

周期変動を考慮した実測交通量による交通需要推計法^{*}

Traffic Demand Estimation Model by Observed Link Flows
under the Periodic Variation

高山 純一^{**} , 飯田 恭敬^{***}

1. はじめに

表一 交通量変動の変動要因と各種推計法の関係

ケース	不規則 変動	周期 変動	傾向 変動	著者の方法	井上の方法
ケース1	○	×	×	OD推計法1 ⁽¹⁾ 母数推計法1	井上の推計法1 井上の推計法2
ケース2	○	○	×	OD推計法2	
ケース3	○	×	◎	OD推計法3 ⁽⁴⁾ 母数推計法3	井上の推計法3

(× ; 無視できる, ○ ; 無視できない, ◎ ; 特に大きい
右肩の数字は参考文献を示す)

交通需要推計にはこれまで主に四段階推計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微視的交通政策の立案には費用および推計精度の面から対応が困難である。それゆえ、より経済的で、推計精度の信頼性が高い推計法の開発が期待されてきた。

新しい推計手法として最近注目をあびているのが、非集計行動モデルと実測路上交通量モデルである。後者の方法は、既存のOD交通量データが得られる場合、地点交通量を観測するだけで、現実道路網に即した形で容易にOD交通量が推計できるところに特徴がある。¹⁾ 既存ODデータが入手できないときは、簡単なサンプル調査を実施するか、重力モデル等の分布モデルでODパターンを求めればよい。²⁾ このように、この実測路上交通量モデルは、従来のパーソントリップのような大がかりな調査を必要とせず、また地点交通量についても道路交通センサス資料、トラヒックカウンタデータの既存値の多くが有効利用できるもので、極めて経済的な手法といえる。推計値の信頼性の面についても、観測交通量誤差が極端に大きくない限り、比較的高い推計精度の得られることが、これまでのモデル計算で検証されている。道路網レベルで見た場合、推計値は実測値に一致されるよう計算されるので、他の方法に比較して精度の良いことはいうまでもない。しかし、これまでに開発されてきた実測路上交通量モデル、たとえば道路区間利用率を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同時に推計するJ.Holm et al³⁾、井上博司⁴⁾、L.J.Lebianc and K.Farhangian⁵⁾、著者等⁶⁾の方法や、道路区間利用率を先決値として外生的に与えるP.Robillard⁷⁾、著者¹⁾、H.J.Van Zuylen and L.G.Willumsen⁸⁾、E.Hauer and B-Y.T.Shin⁹⁾等の方法は、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交通量の変動には十分に対応することができなかった。

井上博司および著者等はその点を考慮して、これまでにOD交通量の変動特性を考慮したいくつかの推計法(表一1)を提案している。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つのタイプの推計法を提案している。1つは、スクリーンラインにおける観測交通量を用いて、家庭訪問調査(パーソントリップ調査)により得られたOD表を修正する方法として、先に提案した推計法(以後、井上の推計法1¹⁰⁾と呼ぶ)をさらに改良したものであり、パーソントリップ調査などによって信頼性のあるOD表が得られている場合に、そのOD表をベースとして道路区間の各リンクでの観測交通量から、現在のOD表を推計する方法(以後、井上の推計法2^{2),11)}と呼ぶ)である。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、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

* 周期変動, 実測交通量

** Jun-ichi TAKAYAMA, 正会員 工修 金沢大学助手 工学部建設工学科

*** Yasunori IIDA, 正会員 工博 金沢大学教授 工学部建設工学科

計を行う方法（以後、井上の推計法3²⁾ 12)と呼ぶ）である。

井上はモデルの定式化において、パーソントリップ調査における標本誤差とまったくの偶然が支配するランダム変動（不規則変動）を考慮の対象としており、季節変動、月間変動、曜日変動などの周期変動については考慮していない。しかし、交通規制や信号制御などを行うには、むしろ周期変動を考慮に入れた交通需要量が必要であり、本研究ではその点に着目して、周期変動を考慮に入れた推計法（以後、OD推計法2^{15),16)}と呼ぶ）を提案する。具体的には、井上の推計法1, 2を基本として、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考慮できるようにモデルを発展させたものである。なお、本研究においても、起終点間の経路選択率（道路区間利用率）は外生的に与えられるものとする。

以下では、まずモデルの定式化とその解法について記述し、モデルの適用性を検討するためのシミュレーションの方法と推計手順について述べる。モデルの適用性については、周期変動を考慮する場合と考慮しない場合を比較することにより行う。また、モデル適用において外生的に入力する道路区間利用率、各種パラメータ、相関係数の推定誤差および道路区間交通量の観測誤差の影響については、シミュレーションにより検討する。

2. 周期変動を考慮した場合のモデルの定式化と解法

一般に、交通量変動は月間変動や曜日変動などのように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増減する傾向変動、それにそれら以外の不規則な変動（まったくの偶然によって起こるランダム変動）が混合して起こると考えられる¹⁷⁾。周期変動や傾向変動が無視できる場合には、OD交通量 (t_{ij})

