

鉄道との競合の程度に注目した国内中・長距離旅客輸送市場のモデル化

Model analysis on Japanese domestic middle/long haul passenger transport market: do airline face serious competition with railway?

三船善和**, 竹林幹雄**, 三好礼子****, 柴田大輝**, 黒田勝彦****

By Yoshikazu MIFUNE **, Mikio TAKEBAYASHI **, Reiko MIYOSHI ****, Taiki SHIBATA **, Katsuhiko KURODA ****

1. はじめに

わが国の航空市場を考えると、鉄道との競合は非常に大きな要素として働いていることは明白である。しかし一方で、鉄道との競合はほとんど存在しないOD市場も存在する。

ネットワーク分析を基本とした国内中・長距離旅客輸送市場のモデル化を試みる場合、この異なる市場特性をどのように表現するか、が大きな問題となると考えられる。

そこで、本稿では竹林らによって提案された寡占市場モデルを、鉄道との競合の程度の違いによる「異なる競争」を表現できるように拡張することを試みる。

2. 市場分析とモデル化

(1) 市場分析

わが国の国内国内中・長距離旅客輸送市場は供給側の競争としては()明示的なモード間競争が存在しない、()明示的なモード間競争(具体的には鉄道と航空)が存在する、という2つの状態が考えられ、このため、ODペアごとに市場分析を行った結果、表1に示すような結果を得た。このことから国内市場は()()それぞれに分割して表現することが妥当であると考えられる。以下では、供給者の行動()()をそれぞれ定式化することとした。

2) モデル

本モデルで考慮する主体は3種類である。すなわち、利用者として旅客、供給者としてエアライン、競合交通機関の鉄道の3種類と仮定する。ただし、鉄道は航空との競合のみを考慮してダイヤ並びに運賃が構成されていないため、ここでは能動的に戦略を変更する主体としては取り扱わない。同様に、空港管理者に関しても行動はシナリオとして与えられるにとどめることとした。

*Keywords 国内中・長距離旅客輸送市場, 空港計画, 交通計画評価

**学生会員, 神戸大学大学院自然科学研究科

(〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1, TEL.078-803-6017)

***正員, 工博, 神戸大学工学部建設学科

****正員 工修 大阪市水道局

*****フェロー, 工博, 神戸大学工学部建設学科

表-1 市場分析結果(部分)

モード間競争が存在しない路線	路線	観測数	自由度修正済みR	パラメータ()内は値			
				(距離)	(供給座席数)	(供給座席数)	
詳細はゾーニング参照	32	0.92	0.600	-0.022			
			(16.52)		(-2.29)		
モード間競争が存在する路線	路線	観測数	自由度修正済みR	パラメータ()内は値			
				(鉄道運賃)	(切片)	(β_{air} (ダミー-航空運賃多様化))	(β_{air} (ダミー-JAL-JAS統合))
存在する路線	東京・東海道線 (大阪・岡山・広島・山口)	40	0.912	1.440 (18.146)	-4.036 (-2.920)	3.674 (8.018)	-2.463 (-3.521)
	大阪・東宮・東北線 岩手・福島・秋田・山形	40	0.99	0.819 (61.526)	3.686 (13.485)	2.91 (14.350)	-1.798 (-5.045)
	全路線	28	0.76	1.261 (45.16)			

(a) 航空会社

エアラインは既往の研究¹⁾と同様に、自己の利潤最大化を目的として行動するものと仮定する。また、2(1)に従い航空会社の行動はそれぞれで定式化が異なるものとした。

) 量的競争

同一モード内での競争が供給量によって決定されるものである。航空会社による同一モードにおける寡占市場である。本モデルでは Cournot の量的競争が行われていると考え、定式化を行った。決定変数はシート数であるが、静学的な分析にとどまるため、現在投入されている機材からの変更はないと仮定したため、実質的には便数が制御変数となる。

) 価格競争

競争価格を提示し、その価格に応じた生産量を供給するというものである。これは伝統的な競争市場モデルと類似の形式である。明示的な操作変数は価格となる。

以上について OD 市場ごとに有意性を検定し、有意な結果を得たものについて採用することとした。

(b) 旅客

旅客は自己の効用の最大化を目的として行動する。ただし、航空市場においては標準的に個人の効用にはランダム効用論が採用されている²⁾ため、本モデルもそれに準拠することとした。なお、ここではビジネス・観光という旅客の弁別はデータの制約から行っていない。

(c) 鉄道

鉄道の運賃、運航頻度は与件とし、輸送能力は無限大とした。運賃に関しては、現在の JR の料金制度に準ずることとしたため与件とした。現在の JR の料金制度に関しては、基本的には各駅ごとに営業キロで設定している。上限に関しても、

