

短距離鉄道通勤者における着席効用度の 分布特性に関する研究

A STUDY ON SEATING UTILITY DISTRIBUTION
OF SHORT DISTANCE COMMUTER

* **
家 田 仁 ・ 松 本 嘉 司

By Hitoshi IEDA and Yoshiji MATSUMOTO

In some railway station, one can observe some passengers wait several trains to get seats, and another give it up without waiting. The concept of Seating Utility is proposed to evaluate quantitatively these commuter's preference for getting seats. The value of seating utility distribute statistically, according to the magnitude of their seat preference. Actual behaviour of commuter's train choice was observed in two subway station in Tokyo, where short distance trip is predominant. And it was made clear that there exist two groups of users, one who pays high charges for getting seats, and another who gives

1. はじめに

交通手段、ルート、便などにおける利用者の選択行動については、選択肢のもつ特性として所要時間、運賃などの他に、着席可能性、乗換の有無などの交通サービス特性が強く影響する。こうした交通サービス特性が利用者の選択行動にどのように寄与するのか把握する試みには種々の研究があるが¹⁾多くは被験者に仮想的な選択肢を呈示して選択を要求する意識調査から各種因子相互の重みを把握しようとするものである。一方、交通サービス特性の内着席の問題は、通勤疲労に直接的に係わることから、生理学の立場からも研究が行なわれた²⁾³⁾これらに対し、本研究では着席効用度という概念を用いて、利用者

の行動を直接観察することにより座席獲得に対する生理的・心理的評価を定量的に把握することを試みたものである。

一般に人間の行動には多数の因子が複雑に関与するが、これらの種々の因子の寄与構造を解明する方法には、大別して相関的方法と実験的方法がある⁴⁾前者は、一般的な現象を事後的に観察することによりこれらの因子の平均的寄与を把握するものである。これに対して後者は、他の因子を統制することにより特定の因子と現象との間の因果関係をより明確に捉えようとするものである。通常、社会経済現象においては因子を人為的に統制することは困難で、前者の方法をとることが多いが、本研究では特定の実験条件が予め満たされた環境を選定して調査する方法により後者の立場を試みた。

心理的特性を測定する場合、意識調査のように個体を対象とする方法と、個体の集団を対象とする方法とがあるが⁵⁾本研究では計測実施上の制約から後

* 正会員 東京大学助手 工学部土木工学科
(〒113 文京区本郷7-3-1)

** 正会員 工博 東京大学教授 工学部
土木工学科 (同上)

者をとった。この時、多様な価値観をもつ人間集団を扱うため、集団の中では個体差をより積極的に評価していく必要があり任意の確率分布として扱った。

本研究の扱う具体的な対象は鉄道駅における列車選択行動である。利用者は駅に到着後、座席獲得などの理由により必ずしも最も早く出発する列車を選択するとは限らない。このような利用者の行動を対象に着席効用度を用いた行動モデルの適用性を検討するため、乗車時間30分程度以内の短距離利用者について、東京の地下鉄2駅において実測調査を実施し、着席効用度の分布特性を解析した。

2. 着席効用度を用いた列車選択行動の定式化

座席の獲得を考慮した交通行動は、座席数に制限のある公共交通機関に特徴的なものであり、本研究では鉄道駅における利用者の列車選択行動を対象とした。この場合、各列車の運賃料金などには差がなく、利用者は選択可能な各列車の発車時刻を知っているものとする。ここでは、所要時間、座席獲得可能性を考慮した利用者の列車選択行動を記述するために、時間の次元で評価される効用関数を用いた。

まず、ある利用者の目的駅への乗車時間を t_L 、利用者が駅へ到着した時点でのある列車の発車までの待ち時間を t_w 、この列車の着席可能性（座席獲得可能性）を α とする。利用者がこの列車を選択することの不効用を立席の場合を基準と考えて、乗車時間及び待ち時間の和により表わすこととする。すると着席できる場合には、不効用は一般に立席の場合よりも小さく、かつ正であると考えられるから、無次元数 γ ($0 \leq \gamma \leq 1$)を用い、着席した時の不効用が、第1次近似として、 $(1-\gamma)t_L$ となるものとする。すると、当該列車を選択することの期待不効用 U は、

