

航空機の質量と気象データが 運航性能推定に及ぼす影響

平成28年度(第16回)電子航法研究所研究発表会
2016年06月09日

ビクラマシンハ・ナヴィンダ[†], ブラウン・マーク[†]

[†]航空交通管理領域



Electronic Navigation Research Institute

1. はじめに

- 研究背景と目的

2. 使用のモデルと解析的アプローチ

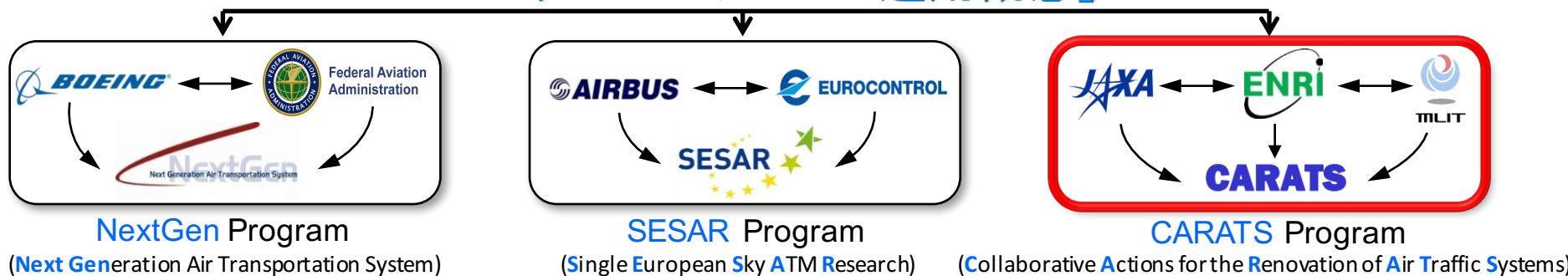
- 参照データ
- 気象予報モデル, 機体性能モデル
- 軌道最適化モデル
- 解析手順

3. 航空機の運航性能推定と誤差解析

- 航空機の運航性能の定量的な評価
 - 航空機質量と気象データの解析誤差が運航性能推定に及ぼす影響
- 運航性能誤差が軌道最適化による便益推定に及ぼす影響

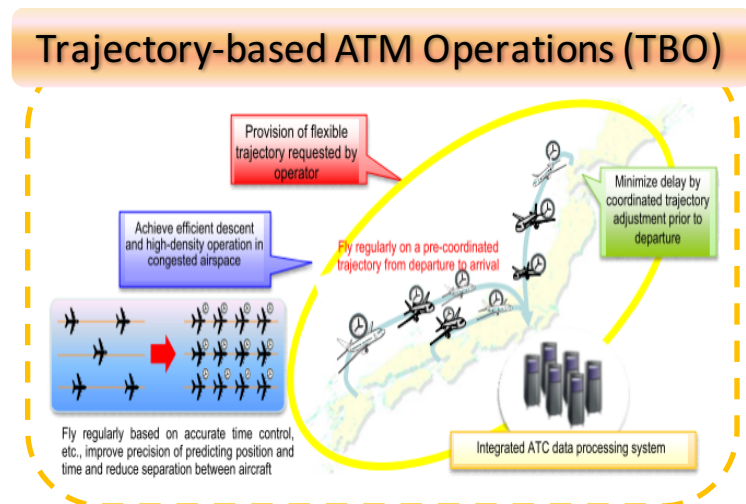
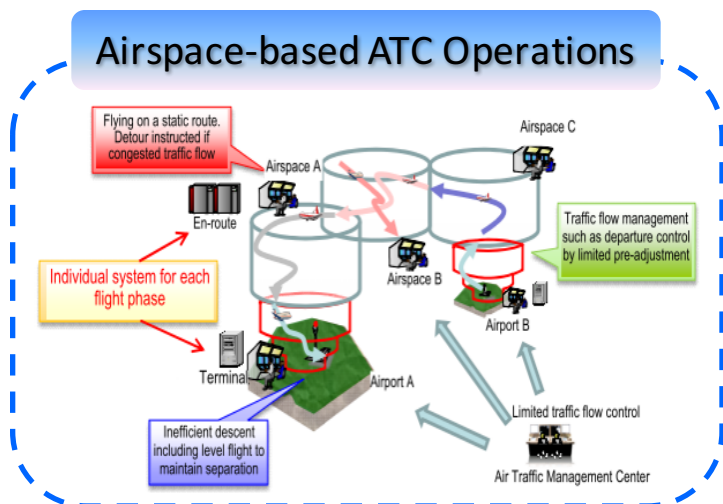
4. まとめ

ICAO「グローバル ATM 運用概念」



2030年までの目標(基準:2013年)*

- ★ 各フライトにおける燃料消費量とCO₂排出の削減(約10%)
- ★ 混雑空域における管制処理量の増加(約2倍)
- ★ 航空交通量の増加に対する安全性の向上(約5倍)



