

集計型交通手段別分担率モデルの適合性の比較・検討

ON THE EVALUATION OF AGGREGATE MODAL SPLIT MODEL

河上省吾*・磯部友彦**

By Shogo KAWAKAMI and Tomohiko ISOBE

1. はじめに

交通需要予測手法である四段階推定法は、その形態を整えつつあるが、いまだ不十分なところも多い。本研究は、この四段階推定法の一段階である交通手段別分担の予測手法の中心をなす交通手段別分担率モデルについて検討を加えるものである。

一般に交通手段別交通量の推計精度は他の段階(発生, 集中, 分布, 配分の各段階)の推計精度に比べて劣っているといわれている(たとえば, 文献 20)においてゾーン間交通量の推定値の実績値に対する適合性と分担率の適合性とを比較し, 分担率の適合性の方が悪いことを示している)。この場合, 同じ基準で各段階の推計精度を比較せずに上述の結果を導いているように思われる。

また, 手段別分担率モデル自体は, 従来よりさまざまな考え方やさまざまな型式の構造式が提案されている(文献 1)~(6))。しかし, 分担率モデルの推計精度を表わす指標に対する考察が十分でないし, 各分担率モデル相互間の比較方法, モデルの良否の判定基準が明確に示されているものは少ない。

本研究の目的は, さまざまな構造をもつ分担率モデルを比較し, その中から最良のモデルを選び出すことにある。それにはまず, 分担率モデルによる推計精度の指標と他の段階の交通量の推計精度の指標との整合性を考慮しつつ, 各種の分担率モデル間の推計精度の比較という点から分担率モデルの推計精度の指標のあり方を検討する。次に, 先の考察で検討された推計精度の指標による各種の分担率モデルの比較を手段別 OD 交通量の実績データを用いて行うことによって推計精度を比較し, 最良の手段別分担率モデルを決定する。続いて, 今回取り上げた指標のうち, どの指標を用いれば最も効率的に最良

モデルの選択ができるかを検討する。なお, 本研究では, 紙数の制約があるためおもに分担率モデルの構造を決定する問題について考察し, モデルに取り入れる説明要因および各種係数値に関する詳細な検討は別の論文としてまとめる予定である。

2. 分担率モデルの比較の基準

(1) 分担率モデルの具備すべき条件

交通手段別分担率モデルのみならず, 交通需要予測法の各段階のモデルについて, 共通の要件が存在すると思われる。これらの要件を明確にすることは, 交通需要予測モデルの構築に有用であり, また, いくつかの代替的モデルを比較する際にも, これらの要件について比較検討すればよい。

これらの要件は,

- A. 簡明性 (Simplicity)
 - B. 他の条件への適用性
 - C. 誘導のための十分な理論的根拠
 - D. 必要なパラメーターの値の得やすさ
 - E. 時間的・空間的な予測能力をもつこと
- であるといえよう¹⁾。

つまり, モデルの構造が簡単で扱いやすく, 多様性があること, そして, 直観的に誘導されたモデルでなく理論化されたものであり, モデルの要因として用いる変数の資料が十分にあり, かつ得やすいことが重要になってくる。さらに, これらのモデルは, 将来時点の交通量を推定する能力や, 1 地域だけでなくいろいろな地域の交通量を予測する能力が必要である。予測モデルは, 以上の 5 要件を満たしていなければならないが, モデルの構造の選択の際には, A, B, C, 説明要因の選択の際には, B, D, モデルによる推計精度の比較には, E の各要件が重要視される。

* 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 名古屋大学助手 工学部土木工学科

(2) 推計精度の比較指標の検討

ここでは、交通手段別分担率モデルの推計精度の表わし方について検討する。推計精度の指標は、そのモデルの信頼性、妥当性を示すと同時に、種々提案されているモデルや手法の予測能力を比較する判断資料にもなる。よって本研究の目的から推計精度を表現する指標を分担率モデルの比較指標として取り扱うことにする。

分担率モデルの予測能力の検定方法は(1)で述べたように3種類考えられる。すなわち、① 現況の説明力と② 時間的および③ 空間的予測能力である。しかし、過去において本研究に用いられる資料と同程度のパーソントリップの資料はなく、また他地域との比較も対象地域の設定方法、ゾーン分割などに相違があることから時間的、空間的予測能力の比較は困難である。一方、現況(調査当時、昭和46年)のモデルによる説明力が十分でなければ、時間的、空間的予測能力も劣ると考えられるので、本研究では、①の方法でモデルの予測能力を評価、検定を行い、現況の説明力を実績値との適合性によって表わすことにする。

次に、この適合性を示す指標をいくつか取り上げ、検討を加えることにする。

分担率モデルを実績データによる回帰式として作成した場合に得られる重相関係数は適合性の指標の一種である。ただし、この指標は本来、分担率の回帰式による予測値と実績値との相関を示し、両者間にどの程度の線形関係があるかを表わすものである。

重回帰分析によって得られた回帰式を用いて、各ゾーン間の分担率を計算し、全手段 OD 交通量に分担率をかけて各手段別 OD 交通量の推計値を得る。この値と各手段別 OD 交通量の実績値との適合性を分担率モデルの推計精度とすることが考えられる。この場合には分布交通量の適合性の検討と同様な手法が使える。以下に、交通量の推計精度の指標として利用可能な統計量、 χ^2 値、RMS 値 (Root Mean Square Error)、相関係数、相対尤度⁹⁾ (Relative Likelihood) について検討を加える⁹⁾。

χ^2 値は通常、分布関数の適合度の検定などに用いられる χ^2 検定式によって得られるものである。ここでは式(1)に示すように手段別交通量推計値と実績値の相対誤差の平方について、手段別交通量で重みづけした数値の総和を示している。

$$\chi^2 = \sum_{ij} \{(\hat{X}_{ij} - X_{ij})^2 / X_{ij}\} \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 \hat{X}_{ij} : ゾーンペア ij の手段別交通量の推計値
 X_{ij} : ゾーンペア ij の手段別交通量の実績値

RMS 値は、手段別交通量実績値と推計値との残差平方和の平均値の平方根であり、これは、 n 個のゾーンペ

アの誤差の平均を 0 とした場合の誤差の標準偏差を表わしている¹⁰⁾。本研究では、式(2)に示すような交通量の相違による誤差の相対的重要度を考慮した重みづけ RMS 値を採用する。

$$RMS = \sqrt{\sum_{ij} (X_{ij} - \hat{X}_{ij})^2 / n \cdot n / \sum_{ij} X_{ij}} \cdot 100 \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 n : ゾーンペア数

モデル式によって得られた交通量の推計値と実績値との相関係数は、両者の適合性を評価するのに最もよく使われる統計量である。分担率モデルの推計精度も重力モデルなどの交通量分布モデルの推計精度と同様に相関係数を用いることが考えられる。式(3)にその算出方法を示す。相関係数は本来、独立変数とみなされる2変数間の線形関係の強さを調べるものである。ここでは逆に、実績値とモデルによる推計値が非常に強い線形関係にあるはずだが、モデルが不完全なために実績値と推計値との線形性がどれぐらい弱くなるかをみるものと考えられる。

$$R = \frac{(n \sum X_{ij} \hat{X}_{ij} - \sum X_{ij} \sum \hat{X}_{ij})}{\sqrt{[n \sum (X_{ij})^2 - (\sum X_{ij})^2] \cdot [n \sum (\hat{X}_{ij})^2 - (\sum \hat{X}_{ij})^2]}} \dots\dots\dots(3)$$

S.R. Wilson⁹⁾ は、重力モデルによる分布交通量の推計値の実績値に対する適合性を統計的に表わす指標について検討を加え、その結果、 χ^2 値、コンティンジェンシー係数、RMS 値、相関係数を用いることには問題があるとし、2つの推計 OD 表の χ^2 値の大小関係と相関係数の大小関係が食い違うことを例示した。そしてこれらの指標の代わりに相対尤度 (Relative Likelihood) を用いることを提案している。

i ゾーンから j ゾーンへ行くトリップの同時確率が多項分布することから、OD 表の実績値に対する尤度と推計値に対する尤度の比を考えると式(4)のように表わせる。これを相対尤度とよぶ。

$$R(\{\hat{P}_{ij}\}) = L(\{P_{ij}\}) / L(\{\hat{P}_{ij}\}) = \prod_{ij} (P_{ij} / \hat{P}_{ij})^{X_{ij}} \dots\dots\dots(4)$$

ここに、 X_{ij} は ij 間のトリップ数 (実績値)、 P_{ij} 、 \hat{P}_{ij} はそれぞれ $X_{ij} / \sum_{ij} X_{ij}$ 、 $\hat{X}_{ij} / \sum_{ij} X_{ij}$ で表わされる同時確率。

式(4)の両辺の対数をとって整理すると

$$S(\{P_{ij}\}) - S(\{\hat{P}_{ij}\}) = \sum_{ij} X_{ij} (\log P_{ij} - \log \hat{P}_{ij}) = \log R(\{\hat{P}_{ij}\}) \dots\dots(5)$$

