

分布・分担・配分過程を結合した交通量予測モデル

COMBINED MODEL OF TRIP DISTRIBUTION, MODAL SPLIT
AND TRAFFIC ASSIGNMENT

河上省吾*・住田公資**

By Shogo KAWAKAMI and Kohshi SUMIDA

1. はじめに

交通需要予測において一般に用いられている予測法はパーソントリップ法とよばれる段階的予測法である。パーソントリップ法においては、分割された各ゾーンの発生・集中交通量、ゾーン間の分布交通量、交通機関別交通量、配分交通量の順に交通需要を予測する。これらの各推定過程は、現在、独立の問題として扱われ、各過程ごとに種々の予測モデルが開発されている。

この中で分布交通量推定過程を考えると、OD 交通量予測にはその OD 間の所要時間が大きな要因となっている。また機関別分担を考える場合も、機関別所要時間は説明要因の 1 つである。しかし、所要時間は、特に自動車においては交通量と大きな相関をもっており、将来の所要時間はその時点の交通量が求まっていなと計算できない。つまり配分過程の計算が終了しないと、この将来の機関別 OD 間所要時間は得られないのである。そのため従来、分布および機関別分担過程を計算する際には、OD 間の平均、および機関別所要時間を仮定して用いた。しかし、大都市にみられるように複雑な道路網をもつ地域を対象にする場合には、この仮定が難しく、配分過程の計算の結果得られる所要時間は初めに仮定したものとは異なってくるであろう。

本研究は、この点に着目して、分布・分担・配分の各過程を一体とした交通需要予測モデルを開発することにより予測精度の向上を図ろうとするものである。

分布・分担・配分の各過程を結合したモデルとして最初に考えられたものは、現在用いられている各過程の予測モデルを用い、これら 3 つの過程を繰り返して計算し、仮定した所要時間と配分計算の結果得られる所要時間との一致を期待するものである¹⁾。しかし、この方法は収

束の保証がない。河上・広嶋・佐藤²⁾はこの方法の諸特性を昭和 46 年の中京都市群パーソントリップ調査の結果を用いて検討した。この結果実績 OD 交通量への適合性を調べる χ^2 値が繰り返しのたびに振動し、適切な解には至らなかった。

次の段階では、結合モデルに収束の保証を与えるために目的関数を導入する方法が採用された。このようなモデルとして分布モデルと配分モデルを結合した Tomlin³⁾、Florian⁴⁾、Evans⁵⁾ などによるモデルがあるが、いずれも分担過程は考慮されていない。また目的関数として、前二者では T_{ij} をゾーン ij 間の交通量とすると、 $T_{ij} \log T_{ij}$ と各リンクにおける総交通費用の一次結合を最小化することを採用し、第三者では総交通費用最小化を用いている。

ここで、本文で用いる用語について説明しておく。

OD 間あるいはリンクの所要時間やリンク速度はトリップを行う人、あるいは同じ交通機関の中でばらつきを生じるが、本論文では同種のトリップに関して平均したものをを用い、これらを単に OD 間所要時間、リンク所要時間、リンク速度とよぶ。文中に出てくる平均所要時間という言葉は交通手段別の所要時間の重みづけ平均を意味する。鉄道やバスの大量輸送機関はマス・トラ(マ

表-1 主な記号の説明

n	ゾーン数
T	対象地域内で発生する全トリップ数
G_i	ゾーン i の発生交通量
A_j	ゾーン j の集中交通量
T_{ij}	ゾーン (i, j) 間交通量
T_{ij}^M	(i, j) 間のマス・トラによる交通量
T_{ij}^C	(i, j) 間の自動車による交通量
T_k^L	リンク k を通る自動車交通量
t_{ij}^M	マス・トランジットによる (i, j) 間の所要時間
t_{ij}^R	t_{ij}^M のうち鉄道の乗車時間
t_{ij}^B	t_{ij}^M のうちバスの乗車時間
t_{ij}^C	自動車による (i, j) 間の所要時間
t_k^L	自動車がリンク k を通るに要する時間
K_{ij}	ゾーン間調整係数

* 正会員 工博 名古屋大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 工修 運輸省港湾局第四港湾建設局係長

ス・トランシットの略)とよぶ。出発地(Origin)と目的地(Destination)の組み合わせはODペアとよぶことにする。また説明に用いる文字のうち主なものとしては、 T がトリップ数、 t が所要時間を表わす。 T 、 t の右上に添える文字は、それが小文字の場合は指数を表わし、大文字の場合は次に示す交通手段のトリップ数あるいは所要時間であることを示す。

M : マス・トランシット, R : 鉄道, B : バス, C : 自動車, L : 自動車のうち、リンクに関したものを述べるときに用いる。また、記号の主なものを表一に示す。

2. 交通量予測モデル

ここでは、本研究で用いる交通量予測モデルの基本的な考え方、および構造について分布、分担、配分過程に分けて述べる。

(1) 分布交通量予測モデル

分布交通量予測モデルとしては、数多くのモデルが開発されており、これらは、成長率法、重力モデル、確率モデルなどに大別される。これらの中では、重力モデルが従来の使用実績、およびゾーン間の交通抵抗の変化を分布交通量に反映できるという点から優れており、特に修正重力モデルは、後述のように、その基本式でトリップの発生確率が与えられていると仮定すると、同時生起確率が最大となる。すなわち最も起こりやすいODパターンを求めていると考えられる⁹⁾ので、予測モデルとして望ましい性質をもっているといえよう。このような理由により、本研究では分布モデルとして修正重力モデルを利用する。

(2) 分担率モデル

交通手段別分担率モデルには、全域モデル、トリップエンドモデル、ODペアモデル、経路モデルなどがあるが、本研究の交通需要モデルには、分担率決定のために配分過程をも考慮する経路モデルを除いてすべて適用可能である。本研究では、実際の交通計画においてよく用いられる交通手段別分担率モデルである各交通手段の所要時間の2手段間の比と分担率との関係を図示した時間比-分担率曲線を用いる。なお交通手段としては、自動車とマス・トラの2手段を考える。

(3) 配分モデル

マス・トランシットの旅客はすべて最短経路を利用すると考え、自動車交通の道路網への配分は容量制約を考慮した等時間原則の考え方によって行い、等時間原則とはWardropの2つのルート選択基準¹⁰⁾のうちの1つで

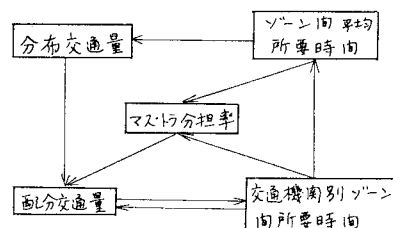
「ODペア間で実際に用いられるすべての経路の通過所要時間は等しく、その他の用いられていないどの経路を通るに要する所要時間よりも小さい」というものである。この等時間原則を満足する交通配分の近似解を得る計算法として、現在用いられているものに分割配分法がある。これは、各ODペア間の自動車交通量をそれぞれ適当に m 回に分けて各段階ごとに所要時間を修正しながらODペア間の最短ルートに配分していくものである。この方法は、走行所要時間が交通量によって変化することを前提とした配分法としては非常に実用적であって、実際の交通配分計算ではほとんどがこの方法によって行っている。

分割配分法の解釈は、いくつかあり、その1つは、分割配分法は道路ネットワークにおける交通流の経路選択に関するシミュレーションであるという考え方である。他に、分割配分法は等時間原則による配分の近似解法であるという考え方もある¹¹⁾。実際にこの配分は、自動車利用者をODごとに適当なグループにまとめて計算される。したがって、分割数を非常に大きくとるならば、直観的に考えて、分割配分法による配分結果は等時間原則の解に近づくであろう¹²⁾。

(4) 分布・分担・配分過程の結合モデルの定式化

交通量予測モデルの目的は、将来の交通量をできるだけ正確に予測することである。予測モデルがこの目的を達成するためには、モデル式の構造そのものが現象に則したものである必要があり、またモデル式を用いて計算する過程も合理性をもったものでなければならない。そこで本研究においては、モデル式としては、従来の研究成果および使用実績などを考慮して上記の各モデルを利用することにし、これらのモデル式を用いて予測交通量を計算する際には、統計的推測値を求めるための一方法である最尤推定法の考え方を導入し、仮定したモデル式を用いた場合の同時生起確率最大の交通量を求める。すなわち、本研究では交通機関別分担、および経路配分の予測結果を取り入れた同時生起確率最大の手段別分布交通量を求めることを目的とする。

