



第13回電子航法研究所研究発表会

15. トラジェクトリ予測モデル の開発と評価

平成25年6月7日

航空交通管理領域

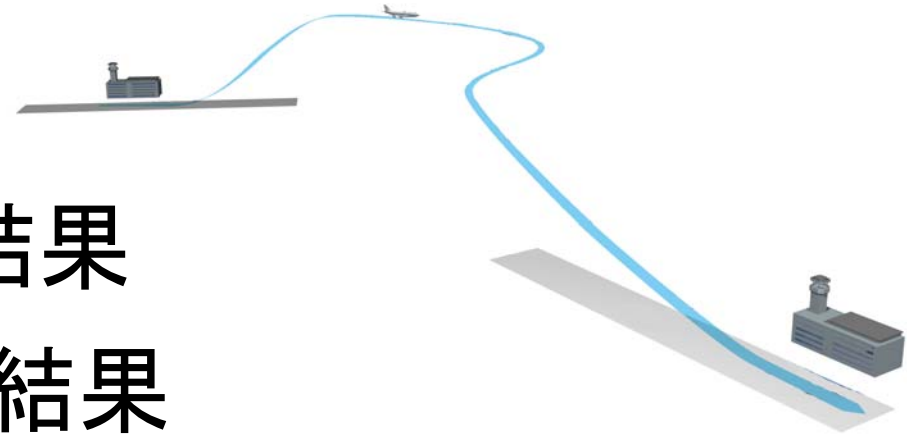
福田 豊、白川 昌之、瀬之口 敦

平林 博子、マーク ブラウン



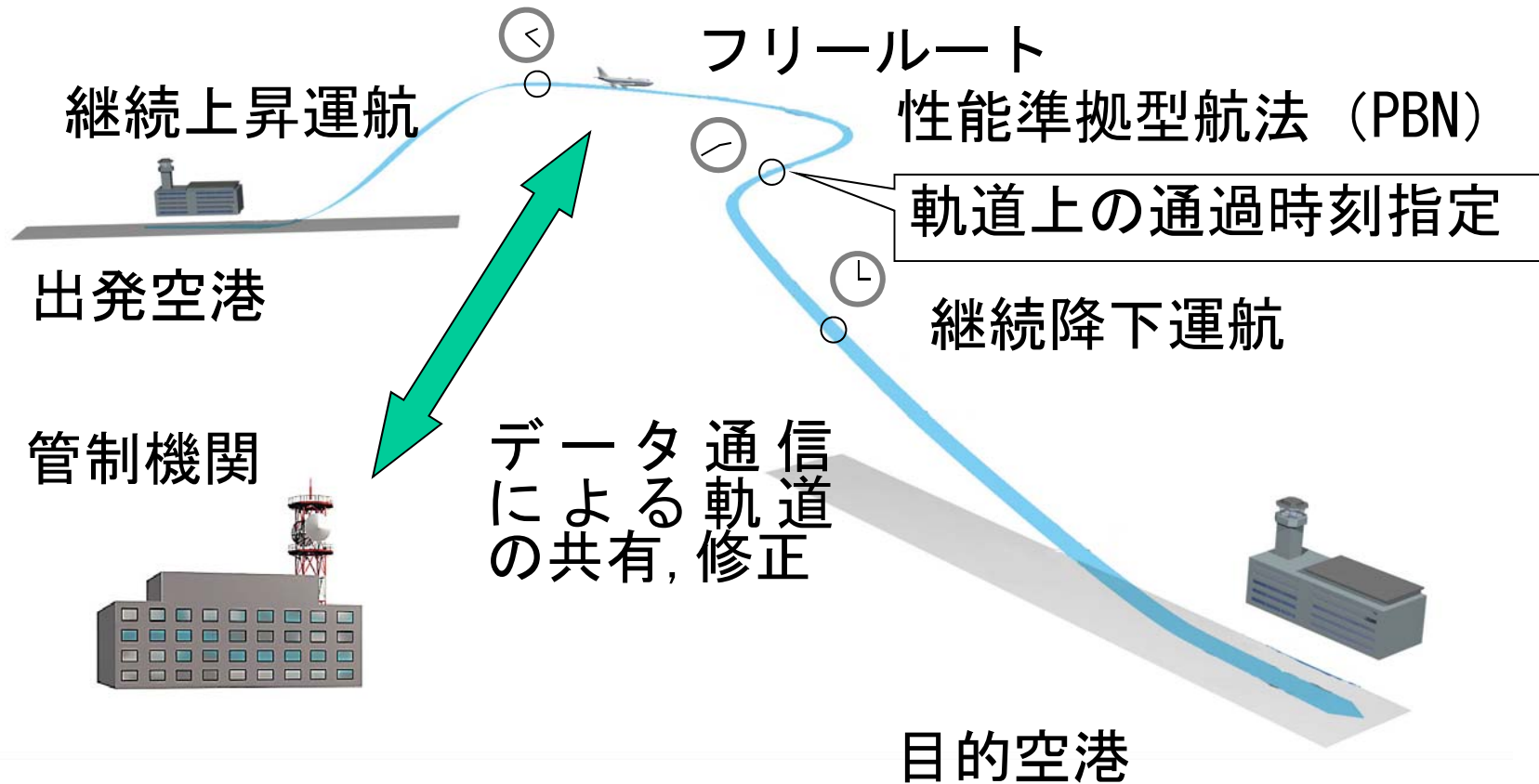
発表内容

- ◆軌道ベース運用
- ◆軌道予測モデル
- ◆これまでの解析結果
- ◆飛行時間の評価結果
- ◆まとめ





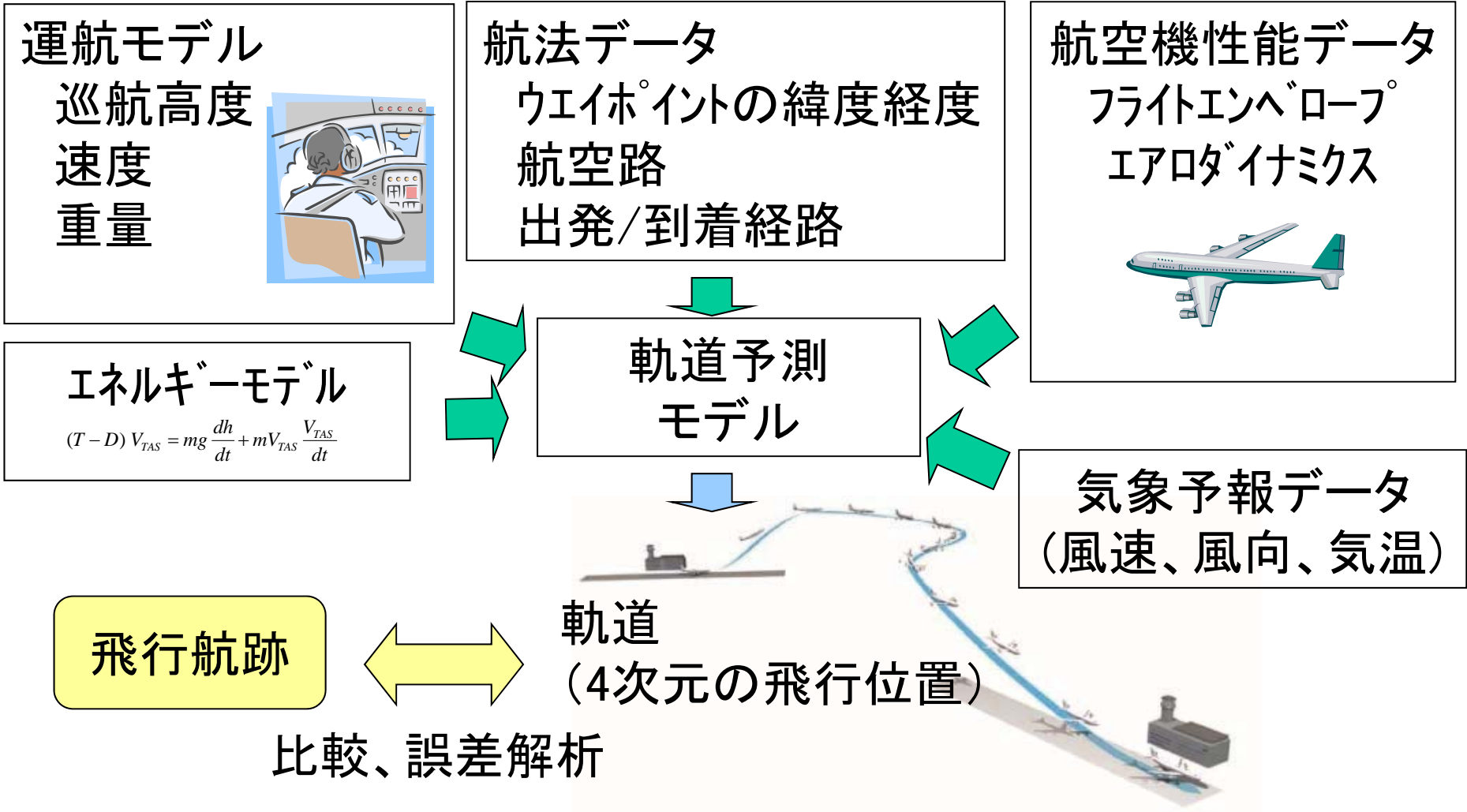
軌道ベース運用 (TBO)



