

シミュレーションによる道路交通需要予測各段階の影響度分析

EFFECT OF ESTIMATION ERRORS INVOLVED IN EACH STAGE ON
RELIABILITY OF TRAFFIC DEMAND ON A ROAD LINK

奥 谷 巖^{**}
前 田 欣 也^{***}

1. まえがき 道路計画を行う場合、与えられた道路網の計画路線に対する交通需要予測を行い、それに基づいて車線数を決定することが最も基本的な作業の1つになるが、いかなる交通需要予測手法を採用するにしても、予測過程を構成する各段階において予測誤差が入り込むことは不可避的であって、決定された計画路線の車線数もある水準の信頼度とその数値の裏に対応していると考えるのが妥当であろう。本研究では、この信頼度のある予測手法を採用して決定した車線数が、交通需要量の真値に対応する車線数に一致する確率として規定し、予測各段階が信頼度に与える影響を分析しようとするものであるが、全体の予測システムとしては現在最も広く実際問題に使われている5段階法を対象としつつも、結果の一般性を期するため、可能な限り各段階の具体的予測手法に左右されない分析方法を採用している点に、1つの特徴を有している。また、予測誤差の具体的分布形を個々に規定しうるデータを収集することは現段階では困難であったこと、および研究目的の主眼が予測各段階の予測誤差が前述した信頼度に与える影響を調べることにあり、そのためには各段階の予測誤差レベルを人為的に変化させてみる必要性があったこと等の理由から、分析の技術的手段としてシミュレーションを採用している。

2. 前提とする予測システム 交通需要の予測モデルを大きく分ければ、非集計型モデルと集計型モデルの2つに分類されるが、前者のモデルは個人属性と行動パターンを結びつけた精緻な構造を有しているものの、現在開発の途上にあるともいえるので、本研究では集計型モデルを対象とするものとし、その中で交通計画において最も適用実績が多いと考えられる5段階推定法を前提として考えてゆく。しかし、たとえば分布交通量の予測に現在パターン法を用いるといったような、各段階において採用される具体的手法については、可能な限りそれを前提としない方向で分析してゆくものとし、結果の一般性を期する。

3. 予測誤差の伝播過程^{1)~8)} 本節では、5段階推定法に従って交通需要を予測し、その値をもとに計画路線の道路車線数を決定した場合、各段階において入ってくる誤差がいかなる形で伝播し、最終的な車線数の誤差につながってゆくかについて検討するが、方法論的には誤差の分布形の伝播過程を追ってゆくことが予測システムの構造から不可能であるので、各段階が输入的な位置づけにある予測誤差の分布についてのみ正規分布を仮定し、予測誤差の期待値と分散の伝播の過程を調べてゆくものとする。以下の説明は、5段階推定法のうち、職業別、目的別に生成トリップ原単位を与えて発生交通量を求めた後、交通機関別交通量予測の段階まで進み、交通配分の直前で目的別交通量を合計するという詳細モデルについて行いが、職業別あるいは目的別の区別をしないモデルについてもまったく同様にして分析を行うことができる。次に、以下の説明における表記法について、共通的な事項を記しておく。まず、予測変量を X 、その真値を $\hat{X}$ としたとき、予測誤差 $\alpha(X)$ を $X = \hat{X}\{1 + \alpha(X)\}$ のように、誤差の真値に対する割合で定義する。いうまでもなく、 $\alpha(X) > 0$ とき過大推定、 $\alpha(X) < 0$ のとき過少推定となる。また、一般によく用いられている表記法として、 x の期待値を $E[x]$ 、分散を $V[x]$ 、 x と y の相関係数を $\rho[x, y]$ として表わす方法を採用する。

* 交通需要予測、誤差分析、道路計画

** Iwao OKUTANI 正会員 工博 信州大学助教授 工学部土木工学科

*** Kinya MAEDA 正会員 工修 地域設計研究所

(1) 人口の予測 経済指標予測段階で最も基本的なものが人口Pの予測である。この予測誤差率 $\alpha(P)$ の実際の分布を調べるために、昭和30年の後半から昭和40年の前半にかけて行われた全国560地域（都道府県市町村、郡、区を含む）の昭和50年（一部昭和47年）時点の人口予測値と真値を比較してみた結果、図-1に示したような分布形が得られた。 χ^2 分布による適合度検定の結果、有意水準5%で正規分布（期待値-0.011、標準偏差0.103）をしているとしてよいことが判明した。この場合の誤差率の平均値は-0.011と絶対値が小さくなっているが、これは全国のいろいろな地域に

対する人口の予測誤差率を平均したためで、ここで問題とするようなある定められた対象地域に対する人口予測

（多数の予測主体と予測方法による予測）の誤差

率の平均値は、正または負のいずれか一方にもう

少し偏った値になると考えるのが妥当であろう。

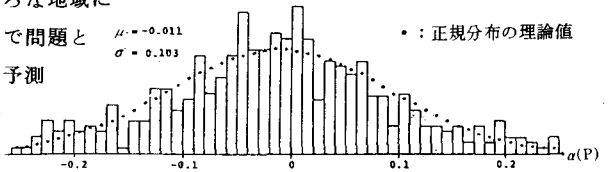


図-1 人口の予測誤差率の分布

(2) 職業別人口の予測 いま、職業数をL、第i職業の人口を P_i とすると $P = \sum_{i=1}^L P_i$ (2)

となる。ここで、 $P = \hat{P}\{1 + \alpha(P)\}$, $P_i = \hat{P}_i\{1 + \alpha(P_i)\}$ なる関係があり、真値である $\hat{P}$ 、 $\hat{P}_i$ の間にも式(2)と同じ関係式が成立することを考え、まず式(2)の両辺の期待値をとると、結局 $E[\alpha(P)] = \sum_{i=1}^L \hat{P}_i E[\alpha(P_i)] / \hat{P}$ (3)

