

 第10回電子航法研究所研究発表会

トラジェクトリ予測の誤差要因解析

平成22年6月4日

航空交通管理領域

福田 豊、白川 昌之、瀬之口 敦

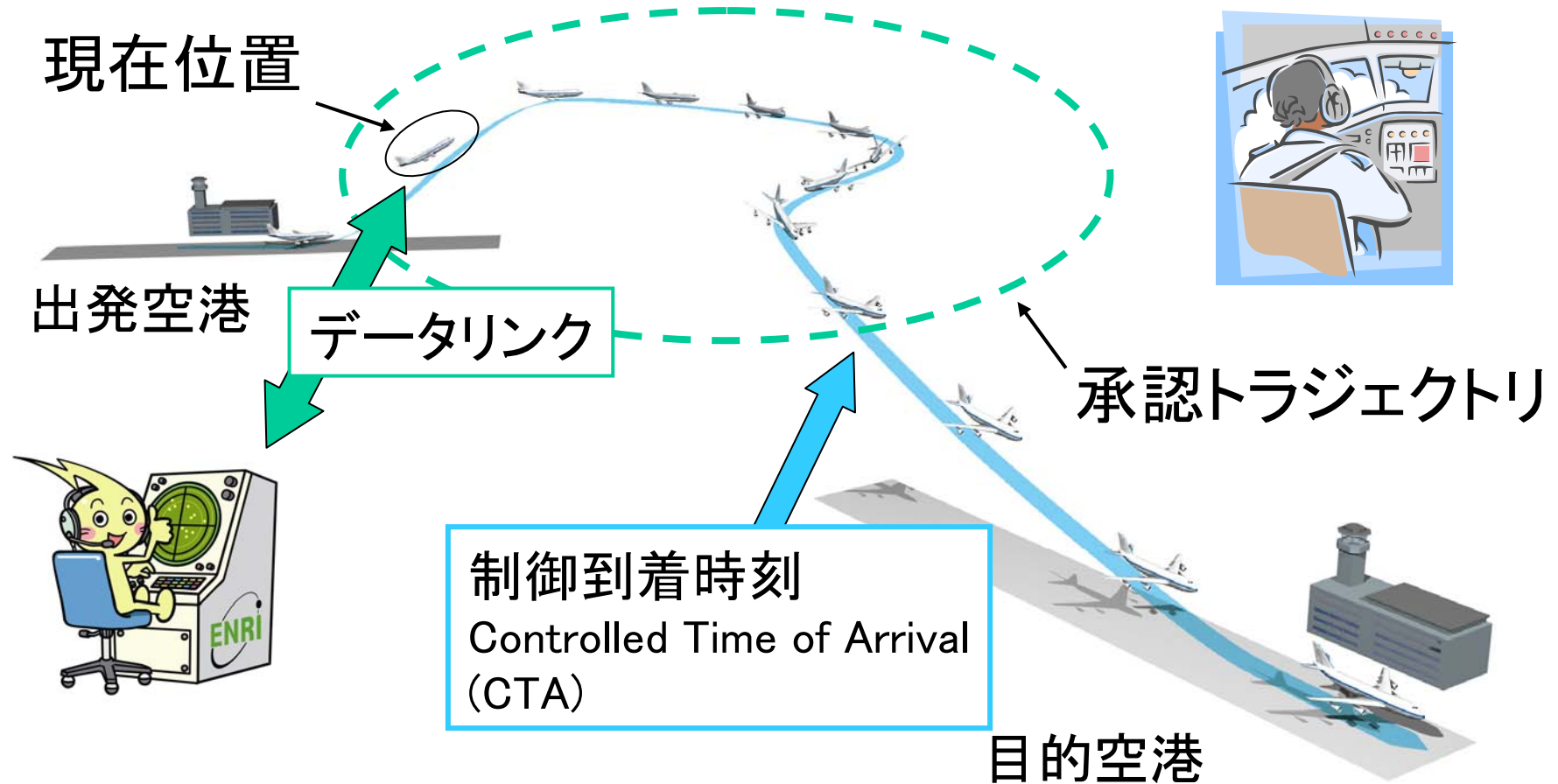


発表内容

- ◆ 背景
- ◆ トラジェクトリ(軌道)予測方法
- ◆ 予測値と実測値の比較
 - 風向、風速、気温、飛行速度(マック数など)
- ◆ 誤差要因解析
 - 気象予報誤差、速度モデル誤差
- ◆ まとめ



