

列車選択行動における着席効用度の定量的評価

QUANTITATIVE EVALUATION OF SEATING UTILITY IN COMMUTER'S TRAIN CHOICE BEHAVIOUR

家田 仁*・松本嘉司**

By Hitoshi IEDA and Yoshiji MATSUMOTO

Chance of getting a seat is one of the most important factors considered in modal choice. In this paper the concept of seating utility is proposed to analyse commuter's behaviour based on seat preference. Seating utility is evaluated by decrease of disutility by seating during a line-haul time. In order to examine applicability of the model, commuter's train choice behaviour was observed in a subway station in Tokyo. Their train choice can be explained by the principle of minimization of expected disutility. Estimation of seating utility distribution shows that there exist two groups of users, one gives fairly high value to getting seats, and another gives relatively low value. The mean value of seating utility is estimated 30 per cent of standing line-haul time.

1. ま え が き

交通手段選択行動に関与する各種因子の中で、着席可能性は特に強い影響を及ぼすものの1つである。実際、都市鉄道における着席のための利用者の列車待ち、着席を考慮した快速列車と緩行列車の列車選択、優等列車における自由席と指定席の選択をはじめ、公共交通機関と自家用車の選択など着席に関連した人間の選択行動は数多い。本研究では人間の行動研究の一側面として、交通手段選択における利用者の着席に対する評価構造を明らかにするため、着席効用度という概念を提案し、着席を考慮した列車選択行動を定式化した。さらに、地下鉄駅において利用者の行動を実測調査により把握し、適用性を検討するとともに着席効用度をその個体間の分布を含めて定量化した。

2. 従来の研究と本研究の特徴

利用者が交通機関またはルートを選択する際には、各選択肢のもつ特性として所要時間・経費のほかに、着席可能性、乗換の有無、定時性、駅における屋根の有無な

どの交通サービス特性が、強く影響していることはよく知られている。なかでも、着席可能性は、Gustafsonら¹⁾や Algersら²⁾によれば所要時間に次いで第2位というきわめて重要なサービス特性とされている。

種々の交通サービス特性に対する利用者の評価を定量的に把握する試みは、谷³⁾、毛利ら⁴⁾によって研究されている。これらは、仮想的な選択肢を被験者に呈示し、多くの場合一対比較法による選択を行わせるいわゆる意識調査から、各種の特性の相対的な重みを求めるものである。

一方、着席の問題を通勤疲労の立場からとらえる研究が橋本らによって行われている⁵⁾。これは被験者を座位または立位の状態では列車に乗車させ、flickerテストなどの主として生理学的な特性の差異を測定したものである。Goodwinは、一般化費用として時間・費用のほかに労力項をとり、聴き取り調査により求めたこの労力項の係数とエネルギー消費量、心拍数などの生理学的指標との比較を行った⁶⁾。これによればエネルギー消費などの生理的な要素だけでなく、ストレスなどの心理的要素に強く依存していることが明らかで、生理学的な観点のみから着席の問題を扱うにはおのずと限界があることがうかがえる。

本研究は、着席に対する利用者の評価を定量的に把握

* 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)

することを目的としたものであるが、以下に述べる点に留意して研究を行った。

1つはデータ収集の方法である。前述のように従来の研究では仮想的な選択肢を用いた、いわゆる意識調査が基本となっているが、これには次のような問題点が挙げられている⁷⁾。第1には現実にはない条件のもとでの選択であるため観念論的回答になりがちであり、第2には行動を通じて選択結果が裏付けられておらず、実際の行動との間にかい離が生じる危険性があることである⁸⁾。一方、実際の行動を把握しようとする行動調査があるが、これも聴き取り調査による場合には、裏データの情報や被験者の記憶があいまいであるといった問題がある。そこで本研究では、実験者が被験者の行動を外的に実測する方法をとった。この方法は調査の労力等から広範な調査には適用上の問題もあるが、客観的な成果を得るうえで方法論的に1つの意義をもっていていると考える。

第2の点は単一因子の研究であることである。測定されたデータから、現象を支配している因子間の因果関係を求めるためには、次の3条件が満たされる必要がある⁹⁾。すなわち、①着目する2変数の間に共変動が存在すること、②この2変数の間に時間的順序が存在すること、③この2変数の間に観察し得る関係を生み出す可能性をもつほかの因子を消去してあること、である。①、②はともかく③を満たすことは容易ではない。1つには考えられる因子をできる限りモデルの中に組み込み、多変量の問題として扱う方法がある。これは最も実際的な方法であるが擬似相関等の問題がある。もう1つの方法は、着目する因子以外の要素を一定としておくものである。この方法を実際の社会現象に適用する場合、人為的に状況を操作するというよりは、特定の実験条件の満たされる環境で調査するということになるが、これが可能な場合には因子間の因果推論ができることになる。本研究では、着席という単一の因子にのみ着目し、後者の方法を適用した。

第3の点は個人差を積極的に取り扱ったことである。個人の交通行動に着目する点で非集計行動モデルの考え方は高く評価されているが、個人差は各選択肢の効用における誤差項というきわめて消極的な扱いしかなくない。しかし本来、多様な価値観の存在を前提とすべき人間の集団を対象とする以上、人間の行動原理を究明するという目的のためには、こうした個人差をより積極的にとらえていく必要がある。この方法としては、いわゆる非集計モデルにおいても、同一と考えられるセグメントに分けて解析する方法や各因子のパラメーターが個人差のため特定形の分布をすとした方法が提案されているが¹⁰⁾、本研究では個人差をより一般的にとらえるため、着席に関する価値観として定義された着席効用度

