

頻度の経済性と航空ネットワーク構造*

Economy of Frequency and Airline Network Structure*

エミネ・イエティシクル**・松島格也***・小林潔司****

by Emine YETISKUL**・Kakuya MATSUSHIMA***・Kiyoshi KOBAYASHI****

1. はじめに

航空サービス市場の規制緩和の結果、北米を中心としてハブ・スポーク型ネットワーク（以下、HSネットワークと表す）が形成された。しかし、近年Southwest航空、Ryan航空に代表されるように、多頻度・低運賃の直行フライトによるポイント・ツウ・ポイント型ネットワーク（以下、PPネットワークと表す）を提供する新規航空企業の市場参入が進展しつつある。国際的な航空ネットワーク全体としてみれば、HSネットワークが依然として主流であるが、北米や欧州における地域内航空市場では、HSネットワークの一部がPPネットワークに進化するというデハブ（de-hub）現象が見出せる。

従来より、HSネットワーク企業（HS企業と略す）のネットワーク形成行動に関して、多くの理論的・実証的研究が蓄積されている。航空企業がHSネットワークを選択することにより、大型の機材を投入することが可能となり、結果的に顧客1人当たりの輸送費用が低下するという密度の経済性が働くことになる。さらに、ハブ空港を経由することにより、数多くの都市間のフライトを提供できるというネットワークの経済性が発生する。一方、ハブ空港における混雑や、機材や人員の運用が複雑になるという取引費用が発生する。その結果、使用する機材を標準化し、運行スケジュールを簡略化することにより低運賃の航空サービスを提供するPPネットワーク企業（PP企業と呼ぶ）が出現するようになった。このようなデハブ現象に関して、2.(1)で言及するように、理論的、実証的な分析が試みられるようになった。その中で、PP企業の費用構造上の優位性を分析し、これらの企業が低運賃のフライトを提供するメカニズムについて分析した実証研究は数多い、しかし、航空企業が多頻度・低運賃フライトを提供するメカニズムについては、必ずしも明らかにされていない。

航空市場には、固定費用の存在、密度の経済性、頻度の経済性等の多様な規模の経済性が存在することが指摘

されている。その中で、本研究では、航空企業がフライト数を増加させることにより、限界利潤が増加するという頻度の経済性に着目する。頻度の経済性に関しては、これまで定性的な議論はあるものの、そのメカニズムに関しては必ずしも明確に分析されてこなかった。本研究では、2.(2)で議論するように、顧客が往復のトリップを形成することにより発生する市場厚の外部性により、頻度の経済性が発生するメカニズムに着目する。その上で、頻度の経済性がPP企業、HS企業の収益性や運賃、フライト数の決定行動に及ぼす影響を分析する。

PP企業が、多頻度、低運賃フライトを提供するメカニズムに関しては、市場参入条件や市場競争、機材・人材等の運用計画、費用構造等、多側面からの分析が必要であり、これらの要因を総合的に検討するためには、大規模な市場競争モデルを開発することが必要である。しかし、本研究は、頻度の経済性とPP企業、HS企業の利潤構造の関係を分析することを目的としており、必ずしも大規模な市場均衡モデルが必要となるわけではない。むしろ、本研究では、PP企業、HS企業の費用構造を特徴づける可変費用、固定費用を外生パラメータとして位置づけ、PP企業が相対的に有利となるような費用パラメータの範囲を分析する。さらに、頻度の経済性や市場環境が、PP企業が相対的優位となるような費用パラメータの範囲に及ぼす影響を分析することとする。以下、2.では、本研究の基本的な考え方を説明する。3.では、PPネットワークを、4.では、HSネットワークをとりあげ、市場均衡を分析する。5.では、頻度の経済性が航空企業の利潤やフライト頻度に及ぼす影響を分析する。

2. 本研究の基本的な考え方

(1) 従来の研究概要

近年、航空ネットワーク構造に関する理論的・実証的な研究が蓄積されている。本研究が対象とする理論的研究に絞っても、HSネットワーク形成に関する研究が蓄積されているが、その多くは密度の経済性に着目した価格競争に焦点をあてたものである^{1)~7)}。その中で、Hendricks等は、大型機材を投入することにより顧客1人当たりのフライト費用が縮減できるという密度の経済性と、路線を維持するための固定費用が存在する場合、航空企業の

*キーワード：航空ネットワーク、頻度の経済性、独占市場
**学生員 博(工) 京都大学大学院 工学研究科都市社会工学専攻 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL 075-753-5073)
***正員 博(工) 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL 075-753-5073)
****フェロー会員 工博 京都大学経営管理大学院経営管理講座 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL 075-753-5071)

利潤最大化行動により、固定費用が十分大きい場合にHSネットワークが形成されることを理論的に証明した。HSネットワークでは、ハブ空港における連結性を確保することにより、少ない路線の組み合わせにより、より多くの都市間フライトを確保できる。これにより、ネットワーク全体を維持するための固定費用を削減できるというネットワークの経済性が現れる。このような理論的研究に対して、Southwest航空、Ryan航空に代表されるように、多頻度・低運賃の直行フライトによるPPネットワークを運営する新規航空企業の市場参入に関する実証的研究⁸⁾⁻¹⁴⁾も蓄積されている。これらの研究では、PPネットワークの経営的優位性として、ハブ空港における混雑、運行・機材管理費用の低減化、多頻度運行による頻度の経済性等を指摘している。しかし、著者等の知るかぎり、PPネットワークの優位性に関して、理論的に分析した事例は多くない。PPネットワークの優位性を分析するためには、フライト頻度を明示的に考慮することが必要となる。このような観点から、フライトの運行頻度とネットワーク形態の効率性との関係を分析した研究事例¹⁵⁾⁻¹⁷⁾が存在する。中でも、Brueckner¹⁷⁾は独占市場におけるネットワークタイプと運行頻度との関係を分析し、HSネットワークの方が最適運行頻度が多くなることを示している。しかし、そこでは片道のトリップを対象としており、頻度の増加をもたらす規模の経済性は存在しない。次節で述べるように、顧客が往復トリップを実施する場合、往路と復路の双方のトリップが同時に成立可能となることが必要であるという相互補完関係が存在する。すでに、松島等は、複数トリップ間に相互補完関係が存在する場合、交通市場において市場厚の外部性¹⁸⁾⁻¹⁹⁾が機能することを理論的に分析している。筆者等も、市場厚の経済性が独占航空企業の利潤に及ぼす影響を分析している²⁰⁾。しかし、顧客のトリップ形成行動に市場厚の外部性が存在することを与件としており、フライト頻度の増加によりフライト需要が増加するという頻度の経済性が生じるメカニズムを分析できないという限界があった。本研究は筆者等の独占市場モデル²⁰⁾の枠組みを踏襲するが、その際、顧客のフライトとその前後の活動との時間調整の可能性が、航空サービス需要における市場厚の外部性の原因となることを明示的にモデル化する。その上で、顧客の時間調整可能性が原因となる市場厚の外部性が存在するような状況の下で、頻度の経済性がPP企業、HS企業の利潤やフライト頻度に及ぼす影響に関して分析する。

(2) 航空市場における頻度の経済性

従来より、HSネットワーク形成に影響を及ぼす規模の経済性として、1) 密度の経済性、2) ネットワークの経済性が指摘されてきた³⁾。密度の経済性は大型機材を投入することにより、客1人当たりの輸送費用が低減す

る効果を意味する。HSネットワークでは、輸送需要を特定の路線に集約し、大型機材を投入することにより、輸送費用を低減することが可能となる。HSネットワークの形成により都市間を連結する路線数が減少する。このため、都市間の連結性を維持するための固定費用が減少するというネットワークの経済性が働く。しかし、特定のハブ空港に航空機が集中し、混雑費用が増加する。混雑費用が極めて大きくなれば、HSネットワークの優位性が損なわれる。一方、近年、空港間を直行便で直接連結するようなPPネットワークが発展しつつある。PPネットワークは、密度の経済性や都市間連結のための固定費用の点においてHSネットワークに劣るが、HSネットワークのような極端な空港混雑は発生しない。このようなPP企業の特徴として多頻度フライトを低運賃で、かつ必要最小限に絞ったサービスを提供する点があげられる。

