

**投稿論文 (和文)**  
**PAPERS**

# ODゾーンペアごとの手段利用可能性とトリップ長分布を考慮したPT調査交通分担モデルの構築

樗木 武\*・横山 純\*\*・辰巳 浩\*\*\*・  
李 相光\*\*\*\*

PT調査におけるODペア分担交通モデルの改良として、実用性に配慮しながらPTデータのみを用いた非集計型手段選択モデルの構築法と集計化法について検討し、また事例によりその有用性を検証した。選択モデルの作成に当たっては、ODペア毎の交通手段利用可能性の判別確率を用いて確率的チョイスセットを設定する方法と、選択手段および代替手段に関するトリップ長をPTデータから推定する方法を工夫した。また、提案非集計モデルに関しトリップ長分布に従う集計化手法について検討を加えた。

**Key Words** : disaggregated modal choice model, modal-split model, stochastic modal choice set, trip-length distribution, aggregation process

## 1. はじめに

PT調査における交通手段分担モデルとして、ODペアモデルが実務で広く用いられている。その際、専らとってよいほど活用される集計型モデルは、PTデータの直接利用という点で都合であるが、同一ODゾーンペアでは全ての人と同じ確率に従い手段を選択するという内容になり、個人単位の意識行動である手段選択を必ずしも十分合理的に説明できない難点がある<sup>1)</sup>。あるいは、ODゾーンペアで異なるチョイスセットの数だけモデルを作成する場合や、上述の難点を少しでも改善する意味で、交通環境条件の異なるグループ毎にモデルを作成する場合には、PT調査といえどもデータが不足するなどの問題が発生する。加えて、各ODペア、各代替交通手段毎のモデルリンクの設定や交通手段の速度の仮定が曖昧で恣意的であり、多大の労力を要する問題もある。

一方、非集計型モデルは、個人単位の選択行動が把握でき、しかも少ないデータでモデルの作成が可能であるという優れた特色がある。しかし、これをPT調査そのものに用いるには、全体で、あるいは適当なグループ毎で確定した1組のチョイスセットを設定することと関係して、現状では必ずしもモデルが有する利点を十分に生かすきれないでいる。また、非集計型モデルは、実際に選択された手段に加え、それに代替する手段の情報が必要であるが、通常のPT調査はそうした情報に欠け、結局は別途の意識調査を追加しているのが実情である。

実務に用いられるPT調査は、もともとそれ自体が個人単位の調査であり、その規模や精度から交通行動の

実情をとらえるものとして意義あるものと考えている。従って、チョイスセットや代替手段に関する個人情報が得られないにしても、それらを推測する工夫が可能であるならば、PTデータによる手段分担モデルとして非集計タイプのモデルの構築が可能になり、より合理的な手段選択行動が把握できることになる。

本論文は、上記のことを考慮し、PT調査におけるODペア交通分担モデルの改良として、PT調査情報をより積極的に活用した非集計型手段選択モデルの構築法と集計化法を提案するものである。その際、実用性に配慮しながら特に以下の4点を工夫した。

- ① チョイスセットは、ODゾーンペアごとに異なり、しかも、同じODゾーンペアでも、交通手段に関し実際に1組のセットを確定的に設定することは問題がある。また、交通計画の上で将来の変化に対応させ評価する必要もある。そこで、手段毎にその利用可能性を考慮し、これにもとづいてODゾーンペア毎のチョイスセット群を確率的に設定することを工夫する。即ち、非集計モデルに本概念を導入することは、確率的2段階モデル<sup>2),3)</sup>の活用であるが、その際、PTデータの活用ということ及びODゾーンペア間のチョイスセットの設定ということで、後述のように、個人でなく、ODゾーンペア毎の交通手段利用可能性の判別確率を用いて簡略化し、実用化を図るものである。
- ② 前項の提案を踏まえ、チョイスセットのパターン毎に非集計交通選択モデルを作成し、その組み合わせでODゾーンペア個々に異なる交通分担の状況に即した分担量の把握法を工夫する。
- ③ その際、各手段選択に対する説明要因の中で、トリップ長は重要であり、必ずといってよいほど用いられる。しかし、トリップエンドゾーンが空間的な広がりをもつこと等から、同じODゾーンペアで

\*正会員 工博 九州大学教授 工学部建設都市工学科  
(〒812 福岡市東区箱崎)

\*\*正会員 工修 水産庁漁港部

\*\*\*正会員 工修 九州大学助手 工学部建設都市工学科

\*\*\*\*学生会員 工修 九州大学大学院 博士課程

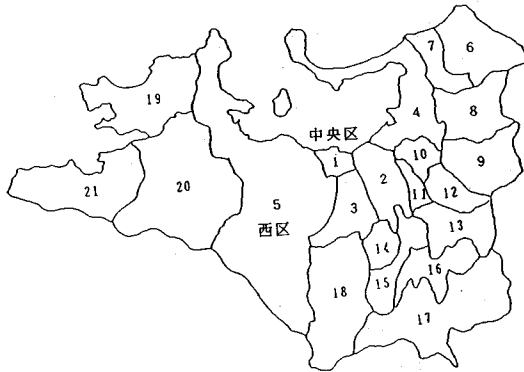


図-1 福岡都市圏ゾーニング (Bゾーン)

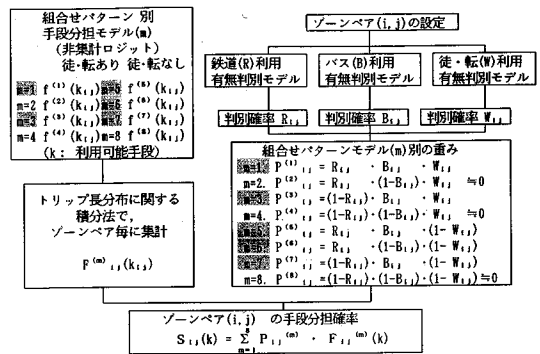


図-2 PT 調査非集計型交通分担モデル

も個々人でトリップ長は異なり、これを OD ゾーンペア全体で見れば確率的に分布するといえる。そこで、選択手段のトリップ長及びこれに代替する手段のトリップ長が確率分布に従うものと考え、それを PT データから推測し、手段選択モデルの構築に活用する。