$$U = t_w + \alpha \cdot (1-\gamma)t_L + (1-\alpha)t_L \quad (1)$$

と表わされる。この時、無次元数 γ は、単位乗車時間当たりの着席することによる効用（着席効用度と呼ぶ）と考えることができる。ここで、ある利用者の駅への到着時刻を T とする。利用者が選択可能な任意の列車を列車 i とする。すると時刻 T における列車 i の着席可能性 $\alpha_i(T)$ は、列車 i の待ち行列人数 $\Phi_i(T)$ の関数（着席可能性関数）として、

$$\alpha_i(T) = \hat{\alpha}(\Phi_i(T)) \quad (2)$$

と表わすことができる。また、待ち時間 t_w は、

列車 i の発車時刻を Td_i として、

$$t_w(T) = Td_i - T \quad (3)$$

となる。よって、(1),(2),(3)式より、列車 i の期待不効用 $U_i(T)$ は、 i について不変な項を省略し、

$$U_i(T) = Td_i - \hat{\alpha}(\Phi_i(T))\gamma t_L \quad (4)$$

と表わされる。ここで、ゲーム理論でいう期待効用原理が成り立つものとする⁶⁾、利用者は、着席効用度 γ 、乗車時間 t_L に応じて、 $U_i(T)$ が最小となる列車 i^* を選択するものと考えることができる。(4)式に注目すると、 $U_i(T)$ は、 γt_L の一次式となっているため、ある時刻 T の時、 $U_i(T)$ を最小とする列車が i^* となる γt_L の領域が一意的に決定する。これを上限値 $R_{\alpha i}^U(i^*, T)$ 、下限値 $R_{\alpha i}^L(i^*, T)$ とする。よって、利用者の集団における、着席効用度 γ の確率密度関数を $\psi_\gamma(\gamma)$ 、乗車時間 t_L の確率密度関数を $\varphi_{t_L}(t_L)$ とすると、列車 i^* の選択率 $p_{i^*}(T)$ は、

$$p_{i^*}(T) = \int_0^1 K(T, i^*, \gamma) \cdot \psi_\gamma(\gamma) d\gamma \quad (5)$$

$$\text{ここで、} K(T, i^*, \gamma) = \frac{\int_{R_{\alpha i}^L(i^*, T)}^{R_{\alpha i}^U(i^*, T)} \varphi_{t_L}(t_L) dt_L}{R_{\alpha i}^U(i^*, T) - R_{\alpha i}^L(i^*, T)}$$

となる。ここで、時刻 T における列車 i の選択者数を $\phi_i(T)$ （すなわち、 $\phi_i(T) = d\Phi_i(T)/dT$ ）とすると、列車 i^* の選択者数は $\phi_{i^*}(T)$ の i についての総和 $I(T)$ （すなわち、 $I(T) = \sum_i \phi_i(T)$ ）より、

$$\phi_{i^*}(T) = I(T) \cdot p_{i^*}(T) \quad (6)$$

となり、列車の選択行動が記述されたこととなる。

3. 短距離鉄道駅における実測調査

前節で定式化した着席効用は、比較的狭い乗車時間対象範囲に対する第一次近似として、着席効用度 γ を比例定数とし、乗車時間 t_L との積により表わされるものとしたが、一般には着席効用が乗車時間 t_L に対して任意の関数形式となっているものと考えられ、広い乗車時間範囲を扱っていくためには、実測調査を実施して、着席効用度 γ の分布を実証的に捉えていく必要がある。本研究では、都市通勤通学交通のうち、都市鉄道利用者の相当のウェイトをしめている乗車時間が30分程度までの比較的短距離の利用者を当面の対象として扱い（図-1）、帝都高速度交通営団丸ノ内線の池袋及び、荻窪の両駅を対象として以下の実測調査を実施した。両駅の概要を表-

