

関西3空港における国内航空旅客需要に関する研究

本論文は関西3空港における滑走路容量、およびアクセス条件の変更によって、3空港間の旅客需要のバランスに現れる影響について考察する。本稿ではbi-level型航空旅客輸送市場モデルを適用し、関西発着の国内線利用客に焦点を絞って分析を行った。分析の結果、関西空港のアクセス費用低減効果は小さい反面、神戸空港での滑走路容量の制約が緩和された場合、総航空旅客需要は増加するが、旅客の不効用改善は方面によって異なることがわかった。また、神戸空港での滑走路容量制約が現状通りであった場合、関西空港へのアクセス費用を低減することで旅客数を増加させることが可能であるが、神戸空港での容量制約緩和の効果よりも小さいことが示された。

キーワード 関西3空港、滑走路容量制約、アクセス費用削減

竹林幹雄

TAKEBAYASHI, Mikio

博(工) 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻准教授

黒田勝彦

KURODA, Katsuhiko

工博 神戸市立工業高等専門学校校長

1—はじめに

首都圏、北部九州、そして関西といった主要都市圏において大型機(B777相当)が発着可能な空港を同一圏域内に複数有するようになったことから、わが国にも大都市圏における複数空港時代が本格的に到来した観がある。しかし、複数空港化による需要の分散や偏在など、将来運営に関して今後検討の余地は多く残されている。この先例は本稿で議論の対象とする関西での経験に見ることができる。2006年2月に神戸空港の開港、さらには2007年8月の関西空港第2滑走路供用により、大阪を中心とする50km圏内に大型機が離発着可能な空港を3つ有する状態となった。容量的な問題はさておき、関西空港での国内線旅客数の伸び悩みが問題視される一方で、都市内空港である大阪空港への需要シフトや、神戸空港での長距離国内路線設置(北海道・沖縄方面)の是非など、同一の背後圏を有するがために生じる空港運営の難しさを、関西3空港は初期段階から示している。

通常、旅客の利便性の高い都市内空港にエアラインの需要が集中する傾向があるため、諸外国ではペリメータ・ルールの設置など路線振り分けルール用いて都市内空港への過度の集中と郊外空港の空洞化を防ぐ努力がされてきた¹⁾。関西においても「北海道・沖縄路線など国内長距離航空路線は原則として関西空港に設置する」という国土交通省の方針は、こういった諸外国の先例を参考にしたものと考えることができる。

しかし現実には、大阪空港への就航規制が緩和されて以降、エアラインの伊丹空港への路線回帰が生じ、関西空港と大阪空港の需要バランスが再三問題視される

ようになり、神戸空港の開港後さらに問題は複雑になったといえよう。

このように現在も行われている前述の「長距離便の原則関西空港への設置」などの規制による関西空港への旅客の誘導が、果たして利用者の便益を向上させているのか、に関しての議論が十分であるとは言い難い。また、関西空港と神戸空港の航空路の一部重複により、神戸空港の滑走路容量が実質上制限されていることは一般的に知られているが、この神戸空港における「適切な」滑走路容量に関しては、包括的な議論を含めてほとんど行われていない。一方、関西空港や神戸空港のアクセスの不便さに関しての指摘はなされている¹⁾が、これらの空港へのアクセスの改善が市場に与える影響について計量的に行われたことはほとんどない。以上述べた問題に関して、科学的・定量的な分析から議論することが必要である。

本稿ではこのような問題意識を鑑み、竹林ら²⁾が提案したBi-Level型航空旅客輸送市場モデルを関西圏発着国内航空旅客に適用し、関西3空港の特性の違いを明らかにするとともに、都市内空港における滑走路制約の強化・緩和の影響、さらには関西空港へのアクセス費用の改善の影響について、主として利用者への影響把握の観点から考察を加える。

2—既往研究

関西3空港における需要に関しては、花岡¹⁾をはじめとして、実証的なレベルでの分析・検討が行われてきた。花岡の研究では、ネットワーク形状・輸送頻度は与件として、利用者の便益変化について検討している。また、

実務では平成14年度の神戸空港需要予測³⁾においても、関西3空港の需要の分担について、経済成長の違いなどからシナリオを複数設定し、分析を行っている。

こういった需要予測に関しては、わが国で標準的に用いられてきた需要側(旅客行動)の分析に立脚した方法論⁴⁾とは視点を異にする、供給側(エアラインの行動)の行動分析に立脚した方法論が一方で存在している。こういった方法論は主として産業組織論を中心に発達してきており、そこではエアライン間の寡占競争という特殊な競争形式で市場が成立していることに着目している。代表的なものとしてはOumの一連の研究⁵⁾を挙げることができる。さて、交通工学においては、供給側と需要側の双方を同時に考慮するdemand-supply interaction modelが提案されている。これに属するモデルは特にエアラインのネットワークデザインを含む航空旅客需要推計法という形で提案されてきているため、ネットワーク均衡モデルと呼ぶ場合もある。こういった方法論による需要予測は、例えば欧米では理論面ではHongら⁶⁾、またKanafaniら⁷⁾やHsuら⁸⁾、Adler⁹⁾の先行研究が実証レベルでは行われている。わが国では、このようなネットワーク均衡型のモデルとしては、黒田らの初期のbi-levelモデル¹⁰⁾や大橋らの3レベルモデル¹¹⁾、高田らのアライアンスモデル¹²⁾があるだけで、提案はごく少数にとどまっている。黒田らのモデルではエアラインは輸送頻度を制御変数とし、利潤最大化を目的とする。ただし、独占市場を仮定しており、かつ価格は与件となっている。旅客は旅行時間と運賃で構成される旅行の総費用(一般化費用として設定されている)を最小化するものとして、システム最適配分を仮定している。黒田らの研究は2空港時代のものであり、関西空港中心のhub-spokes型ネットワークを形成した場合の利用者、エアライン双方の余剰について検討している。大橋らはネットワークの構成と空港の使用料設定との関係を把握するため、エアライン間の競争に加え、空港の使用料設定問題、旅客の路線選択行動を組み込んだ3レベルモデルを提案している。後にこれを実用レベルに改変し、羽田空港拡張の影響を計量している¹³⁾。大橋のモデルでは旅客に多項ロジットモデル(Multi Nomial Logit/MNL)を適用している。高田ら¹²⁾は国際航空旅客輸送市場を対象として、ネットワーク均衡モデルを開発している。ここでも旅客の路線選択行動はMNLで定式化され、エアラインはOD運賃と路線の輸送頻度を同時決定するとされている。

