

[自由論題]

## 旅客の移動時間を用いた羽田空港の旅客ターミナル再編の評価

花 岡 伸 也

(東京科学大学)

*The demand for international flights in the Tokyo metropolitan area is projected to grow steadily, underscoring the need for efficient passenger transfer times at large hub airports. In particular, it is essential for terminal usage strategies to account for the travel times of all passengers, including those making transfers. This study employs discrete event simulation to model passenger flows within Haneda Airport, assessing potential capacity-expansion scenarios, such as the construction of a new runway and passenger terminal. The analysis considers the location and size of the new terminal, focusing on travel times for different passenger categories—departing, arriving, and transferring, as well as domestic and international passengers. The results indicate that enhancements to facilities like security checks and immigration counters can significantly reduce travel times for non-Japanese passengers.*

### I はじめに

首都圏の国際線の航空需要は訪日外国人を中心に今後も増え続けることが見込まれており、成田空港では新滑走路の整備が進められている。羽田空港の容量拡大案として、長期的な観点から滑走路増設や旅客ターミナルの新設を想定し、国際線旅客が増加した際の旅客ターミナルの利用方法を検討する意義はある。また、大規模空港では乗継時に旅客の移動時間が長くなる傾向にあるため、乗継利用も含めた全旅客の移動時間を考慮したターミナル利用方法を検討する必要がある。

空港ターミナル内の旅客行動を分析する手法は、離散イベントシミュレーションモデルとエージェントベースシミュレーションモデルに大別される。前者は旅客行動を分解し、旅客動線をモデル化して混雑も含めた移動時間の分析に適しているのに対し、後者はエージェント個別の意思決定を考慮し、施設利用の有無など裁量的活動を評価するのに適している。前者の研究には、スロベニアのリュブリャナ空港を対象に出発時のチェックインと保安検査の平均待ち時間を予測した研究 (Rauch and Kljajić, 2006)、ブリスベン空港を対象に最大発着枠に対する飽和度をシナリオとして出発時の保安検査と出国審査の待ち行列を予測した研究 (Alodhaibi et al., 2017)、福岡空港を対象に国際線ターミナルにおける出発時のチェックインと保安検査の待ち行列を予測した研究 (Yamada et al., 2017) がある。後者の研究には、ブリスベン空港を対象にターミナル内での施設利用状況予測のためベイジアンネットワークを意思決定モデルに実装した研究 (Ma et al., 2012)、バルセロナ空港を対象にターミナル内を本館やサテライトなどに分割して各エリアに滞在する属性別旅客数の混雑状況を評価した研究 (Casas et al., 2014)、成都空港を対象に旅客密度を算出してチェックイン・保安検査などのエリアごとに混雑予測した研究 (Liu et al., 2019)、バンガロール空港を対象に旅客の行動を二項ロジットモデルで表現して出発旅客の空港滞在時間を算出した研究 (Verma et al., 2020) がある。

これらの既往研究では、出発フローに着目したり、通過施設やエリア単位での空港内の混雑状

況を検討しているものの、複数のターミナルの位置や大きさを比較し、乗継を含む旅客の移動時間を算出した研究はない。そこで本研究では、出発、到着、乗継のフロー別に旅客動線を分類して空港内の旅客動線を設定し、離散イベントシミュレーションモデルを用いて各フローの移動時間を算出する<sup>1)</sup>。そして、出発・到着・乗継のフロー別および国内線・国際線別に旅客のタイプを分け、移動時間を評価基準として羽田空港の旅客ターミナルの再編方法を評価することを目的とする。具体的には、羽田空港の容量を拡大する案として、C滑走路のさらに沖合に5本目のE滑走路を増設し、第4ターミナルを新設する案をシナリオとして設定して、乗継利用も含めた旅客の移動時間を抑制する再編方法を検討する。シナリオとして、ターミナルの大きさおよびその位置、さらにターミナル間の乗継移動交通手段を比較し、旅客の移動時間に与える影響を分析することで、各シナリオから得られる知見をまとめ、旅客の移動時間を評価基準とした羽田空港の旅客ターミナルの再編方法で検討すべき事項を明らかにする。

## II シナリオ設定

本研究では、首都圏空港の需要予測（運輸政策研究機構，2009；国土交通省，2013）を参考に、成田空港との関係も踏まえつつ、2040年頃の羽田空港の国内線と国際線の需要をそれぞれ年間5,000万人と想定する。現状と比較して国内線が少なく国際線が多くなっているが、今後の人口減少やリニア中央新幹線の開通の影響などにより国内線の需要が減少し、訪日外国人の順調な増加により国際線の需要が増加することを想定している。また、羽田空港の滑走路増設を検討した資料（国土交通省，2014）を参照し、C滑走路と並行した新規滑走路をE滑走路として海上にオープンパラレル（1,310m以上）で設置し、第4ターミナル（T4）の新設を想定する。

