

## 航空旅客の希望出発時刻分布の逆推定\*

### Reverse Analysis of Preferred Departure Time of Air Passengers\*

木村裕介\*\*・奥村誠\*\*\*・坂本麻衣子\*\*\*\*

By Yusuke KIMURA\*\*・Makoto OKUMURA\*\*\*・Maiko SAKAMOTO\*\*\*\*

#### 1. はじめに

航空や新幹線鉄道などの都市間交通サービスは、都市内交通と比べて運行が低頻度であることから、乗車時間に比べて待ち時間の占める割合が大きい。特に相手先での商談などの制約を受ける仕事目的のトリップにおいては、運行の頻度がサービスの主要な要素となっている<sup>1)</sup>。しかし、複数の会社が参入している航空路線では、各社の競争の結果として他の会社と出発時刻が似通ってしまう<sup>2)</sup>ため、合計便数から期待されるよりも長い待ち時間が発生することが多い。さらに最近では国内の赤字路線での減便・廃止が多く実施されており、今後旅客の利便性の低下が進むことが懸念される。

限られた機材や空港運用時間帯などの制約の中で利便性の高い航空便の運行スケジュールを設定していく場合、さらに利便性の向上を目指して空港の運用時間帯を延長するなどの施策の効果を検討していく場合には、設定された運行スケジュールが提供する利便性を適切に評価することが必要となる。

その評価において基礎となるのが旅客の希望出発時刻の分布である。この分布を知るために旅客に直接アンケート調査を行うという方法が考えられる。しかし、全国の多数の路線において調査を実施するとなれば莫大な費用がかかる。さらに旅客は現在の運行スケジュールに対応する現行のアクセスサービスや施設のサービス時間を前提にした評価を行うことから、これらの状況が変化する自由な状況下での、本来の希望出発時刻分布を知ることが難しいという問題もある。

本研究の主目的は、簡単に入手できるデータを用いて旅客の希望出発時刻の分布を算出する方法を提案する

\*キーワード：公共交通運用，出発時刻選択，交通手段選択

\*\*学生員，東北大学大学院工学研究科土木工学専攻

(宮城県仙台市青葉区川内41番地，

TEL022-795-7567, FAX022-795-7477

E-mail y\_kimura@cneas.tohoku.ac.jp)

\*\*\*正員，博士(工学)，東北大学東北アジア研究センター

(E-mail mokmr@cneas.tohoku.ac.jp)

\*\*\*\*正員，博士(工学)，長崎大学工学部社会開発工学科

(E-mail sakamoto@civil.nagasaki-u.ac.jp)

ことにある。このとき、航空会社は必ずしも旅客の希望出発時刻の分布を完全に把握しているわけではないが、多数回の時刻設定の機会を通じて蓄積された経験に基づいて、結果的に多くの旅客を獲得できるような時刻に航空便が設定できていると仮定する。2. では、この仮定に立脚して現状の設定時刻からの逆推定により旅客の希望出発時刻の分布を算出する方法を提案する。3. ではこの計算を具体的に実行し、算出された分布の特徴を考察する。4. では算出された分布に基づく運行スケジュールの利便性が都市間旅客の航空選択率に有意な影響を与えていることを示し、提案する分析方法を有用性を確認する。5. では本研究の成果と今後の課題をまとめる。

#### 2. 希望出発時刻の逆推定方法

##### (1) 平均スケジュールコスト

本研究では、1日に複数の便が設定されている路線の運行スケジュールの良さを表現できる定量的な指標として、(1)式に示すような「平均スケジュールコスト」という概念を導入する。

$$T_l = \sum_{k=1}^{N_l} \left\{ \int_{x_{i-1}^k}^{x_i^k} \sigma (x_i^k - x) f(x) dx + \int_{x_i^k}^{x_{i+1}^k} \tau (x - x_i^k) f(x) dx \right\} \quad (1)$$

ただし、

$$\int_0^1 f(x) dx = 1, f(x) \geq 0 \quad (2)$$

$$r_i^k = (\alpha_i^k + \alpha_{i+1}^k) / (\sigma + \tau) \quad (3)$$

とする。 $x_i^k$  ( $k=1,2,\dots,N_l$ ) は路線  $l$  の第  $k$  便の出発時刻である。 $f(x)$  は旅客の希望出発時刻の分布であり、その分布形を同定する方法は(3)で示す。また、 $r_i^k$  は旅客の便選択(希望出発時刻より早い便に乗るか遅い便に乗るか)の切り替え時刻である。スケジュールコストは実際の出発時刻と希望時刻のずれの線形の関数であり、パラメータ  $\sigma$  と  $\tau$  は既知であってその大小関係は  $\sigma \geq \tau > 0$  であると仮定する。これは、旅客が希望出発時刻より早い便に乗り目的地に早着する方が、遅い便に乗り目的地到着が遅くなるよりもコストが小さいと感じることを表している。

