

長距離都市間鉄道旅客における着席効用の評価

Evaluation of Seating-Utility on Long-Distance Railway Travelers

玉石修介^{*}・家田仁^{**}・神宮敏樹^{***}

By Shusuke TAMAI^{S1}, Hitoshi IEDA and Toshiki SHINGU

Qualitative factors influence greatly on long-distance travelers' behaviour, especially seat availability is known as one of the most essential factors. In this study, the formerly proposed Seating-Utility theory for commuters was extended to infrequent passengers, and some application survey was held in Tokyo terminal of Shinkansen in a crowded season.

As the result, the feature of users' Seating-Utility distribution and its performance were made clear.

1. はじめに

交通サービスの質的特性が利用者の交通行動に大きく寄与することは知られており、通勤交通、長距離交通の別を問わず、高品質の交通サービスを提供することが強く求められている。また今後の経済環境を考えると、これらの質的効果を含めた投資効果の定量的把握とその帰属先の明確化により、受益者の適正な負担を求め、プロジェクトの採算化を図ることが重要な課題ともなっている。

公共交通サービスの質的な要因としては、着席の可能性、混雑度など各種のものが挙げられる。これらの要因を交通需要予測などへ取り入れようとする試みは、交通機関分担問題への非集計行動モデルの適用のように利用者に対する聴取り調査を用いたも

のなどがみられ、利用者の意識的な回答に基礎を置いている。これに対して、十分に制御された環境条件を選定し、利用者の交通行動を直接観測することにより実際の交通行動に裏付けされた質的因子の定量化を図る方法がある。この手法により利用者の座席獲得嗜好に關した行動観測を基礎とした通勤旅客を対象とした研究が成されており¹⁾²⁾、着席効用の定量的評価や交通計画、交通施設設計画上の応用法が検討されている。

長距離都市間交通の旅客に対する交通サービスのよな質的因子の分析に關しては、非日常交通に關するデータの収集が容易でないことを反映して、必ずしも多くの研究は行われていない³⁾⁴⁾。しかし、今後の交通網を通じた諸都市のより密接な相互關係の形成、都市人口の増大、レクリエーション需要の拡大を考えると非日常的な旅客の交通サービス条件に対する評価構造を明らかにしていくことが質的向上を図るうえで必要であると考えられる。そこで、本研究では、文献1)で構築された着席効用に関する理論

*正会員 工博 TPI都市計画研究所 研究員

**正会員 工博 東京大学助教授 工学部土木工学科

***正会員 三菱重工業(株) 横浜製作所

(〒160新宿区高田馬場1-28-15 TPI都市計画研究所)

を非日常的な交通行動に適合するよう拡張展開し、新幹線東京駅における多客期の自由席旅客行動に適用することにより、座席獲得嗜好を考慮した長距離都市間鉄道旅客の列車選択行動の諸特性を明らかにしようと試みたものである。

2. 列車選択行動の定式化

(1) 着席効用を考慮した列車選択行動の定式化

本研究では、以下の条件を満たす利用者の乗車駅での列車選択行動を解析の対象とした。

- ①利用者が降車駅などの条件を満たしうる範囲で選択可能な選択対象列車群から一つの列車を選択して乗車する行動を扱う。
- ②利用者は、選択対象列車群の各列車に関する情報を得ているものとする。非日常的な交通行動の場合には、利用者が持つ情報の範囲及び量は運営者側が提供する情報の多寡に大きく依存し、それに応じて選択対象列車群も限定されることとなる。
- ③利用者の列車選択には、降車駅までの所要時間、利用者の乗車駅到着後の発車時刻までの待ち時間などの時間的因子と利用者が乗車後、座席を獲得できるか否かという着席の問題の他には他の要因が関与することのない環境を対象とする。

降車駅が m のある利用者が時刻 T に列車を選択することを考える。列車 i の発車時刻を TD_i 、列車 i を選択した場合の降車駅までの乗車時間を $tLim$ 、このときの座席を獲得できる確率（着席可能性）を p_i とする。

