【土木計画学研究・講演集　No.20(2)　1997年11月】

キャリヤーの行動を考慮した国際航空ネットワークに関する研究
A Study About International Airline Network Considering Carrier's Behavior

黒田勝彦*，竹林幹雄**，正木智也***，三保木悦幸****
By Katsuhiko KURODA, Mikio TAKEBAYASHI**, Tomoya MASAKI*** and Yoshiyuki MIHOKI*****

1．はじめに

我が国の航空需要は、高度経済成長を契機に、近年まで著しい増加をたどってきた。バブル経済の崩壊後、航空旅客者数は一時的に停滞したとはいえ、関西国際空港開港を景気にその数は増加の兆しを見せ、前年比で約10%の伸びを示している。また、国際航空旅客にいたってはその成長は2010年には1993年の2.6倍になると報告されている[1]。

しかし、現行ではその航空需要のほとんどが、国際航空旅客については新東京国際空港および関西国際空港に集中しており、我が国における空港整備の遅れが指摘されている。特に近年の国際ハブ空港建設ラッシュを鑑みると、国際的に見てローカル空港とならないような空港整備を今後我が国は行っていく必要があると考えられる。そのためには航空旅客輸送市場の構造を明らかにする必要がある。しかし航空市場に関するデータは公開されたデータに詳細なものは少なく、多くは集計的なものである。

そこで本研究では、こういった点から国際航空旅客流動を検討するために、集計的なアプローチから、精度の高い簡便なモデルの構築を目的とする。

2．航空旅客輸送均衡モデルの構築

本研究では、キャリヤー（航空会社）とユーザー（旅行者）の関係をシュタッケルベルグ均衡関係と仮定してモデルの構築を行った。ここで、シュタッケルベルグ問題とは、以下の特徴を持つ非零和 2人非協力ゲームのことである。

1) ゲームの参加者として先手と後手が存在する。
2) 先手は後手の行動に関して完全情報を得る。
後手の行動は先手の行動に影響される。

ただし、本研究において、対象旅客輸送市場が国際の場合としてキャリヤーの独占市場であるとして定式化を行っている。

キャリヤーとユーザーの関係を以下の図-1に示す。

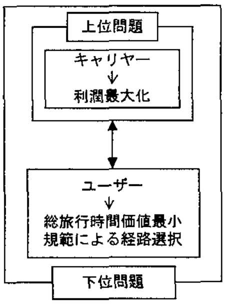


図-1　キャリヤーとユーザーの関係

（1）キャリヤーの行動

航空会社は、旅行者の経路選択行動が最適化されることを前提条件として、自己の利潤を最大化する戦略を採り得るとし、その結果、航空路線の運航頻度を最適化する。キャリヤーの利潤は、収入としては路線の運賃から得られる運賃収入、支出としては機材を運行する際にかかる運行費用（航空機機材費、人件費、航空燃油費など）、空港に着陸する際にかかる空港使用料（着陸料、施設使用料）から構成されると考えられる。このことをふまえて，以下のような定式化を行った。

Key Word　空港計画
*フェロー会員　神戸大学工学部建設学科
（神戸市灘区六甲台町 1-1）
**正会員　神戸大学工学部建設学科
***学生員　神戸大学大学院自然科学研究科建設学専攻
****正会員　建設省

$$\max B(y^l) = \sum_i \sum_j \sum_{l \in L} \left(\sum_k p^l \cdot \delta_k^l \cdot x_{ijk} \right) - \sum_m \sum_{l \in L} y_m{}^l \cdot AC_m{}^l - \sum_m \sum_{l \in L} \delta_h^l \cdot LC_m{}^h \cdot y_m{}^l \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_m \sum_{l \in L} \delta_h^l \cdot y_m{}^l \le CA^h \quad (2)$$

