

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

TRAFFIC DEMAND ESTIMATION MODEL BY OBSERVED ARC
FLOWS REGARDING GENERATION TRIPS AS UNKNOWNNS

飯 田 恭 敬*
By Yasunori IIDA

1. ま え が き

道路網の交通需要推計にはこれまで 4 段階推計法が用いられることが多かったが、基礎データ収集における制約の関係上、ゾーン区分は町別単位あるいは学区単位といったマクロな取扱いにならざるを得ず、交通量を現実道路網に対応させるには不十分の観は免れなかった。特に配分操作の段階では巨視的観点から得られた OD 交通量を対象道路網のノード相互間に適当な方法で割付けた後、種々の要因に基づく複雑かつ不確定な経路選択現象を単純な統一基準で配分処理している。道路網交通流からみた 4 段階推計法に対する信頼性の低さはこうしたモデル構造そのものの性格が根本原因となっている。

そのために最近では道路上の実測交通量を利用した新しい観点からの交通需要推計法の研究開発が進められつつある。それらの理論的共通点は、結果としての道路区間交通量ができるだけ実測交通量に一致するような OD 交通量を推計しようとする点である。Robillard は、各 OD 交通量の経路を 1 本と限定した線形配分モデルの場合について最小自乗法の手法を適用し、求解の条件と解法を示している。しかし、経路が複数で道路区間に容量制限が付加された非線形配分モデルについては理論の拡張が困難であることを述べ、将来の課題として残している^{1),2)}。また、Holm 等によるデンマークモデルは実用を主眼においたものであるが、現実道路網に即した交通需要推計ではなく、従来のマクロゾーン間の OD 交通量を実測道路区間交通量によって調整するモデルとして位置づけられるものであろう³⁾。著者もすでにその原型モデルを提案しているが、経路選択率を決定するのに人為操作に基づく既存の配分モデルを使うのではなく、モデル自身の演算のみによって処理するという点が上記の両モデルとは異なっている^{4),5)}。ところで、既述

したモデルの考え方における理論的共通点の表現は必ずしも正確ではない。なぜならば、この種のモデルでは OD 交通量と経路選択率が未知変量として取扱われるのに対し、道路区間交通量を実測値に一致させるという条件式だけでは一般に不足するからである。このため未知量と条件式の数が見合うよう、たとえば道路網を適当に細分化するとか、別個の条件式を導入するとかの工夫が必要となる⁶⁾。こうして先の原型モデルはその後改良されることになった。またこのとき、OD 交通量を重力モデル構造で表わすと、道路区間交通量は発生交通量、OD 間交通抵抗パラメーターおよび OD 別道路区間利用率の 3 変数からなる関数で示されるので、原型モデルは結局次の 3 つのタイプに分類して考えることができる。すなわち、モデルタイプ 1 は OD 間抵抗パラメーターおよび OD 別道路区間利用率が既知で発生交通量のみが未知の場合、モデルタイプ 2 は OD 間抵抗パラメーターと発生交通量が既知で OD 別道路区間利用率が未知の場合、モデルタイプ 3 は 3 変数すべてが未知量として取扱われる場合である。本報告ではこれらのうちモデルタイプ 1 について述べることにする。

既存の走行経路調査による交通量解析法はタイプ 1 のモデルに属するものとみなせるが、経路交通量の連続性と現実 OD 交通量との整合性が保たれず、解析手法はまだ未確立の段階にある。したがって、モデルタイプ 1 はいわば既存の走行経路調査に対する解析手法を完成させたものといってもよいであろう。このモデルでは OD 間抵抗パラメーターと、OD 別道路区間利用率が走行経路調査や他の方法による推定によって与えられると、これらの値をもとに道路区間交通量の推計値が実測値に一致するような各ノード発生交通量を求め、対象道路網内の OD 交通量と OD 別道路区間交通量が得られる。また、このモデルの特徴は推計に際して集中交通量は直接必要がないということである。これはノードの発生、集中交通量の差がそのノードに接続する道路区間の流出

* 正会員 工博 金沢大学助教授 工学部建設工学科

方向交通量と流入方向交通量の差に等しいという関係を利用して利用しているからである。この関係式より、道路区間交通量は実測値で既知であるため、発生交通量が与えられると集中交通量は自動的に決定される。

さて、モデルタイプ1の実際への適用における問題点はサンプル調査や他の推定法によって与えられる OD 間抵抗パラメーターと OD 別道路区間利用率の安定性である。もし、これらの値が、現実交通量のそれと同一であれば、現実交通量の得られることが保証される。しかし、調査や推定によって与えられる値は現実のものとはずれているのが普通である。したがって、実用に際してはこれらのずれの推計精度に対する感応度を分析しておくことが必要である。もし、この感応度が非常に鋭敏であるとなると、たとえば、調査の場合ではサンプル数を著しく増大しなければならないことになり、実用的価値が減じることになる。しかし、結論を先にいえば、感応度はそれほど大きくはなく、特に OD 交通量推計に対しての OD 別道路区間利用率のずれの影響はきわめて小さく、経路調査作業の多大な労度と経費を考えると、この点からもこのモデルの実用性が評価できることになる。本論文では、シミュレーションによってこのことを確かめる。

2. モデルの内容および計算法

(1) 基本的な考え方²⁾

道路網交通をネットワークで取扱うには、その中に発生・集中点を設けなければならない。その方法は目的に応じて異なるが、交差点を通過機能と同時に発生・集中機能をもつものとして考えるのが、計算機の利用面からみて経済的である。たとえば、図-1の道路網が対象のとき○印で示される交差点が発生・集中点として取扱