分布の形を仮定しない一般的な確率分布として扱った。

3. 着席に関する利用者の評価の定式化

(1) 着席効用の定式化

本研究で扱う状況は、次のようなものとする。

- ① 運行間隔の比較的短い鉄道駅において、通勤時に利用者が駅に到着後、各自の着席に対する評価に応じて乗車する列車を選択する行動を対象とする¹¹⁾。
- ② このとき、利用者は列車の待ち行列を観察することにより各列車の着席可能性を知る。また、利用者は各列車の発車時刻を知っているものとする。
- ③ 各列車は行き先、運賃・料金、車両構造、混雑度などの因子に差がないものとする。

上記のような交通環境に対する列車の選択を反応とする人間の意思決定の問題となる。両者をつなぐ構成概念¹¹⁾ (または媒介変数) は、ここでは個人の着席に対する価値を取り入れるため、次のように時間の単位で計測された効用 (または不効用) を用いる。

ある利用者の乗車時間を t_L 、ある列車の発車時刻までの待ち時間を t_w とする。ここで大都市における通勤の場合、立席が定位と考えてよいから、立席時の乗車時間に対応する不効用を乗車時間 t_L により表わすこととする。もし着席できた場合、乗車時間に対応する不効用は立席の場合の不効用と同等以下で、なおかつ正であると考えられるから (着席できたとしても一般に通勤行動における乗車時間は正の効用をもたらすことはないと考えられる。)、 k を定数として、

$$k \cdot t_L \quad (0 \leq k \leq 1) \dots \dots \dots (1)$$

となる。そこでこの列車の着席可能性を α とすると、この列車を選択することの期待不効用は、

$$U = t_w + \alpha(k t_L) + (1 - \alpha)t_L \dots \dots \dots (2)$$

と表わされる¹²⁾。

ここで、

$$\gamma = 1 - k \quad (0 \leq \gamma \leq 1) \dots \dots \dots (3)$$

とおくと、無次元量 γ は単位乗車時間当たりの着席に

注1) ここでは、利用者の列車の選択が純粋に駅到着後に行われるものとして定式化した。現実には通勤の場合、利用者はあらかじめ何本かの列車を待つことおよびその待ち時間を予定して行動していると考えられる。ただ、利用者は日々の待ち行列生成状況などの交通環境を熟知しており、またこの交通環境が安定しているものとするれば、この判断時点の相違は見掛け上無視してよいものと考えられる。

注2) ここで、立位での待ち時間の評価は立席乗車時間の評価と同等なものとした。通常にいうところの待ち時間が“待つ”ということの心理的なストレスを含めたものであるのに対して、本研究における待ち時間は利用者が積極的に特定の列車まで待つというものである。心理的負担ははるかに小さいと考えられ、また列車・バスの車内混雑と肉体的・精神的な疲労との関係についての橋本らの研究によれば、乗車効率 260% 程度までは各種の指標に著しい増加がみられないことから¹²⁾、特定の条件内で上記の仮定は妥当なものといえよう。

よる効用（着席効用度）と考えることができる。これはまた、利用者の着席に対する価値観の尺度ともいえる。

(2) 着席効用を考慮した列車の選択率

ある利用者が駅に到着した時刻を T とする。ここで、列車の系列に番号 i を付け、列車 i とよび、列車 i の待ち時間を t_{wi} とする。このとき、列車 i の待ち行列人数を $Y = \Phi_i(T)$ とおくと列車 i の着席可能性 $\alpha_i(T)$ は、待ち行列人数の関数（着席可能性関数）、

$$\alpha_i(T) = \hat{\alpha}(Y) \dots \dots \dots (4)$$

と表わすことができる。このとき、列車 i の発車時刻を T_{ai} とすると、待ち時間 $t_{wi}(T)$ は、

$$t_{wi}(T) = T_{ai} - T \dots \dots \dots (5)$$

となる。式 (2), (3), (4), (5) より、列車 i の期待不効用は、 i について不変な項を省略すると、

$$U_i(T) = T_{ai} - \hat{\alpha}(\Phi_i(T))\beta \dots \dots \dots (6)$$

となる。

ただし、 $\beta = \gamma \cdot t_L$ $\dots \dots \dots (7)$ とおいた。ここで、式 (6) に対してゲーム理論における期待効用原理の成立を仮定する¹³⁾と利用者は $U_i(T)$ を最小とする列車 i を選択することになる。また式 (6) が β の一次式であることにより、逆に列車 i を選択する β の連続な領域 $\beta_i^-(T) \leq \beta \leq \beta_i^+(T)$ を定めることができる (図-1)。

ここで、利用者を集団に拡大し、 β の確率分布を

$$\Psi_\beta(\beta) \quad (\text{ただし、} \int_0^\infty \Psi_\beta(\beta) d\beta = 1)$$

とおくと、時刻 T における列車 i の選択率 $p_i(T)$ は、

$$p_i(T) = \frac{\beta_i^+(T)}{\int_{\beta_i^-(T)}^{\beta_i^+(T)} \Psi_\beta(\beta) d\beta} \dots \dots \dots (8)$$

