

IV-142 空港料金が航空ネットワーク構造に及ぼす影響に関する一考察

京都大学大学院

学生会員

栗野盛光

京都大学大学院

正会員

小林潔司

京都大学大学院

学生会員

Mehmet Ali TUNCER

京都大学大学院

学生会員

石田崇

1. はじめに

アジア諸国間では‘ハブ空港間競争’が活発化しており、国際航空ネットワークにおけるハブ空港の立地が各国の空港政策担当者の重要な関心事となっている。ハブ・スポーク型ネットワークの形成には、航空サービス提供に必要とされる費用における規模の経済性（密度の経済性）が重要な役割を果たしている。密度の経済性とは、ある都市間ペアの旅客数が多くなるに従って大型機の投入が可能となり、単位旅客当たりの輸送単価が小さくなることである。

本研究では、リンクの運行費用における密度の経済性と、各空港の地上費用の差違を考慮する。この航空産業の費用構造の性質を考慮に入れ、独占航空企業の利潤最大化行動と旅客の経路選択行動を通じて、航空ネットワークが内生的に形成されるメカニズムをモデル化する。さらに、数値計算を行い、空港料金政策が航空ネットワークに及ぼす影響について考察する。

2. モデルの定式化

(1) ネットワーク構造の記述

都市間のネットワークの連結性を表す関数を、異なる都市 g と都市 h について次のように定義する。

$$X(g, h) = \begin{cases} 1 & (g \text{ から } h \text{ への直行便が利用可}) \\ 0 & (\text{その他}) \end{cases}$$

$X(g, h) = X(h, g)$ が成立すると仮定する。

航空ネットワークは、直行便が存在するような都市のペアで構成される有効グラフ

$$G = \{(g, h) \mid X(g, h) = 1, (g, h) \in (N \times N)\} \quad (1)$$

で表せるとする。ただし $(N \times N)$ は都市ペアの集合を表す。都市 (g, h) 間で利用可能な冗長でない経路の集合を $A_{gh}(G)$ と表す。またノードの集合を N と表す。

(2) 航空サービス需要

都市 g から都市 h に向かう旅客を考える。旅客は $A_{gh}(G)$ の中で、最も費用の小さい経路を選択すると考える。二都市間 (g, h) に複数の代替経路が存在する場合、旅客の経路配分問題が生じる。ここでは、等費用均衡条件式を導入する。都市ペア (g, h) 間で利用可能な任意の経路 $t_{gh} \in A_{gh}(G)$ に対して

$$p_{t_{gh}} = \bar{p}_{gh} \text{ if } q_{t_{gh}} > 0, \quad p_{t_{gh}} > \bar{p}_{gh} \text{ if } q_{t_{gh}} = 0 \quad (2)$$

が成立する。 $p_{t_{gh}}$ は都市ペア (g, h) 間の経路 t_{gh} の航空サービス料金であり、 $q_{t_{gh}}$ は経路 t_{gh} を利用する旅客数である。そして、都市ペア (g, h) 間の旅客需要は $D_{gh}(\bar{p}_{gh})$ と表す。さらに次式の関係が成立する。

$$D_{gh}(\bar{p}_{gh}) = \sum_{t \in A_{gh}(G)} q_{t_{gh}} \quad (3)$$

ここで、全ての都市ペア (g, h) 間の経路交通量 $q_{gh} = \{q_{t_{gh}} \mid t_{gh} \in A_{gh}(G)\}$ が与えられたとしよう。経路 t_{gh} で、都市 (i, j) 間の（都市 i から都市 j に向かう）直行便が利用されるときに 1、そうでないときに 0 となるダミー変数 $\delta(i, j; t_{gh})$ を導入する。この時、 $X(i, j) = 1$ を満足するような都市ペア $(i, j) \in G$ で運行される直行便に対する需要量は、次式のようにリンク $L_{(i, j)}$ を通過する全ての経路交通量の和として求められる。

$$Q_{ij}(G) = \sum_{(g, h) \in G} \delta(i, j; t_{gh}) q_{t_{gh}} \quad (4)$$

旅客は出発時と到着時にそれぞれ一回ずつ同じ空港を利用するものとして数えると、空港 k の総利用者数 AD_k は次のように表せることになる。

$$AD_k = \sum_{i \in \beta(k)} Q_{ik} + \sum_{j \in \gamma(k)} Q_{kj} \quad (5)$$

