

優等列車の席種設定最適化に向けた需要特性分析

中川 伸吾* 柴田 宗典* 渡邊 拓也*
深澤 紀子* 鈴木 崇正* 尾崎 尚也*

Analysis of the Demand Patterns of Limited Express Trains
Aiming at Optimizing Allocation of Reserved/Non-Reserved Seats

Shingo NAKAGAWA Munenori SHIBATA Takuya WATANABE
Noriko FUKASAWA Takamasa SUZUKI Naoya OZAKI

Allocation of reserved/non-reserved seats of limited express trains does not always correspond with customers' demand which may vary depending on many elements such as days and operating sections. This mismatch may spoil customers' convenience due to the congestion and railway operators may lose profits. Developing a demand estimation model and optimizing seat allocation, as a sort of revenue management, will be a solution of this problem. As a step to construct the model, we conducted a demand analysis for selected limited express trains which are often crowded. We also worked out a stated preference survey to observe how people choose their seat classes of a train. This paper describes some valuable findings from their results, such as the difference between the trend in demand of two seat classes and the willingness to pay for the seat reservation.

キーワード：優等列車，需要分析，指定席・自由席選択行動，仮想選択調査，収益管理

1. はじめに

我が国の旅客鉄道で運行される優等列車（新幹線・特急列車など）の座席には、多くの場合、指定席と自由席が存在する。これらの座席種別（以下、席種と称す）ごとの座席数は、多くの場合系統ごとに数パターン設定され、あらかじめ固定的に決められている。しかし、現実の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）があり、同じ系統の列車でも季節、曜日、時間帯、区間等により旅客の利用状況は様々である。このため、指定席需要に対して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し、座席利用率の低下を招く場合がある^{1) 2)}。同様に、自由席需要に対して十分な座席数を供給できず、混雑による鉄道利用の回避が発生する場合もある。鉄道事業者の視点では、これらの事象は、本来得られるべき収入を逸失するものであり、収益力の低下に直結する重要な問題である。

この問題に対しては、増便や車両の増結による輸送力の向上、需要に応じた柔軟な料金設定による需要ピーク分散といった解決策が考えられる。しかし、前者はダイヤや車両運用が逼迫している場合など、現実的に実現不可能である場合がある。後者についても、システムの都合や、わかりにくさにつながるなどから、鉄道での

* 信号・情報技術研究部 交通計画研究室

導入は限定的なものにとどまっている。

本研究では、この問題に対して、柴田らの研究³⁾にあるような、座席配分の最適化による解決を目指す。具体的には、近い将来の需要を推定するモデルの構築と、これに基づいて各日各列車の最適な席種設定を提案する計画システムの開発とを目標とする。これは、座席の有効利用、すなわち座席利用率の向上につながるものであり、仮に輸送力の向上施策等が実施できる場合でも、その効果を高める施策として有効である。目標とする計画システムによる最適な席種設定の出力イメージを図1に示す。

旅客利便性の観点のみで考えれば、最も良い席種設定とは、混雑による利用断念等が起こる前の本来の需要、すなわち潜在需要を完全にみたますものであるといえる。

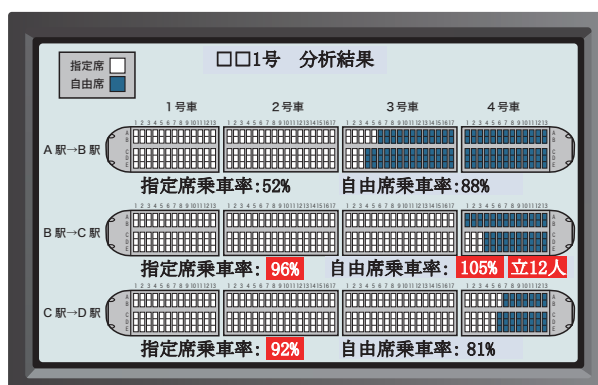


図1 最適な席種設定の出力イメージ

そこで需要推定モデルの構築にあたっては、前述の先行研究³⁾から踏み込み、過去の実績データ（顕在需要）だけでなく、潜在需要を考慮する必要がある。

そこで本研究では、慢性的に混雑が起こっている優等列車をターゲットとした顕在需要分析と、席種による価格差や混雑情報が席種選択に与える影響などの把握のための仮想選択調査を実施した。本論文では、これらから得られた知見について述べる。

