

## 1. 空港面交通管理の評価手法に関する考察

航空交通管理領域 ※山田 泉、青山 久枝、住谷 美登里、マーク ブラウン、森 亮太

### 1. はじめに

航空交通量の増加に伴い、幹線空港における混雑による航空機の定時運航への影響の増加が懸念される。現状においても、国内航空路線の主要な起点である羽田空港では、出発便の地上運航時間の大きさが指摘されている<sup>[1]</sup>。空港面の混雑による地上運航の滞留は、各航空機の地上運航時間の増加と、それに伴う燃料消費の増加を招くばかりでなく、運航時間に関する不確定要素となる。

国土交通省航空局の長期ビジョン CARATS (Collaborative Actions for Renovation of Air Traffic Systems) では、このような課題に対処するために、OI (Operational Improvement: 運用改善施策) 第23項「空港面運用の効率化」において、空港面運用の将来的な方向性が議論されている<sup>[2]</sup>。この施策は、後述する欧米の空港 CDM (Collaborative Decision Making: 協調的意思決定) のコンセプトを参考として、混雑空港における空港面運用の詳細なスケジューリングによって空港面交通流を管理し、空港容量の最大活用を行うことで、空港面運用を効率化することを目的としている<sup>[2]</sup>。

この施策について、技術的な可能性を検討するためには、実運航データを用いた空港面運用の分析を行って空港面交通流の特徴や滞留の発生メカニズム等を把握し、スケジューリングによる空港面交通管理が運用効率化のための有力な方策であることを確認することが必要である。

そこで、当研究所では、羽田空港を対象として、空港面監視データを元に空港面交通流の特徴を把握して、スケジューリングに必要な機能を検討するための交通流分析を進めている。ARTS (Automated Radar Terminal System: ターミナルレーダー情報処理システム) の空港面監視データを用いた分析の結果、これまでに、到着便の交通流の滞留は一時的かつ散発的であるのに対し、出発便の交通流

は混雑の影響を受けて滞留を生じやすい特徴を明らかにした<sup>[3]</sup>。

本稿では、空港面運用の効率性を数値的に把握するために、空港 CDM で用いられている空港面運用評価手法を参考として、空港面監視データから出発便の離陸待ち時間を把握する分析手法を検討した結果を述べる。

### 2. 空港面交通管理と評価手法

#### 2. 1 空港面交通管理の概要

空港面運用の円滑化に関しては、管制機関、エアライン、空港管理会社など、さまざまな運航関係者が精度の高い計画管理システムや状況認識手段をそれぞれ有している。しかし、それぞれの関係者の取得できる情報には限りがあるため、空港面運用全体に関する状況認識を得ることは、現状では困難である。そこで、空港 CDM では、各関係者の有しているスケジュール情報を共有し、状況認識を共有することで空港面運用の効率化のための対応策を関係者間の協調によって計画的に進めることを目的としている<sup>[4]</sup>。

具体的には、たとえば出発便の滑走路運用の効率化に関しては、出発便のスポット出発予定時刻や、スポット出発に至るまでの運航の各フェーズ（到着便としての飛行、スポットでの地上作業など）の工程表を共有し随時更新することでスポット出発予定時刻の精度を高め、そして、スポット出発予定時刻から各出発便の離陸予定を予測することで、離陸滑走路付近の混雑を回避するスポット出発時刻の調整を行う運用方式が検討されている。

#### 2. 2 海外の動向

空港 CDM は EUROCONTROL の空港 CDM 実施マニュアル<sup>[4]</sup>によりコンセプトが具体化され、現在までにミュンヘン（2007年）、パリ・シャルル・ド・ゴール（2010年）、ブリュッセル（2010年）、フランクフルト（2011

年)の各空港において運用方式が定められている。また、米国においても試行導入が進められており、主要な成果としては、ニューヨーク・ジョン・F・ケネディ空港において、2010年の滑走路再舗装による空港容量の低下に対して出発便の待ち行列軽減のために用いられた。欧米におけるこれらの動向を反映し、ICAO (International Civil Aviation Organization : 国際民間航空機関)では、長期ビジョン ASBUs (Aviation System Block Upgrades)において、空港 CDM および関連するスケジューリングの段階的な導入を検討している<sup>[5]</sup>。

