旅客と航空会社の行動を考慮した空港整備計画モデル

熊本大学工学部　学生員○西田和弘　熊本大学大学院　学生員　大橋忠宏
熊本大学工学部　正　員　山下智志　神戸大学工学部　正　員　黒田勝彦

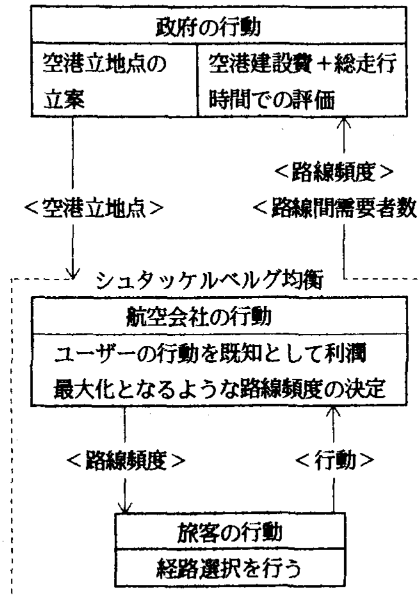
1．はじめに

現在，航空ネットワークの整備については，空港整備計画，運行計画，需要予測が別々に扱われている。しかし，主体の行動が相互に大きく影響しあう現状を考えると，これらを一体とした問題として扱う必要がある。黒田，大橋[1]は，航空会社は旅客の行動の予測が可能であると仮定し，旅客は航空会社の行動の結果のみを情報として得ることより，この関係をシュタッケルベルグ均衡問題として扱っている。

そこで本研究では，黒田らの研究を踏まえながら，これに航空輸送の代替交通機関として鉄道輸送を加えた，モデルの開発を行う。

2．問題のフレームと定式化

本研究での主体相互間の関係を（図－1）に示し，各主体のモデル化の概念と，モデル式を以下に示す。



（図－1）

(1) 政府：空港位置，規模の情報を航空会社，旅客に与える。その案においての航空会社，旅客の行動により示される路線頻度，路線間需要者数より，総走行時間，空港建設費用で評価を行う。

・政府の最適行動モデル

$$
\begin{cases}
\underset{(tA_{ik},\,tI_{lj},\,F_k)}{\mathrm{MIN.}}\ G = C_c + \xi\left(\sum_k\sum_l tF_{kl}\cdot f_{kl} + \sum_k\sum_i tA_{ik}\cdot X_{ik..} + \sum_j\sum_l tI_{lj}\cdot X_{..lj}\right) \\
\text{Subject To}\quad f_k = \sum_l (f_{kl} + f_{lk}) \leqq F_k
\end{cases}
$$

C_c　：空港建設
ξ　：空港建設費に対する時間の重み
tF_{kl}：フライト時間，　f_{kl}　：路線運行頻度
tA_{ik}：アクセス時間，　tI_{lj}：イグレス時間
$X_{ik..}$：$(=\sum_l\sum_j X_{iklj})$ iゾーンからのk空港利用者数
$X_{..lj}$：$(=\sum_i\sum_k X_{iklj})$ l空港からjゾーンへの利用者数
F_k　：k空港最大離発着数

(2) 航空会社：空港位置，規模が示された上で旅客の行動を既知として，利潤最大化となる路線頻度の決定を行う。

・航空会社の最適行動モデル

$$
\begin{cases}
\sum_k\sum_l \underset{(f_{kl})}{\mathrm{MAX.}}\ \Pi_{kl} = \{(X_{kl})\,PF_{kl} - (CF_{kl}\times f_{kl})\} \\
\text{Subject To}\quad CAP_{kl}\cdot f_{kl} \geqq X_{.kl.} \\
\qquad X_{.kl.} = \sum_i\sum_j X_{iklj} \\
\qquad f_{kl} \geqq 0
\end{cases}
$$

PF_{kl}　：路線運賃
CF_{kl}　：路線運行費用
CAP_{kl}：機材容量

(3) 旅客：空港位置，規模，路線頻度が示された上で一般化費用最小化に不確定要素を含んだ経路選択を行う。旅客は複数の航空路線と一つの鉄道路線より選択するものとする。これにより路線別需要者数が求められる。本研究では，旅客の空港選択を，C．Fiskが提案したロジット型の確率均衡配分モデルにより定式化を行った。

・旅客の空港選択モデル

$$\left\{\begin{array}{ll}\underset{X_{iklj}}{\mathrm{MIN.}}\ Z=\dfrac{1}{\theta}\cdot\sum_i\sum_j\sum_k\sum_l X_{iklj}\ln X_{iklj} & \\ \qquad\qquad +\sum_k\sum_l\int_0^{V_{kl}} t_{kl}(v)\,dv & \\ \text{Subject To} & \\ \sum_k\sum_l X_{iklj}=X_{i..j} & \forall i,j \\ X_{iklj}\geqq 0 & \forall i,k,l,j \\ v_{kl}=\sum_i\sum_k\sum_l\sum_j \delta_{iklj}X_{iklj} & \forall k,l\end{array}\right.$$