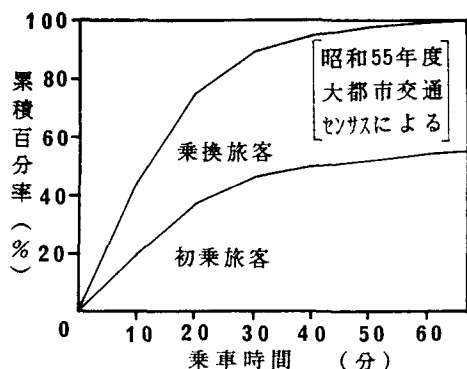


図-1 首都圏鉄道定期旅客の
路線単位乗車時間分布

1 に示す。なお、調査の対象にこれらの始発駅を選んだのは、着席可能な座席数が一定で、測定及び解析が比較的容易なためである。

(1) 待ち行列調査

各列車の待ち行列人数を行列ができ始めた時刻から、列車の閉扉時刻まで時系列的に測定した。池袋駅では、第1,3,5 車両の各中央ドアについて、昭和59年6月28日(木)、7月4日(水)の7:15~9:00に測定した。荻窪駅では、第2,5 車両の各中央ドアで、昭和60年6月18日(火)、20日(木)の7:30~8:30に測定したが、国鉄からの乗換が容易な東口の利用者が圧倒的に多いため、池袋駅との対比を考え、解析の対象は第5車両とした。

(2) 着席可能性調査

池袋駅において、昭和59年7月9日(月)、13日(金)の7:15~9:00の時間帯で待ち行列の前から第3列~第6列についてそれぞれの列に並んだ利用者の座席獲得の可否を観測した。荻窪駅については、行列が1列3人整列である点が池袋駅と異なるが、

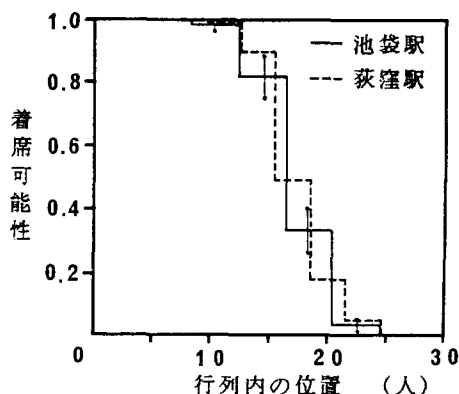


図-2 着席可能性関数

池袋駅における測定結果を補正して用いることとした。なお、サンプル数は244人である。

(3) 車両別各駅乗降人員調査

解析にあたっては、待ち行列測定車両の乗客の乗車時間分布を知る必要がある。しかし、各駅の乗降口の位置の差異に基く利便性の相違から、必ずしも各車両位置の利用者の乗車時間分布が同一のものであるとは限らないため⁷⁾⁸⁾、対象車両別に乗車時間分布を推定する必要がある。そこで、解析の対象とする時間帯に当該駅を発車する3列車を選定し、これらの列車の各対象車両に測定員が添乗し、当該駅から順次、各駅における乗車人員・降車人員を測定した。なお、測定月日は、池袋駅については昭和59年7月3日~12日の内6日間、荻窪駅については昭和60年6月4日~12日の内4日間、いずれも平日である。

4. 着席効用度の解析方法及び結果

(1) 着席可能性関数の推定

まず、調査結果より計算した、4列整列の各列の着席可能性の平均値を二項分布による95%信頼区間とともに示した。(図-2)池袋駅の着席可能性関数 α は、図中の階段関数として用いることとし、荻窪駅については、池袋駅の測定結果から次のように推定した。まず、着席可能性調査の結果を各列内の中央位置での観測結果とみなして連続的の曲線をあてはめ、次に3列乗車の際の各列内の中央位置での着席可能性をこの連続的の曲線から算出し、破線で示す階段関数を着席可能性関数として用いた。なお、連続的の曲線にはGomperts関数を利用した。

表-1 丸ノ内線池袋・荻窪両駅の概況

	池袋	荻窪
日平均乗降人員 (58年度)	323,204人	73,081人
乗降場の構造	島式1面2線交互発着	
列車運行間隔 (朝のラッシュ時)	概ね2分	概ね4分
乗車方式	4人整列	3人整列
列車編成	1編成6両	
車両構造	両開3 ¹ / ₂ Y 座席数44~48席 乗車定員 120~124人	

