土木学会第50回年次学術講演会（平成7年9月）

Ⅳ－390

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

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者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。ただし、本研究において、鉄道会社は自己の戦略を持たない主体として参加させるものとする。

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。

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

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

$$\sum_i\sum_j\sum_k \delta_{ijk}^{L}\cdot x_{ijk}\le f^{L^{air}}\cdot CAPA^{L^{air}} \tag{3}$$

$$\sum_{L^{air}}\delta_h^{L^{air}}\cdot f^{L^{air}}\le CAPAport_h \tag{4}$$

$$f^{L^{air}}\le CAPAlink^{L^{air}} \tag{5}$$

$$x_{ijk}\ge 0,\quad f^{L^{air}}\ge 0 \tag{6}$$

ここで、x_{ijk}；ｉｊ間k経路の利用者数、δ_{ijk}^{L}；ｉｊ間k経路のリンクLについての0－1変数でｉｊ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}；ｉｊ間の旅行者数。$CAPA^L$；リンクLの機材容量。δ_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。$CAPAport_h$；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^{air}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。

$$\min T$$
$$=\sum_i\sum_j\sum_k x_{ijk}\cdot t_{ijk}$$
$$=\sum_i\sum_j\sum_k x_{ijk}\cdot\left\{t_{ijk}^{ai}+\sum_L \delta_{ijk}^{L}\cdot t^L+\sum \delta_{ijk}^{L}\cdot\frac{OPEN^h}{2\cdot f^L}\right\} \tag{7}$$

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

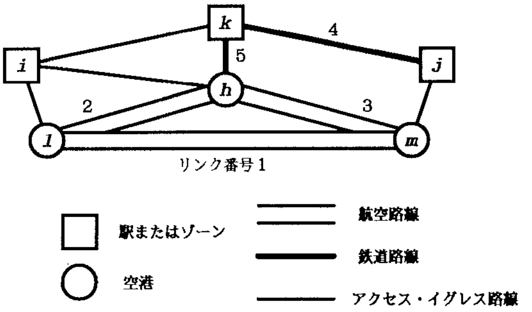
$$\sum_i\sum_j\sum_k \delta_{ijk}^{L}\cdot x_{ijk}\le f^L\cdot CAPA^L \tag{9}$$

$$x_{ijk}\ge 0 \tag{10}$$

ここで、t_{ijk}；ｉｊ間k経路の総所要時間。t_{ijk}^{ai}；ｉｊ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ー関西間の双方向のネットワークを考え、また投入機材総数を１０から６０まで５機ずつ変化させ、ケーススタディーを行った。なお、OD交通量は表ー1，2、リンク路線は図ー1に示す。また、九州は各県を、関西は



図ー1　リンク、アクセス、イグレス路線

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とする。ここで、ｉ、ｌは九州内の福岡を除く各県の中心駅及び空港、ｋ、ｈは博多駅及び福岡空港、ｊ、ｍは大阪駅及び伊丹空港である。

図ー２に投入機材数による企業の収益変化を、図ー３，４に適用結果を示す。路線頻度に関しては、宮崎ー伊丹間では大幅に減少し、その分を隣接する空港に補わせる形となっている。これは、旅行者の行動を、各個人に対して最適ではなくネットワーク全体として最適としたために得られた結果であると考えられる。また、リンク交通量に関しては、旅行者の行動を時間最短にしたために、航空路線は全般的に過大評価されているが、福岡、宮崎、鹿児島では過小評価されている。これは、特に福岡では航空と鉄道の旅行時間の差が小さいため、時間差の大きい佐賀の旅行者を優先させたものと考えられる。また宮崎では、航空路線が他空港に分散されたことに伴って、旅行者も他経路に分散され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、九州ー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と考えられることなどから均衡頻度及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、関西ゾーンの細分化、ネットワークの拡大についても考える必要があると思われる。

表ー1　九州ー関西西間ＯＤ表

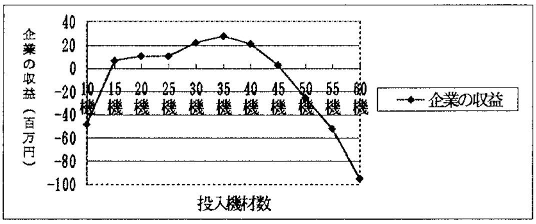
		到着ゾーン
		関西
出発ゾーン	福岡	6.299
	佐賀	1.052
	長崎	1.456
	熊本	2.305
	大分	1.443
	宮崎	1.326
	鹿児島	1.738
	計（九州）	15.620

（単位：千人／日）

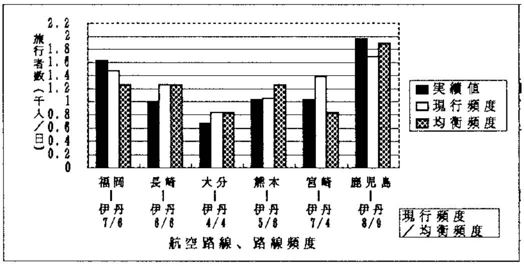
表ー２　関西ー九州間ＯＤ表

		出発ゾーン
		関西
到着ゾーン	福岡	5.541
	佐賀	1.014
	長崎	1.833
	熊本	2.138
	大分	1.452
	宮崎	1.376
	鹿児島	2.102
	計（九州）	15.457

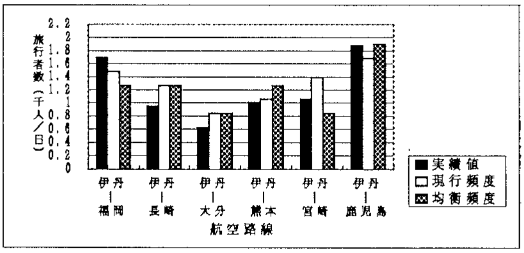
（単位：千人／日）



図ー２　投入機材数による企業の収益変化



図ー３　モデルの適用結果（九州ー関西間リンク交通量）



図ー４　モデルの適用結果（関西ー九州間リンク交通量）

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、頚草書房

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