

混雑空港の時間発着枠配分への競争入札制度導入時における航空事業者行動の基礎的分析*

Airport Time Slot Allocation under an Auction System at a Congested Airport*

加藤 浩徳**・下田 誠剛***

By Hironori KATO**・Masataka SHIMODA***

1. はじめに

近年、世界各国の主要空港においては、航空需要の急激な伸びに滑走路等の建設が追いつかず、容量不足が深刻な問題となっている。したがって、希少資源である滑走路の発着枠(スロット)の効率的活用が強く望まれている。しかし、多くの空港では行政による指導・調整や関係者間の不透明な話し合いによって発着枠が決定されており、効率的な配分がなされているかには疑問がある。これに対し、混雑空港でのスロット配分方法として競争入札やピークロードプライシング等が提案されている¹⁾。競争入札は、入札を通じた競争によって、発着枠の価値を高く評価する航空事業者が利用できる仕組みであるため、高い効率性が期待される方法である²⁾が、羽田空港では、検討が不十分なため時期尚早として導入が見送られた³⁾。そこで、本研究では、混雑空港の時間発着枠(以下、タイムスロット)配分に競争入札が導入されたときの航空会社の行動をモデル化し、競争入札導入による効果を分析することを目的とする。

2. 分析の基本的な考え方

(1)入札の方式

競売理論あるいは空港スロット配分研究においては、さまざまな入札方法が提案されている。本研究では、過去の適用例(米国)や単純さを考えて、封緘付第1価格オークションを採用する。ただし、本研究では、以下の仮定を置くことから、収入等価理論が成立すると考えられ、そのため、他のオークション方法を適用しても結果が同一になることが期待される。

- 競売者(空港管理者とする)は落札価格のみに関心があり、品質や納期といった価格以外の要素を考えない。
- 各入札者(航空会社とする)の価値評価がそれぞれ独立していて相関がない。
- 全ての入札者はリスク中立的である。
- 入札者は情報に関して対称である。ただし、入札者同士は他の入札者の情報を完全には知らないで、不完全情報下での意思決定問題となる。

(2)モデルの概要

(a)モデルの全体構造

混雑空港のタイムスロット配分を対象に、競争入札制度が導入されたときの不完全情報下における航空会社の行動をモデル化する。航空会社は、交通需要、運行距離、運行時間、競合交通手段のLOS等が与えられたときに、どの時刻帯のスロットに、どの目的地への航空サービスを提供するかを、入札を通じて決定する。

航空会社の行動を示したものが、図-1である。複数の航空会社は、他の航空会社の入札行動を考慮しながら、自社の期待利潤を最大とする入札額を各タイムスロット、各目的地別に決定する。

(b)モデルの前提条件

モデルの基本的な前提条件は以下の通りである。

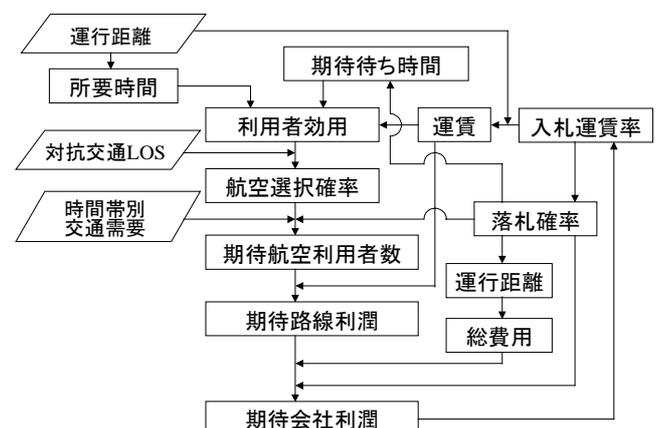


図-1: 航空会社の入札行動モデル

*キーワード: 空港管理, 空港計画, ターミナル計画

**正員, 博(工), 東京大学大学院工学系研究科

(東京都文京区本郷7-3-1,

TEL03-5841-7451, FAX03-5841-8506)

***正員, 工修, 西日本旅客鉄道株式会社

(〒607-8013 京都府京都市山科区安朱中小路町 16

TEL&FAX 075-592-4232)

【入札に関わる前提】

- ・ 入札対象: 距離あたり運賃率とする.
- ・ 対象路線: 国内線のみを対象とする.
- ・ 対象時間帯: 単純化のため全時間帯を対象とする.
- ・ 路線の決定: 入札と同時に路線(目的地)も決定するものとする.
- ・ 入札の時間順序: 全てのスロットに対して同時に入札するものとする.