筆者等の知る限り、航空市場における頻度の経済性に関しては研究が蓄積されていない。Kitamura *et al.*²¹⁾は、バス市場を対象として、待ち時間により頻度の経済性が出現するメカニズムを分析している。しかし、待ち時間の減少が、顧客数の持続的な増加をもたらすという規模の経済性が出現するためには、顧客数が常にバス容量に到達しているという特殊な仮定が必要となる。本研究では、顧客が往路と復路の双方で航空サービスを利用する場合、自然に市場厚の外部性という規模の経済性が出現することに着目する。いま、仮に直行フライトが深夜に利用可能になったとしよう。この場合、往路フライトを利用するすべての顧客にとって深夜便が利用可能になる。深夜便が利用可能になることにより、それまでは目的地で1泊滞在する必要があった顧客が日帰りのトリップを行える可能性が生まれる。このように往路(復路)のフライトの利用可能性の増加が、復路(往路)におけるフライトの利用可能性の増加をもたらす結果として当該路線全体の顧客数が増加する。本研究では、往路と復路におけるフライト選択の間に存在する相互補完性の結果として生じる金銭的外部不経済を市場厚の外部性と呼ぶ。市場厚の外部性に伴う規模の経済性が十分に働く場合、フライト頻度を増加させることによりフライト需要が増加するという頻度の経済性が出現する。なお、厳密に言えば、頻度の経済性も、市場厚の外部性の結果として生じる規模の経済性である。しかし、本研究では、議論の混乱を避けるために、顧客サイドにおいて、往路と復路の利用可能性の増加が互いに相乗的に働き、顧客のトリップ需要の増加につながる現象を市場厚の外部性と限定的に呼ぶ。一方、航空企業が顧客サイドに働く市場厚の外部性を利用し、フライト頻度を増加させることにより、より多くの顧客を獲得できる効果を頻度の経済性と呼ぶ。しかし、頻度の経済性が十分に機能するためには、単位フライトを運行するための固定費用を削減する

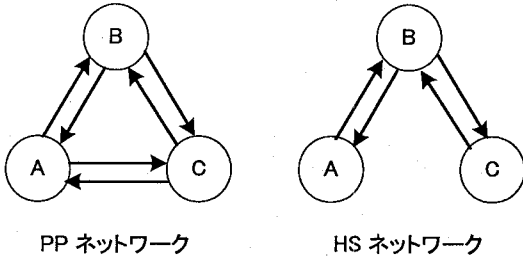


図-1 PPネットワークとHSネットワーク

ことにより、高密度なフライトスケジュールを確保することが必要となる。本研究では、フライト選択における相互補完性に起因する市場厚の外部性に着目し、市場厚の外部性がPP企業、HS企業の利潤やフライト頻度に及ぼす影響について考察する。

3. PPネットワークと市場均衡

(1) 前提条件

本研究では3つの都市で構成される航空ネットワークを考える。政府の航空規制により、独占企業により航空サービスが提供されている。市場新規参入は規制されている。図-1に示すように、3つの都市が互いに直行便によって連結されている航空ネットワークをPPネットワークと呼ぶ。また、図-1には、HSネットワークも例示している。HSネットワークに関しては、4.で改めてとりあげる。ここで、3つの都市で構成されるPPネットワークが対称的であると仮定しよう。すなわち、3つの都市には同数の顧客が居住しており、3つの都市間の直行便によるフライト所要時間はすべて等しい。一般性を損なうことなく、3つの都市間を移動する航空トリップのうち、都市Aに居住し、目的地である都市Cへ往復移動する顧客に着目しよう。同様の議論が、都市Bに居住し都市Aとの間を往復する顧客、さらには都市B-C間、都市A-C間を移動する顧客にも成立する。いま、都市Aから都市Cに移動する顧客が、都市Cにおいて活動を開始する時刻を図-2に示すような円環上の点で表現しよう。過去から将来にわたる時間軸上の各点は同図に示すような角度 $\theta \in (-\infty, \infty)$ を用いて定義される。いま、都市Cで時刻 $\theta \in [0, 2\pi)$ に活動を開始する潜在的顧客に着目しよう。潜在的顧客数は M であり、活動開始時刻は区間 $[0, 2\pi)$ 上で一様に分布していると仮定する。さらに、都市Cで活動を開始した顧客は一定時間にわたり都市Cに滞在したのちに都市Aに戻ることになる。つぎに、顧客の活動終了時刻 θ' は、同じく図-2に示すような円環上の区間 $[2\pi, 4\pi)$ 上で一様分布すると仮定する。さらに、顧客の都市Cへのトリップ効用 w に関しても異質性が存在

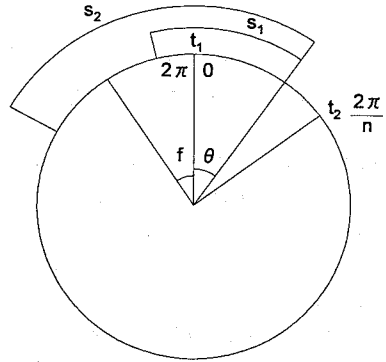


図-2 円環モデル
活動開始時刻 θ の顧客は時刻 $t_1 = 0$ に目的地に到着するフライトを利用する。フライト時間は f である。余裕時間が s_2 の場合、往路のトリップを生成することが可能である。しかし、余裕時間が s_1 の場合、目的地へのトリップを取りやめる。

し、トリップ効用は1次元座標の区間 $[0, \hat{w}]$ 上で一様分布に従うと仮定する。トリップ効用に異質性が存在するため、航空企業の運賃政策がトリップ需要に影響を及ぼす。顧客は都市Cを訪問するトリップの前後に、都市Aにおいて別の活動の予定が入っている。都市Cへのトリップ前の活動の終了時刻と、トリップ終了後に次の活動の開始時刻がすでに決定されていると考える。いずれの顧客も前の活動の終了時刻以前の往路トリップにおける出発と、次の活動の開始時刻より遅い帰宅は不可能である。事前の活動の終了より早い時刻に出発する必要がある場合や、次の活動より遅い時間に帰宅する場合には、トリップそのものを取りやめる。一方、航空企業も過去から将来にわたる時間軸上でフライトを運行している。フライト需要が円環上に一様に分布しているため、航空企業は円環上に等間隔に刻まれた各時刻にフライトを運行すると考える。いま、航空企業は円環座標 $[0, 2\pi)$ の区間内に n 本のフライトを等時間間隔で運行している。さらに、都市Aから都市Cへのタイムテーブルと、都市Cから都市Aへのタイムテーブルが互に対称的であると考えた。したがって、区間 $[2\pi, 4\pi)$ も含めた分析対象区間 $[0, 4\pi)$ 全体において、合計 $4n$ 本のフライトが都市A-C間で運行されていることになる。また、フライト時間 f ($2\pi > f > 0$)は、都市間ですべて同一であると考えた。各空港における混雑現象はとりあげない。

(2) 顧客行動のモデル化

顧客の往路における出発行動に着目しよう。顧客は目的地における活動開始時刻 θ までに都市Cに到着するように都市Aを出発する必要がある。顧客は過去から将来にわたる時間軸上に活動が継続的に配置される活動プランを有しており、いま着目しているトリップ以前に別の活動（以下、直前の活動と呼ぶ）を実施している。直前の

活動の終了時刻を θ_A と表そう。顧客は直前の活動の終了時刻 θ_A より早く都市Aを出発できないと考える。ここで、直前の活動の終了時刻 θ_A と着目している活動の開始時刻 θ の差 $s = \theta - \theta_A$ は、都市間移動のために利用可能な時間（以下、往路余裕時間と呼ぶ）を表している。往路余裕時間 s は個人によって異なっており、区間 $[0, \hat{s}]$ 上で一様分布に従っていると仮定する。往路余裕時間 s の間に、個人が都市Cに到着可能でない場合、当該の個人は都市Aの活動を優先し、都市Cへのトリップ自体をキャンセルすると考える。同様に、復路に関しても、活動終了時刻 θ' から遅くとも時刻 $\theta_B = \theta' + s'$ までに都市Aに戻らなければならないと考える。ここに、 s' を復路余裕時間と呼び、区間 $[0, \hat{s}]$ 上で一様に分布すると仮定する。復路に関しても、都市Aの活動の方が優先度が大きいと考える。したがって、復路余裕時間の範囲の中で都市Aから都市Cまで戻れない場合には、都市Aへのトリップ自体をキャンセルする。都市Cへのトリップを取りやめれば、往路と復路の双方のトリップが実現しない。独占的航空企業が当該路線に対して期間 $[0, 2\pi]$ 中に n 本のフライトを等間隔に就航する場合を考えよう。いま、都市A-C間のフライトダイヤを都市Cへの到着時刻を用いて

$$t_i = (i-1) \cdot \frac{2\pi}{n}, \quad (i=1, \dots, n) \quad (1)$$

と表現しよう。都市A-C間のフライト時間 f を用いれば、当該フライトの都市Aの出発時刻は $d_i = t_i - f$ ($i=1, \dots, n$)と表せる。都市Cにおける活動開始時刻が θ の顧客は、活動開始時刻 θ までに都市Cに到着するフライトの中でもっとも到着時刻が遅いフライトを利用する。

