

CARATSオープンデータ活用促進フォーラム(大阪)

定期旅客便の運航効率の分析とその応用

平成28年12月9日

宮沢与和, 小塚智之, 田村恵一, 樋口雄紀, 北詰有人, 森俊介, 寺山亮太



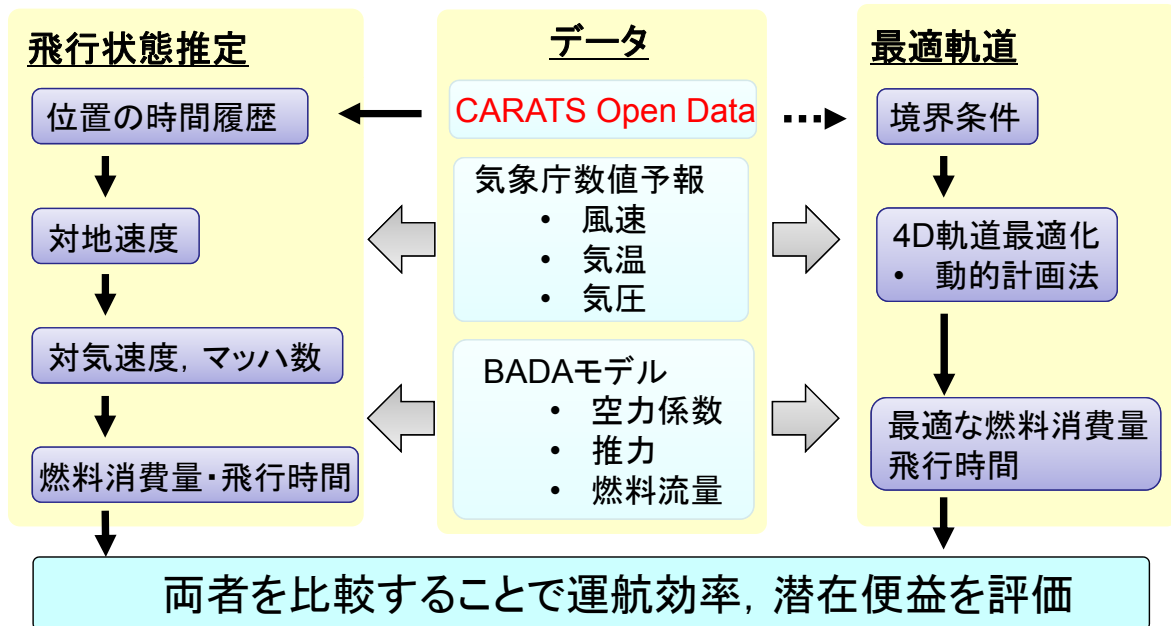
九州大学

発表の構成

- 運航効率分析とその応用
 1. 東京国際空港到着便への応用
(潜在便益の定量化, 到着時刻調整による影響評価)
- CARATS Open Dataを利用したその他の研究
 1. 統計モデルによる東京国際空港到着便の分析
 2. 福岡空港進入管制区交通流の分析
 3. 干渉(conflict)の分析
- まとめ