【モデルの枠組みに関わる前提】

- ・ 航空会社の行動原理: 期待利潤最大化とする.
- ・ 競合交通手段: 航空会社以外に1種類の交通機関を想定する. この交通機関は, 等運行間隔で各OD間の輸送サービスを提供する.
- ・ 情報: 交通需要, 競合交通手段のLOSは競売者, 入札者の共有情報とする. 入札額については, 入札は他の入札者の提示する入札額の確率分布のみを知っている. 入札者間では情報は対称とする.
- ・ ネットワーク: 1つの混雑空港とそれ以外の複数空港とを結ぶハブアンドスポーク型ネットワークとする.
- ・ 離着陸の整合性: 機材スケジューリングを考慮せず, 離陸に対してのみ入札が行われる.
- ・ 機材サイズ: 単純化のため1種類とする.

(3)期待需要関数の算出

まず, 時刻 k に対する航空会社 l の時刻 t における目的地 i への運賃率を $R_{l,i}^k$ とする. 入札で航空会社 l が時刻 k における目的地 i へのスロットを獲得する確率 $P_{l,i}^k$ は, $R_{l,i}^k$ 以外の入札運賃率がそれぞれ $R_{l,i}^k$ よりも小さい同時確率として以下の式(1)のように表される.

$$P_{l,i}^k = \Pr ob[R_{l,i}^k \leq R_{x,y}^k, \text{for } \forall x, y] \quad (1)$$

ここで, 運賃率の確率分布を考慮するため, $R_{l,i}^k$ を確定項 $r_{l,i}^k$ と確率項 $\varepsilon_{l,i}^k$ により $R_{l,i}^k = r_{l,i}^k + \varepsilon_{l,i}^k$ と表されるものとし, 確率項にIIDガンベル分布を仮定する. すると, 落札確率は, 以下のロジットモデル式で表される.

$$P_{l,i}^k = \frac{\exp(-r_{l,i}^k)}{\sum_{l \in L} \sum_{i \in I} \exp(-r_{l,i}^k)} \quad (2)$$

次に, 交通機関 m (l : 航空, r : 鉄道) で目的地 i に行

くのに, 時刻 t に出発を希望する利用者が, 時刻 k に出発するときの効用は, 式(3)のように表されるものとする.

$$u_{m,i}^{k,t} = a \cdot F_{m,i}^k + b \cdot T_{m,i} + c \cdot td_{m,i}^{k,t} + \varepsilon_{m,i}^{k,t} \quad (3)$$

ここで, $F_{m,i}^k$: 時刻 k における目的地 i への交通機関 m の運賃, $T_{m,i}$: 目的地 i への交通機関 m の所要時間, $td_{m,i}^{k,t}$: 交通機関 m で目的地 i に時刻 t に出発を希望する利用者が時刻 k に出発する便を利用するときの, 希望時間と利用する時間の差: ただし, $td_{l,i}^{k,t} = |k - t|$, $td_{r,i}^{k,t} = \frac{1}{2} I_i$ で, I_i を競合交通手段の目的地 i への運行サービス間隔, ε : 確率項とする.

このとき, 確率項にIIDガンベル分布を仮定すると, 交通機関 m で目的地 i に行くのに, 時刻 t の出発を希望する旅行者が時刻 k の便を選択する確率は, 以下のロジットモデルとなる.

$$q_{m,i}^{k,t} = \frac{\exp(u_{l,i}^{k,t})}{\sum_{l,k \in \text{success}} \exp(u_{l,i}^{k,t})} \quad (4)$$

時刻 t に目的地 i への出発を希望する旅行者数を d_i^t

とする. また, *success* を目的地 i への落札に成功したタイムスロット, つまり実現されるスケジュールで, 航空会社 l と時刻 k の組み合わせによって表される集合とする. ある *success* のとき, 時刻 t の出発を希望する旅行者のうち, 航空会社 l の時刻 k の便を選択する期待人数は, 以下のように表される.

