

滑走路容量の影響を考慮した航空会社の機材選択・ネットワーク形成に関する研究：

羽田空港を対象として*

Airlines' Behavior on Choice of Aircraft Size and Network Design under Runway Capacity Constraint: Application to Haneda Airport *

竹林幹雄**

by Mikio TAKEBAYASHI**

1. はじめに

(1) 背景

羽田空港（以下 HND）での第4滑走路供用が2010年10月に予定され、わが国最大の空港での発着数が大きく増加することとなる。この発着数の大幅増は、HNDでの一部国際化など、多様なサービス提供をもたらすものと期待される。

HNDを中心とした国内幹線での運航形態の特殊性は今までも多くの文献で指摘されてきた。それは、新千歳や福岡、大阪といったHND利用の需要の40%以上を占める幹線でのサービスは、現在ボーイング777/747を中心とした世界でも類を見ない大型機によって運航される路線であるということである。欧州近距離旅客輸送市場や北米国内航空旅客輸送市場では、ボーイング737やエアバスA320といったsingle aisle/narrow bodyの機材による運航が普通である。ボーイング767以上のtwo aisle/wide bodyの機材による輸送は、輸送密度の効率性から長距離運航が通常であり、1000マイル（1600 km）以下の近距離輸送での使用は、規制緩和が実施されて以降は極めてまれである。

欧米での歴史的経緯を踏まえれば、平田¹⁾が指摘するように、HNDの拡張に際して、single aisle 機材や時期世代機の主力といわれているボーイング787やエアバスA350などの中型two aisles 機投入とそれに伴う多頻度運航による利用者の便益向上が期待される。

さて、現在までに、航空各社をはじめとして各方面から将来的な機材サイズならびに需要についての予測がなされているが、筆者の知る限りにおいて、滑走路容量制約の緩和と旅客需要との関係を明示した議論がなされているとはいえない状況である。

(2) 需要分析とネットワークデザイン

わが国における航空旅客需要分析を考える上で、その方法論の変遷を知ることは重要である。

1980年代から90年代初頭にかけて提案された方法論に関して、森地らが包括的なレビューを行っている²⁾。ここでは旅客の空港選択において、ロジットモデルの他に、犠牲量を用いた方法論も紹介されている。このほか屋井ら³⁾の空港選択・路線選択を同時に検討するモデルなども提案されている。これらの研究は旅客需要側に絞った需要分析手法であり、市場における自由化の程度が高くなるに従い、航空会社の行動が旅客需要に与える影響は大きくなると考えられる。このため、旅客行動分析に加え、航空会社の路線設定を取り上げる方法論が90年代以降、提案されるようになった。ここでは、旅客と航空会社の双方を同時に考慮する supply-demand interaction model について紹介する。

最も初期に提案されたsupply-demand interaction model は、Kanafani and Ghobrial⁴⁾が提案したLogit型の旅客配分を含むネットワーク設計モデルである。Kanafaniらのモデルでは、制御変数を輸送規模とした航空会社の利潤最大化問題を上位に、下位にLogit型の旅客の路線選択行動を組込むという試みを行っている。Kanafaniらの提案した航空モデルにおけるsupply-demand interaction model は様々な形に発展していく。応用数学からのアプローチとしては、Nash均衡の考察からスタートしたHongらのモデル⁵⁾がある。ここでは輸送頻度を制御変数とし、価格は輸送頻度と需要から決定されることを示している。旅客は輸送頻度と価格、旅行時間を考慮するとしている。

Hong らのモデルの系統で、旅客の最適経路選択モデルを組み合わせたものがAdlerのモデル⁶⁾である。Adlerのモデルは、旅客の路線（フライト）選択行動において利用者均衡配分(UE)を仮定している。UEは基本的に微分可能性を有している。このため、航空会社の利潤最大化行動を最適化する際、離散計画問題における均衡解が要求される。このため、安定な解を得ることが困難になり、限定的な状況でしか解を得ることができないとし

*キーワード：羽田空港，滑走路容量，機材選択

**正会員 神戸大学准教授 大学院工学研究科（〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1）

Email: takebaya@kobe-u.ac.jp

ている。Adler は、このモデルを後に改良し、subgame perfect の概念を導入し、複数の均衡解について検討することを行っている⁷⁾。ここでは、欧州市場を対象として、3社寡占状態での路線維持・撤退について検討している。