と表わされるから、駅への乗客到着強度を $I(T)$ とすると列車 i の選択者数 $\phi_i(T)$ は、

$$\phi_i(T) = I(T) \cdot p_i(T) \dots \dots \dots (9)$$

となる。

$$\text{ただし、} I(T) = \sum_i \phi_i(T) \dots \dots \dots (10)$$

ここで選択者数 $\phi_i(T)$ は待ち行列人数 $\Phi_i(T)$ と次の関

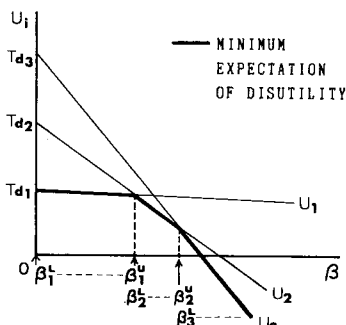


図-1 着席効用 β の境界値

係にある。

$$\Phi_i(T) = \int_{-\infty}^T \phi_i(T) dT \dots \dots \dots (11)$$

一方、集団内における着席効用度 γ の確率分布を

$$\Psi_\gamma(\gamma) \quad (\text{ただし、} \int_0^1 \Psi_\gamma(\gamma) d\gamma = 1)$$

乗車時間 t_L の確率分布を

$$\Psi_{t_L}(t_L) \quad (\text{ただし、} \int_0^\infty \Psi_{t_L}(t_L) dt_L = 1)$$

とすると、これらをそれぞれ独立とすれば同時確率密度を求めることにより、式 (9) は、

$$\phi_i(T) = I(T) \int_0^1 \int_0^\infty \Psi_\gamma(\gamma) \cdot \Psi_{t_L}(t_L) d\gamma dt_L \dots \dots \dots (12)$$

と表わすことができる (図-2)。

こうして、待ち行列人数 $\Phi_i(T)$ 、着席可能性関数 $\hat{\alpha}(Y)$ 、乗車時間分布 $\Psi_{t_L}(t_L)$ 、着席効用度分布 $\Psi_\gamma(\gamma)$ の相互の関係が定められた。

4. 地下鉄駅における実測調査の概要

前項のモデルの適用性を検討するとともに、着席効用度の分布を把握するため、帝都高速度交通営団の協力を得て前項①~③の条件が満たされる状況として、丸ノ内線池袋駅を選定し、以下の実測調査を実施した。池袋駅としたのは、同駅の乗降人員がきわめて多いため、首都圏の代表的な鉄道駅の1つと考えられることと短時間の調査で多くのサンプルを収集できることのためである。また、特に始発駅を対象としたのは着席できる座席数が一定のため後述の着席可能性調査の作業および解析が比較的容易なためである。

(1) 丸ノ内線池袋駅の概況

池袋駅は、営団丸ノ内線のほか、国鉄山手線・赤羽線、東武東上線、西武池袋線、営団有楽町線各線のターミナル駅である。概況を図-3、表-1に示す。

(2) 実測調査の概要

実測調査としては、次の3調査を実施した。

① 待ち行列調査

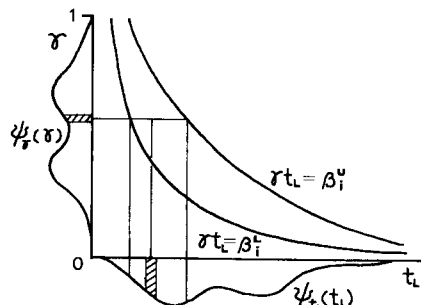


図-2 列車 i の選択率

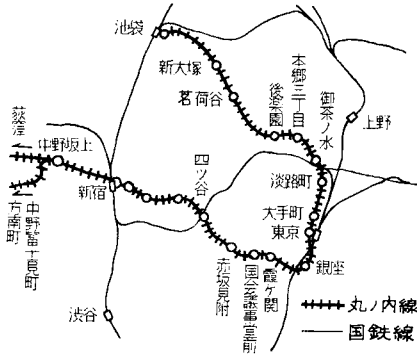


図-3 丸ノ内線沿線概要

表-1 地下鉄丸の内線池袋駅の概況

日平均乗降人員	59年度 323,204 人
乗降場の構造	島式1面2線交互発着
列車運行間隔	概ね、2分 (8:10~8:30は、1分30秒~2分)
下り線行き先	荻窪、中野富士見町、新宿
列車編成	1編成6両
車両構造	両開3ドア、座席数 44~48席 乗車定員 120~124 人
乗車方式	整列乗車(1列4人)
他線との関係	各線とも列車運行間隔 2~4分、丸の内線への乗換 2~5分所要

各列車の待ち行列人数を行列ができた時刻から列車の閉扉時刻まで5秒間隔で測定した。測定箇所は、図-4のように第1・第3・第5各車両のそれぞれ中央ドアである。第3車両については7:15~9:00までの全列車について測定したが、第1、第5車両では、それぞれ捕捉率60%、80%の列車単位のサンプル調査である。測定月日は昭和59年6月28日(木)および7月4日(水)である。図-5に測定結果の一例を示す。

② 着席可能性調査

行列内の利用者の位置と着席可能性との関係を求めるため、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。なお、第1、2列および第7列以降は座席獲得の可否が明らかであったため測定を省略した。測定月日は、昭和59年7月9日(月)、13日(金)の①と同等時刻である。

③ 車両別各駅乗降人員調査

解析の対象とする時間帯に池袋駅を発車する数列車を選定し、これらの列車の第1、3、5車両に測定員が添乗して各駅における乗車人員・降車人員(車両別ODの周辺分布)を逐次測定した。対象列車としては、7:40、7:44、7:48発の3列車とした。調査月日は、昭和59年7月3、5、6、10、11、12日の各日いずれも平日である。各車両では池袋から新宿まで前ドア、中央ドア、後ドアの3か所で測定した。

