

手塚亜聖(早大)

1

将来の航空交通システムに関する長期ビジョン(CARATS)

- 空域ベースから軌道ベースのATM運用への移行
- 全飛行フェーズにおいて時間管理を導入した4次元軌道に 沿ったATM運用



#### 3. (2) 変革の方向性 ② 予見能力の向上-時間管理の導入





## CARATSオープンデータの分析による 気象の影響の調査 ~気象情報から運航情報、容量への 変換を目指して~ 研究成果発表内容

偏西風の鉛直ウインドシアと巡航高度の関係調査

レーダーエコーを迂回する飛行の航跡分析

羽田空港アプローチ軌道における機種別対地速度の調査

## CARATS Open Dataの分析による偏西風の 鉛直ウインドシアと巡航高度の関係調査

研究目的

・運航に影響を及ぼす気象現象



ウインドシアの強い空域を回避する運航のモデル化を目標

≻ウインドシアの強さと燃料消費量の観点から どのような高度を飛行しているか調査する

計算に用いたデータ及びモデル



BADAモデル

BADA(Base of Aircraft Data) ユーロコントロールによって開発された航空機運航モデル

·掲載内容

航空機の性能パラメータの計算に使用する理論式 航空機の運航,性能に関する係数の値(399機種) メソ数値予報モデル





(\*3): "メソ数値予報モデルGPV(MSM)ファイル形式配信データ". 気象業務支援センター. http://www.jmbsc.or.jp/hp/online/f-online0c.html

#### ジェット気流とウインドシアの関係



・ジェット気流の中心位置は冬季にかけて南側へ移動 ・ジェット気流中心の風速は強くなる

・飛行経路上に乱気流が予想される空域がある場合,
 その高度帯を回避して飛行する

(\*4) 公益財団法人 日本航空機操縦士協会, "Pilots Guidance 機長への道標 Ver.4", 2014

各巡航高度でのウインドシアと飛行便数の調査

・西日本方面の空港から羽田空港(RJTT)へと向かう便の巡航高度における ウインドシアの最大値を調査した



飛行した便数の割合				
10 [kt/1000ft] 以上	2.67[%]			
16 [kt/1000ft] 以上	0			

並またはそれ以上の乱気流の発生目安(*4)				
ICAO 5 [kt/1000ft]				
U.S.A.F	9 [kt/1000ft]			

10[kt/1000ft]以上の鉛直ウインドシアが 存在する場合,その高度帯を避けて飛行 することが多いと考えられる

(\*4)公益財団法人 日本航空機操縦士協会, "Pilots Guidance 機長への道標 Ver.4", 2014

強いウインドシアがある高度帯を避けた便の調査

・フライト毎の巡航高度を調査したところ,特定の高度帯を避けて飛行している ケースが見られた



#### 強いウインドシアがある高度帯を避けた便の調査

・離陸から着陸までのウインドシアの概況を調べるため, 福岡→羽田便の 軌道に沿った風向と等風速線を示した



2012年7月10日 福岡→羽田

2013年3月6日 福岡→羽田

・低い高度と高い高度を飛行した便の計4便でBADAモデルを使用して軌道計算を行った

	2012年	7月10日	2013年	・両日ともに高い	
	飛行時間 [s]	燃料消費量 [Kg]	飛行時間 [s]	燃料消費量 [Kg]	<ul><li> 一 <sup>2</sup> 2、 <sup>3</sup> 2 <sup>3</sup> 2 <sup>3</sup> <sup>3</sup> <sup>2</sup> <sup>3</sup> <sup>3</sup> <sup>3</sup> <sup>3</sup> <sup>3</sup> <sup>3</sup> <sup>3</sup> <sup>3</sup> <sup>3</sup> <sup>3</sup></li></ul>
高い高度	5007	8300.59	4112	6592.90	短縮及び燃料
	(\(\triangle 0.97\%))	(△7.08%)	(\[\]3.84%)	(△15.6%)	、々₩於古
低い高度	5056	8932.99	4276	7811.60	► 谷 <u>巡</u> 航高 飛行時間とり