以上に挙げた手法のうち、多くの場合でKanafaniら⁷⁾が採用したランダム効用理論に基づいた経路選択を仮定しており、通常Logit型の配分を前提としている。一方、旅客の経路選択において、旅客間の行動が相互依存的

になるという、いわゆる「均衡状態」を仮定しているものはHsuおよびAdlerの研究である。均衡状態の仮定は、経路選択が市場原理と整合するという意味でより好ましい設定であると考えられる。一方で、利用者均衡状態を仮定しているため、利用者均衡状態の解は典型的な微分不可能問題であり、ネットワーク設計問題を含む場合、取り扱いが極めて難しい。そのため、KanafaniやあるいはHongら⁶⁾で採用されているLogit型の配分を何らかの形で仮定の方が実用上は望ましいと考えられる。ただし、Logit型配分を仮定するだけでは、エアライン側の最適化問題を解く際の機材容量制約の満足が非常に厳しくなるという問題点がある。これについては後述する。

一方、竹林ら²⁾は、エアライン間の競争を明示的に取り込み、かつ旅客の行動に確率均衡概念を取り入れたbi-level型ネットワーク均衡モデルを提案している。竹林らのモデルでは、旅客行動に機材容量制約に起因する混雑の概念を導入している。このため、エアラインの最適化行動での路線容量制約が無用となり、エアラインの最適化に関しては最適解の探索効率が改善される。

こういった好ましい特性を有していることから、本稿では、竹林らのモデル²⁾を援用し、主として神戸空港と関西空港に関する条件変更の各空港への需要バランスへの影響を分析する。

3—モデル

本稿で使用するモデルは、竹林らが提案したbi-level型のネットワーク均衡モデル²⁾である。以下、簡単にモデルの構造を示す。

3.1 変数の定義

以下に使用する変数を示す。

[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市場で供給されるパスを表し、 $k^n \in K_n^{rs}$ である。

K_n^{rs} : rs OD市場でエアライン n により供給されるパスの集合を表す。

l^n : エアライン 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 : エアライン n により運航されるリンクの集合を表す。

[エアラインに関するもの]

f_{ln} : リンク l^n での運航頻度を表す。エアライン n の制御変数である。

C_{μ}^{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。

$p_{k^n}^{rs}$: rs OD市場のパス k^n の運賃を表す。運賃は与件である。

[旅客に関するもの]

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

$x_{k^n}^{rs}$: rs OD市場でエアライン n が供給するパス 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。

x_{l^n} : エアライン n が運航するリンク l^n での旅客フローを表す。

v_{l^n} : エアライン 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、1リンクにつき1機材が投入されるものとする。

G_h : 空港 h での滑走路容量を表す。

$\delta_h^{l^n}$: 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。

$\delta_{l^n}^{rsk^n}$: rs OD市場のパス k^n がリンク l^n を含む場合1を取り、それ以外はゼロをとる2値変数である。

$\Gamma(x_{k^n}^{rs})$: 旅客の最適行動を表す関数である。

θ : 旅客配分における分散パラメータである。

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$: 旅客の効用関数におけるパラメータである。

d^{rail} : 旅客の効用関数を構成するダミー変数であり、鉄道利用を行う場合に負の値を取り、その他はゼロを取る。

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。

3.2 エアラインの行動

本モデルではエアラインは自己の利潤を最大化するために、頻度を制御すると考える²⁾。基本的には供給座席数を戦略とした量的競争であるものの、価格の弾力性は統計的には明確ではない。このため文献2)に従い、3.1で示したように運賃を与件とした。ゆえに、均衡解の意味は、「与えられた価格を実現する」量的競争ということになる。

エアライン n がリンク l^n で運営する頻度 f_{l^n} を明示的な戦略とすると考える。このときライバル企業(“- n ”として表記)の行動 \tilde{f}_{l^n} は最適反応であるとする。

今、OD市場 rs で経路 k を選択する旅客数 $x_{k^n}^{rs}$ は、旅客の最適化行動 $\min: \Gamma(x_{k^n}^{rs})$ の結果得られ、エアラインは運賃収入 $p_{k^n}^{rs} x_{k^n}^{rs}$ を得るものとする。費用に関しては、エアラインはリンク l^n ごとの運航費用 $C_{l^n}^{OP} * f_{l^n}$ を支払わなければならないと考える(簡単にするため固定費用の存在は無視した)。さらに、大阪空港や神戸空港には滑走路容量制約があるため、エアラインはこの制約を考慮して自らの戦略を立てなければならない。このとき、エアライン

n の直面する利潤最大化問題は次のように表現される。これを『問題1』とする。

【エアラインの利潤最大化問題：問題1】

$$\text{Object: } \pi^n(f_{l^n \in I^n}, \tilde{f}_{l^n \in I^n}) = \sum_{rs} \sum_{k^n} p_{k^n}^{rs} x_{k^n}^{rs} - \sum_{l^n \in I^n} C_{l^n}^{OP}(f_{l^n}) \rightarrow \max \quad (1)$$

