

# デマンド推定に基づく柔軟な指定席・自由席設定手法

柴田 宗典\*

## Development of the Flexible Seat Class Assignment Method Based on Demand Estimation

Munenori SHIBATA

Most of intercity express trains in Japan provide different seat classes in their economy class cars: (1) Reserved seat, where to seat is fixed and passengers are completely guaranteed to have seating with an additional fare. (2) Non-reserved seat, where to seat is not fixed and passengers can sit anywhere as far as available. The assignment of these classes is usually predetermined. The study tries to develop a flexible seat class assignment method based on demand estimation, which has possibility of increasing the convenience of passengers by decreasing the number of rejection for reservation requests and also increasing revenue of railway companies.

キーワード：優等列車（新幹線・特急列車）、サービス供給計画、座席種別設定、収益管理

### 1. はじめに

我が国の幹線旅客鉄道で運行される優等列車（新幹線・特急列車）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。しかしながら現実のデマンド（需要）には、様々な発駅（Origin）－着駅（Destination）の組み合わせ（以下、ODと称す）が混在しているため、指定席への潜在的なデマンドに適切に座席を割り当てることができず、予約リクエストへの謝絶や、未利用座席が発生する場合があります。座席利用率（以下、ロードファクタと称す）が低下する<sup>1), 2)</sup>。鉄道事業者の視点からは、ロードファクタの低下は、本来得られるべき収入を損なうことによる収益力の低下に直結する問題である。

需給関係の観点からこの問題をみると、指定席・自由席という複数種類で、かつ、それぞれに様々なODが混在する多様なデマンドに対して、均一的なサービス供給（席種別供給量設定・料金設定）を実施しているため、列車によってはデマンドと供給の関係（需給関係）が乖離しているという問題に帰結する。そこで、特急料金を可変的に変化させてデマンドをコントロールするとともに、変化させた特急料金の下での席種別デマンドを推定し、推定デマンドのOD構造に対して指定席・自由席の設定数を柔軟に変化させて最適化を図ることにより、ロードファクタの向上を目指す。

本研究では、新しい優等列車の予約方式に関する既往

研究<sup>3)</sup>等をベースとして、列車毎のデマンド予測や特急料金や席種別座席設定数を列車毎に柔軟に変更することができる新しい座席設定・座席予約システムが将来的に実現することを前提とする。ここではその前段として、シミュレーションシステムによるケーススタディを通して、提案する柔軟な席種設定施策の効果を検証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

まず、優等列車における旅客の席種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、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、トリップのOD等の基本的な情報に加え、新幹線で利用した席種（普通車自由席・普通車指定席・グリーン席）や、席種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。以降では、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等の影響が大きく、席種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、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、提案する柔軟な席種設定は、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

\* 輸送情報技術研究部（交通計画）

特集：輸送情報技術

いて運用されることを想定している。そのため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データである 1,176 サンプル（指定席：878，自由席：298）を分析対象とする。

なお、新幹線や特急列車等の料金設定には幾つかのケースが存在するが、本研究では、指定席利用時の運賃・料金と自由席利用時の運賃・料金の差額を「座席指定料金」と定義する。

表 1 幹線旅客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"> <li>・旅行目的、OD、出発日、出発時刻、到着時刻</li> <li>・アクセス交通機関、イグレス交通機関</li> <li>・利用した新幹線の列車番号（例：のぞみ2号）</li> <li>・利用した席種（普通車自由席・普通車指定席・グリーン席）</li> <li>・着席した座席位置（窓側、通路側、3列シートの真ん中）</li> <li>・着席できた区間（普通車自由席利用者のみが対象）</li> <li>・同行者の種類と人数</li> <li>・席種の選択要因に対する主観的重視度（表2）</li> <li>・幹線交通機関の選択要因に対する主観的重視度（表2）</li> </ul>
有効回答数	3,039

表 2 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
選席種 要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・確実に座れること</li> <li>・希望の席(窓側・通路側)を確保できること</li> <li>・出発時刻が選べること</li> <li>・自由に席を移ることができること</li> <li>・乗車後に席の位置を選べること</li> <li>・荷物があること</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>着席の保障</li> <li>希望する座席位置の確保</li> <li>随時性</li> <li>着席位置の変更</li> <li>乗車後の着席位置の選択</li> <li>荷物の携行</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・目的地に早く到着できること</li> <li>・移動の楽しさ</li> <li>・出発地から目的地までの時間が正確であること</li> <li>・荷物を運ぶのが便利であること</li> <li>・交通事故にあり・巻き込まれること</li> <li>・盗難などの犯罪にあり</li> <li>・いろいろな場所を回れること</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>速達性</li> <li>移動の楽しさ</li> <li>定時性</li> <li>載荷性</li> <li>事故安全性</li> <li>犯罪安全性</li> <li>機動性</li> </ul>
幹線 選交 通要 因関 の		