■ 運航効率分析とその応用

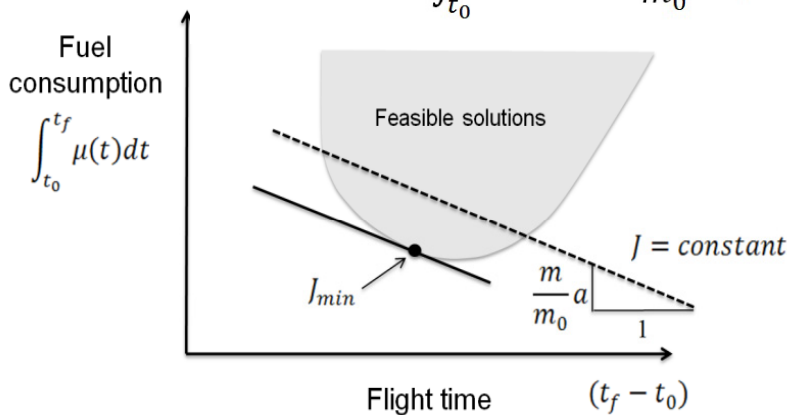
CARATSオープンデータを用いた運航効率の分析



定期旅客便の運航効率の分析とその応用

1. 東京国際空港到着便への応用

最適軌道の評価関数 $J = \int_{t_0}^{t_f} \mu(t) dt + \frac{m}{m_0} a (t_f - t_0)$



$$CI = \frac{C_{\text{time}} [\text{dollar/hour}]}{C_{\text{fuel}} [\text{cent/pound}]}$$

$$= 79.37 \frac{m}{m_0} a$$

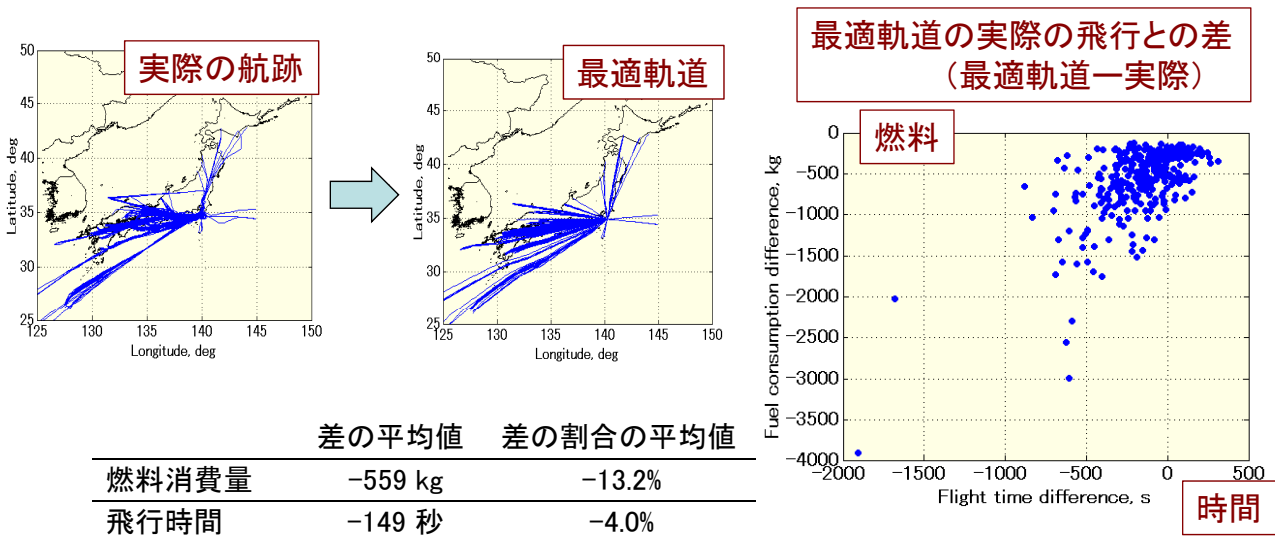
$m_0 = 208.7 \text{ ton}$ (基準質量)
 $a = 0.5 \text{ kg/s}$ を使用

対象: RW34Lに着陸する機体(2012年5月9日, 375便)
 飛行状態推定: 上昇中10,000 ftから合流点ARLONまで
 軌道最適化: 始点は実際の飛行と共通。
 終点はADDUM, 高度=10,000 ft, CAS=230kt



定期旅客便の運航効率の分析とその応用

潜在便益の例 (2012年5月9日RW34L着陸の375便)



- Matsuda, H. et al.: Arrival Time Assignment by Dynamic Programming Optimization, EIWAC 2015, Tokyo, November 19, 2015.
- Higuchi, Y. et al.: Efficient Control of Arrival Time at a Congested Airport's Terminal Area, ICAS2016, Daejeon, September 29, 2016.

