

第 部門 ハブ・スポーク型航空輸送ネットワークにおけるスケジュール調整の最適化手法

神戸大学自然科学研究科 学生会員
神戸大学自然科学研究科 学生会員

溝端翔平 神戸大学工学部 正会員
黒沢直紀 神戸大学工学部 フェロー

竹林幹雄
黒田勝彦

1. はじめに

現在の航空輸送産業において、ハブ空港で頻発するフライトの遅延、キャンセルの頻発が大きな問題として注目されているが、それに対する効果的な方策への示唆は少ない。ハブ空港で運航上のトラブルが生じた場合、ハブ・スポーク(HS)型ネットワークの特徴上その悪影響はネットワーク全体へ急速に波及する可能性がある。多くの航空会社がこの運航形態を採る状況を考えれば、トラブルに対する効果的な対処法が必要である。そこで本研究では、最適なスケジュール調整を行うための最適化問題のモデル化を行い、またその問題に対する解法アプローチを提案する。

2. スケジュール調整最適化モデルの構築

(1) 枠組み

モデル構築のために、その前提となる諸条件について整理する。まず航空路線形態として複数のハブ空港が存在するHS型を想定する。また想定する航空輸送市場はHS型の路線でフライトを運航する複数の航空会社と旅客により構成される。さらに運航管理の主体としてローカル・ハブ・オペレータ(以下LHO)とAirline Operations Control Center(以下AOCC)を想定する。LHOとはハブ空港におけるオペレータのことで、周囲のスポーク空港も含めたエリアの運航管理を行うものと仮定する。AOCCはLHOの間のコンフリクトを解消するための調整組織としての役割を持つものとする。AOCCはハブ空港間のフライトのみ制御することができ、LHOはその決定に必ず従うものとする。モデルの参加主体同士の関係の詳細については講演時に説明する。

スケジュールの問題を考えると、時間の概念をどのように扱うかが重要な問題となる。モデルの中で時間を精密に扱おうとすると、計算上膨大な組み合わせを処理する必要があり、この難点を何らかの方法で緩和しなければならない。そこで調整の対象期間を任意の幅で分割する時間帯近似を行う。定刻を時間帯に近似するため、最終的に近似解が得られるということになる。

調整を行う中で満たすべき制約条件として、各空港

での機材の流入数と流出数の整合(連続性)が保たれていることや調整対象期間以後のスケジュールが実行可能な状態で調整を行うこと、各フライトの搭乗人数は機材容量(座席数)以下であること等が挙げられる。

(2) 定式化

これまでに述べたことを踏まえ、調整モデルを数学的な最適化問題として定式化を行う。以下にLHOの最適化問題としてOP-LHOを示す。各LHOはリンク、時間帯ごとのフライトの到着を表すバイナリー変数(0または1の値をとる)と、AOCCの最適化行動を制御変数としてスケジュール調整の最適化を行う。

[OP-LHO]

$$Obj: \min z^n(g_{l,t}^a, G^*)$$

$$= \sum_l \sum_t c_l g_{l,t}^a - \sum_l c_l x_l + \sum_{rs} \sum_k \sum_{k'} DT_{kk}^{rs} u_{kk}^{rs} c_d \quad (1)$$

sub.to

$$g_{l,t}^a \in \{0,1\} \quad \text{for all } l, t \quad (2)$$

$$g_{l,t}^a = g_{l,t-R_l}^d \quad \text{for all } l, t \quad (3)$$

$$\sum_l \sum_{t=0}^{t-1} g_{l,t}^a \delta_{l,t}^i \geq \sum_l \sum_{t=0}^t g_{l,t}^d \delta_{l,t}^i \quad \text{for all } i \quad (4)$$

$$- \sum_l \sum_{t=0}^{T-1} g_{l,t}^d \delta_{l,t}^i + \sum_l \sum_{t=0}^T g_{l,t}^a \delta_{l,t}^i = F_i \quad \text{for all } i \quad (5)$$

$$u_{l,t} \cdot g_{l,t}^a \leq seat \quad \text{for all } l, t \quad (6)$$

式(1)は目的関数である。LHOの目的は、新しいスケジュールを作成することによって生じる追加的な運航費用と、移動経路が変更されてしまうことによって生じる不効用の最小化することである。式(2)はモデルの制御変数である。以下の制約条件等、定式化の詳細に関しては講演時に説明する。次に、AOCCの最適化問題OP-AOCCを示す。

