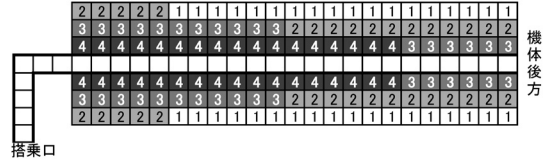


航空機における搭乗戦略の最適化

中山 藍, 宮代 隆平

キーワード：航空機, 搭乗戦略, シミュレーション, 局所探索, 最適化

本稿は、中山 藍さんによる東京農工大学大学院に提出した2014年度修士論文および[1]をもとに加筆修正したものです。



1 が最初に搭乗、4 が最後に搭乗するグループ

図1 Reverse-Pyramidの座席グループ分け

1. はじめに

飛行機に乗る際に、「座席番号が△△番より後ろのお客様から機内のご案内いたします」という類のアナウンスを聞いたことがある方も多いと思います。機体後方の乗客から搭乗してもらうのは、一見すると効率良く見えますが、果たして本当にそうなのでしょうか。本稿では、飛行機の搭乗が短時間で完了する「良いグループ分け」を、局所探索という最適化手法を利用して求めた結果を紹介します。

2. 航空機の搭乗戦略

飛行機への搭乗にかかる時間を短くするために、乗客をグループ分けして段階的に機内へ案内することは以前から行われていました。さらに近年では、より短時間で搭乗が完了するようにグループの分け方を工夫する動きが見られます。グループ分けの仕方を搭乗戦略 (boarding strategy) と呼び、これまでにさまざまな種類の戦略が提案されてきました。

日本の航空会社では、エコノミークラスの座席を機体前方／(中央)／後方の2~3グループに分け、後方座席の乗客から機内への案内を開始する Back-to-Front (BF) という搭乗戦略を用いることが多いようです。しかしながら複数の研究において、BFはグループ分けを全く行わないとき（一斉搭乗）よりも搭乗時間が長くなると指摘されています。

ほかの搭乗戦略として、座席を窓側／中央／通路側の3グループに分け、窓側座席の乗客から搭乗を案内

する Outside-In (OI) が知られています。OIは、「隣り合った座席では必ず窓側のほうがグループ番号が若い」という特徴があり、多くの先行研究において搭乗時間がかなり短いと評価されています。

さらに近年、OIの特徴を取り入れて発展させた Reverse-Pyramid (RP, 図1) と呼ばれる搭乗戦略が提案され、アメリカウエスト航空などで実際に導入されました[2]。しかしRPは、乗客を4グループに分ける必要があり、運用する際に若干煩雑になります。また、RPより搭乗時間が短い搭乗戦略を提案している研究もいくつかありますが、どれもグループ数が極端に多く、実用には難しい部分があると考えられます。

そこで本研究では、乗客のグループ数を3程度に抑えつつ、搭乗時間が既存のものより短くなる搭乗戦略の作成を目指しました。

3. 搭乗のシミュレーション

まず、新しい搭乗戦略を考える前に、従来の搭乗戦略も含めて搭乗時間を計測する手段が必要です。しかし、実際の機体を用いたテストはかなり大変です。このような場合は、コンピュータ上でのシミュレーションが役に立ちます。

搭乗時間の計測には、セル・オートマトンの一種である非対称単純排除過程 (Asymmetric Simple Exclusion Process; ASEP) によるシミュレーションを利用しました。ASEPによるシミュレーションの設定は次のとおり比較的簡単なものですが、現実の状況をわりとよく近似できます。

- 機体内部は、図1のようなセル状に分割されている

なかやま あい
みやしろ りゅうへい
東京農工大学 大学院工学研究院
〒184-8588 東京都小金井市中町2-24-16

るとし、乗客は1つのセルに1人しか入れない。

- 時間の経過を離散的なものとし、時刻0において、搭乗口に第1グループ、第2グループ、……の順に乗客全員が並ぶ。ここで、同グループ中の乗客の順序はランダムに定める。
- 乗客は以下のルールに従い行動する。タイムステップごとにどの乗客から行動を開始するかは、毎回ランダムに決定する：
 - ・ タイムステップごとに自分の座席に向かって1セル分だけ進む。ただし、通路上で進行方向に向かって次のセルに別の乗客がいる場合は、そのタイムステップでは動けない。
 - ・ 自分の座席に対応する通路セルに到着すると、荷物を収納棚に入れるため通路上で立ち止まる。さらに、自分の座席よりも通路側の座席の乗客がすでに着席していた場合には、入れ替わるために立ち止まる時間が長くなる。
- 時刻0の搭乗開始からすべての乗客の着席が完了するまでを、かかった搭乗時間とする。