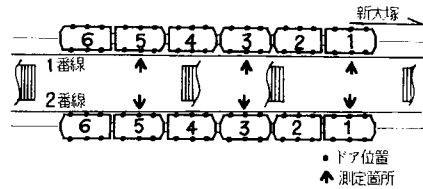


図-4 待ち行列調査の測定位置

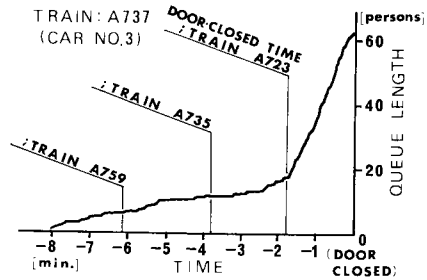


図-5 待ち行列の測定例

5. 解析方法および結果

(1) 着席可能性の解析

図-6は、着席可能性調査の結果から待ち行列の各列の着席可能性の推定値を二項分布を用いて計算した95%、99%信頼区間とともに記した結果である。以下の解析では、各列の着席可能性の平均値を用いて、着席可能性関数 $\hat{\alpha}(Y)$ を待ち行列人数 Y の階段関数として用いる。なお、サンプル数は244人である。

(2) 車両別乗車時間分布の推定

待ち行列測定時間帯・車両位置に対応した利用者の乗車時間分布を求めるには、当該時間帯における各車両の利用者の着駅分布を知る必要があるが、各駅の出入口位置の相違による利便性の差違などから車両位置ごとに大きく異なることが知られている¹⁴⁾。そこで、ここでは、昭和55年度大都市交通センサスのデータと車両別各駅乗降人員調査の結果を用いて以下のように推定した。

a) 車両別各駅乗降人員調査結果の集計

まず、調査の前半(7月3日~6日)と後半(7月10

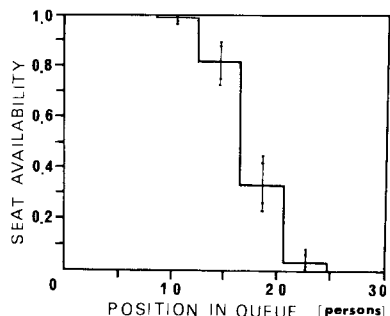


図-6 着席可能性関数

日～12日)とに分け、それぞれについて調査列車別に各車両別の各駅乗車人員・降車人員を前ドア,中央ドア,後ドアの3測定箇所計とし,乗車人員・降車人員の駅別分布を求めた。前半,後半別に各車両について,各列車間で同一の分布とみなし得るかどうかが,情報量規準AIC(Akaike's Information Criterion)¹⁵⁾を用いて検定した結果を表一2に示す。表中,AIC(0)が同一の多項分布とみなした場合のAIC値,AIC(1)がそれぞれ別の多項分布とみなした場合のAIC値である。これによれば一部に問題がないわけではないが,前半後半とも各車両間に大きな差異がないことがわかる¹⁵⁾。

さらに,調査3列車について乗車・降車人員を集計し調査の前半,後半での分布の同一性を同様に検定した結果,これもおおむね同一の分布とみなし得るから,以下の解析では,各車両別に調査列車,前半後半の結果を集計して用いた。なお,各車両別のサンプル数は第1,3,5車両それぞれ,2178,1752,2436人である。

b) 車両別乗車時間分布の推定

a) で集計された車両別各駅乗降人員調査の結果と昭和55年度大都市交通センサスのデータを用いて,対象時間帯における池袋駅発の利用者の降車駅分布を推定し,列車運行図表による所要時間より,各車両別の乗車時間分布を求めた。この結果を図一7に示すが,各駅の出入口位置と経験的に非常によく適合している(詳細は,Appendixを参照のこと)。

(3) 着席効用度分布の推定法

a) 各列車の連続的待ち行列測定結果を用いた推定法

表一2 各駅乗降人員分布の検定

(1) 列車毎の分布の同一性(前半)				
車両	各駅乗車人員分布		各駅降車人員分布	
	AIC(0)	AIC(1)	AIC(0)	AIC(1)
1	3895.25	< 3919.06	4904.02	< 4950.26
3	3351.53	< 3371.71	4397.68	< 4434.53
5	2068.91	< 2104.58	3599.67	< 3650.84

(2) 列車毎の分布の同一性(後半)				
車両	各駅乗車人員分布		各駅降車人員分布	
	AIC(0)	AIC(1)	AIC(0)	AIC(1)
1	4532.43	< 4542.40	5607.10	< 5637.44
3	3279.65	> 3274.64	4174.30	< 4223.09
5	2485.01	< 2513.25	3503.07	< 3530.40

(3) 測定前半・後半の分布の同一性				
車両	各駅乗車人員分布		各駅降車人員分布	
	AIC(0)	AIC(1)	AIC(0)	AIC(1)
1	8425.60	< 8427.68	10506.70	< 10511.10
3	6650.09	< 6651.18	8556.95	< 8571.97
5	4550.16	< 4553.91	7105.26	> 7102.74

注3) AIC値の差が1~2程度以上ならば,有意の差とされている(文献15))。

逐次発車する各列車の待ち行列を連続的に(すなわち測定されない列車がないように)測定した結果から着席効用度分布を計算する方法を述べる。

式(12)は,

$$\phi_i(T) = I(T) \int_0^T K(T, i, \gamma) \Psi_\gamma(\gamma) d\gamma \dots\dots\dots (13)$$

ここで,

$$K(T, i, \gamma) = \frac{\beta_i^u(T)/\gamma}{\int \Psi_{t_i}(t_i) dt_i} \dots\dots\dots (14)$$