2019年現在の状況を示す現在シナリオをシナリオ0とし、E滑走路を増設し、T4の大きさと位置が異なる将来シナリオを1-4とする。将来シナリオが旅客ターミナルの再編方法となる。シナリオ0で現状を再現するモデルの入力値を設定し、それを参考に将来シナリオ1-4の入力値を設定する。シナリオ0では、新型コロナウイルス流行前の需要ピーク時期にあたる2019年12月25日の旅客便スケジュールを入力値とし、T1とT2を国内線専用、T3を国際線専用とする。シナリオ1はC滑走路とE滑走路の間にT4を整備するケースで、面積が大きく新たな敷地に設置するため工事が比較的容易な利点がある一方で、鉄道駅から遠く、他のターミナルとの接続性が悪いという欠点がある。シナリオ2Aは新整備場の格納庫を移設してT4を整備するケースで、面積が大きく駅との接続性が良好であり、T1/T2とT4間が移動しやすい利点がある一方で、新整備場の格納庫移設に労力がかかるという欠点がある。シナリオ2Bはシナリオ2Aから第3ターミナルを廃止するケースで、シナリオ2Aと同様に新整備場の格納庫移設に労力がかかる一方で、全てのターミナルが滑走路AとCの間に集約されることで乗継が簡便化され、またT3の跡地を格納庫や貨物スペースなどに活用できる利点がある。シナリオ3は貨物スペースを移設してT4を整備するケースで、T3とT4間が乗継しやすい一方で、新しいE滑走路から遠い、施設配置が窮屈である、駅から遠い、貨物スペースの移設が必須であるなどの欠点がある。シナリオ4はモノレールの整備場駅付近の格納庫を移設しT4を整備するケースで、駅との接続性が良好な一方、E滑走路から遠く、他ターミナルとの接続性も良くなく、格納庫の移設が必須という欠点がある<sup>2)</sup>。

1) 出発旅客のターミナル内移動は多様であるため、出発旅客に焦点を当てる分析にはエージェントベースシミュレーションモデルの方が適している。

2) シナリオ2～4における格納庫や貨物スペースの移設先は、シナリオ1で示したC滑走路とE滑走路の間が候補となる。

T1とT2のスポット数は、シナリオ0は現状とし、将来シナリオではT2のサテライトターミナルの本棟への接続、T1のサテライトターミナルの新設、T1とT2を南側で接続する計画を参考に、現状より増加した数とする。T3は公開されている拡張予定がないため、シナリオ0と同様とする。T4は大きさや位置に基づいて設定する。シナリオ1とシナリオ2はT1とT2を合わせた大きさと同水準を確保できる可能性があることから「広いシナリオ」とし、T4のスポット数はT1とT2の合計数とする。シナリオ3とシナリオ4は比較的狭隘な場所に新設するため「狭いシナリオ」とし、T3と同数のスポット数とする。T4が各シナリオの大きさで設置できることは、Google Map上で確認している。シナリオ1と2は全面に航空機を配置できる一方で、シナリオ3と4は片面のみ航空機を配置できる点も考慮している。

国内線と国際線のスポットの割り当ては、2040年頃の羽田空港の国内線と国際線の需要が同程度と想定していることを踏まえ、全シナリオ共通とし、T1とT2は内線併用、T3とT4は国際線専用とする。ターミナル間の移動時間は、シナリオ0と1はバス、シナリオ2, 3, 4は東京モノレールを用いるものとし、現状に基づき設定する。シナリオ1では、T1とT3間とT2とT4間が同じ移動時間と仮定する。

以上で設定したシナリオの概要、ターミナルの配置、スポット数、国内線・国際線の割り当て、ターミナル間の移動手段と移動時間を図1に示す。

図1 設定したシナリオのまとめ

|             | シナリオ0                                             | シナリオ1                                                                                        | シナリオ2A                                                                                      | シナリオ2B                                                                                      | シナリオ3                                                                                        | シナリオ4                                                                                        |
|-------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 概要          | 2019年現在の利用                                        | CとE滑走路の間にT4を建設                                                                               | 新整備場の格納庫を移設しT4を建設                                                                           | シナリオ2AからT3を廃止                                                                               | T3貨物スペースを移動しT4を隣接                                                                            | 整備場駅付近の格納庫を移設しT4を建設                                                                          |
| ターミナル配置     |                                                   |                                                                                              |                                                                                             |                                                                                             |                                                                                              |                                                                                              |
| スポット数       | T1: 24, T2: 26, T3: 20                            | 広: T4=T1+T2<br>T1: 35, T2: 27, T3: 20, T4: 62, 計: 144                                        | T1: 35, T2: 27, T4: 62, 計: 122                                                              | 狭: T4=T3<br>T1: 35, T2: 27, T3: 20, T4: 20, 計: 102                                          |                                                                                              |                                                                                              |
| 内線/国際線割り振り  | T1: 国内, T2: 国内, T3: 国際                            | T1: 国内, T2: 国内, T3: 国際, T4: 国際                                                               | T1: 国内, T2: 国内, T3: 国際, T4: 国際                                                              | T1: 国内, T2: 国内, T3: 国際, T4: 国際                                                              | T1: 国内, T2: 国内, T3: 国際, T4: 国際                                                               | T1: 国内, T2: 国内, T3: 国際, T4: 国際                                                               |
| 想定移動手段と移動時間 | 連絡バス<br>T1-T2: 3 min, T1-T3: 6 min, T2-T3: 10 min | 連絡バス<br>T1-T2: 10 min, T1-T3: 3 min, T2-T3: 6 min, T1-T4: 6 min, T2-T4: 6 min, T3-T4: 17 min | モノレール<br>T1-T2: 2 min, T1-T3: 3 min, T2-T3: 1 min, T1-T4: 2 min, T2-T4: 4 min, T3-T4: 6 min | モノレール<br>T1-T2: 2 min, T1-T3: 3 min, T2-T3: 1 min, T1-T4: 2 min, T2-T4: 4 min, T3-T4: 6 min | モノレール<br>T1-T2: 1 min, T1-T3: 4 min, T2-T3: 6 min, T1-T4: 8 min, T2-T4: 10 min, T3-T4: 4 min | モノレール<br>T1-T2: 1 min, T1-T3: 8 min, T2-T3: 1 min, T1-T4: 4 min, T2-T4: 10 min, T3-T4: 3 min |

