

IV-10 ハブ・アンド・スポークタイプ航空ネットワークのスケジューリング

東北大学 大学院 学生員 ○田北 俊昭
東北大学 工学部 正会員 稲村 肇

1. 緒言

現在までのハブ・アンド・スポークタイプの研究では、離陸時間とルートのスケジュールを予め決定した上でどの航空機を配分（飛ばないものもあり得る）するのが最適かを考慮したにすぎない。ごく最近の M.S.DASKIN と N.D.PANAYOTOPOULOS の研究(1989)では、10分毎にランダムにルートを設定して、離陸時間とルートのスケジュールを細かくし、航空機を配分する新しい点があるが、本研究では、離陸時間のある時間刻みで設定し同時刻の複数ルートへの離陸も考慮して最適なルート、航空機を決定している。

2. 定義

(1) ルート、航空機

ここで考えるルート i ($i = 1, \dots, I$) は、Hub空港 A (Night Stay可能施設のある空港) を出て、いくつかの都市（普通1ヶ所）を回って戻ってくるとする。一方、航空機 j ($j = 1, \dots, J$) は、Hub空港 A に Night Stay する航空機のみを考慮、大小様々な積載能力、速度があるものより選択される。

(2) フライト案

Hub空港 A では、サービス開始時間 S から終了時間 E まで運営されているとする。

ここで、航空機 j

がルート i を航行するときの所要時間（飛行時間、整備時間を含む）を T_{ij} とし、その可能なフライト案を図3のように、サービス開始時間 S から ΔT きざみで設定し、このフライト案の番号を $1, 2, \dots, f, \dots, F_{ij}$ とする。

このときの最終フライト案番号 F_{ij} は

$$F_{ij} = \left\lceil \frac{60 (ET - ST) - T_{ij}}{\Delta T} \right\rceil \quad (1)$$

（ $\lceil \cdot \rceil$: デルタ関数）

と計算される。

(3) フライト案シート

前項で作成したフライト案シートはすべての航空機、ルートの組合せで作成され、図4に示すように、 $I \times J$ シートできる。

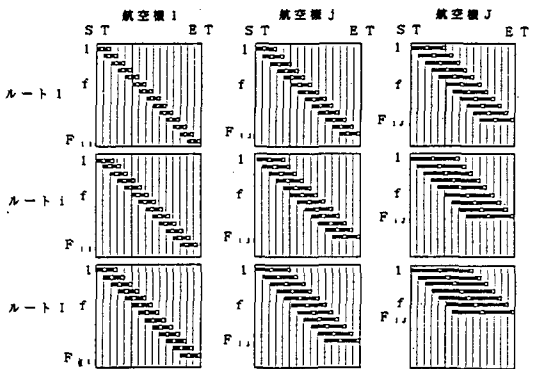
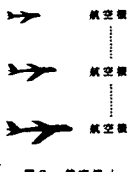
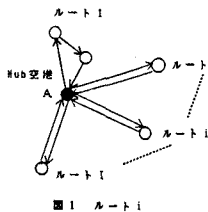


図4 全フライト案シート

また、以下のように定義する。

F_{ri} = ルート i のフライト案シート J 枚で最終フライト案の番号が最大のもの
 $= \max [F_{1j}, F_{2j}, \dots, F_{Ij}]$

F_{Aj} = 航空機 j のフライト案シート I 枚で最終フライト案の番号が最大のもの
 $= \max [F_{1j}, F_{12}, \dots, F_{1J}]$

3. 定式化

線形計画法で定式化することにする。

(1) 目的関数

ここで、次の決定変数を定義する。

$$X_{ij}^{(f)} = \begin{cases} 1 & \text{航空機 } j \text{ がルート } i \text{ のフライト案 } f \text{ を航行するとき} \\ 0 & \text{航行しないとき} \end{cases}$$

また、 $X_{ij}^{(f)} = 1$ のとき生じる利益は、

$$P_{ij}^{(f)} = (\text{運賃})_{ij}^{(f)} \cdot (\text{旅客数})_{ij}^{(f)} - (1 \text{ フライト当り運営費})_{ij}^{(f)} \quad (2)$$

このとき、利益が最大になるようにするには、次の目的関数を考えればよい。

$$\text{maximize } \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{f=1}^{F_{ij}} P_{ij}^{(f)} X_{ij}^{(f)} \quad (3)$$

$$\text{ただし } X_{ij}^{(f)} \leq 1 \quad (4)$$

(2) 制約条件

(a) フライト時刻による制約

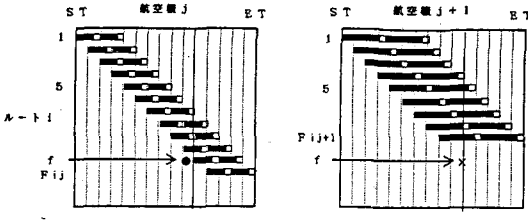


図5 フライト番号における制約

どのルート i も各フライト時刻 (フライト案ナンバー f) に選択可能な航空機 (図5の●印)のうち、いずれか1機が選択可能なので

$$\sum_{j \in G_{ij}^{(f)}} X_{ij}^{(f)} \leq 1 \quad \text{for } \forall i, f \quad (5)$$