と表わすことができるが,ここで時刻T,着席効用度γ,乗車時間t_iをそれぞれNK, NJ, NL個の代表座標点に離散化し,各座標点において表一3のように変数を定義すると,式(13), (14)は

$$Y(k, i) = NP(k) \cdot \sum_j K(k, i, j) \cdot PG(j) \dots\dots\dots (15)$$

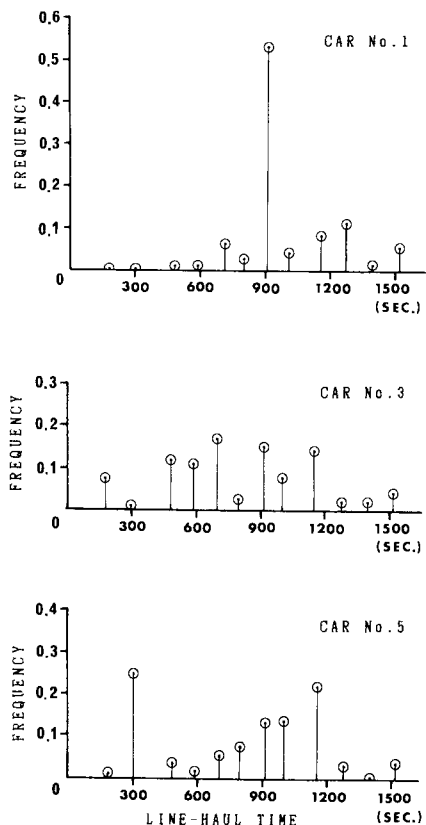
$$K(k, i, j) = \sum_{l=L_1}^{L_2} PT(l) \dots\dots\dots (16)$$

$$L_1 = \{ \min. l \mid TL(l) \geq BL(k, i) / G(j) \}$$

$$L_2 = \{ \max. l \mid TL(l) \leq BU(k, i) / G(j) \}$$

と離散化して表わすことができる。

まず,式(14)のβ_i^u(T), β_i^t(T)は図一1におけるβの



図一7 車両別乗車時間分布の推定結果

表-3 各変数の定義

k	時刻に関する変数 (1~NK)
i	列車の発車順序 β_i (1~NI)
j	着席効用度に関する変数 (1~NJ)
l	乗車時間に関する変数 (1~NL)
Y(k, i)	第i 列車選択者数
NP(k)	乗客到着者数
TL(l)	第l 乗車時間
PT(l)	第l 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
BU(k, i)	第i 列車の β の上限値
BL(k, i)	第i 列車の β の下限値

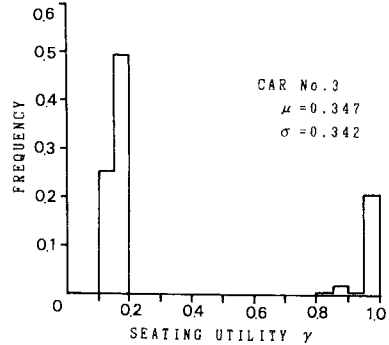


図-8 着席効用度分布の推定結果 (第3車両)

境界値で、各列車の待ち行列測定データ (5秒間隔) $\Phi_i(T)$ 、発車時刻、着席可能性関数 $\hat{a}(Y)$ とから計算することができるが、以後の計算の容易化のため、隣接する時刻ですべての列車の β の境界値が同一である場合には時刻をまとめて扱った。こうしてそれぞれの k に対して、 $BL(k, i)$ 、 $BU(k, i)$ 、 $Y(k, i)$ 、 $NP(k)$ が計算できる。

次に式 (16) より積分核が計算され、式 (15) が蓋然的に成り立つような $PG(j)$ を推定する。この推定には式 (15) の近似の評価に極値の安定性のよい修正 χ^2 値を用いて逐次近似により計算した。

b) 待ち行列測定結果のアンサンブル平均を用いた推定法

ここで述べる方法は、対象とする時間帯において乗客の到着状況が安定していて待ち行列の生成メカニズムが同質のものであるとみなせる場合に、測定された待ち行列の時系列を閉扉時刻を合わせてアンサンブルに平均し、当該時間帯における各列車共通の待ち行列として扱うもので、①待ち行列の測定に必ずしも連続したすべての列車を対象としなくてもよい。②データを有効に活用できる。という利点がある。

このとき、列車運行間隔が一定であるという仮定のもとに待ち行列のアンサンブル平均を列車運行間隔ごとに区切り、それぞれ第 i 番目発車列車の^{注4)}待ち行列として扱い解析する。この後の解析法は a) と同様である。

(4) 着席効用度分布の推定結果

a) 第3車両における連続的な測定結果による解析

第3車両では全列車に対する待ち行列の測定を行ったので前節 a) の方法により着席効用度分布を推定した。ただし、ラッシュのピーク時 (8:00~8:30) では駅ホー

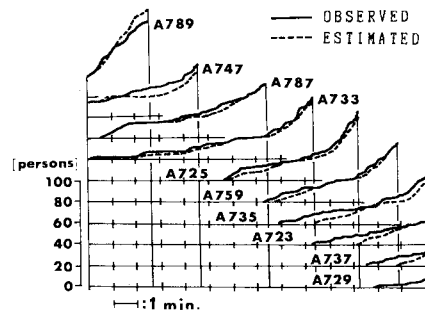


図-9 待ち行列生成過程の再現結果 (第3車両)

