

空港間競争と航空輸送ネットワーク形成 に関する一考察

竹林 幹雄¹

¹正会員 神戸大学大学院海事科学研究科 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町5-1-1)

E-mail: takebaya@kobe-u.ac.jp

本研究は国内輸送に鉄道輸送を含む2ハブシステムを対象として、空港間の競争的関係とその均衡解の特性について数値シミュレーションを通じて検討した。空港の目的関数を(i) 利潤最大化, (ii) 利用者便益の最大化の2種類設定し, 操作変数を国際線における施設使用料とした。既発表のbi-levelモデルを採用し, 数値計算を行ったところ, ターミナルデマンドに優位な差が認められる場合, デマンドの大きな空港の戦略が支配的になることを示した。このとき, デマンドの大きな空港が利潤最大化を目的とすれば, 旅客便益が両空港で低下する可能性があることを示した。

Key Words : *air transport, airport competition, equilibrium*

1. はじめに

社会資本の管理・運営を民間に委託する是非が国や地方自治体の財政逼迫を背景として問われるようになって久しい。特に90年代に欧州で始まった空港の民営化の流れは2000年代に入ってアジアにも波及し, 香港, 仁川といったアジアの主要空港では何らかの形, 多くは運営において民間資本ならびにノウハウの導入を行っている。こうした, いわゆる「公設民営」の流れはわが国にもおよび, 成田, 関西, の民営化, とりわけ関西空港ではコンセッション契約による空港経営の合理化・効率化を謳っている。また, 地方空港でも関西空港と同様の形式も含めた「民営化」の推進が検討されている。

空港経営において何らかの形で民間資本が導入されることは, 経営の目的として通常の企業行動における(健全な意味での)「利潤最大化」が織り込まれることを意味すると考えて良い。問題はここで民営化がもたらす利用者の便益の変化である。

空港建設が完全に民間の「私的企業活動」として行われるのであれば, 「民営化」空港「企業」が利潤最大化を積極的に行う分には何ら問題ない。しかし, 通常国家や地方の便益向上を目指し, 税金を投入して建設する「公設」である限り, 利潤最大化を求めることで便益が損なわれることは, できる限り避けることが強く望まれ

る。特に複数の空港で経営形態が異なる場合, 自己中心的な経営最適化行動が利用者にとどのような影響を与えるのか, 検討することは重要と考えられる。

本研究は以上のような問題意識に鑑み, 複数空港がそれぞれ独立に経営を行っている場合, その目的関数の違いによる均衡解の特性, および利用者の便益変化について考察する。

2. 空港間競争のモデル化

(1) 空港間競争の理論的検討

いわゆる「空港間競争」は(i)純粋に空港間での競争を取り上げたもの, (ii)航空会社の競争が結果として空港間競争に結びついているもの, の2種類に大別できる。前者は航空会社(不特定の場合も多い)・路線をより多く誘致するための各種政策(多くは料金政策)を取り扱うもので, 実証的なものであればBarret¹⁾, McLay and Reynolds-Feighan²⁾が, 最近の理論研究ではMun and Teraji³⁾などが挙げられよう。後者は最近5年間盛んに研究されている空港と航空会社の「垂直統合」の影響を理論的に分析するもので, Fu et al.⁴⁾やHihara⁵⁾など研究蓄積が急速に進んでいる。本研究は(i)に分類されるものであり, 複数空港の管理を空港諸費用の設定で制御するという点ではMun and Terajiの問題意識と近いが, 研究の枠組みその

ものは「空港間競争」を前提としている点で既往の研究とは大きく異なるものである。特に、わが国の実情を勘案し、国内線に鉄道網が競合する仕組みを組み込んでいる点にも特徴があるといえる。

(2) モデルの概要

本稿ではキャリアー利用者のインタラクションを考えるbi-levelモデルを適用する。Bi-levelモデルの基本形は既に拙稿⁵にて述べているので、ここでは基本構造の記述は簡単に記述することにとどめる。

