

割引商品の発売上限数に着目したイールドマネジメント手法

中川 伸吾* 鈴木 崇正* 松本 涼佑*
深澤 紀子* 尾崎 尚也*

Yield Management Method Focused on Discount Ticket Sales Quota

Shingo NAKAGAWA Takamasa SUZUKI Ryosuke MATSUMOTO
Noriko FUKASAWA Naoya OZAKI

One approach for increasing the revenue of railway undertakings has been to adopt yield management techniques, by setting a quota for discount ticket sales of reserved seats on express trains. We developed a method to calculate the optimum sales quota, incorporating estimations for the demand of various discount tickets and for the behavior of passengers purchasing the next-best-option when they are not able to buy their first-choice ticket. We conducted a pilot test by applying the calculated sales quota into the actual seat reservation system and confirm that the method may increase the revenue and facilitate decision-making for setting the sales quota.

キーワード：イールドマネジメント、割引商品、収入、発売上限数、販売戦略、指定席

1. はじめに

鉄道事業者にとって、収入の確保・増加は、事業の維持・発展を図る上での重要な課題の1つである。我が国では人口減少が今後ますます進展すると想定され、それともない鉄道利用者も減少すると考えられることから、収入の確保・増加につながる施策の必要性は今後さらに大きくなると考えられる。

このための施策の1つとして、イールドマネジメント（Yield Management = 収益管理、以下YMと略記する）の導入が挙げられる。YMとは、期待される収入の最大化を目的として、商品やサービスの販売量や価格を制御する手法¹⁾であり、宿泊業界や航空業界²⁾などで先進的に導入されている。これらの業界での導入例では、同じサービスでも提供時期（宿泊日や運航日）、時間帯、予約・購入タイミングによって価格を変えるなどして、収入の増加を図っている。

YMは、対象の商品やサービスが、供給量が決まっている、かつある決められた時点を過ぎれば無価値となる場合に適用できる販売手法である。したがってYMは、我が国の鉄道における指定席や着席定員制の輸送にも適用可能である。その方法の1つとして、座席数限定の割引商品（本稿では、特別企画乗車券などの割引きっぷをさす）を設定し、その発売上限数を制御する方法が考えられる。そこで、期待される収入を最大化するような、割引商品の発売上限数を算出する手法を開発し、これを

実装したシステムを実際の指定席販売に試験適用して、その効果について考察した。

2. 航空でのイールドマネジメントと鉄道への適用の課題

YMは航空業界において発達した概念である³⁾。欧米の航空事業者では、1970年代初頭より、早期購入割引運賃、すなわち早めに購入する旅客のみを対象とする割引運賃の導入が始まった¹⁾。我が国の国内航空路線においても、1990年代後半の規制緩和によって様々な運賃が設定されるようになり⁴⁾、これ以降YMの浸透が進んでいる。現在では情報技術の進歩により、販売数の実績や予測に応じて価格が変動する商品が主流となっている。これは、各商品の中で価格に段階を設け、各価格での発売上限数、つまり「何円で何席売るか」を定めておく方法をとる商品である。販売数が発売上限数に達した時点で、1段階上の価格での発売が始まり、旅客にとっては値上げとなる。さらに航空事業者は、発売開始後もこの発売上限数を販売数の実績や予測に応じて調整することや、設定した価格自体を改定することで、値上げや値下げをしており、収入の最大化を図っている。

このように、航空では高度なYMが行われているものの、このやり方をそのまま我が国の鉄道に適用するには、表1に示すように様々な課題がある。以下、それぞれの項目について概説する。

①鉄道では途中停車駅での乗降があり、1席を複数の旅客で使い回せるため、客単価が高い長距離旅客と、賃

* 信号・情報技術研究部 交通計画研究室

特集：輸送・交通計画技術

表1 航空でのYMを鉄道に適用する際の課題

鉄道の特徴によるもの	①様々な乗車区間の旅客が混在する ②自由席が存在する
予約制度によるもの	③オーバーブッキングができない
運賃制度によるもの	④運賃料金の上限変更には認可が必要 ⑤収入の算定が複雑
システムによるもの	⑥発売開始後の価格や発売上限数の設定変更が難しい