Subject to

$$f_{l^n} v_{l^n} \geq x_{l^n} = \sum_{rs} \sum_{k^n} x_{k^n}^{rs} \delta_{l^n}^{rsk^n}, \text{ for } \forall l^n \in I^n, \quad (2)$$

$$\sum_{l^n} f_{l^n} \delta_h^{l^n} \leq G_h \text{ for } \forall h, \quad (3)$$

$$f_{l^n} \geq f_{LOW}, \text{ for } \forall l^n \in I^n, \quad (4)$$

$$x_{k^n}^{rs} = \arg\{\min: \Gamma(x_{k^n}^{rs})\}, \text{ for } \forall k^n \in K^{rs} \text{ and } rs \in \Omega. \quad (5)$$

式(1)は目的関数であり、旅客収入、運航費用、固定費用で構成されることを表す。式(2)は路線の輸送能力制約であるが、下位問題である旅客の行動に容量制約付きの配分を仮定し、かつ容量が十分確保されている代替輸送経路(以降、バイパス経路と呼ぶ)を設定するのであれば、この制約はエアラインにとっては「直接意識しなくてよい」制約となる。わが国の場合、国内輸送を対象とする限り、バイパス経路としては鉄道経路を含めることが一般的である。

式(3)は空港での容量制約である。式(4)は運航の最低便数制約を表している。本モデルでは新規の参入と退出を考えない、与えられたネットワーク形状のもとでの頻度競争という形式を取る。このため乗り入れの停止を禁止する必要があるため、このような設定とした。なお、右辺の値は実際の計算では1未満の実数として計算している。式(5)は旅客フローが最適行動の結果であることを意味する。

3.3 旅客の行動

旅客行動の定式化に関しては、容量制約付き利用者均衡状態を仮定する³⁾。すなわち、リンクの容量制約を明示的に取り扱うため、Bell¹⁴⁾やZhouら¹⁵⁾の定式化と構造的に同じである。

フライトあたりの座席数制約がある条件下で旅客の行動にランダム効用理論を適用するとき、旅客の最適化行動の結果得られる利用者均衡状態は、次のような最適化問題の解として得られる¹⁶⁾。ただし、旅客の経路選択行動のみを表す場合、エアラインの収益性に関わるインデックス n に関しては考慮しなくても一般性を失わない。よって以下の表記では、表記の煩雑さを避けるため、インデッ

クス n は省略して表記した。これを『問題2』とする。

【容量制約つき確率的利用者均衡配分問題：問題2】

$$\text{Object: } \Gamma(x_k^{rs}) = \frac{1}{\theta} \sum_{rs \in \Omega} \sum_{k \in K^{rs}} x_k^{rs} (\ln x_k^{rs} - 1) + \sum_{rs \in \Omega} \sum_{k \in K^{rs}} u_k^{rs} x_k^{rs} \rightarrow \min \quad (6)$$

Subject to

$$\sum_{k \in K^{rs}} x_k^{rs} = X^{rs}, \text{ for } \forall rs \in \Omega, \quad (7)$$

$$x_l = \sum_{rs} \sum_k x_k^{rs} \delta_l^{rsk} \leq v_l f_l, \text{ for } \forall l \in I, \quad (8)$$

$$x_k^{rs} \geq 0, \text{ for } \forall k \in K^{rs}, \forall rs \in \Omega. \quad (9)$$

ただし、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。

$$u_k^{rs} = t^{rs} + \alpha_1 p^{rs} + \sum_{l \in I} \frac{\alpha_2}{f_l} \delta_l^{rsk} + d^{rail} + \lambda^{rs} \quad (10)$$

式(10)で示されるように、旅客の不効用 u_k^{rs} は、経路 k で使用するリンクのコスト u_l の結合で示される。すなわち、所要時間 t 、運賃を含む旅行費用 p 、頻度の経済を表す $1/f_l$ 、ダミー変数、そして満席の場合のコスト(混雑項) λ_l の線形結合で表される。

式(6)はOD交通量の保存、式(7)はリンクでの容量制約、式(8)は制御変数の非負条件である。

なお本問題に関しては、Bellのアルゴリズム¹⁴⁾を用いて解を求めることができる。

3.4 解法

『問題1』は本質的にはZhouら¹⁵⁾やHongら⁹⁾が提案したbi-level構造と同じである。ただし、Zhouら¹⁵⁾のモデルでは、設定された経路そのものの容量が十分確保されているという前提であり、制御変数(輸送頻度ないしは容量)の変化に対する制約条件(2)による影響はそもそも取り扱っていない。またそれに先行するLamらの研究¹⁷⁾では、輸送頻度は需要に対して弾力的に変化する方法を採っており、制約(2)に関してエアライン(ZhouやLamの場合は鉄道オペレータ)は能動的に行動しないと設定されていた。しかし、本稿で提案するモデルでは制御変数が容量に直接関係するため、制約条件(2)の影響を無視することができない。制約(2)を明示的に組み込んだ場合、解の探索途中に実行不可能状態になる場合が排除できない。このため、計算は非常に煩雑になり、収束が保証されない。

一方、本モデルに関してみると、旅客の行動に関しては、「容量が限界に来た路線を選択しない」、という意思

決定は旅客によって「自発的に」なされるとしている。このことを踏まえると、ボトルネック付き経路配分問題を下位問題に設定する限り、エアライン側は制約(2)を結果的に無視できることになり、制約(2)による計算の煩雑さは避けることができる。なお、『問題2』は需要変動でない場合、解が得られない場合があるが、前述のように国内航空旅客輸送市場に限って言えば、ほとんどの市場で鉄道利用や船舶利用によるバイパス経路が存在し、需要は弾力的に変化すると考えてよいため、『問題2』における解無し、という問題も避けることができる。

さて、『問題1』を摂動問題として解くために、制御変数を頻度から供給座席数 y_n に変換する。この形式でも、もとの問題構造は保存される。ゆえに、『問題1』を以下のようにエアラインの制御変数を供給座席数に変換した問題を準変分不等式に帰着させ、解くことができる。ただし、 $\tilde{y}_n, \tilde{x}_k^{rs}$ はそれぞれNash解であることを表す¹⁶⁾。