- ④ 前項に関連して、非集計モデルの集計化段階で、トリップ長の確率的取扱いをそのまま生かして集計化する積分法を工夫し提案する。

結局本研究は、限られた PT データの下で、OD ゾーンペア毎で異なるチョイスセットの多様な状況と、各トリップのトリップ長とを OD ペア間の確率概念でとらえ、その一方で、個人ベースの非集計型選択モデルを求めて、両者の組み合わせによる OD 間の実情に即した分担交通量の把握法を提案するものである。

なお本研究では、具体的なこととして、第 1 回北部九州圏 PT 調査 (S47)<sup>11)</sup> を事例に検証しながら説明するが、対象地域は福岡都市圏であり、図-1 の 21 市区町村 (B ゾーン) のデータ (全目的) を用いる。また、交通手段は、鉄道 (構成比 5.6%)、バス (同 15.0%)、自動車 (同 32.1%) 及び徒歩・自転車 (同 43.6%) の 4 分類を対象とする。なおこれらの他に、バイク (同 2.0%) とその他 (同 1.7%) があるが、いずれも僅少であり省略する。

また、PT データは、本来なら拡大後のデータを用いるところである。しかし、抽出軸と拡大軸が異なること、本論は分担交通モデルの開発に主眼があること、および簡単のため標本データを用いた。従って、以下の計算結果は拡大後データによる場合に対し歪んでいることも考えられ、注意が必要である。

## 2. 提案モデルの概要

交通手段を選択する際、人々は利用可能な手段で構成されるチョイスセットを考え、その上で各手段のトリップ長を想定し、これと他の諸条件とを勘案して手段を決

定するものと考えることができる。これに対し、PT 調査における分担交通のモデル化では、チョイスセットは全体を通じて 1 組決ったものを与えて行う事例が多く、あるいは、OD ペア毎に考えるにしても、データの制約から、適当な OD ゾーンペアのグループ毎に 1 組を考えるのがせいぜいである。これらの考え方で、前者は簡便ではあるが、もともと個人の行動である手段選択把握の上で十分であるとはいえない。また、後者による場合は、ゾーニングを細かくし、個々人がおかれている各交通機関利用上の利便性や交通抵抗等の諸条件がほぼ同じであるとみなしうる場合の近似として容認できないこともない。しかし、より緊密には、あるいは B ゾーンや A ゾーンといった大きな単位のゾーニングを対象とする場合には必ずしも妥当であるとはいえない。即ち、同じ OD ゾーンペアでもゾーン内個々の地点でみれば、そのおかれている交通環境条件の差から一つの確定したセットで表しうるとは考えられず、全体としてみれば、確率的に複数のセットが対応するとみるのが自然である。また、手段毎のトリップ長は、認識における個人差の他に、本来的に空間的広がりをもつゾーンペアのどの地点間を OD とするかによっても変化し、その扱いとして同じゾーンペアであってもトリップ長は確率変量であるともみなすことがより妥当と考える。

この 2 点を踏まえ、PT データに基づく非集計型 OD ゾーンペアモデル (内々、内外を同時に考慮) を提案すれば、図-2 のとおりである。

まず、各ゾーンペアで手段毎にその利用可能性を考えるが、その対象には、鉄道、バスといったルートが限定される公共交通手段と、ゾーン間距離が長い場合には存在しないと推測される徒歩・自転車が考えられる。なお、自動車は、交通が存在するどのゾーンペアにも必ずといってよほど発生し (大きいゾーニングの場合)、この意味では特にその利用可能性を判別する必要がないことになる。

以上から、鉄道、バス、徒歩・自転車の有無判別モデ

表一 交通手段有無判別モデル

利用機関	特性	説明変数	的中率
(a) 鉄道 (5.0)	発ゾーン	$X_1$ : 世帯密度, $X_2$ : 鉄道者密度	有 0.76
	着ゾーン	$X_3$ : 駅従比, $X_4$ : 第3次就業人口構成比	無 0.73
	ゾーン間	$X_5$ : ゾーン中心最寄駅間の鉄道網最短距離 $X_6$ : O, Dゾーン双方に駅があり、その間を結ぶ鉄道路線の有無	全体 0.75
	判別関数	$Y = -2.00 + 0.008X_1 + 0.005X_2 + 0.36X_3 + 5.32X_4 - 0.09X_5 + 11.30X_6$	
(b) バス (6.5)	発ゾーン	$X_1$ : 年少人口指数, $X_2$ : バス停密度	有 0.85
	着ゾーン	$X_3$ : バス停密度, $X_4$ : 第3次就業人口構成比	無 0.89
	ゾーン間	$X_5$ : ゾーン中心最寄バス停間のバス網最短距離 $X_6$ : 上記ルート上での乗り換えの回数	全体 0.87
	判別関数	$Y = 6.56 - 7.59X_1 + 0.18X_2 + 1.69X_3 + 0.14X_4 - 0.22X_5 + 1.28X_6$	
(c) 徒歩・自転車	発ゾーン		有 0.91
	着ゾーン		無 0.89
	ゾーン間	$X$ : Aにもとづく最短距離	全体 0.89
	判別関数	$Y = 8.16 - 1.90X$	

注) ( ) 内はステップワイスにおけるF-in, outに相当する値で、いずれの説明変数のF値もこれより大きい。

表二 交通手段の組合わせパターン

		(徒歩・自転車有りの場合)		(徒歩・自転車無しの場合)	
		鉄道	利用	鉄道	利用
バス利用	有	鉄道, 自動車, バス (パターン3)	自動車, バス (パターン4)	鉄道, バス (パターン5)	自動車, バス (パターン6)
	無	鉄道, 自動車, 徒歩 (パターン2)	自動車, 徒歩 (パターン4)	鉄道, 自動車 (パターン6)	自動車 (パターン8)

