

航空ネットワークの形成に及ぼすエアポートセールスの効果に関するモデル分析*

Airport Sales and its Influence on the Formation of Local Aviation Network: A Model Analysis*

喜多秀行**・坂田裕彦***・谷本圭志****

By Hideyuki KITA**, Hirohiko SAKATA*** and Keishi TANIMOTO****

1. はじめに

航空規制緩和の進展と競争の激化を受け、自治体はより利便性の高い航空旅客サービスを実現するために、航空路線の誘致行動を活発に展開している。

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と、当該路線の需要変化だけでなく、その路線を経由する全てのOD間の需要に変化が生じるといった外部性が働くため、航空路線の誘致行動は、自己の行動が他の自治体の行動に影響を及ぼし、同様に他の自治体の行動が自己の行動に影響を及ぼすような相互依存の関係にある。そのため、同じ行動をとっても他の自治体の行動によって実現するサービス水準に違いが生じる。各自治体は互いにこれを考慮した上で自己の航空旅客サービスの最大化を図る。

最適なネットワークの形成行動はそれまでの行道結果に依存するため、短期的に高い航空旅客サービス水準を実現する行動が、長期的にも高いサービス水準をもたらすとは限らない。そのため、効果的な路線誘致を実現するためには、長期的なネットワークの形成過程を評価する必要がある。しかしながら、それを評価する方法論は著者の知る限りにおいては必ずしも十分ではない。

そこで本研究では、自治体の路線誘致行動におけるネットワーク形成過程を n 人非協力ゲームの

繰り返しと見なして分析し、効果的な路線誘致行動を見出すためのひとつの方法論を提案する。

なお、自治体の路線誘致行動は経路と便数を意味し、それによって航空企業の利潤が減少する場合には一定の範囲内で補助を行うことを想定して自地域の航空旅客サービス水準の向上を検討する。

2. 分析モデル

(1) モデル化の考え方

ほとんどの地方空港では、空港そのものの整備はしかるべき水準までなされていても保有する航空路線が十分でなく、機能を十全には発揮し得ていない状態にある。地方空港を運営・管理する主体は一般に地方自治体であり、これらの自治体は航空旅客サービスによりもたらされる地域の発展と厚生水準の増大を願っている。しかし、羽田をはじめとする主要空港の容量不足もあって、地方空港を抱える自治体の増便や新規路線への取り組みは誘致合戦の様相を呈している。

このような状況を踏まえ、本研究では自治体間で増便や路線誘致に関してゲーム状態にあるとらえる。そして、自治体が展開する誘致行動を踏まえて航空ネットワークが形成されていくと考え、一連の状態の推移を繰り返し n 人非協力ゲームとしてモデル化する。また、主要空港の容量制約の影響を検討するため、容量制約が顕在化している主要空港とまだまだ余裕のある地方空港の行動規範の差異を明示的に取り扱う。

各自治体の利得は空港のサービス圏に居住する利用者の消費者余剰の増分と路線誘致にかかる費用の差とする。消費者余剰は利用者と航空企業の行動を記述したネットワーク均衡モデル^{1) 2)}により導出する。このモデルでは航空と鉄道の競合を考慮し

*キーワード：空港計画、空港管理、整備効果計測法

**正会員、工博、鳥取大学工学部社会開発システム工学科
(鳥取市湖山町南4-101, TEL0857-31-5309, FAX0857-31-0882)

***正会員、工修、㈱オリエンタルコンサルタンツ九州支社
(福岡市博多区博多駅前3-10-24, TEL092-411-6209, FAX092-411-3086)

****正会員、工博、鳥取大学工学部社会開発システム工学科
(鳥取市湖山町南4-101, TEL0857-31-5310, FAX0857-31-0882)

ているが、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の運賃と運航頻度は所与としている。図-1に示すように、現象再現性は比較的良好であることが確認されている。なお、本研究では航空企業1社、鉄道企業1社とする。