Adler と同系統のアプローチであるが、Adler 他、既往の研究、例えば羽田空港を対象とした大橋ら⁸⁾においては機材の容量制約の帰着先が航空会社であるのに対し、旅客行動に帰着すると定式化したモデルが竹林らのモデル（以下、Bi-level モデル）⁹⁻¹²⁾である。ここでは旅客の路線選択行動に容量制約付き確率的利用者均衡状態（SUE with bottleneck）を仮定している¹³⁾。このため、Adler らのモデルと比べて格段に操作しやすくなっている。Takebayashi¹⁴⁾¹⁵⁾はさらにこれを拡張し、機材選択の影響も考慮したモデルを提案している。

本稿では、Takebayashiが提案したbi-levelモデル¹⁴⁾¹⁵⁾を用いて、HNDにおける容量制約緩和が航空会社の路線運航ならびに旅客需要に与える影響について考察する。

2. モデル

ここで用いるモデルは、離散変数を含むBi-Levelモデル¹⁴⁾¹⁵⁾である。上位問題に機材サイズならび輸送能力を制御変数とするネットワーク航空会社間の競争、下位問題に均衡制約として旅客の最適化行動を組み込むものである。以下に使用する変数の一覧を示す。

[OD およびネットワーク構造に関するもの]
 rs : OD ペアを表す。起点は r であり、終点は s である。
 Ω : OD ペアの集合を表す。
 k^n : rs OD 市場で供給される航空会社 n が供給する経路を表し、 $k^n \in K_n^{rs}$ である。
 K_n^{rs} : rs OD 市場で航空会社 n により供給される経路の集合を表す。
 l^n : 航空会社 n により運航されるリンクを表し $l^n \in I^n$ である。
 I^n : 航空会社 n により運航されるリンクの集合を表す。
 X^{rs} : rs OD 市場の OD 旅客数であり、与件である。
 Ξ : 空港の集合を表す。

[エアラインに関するもの]
 f_l^n : リンク l^n での運航頻度を表す。航空会社 n の制御変数である。
 f_{LOW} : 最低運航頻度を表す。
 v_l^n : 航空会社 n が運航するリンク l^n で使用される航空機の機材サイズ（利用可能座席数）を表す。機材サイズは与件であり、航空会社 n の制御変数である。本モデルでは、当該路線での機材の組合せによる輸送能力変化な

らびにコストの変化は、平均的な機材サイズの変化により表現することが可能であると考えた。このため、1リンクにつき1種類の機材が投入されるものとする。

C_l^{OP} : 各フライトの1フライトあたりのオペレーション費用を表す。

p_k^{rs} : rs OD 市場の経路 k^n の運賃を表す。運賃は与件である。これはわが国の航空輸送を対象とする限り、現状で収集可能なデータでは実勢運賃が把握できず、そのため運賃水準の変化を実証することが困難であるためである。

F_h^n : 空港 h で航空会社 n に割り当てられる発着回数を表し、与件である。

N : 航空会社の集合を表す。

[旅客に関するもの]

u_k^{rs} : rs OD 市場の経路 k^n を利用する際に旅客が被る不効用を表す。

x_k^{rs} : rs OD 市場で航空会社 n が供給する経路 k^n を利用する旅客のフローを表す。旅客の均衡配分の際の制御変数である。

$\delta_l^{rsk^n}$: rs OD 市場で航空会社 n が供給する経路 k^n がリンク l^n を含む場合 1、それ以外にゼロをとる2値変数である。

x_l^n : 航空会社 n が運航するリンク l^n での旅客フローを表す。

$\delta_h^{l^n}$: リンク l^n が空港 h を発着空港として含む場合 1 を取り、それ以外はゼロをとる2値変数である。

$\Gamma(x_k^{rs})$: 旅客の経路選択行動における目的関数であり、航空会社の行動に対する最適反応関数である。

θ : 旅客配分における分散パラメータである。

α_1, α_2 : 旅客の効用関数におけるパラメータである。

λ_l^n : リンク l^n を利用する際に生じる追加的コスト（混雑）であり、満席による不効用を表す。これは満席により、当該リンクを利用できないことによる追加的費用に相当する。

(1) 旅客行動

旅客行動は座席数制約を明示的に考慮した確率的利用者均衡状態(SUE)を仮定している。

$$\text{Object: } \Gamma(x_k^{rs}) = \frac{1}{\theta} \sum_n \sum_{rs \in \Omega} \sum_{k^n \in K_n^{rs}} x_k^{rs} (\ln x_k^{rs} - 1) + \sum_n \sum_{rs \in \Omega} \sum_{k^n \in K_n^{rs}} u_k^{rs} x_k^{rs} \rightarrow \min \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_n \sum_{k^n \in K_n^{rs}} x_k^{rs} = X^{rs}, \text{ for } \forall rs \in \Omega, \quad (2)$$

$$x_{l^n} = \sum_{rs} \sum_k x_k^{rs} \delta_{l^n}^{rsk} \leq v_{l^n} f_{l^n}, \quad \text{for } \forall l^n \in I^n, \forall n \in N \quad (3)$$

$$x_{k^n}^{rs} \geq 0, \text{ for } \forall k^n \in K_n^{rs}, \forall rs \in \Omega, n \in N. \quad (4)$$

