

# 軌道ベース運用における 二次元飛行経路に関する一考察

---

海上・港湾・航空技術研究所

電子航法研究所 航空交通管理領域

平林博子、ブラウン・マーク、ビクラマシンハ・ナヴィンダ

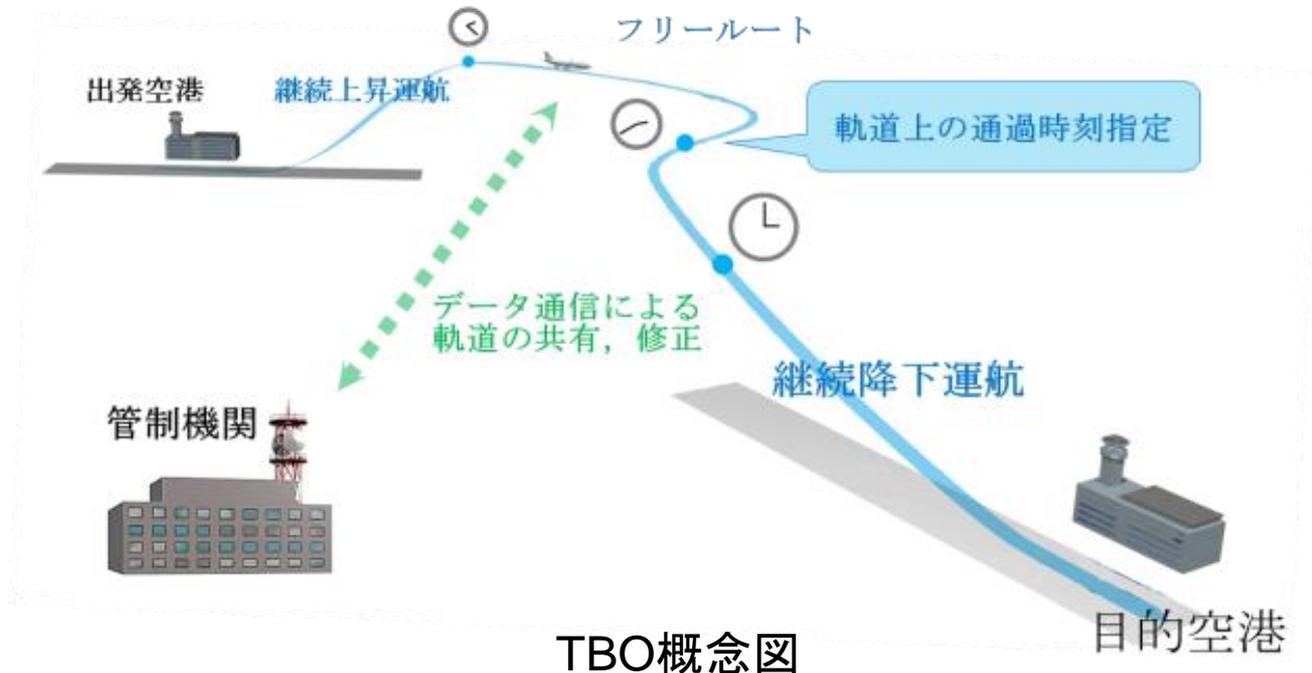
平成28年6月9日(木)、10日(金)  
第16回電子航法研究所研究発表会

# 内容

- 軌道ベース運用 (TBO: Trajectory Based Operations) 概念
- 効率的な二次元飛行経路とは
- 飛行計画における経路情報
- 複数の経路パターンによる指標値の比較
  - ファストタイムシミュレーション実験
  - 風最適経路の指標値
- TBOにおける飛行経路
  - 今後の課題

# 軌道ベース運用(TBO)概念

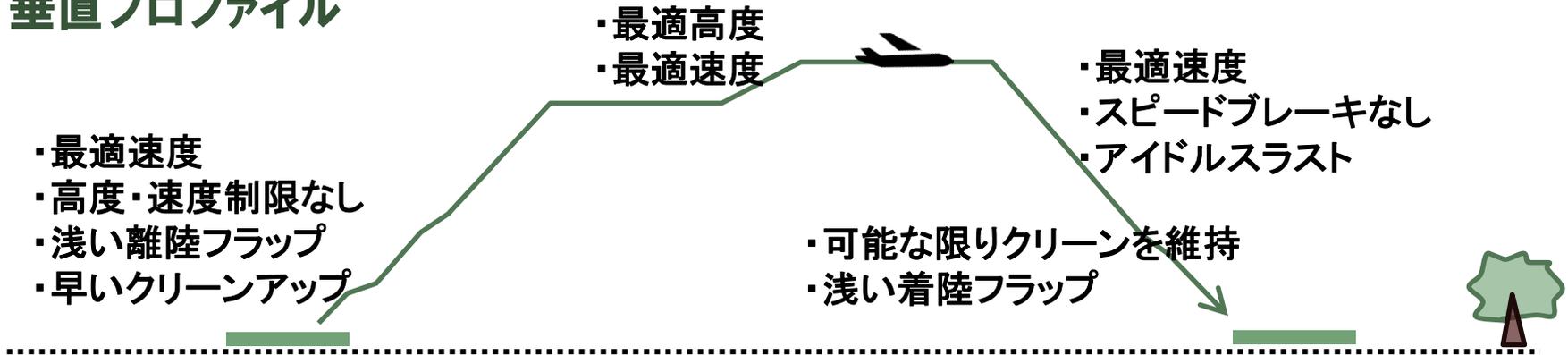
- 飛行前に関係者間で合意された“軌道”に基づく航空交通サービスの提供
- “軌道”は、出発から到着までの経路、経路上の通過時刻、高度で構成