$$y_m{}^l = y_m{}^{\hat{l}} \quad (3)$$

$$y_m{}^l \ge 0 \quad (4)$$

and

（旅行者の最適行動） 旅行者の目的関数 s.t. ＯＤ保存式 機材容量制約式 非負条件式	旅行者の制約条件式

(2) 式　空港容量制約式

(3) 式　運航頻度の往復等号制約式

(4) 式　非負条件式

また、(1) 式において、右辺の第１項は運賃収入を示し、第２項は運航費用、第３項は空港使用料を示す。

ここで、

x_{ijk} ：ij 間 k 経路の旅行者数（人）

δ_k^l ：k 経路のリンク l に関するクロネッカーデルタ（ij 間 k 経路がリンク l を通るとき１、それ以外は０とする）

p^l ：リンク l の運賃（円／人・回）

$y_m{}^l$ ：リンク l の機材 m の運航頻度（回／日）

$y_m{}^{\hat{l}}$ ：リンク l の往復リンク $\hat{l}$ での機材 m の運航頻度（回／日）

$AC_m{}^l$ ：リンク l に機材 m を投入する際の運航費用（円／回）

$LC_m{}^h$ ：空港 h を使用するときの機材 m の１回あたりの着陸料（円／回）

δ_h^l ：リンク l の空港 h に関するクロネッカーデルタ（リンク l が空港 h を通るとき１、それ以外は０とする）

CA^h ：空港 h の空港容量（便／日）

L ：航空路線の集合

（２）旅行者の行動

旅行者の行動は、キャリヤーの頻度、所要時間および路線運賃を知らされて、自己の経路選択行動を最適化することとする。

本研究では旅行者の行動規準として、総時間価値最小を設けた。なおここでは空港の待ち時間として，出発空港では平均待ち時間を、中継空港では定数 WT を与えている。以下に総時間価値最小規準の場合の行動式を示す。

$$\min CT(x_{ijk}) = \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} \cdot \left\{ p_{ijk} + \alpha \cdot t_{ijk} \right\}$$

$$= \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} \cdot \left\{ \left(p_{ijk}^{ai} + \sum_{l \in L} \delta_k^l \cdot p^l \right) + \alpha \cdot \left(t_{ijk}^{ai} + \sum_{l \in L} \delta_k^l \cdot t^l + \sum_{l \in L} \delta_{2k}{}^l \cdot \delta_{2h}{}^l \cdot \frac{OT^h}{2 \cdot \sum_m y_m{}^l} + \sum_{l \in L} \sum_h \delta_{3k}{}^l \cdot \delta_{2h}{}^l \cdot WT \right) \right\} \quad (5)$$

s.t.

$$\sum_k x_{ijk} = X_{ij} \quad (6)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_k \delta_k^l \cdot x_{ijk} \le y^l \cdot CP^l \cdot \lambda \quad (7)$$

$$x_{ijk} \ge 0 \quad (8)$$

(6) 式　ＯＤ保存式

(7) 式　機材容量制約式

(8) 式　非負条件式

また、(5) 式において、右辺の左の（　）内の第１項はアクセス・イグレス費用、第２項はラインホール費用、右の（　）内の第１項はアクセス・イグレス時間、第２項はラインホール時間、第３項は出発空港での待ち時間、第４項はハブ空港を経由する場合の中継空港での待ち時間を示す。

ここで、

X_{ij} ：ij 間の旅行者数（人／日）

$\delta_{2k}{}^l$ ：k 経路のリンク l に関するクロネッカーデルタ（リンク l が ij 間 k 経路の第１リンクであるとき１、それ以外は０とする）

$\delta_{3k}{}^l$ ：k 経路のリンク l に関するクロネッカーデルタ（リンク l が ij 間 k 経路の第２リンクであるとき１、それ以外は０とする）

