

神戸大学大学院 学生会員 ○三保木悦幸  
 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 春名 薫

### 1. はじめに

我が国の航空需要は、高度経済成長を契機に、近年まで著しい増加をたどってきたが、バブル経済の崩壊後、国内および国際航空旅客数は一時的に減少したが、今後も長期的には大きな伸びが予想されると同時に、代替交通機関および航空会社同士の競争が激化すると思われる。

そこで本研究では、航空ネットワークの参加主体として、航空会社と旅行者の他に、航空会社の主な競合相手として鉄道会社を取り上げ、これら3者の行動から均衡解を導くこととする。そして、均衡解を与えるネットワークモデルの開発を行い、航空会社の戦略ひいては空港整備戦略に資することを目的とする。

### 2. 航空ネットワークモデルの構築

本研究では、上記3者の関係として航空会社および鉄道会社を競争関係、この2者と旅行者の関係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。

まず、航空会社は、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採り得るとし、以下のような定式化を行った。

$\max B^{ar}$

$$= \sum_i \sum_j \sum_{L^{ar}} \left( \sum_k \delta_{ijk}^{L^{ar}} \cdot x_{ijk} \cdot p^{L^{ar}} - f^{L^{ar}} \cdot COST^{L^{ar}} \right) \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_k x_{ijk} = X_{ij} \quad (2)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_k \delta_{ijk}^L \cdot x_{ijk} \leq f^{L^{ar}} \cdot CAPA^{L^{ar}} \quad (3)$$

$$\sum_{L^{ar}} \delta_h^{L^{ar}} \cdot f^{L^{ar}} \leq CAPA_{port_h} \quad (4)$$

$$f^{L^{ar}} \leq CAPAlink^{L^{ar}} \quad (5)$$

$$x_{ijk} \geq 0, \quad f^{L^{ar}} \geq 0 \quad (6)$$

ここで、 $x_{ijk}$  ;  $i$   $j$  間  $k$  経路の利用者数、 $\delta_{ijk}^L$  ;

$i$   $j$  間  $k$  経路のリンク  $L$  についての 0-1 変数で  $i$   $j$  間  $k$  経路がリンク  $L$  を通るときに 1 をとり、そうでないときには 0 をとる。 $p^L$  ; リンク番号  $L$  のリンクの航空 (鉄道) 運賃。 $f^L$  ; リンク番号  $L$  のリンクの運行頻度。 $COST^L$  ; リンク  $L$  を通るときの 1 回あたりの運行費用。 $X_{ij}$  ;  $i$   $j$  間の旅行者数。 $CAPA^L$  ; リンク  $L$  の機材容量。 $\delta_h^L$  ; リンク  $L$  の空港  $h$  についての 0-1 変数でリンク  $L$  が空港 (駅)  $h$  を発着空港 (駅) とするときには 1 をとり、そうでないときには 0 をとる。 $CAPA_{port_h}$  ; 空港 (駅)  $h$  の空港 (駅) 容量。 $CAPAlink^L$  ; リンク  $L$  のリンク容量。ただし、 $L^{ar}$  は、全てのリンク  $L$  の中で航空路線のみを表すものである。

次に、旅行者の行動は、航空会社および鉄道会社の頻度、所要時間および路線運賃を知らされて、自己の経路選択行動を最適化することとする。その行動基準は時間最短基準と費用最小基準の2種類が考えられるが、航空機利用の最大利点は旅行時間短縮であるので、本研究では、時間最短基準の適用例のみを示す。ここで、旅行者の行動について以下のような定式化を行った。

$\min T$

$$= \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} \cdot t_{ijk}$$

$$= \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} \cdot \left\{ t_{ijk}^{ai} + \sum_L \delta_{ijk}^L \cdot t^L + \sum_L \delta_{ijk}^L \cdot \frac{OPEN^h}{2 \cdot f^L} \right\} \quad (7)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_k x_{ijk} = X_{ij} \quad (8)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_k \delta_{ijk}^L \cdot x_{ijk} \leq f^L \cdot CAPA^L \quad (9)$$

$$x_{ijk} \geq 0 \quad (10)$$

ここで、 $t_{ijk}$  ;  $i$   $j$  間  $k$  経路の総所要時間。 $t_{ijk}^{ai}$  ;  $i$   $j$  間  $k$  経路のアクセス+イグレス所要時間。 $t^L$  ; リンク番号  $L$  のリンクの所要時間。 $OPEN^h$  ; 空港 (駅)  $h$  の運用時間。

