

座席容量に変動がある場合の着席効用度の解析

ANALYSIS ON SEATING UTILITY WHEN SEAT AVAILABILITY VARIES IN EACH TRAIN

家 田 仁^{*}・前 田 洋 明^{**}・松 本 嘉 司^{***}

By Hitoshi IEDA, Hiroaki MAEDA and Yoshiji MATSUMOTO

Qualitative characteristics such as seat availability influence greatly on traveler's modal choice. The concept of Seating Utility was already proposed to evaluate commuter's train choice behaviour based on seat preference. In this paper, the method of estimating seat availability function is newly proposed, when seat capacity should vary in each train because the amount of passengers from other stations alter statistically, and commuter's real behaviour observed in middle distance commuter's station in Tokyo. It was made clear that seating utility is small value when seating time is less than about 10 minutes, but it increases rapidly with the gain of time consumption to about 30 minutes and afterwards it increases rather generously.

1. まえがき

高度経済成長でめざましい発展を遂げた日本社会であるが、低成長時代に突入するにあたり、質の高い社会資本の整備の推進が要求されている。こうした中で、交通計画の分野でも大規模施設建設を対象とする量的計画に加えて、既存施設の有効利用を図るための施設運用計画、各種交通サービス特性の評価など質的計画が重視されつつある。なかでも、着席可能性に関する問題は、座席容量に制限のある公共交通機関における交通手段選択行動において、最も重要な要因の一つになっている。¹⁾

著者は既に文献2)では、鉄道駅における乗客の列

車選択行動を着席効用度の概念を提案して説明し、文献3)では大都市における短距離通勤者を対象に理論の適用性を検討するとともに着席効用度の分布特性を明らかにした。これらの研究では最も単純な状況として着席可能座席数が確定的に与えられる路線始発駅を対象としていたが、本研究では更に、鉄道駅の状況としてより一般的な座席容量に変動がある場合の列車選択行動を対象に、着席効用度を用いた行動モデルを構築した。さらに、乗車時間平均40分程度の京王線京王八王子駅で実測調査を行い、着席効用度の分布特性、一般的な場合の着席可能性関数の諸特性、及び着席効用の総合的な乗車時間特性を明らかにしたものである。

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

** 学生会員 東京大学工学部大学院修士課程
(同上)

*** 正会員 工博 東京大学教授 工学部土木工学科
(同上)

2. 着席効用度を用いた列車選択率の定式化

ここではまず、前掲論文と一部重複するが、鉄道駅における利用者の座席獲得を考慮した、列車選択行動の定式化について簡単に述べる。ただし、各列

車の運賃料金は差はなく、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。

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に考えて、乗車時間と待ち時間の和で表すことにする。着席出来た場合は立席の場合より、不効用は小さいと考え、無次元数 γ ($0 \leq \gamma \leq 1$)を用いて着席したときの不効用が第一近似として $(1-\gamma) \cdot t_L$ と書ける。すると当該列車を選択することの期待不効用 U は

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

と表される。今、利用者 j が駅へ到着して、列車 i を選択する時の時刻を T_j 、列車 i の発車時刻を T_{Di} とすると、利用者 j の列車 i の発車までの待ち時間 t_{wji} は、

$$t_{wji} = T_{Di} - T_j \quad (2)$$

となる。さらに、列車 i の着席可能性 α を関数 $f_{Di}(Y_i)$ により表すと、時刻 T における列車 i に対する待ち行列の人数 $\Phi_i(T)$ の関数として

$$f_{Di}(Y_i) = f_{Di}(\Phi_i(T_j)) \quad (3)$$

となる。ここで、もし座席容量が一定であるならばこれは列車によらず共通な関数となる。従って(1)、(2)、(3)より列車 i について不変な項を省略すると、

$$U_{Eij} = T_{Di} - f_{Di}(\Phi_i(T_j)) \cdot \gamma_j \cdot t_{Lij} \quad (4)$$