- ◆ 運航者の希望する自由度の高い飛行軌道 (位置 + 時間)
- ◆ 運航前の協調的な軌道調整



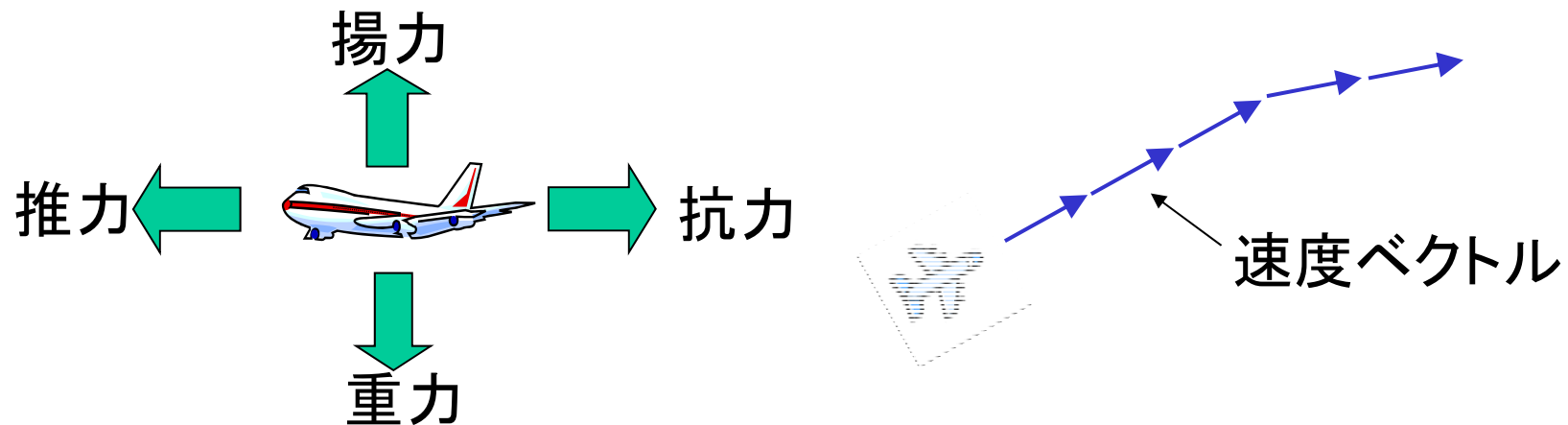
軌道予測モデルの概要





航空機の運動モデル

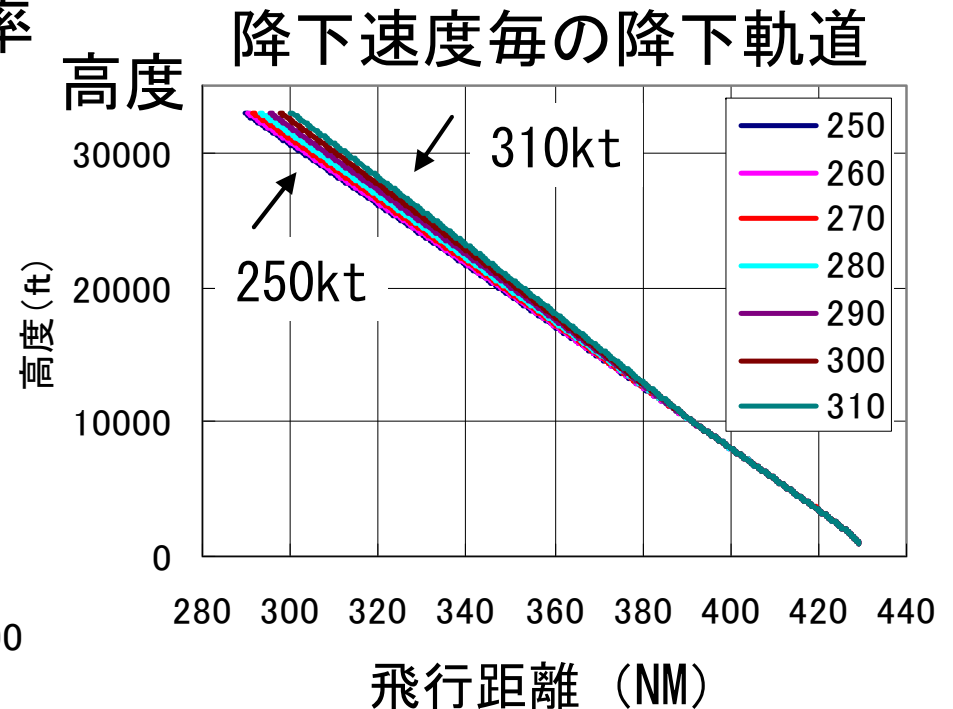
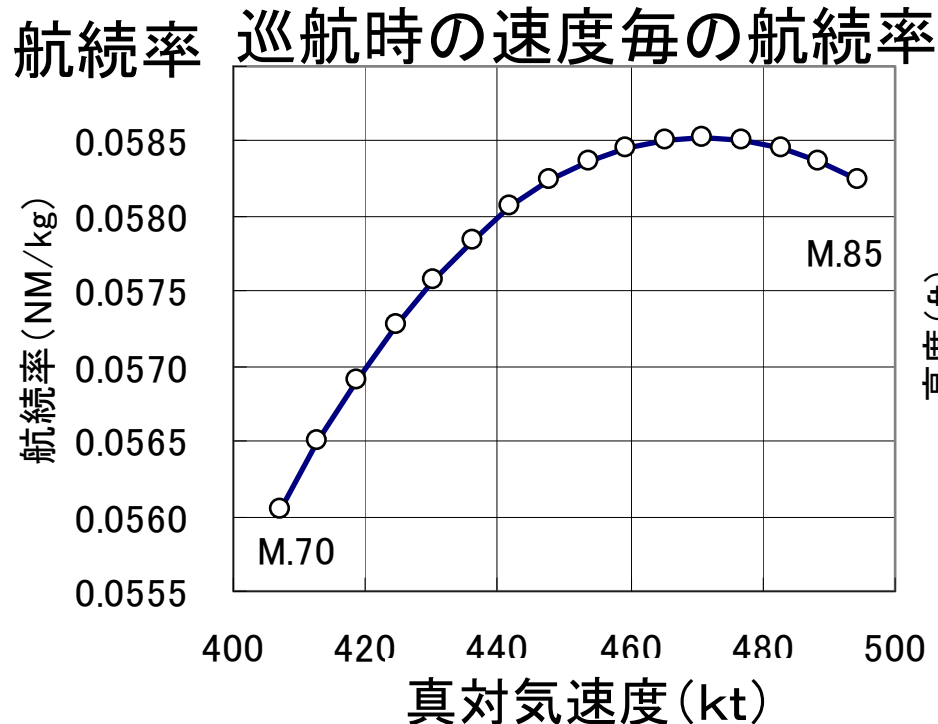
- ◆ 速度モデル (kinematic model) (従来)
 - 速度と高度変化率から将来位置を予測
- ◆ エネルギーモデル (kinetic model) (本研究)
 - 機体重量、推力などのエネルギー保存則から、速度と高度変化率を算出し、将来位置を予測
 - 将来、空地データ通信、SWIMなどにより、航空機の情報を活用





エネルギーモデルの利点

- ◆ 航空機の重量などの情報を反映