は正規分布 $N(\mu_{ij}, \sigma_{ij}^2)$ に従い、互いに独立であるとして取り扱うことが可能である。したがってOD交通量 T_{ij} の確率密度関数 $f(t_{ij})$ は平均値を μ_{ij} 、分散 σ_{ij}^2 を $\sigma_{ij}^2 = \alpha\mu_{ij}$ とすると式(1)のように表わすことが可能であり、ある1日のOD交通量 (t_{ij}) が生起する同時確率密度は式(2)のように表わされる²⁾。

しかし、周期変動が無視できない場合には、OD交通量は互いに相関を持つため、独立な確率変数として取り扱うことはできない。なぜなら、交通量の変動特性を分析したところ、周期変動のはっきりした交通量相互にはかなり高い相関関係が見られ、特に変動パターンが似ている場合には、その傾向が著しかったからである¹⁷⁾。そこで、本研究では次のような仮定のもとに、モデルの定式化を行う。すなわち、「OD交通量 T_{ij} は正規分布 $N(\mu_{ij}, \sigma_{ij}^2)$ に従い、互いに相関を有する。その結果、日変動するOD交通量 t_{ij} は多次元正規確率母集団からの実現値となる。」と仮定してモデル化を行う。モデル式で示すと式(3)のようになる¹⁶⁾。

ここで、 μ_{ij} は正規母集団 T_{ij} の母平均（平均OD交通量）であり、 $\xi_{ij}(\tau)$ は周期変動成分を表わす。ただし、 $\xi_{ij}(\tau)$ は時間 τ の関数でありその平均値はゼロとする。なお、 ε_{ij} は $N(0, \sigma_{ij}^2)$ に従う強定常な確率変数を表わす。

このように考えると周期変動が無視できない場合、OD交通量 T_{ij} の同時確率は多次元正規分布に従い、 T_{ij} の実現値 t_{ij} が生起する同時確率密度は式(4)のように表される。ここで、生起確率が最大となる $(t_{11}, t_{12}, \dots, t_{nn})$ を道路区間交通量観測時の推定OD交通量 (t_{ij}) と考えると、式(5)に示す道路区間条件式を満足し、式(4)を最大とする (t_{ij}) を求めればよいことになる。これは最尤推定法の同時確率密度最大の見方によるものであり、解法は

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

$$P = \prod_{ij} f(t_{ij}) = \prod_{ij} \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot \alpha\mu_{ij}}} \exp \left\{ -\frac{(t_{ij} - \mu_{ij})^2}{2\alpha\mu_{ij}} \right\} \quad (2)$$

$$T_{ij}(\tau) = \mu_{ij} + \sum_j \xi_{ij}(\tau) + \varepsilon_{ij} \quad (3)$$

$$P(t_{ij}) = \frac{1}{(2\pi)^{n^2/2} \sqrt{|B|}} \times \exp \left\{ -\frac{1}{2} (t - \mu)' B^{-1} (t - \mu) \right\} \quad (4)$$

$$t - \mu = \begin{bmatrix} t_{11} - \mu_{11} \\ t_{12} - \mu_{12} \\ \vdots \\ t_{nn} - \mu_{nn} \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} b_{ij,os} \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} \text{(共分散行列)} \\ b_{ij,os} = \rho_{ij,os} \cdot \sigma_{ij} \cdot \sigma_{os} \end{matrix}$$

$\rho_{ij,os}$; T_{ij} と T_{os} の相関係数
 σ_{ij}, σ_{os} ; T_{ij}, T_{os} の標準偏差

制約条件 (道路区間条件)

$$x_k^* = \sum_{ij} p_{ij}^k \cdot t_{ij} \quad (5)$$

ここで、 p_{ij}^k ; OD交通量 t_{ij} が道路区間 k を利用する確率（先決値）

x_k^* ; 道路区間 k における実測交通量（既知量）

ラグランジェの未定乗数法を用いることにより、簡単に行なうことができる¹³⁾。ただし、ここで問題となるのが、正規母集団の母平均 μ_{ij} 、分散 σ_{ij}^2 、母相関係数 $\rho_{ij,os}$ の与え方とOD別道路区間利用率 p_{ij}^k の先決方法である。井上は、分散 σ_{ij}^2 が平均値 μ_{ij} に比例する ($\sigma_{ij}^2 = \alpha \mu_{ij}$, $\alpha = 1 - P$, P : トリップメーカーがある1日にトリップを行なう確率) としてモデル化を行い道路区間交通観測時のOD交通量 t_{ij} が道路区間交通量の条件式を満足するように、母集団の平均OD交通量 μ_{ij} を求めている²⁾。本研究においても、井上の方法と同様にして μ_{ij} を求めることも可能であるが、反復計算を用いるため計算が多少めんどうであることと、交通規制や交通制御のような短期的な交通運用計画の立案には、平均OD交通量 (μ_{ij}) よりもむしろ季節変動や曜日変動が含まれたOD交通量 ($\mu_{ij} + \sum_S \xi_{ij}^S(\tau)$) の方がよいと考えられるため、ここでは過去に調査されたパーソントリップの集計OD交通量 t_{ij}^* (既存OD交通量、*印は既知量を示す) を用いて、便宜的に式(6)、式(7)のように置き、道路区間交通観測時のOD交通量 t_{ij} を推計する。ここで、 σ_{ij}^2 と μ_{ij} の関係を式(7)に示す指数式で表わしたのは、実際の交通量変動特性を解析した結果によるものであり、不規則変動に周期変動が加わると分散 σ_{ij}^2 は当然大きくなると考えられるからである。なおパラメータ α , β の値については、解析結果をもとにいろいろ変えて推計精度の検討を行う。

