

# 空港民営化が航空ネットワーク形成に与える影響に関する分析

高島 いぶき<sup>1</sup>・加藤 哲平<sup>2</sup>・田村 亨<sup>3</sup>・内田 賢悦<sup>4</sup>

<sup>1</sup>学生会員 北海道大学大学院 工学院 (〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目)  
E-mail: mo221@eis.hokudai.ac.jp

<sup>2</sup>学生会員 北海道大学大学院 工学研究科 (〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目)  
E-mail: ieppet@eis.hokudai.ac.jp

<sup>3</sup>フェロー会員 北海道大学大学院 工学研究科 (〒060-8628 北海道札幌市 北区北13条西8丁目)  
E-mail: tamura-t@eng.hokudai.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 北海道大学大学院 工学研究科 (〒060-8628 北海道札幌市 北区北13条西8丁目)  
E-mail: uchida@eng.hokudai.ac.jp

ひとや物資の移動、輸送において、地方空港間の航空ネットワークは必要不可欠なものとなっている。しかしながら近年の人口減少、高齢化などの影響から地方路線の維持が困難な状況になっている。このような状況から脱却し、路線の維持・拡充や競争力の強化させるため空港民営化が議論されている。本研究では空港民営化による影響を評価可能な航空ネットワークモデルを構築する。構築するモデルでは、空港運営会社、航空会社および旅客それぞれの最適化行動を考慮した上で空港運営会社の着陸料、航空会社の機材・運行頻度、および交通需要が同時決定される。またモデルを適用することにより、個々の空港を異なる会社が運営する個別民営化と1つの会社が複数の空港を運営する一括民営化それぞれによる影響を評価可能である。

**Key Words:** airport, privatization, airline, network

## 1. はじめに

北海道は他地域と比較して、広域で分散型な地域構造を成している。そうした地理的条件において、道内での航空輸送は医療などの道民生活や経済活動において必要不可欠なものである。

しかし現在、北海道内の航空ネットワークは人口の大幅な減少や高齢化、また地域内総生産の減少から、空港の経営は新千歳空港のみが黒字、そのほかの空港はすべて赤字経営となっている。また近年の航空会社の大型機から中・小型機へのシフト、そして不採算路線である地方路線から利益率の高い路線への集約化の影響も相まって、道内空港における路線縮小や撤退の恐れが生じているのが現状である。

このような道内空港において地域路線の維持や拡充、競争力の強化を期待した空港民営化が議論されている。空港民営化は 1990 年代のイギリスにおける事例を契機として拡大し、日本では 2013 年に施行された民活空港民営法に伴い、仙台空港が 2016 年 2 月に民営化され、4 月には関西・伊丹空港も民営化された。このほかに高松や福岡なども民営化が議論されている。

本研究では、民営化の影響を評価可能な航空ネットワークモデルを構築する。モデルで考慮する主体は、空港運営会社、航空会社および旅客であり、これらの主体の最適

化行動を通じて、航空ネットワークの航空運賃、着陸料等のネットワーク変数が同時決定される。

## 2. 既存研究

竹林ら<sup>1)</sup>は、空港における規模の経済性を取りあげ、旅客とキャリアの両方を考慮した Nash 型の均衡問題を解いた。またネットワークのサービスレベルに依存する需要変動を表現し、航空市場の規制緩和が進んだ場合に、航空ネットワークに生じる変化について分析を行った。ここでは投入機材は 1 機種のみとし、また航空路線の運行頻度が交通需要や航空会社の利潤に与える影響は考慮されていない。

本研究では、先述した通り空港の民営化が航空ネットワークへ及ぼす影響を評価可能なネットワークモデルを構築するが、航空会社の機材投入や航空の運航頻度が交通需要等に与える影響を明示的に表現することにする。したがって、構築するモデルでは、空港運営会社、航空会社および旅客それぞれの最適化行動を考慮した上で空港運営会社の着陸料、航空会社の機材・運行頻度、および交通需要が同時決定される問題構造となっており、その点で既存研究とは異なる。