# 効率的な飛行とは？

- ・ 運航者が求める効率的な飛行とは？

## 垂直プロファイル



## 水平プロファイル



効率的な二次元飛行経路を考察

# 飛行計画における経路情報

別添2  
ATTACHMENT-2

FLIGHT PLAN  
飛行計画

1 PRIORITY 優先順位 2 ADDRESSEE(S) 送付先  
FF →

3 MESSAGE TYPE 電文種別  
FPL ( FPL )

4 NUMBER 電文番号

5 DEPARTURE AERODROME 出発空港  
N0460

6 ARRIVAL AERODROME 到着空港  
RYUGU

7 AIRCRAFT IDENTIFICATION 航空機呼号  
JYOGA

8 FLIGHT RULES 飛行規則  
Y56

9 EQUIPMENT 機上装備  
KEC Y24

10 WAKE TURBULENCE CATEGORY 尾流乱気流カテゴリー  
SUC

11 CRUISE SPEED 巡航速度  
402

12 OTHER INFORMATION 備考  
SIROK

13 DEPARTURE AERODROME 出発空港  
N0460

14 CRUISE SPEED 巡航速度  
402

15 ARRIVAL AERODROME 到着空港  
RYUGU

16 DEPARTURE AERODROME 出発空港  
N0460

17 ARRIVAL AERODROME 到着空港  
RYUGU

18 OTHER INFORMATION 備考

19 ENDURANCE 飛行時間  
E /

20 PERSONS ON BOARD 乗員乗客  
P /

21 EMERGENCY RADIO 緊急無線機呼号  
R U V E

22 SPECIAL EQUIPMENT 特殊機材  
S P D M J J L F U V

23 DINGHIES 救命小舟  
D /

24 AIRPORT COLOUR AND MARKINGS 空港色と標識  
A /

25 REMARKS 備考  
N /

26 PILOT-IN-COMMAND 機長  
C /

FILED BY 提出者

SPACE RESERVED FOR ADDITIONAL REQUIREMENTS

参照) 航空路誌 有効日 2016 May 26

## 飛行計画の第15項

巡航速度 巡航経路

JYOGA  
2 DEP

RYUGU  
ARRIVAL

羽田から宮崎へのフライトの例

N0460F280 JYOGA Y56 KEC Y24 SUC Y402 SIROK  
RYUGU OYODO

## TBOにおける関係者間での情報共有

- SWIM: System Wide Information Management
- FIXM: Flight Information Exchange Model
  - XML形式
  - Ver. 4.0 4DT (Directional Trajectory) パッケージ1.0  
2016年 夏にリリース  
4DTに対応(位置、通過時刻、通過高度)