上限認可制で設定されている。また、JR規則では遠距離運賃の料金設定も採用しており、遠距離区間は運賃の料率が安く設定されている。しかし、結局は路線の運賃は距離のみで決定されており、市場によって決定される競争価格にはなっていないと考えられる。これを考慮し、運賃を与件とした。運航頻度に関しては、JRのダイヤ改正の現状を踏まえ与件とした。

(3) 定式化

各主体の行動の定式化を行う

【エアライン m 社の行動】

$$\max Z^m(f_i^m) = \sum_{i \in A} (p_i^{air} \cdot x_i^m - C_i^m \cdot x_i^m \cdot d_i - f_i^m \cdot AC_i^m) - \sum_i PC \cdot f_i^m - FC^m \quad (1)$$

sub.to

$$x_i^m \leq CA_i^m \cdot f_i^m \quad (2)$$

$$\sum_m \sum_{i \in A} \delta_i^l \cdot f_i^m \leq F_i \quad (3)$$

$$\sum_{i \in A} d_i \cdot x_i^m \leq V^m \quad (4)$$

$$x_i^m \geq \frac{f_i^m \cdot AC_i^m}{p_i - C_i^m \cdot d_i} \quad (5)$$

$$f_i^m \geq 0 \quad (6)$$

$$x_i^m = \arg\{\max(V_{rs}^k(f_i^m))\}$$

(7)

各代数の意味付けは表2の通りである。

式(1)はエアラインの目的関数である。(2)は各リンク間での供給座席数に関する制約であり、(3)は便数に関する制約であり、(4)はサービス容量に関する制約である。

表-2 航空会社の最適化問題で使用する代数一覧

p_i^{air}	リンク1の価格
A	航空リンクの集合
x_i^m	エアライン m のリンク1における旅客数
C_i^m	エアライン m の単位運行費用
d_i	リンク1の距離
AC_i^m	エアライン m のリンク1を運行する時の空港発着料金
PC^m	エアライン m の空港業務費用
δ_i^l	クロネッカーデルタ (エアライン m が空港を通るとき1, そうでないとき0)
FC^m	エアライン m の固定費用
CA_i^m	エアライン m のリンク1の機材容量
δ_i^l	クロネッカーデルタ (リンク1が空港を通るとき1, そうでないとき0)
F_i	空港 i の滑走路容量
V^m	エアライン m のサービス容量

(5)はモード間競争が存在する場合において、各リンク間でのエアラインの利潤の非負条件である。また、(6)は操作変数の非負条件である。(7)は旅客の行動が航空会社の行動により変化するという関係を記述したものである。

【旅客の行動】

$$x_{rs}^k = \frac{\exp(V_{rs}^k)}{\sum_k \exp(V_{rs}^k)} X_{rs} \quad (11)$$

sub.to

$$\sum_k x_{rs}^k = X_{rs} \quad (12)$$

$$\sum_{rs} \sum_k x_{rs}^k \cdot \delta_{rs}^{k,l} = x_l^m \quad (13)$$

$$V_{rs}^k = \theta_1 ACT_{rs}^k + \theta_2 IGT_{rs}^k + \theta_3 LT_{rs}^k + \theta_4 SC_{rs}^k + \theta_5 f_{rs}^k \quad (14)$$

$$SC_{rs}^k = ACC_{rs}^k + IGC_{rs}^k + p_{rs}^k \quad (15)$$

各代数の意味付けは表3の通りである。

表-3 航空会社の最適化問題で使用する代数一覧

V_{rs}^k	ODペア rs における経路 k の旅客の効用
x_{rs}^k	rs 間の k 番目の経路を通る旅客数
X_{rs}	rs 間のOD旅客数
ACT_{rs}^k	rs 間の k 経路のアクセス時間
IGT_{rs}^k	rs 間の k 経路のイグレス時間
LT_{rs}^k	rs 間の k 経路のラインホール時間
SC_{rs}^k	rs 間の k 経路の総旅行費用
f_{rs}^k	rs 間の k 経路の運航頻度
ACC_{rs}^k	rs 間の k 経路のアクセス費用
IGC_{rs}^k	rs 間の k 経路のイグレス費用
p_{rs}^k	rs 間の k 経路のラインホール費用
θ_i	各説明変数のパラメータ ($i=1, 2, 3, 4, 5$)

式(11)は旅客の経路選択確率により各経路の旅客配分を決定している。(12)はODの保存を表し、(13)はフローの保存を表す。(14)、(15)は効用の構成を表している。