$$\prod_{l,k \in \text{success}} P_{l,i}^k \cdot \prod_{l,k \notin \text{success}} (1 - P_{l,i}^k) \cdot q_{l,i}^{k,t} \cdot d_i^t \quad (5)$$

あらゆる *success* のパターン, すなわちあらゆる航空会社 l と時刻 k の組み合わせについて, 全ての出発希望時刻 t について式(5)の期待人数を合計したものが, 航空会社 l の時刻 k における便の期待需要となる.

$$E[D_{l,i}^k] = \sum_{t \in K} \sum_{\forall l,k} \left(\prod_{l,k \in \text{success}} P_{l,i}^k \cdot \prod_{l,k \notin \text{success}} (1 - P_{l,i}^k) \cdot q_{l,i}^{k,t} \cdot d_i^t \right) \quad (6)$$

(4)航空会社の利潤と入札価格の決定

航空会社 l の時刻 k における目的地 i へのフライトの

期待利潤 $E[\pi_{l,i}^k]$ は、以下ようになる。

$$E[\pi_{l,i}^k] = E[D_{l,i}^k] \cdot r_{l,i}^k \cdot L_i - TC_l \quad (7)$$

ただし、 TC_l : 航空会社 l のトータルコスト、 k : 出発時刻、 $E[D_{l,i}^k]$: 時刻 k における航空会社 l の目的地 i への期待需、 L_i : 目的地 i までの距離である。

一方で、航空会社の費用関数としては、式(8)に示されるようなコブ・ダグラス型の関数を想定する。

$$\ln(TC_l) = \alpha_0 + \alpha_1 (\ln(\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} P_{l,i}^k \cdot L_i)) + \alpha_2 (\ln DC) + \alpha_3 (\ln FC) \quad (8)$$

ここで、 TC_l : 航空会社 l の総費用(円)、 L_i : 目的地 i までの距離(km)、 DC_l : 航空会社 l の距離あたり可変費用(円/km)、 FC_l : 航空会社 l のフライト 1 回にかかる固定費用(円/フライト)、 $\alpha_0 \sim \alpha_3$: パラメータである。

以上より、航空会社 l 全体の期待利潤 Π_l は、

$$E(\Pi_l) = \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} [P_{l,i}^k \cdot E[\pi_{l,i}^k]] - TC_l \quad (9)$$

のようになり、これに、式(4)、(6)、(7)、(8)を代入すると、次式が得られる。

$$E(\Pi_l) = \sum_K \sum_I \frac{\exp(-r_{l,i}^k)}{\sum_I \sum_K \exp(-r_{l,i}^k)} \cdot \left\{ \sum_{i \in K} \sum_{success}^{i,l,k} \left(\prod_{l,k \in success} P_{l,i}^k \cdot \prod_{l,k \notin success} (1 - P_{l,i}^k) \right) \cdot \frac{\exp(u_{l,i}^{k,t})}{\sum_{l,k \in success} \exp(u_{l,i}^{k,t})} \cdot d_i^t \cdot r_{l,i}^k \cdot L_i - (\alpha_1 \cdot T_i + \beta_l) \right\} - \{ \alpha_0 + \alpha_1 (\ln(\sum_K \sum_I \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \exp(-r_{l,i}^k) \cdot L_i)) + \alpha_2 (\ln DC_l) + \alpha_3 (\ln FC_l) \} \quad (10)$$

この期待利潤関数の特性を調べるため、ある1つの時刻、目的地の運賃率を変数とした期待利潤の挙動をグラフに記すと図-2 のようになった。航空会社の戦略は期待利潤を最大化するように $r_{l,i}^k$ を決定することだが、図-2 より、条件によっては期待利潤を正として最大化できる運賃率が存在することがわかる。

本モデルは、各航空会社がプレイヤー数(航空会社数)、戦略集合(スケジュール)、利得関数、タイプ集合(費用構造)を知っているという不完全情報ゲームと考えることができることから、このモデルの解は、式(11)のベ

