第IV部門　**頻度の経済性を考慮した航空ネットワーク形態の比較に関する一考察**

京都大学大学院　正会員　○松島格也
京都大学大学院　学生会員　Emine YETISKUL
京都大学大学院　フェロー　小林潔司

1. はじめに

通常家計が航空サービスを利用する際，往路と復路の双方において同一の航空サービスを利用する．この時，往路と復路の双方におけるフライトの利用可能性が，トリップの生成やフライト選択に影響を及ぼす．運行本数が増加すれば，往路と復路の選択の可能性が同時に増加し，結果として当該航空企業のサービス需要が増加する．このような手段選択における相互補完性がもたらす規模の経済性を頻度の経済性と呼ぶ．ハブ・スポーク型(HS)ネットワークではネットワークの経済性，密度の経済性等が機能する一方，スポークの末端空港間の飛行時間が増大する．一方，point-to-point型(PP)ネットワークでは，頻度の経済性を享受することができるが，逆に密度の経済性の効果は弱くなる．本研究では，頻度の経済性に着目した航空サービスの独占市場モデルを定式化し，市場環境がHSネットワークとPPネットワークの収益性に及ぼす影響を分析する．

2. PPネットワークと市場均衡

3つの都市A, B, Cが互いに独占企業による直行便で連結されているPPネットワークを考える．3つの都市にはそれぞれ同質な選好を有する同数の家計が居住しており，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と仮定する．家計は，目的地に到達する希望時刻（以降，往路希望時刻と呼ぶ）と，帰宅のため目的地を出発する希望時刻（復路希望時刻）を持っている．家計にとって，往路希望時刻と往路フライトの出発時刻の差，および復路フライトによる帰着時刻と復路希望時刻の差が拘束時間となり不効用として認識される．都市Aから都市Bに移動する意思を持つ潜在的家計数をMで表す．時間軸上の閉区間$[0,2]$を考える．都市Aの家計が目的都市Bに到着する往路希望時刻θが区間$[0,1]$上で定義される一様分布に，復路希望時刻θ'が区間$[1,2]$上で定義されるそれぞれ独立な一様分布に従って分布しているとしよう．航空企業がn本のフライトを等時間間隔で運行しており，飛行所要時間をf $(1 > f > 0)$と表そう．家計は時刻0以前に自宅を出発した場合，あるいは復路において時刻2以降に帰宅した場合，禁止的に高い費用を支払わなければならない．航空企業がフライトサービスを提供することが可能な家計は，往路希望時間が区間$[f,1]$に属し，かつ復路希望時刻が$[1,2-f]$に属する者に限られる．いま，航空企業が当該路線の往路，復路に対してそれぞれn本のフライトを提供し，次式のようなフライトダイヤを設定したとしよう．

$$s_i = (i-1)\frac{1-f}{n} \quad t_i = 1 + i\frac{1-f}{n} \quad (i = 1, \cdots, n)$$

さらに，往路出発時刻ベクトル$\boldsymbol{s}(n) = (s_1, \cdots, s_n)$と復路の出発時刻ベクトル$\boldsymbol{t}(n) = (t_1, \cdots, t_n)$を定義しよう．家計が航空機を用いてトリップを行うことが可能となる往路希望時刻θと復路希望時刻θ'の集合（以下，実行可能集合と呼ぶ）を$\Theta = \{(\theta, \theta') | \theta \geq s_1 + f \text{ and } \theta' \leq t_n\}$と定義する．家計が航空機を使ってトリップを実施するためには，希望時刻(θ, θ')が$(\theta, \theta') \in \Theta$を満足しなければならない．往路と復路のフライトダイヤ$\boldsymbol{s}(n)$, $\boldsymbol{t}(n)$，および片道の運賃pを与件としよう．希望時刻(θ, θ')を持つ家計の効用関数を

$$U(\theta, \theta' : \boldsymbol{\mu}) = Y + u(\theta) + v(\theta') \tag{1}$$

と定式化する．ただし，Yは一般化所得，$\boldsymbol{\mu} = \{p, n, \boldsymbol{s}(n), \boldsymbol{t}(n)\}$はフライトの特性ベクトルである．また，$u(\theta), v(\theta')$はそれぞれ往路と復路におけるフライト利用に対する部分効用関数であり，