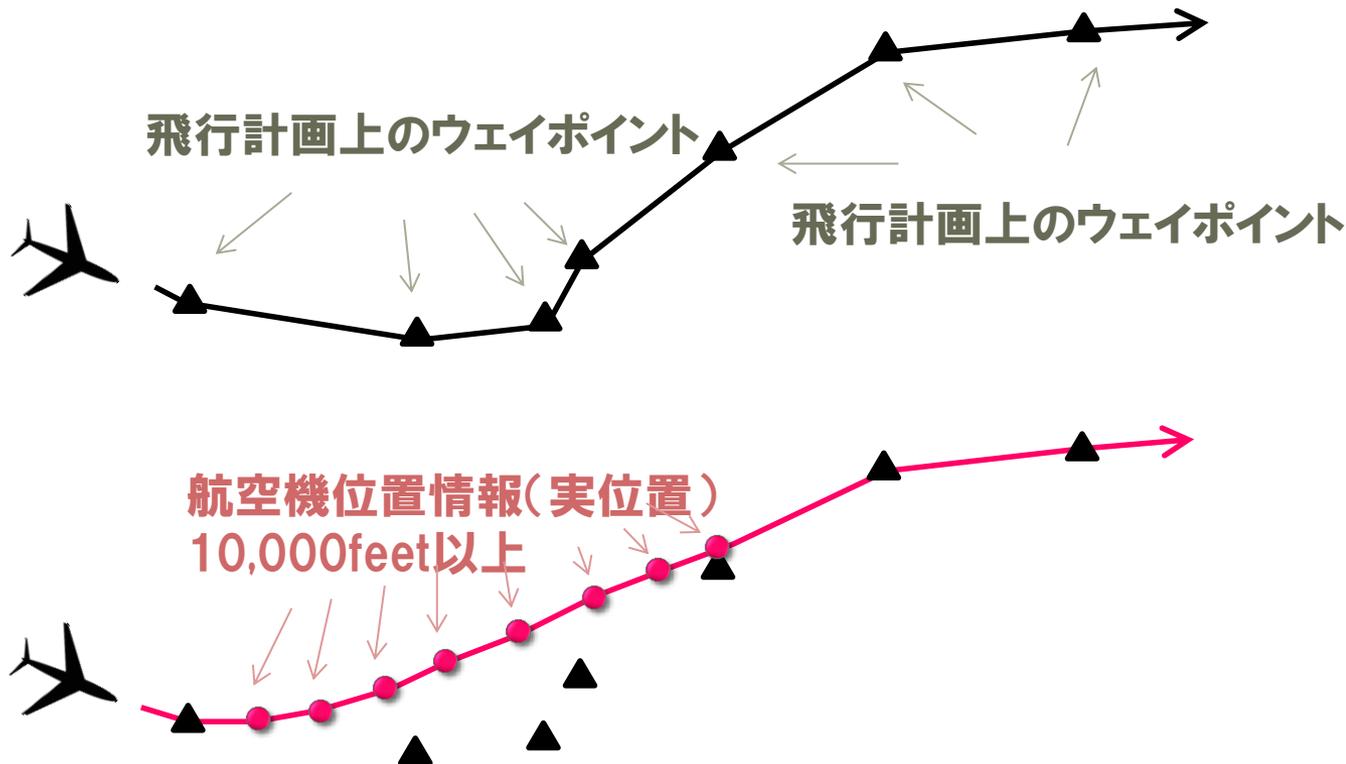
# ファストタイムシミュレーション実験

## 飛行計画経路と実際の飛行経路の違いを分析

- 経路が異なる理由
  - パイロットリクエスト、管制措置
  - 悪天回避 (Deviation)
  - 交通流管理による空中待機 (Holding)
  - レーダー誘導 (Extend, Shortcut)
- ファストタイムシミュレーター (AirTOp) で軌道作成
  - BADA (Base of Aircraft Data) バージョン3 (飛行性能データテーブル)
  - 全球数値予報モデル GPV (Grid Point Value) (GSM: Global Spectral Model)
  - 1日分の飛行を模擬 (2013年1月、9月の1日分)
- シミュレーション実行数 (評価対象)
  - 3,668飛行 (1月のある一日)、3,900飛行 (9月のある一日)
  - フライトシナリオの飛行経路
    - 飛行計画経路 “FPL (Flight PLaN)” 及び実航跡経路 “RD (RaDar)”

# ファストタイムシミュレーション実験

- フライトシナリオにおける飛行経路



FPL

RD

# 大圏経路、風最適経路の作成

- 最適な二次元的飛行経路
  - 最短距離経路 - 大圏経路 **GC(Great Circle)**
  - 風最適経路 **WO(Wind Optimal)**
    - 飛行時間と燃料の効率性
      - コストインデックス(CI: Cost Index) - 時間コストと燃料コストの比  
 $CI = \frac{\text{時間コスト(お金/飛行時間)}}{\text{燃料コスト(お金/重量)}}$   
CI=0 消費燃料最少、CI=無限大(999) 飛行時間最小
- 本解析では
  - CI=0で風最適経路を計算
  - BADAバージョン3(航空機性能特性データ)
  - 全球数値予報モデルGPV(GSM)

