

路線の開設と廃止を考慮した航空ネットワーク設計モデル

2012SE189 大庭大樹

指導教員：佐々木美裕

1 はじめに

航空ネットワーク設計モデルの過去の研究は、その多くがハブの設置を前提として設計している [1, 2]. 時間軸を考慮し、利用者の変動によって路線の開設・廃止を決定しながらネットワークを構築する航空ネットワークモデルはあまり研究されていない。そこで、本研究ではハブ空港の配置を前提としない逐次型ネットワーク設計モデルを考える。

2 モデル

本研究では、ハブ空港の配置を前提とせず、路線を1つずつ順に開設する新規路線開設モデルと、廃止も考慮する開設・廃止するモデルを提案する。開設モデルは、ネットワークの総利用者が最大に増加する路線を1つずつ順に開設していく。その際、乗り換えを必要とすることや直行距離に比べ極端な遠回りを必要とするサービスは、利便性が低く、利用者が減少することが考えられるため、乗り換え回数と迂回率によって利用者の利用率が決定すると仮定する。また、一般的に乗り換え回数が多いと利用しなくなると考えられるため、乗り換え回数が3回以上必要な場合、利用者は利用しないとする。図1の場合、移動可能なODペア(出発地と目的地の組み合わせ)は直行路線がある(A,B), (B,C), (C,D)と1回乗り換えの(A,C), (B,D), 2回乗り換えで移動可能な(A,D)がすべての移動可能なODペアとなる。図2の場合、(A,C)のように、乗り換えをおこなっても到達できない場合、移動可能ではない。よって、このネットワークで移動可能なODペアは(A,B), (C,D)となる。

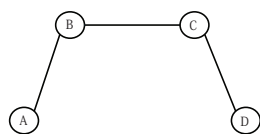


図1 ネットワークの例

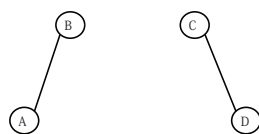


図2 ネットワークの例2

また路線を開設していくと、空港間に複数の経路ができ、利用者は自由に経路を選択できる。一般的には利便性が高い路線を選択すると考えられる。既存の路線の利用者は減少し、新規路線は利用者が増加する。つまり、新規路線を開設することでネットワークの各路線の利用者が変動する。本研究では、路線開設・廃止モデルとして、各路線の利用者が最大のときにくらべ半数以下になった場合、採算が取れないとし、路線を廃止するモデルを提案する。

3 迂回率と利用者予測

本研究では、直行距離に比べ、迂回総距離から、利用者を利用する。また、乗り換え回数の増加に伴う利用者の減少を、乗り換えにかかる時間から計算する。一般的に飛行機の乗り換えには、数時間かかることが多い。そこで乗り換え時間を距離に換算した乗り換えコスト s を定義する。例えば、飛行機の平均速度が時速 500 マイルとすると、 $s = 500$ は乗り換えにかかる時間を 1 時間として想定していることに相当し、 $s = 0$ は乗り換えにかかる時間を考慮しない。

直行距離に比べ、移動距離と乗り換えコストから、迂回率を以下の式 (1) で求める。

$$\text{迂回率} = \frac{\text{移動距離} + s}{\text{直線距離}} - 1 \quad (1)$$

迂回率を x 、迂回率から予測される利用者の利用率を r とした時、利用率を (2) で求め、グラフにしたものを、図 3 に示す。

$$r = -\frac{1}{a}x + 1 \quad a: \text{パラメータ} \quad (2)$$

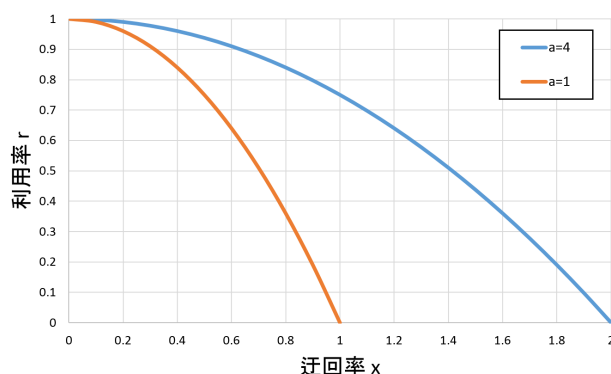


図3 迂回率と利用率の関係 $r = -\frac{1}{a}x + 1$

$x = 1$ のとき、迂回総距離と乗り換えコストとの和が直行距離の 2 倍を表し、 $x = 2$ のとき直線距離の 3 倍を表す。 a の値が小さいほど利用者は遠回りや乗り換え回数に足して敏感であることを示し、迂回率が少し大きくなると急激に利用者が減少する。 a の値によらず、迂回率が 0 のとき、すなわち直行便が開設されたときは利用率は 1 である。