ここで、旅客の効用関数は費用、時間、頻度の経済性（輸送頻度の逆数で表される）および混雑で構成されている⁹⁾¹¹⁾。具体的には以下のように構成されている。

$$\begin{aligned} U_{k^n}^{rs} &= u_{k^n}^{rs} + \sum_{l^n} \lambda_{l^n} \delta_{l^n}^{rsk^n} \\ &= t_{k^n}^{rs} + \alpha_1 p_{k^n}^{rs} + \alpha_2 \sum_{l^n} \frac{1}{f_{l^n}} \delta_{l^n}^{rsk^n} + \sum_{l^n} \lambda_{l^n} \delta_{l^n}^{rsk^n}. \end{aligned} \quad (5)$$

(2) 航空会社の行動

航空会社の行動は既往研究で示したモデルを、機材選択可能なように拡張する必要がある。 π^n を航空会社 n の利潤関数、 $\tilde{f}_{l^n}$ 、 $\tilde{v}_{l^n}$ をライバル会社 ($-n$ で表記) の行動、 I^n は n のライバル会社の運行するリンクの集合、 $\hat{x}_{k^n}^{rs}$ を rs OD 市場における経路 k^n での均衡経路旅客数とする。なお、本モデルでは滑走路容量は航空会社ごとに割り当てられるものとする。航空会社 n の直面する利潤最大化行動は、以下のように定式化される。

$$\begin{aligned} \text{Object} : \pi^n(f_{l^n \in I^n}, v_{l^n \in I^n}, \tilde{f}_{l^n \in I^n}, \tilde{v}_{l^n \in I^n}) \\ = \sum_{rs} \sum_{k^n} p_{k^n}^{rs} \hat{x}_{k^n}^{rs} - \sum_{l^n} C_{l^n}^{OP} f_{l^n}, \end{aligned} \quad (6)$$

subject to

$$f_{l^n} v_{l^n} \geq x_{l^n} = \sum_{rs} \sum_{k^n} \hat{x}_{k^n}^{rs} \delta_{l^n}^{rsk^n}, \text{ for } \forall l^n \in I^n, \quad (7)$$

$$\sum_{l^n} f_{l^n} \delta_h^{l^n} \leq F_h^n, \text{ for } \forall h \in \Xi, \quad (8)$$

$$f_{l^n} \geq f_{LOW}, \text{ for } \forall l^n \in I^n, \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \hat{x}_{k^n}^{rs} &= \arg\{\min : \Gamma(x_k^{rs}) \text{ subject to constrn.}\}, \\ &\text{for } \forall k^n \in K_n^{rs} \text{ and } rs \in \Omega \end{aligned} \quad (10)$$

式(9)はネットワークの形状変更を禁止するため、リンクの切断を禁止するものである。なお、式(7)は旅客行動によって成立は保証されるので、航空会社は直接考慮する必要はない。

(3) 均衡解の導出

式(6)は2種類の操作変数で構成されている。構造的には Adler のモデルと同じであり、制御変数（頻度 f と機材サイズ v ）間の依存性が非常に強い。このため、非

凸性が強く生じ、同時決定問題として解くことは非常に難しい。ゆえに以下のように問題を分解して考えることとする。

まず、頻度 f と機材サイズ v について考える。通常、 f は1日1便以上という設定を加えたとしても、設定パターンは非常に多いと考えてよい。一方座席数である v について考えると、同種機体でも設定席数は異なるものの、一般的な旅客機としては B777 クラス、B767 クラス、B737 クラス、そして CRJ 100/200 などのリージョナルクラスというように、バリエーションは頻度と比べてもはるかに少ないと考えてよい。このため、 v の扱いを工夫することで計算量縮小が可能であると期待できる。さらに、 f を実数表現と考えれば、 f を求めるためには既開発 bi-level 市場モデルが利用できる。

市場での競争については、2段階競争と仮定し、第1段階で機材サイズ選択、第2段階で頻度決定を行う従来のモデルで示された段階での競争と考えた。このように考えることで、部分ゲーム完全解を与える解を求められ、結果として競争均衡の解を求めることができる。

