

都心への通勤交通の輸送機関別分担率に関する解析

MODAL SPLIT ANALYSIS OF WORK JOURNEY TO CBD

川浦 潔*・田中輝栄**

By Kiyoshi KAWAURA and Terue TANAKA

1. はじめに

都市内交通において大きな比重をもつ通勤・通学交通の輸送機関別分担率については、すでに多くの研究^{1)~4)}がなされている。しかし、この問題に対する研究は、地域特性や事象の複雑性を反映して試行錯誤が繰り返されている状態である。本報文は、通勤交通が通学交通とはその性格を異にすると思われる所以、通勤交通のみを対象として解析を行った結果の報告である。実績資料に基づく都心へ向かうトリップに対し、主成分分析、重回帰分析、分散分析の手法により分担率の検討がなされた。対象輸送機関として鉄道・バス・自動車の3種を取り上げ、これら輸送機関を2以上利用する場合は、代表輸送機関としてあらかじめ順位をつけてパターン化しているものを用いた。

計画基本ゾーンの活動特性として時刻別人口密度を取り、主成分分析の結果これらのゾーンをグループ分類することができた。これらのグループ相互の各輸送機関別分担率には、分散分析の結果有意な差の存在することが判明した。最後に、効用関数を用いた輸送機関別分担率の重回帰モデル式を開発し、その精度について検定し良好な結果が得られた。

なお、用いた資料は、昭和43年に実施された東京都市群パーソントリップ調査の集計⁵⁾である。

2. ゾーン特性と輸送機関別分担率

(1) ゾーン特性の主成分分析

交通発生のゾーン区分は、前記資料による東京都区部の112の計画基本ゾーンとした。ゾーンの特性値として活動特性を考え、活動特性値にはゾーンの24時間にわたり時刻別に測定した5才以上の人口を、ゾーン面積で除した時刻別人口密度が選ばれた。時刻別人口密度（参考文献5）より算出）を検討した結果、地区別に明確な相違があり、地区別活動特性を表わし得ると考えられた。時刻の数は表-1で示されるように22個であった。この22個の特性値に対し主成分分析^{6),7)}を適用した。主成分分析を適用するに際し、112ゾーンに対する主成分分析の結果の再現性をみるために112ゾーンを単純無

表-2 主成分分析の固有値と累積寄与率

	主成分番号	固有値	累積寄与率
全 体	第1主成分	13.569	0.617
	第2主成分	7.879	0.975
	第3主成分	0.428	0.994
群 1	第1主成分	14.325	0.651
	第2主成分	7.234	0.980
	第3主成分	0.342	0.996
群 2	第1主成分	13.195	0.600
	第2主成分	8.610	0.991
	第3主成分	0.079	0.995

全サンプル数=112 (群1:56 群2:56) 変量数=22

表-1 時刻別人口密度の時刻番号

番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
時刻	3:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00
番号	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
時刻	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	1:00	3:00

* 正会員 工博 武藏工業大学教授 工学部土木工学科 ** 正会員 工修 東京都労働局主事

作為抽出により 56 ゾーンずつの 2 グループに分け、これらと 112 ゾーンのグループの計 3 通りに対して計算を行った。適用するデータは、あらかじめ各値から平均値を減じ標準偏差で除して基準化した値を用いた。すなわち、相関係数行列より主成分分析をスタートさせた。

主成分分析の結果得られた固有値と累積寄与率は表-2 に示すとおりである。固有値が 1.0 以上であるのは 3 グループとも第 2 主成分までで、その累積寄与率はいずれも約 97% 程度である。したがって、22 個の時刻別人口密度の特性値は主成分分析の結果、第 1、第 2 主成分の 2 個の総合特性によって約 97% が説明され、22 個の特性値の代わりに 2 個の特性値を用いてもほとんど情報の損失がないことが明らかにされた。

112 ゾーンに対する第 1 主成分と第 2 主成分の特性値とともにその特性値との相関係数である因子負荷量を、各主成分軸に対してプロットした結果を図-1 に示す。図-1 からわかるように、特性値は大きく 3 つのグループに分かれている。第 1 のグループは時刻番号 1・2・3・4・21・22 で、これらは人間の通常行動時間帯以外すなわち非活動時間帯での時刻別人口密度に相当する。第 2 グループは時刻番号 7・8・9・10・11・12・13・14 で、これらは第 1 のグループとは逆に人間の通常行動時間帯すなわち活動時間帯での時刻別人口密度に相当する。このほかにいすれにも属さないと思われる時刻番号として 5・6・15・16・17・18・19・20 がある。このうち、6・15

は第 1 グループに、また、5・20 は第 2 グループにきわめて近い位置にある。6・15 は後に述べる第 2 主成分得点（表-3 参照）による考察から第 1 のグループに含めてもさしつかえないと思われ、また、5・20 に関しても、同様な考察から第 2 のグループに含まれてもさしつかえないものと思われる。16 は第 2 主成分得点が負の値であり、第 2 グループ的性格をもっているように見えるが、絶対値がきわめて小さいので、むしろ第 2 主成分得点が正で値が小さな 17 に近いものとして、第 3 グループに含ませてもさしつかえないと考えられる。

寄与率は一般に因子負荷量の平方和として計算されるから、図-1 の各特性値の位置は必ず半径 1.0 の円内にあり、第 1・第 2 主成分でその変動のもつ情報のほとんどすべてが説明される特性値は、この円周に近い位置を占める。random に 56 ゾーンずつに分けた 2 群に対しても、同様な結果が得られ、分析結果の再現性が明確に示された。

(2) 主成分分析によるゾーン分類

112 ゾーンに対する主成分の固有ベクトルを表-3 に示す。第 1 主成分の固有ベクトルの係数の符号はすべて正である。したがって、どの特性値の大きさが増しても第 1 主成分得点は増大する。このことは、22 個の特性値のいずれが大きくなても第 1 主成分得点が増大することを示しており、第 1 主成分は 24 時間を通じての時刻別人口密度の平均的な大きさを表わす因子であると解釈できる。