- ◆ 巡航速度に対応した燃料消費量を算出
- ◆ 降下速度に対応した降下開始点の位置を算出



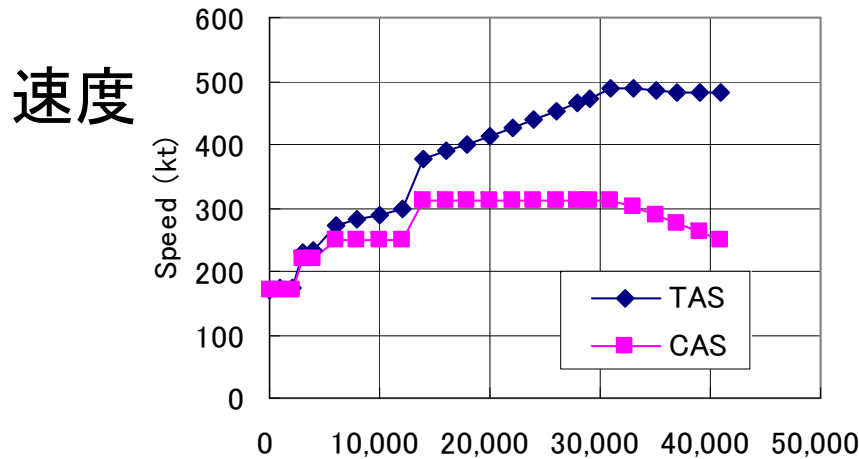


軌道予測方法

- ◆ 航空機はCAS、マッハ数を一定で飛行
- ◆ CAS、マッハ数は当初はBADAデータを利用(型式毎)

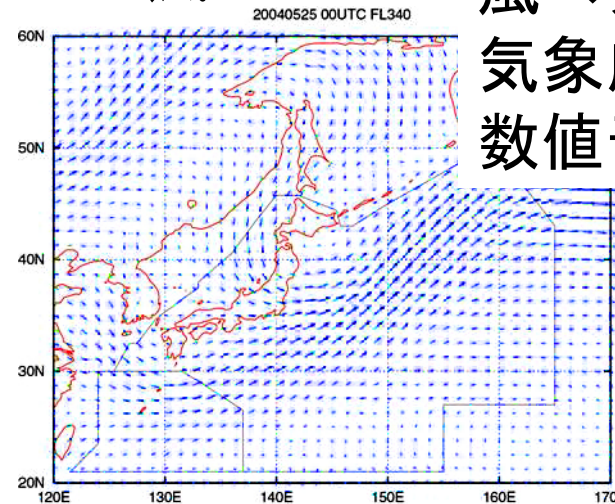


空気密度・圧縮性の修正



CAS: Calibrated Air Speed / 高度
 TAS: True Air Speed
 GS: Ground Speed

+風



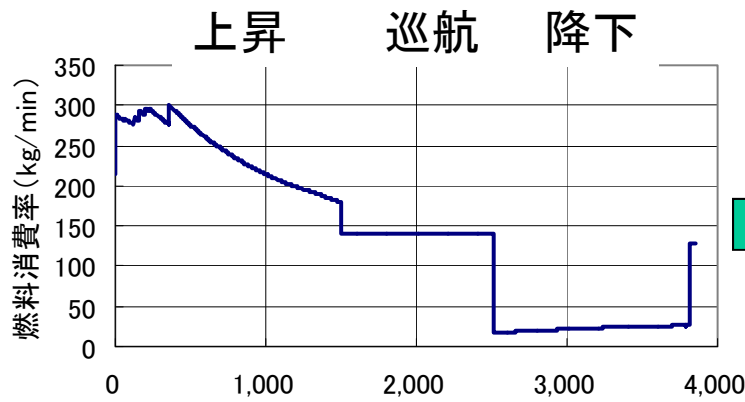
風ベクトル
 気象庁
 数値予報

BADA: Base of Aircraft Data (EUROCONTORL)