3. HNDを中心としたハブ・スポーク型 (HAS) ネットワークへの適用

(1) 入力データ

本稿では、2010年のHND滑走路容量拡張による影響を考察する。分析に先立ち、利用するデータについて簡単に触れる。

OD 交通量については、首都圏発着の長距離旅客を対象とし、OD 交通量のパターンは平成19年発行の全国幹線旅客純流動調査の全交通モードを用いた。表-1に対象エリアと利用可能空港の一覧を示す。

本稿では、首都圏との交通量の多さを勘案し、主として関西以西の主要ゾーン、北海道と、首都圏との接続性について検討対象とした。空港については、表に挙げた中で関西圏のみ複数空港が選択可能となっている。なお、セントロイドは各県庁所在地にあるものとし、空港までのアクセス方法は、航空旅客動態調査で調査された交通手段でもっとも割合の高い交通機関が使用されるものとした。

評価対象年度は2007年としているが、全国幹線旅客純流動調査の調査年が2005年であるため、旅客の年率の伸び率を平成18年度貨物・旅客地域流動調査による0.3%として計算に使用した。

航空輸送に関わるデータ（輸送頻度、機材、旅客数）は平成18年、および19年の航空統計年報に掲載された数値を利用した。1シート・キロメートルあたりの限界費用算定に際しては、Aviation Week & Space Technology 2009年版ソースブック¹⁶⁾に掲載された単位運航費用の値

表-1 OD ゾーンおよび空港

地域名	ODゾーン	利用可能空港
北海道	北海道	新千歳(SAP)
首都圏	茨城, 栃木, 群馬, 埼玉, 千葉, 東京, 神奈川	羽田(HND)
関西	滋賀, 京都, 大阪, 兵庫, 奈良, 和歌山	大阪(ITM) 関西(KIX) 神戸(UKB)
中国	広島	広島(HIJ)
九州	福岡	福岡(FUK)
	鹿児島	鹿児島(KOJ)
沖縄	沖縄	那覇(OKA)

注：関西のみ複数空港を選択可能

(ANA：13.8円，JAL：14.1円)を参考にBrander and Zhang¹⁷⁾の算定式を用いて基準値を算定した。さらに，Wei and Hansen¹⁸⁾の実証分析を参考に，輸送距離帯別機材形式別単位運航費用の比較値を計算に使用した。具体的には，国内市場での運航距離帯である1000マイル(1600 km)以下における推計値から，機材別の単位運航費用を読み取り，B737クラスの値を1として，B767，B777クラスの値を比率として割り出し，その比率をBrander and Zhang¹⁷⁾の算定式に乗じて算出した。比率はB767で0.9，B777で1.06とした。運賃はFuji Airways Guide¹⁹⁾に掲載された当該年度の正規運賃をもとに，再現性を考慮して20%の割引が行われている場合を取り上げている。なお，本稿ではJAL/ANAの複占市場を基本的な分析対象としているため，グループ企業はこれらに含めて取り扱うこととした。なお，JALグループとしてはJEX，JTAを，ANAグループとしてはANKの運航路線を含めている。また，Air DO，Skymarkは考察対象からは除外している。

HNDにおける発着回数に関しては，表に示された路線の現行の運航回数を基本として，JALでは176回/日，ANAでは160回/日の発着回数制限を設けている。なお，計算を遂行するに際し，大阪空港(ITM)および神戸空港(UKB)には厳しい発着回数制限が存在する。この発着回数制限の影響を明示的に取り扱うには，全国規模のネットワークを取り扱う必要があり，計算規模が非常に大きくなる。このため，先行研究⁹⁾¹¹⁾で示された均衡運航回数を参考に，本稿では1社あたりHND-ITMでは最大32回，HND-UKBでは最大30回の発着回数制限を設けることとした。また， f_{LOW} に関しては，実際の運航

を考慮し，2便/日とした。

航空輸送の代替経路となる鉄道および海上輸送に関しては，基本的に新幹線(のぞみ)の運航パターン(輸送頻度および料金)をデータとして使用した。新幹線が利用できない区間のみ在来線の特急を利用できるものとした。ただし，容量制限は設けていない。また，沖縄方面からの交通のみ鹿児島までは船舶利用，その後は鉄道利用として計算を行った。

(2) 再現性

ここでは，2007年を対象年とした再現性について述べる。旅客の効用関数のウェイトに関しては別途国内航空旅客動態調査ならびに全国幹線旅客純流動調査を用いて推定し，時間に対するウェイトを1として，費用に対するウェイト=0.74，頻度の経済性に対するウェイト=10.1，分散パラメータ=0.26(不効用なので全て負である)を得た。なお， t 値は全て絶対値2を超えており，統計的にも安定であることを付記しておく。

