

非観測区間の交通量推定に及ぼす交通量 観測地点の影響に関する研究

The Effect of Traffic Counting Points on Estimating Traffic Volume
at Non-Counted Road Sections

外井哲志*・樗木 武**・吉武哲信***・天本徳浩****

by Satoshi TOI, Takeshi CHISHAKI, Tetsunobu YOSHITAKE and Tokuhiko AMAMOTO

A model is presented, which estimates traffic volume at non-counted road sections using the counted volume at other sections and the constitutional ratio of OD volume at all sections. And the error arised in estimating with the model is formulated.

On the next stage, the effect of the traffic counting points on reliability of estimation is analysed, and the effective counting points, a method of disposing the counting points to reduce error are shown with a symple network.

1. はじめに

交通量調査は、個々の道路区間の交通状況を客観的に捉えるものである。そのデータは広域的・長期的な道路交通計画から、小規模短期的な道路交通管理まで幅広く利用される最も基本的な調査データの1つであるといえる。道路交通計画における利用の例として、道路交通センサス一般交通量調査データの道路整備5ヵ年計画作成への利用や、交通量配分結果の検討、自動車OD調査、都市圏のPT調査におけるOD表の修正などを挙げることができる。また、道路交通管理における利用の例としては、交差点改良、橋梁の架け替えなどの際の現道工事に伴う交通処理対策、地区の交通規制計画の立案、交通事

故率による道路危険区間の抽出、道路整備・交通規制の効果分析などを挙げることができよう。

交通量調査データの利用と調査体制の観点から見ると、前者が定期的かつ定型的な利用が行われるため、調査体制が確立しているのに対し、後者は不定期的かつ不定型的な利用が多く、調査体制は確立していないのが現状である。しかし道路交通計画と比べ、道路交通管理では最新のデータを必要とする割合が大きく、道路交通計画で実施されている5年程度の長周期の調査データでは使用に耐えられないことが多い。このような場合、その道路交通管理の性格に従い、(1)必要な時期に個別に調査を行う、(2)過去のデータを用いる、または(3)交通量に関する情報なしで管理を行う、のいずれかの方法で対処することになる。また上述した道路危険区間の抽出や道路整備の効果分析などについては、行為そのものを断念せざるを得ないことも多い。このような状況を考えると、個別に調査を行えない場合に備えて、

* 正会員 工修 九州大学講師 工学部土木工学科

**正会員 工博 九州大学教授 工学部土木工学科

***正会員 工修 九州大学助手 工学部土木工学科

**** 学生員 工修 九州大学大学院 工学研究科

長周期調査の中間年の補間推定により、最新の交通量の推定値を提供できるシステムを構築する必要性が大きい。

本研究はこのような立場から、交通量観測のなされていない道路区間（非観測区間）の交通量を交通量観測のされている他の道路区間（観測区間）の交通量とリンク交通量のOD構成率とを用いて推定する方法を前提として、その推定誤差の大きさを定式化するとともに、観測区間の配置状況が推定誤差に及ぼす影響について考察したものである。

道路区間の観測交通量を交通需要推計に利用する方法の1つとして、観測交通量から対象道路網内のOD交通量とOD別道路区間交通量の推定を行う実測路上交通量モデル¹⁾がある。このモデルは現実の道路網に即した交通需要を比較的小規模の範囲で推計し、部分的な道路改良案や交通規制案などの代替案の比較分析に役立てることをねらいとしている。

これに対し、本研究は道路交通センサスのような大規模調査の中間年における道路区間交通量を推定することによって、交通量に関する最新の情報を用いた交通状況の評価という立場での利用を前提としており、飽くまで区間交通量の現状を知ることに関心がある。このような利用を考えると交通量の推定法のみならず、推定誤差および観測点の道路網内における代表性、最適配置法などを一連の研究対象として捉えること、すなわち交通量観測体制の確立を目標とすることが必要である。しかし観測体制に重点を置いた研究は極めて少ない。著者らはこれまで観測体制の観点から、OD網羅規準を用いて観測点を道路網上で特定する方法^{2),3)}、走行台キロの推定誤差と観測地点の配置間隔との関係⁴⁾などの研究を行ってきた。本研究はその一環である。

2. 非観測区間の交通量推定法

このモデルは道路網上のOD交通量の流動パターン（リンクのOD構成率など）を用いて、接続関係のないリンク相互間に関連性を持たせるのが特徴である。以下にその考え方を述べる。

まずノードとリンクとで構成される道路網上を各OD交通量が複数ルートに分かれて通行しており、各リンクのOD構成は既知であるとする。また、少数のリンクには交通量の観測点が配置されていて、