[OP-AOCC]

$$Obj: \min z^{AOCC} (g_{l,t}^a \in S^{HUB})$$

$$= \sum_{rs} \sum_k \sum_{k'} DT_{kk'}^{rs} u_{kk'}^{rs} \delta_{kk'}^{rs, CON} c_d \quad (7)$$

sub.to

$$u_{kk'}^{rs} = \arg\left\{\min(z^n : 1, 2, \dots, N)\right\} \quad \text{for all } rs, kk' \quad (8)$$

$$g_{l,t}^a \in \{0, 1\} \quad \text{for all } l, t \quad (9)$$

AOCC は何らかの項目によりスケジュール調整の結果を評価する。ここでは、HS 型ネットワークの特徴として複数のフライトを乗り継ぐ旅客の多いという点に着目し、乗り継ぎ旅客の不効用の最小化を目的関数として問題を構成した。

3. モデルの解法

(1) 解法の概要

2章で提案したLHOの最適化問題は、0-1 整数計画問題として定式化されている。このような問題は一般的には大規模な計算を行うことが困難であると言われている。そこで、定式化した問題を分解することでこの困難さを改善する方法を考える。まずOP-LHOは新スケジュール決定問題と旅客の再配分問題へ分解することができる。さらに新スケジュール決定問題は時間帯ごと、機材ごとの整数計画問題へ分解することができる。部分問題への分解を行い、処理する問題の規模を縮小した上で分枝限定法を利用して問題を解くことにより、効率的に解を得ることができる。このような問題の分解や、分枝限定法と列遅延生成法を利用した解法は、Barnhartら¹⁾の研究でも提案されている。本研究では調整問題に対して、次に述べる 2 種類の解法アプローチを提案する。

(2) 分権的アプローチ

モデルの枠組みの中でも述べたが、通常 LHO は独自の調整を行う。ここで述べる分権的アプローチは、調整問題を協力ゲームの枠組みに基づき交渉問題として構成したものある。交渉の基準点として考え得る調整スケジュールの中で最も望ましくないスケジュールのときの費用負担を設定する。調整の大きな流れは、次の 2 つのステップを繰り返すことである。

費用負担が最大である LHO による調整
交渉の妥結点が見出されていれば終了そうで
なければ へ戻る

全ての LHO が納得できる交渉の妥結点を見出されるまで費用負担最大の LHO が調整を繰り返し行う。

(3) 集権的アプローチ

このアプローチは、調整を行う中で LHO の間にコンフリクトがある場合に、それを解消するように AOCC が強制的にハブ空港間のフライトを制御することで調整を行っていくアプローチである。ここでは調整問題を AOCC と LHO の 2 段階の意思決定問題として構成している。調整の大きな流れは次のステップの繰り返しである。

各 LHO による調整

コンフリクトがあれば AOCC がそれを調整

全てのコンフリクトが解消された上で実行可能なスケジュールが作成されていれば終了、そうでなければ へ戻る

このアプローチは、本来利己的で自身のエリアの最適を考える LHO 同士の調整に全体の最適化を考える AOCC を介入させ、強制的に新スケジュールを作成するという考え方に基づいている。

4. まとめ

本研究における主要な目的は、航空会社や空港の運航管理者が運航上の予期せぬトラブルに対し、最適なスケジュール調整を行うためのモデルを構築することと、効率的な調整を行うための論理を確立することであった。本稿ではスケジュール調整問題の最適化モデルを構築と定式化を行い、それに対する解法アプローチを提案した。特に、従来研究に見られなかった複数のハブ空港が存在する状態を想定したことと、利己的な意思決定主体 (LHO) の間に生じると考えられるコンフリクトに着目し 2 種類の調整アプローチを提案したことは、本研究における大きな成果である。提案したアプローチの性能、その有用性については講演時に述べることとする。

参考文献

- 1) 例えば C. Barnhart, E. L. Johnson, G. L. Nemhauser, M. W. P. Savelsbergh and P. H. Vance : Branch-and-Price: Column Generation for Solving Huge Integer Programs, Operations Research, Vol.46, No.3, pp.316-329, May-June 1998