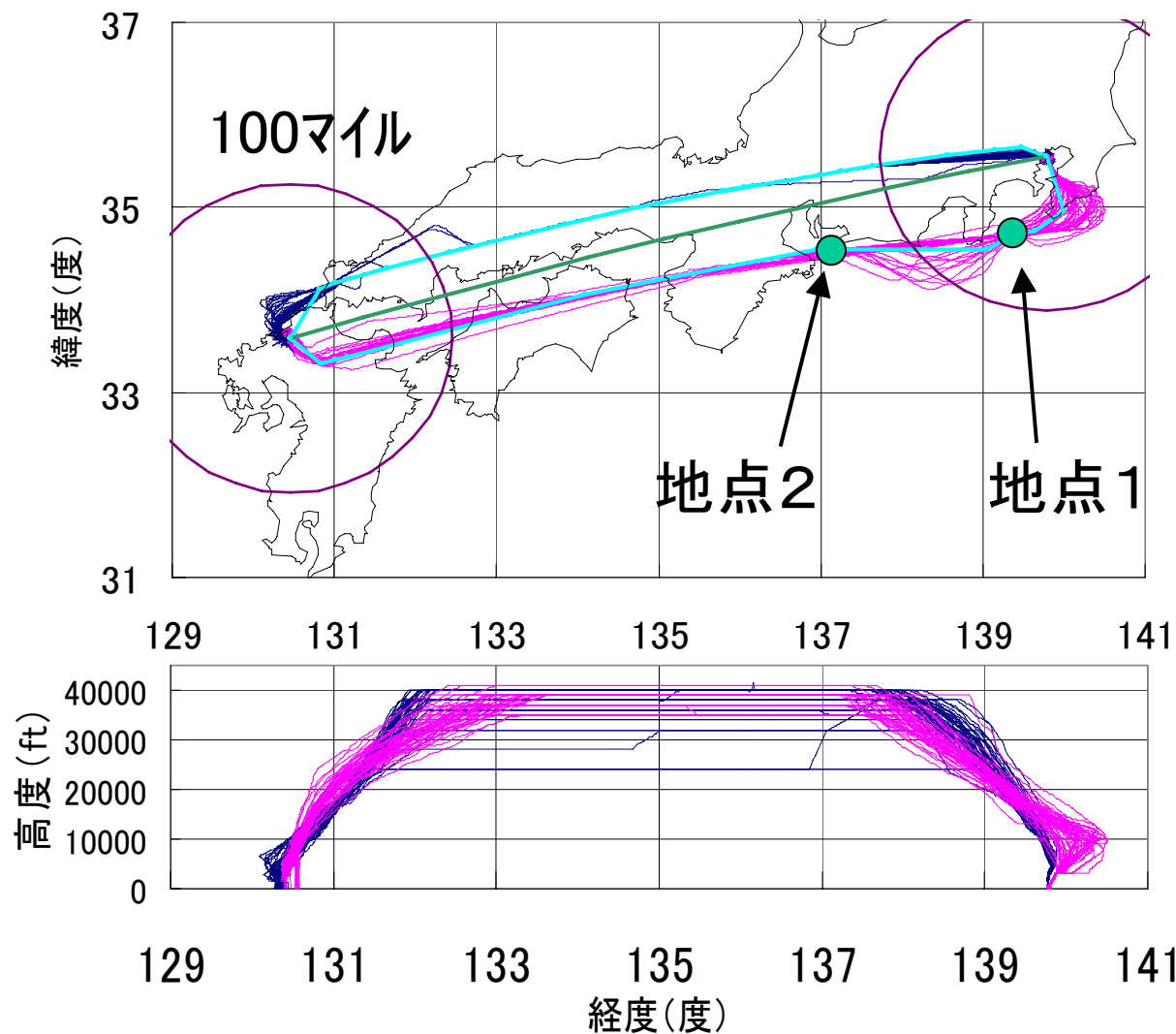
トラジェクトリ(軌道)運用



- ◆ トラジェクトリ(軌道): 航空機の空中と地上での運動(位置、時刻、速度など)の記述(ICAO Doc 9854)