ムの混雑が著しく測定の信頼性に問題があること、および注2) に述べた理由から、解析対象とする列車の発車時刻は基だしい混雑時は避け7:35~7:55とした。実際の解析対象時間帯は、前後の列車の待ち行列が関与していない7:33~7:47とした。対象となる列車数は、10列車、サンプル数は364人である。着席効用度分布の推定結果を図-8に示す。列車の選択者数の各要素 $Y(k, i)$ の実現値と推定値の相関係数を求めると、0.82と高い値となった。図-8の着席効用度分布と第3車両の乗車時間分布を用いて第3車両の待ち行列生成過程をシミュレートした結果を図-9に示す。次に、任意の時刻に対する列車の発車順序別^{注4)}に選択者数の実現値と推定値とを求めた。表-4はその結果およびAICにより両者の適合性を検定したものである。これによると、第5および第4列車を除きよく適合していることがわかる。

b) 第3車両におけるアンサンブル平均による解析

アンサンブル平均を用いる方法の適用性を検討するため a) と同じく第3車両について前節 b) の方法により着席効用度の分布を推定した。ここでアンサンブル平均に用いる列車は、7:35~7:55を発車時刻とする全列車 (10列車) でサンプル数は、562人である。各列車の待ち行列を重ねて書いたものと、そのアンサンブル平均を図-10に示す。閉扉時刻を発車時刻とみなして列車

注4) ここでいう第 i 番目発車列車または発車順序とは利用者が駅に到着後初めて利用することのできる列車を第1番目発車列車とし、以後発車順に番号を付けたものである。したがって、同一の列車でも利用者の選択時期によって番号は異なり、たとえば発車間際に乗車した利用者にとっては第1番目である列車が、他のある利用者にとっては第2番目であったりする。

表-4 第3車両の各列車選択者数

(1) 第3車両 (a) の方法による

第 i 番目発車列車選択者数 (人)	i = 1 ~ 5 に ついて					i = 1 ~ 3 に ついて			
	1	2	3	4	5	AIC(O)	AIC(1)	AIC(O)	AIC(1)
実現値	205	64	53	36	3	1565.83	>1536.92	1237.85	<1241.74
推定値	226	69	62	4	0				

(2) 第3車両 (a) の方法と b) の方法の比較

第 i 番目発車列車選択者数 (人)	i = 1 ~ 5 に ついて					i = 1 ~ 3 に ついて			
	1	2	3	4	5	AIC(O)	AIC(1)	AIC(O)	AIC(1)
推定値a)	226	69	62	4	0	1733.53	<1735.46	1571.05	<1571.42
推定値b)	381	85	84	12	0				

表-5 第1車両, 第5車両の各列車選択者数

(1) 第1車両 (b) の方法による

第 i 番目発車列車選択者数 (人)	i = 1 ~ 5 に ついて					i = 1 ~ 3 に ついて			
	1	2	3	4	5	AIC(O)	AIC(1)	AIC(O)	AIC(1)
実現値	246	70	33	45	8	1724.19	<1729.16	1130.10	<1134.03
推定値	251	71	36	44	0				

(2) 第5車両 (b) の方法による

第 i 番目発車列車選択者数 (人)	i = 1 ~ 5 に ついて					i = 1 ~ 3 に ついて			
	1	2	3	4	5	AIC(O)	AIC(1)	AIC(O)	AIC(1)
実現値	281	75	64	39	1	1948.63	>1945.96	1508.37	<1511.97
推定値	289	77	75	19	0				

表-6 着席効用度分布の車両間移転可能性(第3車両に対して)

第 i 番目発車列車選択者数 (人)	i = 1 ~ 5 に ついて					i = 1 ~ 3 に ついて			
	1	2	3	4	5	AIC(O)	AIC(1)	AIC(O)	AIC(1)
実現値	205	64	53	36	3	1551.02	>1518.24	1228.59	<1232.32
推定値(car 1)	230	74	54	3	0	1559.50	>1529.47	1231.52	<1234.29
推定値(car 5)	229	61	67	4	0				

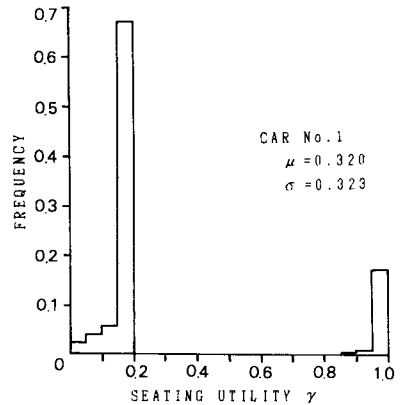


図-11 着席効用度分布の推定結果 (第1車両)

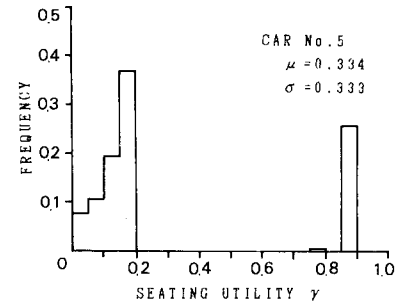


図-12 着席効用度分布の推定結果 (第5車両)

運行間隔の分布を求めた結果, おおむね 120 秒 (列車運行図表上の数値) となった。着席効用度分布の推定結果, これによる待ち行列のシミュレーション結果, 各列車の選択者数の AIC 値による適合性とも a) の連続測定結果による解析とはほぼ同様となった。この両方法の適合性を検討するため各列車の選択者数推定値の分布の同一性を AIC 値により判定すると表-4 のとおり, これら 2 つの方法により得られた着席効用度の分布が同等の結果をもたらすと考えてよいことがわかり, このような意味で b) の方法によっても a) の方法と同等の着席効用度