【問題1：準変分不等式形式】

$$\text{Find } \mathbf{z} = (\tilde{y}_n, \tilde{x}_k^{rs})$$

such that

$$\sum_{n, l^n} \nabla_{\tilde{y}_n} \pi^n (y_n - \tilde{y}_n) + \sum_{n, rs, k^n} \nabla_{\tilde{x}_k^{rs}} \pi^n (x_k^{rs} - \tilde{x}_k^{rs}) \leq 0$$

$$\text{constraints (2) to (5) hold.} \quad (11)$$

4—関西発着国内中・長距離旅客輸送市場への適用

4.1 基本設定とデータ

提案したモデルを関西発着の国内中・長距離旅客輸送市場に適用し、関西3空港での滑走路容量制約の影響とアクセス費用の軽減の影響分析を行う。本分析での基本設定は以下の通りである。

- i) OD交通量は与件であり、各都道府県の県庁所在地をセントロイドとする。
- ii) アクセスおよびイグレスに関しては、代表的交通機関による旅行時間、費用として採用する。
- iii) エアラインの設定するネットワーク形状は与件とする。また、各リンクで投入される機材サイズも与件とする。エアラインの設定する運賃も与件とする。
- iv) 大阪空港、神戸空港での滑走路容量制約に関しては、エアラインごとに制約が与えられるものとし、その値は与件とする。

i) に関しては、2次生活圈などより詳細なゾーニングで設定することは可能であるが、航空旅客を考える場合、県庁所在地などの中心業務地区に需要が偏在すると考えられ

る。こういった状況下では路線単位で計測される航空需要を表すという意味では、詳細化したODゾーンと単純化したODゾーンで大きな違いはないと考えた。このため、本稿では県庁所在地に単純化したODゾーンを採用した。

ii), iii)は計算による負荷を軽減するために行った設定である。iv)に関しては、本稿では現状再現ではJAL, ANAの2社の実績値をもとにスロットの上限値を設定し、シミュレーションではJAL, ANA双方とも同数のスロット数を持つと設定した。これはスロットの割り当てに関しては、明確な基準が示されていないため、このような仮定的な設定を行わざるを得なかった。この点に関しては、今後議論の余地がある。

次に、本稿の分析で用いたデータは以下の通りである。

4.1.1 旅客

OD交通に関しては、近畿地方発着の中・長距離旅客流動を対象とする。ゆえに、近畿地方と隣接する中部地方ならびに中国地方とのODは基本的に取り扱わないものとする。OD交通量に関しては旅客行動のパラメータを推定した時点(平成19年1月)で利用可能であった国土交通省発行の「全国幹線旅客純流動調査」平成12年度版を用いた。これを対象年度にあわせて成長率を乗じて使用した(なお、現在では平成17年度版の全国幹線旅客純流動調査が利用可能であり、最新のデータを利用していないことが後の分析結果に影響している可能性は排除できないことを付記しておく)。また、経路選択に関しては前出の全国幹線旅客純流動に加えて、航空旅客の行動に関しては国土交通省航空局発行の「国内航空旅客動態調査」を基本とし、欠落するエアライン選択情報に関しては「航空統計年報」に記されたエアライン分担率を各経路に対して按分して選択率として用いた。さらに運賃や旅行時間の情報収集に関しては当該年度10月期の「JTB時刻表」を用い、アクセスについては実績から大阪空港においてはリムジンバスを中心に、他の空港に関しては鉄道アクセスを中心に取り出すように設定した。また、シミュレーションでは平成12年(2000年)と分析時点でデータ収集可能な最新年度である平成18年(2006年)での航空旅客数の成長を考慮し、鉄道移動も含めた全市場で平均成長率を10%と設定した。これは年率に換算して約1.5%の上昇ということになる。

4.1.2 エアライン

モデルの再現性に関しては、平成18年(2006年)を対象とした。すなわちJAL/JAS統合後の市場を対象とするため、JALおよびANAを対象とした。エアラインの輸送実績(統計値)、運航頻度(統計値)、機材情報(設定値：

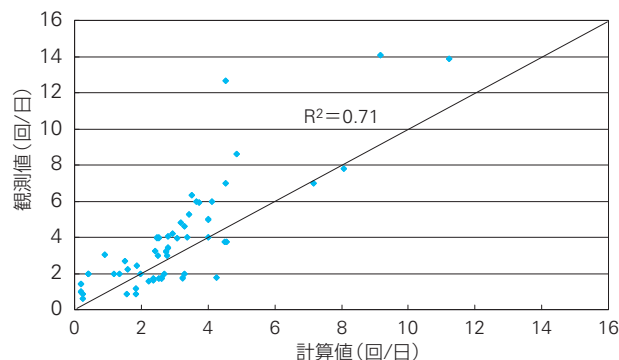
後述)に関しては国土交通省航空局発行の「航空統計年報」、および「数字で見る航空」を用いた。また、エアラインの運航費用に関しては、ICAO発行の“Financial Data”をもとに算定し、1シート・キロメートルあたりの平均運航費用を算出し、これを限界費用に等しいものとして路線毎の運航費用算出に利用した。ネットワークの形状変更を禁止する最低便数に関しては、0.1便/日(半月に2便程度に相当)と設定し、計算を行っている。投入機材は各路線での代表的な投入機材の平均供給座席数を設定し、入力とした。例えばB747SR:550席, B777:400席, B767:280席, B737:100席と設定した。なお、B777に関してはB777-200相当の席数とし、B737に関しては当該路線にグループ企業運航のDHC-8などの小型プロップも混在していることから、通常の130席~160席と比べて少ない席数を設定した。また、各ODのバイパス経路として鉄道・船舶による経路を設定した。