ルを作成すれば表一のとおりである。

マストラの利用有無判別 (各ODペアで10トリップ以上を有り、未満を無しと設定) は、交通施設サービスの度合いに応じて決定されると考え、発ゾーン、着ゾーン及びゾーン間の3タイプの特性指標を説明変数に組み込んでいる。その中で、鉄道利用の有無については、当該ODゾーンペア間で直接的に線路が有るか無いかが大きく関与し、バス利用の有無に関しては、その乗り換え回数が利用上の抵抗になっていると理解できる。

徒歩・自転車は、交通施設によるよりも距離に影響される度合いが強いと考えられ、ゾーン間距離を説明変数としている。その際、PTデータの内容上の制約と簡単であることを踏まえて、ゾーン中心をノードとし、各ゾーン面積の平方根をリンク長とするネットワークを考え、その最短ルートに従う各リンク長の総和をゾーン間距離とみなす簡便法を用いたが、これで十分な精度を有することは表より明らかである。

上記の判別分析を踏まえ、各ODゾーンペアのチョイスセットを考えれば、表二に示すように、全部で8パターンが考えられる。これらのうち本事例では斜線に示す5パターンが存在し、残りは零とみなしうる。即ち、PTデータ14.2万トリップの中で上記5パターンはいずれも1000トリップ以上のデータが確保できるが、残りのパターンはせいぜい百数十トリップ程度に過ぎず、これを各ODゾーンペアに分ければそれぞれで無視しうる僅少なデータとなる。従って、以下の事例検討では1, 3, 5, 6, 7の5パターンについて考察を進める。

冒頭に述べるように、各手段は同じODゾーンペアに対し、全ての人利用可能か否かという二者択一ではなく、同じゾーンに属する人でも、駅・バス停の遠近等

により鉄道、バスを利用可能な人もいればそうでない人もいることから、各手段が当該ODゾーンペアのチョイスセットに含まれるか否かは確率的であると仮定できる。また、徒歩・自転車は、ゾーンに空間上の広がりがあることから、同じODゾーンペアでも、その間の距離は個人で異なり、これまた確率事象とみなしうる。

こうしたことを踏まれば、ODゾーンペア間のチョイスセットの設定は確率的となるが、仮定的に手段利用有無判別モデルの判別確率を用いてその利用可能性を確率表現し、そうした事象が独立であるとしてセット確率を求めることが提案できる。即ち、鉄道利用、バス利用および徒歩・自転車利用の有無に関して、それぞれのODゾーンペア毎に判別確率が求まり、それにもとづいたセット確率  $P_{ij}^{(m)}$  を算出しながら (図二), 各ODペアに対するチョイスセット群が設定できるものと仮定する。あるいは、ODゾーンペアが与えられたとき、それに対するチョイスセットを一つに確定することは難しく、その解決策として、確率的にチョイスセット群を設定すると解釈できる。

チョイスセットが与えられている場合について、そのセットに対する非集計手段選択モデル  $f^{(m)}(k_{ij})$  が作成できる。その際、ODゾーンペア間の各手段に対するトリップ長が重要な説明変数となるが、その扱いは、次項で詳述するように確率変量とみなし推測する。また、このトリップ長を確率変量とする場合、非集計モデルをトリップ長分布に即して積分することが考えられ、その結果を  $F_{ij}^{(m)}(k_{ij})$  とする。

ODゾーンペアに対し、確率的なチョイスセットの設定と、各セットに対する非集計モデル  $F_{ij}^{(m)}(k_{ij})$  がえられれば、チョイスセットに関する確率に応じて加え合わせることでODゾーンペア毎の各手段分担確率がえられ、従って分担交通量が算出できることになる。なお、本事例では、パターン2, 4, 8のチョイスセットを省略したことから、 $P_{ij}^{(m)}$  でなく、 $P_{ij}^{(m')} = P_{ij}^{(m)} / (P_{ij}^{(m)} + P_{ij}^{(n)} + P_{ij}^{(p)} + P_{ij}^{(q)} + P_{ij}^{(r)})$  が実際のセット確率となる。

### 3. 非集計モデルの構築

#### (1) 手段別トリップ長 (時間) 分布の推定

ゾーンペア毎の空間的広がりを見ると、ゾーンペアのどの地点間のトリップかによりトリップ長は異なる。そこで、PTデータよりトリップ長分布の把握を行えば以下のとおりである。

PT調査では、トリップ長は一般に分単位で回答を求めている。しかし、分は回答者が明確に識別する時間としては問題が残る。例えば、集計単位を5分単位にしてトリップ長のヒストグラムを描けば、5分、15分…と、10分、20分…とで凹凸を繰り返す、端数5分をもつトリップの回答割合が低く落ち込む傾向にあり、本事例も

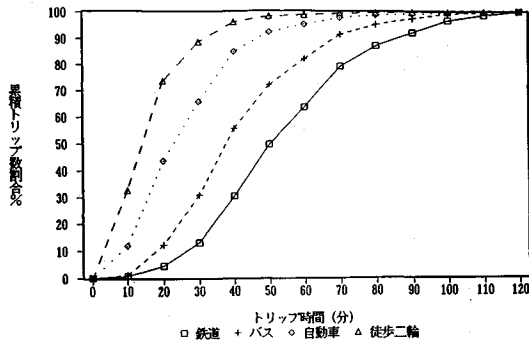


図-3 代表交通手段別トリップ長累積分布

その類である。そこでここでは、10分間隔でトリップ時間をカテゴリー化し分布の推定を行うものである。また、異常データが分析に影響を与えることを防ぐ意味で、最大トリップ長を120分とした。120分以下のトリップ数は全体の99.5%を占める。

a) トリップ長分布の類型化

手段毎のトリップ長分布の特徴を明らかにするため、全ODゾーン全目的の代表手段別トリップ長累積分布を描けば図-3のとおりである。

各手段トリップ長の中央値は、明らかに鉄道が最も長く、次いでバス、自動車、徒歩・自転車の順に短くなる。また、分布のばらつき的大小も同じ順位であり、手段毎にトリップ長分布が大きく異なる。