2. 顕在需要分析

2.1 分析対象データ

本章では、慢性的に混雑が起こっている優等列車を対象とした需要分析について述べる。この分析は、ある優等列車（以下、特急 X と称す）に関するケーススタディであり、1章で述べたように、近い将来の需要の推定に向けて着目すべき要素を得るためのものである。ここで得られる要素は、特急 X 以外にあてはまるとは限らず、したがって他線区への適用を図る場合には特急 X 固有の事情を考慮すべきであることに留意する必要がある。

特急 X は、図 2 に示すように、大都市の A 駅と地方都市の C 駅との間を高頻度で、概ね 2 時間台前半で運行している。特に休日夕方に A 駅から C 駅へ向かう便（以下、この方向を下り、逆を上りと称す）で、指定席・自由席とも利用が多く、十分な座席供給ができていないことが定性的に知られている。理由としては、①沿線から A 駅近辺の大都市へ遊びに行った帰りの需要が多いこと、②途中の B 駅が新幹線停車駅であり、ここで新幹線から乗り継ぐ需要が多いこと、が考えられる。

本研究では、特急 X の運行事業者より、2012 年度全日の特急 X 定期便全便に関する以下の 3 種類の顕在需要データを提供いただいて分析した。ただし、特急 X に大規模な遅延・運休が発生した日や、お盆・年末年始などの超繁忙期は、需要構造が大きく変わると考えられるため、分析対象から除外した。このため分析対象日は 289 日（ダイヤ上の平日 200 日、休日 89 日）である。

(1) 乗車人員報告

乗務員が車内を巡回し、席種ごとの乗車人数を目視で数えて記録するものである。特急 X では、図 2 に示す箇所にある α 、 β 、 γ の 3 区間が調査対象であり、各区間内での最大乗車人数を記録することになっている。

特急 X の全日全便全席種についてデータが揃ってお

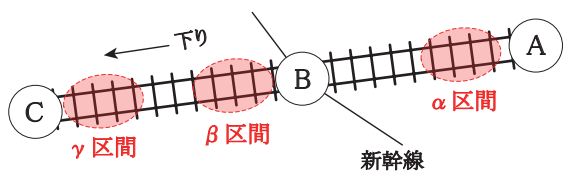


図 2 特急 X の運行区間図

り、季節・曜日等による波動変化を把握しやすいことが乗車人員報告の特長である。一方、目視でおおまかに数える調査であるため他のデータに比べて精度が低いこと、把握できるのは調査区間の断面交通量であって OD ではないことが短所として挙げられる。

(2) OD 調査

特急 X 全便については、各便各 OD の乗車数を把握する OD 調査が行われている。この調査は、駅で降車客の特急券を回収するなどして、毎年 1 回行われており、連続する平日数日間の平均を結果として記録している。

乗車人員報告では把握できない各 OD の乗車数を、比較的高い精度で把握できることが OD 調査の特長である。一方、定期券利用者などの数え漏れがありうること、調査は毎年 1 回しか行われられないため季節・曜日等による波動変化の把握には活用できないことが短所である。

(3) 指定席販売実績

特急 X の指定席は全て、座席予約システムを通して販売されているため、このシステムから全日全便の各 OD の指定席販売実績を得られる。販売実績をほぼ正確に把握できることや、予約謝絶の発生数も記録されていることがこのデータの特長である。一方、販売されたとされており利用されたとは限らないこと、出札の際の誤操作なども記録されていることなどが短所として挙げられる。なお、厳密には車内で空席がある際に車掌が販売することがありうるが、これは極めて稀であるので無視する。

2.2 乗車人員報告と指定席販売実績の差

2.1 で述べたように乗車人員報告は精度が比較的低いと考えられる。しかし乗車人員報告は、指定席のみならず自由席のデータが同じ条件で同時に取得されており、全日全便のデータが容易に得られるため、ある程度の精度を持つことが確認できれば、有益な分析対象となる。そこで、高い精度があると考えられる指定席販売実績と、指定席の乗車人員報告との相関を調べ、乗車人員報告が分析対象として十分な精度を持つかを確認した。