つまり、(1)式の平均スケジュールコスト  $T_l$  は、旅

客が自分の希望時刻よりどの程度早い時間、もしくは遅い時間の便に乗るかというスケジュール調整のためのコストを、その時刻における旅客の希望出発時刻の分布で重み付けした値であり、その路線の旅客が感じるスケジュール調整のための平均的なコストを表している。

(2) 航空会社にとっての最適運行スケジュール

まず、航空会社にとって望ましい運行スケジュール、すなわち当該路線の旅客から得られる収入を最大にするような運行スケジュールが満たす条件を考える。本研究では、線形の立地空間において複数店舗を立地させる2企業間のゲームを扱ったJanssenら<sup>3)</sup>の研究結果を援用する。Janssenら<sup>3)</sup>の研究で、このような小売企業にとっての店舗の最適な立地点は、立地空間上の顧客分布  $f(x)$  に対して、当該企業の最も近い店舗までの平均移動コストが最小になるような場所であることが示されている。

いま、立地空間を1日の間の時間軸、店舗の位置を航空便の出発時刻と読み替えると、この平均移動コストは、先に(1)式で示した平均スケジュールコストに対応する。そこで、Janssenら<sup>3)</sup>の分析手順を用いれば、航空会社の収入を最大にする運行スケジュールは、以下のような性質を満たす必要があることがわかる。

ある航空路線で競合する2社 ( $i=1,2$ ) がそれぞれ航空便を運行しているとする。1日の時刻を  $0 \leq x < 1$  で表し、1日の中での旅客の希望出発時刻の分布を  $f(x)$  とすると、 $\int_0^1 f(x)dx = 1$ 、 $f(x) \geq 0$  が成立する。

いま、航空会社が次のような3段階のゲームを行い、戦略を決定しているものとする。

- 1) それぞれの会社が運行する便数  $N_i (i=1,2)$  を決定。
- 2) それぞれの出発時刻の組  $X_i (x_i^1, \dots, x_i^{N_i})$  を決定。
- 3) それぞれの区間運賃  $p_i$  を決定。

Janssenら<sup>3)</sup>の論文に示された定理から、それぞれの航空会社は、全ての旅客が自分の会社の最も希望出発時刻に近い便を利用する際の平均スケジュールコスト(4)式)を最小にするように出発時刻の組  $X_i$  を決定することが最適の戦略(部分ゲーム完全均衡解)となる。この最適戦略は、旅客の希望出発時刻分布に依存するが、競争相手の企業の戦略の影響を受けないという特徴がある。

$$T_i(x_i) = \int_0^1 i(d(x, x_i))f(x)dx \quad (4)$$

$d(x, x_i)$  : 旅客の希望出発時刻  $x$  とそれに最も近い会社  $i$  の便の出発時刻  $x_i^k$  との差

$i(d)$  : スケジュールコスト

この(4)式は(1)式を航空会社ごとに計算したものととなっている。(1)式では、スケジュールコストが傾

き  $\sigma$  と  $\tau$  の折れ線として与えられているため、(4)式の最小化は次の(5)式の最小化に置き換えられる。

$$\min_{f(x)} T_i = \sum_{k=1}^{N_i} \left\{ \int_{r_i^{k-1}}^{x_i^k} \sigma(x_i^k - x)f(x)dx + \int_{x_i^k}^{r_i^k} \tau(x - x_i^k)f(x)dx \right\} \quad (5)$$

この最小化問題の1階条件は(6)式のようになる。

$$\sigma\{F(x_i^k) - F(r_i^{k-1})\} = \tau\{F(r_i^k) - F(x_i^k)\} \quad (6)$$

ただし、

$$F(x) = \int_0^x f(x)dx \quad (7)$$

である。

1階の最適化条件をより簡単に表示するために、次のような関数  $g_i^k(x)$  を導入する。

$$g_i^k(x) = \begin{cases} 0 & (0 \leq x < r_i^{k-1}) \\ \sigma & (r_i^{k-1} \leq x < x_i^k) \\ -\tau & (x_i^k \leq x < r_i^k) \\ 0 & (r_i^k \leq x < 1) \end{cases} \quad (8)$$