トリップ長分布はまた、交通目的や個人属性で異なることも考えられる。そこで、交通目的として8分類<sup>9)</sup>、個人属性として性別、年齢(3区分)、職業(5区分)、免許の有無及び車の保有非保有を考え、これら各カテゴリー毎のトリップ長分布を求め、それらの均斉性についてKS検定を行った<sup>13)</sup>。その結果、交通目的の業務Ⅱと通勤で大きな有意差が認められ、それ以外にもある程度の有意差が認められるものがあったが、全体的には大きな差があるというケースはさほど多くはない。このことと簡単であることを考慮して、本事例のトリップ長分布を、特に交通目的、個人属性により区分せず、ODゾーンペアそれぞれで手段毎に異なるものとする。

b) トリップ長分布の推定

各ODゾーンペア間(内々を含む)の手段別トリップ長分布を正規及び対数正規分布で仮定し、実績と推定値との間で $\chi^2$ 検定を行った。その結果、正規分布では有意水準5%で適合しないODペアが徒歩・自転車で存在するが、対数正規分布はいずれも適合した。また、鉄道は対数正規分布の方が適合性が良いODゾーンペアが全体の48%であるが、バスでは52%、自動車では59%、徒歩・自転車では54%であり、どちらかといえば対数正規分布の当てはまりが良いODゾーンペアが多い。しかも、トリップ長が短く、トリップ数が多い

表-3 トリップ長分布のパラメータ

手段	パラメータの重回帰式	データ数	R
鉄道	$\mu_i = \log(20.4867 + 1.0301 X_1 - 4.0356 X_2)$	98	0.81
	$\sigma_i = \exp(-1.2321 - 0.0410 X_1 + 0.4770 X_2 + 0.0018 X_3)$		
バス	$\mu_i = \log(11.7806 + 1.1879 X_1 + 4.2426 X_2)$	79	0.81
	$\sigma_i = \exp(-0.7893 - 0.0410 X_1 + 0.0021 X_2 + 0.0019 X_3 - 0.2546 X_4)$		
自動車	$\mu_i = \log(5.1525 + 0.9953 X_1)$	179	0.88
	$\sigma_i = \exp(-0.6729 - 0.0443 X_1 + 0.0022 X_2 + 0.0019 X_3)$		
徒歩 自転車	$\mu_i = \log(6.000 X_1)$	61	0.88
	$\sigma_i = \exp(-0.3265 - 0.0588 X_1 + 0.0019 X_2)$		

ここに  $X_1$  = 発着ゾーン面積 ( $\text{km}^2$ )、 $X_2$  = 着ゾーン面積 ( $\text{km}^2$ )、 $X_3$  = ゾーン間道路実測距離 ( $\text{km}$ )、 $X_4$  = ゾーン間バス乗り換え回数、 $X_5$  = ゾーン間鉄道路線有無(有=1, 無=0)、R = 重相関係数

OD ゾーンペアほど対数正規分布がよく適合する。これらことから、トリップ長分布を対数正規分布で近似することにする。なお、拡大前と後の両PTデータに関し、内々をも含めて全てのQD、手段別トリップ長分布に有為の差があるか否かKS検定したが、いずれも有意水準1%で同じであるといえ、この点で両データに有意の差がないことを付記する。

対数正規分布のパラメータ  $\mu_i$  と  $\sigma_i$  の構造変化を知るため、分布が表現可能な21トリップ以上のODペアをサンプルに、また説明変数にゾーン間距離や利用手段の整備状況等を用い、パラメータのステップワイズ重回帰分析 ( $F$ -in, out=3.0)を行った。なお、徒歩・自転車は、中・長距離のトリップがないため回帰モデルの構築が困難である。そこで、徒歩の平均速度4km/時と自転車の12km/時のデータ数による重み付け平均10km/時を用いて  $\mu_i$  の式を作成した。

以上の結果を表-3に示す。 $\mu_i$ には各交通手段ともゾーン間距離が高い説明力をもつことが確認できる。また、 $\sigma_i$ に関してはそれほど高い精度はえられなかったが、ゾーン間距離が大きくなるほど小さくなり、発着ゾーン面積が大きくなるほど大きくなる結果であり、合理的な内容である。

c) 選択手段のトリップ長  $T_i$  に対応する代替手段のトリップ長分布

あるODゾーン間で選択された手段のトリップ長が  $T_i$  であるとき、これに代替する他の手段のトリップ長をいかに推定するかが問題であるが、これは確率的に分布すると考えられる。即ち、PT調査では代替手段のトリップ長分布を直接確認する手立てはないが、前項の様に、いずれの当該手段のトリップ長分布も対数正規分布で表現することに符合させ、 $T_i$ にたいする代替手段のトリップ長分布も対数正規分布で表しうると仮定する。その上で当該手段の  $T_i$  が与えられたとき、代替手段  $j$  のトリップ長分布のパラメータ  $\mu_{ij}$ ,  $\sigma_{ij}$  を以下のように近似的に求めるものである。

前述のように、いずれの利用交通手段に関しても  $\mu_i$  に対するゾーン間距離の説明力が高いことから、鉄道、バスの  $\mu_i$  についてあらためてゾーン間距離のみを用いて回帰分析を行えば、表-4のとおりである。いずれも