となる。

ここで $\beta = \gamma \cdot t_L$ とおくとこの値は、乗車時間 t_L の着席によって利用者が得られる効用を示す値となる。列車 i の期待不効用 $U_{Ei}(T)$ は、 β の一次式で、これが最小となる列車を利用者が選択するものとする任意の列車 i を選択する利用者の着席効用 β の領域を

$$R_\beta(i, T) = [\beta_{OL}(i, T), \beta_{OU}(i, T)] \quad (5)$$

と定めることができる。さらに、利用者の集団における着席効用度 γ と乗車時間 t_L の分布を $\phi_G(\gamma)$ 、 $\phi_L(t_L)$ とすると、列車 i の選択率 $P_i(T)$ は、

$$P_i(T) = \int_0^1 K(T, i, \gamma) \phi_G(\gamma) d\gamma \quad (6)$$

ただし、

$$K(T, i, \gamma) = \frac{\beta_{OU}(i, T)/\gamma}{\beta_{OL}(i, T)/\gamma} \phi_L(t_L) dt_L \quad (7)$$

により求められる。

さらに、時刻 T における利用者の当該駅への到着強度を $I(T)$ とすると列車 i の選択者数

$$\phi_i(T) \cdot dT \text{ は、}$$

$$\phi_i(T) \cdot dT = I(T) \cdot P_i(T) \cdot dT \quad (8)$$

となり、列車の選択率が定式的に表現されたこととなる。

3. 鉄道駅での実測調査の概要

京王線は、新宿と八王子を結び平日は東京西部の通勤通学利用者を新宿方面に輸送する働きを担うと共に、休日には沿線に散在する行楽地への旅客輸送をも行っている多目的に利用されている路線である。京王八王子駅は、京王線本線の頭端駅で、平日のラッシュ時には新宿とを約60分で結んでいる。京王八王子駅の概要を表-1に示す。

同駅ではいわゆる”整列乗車”(折り返し列車の場合、乗客降車後一旦ドアを閉扉し、その後に開扉して乗車する方式)を行っていないため、折り返し列車については、隣接する北野駅などからの乗客が乗車したままで新宿方面に折り返すことがままあるため、回送入線列車と折り返し列車とでは着席可能座席数に明白な違いがある状態となっている。同駅における調査計測は、昭和60年6月から11月にかけて、いずれも平日の朝のラッシュ時間帯に実施した。以下にその概要を示す。

表 1 京王八王子駅の概要

日平均乗車人数 (58年度)	40,821人
乗降場の構造	島式1面2線
列車運行間隔 (朝のラッシュ時)	7~14分
乗車方式	2~3人整列
列車構造	8両貫通編成 3+5両編成
車両構造	両開4ドア 座席数 14席/ドア 乗車人員150~170人

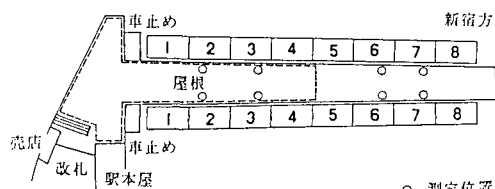


図1 京王八王子駅概略図

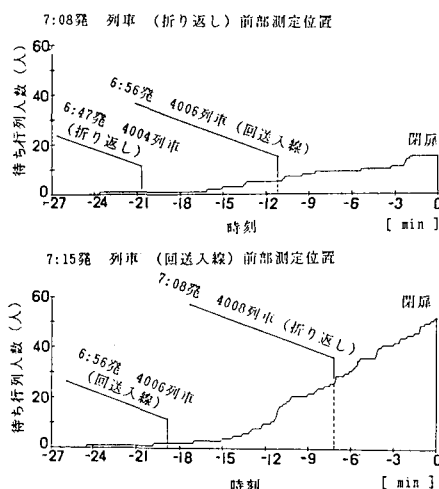


図2 待ち行列測定結果例

(1) 待ち行列調査

この調査では、各列車の待ち行列人数および開扉後の乗車人数を行列の開始時刻から時系列的に計測するものである。

計測の対象とした車両は、図-1に示すように前部測定位置（6号車、7号車）と後部測定位置（2号車、3号車）で測定した。調査は昭和60年9月10日（火）9月18日（水）に実施した。

対象となった列車は、表-2の各列車である。図-2に待ち行列測定結果の一例を示す。

(2) 着席可能性調査

この調査は、待ち行列の中での利用者の位置に応じた着席可能性を推定するために実施するものである。京王八王子駅ではホームに入線する列車に回送入線列車と折り返し列車の2種類があり、折り返し列車の場合には隣接駅北野等からの乗客が列車から降車せずにそのまま着席して新宿方面へ折り返すことがあるため（折り返し乗客）、京王八王子駅から乗車する利用者にとっては獲得可能な座席の数量が

