

# 航空機性能データを用いた 軌道モデル誤差推定

航空交通管理領域

白川 昌之、福田 豊、瀬之口 敦



# 概要

- 研究の背景と目標
- 軌道とは何か、予測とは何か
- レーダデータによる速度の予測
- モデルの検証
- まとめ

# 研究の背景と目標

(背景)

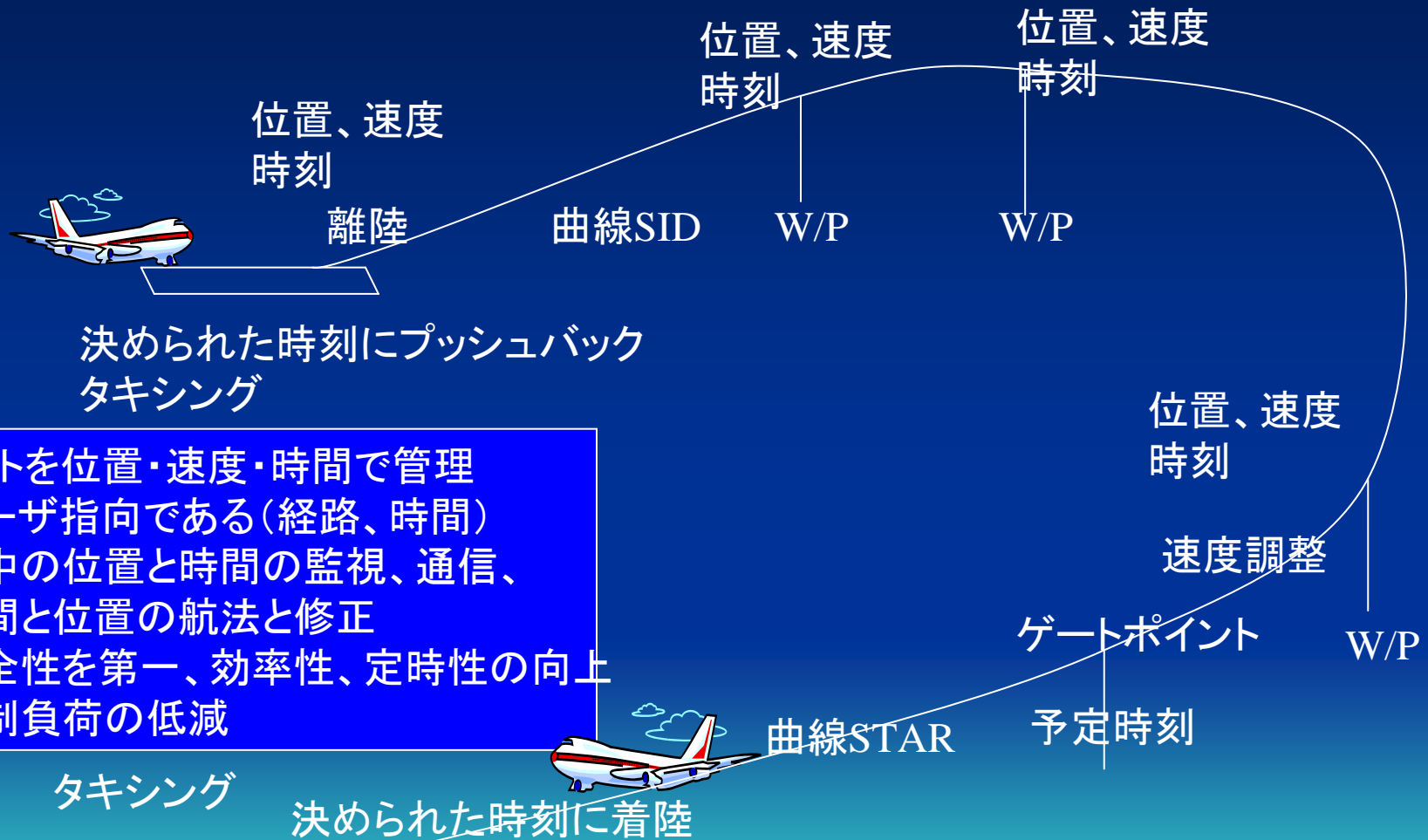
- 2003年9月、ANC11
  - 100カ国以上の代表が参加
  - 今後約20年間の航空機の航法
  - 航空機軌道に基づく航空交通管理
- 勧告
  - 「軌道による航空交通管理」の概念の共有(概念書の作成)
- 航空交通の概念
  - 11の期待と7つの実行要素、6つのガイドライン



(研究の目標)

- コンセプトの実現
  - フィージビリティスタディ
  - 軌道モデルの開発と性能の予測
  - 交通同期、需要/容量バランス、戦略的コンフリクト管理などの部分的応用可能性
- アプローチの方法
  - 機上データからのアプローチ
  - 地上データ(航空路レーダデータ)からのアプローチ