表-4 パラメータ  $\mu_{ij}$  の近似回帰

手段	パラメータの回帰式	R
鉄道	$\mu_{i,j} = \log(16.988 + 1.023X)$	0.80
バス	$\mu_{i,j} = \log(11.885 + 1.267X)$	0.80
自動車	$\mu_{i,j} = \log(5.152 + 0.995X)$	0.88
徒・転	$\mu_{i,j} = \log(6.000X)$	0.88

X: ゾーン間道路実測距離, R: 重相関係数

表-5 代替手段のパラメータ  $\mu_{ij}$  の推定

利用交通手段(i)	代替交通手段(j)	a	b
鉄道	バス	-9.15	1.24
	自動車	-11.37	0.97
	徒・転	-99.63	5.87
バス	鉄道	7.99	0.81
	自動車	-4.19	0.79
	徒・転	-56.29	4.74
自動車	鉄道	11.69	1.03
	バス	5.33	0.27
	徒・転	-31.06	6.03
徒歩 自転車	鉄道	16.99	0.17
	バス	11.89	0.21
	自動車	5.15	0.17

但し,  $\mu_{i,j} = \log(a + b \cdot T_i)$   
 $\mu_{i,j}$ :  $T_i$  に相当する代替手段 j の平均トリップ長  
 $T_i$ : 選択された当該交通手段のトリップ長

表-6 代替手段のパラメータ  $\sigma_{ij}$  の推定

利用(i) 交通手段	代替(j) 交通手段	定数項 a	b ( $\times 10^{-2}$ )	指数 $\alpha$	重相関 係数
鉄道	バス	-0.123	-1.656	0.379	0.584
	自動車	-0.101	-2.584	0.058	0.602
	徒・転	-0.338	-0.634	0.032	0.163
バス	鉄道	-0.283	-2.714	0.134	0.652
	自動車	-0.078	-2.757	0.067	0.678
	徒・転	-0.392	-0.292	0.106	0.135
自動車	鉄道	-0.596	-2.035	0.218	0.483
	バス	-0.458	-1.379	0.420	0.511
	徒・転	-0.254	1.328	0.700	0.370
徒歩 自転車	鉄道	-0.716	-1.253	0.120	0.213
	バス	-0.642	-1.257	0.085	0.204
	自動車	-0.253	-2.395	0.171	0.631

但し,  $\sigma_{i,j} = \sigma_{i,i} \exp(a + b \cdot T_i)$   
 $\sigma_{i,i}, \sigma_{i,j}$ : 選択された当該交通手段およびその代替手段の  
 パラメータ  $\sigma_{ij}$

その精度は、表-3 に比しそれほど劣るものでなく、この意味で手段間の関係を把握するために表-3 に代え表-4 を用いることができる。

ゾーン間距離  $X$  を媒介に、利用手段の  $T_i$  と代替手段の  $\mu_{ij}$  相互の関係式を誘導すれば表-5 のとおりである。即ち、表-4 から距離  $X$  に対する利用手段トリップ長  $T_i$  がえられ、また、代替手段の平均トリップ長が推定できる。この  $X$  を介した両者の関係から  $T_i$  と  $\mu_{ij}$  との関係は推測するものである。

一方  $\sigma_{ij}$  は、表-3 より明らかなように、当該手段に対するものでさえ高い精度をうる事が難しい。また、ゾーニングの仕方によっても異なる。これらのことから、 $T_i$  が与えられたとき、それに対する代替手段の分布パラメータ  $\sigma_{ij}$  に関して、 $\mu_{ij}$  と同様の分析で精度ある結果

をうることは期待できない。そこで、ゾーンペア毎に選択手段のトリップ長の平均値と代替手段の  $\sigma_{ij}$  との関係プロットしたところ、トリップ長が大きくなるに従い  $\sigma_{ij}$  が減少する傾向が認められた。また、 $\sigma_{ij}$  が大きいゾーンペアに対して、その代替手段の  $\sigma_{ij}$  も大きくなると推察できる。これらから、 $T_i$  と  $\sigma_{ij}$  とを説明変数とする  $\sigma_{ij}$  の回帰分析を行ったが、結果は表-6 のとおりである。

鉄道、バス、自動車相互では表-3 と同程度の精度がえられた。しかし、徒歩・自転車に関するものはいずれも精度が悪い。これは、前述のように、徒歩・自転車が短トリップに集中し、従って  $\sigma_{ij}$  と徒歩・自転車のトリップ長  $T_i$  との間はデータの上で狭い範囲の  $T_i$  でしか存在しないことによるものである。むしろ実際の適用もそうした範囲にとどまることから問題はないといえる。

(2) 非集計モデルの構築

手段分担モデルとして非集計多項ロジットモデルを採用し、そのモデルを、各チョイスセットが考えられる個々の OD ゾーンペアからの適当な抽出データにもとづいて作成する。なお、モデル作成のためのデータは、混合合同法を用いて擬似乱数を発生させ、各セット毎に精度上問題ないと判断される 500~700 程度のサンプルを無作為抽出し活用した<sup>6)</sup>。

a) 説明変数について

PT 調査内容を踏まえ、また、手段分担に影響を及ぼす要因分析<sup>9)</sup>から、説明変数を以下のように設定する。個人属性は、マストラと自動車、徒歩・自転車の選択を表現する重要な変数という観点から後述の表-8 に示す内容を採用した。また、交通目的は、自動車への依存の高い業務、私用と、マストラ利用が多いその他(通勤、通学、帰宅等)に分け、自動車の固有変数として取り入れた。

トリップ長は、手段間のサービスの違いを表す変数である。前述の選択手段トリップ長に対応する代替手段のトリップ長分布を用いて代替手段トリップ長を推定し、共通変数として組み入れる。その際、代替手段のトリップ長をいかに推定するかが問題であり、その一法として、シミュレーションによりランダムに与える方法が提案でき、本例の演算はこれによっている。