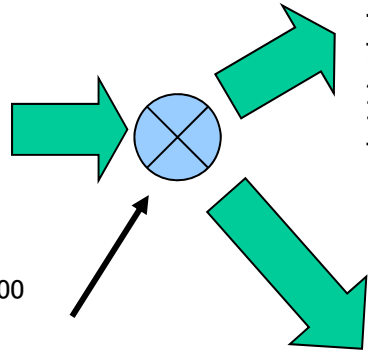
エネルギーの分配

燃料流量 (≡ 推力の仕事量)

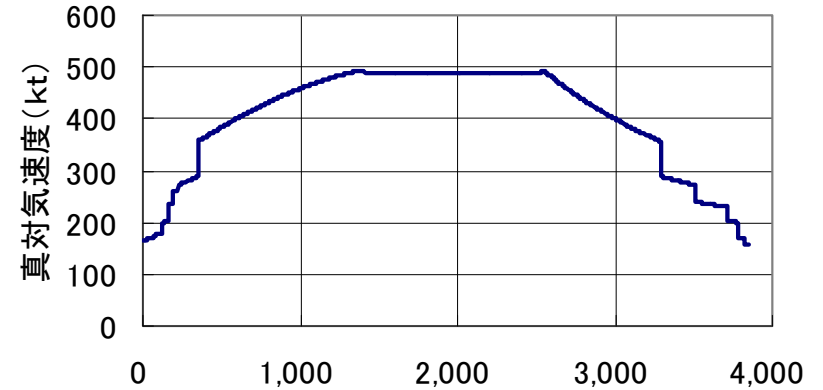


飛行時間 (秒)

分配因子

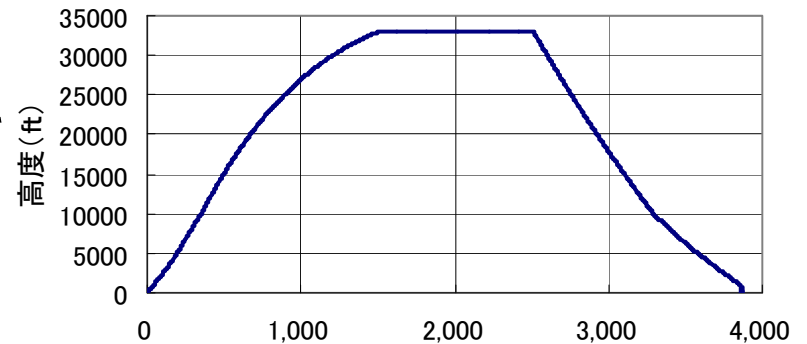


速度 (運動エネルギー)



飛行時間 (秒)

高度 (位置エネルギー)



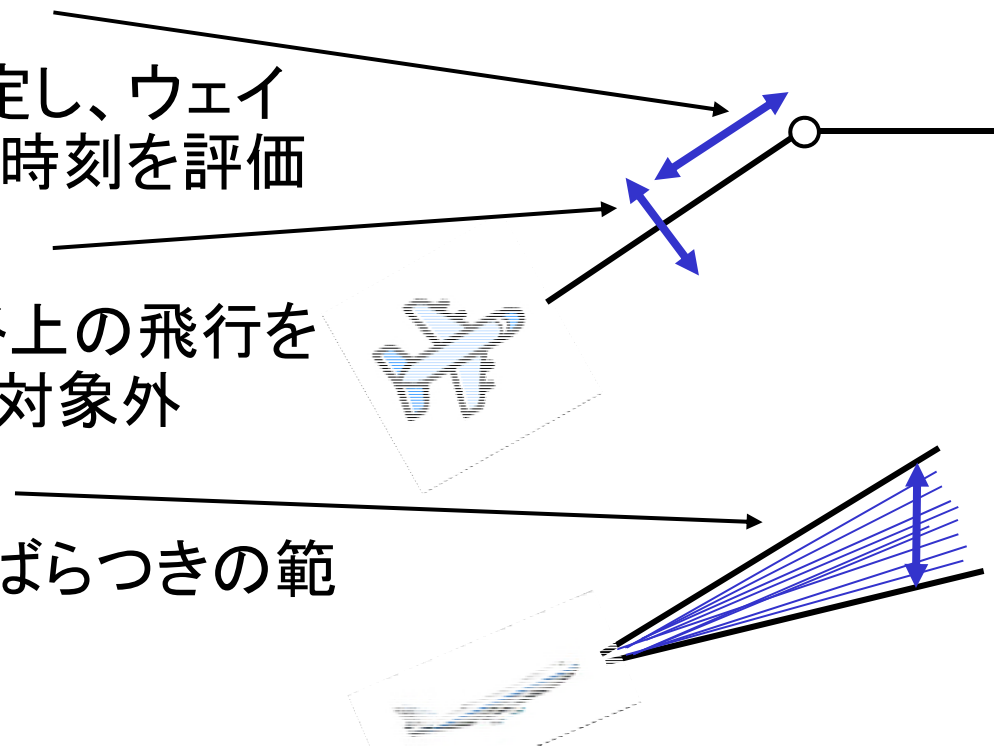
飛行時間 (秒)