これを用いて、(6)式の1階条件は以下のように表記できる。

$$\int_0^1 g_i^k(x)f(x)dx = 0 \quad (9)$$

さらに、(5)式の目的関数も以下のように表記できる。

$$T_i = \sum_{k=1}^{N_i} \int_0^1 g_i^k(x) |x - x_i^k| f(x)dx \quad (10)$$

実際の運行スケジュールの設定では、航空会社は上述したような3段階ゲームを明示的に行っているわけではない。たとえば、Bazarganの航空計画のテキスト<sup>4)</sup>では、航空会社が便数の決定を行った後に出発時刻を決定する際には、各便の需要を先験的に与えていることが多いとしており、時間的に隣接した便間での需要の取り合いという現象は考慮されていない。しかし、航空会社は多くの路線での出発時刻決定を行っており、客の減少が発生するケースを経験的に認知して回避するように出発時刻の調整を行っていると考えれば、結果的に設定されている時刻の組は、(5)式の最適解に近いと考えることができる。

なお、このゲームは、航空会社が1社であるが同区間に高頻度で鉄道サービスが提供されているケースについても同様に定式化でき、航空会社の最適運行スケジュールは(5)式の最小化に帰着することを示すことができる。

(3) 逆推定問題の定式化

本研究では、航空会社の過去の経験的に基づいて決定された実際の出発時刻の組が、(5)式の最適解に十分近いと考え、実際の設定出発時刻の組に基づいて旅客

の希望出発時刻分布  $f(x)$  を逆推定により求める。つまり (9) 式で表わされる1階の最適化条件を満足するような  $f(x)$  を求める問題を考える。

具体的な数値を得るために時間軸を  $x_m = (m-1)/M$  のように離散化し、 $g^k(x)$  を以下のように置き換える。

$$g_{im}^k = \begin{cases} 0 & (0 \leq x_m < r_i^{k-1}) \\ \sigma & (r_i^{k-1} \leq x_m < x_i^k) \\ -\tau & (x_i^k \leq x_m < r_i^k) \\ 0 & (r_i^k \leq x_m < 1) \end{cases} \quad (11)$$

希望出発時刻  $f(x)$  も  $f_m = f(x_m)$  を用いて離散化する。すなわち分割した時刻に離散的に集約した出発希望時刻の分布について、以下の条件が成立する。

$$\sum_{m=1}^M f_m = 1, \quad f_m \geq 0 \quad (12)$$

ここで、未知数の  $f_m$  は離散化の数  $M$  だけ存在するが、最適化の1階の条件である (9) 式は路線の設定便数だけしか存在しない。そこで、以下では希望出発時刻の分布が同一と考えられる複数の路線  $l=1, \dots, L$  をまとめて多くの最適化条件式を用意することによって、空港施設の運用上の制約などの個別的な事情の影響を薄めて、平均的な希望時刻分布を得ることとする。すなわち (12) 式の制約のもとで、(9) 式の1階の最適性条件をできる限り満足する分布  $f_m$  を、次の関数を最小化することにより求めることとする。

$$\min_{f_m} \Omega = \sum_{l=1}^L \sum_{i=1,2} \sum_{k=1}^{N_i} \left\{ \sum_{m=1}^M g_{im}^k f_m \right\}^2 \quad (13)$$

以上のような逆推定問題の解は一意でないことが多い。そのため実用上は、本来の目的関数に加えて、他の事前情報から想定される分布との近さを考慮して、数値計算の安定化を図ることが多く行われる。本研究では他の事前情報として、設定された運行時刻の下では (10) 式による平均スケジュールコストの和が小さいという仮定を用いる。そこで、(13) 式の最小化問題と、路線ごとの平均スケジュールコストの総和との1次結合を最小化することとする。その際、これらの2項の効果の重みの意味を明確にするため、一様分布  $\tilde{f}_m$  を用いたときの各項の大きさに基づいて基準化したうえで、目的関数を構成する。

$$\min_{f_m} \Omega' = (1-\alpha) \frac{\sum_{l=1}^L \sum_{i=1,2} \sum_{k=1}^{N_i} \left\{ \sum_{m=1}^M g_{im}^k f_m \right\}^2}{\sum_{l=1}^L \sum_{i=1,2} \sum_{k=1}^{N_i} \left\{ \sum_{m=1}^M g_{im}^k \tilde{f}_m \right\}^2} + \alpha \frac{\sum_{l=1}^L \sum_{i=1,2} \sum_{k=1}^{N_i} \sum_{m=1}^M |g_{im}^k| x_m - x_i^k |f_m}{\sum_{l=1}^L \sum_{i=1,2} \sum_{k=1}^{N_i} \sum_{m=1}^M |g_{im}^k| x_m - x_i^k | \tilde{f}_m } \quad (14)$$