距離に関し、例えば、長距離トリップでは高速性を有する鉄道の利用が、それより短いトリップではバスの利用が高いが、そうした範囲概念でそれぞれの効用も高いと考え手段選択を行っていると考えられる。このことを踏まえ、横軸にゾーン面積の平方根  $\sqrt{A}$  にもとづくゾーン間距離を、縦軸に手段毎の分担シェアをとりプロットすれば、図-4 に例示する結果がえられる。その上で手段毎に、当該手段の卓越選択エリアを  $\sqrt{A}$  に関し 10 km 毎に区分しその間の最大分担シェアより回帰分析し求め

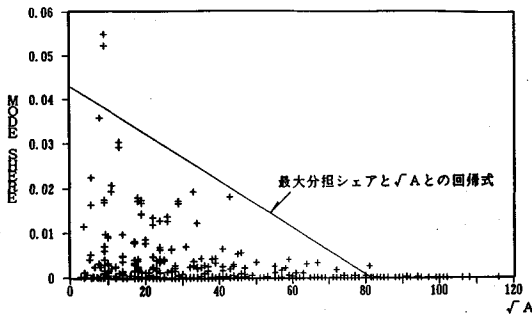


図-4  $\sqrt{A}$ と分担シェアとの関係(鉄道)

表-7 手段毎の優先選択エリアを求める回帰式

交通手段	重回帰式	R
鉄道	$Y = -0.00050X + 0.04021$	0.77
バス	$Y = -0.00271X + 0.10489$	0.87
自動車	$Y = -0.00334X + 0.11917$	0.87
徒・転	$Y = -0.00675X + 0.14985$	0.80

Y: 交通手段ごとの分担シェア  
X:  $(\sqrt{A})^{1/2}$  R: 重回帰係数

表-8 パターン別非集計ロジットモデル

組合せパターン	パターン1	パターン3	パターン5	パターン7	パターン6	
説明変数	鉄道ダミー	-3.474 (-6.99)**		2.161 (2.49)**		2.249 (9.87)**
	バスダミー	-2.086 (-6.57)**	-1.805 (-7.01)**	2.881 (3.26)**	2.150 (3.82)**	
	自動車ダミー	-5.333 (-13.2)**	-3.258 (-5.33)**			
明変数	トリップ時間(分) (共通変数)	-0.089 (-9.31)**	-0.0550 (-7.76)**	-0.070 (-2.92)**		
	卓越選択エリア離れ (共通変数)	-0.030 (-1.41)	-0.072 (-4.08)**	-0.287 (-3.70)**	-0.044 (-3.48)**	-0.121 (-6.74)**
変数	免許(CAR) 有=1, 無=0	2.874 (9.28)**	3.142 (10.4)**	2.777 (9.81)**	2.957 (10.5)**	2.198 (9.28)**
	自動車保有(CAR) 有=1, 無=0	1.162 (3.67)**	1.422 (4.45)**	1.320 (5.62)**	1.201 (4.29)**	1.612 (7.00)**
	性別(CAR) 男=1, 女=0					
	目的(CAR)	0.771 (2.52)**	0.545 (1.97)	1.276 (4.81)**	1.608 (4.48)**	1.225 (4.92)**
	業務=1, 通勤=0 年齢(RAIL) 18~65=0, 以外=1 職業(CAR) 有=1, 無=0			1.133 (3.97)**		1.066 (2.81)**
統計	サンプル数	515	621	602	502	729
	選択肢数	4	3	3	2	2
	ケース数	2060	1863	1806	1004	1458
	尤度比	0.589	0.589	0.365	0.465	0.434
的中率(%)	鉄道	75.0		52.2		
	バス	63.5	70.7	51.3	74.6	
	自動車	75.8	72.7	80.1	87.2	83.4
	徒歩・自転車	85.6	83.9			
全体	79.8	79.2	67.8	82.9	83.0	

注) ( )内はt値を示す。 \*\* 1%有意(2.56)

た。即ち、卓越選択エリアとは、他手段と比較し相対的にその手段を選択する度合いが高いゾーン間距離の範囲ともいえる内容である。本例の回帰結果は表-7のとおりで、これらと比較すれば、 $\sqrt{A}$ が0~9 kmの範囲で徒歩・自転車、9~22.9 kmで自動車、22.9~29.2 kmでバス、29.2 km~で鉄道が卓越選択エリアとなる。

$\sqrt{A}$ に対し、各手段卓越選択エリアからの離れを個人毎にサービス変数として導入した。これはゾーンペア毎に決まる値であるが、手段選択において、この距離ならこの手段を使うという潜在意識の表現とみることもできる。

### b) 非集計モデル

えられたモデルを表-8に示す。ダミー変数は何れもt値が高く有力な説明変数であるが、その符号に+と-が混在し、ダミー変数の持つ説明力がセット毎に異なる。即ち、パターン1, 3と5, 6, 7といった徒歩・自転車の有無で符号が異なる。これは徒歩・自転車利用の有無が手段選択に影響を及ぼしていることを意味する。

トリップ長は、パターン1, 3, 5のバス利用が考えられる場合に有意で、その符号は何れも-であり、トリップ長がバス選択の抵抗になることを示す。また、t値をみると、パターン7と6で有意とはいえず、パターン5も他に比べて小さい。このことは、徒歩・自転車の利用が考えられないゾーンペアで手段選択を行う場合、距離や個人属性などトリップ長以外の要因がより説明力をもつことを示唆する。

前述のように、距離変数は各交通手段の卓越選択エリアからの離れを示すが、その符号は何れのパターンでも-であり、離れが大きいかほど効用が小さくなるといった論理的結果である。

尤度比はいずれも0.36~0.59であり、的中率は68~83%である。当該選択手段以外の代替手段に関する情報をもたないPTデータの活用であるが、従来の非集計モデルに劣らぬ十分な精度のモデルがえられ、また矛盾のない内容のモデルが構築可能であることを実証的に明らかにすることができた。