# 軌道とは何か



ルートを位置・速度・時間で管理

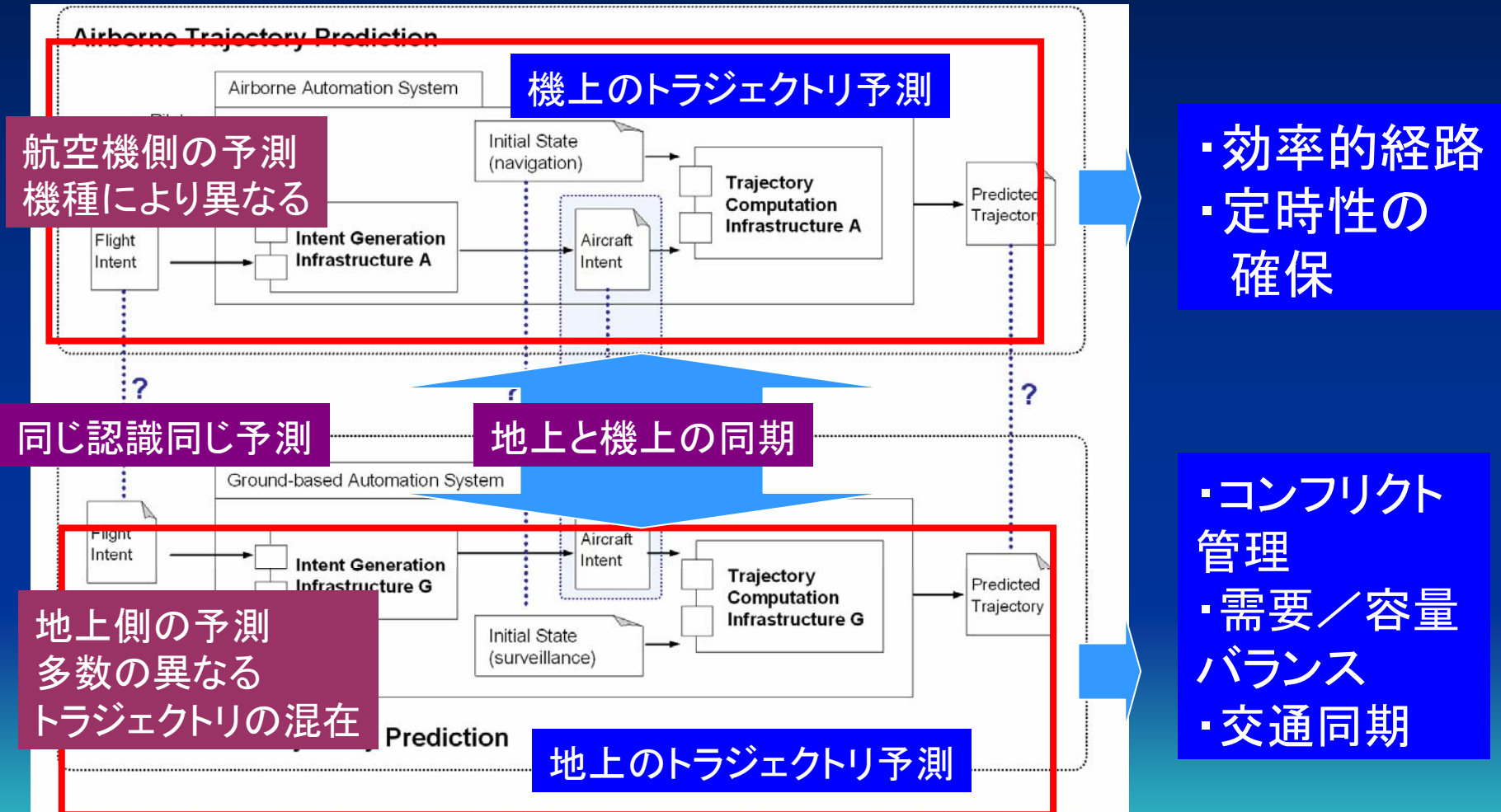
- ・ユーザ指向である(経路、時間)
- ・途中の位置と時間の監視、通信、
- ・時間と位置の航法と修正
- ・安全性を第一、効率性、定時性の向上
- ・管制負荷の低減

# 軌道の予測とは何か

- 軌道の予測
  - いつ(時刻)、どこにいるか(位置)を正確に予測する
  - 参照目標として先進型のFMS搭載航空機については、ターミナル5秒、エンルート30秒のRTA精度が想定されている
- 位置の予測
  - 自然の法則を利用した予測
    - 自然の法則(ニュートンの力学)
    - 小惑星「いとかわ」に到達できた、海王星、天王星などへの到達
  - ルールに基づく予測
    - どのような状況でどう行動するか
    - 離陸の手順、巡航の手順、着陸の手順など
    - 飛行中のCASの維持など
    - 経路などの合意に基づく飛行

# 軌道予測システムのイメージ

機上と地上での同等の予測性能



- ・効率的経路
- ・定時性の確保

- ・コンフリクト管理
- ・需要／容量バランス
- ・交通同期

Figure 1. Possible types of information that can be shared to achieve trajectory synchronisation

# 機上と地上の情報の共有

- 軌道全体情報の共有(全体軌道の予測):
  - FMS(Flight Management System)が生成するフライトプラン
  - 通過する一連の通過点についての緯度経度, 高度, 予定時刻など
  - ACARSやVDL
- 実時間に於ける軌道の修正管理(直近未来の予測):
  - ADS-B により次の変節点での情報(パイロット・インテント)
  - 軌道の変更点の緯度経度, 変更時刻, 変更点までからのトラック角
- 現在の位置や航空機パラメータ(現在値の推定):
  - ADS-BとモードSのDAPs により逐次ダウンリンク
  - ヨーロッパではMode-S Enhanced Surveillance (EHS)
    - 新規登録の航空機に対しイギリス, ドイツ, フランスで義務化
    - 位置情報や計器指示速度(CASに相当する), 垂直速度, 選択高度, 対地速度, ロール角, トラック角など,
    - ルールベースの軌道予測を補足する情報

# 解析の目的: 様々な機種、様々な軌道

- 異なる機種, 異なる経路の航空機の混在環境
  - 安全且つ効率的な軌道を求めることが可能か?
  - 様々な飛行経路での経過時間, 速度を正確に予測する
- 混在環境での個別精度がどの程度か
  - 機種や航空会社の違いがあるか
  - 中期, 長期的な予測精度
- CASやTASの推定値は実態に近いか
  - 運航速度ルールはCASもしくはマック数で設定
  - CASは, 高度によって大きく変わることはない。
  - 対地速度は風の影響を受けた結果
  - 風は上空では100ノットを超えるときもある





