

通勤・通学者の輸送機関および経路の  
選定率に関する研究PREDICTING THE DISTRIBUTION OF COMMUTERS  
AMONG COMPETITIVE ROUTES河 上 省 吾\*  
By Shogo Kawakami

## 1. はじめに

都市内の旅客輸送計画の策定に際して、2地点間の輸送需要が、その間にあるいくつかの輸送機関および経路にどのように分布するかを推定する必要がある。この旅客の輸送機関別および経路別分布比率をそれぞれ輸送機関別分担率および経路別分担率とよぶ。両者は、旅客の分布比率を算定する基準が輸送機関別か経路別かによって異なるだけで、本質的には同一と考えられる。ここでは、経路別分担率に重点を置いて考察を進める。

従来の輸送機関別分担率の推定モデルには、分担率をゾーン間の距離、輸送費用、2輸送機関の所要時間比および費用比などのそれぞれの関数と考えるもの<sup>1)</sup>、あるいはこれらのいくつかと所得および自動車保有率などの関数と考えるものなどがある<sup>2),3)</sup>。さらに、分担率を輸送時間および費用を要因とする判別関数を用いて推定する方法も考案されている<sup>4)</sup>。

また、従来の経路別分担率の推定モデルには、つぎのようなものがある。

(1) 重回帰モデル<sup>5),6),7)</sup>

経路選定要因として、各経路の所要時間、運賃、乗換え回数を取りあげ、これらをそれぞれ  $x_i, y_i, z_i$  ( $i$  は経路を示す) で表わす。そして経路  $i$  と  $j$  の各要因の差を、それぞれ  $x_{ij}, y_{ij}, z_{ij}$  で表わす。すなわち、 $x_{ij} = x_i - x_j, y_{ij} = y_i - y_j, z_{ij} = z_i - z_j$  である。これらの記号を用いると、従来用いられている重回帰モデルはつぎのように表わすことができる。なお、 $P_i$  は経路  $i$  の分担率を表わす。

$$1) P_i = ax_{21} + by_{21} + cz_{21} + d \dots \dots \dots (1)$$

$$2) P_i = ax_{21} + by_{21} + cz_{21} + \frac{1}{2} (2 \text{ 経路の場合}) (2)$$

$$3) P_i = a(\bar{x} - x_i) + b(\bar{y} - y_i) + c(\bar{z} - z_i) + \frac{1}{n} \dots (3)$$

ここに、 $a, b, c, d$  は定数で、 $P_i, x_{21}, y_{21}, z_{21}$  などの実績値を用いて最小自乗法によって決められる。また、 $n$  は経路数を表わし、

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n}, \bar{y} = \frac{\sum_{j=1}^n y_j}{n}, \bar{z} = \frac{\sum_{j=1}^n z_j}{n}$$

である。

なお、1), 2) においては、 $x_{21}, y_{21}, z_{21}$  の代りに  $x_2/x_1, y_2/y_1, z_2/z_1$  を用いる場合もある。

(2) カノニカル分布を用いる方法<sup>8)</sup>

この方法では、経路別分担率  $P_i$  ( $i=1, 2$ ) をつぎのようにして求めている。まず経路 1, 2 の所要時間を  $x_1, x_2$  とするとき、両経路の利用者数  $T_1, T_2$  は次式で与えられると考える。

$$T_1 = K \exp\left(-\frac{x_1}{R}\right), T_2 = K \exp\left(-\frac{x_2}{R}\right) \dots (4)$$

ここに、 $K, R$ : 定数

このとき、 $P_1$  は次式で与えられる。

$$P_1 = \frac{T_1}{T_1 + T_2} = \frac{1}{1 + \exp\left\{-\frac{x_2 - x_1}{R}\right\}} \dots \dots \dots (5)$$

このほかに、経路の所要時間、運賃、乗換え回数、徒歩時間などを要因とする判別関数を用いる方法<sup>9)</sup>、所要時間比および費用比の関数として表わされた転換率曲線を用いる方法<sup>10)</sup>、経路の評価値の分布を仮定し、確率論的に求める方法<sup>11)</sup>、情報理論を用いる方法<sup>12)</sup>、などが考案されている。各方法はそれぞれ長所をもっているが、問題点も含んでいる。

従来の輸送機関別および経路別分担率の推定法の問題点を列挙するとつぎのようである。

(1) 輸送機関別および経路別分担率  $P_i$  に影響する要因は多いにもかかわらず、従来の方法では、一、二の

\* 正会員 工博 名古屋大学助教授 工学部土木工学科

例外を除いて考慮している要因数が少ない。

(2) 基準となる輸送機関および経路を変えると、 $P_i$  の予測値の値が異なるものがある。いま、 $P_i/P_j=f(x_i, x_j)$  というモデルにおいて、本来なら  $P_j/P_i=1/f(x_i, x_j)=f(x_j, x_i)$  が成立しなければならないが、この関係を満足するモデルは少ない。

