

神戸大学工学部	学生員	○溝端 翔平
神戸大学工学部	正会員	竹林 幹雄
神戸大学大学院自然科学研究科	学生員	黒沢 直紀
神戸大学工学部	フェロー会員	黒田 勝彦

1. はじめに

本研究では、複数ハブ空港で構成される HS ネットワークにおいて発生する遅延・キャンセル問題を取り上げ、各空港における遅延の最適化とともにネットワークの効率性を確保するためのリスケジュール方法の提案を行う。

2. 最適スケジュール調整モデル

(1) 概要

本モデルでは $Y_u^{(1)}$ に従い、時間帯近似法を導入した。これは、離発着を定刻ではなく、1日を任意の幅で複数の時間帯に分割し、各時間帯により判断するものである。これにより最適化における組み合わせ回数を飛躍的に減少させることができる。

次にシステムに複数のハブ空港が存在する場合、空港ごとに個別の最適化スケジュールは異なる可能性が存在する。すなわち、空港間で対立が生じるため、システム全体を効率的に運営するためにはこの対立を解消する必要がある。本研究では、各空港を統括する Airline Operations Control Center (以下 AOCC) なる主体を導入した。AOCC はネットワーク全体の最適化を目指す。そのため乗り継ぎが多い HS ネットワークにおいて、乗り継ぎ旅客の不効用最小化を目的とする。

主たる前提条件として、以下のように設定した。

- ①ネットワークは HS 型で運営される、②旅客は当日内での目的地への到着が保証されている、③翌日にはネットワーク内の全ての空港で当初のスケジュールに復帰する、④全て同一の機材で運航し、同一リンクにおける1機あたりの運行費用 c_l も同一である、⑤全てのスケジュール旅客のフローおよび、混雑状況は与件とする、⑥乗務員に関しては、リスケジュールによって当初配分された機材から別の機材に乗り換えることはない。

(2) 定式化

リスケジュール際、航空会社自身や旅客が負

担することになる追加的コストが発生する。したがって、航空会社はコスト最小化を目的として定式化される。システム全体の評価としては、本研究では AOCC は航空会社が行ったリスケジュールの結果を乗り継ぎ旅客の損益が最小化されることで評価するものとした。

以下にモデルで用いる記号、変数を定義する。

表 2-1 記号表

x_l	リスケジュール前の一日当たりのリンク l の総便数
y_l	リスケジュール後の一日当たりのリンク l の総便数
f_l^t	時間帯 t にリンク l に配便される時1の値をとる2値変数
g_l^t	時間帯 t にリンク l に配便される時1の値をとる2値変数 (リスケジュール後)
a_l^t	時間帯 t にリンク l に到着する時1の値をとる2値変数
b_l^t	時間帯 t にリンク l に駐機する時1の値をとる2値変数
$\delta_{lt}^{rs,k}$	rs 間の旅行で経路 k が時間帯 t にリンク l を利用する時1の値をとるクロネッカーデルタ
$\delta_{lt}^{a,q}$	機材 p 、ローテーション q が時間帯 t にリンク l を利用する時1の値をとるクロネッカーデルタ
u_l^t	時間帯 t にリンク l のフライトに搭乗する総旅客数
v_l^t	時間帯 t にリンク l のフライトに搭乗する総乗継ぎ旅客数
$u^{rs,k}$	rs 間を経路 k で旅行する総旅客数
$u_{kk'}^{rs}$	rs 間を旅行するための経路を k から k' に変更される総旅客数
$v_{kk'}^{rs}$	rs 間を旅行するための経路を k から k' に変更される乗継ぎ旅客数
d	時間帯1期当たり、旅客1人当たりの運航コスト
h_l	翌日のフライトのために空港 l にいる機材数
ac_l^t	時間帯 t に空港 l に駐機している機材数
T_k^{rs}	rs 間を経路 k で移動する旅客の総旅行時間
T_l^t	時間帯 t 、リンク l のフライトの総旅行時間

【最適化問題：航空会社】: $Obj: \min z(y_l)$

$$= \sum_l c_l y_l - \sum_l c_l x_l + \sum_{rs} \sum_k \sum_{k'} (delay)_{kk'}^{rs} u_{kk'}^{rs} d \quad (2-1)$$

$$subto \quad - \sum_l \sum_t a_l^t + \sum_l \sum_t b_l^t + \sum_l \sum_t f_l^t = 0 \quad (2-2)$$

$$- \sum_l \sum_t a_l^t + \sum_l \sum_t b_l^t + \sum_l \sum_t g_l^t = 0 \quad (2-3)$$

$$u_l^t \leq seat \cdot g_l^t \quad for \quad \forall l, t \quad (2-4)$$

$$\sum_k u^{rs,k} = X_{rs} \quad (2-5)$$

$$(delay)_{kk}^{rs} = T_k^{rs} - T_k^{rs} \quad for \quad \forall rs, k, l, t \quad (2-6)$$

$$h_i \leq ac_i^{t, end} \quad (2-7)$$

(2-2)および(2-3)は機材の連続性を保証する制約である。(2-4)は機材容量 *seat* に関する制約である。(2-5)はOD 保存に関する制約である。(2-7)は翌日のスケジュール復帰を保証する制約である。