$$\tilde{f}_m = 1/M \quad (15)$$

$$\alpha = 0.5 \quad (16)$$

本研究でも、実際の計算において、この (14) 式を

最小化することにより旅客の希望出発時刻の分布を求める。ただし、離散数は  $M=24$  (1時間ごと) とした。なお、離散化をより細かくした  $M=48$ ,  $M=72$  などの計算を試みたが、特定の路線の特定の設定時刻の影響が大きくなるため、得られる希望時刻の分布がノコギリ状に大きく変動する結果となった。運行スケジュールの評価という目的のためには、ある程度滑らかな出発希望時刻分布が得られる必要があると考え、以下では  $M=24$  の場合の結果を示す。

また、 $\sigma$  と  $\tau$  の値は本来は旅客にアンケート調査を実施して決めることが望ましいが、本研究では菅野<sup>5)</sup> の研究を参考に、 $\sigma=2$ ,  $\tau=1$  として計算を行う。菅野は、 $\sigma$  と  $\tau$  の関係について、本研究と類似した最適立地モデルを用いた航空会社間の運賃競争を検討している。その際、「利用者は機会費用として、飛行機の待ち時間に比例して単位時間当たり費用 1 を払い、逆に、費用  $\alpha$  ( $1 \leq \alpha$ ) を払うことで、時間を繰り延べることが可能とする。これは、利用者が待ち時間費用以上の費用を払い、その便への搭乗を可能にする行為を意味する」とし、 $\alpha=1.5$  や  $\alpha=3$  として数値計算を行っている。

目的関数の中の 2 つの項の重み  $\alpha$  については 0.1 から 0.9 の間で変更しながら計算を行った。その結果から  $0.4 \leq \alpha \leq 0.6$  の間では得られた解に大きな違いが見られなかったため、以下では  $\alpha=0.5$  としている。

### 3. 実設定時刻に基づく希望出発時刻分布の逆推定

#### (1) 使用データ

対象とする航空便は、2006年10月1日現在、曜日運休をせずに毎日運行している<sup>6) 7)</sup> 国内便とした。ただし、区間ごとに別料金を支払わなければならない乗り継ぎ便、離島を順々に経由する伊豆諸島のヘリコプター航路は対象外とした。また、競合していない同一グループの会社は1社と考えた上で、Janssenら<sup>3)</sup> のゲームが想定していない3社以上の運行路線も除外した。さらに、同一都市圏にある空港は同じ空港 (「伊丹・関空」(以後、大阪)、「中部国際・小牧」(以後、中部国際)「新千歳・札幌丘珠」(以後、新千歳)) として扱い、神戸空港 (2006年2月16日開港) と北九州空港 (2006年3月16日、旧北九州空港より移転) は、十分な数の実績データが存在しないため、分析の対象から除いた。

このような補正を行った結果、対象となる路線は204路線、また、カバーできる旅客数は国内線全体の75%となった。

#### (2) クラスタ分析による対象路線の選定

以上で選定した路線の中でも、便数が少ない場合には旅客の希望出発時刻を考慮して便の出発時刻を設定し

ているとは限らない。また、旅客数が少なければ、その路線のニーズよりも機材の運用などの制約で時刻が決められてしまう可能性もある。そこで、クラスタ分析を用いて路線のグループ化を行い、便数や旅客数が多く航空会社の時刻設定の際に旅客の希望出発時刻を考慮している可能性が高いと考えられる路線を選定し、それらの路線に絞って分析を行う。

クラスタ分析に用いるデータは、路線ごとの旅客数、座席数、座席利用率<sup>6)</sup>、空港乗降客数<sup>9)</sup>（以上2005年度）、及び便数<sup>6) 7)</sup>（2006年10月）である。ただし、空港乗降客数は発着地で合算した値を用い、便数が往復で異なる場合は平均を用いた。また、クラスタ分析では、変数を2得点で基準化し、クラスタ化の方法としてWard法を、非類似度の測定方法として平方ユークリッド距離を用い、分類するクラスタ数を10として分析を行った。