分布を得られることが明らかとなった。

c) 第1, 第5車両におけるアンサンブル平均による解析

b)と同様にして第1および第5車両についても着席効用度の分布を推定した。サンプル数は第1車両 402 人 (6 列車), 第5車両 460 人 (8 列車) である。着席効用度分布の推定結果, 列車の選択者数とその適合性の検討結果を図-11, 12, 表-5 に示す。

d) 着席効用度分布の車両相互間移転可能性の検討

図-8, 11, 12 にみられるとおり, 各車両の着席効用度分布は, それぞれ全く独立な測定により得られたものであるにもかかわらず非常によく類似したものとなった。ここでは, 第1車両および第5車両で得られた着席効用度分布を連続的に測定された第3車両の状況に適用し, これらによって得られる各列車の選択者数推定値を第3車両における実現値と比較することにより, 車両位置相互間の移転可能性を検討した。この結果を表-6 に示すが, 選択者数の少ない第4および第5列車を除けば, よく適合しているのがわかる。

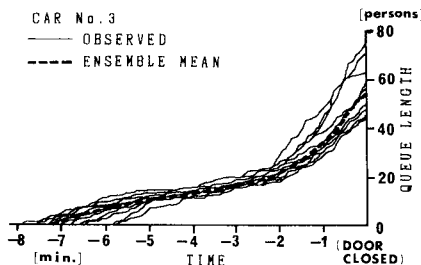
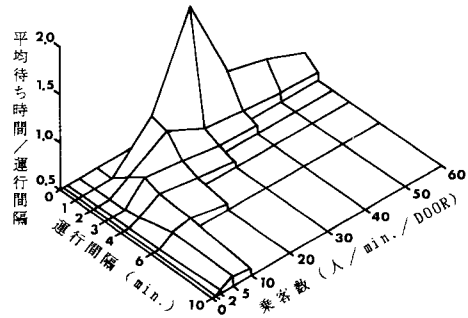
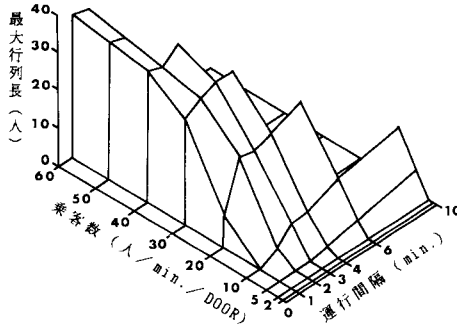


図-10 待ち行列のアンサンブル平均 (第3車両)



図—13 最大行列長・平均待ち時間のシミュレーション

6. 考 察

本研究で提案した利用者の着席効用度（の分布）という概念および、期待効用原理を用いた選好メカニズムのモデル化によって通勤者の列車選択行動が説明できることが明らかとなった。

推定された着席効用度の分布は、2つの際立ったピークをもつ。第1は、着席効用度が0.1~0.2という比較的低い値のグループで全体の70~80%を占め、第2は、0.85~1.0という非常に高い値のグループである。この分極化は人間の着席に対する評価が、等質なものではなく、大きな犠牲を払っても獲得したいと考えるグループと特定の代償の範囲内でのみ獲得を目指すグループとに分けられることを示しており経験的に納得しやすい結果であり、交通サービス提供上の施策にも示唆を与えているが、今後さらに調査を拡大することにより深度化を図っていきたいと考えている。

着席効用度の分布の平均を求めると、0.30~0.35程度となる。従来の意識調査の結果を着席効用度として表わすと約0.3となり、平均値としてはおおむね同等の評価となっている。

少数ではあるが乗車まで列車を4本ないし5本待つ乗客については、本研究の方法では説明しきれないがこの理由は次のように考えられる。本研究ではいずれの利用者も各列車の着席可能性を共通に客観的な値として把握するものとしているが、実際には各利用者の座席獲得能力の差からそれぞれの主観的な着席可能性はこれと異なることも考えられるわけである。特に中高年齢者などの場合、着席可能性を低く見積もることが予想され、着席可能性関数からすれば選択する余地のない第4、第5列車を少数ながら選択しているものと考えられる。

各車両で推定された着席効用度分布はよく類似したものであり、列車選択に対して相互に同等の効果をもつことが明らかとなった。このことは通勤者の列車内の乗車位置が比較的固定していると考えると複数の集団の間で

移転可能性があることが考えられるわけで、着席効用度分布が汎用性をもつ可能性を示唆している。

本研究で調査を実施した池袋駅は、前述のように解析上、調査実施上の条件から選定されたものであるが、同駅は営団地下鉄では銀座線池袋駅に次いで乗降客も多く首都圏のターミナル駅を代表する駅の1つと考えられ、本研究で推定された着席効用度分布も比較的、一般性をもったものであると考えられる。

着席効用が交通手段（機関、ルート、便、等）の選択問題に重要な役割を果たすことはいままでの間、時間を除く着席以外の因子（費用、乗換の難易、等）に手段間で差がないと考えられるような場合には着席効用度をより直接的に応用することができる。

たとえば、乗降場幅員などの旅客駅設備の計画設計の分野への応用が考えられる。乗降場幅員は、列車乗降口への乗客の集面積、降車客の流動幅が考慮されて定められているが¹⁶⁾、整列して、しかも場合によっては数列車を待つという大都市通勤駅の状況は現在のところ考慮されていない。ここではこれに対する1つの応用として、着席効用度分布、乗車時間分布、列車運行間隔、乗客到着強度を入力として定常化した待ち行列の時系列をシミュレートする方法を開発し、本研究で得られた着席効用度分布、池袋駅発の第3車両の乗車時間分布を適用して試算した。このシミュレーションにより種々の検討を行うことができるが、図—13は最大行列人数（島式ホーム両側に形成される待ち行列の和の最大値）、待ち時間の平均値をまとめたものである。