4.2 現況再現性の確認

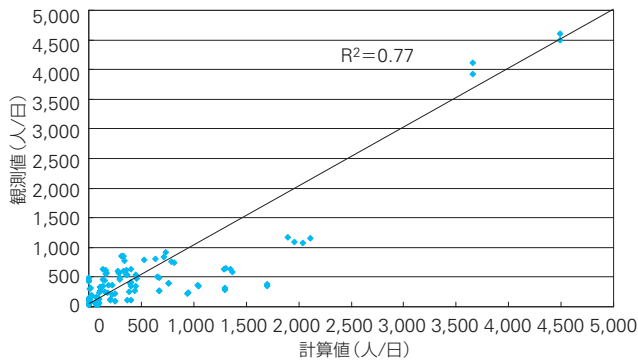
4.1で示したデータを用いて旅客の効用関数のパラメータ推定を行った。推定の結果、 $d^{rail} = -4.92$ (t値:-3.05), $\theta = -0.866$ (t値:-8.54), $\alpha_1 = 0.28$ (t値:4.15), $\alpha_2 = 5.56$ (t値:4.17)という推計結果を得た。これによる再現性は自由度修正済み決定係数で0.97であった。これらの値をもとにシミュレーションを行うこととする。

図一1は路線別運航頻度の比較、図一2は路線別旅客フローの比較である。平成12年のダイヤグラムの運航頻度を初期実行可能解として計算を行った。ただし、大阪空港発着路線に関しては、総発着数が200回/日と制限されているため、発着数をJAL, ANAとも100回/日とし、各社ともこの制約が有効となるように、現状の比率を維持しながら初期実行可能解を設定した。なお、以降の計算では特に断らない限り、大阪空港での滑走路容量(発着回数の上限)は前述の通り各社100回/日とし、神戸空港では各社30回/日と設定する。

まず運航頻度に関して見ていく。観測値と計算値の再現性に関しては自由度修正済み決定係数の値は0.71で



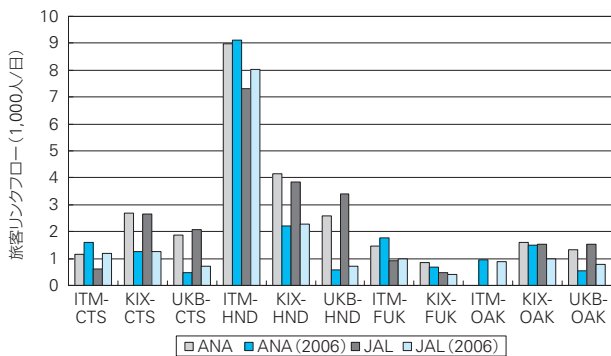
■図一1 路線別運航頻度(回/日)



■図—2 路線別旅客フロー(人/日)

あり、全体の約60%の路線で過小に評価される傾向にあるが、大幅な過小推計はほとんどなく、全体的な整合性は高い。また発着回数はJAL=99.2回、ANA=98.3回と、エアラインは制限一杯まで配便する結果を得た。

次に1日あたりの旅客数(片道)の比較を図—2に示す。観測値と計算値の相関に関しては、自由度修正済み決定係数の値は0.77であるが、全体的には過大に推計される傾向にある。図—3は主要路線に限定した旅客数の比較である。図から大阪空港(ITM)に関しては沖縄(OAK)路線を除き、精度高く再現されているものの、関西空港(KIX)および神戸空港(UKB)発着の路線が最大3倍程度の過大評価となっている。このような結果となった理由は次のように考えることができる。



■図—3 主要路線における旅客フロー(人/日)

本分析ではセントロイドを都道府県の県庁所在地にしたため、基本的に大阪空港、神戸空港などの都市近接型空港発着の需要は過大に推計する傾向にある。しかし、大阪空港では滑走路容量制約が大きいので、繁忙路線が神戸空港の地理的条件を過大に評価し、シフトしたと考えられる。また、関西空港に関しても、京都や大阪からのアクセス条件が、大阪空港へのアクセス条件と大きな差がなかったため、過大に評価したと考えられる。これらのひずみに関してはゾーニングを2次生活圈レベルなど詳細に分割し、阪神間など需要の集中した地域でのアクセス条件をさらに精密に表すことで、精度の向上を期待することができると考えられるが、配分対象経路が飛

躍的に増加するため、実用時間内での計算は現在のところ困難である。また、モデル自体の特徴として、エアラインは収益性を高めるためにできる限り高いロードファクターで運航しようとする²⁾。実際にはほとんど観測されることのない80%以上という高ロードファクターでの輸送がモデルでは可能であるため、実際よりも低い運航頻度となると考えられる。一見すると、この問題は機材の設定を工夫することで解決可能であると考えられるが、どのような基準で機材を設定するのが望ましいのか、今後検討する必要がある。

このように、現段階ではこれ以上の精度向上を図ることは難しい。このため、本分析ではHND路線などの繁忙路線の旅客数、ならびにUKB発着の運航頻度を過大に評価するという歪みを持つという点に注意し、以降の政策シミュレーションを行うこととする。なお、現況再現の値をCase 0とし、以後ベンチマークとして用いることとする。

4.3 関西空港へのアクセス費用軽減に関する分析

本節では、UKB開港後の関西3空港体制を対象とし、KIXへの国内線誘致のための方法について検討する。その一つとして、ITMと比較して高額であると指摘されることの多いアクセス費用を軽減することによる効果を検討する。

KIXは、南大阪に立地している関係上、アクセス時間、費用ともITMやUKBと比較すると不利であることは否めない。この不利な立地条件を少しでも緩和することで、旅客需要を増加させることが期待される。特にアクセス費用に関しては、連絡橋の関西空港会社への売却が決まったこともあり、今後通行費を半額にするなど料金抵抗の軽減策は現実味を帯びてきた。本稿ではまずこのアクセス料金の低減政策について検討を加える。

以降のシミュレーションでは各セントロイドからKIXへのアクセス費用を10%(Case 1)、20%(Case 2)、30%(Case 3)、40%(Case 4)の範囲で一律に割引く、というシナリオを設定し、アクセス費用の割引効果について評価を行った。

