

都市間優等列車におけるフレキシブルな座席種別設定の乗車効率向上効果*

An Effectiveness of Flexible Seat Class Assignment on Trunk Line Trains*

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重要となってきた。従って、需要予測技術や施策の効果計測に関しても、ソフト施策の検討に的確に対応できる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が、指定席や自由席などの座席種別(以下、席種と称す)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いる。鈴木ら¹⁾による JR 予讃線の特急列車におけるノリホ(乗車人員報告)データ分析によれば、指定席と自由席の乗車率に顕著な差異が認められる不均衡列車が数多く存在する。この事実は、固定的な席種設定により、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が阻害されている可能性を示唆していると考えられる。そこで本研究では、各列車における席種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。

本研究で提案する施策は、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²⁾。

*キーワード: 鉄道計画, 幹線鉄道, 座席種別設定, 収益管理

**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@rtri.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

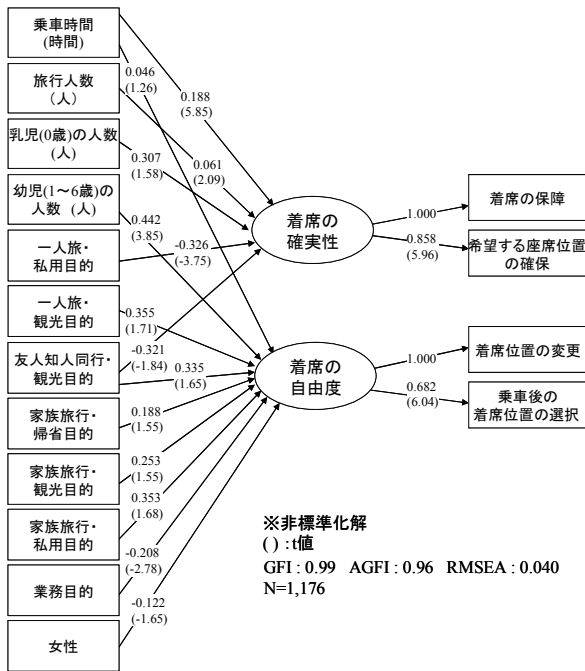
一方、鉄道は始発駅から終着駅までの間に駅に停車していくことから、基本的に1つのODを考えればよい航空機と異なり、複数のODにおける需要を考慮する必要がある。このようなsingle-line, multiple-stops system において、予約の割り当てを適切にコントロールするための数理計画的な手法の構築が、幹線旅客鉄道分野における収益管理研究の主な命題であった³⁾。これらの先行研究では、複数の運賃クラスを考慮した例はあるものの、席種は一種類であると仮定される場合が大半である。寺部ら⁴⁾は幹線鉄道の収益管理のために、複数の運賃クラスを選択肢とした航空機と幹線鉄道の交通機関選択モデルを構築している。このクラス選択肢に自由席を取り入れることで複数の席種を考慮しているが、席種配分は指定席需要を対象とした指定席の割り当てに留まっている。このように、複数の席種におけるフレキシブルな席種設定の施策効果を分析した研究例はない。

そこで本研究では、幹線鉄道旅客から収集したトリップデータにより構築した席種選択行動モデル⁵⁾を需要予測モデルとして適用した席種設定シミュレーションシステムを開発し、フレキシブルな席種設定の乗車効率向上等の効果を定量的に検証することを目的とする。

2. 席種設定シミュレーションシステムの開発

(1) フレキシブルな席種設定の考え方

筆者らは既に、新幹線旅客を対象としたトリップ調査を実施し、旅客の席種選択行動のモデル化を行なっている(図-1, 表-1)⁵⁾。その結果によると、旅客の席種選択行動には乗車時間の長短に加え、選択行動の背後に存在すると想定した意識因子である「着席の確実性」因子と「着席の自由度」因子が影響を与えていることが判明している。また、これらの意識因子を効用関数に取り入れた席種選択行動モデル(モデル2)の感度分析(図-2)を行なったところ、座席指定料金(指定席利用の場合と自由席利用の場合の交通費用差)の感度は、乗車時間に応じて変化することから、OD毎に座席指定料金を変動させることにより指定席選択確率をコントロールすることが可能であると考えられる。そこで、本研究で提案するフレキシブルな席種設定施策においては、席種毎