となる。この式によって得られる値を以下本論文では S 値とよぶことにする。この値の性質として重力モデルに

よって得られた推計値の相対尤度は $0 \leq R \leq 1$ という範囲の値をとる。

この方法の利点は、第1に分布型の仮定がないことである。第2にこの指標は各ゾーンペア間の交通量の実績値と推計値との比率を、各ゾーンペア間の実績交通量で累乗しているため、交通量の大きいゾーンペアほど、全体の適合性の良否に大きく影響する。このことからたとえば都市全域における手段別分担率モデルの良否を評価する場合には有用と思われる。

3. 研究対象とする分担率モデルの構造

(1) 分担率モデルの構造式の説明

本研究では、2.(1)に述べた分担率モデルの具備すべき条件のうち、A. から D. をなるべく満たすような構造をもつ交通手段別分担率モデルを取り上げ、それを以下に説明する。なお、本研究では分担率曲線法は検討対象から除いた。その理由は、分担率曲線法はモデルの構造が把握しにくく、曲線の形状を決めるパラメーター（これは数式における係数に相当する）の時間的、空間的な推移がわからないために、統計的検定が難しいためである。

a) 数式の構造

数式の構造は単純な線形式や指数関数や対数関数等を使ったものまでさまざまに考えられるが、本研究では線形式とロジット式を取り上げた。線形式は単純で各説明要因と分担率の関係がわかりやすいことから要件の A. を満たし、ロジット式は個人の効用がワイブル分布すると仮定することによって理論的に導かれたものである¹⁴⁾。この式は本来、個人を分析単位とする非集計モデルにおける式であるが、集計モデルにおいてもゾーン全体が同じ選択構造をしている個人で構成されていると考えれば、集計型のロジット式は非集計ロジットモデルと同じ理論的誘導に基づくものである。よって、要件 C. を比較的満足していると考えられる。

またロジット式は、説明変数の変域の大きさに関係なく式(6)を満たし、さらに、新たな交通機関を考慮することができることから、要件 B. の他の条件への適用性も満たす。

$$0 \leq P^k \leq 1, \sum_k P^k = 1 \dots\dots\dots(6)$$

ここに、 P^k : 交通手段 k の分担率

① 線形式……これは一般に式(7)で表わせる。この場合、交通手段の数や説明変数の数に制限はない。

$$P_{ij}^k = a_0^k + \sum_l a_l^k \cdot x_{lij} \dots\dots\dots(7)$$

ここに、 P_{ij}^k : あるゾーンペア ij の交通手段 k の分担率

x_{lij} : あるゾーンペア ij の l 番目の説明変数
 a_0^k, a_l^k : 交通手段 k のときの定数ならびに x_{lij} の係数

② ロジット式……これは考える交通手段の数により式の構造が若干変わる。式(8)は同時に考える交通手段の数が2手段の場合である。交通手段1, 2の分担率を P^1, P^2 とすると式(8)のようになる。

$$\left. \begin{aligned} P_{ij}^1 &= 1/[1 + \exp\{G\}] \\ P_{ij}^2 &= 1 - P_{ij}^1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(8)$$

ただし G は2手段間の一般化費用の差を示しており次のように表わされる。

$$G = b_0 + \sum_l b_l \cdot (x_{lij}^2 - x_{lij}^1) \dots\dots\dots(9)$$

ここに、 b_0 : 定数、 b_l : x_{lij} の係数

式(10)は同時に3手段以上を考慮する場合で、このとき定数項 b_0 は考えない。これは後で説明するように分担率がいかなる順序で求められても同一値となる条件を満足させるためである。

$$\left. \begin{aligned} P_{ij}^k &= \exp\{G_k\} / \sum_{k'} \exp\{G_{k'}\} \\ G_k &= \sum_l b_l \cdot x_{klij} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(10)$$

ここに、 $G_k, G_{k'}$: 手段 k, k' における一般化費用
 x_{klij} : ゾーンペア ij の k 手段の l 番目の説明変数

b) 手段分割方法

本研究では交通手段の取り扱いを代表交通手段とし、鉄道、バス、自動車の3手段を考えることにする。これら3手段の分割方法として次の2つを考える。

① バイナリーチョイス法

全手段交通量（鉄道、バス、自動車）をまず鉄道とバスからなるマストラシット（以下本論文では「マストラ」と略記する）と自動車に分割し、さらにマストラを鉄道とバスに分割する方法である。

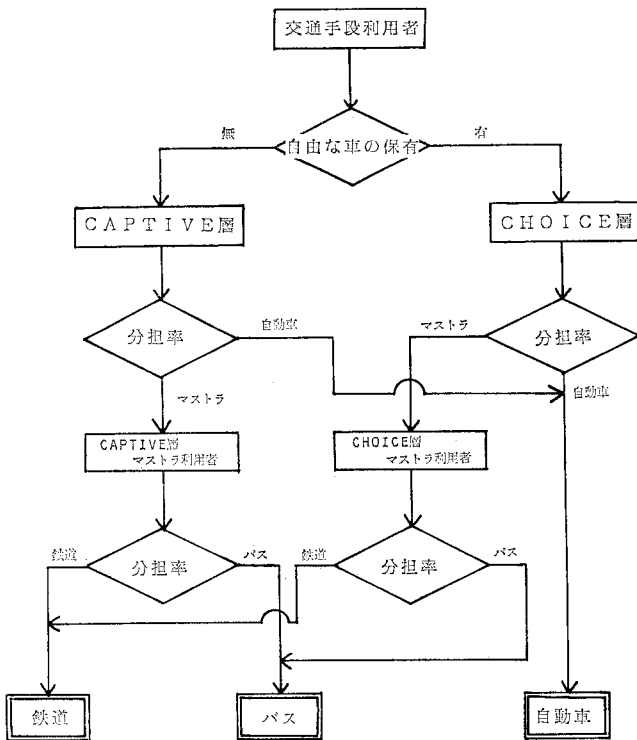
② マルチチョイス法

これは、全手段交通量を、1回の分割で同時に3手段以上に分割する方法である。

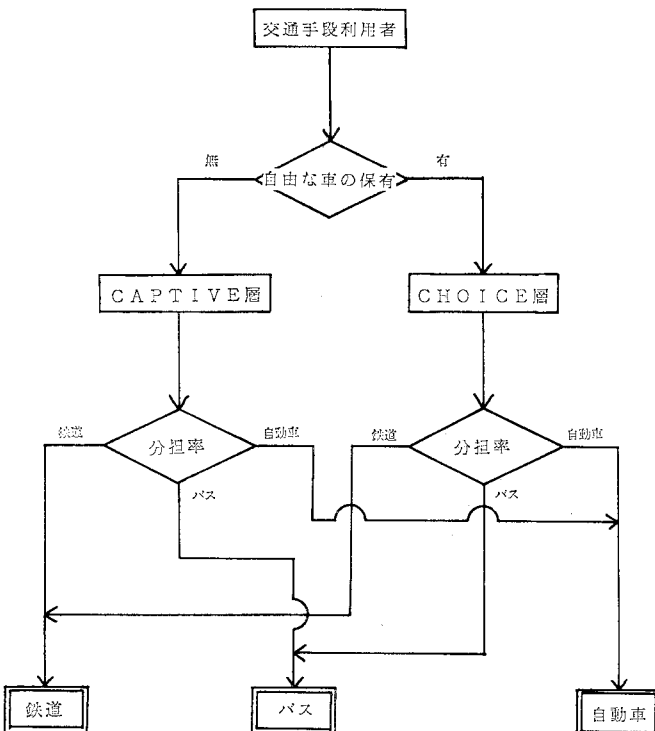
一般にバイナリーチョイス法は、単純な構造のモデルで十分であるが何段階かに分けた推計が必要である。一方、マルチチョイス法は、一度に全手段を分割することができるが、モデルの説明力を強くするためには多くの説明要因が必要となる。

c) 二段階推定モデル

交通手段利用者を各手段の利用者として分割する際、すべての利用者が同じ条件で手段選択を行っているわけではないのでこの条件の違いを考慮する必要がある。そこで、利用交通手段の選択が不自由な利用者グループを captive 層、自由に選択できる利用者グループを choice 層と名づけ、両グループを分類して考えることにする。



(a) 二段階推定のバイナリーチョイス法



(b) 二段階推定のマルチチョイス法

図一 二段階推定の手段分割方法

このようにして交通手段別交通量を推計するモデルは二段階推定モデル (two stage modal split model) とよばれている⁹⁾。

本研究では過去の研究例^{5), 12), 13)}を参考にして、自由になる車を保有しているグループを choice 層、保有していないグループを captive 層と定義し、両層に含まれるトリップを図-1に示すように3手段に分割するモデルを構築した。このように本研究では両層ともに分担率を考え、captive 層の利用手段が特定のものに完全に限定されているとは考えない。

(2) 交通手段別交通量の推計方法について

本研究では、前節の a), b), c) の各項目の組合せで合計8種類のモデルを考える。それらを表-1に示すようにモデル I~VIIIと名づける。

以下、各モデルによる分担率の推計方法を述べる。ここで使われる記号をまとめておく。

r, b, c, mt : それぞれ鉄道, バス, 自動車, マストラを示す添字

$\hat{P}_{ij}^r, \hat{P}_{ij}^b, \hat{P}_{ij}^c, \hat{P}_{ij}^{mt}$: 各手段の分担率推計値

$x_{lij}^r, x_{lij}^b, x_{lij}^c, x_{lij}^{mt}$: 各手段の l 番目の説明変数

$a_l, b_l, c_l (l=0, 1, \dots)$: 各分担率推計式の係数

① モデル I

重回帰分析により次式の各係数を推定する。

$$\left. \begin{aligned} \hat{P}_{ij}^c &= a_0 + \sum_l a_l (x_{lij}^c - x_{lij}^{mt}) \\ \hat{P}_{ij}^r / (\hat{P}_{ij}^r + \hat{P}_{ij}^b) &= b_0 + \sum_l b_l (x_{lij}^r - x_{lij}^b) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