いま、一般性を損なうことなく、活動開始時刻 θ が区間 $[0, 2\pi/n]$ に位置する顧客を考えよう。この顧客は都市Cへ時刻0に到着するフライトを利用することになる。この顧客の往路余裕時間を s としよう。到着時刻が0であることより、顧客が目的地まで移動可能であるためには

$$f + \theta \leq s \quad (2)$$

が成立しなければならない。式(2)の左辺はフライト時間と目的地における余裕時間（活動開始時刻-フライト到着時刻）の和を表している。ここで、フライトに対する需要が存在することを保証するために $\hat{s} > f$ が成立すると仮定する。顧客の効用関数を

$$U(w, p) = \begin{cases} Y + w - p & \text{条件(2)が成立する時} \\ -\infty & \text{それ以外の時} \end{cases} \quad (3)$$

と定義しよう。ここに、 Y は一般化所得、 w はトリップにより獲得する効用、 p は往復運賃である。効用関数(3)は、都市Cへのトリップに関して時間調整ができない場合、トリップの不効用が禁止的に増加し、トリップを取りやめることを表している。効用関数(3)は、待ち時間やフライト

時間に関わる不効用項を明示的には含んでいない。のちに、5.で議論するように、頻度の経済性を分析する上で、これらの不効用項は本質的な役割を果たさない。むしろ、待ち時間やフライト時間が長くなれば、余裕時間制約が満足されずトリップ自体が取りやめられる可能性が増加する。待ち時間、フライト時間は、往復と復路における余裕時間制約を通じて、頻度の経済性に影響を及ぼすことになる。そこで、本研究では、議論の見通しをよくするため効用関数に待ち時間やフライト時間を含めていない。もちろん、効用関数にフライト時間、待ち時間による不効用項が導入されている場合、フライト時間の短いPPネットワークの相対的な優位性が増加する。このような不効用項が果たす役割に関しては、4.(3)で改めて議論する。一方、顧客が目的地へのトリップを取りやめた場合の効用を Y と表せば、顧客がトリップを実施する条件は

$$U(w, p) \geq Y \quad (4)$$

と表せる。ここで、活動開始時刻が微小区間 $[\theta, \theta + d\theta]$ に含まれる顧客を考えよう。顧客の往路余裕時間 s が、区間 $[0, \hat{s}]$ において一様分布するという仮定より、着目している顧客の内、往路が移動可能な顧客の割合 ρ は

$$\rho = R(\theta)d\theta = \frac{\hat{s} - f - \theta}{\hat{s}} d\theta \quad (5)$$

と表せる。活動開始時刻 θ が区間 $[0, 2\pi/n]$ において一様分布するという仮定より、着目している区間 $[0, 2\pi/n]$ において、往路が移動可能な顧客の割合は

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi/n} R(\theta)d\theta = \frac{\hat{s} - f}{\hat{s}n} - \frac{\pi}{\hat{s}n^2} \quad (6)$$

となる。円環上のすべての区間 $[(i-1)2\pi/n, 2i\pi/n]$, ($i=1, \dots, n$)に対して式(6)に関して集計すれば、往路に関してトリップ可能な顧客の割合は

$$P(n, f, \hat{s}) = \frac{1}{\hat{s}} \left(\hat{s} - f - \frac{\pi}{n} \right) \quad (7)$$

と表すことができる。つぎに、復路に着目しよう。顧客の目的地におけるトリップ終了時刻 θ' が区間 $[2\pi, 4\pi]$ 上で一様分布に従って分布すると考えよう。さらに、顧客の帰路余裕時間 s' が区間 $[0, \hat{s}]$ 上で一様分布に従っていると仮定する。この時、復路において移動可能な顧客の割合 $P'(n, f, \hat{s})$ は式(6)と同様に

$$P'(n, f, \hat{s}) = \frac{\hat{s} - f}{\hat{s}n} - \frac{\pi}{\hat{s}n^2} \quad (8)$$

と表される。さらに、活動開始時刻 θ と活動終了時刻 θ' が互いに独立であると仮定しよう。さらに、トリップ効用が区間 $[0, \hat{w}]$ において一様分布に従って分布すると考えれば、フライト需要は次式で表せる。

$$\begin{aligned} X(n, p) &= M\{P(n, f, \hat{s})\}^2 \text{Prob}(w - p \geq 0) \\ &= \frac{M}{\hat{s}^2 \hat{w}} \left(\hat{s} - f - \frac{\pi}{n} \right)^2 (\hat{w} - p) \end{aligned} \quad (9)$$

ただし、 M は潜在顧客数である。上式において、フライト需要に $P(n, f, \hat{s})$ の2乗項が含まれていることに留意しよう。フライト需要(9)には、往路と復路におけるトリップの成立可能性が増加すれば、その相乗効果により、トリップ全体の成立可能性が増加するという規模の経済性が働くことになる。

(3) 市場均衡

PP企業は利潤最大化行動に従って運行本数 n および往復運賃 p を決定する。航空機の容量制約を考えず、1回の片道フライトあたり固定費用 $d_p/2$ が必要となると仮定しよう。ただし、下付添え字 p は、PP企業であることを意味する。分析対象期間内 $[0, 4\pi]$ に総数 $4n$ のフライトを運行するために必要な固定費用は $2nd_p$ と表せる。さらに、顧客が片道フライトを利用するために必要となる可変費用を $c_p/2$ と表す。顧客は都市A-C間で往復トリップを行うため、顧客1人当たりの(往復フライトの)可変費用は c_p となる。固定費用が存在するために、顧客1人当たりのフライト費用はフライト当たりの需要が大きくなるほど小さくなる。厳密には、1フライト当たりの顧客数により、投入される機材が決定されるため、固定費用 $d_p/2$ 、可変費用 $c_p/2$ は内生的に決定される。しかし、PP企業による機材選択も含めた市場均衡モデルは過度に複雑になるため、以下では可変費用、固定費用(c_p, d_p)を外生パラメータと考え、これらの費用パラメータと運賃やフライト頻度の関係を分析することとする。

各路線の輸送需要はすべて対称的であり、企業利潤は各路線の利潤の総和で表される。都市A-C間の路線に関しては、都市Aと都市Cのそれぞれに居住する顧客が利用するため、当該路線の利潤は

$$\pi(n, p) = \{2(p - c_p)X(n, p) - 2nd_p\} \quad (10)$$

と表すことができる。したがって、全路線を対象としたPP企業の利潤最大化行動は

$$\max_{p, n} \{\Pi(n, p) = 3\pi(n, p)\} \quad (11)$$

と表される。任意の運行本数 n に対して、運賃 p に関する利潤最大化の1階条件は、次式で表される。

$$\frac{6M}{\hat{s}^2 \hat{w}} \left(\hat{s} - f - \frac{\pi}{n} \right)^2 (\hat{w} - 2p + c_p) = 0 \quad (12)$$

PP企業の利潤最大化行動により、最適運賃 p^* は

$$p^* = \frac{1}{2}(\hat{w} + c_p) \quad (13)$$

に決定される。さらに、最適運賃 p^* を用いれば、利潤は

$$\Pi(n, p^*) = \frac{3\beta_p(\hat{w} - c_p)^2}{\pi} \left(\hat{s} - f - \frac{\pi}{n} \right)^2 - 6nd_p \quad (14)$$

$$\beta_p = \frac{\pi M}{2\hat{s}^2 \hat{w}}$$

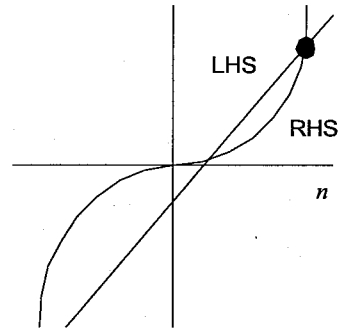


図-3 PP企業の最適化条件

となる。したがって、頻度 n に関する最適化条件は、

$$\beta_p \{(\hat{s} - f)n - \pi\} = \frac{d_p}{(\hat{w} - c_p)^2} n^3 \quad (15)$$

