

幹線鉄道における座席配分最適化の研究*

Optimization of Seat Allocation on Inter-city Transport*

南邦毅**・寺部慎太郎***・家田仁****・水口昌彦*****

By Kunitake MINAMI**・Shintaro TERABE***・Hitoshi IEDA****・Masahiko MIZUGUCHI*****

1. はじめに

戦後の高度経済成長期を経て、日本は様々な社会インフラの整備を行ってきた。しかし、いわゆる箱モノの整備を行ってきた 20 世紀の社会インフラ整備は、21 世紀を迎えて成熟段階に入ったといえる。このため、従来のような箱モノの整備に終始するのではなく、既存ストックを有効活用していくシステムを構築していく必要があると考えられる。

このような視点に立ったとき、都市間交通の一つである新幹線は、既存ストックを有効に活用できているとは言えない。これは、飛行機と比較して、列車速度のアップなどハード面の対策は進んでいるが、割引切符の導入や効率的な座席販売システムなどソフト面での対策が遅れていることから分かる¹⁾。このため、閑散期と繁忙期における空席率の差が大きくなってしまい、既存ストックの有効活用がされていない。

そこで本研究では、既存ストックの有効活用という観点から新幹線の座席配分システムの構築を行う²⁾。まず、どのような割引切符を導入すれば、どの程度の需要が見込めるか予測する。次に、座席配分システムの定式化を行う。最後に、これらの結果を用いて、実際に座席配分を最適化する。

*キーワード：リベニュー・マネジメント、公共交通

運用、交通マーケティング

**学生員，東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻

***正会員，博（工），高知工科大学社会システム工学科（782-8502土佐山田町 TEL:0887-57-2500 E-mail:terabe.shintaro@kochi-tech.ac.jp）

****正会員，工博，東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻

*****東日本旅客鉄道株式会社フロンティアサービス研究所

2. 座席配分最適化の意義

既存ストックを有効活用するために座席配分を行う動機は、旅客側と事業者側でやや異なる。

まず、旅客側の動機としては、短距離旅客ばかりが乗車することで、混んでいる区間と空いている区間が生じ、この結果、長距離旅客が乗車できなくなることへの改善が挙げられる。これに対し、事業者側は、どうせ空気を運ぶくらいなら、少しでも多くの旅客を運びたいという動機が挙げられる。従って、旅客の効用を増加させるためには謝絶数を減らし、事業者の効用を増加させるためには区間平均乗車率を上げる必要がある。

しかし、座席配分の最適化を行う際、収益が減少してしまうと事業者が最適化を行わない可能性が考えられる。このため、収益の観点からも座席配分を行うこととする。そして、収益が増加することで運賃の値下げなどにつながれば、結果として旅客の効用を増加させることとなる。

3. 座席配分最適化問題の定式化

(1) 変数の定義

本章で用いる変数は、下記のようなものである。

- 区間平均乗車率 \bar{L}
- 区間 l の乗車率 L_l
- 謝絶数 R
- 収益 B
- 乗車駅 i 降車駅 j ($1 \leq i < j \leq n$)
- 運営コスト OC
- 座席数 Z
- 切符種類 k ($k = 1, 2, \dots, K$)
- 切符価格 $P_{i,j,k}$
- 座席販売予定数 $S_{i,j,k}$
- 切符価格 $P_{i,j,k}$ の需要数 $D_{i,j,k}$

- $S_{i,j,k} = a_{i,j,k} D_{i,j,k}$ a : 座席販売係数
- 修正需要数 $D_{i,j,k}' = D_{i,j,k} + S_{i,j,k-1}$
- 座席ブロック数 $SB_{i,j,k}$

ここで、修正需要数とは購入期限の早い切符を買えなかった人が、購入期限の遅い切符へ移ることを考慮した需要数のことである。また、座席ブロック数とは、ある購入期限の割引切符を販売する際に、予め確保しておく座席数 (=より購入期限の遅い切符に対する需要数) のことである。

(2) 謝絶数からみた最適化問題

謝絶数とは、ある切符 k を購入しようとしたが、売切れていて購入できなかった人数と定義する。これを最小化するのが本最適化問題の目標である。定式化の結果は以下の通りである。なお、この場合変数は座席販売係数 $a_{i,j,k}$ である。

$$\left. \begin{aligned} \min_{a_{i,j,k}} R &= \min_{a_{i,j,k}} R(n, K, a_{i,j,k}) \\ R &= \sum_{l=1}^{n-1} \left(\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^l \sum_{j=l+1}^n (D_{i,j,k}' - a_{i,j,k} D_{i,j,k}') \right) \\ \text{s.t.} \\ 0 &\leq \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^l \sum_{j=l+1}^n a_{i,j,k} D_{i,j,k}' \leq Z - SB_{i,j,k} \\ 0 &\leq a_{i,j,k} \leq 1 \end{aligned} \right\} (1)$$

