

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

金沢大学工学部

金沢大学工学部

ソイルアンドロックエンジニアリング

正会員 ○ 高山純一

正会員 飯田恭敬

竹内宏樹

1. はじめに

各種の交通規制や信号制御を効果的に組合せ、道路網を合理的に運用することは、都市における自動車交通問題の解決と生活環境水準の維持向上につながると思われる。しかし、そのためには対象とする地域の交通流動現象や交通量を正確に把握することが必要であり、そのための方法として従来から主に四段階推計法が用いられてきた。この推計法は調査や解析に膨大な費用と人員が必要であり、しかも調査単位のゾーニングが既存統計資料の関係からマクロ的な取扱いとなるため、得られる推計量は巨視的観点に立ったものであり、交通規制や信号制御のようなきめの細かい交通運用計画の策定には不十分なものであった。このようなことから、最近では観測が手軽で、しかも観測誤差の小さい実測道路区間交通量を利用した、経済的かつ高精度な交通需要推計法（以後、実測路上交通量モデルと呼ぶ）の研究開発が行なわれてきている。たとえば、J. Holm, et al.¹⁾、井上²⁾、L. J. Leblanc and K. Farhangian³⁾等は道路区間利用率を外生的に与えるのではなく、モデル自身の内生操作によって求め、OD交通量とOD別道路区間交通量を推計する方法を提案している。また、P. Robillard⁴⁾、H. J. Van Zuylen and L. G. Willumsen⁵⁾、E. Hauer and B. Y. T. Shin⁶⁾、および著者⁷⁾等は道路区間利用率を先決値として外生的に与え、OD交通量の推計を行なう方法を提案している。

2. 確率論的方法を用いた従来の研究

実測路上交通量を用いたこれらの推計法は、いずれもOD交通量を確定値として取扱っているため、日々変化するOD交通量の変動を十分に考察することができない。井上はその問題に最初に取り組み、OD交通量を1つの確率変数として定義し、その確率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交通量を求める方法論⁸⁾（以後、井上の推計法2と呼ぶ）

を提案している。この方法は、井上がスクリーンライン調査によってOD交通量の修正を行なう方法として提案した簡便的推計法⁹⁾（以後、井上の推計法1と呼ぶ）を発展させたものであり、実測路上交通量と過去のOD調査によるOD交通量（既存OD交通量）をデータとして、OD交通量の母平均値を推計するものである。しかし、井上は定式化の中で各道路区間交通量を互いに独立な確率変数として取扱っているため、定式化に問題を残した形となっている。なぜなら、各OD交通量やたとえ独立な確率変数であったとしても、各道路区間交通量は互いに独立ではなく、相関を有するからである。著者等はその点を考慮して、OD交通量の母平均を推計する方法¹⁰⁾（以後、母数推計法1と呼ぶ）を提案している。母平均が求まれば、それを用いることにより、推計時点（道路区間交通量の観測時）のOD交通量が推計可能となる。ただし、これらの推計法はOD交通量を互いに独立な確率変数とし、既存OD調査時点とOD交通量推計時点の確率分布が同じであるとして、定式化を行なっている。したがって、これらの推計法はOD交通量変動の中の不規則変動のみを考慮した推計法ということができる。

一般に、交通量変動には月間変動や曜日変動などの周期変動や跨系列的な傾向変動が含まれる。周期変動が大きい場合には、もはや各OD交通量は独立な確率変数とはならず、互いに相関を有することになる。したがって、そのような場合にはOD交通量の相関関係を考慮に入れた推計法が必要となり、著者等はすでにその基本的な考え方を提案している¹⁰⁾。本研究では、さらに長期的な傾向変動がある場合に適用する推計法を提案する。この場合、既存OD調査時点と推計時点の確率分布はもはや同一ではなく、母数（母平均、母分散）の推定が推計精度を左右する大きな鍵となる。本研究では、傾向変動を考慮しない井上の推計法1および著者等がすでに提案している発生交通量のみを变量とした実測路上交通量モデル¹¹⁾（以後、モデル1と呼ぶ）との比較を行なうことにより、

本推計法の適用性を検討する。

3. モデルの定式化と解法

本研究では、既存OD交通量調査時点からかなりの時間経過がある場合と土地利用形態に大幅な変化がみられ、OD交通量の確率分布が既存OD調査時点(t_0)と推計時点(t_1)において、大きく異なる場合に適用する推計法を提案する。ただし、時間土を固定した場合、時間土の近傍では各OD交通量は正規分布に従うものと仮定している。

いま、OD交通量 $T_{ij}(t)$ を1つの確率変数と考へて定式化すると、式(1)のように表わすことができる。

$$T_{ij}(t_1) = \mu_{ij}(t_0) + \varphi_{ij}(t_0, t_1) + \sum_{\tau} \xi_{ij}(t_1) + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