その結果、地方都市間を結ぶ需要の少ない路線が4つのクラスタに分類された。本研究では、これらの路線は分析の対象外とした。また、大阪・新千歳・中部国際・福岡・那覇を相互に結ぶ幹線路線やそれらの都市と関係の深い都市を結ぶ需要の多い路線（大阪-高知、福岡-鹿児島等）が2つのクラスタ(E, F)に、羽田路線が4つのクラスタ(A, B, C, D)に分類された。そこで、これら6つのクラスタの路線うち、羽田路線における便数が少ない1つのクラスタ(D)を除く5つのクラスタの路線(52路線、国内線全体の旅客数の61%)について、希望出発時刻の分布の逆推定を行う。なお、対象路線のクラスタ分析の結果を表1中の記号で示す。

### (3) 需要構造による路線の分類

Janssenら<sup>3)</sup>のモデルでは、顧客の分布 $f(x)$ は1つと考えて分析を行っているため、本研究の逆推定問題も希望出発時刻分布 $f(x)$ が同一と考えられる路線ごとに適

用する必要がある。そのため、前節で選択した52路線を需要構造が類似するようにグルーピングを行う。

航空路線の性質を決めるものは、発着地の都市規模やその性質である。本研究では、まず東京の特殊性を考えて羽田路線(25路線)を1つのグループとし、方向別にa) 羽田出発便とb) 羽田到着便の2つに細分した。次に、残る27路線を「全国幹線旅客純流動データ」の「交通機関別移動目的別都道府県間流動表(秋期1日)<sup>10) 11) 12)</sup>を用いてc) ビジネスとd) 観光の2つの路線に分類した。また、那覇-宮古・石垣は観光路線とした。以上の分類の結果を表1に示す。

### (4) 希望時刻分布の推定結果

上述した4つのグループそれぞれを対象に、(14)式の最小化問題を解き希望出発時刻の分布を求める。ただし、b) 羽田到着便については、東京での業務の約束時刻などを基準として行動している人が多いと考えられるため、地方空港の出発時刻ではなく羽田到着時刻に対して分析を行い、旅客の羽田への希望到着時刻を求めることとした。希望時刻の計算結果を図1・図2に示す。

a) 羽田出発便は、図1に示すように朝(7~9時)、夕方(16~18時)、夜(20時)の3つの時間帯に分布の集中が見られる。羽田路線はビジネス客が多く<sup>13)</sup>、朝は地方への出張者、夕方、夜は東京で仕事を終えた地方からの出張者の帰宅のため、出発の希望が多くなっていると考えられる。また、夜については、翌日の朝の地方での仕事に間に合わせるため、前日から東京を出発する旅客も含まれていると考えられる。

b) 羽田到着便に関しては、出発便に見られるような朝の大きな分布が見られず、午後(13時)と夕方(17時~20時)、そして夜中(23時)に分布の集中が見られる。夕方の集中については地方から東京への帰り客の影

表1 需要構造による路線の分類

羽田路線 (25路線)			ビジネス路線 (19路線)				観光路線 (8路線)		
羽田-大阪	A	羽田-秋田	C	大阪-福岡	E	中部国際-仙台	F	大阪-新千歳	B
羽田-小松	B	羽田-富山	C	福岡-那覇	E	中部国際-鹿児島	F	大阪-那覇	B
羽田-広島	B	羽田-鳥取	C	大阪-仙台	E	福岡-仙台	F	中部国際-新千歳	E
羽田-長崎	B	羽田-米子	C	大阪-松山	E	福岡-宮崎	F	那覇-石垣	E
羽田-熊本	B	羽田-出雲	C	大阪-高知	E	大阪-出雲	F	那覇-宮古	E
羽田-宮崎	B	羽田-岡山	C	大阪-鹿児島	E	福岡-鹿児島	F	福岡-新千歳	F
羽田-鹿児島	B	羽田-山口宇部	C	新千歳-仙台	E			大阪-長崎	F
羽田-釧路	C	羽田-徳島	C	中部国際-福岡	E			中部国際-那覇	F
羽田-函館	C	羽田-高松	C	大阪-福島	F				
羽田-旭川	C	羽田-松山	C	大阪-新潟	F				
羽田-帯広	C	羽田-高知	C	大阪-熊本	F				
羽田-女満別	C	羽田-大分	C	大阪-大分	F				
羽田-青森	C			大阪-宮崎	F				