表2 鉄道でのYMで制御できる要素の例

輸送力	<ul style="list-style-type: none"> ● ダイヤ、臨時列車の運行計画 ● 各列車の編成、定員 ● 指定席と自由席の配分
商品の価格	<ul style="list-style-type: none"> ● 運行日や便による価格差 ● 販売動向に応じた価格操作（ダイナミックプライシング）
商品の利用条件	<ul style="list-style-type: none"> ● 予約や購入・決済の期限 ● 変更やキャンセルの可否、手数料 ● 利用可能な日や便 ● 支払方法の制限（クレジット決済限定など）
商品の販売条件	<ul style="list-style-type: none"> ● 発売上限数（何席限定で販売するか） ● 販売期間（いつからいつまで販売するか） ● 販売動向に応じた販売条件操作

※輸送力の欄で挙げた内容は、サービスの供給量を変えらるものであるため、YMの範疇を越える場合もある

率が高い短距離旅客のバランスを考慮する必要がある。

②自由席は便を指定せず販売するため、自由席が存在する場合、便ごとの需要を正確に把握・制御できない。ただし、全車指定の列車ではこの点は問題にならない。

③適切なオーバーブッキングは収入増に寄与するものの、鉄道の指定席は一部の例外を除き、座席を具体的に指定して販売をするためオーバーブッキングができない。なお、例外としては座席未指定券や立席特急券があるが、前者は便を指定しないため②と同様の課題があり、後者は全車指定の列車のみを対象とするため効果は限定的である。

④我が国では、鉄道の運賃や新幹線の料金は、鉄道事業法第16条により、国土交通大臣の認可を受けた上限の範囲内で定められねばならず、かつその上限は「能率的な経営の下における適正な原価に適正な利潤を加えたもの」を超えてはならないとされている。このため、需要が旺盛な状況でも価格を一時的に高くするなどの変更

がしにくい。なお航空では、航空法第105条により、国内線運賃は国土交通大臣への届出のみで設定できる。

⑤現行の運賃制度上、同一事業者内であれば複数の列車を乗り継いでも運賃は通算されることが基本であり、また乗り継ぎのパターンが膨大であるため、便ごとの収入の算定が極めて煩雑になる。ただし近年では、新幹線を中心に、運賃と特急料金を一体化して有効区間を限定した割引商品の導入が進んでおり、このような商品に関してはこの問題はあてはまらない。

⑥座席予約システムの仕様にもよるが、航空事業者のような発売開始後のきめ細かい設定変更は、概して煩雑であり現実的でない。

また、YMは、対抗交通機関との競争などの営業戦略の根幹であるため、具体的な取り組みやその根拠となる考え方は明らかにされていない部分も多い。それゆえ、航空事業者をはじめ他事業者のノウハウを参考にすることは難しく、この点も鉄道への適用に向けた課題である。

3. 本研究で目指すイールドマネジメント

2章で挙げた課題の④により、鉄道では価格を引き上げることによるYMは困難であり、それゆえ鉄道におけるYMは割引商品の販売戦略によることになる。これによる収入最大化を目指すにあたり、制御できる要素は、表2に示すとおり多数ある。このうち、輸送力については、車両や乗務員の運用を考慮する必要があること、旅客に事前に明示する必要があることから、制御には多大な時間と労力を要する。商品の利用制約条件や販売期間に関しても、同様に旅客に明示する必要があるが、また多数の商品を用意することは煩雑さにつながるため、制御の機会は多くはない。現実の運用に即して最も制御しやすいのは、商品の発売上限数である。本研究ではこれをふまえて、現在の我が国の鉄道でとりうる現実的な方法として、商品の発売上限数の制御によるYMを目指すこととした。

発売上限数を定めることによるYMについて、以下に概説する。割引商品は利用者数の増加に寄与するが、無制限に販売した場合、通常価格でも購入するような支払意志額が高い旅客に対しても安売りすることになるため、得られたはずの収入を逃すことがありうる。このため、割引商品に発売上限数を設けて過剰な安売りを防ぐことが有効である。一方、発売上限数を少なくして割引商品の販売を抑制した場合、割引商品を買えないことによる需要逸失が起り、割引商品を多く販売した場合と同様に、得られたはずの収入を逃すことがありうる。したがって、このバランスをふまえて適切に発売上限数を定めることで、収入を増やす（または収入の逸失を防ぐ）ことができる。