$\delta_{2h}{}^l$ ：リンク l の空港 h に関するクロネッカーデルタ（リンク l の出発空港が h であるとき１、それ以外は０とする）

CP^l ：リンク l の機材容量（人／便）

t_{ijk} ：ij 間 k 経路の総旅行時間（分）

t^{ai}_{ijk} : ij 間 k 経路のアクセス・イグレス時間（分）

t^{l} : リンク l の旅行時間（分）

OT^{h} : 空港 h の営業時間（分）

p_{ijk} : ij 間 k 経路の総旅行費用（円）

p^{ai}_{ijk} : ij 間 k 経路のアクセス・イグレス費用（円）、

p^{l} : リンク l の運賃（円）

WT : 中継空港での平均乗り継ぎ待ち時間（分）

λ : ロードファクター（=0.7）

α : 時間価値換算係数（円／分）（＝平均年間収入／平均年間総労働時間）

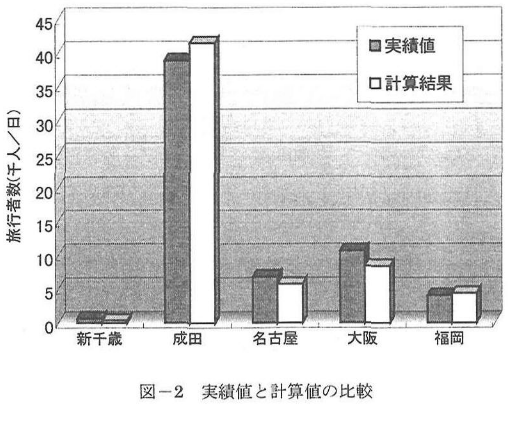
3．モデルの適用

（1）現状再現性の検証

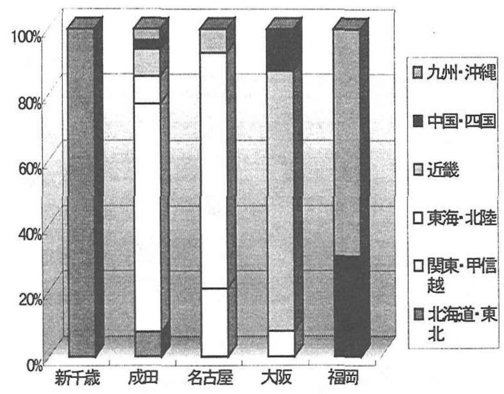
まず、関西国際空港開港以前の平成５年のネットワークを対象として、本モデルの再現性の検証を行った。ゾーンについては、日本は都道府県単位に分割し、他の地域は、アジア５地域、北米、オセアニア各１地域、欧州２地域にそれぞれ分割した。また空港は日本５空港（新千歳、成田、中部（名古屋）、関西（大阪）、福岡）、他の地域は各地域１空港（ソウル、香港、台北、バンコク、シンガポール、ロサンゼルス、シドニー、ロンドン、フランクフルト）の計14空港を対象とした。