### 2.3 空港面運用のパフォーマンス評価

空港 CDM 実施マニュアルでは、空港 CDM による空港面運用の改善を推進することを目的として、改善点を具体的に把握するためのパフォーマンス評価を行うことを推奨している。空港 CDM 実施マニュアルで設定されている評価項目は、以下に例を示すように、スケジューリング結果と実際の運航の差異など、空港 CDM の実施状況を把握するものが主となっている。

- ・ 地上走行時間の予測と実績の差異
- ・ スポット出発承認時刻と実際のスポット出発時刻の差異
- ・ スポット出発予定時刻と実際に出発準備完了となった時刻の差異
- ・ 待ち行列に並んでいる航空機数
- ・ 公称の空港容量と実際の交通量の差異
- ・ 到着遅れが出発遅れに波及した割合

また、空港 CDM 実施マニュアルでは、記載されている評価項目を CDM 実施空港が共通して用いることを推奨しているが、必要に応じて項目を追加することを認めている。

2006年に空港 CDM を試行導入したミュンヘン国際空港では、空港面運用に関するパフォーマンス評価を行っており、2007年の方式化以後、空港 CDM 年次報告書を公表している<sup>[6]</sup>。ミュンヘン国際空港では、空港 CDM 実施マニュアルの設定する評価項目に加えて、交通量や滑走路付近での出発便の離陸待ち時間など、空港面運用の現状を把握するための評価項目を設けている。

### 2.4 ミュンヘン国際空港における離陸待ち時間の評価

ミュンヘン国際空港の空港 CDM 年次報告書に記載されているパフォーマンス評価の項目のうち、滑走路付近での出発便の離陸待ち時間は、混雑空港における運用の効率性の現状を把握するために重要な評価項目のひとつであり、また、空港面監視データを元に計算が可能であるため、本稿では、この項目の評価要領を参考とした。

滑走路付近での出発便の離陸待ち時間について、ミュンヘン国際空港では、下記の二つの時刻の差分から離陸までの地上走行時間を求め、待ち時間を算出している。

- ・ エプロンと誘導路の境界を通過した時刻、
- ・ 離陸時刻。

各時刻情報の具体的な取得方法や、両時刻の差分から待ち時間を算出し集計する方法の詳細については、報告書に記載されていないが、滑走路付近での離陸待ち時間や離着陸数を月別で比較することにより、空港容量の季節的な変動などの空港の特性を定量的に把握することが可能となっている。

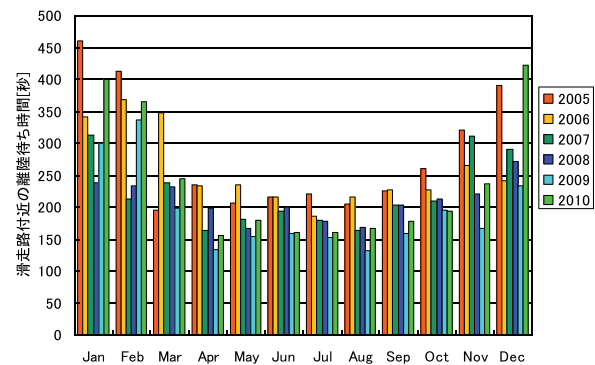


図1：ミュンヘン国際空港の離陸待ち時間<sup>[6]</sup>

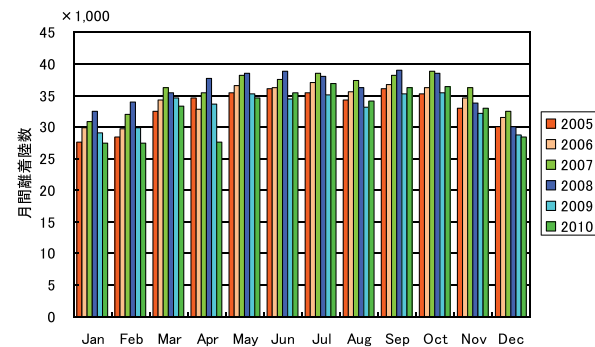


図2：ミュンヘン国際空港の月間離着陸数<sup>[7]</sup>

ミュンヘン国際空港の空港 CDM 年次報告書に示されている 2005 年から 2010 年までの離陸待ち時間の月別実績値を図 1 に、対応する月別の離着陸数についてミュンヘン国際空港の交通量報告書から得た数値を図 2 に示す。