表-1 モデルの型式

モデル	内容		
I	li	b	one
II	li	m	one
III	lo	b	one
IV	lo	m	one
V	li	b	two
VI	li	m	two
VII	lo	b	two
VIII	lo	m	two

li: 線形式, lo: ロジット式, b: バイナリーチョイス法, m: マルチチョイス法, one: 二段階に推定しない, two: 二段階に推定する。

式 (11) により各手段別分担率を計算する。自動車分担率は式 (11) でそのまま求まるが、鉄道分担率 \hat{P}_{ij}^r 、バス分担率 \hat{P}_{ij}^b は式 (11) の第 2 式の右辺の計算値を P' とすると式 (12) のようにして求める。

$$\left. \begin{aligned} \hat{P}_{ij}^r &= (1 - \hat{P}_{ij}^c) \cdot P' \\ \hat{P}_{ij}^b &= (1 - \hat{P}_{ij}^c) \cdot (1 - P') \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(12)$$

② モデル II

重回帰分析により次式の各係数を推定する。

$$\left. \begin{aligned} \hat{P}_{ij}^{*c} &= a_0 + \sum_l a_l(x_{lij}^r - x_{lij}^{*t}) \\ \hat{P}_{ij}^{*r} &= b_0 + \sum_l b_l(x_{lij}^r - x_{lij}^c) \\ \hat{P}_{ij}^{*b} &= c_0 + \sum_l c_l(x_{lij}^b - x_{lij}^c) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(13)$$

式 (13) の \hat{P}_{ij}^{*c} は何ら補正されていない分担率推計値であり、式 (6) を満足しないので、次のような補正をする。まず、 $\hat{P}_{ij}^{*c} < 0$ なら $\hat{P}_{ij}^{*c} = 0$ 、 $\hat{P}_{ij}^{*c} > 1$ なら $\hat{P}_{ij}^{*c} = 1$ と変換しておく。次に \hat{P}_{ij}^{*r} 、 \hat{P}_{ij}^{*c} も同様に変換し、さらに式 (14) に示す補正をして、これを分担率推計値とする。

$$\left. \begin{aligned} \hat{P}_{ij}^c &= \hat{P}_{ij}^{*c} / (\hat{P}_{ij}^{*c} + \hat{P}_{ij}^{*r} + \hat{P}_{ij}^{*b}) \\ \hat{P}_{ij}^r &= \hat{P}_{ij}^{*r} / (\hat{P}_{ij}^{*c} + \hat{P}_{ij}^{*r} + \hat{P}_{ij}^{*b}) \\ \hat{P}_{ij}^b &= \hat{P}_{ij}^{*b} / (\hat{P}_{ij}^{*c} + \hat{P}_{ij}^{*r} + \hat{P}_{ij}^{*b}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(14)$$

③ モデル III

重回帰分析により次式の各係数を推定する。

$$\left. \begin{aligned} \ln(\hat{P}_{ij}^c / \hat{P}_{ij}^{*t}) &= a_0 + \sum_l a_l(x_{lij}^c - x_{lij}^{*t}) \\ \ln(\hat{P}_{ij}^r / \hat{P}_{ij}^b) &= b_0 + \sum_l b_l(x_{lij}^r - x_{lij}^b) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(15)$$

式 (15) は、式 (8) から 2 つの交通手段の分担率の比を表わす式を作り、その両辺の対数をとることにより得られる。式 (15) の第 1 式、第 2 式の右辺の計算値を V_1 、 V_2 とすると、各分担率推計値は式 (16) のようにして求める。

$$\left. \begin{aligned} \hat{P}_{ij}^c &= \exp(V_1) / \{1 + \exp(V_1)\} \\ \hat{P}_{ij}^r &= (1 - \hat{P}_{ij}^c) \cdot \exp(V_2) / \{1 + \exp(V_2)\} \\ \hat{P}_{ij}^b &= 1 - \hat{P}_{ij}^r - \hat{P}_{ij}^c \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(16)$$

④ モデル IV

重回帰分析により次式の各係数を推定する。

$$\left. \begin{aligned} \ln(\hat{P}_{ij}^r / \hat{P}_{ij}^b) &= \sum_l a_l(x_{lij}^r - x_{lij}^b) \\ \ln(\hat{P}_{ij}^r / \hat{P}_{ij}^c) &= \sum_l a_l(x_{lij}^r - x_{lij}^c) \\ \ln(\hat{P}_{ij}^b / \hat{P}_{ij}^c) &= \sum_l a_l(x_{lij}^b - x_{lij}^c) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(17)$$

式 (17) は、式 (10) から 2 つの交通手段の分担率の比を表わす式を作り、これらの式の右辺が共通の係数 a_l をもつものとして導かれたものである。このモデルの特徴は、① 手段 k の分担率 P^k は常に式 (6) を満足すること、② P^k をいかなる順序で求めても同一値となること、③ 交通手段および説明変数に無関係に適用できることが挙げられる⁴⁾。

式 (17) の各式の右辺を計算した値をそれぞれ V_1 、 V_2 、 V_3 とすると、分担率推計値は、式 (18) で求められる。

$$\left. \begin{aligned} \hat{P}_{ij}^c &= 1 / \{1 + \exp(V_2) + \exp(V_3)\} \\ \hat{P}_{ij}^r &= \exp(V_2) / \{1 + \exp(V_2) + \exp(V_3)\} \\ \hat{P}_{ij}^b &= \exp(V_3) / \{1 + \exp(V_2) + \exp(V_3)\} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(18)$$

⑤ モデル V, VI, VII, VIII (二段階推定モデル)

二段階推定モデルでは、まず 図-1 に示すように各ゾーンの発生トリップ数のうち choice 層に含まれるトリップ数の比率 R_i を計算しなければならない。ここでは、保有・非保有別に集計された OD 表を用いてモデル作成を行うことも考えられるが、将来予測においては保有・非保有別の OD 表の作成が困難である。そこで本研究では、保有・非保有の区別のない OD 表を保有・非保有別に分割する方法を考え、発生ゾーンごとに保有トリップの比率 R_i を計算した。ただし、どの目的ゾーンへ行く場合でもその比率は同じとした。

しかし、通勤目的トリップのようなホームベイストリップにおいてはこの方法は有効と考えられるが、全目的トリップに含まれるノンホームベイストリップにおいては有効といえない。そのような問題点を解決するためには、各目的トリップをトリップチェーンとしてとらえなければならないが、本研究ではトリップチェーンの考え方を取り入れていないので、簡便法として発生ゾーンごとの保有・非保有トリップ比率でもって保有・非保有別全目的 OD 表を作成した。

次に captive, choice 両層のゾーン間手段別分担率 caP_{ij}^k 、 chP_{ij}^k ($k=r, b, c$) を計算し、両層それぞれにおいてモデル I, II, III, IV と同様の重回帰分析を行う。各手段別分担率の推計値は次のようにして求める。

$$\left. \begin{aligned} \hat{P}_{ij}^c &= ch\hat{P}_{ij}^c \cdot R_i + ca\hat{P}_{ij}^c \cdot (1 - R_i) \\ \hat{P}_{ij}^r &= ch\hat{P}_{ij}^r \cdot R_i + ca\hat{P}_{ij}^r \cdot (1 - R_i) \\ \hat{P}_{ij}^b &= ch\hat{P}_{ij}^b \cdot R_i + ca\hat{P}_{ij}^b \cdot (1 - R_i) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(19)$$

ここに、 $ch\hat{P}_{ij}^k$: choice 層の手段 k の分担率推計値
 $ca\hat{P}_{ij}^k$: captive 層の手段 k の分担率推計値

(3) 重みづけ重回帰分析による係数の推定方法

通常重回帰式では外的基準に分担率をとることが多い。これはどのゾーンペアにおいてもゾーン間交通量とは無関係な説明要因を用いて分担率を表わすことができるという仮定による。つまり、ゾーン間交通量が多いところでも少ないところでも交通手段別分担率とその説明要因との関係は同じという仮定である。交通手段別分担率モデルの有効性を何で評価するかはさまざまな議論のあるところだが、交通需要予測方法で最終的に求めたいのは各リンクの交通量であることから、分担率モデルの

評価も交通手段別OD交通量で行うべきだと思われる。ところで、ゾーン間交通量の多いところの分担率をより正確に推計することができれば全体の精度を向上させることができる。そのためには各ゾーンペアを同じ重みとするよりもゾーン間交通量の多いゾーンペアの重みを大きくして分担率式の諸係数を推定した方がよいと思われる。

さて、重みづけ重回帰分析の計算方法は、式(20)に示す重みつきの残差平方和 Q を最小にするような係数値を見つけ出すことである¹⁴⁾。そしてこの重みにおおのこの手段別交通量を用いるわけである。

$$Q = \sum_{\alpha} w_{\alpha} e_{\alpha}^2 \dots \dots \dots (20)$$

ここに、 w_{α} ：サンプル α の重み

e_{α} ：サンプル α の残差

本研究では、分担率式の諸係数の推定を通常重回帰分析による方法と交通量によって重みづけされた重回帰分析による方法の両者によって行い、交通量によって重みづけすることの有効性について検討する。

