

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

TRAFFIC DEMAND ESTIMATION MODEL BY OBSERVED LINK FLOWS CONSIDERING TREND OF SECULAR CHANGE

飯田恭敬*・高山純一**・金子信之***

By Yasunori IIDA, Jun-ichi TAKAYAMA and Nobuyuki KANEKO

We have developed some models which estimate an OD matrix from traffic counts. In this paper, we present a model to estimate OD matrix consistent with the observed link flows considering trend of a secular change. The model is constructed by maximum likelihood method on the assumption that the past OD table and a set of probabilities of using links by each OD pair are known.

Since that the existence of errors in the predetermined and the observed data will give some influences on the accuracy in the estimates in practical application of the model, we examined and compared our models through numerical analyses.

Keywords : OD matrix estimation, observed link flows, maximum likelihood method

1. まえがき

交通需要推計には、これまで主に四段階推定法が用いられてきた。しかし、この方法は広域的なパーソントリップ調査をベースとするため、調査や解析に膨大な費用と時間が必要であり、都市圏全体での巨視的総合交通計画の立案には有効であるが、現実道路網を対象とした交通規制や交通制御などの交通政策の策定には、推計精度の面で対応が困難である。それゆえ、より経済的で、推計精度の信頼性が高く、しかも推計作業が容易に行える新しい推計モデルの開発が期待されてきた。

新しい推計手法の1つとして最近研究されているのが、観測リンク交通量に基づいた道路網交通需要推計モデルである。このモデルの利点は、既存のOD交通量データが得られる場合、道路区間交通量を観測するだけで現実道路網に即した形のOD交通量が容易に推計できる点にある¹⁾。既存OD交通量が入手できない場合には、簡単なサンプル調査を実施するか²⁾、あるいは重力モデル等の分布モデルを平均的OD分布として、その

パラメーターを求めるべばよい³⁾。推計値の信頼性の面でも、観測交通量誤差（幹線道路のみを対象としたネットワーク表示では、細街路への流入出交通量による誤差が生じるし、地点によって観測交通量の調査日が異なる場合にはデータの非整合による誤差が考えられる）が極端に大きくなり限り、比較的高い精度で推計値が得られることが、これまでのモデル計算で検証されている^{1),4)}。しかも、既存の交通量調査資料（道路交通センサス資料、車両感知器データ、etc.）を有効利用できるので、非常に経済的な手法といえる。

しかし、これまでに開発してきた観測リンク交通量に基づく推計モデルの多くは、OD交通量を確定値として取り扱っているため、日々変化するOD交通量の変動には十分対応ができなかった。そこで本研究では、まず交通量変動を考慮した従来の研究を整理し、新たに傾向変動を考慮する場合の新しい推計モデルを提案する。特に、ここでは任意抽出された道路区間で交通量観測が行われている場合の推計方法を示す⁵⁾。次に、モデルの適用性を検討するためのシミュレーション方法と推計手順を示し、簡単な対象道路網を用いたシミュレーション結果を示す。適用性の検討は、外生的に入力する道路区間利用率、各種パラメーターの推定誤差および道路区間交通量の観測誤差の影響を検討することにより行う。

* 正会員 工博 京都大学教授 工学部交通土木工学科
(〒606 京都市左京区吉田本町)

** 正会員 工修 金沢大学助手 工学部土木建設工学科
(〒920 金沢市立野2-40-20)

*** 学生会員 金沢大学大学院 工学研究科(同上)

このように、日々変化するOD交通量の変動に対応できれば、OD交通量のアップデート（更新）という点からも現実道路網にできるだけ即した形で道路網交通流解析（OD交通量のみではなく経路交通量も取り扱い得る）が可能となる。そうなれば、交通状態に対応した交通規制等による道路網の合理的な運用計画には不可欠のデータを提供することができる。

2. 交通量変動特性を考慮した従来の研究

井上博司(1977)⁶⁾, (1983)³⁾および著者ら(1983)^{7), 8)}(1984)⁹⁾は、これまでにOD交通量の変動特性を考慮した推計法をいくつか提案している。井上は交通量変動を考慮するためにOD交通量を1つの確率変数として定義し、その確率分布(正規分布)を理論的に誘導するとともに、最尤推定法を用いてOD交通量を推計する2つの推計手法を提案している。1つは、パーソントリップ調査などによって信頼性のある既存OD表が得られている場合に、そのOD表をベースとして各道路区間での観測交通量から交通量観測時のOD表を推計する方法(以後、井上の推計法2とよぶ)である。この方法は井上がスクリーンライン交通量により、OD表の修正を行う方法として先に提案した推計法(以後、井上の推計法1とよぶ)を発展させたものである⁶⁾。もう1つは、過去にパーソントリップ調査が実施されていない場合、あるいは調査から相当年月が経過してOD分布のパターンが変化している場合(傾向変動が大きい場合など)に適用するモデルで、重力モデル値を基本的な分布パターンとしてOD交通量の推計を行う方法(以後、井上の推計法3とよぶ)である³⁾。

著者らは井上とは別に周期変動を考慮する場合も含め3つのタイプの推計法を提案している。1つは、井上の推計法2と同様、不規則変動のみを考慮すればよい場合に適用する推計法である。井上法との違いは、道路区間交通量相互の相関係数を考慮に入れた点にあり、推計時点における母平均OD交通量を推計する過程（以後、母数推計法1とよぶ）と、その推計された母数を用いて推計時点の現実OD交通量を推計する過程（以後、OD推計法1とよぶ）の2段階から成っている⁸⁾。2つ目は周期変動（月間変動、曜日変動など）を考慮に入れた推計法（以後、OD推計法2とよぶ）で、周期変動が無視できない場合に存在するOD交通量相互の相関関係をモデルに組み込んだところに特徴がある⁹⁾。3つ目は既存OD調査時点と推計時点のODパターンが異なり、傾向変動が無視できない場合に適用する推計法で、発生交通量を未知変量とした母数推計法3と、その推計母数を用いて現実OD交通量を推計するOD推計法3である⁷⁾。本研究で検討を行うのは、3つ目の推計モデルで