(3) モデル

まず本稿で主として検討される空港運営者の行動について記述する。なお、定式化に示される変数の定義についてはAppendixを参照されたい。

空港の運営者は自己の目的関数を最大とするように着陸料 q_i を決定するものとする。簡単のために本稿では離散的に着陸料が与えられ、その中から選択するものとする。

まず、空港 i が私企業によって運営されている場合を考える。ここでは利潤最大化を目指すとして良く、着陸料は航空会社 n の運航する国際線リンク j の着陸頻度 f_{jn} に依存して決まる。ゆえに空港 i の利潤最大化問題は以下のようなになる。

【空港の利潤最大化問題】

$$\text{Object : } \min_{q_i} \Lambda^i = \sum_n \sum_{j^n} q_i f_{j^n} \delta_{j^n}^i \quad (1)$$

Subject to

$$\max_{\mathbf{p}^n, \mathbf{f}^n} \Pi^n \text{ for } \forall n \in N, \quad (2)$$

式(1)は空港 i の利潤最大化を示す目的関数、式(2)は式(3)–(10)で表現されるbi-levelモデル⁹⁾での航空会社の均衡問題を表している。 p, f は路線運賃、運航頻度を表し、 N は航空会社（国内運航専用の鉄道会社を含む）の集合を表すものとする。2項変数 $\delta_{j^n}^i$ はリンク j^n が国際線であつ空港 i を着陸空港とする場合1、それ以外はゼロを取るものとする。

次に空港 i が公営である場合について考える。公営の場合、利潤最大化とは異なる評価基準が必要となるが、ここでは当該空港の利用者数最大化とする。この場合、最低価格で供給することとなり、最も極端な場合はゼロの価格で供給することになる。

次に空港の利用者である、航空会社、旅客、ならびに国内市場では航空会社の競合相手である鉄道会社の行動

について記述する。これに関する記述は既に発表済みであるので、基本的な定式化のみ示す。

航空会社は国内線（あるいは近距離市場）、国際線（あるいは長距離市場）ともに運航するとしている。航空会社は輸送頻度ならびに運賃の双方を操作変数とする。航空会社 n の行動は次のように定式化される⁹⁾。

$$\max_{\mathbf{f}^n, \mathbf{p}^n} \pi^n(\mathbf{f}^n, \mathbf{p}^n, \tilde{\mathbf{f}}^{-n}, \tilde{\mathbf{p}}^{-n}) = \sum_{rs} \sum_k \sum_{l^n \in I^n} p_{l^n} \hat{x}_k^{rs} \delta_{l^n}^{rsk} - \sum_{l^n \in I^n} C_{l^n}^{OP}(v_{l^n}) f_{l^n} \quad (3)$$

subject to

$$\mathbf{G}(\mathbf{f}^n, \mathbf{p}^n) \geq \mathbf{0} \quad (4)$$

$$\hat{x}_k^{rs} = \arg\{\min : \Gamma(x_k^{rs}) \text{ subject to (2) to (4)}\}, \forall k \in K^{rs} \text{ and } rs \in \Omega \quad (5)$$

鉄道会社は国内市場のみを運航するものとする。ここでは鉄道輸送に関しては頻度が固定されているため、運航費用に関しては目的関数に組み込む必要はない。ゆえに、鉄道会社 R の行動は以下のように定式化される⁹⁾。

$$\max_{\mathbf{p}^R} \pi^R(\mathbf{p}^R, \tilde{\mathbf{f}}^{-n}, \tilde{\mathbf{p}}^{-n}) = \sum_{rs} \sum_k \sum_{l^R \in I^R} p_{l^R} \hat{x}_k^{rs} \delta_{l^R}^{rsk} \quad (6)$$

このとき、鉄道をフィーダーとして利用する国際線旅客の存在を許すとすると、インターラインサービスを利用する旅客を含めた旅客が鉄道会社の旅客となる。

最後に旅客の行動であるが、既発表論文と同様⁵⁾⁶⁾⁷⁾、容量制約付き確率的利用者均衡状態（SUE with bottleneck）の成立を仮定しているため、以下のように定式化される。

$$\text{Object : } \min_{x_k^{rs}} \Gamma(x_k^{rs}) = \frac{1}{\theta} \sum_{rs \in \Omega} \sum_{k \in K^{rs}} x_k^{rs} (\ln x_k^{rs} - 1) + \sum_{rs \in \Omega} \sum_{k \in K^{rs}} u_k^{rs} x_k^{rs} \quad (7)$$