### Ⅲ 分析手法

#### 1 旅客フロー

本研究では、全旅客が同じ動線を移動する離散イベントシミュレーションモデルを用いる。分析するソフトウェアは、歩行者シミュレーションなどのライブラリが豊富で、産業界でも多数の利用実績がある Anylogic を使用する。

まず、国内線・国際線の出発フローと到着フローを設定する。旅客の移動時間は、通過施設での待ち時間、通過施設でのサービス時間、ターミナル間の移動時間およびターミナル間移動手段の待ち時間から成るものとする。通過施設とは、保安検査など航空機に搭乗するにあたって通過する必要のある施設を指す。本研究は、乗継旅客によるターミナル間の移動時間の評価を重視するため、同一ターミナル内の移動時間は考慮しないこととする。例えば、国内線出発フローでは、保安検査から搭乗ゲートまでの移動時間は含めず、保安検査終了時点までの所要時間を扱

う。国内線到着のフローでは、預け手荷物がない場合、必要な手続きがないため0分と計算される。

旅客フローは、国内線出発、国際線出発、国内線到着、国際線到着と、内内乗継、内際乗継、際内乗継、際際乗継の8種類に分けられる。図2に旅客の移動時間に含まれる出発・到着フローを、図3に乗継フローをそれぞれ示す。出発フローでは、チェックイン、手荷物預け、保安検査、出国審査が含まれ、到着フローには入国審査、預け手荷物ピックアップ、税関が含まれる。乗継フローでは、場合に応じて、入国審査、預け手荷物ピックアップ、保安検査、税関、出国審査が含まれ、ターミナル間の移動手段も考慮する。その他に、シミュレーション上では下記を仮定する。シナリオ1のT4にはアクセス駅が存在しないため出発・到着の半数はT2からバスで移動する、国際線旅客は検疫や出国時税関では立ち止まらない、乗継旅客は同一または提携航空会社内で乗り継ぐものとしてT1とT2の間での乗継はない、内内乗継はT1またはT2内部で完結し移動時間は0分と計算する。

図2 旅客の移動時間に含める出発・到着フロー

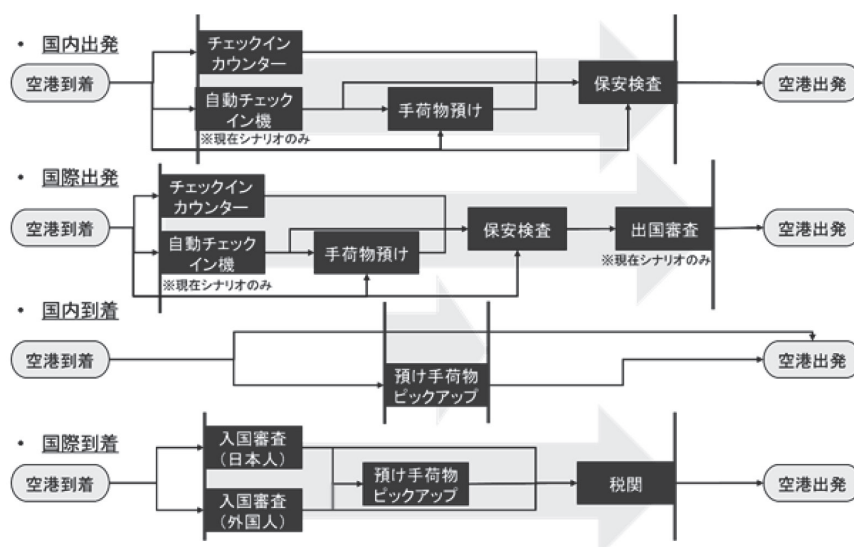
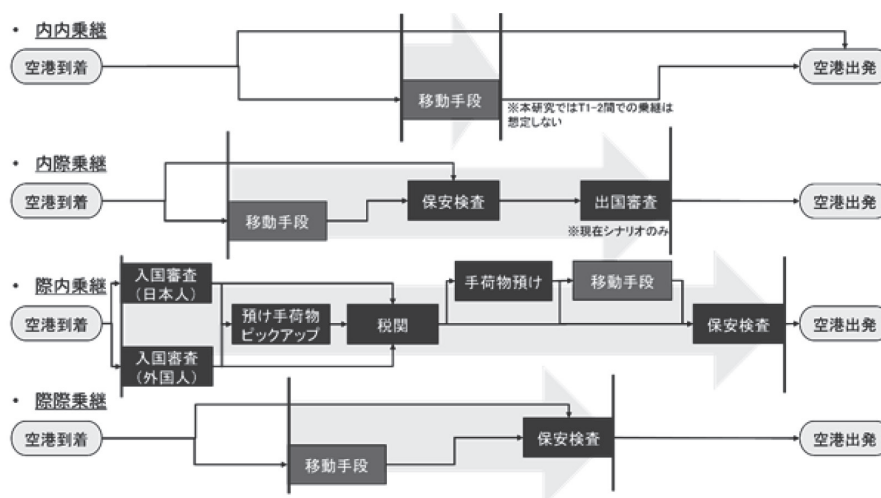


