

幹線鉄道旅客における座席種別選択行動のモデル化に関する研究*

A Study on the Modeling of Seat Class Choice Behavior on Trunk Line Train Passengers*

柴田宗典**・寺部慎太郎***・内山久雄****

By Munenori SHIBATA**・Shintaro TERABE***・Hisao UCHIYAMA****

1. はじめに

我が国は成熟社会を迎え、都市間幹線旅客鉄道に関しても大規模なインフラ整備への投資が困難になってきており、幹線旅客鉄道の運営におけるサービス供給のコントロール等のソフトウェア施策により、蓄積されてきたインフラを有効に活用していく視点が必要である。需要予測技術や施策の効果計測に関しても、ソフトウェア施策の検討に的確に対応できる需要予測技術や施策の効果計測技術を開発する必要がある。

さて、我が国の幹線旅客鉄道で運行される優等列車の普通車では、多くの場合において指定席と自由席の2種類の座席が供給されている。指定席や自由席などの座席種別(以下、座席と称す)毎の供給量や料金設定が過去の実績等により予め固定的に決められており、例えば、自由席が混雑している一方で指定席が空いているといった需要と供給の乖離が生じ、インフラの有効活用を阻害している可能性がある。そこで本研究では、各列車における座席の設定を需要に応じてフレキシブルに変化させることにより幹線旅客鉄道の優等列車における乗車効率の最大化をめざす。

着目する施策は、収益管理と呼ばれている手法の一施策と捉えることができる。ここで収益管理とは、多様なニーズを持つ顧客に対して、価格や容量を様々にした商品やサービスを提供する事によって得られる収益を最大にすることである。この考え方は、1980年代のアメリカにおいて航空分野の規制緩和により航空会社間の競争が熾烈になったことから研究が進められた¹⁾。一方、鉄道は始発駅から終着駅までの間に駅に停車していくことから、基本的に1つのODを考えればよい航空機と異なり、複数のODにおける需要を考慮する必要がある。このようなsingle-line, multiple-stops system において、予約の割

*キーワード: 幹線鉄道, 優等列車, 座席種別(座席)選択行動

**正員, 修(工), (財)鉄道総合技術研究所

(東京理科大学大学院理工学研究科土木工学専攻)

〔 東京都国分寺市光町2-8-38, TEL 042-573-7309
FAX 042-573-7305, E-mail mshibata@tri.or.jp 〕

***正員, 博(工), 東京理科大学理工学部土木工学科准教授

****フェロー員, 工博, 東京理科大学理工学部土木工学科教授

り当てを適切にコントロールするための数理計画的な手法の構築が、幹線旅客鉄道分野における収益管理研究の主な命題であった²⁾。これらの先行研究では、複数の運賃クラスを考慮した例はあるものの、座席は一種類であると仮定される場合が大半であるため、幹線鉄道旅客の座席選択行動を分析しモデル化した研究例はない。

そこで本研究では、より適切に需要に対応した座席設定による乗車効率の向上を最終目標に、幹線鉄道旅客から収集したトリップデータの分析により旅客の座席選択行動の特性を明らかにした上で、座席設定シミュレーションシステムに組み込む旅客行動モデルとして、座席選択行動モデルを構築することを目的とする。

2. 幹線旅客鉄道利用実態調査の概要

本研究では、幹線旅客列車の利用における座席選択行動等に関する個人行動データを取得するための利用実態調査を行なう(表-1)。調査対象路線は、我が国を代表する幹線旅客鉄道路線である東海道・山陽新幹線(東京~博多)とし、2007年12月~2008年1月に同路線を利用して移動した旅客を対象としてwebアンケート方式により利用実態データを取得する。本調査では、出発地、目的地、アクセス交通機関、イグレス交通機関等の当該トリップの基本的な情報に加え、座席選択行動の解明を目指して、新幹線で利用した座席(普通車自由席・普通車指定席・グリーン席)や、座席や幹線交通機関を選択する際に表-2に示す定性的な要因をどの程度重要視したかについて5段階評価値(+1~+5)により回答を得る。本研究では、取得された段階評価値を当該要因に対する主観的重視度と呼ぶこととする。

ここで、年末年始の超繁忙期においては乗車したい列車が既に満席であったため出発時刻や出発日を変更するといった出発時刻選択行動や出発日選択行動等の影響が大きく、座席選択行動を捉えることが困難であると考えられる。そこで本研究では、年末年始の超繁忙期である2007年12月29日~2008年1月6日に乗車日が該当するサンプルを分析対象から除外する。また、本研究が目指すフレキシブルな座席設定は、設備仕様が基本的に同一である普通車指定席と普通車自由席とにおいて運用される