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. 席種選択行動モデルの構築

旅客の席種選択行動に関する特性分析により、乗車時間や席種の選択要因に対する主観的重視度の大小が席種選択行動に影響を与えているという特性が判明している(4)、5)。そこで、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」因子の存在を仮定し、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：図1)により、乗車時間や同行者種別等の客観的に観測される旅客のトリップ属性や主観的重視度と両因子間の関係を同定する「席種選択意識因子モデル」を構築する。ここで席種選択意識因子モデルからは、式(1)に示す行列計算により席種選択意識因子の期待値行列  $\mathbf{lat}$  を推定することができる<sup>6)</sup>。

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

行列  $\mathbf{lat}$  の成分はサンプル毎の各意識因子の期待値であり、それらを非集計ロジットモデルの効用関数に取り入れる<sup>6)</sup> ことにより、席種選択行動のモデル化を試みる。

席種選択意識因子モデルのパラメータ推定結果を図2に、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。席種選択行動モデルのモデル1は「乗車時間」と「交通費用」のみを説明変数として推定した基本的なモデルであり、モデル全体の適合度を示す尤度比は一般的な基準である 0.2 を超えている。一方、パラメータの統計的有意性を示す指標は  $t$  値であり、通常は絶対値 1.96 以上が有意性の目安となる。乗車時間については、指定席の選択肢固有変数として統計的に有意な正のパラメータが推定されており、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、座席指定料金は基本的に 510 円に固定され

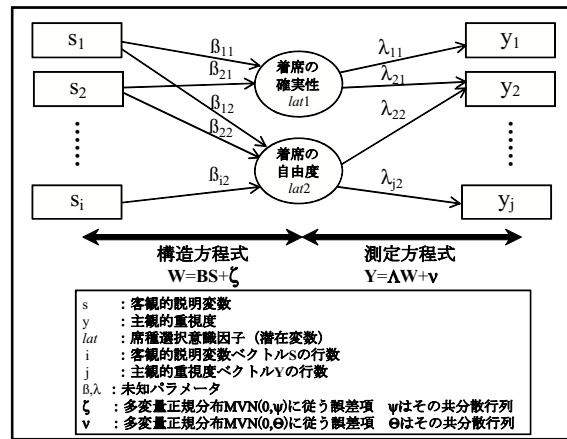


図 1 MIMIC モデルのパスダイヤグラム

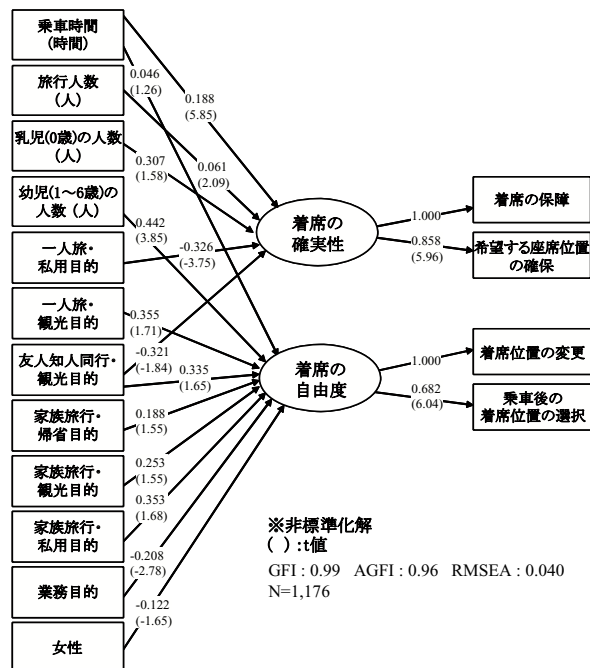


図 2 席種選択意識因子モデルのパラメータ推定結果

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)	$\alpha_1$	-2.89 (-1.46)
選択肢固有変数	指定席	乗車時間 (時間)	$\alpha_2$
	着席の確実性	$\alpha_3$	0.727 (7.98)
	自由席	着席の自由度	$\alpha_4$
	着席の自由度	$\alpha_4$	0.438 (4.22)
	着席の自由度	$\alpha_4$	1.04 (11.9)
	着席の自由度	$\alpha_4$	0.894 (10.3)
尤度比 (自由度調整済)		0.220	0.342
的中率 (%)		75.1	79.1
サンプル数		1,176	1,176