あり、すでにモデル定式化の考え方と簡単なモデル計算結果を発表している⁷⁾。しかし、①傾向変動の大きさ（傾向変動係数）がODペアによらずすべて一定である、②対象道路網内すべての道路区間交通量が観測されている、と仮定して適用性の検討を行っているため、実用化を考えた場合、多少問題が残るといえる。そこで、本研究では①傾向変動の大きさがODペアによって異なる、②道路区間交通量が部分的にしか観測されていない、といったより一般的な場合について、その改良方法の提案を行う⁵⁾。そして、同類モデルとしての井上の推計法3（重力モデル法）との比較分析により、本推計法の有効性とその適用限界を明らかにする。

3. モデルの定式化とその解法

一般に、交通量変動は月間変動や曜日変動などのような周期のはっきりした変動と長期間にわたって時系列的に変化する傾向変動、さらにそれら以外の不規則な変動（偶然によって起こるランダム変動など）が混合して起こると考えられる¹⁰⁾。

本研究では、既存OD交通量の調査時点からかなりの時間経過があり、OD交通量の確率分布が既存OD調査時点 τ_0 と推計時点 τ_1 (道路区間交通量の観測時点)において、大きく異なる(たとえば、傾向変動が大きい)場合に適用する推計法を提案する。ただし、井上博司が仮定したように本研究においても、時間 τ を固定した場合、時間 τ の近傍では各OD交通量は正規分布に従うものと仮定する³⁾。これは地点交通量データの変動分布形がほぼ正規分布に従うという著者らの分析結果からも類推できる¹⁰⁾。

いま、OD 交通量 $T_{ij}(\tau)$ を 1 つの確率変数として定式化すると、次のように表わすことができる。

$$T_{ij}(\tau_1) = \mu_{ij}(\tau_0) + \psi_{ij}(\tau_0, \tau_1) + \sum \xi_{ij}^s(\tau_1) + \varepsilon_{ij}, \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 $\mu_{ij}(\tau_0)$, $\mu_{ij}(\tau_1)$ は、それぞれ既存 OD 調査時 τ_0 , 推計時 τ_1 における OD 交通量の母平均を表わし、 $\psi_{ij}(\tau_0, \tau_1)$, $\sum_s \xi_{ij}^s(\tau_1)$ はそれぞれ、 τ_0 , τ_1 間の傾向変動成分、 τ_1 における周期変動成分を表わす。ただし、本研究では $\sum_s \xi_{ij}^s(\tau_1)$ は対象外とし、 $\psi_{ij}(\tau_0, \tau_1)$ は重力モデル構造で表わすことにより考慮する。また、 ϵ_{ij} は不規則変動成分を表わす強定常な確率変数であり、 $N(0, \sigma_{ij}^2(\tau_1))$ に従う誤差項とする。

したがって、推計時 τ_1 における OD 交通量 T_{ij} の確率密度関数は式 (3) のように表わされる³⁾。

$$G(t_{ij}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{ij}^2(\tau_1)} \cdot \exp \left\{ -\frac{(t_{ij} - \mu_{ij}(\tau_1))^2}{2\sigma_{ij}^2(\tau_1)} \right\} \dots\dots (3)$$

ただし、 t_{ij} は τ_i における OD 交通量 T_{ij} の 1 つの実現値（日々変動する OD 交通量）であり、 $\mu_i(\tau_i)$

$\sigma^2(\tau_i)$ はそれぞれ τ_i における OD 交通量 T_{ij} の母平均（推計時点における平均値的な OD 交通量であり、年平均的な道路区間交通量データが得られる場合には年平均 OD 交通量となり、週平均的な道路区間交通量データを利用する場合には週平均 OD 交通量となる）、母分散を表わす。

ここで、 $\mu_i(\tau_i)$ は時間 τ が決まれば一意的に定まる確定値と考えられるので、式(4)に示すような重力モデル構造で表わすことができる。 $u(\tau_i)$ 、 $v(\tau_i)$ は発生ゾーンおよび集中ゾーンの発生、集中パラメーターを表わし、 $R_{ij}^*(\tau_i)$ は ij ゾーン間の交通抵抗パターンを表わすパラメーターである。一般的には、 $R_{ij}^*(\tau_i)$ も時間 τ によって変化すると考えられるが、 $R_{ij}^*(\tau_i)$ の変化は小さいものとし、ここでは既存 OD 交通量 t_{ij}^* を用いて式(5)のように定義する。なお、*印は先決値(既知量)であることを示す。

$$R_{ij}^*(\tau_1) \doteq R_{ij}^*(\tau_0) = \frac{t_{ij}^*}{\sum_i t_{ij}^* \sum_j t_{ij}^*} \dots \dots \dots (5)$$

モデルの概念図を示すと図-1 のようになる。すなはち、既存 OD 調査時および推計時において日々変化する OD 交通量 t_{ij} および \bar{t}_{ij} は OD 交通量の母集団 $N(\mu_{ij}(\tau_0), \sigma^2_{ij}(\tau_0))$ および、 $N(\mu_{ij}(\tau_1), \sigma^2_{ij}(\tau_1))$ からの 1 つの実現値と考えられる。しかし、傾向変動が大きい場合には、母数（母平均、母分散）それ自身が大きく変化するため推計時の母数を何らかの方法で推計する必要がある。