(2) 車両別乗車時間分布の推定

推定に先立ち各駅各車両の乗降人員分布が3本の測定列車間等について同一の分布とみなせるか、情報量基準 AIC (Akaike's Information Criterion)⁹⁾ を用いて検定した結果、概ね同一の分布とみなし得ることが明らかとなり、以下の推定では両駅とも各車両別に3列車、全調査日の結果を集計して用いた。この結果、サンプル総数は、池袋駅第1車両：2,178人、第3車両：1,752人、第5車両：2,436人、荻窪駅第5車両7,227人となった。

各車両の乗降人員分布は特定の時間帯における各車両の片方向OD分布交通量の周辺分布に他ならない。そこで、昭和55年度大都市交通センサスより対象時間帯のOD分布交通量を集計し、これを基本OD表とし

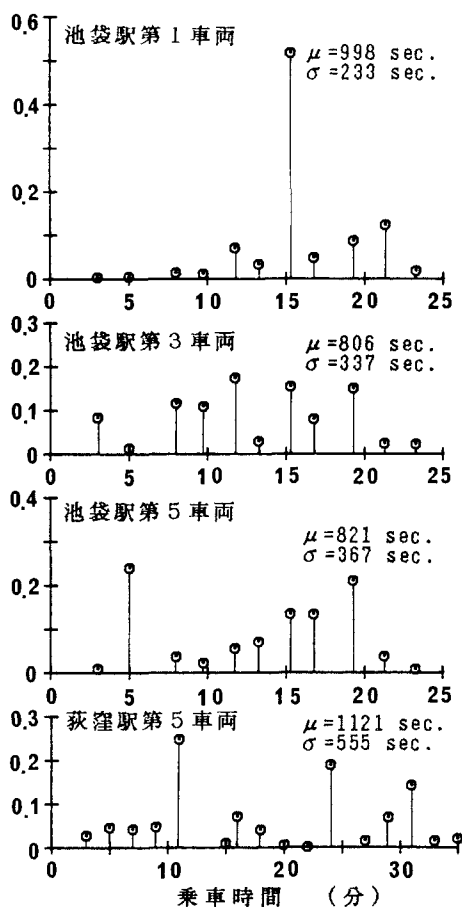


図-3 乗車時間分布の推定結果

て周辺分布が測定結果と蓋然的に一致するようにエントロピー法により修正計算し、当該駅発の降車駅分布を推定した。次に、列車運行図表による所要時間を用いて、各車両別の乗車時間分布を求めた。これらの結果を平均値 μ 、標準偏差 σ とともに図-3に示す。

(3) 着席効用度分布の推定法

(5) 式中の着席効用度 γ の分布 $\psi(\gamma)$ を推定するため、まず、時刻を変数 k にとり、着席効用度を変数 j により、乗車時間を変数 m により離散化し、(5)、(6)式を次のように再表現する。