図3 旅客の移動時間に含める乗継フロー



## 2 出入力値の概要

離散イベントシミュレーションモデルの入力に必要となる、旅客到着分布とサービス時間分布を設定する。また、預け手荷物の有無、チェックイン方法、出入国時の国籍など、旅客属性によって通過フローが異なるため、それらの内訳も考慮する。T3で出発・到着する乗継旅客が他のターミナルに乗り継ぐ割合や移動時間を設定する。出力値として、シナリオ別に各旅客フローの平均移動時間およびその分布を算出し、シナリオの評価に用いる。

OAGの2019年12月25日のフライトスケジュールから、出発・到着時刻、出発・到着ターミナル、旅客機の種類を入手し、コードシェアに起因する同一旅客便の重複を削除する。旅客機から座席数を算出する。出発旅客の空港到着時間の分散は三角分布を用いる。到着旅客は時間の分散を仮定せず、全員が旅客機到着時刻に空港に到着するものとする。ターミナル別の旅客到着分布は、旅客数および1便ごとの旅客到着分布から算出する。旅客数は、シナリオ0では2019年12月の1日平均値を設定し、将来シナリオでは将来旅客数を1日平均値に分割して設定する。その後、各ターミナルのスポット数に基づいてターミナル別配分旅客数を算出する。

通過施設の窓口数は、ターミナル別、シナリオ別に設定する。将来シナリオ1-4におけるT1、T2の国際線施設は2023年1月現在のT2国際線エリアの水準とする。T3のチェックインカウンター数は、シナリオ0では現在の水準とする。将来シナリオではオンラインチェックインが一般化して自動チェックイン機は廃止されていると想定し、出国審査は顔認証システムが導入済みのため所要時間は0分とする。T4の通過施設の窓口数は、シナリオ1と2ではT1とT2の合計値とする。ただし、保安検査に関してはシナリオ3と4との差を考慮し、国内線の窓口数の合計値とする。シナリオ3と4はT3と同数とする。日本人と外国人の入国審査窓口数は同数とする。国際線の外国人比率は訪日外国人の増加傾向を踏まえて75%とする。

乗継割合は、航空会社へのインタビュー調査をもとに、シナリオに応じて、内内乗継を5%、内際乗継を1～5%、際内乗継を10～15%、際際乗継を10～15%とする。将来シナリオにおいて、内際供用を想定するT1とT2では内際と際内の乗継が容易となることから、地方空港で直行便のない長距離国際線を割り当てることで同一ターミナル内の乗継割合を増やすことが可能と想定し、傾斜配分している。

シナリオごとに想定するターミナル間移動手段は図1で示したとおりで、移動時間および最大待ち時間は時刻表に基づき設定する。保安検査、入国審査など各通過施設のサービス時間分布には指数分布を適用し、シナリオ別にパラメータを設定する。

以上より、表1にシナリオ別の入力値および各通過施設のサービス時間分布を示す。

表1 シナリオ別の入力値および通過施設サービス時間

| 項目         | 現在シナリオ0                                                                                                                  | 将来シナリオ1-4                                                  |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 旅客数        | 2019年12月の1日平均値                                                                                                           | 将来予想値の1日平均値                                                |
| チェックイン形式内訳 | 国内線 有人 2%, 自動 38%, オンライン 60%<br>国際線 有人 5%, 自動 45%, オンライン 50%                                                             | 国内線 有人 2%, 自動 0%, オンライン 98%<br>国際線 有人 5%, 自動 0%, オンライン 95% |
| 手荷物預け割合    | 国内線 40%                                                                                                                  | 国際線 90%                                                    |
| 国際線の外国人比率  | 48%                                                                                                                      | 75%                                                        |
| チェックインカウンタ | 指数分布 ( $\lambda=0.5$ , $x \geq 3$ ) = 最小3分, 期待値5分                                                                        |                                                            |
| 自動チェックイン機  | 指数分布 ( $\lambda=1$ , $x \geq 0.5$ ) = 最小30秒, 期待値1分30秒                                                                    |                                                            |
| 手荷物預け      | 指数分布 ( $\lambda=2$ , $x \geq 1$ ) = 最小1分, 期待値1分30秒                                                                       |                                                            |
| 保安検査       | 指数分布 ( $\lambda=5$ , $x \geq 0.25$ ) = 最小15秒, 期待値27秒                                                                     |                                                            |
| 出国審査       | 指数分布 ( $\lambda=10$ , $x \geq 0.15$ ) = 最小9秒, 期待値15秒                                                                     | 0秒 (顔認証システムOneIDを考慮)                                       |
| 入国審査       | 日本人: 指数分布 ( $\lambda=10$ , $x \geq 0.15$ ) = 最小9秒, 期待値15秒<br>外国人: 指数分布 ( $\lambda=4$ , $x \geq 1.1$ ) = 最小1分6秒, 期待値1分21秒 |                                                            |
| 手荷物ピックアップ  | 国際線外国人: 0秒 (通常、入国審査終了時には手荷物が到着しているため)<br>その他: 指数分布 ( $\lambda=0.67$ , $x \geq 3.5$ ) = 最小3.5分, 期待値5分                     |                                                            |
| 税関         | 指数分布 ( $\lambda=10$ , $x \geq 0.15$ ) = 最小9秒, 期待値15秒                                                                     |                                                            |