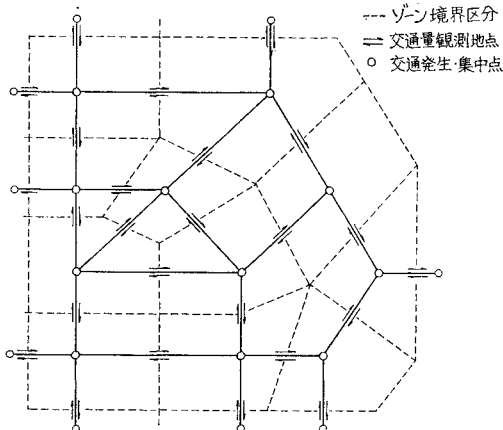


図-1 道路網における交通発生・集中点と交通量観測地点

れる。この場合、付近の発生・集中交通量は交差点でまとめて行われるとしているので、各交差点の発生および集中交通量を受持つ勢力圏は、図-1の点線で示されるゾーンエリアとなる。交通量観測は各道路区間のゾーン境界線上で方向別に行われるとしている。また、対象道路網外周上の道路区間においては、対象域への出入交通量をそのままその地点の発生・集中交通量とみなして取扱う。以下では、交通発生・集中機能としての地点をノードとよぶことにする。

われわれがこれから求めようとするのは、上のようにして与えられた発生集中ノード相互間の OD 交通量と OD 別道路区間交通量である。このうち OD 交通量に関していえば、交差点ノードにおける発生、集中交通量がまず決定されなければならない。このとき各交差点の流入、流出部交通量を観測し、そのまま発生、集中交通量に関するデータとして用いることを思いつくかも知れないが、これらの中には通過交通量が含まれているため、1つのトリップが他の交差点でもカウントされることになって不合理となる。そこで、各交差点ノードの発生、集中交通量の差は、そのゾーン境界線上で観測される道路区間交通量の流出方向合計と流入方向合計の差に等しいという関係を利用する。いまノード i の発生交通量を A_i 、集中交通量を B_i 、ノード i から隣接ノード k に向かう道路区間の実測交通量を RX_{ik} 、その逆方向の実測交通量を RX_{ki} とすると、この関係は次式で示される。

$$A_i - B_i = \sum_k RX_{ik} - \sum_k RX_{ki} \dots\dots\dots (1)$$

$$= \Delta D_i \dots\dots\dots (2)$$

ここで、式 (1) は実測値であるから、式 (2) の ΔD_i は既知となる。よって、発生交通量が得られると、同一ゾーンの集中交通量は式 (3) より自ずと決まってしまうことになる。

$$B_i = A_i - \Delta D_i \dots\dots\dots (3)$$

このように本モデルでは集中交通量をわざわざ求める必要はなく、発生交通量のみで OD 交通量の推計がなされることが特徴となる。その基本的考え方は以下のとおりである。

OD 交通量は重力モデルで表わすことができるので、ノード i からノード j への OD 交通量 T_{ij} は、この OD 間交通抵抗パラメーターを R_{ij} とすると、

$$T_{ij} = \alpha_i A_i \beta_j B_j (A_j - \Delta D_j) R_{ij} \dots\dots\dots (4)$$

で与えられる。ただし、 α_i および β_j は式 (5) で示されるトリップエンド条件式を満たすための調整係数である。

$$\left. \begin{aligned} \sum_j T_{ij} &= A_i \\ \sum_i T_{ij} &= A_j - \Delta D_j \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

また、OD 交通 ij の道路区間 m を利用する交通量 Q_{ij}^m は、その利用率を P_{ij}^m とすると、式 (6) で示される。

$$Q_{ij}^m = T_{ij} \cdot P_{ij}^m \dots \dots \dots (6)$$

よって、道路区間 m のすべての OD 交通合計としての交通量 X_m は、式 (4) および式 (6) から次のように表わされる。

$$X_m = \sum_i \sum_j Q_{ij}^m \\ = \sum_i \sum_j \{ \alpha_i A_i \beta_j (A_j - 4D_j) R_{ij} \} \cdot P_{ij}^m \dots (7)$$

この式より、道路区間交通量は発生交通量、OD 間交通抵抗パラメーター、OD 別道路区間利用率の3変数からなる関数となっていることがわかる。本モデルでは交通抵抗パラメーター R_{ij} と道路区間利用率 P_{ij}^m が別々に与えられているとしており、また、 R_{ij} および A_i, B_j が与えられていると、式 (5) のトリップエンド条件式を満たす式 (4) の OD 交通量 T_{ij} は一意的に定まることがすでに明らかとなっている⁸⁾。それゆえ、式 (6) で与えられる道路区間交通量 X_m が実測交通量 RX_m と一致するような発生交通量 A_i を求めさえすればモデルの目的は達せられることになる。このような発生交通量が得られると、OD 交通量と OD 別道路区間交通量はそれぞれ式 (4) および式 (6) で算出される。

(2) 推計計算の手順

OD 間交通抵抗パラメーターと OD 別道路区間利用率はサンプル交通調査を実施することによって与えることができる。いま任意抽出したトリップを整理して得たサンプル OD 表において、ノード i の発生交通量を a_i 、ノード j の集中交通量を b_j 、ノード i からノード j への OD 交通量を t_{ij} としたとき、式 (8) のような関係が成立しているとすれば、

$$t_{ij} = a_i b_j R_{ij} \dots \dots \dots (8)$$

OD 間交通抵抗パラメーター R_{ij} は式 (9) のように決定してもよいであろう。

$$R_{ij} = \frac{t_{ij}}{a_i b_j} \dots \dots \dots (9)$$

一方、OD 別道路区間利用率 P_{ij}^m は、サンプルトリップの利用道路区間を各 OD 交通ごとにまとめることによって求められる。しかし、 R_{ij} および P_{ij}^m の先決方法はサンプル調査のみに固執する必要はなく、他に適当な方法があればそれを用いてもよい。

OD 間交通抵抗パラメーターと OD 別道路区間利用率がこのようにして与えられると、次は発生交通量の推計演算に移る。本来なら個々の道路区間について推計交通量が実測交通量と等しくなるよう修正基準を設けて計算を進めることが望ましいが、本モデルでは未知変量がノード発生交通量だけであることから、計算の簡便さを