【最適化問題：AOCC】 $Obj: \min z(g_i')$

$$= \sum_{rs} \sum_k \sum_{k'} (delay)_{kk'}^{rs} v_{kk'}^{rs} (g_i', y_i) d \quad (2-8)$$

$$subto: (delay)_{kk}^{rs} = T_k^{rs} - T_k^{rs} \quad for \quad \forall rs, k, l, t \quad (2-9)$$

$$and \quad G(g_i') = G^* \quad (2-10)$$

$$y_i = \arg \min \{z(y_i)\} \quad (2-11)$$

(2-10)は各空港の最適化行動が最適制約として式に組み込まれることを表し、(2-11)は y_i が航空会社の問題の最適解であることを表す。

3. 解法

前節において定式化を行ったが、直接には最適解を求めることは困難であるため、最初に元の問題から補助問題を作り出すことを考える²⁾。AOCCは遅延により到着が遅れた機材のため機材不足が生じたハブ空港においてフライトの優先順位を決定する。したがって、AOCCの補助問題は遅延発生時の各機材ローテーションの遅延コストの差最大化を目的とすると考えてよい。

【補助問題：AOCC】 $Obj: \min z(g_i')$

$$= \sum_i \sum_j \{ (delay)_i \} v_i' d \{ g_i' \delta_{i,j}^{p,q} \} - \sum_j \sum_i \{ (delay)_j \} v_j' d \{ g_j' \delta_{j,i}^{p,q} \} \quad (3-1)$$

subto

$$\sum_i v_i' \delta_{i,i}^{p,q} \leq ac_i^{t, end} \cdot seat \quad (3-2)$$

$$\sum_j \delta_{i,j}^{p,q} = ac_i^t \quad (3-3)$$

$$(delay)_i = T_{i,i} - T_{i,i} \quad for \quad \forall l, t, p, q, q' \quad (3-4)$$

ここで、(3-2)は時間帯 t における機材容量に関する制約、(3-3)は時間帯 t における空港 i での機材ローテーションの総数に関する制約である。また(3-4)にリ

ンク l 時間帯 t における旅行遅延時間を示す。

【補助問題：航空会社】：

$$Obj: \min z(a_i') = \sum_i \sum_j c_{ij} a_i' - \sum_i c_{ij} x_i \quad (3-5)$$

$$subto: \sum_i u_i' a_i' \leq ac_i^{t, end} \cdot seat \quad (3-6)$$

$$- \sum_i \sum_j a_i' + \sum_j \sum_i b_j' + \sum_j \sum_i g_j' = 0 \quad (3-7)$$

$$h_i \leq ac_i^{t, end} \quad (3-8)$$

制約条件については航空会社の最適化問題の制約条件とほぼ同様である。

まず、遅延を被るフライトのスケジュールを全て遅らせることで最も望ましくない解である初期実行可能解を得る。次にAOCCは機材不足が生じたハブ空港において各ローテーションを比較し、フライトの優先順位を決定する。航空会社は決定されたフライトを与件とし、残りのフライトに関して、分枝限定法を用い決定していく。まず1つの機材ごとの動きに着目する。機材ごとに最終時間帯から到着リンクを決定し、機材編成によるコストを算定し、全体のスケジュールを作成する。その際、機材の連続性などの条件を満足しなければならない。全ての機材について同じ作業を行って暫定的に新スケジュールが決定する。暫定スケジュールによる局所最適解と初期実行可能解を分枝限定法により比較し、最適解を得ることでリスケジューリングは終了となる。

4. 数値計算

前節において述べた最適解を得る方法を検証するために、初期条件を与えて数値計算を行った。数値計算結果については講演時に発表する。

(参考文献)

- 1) Michael F.Arguello, Jonathan F. Bard, and Gang Yu: Models and methods for managing airline irregular operations, Operations Research in the Airline Industry, Kluwer Academic Publishers, pp1-43, 1997
- 2) 竹林幹雄, 黒沢直紀: 航空旅客輸送における最適スケジュール調整手法に関する研究, 土木計画学研究・講演集 Vol.28, 2003.11