次に，ネットワークの再現性について検討する。なお，機材サイズについては，詳細に分けると非常に多岐にわたるため，B737クラス(120席)，B767クラス(275席)，B777クラス(400席)の3種類とした。ここでは，HNDで設定されている路線のうち，「幹線」に分類される路線(SAP，ITM，KIX，FUK，OKA)のうち，容量制約が非常に厳しいITMを除いた4路線に焦点を当て，分析を行う。

図-1は観測された使用機材(1路線年平均)と計算結果との比較である。また，図-2はその頻度に関する比較である。まず，機材サイズの再現性に関しては，大きく過大推計となったのは関西空港発着路線のみであり，全体的にやや過小評価となった。これは幹線では平均座席供用数が400席をはるかに超える座席数が供給されていることが原因である。しかし，全般的にはおおむね良好な結果と見ることができる。また，図-2に示される頻度の再現性も， $R=0.81$ 程度となり，おおむね良好な再現性を有しているといえる。なお，本モデルを適用した場合，関西圏発着の航空旅客数は過大に推計される傾向にある。これはセントロイドを県庁所在地に設定したことによるアクセス条件の現状との乖離が影響しているものと考えられる。こういった過大推計は，ODゾーンをより詳細に分割することで対応可能であるが，経路数が莫大に増えるなど，計算が困難となるため，現時点ではこれ以上の改善は難しい。ゆえに，こういった過大推計の傾向があることに注意しながら，以降のシナリオ分析では，以上のケースを基本ケース(Base Case)として比較に用いることとする。

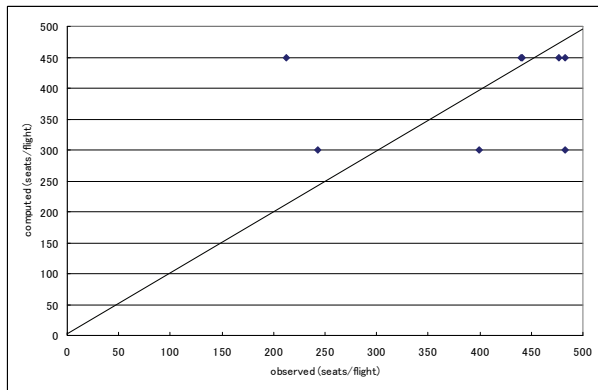


図-1 再現性（機材サイズ：幹線）

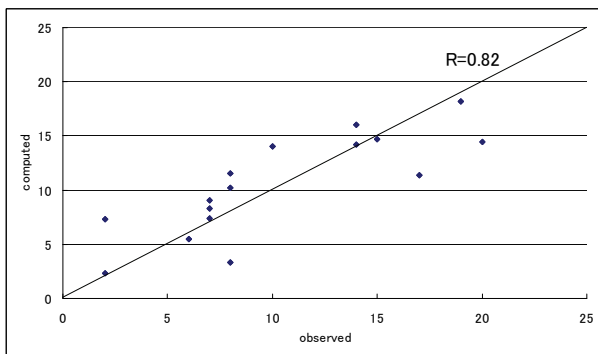


図-2 再現性（運航頻度：往路）

表-2 機材サイズの変化

	Base	Case 1	Case 2	Case 3
SAP(NH)	B777	B767	B767	B767
KIX(NH)	B777	B777	B767	B767
FUK(NH)	B777	B767	B767	B767
OKA(NH)	B777	B767	B767	B767
SAP(JL)	B777	B767	B767	B767
KIX(JL)	B767	B777	B777	B767
FUK(JL)	B767	B767	B767	B767
OKA(JL)	B767	B767	B767	B767

