析

(1) 交差点におけるOD遷移確率の変動特性分析

ここで提案する簡易OD推計モデルの適用に当たっては、外生的に遷移確率行列を与える必要があるが、一般に交差点での分岐比率は時間的に変化するため、その変動特性を分析しておく必要がある。そこで本研究では以下に示す方法により分析を行った。

(i) 二項分布の母数(比率)に関する検定

(正規分布による近似的な検定)

$$z = \frac{(X_i/n) - P_0}{P_0(1-P_0)/n} \quad (6.1)$$

P_0 : 比較対象の交差点分岐比率

(2時間あるいは6時間の分岐比率)

X_i : 細かく区切った時間帯における右左折直進のそれぞれの交通量

n : その時間帯の交差点への流入交通量

時間帯ごとの交差点における分岐比率の変動特性を調べるために、①、②の有意差検定を行った。

①朝・昼・夕の各2時間、合計6時間の分岐比率と朝・昼・夕それぞれ2時間の分岐比率の有意差検定

②観測時間2時間における交差点分岐比率とその2時間を1時間、40分、30分、20分、10分に区切った時間帯における分岐比率の有意差検定

(ii) OD分布の分布形に関する変動誤差分析

(重み付き標準比率誤差)

$$\sqrt{\frac{1}{RT} \sum_i^m \sum_j^n RT_{ij} \left(\frac{T_{ij} - RT_{ij}}{RT_{ij}} \right)^2} \quad (6.2)$$

RT_{ij} : 比較対象の交差点OD交通量

(2時間のOD交通量)

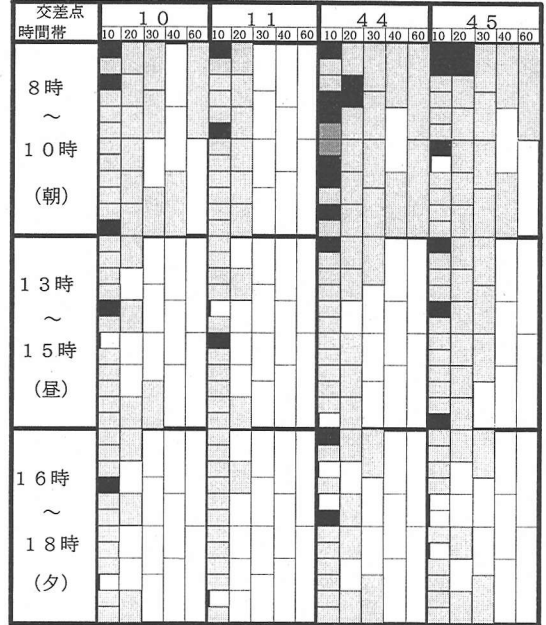
T_{ij} : 細かく区切った時間帯における

交差点OD交通量(2時間の交通流率)

RT : OD交通量の合計値 = $\sum \sum RT_{ij}$

各交差点を中心とする十字型道路網を作成し、ここで表される各方向ごとの交通量(交差点分岐交通量)を各交差点におけるOD交通量と考え、その時間帯ごとの変動特性を調べた。

具体的には、東京駅周辺の主要交差点(図-4、交差点番号 10, 11, 44, 45)における分岐交通量の実測データ(朝・昼・夕の各2時間を対象とした10分間交通量データ)を利用した。



■ 誤差が 0.100以上のもの

■ 誤差が 0.200以上のもの

二項分布の交差点分岐比率に関する結果(有意差検定①)から、6時間全体と朝・昼・夕の各2時間の交差点分岐比率には有意な差(有意水準5%)が見られ、それぞれの時間帯で交差点の分岐比率に違いがあることが明らかとなった。

表-4は、細かく区切った各時間帯と2時間の交差点OD交通量の分布形の違いを重み付き標準比率誤差(相対誤差)で表したものである。ここでは、重み付き標準比率誤差が0.100以上の時間帯に薄い網掛け、0.200以上の時間帯に濃い網掛けを施した。

この表より、網掛けが現れるのは30分間隔より細かく区切った場合である。したがって、ほぼ40分以上交差点分岐交通量を観測すれば、安定した分岐比率が得られると考えられる。また、有意差検定②の結果より、有意な差(有意水準5%)があると認められた区切りの数とその区切り全体に占める割合を見ても、ほぼ同様な結果であった。

そこで、6.(2)では、2時間データから与えられる遷移確率を使って推計OD交通量を算出するとともに、30分、40分間データを使った場合の推計OD交通量との相対誤差の比較分析を行う。つまり、30分間または40分間測定した右左折直進交通量から推定したOD遷移確率を使っても2時間のOD推計が可能かどうかの検討を行う。

表-5 OD遷移確率の違いによるOD推計精度への影響

①重み付き標準比率誤差

	30分間隔	40分間隔
8:00	0.386	0.312
	0.122	
9:00	0.121	0.112
10:00	0.123	0.116

②相関係数

	30分間隔	40分間隔
8:00	0.9919	0.9942
	0.9980	
9:00	0.9976	0.9989
10:00	0.9978	0.9985

(2) OD遷移確率の変動がOD交通量の推計精度に及ぼす影響分析

ここでは、朝の2時間データを用いた場合と、30分間データ(4種類)、40分間データ(3種類)を用いた場合のOD交通量の推計精度(相対誤差)を比較する。分析結果を表-5(重み付き標準比率誤差, 相関係数)に示す。