上昇区間では、
 較正対気速度一定、マッハ数一定として
 算出した真対気速度の増加分の
 残りを高度上昇に振り分ける。



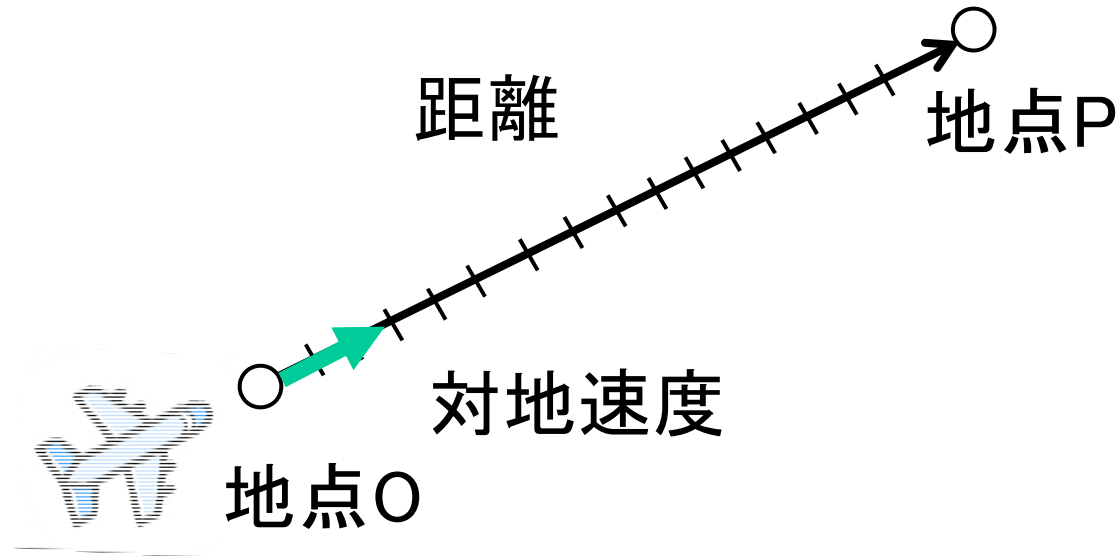
軌道予測評価方法

- ◆ 出発前の全飛行区間の予測軌道
- ◆ 実運航の航跡と比較
- ◆ 評価指標
 - 経路縦方向誤差
 - 時間管理を想定し、ウェイポイントの通過時刻を評価
 - 経路横方向誤差
 - PBNにより経路上の飛行を前提とし、評価対象外
 - 高度誤差
 - 高度変化率のばらつき範囲を評価





通過時刻の誤差要因



飛行距離 = 対地速度の積算

対地速度誤差 = 飛行速度誤差 + 気象予報誤差

予測設定速度と実績速度の差

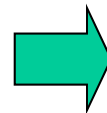
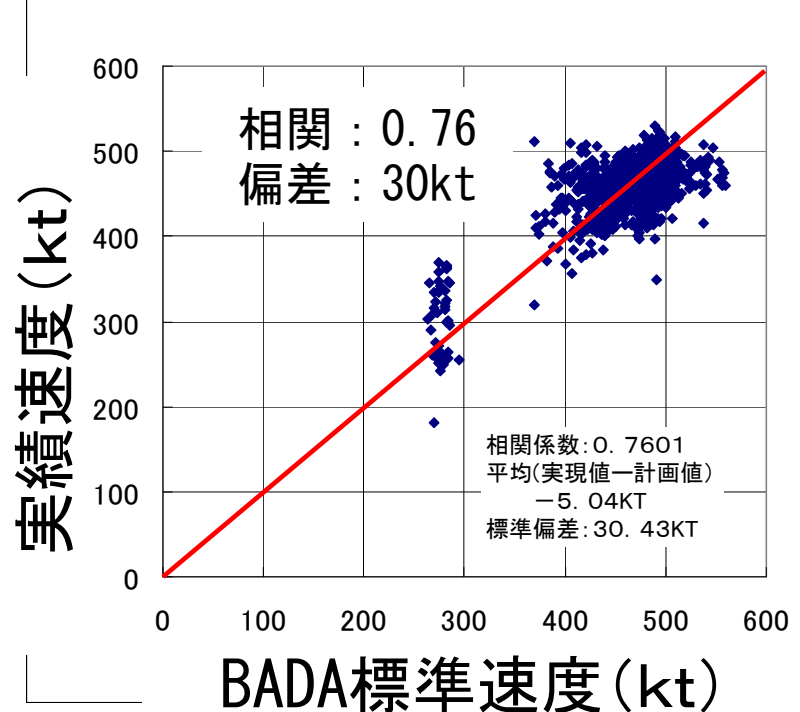
予報と現況の差



巡航区間の速度の解析

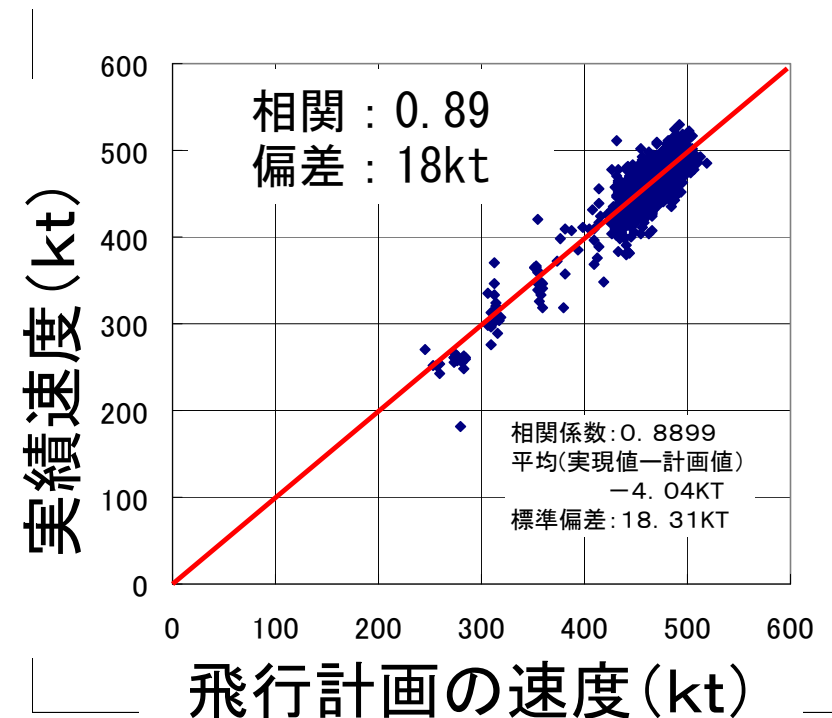
- ◆ BADA標準速度、飛行計画速度、実績速度の比較
- ◆ 飛行計画の速度情報の利用による予測精度向上