表—1は各シナリオにおける、3空港での総旅客数を比較したものである。Case 0と比較して全て需要増となっていることがわかり、アクセス費用が一律40%引き下げられるCase 4では、2.3%の需要増となっている。KIXへのアクセス費用軽減は航空を利用する旅客を増加させる効果があると考えられる。また、Case 1に関してはCase 2~4と比べて著しくUKBの旅客が多くなっている。これは次のように考えることができる。10%割引では、割引無しの場合UKBを利用していただ兵庫の旅客にとって、10%の割引ではKIXにシフトするほどには効用の増加が大きくなり、そのままUKBを利用する方を選択

した。一方、その他の府県の旅客は10%割引の効果で、KIX選択者が増え、UKBの他府県利用者が減少した。その結果兵庫発着のUKB利用者の便益がさらに増加し、旅客数を増加させ、結果として輸送頻度も増加したと考えられる。すなわち、他府県発着旅客のUKB利用が減少することで、UKB発着路線の混雑が減少し、混雑の影響を除いた場合、UKBの利用が最小移動コストとなる兵庫発着旅客の便益が向上し、UKBの選択確率が高くなったと考えられる。また輸送頻度の増加は主として兵庫県発着旅客の増加がもたらしたものであると推察される。一方、20%以上の割引が行われた場合、UKBの利用者数は一貫して減少しているため、KIXとのアクセス条件の差が減少することにより、UKB利用の比較優位性が減少したと考えられる。この10%割引時での特殊な挙動は、セントロイドを県庁所在地に限定したことによる影響であるとも考えられるが、これ以上の検討はモデルの構造上できないため、別の機会に譲ることとする。

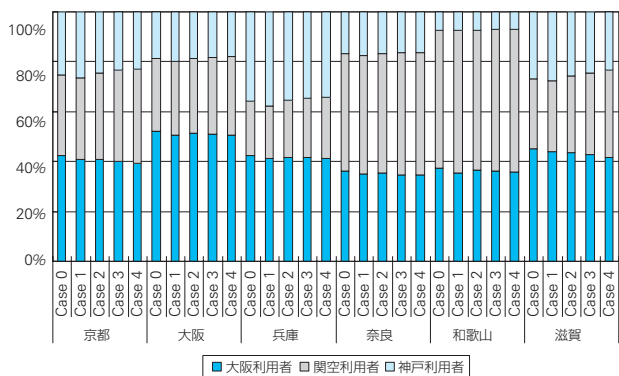
■表—1 旅客数(人/日)

	Case 0	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
ITM	28,844	28,807	28,562	28,452	28,356
KIX	18,344	19,086	1,9379	20,096	20,674
UKB	14,195	15,313	14,157	13,847	13,761
合計	61,382	63,205	62,098	62,395	62,790

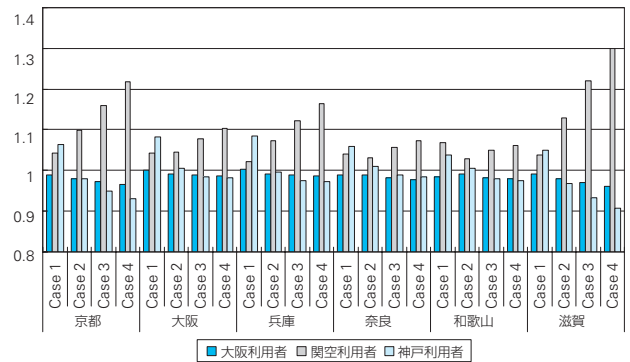
さて、空港毎の旅客数に関しては、ITMは一貫して需要を低下させているが、Case 4でもCase 0と比較して1.7%の減少に止まる。UKBはCase 1で7.9%の大幅増であるが、その後はITMと同じく需要を低下させている。全体のシェアの変化はITM:KIX:UKB=47:30:23 (Case 0)から45:33:22 (Case 4)とKIXの比率が若干増加しているものの、全体的なシェアはほとんど変わらないことがわかる。

次に航空利用の旅客の効用変化について分析する。図—4は近畿2府4県発着の航空旅客の空港利用割合を、図—5は府県別航空旅客の空港別利用者数の変化を見たものである。ただし、図—5はCase 0での府県別利用者数を1として基準化して表記している。

図—4から、まずアクセス条件により空港の利用割合



■図—4 府県別空港利用割合



■図—5 府県別空港利用者数の変化

が異なり、例えば兵庫県ではCase 0では全体の40%がUKBを利用し、KIX利用は20%程度に留まることがわかる。ただし、いずれの府県においてもITMが40~50%のシェアを持っていることから、ITMが依然として航空利用の旅客にとっては利便性の高い空港であることがわかる。

KIXへの一律アクセス費用軽減を行った場合、表—1に示したように、全体的な利用者の増加は小さいものの、利用者数の変化は府県によって異なることが、図—4および図—5からわかる。具体的にはKIXから遠方にある京都、滋賀でのKIX利用が大きく増加し、滋賀県発着のKIX利用旅客は40%割引により30%近く増加する結果となっている。このことは、アクセス費用を改善することで遠方からのKIX利用が改善される可能性があることを示唆するものである。一方、Case 0でKIXの利用割合が高い結果となった奈良、和歌山では、割引によるKIX利用のインセンティブの増加はほとんど見られないという結果となっている。兵庫ではKIXの利用者が増加することにより、UKBの利用者数が減少するものの、その影響は小さいことがわかる。

このように、KIXへのアクセス費用軽減による効果は40%削減時ではKIX利用者自体は12.7%の増加をもたらすという示唆を得た。これは年間で85万人の利用者増加につながる。しかし、航空旅客全体で見た場合、利用者数の増加は40%削減時でも2.3%の増加にとどまることがわかる。