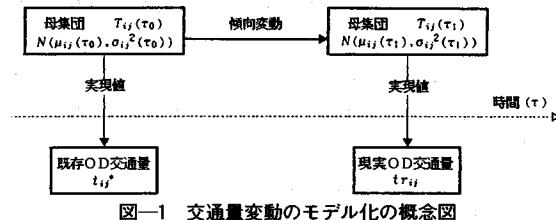


図-1 交通量変動のモデル化の概念図

そこで、本研究では観測道路区間交通量 $x_k^*(\tau_i)$ を情報として、最尤推定法により母数 μ_{ij} を推計する方法を提案する。 μ_{ij} が求まれば、OD 推計法 3 を用いることにより、推計時の OD 交通量 t_{ij} を求めることができるので⁷⁾。なお、推計に用いる分散 $\sigma_{ij}^2(\tau_i)$ は推計精度にそれほど大きな影響を与えないと考えられるので^{3), 7)}、母数推計法 3 では便宜的に既存 OD 調査時の分散 $\sigma_{ij}^2(\tau_0)$ を用い、OD 推計法 3 では推計された $\mu_{ij}(\tau_i)$ を用いて、 $\sigma_{ij}^2(\tau) = \alpha(\mu_{ij}(\tau_i))^q$ のように近似した。ただし、その影響についてはシミュレーションにより検討する。

(1) 母數推計法 3

道路区間交通量 X の同時確率は多次元正規分布で与えられる。

えられ、その同時確率密度(すなわち尤度関数)は式(6)のように表わされる。したがって、同時確率密度(式(6))が最大となるときの値を推計母数 $\mu_{ij} = f(u_i, v_j)$ と考えれば、次の最適化問題(式(7))を解くことにより、推計時の u_i, v_j を求めることができる。

ここで、 $x^* = [x_1^*, x_2^*, \dots, x_l^*]$ は道路区間交通量の観測値（実現値）であり、 $m = [m_1, m_2, \dots, m_l]$ はその平均値 ($m_k = \sum_i \sum_j p_{ij}^k \mu_{ij}$) を表わす。また、 $A = [a_{kh}]$ ($k = 1, 2, \dots, l$; $h = 1, 2, \dots, l$) は道路区間交通量 X の分散共分散行列 ($a_{kh} = \text{Cov}(X_k, X_h) = \sum_i \sum_j p_{ij}^k \cdot p_{ih}^k \cdot \sigma_{ij}^2$) を表わす。ただし、 p_{ij}^k は OD ペア ij が道路区間 k を利用する確率（道路区間利用率）を表わす。

$$L(x_k^*; \mu_{ij}) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{1}{2}} \sqrt{|A|}} \times \exp \left\{ -\frac{1}{2} (x^* - m)^T \cdot A^{-1} \cdot (x^* - m) \right\}$$

..... (6)

式(4)の関係より、式(7)を展開すれば、次のように表わすことができる。ただし、 a'_{kh} は A^{-1} の(k, h)要素を示す。

$$\begin{aligned}
 H &= \sum_k \sum_h (x_k^* - \sum_i \sum_j p_{ij}^k u_i v_j R_{ij}^*) \\
 &\quad \times (x_h^* - \sum_i \sum_j p_{ih}^k u_i v_j R_{ij}^*) \cdot a'_{kh} \\
 &= \sum_k \sum_h x_k^* x_h^* a'_{kh} - 2 \sum_k \sum_h x_k^* a_{kh} \cdot (\sum_i \sum_j p_{ij}^k u_i v_j R_{ij}^*) \\
 &\quad + \sum_k \sum_h a'_{kh} \cdot (\sum_i \sum_j p_{ij}^k u_i v_j R_{ij}^*) \\
 &\quad \times (\sum_i \sum_j p_{ih}^k u_i v_j R_{ij}^*) \Rightarrow \text{Min.} \dots \dots \dots (8)
 \end{aligned}$$

ここで、発生パラメーター u_i 、集中パラメーター v_j をそれぞれ各ゾーンの発生、集中交通量と考え、ノード j (ゾーン j の発生、集中交通量をノード j で代表させている) への流入方向合計交通量 $\sum_k x_{kj}^*$ と流出方向合計交通量 $\sum_k x_{jk}^*$ の差 (d_j^*) が発生、集中交通量の差 ($u_i - v_j$) に等しいという関係を利用すれば、 v_j は u_i と d_j^* を用いて式 (9) のように表わすことができる¹⁾。

したがって、この関係を式(8)に代入して整理すると式(10)が得られる。よって、式(10)を最小にする u_i を求めれば、式(11)に代入することにより推計母数 μ_{ij} (推計時点における平均的なOD交通量)を求めることができる。この問題は制約条件なしの非線形最適化問題となるため、計算はブレント法¹¹⁾を用いて行った。

$$H = \sum_k \sum_h x_k^* x_h^* a'_{kh} - \sum_k \sum_h x_k^* a'_{kh} \cdot |\sum_i \sum_j p_{ij}^k u_i (u_j - d_j^*) R_{ij}^*| + \sum_k \sum_h a'_{kh} \cdot |\sum_i \sum_j p_{ij}^k u_i \sum_k \sum_h (u_j - d_j^*) R_{ij}^*|$$

$$\times \left| \sum_i \sum_j p_{ij}^k u_i (u_j - d_j^*) R_{ij}^* \right| \Leftrightarrow \text{Min.} \quad (10)$$

$$\mu_{ij} = u_i \cdot (u_j - d_j^*) \cdot R_{ij}^* \quad (11)$$

(2) OD 推計法 3

OD 交通量 T_{ij} の一組の実現値 t_{ij} が同時に生起する同時確率密度は、井上博司が示したように式(3)より式(12)のように表わされる^{3), 6)}。したがって、同時確率密度最大の考え方より Q を最大にする t_{ij} が推計 OD 交通量と考えられる。ここで、分散 σ_{ij}^2 を推計された μ_{ij} を用いて $\sigma_{ij}^2 = \alpha \times (\mu_{ij})^\beta$ (たとえば、常時観測地点交通量データの変動特性を分析することにより推定可能である。井上の推計法1では $\beta=1.0$ としている) のように近似すれば、 Q の最大化問題は F の最小化問題として書き直すことができる。ただし、式(14)に示す道路区間交通量(同一調査日)を制約条件として解く必要がある。この方法は井上博司の提案した推計法1(スクリーンライン交通量を制約条件としている)および推計法2, 3(道路区間交通量を制約条件としている)の考え方と同じである。