(4) 最適性条件

本モデルの最適性はエアラインの投入便数 f_i^m によって保証される。その際得られる解については、初期便数に依存し、唯一性は保証できないが、初期実行可能解として現状の投入便数および供給座席数を与えることで最適解を求めるとする。また、初期実行可能解とは異なる値を初期実行可能解として複数回計算を行い、等しい解に収束することで解の安定性を保証することとする。

3. 国内航空旅客市場へのモデルの適用

本研究では関西3空港に着目し分析を行うが、エアラインは日本全国にネットワークを持っており、その配便行動は全

体の利潤最大化により行うとしている。このため、需要が高い首都圏は無視することができない。そこで、関西3空港に加え、羽田空港についても詳細に扱う。

(1) ゾーニング

モード間競争が存在しない路線については関西圏および、首都圏との空港間旅客数を参考に29空港とその背後圏として38都道府県を取り扱う。モード間競争が存在する路線については航空旅客と鉄道旅客の割合を考慮しゾーニングを行う。

(2) アルゴリズム

STEP1 各種データ及び数値計算に必要な初期値（供給座席数、便数、価格）を入力する。

STEP2 OD旅客をロジット配分により各経路に配分する。

STEP3 配便リンク数の多いエアラインから配便する。

STEP4 エアラインごとに旅客の多いリンクから供給座席数と便数を決定する。詳細は図43に示す。

STEP5 それぞれの機材のサービス容量を越えていないか？（YES STEP7へ、NO STEP6へ）

STEP6 サービス容量に収まるように等しい割合で供給座席数を縮小する。

STEP7 全てのエアラインが配便行動を終了したか？（YES STEP9へ、NO STEP8へ）

STEP8 配便行動を行うエアラインを変更する。

STEP9 エアラインの便数が各空港容量以下に収まっているか？（YES STEP11へ、NO STEP10へ）

STEP10 空港容量を上回った便数を、他の空港および交通機関に再配分する。

STEP11 全てのエアラインの便数が収束したか？（YES 計算終了へ、NO STEP2へ）

4. 数値計算

(1) 現状再現

まず構築したモデルを用いて現状の再現性を確かめる。ここでは旅客流動を用いて再現性を検討する。現状のリンク間交通量は航空輸送統計の国内定期航空空港間旅客流動表を参考に2000年の実測値と比較している。

ここで、モード間競争の有無による競争の構造的差異を価格関数で表現することとする。以下に検定に使用した価格関数を示す。

① 量的競争

$$p_i^{air} = (d_i) \left(\sum_m y_i^m \right) \quad (8)$$

これは、モード間競争があったとしても同質なサービスを提供するエアライン同士はCournotの量的競争に従って価格を決定する、と言うものである。ここで、 $\alpha > 0$, $\beta < 0$; パラメータ, y_i^m ; エアライン m のリンク i における供給座席数とする。また, α, β は表1で用いた値を採用した。ただし,

$$y_i^m = CA_i^m \cdot f_i^m \quad (9)$$

式(8)では航空運賃の価格関数はリンク間距離と参入している全てのエアラインの合計供給座席数で決定されるものとした。(9)は供給座席数が機材容量と便数により決定されているということを表す。

() 価格競争

$$p^{air} = \alpha p^{rail} \quad (10)$$

これは price leader の提示した価格に対応して価格を決定する、という意味で Bertrand 型競争と考えてよい。この価格関数を仮定した場合、注意する点があるがこれに関しては後述する。 $\alpha > 0$, β は表1で用いた値を採用し、推定を行った。

式(10)は航空価格は price leader である鉄道価格に依存し決定されていることを表す。また鉄道価格は距離のみで決定されることとして推定を行った。

結果として、鉄道との競争がほとんどない場合、①の量的競争が有意と判定された。ただし、本研究では統計分析で実勢価格ではなく正規運賃を説明変数とし手いることに注意が必要である。一方、鉄道との競争が行われている OD 市場では②の Bertrand 型の競争が有意と判定された。しかし、②に関しては、競争の程度の判断に曖昧性を残しており、今後検討する必要がある。本稿では、以後、この定式化に従って分析を行うこととした。ただし、Bertrand 型を仮定する場合、価格享受者(price taker)として主体が行動する場合は、限界費用まで切り下げる企業が市場に生き残ることになる。しかし、本研究では実証レベルでの分析を行うため、互いにコスト構造が非対称な場合でも現実に複数社が存在しうる場合を考慮し、参入した全ての企業がゼロ以上の利潤で行動できる範囲に競争を緩和する、という仮定をおきモデル化した。

推計結果を図1、図2に示す。評価対象は、使用路線全路線である。その結果モード間競争を行わない路線に関して、旅客数において自由度修正済み $R^2 = 0.975$ となった。全体的な乖離の原因としては、機材を1種類としていること、また旅客の属性を1種類としていることが考えられる。また、伊

