

航空機における搭乗時間短縮のための最適搭乗順に関する研究

愛知県立大学 *富山侑子 TOMIYAMA Yuko
愛知県立大学 大学院 宇都宮 陽一 UTSUNOMIYA Yoichi
愛知県立大学 奥田 隆史 OKUDA Takashi
*愛知県立大学 情報科学部 情報科学科 システム科学コース
*〒 480-1198 愛知県長久手市茨ヶ廻間 1522-3
*E-mail: is121054@cis.aichi-pu.ac.jp

1. はじめに

国土交通省は特定本邦航空事業者・航空輸送サービスに係る情報公開を4半期毎に実施している。公開項目は航空輸送サービスの比較等に関する情報、運賃関連情報などが含まれている。航空輸送サービスの比較等に関する情報は、定時運航率、遅延便数、欠航便数である。例えば「2015年7~9月の本邦11社の平均遅延率（出発予定時刻よりも15分を超えて出発した便が対象）は9.38%であり、前年同期実績の10.50%より1.12ポイント減となった[1]」という実績が公開されることになる。情報公開は本邦航空運送事業者別の実績も公開され、公開データに基づき航空会社や空港のランキングにも反映している[2]。

公開データによって評価を受けることもあるため、航空事業者・航空輸送サービス事業者にとって、定時運航率を高め、遅延便数を減少させることは重要な課題として認識されている。定時運航率を高めるためには、機体整備時間などの短縮に加え、搭乗待機場所にいる乗客が搭乗・着席するまでの搭乗時間を延長させないことが重要になる。本稿では搭乗時間が延長している問題を搭乗時間延長問題と呼び、搭乗時間延長問題を解決する搭乗順を考察する。

一般的に航空会社は、搭乗待機場所に集合している乗客に搭乗順の指示を出す。搭乗順は搭乗待機場所への到着順や指定座席によって指示される搭乗順がある[3]。複数ある搭乗順の中で、搭乗順によって搭乗時間が長い場合がある。その原因は主に2点あげられる。1点目は先に指定座席が通路側の乗客が着席していることで、あとから搭乗した指定座席が窓側の乗客のために移動しなければならないという状況が発生することである。2点目は移動している他の乗客によって通路がふさが

ることで待機する時間がかかることがあげられる。

また、搭乗時間の延長には乗客の行動も関係している。乗客が搭乗順の指示を受けたときに、その指示に気付かないことや守らないといった利己的な行動をとる場合がある[4][5]。乗客の利己的な行動を考慮した上で、搭乗順の中で搭乗時間を最小にする搭乗順が最適搭乗順であると考えられる。

以上のことをふまえ、本研究では、乗客の利己的な行動を考慮し、航空機における乗客の搭乗過程をエージェントベースモデル（以下、ABM）[6]で表現し、シミュレーションをおこなうことで、搭乗時間を最小にする搭乗順を明らかにすることを目的とする。

以下、第2節では航空機において発生する搭乗時間延長問題について説明する。第3節では、公共交通システムである航空機の機体構成について述べる。第4節では、第3節で説明した航空機の機体構成を基本に乗客の搭乗過程を示す。第5節で機体モデルで表現する。第6節で数値例を示し、第7節でまとめる。

2. 航空機における搭乗時間延長問題

航空機における搭乗時間延長問題について説明する。搭乗時間延長問題とは、航空機において1人目の乗客が搭乗し、全乗客が着席するまでの時間（搭乗時間）が予定より延長することで離陸時刻に遅れるという問題である。この搭乗時間延長問題が発生する原因は以下の4つがあげられる。

- (a) 搭乗順が搭乗待機場所への到着順である。
- (b) 指定座席が窓側の乗客が搭乗する前に通路側の乗客が搭乗し、着席している場合に通路側の乗客が移動するために時間やその移動を通路で待機する時間が多くかかる搭乗順である。
- (c) 搭乗順を守らない乗客が存在している[7]。