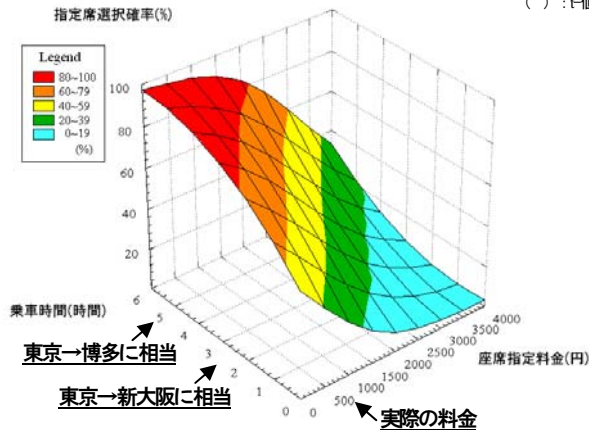


図一 席種選択意識因子モデル⁵⁾

表一 席種選択行動モデルのパラメータ推定結果⁵⁾

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)	α_1	-2.89 (-1.46)
選択肢固有変数	乗車時間(時間)	α_2	0.727 (-7.98)
	着席の確実性	α_3	***
	着席の自由度	α_4	***
尤度比(自由度調整済)的中率(%)		0.220	0.342
サンプル数		1,176	1,176

():t値



図二 感度分析結果(モデル2)⁵⁾

の供給量と座席指定料金を同時に変動させることにより、列車乗車効率の最大化を目指すこととする。

(2) 資源配分問題としての定式化

本施策は予め容量が決定されている座席の配分問題であり、有限の資源を適切に配分する資源配分問題と考えられるため、数理最適化問題として定式化する。

まず、表一に示した非集計ロジット型の席種選択モデルより、旅客があるOD*i*においてある席種*j*(1:指定席, 2:自由席)を選択する確率が推定される(式(1)~(3))。

ここで、ある列車におけるODの総需要量を OD_i とすると、式(4)により、あるODにおける席種別需要量 OD_{ij} が推計される。

$$P_{ij} = \frac{\exp(U_{ij})}{\exp(U_{i1}) + \exp(U_{i2})} \quad (1)$$

$$U_{i1} = \alpha_1 \times cost_{i1} + \alpha_2 \times time_i + \alpha_3 \times lat1_i \quad (2)$$

$$U_{i2} = \alpha_1 \times cost_{i2} + \alpha_4 \times lat2_i \quad (3)$$

$$OD_{ij} = P_{ij} \times OD_i \quad (4)$$

where

$cost_{ij}$: あるOD *i* における席種 *j* 利用時の交通費用

$time_i$: あるOD *i* における乗車時間

$lat1_i$: あるOD *i* における「着席の確実性」の推計値

$lat2_i$: あるOD *i* における「着席の自由度」の推計値

次に、乗車時間の長短が混在する指定席需要に対して適切に指定席を割り当てるため、文献(6)を参考にOD毎に指定席販売係数 β_i を設定し、指定席需要に乗じて、あるODに対する指定席販売量 SOD_i とする。また、式(6)により、 SOD_i を各停車駅間断面における指定席販売数 $SDSEC_k$ に変換する。

$$SOD_i = \beta_i \times OD_{i1} \quad (5)$$

$$SDSEC_k = \sum_i \delta_{ik} \times OD_{i1} \quad (6)$$

where

δ_{ik} : OD *i* の利用旅客が駅間断面 *k* を通過する場合=1, それ以外=0

ここで、座席供給量設定については、ある駅間断面における指定席座席供給量を SUP_k 、列車の全座席数(列車定員)を一定値の CAP として、一定の容量制約条件のもとで平均指定席ロードファクタを最大化させる最適化問題として定式化する。

$$\begin{aligned} \max \quad & mLF = \sum_k LF_k / k = \sum_k (SDSEC_k / SUP_k) / k \\ \text{s.t.} \quad & SUP_k \leq CAP \\ & SDSEC_k \leq SUP_k \end{aligned}$$