( ) : t値

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「乗車時間」と「交通費用」に加えて「着席の確実性」「着席の自由度」因子を選択肢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、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、尤度比も改善されていることが分かる。

#### 4. 席種設定シミュレーションシステムの開発

##### 4.1 定式化

対象の席種を指定席と自由席の2種類として、目的関数をロードファクタの最大化、制御変数を座席指定料金、席種別座席供給量、指定席販売戦略とする数理最適化問題を考える。まず、構築した非集計ロジット型の席種選択行動モデル(表3:モデル2)により、旅客があるODiにおいてある席種j(1:指定席, 2:自由席)を選択する確率 $P_{ij}$ を推定する(式(2)~(5))。次に、ある列車におけるODの総デマンド(指定席デマンドと自由席デマンドを合わせたデマンド)が観測あるいは推計されているとして、これを固定値の $OD_i$ とし、 $P_{ij}$ を乗じて、席種別の潜在デマンド $OD_{ij}$ を推計する(式(6))。

$$U_{i1} = \alpha_1 \times \text{cost}_{i1} + \alpha_2 \times \text{time}_i + \alpha_3 \times \text{lat1}_i \quad (2)$$

$$U_{i2} = \alpha_1 \times \text{cost}_{i2} + \alpha_4 \times \text{lat2}_i \quad (3)$$

$$P_{i1} = \frac{\exp(U_{i1})}{\exp(U_{i1}) + \exp(U_{i2})} = \frac{1}{1 + \exp(U_{i2} - U_{i1})} = 1 / (1 + \exp(-\alpha_1 \times \Delta \text{cost}_i + \text{etc}_i)) \quad (4)$$

$$P_{i2} = 1 - P_{i1} \quad (5)$$

$$OD_{ij} = P_{ij} \times OD_i \quad (6)$$

ここで

$\text{cost}_{ij}$ : あるODiにおける席種j利用時の交通費用

$\text{time}_i$ : あるODiにおける乗車時間

$\text{lat1}_i$ : あるODiにおける「着席の確実性」の推計値

$\text{lat2}_i$ : あるODiにおける「着席の自由度」の推計値

$\Delta \text{cost}_i = \text{cost}_{i1} - \text{cost}_{i2}$ : あるODiにおける座席指定料金

$\text{etc}_i = -\alpha_2 \times \text{time}_i - \alpha_3 \times \text{lat1}_i + \alpha_4 \times \text{lat2}_i$

ここで、あるODiに対する席種jの座席販売量を $SOD_{ij}$ とすると、指定席については指定席販売係数 $\beta_j$ を $OD_{i1}$ に乘じ、あるODiに対する指定席販売量 $SOD_{i1}$ とする(式(7))。この指定席販売係数 $\beta_j$ とは、指定席販売戦略に関する係数である<sup>1)</sup>。具体的には、あるODiの潜在デマンドに対する販売座席数の割合を表わす0~1の実数値であり、① $\beta_j = 1$ の場合は全ての予約リクエストに対して座席の販売を行なう現行の販売形態、② $\beta_j < 1$ の場合は予約リクエストのうち $(1 - \beta_j) \times 100$ (%)のリクエストを謝絶する戦略を採用する販売形態、ということの意味する。この②によって指定席の未利用座席を生じさせないように、様々なODが混在する潜在デマンドに対して指定席を販売できる可能性がある。自由席については、旅客が指定席への予約リクエストを謝絶された時には、自由席が満席の場合における立席利用を許容した上で同一列車の自由席を利用すると仮定し、自由席販売量 $SOD_{i2}$ を、当該ODの総デマンド量 $OD_i$ と $SOD_{i1}$ の差分とする(式(8))。また $SOD_{ij}$ を駅間断面kにおける席種jの販売量である $SDSEC_{kj}$ に変換する(式(9))。