(d) 乗客が手荷物を所持しており，機内収納スペースに収納するために通路をふさぐ。

この4つの原因をふまえ，乗客が航空機に搭乗する過程を第4節で示す。

3. 公共交通システムにおける航空機の機体構成

公共交通システムは乗降口と通路・座席の位置と数で抽象化すると一括で扱うことができる。航空機の機体構成と電車・バスとの車内構成を比較した結果を表1にまとめる。

なお，公共交通システムである電車やバスは航空機と異なり，乗客が座席に着席をせず通路などにもよい。また，航空機では乗客は追加料金を払わなくても指定座席をとることができるが，電車・バスでは指定座席をとるために追加料金が必要になることが多い。

表1: 航空機，電車，バスの機体（車内）構成比較

	航空機	電車	バス
乗降口数	1	2~3	1
通路列数	1~2	1	1
座席列数	4or6	2or4	1~2
乗車可能位置	座席	座席・通路	座席・通路
指定座席	有	無	無

4. 航空機の搭乗過程

航空機の搭乗過程は，図1に示すように5つの要素：(1) 搭乗待機場所，(2) 機体環境（搭乗口や座席の数や位置），(3) 搭乗順指示，(4) 搭乗を待つ客，(5) 搭乗客のふるまいで表現する。



図1: 飛行機の搭乗過程

5つの要素について述べる。

- (1) 搭乗待機場所：乗客が搭乗開始時刻まで待機する場所である。
- (2) 機体環境：搭乗口，通路，座席で構成されている環境である。

(3) 搭乗順指示：航空会社がどの座席の乗客が搭乗するか指示するということである。

(4) 搭乗を待つ客：搭乗待機場所でアナウンスがかかるのを待ち，搭乗が開始されると，搭乗口へ向かう客のことである。

(5) 搭乗客のふるまい：搭乗を開始すると，乗客は8つの行動（搭乗順順守・違反，搭乗，探索，着席，収納，移動，待機）をとる。

搭乗客は8つの行動をとる。8つの行動は搭乗開始時の行動，搭乗開始後の全乗客が取る行動，条件によって一部の乗客が取る行動と分けることができる。

搭乗開始時の乗客の行動

- 順守：航空会社が搭乗順をアナウンスした際に指示通りに行動する
- 違反：航空会社が搭乗順をアナウンスした際に指示に従わない行動をする

現実での違反とは指示の解釈を間違えたときや，指示が聞こえていなかったときとしてとらえる。
搭乗開始後の全乗客が取る行動

- 搭乗：搭乗口から乗車する行動
- 探索：通路を通して指定座席を探す行動
- 着席：指定座席に着席する行動

搭乗開始後の一部乗客が取る行動

- 収納：機内持ち込み手荷物を持っているときに，機内収納スペースに収納する行動
- 移動：指定座席が通路側の乗客が先に着席しているとき，後から搭乗した指定座席が窓側の乗客のために移動する行動
- 待機：指定座席が通路側の乗客が先に着席しているとき，後から搭乗した指定座席が窓側の乗客のために移動する乗客や機内持ち込み手荷物を持っているときに，機内収納スペースに収納する乗客を待つ行動

これらの5つの要素で航空機の搭乗過程は構成される。

5. ABM

第4節で説明した航空機における乗客の搭乗過程をABMで表現する。以下，第5.1節で第3節で説明した航空機の機体構成をもとに想定環境，第5.2節でエージェントの行動を定義し，第5.3節で搭乗順について説明する。

5.1. 想定環境

今回は小型航空機を想定する。搭乗口は1つ、座席数を $I = 20$ [席], 座席列数を $J = 4$ [列] (座席列は2列×2) とする。本稿では, 乗客をエージェントとして捉える。

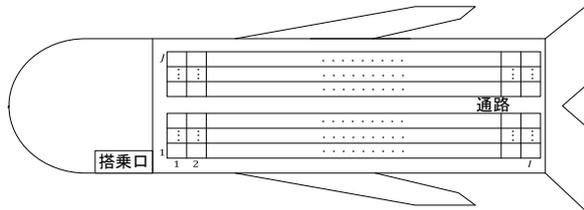


図 2: 機体モデル

5.2. エージェントの行動

エージェントの行動について説明する。エージェントが一人ずつ搭乗口から搭乗し, 座席に着席する。乗客が一人搭乗すると次の乗客が搭乗するとする。エージェントは搭乗待機場所に着席する前に指定座席を決定する。搭乗待機場所で航空会社が搭乗開始のアナウンスをかけ, 第 5.3 節で説明する搭乗順の指示をエージェントに出す。エージェントは搭乗順の指示に対して, 次の 2 つの行動をとる。

