

IV-26

航空ネットワークのスケジューリング —— LPとDPの比較 ——

東北大学 正員 ○ 徳永 幸之

東北大学 正員 稲村 肇

東北大学 正員 須田 燦

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

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。手法としては、線形計画法(LP)とダイナミック・プログラミング(DP)を適用し、両手法の比較を行う。

2. 前提条件の設定

LP及び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、各空港毎に段階を設定する。飛行機は、どの段階から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当てないものとする。

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 ij の乗客数

u_{ij} : ルート ij の運賃

t_{ij} : ルート ij 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

乗客数の算定には、潜在需要と出発希望時刻分布の概念を用いた。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 ij の潜在需要とする。実際に時刻 k にルート ij へ飛行機が割当てられた場合、その便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。潜在需要のうち出発希望時刻分布に相当する部分が顕在化され、その便の乗客となる。

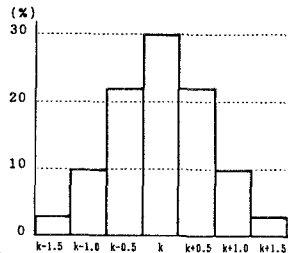


図-1 出発希望時刻分布

3. LPによる定式化

LPにおいては、機種 h を時刻 k にルート ij に割当てるか否かを表す変数を x_{ijk}^h として、

$$P = \sum_h \sum_i \sum_j \sum_k p_{ijk}^h \cdot x_{ijk}^h \rightarrow \max \quad (2)$$

を以下の制約条件下で最適解を求める。

- 1) ある機材が割当てられた場合、そのルートの飛行中は他のルートに割当てられないことから、

$$x_{ijk}^h + x_{ijk}^h \leq 1 \quad (K \leq k < K + T_{ij}) \quad (3)$$

ここで、 $T_{ij} = t_{ij} + w$

w : 整備時間

- 2) ある機材が割当てられた後、その到着空港以外においてはその機材が回送されるまでは割当てられないことから、

$$x_{ijk}^h + x_{ijk}^h \leq 1 \quad (4)$$

($i \neq j, K + T_{ij} \leq k \leq K + T_{ij} + T_{ji}$)

- 3) 同一時刻、同一ルートには一便しか割当てないことから、

$$\sum_h x_{ijk}^h \leq 1 \quad (5)$$

4. DPによる定式化

DPによる定式化は幌馬車問題の応用であるが、一般の多段階決定過程と以下の点で異なっている。一般の問題においては、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。また、空港 i から j に時刻 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。なお、この変数は同一時刻、同一ルートに便しか割当てないためにも使用し、飛行機が割当てられた後は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 においてそれまでの利益が最大となるルートを求める。すなわち、

$$f_0^h(j) = 0 \quad (6)$$

$$f_n^h(j) = \max \{ p_{ijk}^h + f_k^h(i) \} \quad (7)$$

$$i \in \{ i \mid a_{ijk} > 0 \}$$

$$k = n - T_{ij}$$

- 2) 空港運用終了時点で利益が最大となるルートを各機種とも求め、そのなかで利益最大となる機種のルートを1機目のスケジュールとする。
- 3) 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。
- 4) 以下、在籍機がなくなるまでこの手順を繰返し、全飛行機のスケジュールを決定する。

5. 分析例

分析例として、3空港、2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、1.5時間間隔で段階を設定した。

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

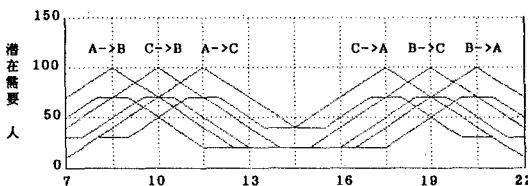


図-2 空港間時間別潜在需要

表-1 空港間飛行時間及び運賃

空港	A	B	C
A		2.5/6.5	1.0/3.5
B	2.5/6.5		2.0/5.5
C	1.0/3.5	2.0/5.5	

(飛行時間/運賃)

表-2 機種別諸元

機種	X	Y
座席数	300	200
燃費	250	175
固定費	500	350

定した。ただし、駐機による費用は考えず、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、LP及びDPにより利益最大となるスケジュールを求める。ただし、LPでは実数解となるため、混合整数計画法(MIP)により解いている。図-4にDPによる最適スケジュールを示す。

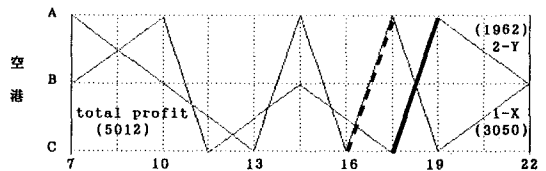


図-4 DPによる最適スケジュール

MIPによる結果は、DPによるものと同じスケジュールとなったが、総利益が大きくなった。これは図-4の太線で示したフライトにおいて、DPでは太破線で示したフライトにより需要が減少しているが、MIPではこれを考慮していないためである。

6. おわりに

本研究では、LPと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。LPは、空港数や機材数が増えるに変数や時間・機材制約式の数が指数的に増加する。また、整数解を得るためにMIPで解く必要があり、計算時間も膨大となり、計算機の能力の限界により解けるネットワークの大きさが制限される。また、需要の取合いの問題も解決しなければならない。一方、DPでは計算時間は遙かに短く、ネットワークの大きさにもまだ余裕がある。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) 徳永, 稲村: 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; 東北支部講演概要, 1990
- 2) 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
- 3) 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; 土木学会年次講演概要集 No.41, 1986
- 4) M.M.Etschmaier, D.F.X.Mathaisel: "Airline Scheduling: An Overview"; Transportation Science, Vol.19, No.2, 1985
- 5) 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