

航空ネットワークの評価方法に関する一考察* ～ 航空市場モデルの適用について ～

A Study on an Evaluating Method of Air Networks

轟 朝幸** 梅沢 史章*** 榛沢 芳雄****

By Tomoyuki TODOROKI, Fumiaki UMEZAWA and Yoshio HANZAWA

In this paper, an evaluating method of air networks is proposed. This method consists of three parts. One is making alternative network plans, e.g. some cases of different network structures, next is analyzing air passenger flows on networks and last is checking efficiency of air networks for an airline, users and airports authorities.

Especially, in this analyzing method of network flows, a normative behavior of an airline, which is deciding service level for getting maximum profit, is considered. And it is shown to be able to get good results of estimated air demands by using a proposed demand estimating model.

1. はじめに

航空輸送を取り巻く社会環境は著しく変化し、特に航空機材の開発など技術革新はめざましい。それ故、より遠くへ、速く、快適に、安全に飛行できるように、同時に国際交流の活発化が進むにつれ、航空需要は著しく増加してきた。

しかし、日本をはじめ、多くの国々では、航空輸送産業を保護してきており、この保護政策のもとで、航空企業は需要に合わせて、路線を順次追加してきた。その結果、航空ネットワークは複雑になり、非効率的なように見える。航空市場が熟成してきた今、航空ネットワークの再評価をする必要があ

ると思われる。

そこで、これらの状況を加味して、今回は航空ネットワークの評価方法について考察を行なう。航空企業はネットワーク上でサービス（運航頻度・座席数等）を提供し、利潤を極大化するような行動を取ると考えられる。この市場メカニズムにもとづき、国内線旅客輸送を対象に、航空市場モデル（需要関数、費用関数、利潤関数から構成）を構築し、航空ネットワーク上でのシミュレーションを行ない、結果として得られる各都市間の需要やサービスレベル、企業の利潤等から航空ネットワークを評価しようとするものである。

本稿では、まず、航空ネットワークの計画手順の枠組みを整理し、次に、航空ネットワークの効果分析方法を提案する。特に、航空旅客の需要（ネットワークフロー）推計について詳しく報告するものである。

*キーワード：航空輸送、ネットワーク評価

**学生会員 工修 日本大学大学院 理工学研究科

***学生会員 日本大学大学院 理工学研究科

****正会員 工博 日本大学 理工学部交通土木工学科

(〒274千葉県船橋市習志野台7-24-1)

2. 航空ネットワークの計画手順

(1) 航空ネットワーク計画手順の考え方

従来より、交通ネットワークの計画方法としては、最適化手法が主に用いられてきた。この最適ネットワーク問題は、ある制約のもとで、与えられた目的関数を最大あるいは最小にするような計画変数の値を決定する数理計画問題として定式化される。しかし、この問題の定式化において、目的関数や制約条件の特定化が難しく、目的関数としては、費用の最小化といったように、簡略化して扱うのが一般的であり、計画要素が限定されてしまう。このような問題点に対処するため、あらかじめ設定したいくつかのネットワーク案の効果を予測し、その結果を評価し、必要に応じて変更を加えながら望ましい計画案を見つけ出すといった方法が現実的であるとする計画手法も提案されている¹⁾。

本研究においても、航空ネットワーク代替案は、簡略化した手法を用いて設定し²⁾、そのネットワーク案の効果を予測し、評価を行なうといった手順によって、航空ネットワークの計画を行なうこととする。図-1に計画のフローを示す。

