【土木計画学研究・講演集 No. 24(1) 2001年11月】

複数空港地域における航空会社の空港選択行動の評価*

A study on evaluation of airline's airport choice behavior in multiple-airport region

伊藤修平** 花岡伸也*** 稲村肇****

By Shuuhei ITO, Shingya HANAOKA and Hajime INAMURA

1. はじめに

(1) 背景と目的

わが国の東京圏には複数の空港がある．ただし，両空港の容量がほぼ限界に達していること，また国内線は羽田空港，国際線は成田空港と明確に機能が分担されていることから，航空会社は自由に空港を選択することはできない状態にある．しかし，今後の航空需要増加に備え，羽田空港の再拡張や首都圏第三空港の立地が検討されている．また国内の他地域でも，関西国際空港の第二期工事が開始され，中部国際空港も建設に着工している．このように，将来わが国大都市圏の空港容量は全体的に余裕ができ，それに伴い首都圏複数空港の機能分担方法も変更されることが考えられる．よって，将来的には，国内外の航空会社が航空協定のもと，ある程度自由に空港を選択できる時代が到来すると言えよう．

航空会社の空港選択行動には，各都市の背後圏需要はもちろんのこと，都心へのアクセス条件，空港容量，乗継旅客のシェア等が影響すると考えられる．今後空港容量に余裕が生じた際，より適切に各空港の運営を行うためには，航空会社の空港選択要因を分析し，行動を予測する必要がある．

そこで本研究では，首都圏空港の容量が将来増加することを背景に，航空会社の空港選択要因を分析し，またその行動を評価することを目的とする．

(2) 評価の考え方

航空会社の空港選択行動を評価するにあたり，本研究では，次のような考え方からゲーム理論を用いる．既存空港のある都市圏に新空港が開港した際，航空会社は他社の戦略を勘案しながら，自社の利潤を最大化するように既存空港や新空港を選択すると考えられる．すなわち，複数の行動主体が相互に関連しながら行動を決定しており，これはゲーム理論的な状況に他ならない．よって，ゲーム理論を用いて航空会社の空港選択行動を評価する．

従来，航空会社間の競争をゲーム理論によって評価した研究として，Hansen[1]の研究がある．Hansenは Hub and Spoke ネットワークを構築する航空会社と，point-to-point ネットワークを構築する航空会社の行動を非協力ゲームとして扱い，Hub and Spoke ネットワークの形成要因を明らかにしようと試みた．しかし，本研究のように，複数空港地域における航空会社の空港選択行動をゲーム理論によって評価した研究はない．

2. 航空会社の空港選択要因の分析

(1) ヒアリング調査の実施と概要

航空会社の空港選択要因を明らかにするため，国内外の航空会社5社にヒアリング調査を行った．具体的には，東京圏のように既存空港のある大都市圏に新空港が開港したとき，どのような要因によって空港を選択するのかについて具体的な項目を挙げ，優先順位とその理由を尋ねた．要因として考えた項目は，アクセス条件，発着容量，空港施設規模，機能分担，空港使用料，地上ハンドリングコスト，路線移転コスト，アライアンス・コードシェアの影響，競合キャリアの参入動向等である．

(2) ヒアリング調査結果

各社へのヒアリング調査により得られた結果は，次のようにまとめられる．

① 各社とも，背後圏旅客の需要に大きく影響する「アクセス利便性」を最重要視している．

② 「発着容量」も同じく非常に重要である．発着容量が十分でない空港の場合，各路線に適した時間帯のスロットを得られない，需要に応じた運行頻度を設定できない等の問題がある．

*keywords：空港計画，複数空港，ゲーム理論，空港選択
**学生員：東北大学大学院情報科学研究科
〒980-8597 仙台市青葉区荒巻字青葉06
TEL 022-217-7497，FAX 022-217-7494
***正会員：情報博（財）運輸政策研究機構 運輸政策研究所
****F会員：工博 東北大学大学院情報科学研究科教授