第 2 主成分の固有ベクトルの係数には、正と負のものが存在している。また、正の値を示すものは、その値が

表-3 112 計画基本ゾーンに対する主成分の固有ベクトル

	第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分
1	0.14532	0.29665	-0.17603
2	0.14517	0.29680	-0.18444
3	0.14673	0.29540	-0.20216
4	0.15215	0.28874	-0.21870
5	0.19266	0.23394	-0.24119
6	0.24379	-0.13016	-0.33961
7	0.22861	-0.18722	-0.18077
8	0.22790	-0.19030	-0.13038
9	0.22812	-0.19125	-0.10504
10	0.22761	-0.19287	-0.09016
11	0.22725	-0.19368	-0.08245
12	0.22754	-0.19326	-0.07189
13	0.22779	-0.19143	-0.04553
14	0.23181	-0.18432	-0.04657
15	0.24708	-0.14356	0.13348
16	0.26122	-0.06522	0.29836
17	0.26054	0.02560	0.40614
18	0.24731	0.10561	0.42089
19	0.22501	0.18471	0.31341
20	0.19509	0.24301	0.19218
21	0.16379	0.28248	-0.02101
22	0.16010	0.28530	-0.05652

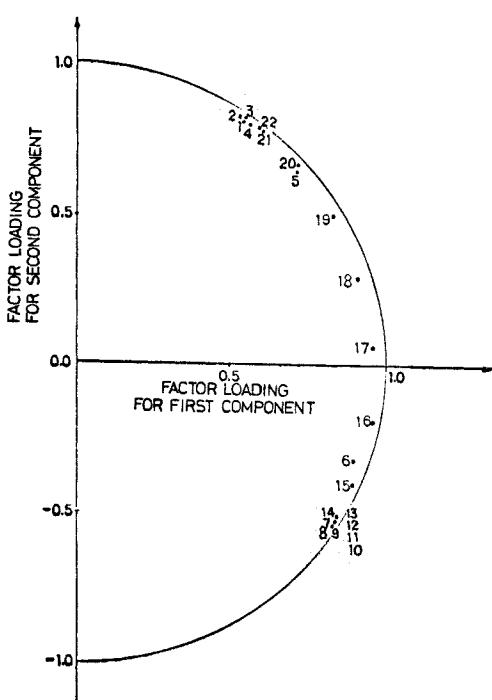


図-1 112 計画基本ゾーンの因子負荷量の散布状態

比較的大なものと比較的小なものとに分けられる。非活動時間帯に属する係数はおおむね正で値が大、活動時間帯のそれは、おおむね負であり、両者の絶対値を比較すると前者の方が後者より大である。正で比較的値の小さなものは、活動時間帯・非活動時間帯に属さないものである。このことは、第2主成分がある時間帯への時刻別人口密度集中の度合を示す因子であると解釈できる。これらの性質については、randomに56ゾーンずつに分けた2群の分析結果でも同様なことがいえたので、再現性のある分析結果であることが明確となった。

第1主成分と第2主成分の軸上に分析の結果得られた112ゾーンの各主成分得点をプロットしたものを図-2に示す。図-2を考察すると、プロットされた点は、広くばらついているAグループと4直線の周辺にばらつくBグループ、Cグループ、(D, E)グループ、(F, G, H, I)グループに大きく分類できると思われる。さらに、(D, E)グループ、(F, G, H, I)グループは相互に分離された、D, E, F, G, H, Iの6グループに分類されると考えられる。グループ相互の境界にある点については、いずれのグループに属させるかを、グループからの距離、地域の類似性を考慮して決定した。その結果、112の計画基本ゾーンをAからIまでの9個のグループに分類することとした。9グループに分類された状況を図-3に示す。図-3によれば9グループの地域については、おおむね、都心であるAグループを中心とし外周へ順次BグループからIグループに至る同心円的な位置にあることが明瞭である。図-2と図-3とを比較することにより主成分分析の結果による9地域へのグループ分類はほぼ妥当なものと思われる。なお、各グループの時刻別人口密度のパターンの例を図-4