(3)  $0 \leq P_i \leq 1$ ,  $\sum_{i=1}^n P_i=1$  を満足していないものがある。

(4) 判別関数法を用いる方法は、上記(1)、(2)、(3)の問題点をもたない優れたモデルであるが、利用者ごとに各要因の値を必要とし、地区間の各要因の平均値で  $P_i$  を決定できないという問題点をもっている。

本研究では、このような問題点を除いた通勤者の経路別交通量の子測方法を開発することを主目的とし、まず通勤・通学者に対する利用輸送機関および経路に関するアンケート調査を分析して、輸送機関別および経路別分担率に影響する要因を明らかにする。つぎに、これら要因を説明変数とする輸送機関別および経路別分担率の子測モデルを提案する。このとき、経路別分担率の子測モデルについては、モデルの具備すべき条件を検討し、これを満足するモデルを開発する。そしてこのモデルをアンケート調査で得た資料に適用し、子測モデルとしての有用性を検証する。

## 2. アンケート調査の分析

昭和42年5月14日に名古屋市の通勤・通学者に対して、利用経路(輸送機関)および経路選定理由などに関するアンケート調査を行なった。これは名古屋全市へアンケート用紙2万枚を、朝日新聞の折込み広告として配布し、回答を記入して郵送するように依頼したものである。その結果、1218人(枚)の回答を得た。回答者数の名古屋市の通勤・通学者数に対する比率は、0.15%に過ぎず、この資料により名古屋市の通勤・通学者の動向を細部にわたって論ずることはできないが、一般的傾向についてはある程度知ることができた。この調査では、通勤・通学者が利用している経路と競合経路の所要時間、1カ月当りの通勤費、乗換え回数などと経路選定理論の記入を依頼した。同時に、通勤者については、通勤費(運賃)の勤務先の負担状況、月収、職業、年令、性別を、学生については、在学種別、年令、性別を調べた。

ここでは、これら調査事項を分析し、輸送機関別および経路別分担率に影響する要因を明らかにする。

(1) 輸送機関別および経路別分担率に影響する要因  
都市内の輸送機関を大別すると、乗用車に代表される

個人輸送機関と高速鉄道、バスなどの大量輸送機関に分けられる。前者にはタクシーが含まれ、後者には路面電車、トロリーバス、モノレールなどがある。ここでは、まず両者の分担率が何によって変動するかを考察する。都市内の大量輸送機関にはいくつかの種類があり、一括して取扱うことには疑問もあるが、旅客の利用傾向からこのような取扱い方をしてもよいといえる。

旅客が利用輸送機関を決定する際に考慮する要因としては、輸送機関の安全性、速度、運行のひん度および正確さ、経済性、快適さ(乗り心地)、交通機関相互の連絡性などがあげられる<sup>12)</sup>。これらの要因の利用機関決定に影響する度合は、輸送の目的、時間的制約および利用者の年令、職業、月収などによって異なり、一概に述べることではできない。

しかし、通勤・通学輸送では、利用する機関は毎日一定しており、ある期間における機関別分担率およびそれを左右する要因の影響度は安定していると考えることができる。ここでは、通勤・通学輸送の機関別分担率について考察する。

名古屋市の通勤・通学者に対するアンケート調査結果によると、輸送機関別分担率は表-1のようになっており、大量輸送機関の利用者が約90%を占めている。ま

表-1 輸送機関別分担率

利用手段	通勤者	通学者(計)	高校生	大学生	各種学校
大量輸送機関	792 (人) 86.3 (%)	278 92.7	130 93.5	125 91.2	23 95.6
乗用車	74 8.1	5 1.7		5 3.6	
自転車	20 2.2	7 2.3	5 3.6	1 0.7	1 4.2
徒歩	32 3.5	10 3.3	4 2.9	6 4.4	
計	918 100.0	300 100.0	139 100.0	137 100.0	24 100.0

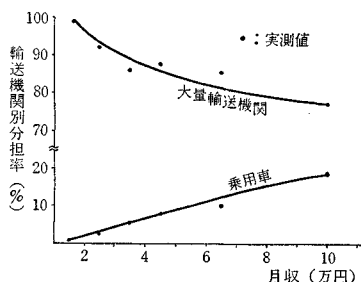
上段は実数、下段は%を示す。

た、前述の輸送機関選定要因のうちでは、とくに速度(所要時間)、経済性(運賃)、快適さの影響力が大きいことがわかる(表-2参照)。ここで経済性というのは、輸送施設全体の経済性(輸送原価)ではなくて、利用者が直接負担する輸送経費のことである。したがって経済性は輸送機関の料金体系によって大きく変動する。

