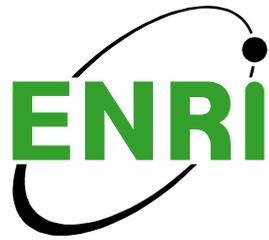


(第15回)電子航法研究所研究発表会
2015年6月4日～5日

1. 運航速度データベースに基づく 軌道予測の評価

○瀬之口 敦, 白川 昌之, 平林 博子
(航空交通管理領域)

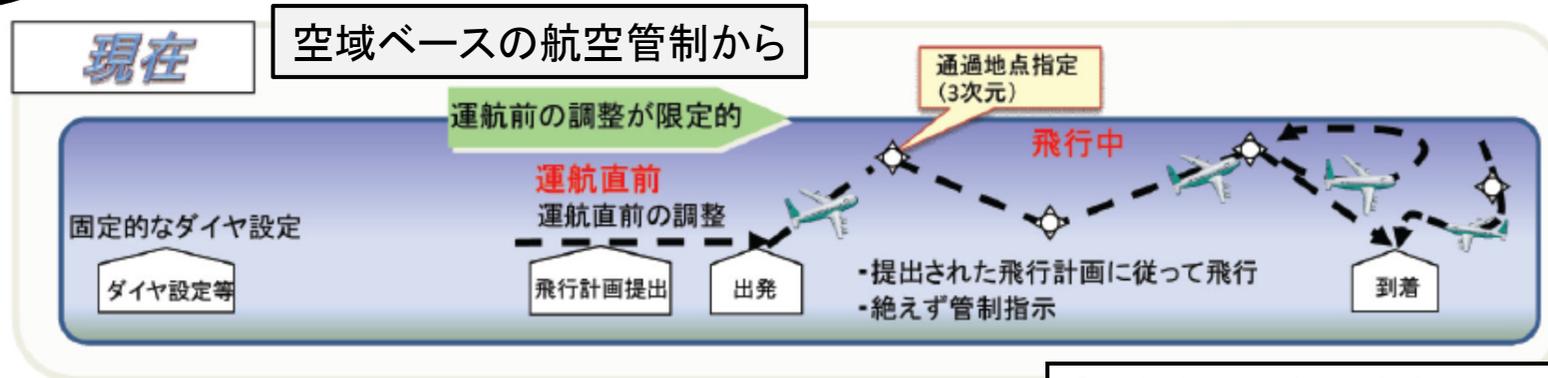


内容

- 背景および目的
 - 軌道ベース運用TBO
 - TBOと対地速度
 - 航空機性能モデルBADA
 - 本発表の目的
- レーダデータを用いた運航速度データベースの構築
 - データベースの構築方法
 - 構築結果
- 構築した運航速度データベースの評価
 - 飛行時間の予測
 - 評価結果
 - 全型式による評価
 - 経年変化の確認
- まとめ