表2 調査対象列車

6:47 発 折り返し列車	6:56 発 回送入線列車
7:08 折り返し列車	7:15 回送入線列車
7:29 折り返し列車	7:43 折り返し列車
7:51 回送入線列車	8:03 折り返し列車

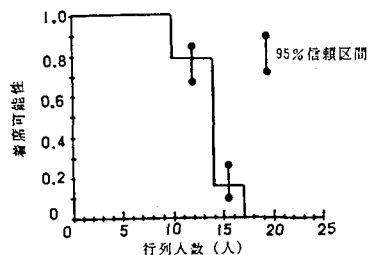


図3 着席可能性関数（回送入選列車）

列車によって変化することとなり、これに伴って着席可能性関数も列車によって異なったものとなる可能性が生じてくる。したがって、着席可能性の調査もこの点を考慮して、各列車の利用者1人1人の待ち行列内における位置と乗車後の座席獲得の可否、および折り返し列車の場合には、測定した列車の測定位置の座席に予め着席していた乗客の数（折り返し乗客数）をあわせて記録した。

調査の実施時期は、9月11日（水）、10月24日（木）の2日間で対象とした列車は、待ち行列調査と同様である。図-3はこうして得られた回送列車の着席可能性関数である。

(3) 折り返し乗客数調査

折り返し列車において終点である京王八王子駅で降車せずにそのまま着席する折り返し乗客の数とその確率的な変動を把握するために折り返し列車の特定出入口位置における折り返し乗客数を測定し、その分布状況を把握する調査。

調査の実施時期は、6月19日（水）～27日（木）、9月11日（水）、10月24日（木）～31日（木）、11月6日（水）の計8日間である。

(4) 乗車時間分布の取り扱い

乗車時間分布の推定は京王帝都電鉄で3年に1回実施している旅客交通量調査のデータを用いることとした。同調査は、昭和58年11月15日（火）の京王帝都利用旅客全数のOD調査であるが、ここ

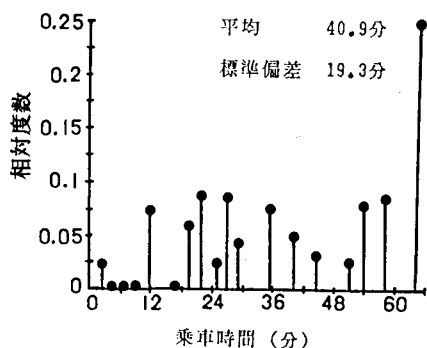


図4 乗車時間分布の推定結果

ではこの資料をもとに朝のラッシュ時間帯の最混雑時1時間での定期旅客の駅間OD表から京王八王子駅発旅客の項を読み取って降車駅分布とした。さらに京王八王子駅から各駅への所要時間を列車ダイヤから読み取り、上記の降車駅分布を用いて、利用者の乗車時間分布としたのが図-4である。なお、降車駅分布の作成にあたっては、通勤快速列車の非停車駅については、利用者は京王八王子方の最寄りの通勤快速列車停車駅で各駅停車列車に乗り換えるものとして集計した。

4. 座席容量が変動する場合の着席可能性関数の推定

(1) 折り返し列車の着席可能性関数の検討

本研究では通勤者が乗車する列車を選択する際、日常の通勤体験により予め座席容量の変動を認識していることを以下のように検証した。

折り返し列車の着席可能性関数は、折り返し乗客数の多寡に大きく依存していることは容易に想像できる。今、待ち行列の人数を Y 、回送列車の着席可能性関数を $f_{p,a}(Y)$ とする。対象とする折り返し列車の折り返し乗客数を n 、その着席可能性関数を $f_{p,n}(Y)$ とすると、いずれの列車も車両の構造が同一であることから折り返し列車については折り返し乗客数だけ着席できる容量が低下したものと考えることができるから、