# 解析の方法

- データ抽出方法
  - 一日分のレーダデータを航空機毎にアルファベット順に並べ替える
  - その内の一部を抽出
  - 時刻、場所はバラバラ
- 風のデータ
  - 比較的風の安定している一日
  - その一日の初めの時刻(6時)
  - 夜まで同じデータを使っている
- 3次元軌道を仮定して時間誤差の推定をする

# BADAモデルによる対地速度の導出

航空機の高  
度情報(レー  
ダから)

重量の仮  
定(標準値)

機上データは用いない

質点系モデル

- ① 運航モデル
- ② 航空機性能モデル  
(BADAモデル)

航空機の運航速度  
経済速度

CAS/TASの値

トラック角  
(航跡から)

気温、風情報  
(気象予報)

(緯度経度)

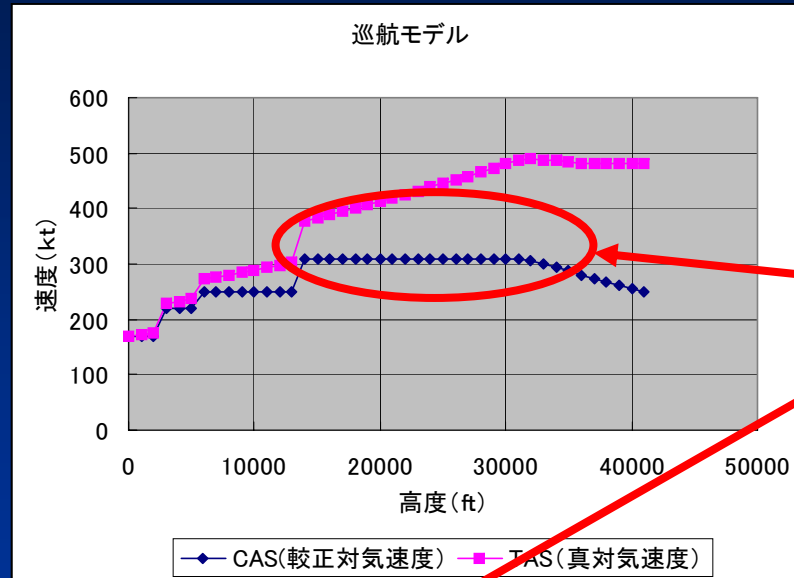
管制側の把握する速度

対地速度

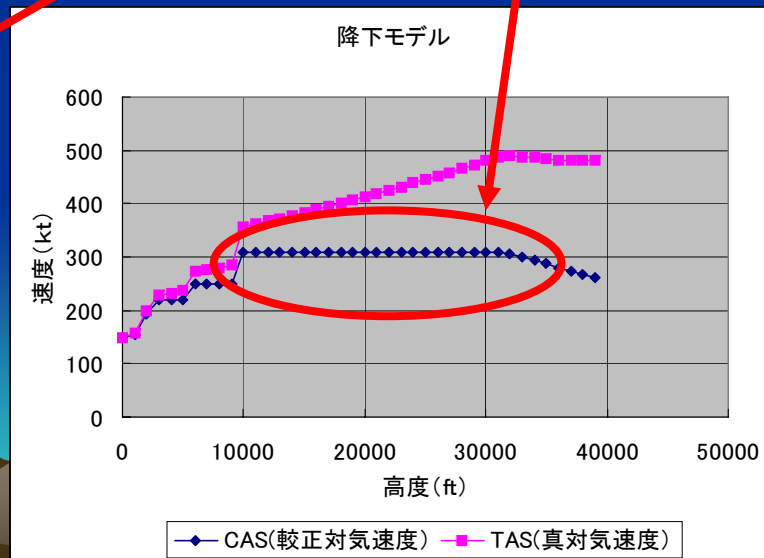
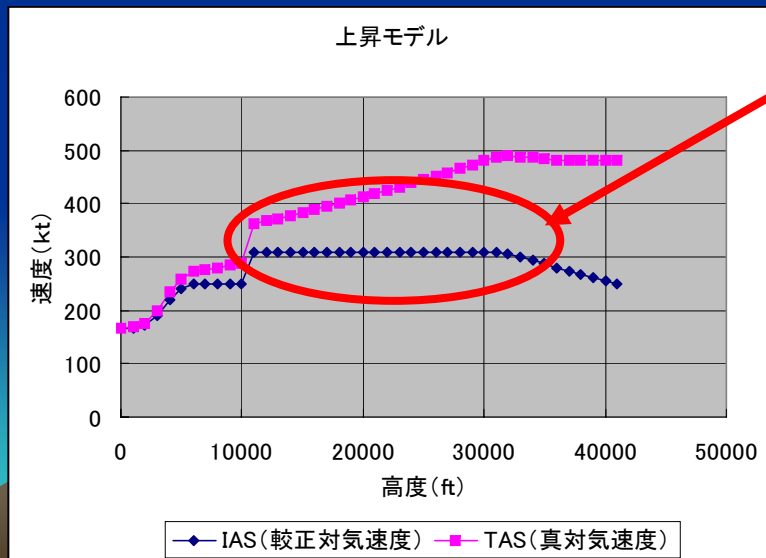
# TAS / CAS / 対地速度