丹 - 仙台が過小評価された原因としては、この路線では CRJ-100 等座席数が 50 席の機材も投入されており、本モデルの機材の仮定とは着陸料が大幅に異なるため、過小評価されたものと考えられる。モード間競争を行う路線に関しては旅客数において自由度修正済み $R^2=0.897$ となった。全体的な乖離の原因としては、モード間競争を行わない路線と同様のことが考えられる。伊丹 - 羽田、関空 - 羽田、伊丹 - 福岡では鉄道が過小評価される結果となった。本モデルでは、鉄道のサービスレベルに関しては、与件としており、エアラインが高頻度輸送を行うことにより密度の経済性が働き鉄道より旅客を奪ったものと考えられる。また、同時に鉄道の輸送力を考慮に入れておらず、鉄道の規模の経済性が働かなかったものと考えられる。一方羽田 - 福岡では鉄道が過大評価される結果となった。この結果もエアラインのサービスレベルを考慮していないことに起因すると考えられる。鉄道の評価の違いは距離帯によるものではないかと考える。これらの路線は需要も多く、この乖離は今後の分析に大きく影響するものと考え、以上 4 路線に関しては、ロジット配分の際に鉄道ダミーを用いることとした。

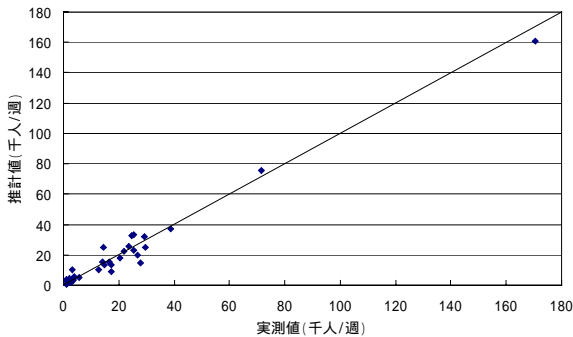


図-1 モード間競争を行わない路線

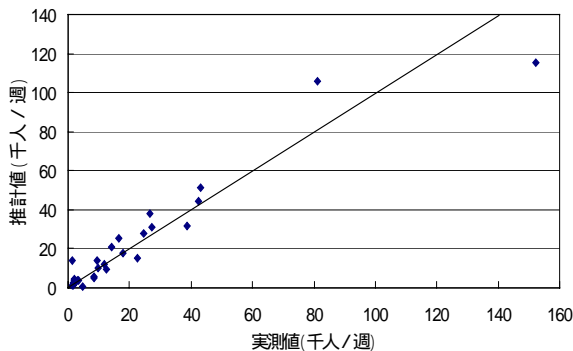
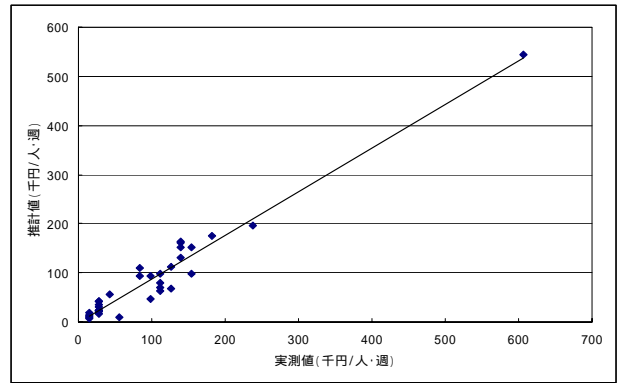


図-2 モード間競争を行う路線

(2) ダミーを用いた推計結果

自由度修正済み $R^2=0.957$ となり改善される結果となった。推計結果を図-3 に示す。羽田 - 福岡に関しては、これ以上再



現図3 ダミーを用いたモード間競争を行う路線性が改善される見込みはなかった。これは、鉄道と競合していない路線と同様、都道府県間のアクセス移動を考慮していないためと考えられる。鉄道と競合していない路線および競合している路線ともに再現性は良好であると考えられる。よって、本研究で構築したモデルおよびアルゴリズムは妥当であると、以下分析を進める。

(3) シナリオ分析

本モデルを用いて、各種政策評価を行った。具体的には関西3空港となった場合の旅客行動ならびにエアラインのネットワークデザインへの影響を計測した。詳細は紙面の都合上講演時に発表する。

参考文献

- 1) 竹林幹雄, 黒田勝彦, 三好礼子, 吉永保子; カポタージュ規制緩和が航空旅客流動に与える影響分析, 土木計画学研究・論文集, No20, 2003
- 2) Kanafani, A. and Ghobrial, A.; Airline hubbing: some implications for airport economics, Transportation Research, A, 19, No.1, 15 - 27, 1985