

IV-7

多機材間の需要配分を考慮した航空機材スケジューリングモデル

東北大学 大学院 学生員 ○乳井 孝憲
 東北大学 工学部 正 員 稲村 肇
 東北大学 大学院 学生員 久永 健一郎

1. はじめに

地方の小規模航空ネットワークにおいては一般に需要が少ないため、直行便のみならず乗り継ぎ便を考慮して航空機材のスケジューリングを行うことが必要である。従来の航空機材スケジューリングモデルとして、田村・稲野¹⁾、徳永・稲村²⁾³⁾、田北・稲村⁴⁾、鬼柳ら⁵⁾、久永ら⁶⁾などの研究がある。1)~4)が直行便の利益のみを考慮したモデルであるのに対し、5)6)はこれに加え、乗り継ぎ便利用による利益の増加をも考慮したモデルである。また1), 4)~6)においては複数機材間の需要配分が考慮されているが、5)6)においてはその考慮が2機材間に限られている。このように多機材（3機以上）間の需要配分と乗り継ぎ便利用による利益の増加を同時に考慮した航空機材スケジューリングモデルの開発は現在まで行われていない。

そこで本研究では上記の問題に加え、異機材間の乗り継ぎ便利用を考慮した航空機材スケジューリングモデルを非線形整数計画問題としてモデル化した。

2. 航空機材スケジューリングモデル

本研究では地方の小規模航空ネットワークの航空機材スケジューリングを対象としているため、その採算性が重要であると考え、航空会社の利益最大化を目的とする。

2.1 需要について

各空港間の潜在需要分布が時刻 t 毎に仮定されているとし、各出発可能時間断面 k 時における需要の顕在化を以下のように仮定した。

y_{ij}^k : $\mu-ti \rightarrow j$, 時刻 k における潜在需要
 α_{ij}^{k+u} : 希望出発時刻 $k+u$, $\mu-ti \rightarrow j$ の潜在需要のうち、 k 時発、機材 g に搭乗する割合

N_{ij}^k : 機材 g, k 時発, $\mu-ti \rightarrow j$ に顕在化する乗客数

$$N_{ij}^k = A_{ij}^k \times Y_{ij}^k \quad (1)$$

$$Y_{ij}^k = (y_{ij}^k, y_{ij}^{k+1}, y_{ij}^{k+2}, y_{ij}^{k+3})$$

$$A_{ij}^k = (\alpha_{ij}^{k+0}, \alpha_{ij}^{k+1}, \alpha_{ij}^{k+2}, \alpha_{ij}^{k+3})$$

但し、 $\alpha_{ij}^{k+u} = f(\alpha_{ij}^{k+0}, u)$ とし、 α_{ij}^{k+0} は以下の条件を満たすように設定される。

$$N_{ij}^k \leq CAPA_g, \quad (CAPA_g : \text{機材}g\text{の定員})$$

2.2 目的関数の定式化

航空会社の運航利益を以下のように考えた。

$$\text{運航利益} = \text{旅客数} \times \text{運賃} - \text{コスト} \quad (2)$$

a) 直行便による利益

直行便による運航利益は(2)の定義より次のように定式化される。

$$f_1(X) = \sum_{g=1}^G \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (FARE_{ij} N_{ij}^k - C_{ij}) X_{ij}^k \quad (3)$$

$FARE_{ij}$: $\mu-ti \rightarrow j$ の運賃

C_{ij} : $\mu-ti \rightarrow j$ を運航した場合のコスト

$$X_{ij}^k = \begin{cases} 1 & : \text{機材}g, k\text{時発}, \mu-ti \rightarrow j\text{が運航される} \\ 0 & : \text{その他} \end{cases}$$

G : 機材数, N : 空港数

b) 乗り継ぎ便利用による利益の増加分

本研究における乗り継ぎの考え方を図1に示す。

k 時発 $\mu-ti \rightarrow j, k+w$ 時発 $\mu-tj \rightarrow n$ にそれぞれフライトが運航される場合、 k 時 $\mu-ti \rightarrow n$ の潜在需要の一部が乗り継ぎ便に顕在化すると考える。本研究では従来までの同一機材間の乗り継ぎに加え、異機材間でのタイムラグ(w)のある乗り継ぎも考慮し、以下のよう

$$f_2(x) = \sum_{g=1}^G \sum_{h=1}^H \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{u=0}^{T_{ij}} \{ (FARE_{in} R_{ij}^{ghkw}) X_{ij}^k X_{jn}^{h, k+T_{ij}+w} \} \quad (4)$$

T_{ij} : $\mu-ti \rightarrow j$ の飛行時間

R_{ij}^{ghkw} : 機材 g, k 時発, $\mu-ti \rightarrow j$ と機材 $h, k+T_{ij}+w$ 時発, $\mu-tj \rightarrow n$ を $\mu-ti \rightarrow n$ の乗り継ぎ便として利用する乗客数

$$R_{ij}^{ghkw} = R_{ij}^{ghkw} \times Y_{in}^k \quad (5)$$

$$Y_{in}^k = (y_{in}^k, y_{in}^{k+1}, y_{in}^{k+2}, y_{in}^{k+3})$$

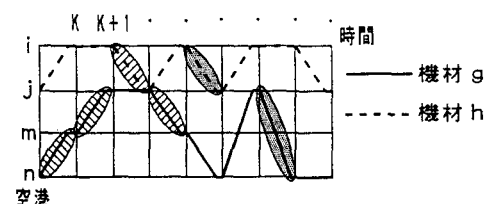


図1 乗り継ぎ利用の考え方

$$R_{ijn}^{ghkw} = (r_{ijn}^{ghkw0}, r_{ijn}^{ghkw1}, \dots, r_{ijn}^{ghkw, 3t})$$