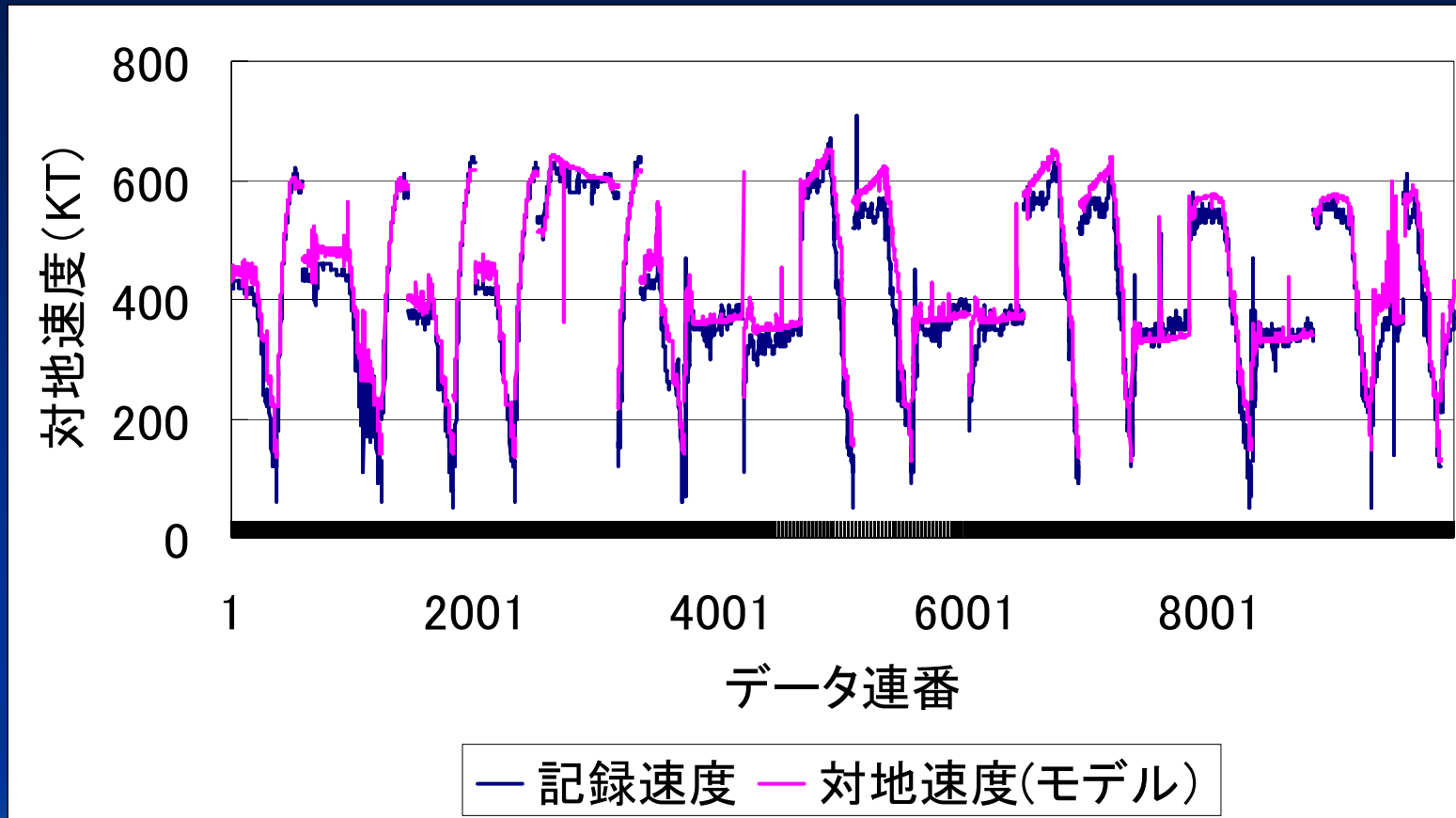
# 上昇/巡航/降下の運航モデル



CASがほぼ一定

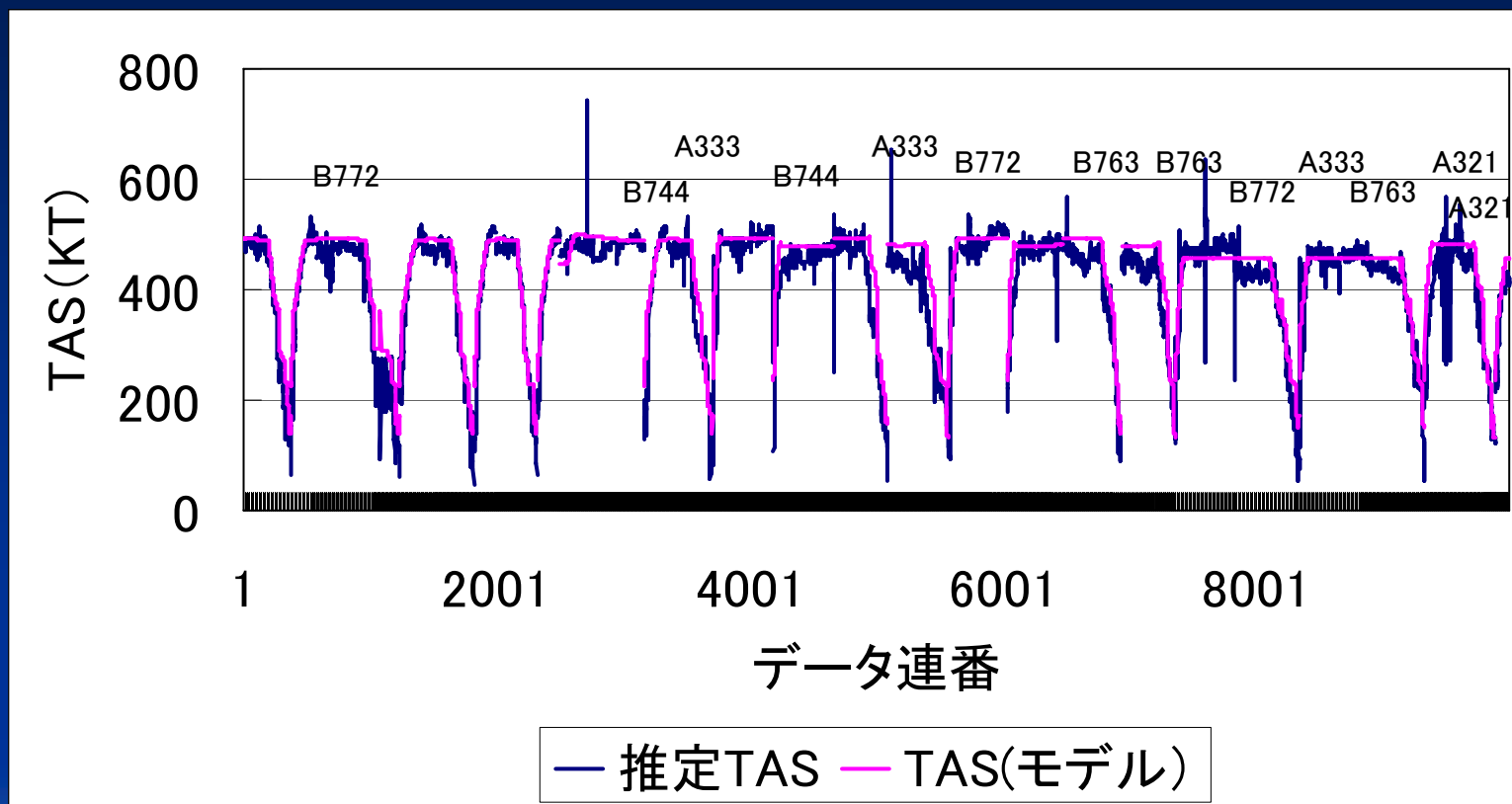