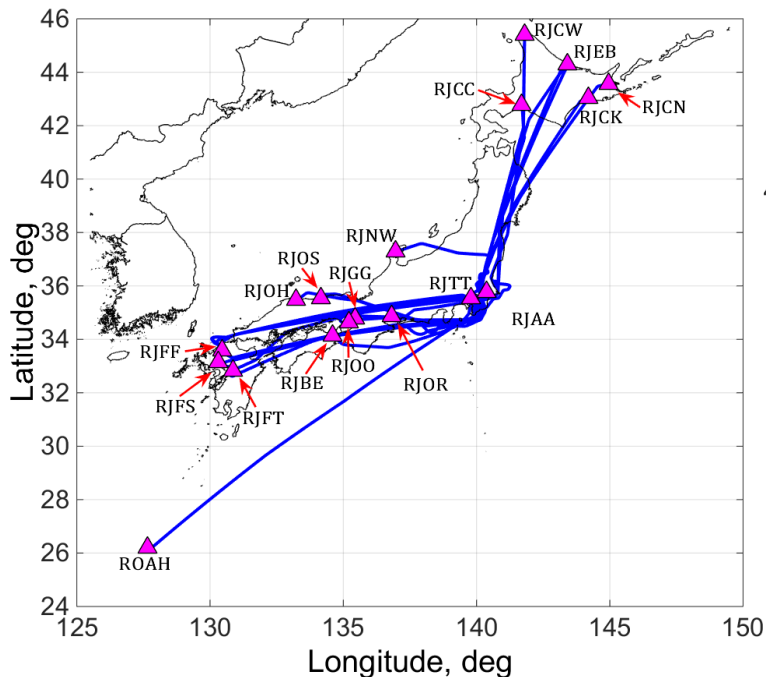
- 軌道ベース運航(TBO)の実現に向けた様々な研究がなされており,さらなる研究開発を進めるにあたり,実際の飛行性能評価,実際の飛行と比べて最適な飛行により見込める効率向上の評価を定量的に議論する必要がある.
- 様々なデータソース【二次監視レーダ(SSR),放送型自動従属監視(ADS-B),航空路監視レーダ(ARSR)】による参照データから,
 - ✓ 航空情報の計算 → 風速,外気温データ
 - ✓ 燃料消費量の計算 → 航空機の離陸質量
- 航空機の飛行状態を精度よく推測するためには,使用する気象予報データや仮定する航空機の質量データ等の誤差について把握すべきである.
 - ✓ 航空機のデータ記録装置(QAR)データ(以下,フライトデータ)は,このような誤差解析の参照データとしての使用に適したものである.

研究目的

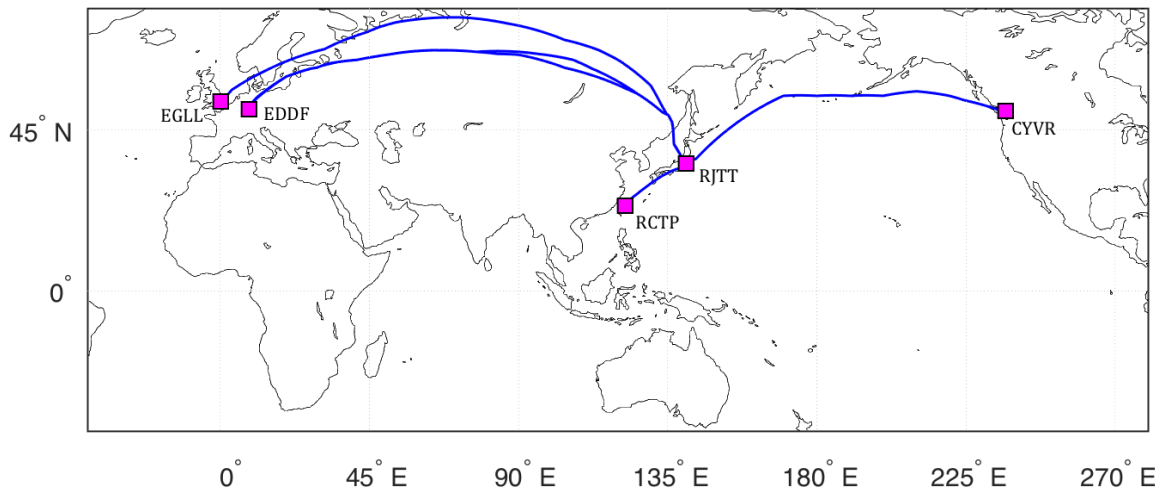
フライトデータを基に航空機の質量と気象情報が,

- 航空機の運航性能推定
- 軌道最適化による便益推定

に及ぼす影響について定量的な評価を行う.



QARデータ, 国内線



QARデータ, 国際線

- 38 フライト: 国内線(33フライト), 国際線(5 フライト)
- 対象データ: 東京国際空港 (RJTT)・成田国際空港 (RJAA) の出発・到着便
- データ抽出期間: 2014年03月～07月
- 指数平滑法によるデータの異常値・欠略等に対する対策*

*Bach et al.: A User Guide for Smoothing Air Traffic Radar Data, NASA/TM 216520, 2014



- 気象庁が**数値予報GPV (grid point value) データ**を定期的に公表している。
 - 6時間ごとの全球域の予報 ・ 3時間ごとの日本域の予報
 - 等気圧面上の格子点データ
 - 気温、ジオポテンシャル高度、南北・東西風速、相対湿度等 物理量のデータ
- 4次元補間による気象データを用いて飛行状態を推定する。
 - 飛行時刻における一次補間と航空機の三次元位置における重み付き補間



- 欧州航空航法安全機構 (EUROCONTROL, European Organization for the Safety of Navigation) が開発・維持している**BADA (Base of Aircraft Data)** 機体性能モデル (Ver.3) のデータを使用する。
 - 機種ごとに異なる性能パラメータが格納されたデータベース
 - 現在使用しているほとんど全ての機体のデータが格納
 - 空力モデル, 推力モデル, 燃料流量モデルによる性能推定