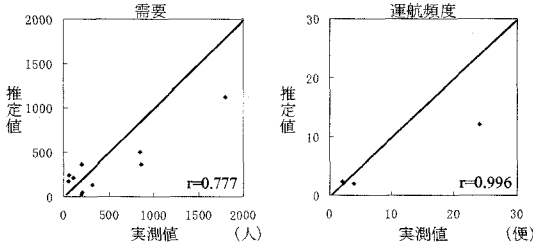


図-1 モデルの現象再現性

(2) プレイヤーと戦略の定義

地方空港を所有する自治体をプレイヤー $I = \{1, \dots, i, \dots, j, \dots, I\}$ 、その戦略の集合を $G = \{g_1, \dots, g_i, \dots, g_j, \dots, g_I\}$ 、自治体 $i \in I$ の戦略集合を $g_i = \{g_{i1}, \dots, g_j, \dots, g_{iI}, g_{ih}\}$ とする。ただし、添字 h は自発的には路線誘致行動をとらない主要空港を示す。自治体 i の自治体 j に対する戦略集合 g_{ij} は、誘致する往復便数を x とすると、 $g_{ij} = \{2x\}$ となる。航空企業の保有機材は有限であり、短期における戦略には以下のような制約があると考える。

$$\sum_{j=1, j \neq i}^{n-1} g_{ij} = R \quad (1)$$

$$g_{ij} \in g_i \text{ かつ } g_{ij} \geq 0$$

R は運航頻度の増分の上限である。ただし、減便は路線の運航頻度が0になるまで可能である。

(3) 運航頻度と運航補助

自己や他の自治体の路線誘致行動により路線 i, j 間における航空企業の生産者余剰が負の場合、自治体の負担する路線 i, j 間の運航補助金 PS_{ij} は、

$$PS_{ij} = -(P_{ij} \cdot X_{ij} - C_{ij}) \quad (2)$$

正の場合は $PS_{ij} = 0$ となる。 P_{ij} は路線 i, j 間の航空運賃を、 X_{ij} は路線 i, j 間を発着都市とする需要を、 C_{ij} は路線 i, j 間における便数に関する可変費用を表す。

2つの自治体と同じ経路を誘致する場合、運航補助金を配分する必要がある。配分の割合は要求する運航頻度により決定される。ここに、自治体 i が

希望する運航頻度を f_i 、自治体 j が希望する運航頻度を f_j とする。いま、 $f_i > f_j$ とすると、実現する運航頻度は f_i で、自治体 i, j は路線誘致に伴う費用 c_i, c_j を次式のように負担するものとする。

$$c_i = PS_{ij}^n \times \frac{\max[f_i, f_j] - \frac{1}{2} \min[f_i, f_j]}{\max[f_i, f_j]} \quad (3)$$

$$c_j = PS_{ij}^n \times \frac{\frac{1}{2} \min[f_i, f_j]}{\max[f_i, f_j]} \quad (4)$$

(4) 利得

各空港のサービス圏に居住する利用者の消費者余剰 CS_i はネットワーク上の空港の集合を $K = \{I, h\}$ とすると

$$CS_i = \sum_{j \in K} \xi_{ij} \cdot \int_{p_{ij}}^{\infty} X_{ij} \cdot dp_{ij} \quad (5)$$

ただし、 p_{ij} は路線 i, j 間を利用した場合の一般化費用であり、その内訳は航空運賃、所要時間、航空旅客サービスを受ける旅客の平均待ち時間である。

ξ_{ij} は路線 i, j 間が到達可能であるか否かを表すダミー変数である。

$$\xi_{ij} = \begin{cases} 1: \text{到達可能である} \\ 0: \text{到達可能でない} \end{cases} \quad (6)$$

これより自治体 i の利得 Π_i は次式となる。

$$\Pi_i = CS_i - c_i \quad (7)$$

(5) 自治体の路線誘致行動

自治体の路線誘致行動は相互依存性を考慮しナッシュ均衡に従うとする。自治体は誘致行動の繰り返しによって得られる各期の利得の和を最大化するように路線誘致行動を行う(繰り返しゲームの概念に従う)。割引因子 δ により航空輸送サービスを取り巻く環境の変化や予測の不確実性等を考慮する。自治体は各期ごとに近視眼的に行動するが、本研究で提言する誘致方策の分析方法を有する自治体(単純化のため、ここでは1つ)のみ n 期先まで予見して行動できるものとする。複数均衡が生じる場合、予見可能な自治体は長期的な利得最大化を達成するため、長期的利得最大をもたらす経路上の均衡解と他の均衡解がもたらす利得の差額を他の自治体に支