なる関係式が得られる。また、同様に式(2)の両辺の分散を考えると

$$V[\alpha(P)] = \left\{ \sum_{i=1}^L \hat{P}_i^2 V[\alpha(P_i)] + \sum_{k=1}^L \sum_{i=1, i \neq k}^L \hat{P}_k \hat{P}_i \rho[\alpha(P_k), \alpha(P_i)] \sqrt{V[\alpha(P_k)] V[\alpha(P_i)]} \right\} / \hat{P}^2 \quad (4)$$

が得られる。式(3)は職業別人口の予測誤差率の期待値が満たすべき条件であり、式(4)はその分散が満たすべき条件である。ところで、式(4)に含まれる $\alpha(P_k)$ と $\alpha(P_i)$ の相関係数であるが、いかなる方法で P_k 、 P_i を予測したとしても、ある予測主体が総人口を過大に予測したとすれば、その人口Pを構成する相異なる職業別人口 P_k 、 P_i もやはり過大に予測される可能性が高いといえるから、正の値をもつと考えられる。

(3) 目的別総発生トリップ数の予測 目的aの総発生トリップ数を R^a 、第i職業の目的aの生成トリップ原単位（トリップ/人）を t_i^a とすると $R^a = \sum_{i=1}^L P_i t_i^a$ (5)

が成立する。いま、 t_i^a が何らかの方法で予測されたとすると、各変量の式(1)に対応する式、真値間の関係および任意のk、iについて、 $\alpha(P_k)$ と $\alpha(t_i^a)$ が相互に独立であることを考え、式(5)の両辺で期待値をとることにより、次のような関係式が得られる（これ以降、とくに必要のない限り簡単のために目的を表わす添字を省略する）。

$$E[\alpha(R)] = \sum_{i=1}^L \hat{P}_i \hat{t}_i^a \{ E[\alpha(P_i)] + E[\alpha(t_i^a)] + E[\alpha(P_i)] E[\alpha(t_i^a)] \} / \hat{R} \quad (6)$$

すなわち、式(3)を満たす $E[\alpha(P_i)]$ と $E[\alpha(t_i^a)]$ が与えられれば、式(6)により $E[\alpha(R)]$ が計算される。式(5)の両辺の分散の関係式は、任意のk、iに対して、 $\alpha(P_k)$ と $\alpha(t_i^a)$ が相関を持つとは考えられないから

$$V[\alpha(R)] = \left\{ \sum_{i=1}^L \hat{P}_i^2 \hat{t}_i^{a2} \{ V[\alpha(P_i)] (1 + E[\alpha(t_i^a)]^2) + V[\alpha(t_i^a)] (1 + E[\alpha(P_i)]^2) + V[\alpha(P_i)] V[\alpha(t_i^a)] \} + \sum_{k=1}^L \sum_{i=1, i \neq k}^L \hat{P}_k \hat{t}_k^a \hat{P}_i \hat{t}_i^a \rho[\alpha(P_k), \alpha(P_i)] \sqrt{V[\alpha(P_k)] V[\alpha(P_i)]} \{ 1 + E[\alpha(t_k)] + E[\alpha(t_i)] \} \right\} / \hat{R}^2$$

(4) 目的別乗物利用トリップ数の予測 (3)までの段階で、目的別の発生パーソントリップ数が予測されるが、この中には徒歩トリップが含まれるので、(1-徒歩率)すなわち乗物利用をUとすると $T = RU$ となる。

$\alpha(R)$ と $\alpha(U)$ は独立と考えられるので、 $E[\alpha(T)]$ と $V[\alpha(T)]$ は次のようになる。

$$E[\alpha(T)] = E[\alpha(R)] + E[\alpha(U)] + E[\alpha(R)] E[\alpha(U)] \quad (7)$$

$$V[\alpha(T)] = V[\alpha(R)] \{ 1 + E[\alpha(U)]^2 \} + V[\alpha(U)] \{ 1 + E[\alpha(R)]^2 \} + V[\alpha(R)] V[\alpha(U)] \quad (8)$$

(5) ゾーン別発生吸引トリップ数の予測 いま、ゾーンiの目的別発生トリップ数を G_i 、ゾーン数をnとする。 G_i の予測方法として比較的よく用いられる方法として、関数モデル法、原単位法などがあるが、たとえば前者の場合、用いる説明変数のいかんによっては関数で計算されたゾーン発生トリップ相互間に相関がでてくることもあるが、そうした予測手法や説明変数にかかわらず、次式で示すようないわゆるトータルコントロールの段階で、 G_i 相互間したがって $\alpha(G_i)$ 相互間に正の相関が生じる。 $T = \sum_{i=1}^n G_i$ (9)

式(9)を満たす G_i が最終的なゾーンiの発生トリップ数の予測値になるが、Tが真値より大きい値として予測

されていれば、それを構成する G_i も真値より大きな値として予測される可能性が高いということであり、逆の場合は結果もまた逆になると考えられる。こうした $\alpha(G_i)$ の相関性を考え、式(9)の両辺の期待値と分散をとると

$$E[\alpha(T)] = \sum_{i=1}^n G_i E[\alpha(G_i)] / T \quad (10)$$

$$V[\alpha(T)] = \left\{ \sum_{i=1}^n G_i^2 V[\alpha(G_i)] + \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n G_k G_l \rho[\alpha(G_k), \alpha(G_l)] \sqrt{V[\alpha(G_k)] V[\alpha(G_l)]} \right\} / T^2 \quad (11)$$

なる関係式が(2)の場合と同様にして得られる。式(7)、(8)が $E[\alpha(T)]$ 、 $V[\alpha(T)]$ を求める式であるのに対し、式(10)、(11)は $E[\alpha(G_i)]$ 、 $V[\alpha(G_i)]$ が満たすべき条件式であることに注意する必要がある。ゾーン j の目的別吸引トリップ数 A_j についても、式(10)、(11)に対応する関係式として次のような式が導かれる。

$$E[\alpha(T)] = \sum_{j=1}^n A_j E[\alpha(A_j)] / T \quad (12)$$

$$V[\alpha(T)] = \left\{ \sum_{j=1}^n A_j^2 V[\alpha(A_j)] + \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n A_k A_l \rho[\alpha(A_k), \alpha(A_l)] \sqrt{V[\alpha(A_k)] V[\alpha(A_l)]} \right\} / T^2 \quad (13)$$