4.4 神戸空港の容量拡張と関西空港への影響

UKBはKIXと同様、海上空港ではあるものの、KIXと比較すれば、立地場所に関してははるかに好条件である。神戸市とは三宮から約20分と至近距離であり、大阪市中心部からでも最短で約45分で着くことができる。問題は滑走路容量と、兵庫、大阪以外からはKIX並に時間と費用がかかるという点である。滑走路容量制約に関しては、KIXとの上空の一部が重複するなど物理的な条件により制約が生じていると考えられるが、空路の一部変更や管制方式の高度化などにより、容量増加も不可

能ではないと考えられる。一方、UKBの拡張はITMやKIXでの需要にも影響すると考えられる。特に、KIX利用客の減少が懸念される。

本稿ではこのUKBの滑走路容量制約の緩和の効果計測について検討を加える。UKBにおける滑走路容量増加を10% (Case 5), 20% (Case 6), 30% (Case 7)の3ケースについて検討した。

まず、UKBの容量制約緩和の影響について見ることにする。表一2では各空港での利用客数の変化を示したものである。表から明らかなように、UKBでの容量制約を緩和することにより、旅客数が増加することがわかる。例えば、現状よりも30%容量を増加したCase 7についてみると、UKB利用の旅客数では20.6%の旅客数の増加が見られる。UKBの発着回数に関してはCase 0では55.2回であるのに対し、Case 7では70.0回となっており、27%の伸びとなっている。空港間でのシェアの変化についてはUKBの滑走路容量の増加に従い、ITM, KIX共に減少するが、その変化量はCase 0とCase 7の比較で約3%の減少であり、UKBの場合は20%の増加となっている。全体では2.6%の増加であり、UKBでの利用者数の増加がそのまま全体の利用者数の増加に結びついたと言える。

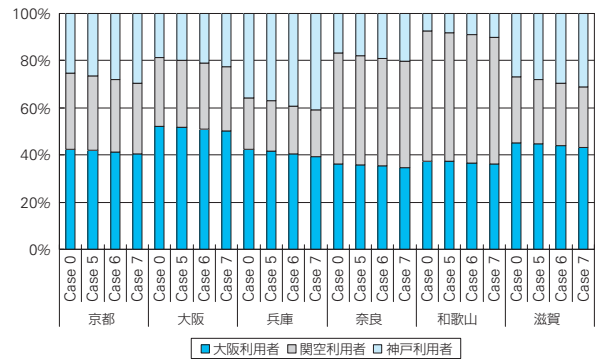
次に旅客の構成についてみていく。図一6は府県別の空港選択割合を表している。図一7では図一5と同様にCase 0の値を1として基準化して示している。

■表一2 旅客数(人/日)

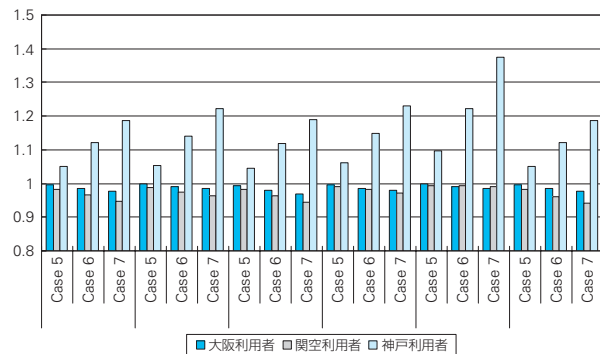
	Case 0	Case 5	Case 6	Case 7
ITM	28,844	28,749	28,471	28,264
KIX	18,344	18,112	17,864	17,618
UKB	14,195	14,912	16,061	17,125
合計	61,383	61,773	62,396	63,007

図一6, 7からわかるように、UKBでの容量制約の緩和により、Case 0と比較してシェアが大きく変わることはない。UKBの旅客増は直背後地の兵庫のほか、京都、大阪でのシェアの変化が見られる。これは大阪、京都ではKIXのシェアの低下に結びついているものと考えられる(図一7参照)。このことから、需要の大きな京都、大阪でのKIX-UKBでのトレードオフの関係を見ることができる。一方、奈良、和歌山といった遠方の利用者もUKBの容量制約の緩和により増加しているが、これはもともと(Case 0)の需要が小さいことに加えて、UKBからの北海道、沖縄といった遠距離路線の頻度増加による不効用の減少割合が大きかったためであると考えられる。ゆえに、UKBでの滑走路容量拡張はKIXの利用客減少に結びつく可能性が高いといえる。

最後にUKBにおける滑走路の容量制約緩和とKIXへのアクセス費用の引き下げを同時に行った場合につい



■図一6 府県別空港利用割合



■図一7 府県別空港利用数の変化

て、検討を加える。これは、UKBでの滑走路容量拡張のKIXへの負の影響をどの程度緩和できるか、について考察を加えるためである。簡単のため、UKBでの滑走路容量はCase 7で示された30%増加した場合について見ることとした。そして、アクセス費用軽減もKIXの場合と同じく、10%引き下げの場合(Case 8)と、20%引き下げの場合(Case 9)の2通りについて分析を行った。

表一3ではCase 8および9とCase 7の場合を比較して、3空港での旅客需要の変化を示したものである。KIXに対するアクセス費用を一律に引き下げたことによって、UKBでの旅客数の伸びはUKBの容量拡大のみの場合(Case 7, 8)と比較すると鈍化する。一方、KIXでの旅客減少は、0.3%だけ回復するにとどまる。このことから、UKBでの容量拡大の影響に対して、KIXへのアクセス費用軽減の効果はほとんどないということができ、UKBでの滑走路容量拡張のKIXへの負の影響が大きいことが示唆された。

■表一3 旅客数(人/日)

	Case 0	Case 7	Case 8	Case 9
ITM	28,844	28,264	28,280	28,274
KIX	18,344	17,618	17,661	17,671
UKB	14,195	17,125	17,030	17,019
合計	61,383	63,007	62,971	62,964