なお、アフリカ、南米、中近東は日本を発着とする旅行者数は他の地域に比べて非常に少ないので本研究では対象外とした。

平成５年における実績値と計算結果を以下の図-2に、空港別旅客者の各発着ゾーン旅客者数の割合を図－３にそれぞれ示す。



図－2　実績値と計算値の比較

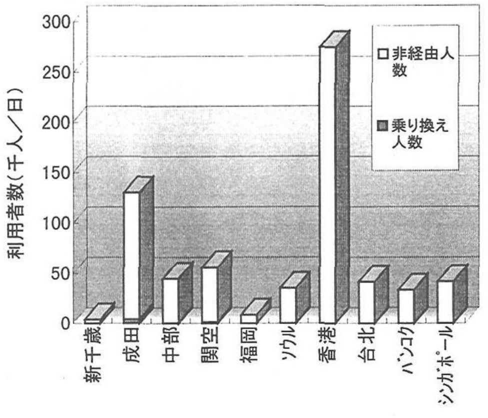


図－３　空港別旅客者の各発着ゾーン旅客者数の割合

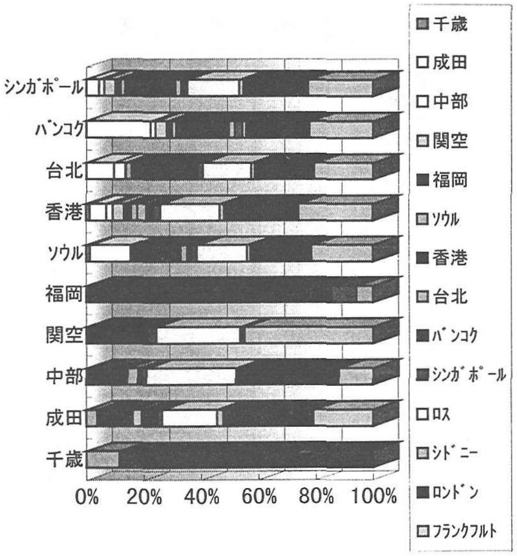
この結果、国内の主要空港での利用者に関しては、比較的高い相関が得られた。

（２）政策シミュレーション

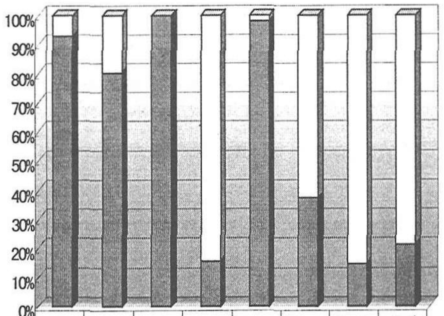
本研究では、政策シミュレーションを行う際の対象航空旅客市場として中部新国際空港開港後の2010年を想定した。このときＯＤデータは、平成５年度のもの[1) 2)]に成長率を乗じたものを2010年のＯＤとして用いた。政策シミューションのシナリオとして、中部新国際空港の空港使用料がアジア内でもっとも高額である関西国際空港と同値の場合（case１）と、アジア内でもっとも低額であるソウル金浦空港と同値の場合（case２）の２種類を考え、将来国際航空旅客流動分析を行った。以下にcase１の計算結果を示す。



図－４　アジアの各空港の総利用者数



図－５　アジアの各空港の方面別旅客者割合



	成田	中部	関空	ソウル	香港	台北	バンコク	シンガポール
□空き容量	36	40	0	674	19	252	681	551
■発着数	464	160	200	126	981	148	119	149

図－６　　空港容量における発着便数の割合

この結果、目的地まで経由便で行く旅行者はきわめて少なく、ほとんどの旅行者が直行便による旅行を行っていることがわかった。また日本や香港の空港ではその発着便数が空港容量の限界に達することがわかった。

結果の考察を以下に示す。

①日本の空港は北米方面に対してアジアの他の空港よりも優位性をもつ。

②空港の需要はその空港の背後圏となる地域の需要に依存する。

③特に新東京国際空港への利用者の集中が顕著となる可能性がある。

またcase２の結果より、キャリヤーの戦略に対する中部新国際空港の空港使用料の影響はないという結果を得た。

また運航費を減少させることにより、ある程度の影響が観測された。この詳細については講演時に発表する。

以上の結果から、将来（2010年）の国際航空旅客需要に対しては、空港容量がそのボトルネックになる可能性が示唆された。逆に中部新国際空港の空港使用料については、空港使用料を低く設定することによるメリットはほとんど無いものと考えられる。

４．おわりに

本研究では国際航空旅客輸送市場に参加する主体としてキャリヤーおよびユーザーを取り上げ、それぞれの定式化を行い、平成５年の空港で再現性を検証した。その後、中部新国際空港の空港使用料の変化いうシナリオにより、2010年における将来国際航空旅客流動を推計した。しかし、待ち時間の算出方法に改良の余地があり、ＯＤ需要量の変化についても考慮していく必要があると思われる。また国際ハブ空港について考える際、機材数の制限を考慮することが考えられ、この点についても改良の余地がある。

<参考文献>

1) IATA：Asia-Pacific Air Transport Forecast 1980- 2010
2) ICAO：DIGEST OF STATISTICS No.409 1992
3) 黒田勝彦、竹林幹雄、三保木悦幸：シュタッケルベルグ均衡による国内航空ネットワークの最適化、土木計画学研究・講演集　No.19(1)　1996.11 pp265-268
4) 法務大臣官房司法法制調査部：平成６年度出入国管理統計年報
5) KLM オランダ航空：OAG 1996