(3) GAによる席種設定シミュレーションシステム

上記(2)で定式化した数理最適化問題において制御する変数は、あるODにおける交通費用(座席指定料金)である $cost_{ij}$ 、指定席販売係数 β_i 、および指定席座席供給量 SUP_k である。特に座席指定料金の設定によって、席種別の需要量(席種別OD)が変動する複雑な最適化問題であるため、解析的に解くことは非常に困難であると考えられる。そこで、遺伝的アルゴリズム(GA)による席種設定シミュレーションシステムを開発し、実用解の探索を行なう。

席種設定シミュレーションシステムにおける処理フ

ローを図-3に示す。具体的には、上述の制御変数に関する染色体に対して遺伝的操作(2点交叉・反転突然変異)を行なって作成された染色体集団について、染色体毎に評価値 mLF を算出して、ルーレット選択によって、染色体の選択・淘汰を行なう。なお、探索能力の向上のためエリート保存戦略を採用するとともに、解の多様性を確保するために、各染色体の遺伝子は2進法によるバイナリコードによって表現している。

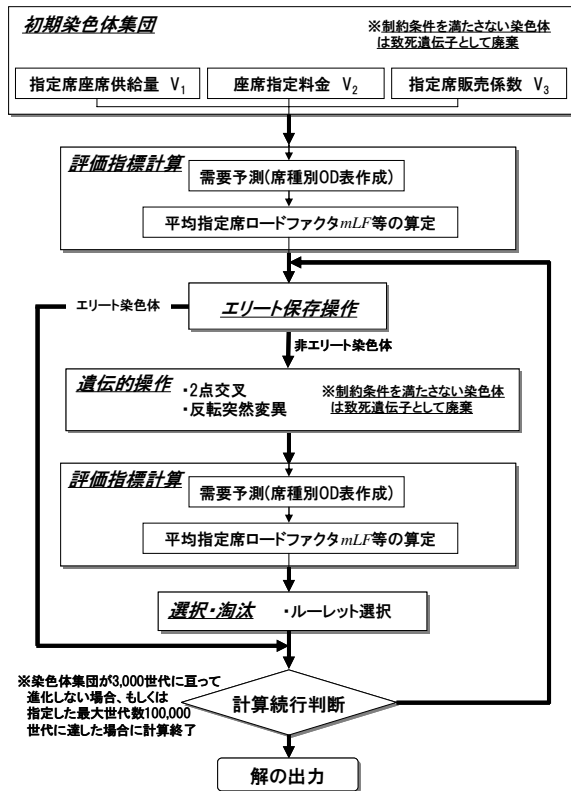


図-3 シミュレーションシステムの処理フロー

表-2 GAパラメータの設定状況

染色体集団サイズ	500	エリート保存数	上位第2位まで
交叉確率	0.5	最大世代数	100,000
突然変異確率	0.5	進化なし打ち切り条件	3,000

3. フレキシブルな席種設定の効果分析

(1) 分析対象

今後、開通が想定される整備新幹線区間では、東海道新幹線等の大動脈路線よりも輸送密度が比較的に小さいと想定されており、その需要量に見合うように2~4両編成といった短編成の新幹線が運行される可能性がある。また、地方都市間を結ぶ比較的に輸送密度が低い在来線の特急列車においては、編成自体が短いことから、既に車両1両の中に指定席と自由席とを混在させている事例が見られる。そこで本研究では、ある新幹線線区において仮想的にN700系4両編成相当(定員:300人)の短い編成の新幹線を運行した場合をシミュレートする。

シミュレーション分析に用いる需要データは、文献7)における4駅間(A駅→D駅)を結ぶ新幹線の14列車のOD

データである。ただし、当該データは指定席需要ODデータであり、自由席需要を含むデータではない。そのため、指定席需要ODを席種選択モデル(モデル2)によりOD毎に推定される指定席選択確率で除することにより、指定席と自由席を合わせた総需要量ODを逆推計し、これをシミュレーションの入力値とする。なお、文献7)において新幹線路線名、駅名等が明示されていないことから、おおよその駅間距離に概ね対応するように、所要時間、運賃・料金を設定する。また、席種選択モデル(モデル2)による選択確率の推定にあたっては、乗車時間と交通費用の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(左側部分)のみを用いて意識因子の期待値を推定している⁸⁾。