このシミュレーションはランダム要素を含むため、試行1万回の平均搭乗時間によって、既存の搭乗戦略を評価しました(表1)。乗客の歩行速度、荷物の収納に要する時間の確率分布など、各種のパラメーターについては先行研究[3, 4]のものをそのまま用いました。

4. 局所探索による最適化

ここまでで、搭乗戦略を定めたらその搭乗時間が測れるようになりました。さて、どのようにして優れた搭乗戦略を作るのでしょうか。本研究では、良い搭乗戦略をいきなり生み出すのではなく、ASEPを活用しながら各座席(乗客)のグループを少しずつ良いものに近づけていくシンプルな方法をとりました。

まず、搭乗戦略を何か一つ適当に定めて、ASEPで平均搭乗時間を計測します。次に「どこかの座席のグループ番号を現状の搭乗戦略から変化させ、ASEPで平均搭乗時間を計測する。変化前と変化後で比較し、平均搭乗時間が短くなっていれば変化後のものを新しく搭乗戦略と定める;短くなっていなければその座席のグループ番号は元に戻す」というステップを、どこかの座席のグループ番号をどう変化させても平均搭乗時間の短縮が起こらなくなるまで繰り返します。

コンピューターに計算させた結果、通路1列の航空機(Boeing 737タイプ)に対しては図2の搭乗戦略を得ました。グループ数は3ですが、グループ数4のRPおよびグループ数3のOIより短い時間で搭乗が

表1 各搭乗戦略の平均搭乗時間

搭乗戦略	グループ数	平均搭乗時間(秒)	99%信頼区間
一斉搭乗	1	1210.3	[1208.0, 1212.6]
BF	2	1255.3	[1252.9, 1257.7]
BF	3	1331.5	[1329.0, 1334.0]
OI	3	838.3	[836.8, 839.7]
RP	4	835.9	[834.5, 837.4]
本研究	3	797.8	[796.5, 799.1]

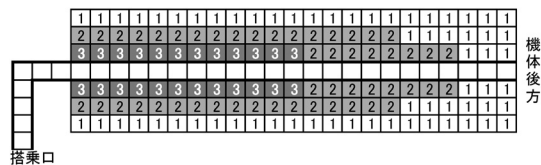


図2 提案する搭乗戦略の座席グループ分け

完了しています(表1の“本研究”)。OIやRPでは、隣り合った座席は必ず異なるグループ番号を割り当てるのに対し、提案する搭乗戦略では機体の後方でそうになっていないのが特徴です。つまり、「窓側と通路側の乗客の入れ替わりによる時間のロス、機体の最後尾近くでは問題にならない」ということが読みとれます。

もちろん、機体の種類、空席/一人客/家族連れ割合、各種の確率的なパラメーター(荷物の個数や乗客のグループ遵守の確率)などはフライトごとに変化しますが、提案した手法は上記の割合やパラメーターを変えるだけで汎用的に使い、それぞれに応じた搭乗戦略を求められるのが利点です。

このように最適化したい対象を少しずつ改善して良いものを探していく方法は「局所探索」といい、基本的な最適化手法の一つとして知られています。

参考文献

[1] 中山藍, 宮代隆平, “航空機における乗客搭乗戦略の最適化,” 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2015 年春季研究発表会アブストラクト集, pp. 28–29, 2015.

[2] M. H. L. Van den Briel, J. R. Villalobos, G. L. Hogg, T. Lindemann and A. V. Mulé, “America West Airlines develops efficient boarding strategies,” *Interfaces*, **35**, pp. 191–201, 2005.

[3] M. Schultz, T. Kunze and H. Fricke, “Boarding on the critical path of the turnaround,” *The Tenth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar*, 2013.

[4] H. Van Landeghen and A. Beuselick, “Reducing passenger boarding time in airplanes: A simulation based approach,” *European Journal of Operational Research*, **142**, pp. 294–308, 2002.