

京都大学大学院

京都大学大学院

学生会員 ○石田 崇

正会員 小林 潔司

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関心事になっている。ハブ・スポーク型ネットワークの形成には航空サービスの提供に必要とされる費用における密度の経済性が重要な役割を果たしていると考えられる。密度の経済性とは、大型機を投入することにより、都市間ペアの旅客数が多くなるにしたがって単位旅客当たりの輸送単価が小さくなるという現象を意味する。

本研究では、まず以上に述べたような航空産業の費用構造の性質を考慮にいて航空企業の利潤最大化行動と消費者(利用客)の経路選択行動を通じて航空ネットワークが決定されるメカニズムをモデル化する。そして数値シミュレーションを通じて(それぞれが一つの国際空港を持つ)各国の空港料金政策が航空企業のネットワーク形成に及ぼす影響を分析することとする。

2. 航空ネットワークモデルの定式化

(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。

航空ネットワークのは、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) 航空サービス市場

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には、旅客の経路配分問題が生じ、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

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

$$p_{t_{gh}} > \bar{p}_{gh} \quad \text{if} \quad q_{t_{gh}} = 0 \quad (3)$$

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。

$$D_{gh}(\bar{p}_{gh}) = \sum_{t \in A_{gh}(G)} q_{t_{gh}} \quad (4)$$

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 $L_{(i, j)}$ を通して全ての経路交通量の和として求められる。

$$Q_{ij}(G) = \sum_{(g, h) \in G} \delta(i, j; t_{gh}) q_{t_{gh}} \quad (5)$$

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。

$$AD_k = \sum_{i \in \beta(k)} Q_{ik} + \sum_{j \in \gamma(k)} Q_{kj} \quad (6)$$

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) 独占的航空企業の行動

航空企業は独占的であり、自らの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(ベクトル) $p(G) = \{p_{gh} \mid (g, h) \in (N \times N)\}$ 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で表されるものと仮定する。リンクの運行費用関数は次式のように表せる。

$$\Phi_{gh}(Q_{gh}, Q_{hg}) = C_{gh}(Q_{gh} + Q_{hg}) \quad (7)$$

費用について密度の経済性が働くとなれば費用関数は次式を満たす。

$$\Phi(\theta Q_{gh}, \theta Q_{hg}) < \theta \Phi(Q_{gh}, Q_{hg}) \quad (8)$$

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

Hendrics¹⁾のモデルでは航空企業のコストとしてリンク関連費用は考慮されていた。本研究では各空港における地上費用の差異がハブ空港の位置に及ぼす影響を分析するためにさらに地上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のようになる。

$$A_k = (\alpha_k + \tau_k) \left\{ \sum_{i \in \beta(k)} Q_{ik} + \sum_{j \in \gamma(k)} Q_{kj} \right\} \quad (9)$$

以上を整理すると航空企業の利潤最大化行動は次式のように定式化できる。

$$\begin{aligned} \max_{G, p} \quad & \sum_{(g, h) \in G} \bar{p}_{gh} D_{gh}(\bar{p}_{gh}) - \sum_{k \in N} (\alpha_k + \tau_k) \left\{ \sum_{i \in \beta(k)} Q_{ik} \right. \\ & \left. + \sum_{j \in \gamma(k)} Q_{kj} \right\} - \sum_{(g, h) \in G; g > h} \Phi(Q_{gh}, Q_{hg}) \quad (10) \\ \text{subject to} \quad & \end{aligned}$$

$$p_{t_{gh}} = \bar{p}_{gh} \quad \text{if } q_{t_{gh}} > 0 \quad (11)$$

$$p_{t_{gh}} > \bar{p}_{gh} \quad \text{if } q_{t_{gh}} = 0 \quad (12)$$

$$D_{gh}(\bar{p}_{gh}) = \sum_{t \in A_{gh}(G)} q_{t_{gh}} \quad (13)$$

3. 数値シミュレーション

以上に説明したモデルを対象として空港料金が航空ネットワーク構造に及ぼす影響を分析する。形成される各々のネットワークに対してそのもと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。ここではハブ空港の移動を内生的な形成を明示的にモデル化するために4つの空港からなるネットワークを考える。対称性を考慮すると全部で19通りの異なるグラフ構造がある。

全てのOD間で需要関数を等しく設定し、需要量は料金に対して線形的に減少すると仮定する。費用関数 Φ が密度の経済性を満たすためには、 $\Phi' > 0, \Phi'' < 0$ が成立しなければならない。全てのリンクで $\Phi_{gh} = \sqrt{Q_{gh} + Q_{hg}}$ を仮定した。

まず、4つの空港の空港料金を一律に変化させた場合の最適な航空ネットワークの変化を調べた。全ての空港が空港料金を低く設定すればハブ・スポーク型が最適になるが、高く設定するとある金額から直行便型ネットワークが効率的になる。空港料金が低い場合、ハブ・スポーク型では密度の経済性が十分に働いたため、リンク運行費用が小さくなり、航空企業の利潤は大きくなる。またハブ・スポーク型では乗継ぎによって空港の利用回数が増えるが、空港料金が低い場合にはそれに応じて航空企業の収益が低下する。

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の値に固定する) 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有利になるためと考えられる。

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。このように空港のハブ機能は不連続的に変化することが理解できる。

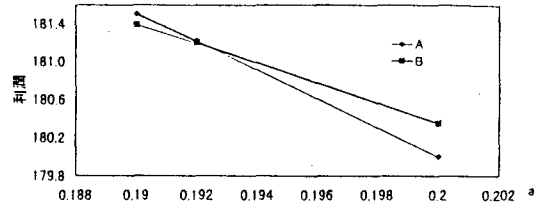


図1. 航空会社の利潤の変化
(4つの空港料金が同時に変化する場合)

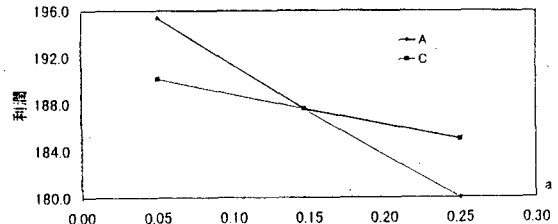
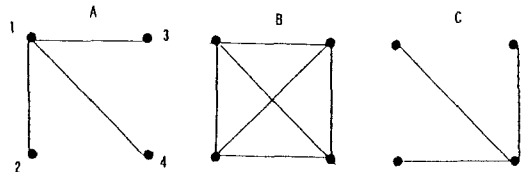


図2. 航空会社の利潤の変化
空港1の空港料金のみ変化する場合



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とノード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的航空企業の航空ネットワーク形成に及ぼす影響を分析した。今後、空港管理者の行動の内生化、空港の容量制約の考慮、国際と国内の複合ネットワークへの拡張等が課題として残されている。

参考文献

- [1] Hendrics, K., Piccione, M. and Tan, G.: The economics of hubs: the case of monopoly, *Review of Economic Studies*, Vol. 62, pp83-99, 1995.