ただし

$$f = 1, 2, \dots, FR_i$$

$$G_{ij}^{(f)} = \{j \mid f \leq F_{ij} \text{ for } \forall i, f\}$$

(b) 機材による制約

航空機 j は、フライト時刻 (フライト案番号 F) に選択可能なルート i (図6の●印)のうち、いずれか1ルート選べるが、その時、その航空機 j はそのフライト案 F に間に合うように Hub 空港に戻っていないなければならない。つまり図6の×印で示される各フライト案を採用するとフライト案 F は航行不可能になってしまう。また、★印で示されるフライト案は除外される。このような制約を受けるフライト案は、次のように表される。

$$GF_j^{(F)} = \{f \mid f = Lf1_{ij}(F), \dots, Lf2_{ij}(F)\}$$

ただし

$$Lf1_{ij}(F) = \begin{cases} 1 & (F \leq [T_{ij}/\Delta T]) \\ F - [T_{ij}/\Delta T] + 1 & (F > [T_{ij}/\Delta T]) \end{cases}$$

$$Lf2_{ij}(F) = \begin{cases} F & (F \leq F_{ij}) \\ F_{ij} & (F > F_{ij}) \end{cases}$$

よって、この制約条件は以下になる。

$$\sum_{i=1}^I \sum_{f=Lf1_{ij}(F)}^{Lf2_{ij}(F)} X_{ij}^{(f)} \leq 1 \quad \text{for } \forall j, F \quad (6)$$

ただし $F = 1, \dots, FA_j$

4. ケーススタディー

ある Hub 空港の表1のデータ及び図7

のルート別の旅客需要分布から P_{ij} の計算および定式化を行い、線形計画法を用いた結果、利益を最大にするような表2のようなスケジュールが決定された。

5. 考察

本研究は、離陸時間のある時間刻みで設定し最適なルート、航空機を決定した。だが、各ルートでは飛行、整備を連続しており、休止時間という概念が入っていない。総合的なネットワークに拡張した際の制約条件をどう組み入れていくかも課題となる。また、 $P_{ij}^{(f)}$ を求める際に必要なルート別の旅客需要分布の推定、そして、入力した旅客分布と決定されたスケジュールにより想定される旅客分布との隔たりの解消策が課題である。

6. 参考文献

1) M.S.DASKIN and N.D.PANAYOTOPOULOS "A Lagrangian Relaxation Approach to Assigning Aircraft to Routes in Hub and Spoke Networks", Transportation Science vol.23, No.2 p.91-p.99 (1989)

表1 スケジュールに必要なデータ

<ルート、航空機に関するデータ>
●ルート 1=3 ●飛行機 J=3
●各飛行機の飛行時間
 $(F_{11}, F_{12}) = (30, 60, 120)$
 $(F_{21}, F_{22}) = (48, 90, 180)$
 $(F_{31}, F_{32}) = (60, 120, 240)$
●整備時間 $(G_{1j}) = (30, 30, 30)$
<旅客サービスに関するデータ>
●サービス開始時間 $ST=7$ (時)
●サービス終了時間 $ET=23$ (時)
●スケジュール時間 $\Delta T=60$ (分)
<利用 Pij に必要なデータ>
●需要 (万円/人) $(FARE) = (150, 275, 200)$
●乗客 (人) $(CAPA) = (140, 80, 30)$
●175人乗客 (人) $(COST) = (100, 50, 30)$

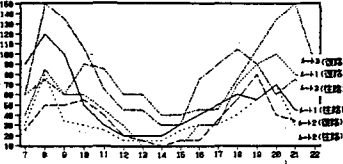


図7 ルート別旅客需要分布

表2 スケジュール結果

ルート	往		復		使用機	利益
	出発時刻	到着時刻	出発時刻	到着時刻		
1	17:00	19:00	19:30	21:30	3	30
	8:00	9:30	10:00	11:30	2	175
2	9:00	12:00	12:30	15:30	3	90
	18:00	19:30	20:00	21:30	2	137.5
3	8:00	9:00	9:30	10:30	1	230
	11:00	12:00	12:30	13:30	1	100
	12:00	14:00	14:30	16:30	2	110
	16:00	17:00	17:30	18:30	1	40
	19:00	20:00	20:30	21:30	1	90