国土交通省交通運輸技術開発推進制度「航空機の到着管理システムに関する研究」(分担)により実施

定期旅客便の運航効率の分析とその応用

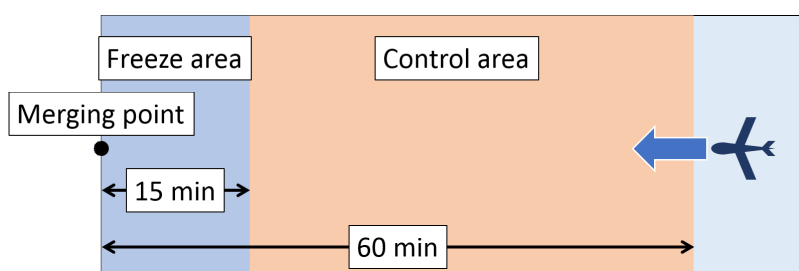
到着時刻の調整

到着時刻調整の追加: 進入着陸の間隔確保するため, 目標点をADDUMとして到着時刻間隔の制約(90秒以上)を導入して最適化

評価関数
$$J^* = \sum_k \frac{m_0}{m_k} J_k = \sum_k \left\{ \frac{m_0}{m_k} \int_{t_{0k}}^{t_{fk}} \mu_k(t) dt + a(t_{fk} - t_{0k}) \right\}$$

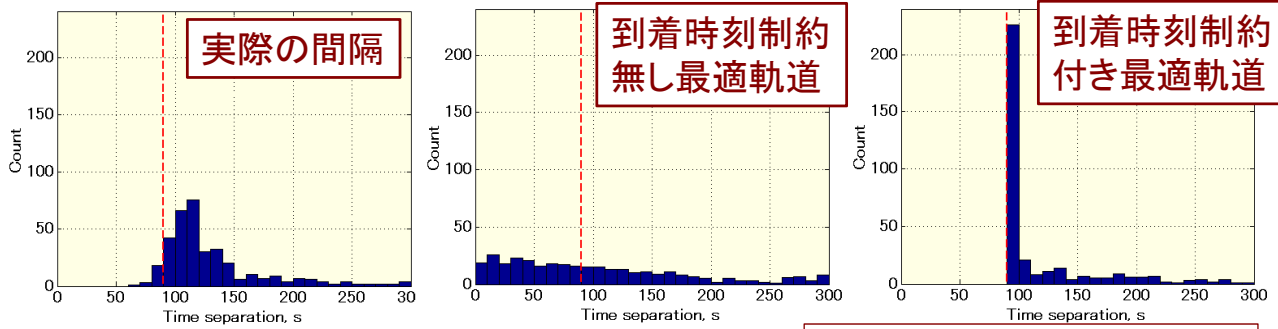
不等式拘束
$$|t_{fk} - t_{fl}| > t_{min\ separation}$$