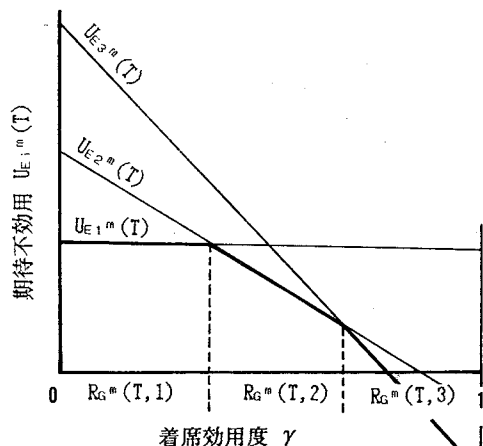


図-1 着席効用度の選択領域

着席可能性 p_i は、座席の数と利用者の待ち行列中の位置によるから、列車 i の待ち行列の人数を $\Phi_i(T)$ として、 $fp(\Phi_i(T))$ と表す。これを着席可能性関数と呼ぶ。また、列車選択により得られる効用の基準を立位の乗車時間にとり、1以下非負の無次元量 γ を着席することによって利用者が単位乗車時間当たり得ることができる効用（着席効用度）と定義する。すると、列車 i を選択することの期待不効用は、文献1)の検討結果を適用すると以下の式により表される。

$$UE_{im}(T) = TD_i + tLim - \{fp(\Phi_i(T)) \cdot tLim\} \cdot \gamma \quad (1)$$

列車 i の期待不効用 UE_{im} について、ゲーム理論という期待効用原理を適用すると列車の選択行動が記述できる。

次に、集団中における利用者の着席効用度 γ の確率密度関数として着席効用度分布を導入し、集団全体の中での列車選択率を誘導する。まず、対象とする集団内の利用者の降車駅を $1, \dots, N_m$ 、降車駅が m である利用者の着席効用度分布を $\phi_{Gm}(\gamma)$ とする。すると、(1)式は γ についての一次式であり、着席効用度 γ に対して、各列車の期待不効用 $UE_{im}(T)$ は、図-1のように複数の右下がりの直線群として表される。よって、特定の列車 i^* を選択する利用者は、着席効用度 γ が特定の領域、

$$RG_m(T, i^*) = [\gamma_{cmL}(i^*, T), \gamma_{cmU}(i^*, T)] \quad (2)$$

に含まれる集団として定められる。従って、列車 i^* の選択率 $Pi^*m(T)$ は、降車駅 m に対して、

$$Pi^*m(T) = \int_{\gamma_{cmL}(i^*, T)}^{\gamma_{cmU}(i^*, T)} \phi_{Gm}(\gamma) d\gamma \quad (3)$$

と表される。さらに、時刻 T における降車駅が m の利用者の到着強度を $lm(T)$ とすると、時間幅 dT の間の降車駅 m についての列車 i の選択者数 $\phi_{im}(T) \cdot dT$ は、

$$\phi_{im}(T) \cdot dT = lm(T) \cdot Pim(T) \cdot dT \quad (4)$$

となり、さらに各降車駅についてまとめると、列車 i の選択者数 $\phi_i(T) \cdot dT$ は、

$$\phi_i(T) \cdot dT = \sum_{l=1}^{N_m} \phi_{im}(T) \cdot dT \quad (5)$$

となる。さらにこれを時間について積分すれば待ち行列人数 $\Phi_i(T)$ が得られる。こうして、利用者の列車選択が定式的に記述できることとなる。

(2) 着席効用度分布の推定法

逆に各列車選択者数が得られているとき、着席効

用度分布を推定することを考える。まず、時刻 T を変数 k ，着席効用度を変数 $j(1 \sim NJ)$ により離散的に扱い，(4)式を以下のように書き直す。

$$Y_m(k, i) = N P_m(k) \sum_{j=1}^{NJ} K_m(k, i, j) \cdot P G_m(j) \quad (6)$$

ここで，

$$K_m(k, i, j) = \begin{cases} 1 & \text{for } R G L_m(k, i) \leq G(j) \leq R G U_m(k, i) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