軌道最適化モデル

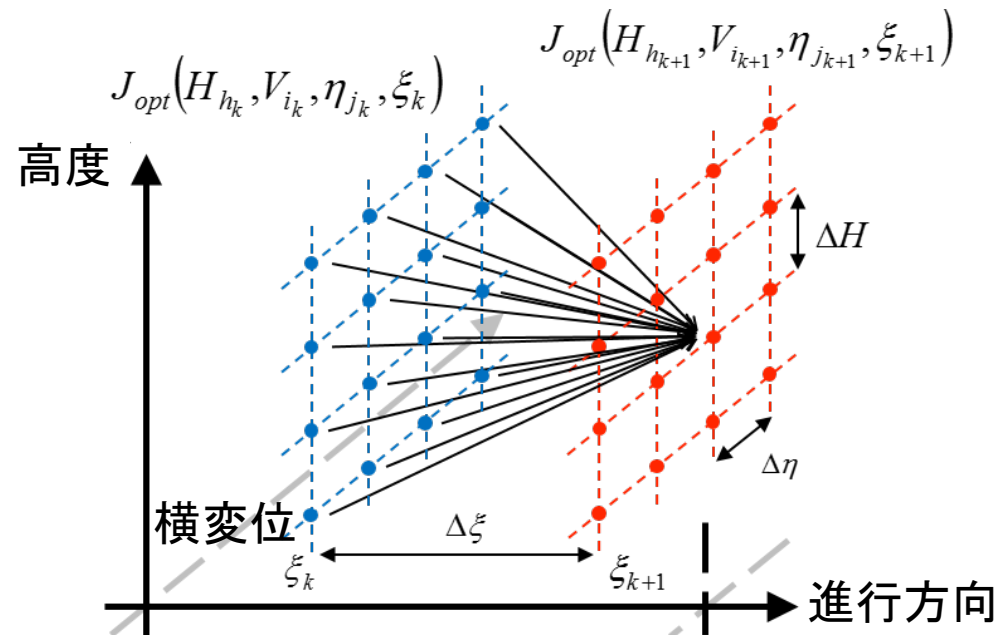
- 質点近似運動方程式による航空機の三次元運動モデルを使用する。
- 動的計画法による組み合わせ最適化問題を解く。
 - 状態量(高度, 速度, 横変位)を離散化し, 状態量の進行方向の遷移を多段階に分解, 最適な経路を求める。
- 解析対象条件
 - 対象データ: 飛行高度10,000ft以上のデータ
 - 境界条件: 各フライトの始点と終点における三次元位置と飛行速度

評価関数

$$\min J = \int_{t_0}^{t_f} FF(t) + a(t_f - t_0)$$

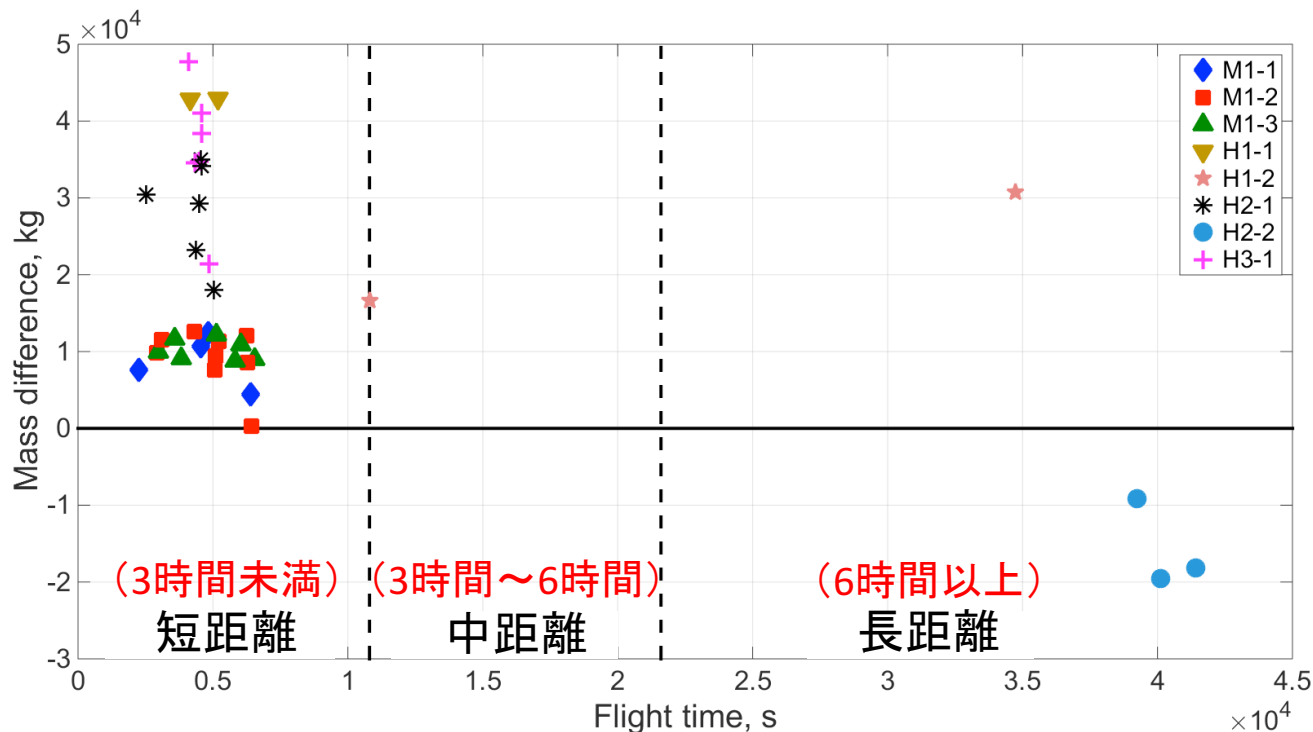
燃料消費量: $FF \times (t_f - t_0)$

重み係数: a (本解析では $= 0$)



