

路線バス型フライトによる航空旅客サービスの改善に関する一考察*

A Model Analysis of Aviation Services with Multi-Sector Flights*

喜多秀行**・坂田裕彦***

by Hideyuki Kita** and Hirohiko Sakata***

1. はじめに

日本の航空路線は大都市から地方を結ぶ2都市間の直行路線が一般的であり、需要の少ない路線では経営の採算が取れないことが多い。そのような中、地域振興政策の一環で、自治体による航空路線誘致が活発に展開されている。しかしながら採算性が見込めない航空路線においては路線誘致できる期待は見込めない。他方、近年の航空規制緩和による航空企業間競争の激化に伴い航空会社はより収益性の高い路線にシフトする傾向にあり採算性の悪い路線における撤退といった事態も発生する。このままでは、今後航空旅客サービスの低下がいつそう顕著になると推察される。

そこで本研究では航空路線の維持や開設ができる可能性を見出す一つの方法として、同一方向を結ぶ複数の路線を取りまとめ需要を集約する航空路線の導入を航空会社と利用者の均衡モデル分析により検討する。以下このような路線を「路線バス型フライト」と呼ぶ。

2. 本研究の基本的な考え方

本研究における路線バス型フライトとは、需要が少ないため航空路線の開設や維持が困難な複数の都市間を、途中寄港しながら直列に結ぶ航空輸送サービスを言う(図-1)。これにより、寄港する複数の都市間の航空交通需要を集約することが可能となり、航空企業の利潤の増加が見込まれる。寄港都市をまわって目的都市まで行かなければならない利用客にとっては所要時間が増加し利便性が下がるために需要が減少してしまうが前者が後者を上回れば航空路線の維持や開設の可能性を高めることが期待できる。

そこで本研究では、利用者と航空会社の行動モデルを用いて直行路線と路線バス型フライトを路線別運行採算性の視点から導入可能性を比較し、導入可能条件を検討する。また運航補助により、交通ネットワークにおける最

適経路を確かめる。

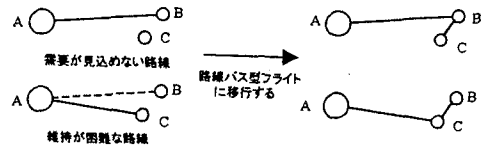


図-1 路線バス型フライトの説明

3. 分析モデル

分析モデルに際しては航空運賃や運行頻度といったサービス水準を変化させることによる当該路線の需要変化だけでなく、その路線を経由する路線の全てのOD間の需要を誘発するといった外部性も考慮する必要がある。以下では著者らが先に構築したモデル¹⁾を一部修正して用いることにする。

本研究では航空と鉄道の競合を考慮するが、航空企業の行動と利用者の行動の均衡を主として取り扱うため、鉄道運賃と鉄道の運航頻度を所与とした下での交通サービスを扱う。また簡単化のため、各都市間の航空運賃も外生的に与え、航空企業の価格競争は考えない。機材の種類も1種類のみとし、したがって航空企業は利潤が最大になるように運航頻度を調整してこれらの都市間にサービスを供給すると考える。航空機のスケジューリングについては明示的に考慮しない。利用者の行動と航空企業の行動に関する仮定はそれぞれの行動記述のところで述べる。

(1) 利用者の行動

利用者は、所与の所得 y_i と交通企業 m が供給する交通旅客サービスの運航頻度 $F_{\phi_{ij}}^m$ 、交通運賃 $P_{\phi_{ij}}^m$ 、所要時間 $T_{\phi_{ij}}^m$ によって構成される一般化費用 $p_{\phi_{ij}}^m$ により規定される効用を最大化する経路 ϕ_{ij} 及び需用量 $X_{\phi_{ij}}^m$ を選択する。出発希望時刻は $[0, E]$ の範囲で一様に分布しており、帰路は往路と同じルートを選択するものとする。