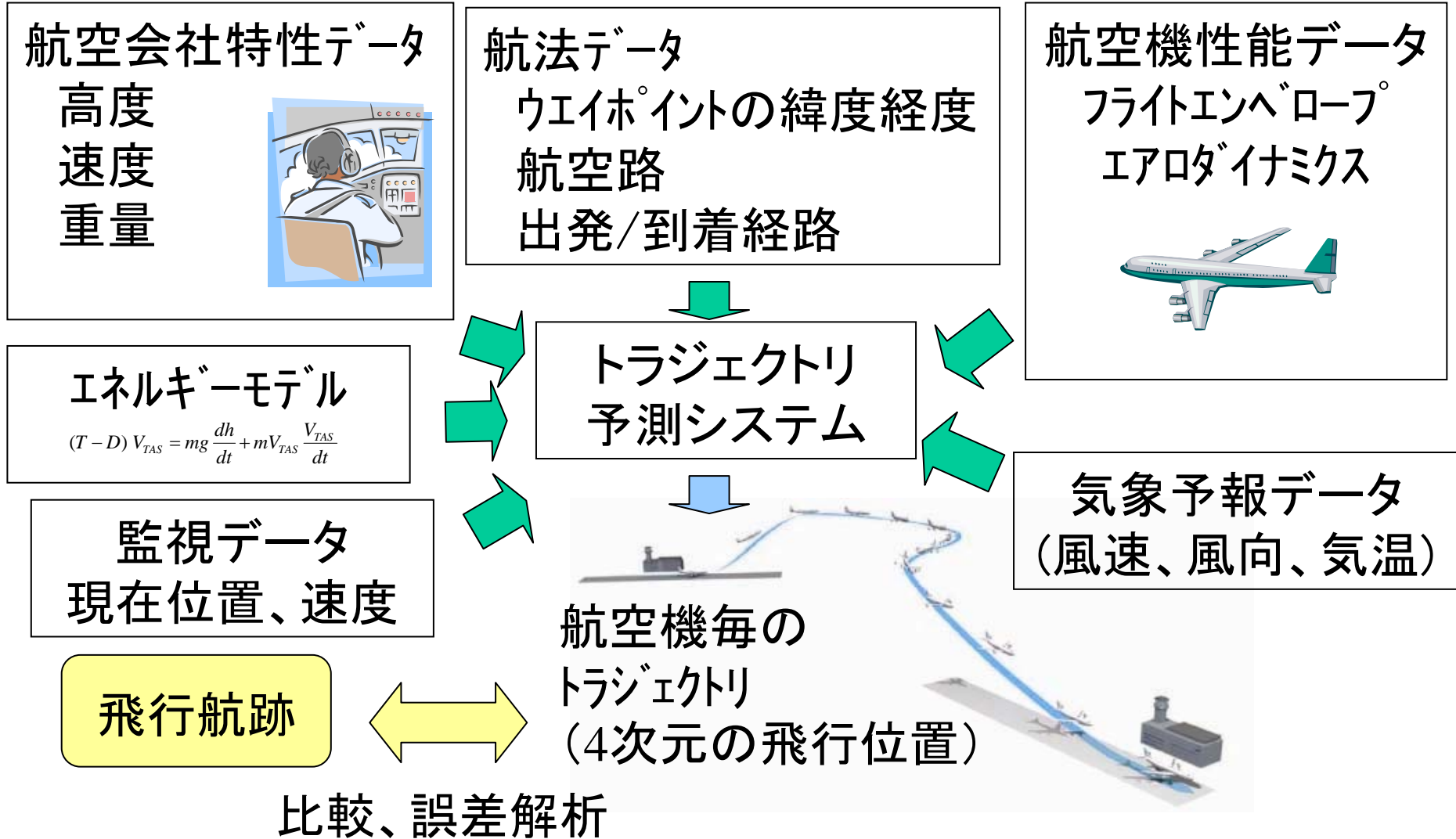
航跡例とトランジェクトリ運用



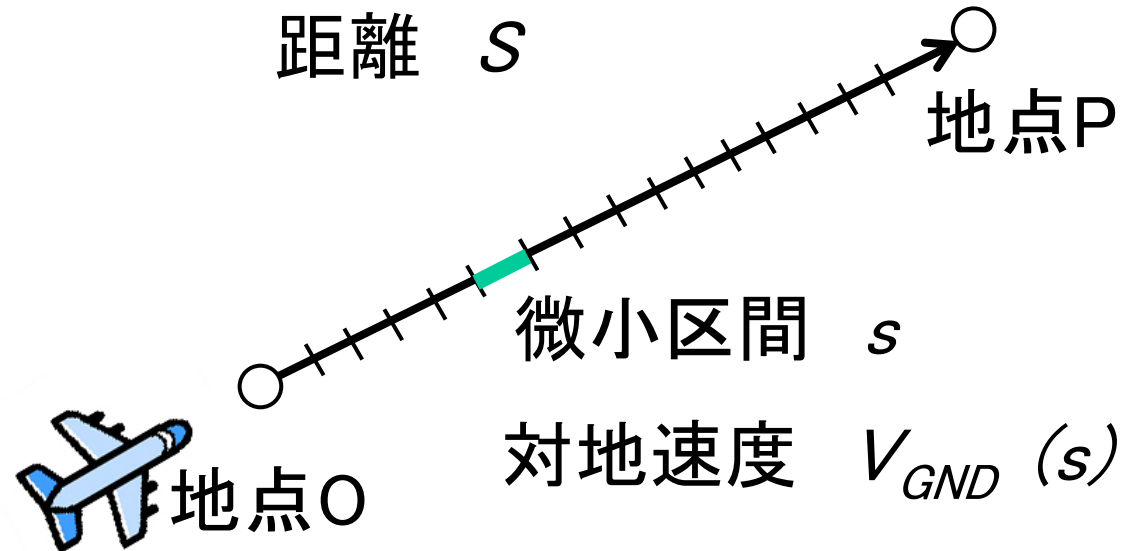
青: 羽田 → 福岡
赤: 福岡 → 羽田
水色: 飛行計画
経路



トラジェクトリ予測システムの概要



飛行時間の計算方法