③ 乗継旅客需要増を期待する要因として，その空港の「路線種類（ネットワーク）の多様さ」も重要である．ただし，十分な発着容量が必要である．

④ 東京のようなゲートウェイ機能を持つ大都市圏の場合，「機能分担方法」によって，国際ー国内乗継需要を大きく喚起できる可能性がある．

⑤ 費用要因の中では「空港使用料」が重要である．ただし路線の種別によって，重要度が異なる．例えば収入単価の大きい長距離国際線の場合，数名のビジネス旅客増によって空港使用料を十分カバーできる．逆に，国内の一部路線のように収入単価が小さい場合，空港使用料は無視できなくなる．

⑥ 「路線移転コスト」，「ハンドリングコスト」等の固定的な費用要因は，各空港で大きな差がでにくい要因であることから，それほど重要ではない．

⑦ 同一都市圏内において路線参入する空港が分散すると，二重投資となる場合もある．よって，「拠点空港」をできるだけ定めたい．

⑧ 他航空会社の路線参入動向に関しては，同一アライアンス他社の動向が重要である．乗継する場合の接続のメリットやハンドリングコストの節減が期待できる．

（3）調査結果の考察

ヒアリング調査の結果より，以下が明らかとなった．

- 基本的にアクセス利便性と発着容量を重要視しており，両者の組み合わせによって空港選択行動が変化する．
- 明らかに，費用削減より需要増を重要視している．つまり，航空会社は費用最小化行動ではなく，利潤最大化行動に基づいて空港選択を考えている．

よって本研究では，アクセス条件と発着容量を新空港の条件として，今後政策分析を行っていくこととする．また，航空会社の利得関数を利潤最大化問題として定式化する．

3．モデル

（1）航空会社の利得関数の定式化

航空会社は自社の利得を最大化するように行動し，需要量に応じて運行する便数を設定する．このとき，路線 r を運航している航空会社 l が，複数空港地域のある k 空港を利用したときの利得 Π_{lk} を以下のように定式化する．

$$\Pi_{lk}=\sum_{r}^{R}\left\{p_{lkr}x_{lkr}+q_{lkr}y_{lkr}-N_{lkr}\left(C_{lkr}+H_k\right)\right\}-F_l \quad (1)$$

ここで，r：路線，R：航空会社 l の運航する路線の集合，p_{lkr}：路線 r の端末旅客の運賃，x_{lkr}：路線 r の端末旅客数，q_{lkr}：路線 r の乗継旅客の運賃，y_{lkr}：路線 r の乗継旅客数，C_{lkr}：路線 r の運航費用，H_k：k 空港使用料，N_{lkr}：路線 r の運航頻度，F_l：固定費用とする．

端末旅客とは都市の背後圏からの旅客（直行便利用客）であり，また乗継旅客とは都市圏を発着地としない国際ー国際乗継旅客，国際ー国内乗継旅客（乗継便利用客）のことを指す．

（2）端末旅客の行動の定式化

背後圏需要は空港までのアクセス時間で逓減し，逆に運航頻度によって逓増すると仮定する．この時の k 空港での路線 r の端末旅客数 X_{kr} は(2)式となる．

$$X_{kr}=\alpha\varepsilon\left(\sum_{l}^{L}N_{lkr}\right)^{\beta}\cdot\exp(-\gamma AT_k) \quad (2)$$

ここで，L は航空市場における航空会社総数，α は路線別ロードファクターと機材容量により算出される値，β は規模の経済を表すパラメータ，ε は空港のある都市圏別定数である．γ はアクセス時間の逓減の度合いを意味する．

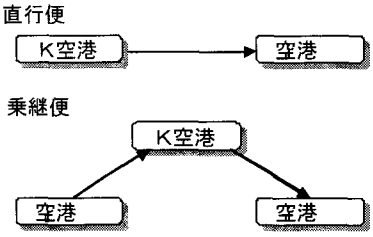
また，端末旅客は以下の一般化費用に基づいて利用する航空会社を選択する[2)]．

$$V_{lkr}=-(p_{lkr}+ap_k)-\upsilon\left(AT_k+\frac{PT_k}{4N_{lkr}}\right) \quad (3)$$

