

IV-388

シュタッケルベルグ均衡による国内航空ネットワークの最適化

大 阪 市 正 会 員	春 名 薫
神戸大学工学部 正 会 員	黒 田 勝 彦
神戸大学工学部 正 会 員	竹 林 幹 雄
神戸大学大学院 学 生 会 員	正 木 智 也

1、はじめに

わが国では、経済成長にともない、輸送交通機関の高速化が図られてきた。それとともに、国内航空需要は飛躍的に増加し、空港整備も進められてきた。しかし、航空ネットワークをより有効に機能させるために、利便性が高く、効率性の高いネットワークの形成が必要である。

本研究では国内航空ネットワークの最適化を検討するために、集計的アプローチにより精度の高いモデルの構築を目的としている。参加主体として航空会社、鉄道会社、旅行者を取り上げ、これら3者の行動から均衡解を導くことによりネットワークの最適化を行う。また現行ネットワークにおけるモデルの再現性の検証を行った後、国内ハブ空港導入というシナリオに基づく政策シミュレーションを行い、今後の航空ネットワーク整備について検討を行った。なおデータとしては平成3年度幹線旅客純流動調査を利用した。

2、モデル構造と定式化

参加主体の関係として、航空会社と鉄道会社を競合関係、この2者と旅行者をシュタッケルベルグ均衡関係と仮定してモデルの構築を行った。ただし、鉄道会社は戦略を有しない主体であるとした。

航空会社（キャリア）は、旅行者の経路選択行動が最適化されることを前提条件として、自己の利潤を最大化する戦略をとるとし、以下のような定式化を行った。

$$\max B(y^l) = \sum_l \left\{ \sum_i \sum_j \sum_k \delta_{ijk}^l \cdot x_{ijk} \cdot p^l - y^l (LC^h \cdot \delta_h^l + AC^l) \right\} \text{ s. t. } \quad \sum_l \delta_h^l \cdot y^l \leq CP^h \quad (\text{for } \forall l \in L)$$

$$y^l \geq 0 \quad (\text{for } \forall l \in L)$$

and 旅行者の行動式 s. t. 制約条件式

ここで、 $x_{ijk}$  ; i j 間 k 経路の旅行者数。 $\delta_{ijk}^l$  ; i j 間 k 経路のリンク l についてのクロネッカー  $\delta$  で i j 間 k 経路がリンク l を通るときに 1 をとり、それ以外は 0 をとる。 $p^l$  ; リンク l の航空運賃。 $y^l$  ; リンク l の運行頻度。 $LC^h$  ; 空港 h の空港使用料。 $AC^l$  ; リンク l を通るとき片道当たりの、空港使用料を除く運行費用。 $CA^l$  ; リンク l の機材容量。各リンクには 1 種類の機材のみとし、リンクに固有の値とする。 $CP^h$  ; 空港 h の空港容量。 $\delta_h^l$  ; リンク l の空港 h についてのクロネッカー  $\delta$  でリンク l が空港 h を発着空港とするときには 1 をとり、それ以外は 0 をとる。 $\lambda$  ; ロードファクター (=0.7)。 $L$  ; 航空路線の集合。

旅行者（ユーザ）の行動は、航空会社、鉄道会社の頻度、所要時間ならびに運賃を知らされた後に自己の経路選択行動を最適化することとする。本研究では旅行者の行動規範として総旅行時間最短、総旅行費用最小、時間価値を考慮した総費用最小の 3 種を設けた。以下に 1 例として総旅行時間最短規範の場合の行動式を示す。

$$\min T(x_{ijk}) = \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} \cdot t_{ijk}$$

$$= \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} \left\{ t_{ijk}^{ai} + \sum_l \delta_{ijk}^l \cdot t^l + \sum_l \delta_{ijk}^l \cdot \frac{OT^h}{2y^l} \right\}$$

s. t.  $\sum_k x_{ijk} = X_{ij}$

$$\sum_i \sum_j \sum_k \delta_{ijk}^l \cdot x_{ijk} \leq \lambda \cdot y^l \cdot CA^l \quad (\text{for } \forall k \in K) \quad x_{ijk} \geq 0$$

ここで、 $t_{ijk}$  ; i j 間 k 経路の総旅行時間。 $t_{ijk}^{ai}$  ; i j 間 k 経路のアクセス+イグレス時間。 $t^l$  ; リンク番号 l のリンクの旅行時間。 $OT^h$  ; ターミナル h の営業時間。 $X_{ij}$  ; i j 間の旅行者数。 $K$  ; 航空路線を使用する経路の集合。