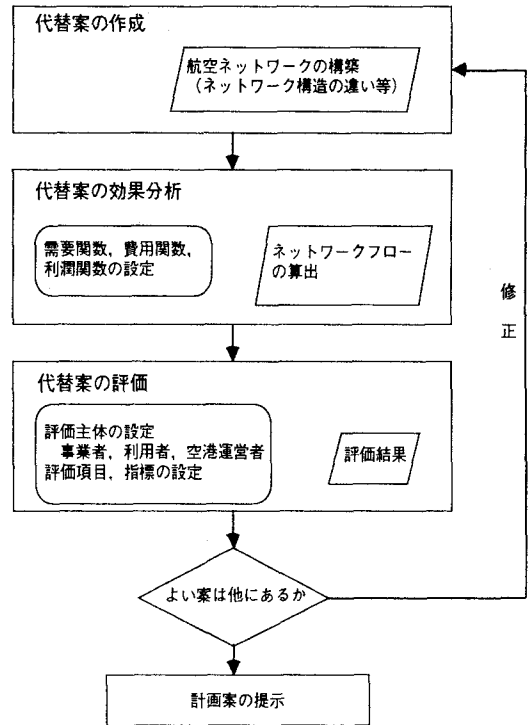


図-1 計画のフロー

(2) 対象とする国内航空ネットワーク

航空輸送は、伝統的に各国とも政府の市場介入が行なわれてきたが、近年、アメリカ合衆国の規制緩和に端を発し、欧米諸国を中心に規制緩和が進展してきている。我が国においても、航空産業の規制緩和は進められ、航空企業3社の分業体制の廃止や、需要の多い路線のダブル・トリプルトラック化が進められてきている。しかし、現実には、我が国において、政府は、いまだ航空法にもとづき参入・退出、価格等の規制を行なっている。

このような状況下では、各航空企業は、若干の競争はしているが、実際には、国内全体で1つのネットワークを形成しているにすぎない。つまり、規制下において、航空企業3社が国内航空市場を擬似的に独占しているとみなすことができる。

そこで、本研究では、価格は政府によって規制されており、国内全体の航空ネットワークを単一の企業が形成していると仮定する。この条件下で、航空企業は長期的には、ネットワークの再編を検討して

いるが、短期的には、各路線において、サービスレベル(便数等)を調整することで、効率を高めようとする企業行動をシミュレートして、設定されたネットワーク案の効果を予測し、評価を試みる。

3. ネットワークフロー分析モデルの構築

(1) 経済理論的アプローチ³⁾

1970年代以降、アメリカ合衆国の規制緩和の動向にあわせて、国内航空市場の分析のためにいくつかの理論分析モデルが開発されてきた。Douglas and Miller⁴⁾の先駆的研究では、CABによって価格が決定されている場合、航空企業はサービスレベル(便数など)による競争を通じ利潤を極大化するという仮定に基づいて理論分析モデルを構築し、航空市場を分析している。その後、Panzer⁵⁾や田村⁶⁾をはじめ多くの研究へと引き継がれ、それらでは、需要者が供給されるサービスを受けられるまでの待ち時間

(望んでいる出発時間との時間差、および満席によって望ましい便に座席が確保できず変更した出発時間との時間差)を明示的に扱い、供給側のサービスの質と需要の関係を表現している。その中で、Olson and Trapani⁷⁾は需要が充足されるための遅れは、全体として一定期間内に供給される座席数に関連するとして簡便に扱っており、モデルの操作性に富んでいると考えられる。本研究のモデル構築に際しても、この概念を用いる。これらの研究は、ある都市間航空市場を対象としており、ネットワーク全体としての市場を扱う本研究とは対象が異なる。しかし、説明を簡略化するため、以下にOlson and Trapani モデルについて述べ、本研究での分析モデルの概念を整理する。

ある都市間における航空サービスに対する需要関数、費用関数、利潤関数は次のように定式化されている。

$$q = q(f, s) \quad (1)$$

$$C = cq - ks \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \pi &= fq - (cq + ks) \\ &= (f - c)q - ks \end{aligned} \quad (3)$$

ここに、 q : 旅客数

f : 運賃

s : 供給座席数 (サービスレベル)