なお，式中の変数は，次のとおりである。

$Y_m(k, i)$: 時刻 k における i 列車の選択者数

$N P_m(k)$: 時刻 k における乗客到着強度

$G(j)$: 第 j 着席効用度の区分代表値

$P G_m(j)$: 集団の中での第 j 着席効用度の確率

$R G U_m(k, i)$: 時刻 k における i 列車選択の γ の上限値

$R G L_m(k, i)$: 時刻 k における i 列車選択の γ の下限値

したがって，(7)式によって，積分核行列 $K_m(k, i, j)$ を定めれば，着席効用度分布 $P G_m(j)$ は，

$$P G_m(j) \geq 0, \sum_{j=1}^{NJ} P G_m(j) = 1 \quad (8)$$

を条件としながら，(6)式を蓋然的に満足させる解と

して推定することができることとなる。具体的には，図-2の手順で近似度の評価に χ^2 値を用いて逐次改善法により推定する。

3. 新幹線東京駅における調査計測とモデルの適用

(1) 調査計測の概要

モデルの適用にあたっては，前述の基本的諸条件，列車本数の多寡（選択対象の多寡），旅客数の多寡，列車運行形態や駅構造の単純さ，運賃体系や車両構造の画一性などを考慮して諸駅について検討した結果，東海道・山陽新幹線東京駅においてゴールデンウィークの多客期に自由席旅客を対象に次の調査を実施することとした。なお駅ホームは島式3面6線構造である。

①待ち行列・降車駅調査

これは，各列車の自由席に乗車する旅客の駅ホーム上の待ち行列への到着時刻の計測，及び降車駅とグループ人数の聴取りを行うもので，以下のとおりの日程で合計65列車について実施した。