$f_{p,a}(Y)$ は、

$$f_{p,n}(Y) = f_{p,a}(Y+n) \quad (9)$$

となるものなるものと仮定する。

このことを前提にして、さらに N 本の折り返し列

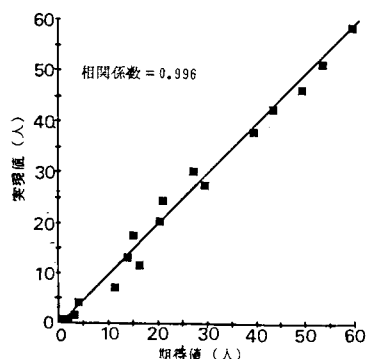


図5 着席人数の実績値と期待値

車を考える。この内、第 i 列車の着目する出入口の折り返し乗客数を n_i 、発車までの乗車人数を m_i とする。待ち行列の第 j 番目乗客の総数 (N 本の列車がいずれも j 人以上乗車したのであれば N 人) の内、着席する人数の期待値 $E(s_j)$ は、

$$\begin{aligned} E(s_j) &= \sum_{i=1}^N \delta_i \cdot f_{p,n_i}(j) \\ &= \sum_{i=1}^N \delta_i \cdot f_{p,a}(j+n_i) \end{aligned}$$

$$\text{ここで、} \quad \delta_i = \begin{cases} 1 & m_i \geq j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

と表される。

回送入線列車の着席可能性関数を持ちいて、着席可能性調査の結果について(10)式により着席人数の期待値を算出して、期待値と実現値とをその相関係数とともに図示したのが図-5である。期待値と実現値とはよく合致しており、前提とした仮説が概ね妥当なものであることがわかる。以上の結果より、折り返し列車の場合の着席可能性関数は、折り返し乗客数に応じて回送入線列車の場合の着席可能性関数をシフトさせたものであることが明らかとなった。

(2) 各折り返し列車の着席可能性関数の推定

(1) で明らかにされた折り返し列車の着席可能性関数の性質にもとづいて、各折り返し列車の着席可能性関数を推定する。折り返し乗客数分布は前部測定位置と、後部測定位置では大きく異なり、また各折り返し列車間でも異なるため、折り返し列車の着席可能性関数は、各列車別に前部測定位置、後部測定位置それぞれについて推定することとした。ある列車のある測定位置における折り返し乗客人数 n

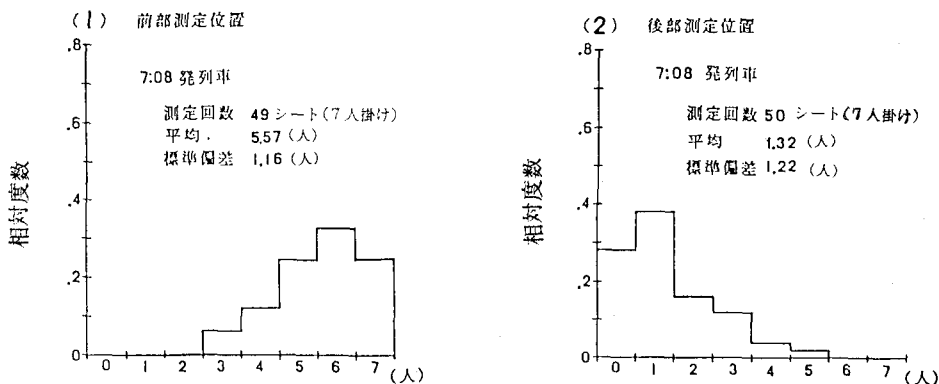


図6 折り返し乗客数分布

の確率密度関数を $\phi_n(n)$ とする。すると、待ち行列が Y の時の乗客の着席可能性 $f_p(Y)$ は、その期待値により、

$$f_p(Y) = \int_0^{\infty} f_{p,0}(Y+n) \phi_n(n) dn \quad (11)$$

となる。

ここで、1 出入口あたりの折り返し乗客数の分布 $\phi_n(n)$ であるが、1 出入口あたりにすると座席としては2シート相当分あるため、折り返し乗客数調査の結果から相対度数分布を作成して得た1シートあたりの折り返し乗客数分布 $\phi_{m^1}(m)$ (図-6) を適切に補正してやらなければならない。この場合、1 出入口あたり対象とする2つのシートそれぞれの折り返し乗客数が相互に独立であるならば以下のたたみこみにより求めることが出来るし、

$$\phi_n(n) = \int_0^{m_1} \phi_{m^1}(m) \phi_{m^1}(n-m) dm \quad (12)$$

(ここで、 m_1 は1シートあたりの座席定員)