調整則: 到着時刻の調整は5分ごとに到着予定時刻が60分以内の到着便すべてに対して行う。ただし, 調整到着時刻が15分以内の便は固定する。



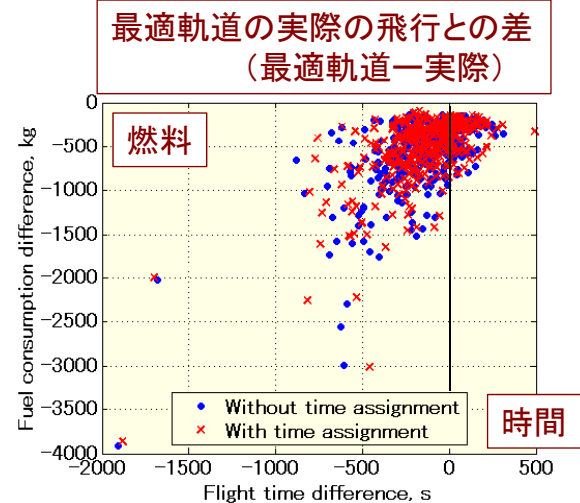
定期旅客便の運航効率の分析とその応用

合流点における到着間隔のヒストグラム

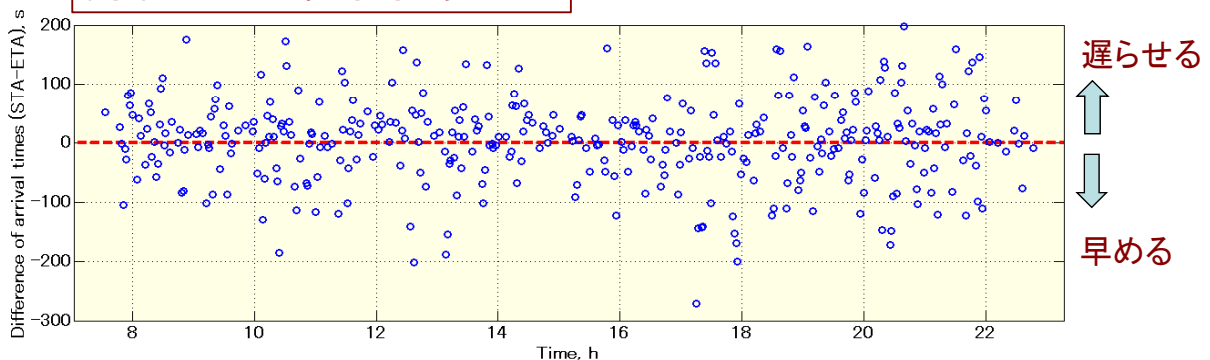


	実飛行 推定値	最適軌道 (最適軌道—実飛行)	
		(a) 到着時刻制約 なし	(b) 到着時刻制約 あり
燃料消費量(kg)	4217	3658 (-559, -13.24%)	3691 (-526, -12.47%)
飛行時間(秒)	3741	3592 (-149, -4.00%)	3594 (-147, -3.93%)

到着時間間隔の制約により燃料消費量は
やや増大するが、その影響は限定的である。



調節された到着時刻の変化量



到着管理システムの研究

便益評価を拡張して到着時刻のより実際的な調整と実現のために
以下の研究を継続して実施している。

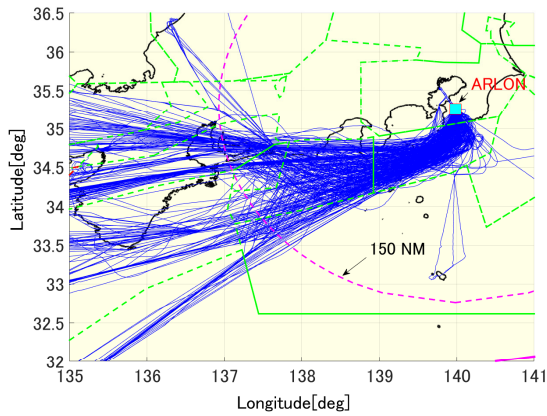
1. 合流点から150NMなど調整開始点の最適化
2. FMSのRTA機能を利用した到着時刻制御における誤差の評価
3. FMSの速度コマンドと同様な最適軌道生成の検討

FMS: Flight Management System, RTA: Required Time of Arrival

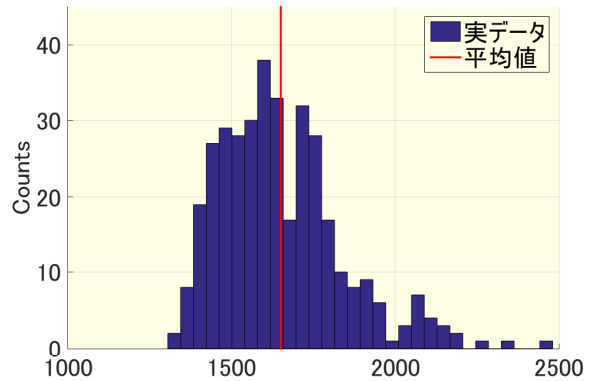
■ CARATS Open Dataを利用したその他の研究

1. 統計モデルによる東京国際空港到着便の分析

東京国際空港到着便の約70%を占める西方面からの航空機は関東東南A空域内でベクタリングにより間隔が調整される。
入域と出域の統計値よりモデル化を行い遅延の発生を解析