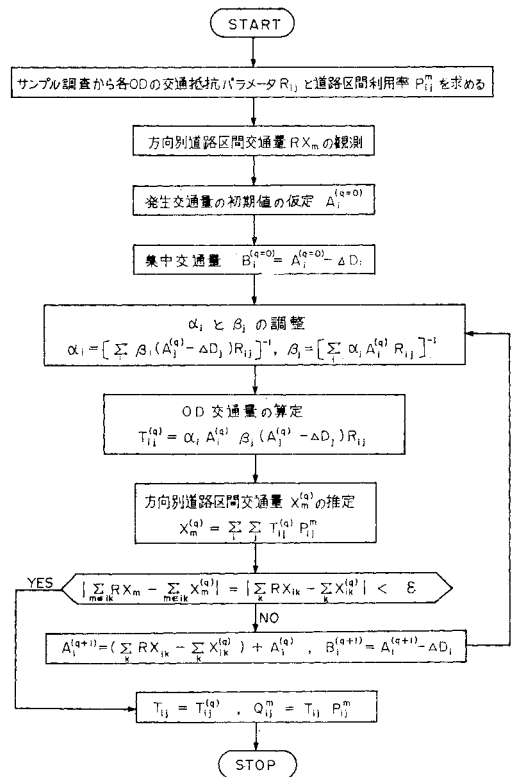


図-2 本モデルによる推計手順の流れ図

考えて次式で逐次修正することにする。

$$A_i^{(q)} = (\sum_k RX_{ik} - \sum_k X_{ik}^{(q-1)}) + A_i^{(q-1)} \dots (10)$$

ただし、 q は計算回数を示す。この修正計算は式 (10) の右辺第1項が零に十分近くなるまで続けられる。図-2はこの計算手順を示すフローチャートである。

3. 予測精度に対する OD パターンおよび道路区間利用率のずれの影響度

(1) シミュレーションによる方法

本モデルではサンプル調査等によって与えられる交通抵抗パラメーターと OD 別道路区間利用率を固定値として用いているが、一般にはこれらの先決値と真実値との間には差異がある。したがって、この両者間の差異の程度が予測精度にどのような影響を及ぼすかを調べておくことは重要である。この関係が明らかになれば、サンプル調査における標本数決定の基準を与えるのにも役立つことになろう。しかしながら、このことを実際に確かめることは困難なので、本論文ではシミュレーションによって検討を試みることにする。

いま、サンプル調査による交通抵抗パラメーターに対して、ある大きさのずれをもった交通抵抗パラメーター

をシミュレーションによって作成することを考えよう。このことは OD パターンがサンプル調査によるものとは異なる真実 OD 表を作ることを意味する。しかし、ここで注意しなければならないのは、交通抵抗パラメーターが変動するから、サンプル OD パターンと真実 OD パターンとにずれが生ずるのではなく、サンプルに対して真実 OD パターンに差異があるから結果として交通抵抗パラメーターが異なったものになるということである。交通抵抗パラメーターの変動は式 (9) で示されているように、ノードの発生および集中交通量の各相対比がサンプルと真実とであまり変わらなければ、OD パターンの変動とほぼ等しいとみなしてよいことがわかる。したがって、ここでは交通抵抗パラメーターのずれよりもむしろ OD パターンのずれに対する予測精度を議論するほうが意味があるので、OD パターンがサンプル調査に対してある変動をもった真実 OD 交通量を作ることにする。

OD 交通 ij に対するサンプル OD パターンと真実 OD パターンの相対的なずれ (比率誤差) y_{ij} は次式で示される。

$$y_{ij} = \frac{T_{ij}^* - RT_{ij}}{T_{ij}^*} \dots\dots\dots(11)$$

ただし、 T_{ij}^* はサンプル調査と同一の OD パターンをもつと仮定したときの OD 交通量で、サンプル OD 交通量 t_{ij} に定数 N を一率に乗じることによって得られる。 RT_{ij} は真実の OD 交通量である。この y_{ij} は平均値 μ_1 、分散 σ_1^2 の正規分布に従うと仮定して次式を用いて標準化しておく。

$$z_{ij} = \frac{y_{ij} - \mu_1}{\sigma_1} \dots\dots\dots(12)$$

このようにすると、 z_{ij} は平均値が零、分散が 1 の標準正規分布となる。式 (12) における μ_1 は零となることが考えられるから、式 (11) と式 (12) から次の関係が得られる。

$$RT_{ij} = T_{ij}^* (1.0 - \sigma_1 z_{ij}) \dots\dots\dots(13)$$

この式を用いて、OD パターンがサンプル OD に対して平均 $d\%$ のずれを有する真実 OD 交通量は、 σ_1 に d を代入し、 z_{ij} に正規乱数を発生させることによって得ることができる。

一方、各 OD 交通に対する道路区間利用率の真実値がサンプル調査による所与値と異なる場合についても同様な考え方で次式を用いて行える。

$$RP_{ij}^m = P_{ij}^m (1.0 - \sigma_2 z_{ij}^m) \dots\dots\dots(14)$$

ただし、 RP_{ij}^m は OD 交通 ij に対する道路区間 m の真実利用率であり、 z_{ij}^m は P_{ij}^m に対する正規乱数である。しかし、この場合は、すべての道路区間利用率に対して乱数を発生させるのではなく、各ノードごとに

関係する分岐アーク数より 1 個少ない数でよい。なぜなら、各ノードに関する分岐アーク利用率の和は常に 1.0 を満たさねばならないからである。したがって、 RP_{ij}^m はこの条件式と式 (14) によって作成される。

RT_{ij} および RP_{ij}^m は非負でなければならないが、式 (13) あるいは式 (14) をみてわかるように σ_1, σ_2 の値が大きくなるとこのことが必ずしも保証されなくなり、正規分布の仮定がくずれてくる。特に道路区間利用率の場合、分岐アーク利用率の和に関する拘束があるので条件が厳しくなる。このような理由から、本モデル計算では OD パターンのずれについては $\sigma_1=50\%$ 、道路区間利用率については $\sigma_2=35\%$ にとどめることにした。

上述のようにして、真実の OD 交通量 RT_{ij} と OD 別道路区間利用率 RP_{ij}^m が作成されると、推計精度の検討は次のように行われる。図-3 はその手順の概略を示したものである。OD 交通 ij についての道路区間 m 上の交通量を RQ_{ij}^m とすると、実測道路区間交通量 RX_m は次式で算定される。

$$RX_m = \sum_i \sum_j RQ_{ij}^m = \sum_i \sum_j RT_{ij} \cdot RP_{ij}^m \dots\dots\dots(15)$$

