

日本の空港配置特性の類型化と航空機の地上運用効率 -航空運用データにもとづく定量分析-

木野田采音¹, 副田和哉²,

¹ 佐賀大学大学院 理工学研究科 建築環境デザイン専攻 博士前期課程 (〒840-8502 佐賀県佐賀市本庄町 1)

² 第一工科大学 工学部 建築デザイン学科 (〒899-4332 鹿児島県霧島市国分中央 1-10-2) k-soeda@daiichi-koudai.ac.jp

Typology of Airport Configuration Characteristics in Japan and Aircraft Ground Operation Efficiency A Quantitative Analysis Based on Flight Operation Data

Ayane KINODA¹, Kazuya SOEDA²

¹ Architecture and Environmental Design, Graduate School of Science and Engineering, Saga University
(1 Honjotyou, Saga City, Saga, 〒840-8502)

² Department of Architecture Design, Daiichi Institute of Technology
(1-10-2 Kokubu chuou, Kirishima City, Kagoshima, 〒899-4332) k-soeda@daiichi-koudai.ac.jp

Abstract: This study aims to clarify how Airport Configuration Characteristics, as a hard (physical) aspect, affect aircraft ground operation efficiency, and to propose a quantitative analysis model based on open data. The study consists of two components: (1) the typology of Japanese airports based on geographical conditions, Airport Configurations Characteristics, operational characteristics, and meteorological conditions, and the selection of representative airports; and (2) the proposal of a quantitative analysis model that links Airport Configuration Characteristics with aircraft ground operation efficiency. By analyzing the relationship between airport characteristics and the ground operation efficiency index E, the study demonstrates the influence of Airport Configuration Characteristics on aircraft ground operations.

Keywords: Airport Planning, Airport Configuration Characteristics, Ground Operation Efficiency, Open Data

1. はじめに

1.1 研究背景・目的

近年、日本の国内線旅客需要は再び増加傾向にある¹⁾。一方、就航地・便数の増加により地上運用は高密度・複雑化し、誘導路選択ミスや滑走路横断時の錯綜、スケジュール逼迫下での判断遅延が、空港地上のトラブルや重大インシデントの要因となっている²⁾。従来、これらは管制官や運航乗務員の判断ミスなど、ソフト（運用）的側面に起因するヒューマンエラーが要因として論じられてきた³⁾。本研究では、ハード的側面から空港を捉え、ターミナル・誘導路・滑走路の配置（以下、空港配置）が、航空機の地上運用の複雑さやエラー発生リスク、ひいては航空

機の地上運用効率に影響している可能性に着目した。本研究の目的は、空港配置というハード的側面が航空機の地上運用効率に与える影響を明らかにし、定量化することである。なお、航空機の地上運用効率は「航空機が着陸時刻から次回離陸までの経過時間の最小化」と定義する。

1.2 先行研究のレビュー

土田・浅野 [2019]⁴⁾ は、地方空港の立地特性と都市整備手法の関係を整理し、空港を核とした都市構造の類型化を行っている。一方、Yin et al. [2024]⁵⁾ は、航空機の地上走行時間（タキシング時間）における基準時間の推定・算出手法を整理し、評価枠組みを比較している。し

かし、前者は空港計画における具体的な配置構成が航空機の地上運用に与える影響まで扱っておらず、後者も航空機の地上移動時間の評価手法の整理にとどまり、具体的な空港配置と航空機の地上運用効率の関係を実証的に扱っていない。したがって、本研究は日本の空港を対象に空港配置の観点から類型化し、航空機の地上運用効率指数と対比することで、両者の関係性をモデル的に定量化する。