実測交通量が即座に提供されているものとする。さて、ここで各非観測リンクの交通量を構成するODを、(1) 観測リンクを流れているOD（観測OD）と(2) 観測リンクを流れないOD（非観測OD）の2種類に区分する。以下に記号の説明を行う。

t_{ij} : リンク j を流れる OD ペア i の交通量

t_{j1}, t_{j2} : それぞれリンク j の観測 OD 交通量の和、非観測 OD 交通量の和

ここに、 $t_{j1} = \sum_{i \in G_{j1}} t_{ij}$, $t_{j2} = \sum_{i \in G_{j2}} t_{ij}$ (1)

G_{j1}, G_{j2} : それぞれリンク j を流れる OD のうち、道路網内の観測点において少なくとも一部が観測されている OD ペアの集合と全く観測されていない OD ペアの集合

(2) の非観測 OD 交通量は、予め (1) の観測 OD 交通量との比 r_j をリンクの OD 構成から計算しておけば、観測 OD 交通量が推定されると同時に求められる。

$$r_j = t_{j2} / t_{j1} \quad (2)$$

$$t_{j2} = r_j \cdot t_{j1} \quad (3)$$

ここに、 r_j : リンクの観測 OD 交通量に対する非観測 OD 交通量の比

t_{j1}, t_{j2} : それぞれ t_{j1}, t_{j2} の推定値

また観測 OD 交通量のうち OD ペア i に対応するものは、観測リンク全体における OD ペア i の構成量と各非観測リンクにおける OD ペア i の構成量の比および観測リンクの実測交通量を用いることによって求められ、これを各々のリンクで観測 OD 全体について総合することによって、各非観測リンクを流れる観測 OD の交通量を知ることができる。

$$u_{ij} = t_{ij} / T_i \quad (4)$$

$$T_i = \sum_{m \in M} t_{im} \quad (5)$$

$$v_{im} = t_{im} / \sum_{i \in G} t_{im} \quad (6)$$

ここに、 T_i : 道路網内の観測点のあるリンクを通過する OD ペア i 交通量の単純和

t_{im} : 観測点 m を通過する OD ペア i の交通量

v_{im} : 観測点 m を通過する OD ペア i の交通量の構成率

M : 観測点（リンク）の集合

G : OD ペアの集合

また、 q_m を観測点 m における観測交通量とすれ

ば、定義された諸量を用いることにより t_{ji} は次のように表わされる。

$$t_{ji} = \sum_{i \in G_{j1}} u_{ij} \left(\sum_{m \in M} v_{im} q_m \right) \quad (7)$$

$$t_j' = t_{j1} + t_{j2} \\ = (1 + r_j) \sum_{i \in G_{j1}} u_{ij} \left(\sum_{m \in M} v_{im} q_m \right) \quad (8)$$

ここに、 t_j' ：非観測リンク j の推定交通量

この推定式において、 r_j 、 u_{ij} 、 v_{im} は道路網におけるOD交通の流れのパターンと交通量観測点の配置リンクの位置から決まる既知の数量であり、 q_m のみを変数である。この推定式における仮定の1つは、各リンクのOD構成率は求められた当初において、ある程度以上の精度を保証されており、その後の短期間内には大きく変化しないということである。また観測交通量 q_m に大きな誤差が含まれないことも重要な仮定である。

3. OD構成率、観測交通量の誤差の影響

2. で示した仮定は現実には容易に成立しないと考えられる。したがって式(8)中の各要素にはある程度の誤差が含まれることを前提として考察を続けなければならない。

最初に示した t_{ij} (リンク j を通過する i OD 交通量) は交通量配分計算や路側OD調査の結果として入手できる数量であり、誤差 e_{ij} を含んでいる。すなわち、

$$t_{ij} = t_{ij} + e_{ij} \quad (9)$$

ここに、 e_{ij} ：リンク j を通過する i OD 交通量の計算(調査)誤差

ここで、式(9)を、式(1)、(2)に代入すると、

$$r_j + \Delta r_j = \frac{t_{j2} + \Delta t_{j2}}{t_{j1} + \Delta t_{j1}} \\ = \frac{t_{j2}}{t_{j1}} \cdot \frac{1 + \sum_{i \in G_{j2}} e_{ij} / t_{j2}}{1 + \sum_{i \in G_{j1}} e_{ij} / t_{j1}} \\ = \frac{t_{j2}}{t_{j1}} \left(1 + \frac{\sum_{i \in G_{j2}} e_{ij}}{t_{j2}} \right) \left(1 - \frac{\sum_{i \in G_{j1}} e_{ij}}{t_{j2}} \right) \\ = \frac{t_{j2}}{t_{j1}} \left(1 + \frac{\sum_{i \in G_{j2}} e_{ij}}{t_{j2}} - \frac{\sum_{i \in G_{j1}} e_{ij}}{t_{j1}} \right) \quad (10)$$

$$\Delta r_j = r_j \left(\frac{\sum_{i \in G_{j2}} e_{ij}}{t_{j2}} - \frac{\sum_{i \in G_{j1}} e_{ij}}{t_{j1}} \right) \quad (10')$$