2時間の各道路区間交通量と30分間または40分間観測した右左折直進交通量で推計した場合と2時間観測した右左折直進交通量を用いた場合と比べると、初めの時間帯を除けば、全体として、相関関係も非常に高く、相対誤差も約12%と非常に小さい結果となった。ただし、初めの時間帯については、この30~40分間だけが非常に異なった性質を持っていると考えられる。この具体的な理由としては、8:30頃までが通勤ラッシュのピークで、その後、通勤人数が減少することが考えられる。したがって、特に朝の時間帯について40分間データによって遷移確率を与える場合、その特徴を考慮して適用する時間帯を検討する必要がある。すなわち、そうすることによって、推計誤差をより小さくすることができると思われる。なお、右左折直進交通量の観測時間を50分、60分と長くすれば、当然のことながらさらに推計精度は向上する。

7. まとめと今後の課題

本研究は、都市内のある限定された地域を対象とした新しい交通需要推計法(簡易OD推計法)を提案し、その収束性を検討するとともに東京駅周辺の主

要交差点における実測データを利用して、その適用性を検討したものである。今回提案したモデルの特徴は、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。すなわち、道路区間交通量(交差点分岐比率)の観測データのみからOD交通量の推計が可能である点が大きな特徴である。

本研究での結果をまとめると、次のようになる。

①交差点で観測できる右左折直進比率と道路区間交通量を入力データとして、遺伝的アルゴリズム(GA)を組み込んだ吸収マルコフモデルを用いれば、非常に手軽にOD交通量を推計できる。

②東京駅周辺における実測交通量データを用いたケーススタディでは、朝・昼・夕の各2時間のOD交通量を推計するには、各道路区間の2時間交通量と各交差点の右左折直進交通量を30~40分間観測すればほぼ十分であり、区間交通量のデータとして車両感知器データが利用できれば、さらに手軽にOD推計が可能である。

③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)が全くない場合の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。

ただし、OD交通量の推計精度には多少の誤差が存在した。その原因としては、①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からである。今後は、マルコフモデルに改良を加え、非現実的な経路選択を行わないようにしたい¹⁴⁾。また、②外的的に与える遷移確率行列の中に未知要素が存在し、今回はその未知要素を適当に仮定したからである。この値は、発生交通量に対し独立していないため、GAの設計変数には加えることができない。したがって、今後はそれらを合理的に決定する方法の確立が必要である。なお、今回のケーススタディでは対象道路網が小さく未知変数の数が少ないために、非常に解の収束性が速かった。今後は対象地域を広げ、GAの収束性など本推計モデルの適用性(適用可能な対象地域の広さや最適な交差点右左折直進比率の観測時間間隔など)を検討する必要がある。

謝辞：最後に、本研究は文部省科学研究費・一般研究C(代表 高山純一)、ならびに基盤研究B(代表名古屋工業大学教授 松井寛)により行っ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) 井上博司：交通量調査資料を用いたOD交通量の統計的推計法，土木学会論文集，第 332 号，pp.85～94，1983.
- 2) 飯田恭敬，高山純一，金子信之：傾向変動を考慮したリンク交通量によるOD交通量推計法，土木学会論文集，第 383 号，pp.83～91，1987.
- 3) 井上博司：シャドウ・コスト概念による観測交通量からのOD交通量推計法，土木学会論文集，第 401 号，pp.41～50，1989.
- 4) 井上博司：スクリーンライン調査によるOD表の精度の検定およびOD表の修正法，交通工学，Vol.12，No.6，pp.11～19，1977.
- 5) Van Zuylen, H. J. and Willumsen, L. G. : The Most Likely Trip Matrix Estimated from Traffic Counts, Transpn. Res. -B, Vol.14B, pp.281～293, 1980.
- 6) 松本幸正，藤田素弘，松井寛：リンク交通量に基づく時間OD交通量の推計手法に関する研究，交通工学，Vol.29，No.3，pp.11～19，1994.
- 7) 飯田恭敬，浅井加寿彦，椿川利弘：観測交通量による交通需要推計モデルの部分道路網結合計算法の検討，交通工学，Vol.15，No.6，pp.21～31，1979.
- 8) Norman, M., Hoffmann, N. and Harding, F. : Noninteractive Methods for Generating A Realistic Turning Flow Matrix for A Junction, Traffic Engineering and Control, Vol.20, No.12, pp.587～589, 1980.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 田村亨，杉本博之，上前孝之：遺伝的アルゴリズムの道路整備順位決定問題への適用，土木学会論文集，第 482 号，pp.37～46，1994.
- 12) 飯田恭敬：発生交通量のみを变量とした実測交通量による交通需要推計法，土木学会論文報告集，第 283 号，pp.95～104，1979.
- 13) 財)国土開発技術センター：平成5年度幹線道路一方通行調査検討業務報告書，1994.
- 14) 赤松隆：Markov 連鎖配分と LOGIT 型配分，土木学会交通ネットワークスタディー資料，1995.
- 15) 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.
- 16) 高山純一，杉山智美，藤岡寛之：交差点分岐比率の変動が観測交通量からのOD推計に及ぼす影響分析，第15回交通工学研究発表会論文報告集，pp.221～224，1995.
- 17) 高山純一，杉山智美：GAを用いた観測交通量からのOD推計法の解の収束性，土木学会中部支部研究発表会講演概要集，pp.611～612，1996.

(1996.8.13 受付)

A STUDY ON O-D ESTIMATION MODEL BY OBSERVED LINK FLOWS USING ABSORBING MARKOV CHAIN

Jun-ichi TAKAYAMA and Tomomi SUGIYAMA

In order to optimize signal control parameters and to reexamine traffic regulations on a particular aspect of the subject area, origin destination table must be estimated in detail. We present a simplified O-D estimation model from measurement of traffic flows on the links in road network by using Absorbing Markov Chain combined with Genetic Algorithm. We analyze the convergence of this model. And the model suggested here is applied to the practical network in the vicinity of Tokyo Station in order to reveal the properties of the modified model and to investigate the validity of this model.