ミュンヘン国際空港では、図 1 から示されるように、冬季に離陸待ち時間が大きくなる季節的変動が報告されている。この傾向については、冬季の気象条件による滑走路処理容量の低下や、滑走路付近における防除氷作業の影響が報告されている。

## 2. 5 日本における空港面交通管理に向けた取り組み

日本では、CARATS の OI-23「空港面運用の効率化」において、混雑空港の容量を最大限に活用することで滞留等を回避し、空港面運用を効率化する施策が検討されている。この施策については、段階的な実施が検討されており、具体的には、下記の 3 段階での実施が検討されている。

- ①初期段階では、スポットアウト時刻の最適化を主体とした運用
- ②将来的には、スケジューリングツールの導入による運用の高度化
- ③最終的には、空港運用全体の効率化

このうちスポットアウト時刻の最適化については、2012 年度に羽田空港、2013 年度を目途に成田空港における試行導入が予定されており、スケジューリングツールによる運用の高度化については 2014 年度に導入の意思決定が予定されている<sup>[2]</sup>。

## 3. 羽田空港の滑走路付近での出発便の運航時間に関する分析

### 3. 1 羽田空港の空港面交通流の特徴

当研究所における先行研究では、羽田空港の交通流に関して、空港面監視データを用いた交通工学的な観点からの分析を行った。その結果、以下に示す知見が得られている<sup>[3]</sup>。

- ・ 空港面の混雑による交通流の滞留は、主に出発便で定常的に発生する。一方、到着便の滞留は一時的かつ散発的である。
- ・ 出発便の交通流の主な滞留は離陸滑走路

への交通流の集中によるものであり、離陸滑走路付近の誘導路上で発生する。

- ・ 出発便の走行経路上の特定の地点の通過（合流と称する）から離陸までの所要時間に注目すると、混雑による所要時間の変動は、離陸間隔と合流間隔の差異によって生じる。
- ・ 上記の地点について、滑走路末端の停止線から経路上の距離で 1,250m 手前の地点を用いると、出発便の滞留は主にこの地点よりも滑走路側で生じている。一方で、この地点までの地上走行時間については混雑の影響をあまり受けない。

以上の知見により、本稿では、図 3、図 4 に示すように、滑走路末端の停止線から経路上の距離で 1,250m 手前の地点（合流箇所と称する）の通過から離陸までの所要時間（合流後地上走行時間と称する）が、羽田空港の空港面交通流の効率性を把握するための主要な数値であると考えた。そこで、合流後地上走行時間に関する分析を行う。