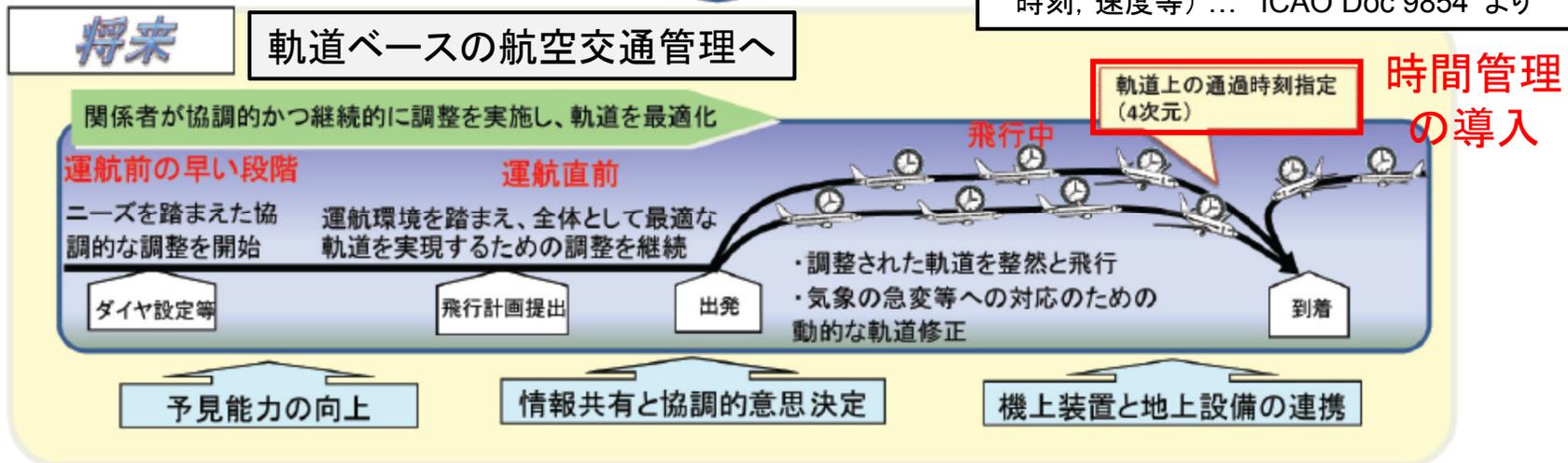
軌道ベース運用TBO

*Trajectory Based Operation



変革

○ 軌道(トラジェクトリ)とは、
航空機の空中・地上での運動の記述(位置、
時刻、速度等) ... “ICAO Doc 9854”より

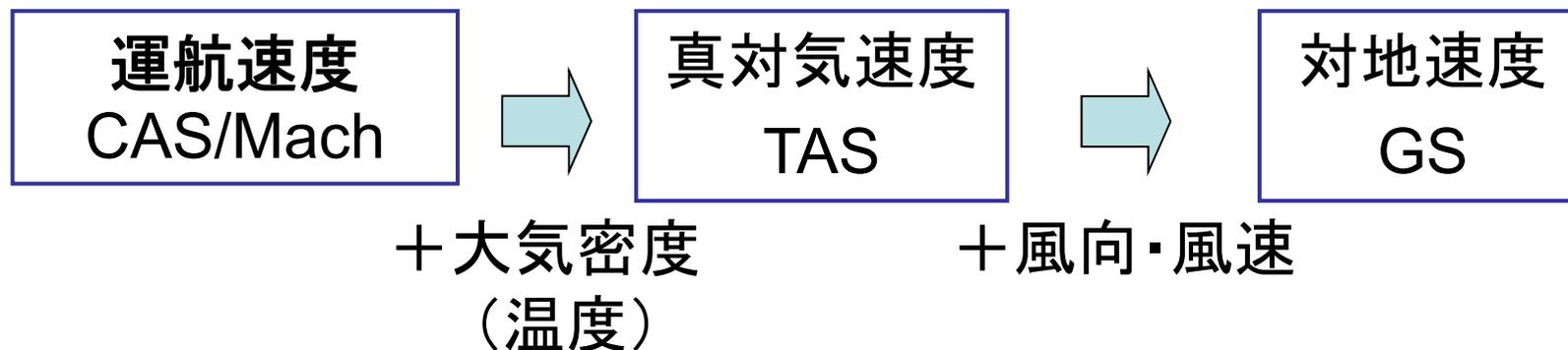


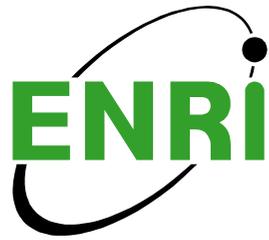
協調的かつ段階的な軌道調整のイメージ

出典：国土交通省航空局 将来の航空交通システムに関する研究会，“将来の航空交通システムに関する長期ビジョン～戦略的な航空交通システムへの変革～”，pp.24-25，2010年

TBOと対地速度

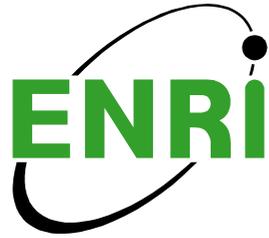
- TBO: 調整された経路を決められた時刻に通過
 - 4次元軌道の高精度な予測が必要
 - ← 対地速度のコントロールとも考えられる
- 対地速度の要素(軌道予測では誤差要因に相当)
 - 運航速度: 航空機性能モデルを使用
 - 気象条件: 気象予報データを使用





航空機性能モデルBADA

- 欧州のEUROCONTROLが開発, 維持
- 航空機の通常運航範囲をモデル化し, 多くの機種を網羅するデータベースであり, 汎用性に優れている
- データベースの内容
 - 航空機固有のパラメータ:
 - フライトエンベローブ(最大運用限界速度など)
 - エアロダイナミクス(翼面積など), 等
 - 標準的な運航速度や機体重量など
 - ← 運用・運航の地域特性による標準値からのズレを十分に表現できていない可能性あり