ただし、 $\beta(k)$ は空港 k に到着する直行便の出発空港の集合であり、 $\gamma(k)$ は空港 k から出発する直行便の到着空港の集合である。

(3) 独占航空企業の行動

独占航空企業が航空サービスを提供し、利潤を最大にするように航空ネットワーク構造 G およびネットワーク上で利用可能な全ての料金 $p(G) = \{p_{gh} \mid (g, h) \in (N \times N)\}$ を決定する。

航空企業にとってリンク運行費用と地上費用はコストとなる。リンク運行費用は、航空機の使用頻度やサイズなどに関する運行計画に基づくものであるが、ここでは単純に二方向の旅客数の和の関数で表されるものと仮定する。リンクの運行費用関数は、

$$\Phi_{gh}(Q_{gh}, Q_{hg}) = C_{gh}(Q_{gh} + Q_{hg}) \quad (6)$$

と表せる。費用について密度の経済性が働くとすれば費用関数は次式を満たす。

$$\Phi(\theta Q_{gh}, \theta Q_{hg}) < \theta \Phi(Q_{gh}, Q_{hg}) \quad (7)$$

for all $\theta > 1$ and for all $(Q_{gh}, Q_{hg}) \neq \mathbf{0}$

密度の経済性、ハブ・スポーク型ネットワーク、直行便型ネットワーク

〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL, FAX 075-753-5073

Hendrics *et al.*¹⁾のモデルでは航空企業のコストとしてリンク関連費用のみが考慮されていた。本研究では各空港における地上費用や空港税の差異がハブ空港の形成に及ぼす影響を分析するためにさらにノード費用を明示的に考慮する。各空港の空港管理者は、航空企業が計画する旅客機の離発着に十分な容量の空港を整備しているものとし、空港の容量制約は考えない。そして利用する航空企業から空港料金を徴収する。この空港料金は旅客数に比例して決定されると仮定する。都市 k の空港において、旅客あたりに要する単位地上費用を α_k 、単位空港料金を τ_k と表す。空港 k におけるノードに固有な地上費用の合計は以下ようになる。

$$A_k = (\alpha_k + \tau_k) \left\{ \sum_{i \in \beta(k)} Q_{ik} + \sum_{j \in \gamma(k)} Q_{kj} \right\} \quad (8)$$

以上を整理すると航空企業の利潤最大化行動は次のように定式化できる。

$$\begin{aligned} \max_{G, \bar{p}} \quad & \sum_{(g,h) \in G} \bar{p}_{gh} D_{gh}(\bar{p}_{gh}) - \sum_{k \in N} (\alpha_k + \tau_k) \left\{ \sum_{i \in \beta(k)} Q_{ik} \right. \\ & \left. + \sum_{j \in \gamma(k)} Q_{kj} \right\} - \sum_{(g,h) \in G; g > h} \Phi(Q_{gh}, Q_{hg}) \quad (9) \\ \text{subject to} \quad & \end{aligned}$$

$$p_{t_{gh}} = \bar{p}_{gh} \text{ if } q_{t_{gh}} > 0, \quad p_{t_{gh}} > \bar{p}_{gh} \text{ if } q_{t_{gh}} = 0 \quad (10)$$

$$D_{gh}(\bar{p}_{gh}) = \sum_{t \in A_{gh}(G)} q_{t_{gh}} \quad (11)$$

3. 数値計算

空港料金が航空ネットワークに及ぼす影響について数値計算を通じて分析する。形成されうるそれぞれのネットワークに対して、その下で得られる航空企業の利潤を計算し、利潤を最大にするネットワークを選ぶ。また、ハブ空港の移動の内生的な形成を明示的に示すために、4つの都市からなるネットワークを考える。以下に、仮定される需要関数の対称性等を考慮すると、19通りの異なるネットワークがある。