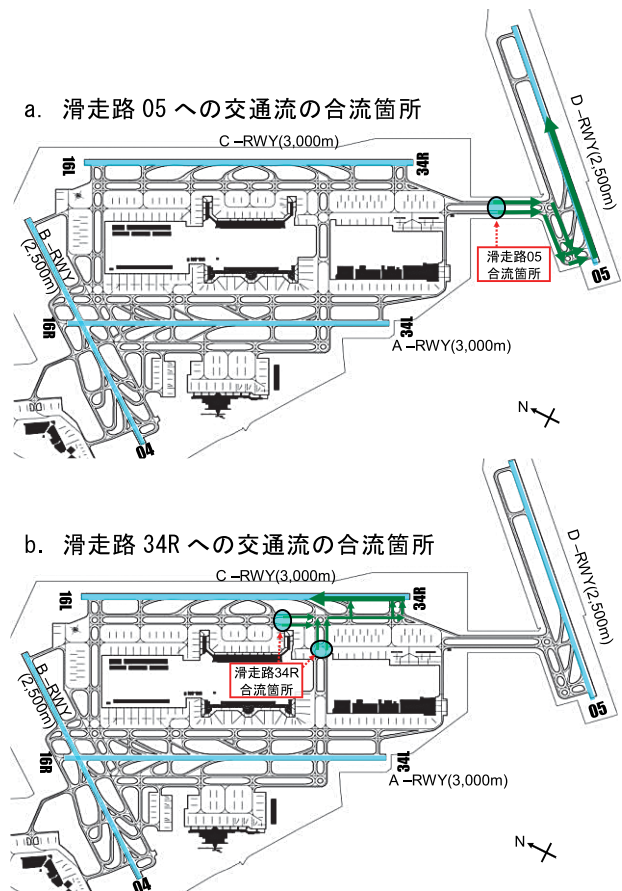


図 3：羽田空港北風運用時の合流箇所の設定

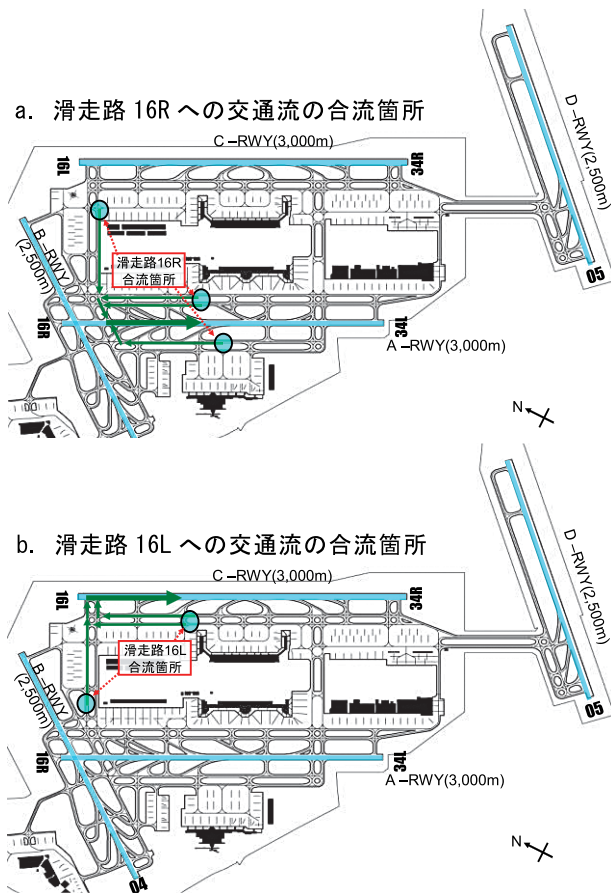


図4：羽田空港南風運用時の合流箇所の設定

### 3. 2 分析の目的

空港 CDM で用いられているさまざまな評価項目のうち、効率性を把握するために有益な、滑走路付近での離陸待ち時間に関して数値化を試みる。この項目については、ミュンヘン国際空港のパフォーマンス評価の結果が公表されているため、この評価の要領を参考として、滑走路付近における出発便の運用効率を数値的に把握するための計算を行う。具体的には、以下の2項目に関する分析を行う。

- ・ 2010年10月の新滑走路供用開始および新国際線ターミナルの運用開始等の空港レイアウトの変化が運用効率に及ぼした影響
- ・ 運用効率の季節的な変動などの時間的な変化

### 3. 3 分析の手法と結果

#### i. 用いたデータと取得期間

空港面監視データを用いて合流後地上走行

時間の分析を行った。空港レイアウト変更前については、2008年8月、10月、12月、2009年2月、4月、6月の各1週間分のデータを用いた。変更後については、2010年12月、2011年2月、5月、7月、9月、11月の各1週間分のデータを用いた。

#### ii. 時刻情報の取得方法

合流後地上走行時間を算出するためには、各出発便について、下記の2つの時刻情報が必要である。

- ① 合流箇所の通過時刻
- ② 離陸時刻

このうち①については、空港面監視データから得られる各便の航跡について、停止線通過時刻と停止線通過までの地上走行距離を算出し、地上走行距離が停止線通過時の距離よりも1,250m小さい時刻を合流箇所通過時刻として算出した。滑走路末端の停止線以外の停止線を通して滑走路に進入する出発便については、1,250mから、使用した停止線と滑走路末端の停止線との間の距離を減じて同様の計算を行った。