方法	解析目的	必要パラメータ	参照データ		
			気象データ	初期質量	性能データ
A			フライトデータ	フライトデータ	
B	機体性能パラメータ の再現計算	飛行時刻・位置 (フライトデータ)	気象予報データ	フライトデータ	
C			フライトデータ	標準 (BADA)	BADA データ
D			気象予報データ	標準 (BADA)	
E			軌道最適化による 便益推定	始点と終点の 位置・速度情報	気象予報データ
F			気象予報データ	標準 (BADA)	

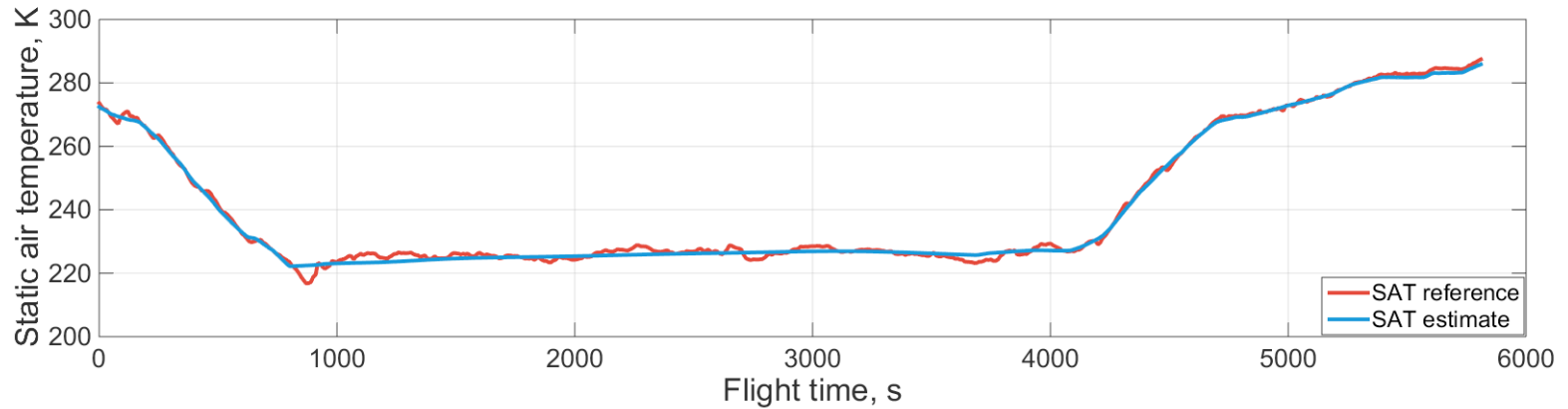
- **方法 A** – 実データを用いた再現計算(評価基準)
- **方法 B vs. 方法 A** – 気象データが運航性能推定に及ぼす影響
- **方法 C vs. 方法 A** – 初期質量が運航性能推定に及ぼす影響
- **方法 D vs. 方法 A** – 気象データと初期質量が運航性能推定に及ぼす影響
- **ケース I** : 方法 E vs. 方法 A – 軌道最適化による便益推定(評価基準)
- **ケース II** : 方法 F vs. 方法 C – 初期質量が便益推定に及ぼす影響
- **ケース III** : 方法 F vs. 方法 D – 気象データと初期質量が便益推定に及ぼす影響



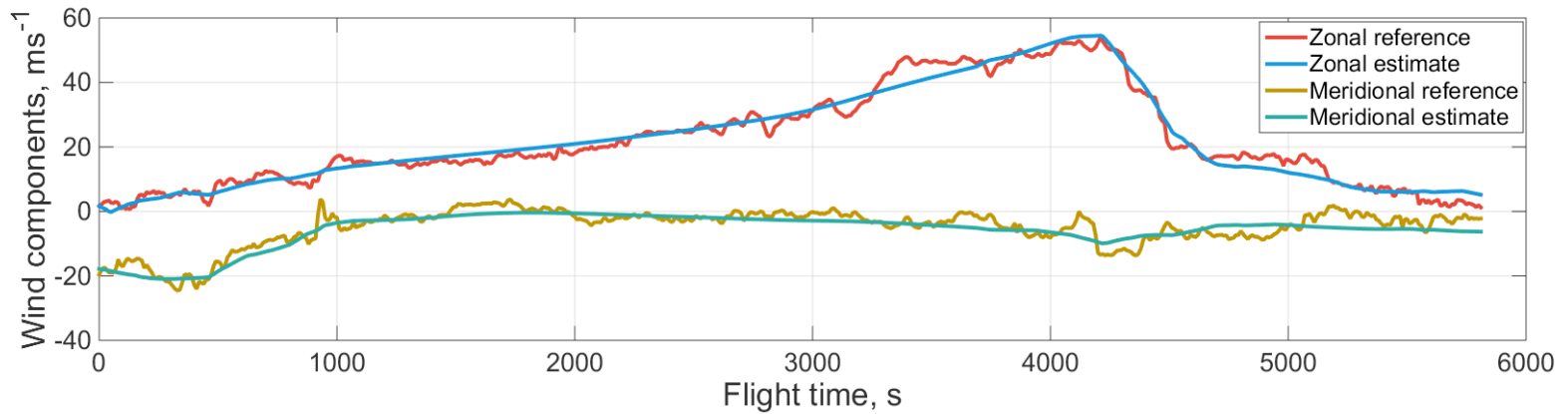
飛行時間に対する初期質量の差異

M1-1, M1-2, M1-3 : 双発・小型ジェット旅客機
 H1-1, H1-2 : 双発・中型ジェット旅客機
 H2-1, H2-2 : 双発・大型ジェット旅客機
 H3-1 : 双発・中型ジェット旅客機