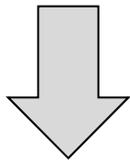


本発表の目的

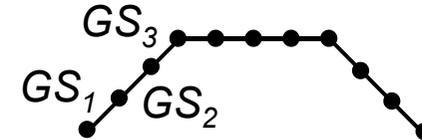
- レーダデータから国内空域を飛行する航空機の運航速度を推定し、BADAと同様の運航速度のデータベースを構築した結果について報告する。
- 構築した運航速度データベースを参照して軌道予測を行った場合の飛行時間誤差の低減程度について評価した結果を示す。

データベースの構築方法

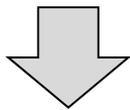
レーダデータ



- 1便毎に航跡を抽出
- 平滑化補間して4次元の連続関数化
- 0.002時間(7.2秒)でサンプリングしてGSを算出

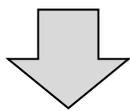


対地速度



- 気象データGSMの解析初期値を4次元で補間
- 風のベクトル成分と外気温から変換

運航速度



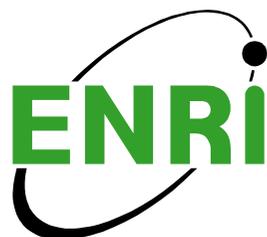
- 1便の平均を区分毎に求める
- 型式毎に集計

データベース

※10,000ft以上の場合
区分表(BADAと同一)

	CAS	Mach
上昇	V_{cl2}	M_{cl}
巡航	V_{cr1}, V_{cr2} (14,000ft ↓↑)	M_{cr}
降下	V_{des2}	M_{des}

上昇/巡航/降下: ±300ft/min
CAS/Mach: 遷移高度 ↓↑



構築結果

運航速度データベース(B738)

パラメータ 区分	平均値	標準偏差	参考値 (BADA)
V_{cl2} [kts]	285.3	17.2	300
M_{cl}	0.758	0.034	0.78
V_{cr1} [kts]	249.1	36.4	250
V_{cr2} [kts]	289.4	22.2	280
M_{cr}	0.766	0.030	0.78
V_{des2} [kts]	279.1	18.5	290
M_{des}	0.753	0.036	0.78

使用レーダデータ:

2012年11月～2013年9月の
2ヶ月毎の1週間分ずつが
記録された計6週間分
← 範囲は国内全域が対象

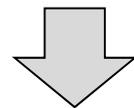
構築できた型式:

B738(20,682便分)の他,
B772, B763, A320, B773等

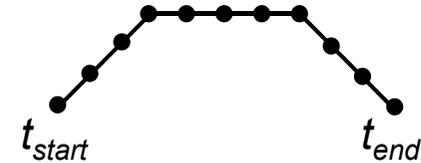
- BADAの値よりも全体的に少し低い
⇒ 国内空域ではBADAの標準値よりもやや遅い速度で運航
- B738に限らず他の型式でも同様の傾向

