

IV-9 ダイナミック・プログラミングによる航空ネットワークのスケジューリング

東北大学 正員 ○ 徳永 幸之
東北大学 正員 稲村 肇

1. はじめに

航空機材の航空ネットワークに対するスケジューリングは、以下の要件を満たすことが要求される。

- ① 利益（利用者数）が最大化されること
- ② 多空港間のネットワークに対応できること
- ③ 出発時刻及びルートに自由に設定できること
- ④ 機種の違いを評価できること
- ⑤ 運航頻度と需要の関係をとり入れられること
- ⑥ 乗継ぎ利用者も扱えること
- ⑦ 夜間駐機などの空港側制約条件を満たすこと

従来の研究は、上記のいくつかに着目したスケジューリングを求めるものであるが、ネットワークをハブ&スポークに限定したものや、予め設定した候補スケジュールの中から最適なものを選択するもの、あるいは需要や利益を固定して求めるものであった。

本研究においては上記①～⑤を満たすべく、出発時刻やルートに制約を設けず、多空港間において複数機種の飛行機を利益最大となるように割り当てる問題を解くことを目的とした。本方法はダイナミック・プログラミング（以下、DPと略す）の幌馬車問題を応用したものである。

2. 潜在需要の仮定

待ち時間なしで飛行できるという条件下で、ある時刻 k に空港 i から空港 j へ出発したい人の人数を時刻 k におけるルート $i-j$ の潜在需要とする。実際に時刻 k にルート $i-j$ へ飛行機が割り当てられた場合、その飛行機の乗客の本来の出発希望時刻の分布は不明であるが、正規分布に近いものと考え、本研究では図-1のように仮定した。飛行機の座席数より潜在需要が少ない場合には空席となる。この飛行機が出発した後は出発希望時刻別乗客数分だけ潜在需要も減少する。

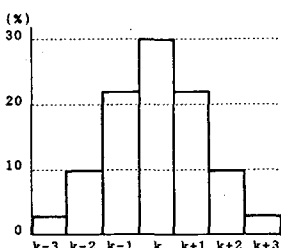


図-1 出発希望時刻分布

3. 利益関数の仮定

機種 h の飛行機が時刻 k に i 空港から j 空港へ出発した場合の利益 p_{ijk}^h は、次式によって計算されるものと仮定する。

$$p_{ijk}^h = q_{ijk}^h \cdot u_{ij} - t_{ij} \cdot v^h - c^h \quad (1)$$

ここで、

q_{ijk}^h : 機種 h 、時刻 k 、ルート $i-j$ の乗客数

u_{ij} : ルート $i-j$ の運賃

t_{ij} : ルート $i-j$ の飛行時間

v^h : 機種 h の飛行時間当りの燃費

c^h : 機種 h の離着陸及び整備費用

ただし、 $i=j$ のとき、すなわち同空港に駐機している場合の利益は 0 とする。

4. DP による定式化

DP による定式化を行うため、空港運用時間を適当な時間間隔に分割し、各空港毎に段階（ステージ）を設定する。飛行機は、どの段階からすすべての空港へ向かって出発できるものとする。ただし、同一時刻、同一ルートには一便しか割り当てないものとする。

一般の多段階決定過程においては、各段階の決定に際し直前の段階のみを考えればよいが、この場合図-2に示すように、他空港から飛行して来る場合にはその飛行時間及び整備時間に相当する時間間隔分だけさかのぼらなければならない。

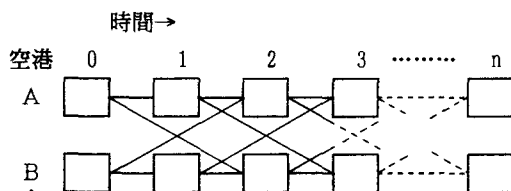


図-2 多段階決定過程

また、他空港からの飛来に対しては空港運用開始よりその飛行時間が経過するまでは、到着不可能であるため、空港 i から空港 j に時刻（段階） k までに到着可能か否かを表す変数 a_{ijk} を導入しておく。

$$a_{ijk} = \begin{cases} 0 & \dots k < t_{ij} \\ 1 & \dots k \geq t_{ij} \end{cases}$$