・両日ともに高い高度を飛行する便で飛行時間が 短く,燃料消費量も少ない傾向が見られた

·冬季にあたる2013年3月6日の便で飛行時間の 短縮及び燃料消費量の改善の割合は大きい

▶各<mark>巡航高度</mark>と各<mark>季節</mark>での 飛行時間と燃料消費量の違いを調査

#### 季節による飛行時間と燃料消費量の違い



まとめ

- ・各巡航高度でのウインドシアと飛行便数の調査
  - ▶西日本方面の空港から羽田空港へと向かう各便で10[kt/1000ft]以上のウインドシアの 中を飛行した便は、全体の2.67[%]で、16[kt/1000ft]以上はゼロであった
- ・強いウインドシアがある高度帯を避けた便の調査
  - >ウインドシアを通過して高い高度を飛行した便と低い高度を飛行した便に分かれ、 その比は、2012年7月10日で5:4、2013年3月6日で10:1であった
  - >冬季にあたる2013年3月6日では、高い高度を飛行することによる飛行時間の短縮と燃料消費量の改善は2012年7月10日に比べ大きい
- ・巡航高度と季節による飛行時間と燃料消費量の違い
  - ➤偏西風が弱い夏季では高度上昇に伴う温度減少が支配的になり飛行時間が増加し、 偏西風が卓越する冬季では追い風の影響が支配的になり横這いまたは減少した
  - ➤燃料消費量は, 偏西風による追い風が強くなる冬季で巡航高度による減少率が 大きくなる傾向

## CARATS Open Dataを用いた レーダーエコーを迂回する飛行の航跡分析

### 研究背景

■ 実際の運航では・・・

航空機上では機上レーダーを用い、エコーの形状や強さ、分布の情報から危険な乱気流域を回避するかどうかの判断を行っている \*2



■研究目的 レーダーエコーを考慮し強いエコー領域を回避する飛行のモデル化を目指し, 実運航データと気象データを用い,レーダーエコーを迂回する航跡の調査を行う

\*2 日本航空機操縦士協会, "Pilot's Guidance 機長への道標", 2014

実運航データ・気象データ

- 1) CARATS Open Data \*3
- 実運航された機体の位置・時刻情報
   等について国土交通省が提供する一般公開データ
- 時刻、便名、緯度、経度、高度、型式

CARATS Open Dataの概要

期間	2012年5月 ~2013年3月
日数	6週間(奇数月に 1週間ずつ)
便数	約3600便/日
対象便	計器飛行方式に よる定期便

\*2 岡恵,福田豊,上島一彦, "航空交通の運用データの一般公開と活用", 第52回飛行 機シンポジウム講演集, JSASS-2014-5139,2014

\*3 気象庁観測部, "配信資料に関する技術情報(気象編)第162号~1kmメッシュ全国合成レーダーGPVの提供等について~", 2004

- 2) 全国合成レーダーGPV \*4
- 気象レーダーで観測したエコー強度 (降水量)とエコー頂高度(雲頂高度)
- 10分間隔で配信

	緯度	経度
エコー強度 (1kmメッシュ)	0.5分	0.75分
エコー頂高度 ( <b>2.5km</b> メッシュ)	1.5分	1.875分





■ 本研究では,新千歳空港(RJCC)-羽田空港(RJTT)の航空路においてレー ダーエコーを観測した場合の航跡を分析



RJCC-RJTT間の標準経路

■ レーダーエコーの強さの違いから2便についての航跡を比較 広範囲に弱いレーダーエコー 2012年11月6日 14時頃 局所的に強いレーダーエコー 2012年9月4日 17時頃

■ エコー頂高度と航空機の飛行高度を比較 エコー領域を通過する飛行 3パターンに大別

# エコー頂高度と航空機の飛行高度の関係

#### ①飛行高度以下のエコー頂高度の低い領域の上空を通過する飛行



■飛行高度よりもエコー頂高度の低い領域を通過する際には迂回することなく、 エコー領域の上空を飛行する傾向が高い

## エコー頂高度と航空機の飛行高度の関係

②飛行高度以上のエコー頂高度の高い領域から距離をとって迂回する飛行



□標準経路付近には高度40000ft以上,降水量50mm/h程度のエコー領域が広がる □航空機は飛行高度28000ftで同高度のエコー頂位置から12.6NMの距離をとってエコー 領域を迂回するように飛行

# エコー頂高度と航空機の飛行高度の関係

#### ③飛行高度以上のエコー頂高度の高い領域の中を通過する飛行



■ 標準経路付近には高度40000ft以上, 降水量50mm/h程度のエコー領域が広がる ■ 飛行高度(40000ft)よりも高いエコー頂高度の領域を迂回することなく通過