3、ケーススタディ

まず、平成3年度における国内全域を対象としてケーススタディを行った。頻度を現行のまま変化させないも

のとして、各行動規範における路線別利用者数を求めることにより最も再現性に優れた行動規範の検証を行った。このときハブ機能を持つ空港を東京国際、大阪国際の2空港とした。結果として、時間最短とした場合に最も高い再現性が得られた。各行動規範における実績値と推定値の相関係数ならびに分散を表-1に示す。また、時間価値の変化に伴う相関関係の推移を検証した。その結果、時間価値の上昇とともに相関性も高まるが、その上昇は時間最短規範の相関係数に漸近的であることが認められた。このことから時間最短が旅行者の行動規範として最も適しているといえる。

次に、総旅行時間最短規範を用いて、航空会社の利潤を最大化する頻度パターンの探索を行った。この結果、航空会社の利潤を改善する頻度パターンは存在せず、現在の頻度パターンが航空会社にとって最適な頻度パターンであることがわかった。

次にシナリオに基づき関西国際空港を加えたネットワークを考えた。シミュレーションとしては、  
 SIM1: 関西国際空港開港当時の運行頻度を用いての路線別旅客数ならびに航空会社の利潤の推定  
 SIM2: 開港当時のネットワークパターン(路線の廃止、新設なし)での最適頻度パターン探索  
 SIM3: ネットワークの形状を Hub & Spoke 型とした場合の最適ネットワークならびに頻度パターン探索  
 SIM4: 大阪国際空港を廃止した場合の Hub & Spoke 型ネットワークでの最適ネットワーク及び頻度パターン探索  
 の4つを行うこととした。各シミュレーションの結果を図-1、2に示す。

開港当時のネットワークと比較して、Hub & Spoke 型ネットワークのほうが航空会社の利潤を増大させる結果を得た。これは Hub & Spoke 型ネットワークにすることによって営業路線の集約がなされ、効率性の高い運行が可能となるためである。その一方で、平均旅行時間は増加した。これは Hub & Spoke 型ネットワークでは、地方空港間の移動には、多くの場合乗り継ぎを行う必要があるためである。しかし1人当たりの旅行時間の増加は10分程度であり、時間面の影響は軽微であるといえる。また大阪国際空港を廃止することにより航空会社の営業上の効率性はさらに向上する結果となった。なお各ハブ空港における乗り継ぎ客の割合を表-2に示す。

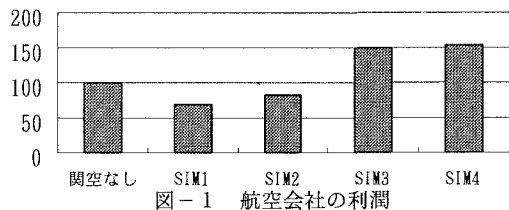
表-1 計算結果

	相関係数	分散
総旅行時間最小	0.98162	270882
総旅行費用最小	0.03957	5318634
時間価値費用最小	0.94045	765738

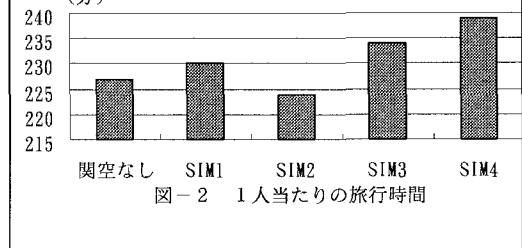
表-2 ハブ空港における乗り換え率

	関空なし	SIM1	SIM2	SIM4
全利用者 (人/日)	東京国際	123508	126840	122232
	大阪国際	50008	35423	36310
	関西国際	***	17015	20253
乗り換え 利用客 (人/日)	東京国際	3143	3796	3757
	大阪国際	5013	3403	3199
	関西国際	***	2131	3036
乗り換え率	東京国際	0.02545	0.02993	0.02962
	大阪国際	0.10025	0.09607	0.08811
	関西国際	***	0.12526	0.14992

(関空なしを100とした)



(分)



#### 4、まとめ

本研究では航空会社、鉄道会社、旅行者の行動について定式化を行い国内全域を対象としてモデルの適用を行った。しかし待ち時間の算出方法に改良の余地がある。またODの変化を考慮したモデルの構築を行う必要があると思われる。

#### 《参考文献》

- 1)黒田勝彦, 竹林幹雄, 三保木悦幸, 春名薫: シュタッケルベルグ問題としての航空ネットワーク分析, 土木学会年次講演概要集 No. 50 1995 pp780-781
- 2)Kanafani, A, Ghobrial, A. A : AirLine Hubbing- Some Implications for Airport Economics, transportation Research A 19・A No. 1 pp15-27 1985