次に式(9)を式(4)に代入すると、

$$u_{ij} + \Delta u_{ij} = \frac{t_{ij} + e_{ij}}{\sum_{m \in M} t_{im} + \sum_{i \in G} e_{im}} \quad (11)$$

また式(9)を式(6)に代入すると、

$$v_{im} + \Delta v_{im} = \frac{t_{im} + e_{im}}{\sum_{i \in G} t_{im} + \sum_{i \in G} e_{im}} \quad (12)$$

さらに、 q_m にも Δq_m の誤差が内包されているとすると、

$$q_m = t_m + \Delta q_m \quad (13)$$

したがって、

$$\sum_{m \in M} (v_{im} + \Delta v_{im}) (t_m + \Delta q_m) \\ = \sum_{m \in M} (t_{im} + e_{im}) \frac{1 + \Delta q_m / t_m}{1 + \sum_{i \in G} e_{im} / t_m} \\ = \sum_{m \in M} t_{im} \left(1 + \frac{e_{im}}{t_{im}} \right) \left(1 - \frac{\sum_{i \in G} e_{im}}{t_m} \right) \\ \cdot \left(1 + \frac{\Delta q_m}{t_m} \right) \\ = \sum_{m \in M} t_{im} \left(1 + \frac{e_{im}}{t_{im}} - \frac{\sum_{i \in G} e_{im}}{t_m} + \frac{\Delta q_m}{t_m} \right) \quad (14)$$

したがって、

$$t_{ji} + \Delta t_{ji} = \sum_{i \in G_{j1}} (u_{ij} + \Delta u_{ij}) \sum_{m \in M} (v_{im} + \Delta v_{im}) (t_m + \Delta q_m) \\ = \sum_{i \in G_{j1}} \frac{t_{ij} + e_{ij}}{\sum_{m \in M} t_{im} (1 + e_{im} / t_{im})} \sum_{m \in M} t_{im} \left(1 + \frac{e_{im}}{t_{im}} - \frac{\sum_{i \in G} e_{im}}{t_m} + \frac{\Delta q_m}{t_m} \right) \\ = \sum_{i \in G_{j1}} t_{ij} + \sum_{i \in G_{j1}} \left\{ e_{ij} - \frac{t_{ij} + e_{ij}}{T_i} \sum_{m \in M} t_{im} \frac{e_m - \Delta q_m}{t_m} \right\} \quad (15)$$

ここに、 $T_i = \sum_{m \in M} t_{im}$ 、 $e_m = \sum_{i \in G} e_{im}$

したがって、

$$\Delta t_{ji} = \sum_{i \in G_{j1}} e_{ij} - \sum_{i \in G_{j1}} \left\{ \frac{t_{ij} + e_{ij}}{T_i} \sum_{m \in M} \frac{t_{im}}{t_m} (e_m - \Delta q_m) \right\} \quad (15')$$

ここで j リンクの推定交通量 t_j' は、

$$\begin{aligned} t_j' &= t_j + \Delta t_j \\ &= (1 + r_j + \Delta r_j)(t_{j1} + \Delta t_{j1}) \\ \Delta t_j &= \Delta r_j t_{j1} + (1 + r_j) \Delta t_{j1} \\ &\quad + \Delta r_j \Delta t_{j1} \end{aligned}$$

上式の第3項は微小項と考えて無視し、第1項、第2項のみ考察する。

$$\begin{aligned} \Delta r_j t_{j1} &= \sum_{i \in G_{j1}} e_{ij} - r_j \sum_{i \in G_{j1}} e_{ij} \\ (1 + r_j) \Delta t_{j1} &= (1 + r_j) \left\{ \sum_{i \in G_{j1}} e_{ij} \right. \\ &\quad \left. - \sum_{i \in G_{j1}} \frac{t_{ij} + e_{ij}}{T_i} \sum_{m \in M} t_{im} \left(\frac{e_m - \Delta q_m}{t_m} \right) \right\} \\ &= \sum_{i \in G_{j1}} e_{ij} + r_j \sum_{i \in G_{j1}} e_{ij} - (1 + r_j) \cdot \\ &\quad \sum_{i \in G_{j1}} \frac{t_{ij} + e_{ij}}{T_i} \sum_{m \in M} t_{im} \left(\frac{e_m - \Delta q_m}{t_m} \right) \end{aligned}$$