## IV 分析結果

### 1 出力結果の妥当性の確認

出力結果の妥当性を確認する。まず、全体平均時間と乗継平均時間について1000回のシミュレーションを実施したところ、いずれのシナリオにおいても分布の正規性を確認できた。次に、現状に即した出力結果を確認するため、2019年12月のピーク時間帯（出発と乗継は8時～11時、到着は18時～21時）とオフピーク時間帯（いずれも11時～14時）について各100回のシミュレーションを行い、平均値と時間分布を比較した。確認した時間分布の種類は、国内線出発、国際線出発、国内線到着、国際線到着、乗継全体、および国内線到着-受託手荷物あり・なし、国際線到着日本人-受託手荷物あり・なし、国際線到着外国人、国内線出発-受託手荷物あり・なし、国際線出発-受託手荷物あり・なし、内際乗継、際内乗継、際際乗継というフロー別・属性別・時間帯別に分けたものである。ここでは、紙幅の都合上、代表的な結果を紹介する。

図4はピーク時間帯の国際線出発-受託手荷物ありの時間分布（曲線は累積値で右軸、直線は平均値）を示しており、最頻値が20分を超えて混雑している。航空会社へのヒアリング結果と概ね近い数値を得ている。また、図5はピーク時間帯の国際線到着外国人の時間分布を示しており、入国審査に長時間を要していることを示している。2019年12月における羽田空港の外国人入国審査の最長時間は30分強から70分前後であり、最長時間の平均水準は50分程度（出入国在留管理庁、2019）であることから、出力結果は妥当と言える。

図4 国際線出発-受託手荷物ありの時間分布

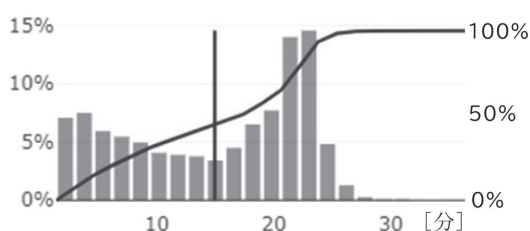
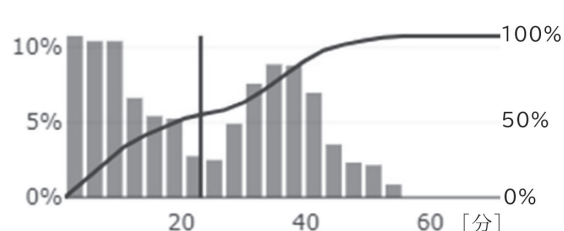


図5 国際線到着外国人の時間分布



### 2 シナリオの比較分析

各シナリオのシミュレーション結果を比較し、旅客の移動時間から望ましいシナリオを評価する。各100回のシミュレーションを行い、各回の平均値の分布を時間帯別に算出し、平均移動時間の分布図を作成する。国内線到着、国内線出発、国際線到着、国際線出発、内際乗継、際内乗継、際際乗継、乗継全体、全旅客の結果を図6から図14に示す。各図で縦軸の最大値と最小値が異なることに注意されたい。

図6と図7より国内線到着・出発で将来シナリオ間に差はなく、国内線出発の現状シナリオでは自動チェックイン機利用者が一定数いる設定のためやや長くなっているが、1分以内であった。図8より国際線到着は外国人が増えているため、現状のシナリオ0よりも将来シナリオの移動時間が長く、その中ではシナリオ2A,3,4が1,2Bより短い。図9より国際線出発はT4が狭いシナリオである3と4の朝のピーク時間帯で他よりも長時間かかっていることから、混雑が生じている。また、シナリオ1はT4に直結するアクセス駅がないことから長くなっている。図10より内際乗継はT4とT1/T2のターミナル間移動時間が短いシナリオ2Bが最も短く、次いで2Aとなっている。図11より際内乗継は、国際線到着時に外国人の入国審査があるため他の乗継よりも大幅に時間が長くなっており、その中ではシナリオ2A,3,4が相対的に短い。これらのシナリオは国際線到着旅客がT3とT4に分散しているので混雑が緩和され、3はターミナル間移動が4と比