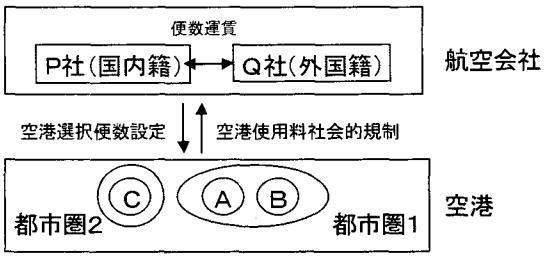
ここで，V_{lkr}：路線 r を利用する旅客の一般化費用，ap_k：k 空港までのアクセス運賃，AT_k：k 空港までのアクセス時間，PT_k：k 空港の利用可能時間，υ：時間価値，第4項は平均待ち時間を意味している．

(2)式,(3)式より，航空会社 l が k 空港で運航している路線 r を利用する端末旅客数 x_{lkr} は，ロジットモデルを用いて次のように表す．

$$x_{lkr}=X_{kr}\frac{\exp\left(V_{lkr}\right)}{\sum_{l}^{L}\exp\left(V_{lkr}\right)} \quad (4)$$



図－１　直行便と乗継便の概念図



図－２　航空市場

（３）乗継旅客の行動の定式化

乗継の考え方を図－１に示す．ｊ空港→ｋ空港，ｋ空港→ｉ空港という乗継便が存在する場合，各路線の需要の一部は乗継便利用者である．乗継需要は路線の組み合わせ毎に割合が決まっており，各路線の便数に応じて変化すると仮定する．この時のk空港での路線rの乗継旅客数Y_{kr}は(5)式となる．ただし，rはｉ，ｊの組み合わせで定まる関数とする．

$$Y_{kr} = \rho_r X_{kr} \ln\left(\sigma \sum_{l}^{L} N_{lkr} + 1\right) \tag{5}$$

ここで，ρ_rは路線別の乗継旅客割合，σはパラメータである．

また，乗継旅客は次の一般化費用に基づいて利用する航空会社を選択する．

$$W_{lkr} = -q_{lkr} - \upsilon \frac{PT_k}{4N_{lkr}} \tag{6}$$

(5)式，(6)式より，k空港からl社が運行する路線を利用する乗継旅客数y_{lkr}は，ロジットモデルを用いて以下のように表す．

$$y_{lkr} = Y_{kr} \frac{\exp(W_{lkr})}{\sum_{l}^{L} \exp(W_{lkr})} \tag{7}$$

４．ゲームの設定

（１）２社競争モデル

本研究では単純化のため，航空市場は国内籍のＰ社と外国籍のＱ社の２社のみからなる複占状態にあると考える．選択可能な空港を，Ａ・Ｂ・Ｃの３空港とする．ここで，空港Ｂは既に空港Ａがある都市圏内に新たに開港した空港とする．よって，図－２のように，空港Ａと空港Ｂは同一都市圏内に存在し，空港Ｃは他の都市圏にある．このとき，Ｐ社とＱ社が互いの戦略を考慮しながら，参入する空港を選択する戦略型のゲーム状態であると解釈できる．各航空会社は３空港のうち一つの空港を選択する戦略を有する．各航空会社の戦略とそのときの利得を表－１に示す．ここで，π_{ph}，π_{qh}（１≦ｈ≦９）は，航空会社Ｐ，Ｑの利潤とする．

表－１　Ｐ社とＱ社の戦略と利得

P社＼Q社	A空港	B空港	C空港
A空港	π_{p1}，π_{q1}	π_{p4}，π_{q4}	π_{p7}，π_{q7}
B空港	π_{p2}，π_{q2}	π_{p5}，π_{q5}	π_{p8}，π_{q8}
C空港	π_{p3}，π_{q3}	π_{p6}，π_{q6}	π_{p9}，π_{q9}

（２）混合戦略

機能分担等の制約がなければ，航空会社は参入する空港を特定の空港に限定せず，複数選択することが可能である．ヒアリング結果にあったように，同一都市圏内の拠点空港が分散するのは費用の面から決して望ましいとは言えないが，事実日本国籍の航空会社は複数空港を両方選択する戦略をとっている．前節の設定では，航空会社が選択できる空港は一つだけであり，これは現実の航空会社の行動を表現できているとはいえない．