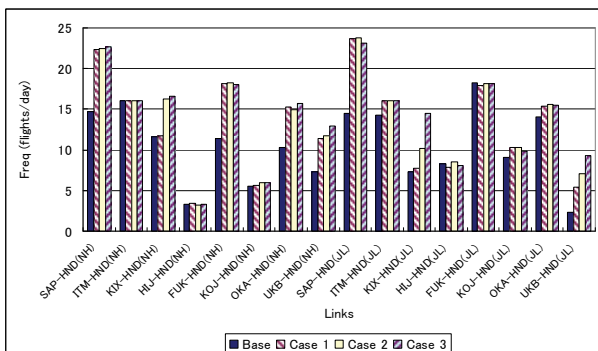


図-3 運航頻度の変化（往路）

（3）HND滑走路容量拡張の影響

次に、HND での滑走路容量拡張が航空会社の戦略に与える影響について分析を行う。ここでは JAL, ANA それぞれの滑走路容量制約の条件を同じ（同数の滑走路

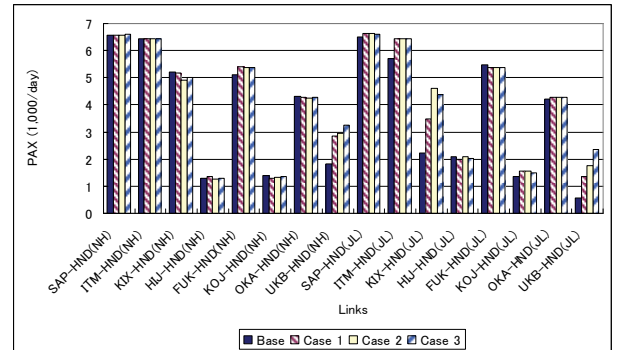


図-4 輸送旅客数の変化（往路）

容量を与える）とし数値計算を実施した。以下、基本ケースでの JAL の滑走路容量が ANA にも割り当てられるものとし、その値に対して 20% (Case 1), 25% (Case 2), 30% (Case 3) 増加の 3 ケースについて紹介する。

表-2 は基本ケースから滑走路容量制約を緩和程度と選択される機材サイズの変化を示したものである。図-3、図-4 は各路線での運航頻度ならびに輸送旅客数を比較したものである。まず表-2 から両航空会社ともに多くの路線で 20% 増加の段階で機材サイズが Base Case と比較して小型化していることがわかる。また Case-3 では FUK, OKA 以外の全ての路線で Base Case に比べて小型機材が投入されていることがわかる。さらに図-3 より、これら小型化が進行した路線では、輸送頻度が多頻度化していることが認められる。これらの結果から、HND での滑走路容量の増加は、幹線における小型化・多頻度化を促すことは十分現実的であるといえる。

しかし、輸送旅客数の点から見ると、小型化による多頻度輸送が行われた路線での輸送旅客数の増加は小さい路線が多い（図-4 参照）。例えば、SAP 路線は小型化により両航空会社とも最大 60% の増便（Case 3）になっているにもかかわらず、旅客数の点ではほとんど変化がない。同様の傾向は OKA 路線にもみることができる。これらの路線では、機材の小型化は単位輸送費用の縮減効果、すなわちコスト削減の効果が大きな路線であるといえる。換言すると、小型化は主としてコスト削減のために行われ、その結果必然的に運航頻度の増加をもたらしたと考えることができる。なお、JAL, ANA では機材サイズ、頻度が異なるが、これは単位運航費用の差によるものと考えられる。すなわち、運航コスト的に有利な ANA の方が機材を小型化し、頻度を増加させる傾向にあるといえる。

一方、首都圏-関西での路線を見ると、いずれの路線でも大幅に運航回数が増加するとともに、旅客数も増加している。特に KIX 路線では機材を大型化してもある程度旅客数を増加させるという結果を得ている。また、幹線以外でも UKB 路線は全てのケースで輸送頻度、輸

送旅客数ともに伸張させている。これは、本稿での基本ケースで両航空会社とも大型（B777 クラス）投入としていたものの、首都圏-関西での輸送市場では輸送頻度の大幅増加による新幹線からの転換需要が期待できるため、HNDでの滑走路容量制約が強く働く状態（Case 1）では大型の投入を維持していたものと考えられる。さらに制約が緩和されると、同規模の需要を小型機材で輸送することが可能となるので、他の幹線と同様に小型化によるコスト削減効果が発揮されるようになると考えられる。

さて、ここで地方路線に目を向ける。HIJ, KOJ ともに若干の変化は見られるものの、基本ケースと比較して大きな変化は見られない。これは幹線や高需要の路線と比較して収益性が低い、ないしは改善の効果が小さいことが原因と考えられる。このことから、自由競争を前提とした場合、HNDにおける滑走路容量の拡張は、幹線や高需要路線への効果波及は大きいものの、幹線と比較して収益性や需要の点で劣る地方路線では増便はあまり期待できないと考えられる。これは一方で、HNDの滑走路容量の拡張は、地方部の航空利用を拡大することにはつながらないことを示唆している。

（4）新幹線整備の影響

最後に、長距離輸送における新幹線整備の影響について検討を加える。

前節でも検討したように、首都圏-関西の需要規模は非常に大きく、HND側の滑走路容量制約が緩和された場合、大幅に増加する可能性が示された。しかし一方で、リニア新幹線整備も同時に議論されている。一般的な理解では新幹線と航空輸送はトレードオフの関係であり、本稿でもそのように仮定している。リニア新幹線では従来よりも東京-大阪間がおおよそ1時間短縮されるというものであり、航空輸送に非常に大きなインパクトを持つと考えられる。ここでは前節のシナリオ分析で最も小型化・多頻度化が進行したCase 3を取り上げ、この場合に対して1時間短縮の場合について検討を加えることとする（Case 4）。ただし、1時間短縮の効果は首都圏-関西に限定されたものと仮定しており、関西以西の移動に関しては従来路線をそのまま利用するものと設定した。このことは後の計算結果に影響している可能性がある。また、OD交通量も不変とした。なお、運賃に関しては、現時点では情報がないため、のぞみと同価格とした。