ここで、まず分布・分担・配分の各過程で問題となる変数相互の関係を整理しておく。図一はこの関係を示



図一 変数相互間の関係

したもので、図中の矢印の意味は、 $a \rightarrow b$ ならば、 b は a の関数で表わされることを示している。この図において、この矢印はサーキットを作っている。このことは、図に示されている変数はいずれも相互に関係をもっており、任意の変数を独立変数とすれば、他の変数はすべてその独立変数の関数で与えられることを示している。本研究では独立変数をゾーン間分布交通量 T_{ij} にとり、以下議論を進めることにする。

いま、手段別分布交通量の同時生起確率を求めると次のようになる。

$$W = \frac{T!}{\prod_{i,j} (T_{ij}^C!) (T_{ij}^M!)} \cdot \prod_{i,j} \{ (p_{ij}^C)^{T_{ij}^C} (p_{ij}^M)^{T_{ij}^M} \} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、

p_{ij}^C : 自動車を利用するゾーン i, j 間のトリップの生起確率

p_{ij}^M : マス・トラを利用するゾーン i, j 間のトリップの生起確率

ここで、ゾーン間のトリップ数の予測値 T_{ij}' が重力モデル式 (2) で表わされるとするならば、

$$T_{ij}' = k K_{ij} G_i^\alpha A_j^\beta t_{ij}^{-\tau} \dots\dots\dots (2)$$

自動車とマス・トラを利用するトリップの数 T_{ij}^C , T_{ij}^M は、それぞれ次式 (3), (4) で予測される。

$$T_{ij}^C = T_{ij}' (1 - y_{ij}) = k K_{ij} G_i^\alpha A_j^\beta t_{ij}^{-\tau} (1 - y_{ij}) \dots\dots\dots (3)$$

$$T_{ij}^M = T_{ij}' \cdot y_{ij} = k K_{ij} G_i^\alpha A_j^\beta t_{ij}^{-\tau} y_{ij} \dots\dots\dots (4)$$

ただし、 t_{ij} はゾーン間平均所要時間で、自動車とマス・トラの所要時間の加重平均である。 y_{ij} はゾーンペア (i, j) のマス・トラ分担率である。式 (1) における p_{ij}^C , p_{ij}^M を式 (3), (4) で予測される T_{ij}^C , T_{ij}^M を用いて表わして、

$$p_{ij}^C = T_{ij}^C / T \dots\dots\dots (5)$$

$$p_{ij}^M = T_{ij}^M / T \dots\dots\dots (6)$$

とする。これを式 (1) に代入すると、次式を得る。

$$W = \frac{T!}{\prod_{i,j} (T_{ij}^C!) (T_{ij}^M!)} \cdot \prod_{i,j} \left\{ \left(\frac{T_{ij}^C}{T} \right)^{T_{ij}^C} \left(\frac{T_{ij}^M}{T} \right)^{T_{ij}^M} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

式 (7) の両辺の対数をとって、Stirling の近似公式を用いると次式を得る。

$$\begin{aligned} \log W = & \sum_{i,j} \{ -T_{ij}^C \log T_{ij}^C - T_{ij}^M \log T_{ij}^M \\ & + T_{ij} \log K_{ij} - \tau T_{ij} \log t_{ij} \\ & + T_{ij}^M \log y_{ij} + T_{ij}^C \log (1 - y_{ij}) \} \\ & + \text{Constant} \\ = & \sum_{i,j} \{ -T_{ij} \log T_{ij} + T_{ij} \log K_{ij} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & - \tau T_{ij} \log t_{ij} \} + \text{Constant} \\ = & \sum_{i,j} \left(T_{ij} \log \frac{K_{ij}}{T_{ij} t_{ij}^{-\tau}} \right) + \text{Constant} \end{aligned}$$

ここで、次式 (8) を定義する。

$$F = \sum_{i,j} \left(T_{ij} \log \frac{K_{ij}}{T_{ij} t_{ij}^{-\tau}} \right) \dots\dots\dots (8)$$

したがって、同時生起確率最大の交通手段別分布交通量を求めるためには、上式 (8) で与えられる F を最大にするゾーン間交通量 T_{ij} を求めればよいことになる。

ただし、 T_{ij} は次の条件式を常に満たしていなくてはならない。

$$\sum_j T_{ij} = G_i \dots\dots\dots (9)$$

$$\sum_i T_{ij} = A_j \dots\dots\dots (10)$$

また、式 (8) の t_{ij} は、前にも述べたように T_{ij} の関数であり

$$t_{ij} = f(T_{kl}; k, l = 1, \dots, n)$$

と表わせる。

いま、 t_{ij} がゾーン i, j 間で定数である場合について、条件式 (9), (10) のもとで、目的関数 F を最大にする T_{ij} を Lagrange の未定乗数 λ_j, μ_i を用いて求めると以下のようになる。

$$\begin{aligned} L = & \sum_{i,j} \left(T_{ij} \log \frac{K_{ij}}{T_{ij} t_{ij}^{-\tau}} \right) - \sum_i \mu_i (\sum_j T_{ij} - G_i) \\ & - \sum_j \lambda_j (\sum_i T_{ij} - A_j) \dots\dots\dots (11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial T_{ij}} = & \log \frac{K_{ij}}{T_{ij} t_{ij}^{-\tau}} + T_{ij} \frac{T_{ij} t_{ij}^{-\tau}}{K_{ij}} \\ & \cdot \left(- \frac{K_{ij}}{T_{ij}^2 t_{ij}^{-\tau}} \right) - \mu_i - \lambda_j = 0 \\ & (i, j = 1, \dots, n) \end{aligned}$$

$$\therefore \log \frac{K_{ij}}{T_{ij} t_{ij}^{-\tau}} - \mu_i - \lambda_j = 1$$

$$\therefore T_{ij} = e^{-\mu_i - 1} \cdot e^{-\lambda_j} \cdot K_{ij} \cdot t_{ij}^{-\tau}$$

ここで、 $e^{-\mu_i - 1} = \alpha_i$, $e^{-\lambda_j} = \beta_j$ とおけば、

$$T_{ij} = \alpha_i \cdot \beta_j \cdot K_{ij} \cdot t_{ij}^{-\tau} \dots\dots\dots (12)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \mu_i} = \sum_j T_{ij} - G_i = 0 \dots\dots\dots (13)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_j} = \sum_i T_{ij} - A_j = 0 \dots\dots\dots (14)$$

したがって、式 (12), (13), (14) を連立方程式として解けば、同時生起確率最大の分布交通量を求めることができる。いま式 (12) を (13) に代入すると式 (15) を得る。

$$\begin{aligned} G_i = & \sum_j K_{ij} \alpha_i \beta_j t_{ij}^{-\tau} \\ \therefore \alpha_i = & \frac{G_i}{\sum_j K_{ij} \beta_j t_{ij}^{-\tau}} \dots\dots\dots (15) \end{aligned}$$

式 (15) を式 (12) に代入すると、次式を得る。

$$T_{ij} = G_i \cdot \frac{K_{ij} \beta_j t_{ij}^{-\tau}}{\sum_l K_{il} \beta_l t_{il}^{-\tau}} \dots\dots\dots (16)$$

式 (16) は式 (13) を満足しているため、 β_j を式 (14)

を満足するように決めればよいことがわかる。式 (16) において、 $\beta_j = A_j^\beta$ とおいたものが、従来から用いられている修正重力モデルである⁹⁾。したがって修正重力モデルは、仮定したトリップの発生確率のもとで、最も起こり易い OD パターンを求めていることがわかる。

以上より、本研究の交通需要予測モデルは、制約条件式 (9), (10) および交通手段別分担、経路配分過程を考慮するという制約の下で、式 (8) で与えられる目的関数を最大にする独立変数 (分布交通量) T_{ij} を求めるという非線形最適化問題として定式化できることがわかる。

3. 結合モデルの計算法

前述のように、本研究で開発しようとする分布・分担・配分の各過程を考慮した交通需要予測モデルは、非線形最適化問題となり、厳密解を求めることはきわめて困難である。そこで、ここでは、この問題の近似解を得るための計算アルゴリズムを提案する。

この計算アルゴリズムは、配分計算法として用いられている分割配分法のシミュレーション的性格に着目し、これに分布・分担の両計算過程をも組み込んだものである。改良した点は、分割配分法において、繰り返しのたびに OD ペア間の最短ルートに配分される総自動車交通量はあらかじめ定められていたのに対し、本研究のアルゴリズムでは、この自動車交通量を次のようにして決定することである。まず、発生・集中交通量を増加させて分布・分担の両過程を計算し、次に、前段階と比べて増加した各 OD 間自動車交通量を OD ペア間の最短ルートに配分していく。また、本アルゴリズムは第 1 近似解を求める段階 (Phase 1) とそれを改良する収束段階 (Phase 2) とからなっている。