較して短いためである。図12より際際乗継では全員が保安検査のみを通過するため、ターミナルが集約配置されているシナリオ2A,2Bや、T3とT4の間を徒歩移動としたシナリオ3で時間が短縮されている。図13より乗継全体ではシナリオ2Aや3で時間が最も短い。図14より全旅客ではシナリオ2Aが最も短く、次いでシナリオ3、そして4となった。

本研究では日本人と外国人の入国審査窓口数を同数としているが、以上の結果から、国際線到着の時間短縮を図るため、外国人の入国審査窓口数の増設や入国審査手続きの簡易化が重要と言える。また、際内乗継は入国手続きが必要なため時間がかかる傾向にある一方、内際乗継では際立った混雑が生じにくいいため、動線を短くして移動時間の短縮を図る効果の方が大きい。

ここで、移動時間が最短となるケースが多いシナリオ2Aを対象に、旅客属性（乗継割合、手荷物預け割合、外国人比率）、T4の施設設置数（チェックインカウンター数、手荷物預け機数、保安検査数、入国審査窓口数、税関窓口数）について、20%を変動幅として感度分析を実施した。その結果、中央値の変化は1分以内に収まることがほとんどであり、国内線の到着・出発を除き、図8から図14で示されているようにシナリオによる差の方が大きい。例として、図15に朝のピーク時間帯に外国人比率を75%から55%に減少した場合の全旅客の平均値を分布を示す。ほとんどのシナリオで中央値の短縮は1分以内となっていることがわかる。