飛行時間の予測

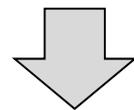
レーダデータ



- 1便毎に航跡を抽出
- 平滑化補間して4次元の連続関数化

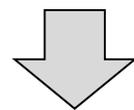


飛行経路



- 計算時点の飛行状態を抽出
- 運航速度データベースからCAS/Machを取得

運航速度

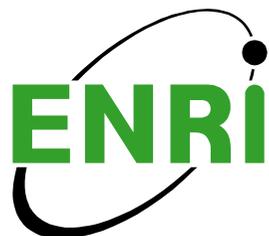


- 気象データGSMの6時間予報値を4次元で補間
- 外気温と風のベクトル成分から変換

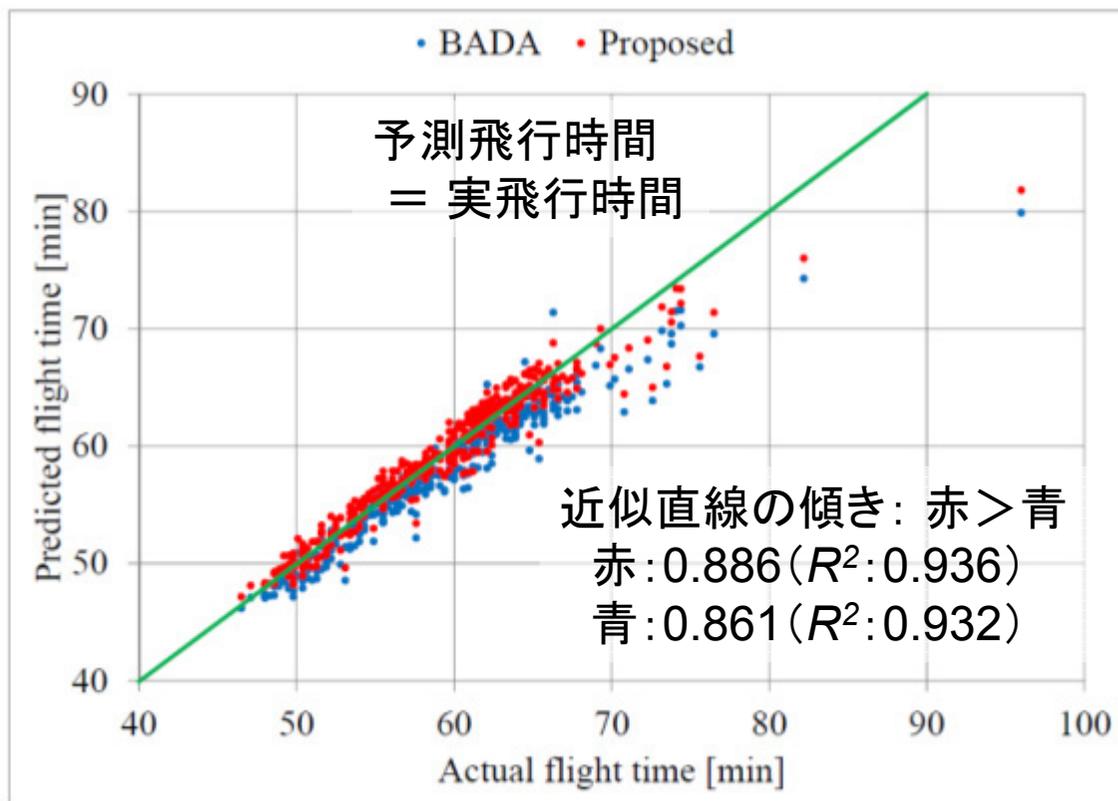
対地速度

- 0.002時間(7.2秒)に進む距離を計算
- 4次元の連続関数における次の時点を算出

$$\begin{aligned} \text{飛行時間 } T \\ = t_{end} - t_{start} \end{aligned}$$



評価結果



評価対象:

レーダデータと同期間の福岡発羽田行B738の全399便

飛行時間差の傾向:

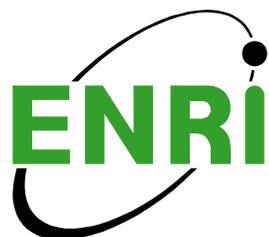
- 平均: 低減
- 標準偏差: ほぼ変化なし (他の型式でも同様)