また、OD別道路区間利用率 p_{ij}^k の推定方法については、いくつかの方法が考えられるが^{18)~20)}、本研究では、何らかの方法で求められているものとする。ただし、推定誤差の影響については、道路区間交通量の観測誤差による影響とともにシミュレーションにより検討する。なお、母相関係数、母平均、母分散の与え方による影響についても検討を加える。

具体的な解法は、式(5)の制約条件のもとに、式(4)の尤度関数を最大にするOD交通量 t_{ij} を求めるようにして行く。共分散行列 B を前述のように標準偏差と相関係数を用いて与えれば、式(4)の最大化は指数部 Q (式(8)) の最小化問題として定式化でき、制約条件付き最小化問題となる。

ここで、添字が煩雑になるので、ODペアを単一番号で示し、式(10)、式(11)のように変換する。

ラグランジェの未定乗数を λ_k とすると、ラグランジェ関数 ϕ は式(12)のように与えられ、 t_i で偏微分してゼロとおくと、式(13)のようになる。

t_i , λ_k について展開すると、式(14)のような連立一次方程式が得られ、方程式の数 ($m+s$) と未知数 t_i , λ_k の数 ($m+s$) が一致しているのて簡単に解くことができる。

3. シミュレーションの方法と推計手順

図-1に示すようなシミュレーションにより、推計精度の検討を行う。まず、実際のOD交通量の変動現象を再現

$$\mu_{ij} = t_{ij}^* \quad (6)$$

$$\sigma_{ij}^2 = \alpha (t_{ij}^*)^\beta \quad (7)$$

$$Q = (t - \mu)^t B^{-1} (t - \mu) - \text{Min.} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} Q &= \sum_{ij} \sum_{os} (t_{ij} - \mu_{ij}) (t_{os} - \mu_{os}) b_{ij,os} \\ &= \sum_{ij} \sum_{os} (t_{ij} - t_{ij}^*) (t_{os} - t_{os}^*) b_{ij,os} \end{aligned} \quad (9)$$

ただし、 $b_{ij,os}$; B^{-1} の (ij, os) 要素を表わす

$$t_{11}, t_{12}, \dots, t_{mn} \rightarrow t_1, t_2, \dots, t_s \quad (10)$$

$$p_{11}^1, p_{12}^1, \dots, p_{mn}^k \rightarrow p_1^1, p_2^1, \dots, p_s^k \quad (11)$$

$$\Phi(t_1, t_2, t_3, \dots, t_s)$$

$$\begin{aligned} &= \sum_i \sum_j (t_i - t_i^*) (t_j - t_j^*) b_{ij} \\ &\quad + \sum_k (x_k^* - \sum_i p_i^k \cdot t_i) \lambda_k \end{aligned} \quad (12)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t_i} = \sum_j (t_j - t_j^*) b_{ij} + \sum_k \lambda_k p_i^k = 0 \quad (i=1, 2, \dots, S) \quad (13)$$

ただし、

$$x_k^* = \sum_j p_j^k \cdot t_j \quad (k=1, 2, \dots, m)$$

$$x_1^* = p_1^1 t_1 + p_2^1 t_2 + \dots + p_s^1 t_s$$

$$x_2^* = p_1^2 t_1 + p_2^2 t_2 + \dots + p_s^2 t_s$$

$$\vdots$$

$$x_m^* = p_1^m t_1 + p_2^m t_2 + \dots + p_s^m t_s$$

$$\begin{aligned} \sum_j t_j^* \cdot b_{1j} &= b_{11} t_1 + b_{12} t_2 + \dots + b_{1s} t_s \\ &\quad - p_1^1 \lambda_1 - p_2^1 \lambda_2 - \dots - p_s^1 \lambda_s \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum_j t_j^* \cdot b_{2j} &= b_{21} t_1 + b_{22} t_2 + \dots + b_{2s} t_s \\ &\quad - p_1^2 \lambda_1 - p_2^2 \lambda_2 - \dots - p_s^2 \lambda_s \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \sum_j t_j^* \cdot b_{sj} &= b_{s1} t_1 + b_{s2} t_2 + \dots + b_{ss} t_s \\ &\quad - p_1^s \lambda_1 - p_2^s \lambda_2 - \dots - p_s^s \lambda_s \end{aligned}$$

するために、OD交通量についてある正規母集団 $N(\mu_{rij}, \sigma_{ij}^2)$ を考える。日々変動するOD交通量は正規母集団からの実現値と考えられるから、正規乱数 $N(\mu_{rij}, \sigma_{ij}^2)$ を用いて、2組のOD交通量を作成する。その1組を過去に調査されたパーソントリップ集計OD交通量 ($t_{ij}^*, t_{ij}^*, \dots, t_{ij}^*$; 既存OD交通量) とし、もう1組を推計時点 (道路区間交通量の観測時点) における真実OD交通量 ($tr_{ij1}, tr_{ij2}, \dots, tr_{ijn}$) としてシミュレーションを行う。ただし、周期変動があるため、各OD交通量は互いに独立に生起するのではなく、相関係数 $\rho_{ij,os}$ を持って生起するものとする。なお、各ODペアの変動周期が全て同じ場合には、相関係数も一律になると考えられるが、普通、変動周期はODペアによって異なるので、ここではバラツキのある相関係数を用いてシミュレーションを行った。