(6) OD分布トリップ数の予測 ゾーン i で発生するトリップ数が G_i であり、ゾーン j に吸収されるトリップ数が A_j であるとき、両ゾーン間のトリップの結合関係数は $G_i A_j$ 個ある。このうち、実際に $i-j$ 間のトリップとして現われる割合を ξ_{ij} （ゾーン間結合係数とよぶことにする）とすると、目的別ODトリップ数 T_{ij} は、

$$T_{ij} = G_i A_j \xi_{ij} \quad (14)$$

現在パターン法や重力モデル法で式(14)の形式をしたものが多いし、他のモデルについても、ODパターンが決定され T_{ij} が1つ定まれば、それに対応して ξ_{ij} も1つ定まるので、形式的に式(14)の予測式を考えることができるであろう。式(14)において、 G_i 、 A_j はともに総発生トリップ数 T を用いてトータルコントロールがなされているので、(5)で述べた理由と同様の理由から正の相関をもつと考えられるが、 ξ_{ij} と G_i 、 A_j の間にはそれ程明確な形で相関があるとは認め難い。 ξ_{ij} は個々の予測モデルによりさまざまな構造を有しており、たとえば、デトロイト法、フレター法等の現在パターン法では、現在のODトリップ数、現在のゾーン i の発生トリップ数とゾーン j の吸引トリップ数および各ゾーンの将来の発生トリップ数と吸引トリップ数の加重和から構成されており、修正重力モデル法では、ゾーン $i-j$ 間の距離間数、将来の各ゾーンの吸引トリップ数の加重和、ゾーン $i-j$ 間の調整係数などで構成される。重力モデルの1つの変形である相互作用モデル⁹⁾では、

ξ_{ij} を直接与える構造になっている。その他のモデルで、予測式の構造が式(14)に一致していないモデルも、上述のような変量で ξ_{ij} が間接的に求められると考えてもよいものも多いが、たとえば連立方程式系を解いた結果として ξ_{ij} が定まるモデルなど必ずしも ξ_{ij} の構造が明確でないものもある。このように、 ξ_{ij} の構造はモデルにより多様であり、 G_i 、 A_j がその中に含まれていたとしてもその形態は一様ではない。また、 ξ_{ij} の誤差率は、現在のODトリップ数に含まれる誤差、ゾーン $i-j$ 間の距離に含まれる誤差などいろいろな構造式中のパラメータの誤差の影響も受ける。こうしたことを考えると、多数の予測主体によるさまざまなモデルとデータを用いて予測した場合の ξ_{ij} の誤差率 $\alpha(\xi_{ij})$ と $\alpha(G_i)$ 、 $\alpha(A_j)$ の間には明確な相関はないと考えて大きな誤りはないであろう。したがって、 $\alpha(\xi_{ij})$ と $\alpha(G_i)$ 、 $\alpha(A_j)$ の間の独立性を仮定し、式(14)の両辺の期待値と分散をとると、各変量の式(1)に対応する関係式および真値間の関係式の利用により

$$\begin{aligned} E[\alpha(T_{ij})] &= \{1 + E[\alpha(G_i)]\} \{1 + E[\alpha(A_j)]\} \{1 + E[\alpha(\xi_{ij})]\} - 1 + \rho[\alpha(G_i), \alpha(A_j)] \sqrt{V[\alpha(G_i)] V[\alpha(A_j)]} \{1 + E[\alpha(\xi_{ij})]\} \\ V[\alpha(T_{ij})] &= V[\alpha(G_i)] + V[\alpha(A_j)] + V[\alpha(\xi_{ij})] + V[\alpha(G_i)\alpha(A_j)] + V[\alpha(G_i)\alpha(\xi_{ij})] + V[\alpha(A_j)\alpha(\xi_{ij})] + \{V[\alpha(G_i)\alpha(A_j)] + \\ &\quad + \{E[\alpha(G_i)]E[\alpha(A_j)] + \rho[\alpha(G_i), \alpha(A_j)] \sqrt{V[\alpha(G_i)] V[\alpha(A_j)]}\} V[\alpha(\xi_{ij})] + V[\alpha(G_i)\alpha(A_j)] E[\alpha(\xi_{ij})]^2 + \\ &\quad + 2\rho[\alpha(G_i), \alpha(A_j)] \sqrt{V[\alpha(G_i)] V[\alpha(A_j)]} \{1 + 2E[\alpha(\xi_{ij})]\} + 2\rho[\alpha(G_i), \alpha(G_i)\alpha(A_j)] \sqrt{V[\alpha(G_i)] V[\alpha(G_i)\alpha(A_j)]} + \\ &\quad + 2E[\alpha(G_i)] \{V[\alpha(G_i)] + V[\alpha(A_j)]\} + 2\rho[\alpha(A_j), \alpha(G_i)\alpha(A_j)] \sqrt{V[\alpha(A_j)] V[\alpha(G_i)\alpha(A_j)]} + 2V[\alpha(\xi_{ij})] \{E[\alpha(G_i)] \\ &\quad + E[\alpha(A_j)]\} \end{aligned} \quad (15)$$

ここに、一般的に a_1 、 a_2 が正規分布に従うとき $V[a_1 a_2] = \{V[a_1] + E[a_1]^2\} \{V[a_2] + E[a_2]^2\} + 2\rho[a_1^2, a_2^2] \sqrt{V[a_1]} \sqrt{V[a_2]} + 2E[a_1]^2 V[a_2] \{V[a_2] + 2E[a_2]^2\} - \{E[a_1]E[a_2] + \rho[a_1, a_2] \sqrt{V[a_1]} V[a_2]\}^2$ である。式(15)中の $\rho[\alpha(G_i), \alpha(G_i)\alpha(A_j)]$ および $\rho[\alpha(A_j), \alpha(G_i)\alpha(A_j)]$ は、上に述べたように $\alpha(G_i)$ 、 $\alpha(A_j)$ が正の相関をもち、かつ正負両符号をもって分布するので、相関は非常に低くなると考えられ、実際のシミュレーションでは0とする。