指定席販売実績を各停車駅間の乗車数（断面交通量）に変換し、ここから α 区間、 β 区間、 γ 区間それぞれの最大乗車人数を計算して乗車人員報告と比較した。休日夕方の下り便での混雑が定性的に知られていることをふまえて、下り便についての、全データの相関係数と休日データのみ相関係数を表 1 に示す。このうち、相関係数が最小である α 区間全日の比較結果を図 3 に示す。散見される外れ値については、精査の結果、目視による誤差、車両の席種の勘違いや転記間違いなどによる乗車人員報告の記録ミス、また指定席販売実績と利用実態とが一致していないことなどが理由として示唆された。ただしこれらを含めても相関係数は 0.7624 となっており、相関があるといえる。そこで、乗車人員報告には先述のよう

表1 乗車人員報告と指定席販売実績の相関係数

	α 区間	β 区間	γ 区間
全日	0.7624	0.8836	0.8523
休日	0.7840	0.8890	0.8386

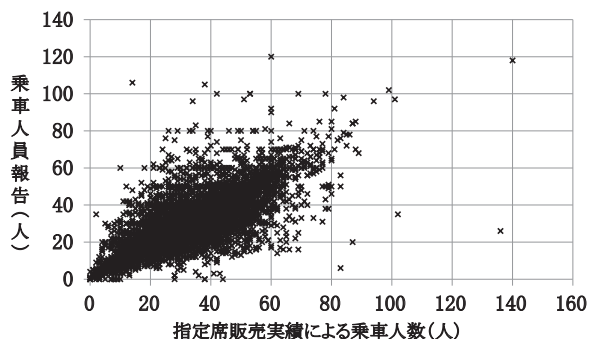


図3 乗車人員報告と指定席販売実績の相関 (α区間全日)

な分析上重要な特長があることをふまえ、以降の分析ではこれを分析対象として採用する。ただし、乗車人員報告からは需要の全体傾向を把握できるものの、需要推定モデル構築の際には、上記のような誤差がパラメータに与える影響に留意しなければならない。

2.3 乗車率

休日夕方の下り便での混雑が定性的に知られていることをふまえ、分析の端緒として、乗車人員報告データから席種別の乗車率（乗車人数/座席数）を計算した。結果の一部を図4、図5に示す。β区間の指定席において、休日の夕方に約90%、平日の夕方でも約80%の高い乗

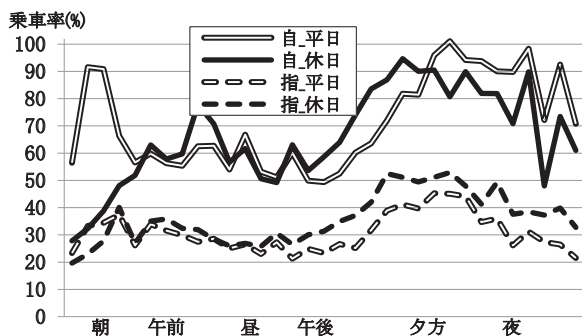


図4 下り便平均乗車率の時間帯推移 (α区間)

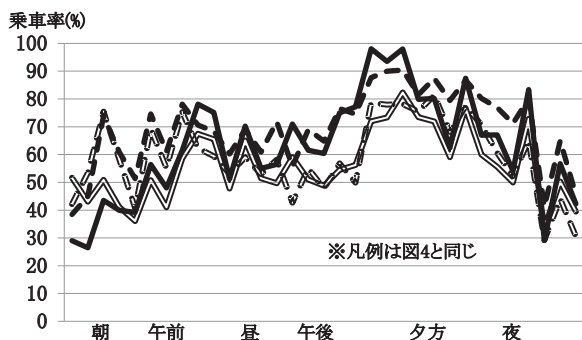


図5 下り便平均乗車率の時間帯推移 (β区間)

車率となっており、指定席の混雑が確認された。また、自由席についても、α区間の平日休日、β区間の休日、それぞれ夕方に100%に近い値となっている。特に夕方に、α区間では自由席が混雑しながら指定席に余裕があり、一方β区間では指定席が混雑しながら自由席に若干の余裕があるケースが散見される。

ここから、特急Xでは、区間によって指定席と自由席の需要の傾向が大きく異なるため、途中駅で席種を変更する運用が効果的であることがいえる。ただし、自由席から指定席への変更は、乗客に席の移動を強いることになるため、運用面でのポリシーを整理する必要がある。