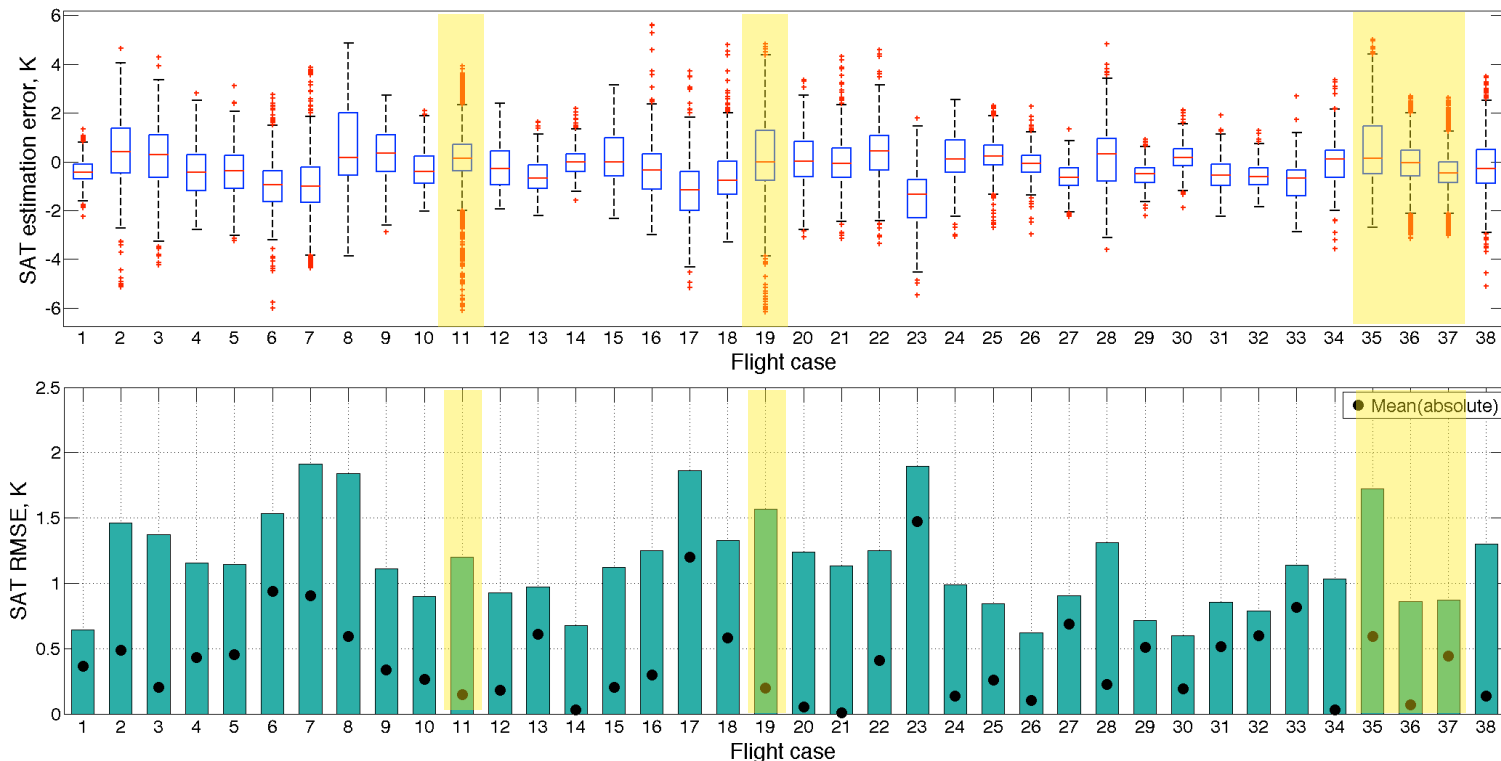
- ・ 3時間未満のフライト
 - ➔ BADA標準質量(短距離)
- ・ 3時間以上, 6時間未満のフライト
 - ➔ BADA標準質量(中距離)
- ・ 6時間以上のフライト
 - ➔ BADA最大質量(長距離)