7. 結 論

本研究は、人間が交通手段を選択するときの1つの重要な因子である着席の問題をとらえ、これを定量的に扱う方法を提案し、営団地下鉄池袋駅でその適用性を検討するとともに、着席効用度分布を推定したものであるが、本研究により得られた結論は次のとおりである。

(1) 利用者の着席に対する評価を着席効用度という

概念でとらえ、期待効用原理を適用することにより選択行動を説明することができる。

(2) 個人の着席効用度の大きさにより集団を、70～80%を占める着席に対して比較的低い評価しか与えないグループと非常に高い評価を与えるグループの2つに分けることができる。

(3) 着席効用度の分布は、独立に推定された池袋駅の3車両の間ではほぼ同様なもので、この分布が汎用性のあるものである可能性を示している。

(4) 着席効用度の平均値は0.30～0.35程度である。

今回の実測調査は、1つの駅における特定の時間帯のもので、また、乗車時間も5～25分程度の限定されたものであるため、今後の課題としてこれらの諸要素を拡大して、適用性を確認していく必要があると考えている。

8. あとがき

本研究を実施するにあたり、本学大学院修士課程 後藤貞二氏にはデータ整理・計算等に協力していただいた。また、九州大学工学部 角 知憲助教授、本学工学部 島崎敏一講師には理論的な検討に参加していただいた。

実測調査にあたっては、データの収集をご快諾下さった帝都高速度交通管閉の関係各位、および、ともに測定にあたった本学工学部 大嶋孝二助手、土木学科交通研究室の学生諸氏に深謝の意を表したい。

Appendix 車両別 OD 分布交通量の推定

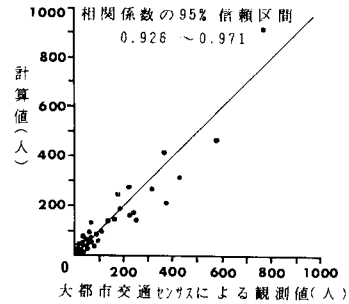
(1) 推定法

ある特定の時間帯における第 m 車両の片方向 OD 分布交通量を t_m^i とすると、第 i 駅乗車人員 B_m^i 、第 j 駅降車人員 A_m^j は、OD 表の周辺分布にほかならず、ある駅からの利用者の乗車時間分布を求めるには、その駅からの OD 分布交通量が推定できればよい。

エントロピー法は、現在の OD パターンを基準として、将来の周辺分布交通量を満足する OD 分布のなかで確率的に最も発現しやすいパターンを求める、将来 OD 分布交通量推定法の1つである。一方、全体の OD 分布パターンを基準と考えれば、各車両の OD 分布交通量は、各車両の乗降人員分布 A_m^j 、 B_m^i を満足する条件のもとに基準のパターンに確率的に最も近いと考えるのが妥当であろう。

そこで本研究では特定時間帯全体の OD パターンを昭和 55 年度大都市交通センサスに求め、エントロピー法により各車両の OD 分布交通量を推定した。

なお、センサスのデータを集計するにあたって、池袋駅発時刻の時間帯は 7:35～7:55 とし、新大塚以下の各駅については、上記の時間帯を池袋からの所要時間に



図—14 OD 分布交通量推定結果の検証

応じてシフトさせて定めた。抽出したサンプル数は、1392人となった。

(2) 推定結果の検証

上記の計算法による推定後の各車両の OD 分布を総計した OD 分布は、基準としたセンサスのデータによる OD 分布と合致してはならない。そこで、この両者の適合性を各 OD 分布交通量の相関係数によって調べると、0.95 と高い相関を示しており上記の方法がおおむね妥当なものであると判断した(図—14)。

参考文献

- Gustafson, R.L., Curd, H.N. and Golob, T.F. : User Preference for a Demand-Responsive Transportation System, H.R.R. 367, 1971.
- Algers, S., Hansen, S. and Tegner, G. : Role of Waiting Time, Comfort and Convenience in Modal Choice for Work Trip, T.R.R. No. 534, 1975.
- 谷 明良・宮武信春：通勤経路選好特性の計量化手法、土木学会論文報告集、第 267 号、1977.
- 毛利正光・新田保次：一般化時間を組み込んだ交通手段選択モデルに関する基礎的研究、土木学会論文報告集、第 343 号、1984.
- 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.
- Goodwin, P.B. : Human Effort and the Value of Travel Time, J. Transp. Econ. Policy, Vol. 10, No. 1, 1976.
- 山形耕一：非集計行動モデルのための調査とデータ作成、土木計画学講習会テキスト 15, 土木学会, 1984.
- Keats, J.A. (島津・石井訳) : An Introduction to Quantitative Psychology (計量心理学), 誠信書房, pp. 105～108, 1973.
- Asher, H.B. (広瀬訳) : Causal Modeling (因果分析法), 朝倉書店, 1980.
- 太田勝敏：非集計モデルの理論展開、土木計画学講習会テキスト 15, 土木学会, pp. 19～20, 1984.
- 田中良久：心理学的測定法 (第二版), 東大出版会, pp. 10～16, 1977.
- 橋本邦衛：通勤電車およびバスの車内混雑度と通勤の疲労について、鉄道労働科学、1966.
- Bacharach, M. (鈴木・是枝訳) : Economics and the Theory of Games (経済学のためのゲーム理論), 東洋経

- 済新報社，1976.
- 14) Szplett, D. and Wirasinghe, S. C. : An Investigation of Passenger Interchange and Train Standing Time at LRT Stations, J. Adv. Transp. 18.1, 1984.
- 15) 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.
- 16) 横田英男：旅客駅一計画と設計一，山海堂，1967.
(1985.2.7・受付)
-