(2) 固定的席種設定ケース(Fix)

フレキシブルな席種設定の効果を検証するためには、N700系4両編成相当の短い編成の新幹線において、現行と同等の固定的な席種設定を行なった場合の評価指標を比較対象として算定する必要がある。そこで本研究では、固定的席種設定ケースとして指定席と自由席がともに2両ずつ(各定員:150人)であり、座席指定料金が現行の通常期の料金である¥510に固定された状況を想定する。

固定的ケースにおいては、各列車について指定席旅客をランダムに発生させ、乗車区間に応じて指定席を順次割り当てることで、現行の指定席販売システムとほぼ同等なFirst Come First Serve(FCFS)ルールによる座席販売状況をシミュレートする。指定席の販売が進捗するにつれ、乗車区間において指定席に空席がないため購入できないケースが発生するが、これを予約謝絶と見做し、同じ列車の自由席に乗車するものと仮定する。

(3) フレキシブルな席種設定ケース(Flexible)

座席指定料金については、現状の優等列車では¥310(閑散期)、¥510(通常期)、¥710(繁忙期)の3種が設定されていることから、鉄道旅客に許容される座席指定料金の上限が¥710であり、それ以上の額に設定すると、対抗交通機関への旅客流出などの可能性があることを考慮し、¥310~¥710の幅で変動させている。ただし、需要量が少なく固定的席種設定ケースにおいて予約謝絶数が0と算定された第11列車、第14列車においては、収益性確保の観点から¥510~¥710の幅で変動させている。

なお、特にお盆、年末年始等の超繁忙期においては、指定席が満席のために予約が謝絶されるケースが発生し、旅客は出発時刻や出発日を変更するといった出発時刻(列車)選択行動や出発日選択行動を引き起こすと考えられるが、本研究では、指定席を希望していて満席のため予約を謝絶された旅客は、同じ列車の自由席を利用する

表-3 フレキシブルな席種設定の効果

列車番号	需要量(人)	平均指定席ロードファクタ			予約謝絶数(人)			運輸収入(万円)			列車全体の平均ロードファクタ		
		Flexible①	Fix②	①-②	Flexible①	Fix②	①-②	Flexible①	Fix②	①-②	Flexible①	Fix②	①-②
1	503	99.7%	92.9%	6.9%	0	108	-108	520.75	519.80	0.94	131.20%	104.44%	26.8%
2	548	100.0%	85.6%	14.4%	0	105	-105	489.27	483.92	5.34	118.26%	102.11%	16.2%
3	431	100.0%	99.8%	0.2%	0	110	-110	511.32	508.06	3.25	133.72%	111.44%	22.3%
4	461	100.0%	95.6%	4.4%	0	101	-101	491.24	489.38	1.87	121.19%	106.00%	15.2%
5	450	100.0%	89.6%	10.4%	0	106	-106	469.60	468.02	1.58	137.35%	103.67%	33.7%
6	498	100.0%	92.4%	7.6%	0	135	-135	532.64	529.24	3.40	220.66%	116.78%	103.9%
7	427	100.0%	97.6%	2.4%	0	106	-106	490.85	490.08	0.77	133.99%	108.67%	25.3%
8	333	99.8%	94.9%	4.9%	0	36	-36	382.19	382.69	-0.51	77.44%	81.78%	-4.3%
9	283	100.0%	90.0%	10.0%	0	30	-30	345.35	344.69	0.66	72.83%	74.22%	-1.4%
10	306	99.7%	92.0%	7.7%	0	4	-4	328.87	328.83	0.04	70.23%	68.56%	1.7%
11	290	99.8%	83.8%	16.0%	0	0	0	297.71	296.69	1.01	67.60%	61.67%	5.9%
12	390	99.1%	92.2%	6.9%	0	44	-44	389.50	388.85	0.65	82.94%	83.00%	-0.1%
13	372	100.0%	74.9%	25.1%	0	53	-53	340.41	339.13	1.28	80.68%	73.22%	7.5%
14	258	100.0%	77.1%	22.9%	0	0	0	262.70	261.67	1.03	65.44%	56.22%	9.2%