4. 分担率モデルの比較方法

(1) 計算に用いる実績データ

a) 交通手段別交通量

今回、分担率モデルを作成するのに用いた資料は、2.(1)のD.の条件を考慮して、昭和46年に行われた中京都市群パーソントリップ調査のデータより、名古屋市Bゾーン(16ゾーンあり各行政区に相当する)間の代表交通手段別OD交通量を用いた¹⁵⁾。代表交通手段として、鉄道、バス、自動車の3手段を考え、その他の代表交通手段によるOD交通量は除外した。また、交通目的は「出勤目的」と「全目的」を取り上げた。

モデル式の係数を推定するのに用いたゾーンペアは、256(=16²)ペアのうち、内々ゾーンペアと3手段合計OD交通量が、出勤目的、全目的のそれぞれで800トリップ(拡大後)以下のものを除いた。その理由は、調査の抽出率が約4%であったので統計的信頼性を得るために実サンプル数で約30以上のゾーンペアを選んだ。その結果、出勤目的で113ペア、全目的で212ペアが選ばれ、これらを用いて係数の推定を行った。

b) 交通手段別分担率の説明要因

従来実施されてきた日本の各都市圏パーソントリップ調査の研究から、所要時間、所要費用は手段別分担率モデルの重要な説明要因とされている¹⁶⁾。さらに本研究では、乗換え抵抗および目的地の特性の相違によって手段別分担率が変化すると考えて、ゾーン間直通状況、目的地のランクという説明要因を考え、以上の4つの説明要

因を用いて分担率モデルを構築した^{17)~19)}。

たとえば、モデルIの①式は次式のように設定した。

$$\hat{P}_{ij}^c = a_0 + \sum_{l=1}^3 a_l (x_{lij}^c - x_{lij}^{mt}) + a_4 D_j \dots (21)$$

ここで $l=1$ は所要時間、 $l=2$ は所要費用、 $l=3$ は直通状況を示し、 D_j は目的地 j ゾーンのランクを示す。

所要時間は、調査結果から交通手段別に求められたゾーン間平均所要時間(これにはアクセス時間、待ち時間等も含まれている：単位は分)を用いた¹⁷⁾。

所要費用は、鉄道とバスについては、普通料金を、自動車については、償却費、運行費、消耗・補修部品費、定期点検費を考慮して1km当たりの所要費用15.1円を算出し、これにゾーン間道路距離をかけ合わせたものをそれぞれゾーン間所要費用とした¹⁷⁾。

なお、マストラの所要時間、所要費用は、バスと鉄道の数値を各ゾーンペアの実績トリップ数で加重平均した数値を用いた。

ゾーン間直通状況とは、出発地ゾーン内から目的地ゾーン内まで同一の交通手段で直接行ける路線が存在するかどうかの指標である。すなわち鉄道について、ゾーン間に同一経営の鉄道で直接行ける路線が1本でもあれば得点1、なければ得点0を与え、バスについて、ゾーン間に乗換えなしに行ける路線が1本でもあれば得点1、なければ得点0を与え、また自動車についてはすべての場合に得点1を与えた¹⁸⁾。

目的地ランクは、都市圏における社会経済的にみた相対的重要度から目的地ゾーンを3ランクに分け、これを説明要因とした。具体的には都心の中区と中村区に得点2を与え、都心周辺部の東区、千種区、昭和区、熱田区に得点1を与え、その他の区には得点0を与えた¹⁹⁾。これは各交通手段の利便性とは必ずしも対応していないので手段別に評点づけは行っていない。将来予測の際には交通需要の将来推計フレーム値である社会経済指標の設定に合わせて評点づけできるとと思われる。

(2) 比較計算の手順

本研究で行った各モデルの比較方法について説明する。図-2は3.(2)に示したおのおのの分担率モデルによる手段別OD交通量の適合性の比較方法の手順を示したものである。以下この図に沿って説明する。

まず図-2の①で交通手段別分担率モデルの構造式を表-1に示したうちのモデルIとする。次に重回帰分析によってモデル式の係数を推定する。このための入力データは②の交通手段別OD交通量の実績値と④の各交通手段の特性やゾーン特性といった分担率の説明要因である。

②の手段別OD交通量実績値から③の交通手段別

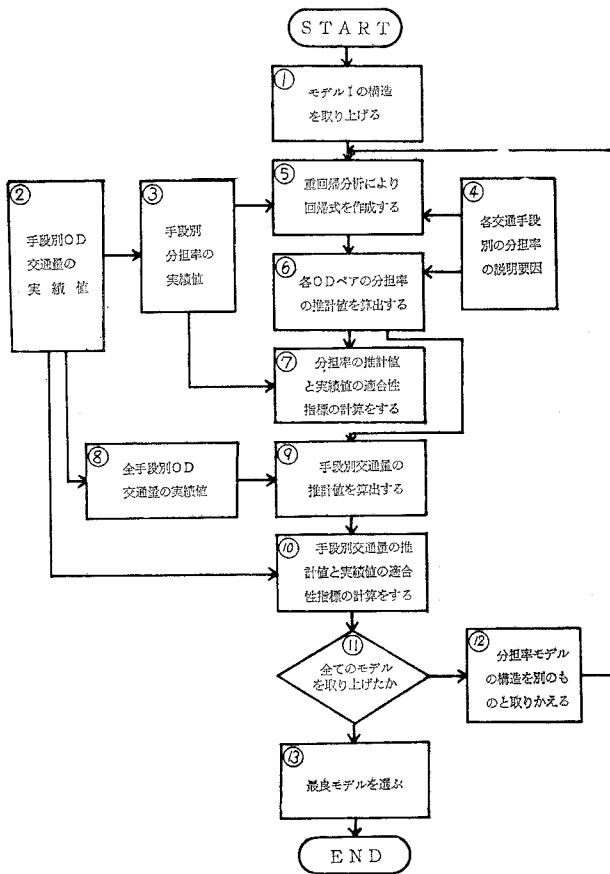


図-2 分担率モデルの比較方法の手順

分担率を計算し、これを外的基準として⑤で重回帰分析を行い、モデルの構造式の諸係数を推定する。このときに②の交通量の実績値で重みづけして重回帰分析を行う方法と重みづけしない方法の両方で係数推定を行う。

次に、⑥において⑤で得られた分担率式に④の説明要因を代入して各ゾーンペアの分担率推計値を算出する。⑦において⑥で得られた分担率推計値と③の分担率実績値との適合性指標として相関係数を計算する。

次に、⑨において⑧の全手段 OD 交通量の実績値(②の手段合計)に⑥で得られた分担率推計値をかけることにより各手段別 OD 交通量の推計値を計算する。そして⑩において⑨で得られた手段別 OD 交通量推計値と②の実績値との適合性指標(相関係数、 r^2 値、RMS 値、相対尤度)を計算する。

以上のような手順でモデルⅠの適合性指標が計算される。これをすべてのモデルについて同様に行い、各モデルの適合性指標を重みづけした場合としない場合のそれぞれについて計算する。すべてのモデルにおける計算の終了後、計算された各モデルの適合性指標を判断資料に

して最良のモデルを選び出す。

5. 適合性指標の計算結果

(1) モデルの係数の推定結果

3.(2)の分担率の推計方法で述べた8種類のモデルの係数を重みづけしない重回帰分析と重みづけした重回帰分析によって、分担率式の係数の推定を行った。その結果を表-2に示す。各係数値の比較方法として次の2つが考えられる。

- おのおのの交通目的において、同一型式のモデル間での重回帰分析の重みづけの有無による比較
- おのおのの交通目的において、二段階に推定しないモデルとそれに対応する二段階推定モデルにおける captive 層のモデルと choice 層のモデルとの比較

以下、この比較方法に従って分担率モデルの諸係数の推定値に対して考察を加える。

まず重回帰計算における重みづけの有無による係数値の相違を検討する。重相関係数についてみると、重みづけしたことによって重みづけしない場合よりも数値が小さくなるものがある。特にモデルⅡの②式とモデルⅥの②式は、全目的、出勤目的ともに低くなっている。これはともにバスと自動車の分担関係を表わすものであるが、重回帰式における係数値の符号逆転にみられるように、この分担関係が、今回のモデルではよく説明できなかったために重相関係数が低くなったと思われる。次に、説明変数の重回帰式への取り入れ状況について考察する。説明変数は t 値で判断して 5% 有意のものを選んだ。その結果、重みづけした場合はしない場合と同じ説明変数の組合せになるか、または重みづけしない場合には取り入れられなかった説明変数が新たに有意となり追加されている。各係数値の符号は重みづけした場合としない場合とで変わらない。以上重みづけの効果をまとめると、①変数選択の大幅な変更はなく、係数推定値の大きな相違もないことから重みづけすることによって重みづけしない重回帰モデルを若干修正すること、②各データの信頼性の違いを考慮して取り扱い、重相関係数の向上を図ることが可能であることが挙げられる。