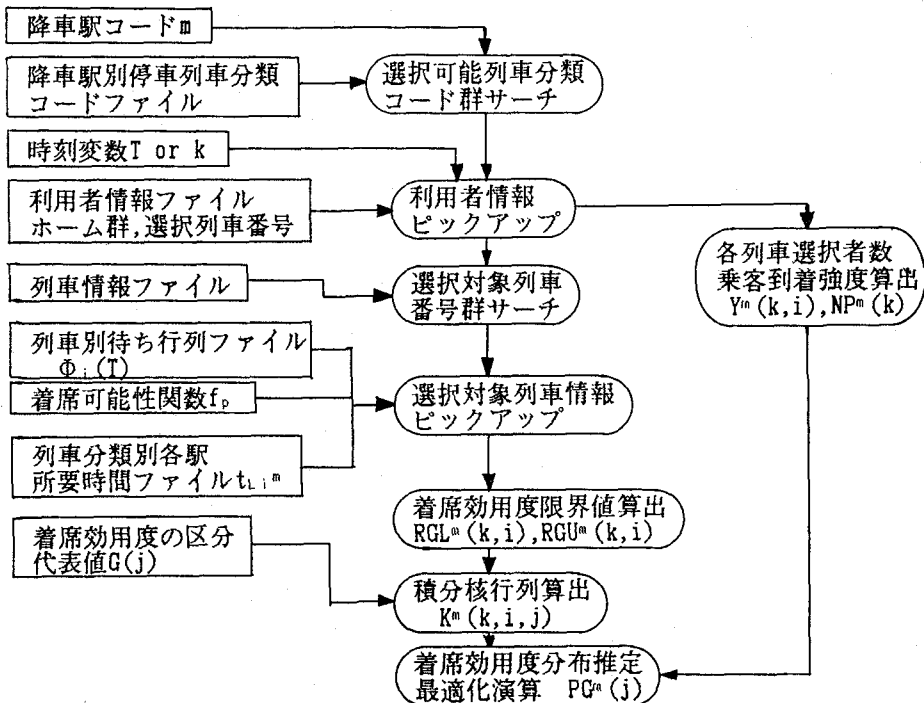


図-2 着席効用度分布の推定フロー

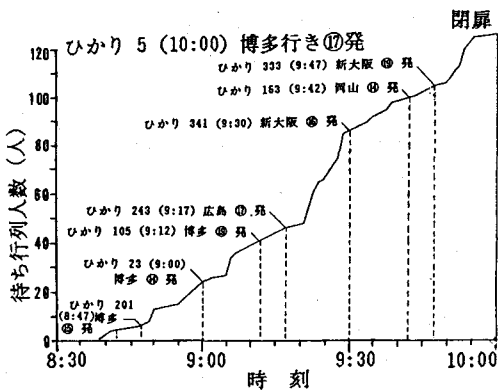


図-3 待ち行列の測定結果例

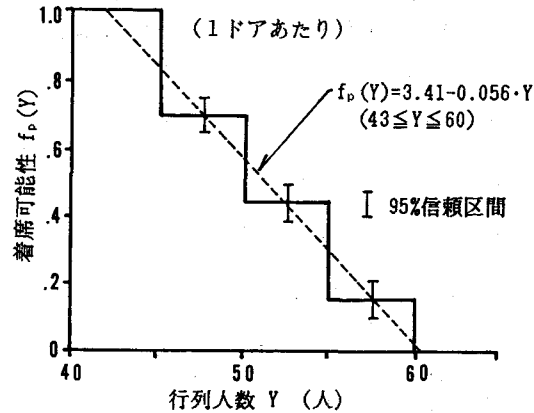


図-4 着席可能性関数の推定結果

昭和60年4月27日(土) 9:00~17:00

5月3日(日) 8:30~15:30

測定対象とした車両は3号車とした。図-3に待ち行列測定結果の例を示す。

②着席可能性調査

本調査は、待ち行列内の旅客の順位による着席可能性の違いを推定するもので、昭和60年5月6日(月)に実施した。測定対象列車数は16列車、測定対象人数は804人となった。

(2) 着席可能性関数の推定

着席可能性調査実施上は調査の作業性を考え、待ち行列を5人毎に区分し、それぞれの区分の中で乗客の着席人数を観測した。図-4は、各区分毎の着席可能性の推定値をその信頼区間とともに示したものである。

実際には、着席可能性はより連続的に変化するものと考えられ、以後の解析に使用する着席可能性関数

は、図-4中に示す破線のように連続的な値をとるものとして用いた。

(3) 利用者の列車選択範囲の検討

利用者の列車選択の範囲(選択対象列車群)は、各列車について利用者が得られる情報の多寡によって左右される。通勤旅客の場合には日々の経験の繰り返しにより十分な情報を得られるものと考えられるが、新幹線のような画一性が高く、情報提供が比較的進んでいる鉄道といえども、非日常的な交通行動の場合にはこうした前提は必ずしも成立しない。そこで、ここでは選択対象列車群に関する次の2つの仮説のもとに以下の予備的解析を行い、仮説の妥当性を検討した。

仮説①：利用者の選択対象列車群は、乗客の駅ホーム到着後最寄り発車時刻の列車から着席可能性が十分に高い列車までの選択可能な全ての列車の集合である。

表-1 選択対象範囲の仮説別非説明利用者比率(4月27日、5月3日両日)

降車駅	新横浜	小田原	熱海	三島	静岡	岡崎	浜松	豊橋	名古屋	岐阜	羽島	米原	京都	新大阪	新神戸
サンパル数	33	102	455	350	300	226	156	1129	17	134	660	1249	131		
仮説①	0.303	0.186	0.312	0.263	0.220	0.248	0.250	0.623	0	0.097	0.609	0.651	0.351		
仮説②	0.303	0.069	0.073	0.080	0.077	0.027	0.109	0.193	0	0.060	0.218	0.221	0.076		
降車駅	西明石	姫路	相生	岡山	新倉敷	福山	三原	広島	徳山	小郡	新下関	小倉	博多		
サンパル数	30	59	13	407	13	66	18	255	11	25	1	87	160		
仮説①	0.100	0.390	0	0.493	0.154	0.151	0.389	0.271	0.091	0	0	0.126	0.119		
仮説②	0	0.068	0	0.206	0	0.045	0	0.125	0	0	0	0	0.025		