しかし、これらの輸送機関選定要因と、乗用車と大量輸送機関の分担率の関係をとらえることはきわめてむずかしい。なぜなら、両者の関係を示す資料が得にくいからである。たとえばこの調査において、質問様式にもよるのであるが、回答者のうち乗用車利用者以外は、乗用車と大量輸送機関を競合関係にある輸送機関と認識していないのである。これは、乗用車を利用するかどうかは、前記選定要因よりも、乗用車を所有しているかどうかによる影響が大きいことを示していると考えられ

る。したがって、乗用車と大量輸送機関の分担率は、乗用車の所有状況を左右する月収、年齢、職業などによって変動すると考えられる。

つぎに、通勤者の輸送機関別分担率と年齢、職業および月収などの関係を分析してみると、月収との関係が最も明瞭に現われており、これを示すと図一のようなものである。これによれば、月収の増加とともに乗用車の分担率が高くなり、一方大量輸送機関の分担率が低くなっている。両者の和が100%にならないのは、徒歩や自転車の人が若干あるためである。



図一 輸送機関別分担率

前述のように、輸送機関別分担率を左右する要因として自動車保有率が考えられるが、今回の調査ではこれを調べなかったため、両者の関係を分析することはできなかった。しかし、自動車保有率と月収とは比較的密接な関係にあるので、月収分布が自動車保有率分布の影響をある程度反映していると考えられる。

つぎに、通勤・通学者の経路別分担率に影響する要因に関する分析結果を述べる。

通勤・通学者が他に競合経路が考えられるときに、それを利用せず、現在利用している経路を選定した理由としてつぎのようなものが考えられる<sup>13)</sup>。

- (1) 通勤・通学先に早く到着するから
- (2) 急行または特急に乗れるから

- (3) 待ち時間が少ないから
- (4) 乗換え回数が少ないから
- (5) 乗換えしなくて済むから
- (6) 乗換えが楽にできるから
- (7) 運賃が安いから
- (8) 混み方が少ないから
- (9) 始発または増結電車に乗れるから
- (10) 下車駅から通勤・通学先までの便がよいから
- (11) 歩く距離が少なくなるから
- (12) 途中で繁華街があり、買物などに便利だから

この調査では、通勤・通学者に上記のうちのいずれの理由により利用経路を選定しているかを回答するように依頼し、二つ以上選んでもよいことにした。この回答を通勤・通学者について利用機関別に集計したのが表一である。この表には、上記の番号で示した各項目を理由として選んでいる人の、輸送機関別の選定理由記入者総数に対する割合を付記しておいた。表中の理由の項目の番号が前記の各対応番号の理由を示す。

大量輸送機関利用者についてみると、通勤者の38%、通学者の39%が項目(1)を選び、(3)も多くの人を選んでいることから、通勤・通学者ともに経路選定理由として所要時間の短縮を最も重視していることがわかる。つぎに多いのは、項目(7)の「運賃が安い」という理由で、通勤・通学者とも30%以上の人を選んでいる。学生の割合が通勤者より多いのは、通勤者は約60%が勤務先から通勤費の全額補助を受け、34%が一部補助を受けていることによると考えられる。また乗換えのないことを理由にしている人の割合は通勤者の28%、学生の17%で、両者間に約10%の差がある。これを見ると、学生は乗換えを通勤者ほど経路選定の際に重視していないようであるが、乗換えに関する他の項目は通勤者とはほぼ同程度の割合で選んでいるから、一概に断定することはできない。また、歩く距離が少ないという項

表一 利用機関別選定理由

理由		理由												記入者数
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
通勤者	大量輸送機関利用者	244 37.7	24 3.7	202 31.2	63 9.7	184 28.4	73 11.3	198 30.6	154 23.8	54 8.3	114 17.6	168 26.0	30 4.6	647
	乗用車利用者	30 100.0												30
	自転車利用者	7 100.0												7
	徒歩による者	1 100.0												1
通学者	大量輸送機関利用者	89 38.5	12 5.2	69 29.9	20 8.7	39 16.9	30 13.0	81 35.1	54 23.4	21 9.1	39 16.9	61 26.4	17 7.4	231
	大学生 大量輸送機関利用者	36 36.4	8 8.1	32 32.3	8 8.1	15 15.2	8 8.1	35 35.4	19 19.2	7 7.1	19 19.2	21 21.2	13 13.1	99
	高校生 大量輸送機関利用者	44 39.6	3 2.7	30 27.0	10 9.0	22 19.8	17 15.3	40 36.0	31 27.9	14 12.6	15 13.5	28 25.2	3 2.7	111

(注) { 上段：その理由を選んだ人数  
      下段：その理由を選んだ人の記入者数に対する割合(%)