まず、航空会社の機材サイズ選択に関しては、リニア新幹線整備の際も、幹線における小型化に変化はないという出力を得た。すなわち、HND側に十分な発着容量が確保されている場合、小型化の進行に影響はないといえる。しかし、運航頻度に関しては影響を見ることができる。

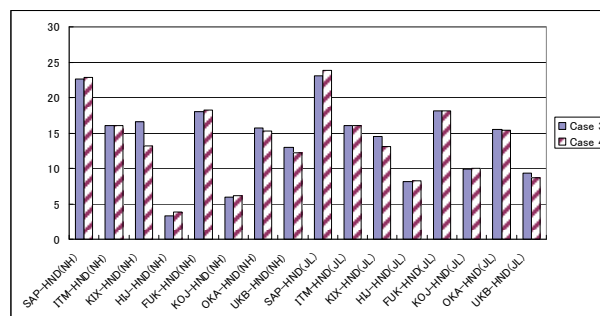


図-5 運航頻度の変化（往路）

図-5は運航頻度の変化を示したものである。図から、リニア新幹線が導入されることにより、関西発着の航空旅客数が減少していることがわかる。ITMの発着回数は不変であるが、KIXならびにUKBでの運航頻度減少が見られる。これはKIX, UKBとITMに関する京都、大阪からのアクセス条件の違いによるものと考えられる。また、この傾向は先行研究⁹⁾¹¹⁾でも指摘されていることと一致する。

一方、KIX, UKB路線での頻度減少とは対照的に、SAP路線、HIJ路線では運航頻度が微増する。航空利用者全体で見ると、Case 3では19,605人/日であったものがリニア新幹線整備により19,320人/日と、1.5%減少することとなった。全体的にはHNDでのスロット使用数は、ANAで5%余裕が出るという結果を得た。関西方面での航空需要の減少が、全体の運航頻度に影響を与えたといえる。

4. おわりに

本稿では滑走路容量制約と機材選択の関係についてHNDを対象として数値実験を通じて検討を加えた。

結果として、以下のことが指摘された。

- ① HNDでの滑走路容量の拡張にしたがって小型化が進行する。
- ② 自由競争を前提とした場合、幹線での小型化に伴い、大幅な運航頻度の増加が見込まれる。
- ③ 地方路線での運航頻度増加の生じる可能性は少ない。
- ④ リニア新幹線整備により、関西圏での航空需要が減少し、他の幹線や一部地方路線の運航頻度の増加をもたらす。幹線での小型化進行の傾向には影響がない。

②、③で指摘されたHNDでの滑走路容量の拡張の恩恵が主として高需要路線に限定されることは示唆的である。すなわち、多くの地方が望んでいるHNDとの接続性の向上は、市場原理だけでは達成することは難しいということである。JALの経営破綻後、地方路線のさらな

る縮小の可能性が指摘されている。HNDの整備による恩恵を広く日本全体に行き渡らせるためには、運航補助など適切な方策や、高需要路線での頻度の制約なども検討する必要も考えられる。ただし、新たな制約は市場に歪みをもたらすので、慎重な検討が必要である。

なお、以上の結果は本稿が設定する諸条件のものであり、結果の解釈はある程度限定的であることを断っておく。特に、リニア新幹線の影響に関しては、整備による航空旅客の減少が見込まれるものの、その規模については現状においても新幹線利用が主である関西方面の航空旅客数が過大に推計される傾向にあることから、関西圏発着の旅客の行動を別途分析するなど、モデル精度の向上を検討する必要がある。また、本稿の分析では低費用航空会社（LCC）などの新規参入は想定していない。しかし既往研究²⁰⁾にも述べてように、B737クラスのみ運航するLCCが参入する場合、小型化が誘発されやすい。新規参入の影響把握は今後の課題としたい。

また、データの制約上、本稿では運賃を与件として扱っているが、米国では平均価格ではあるが、実勢運賃は全て公開されている。米国国内市場データなどを用いて、価格も変数とした分析を可能な形にモデルを拡張している。これに関しては機会を改めて発表することとしたい。