次に、二段階推定モデルにおける captive 層のモデル式と choice 層のモデル式の係数値を比較する。重みづけしない場合のバイナリーチョイス法による鉄道とバスの分担関係において、線形式のモデルⅠの②式とモデルⅤの②式、④式のおのおのの係数値は、出勤目的、

全目的ともにこの3式の間でよく似た数値となっている。同様なことがロジット式のモデルⅢの②式とモデルⅦの②式、④式の間でもいえる。重みづけした場合には、上述の重みづけしない場合とは違って線形式のモデルⅠの②式とモデルⅤの②式の組とロジット式のモデルⅢの②式とモデルⅦの②式の組だけが、それぞれ係数値の似ている式の組合せとなる。これらのモデルの

係数値の関係から推測すると、図-1の(a)、(b)に示したマストラ利用者、captive層のマストラ利用者、choice層のマストラ利用者の鉄道とバスの分担関係は似たような構造をしていると思われる。このことから、鉄道とバスとの間の分担関係を表わすには、captive-choiceの両層に分ける必要はないといえる。よって、二段階推定の効果の良否はバスと鉄道の分担関係では判断しない

表-2 分担率式の係数の推定結果

a) 出動目的

型 式	係 数 $l=$	定 数	所要時間 差の係数 ($\times 10^{-2}$)	所要費用 差の係数 ($\times 10^{-3}$)	直通状況 差の係数 ($\times 10^{-1}$)	目的地ラン クの係数 ($\times 10^{-2}$)	重 相 関係数
		0	1	2	3	4	
I	① 式(11)の a_l	0.51 0.48	-0.50 (5.2) -0.75 (7.3)	-0.64 (4.1) -1.05 (6.9)	—	-3.8 (4.5) -2.8 (4.5)	0.49 0.60
	② 式(11)の b_l	0.63 0.60	-0.47 (3.8) -0.73 (6.2)	-6.9 (6.8) -7.1 (7.6)	0.53 (2.0) 0.70 (2.6)	—	0.59 0.71
II	① 式(13)の a_l	0.51 0.48	-0.50 (5.2) -0.75 (7.3)	-0.64 (4.1) -1.05 (6.9)	—	-3.8 (4.5) -2.8 (4.5)	0.49 0.60
	② 式(13)の b_l	0.39 0.37	—	*1.5 (9.2) *1.1 (6.1)	—	—	0.53 0.39
	③ 式(13)の c_l	0.15 0.18	-0.27 (4.0) -0.39 (5.7)	-1.9 (12.5) -2.0 (13.4)	0.55 (3.5) 0.52 (3.3)	4.1 (4.0) 2.9 (3.6)	0.72 0.77
III	① 式(15)の a_l	0.05 -0.08	-2.1 (5.2) -3.1 (7.4)	-2.6 (4.0) -4.3 (6.8)	—	-15.9 (4.5) -11.4 (4.4)	0.49 0.60
	② 式(15)の b_l	0.65 0.47	-4.0 (6.0) -6.1 (10.0)	-35.1 (6.4) -35.1 (7.2)	3.4 (2.4) 4.4 (3.1)	—	0.66 0.78
IV	式(17)の a_l	○	-6.7 (26.6) -7.8 (38.3)	-5.4 (8.5) -9.6 (16.7)	4.1 (6.1) 5.2 (7.9)	○	0.82 0.89
V	① 式(11)の ca	0.21 0.23	-0.38 (3.8) -0.38 (4.0)	-0.56 (3.3) -0.85 (6.0)	—	—	0.28 0.39
	② 式(11)の b_l	0.59 0.58	-0.66 (5.3) -0.79 (6.4)	-6.1 (5.7) -6.4 (6.8)	0.61 (2.2)	—	0.58 0.69
	③ 式(11)の ch	0.87 0.85	-0.61 (10.4) -0.71 (10.4)	-0.77 (8.0) -0.84 (8.2)	—	-2.1 (4.1) -2.1 (5.0)	0.67 0.70
	④ 式(11)の b_l	0.65 0.69	-0.53 (3.2) -0.14 (7.3)	-7.0 (4.9) -7.2 (5.9)	1.1 (3.0)	—	0.46 0.71
VI	① 式(13)の ca	0.21 0.23	-0.38 (3.8) -0.36 (4.0)	-0.56 (3.3) -0.85 (6.0)	—	—	0.28 0.39
	② 式(13)の b_l	0.67 0.58	—	*2.4 (8.5) *2.2 (5.8)	—	-4.8 (2.8) -4.4 (3.4)	0.51 0.42
	③ 式(13)の c_l	0.25 0.32	-0.38 (3.8) -0.66 (6.6)	-2.9 (12.6) -3.3 (16.3)	0.87 (3.6) 0.77 (3.5)	4.1 (2.7) 2.4 (2.2)	0.71 0.81
	④ 式(13)の ch	0.87 0.85	-0.61 (10.4) -0.71 (10.4)	-0.77 (8.0) -0.84 (8.2)	—	-2.1 (4.1) -2.1 (5.0)	0.67 0.70
	⑤ 式(13)の b_l	0.06 0.07	-0.10 (3.5) -0.13 (3.5)	—	—	0.61 (2.0) 0.64 (2.4)	0.31 0.33
	⑥ 式(13)の c_l	0.04 0.05	-0.13 (3.7) -0.13 (3.9)	-0.56 (7.1) -0.58 (7.2)	0.22 (2.7) 0.20 (2.6)	2.1 (3.9) 1.9 (4.4)	0.58 0.63
VII	① 式(15)の ca	-1.23 -1.22	-1.6 (2.2) -1.9 (3.4)	-4.1 (3.4) -5.4 (6.2)	—	—	0.24 0.40
	② 式(15)の b_l	0.46 0.45	-5.2 (5.8) -6.8 (8.5)	-33.0 (4.4) -35.5 (5.8)	4.6 (2.6)	—	0.55 0.73
	③ 式(15)の ch	1.35 1.42	-11.3 (8.2) -10.3 (8.5)	-7.4 (3.3) -7.2 (4.0)	—	-25.5 (2.1) -27.0 (3.6)	0.55 0.61
	④ 式(15)の b_l	1.03 0.89	-4.2 (3.2) -12.2 (8.5)	-44.2 (3.9) -39.1 (4.3)	—	—	0.42 0.66
VIII	① 式(17)の ca	○	-3.0 (7.6) -2.4 (6.8)	-13.5 (13.5) -19.1 (20.0)	2.9 (2.8) 5.7 (5.6)	○	0.48 0.67
	② 式(17)の ch	○	-16.2 (40.8) -17.8 (71.5)	*11.3 (10.2) *5.8 (7.1)	—	○	0.93 0.97

