

# 卒業論文要旨

## 最適な到着管理のための国内航空路線の分析

システム工学群

岡原田研究室 1240166 山下 峻平

### 1. 緒言

#### 1. 1 研究背景

本研究では、日本で最も混雑する空港である羽田空港に到着する航空機に着目して研究を行う。

現在の航空路線の到着管理の工夫としてポイントマージシステム（PMS）が導入されている。ポイントマージシステムとは、増大する交通量や過密化する交通流を効率的に処理するため、ターミナル空域の広域化に合わせ、リアルタイムで交通流量を制御する方式のことである。2019年度に首都圏空域の再編に伴い、羽田空港と成田空港への到着経路に設定された。<sup>(1)</sup>ポイントマージシステムは羽田空港の空域に利用されているが、羽田空港に向かう経路での最適化を行うことで更に到着管理の効率化が行われると考える。

#### 1. 2 研究目的

コロナ禍の収束に伴い、国内・海外の便数が増えることが予想される。燃料やCO<sub>2</sub>の削減が必要となるため、最適な到着管理をしていく。

本研究では、RNAV ROUTES と CARATS オープンデータの実データとの比較、経路上のポイントでの時間調整を行うことにより、羽田空港に着陸する航空機の到着管理の最適化を目指す。

#### 1. 3 研究キーワード

##### ・メタリング (metering)<sup>(2)</sup>

固定メタリングとは、特定の地点で間隔設定を行うことである。動的メタリングとは、空域の任意の地点で間隔設定を行うことである。悪天候を避けるような形で間隔設定の実現を目指す。最終的アウトプットとして、メタリングフィックスにおける時刻を指定することにより、戦略的

に航空機のフローを管理して、空港容量・空域容量の最大限の活用（複数方向からの入域トラフィックを考慮し、無駄なマージンを取らないこと。また後方乱気流区分に従った最適な航空機の順序を実現すること）を図ることが可能になる。

##### ・CFDT (Calculated Fix Departure Time)<sup>(3)</sup>

今後の空域混雑を予測し、対象となる飛行中の航空機へ特定地点の通過時刻を指定することによって、交通流制御と交通量の制御を行い、空域・空港の混雑回避を行う手法である。CFDT は飛行中の通過時間を制御するものであり、軌道ベース運用（TBO: Trajectory-Based Operation）につながる初期的な時間管理運用となる。

##### ・RNAV ROUTES<sup>(4)</sup>

RNAV ROUTES とは、従来の航空路より飛行距離が短縮されるだけでなく、経路を自由に設定することでより多くの航空機を効率よく飛行させることのできる緯度・経度をウェイポイントとして設定されている経路である。経路短縮・混雑空域の回避・経路の低高度化などが可能である。

##### ・CARATS オープンデータ

CARATS オープンデータとは、航空路監視レーダ等により取得・統合された日本上空を飛行するほぼ全ての定期運航便の航路データであり、極めて数多くの便が格納されている。

### 2. 代表経路の推定

RNAV ROUTES と、羽田空港に着陸する航空機の CARATS オープンデータの比較を行うことで、実際に各空港から羽田空港へ、どの経路が使用されているかを推定する。