C : 運航費用

c : 旅客1人当たり費用

k : 座席1席当たり費用

π : 利潤

$q_s < 0, q_f > 0, q_{ss} < 0$ を仮定する。

前述の仮定のように、航空企業は価格が規制されている場合、供給する座席数を調整して、利潤を極大化するような行動をとる。企業の利潤極大化の一階の条件は、

$$\frac{d\pi}{ds} = 0 \quad (4)$$

したがって、

$$(f - c)q_s = k \quad (5)$$

これは、利潤を極大にするために、限界費用と限界収入が等しくなるよう座席数を決定していることを想定している。これより算出される座席数が、企業の供給座席数であり、同時に、旅客数、企業利潤を求めることができる。

本研究では、以上の都市間モデルをネットワークへと拡張する。ある1つのネットワークを保有する企業は、それぞれの路線において、利潤を極大化すると仮定する。つまり、各路線市場別に企業は利潤極大化行動をとると考える⁸⁾。一方、需要者である航空利用者は、目的地への直行便がない場合には、路線を乗り継いで目的地まで行くことになる。各路線での旅客数は、その路線の利用者すべてであり、その路線を経路の一部にもつ、すべての都市間需要を集計し、各路線別の旅客フローとする。

航空を利用する旅客は、すべて最短経路の路線(乗り継ぎを含む)を利用すると仮定し、都市間ODペア i, j の需要(旅客数)を q_{ij} と表わすと、路線旅客フロー q_r は次のように書ける。

$$q_r = \sum_{i \in R} \sum_{j \in J} \delta_{r,ij} q_{ij} \quad (6)$$

$\delta_{r,ij} = (1 : \text{路線 } r \text{ が OD ペア } i, j \text{ の経路に含まれるとき, } 0 : \text{その他})$

ネットワークを対象とした代表的な研究としては、Hansen⁹⁾の論文があり、アメリカ合衆国の国内航空市場での航空企業間のハブ競争の記述を試みている。上述の理論モデルと同様、サービスレベルを政策変数として各企業は競争をしているとした仮定のもとでモデル化している。そのサービス変数としては、ハブ空港を経由する場合の迂回距離、およびサービスレベルとして便数(乗り継ぎのある都市間では最も多い便数と少ない便数の路線を別々の変数として内生化)を市場シェアモデル(集計ロジットタイプ)に取り込んでいる。本研究では、前述の仮定により、航空企業どうしの競争はない。しかし、日本の場合、新幹線のような高速鉄道の整備が進んでおり、航空企業の競争相手として鉄道輸送モードを無視するわけにはいかない。そこで、次節で述べる航空旅客の需要推計では、交通機関分担モデルを構築する。

(2) 需要推計モデルの構築

交通需要は、前述の需要関数(1)式のような単純な関数として表現することは困難であり、一般には、4段階推定法のような手順を踏む。供給のサービスレベルは、本来、それぞれの段階において考慮

されるべきではあるが、ある都市間の交通需要は、他都市間への需要とは独立したものであって、代替性は少ない。そこで、供給側の条件が必要に対して直接影響する場合、分布交通量の供給に対する超過需要者は、他の競合する交通機関を利用すると考えることが妥当である。ここでは、都市間の航空需要量を、航空と航空に競合する交通とのシェアから求めるモデルを構築する。構築する機関分担モデルは集計ロジットモデルとし、航空に競合する交通機関として鉄道のみを扱う。航空の機関分担モデルを次式のように定式化する。

$$p_{ij}^a = \frac{1}{1 + \exp(v_{ij})} \quad (7)$$

$$v_{ij} = \alpha(\Delta t_{ij}) + \beta(\Delta f_{ij}) + \gamma \ln(s_{ij}) \quad (8)$$