5—おわりに

本研究では、関西3空港を対象としてKIXへのアクセス費用の低減効果と、UKBでの滑走路容量の拡大が市場

に与える影響について検討を加えた。その結果、以下のような示唆を得た。

- (1) KIXへのアクセス費用低減は、KIX利用者数を増加させ、特に滋賀や京都など遠方の利用者のKIX利用促進は期待できることが示唆された。
- (2) UKBでの滑走路容量の拡大は大きく利用者数を伸ばすという結果を得た。また、滑走路容量の拡張により、滋賀や和歌山といったUKBから遠方の利用者のUKB利用が促進されるが、その一方でKIXは最大で3.7%利用者を失うことが示唆された。
- (3) UKBでの滑走路容量拡張とKIXへのアクセス費用低減政策を同時に行った場合、UKBでの滑走路容量拡張政策の方が強く働く可能性があることを示した。
- (4) いずれの政策をとった場合でもITMの利用者数は減少することがわかった。

以上のような結果を得た。ここから、政策的な示唆を得るとすれば、少なくともKIXへのアクセス費用の低下や、UKBの滑走路容量拡大を実施すれば、ITMでの混雑を市場レベルで調整できる可能性があることが示されたといえる。

ただし、(3)に示されるように、KIXへのアクセス費用低減政策はUKBでの滑走路容量拡張の効果に比べ弱い。このことから、現状の立地条件の下では、国内線のみで関西3空港での望ましい棲み分け、特にKIXの利用促進を議論するには限界があると考えられ、棲み分け議論の視点を変える必要がある。例えばKIXに関しては、現在はKIXのみ国際線利用可能であるという点から考えれば、KIXの特徴である内際乗り継ぎの利便性向上を考慮しつつ、国内線需要を評価する、といった議論を行うことが現実的であると考えられる。こういった議論に関しては、場所を改めて検討することとしたい。

最後に、モデルの再現精度に関しては、再現性の項でも触れたように、依然として改善の余地がある。中でも、今回は計算規模の問題からセントロイドを県庁所在地に

限定した分析を行ったが、このことがモデルの精度にどのように影響するのか、今後さらに詳細に分析することが必要であると考えている。

参考文献

- 1) 花岡伸也[2004]，“大都市圏における複数空港の機能分担とその評価”，「国際空港シンポジウム2004講演抄録」(CDROM)。
- 2) 竹林幹雄・黒田勝彦[2007]，“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”，「土木計画学研究論文集」，No.24，pp. 427-436。
- 3) 神戸市[2002]，“平成14年度神戸空港需要予測調査報告書”。
- 4) 森地茂・屋井鉄雄・兵藤哲朗[1994]，“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，pp. 27-36。
- 5) 例えばOum, T.H., Zhang, A., and Zhang, Y.[1993]，“Inter-firm rivalry and firm-specific price elasticities in deregulated airline markets”，*Journal of Transport Economics and Policy*，pp. 171-192。
- 6) Hong, S. and P.T. Harker.[1992]“Air traffic network equilibrium: toward frequency, price and slot priority analysis”，*Transportation Research* 26B，No. 4，pp. 307-323。
- 7) Kanafani, A. and A. Ghobrial[1985]，“Airline hubbing: some implications for airport economics”，*Transportation Research* 19A，No. 1，pp. 15-27，1985。
- 8) Hsu, C.I. and Y.H. Wen:[2003]，“Determining flight frequencies on an airline network with demand-supply interactions”，*Transportation Research* 39E，pp. 417-441。
- 9) Adler, N.[2005]，“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，pp. 58-72。
- 10) 黒田勝彦・竹林幹雄・三保木悦幸[1997]，“シュタッケルベルグ均衡問題による国内航空ネットワーク分析”，「土木計画学研究・論文集」，No. 14，pp. 757-764。
- 11) 大橋忠宏・安藤朝夫[1999]，“航空市場でのハブ・スポークネットワーク形成と空港使用料に関する研究”，「土木学会論文集」，No. 611，IV-42，pp. 33-44。
- 12) 高田和幸・屋井鉄雄・原田誠[2001]，“エアライン間提携の影響分析手法に関する研究”，「土木学会論文集」，No. 667/IV-50，pp. 73-83。
- 13) 大橋忠宏・宅間文夫・土谷和之・山口勝弘・堀健一[2004]，“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，pp. 131-142。
- 14) Bell, M.[1995]，“Stochastic User Equilibrium Assignment in Networks in Queues”，*Transportation Research* 29B：pp. 125-137。
- 15) Zhou, J., W.H.K. Lam, and B. Heydecker[2005]，“The generalized Nash equilibrium model for oligopolistic transit market with elastic demand”，*Transportation Research* 39B，pp. 519-544。
- 16) Mikio Takebayashi [2008]，“Evaluation of Asian Airports as Gateway: Application of Network Equilibrium Model”，*Pacific Economic Review* (印刷中)。
- 17) Lam, W.H.K., J. Zhou, and J. Sheng[2002]，“A capacity restraint transit assignment with elastic line frequency”，*Transportation Research* 36B，pp. 919-938。

(原稿受付 2008年5月21日)

Managing the Domestic Air Passengers' Demand under Multiple Airport System

By Mikio TAKEBAYASHI and Katsuhiko KURODA

This paper discusses the crucial issues considering the desirable demand balance among three airports locating in Metropolitan Osaka, i.e. Kansai, Osaka, and Kobe Airports; the issues are runway capacity constraints at Kobe Airport, and unfavorable location of Kansai Airports in terms of accessibility. We apply the bi-level type network equilibrium model to domestic transport markets from/to Metropolitan Osaka. We have a few suggestions from the computation. One is that in terms of total passenger's flow, the discount of access fee to Kansai is limited, while relaxation of capacity constraints at Kobe is very effective.

Key Words : *multiple airport system in Metropolitan Osaka, runway capacity constraint, discounted access fee*