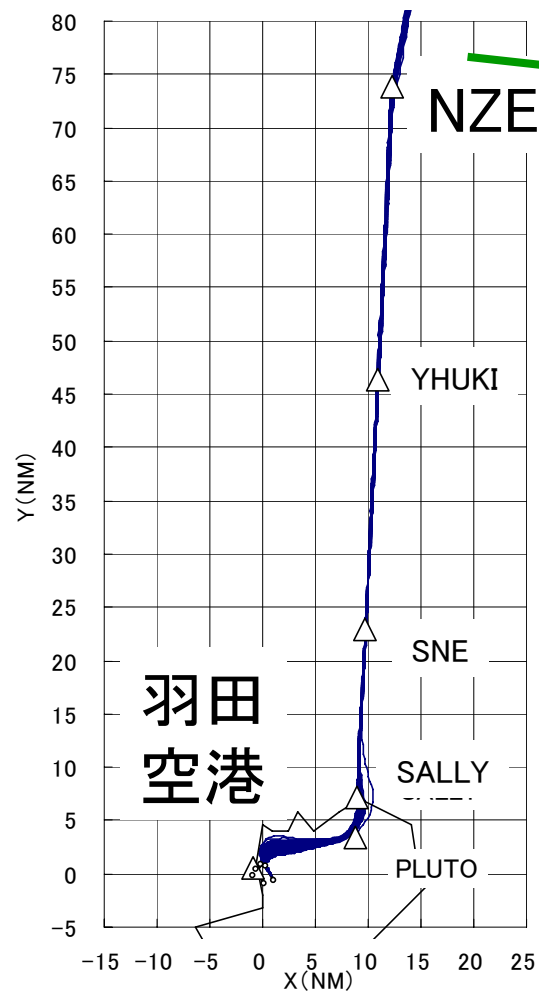


地点Oから地点Pまでの飛行時間
= 微小区間の距離 s を速度で
割って求めた飛行時間の累積

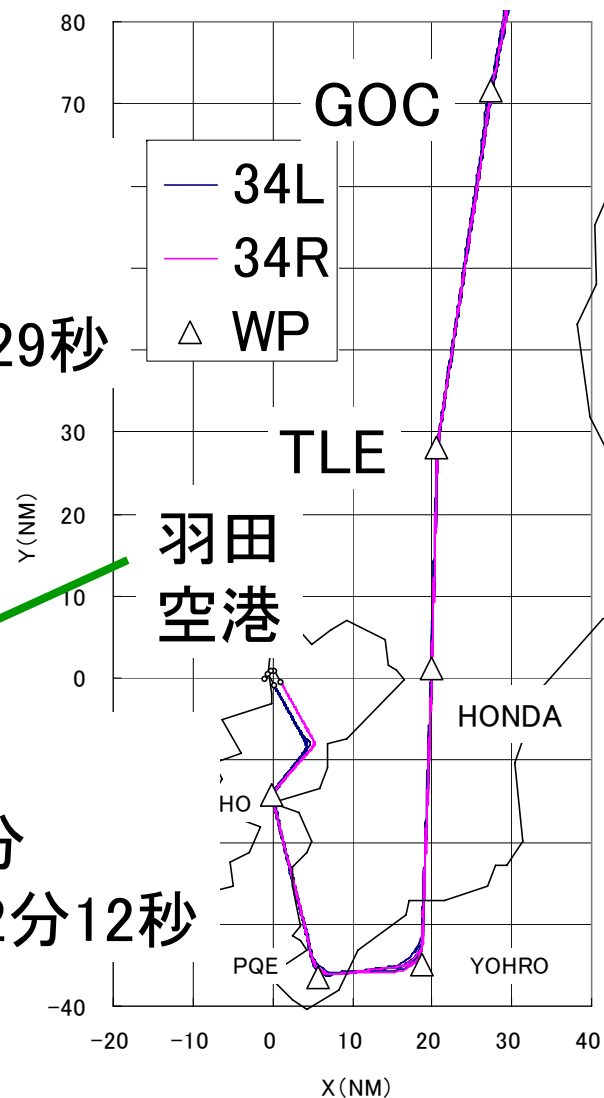
$$T_p = \int_0^s \frac{1}{V_{GND}(s)} ds$$