ここに、 p_{ij}^a ：都市間 ij の航空シェア

Δt_{ij} ：所要時間差（鉄道－航空）

Δf_{ij} ：運賃費用差（鉄道－航空）

s_{ij} ：供給座席数

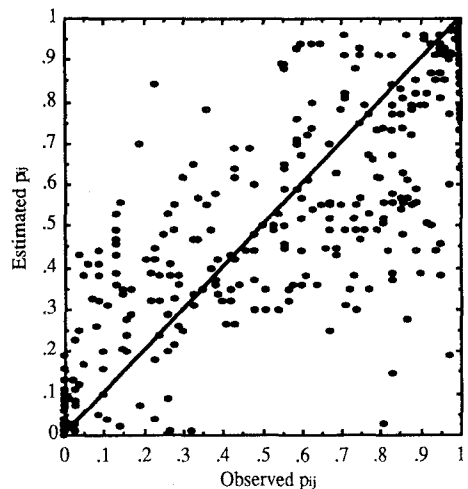
α, β, γ ：パラメータ

航空企業の行動規範を表わす変数である供給座席数は、主に計算の取り扱いを考慮して、自然対数を取ることにした。また、ある都市間の経路としては直行便の場合と乗り継ぎの場合が考えられ、乗り継ぎの場合の供給座席数のモデルへの内生化方法について検討が必要である。その内生化方法としては、経路にあたる路線別に各々変数とする場合や、経路にあたる路線のうち最少の供給座席数を変数とする場合等について、機関分担モデルの適用妥当性の検討時に考察を加えることにした。

提案した機関分担モデルの妥当性を検討するため、パラメータの推計を試みた。推計に用いたデータは、全国の離島を除く主要な36空港間の旅客流動（航空流動は航空流動旅客調査報告書1989年、鉄道流動は旅客地域流動調査1989年）と航空、鉄道の所要時間、運賃（1989年J R時刻表より算出）、航空の路線別供給座席数（航空旅客流動調査報告書1989年）である。その推計結果を表－1に示す。モデル1として直行便の就航している都市間（95サンプル）、モデル2として乗り継ぎ1回の都市間（188サンプル）、それにモデル3として各経路の路線のうち最少の供給座席数を用いた場合（287サンプル）の

表－1 パラメータの推計結果

() 内は t 値			
	モデル1	モデル2	モデル3
所要時間差	-0.007 (11.677)	-0.006 (14.510)	-0.006 (18.697)
運賃費用差	-0.009 (2.585)	-0.015 (7.095)	-0.017 (13.580)
座 直行便のみ	-0.205 (2.461)		
席 路線1		-0.038 (0.360)	
乗り継ぎ		0.069	
数 路線2		(0.652)	
最少			-0.150 (1.896)
定数項	2.163	1.585	1.869
サンプル数	95	188	287
重相関係数	0.621	0.607	0.604



図－2 実測値と推計値の関係
(サンプル数594)

結果3パターンについて示した。重相関係数はともに0.6強であり、供給座席数を従属変数としない場合の0.59より多少高い値となった。しかし、モデル2の乗り継ぎのある場合の供給座席数を路線別に内生化した場合には、t検定の結果、供給座席数の有意性（5％）が認められない。そこで、モデル3の各経路の路線のうち最少の供給座席数を用いた場合を採用することが妥当であると思われる。さらに、図－2に示す航空分担率の実績値とモデル3の推計値の比較では、相関係数が0.82となり、航空分担率の

推計は可能であろうと考えられる。このモデル3に解釈を加えると、ある都市間の移動に際し、乗り継ぎがある場合、航空分担率は、その経路にあたる路線のうちの最少供給座席数から影響を受けているとみることができる。つまり、航空需要者は、経路にあたる路線のうち、供給座席数が一番少ない路線におけるサービスの悪さ（需要者がサービスを受けるまでの待ち時間の長さ等）を考慮しているものと解釈できる。

路線別の旅客フローを算出するため、式（6）を次のように書き換える。

$$q_r = \sum_i \sum_j \delta_{ij} T_{ij} p_{ij}^a \quad (9)$$

ここに、 T_{ij} ：都市間 ij の分布交通量

また、式（8）を式（3）に代入し、航空企業の利潤関数を再定式化する。

$$\pi_r = (f_r - c_r) \sum_i \sum_j \delta_{ij} T_{ij} p_{ij}^a - k_r s_r \quad (10)$$