したがって、 t_j の推定誤差 Δt_j は次式(16)で表わされる。

$$\Delta t_j = \sum_{i \in G_{j1}} e_{ij} - (1 + r_j) \sum_{i \in G_{j1}} \frac{t_{ij} + e_{ij}}{T_i} \sum_{m \in M} t_{im} \left(\frac{e_m - \Delta q_m}{t_m} \right) \quad (16)$$

なお、後に5の計算例で示すネットワークにおけるシミュレーションによると、 Δt_j に関する厳密値(式(8)に式(9)を代入して得られる $t_j' + \Delta t_j'$ から t_j' を差し引いた値)と式(16)より得られる値との相関係数は e_{ij} の大小にかかわらず、ほぼ1.0であり、式(16)は十分な精度の近似であるといえる。また、式(16)をさらに簡略化した次の式(16')によって得られる値と厳密値との相関係数もほぼ1.0であり、式(16')も式(16)と同様に十分な精度の近似であるといえる。

$$\begin{aligned} \Delta t_j &= \sum_{i \in G_{j1}} e_{ij} - (1 + r_j) \cdot \\ &\quad \sum_{i \in G_{j1}} \frac{t_{ij}}{T_i} \sum_{m \in M} t_{im} \left(\frac{e_m - \Delta q_m}{t_m} \right) \quad (16') \end{aligned}$$

4. 観測地点の配置状況と推定誤差との関係

式(16')において、第1項は配分計算等による誤差であり、リンク固有の値である。また第2項は他の観測リンクの交通量を用いたことによる伝播誤差

である。第2項の $1 + r_j$ は観測されるOD交通量が増加するに従って減少し、すべてのODが観測された状態では $r_j = 0$ となるため、最小値1をとる。式(16')に含まれる誤差 e_{ij} を確率変数と考えると Δt_j も確率変数である。ここで、観測交通量の誤差 $\Delta q_m = 0$ の場合を考えて見よう。式(16')は、 $\Delta t_j = e_j - (1 + r_j) \sum_{i \in G_{j1}} t_{ij} x_i$ (17)

$$e_j = \sum_{i \in G_{j1}} e_{ij}, \quad x_i = \frac{1}{T_i} \sum_{m \in M} \frac{t_{im}}{t_m} e_m \quad (18)$$

のように表現される。式(18)において、 $e_j (e_m)$ 、 x_i はともに確率変数である。 $e_j (e_m)$ の期待値を $e_j^* (e_m^*)$ 、分散を $\sigma_j^2 (\sigma_m^2)$ とすれば、 x_i の期待値 x_i^* 、分散 $\sigma_{x_i}^2$ は次のように表わされる。

$$\begin{aligned} x_i^* &= \frac{1}{T_i} \sum_{m \in M} \frac{t_{im}}{t_m} e_m^* \\ \sigma_{x_i}^2 &= \left(\frac{1}{T_i} \right)^2 \sum_{m \in M} \left(\frac{t_{im}}{t_m} \right)^2 \sigma_m^2 \end{aligned} \quad (19)$$

式(19)を用いると Δt_j の期待値 Δt_j^* 、分散 $\sigma_{\Delta t_j}^2$ は次のように表わされる。

$$\begin{aligned} \Delta t_j^* &= e_j^* - (1 + r_j) \sum_{i \in G_{j1}} t_{ij}^* x_i^* \\ \sigma_{\Delta t_j}^2 &= \sigma_j^2 + (1 + r_j)^2 \sum_{i \in G_{j1}} t_{ij}^2 \sigma_{x_i}^2 \end{aligned} \quad (20)$$

式(20)で表わされる j リンク交通量の推定誤差の期待値と分散とは、観測リンクの組み合わせによって異なってくる。すなわちリンク j の交通量を構成するOD交通量の成分を観測リンクでカバーする割合が高いほど推定誤差は減少すると考えられる。この点を式(20)の第2式を用いて示したい。少し変形すると、

$$\sigma_{\Delta t_j}^2 = \sigma_j^2 + t_j^2 \left\{ \sum_{i \in G_{j1}} (t_{ij}^2 \sigma_{x_i}^2) / \left(\sum_{i \in G_{j1}} t_{ij} \right)^2 \right\} \quad (21)$$

$$\sigma_{x_i}^2 = \sum_{m \in M} t_{im}^2 (\sigma_m / t_m)^2 / \left(\sum_{m \in M} t_{im} \right)^2 \quad (22)$$

		リンク j		m_1	m_2
ODペア					
	i_1	t_{11j}	t_{12j}	t_{11m_1}	t_{11m_2}
	i_2	t_{21j}	t_{22j}	t_{21m_1}	t_{21m_2}
	i_3	t_{31j}	t_{32j}	t_{31m_1}	t_{31m_2}