第 1 近似解を求めるための計算手順は次のとおりである。

① 各ゾーンの発生・集中交通量の初期値を実際の将来予測値より小さな値に定める。各 OD 間のマス・トラおよび自動車による平均所要時間は制限速度などを考慮して実情に近い値を仮定する。また道路網には、トリップエンドのうち少なくとも一方を対象地域外にもつ自動車トリップを配分しておく。

② すでに配分されているリンク交通量でリンク通過所要時間を計算し、この所要時間を用いて OD ペア間の最短ルートと OD 間自動車所要時間を計算する。

③ OD 間平均所要時間と各ゾーンの発生・集中交通量を用いて、修正重力モデルにより分布交通量を計算する。

④ マス・トラと自動車の OD 間所要時間を説明要因の 1 つとして利用し、マス・トラの分担率を決定する。

またマス・トラと自動車のゾーン間交通量を計算する。

⑤ 1 段階前の計算過程において得られた OD 間自動車交通量と④で得られたそれとを比較して、増加した自動車交通量を②で決定した OD 間最短ルートに配分する。

⑥ 発生・集中交通量が将来予測値と一致していれば計算を終了し、そうでなければ、発生・集中交通量を適当に増加させて②へ戻る。

以下で、このアルゴリズムの考え方を分布・分担・配分の各過程別に述べる。

(1) 分布交通量の予測

目的関数の式 (8) 中のゾーン間所要時間 t_{ij} を各ゾーンペアにおいて、それぞれ T_{ij} に無関係に一定とすると、その目的関数を最大にする分布交通量は、すでに述べたように修正重力モデルによって得られることがわかっている。したがって、このアルゴリズムにおいて、1 段階前の分担および配分過程の結果得られた t_{ij}^M , t_{ij}^C を用いて計算した t_{ij} から修正重力モデルで分布交通量を推計することは、目的関数を最大にする分布交通量の近似解を求めていると考えられる。

図-2 は、各段階の目的関数最大の解とこの近似解との関係を示したものである。横軸にあるゾーンペア (i, j) の OD 交通量 T_{ij} 、縦軸に目的関数式 (8) の F をとる。この場合、式 (8) は上に凸の形を示し、この頂点にあたる T_{ij} が真の解となる。図-2 ではこの関数形を実線で示す。ここで、本来 T_{ij} の関数である t_{ij} を定数として、前段階の分担・配分過程の結果から得られる値と仮定すると、発生・集中交通量 G_i, A_j が同じ値でも、この関数 F は多少異なったものになる。この形

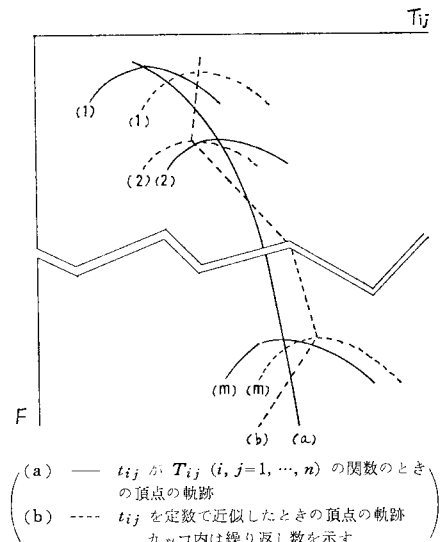


図-2 目的関数の形とその頂点の軌跡

を 図-2 に破線で示す。修正重力モデルは、この破線で示した関数の頂点に対応する T_{ij} を与えるのである。先に示したアルゴリズムの計算が進むにつれて、 G_i, A_j は大きくなっていく。 G_i, A_j が大きくなれば T_{ij} も大きくなり、 T_{ij} 全体が大きくなれば F は小さくなる。したがって、計算が進むにつれて 図-2 の 2 つの山は図の右下の方向に移動していく。このとき 2 つの山の頂点が描く軌跡は 図-2 の 曲線 (a),(b) のようになると考えられる。この 2 つの軌跡がどのような関係になるかは後に検討する。

(2) 機関別分担率の予測

機関別分担率の将来予測は分布交通量と同様に、1段階前の配分過程で道路ネットワークに配分されている交通パターンから、マス・トラおよび自動車の OD 間所要時間 t_{ij}^M, t_{ij}^C を求め、これらを分担率の予測に用いる。分担率予測モデルとしては、前述のように、現在用いられているモデルのほとんどが利用できる。

マス・トラとしては鉄道とバスだけを考える。鉄道の OD 間所要時間 t_{ij}^R は常に一定とし、バスの t_{ij}^B はバス路線となっている道路の自動車交通量の影響を受けることにする。マス・トラの OD 間所要時間 t_{ij}^M は両ゾーンのセントロイド間の所要時間とする。 t_{ij}^M は、鉄道乗車時間 t_{ij}^R 、バス乗車時間 t_{ij}^B の他に待ち時間、乗り換え時間、および端末手段としての徒歩時間を考慮する。

(3) 配分交通量の予測

先に示したアルゴリズムにおける配分過程は、自動車の OD 交通量の増加量 $\Delta T_{ij}^C (i, j=1, \dots, n)$ をその段階における最短ルートに配分していくものである。これは最終的に得られる結果が等時間原則を満たしていることを期待するものである。最短ルートは、1段階前の配分結果によるリンク交通量から計算したリンク通過所要時間 t_k^L を用いて決定する。

t_k^L の初期値としては、あらかじめ各リンクに予測対象地域外からの流入自動車交通と通過交通を配分しておき、この結果得られる t_k^L を利用する。この流入および通過交通を配分する方法としては次の 2 とおりが考えられる。

㊸ 本研究で用いるように、流出入および通過交通はあらかじめ配分しておく。

㊹ アルゴリズムの ㊸ の過程で、各 OD 交通量とともに配分する。

㊹ の方法を用いると、㊸ の場合と比較して、アルゴリズムの反復のたびに増加するリンク通過所要時間の増加量が大きくなる。そ

のために分布・分担の両過程を計算する際の $t_{ij}, t_{ij}^M, t_{ij}^B (i, j=1, \dots, n)$ の変動が大きくなり、この予測精度が低下すると思われる。また、遠距離交通は一般に一定の道路を利用する傾向が強いので、本研究では ㊸ の方法を採用したのである。

ところで、この予測モデルでは例外的に ΔT_{ij}^C が負になる場合がある。これは発生・集中交通量が増加しても、その前段階の配分の結果、 t_{ij}^C が急増していること、分布・分担の両過程の計算によって、自動車交通量が前段階より減少する OD ペアが生じるためである。この場合、その OD ペアでは前段階において配分したルートから減少分を差し引くことにする。このようにある段階で ΔT_{ij}^C が負になった OD ペアは、次の段階では $\Delta T_{ij}^C > 0$ となると考えられる。この理由は次のとおりである。 ΔT_{ij}^C が負になると、 (i, j) 間のルートとなっているリンクは所要時間が小さくなるか、または増加しても他のリンクに比較して増加量は小さいと考えられる (ΔT_{ij}^C が減少しても、そのルートを構成するリンクが他の OD ペアのルートにもなっている場合は、そのリンクの所要時間が増加することもある)。したがって、 (i, j) 間のトリップはしやすくなり、さらに発生・集中交通量も増加しているので、分布・分担の両計算の結果 (i, j) 間の自動車交通量 T_{ij}^C は増加するのである。

次に、自動車の交通量と所要時間の関係を考える。リンクの交通量-所要時間曲線は増加関数になるが、この形が下に凸か凹かによって計算の精度に大きな影響を与える。このアルゴリズムでは、計算が進むにつれて交通量を増加させていく。したがって、所要時間 t^M, t^C も増加するわけであるが、計算が終了する頃に t^M, t^C の増加率が小さくなる方が、この計算法全体の計算精度には都合がよい。このためリンク交通量 T_k^L とリンクの所要時間 t_k^L の関係は、下に凹関数であることが望ましい。しかし実際には、リンク交通量 T^L -速度 V^L 曲線が 図-3 のような形になり、この場合の T^L - t^L 曲線は 図-4 のようになる。一般に交通需要予測の配分計算の T^L - V^L 曲線には 図-3 の AV_{\max} の曲線を用い