この問題の解法は、ラグランジエの未定乗数法を用いれば、簡単に行うことができる^{6), 7)}。

$$Q(t_{ij}) = \prod_{ij} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{ij}^2}} \times \exp \left\{ -\frac{1}{2} \sum_i \sum_j \frac{(t_{ij} - \mu_{ij})^2}{\sigma_{ij}^2} \right\} \quad (12)$$

$$F = \sum_i \sum_j \frac{(t_{ij} - \mu_{ij})^2}{\alpha(\mu_{ij})^\beta} \Leftrightarrow \text{Min.} \quad (13)$$

$$x_k^* = \sum_i \sum_j p_{ij}^k \cdot t_{ij} \quad (14)$$

4. モデルの簡略化とその改良⁵⁾

交通量観測の簡素化や計算機容量、計算時間の節約を考えると、推計に用いる道路区間数(i)はできるだけ少ない方が有利である。しかし、そのためには、 d_j^* (あるいは v_j) を何らかの形で推定する必要がある。

(1) 方 法 1

道路区間交通量がすべて観測されていて、計算機容量および計算時間の節約を目的とする場合には、観測値の一部を用いてモデル定式化を行い、OD 交通量を推計すればよい。ただし、 d_j^* はすべての道路区間交通量からあらかじめ計算しておく必要がある。

道路区間交通量が部分的にしか観測されていない場合には、方法2、方法3が考えられる。

(2) 方 法 2

既存 OD 調査時 τ_0 の道路区間交通量 $y_s^*(\tau_0)$ を用いて未知道路区間交通量 $x_s(\tau_1)$ (観測されていない道路区間交通量) を推定し、 d_j^* の計算を行う。ただし、OD 交通量の推計には、観測値 $x_k^*(\tau_1)$ のみを用いる。

$$x_s(\tau_1) = \frac{\sum_k x_k^*(\tau_1)}{\sum_k y_k^*(\tau_0)} \cdot y_s^*(\tau_0) \quad (15)$$

(3) 方 法 3

既存 OD 調査時 τ_0 の発生パラメーター u_i^* (すなわち発生交通量 $a_i^* = \sum_j t_{ij}^*$) と集中パラメーター v_j^* (すなわち集中交通量 $b_j^* = \sum_i t_{ij}^*$) の比 w_j^* ($= v_j^*/u_i^*$) を用いて、推計時 τ_1 の集中パラメーター v_j を推定する。

$$v_j = w_j^* \cdot u_i^* \quad (16)$$

v_j を式(8)に代入すると次のようになる。ただし、OD 交通量の推計には、観測値のみを用いる。

よって、式(17)に示す最適化問題を u_i について解けば、式(18)より推計母数 μ_{ij} を求めることができる。

$$H = \sum_k \sum_h (x_k^* - \sum_i \sum_j p_{ij}^k u_i w_j^* R_{ij}^*) \\ \times (x_k^* - \sum_i \sum_j p_{ij}^k u_i w_j^* R_{ij}^*) \cdot a_{kh} \Leftrightarrow \text{Min.} \quad (17)$$

$$\mu_{ij} = u_i \cdot u_j \cdot w_j^* \cdot R_{ij}^* \quad (18)$$

(4) 方 法 4

一般に、道路区間交通量は互いに相関をもつと考えられるが、その観測誤差 σ_x が大きい場合(たとえば、ネットワーク表示の簡略化による誤差が大きい場合や調査日の異なるデータを用いる場合)には、独立(相関ゼロ)として定式化を行った方がよい。相関をもつ場合には、道路区間交通量の同時確率は多次元正規分布(式(6))で与えられるが、独立の場合には単純に正規分布(式(19))となる。

$$p(x_1^*, x_2^*, \dots, x_i^*) = \prod_k \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_k^2}} \cdot \exp \left\{ -\sum_k \frac{(x_k^* - m_k)^2}{2\sigma_k^2} \right\} \quad (19)$$

ここで、 $m_k = \sum_i \sum_j p_{ij}^k \mu_{ij}$, $\sigma_{ij}^2 = \sum_i \sum_j (p_{ij}^k)^2 \times \sigma_{ij}^2$ を式(19)に代入し、指数部を改めて H とおくと式(20)あるいは式(21)のようになる。

$$H = \sum_k \frac{(x_k^* - \sum_i \sum_j p_{ij}^k \mu_{ij})^2}{\sum_i \sum_j (p_{ij}^k)^2 \cdot \sigma_{ij}^2} \Leftrightarrow \text{Min.} \quad (20)$$

$$H = \sum_k \frac{|x_k^* - \sum_i \sum_j p_{ij}^k u_i (u_j - d_j^*) R_{ij}^*|^2}{\sum_i \sum_j (p_{ij}^k)^2 \cdot \sigma_{ij}^2} \Leftrightarrow \text{Min.} \quad (21)$$

よって、式(21)に示す最適化問題を u_i について解けば、式(11)より推計母数 μ_{ij} を計算することができる。

5. シミュレーションの方法と推計手順

本研究では、図-2に示すようなシミュレーションにより、モデルの推計精度を検討する。まず、既存 OD 調査時 τ_0 の母数 μ_{ij} を外生的に設定する。これと同時に