# 大圏経路、風最適経路の作成

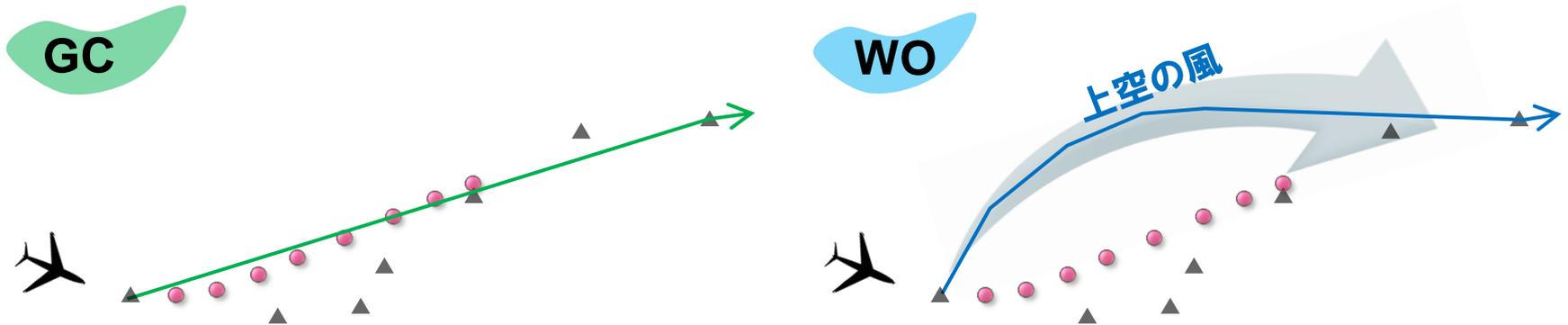


表 大圏経路、風最適経路作成対象フライト

ID	型式	出発空港	到着空港	月
Flight01	B763	大阪	羽田	9月
Flight02	B772	福岡	羽田	9月
Flight03	A320	関西	千歳	9月
Flight04	B763	成田	上海	1月
Flight05	B744	バンコク	成田	1月
Flight06	B744	台北	アンカレッジ	1月
Flight07	B744	台北	アンカレッジ	9月

FPL、RD、GC、WOの4つの経路パターンでパフォーマンス値(飛行距離、飛行時間、消費燃料)を計算

# 結果 一日分の飛行

## ● 飛行距離差及び飛行時間差

- FPL指標値に対する差  
(RD指標値 - FPL指標値)
- マイナス値  
RDの方がFPLよりも短い飛行距離、  
飛行時間で飛行

表 一飛行あたりのRDとFPLの飛行距離及び飛行時間差の統計値

	飛行距離差(NM)	飛行時間差(分)
最大値	214	33.8
中央値	-4	-0.5
最小値	-150	-20.7
平均値	<b>-7</b>	<b>-0.9</b>
標準偏差	18	2.6

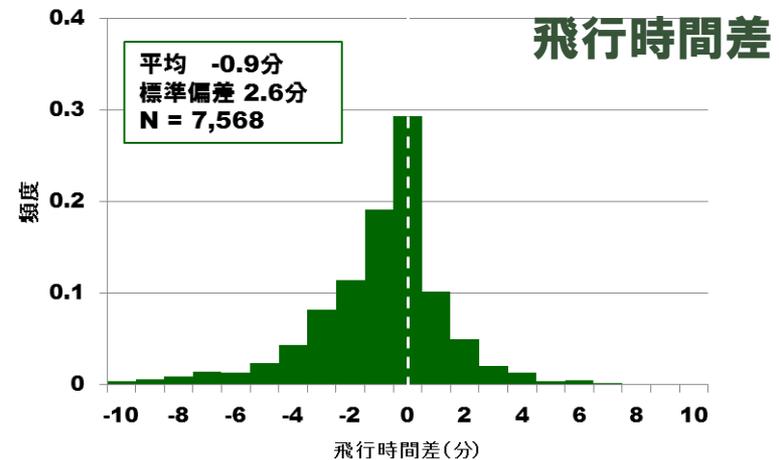
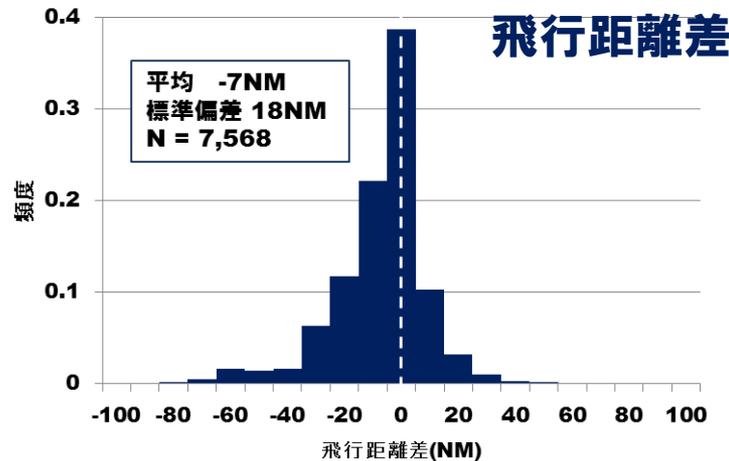


図 一飛行あたりのRDとFPLの飛行距離差及び飛行時間差の分布

先のウェイポイントへ直行させるレーダー誘導(ショートカット)の実施  
管制間隔設定、交差箇所の減少等のためにショートカットが有効である場合がある。

# 結果 大圏経路、風最適経路

- GC 飛行距離は短い、飛行時間・消費燃料が少なくなるわけではない。
- 飛行距離、飛行時間が同等であってもWOの消費燃料差が大きく有利なケース。これは巡航高度による差が大きくでていると推察される。
- 長距離飛行になるほど、WOの経路効果が高い。