推計に用いる実測道路区間交通量 x_k^* には、一般に観測誤差 σ_x (比率誤差%) が含まれるため、真実道路区間交通量 x_k^* との間に式 (15) の関係があるとする。また、先決値として外生的に与える推定道路区間利用率 p_{ij}^k にも、一般に推定誤差 σ_p (比率誤差%) が含まれる。したがって、真実道路区間利用率 p_{rij}^k との間に式 (16) が成り立つものとしてシミュレーションを行う。

推計精度を示す誤差の表示は、式 (17) のように、交通量で重み付けした標準比率誤差 $\delta(t_{ij}, tr_{ij})$ を用いる。これは、トリップ数の多いものほど交通対策上重要であり、交通規制や交通制御などに対し大きな影響を持つからである。なお、シミュレーションにおいては正規母集団の特性 (母平均 μ_{rij} のODパターン、母分散 σ_{ij}^2 、母相関係数 $\rho_{ij,os}$) によって、 t_{ij}^* および tr_{ij} の発生のかたが異なり、外生的に与える p_{ij}^k 、 x_k^* 、 $\rho_{ij,os}$ などが真実値であったとしても、毎回推計精度が異なる。そこで、本研究では乱数発生時の相対変動 (表-2) の大きさを式 (17) と同様にして重み付き標準比率誤差で表わし、推計精度の評価に用いる (図-1)。

4. 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、次に示すような仮想的正規母集団を考え、図-2の簡単な対象道路網を用いて推計精度の検討を行う。正規母集団としては、真実平均OD交通量 μ_{rij} のODパターン (表-3、表-4) と母分散 $\sigma_{ij}^2 = \alpha(\mu_{rij})^\beta$ のパラメータ (α , β) の組合せにより、次の6通りを考える。ただし、ODパターン2 (表-4) はODパターン1 (表-3) に比べ、直進方向の通過OD交通量 (たとえば、 $\mu_{r13}, \mu_{r17}, \mu_{r28}, \mu_{r46}$) が特に大きくなっており、通過OD交通量の影響を見るために設定したものである。なお、今回の計算例ではゾーン内々を

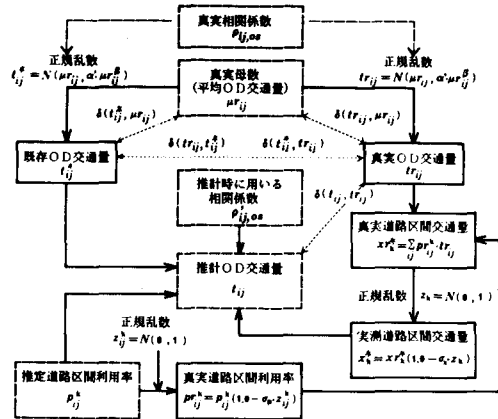


図-1 推計手順をしめすシミュレーションのフローチャート

$$x_k^* = x_k^* (1.0 - \sigma_x \cdot z_k) \quad (15)$$

$$p_{rij}^k = p_{rij}^k (1.0 - \sigma_p \cdot z_{ij}^k) \quad (16)$$

ここで、 z_k ; x_k^* に対する標準正規乱数 $N(0, 1)$

z_{ij}^k ; p_{rij}^k に対する標準正規乱数 $N(0, 1)$

$$\delta(t_{ij}, tr_{ij}) = \frac{1}{tr} \sum_{ij} tr_{ij} \frac{|t_{ij} - tr_{ij}|}{tr_{ij}} \quad (17)$$

ここで、 $tr = \sum_{ij} tr_{ij}$; 真実OD交通量の総計

表-2 乱数発生時の相対変動 (相対誤差)

μ_{rij} に対する t_{ij}^* と tr_{ij} の 相対誤差	$\delta(t_{ij}^*, \mu_{rij})$; μ_{rij} を基準とする
	$\delta(tr_{ij}, \mu_{rij})$; μ_{rij} を基準とする
t_{ij}^* と tr_{ij} の 相対誤差	$\delta(t_{ij}^*, tr_{ij})$; tr_{ij} を基準とする
	$\delta(tr_{ij}, t_{ij}^*)$; t_{ij}^* を基準とする

仮想正規母集団のODパターン

- 母集団A μ_{rij} = ODパターン1, $\sigma_{ij}^2 = 0.05 (\mu_{rij})^{2.0}$
- 母集団B μ_{rij} = ODパターン1, $\sigma_{ij}^2 = 0.20 (\mu_{rij})^{2.0}$
- 母集団C μ_{rij} = ODパターン1, $\sigma_{ij}^2 = 90.0 (\mu_{rij})^{1.0}$
- 母集団D μ_{rij} = ODパターン2, $\sigma_{ij}^2 = 0.05 (\mu_{rij})^{2.0}$
- 母集団E μ_{rij} = ODパターン2, $\sigma_{ij}^2 = 0.20 (\mu_{rij})^{2.0}$
- 母集団F μ_{rij} = ODパターン2, $\sigma_{ij}^2 = 90.0 (\mu_{rij})^{1.0}$