②については、空港面監視データが高度情報を含まないため、厳密に求めることは困難である。そこで、滑走路中央の通過時刻を離陸時刻と定義した。

#### iii. 合流後地上走行時間平均値の計算方法

滑走路付近の離陸待ち時間は、合流後地上走行時間から、混雑等によらない最低限の所要時間を差し引くことで算出されるが、最低限の所要時間には定まった算出方法がない。そこで、合流後地上走行時間そのものについて、月別の平均値を算出した。

#### iv. 計算結果

羽田空港における月別の合流後地上走行時間平均値について、空港レイアウト変更前の1年間の計算結果を図5に、変更後の1年間の計算結果を図6に示す。図中の棒グラフは合流後地上走行時間平均値を、折れ線は1日あたりの出発便数（1週間平均値）を示している。



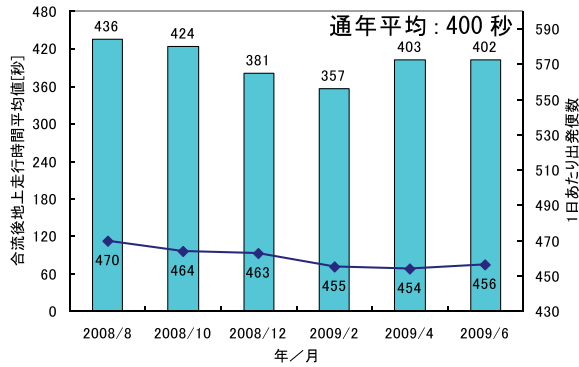


図 5：空港レイアウト変更前の合流後地上走行時間平均値

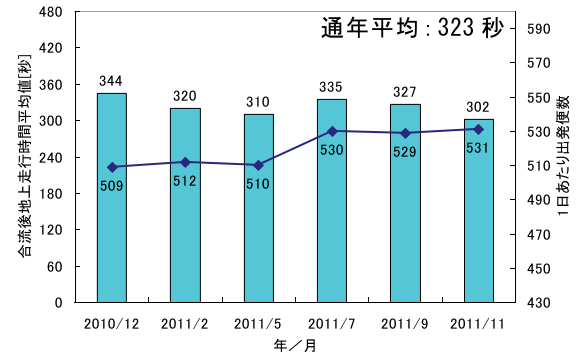


図 6：空港レイアウト変更後の合流後地上走行時間平均値

#### 4. 考察

##### 4. 1 合流後地上走行時間と離陸待ち時間の関係について

合流後地上走行時間は、滑走路付近での離陸待ち時間に加え、合流箇所から滑走路までの移動に要する最低限の所要時間を含んでいる。よって、合流後地上走行時間は滑走路付近での離陸待ち時間を直接表すものではない。このため、3.4 節で求めた羽田空港の合流後地上走行時間と、2.4 節で紹介したミュンヘン国際空港における離陸待ち時間とを単純に比較することは適切ではない。

しかし、合流後地上走行時間平均値の季節的な変動など、月別の値の変化分は、離陸待ち時間の変化分を表している。このため、空港ごとの離陸待ち時間を比較することが可能となる。

##### 4. 2 運用条件の変化の影響について

図5と図6の比較から、羽田空港では、空港レイアウト変更前に比べ、供用開始後では、全般的に出発便数が増加し、合流後地上走行時間が減少していることが観察される。合流後地上走行時間の通年平均値は、空港レイアウト変更前では400秒、変更後では323秒となり、77秒の減少となっている。これは、滑走路の増加に伴う処理容量の拡大によって、長い待ち行列が生じにくくなり、出発便の運用効率が改善したことを示していると考えられる。

また、空港レイアウト変更後の合流後地上走行時間平均値を月別に比較すると、2010年

12月から2011年5月にかけて減り続け、2011年7月に一旦増加したのち、再び減り続けている。2011年7月に一旦増加したことについては、図5に示すように、この月を境に出発便数が増加していることが影響していると考えられる。一方、2010年12月から2011年5月、および2011年7月以降の減少については、滑走路の増加による空港レイアウトの変更や増便などの運用条件の変化からの時間経過により、管制官やパイロット等の運航関係者が羽田空港の運用条件の変化に慣熟し、滑走路運用効率が向上したことが要因のひとつであると考えられる。