また逆に、従属的な関係にあるならば、

$$\phi_n(n) = \phi_{m^1}(n/2) \quad (13)$$

として求められる。そこで、折り返し乗客数調査結果の内、同一の出入口について4箇所のシートそれぞれの折り返し人数を把握することのできた101 ケースについて、4箇所のシートの折り返し人数の相互の相関係数を算出した。その結果が表-3である。これによれば、各シートの折り返し人数は独立とはみなせず密接に関係していることがわかる。そこで、1 出入口あたりの折り返し人数の分布 $\phi_n(n)$ は、1シートあたりの折り返し人数の分布 $\phi_{m^1}(m)$ を (13) 式により補正することにより得ることとした。

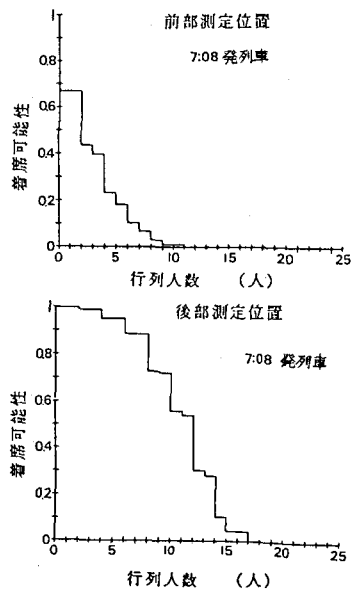


図7 折り返し列車の着席可能性関数の推定結果

表3 シート別折り返し乗客数の相互相関

	シート1	シート2	シート3	シート4
シート1	1.0	0.755	0.682	0.772
シート2		1.0	0.704	0.716
シート3			1.0	0.780
シート4				1.0

さらに、回送入線列車の着席可能性関数に (1) の結果を適用して算出した各折り返し列車の測定位置別の着席可能性関数の例を図-7に示す。

5. 着席効用度分布の推定

以上により推定した各列車の着席可能性関数と乗車時間分布特性を用いて、待ち行列測定結果から9月10日測定分の前部測定位置、後部測定位置各々の着席効用度分布を推定した。その結果を図-8に示す。推定演算法については文献1)によった。推定された着席効用度分布を用いて各列車選択者数を推定し実測値と共に列車の発車時刻間隔毎に区別して集計し、この結果を

①第1列車が折り返し列車で、第2列車が

回送入線列車

②第1列車が回送入線列車で、第2列車が

折り返し列車

③第1列車、第2列車とも折り返し列車

という3つのケース別にとりまとめて表-4に示した。

さらに、以上の各々について、情報量規準 AIC 値により、実現値が理論より推定した値と適合するとみなして良いかどうかを検定した結果を併せて記載した。

発車順序別でみた、列車選択者数によりモデルの適合性を判断すると全数及び列車の発車パターンにより区別した場合でみても、実現値は概ね推定値と適合しているものとみなされる。ただし、少数ながら早朝(7:00 以前)の座席獲得が極めて容易な列車でも乗車せずに、あえて次の列車まで待つというような利用者の行動までは、モデルにより説明することはできない。また、列車の発車パターン別にみると、回送入線列車-折り返し列車、折り返し列車-回送入線列車という2つのパターンについては、モ

表4 列車選択者数推定結果の検定

(1) 前部測定位置

第 i 番目列車選択者数 (人)		i=1~3 について				
	i	1	2	3	AIC(0)	AIC(1)
ケース ①	実現値	52	45	1	279.8	284.9
	推定値	64	34	0		
ケース ②	実現値	76	12	2	184.2	189.7
	推定値	73	17	0		
ケース ③	実現値	41	5	0	87.1	86.3
	推定値	35	11	0		
総計	実現値	169	62	3	581.6	587.6
	推定値	171	63	0		

(2) 後部測定位置

第 i 番目列車選択者数 (人)		i=1~3 について				
	i	1	2	3	AIC(0)	AIC(1)
ケース ①	実現値	104	70	0	458.0	458.6
	推定値	117	57	0		
ケース ②	実現値	79	38	0	305.1	306.6
	推定値	73	44	0		
ケース ③	実現値	38	8	0	103.0	103.2
	推定値	32	14	0		
総計	実現値	221	116	0	869.8	871.8
	推定値	221	116	0		