解析例 - 外気温



解析例 - 風速成分推定

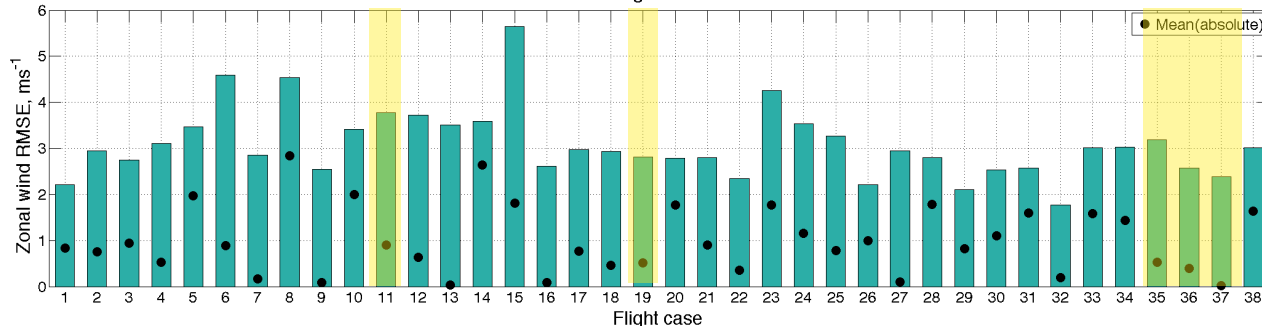
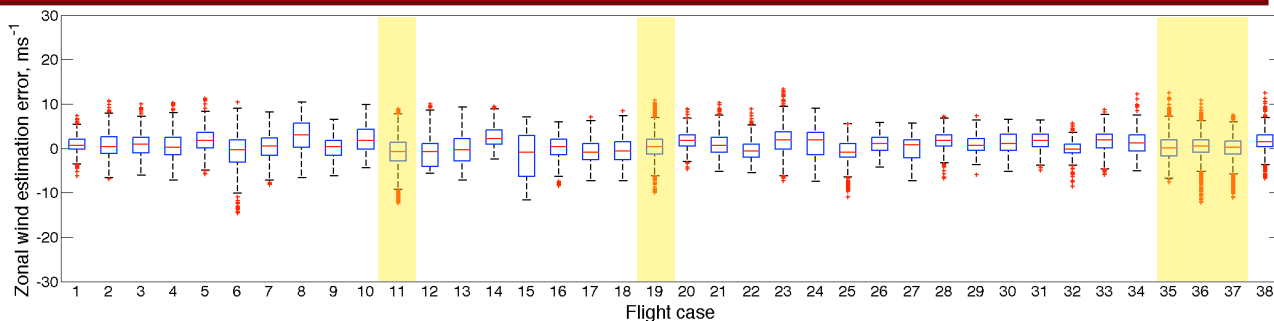


外気温の推定誤差における統計結果

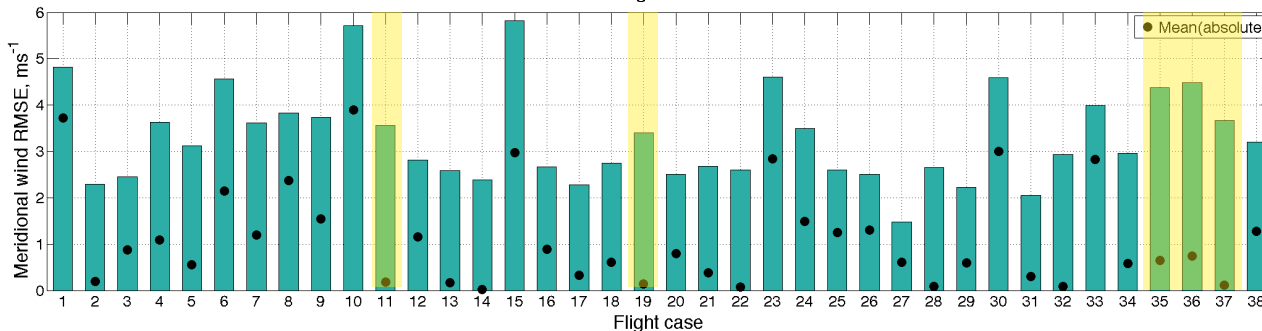
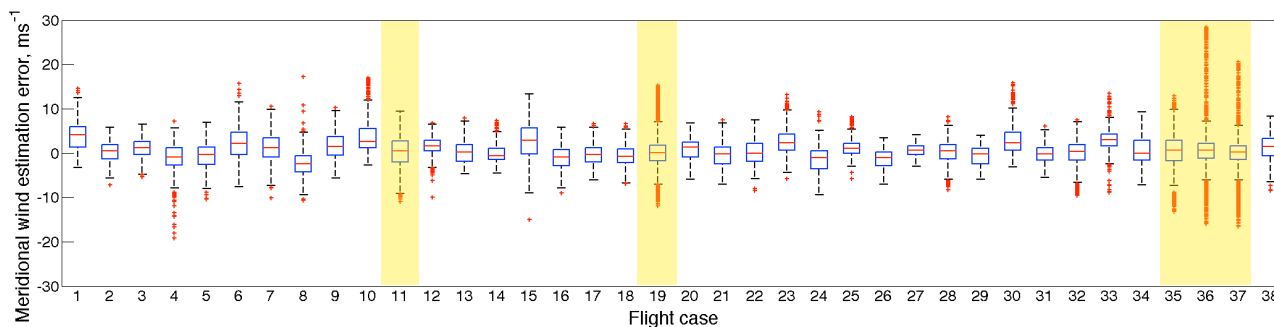
– 数値結果 –

- ✓ 四分位範囲 (中央値から50%のばらつき) : ± 2 K
- ✓ 推定誤差の最大平均値(絶対値) : **1.5 K** (フライト23)