この変数は、同一時刻、同一ルートに複数機を割当てないためにも使用し、飛行機が割当てられた場合には0とする。

DPによるスケジューリングの手順は、

- 1) ある機種hについて、各段階毎にそれぞれの空港jに到着可能なルートを(i 空港から) 飛行してきた場合(駐機も含む)のそれまでの利益が最大となるルートを求める。すなわち、

$$f_a^h(j) = 0$$

$$f_n^h(j) = \max \{a_{ijk} \cdot p_{ijk}^h + f_k^h(i)\} \quad (2)$$

$$k = n - t_{ij} - w$$

w: 整備時間

- 2) 空港運用終了時点で利益が最大となるルートがその機種による最適スケジュールとなる。
- 3) これを各機種とも求め、そのなかで利益最大となる機種をそのルートに割り当てる。
- 4) 決定したルートの乗客の希望出発時刻分布に従い、時間別潜在需要を減らす。
- 5) 決定したルートの a_{ijk} を0とする。
- 6) 決定した機種の機数を減らし、以下、全機種とも0機となるまで1)~5)の手順を繰り返し、各飛行機のスケジュールを決定して行く。

5. 分析例

分析例として、3空港、3機種、6機によるスケジューリングを考えた。空港の運用時間は7時から22時までの15時間とし、30分間隔で段階を設定した。

空港間の時間別潜在需要は、図-3に示すように朝夕ピークの分布形を仮定した。運賃および飛行時間は表-1、2のとおり設定した。機種別の座席数、飛行時間当りの燃費、固定費(離着陸・整備費用)

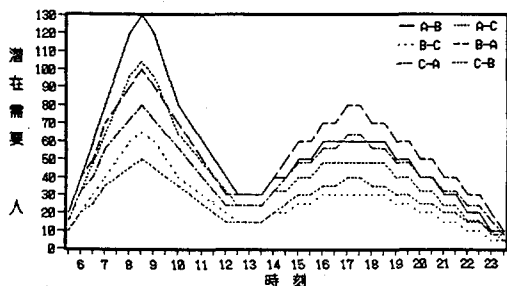


図-3 空港間時間別潜在需要

表-1 空港間運賃

空港	A	B	C
A	0	6	5
B	6	0	3
C	5	3	0

表-2 空港間飛行時間

空港	A	B	C
A	0	2.5	2.0
B	2.5	0	1.0
C	2.0	1.0	0

表-3 機種別諸元及び機数

機種	座席数	燃費	固定費	機数
X	300	80	500	3
Y	200	50	400	2
Z	100	30	200	1

および機数は表-3のとおり設定した。ただし、駐機による費用は考えない。また、整備時間は各機種とも30分とした。

このような設定条件で、DPにより利益最大となるスケジュールを求めると図-4のようになる。

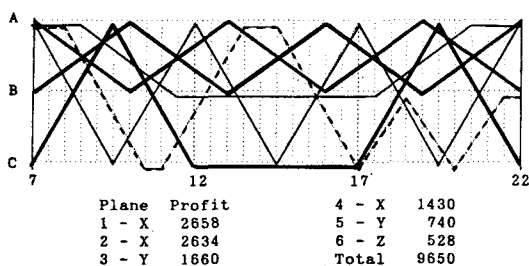


図-4 DPによる最適スケジュール

6. おわりに

本研究では、DPにより航空ネットワークのスケジューリング問題の定式化を行い、簡単な例題を解いてみた。この手法は、線形計画法(LP)に比べ計算時間が短く、また、LPのように多くの時間制約式等を作る必要がない。しかし、実用に至るためには先に示した⑥⑦の課題が残されている。

参考文献

- 1) 田村, 稲野: 地域航空における機材の最適スケジューリング; 土木計画学研究論文集 No.5, 1987
- 2) 渡部, 森地, 田村: 航空機の最適スケジューリングに関する研究; 土木学会年次講演会 No.41, 1986
- 3) M.S.Daskin, N.D.Panayotopoulos: A Lagrangian Relaxation Approach to Assigning Aircraft to Routes in Hub and Spoke Network; Transportation Science, Vol.23, No.2, 1989