## 2. 1 RNAV ROUTES のプロット

AIS JAPAN のサイトに登録されている経路を元に日本地図にプロットし、276本のRNAV ROUTESを完成させた図が以下である。

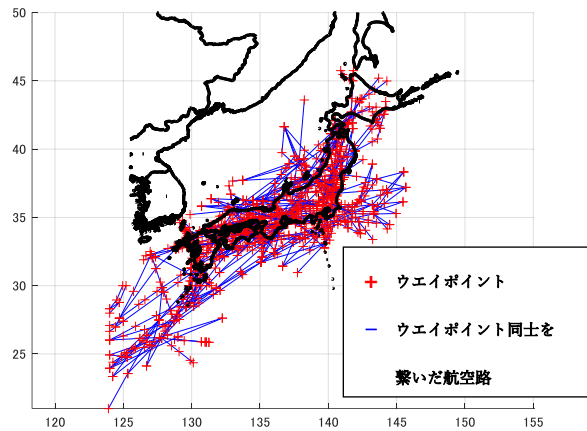


Fig 1 RNAV ROUTES

## 2. 2 代表経路の推定

CARATS オープンデータは、2020年3月2日の実データを用いた。Fig 1のRNAV ROUTESにCARATS オープンデータの実データをプロットし、羽田空港に着陸する航空機がどのRNAV ROUTESを使用しているか比較することで、RNAV ROUTESの推定を行う。推定を行った図が以下である。