順守:航空会社が指示した搭乗順に従って搭乗を開始する。

違反:航空会社が指示した搭乗順に従わず, 指示されていないときに搭乗を開始する。

第 5.3 節で搭乗順ごとの搭乗順違反者行動について説明する。

エージェントは搭乗すると, 以下のような行動をとる。まず, 全エージェントがとる行動は以下の 3 種類である。

搭乗:エージェントは搭乗口から機内に搭乗する。

探索:エージェントは通路を通り, 指定座席を探索する。

着席:エージェントは指定座席に着席する。

次に一部のエージェントが取る行動について説明する。以下の行動は全エージェントが取る 3 種類の行動をとる際に, 条件にあてはまると取る行動である。

収納:エージェントは機内持ち込み手荷物を機内収

納スペースに収納する。収納の行動をとるエージェントは全エージェントのうちの一部であるとする。
移動:先に通路側のエージェントが着席しており, その後に窓側のエージェントが到着するときに, 着席していたエージェントが窓側のエージェントのために移動する。

待機:先行しているエージェントが収納, 移動, 待機という行動を取っているときにとる行動である。収納と移動では移動のほうが待機時間を要するとする。

5.3. 搭乗順

搭乗待機場所で航空会社が搭乗開始のアナウンスをかける。その際に以下の 6 種類の搭乗順 [8] [9] で乗客は搭乗する。

- **ランダム (rnd)**: 到着した乗客から順に搭乗していく搭乗順である。ランダムは到着した乗客から搭乗していくため違反という行動は存在しない。
- **窓側優先順 (w-a)**: 指定座席が窓側の乗客から搭乗する。その後, 通路側の乗客が搭乗する搭乗順である (図 3 参照)。窓側優先順での搭乗順違反者は初めに窓側座席の乗客から呼び出されている際に, 通路側座席の乗客が搭乗を開始する。

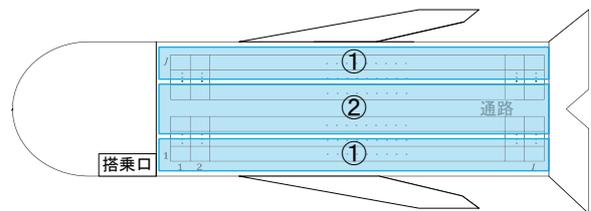


図 3: 窓側優先順の搭乗順

- **後方優先順 (r-f)**: 指定座席が機内後方座席の乗客から搭乗する。その後, 機内前方座席の乗客が搭乗する搭乗順である (図 4 参照)。後方優先順での搭乗順違反者は後方座席の乗客が呼び出されている際に, 前方座席の乗客が搭乗を開始する。
- **窓側後方優先順 (w-a+alpha)**: 指定座席が機内後方座席の窓側の乗客から搭乗し, 次に後方通路側, 前方窓側, 最後に前方通路側の乗客が搭乗する搭乗順である (図 5 参照)。窓側後

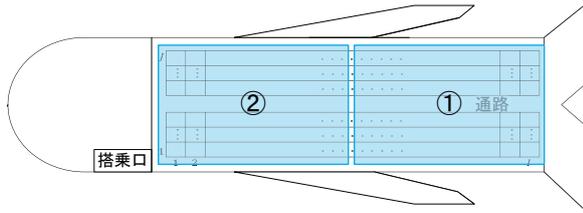


図 4: 後方優先順の搭乗順

方優先順での搭乗順違反者は図 5 の①の座席の乗客が呼び出されている際に、①以外の座席の乗客が搭乗を開始する。同様に②の座席の乗客が呼び出されている際にも、②以外の座席乗客が、③の乗客が呼び出されている際には、③以外の座席の乗客が搭乗を開始する。

