

地域航空ネットワークの成立可能性に関する基礎的研究*

On a Feasibility of a Regional Air Transport Network

喜多 秀行[†], 久木田 真次[‡]

By Hideyuki KITA and Shinji KUKITA

1. はじめに

わが国における地方空港整備はほぼ概成し、国際線が離発着する空港も少なくない。しかしその割に国内線の便数は伸びず、しかもそのかなりの部分が東京ないしは大阪との間の便であるため、航空機による地方都市相互間の移動は相変わらず不便である。

航空ネットワーク上のある路線で運賃や運航頻度といったサービスレベルを向上させると、当該路線の両端をODとする需要を誘発するのみならず、その路線を経由するすべてのOD間の需要を誘発する。これら需要の伸びは関係路線の運航頻度を増加させる方向に働き、それがさらに需要を誘発するというように、外部性に起因する自己増殖的な変化をもたらす可能性がある。地方空港問題に置き換えて考えると、複数の空港が存在する地域に拠点空港を設置して周辺地方空港と結ぶことにより、地方都市相互間の交通利便性が高まると同時に、他方では東京・大阪との間の頻発性も向上し、採算がとれる程度にまで需要が増加する可能性がある。しかし、このような変化が生じるかどうかはひとえにその航空システムがおかれている条件に依存する。

そこで、本研究では運賃、機材、便数、路線の設定を内容とする簡単な航空会社の行動モデルを構築し、上述の如き地域航空ネットワークが果たして成立可能かどうかについて予備的検討を加える。以下、2.では構築したモデルを説明し、3.では事例分析結果を示す。

2. 航空会社の行動モデル

(1) モデルの概要

単一の航空会社のみが運航する航空ネットワーク

*キーワード: ネットワーク交通流, 公共交通需要, 空港計画

[†]正会員 工博 鳥取大学工学部社会開発システム工学科

〒680 鳥取市湖山町南4-101 TEL:0857-31-5313

FAX:0857-31-0882

[‡]学生員 鳥取大学大学院工学研究科社会開発システム工学専攻

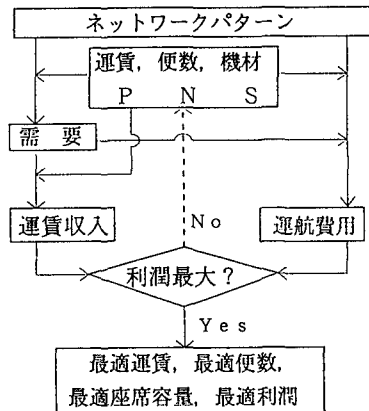


図 1: モデルの枠組み

を想定し、他社の参入はないものとする。この航空会社は対象地域内の全ての都市間に自由に路線を開設することができるが、全ての都市に輸送サービスを提供しなければならず、運賃、便数、機材容量を適宜設定してネットワーク全体でみた利潤の最大化を図るよう行動するものと仮定する。利用者数は需要関数、運航費用はそれぞれ費用関数により算出する。これらの構成要素間の関連を図1に示す。

(2) 需要関数

需要関数についてはこれまで種々のものが発表されている^{1) 2)}が、本稿では Ghobrial and Kanafani³⁾ による需要関数を基本に、(1)式で示すものを用いることとする。これは、便数、機材容量が独立した説明変数として組み込まれているためである。

$$Q_{ij} = \alpha P_{Oij}^{\beta} \Gamma_{ij}^{\gamma} P_{ij}^{\delta} N_{ij}^{\epsilon} S_{ij}^{\zeta} T_{ij}^{\eta} \quad (1)$$

Q_{ij} : 都市 ij 間の航空需要 (人/日)

P_{Oij} : 両都市の人口の積 (人²)

I_{in} : 一人あたりの収入の積 (円²)

P_{ij} : 平均運賃 (円) N : 便数 (便)

