

## 1. はじめに

近畿地方では関空、伊丹に加え、神戸空港が開港し、また北部九州でも福岡、佐賀に次いで新北九州空港が開港し、わが国でも本格的に1地域複数空港の運営が本格的に開始された。わが国では同一エリア内に複数空港が存在する例はまだ少なく、利用方法によっては巨大な効果を発揮すると考えられる。一方でエアラインの乗り入れ・運航可能性に関しては不透明な部分がまだ存在し、今後の空港運営ならびに地域への波及効果計測の点では多くの議論すべき点が存在する。

本稿では国内中長距離旅客輸送市場を対象とし、エアラインのネットワークデザインと旅客の路線選択行動との相互作用を考慮した需要推計モデルを用いて、関西3空港の機能特性について考察を加える。具体的には3空港間での路線設定の違いによる影響を分析するとともに、各空港の機能分担の可能性について考察を加える。

## 2. モデル

本稿では航空旅客輸送市場を

- ① エアライン間の競争
- ② 旅客の路線選択行動

の2層で構成されるものとする。ただし、エアラインの競争は既存ネットワークキャリアと新規参入のローコストキャリアの関係のように市場での優位性に差がある場合が少なくない。このような場合は竹林が示すようにエアラインの競争のレベルで2段階以上の階層化された競争市場が存在することになる。ゆえにまず個別エアラインの行動を定式化し、次にエアライン間の競争をシステムとして記述することとした。

\*Keywords: 関西3空港, SUE, 寡占市場

\*\*：正会員，神戸大学工学部建設学科

(〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)

## 2.1 エアライン

エアラインは自己の利潤を極大化するために、価格や供給席数を制御する。Oum et al は短期的にはBertrand型の価格競争が、また1年程度の単位で観察すればCournot的な量的競争が生じると指摘している。ここではネットワーク戦略を分析対象とするため、量的な競争が実現していると仮定する。すなわち、エアライン $n$ がリンク $l$ で運営する頻度 $f_l^n$ を明示的な戦略とすると考えることとする。ただし、運賃に関しては量的競争を前提とした形式が導出できるものと仮定する。このときライバル企業(“- $n$ ”として表記)の行動 $\tilde{f}_l^{-n}$ は最適反応であるとする。

今、OD市場 $rs$ で経路 $k$ を選択する旅客数 $x_k^{rs}$ は、旅客の最適化行動 $\min : \Gamma(x_k^{rs})$ の結果得られるものとする。OD市場で設定される運賃 $p_k^{rs}$ は経路ごとに与えられるものと仮定する。一方、エアラインはフライトごとの運航費用 $C_n^{OP}(f_l^n)$ および乗り入れている地点・空港に依存する固定費用 $C_n^{FX}$ を支払わなければならないと考える。このとき、エアライン $n$ の直面する利潤最大化問題は次のように表現される。

【エアラインの利潤最大化問題：AMAX】

$$\text{Object} : \pi^n(f_l^n \in I^n, \tilde{f}_l^{-n} \in I^{-n}) = \sum_{rs} \sum_k p_k^{rs} x_k^{rs} \delta_n^{rsk} - \sum_{l \in I^n} C_n^{OP}(f_l^n) - C_n^{FX} \rightarrow \max \text{ for } \forall n \quad (1)$$

Subject to

$$f_l^n v_l^n \geq x_l^n = \sum_{rs} \sum_k x_k^{rs} \delta_l^{rsk}, \text{ for } \forall l \in I^n, \quad (2)$$

$$\mathbf{G}(f_l^n) \leq \mathbf{0}, \quad (3)$$

$$f_l^n \geq f_{LOW}, \text{ for } \forall l \in I^n, \quad (4)$$

$$x_k^{rs} = \arg\{\min : \Gamma(x_k^{rs})\}, \text{ for } \forall k \in K^{rs} \text{ and } rs \in \Omega. \quad (5)$$

ここで、 $I^n$ はエアラインの運航するリンクの集合、 $K^{rs}$ は $rs$ OD市場で選択可能な経路の集合、 $\Omega$ は

ODペアの集合を表す. また  $\delta_n^{rsk}$  はバイナリ変数であり,  $rs$ OD市場での経路  $k$  がエアライン  $n$  を利用する場合 1 をとり, それ以外はゼロとなる. 同様に  $\delta_l^{rsk}$  もバイナリ変数であり,  $rs$ OD市場での経路  $k$  がリンク  $l$  を利用する場合 1 をとり, それ以外はゼロとなる.