標準速度と実績値の相関



相関の向上

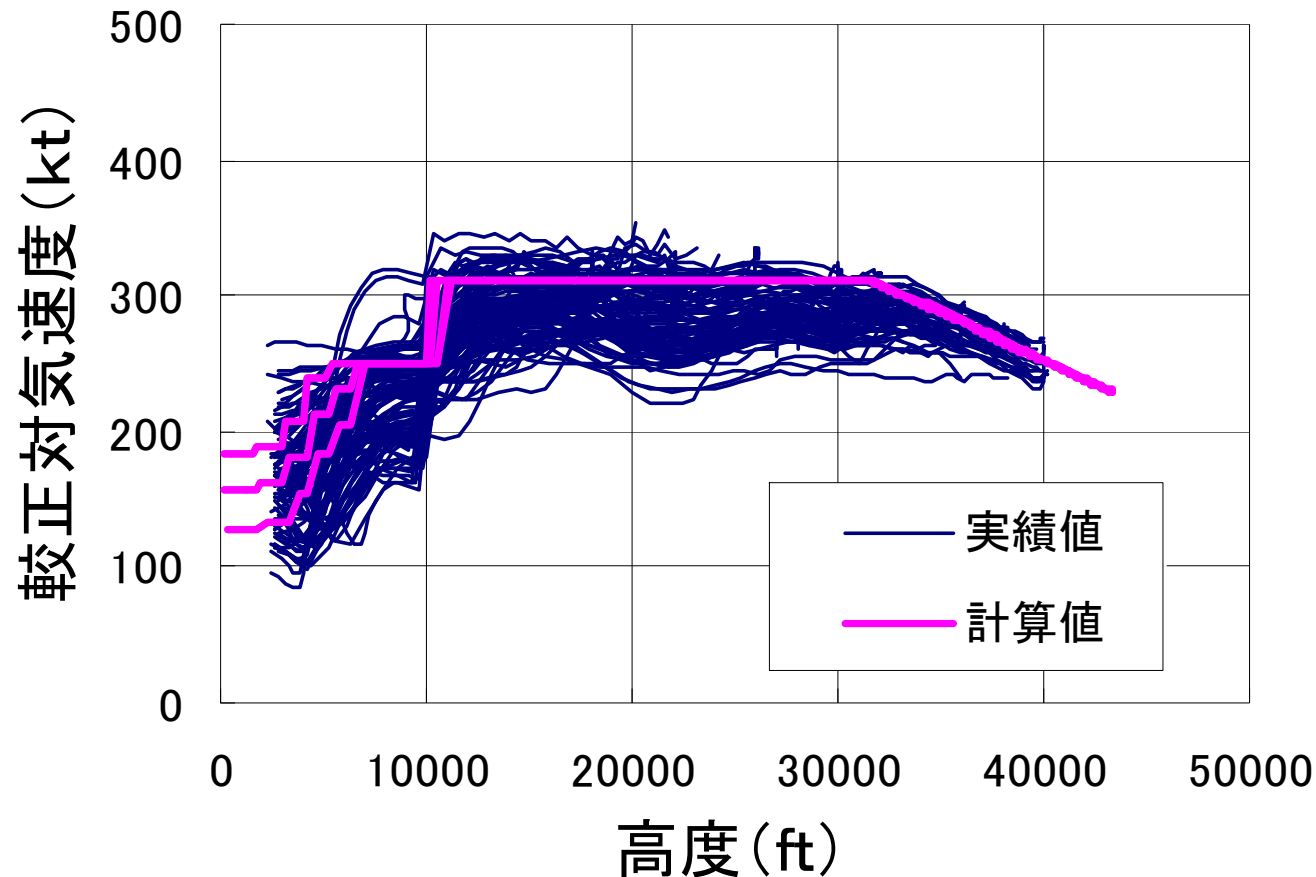
飛行計画速度と実績値の相関





上昇区間の速度の解析

- ◆ BADA標準速度と実績値の比較
- ◆ BADA標準速度より遅い速度設定による予測精度向上



実績値の算出

対地速度

↓ - 風

真対気速度

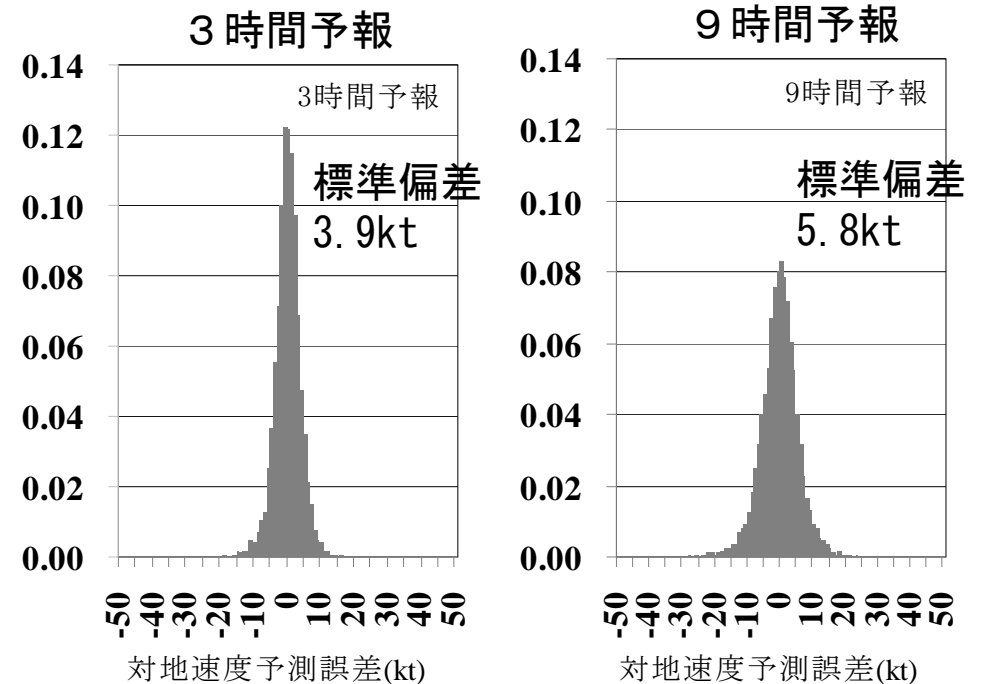
↓ - 密度

校正対気速度



気象予報の解析

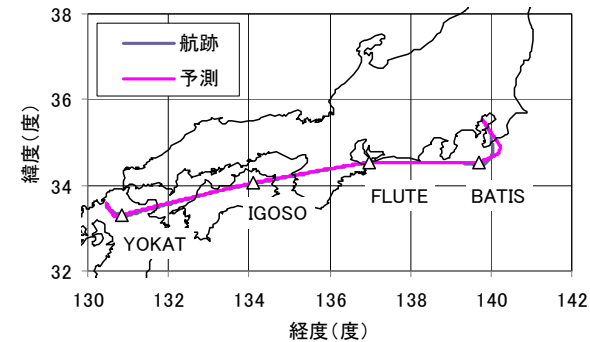
- ◆ MSMの3時間予報値、9時間予報値を解析値(0時間予報)を真値とした対地速度誤差(M.84等速飛行)を算出
- ◆ 短時間気象予報の利用による誤差の低減
- ◆ 3時間予報値
 - 平均-0.2kt、標準偏差3.9kt
 - 96%が±8kt以下
- ◆ 誤差が大きい気象現象
 - 台風
 - 積乱雲を伴う対流雲域
 - ジェット気流付近の乱気流