現実にはこの交通量が観測されることになるので、本モデルではこの交通量と、サンプル調査による交通抵抗パラメーターおよび OD 別道路区間利用率から、シミュレーションによって与えられた真実 OD 交通量を推計することになる。推計はすでに述べたように道路区間交通量の推計値を実測値にできる限り一致させることによって行われる。

推計精度の表現としてはいくつかの方法が考えられよう。たとえば、OD 交通量に関していえば、

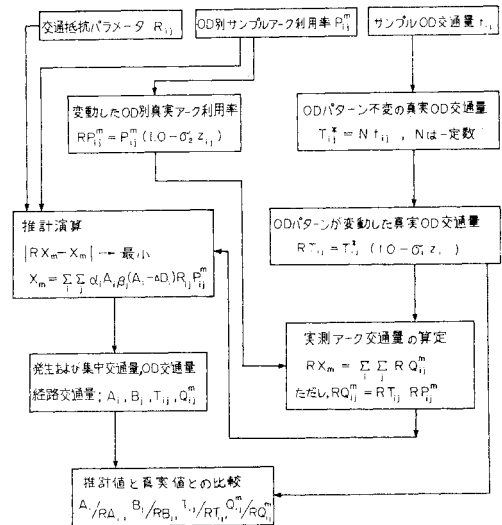


図-3 推計精度検討のためのシミュレーションによる作業手順

$$\text{第1法 } \delta_1 = \frac{\sqrt{\frac{1}{K} \sum_i \sum_j (T_{ij} - RT_{ij})^2}}{\frac{RT}{K}} \dots (16)$$

$$\text{第2法 } \delta_2 = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_i \sum_j \left(\frac{T_{ij} - RT_{ij}}{RT_{ij}} \right)^2} \dots (17)$$

$$\text{第3法 } \delta_3 = \sqrt{\frac{1}{RT} \sum_i \sum_j RT_{ij} \left(\frac{T_{ij} - RT_{ij}}{RT_{ij}} \right)^2} \dots (18)$$

のように表わすことができる。ただし、 K は OD 総数（同一ゾーン間の OD は除く）、 RT は真実 OD 交通量の総計である。第1法は変動係数に相当するもので、平均 OD 交通量に対する平均絶対誤差の割合を示している。しかし、この場合、各 OD 交通の推計絶対誤差はトリップ数の大小に関係なくすべて同等に取扱われており、交通量との相対比較はその平均値比率で示されているにすぎない。第2法は平均比率誤差による表示で、上のシミュレーションで用いた分散 σ に対応するものである。したがって、この表示法が同一基準で評価できる意味から都合がよいように思えるが、絶対誤差が同じでもトリップ数の少ない OD 交通の比率誤差はトリップ数の大なる OD 交通に比べて大きな値となる性質がある。このモデルは計算結果のところでも述べるが、トリップ数の少ない OD 交通ほど精度が悪くなる傾向があるので、この表示法を用いると各 OD 交通が同一ウェイトで評価されるため、少トリップ OD によって全体の精度が左右されてしまうことになる。しかしながら、交通工学的観点からは、トリップ数の多い OD 交通に対する推計精度が高ければ、その目的は十分に達せられるので、トリップ数の大小によって重みづけをした標準比率誤差の表示法が考えられる。これが第3法である。このような理由で本論文では発生交通量、集中交通

量、OD 交通量、OD 別道路区間交通量ともすべて第3法による推計精度の表現を用いることにする。

(2) 計算例および考察

推計精度の一般的な傾向を検討するために、図-4 に示すような簡単な道路網を例にとり、サンプル OD 交通量とその OD 別道路区間利用率を適当に与えておく。

最初に、OD パターンおよび OD 別道路区間利用率がサンプル調査のものと同じ、すなわち $\sigma_1=0$ 、 $\sigma_2=0$ で、総トリップ数を 10 倍としたときのモデル計算を試みる。表-1 は OD 交通量の真実値と推計値をまとめたもので、上段が真実値、下段が推計値である。また、表-2 は真実値と推計値との比率を上段に、差を下段に示したものである。これらの表をみてわかるように、OD 交通量個々の推計値はほとんどが比率誤差 5% 以内におさまっており、発生および集中交通量に関しては道路網の中心に位置するノードを除いて比率誤差はすべて 2% 以内である。また、総トリップ数については推計値は真実値にほぼ一致している。このように推計結果

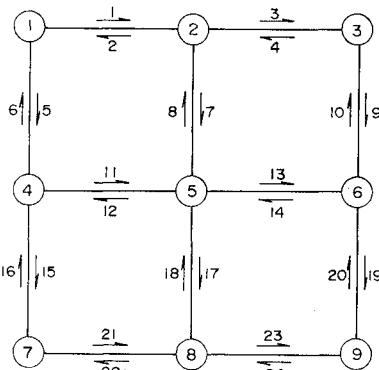


図-4 計算例の道路網

表-1 $\sigma_1=0$ および $\sigma_2=0$ のときの OD 交通量の真実値と推計値

O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	計
1	—	530 538	470 460	590 597	410 383	300 304	370 363	320 324	260 255	3 250 3 223
2	500 508	—	560 569	380 399	600 581	370 389	290 295	400 420	330 336	3 430 3 497
3	420 411	590 598	—	330 334	360 335	540 546	240 235	340 344	390 382	3 210 3 185
4	550 557	390 409	320 324	—	500 482	480 502	480 486	380 397	300 304	3 400 3 462
5	420 392	490 474	380 354	520 502	—	540 521	390 364	460 443	390 365	3 590 3 414
6	290 294	400 419	550 557	410 429	530 511	—	350 355	400 418	570 578	3 500 3 560
7	380 373	300 305	240 235	500 507	390 364	310 314	—	520 527	470 462	3 110 3 085
8	320 323	440 460	360 364	440 459	500 481	420 438	600 607	—	540 546	3 620 3 679
9	300 295	290 295	430 422	350 355	370 346	540 547	480 471	540 547	—	3 300 3 278
計	3 180 3 153	3 430 3 497	3 310 3 285	3 520 3 582	3 660 3 484	3 500 3 560	3 200 3 175	3 360 3 419	3 250 3 228	30 410 30 381