※表中の「A」, 「B」, 「C」, 「E」, 「F」は3(2)のクラスタ分析の結果を示す。

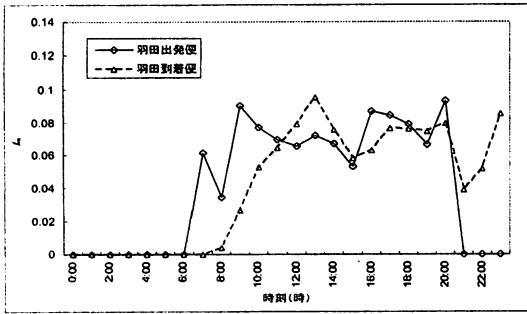


図1 希望出発時刻の分布 (羽田路線)

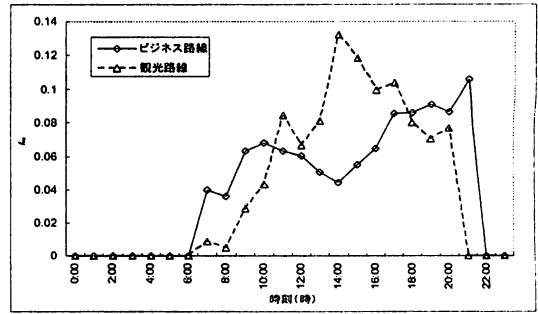


図2 希望出発時刻の分布 (ビジネス路線・観光路線)

表2 パラメータの推定結果

パラメータ	case1: 希望時刻分布を考慮			case2: 希望時刻は一様		
	非標準化係数	標準化係数	t値	非標準化係数	標準化係数	t値
$\beta_1$ 定数項	-0.500		-1.004	0.148		0.239
$\beta_{3r}$ 鉄道運賃	$-1.953 \times 10^{-4}$	-0.683	-8.030	$-2.063 \times 10^{-4}$	-0.722	-7.701
$\beta_{4a}$ 航空スケジュールコスト	-11.961	-0.243	-2.848	-7.931	-0.250	-2.625
$\beta_{5r}$ 新幹線ダミー	2.403	0.591	7.450	2.511	0.618	7.561
修正済みR <sup>2</sup> 値	0.743			0.736		

響であると考えられるが、出発便に比べて午前中に分布が少ないのは、ナイトステイができない地方空港からの午前中の便の出発時刻が遅いことの影響が大きい。また、22時以降の夜中の高い需要は、地方から東京に出てくるビジネス客が前日のうちに移動することに起因していると推察される。彼らの宿泊先は東京在住者の自宅よりも相対的に羽田空港に近いので、夜中に到着する便でも利用できると考えられる。

c) 羽田以外のビジネス路線は、図2に示すように午前(9時~11時)に小さな山が、また夕方から夜(17時~21時)に大きな山が見られる。羽田出発便と同様、午前の分布は午後の仕事に間に合わせるため、また夕方から夜の分布は出張からの帰宅、また翌日の仕事に備えての移動であると考えられる。ただし、同じビジネス路線でも、羽田路線では午前中から昼過ぎにかけて大きな分布が見られるのに対し、その他の都市間の路線ではそれほど大きい分布は見られない。本来は、羽田路線と同様に午前中のニーズも存在するものの、ナイトステイの制約から航空サービスが提供されないため、顕在化していない可能性がある。

また、d) 観光路線では、他の分類と比べて朝早くや夜遅くを避けて日中に分布が集中している。これは、仕事ができる日中以外に移動しようとするビジネス客と、逆にその時間帯に移動をする観光客との違いを表しているものと考えられる。

#### 4. 運行スケジュールが航空選択率に与える影響

##### (1) 航空選択率の分析方法

本研究では路線別の航空と鉄道の2項集計ロジットモデル<sup>14) 15)</sup>を用い、各パラメータを重回帰分析で推定して、スケジュールコストが航空選択率に与える影響を分析する。効用を表す指標としては、所要時間、運賃、航空の平均スケジュールコスト、新幹線ダミー(都市間が新幹線で結ばれている路線)を考える。

$$\ln(P_a/1-P_a) = V_a - V_r \\ = (\beta_1 + \beta_{2a}t_a + \beta_{3a}c_a + \beta_{4a}T_a) - (\beta_{2r}t_r + \beta_{3r}c_r + \beta_{5r}d_s) \quad (17)$$