東西風速成分の推定誤差 における統計結果

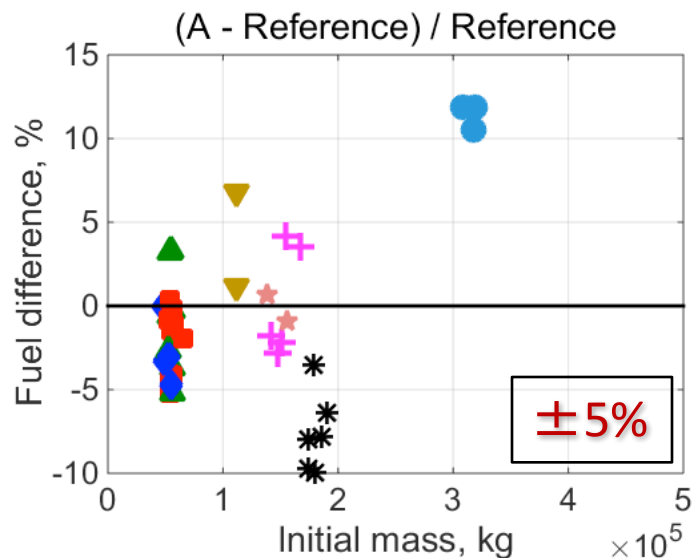


南北風速成分の推定誤差 における統計結果

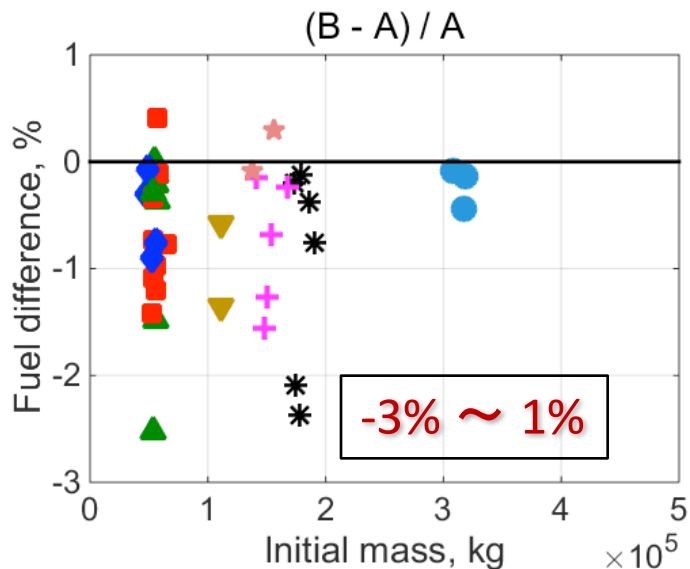


— 数値結果 —

- ✓ 四分位範囲 : $\pm 5 \text{ ms}^{-1}$
- ✓ 推定誤差の最大平均値 (絶対値) : 3 ms^{-1}

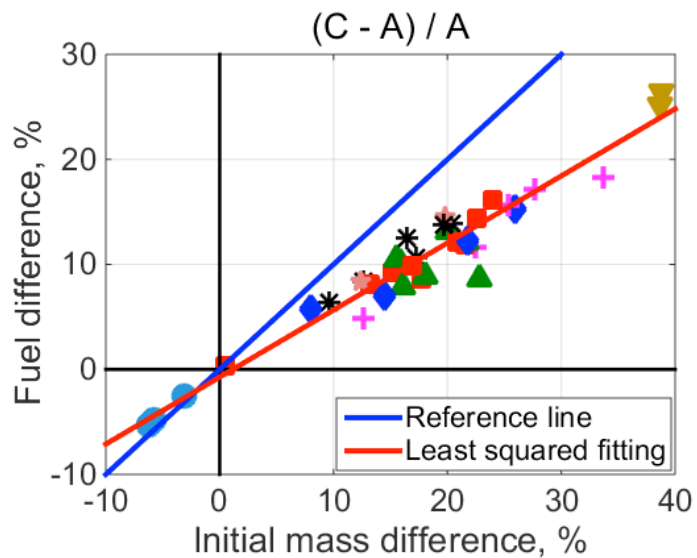


(a) フライトデータと方法 A の比較

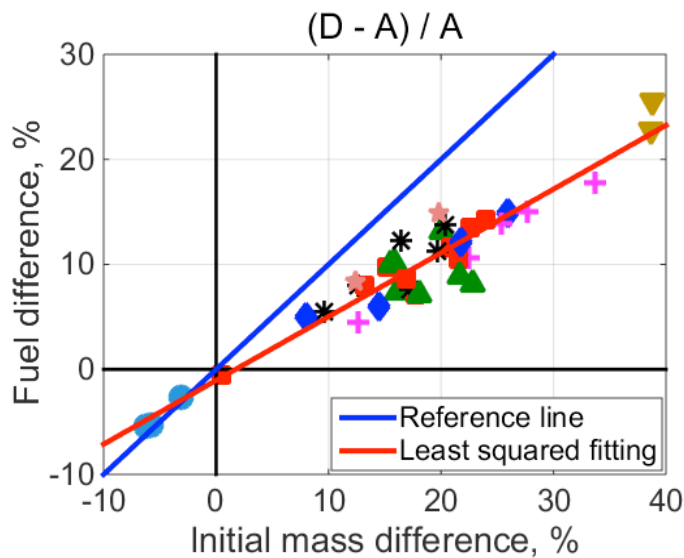


(b) 方法 A と方法 B の比較

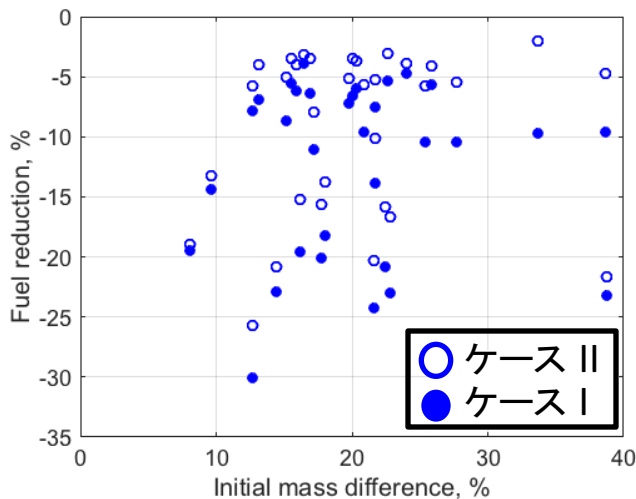
- ◆ M1-1
- M1-2
- ▲ M1-3
- ▼ H1-1
- ★ H1-2
- * H2-1
- H2-2
- + H3-1