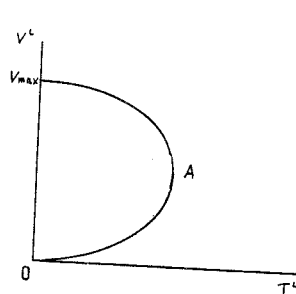


図-3 リンクの交通量 T^L -速度 V^L 曲線

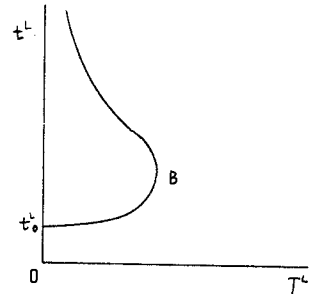


図-4 実際のリンクの交通量 T^L -時間 t^L 曲線

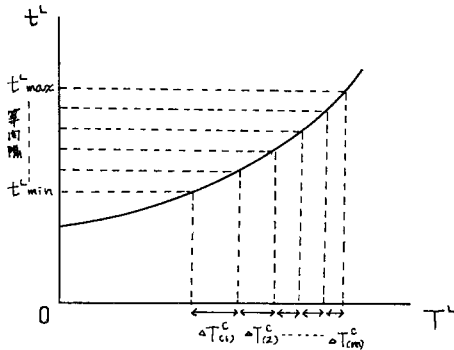


図-5 リンク交通量 T^L -時間 t^L 曲線と分割幅

る。これは T^L-t^L 曲線においては、 B_0^L にあたる。 B_0^L は下に凸関数であり、前述のとおり計算精度上都合が悪い。しかし、 T^L-t^L 曲線が凸関数になることによる精度の低下は、アルゴリズムにおいて発生交通量の分割方法を考慮することで補正できる。この補正は図-5に示すように、計算の初期は配分される交通量の増加量を多くし、計算が進むにつれて減少させていくようにする⁷⁾。この点については、後に詳しく述べる。

交通量配分における交通の発生・集中は、一般に各ゾーンに1つのセントロイドを設け、ここで発生・集中をさせる。しかし、ゾーンに1つの発生・集中点を与えるだけでなく、いくつも設けた方が計算精度は向上する。ただし、自動車によるゾーン間所要時間は、これらの発生・集中ノードペア間の所要時間の平均を与えるようにする必要がある。

本研究のモデルでは、配分計算の結果が分布・分担の計算精度にも影響を与えるために、配分計算はなるべく精度を高くする必要がある。

なお、本モデルの計算法は、モデルの第1近似解を求めるPhase 1の段階とこれを改良して最適解を求めるPhase 2の段階からなっている¹³⁾。Phase 1では前記の①から⑥の手順をそのまま使い、Phase 2では後述の図-11に示すような収束計算法を用い、その一部に②から⑥の手順を用いている。ここではPhase 2の説明を省略する。

4. 名古屋市への適用例

本研究で開発した予測モデルを名古屋市における交通ネットワークに適用し、昭和46年の交通需要を推定してみた。これは本モデルの実用化における問題点を検討するため、主に予測結果の実績値への適合度の検討に重点をおいた。

データは特に断わらない限り、昭和46年10月に行われた中京都市群パーソントリップ調査の名古屋市にお

るものを用いた。また交通量としては全目的、終日値を用いる。

なおゾーン内交通に関しては、分布交通量および手段別分担率として実績値をそのまま用いた。また配分は異なるゾーン間のトリップのみを配分している。これはゾーン内トリップは所要時間のきわめて短いものから比較的長いものまであり、これを1つの所要時間で代表させることが難しいこと、配分においてはセントロイド内の配分ということができないことなどという理由による。

(1) 計算にあたっての仮定事項

a) 発生交通量について

対象地域は、中京都市群パーソントリップ調査で用いられた名古屋市B分割の16ゾーンとする。これらのゾーンは現在の名古屋市16区とほぼ一致している。セントロイドとしては、各ゾーンの交通の発生・集中の中心と考えられる主要交差点および区役所などを選定した。

b) 分布交通量について

分布交通量は修正重力モデルで計算する。ここで必要なゾーン間調整係数 K_{ij} ($i, j=1, \dots, n$) は調査の結果得られた t_{ij} , G_i , A_j , T_{ij} より決定する。また、 r は分布交通量の分析結果に基づき2.06⁸⁾とした。

c) 手段別分担について

対象地域である名古屋市の交通体系を概観すると、鉄道網は粗であり、道路網、バス網は密になっているが偏在している。これはゾーン相互間の交通施設特性の違いが大きいことを示している。また、1つのゾーンに着目しても方向によって交通施設の整備状況が異なる。よって数種類ある手段別分担率モデルの中でゾーンペア間の特性を最もよく説明し得るゾーンペアモデルを用いることにする。

次にマス・トラ分担率を決定するための説明要因を考える。トリップは全目的のものを終日値で扱うため、各ゾーンの特性のうち居住者の属性に関するものは考えられない。そこでゾーン内の路線密度、駅密度などの交通施設の属性と比較的高い相関⁹⁾をもつ昼間人口密度をゾーン特性の代表として取り上げる。またゾーンペア間の特性としては交通手段別所要時間を考えるが、変数としてはその比 r を用いる。これは中京都市群パーソントリップ調査による時間差よりも時間比の方が分担率との相関が高い¹⁰⁾という結果に従ったものである。なお時間比-分担率曲線を図-6¹¹⁾に示す。

ここで用いる所要時間は、マス・トラ、自動車ともセントロイド間の移動に要するもので代表させる。自動車交通の所要時間は配分計算の結果を用いる。マス・トラは、鉄道とバスの組み合わせとしてゾーンペアごとに手段と経路を固定する。マス・トラの交通量はマス・トラ、

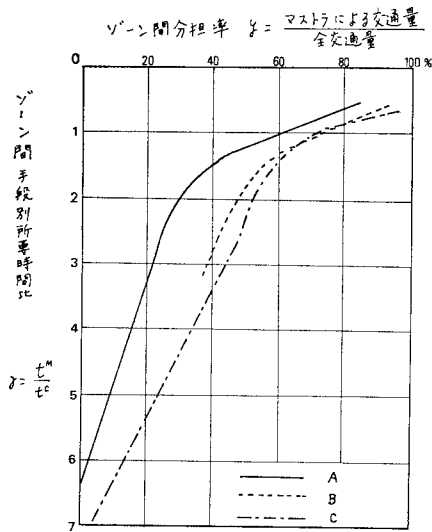


図-6 分担率曲線

表-2(a) 徒歩アクセス時間

鉄道・バス駅とセントロイド所在地・番号	アクセス時間(分)
鉄道・バス駅がセントロイドと一致しているとき	4
東片端・72 ——— 平田町・4	10
赤塚・66 ——— 平田町・4	10
末盛通・7 ——— 覚王山・⊗	5
本笠寺・26 ——— 寺部通・15	10

表-2(b) 待ちおよび乗り換え所要時間(分)

M(名鉄)	S(地下鉄)	- (バス)	
6	4	5	待ち時間
-	10	10	M(名鉄)
	4	10	S(地下鉄)
		10	- (バス)

自動車のいずれの所要時間にも影響を与えないものとする。

バスは、市営バスのうちで運行回数が片道 50 本以上の系統だけを考える。市電はバスと同じ扱いとする。都市部においてバスの平均区間速度を 15 km/h、自動車の平均区間速度を 20~25 km/h⁹⁾ と仮定し、これからリンク通過に要するバスの所要時間は自動車の 1.4 倍と仮定した。

鉄道の所要時間は常に一定とした。徒歩によるアクセス、待ち時間、乗り換え時間も固定した。これらは表-2(a),(b) に示す。ただし、待ち時間は行きと帰りで最初に乗る交通機関が異なる場合、 t_{ij}^M と t_{ji}^M が異なってくる。ここでは、トリップは終日値を扱うため、 t_{ij}^M と t_{ji}^M が異なると T_{ij}^M, T_{ji}^M が異なってくる都合が悪い。そのため、行きと帰りで最初に乗る交通機

表-3 ゾーン間(鉄道+待ち+のりかえ+徒歩)所要時間

(単位: 分)