4. 割引商品発売上限数の設定計画手法

4.1 手法の概略

3章の検討に基づき、以下の前提のもとに、期待される収入を最大化するような、割引商品の発売上限数を算出する手法の開発に取り組んだ。

①商品の価格や利用条件は所与とし、商品設計には踏み込まない。同一商品は運行日・便・購入タイミングによらずいつでも同一価格・条件とする。

②発売開始前の発売上限数策定を対象とし、発売開始後に販売動向に応じて調整することには対応しない。

③発売する商品が便によって異なってもよい。例として、早朝便限定や速達性が低い便限定の商品がありうる。ただし、どの便でどの商品を発売するかは所与とする。

④一部の商品には販売期限があり、期限後には一切購入できない。この販売期限は所与とする。

⑤発売上限数は商品・便ごとに差をつけてよい。

開発した手法の概略を図1に示す。本手法は、「ある1日の、ある優等列車系統の、下り全便または上り全便における、指定席の売上を最大化するような、割引商品の発売上限数を算出する」ものである。

本手法ではまず、計算対象の運行日・便について、乗車区間・商品・購入タイミングごとの需要（購入希望者数）を推定する。推定された需要にしたがって、旅客は以下のように商品の購入を試みるものとする。

①旅客は希望どおりに指定席を購入しようとする。希望の商品の販売数が発売上限数に達しておらず購入できる状況であれば、旅客はその商品を購入する。一方、希望の商品が完売していた場合は購入できない。

②希望どおり購入できなかった旅客は、次善策を選択して、①に戻って別の便や別の商品を購入を試みる、または利用をやめる。

この一連の行動の結果、各商品の最終的な販売数が定まる。この中で、発売上限数は、①における購入の成否を左右することで、鉄道事業者の収入に影響を与える。よって、収入を目的関数、発売上限数を制御変数とする数理最適化問題を解くことで、収入を最大化するような発売上限数を算出することとした。

本手法の実現には、需要と、次善策の選択行動を定量化する手法が必要となる。以下、それぞれの手法について述べる。

4.2 需要推定手法

推定対象の需要のイメージを表3に示す。割引商品には販売期限があることや、先着順で販売されることから、旅客の購入行動を表現するためには、商品や購入タイミングを考慮した需要推定が必要である。本研究ではこの需要を推定する方法について検討し、松本ら⁵⁾が示した、

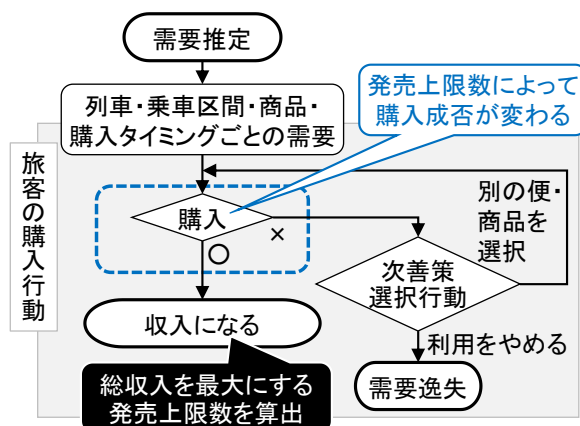


図1 割引商品発売上限数計画手法の概略

表3 推定対象の需要の例

運行日	列車	乗車区間	商品	購入タイミング	需要
2020/2/**	●●7号	A 駅 → B 駅	早割 X	21 日前まで	10 席
2020/2/**	●●7号	A 駅 → B 駅	早割 X	20 ~ 14 日前	6 席
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

独立成分分析を適用した需要推定手法を活用することとした。独立成分分析は、複数の未知の波動の重ね合わせでできた波動から元の波動を推定する手法であり、多変量のデータから、隠された因子や成分を見つけ出すための手法の1つである。松本ら⁵⁾は、時間帯による需要の変化を波動とみなし、複数運行日に対する需要波動を作成して、これらに対して fastICA アルゴリズム⁶⁾を適用して、複数の独立成分波動と混合係数を同時推定している。この混合係数を暦配列（たとえば月、曜日、連休）で説明するモデルを構築することで、暦配列から需要波動を推定することが可能となる。これを活用した本研究での需要推定手法の流れは、以下のとおりである。なお、詳細は中川ら⁷⁾を参照されたい。