### 3. 空港民営化について

現在空港民営化において主流となっているのはコンセッション方式である。この方式では、空港や滑走路等の公的施設の所有権は国や自治体に残したまま、その施設を活用して営業する権利を民間に 20~30 年程度の期限付きで譲り渡す方式のことである。この民営化方式により空港ビル内における非航空系収入の増加やコストを考慮した経営の自由化等が期待されるほか、空港運営会社は着陸料を自由に決定できるため、大手や LCC の新規就航や増便、また地方空港間のネットワーク強化が期待される。

本研究では、この着陸料の自由化に着目して空港民営化における航空ネットワークへの影響を分析可能な航空ネットワークモデルを構築する。モデルで考慮可能な空港民営化手法は、①個別空港民営化と②一括空港民営化の 2 種類である。

### 4. 空港民営化モデル

#### (1) 記号

本研究で用いる記号を以下に示す。

- $I$ : ルート (リンク) の集合
- $H$ : 空港 (ノード) の集合
- $G(I, H)$ : 航空ネットワーク (グラフ)
- $M = \{a, o\}$ : 交通モードの集合 ( $a$ : air,  $o$ : others)
- $C_m$ : 交通モード  $m \in M$  を提供する交通サービス会社の集合 ( $C_o = \{1\}$ )
- $K_n$ : 航空会社  $n \in C_a$  が持つ機材の集合
- $K$ : 機材の集合
- $f_i$ : ルート  $i \in I$  における航空会社  $n \in C_a$  の運賃
- $f_{i_n}^k$ : 航空会社  $n \in C_a$  がルート  $i \in I$  において提供する機材  $k \in K_n$  の運航頻度
- $g_i^a$ : ルート  $i \in I$  において航空会社  $n \in C_a$  を利用する乗客の一般化費用
- $g_i^o$ : ルート  $i \in I$  において航空以外  $n \in C_o$  を利用する乗客の一般化費用 (定数)
- $r(i)$ : ルート  $i \in I$  の出発空港
- $s(i)$ : ルート  $i \in I$  の到着空港
- $\delta_j^{s(i)}$ : ルート  $j \in I$  の到着空港が  $s(i)$  であれば 1, そうでなければ 0 をとる変数
- $\delta_i^n$ : 航空会社  $n \in C_a$  がルート  $i \in I$  に就航していれば 1, そうでなければ 0 をとる変数
- $SA_h$ : 空港  $h \in H$  売り上げ額 (着陸料除く)
- $CL_h$ : 空港  $h \in H$  に生じる費用
- $v_k$ : 機材  $k \in K_n$  の利用可能座席数
- $lc_{s(i)}^k$ : ルート  $i \in I$  の到着空港  $s(i)$  における機体サイズ  $k \in K_n$  にかかる空港着陸料
- $\theta_n(\mathbf{fr})$ : 航空会社  $n \in C_a$  に生じる到着空港での着陸待ちなどの空港混雑に起因する追加的費用

- $CA_{s(i)}$ : ルート  $i \in I$  の到着空港  $s(i)$  の空港容量
- $p_i^a$ : ルート  $i \in I$  上の旅客が航空を選択する確率
- $p_{i_n}^a$ : ルート  $i \in I$  上の航空を選択する旅客が航空会社  $n \in C_a$  を選択する確率
- $q_i$ : ルート  $i \in I$  における交通需要
- $d_i^a$ : ルート  $i \in I$  の航空需要量
- $\pi_n$ : 航空会社  $n$  の利潤
- $CL_n(\mathbf{fr})$ : 航空会社  $n \in C_a$  に生じる費用
- $\theta_1, \theta_2$ : カリブレーションパラメータ
- $\delta_j^{s(i)}$ : ルート  $j \in I$  の到着空港が  $s(i)$  であれば 1, そうでなければ 0 をとる変数