# モデルから推定した対地速度と記録速度の比較



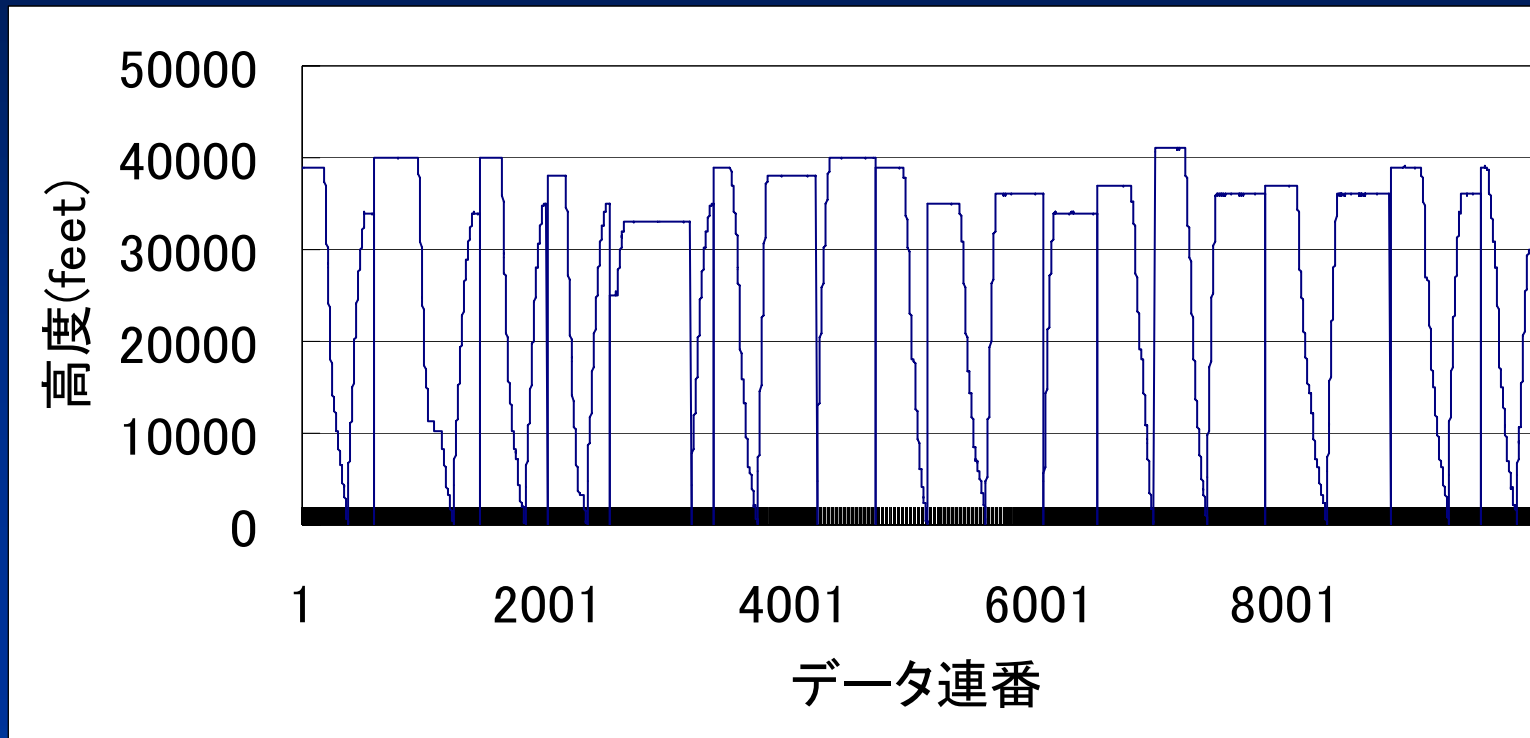
1. モデルから求めたCAS
2. 経路での風の推定
3. CASから対地速度の逆算