問題としないことでモデル構成を行うが、交通計画上ゾーン内々問題となるときは、ゾーン内に観測地点を設けるか、あるいはそのゾーンを改めて取り出して解析すればよい。

表-3 母集団の真実平均OD交通量 (ODパターン1)

OD	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	880	1120	930	1700	820	1630	8700
3	1430	740	0	1180	2130	360	1330	1030	2740	10940
4	850	920	1350	0	1120	840	720	960	1420	8180
5	280	140	2600	1180	0	1140	2260	1180	1280	10060
6	1300	830	720	950	3510	0	1420	890	800	10420
7	1530	1730	1350	720	1240	1230	0	830	1720	10350
8	950	760	1250	920	1160	940	830	0	760	7570
9	2800	1750	950	1250	1350	860	960	940	0	10860
D(U)	10000	7710	10390	7820	13860	7560	10650	7790	13090	88870

また、OD別道路区間利用率 p_{ij}^k の設定は、図-3に示すようにして行った。直進OD (たとえば、 t_{12} , t_{13} など) については経路を1本と限定し、すべて最短経路を通るものとした。また、屈折経路を有する対角ODについては、経路を複数 (たとえば、 t_{26} , t_{59} などでは2本、 t_{16} , t_{49} などでは3本、 t_{19} , t_{37} などでは4本) として p_{ij}^k を設定した。なお、 p_{ij}^k の推定誤差 σ_p の影響については、複数経路の場合のみ考慮するものとし、直進ODの場合は推定誤差はないものとした。なお、母集団の相関係数 $\rho_{ij,os}$ は金沢市内幹線道路における常時観測交通量 (車両感知器による断面日交通量) をデータとして作成した。3種類 (ρ^1 , ρ^2 , ρ^3) 作成した相関係数のうち ρ^1 を真実相関係数としてシミュレーションを行う。 ρ^1 , ρ^2 , ρ^3 の平均値は、それぞれ、 $\rho^1=0.58$, $\rho^2=0.59$, $\rho^3=0.59$ であり、 ρ^1 を基準としたときの相対誤差 σ_p (比率誤差%) は、それぞれ $\sigma_{\rho^1}=0\%$, $\sigma_{\rho^2}=9\%$, $\sigma_{\rho^3}=60\%$ である。

表-4 母集団の真実平均OD交通量 (ODパターン2)

OD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	O (1)
1	0	840	11280	740	2230	1260	11440	1140	2740	31670
2	860	0	760	880	1120	930	1700	6560	1630	14440
3	11440	740	0	1180	2130	360	1330	1030	21920	40130
4	850	920	1350	0	1120	6720	720	960	1420	14060
5	280	140	2600	1180	0	1140	2260	1180	1280	10060
6	1300	830	720	7600	3510	0	1420	890	800	17070
7	12240	1730	1350	720	1240	1230	0	830	13760	33100
8	950	6080	1250	920	1160	940	830	0	760	12890
9	2800	1750	7600	1250	1350	860	7680	940	0	24230
D(U)	30720	13030	26910	14470	13860	13440	27380	13530	44310	197650

4.1 母数の与え方が推計精度に及ぼす影響

一般に、正規母集団の真実母数は未知であるので、本推計法を用いるためには、何らかの方法 (たとえば、道路区間相互の相関係数やトリップ目的別のトリップチェーンモデル) で与える必要がある。本研究では、推計に用いる母数 (μ_{ij} , σ_{ij}^2) を便宜的に既存OD交通量 t_{ij}^* で与え (式(6), 式(7)) 推計を行う。したがって、真実母数を用いて推計を行う場合に比べ、推計精度が低下すると考えられる。そこで、ここではその影響について検討を行う。ただし、母数以外の影響を除くために、 $\sigma_x = 0\%$, $\sigma_p = 0\%$, $\sigma_\rho = 0\%$ としてシミュレーションを行った。

表-5は母集団の真実母数が既知の場合 ($\mu_{ij}=\mu_{rij}$, $\sigma_{ij}^2 = \alpha(\mu_{rij})^\beta$; α , β も既知) と未知の場合 ($\mu_{ij}=t_{ij}^*$, $\sigma_{ij}^2 = \alpha(t_{ij}^*)^\beta$; $\alpha=1.0$, $\beta=2.0$ または $\beta=1.0$ とする) の推計精度を比較して表わしたものである。当然のことながら母数を既知とした場合の方が推計精度がよいといえる。しかし、既存OD交通量 t_{ij}^* を用いて便宜的に与えた場合でも、精度はかなりよく、シミュレーションにおける母集団の相対変動の大きさの約3割 (d/a 或 d/b) 程度であり、 t_{ij}^* をそのまま用いて交通計画を立てるよりは精度の向上がみられる。母集団の変動が最も大きい母集団Bについて、シミュレーションの結果を図-4, 図-5に示す。図-4はそれぞれ真実母平均交通量 μ_{rij} に対する t_{ij} と tr_{ij} の変動 (バラツキ) の程度を示したものであり、図-5は母数が既知の場合と未知の場合の推計OD交通量 t_{ij} と真実OD交通量 tr_{ij} の関係を表わしたものである。また、母数が未知の場合には分散 σ_{ij}^2 のパラメータ α , β も未知であるので、その与え方によっても推計精度が影響されると考えられる。 α は式(4) (あるいは式(9)) より明らかのように推計値に対し影響を与えないので、ここでは β の影響について検討する。