b) 全 目 的

型 式	係 数 $l =$	定 数	所要時間 差の係数 ($\times 10^{-2}$)	所要費用 差の係数 ($\times 10^{-3}$)	直通状況 差の係数 ($\times 10^{-1}$)	目的地ラン クの係数 ($\times 10^{-2}$)	重 相 関係数
		0	1	2	3	4	
I	① 式 (11) の a_l	0.45 0.42	- 0.54 (3.4) - 0.70 (4.6)	—	—	- 9.0 (8.2) - 9.5 (10.5)	0.71 0.81
	② 式 (11) の b_l	0.59 0.59	- 0.82 (4.1) - 1.13 (5.3)	- 5.5 (4.1) - 6.1 (4.5)	0.98 (2.4) 0.92 (2.2)	—	0.62 0.69
II	① 式 (13) の a_l	0.45 0.42	- 0.54 (3.4) - 0.70 (4.6)	—	—	- 9.0 (8.2) - 9.5 (10.5)	0.71 0.81
	② 式 (13) の b_l	0.45 0.44	—	*1.8 (6.1) *2.0 (44.0)	—	8.1 (6.0) 4.4 (13.2)	0.62 0.59
	③ 式 (13) の c_l	0.21 0.25	- 0.45 (4.0) - 0.59 (4.9)	- 2.1 (8.2) - 2.4 (9.0)	0.59 (2.4) 0.75 (2.9)	3.6 (2.6) 4.0 (3.1)	0.74 0.80
III	① 式 (15) の a_l	-0.24 -0.39	- 2.4 (3.4) - 3.2 (4.7)	—	—	-38.5 (8.2) -40.0 (10.0)	0.71 0.80
	② 式 (15) の b_l	0.37 0.36	- 5.6 (5.5) - 7.3 (6.7)	-25.2 (3.6) -27.7 (4.1)	5.7 (2.6) 5.0 (2.4)	—	0.67 0.73
IV	式 (17) の a_l	○	- 6.0 (16.1) - 5.1 (13.0)	- 8.4 (8.2) -10.5 (9.4)	6.1 (5.6) 6.3 (5.1)	○	0.77 0.70
V	① 式 (11) の a_l	0.19 0.19	—	- 0.46 (2.4) - 0.36 (2.1)	—	- 3.1 (3.6) - 3.5 (5.4)	0.38 0.49
	② 式 (11) の b_l	0.57 0.57	- 0.80 (4.1) - 1.02 (4.9)	- 5.2 (3.8) - 5.9 (4.4)	0.99 (2.4) 0.82 (2.0)	—	0.61 0.67
	③ 式 (11) の a_l	0.81 0.79	- 0.73 (4.7) - 0.86 (4.6)	- 0.68 (3.0) - 0.59 (2.3)	—	- 6.1 (6.1) - 7.4 (7.3)	0.69 0.75
	④ 式 (11) の b_l	0.64 0.66	- 0.81 (2.7) - 1.77 (5.2)	- 5.8 (2.8) - 5.8 (3.3)	— 1.6 (2.9)	—	0.42 0.69
VI	① 式 (13) の a_l	0.19 0.19	—	- 0.46 (2.4) - 0.36 (2.1)	—	- 3.1 (3.6) - 3.5 (5.4)	0.38 0.49
	② 式 (13) の b_l	0.72 0.62	*0.76 (1.9)	*2.8 (6.0) *2.8 (4.9)	—	—	0.49 0.43
	③ 式 (13) の c_l	0.35 0.44	- 0.58 (3.7) - 1.03 (6.2)	- 3.4 (9.2) - 3.9 (12.2)	0.85 (2.4) 0.81 (2.4)	—	0.73 0.82
	④ 式 (13) の a_l	0.81 0.79	- 0.73 (4.7) - 0.86 (4.6)	- 0.68 (3.0) - 0.59 (2.3)	—	- 6.1 (6.1) - 7.4 (7.3)	0.69 0.75
	⑤ 式 (13) の b_l	0.08 0.08	—	*0.49 (3.4) *0.55 (3.6)	—	3.4 (5.0) 4.3 (6.7)	0.49 0.58
	⑥ 式 (13) の c_l	0.07 0.08	- 0.25 (3.6) - 0.26 (2.9)	- 0.79 (4.6) - 0.92 (4.3)	— 0.42 (2.1)	3.2 (3.5) 3.8 (3.7)	0.61 0.65
VII	① 式 (15) の a_l	-2.30 -2.46	- 4.6 (2.2) - 5.3 (3.2)	-10.2 (3.2) - 9.3 (3.7)	—	—	0.31 0.37
	② 式 (15) の b_l	0.33 0.31	- 5.4 (4.5) - 6.7 (5.8)	-25.5 (3.1) -28.0 (3.8)	7.9 (4.5) 5.7 (2.5)	—	0.62 0.69
	③ 式 (15) の a_l	1.48 1.60	- 5.9 (2.8) - 5.4 (3.1)	—	—	-57.1 (4.0) -65.1 (6.3)	0.49 0.65
	④ 式 (15) の b_l	0.10 0.10	- 7.0 (2.8) -14.7 (6.0)	—	12.4 (2.2) 10.9 (2.6)	—	0.37 0.59
VIII	① 式 (17) の a_l	○	*1.2 (2.0) *2.7 (4.7)	-20.8 (13.1) -22.2 (14.1)	6.3 (3.8) 4.3 (2.6)	○	0.69 0.76
	② 式 (17) の a_l	○	-16.3 (23.4) -15.3 (32.4)	—	9.2 (3.6) 5.5 (2.4)	○	0.82 0.89

上段：重みづけしない場合，下段：重みづけした場合
 () 内 t 値， ca : captive 層， ch : choice 層
 注 1) モデル IV, VII の ○印は最初からモデル式に含まれない。
 2) —印は t 検定で棄却 (5%) された係数。
 3) *印は係数の符号が論理的矛盾を含むもの。

ことにする。

(2) 交通手段別交通量の適合性

2.(2) で取り上げた手段別分担率の相関係数，手段別交通量の相関係数， χ^2 値，重みづけ RMS 誤差値，相

対尤度 (S 値) のおのおのの適合性指標を手段ごとに計算し，その結果を表-3~7 に示す。なお，これらの表中の「3 手段」とは，3つの手段の交通量のおのおのを一つの要素とし，これらをまとめて一つの適合性指標を計算した場合の数値である。各指標の計算結果に対して

表-3 分担率の相関係数

(×10⁻²)

モデル	目的 手段	出 勤 目 的				全 目 的			
		鉄 道	バ ス	自 動 車	3 手 段	鉄 道	バ ス	自 動 車	3 手 段
I		72 (74)	53 (55)	71 (71)	79 (79)	67 (69)	49 (47)	49 (47)	86 (85)
II		75 (76)	60 (62)	74 (75)	78 (82)	73 (74)	59 (60)	49 (46)	88 (87)
III		75 (76)	56 (57)	71 (71)	80 (80)	69 (70)	54 (52)	49 (47)	86 (86)
IV		77 (78)	18 (12)	46 (41)	71 (69)	63 (67)	22 (13)	31 (29)	81 (78)
V		73 (74)	54 (57)	79 (80)	80 (80)	69 (71)	45 (49)	53 (52)	84 (86)
VI		72 (75)	67 (67)	80 (82)	82 (83)	75 (75)	56 (58)	52 (51)	86 (86)
VII		74 (76)	54 (57)	75 (77)	78 (79)	72 (73)	50 (53)	54 (55)	86 (87)
VIII		67 (75)	19 (13)	54 (55)	68 (64)	66 (69)	14 (11)	36 (37)	82 (82)

かっこの外は重みづけしない場合、かっこの内は重みづけした場合

表-4 手段別交通量の相関係数

(×10⁻²)

モデル	目的 手段	出 勤 目 的				全 目 的			
		鉄 道	バ ス	自 動 車	3 手 段	鉄 道	バ ス	自 動 車	3 手 段
I		92 (94)	96 (96)	97 (97)	95 (95)	89 (91)	95 (95)	99 (99)	96 (97)
II		92 (92)	93 (94)	97 (97)	92 (94)	89 (90)	93 (93)	98 (99)	96 (96)
III		94 (95)	96 (96)	97 (97)	96 (96)	91 (93)	96 (96)	99 (99)	97 (97)
IV		95 (95)	92 (92)	94 (94)	86 (89)	91 (94)	94 (93)	98 (98)	95 (96)
V		92 (93)	96 (96)	96 (97)	94 (95)	89 (91)	95 (95)	99 (99)	94 (95)
VI		91 (92)	94 (95)	97 (97)	93 (94)	90 (90)	93 (93)	99 (99)	95 (95)
VII		94 (95)	96 (96)	96 (97)	95 (95)	92 (94)	95 (96)	99 (99)	95 (96)
VIII		92 (89)	93 (92)	95 (95)	88 (89)	89 (91)	93 (93)	98 (98)	93 (94)

かっこの外は重みづけしない場合、かっこの内は重みづけした場合

表-5 χ^2 値(×10²)

モデル	目的 手段	出 勤 目 的				全 目 的			
		鉄 道	バ ス	自 動 車	3 手 段	鉄 道	バ ス	自 動 車	3 手 段
I		209 (168)	259 (241)	44 (39)	512 (448)	1345 (884)	1096 (1206)	145 (133)	2586 (2223)
II		164 (186)	471 (297)	37 (35)	672 (518)	858 (865)	902 (1069)	148 (135)	1907 (2070)
III		160 (136)	218 (207)	43 (39)	421 (382)	981 (675)	815 (835)	146 (134)	1942 (1643)
IV		146 (169)	332 (430)	175 (118)	654 (716)	1103 (839)	945 (1099)	286 (319)	2334 (2258)
V		226 (172)	261 (227)	58 (48)	545 (447)	900 (654)	972 (817)	402 (377)	2274 (1848)
VI		206 (187)	247 (262)	55 (44)	507 (492)	629 (630)	958 (801)	400 (349)	1787 (1780)
VII		164 (140)	238 (212)	57 (50)	459 (402)	663 (523)	798 (624)	417 (391)	1878 (1538)
VIII		277 (514)	489 (583)	116 (88)	882 (1185)	769 (632)	1122 (1188)	639 (447)	2530 (2267)

かっこの外は重みづけしない場合、かっこの内は重みづけした場合

表-6 RMS 値

(%)

モデル	目的 手段	出 勤 目 的				全 目 的			
		鉄 道	バ ス	自 動 車	3 手 段	鉄 道	バ ス	自 動 車	3 手 段
I		57 (52)	41 (37)	20 (18)	37 (34)	66 (57)	39 (36)	16 (15)	32 (29)
II		70 (60)	49 (43)	19 (18)	44 (38)	65 (61)	41 (40)	16 (15)	33 (31)
III		50 (47)	37 (35)	19 (18)	33 (32)	58 (49)	36 (33)	16 (15)	29 (27)
IV		56 (53)	63 (56)	54 (43)	59 (51)	59 (50)	47 (47)	21 (22)	36 (35)
V		59 (53)	44 (39)	25 (22)	40 (36)	64 (59)	54 (48)	27 (26)	42 (39)
VI		69 (62)	42 (41)	24 (21)	42 (39)	70 (67)	48 (47)	27 (25)	41 (39)
VII		52 (48)	39 (37)	25 (23)	37 (34)	56 (51)	51 (46)	28 (27)	40 (37)
VIII		74 (78)	53 (53)	43 (36)	54 (52)	65 (60)	62 (53)	34 (29)	49 (42)

かっこの外は重みづけしない場合、かっこの内は重みづけした場合

考察を加える。

手段別分担率の相関係数についてみると(表-3), まず全体の概観として全目的の自動車はかなり低い値となっており, またバスの値はモデルによってかなりばらばらついている。重みづけ重回帰分析の結果, 出勤目的の場合, モデルIVとモデルVIIIの適合性が悪くなる。これは,