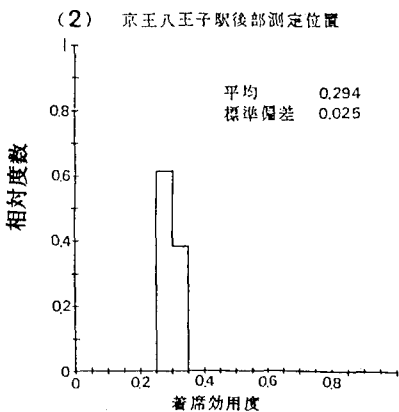
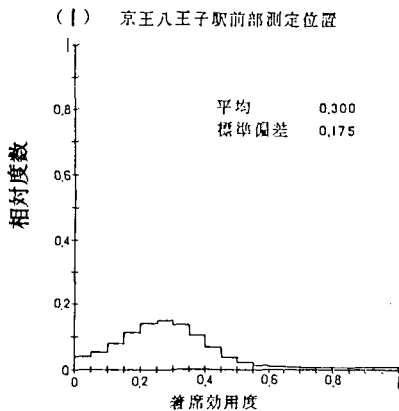


図8 着席効用度分布の推定結果

デルから常識的な理解と合致している結果がでており、現象を良く説明しているが、折り返し列車-折り返し列車というパターンの場合、(厳密に言えば、回送入線列車-折り返し列車というパターンでもややその傾向がみられる。)折り返し列車である第2列車選択者数のモデルによる推定値は実現値よりも大きめとなっている。このことは、本研究において推定した折り返し列車の着席可能性関数が客観的な意味で実態と合ったものであるとはいえるものの、利用者は必ずしも各列車の着席可能性関数を十分に把握しているとも限らないことや、これにともなって利用者が折り返し列車の着席可能性関数を過小評価していることによるものと考えられる。ただ、何れにしても大局的に見れば、モデルが現象に適合しているとみなしても特に問題はないものと考えられる。

6. 考 察

(1) 着席効用度分布の時間的移転性

推定された9月10日の着席効用度分布を9月18日に適用することにより着席効用度の時間移転性を検討した。表-5は推定された各列車選択者数と実測値を第1列車と第2列車がそれぞれ、折り返し列車-回送入線列車、回送入線列車-折り返し列車、折り返し列車-折り返し列車、の3パターンに区分して算出したものである。表中には実現値が推定値に適合しているかどうかを判断するため、情報量規準 AIC を算出し、併せて示した。折り返し列車-折り返し列車というパターンの場合には適合性が低下しているが、全般的にみて、通勤者に関しては通勤通学という日常的かつ定常的な交通の性質を反映して、着席効用を考慮した利用者の列車選択行動に時間移転性が認められる。

(2) 着席効用度分布の車両位置間移転性

推定された後部車両の着席効用度分布を前部車両に適用し、得られた各列車選択者数の推定値を実測値と比較することにより、車両位置間移転性を検討した。表-6をみると折り返し列車-折り返し列車というパターンの場合を除き、推定値と実現値は良く適合しており、実用レベルでの列車選択者数でみた場合の着席効用度分布の車両間移転性が認められる。

なお着席効用度の分布形は前部車両と後部車両で

表5 着席効用度分布の時間移転性

(1) 京王八王子前部測定位置 10 日 --> 18 日

第 i 番目列車選択者数 (人)		i=1~2 について				
	i	1	2	3	AIC(0)	AIC(1)
ケース①	実現値	55	36	0	240.3	241.5
	推定値	61	30	0		
ケース②	実現値	73	10	0	128.1	130.0
	推定値	72	11	0		
ケース③	実現値	38	4	0	80.8	78.7
	推定値	31	11	0		
総計	実現値	166	50	0	447.3	447.9
	推定値	163	53	0		

(2) 京王八王子後部測定位置 10 日 --> 18 日

第 i 番目列車選択者数 (人)		i=1~2 について				
	i	1	2	3	AIC(0)	AIC(1)
ケース①	実現値	111	56	0	432.5	434.3
	推定値	106	60	0		
ケース②	実現値	76	40	0	289.4	290.1
	推定値	84	32	0		
ケース③	実現値	44	8	0	114.4	112.8
	推定値	36	16	0		
総計	実現値	231	104	0	838.3	840.2
	推定値	227	108	0		