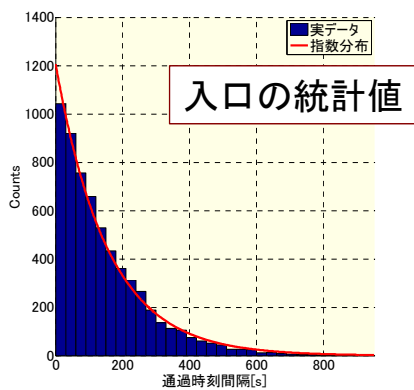
航跡 (2012年5月9日)



飛行時間(秒)の分布
(ARLONから150NM～空港から15NM)

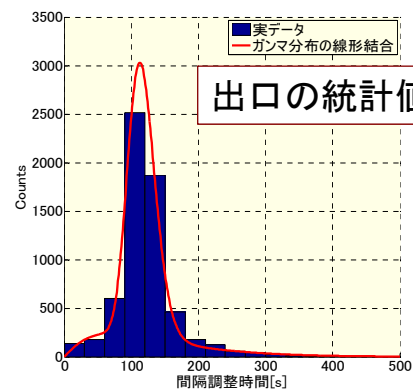
北詰他: CARATSオープンデータを用いた羽田空港到着便のベクタリング制御に関する研究, 第54回飛行機シンポジウム, 富山, 2016年10月26日

定期旅客便の運航効率の分析とその応用



入口の統計値

ARLONから150NM通過の時間間隔
(平均値=155.4秒)

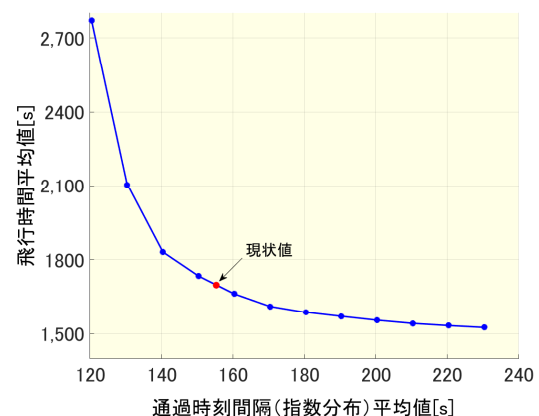


出口の統計値

空港から15NMで計測した間隔調整時間

北風運用が行われた17日分の入口と出口の時刻データから間隔の確率分布を推定してモデル化, 分布のパラメタを変更して影響を評価.

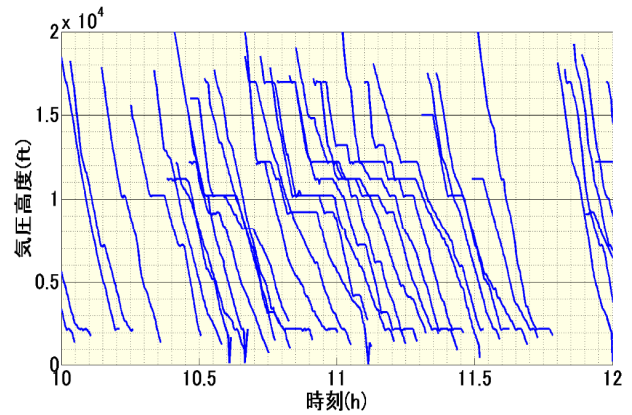
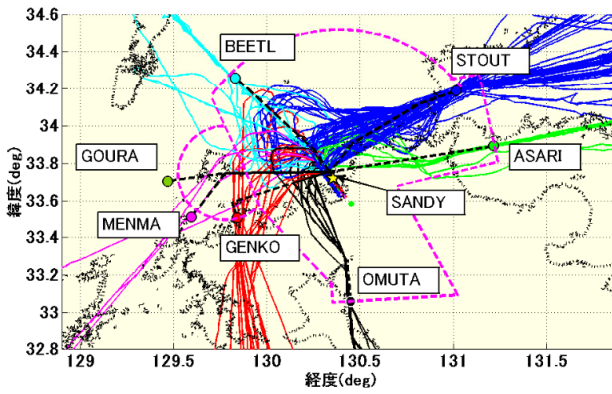
右図は, 交通量に対応する入域の時間間隔の平均値(現状は155.4秒)を変更して飛行時間平均値を推定したもの