機上レーダーと地上レーダー

- 地球の曲率:120NMで1°に相当
- 相対高度: tan 1° ≒ 1/60
   角度1°は60NM先で1NM≒ 6000ft





北緯41度付近を飛行しているとき 120NM先(緯度2度分)の北緯39度付近には エコー頂高度が高い領域が広がっている

機上レーダー:120NM先までのエコー情報 地上レーダー:航空路全体のエコー情報

地上の気象情報の配信による機上での気象 情報の充実が検討

⇒ より安全な飛行につながる

まとめ

- エコー領域を回避する飛行のモデル化を目指し、実運航データとエコーデータを用いた分析を行い、実運航でのエコーを迂回する航跡の調査
- 航跡とレーダーエコー分布から航空機がレーダーエコー領域を飛行する方法を,エコー頂高度と飛行高度との比較から3パターンに大別された
- 飛行高度以下のエコー頂高度の低い領域の上空を通過する飛行。
- ② 飛行高度以上のエコー頂高度の高い領域から距離をとって迂回する飛行
- ③ 飛行高度以上のエコー頂高度が高い領域の中を通過する飛行
- 機上に地上レーダーのエコー情報が配信できれば、 ③のケースから回避しやすくなると思われる。







# **CARATS Open Data**を用いた 羽田空港アプローチ軌道における 機種別対地速度の調査

### 研究背景:羽田到着機の速度コントロール



# 研究目的

ATCは速度制限への減速の指示を出すタイミングで、先行機との間隔をコントロールできる一方、最終進入速度は機種や重量によりまちまちであり、コントロールできない.

2016年8月に公開されたCARATS Open Dataでは, 新たに羽田ターミナル管制用レーダのデータが加わり, 羽田空港の周辺の精度は上がったと考えられる.

管制用レーダの緯度・経度から対地速度を算出する場合, 差分をとることによる精度の悪化が懸念されるが, ビックデータのような大量のデータを処理することにより, 新たな知見が得られることが期待される.

本研究では滑走路に着陸する航空機の対地速度の予測精度を向上 させる目的で, CARATS Open Dataを用いて, 羽田空港アプローチ 軌道における機種別対地速度を調査し考察を行う.

# 着陸時の航空機の速度

着陸時は動圧が小さいため、フラップを用いて揚力係数を上げ自重を支える。 る. 自重が大きい場合は、動圧を上げるため、失速速度は大きくなる、失速 迎角からの余裕を持たせるため、失速速度の1.3倍の着陸進入速度が規 定.

飛行機操縦教本には,以下の記述

正しい進入速度を維持し、進入角度を一定に保つように適切なパワーを使 用し、返し操作を開始する高さまで進入。

風が強くてガストを伴う場合,風とガストとの差の半分程度を機速に加えた 速度で進入するか,フラップ開度を変えてファイナルアプローチの機速を多 めに維持する.

エアバスの機体には、対気速度を一定に保つようスラスト・レバーを操作す るSELECTED SPEEDモードに加えて、対地速度を一定に保つ MANAGED SPEEDモードがある、本研究では、エアバスとボーイングの 機体で対地速度に違いが見られるかを調査.

# Base of Aircraft Data (BADA)

アプローチの進入速度のモデルとして、ユーロコントロールが作成した航空機モデルであるBase of Aircraft Data (BADA) を利用. 1000ft以下の進入速度は、

Vapp=1.3Vs +5 (kt)

と着陸進入速度1.3Vsに5ノットを加えている. 失速速度Vsは

Vs=Vsref  $\sqrt{m / m_{ref}}$ 

の関係式から、標準的な重量での失速速度Vsrefより求める. BADAのモデルでは、標準な重量における<mark>進入速度</mark>の値が、A320 では137kt, B763では158ktとなっている.

最後の3NMの飛行にかかる時間を計算すると, A320が79秒に対しB763は68秒と,11秒の違い 約120秒に1機の頻度で着陸することを考えると, 最後の3NMの飛行時間で11秒の差は大きい

高度による対地速度の変化

CARATS Open Dataをフ ライト毎に分別し,時間が 隣接する2つのデータの緯 度・経度の後退差分から移 動距離を算出,飛行時間 で割ることで対地速度を算 出

航空機の型式別に1フライト<sup>\*</sup> ずつ,高度と対地速度の関 係を示す。高度4000ftから 1000ftまでは高度の降下と 共に減速し,1000ft以下では ほぼ一定の速度

A320よりもB763の方が遅いケースあり



フライト毎の対地速度の分析

着陸時の対地速度は、一番高度の低い値に該当すると考えられるが、 レーダで計測した2つの位置の差分から算出した対地速度の精度は余 り高くなく、また、風や設定された対気速度への制御の追従性などの影 響で設定値からの乖離も生じると考えられる。

各フライトの高度1000ft以下を飛行する際の対地速度の変動を分析 する場合,核となる情報として, ↑ ♀

高度1000ft以下となる最初の値 対地速度の最大値 対地速度の最小値 着陸直前となる最後の値



対地速度

が挙げられる.これらの値を図示する方法として, 株価などを図示するローソク足チャートが適している.