図-1 観測リンクにおける要素の分布

まず σ_{x^2} について考察する。図-1のように交通量を推定したいリンク j と観測リンク候補の m_1 , m_2 がある。リンク j の交通量を構成するODのうち、 m_1 , m_2 でカバーされるOD (観測OD) の集合を $G_{j1} = \{i_1, i_2, i_3\}$ とする。 i_1 のように m_1, m_2 の両リンクに流れるODについて見ると、観測リンクが m_1 のみの状態に m_2 を加えた場合には σ_{x^2} の分母の増大が分子のそれを上回るため、 σ_{x^2} は減少する。また i_2 のように m_1 に流れ、 m_2 に流れないODについては m_2 の追加によって σ_{x^2} に変化はない。 i_3 のように m_1 を流れず、 m_2 を流れるODについては m_2 を追加することによって σ_{x^2} が0から $(\sigma_{m2}/t_{m2})^2$ に増加する。以上3ケースについて分析したが、総合的に判断するため、式 (21) を用いて考察する。

(1) m_1 のみを用いる場合

$$M = \{m_1\}, G_{j1} = \{i_1, i_2\}$$

$$\sigma_{e^2} = \sigma_j^2 + t_j^2 \frac{\sum_{i \in G_{j1}} t_{ij}^2 (\sigma_{m1}/t_{m1})^2}{(\sum_{i \in G_{j1}} t_{ij})^2}$$

$$= \sigma_j^2 + t_j^2 \frac{t_{i1j}^2 + t_{i2j}^2}{(t_{i1j} + t_{i2j})^2} \left(\frac{\sigma_{m1}}{t_{m1}} \right)^2 \quad (23)$$

(2) m_2 を加えた場合

$$M = \{m_1, m_2\}, G_{j1} = \{i_1, i_2, i_3\}$$

$$\sigma_{e^2} = \sigma_e^2 + t_j^2 \{ \sum t_{ij} \beta / (\sum t_{ij})^2 \} \quad (24)$$

$$\beta = \frac{t_{i1j}^2 (\sigma_{m1}/t_{m1})^2 + t_{i2j}^2 (\sigma_{m2}/t_{m2})^2}{(t_{i1j} + t_{i2j})^2}$$

式 (24) において $(\sigma_{m1}/t_{m1})^2$ と $(\sigma_{m2}/t_{m2})^2$ とがオーダー的に極端な相違がないことを考えると、次のような不等式が成り立つと考えられる。

$$(\sigma_{m1}/t_{m1})^2 \geq \beta \quad (25)$$

また、集合 G_{j1}' は集合 G_{j1} を包含するから、 $\sum_{i \in G_{j1}'} t_{ij} y / (\sum_{i \in G_{j1}'} t_{ij})^2 > \sum_{i \in G_{j1}} t_{ij} y / (\sum_{i \in G_{j1}} t_{ij})^2$ (26)

ここに、 y : 任意の正の数であるから、式 (23) の σ_{e^2} は式 (24) の σ_{e^2} よりも大きい。ただし以上の議論は式 (21) の第2項の伝播誤差についてのみ言えることであり、第1項の固有誤差に関するものではない。以上をまとめると図-1のように観測点を追加することは、(1) G_{j1} の要素数の増加、(2) 同一ODに関する2重の観測、の2点によって σ_{e^2} の第2項 (伝播誤差) を減少さ

せる効果があることが明らかである。

以上のように式 (20) で表わされる推定誤差の分散のうち伝播誤差は観測リンクの選定によって、その絶対値を減少させることができることがわかったが、観測リンクの組合わせを変化させた場合の誤差の全分散の挙動については明らかではない。そこで Δt_j は正負いずれの値もとる得るから、 Δt_j が正の場合には $\Delta t_j + \sigma_{e^2}$ が、また Δt_j が負の場合には $\Delta t_j - \sigma_{e^2}$ がそれぞれ絶対値の大きい側の1 σ 点となることを利用し、絶対値が大きい側の1 σ 点をできるだけ0に近づけることにより、全体としての誤差を小さくすることを考える。ここでネットワークの全体に関して次の関数を設定する。

$$Z = \sum_{j=1}^L \{ (\Delta t_j + \sigma_{e^2})^2 + (\Delta t_j - \sigma_{e^2})^2 \} / 2 \quad (30)$$

