

神戸大学工学部	学生員	○高橋 敬三
神戸大学工学部	正会員	竹林 幹雄
神戸大学大学院自然科学研究科	学生員	片山 裕陽
神戸大学工学部	フェロー会員	黒田 勝彦

1. はじめに

本研究は、北米国内市場におけるハブ・スポーク型サービスを供給する HS キャリアと 2 点間輸送・低費用戦略で市場シェアを伸張している LC キャリアの競争を実証的にとらえることを目的とする。なお、実証分析で用いるモデルには、既に開発されている Takebayashi¹⁾ の多階層市場モデルを実証分析に適用できるように調整して用いることとした。

2. 北米沿岸域市場における HS キャリアと LC キャリアの競争

1978 年の規制緩和以降、Southwest 航空に代表される低費用キャリアのシェア拡大は著しいものがある。一般的な議論は Mason²⁾などに詳しいため、本研究ではまず実際にどのような競争が行われているかについて分析を試みた。多くの OD 市場では多数の HS キャリアと新規参入の少数の LC キャリアが競争している。ここでは現象を明確に把握するために、HS キャリアと LC キャリアの 1 対 1 競争として有名な、北米西海岸シアトルからフロリダ州マイアミまでのいわゆる北米沿岸域市場における Continental 航空と Southwest 航空の競争に注目した。

データとしては北米市場分析のために標準的に利用される Data Inc.社の OD Plus, Onboard, form41 (いずれも米国交通省のデータをまとめたもの)、および包括的な時刻表である OAG の Flight Table の 1998 年第 4 四半期のデータを用いた。それによると Continental 航空はヒューストンをハブ空港とした、ハブアンドスポークにより広いネットワークを運行しているのに対し、Southwest 航空は主にカリフォルニア周辺の短距離路線において多頻度運行している(図 2-1)。また、同一リンクにおいて Continental 航空の便数の約 2 倍である (Dallas-Houston 間において Continental 航空が週 197 便に対し Southwest 航空は週 337 便である)。また、空港容量に余裕の無い空港には乗り入れず、その付近の比較的ゆとりのある空港を選んでいく。例を挙げると Houston における Houston Hobby Apt や Dallas における Dallas Love Field Apt である。Houston Intl Apt は Continental 航空のハブ空港であり米国で 11 番目に繁忙している空港である。以上のことより、HS キャリアの規模の経済による戦略と、LC キャリアの混雑を避け多頻度運行という戦略により、両者は旅客の獲得競争を行っているという状態が明らかである。

3. モデル

ここでは分析対象地とした北米沿岸域市場に対して Takebayashi によって開発されたモデルを適用し、市場の特性を明らかにする。

(2) HS キャリア

HS キャリアは HS サービスを提供することで自己の利潤を最大化することを目的とする。

HS キャリアの営業区間におけるリンク l の集合を Θ^{HS} 、経路 k の集合を Ω^{HS} で表す。HS キャリアは l での便数 f_l^{HS} および、OD ペア rs 間での経路運賃 $p_{rs}^{k,HS}$ を操作変数とすると考える。各リンクの HS キャリアの運行費用を $C_l^{HS,OPE}$ 、固定費用を $C_l^{HS,FIX}$ とすると、HS キャリアの利潤最大化問題は以下のようにになる。

$$\begin{aligned} \max : & Z^{HS} (f_l^{HS}, p_{rs}^{k,HS}) \\ = & \sum_{rs} \sum_{k \in \Omega^{HS}} p_{rs}^{k,HS} x_{rs}^{k,HS} - \sum_{l \in \Theta^{HS}} f_l^{HS} C_l^{HS,OPE} - \sum_{l \in \Theta^{HS}} C_l^{HS,FIX} \quad (1) \\ \text{sub to } & x_l^{HS} \leq V_l^{HS} f_l^{HS}, \text{ for } \forall l \in \Theta^{HS} \quad (2) \\ & p_{rs}^{k,HS} \geq 0, \text{ for } \forall k \in \Omega^{HS} \quad (3) \\ & f_l^{HS} \geq 0, \text{ for } \forall l \in \Theta^{HS} \quad (4) \end{aligned}$$

$$x_l^{HS} = \arg \max \{u_k^{rs}(p^{HS}, f^{HS}, f^{LC})\} \quad (5)$$

ここで、(1)は HS キャリアの目的関数である。(2)は供用座席数制約であり、 x_l^{HS} は HS キャリアの運行路線のリンク l においての旅客数、 V_l^{HS} は供用座席数である。(3),(4)は各操作変数の非負制約である。(5)は旅客の行動が HS および LC キャリアの行動の帰結であることを示すとともに、HS キャリアの市場優先性を考慮し、LC キャリアの最適化行動(f^{LC})により自己の戦略を変えられることを示している。

(3) LC キャリア

LC キャリアも HS キャリアと同様自己の利潤を最大化することを目的とすると考える。

$$\begin{aligned} \max : & Z^{LC} (f_l^{LC}, p_{rs}^{LC}) \\ = & \sum_{l \in \Theta^{LC}} x_l^{LC} p_l^{LC} - \sum_{l \in \Theta^{LC}} f_l^{LC} C_l^{LC,OPE} - \sum_{l \in \Theta^{LC}} C_l^{LC,FIX} \quad (6) \\ \text{sub to } & \omega^{LC} V_l^{LC} f_l^{LC} \leq x_l^{LC} \leq V_l^{LC} f_l^{LC}, \text{ for } \forall l \in \Theta^{LC} \quad (7) \\ & p_l^{LC} x_l^{LC} = (1 + \eta) (f_l^{LC} C_l^{LC,OPE} + C_l^{LC,FIX}) \end{aligned}$$

$$, \text{for } \forall l \in \Theta^{LC} \quad (8)$$

$$p_l^{LC} \geq 0, \text{for } \forall l \in \Theta^{LC} \quad (9)$$

$$f_l^{LC} \geq 0, \text{for } \forall l \in \Theta^{LC} \quad (10)$$

$$x_l^{HS} = \arg \max \{u_k^{rs}(\tilde{p}^{HS}, \tilde{f}^{HS}, f^{*LC})\} \quad (5')$$