参考文献

- 1) 平田輝満：航空管制からみた混雑空港の発着容量拡大方法に関する検討，運輸政策研究，Vol. 10，62-66，2007。
- 2) 森地茂，屋井鉄雄，兵藤哲朗：わが国の国際航空旅客の需要構造に関する研究，土木学会論文集，No.482/IV-22，27-36，1994。
- 3) 屋井鉄雄，高田和幸，岡本直久：東アジア圏域の国際航空ネットワークの進展とその効果に関する研究，土木学会論文集，No.597/IV-40，71-85，1998。
- 4) Kanafani, A., Ghobrial, A.: Airline hubbing: some implications for airport economics, *Transportation Research, A*, vol.19, No.1, 15-27, 1985.
- 5) Hong, S., P.T. Harker: Air traffic network equilibrium: toward frequency, price and slot priority analysis, *Transportation Research* 26B, No. 4, 307-323, 1992..
- 6) Adler, N.: Competition in a deregulated air transportation market. *European Journal of Operational Research*, 129, 108-116., 2001.
- 7) Adler, N.: The effect of competition on the choice of an optimal network in a liberalized aviation network with an application to Western Europe. *Transportation Science* 39, 58-72, 2005.
- 8) 大橋忠宏，宅間文夫，土谷和之，山口勝弘，堀健一：ネットワークを考慮した航空旅客市場での空港拡張の効果：羽田空港を例として，土木学会論文集，No. 772/IV-65, 131-142, 2004.
- 9) 竹林幹雄，黒田勝彦：ネットワーク均衡分析による関西3空港における機能分担に関する考察，土木学会土木計画学研究論文集，No.24，427-436，2007。
- 10) 石倉智樹，竹林幹雄：羽田空港への国際定期航空路線乗り入れによる航空市場への影響分析，土木学会論文集，800，VI-69，51-66，2008。
- 11) 竹林幹雄，黒田勝彦：関西3空港における国内航空旅客需要に関する研究，運輸政策研究機構発行運輸政策研究Vol.11，No.4，21-29，2008。
- 12) Mikio Takebayashi: Evaluation of Asian Airports as Gateway: Application of Network Equilibrium Model, *Pacific Economic Review* (forthcoming).
- 13) Zhou, J., Lam, W.H.K., Heydecker, B.: The generalized Nash equilibrium model for oligopolistic transit market with elastic demand, *Transportation Research* 39B, 519-544, 2005.
- 14) 竹林幹雄：滑走路容量の影響を考慮した航空会社の機材選択・ネットワーク形成に関するモデル分析，第38回土木計画学研究発表会，2008。
- 15) Mikio Takebayashi: Airline's behavior for choice of aircraft size and network design: bi-level model, *ATRS 2009 Abu Dhabi*, 2009.
- 16) *Aviation Week & Space Technology*, Jan. 26, 2009, McGraw Hill.
- 17) Brander, J.A., Zhang, A.: Market Conduct in the Airline Industry, *RAND Journal of Economics*, Vol.21, No.4, 567-583., 1990.
- 18) Wei, W., Hansen, M.: Cost economics of aircraft size. *Journal of Transport Economics and Policy* 37 (part 2), 277-294, 2003.
- 19) Fuji Inc.: *Fuji Airways Guide*, 2007年10月。
- 20) 竹林幹雄：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，部門 D Vol. 66, No.2, 269-278, 2010。

滑走路容量の影響を考慮した航空会社の機材選択・ネットワーク形成に関する研究：

羽田空港を対象として*

竹林幹雄**

本稿では2010年の羽田空港滑走路容量拡張の影響に関して、航空会社の機材選択行動も組み込んだbi-level市場モデルを用いて分析を行った。具体的には2010年の需要レベルを用いて、首都圏を中心とした国内航空旅客輸送市場を対象として、羽田発着の幹線5路線と関西以西の主要地方路線3路線を対象とした。結果としては、

HNDでの滑走路容量の拡張にしたがって小型化が進行すること、自由競争を前提とした場合、幹線での小型化に伴い、大幅な運航頻度の増加が見込まれるが、その効果は高需要路線に限定されることなどが指摘された。

Airlines' Behavior on Choice of Aircraft Size and Network Design under Runway Capacity Constraint: Application to Haneda Airport *

By Mikio TAKEBAYASHI**

This paper aims to evaluate the impact of runway capacity expansion of Tokyo-Haneda International Airport by using the improved 'bi-level air transport market model,' which can deal with the airlines' aircraft choice behavior. In the numerical computation, we deal with Tokyo Metropolitan Area based domestic air transport markets, and we pick up five main lines based on Haneda and three local lines between Haneda and the airports located in western area of Japan. The results show that runway capacity expansion invites more downsizing and more flights, but the higher flight frequencies can appear on the high demand lines.