式(1)は目的関数であり, 旅客収入, 運航費用, 固定費用で構成されることを表す. 式(2)は路線の輸送能力制約であるが, 下位問題である旅客の行動に容量制約付きの配分を仮定し, かつバイパス経路を設定するのであれば, この制約はエアラインにとっては無用の制約となる.

式(3)の  $G(\cdot)$  は(2)に含まれない一般的な制約条件を表している. 例えば, 空港での容量制約はここに含まれるものとする. 式(4)は運航の最低便数制約を表しており, 乗り入れを停止することを禁止したものである. 式(5)は旅客フローが最適行動の結果であることを意味する.

## 2.2 エアライン行動の均衡

ここではライバル企業の行動について情報が対称である場合と非対称の場合に分けることができる. ここでは対称の場合のみ説明する.

まず情報が対象の場合, Hong and Harker (1992), Zhou, Lam and Heydecker (2005) に従うと, 問題 AMAX は一般化 Nash 均衡問題として次のような準変分不等式問題(QVI)として定式化できることが知られている. 経路交通量のうちエアライン  $n$  が輸送する旅客数を改めて  $f_l^n$  と表すとすると, AMAX は次のように変形できる.

【エアラインの利潤最大化問題: AMAX-QVI】

$$\begin{aligned} & \text{Find } \mathbf{z} = (f_l^n, x_k^{rs}) \\ & \text{such that} \\ & \sum_{n, l^n} \left\{ \nabla_{f_l^n} \pi^n (\tilde{f}_l^n - f_l^n) + \nabla_{x_k^{rs}} \pi^n (\tilde{x}_k^{rs} - x_k^{rs}) \right\} \leq 0 \end{aligned}$$

constraints (2) to (5) hold.

(7)

これは目的関数が  $\mathbf{z}$  に対して凸であるため, Zhou, Lam and Heydecker が示すような Method of Successive Averages (MSA) などを利用して求解可能である. ただし, 旅客の行動に容量制約が付く

場合, いくつかの経路で等式が成立したとしても, 代替経路に十分な容量が確保されていれば, 式(2)は省略することができる.

なお, 式(5)に関する検討は後述するモデルで計算可能である.

## 2.3 旅客の行動

旅客行動はリンクの容量制約を明示的に取り扱うため, Bell (1996) や Lam and Zhou (2002) の定式化に従うものとする. すなわち, 確率的利用者均衡配分(SUE)を仮定するのであれば, リンクの混雑による追加的費用が容量制約に関する Lagrange 乗数の値として記述できる, というものである.

【容量制約つき確率的利用者均衡配分問題: SUE/FD-CAP】

$$\text{Object : } \Gamma(x_k^{rs}) = \frac{1}{\theta} \left\{ \sum_{rs \in \Omega} \sum_{k \in K^{rs}} x_k^{rs} (\ln x_k^{rs} - 1) + \sum_{l \in I} u_l x_l \right\} \quad (9)$$

Subject to

$$\sum_{k \in K^{rs}} x_k^{rs} = X^{rs}, \text{ for } \forall rs \in \Omega \quad (10)$$

$$x_{l^n} = \sum_{rs} \sum_k x_k^{rs} \delta_l^{rsk} \leq v_{l^n} f_{l^n}, \text{ for } \forall l^n \in I^n, \forall n \in N \quad (11)$$

$$x_k^{rs} \geq 0, \text{ for } \forall k \in K^{rs}, \forall rs \in \Omega \quad (12)$$

ここで  $x_l$  はリンク交通量であり,  $u_l$  はリンクのコストを表し, 本モデルでは以下のように所要時間  $t_l$ , 費用  $p_l$ , 空港  $h$  での営業時間  $OPEN^h$  での平均接続待ち時間  $OPEN^h / f_{l^n}$ , そして満席の場合のコスト  $\phi_{l^n}$  の線形結合で表されるものとする. また  $X^{rs}$  は  $rs$ OD市場でのOD交通量を表す.  $v_{l^n}$  はリンク  $l^n$  での機材容量を表す.