Subject to

$$\sum_{k \in K^{rs}} x_k^{rs} = X^{rs}, \forall rs \in \Omega, \quad (8)$$

$$x_{l^n} = \sum_{rs} \sum_k x_k^{rs} \delta_{l^n}^{rsk} \leq v_{l^n} f_{l^n}, \forall l^n \in I^n \text{ and } n \in N \quad (9)$$

$$x_k^{rs} \geq 0, \text{ for } \forall k \in K^{rs} \text{ and } rs \in \Omega, \quad (10)$$

なお、旅客の利用経路選択に関わる不効用は以下のように示されるものとする。

$$u_k^{rs} = \alpha_1(t_k^{rs} + w_k^{rs}) + \alpha_2 p_k^{rs} + \sum_{l \in I^{Av}} \frac{\alpha_3}{f_l} \delta_l^{rsk} \quad (11)$$

3. 数値計算例

本章では国内輸送市場で鉄道と航空が存在する市場を想定し、国際線運航ならびに社会厚生の変化について数値計算を通じて考察する。

(1) 基本設定

以下に数値計算全体を通じての共通の仮定を述べる。これは前稿⁹⁾と同じ設定である。

(i) OD旅客数は与件である。

(ii) OD旅客は競合するキャリアの他に代替経路を利用することができる。代替経路のLOSは与件である。

(iii) 航空会社は国内線、国際線ともいずれの企業も同一の機材を用いる。

(iv) 空港での混雑の影響は無視できる。

(v) 航空会社同士の乗り換えはできない。

(vi) 航空会社、鉄道会社の参入退出は考えない。

次に数値計算で使用する各種数値に関して述べる。

ODゾーンとしては3ゾーンとし、各都市に空港が存在するとする。基本的な設定は前稿⁹⁾と同じであるが、セントロイド～空港間のアクセスにかかるコスト(図-1の w, w')はゼロとしている点が異なる。OD交通量は表-1に示すとおりである。次に、距離および旅行時間に関しては表-2に示すとおりである。上段の数値は空港間距離であり、下段の()内の値は旅行時間である。なお[]内の数値は鉄道を利用した場合の移動時間である。表-3には運賃の初期値を示している。[]内は鉄道の料金である。表-4には代替輸送の運賃(上段)と旅行時間(下段の()内)を示している。代替輸送の輸送頻度は固定されており、0.5としている。

分析では簡単のため、航空会社は2社、鉄道会社は1社であるとしている。また、空港は3カ所に立地しているが、分析対象として国内線を有する空港2つを取り上げることとする。航空会社の各リンクの単位輸送費用は0.15に固定している。空港の容量制約は今回は考えていない。また、航空会社は短距離用には200席の、長距離用には300席の機材を両社ともに投入するものとして

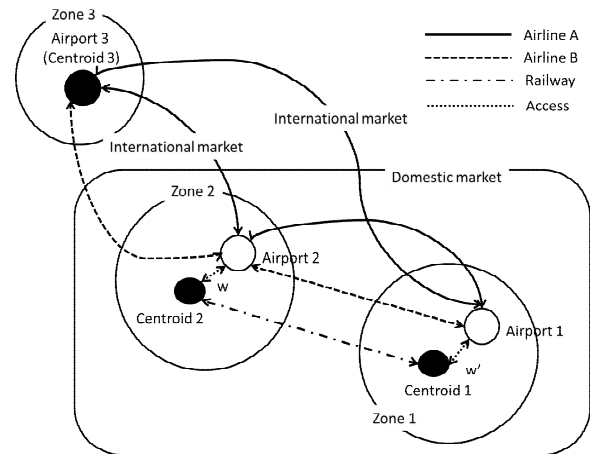


図-1 ネットワーク構造

表-1 OD表

| | 1 | 2 | 3 |
|---|-------|-------|------|
| 1 | 0 | 30000 | 5000 |
| 2 | 30000 | 0 | 5000 |
| 3 | 5000 | 5000 | 0 |