注：新岩国については、降車利用者が皆無であったため省略した。

仮説②：利用者の選択対象列車群は、仮説①の列車群の内、発車ホーム群^{*1}が利用者が選択した結果である特定の列車の発車ホーム群と合致する列車の集合である。

仮説①は、利用者は通勤者と同様に選択可能な全ての列車の情報を得ていることを意味する。これに対して、仮説②では利用者は、特定のホーム群に限定して列車の発車時刻や発車番線、待ち行列の形成状況に関する情報を把握しているものと考えられる。さて、着席効用度 γ の存在可能領域 $RG_m(T, i)$ は、選択対象列車群を仮定して図-1により得られるが、調査実績から算出された $RG_m(T, i)$ は必ずしも γ の定義域 $[0, 1]$ に含まれるとは限らず、列車 i を選択するべき着席効用度 γ の値は存在しないという場合も起こりうる^{*2}。よって、特定の選択対象列車群を仮定した時、ある利用者の実際の選択結果 i に対する $RG_m(T, i)$ が $[0, 1]$ に含まれない場合にはこの利用者に関しては、モデルによる説明が不能となる（非説明利用者）。ある意味ではこの非説明利用者数の多寡によって、仮定した選択対象列車群の妥当性を判断することができることとなる。

そこで、待ち行列調査の結果について、期待不効用最小化原理のもとに、利用者の選択対象列車群に関して前述の仮説①または仮説②を仮定して、それぞれの利用者の着席効用度 γ の存在可能領域 $RG_m(T, i)$ を算出、判定し、各降車駅別に集計した。この結果が表-1である。

これによれば、仮説①を仮定した場合に比べ仮説②の場合、非説明利用者の比率がかなり低く現実によく適合していることがわかる^{*3}。そこで、以下の解析では利用者の列車選択範囲は仮説②を採用した。

(4) 着席効用度分布の推定

次に2. (2)に述べた方法により、利用者の着席効用度分布を推定した。その際、解析対象はサンプル数の多寡を考慮して、名古屋、京都、新大阪、岡山の4駅を降車駅とする利用者とした。図-5は着席効用度分布の一部、表-2はその平均値、標準偏差の一覧である。また、これらの着席効用度分布を前提としたときの各列車の発車順序別の選択者数の推定値とその実現値を情報量規準AIC^{*4}による適合性検討結果とともに表-3にあげる。この結果、全般的に見