となる。図-3中の曲線及び直線は、それぞれ式(15)の左辺及び右辺を表している。 $\hat{s} > f$ の仮定より、式(15)の左辺の n の係数 $\beta_p(\hat{s} - f)$ は正であり、左辺は右上がりの直線となる。最適化条件(15)を満たす最適解は、1) 3つの解(うち2つは正、1つは負)を持つ場合、2) 2つ(正の解と負の解が1つずつ)の解を持つ場合、3) 1つの負の解を持つ場合、の3通りが存在する。このうち最も大きい値を持つ解(図中の黒丸印)が2次の最適化条件を満足し、最適解となる。1つの解を持つ時、最適解は存在せず、企業は投入した費用を回収できない。式(15)より、固定費用 d_p 、可変費用 c_p が小さくなるほど、右辺 n^3 の係数が小さくなり、最適頻度は大きくなる。特に、可変費用に関しては、その削減効果は2乗のオーダーで作用することが理解できる。

4. HSネットワークと市場均衡

(1) 顧客行動のモデル化

独占企業がHSネットワークを形成した場合の市場均衡モデルを定式化する。HSネットワークの場合、図-1に示したように、都市A-C間のトリップはすべて都市Bを経由して行われる。都市間A-Bと都市間B-Cの顧客行動に関しては、PPネットワークの場合と同じである。したがって、都市間AからCを訪問する顧客のみに着目しよう。PPネットワークと同様に、円形の時間軸上の閉区間 $[0, 2\pi]$ を考える。HS企業が都市Aと都市B、都市Bと都市Cの間に n 本の航空サービスを提供している。都市A-C間の往復運賃を \bar{q} とする。航空企業がHSネットワークを形成している場合、都市Aと都市Cの間を移動する顧客は都市Bでフライトを乗り継ぐ必要がある。都市A-B間、都市B-C間のフライトは、互いに乗り換え時間が0で接続されていると考える。都市Aから都市Cまで移動する際には、フライト時間 $2f$ を必要

とする。その他の仮定についてはPPネットワークのケースと同様である。なお、フライトの乗り継ぎ時間を0にするためには、都市A-B間(都市B-C間)の双方向のフライトが対称的でないタイムテーブルを持つことを意味する。しかし、顧客の活動開始時刻、活動終了時刻が過去から将来にわたる円環上で一様に分布している。この時、フライト時刻の非対称性を導入しても、PPネットワークの場合と同様に議論できる。活動開始時刻が θ である顧客の効用関数は、以下のように定義される。

$$U(w, \bar{q}) = \begin{cases} Y + w - \bar{q} & \text{条件(2)が成立する時} \\ -\infty & \text{それ以外の時} \end{cases} \quad (16)$$

顧客が目的地へのトリップを行う条件は

$$U(w, \bar{q}) \geq Y \quad (17)$$

と表せる。さらに、往路余裕時間 s と活動開始時刻 θ 、及び復路余裕時間 s' と活動終了時刻 θ' との間に、

$$\theta + 2f \leq s \quad \theta' + 2f \leq s' \quad (18)$$

が成立しなければならない。PPネットワークの場合と同様に、余裕時間 s, s' が区間 $[0, \hat{s}]$ 上で、トリップ効用 w が区間 $[0, \hat{w}]$ 上で、ともに一様分布に従って分布すると考えれば、当該路線のトリップ需要は次式で表せる。

$$\bar{X}(\bar{n}, \bar{q}) = \frac{M}{\hat{s}^2 \hat{w}} \left(\hat{s} - 2f - \frac{\pi}{\bar{n}} \right)^2 (\hat{w} - \bar{q}) \quad (19)$$

(2) 市場均衡

HS企業は都市A-B, 都市B-C間の直行便のみ運行する。都市A-B, B-C間の顧客に適用される片道運賃を \bar{p} , 都市A-C間の顧客に適用される運賃を \bar{q} と表そう。さらに、顧客間でチケットを取引することが不可能であると考え。ここでも、航空機の容量制約を考えず、1回の片道フライトにつき固定費用 $d_h/2$, 1顧客あたり可変費用 $c_h/2$ が必要となると仮定しよう。下付添字 h は、HS企業であることを意味している。ここで、都市間A-B, B-Cと都市間A-Cの需要がそれぞれ式(9),(19)で表せることに着目すれば、HS企業の利潤は

$$\bar{\Pi}(\bar{n}, \bar{p}, \bar{q}) = 4(\bar{p} - c_h)X(\bar{n}, \bar{p}) + 2(\bar{q} - c_h)\bar{X}(\bar{n}, \bar{q}) - 4\bar{n}d_h \quad (20)$$

と表される。企業の運賃 \bar{p}, \bar{q} に関する利潤最大化に関する1階条件を求めると、

$$\frac{4}{\hat{s}^2 \hat{w}} \left(\hat{s} - f - \frac{\pi}{\bar{n}} \right)^2 (\hat{w} - 2\bar{p} - c_h) = 0 \quad (21a)$$

$$\frac{2}{\hat{s}^2 \hat{w}} \left(\hat{s} - 2f - \frac{\pi}{\bar{n}} \right)^2 (\hat{w} - 2\bar{q} - c_h) = 0 \quad (21b)$$

となる。したがって、最適運賃 \bar{p}^*, \bar{q}^* は

$$\bar{p}^* = \bar{q}^* = \frac{1}{2}(\hat{w} + c_h) \quad (22)$$

に決定される。これより、都市A-B, B-C間と都市A-C間の運賃は同一となることが理解できす。すなわち、直行路線の運賃に関して、乗り継ぎ便客への低運賃、直行便客への高運賃が実現する。さらに、式(22)を利潤(20)に代入すると次式を得る。

$$\bar{\Pi}(\bar{n}, \bar{p}^*, \bar{q}^*) = \frac{M(\hat{w} - c_h)^2}{2\hat{s}^2 \hat{w}} \left\{ \left(\hat{s} - 2f - \frac{\pi}{\bar{n}} \right)^2 + 2 \left(\hat{s} - f - \frac{\pi}{\bar{n}} \right)^2 \right\} - 4\bar{n}d_h \quad (23)$$

頻度 \bar{n} に関する最適化条件は、以下のようになる。

$$\beta_h \left\{ \left(\hat{s} - \frac{4}{3}f \right) \bar{n} - \pi \right\} = \frac{d_h}{(\hat{w} - c_h)^2} \bar{n}^3 \quad (24)$$

$$\beta_h = \frac{3\pi M}{4\hat{s}^2 \hat{w}}$$

(3) PP企業とHS企業の比較

本研究のこれまでの議論では、PP企業の費用パラメータ(d_p, c_p), HS企業のパラメータ(d_h, c_h)を外生パラメータとして取り扱ってきた。以下では、これらの費用パラメータとPP企業とHS企業の経営優位性との関連に関して分析する。すなわち、費用パラメータの組み合わせに対して、PP企業とHS企業の利潤、運行頻度を求め、PP企業の方が経営上の優位性を確保できるような費用パラメータの範囲を求めることとする。

PP企業とHS企業が提供するフライトの運賃、頻度、利潤を比較しよう。まず、式(13), (22)より、A-C間のトリップを行う顧客に対する運賃に関して、以下のよう性質が成立する。

性質1 可変費用に関して $c_p \leq c_h$ が成立する時、その時のみ、 $p^* \leq \bar{q}^* = \bar{p}^*$ が成立する。

性質1は、PP企業がHS企業より低運賃のフライトを提供するためには、PP企業の可変費用がHS企業の可変費用より小さくしなければならないことを意味している。すなわち、PP企業が格安運賃のフライトが提供するためには、費用削減のための企業努力を行い、顧客1人当たりの可変費用を節約することが前提となることが分かる。ここで、効用関数に待ち時間、フライト時間、サービス水準という要因を含めていないことに留意しよう。PP企業の場合、HS企業よりも、運行頻度が同一である限り、待ち時間とフライト時間は小さくなる。すなわち、効用関数に不効用項を含めた場合、可変費用が同一である限り、PP企業の方が顧客の効用水準が大きくなり、式(13), (22)で決定される最適運賃は、PP企業の方が大きくなる。この場合、PP企業は、待ち時間やフライト時間という不効用の減少効果を、サービス水準を切り詰めることにより相殺できる。それにより可変費用を小さくすることが可

能となる。言い換えれば、PP企業が低運賃フライトを提供する場合、待ち時間やフライト時間の優越性を利用して、可変費用を可能な限り削減することにより、低運賃フライトを提供していることが理解できる。次に、フライト頻度に関する最適化条件(15)、(24)を比較することにより、以下の性質が成り立つ。