上段=真実値, 下段=推計値

はきわめて満足すべきものといえる。OD 交通量，発生交通量および集中交通量に関する全体としての推計精度を，トリップ数による重みづけをした標準比率誤差で表わすと，それぞれ $\delta_{OD}=2.4\%$ ， $\delta_A=2.13\%$ ， $\delta_B=2.12\%$ となり非常に小さい値となる。一方，OD 別道路区間交通量については，個々の推計結果は紙数の制約から示すことができないが，全体としての重みつき標準比率誤差は 3.37% であり，上と同様に推計値の信頼性はきわめて高い。

次に，真実の OD パターンおよび OD 別道路区間利用率がサンプル交通に対してずれてきた場合を想定し， σ_1 および σ_2 を変動させてみる。表—3~5 はそれぞれ OD 交通量，OD 別道路区間交通量，発生および集中交通量の σ_1 と σ_2 の各組合せに対する推計値の標準比率誤差を示している。数値がないところはシミュレシヨ

ンの結果，標準比率誤差が過大値となって求められなかったことを示している。表—3 の関係をグラフで示したのが 図—5 および 図—6 であり，同様に表—4, 5 はそれぞれ 図—7 と 8, 図—9 と 10 が対応している。

まず OD 交通量の推計結果から検討してみよう。表—3 から一般的傾向として OD パターンのずれ σ_1 および OD 別道路区間利用率のずれ σ_2 が大きくなるにつれて推計精度が悪くなるのがわかる。しかしながら，ここで特徴的なことは， σ_1 の変動に比べて σ_2 の変動の推計精度に対する影響が著しく小さいということである。たとえば， $\sigma_2=0\%$ で $\sigma_1=35\%$ のとき標準比率誤差 δ_{OD} は 31.3% となるが，逆に $\sigma_1=0\%$ で $\sigma_2=35\%$ のときは， δ_{OD} はわずかに 10.1% となる。これらの傾向は 図—5 および 図—6 から明確に知ることができる。図—5 は σ_1 を一定にしておいて， σ_2 を変動させたときの推

表—2 $\sigma_1=0\%$ および $\sigma_2=0\%$ のときの OD 交通量に関する比率誤差と絶対誤差

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	計
1	—	1.01 8	0.98 -10	1.01 7	0.93 -27	1.01 4	0.98 -7	1.01 4	0.98 -5	0.99 -27
2	1.02 8	—	1.02 9	1.05 19	0.97 -19	1.05 19	1.02 5	1.05 20	1.02 6	1.02 67
3	0.98 -9	1.01 8	—	1.01 4	0.93 -25	1.01 6	0.98 -5	1.01 4	0.98 -8	0.99 -35
4	1.01 7	1.05 19	1.01 4	—	0.96 -18	1.05 22	1.01 6	1.05 17	1.01 4	1.02 62
5	0.93 -28	0.97 -16	0.93 -26	0.96 -18	—	0.96 -19	0.93 -26	0.96 -17	0.93 -25	0.95 -176
6	1.01 4	1.05 19	1.01 7	1.05 19	0.96 -19	—	1.01 5	1.05 18	1.01 8	1.02 60
7	0.98 -7	1.02 5	0.98 -5	1.01 7	0.93 -26	1.01 4	—	1.01 7	0.98 -8	0.99 -35
8	1.01 3	1.05 20	1.01 4	1.04 19	0.96 -19	1.04 18	1.01 7	—	1.01 6	1.02 59
9	0.98 -5	1.02 5	0.98 -8	1.01 5	0.94 -24	1.01 7	0.98 -9	1.01 7	—	0.99 -22
計	0.99 -27	1.02 67	0.99 -25	1.02 62	0.95 -176	1.02 60	0.99 -25	1.02 59	0.99 -22	1.00 29

上段=推計値/真実値，下段=推計値-真実値

表—3 推計 OD 交通量に関する重みつき標準比率誤差 (%)

σ_2 \ σ_1	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0	2.4	4.8	7.8	10.8	12.6	15.0	22.7	31.3	38.7	57.4	72.6
5	2.8	5.5	7.1	10.8	12.4	17.5	20.9	24.2	27.5	53.5	—
10	4.0	6.3	7.4	11.1	12.2	17.8	21.6	24.0	27.7	53.9	75.8
15	4.8	7.4	8.0	11.6	12.2	15.4	24.3	30.7	39.9	61.3	77.5
20	7.5	9.1	10.5	12.1	17.4	21.3	21.4	31.8	37.7	58.7	80.6
25	5.7	7.7	9.2	12.4	15.1	17.6	20.4	29.0	33.7	29.0	64.0
30	11.4	11.8	12.6	15.1	19.1	17.1	30.5	27.1	37.2	—	52.9
35	10.1	11.0	11.1	18.1	17.1	22.5	23.4	27.6	31.8	38.5	70.0

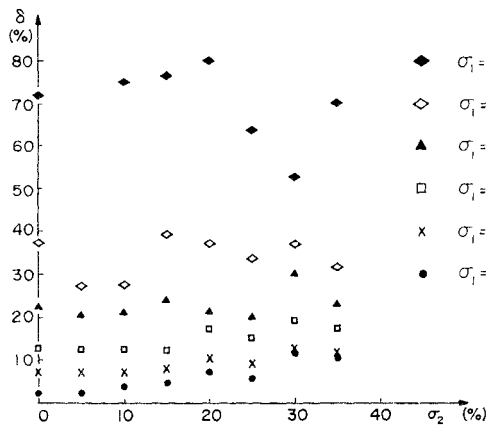
表—4 推計 OD 別道路区間交通量に関する重みつき標準比率誤差 (%)

σ_2 \ σ_1	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0	3.37	6.98	11.00	17.11	21.27	27.21	33.78	41.37	50.97	62.36	219.14
5	5.79	8.42	12.19	18.01	22.07	27.93	34.47	42.07	51.73	62.46	218.69
10	10.40	12.03	15.16	20.06	23.98	29.58	35.96	43.47	53.11	63.23	218.39
15	18.49	19.26	21.70	25.64	28.44	33.40	39.31	46.47	55.88	65.69	218.50
20	23.92	25.35	27.76	31.61	31.92	36.20	41.45	47.94	56.55	69.05	234.19
25	35.97	36.69	37.58	40.07	43.21	47.48	52.92	59.91	69.67	74.23	—
30	36.10	37.03	37.87	40.24	40.89	44.25	48.63	54.32	62.06	79.16	298.29
35	49.13	49.72	50.43	52.25	54.49	57.84	62.18	67.80	75.36	88.34	313.20