ここで、

$\mu_{ij}(t_0)$: t_0 における母平均を表わす。

$\varphi_{ij}(t_0, t_1)$: t_0 と t_1 の間の傾向変動成分を表わす。

$\sum_{\tau} \xi_{ij}(t_1)$: t_1 における周期変動成分を表わす。

ε_{ij} : 不規則変動成分を表わす強定常な確率変数で、 $N(0, \sigma_{\varepsilon}^2)$ に従う。

式(1)右辺の ε_{ij} 以外の項をまとめ、式(2)のように表わすと、式(1)は式(3)のように変形され、OD交通量 T_{ij} の確率密度関数は式(4)のように表わされる。

$$\mu_{ij}(t_1) = \mu_{ij}(t_0) + \varphi_{ij}(t_0, t_1) + \sum_{\tau} \xi_{ij}(t_1) \quad (2)$$

$$T_{ij}(t_1) = \mu_{ij}(t_1) + \varepsilon_{ij}$$

$$Q(t_{ij}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{ij}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \frac{(t_{ij} - \mu_{ij})^2}{\sigma_{ij}^2} \right\} \quad (4)$$

ここで、 t_{ij} : OD交通量 T_{ij} の1つの実現値

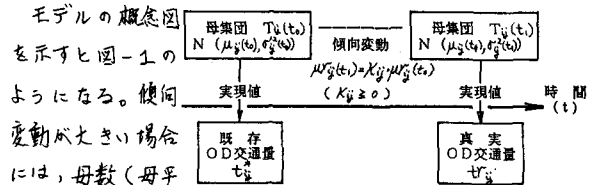
μ_{ij} : " の平均値(母平均)

σ_{ij}^2 : " の分散(母分散)

$\mu_{ij}(t)$ は時間土が決めれば一意的に定まる強定値と考へられるので、式(5)に示すような重力モデル構造で表わすことができる。 $U_i(t)$, $V_j(t)$ は各ゾーンおよび集中ゾーンのパラメータを表わし、 R_{ij}^* は i ゾーン間の交通抵抗を表わすパラメータである。一般的には、 R_{ij}^* も時間土によつて変化すると考へられるが、 R_{ij}^* の変化は完全、集中ゾーンのパラメータ U_i , V_j にすべて含まれるものとし、ここでは既存OD交通量 T_{ij}^* を用いて、式(6)のように定義する。なお、*印は既知量を示す。

$$\mu_{ij}(t) = U_i(t) \cdot V_j(t) \cdot R_{ij}^* \quad (5)$$

$$R_{ij}^* = \frac{t_{ij}^*}{\sum_{\tau} t_{ij}^* \cdot \sum_{\tau} t_{ij}^*} \quad (6)$$



図一1 交通量変動のモデル化の概念図

モデルの概念図を示すと図-1のようになる。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 $\mu_{ij}(t_1)$ を上記の推計法1のように便宜的に既存OD交通量 T_{ij}^* で置きかえて推計することはできない。そこで、本研究では観測道路区間交通量 $X_{ij}^*(t_1)$ を情報として、最尤推定法により、 $\mu_{ij}(t_1)$ を推計する方法(以後、母数推計法2と呼ぶ)を提案する。 $\mu_{ij}(t_1)$ が求まれば、上記の方法を用いることにより、推計時のOD交通量 t_{ij} を求めることが可能となる。なお、推計に用いる分散 $\sigma_{ij}^2(t_1)$ は推計精度にそれほど影響を与えないと考へられるので、便宜的に既存OD調査時の分散 $\sigma_{ij}^2(t_0)$ を用いた。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。

ところで、道路区間交通量 X_{ij} の同時確率は多次元正規分布で与えられ、その同時確率密度すなわち尤度関数は式(7)のように表わされる。したがって、同時確率密度が最大となるときの値を推計母数 $\mu_{ij} = f(U_i, V_j)$ と考へれば、次の最適化問題を解くことにより、推計時の U_i , V_j を求めることができる。

$$L(x^*; \mu_{ij}) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}} |A|} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (x^* - m)^T A (x^* - m) \right\} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{ここで、} \quad x^* - m &= \begin{bmatrix} x_1^* - \sum_{j=1}^n P_{1j}^* \mu_{ij} \\ \vdots \\ x_m^* - \sum_{j=1}^n P_{mj}^* \mu_{ij} \end{bmatrix} & A &= [a_{nh}] \text{ (共分散行列)} \\ & & a_{nh} &= \text{Cov}(X_h, X_n) \\ & & &= \sum_{j=1}^n P_{1j}^* \cdot P_{nj}^* \cdot \sigma_{ij}^2 \end{aligned}$$