1.3 研究の方法

本研究は、①日本の空港配置特性による類型化とその代表空港の選定、②空港配置と航空機の地上運用効率の定量分析モデルの提案、という二点からなる。まず、国土交通省が定める日本の97空港を対象に、地理・配置・運用・気象に関するオープンデータを国土交通省運営のeAIP Japanや空港管理状況調書、気象庁資料から収集した^{注1)}。これを用いて、対象空港において同一条件で比較可能な77空港を抽出し、階層的クラスタリングとk-means法によるクラスタリング分析を行った。得られたクラスターから、日本の空港配置特性を代表する空港群を類型化し、本研究における代表空港として選出した。次に、代表空港を対象に、離発着前後の地上運用時間の評価指標と分析モデルの提案を行い、OpenSky Network^{注2)}の取得データから各空港の基準時間と追加時間に整理し、航空機の地上運用効率を算出した。最後に、代表空港において、日本の空港配置特性の指標と、算出した航空機の地上運用効率を対比させ、空港配置と航空機の地上運用効率との関係を定量化した。

2. 日本の空港配置特性による類型化とその代表空港の選定

2.1 データ収集と対象空港の抽出

2.1.1 地理的条件の分布

本次では、空港の立地に関する地理的条件により①都市型^{注3)} (37 空港/77 空港)、②山間型^{注4)} (21 空港/77 空港)、③平野型^{注5)} (5 空港/77 空港)、④臨海型^{注6)} (42 空港/77 空港)、⑤海上

型^{注7)} (6 空港/77 空港) の5つに分類した。その結果、日本では航空機性能に負荷を与える標高500m以上の高地が多いため、より平坦な臨海部に空港が集中していることが示された。また、都市部では平地不足や騒音規制により拡張が難しいため、海上に立地している人工島空港^{注8)}が造成されたという日本の空港立地の特殊性を示すことが確認された(図1)。

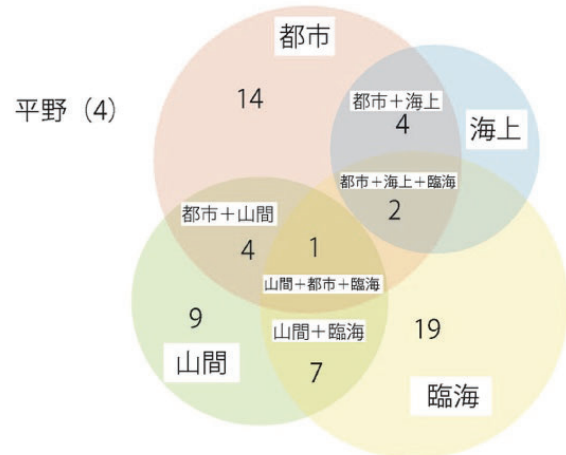


図1) 日本の空港における立地環境の分類

2.1.2 配置的条件の分布

本次では、ターミナル型(図2)^{注9)}/滑走路数/駐機スポット数/誘導路接続数を指標とした。結果、ターミナル型では、地方空港において、平面構成が単純で建設費・維持費を抑えやすいシンプル型が選択されやすく全体の中で大きな割合を占めていることが示された。加えて、各空港構造における影響を調べるため主成分分析^{注10, 11)}を行った(表1)。結果、PC1は「ターミナル型」、PC2は「滑走路数」が大きく、空港の配置に関する構造的特性に大きく影響を受けることが示された。

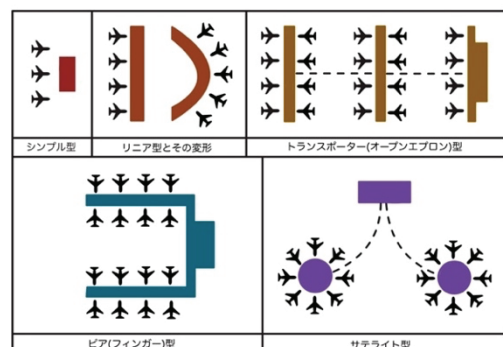


図2) ターミナル型一覧

表 1) 空港配置要素の主成分分析結果

特徴量	PC1	PC2
ターミナル型	0.538	-0.234
滑走路数	-0.437	0.741
スポット数	-0.52	-0.398
誘導路接続性スコア	-0.499	-0.487