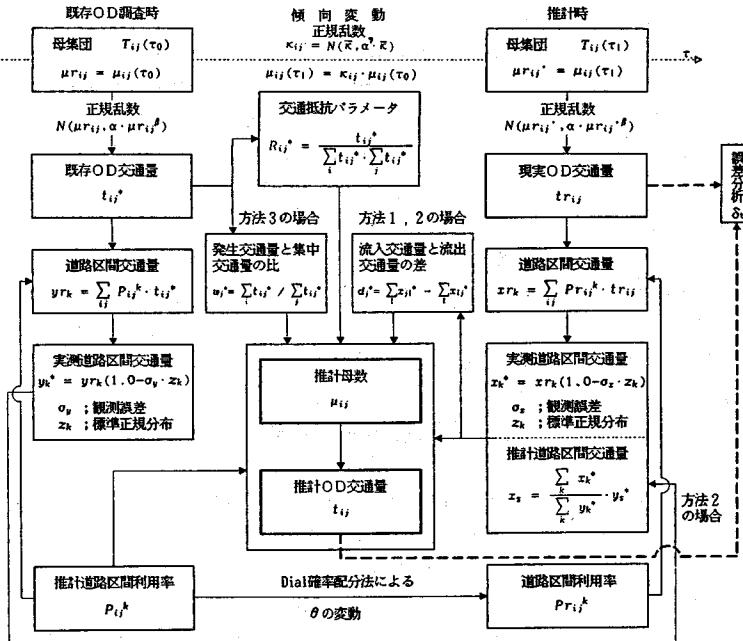


図-2 シミュレーションの手順を示すフローチャート

に、時間 τ による傾向変動を考慮するために、仮想的に傾向変動成分 x_{ij} (≥ 0) を設定し、式 (22) に示すように、推計時 τ_1 の母数 $\mu r'_{ij}$ を作成する。ただし、 x_{ij} の設定は各 OD ペアの傾向変動係数の平均値を \bar{x} として、正規乱数 $N(\bar{x}, \alpha \cdot \bar{x})$ を発生させることにより行った。 α' はパラメーターである。

$$\mu r'_{ij} = x_{ij} \cdot \mu r_{ij} \quad \dots \dots \dots (22)$$

次に、既存 OD 調査時の母数 μr_{ij} と推計時の母数 $\mu r'_{ij}$ を用いて、2組の正規乱数 $N(\mu r_{ij}, \alpha \mu r_{ij}^{\beta})$, $N(\mu r'_{ij}, \alpha \mu r'_{ij}^{\beta})$ を発生させる。ここで、 α, β はパラメーターである。前者を既存 OD 交通量 t_{ij}^* 、後者を推計時現実 OD 交通量 tr_{ij} とし、人工的にデータの作成を行う。シミュレーションではこの t_{ij}^* および tr_{ij} を道路網に配することによって道路区間交通量 y_{rk} , x_{rk} を作成する。ただし、 y_{rk} , x_{rk} は道路区間 k の交通量であり、一般には観測誤差 σ_x , σ_y % (比率誤差) が含まれるため、本研究では式 (24), 式 (26) を用いてその影響も検討する。

ここで、 Z_k は y_{rk} および x_{rk} に対する標準正規乱数を示す。また、 p_{ij}^k は推計時における道路区間利用率を表わす。ここでは、Dial 確率配分法¹²⁾により推計された既存 OD 調査時の道路区間利用率 p_{ij}^* をパラメーター θ を用いて変動させて作成した。

$$y_{rk} = \sum_i \sum_j p_{ij}^k \cdot t_{ij}^* \quad \dots \dots \dots (23)$$

$$y_k^* = y_{rk}(1.0 - \sigma_y \cdot Z_k) \quad \dots \dots \dots (24)$$

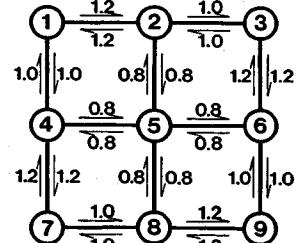


図-3 計算に用いた対象道路網とリンク初期所要時間

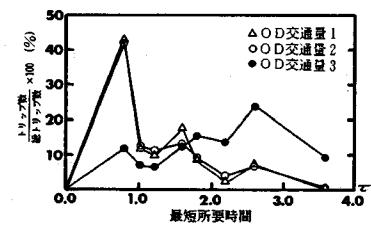


図-4 トリップ長分布

$$x_r = \sum_i \sum_j p_{ij}^k \cdot tr_{ij} \quad \dots \dots \dots (25)$$

$$x_k^* = x_r(1.0 - \sigma_x \cdot Z_k) \quad \dots \dots \dots (26)$$

本研究では、以上のようにして作成した t_{ij}^* , x_k^* と外生的に与える p_{ij}^* を既知データとして、まず、推計時の母平均 OD 交通量 μ_{ij} (推計母数) の推計を行う。そして、それを用いて推計時の OD 交通量 t_{ij} (推計 OD 交通量) を推計する。なお、シミュレーションでは、モデル適用上問題となる道路区間交通量の観測誤差の影響と道路区間利用率 p_{ij}^* の先決誤差 (Dial 確率配分法のパラメーター θ の先決誤差) の影響を検討し、モデルの推計特性を明らかにする。

推計 OD 交通量 t_{ij} に対する推計誤差の表示は、交通量の多いものほど交通工学的の取扱いが重要となるので、式 (27) に示すように、交通量で重み付けした標準比率誤差を用いる。

$$\delta_t(t_{ij}, tr_{ij}) = \sqrt{\frac{1}{\sum_i \sum_j tr_{ij}} \sum_i \sum_j tr_{ij} \left(\frac{t_{ij} - tr_{ij}}{tr_{ij}} \right)^2} \quad \dots \dots \dots (27)$$

6. シミュレーション結果と考察

本研究では、モデルの特性とその適用性を検討するために、OD 交通量についての仮想的な正規母集団を考え、図-3 に示すような簡単な対象道路網（アーケ上の数値は初期所要時間を表わす）を用いて推計精度の検討を行う。母集団の変動の大きさやゾーニング方法などによつ

て異なるOD分布パターンの違いが推計精度にどのような影響を及ぼすか検討するために、次に示す6通りの正規母集団を設定した。具体的には、既存OD調査時 τ_0 における母平均 μr_{ij} （OD交通量1, 2, 3）と母分散 $\sigma_{ij}^2 = \alpha \times \mu r_{ij}^\beta$ （パラメーター α, β ）の大きさの組合せにより設定した。ただし、OD交通量1およびOD交通量2は、都市圏全域を対象にゾーニングする場合を想定したものであり、近距離トリップが卓越した重力モデル型のODパターンである。また、OD交通量3は都市中心部を対象に周辺部は集約してゾーニングする場合を想定したものであり、距離に影響されないランダム型のODパターンである。なお、重力モデルによる推計OD交通量と母平均OD交通量の適合性（相関係数 ρ 、重み付き標準比率誤差 δ_t 、平均比率誤差 δ ）はそれぞれOD交通量1 ($\rho=0.987, \delta_t=23.6\%, \delta=22.6\%$)、OD交通量2 ($\rho=0.922, \delta_t=46.0\%, \delta=68.6\%$)、OD交通量3 ($\rho=0.639, \delta_t=38.3\%, \delta=67.4\%$)である。また、ここでは傾向変動のパラメーター α' を $\alpha'=0.2$ としてシミュレーションを行った。