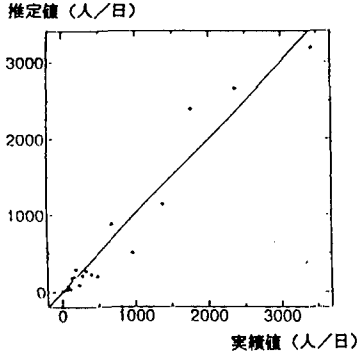


図 2: 需要の推定値と実績値との関係

S_{ij} : 一便あたりの機材容量 (席/便)

T_{ij} : 平均所要時間 (時)

$\alpha, \beta, \gamma, \phi, \mu, \lambda, \sigma$: パラメータ

α 以外のパラメータは、原著者が推定したものをそのまま用い、パラメータ α のみをわが国の航空旅客数のデータを用いて推定しなおした。需要の推定値と実績値の関係を図1に示す。両者の相関係数は0.96であり、高い再現性が得られている。

ij 間に直行便がない場合には、

$$Q_{ij} = \alpha(\zeta/2)^\mu P_{O_{ij}}^\beta I_{ij}^\gamma \cdot \left(\sum_{\eta_l \in \Lambda_{ij}} P_{\eta_l} \right)^\phi \cdot \left(\sum_{\eta_l \in \Lambda_{ij}} \frac{\zeta}{2N_{\eta_l}} \right)^{-\mu} \cdot (\overline{S_{\eta_l}})^\lambda \cdot \left(\sum_{\eta_l \in \Lambda_{ij}} T_{\eta_l} \right)^\sigma \quad (2)$$

となる。ここで、 Λ_{ij} は、 ij 間の最短経路を構成する路線の集合、路線 $\eta_l (l = 1 \cdots L)$ は、 Λ_{ij} の要素である。 $\frac{\zeta}{2N_{\eta_l}}$ は、路線 η_l の起点空港における平均待ち時間であり、(3)式の第3項は乗り継ぎ経路における平均待ち時間の和に相当する。また、 $\overline{S_{\eta_l}}$ は、 η_l における平均機材容量の平均である。

(3) 費用関数

費用関数は森⁴⁾を参考に以下のものを用いる。

$$C_{ij} = C_{Dij} S_{ij} N_{ij} + C_I Q_{ij} N_{ij} + C_{Fij} \quad (3)$$

$$C_{Dij} = \delta d_{ij}$$

C_{ij} : 運航費用 (円/日)

C_{Dij} : 直接運航費 (円/席)

C_I : 間接運航費 (円/人)

Q_{Nij} : 利用者数 (人/日)

C_{Fij} : 固定費用 (円)

d_{ij} : 距離 (km) δ : パラメータ

ただし、費用関数のパラメータ値については、その背景とする状況に差異が生じていることもあり、直接運航費と間接運航費のパラメータの比率 $\xi = C_I/\delta$ を固定したまま、両者をパラメトリックに変化させて検討した。

(4) 利潤関数

ネットワーク形状 $k (k = 1, \dots, K)$ が与えられた場合、 π_{ij}^k は、運賃収入と運航費用の差として以下のように表される。

$$\pi_{ij}^k = P_{ij}(Q_{ij} + Q'_{ij}) - C_{Dij} S_{ij} N_{ij} - C_I(Q_{ij} + Q'_{ij}) - C_{Fij} \quad (4)$$

ここに Q_{ij} は、路線 ij の両端 i, j をODとする1日あたりOD交通量であり、 Q'_{ij} は、路線 ij を最短経路の一部とする旅客の1日あたりOD交通量の和である。

ここで K 種類あるネットワークの中のあるネットワーク k を与えた場合の利潤を π^k とすると、これは路線別利潤 π_{ij}^k の和、

$$\pi^k = \sum_i \sum_j \pi_{ij}^k \quad (5)$$

である。航空会社の行動原理が π^k の最大化であるとの仮定より、全てのネットワークパターンについて利潤を求め、それらを比較することにより利潤最大のネットワークを見いだすことができる。すなわち、

$$\pi^* = \max_k (\pi^k \mid k = 1 \sim K) \quad (6)$$

なる利潤 π^* をもたらすネットワーク k を企業は選択する。また、その時の $P_{ij}^*, S_{ij}^*, N_{ij}^*$ がそれぞれ運賃、機材容量、便数の実現値となる。