そこで本研究では，混合戦略を導入する．混合戦略とは戦略を確率分布により表したものである．これに対し，前節のような戦略を純粋戦略と呼ぶ．このとき得られる均衡点は確率で表記されており，各戦略を選択する確率を意味している．この値を各社が各空港へ投入する便数の割合として用いることで，より現実に即した選択行動を表現する．このときの航空会社l（＝

表－２　混合戦略と利得

P社＼Q社	A空港 s_q	B空港 t_q	C空港 $1-s_q-t_q$
A空港 s_p	π_{p1} , π_{q1}	π_{p4} , π_{q4}	π_{p7} , π_{q7}
B空港 t_p	π_{p2} , π_{q2}	π_{p5} , π_{q5}	π_{p8} , π_{q8}
C空港 $1-s_p-t_p$	π_{p3} , π_{q3}	π_{p6} , π_{q6}	π_{p9} , π_{q9}

表－３　純戦略と混合戦略の期待利得

P社の純戦略	P社の期待利得	Q社の純戦略	Q社の期待利得
A空港	$\pi_{p1}s_q+\pi_{p4}t_q+\pi_{p7}(1-s_q-t_q)$	A空港	$\pi_{q1}s_p+\pi_{q4}t_p+\pi_{q7}(1-s_p-t_p)$
B空港	$\pi_{p2}s_q+\pi_{p5}t_q+\pi_{p8}(1-s_q-t_q)$	B空港	$\pi_{q2}s_p+\pi_{q5}t_p+\pi_{q8}(1-s_p-t_p)$
C空港	$\pi_{p3}s_q+\pi_{p6}t_q+\pi_{p9}(1-s_q-t_q)$	C空港	$\pi_{q3}s_p+\pi_{q6}t_p+\pi_{q9}(1-s_p-t_p)$

p，q）の混合戦略は，（s_1，t_1，$1-s_1-t_1$），$0 \leqq s_1 \leqq 1$，$0 \leqq t_1 \leqq 1$，$0 \leqq s_1+t_1 \leqq 1$と表す．このときの利得を表－２に示す．

このときの各プレイヤーの期待利得を表－３に示す．この期待利得から，相手プレイヤーの混合戦略への最適反応を求め，混合戦略の均衡点を算出する．

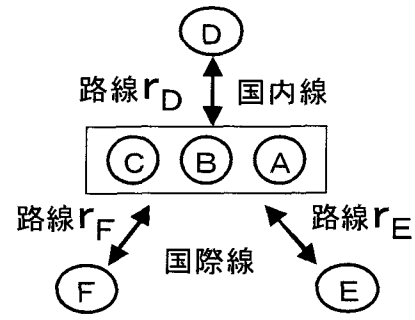
５．数値計算

（１）設定条件

数値分析では，図－３に示すような路線とパラメータを外生的に与える．それぞれの空港は，Ａ：成田空港，Ｂ：首都圏第三空港，Ｃ：関西空港，Ｄ：新千歳空港，Ｅ：ＪＦＫ空港，Ｆ：香港国際空港の各空港を想定している．

（２）利得表の作成

上記のモデルを用いた計算結果の一例を表－４に記す．純粋戦略のナッシュ均衡は２つ存在する（表中＊）．混合戦略のナッシュ均衡解とその導出方法については講演時に発表する．



図－３　設定路線

表－４　数値計算例

P社＼Q社	成田	首都圏第三	関西
成田	97 97	＊ 110 104	44 104
首都圏第三	＊ 104 120	98 102	44 120
関西	104 103	110 103	51 66

６．おわりに

本研究では航空会社へのヒアリングを行い，航空会社の空港選択に関する要因を分析することで，モデル化への知見を得ることができた．また，航空市場を複占状態ととらえることで，航空会社の空港選択行動についてゲーム論的手法を用いた評価手法を提案した．さらに，混合戦略を導入することにより，複数空港への便数投入という現実の航空会社の行動を表現できるようにした．

参考文献

1) Mark Hansen, Airline competition in a hub-dominated environment: an application of non-cooperative game theory, *Transportation research part-B*, Vol.24, No.1, 1990, pp24-43.

2) 大橋忠宏 安藤朝夫，航空市場でのハブ・スポークネットワーク形成と空港使用料政策に関する研究，土木学会論文集 No.611／Ⅳ-42，1999，pp33-44.