$$SOD_{i1} = \beta_j \times OD_{i1} \quad (7)$$

$$SOD_{i2} = OD_i - SOD_{i1} \quad (8)$$

$$SDSEC_{kj} = \sum_i \delta_{ik} \times SOD_{ij} \quad (9)$$

ここで

$\delta_{ik}$ : ODiの利用旅客が駅間断面kを通過する場合=1, それ以外=0

座席供給量については、ある駅間断面k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 $CAP$ とする。ここで目的関数の設定については、指定席・自由席を合わせた着席旅客数を最大化する問題等も考えられるが、現状の座席指定制度においては、①指定席の潜在デマンドへの座席の割り付けが適切でない場合、未利用席が発生し指定席のロードファクタが低下している、②指定席に対する予約リクエストが謝絶されることにより旅客の不効用が発生している、③鉄道事業者の収益管理の観点からは、予約の謝絶により事業者が本来得られるべき収入を損なっている。以上のように指定席の設定だけに着目しても多くの問題があることから、ここではまず、指定席ロードファクタの最大化を目指す。ここで、自由席は少なくとも1席は供給すると想定し、容量制約条件 $SUP_k \leq CAP - 1$ のもとで平均指定席ロードファクタ $mrLF$ を最大化させる最適化問題を定式化する(式(10))。

$$\max_{\beta_j, \Delta \text{cost}_i, SUP_k} mrLF = \sum_k rLF_k / K = \sum_k (SDSEC_{k1} / SUP_k) / K = \frac{\sum_k \left( \sum_i \left( \frac{\delta_{ik} \times \beta_j \times OD_i}{1 + \exp(-\alpha_1 \times \Delta \text{cost}_i + \text{etc}_i)} \right) / SUP_k \right)}{K}$$

特集：輸送情報技術

$$s.t. \quad SUP_k \leq CAP - 1, \quad SDSEC_{k1} \leq SUP_k$$

$$0 \leq \beta_i \leq 1, \quad \Delta cost_i \geq 0 \quad (10)$$

ここで

$rLF_k$ ：駅間断面  $k$  における指定席の座席利用率（ロードファクタ）

$K$ ：分析対象列車における駅間断面の総数

### 4.2 GAによる席種設定シミュレーションシステム

4.1で定式化した問題は、座席指定料金の制御によって席種別の潜在デマンド  $OD_{ij}$  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。また、編成車両数を制御変数に加えた場合の最適化問題に拡張する等の今後のシステム改良を考慮し、最適化問題の解法として汎用性が高い遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm : 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。シミュレーションでは、まず、集団サイズ分の解候補を生成する。それぞれの解候補は上述の制御変数に関する独立した染色体を有する構造となっており、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する。

ここで制御変数  $\beta_i$  については、①予測された指定席の潜在デマンド量が指定席供給量  $SUP_k$  以下である場合には、 $\beta_i = 1$  として指定席の全潜在デマンド (全予約リクエスト) に対して座席を販売しても、 $SUP_k$  を制御することにより  $mrLF$  を最大化できる。②予測された指定席の潜在デマンド量が指定席供給量  $SUP_k$  より多い場合は、 $\beta_i < 1$  として指定席の未利用座席が生じないよう潜在デマンドに対する指定席販売量を制御することにより  $mrLF$  を最大化できる。これらの想定に基づき、①全ての指定席販売係数が  $\beta_i = 1.0$  と設定された解候補、②  $0.5 \leq \beta_i \leq 1.0$  でランダムに設定された解候補、以上の2種類の解候補を作成する。

次に、各解候補について、席種選択行動モデルにより席種別の潜在デマンド  $OD_{ij}$  を推計し、評価指標である平均指定席ロードファクタ  $mrLF$  を算定する。ここで、探索能力の向上のために評価指標が良好である解候補をエリート解候補として保存する一方、その他の非エリート解候補に対しては、各制御変数の染色体に対して個別に遺伝的操作 (乱数を用いた2点交叉・反転突然変異) を行ない、各制御変数を制約条件や制御範囲の設定を満たす範囲内でランダムに変化させる。これらの新たな解候補に対して  $mrLF$  を算定し、非エリート解候補と新たな解候補を対象として、評価指標  $mrLF$  による確率的選択 (ルーレット選択) を行なって、解候補を選択・淘汰する。ここで選択された解候補とエリート解候補を比較し、新たな最良解が生じた場合には最良解の更新を行なう。本システムでは、一定回数に亘って最良解が更新されない