$$Y(k, i) = NP(K) \sum_{j=1}^{M_2} K(k, i, j) PG(j) \quad (7)$$

ここで、 $K(k, i, j) = \sum_{m=M_1}^{M_2} PT(m)$

$$M_1 = \{ \min. m \mid TL(m) \geq RL(k, i) / G(j) \}$$

$$M_2 = \{ \max. m \mid TL(m) \leq RU(k, i) / G(j) \}$$

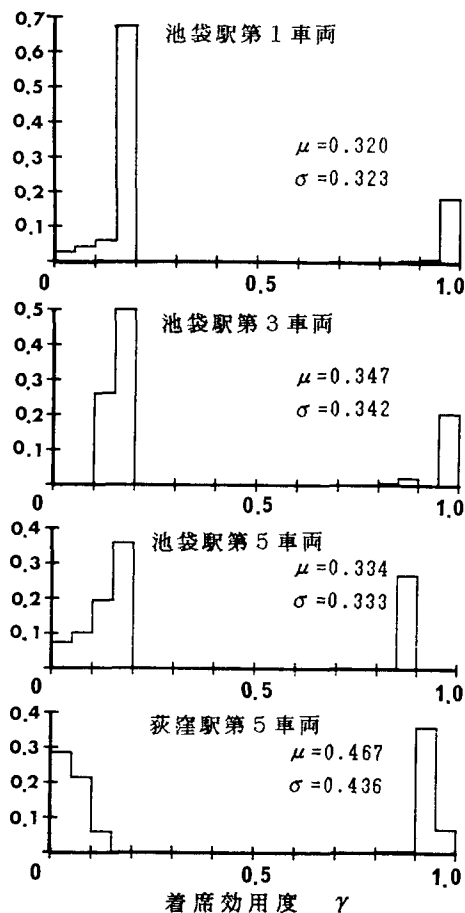


図-4 着席効用度分布の推定結果

ただし、式中の変数の意義は次のとおりである。

$Y(k,i)$: 第 i 列車の選択者数

$NP(k)$: 乗客到着者数

$TL(i)$: 第 m 乗車時間

$PT(m)$: 第 m 乗車時間の確率

$G(j)$: 第 j 着席効用度

$PG(j)$: 第 j 着席効用度の確率

$RU(k,i)$: 第 i 列車の γ_{it} の上限値

$RL(k,i)$: 第 i 列車の γ_{it} の下限値

上記のように離散化すると、問題は(7)式を蓋然的に満たす $PG(j)$ を $PG(j) \geq 0$, $\sum_j PG(j)=1$ の条件のもとに求める問題に帰着する。この演算には $PG(j)$ の初期値を仮定し、(7)式の近似度の評価に修正 χ^2 値を用いて、逐次改善する方法をとった。

(4) 着席効用度分布の推定結果

推定された着席効用度分布の推定結果をその平均値 μ 、標準偏差 σ とともに図-4に示す。なお、解析の対象とした時間帯は、池袋駅:6月28日7:35~7:55、荻窪駅:6月18日7:40~8:20とした。対象とした列車数、サンプル数は池袋駅第1車両:6列車402人、第3車両:10列車364人、第5車両:8列車460人、荻窪駅第5車両:10列車372人である。推定された着席効用度分布による待ち行列の生成過程の再現状況を池袋駅第3車両、荻窪駅第5車両を例として、図-5に示す。次に、列車の発車順序別に列車の選択者数の推定結果^(注1)と実現値、及び両者の適合性を情報量基準AIC値により検定した結果とともに

に表-2に示す。第4、第5列車を除きよく適合している。

5. 考察

(1) 着席効用度分布について

推定された着席効用度分布は、いずれも際立った2つのピークを持っている。これは利用者が座席獲得に対して高い代償を支払う用意のあるグループと、比較的低い犠牲の範囲内においてのみ着席を志向するグループとに区分されることを示している。評価がこのように2極化していることは、交通サービス提供上も、利用者全体の平均値的評価を目標とするのではなく、それぞれのグループにそれぞれ適切な水準のサービスを提供することにより、より利用者のニーズに合った、輸送機関としての競争力を向上させる可能性を示唆している。

なお、池袋駅、荻窪駅とも、第4、第5列車の利用者の選択行動を十分に説明することができなかった。

注1) 発車順序(あるいは、列車の番号)とは、利用者が到着後最も早く出発する列車を第1番目発車列車とし、以後順に番号を付したものである。従って、任意の列車の番号は到着時刻の異なる利用者にとっては、それぞれ別のものとなる。

注2) 同一の分布とみなした時のAIC値をAIC₀、異なる分布とした時のAIC値をAIC₁とし、両者の差により判断する。ふつう、差が1~2以上となった時、小さいAIC値の仮説が採択される。