払うことにより、均衡解を選択することが出来るものとする。利得の総和 Π_t は

$$\Pi_t = \sum_{i=1}^n \Pi_i^t \delta^{t-1} - Q \tag{8}$$

ただし Q は (9) 式に示す均衡解誘導費用の総和、

$$Q = \sum_{i=1}^n \varsigma^t \cdot q_i^t \cdot \delta^{t-1} \tag{9}$$

であり、 ς^t は以下に示すダミー変数である。

$$\varsigma^t = \begin{cases} 1 & : t \text{ 期目に複数均衡解がある} \\ 0 & : t \text{ 期目に複数均衡解がない} \end{cases} \tag{10}$$

であり、 q_i^t は t 期目のゲームに自治体 i が他の自治体の誘導にかかる費用を示す。

$$q_i^t = \sum_{j \in L, i \neq j} \{ \max[\pi_j^t] - \pi_i^t \} \tag{11}$$

ただし、 $\max[\pi_j^t]$ は t 期目のゲームで複数存在する均衡解の中で自治体 j の均衡利得の最大値を、 π_i^t は自治体 i が実現したいと考える均衡解における自治体 j の均衡利得を示す。

なお、本研究では純粋戦略の範囲での均衡解のみを取り扱う。

3. シミュレーション分析

(1) 制約条件

以下ではシミュレーション分析により航空ネットワークの形成過程を分析し、予見により自治体にとって、誘致行動がどのように効果的となるのかを検討する。路線誘致行動ゲーム1期を1年間とし、各自治体の路線誘致行動が均衡状態に至るまで繰り返す。分析対象ネットワークは4空港からなり、空港1は羽田のような主要空港、空港2～4は地方空港とする。なお以下では、各期における運航頻度の増加分の最大値は6便とし、空港1は容量制約のため、4年に1度しか路線の見直しができないものとする。

(2) 事例 1

想定するネットワークを図-1に、自治体が路線誘致行動を行う前の状態（航空企業の利潤最大化行動によって運航される路線）における路線と便数ならびに各空港のサービス圏に居住する人口を図-2に示す。なお、長期にわたる予見を行うことができる空港は空港4であり、他の3つの空港は近視眼的

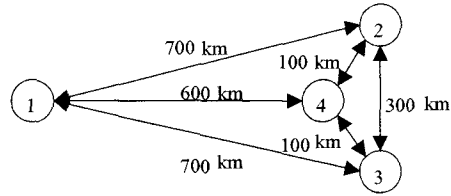


図-1 事例1における想定ネットワークの形状

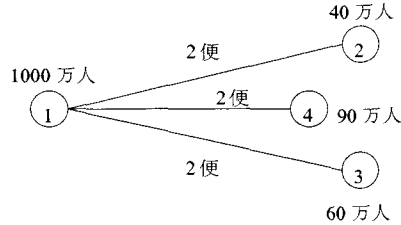


図-2 事例1における誘致行動前の路線便数

に行動する。

シミュレーション分析結果の一部を図-3に示す。このケースでは、2期目の路線誘致行動において複数均衡が生起する。2期目において短期的には形成過程1をとるほうが利得は高い。しかしながら、誘致行動を繰り返した結果、長期的には形成過程2を選択するほうが利得が高いことがわかる。

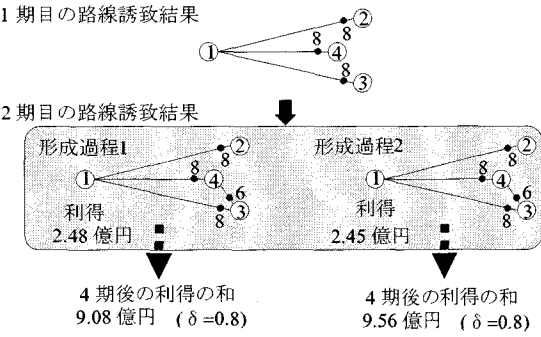


図-3 事例1におけるネットワークの形成過程

(3) 事例 2

本事例では、主要空港の容量不足が地方空港の路線誘致行動にどのような影響を与えるのかを分析する。中心に主要空港があり、その周りを地方空港が取り囲むようなネットワークを想定する（図-4）。自治体が路線誘致行動を行う前の、航空企業の利潤最大化行動による路線と便数、ならびに各空港のサ