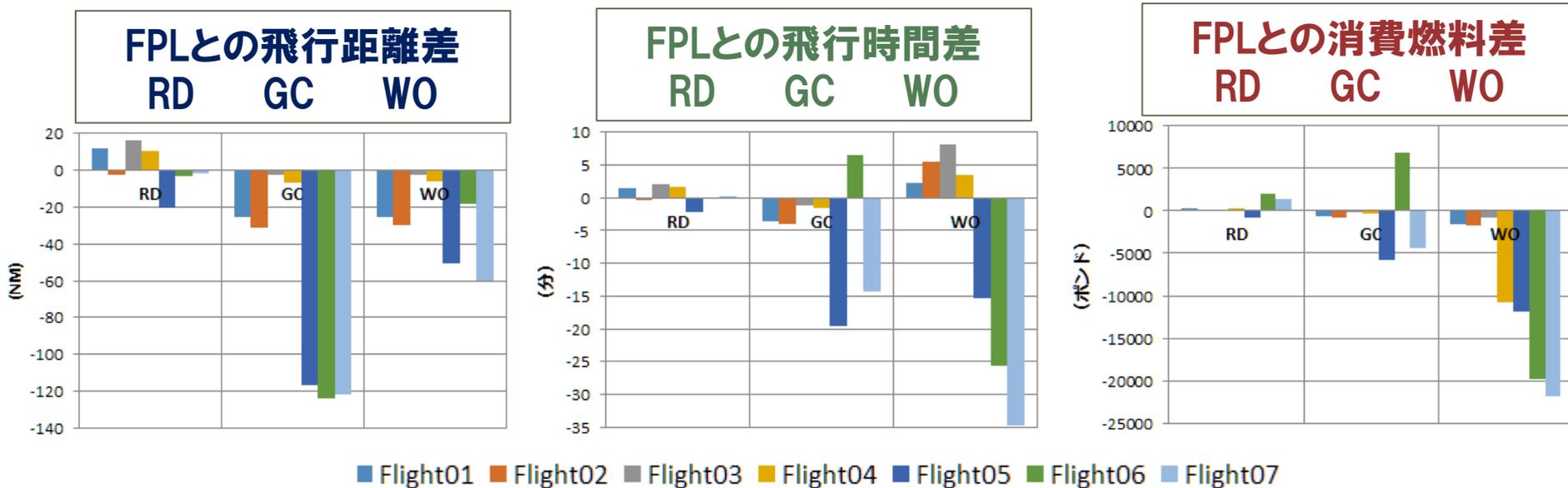
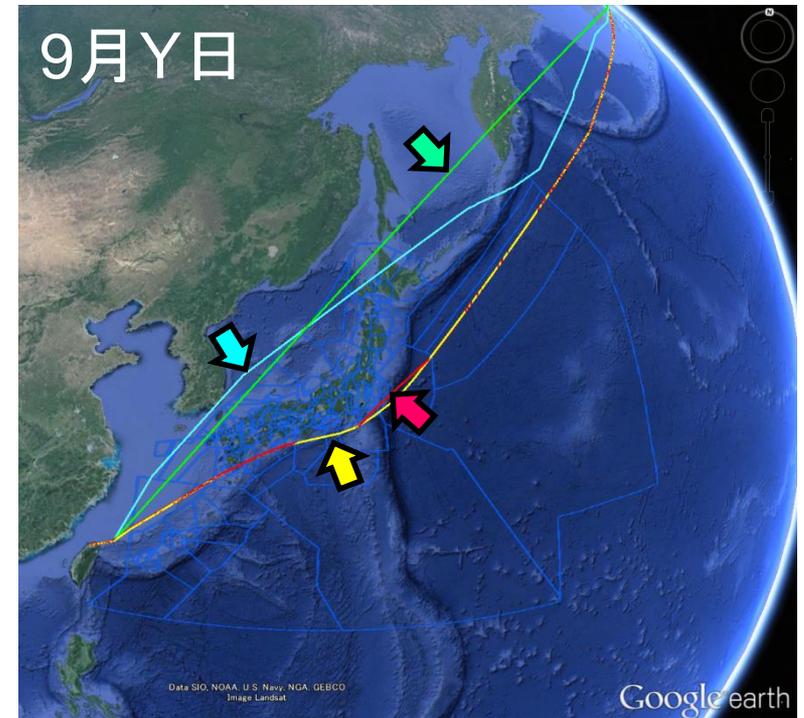
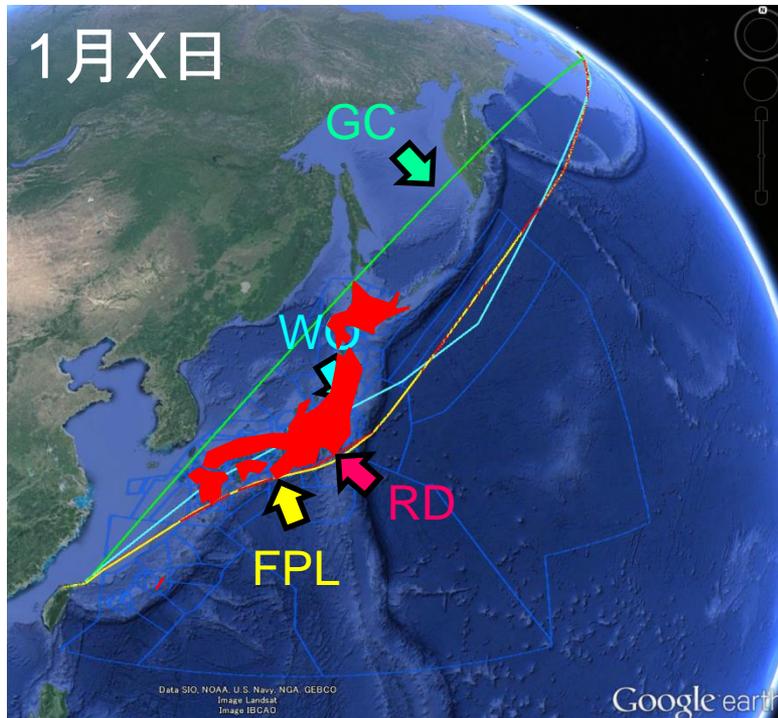