て本研究のモデルにより利用者の列車選択行動が説明できることがわかる。

4. 考 察

(1) 旅行グループ人数と着席効用度分布

推定された各降車駅の着席効用度分布の平均と、標準偏差を単独利用者の場合を横軸に、グループ利用者の場合を縦軸にとって、表示したのが図-6であ

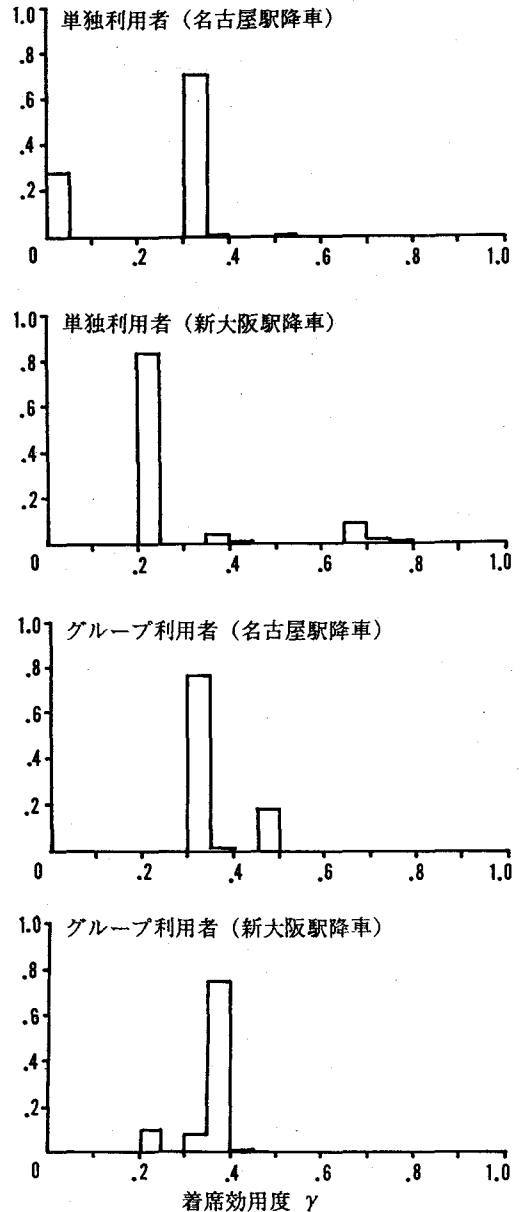


図-5 着席効用度の推定結果例

表-2 着席効用度の平均・標準偏差（4月27日）

	降車駅	サンプル数	平均	標準偏差
単 利 用 者	名古屋	336	0.244	0.141
	京 都	174	0.465	0.386
	新大阪	382	0.289	0.154
	岡 山	104	0.522	0.161
グ ル プ 利 用 者	名古屋	221	0.368	0.074
	京 都	111	0.486	0.180
	新大阪	246	0.355	0.065
	岡 山	55	0.664	0.251

表-3 列車選択者数推定結果の適合性

降車 駅	グループ 人数別	i番目発車列車選択者数 i	情報量規準 AIC			
			1	2	3	4
名 古 屋	単 独	実測値	209	115	9	3
		推定値	216	107	12	0
	グ ル ー プ	実測値	111	98	12	0
		推定値	127	80	11	0
京 都	単 独	実測値	106	55	13	0
		推定値	106	55	13	0
	グ ル ー プ	実測値	52	43	14	2
		推定値	68	36	7	1
新 大 阪	単 独	実測値	232	133	17	0
		推定値	241	122	18	1
	グ ル ー プ	実測値	113	123	10	0
		推定値	141	86	20	0
岡 山	単 独	実測値	74	30	0	0
		推定値	74	30	0	0
	グ ル ー プ	実測値	38	17	0	0
		推定値	43	9	3	0

る。岡山駅降車利用者が少数であるため、断定的な結論を得ることはできないが、単独の場合に較べてグループとなることにより、座席獲得に対する評価が高まること、及び（岡山駅降車利用者を除き）評価のバラツキが単独利用者よりもかなり小さくなっているのがわかる。これは、グループ旅行の場合にはグループとしてまとまって着席し、旅行を楽しむにいくことにグループ構成員で一致した一つの重点が置かれることを反映しているものと考えられる。

(2) 着席効用の乗車時間特性

次に推定された着席効用度分布と乗車時間から、利用者の平均着席効用を求め、この平均着席効用の乗車時間に対する特性を検討する。各降車駅についての利用者の乗車時間の変動を算出すると、変動係数で 5%~10%程度で比較的小さくなっている。そこでここでは降車駅別に得られた着席効用度分布をその降車駅に対する利用者の平均乗車時間に対応す

るものとみなし、着席効用度分布の平均値に平均乗車時間を乗ずることにより、当該乗車時間に対応する平均着席効用を算出した。こうして平均乗車時間と平均着席効用の関係を示したのが図-7である。同図によれば利用者が着席により得られる効用は乗車時間 100分程度までは比較的低位の評価しか受けないが、100分程度以上となると、漸次評価が増大し、その変化率はほぼ一定となっているのがわかる。図中には、べき関数による回帰曲線を併せて記入した。