1. 西	2. 北	3. 守山	4. 東	5. 中村	6. 中	7. 千種	8. 猪高	9. 中川	10. 昭和	11. 熱田	12. 瑞穂	13. 大白	14. 港	15. 南	16. 緑	ゾーン
	13.0	30.5	24.0	18.0	13.0	30.5	41.5	18.0	18.0	13.0	43.0	45.0	33.5	45.5	43.5	1
		30.0	29.0	31.5	18.0	31.0	41.0	39.5	28.5	36.5	34.5	37.5	37.0	51.0	49.0	2
			19.0	59.5	40.0	44.0	54.0	59.5	30.5	50.5	30.5	35.5	47.0	73.0	71.0	3
				18.0	13.0	29.5	39.5	44.0	18.0	40.0	33.0	18.0	37.5	55.5	53.5	4
				13.0	36.5	46.5	23.0	18.0	43.0	43.0	45.0	52.5	45.5	43.5	5	5
					21.0	31.0	33.5	13.0	30.5	27.5	13.0	27.0	45.0	43.0	6	6
						24.0	46.5	26.5	43.5	26.5	18.0	40.0	18.0	56.0	7	7
							56.5	36.5	53.5	36.5	36.5	50.0	68.0	66.0	8	8
								23.0	18.0	18.0	44.0	36.5	44.5	42.5	9	9
									18.0	13.0	18.0	36.5	13.0	37.5	10	10
										18.0	23.0	13.0	35.5	33.5	11	11
											18.0	31.5	23.0	27.5	12	12
												47.5	18.0	31.5	13	13
													23.0	37.0	14	14
														24.0	15	15

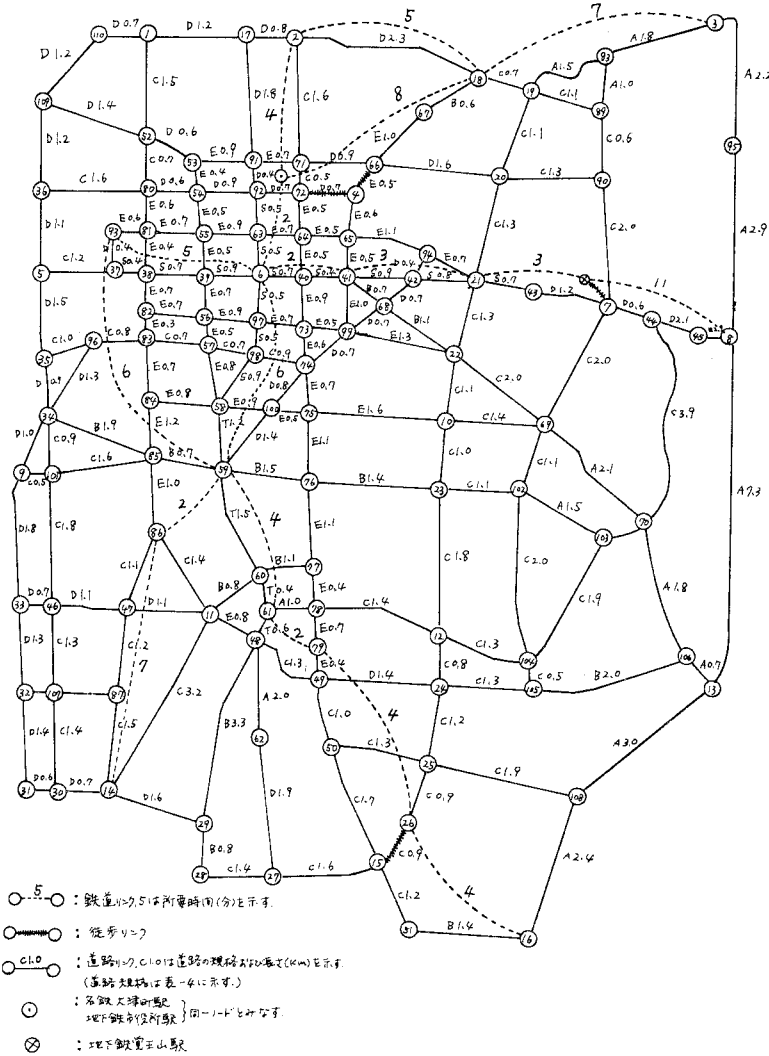


図-7 交通ネットワークとその規格およびリンク長

関が異なる場合は、この往復の待ち時間の平均をとる。またこれらの歩行時間、待ち時間、乗り換え時間をゾーンペアごとに鉄道所要時間に加算したものを表-3に示

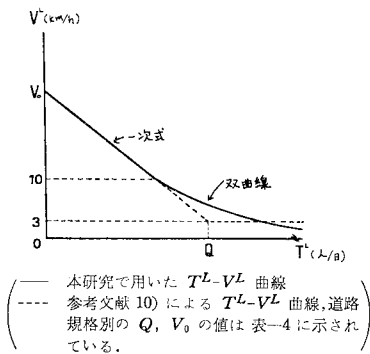


図-8 リンクの交通量 T^L -速度 V^L 曲線

す。

d) 自動車交通量配分について

自動車としては乗合バス以外の全車種を考える。また一台当たりの乗車人数は 1.4 人⁹⁾とする。名古屋市内への流出入交通および通過交通は、5 分割の分割配分で各リンクに配分しておいた。また、名古屋市交通ネットワークとその規格およびリンク長を 図-7 に示す。図-8 は、道路規格別の交通量-速度曲線である。この曲線は、参考文献 10) で示されていたものを計算結果の精度、および現実の道路交通状況を考慮して修正したものである。

なお、道路ネットワークにおける自動車交通の流出入は各ゾーンのセントロイドだけで行う。ネットワーク中のセントロイドの位置は 図-7 のノード 1~16 である。

(2) 計算結果とその考察

前述の仮定のもとに、分割数を 10 として計算を行った結果は次のとおりである。OD 交通量の予測値と実績値の関係を 図-9 に、マス・トラ分担率のそれを 図-10 にそれぞれ示す。

OD 交通量の予測値と実績値との間の相関係数は 0.924、マス・トラ分担率のそれは 0.340 であった。このことから、ゾーン間交通量は実績値と非常によく適合しているが、分担率の適合性はかなり低いといえる。分担率の適合性がかなり低いのはこの推定に用いた 図-6 の時間比-分担率曲線の適合性がかなり低いことがその主な原因である。事実この場合の自動車分担率と時間比との

表-4 道路規格別の Q, V_0 の値

規格	車道代表幅員 (両方向m)	V_0 (km/h)	単位幅当り交通量 (台/m/日)	Q (人/日)
A	7	45	3 100	30 380
B	12	50	3 750	63 000
C	17	50	4 020	95 676
D	22	55	3 200	98 560
E	30	55	2 930	123 060
S	50	55	2 930	205 100
T	60	55	2 930	246 120

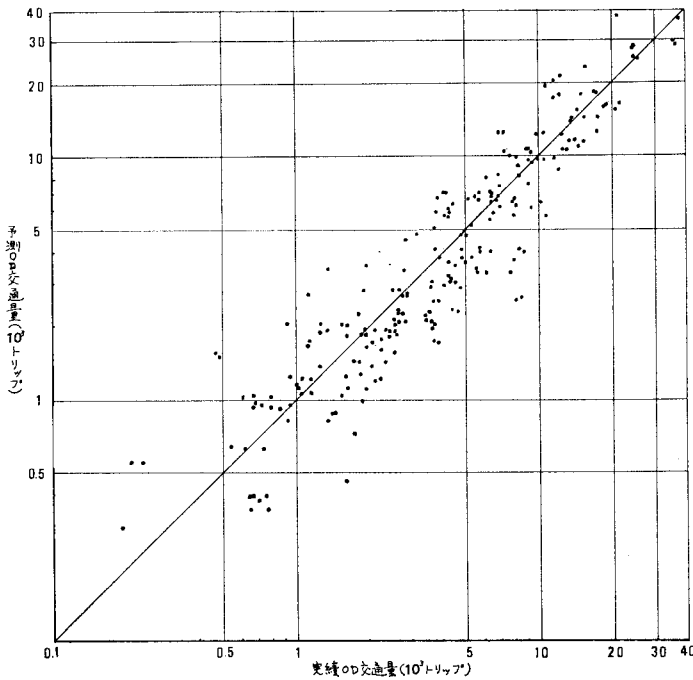


図-9 OD 交通量の予測値と実績値の比較

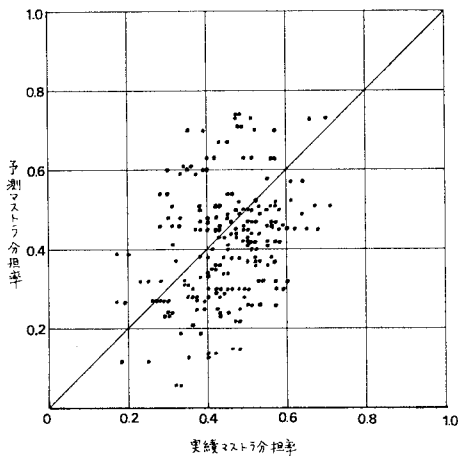


図-10 マス・トラ分担率の予測値と実績値の比較

単相関係数は -0.313 であり¹²⁾、図-6 の曲線の実績値への適合性は高くない。一般に時間比あるいは時間差とマス・トラ分担率の回帰曲線では、分担率を十分説明しきれない場合が多い。この計算例では、時間比-分担率曲線をさらに直線近似しているため、特に分担率の適合性が悪くなったと考えられる。なお、分担率は分布過程で用いるゾーン間平均所要時間に影響を与えるため、分担率決定にもっと精度の高い予測方法を用いれば、分布交通量の予測精度がさらに向上すると考えられる。