$$H = (x^* - m)^T A (x^* - m) \Rightarrow \text{Min.} \quad (8)$$

式(5)の関係より、式(8)を展開すれば、次のように表わすことができる。ただし、 a_{nh} は A^{-1} の(n , h)要素を示す。

$$\begin{aligned} H &= \sum_{n=1}^m \sum_{h=1}^m (x_n^* - \sum_{j=1}^n P_{nj}^* U_i V_j R_{ij}^*) (x_h^* - \sum_{j=1}^n P_{hj}^* U_i V_j R_{ij}^*) a_{nh} \\ &= \sum_{n=1}^m \sum_{h=1}^m x_n^* x_h^* a_{nh} - 2 \sum_{n=1}^m \sum_{h=1}^m x_n^* a_{nh} \sum_{j=1}^n P_{nj}^* U_i V_j R_{ij}^* + \\ &\quad \sum_{n=1}^m \sum_{h=1}^m a_{nh} \left(\sum_{j=1}^n P_{nj}^* U_i V_j R_{ij}^* \right) \left(\sum_{j=1}^n P_{hj}^* U_i V_j R_{ij}^* \right) \Rightarrow \text{Min.} \quad (9) \end{aligned}$$

ここで、発生パラメータ u_i 、集中パラメータ v_i をそれぞれ各ゾーンの発生、集中交通量と考え、ロード i (ゾーン i の発生、集中交通量をロード i で代表させている) への流入方向合計交通量 $\sum x_{i\ell}$ と流出方向合計交通量 $\sum x_{\ell i}$ の差が発生、集中交通量の差 d_i に等しいという関係を利用すれば、 v_i は u_i を d_i を用いて表わすことができる (式 (10))。したがって、この関係を式 (9) に代入して整理すると、式 (11) が得られる。

$$\left. \begin{aligned} u_i - v_i &= \sum x_{i\ell} - \sum x_{\ell i} \\ v_i &= u_i - d_i \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} H &= \sum_{\ell} \sum_{h} x_{\ell h}^* a_{\ell h}^* - 2 \sum_{\ell} \sum_{h} x_{\ell h}^* a_{\ell h}^* \left\{ \sum_{i,j} P_{ij}^k u_i (u_j - d_j) R_{ij}^* \right\} \\ &+ \sum_{\ell} \sum_{h} a_{\ell h}^* \left\{ \sum_{i,j} P_{ij}^k u_i (u_j - d_j) R_{ij}^* \right\} \left\{ \sum_{i,j} P_{ij}^k u_i (u_j - d_j) R_{ij}^* \right\} \Rightarrow \text{Min.} \end{aligned} \quad (11)$$

式 (11) は u_i に関して 4 次式であり、 u_i が偏微分して 0 において、3 次の連立方程式となるため、一般に解法は困難である。そこで、本研究では直接探索法 (D.S.M. 山登り法) を用いて解くことにする。

$$\mu_{ij} = u_i (u_j - d_j) R_{ij}^* \quad (12)$$

u_i が求まれば、式 (12) に代入することにより推計母数 μ_{ij} を計算することができる。

いま、OD 交通量 T_{ij} の 1 組の実現値 t_{ij} が同時に生起する同時確率密度は、式 (4) より式 (13) のように表わすことができる。ここで、推計母数 μ_{ij} を μ_{ij} を用いて、 $\sigma_{ij}^2 = \alpha (\mu_{ij})^\beta$ のように近似すれば (井上の推計法 1 では $\beta = 1.0$)、 Q の最大化問題は F の最小化問題として書き直することができる。ただし、道路区間交通量の制約条件式 (15) のもとで解かなければならない。なお、この問題はラグランジュの未定乗数法を用いることにより簡単に解くことができる⁹⁾。

$$Q(t_{ij}) = \prod_{i,j} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_{ij}} \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2} \sum_{i,j} \frac{(t_{ij} - \mu_{ij})^2}{\sigma_{ij}^2} \right\} \Rightarrow \text{Max.} \quad (13)$$

$$F = \sum_{i,j} \frac{(t_{ij} - \mu_{ij})^2}{\alpha (\mu_{ij})^\beta} \Rightarrow \text{Min.} \quad (14)$$