ことを想定している。そのため本研究では、旅客の普通車指定席(以下、指定席と称す)と普通車自由席(以下、自由席と称す)との選択行動に焦点をあて、指定席利用者と自由席利用者のサンプルデータを分析対象とする。以上により抽出された1,176サンプルに関して以降の分析を進める(指定席：878サンプル，自由席：298サンプル)。

表一 幹線鉄道利用実態調査の概要

調査対象	2007年12月～2008年1月に東海道・山陽新幹線を利用した旅客の往路トリップ
調査期間	2008年1月～2月
調査方法	webアンケート
主な調査項目	<ul style="list-style-type: none"> ・旅行目的、OD、出発日、出発時刻、到着時刻 ・アクセス交通機関、イグレス交通機関 ・利用した新幹線の列車番号(例：のぞみ2号) ・利用した座種(普通車自由席・普通車指定席・グリーン席) ・着席した座席位置(窓側、通路側、3列シートの真ん中) ・着席できた区間(普通車自由席利用者のみが対象) ・同行者の種類と人数 ・座席種別選択要因に対する主観的重視度(表2) ・幹線交通機関選択要因に対する主観的重視度(表2)
有効回答数	3,039

表二 主観的重視度を観測した主な選択要因

	調査票上での表現	キーワード
座席種別の選択要因	<ul style="list-style-type: none"> ・確実に座れること ・希望の席(窓側・通路側)を確保できること ・出発時刻が選べること ・自由に席を移ることができること ・乗車後に席の位置を選べること ・荷物があること 	<ul style="list-style-type: none"> 着席の保障 希望する座席位置の確保 随時性 着席位置の変更 乗車後の着席位置の選択 荷物の携行
幹線交通機関の選択要因	<ul style="list-style-type: none"> ・目的地に早く到着できること ・移動の楽しさ ・出発地から目的地までの時間が正確であること ・荷物を運ぶのが便利であること ・交通事故にあって巻き込まれること ・盗難などの犯罪にあうこと ・いろいろな場所を回れること 	<ul style="list-style-type: none"> 速達性 移動の楽しさ 定時性 載荷性 事故安全性 犯罪安全性 機動性

1: 全く気にしなかった ～ 3: どちらでもない ～ 5: 非常に気にした

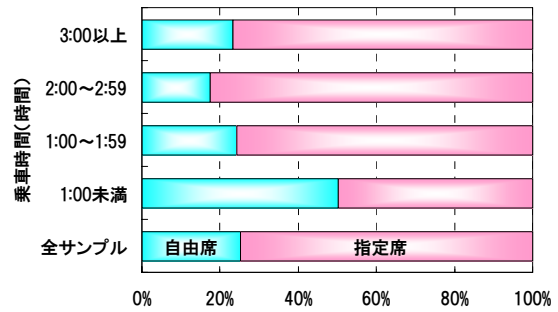
3. 座席種別選択行動の特性分析

(1) LOSや旅行属性と座席種別選択の関係

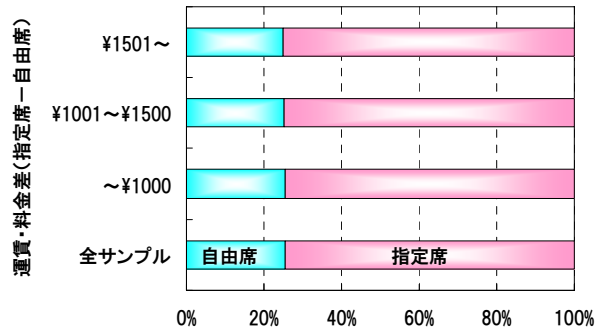
まず、基本的なLOSである乗車時間や運賃・料金と座席種のシェアとの関係を考察する。ここで乗車時間とは、東海道・山陽新幹線の列車に乗車した時間そのものであるが、同線内にて乗継を行ない複数列車に乗車している場合は、最も乗車距離の長い新幹線列車の乗車時間としている。また、運賃・料金については、鉄道に乗車する全区間における運賃・料金とする。

乗車時間とシェアの関係(図一)を見ると、乗車時間長くなるにつれて、指定席を選択する傾向にあることが分かる。また、乗車時間1時間未満の場合には、自由席のシェアが顕著に増大することから、乗車時間1時間が座席種別選択の閾値である可能性がある。一方、運賃・料金とシェアの関係(図二)においては明確な傾向は認められなかった。座席種別選択行動モデルに交通費用に関する変数を導入する際には何らかの工夫が必要であると考え。