(3) 区間平均乗車率からみた最適化問題

区間平均乗車率とは、各区間における乗車率を求め、その平均を計算した値である。本最適化問題では、乗車率を出来るだけ高くするのが目標である。

手順は以下の通りである。まず step 1 として、全体を n 個の駅群に分ける。次に step 2 として、各区間における乗車率を計算する。区間 $l, l+1$ における乗車率は、区間 $l, l+1$ での乗車数を全座席数 Z で割ったものである。最後に step 3 として、各区間の乗車率の平均値が最大となるように、座席販売予定数 $S_{i,j,k}$ を決定する。定式化の結果は以下の通りである。なお、この場合においても変数は座席販売係数 $a_{i,j,k}$ である。

$$\left. \begin{aligned} \max_{a_{i,j,k}} \bar{L} &= \max_{a_{i,j,k}} \bar{L}(n, K, a_{i,j,k}) \\ \bar{L} &= \frac{1}{n-1} \left(\sum_{l=1}^{n-1} L_l \right) \\ L_l &= \frac{1}{Z} \left(\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^l \sum_{j=l+1}^n a_{i,j,k} D_{i,j,k}' \right) \\ \text{s.t.} \\ 0 &\leq \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^l \sum_{j=l+1}^n a_{i,j,k} D_{i,j,k}' \leq Z - SB_{i,j,k} \\ 0 &\leq a_{i,j,k} \leq 1 \end{aligned} \right\} (2)$$

(4) 収益からみた最適化問題

本研究では、収益 = 切符売上げの総和 - 運営コストと定義する。収益を最大化するのが本最適化問題の目標である。なお、変数は座席販売係数 $a_{i,j,k}$ である。

$$\left. \begin{aligned} \max_{a_{i,j,k}} B &= \max_{a_{i,j,k}} B(n, K, P_{i,j,k}, a_{i,j,k}) \\ B &= \sum_{l=1}^{n-1} \left(\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^l \sum_{j=l+1}^n P_{i,j,k} \times a_{i,j,k} D_{i,j,k}' \right) - OC \\ \text{s.t.} \\ 0 &\leq \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^l \sum_{j=l+1}^n a_{i,j,k} D_{i,j,k}' \leq Z - SB_{i,j,k} \\ 0 &\leq a_{i,j,k} \leq 1 \end{aligned} \right\} (3)$$

4. 実績データを用いたケース・スタディ

ここでは、定式化の結果を用いて、実績データによる座席配分の最適化を実行する。

(1) 対象路線の説明

本研究では、駅群1から駅群4まで全部で4つの駅群を持つ新幹線を対象に、座席配分の最適化を実行する。また、駅群間の距離に応じて以下のように距離体系を設定する。

- 駅群1 - 2, 2 - 3, 3 - 4間 短距離区間
- 駅群1 - 3, 2 - 4間 中距離区間
- 駅群1 - 4間 長距離区間

さらに、本ケース・スタディでは、単一の切符価格のみと仮定するので座席ブロック数は無いものとする。

(2) 最適化の結果(2001年8月1日新幹線1号)

表 - 1 2001年8月1日新幹線1号の最適化結果

指標	最適化しない場合	最適化した場合		
		区間平均乗車率最大化	謝絶数最小化	収益最大化
区間平均乗車率	74.4%	83.8% (+9.4)	83.1% (+8.7)	83.8% (+9.4)
謝絶数	65	39 (-26)	36 (-29)	39 (-26)
収益	264万円	293万円 (+29万円)	272万円 (+8万円)	293万円 (+29万円)

表 - 1は2001年8月1日新幹線1号の実績データを用いて、実際に座席配分の最適化を行った結果である。この結果によると、区間平均乗車率・謝絶数・収益の3つの指標を用いて最適化を行った結果、全ての指標が改善していることが分かった。また、謝絶数を最小化することで、収益が8万円増加するように、ある指標を最適化することで、他の指標も向上していることが分かった。

しかし、この結果は旅客の運賃選択行動を考慮

表 - 2 長距離区間における提示した選択肢とアンケートの結果 (移動目的別選択シェア)

選択肢	移動手段	運賃 (割引率)	キャンセル料	購入期限	選択シェア	
					出張目的	観光目的
	新幹線	16,810円 (正規料金)	0円	当日まで	24.43%	1.15%
	新幹線	12,400円 (26% 割引)	6,220円	7日前まで	32.18%	12.07%
	新幹線	9,580円 (43% 割引)	7,190円	20日前まで	4.60%	42.82%
	飛行機	21,000円 (正規料金)	0円	当日まで	23.28%	2.01%
	飛行機	12,500円 (40% 割引)	12,500円	前日まで	10.34%	8.33%
	飛行機	10,000円 (52% 割引)	5,000円	2ヶ月前まで	5.17%	33.62%

選択肢の構成は、新幹線・飛行機別に正規運賃切符・通常割引運賃切符・大幅割引運賃切符の各3種類、計6種類とする。ただし、中距離区間及び短距離区間に関しては、飛行機の代わりに高速バスとした。アンケート結果によれば、出張目的ではキャンセル