また、特にβ区間での休日夕方の指定席混雑について精査した結果、指定席の乗車人数は他の時間帯よりむしろ少なく、日中時間帯と比べて指定席への配分座席数が少ないために乗車人数が頭打ちになっていることが確認された。ここから、夕方の自由席利用旅客の中には、指定席が確保できずやむなく自由席に転移した旅客がある程度いることが考えられる。先述のように、この時間帯は自由席の乗車率も高くなっており、指定席を増やすことは難しいように思われるが、一方で指定席を増やすことで自由席から指定席への転移、すなわち指定席の潜在需要の掘り起こしができる可能性もあるといえる。

2.4 休日における需要傾向

休日を、その翌日も休日である日（土曜日など。以下、休前休日と称す）とそれ以外（以下、普通休日と称す）の2種類に分類して、それぞれの平均乗車率を計算した結果を図6、図7に示す。総じて3つの傾向が認められた。以下に、理由の考察とともにそれらを記す。

- (1) 午前中は休前休日の需要が普通休日の需要を上回っている。この需要は主にA駅近辺や新幹線からC駅方面への行楽利用であると考えられ、宿泊旅行のみならず、日帰りであっても休前休日の方が行楽に出かけやすいために、この傾向が現れていると考えられる。
- (2) 昼過ぎを境に普通休日の需要が上回るようになる。これは、(1)が減り、C駅方面へ帰宅する行楽帰りの需要が増えるためと考えられる。宿泊をとまらぬ場合は普通休日の方が帰宅利用が多いため、この差が現れる。α区間では両者の差が小さいが、これは新幹線からC駅方面への需要がα区間に影響しないためと考えられる。
- (3) 深夜には再び休前休日の需要が上回る。深夜の需要のほとんどが帰宅需要と考えられること、深夜まで外出している人は休前休日の方が普通休日より多いであろうこと、の2点が理由として考えられる。

これらの考察の妥当性を確認するため、上り便についても同様の計算を行った結果、需要に(1)(2)と同様の傾向があること、需要のピークが午前中であることが確認された。これは上記の下り便に関する考察と矛盾しない。

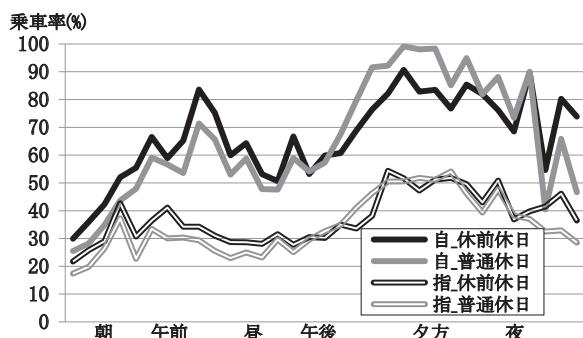


図6 休日下り便平均乗車率の時間帯推移（α区間）

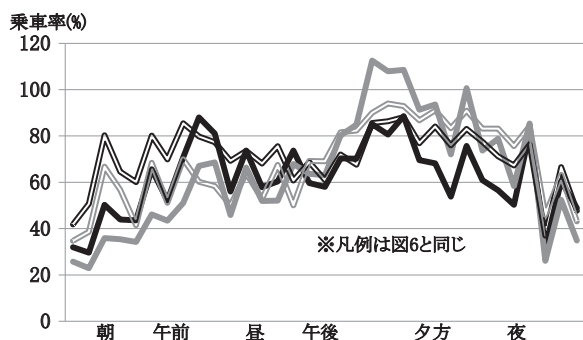


図7 休日下り便平均乗車率の時間帯推移（β区間）

表2 web アンケート調査実施概要

調査対象者	①高校生以上、69歳以下 ②沖縄県を除く46都道府県の在住者 ③最近1年間に1回でもJR特急列車（新幹線を除く）の利用経験がある
実施期間	2014年1月30日～2月13日
主な設問 (本章で分析するものを除く)	・JR特急列車の利用頻度 ・直近のJR特急列車利用時の目的、区間 ・仮想選択調査で、乗車駅が始発駅であると仮定した場合の席種選択

表3 web アンケート調査有効回答数（性・年代別）

	10代	20代	30代	40代	50代	60代	合計
男性	124	575	684	719	642	650	3394
女性	152	441	451	462	485	651	2642
合計	276	1016	1135	1181	1127	1301	6036

表4 web アンケート調査有効回答数（居住地域別）

北海道	382	北陸・甲信越	628	中国	309
東北	315	東海	573	四国	222
北関東	332	近畿	949	九州	794
南関東	1532			合計	6036