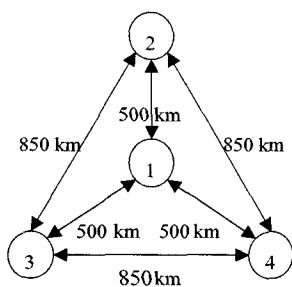


図-4 事例2における想定ネットワークの形状

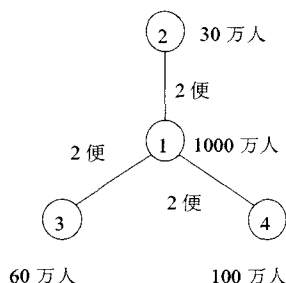


図-5 事例2における路線誘致行動前の路線便数

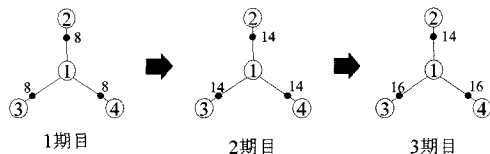
ービス圏域の人口は、図-5に示すようである。

図-6に、ネットワークの形成過程を示す。分析の結果、誘致行動のどの期においても複数均衡は発生しなかった。主要空港の容量に制限を設け場合には、3期間でネットワークに変化が見られなかったが、主要空港の容量に制限を設けた場合、空港1との路線誘致ができない期には地方空港間での路線誘致行動は行われず、航空路線の形状・便数には変化が見られなかった。そして、空港1への路線誘致行動が可能となる期のみネットワークに変化があった。最終的にはネットワークの形状は同じ形になったが、主要空港の容量に制限がある場合は、制限のない場合よりも3倍の期間を費やす結果となった。これにより、主要空港の容量不足は、積極的な路線誘致行動を行う自治体にとって大きな障害であることが分かる。

4. おわりに

本研究では、利用者と航空企業の需要供給均衡モデルを組み込んだ繰り返しn人非協力ゲームを用い

空港容量に制限がない場合



空港容量に制限がある場合

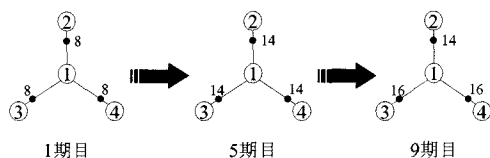


図-6 事例2におけるネットワークの形成過程

て地方自治体の路線誘致行動の分析を行った。多くの単純化を含んだ限定的な分析ではあるが、検討した範囲内では以下のような知見が得られた。

①長期的なネットワーク形成過程の的確な予測と評価に基づく戦略的な路線選択行動が、地方空港が多数の路線を保有し充実した航空旅客サービスを提供するために有効である。②近視眼的な状況判断は長期的に最適なネットワーク形成経路に戻れなくなる状況に陥る可能性がある。③主要空港の容量不足は、ネットワークの形成基幹を長期化させ、サービス水準向上の支障となるため、容量拡大を図ることは地方空港活性化の観点からも望ましい。④将来を予見する場合に重要な役割を果たす複数均衡下の均衡解選択とそれへの誘導は、長期的な観点に立った空港連携の必要性を示唆するものと考えられる。

なお、本研究を進めるにあたり東北大学大学院情報科学研究科の福山敬助教授との議論が有益であった。記して謝意を表す次第である。

参考文献

- 1) 喜多秀行・坂田裕彦・吉村晋：運航補助による地域航空旅客サービスの改善可能性に関するモデル分析，土木計画学研究・論文集，No. 16，pp. 195-200，1999。
- 2) 喜多秀行・坂田裕彦・谷本圭志：路線バス型フライトの導入による航空路線の維持・開設可能性に関する分析，土木計画学研究・論文集，No. 17，pp. 67-74，2000。