### 4. 分担率及び分担交通量の算定

Talvitie 他<sup>10)</sup>は、集計誤差の評価に絶対誤差と RMS 誤差を用い、その中で、セグメントはモデルの同定誤差は減じるが、逆に集計誤差を増加させると評価している。また杉恵<sup>11)</sup>は、RMS 誤差評価の中で、分担当では数え上げ法でも分類法でも差はないと報告している。しかし、森田<sup>12)</sup>は、分類法により評価を与える論文が多いことを報告している。このように、各集計手法の評価は未だ分れるところである。

本研究では、非集計ロジットモデルを作成する際のチョイスセットによる分類をセグメントとし(選択肢分類法)、その上で、LOS 変数のトリップ長を確率分布(表-3を適用)の上で積分する方法を新たに提案する。なお、本積分は選択肢の数だけ必要であり、また、台形公式の近似によることとなる。

また、従来の集計手法の中で利用の多い代表的なものを上げれば、平均値法群(平均値法、分類法、モーメント法)と数え上げ法群(完全数え上げ法、サンプル数え上げ法)とに大別される。その中で、数え上げ法は、サンプル数が少ない場合には高精度が望めないこと、将来予測に必ずしも適当であるといえないこと等を検討対象外とし、ここでは平均値法群について検討する。な

PT調査データにもとづく非集計モデルの作成

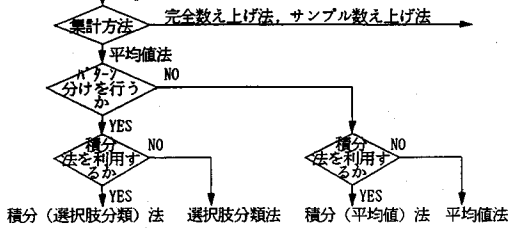


図-5 検討した集計化諸法の関係

表-9 集計結果一覧

対象 手段	パターン分け(確率的) 積分(選択肢分類)法				パターン分けしない 積分(平均値)法			
	相関係数		RMS誤差		相関係数		RMS誤差	
	(率)	(量)	(率)	(量)	(率)	(率)	(率)	(量)
鉄道	0.36	0.40	0.377	1166	0.28	0.37	0.282	1396
バス	0.53	0.80	0.172	3129	0.52	0.79	0.227	3999
自動車	0.60	0.97	0.284	2903	0.52	0.88	0.291	5251
徒歩・転	0.87	0.99	0.111	3908	0.83	0.96	0.172	7409
全体			0.257	2952			0.248	5010

対象 手段	パターン分け(確率的) 積分(選択肢分類)法				パターン分けしない 平均値法			
	相関係数		RMS誤差		相関係数		RMS誤差	
	(率)	(量)	(率)	(量)	(率)	(率)	(率)	(量)
鉄道	0.37	0.34	0.353	1191	0.27	0.31	0.286	1563
バス	0.47	0.77	0.187	3298	0.53	0.77	0.232	4417
自動車	0.60	0.96	0.284	6048	0.55	0.83	0.281	5175
徒歩・転	0.88	0.95	0.107	8546	0.86	0.94	0.150	8837
全体			0.251	5520			0.243	5631

対象 手段	パターン分け(確定的) 積分(選択肢分類)法			
	相関係数		RMS誤差	
	(率)	(量)	(率)	(量)
鉄道	0.38	0.38	0.285	1572
バス	0.63	0.78	0.216	4441
自動車	0.58	0.83	0.422	5187
徒歩・転	0.86	0.94	0.153	8837
全体			0.287	5639

お、モーメント法は、本例に関し平均値法とほぼ同精度であることを確認しており省略する。

以上を踏まえれば、図-5に示す諸集計法検討フローが考えられる。その中で、トリップ長分布にもとづく積分(選択肢分類)法及び積分(平均値)法が本研究の提案である。また、選択肢分類法(確率的)は、基本的に平均値を用いた従来型モデルであるが、ただチョイスセット群を確率的に集計する点で異なる提案である。平均値法は従来からのモデルそのものである。なお、選択肢分類法について、チョイスセットを各ODゾーンペア間で1つに確定し集計したモデルも比較のため検討した(選択肢分類法(確定的))。

これらそれぞれで各ODペア毎の分担率および分担交通量を求め、その誤差の評価としてRMS誤差を算出すれば、表-9のとおりである。

結果として言えることは、チョイスセットをパターン分けし確率集計する場合は、パターン分けしない場合に比べ、分担率および分担量ともにより高い精度となったことである。また、パターン分けしたとしても鉄道の精度は劣るが、これを個々に見ればトリップ数の大きい

ODペアでの分担率の精度に問題なく、小さいODペアで悪いことが分り、そのことは分担交通量のRMS誤差が小さいことから理解できる。

パターン分けを行い確定集計した場合は、パターン分けを行わない場合と比べ全体的に精度が低下し、パターン分けも確率的扱いでなければ精度上問題が残る結果である。また、トリップ長に積分法を導入した場合、とりわけ交通量の多いゾーンペアで分担率、分担交通量ともに積分法を導入しない場合よりも良好な結果となった。さらに、他の4法による精度が相互に若干の違いであるのに対し、パターン分け、積分法を共に用いた積分(選択肢分類)法では全体的に精度が高く、とり分けトリップの多い手段である徒歩・自転車、自動車で大きな精度の向上となることが読みとれる。