式(10)はOD交通量の保存, 式(11)はリンクでの容量制約, 式(12)は制御変数の非負条件である.

求解法はBellのアルゴリズムを用いることができる.

なお, 本モデルでの旅客の効用は路線運行頻度と運賃によって構成され,

$$u_k^{rs} = U(f, p) \quad (13)$$

と表現されるものとする.

## 3. 数値計算

本稿では, 関西3空港でのスロット配分の特性

について検討する。対象とする OD は、近畿地方 2 府 4 県と首都圏、北海道・東北、九州・沖縄のジェット化路線に限定することとした。これは機能分担では大阪空港の大型機のジェット枠減少の問題が大きく、この減少分を 2 空港のうちのいずれかに割り当てるのが焦点になるためである。

なお、本稿では簡単のため低費用キャリア (LCC) の参入は考慮していない。LCC 参入の効果も考慮した分析結果は、機会を改めて発表することとしたい。

### 3.1 市場

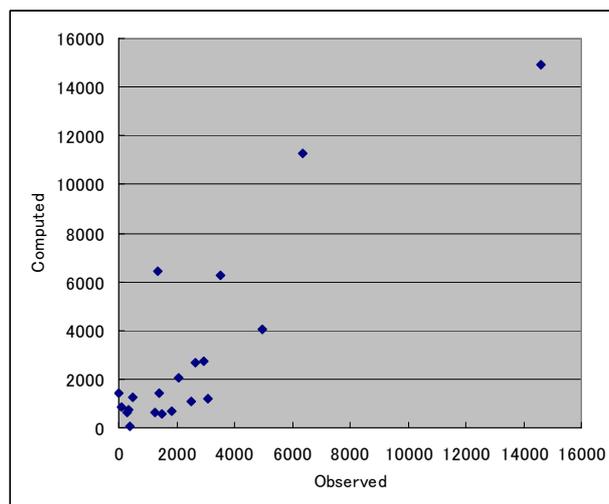
OD 旅客数に関しては、平成 15 年度幹線旅客動態調査 (年拡大) を用い、1 日あたりの流動量に変換して使用している。

また、バイパス経路としては、沖縄を除いては全て鉄道による輸送を設定することとした。沖縄への移動に関しては、船舶による移動をバイパス経路として設定し、その費用を算定することとした。

### 3.2 再現性

図-1 はリンクフローの再現性について示したものである。ただし、厳密なエアラインごとのシェアは不明であるため、ここでは「数字で見る航空」に記載されている「航空機利用者数」、すなわち、航空旅客総計による評価を行った。このため、シェアに関する再現性は確認されていない点に注意が必要である。相関係数は 0.879 であり、路線数を限っているものの、この点に関して、再現性は十分実用に耐えられるものであると判断される。

一方、運航頻度に関しては、詳細は省くが、再現性はあまり高くない。相関係数で 0.566 であり、機材種類を 1 路線 1 種類に限定したこと、JAS の存在を省略したことなどが原因であると考えられる。



単位：人/日

図-1 リンクフローの再現性(2000)

### 3.3 シナリオ分析によるスロット配分ルールの検討

本節では、神戸空港を含めた関西 3 空港でのスロット割り当てに関して、いくつかのシナリオを設けて数値計算を行い、複数空港下における運営方法について検討を加える。

まず、神戸空港が開港後の状態についての評価をベンチマークとする。ここでは神戸空港開港後でかつ伊丹空港でのマルチエンジン (3 基以上) のワイドボディ機の就航が禁止された 2006 年 4 月期をベンチマークとして計算した。ただし、JAL/ANA それぞれの就航便数は表-1 に示すとおりである。ただし、幹線のみを示している。