①運行日、便の運行時間帯、乗車区間、購入タイミングごとの需要を、独立成分分析により推定する。購入タイミングは、購入時点での運行日までの日数であり、運行21日前まで、20～14日前、13～7日前、6～3日前、2～1日前、運行当日の6区分とする。

②上記①で得られた需要を、同じ時間帯に運行される各便に配分する。この配分は販売実績データから算出した比率に基づいて行う。具体的には、便を運行区間や停車駅の数などにより、各停車、速達便などのカテゴリに分類した上で、時間帯・便のカテゴリ・乗車区間・購入タイミングが同じである販売実績データを集計して、のべ便数で割り平均をとる。その上で、個々の推定対象便に対して、同じ時間帯・便のカテゴリ・乗車区間・購入

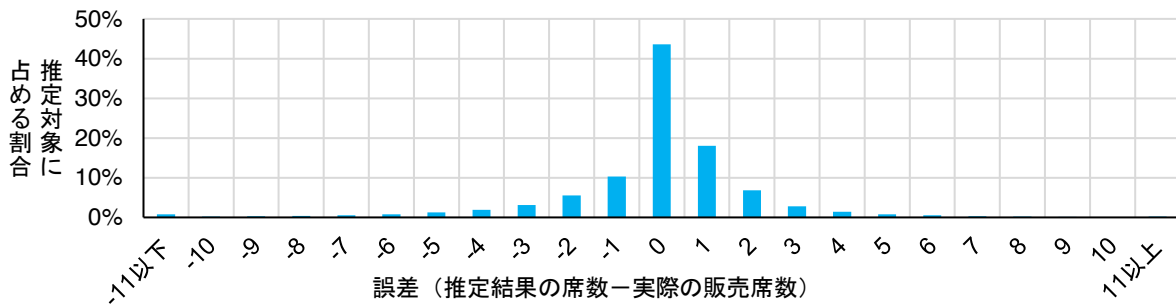


図2 乗車区間・商品・購入タイミングごとの販売席数の推定誤差

タイミングの値をあてはめ、この値の比率で配分する。
 ③上記②で得られた需要を、各商品に配分して、推定対象の需要とする。この配分も販売実績データから算出した比率に基づいて行う。具体的には、時間帯・便のカテゴリ・乗車区間・商品選択肢が同じである販売実績データを集計して、選択肢内の各商品の販売席数の比率を得る。その上で、個々の推定対象便に対して、同じ時間帯・便のカテゴリ・乗車区間・購入タイミングでのきっぷごとの販売席数の比率をあてはめて配分する。

構築した需要推定手法の精度を確認するため、ある優等列車系統の需要をこの手法で推定し、実際のデータと比較した。2015年3月中旬～2017年1月に運行する便の販売実績データを用いて需要推定手法を構築し、これを用いて2017年2月～3月上旬に運行する便の販売席数を推定した(いずれも、超繁忙期、大規模イベントやダイヤ乱れがあった日を除く)。推定対象は、この系統において早期購入割引商品が販売されている主要区間の各商品である。

計算の結果、図2のように、対象ケースの72%を誤差±1席以内で推定でき、実際の販売数と推定結果の相関係数はR=0.71であった。これより、概ね妥当な精度があると言える。推定対象の中には実際の販売数が0であった事例も多く含まれるが、そのような事例を除いても、誤差±1席以内で推定できた割合は54%であった。

4.3 次善策選択行動の定量化

Webアンケート調査を行い、その結果から次善策選択行動を表すモデルの構築を図った。この調査では、優等列車の指定席の割引商品を利用した回答者348人に対し、もし、利用した便の指定席に空席はあるものの、希望の割引商品が完売している状況だったらどのような選択をしたかを尋ねた。さらに、「便を変えて同じ商品を買う」とした回答者には、便を変えるに際してどの程度時間を早めてもよいか・遅くしてもよいかを質問した。