この計算結果において、分担率の精度が悪くても分布交通量の予測精度が比較的良好なのは、交通量が多く

線で $Q-V$ 曲線の勾配が比較的ゆるくなった部分に達しており、自動車交通量の変化が自動車による所要時間をあまり変化させない状態となっているためと考えられる。

なおこの計算結果は、Phase 1 の結果を初期値として繰り返し計算によって解を改良収束させることを試みたものである。この収束計算の手順は、図-11 に示すとおりである。この繰り返し計算の結果、繰り返し回数 11 回で OD 交通量の各 OD ペアの誤差の平均が 0.1% 以下になるまで収束させることができた。図-11 の手順の第 6 ステップで、OD 間平均所要時間をその前の 2 回の計算結果の平均とするのは、その回の計算結果をそのまま使うと、所要時間の補正が大き過ぎて結果が振動し、収束が難しくなるためである。

ここで提案した交通量予測法と、通常

の四段階推定法とを、1 時点の交通量予測に適用した場合の推計精度を比較する

- ① 分布交通量に関しては、修正重力モデルを用いる通常の方法では実績値に一致するが、本法では多少の誤差が生ずる。
- ② 分担率の予測に関しては、通常の方法では交通手

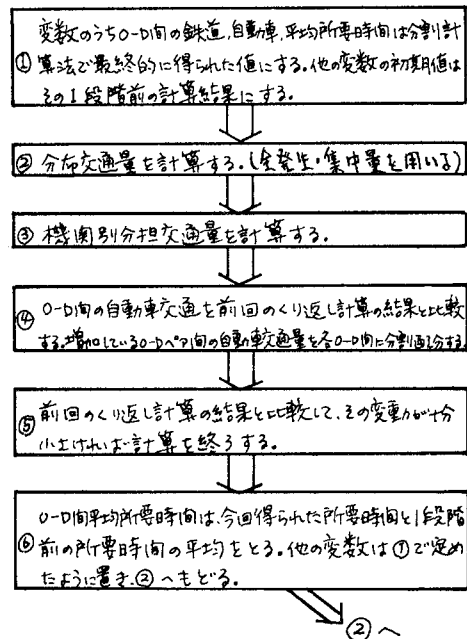


図-11 収束計算の手順

段別所要時間の予測精度が分担率の予測精度を左右するが、本法では $Q-V$ 曲線の実態に対する適合性が予測精度を左右する。

- ③ 配分交通量に関しては、通常の方法では分担率の予測誤差が直接配分交通量の誤差となり得るが、本法では分担-配分過程が連結されて分割計算のたびに分担過程と配分過程が相互にお互いを制御する構造になっているので、両過程間で誤差を小さくする機能が働いていると考えることができる。

以上を総合すると、本法の交通量の予測精度は、従来の方法によるものには劣らないと考えられ、従来の各段階間のフィードバックを考慮しない方法では、段階間における予測値の整合性が保証されないのに対して、本法では各段階の予測値の整合性が保たれているという利点もあり、本法の方が従来の方法より優れた点も持っているといえよう。

5. 予測精度の検討とモデルの改善法

ここでは、本研究の予測モデル自体の予測精度に関する特性を検討し、精度向上のためのモデルの改善法について考察する。

(1) 交通量と所要時間の関係について

本研究における目的関数式 (8) の t_{ij} ($i, j=1, \dots, n$) は、 T_{kl} ($k, l=1, \dots, n$) の関数であるが、先に示した計算アルゴリズムでは、この t_{ij} を1段階前の T_{kl} に対応する値で置き換えている。ここでは、この置き換えによる精度への影響を分布・分担・配分の段階別に検討する。

a) 分布交通量推計について

分布交通量推計において、各ゾーン間の平均所要時間 t_{ij} ($i, j=1, \dots, n$) が影響を与えるのはその絶対値ではなく、 t_{ij} が各 OD ペア間でどのような相対比率になっているかである。これは本モデルにおいて、 t_{ij} を $t_{ij} = \eta t_{ij}$ と置き換えても、結果はまったく変わらないことから理解できよう。

1段階前の t_{ij} を用いることによって生じる誤差は、代用した t_{ij} ($i, j=1, \dots, n$) の相対比率と本来の t_{ij} ($i, j=1, \dots, n$) の相対比率に差があることによって生じる。すなわち、ゾーンペアごとに t_{ij} の増加率が異なることが原因となる。各 OD ペアの t_{ij} の増加率が異なる原因としては次の2つが考えられる。

- ① 各ゾーンのマス・トラ分担率の違いによるもの
 - ② マス・トラの中で鉄道の比率がどの程度を占めるかによるもの
- ① に関しては、マス・トラの所要時間は一般に自動車

の所要時間に比べて交通量の変化に対し反応が鈍い。また、②に関しては、鉄道の所要時間が一定なのに対し、バスの所要時間はバス路線を通る自動車交通の影響を受けるため、マス・トラ内でも鉄道とバスの依存率の違いの影響がある。したがってマス・トラ分担率が低く、マス・トラの中でもバスへの依存率が高い OD ペアほど t_{ij} の変化は大きく、逆にマス・トラ分担率が高く、鉄道への依存率も高い OD ペアほど t_{ij} の変化は小さいといえる。この影響は t_{ij} の増加が特に大きいゾーンペアと特に小さいゾーンペアで大きく現われてくる。この所要時間を1段階前の配分過程の結果より求めることによる誤差を先に述べたように、正しい解と近似解との軌跡相互間の大きさとしてとらえる。図-2において2つの軌跡が、計算の進行に伴って離れていくと、計算の精度上都合が悪いが、収束あるいは一定の距離に収まっていれば差し支えないと考えられる。

ここで、ある段階の計算において、ゾーンペア (i, j) 間の交通量 T_{ij} が実際より多少小さく計算されたとする。するとこの (i, j) 間のルートでは他の OD ペアに対し、交通量の増加が小さくなるものと考えられる (ただし、1つの OD ペア間のルートは、他の OD ペアのルートも兼ねるため、常にこのようになるとは断言できないが、概略的に考えればこのようになる)。したがって、この (i, j) 間所要時間 t_{ij} の増加率も小さくなり、次の分布交通量推定の際には、 T_{ij} は多少過大に推計されよう。よって全体的に考えると前に述べた正解と近似解の軌跡の距離は、ある一定の距離内に収まると考えられる。このことを確認するために、簡単な仮定のネットワークをもつ計算例を本モデルによって解いてみたところ、正解と近似解との誤差は一定範囲内におさまることがわかった¹¹⁾。

ここで述べた原因による誤差は、分割数を大きくすることによって小さくすることができる。ただし、この分布過程における誤差は、 t_{ij} が t_{ij}^M と t_{ij}^C の加重平均をとるために、後で述べる分担過程に与える誤差よりは小さくなると考えられる。

b) 機関別分担率推計について

ゾーン間のマス・トラ分担率は、マス・トラの所要時間と自動車の所要時間との比 (t_{ij}^M/t_{ij}^C) の関数で示した。この機関別所要時間を1段階前の計算で得られる交通パターンから求めて分担率推定の要因とすることによる誤差は次のようになる。交通量増加に対して、鉄道の所要時間は一定としているので、マス・トラによる OD 間所要時間はあまり増加しない。これに比較して自動車による所要時間の増加量は大きい。したがって、1段階前の計算結果から求めた t_{ij}^M 、 t_{ij}^C を用いることは、特に t_{ij}^C を過小評価していることになり、自動車のト