ところで、式(4)で与えられるODトリップ T_{ij} は、いわゆる周辺条件

$$\sum_{j=1}^n T_{ij} = G_i \quad (17), \quad \sum_{i=1}^n T_{ij} = A_j \quad (18)$$

を満足しなければならない。したがって、式(2)から式(3)、(4)が得られるようにして

$$\sum_{i=1}^n \dot{T}_{ij} E(a(T_{ij})) / \dot{G}_i = E(a(G_i)) \quad (19), \quad \sum_{j=1}^n \dot{T}_{ij} E(a(T_{ij})) / \dot{A}_j = E(a(A_j)) \quad (20)$$

$$\left\{ \sum_{i=1}^n \dot{T}_{ij} V(a(T_{ij})) + \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m \dot{T}_{ik} \dot{T}_{il} \rho(a(T_{ik}), a(T_{il})) \sqrt{V(a(T_{ik})) V(a(T_{il}))} \right\} / \dot{G}_i = V(a(G_i)) \quad (21)$$

$$\left\{ \sum_{j=1}^n \dot{T}_{ij} V(a(T_{ij})) + \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m \dot{T}_{kj} \dot{T}_{lj} \rho(a(T_{kj}), a(T_{lj})) \sqrt{V(a(T_{kj})) V(a(T_{lj}))} \right\} / \dot{A}_j = V(a(A_j)) \quad (22)$$

が得られる。すなわち、式(19)で与えられる $E(a(T_{ij}))$ は式(19)、(20)を、(16)で与えられる $V(a(T_{ij}))$ は式(21)、(22)をそれぞれ満たさなければならない。なお、式(21)、(22)にてくる相関係数は、式(17)、(18)の周辺条件式を考えれば正であることがわかる。

(7) 交通機関ODトリップ数の予測 交通機関の数を m とし、交通機関 k の目的別のゾーン $i-j$ 間のトリップ数を ${}_k x_{ij}$ 対応する交通機関分担率を ${}_k w_{ij}$ とする。そうすると ${}_k x_{ij} = T_{ij} {}_k w_{ij}$ (23)

が成立する。各変量について、式(1)に対応する真値と予測値の関係および真値相互間の関係式を考慮し、かつ、 $a(T_{ij})$ と $a({}_k w_{ij})$ は独立と考えて、式(23)の両辺の期待値をとると

$$E(a({}_k x_{ij})) = E(a(T_{ij})) + E(a({}_k w_{ij})) + E(a(T_{ij})) E(a({}_k w_{ij})) \quad (24)$$

が導かれる。ただし、 $\sum_{k=1}^m {}_k w_{ij} = 1$ より、 $E(a({}_k w_{ij}))$ は次式を満たす必要がある。

$$\sum_{k=1}^m {}_k w_{ij} E(a({}_k w_{ij})) = 0 \quad (25)$$

また、式(23)の両辺の分散を考えると

$$V(a({}_k x_{ij})) = V(a(T_{ij}))(1 + E(a({}_k w_{ij}))^2 + V(a({}_k w_{ij}))(1 + E(a(T_{ij}))^2 + V(a(T_{ij}))V(a({}_k w_{ij})) \quad (26)$$

が得られる。 $V(a({}_k w_{ij}))$ については、やはり ${}_k w_{ij}$ の k に関する和が1になるという条件から

$$\sum_{k=1}^m {}_k w_{ij}^2 V(a({}_k w_{ij})) + \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m {}_k w_{ij} {}_l w_{ij} \rho(a({}_k w_{ij}), a({}_l w_{ij})) \sqrt{V(a({}_k w_{ij})) V(a({}_l w_{ij}))} = 0 \quad (27)$$

を満足しなければならないことに注意する。なお、式(27)中の相関係数は、 ${}_k w_{ij}$ の k に関する和が1になることを考えると、正負両方の値をとると考えるのが妥当であろう。

(8) 自動車ODトリップ数の予測 以上の(7)までの段階は、パーソントリップの単位で予測がなされるが、この(8)の段階で自動車トリップに変換する。一般性を失うことなく、交通機関1を普通自動車、交通機関2をバスとし、交通機関 k ($k=1, 2$) の目的別の平均乗車人員の逆数を η_k 、ゾーン $i-j$ 間の交通機関 k の目的別自動車トリップ数を ${}_k z_{ij}$ とすると ${}_k z_{ij} = {}_k x_{ij} \eta_k$ (28)

となる。 $a({}_k x_{ij})$ と $a(\eta_k)$ は独立と考えられるがそうすると式(23)と式(28)が同じ形になるから、式(24)、(26)を参考に $E(a({}_k z_{ij})) = E(a({}_k x_{ij})) + E(a(\eta_k)) + E(a({}_k x_{ij})) E(a(\eta_k))$ (29)

$$V(a({}_k z_{ij})) = V(a({}_k x_{ij}))(1 + E(a(\eta_k))^2 + V(a(\eta_k))(1 + E(a({}_k w_{ij}))^2 + V(a({}_k x_{ij})) V(a(\eta_k))$$

(9) 全目的の自動車ODトリップ数の予測 この段階において、交通機関 k と目的による合計の操作を行い、普通自動車に換算した自動車ODトリップ数を求める。目的 a の交通機関 k の自動車ODトリップ数を新たに ${}_a z_{ij}^k$ とし、目的の総数を d 、バスの普通自動車換算係数を C とすると、普通自動車に換算されたゾーン $i-j$ 間の目的 a の自動車トリップ数 Z_{ij}^a は $Z_{ij}^a = {}_1 z_{ij}^a + C {}_2 z_{ij}^a$ (30)