3. 席種選択の要因分析

本研究では、席種選択の実態や要因、特に席種による価格差や混雑情報が席種選択に与える影響などを把握し、潜在需要推定手法の確立につなげる目的で、webアンケートによる調査を実施した。この調査では、直近の特急列車利用における席種選択の実態調査のみならず、さまざまな状況での特急列車利用を仮想した上での席種選択調査（仮想選択調査）も実施した。本章ではこの調査および得られた知見について述べる。

3.1 実施概要

本調査の実施概要を表2に示す。本調査では、web調査会社の登録モニタの中から、調査対象者の条件①～③を全てみたすモニタ8130人を抽出して調査を依頼し、6036人から有効回答を得た（有効回答率74.2%）。性・年代・居住地域別の人数を表3、表4に示す。

また、仮想選択調査において、想定してもらった旅行の状況は以下のとおりである。

- ・旅行目的は、時間制約が強いもの（仕事での会議など）と弱いもの（買い物）の2通りのいずれか。
- ・業務目的の場合は、勤務先が自由席の費用を負担する。差額を私費負担すれば指定席に乗れる。
- ・最適な時刻に目的地に到着する特急列車のほか、その30分前、30分後、1時間後に特急列車が走っている。
- ・目的地までの乗車時間は、30分から3時間までの6通り（30分刻み）のいずれか。

- ・指定席と自由席の価格差は500円。
 - ・乗車駅は、特急列車の始発駅ではない。
 - ・一緒に旅行する人数は1人（単独）、2人、4人の3通りのいずれか。
 - ・想定される混雑度は、「とても混雑している」から「とても空いている」までの5段階に「想定できない」を加えた6通りのいずれか。
- なお、この仮想選択調査では各回答者に、これらの状況の組み合わせを3種類提示し、それぞれの状況について選択を実施してもらった。したがって、3.3以降で述べる選択調査の回答数は、6036×3=18108である。

3.2 実際の利用時の席種選択理由

直近の特急列車利用における席種選択理由を複数選択で質問した結果を図8に示す。指定席利用者では「座る場所が確実に確保できるから」、自由席利用者では「自由席でも十分座れると考えたから」が、それぞれ群を抜いて最大となり、着席に対する大きなニーズの存在が明らかになった。なお、結果の解釈にあたっては、利用時の混雑状況がこの結果に影響を与えている可能性に留意する必要がある。また、自由席利用者では「安いから」という回答が2番目に多くあった一方、指定席利用者で「席の種類による差額が気にならないから」という回答は少なく、利用席種を問わず安さ・価格差についても重視されていることが確認された。