すべてのOD間で需要関数は同一であると仮定する。また、需要量は料金に対して線形的に減少すると仮定する。密度の経済性を満たす費用関数もすべてのリンク間で同一と仮定し、 $\Phi = 5\sqrt{Q_{gh} + Q_{hg}}$ とする。さらに、単位地上費用 α_k はすべての空港で同一であるとする。記述の簡略化のため $a_k = \alpha_k + \tau_k$ とし、これを空港料金と呼ぶ。

まず、4つの都市の空港料金を一律に変化させた場合の航空ネットワークの変化を示す。全ての空港料金を低く設定すればハブ・スポーク型が利潤最大になるが、高く設定するとある価格から直行便型が利潤最大になる。空港料金が低い場合、リンクの運行費用と比較して、ノードの費用が相対的に小さくなり、十分な密度の経済性を享受することができ、ハブ・スポーク型が最も

利潤が大きくなる。また、ハブ・スポーク型では直行便型に比べ、乗り継ぎ回数が増えるため、空港料金が低い場合にはそれに応じて航空会社の利潤が低下する。

次に、1つの空港の空港料金のみを変化させる（残り3つの空港料金は一定値に固定）。空港1の空港料金 a_1 が他に較べて少しでも低くなれば、空港1を中心とするハブ・スポーク型になり、 a_1 が周辺より少しでも高くなれば、他の空港を中心とするハブ・スポーク型になる。空港料金の低い空港をハブ空港として他の複数の都市と連結した方が航空企業にとっては利潤が大きくなるためと考えられる。

以上2つのケースより、密度の経済性が十分に働けば、空港料金の低い空港を中心にハブ・スポーク型ネットワークが形成され、空港料金が高くなると直行便型ネットワークに移行することがわかる。このように空港のハブ機能は不連続的に変化することが示された。

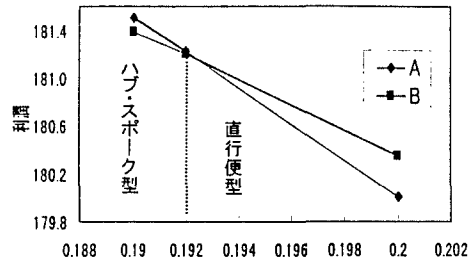


図1. 航空企業の利潤の変化

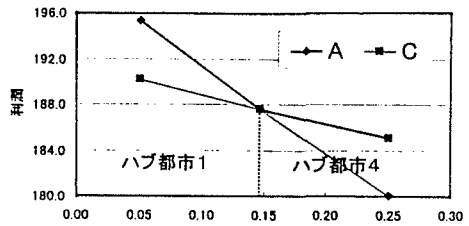
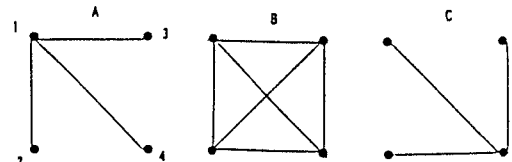


図2 航空企業の利潤の変化
空港1の空港料金のみ変化する場合



4. おわりに

本研究では、航空ネットワークにおいてはリンクにおける密度の経済性に依存してハブ・スポーク構造が内生的に形成されうることを指摘した。数値計算によって空港料金政策が独占航空会社の航空ネットワーク形成に及ぼす影響を分析した。

参考文献

- [1] Hendrics, K., Piccione, M. and Tan, G.: The economies of hubs: the case of monopoly, *Review of Economic Studies*, Vol. 62, pp. 83-99, 1995.