に示す。各グループ間のパターンには明らかな相違がみられる。

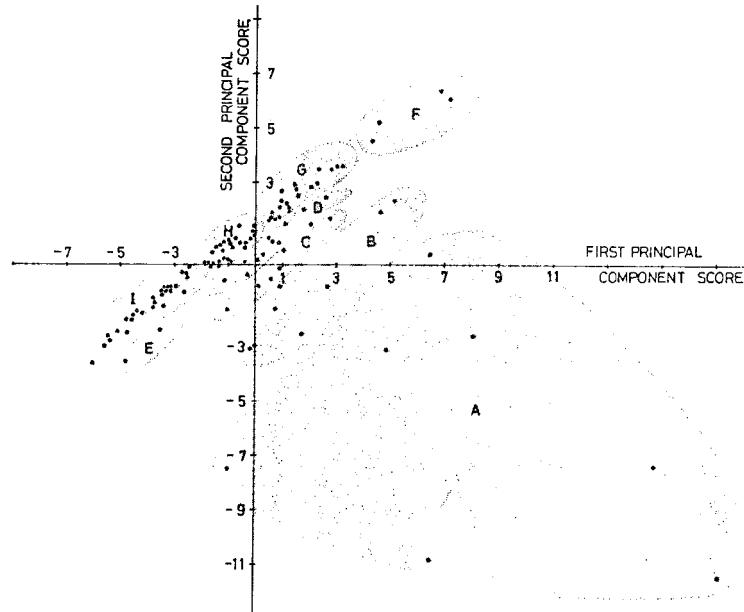


図-2 112 計画基本ゾーンの主成分得点の散布状態およびグループ分類



図-3 112 計画基本ゾーンと9グループ分類

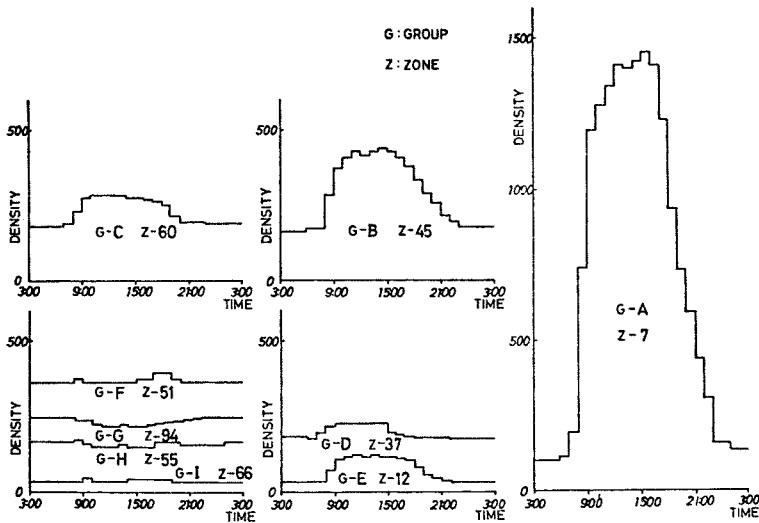


図-4 グループ別の時刻別人口密度パターン

(3) グループ別輸送機関分担率の傾向

A から I までの 9 グループのうち、E・F の 2 グループはトリップ数がきわめて少ないので除外し、7 グループのおのおのに属する計画基本ゾーンの輸送機関別分担率の平均値を算定した。対象輸送機関は、鉄道、バス、自動車の 3 種とし、各グループから都心グループへ向かう交通を対象とした。1 トリップ 2 以上の輸送機関を利用する場合の代表輸送機関としての優先順位のパターンを表-4 に示す。利用した代表輸送機関の優先順位

表-4 交通機関選択の優先順位パターン

代表交通手段名	プライオリティの順位および利用交通手段名
鉄道	1. 国鉄・私鉄・地下鉄・モノレール
バス	2. 路線バス・都電・市電
自動車	3. 乗用車(除くタクシー・ハイヤー)・自家用バス・貨物自動車
タクシー	4. タクシー・ハイヤー
二輪車	5. 自転車・オートバイ・バイク
その他	6. 飛行機・船・その他
徒歩	7. 徒歩

は、使用した資料⁵⁾が表-4 に示す形で整理されており、生のデータを入手できなかったので、これを用いるを得なかった。7 グループに対する状況を図-5 に示す。

図-5 から鉄道分担率は都心から遠ざかるに従って大きくなり、バス分担率は都心からの中間地域で大、そこから都心に近いかまたは遠い場合は小、自動車分担率は鉄道分担率とは逆に都心に近いほど大となる傾向がみられる。さらに、この傾向の妥当性を検定するために分散分析法^{8), 9)}を適用した。その結果を表-5 に示す。表-5 に示す

ように、各グループのサンプル数は 112 の計画基本ゾーンを 121 に細分したものが用いられた。 $F_{0.01}(6, 114) = 2.70$ であるので、これらの結果は 1% の水準で高度な有意性ありと判断された。すなわち、輸送機関別分担率は時刻別人口密度特性値の影響を受けると考えられる。

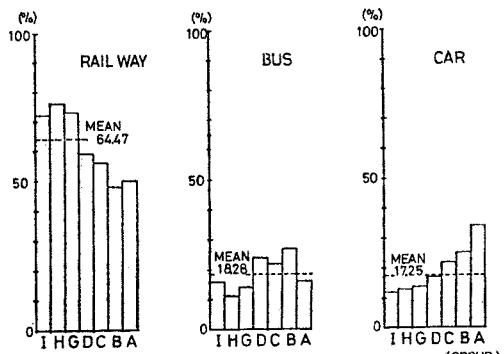


図-5 距離によるグループ別交通機関別分担率のパターン

表-5 通勤距離によるグループ別交通機関別分担率の検定

交通機関名	発地グループ名	I	H	G	D	C	B	A	計
		サンプル数	12	21	28	30	11	12	121
自動車	平均 値	0.122	0.126	0.136	0.173	0.219	0.248	0.343	総平均値=0.173 $F=4.80$
	標準偏差	0.069	0.088	0.115	0.079	0.157	0.158	0.239	
	変動係数	0.563	0.696	0.847	0.461	0.720	0.636	0.699	
バス	平均 値	0.160	0.110	0.135	0.242	0.224	0.273	0.156	総平均値=0.183 $F=3.51$
	標準偏差	0.147	0.132	0.136	0.134	0.127	0.151	0.076	
	変動係数	0.918	1.202	1.004	0.552	0.560	0.553	0.483	
鉄道	平均 値	0.718	0.764	0.729	0.585	0.557	0.479	0.501	総平均値=0.645 $F=5.46$
	標準偏差	0.190	0.174	0.199	0.191	0.204	0.200	0.212	
	変動係数	0.264	0.227	0.274	0.326	0.366	0.418	0.424	

3. 輸送機関別分担率モデル式

(1) 効用関数による選択行動モデルの考え方

輸送機関別分担率に効用関数を用いる場合の考え方¹⁰⁾および実施例¹¹⁾はすでに示されている。

効用関数の考え方は、有限個の選択対象物の中から必ず1つを選択しなければならない選択行動の目的が発生した場合に有効に利用できるものである。この場合、選択者の選択メカニズムを簡略化し、選択基準となるものを各対象物のもつ品質から評価判断し、評価のもっとも高いものを選択することになる。ここで、選択対象物のもつ品質からの評価値は、選択者の多様性によって一意的でないため、必ず不確実性が存在する。したがって、選択対象物の品質の評価を定量的な値としてとらえる場合には、その評価値を確率変数として取り扱うことができる。それゆえに、評価値の分布関数を知ることにより、選択しようとする確率が求められる。この場合、モデルに対して次のような仮定を設ける。

(i) 各選択対象物の評価値の分布は、正規分布に従う。

(ii) 各選択対象物の評価値は、互いに独立である。

(iii) 評価値の大なる選択対象物が選択される。

二者択一すなわち選択対象物が2個(A_1, A_2)の場合を考える。それぞれの評価値を $S_1: N(\hat{S}_1, \sigma_1^2)$, $S_2: N(\hat{S}_2, \sigma_2^2)$ とする。 \hat{S}_1, \hat{S}_2 はそれぞれ S_1, S_2 の期待値、 σ_1^2, σ_2^2 はそれぞれ S_1, S_2 の分散である。 S_1, S_2 の差を S とすれば、評価値差 S もまた正規分布 $N(\hat{S}, \sigma^2)$ に従う。 \hat{S}, σ^2 はそれぞれ S の平均値および分散である。ここに、 $\sigma^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2$ である。