表-3 月収別選定理由

理由	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	記入者数
2万円未満	11 15.7	6 8.6	16 22.9	3 4.3	26 37.1	9 12.9	32 45.7	10 14.3	7 10.0	16 22.9	21 30.0	5 7.1	70
2~3万円	46 39.3	3 2.6	43 36.8	14 12.0	28 23.9	13 11.1	34 29.1	23 20.0	16 13.7	26 22.2	34 29.1	8 6.8	117
3~4万円	33 31.1	2 1.9	27 25.5	6 3.7	35 33.0	11 10.4	40 37.7	23 21.7	4 3.8	19 17.9	30 28.3	6 5.7	106
4~5万円	46 42.6	2 1.9	41 38.0	13 12.0	30 27.8	6 5.6	28 25.9	27 25.0	5 4.6	15 13.9	27 25.0	3 2.8	108
5~8万円	66 43.1	6 3.9	45 29.4	16 10.5	39 25.5	22 14.4	42 27.5	40 26.1	14 9.2	25 16.3	36 23.5	6 3.9	153
8万円以上	40 48.2	4 4.8	30 36.1	9 10.8	21 25.3	11 13.3	19 22.9	29 34.9	7 8.4	11 13.3	17 20.5	2 2.4	83

(注) 上段: その理由を選んだ人数  
下段: その理由を選んだ人の記入者数に対する割合(%)

目を通勤・通学者の26%が選んでいる。混み方が少ないという項目を選んでいる割合は、通勤・通学者ともに20%以上である。このほかに目立つのは、大学生の13%が途中で繁華街があるからという理由をあげていることである。

また、乗用車、自転車利用者および徒歩の全員が所要時間の短縮を理由にあげている。

つぎに大量輸送機関利用者の経路選定理由が、月収、職業、年令によってどのように変わるかを検討する。

まず、通勤者の月収と選定理由の関係を分析すると、月収の少ない人は運賃の安いことを重視するのに対して、月収が多くなるにしたがって所要時間の短縮と混み方が少ないことを重視するようになることがわかった(表-3参照)。つぎに、職業および年令と選定理由の関係を分析してみたが、とくにとりあげるべき明りょうな相関関係を認めることはできなかった。

以上の分析結果より、通勤・通学者の経路選定に影響する主要な要因は、所要時間、通勤費(運賃)、乗換え回数、混雑度、徒歩距離などの経路の条件であり、これら諸条件の影響度は利用者の月収により変動すると考えられる。

ところで、前記諸要因のうち、混雑度および徒歩距離の資料は得にくいのと、前三者に比較して経路選定の際に考慮される比率が低いと考えられるので、本研究では、前三者をとりあげて考察を進める。なお、月収によってこれら3要因の影響度が異なるので、月収のほぼ等しいグループごとに分担率を推定するという立場をとり、分担率推定モデルの変数として月収を導入することはしない。

## (2) 経路別分担率の推定法

経路別分担率とは、2地点間の全旅客に対するある経路を利用する人の割合である。したがって2地点間の旅客の利用経路に関する調査をすればよいのだが、これができない場合の経路別分担率の推定方法について述べて

おく。ただし、これは経路が2本の場合で、旅客の利用経路と競合経路の所要時間、運賃、乗換え回数などがわかっていなければならない。また、利用経路と競合経路の間では、前記要因のいずれも一方が優位であるというようなことがあってはならない。なぜなら、上記3要因が経路選定の際に考慮されるものであると仮定すると、3要因とも有利な経路を旅客が利用するのは当然のことであって、このとき2経路間の選択は問題にならないからである。実際には、3要因とも不利な経路を選ぶ人もいるが、これは、ここでとりあげたもの以外の要因によって経路を選択していると考えられるので、ここでは、そのような人は除外して考察を進める。したがって、利用経路と競合経路の間では、ある要因では有利だが、ほかでは、不利であるという関係が存在する。

いま、利用経路を1、競合経路を2とし、それぞれの所要時間、運賃、乗換え回数を  $x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2$  とすると、利用、競合両経路の間では  $(x_1 - x_2), (y_1 - y_2), (z_1 - z_2)$  のいずれかが負となり、他は正のはずである。記述の都合上、 $x_{12} = x_1 - x_2, y_{12} = y_1 - y_2, z_{12} = z_1 - z_2, x_{21} = x_2 - x_1$ 、以下同様と、定義し、経路1, 2の選定率を  $P_1, P_2$  とする。

各旅客の  $x_{12}, y_{12}, z_{12}$  を調査したデータがあるとき、経路1, 2を利用する人に対する経路1を利用する人の割合を求めれば、これが  $P_1$  である。そこで、ここではすべての人が実際利用する経路は異なっても、経路選定に際しては、競合経路との相対的關係(選定要因の差)のみによって、利用経路を決定していると考ええる。そうすると、 $x_{12} = x_0, y_{12} = y_0, z_{12} = z_0$  がそれぞれ等しい人は、同一の仮想経路1を利用していると思ふことができ、一方  $x_{12} = -x_0, y_{12} = -y_0, z_{12} = -z_0$  の人は、仮想経路1の仮想競合経路2を利用していると考えられることができる。いま、前者が  $n_1$  人、後者が  $n_2$  人いたとすると、調査が偏りなく、ランダムに行なわれておれば、仮想経路1, 2の分担率  $P_1, P_2$  は次式で与えられる。

$$P_1 = \frac{n_1}{n_1 + n_2}, P_2 = \frac{n_2}{n_1 + n_2}$$

このようにして、経路1 ( $x_0, y_0, z_0$ ) と経路2 ( $-x_0, -y_0, -z_0$ ) の利用者数が与えられると、それぞれに対する分担率  $P_1, P_2$  を決定することができる。この考え方は経路数が多くなっても適用できる。