モデル構築に際しては、旅客の選択肢を「1本前の便の同じ商品(選択肢e)」「1本後の便の同じ商品(選択肢l)」「同じ便の1段階高い商品(選択肢f)」「利用をやめる

(需要消失)」の4つとし、それぞれが選択される割合を、前後便との時間差や商品価格に応じて算出することを目指した。そこで、アンケート結果のうち、ある主要区間について回答した93人の回答を、当初希望から早める時間E(単位:分)、当初希望から遅くする時間L(同)、高額な商品との価格差F(単位:円)の3つを説明変数とするロジットモデルにあてはめて、パラメータ最尤推定を実施した。選択肢e, l, fの中から選択肢cが選択される確率 P_c は、式(1)および式(2)で表される。

$$P_c = \frac{\exp(V_c)}{\exp(V_e) + \exp(V_l) + \exp(V_f)} \quad (1)$$

$$V_i = \beta_e E_i + \beta_l L_i + \beta_f F_i \quad (2)$$

ただし、

V_i : 選択肢iの効用

E_i, L_i, F_i : 選択肢iにおけるE, L, Fの値

$\beta_e, \beta_l, \beta_f$: パラメータ

結果を表4に示す。得られたパラメータは全て有意水準1%のもとで有意であり、尤度比も十分大きく、妥当性があると言えるモデルが得られた。また、E, L, Fはいずれも、旅客にとっては値が大きいほど効用が下がると考えられる要素であり、それゆえパラメータが全て負であることは自然である。

なお、「利用をやめる」については、アンケートでの回答結果をふまえ、選択割合を一律に25%とする。その上で、残りの75%を、このモデルで算出される割合にしたがって選択肢e, l, fに配分して選択割合とする。開発手法の計算フローでは、次善策選択を必要とする旅客は、この選択割合のとおり各選択肢に配分される。

表4 次善策選択行動モデルのパラメータ推定結果

	パラメータ	t値
早める時間 (β_e)	$-3.874 \times 10^{-2} **$	-14.02
遅くする時間 (β_l)	$-4.302 \times 10^{-2} **$	-14.02
価格差 (β_f)	$-5.082 \times 10^{-3} **$	-13.76

自由度調整済尤度比 = 0.408

** : 有意水準1%のもとで有意

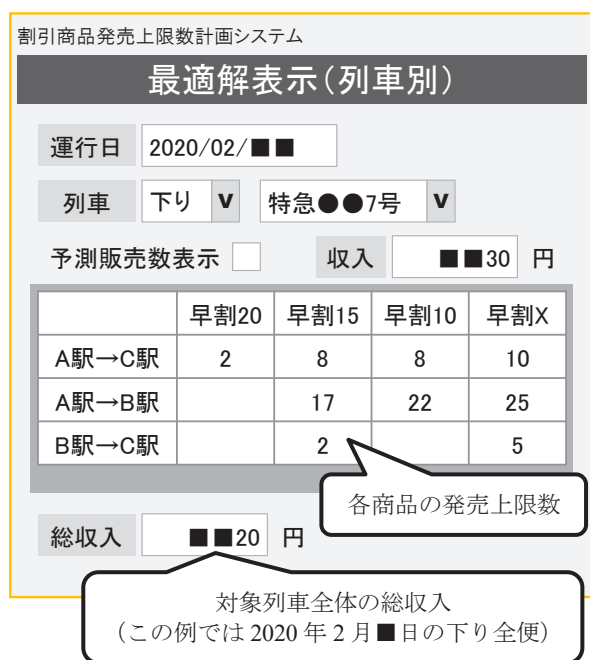


図3 割引商品発売上限数計画システムの計算結果の表示例

※実際の表示画面を見やすいよう加工したもの

5. 実際の販売への試験適用

前章で述べた手法が収入に与える効果を評価するため、本手法を実装した割引商品発売上限数計画システムを開発した。計算結果の表示例を図3に示す。ある便における、全商品の発売上限数の計算結果を表形式で示している。右上にはその列車での収入、つまり商品価格と販売数の積を各商品について合計した額を示し、左下には対象列車全便の収入の合計を示す。なお、ある商品の全便での発売上限数を一覧表示することも可能である。数理最適化計算には Google 社製の数理最適化ツール OR-Tools⁸⁾を用いており、一般的なPCで動作する。