となる。式(30)の各変量の式(1)に対応する関係式および真値間関係を考慮して計算すると

$$E(a(Z_{ij}^a)) = \{ {}_1 \dot{Z}_{ij}^a E(a({}_1 z_{ij}^a)) + C {}_2 \dot{Z}_{ij}^a E(a({}_2 z_{ij}^a)) \} / \dot{Z}_{ij}^a \quad (31)$$

$$V(a(Z_{ij}^a)) = \{ ({}_1 \dot{Z}_{ij}^a)^2 V(a({}_1 z_{ij}^a)) + C^2 ({}_2 \dot{Z}_{ij}^a)^2 V(a({}_2 z_{ij}^a)) + 2C {}_1 \dot{Z}_{ij}^a {}_2 \dot{Z}_{ij}^a \rho(a({}_1 z_{ij}^a), a({}_2 z_{ij}^a)) \sqrt{V(a({}_1 z_{ij}^a)) V(a({}_2 z_{ij}^a))} \} / (\dot{Z}_{ij}^a)^2 \quad (32)$$

いま、 Z_{ij}^a の目的 a に関する和を Z_{ij} とすると、式(2)に対する式(3)、(4)の関係式と対応して

$$E(a(Z_{ij})) = \sum_{a=1}^d \dot{Z}_{ij}^a E(a(Z_{ij}^a)) / \dot{Z}_{ij} \quad (33)$$

$$V(a(Z_{ij})) = \left\{ \sum_{a=1}^d (\dot{Z}_{ij}^a)^2 V(a(Z_{ij}^a)) + \sum_{a=1}^d \sum_{b=1}^d \dot{Z}_{ij}^a \dot{Z}_{ij}^b \rho(a(Z_{ij}^a), a(Z_{ij}^b)) \sqrt{V(a(Z_{ij}^a)) V(a(Z_{ij}^b))} \right\} / \dot{Z}_{ij} \quad (34)$$

式(32)の相関係数は、交通機関分担率の相関数、 T_{ij} 、 ${}_k x_{ij}$ 、 ${}_k w_{ij}$ 、 η_k の分散と期待値によって表わされるが(式省略)、正負両方の値をとりうる。これに対し、式(34)の相関係数は、 Z_{ij}^a 、 Z_{ij}^b がもとをただせばともに人口に基礎をおいているので、正の値をとると考えられる。

(10) 配分交通量の予測 ゾーン*i-j*間の経路本数を M_{ij} 、その q 番目の経路への配分率と配分交通量を P_{ij}^q とすると、 $y_{ij}^q = Z_{ij} P_{ij}^q$ が成立し、 P_{ij}^q の経路に関する和は1である。また、 $\alpha(Z_{ij})$ と $\alpha(P_{ij}^q)$ は独立と考えられる。そうすると、諸関係が(7)の場合と同じになり、式(24)~(27)に対応して次のような関係式が得られる。

$$E[\alpha(y_{ij}^q)] = E[\alpha(Z_{ij})] + E[\alpha(P_{ij}^q)] + E[\alpha(Z_{ij})E[\alpha(P_{ij}^q)]] \quad (35), \quad \sum_{q=1}^{M_{ij}} P_{ij}^q E[\alpha(P_{ij}^q)] = 0 \quad (36)$$

$$V[\alpha(y_{ij}^q)] = V[\alpha(Z_{ij})]\{1 + E[\alpha(P_{ij}^q)]^2\} + V[\alpha(P_{ij}^q)]\{1 + E[\alpha(Z_{ij})]^2\} + V[\alpha(Z_{ij})]V[\alpha(P_{ij}^q)] \\ + \sum_{q=1}^{M_{ij}} (P_{ij}^q)^2 V[\alpha(P_{ij}^q)] + \sum_{q=1}^{M_{ij}} \sum_{r=1}^{M_{ij}} P_{ij}^q P_{ij}^r \rho[\alpha(P_{ij}^q), \alpha(P_{ij}^r)] \sqrt{V[\alpha(P_{ij}^q)]V[\alpha(P_{ij}^r)]} = 0 \quad (37)$$

次に、対象道路網のリンク ℓ の配分交通量を Y_ℓ とし、 y_{ij}^q がリンク ℓ を通ったとき1、通らないとき0となる変数 r_{ij}^q を考えると、 $Y_\ell = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{q=1}^{M_{ij}} r_{ij}^q y_{ij}^q$ となるから

$$E[\alpha(Y_\ell)] = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{q=1}^{M_{ij}} r_{ij}^q y_{ij}^q E[\alpha(y_{ij}^q)] / Y_\ell \quad (38)$$

$$V[\alpha(Y_\ell)] = \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{q=1}^{M_{ij}} (r_{ij}^q y_{ij}^q)^2 V[\alpha(y_{ij}^q)] + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{q=1}^{M_{ij}} \sum_{r=1}^{M_{ij}} \delta(i,j,s,t,q,k) r_{ij}^q r_{st}^k y_{ij}^q y_{st}^k \rho[\alpha(y_{ij}^q), \alpha(y_{st}^k)] \sqrt{V[\alpha(y_{ij}^q)]V[\alpha(y_{st}^k)]} \right\} / Y_\ell^2 \quad (39)$$

ここに、 $\delta(i,j,s,t,q,k)$ は、ODペア*i-j*と*s-t*が同じで、かつ経路 q, k が同じとき0、それ以外のとき1となる変数である。式(38)中の相関係数は、 $\alpha(y_{ij}^q)$ の場合と同じく正負両方の値をとりうる。また、式(39)に含まれる相関係数は $\alpha(Z_{ij})$ と $\alpha(Z_{st})$ の期待値、分散、相関係数および P_{ij}^q と P_{st}^k の期待値、分散、相関係数(ODペアが一致するときのみ)によって表わされるが(式省略)、正負両方の値をとりうる。

(11) 車線数の決定 いま、リンク ℓ が計画路線に含まれているものとする、車線数 N は

$$N = Y_\ell K D / (5000 C_d) \quad (40)$$

で与えられる。ここに、 K は設計基準交通量(台/日)に対する30番目時間交通量の割合(%)、 C_d は設計交通容量(台/時)である。式(40)の分母は定数であり、 $\alpha(Y_\ell)$ 、 $\alpha(K)$ 、 $\alpha(D)$ は相互に独立と考えられるから

$$E[\alpha(N)] = \{1 + E[\alpha(Y_\ell)]\} \{1 + E[\alpha(K)]\} \{1 + E[\alpha(D)]\} - 1 \quad (41)$$

$$V[\alpha(N)] = \{V[\alpha(Y_\ell)] + (1 + E[\alpha(Y_\ell)]^2)\} \{V[\alpha(K)] + (1 + E[\alpha(K)]^2)\} \{V[\alpha(D)] + (1 + E[\alpha(D)]^2)\} \\ - \{(1 + E[\alpha(Y_\ell)])(1 + E[\alpha(K)])(1 + E[\alpha(D)])\}^2$$