都市 i に居住する利用者の間接効用関数を以下のように表す。

$$V_{ij} = \sum_{m \in M} \ln \left(\mu \frac{D_j}{p_{\phi_{ij}}^m} + \nu y_i \right) \quad (1)$$

ただし、 D_j は到着都市 J の社会経済的要因を、 M は交

*キーマズ：航空輸送サービス、路線バス型フライト、運航採算性、ネットワークモデル

**正会員 工博 鳥取大学大学院社会開発システム工学科
(〒680-0945 鳥取市湖山町南101 TEL 0857-31-5309・
FAX 0857-31-0321)

***学生会員 鳥取大学工学部社会開発システム工学専攻
(同上)

通旅客サービス m の集合を表す。また μ, ν はパラメータである。最適経路 ϕ_{ij} での一般化費用 $p_{\phi_{ij}}^m$ は以下のよう表される。

$$p_{\phi_{ij}}^m = \sum_{\phi_{ij}} P_{\phi_{ij}}^m + \alpha \left(\sum_{\phi_{ij}} T_{\phi_{ij}}^m + \frac{E}{\min F_{\phi_{ij}}^m} \right) \quad (2)$$

ここに、 $\sum_{\phi_{ij}} P_{\phi_{ij}}^m$ は経路 ϕ_{ij} を構成する全ての路線における交通運賃の和を、 $\sum_{\phi_{ij}} T_{\phi_{ij}}^m$ は所要時間の和を表している。 $\min F_{\phi_{ij}}^m$ は運航頻度の最小値、 E は1日の時間であり、 $E/\min F_{\phi_{ij}}^m$ は航空旅客サービスを受ける旅客の平均待ち時間である。また α は時間価値に相当するパラメータである。

都市 ij 間の交通サービス m に対するOD需要関数(都市 ij を発着都市とする需要)は以下のようになる。

$$X_{ij}^m = \frac{\mu D_j \cdot N_i}{\nu (p_{\phi_{ij}}^m)^2} \cdot \frac{(\mu D_j / p_{\phi_{ij}}^m + \nu y_i)^{-1}}{\sum_{m \in M} (\mu D_j / p_{\phi_{ij}}^m + \nu y_i)^{-1}} \quad (3)$$

ただし、 N_i は都市 i に人口を表し、 μ, ν はパラメータである。また、都市 ij 間の交通サービス m に対するリンク需要関数(都市 ij を発着都市とするか否かにかかわらず都市 ij 間を通過する需要)は以下のようになる。

$$X_{ij}^m = \sum_{k \in K} \sum_{l \in K} \delta_{ijkl}^m \cdot X_{kl}^m \quad (4)$$

ただし、 K は、都市の集合を表す。 δ_{ijkl}^m は都市 kl 間の最適経路が都市 ij 間を通過するか否かを表すダミー変数であり以下のよう定義される。

$$\delta_{ijkl}^m = \begin{cases} 1 & \text{都市 } ij \text{ 間を通過する。} \\ 0 & \text{都市 } ij \text{ 間を通過しない。} \end{cases} \quad (5)$$

(2) 航空企業の行動

航空企業は、運賃・機材等の変更をしないものとし、所与の航空ネットワークの下で利潤を最大化する運行頻度 F_{ij}^n を選択する。

$$F_{ij}^n = \arg \max_{F_{ij}^n} \sum_{i \in K} \sum_{j \in K} (P_{ij}^n \cdot X_{ij}^n - C_{ij}^n - C_F^n) \quad (6)$$

$$\text{s. t. } X_{ij}^n \leq F_{ij}^n \cdot S_{ij} \quad (7)$$

ただし、 C_{ij}^n は航空企業 n の可変費用を、 C_F^n は固定費用を表す。航空企業の可変費用は路線間距離 L_{ij} 及び運航頻度 F_{ij}^n に関してコブ・ダグラス型に類似した以下の技術を持つものと仮定する。

$$C_{ij}^n = \sigma (L_{ij})^\tau (F_{ij}^n)^{\nu_{ij}} \quad (8)$$

σ 及び τ はパラメータであり、 ν_{ij} は運航頻度に関する規模の経済性を考慮して以下のよう定式化する。

$$\nu(F_{ij}^n) = \rho_1 \cdot (F_{ij}^n)^2 + \rho_2 F_{ij}^n + \rho_3 \quad (9)$$