### 3. 輸送機関別および経路別分担率の予測モデル

2地点間の輸送需要を経路別に配分するには、まず輸送機関別（乗用車と大量輸送機関）に配分し、つぎにこれをそれぞれの機関からなる経路へ配分するという方法を用いる。

ここでは、まず輸送機関別分担率の予測方法を述べ、つぎに経路別分担率の予測モデルを提案する。

#### (1) 輸送機関別分担率

輸送機関を乗用車（個人輸送機関）と大量輸送機関に分類したときの両者の分担率を推定する方法について述べる。

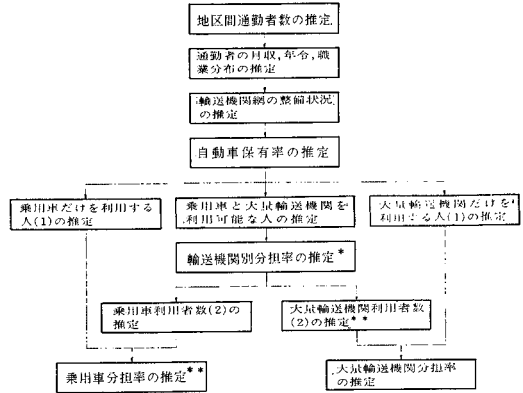
まず、通勤者を月収、年齢、職業、自動車保有状況および居住地周辺の輸送機関網の整備状況などにより、乗用車と大量輸送機関のいずれか一方を固定的に利用せざるを得ない人（輸送機関を選択する余地のない人）と両者を利用可能な人に分類する<sup>14)</sup>。たとえば、居住地近辺に大量輸送機関のない人は乗用車を利用せざるを得ない。また、乗用車を保有しない人や自分で運転できない人（とくに老人、若年者など）で乗用車を利用できない人は大量輸送機関を利用せざるを得ないのである。

輸送機関選択の余地のない前者については、利用機関が一義的に決まるので分担率を考える必要がない。後者についてのみ両輸送機関の分担率を考えればよい。

通勤者が乗用車と大量輸送機関のいずれを選ぶかは、年齢、職業、月収および前述の経路の条件によって決まると考えられるが、名古屋市における調査によれば、月収の影響度が他の要因よりはるかに大きいと考えられる。したがって、月収と輸送機関別分担率の関係が将来も大きく変動しなければ、通勤者の月収分布を知ることによって、図-1 から輸送機関別分担率を推定することが可能である。もちろん、年齢および職業などの要因を考慮することも可能である。

なお、輸送機関別分担率は地区間の輸送時間、輸送費用、快適さ（乗り心地その他）などの影響を受けるので、予測モデルにおいてはこれらを考慮すべきであるが、そのようなモデルはつぎの(2)で示す。

ここで述べた輸送機関別分担率の予測方法のシステムチャートを示すと図-2 のようになる。



(注) 輸送機関利用者の後に付けた(1)および(2)は、それぞれ利用機関を選択できない人および選択できる人を表す。また、\*は輸送機関を選択できる人の機関別分担率を、\*\*は全通勤者の機関別分担率を意味する。

図-2 輸送機関別分担率の予測方法

#### (2) 経路別分担率

アンケート調査の結果から、経路別分担率を左右する主要な要因は、利用、競合両経路間の所要時間差、運賃差、乗換え回数差の3つであると考えられるので、ここではこの三要素を経路別分担率の説明変数とする予測モデルを提案する。

##### モデルの提案

経路別分担率の予測モデルの具備すべき条件を列挙するとつぎのようである。

1. 実績値に対するモデルの適合度がよいこと。
2.  $P_i$  は常に  $0 \leq P_i \leq 1$  を満足し、かつ  $\sum_i P_i = 1$  を満たすこと。
3. 基準となる経路を変えても  $P_i$  が変わらないこと。すなわち、 $P_i$  をいかなる順序で求めても同一値となること。
4. 経路および説明変数の数に無関係に適用できること。

ここでは、これら4条件を満足するモデルの開発を試みる。

2地点間に競合関係にある経路が3本ある場合を考え、それらを1, 2, 3の記号で表わす。それぞれの旅客の分担率を  $P_1, P_2, P_3$  とし、各経路間の所要時間差、運賃差、乗換え回数差を先に定義した  $x_{12}, y_{12}, z_{12}$  で表わす。