2. 福岡空港の進入管制区における交通流の分析

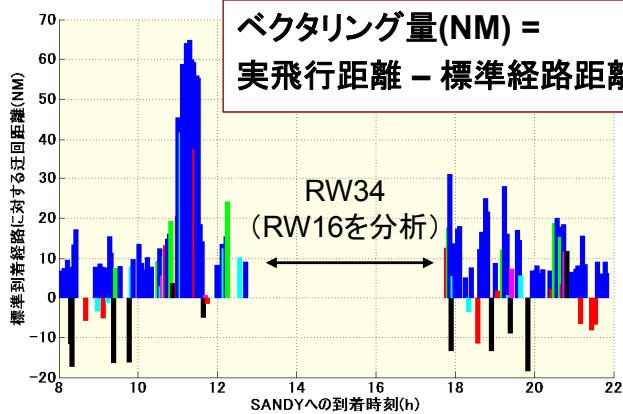
福岡空港到着便の交通流を分析:

進入管制区入域から最終進入点(Final Approach Fix)までの飛行時間と飛行距離を調査して遅延発生を分析



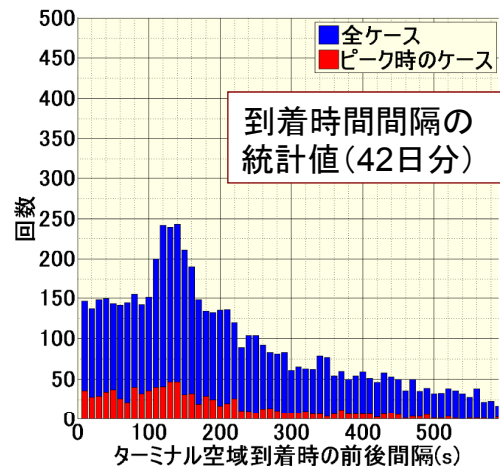
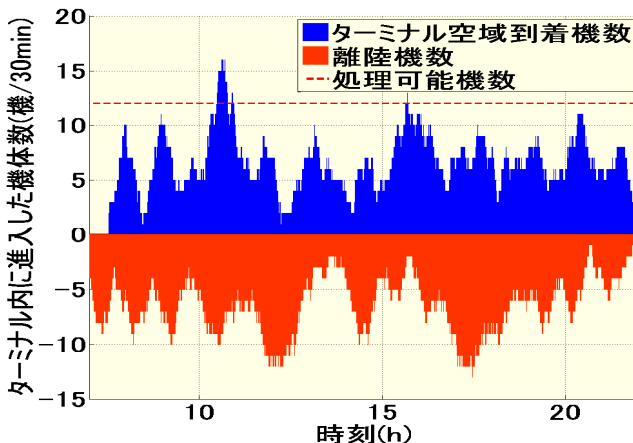
福岡空港到着便の軌跡(2012年5月7日, RW16使用時) 到着便のターミナル域内の高度(10-12時)