[シミュレーションに用いたデータ]

- (a) データA : μr_{ij} =OD交通量1, $\sigma_{ij}^2=0.5 \mu r_{ij}$
- (b) データB : μr_{ij} =OD交通量1, $\sigma_{ij}^2=0.15 \mu r_{ij}$
- (c) データC : μr_{ij} =OD交通量2, $\sigma_{ij}^2=0.5 \mu r_{ij}$
- (d) データD : μr_{ij} =OD交通量2, $\sigma_{ij}^2=0.15 \mu r_{ij}$
- (e) データE : μr_{ij} =OD交通量3, $\sigma_{ij}^2=0.5 \mu r_{ij}$
- (f) データF : μr_{ij} =OD交通量3, $\sigma_{ij}^2=0.15 \mu r_{ij}$

(1) 推計時分散の与え方が推計精度に及ぼす影響

推計に用いる分散 $\sigma_{ij}^2 = \alpha t_{ij}^{\beta\theta}, \sigma_{ij}^2 = \alpha \mu_{ij}^\beta$ のパラメーター β の影響を検討するため、 β を $\beta=1.0, \beta=1.5, \beta=2.0$ と変化させて、3回のシミュレーション（方法1）

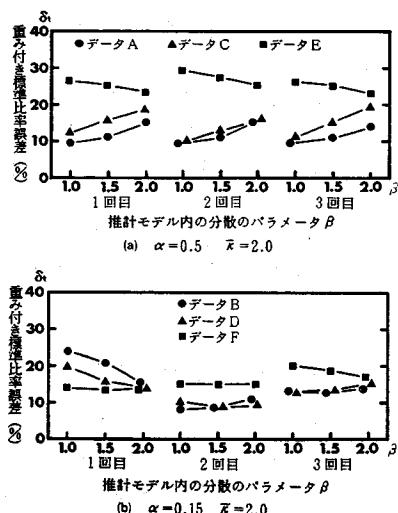


図-5 推計モデル内の分散のパラメーターが推計精度に及ぼす影響

を行った。

結果の一例を図-5 ((a) $\alpha=0.5$, (b) $\alpha=0.15$) に示す。この図は、傾向変動係数の平均値 \bar{x} を $\bar{x}=2.0$ としたものである。ここでは、道路区間交通量の観測誤差 σ_x の影響と経路選択率の先決誤差 σ_p の影響を除くために、 $\sigma_x=0\%$, $\sigma_p=0\%$ としてシミュレーションを行った。これらの図より、全体的傾向としては推計時の β の影響はそれほど大きくなきものといえる。ただし、母集団によっては、 β の影響が多少大きい場合（たとえば、データA, C）もあるので、なるだけ既存交通量資料などを利用して、交通量変動特性を分析しておく必要があるといえる。

(2) OD別道路区間利用率の先決誤差が推計精度に及ぼす影響

道路区間利用率の先決誤差（推定誤差）の影響を検討するため、Dial確率配分法の配分パラメーター θ を3通り（現実値 $R\theta=0.0, 0.5, 1.0$ ）設定して、シミュレーションを行った。結果の一例を、図-6（データC）に示す。ただし、道路区間交通量の観測誤差の影響はないものとする。

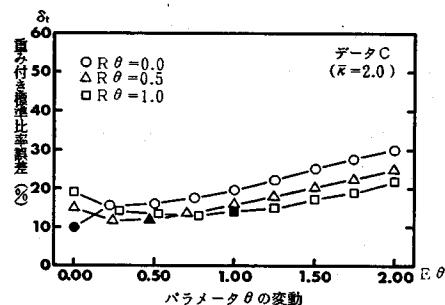


図-6 配分パラメーターの先決誤差が推計精度に及ぼす影響

なお、実際の適用結果では θ の値が $\theta=1.63$ （昭和46年岐阜市）¹³⁾、 $\theta=0.5$ （昭和56年岐阜市）¹⁴⁾であるので、ここでは $E\theta$ を0.0から2.0の範囲で変化させてシミュレーションを行った。この図-6より、推計に用いる $E\theta$ の値が現実値 $R\theta$ からずれるほど、推計誤差は大きくなるが、その影響はそれほど大きくなきことがわかる。なお、この傾向は他のデータにおいても同様であった。

(3) 母集団のOD分布パターンが推計精度に及ぼす影響

OD分布パターンの相違が推計精度にどのような影響を及ぼすか検討するために、シミュレーションを行った。結果の一例を図-7（データA, C, E）に示す。

この図より、いずれの推計法も母集団分布が重力モデル式からずれるほど推計精度が悪いといえる。特に、井上の推計法3ではその影響が顕著であり、OD交通量3

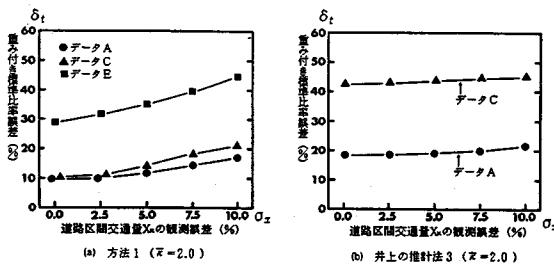


図-7 データのOD分布パターンが推計精度に及ぼす影響

(ランダム型ODパターン)では推計不可能であった。これは、井上の推計法3の場合、重力モデル値を基本分布パターンとしているため、データE, FのようにOD分布が重力モデル値から大きくずれていると、重力モデル式では説明できず、推計誤差が非常に大きくなるからである。しかし、井上の推計法3は既存OD交通量データが得られない場合においても手軽にOD推計を行うことが可能であるため、対象地域のOD分布が重力モデルパターンである場合には非常に有効な推計法といえる。なお、この傾向はデータB, D, Fにおいても同様であった。よって、これ以降の分析では、データE, Fを除くものとする。