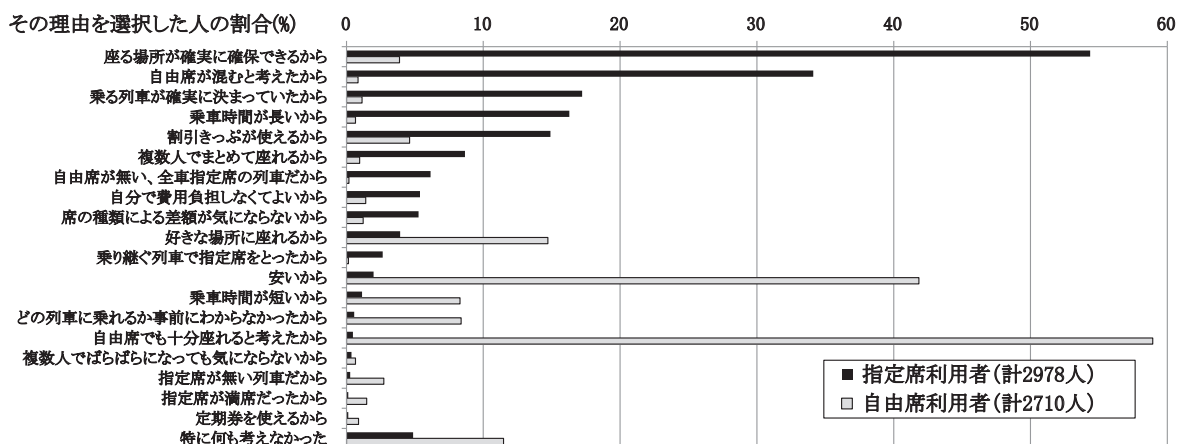


図8 実際の特急列車利用時の席種選択要因 ※複数回答可として質問

3.3 価格差による席種選択の変化

仮想選択調査において、価格差、すなわち指定席価格 - 自由席価格がいくらまでなら指定席を利用するかについて質問した。回答を、想定してもらった乗車時間ごとに分類した結果を図9に示す。乗車時間2時間以下の4本のグラフには差があり、この範囲内では、乗車時間が長くなるほど指定席選択率が高くなる傾向が認められるといえる。また、乗車時間によらず、価格差が+600円の場合 +500円の場合とで指定席選択率に大きな差があり、現行のJR特急列車における価格差に近い+500円が概ね妥当と考えられている傾向が認められる。ただし、その解釈にあたっては、回答者が現実の利用において現行の価格差に慣れていることや、当初提示した仮想状況で価格差を+500円と設定したことが、結果に影響を与えている可能性に留意しなければならない。

これと同様の分析を、その他の要素で分類して行った結果、若年層より高年代層、女性より男性、単独旅行より複数人旅行の方が、指定席選択率が高いことが確認された。2008年の新幹線旅客を対象としたwebアンケート調査³⁾と同様に、男女の席種選択行動の差とその要因を考慮する必要性が示唆される結果となった。

また、価格差がマイナス、つまり指定席の方が安い場合でも指定席より自由席を好む、自由席固定層が少なからず存在することが明らかになった。指定席・自由席が同額なら自由席を選択するとした回答（以下、このような回答を自由席嗜好回答と称す）の割合は、全体平均で19.8%にのぼった。3回の仮想選択調査のうち、3回とも自由席嗜好回答をした回答者は11.7%、1回でも自由席嗜好回答をした回答者は29.9%であった。現在、通常料金で指定席が自由席より安い事例は日本の鉄道には存在しないが、このような自由席嗜好の存在は、これからの席種設定にあたって示唆に富む知見であると考えられる。

自由席嗜好回答の内訳を調べた結果、本節で述べたとおり、若年層、女性、単独旅行、短時間旅行の場合に自

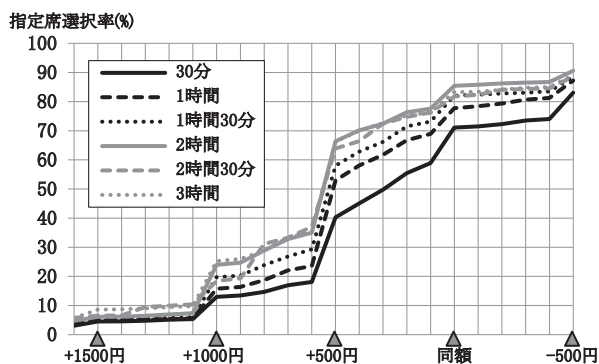


図9 価格差による指定席選択率変化（乗車時間別）

由席嗜好回答の発生率が高くなっていた。ただし、女性の単独旅行について精査した結果、30代以上では乗車時間が長くなるにしたがって自由席嗜好回答の発生率が下がるものの、20代では横ばい、10代では逆に乗車時間が長くなるほど上昇する傾向が明らかになった。若年層の女性は、周囲の環境を気にして、座席を固定されることにリスクを感じるケースが多いものと考えられる。

3.4 座席指定に対する支払意志額

座席指定に対する支払意志額、すなわち、座席指定というサービスがどれだけの金銭と等価であると考えられているかを、仮想的市場評価法⁴⁾を適用して計算した。

席種選択を交通行動分析の観点で捉えると、座席指定の有無と価格のみが異なる2つの輸送サービスがあるときにどちらを利用するか、という問題に置き換えられる。そこで、肥田野らの研究⁵⁾にあるように、座席指定有無と価格を説明変数とした2肢選択ロジットモデルを用いた定式化を行った。このモデルにしたがうと、自由席と指定席の効用関数の値がそれぞれ V_0 、 V_1 であるとき、旅客が指定席を選択する確率は以下のように表される。

$$P(c=1) = \frac{\exp(V_1)}{\exp(V_0) + \exp(V_1)} \quad (1)$$

ここで、効用関数 V_0 、 V_1 は一般的に用いられる式(2)