注) Flexible:フレキシブルな席種設定ケース Fix:固定的席種設定ケース

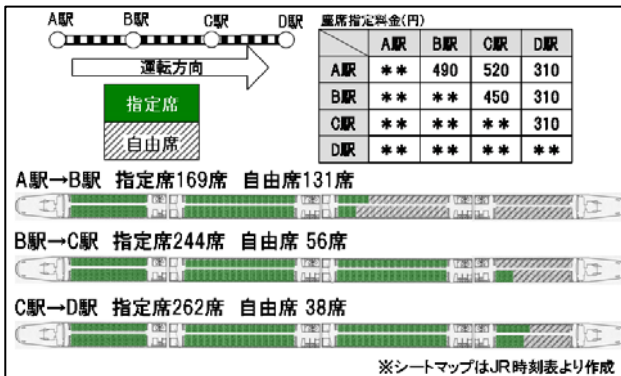


図-4 第1列車におけるフレキシブルな席種設定

ものと仮定する。

(4) シミュレーション分析結果

シミュレーション結果を表-3, 図-4に示す。分析対象の全14列車で平均指定席ロードファクタは固定的席種設定ケースに比べて向上しており, 高い乗車効率向上効果が確認できる。また, 旅客にとっての不効用が大きいとされる予約謝絶⁶⁾についても, 各列車で予約謝絶数が0となっており, 予約謝絶による旅客不効用の発生が回避される効果があることが見て取れる。さらには, 鉄道事業者にとって重要な指標である運輸収入(収益)も, 乗車効率の改善により14本中, 13本の列車で運輸収入が増加する結果となった。運輸収入増加額は分析対象の14列車のみで, 1日ベースで約21万円, 年間ベースでは約7,783万円となり, 無視し得ない増加額であると考えられる。このように, フレキシブルな席種設定は, ①既存インフラの高度・高効率利用, ②利用者の利便性の向上, ③鉄道事業者の収益性の確保, これらの3つの異なる観点の全てにおいて効果的な施策であると言える。

4. おわりに

本研究では, より適切に需要に対応できるフレキシブルな席種設定の施策効果を検証するために, GAによる席種設定シミュレーションシステムを開発し, 本施策による都市間幹線優等列車の乗車効率の向上効果の計測を試みた。その結果, 本施策は①既存インフラの高度・

高効率利用, ②利用者の利便性の向上, ③鉄道事業者の収益性の確保, これらの3つの観点全てにおいて効果的な施策であることが定量的に明らかとなった。

なお現状では, ①席種選択行動モデルの予測精度等の検証, ②予約謝絶時の旅客の出発日・列車選択行動のモデル化, ③実際に観測された需要データによる検証, 等の研究課題が残されている。例えば全国幹線旅客純流動調査の鉄道個票において利用席種や調査列車情報等が付加されれば, 全国を対象とした予測モデルの検証等が可能となると考えられる。また, 長年続けられてきた鉄道の予約方式の変更を伴うことから, 本施策の実現に向けては, 特定期間・特定線区における社会実験等による効果の検証や旅客への施策の周知を行なう必要がある。

参考文献

- 1) 鈴木浩明, 黒部久名: 旅客の特急列車における指定席・自由席選択行動の分析, 鉄道総研報告, Vol.7, No.1, pp.59-66, 1993
- 2) 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
- 3) 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
- 4) Shintaro TERABE, Saratchai Ongprasert: Effect of Discounted fare and Seat Allocation: Modeling Passenger Behavior on Inter-City Rail, Proceedings of the 11th World Conference on Transport Research, 2007
- 5) 柴田宗典, 寺部慎太郎, 内山久雄: 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, 土木計画学研究・講演集, Vol.39(CD-ROM), 2009
- 6) 南邦毅, 寺部慎太郎, 家田仁, 水口昌彦: 幹線鉄道における座席配分最適化の研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.27(CD-ROM), 2003
- 7) Saratchai Ongprasert: Passenger Behavior on Revenue Management Systems of Inter-city Transportation, PhD Dissertation, Kochi University of Technology, pp.47-51, 2006
- 8) 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, pp.115-124, 1993