2.1.3 運用的条件の分布

本次は、就航（国内外）/離発着回数/旅客取扱人数を指標とした。結果、就航は国内のみ（44 空港）、国内+国際（33 空港）の 2 分類となった。国際線の就航先としては東アジアなど日本からの距離が比較的短く需要が安定していることから、地方空港においても国際路線が成立しやすいことが伺えた。また、離発着回数と旅客取扱人数について比較すると、規模区分が一致しない空港が複数存在することが明らかになった。つまり、双方の関係から「高容量・低頻度型」の運用形態^{注12)}と「低容量・高頻度型」の運用形態^{注13)}として整理できることが確認された。

表 2) 運用的条件における各指標の区分基準

各指標	区分	区分基準
就航数	国内のみ	44 空港
	国内+国際	33 空港
旅客取扱人数	低密度	0~74,845 人
	中密度	74,846~1,093,548 人
	高密度	1,093,549 人以上
離発着回数	低密度	0~1806 回
	中密度	1807~9183 回
	高密度	9184 回以上

2.1.4 気象的条件の分布

本次では、横風超過日数（通年、閾値 10m/s）/台風期強風日数（7-10 月、閾値 15m/s）を指標とした。結果、最も多発していた横風超過日数

は、外洋に開けた立地や海上・人工島空港に集中し、海上風の影響を強く受ける立地特性が反映されていることが確認された。また、台風期強風日数は、北日本・日本海側は少なく、海上・人工島や外洋に開けた空港+日本海沿岸の空港が多いという偏りが確認された。

表 3) 台風期強風日数にもとづく空港の類型

台風期強風日数	日数範囲	対象空港（個数）	特徴
	0 日	27	北日本、日本海側中心
	1~2 日	34	分布が全国的（混成型）
	3 日~	16	南西諸島・九州西側の離島が大半中心

表 4) 横風超過日数にもとづく空港の類型

横風超過日数	日数範囲	対象空港（個数）	特徴
	0~1 日	28	北日本、日本海側中心
	2 日	6	分布が全国的（混成型）
	3~5 日	12	南西諸島・九州西側の離島が大半中心
	6~15 日	15	南西系の島空港+幹線ハブの混成
	16 日以上	16	外洋に開けた空港（臨海・海上）

2.2 クラスタリング分析による代表空港の選定

本次は、上記で収集したデータに対して、階層的クラスタリングと k-means 法におけるクラスタリング分析を行なった^{注14)}。クラスタの中心にあった空港を代表として選び、ハード的側面（立地環境+ターミナル型）に着目してラベルを付与した。結果、「臨海トランスポーター型（隠岐空港）」「臨海シンプル型（代表：庄内空港）」「平野シンプル型（代表：大館能代空港）」「海上ハイブリッド型（代表：関西国際空港）」「都市ハイブリッド型（代表：福岡空港）」「都市シンプル型（代表：富山空港）」の 6 空港形態が確認され、日本の空港配置特性を示す類型および代表空港として抽出した（図 3）。