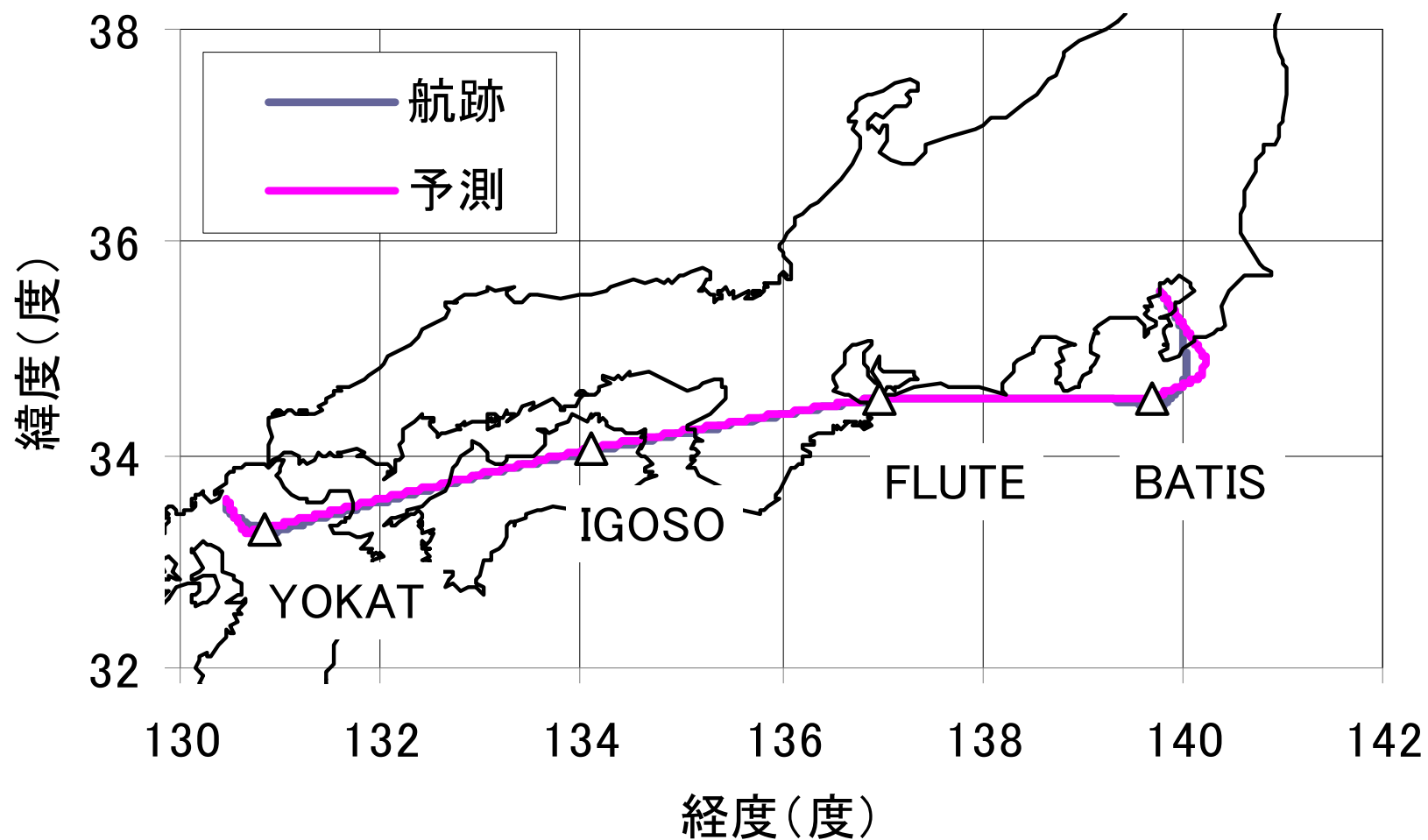
軌道予測の評価

- ◆ 福岡から羽田の8フライトの飛行時間を比較
- ◆ 上昇区間: YOKAT—IGOSO
- ◆ 巡航区間: IGOSO—FLUTE
- ◆ 降下区間: FLUTE—BATIS
- ◆ 機種: B747-400(①と⑤)、B777-200(残り)
- ◆ 日付: 2010年12月の連続2日間
- ◆ 速度設定: 上昇区間: BADA標準速度-20kt
巡航区間: 飛行計画の真対気速度