次に、同行者等の旅行属性と座席種別選択の関係性を探るため、数量化Ⅱ類による分析を行なう。分析においては、目的変数を指定席と自由席の選択結果とし、座席種別選択に



図一 乗車時間とシェアの関係



図二 運賃・料金とシェアの関係

アイテム	カテゴリ	スコア		レンジ	偏相関係数
		自由席←	→指定席		
乗車時間	1時間未満	-1.814		2.304	0.251
	1:00~1:59	0.095			
	2:00~	0.490			
旅行目的	仕事目的	0.486		1.443	0.152
	帰省目的	-0.321			
	観光目的	-0.541			
	冠婚葬祭目的	0.623			
	私用目的	-0.820			
	その他	-0.764			
旅行人数(本人含む)	1名	-0.209		0.683	0.036
	2~3名	0.475			
	4名以上	0.049			
家族旅行	yes	0.320		0.392	0.021
	no	-0.073			
友人・知人との旅行	yes	-0.305		0.362	0.019
	no	0.057			
乳幼児同伴(0~6歳)	yes	-0.748		0.809	0.056
	no	0.061			
性別	男性	0.085		0.263	0.035
	女性	-0.178			

相関比:0.10 自由席利用者スコア重心:-0.54 指定席利用者スコア重心:0.18

図三 数量化Ⅱ類による選択特性分析結果

影響を与えていると見出された乗車時間に加え、旅行目的や旅行人数、家族旅行か否か等の旅行形態に関するアイテム等を説明変数として取り入れる。試行錯誤の結果最終的に確定した分析結果を図三に示す。最も影響力が高いのは乗車時間であり、乗車時間が1時間未満であれば自由席を、それ以上の場合には指定席を利用する傾向にあり、先の集計分析結果(図一)と一致する。他にも、旅行目的でみると仕事目的や冠婚葬祭目的の場合に指定席を利用する傾向にあることや、一人旅の場合は自由席を利用する傾向にあること等の座席種別選択の傾向が示されている。

しかしながら全体の適合度を示す相関比は0.10と低く、更に他の観点から座席種別選択行動を説明可能な要因を探っていく必要があることを示唆する結果であると言えよう。

(2) 主観的重視度と席種選択の関係

ここでは、主観的重視度とシェアの関係について、特徴が見出された代表例を図-4、図-5に示す。「着席の保障」といった「着席の確実性」に関する要因については、重視度が高まるにつれて指定席のシェアが高まる傾向にあることが分かる。一方、「着席位置の変更」といった「着席の自由度」に関する要因に関しては、逆に、重視度が高まるにつれて、自由席のシェアが高まる。このように、利用した席種によって重視する選択要因が異なることが示されている。

さらに主観的重視度と席種選択との関係性を統計的に考察する。ここでは、線形構造方程式モデルの一種である多指標多因子モデル(MIMIC モデル)を構築する。集計分析により席種選択との関連性が認められた「着席の保障」「希望する座席位置の確保」「着席位置の変更」「乗車後の着席位置の選択」の4つの主観的重視度から、席種選択行動の背後に存在するであろう席種選択意識因子として「着席の確実性」因子と「着席の自由度」因子を抽出するとともに、乗車時間や同行者種別等の客観的に観測される説明変数と両因子間の関係を同定する。ここでMIMICモデルからは、式(1)により席種選択意識因子の期待値を推定することができる³⁾。

$$\hat{w} = \hat{B}s + \hat{\Psi}\hat{\Lambda}'(\hat{\Lambda}\hat{\Psi}\hat{\Lambda}' + \hat{\Theta})^{-1}(y - \hat{\Lambda}\hat{B}s) \quad (1)$$

モデルの適合度やパラメータの統計的有意性等による試行錯誤の結果、最終的に特定したMIMICモデルのパラメータを図-6に、式(1)により算出された席種選択意識因子とシェアとの関係を図-7に示す。ここで「席種選択意識因子の差異」とは、「着席の確実性」因子の期待値から「着席の自由度」因子の期待値を差し引いた差分である。すなわち、符号が正であれば「着席の確実性」が重要視されている状態、符号が負であれば「着席の自由度」が重要視されている状態と解釈することができるが、正に大きくなるほどに指定席のシェアが、逆の場合には自由席のシェアが増加している様子が示されている。抽出された意識因子は、指定席と自由席の選択行動に影響を与えており、意識因子により選択行動を表現可能であることを示唆する結果であるといえる。

MIMICモデルの構造方程式(左側部分)のパラメータからは、席種選択意識因子を高める、あるいは低下させる要因を読み取ることができる。例えば、乗車時間が長い程「着席の確実性」が相対的に高まるパラメータとなっている。また、乳児(0歳児)を同行している旅行者は「着席の確実性」が高まる一方で、幼児(1歳~6歳)を同行している場合は「着席の自由度」が高まる傾向にあることがわかる。