森他: CARATS Open Dataを用いた福岡空港ターミナル空域内の航空交通流の解析, 第54回飛行機シンポジウム, 富山, 2016年10月26日



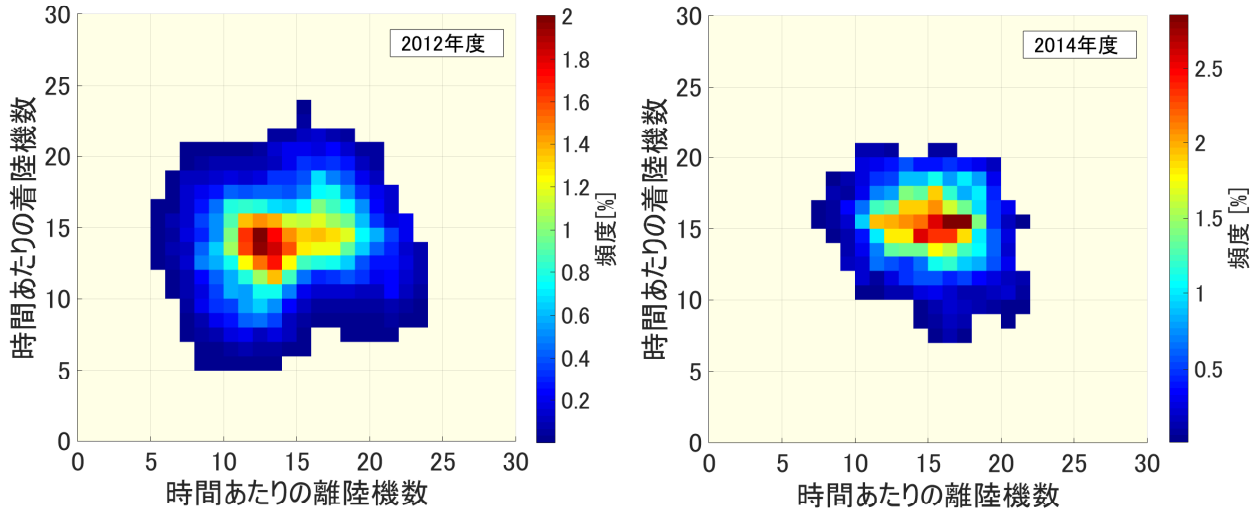
混雑の発生状況を調査

各入域点では間隔が確保されているが、複数の入域点へ航空機が非同期で到着することによってベクタリングが発生している。



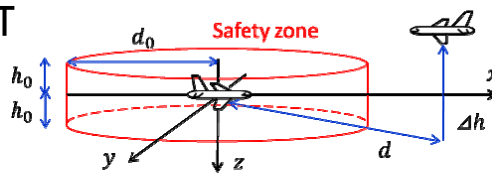
補足 福岡空港の時間あたりの離発着数 CARATS Open Dataによる統計値(2012年度と2014年度)

1分ごとに前後30分の離陸機数と着陸機数を求め発生頻度を推定



旅客便の運航効率の分析とその応用

3. 干渉の解析

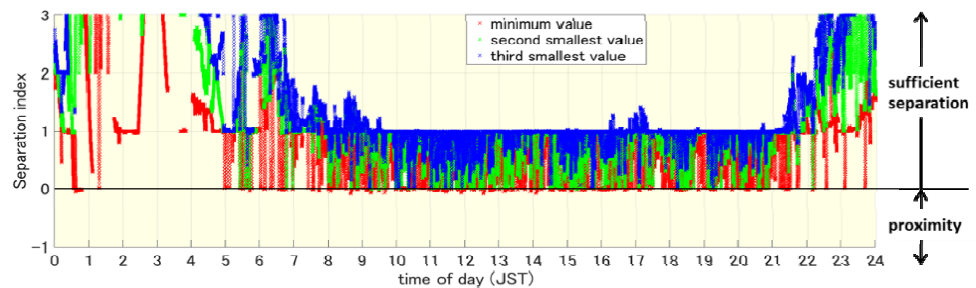


間隔指標(Separation index)

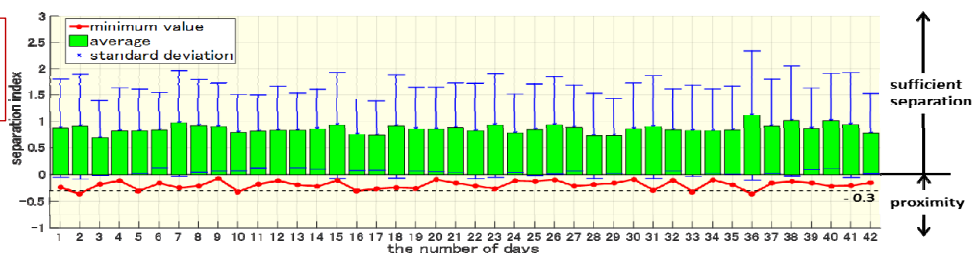
$$I_{spr} = \max \left\{ \frac{|\Delta h|}{h_0}, \frac{d}{d_0} \right\} - 1$$