評価値 S_1 が評価値 S_2 より上に評価される確率は、評価値差 S の分布関数から求められ、それが A_1 が選択される確率である。その確率を P_1 とすれば、

$$\begin{aligned} P_1 &= P_r(S > 0) = P_r(S_1 - S_2 > 0) \\ &= \int_0^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(S-\hat{S})^2}{2\sigma^2}\right] dS \\ &= \int_0^\infty f(S) dS \end{aligned}$$

ここで、 $t = (S - \hat{S})/\sigma$ とおけば、 $\phi(t)$ を標準正規確率密度関数として、

$$P_1 = \int_{-\hat{S}/\sigma}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{t^2}{2}\right] dt = \int_{-\hat{S}/\sigma}^{\infty} \phi(t) dt \quad \dots \quad (1)$$

正規確率関数は対称性により、 P_1 は次式で表わされる。

$$P_1 = \int_{-\infty}^{\hat{S}/\sigma} \phi(t) dt \quad \dots \quad (2)$$

すなわち、 \hat{S}/σ がわかれば二者択一の場合の選択確率を

求めることができる。

さらに、選択対象物3個(A_1, A_2, A_3)の中から1つを選択する場合を考える。これらの中からそれぞれ、 A_i ($i=1, 2, 3$)を選択する確率を π_i ($i=1, 2, 3$)とおくと、

$$\sum_{i=1}^3 \pi_i = 1 \quad \dots \quad (3)$$

である。また、 A_1 と A_j ($j=2, 3$)から A_1 を選択する確率を P_{1j} ($j=2, 3$)とおくと、 P_{1j} は二者択一の確率で式(2)から求められる。そして、 π_j と P_{1j} との関係は、

$$P_{1j} = \pi_j / (\pi_1 + \pi_j) \quad (j=2, 3) \quad \dots \quad (4)$$

であるから、式(3)と(4)を連立させることにより、 π_j ($j=1, 2, 3$)を求めることができる。すなわち、

$$P \cdot \pi = C$$

ただし、

$$P = \begin{bmatrix} 1-P_{12}, & -P_{12}, & 0 \\ 1-P_{13}, & 0, & -P_{13} \\ 1, & 1, & 1 \end{bmatrix}$$

$$\pi^T = [\pi_1, \pi_2, \pi_3]$$

$$C^T = [0, 0, 1]$$

これから、

$$\pi = P^{-1} \cdot C$$

ただし、

$$P^{-1} = \frac{1}{P_{12} + P_{13} - P_{12} \cdot P_{13}} \begin{bmatrix} P_{12} \cdot P_{13} & & \\ -P_{13}, & P_{12}, & P_{12} \cdot P_{13} \\ -1, & 1 - P_{12}, & P_{13} - P_{12} \cdot P_{13} \\ 1 - P_{13}, & -1, & P_{12} - P_{12} \cdot P_{13} \end{bmatrix}$$

$$\therefore \pi = \frac{1}{P_{12} + P_{13} - P_{12} \cdot P_{13}} \begin{bmatrix} P_{12} \cdot P_{13} \\ P_{13} - P_{12} \cdot P_{13} \\ P_{12} - P_{12} \cdot P_{13} \end{bmatrix}$$

$$\pi = \frac{P_{12} \cdot P_{13}}{P_{12} + P_{13} - P_{12} \cdot P_{13}} \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{1}{P_{12}} - 1 \\ \frac{1}{P_{13}} \end{bmatrix}$$

$$= \frac{1}{1 + \sum_{j=2}^3 \left(\frac{1}{P_{1j}} - 1 \right)} \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{1}{P_{12}} - 1 \\ \frac{1}{P_{13}} - 1 \end{bmatrix}$$

したがって、選択対象物が3個存在する場合のおのおのの選択確率は、以下のようになる。

$$\begin{cases} \pi_1 = \frac{1}{1 + \sum_{j=2}^3 \left(\frac{1}{P_{1j}} - 1 \right)}, \\ \pi_j = \frac{\frac{1}{P_{1j}} - 1}{1 + \sum_{j=2}^3 \left(\frac{1}{P_{1j}} - 1 \right)}, \end{cases} \quad (j=2, 3)$$

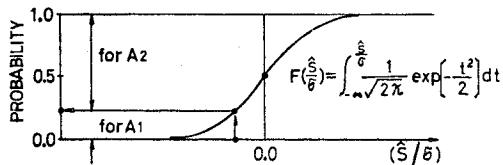


図-6 効用関数による行動選択モデル

効用関数を用いて輸送機関別分担率を推定するものであるが、それには式(1), (2)をみればわかるように、まず評価値差の期待値を標準偏差で除した \hat{S}/σ を知る必要がある。しかし、この \hat{S}/σ を直接知ることは困難なので、輸送機関別分担率の実績値を用いて \hat{S}/σ を推定する。図-6は効用関数による選択行動モデルを図に示したものである。 \hat{S}/σ の算定は、正規分布の累積分布関数の対称形の半分、すなわち、Galtonの曲線¹²⁾を次式に近似的に置き換えることにより行った。

$$\text{Galtonの曲線} \approx 1/2\sqrt{1-\exp(-2x^2/\pi)}$$

確率 P が $0 < P < 0.5$ の場合、 $x < 0$ であって、

$$P \approx 0.5 - 1/2\sqrt{1-\exp[-2x^2/\pi]}$$

から、

$$\therefore x = -\sqrt{-\pi/2} \ln \{1 - 4(P-0.5)^2\}$$

確率 P が $0.5 \leq P < 1.0$ の場合、 $x \geq 0$ であって、

$$P = 0.5 + 1/2\sqrt{1-\exp[-2x^2/\pi]}$$

から、

$$\therefore x = \sqrt{-\pi/2} \ln \{1 - 4(P-0.5)^2\}$$

すなわち、二者択一の場合の輸送機関別分担率の実績値 P を上式に代入することにより、 $x = \hat{S}/\sigma$ を超過1%以内の精度で算定できる。