RNAV出発・到着経路の航跡



空港→NZE通過
平均値: 80NM, 13分
標準偏差: 0.63NM, 29秒

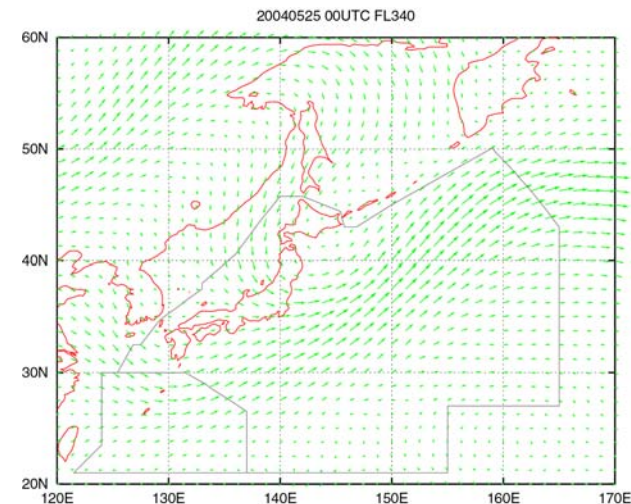
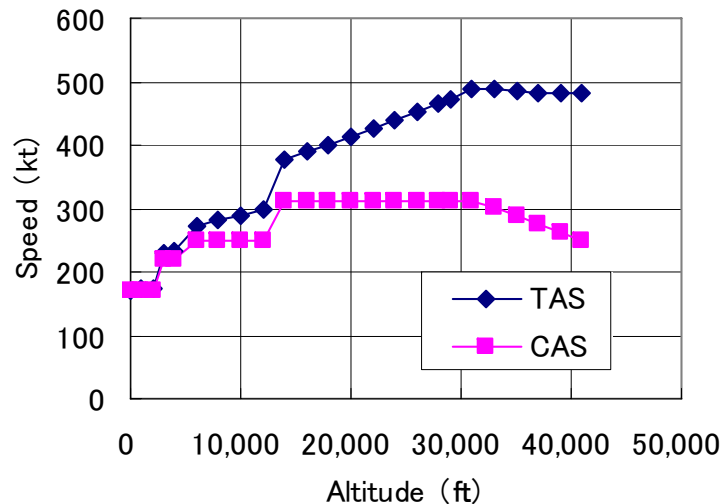
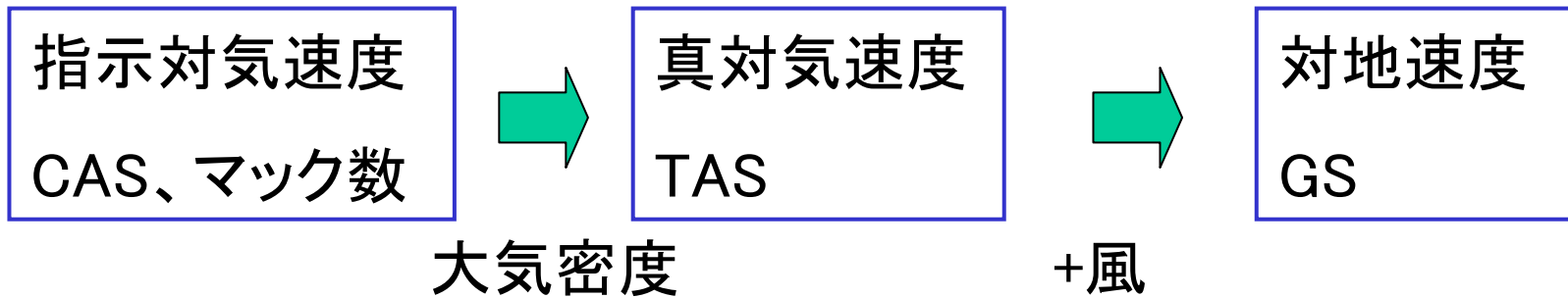


GOC通過→空港
平均値: 157NM, 33分
標準偏差: 0.55NM, 2分12秒



対地速度予測方法

- ◆ 航空機はCAS、マック数を一定で飛行
- ◆ CAS、マック数はBADAデータを利用(型式毎)



BADA: Base of Aircraft Data (EUROCONTORL)



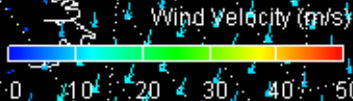
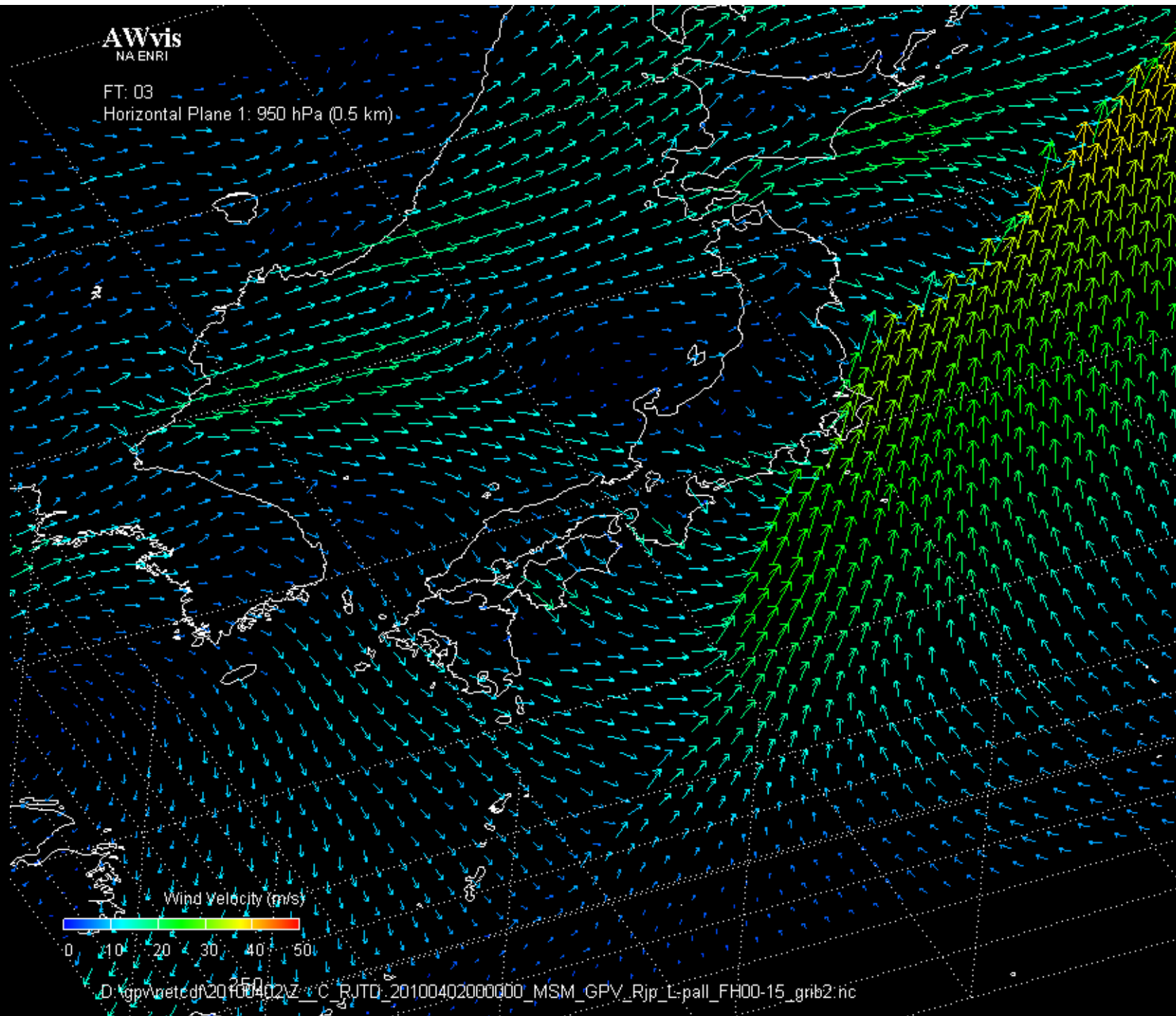
気象予報データ