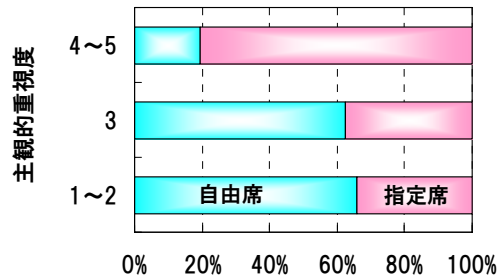


図-4 「着席の保障」とシェアの関係

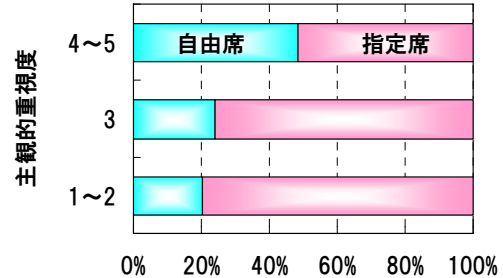


図-5 「着席位置の変更」とシェアの関係

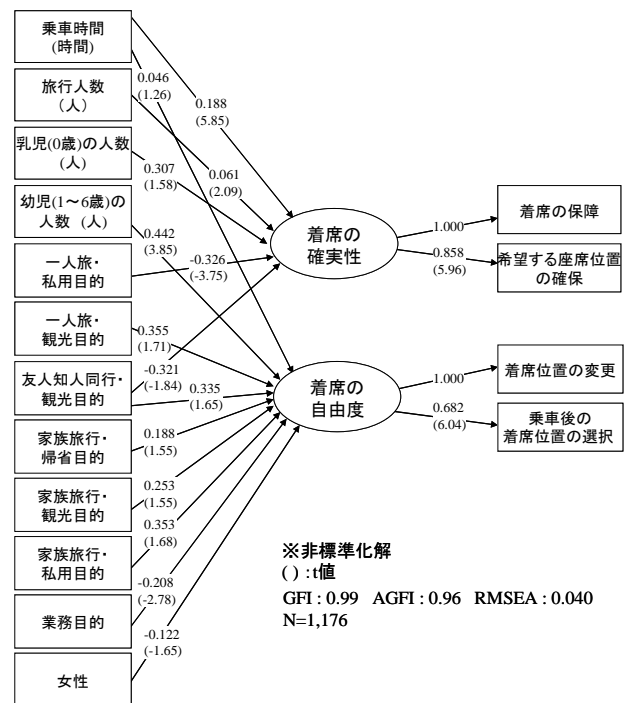


図-6 MIMICモデルのパラメータ推定結果

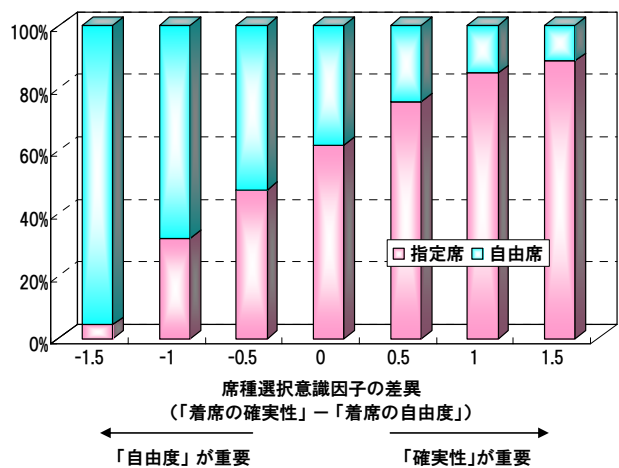


図-7 席種選択意識因子とシェアの関係

4. 席種選択行動モデルの構築

3. での分析により、席種選択意識因子が選択行動に影響を与えていることが判明した。そこで、MIMICモデルにより算定される意識因子を非集計ロジットモデルの効用関数に取り入れる³⁾ことにより、席種選択行動のモデル化を試みる。席種選択行動モデルのパラメータ推定結果を表-3に示す。モデル1の尤度比は一般的な基準である0.2を超えている。乗車時間は有意な正のパラメータであり、乗車時間が長い程、指定席の選択確率が高まるパラメータとなっている。しかしながら交通費用のパラメータは統計的に有意ではない結果となった。これは、指定席と自由席の料金差は基本的に500円程度に固定されており、交通費用データのばらつきが小さいためと考えられる。