していないため、割引運賃導入を前提とした需要数の推定ができない。そこで、wwwを用いたアンケート調査から旅客の運賃選択行動を分析し、その結果から、複数運賃の下での需要数の推定を行うこととする。

5. アンケート調査による旅客の運賃選択行動の把握

(1) アンケート調査の概要

調査対象は、1都3県(東京都・神奈川県・千葉県・埼玉県)在住者で、25歳から59歳のビジネスパーソンとする。これは、出張を含めた都市間交通機関を比較的多く利用すると考えられるからである。

調査は以下の表 - 2に示すような仮想的な選択肢の中から、出張目的・旅行目的別に1つずつ選んでもらうこととした。なお、有効サンプル数は短距離区間356、中距離区間369、長距離区間349であった。

(2) アンケート結果

例として、長距離区間に関するアンケート結果を、以下の表 - 2に示す。

ル料・購入期限を、観光目的では運賃を重視していることが分かった。これは、出張目的では、スケジュールの変更可能性が大きいため、購入期限が出発日に近い切符を選択するのに対し、観光目的では、スケジュール変更の可能性が小さく自分で運賃を支

払うため、切符価格を重視しているからだと考えられる。

6. 複数運賃下での座席配分最適化問題の実行

(1) 最適化問題実行の手順

まず、最適化問題を実行する上での仮定を述べる。第一に、運営コストは一定とする。本研究では簡単のため、0円とする。第二に、切符種類は大幅割引運賃 P_1 (キャンセル料高、購入期限早い)、通常割引切符 P_2 (キャンセル料中、購入期限普通)、正規運賃切符 P_3 (キャンセル料低、購入期限遅い)の3レベルとする。第三に、旅客は切符購入時において謝絶された場合、次のレベルの切符を買うものとする。第四に、需要数は、総流動量から作成した府県間交通量を、アンケート調査の結果に基づき、シェア配分することで確定的に算出するものとする。

続いて実行手順を述べる。まず、大幅割引切符の推定需要数を基に1回目の最適化を行う。ここでの謝絶数と、通常割引切符の推定需要数を合わせることで、通常割引切符の修正需要数が求まる。この修正需要数を基に2回目の最適化を行う。同様にして、正規運賃の修正需要数を基に3回目の最適化を行う。ここで注意すべきことは、3回目の最適化における謝絶数が、最終的に実際に乗車できなかった人数ということである。

このようにして、全種類の切符を考慮した最適化な座席販売予定数の決定を行うことができる。

(2) 最適化の結果

表 - 3 推定需要数を用いた最適化の結果

指標	最適化しない場合	最適化した場合		
		区間平均乗車率最大化	謝絶数最小化	収益最大化
区間平均乗車率	81.5%	87.5% (+6.0)	81.8% (+0.3)	81.8% (+0.3)
謝絶数	290	619 (+329)	475 (+185)	475 (+185)
収益	236万円	317万円 (+81万円)	345万円 (+109万円)	345万円 (+109万円)

最適化を行った結果、区間平均乗車率は6.0ポイント、収益は109万円増加した。また、謝絶数は185増加している。しかし、この謝絶数には1回目から3回目までの謝絶数の合計であり、割引切符は購入できなかったが、正規運賃切符は購入でき、実際には乗車できたケースが多く含まれている。これに対し、最適化を行わない場合は、先着順に切符を販売しているため、謝絶数と実際に乗車できなかった人数にそれほど差がないと考えられる。そこで、最適化した場合は、謝絶数の代わりに、3回目の最適化における謝絶数、即ち実際に乗車できなかった人数を用いて比較してみる。謝絶数を最小化した場合、3回目の最適化における謝絶数は106である。従って、最適化を行わない場合と比較して、 $290 - 106 = 184$ 減少していることが分かる。このことから、謝絶数に関して改善されているといえる。

また、区間平均乗車率を最大化することで、収益が80万円増加していることから、ある指標を最適化することで、他の指標も向上したといえる。

7. おわりに

以上の分析結果から、次の3つの成果を挙げることができた。第一に、座席配分の意義を考察することで、区間平均乗車率・謝絶数・収益の3つの指標を目的関数とした最適化問題を定式化した。第二に、移動目的別の旅客の運賃選択行動の分析を行った。第三に、ある料金クラスの切符を購入できなかった旅客が、他の料金クラスの切符へ移ること(buy-up)を確定的に考慮した、複数運賃下での座席配分最適化モデルの構築を行った。今後の課題として、需要数の確率的な算出を行うことが挙げられる。

参考文献

- 1) 武藤雅威, 山内久雄: 新幹線と航空の競合時代を反映した国内旅客幹線交通の現状と展望, 運輸政策研究, 2-7, 2001.
- 2) ロバート・G・クロス: RM 収益管理のすべて, 日本実業出版, 1998.