◆ 気象庁 数値予報 GSM、MSM

名称	GSM グローバルスケール	MSM (GPV) メソスケール
範囲	全球	日本周辺域 北緯22.4 - 47.6度 東経120 - 150度
更新間隔	6 時間	3 時間
水平間隔	緯度 0.5 度 経度 0.5 度	緯度 0.1 度 経度 0.125 度
高度間隔	12層 1,000hPa (364 ft), 925hPa(2,500 ft), 850hPa(4,781 ft), 700hPa(9,882 ft), 600hPa(13,801ft), 500hPa(18,289 ft), 400hPa(23,574 ft), 300hPa(30,065 ft), 250hPa(33,999 ft), 200hPa(38,662 ft), 150hPa(44,647 ft), 100hPa(53,083 ft)	16層 ← 975hPa(1,061 ft), 950hPa(1,773 ft), 900hPa(3,243 ft), 800hPa(6,394 ft)

AWvis
NA ENRI

FT: 03
Horizontal Plane 1: 950 hPa (0.5 km)



D:\gpp\netcdf\20100402\Z_C_RJT0_20100402000000_MSM_GPV_Rjp_L-pall_FH00-15_grib2.nc



トラジェクトリ予測の評価

性能要件^[1]

- ◆ 予測精度 (accuracy)
 - 30秒 (エンルート)、10秒 (ターミナル)^[2]
- ◆ 信頼性 (reliability)
 - 完全性 (integrity)
 - 予測精度要件に適合しなくなった場合、警報を提供する能力 (風モニタ、速度モニタなど)
 - 可用性 (availability)
 - 予測精度が実現されている確率

[1] Warren: Trajectory Prediction Concepts for Next Generation ATM, 2000

[2] Initial 4D - 4D Trajectory Data Link (4DTRAD) Concept of Operations, EUROCONTORL, 2008