本研究では、本システムにより算出した割引商品発売上限数を座席予約システムに設定して実際に指定席を販売する試験適用を実施した。そして、運行後に得られた販売実績を分析し、収入に与える影響について考察した。本章では、この試験適用の概要と結果について述べる。

5.1 試験適用の対象

対象は、2018年度のある3連休に運行する、ある優等列車系統の全便とした。この3日間はJRの特急料金区分における通常期であり、特需が想定される沿線イベントは無く、また輸送障害の発生も無かった。

この系統における、主要3駅の相互間3区間（以下、主要3区間と記す）の割引商品を発売上限数設定計画の対象とした。主要3区間では、早期購入割引商品が座席

数限定で販売されており、運行事業者ではその発売上限数の策定業務を行っている。

発売上限数の算出は、以下の条件で行った。

①最大化の対象は、主要3区間の指定席旅客から得られる収入とする。

②主要3区間以外の旅客や、割引商品に左右されないと考えられる団体等の旅客は、需要推定対象には含めるが収入には計上しない。

③主要3区間では、席数に制限が無い割引商品（たとえばインターネット予約割引）も販売されているが、これらは通常のきっぷ（所定の乗車券や特急券）と区別せず扱う。また、大人と小児も区別せず、収入の計算上は全て大人として扱う。

④普通車指定席以外の席種の存在は考慮しない。

⑤発売すべき商品は必ず一定数以上発売する。

5.2 過去の3連休の販売実績との比較

運行後に得られた販売実績を、2016年度の3連休5回の販売実績と比較した。たとえば初日下り便の比較では、本試験適用での初日下り便の収入と、2016年度の3連休5回の初日下り便の平均収入とを比較した。なお、比較対象は、主要3区間の指定席の販売席数を前節で述べた条件にあてはめて計算した収入である。

結果を図4に示す。本試験適用での販売実績は、2016年度の販売実績と比べて、3日間・上下それぞれの比較で17～37%、3連休全体では29%の収入増となった。2018年度は2016年度と比較して、概ね数%程度の需要の伸びがあることがわかっているが、この年次差を差し引いても収入増になったと言ってよいと考えられる。特に初日下り便の収入は、2016年度の他の日と比較しても、盆や年末年始の最繁忙期に匹敵する額となった。

また、本試験適用のちょうど1年前にあたる、2017年度の同時期の3連休とも同様の比較を行った。ただし2017年度の3日目には通常と異なる需要が発生するような事情があり、比較が困難であるため、3日目を比較対象から除外した。結果を図5に示す。2日間・上下それぞれの比較で6～16%、2日間合計では9%の収入増となり、2016年度との比較と同様に、年次差を差し引いても収入増になったと言える結果となった。

5.3 想定販売実績との比較

前節で述べたように、過去の3連休との比較では概ね収入増となる結果が得られた。ただし、この収入増の効果には、本システムによる発売上限数制御の効果だけでなく、需要自体が伸びた効果も含まれると考えられる。

発売上限数制御の効果は、本システムによらずに発売上限数を設定した場合の販売実績との比較により得られる。しかし本システムによらない発売上限数は実際に

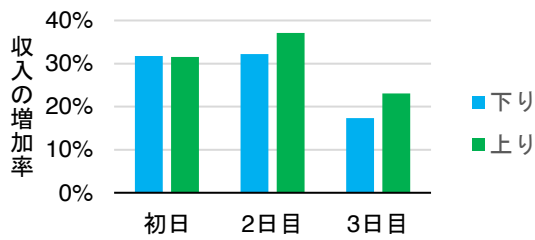


図4 試験適用結果と2016年度の3連休の販売実績の比較 (収入の増加率)

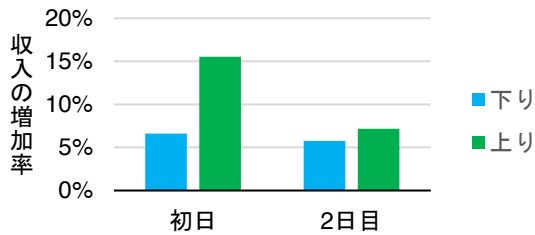


図5 試験適用結果と前年同時期の3連休の販売実績の比較 (収入の増加率)