但し、 $r_{ijn}^{ghkw} = f(r_{ijn}^{ghkw0}, u)$ とし、
 r_{ijn}^{ghkw0} は次の条件を満たすように設定される。

$$\begin{cases} \cdot N_{ijn}^{ghk} + R_{ijn}^{ghkw} \leq CAPA, \\ \cdot N_{ijn}^{ghk+T_{ij}+w} + R_{ijn}^{ghkw} \leq CAPA, \end{cases}$$

2. 3 制約条件の定式化

a) 物理的機材制約

実行可能なスケジュールは各時間断面を1度だけ通過する。つまり、時刻kに関係する全フライト案のうち1つだけに機材を配置するように定式化する。

$$\sum_{i,j,k} X_{ij}^{k'} = 1 \quad (k' = (k+1) - T_{ij} \sim k) \quad (6)$$

b) 飛行の連続性に関する制約

回送時間の不足によって飛行の連続性や母空港駐機が保証されないフライト案の組合せについて制約を与える。ここでは問題の特性上制約を目的関数の一部として取り入れる。

$$f_3(X) = \sum_{k=1}^K \sum_{i,j,m,n} P_{ij, mn}^{k1} X_{ij}^{k1} X_{mn}^{k1} \quad (7)$$

$$P_{ij, mn}^{k1} = \begin{cases} 0 & : X_{ij}^{k1} \text{ と } X_{mn}^{k1} \text{ が同時運航可能} \\ p & : \text{同時運航不可能} \end{cases}$$

(p : 大きな負の値)

c) 需要配分に関する制約

各出発可能時間断面、各ルートの需要は潜在需要分布からある一定の範囲(時刻3t)をもって与えられた割合(α_{ij}^{ghk} , r_{ijn}^{ghkw})で顕在化する。顕在化する需要が各時刻、各ルートの潜在需要分布を越えない条件を次のように定式化した。

$$\sum_{g=1}^G \sum_{k=1}^K \sum_{u=1}^{3t} \left\{ \alpha_{ij}^{ghk} \delta_{i+u}^{k+u} X_{ij}^{ghk} + \sum_{h=1}^H \sum_{n=1}^N (r_{ijn}^{ghkw} \delta_{i+u}^{k+u} X_{ij}^{ghk} X_{jn}^{ghk+T_{ij}+w}) \right\} \leq 1 \quad (8)$$

$$\delta_j^i = \begin{cases} 1 & : i=j \text{ のとき} \\ 0 & : i \neq j \text{ のとき} \end{cases}$$

(8) 式は各フライト案に対して顕在化する需要が

ルートi→nについて

(直行便の顕在化)

	機材	g		g ₁		
	時刻	k	k+t		k	
希望時刻 t'	k	$\alpha^{g_k 0}$				
	k+t					
	k+2t					N_j^0
	.					
	.					
	.					
t'						

各時刻、各ルートの潜在需要を越えないということを表している。図2は直行便、乗継ぎ便それぞれの顕在化の様子を表したものであり、すなわち

(8) 式は図2の各行の合計を表現したものである。

2. 4 利益最大化問題

以上をまとめて問題は(6)(8)式の制約下で(9)式を最大化する非線形整数最適化問題となる。

$$L = f_1(x) + f_2(x) + f_3(x) \quad (9)$$

3. 結論・考察

本研究では航空機材スケジューリングモデルにおける多機材間の需要配分および異機材間の乗継ぎ利用による利益の増加を定数 α_{ij}^{ghk} および r_{ijn}^{ghkw} を導入することにより考慮した。これにより新たな航空機材スケジューリングモデルが非線形整数計画問題として定式化された。今後、問題の解法および実際の航空ネットワークへの適用性を検討する必要がある。

< 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, pp. 155-162, 1986
- 2) 徳永・稲村：多空港間航空ネットワークのスケジューリング-LPモデルとDPモデルの比較，土木計画学研究論文集，No. 13, pp. 607-614, 1990
- 3) 徳永・稲村：ゲイネチック・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モデル，土木学会論文集，No. 440/IV-16, pp. 109-116, 1992. 1
- 4) 田北・稲村：出発時刻と需要変動の関係の同時最適化航空スケジューリングモデル，東北支部技術発表会講演概要，pp514-515, 1991
- 5) 鬼柳，徳永，稲村：整数2次計画法による航空機材のスケジューリングモデル，土木計画学研究・講演集，No. 15, pp. 597-602, 1992
- 6) 久永・稲村・須田：ニューラルネットワークの航空機材スケジューリングへの適用と考察，土木計画学研究・講演集，No. 16, pp745-750, 1993

図2 需要配分の考え方