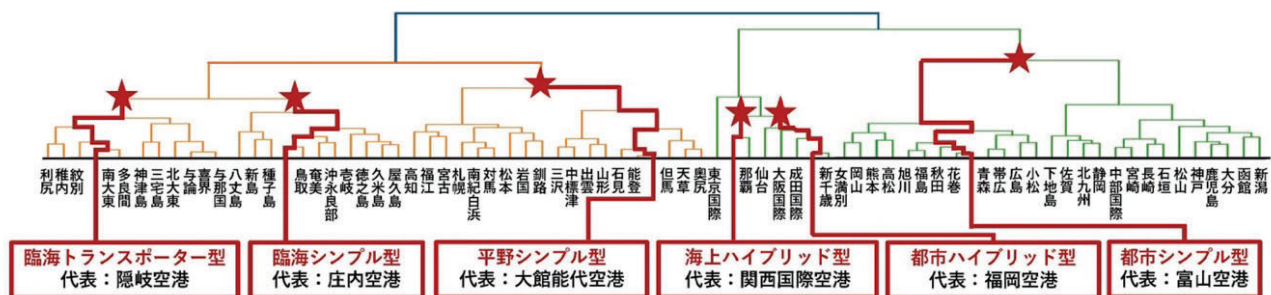


図 3) 階層的クラスタリングによる探索と全体像の把握

3. 空港配置と航空機の地上運用効率の定量分析

第2章で分類した代表空港の中でも、OpenSky Network から必要な全データを取得可能であった海上ハイブリッド型代表の関西国際空港および都市ハイブリッド型代表の福岡空港^{注15)}を分析モデルとして採用し、定量分析を行った。

3.1 航空機の地上運用効率の指標設定と算出方法

Yin et al. [2024] は、離発着前後の航空機の地上移動時間を、最短経路を混雑なしで走行する「基準時間」と、混雑・待機・遅延等に起因する「追加時間」に分解できるとし、特に追加時間が航空機の地上運用時間を左右する主要因であることを示している。

本研究でも上記の枠組みを踏まえて、代表空港における地上運用時間 T_{act} を、基準時間 T_{ref} と追加時間 ΔT の和として捉えた。

$$T_{\text{act}} = T_{\text{ref}} + \Delta T \quad \cdots (\text{式1})$$

ここから、追加時間 ΔT は次式で求める。

$$\Delta T = \max(0, T_{\text{act}} - T_{\text{ref}}) \quad \cdots (\text{式2})$$

航空機の地上運用効率指数 E は「実測時間のうち理想的な走行に相当する時間」がどの程度を占めるかを示す指標として、基準時間 T_{ref} と実測時間 T_{act} の比で定義した。

$$E = \frac{T_{\text{ref}}}{T_{\text{act}}} = 1 - \frac{\Delta T}{T_{\text{act}}}$$

($0 < E \leq 1$ 、1に近いほど高効率) $\cdots$ (式3)

3.2 航空機の地上運用効率指数 E による定量化

上記式から海上ハイブリッド型代表の関西国際空港および都市ハイブリッド型代表の福岡空港^{注15)}における分析モデルの各数値を算出した(表5)。その結果、関西国際空港では出発・到着と

もに実測時間 T_{act} が約165分であり、そのうち約7割が追加時間 ΔT を占めるため、航空機の地上運用効率指数 E は0.28前後と低い。一方、福岡空港では実測時間 T_{act} が約122~124分、追加時間 ΔT の構成比も約6割にとどまり、航空機の地上運用効率指数 E は0.41程度と関西国際空港より高い値を示す。両空港とも基準時間 T_{ref} は4~5分程度しか差がないことから、航空機の地上運用効率の違いは主として追加時間 ΔT の大小として現れていることが確認された。

表5) 代表空港における基準時間 T_{ref} 、追加時間 ΔT と航空機の地上運用効率指数 E の比較

空港	種別	$T_{\text{ref}}[\text{min}]$	$T_{\text{act}}[\text{min}]$	$\Delta T[\text{min}]$	$\Delta T/T_{\text{act}}[\%]$	運用効率 E
関西国際空港	出発	46	164.436	118.436	72	0.27974409
	到着	46	166.49	120.49	72.4	0.27629287
福岡空港	出発	50	121.793	71.793	58.9	0.41053263
	到着	50	123.573	73.573	59.5	0.40461913

3.3 空港配置と航空機の地上運用効率との関係

上記の数値を踏まえて、関西国際空港および福岡空港における特徴を指摘する。

まず、関西国際空港は、西日本を中心とする国際・国内線ネットワークの基幹空港であり、運用密度が高い。関西国際空港は、大阪湾沖の人工島上に位置し、ハイブリッド型ターミナルと日本最長クラスの複数滑走路を備える海上空港として成り立っている。配置構成上、ターミナルを挟んで日本最長クラスの平行滑走路が2本配置され、その間に広大なエプロンと長距離の誘導路網が展開している。そのため、滑走路とターミナル間の距離が長く、一便あたりの地上移動距離が増大する。さらに、誘導路や滑走路周辺が混雑した際には追加時間 ΔT が増大しやすく、基準時間 T_{ref} は標準的でも航空機の地上運用効率は低下し、実測時間 T_{act} の大半が「非効率時間」として消費される可能性が高い。