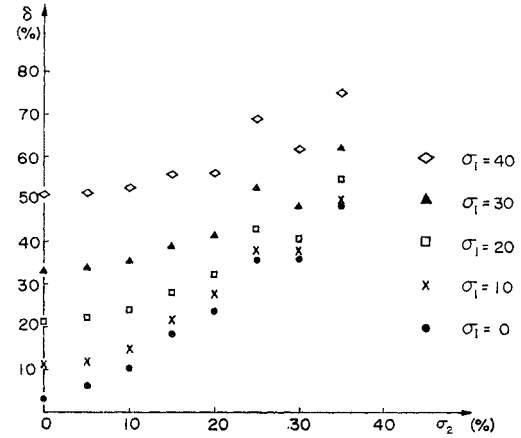
表一5 推計発生集中交通量に関する重みつき標準比率誤差 (%)

σ_2 \ σ_1	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0	2.13	3.03	1.96	5.52	4.03	3.33	10.22	9.33	12.76	16.37	12.19
	2.12	3.05	2.00	5.57	4.08	3.23	10.66	9.16	12.26	15.19	11.73
5	2.49	3.76	2.42	5.49	3.59	3.61	6.52	7.25	4.47	14.47	—
	2.48	3.77	2.52	5.51	3.63	3.62	6.47	7.38	4.38	13.82	—
10	3.32	4.73	3.30	5.84	3.42	4.26	7.46	7.08	4.82	15.06	14.27
	3.30	4.72	3.32	5.82	3.45	4.31	7.41	7.19	4.90	14.35	13.90
15	4.35	5.83	4.34	6.52	3.55	4.59	12.52	8.07	14.47	16.23	15.45
	4.33	5.80	4.33	6.45	3.57	4.75	12.88	8.13	13.82	15.76	15.13
20	6.95	7.76	7.55	7.54	10.64	12.35	8.20	11.75	12.75	14.68	14.78
	6.98	7.82	7.56	7.74	10.66	13.03	7.91	11.80	12.35	14.24	14.99
25	5.16	6.49	5.44	6.53	8.59	5.50	8.64	11.19	14.01	5.62	7.35
	5.17	6.46	5.65	6.80	8.54	5.23	8.58	10.33	13.17	5.48	7.43
30	10.49	10.40	9.98	11.33	13.10	6.34	18.95	13.55	12.06	26.34	10.60
	10.40	10.25	9.84	11.22	12.74	6.37	17.74	12.81	12.40	28.60	11.51
35	9.10	9.74	6.93	13.28	9.56	13.77	11.33	11.19	13.12	10.41	12.30
	9.27	9.82	6.97	13.22	9.88	13.49	12.23	11.09	13.16	10.29	12.44

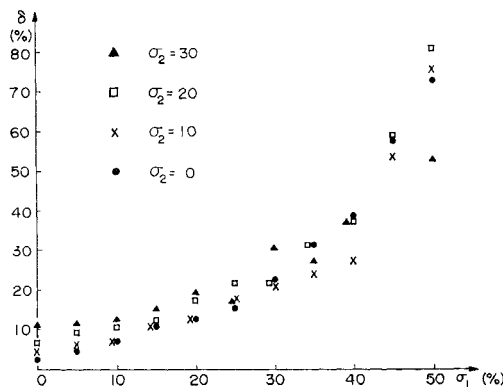
上段=発生交通量, 下段=集中交通量



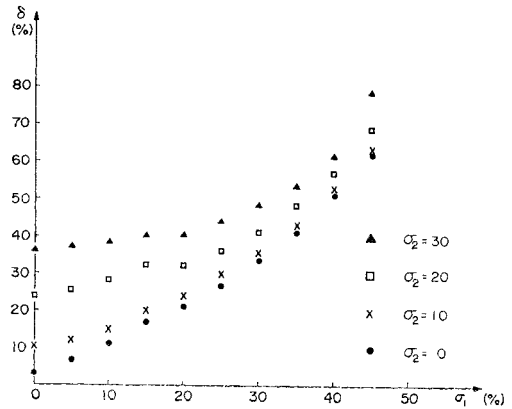
図一5 同一の σ_1 よりみた OD 交通量の推計誤差



図一7 同一の σ_1 よりみた OD 別道路区間交通量の推計誤差



図一6 同一の σ_2 よりみた OD 交通量の推計誤差



図一8 同一の σ_2 よりみた OD 別道路区間交通量の推計誤差

計誤差分布であるが、 σ_1 が 20% 以下の場合、 σ_2 の増大に対して $\hat{\theta}_{OD}$ はわずかながら右上りの増大傾向を示すが、 σ_1 が 30% 以上になると σ_2 が変化してもはや増大傾向は認められない。しかし、同一の σ_2 に対して σ_1 が大きくなると $\hat{\theta}_{OD}$ は必ず大きくなっている。図一6 ではこの関係がさらに明瞭に示されており、 $\hat{\theta}_{OD}$ は σ_2 の値にほとんど関係なく、 σ_1 のみによって決まる 1 つの曲線上にのっているとみなしてよい。このシミュレー

ション結果から、OD 交通量の推計に関しては、OD 別道路区間利用率のずれはあまり問題ではなく、OD パターンのずれが誤差に対する決定的支配要因となることが出来る。また、本計算例の場合、推計精度 $\hat{\theta}_{OD}$ は OD パターンのずれが 40~50% あたりから急激に