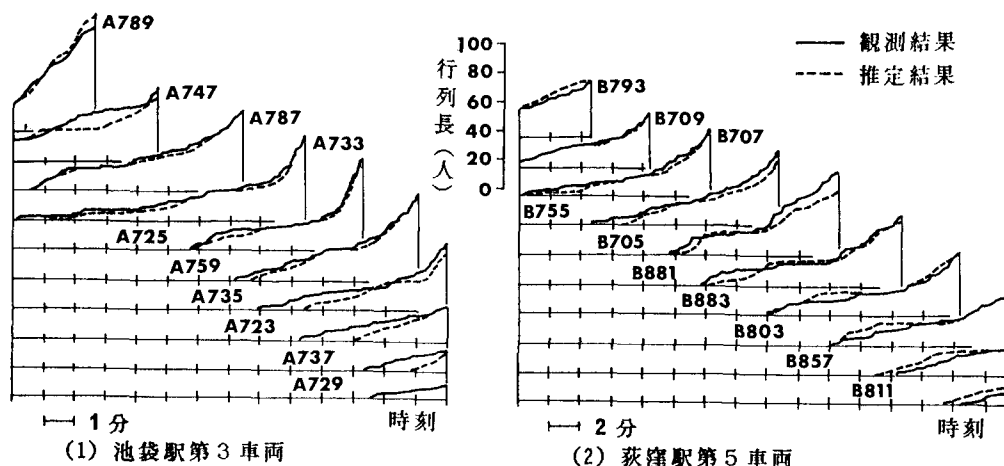


図-5 待ち行列生成過程の再現状況

表-2 推定結果の検定

(1) 池袋第1車両

第i番目列車選択者数(人)	i=1~5					i=1~3	
i	1	2	3	4	5	について	について
実現値	246	70	33	45	8	AIC ₀ 1724 ²	AIC ₀ 1130 ¹
推定値	251	71	36	44	0	AIC ₁ 1729 ²	AIC ₁ 1134 ⁰

(2) 池袋第3車両

第i番目列車選択者数(人)	i=1~5					i=1~3	
i	1	2	3	4	5	について	について
実現値	205	64	53	36	3	AIC ₀ 1565 ⁸	AIC ₀ 1237 ⁹
推定値	226	69	62	4	0	AIC ₁ 1536 ⁹	AIC ₁ 1241 ⁷

(3) 池袋第5車両

第i番目列車選択者数(人)	i=1~5					i=1~3	
i	1	2	3	4	5	について	について
実現値	281	75	64	39	1	AIC ₀ 1948 ⁶	AIC ₀ 1508 ⁴
推定値	289	77	75	19	0	AIC ₁ 1945 ⁵	AIC ₁ 1511 ⁹

(4) 荻窪第5車両

第i番目列車選択者数(人)	i=1~4					i=1~3	
i	1	2	3	4	5	について	について
実現値	211	73	73	15	0	AIC ₀ 1552 ⁹	AIC ₀ 1403 ⁷
推定値	221	83	69	0	0	AIC ₁ 1543 ⁸	AIC ₁ 1407 ¹

たが、これは本研究では単一の着席可能性関数を用いているのに対して、現実には、座席獲得能力が一般より低い中高齢利用者等の場合には、着席可能性を低く評価し、第4、第5列車を選択するものと考えられる。ただし、全体の中ではその比率は低く実用上は問題のないものと判断される。

(2) 着席効用度分布の移転可能性

推定された着席効用度分布は、極めて類似したものとなったが、ここでは定量的な移転可能性を以下のように検討した。

a) 池袋駅における車両間移転可能性の検討

3箇所推定された着席効用度分布の相互の移転可能性を検討するため、第1車両、第5車両で推定された着席効用度分布を第3車両に適用し、これから得られる各列車の選択者数推定値を実現値と比較した。この結果を表-3(1)、(2)に示す。池袋駅程度の乗車時間領域の中では移転可能性が高いことがわかる。

b) 荻窪駅における時間移転可能性の検討

荻窪駅第5車両の2回にわたる測定日間の移転可能性を検討するため、6月18日の結果から推定される着席効用度分布を6月20日に適用し、その推定値と実測値とを比較した。表-3(3)は、その結果である。わずかな時間的差異ではあるが両測定の間で移転可能性が高いことが確認された。

表-3 着席効用度分布の移転可能性の検討

(1) 池袋第1車両の $\psi_r(\gamma)$ を池袋第3車両へ

第i番目列車選択者数(人)	i=1~5					i=1~3	
i	1	2	3	4	5	について	について
実現値	205	64	53	36	3	AIC ₀ 1551 ⁰	AIC ₀ 1228 ⁶
推定値	230	74	54	3	0	AIC ₁ 1518 ²	AIC ₁ 1232 ³

(2) 池袋第5車両の $\psi_r(\gamma)$ を池袋第3車両へ

第i番目列車選択者数(人)	i=1~5					i=1~3	
i	1	2	3	4	5	について	について
実現値	205	64	53	36	3	AIC ₀ 1559 ⁵	AIC ₀ 1231 ⁵
推定値	229	61	67	4	0	AIC ₁ 1529 ⁵	AIC ₁ 1234 ³