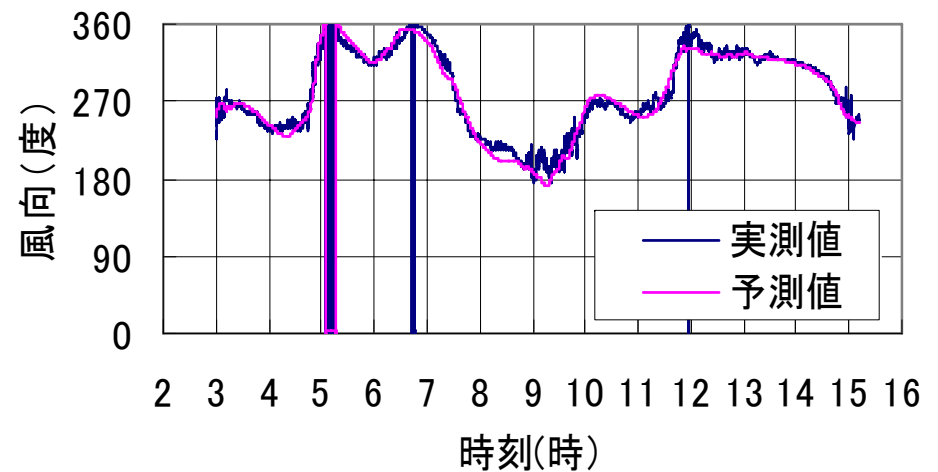
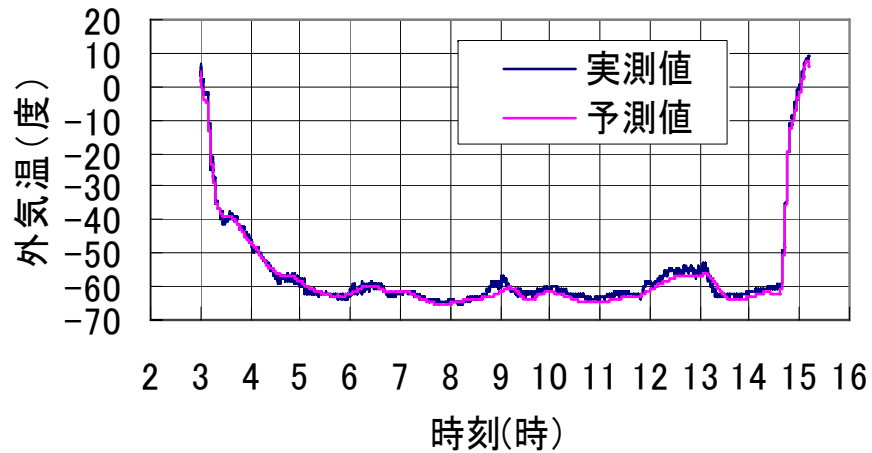
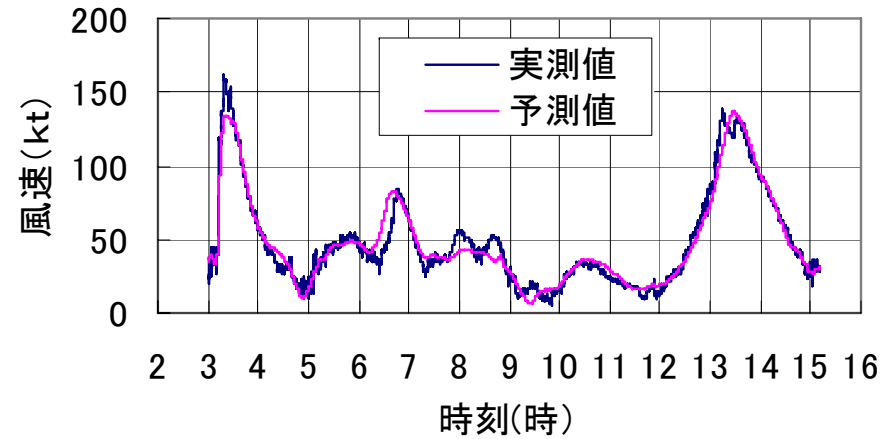
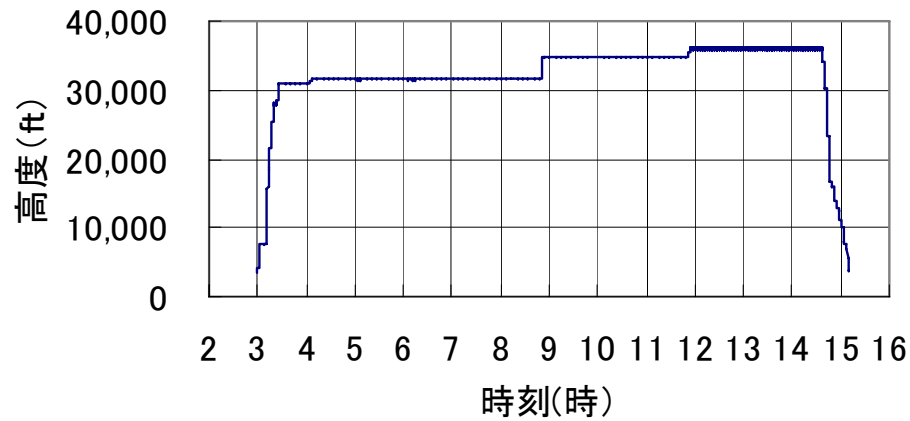


予測値と実測値の比較方法

気象予報	数値予報データを空間と時間で補間し、航空機で測定したデータと比較
航空機の速度	BADAの速度モデルから速度を算出し、航空機で測定したデータと比較
時間予測	区間毎の対地速度の予測値と実測値から、それぞれの飛行時間を算出し、時間差を累積