# TASに換算した航空機速度



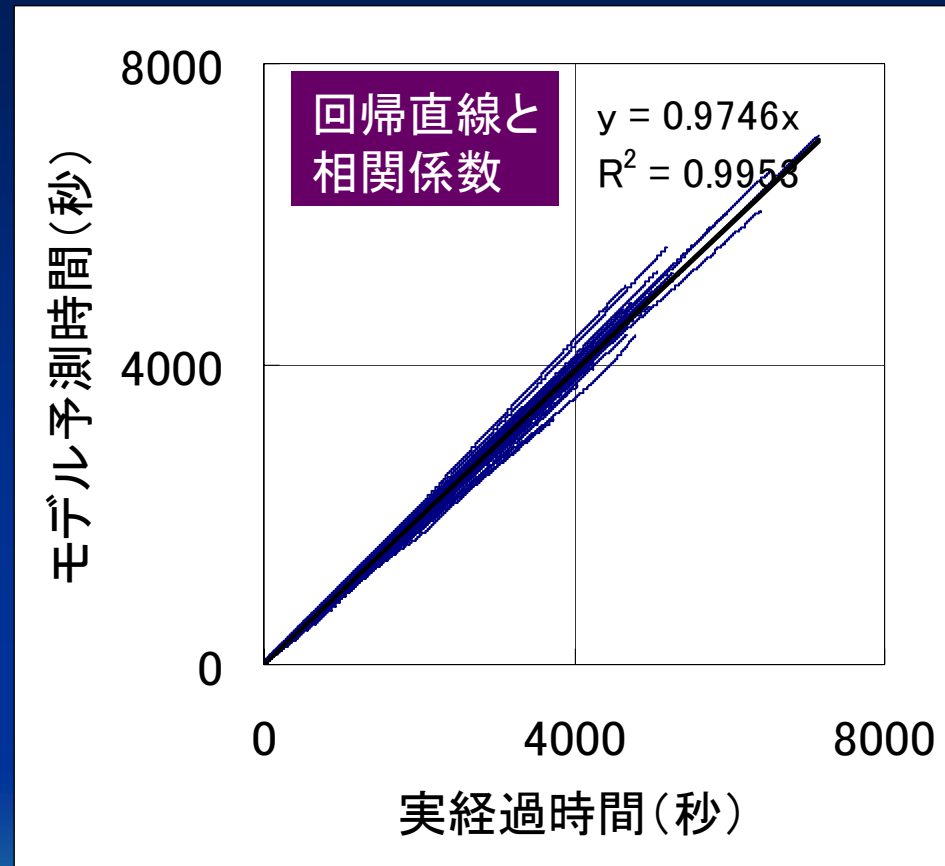
1. 対地速度測定値から風の修正をし、TASに換算
2. モデルからCASを求めTASを計算
3. 機上値(機首方位、速度設定、重量など)は未知、代表値を仮定