(2) 輸送機関別分担率の推定式とその検討

a) 輸送機関別分担率に影響をおよぼす要因の選択

輸送機関別分担率に影響する要因としては、個人別条件、交通施設条件、地域の性格、トリップの性格の4種に分類できる¹³⁾。本研究においては、通勤交通に対して説明要因として入手可能なものについて諸種検討の結果、表-6に示すようなものを取り上げた。

X_1 : ODゾーン間距離 (トリップ長)

X_2 : 着ゾーンの東京都区部の人口重心からの距離
(人口重心に近いほど交通機関選択への影響)

表-6 分担率の説明要因

要因	鉄道	バス	乗用車	備考
X_1 O-Dゾーン間距離	O-Dゾーン間距離	O-Dゾーン間距離		
X_2 着ゾーンの東京都区部の人口重心からの距離	着ゾーンの東京都区部の人口重心からの距離	着ゾーンの東京都区部の人口重心からの距離		ゾーンの中心は人口重心
X_3 発ゾーンの第2主成分得点	発ゾーンの第2主成分得点	発ゾーンの第2主成分得点		
X_4 鉄道駅密度	—	—	発ゾーンの駅数/面積	

が大きいと判断される)

X_3 : 発ゾーンの第2主成分得点 (主成分分析による発ゾーンの地域特性値と考えられる)

X_4 : 発ゾーンの鉄道駅密度 (鉄道分担率に対しては、他の交通機関分担率に比して影響を受けると考えられるので、鉄道分担率の推定の場合のみ考慮した)

b) 公共輸送機関と自動車の2種類とした場合

公共輸送機関である鉄道とバスとを一体として、交通機関別分担率と各説明変数間の相関を検討した結果、線形関係にあると考えられたので重回帰分析¹⁴⁾を行い、モデル式(5)を得た。この場合、 X_1 については $\ln X_1$ の方が適合度がよかったので、 X_1 の代わりに $\ln X_1$ を用了。 Y_{R+B} は公共輸送機関が選択される場合の効用関数 \hat{S}/σ に対応するものである。

$$Y_{R+B} = 0.388 \ln X_1 - 0.138 X_2 + 0.038 X_3 + 0.872 \quad (7.72) \quad (3.54) \quad (2.03)$$

.....(5)

重相関係数=0.654, F 値=29.19

推定値の標準誤差=0.349, () 内は t 値

式(5)の計算には表-5に示されるA~Iグループに属する121のデータが用いられている。121のデータは計画基本ゾーン112を細分したゾーンから得られたものである(表-5参照)。以後の効用関数の推定にも、すべてこの121ゾーンのデータが用いられた。

$$F=29.19 > F_{0.01}(3, 117)=3.96$$

なので式(5)は高度に有意であると判断される。各説明変数の係数の下の()内の数値は、係数が0であるかどうかを検定するための t 値で

$$t \left(\begin{array}{c} 0.05 \\ 0.01 \end{array} \right) = \frac{1.98}{2.62}$$

と比べれば、有意水準5%ではすべての係数は0とはならないが、有意水準1%では X_3 の係数のみが0でないといえないという結果を示している。

なお、 Y_{R+B} , $\ln X_1$, X_2 , X_3 相互間の相関行列を示せば、表-7のとおりである。 Y_{R+B} と $\ln X_1$, X_2 , X_3 との間にはそれぞれ大なり小なり相関があると思われる。 $\ln X_1$, X_2 , X_3 相互間の相関は低いので、各説明変数はほぼ独立であるといえよう。

回帰により説明される変動は全変動の約43%であり、さらに、その変動のうちの約77%は $\ln X_1$ 、すなわち、

表-7 公共輸送機関と自動車とを比較した場合の要因間相関係数

	Y_{R+B}	$\ln X_1$	X_2	X_3
Y_{R+B}	1.000	0.574	-0.265	0.300
$\ln X_1$	—	1.000	0.023	0.195
X_2	—	—	1.000	-0.179
X_3	—	—	—	1.000

ゾーン間距離の自然対数によって占められる結果を示した。このことは表-7からも明らかなように目的変数に対し要因 $\ln X_1$ がもっとも強く影響することを示している。

式(5)を用いて、公共輸送機関の分担率 P_{R+B} は、式(6)のように表わせる。

$$P_{R+B} = \int_{-\infty}^{0.388\ln X_1 - 0.138X_2 + 0.038X_3 + 0.872} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{t^2}{2}\right] dt \quad (6)$$

したがって、自動車分担率は式(7)となる。

$$P_C = 1.0 - P_{R+B} \quad (7)$$

式(6)を用いて計算された推定値 \hat{P}_{R+B} と実績値 P_{R+B} の回帰分析により回帰式を求める式(8)のとおりである。

$$P_{R+B} = 1.059 \hat{P}_{R+B} - 0.060 \quad (8)$$

相関係数=0.666, $F=95.06$

回帰係数の標準誤差=0.109

式(6)は、 $F=95.06 > F_{0.01}(1, 119)=6.80$ を考えると1%の水準で高度に有意であるといえる。ただし、分担率が約80%以下では適合度が悪くなるようである(図-7参照)。

c) 鉄道・バス・自動車の3種類とした場合

① 鉄道とバスを比較した場合の \hat{S}/σ の推定式

Y_{RB} を鉄道とバスを比較して鉄道が選択されるときの \hat{S}/σ として重回帰を行い式(9)を得た。目的変数と説明変数間には線形関係があると思われたので、重回帰を行った。

$$Y_{RB} = 0.119 X_1 - 0.147 X_2 + 0.121 X_3 \quad (9.23) \quad (2.78) \quad (4.69)$$