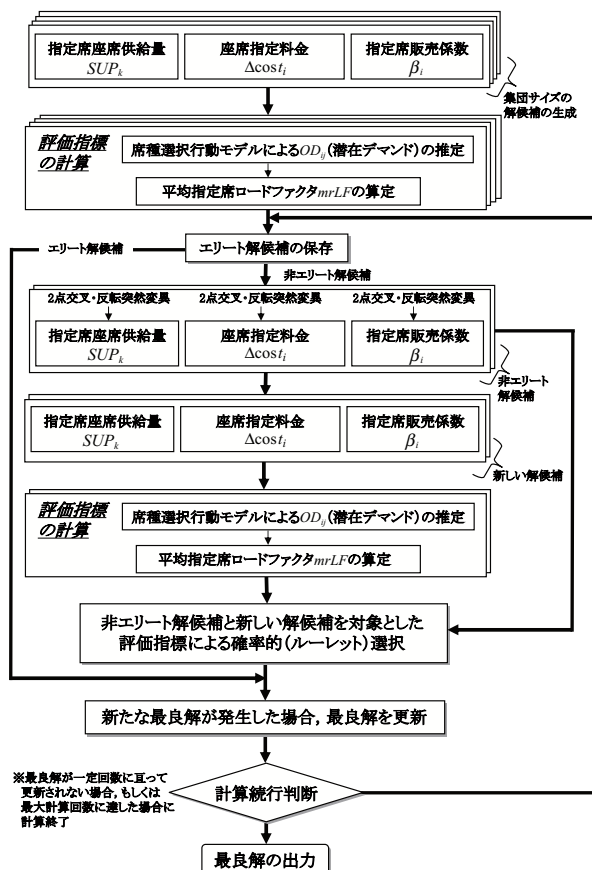


図3 シミュレーションシステムの処理フロー

場合、もしくは、指定した最大計算回数に達した場合に、繰り返し計算を終了し、その時点での最良解を実用解として出力する。

## 5. 柔軟な席種設定施策の効果

### 5.1 分析対象

本章では、ある新幹線線区において仮想的に4両編成 (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デマンドデータは、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デマンドODデータであり、自由席デマンドを含むデータではない。そのため、指定席デマンドODを席種選択行動モデルにより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デマンド量ODを逆推計し、これをシステムへの入力値とする。

### 5.2 ケース設定

「柔軟な席種設定ケース (Flexible)」においては、現状の優等列車では310円 (閑散期)、510円 (通常期)、710円 (繁忙期) の3種の座席指定料金が設定されていることから、座席指定料金は310円～710円の幅で、10円単

表4 柔軟な席種設定の効果

列車番号	デマンド量 (人)	平均指定席ロードファクタ $mrLF$			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 $mLF$		
		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	131.2%	104.4%	26.8%
2	548	100.0%	85.6%	14.4%	0	105	-105	489.27	483.92	5.34	118.3%	102.1%	16.2%
3	431	100.0%	99.8%	0.2%	0	110	-110	511.32	508.06	3.25	133.7%	111.4%	22.3%
4	461	100.0%	95.6%	4.4%	0	101	-101	491.24	489.38	1.87	121.2%	106.0%	15.2%
5	450	100.0%	89.6%	10.4%	0	106	-106	469.60	468.02	1.58	137.3%	103.7%	33.7%
6	498	100.0%	92.4%	7.6%	0	135	-135	532.64	529.24	3.40	220.7%	116.8%	103.9%
7	427	100.0%	97.6%	2.4%	0	106	-106	490.85	490.08	0.77	134.0%	108.7%	25.3%
8	333	99.8%	94.9%	4.9%	0	36	-36	382.19	382.69	-0.51	77.4%	81.8%	-4.3%
9	283	100.0%	90.0%	10.0%	0	30	-30	345.35	344.69	0.66	72.8%	74.2%	-1.4%
10	306	99.7%	92.0%	7.7%	0	4	-4	328.87	328.83	0.04	70.2%	68.6%	1.7%
11	290	99.8%	83.8%	16.0%	0	0	0	297.71	296.69	1.01	67.6%	61.7%	5.9%
12	390	99.1%	92.2%	6.9%	0	44	-44	389.50	388.85	0.65	82.9%	83.0%	-0.1%
13	372	100.0%	74.9%	25.1%	0	53	-53	340.41	339.13	1.28	80.7%	73.2%	7.5%
14	258	100.0%	77.1%	22.9%	0	0	0	262.70	261.67	1.03	65.4%	56.2%	9.2%