ここで、(6)はLCキャリアの目的関数を表す。(7)はロードファクター制約と供用座席数制約であり、LCキャリアはある一定以上のロードファクター ω^{LC} を維持しているものとする。(8)は料金に関する制約であり、LCキャリアはマークアップ率 η によって平均費用よりある一定の割合だけ大きい値に決定されるとする。(9),(10)は運賃、便数における非負制約である。

なお(5')は(5)とほぼ同意であるが、既にHSキャリアで決定された情報($\tilde{p}^{HS}, \tilde{f}^{HS}$)をもとにLCキャリアは行動し、その帰結が旅客行動に表れることを意味している。

(4)旅客

ODペアrs間の旅客は自己の効用を最大化することを目的に行動する。ここで考える効用項は空港間における多頻度によるもの、運賃、所要時間、空港混雑による飛行機の遅れ時間、一日の便のうち希望する便に乗りなくなる見込み費用である。

ここで、確率的利用者均衡状態を仮定すれば、旅客の均衡交通量は以下のように記述される。

$$x_{rs}^k = \frac{\exp \left\{ \theta \left(\varepsilon \sum_l f_l \delta_{rs,k}^l - p_{rs}^k - \tau_1 t_{rs}^k - \tau_2 \sum_h D_h \delta_{rs,k}^h - \gamma \sum_l \Gamma(x_l) \delta_{rs,k}^l \right) \right\}}{\sum_k \exp \left\{ \theta \left(\varepsilon \sum_l f_l \delta_{rs,k}^l - p_{rs}^k - \tau_1 t_{rs}^k - \tau_2 \sum_h D_h \delta_{rs,k}^h - \gamma \sum_l \Gamma(x_l) \delta_{rs,k}^l \right) \right\}} X_{rs} \quad (11)$$

X_{rs} はODペアrs間の総旅客数である。 t_{rs}^k はODペアrs間のk番目の経路における旅行時間であり、ラインホール時間と平均フライト待ち時間で構成される。

$$t_{rs}^k = \sum_l \left(t_l + \frac{OPEN}{f_l} \right) \delta_{rs,k}^l$$

D_h は空港hにおける混雑による飛行機の遅れ時間を表す。

$$D_h = \alpha \left(\frac{\sum_l f_l^h}{F_h} \right)$$

ここで α はパラメーターであり、 F_h は空港hの空港容量である。

$\Gamma(x_l)$ はある経路における一日の便のうち希望する便に乗りなくなるという見込み費用を表す。

$$\Gamma(x_l) = \beta \left(\frac{x_l^m}{V_l^m f_l^m} \right)^\gamma$$

ここで、 β, γ はパラメーターである。

4. 解法

本モデルは均衡制約付き最適化問題(MPEC)に分類されるものであり、HSキャリアの問題である上位問題とLCキャリアの問題である下位問題で構成される。既に厳密解法が提案されている¹⁾ものの、実用計算を行う上では未だ非常に計算時間を必要とするという欠点がある。このため、清水⁴⁾などにより提案されている分子限定法を応用した近似解法を採用することとした。なお、上位問題では便数と運賃の二つ操作変数が存在するが互いに関連のある操作変数のため同時に二つの解を求めることはできない。よってどちらか一方を固定とし逐次改良し、最適な解を求めた。また、下位の最適化問題は上位の問題で決定される便数、運賃を与件として問題は構成される。

まず、運賃を固定とした場合、LCキャリアの便数、運賃決定を予測した上でHSキャリアは最適な便数を決定する。次にその決定された便数を固定とし、同じようにLCキャリアの便数、運賃決定を予測した上でHSキャリアは最適な運賃を決定する。この便数、運賃固定の繰り返しをHSキャリアの利潤が収束するまで行い、最適なHSキャリアの便数と運賃の組み合わせを求める。

5. 数値計算

ここではモデルの挙動を確認するためにContinental航空とSouthwest航空について、北米西海岸の市場において前述の解法に従って数値計算を実行する。

なお、紙面の都合上詳細な設定、および計算結果は講演時に示すこととする。

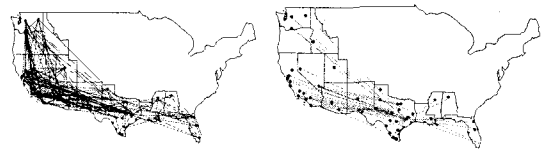


図2-1 各キャリアのネットワーク比較図
左がSouthwest航空、右がContinental航空

参考文献

- 1) Takebayashi, M.: Network Competition: Bi-level Programming Approach, INFORMS Annual meeting 2003.
- 2) Mason, K. J.: Marketing low-cost airlines services to business travelers, Jnl. Of Air Transport Management, 7, 103-109, 2001
- 3) Hendricks, K et al. : Entry and exit in hub-spoke networks, RAND jnl. of Economics, Vol.28, No.2, 291-303, 1997
- 4) Shimizu, K., Ishizuka, Y.: Non-differentiable and Two-Level Mathematical Programming, Kluwer Academic Publishers, 1999.