(3) 荻窪18日の $\psi_r(\gamma)$ を20日へ(第5車両)

第i番目列車選択者数(人)	i=1~4					i=1~3	
i	1	2	3	4	5	について	について
実現値	192	75	63	10	0	AIC ₀ 1395 ⁵	AIC ₀ 1289 ³
推定値	201	86	53	0	0	AIC ₁ 1392 ⁴	AIC ₁ 1291 ⁶

(4) 池袋第3車両の $\psi_r(\gamma)$ を荻窪第5車両へ

第i番目列車選択者数(人)	i=1~4					i=1~3	
i	1	2	3	4	5	について	について
実現値	211	73	73	15	0	AIC ₀ 1294 ¹	AIC ₀ 1289 ³
推定値	266	69	37	0	0	AIC ₁ 1288 ⁴	AIC ₁ 1275 ¹

c) 池袋駅と荻窪駅間の移転可能性の検討

次に、池袋駅第3車両により推定された着席効用度分布を荻窪第5車両に適用し、列車選択者数の推定値と実現値とを比較した。その結果を表-3(4)に示すが、両駅のように乗車時間領域が大きく異なっている場合、着席効用度分布をただちに移転することには無理があることがわかる。

(3) 着席効用度の乗車時間依存性

前項の結果を受けて着席効用度の分布特性が乗車時間にどのように依存しているか検討する。まず、推定された各着席効用度分布を図-6(1)の模式図のように、2つの部分(以下、グループと呼ぶ)に分け、それぞれのグループ内の着席効用度の平均値を求め、各グループの比率がこの2点に集中しているものとして整理する。図-6(2)、(3)は、この結果である。これによると、 γ_1 、 γ_2 の値が乗車時間に対してあまり変化をみせず安定しているのに対して、 p_1 、 p_2 はこの乗車時間領域においては、乗車時間の増大に伴って第1グループの比率が減少し、第2グループの比率が増大する傾向を示している。 p_1 、 p_2 については、乗車時間 t_k による回帰直線も示した。(回帰係数のt値は90%有意となっている。)これは乗車時間が長くなるに従って、座席獲得を高く評価する利用者が増えることを意味している。

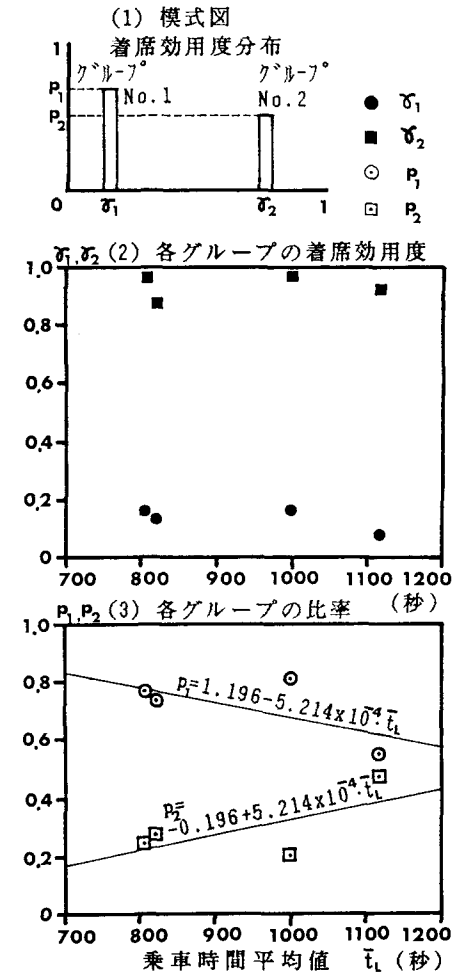


図-6 着席効用度分布の乗車時間依存性

(4) 待ち行列生成過程に対する乗車時間などの影響

本研究では未知の着席効用度分布の推定という解析上の都合から、運賃その他の因子が均一である特殊な条件を実験環境として選んだが、着席の問題は公共交通機関の広範な問題であり、応用上はより一般的に交通手段、ルート、便などの選択問題に活用する可能性がある。より直接的な着席効用度分布の応用分野としては、駅ホームなどの旅客設備の計画設計や旅客の誘導・整列方式などの改善などが考えられる。このような問題に対応するため、本研究では、前項で明らかにされた着席効用度分布の乗車時間特性を仮定して、任意の乗車時間分布、列車運行間隔、駅への乗客到着強度の入力に従い、定常化した待ち行列をシミュレートする手法を開発した。ここでは、これを用いていくつかの列車運行間隔、乗客到着強度、乗車時間（ここでは単純化のため集団内で、単一の乗車時間とする。）について、待ち行列の生成過程がどのように変化するか例示した。