$P_a$ : 航空選択率,  $a$ : 航空,  $r$ : 鉄道,  $t$ : 所要時間

$c$ : 運賃,  $T$ : 平均スケジュールコスト

$d_s$ : 新幹線ダミー

航空と鉄道の選択率は「平成12年全国幹線旅客純流動データ」の「代表交通機関別都道府県間流動表(年間)<sup>16)</sup>」をもとに算出した。ただし、用いた純流動データは都道府県間(北海道は道北・道東・道央・道南の4地域)ごとに集計されたデータであるため、各空港がある都道府県間の流動値を路線のデータとして用いた。また、所要時間と運賃(通常期)はYahooホームページ<sup>17)</sup>の路線情報を用い、各路線の発着都市がある都道府県の県庁所在地の駅(旭川は旭川駅、函館は函館駅)間の移動に必要な時間と運賃を算出した。

航空の平均スケジュールコストは、3(4)で求めた希望時刻分布  $f_m$  に基づき、(1)式を用いて路線ごとの平均スケジュールコストを算出した。また、希望時刻の分布を算出した有意性を確認するため、分布が一様な場合 ( $f_m = 1/24$ ) の平均スケジュールコストも同

様に算出した。

### (2) 重回帰分析によるパラメータの推定

3 (4) で求めた希望時刻の分布に基づく平均スケジュールコスト (case1) と、一様分布に基づく平均スケジュールコスト (case2) のそれぞれを用いた場合について、ステップワイズ法により重回帰分析を行った。対象路線は、クラスタ分析で抽出した52路線のうち以下の路線を除いた42路線 (国内線全体の旅客数の52%) である。すなわち、航空と鉄道の競合がないと考えられる那覇5路線、また、1つの県 (地域) に2つ以上の規模が同等の空港があるため純流動データと路線との対応付けが困難な「羽田-鳥取・米子」と「羽田-釧路・帯広・女満別」の5路線を除いた。

表2からわかるように、航空の平均スケジュールコストに関して負の有意なパラメータが得られた。これは、平均スケジュールコストが下がると航空選択率は増加することを示している。つまり、旅客の希望にそって時刻を決めることで航空選択率が高まることを表している。また、新幹線ダミーについては正のパラメータ値が得られた。これは、新幹線があると航空選択率が減少するという競合関係を示している。所要時間のパラメータは有意とならない。運賃のパラメータも、両者の差異を考えた場合には有意ではなく、鉄道運賃のみを用いた場合の適合性が最も高かった。この鉄道運賃のパラメータは負であり、鉄道の運賃が高いほど航空選択率が高くなることを示している。ただし、この鉄道運賃は都市間の距離との相関が高く、その代理変数となっている可能性がある。つまり距離が長いほど旅客が鉄道よりも航空を利用する傾向が高いことを反映している可能性がある。

### (3) 希望時刻分布の妥当性

case1とcase2の修正済み決定係数を比較すると、case1の方がcase2よりも大きくなっている。これは、本研究で求めた希望時刻分布に基づく平均スケジュールコストの方が、一様分布に基づく平均スケジュールコストよりも有効に働いていることを示している。それは航空の平均スケジュールコストパラメータのt値にも現れている。

以上のことから、3. で算定された希望時刻の妥当性が確認できたと考える。

## 5. おわりに

以上の研究の結果、航空スケジュールの良さを表現するために平均スケジュールコストという指標が有用であり、その基礎となる旅客の希望出発時刻の分布を

求める方法を提案することができた。さらに統計分析を通して、旅客のスケジュールコストが大きいほど航空選択率が小さいという関係を確認することができた。以上を踏まえると、旅客の利便性向上のためには多頻度での運行が重要であり、航空会社としては機材小型化などの努力が望まれるほか、発着枠の配分や発着料の設定など政策面での配慮も必要であることになる。

なお、今回の分析では航空の運賃が有効に働かなかった。この理由としては、割引運賃のデータを入手できなかったことや、ビジネス客と観光客の時間価値の違いを考慮していないことが考えられる。この点を改善することや、鉄道の平均スケジュールコストのモデルへの導入が今後の課題である。