#### (2) 旅客配分

旅客は移動に要する般化費用を最小化するように交通行動を決定するものとする。航空ネットワーク上のルート  $i$  において、航空会社  $n$  を選択する旅客の一般化費用を式(1)で定義する。また、同じルートにおいて他交通機関を選択する旅客の一般化費用は一定とし、式(2)で表すことにする。

$$g_{i_n}^a = f_{i_n} + \sum_{k \in K_n} \frac{\alpha}{f_{i_n}^k} \quad (1)$$

$$g_{i_n}^o = const \quad (2)$$

ここで  $\alpha$  は正のパラメータである。(1),(2)に示した一般化費用に多変量誤差分布  $\boldsymbol{\varepsilon} = (\varepsilon_{a_1}, \dots, \varepsilon_{|N|}, \varepsilon_o)$  を認知誤差として付加して、ランダム効用理論に基づく交通機関・航空会社選択確率を表現する。誤差分布の分布関数を式(3)で与える。

$$f(\boldsymbol{\varepsilon}) = \exp \left\{ - \sum_{m \in M} \left( \sum_{n \in C_m} \exp \left( - \frac{\varepsilon_n}{\lambda_m} \right)^{\lambda_m} \right) \right\} \quad (3)$$

この場合、ルート  $i \in I$  上の旅客が航空を選択する確率は、式(4)、またルート  $i \in I$  の旅客が航空を選択する場合、航空会社  $n \in C_a$  を選択する確率は式(5)で表される。

$$p_i^a = \frac{\exp(-s_i^a)}{\sum_{m \in M} \exp(-s_i^m)} \quad (4)$$

$$p_{i_n}^a = p_i^a \cdot p_{n|a}^i \quad (5)$$

where

$$p_{n|a}^i = \frac{\exp(-g_{i_n}^a / \lambda_a)}{\sum_{m \in M} \sum_{n \in C_m} \exp(-g_{i_n}^m / \lambda_m)} \quad (6)$$

$$s_i^m = -\lambda_m \cdot \ln \sum_{n \in C_m} \exp \left( -\frac{g_{i_n}^m}{\lambda_m} \right) \quad (7)$$

ルート  $i \in I$  において輸送可能な航空需要量は式(8)で表される。

$$d_i^a = \sum_{n \in C_a} d_{i_n}^a \quad (8)$$

where

$$d_{i_n}^a = \min \left( p_{i_n}^a \cdot q_i, \sum_{k \in K_n} v_k \cdot f_{i_n}^k \right) \quad (9)$$

### (3)航空機配分

航空機配分においては、航空会社は自社の利潤を最大化するようにルートの運行頻度、機体サイズを決定するものとする。したがって、航空会社の運行頻度、機体サイズ決定問題は、以下に示す利潤最大化問題として定式化される。

$$\max \pi_n(\mathbf{fr}_n) = \sum_{i \in I} f_{i_n} \cdot d_{i_n}^a - CL_n(\mathbf{fr}) \quad (10)$$

where

$$\mathbf{fr}_n = (f_{i_n}^1, \dots, f_{i_n}^{|K_n|}) \quad (11)$$

$$\mathbf{fr} = (\mathbf{fr}_1, \dots, \mathbf{fr}_{|C_a|}, \dots, \mathbf{fr}_{|I|}, \dots, \mathbf{fr}_{|I|_{|C_a|}}) \quad (12)$$

なお、航空会社  $n \in C_a$  に生じる費用を式(13)で表す。

$$CL_n(\mathbf{fr}) = \sum_{i \in I} \sum_{k \in K_n} f_{i_n}^k \cdot lc_{s(i)}^k + \sum_{i \in I} \theta_n(\mathbf{fr}) \quad (13)$$

where

$$\theta_n(\mathbf{fr}) = \sum_{i \in I} \theta_1 \exp \left\{ \theta_2 \frac{\sum_{j \in I} \sum_{n \in C_a} \sum_{k \in K_n} f_{j_n}^k \cdot \delta_j^{s(i)}}{CA_{s(i)}} \right\} \cdot \delta_i^n \quad (14)$$

### (4)着陸料の設定

空港運営会社が決定する着陸料は、空港運営会社の利潤が最大化されるよう設定する。着陸料については、①個別で民営化した場合、②一括民営化した場合の 2 パターンが考えられる。