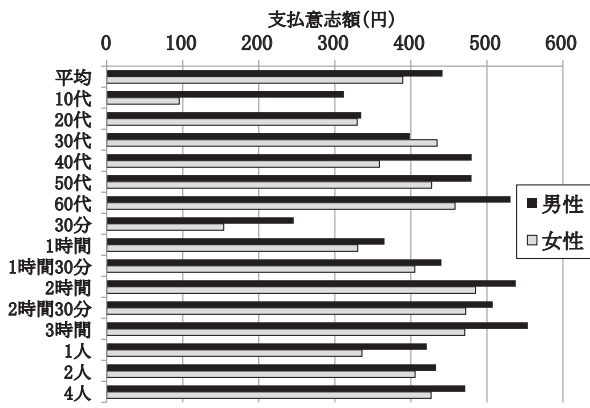


図 10 座席指定に対する支払意志額

のような線形式とした。

$$V_c = \beta_0 c + \beta_1 x_c \quad (2)$$

なお、 c ：席種（指定席=1，自由席=0）， x_c ：自由席価格を0とした価格差， β_0, β_1 ：パラメータである。これを用いると、 $V_0 = 0$ であるため、式(1)は以下のように変形できる。

$$P(c=1) = \frac{\exp(V_1)}{\exp(V_0) + \exp(V_1)} = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 x_1)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1)} \quad (3)$$

本調査では、3.3で述べたように、価格差 x_1 に対する P を調べているため、これを用いてパラメータの最尤推定を行った。その結果、 $\beta_0 = 1.1247, \beta_1 = -0.0026872$ が得られ、支払意志額 $-\beta_0 / \beta_1$ は 418.54 円となった。尤度比は 0.319 であり、モデルは妥当であるといえる。ここから、3.3と同様に、座席指定料金として現行程度の額が概ね妥当と考えられていることが明らかになった。

ただし、これは全ての回答結果を平均した額である。3.3で述べたように、回答者属性や状況によって、支払意志額も変化すると考えられる。そこで、全回答を性・年代・乗車時間・同行人数ごとに分類して、それぞれにおける支払意志額を同様のモデルで推定した。その結果を図10に示す。10代においては男性で311.89円(尤度比0.273)、女性で95.35円(尤度比0.291)と顕著な男女差が現れた。いずれも全体平均を大きく下回っており、若年層にとっては現在の座席指定料金は割高であると認識されていることが明らかになった。また、30分の短時間乗車の場合では、男性で246.02円(尤度比0.294)、女性で153.91円(尤度比0.294)となり、指定席の価値が小さいと受け止められていることがあらためて確認された。

4. まとめ

本論文では、席種別需要推定モデルの構築に向けて実施した顕在需要分析と席種選択要因分析の結果について

述べた。顕在需要分析では、時間帯ごとの需要傾向、休前休日と普通休日の需要差が明らかになり、また、自由席が混雑している状況でもあえて指定席を増やすことで指定席への需要転移を生む可能性が示唆された。席種選択要因分析では、webアンケートにより、席種選択の際に着席可否や価格が重視されていることや、座席指定に対する支払意志額が概ね現行程度であること、自由席に価値を見出す旅客が一定数いることなどが明らかになった。

本研究では今後、①潜在需要まで含めた需要推定モデルの構築、②これを組み込んだ席種設定計画システムの開発、の2点を目指す。①については、本論文で述べた項目以外にもモデルの説明変数となる要素があると考えられるため、その抽出を引き続き進める。並行して、席種選択要因の分析、混雑による需要流出の調査を行い、顕在需要と潜在需要の関係性を明らかにしていく。②については、最適化アルゴリズムの設計を進めるとともに、目的関数（たとえば指定席予約謝絶の減少、自由席立席乗車の減少など）や制約条件が鉄道事業者の見解によって様々に考えられることから、これらに対応したインタフェースも整備する。

席種設定最適化は、旅客の利便性向上と鉄道事業者の収支バランス向上を同時に可能にするものであり、今後も本研究ではこの実現に向けた取り組みを進めていく。

謝辞

本研究のために貴重な需要データをご提供いただいた運行事業者の関係者各位に感謝申し上げます。

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, No.45, 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) 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
- 4) 国土交通省: 仮想的市場評価法 (CVM) 適用の指針, 2009年7月13日発表
- 5) 肥田野登, 篠原穰: 鉄道サービスの質的評価に基づいた都市通勤輸送におけるハイグレードカーの導入可能性に関する研究, 土木学会論文集, No.413/IV-12, pp.57-66, 1990