ローソク足チャートの対地速度表示

始値よりも終値が高い場合, 白抜きの四角形(陽線) 高度1000ft付近より地上近くが, 対地速度が大きい.

始値よりも終値が安い場合 塗り潰された四角形(陰線) 高度1000ft付近より地上近くが, 対地速度が小さい.

高度1000ft以下から着陸直前までの飛 高度 行距離を飛行時間で割り対地速度の 平均速度を算出し棒線で示す. 高度1000ft以下となる位置と着陸直前 の位置の差が大きく飛行距離の測定 精度が上がる.





飛行経路に対するHead Windを右側の軸のレンジを用いて青線で 示す. Head Windがほぼ無風である. この場合, 対気速度と対地速 度はほぼ一致.

BADAのモデルの標準的な対気速度は140kt前後であるため, 対地速度の軸で140ktが, Head Windの軸で0ktとして, Head Windの軸は下向きが正となるように作図.



2013年7月13日にRW34Lに着陸



(c) B763 エアバスの機体であるA320と、ボーイングの機体であるB738、 B763、B772の対地速度を比較すると、違いあまり見られない、

# 2014年1月9日にRW34Lに着陸



対地速度にHead Windを加えることで対気速度が推算可能

# 2013年5月11日南風運用



から,ローソク足と青線のHead Windとの乖離がRW23のデータに 見られたと思われる.

進入速度の分析

縦軸の値の平均値は日による変動が見られるが、この変動は航空機の型式に よらず類似した傾向.標準偏差は約6kt程度、±2のの範囲は約12kt程度. 年度全体の平均値を実線で示す、最も縦軸の平均値が小さいA320は136kt, 最も大きいB738は140ktとなり、航空機の型式による違いは余り大きくない.



(c) **B763** 

(d) **B772** 

航空機の型式と平均進入速度

#### 平均対地速度にHead Windを加えたものを平均進入速度とみなす

Туре	2013Vapp[kt]	SD	N	2014 Vapp[kt]	SD	N	Average	BADA
A320	136.3	6.0	1937	135.9	5.3	1974	136.1	136.7
A321	141.3	5.5	137	140.9	5.5	147	141.1	138.9
A333	138.0	6.0	380	136.3	5.0	703	137.1	133.7
B734	140.6	6.1	526	141.5	6.1	212	141.0	146.7
B735	132.8	6.7	262	132.6	6.2	161	132.7	138.9
B737	134.0	6.7	284	132.3	6.2	455	133.1	138.9
B738	140.0	6.7	7381	139.8	6.2	8175	139.9	144.1
B744	142.9	6.3	138	146.3	6.8	126	144.6	158.4
B763	136.9	6.4	4898	137.5	6.0	4584	137.2	158.4
B772	139.2	6.4	4023	139.5	6.1	3995	139.3	140.2
B773	145.7	7.4	1125	147.4	6.6	1093	146.5	149.3
B788	141.6	5.8	1135	142.2	5.9	1663	141.9	149.3
E170	130.2	7.1	214	131.0	6.9	285	130.6	133.7

BADAのVappの値が158.4ktと他の型式の航空機に比べ大きい B744が144.6kt, B763が137.2ktとなっており, BADAのモデルほど 航空機の型式によるVappの値の違いは見られない.

まとめ

空港アプローチ軌道における機種別対地速度を調査.高度1000ft以下の対地速度の変化 を示すために,ローソク足チャートを用いて作図することを考案.

エアバスの機体であるA320と,ボーイングの機体であるB738,B763,B772の対地速度を 比較したが,違いは見られなかった.2014年1月9日は16時から17時にかけて,飛行経路に 対するHead Windが20kt程度増加しており,これに応じて対地速度も20kt程度減少してい る.対地速度にHead Windを加えることで対気速度が推算可能.

2013年5月11日の南風運用のデータを分析. RW23への到着機はRW22への到着機より も早い時刻に対地速度が減少していた.この理由として, RW22よりもRW23の方が早い時 刻にHead Windが増加した可能性が指摘される.

羽田空港に到着する飛行機の進入速度の値は各々の航空機により異なるが,重量やガスト に対する速度増加分などの違いの影響により,どの程度の分布が生じているかを調査.進入 速度の平均は140kt前後,±2σの範囲は約12kt程度となり,航空機の型式による違いは余 り見られなかった.BADAのモデルではB744とB763の標準的な進入速度が158.4ktと, 140kt前後である他の型式の航空機に比べて大きいが,本分析ではB744の進入速度が 144.6kt, B763の進入速度が137.2ktとなり,航空機の型式による進入速度の違いは BADAのモデルより小さい結果を得た.