以上が、道路交通需要予測システムに最後の車線数の決定段階を加えた全過程の予測誤差率の期待値と分散の伝播状況であるが、(2)の職業別人口の予測をしない予測モデルについては、職業数を1とすればよく、また、目的別の予測を行わないモデルの場合は目的数を1とすればよい。

4. 予測モデルの信頼度^{(2), (5), (6)} 本研究では、とくに道路交通需要予測を対象としているので、予測モデルの信頼度を次のように定義する。式(40)で与えられる車線数 N は、予測モデルや使用データにより異なるから、結果的に図-2に示したような分布 $f(N)$ をもつ。ただし、

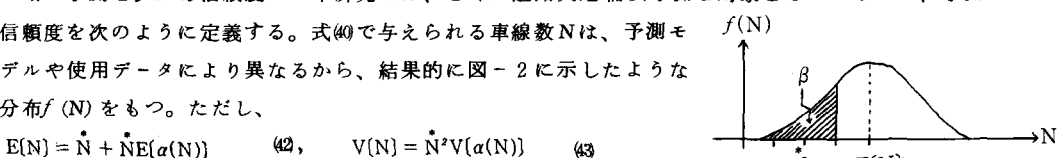


図-2 車線数の分布

$E[N] = \dot{N} + NE[\alpha(N)] \quad (42), \quad V[N] = \dot{N}^2 V[\alpha(N)] \quad (43)$
 $\dot{N}$ は式(40)の右辺の各変数に真値を代入した値であり、この値から実際の計画車線数 $\dot{N}_0$ は、 $N_1 < \dot{N} \leq N_2$ なる関係式を満たす正の偶数値として決定される。ここに、 $N_1 = \dot{N}_0 - 2 + e$
 $N_2 = \dot{N}_0 + e$ (e は普通0.3)である。このとき信頼度 β を次式で定義する。

$$\beta = \int_{N_1}^{N_2} f(N) dN \quad (44)$$

5. シミュレーションの方法^{(6)~(8)}

予測システムの中に含まれる予測変量は非常に多く、したがって、それぞれの予測変量に対応する予測誤差率の期待値と分散も多数にのぼるわけであるが、そのうちのいくつかは入力データとして与える必要がある。人口、職業別人口、生成トリップ原単位、乗物利用率、ゾーン別発生トリップ数、ゾーン別吸引トリップ数、ゾーン間結合係数、交通機関分担率、平均乗車人員の逆数、交通量配分率、30番目時間交通量の割合、重方向交通量の割合の予測誤差率の期待値と分散がそれである。また、各予測過程の随所に現われる相関係数で、他の変数から決められないものについても、同様にして入力データとして与えなければならない。しかし、そうした値をデータの裏づけのもとに与えることは非常に困難であるし、また、先にも述べたように、ここでは各予測段階が信頼度に与える影響を分析することに主眼がおかれているので、必ずしもデータの裏づけをもつ必要性もない。したがって、われわれは予測誤差率の期待値と分散を適当に与えるか、その変動幅を設定して一様乱数で値を選択するという方法を採用した。シミュレ

ーションは3桁の番号を付したいくつかのケースについて行われたが、そのうちの6つのケースに関し、予測誤差率の期待値の入力データを示すと表-1のようになる。本表で値の変動幅を示したものについては、上述のように一様乱数で実際の値を決定するが、その

表-1 予測誤差率の期待値の入力データ

ケース番号	101	102	103	111	112	113
$E(\alpha(P))$	0.03	0.15	0.25	0.01	0.01	0.01
$E(\alpha(P_i))$	0.05 - 0.15	0.05 - 0.15	0.05 - 0.15	0.01	0.01	0.01
$E(\alpha(t_i))$	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30	0.02 - 0.05	0.05 - 0.20	0.15 - 0.30
$E(\alpha(U))$	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30	0.15 - 0.20	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30
$E(\alpha(G_i))$	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30
$E(\alpha(A_i))$	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30
$E(\alpha(\xi_{ij}))$	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30
$E(\alpha(\kappa w_{ij}))$	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30
$E(\alpha(\eta_k))$	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30
$E(\alpha(P_{ij}^*))$	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30	0.15 - 0.30

正負の符号についても一様乱数で定めるようにした。表1に掲げていない30番目時間交通量の割合と重方向交通量の割合に対する予測誤差率の期待値については、両者とも社会状況等の変化にそれ程影響を受けない値であると判断し、あらゆるケースにおいて0とした。また、分散については、3の(1)で示した人口の予測誤差率の標準偏差が0.103であったことを考え、人口の分散のみはほその値に等しくなるように0.01とし、その他の分散については、0.05～0.2の範囲で一様乱数により標準偏差を与え、その値を2乗したのを用いた。分散については、全ケース共通にこのような与え方を採用した。ところで、職業別人口の場合 $E(\alpha(P_i))$ $V(\alpha(P_i))$ はそれぞれ式(3)、(4)に満足しなければならない。したがって、乱数で決定された値をもとに、期待値については一定数を差し引き、分散についてはその非負性を考え正の一定数を乗ずるという形でそれぞれ値を調整し、条件式を満たすようにした。また、ゾーン別発生吸引トリップ数については式(10)～式(13)が、交通機関分担率については式(14)、(15)が、交通量配分率については式(16)、(17)がそれぞれ満たされるように、同様な方法で値を調整した。なお、ODトリップ数の予測におけるゾーン間結合係数については、式(19)～式(22)に示すように、期待値、分散ともに $2n$ 個の条件 ($2n-1$ 個が独立) を満足しなければならない、またそれは周辺条件を満足するようにODトリップ数を決める操作に対応している、まず分散については収束計算として最も広く使われていると思われるフレーター法を用いて、条件式を満たすように値を調整した。期待値については、正負両方の値を取り、フレーター法の適用が不可能であるので、近藤によって提案されたバランシングファクター¹⁰⁾法で値を調整した。なお、相関係数の与え方については次節で述べる。