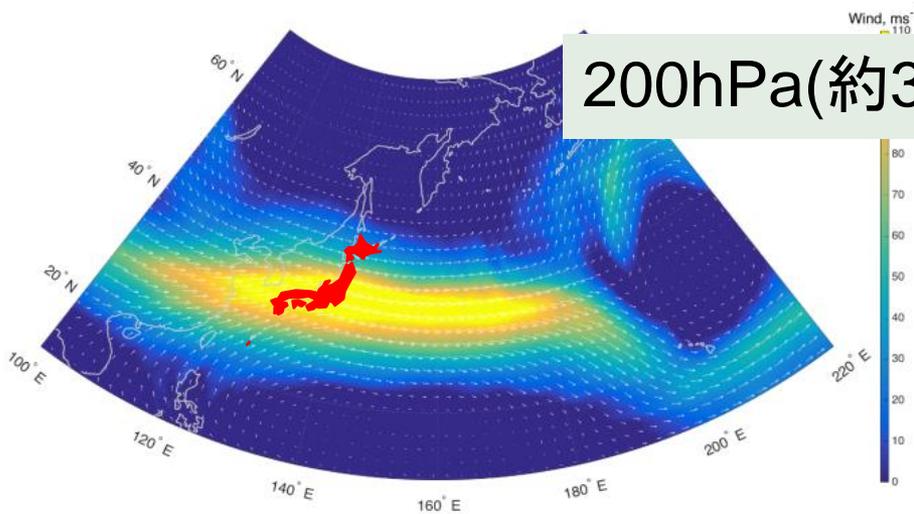
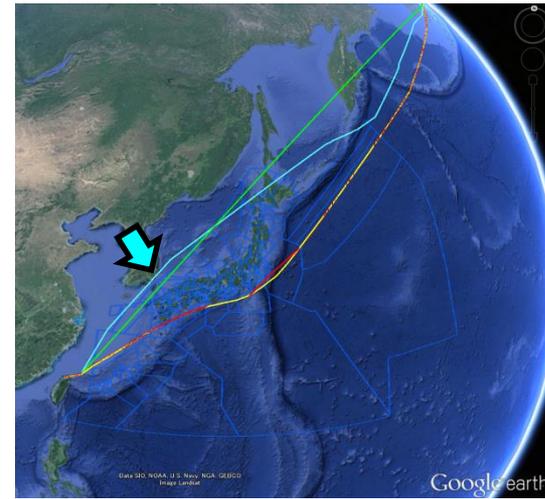
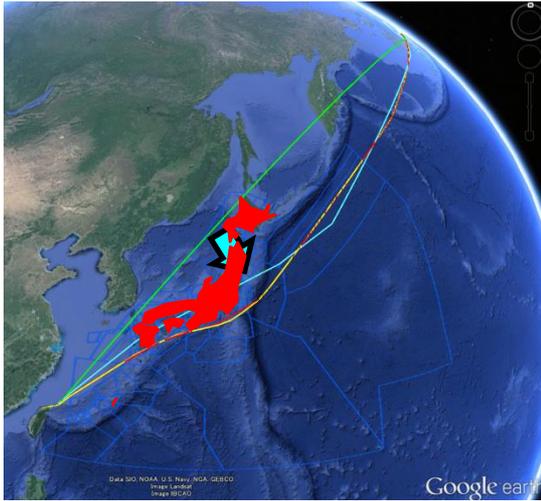
図 FPL飛行経路とRD、GC及びWO飛行経路との各パフォーマンス値の比較