### 3. 航空ネットワークモデルの適用例

本研究において、ケーススタディーを行う対象範囲としては、関西国際空港が開港する以前の九州－関西間の一方通行のネットワークを考え、ケーススタディーを行った。表－2および表－3に適用結果を示す。なお、OD交通量は表－1とし、リンク路線は図－1に示すものとする。また、九州は各県を、関西は関西全域を1ゾーンとして見なし、それぞれの人口は中心駅に集中しているものとする。ここで、 $i$ 、 $l$ は九州内の福岡を除く各県の中心駅および空港、 $k$ 、 $h$ は博多駅および福岡空港、 $j$ 、 $m$ は大阪駅および伊丹空港である。

表－3に示すように、現行頻度でのリンク別交通量は現行とほぼ同じ値が得られた。しかし、均衡頻度およびこのときのリンク交通量は実績値<sup>3)</sup>と多少異なっている。特に鹿児島－伊丹間では、均衡時と実績値のリンク交通量は4割減となっている。これは、今回は鉄道会社に戦略を持たせず、また航空会社の行動目的を利潤最大のみに限定したため、航空会社が故意に路線頻度を減らし、他の航空路線へ旅行者が流れるように仕向けたものと考えられる。

### 4. おわりに

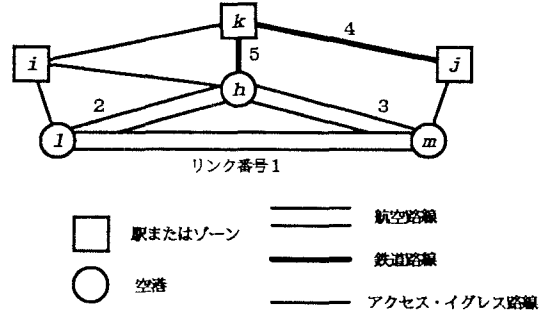
本研究では、航空ネットワークを構成する参加主体として航空会社と旅行者の他に競合相手の鉄道会社を取り上げ、それぞれの定式化を行い、九州－関西間でモデルの適用を行った。しかし、鉄道会社に戦略を持たせなかったこと、前提条件が適切でなかったことなどから均衡頻度およびこのときのリンク交通量は実績値と多少異なった値が求められた。

今後、鉄道会社の取り扱いや、旅行者の行動の定式化などを改良し、ケーススタディーを行う必要がある。また、他の主体の参加についても考える必要があると思われる。

表－1 九州－関西間OD表

| 出発ゾーン | 到着ゾーン |        |
|-------|-------|--------|
|       | 福岡    | 関西     |
| 九州    | 福岡    | 8.299  |
|       | 佐賀    | 1.052  |
|       | 長崎    | 1.456  |
|       | 熊本    | 2.305  |
|       | 大分    | 1.443  |
|       | 宮崎    | 1.326  |
|       | 鹿児島   | 1.738  |
| 計(九州) |       | 15.620 |

(単位：千人/日)



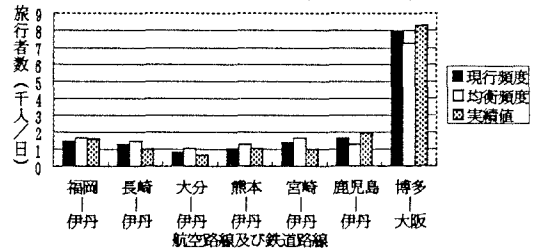
図－1 リンク、アクセス、イグレス路線

表－2 モデルの適用結果(路線頻度)

| 出発空港 | 到着空港 | 現行 | 均衡 |
|------|------|----|----|
| 福岡   | 宮崎   | 7  | 8  |
| 福岡   | 鹿児島  | 8  | 5  |
| 福岡   | 伊丹   | 7  | 8  |
| 長崎   | 鹿児島  | 3  | 2  |
| 長崎   | 伊丹   | 8  | 7  |
| 大分   | 伊丹   | 4  | 5  |
| 熊本   | 伊丹   | 5  | 8  |
| 宮崎   | 伊丹   | 7  | 8  |
| 鹿児島  | 伊丹   | 8  | 8  |
| 博多   | 大阪   | 80 | 80 |

(単位：便/日)

表－3 モデルの適用結果(リンク交通量)



### 参考文献

- 1) 黒田勝彦、大橋忠宏：シュタッケルベルグ問題としての空港ネットワーク最適化モデル、土木計画学研究・講演集 No.16(1) 1993.12 pp737-743
- 2) 細江守紀：非協力ゲームの経済分析、頸草書房
- 3) 平成4年度旅客地域流動調査、運輸省運輸局情報管理部編 1994