道路区間交通量に関する制約条件

$$x_{\ell h}^* = \sum_{i,j} P_{ij}^k \cdot t_{ij} \quad (15)$$

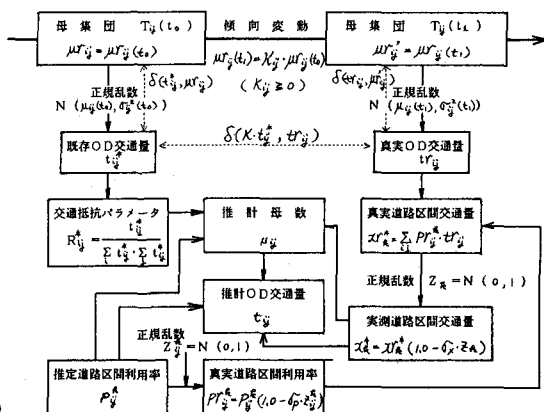


図-2 シミュレーションの推計手順を示すフローチャート

4. 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を用いて、推計精度の検討を行なう。まず、時間尤による傾向変動を考慮するために、仮想的に式 (16) に示すような傾向変動係数 K_{ij} (≥ 0) を設定し、推計時の真実母数 $\mu_{ij}^*(t_1)$ を作成する。

$$\mu_{ij}^*(t_1) = K_{ij} \cdot \mu_{ij}^*(t_0) \quad (16)$$

ここで、
 t_0 : 既存 OD 調査時点
 t_1 : 推計時点

シミュレーションでは、人工的にデータを作成するために既存 OD 調査時の母数 $\mu_{ij}^*(t_0)$ と推計時の母数 $\mu_{ij}^*(t_1)$ を用いて、2 組の正規乱数 $N(\mu_{ij}^*(t_0), \sigma_{ij}^2(t_0))$, $N(\mu_{ij}^*(t_1), \sigma_{ij}^2(t_1))$ を発生させ、その 1 組を既存 OD 交通量 t_{ij}^0 、もう 1 組を推計時真実 OD 交通量 t_{ij}^1 とする。このとき、推計時点における真実 OD 交通量は実際には未知であるが、推計においては式 (17) の関係にある道路区間交通量 $x_{\ell h}^*$ を情報として用いることができる。ただし、 $x_{\ell h}^*$ は道路区間内の真実交通量であり、一般に観測誤差が含まれるので、それを σ_x % (比率誤差) とすると、実測交通量 $x_{\ell h}^*$ は式 (18) のように表わされる。

$$x_{\ell h}^* = \sum_{i,j} P_{ij}^k \cdot t_{ij} \quad (17)$$

$$x_{\ell h}^* = x_{\ell h}^* (1.0 - \sigma_x \cdot Z_k) \quad (18)$$

ここで、 Z_k は $x_{\ell h}^*$ に対する標準正規乱数を示す。また、 P_{ij}^k は推計時における真実道路区間利用率 (ODペア ij が道路区間 ℓ を利用する確率) を表わし、経路調査、既存配分理論などにより求められる推定道路区

間利用率 P_{ij}^* と式(19)の関係にある。

$$pr_{ij}^* = P_{ij}^* (1.0 - \sigma_p \cdot z_{ij}^*) \quad (19)$$

ここで、 σ_p は P_{ij}^* に対する pr_{ij}^* の相対的ずれ (比率誤差) を表わし、 z_{ij}^* は P_{ij}^* に対する標準正規乱数を示す。本研究では、このようにして作成した t_{ij}^* 、 z_{ij}^* 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 OD 交通量の母平均 μ_{ij} (推計母数) を推計する。そして、それを用いて推計時の OD 交通量 tr_{ij} を推計する。このとき、推計モデルの実用性を確かめるために、道路区間交通量の観測誤差 σ_x および OD 別道路区間利用率の推定誤差 σ_p の影響についてもシミュレーションにより検討を行なう。

推計 OD 交通量 tr_{ij} および推計母数 μ_{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取扱いが重要となるので、式(20)、式(21)に示すように交通量で重みづけした標準比率誤差を用いる。

$$\delta(t_{ij}, tr_{ij}) = \sqrt{\frac{1}{tr_{ij}} \sum_{ij} tr_{ij} \left(\frac{t_{ij} - tr_{ij}}{tr_{ij}} \right)^2} \quad (20)$$

$$\delta(\mu_{ij}, \mu_{ij}^*) = \sqrt{\frac{1}{\mu_{ij}^*} \sum_{ij} \mu_{ij}^* \left(\frac{\mu_{ij} - \mu_{ij}^*}{\mu_{ij}^*} \right)^2} \quad (21)$$

ここで、

μ_{ij}^* : 推計時刻における真実母平均 $\mu_{ij}(t_i)$ を示す。

$tr = \sum_{ij} tr_{ij}$: 真実 OD 交通量 tr_{ij} の総計を示す。

$\mu^* = \sum_{ij} \mu_{ij}^*$: 真実母平均 μ_{ij}^* の総計を示す。

シミュレーションにおいては、 t_{ij}^* および tr_{ij}^* の正規乱数の発生のかたによつて、一般に推計精度が異なると考えられる。したがって、 t_{ij}^* 、 tr_{ij}^* の母平均 μ_{ij} 、 μ_{ij}^* からの相対的ずれ (重みつき標準比率誤差) および t_{ij}^* に傾向変動係数 K (一定値) を乗じた $K \cdot t_{ij}^*$ と tr_{ij}^* の相対誤差を知っておくことは、本推計法の推計精度を評価するうえで、重要なことと考えられる。よって、シミュレーションでは図-2の破線で示すように、それ以外の相対誤差 $\delta(t_{ij}^*, \mu_{ij}^*)$ 、 $\delta(tr_{ij}^*, \mu_{ij}^*)$ 、 $\delta(K \cdot t_{ij}^*, tr_{ij}^*)$ を式(20)、式(21)と同様に計算し、推計精度の評価に用いる。