一方、モデル2においては「着席の確実性」因子を指定席固有変数に、「着席の自由度」因子を自由席固有変数に取り入れている。両因子のパラメータともに統計的に有意性は高く、正のパラメータであることから、因子が大きければ、該当する選択肢(指定席、自由席)の選択確率が高まるパラメータとなっている。また、意識因子を取り入れることにより、尤度比がモデル1に比べて改善されており、更には、席種選択意識因子の導入により交通費用のパラメータも統計的に有意な変数として推定されている。このように、席種選択意識因子で表現される旅客の異質性を選択モデルに取り入れることにより、席種選択行動を精度よく再現できることが示されている。

ここで、推定されたモデル2により感度分析を行なっ

表-3 席種選択行動モデルのパラメータ推定結果

説明変数		モデル1	モデル2
選択肢共通変数	交通費用(万円)	-2.89 (-1.46)	-10.9 (-4.23)
選択肢固有変数	指定席 乗車時間(時間) 着席の確実性	0.727 (-7.98)	0.438 (4.22)
	自由席 着席の自由度	***	1.04 (11.9)
尤度比 (DF調整済)		0.220	0.342
的中率 (%)		75.1	79.1
サンプル数		1,176	1,176

() : t値

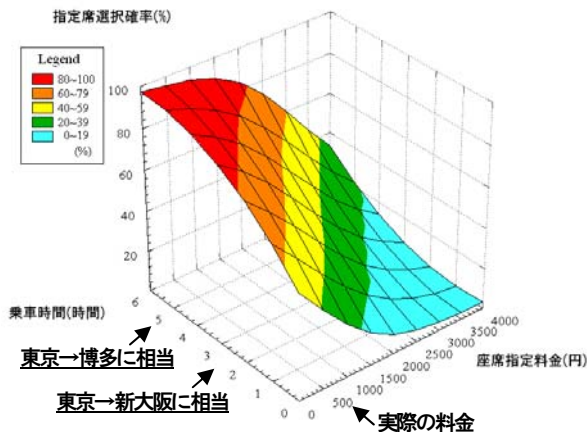


図-8 感度分析結果(モデル2)

た結果を図-8に示す。ここでは、乗車時間を0~6時間の間で、座席指定料金(指定席利用時と自由席利用時の交通費用の差)を0円~4000円の間で変動させる。また、これら2変数以外の変数については、モデル構築に適用した1,176サンプルの標本平均値を設定し、MIMICモデルの構造方程式のみを用いて意識因子の期待値を推定する³⁾。現在の座席指定料金相当である500円のケースでは、指定席選択確率は乗車時間2:30(東京→新大阪に相当)のケースで74%、乗車時間5:00(東京→博多に相当)のケースで93%と推定された。仮に座席指定料金を現在の4倍の2000円と設定すれば、乗車時間5:00では指定席選択確率は71%となり12%減に留まるが、2:30では指定席選択確率は36%と38%の減少となり、自由席を選択する旅客が過半を占めることとなる。このように、乗車時間の長短により料金設定が指定席選択確率に与える影響は異なり、乗車時間の長短が混在する需要に対応した列車・区間別の座席指定料金の設定により、指定席利用率をコントロールできる可能性がある。

5. おわりに

本研究は、より適切に需要に対応した席種設定による都市間幹線優等列車の乗車効率の向上を最終目標に、席種設定シミュレーションシステムに組み込む旅客行動モデルとして、席種選択行動モデルの構築を試みたものである。利用実態調査で得られた選択行動データの分析により、乗車時間に加えて「着席の保障」や「着席位置の変更」といった要因に対する主観的重視度が席種選択行動に影響を与えていることが判明した。この結果を踏まえ、席種選択行動の背後に潜む意識因子である「着席の確実性」「着席の自由度」の2因子をMIMICモデルで抽出し、非集計行動モデルの効用関数に意識因子の期待値を導入することにより、より高い精度で自由席・指定席の選択行動を表現する選択行動モデルが構築された。

今後は、本稿で構築した席種選択行動モデルにより推計される需要をベースとして、より適切な席種設定をシミュレートすることができるシステムの開発を進める。

参考文献

- 1) 寺部慎太郎：航空・鉄道業界における収益管理，運輸政策研究 Vol.4, No.4, pp.37-39, 2002
- 2) 例えば Ciancimino, A., Inzerillo, G., Lucidi, S. and Palagi, L., A mathematical programming approach for the solution of the railway yield management problem, Transportation Science, vol.33, No.2, pp.168-181, 1999
- 3) 森川高行, 佐々木邦明：主観的要因を考慮した非集計離散型選択モデル，土木学会論文集, No.470/IV-20, p p.115-124, 1993