$d_0 = 5$ [NM] and $h_0 = 1,000$ [ft]

干渉発生状況
2013年1月8日

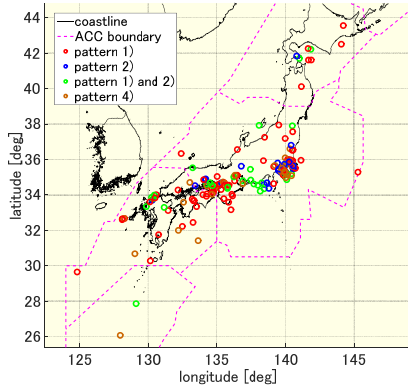


干渉発生状況
2012年度42日分



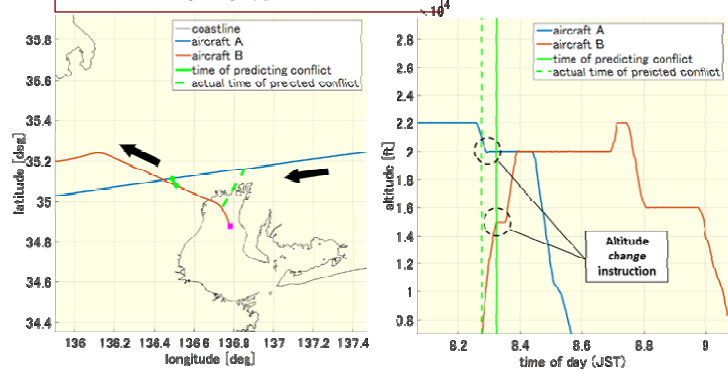
Kozuka, T. et al. : Quantitative Analysis of Conflict between Aircraft by Using Radar Track Data, EIWAC 2015, Tokyo, November 19, 2015.

間隔指標を用いて 干渉回避指示を推定, 回避方法を調査

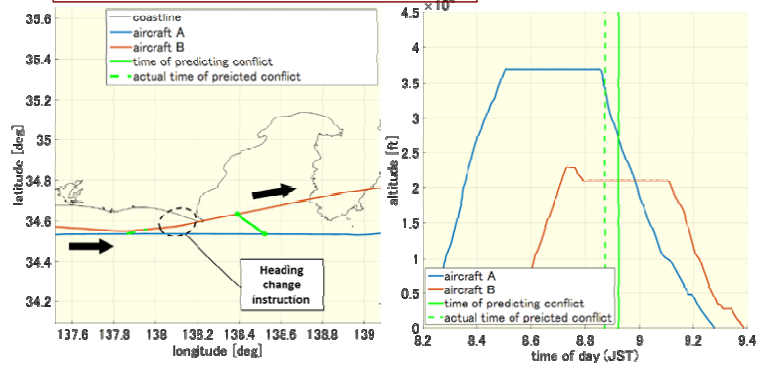


抽出された干渉回避の位置
(2013年1月7日)

方法1 (高度指示) の例



方法2 (方位角指示) の例



旅客便の運航効率の分析とその応用

まとめ

1. 東京国際空港のRW34L着陸便を対象に飛行状態推定と軌道最適化により現状の運航効率を分析し、理想的な4次元軌道管理による潜在便益を明らかにした。到着時刻調整による運航効率への影響は小さくできることが分かった。
2. 東京国際空港到着便のベクタリング制御を統計モデルにより解析し、交通量が遅延に及ぼす影響を示した。
3. 福岡空港進入管制区における交通流の分析を行い、混雑時の遅延発生仕組みを理解することができた。
4. 空域全体の干渉解析を行い、間隔指標を用いて干渉回避指示を推定し、実際の干渉回避方法を理解することができた。

CARATSオープンデータの解析を通して実際の航空交通の課題を理解し、課題解決の研究を進めることができた。