性質2 $d_p = d_h$ 及び $c_p = c_h$ が成立する場合、 $\bar{n}^* \geq n^*$ が成立する。(付録参照)

性質2は、PP企業とHS企業の1フライト当たりの固定費用、及び1顧客当たりの可変費用が同一であれば、HS企業の方がより多くのフライトを運行することを意味している。逆に言えば、PP企業がHS企業より、多頻度運行サービスを提供するためには、PP企業の固定費用や可変費用が、HS企業よりも相当程度小さくなければならない。性質2より、多頻度・低運賃直行フライトというビジネスモデルは、固定費用、可変費用を削減することにより、はじめて成立しうることが理解できる。なお、PP企業とHS企業の相対的な優位性を解析的に分析することは困難であり、数値計算に頼らざるを得ない。のちに、5.(4)において、数値計算を通じてPP企業とHS企業の経営上の優位性と費用パラメータの関係を分析する。

5. 市場厚の外部性と頻度の経済性

(1) 市場厚の外部性の効果

以上では、顧客の往路・復路のトリップ形成行動に、余裕時間制約が存在している場合を想定していた。往路と復路における2つのトリップの両方が実現可能である場合にのみ、目的地へのトリップが実現するという相互補完関係が存在する。このような往路と復路の相互補完性が存在する場合、式(9)に示すように、フライト時間が短くなることにより、往路・復路の成立可能性が増加し、結果としてトリップ全体の成立可能性が増加するという市場厚の経済性が機能する。以下では、市場厚の外部経済性の意味を検討するために、顧客のトリップ生成に対して往路のみに余裕時間制約が働くような状況を想定しよう。3.と同様に、顧客の効用関数を

$$U(w, p_o) = Y + w - p_o \quad (25)$$

と表そう。ここに、 p_o は往路のみに余裕時間制約がある場合における往復運賃を表す。以下、下付添え字 $_o$ は往路の余裕時間制約のみを考慮した場合を示す。往路における顧客の余裕時間制約は

$$\frac{\pi}{2n_o} + f \leq s \quad (26)$$

と表せる。一方、顧客がトリップを生成する条件は、

$$w - p_o \geq 0 \quad (27)$$

と表せる。ここで、顧客の余裕時間の上限值 s が一様分布に従って分布する場合、トリップの総生成数は

$$X(n_o, p_o) = \frac{M}{\hat{s}\hat{w}} \left(\hat{s} - f - \frac{\pi}{n_o} \right) (\hat{w} - p_o) \quad (28)$$

と表せる。したがって、PP企業の利潤は

$$\pi_o(n_o, p_o) = \{6(p_o - c_p)X(n_o, p_o) - 6n_o d_p\} \quad (29)$$

となる。最適運賃 p_o^* は

$$p_o^* = \frac{1}{2}(\hat{w} + c_p) \quad (30)$$

となる。すなわち、余裕時間制約の存在する場合と同一運賃となる。式(30)を利潤(29)に代入して頻度 n_o に関する最適化条件を求めると、

$$\frac{\pi M(\hat{w} - c_p)^2}{4\hat{s}\hat{w}} = d_p n_o^2 \quad (31)$$

を得る。これより、最適フライト頻度は

$$n_o^* = \frac{\hat{w} - c_p}{2} \sqrt{\frac{\pi M}{\hat{s}\hat{w}d_p}} \quad (32)$$

と表される。一方、HS企業の場合、都市A-C間におけるトリップ総生成数は

$$\bar{X}(\bar{n}_o, \bar{q}) = \frac{M}{\hat{s}\hat{w}} \left(\hat{s} - 2f - \frac{\pi}{\bar{n}_o} \right) (\hat{w} - q_o) \quad (33)$$

となる。都市A-B間及びB-C間のトリップ生成数はPPネットワークの場合と同様である。航空企業の利潤は

$$\bar{\Pi}(\bar{n}, \bar{p}, \bar{q}) = 4(\bar{p}_o - c_h)\bar{X}(\bar{n}, \bar{p}_o) + 2(\bar{q}_o - c_h)\bar{X}(\bar{n}, \bar{q}_o) - 4\bar{n}_o d_h \quad (34)$$

となる。最適運賃 \bar{p}_o^* 、 \bar{q}_o^* は

$$\bar{p}_o^* = \bar{q}_o^* = \frac{1}{2}(\hat{w} + c_h) \quad (35)$$

となり、余裕時間制約のない場合と同一運賃となる。さらに、頻度に関する1階の最適化条件は、

$$\frac{3\pi M(\hat{w} - c_h)^2}{2\hat{s}\hat{w}} = d_h \bar{n}_o^2 \quad (36)$$

となる。これより、最適フライト頻度は次式で表せる。

$$\bar{n}_o^* = (\hat{w} - c_h) \sqrt{\frac{3\pi M}{2\hat{w}\hat{s}d_h}} \quad (37)$$

PP企業とHS企業の最適フライト頻度を比較すれば

$$\begin{aligned} \frac{n_o^*}{\bar{n}_o^*} &= \frac{\hat{w} - c_p}{\hat{w} - c_h} \sqrt{\frac{d_h}{6d_p}} \\ &= \frac{p_o^* - c_p}{\bar{p}_o^* - c_h} \sqrt{\frac{d_h}{6d_p}} \end{aligned} \quad (38)$$

を得る。このように、PP企業とHS企業のいずれの場合にも、市場均衡解がただ1つ存在する。式(38)より、往路のみに余裕時間制約が存在する場合、頻度の経済性は存在せず、PP企業とHS企業の最適フライト頻度比は、可変費用、固定費用という費用構造のみで決定される。また、最適フライト頻度はフライト時間の影響を受けない。以上の分析結果より、余裕時間制約が往路のみに働く場合においても、性質1、性質2が成立することが理解できる。式(38)より、 $c_p = c_h, d_p = d_h$ を仮定すれば、HSネットワークの最適フライト頻度は、PPネットワークの $\sqrt{6}$ 倍となる。式(38)に示すように、PP企業の運賃 p_o^* が低水準になるほど、可変費用と固定費用が一定にとどまる限り、PP企業のフライト頻度は少なくなることが理解できる。すなわち、頻度の経済性が存在しない場合、低運賃・多頻度フライトを実現することはより困難となる。なお、効用関数に待ち時間、フライト時間の項が含まれている場合でも、これらの不効用項の減少効果を、サービス水準を切り詰めることにより相殺し、可変費用を可能な限り削減しない限り、低運賃・多頻度フライトを確保することは不可能であることを付記しておく。

(2) 頻度の経済性

フライト需要(9),(19)より、フライト需要が正となるためには、フライト頻度は

$$n \geq \frac{\pi}{\hat{s}-f}, \quad \bar{n} \geq \frac{\pi}{\hat{s}-2f} \quad (39)$$

を満足しなければならない。この時、フライト需要をフライト頻度に関して偏微分することにより、次式を得る。

$$\frac{\partial X(n)}{\partial n} = \frac{\Upsilon}{n^2} \left\{ (\hat{s}-f) - \frac{\pi}{n} \right\} \geq 0 \quad (40a)$$

$$\frac{\partial^2 X(n)}{\partial n^2} = \frac{\Upsilon}{n^3} \left\{ -2(\hat{s}-f) + \frac{3\pi}{n} \right\} \quad (40b)$$

なお、 $\Upsilon = M(\hat{w} - p^*)/(\hat{s}^2 \hat{w})$ である。式(40b)より

$$\frac{\partial^2 X(n)}{\partial n^2} = \begin{cases} \geq 0 & \frac{3\pi}{2n} \geq \hat{s}-f \text{の時} \\ < 0 & \frac{3\pi}{2n} < \hat{s}-f \text{の時} \end{cases} \quad (41)$$

が成立する。ここで、 $\hat{s}-f$ は、余裕時間の上限値 \hat{s} からフライト時間 f を差し引いた純余裕時間の上限値を表す。さらに、式(41)において、 $3\pi/2n^\circ = \hat{s}-f$ が成立するような時間間隔 $3\pi/2n^\circ$ を臨界的時間間隔と呼ぼう。式(41)は、純余裕時間の上限値が臨界的時間間隔 $3\pi/2n^\circ$ より小さい場合に、頻度による規模の経済性が働くことを意味している。しかし、 $3\pi/2n < \hat{s}-f$ が成立する範囲では規模の経済性は存在しない。いま、運行頻度が n の場合、フライト間隔は $2\pi/n$ となる。したがって、臨界的時間間隔 $3\pi/2n$ は、フライト間隔 $2\pi/n$ の $3/4$ の長さに該当する。フライト数 n が $2\pi/(\hat{s}-f) \leq n \leq 3\pi/2(\hat{s}-f)$ を満足する区間において、頻度の経済性が存在する。フライト数