(図-7)

6. 結論

本研究では、交通サービス特性の重要な因子の一つである着席の問題について、実験的に利用者の評価を把握したものであるが得られた結論は次のとおりである。

- ① 利用者の座席獲得に対する評価を着席効用度という概念を用いてとらえ、期待効用原理を適用することにより列車の選択行動を説明することができる。

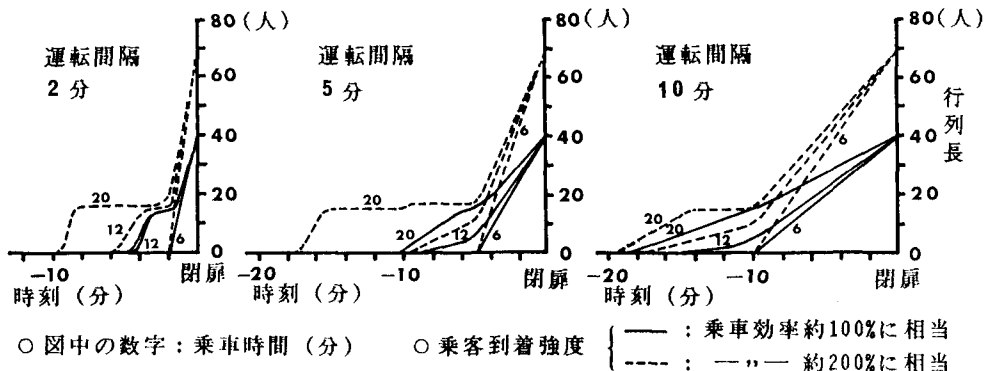


図-7 待ち行列のシミュレーション結果（例）

② 短距離通勤通学者の集団における着席効用度は、着席に対して比較的高い評価を与えるグループと低い評価しか与えないグループの2つから構成される。

③ 着席効用度分布は、乗車時間領域の変化により若干の変化を示し、乗車時間の増大とともにやや高い評価を与える傾向をもつ。

なお、本研究では短距離鉄道通勤通学者を対象としたが、今後、乗車時間領域、トリップ目的の拡大を含めて、本研究の成果の確認及び深度化を図っていききたい。

7. あとがき

本研究の実施にあたり計画段階から種々御協力いただいた、帝都高速度交通営団建設本部計画部の永島茂氏をはじめとする関係各位、また、測定及びデータの整理などに多大の協力をいただいた本学大学院修士課程の後藤貞二氏、佐野可寸志氏をはじめとする多くの方々に深謝の意を表したい。

参考文献

1) 河上省吾・広島康裕：交通サービスに対する利

用者の評価構造の分析法とその適用例，土木学会論文報告集319号，1982.

2) 大島正光：疲労の研究（第2版），東京同文書院，pp.224～316，1979.

3) 橋本邦衛：乗車して立ち続けた場合と座っていた場合の疲労度の比較，鉄道労働科学，1956.

4) 池田央：行動科学の方法，東京大学出版会，pp.99～100，1971.

5) 田中良久：心理学的測定法（第2版），東京大学出版会，pp.10～16，1977.

6) 西田俊夫：ゲームの理論，日科技連ORライブラリー17，pp.269～274，1973.

7) Hayward, D.G. : Behavioral Perspective for Transportation Planning, Proceedings of the Specialty Conference on Man/Transportation Interface, ASCE, 1972.

8) 赤松隆・家田仁・後藤貞二：鉄道利用通勤者の乗車位置選択行動に関する基礎的研究，第40回土木学会年次学術講演会講演概要集（IV-73），1985.

9) 坂元慶行・石黒真木夫・北川源四郎：情報量統計学，共立出版，1983.