マルチチョイスのロジット式は重回帰式の重相関係数がかかなり高くても一本の式でおのおのの分担関係を表現しようとするに無理があることを示している。全目的の場合, バスと自動車の適合性が悪くなる。これは先に係数値の考察で述べたバスと自動車の分担関係が, モデルによって十分に説明できていないためと思われる。二

表-7 相対尤度 (S 値) (×10⁵)

目的 手段 モデル	出勤目的	全目的
	3 手段	3 手段
I	156 (143)	696 (596)
II	161 (136)	603 (585)
III	142 (137)	609 (564)
IV	239 (213)	858 (832)
V	164 (145)	930 (786)
VI	146 (135)	820 (759)
VII	153 (141)	850 (781)
VIII	244 (253)	1205 (952)

かっこの外は重みづけしない場合、かっこの内は重みづけした場合

段階推定することにより出勤目的では鉄道について相関係数の向上がみられず悪くなるものもあり、全目的ではバスが悪くなる。

また、表-3 において相関係数は手段別では低い、3 手段では高くなる場合がある。この理由を考えてみる。分担率式は重回帰計算によって作成されたものだから、分担率のモデル式による推計値の分散は実績値の分散に比べて小さくなっている。しかし、分担率の値はその値の大きい手段と小さい手段とははっきり分かれる傾向があるので、個々の分担率の相関係数よりも全体の相関係数が高くなる場合があり得るのである。

手段別交通量の相関係数についてみると(表-4)、手段別分担率の相関係数と比べてかなり高い値となっている。これは、分担率は0と1の間に基準化し、すべてのゾーンペアを同等に比較するのに対し、交通量の相関係数は、基準化せずに交通量の大小によってゾーンペアの重みが変わっているためである。重みづけ重回帰分析の結果は、重みづけしない場合と比較して出勤目的のモデルⅧの鉄道とバスおよび全目的のモデルⅣのバスが悪くなっているが、他はよくなっているかまたは変化がない。特に全目的の鉄道の適合性の向上が顕著である。このように交通量で評価した場合には重みづけ重回帰分析の効果がはっきりと現われる。二段階推定した効果は、出勤目的の場合には、バスがよくなり、鉄道が悪くなり、全目的の場合にはすべてのモデルの3手段の適合性が悪くなる。

χ^2 値についてみると(表-5)、重みづけすることによりバスの適合性は悪くなり自動車の適合性はよくなる傾向がみられる。二段階推定することにより全目的のモデルでは自動車の適合性が悪くなり、出勤目的のモデルは全体的に悪くなっている。 χ^2 値でみる限り二段階推定法は適合性を向上させることにはならない。

重みづけ RMS 誤差値について全体的にみると(表-6)、自動車の値が小さく(適合性はよく)、鉄道の値が大きい(適合性は悪い)。重みづけした重回帰分析の結果、若干の例外を除いて適合性は向上している。二段階推定することにより適合性が悪くなっているものが多い。

相対尤度 (S 値) についてみると(表-7)、重みづけした場合、出勤目的のモデルⅧを除いてよくなっている。重みづけした重回帰分析は交通量によってデータに重みをつけ、予測値と実績値との乖離を小さくするように係数推定を行っている。S 値のように OD 交通量の適合性をみるのに実績 OD 表と推計 OD 表のおおの対応する要素の比を交通量で累乗すれば重みづけした方がよくなるのは当然の結果といえる。二段階推定すると、出勤のモデルⅢのみがよくなるだけである。

以上の結果から次のことがいえる。交通量で重みづけをした効果は、直接に手段別交通量を用いた指標にはっきりと出てくる。また、二段階推定の効果はどの指標でも適合性の低下を示す場合が多い。この原因としては保有・非保有別に集計された OD 表を用いていないことが挙げられる。本研究では実際の予測に際しては、保有・非保有別の OD 表の予測が十分に行われないと考え、保有・非保有別に区別しない OD 表を保有・非保有別に分割する方法を採用した。保有・非保有別の交通量を推計するためには分担段階のみならず、分布段階をも含めた総合的な予測方法の開発が必要である。

6. 最良モデルの選択

(1) 適合性の比較

これまでに各種分担率モデルの推計精度を比較するために、実績値との適合性を示す指標をいくつか取り上げ、それぞれの数値を計算した。これらの数値を用いて各モデルの適合性の比較を行い、どのモデルが最良のモデルかを判断しなければならない。そこで、各指標について交通量で重みづけした係数推定法によるモデルと重みづけしない係数推定法によるモデルのそれぞれの適合性の3手段の値のよいモデルから順位をつけた。それを表-8 に示す。なお、モデルⅡとモデルⅦは十分な説明力が得られなかったので今回の比較の対象から外した。

この表-8 の結果から、数式の構造の違いと手段分割方法の違いによる適合性の良否の違いを調べ、さらに各目的別におおのの適合性指標がどのモデルを最良として選んでいるかを考察する。

まず、出勤目的の場合、交通量の相関係数、 χ^2 値、RMS 値は似たような結果になっている。重みづけした場合についてみると、適合性の第1位のモデルは、交通量の相関係数、 χ^2 値、RMS 値、S 値ではモデルⅢ(バイナリーチョイス、ロジット型)だが、分担率の相関係数ではモデルⅤ(二段階推定、バイナリーチョイス、線形)となっている。重みづけしない場合についてみると、適合性の第1位のモデルはすべての指標でモデルⅢ

表—8 モデルの適合性の順位（各指標の3手段の値による）

目的 指標 型式	出 勤 目 的					全 目 的				
	分担率の 相関係数	交通量の 相関係数	χ^2 値	RMS 値	S 値	分担率の 相関係数	交通量の 相関係数	χ^2 値	RMS 値	S 値
I	3 (3)	3 (2)	3 (4)	3 (2)	3 (3)	3 (4)	2 (2)	6 (4*)	2*(2)	2 (2)
III	1 (2)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (2)	1 (1)	2 (2)	1 (1)	1 (1)
IV	5*(5*)	6 (6)	5*(5*)	6 (5*)	5*(5*)	6 (6)	3*(3*)	4 (5)	3(3*)	4 (5)
V	2 (1)	4*(4)	4 (3)	4*(4)	4 (4)	4 (3)	5 (5)	3 (3)	5 (5)	5 (4)
VII	4 (3)	2 (3)	2 (2)	2 (3)	2 (2)	2 (1)	4 (4)	1 (1)	4 (4)	3*(3*)
VIII	6 (6)	5 (5*)	6 (6)	5 (6)	6 (6)	5*(5*)	6 (6)	5*(6)	6 (6)	6 (6)

かっこの外は重みづけしない場合、かっこの内は重みづけした場合
(注)・印は5%有意水準で第1位のモデルと有意差が生じ始める順位を示す。

となっている。

次に、全目的の場合についてみると、 χ^2 値は出勤目的の場合と違って交通量の相関係数や RMS 値とは傾向が異なる。重みづけした場合には、適合性の第1位のモデルは交通量の相関係数、RMS 値、S 値ではモデル III、 χ^2 値と分担率の相関係数ではモデル VII（二段階推定、バイナリーチョイス、ロジット型）と結果が分かれている。重みづけしない場合には、適合性の第1位のモデルは、交通量の相関係数、分担率の相関係数、RMS 値、S 値ではモデル III、 χ^2 値ではモデル VII となり、これもまた結果が分かれている。

以上述べた各指標の傾向として共通にいえることは、交通量の相関係数、 χ^2 値、RMS 値の3つの指標と残る2つの指標、分担率の相関係数と S 値とでは傾向が異なることである。前者は手段別交通量そのものの適合度を測定しているのに対し、後者は交通量の比率によって適合度を測定しようとするものであるから、その違いがこのような異なる結果になって現われたと思われる。

(2) 最良モデルの選択

前節では各指標による順位の第1位のものに注目したが、これだけでは最良モデルを選択する判断資料としては不十分である。よって各指標による順位の第2位のモデルまで考慮してみると、どの指標による選択においてもモデル III は必ず含まれる。

よって今回の検討の結果、すべての場合において最良のモデルはモデル III、つまり、二段階推定をしないバイナリーチョイス法のロジット型のモデルであるといえる。この理由を考察する。線形式は分担率の特性を満たすために合計が1になるように分担率推計値の補正を行わなければならない。このとき精度の悪い手段の分担率推計値が他の手段の推計値へ影響し、誤差が大きくなるおそれがある。一方、ロジット式は補正の必要がないため線形式のような誤差はない。マルチチョイス法とバイナリーチョイス法とを比較すると、3手段を対等な選択肢と考えるマルチチョイス法よりも、バスと鉄道とは公共交通機関として類似したものであることを考慮に入れ

られるバイナリーチョイス法の方が適合性が高くなったと思われる。また、二段階推定によるモデルは、今回採用した captive, choice 層の分類方法では両層に分けたことによる効果が、はっきりと出ていない。この理由は、各層の特有の性質を表わす説明要因が用いられていないためと思われる。今後この要因を探し出す必要がある。

次にモデル III は重みづけした方がよいかどうかを検討する。5.(2) の検討からわかったように一般的には重みづけした方が適合性はよくなる。モデル III の場合は、出勤目的では重みづけすることにより実績値との適合性が悪くなるものはないが、全目的ではバスの χ^2 値およびバス分担率と自動車分担率の相関係数が若干悪くなる。しかし、3手段の数値は悪くなっていないので、全目的の場合も重みづけしたモデルの方がよいと思われる。