このとき、次式を仮定する。

$$\frac{P_2}{P_1} = e^{f(x_{12}, y_{12}, z_{12})} \equiv e^F \dots \dots \dots (6)$$

この式は、経路2の分担率と経路1の分担率の比が、経路1, 2間の所要時間差、運賃差、乗換え回数差の指数関数として表わされると考えて導いたものである。すなわち、本モデルでは、2経路の分担率の比は両経路間

の所要時間差, 運賃差, 乗換え回数差の指数関数で表わされると考える。基本式を  $P_1=f$  でなく,  $P_2/P_1=f$  という型に仮定したのは, 経路選定においては各経路を比較した上で利用経路を決定する, すなわち  $P_i$  は相対の関係から決まるものであるからである。また指数関数を導入した理由は,  $P_2/P_1$  が  $x, y, z$  の値にかかわらず, 正值となるからである。以下において, この関数の形を決定する。

ところで, 経路 1, 3 について考えると次式を得る。

$$\frac{P_3}{P_1} = e^{f(x_{13}, y_{13}, z_{13})} \equiv e^G \dots \dots \dots (7)$$

このとき,

$$P_1 + P_2 + P_3 = 1 \dots \dots \dots (8)$$

という条件式があるので, これに式 (6), (7) から求めた  $P_2, P_3$  を代入すると,

$$P_1 = \frac{1}{1 + e^F + e^G}, \quad P_2 = \frac{e^F}{1 + e^F + e^G},$$

$$P_3 = \frac{e^G}{1 + e^F + e^G} \dots \dots \dots (9)$$

を得る。式 (9) で与えられる  $P_i$  は,  $x_{ij}, y_{ij}, z_{ij}$  がいかなる値をとっても,  $0 \leq P_i \leq 1$ , および式 (8) を満足している。すなわち式 (9) によって条件 2 を満足する  $P_i$  が与えられる。

また, 式 (6) において

$$\frac{P_1}{P_2} = e^{-f(x_{12}, y_{12}, z_{12})} = e^{(-x_{12}, -y_{12}, -z_{12})}$$

$$= e^{f(x_{12}, y_{12}, z_{12})} \dots \dots \dots (10)$$

が成立しなければならない。したがって, 関数  $f$  は奇関数でなければならない。その最も簡単な式としては,

$$f(x_{12}, y_{12}, z_{12}) = ax_{12} + by_{12} + cz_{12} \dots \dots \dots (11)$$

が考えられる。一般式としては,

$$f(x_{12}, y_{12}, z_{12}) = \sum_n (a_n x_{12}^n + b_n y_{12}^n + c_n z_{12}^n) \dots \dots \dots (12)$$

ここに,  $n$  は奇数

と書ける。奇関数としては, この他に数多くあるであろうが, このようなモデル式に複雑な関数を用いるのは好ましくないのと, 指数関数, 三角関数などもべき級数展開すると  $x, y, z$  の多項式になるから, 式 (12) を一般式と考えても, 大きな誤りはないであろう。

ところで, いかなる求め方をしても  $P_i$  は同一値でなければならないから, つぎに, この点について検討する。経路 (1, 2), (3, 2) 間では次式が成立するはずである。

$$\frac{P_1}{P_2} = e^{f(x_{21}, y_{21}, z_{21})} \dots \dots \dots (13)$$

$$\frac{P_3}{P_2} = e^{f(x_{23}, y_{23}, z_{23})} \dots \dots \dots (14)$$

これから求めた  $P_1, P_3$  を式 (8) に代入すると次式を得る。

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= \frac{e^{f(x_{21}, y_{21}, z_{21})}}{1 + e^{f(x_{21}, y_{21}, z_{21})} + e^{f(x_{23}, y_{23}, z_{23})}} \\ P_2 &= \frac{1}{1 + e^{f(x_{21}, y_{21}, z_{21})} + e^{f(x_{23}, y_{23}, z_{23})}} \\ P_3 &= \frac{e^{f(x_{23}, y_{23}, z_{23})}}{1 + e^{f(x_{21}, y_{21}, z_{21})} + e^{f(x_{23}, y_{23}, z_{23})}} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (15)$$