図6 国内線到着の平均移動時間分布

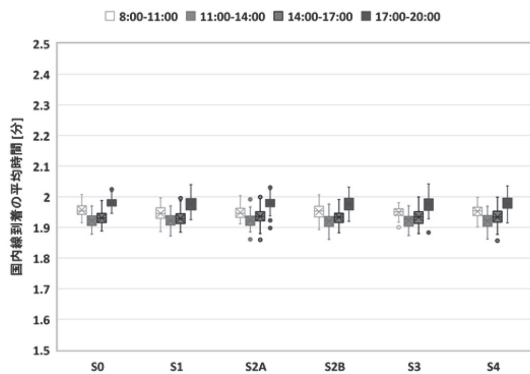


図7 国内線出発の平均移動時間分布

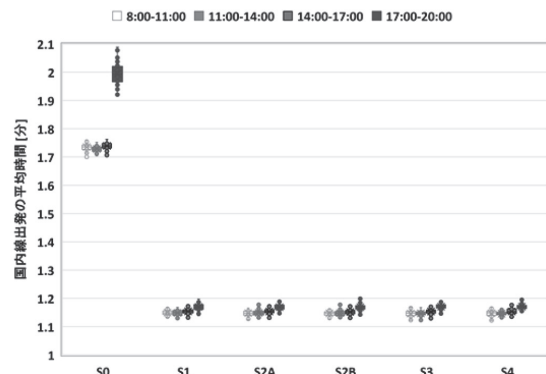


図8 国際線到着の平均移動時間分布

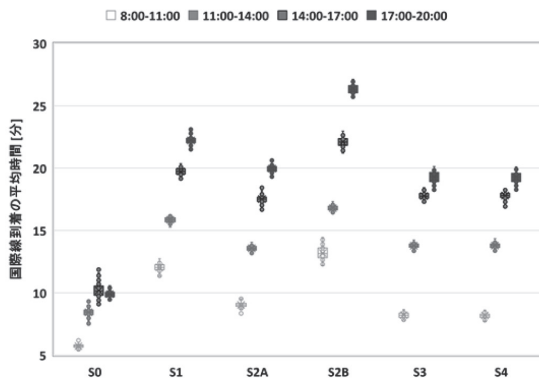


図9 国際線出発の平均移動時間分布

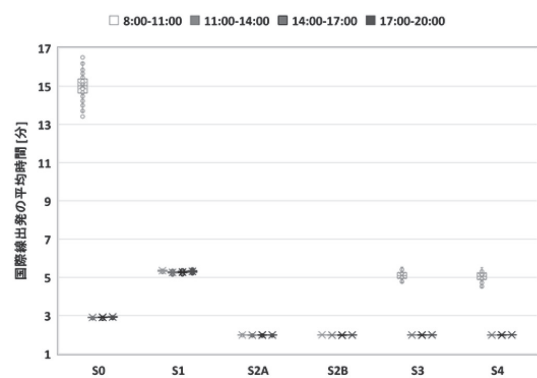


図10 内際乗継の平均移動時間分布

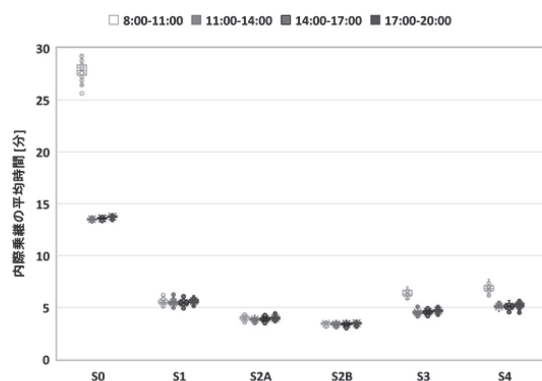


図11 際内乗継の平均移動時間分布

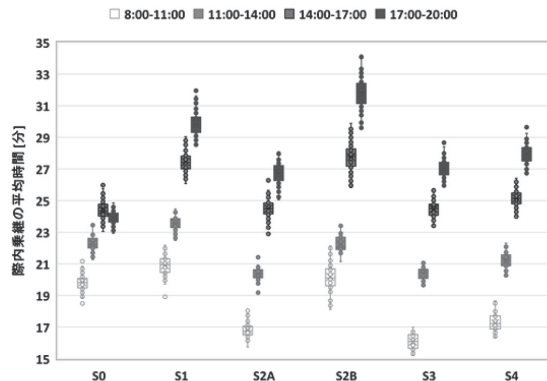


図12 際際乗継の平均移動時間分布

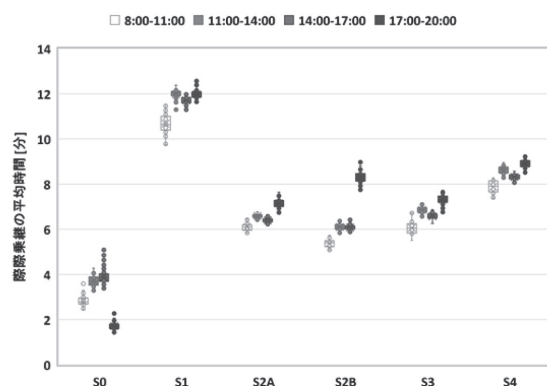


図13 乗継全体の平均移動時間分布

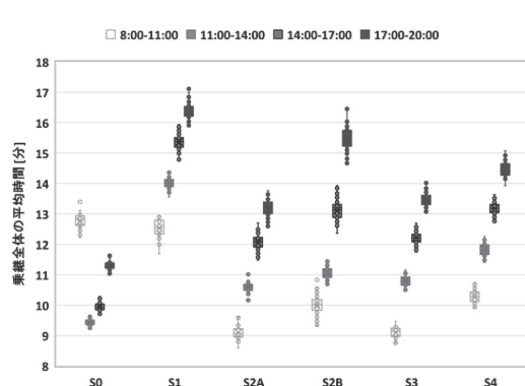


図14 全旅客の平均移動時間分布

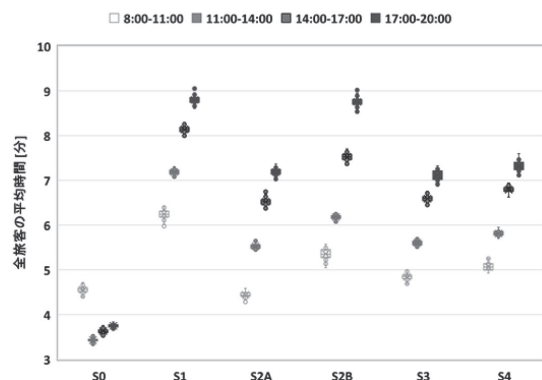
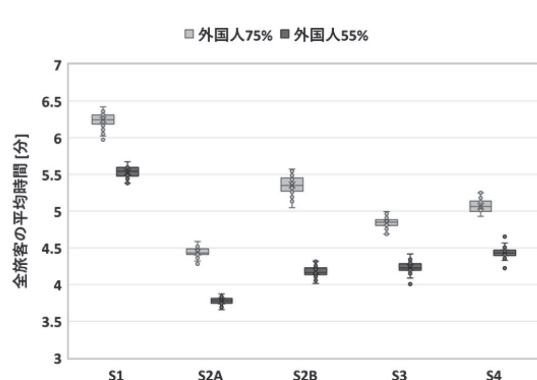


図15 外国人比率変化時の全旅客の平均移動時間分布



続いて、ターミナル間の移動交通手段をケース別に比較した。連絡バスが現在の主流であるが、現在も利用可能なモノレールでの乗継の普及、さらに小型車両を自動運転で連続運行することで待ち時間をゼロとするケースを考えた。各シナリオの標準乗継交通手段をシナリオ名の後ろに括弧書きで記してある。図16と図17において、シナリオ1でモノレールを移動交通手段にすると、T4に新駅を整備することになるため、出発・到着も含めた図16の全旅客の移動時間がバスと比較して短縮した。それ以外の場合は自動運転による移動が最も短い。また図17の乗継旅客のバスによる移動の場合、ターミナルが集約されているシナリオ2A, 2B, 3で短くなる傾向が示された。

図16 交通手段別全旅客の平均移動時間分布

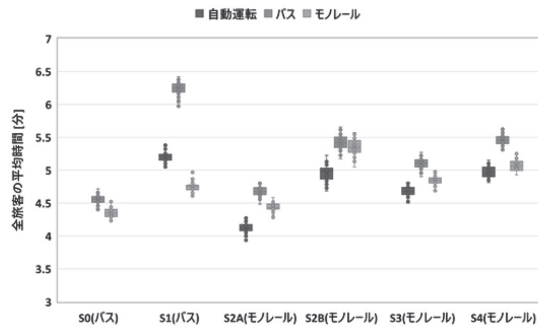
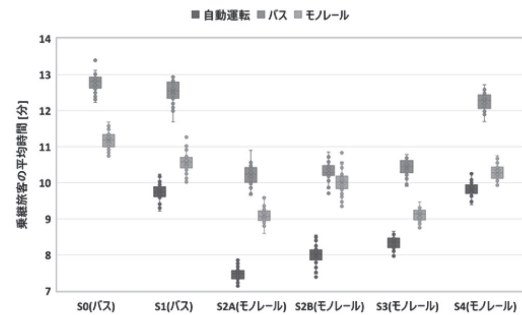