6. シミュレーションの結果 (1) 予備的計算 シミュレーションは仮想的な都市について行ってもよいわけであるが、データを与える便宜上一応京都市を対象とし、まちづくり構想の中で提案されている都市内高速道路網の南北方向の1つの道路区間を、具体的に検討するリンクとした。実際の計算にあつては、各予測変量の真値を与える必要があるが、こ

表-2 相関係数の影響

ケース 相関係数の範囲	101			102			103		
	E(N)	$\sqrt{V(N)}$	信頼度(%)	E(N)	$\sqrt{V(N)}$	信頼度(%)	E(N)	$\sqrt{V(N)}$	信頼度(%)
0.2 - 0.4	6.12	1.93	14.91	6.74	2.08	10.42	7.26	2.21	7.77
0.4 - 0.6	6.12	1.91	14.74	6.74	2.06	10.29	7.26	2.20	7.69
0.6 - 0.8	6.12	1.92	14.85	6.74	2.09	10.46	7.26	2.23	7.87
0.8 - 0.9	6.12	1.95	15.00	6.74	2.12	10.66	7.26	2.26	8.08
0.7	6.12	1.92	14.85	6.74	2.09	10.46	7.26	2.23	7.87

こでは参考文献12)に示されている昭和60年時点の予測値をそのまま真値として採用した(データは多岐にわたり、量も多いので、紙面のつごう上省略する)。なお、再三述べるように、本研究の主旨は、各予測段階の信頼度を与える影響を調べることにあるので、計算の簡単のために、対象リンクを通行する車輛は普通自動車のみとした。さて、実際の計算に入るまえに、予備的計算として相関係数の影響を調べるべく表-2のようにその変動範囲を4組与え、一様乱数で値を決め(正負両方の値をもつものについては、一様乱数で符号を定める)、最終的に得られる車線数の期待値と分散および信頼度(ただし、 $f(N)$ を正規分布と仮定)を表中の3ケースについて計算した。結果は表-2に示したとおり、すべてのケースについて相関係数(絶対値)を0.7に固定した場合とほとんど一致した。つまり、相関係数の与え方によってシミュレー

シミュレーション結果が大きく左右されることはないということである。したがって、以下のシミュレーションでは、計算の簡単のために相関係数は0.7として固定した。3の(6)では ξ_{ij} と G_{ij} 、 A_j の相関について若干の議論をしたが、上で得られた結論からすれば、それらの間の独立性の仮定は結果にはほとんど影響を与えないと考えられる。ところで、表-2の信頼度は $f(N)$ が正規分布をするという仮定のもとに計算されたものであるが、実際にはその分布形がいかなる形をするかはわかっていない。そこで、もう1つの予測的計算として、 N の分布を調べるためのシミュレーション⁷⁾を実行した。方法としては、人口の予測誤差率が実際のデータから正規分布をすると判定されたことを参考に、5で述べた入力データとして与える変量の予測誤差率の分布に関しては正規分布を仮定し、すでに述べた方法でその期待値と分数を決定した後、その統計量をもつ正規乱数を発生させて予測誤差率の値を決め、その伝播過程を3に記した予測誤差率の期待値を求める式(式(3)、(6)、(7)(10)、(12)、(15)、(19)、(20)、(24)、(25)、(29)、(31)、(33)、(35)、(36)、(38)、(41)ただし、式(15)で相関係数の付いた第3項は不要)で期待値を表わす記号 E を取った式を用いて追ってゆき、最終的に $\alpha(N)$ を1つ決めるという方法を採用した。 $\alpha(N)$ が1つ定まると、 $N = \bar{N}\{1 + \alpha(N)\}$ の関係から N が1つ定まるので、このような計算を多数回行うことによって、一組の N の分布データが得られることになる。実際の計算は表-1に掲げたケースのデータを用いて行われたが、有意水準5%の χ^2 検定により正規分布をすることが受け入れられた。また、式(42)、(43)で計算された $E(N)$ 、 $V(N)$ はシミュレーションの結果を用いて計算されたそれらの値に小数点1桁まで一致した。

(2) シミュレーションの結果と分析 シミュレーションの結果をグラフにしたものが図-3であるが、本図において縦軸は $f(N)$ を正規分布として計算した信頼度(%)を、横軸はケース番号をそれぞれ表わしている。各ケースの、表-1に対応する入力データは、ケース113を基礎とし、各グラフの中に示した $E[\alpha]$ の変動範囲のみが、ケース番号の下1桁の数値が1, 2, 3となるに従い0.02-0.05、0.05-0.20、0.15-0.30のように変化し予測精度が悪くなるようになっている。また、図中の実線のグラフは3で述べたとおりの予測方法つまり目的別職業別にトリップ発生を調べてゆくモデル(モデル1)に対応しており、破線はそのモデルから職業別をなくしたモデル(モデル2)に、点線は逆に目的別をなくし職業別を残したモデル(モデル3)に、1点鎖線は目的別職業別ともなくしたモデル(モデル4)にそれぞれ対応している。図-3から得られる結果をまとめると、

- ① 人口、生成トリップ原単位、乗物利用率、自動車の平均乗車人員の予測精度は、式(44)で定義した信頼度に大きい影響をもつ。
- ② ゾーン別発生吸引トリップ数、ゾーン間結合係数、交通機関分担率(この場合自動車分担率)および経路配分率の予測精度は、信頼度にあまり大きい影響を与えない。
- ③ モデル1(目的別職業別)は、他のモデルに比し最もよい信頼度を与え、モデル2(目的別)はその次によい信頼度