表-2 距離と輸送時間

| | 1 | 2 | 3 |
|---|---------------------|---------------------|---------------|
| 1 | 0 | 350 (50) [60] | 6000 (600) |
| 2 | 350 (50) [60] | 0 | 6000 (600) |
| 3 | 6000 (600) | 6000 (600) | 0 |

表-3 初期運賃

| | 1 | 2 | 3 |
|---|--------------|--------------|------|
| 1 | 0 | 120 [140] | 1000 |
| 2 | 120 [140] | 0 | 1000 |
| 3 | 1000 | 1000 | 0 |

表-4 代替モードの運賃と輸送時間

| | 1 | 2 | 3 |
|---|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 0 | 60 (360) | 1200 (1200) |
| 2 | 60 (360) | 0 | 1200 (1200) |
| 3 | 1200 (1200) | 1200 (1200) | 0 |

いる。運行頻度の初期値は短距離は50、長距離は30とし、最小運行頻度は0.5としている。鉄道会社に関しては、輸送頻度は40で固定し、輸送容量は1回あたり1000席と

している。

(2) 数値計算

ゾーン1, ゾーン2ともに同じ国際線のターミナルデマンドである場合について, 国際線1便あたりの施設使用料として0, 30000, 40000の3パターンについて計算を行い, 料金の組み合わせによる影響を分析した. 結果を表-5に示す. これをCase 1とする.

表-5 空港収益と旅客の便益の変化

| | | 0 | | 30000 | | 40000 | |
|-------|--------|------|--------|---------|---------|---------|-----|
| | | 空港1 | 空港2 | 空港1 | 空港2 | 空港1 | 空港2 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 893688 | 0 | 667100 | |
| PAX | 23.7 | 23.7 | 24.6 | 25.0 | 24.8 | 26.6 | |
| 30000 | 893688 | 0 | 966067 | 966067 | 1351926 | 634002 | |
| PAX | 25.0 | 24.6 | 25.7 | 25.7 | 25.9 | 27.8 | |
| 40000 | 667100 | 0 | 634002 | 1351926 | 1248588 | 1248588 | |
| PAX | 26.6 | 24.8 | 27.8 | 25.9 | 26.5 | 26.5 | |

注) PAXは国際線旅客の平均不便益を表す。

表から, まず両空港が空港収益の最大化を目指すのであれば, その均衡解は(30000, 30000)であることがわかる. このとき, 旅客の不便益は両空港利用者とも26.5と全体の中では(40000, 40000)と比べれば良いものの, (0, 0)と比較すれば悪いと評価される状態にいたる. 一方, 両空港が自空港を利用する国際線旅客の便益最大化(ここでは不便益の最小化)を目指すのであれば, 均衡解は(0,0)となることがわかる. このとき, 空港の収益は両方ともゼロとなるが, 旅客の被る不便益は両空港とも23.7と全体で最小となる. 両空港とも同じ目的を設定している場合の状況は以上の通りであり, いたって単純な結論である. 次に異なる場合について検討を加える. 旅客便益が最大となるように設定する場合, 何らかの予算制約がなければ料金はゼロ(最低価格)になることが支配戦略であるので, 相手の空港は次善の策として30000を料金として設定せざるを得ない. ゆえに空港1が旅客便益最大化とすれば(0, 30000)が均衡解として採択される. ただし, たとえ空港1が施設使用料をゼロとしても, 相手の空港が使用料をゼロと設定しない限り, 便益は(0, 0)の場合には及ばないという結果を得た. これは空港2を国際線発着空港とするゾーン1の旅客(内際トランジット旅客)の旅客数が減少しその影響が空港1を国際線発着空港とするゾーン2の旅客の増加による影響よりも大きくなるため, 国内線運賃ならびに便数のサービスレベルが減少することに起因すると考えられる. また, この影響により鉄道への旅客転換が発生し, 国内線での便益の低下がさらに進み, 国際線トランジット旅客の減少に拍車を掛けたと考えられる.