$$\frac{(T_{act} - T_{pre})}{T_{act}}$$

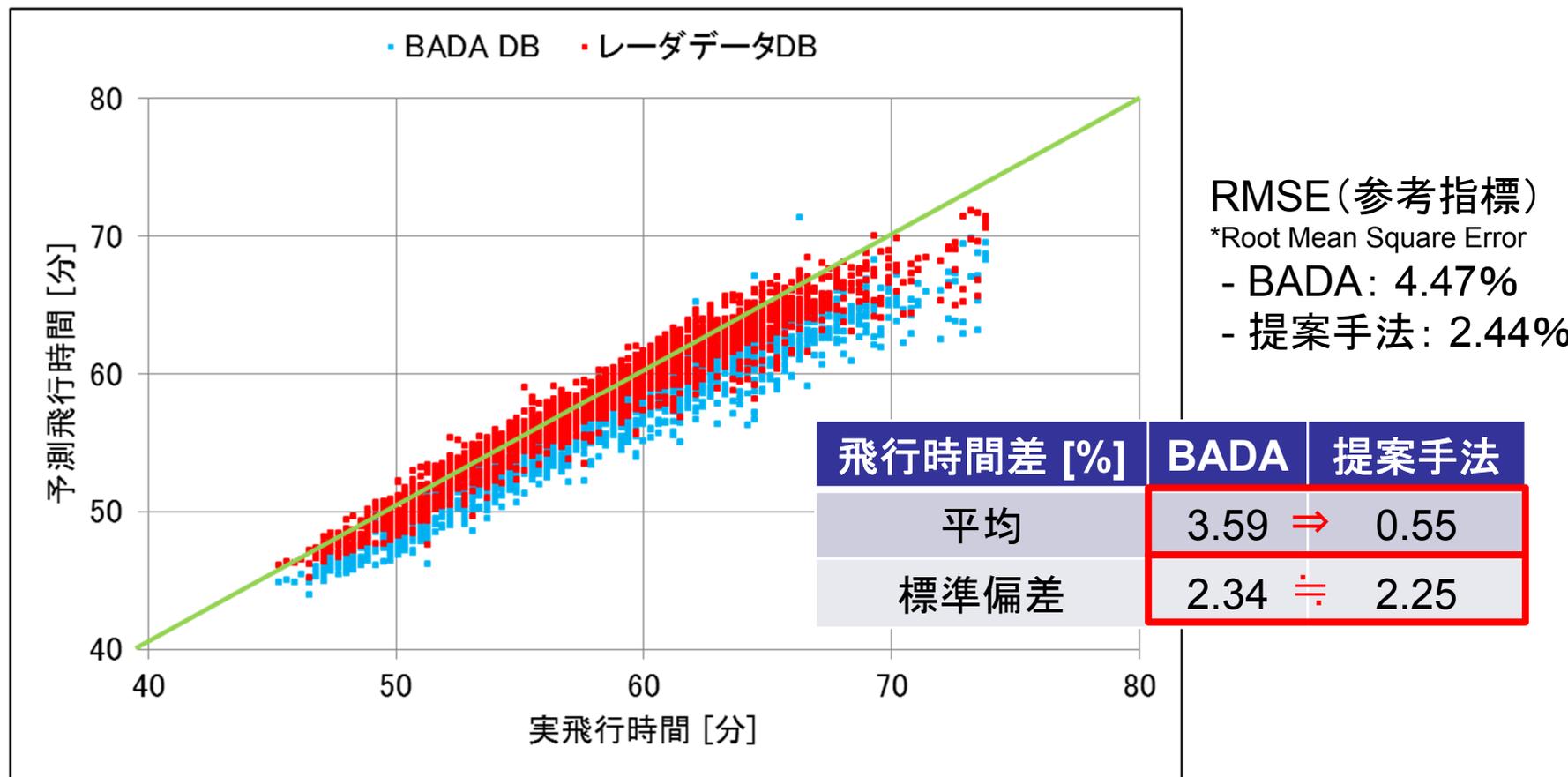
YOKAT-ADDUM間

飛行時間 [min]	実際	BADA	提案手法
平均	59.35	57.89	59.27
標準偏差	6.25	5.57	5.72

飛行時間差 [%]	BADA	提案手法
平均	2.36 →	0.05
標準偏差	2.39 ≒	2.38



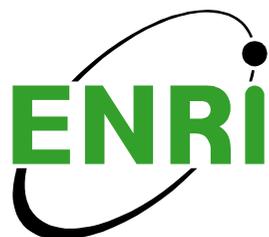
全型式による評価



レーダデータ期間: 2012年11月~2013年9月

評価対象: 1,857便(福岡発羽田行, B738/B772/B763/A320/B773)

平均飛行時間59分+15分以上を例外処理(42便)



経年変化の確認

レーダデータ期間：2012年11月～2013年9月
評価対象：399便(福岡発羽田行, B738)

前述

飛行時間 [min]	実際	BADA	提案手法	飛行時間差 [%]	BADA	提案手法
平均	59.35	57.89	59.27	平均	2.36 ⇒ 0.05	
標準偏差	6.25	5.57	5.72	標準偏差	2.39 ≒ 2.38	

レーダデータ期間：2013年11月～2014年9月
評価対象：320便(福岡発羽田行, B738)

飛行時間 [min]	実際	BADA	提案手法	飛行時間差 [%]	BADA	提案手法
平均	57.75	55.83	56.99	平均	3.00 ⇒ 0.98	
標準偏差	8.00	5.73	5.84	標準偏差	3.11 ≒ 3.14	

構築したデータベースを軌道予測で用いる効果(一般的な傾向)

- 飛行時間誤差の平均(バイアス)が低減
- 標準偏差(運航毎のバラつき)はほぼ変化なし

まとめ

- レーダデータから国内空域を飛行する航空機の運航速度を推定し、BADAと同様の運航速度データベースを構築した。
- 構築した運航速度データベースを参照して軌道予測を行う場合の飛行時間誤差は、BADAの運航速度データベースを参照する場合と比較してバイアス分を低減させる効果があるとわかった。
 - ← 評価は限定的であったが、型式別および経年変化の確認結果から、一般的な傾向と捉えられる。
- 個々の運航毎のバラつきによる影響は別の手法により低減を図ることが必要である。