# 結果 大圏経路、風最適経路



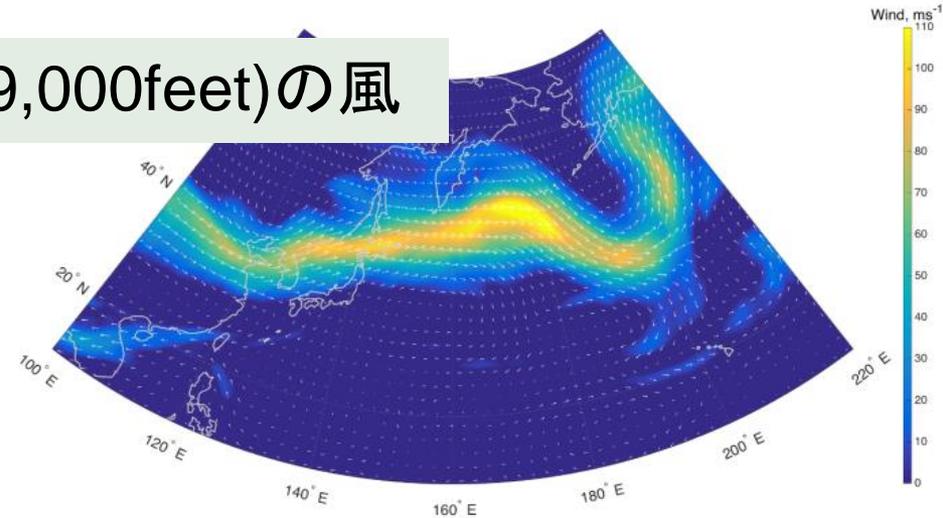
台北(台湾)からアンカレッジ(米国 アラスカ州)のフライト B744

# 結果 大圏経路、風最適経路



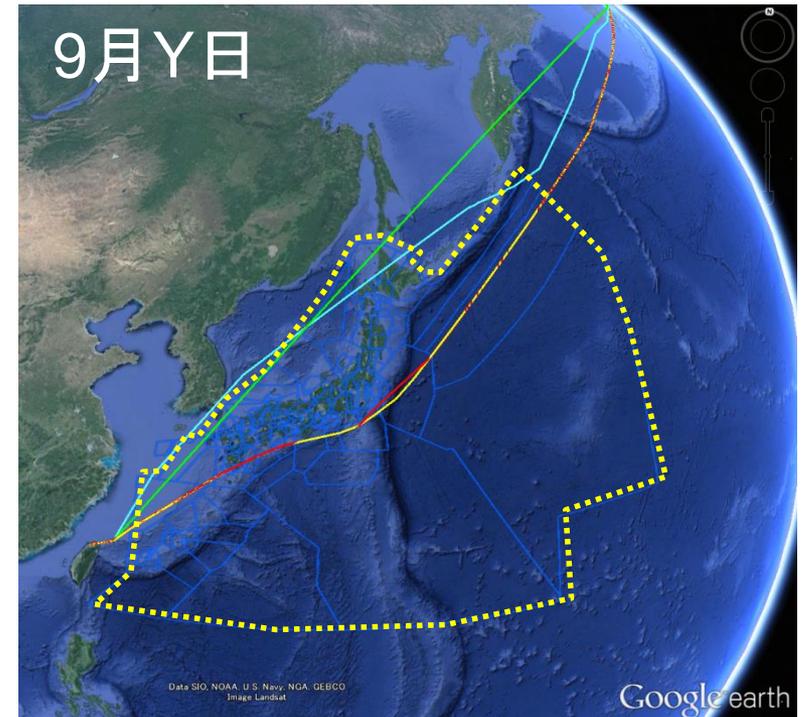
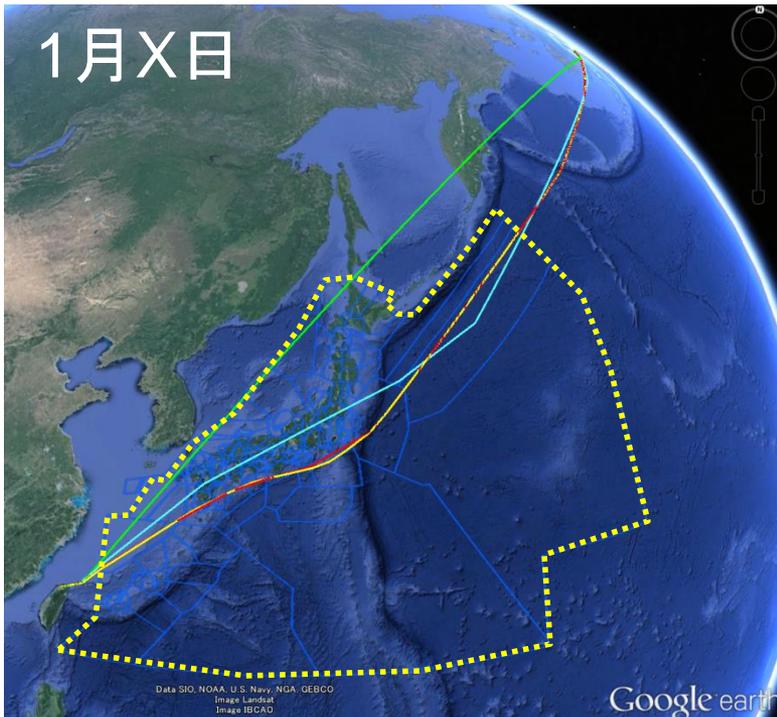
1月X日