こういった非対称的な戦略が設定された影響はターミナルデマンドにおける規模の差によって, どのように変化するのであろうか. そこで, ゾーン1-3の需要をゾーン2-3のそれより50%多い状態を設定し計算を行った. 結果を表-6に示す. これをCase 2とする.

表-6 空港収益と旅客の便益の変化 (Case 2)

| | | 0 | | 30000 | | 40000 | |
|-------|---------|------|---------|---------|---------|---------|-----|
| | | 空港1 | 空港2 | 空港1 | 空港2 | 空港1 | 空港2 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1080942 | 0 | 629747 | |
| PAX | 25.6 | 25.3 | 25.5 | 25.4 | 26.2 | 27.9 | |
| 30000 | 1241846 | 0 | 1203240 | 1203241 | 1299627 | 1437063 | |
| PAX | 25.8 | 25.3 | 26.2 | 25.7 | 26.4 | 26.2 | |
| 40000 | 1314644 | 0 | 1506601 | 1253204 | 1673896 | 1456852 | |
| PAX | 26.8 | 25.6 | 26.8 | 26.2 | 26.8 | 26.6 | |

ここでは両空港が互いの旅客の便益を最大化する戦略を採る場合, (0, 0)が均衡解であることはわからない. しかし, 両者とも利潤最大化を目的とする場合, 均衡解は(30000, 30000)とはならず, (40000, 40000)に移動するという結果を得た. これはターミナルデマンドに差がある場合, デマンドの少ない方が料金を下げてもデマンドの大きな空港の規模の経済性を打ち消すほどには効果が期待できない場合が存在することを示すものである. このことから, ターミナルデマンドに大きな差がある場合, より利潤の大きな(40000, 40000)に均衡解がシフトするという『暗黙の共謀』の可能性があることが示唆された.

最後に非対称な目的関数を有する場合の均衡解について検討する. ターミナルデマンドが大きい方のゾーンに位置する空港(この場合空港1)が旅客便益最大化を目的とした場合均衡解は(0, 30000)となるものの, 利潤最大化を目的とする場合, 均衡解は(40000, 0)となる. すなわち, いずれの目的関数の場合もデマンドの大きな空港が取る戦略が競争均衡において支配的となり, その結果デマンドの大きな空港はデマンドの小さな空港の戦略にかかわらず高い使用料を設定する可能性があることが示された. 逆に利用者の便益に関してはデマンドの大きな空港が利潤最大化を目指す場合, 旅客の便益最大化を目指す場合より有意に低下するという結果を得た. これは運賃の上昇と輸送頻度(便数)の低下によるものであるが, デマンドの大きな空港が採る戦略の影響はデマンドの小さな空港の利用客にも伝播することがわかる.

このように, ターミナルデマンドに有意な差が認められる場合, 市場の状態はターミナルデマンドの大きな空港の戦略に大いに依存することになる.

4. おわりに

本稿では、鉄道の影響も考慮したゲートウェイ空港間の競争均衡を目的関数の違い、およびターミナルデマンドの大きさの違いにより分析した。その結果、ターミナルデマンドに差がない場合は対象な戦略が競争均衡をも

たらずが、ターミナルデマンドに優位な差が認められる場合、ターミナルデマンドの大きな方の空港の戦略が支配的になることを示した。なお、数値計算の結果に関してはパラメータに依存する可能性は否定できないので、今後感度分析を行うなど、結論の安定性を確認することが今後の課題である。