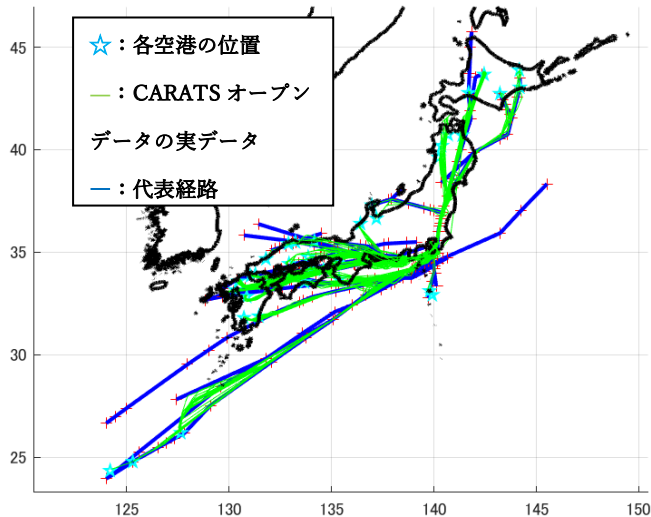


Fig 2 CARATS open data plotted on RNAV ROUTES

276本のRNAV ROUTESの経路のうち、30本が使用されていた。

各空港から使用されていたRNAV ROUTESを記す。

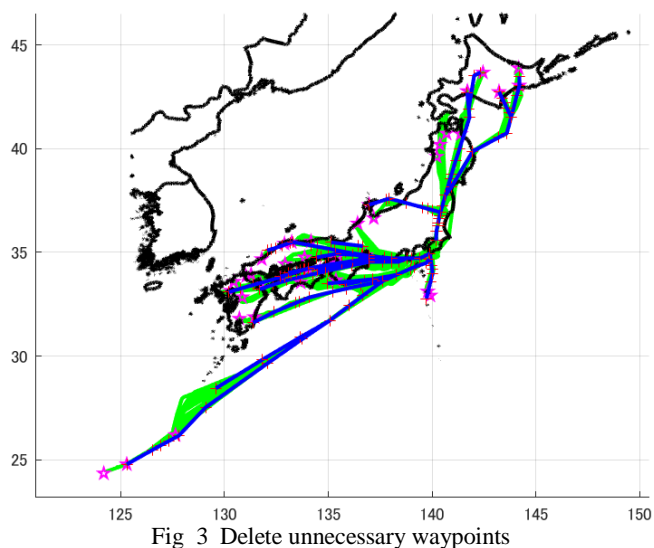
RNAV ROUTESは、左から順に使用されていた。

Table 1 Estimation of representative route

Airport name	Route designator				
AKJ	Y10	Y103	Y107		
AOJ	Y10	Y107			
AXT	Y10	Y107			
CTS	Y10	Y107			
FUK	Y35	Y235	Y23	Y71	Y233
HAC	Y873	Y87			
HIJ	Y71	Y233			
HKD	Y10	Y107			
HSG	Y23				
ISG	Y57	Y21			
ITM	Y33	Y71			
IWJ	Y143	Y38	Y71		
IZO	Y38	Y71	Y233		
KCZ	Y43	Y21			
KIX	Y33	Y71	Y233		
KKJ	Y33	Y23	Y71	Y233	
KMI	M750	Y21			
KMJ	Y23				
KMQ	Y71	Y233			
KOJ	M750	Y21			
KUH	Y111	Y106	Y10	Y107	
MMB	Y111	Y106	Y10	Y107	
MMY	Y57	Y571	Y21		
MSJ	Y10	Y107			
MYJ	Y81	Y43	Y21		
NGO	Y71	Y233			
NGS	Y23	Y71	Y233		
NTQ	Y311	Y31	Y10	Y107	
OBO	Y110	Y111	Y106	Y10	Y107
OIT	Y61	Y233			
OKA	Y52	Y57	Y571	Y21	
OKJ	Y28	Y289	Y71	Y233	
ONJ	Y10	Y107			

SHM	Y43	Y21			
TAK	Y28	Y289	Y71	Y233	
TKS	Y43	Y21			
TOY	Y31	Y10	Y107		
TTJ	Y295	Y71	Y233		
UBJ	Y61	Y33	Y71	Y233	
UKB	Y28	Y289	Y71	Y233	
YGJ	Y295	Y71	Y233		

Fig 2 より、RNAV ROUTES と CARATS オープンデータの比較を行った際、使われていないウエイポイントがあったため、使われていないウエイポイントを削除した。



### 3. 羽田空港着である便の時間調整の分析

本章では、時間調整の分析について取り扱う。第 2 章で、代表経路の推定を行った。経路の推定と羽田空港から 250NM, 200NM, 150NM, 100NM, 50NM での通過時刻を見て時間調整を行うことで、羽田空港着の便の最適化を目指す。

#### 3. 1 羽田空港着の便数

各空港から羽田空港着の便で、1 時間ごとに便数を調べることで 1 日のうちの最も混雑する時間帯を 1 時間ごとに調べた。(国際線含む。)

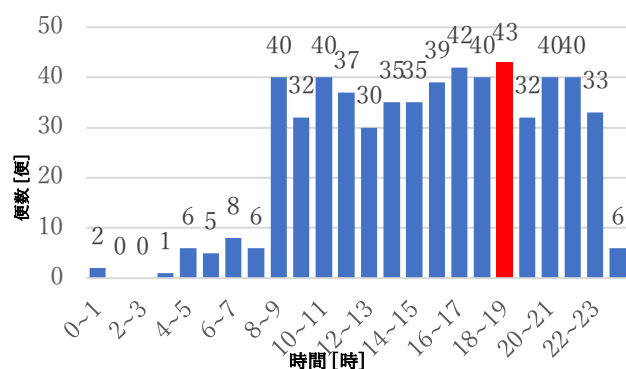
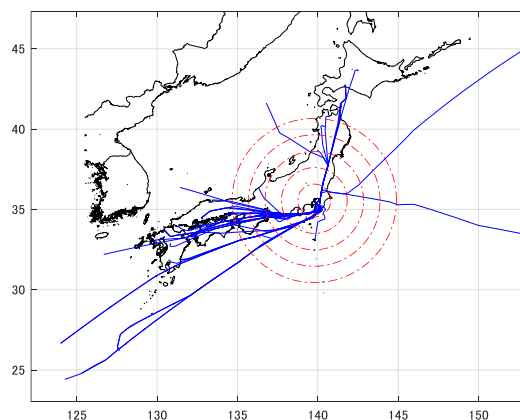


Fig 4 Number of flights per hour at Haneda Airport  
赤で表示されている 18 時から 19 時の間が羽田空港に着陸した航空機の便数が最も多く 43 便だった。

#### 3. 2 時間調整



羽田空港から 50NM, 100NM, 150NM, 200NM, 250NM の位置に赤い破線で 50NM ごとに同心円を示した。2020 年 3 月 2 日の最も混雑した時間帯の 18 時から 19 時の CARATS オープンデータの実データ計 43 便を青の実線で示した。