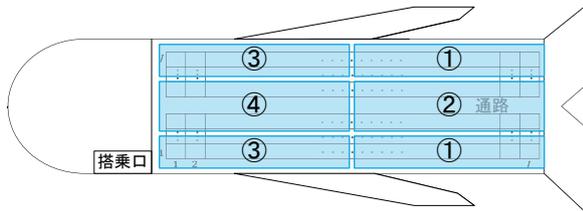


図 5: 窓側後方優先順の搭乗順

- **リバースピラミッド (reverse-pyramid)** : 指定座席が機内の後方 2/5 の窓側の乗客から搭乗し、次に機内後方 2/5 の通路側の乗客と機内中央 3/10 の窓側の乗客が搭乗する。次に機内中央部 3/10 の通路側の乗客と機内前方 3/10 の窓側の乗客が搭乗する。最後に機内前方 3/10 の窓側の乗客が搭乗する搭乗順である (図 6 参照)。リバースピラミッドでの搭乗順違反者は図 6 の①の座席の乗客が呼び出されている際に、①以外の座席の乗客が搭乗を開始する。同様に②の座席の乗客が呼び出されている際にも、②以外の座席乗客が、③の乗客が呼び出されている際には、②以外の座席の乗客が搭乗を開始する。
- **自由席 (free)** : 指定座席ではない (前方の座席を選択する傾向があると捉える)。自由席はランダムと同様に到着した乗客から搭乗していくため違反という行動は存在しない。

ランダムな搭乗順は格安航空会社 (LCC : Low Cost Carrier) でよく用いられている搭乗順になる。

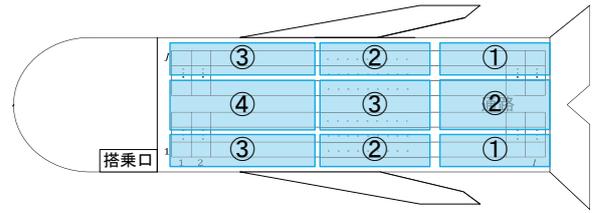


図 6: リバースピラミッドの搭乗順

LCC で最も多く取り入れられている搭乗順は後方優先順である。窓側優先順、窓側後方優先順は一部の航空会社で用いられている。リバースピラミッドは実験的に用いられているが実用されている搭乗順ではない。窓側後方優先順、リバースピラミッドは窓側優先順と後方優先順を混合させた搭乗順である。自由席はアメリカの航空会社で用いられたことがあり、その際の乗客の行動の特徴が前方座席を選択する傾向があったことを用いる [3]。

6. 数値例

第 5 節で示した機内の想定環境、搭乗順、エージェントの行動のモデリングをふまえ、シミュレーションをおこなう。シミュレーションの開発環境はマルチエージェントシミュレータ *artisoc*[10] を利用する。初期状態は空席であるとし、各搭乗順に対してシミュレーションを 30 回おこない、平均搭乗時間を計測する。搭乗時間とは最初のエージェントが搭乗してから、全てのエージェントが座席に着席するまでの時間とする。

搭乗口は 1 つであり、座席は、列数を $I = 20$ 列とし、1 列に $J = 4$ 席 (通路をはさみ 2 席ずつ) あり、全座席を利用する。また、全エージェントは搭乗ゲートにすでに集合しているとし、遅刻するエージェントはいないものとする。搭乗を開始したエージェントは一定の間隔で搭乗する。搭乗順の指示に対するエージェントの反応は俊敏であるとし、指示の差による搭乗時間の延長は考慮しないものとする。なお、収納の行動をとるエージェントの割合は 50% とする。