$$u(\theta) = \begin{cases} w - \varepsilon S(\theta) - p & w - \varepsilon S(\theta) - p \geq 0 \text{の時} \\ -\infty & w - \varepsilon S(\theta) - p < 0 \text{の時} \end{cases} \tag{2a}$$

$$v(\theta') = \begin{cases} w - \varepsilon T(\theta') - p & w - \varepsilon T(\theta') - p \geq 0 \text{の時} \\ -\infty & w - \varepsilon T(\theta') - p < 0 \text{の時} \end{cases} \tag{2b}$$

と表される．ただし，wはトリップ効用，εは時間価値，$S(\theta) = \theta - s_{i^*(\theta)}$，$T(\theta') = t_{j^*(\theta')} + f - \theta'$は，それぞれ往路，復路のトリップ拘束時間を表す．一方，家計が目的地へのトリップを取りやめた時に獲得できる効用をYと表せば，家計が目的地へのトリップを行う条件は$U(\theta, \theta' : \boldsymbol{\mu}) \geq Y$と表せる．家計の往路希望時刻$\theta$と復路希望時刻$\theta'$がそれぞれ独立な一様分布に従って分布する場合，トリップの総生成数は次式で表せる．

$$X(\boldsymbol{\mu}) = M \int_0^1 \int_1^2 \delta_s(\theta : \boldsymbol{\mu}) \delta_t(\theta' : \boldsymbol{\mu}) d\theta d\theta' \tag{3}$$

家計は選択関数$\delta_s(\theta : \boldsymbol{\mu}) = 1$かつ$\delta_t(\theta' : \boldsymbol{\mu}) = 1$が同時に成立する時のみトリップを生成する．航空企業は利潤

最大化行動に従って運行本数nおよび片道運賃pを決定する．いま，航空機の容量制約がなく，1回のフライトにつき固定費用dが必要となると仮定しよう．さらに，利用客あたりの限界費用をcと表す．任意の一つの路線に関する企業の利潤最大化行動は

$$\max_{p,n,\boldsymbol{S}(n),\boldsymbol{t}(n)} \pi(\boldsymbol{\mu}) = 2\{(p-c)X(\boldsymbol{\mu}) - nd\} \tag{4}$$

と表される．フライトの1便当たりの需要関数は

$$x(\boldsymbol{\mu}) = Mn\Phi(p)^2 \tag{5}$$

として表される．$\Phi(p)$は往路・復路に対してトリップを行う意思を持つ家計の家計数の総潜在的家計数に占める割合であり，

$$\begin{aligned}\Phi(p) &= \int_{s_i+f}^{\min\{s_{i+1}+f,\, s_i+\frac{w-p}{\varepsilon}\}} d\theta \\ &= \min\left\{\frac{1-f}{n}, \frac{w-p}{\varepsilon} - f\right\}\end{aligned} \tag{6}$$

と表せる．当該路線の利潤は

$$\pi(\boldsymbol{\mu}) = \begin{cases} 2\left[(p-c)Mn^2\left(\frac{1-f}{n}\right)^2 - nd\right] \\ \qquad : \frac{1-f}{n} \leq \frac{w-p}{\varepsilon} - f \text{の時} \\ 2\left[(p-c)Mn^2\left(\frac{w-p}{\varepsilon} - f\right)^2 - nd\right] \\ \qquad : \frac{1-f}{n} > \frac{w-p}{\varepsilon} - f \text{の時} \end{cases} \tag{7}$$