ここに、 L : リンク数

式 (30) において、 $\Delta t_j \geq 0$ ならば $\{ \}$ 内第1項が卓越し、 $\Delta t_j \leq 0$ ならば $\{ \}$ 内第2項が卓越するから、 Z を0に近づけることが絶対値の大きい側の1 σ 点を0に近づけることになる。式 (30) を展開して整理すれば次式のようになる。

$$Z = \sum_{j=1}^L (\Delta t_j^2 + \sigma_{e^2}^2) \quad (31)$$

5. 交通量観測地点の代表性

図-2に示す簡単なネットワークを用いて

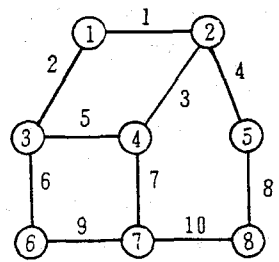
交通量の推定誤差を計算した。各リンクのOD交通量の構成は表-1に示す通りである。誤差の大きさの範囲を限定するため、リンク j における i ODペア交通量 t_{ij} の推定誤差 e_{ij} の最大値と分布交通量 d_i との比率 a_i を次式によって定義した。

$$a_i = \max_j (e_{ij}) / d_i \quad (32)$$

5. 1 モンテカルロシミュレーション

$$(1) \quad 0 \leq t_{ij}' \leq C_j$$

$$t_{ij}' = t_{ij} + e_{ij}, \quad C_j : j \text{ リンクの容量}$$



数字はリンク番号

図-2 ネットワーク

表-1 OD交通量の構成

OD LINK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	計
1-2	90	10	10		10						100
-3	10	100	10		10						110
-4	38	42	38		42						80
-5	70			70							70
-6		50				50					50
-7	16	34	16		19	15	35		15		50
-8	16	14	7	9	8	6	15	9	6	21	30
2-3	45	45	55		55						100
-4	20	20	130		20						150
-5				120							120
-6	19	19	41		19	38	22		22		60
-7			42	28			42	28		28	70
-8			24	36			24	36		24	60
3-4	20	20	20		120						140
-5	20	20	20	40	20				10		40
-6					10	110	10				120
-7					47	33	47		33		80
-8			16	16	39	21	23	16	21	44	60
4-5			45	45		31	35	35		35	80
-6					34	34	36		36		70
-7					10	10	110		10		120
-8			37	37			63	37		63	100
5-6			19	19	8	8	11	11	22	11	30
-7			36	36			36	54		54	90
-8								110			110
6-7					20	20	20		110		130
-8									80		80
7-8										120	120
合 計	364	374	566	456	491	345	529	336	365	480	2420

表-2 (1) リンク交通量固有誤差 e_j の期待値

link	a	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50
1		0.01	0.00	0.06	0.01	0.18
2		0.02	0.00	-0.05	0.09	0.06
3		0.00	0.03	0.08	0.22	0.14
4		0.02	-0.02	0.05	-0.11	0.09
5		0.01	0.12	0.02	0.19	0.45
6		0.01	0.01	-0.07	0.02	0.09
7		0.03	0.02	0.08	-0.17	0.09
8		-0.02	0.04	0.00	0.04	0.10
9		-0.02	-0.11	-0.03	0.21	-0.07
10		-0.03	-0.01	-0.10	0.05	0.04

表-2 (2) リンク交通量固有誤差 e_j の標準偏差

link	a	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50
1		7.25	13.05	18.71	22.12	25.96
2		6.96	12.23	19.16	27.77	34.74
3		12.45	24.21	33.94	44.46	57.70
4		8.02	15.98	22.37	27.18	30.09
5		14.74	28.97	47.78	71.06	81.25
6		7.48	15.63	23.82	30.71	35.28
7		8.06	16.41	22.90	31.09	34.56
8		5.56	10.96	16.55	23.27	26.54
9		9.75	20.62	31.35	38.12	51.66
10		8.47	17.39	24.09	29.91	30.17

(2) $\sum_{k \in R_i} e_{ik} = 0$

ここに、 e_{ik} : i OD交通の流れる第 k ルートの
利用交通量誤差
 R_i : i OD交通の流れる代替ルート
の集合 = $\{1, 2, \dots, k, \dots, r\}$

という2つの条件下で e_{ij} として一様乱数を発生させてモンテカルロシミュレーションを行った。なお今回の分析では、各リンクの上限値(容量)は700とした。

推定誤差式(16)を直接用いる場合には、誤差の大きさのランクと観測リンクの組み合わせ数との関係で、シミュレーション回数が莫大となるため、推定誤差期待値と分散に関する式(20)および評価式(31)を用いることとした。この場合、 e_j^* 、 σ_j^2 をあらかじめ計算によって求めておけば、誤差のランクと観測リンクとを組み合わせた分析が比較的容易となる。300回程度のシミュレーションで比較的安定した e_j^* 、 σ_j^2 が得られることがわかったので、この結果を用いている。

誤差ランクを0.05~0.50までの10ランクとして各リンクの e_j^* 、 σ_j^2 を求め、そのうち5ランクについて示したのが表-2(1)、(2)であり、これを図示