##### 4. 3 季節的な変化について

羽田空港では、図5および図6から示されるように、空港レイアウト変更前の1年間における月別の合流後地上走行時間平均値の変動幅は79秒（最大：2008年8月、最小：2009年2月）、空港レイアウト変更後の1年間については42秒（最大：2010年12月、最小：2011年11月）であった。一方、ミュンヘン国際空港では、離陸待ち時間の季節的な変動幅は、最大となった2010年では268秒（最大：12月、最小：4月）、最小となった2008年では106秒（最大：12月、最小：5月）であった。このことから、羽田空港はミュンヘン国際空港に比べ、離陸待ち時間の季節的な変化が小さいことが示される。

また、羽田空港の空港レイアウト変更前の月別の合流後地上走行時間平均値に注目する

と、冬季には小さく、夏季には大きい傾向があることが観察される。一方で、空港レイアウト変更後については、合流後地上走行時間平均値の季節的変動が、変更前に比べ小さくなっていることが観察される。これらの傾向について、滑走路運用効率に影響を与える気象条件などの要因の季節的な変化との関係を検討することが今後の課題である。

## 5. まとめ

本稿では、空港 CDM で用いられる空港面運用のパフォーマンス評価項目のうち、効率性に関する重要な評価項目のひとつである滑走路付近の離陸待ち時間について、羽田空港の特性を定量的に把握するため、空港面監視データを用いて数値化の手法を検討した。月別の合流後地上走行時間平均値を比較した結果、羽田空港の空港レイアウト変更の前後での比較において、離陸待ち時間の減少が確認され、滑走路増加による処理容量拡大の効果と、空港レイアウト変更からの時間経過に伴う運航関係者の慣熟の効果が示唆された。また、同様の評価結果が公表されているミュンヘン国際空港との比較において、羽田空港では離陸待ち時間の季節的な変動が小さいことが示された。

このように、空港面監視データを用いた空港面運用の効率に関する分析は、空港の特性や、運用条件の変化が運用効率に与える影響を詳細に把握するために有益であることが、本稿で行った分析例から示された。

今後は、CARATS で検討されている空港面運用効率化のためのスケジューリングについて、技術的な検討に資するために、本稿で用いた運航データ分析手法等を活用していく。

具体的には、空港面交通管理の実施を想定した空港面地上走行シミュレーションと、現状の運航状況とを比較し、空港面交通管理が空港面運用効率化のために有効であるか検証を進める。

また、2.3 節に例示した空港 CDM パフォーマンス評価項目のうち、空港面監視データのみでは計算することのできない項目についても、空港面地上走行シミュレーション結果の

分析により検討したい。

## 謝辞

空港面監視データの取得にあたってご協力を賜りました国土交通省航空局の関係各位に深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- [1] 蔭山, 福田 : “航空機の運航時間の実績値と計画値の一比較”, 日本航空宇宙学会第 48 回飛行機シンポジウム講演集, JSASS-2010-5008, 2010.
- [2] 国土交通省航空局 : “将来の航空交通システムに関する推進協議会 ATM 検討 WG 平成 23 年度活動報告書”, 2012.  
<http://www.mlit.go.jp/common/000205227.pdf>
- [3] 山田, 青山, 福田, 森 : “マルチラテレーション監視データを用いた航空機地上運航時間の分析—大規模空港における滞溜時間の特徴に関する一考察—”, 電子航法研究所報告, 127 号, 2011.
- [4] EUROCONTROL : “Airport CDM Implementation Manual”, version 4, 2012.
- [5] ICAO : “Working Document for the Aviation System Block Upgrades, the Framework for Global Harmonization”, ed. 2, ver. 3, 2011.  
<http://www.icao.int/Meetings/anconf12/Pages/ASBUs.aspx>
- [6] Deutsche Flugsicherung / Flughafen München : “Airport CDM Munich – Results”, 2008-2011.  
<http://www.munich-airport.de/cdm>
- [7] Flughafen München : “Monthly Traffic Report”, 2007-2010.  
[http://www.munich-airport.de/en/company/facts/download/verk\\_ber/](http://www.munich-airport.de/en/company/facts/download/verk_ber/)