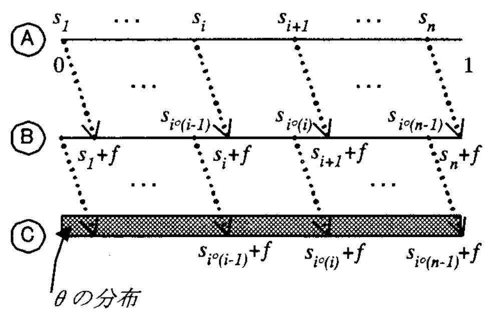
と表せる．独占企業の利潤最大化行動により，最適運賃p^*及び最適フライト数n^*は以下のようになる．

$$p^* = w - \varepsilon\left(\frac{1-f}{n} + f\right) \tag{8a}$$

$$n^* = (1-f)\sqrt{\frac{M\varepsilon(1-f)}{d}} \tag{8b}$$

3. HSネットワークと市場均衡

3つの都市A, B, Cの内，都市Aと都市B，都市Bと都市のみCが互いに直行便で連結されているHSネットワークを考える．都市AとC間の移動を行う家計に着目しよう．直行便のフライト所要時刻をf，都市$A-C$間の片道運賃をqとする．いま，図－1に示すように，都市Aを時刻s_iに出発したフライトが都市Bに到着した後に，最初に都市Bを出発するフライトの出発時刻を$s_{i^\circ(i)}$と表そう．この時，都市Cにおける到着時刻は$s_{i^\circ(i)} + f$となる．一方，都市Bを時刻t_jに出発する復路フライトに乗るためには時刻t_j以前に都市Bに到着しなければならない．時刻t_jまでに都市Bに到着するフライトの中で，もっとも都市Cの出発時刻が遅いフライトの出発時刻を$t_{j^\circ(j)}$と表そう．なお，都市Bを出発する最終フライトnを利用するためには，都市Cを$t_{j^\circ(n)}$までに出発することが必要となる．家計が利用する往路のフライトスケジュールを$g_i = (s_i, s_{i^\circ(i)})$と，帰路のフライトスケジュールを$h_i = (t_{j^\circ(j)}, t_j)$と表そう．ただし，$n \geq i^\circ(i) \geq i^\circ(1)$，$1 \leq j^\circ(j) \leq j^\circ(n)$である．都市$A-C$間のトリップの実行可能集合$\Theta$は



図－1　希望時刻とフライト時刻

$$\Theta = \{(\theta, \theta')|\theta \geq s_{i^\circ(1)} + f \text{ and } \theta' \leq t_{j^\circ(n)}\} \tag{9}$$

と表せる．

家計の選択行動及び企業の利潤最大化行動は紙面の都合上省略するが，前章と同様に定式化することで，最適運賃q^*は希望時刻が$[s_{i^\circ(1)} + f, 1]$，$[1, 2 - t_{j^\circ(n)}]$に属するすべての家計がフライトを利用するインセンティブを持つような運賃の中で最大の水準

$$q^* = w - \varepsilon\left\{\frac{\beta(1-f)}{n^*} + f\right\} \tag{10}$$

に決定される．$\beta = i^\circ(i) - i + 1$である．また運行本数は$AB$間及び$BC$間のダイヤ設定と飛行時間より求まる．

4. ネットワーク形態と社会的厚生

PPネットワークとHSネットワークの社会的厚生を比較する．PPネットワーク，HSネットワークが提供されている場合の消費者余剰CS^*はそれぞれ，

$$\begin{aligned} CS^* &= 6\int_1^2\int_0^1 \max\{U, Y\} d\theta d\theta' \\ &= 6\left[Y + \int_1^2\int_0^1 \{2(w-p) - \varepsilon(S(\theta) + T(\theta'))\} d\theta d\theta'\right] \\ &= 6\left[Y + M(1-f)^2\left\{2(w-p) - 2\varepsilon f - \varepsilon\frac{1-f}{n}\right\}\right] \end{aligned} \tag{11a}$$

$$\begin{aligned} \overline{CS}^* &= 4\left[Y + M(1-f)^2\left\{2(w-p) - 2\varepsilon f - \varepsilon\frac{1-f}{n}\right\}\right] \\ &+ 2\left[Y + M(1-\xi)^2\left\{2(w-q) - 2\varepsilon\xi - \varepsilon\frac{1-f}{n}\right\}\right] \end{aligned} \tag{11b}$$

となる．消費者余剰と企業利潤の和で社会的厚生を評価できる．

5. おわりに

本研究では，頻度の経済性に着目した航空市場モデルを構築しネットワーク形態による効率性の比較を行った．紙面の都合上数値計算は講演時に発表する．