ρ_1, ρ_2 及び ρ_3 はパラメータである。

4. モデルの同定

(1) 需要関数

需要関数のパラメータを推定するための対象路線は、7大都市(名古屋、札幌、福岡、仙台、広島)を航空機および新幹線(札幌については特急・急行)で結ぶ直行路線とした。ただし、航空については東京と大阪の背後圏が他都市と比べて極めて広くネットワーク上での位置づけも他と異なる点があるため、両都市を出発地ないしは目的地と

するデータを除いて推計を行った。都市間の交通需要は幹線旅客純流動表²⁾、運賃、運航頻度、所要時間はJTB時刻表³⁾、一人あたりの県民所得は県民経済年報⁴⁾の値を用い、社会経済的要因については都道府県人口で代替した。また、時間価値については関西交通経済研究センター⁵⁾による時間価値の推定値を消費者物価指数⁶⁾により平成8年の値に修正して算出した値である44.85(円/分)を用いた。得られたパラメータの推定値は $\mu = 0.230$, $\nu = 2.371$ であり、比較的良好な現象再現性を有していることがわかった。

(2) 費用関数

費用関数のパラメータ推定には、航空統計要覧⁷⁾に記載されている日本航空(1986~1993)および全日本空輸(1987~1993)の各年度の費目別データを総合卸売物価指数⁸⁾によって基準年度に修正したものを用いた。具体的には可変費用として人件費、航空燃油費、運航施設利用費、航空保険費を、固定費用として航空機材減価償却費、整備費、一般管理販売費、代理店手数料を用いている。回帰分析によって推定した結果は、 $\sigma = 3751.4$, $\tau = 0.808$, $\rho_1 = 0.040$, $\rho_2 = -0.498$, $\rho_3 = 3.020$ である。相関係数は0.931と比較的良好な現象再現性が認められる。

(3) モデルの現象再現性

本モデルは航空路線の新規開設による誘発需要を推定しうる構造を有している。そこで、推定したパラメータに基づいて特定化したモデルを用いて、新規に航空路線が開設された都市を含むいくつかの都市間の需要量と運航頻度を推定し、モデルの現象再現性を検証した。対象都市は名古屋、新潟、福島、福岡、山形の5都市である。これらの都市間には既存路線に加えて、福岡-新潟(1992年開業)、福岡-福島(1993年開業)、名古屋-山形(1995年開業)の3つの航空路線が新設された。これら3路線は開業後年数が経っており比較的稳定したデータが得られているものと考えられる。航空と鉄道の運賃および所要時間はJTB時刻表⁸⁾に記載されている平成8年時のデータである。鉄道の運行頻度は対象都市を結ぶ新幹線(東京駅のみで乗り継ぎを行う)の運航頻度を用いた。結果を図-2に示す。サンプル数が少ないため限定的な解釈にならないが、得られた結果からは比較的良好な現象再現性が確認される。

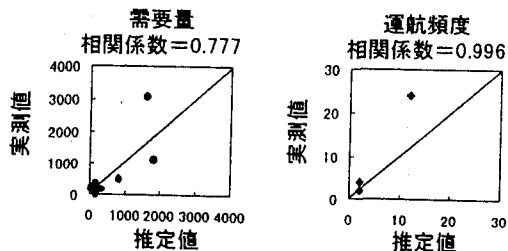


図-2 運航頻度と需要の相関係数

5. 路線バス型フライトの導入可能条件

(1) 直行路線誘致をしない場合

直行路線の下での航空利潤をまず推定し、次いで路線バス型フライトに移行した場合の航空利潤を推定する。両者を比較して、導入後の航空利潤が導入前のそれよりも増加し、かつ正の利潤であれば路線バス型フライトは成立する。航空企業 n の利潤は各路線の生産者余剰の和として、以下のように表される。

$$PS^n = \sum_{i \in K} \sum_{j \in K} (P_{ij}^n \cdot X_{ij}^n - C_{ij}^n) \quad (10)$$