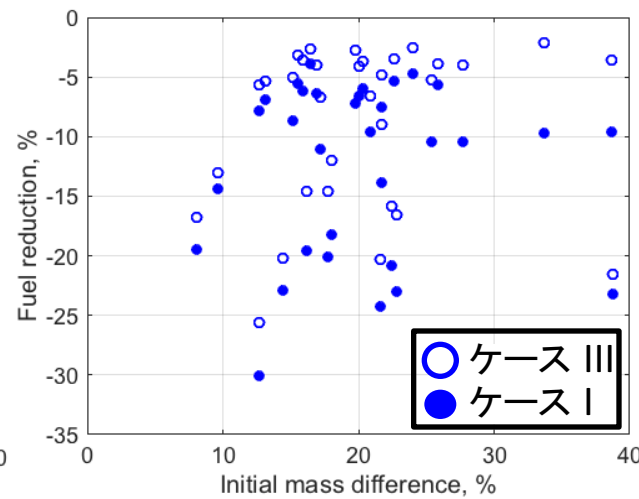
(c) 方法 A と方法 C の比較



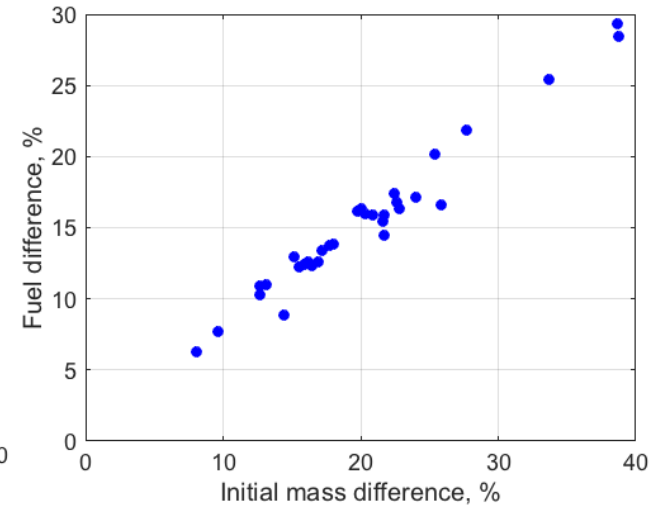
(d) 方法 A と方法 D の比較



(a) 初期質量の影響



(b) 気象データ・初期質量の影響



(c) 初期質量の差異に対する最適燃料推定の差異

☒(a) → 初期質量の仮定により、軌道最適化による燃料削減率が悪化する。
(最大40%の質量仮定の差 \Leftrightarrow 最大30%の燃料削減率)

☒(b) → 初期質量の仮定と気象データにより、軌道最適化による燃料削減率が悪化する。
(気象予報データの使用 → 便益推定へ僅かの影響)

☒(c) → 初期質量の差の割合と燃料消費量の割合が強い線形の相関性を持つ。

- ケースⅠ : 方法 E vs. 方法 A – 軌道最適化による便益推定(評価基準)
- ケースⅡ : 方法 F vs. 方法 C – 初期質量が便益推定に及ぼす影響
- ケースⅢ : 方法 F vs. 方法 D – 気象データと初期質量が便益推定に及ぼす影響

- Effects of errors in initial mass and wind conditions on aircraft performance estimation are reviewed through a quantitative evaluation.
 - Nowcast meteorological data record high accuracy in off-line performance estimation.
 - Highly dynamic weather conditions may increase the estimation error.
 - Nominal BADA mass values for initial aircraft mass increase fuel flow error;
 - Roughly linearly with mass error during climb and cruise phases.
 - Less effect of mass error during descent phase.
 - Overall fuel estimation error is dominated by cruise phase.

- Effect of wind and initial mass errors on the potential benefits estimation is investigated through trajectory optimization based on Dynamic Programming.
 - Estimated fuel benefits error was 7% with a tradeoff range of -8% to 2% of flight time difference.
 - Corresponding initial mass error ranged between 0% and 40%.

- ❖ **Understanding the error characteristics of aircraft mass and weather data is of great importance for,**
 - ✓ accurate pre-flight planning
 - ✓ trajectory prediction
 - ✓ decision making and on-line performance computations**to meet demanding challenges faced by future ATM systems.**

A sunset over an airport tarmac. The sun is a large, bright yellow orb in the center of the sky, casting a warm glow. The sky is filled with soft, orange and yellow clouds. In the foreground, the dark silhouette of an ANA airplane is visible on the tarmac, with the number '787' clearly marked on its fuselage. The background shows the silhouettes of airport buildings and structures against the bright sky.

ご清聴ありがとうございます.

お問い合わせ: navinda@mpat.go.jp