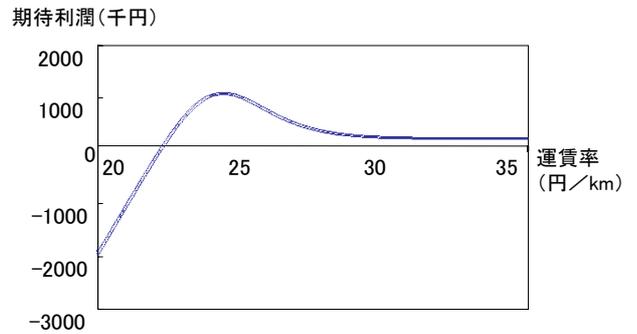


図-2 期待利潤関数の挙動分析例

イジアン=ナッシュ均衡解によって求められる。

$$r_{l,i}^{k*} = \arg \max [E(\Pi_l(r_{l,1}^{1*}, \dots, r_{l,i}^{k*}, \dots, r_{l,L}^{K*}))] \text{ for } \forall l, i, k \quad (11)$$

3. 数値分析

(1) パラメータの設定

数値分析の実施に先立ち、各種パラメータの設定を行う。まず、費用関数の推定を行った。データとして、日本の国内航空大手 3 社(日本航空、全日本空輸、日本エアシステム)の有価証券報告書(1983~1998 年)に記載されている営業費用、有償旅客・キロ、運行回数、運行距離を用いて、制約条件付最小二乗法により推定し、表-1 のような結果を得た。生産量のパラメータが1より小さいことから、生産量に関して規模の経済が存在することがわかる。次に、交通機関分担モデルのパラメータについては、既存のモデル(業務目的)の分析結果を適用した。適用したパラメータは表-2 の通りである。

表-1 費用関数のパラメータ推定結果

変数	パラメータ	t値
定数項: α_0	2.77	6.99
生産量(人・km): α_1	0.776	13.1
距離あたり可変費用(円/km): α_2	0.809	17.2
フライト1回あたり固定費用(円/フライト): α_3	0.191	4.37
重決定係数	0.997	
サンプル数	48	

表-2 交通機関選択モデルのパラメータ

変数	パラメータ
費用(円): a	0.000128
幹線所要時間(分): b	0.0219
乗車外時間: c	0.0198

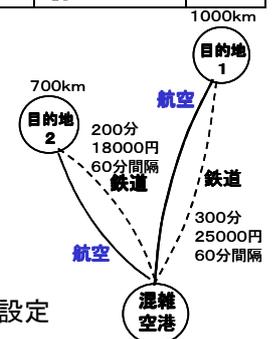


図-3 数値計算の環境設定

(2)数値計算の試算結果

入札に参加する航空会社を2社(会社1, 2), 目的地(路線1, 2)を2つとする. 対象とするスロット数を5つとし, 1つのタイムスロットの時間枠を 15 分と仮定した. その他の環境変数は図-3 のように設定した.

航空会社のコスト構造を同一とし, 目的地間での需要も同一の場合の結果(基本ケース)が, 図-4 である. 次に, 需要特性は同一で, 航空会社2のみ, 固定費用が5%, 10%削減されたときの結果を示したものが, 図-5, 図-6 である. このケースは, 会社間でコスト構造に差がある場合, あるいは片方の会社の経営努力によってコストダウンが成功した場合等に相当する. 分析結果より, 基本的には, コストの安い航空会社2がより低い運賃率を提示し, 入札に勝利する様子がうかがえるが, 需要の少ない時間帯では逆に航空会社2の方が, 高い運賃率