200hPa(約39,000feet)の風



9月Y日

# 結果 大圏経路、風最適経路



- 飛行情報区の境界線ルール
- 軍用空域の回避
- 適用する監視・通信性能

以上のような空域の制約条件を反映した最適経路の作成が今後の課題

# TBOにおける飛行経路

- TBOにおける計画段階での飛行経路
  - 運航者の希望する経路を可能な限り反映する
- RNAV (Area Navigation) の発展に伴い、日本の上空は効率的な経路が形成されつつあるが、短縮可能な飛行経路がまだ残されている
  - レーダー航跡を参考にした経路設定
- フリーフライト
  - 高高度空域でのフリールーティング運用
  - 長距離フライトにおけるUPR (User Preferred Route) の有効性

## 今後の課題

- 空域の制約条件を考慮した経路の検討(二次元)
- 高度方向の検討(三次元)、通過時刻の検討(四次元)
- 軌道管理
- **DCB (Demand Capacity Balancing) 容量管理**

# 以下予備スライド

# woALTとALT

- woALT 風最適経路で算出された高度
  - WOの巡航高度に指定
- ALT 福岡FIRでの最大高度
  - FPL、RD、GCの巡航高度に指定

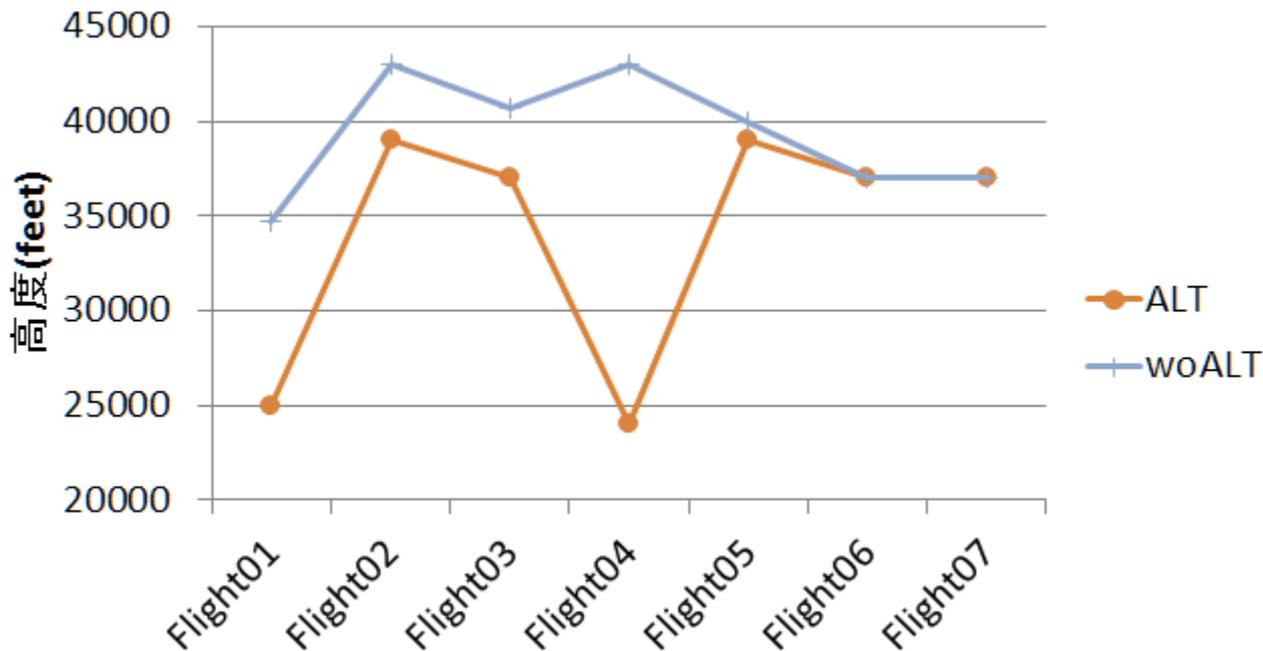


図 woALTとALTの差