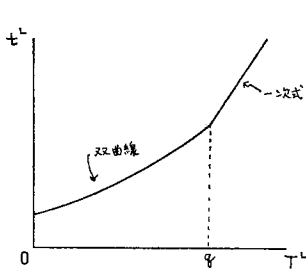


図-12 リンクの交通量 T^L -時間 t^L 曲線

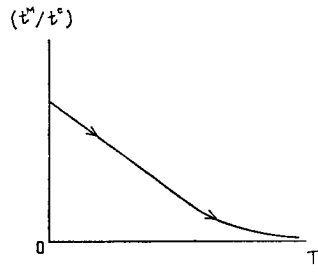


図-13 全交通量 T -時間比 (t^M/t^C) 曲線

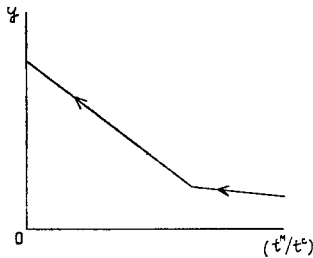


図-14 時間比 (t^M/t^C) -分担率 y 曲線

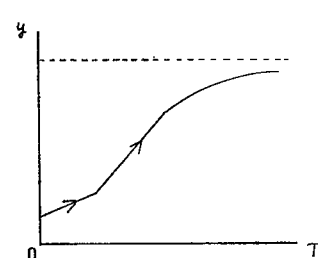


図-15 全交通量 T -分担率 y 曲線

リップを実際よりも有利と判断することになる。この結果、マス・トラの分担率は常に実際より小さくなる傾向にある。本研究の計算アルゴリズムは、交通量全体を徐々に増加させていくものであるが、この交通量全体の増加と分担率 y_{ij} の関係を次に概略的に検討する。

名古屋市の適用例で用いたリンクの交通量 T^L -速度 V^L 曲線は前述のように 図-8 で与えられているが、図-12 は T^L - V^L 曲線が 図-8 で表わせる場合のリンク交通量 T^L -所要時間 t^L 曲線を示す。この関係はすべてのリンクにあてはまるので、全交通量 T と任意のゾーンペア (i, j) のマス・トラと自動車の時間比は 図-13 のようになると考えられる。これを概略的に説明すると次のようになる。全交通量 T の増加量と各リンク、および OD 交通量の増加量とはほぼ線形関係にあると考えてよい。一方、 (t_{ij}^M/t_{ij}^C) は t_{ij}^C が分母にあるので、その逆数つまり V_{ij} に比例することになる。 V_{ij} は (i, j) 間の自動車の平均速度である。この V_{ij} と T の関係は個々のリンクにおける T^L - V^L の関係と類似して考えると考えられる。したがって、図-13 の全交通量-時間比曲線は、図-8 の T^L - V^L 曲線の関数形と類似してこよう。図-14 は、4. で用いた時間比-分担率曲線を示したものである。図-13 と 図-14 から全交通量 T -分担率 y_{ij} 曲線を求めたものが、図-15 である。グラフの矢印は、計算の進行によって進む方向、すなわち、全交通量 T が増加することによって進む方向を示している。ここで T が大きくなり、 y_{ij} が 1 に近づくと、図-13 の曲線部の影響により、 T - y_{ij} 曲線は凹曲

線になる。この凹曲線部分は、全交通量がこの程度になると、交通量が容量に近づいたリンクが生じてくることによってできるものである。分担率 y_{ij} を 1 段階前の交通パターンから求めると、実際よりも過小評価されることは 図-15 より改めてわかる。この誤差は計算が終了するときの T における dy/dT が大きいほど大きくなる。

以上より、分担過程の誤差も分布過程における誤差と同様に、分割数を大きくすることによって小さくできることがわかる。

c) 配分交通量推定について

1 段階前の交通パターンから求める所要時間を利用することによって生じる t_{ij}^C への影響は、一般の分割配分法とほぼ同じである。異なる点は、各 OD 間自動車交通量の増加量が分布・分担の両過程の結果得られるという点だけである。したがって分割配分法そのものに関する予測精度の検討は他書に譲ることにして、ここでは配分

計算の結果が分布・分担過程に与える影響を考察する。

配分計算の結果は、自動車およびマス・トラのゾーン間所要時間の形で、分布・分担の両過程に影響を与える。ここで特に問題になるのは、3. でも述べたようにリンクの交通量-時間曲線が下に凸関数であることである。これはリンク交通量が容量に近づくと、その所要時間が急増することになる。この影響としては、計算が終了する時点で所要時間の変化量が最も大きくなるため、計算精度上都合が悪いだけでなく、次のような問題を引き起こすことがある。それは交通量が容量近くになっているリンクがバス路線となっている場合である。このリンクの所要時間が急増した場合、自動車交通は他のルートへ迂回できるが、バス路線は固定されているため、このリンクの所要時間の増加はそのままバスの所要時間の増加となり、分担率に大きな影響を与えることになる。このような問題を避けるために次の 2 点に注意する必要がある。

④ リンク交通量-所要時間曲線にあまり大きな勾配が現われないように、リンク交通量-速度曲線を決める。ただし、現実との整合性を失わないように配慮しなくてはならない。

⑤ アルゴリズムにおける分割数を大きくする。

④ は所要時間の急増を避けるための直接的な対策である。4. の名古屋市への適用例で T^L - V^L 曲線を参考文献 10) のものを若干改良して用いたのはこの点を考慮したからである。⑤ は分割数を大きくすることによって、各段階ごとにリンクに配分する交通量を少なくし、交通

をなるべく多くのリンクに分散させることによって所要時間の急増を避けるものである。

d) 交通量の分割方法について

a), b), c) で述べたように、ここで取り上げた問題のほとんどは、アルゴリズムの分割数を大きくすることによって解決できる。しかし分割数を大きくすると、それに比例して計算時間も増加する。また種々の変数値は、最終結果のみが必要であって、その計算過程は不要である。このことから、分割方法を工夫することによって、結果的に分割数を大きくしたと同じ効果を得ることができないかということを検討する。

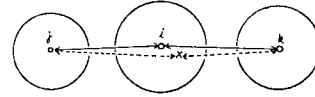
分割方法は直観的に考えて、発生・集中交通量の増加量を計算の最初は大きく、徐々に小さくなるようにすることが適切と考えられる。ただし、このような分割方法を極度に行くと分割配分法のもっている等時間原則の近似解という性質を失わせることになる。たとえば、ゾーン間に2つのルートがあり、容量の小さいルートの方がわずかに距離が短い場合を考える。ここで第1回の分割幅をこのOD間に配分する交通量の半分以上にしたような場合、容量の小さいルートに過半数の交通量が流れることになり、この配分の結果は等時間原則を満足しなくなるからである。

本研究では、この配分交通量の漸減方法を本節 a) で述べたリンク所要時間の増加量が一定になるように補正するという形で用いる。ここで各リンクの交通量の増加は、発生・集中交通量の増加に比例しているものと考えられる。このとき、あるリンクの走行時間の増加量を一定にするための方法は図-5に示すとおりである。ここでトリップエンドのうち、少なくとも一方を対象地域外にもつトリップを、あらかじめ各リンクに配分しておくが、 t_{\min}^L はこの交通量に対応する所要時間である。また t_{\max}^L は最終的にそのリンクに配分される交通量を予測して決定しておく。次に、 t_{\max}^L と t_{\min}^L の間を m 等分し、これに対応するように交通量の増加量を決定する。対象とするリンクは、その交通量が最も容量を超える可能性が高いリンクを選ぶ。ただし、ここで決定された交通量増加量が分割配分法のもつ等時間原則の近似解法としての性質を失わせる可能性がある場合は、これに修正を加えねばならない。

4. の名古屋市への適用例で用いた分割方法はこのようにして決定したものであり、対象にしたリンクは図-7のリンク(3,83)である。

(2) セントロイドの与え方について

セントロイドは、各ゾーンのトリップの発生・集中点になっている。本研究の予測モデルでは、このセントロイドの与え方は分布・分担・配分のすべての過程の計算



(○: セントロイド ×: 仮のセントロイド)

図-16 セントロイドの位置とトリップ長

結果に影響を及ぼす。これを各過程ごとにまとめると次のようになる。

① 分布過程：

各ゾーンにセントロイドを設置する場合、これをゾーンのどの位置にするかによって分布交通量の推計結果が変わってくる。以下 図-16 を用いて説明する。 i, j, k の各ゾーンのセントロイドを図中の○印で示す位置に置いたとき、正しい結果が得られると仮定する。ここでゾーン i のセントロイドを×印の点に移したならば、ゾーンペア (i, j) の所要時間はより大きく、 (i, k) の所要時間はより小さく計算される。したがって、重力モデルで分布交通量を求めると、ゾーン (i, j) 間の交通量は過小に、 (i, k) 間の交通量は過大に計算されることになる。

分布交通量推定における所要時間は、前にも述べたように、それが各ゾーンペア間でどのような比率になっているかが重要である。セントロイドの位置の違いが、この各ゾーンペアの相対的比率に与える影響は、距離的に位置の近いゾーンペアにおいて大きくなると考えられる。4. に示した適用例において計算された分布交通量の実績値との適合性をみると、ゾーン内交通を除くすべてのゾーンペア(240組)では相関係数が0.924、ゾーンが隣り合っているものを除いた170組のゾーンペアでは相関係数が0.951となった。このことから、この適用例でも距離の短いゾーンペアにおいて、セントロイドの位置のとり方が影響していることがわかる。