X_{iklj}：iゾーンからjゾーンへのkl路線通過交通量（人／年）

θ　：パラメータ

$t_{kl}(v)$：コスト関数

δ_{iklj}：リンクklがij路線のとき，1をとるダミー変数

＊　：最適解を示す

v_{kl}　：リンク交通

Ｆｉｓｋモデルにおいて，ラグランジュ関数をＬ，ラグランジュ定数をλ_{ij}とすると，

$$L=Z+\sum_i\sum_j\lambda_{ij}\left(\sum_k\sum_l X_{iklj}-X_{i..j}\right)$$

上式からＫｕｎｎ－Ｔｕｃｋｅｒ条件より以下の式が導き出せる。

$$X^*_{iklj}=X_{i..j}\cdot\frac{\exp(-\theta C_{iklj})}{\sum_k\sum_l\exp(-\theta C_{iklj})}$$

ここで　$C_{iklj}=\sum_k\sum_l\delta_{iklj}t_{kl}(v^*_{kl})$　とする。

また，上記の航空会社と旅客の最適化問題は，以下の最適化問題に置き換えられる。[2)]

$$\left\{\begin{array}{l}\underset{(f_{kl})}{\sum_k\sum_l\mathrm{MAX.}}\ \Pi_{kl}=\{(X_{kl})PF_{kl}-(CF_{kl}\times f_{kl})\} \\ \text{Subject To} \\ \sum_i\sum_j X_{kl}=X_{.kl.} \\ X_{iklj}=X_{i..j}\cdot\dfrac{\exp(-\theta C_{iklj})}{\sum_k\sum_l\exp(-\theta C_{iklj})} \\ CAP_{kl}\cdot f_{kl}\geqq X_{.kl.} \\ X_{.kl.}=\sum_i\sum_j X_{iklj} \\ f_{kl}\geqq 0\end{array}\right.$$

3．分析方法

各主体の操作変数を決定するため，上記の最適化問題を以下のステップに従って分析を行う。

①各航空路線ごとに路線頻度を変数として利潤最大化を行う。

②上記のΠ_{kl}のラグランジュ関数をL_{kl}，ラグランジュ乗数をλ_{kl}とすると

$$L_{kl}=\Pi_{kl}+\lambda_{kl}(CAP_{kl}\cdot f_{kl}-X_{.kl.})$$

ここで，路線別需要者数$X_{.kl.}$は次式で表せる。

$$X_{.kl.}=\sum_i\sum_j X_{i..j}\cdot\frac{\exp(-\theta C_{iklj})}{\sum_k\sum_l\exp(-\theta C_{iklj})}$$

また　C_{iklj}は以下のように表現した。

$$C_{iklj}=\alpha_1 tA_{ik}+\alpha_2 tF_{kl}+\alpha_3 tI_{lj}+\alpha_4 PA_{ik}+\alpha_5 PF_{kl}+\alpha_6 PI_{lj}+\alpha_7 f_{kl}$$

③Ｋｕｎｎ－Ｔｕｃｋｅｒ条件

$$\frac{\partial L_{kl}}{\partial f_{kl}}\leqq 0,\quad f_{kl}\frac{\partial L_{kl}}{\partial f_{kl}}=0,$$

$$\frac{\partial L_{kl}}{\partial \lambda_{kl}}\geqq 0,\quad \lambda_{kl}\frac{\partial L_{kl}}{\partial \lambda_{kl}}=0$$

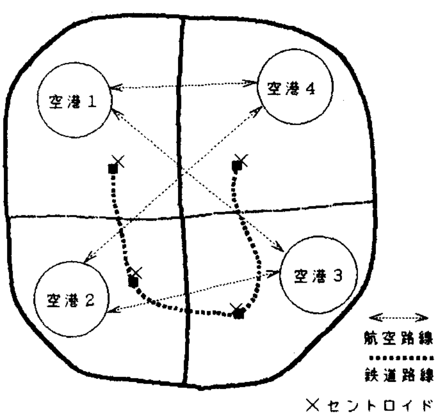
を満たすような最適解f_{kl}，λ_{kl}を求める。

④f_{kl}よりX_{iklj}を求める。

⑤求められた値より，各ケースごとに計画案の評価を行う。

4．簡易ネットワークへの適用

上記の分析方法を（図－２　簡易ネットワーク）において適用する。なお，数値例，計算結果は講演会場にて発表する予定である。



図－２　簡易ネットワーク

参考文献

１）黒田，大橋：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) pp.737-743 1993年12月）

２）志水　：多目的と競争の理論（共立出版，PP.225-228）