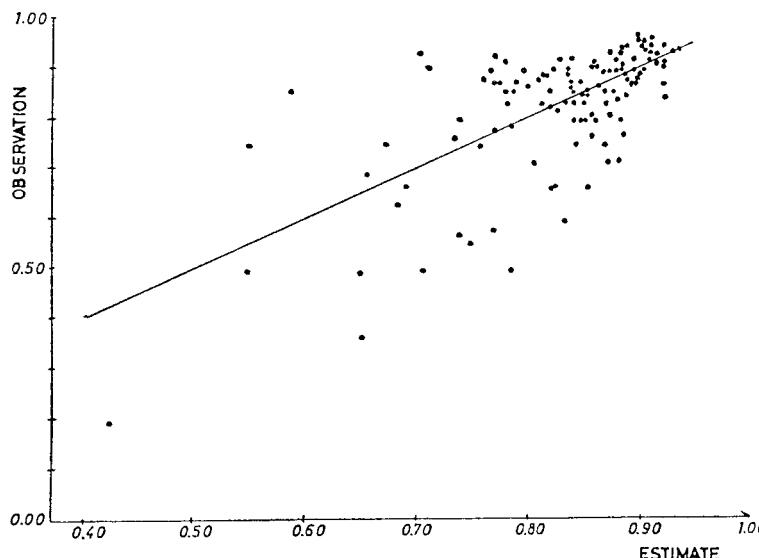


図-7 公共輸送機関分担率の実績値と推定値との比較

$$+ 20.498 X_4 + 0.414 \dots \dots \dots \quad (9) \\ (3.22)$$

重相関係数=0.715, $F=30.38$

推定値の標準誤差=0.475, () 内は t 値

式(9)は、

$$F=30.38 > F_{0.01}(4, 116)=3.50$$

から1%の水準で高度な有意性を示している。式(9)の係数の下の()内の数字は、

$$t\left(\begin{matrix} 117 & 0.05 \\ 0.01 & \end{matrix}\right) = \frac{1.98}{2.62}$$

よりすべて大であるので、1%の水準でも係数は0とはならないことを示している。

$Y_{RB}, X_1, X_2, X_3, X_4$ 相互間の相関係数を表-8に示す。 Y_{RB} と X_1, X_2, X_3, X_4 のそれぞれとは大なり小なり相関があり、中でも X_1 との相関が最大で X_2 は存外に相関が小さいことを示し、鉄道駅密度は目的変数にはほとんど影響しない結果となった。式(9)で鉄道駅密度の係数が大きい値となっているが、駅密度の値そのものが小数2位程度ときわめて小さいので影響は非常に小さい。 X_1, X_2, X_3, X_4 相互間の相関は、一、二の例を除いては相関があるとは思われないので、互いに独立であるとしてさしつかえないであろう。

表-8 鉄道とバスとを比較した場合の要因間相関係数

	Y_{RB}	X_1	X_3	X_4	X_2
Y_{RB}	1.000	0.582	0.351	0.010	-0.210
X_1	—	1.000	0.076	-0.227	0.044
X_3	—	—	1.000	-0.208	-0.179
X_4	—	—	—	1.000	0.011
X_2	—	—	—	—	1.000

回帰により示される変動は全変動の約51%を占め、そのうち X_1 が約66%と圧倒的に大きな部分となっている。すなわち、表-8とあわせて考えれば、OD ゾーン間距離の影響がきわめて大きなウェイトを占めていることがわかる。

② 鉄道と自動車を比較した場合の \hat{S}/σ の推定

Y_{RC} を鉄道と自動車を比較して鉄道が選択されるときの \hat{S}/σ として、重回帰を行い式(10)を得た。目的変数と説明変数の間には線形関係があると思われたので重回帰を行った。

$$Y_{RC} = 0.518 \ln X_1 - 0.177 X_2 \quad (8.23) \quad (3.63)$$

$$+ 0.062 X_3 + 0.067 \quad (2.61)$$

$$\dots \dots \dots \quad (10)$$

重相関係数=0.684, $F=34.30$

推定値の標準誤差=0.437, () 内は t 値

式(10)は、

$$F=34.30 > F_{0.01}(3, 117)=3.96$$

から 1% の水準で高度な有意性を示している。式(10)の係数の下の()内の数字は、

$$t \begin{pmatrix} 0.05 \\ 0.01 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.98 \\ 2.62 \end{pmatrix}$$

と比べるといずれも大であるので、1% の水準でも係数は 0 とならないと判断される。

Y_{RC} , $\ln X_1$, X_2 , X_3 相互間の相関係数を表-9に示す。 X_1 については、 $\ln X_1$ とした方が適合度がよかつた。 Y_{RC} と $\ln X_1$, X_2 , X_3 との間には大なり小なり相関があると思われ、その相関は $\ln X_1$ に対するものが最大である。 $\ln X_1$, X_2 , X_3 相互間では特に相関があるとは思われず、互いに独立であると判断される。

回帰により示される変動は全変動の約 47% を占め、そのうち $\ln X_1$ が約 76% と圧倒的に大きな部分となっている。すなわち、表-9とあわせ考えて、OD ゾーン間距離がきわめて大きな影響を与えることがわかる。

表-9 鉄道と自動車とを比較した場合の要因間相関係数

	Y_{RC}	$\ln X_1$	X_2	X_3
Y_{RC}	1.000	0.597	-0.268	0.338
$\ln X_1$	-	1.000	0.023	0.195
X_2	-	-	1.000	0.179
X_3	-	-	-	1.000

③ 鉄道、バス、自動車の分担率推定モデル式

式(10)から、鉄道とバスとの二者択一の場合の選択率モデル式は、鉄道選択率を P_{RB} とすれば式(11)で示される。

$$P_{RB} = \int_{-\infty}^{0.119X_1 + 0.147X_2 + 0.121X_3 + 20.498X_4 + 0.414} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{t^2}{2} \right] dt \quad (11)$$