3回のシミュレーション結果と、その平均値を実線 (本推計法) と一点鎖線 (井上の推計法1) で示す (図-6)。

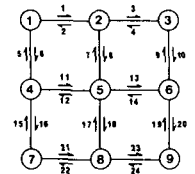
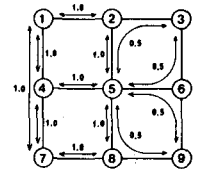
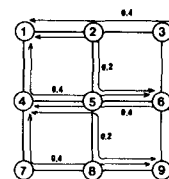


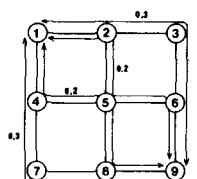
図-2 対象道路網と観測道路区間



(a) 経路1本, 2本



(b) 経路3本



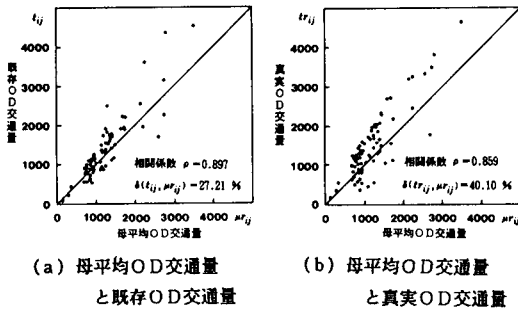
(c) 経路4本

図-3 OD別経路選択率の設定法

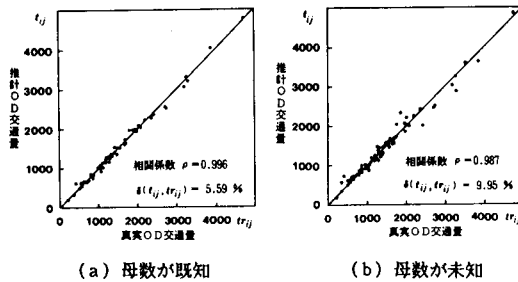
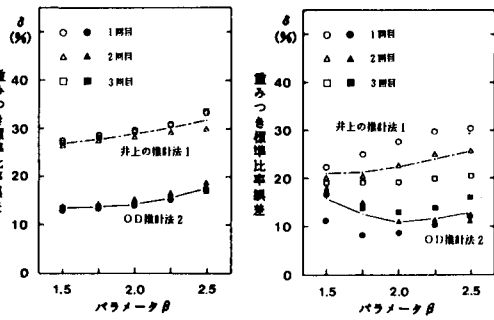
母集団によって、多少その影響は異なるが、母集団の相対変動が小さい場合には、それほど影響はないものといえる。

表一五 母数の与え方が推計精度に及ぼす影響

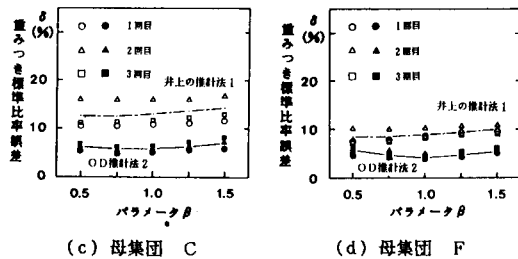
母集団	μr_{ij} に対する相対変動の大きさ 重み付き標準比率誤差 (%)			t_{ij}^* と tr_{ij} の相対変動の大きさ 重み付き標準比率誤差 (%)			母数が既知 (真実値 μr_{ij})			母数が未知 (真実値 t_{ij}^*)		
	$\delta(t_{ij}^*, \mu r_{ij})$	$\delta(tr_{ij}, \mu r_{ij})$	平均値 (a)	$\delta(t_{ij}^*, tr_{ij})$	$\delta(tr_{ij}, t_{ij}^*)$	平均値 (b)	$\delta(t_{ij}, tr_{ij})$ (c)	c/a	c/b	$\delta(t_{ij}, tr_{ij})$ (d)	d/a	d/b
母集団 A	13.61	20.05	16.83	14.32	15.21	14.77	2.78	16.5%	18.8%	4.46	26.5%	30.2%
母集団 B	27.21	40.10	33.66	28.00	30.11	29.06	5.59	16.6%	19.2%	9.35	29.6%	34.2%
母集団 C	15.38	24.66	20.02	17.78	19.45	18.62	3.58	17.9%	19.2%	5.32	26.6%	26.6%
母集団 D	11.05	19.27	15.16	12.88	13.51	13.23	1.63	10.8%	12.3%	2.71	17.9%	17.9%
母集団 E	22.11	38.55	30.33	24.90	26.51	25.71	3.15	10.4%	12.3%	7.10	23.4%	27.6%
母集団 F	10.31	16.54	13.43	12.26	13.25	12.76	2.37	17.6%	18.6%	3.99	29.7%	29.7%



図一四 シミュレーションにおける乱数発生相対誤差 (母集団 B)



図一五 真実OD交通量と推計OD交通量 (母集団 B)