(4) 道路区間交通量の観測数が推計精度に及ぼす影響

対象道路網内のすべての道路区間ににおいて交通量観測を実施する場合、非常に費用がかかるという問題がある。そこで、本研究では道路区間交通量の観測数(情報量)が減少した場合の影響をシミュレーションを用いて、検討する。結果の一例を図-8(データA, C)に示す。ただし、重力モデルおよび井上の推計法3では、推計における発生交通量(あるいは発生指標)を外生的に与える必要があるため、ここでは推計時の発生交通量を与えて推計を行った。

この図より、全体的傾向としては、観測したリンク数(情報量)が少なくなると、それにはほぼ比例して推計精度が悪化する傾向にあるといえる。特にデータAにおいてその傾向が強く、本推計法では観測リンク数が全体の

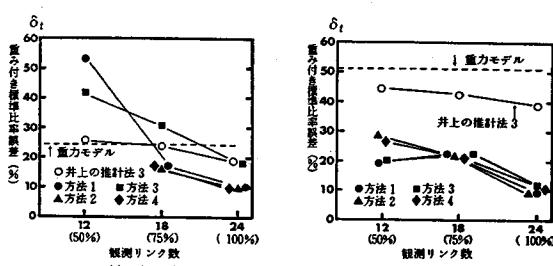
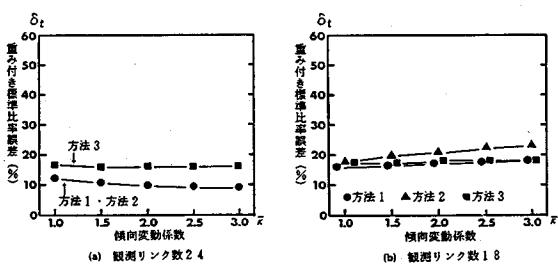
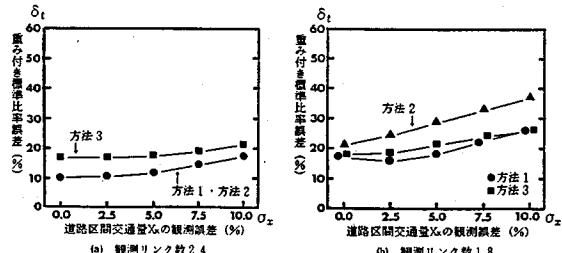
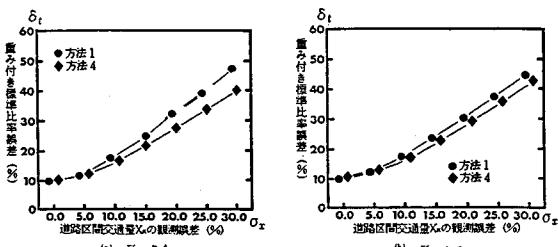


図-8 観測リンク数が推計精度に及ぼす影響

半分以下になると、解が求まらない場合が存在した。なおこの傾向は、データBおよびDにおいても同様であった。これらのことより、データA, Bのように重力モデルに非常によく適合したOD分布データに対しては、井上の推計法3を用いるか、あるいはリンク交通量を利用せずに単純な重力モデルを用いて推計を行った方がよいといえる。しかし、実際の都市圏におけるOD交通量の重力モデルに対する適合性は相関係数 ρ で $\rho = 0.753 \sim 0.918$ 程度であり¹⁵⁾データA, Bほど高いものではない。したがって、観測リンク数が多少少ない場合でも十分本推計法は有効であるといえる。

(5) 各推計法の推計精度比較

本推計法(方法1, 方法2, 方法3, 方法4)の推計精度を比較するために、傾向変動の大きさと道路区間交通量の観測誤差の大きさを変化させてシミュレーションを行った。結果の一例を図-9(データC), 図-10(データC)に示す。図-9より、傾向変動が大きくなても推計精度の悪化はほとんどみられない。ゆえに、いずれ

図-9 傾向変動の大きさが推計精度に及ぼす影響
(データC, $\sigma_x = 0\%$)図-10 道路区間交通量の観測誤差が推計精度に及ぼす影響
(データC, $\bar{x}=2.0$)図-11 道路区間交通量の観測誤差が大きい場合 ($\bar{x}=2.0$)

の推計法も、傾向変動に対して十分対応可能であるといえる。また、図-10より観測リンク数の影響を比較すると全リンク観測されている場合には、方法3を用いるよりも、方法2(方法1と同じ)を用いた方が精度はよいといえるが、観測リンク数が少ない場合には、方法2を用いるよりも方法3を用いた方がよいといえる。特に、方法2は方法1、方法3に比べて道路区間交通量の観測誤差の影響が大きいといえる。これは、選択リンク数が少ない場合、式(15)によって推定される未知道路区間交通量の推定誤差が観測誤差とともに d^* に影響を及ぼすためと考えられる。

また、道路区間交通量の観測誤差が非常に大きくなつた場合の影響を図-11(データA,C)に示す。この図より、観測誤差が大きい場合には、各道路区間交通量が互いに独立であるとして、定式化(方法4)を行った方が精度はよいといえる。

7. まとめ

本研究では、既存OD調査時点からかなりの時間経過があり、傾向変動を無視できない場合(推計時点とのODパターンが異なる)に適用する新しい最尤推計モデルを提案した。そして特に、道路区間交通量が部分的にしか観測されていない場合の改良モデルを示し、その適用性を検討した。本推計モデルは、従来取り扱われてこなかった交通量の変動特性を明示的にモデルに組み込み、交通量変動を考慮できるようにしたところに特徴がある。交通量変動を考慮した同類モデルに井上博司の提案したモデル(井上の推計法3)があるので、ここではそのモデルとの比較分析も行った。