5. 計算例と考察

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に示す簡単な対象道路網を用いて推計精度の検討を行なった。母集団の変動の大きさの違いによる推計精度への影響をみるために、次に示す2通りの正規母集団を設定する。

- (a) 母集団 A $\begin{cases} N(\mu_{ij}(t_0), 10 \mu_{ij}(t_0)) \\ N(\mu_{ij}(t_1), 10 \mu_{ij}(t_1)) \end{cases}$
 (b) 母集団 B $\begin{cases} N(\mu_{ij}(t_0), 90 \mu_{ij}(t_0)) \\ N(\mu_{ij}(t_1), 90 \mu_{ij}(t_1)) \end{cases}$

また、一般には OD ペアによって傾向変動の大きさが異なると考えられるが、今回は簡単のために傾向変動係数が OD ペアによらず一定である場合についてシミュレーションを行なう。

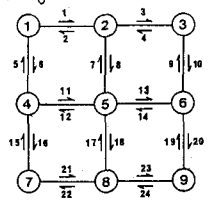


図-3 対象道路網

なお、分析は前述の井上の推計法¹およびモデル¹(発生交通量のみを变量とした実測路上交通量モデル)との推計精度の比較により行なう。既存 OD 調査時刻における真実母平均 $\mu_{ij}(t_0)$ としては、表-1に示す値を用いた。

表-1 既存 OD 調査時刻における真実母平均 $\mu_{ij}(t_0)$

O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	O (1)
1	0	840	1410	740	2230	1260	1430	1140	2740	11790
2	860	0	760	680	1120	930	1700	820	1630	8700
3	1430	740	0	1180	2130	360	1330	1030	2740	10640
4	850	920	1390	0	1120	840	720	960	1420	8180
5	230	140	2600	1180	0	1140	2260	1180	1280	10060
6	1390	930	720	950	3510	0	1420	890	890	19420
7	1530	1730	1350	720	1240	1230	0	830	1720	10350
8	950	760	1250	920	1160	940	830	0	780	7570
9	2800	1750	950	1250	1350	860	960	940	0	10860
D (1)	10000	7710	10390	7820	13860	7560	10650	7790	10390	88870

5.1 推計時分散 $\sigma_{ij}^2 = \alpha(t_{ij}^*)^\beta$ のパラメータ β が推計精度に及ぼす影響

土地利用形態に大きな変化がみられず、各ゾーンの発生、集中パターンがそれほど変化しない場合には、どの OD ペアもほぼ同様な傾向変動をすると考えられる。そこで本研究では傾向変動係数 K_{ij} を OD ペアによらず一定 ($K_{ij} = K$) とするとして、5通り ($K = 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0$) 設定し、シミュレーションを行なった。なお、 β 以外の他の影響を除くために、道路区間交通量の観測誤差 σ_x および OD 別道路区間利用率の推定誤差 σ_p はどちらも 0% とし、誤差はないものとした。

推計に用いる分散 $\sigma_{ij}^2 = \alpha(t_{ij}^*)^\beta$ のパラメータ β の影響をみるために、 β を $\beta = 1.0, \beta = 1.5, \beta = 2.0$ と変化させてシミュレーションを行なった。結果を図-4、図-5、図-6に示す。なお、図-4、図-5は本推計