# 高度プロファイル



1. 前の図の航空機の高度プロファイル
2. 多数の航空機のデータをアルファベット順にまとめたもの
3. 上昇、降下を多く含む

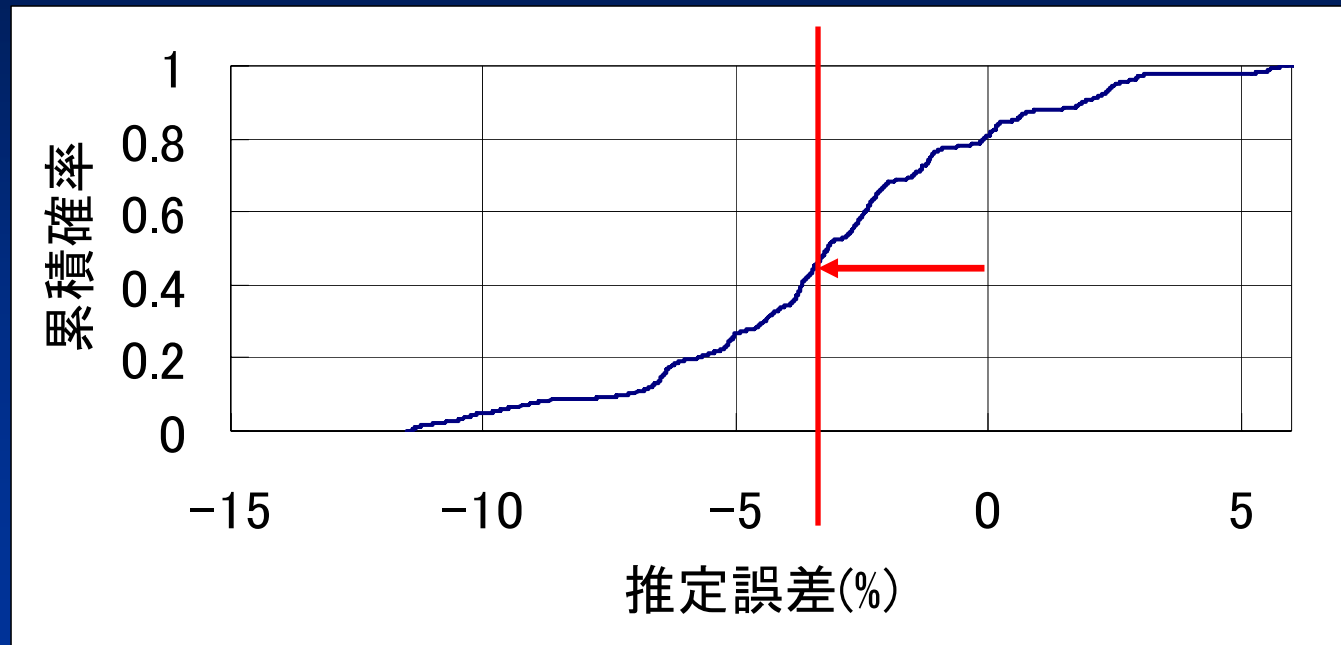
# 実際の経過時間とモデルで推定される経過時間の比較



1. モデルの精度を比較する
2. 回帰直線の傾斜は正確であれば1であるがここでは0.9746
3. この原因を更に検討する
4. 相関性は高い

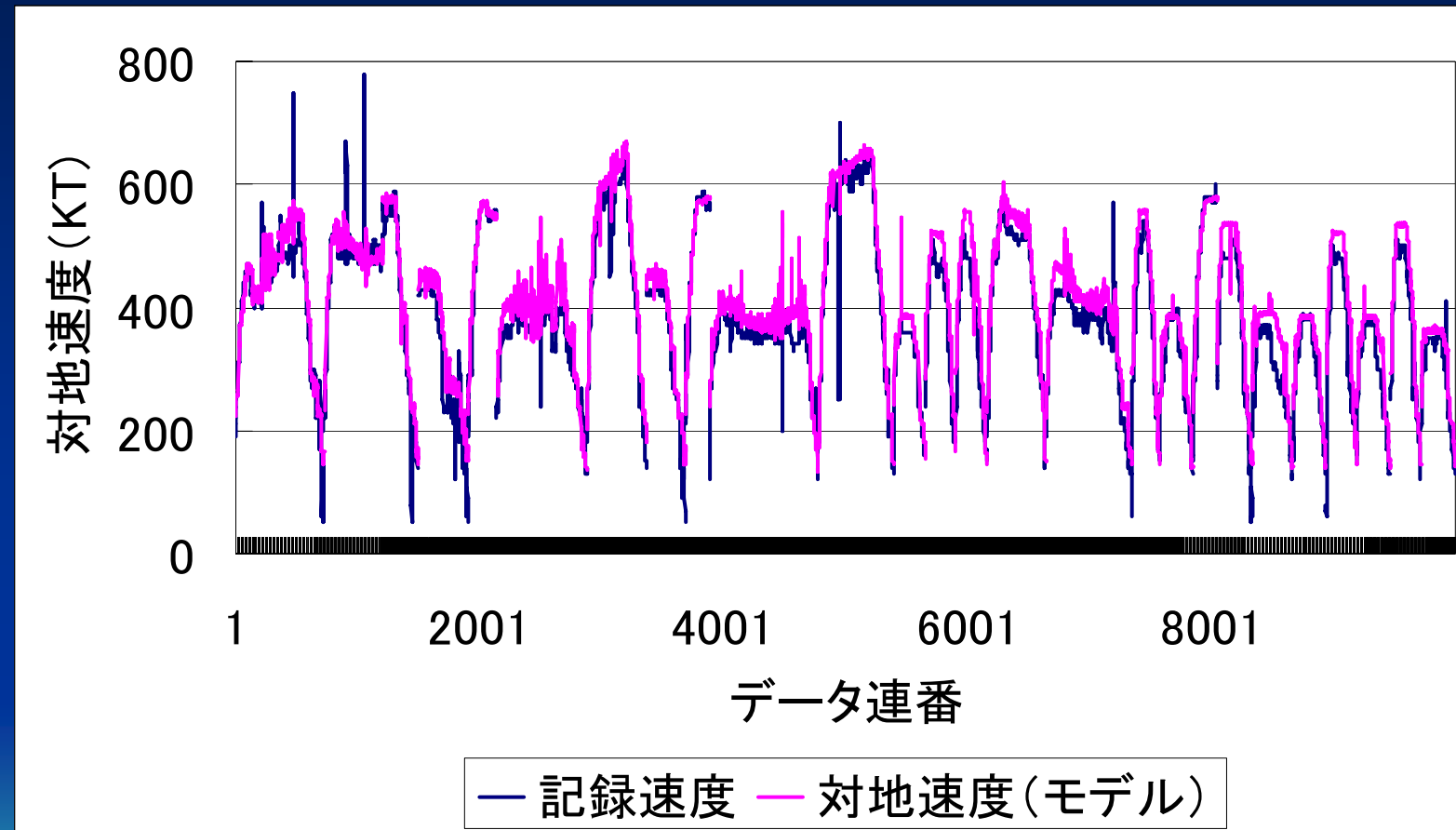


# 推定誤差の累積分布



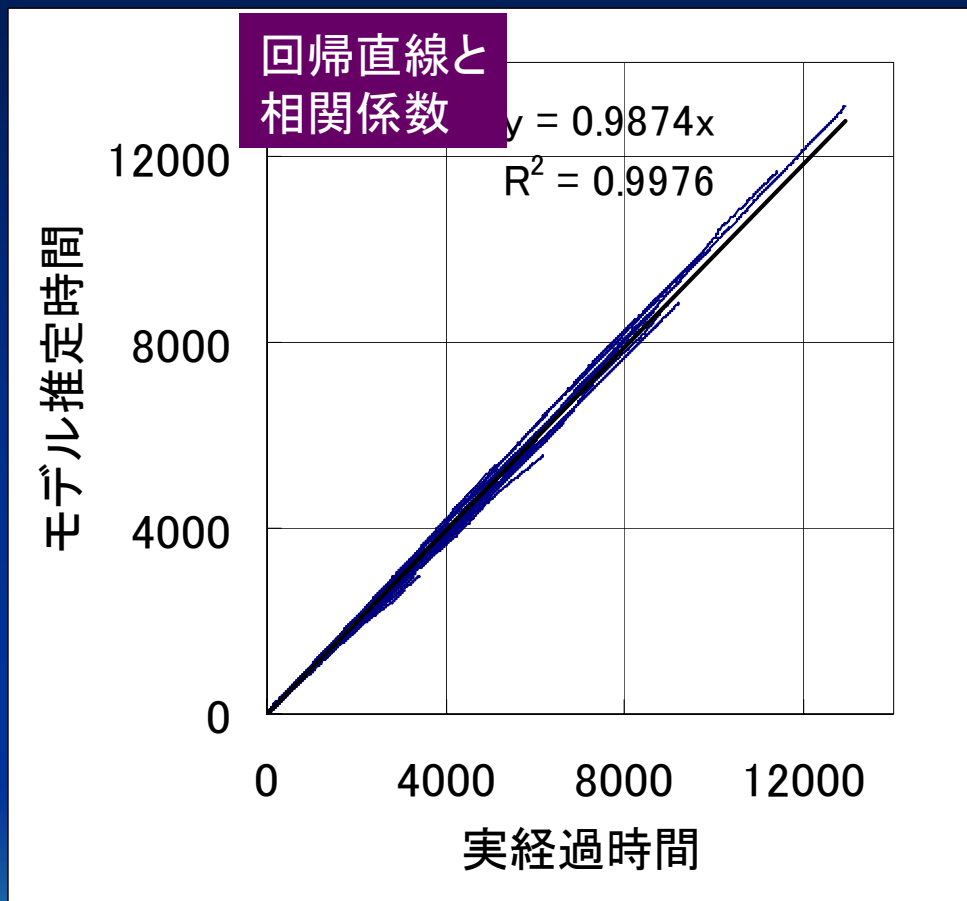
1. 20分でどの程度の予測誤差か
2. 1100秒から1300秒のデータで累積させてみた。
3. 航空機の混在状況での比較(サンプル数が少ない。EXCELでの解析から)
4. 追尾開始からの推定値で求めている。