直行路線の場合の利潤を $PS^{n,D}$ 、ネットワーク形状 Ψ の路線バス型フライトを運航する場合の利潤を $PS^{n,\Psi}$ とする。

$$PS^{n,\Psi} \leq PS^{n,D} \quad (11)$$

かつ

$$PS^{n,\Psi} \geq 0 \quad (12)$$

の場合に路線バス型フライトの運航が成立する。

(2) 直行路線誘致をする場合

路線バス型フライトが成立するとして、大きなターミナルデマンドを有する都市との間に直行路線を有する中継空港となることが都市にとって有益であると考えられるため、どの都市が経由都市として選ばれるかが関係都市の関心事となる。例えば図1に例示するように都市A,Bと都市Cを結ぼうとする場合には、Bを経由都市としてA,C間にフライトを運航するケースとCを経由都市としてA,B間にフライトを運航するケースの2つが存在する。都市Aが大きなターミナルデマンドを有する大都市であるとする、都市B,Cにとってはいかにして都市Aへの直行路線を獲得するかが問題となる。そこで関係都市が直行路線を獲得するための誘致行動をとることを考慮した導入可能条件を、消費者余剰に基づく各都市における厚生水準指標を用いて検討する。都市 i における消費者余剰 CS_i は以下のように表される。

$$CS_i = \sum_{m \in M} \sum_{j \in K} \xi_{ij}^m \cdot \int_{p_{ij}^m} X_{ij}^m dp_{ij}^m \quad (13)$$

ただし、 ξ_{ij}^m は都市 ij 間が到達可能であるか否かを表すダミー変数であり以下のように定義される。

$$\xi_{ij}^m = \begin{cases} 1 & \text{到達可能である} \\ 0 & \text{到達不可能である} \end{cases} \quad (14)$$

直行路線を獲得した場合とそうでなかった場合の都市BとCの消費者余剰の差 ΔCS^B 、 ΔCS^C は次式で与えられる。

$$\Delta CS^B = CS_{A-B-C}^B - CS_{A-C-B}^B \quad (15)$$

$$\Delta CS^C = CS_{A-C-B}^C - CS_{A-B-C}^C \quad (16)$$

ただし、 CS_{A-B-C}^B 、 CS_{A-C-B}^C 、 CS_{A-B-C}^C 、 CS_{A-C-B}^B は経路A-B-CとA-C-Bにおける都市BとCの消費者余剰である。

都市BとCが支出し得る運航補助の限度額はそれぞれ ΔCS^B 、 ΔCS^C であるため経路A-B-Cの場合の利潤を PS_{A-B-C} 、経路A-C-Bの場合の利潤を PS_{A-C-B} と

すると

$$PS_{A-B-C} + \Delta CS^B \begin{cases} > \\ < \end{cases} PS_{A-C-B} + \Delta CS^C \quad (17)$$

の大きい方の経路が実現する。つまり双方の都市が運航補助による直行路線の誘致競争を行い、その下で航空企業が自社にとって最も都合のよい経路を決定すると考える。

6. 路線バス型フライトの導入可能性分析

(1) 設定条件

以下では数値実験により路線バス型フライトの導入可能性を検討する。都市の規模を人口で表し図-3に示すような3都市からなる2種類の交通ネットワークを考える。都市間距離、都市人口は表1に示す。交通サービスの供給主体として航空企業と鉄道企業各1社を考える。鉄道企業は全都市直結型のネットワークによるサービスを提供しているものとし、各路線の運賃と運行頻度は一定値に固定されているものとする。航空企業はAB間とAC間に直行路線を有するサービスを行っているものとする。運賃と所要時間については航空・鉄道とも平成8年の実績データ³⁾から運賃・距離ならびに所要時間・距離の関係式を推計し、これを用いて表-1(1)のように算定した。各都市の世帯あたり所得と人口は表-1(2)に示す。