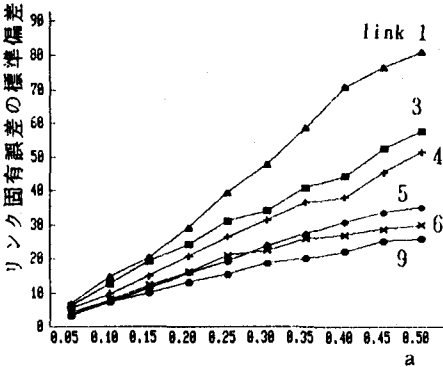


図-3 リンク交通量の固有誤差の標準偏差

したのが図-3である。誤差期待値 e_j^* は極めて小さく、ほぼ0と考えてよい。分散 σ_j^2 は a_i の増加に比例して増大しリンク間で大きさが異なる。

次にリンク1の交通量を推定する場合に観測リンクによって推定誤差の分散がどのように変化するかを、誤差レベル a_i 別に計算した結果を図-4に示す。図中の値は式(20)の第2式第2項の伝播誤差であり、観測リンクの選定により大きく変化している。このことから観測リンクの選定は伝播誤差を減少させる重要な要因であることがわかる。

さらに各リンクを観測リンクと見立てた場合、各リンクが他のリンクの推定誤差に及ぼす影響を(31)

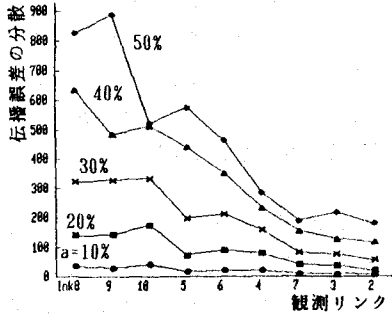


図-4 各リンク観測値によるリンク1交通量推計誤差(伝播誤差)の分散

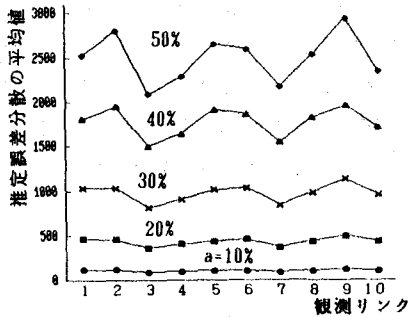


図-5 観測リンクの推定誤差分散の平均値

の評価式で計算してみたものが図-5である。図-5中の値は式(31)のZを推定リンク数で割って、推定リンク1本あたりの誤差の平均値を計算したものである。リンク3, 7の全リンクに対する推定誤差が小さく、リンク2, 5, 9の誤差が大きいことがわかる。

5. 2 観測リンクの代表性に関する分析

表-3に観測リンク別に推定リンクの推定精度を示した。リンク1に観測点を置いたときリンク2, 4, 10の交通量の推定誤差の標準偏差 σ_e のランクはAで、 $a=0.5$ レベルで交通量の10%未満、すなわち $\sigma_e/t_j(a=0.5) \leq 0.1$ である。またリンク3の交通量推定誤差の標準偏差は $a=0.4$ レベルで交通量の10%未満であり、その他のリンクはそれ以下の精度である。リンク3, 4, 6, 7, 10などは $a=0.5$ レベルでも誤差の標準偏差が10%未満で推定できるリンクを多く持つことから、代表性の高いリンクであるといえよう。また逆にリンク2, 5, 9は代表性が低いと考えられる。

次に少数の観測リンクで全体の推定誤差をできるだけ小さくする方法について考察する。表-3は各

リンクの推計力を示したものである。これによるとリンク5, 9は他リンクの観測値からは高精度の推定は望めないで、リンク5, 9に観測点を置く配置案が考えられる。また可能な限り多くのリンクを高精度で推定できるような配置案として(3, 5, 9), (3, 5, 6), (3, 5, 6, 9)が考えられる。これらの配置案による各リンクの推定誤差の程度について示したのが図-7である。 $a=0.4$ レベルでは(5, 9)の配置案でもすべてのリンクの誤差標準偏差が交通量に対して10%以内に納まっている。 $a=0.5$ レベルでは(3, 5, 9), (3, 5, 6, 9)などの配置案でなければ十分な精度での推定は期待できないことがわかる。

表-3 観測リンク別推定精度

観測	推定	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		*	A	B	A				B		A
2		A	*	B	B			A			A
3		A	B	*	A		B	A	A		A
4		A	B	B	*		B	A	A		A
5		A	B	B		*		A	A		A
6		A	B	B	A		*	A	A		A
7		A	B	B	A		B	*	A		A
8		B	B	B	A			*	*		A
9		B	B	B	A			A	B	*	B
10		A	B		A		B	A	A		*
(5, 9)		A	B	B	B	*	B	A	A	*	A
(3, 5, 9)		A	B	*	A	*	A	A	A	*	A
(3, 5, 6)		A	B	*	A	*	*	A	A	*	A
(3, 5, 6, 9)		A	B	*	A	*	*	A	A	*	A