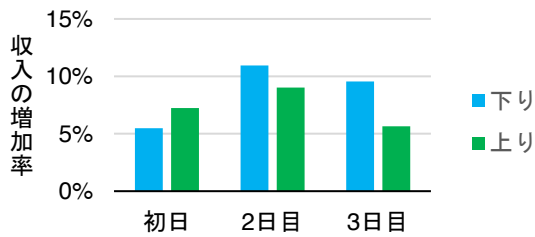


図6 試験適用結果と想定販売実績の比較 (収入の増加率)

は適用されていないので、正確な比較はできない。そこで、効果の目安を得るため、需要が実際の販売実績と同じだったと仮定して、本システムによらない発売上限数を適用した場合の想定販売実績を試算して比較した。

結果を図6に示す。3日間・上下それぞれの比較で5～11%、合計では8%の収入増となった。

ただし、試験適用時にも需要逸失がある程度起こったであろうことをふまえると、この比較における前述の仮定は、比較対象の需要や想定販売実績を概ね過小に見積もる、すなわち発売上限数制御の効果を過大評価する方向にはたらくと考えられることに注意が必要である。効果をより純粋に評価するためには、需要推定の精緻化などが必要と考えられる。この点は今後の課題である。

6. まとめ

本稿では、割引商品発売上限数の制御によるイールドマネジメントを実現する割引商品発売上限数計画手法、およびこれを実装した計画システムについて紹介した。また、本システムの計算結果を実際に座席予約システム

に設定して指定席を販売した試験適用について述べ、収入に与える影響について考察した。その結果、過去の類似の時期と比べて概ね収入増となる結果を得た。本システムは、割引商品の発売開始前にその発売上限数を策定する業務において、意思決定支援システムとして活用可能である。

今後に向けては、5.3節で述べたとおり、発売上限数の制御の効果をより純粋に評価することが課題である。これは本システムの計算精度の向上とも同じであり、需要や次善策選択割合の推定精度向上に引き続き取り組んでいく。また、3章で述べたように、鉄道で考えられるYMの要素は発売上限数の制御以外にも多数あり、これらの実現によりさらなる深度化を目指していきたい。

なお、本稿は中川ら⁹⁾の抜粋を含む。

謝辞

5章で述べた試験適用の実施に際しては、対象列車の運行事業者に多大なご協力をいただいた。この場を借りて厚く御礼申し上げる。

文献

- 1) McGill, J. I. and Van Ryzin, G. J., "Revenue Management: Research Overview and Prospects," *Transportation Science*, Vol.33, No.2, pp.233-256, 1999.
- 2) (株)ANA 総合研究所：航空産業入門（第2版），東洋経済新報社，pp.149-162, 2017
- 3) 寺部慎太郎：航空・鉄道業界における収益管理 —リベニュー・マネジメント—，運輸政策研究，Vol.4, No.4, pp.37-39, 2002
- 4) 神田佑亮，森地茂，日比野直彦：我が国における航空規制緩和と政策の影響分析，土木計画学研究・論文集，Vol.23, No.3, pp.771-777, 2006
- 5) 松本涼佑，奥田大樹，深澤紀子：幹線鉄道の輸送計画策定支援に向けた旅客需要波動の予測手法，鉄道総研報告，Vol.31, No.10, pp.17-22, 2017
- 6) Hyvärinen, A. et al., 根本幾ほか訳：【詳解】独立成分分析，東京電機大学出版局，2005
- 7) 中川伸吾，松本涼佑，鈴木崇正，深澤紀子：価格や購入期限が異なるきっぷの需要推定手法，第26回鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2019) 講演論文集，2019
- 8) Google OR-Tools : <https://developers.google.com/optimization> (参照日：2019年10月11日)
- 9) 中川伸吾，鈴木崇正，尾崎尚也，深澤紀子：優等列車へのイールドマネジメント適用に向けた商品選択に関する研究，第22回鉄道工学シンポジウム論文集，Vol.22, pp.83-90, 2018