法を用いた場合の推計母数 μ_{ij}^* および推計OD交通量 t_{ij}^* についての結果であり、図-6は井上の推計法1を用いた場合の結果である。

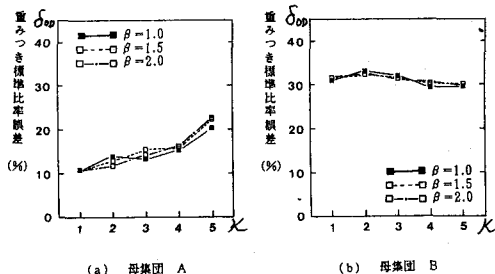


図-4 パラメータ β が推計母数 μ_{ij}^* の推計精度に及ぼす影響

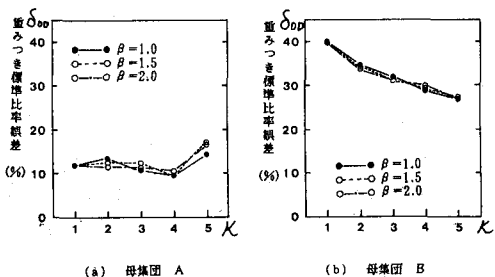


図-5 パラメータ β が推計OD交通量 t_{ij}^* の推計精度に及ぼす影響

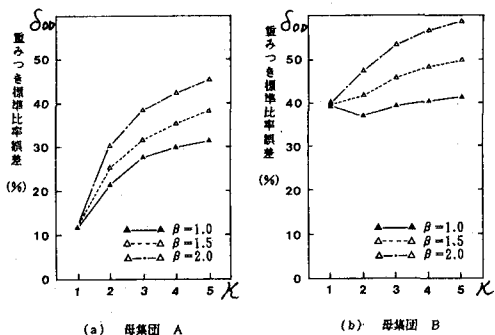


図-6 井上の推計法1を用いた場合のパラメータ β が推計OD交通量 t_{ij}^* の推計精度に及ぼす影響

図-4、図-5においては、パラメータ β をどのように設定しても、推計精度にはほぼ影響を及ぼさないが、図-6においては傾向変動が大きくなるにつれその影響は顕著となり、 β を大きくすると精度が悪くなっている。したがって、このことより本推計法を用いる場合にはパラメータ β をどのように与えても、推計精度には大きな影響を及ぼさないが、井上の推計法1を用いる場合には、 $\beta=1.0$ とした方がよいといえる。

そこで、パラメータ β を $\beta=1.0$ として、各推計法の推計精度を比較すると、図-7のようになる。なお、

正規乱数を用いて作成したシミュレーションデータ (t_{ij}^* , μ_{ij}^*) の相対誤差を表-2.1 (母集団 A)、表-2.2 (母集団 B) に示す。表中、 $\delta(K \cdot t_{ij}^*, \mu_{ij}^*)$ は傾向変動の大きさが既知の場合に、簡便的に既存OD交通量 t_{ij}^* を K 倍して、予測値(推定値)とした場合(以後、簡易推定法と呼ぶ)の真実値 μ_{ij}^* との相対誤差を表わす。

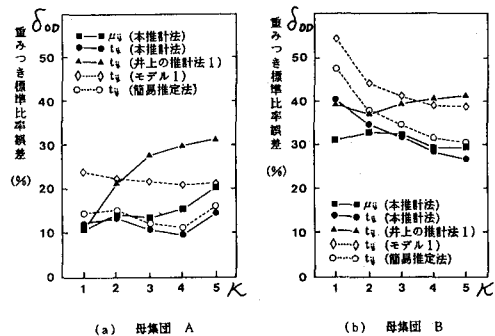


図-7 各推計法の推計精度の比較

表-2.1 シミュレーションにおけるデータの相対誤差 (母集団 A, パラメータ $\beta=1.0$)

相対誤差	1	傾 向 変 動	4	5
$\delta(t_{ij}^*, \mu_{ij}^*)$	9.07	9.07	9.07	9.07
$\delta(tr_{ij}^*, \mu_{ij}^*)$	9.67	6.84	5.58	4.32
$\delta(K \cdot t_{ij}^*, \mu_{ij}^*)$	14.04	14.55	11.13	10.90

表-2.2 シミュレーションにおけるデータの相対誤差 (母集団 B, パラメータ $\beta=1.0$)

相対誤差	1	傾 向 変 動	4	5
$\delta(t_{ij}^*, \mu_{ij}^*)$	27.21	27.21	27.21	27.21
$\delta(tr_{ij}^*, \mu_{ij}^*)$	28.99	20.50	16.74	14.50
$\delta(K \cdot t_{ij}^*, \mu_{ij}^*)$	47.21	37.10	34.01	32.46

図-7より、母集団の変動(母分散)の大きさによって推計精度の誤差特性は異なるが、傾向変動がない場合 ($K=1.0$) には本推計法に比べ、井上の推計法1の方が推計精度が良いといえる。しかし、傾向変動が大きくなると、本推計法の方が精度は良くなる傾向にある。ただし、その傾向は母集団の変動が小さい場合(母集団 A)に著しく、母集団の変動が大きくなると精度の差は小さくなる。また、傾向変動の大きさが既知の場合に利用できる簡易推定法と本推計法の推計精度を比較すると、本推計法の推計精度の方が高く、特に母集団の変動が大きい場合(母集団 B)に有効であるといえる。