次に、福岡空港は、九州・西日本を中心とする拠点空港でありアジアへのゲートウェイとなっているため、運用密度は高い。また、福岡空港は、都市型空港の代表例であり、ターミナルお

よび駐機場を滑走路と同一側に細長く配置した、比較的コンパクトな構成である。配置構成上、多くの航空機がターミナルから滑走路端までの地上移動距離が短く、交錯点や滑走路横断回数も限定的なため、待機列が形成されるポイントも相対的に少ないと考えられる。一方、単一滑走路により滑走路手前で順番待ちが発生しやすく、追加時間 ΔT が増え、航空機の地上運用効率が下がる傾向がある。

上記の比較から、ターミナルと滑走路の距離や誘導路ネットワークの複雑さが追加時間 ΔT を規定し、航空機の地上運用効率を左右する要因となっていることが示された。つまり、関西国際空港のように長距離タキシングや交錯点が多い配置では ΔT の構成比が高まり E が低下しやすく、一方で福岡空港のようにターミナルとエプロンを滑走路片側に集約したコンパクトで線形な配置では、経路長と交錯箇所が限定されることで ΔT が抑制され、相対的に高い航空機の地上運用効率を確保し得ることが数値的にも確認できた。すなわち、ターミナル～滑走路距離が長く、地上経路の交差が大きい配置では ΔT が拡大し、 E が低下する一方、コンパクトで単純な配置では ΔT が小さく E が高くなるという基本的な傾向が確認された。

4. 結論

4.1 まとめ

本研究は、日本の空港配置と航空機の地上運用効率との関係に着目し、オープンデータを用いて、定量的に把握することを目的とした。

まず本研究の成果は、従来、「主要空港」「ハブ空港」「地方空港」等の区分で語られてきた日本の空港配置特性を、地理的条件、配置規模、運用密度、気象的条件を統合的に考慮することで、空港配置特性を定量的に位置付ける新たな類型を提示した点にある。そして、着陸から次回離陸までの航空機の地上運用時間 T_{act} を基準時間 T_{ref} と追加時間 ΔT に分解することで、どの部分に、どの程度の余剰時間として現れている

かを可視化できる指標を提示した。これは、定性的に語られてきた配置構造と運用条件の関係を定量化し、航空機の地上運用効率を議論するための方法論を与えるものである。本研究の学術的意義は、空港配置特性の類型化と航空機の地上運用効率の定量評価とを接続し、両者の関係を全国規模かつ再現可能なデータに基づいて示した点にある。また、空港を単なるインフラではなく、地理・配置・運用・気象に加え、配置特性と運用行為が相互に影響し合うダイナミックなシステムとして捉え、その一部として航空機の地上運用効率を位置付ける視点を提示した点にある。

4.2 課題と展望

最後に、本研究の課題と今後の展望を述べる。

まず、本研究の対象として扱った空港のうち類型化したのは97空港中77空港である。これは、オープンデータの範囲による制約に起因するものであり、利用可能データに基づく条件付きの知見として位置付けられる。同時に、この限定は分析対象の均一性を担保し、空港の配置特性と航空機の地上運用効率の関係を定量化する上で方法論的な明確性を与えたともいえる。今後は、日本の未類型空港を含め、海外の空港など対象の拡張を行うことで、統計的妥当性を検証し、空港類型の一般傾向をより精緻に把握する必要がある。

また、本研究では、航空機の地上運用効率を把握するために地上運用時間 T_{act} を時間構成要素に分解して評価したが、オープンデータの特性上、個別の運用行動を完全に識別できていない可能性がある。すなわち本研究の指標は、観測可能な時間構造に基づく運用効率の近似表現であり、行動単位の厳密な因果過程を直接的に記述するものではない。この点は単なるデータ制約にとどまらず、空港配置特性と航空機の地上運用行動の関係をどの分析単位で捉えるべきかという方法論的課題を示唆している。今後は、航空機の地上運用過程の解像度を高めたデータとの統合、あるいは航空機の運用過程の構成単