以上、種々の適合性指標を用いて最良の分担率モデルは何かを検討してきたが、今度はこれらの指標のうちで、どの指標を用いれば効率的に最良モデルを選択できるかを検討する。

まず、おのおのの適合性指標のうち重みづけした場合のモデル III の適合性が最もよいとしている指標を選び出すと、出勤目的では手段別交通量の相関係数と χ^2 値と RMS 値と S 値、全目的では手段別交通量の相関係数と RMS 値と S 値となっている。

さらに、これらの指標を比較するために各指標のモデル間の数値に有意な差があるかどうかを調べた。なお、各指標の検定方法は付録に示し、検定結果を表—8の中に示した。各指標の数値のモデル間の有意差をみまると、出勤目的では RMS 値と手段別交通量の相関係数、全目的では RMS 値と手段別交通量の相関係数と S 値が、他の指標に比べて第1位のモデルの指標の値と有意差を生じるモデルの順位が若いので、適合性の良否を判断しやすい。

次に、両目的で共通して判断しやすいとされた RMS 値と手段別交通量の相関係数の数値を比べてみると（表—4, 6）、RMS 値の方が数値の変動が大きく、モデル間の適合性の良否の差がつかみやすい。

よって適合性指標として RMS 値を採用するのが最も

効率的であり、大体の傾向をつかむ程度なら手段別交通量の相関係数で十分であることが本研究の結果からいえる。

7. む す び

本研究では、従来開発されてきた数種類の交通手段別分担率モデルの比較を行い、どのような分担率モデルが最良の分担率モデルかを決めた。その決定方法は、分担率モデルによる推計値の実績値に対する適合性を表わす指標をいくつか取り上げ、これらによって各種分担率モデルの優劣の順位をつけこれを判断資料として最良モデルを選んだ。また、これらの適合性を表わす指標のうちどの指標で判断するのが最も効率的かも合わせて検討した。

なお、各分担率モデルの係数推定は重回帰分析によって行ったが、この際に交通量で重みづけした重回帰分析と重みづけしない重回帰分析の2通りの推定方法で行い、ともに分担率モデルによる推計値の実績値に対する適合性を調べて、重みづけした重回帰分析による推定法の有効性を検討した。

本研究で明らかになったことをまとめると次のようである。

(1) 分担率式の係数の推定方法として交通量で重みづけした重回帰分析によって係数推定されたモデルの適合性は、重みづけせずに係数推定されたモデルよりよいことがわかり、この重みづけした推定方法の有効性が確かめられた。

(2) 二段階推定モデルは、二、三のモデルで二段階推定しないモデルより適合性がよいという結果になったが、今回の検討結果からは有効な推計手法とはいえなかった。この理由は、captive層とchoice層に分けた交通量推計は本来、分担段階のみならず分布段階や発生段階をも含めて考慮しなければならないためと思われる。今後、captive層とchoice層別の交通量推計が、詳細な調査を必要とせずにかも十分な精度で行える推計方法の開発が必要である。

(3) 5つの適合性指標を考え、これらの数値の大小により適合性を検証したが、これらの指標のうちRMS値を用いれば種々の分担率モデルの良否の判定が最も効率的に行えることがわかった。しかし、適合性の大体の傾向をつかむだけなら手段別交通量の実績値と推計値との相関係数で十分であることがわかった。

(4) 今回の各種分担率モデルの比較検討の結果、本研究で比較の対象とした分担率モデルの中では、モデルⅢ、つまり、バイナリーチョイス法でロジット型の二段階推定をしないモデルが全目的、出勤目的ともに最良モ

デルとして選ばれた。

今後検討すべき事項をまとめると次のようになる。

(1) 手段別交通量の実績値と推計値との適合性は、各手段ごとにかなりばらついている。今回は、3つの手段にわたって集計して適合性指標を計算し、これによって判断することが多かった。これ以外にも複数の手段の適合性を1つの数値として表わせるような指標の設定を考える必要がある。

(2) 二段階推定モデルが不十分なものであった理由として、captive層、choice層の分類の方法と両層への判別要因に関する情報不足が挙げられる。今後この問題を克服できるような判別要因の検討およびその要因に関するデータの収集が必要である。

(3) 分担率モデルの推計精度の検証は今回データの制約上現況値との適合性で行ったが、モデルの時間的・空間的普遍性の検証についての検証方法論の確立ならびにそれに耐え得る実績データの収集が必要である。

付録 適合性指標の差の検定方法

本研究では、適合性指標が各モデル間に有意な差があるかを以下に示す式を用いて検定した。なお、各検定式は任意の2つのモデルaとモデルbの指標値の差を検定する場合のものであり、 n_a 、 n_b はそれぞれモデルa、モデルbの作成に用いたデータ数である。

1. 相関係数の検定式

次式のZが、標準正規分布することから差を検定する。

$$Z = \frac{\frac{1}{2} \ln \frac{1-r_a}{1+r_a} - \frac{1}{2} \ln \frac{1-r_b}{1+r_b}}{\sqrt{\frac{1}{n_a-3} + \frac{1}{n_b-3}}}$$

ここに、 r_a 、 r_b はそれぞれモデルa、bの相関係数。

2. χ^2 値の検定式

次式のFが自由度(n_a-1 、 n_b-1)のF分布に従うことから差を検定する。

$$F = \frac{\chi_a^2 / (n_a - 1)}{\chi_b^2 / (n_b - 1)}$$

ここに、 χ_a^2 、 χ_b^2 はそれぞれモデルa、bの χ^2 値。

3. RMS 値の検定式

次式のFが自由度(n_a-1 、 n_b-1)のF分布に従うことから差を検定する。

$$F = \frac{(\text{RMS}_a)^2}{(\text{RMS}_b)^2}$$

ここに、 RMS_a 、 RMS_b はそれぞれモデルa、bのRMS値。

4. 相対尤度の検定式

次式のFが自由度(n_a-1 、 n_b-1)のF分布に従う

ことから差を検定する.

$$F = S_a / S_b$$

ここに, S_a , S_b はそれぞれモデル a, b の相対尤度 (S 値).

参 考 文 献

- 1) 河上省吾：通勤・通学交通量分布の予測方法に関する研究, 京都大学博士論文, 1969-3.
- 2) Bock, F.C.: Factors Influencing Modal Trip Assignment, National Cooperative Highway Research Program Report 57, H.R.B., 1968 (佐佐木綱ほか訳: トリップの交通手段への配分に影響を与える要因, 関西鉄道協会都市交通研究所, 1969-11).
- 3) 佐佐木綱：都市交通計画, 国民科学社, pp. 223~278, 1974.
- 4) 河上省吾・加藤正樹：通勤・通学交通の輸送機関別分担率に関する解析, 土木学会論文報告集第 248 号, pp. 99~110, 1976-4.
- 5) Hutchinson, B.G.: Principle of Urban Transport Systems Planning, Scripta Book Company, pp. 54~81, 1974.
- 6) Stopher, P.R. and A.H. Meyburg: Urban Transportation Modeling and Planning, Lexington Books, pp. 175~198, 1975.
- 7) 河上省吾・羽根田英樹：介在機会モデルの推計精度に関する研究, 土木学会論文報告集第 251 号, pp. 91~106, 1976-7.
- 8) Wilson, S.R.: Statistical Notes on the Evaluation of Calibrated Gravity Models, Transpn. Res. 10, pp. 343~345, 1976.
- 9) 河上省吾・磯部友彦：集計型分担率モデルの推計精度の比較方法について, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp. 252~253, 1981-2.
- 10) 建設省都市局都市交通調査室：都市交通マニュアル, パーソントリップ調査による交通量の将来推計, 1976-7.
- 11) Domencich, T.A. and D. McFadden: Urban Travel Demand, North-Holland, 1975.
- 12) 毛利正光・渡辺千賀恵・綿谷茂則：自動車と公共交通機関の輸送分担特性, 土木学会第 30 回年次学術講演会講演概要集第 4 部, pp. 160~161, 1975-10.
- 13) 荒木博美・山形耕一・五十嵐日出夫：拘束性を考慮した交通手段選択モデルについて, 土木学会第 32 回年次学術講演会講演概要集第 4 部, pp. 78~79, 1977-10.
- 14) 仮谷太一：予測の知識, 森北出版, 1971.
- 15) 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, 目的別代表機関別 OD 表, 1973-9.
- 16) 建設省都市局都市交通調査室：都市交通計画マニュアル作成資料 No. 1, 将来交通量推計の概要, 1975-7; No. 2, 各都市圏の将来交通量推計方法の対照, 1976-7.
- 17) 岩本基広：交通手段別分担率に関する研究, 名古屋大学修士論文, 1973.
- 18) 磯部友彦：パーソントリップの交通手段別分担率モデルの構造と推計精度に関する研究, 名古屋大学修士論文, 1980.
- 19) 河上省吾・磯部友彦：集計型分担率モデルの予測精度の比較と個人属性を導入した非集計型分担率モデル, 土木学会第 35 回年次学術講演会講演概要集第 4 部, pp. 99~100, 1980-9.
- 20) 河上省吾・住田公資：分布・分担・配分過程を結合した交通量予測モデル, 土木学会論文報告集第 306 号, pp. 45~58, 1981.

(1982.1.21・受付)