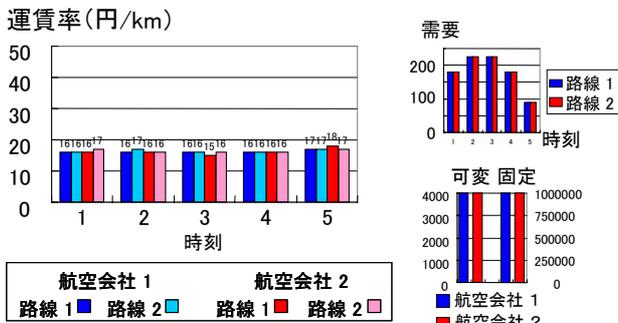


図-4 基本ケースの分析結果

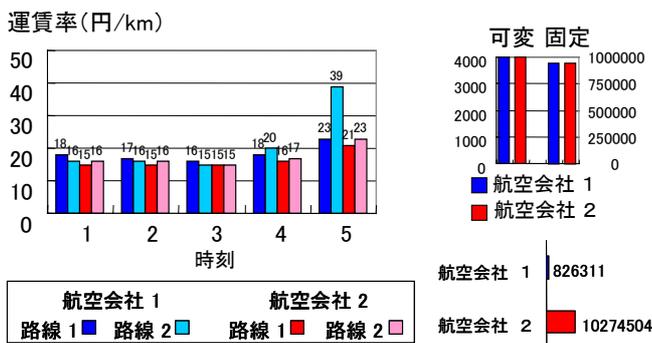


図-5 航空会社2の固定費用を5%削減したケース

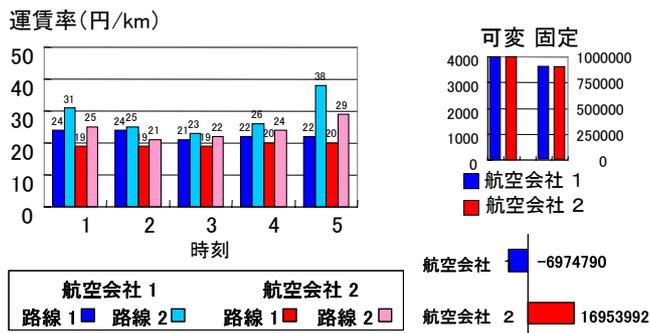


図-6 航空会社2の固定費用を10%削減したケース

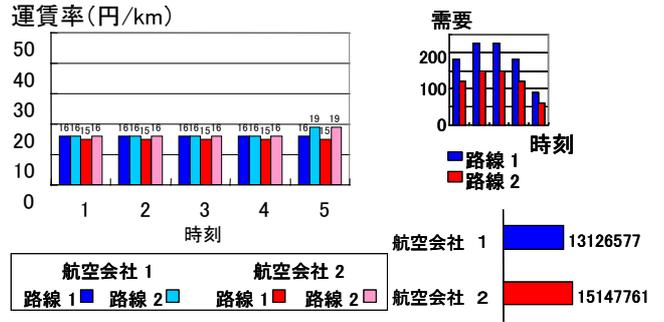


図-7 会社2固定費5%減&路線2需要33%減のケース

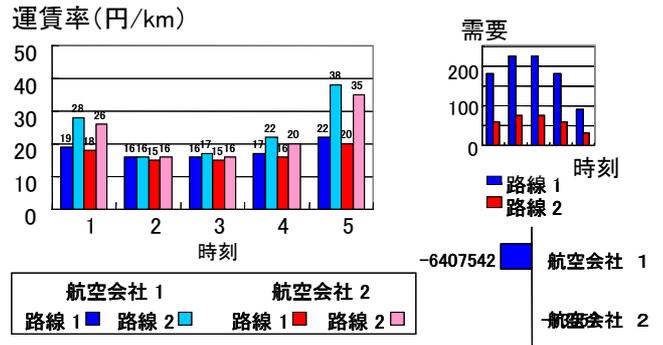


図-8 会社2固定費5%減&路線2需要67%減のケース

を出す場合もある. また, コスト構造に差が生まれると, 低コスト会社のみが正の利潤を受け, 独占体制になる可能性があることもわかる.

次に固定費に5%の差がある状態で, 路線2の需要が少ないケースを分析した結果が, 図-7, 図-8 である. 需要の差が大きくなると, 需要の少ない路線で運賃率が上昇することがわかる.

4. おわりに

本研究では, 競争入札が混雑空港のタイムスロット配分に適用された時の航空会社の行動をモデル化し, 数値分析を試みた. 仮定が多く, シンプルなモデルゆえ, 問題も多い. 今後さらに緻密な分析が必要であろう.

【参考文献】

- 1) 高橋望: 規制緩和後のハブ・システムの展開と空港制約の処理, 交通額研究, 1997年研究年報, pp.33-42, 1998.
- 2) スロット配分方式検討懇談会: スロット配分方式検討懇談会報告書, 1998.
- 3) 中条潮: 空港発着枠の配分と不採算航空路線の補助制度に関する考察, 三田商学研究, 第43巻, 第3号, pp.89-109, 2000.
- 4) (財)運輸政策研究機構: 長期輸送需要予測に関する調査報告書, p.39, 2001.
- 5) 藤井彌太郎監修, 中条潮・太田和博編: 自由化時代の交通政策—現代交通政策II, 東京大学出版会, pp.173-195, 2001.