ここで、路線別の運賃、旅客1人当たりの費用、座席1席当たりの費用が与えられたとして、式（4）、式（5）の航空企業の行動規範の条件にしたがって、供給座席数 s_r を算出する。得られた供給座席数が航空企業の利潤極大化の行動の結果である。

4. 航空ネットワークの評価

航空輸送は公共交通手段であるが、運営するのは利潤獲得を目的とする民間企業であるので、利潤の好ましくないサービスは行なわないと考えられる。現在の航空ネットワークは国内民間航空制度のもとに、利用者の効用（運賃、所要時間、供給座席数）を考慮した政府と民間航空企業の利害関係の調整の結果、路線が設置され、構築されたものであると考えられる。航空ネットワークの評価を行なう場合、航空企業にとって、そのネットワークに利潤のあることが第一の条件となる。

本研究では、需要推計モデルの市場シェアに集計ロジットモデルを用い、利用者の効用を考慮している。しかし、作成した代替案の効果が、直接的な帰属主体である利用者、空港運営者にとって著しく不利益な状態を引き起こす可能性もある。そのような

表一 2 評価項目例

評価主体	評価要因	評価項目	評価指標
事業者	採算性	収入	利潤
		支出	
	低廉性	所要費用	平均所要費用
利用者	速達性	所要時間	平均所要時間
	利便性	乗換回数	平均乗換回数
空港運営者	空港の発着容量	発着回数	平均発着回数

状態を引き起こす代替案による計画を回避するために、利用者、空港運営者にとっての状況も把握しておく必要がある。

本研究では、まず各代替案の効果分析の結果を各評価項目別に評価する。具体的には、事業者である航空企業の評価項目を中心に各代替案を比較検討することになる。一例として評価主体別の評価項目を表一2に示した。

5. おわりに

本研究は、近年、熟成してきた国内航空旅客市場を対象に、航空ネットワーク計画手順の枠組みを提案し、ネットワークの効果を分析する方法について検討を試みているものである。本研究の成果として、以下のことが挙げられる。

- ①航空ネットワーク効果分析方法として、需給メカニズムをもとにした航空市場モデルを構築した。
- ②航空ネットワークフローの需要推計において、①で提案した企業の行動規範として供給される座席数を取り扱うことができることを確認した。

しかし、本稿では、航空ネットワーク計画における効果分析、評価の枠組みを示したにすぎない。今後の課題として、日本への適用を進め、より精緻な分析を行なう必要がある。また、今回は前提条件として、日本の航空ネットワークの現状を疑似的な独占市場状態とみなし、航空企業は1社と考えた。今後、複数企業間の競争や規制緩和の進展等の政策の変更に対処できるように分析を進め、モデルの構築等を行なう必要がある。

参考文献

- 1) 天野光三, 小谷通泰, 山中英生: 都市内公共輸送網の計画システムに関する研究, 土木学会論文集, pp.39-48, 1987年.
- 2) 轟朝幸, 榛沢芳雄, 梅沢史章: 国内航空ネットワークの構築に関する基礎的研究, 土木計画学研究・講演集, No.14, pp. 85-90, 1991年.
- 3) 経済企画庁総合計画局編: 規制緩和の経済理論, 大蔵省印刷局, 1989年.
- 4) Douglas, G. W. and J. C. Miller: Quality Competition, Industry Equilibrium, and Efficiency in the Price-Constrained Airline Market, American Economic Review 24, 1974.
- 5) Panzer, J. C. : Equilibrium and Welfare in Unregulated Airline Markets, American Economic Review 69, pp.92-95, 1979.
- 6) 田村亨: 地域航空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, 1989年.
- 7) Olson, C. V. and J. M. Trapani: Who has Benefited from Regulation of the Airline Industry?, Journal of Law and Economics 24, 1981.
- 8) 兵藤哲朗: モデル構造変化を前提とした交通需要推計方法, 交通と統計, No.18, 交通統計研究所, 1989年.
- 9) Hansen, M. : Airline Competition in a Hub-dominated Environment, Noncooperative Game Theory, Transportation Research B 24, pp.27-43, 1989.