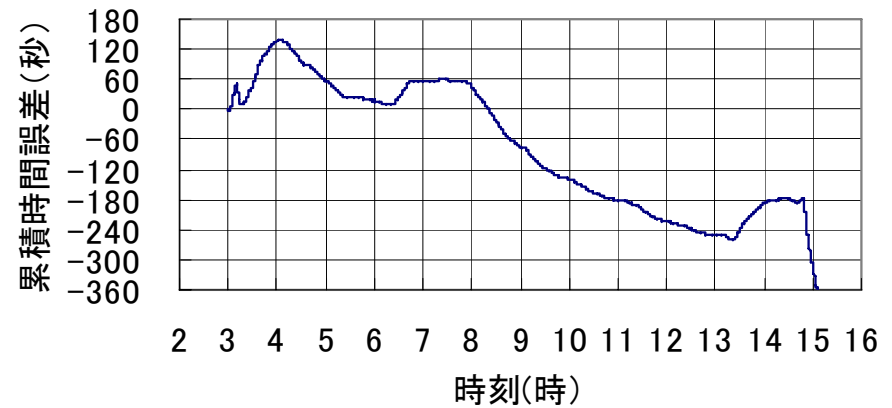
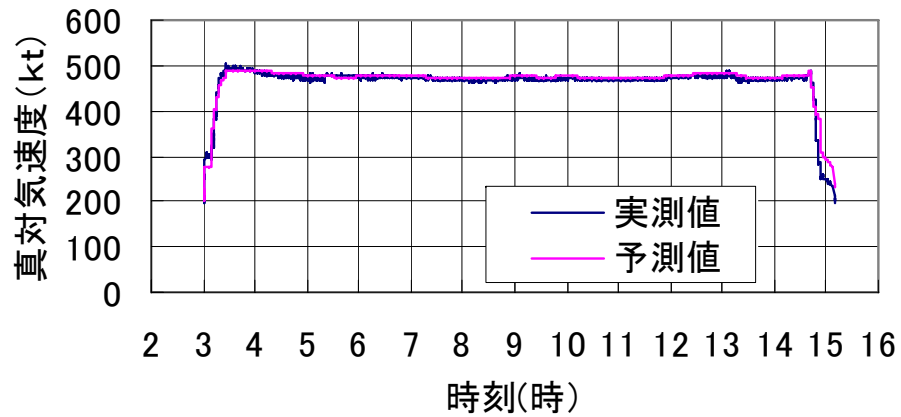
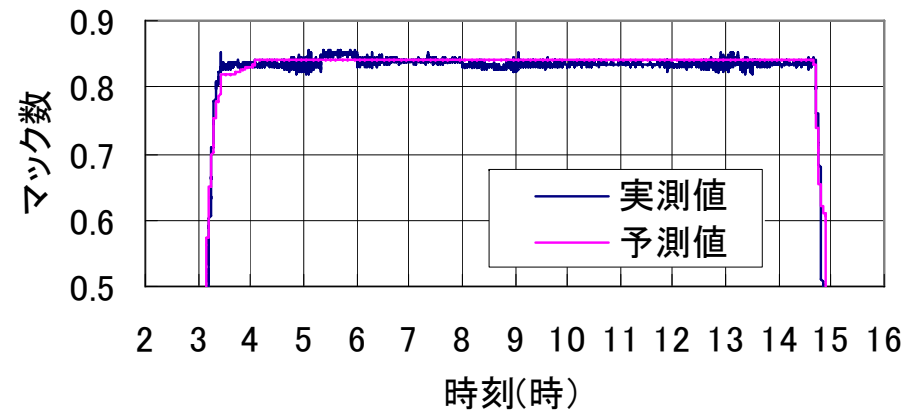
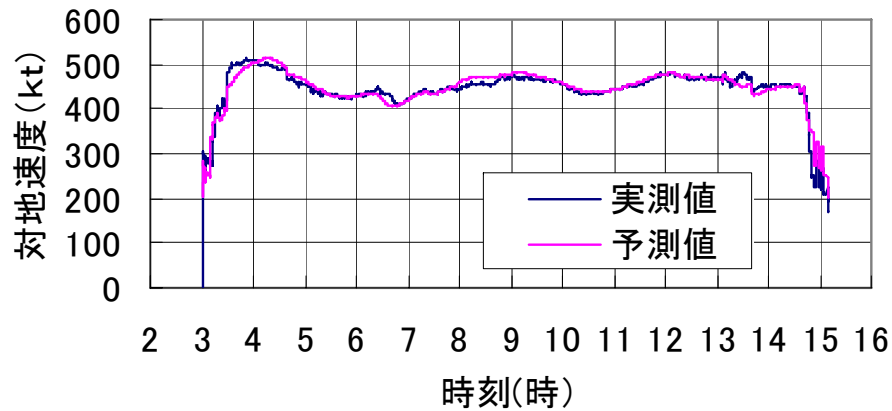


予測値と実測値の比較(気象)





予測値と実測値の比較(速度)





対地速度の誤差要因

$$\begin{aligned} dV_{GND} &= \frac{\partial V_{GND}}{\partial W} dW + \frac{\partial V_{GND}}{\partial \phi_W} d\phi_W \\ &+ \frac{\partial V_{GND}}{\partial V_{TAS}} dV_{TAS} + \frac{\partial V_{GND}}{\partial \phi_T} d\phi_T \end{aligned}$$

対地速度 風速 風向

↑ ↑ ↑

真対気速度 トラック角

(マック数、CASと外気温)

- ◆ 偏微分係数：各要素の誤差の寄与分
- ◆ 要素の全微分：各要素の誤差の大きさ



誤差要因の算出例

	平均値 (kt)	標準偏差 (kt)
風速	0.32	5.21
風向	-0.05	4.89
外気温	-0.60	1.28
真対気速度	-4.38	10.12
全体	1.51	14.25



対地速度の予測誤差が大きな例

- ◆ 約100機の実測値を解析した結果、大きな対地速度の予測誤差が発生したのは、
 - ①マック数もしくはは指示対気速度のモデル値が実測値と異なる場合
 - ②気象予報の高層風のデータが実測値と大きく異なる場合
- ◆ ①の要因が多い。

- ◆ 航空機のトラジェクトリ(軌道)予測に関する誤差要因を解析した。
- ◆ 対地速度について、気象予報誤差と速度モデル誤差に区分し、予測値と実測値を比較した。
- ◆ 気象予報に起因する誤差より、航空機の速度モデルに起因する誤差が大きい。