注) Flexible：柔軟な席種設定ケース Fix：固定的席種設定ケース デマンド量：指定席と自由席を合わせた総デマンド量

位で制御している。ただし、デマンド量が少ない第11列車、第14列車においては、収益性確保の観点から510円～710円の幅で制御している。また、柔軟な席種設定の効果を検証するためには、現在の固定的な席種設定下における座席販売状況と比較する必要がある。そこで、「固定的席種設定ケース (Fix)」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510円に固定された状況を仮定し、別途、座席販売状況のシミュレーションを行なう。

なお、いずれのケースにおいても、指定席を希望しているにも関わらず、満席のために予約リクエストを謝絶された旅客は、混雑による立席可能性を許容した上で、同一列車の自由席を利用すると仮定する。

### 5.3 シミュレーション分析結果

分析対象の14列車について、シミュレーションにより算出された柔軟な席種設定の効果の試算結果を表4に、席種設定結果の一覧を表5に示す。また、席種設定のイメージを図4に例示する。

ここで列車全体の平均ロードファクタ  $mLF$  とは、各駅間断面  $k$  で算定される自由席ロードファクタ  $nrLF_k$  と指定席ロードファクタ  $rLF_k$  との単純平均と定義した指標である (式(11)、式(12))。例えば、指定席のロードファクタが100%の場合、自由席の供給量が不足し混雑していれば  $mLF$  は100%を超える数値となるが、逆に自由席に適切な座席供給量が設定されていれば100%に近づく。最終的に指定席、自由席ともに販売数と座席供給量が一致してれば100%となり、列車全体の席種別のデマンドと座席供給量との需給バランスを示す指標であると解釈できる。

$$nrLF_k = \frac{SDSEC_{k2}}{(CAP - SUP_k)} \quad (11)$$

$$mLF = \left( \sum_k rLF_k + \sum_k nrLF_k \right) / (K \times 2) \quad (12)$$

平均指定席ロードファクタ  $mrLF$  については、分析対象の全14列車で固定的席種設定ケースに比べて向上しており、ほぼ100%となっている。ロードファクタが改善した結果、鉄道事業者にとって重要な指標である運輸収入は14本中、13本の列車で増加している。運輸収入

表5 柔軟な席種設定の算出結果

列車番号	指定席座席供給量 SUP (席)			座席指定料金 $\Delta cost_i$ (円)					
	A駅→B駅	B駅→C駅	C駅→D駅	A駅→B駅	A駅→C駅	A駅→D駅	B駅→C駅	B駅→D駅	C駅→D駅
1	169	244	262	490	520	310	450	310	310
2	223	227	133	470	630	500	620	410	340
3	244	253	249	310	570	380	510	610	310
4	244	245	199	410	410	380	650	310	310
5	263	245	164	360	340	360	600	360	310
6	276	275	206	450	550	310	700	310	310
7	262	253	225	320	320	310	430	460	310
8	170	188	181	390	510	340	380	510	310
9	132	181	174	530	430	530	620	310	310
10	130	156	139	610	440	560	470	410	430
11	114	139	116	650	540	620	510	510	610
12	197	189	136	490	360	410	460	510	310
13	208	137	105	480	400	420	590	320	410
14	132	113	94	630	640	580	550	510	660

※指定席販売係数  $\beta$  の算定結果は全列車・全ODペアで1

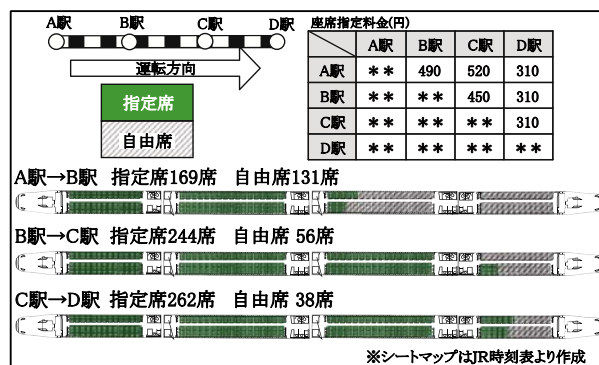


図4 第1列車における設定結果のシートマップ

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。これに加え、旅客にとっての不効用が大きいとされる予約謝絶<sup>1)</sup>についても、各列車で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、旅客利便性の向上効果があることが見て取れる。