位そのものの再定義を通じて、空間配置と航空機の地上運用効率の対応関係をより統合的に検討することが求められる。

最後に、本研究は空港配置と地上運用効率の関係を確定的に示したのではなく、その関係を記述するための分析視座を空港配置特性の類型化および航空機の地上運用効率の定量化を通じて提示した段階にあるといえる。上記で述べた本研究の課題に対する検討を進めることによって、空港の整備・改修計画等において基礎的評価指標として活用されることが期待される。

5. 参考文献

- 1) 国土交通省 航空局：国内航空を巡る現状、国内航空のあり方に関する有識者会議（第1回）、2025.7
- 2) 国土交通省 航空局：航空安全プログラム実施計画、2024.10
- 3) 国土交通省：重大インシデント報告
- 4) 土田大翼、浅野純一郎：地方空港の立地特性と都市整備手法に関する研究、日本建築学会技術報告集、2019.2
- 5) Jianan Yin, Mingwei Zhang, Yuanyuan Ma, Wei Wu, He Li and Ping Chen: Prediction and Analysis of Airport Surface Taxi Time: Classification, Features, and Methodology. 2024.2
- 4) 空港の周囲 5km 以内に標高 201m 以上の地形が存在する場合。
- 5) 周辺地形が平坦で、都市的要素や海洋・山岳の影響が少ない場合。
- 6) 空港敷地が海岸線に隣接、または海岸線から 1km 以内の場合。
- 7) 既存の島を造成したものや、人工島を海上に建設して作られている場合。
- 8) 人工島からなる世界中の海上空港 9 つのうち 5 つが日本の空港に存在。関西国際空港は世界初の人工島空港として開港した。
- 9) ICAO Airport Planning Manual (Doc9184) を参照し、①シンプル型、②リニア型（その変形）、③トランスポーター（オープンエプロン）型、④ピア（フィンガー）型、⑤サテライト型、⑥混合型、以上の 6 類型に整理した。
- 10) 多くの変数を持つ複雑なデータを、情報量なるべく失わずに少数の「主成分」という新しい変数に要約（次元削減）する統計手法。
- 11) ターミナル型：スコア 1: ハイブリッド型（ピア+リニア+トランス）、スコア 2: ハイブリッド型（リニア+トランス）、スコア 3: ハイブリッド型（シンプル+ピア+トランス）、スコア 4: ハイブリッド型（シンプル+トランス）、スコア 5: シンプル型、スコア 6: トランスポーター型/駐機スポット数（スポット）：スコア 1: 1-2, スコア 2: 3-4, スコア 3: 5-8, スコア 4: 9-14, スコア 5: 15-20, スコア 6: 21 以上/誘導路接続数（箇所）：スコア 1: 1, スコア 2: 2-12, スコア 3: 13 以上

6. 注釈

- 1) 空港の分析対象から除外する条件は以下の通りである。
 - ・地理、配置、運用、気象のいずれか一項目でもデータが欠落している空港。
 - ・定期便が存在しない、自衛隊専用、季節運用等特殊運用に限られる空港。
- 2) 航空管制データへのオープンアクセスを一般公開している非営利団体。
- 3) 人口密度 4000 人/km² 以上の都市または政令指定都市が空港から半径 10km 以内の場合。
- 12) 一便あたりの平均旅客数が大きい空港。
- 13) 平均旅客数が小さく便数の多い空港。
- 14) 各指標を 0~1 に正規化して各空港を特徴ベクトルとして表現し、k-means 法により複数のクラスターへ分割したうえで、各クラスター中心との距離が最小となる空港を代表として採用した。
- 15) 本研究で扱う期間において滑走路は一本運用であった。