② 分担・配分過程について：

セントロイドは、そのゾーンのすべての交通の発生・集中を行う場所である。したがって、セントロイドに接続するリンクに、交通が集中することになる。これは交通量配分において、各リンクの交通量に偏りを生ずると同時に、バス路線となっているリンクに多数の交通量が集中した場合は、そのゾーンに関係するマス・トラの所要時間にも大きな影響を与える。

また、自動車の発生・集中点が各ゾーンに1つしかない場合、分担率を計算するために、マス・トラの所要時間も自動車と同じ条件で求める必要があるため、両ゾーンのセントロイド間で考えなければならない。すなわち、そのゾーンペア間のすべてのマス・トラによるトリップをこれらのゾーンのセントロイド間だけで代表させなければならない。よってゾーン間のセントロイドの位置のマス・トラの利便性の良し悪しが、そのゾーンのマ

ス・トラ分担率を決定することになる。

以上の①,②を考慮すると,各ゾーンのセントロイドは次の条件を満たしている必要がある。

- ④ セントロイドは,容量の大きなリンクがなるべく多く集まっているノードにする。
- ⑤ ゾーンの中でのセントロイドの位置は,ゾーンの地理的中心ではなく,ゾーン内のトリップ発生への偏りをも考慮して決定する。
- ⑥ ゾーンのマス・トラの利便性に関する特性をよく代表するところを選ぶ。

精度の向上をさらに図るためには,3.でも触れたように,ゾーン内の交通の発生・集中点を数多く設けるのがよい。ゾーン間のマス・トラ,自動車,および両者の平均所要時間はそのゾーンのセントロイドのすべての組み合わせによるペア間の所要時間をそれぞれ平均して用いればよい。ただし,計算時間はそれだけ長くなっていく。

6. ま と め

本論文では,分布・分担・配分の各過程を考慮した交通需要予測モデルを開発することによって,従来,個々に予測されていたこれらの3過程の予測結果をさらに精度の高いものにするための方法について述べた。ここで本研究をとりまとめ,成果を述べると次のようになる。

まず,本研究のような結合モデルに関する従来の研究を若干紹介した。

次に,本研究における分布・分担・配分の各交通量を予測するための考え方を述べるとともに,これらを一体として扱い,適切な交通量を予測するための結合モデルの定式化を行った。この結合モデルは,発生・集中交通量の条件式,および分担・配分過程を考慮するという制約条件のもとで,同時生起確率最大の交通手段別分布交通量を求めるというものである。そして,本研究の目的は,この定式化によって与えられた,Nonlinear Programmingの問題を解くことによって達成されることを明らかにした。

この問題の厳密解を求めることは難しいので,実用的な近似解を求めるPhase 1,2からなる計算手順を開発した。この計算法は,従来,交通量配分計算に用いられている分割配分法を改良することによって,分布・分担の両過程をも取り扱うことができるようにしたものである。この計算法が従来の分割配分法と異なるところは,第1近似解を求める段階とそれを改良する段階の2段階からなっていること他に,次の2点があげられる。

- ④ 各OD間の自動車交通量の増加量としては,発生・集中交通量を徐々に増加して,分布・分担の両

過程の計算を行い,その自動車交通量の増加量を配分する。

- ⑤ この増加量はあるODペアに対して負になる場合があるが,このときはそのODペアで前段階に配分したルートから減少分を差し引く。

そして,この計算法を名古屋市の交通パターン推計に適用し,その適合性を検討した。データは主に昭和46年の中京都市群パーソントリップ調査の結果を用いている。計算の結果得られた分布交通量およびマス・トラ分担率をその実績値と比較し,適合性を検討した結果,分布交通量の相関係数は0.924,分担率のそれは0.340であった。分担率の適合性が低いのは,この予測に用いた時間比-分担率曲線そのものの適合性がかなり低いためである。分布交通量の適合性はこの相関係数からみると非常に高いが,分担率予測法にもっと適合性の高い方法を用いれば,分布交通量の適合性もさらに上がると考えられる。

最後に,本研究の予測モデルの精度に大きく影響する要因をとり上げ,精度向上のためのモデルの改善方法について検討した。この要因としては次の2つが考えられる。

- ④ 分布および機関別分担交通量推定に一段階前の配分過程で得られる所要時間を用いている点
- ⑤ ゾーン全体から発生・集中しているトリップを1つのセントロイドから発生・集中させている点
- ⑥ については分割数を大きくしたり,分割方法を工夫することによって解決できる。⑥については現在の配分理論全体を通じていえることである。この問題の対策としては,セントロイドの位置をよく検討すること,あるいはゾーン内にトリップの発生・集中点をいくつも設けることがあげられる。

本研究の予測モデルの特徴として,さらに次の2つがあげられよう。

- ④ 計算時間が比較的短い。110ノード,194リンクのネットワークにおいて10分割で計算する場合,FACOM 230-75による演算時間は5分間で,FACOM M200では1分間以内である。
- ⑤ 計算アルゴリズムが比較的簡略であり,分布・分担過程で用いるモデルとして各種モデルの選択が可能である。

③については,分布モデルおよび分担率モデルの計算は,配分モデルに比較して計算時間が短いので,従来の分割配分法の計算と,本研究の計算アルゴリズムでは,分割数を同じにするなら計算時間は10%も違わない。また,⑥については分担率決定には経路モデルを除いてどんな予測モデルを用いても差し支えなく,説明要因も自由に取り入れることができる。また分布交通量推定

も他の予測モデルを用いることができる。ただし、この場合には同時生起確率最大という考え方をもったモデルとはいえなくなる。

また、本研究では発生・集中交通量はあらかじめ決定しておくものとして扱ったが、各ゾーン間のトリップ時間が短くなれば、そのゾーンの発生・集中交通量も増加すると考えられる。この予測モデルをさらに拡大して、発生・集中交通量予測をも一体として扱うことも可能であるが、この点は今後の課題としたい。

最後に、本研究の取りまとめは、河上が Humboldt 財団の奨学研究員として西独 Darmstadt 工科大学交通研究所に滞在中に行ったことを記し、同財団と Darmstadt 工大の Retzko 教授に深謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 1) Irwin, N.A. and H.G. Von Cube : Capacity Restraint in Multi-Travel Mode Assignment Programs, Bulletin No. 347, Highway Research Board, Washington, D.C. 1967.
- 2) 河上省吾・広島康裕・佐藤隆一：分布, 分担, 配分過程を考慮した交通需要予測方法, 土木学会第 30 回年次学術講演会講演概要集 第 4 部, pp. 172~173, 昭和 50 年 10 月.
- 3) Tomlin, A. : Mathematical Programming Model for the Combined Distribution-Assignment of Traffic, Trans. Sci. Vol. 5, pp. 120~140, 1971.
- 4) Florian, M., S. Nguyen and J. Ferland : On the Combined Distribution-Assignment of Traffic, Trans. Sci. Vol. 9, pp. 43~52, 1975.
- 5) Evans, S.P. : Derivation and Analysis of Some Models for Combining Trip Distribution and Assignment, Transpn. Res. Vol. 10, pp. 37~57, 1976.
- 6) 河上省吾：修正重力モデルの確率論的意義とエントロピーモデル, 土木学会論文報告集, 第 272 号, 1978 年 4 月.
- 7) 井上博司：道路網における等時間原則による交通量配分に関する基礎的研究, 京都大学博士論文, 昭和 50 年.
- 8) (社) 中部開発センター：名古屋都市交通システム調査, 昭和 49 年 10 月.
- 9) 中京都市群 パーソントリップ 調査協議会：中京都市群パーソントリップ調査報告書, 現況分析編 I, II 昭和 48 年 3 月, 昭和 49 年 3 月.
- 10) 広島都市交通研究会：交通量の路線配分の検討, 1970 年 4 月.
- 11) 河上省吾・住田公資：分布・分担・配分を考慮した交通需要予測モデルの研究, 土木学会第 31 回年次学術講演会講演概要集第 4 部, pp. 247~248, 昭和 51 年 10 月.
- 12) 岩本基広：交通手段別分担率に関する研究, 名古屋大学工学部修士論文, 昭和 48 年 2 月.
- 13) 伊理正夫：数理計画法の立場から見た IA 法, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 22, No. 12, pp. 695~701, 1977 年 12 月.

(1979.4.9・受付)