がそれ以上多くなると頻度の経済性は消滅する。2次の最適化条件より、最適フライト頻度は $n^* \geq 3\pi/2(\hat{s}-f)$ を満足する。頻度の経済性が存在するような臨界的なフライト頻度(以下、臨界的頻度と呼ぶ) n° を

$$n^\circ = \frac{3\pi}{2(\hat{s}-f)} \quad (42)$$

と定義する。これより、余裕時間制約が厳しくなる(\hat{s} の値が小さい)ほど、臨界的頻度は大きくなる。言い換えれば、頻度の経済性が存在する領域が大きくなる。あるいは、フライト時間 f が小さくなるほど、頻度の経済性が機能する領域が大きくなる。潜在顧客数 M の大きさには、頻度の経済性が存在する領域の大きさには影響を及ぼさない。しかし、 M が大きくなるほど、式(40a),(40b)の値はともに大きくなり、最適フライト頻度が増加する。

一方、HSネットワークの場合のフライト需要(19)を頻度に関して偏微分することにより次式を得る。

$$\frac{\partial \bar{X}(\bar{n})}{\partial \bar{n}} = \frac{\bar{\Upsilon}}{\bar{n}^2} \left\{ (\hat{s}-2f) - \frac{\pi}{\bar{n}} \right\} \geq 0 \quad (43a)$$

$$\frac{\partial^2 \bar{X}(\bar{n})}{\partial \bar{n}^2} = \frac{\bar{\Upsilon}}{\bar{n}^3} \left\{ -2(\hat{s}-2f) + \frac{3\pi}{\bar{n}} \right\} \quad (43b)$$

ただし、 $\bar{\Upsilon} = M(\hat{w} - \bar{q}^*)/(\hat{s}^2 \hat{w})$ である。したがって、

$$\frac{\partial^2 \bar{X}(\bar{n})}{\partial \bar{n}^2} = \begin{cases} \geq 0 & \frac{3\pi}{2\bar{n}} \geq \hat{s}-2f \text{の時} \\ < 0 & \frac{3\pi}{2\bar{n}} < \hat{s}-2f \text{の時} \end{cases} \quad (44)$$

となる。式(44)において臨界的時間間隔は $3\pi/2\bar{n}^\circ = \hat{s}-2f$ と表される。したがって、頻度の経済性が働くような臨界的頻度 \bar{n}° は次式で表せる。

$$\bar{n}^\circ = \frac{3\pi}{2(\hat{s}-2f)} \quad (45)$$

式(42), (45)より、明らかに任意の $f > 0$ に対して

$$\bar{n}^\circ > n^\circ \quad (46)$$

が成立する。すなわち、HS企業の方が、頻度の経済が存在する領域が大きい。HS企業の場合、フライト時間が長いため、時間調整の自由度が小さくならざるを得ない。余裕時間制約が存在する場合、時間調整の自由度を可能な限り増加させるためフライト頻度を増加させざるを得ない。このためPP企業より、より多くのフライトを導入することにより、頻度の経済性を享受することができる。

つぎに、往路のみに余裕時間制約が働く場合をとりあげる。PP企業のフライトに対する需要関数(28)より

$$\frac{\partial X(n_o)}{\partial n_o} = \frac{\Upsilon_o}{n_o^2} \geq 0 \quad (47a)$$

$$\frac{\partial^2 X(n_o)}{\partial n_o^2} = -\frac{2\Upsilon_o}{n_o^3} \leq 0 \quad (47b)$$

を得る。ただし、 $\bar{Y}_o = M(\hat{w} - p^*)/(\hat{s}\hat{w})$ である。HS企業に関して、フライト需要(37)より、

$$\frac{\partial \bar{X}(\bar{n}_o)}{\partial \bar{n}_o} = \frac{\bar{Y}_o}{\bar{n}_o^2} \geq 0 \quad (48a)$$

$$\frac{\partial^2 \bar{X}(\bar{n}_o)}{\partial \bar{n}_o^2} = -\frac{2\bar{Y}_o}{\bar{n}_o^3} \leq 0 \quad (48b)$$

が成立する。ただし、 $\bar{Y}_o = M(\hat{w} - q_o^*)/(\hat{s}\hat{w})$ である。すなわち、往路のみに余裕時間制約が働く場合、任意の \hat{s}, f に対して、式(47b),(48b)が成立する。したがって、頻度の経済性は存在しない。このように、頻度の経済性が働くためには、往路と復路の双方に余裕時間制約が働くことが不可欠であることが理解できる。

(3) 社会的厚生比較

社会的厚生を消費者余剰と利潤の和で定義しよう。PPネットワークにおいて顧客がフライトを利用するためには、トリップ効用が $w \in [p, \hat{w}]$ を満足しなければならない。したがって、フライトを利用する顧客の消費者余剰の平均は、 $(\hat{w} + p)/2$ と表せる。したがって、フライト頻度 n 、運賃 p の時のネットワーク全体における集計的消費者余剰 $CS_p(n, p)$ は、

$$CS_p(n, p) = \frac{6M}{\hat{s}^2} \left(\hat{s} - f - \frac{\pi}{n} \right)^2 \left(\frac{\hat{w} + p}{2} - p \right) \quad (49)$$

と表される。運賃が式(13)のように限界費用運賃 p^* に決定される場合、フライト頻度 n を与件とするPPネットワークの社会的厚生 $W(n) = CS_p(n, p^*) + \Pi(n, p^*)$ は

$$W(n) = \frac{6\tilde{\beta}_p}{\pi} \left(\hat{s} - f - \frac{\pi}{n} \right)^2 - 6nd_p \quad (50)$$

と表される。ただし、

$$\tilde{\beta}_p = \frac{\pi M(\hat{w} - c_p)(2\hat{w} - c_p)}{2\hat{s}^2\hat{w}} > \beta_p \quad (51)$$

である。したがって、頻度に関する最適化条件は

$$\tilde{\beta}_p \left\{ (\hat{s} - f)n - \pi \right\} = d_p n^3 \quad (52)$$

となる。最適化条件(15)と条件(52)において、 $\tilde{\beta}_p > \beta_p$ が成立することに着目しよう。社会的厚生を最大にする最適フライト数 n^{**} とすれば

$$n^{**} > n^* \quad (53)$$

が成立する。すなわち、PP企業が決定する最適フライト頻度 n^* は社会的最適なフライト頻度よりも小さくなる。同様に、HSネットワークの社会的厚生は

$$\bar{W}(\bar{n}) = \frac{3\tilde{\beta}_h}{\pi} \left\{ \left(\hat{s} - 2f - \frac{\pi}{\bar{n}} \right)^2 + 2 \left(\hat{s} - f - \frac{\pi}{\bar{n}} \right)^2 \right\} - 4\bar{n}d_h \quad (54)$$

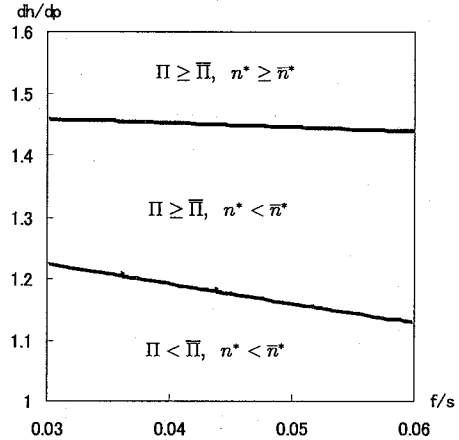


図-4 フライト時間と利潤、頻度の関係
(往・復路に余裕時間制約が存在する場合)

となる。ただし、

$$\tilde{\beta}_h = \frac{3\pi M(\hat{w} - c_h)(2\hat{w} - c_h)}{4\hat{s}^2\hat{w}} > \beta_h \quad (55)$$

が成立する。これより、頻度に関する最適化条件は、

$$\tilde{\beta}_h \left\{ \left(\hat{s} - \frac{4}{3}f \right) \bar{n} - \pi \right\} = d_h \bar{n}^3 \quad (56)$$

となる。 $\tilde{\beta}_p > \beta_p$ 、 $\tilde{\beta}_h > \beta_h$ が成立することより、以下の性質を得る。