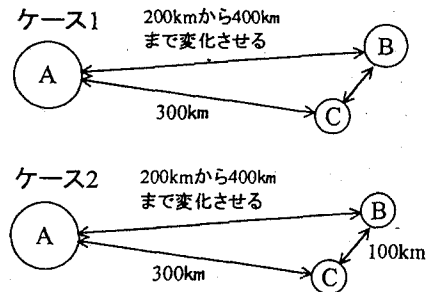


図-3 シミュレーションの航空路線の形態

表-1(1) 設定条件(1)

都市間距離	航空企業		鉄道企業	
	運賃	所要時間	運賃	所要時間
100km	6000	45	4000	50
200km	10000	53	7000	90
300km	14000	57	8500	140
400km	17500	63	12000	190

運賃(千円)、所要時間(分)

表-1(2) 設定条件(2)

都市	ケース(1)		ケース(2)	
	収入	人口	収入	人口
A	4000	600	4000	600
B	3000	400	3000	200
C	3000	200	3000	200

収入(円/日)、人口(万人)

(2) 分析結果

結果の一例を表-2、表-3に示す。これは都市間距離、都市人口の変化から見た路線バス型フライトの経路の変化を見たものである。

a) ケース(1)

図-3に示すネットワークにおいて、すべての路線に直行

便を運航して利潤最大化行動を取った場合、ネットワーク全体の航空利潤は都市A-B間の距離にかかわらず黒字となっている。しかしながら都市A-C間の路線はすべての場合において赤字路線となった。この場合、都市A-C間の路線の維持が困難であると判断できる。そこで路線バス型フライトに移行することによる都市A-C間の航空サービスの維持可能性を検討する。

まず経路A-B-Cについて検討する。路線バス型フライトの利潤は都市A-B間の距離にかかわらず直行路線のそれを上回っている。都市B-C間はすべて赤字となっているが、直行路線の場合に都市A-C間を廃止して運航を行うよりも路線バス型フライトに移行したほうが有益である場合があることが確認される。このことからケース1で経路A-B-Cを取った場合には都市A-B間の距離が300kmと400kmの場合では路線バス型フライトに移行した場合が有利であることがわかる。都市A-B間の距離が200kmの場合でも路線バス型フライトは成立するが採算性の面では直行路線の都市A-C間を廃止したほうがよいと考えられるだろう。

次に経路A-C-Bの場合を検討しよう。経路A-C-Bの場合は、直行路線よりも路線バス型フライトのほうが採算性の面でかなり有効であることがわかる。路線バス型フライトの導入によって赤字路線がなくなり航空利潤も大幅に増加することが確認された。経路2の場合では、都市A-B間の距離がいずれの場合においても直行路線を廃止するよりも路線バス型フライトの導入のほうが有効であることが考えられる。これらの結果から、路線バス型フライトの導入を積極的に検討すべきと結論づけられる。

路線バス型フライトでは中継都市となるのがその都市にとって有益であることから、経路の決定について検討を行う。本研究では、直行便の路線誘致を航空企業への運航補助という形で行うため、航空企業は航空利潤と運航補助額の総計で路線を決定する。ここでは都市Bの消費者余剰が経路A-B-Cの場合の方が大きいためすべて経路A-B-Cに決定されるという結果になった。都市規模の大きさが路線誘致に影響を与えているためと考えられる。