5.2 道路区間交通量の観測誤差 σ_x が推計精度に及ぼす影響

道路区間交通量の観測誤差 σ_x の影響を検討するため、 $\sigma_p = 0\%$ として σ_x を 0% , 5% , 10% , 15% ,

20%の5段階で変動させシミュレーションを行なった。結果の一例を図-8(母集団A)、図-9(母集団B)に示す。いずれの図においても、観測誤差 δx が大きくなるにしたがって推計精度が悪くなる傾向にあり、それは母集団の変動が小さい場合(図-8)に、特に顕著である。しかも、 δx が20%になると推計不能となっている。各推計法の推計精度を比較すると、モデル1および井上の推計法1は本推計法に比べ δx の影響は小さく、特に傾向変動が大きい場合にその傾向が強い。

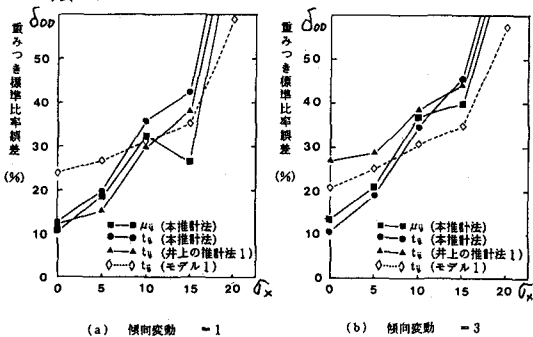


図-8 道路区間交通量の観測誤差 δx が推計精度に及ぼす影響(母集団 A)

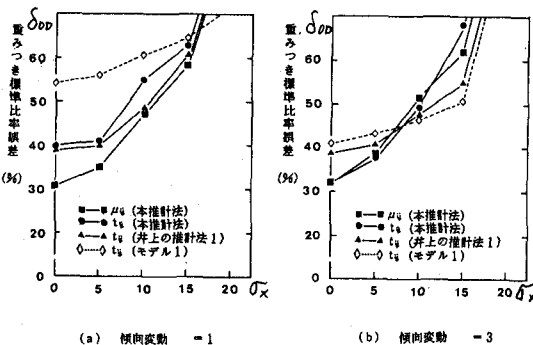


図-9 道路区間交通量の観測誤差 δx が推計精度に及ぼす影響(母集団 B)

5.3 OD別道路区間利用率の推定誤差 δp が推計精度に及ぼす影響

OD別道路区間利用率の推定誤差 δp の影響を検討するために、 $\delta x = 0\%$ として、 δp を0%、10%、20%、30%の4段階で変動させてシミュレーションを行なった。結果の一例を図-10(母集団A)、図-11(母集団B)に示す。これらの図より、 δp が大きくなってほほど推計精度には影響を及ぼさず、その傾向は母集団の変動が大きくても、小さくても同じであり、傾向変動が大きくなっても同様である。

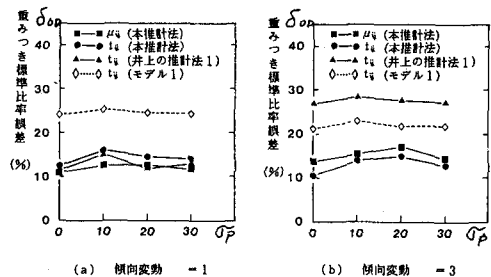


図-10 OD別道路区間利用率の推定誤差 δp が推計精度に及ぼす影響(母集団 A)

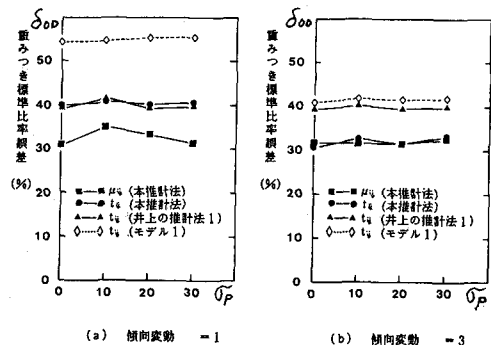


図-11 OD別道路区間利用率の推定誤差 δp が推計精度に及ぼす影響(母集団 B)

6. まとめ

本研究では、既存OD交通量調査時点からかなりの時間的経過があり、各OD交通量についての傾向変動が大きい場合に適用する実測路上交通量モデルを提案した。本推計法は、井上が提案した路上交通量を用いて確率的にOD交通量推計を行なう方法論(井上の推計法1, 井上の推計法2)を基本としたものであり、それをさらに発展させた推計法といえる。特徴としては、既存OD交通量と推計時実測路上交通量をデータとして、最尤推定法により推計時における母集団の平均OD交通量を推計し、それを用いて推計時のOD交通量を推計するという2段階のステップから成り立っている。推計母数(平均OD交通量)の推計においては、式(5)に示す重力モデル式および道路区間交通量と各ノードの発生、集中交通量の関係を表わす式(10)を用いることにより、発生交通量(発生パラメータ)のみを未知変数とした最適化問題として定式化を行ったところに特徴がある。