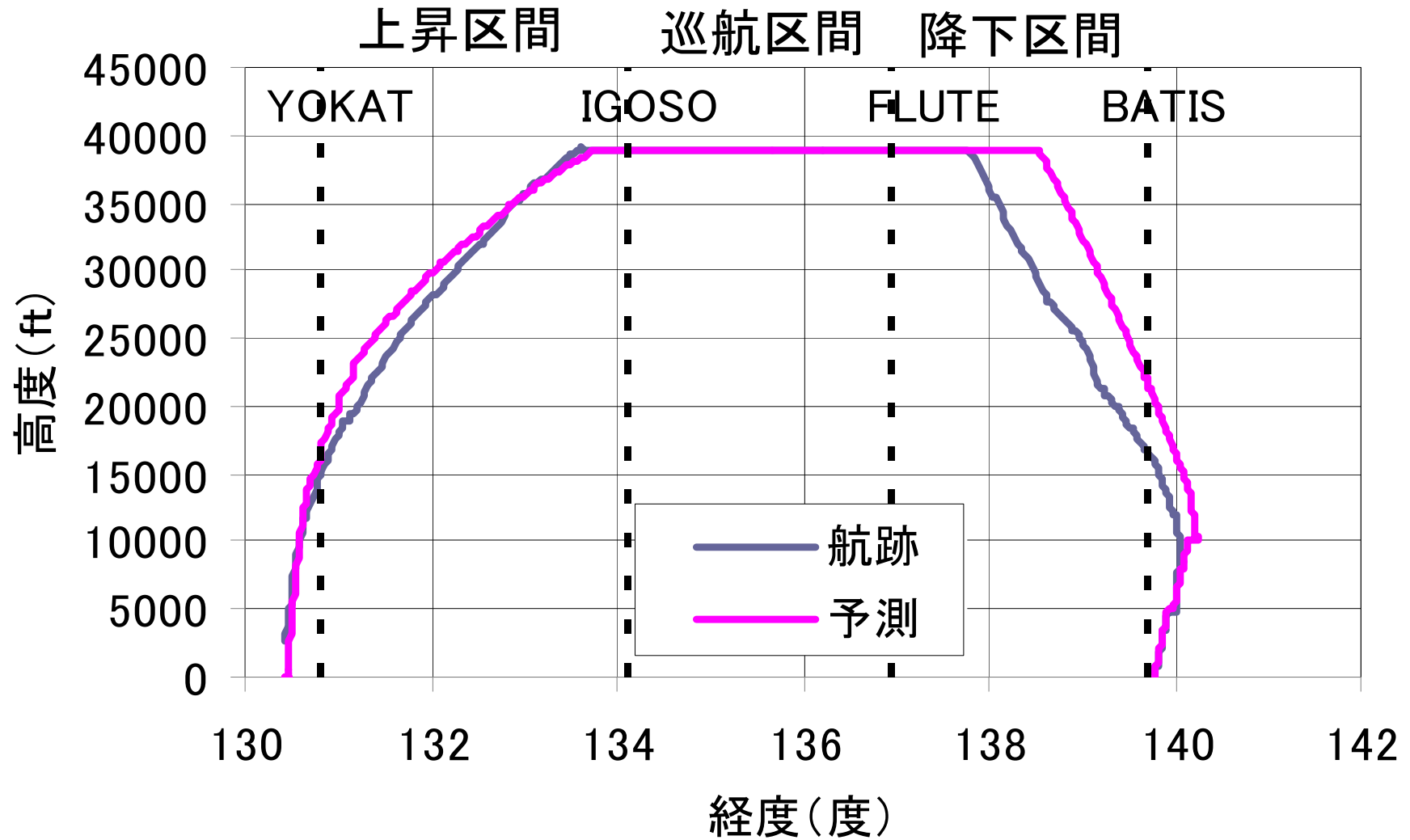


水平位置の比較例



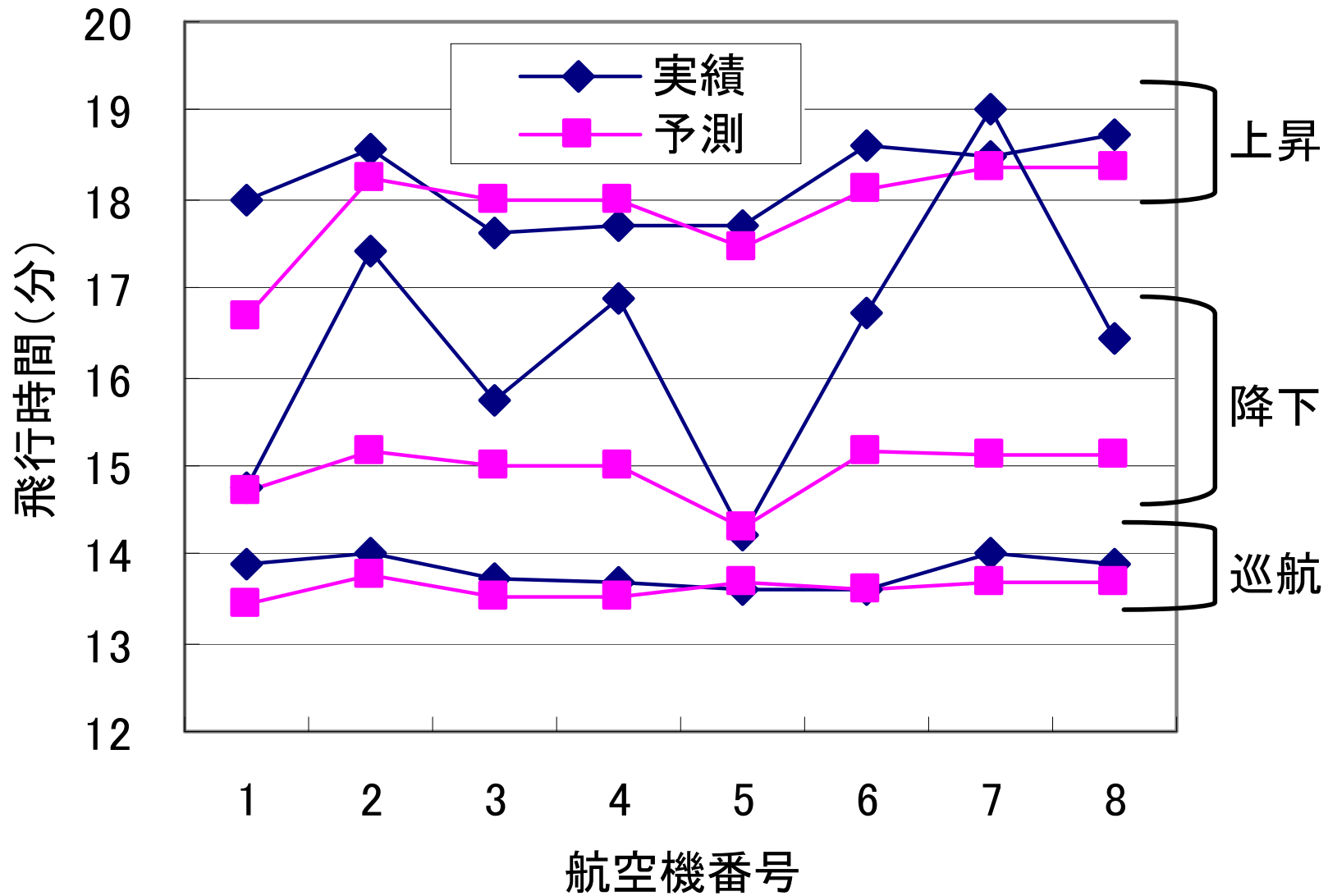


高度の比較例





飛行時間の比較





飛行時間誤差

	平均 (飛行時間に対する割合)	標準偏差
上昇区間	-16.7秒 (1.3%)	31.3秒 (2.4%)
巡航区間	-11.2秒 (1.3%)	10.6秒 (1.2%)
降下区間	-86.9秒 (10.3%)	77.2秒 (9.1%)

- ◆ 巡航区間は、平均、標準偏差共に小さい
- ◆ 上昇区間は、標準偏差が大きい(フライト毎の速度情報が利用できないため)
- ◆ 降下区間は、平均、標準偏差ともに大きい(飛行計画と異なる飛行が多いため)



まとめ

- ◆ エネルギーモデルに基づいた軌道予測モデルを開発し、実運航と比較し、飛行時間誤差を評価した。
- ◆ 巡航区間は、飛行計画の速度情報の利用により、予測精度が高い。
- ◆ 上昇区間は、速度設定の改良により、平均誤差を低減した。標準偏差は大きい。速度情報の取得が望まれる。
- ◆ 上昇区間と降下区間は、実運航との比較・解析により、予測精度向上を目指す。