図一六 パラメータ β が推計精度に及ぼす影響

4.2 相関係数の推定誤差が推計精度に及ぼす影響

一般に、母集団の相関係数は未知であるので、何らかの方法で推定する必要がある。ここでは、相関係数の推定誤差 σ_p が推計精度にどのような影響を及ぼすかについて検討を行う。相関係数としては常時観測交通量データより作成した3種類 (ρ^1 , ρ^2 , ρ^3) の相関係数を用いる。シミュレーションでは ρ^1 を母集団の真実相関係数とし、それぞれ ρ^1 , ρ^2 , ρ^3 を用いて推計を行った場合と、相関係数を考慮せずに推計を行った場合 (井上の推計法1) を比較する。ただし、推計に用いる母数は、既存OD交通量 t_{ij}^* を用いて与え、 $\sigma_x = 0\%$, $\sigma_p = 0\%$ と

表一六 井上の推計法1とOD推計法2の推計精度の比較 (母集団 B, 重み付き標準比率誤差%)

真実相関係数との 相対誤差 $\sigma_p \rightarrow$	OD推計法2 推計に用いた相関係数			井上の 推計法1
	ρ^1 (0%)	ρ^2 (9%)	ρ^3 (60%)	
1回目	9.95	10.08	10.22	18.48
2回目	15.21	16.96	21.31	25.95
3回目	15.72	16.29	22.32	24.51
平均	13.63	14.44	17.95	22.98

表一七 井上の推計法1とOD推計法2の推計精度の比較 (母集団 E, 重み付き標準比率誤差%)

真実相関係数との 相対誤差 $\sigma_p \rightarrow$	OD推計法2 推計に用いた相関係数			井上の 推計法1
	ρ^1 (0%)	ρ^2 (9%)	ρ^3 (60%)	
1回目	6.53	6.69	7.10	16.05
2回目	11.68	11.78	12.87	23.13
3回目	12.91	13.52	15.21	19.44
平均	10.37	10.66	11.73	19.54

してシミュレーションを行った。

表-6、表-7は、それぞれ母集団B、母集団Eについての結果であるが、どちらも、相関係数を考慮しない井上の推計法1よりもかなり推計精度が良いといえる。しかも、真実値からずれた ρ^2 や ρ^3 を用いて推計を行った場合においても、それほど精度の悪化は大きくないことがわかる。

4.3 道路区間交通量の観測誤差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 が推計精度にどのような影響を及ぼすか、シミュレーションにより検討を行う。推計に用いる母数 μ_{ij} は t_{ij}^* を用いて与え、他は $\sigma_p = 0\%$ 、 $\sigma_r = 0\%$ として3回シミュレーションを行った。結果の一例を図-7 (a)母集団B、(b)母集団E)に示す。図より明らかなように、観測誤差が大きくなると、推計精度は非常に大きな影響を受けることがわかる。しかも、その影響は相関係数を考慮していない井上の推計法1 (図中、白抜き破線) よりも相関係数を考慮した本推計法 (OD推計法2) のほうが大きいといえる。これは、制約条件である道路区間交通量に観測誤差があるためであり、観測誤差が大きくなると出現確率を最大にするOD交通量の解が、ずれた制約条件を満足させるために、真実値よりもかけ離れたところで求まることによるものである。特に、本推計法の場合は、相関係数を考慮することにより解の存在範囲を規定するため、その影響が大きいものと考えられる。

また、母集団のODパターンの違いによる影響を比較すると、通過OD交通量の大きい母集団Eの方が大きく影響を受けることがわかる。以上のことから、道路区間交通量の観測誤差はできるだけ小さくする必要があるといえる。

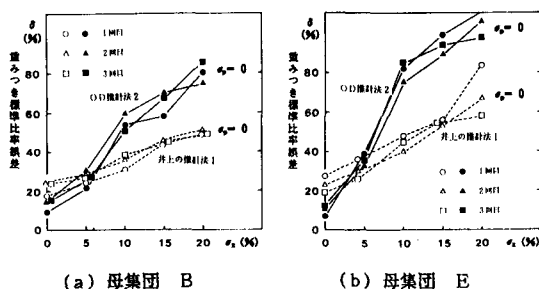


図-7 道路区間交通量の観測誤差 σ_x が推計精度に及ぼす影響

4.4 OD別道路区間利用率の推定誤差が推計精度に及ぼす影響

本推計法では、OD別道路区間利用率を走行経路調査や既存配分理論等により推定し、先決値として与えてOD交通量の推計を行う。したがって、OD別道路区間利用率の推定誤差 σ_p がOD交通量推計に対し、どのような影響を及ぼすか検討しておく必要がある。ここでは、経路選択率の推定が直線OD交通に比べて困難である対角OD交通 (選択経路が複数) に対し、経路選択率を変動させシミュレーションを行った。結果の一例を図-8 (a)母集団B、(b)母集団E)に示す。この図よりOD別道路区間利用率の推定誤差 σ_p が大きくなっても、推計精度にはほとんど影響がないことがわかる。しかも、その傾向は母集団の特性の違いにもほとんど関係しないといえる。ただし、ここでの分析はODペアについての選択経路を指定し、その選択確率を変動するとしてシミュレーションを行ったものである。したがって、選択経路自体が変化する場合や、さらに複雑な経路選択をするような場合については、今後検討を加える必要がある。