シミュレーションを用いた適用結果をまとめると、次のことが明らかとなった。

(1) 推計に用いる分散のパラメーター β の影響について検討を行ったところ、現実値と大きく掛け離れて与えない限り、それほど影響がないことが明らかとなつた。しかし、データによっては影響が大きい場合(各OD交通量の大小較差が大きいODデータ)もあるので、既存交通量資料を利用して交通量変動特性を分析しておく必要がある。

(2) OD別道路区間利用率の推計誤差の影響を検討したところ、選択経路が大きく変化しない場合には、ほとんど影響がないことが明らかとなつた。

(3) 井上の推計法3は既存OD交通量データが得られない場合においても手軽にOD推計を行うことが可能であるが、OD分布パターンが距離に影響されないランダム型の場合には誤差が大きくなり適用困難である。しかし、対象地域の広さおよびゾーニング方法を考慮してOD分布が重力モデル式に適合するように、対

象地域の設定などを工夫すれば非常に有効な手法といえる。

(4) 本推計法はどのようなOD分布パターンに対しても適用可能であるが、道路区間の観測リンク数が少なくなると、それに比例して誤差が大きくなり、観測リンク数が半分以下になると推計不能の場合が存在した。特に、重力モデルによく適合したOD分布の場合にその傾向が強いといえる。

(5) 傾向変動が大きくなつても、いずれの推計法もほとんど精度の悪化はみられず、十分傾向変動に対応できるといえる。

(6) 全リンクで交通量が観測されている場合には、方法2を用いた方が精度はよいといえるが、観測リンク数が少ない場合には、方法3を用いた方がよいといえる。特に、方法2は方法1、方法3に比べて道路区間交通量の観測誤差の影響が大きい傾向にある。

(7) 道路区間交通量の観測誤差が大きいと考えられる場合(調査日の異なる交通量データを用いるときなど)には、各道路区間交通量の変動が互いに独立であるとして定式化を行う方法4を用いた方がよいといえる。

(8) 本推計法は非線形最適化問題であり、対象道路網が大きくなると急激に計算量が多くなる。ちなみに、今回の対象道路網(ノード数9)では約32秒の計算時間(FACOM M170FによるC.P.U.TIME)であったが、ノード数25では約20分必要となる。したがって、そのような場合には道路網を分割し、ノードを集約してネットワーク表示を簡略化するなど、解法上の工夫が必要である。

(9) 本推計法では母数推計法3により推計時の平均OD交通量を推計し、その結果をもとにOD推計法3により日々のOD交通量を推計するという2段階の推計方法を用いているが、OD推計法3の代わりに井上の推計法2を用いることも可能である。今後はその適用性についても検討する必要がある。

(10) 本推計法では ij ゾーン間の交通抵抗パラメーター $R_{ij}^*(\tau)$ が大きく変化しないと仮定して推計を行つたが、今後は R_{ij}^* の変化法則を解明するような実証的な分析が必要である。

(11) 今回のシミュレーションでは道路の改良、新設などによる道路網の変化の影響については検討を行わなかつたが、そのような場合には変化した新しい道路網を対象に推計を行えばよい。ただし、道路網が変化すれば選択経路も変化すると考えられるので、その影響について今後検討する必要がある。

以上本研究では、簡単なシミュレーションではあるがモデルの有効性と適用限界を明らかにした。今後は、既存のOD交通量データや道路区間交通量データの変動

特性をさらに分析するとともに、現実道路網への適用が必要である。

参考文献

- 1) 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年3月。
- 2) Leblanc, L. G. and Farhangian, K. : Selection of a trip table which reproduces observed link flows, *Transpn. Res.-B*, Vol. 16-B, No. 2, pp. 83～88, 1982.
- 3) 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，土木学会論文報告集，第322号，pp. 85～94，1983年4月。
- 4) 飯田恭敬・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，都市計画別冊，第19号，pp. 13～18，昭和59年11月。
- 5) 飯田恭敬・高山純一・金子信之：傾向変動を考慮した最尤推定法による実測路上交通量モデル，第40回土木学会年次学術講演会講演概要集，第4部，pp. 409～410，昭和60年9月。
- 6) 井上博司：スクリーンライン調査によるOD調査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年9月。
- 7) 高山純一・飯田恭敬・竹内宏樹：傾向変動を考慮した確率論的手法による道路網交通需要推計法，第5回土木計画研究発表会講演集，pp. 376～382, 1983年1月。
- 8) 高山純一・飯田恭敬・高村義晴・竹内宏樹：OD交通量の不規則変動を考慮した交通量観測による道路網交通需要推計法，金沢大学工学部紀要，第16巻，1号，pp. 61～72，昭和58年3月。
- 9) 高山純一・飯田恭敬：周期変動を考慮した実測交通量による交通需要推計法，土木計画学研究・論文集，Vol. 1, pp. 43～50, 1984年1月。
- 10) 飯田恭敬・高山純一：高速道路における交通量変動特性の統計分析，高速道路と自動車，Vol. 24, No. 12, pp. 22～32, 昭和56年12月。
- 11) FACOM FORTRAN SSL II使用手引書（科学サブルーチンライブラリー）：連立非線形方程式（ブレント法），pp. 418～420，富士通。
- 12) Robert B. Dial : A Probabilistic Multipath Traffic Assignment Model Which Obviates Path Enumeration, *Transpn. Res.* Vol. 5, pp. 83～111, 1970.
- 13) 宮城俊彦・小嶋幸則・小川俊幸：均衡確率配分法に関する研究，土木学会中部支部研究発表会講演概要集，pp. 312～313，昭和60年3月。
- 14) 宮城俊彦・小川俊幸：均衡確率配分モデルの岐阜市への適用結果について，土木学会中部支部研究発表会講演概要集，pp. 306～307，昭和61年3月。
- 15) 神崎紘郎・木下端夫・浦野 隆・山川朝生：将来交通量の推計手法に関する調査報告（その2）—分布交通量の適合度の実証的分析—，交通工学，Vol. 19, No. 5, pp. 29～39, 1984年9月。

(1986.7.31・受付)