以下に、各 50NM, 100NM, 150NM, 200NM, 250NM での通過時間[h]と先行機との時間差[s]について記す。

先に羽田空港に着陸する機体を先行機、その次に着陸する機体を後続機とする。時間差がプラスであるのは、円上を先行機に対して後続機が遅れて侵入していることを表す。逆に時間差がマイナスであるのは、円上を先行機に対して後続機が先に侵入していることを表す。先行機と後続機との時間差が 0s に近いほど間隔が詰まっていることを表す。

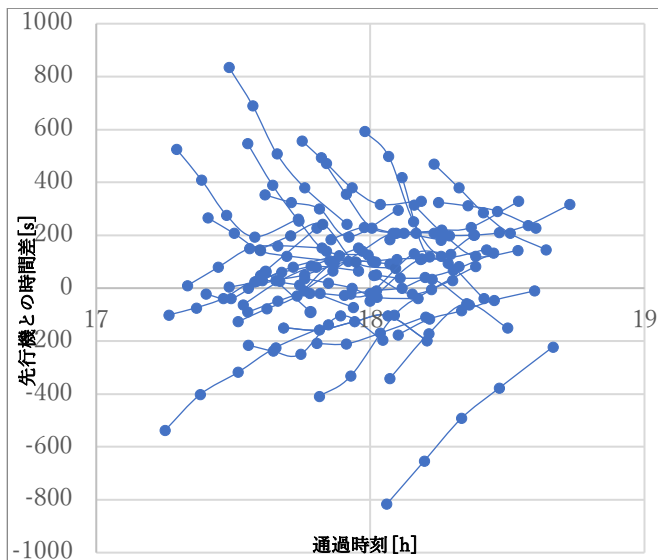


Fig 6 Passage time and time difference with the preceding aircraft

Fig6 では、50NM、100NM、150NM、200NM、250NM の全部での通過時刻と先行機との時間差について記した。

先行機との時間差が 0s に近づいている機体が多く見られた。これは、先行機との間隔が詰まっていることを意味している。

$\pm 200$ s で機体数が多く見られ、間隔が狭く羽田空港に着陸していた。

## 4. 結言

### 4. 1 まとめ

本研究では、代表経路の推定と時間調整の分析を行った。

代表経路の推定では、実際のデータとして CARATS オープンデータ 2020 年 3 月 2 日のデータを用いた。RNAV ROUTES と重なっている部分を抜き出し、どの RNAV ROUTES が使用されていたかを考えた。各空港から実際に使われている経路は、276 本の RNAV ROUTES のうち、30 本が使用されていた。

時間調整の分析では、羽田空港からの距離が 250NM、200NM、150NM、100NM、50NM の位置に同心円を設け、それを通過した時間のデータ分析を行った。250NM、200NM、150NM、100NM、50NM の並びで見ると順番に先行機との時間差が 0s に近づいており、羽田空港に近づくにつれ先行機との間隔が詰まっていることが確認された。 $\pm 200$ s で機体数が多く見られ、間隔が狭く羽田空港に着陸していた。

### 4. 2 今後の展望

代表経路と同心円との交点で時間調整を行い、速度調整に繋げ日本全体での航路で調整の指示を行うことで最適化する。

### 引用文献

- (1) 公益社団法人 日本航空機操縦士協会
- (2) 国土交通省 “CARATS 施策の進捗状況”  
<https://www.mlit.go.jp/koku/content/001481452.pdf> 2024 年 1 月 25 日
- (3) 国土交通省 “CFDT による交通流制御”  
<https://www.mlit.go.jp/common/001514603.pdf> 2024 年 1 月 25 日
- (4) AIS JAPAN  
<https://aisjapan.mlit.go.jp/html/AIP/html/20240125/frame/index-en-JP.html#efct=20240125> 2024 年 1 月 26 日

### 謝辞

本研究に進めるにあたり、熱心かつ丁寧に指導していただいた指導教員の原田明徳准教授、岡宏一教授、様々な知識をご教授いただいた研究室の先輩、同期に感謝いたします。

最後に、大学生活を支援し続けてくれた家族に心より感謝します。