本研究では、シミュレーションにより本推計法の特長とモデル適用上の問題点を検討した。結果を整理すると次のようにまとめることができる。

(1) 推計に用いる分散 $\sigma_y^2 = \alpha(t_q^*)^\beta$ のパラメータ β の影響について検討を行なったところ、本推計法にお

いてはどのように与えてもほとんど影響がないことが明らかとなった。しかし、井上の推計法を用いる場合には、 $\beta = 1.0$ とした方が良いといえる。

(2) 各推計法の推計精度を比較すると、母集団の変動の大きさにより誤差特性は異なるが、傾向変動がない場合には本推計法よりも井上の推計法の方が推計精度は良いといえるが、傾向変動が大きくなると本推計法の方が推計精度は良くなるといえる。ただし、母集団の変動が大きくなると両推計法の推計精度の差は小さくなる。

(3) 道路区間交通量の観測誤差 σ_x の影響について検討を行なったところ、いずれの推計法も非常に大きな影響を受けることが明らかとなった。このことより、道路区間交通量の観測精度が推計精度を左右するといえることができる。したがって、実測路上交通量モデルを適用する場合には、できるだけ観測誤差を小さくする必要あるといえる。

(4) OD別道路区間利用率の推定誤差 σ_p の影響について検討を行なったところ、いずれの推計法においてもほとんど影響がないことが明らかとなった。このことより、先決値として与えるOD別道路区間利用率の推定は、それほど神経質になる必要はないといえる。

本研究では、簡単のためにシミュレーションデータ作成の傾向変動係数をODペアによらず一定としてシミュレーションを行なったが、一般には傾向変動はODペアによって異なり、その変動は非常に複雑である。現在、傾向変動がODペアによって異なる場合について検討中であり、稿を改めて発表する予定である。

また、本研究では記述しなかったが、井上は傾向変動がある場合においても適用可能な重力モデル式を用いた確率論的推計法¹⁷⁾(以後、井上の推計法と呼ぶ)を提案しており、ここで提案した推計法は井上の推計法と基本的には類似しているが、井上の推計法は一般的重力モデル式を用いるため、推計時点における各ゾーンの発生、集中指標(居住人口、発生交通量、集中交通量 e_{ij})を外生的に与える必要がある。それに対し、本推計法はモデルの内生的操作によって、発生、集中交通量を推計できる点に特徴があるといえる。しかし、そのためには対象道路網内のすべての道路区

間において交通量を観測する必要があり、同時観測および観測誤差の問題が今後に残された課題である。今後はこれらの点を踏まえ、現実道路網における実測路上交通量モデルの適用性とその限界について、さらに検討していきたい。最後に、本研究は文部省科学研究費(総合研究A)による成果の一部であることを付記し、研究助成に對し心から感謝する次第である。

7. 参考文献

- 1) J. Holm, et al.; "Calibrating Traffic Models on Traffic Census results only", Traffic Engineering and Control Vol. 17, No. 14, pp. 137-140, April 1976
- 2) 井上博司; "交通量調査データだけを用いるOD交通量推計法", 第3回土木計画学研究発表会講演集, pp. 277~282, 1981年1月
- 3) L. J. Leblanc, K. Farhangian; "Selection of a Trip Table Which Reproduces Observed Link Flows", Transpn. Res.-B, Vol. 16B, No. 2, pp. 83-88, 1982
- 4) P. Robillard; "Estimating The O-D Matrix from Observed Link Volumes", Transpn. Res., Vol. 9, pp. 123-128, 1975
- 5) H. J. Van Zuylen, L. G. Willumsen; "The Most Likely Trip Matrix Estimated from Traffic Counts", Transpn. Res.-B Vol. 14B, No. 3, pp. 281-293, 1980
- 6) E. Hauer, B.-Y. T. Shin; "Origin-Destination Matrices from Traffic Counts: Application and Validation on Simple Systems", Traffic Engineering and Control, Vol. 22, No. 3, pp. 118-121, March 1981
- 7) 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
- 8) 井上博司; "路上交通量観測による自動車OD交通量の推計", 第1回土木計画学研究発表会講演集, pp. 37~40, 1979年1月
- 9) 井上博司; "スクリーンライン調査によるOD調査の精度の検証およびOD表の修正法", 交通工学, Vol. 12, No. 6, pp. 11~19, 1977年
- 10) 飯田恭敬, 高村義晴; "OD交通量変動が相関を有する場合の道路網交通需要推計モデル", 第2回土木計画学研究発表会講演集, pp. 161~165, 1980年
- 11) 井上博司; "交通量観測資料を用いるOD交通量の統計的推計法", 第36回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第4部, pp. 383~384, 1981年10月
- 12) 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. 29, No. 12, pp. 22~32, 1984年