表-2 ケース(1)における路線バス型フライトの導入可能性

		(万円)		(万円)	(万円)
	路線	費目	A-B間 200km	A-B間 300km	A-B間 400km
直行路線	A-B	利潤	413.2	856	593.7
	A-C	利潤	-118	-184.8	-282.7
路線バス 型フライト 経路1	A-B-C	A-B間の利潤	384.6	933.8	923.4
		B-C間の利潤	-42.8	-99.9	-178.6
		合計利潤	341.8	833.9	744.8
		Bの消費者余剰	29573.1	34789.1	25925
		Cの消費者余剰	8610.9	10920.6	8610.8
路線バス 型フライト 経路2	A-C-B	A-C間の利潤	759.7	757	754.9
		C-B間の利潤	36.3	36.3	36.2
		合計利潤	795.9	793.3	791.1
		Bの消費者余剰	10872.4	10872.4	10872.3
		Cの消費者余剰	22879	22879	22879
補助を含む 利潤		経路1	19042.5	24750.6	15797.8
		経路2	15064	12751.7	15059.3
決定される路線			経路1	経路1	経路1

b) ケース(2)

このケースの場合は直行路線ではいずれの都市間距離の場合においても航空路線の維持は困難であると判断できる。また路線バス型フライトに移行しても各経路の利潤は赤字となり、路線バス型フライトの導入は難しいと考えられる。しかしながらこのケースでは、直行路線よりも路線バス型フライトのほうが赤字の額が低いことから、直行路線では成立しえなかった路線が路線バス型フライトに移行すると路線が成立する可能性が考えられる。この際、各都市間の路線誘致合戦の結果に都市間距離が比較的大きな影響を与えていることが見て取れる。

表-3 ケース(2)における路線バス型フライトの導入可能性

			(万円)	(万円)	(万円)
	路線	費目	A-B間 200km	A-B間 300km	A-B間 400km
直行路線	A-B	利潤	-124.9	-388.2	-582.2
	A-C	利潤	-354.8	-388.2	-483.4
路線バス 型フライト 経路1	A-B-C	A-B間の利潤	335.7	115.3	-182
		B-C間の利潤	-383.6	-466.3	-543.8
		合計利潤	-47.9	-351	-725.7
		Bの消費者余剰	15279.9	13920.1	9976
		Cの消費者余剰	4286.1	4286.1	3228.4
路線バス 型フライト 経路2	A-C-B	A-C間の利潤	116.3	115.3	114.5
		C-B間の利潤	-465.8	-466.3	-466.6
		合計利潤	-349.5	-351	-352.1
		Bの消費者余剰	4286.1	4286.1	4286.1
		Cの消費者余剰	13920.1	13920.1	13920.1
補助を含む 利潤	経路2	経路1	10945.9	9283	4964.2
		経路2	9284.5	9283	10339.6
	決定される路線		経路1	経路1,2	経路2

7. おわりに

本研究では、利用者と航空会社の均衡モデルを用いて路線バス型フライトの導入可能性を検討し、導入可能性を左右するいくつかの要因に関する知見を得た。路線バス型フライトの導入によって航空路線の経営採算性を高め、維持や誘致が困難な都市間に航空路線を引ける可能性が確認された。ここで得られた結果は単純化したモデルに基づく限定的なものであるため一般的な知見を得るためには更なる検討を要するが、十分な航空需要が見込み難い都市に路線を維持、開設する可能性を探るひとつの可能性を提供したのではないかと考える。

参考文献

- 1) 喜多秀行・坂田裕彦・吉村晋:地域航空旅客サービスの改善方策に関する一考察,土木計画学研究・論文集, No16,1999.(印刷中)
- 2) 国土庁計画調整局・運輸省運輸政策局:幹線旅客純流動表(統計編),pp109-118,大蔵省印刷局,1992
- 3) 日本交通公社:JT B時刻表(1996年5月),pp65-99,日本交通公社出版事務局,1996
- 4) 経済企画庁経済研究所:県民経済年報(平成9年),pp44-47,pp大蔵省印刷局,1997
- 5) 関西交通経済研究センター:地域旅客航空の導入の可能性に関する調査研究報告書,1987.
- 6) 経済企画庁:経済白書(平成7年版),pp56-57,大蔵省印刷局,1995
- 7) 日本航空株式会社経営企画調査グループ:航空統計要覧(1993-1994),pp219-246,日本航空協会,1990