Appendix 使用変数一覧

| 変数 | 意味 | 変数 | 意味 |
|---------------------------------|---|---|--|
| rs | ODペア (起点 r 終点 s) | k | rs OD市場で設定される経路 |
| Ω | ODの集合 | K^{rs} | rs OD市場で設定される経路の集合 |
| $l(l^R)$ | 航空会社 n (あるいは HSR) によって運航されるリンク | $l(l^R)$ | 航空会社 n (あるいは HSR) の運航するリンクの集合 |
| x_k^{rs} | rs ODペアで経路 k を利用する旅客数 | I^{Av} | 旅客が利用可能なリンクの集合 |
| x_{l^n} | リンク l の旅客フロー | X^{rs} | rs OD市場での OD 旅客数 |
| u_k^{rs} | rs OD市場で経路 k を利用する旅客の不効用 (混雑を除く) | \hat{x}_k^{rs} | rs OD市場での経路 k の最適旅客数 |
| f_{l^n} | リンク l の運航頻度 | N | 航空会社の集合 |
| $p_{l^n} (p_{l^R})$ | l での航空運賃(あるいは HSR の運賃) | w_k^{rs} | rs OD市場での経路 k での CBD (同時に HSR 駅) との接続に係わる費用 |
| v_{l^n} | l での 1 機材の座席数 | $C_{l^n}^{OP}$ | リンク l の 1 機材あたりの運航費用 |
| $\alpha_{i(i=1,2,3)}$ | 式(5)で用いられる不効用の関数内のパラメータ | t_k^{rs} | アクセス時間を含む rs OD市場での経路 k の旅行時間 |
| P_k^{rs} | rs OD市場で経路 k を利用する旅客の経路運賃 | θ | SUEで用いられる分散パラメータ |
| $\delta_{l^n}^{rsk}$ | rs OD市場で経路 k がリンク l を含む場合 1 をそれ以外はゼロを取るバイナリ変数 | λ_{l^n} | リンク l の混雑費用 |
| $G(\mathbf{f}^n, \mathbf{p}^n)$ | 航空会社 n の持つ頻度や運賃に関する制約を一般化して示した関数。 | $\tilde{\mathbf{f}}^{-n}$ and $\tilde{\mathbf{p}}^{-n}$ | 航空会社 n のライバル会社 (HSRを含む) “ $-n$ ”の頻度および運賃に関する最適戦略 |
| R | HSR運行会社を表すインデックス | $\Gamma(x_k^{rs})$ | 旅客の経路選択行動を表す最適反応関数 |

参考文献

- 1) Barrett, S.D.: Airport competition in the deregulated European aviation market. *Journal of Air Transport Management* 6 (1), 13–27, 2000.
- 2) McLay, P., Reynolds-Feighan, A.: Competition between airport terminals: The issues facing Dublin Airport, *Transportation Research Part A* 40 181–203, 2006.
- 3) Fu, X., Homsombat, W., Oum, T.H.: Air port-airline vertical relationships, their effects and regulatory policy implications, *Journal of Air Transport Management* 17, 347e353, 2011.
- 4) Hihara, K.: An analysis of an airport-airline relationship under a risk sharing contract, *Transportation Research Part E* 48, 978–992, 2012.
- 5) 竹林幹雄：高速鉄道と空港の接続性が旅客輸送市場に与える影響に関する一考察, 第46回土木計画学研究発表会講演概要集, 2012 (CDROM).
- 6) Takebayashi, M.: The runway capacity constraint and airlines' behavior: choice of aircraft size and network design, *Transportation Research E* 47, 390-400, 2011.
- 7) Takebayashi, M.: Managing the multiple airport system by coordinating short/long-haul flights, *Journal of Air Transport Management* 22,16-20, 2012.

AIRPORT COMPETITION AND AIR TRANSPORT NETWORK DESIGN

Mikio TAKEBAYASHI

This paper copes with the airport competition problem and discusses the characteristics of equilibrium solutions by the numerical simulation. We deal with the market where there are two gateway airports which has both international and domestic services and, for the domestic market, the railway service as the third competitor. We set two opposite aims to the airport authorities— (i) maximizing net profit, (ii) maximizing benefit of passengers using international services— by controlling the airport facility charge for the international flights. Our results suggest that it is only to adopt a dominating strategy that one airport having a bigger terminal demand than the other airport should do, and if the bigger airport aims to maximize their net profit, the benefit of passengers of both airports decreases.