性質3 PP企業、HS企業が設定する運賃は社会的最適である。しかし、フライト頻度は社会的最適解と比較して過小な水準となる。

(4) 数値計算事例

性質1より、PP企業が低運賃フライトを実現するためには、可変費用をHS企業より小さく設定しなければならないことが判明した。つぎに、市場環境が、固定費用とPP企業、HS企業の利潤・フライト頻度の関係に及ぼす影響を分析しよう。固定費用の効果に焦点をあてるため、PP企業とHS企業の可変費用が同一であると仮定する。すなわち、2つの企業の運賃は同一であり、PP企業に低運賃フライトの優位性は存在しない。各種パラメーターを $M = 100, \hat{s} = \pi/6, \hat{w} = \pi/2, c_p = c_h = \pi/10, d_p = 1$ と設定しよう。図-4は、PP企業とHS企業の1フライト当たりの固定費用比 d_h/d_p と余裕時間の上限值で規格化したフライト時間を変化させたそれぞれのケースに対して、2つのタイプの企業の相対的優位性と提供されるフライト頻度を比較した結果を示している。その結果、固定費用比、フライト時間の組み合わせは、1) PP企業の利潤 Π とフライト頻度 n^* が、HS企業の利潤 $\bar{\Pi}$ と \bar{n}^* より大

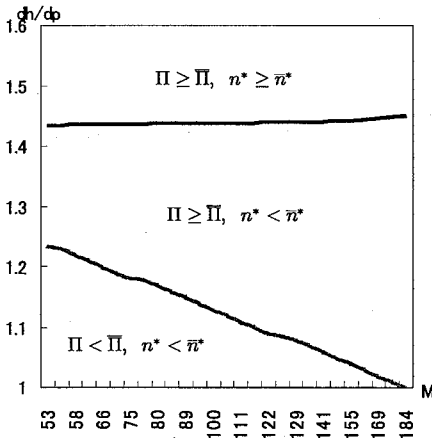


図-5 市場規模と利潤、頻度の関係
(往・復路に余裕時間制約が存在する場合)

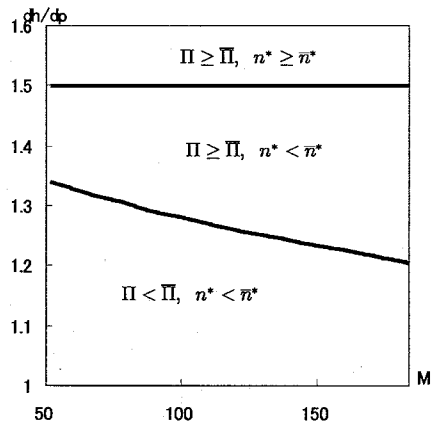


図-6 市場規模と利潤、頻度の関係
(往路のみ余裕時間制約が存在する場合)

きくなる領域 ($\Pi \geq \bar{\Pi}, n^* \geq \bar{n}^*$ が成立する領域), 2) $\Pi \geq \bar{\Pi}, n^* < \bar{n}^*$ が成立する領域, 3) $\Pi < \bar{\Pi}, n^* < \bar{n}^*$ が成立する領域の3つに分類される。同図より、性質2に示すように、両タイプの企業の固定費用が同一である場合、HS企業の利潤が相対的に大きく、HS企業の方がより多くのフライト頻度を提供することができる。フライト時間 f を固定した上で、HS企業の固定費用を相対的に大きくすれば、まずPP企業の利潤が相対的に優位になり、ついでPP企業の方がより多くのフライト頻度を供給することが可能となる。さらに、フライト時間が長くなるほど、HS企業が優位な領域が小さくなる。図-5は、フライト時間を $f = \pi/100$ に固定し、固定費用比と潜在的顧客数 M の組み合わせに対して、両タイプの企業の経営的優位性を比較した結果を示している。同図より、市場規模が大きくなるほど、PP企業が優位となる固定費用比は次第に小さくなる。以上の分析結果は、フライト時間の短い路線でも、潜在的顧客の多い路線ではPP企業が優位となる可能性を示唆している。フライト時間が長い路線では、PPフライトを利用することによるフライト時間短縮効果は大きい。フライト時間が大きい路線では、市場規模がある一定程度以上であれば、PP企業の方が利潤が大きくなる。なお、固定費用比が1以下ではHS企業が常に優位であり、PP企業が成立するためには1フライト当たりの固定費用を削減することが不可欠である。

さらに、往路のみ余裕時間制約が存在する場合を対象として、PP企業とHS企業の優位性を比較しよう。数値計算にあたっては、これまでの数値計算と同じ数値を用いることとする。図-6は、固定費用比と市場規模の組み合わせのそれぞれに対して、PP企業とHS企業の優位性、フライト頻度の多寡を比較した結果を示している。図-5の場合と同様に、市場規模を一定に固定し、HS企業の固定

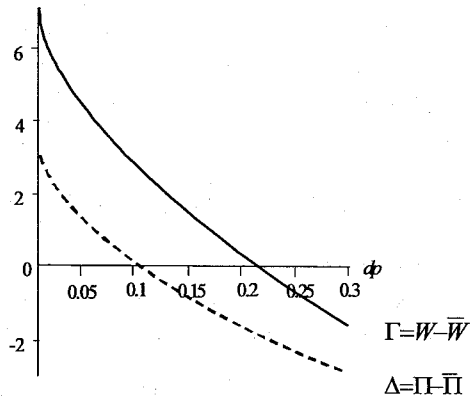


図-7 固定費用比とネットワーク格差の関係
(往・復路に余裕時間制約が存在する場合)

費用比を相対的に増加させることにより、PP企業の相対的な優位性が増加し、PP費用の相対的なフライト頻度が増加するという傾向が現れる。しかし、頻度の経済性が存在する場合と比較して、HS企業が相対的に優位となる領域は大きい。以上の分析結果より、余裕時間制約が存在することにより、PP企業の方がHS企業よりも多くの利潤を獲得する可能性が現れる。さらに、往路と復路の双方に余裕時間制約が存在すると、PP企業が優位となる可能性が広がることが理解できる。最後に、図-7は、固定費用 d_p とPP企業とHS企業の利潤格差 $\Delta = \Pi(n^*) - \bar{\Pi}(\bar{n}^*)$ 、社会的厚生格差 $\Gamma = W(n^{**}) - \bar{W}(\bar{n}^{**})$ の関係を図示している。ただし、 $d_h = 1$ に基準化している。固定費用 d_p が相対的に小さくなる場合、PP企業の利潤が大きくなる。それと同時に、PP企業の方が社会的厚生が大きくなる。いま、HS企業とPP企業が利潤が等しくなるような臨界的な d_p を \hat{d}_p と表そう。その時のPP企業の最適フライト

数を $n^*(\hat{d}_p)$ と表そう。 $\hat{d}_p < 2\bar{n}^*/3n^*(\hat{d}_p)$ が成立する場合、(本数値計算事例のように)、HS 企業の方が利潤が大きい場合でも、PP 企業の社会的厚生が HS 企業を上回る場合が現れる(付録参照)。しかし、 $\hat{d}_p > 2\bar{n}^*/3n^*(\hat{d}_p)$ が成立する場合、(本数値計算事例とは逆に) PP 企業の方が利潤が多い場合でも社会的厚生からは HS 企業の場合が望ましい場合が存在する。

6. おわりに

本研究では、独占市場を対象として、市場環境や可変費用、固定費用が PP 企業、HS 企業の経営優位性に及ぼす影響を分析した。思考実験を通じて、PP 企業が多頻度・低運賃のサービス提供により HS 企業に対する優位性を確保するためには、可変費用、固定費用の相当程度の削減が必要となる。しかし、顧客の往路、復路のトリップ形成に余裕時間制約が存在する場合、フライト時間の短縮、フライトの運行頻度の増加によって頻度の経済性が現れることが判明した。さらに、このような頻度の経済性は、顧客の余裕時間制約が厳しくなるほど、市場規模が大きくなるほど、PP 企業に有利に働くことになる。当然のことながら、以上で得られた知見は、本研究で定式化した独占市場モデルの前提条件の下でのみ成立しうるのである。本研究で定式化した理論モデルは、市場厚の外部経済性に焦点を当てるために、モデルを単純化している。PP 企業、HS 企業という 2 つのビジネスモデルの特性に関しては、本研究で対象としなかった要因に関する分析が必要である。今後の研究課題として、以下のような事項が残されている。第 1 に、本研究ではモデルを簡略化するために、可変費用や固定費用を外生的パラメータとして取り扱い、これらの費用パラメータと航空企業の利潤や運賃、頻度の関係を分析した。しかし、航空企業の費用構造は、企業による機材・人員の運用戦略により内生的に決定されるものである。また、本研究では、待ち時間、フライト時間等の不効用項を省略している。これらの不効用項も、フライト頻度の経済性を増加させる方向で働く。このように本研究で取り上げなかった要因に関する総合的な検討を実施するためには、航空会社のフライト計画も考慮したような大規模な市場均衡モデルを開発することが必要となる。第 2 に、本研究では、独占市場を対象とした理論分析を試みた。PP 企業と HS 企業というビジネスモデル間競争を分析するためには、複占・寡占市場を対象とした市場競争モデルを開発することが必要となる。第 3 に、本研究では運賃、頻度という 2 つのサービス要素に着目していた。航空市場では、サービスの質も重要な制御変数である。このようなサービスの質をめぐる競争に関しては、複占市場における垂直的競争、垂直的競争モデルを用いて分析することが可能である。最