3. 仮想地域を対象とした数値実験

(1) 設定条件

以下では、前章で構築した航空会社の行動モデルを用い、仮想地域を想定し、対象として地域航空ネットワークの成立条件を検討する。それに基づき分析を行う。簡単のため都市数は4つとした。各都市の特性は表1にまとめている。

表 1: 対象地域のデータ

都市	人口(万人)	年収(万円)
1(大都市)	960	451
2(中都市)	59	302
3(小都市)	32	257
4(小都市)	14	279

路線	距離(km)	時間(分)
1-2	540	70
1-3	610	75
1-4	610	75
2-3	140	35
2-4	110	30
3-4	220	45

表 2: パラメータの設定値

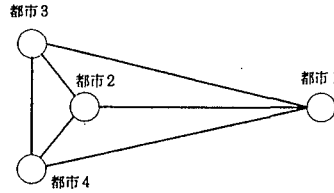
α	0.334	β	0.116	γ	0.139
ϕ	-1.314	μ	0.732	λ	1.486
σ	0.359	ζ	15	ξ	23.3

検討に際して設定したパラメータの値は、表 2 に示すとおりである。費用関数におけるパラメータについては、直接運航費と間接運航費のパラメータの比率 $\xi = C_I/\delta$ を固定したまま両者をパラメトリックに変化させることとし、単位距離当たり直接運航費 δ は 15(円/km) から 30(円/km) まで 3(円/km) きざみで変化させた。

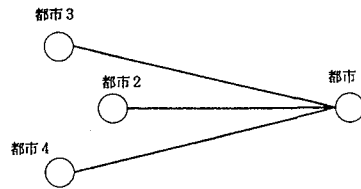
検討したネットワークは図 3(a)～(e) に示す 5 つで、(a) 全都市を直行便で結ぶネットワーク、(b) 大規模都市(都市 1)を中心に結んだネットワーク、(c) 地域の拠点となる中規模都市(都市 2)を中心に結んだネットワークに、(d) 大都市中心型ネットワークから中都市中心型ネットワークに移行する途中段階を表す小規模都市 2 から中規模都市のみに接続するネットワーク、(e) 同じく小規模都市 4 から中規模都市のみに接続するネットワークを加えたものである。

以上 5 つのネットワークの下で便数と機材容量を変化させて最大利潤を求め、それらと比較することにより、中規模都市中心型ネットワークを航空会社が選択するか否かという観点から、地域航空ネットワークの成立可能性を検討した。ただし、運賃のみは今回 50(円/km) から 90(円/km) まで 10(円/km) きざみで外生的に与えている。供給座席数は 100 席、300 席、500 席の 3 つのケースから、便数は、2 便、

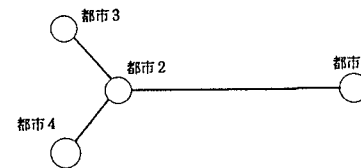
(a) 全都市を直行便で結んだネットワーク



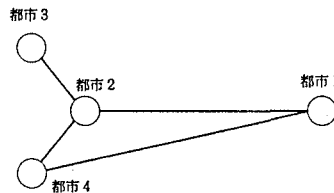
(b) 大都市を中心に結んだネットワーク



(c) 中都市を中心に結んだネットワーク



(d) 都市 3 から中都市のみを結ぶネットワーク



(e) 都市 4 から中都市のみを結ぶネットワーク

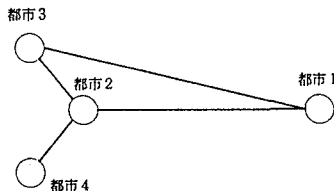


図 3: 検討対象ネットワーク

4 便、6 便(往復)の 3 つのケースから、それぞれ選択するようにしている。

(2) 結果

得られた結果の一部を図 7 に示す。総利用者数はネットワーク上を移動した航空利用者総数で、出発地から到着地までの利用をもって 1 人と数えた。

利潤 (円)