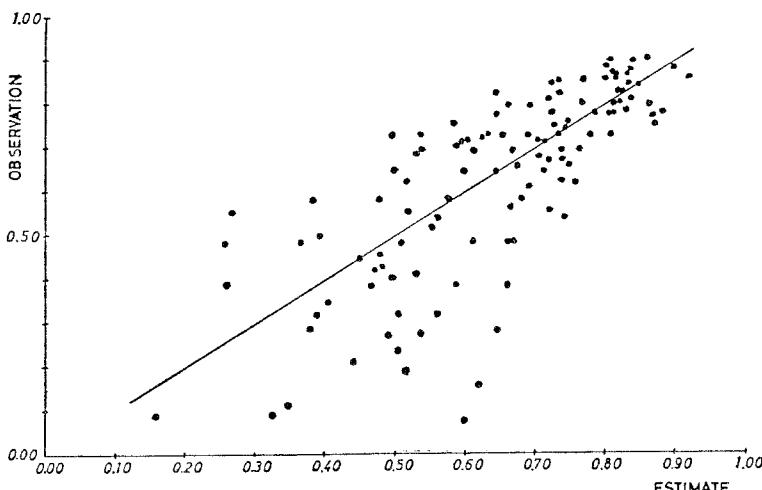


図-8 鉄道分担率の実績値と推定値との比較

$$\cdot \exp \left[-\frac{t^2}{2} \right] dt \quad (11)$$

同様に式(11)から、鉄道と自動車との二者択一の場合の選択率モデル式は、鉄道選択率を P_{RC} とすれば次の式で示される。

$$P_{RC} = \int_{-\infty}^{0.518 \ln X_1 - 0.177X_2 + 0.062X_3 + 0.607} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{t^2}{2} \right] dt \quad (12)$$

鉄道、バス、自動車の3種類に対しては、分担率をそれぞれ π_R , π_B , π_C とすれば、式(11), (12)を用いてそれぞれ式(13), (14), (15)で示される (π_R , π_B , π_C の求め方は3.(1)参照)。

$$\pi_R = \frac{1}{(1/P_{RB}) + (1/P_{RC}) - 1} \quad (13)$$

$$\pi_B = \frac{(1/P_{RB}) - 1}{(1/P_{RB}) + (1/P_{RC}) - 1} \quad (14)$$

$$\pi_C = \frac{(1/P_{RC}) - 1}{(1/P_{RB}) + (1/P_{RC}) - 1} \quad (15)$$

④ 分担率推定モデル式の検討

鉄道分担率については、実績値 P_R と推定値 \hat{P}_R の回帰式は式(16)で示される。

$$P_R = 1.015 \hat{P}_R - 0.023 \quad (16)$$

相関係数=0.755, $F=158.01$

回帰係数の標準誤差=0.081

$F=158.01 > F_{0.01}(1, 119)=6.80$ であるので、式(16)は水準 1% で高度に有意であるといえる。ただし、分担率が 70% より小になるとやや適合度が悪くなる傾向がみられる(図-8 参照)。

バス分担率については、実績値 P_B と推定値 \hat{P}_B の回帰式は式(17)で示される。

$$P_B = 1.012 \hat{P}_B - 0.001 \quad (17)$$

相関係数=0.628

$F=77.55$

回帰係数の標準誤差=0.118

$$F=77.55 > F_{0.01}(1, 119)=6.80$$

であるので式(17)は水準 1% で高度に有意であるといえる。

ただし、鉄道分担率とは逆に分担率が約 20% より大になるとあてはまりが悪くなる傾向を示している(図-9 参照)。

自動車分担率については、実績値 P_C と推定値 \hat{P}_C の回帰式は式(18)で示される。

$$P_C = 1.025 \hat{P}_C - 0.0002 \quad (18)$$

相関係数=0.656,

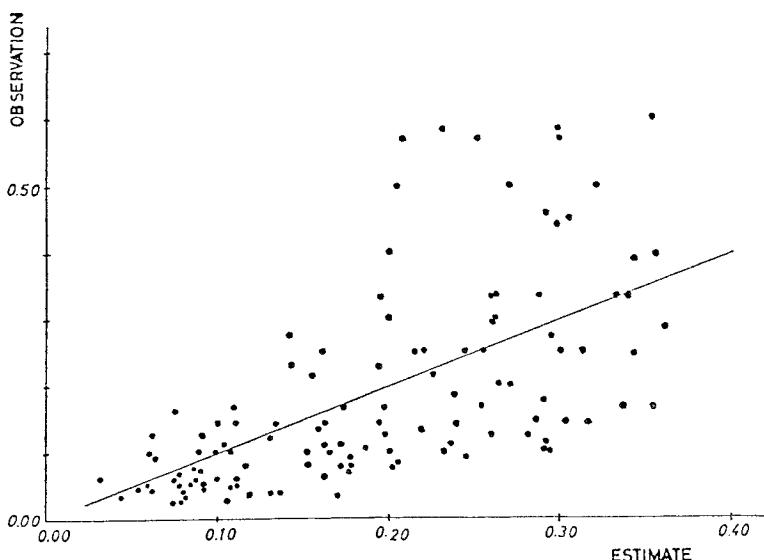


図-9 バス分担率の実績値と推定値との比較

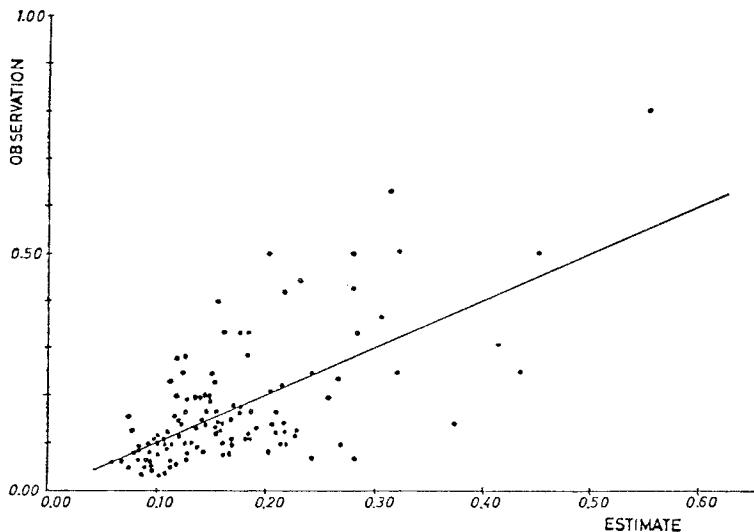


図-10 自動車分担率の実績値と推定値との比較

$$F=90.10$$

回帰係数の標準誤差 = 0.108

$F=90.10 > F_{0.01}(1, 119)=6.80$ であるので、式(18)は水準 1% で高度に有意であるといえる。ただし、バス分担率と同様に分担率が約 20% より大となると適合度が悪くなる傾向を示している（図-10 参照）。