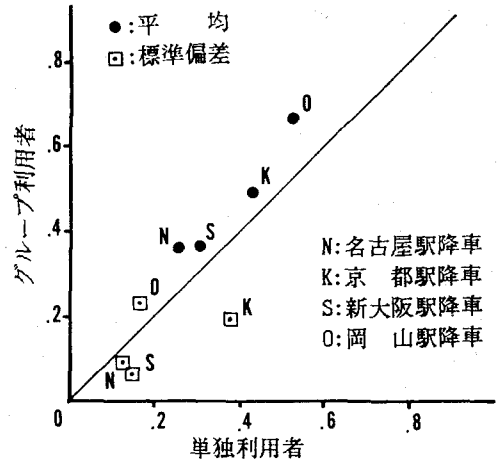


図-6 着席効用度の平均及び標準偏差

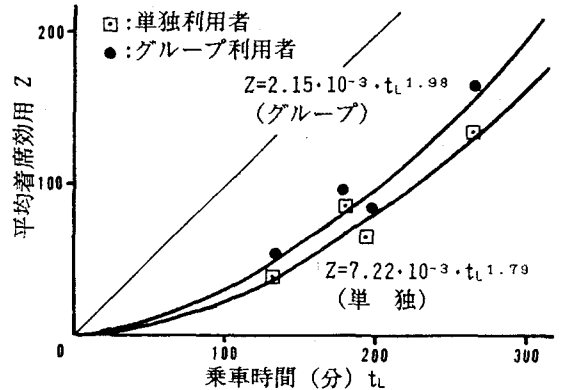


図-7 平均着席効用の乗車時間特性

5. 結論及び今後の課題

本研究により得られた結論は以下のとおりである。

- ①着席効用理論を停車駅パターンなど諸条件がより一般的な長距離都市間旅客交通に拡張し、新幹線自由席旅客に適用して解析した結果、自由席利用者の列車選択行動について概ね説明できる。
- ②利用者の選択対象列車範囲について検討した結果、非日常的利用者の場合には情報の得られる限られた範囲の列車群から選択していることが明らかとなった。このことは逆に利用者に対する十分な情報提供により、利用者の実質的な消費時間を低減させるとともに列車の利用効率を向上させる可能性を示唆している。
- ③長距離都市間旅客の着席効用度は、何れの場合とも平均値で0.3~0.5程度となっている。
- ④グループ利用者の着席効用は単独利用者に較べて高く、またパラツキが小さくなっている。
- ⑤長距離都市間旅客の場合の平均着席効用の乗車時間に関する特性が明らかとなった。

今後の課題としては、調査範囲を拡大しモデルの検証を繰り返すことと、利用者に提供される情報と利用者行動の関係について、より深度化した検討を進めることなどが挙げられる。

6. あとがき

本研究の実施にあたっては、日本国有鉄道建設局都市交通課、同東京南鉄道管理局企画室及び営業部、東京駅、中央鉄道学園教育第三部（何れも当時）の皆様による多大なる御協力をいただき実現できたことを記し、心より感謝したい。

< 文 献 >

- 1)家田仁・松本嘉司(1986):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
- 2)家田仁・前田洋明他:座席容量が変動がある場合の着席効用度の解析
土木計画学研究論文集, No. 4, pp. 221-228

- 3)森地茂・屋井鉄雄(1984):非日常的交通への非集計モデルと選択肢別標本抽出法の適用性
土木学会論文報告集,第343号, pp. 161-170
- 4)坂元慶行・石黒真木夫他(1984):情報量統計学
pp. 42-64, 共立出版

* 補 注

- *1: プラットホーム上の両側の2線をここではホーム群と呼ぶ。
- *2: たとえば、順に発車する3本の列車の内、第1と第2は全く着席することができず、第3は可能であるとする。すると着席効用度 γ が小さい利用者は第1列車、着席効用度 γ が大きい利用者は第3列車を選定し、理論上は第2列車を選択すべき利用者が存在しない。
- *3: 実際、仮説①を仮定した時に説明不能とされた利用者について詳細に検討してみると、利用者が選択した列車の発車するホーム群と異なるホームから、利用者が選択した列車よりも期待不効用がいずれの着席効用度 γ についても小さい別の列車が発車するという状況で、非説明利用者となっていることが多かった。この場合、利用者が他のホーム群に関しても十分な情報を得ているならば、利用者は当然他のホーム発車の列車を選択することとなったであろう。
- *4: 実現値がモデルによる推定値と合致するとみなした時の情報量規準AICの値AIC(0)と合致しないとみなした時のAIC値AIC(1)とを比較し、値が小さい方の仮説が採択される。

4)