図17 交通手段別乗継旅客の平均移動時間分布



## V 結論

本研究では離散イベントシミュレーションモデルを用いて、出発・到着・乗継および国内線・国際線という旅客のタイプ別に、羽田空港の滑走路増設とターミナル新設を想定したターミナルの再編方法について、移動時間を評価基準としてシナリオ比較を実施した。その結果、新設するターミナルT4を既存ターミナルに隣接するシナリオ2A、次いでシナリオ3で移動時間が短くなった。これは、シナリオ2AにおいてT4の広い面積の確保とT3の運用継続が混雑削減に寄与したことだけでなく、ターミナルの集約配置が移動時間の点で望ましいことを示している。また、国際線到着の入国審査で外国人の混雑が発生していることから、外国人の入国審査窓口数の増設や入国審査手続きの簡易化によって移動時間が短くなることが示唆された。ターミナル間の移動交通手段は、モノレールでの移動に即効性があり、自動運転による移動が実現すると、さらに短縮できる可能性を示した。また乗継時間の抑制を念頭に置くと、際内乗継のある外国人を優先的に入国審査すると効果的である。

本研究の課題は、同一ターミナル内の移動時間を考慮しなかったことが第一に挙げられる。広いターミナルに通過施設の窓口数を増設したことが混雑緩和に繋がり、移動時間が短くなる結果を得たものの、実際にはターミナルが広くなれば旅客の移動時間が長くなるという欠点もある。動く歩道の設置やターミナル内を移動する小型車両の導入によりこの問題はある程度解決できるものの、ターミナルの大きさをターミナル内の移動時間に反映する方が望ましい。第二の課題は、保安検査や出入国審査の窓口数はターミナル内部のレイアウトの影響を受けるが、新設するターミナルのレイアウトを考慮していない点である。全旅客が同じ動線を移動する離散イベントシミュレーションモデルであっても両課題を考慮した分析は可能であり、今後、取り組む必要がある。

## 謝 辞

東京工業大学元修士学生の中島晃洋さんには、データの作成とモデルの分析にご協力をいただいた。また日本航空株式会社には、将来シナリオの設定およびシナリオ別の出入力値の設定にご助言をいただいた。ここに感謝の意を表する次第である。

## 参考文献

運輸政策研究機構（2009），“首都圏空港の将来像”。

[https://www.jttri.or.jp/kenkyusyo/subject/pdf/airport\\_gaiyou.pdf](https://www.jttri.or.jp/kenkyusyo/subject/pdf/airport_gaiyou.pdf)

国土交通省（2013），“首都圏空港の機能強化に係る検討について”。

<https://www.mlit.go.jp/common/001018977.pdf>

国土交通省 (2014), “首都圏空港の機能強化策について”.

<https://www.mlit.go.jp/common/001047127.pdf>

出入国在留管理庁 (2019), “空港における入国審査待ち時間, 最長入国審査待ち時間”.

[https://www.moj.go.jp/isa/publications/materials/nyuukokukanri07\\_00117.html](https://www.moj.go.jp/isa/publications/materials/nyuukokukanri07_00117.html)

Alodhaibi, S., Burdett, R.L. and Yarlagadda, P., “Framework for airport outbound passenger flow modelling”, *Procedia Engineering*, Vol.174, pp.1100-1109, 2017.

Casas, P.F.I., Casanovas, J. and Ferran, X., “Passenger flow simulation in a hub airport: An application to the Barcelona International Airport”, *Simulation Modelling Practice and Theory*, Vol.44, pp.78-94, 2014.

Liu, X., Li, L., Liu, X. and Zhang, T., “Analysis of passenger flow and its influences on HVAC systems: An agent based simulation in a Chinese hub airport terminal”, *Building and Environment*, Vol.154, pp.55-67, 2019.

Ma, W., Fookes, C., Kleinschmidt, T., and Yarlagadda, P., “Modelling passengers flow at airport terminals - Individual agent decision model for stochastic passenger behavior”, *Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications*, pp.109-113, 2012.

Rauch, R. and Kljajić, M., “Discrete event passenger flow simulation model for an airport terminal capacity analysis”, *ORGANIZACIJA: Journal of Management, Informatics and Human Resources*, Vol.39, No.10, pp.652-660, 2006.

Verma, A., Tahlyan, D. and Bhusari, S., “Agent based simulation model for improving passenger service time at Bangalore airport”, *Case Studies on Transport Policy*, Vol.8, pp.85-93, 2020.

Yamada, H., Ohori, K., Iwao, T., Kira, A., Kamiyama, N., Yoshida, H. and Anai, H., “Modeling and managing airport passenger flow under uncertainty: A case of Fukuoka airport in Japan”, *Social Informatics (Proceedings of the 9th International Conference on Social Informatics)*, LNCS 10540, pp.419-430, 2017.