本研究は日本学術振興会科学研究費 (基盤研究 17360249) の研究成果の一部である。記して感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 栢元淳平・塚井誠人・奥村 誠：複数経路を考慮した鉄道・航空ネットワークの評価，土木計画学研究論文集，No. 20，pp. 255-260，2003.
- 2) Borenstein, S. and Netz, J. : Why all the flights leave at 8 am? : Competition and departure-time differentiation in airline markets, International Journal of Industrial Organization, 17, pp. 611-640, 1999.
- 3) Janssen, M. C. W., Karamychev, V. A., Reeven, P. V. : Multi-store competition: Market segmentation or interlacing?, Regional Science and Urban Economics, 35, pp. 700-714, 2005.
- 4) Bazargan, M. : Airline Operations and Scheduling, Ashgate, 2004.
- 5) 菅野厚：航空会社間運賃競争モデル-ホテリングの問題を応用して-，応用地域学会第 20 回研究発表大会，2006.
- 6) 創美社編集出版事業部編：航空時刻表 (2006. 10)，創美社編集出版事業部，2006.
- 7) 前一心編：JR 時刻表 (2006. 10)，交通新聞社，2006.
- 8) 国土交通省 HP：航空輸送サービスに関わる情報公開 (平成 18 年度分)，[http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha06/12/121201\\_2\\_.html](http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha06/12/121201_2_.html) (2006. 12. 5 現在).
- 9) 国土交通省 HP：平成 17 年度空港管理状況調査，[http://www.mlit.go.jp/koku/04\\_outline/10\\_data/03\\_kanrijoukyouyousyo/h17.pdf](http://www.mlit.go.jp/koku/04_outline/10_data/03_kanrijoukyouyousyo/h17.pdf) (2006. 12. 12 現在).
- 10) 国土交通省 HP：第 1 回全国幹線旅客純流動データ交通機関別移動目的別都道府県間流動表 (秋期 1 日)，[http://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/jyunryuudou/h2/h2\\_od\\_6.xls](http://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/jyunryuudou/h2/h2_od_6.xls) (2006. 12. 30 現在).
- 11) 国土交通省 HP：第 2 回全国幹線旅客純流動データ交通機関別移動目的別都道府県間流動表 (秋期 1 日)，<http://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/j>

- yunryuudou/h7/h7\_od\_6.xls (2006.12.30 現在) .
- 1 2) 国土交通省 HP : 第 3 回全国幹線旅客純流動データ  
交通機関別移動目的別都道府県間流動表(秋期 1  
日) , [http://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/jyunryuudou/h12/h12\\_od\\_6.xls](http://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/jyunryuudou/h12/h12_od_6.xls) (2006.12.30 現在) .
  - 1 3) 酒井正子 : 羽田 日本を担う拠点空港 航空交通と  
都道府県, 成山堂書店, 2005.
  - 1 4) 交通工学研究会編 : やさしい非集計分析, 交通工  
学研究会, 1993.
  - 1 5) 北村隆一, 森川高行, 佐々木邦明, 藤井聡, 山本

俊行 : 交通行動の分析とモデリング—理論/モデル/  
調査/応用—, 技報堂出版, 2002.

- 1 6) 国土交通省 HP : 第 3 回全国幹線旅客純流動データ  
代表交通機関別都道府県間流動表 (年間) ,  
[http://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/jyunryuudou/h12/h12\\_od\\_4.xls](http://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/jyunryuudou/h12/h12_od_4.xls) (2007.1.9 現在) .
- 1 7) YahooHP : 路線情報, 経路, 運賃探索, <http://transport.yahoo.co.jp/> (2007.2.5現在) .

---

## 航空旅客の希望出発時刻分布の逆推定\*

木村裕介\*\*・奥村誠\*\*\*・坂本麻衣子\*\*\*

本研究では, 現状の航空便の設定時刻からの逆推定により, 旅客の希望出発時刻の分布を算出した. さらに算出した分布を用い, 運行スケジュールが都市間の旅客の航空選択率に与える影響を分析した. 具体的には, 運行スケジュールの良さを表現できる定量的な指標として平均スケジュールコストという概念を導入した. また, 最適複数店舗立地モデルを応用した逆推定を用いて, 4つの路線群ごとに旅客の希望出発時刻の分布を算出した. 重回帰分析の結果, 旅客の希望時刻に合わせて便を設定することが航空選択率の上昇をもたらすことを示した.

---

## Reverse Analysis of Preferred Departure Time of Air Passengers\*

By Yusuke KIMURA\*\*・Makoto OKUMURA\*\*\*・Maiko SAKAMOTO\*\*\*

In this paper, we calculated preferred departure time of air passengers by reverse analysis from actual flight schedule of domestic air service. In addition, we analyzed how a flight schedule affects on the air-rail choice rate. Specifically, we introduced a concept of average schedule cost in order to express a service level of a flight schedule. Next, we calculated preferred departure time of air passengers by reverse analysis based on a multi-store location game model. The multiple regression analysis showed that the average schedule cost using the estimated preferred departure time have negative effect on the air share.

---