# 機種を限定した場合の対地速度の比較



1. 機首を限定するとどうなるか？
2. B777-300の場合に限定して比較
3. CASのモデルから風の修正などを加えて対地速度を逆算

# 実経過時間とモデルでの予測時間の比較(B777-300)



1. 同様に実経過時間と推定時間の比較
2. 傾きが0.987になり、改善されている
3. 全体の精度も改善されている

# 予測についての考察

- まだ開発の初期的段階なので予測誤差が大きい
- フローの予測、同期、コンフリクト管理などに使うためには、何らかの精度向上の改良の必要性がある

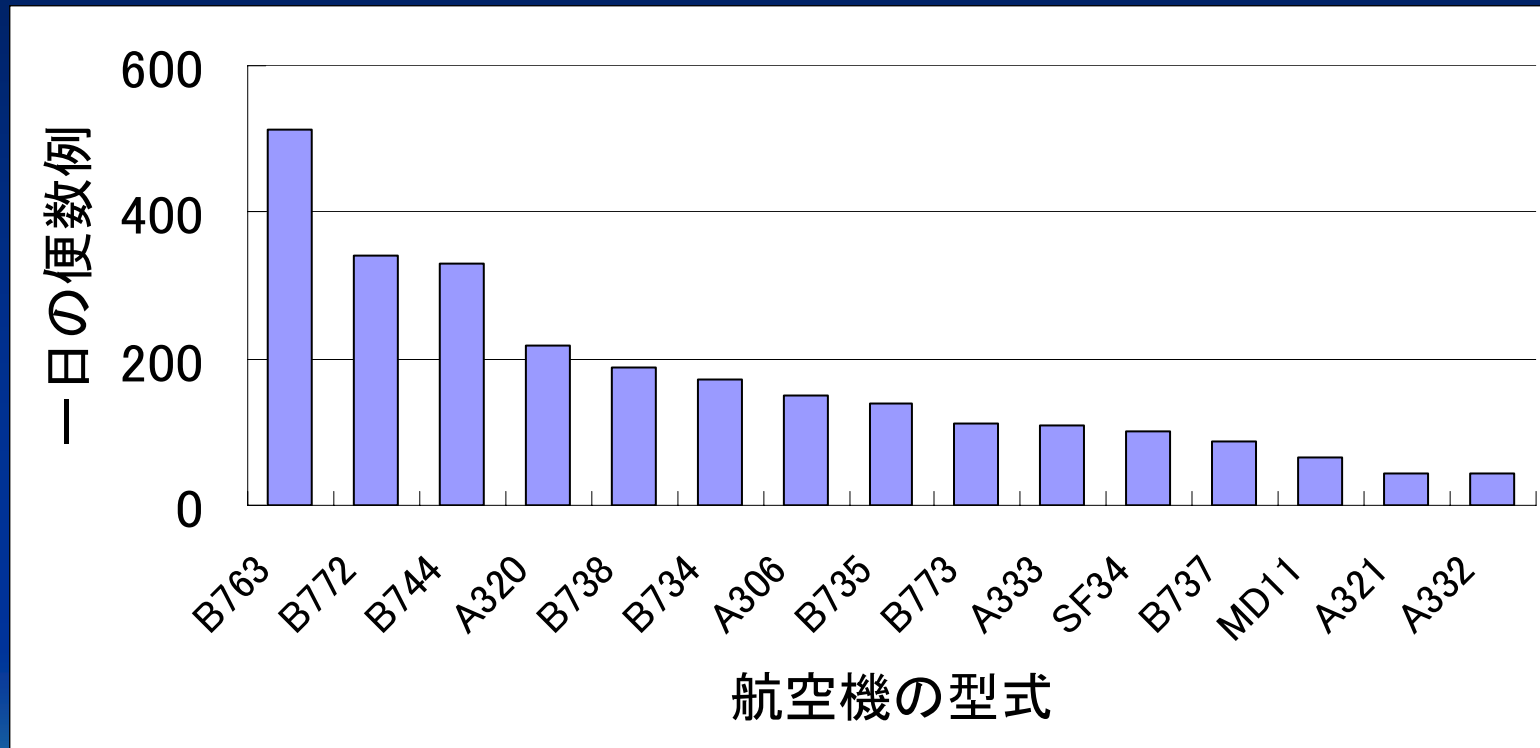


# 制御性についての考察

- 航空機性能と現状とのマージン量の推定
- 誤差を別としておおむね最大速度や最小速度内に入っていることが分かる
- 全体的に速度低減の側のマージンはある



# モデルのある機種 (類似モデルを含む)



1. BADAは全ての機種をカバーしていない
2. しかし主要な機種はモデルを提供している
3. 3500便中約3000便(約86%)について類似を含めてモデルがある。
4. 将来的には何らかの形で全体をカバーする必要がある

# 今後の検討課題

- 平成21年度から重点研究として実施開始
- モデルの精度の向上
  - 気象モデルの精密化
  - 航空機性能モデルの改良
  - 運航モデルの改良
  - 気象モデルの精度向上による実現値の反映可能性の検討
- 将来的な目標
  - 戦略的コンフリクト管理のフィージビリティスタディ
  - 交通流の正確な予測法の検討
  - 交通同期の検討