計算の結果、平均ロードファクターは JAL/ANA とともに 61% となり、実際に計測されている 78% とはかなり乖離する結果となった。これは前述のように、機材を路線ごとに単一にしたことが影響していると考えられる。航空機利用旅客総数 (近畿圏発着) は 66,270 人/日であり、平均不効用は 24.17 となった。現状では大阪の比重が高く、JAL は神戸の、ANA は関西の比重が次いで高いということが出来る。このネットワーク条件で最適化したものが () 内の値である。利用者総数は 58,137 人/日、便数の総数も 280.05 便と 63 便減少したが、平均不効用は 24.01 と若干改善されている。これは 1 便あたりに換算すると、126

表-1 1日あたり就航便数

JAL		ANA	
ITM	108 (93.89)	ITM	132 (104.71)
KIX	26 (18.83)	KIX	40 (24.85)
KOB	24 (22.0)	KOB	14 (15.77)

表-2 シナリオ一覧

シナリオ番号	ITM	KIX	KOB
基本ケース・最適化	A:O, B:O	A:O, B:O	A:O, B:O
Case 1) both FSC	A:O, B:X	A:O, B:O	A:O, B:O
Case 2) both FSC	A:O, B:X	A:O, B:X	A:O, B:O
Case 3) both FSC	A:X, B:O	A:X, B:O	A:O, B:X
Case 4) B as LCC	A:O, B:X	A:O, B:X	A:X, B:O

席/便となるため、地方の不採算路線就航が大幅に縮小された結果であると考えられる。

次に、このような3空港に分散した割り当ては、エアラインにとっては効率が悪いと考えられる。

このため一つの思案として、空港の棲み分け効果を評価することとした。欧米では1地域に複数の空港が存在する場合、エアラインごとに主として利用する空港を変えるという現象が見られる。いくつかの可能性が存在するが、検討する棲み分けルールとして、①2社のうちいずれかが大阪空港から長距離路線を撤退して、神戸空港に拠点を移動する、②2社のうちいずれかが神戸空港路線を設定せず、関西空港の比重を高くする、という2種類の方針から、エアラインごとに路線設定シナリオを作成した。また、神戸空港に就航する場合、LCC化するとしたシナリオも評価することとした。このとき、運賃は30%減少するものとした。

設定したシナリオの一覧は表-2の通りである。ただし、JAL/ANAのいずれかをA社もう一方をB

社として表示している。

表-3は結果の概要である。詳細な結果は講演時に示す。

表-3 結果 (一部)

シナリオ	Airline A			Airline B		
	ITM	KIX	KOB	ITM	KIX	KOB
基本	-	-	-	-	-	-
最適	-	-	-	-	-	-
1	80.48	38.15	28.79	X	41.74	64.83
2	85.82	37.41	28.26	X	X	69.53
3	X	X	107.63	99.79	19.02	X
4	91.34	41.47	X	X	X	68.16

シナリオ	PAX	平均不効用
基本ケース	66,270	24.17
最適化	58,137	24.01
1	50,093	23.76
2	40,822	23.72
3	42,013	25.17
4	37,518	21.63

結果としてはまず、エアラインは最適化を実施することにより、総便数は現在よりも減少するという結果を得た。これは基本ケース以外の全てにおいて得られた。航空機利用による総旅行者数も減少することがわかった。このことから、利用者数を重視するのであれば現状のように両エアラインにスロットを配分する方式が望ましいといえる。しかし、実際に航空機を利用した旅客の効用にのみ着目するのであれば、棲み分け方式 (Case2ないしはCase4) が望ましいといえよう。

#### 4. おわりに

本論文ではBi-levelモデルを応用し、国内航空旅客輸送市場をモデル化するとともに、関西3空港の棲み分け効果について検討した。