第Ⅳ部門　　　市場階層性を考慮した航空旅客輸送市場のモデル化

神戸大学工学部　　学生員　○片山　裕陽
神戸大学工学部　　正会員　　竹林　幹雄

1．はじめに

1978年の航空規制緩和以来，米国国内航空旅客輸送市場は大手ハブ・アンド・スポーク・キャリア（以後HSキャリア）による寡占状態であった．

一方，一部キャリアの中には，あえてHS型のサービスを行わず，2地点間輸送を行っているものも存在する．その中で，低価格，多頻度運航によりシェアを伸ばしているのが，ノーフリル・キャリア（以後LCキャリア）と呼ばれる付帯サービスを行わない低運賃キャリアである．LCキャリアの中で最大規模のものは，サウスウェスト航空である．近年，サウスウェスト航空に倣い，LCキャリアが新規参入しているが，彼らもまた，着実にシェアを拡大しており，かつての一部大手HSキャリアによる独占的な状態は崩壊しつつある．

さらに，サウスウェスト型のLCキャリアは，EU市場にも登場しており，彼らもまた，急成長を遂げている．今後，日本を含むアジア圏においても，航空需要の飛躍的な伸びを背景として，ノーフリル型のキャリアの参入が相次ぎ，それに伴い，市場の構造的変化が生じると考えられる．

このように，今後のアジア域内および日本の航空旅客輸送市場を考える上で，LCキャリアの行動を無視することはできない．

既往の研究では，規模の経済を発揮するHSキャリアが優位であると結論付けているが，これでは実情を説明しているとは言えない．そこで本研究では，市場における階層的な競争の存在に着目し，市場階層性を考慮した航空旅客輸送市場をモデル化することを目的とする．

2．モデル

（1）モデルのフレーム

本研究で想定する市場は，先発企業であるHSキャリアと後発企業であるLCキャリア各1社ずつ，及び旅客によって構成される航空旅客輸送市場である．市場では，HSキャリアが先行してサービスをはじめているため，市場で優位に行動できるものとする．一方のLCキャリアはHSキャリアの市場優位性を考慮した上で，自らの行動を決定することとする．旅客の需要構造について，O.D.交通量は与件であり一定であるとする．

（2）HSキャリア

HSキャリアは，便数，経路での運賃を制御変数として，自己の利潤を最大化することを行動目的とする．

このときHSキャリアの直面する最適化問題は次のように定式化される．

$$\max \quad : Z^{HS}(f_l^{HS}, p_{rs}^{k,HS}) = \sum_{rs}\sum_{k} p_{rs}^{k,HS} x_{rs}^{k,HS} - \sum_{l\in\Theta^{HS}} f_l^{HS} C_l^{HS} \tag{1}$$

sub.to

$$\sum_{rs}\sum_{k} x_{rs}^{k,HS} \delta_{rs,k}^{l} = x_l^{HS} \tag{2}$$

$$x_l^{HS} \le V_l^{HS} f_l^{HS}, \ for \ {}^{\forall} l \in \Theta^{HS} \tag{3}$$

$$x_l^{HS} \ge \alpha V_l^{HS} f_l^{HS}, \ for \ {}^{\forall} l \tag{4}$$

$$f_l^{HS} \ge 0, \ \ p_{rs}^{k,HS} \ge 0, \ \ for \ \ {}^{\forall} l \in \Theta^{HS} \tag{5}$$

LCキャリアの最適化行動　　(6)

ここで，

Z^{HS}：HSキャリアの目的関数，f_l^{HS}：HSキャリアのレグlでの便数，$P_{rs}^{k,HS}$：HSキャリアのrs間のk番目経路の運賃，$x_{rs}^{k,HS}$：HSキャリアのrs間のk番目経路のO.D.旅客数，x_l^{HS}:HSキャリアのレグlのO.D.旅客数，C_l^{HS}：HSキャリアのレグlに参入し運行するためのコスト，V_l^{HS}：HSキャリアのレグlでの機材容量，
$l \in \Theta^{HS}$　：HSキャリアが営業を行っているレグ
F_h：空港hの滑走路容量，α：目標ロードファクター

（3）LCキャリア

LCキャリアは，後発キャリアであるため，便数，

Michiharu KATAYAMA　,　Mikio TAKEBAYASHI

運賃を制御変数として，HS キャリアからできるだけ多くのシェアを奪うことを行動目的とする．ただしその際，運賃を平均費用としてサービスを提供することとする．そのため，シェアを拡大していく際においても，不採算の路線ではサービスを提供しないものとする．これにより，運賃は便数の関数となるため，独立な制御変数は便数のみとなる．