式 (15) の  $P_i$  と式 (9) の  $P_i$  は等しくなければならない。式 (15) を変形すると,

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= \frac{1}{e^{-f(x_{21}, y_{21}, z_{21})} + 1 + e^{f(x_{23}, y_{23}, z_{23})} - f(x_{21}, y_{21}, z_{21})} \\ P_2 &= \frac{e^{-f(x_{21}, y_{21}, z_{21})}}{e^{-f(x_{21}, y_{21}, z_{21})} + 1 + e^{f(x_{23}, y_{23}, z_{23})} - f(x_{21}, y_{21}, z_{21})} \\ &= \frac{e^{f(x_{12}, y_{12}, z_{12})}}{e^{f(x_{12}, y_{12}, z_{12})} + 1 + e^{f(x_{23}, y_{23}, z_{23})} - f(x_{21}, y_{21}, z_{21})} \\ P_3 &= \frac{e^{f(x_{23}, y_{23}, z_{23})} - f(x_{21}, y_{21}, z_{21})}{e^{-f(x_{21}, y_{21}, z_{21})} + 1 + e^{f(x_{23}, y_{23}, z_{23})} - f(x_{21}, y_{21}, z_{21})} \\ &= \frac{e^{f(x_{23}, y_{23}, z_{23})} - f(x_{21}, y_{21}, z_{21})}{e^{f(x_{12}, y_{12}, z_{12})} + 1 + e^{f(x_{23}, y_{23}, z_{23})} - f(x_{21}, y_{21}, z_{21})} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (16)$$

となり, これらが式 (9) と等しくなるためには, 関数  $f$  は式 (11) でなければならない。

また, このモデルでは, 経路および説明変数の数が多くなっても, 全く同様にして各経路の分担率を求めることができるという利点がある。

したがって, このモデルは, 先にあげた 4 条件のうち, 1 を除くすべてを満足することがわかった。なお,  $P_i$  の説明変数として, 前記の要因の比  $x_1/x_2, y_1/y_2, z_1/z_2$  を用いることも考えられるが, このときは, 式 (10) が成立しないので望ましくない。

また参考文献 7) にも, 自動車交通の場合であるが, 分担率と所要時間の関係について調べた結果に基づいて, 経路別分担率は所要時間の比でなく差に応じて変動していることが指摘されている。

#### 4. 名古屋市への適用例

つぎに, 名古屋市の通勤・通学者の経路別分担率の資料によって, ここで提案した経路別分担率モデルの実績値に対する適合性を検討する。

先の調査において, 利用, 競合両経路間の所要時間差, 運賃差, 乗換え回数差の 3 項目ともに記入してある回答者は, 通勤者 918 人中 160 人で, 通学者 300 人中 117 人であった。これらの回答者の中では, 利用経路が 3 要素とも有利である者が相当あるので, このような人を除くと, 通勤者 57 人, 通学者 45 人が有効なデータとして残った。以下において, これらを用いて通勤, 通学者別に経路別分担率モデルの係数を決定する。

ここでは, 将来予測のためのモデルの決定を目的とするのではなく, モデルの実績値に対する適合性を検討する

ので、少数のデータでもある程度の成果は期待できる。また、通勤者については、月収のほぼ等しいグループごとにモデルの係数を決定すべきであるが、データ数が少ないので月収による層別を行なわない。

これは経路が2本の場合なので、2.(2)で述べた方法により、それぞれの $(x_{21}, y_{21}, z_{21})$ に対応する $P_1$ を決定した。このとき、データはある程度幅をもっていると考えられるので、通勤者では所要時間差5分、運賃差200円/月の幅に入る人を同一経路利用者と見なし、通学者では所要時間差10分、運賃差200円/月、乗換え回数差1回の幅に入る人を同一経路利用者と見なした。このような操作は数少ないデータから分担率を推定するために行なったのであるが、通学者の分担率の信頼性は低いといわざるを得ない。

(1) 通勤者について

通勤者に関するデータでは、すべて乗換え回数差が0であったので、ここでは経路別分担率 $P_1, P_2$ の説明変数として、所要時間差 $x_{21}$ と運賃差 $y_{21}$ の二つを用いた。モデルとしては、式(1), (2), (9)を適用し、各モデルの係数を先のデータを用いて最小自乗法により決定した。これらをつぎに示す。

$$P_1 = 0.00775 x_{21} - 0.0000654 y_{21} + 0.710, (r=0.404) \dots\dots\dots (17)$$

$$P_1 = 0.0140 x_{21} + 0.0000732 y_{21} + 0.5, (r=0.403) \dots\dots\dots (18)$$

$$P_1 = \frac{e^F}{1+e^F}, F = 0.1325 x_{21} + 0.000345 y_{21}, (r=0.404) \dots\dots\dots (19)$$

ここに、 $x_{21}$ (分)、 $y_{21}$ (円/月)、 $r$ : 計算値と実績値の相関係数(重相関係数)

各モデル式が実績値 $P_1$ をどの程度正しく表現しているかを検討するために、モデル式による計算値と実績値の相関係数を求めてみた。これによると、3モデルの適合性はほぼ等しく、あまりよくない。このデータに関する限り、各モデルの適合性に差はないと考えられる。

式(17)では、運賃差 $y_{21}$ の係数が負となっている。これによれば、運賃が高い方の経路をより多くの人利用するということになるが、こう考えるのは誤りである。これは観測値にモデル式を適用し、統計的に処理すると負になっただけで、この結果から輸送機関利用者の動向を推測することはできない。