4. むすび

本研究は、対象地域である東京都区部の各ゾーンから都心に向かう通勤目的トリップの交通機関別分担率について検討したものである。ここでは、ゾーン特性値に対

する主成分分析、その結果を利用したゾーンのグループ分類、グループ間の分担率の有意差の検定、主成分特性値と効用関数を取り込んだ分担率推定モデル式の提案など、いくつかの試みがなされている。

本研究で明らかにされたことをまとめると、次のとおりである。

(1) 地域別に時刻別人口密度について検討した結果、地域別に明確な相違があり、これが地域特性を表わし得るものと考えられた。したがって、地域特性として時刻別人口密度を取り上げ、これに主成分分析法を適用した。その結果、第 2 主成分まで情報の約 97% が説明され、112 の計画基本ゾーンを 9 グループに分類できることがきわめて良好な再現性をもってわかった。

(2) トリップ数の少ない 2 グループを除く 7 グループの鉄道、バス、自動車について、各グループ別交通機関分担率実績値の平均値がもつ傾向を比較した。その結果、鉄道分担率は都心部を離れるに従い大きくなり、自動車分担率はその反対に近いほど大きくなり、バス分担率は中間に近いほど大きくなる傾向があることが判明した。分散分析法を適用した結果、この

傾向には有意差があると判断され、時刻別人口密度が分担率に影響を与えていたと考えられた。

(3) 効用関数を用いて分担率を推定するために、まず 2 交通機関の効用評価値の差の期待値 \hat{S} をその標準偏差 σ で除し基準化した値 \hat{S}/σ を確率変数とし、この値を推定するモデル式を作成した。説明要因について種々検討の結果、鉄道とバスとを一体とした公共輸送機関と自動車との 2 種類とした場合は、説明要因として OD 間ゾーン距離、着ゾーンの東京都区部の人口重心からの距離、発ゾーンの第 2 主成分得点が取り上げられた。また、鉄道・バス・自動車の 3 種類とした場合は、鉄道と自動車との分担率を比較したときの説明要因として前記

とまったく同じ要因が取られ、鉄道とバスとの分担率を比較したときは前記要因のほかに発ゾーンの駅密度が加えられた。

(4) 説明要因のうちで、OD ゾーン間距離の寄与率が 70% 前後と圧倒的に大であり、発ゾーン特性としての時刻別人口密度の第 2 主成分得点、同じく駅密度、着ゾーン特性としての着ゾーン人口重心から東京都区部人口重心までの距離の順で寄与率が小さくなつた。

次に本研究の問題点をまとめると、次のようである。

(1) 資料がもともと自動車の保有・非保有別に分かれていなかつた。自動車の保有・非保有が分担率に与える影響は大きいと思われる所以、保有・非保有別に解析すれば、もっと精度の向上を期待できるであろう。

(2) 代表交通機関が、使用した資料では利用交通機関の組み合せのパターンによって優先順位をつけられて整理されており、もっとも長時間利用したものとなつてゐないので、解析上問題が残つた。

(3) 鉄道分担率は実績値の低いとき、バスおよび自動車はそれが高いときに、推定値との適合が悪い傾向を示した。

(4) 分担率の説明要因の選定においては、もっと広い範囲から、要因分析などを用いて、最適な説明要因を順次抽出してゆく方法が望ましいといえるので、さらに検討する必要があろう。また、モデル式の関数形においても同様なことがいえよう。

本研究では、東京都区部において主成分分析、効用関数などを用いて分担率の分析を行い良好な結果が得られたが、他地域や将来予測の面にも範囲を広げて適用性の

有無を検証する必要があろう。

参考文献

- 1) 河上省吾：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、土木学会論文報告集、第 197 号、pp. 61～68、1970.
- 2) 赤松准央・川井 優・福山俊郎：パーソントリップの交通機関利用率に関する解析、土木学会論文報告集、第 193 号、pp. 81～88、1971.
- 3) T. Sasaki : Estimation of Person Trip Patterns Through Markov Chains, 第 5 回国際交通流および輸送理論シンポジウム論文集、pp. 119～130、1972.
- 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.
- 5) 建設省・東京都・神奈川県・埼玉県・千葉県・横浜市：昭和 46 年度東京 50 km 圏総合都市交通体系調査報告書、1972.3.
- 6) 奥野忠一・久米 均・芳賀敏郎・土沢 正：多変量解析法、日科技連、pp. 159～192、1971.
- 7) W.W. Cooley, R.R. Lohnes 著、井口晴弘・藤沢武久・守谷栄一訳：行動科学のための多変量解析、鹿島出版会。
- 8) Albert H. Bowker, G.J. Lieberman : Engineering Statics, Maruzen, pp. 286～364, 1961.
- 9) Irwin Guttman, S.S. Wilks 著、石井恵一・堀 素夫訳：工学系のための統計概論、培風館、pp. 243～270.
- 10) 青山吉隆：都市における選択行動モデルの研究、土木学会第 26 回年次学術講演会講演概要集第 4 部、pp. 91～94、1971.
- 11) 藤目節夫・青山吉隆：交通機関選択における通勤・通学者の効用に関する研究、土木学会第 29 回年次学術講演会講演概要集第 4 部、pp. 153～154、1974.
- 12) Marcell Boll 著、弥永晶吉・矢野健太郎編：万能数値表、白水社、pp. 578～584、1957.
- 13) Norman R. Draper, H. Smith Jr. 著、中村慶一訳：応用回帰分析、森北出版、1968.

(1977.7.28・受付)