一方、列車全体の平均ロードファクタ  $mLF$  については必ずしも100%に近づいてはいない結果となった。分析対象として想定した新幹線の編成車両数(4両/編成)が必ずしも総デマンド量に対して適切な車両数ではない可能性があり、編成車両数も制御変数に含めた最適化問題への拡張を検討する必要がある。

なお、分析対象の全14列車の  $\beta_i$  は全てのODペアで1と算定された。これは、分析対象列車において予測された指定席の潜在デマンド量が指定席供給量以下であったためであるが、指定席の潜在デマンド量が指定席供給量を上回ることが想定される場合のテストケースでは、

特集：輸送情報技術

指定席販売係数  $\beta_i$  が有効に機能していることを確認している<sup>5)</sup>。

6. まとめ

本研究では、将来的に列車毎のデマンド予測や席種設定が柔軟に変更可能な予約システムが実現することを前提として、推定された席種別デマンドの構造に応じて柔軟に席種設定を変化させる施策を提案し、席種設定シミュレーションシステムを開発した。シミュレーションの結果、提案した柔軟な席種設定施策は、①指定席ロードファクタの向上による鉄道事業者の収益性の向上、②予約謝絶の回避による旅客利便性の向上、これらの観点において効果的な施策である可能性があることが定量的に示された。

なお、提案した手法を実現するためには、主に以下に示す研究・開発課題が残されているが、現段階においても、ダイヤ改正前や指定席販売日前の席種設定計画の策定等へ本手法を援用することできると考えられる。

- ① 東海道・山陽新幹線の旅客より得られたトリップデータから構築した席種選択行動モデルが他線区の旅客へ適用可能か（地域移転性）に関する検証が必要である。例えば、鉄道事業者で捕捉している発券データと席種選択行動モデルの推定結果との対比等により検証可能であると考えられる。
  - ② 本シミュレーションは、列車毎の総デマンドが観測、もしくは推計されていることを前提としており、列車毎の総デマンドの予測手法の開発が重要な課題として残されている。本稿では、文献7) で公表されている指定席デマンドデータと席種選択確率の推定値より逆推計された総デマンドを暫定的なシミュレーションへの入力値としたが、新幹線等でも普及が進んでいる自動改札機で観測されるデータ等を活用して列車毎の総デマンドを予測する手法を開発し、これをシミュレーションの入力値とすれば、シミュレーションの精度向上等が期待できると考える。
  - ③ 本施策の実現に向けては、柔軟に変化する席種設定情報の提供方法（図5）の検討と開発とともに、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と考える。
- 以上のように研究・開発課題は残されているが、提案した席種設定手法は、鉄道事業における収益性の向上、旅客利便性の向上といった複数の目的を同時に達成でき

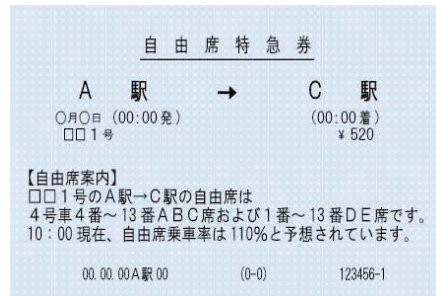


図5 自由席特急券による座席設定情報と予想混雑率情報の提供（イメージ）

る可能性は高い。今後は鉄道事業者の御協力をいただきながら実現に向けた調査・研究を推進して行きたい。

謝辞

本研究の遂行にあたり、東京理科大学工学部土木工学科の内山久雄教授、寺部慎太郎准教授に適切なアドバイスをいただいた。ここに記して感謝の意を表す。

文献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 田中幹夫, 脇田康幸, 藤井和彰, 後藤浩一: 新しい列車予約方式の研究, 鉄道総研報告, Vol.11, No.8, pp.37-42, 1997
- 4) Shibata M., Terabe S. and Uchiyama H., "A Seat Class Choice Model on Intercity Rapid Train Passengers for Flexible Seat Class Assignment", *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.8, 2010. (in press)
- 5) 柴田宗典, 寺部慎太郎, 内山久雄: 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効果に関する研究 — 幹線旅客鉄道インフラの更なる高効率利用を目指して —, 運輸政策研究, Vol.13, No.1, pp.2-13, 2010
- 6) 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
- 7) Ongprasert, S., "Passenger Behavior on Revenue Management Systems of Inter-city Transportation", *Ph.D. Dissertation of Kochi University of Technology*, pp.47-51, 2006.