(2) 通学者について

通学者についても全く同様にして分担率 $P_1$ を決定したがモデル式のあてはまりがあまりよくなかった。

名古屋市の通勤・通学者にモデルを適用した結果からつぎのことがわかる。

ここに提案したモデル式と式(1), (2)を同じデータに適用したときの相関係数がほぼ等しいということから、このモデルの実績値に対する適合性のよさはモデル式(1), (2)とあまり異ならないと考えても大きな間違いはないであろう。

ところで、式(1)は式(8)を満足しておらず、また式(2)は経路が三つ以上になると適用できないという欠点をもち、さらに両モデルおよび式(3)は $x_{21}, y_{21}, z_{21}$ の値によっては必ずしも $0 \leq P_1 \leq 1$ を満足しなくなる。これらの点を考慮すると、ここに提案した経路別分担率モデルは従来のものより優れた点をいくつかもっているといえる。

5. む す び

本研究では、通勤・通学交通の輸送機関別および経路別分担率の予測方法に関する検討を行なった。

名古屋市の通勤・通学者に対して行なったアンケート調査を分析し、輸送機関および経路を選択する際に考慮される要因は、所要時間、所要経費、乗換え回数、待ち時間および徒歩距離などであることを明らかにした。さらに、輸送機関別分担率と月収との間に比較の明りょうな関係があることを指摘した。ただし、ここで行なった調査では、朝日新聞の読者を抽出しているのので、このための偏りがいくらかあると考えられる。

つぎに、月収分布から輸送機関別分担率を予測する方法を述べ、つづいて経路の所要時間、運賃、乗換え回数の3要素を説明変数とする、経路別分担率の予測モデルを提案した。このモデル式は、3.(2)に述べた分担率予測モデルの備えなければならない条件のうち2, 3, 4を満足している。条件1については、さらに多くの観測データを用いて検討する必要がある。

従来発表されたモデルのうちに、これとよく似たもの(式(5))があり、本モデルは式(5)を拡張し、一般化したものと見なすことができるが、モデル式の誘導方法が異なっている。また、従来のモデルでは、ほとんど経路が2本の場合を考えており、ここで述べた予測モデルの具備すべき4条件を検討したものはなかったようである。

この経路別分担率の予測モデルを適用する際に注意すべきことは、モデルの係数 $a, b, c$ が旅客の経路選定傾向(たとえば月収などの違い)によって変動することである。したがって、経路の選定傾向がほぼ等しいグループごとに係数を決定する必要がある。本モデルの名古屋市の実績値に対する適合性があまりよくなかった原因の一つは、資料数が少なくて経路選定傾向の等しいグループごとに係数を決定できなかったことであろう。

さらに、このモデル式は、通勤・通学以外の旅客交通および自動車交通の経路別分担率モデルとして応用することもできる。たとえば、自動車交通において、2地点間の有料道路と一般道路の選択を考える場合は、所要時間差、料金差を説明変数として用いれば、通勤者の場合と全く同じモデルになる。

おわりに、本研究を行なう上で、ご指導いただいた京都大学 米谷栄二教授、名古屋大学 毛利正光教授、京都大学 佐佐木綱教授および集計作業その他で協力して下さった熊谷道路 大沢耕一君に心から感謝致します。

#### 参 考 文 献

- 1) K.R. Overgaard 著, 佐佐木綱訳: 都市運輸計画における交通量推定, 関西鉄道協会都市交通研究所, pp. 81~97, 昭和43年2月.
- 2) S.L. Warner: Stochastic Choice of Mode in Urban Travel, A Study in Binary Choice, Northwestern University Press.
- 3) S.L. Warner 著, 佐佐木綱・今坂一郎訳: 都市交通における運輸手段の確率的選択について (A), 関西鉄道協会都市交通研究所, 昭和43年2月.
- 4) 吉川和広・木俣 昇: 輸送需要の分担率決定に関する一考察, 土木学会第23回年次学術講演会講演概要第IV部門, pp. 405~406, 昭和43年10月.
- 5) 天野光三: 都市通勤交通量の推計に関する方法論的研究, pp. 147~203, 昭和40年10月.
- 6) Stopher, P.R.: Predicting Travel Mode Choice for the Work Journey, Traffic Engineering & Control, pp. 436~439, Jan. 1968.
- 7) 佐佐木恒一, 小林八一: 道路交通量の推定, 交通日本社, pp. 91~105, 昭和37年10月.
- 8) 前掲5)に同じ.
- 9) 前掲5)に同じ.
- 10) 前掲7)に同じ.
- 11) 加藤 晃: 道路網の交通量配分に関する基礎的研究, pp. 178~219, 昭和40年5月.
- 12) 角本良平: 都市交通, 有斐閣, pp. 85~99, 昭和38年3月.
- 13) 前掲5)に同じ.
- 14) 前掲1)に同じ.

(1969. 4. 16・受付)  
(1970. 1. 8・再受付)