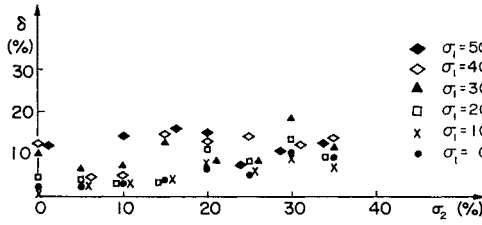


図-9 同一の σ_1 よりみた発生交通量の推計誤差

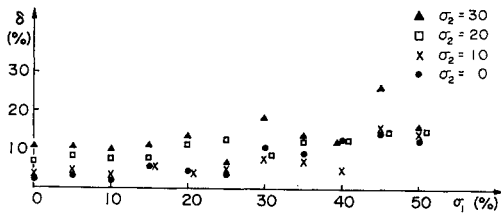


図-10 同一の σ_2 よりみた発生交通量の推計誤差

悪化する。したがって、モデルの実際への適用にあたっては、適用ケースに応じてこのような点を求めておき、OD パターンのずれの許容限界に対する1つのめやすとすることが考えられる。しかし、このような限界点を越えたからといって、推計結果がまったく使えないとはかぎらない。本計算例でもっともずれが大きい $\sigma_1=50\%$ 、 $\sigma_2=35\%$ のケースでは標準比率誤差が70%となるが、これをOD表で個別に示すと表-6および表-7のとおりとなる。交通量が100トリップ以下のODについては精度が極端に悪くなるが、トリップ数の多いODに関しては、実用上それほど支障とはならない程度であることがわかる。

OD 別道路区間交通量の推計値についてみる。表-4を表-3と比較してわかるように、OD 別道路区間交通量の推計誤差は、OD パターンのずれ σ_1 とOD 別道路区間利用率 σ_2 のずれが同じであっても、OD 交通量の

表-6 $\sigma_1=50\%$ および $\sigma_2=35\%$ のときのOD交通量の真実値と推計値

O \ D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	計
1	—	278 514	522 467	905 564	552 440	255 203	572 439	127 475	479 266	3689 3367
2	742 449	—	379 565	202 369	1005 654	174 254	226 349	632 603	104 343	3464 3586
3	452 337	620 520	—	135 287	262 351	578 332	170 259	456 458	98 363	2771 2905
4	649 377	4 294	489 247	—	695 416	235 252	393 442	310 438	277 238	3053 2703
5	213 287	552 367	288 292	615 384	—	535 282	475 357	496 527	464 308	3637 2805
6	180 217	522 328	447 463	85 332	997 481	—	420 351	590 502	593 493	3835 3167
7	230 283	261 245	162 201	529 402	232 352	70 176	—	1039 650	446 405	2969 2714
8	162 292	406 440	131 369	357 434	458 553	60 293	1018 734	—	906 570	3499 3683
9	174 238	195 253	436 385	594 301	234 357	880 328	423 512	541 721	—	3477 3095
計	2802 2479	2839 2961	2854 2988	3422 3072	4437 3604	2787 2119	3697 3442	4190 4374	3367 2986	30393 28023

上段=真実値, 下段=推計値

表-7 $\sigma_1=50\%$ および $\sigma_2=35\%$ のときのOD交通量に関する比率誤差と絶対誤差

σ_2 \ σ_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	計
1	—	1.85 236	0.90 -55	0.62 -341	0.80 -112	0.79 -52	0.76 -133	3.74 348	0.56 -213	0.91 -322
2	0.60 -293	—	1.49 186	1.82 167	0.65 -351	1.46 80	1.55 123	0.95 -29	3.30 239	1.04 122
3	0.75 -115	0.83 -100	—	2.12 152	1.34 89	0.57 -246	1.52 89	1.01 2	3.71 265	1.05 134
4	0.58 -272	74.93 290	0.50 -242	—	0.60 -279	1.07 17	1.12 49	1.41 128	0.86 -39	0.89 -350
5	1.35 74	0.67 -185	1.02 4	0.62 -231	—	0.53 -253	0.75 -118	1.06 31	0.66 -156	0.77 -832
6	1.20 37	0.63 -194	1.03 16	3.90 247	0.48 -516	—	0.84 -69	0.85 -88	0.83 -100	0.83 -668
7	1.23 53	0.94 -16	1.24 39	0.76 -127	1.52 120	2.53 106	—	0.63 -389	0.91 -41	0.91 -255
8	1.79 130	1.08 34	2.81 238	1.21 77	1.21 95	4.90 233	0.72 -284	—	0.63 -336	1.05 184
9	1.37 64	1.30 58	0.88 -51	0.51 -293	1.52 123	0.37 -552	1.21 89	1.33 180	—	0.89 -382
計	0.88 -323	1.04 122	1.05 134	0.90 -350	0.81 833	0.76 -668	0.93 -255	1.04 184	0.89 -381	0.92 -2370

上段=推計値/真実値, 下段=推計値-真実値

表-8 総トリップ数に関する比率誤差 (%)

$\sigma_2 \backslash \sigma_1$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01	0.99	0.98	1.00	0.98	1.04	1.09
5	1.00	1.00	0.99	1.01	1.01	0.99	1.01	1.02	0.98	0.98	—
10	1.00	1.00	0.99	1.01	1.01	0.99	1.01	1.02	0.98	0.98	1.09
15	1.00	1.00	0.99	1.00	1.01	0.99	0.98	1.00	0.98	1.04	1.09
20	1.00	1.00	1.01	1.01	1.03	0.99	1.02	1.00	0.99	1.04	1.09
25	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	1.01	1.02	0.97	0.99	1.02	1.03
30	1.01	1.00	1.00	1.00	0.99	1.01	1.03	1.02	1.00	1.04	0.96
35	1.00	1.00	1.01	1.02	1.01	1.00	0.97	1.03	1.00	0.98	1.08

場合よりかなり大きくなっている。また、 σ_1 と σ_2 の推計誤差に対する影響は 図-7 および 図-8 から、 σ_1 が小さいときは σ_2 の大小に応じて誤差が変動するが、 σ_1 が大きくなるにつれて σ_2 の差による誤差変動は次第に小さくなる。OD 交通量の推計誤差の場合、 σ_1 の大小にかかわらず σ_2 の影響はきわめて小さかったが、OD 別道路区間交通量の場合、 σ_1 が小さいときは σ_2 は σ_1 よりも誤差への影響度が若干大きくなるのが注目される。

発生および集中交通量に関しては、表-5 にみるように両推計誤差がほぼ等しい値となるため、その傾向は同一として論じてよい。推計精度は σ_1 および σ_2 が小さいときは OD 交通量の誤差と同程度であるが、 σ_1 と σ_2 の値が大きくなってほとんど増大せず十数パーセントでおさまっている。 σ_1 と σ_2 の誤差への影響度は OD 交通量や OD 別道路区間交通量の場合ほど明確ではないが、 σ_1 が大きい場合 σ_2 の変動はやはり無視できるようになる。