表6 着席効用度分布の車両位置間移転性

京王八王子後部測定位置 --> 前部測定位置

第 i 番目列車選択者数 (人)		i=1~3 について				
	i	1	2	3	AIC(0)	AIC(1)
ケース①	実現値	52	45	1	283.7	290.9
	推定値	58	40	0		
ケース②	実現値	76	12	2	193.7	197.8
	推定値	70	20	0		
ケース③	実現値	41	5	0	93.0	90.4
	推定値	36	16	0		
総計	実現値	169	62	3	602.3	607.0
	推定値	160	74	0		

かなり異なっているが、列車選択者数でみれば両者の差異は殆ど問題がないと考える。^(注)

(3) 着席効用の乗車時間特性

通勤駅(池袋駅、荻窪駅、京王八王子駅)に関して実施された7ヶ所の着席効用度分布を対象として得られた平均着席効用の乗車時間特性を図-9に示す。ここで図中には参考として、各着席効用度分布に対応する平均着席効用を平均乗車時間に対してプロットした。ここで、得られた回帰式はこれらの点を直接的に回帰したのではなく、独立変数である乗車時間を確率分布として扱って回帰したものであるため、図中の曲線と点とが必ずしも合致しないのは言うまでもない。

同図によれば、着席効用は乗車時間 10 分程度までは非常に小さい値で、乗車時間10分程度から30分程度までの間で急激に増大し、以後は緩やかに増加するという特性を見せている。このことは座席獲得の効用が利用者にとっては、乗車時間に対して非線形的な様相を示し、10分程度までであれば、ほとんど着席の意義を見いださず、10分から30分にかけて評価は急激に高まること。更に長時間の乗車時間については評価は増大していくもののその増加率は低下することを示している。このような着席効用の乗車時間特性は、経験的にも納得できるものがある。

7. 結 論

本研究は、通勤者が交通手段を選択する際重要な要因の一つである着席の問題を外的に観察することにより把握し、座席容量に変動がある場合の通勤者の列車選択行動を説明したものであるが、主な結論は以下のとおりである。

①乗客は日常の通勤体験により、座席容量に変動がある場合でも行列を観察するだけで各列車の着席

注) 着席効用度分布を正規分布とみなして、パラメータの列車選択者数の配分に対する感度を検討したところ、位置パラメータの影響が高いのに対して、バラツキのパラメータの影響は低くなっていることが明らかとなった。このことから車両位置間の利用レベルでの移転性がうなずける。

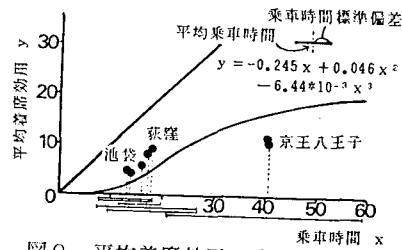


図9 平均着席効用の乗車時間特性

可能性を知ることができるとみなされる。

②着席効用度分布は、時間移転性、車両間移転性ともに高く、汎用的に使用できる可能性を示している。

③集団内での平均的着席効用は、乗車時間に対して非線形的な様相を示し、乗車時間が10分程度であれば、ほとんど着席の意義を見いださず、10分から30分にかけて評価は急激に高まる。

④座席獲得により得られる効用は通常の通勤乗車時間の範囲では、着席効用度分布の平均値から判断すると、概括的にみて概ね乗車時間の3割程度である。

8. あとがき

本研究を実施するにあたって、調査実施を快諾していただいたばかりでなく貴重な資料まで提供して下さった京王帝都電鉄の関係各位及び実測にあたった本学交通研究室の各位、またデータ整理に協力戴いた国鉄中央鉄道学園の山脇 浩氏、本学大学院修士課程の美谷邦章氏に深く感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 1) Algers, S., et al : Role of Waiting Time, Comfort and Convenience in Modal Choice for Work Trip, T.R.R. No.534, 1975
- 2) 家田 仁・松本嘉司：列車選択行動における着席効用度の定量的評価，土木学会論文集第365号/IV-4, pp.69-78, 1986
- 3) 家田 仁・松本嘉司：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，土木計画学研究・講演集No.8, pp.367-374, 1986