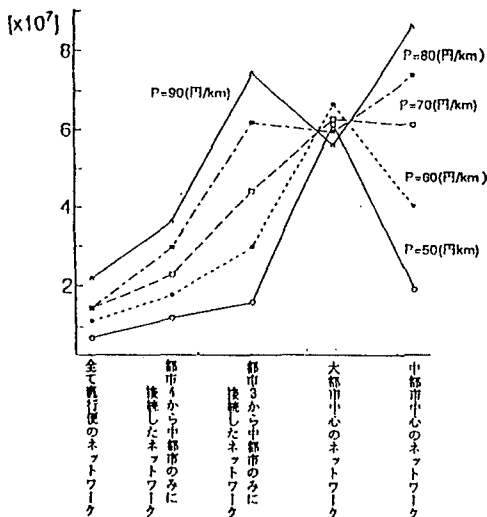


図 4: 運賃別利潤の変化

今回設定した条件下では、運賃水準の高低により異なる結果が得られた。運賃水準が低い場合、すなわちある程度の需要があり、かつ大きく迂回するような経路を通っても需要がそれほど減少しない場合には、大規模都市を中心としたネットワークが選択される。

運賃水準が高い場合は輸送費用の高低によりさらに2つのケースに分けられる。輸送費用が低い場合は全て直行便で運航することが利潤を最大化する。一方、輸送費用が高い場合は中規模都市中心型ネットワークが選択される場合が多い。運賃水準と輸送費用が共に高い場合、直行便で結ぶとなると利用者にとっては便数の少ない不便なシステムとなり、航空会社にとっては運航費用のかさむシステムとなる。そこで乗客がまとめ、少しでも近いところで乗り換えを行う必要性が生じて中規模都市を中心としたネットワークが選択されるようになったものと考えられる。これは現在のわが国の状況とも近く、地域航空ネットワークの成立が必ずしも不可能ではないということを示唆するものと理解される。

また、ハブ化途中の冗長性を持ったネットワークも、全てを直行便で結ぶネットワークよりも利潤、需要とも大きかった。しかし、大都市中心型ネットワーク（現状）と較べると、必ずしも大都市中心型

ネットワークより優れているという訳ではない。これは、ネットワークが複数の航空会社によって構築されている場合、ある一社のみで地域ハブの成立を試みても直ちに利潤の増加には結びつかないため、地域航空システムを形成するに当たっては路線間の協調が重要であることを示すものといえる。

4. 結論

本稿では、地域航空ネットワークの成立可能性を検討するために、航空会社の行動モデルを構築し、利潤最大化基準の下で航空会社が選択するネットワークを推定する方法を提示した。そして4都市からなる仮想地域を対象に簡単な数値実験を行った。

その結果、地域航空ネットワークの成立可能性は必ずしも否定されなかった。分析を通じて、運賃水準と運航費用に関する条件が大きく影響していること、ネットワーク全体での地域ハブ化行動が重要であることなど、いくつかの知見が得られた。

今回の検討では、地方ハブの対象路線を2本しか設定しなかったが、対象路線数が増加するにつれ地域航空ネットワークが成立する条件はより緩和されるのではないかと推測される。しかし、現段階のモデルにはさまざまな単純化や仮定が含まれているため、今後、より実際的な費用関数の導入、需要関数の適応可能領域に関する吟味など、さらに実証的な分析をおこなっていきたいと考えている。

〔参考文献〕

- 1) 角川順洋ほか：国内航空ネットワークの効果分析手法に関する研究，土木学会第48回年次学術講演会・講演概要集，pp.556-557,1993
- 2) 田村 亨：地域航空ネットワークサービスにおける社会的最適便数についての考察，土木計画学研究・講演集 No.12, pp.613-618,1987
- 3) Ghobrial, A and Kanafani, A.: Quality of Service Model of Intercity Air-Travel Demand, Journal of Transportation Engineering, ASCE Vol.121, No.2, pp.135-140, 1995
- 4) 轟 朝幸：規制緩和にともなう国内航空ネットワークの計画手法に関する基礎的研究，日本大学学位論文，1993