最後に、総トリップ数については表-8 にみるように、推計精度がほとんどのケースで数パーセント以内となっており、 σ_1 および σ_2 が変動しても推計結果はきわめて安定した値であることがわかる。

本モデル全般についていえることは、一般的傾向としてトリップ数の多い交通量ほど推計精度が高いということである。これを交通計画の観点からみたとき、対象となるのは主としてトリップ数の多い交通であることから、この性質はきわめて好都合である。また、各種交通量推計における共通の特徴として、OD パターンのずれが大きくなったとき、OD 別道路区間利用率のずれは推計精度に対して影響を与えなくなるということが明らかとなったが、これについては次の2つのことが理由として考えられる。1つは、OD パターンのずれが OD 間交通抵抗パラメーターのずれとして OD 交通量の推計値に直接効いてくるのに対し、道路区間利用率のずれは OD 間の多数道路区間（あるいは経路）にわたって分散されるため、それほど鋭敏には反応しないということである。他の1つは、道路区間交通量が一定値として固定されていても、OD 別にみた道路区間交通量の構成比率は唯一ではないというネットワーク交通流の性質からの影響である。

本モデルでは事前に OD 別道路区間利用率を与えておかねばならないため、走行経路調査や道路選択率推定の煩雑さが実用に際しての障害になると思われていた。しかし、上に述べたことからわかるように、OD 別道路区間利用率は推計精度に対してそれほど決定的な影響を持たないので、比較的簡単な経路調査あるいは経路選択率推定でも十分と推測され、この面での制約は緩和されることになる。

4. あとがき

OD 間交通抵抗パラメーターと OD 別道路区間利用率が与えられたとき、道路区間の実測交通量から現実道路網に即した各種交通需要量を推計する方法を述べ、次に先決された OD 間パラメーターと OD 別道路区間利用率が現実値に対してずれた場合の推計精度についてシミュレーションを用いて検討した。これらの結果は次のようにまとめられる。

(1) ノードにおける発生交通量と集中交通量の差は、そのノードに接続する道路区間の流出方向交通量と流入方向交通量との差に等しいことから、道路網内の各種交通需要量は実測道路区間交通量に適合するような各ノードの発生交通量のみを求めることによって推計できる。

(2) 推計精度については一般的傾向としてトリップ数の多い交通量ほどよく、また、交通需要種別には、総トリップ数、続いて発生および集中交通量、OD 交通量、OD 別道路区間交通量の順に悪くなる。

(3) OD 別道路区間交通量については、OD パターンのずれ σ_1 が小さい間は、OD 別道路区間利用率のずれ σ_2 の変動に応じて推計精度が左右される。

(4) 各種交通需要とも σ_1 が大きくなると、 σ_2 は推計精度に対してほとんど影響がなくなり、 σ_1 のみによって決まってしまう。

(5) 総トリップ数については、 σ_1 および σ_2 の値がかなり大きくなって安定した推計値が得られる。

(6) OD 別道路区間利用率の先決は経路調査や別の方法による推定によらなければならないが、推計精度に関する上の性質から、それほど大がかりで厳密な作業を

しなくてもよさそうである。

このように本モデルは計算が簡単なうえに、推計結果に対する信頼性もかなり高いので、OD 間交通抵抗パラメーターと OD 別道路区間利用率が容易に得られさえすれば、きわめて実用性に富んだものといえる。問題はこれら2つの先決変数をいかに求めるかであるが、モデル利用の目的や必要精度によってその方法は異なってくる。OD 間交通抵抗パラメーターについては、サンプル OD 調査を実施して求める方法、既存の OD 交通量調査結果を利用する方法、トリップ時間や距離から推計する方法等であろう。一方、OD 別道路区間利用率については、郵送方式によるインタビューやコードンライン上での路側インタビューを集計して得る方法、経路選択理論を用いて推計する方法、さらに本論文では議論しなかったが、モデル2やモデル3を利用することも考えられる。しかし、これらの方法については、先決値の現実における変動特性の解明や、これに関連してサンプル調査を実施する場合の抽出率の決定基準等、これから考究すべき課題が多く残されている。また、本モデルの適用道路網の範囲や細かさについては理論上特別な制約はないが、実用に際しては計算量軽減のため道路網の分割や路線の統合、省略が必要となろう。そのときの方法や推計誤差についても今後の検討課題である。

なお、本論文の計算は、沢田 稔氏（北陸電力）と大路久美子技官の御協力によるものであり、また、浅井加

寿彦氏（岡山大学工学部助手）にも御助力いただいた。ここに記して深謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) Robillard, P. and Trahan, M. : Estimating the O-D matrix and network characteristics from observed link volumes, Proceedings of the International Conference on Transportation Research, 1st Conference, pp. 736 ~740, 1973.
- 2) Robillard, P. : Estimating the O-D matrix from observed link volumes, Transportation Research, Vol. 9, pp. 123~128, 1975.
- 3) Holm, J. et al. : Calibrating traffic models on traffic census results only, Traffic Engineering and Control, Vol. 17, No. 14, pp. 137~140, April, 1976.
- 4) 飯田恭敬：路線環境基準を考慮した道路網運用システム，昭和48年度文部省科学研究費，特定研究(1)，「環境汚染制御」，研究経過および研究報告書，pp. 329~336，昭和49年3月。
- 5) 飯田恭敬：交差点交通量から発生，分布，配分交通量を推定する方法，第2回交通工学研究発表会論文集，交通工学研究会，pp. 65~68，昭和49年。
- 6) 飯田恭敬・浅井加寿彦：路上交通量観測による道路網交通挙動の推計法，第12回日本道路会議一般論文集，日本道路協会，pp. 555~556，昭和50年。
- 7) 飯田恭敬：サンプル交通調査と実測道路区間交通量による道路網交通需要推計法，交通工学，Vol. 13，増刊号，pp. 17~25，1978。
- 8) Evans, A.W. : Some properties of trip distribution methods, Transportation Research, Vol. 4, pp. 19~36, 1970.

(1977.9.6・受付)