個別で空港民営化を行った場合、各空港運営会社はそれぞれの利潤を最大化するように着陸料を決定すると考えられる。その場合の利潤最大化問題は式(15)で表される。その結果、着陸料については、各空港で異なる値をとることになる。さらに、空港によっては利潤が確保できない場合が想定され、そうした空港運営会社の撤退行動も表現されると考えられる。

$$\max \pi_h(\mathbf{lc}_h) = SA_h + \sum_{j \in I} \sum_{n \in C_a} \sum_{k \in K_n} f_{j_n}^k \cdot lc_{s(j)}^k \cdot \delta_j^h - CL_h \quad \forall h \in H \quad (15)$$

where

$$\mathbf{lc}_h = (lc_h^1, \dots, lc_h^{|K|})$$

一括で空港民営化を行った場合、空港運営会社は、民営化される空港の総利潤が最大になるように着陸料を決定すると考えられる。この場合の利潤最大化問題は式(16)で表される。着陸料については、民営化された空港において異なる値をとることは、個別民営化の場合と同様ではあるが、収益性の高いルートの着陸料を高く設定し、収益性低い空港の着陸料を低く設定することにより、すべての空港が持続可能となる料金設定も表現可能であると考えられる。

$$\begin{aligned} \max \pi(\mathbf{lc}) &= \sum_{h \in H} \pi_h \\ &= \sum_{h \in H} \left( SA_h + \sum_{j \in I} \sum_{n \in C_a} \sum_{k \in K_n} f_{j_n}^k \cdot lc_{s(j)}^k \cdot \delta_j^h - CL_h \right) \end{aligned} \quad (16)$$

where

$$\mathbf{lc} = (\mathbf{lc}_1, \dots, \mathbf{lc}_{|H|})$$

## 5. ケーススタディ

本研究では、図-1 に示す仮想ネットワークを対象に、空港民営化に伴う着陸料の自由化がどのように航空ネットワーク形成に影響するかを分析する。ここでは、民営化する空港は H2, H3 の 2 空港とした分析を行う。計算結果については講演時に発表する予定である。

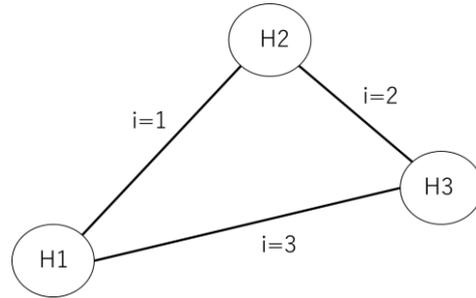


図-1 仮想ネットワーク

## 6. まとめ

本研究では、航空会社、空港運営会社、旅客の三者の最適行動を考慮し、空港民営化により生じる運航頻度や着陸料等への影響を評価可能とするモデルを構築した。

本研究では、航空ネットワークモデルの定式化のみを示したが、仮想航空ネットワークを対象としたモデル挙動の検証を行う必要がある。さらには、実データを適用したモデルパラメータの推計を通じて、モデルの実証研究を行う必要がある。

## 参考文献

- 1) 竹林幹雄, 黒田勝彦, 鈴木秀彦, 宮内敏昌: 完全競争市場として見た国際航空旅客輸送市場のモデル分析, 土木学会論文集, No.674/IV-51, pp35-48, 2001.

- 2) 竹林幹夫:航空旅客輸送市場における小型化・多頻度化成立に関するモデル分析;土木学会論文集D;Vol.66(2010)No.2 p269-278,2010.
- 3) 北海道経済連合会:北海道における空港民営化の方向 ;<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/jjkaigou/dai39/siryou1.pdf> (2016/07/25 閲覧)
- 4) 国土交通省航空局:国際拠点空港の民営化について;<http://www.gyokaku.go.jp/sanyo/dai77/siryou1-1.pdf> (2016/07/25 閲覧)
- 5) 北海道:道内空港活性化ビジョン～道内各空港の将来展望～<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ss/kkk/youusikishakonn1siryou2-5.pdf> (2016/07/25 閲覧)

## AN ANALYSIS OF THE EFFECT FOR AIRLINE NETWORK INTRODUCING AIRPORT PRIVITIZATION

Ibuki TAKASHIMA, Teppei KATO, Toru TAMURA, Kenetsu UCHIDA

Airline network in a local region in Japan is necessary for the transportation of goods and passengers demanded with in the region. However, it is getting difficult to maintain such airline network due to the depopulation and aging of society in Japan. To avoid such situation, airport privatization is being discussed in Japan for maintaining the local airline network by strengthening its competitiveness. In this study, an airline network model is developed for examining the effects of the airport privatization on the network variables such as landing fee, airfare and so on. Collective privatization and individual privatization are addressed in the model.