注) *: 観測されている。 $\sigma_e/t_j=0$
A: $a=0.5$ レベルで $\sigma_e/t_j \leq 0.1$
B: $a=0.4$ レベルで $\sigma_e/t_j \leq 0.1$
無印: それ以下の精度

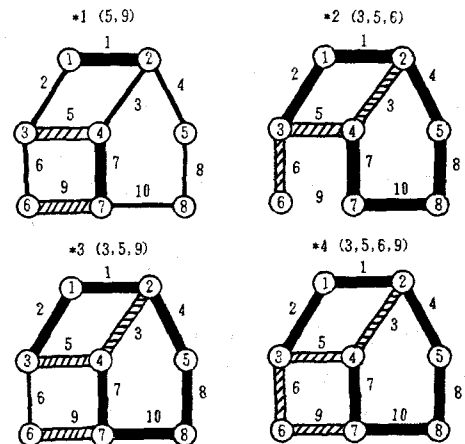


図-6 観測リンクの組合わせとリンク推定精度

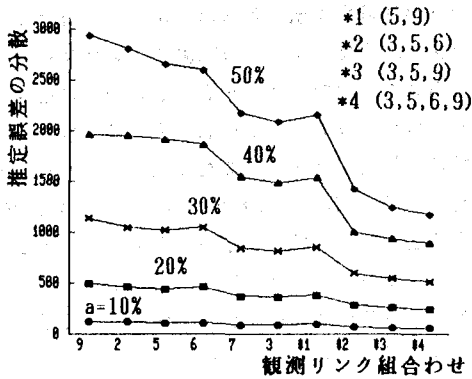


図-7 観測リンクの組合わせと推計精度の比較

これらの複数リンク配置による推定と単独配置による推定との精度比較をしたのが図-7である。

(3,5,9), (3,5,6,9)などの複数リンク配置案における推定誤差分散の平均値は単独リンク配置案におけるそれよりもはるかに小さい。このことから、リンクの適切な組合わせによる複数リンク観測により、推定リンクの推定誤差を一定範囲内に収めるとともに、誤差の全体平均も減少させうることがわかる。

6. まとめ

本研究の内容を整理すると以下ようになる。

(1) 観測交通量とリンクOD構成率とを用いて、非観測道路区間の交通量を推定する簡易推定モデルを考案した。

(2) OD構成率の推定誤差と観測誤差を変量として、交通量の推定誤差を定式化し、十分高い精度を持つ近似式を導いた。

(3) 近似式に基づいて、推定誤差の期待値と分散に関する定式化を行った。

(4) 推定誤差の分散は、リンクの固有誤差分散と伝播誤差分散とに分けられることがわかった。

(5) 伝播誤差分散は、観測地点によってカバーされるODペアの数および同一ODペアの重複観測によって、急速に小さくなる性質を持つことが明らかとなった。

(6) 観測地点の推計力(代表性)の評価のため、式(31)の評価関数を設定した。

(7) 簡易なネットワークの例を用いて、リンク別に観測点としての代表性を試算し、また観測リンクの組合わせ効果を検証した。

このような分析により個々の地点の観測交通量で推計しうる道路区間の範囲(代表性)を明確に示すことができる。またここで示した個々の観測区間の代表性に基づき、観測地点数等の予算上の制約の下に最適な交通量観測地点の配置案を考察することができる。

一方、問題点としては、リンク利用交通量誤差レベル a の選定基準が不明確であること、推定方法と観測地点の配置規準とを同時に考えると、推定方法によって配置案が異なる可能性があること、非観測区間の交通量推定以外の観測目的すべてに照らして共通な観測点の配置案を決定する方法が必要であること、などが考えられる。またOD網羅規準による配置法との関係についての分析、観測誤差の影響の大きさに関する分析なども重要な課題である。これらの課題に関しては今後とも研究を遂行する予定である。

〔参考文献〕

- 1) 飯田, 高山: 実測路上交通量を用いた交通需要予測モデルにおける細街路交通省略の影響と対策 交通工学, Vol.18 No.3 1983
- 2) 外井: 交通量調査地点の配置に関する理論的考察, 土木技術資料28-11, 1986
- 3) 外井: 交通量常時観測地点の最適配置に関する考察, 土木学会第43回年次学術講演集, 1988.10
- 4) 外井: 交通量調査地点の配置間隔に関する基礎的研究, 土木学会西部支部研究発表会講演集, 1988.3