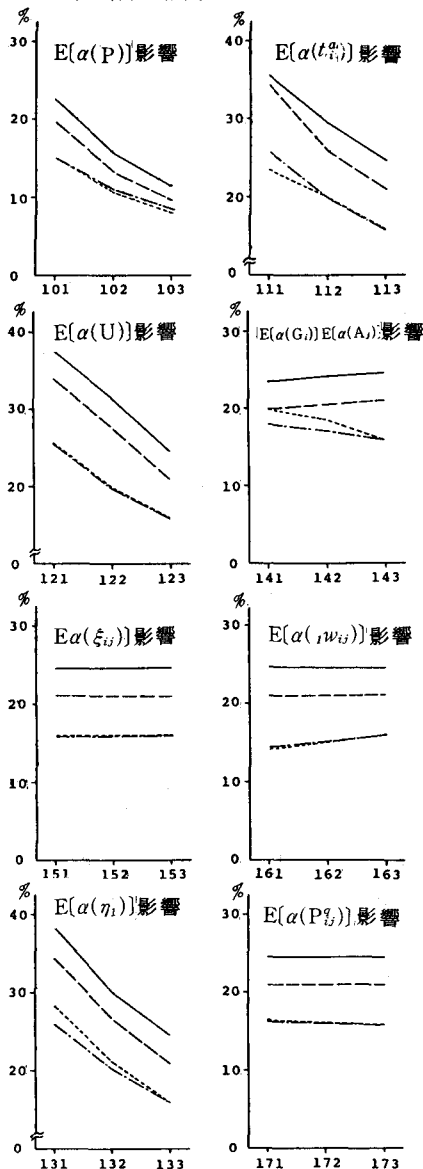


図-3 各予測誤差率の期待値の影響

を与える。モデル3（全目的職業別）、モデル4（全目的）は、前2者に比し低い信頼度を与える場合が多い。

なお、図-3の $E(a(G_i))$ $E(a(A_j))$ と $E(a(w_{ij}))$ の影響を調べるグラフで、モデルによってわずかに右上りのグラフになるのがみられるが、乱数の偏り等でたまにこのようになったということにすぎないものと思われる。①～③と同様の結論は、われわれが別に行った精度を全体的によくした場合（113の基礎となるケースにおける0.15-0.30という変動範囲を0.0-0.20にした場合）、人口の精度と職業別人口の精度を落した場合（前者に対するデータを0.01から0.20に、後者に対する変動範囲を0.15-0.30あるいは0.0-0.20にした場合）、乱数の初期値を変えた場合のシミュレーションからも導かれたので、予測誤差率の期待値がせいぜい0.30以内に納まるようであれば、ほぼ一般的に言えると思てよいであろう。②で影響が少いとされた変量についても、誤差率の期待値の変動範囲を0.8-1.7の間に設定してシミュレーションを実行してみると、その影響がやはり認められたので、極端に悪い精度をもつモデルが多数の予測主体によって使われる場合は、上記②の結論は成立しない。いずれにしても、道路計画を目的とする交通需要予測に際しては、3で述べたような詳細モデルを採用するとともに、①に挙げた変量についてはできるだけ精度を上げるように努力し、②で挙げた変量についてはある程度簡便なモデルで対処するという方向で、作業を進めてゆくことが示唆される。

7. むすび 本研究では、計画対象となる道路区間の車線数が真値に一致する確率を信頼度と定義し、予測各段階の精度がその信頼度に与える影響を、シミュレーションの手法で分析検討した。結論の1つとして、人口、生成トリップ原単位、乗物利用率、自動車の平均乗車人員の予測精度が信頼度に大きな影響を与えることを述べたが、これらの変量の中には従来の予測でややもすればあまり重きを置かれなかったものもあるので、今後の注意が必要であろう。これとは逆に、ゾーン別発生吸引トリップ数、ゾーン間結合係数（ゾーン別発生吸引トリップ数と合わせれば、けっきょくOD分布トリップ数になる）、交通機関分担率および経路配分率は、従来詳細な検討がなされてきたものであるが、その予測精度はあまり大きく信頼度に影響を及ぼさないという結果になった。ゾーン別発生吸引トリップ数 G_i, A_j は総発生トリップ数 T によってトータルコントロールがなされること、ODトリップ数は周辺分布である G_i, A_j によって値が強く規定されること、交通機関分担率と経路配分率は和が1になるという条件から値が規定されること、一般にある計画道路区間を考えた場合、そこを通るODや経路の組み合わせが多く、ゾーン別発生吸引トリップ数から経路配分率までの誤差率が当該道路区間の通過交通量に数多く関与して、正負の誤差率が相互に打ち消し合うことがその理由として考えられる。

参 考 文 献

- 1) 奥谷巖、福井修、沢田正裕：交通需要推計誤差の交通施設計画に及ぼす影響分析、土木学会年次講演概要、昭和51年10月
- 2) 奥谷巖、福井修：推定方法に誤りがある場合の交通需要推計誤差とその影響分析、土木学会中部支部研究発表会講演概要、昭和52年1月
- 3) 奥谷巖、大村卓：交通計画における需要推定誤差の伝播について、土木学会中部支部研究発表会講演概要、昭和53年2月
- 4) 奥谷巖、二羽博史：交通計画における需要予測誤差の影響、土木学会中部支部研究発表会講演概要、昭和54年2月
- 5) 奥谷巖、前田欣也：交通施設計画における需要推計誤差の影響、土木学会年次講演概要、昭和54年10月
- 6) 奥谷巖、前田欣也：交通需要予測における誤差分析、土木学会中部支部研究発表会講演概要、昭和55年2月
- 7) 奥谷巖、前田欣也：交通需要予測誤差を考慮した道路計画における車線数の分布特性、土木学会年次講演概要、昭和55年9月
- 8) 奥谷巖、前田欣也：通過ODに偏りのある道路及び駐車場計画と需要推計誤差の関係、土木学会中部支部研究発表会講演概要、昭和56年2月
- 9) F. H. Wynn & C. E. Linder : Tests of Interaction Formulas Derived From O-D Data, HRB Bulletin 253, pp. 62-85, 1960
- 10) 近藤勝直：分布交通量モデル再考、交通工学 No.12, No.13, pp. 3-14, 1977
- 11) 京都市：まちづくり構想、昭和44年3月
- 12) 京都市都市開発局：まちづくり構想策定資料 交通 昭和44年3月