搭乗順違反者の割合を 0% から 50% で変化させたときの搭乗順ごとの平均搭乗時間を図 7 に示す。全搭乗順ごとの平均搭乗時間の結果の比較

図 7 より、全乗客が搭乗順を順守する場合は全搭乗順の中でリバースピラミッドが最も搭乗時間を最小にすることを確認した。次いで、窓側後方

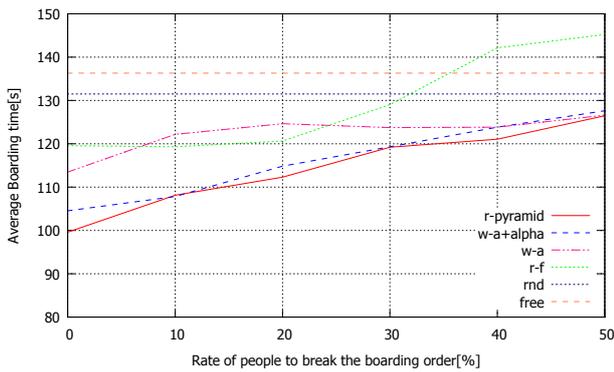


図7: 搭乗順違反者割合を変更した時の搭乗順ごとの平均搭乗時間

優先順, 窓側優先順, 後方優先順, ランダム, 自由席という順に搭乗時間は長くなる。

搭乗順違反者割合が増加しても, ほとんど搭乗順による搭乗時間の短い順番に変更はないが, リバースピラミッド, 窓側後方優先順, 窓側優先順は搭乗順違反者割合が増加すると収束する傾向にある。また, 後方優先順は搭乗順違反者割合が0.2を超えると, ランダムや自由席より搭乗時間が長くなるのがわかる。

搭乗順違反者割合が増加するとリバースピラミッドと窓側後方優先順との差異は小さい。このことから窓側後方優先型でも搭乗時間を短縮することができることを示唆している。

後方優先順と窓側優先順の平均搭乗時間の結果の比較^[4]

後方優先順, 窓側優先順に着目する。後方優先順は搭乗順違反者割合が0.2を超えると搭乗時間は大幅に増加する, 一方, 窓側優先順は搭乗順違反者割合が0.1を超えても搭乗時間はそれほど増加しないのがわかる。このことから, 指定座席が後方座席の乗客から着席していくのが重要であるということを示唆している。

7. おわりに

本稿では, 搭乗時間延長問題を解決する最適搭乗順を考察するために乗客をエージェントとして捉え, 航空機の搭乗過程をABMで表現した。ABMを用いて, 乗客の利己的な行動である, 搭乗順を違反する行動を考慮したシミュレーションをおこなった。全乗客が搭乗順を順守する場合は, 搭乗時間を短縮する搭乗順は, リバースピラミッド

だと確認した。しかし, 搭乗順違反者割合が増加すると窓側後方優先順もリバースピラミッドに近い搭乗時間となり, 有効であるといえる。また, 後方優先順と窓側優先順を比較することで, 後方座席から着席していくことが重要であるということが示唆された。

今後の課題として, エージェントに夫婦, 友人といった関係性という属性をもたせることで, 複数で搭乗するエージェントを導入し, 搭乗過程のシミュレーションをおこなうことや世界各国の搭乗する際の特徴を調査し, シミュレーションに導入すること, 搭乗順に対しての違反のおこない方に軽度から重度と段階を設けシミュレーションをおこなうことがあげられる。また, 長距離路線の飛行機を想定した機内モデルの拡張などもあげられる。

参考文献

- [1] 国土交通省, “航空輸送サービスに係る情報公開 (平成 27 年度第 2 回)”, http://www.mlit.go.jp/report/press/kouku04_hh_000124.html, 平成 28 年 2 月 11 日閲覧。
- [2] “The world’s Best Airlines 2015: Oscars of the aviation industry”, <http://www.worldairlineawards.com/>, 2016 年 2 月 17 日閲覧。
- [3] keitaroo, “搭乗時間が最も短い搭乗順は? 後ろから順に搭乗するのは効率が悪い?”, <http://helppointuk.blogspot.jp/2015/01/airlines-boarding.html>. 2015 年 11 月 5 日閲覧。
- [4] ロバート・アクセルロッド, 『対立と協調の科学～エージェント・ベース・モデルによる複雑系の解明～』, ダイヤモンド社, 2003。
- [5] ウィリアム・パウンドストーン, 『囚人のジレンマ～フォン・ノイマンとゲーム理論～』, 青土社, 1995。
- [6] 山影進, 『人口社会構築指南～artisoc によるマルチエージェント・シミュレーション入門～』, 書籍工房早山, 2007。
- [7] クリストファー・ボーム, 『モラルの起源～道徳, 良心, 利他行動はどのように進化したのか～』, 白揚社, 2014。
- [8] Jason H. Steffen, “Optimal boarding method for airline passengers”, *Journal of Air Transport Management*, Vol.14, No.3, pp.146–150, 2008。
- [9] Jason H. Steffen, Jon Hotchkiss, “Experimental test of airplane boarding methods”, *Journal of Air Transport Management*, Vol.18, No.1, pp.64–67, 2012。
- [10] (株) 構造計画研究所, <http://www.kke.co.jp/>。