このとき，LC キャリアの直面する最適化問題は次のように定式化される．

$$\max : Z^{LC}(f_l^{LC}) = \sum_{l\in\Theta^{PP}} x_l^{LC} \tag{7}$$

sub.to

$$x_l^{LC} \le V_l^{LC} f_l^{LC} \text{ , for } \forall l \in \Theta^{LC} \tag{8}$$

$$x_l^{LC} p_l^{LC} - C_l^{LC} f_l^{LC} = 0 \tag{9}$$

$$f_l^{LC} \ge 0, \quad \text{for } \forall l \in \Theta^{LC} \tag{10}$$

（4）旅客

本研究においては，旅客は自己の効用の最大化を目的として行動するものとし，各人の効用はランダム効用理論を導入し説明する．

効用は，旅行費用 P_{rs}^k，総旅行時間 t_{rs}^k，空港での遅れ D_h，路線容量に近づくほど希望するフライトに乗れなくなる可能性が高くなるという見込み費用 $\Gamma(x)$ で構成されるものとする．このとき，rs 間の最適経路旅客量 x_{rs}^k は，確率的利用者均衡の最適化問題を解いた以下のような形で表される．

$$x_{rs}^k = \frac{\exp\left[\theta\left\{-p_{rs}^k - \tau t_{rs}^k - \tau\sum_h D_h \delta^l{}_{rs,k} - \sum_l \Gamma(x_l)\delta_{rs,k}{}^l\right\}\right]}{\sum_k \exp\left[\theta\left\{-p_{rs}^{k'} - \tau t_{rs}^{k'} - \tau\sum_h D_h \delta^l{}_{rs,k'} - \sum_l \Gamma(x_l)\delta_{rs,k'}{}^l\right\}\right]} X_{rs} \tag{11}$$

ここで，

$$t_{rs}^k = \sum_l \sum_m \left\{ t_l^m + \frac{OPEN^h}{f_l^m} \right\} \delta_{l,m}^{st,k} \tag{12}$$

$$D_h = \frac{\beta}{F_h - \sum_l f_l \delta^h{}_l} \tag{13}$$

$$\Gamma(x_l) = \frac{\gamma}{V_l f_l - x_l} \tag{14}$$

3．最適性条件

本モデルは，均衡制約つき最適化問題（MPEC）に分類されるものである．本モデルは第 1 層が HS キャリア，第 2 層が LC キャリア，第 3 層が旅客と 3 層構造になっているが，各層ごとに最適化問題を形成している．そして，各階層の最適化問題は，全て上位の問題で決定される便数，運賃を与件として問題を構成することになる．

ここで，第 1 層 HS キャリアの問題を上位問題，第 2 層 LC キャリアの問題を下位問題として MPEC（2 レベル計画法[1]）を適用する．

このとき，下位問題を必要十分条件となる最適性条件で置き換えることができるので，2 階層の問題は以下の

1 つの問題と等価になる．

$$\max_{f_l^{HS}, f_l^{LC}} \; : Z^{HS}(f_l^{HS}, f_l^{LC}) \tag{15}$$

$$\textit{sub.to} \quad g^{HS}(f_l^{HS}, f_l^{LC}) \le 0 \tag{16}$$

$$\nabla_{f_l^{LC}} Z^{LC}(f_l^{HS}, f_l^{LC})^{\mathrm{T}} = 0 \tag{17}$$

ここで，$g^{HS}(f_l^{HS}, f_l^{LC})$ は上位問題の制約条件を関数化したものである．

そして，その勾配は以下のようになる．

$$\begin{aligned}\nabla Z^{HS} &= \nabla_{f_l^{HS}} Z^{HS}(f_l^{HS}, f_l^{LC}) - \nabla_{f_l^{LC}} Z^{HS}(f_l^{HS}, f_l^{LC}) \\ &\quad * [\nabla^2{}_{f_l^{LC} f_l^{LC}} Z^{LC}(f_l^{HS}, f_l^{LC})]^{-1} [\nabla^2{}_{f_l^{HS} f_l^{LC}} Z^{LC}(f_l^{HS}, f_l^{LC})^{\mathrm{T}}]\end{aligned} \tag{18}$$

同様にして

$$\begin{aligned}&\nabla g^{HS}(f^{HS}) \\ &= \nabla_{f_l^{HS}} g^{HS}(f_l^{HS}, f_l^{LC}) - \nabla_{f_l^{LC}} g^{HS}(f_l^{HS}, f_l^{LC}) \\ &\quad * [\nabla^2{}_{f_l^{LC} f_l^{LC}} Z^{LC}(f_l^{HS}, f_l^{LC})]^{-1} [\nabla^2{}_{f_l^{HS} f_l^{LC}} Z^{LC}(f_l^{HS}, f_l^{LC})^{\mathrm{T}}]\end{aligned} \tag{19}$$

このような勾配を利用することで，最適解を求解することが可能である．

4．おわりに

本研究では，市場階層性を考慮した 3 階層の問題を，等価な 1 つの問題として，変換することが可能であることを示した．

参考文献

1)Ken Hendricks：EQUILIBRIA IN NETWORKS
2)志水清孝：多目的と競争の理論，共立出版株式会社