後に、本研究では PP 企業と HS 企業という 2 つのビジネスモデルが互いに排他的であることを想定していた。近年の航空サービス市場では、PP 企業モデル、HS 企業モデルは必ずしも排他的なビジネスモデルではない。今後、航空企業のビジネスモデルの選択行動に関する分析が必要である。

付録 証明

1) 性質 1 の証明 $c_p = c_h, d_p = d_h$ を仮定し、最適化条件(15),(24)を比較しよう。 $\beta_p/\beta_h = 2/3$ が成立。 $\beta_h\{(\hat{s} - \frac{4}{3}f)n - \pi\} - \beta_p\{(\hat{s} - f)n - \pi\} = \beta_p\{\frac{3}{2}\{(\hat{s} - \frac{4}{3}f)n - \pi\} - \{(\hat{s} - f)n - \pi\}\} = \frac{1}{2}\{(\hat{s} - 2f)n - \pi\}$ 。 $n \geq 0$ 、かつ式(24)が解を持つ領域では $(\hat{s} - 2f)n - \pi \geq 0$ が成立。さらに、同じ領域において、式(24)の左辺は、式(15)の左辺より常に上方に位置する(図-3参照)。ゆえに、 $\bar{n}^* \geq n^*$ が成立。2) 社会的厚生と比較 利潤(14),(23)を、 $\rho(n^*) - b, \bar{\rho}(\bar{n}^*) - c$ と表そう。 $b = 6n^*d_p, c = 4\bar{n}^*d_h$ である。ある $d_h = 1, d_p$ に対して $\rho(n^*) - b = \bar{\rho}(\bar{n}^*) - c$ が成立すると仮定する。ここで、 $W(n^*) = (1 + \alpha)\rho(n^*) - b, W(\bar{n}^*) = (1 + \alpha)\bar{\rho}(\bar{n}^*) - c$ が成立する。ただし、 $1 + \alpha = (2\hat{w} - c)/(\hat{w} - c) > 1$ 。 $W(n^*) - W(\bar{n}^*) = \alpha\{\rho(n^*) - \bar{\rho}(\bar{n}^*)\}$ が成立。

参考文献

- 1) Bittlingmayer, G.: Efficiency and entry in a simple airline network, *International Journal of Industrial Organization*, Vol.8, pp. 245-257, 1990.
- 2) Brueckner, J.K. and Spiller, P.T.: Competition and mergers in airline networks, *International Journal of Industrial Organization*, Vol.9, pp.323-342, 1991.
- 3) Hendricks, K., Piccione, M., and Tan, G.: The economics of hubs: The case of monopoly, *Review of Economic Studies*, Vol.62, pp.83-99, 1995.
- 4) Hendricks, K., Piccione, M. and Tan, G.: Entry and exit in hub-spoke networks, *Rand Journal of Economics*, Vol.28, pp.291-303, 1997.
- 5) Oum, T. H., Zhang, A., and Zhang, Y.: Airline network rivalry, *Canadian Journal of Economics*, Vol.28, pp.836-857, 1995.
- 6) Pels, E., Nijkamp, P. and Rietveld, P.: A note on the optimality of airline networks, *Economic Letters*, Vol.69, pp.429-434, 2000.
- 7) Zhang, A.: An analysis of fortress hubs in airline networks, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.30, pp.293-307, 1996.
- 8) Cohas, F., Belobaba, P., and Simpson, R.: Com-

- petitive fare and frequency effects in airport market share modeling, *Journal of Air Transport Management*, Vol.2, pp.34-45, 1995.
- 9) US DOT: The Low Cost Airline Service revolution, US Department of Transportation, <http://ostpxweb.dot.gov/aviation/domav/lcs.pdf>, 1996
 - 10) Barrett, S.D.: Peripheral market entry, product differentiation, supplier rents and sustainability in the deregulated European aviation market: A case study, *Journal of Air Transport Management*, Vol.5, pp.21-30, 1999.
 - 11) Dresner, M., Windle, R., and Kin, J.C.: The impact of low-cost carriers on airport and route competition, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.30, pp.309-328, 1996.
 - 12) Reynolds-Feighan, A.: Traffic distribution in low-cost and full-service carrier networks in the US air transport market, *Journal of Air Transport Management*, Vol.7, pp.265-275, 2001.
 - 13) Vowles, T.M.: The Southwest effects in multi-airport regions, *Journal of Air Transport Management*, Vol.7, pp.251-258, 2001.
 - 14) Gillen, D. and Morrison, W.: Bundling, integration and the delivered price of air travel: Are low cost carriers full service competitors? *Journal of Air Transport Management*, Vol.9, pp.15-23, 2003.
 - 15) Berechman, J. and Shy, O.: The Structure of Airline Equilibrium Networks, in: van den Bergh, et al. (eds.): *Recent Advances in Spatial Modelling*, Springer, 1996.
 - 16) Brueckner, J. K. and Y. Zhang: A model of scheduling in airline networks: How a hub-and-spoke system affects flight frequency, fares and welfare, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 35, pp.195-222, 2001.
 - 17) Brueckner, J.K.: Network structure and airline scheduling, *The Journal of Industrial Economics*, Vol.52, pp.291-312, 2004.
 - 18) 松島格也: 戦略的相補性と交通市場, 土木計画学研究・論文集, No.21, pp.11-22, 2004.
 - 19) 松島格也, 小林潔司: 手段補完性を考慮したバス市場構造の分析, 土木学会論文集, No.765/IV-64, pp.115-129, 2004.
 - 20) Yetiskul, E., Matsushima, K., and Kobayashi, K.: Airline network Structure with Thick Market Externality, in Kanafani, A. and Kuroda, K.(eds.): *Global Competition in Transportation Markets: Analysis and Policy Making*, Elsevier, 2005.
 - 21) Kitamura, R., Nakayama, S., and Yamamoto, T.: Self-reinforcing motorization: can travel demand management take us out of the social trap?, *Transport Policy*, Vol.6, pp.135-145, 1999.

頻度の経済性と航空ネットワーク構造*

エミネ・エティスクル**, 松島格也***, 小林潔司****

近年、ハブ＝スポーク型ネットワーク構造から、ポイント・ツウ・ポイント型ネットワーク構造を有する航空企業が出現しつつある。多頻度直行型フライトを利用することにより、タイムダイアリーにおける時間調整における自由度が増加する。本研究では、時間調整における自由度が増加することにより発生する外部性を市場厚の外部性と呼ぶ。このような市場厚の外部性が支配するような市場においては、フライト頻度を増加させることにより顧客が増加し、その結果より多くのフライトを運行することが可能となるという頻度の経済性が働くことになる。本研究では頻度の経済性を考慮した独占航空サービス市場モデルを定式化し、ネットワーク構造が航空企業の利潤や社会的厚生に及ぼす影響について分析する。

Economy of Frequency and Airline Network Structure*

By Emine YETISKUL**, Kakuya MATSUSHIMA***, and Kiyoshi KOBAYASHI****,

Recently, emerging airline companies providing frequent point-to-point (PP) flight services have proven to be more profitable than those operating hub-spoke (HS) networks. Customers can enjoy more flexibility to arrange their itinerary by choosing PP flights. The strategic complementarity appeared in customers' choices of air carriers brings about thick-market externality. In the markets where thick market externality works, more customers choose PP flights, more frequent PP flights become available. Thus, the positive feedback mechanisms could be geared in by economy of frequency. In this paper, a market equilibrium model with economy of frequency is presented to investigate the comparative advantage of PP networks over HS networks. The de-hub mechanism where PP networks takes over HS networks is also investigated.