$a = 1$ の時、迂回率が 1.5 の時に需要の 75 % の利用者が、2 の時に利用者が 0 となる。 $a = 4$ の時、迂回率が 2 の時に需要の 75 % の利用者が、3 の時に利用者が 0 となる。

4 貪欲算法

本研究では、利用者が最大に増加する路線を順に開設していく。

4.1 記号の定義

以下のように記号を定義する。

E 空港の集合

x_{ij} 空港 $i \in E$ から空港 $j \in E$ へ路線が開設するなら 1
そうでないなら 0.

u ネットワーク全体の総利用者数

p 路線開設数

k 既設路線数

d_{ij} 空港 $i \in E$ から空港 $j \in E$ の迂回率

$r(d_{ij})$ 空港 $i \in E$ から $j \in E$ の利用率

w_{ij} 空港 $i \in E$ から空港 $j \in E$ の需要

4.2 路線開設・廃止モデルのアルゴリズム

1. 初期条件として路線が 1 つも開設されてないとする。
 $\sum_{i \in E} \sum_{j \in E} x_{ij} = 0, u = 0, k = 0.$
2. 開設していない路線を 1 つ開設したときの総利用者数の最大値 $u = \max \sum_{o \in E} \sum_{d \in E} w_{od} r(d_{od})$ を求め、路線 $(i, j) = \operatorname{argmax} \sum_{o \in E} \sum_{d \in E} w_{od} r(d_{od})$ を開設する。 $x_{ij} = 1, k := k + 1.$
3. 空港間の経路を求める。複数ある場合は、迂回率の低い経路を選択する。
4. 各路線の利用者を求める。また、ある路線 (i, j) の利用者がピーク時に比べ半数以下になった場合路線を廃止する。 $x_{ij} = 0.$
5. 路線の本数が $p = k$ のとき終了、満たさない場合 2. に戻る。

5 計算実験

実験には 1970 年の CAB(民間航空委員会) が提供した需要データを用いる。また、実験に使用した計算機は CPU は、Intel(R) Core(TM) i5-4210U CPU、メモリは 4GB である。開設モデルの乗り換えコストの値を変更した場合の完成したネットワークと、完成したネットワークよりの移動可能となる乗り換え回数ごとの OD ペア数を比較する。

路線の本数 $p = 50$, パラメータ $a = 1$ としたときの比較

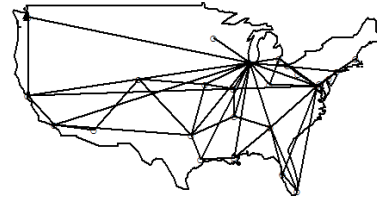


図 4 $s = 0$ としたときの完成したネットワーク

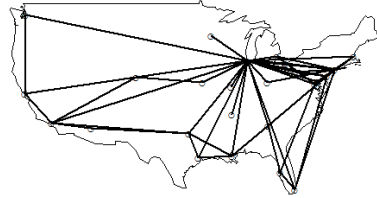


図 5 $s = 500$ としたとき完成したネットワーク

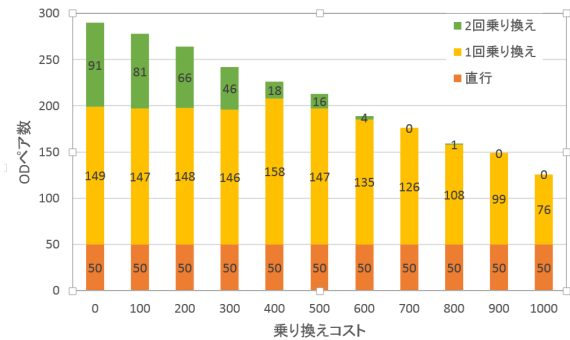


図 6 乗り換えコストの違いによる移動可能な OD ペア数の変化

赤が直行で移動可能、黄色が 1 回乗り換えで移動可能、緑が 2 回乗り換えで移動可能な OD ペアを示す。OD ペア数は最大 300 である。

6 考察

新規路線開設モデルでは、図 4 と図 5 から、乗り換えコスト $s = 500$ のとき特にシカゴがハブの役割を果たす結果となった。 $s = 0$ は乗り換えコストがないため、各空港がハブのような役割を担っていると考えられる。また、図 6 から、乗り換えコストを増加すると移動可能な OD ペアが減少、また 2 回乗り換えを行い移動可能な OD ペアは $s \geq 600$ 以降見られなくなった。この 3 つの図から、乗り換えコストを増やすと、1 か所に集中して路線を開設していることがわかる。

参考文献

- [1] J.F. Cambell: "Integer programming formulations of discrete hub location problem". *European Journal of Operational Research*, 72, pp. 387-405, 1994.
- [2] M. O'Kelly: "The location of interacting hub facilities". *Transportation Science*, 20, pp. 92-106, 1986.