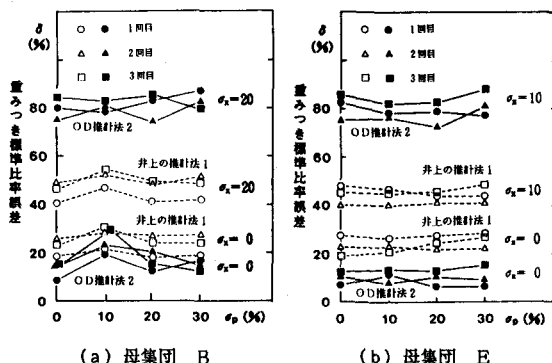


図-8 OD別道路区間利用率の推定誤差 σ_p が推計精度に及ぼす影響

5. おわりに

本研究では、既存交通量資料 (パーソントリップ調査資料、道路交通センサス調査資料、車両感知器交通量資料、etc) を有効利用し、交通量変動の周期変動を考慮して、対象地域内の現時点におけるOD交通量を推計する方法を提案した。簡単な対象道路網を用いたシミュレーション結果をまとめると、次のことが明らかになった。

- (1) 母集団の真実母数が既知の場合は、非常に推計精度が高く、母集団の相対誤差の約8~9割を消去できる。推計に用いる母数を便宜的に既存OD交通量 t_{ij}^* で与えた場合でも、それほど精度の悪化は見られず、やはり母

集団の相対誤差の約7割を消去することが可能である。

- (2) 相関係数の推定誤差 σ_p が60%と多少大きくても、相関係数を考慮しない井上の推計法1に比べ本推計法の方が推計精度が良い。しかし、道路区間交通量の観測誤差が大きくなると、井上の推計法1の方が精度が良くなるといえる。ただし、母集団の相関係数の推定方法が今後に残された課題であるが、今回の分析でも明らかなように、相関係数変化の感応度が比較的小さいので、相関係数を簡便的に一律として与えるのも1つの方法であろう。
- (3) 道路区間交通量に観測誤差がある場合は、非常に大きな影響を受けるため、観測人員の配置や観測地点の選定などに注意して、できるだけ観測誤差がないようにする必要がある。また、このことはモデル適用上の注意として、信頼性の低い情報はむしろ取り入れるべきではないということを示している。なお、今回の分析では観測地点数や、その位置についての検討は行わなかったが、今後それらについても検討する必要がある。
- (4) 選択経路が指定されていれば、経路選択率の推定誤差 σ_p の影響はほとんどないといえる。ただし、選択経路自体が変化する場合や対象道路網が大きい場合の経路選択率の先決方法については、今後検討する必要がある。
- (5) 本推計法は、対象地域が大きくなっても理論的には問題はないが、道路区間数 m にODペアの数 s (ただし、交通量がゼロのODペアは除く) を加えた数 $(m+s)$ の連立方程式を解かなければならないため、大規模道路網に適用する場合には解法上の効率化が必要である。

本推計法は、まだ研究開発の途上にあるが、今回行ったシミュレーション結果により、実用化に向けての今後の課題が明らかになったといえよう。なお、今回は簡単な道路網を対象としたが、今後はここで得られた知見をもとに、現実道路網への適用性を検討していきたい。最後に、本研究を行うにあたり、岡山大学井上博司助教授をはじめ多くの方々から有益な助言、御指摘をいただいた。また、本研究は文部省科学研究費総合研究Aにより行った研究成果の一部である。合わせてここに感謝の意を表します。

6. 参考文献

- 1) 飯田恭敬；“発生交通量のみを変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) 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332号，pp.85～94，1983年4月
- 3) J.Holm, T.Jensen, S.K.Nielsen, A.Christensen, B.Johsen, and G.Ronby；“Calibrating Traffic Models on Traffic Census Results Only”，Traffic Engineering and Control, Vol.17, No.4, pp.137～140, 1976
- 4) 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
- 5) L.J.Lebjanc, K.Farhangian；“Selection of a Trip Table Which Reproduces Observed Link Flows”，Transpn Res.-B, Vol.16, No.2, pp.83～88, 1982
- 6) 金井一二，飯田恭敬，高山純一；“路上交通量によるOD交通量とOD別道路区間利用率の同時推計法”，第37回土木学会年次学術講演会講演概要集，第4部，pp.353～354，1982年10月
- 7) P.Robillard；“Estimating The O-D Matrix from Observed Link Volumes”，Transpn Res., Vol.9, pp.123～128, 1975
- 8) 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
- 9) 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
- 10) 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
- 11) 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
- 12) 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
- 13) 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.61～72，1983年3月
- 14) 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回土木計画学研究発表会講演集，pp.386～392，1983年1月
- 15) 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1月
- 16) 高山純一，飯田恭敬，竹内宏樹；“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法の適用性について”，土木学会中部支部研究発表会講演概要集，pp.306～307，1982年2月
- 17) 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, 1981
- 18) 越正毅，片倉正彦，北川久；“プレートナンバー法による街路網の走経路解析”，交通工学，Vol.8, 増刊号，pp.3～13, 1973
- 19) 高山純一，飯田恭敬；“交通需要予測のための部分道路網の交通流解析”，金沢大学工学部紀要，第14巻2号，pp.97～107，1981年10月
- 20) 井上博司；“等時間原則交通量配分における経路交通量の推定”，交通工学，Vol.13, No.1, pp.3～9, 1978年