5. おわりに

PT調査は、客観的ともいえる交通行動の結果を対象に調査するもので、仮想的で曖昧な代替手段に関する意識調査は行われれないのが通例である。このため、交通手段分担モデルの作成では、統計解析に適したゾーンペアを単位とする集計型モデルが広く利用されている。しかし、交通手段の選択は本質的に個人意識に立脚する行動であり、それをより合理的に説明する上からは非集計型モデルの活用が望ましい。そこで本論では、通常のPT調査にそもそも非集計行動モデルが適用可能か否かを検討するため、PTデータの活用によるODペア型の確率的2段階手段選択モデルの構築法と適用上の工夫について提案し、その有用性を明らかにした。即ち、代替手段に関する仮想的意識データを加えるのではなく、PTデータ自体から利用及び代替の交通手段に関するトリップ長分布を推定した。その上で交通手段のチョイスセットをODゾーンペア毎に確率的に設定することにより非集計型ODペアモデルの構築が可能であることを明らかにした。また、事例にもとづいて、提案モデル適用の上で生ずる諸問題への対応法と精度の確認を行った。その結果、今後説明変数などの改善の余地はあるが、少なくとも精度、モデル操作性、論理性、PTデータの活用において望ましいといえる非集計型モデルの適用が可能であることが確認できた。これらの詳細は本文のとおりであるが、その中で特に強調点をあげれば以下のとおりである。

- ① ODゾーンペア毎、代表交通手段毎の架空的モデルリンクや各交通手段の速度に関する仮定が全く不要であり、また仮想的代替交通手段に関する意識調査を何等必要としない分担交通量モデルが確立できた。
- ② ODゾーンペア毎に各交通手段の利用可能性を確率判別し、その下でチョイスセットを確率的に設定



する方法を提案し、手段選択モデルに組み込む工夫を行った。この点は、確率的チョイスセットの作成が簡便であるというだけでなく、出発ゾーンと到着ゾーン間でのチョイスセットの状況変化をきめ細かく考慮するものである。また、OD ゾーンペア間で将来のゾーン特性や交通施設の整備に応ずるチョイスセットの変化に対応する説明を、確率事象の立場から可能にする試みでもある。

- ③ 上述の様に、OD ペア毎のきめ細かいチョイスセットの設定ではあるが、非集計交通手段選択モデルの作成そのものは、チョイスセットの5(あるいは8)パターンに対するものだけでよく、モデル作成の上から好都合である。
- ④ OD ゾーンペアにおける当該手段のトリップ長分布が対数正規分布で近似でき、そのパラメータはゾーン間距離、ゾーン面積等の指標で説明できる。また、代替手段のトリップ長は、別途意識調査するにしても、あるいはゾーンペア間のモデルリンクを作成するにしても、仮想的であり曖昧にならざるをえないことから、労力の割に精度あるデータがえられないことが多い。これに対し、本提案モデルはそれらの必要がなく、PT データそのものを用いて、当該手段のトリップ長に対する代替手段のそれを確率的に推定するものである。
- ⑤ 上記②～④を踏まえ、代替手段に関する情報に欠ける PT データであっても、非集計型の手段選択モデルが、内容の上で矛盾しない形で簡便に構築できることを示すことができた。
- ⑥ トリップ長をゾーンペア毎に確率分布として把握したことに合わせ、トリップ長に関する積分集計化法を提案したが、本法は従来の集計化法に比し合理的であり、また、精度的にも劣らぬものであった。

本研究に当り、西日本工業大学河野雅也教授、修論生牧野浩志君の協力をえた。記して謝意を表する次第である。

## 参 考 文 献

- 1) 浅野・武政・原田：総合交通体系調査における非集計行動モデルの適用性，建築研究報告，No.116，1988.
- 2) Manski, C. : The Structure of Random Utility Models, Theory and Decision, Vol.8, pp.229~254, 1977.
- 3) 宮本・宮地：非集計型住宅タイプ選好モデル，都市計画別冊，17，1982.
- 4) 北部九州圏パーソントリップ調査協議会：昭和48年度北部九州圏パーソントリップ調査報告書（現況解析編Ⅰ），1974.
- 5) 中島・榑木・河野：利用可能な交通機関の組合わせによる機関分担モデルの構築，土木学会第43回年次学術講演会講演概要集，pp.210~211，1988.
- 6) 牧野・榑木・河野・中島：PT調査データをベースとした非集計行動モデル機関選択モデルとその集計化に関する一考察，土木学会第44回年次学術講演会講演概要集，pp.86~87，1989.
- 7) 牧野・榑木・横山・吉武：非集計行動モデル機関分担モデル作成の際の代替機関のトリップ時間設定に関する一考察，土木学会第45回年次学術講演会講演概要集，pp.440~441，1990.
- 8) 中島・榑木・河野：交通需要予測分析における交通目的分類に関する一考察，九州大学工学集報第60巻第6号，pp.695~703，1985.
- 9) 牧野浩志：非集計ロジットモデル作成のための変数選択方法に関する研究，九州大学卒業論文，1989.
- 10) Talvitie 他：An Investigation of Prediction Errors in Work Trip Mode Choice Models, Transportation Research, Vol.16A, pp.395~402, 1982.
- 11) 杉恵頼幸：非集計ロジットモデルに関する若干の考察，第36回土木学会年次学術講演会概要集第4部門，pp.399~400，1981.
- 12) 森地茂：非集計行動モデルによる予測，第15回土木計画学講習会テキスト，pp.121~147，1984.
- 13) 細野助博：社会統計学概説，共立出版，pp.149~151，1987.

(1992.12.2 受付)

## A STUDY ON A MODAL-SPRIT MODEL OF PT-SURVEY CONSIDERED WITH THE MODE'S USABILITY FOR EACH PAIR OF ZONE AND THE DISTRIBUTION OF TRIP-LENGTH

Takeshi CHISHAKI, Jun YOKOYAMA, Hiroshi TATSUMI and Sang-Kwang LEE

This study concerns the application of a disaggregate modal-split model in the person-tripsurvey. In particular, this study focuses on the determination of (1) the choice set for individual pair of zones, and (2) a method for estimating the trip-length of substitutable models. With respect to the aggregate process, Naive and Classification methods are unable to account for probabilistic aspects of the disaggregation process. This paper proposes an Integration method on the aggregation process.