オープンデータを用いた運航方式の評価事例

武市　昇
首都大学東京　システムデザイン研究科
航空宇宙システム工学域　准教授

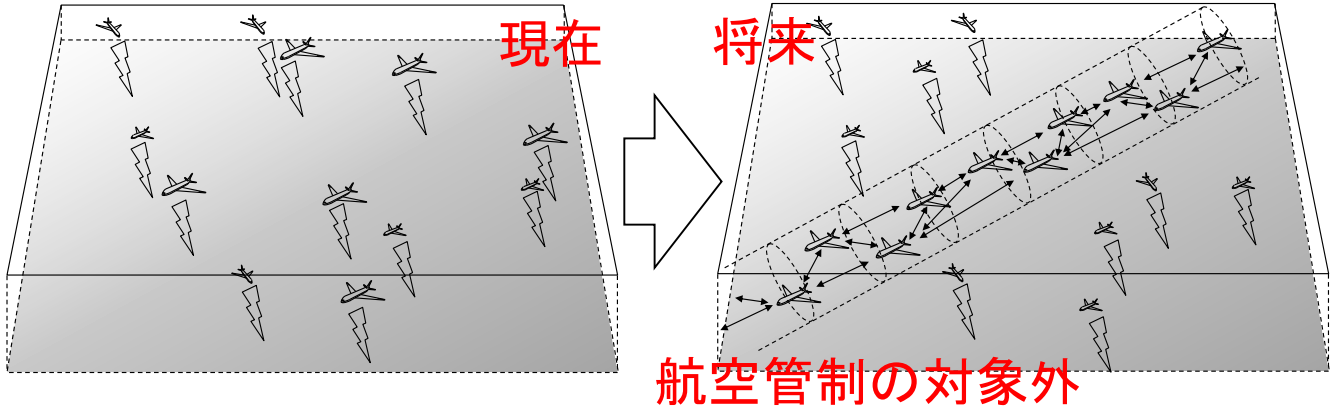
CARATSオープンデータ活用促進フォーラム
2016年12月9日

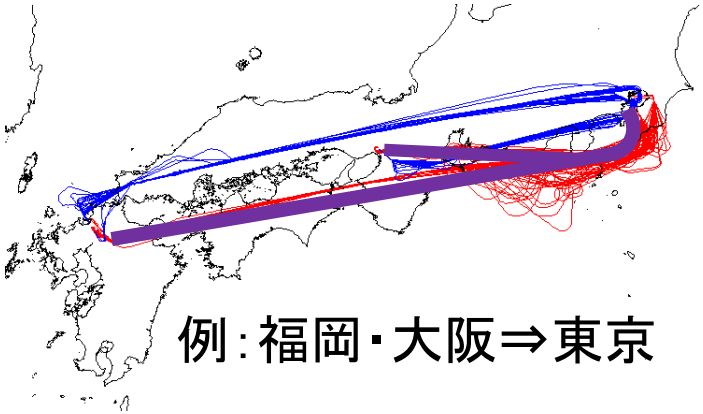
評価事例の紹介

- オープンデータの使用事例
  - （1）フローコリドーの評価
    - 便益をもたらす条件を明らかに
  - （2）混雑空港への到着遅延時間の評価と予測
    - 将来の軌道ベース運用に向けた予測方法の検証
  - 将来の運航方式がもたらし得る便益の評価
    - 潜在的な便益の評価：燃料消費量（運航コスト）の削減
      - 現在の燃料消費量 vs 将来の運航方式における消費量の比較
  - 動態予測方法の検証
    - 予測方式を検証するためのデータソースとしての活用

フローコリドーの概要

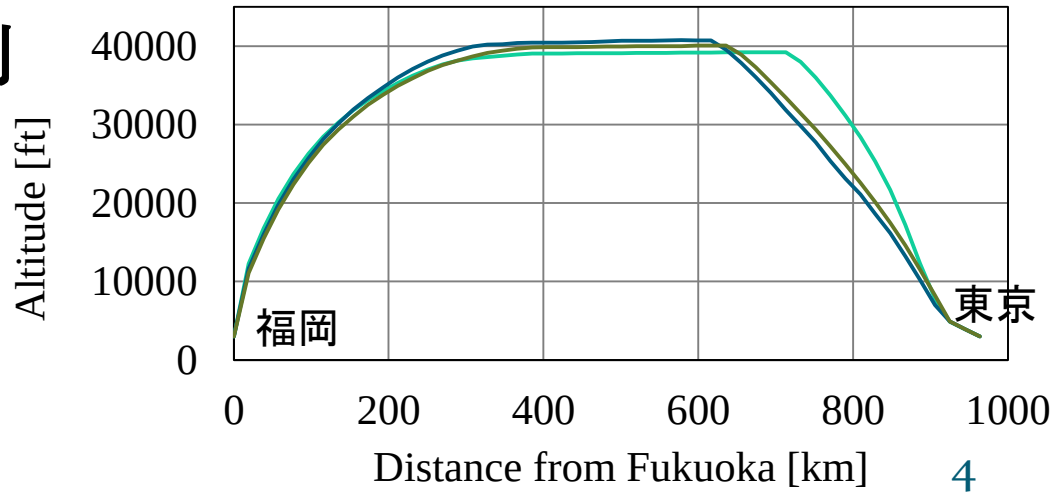
- CARATS & NextGenで計画されている運航方式
  - SESARも似たコンセプト（”Air Traffic Freeway System for Europe”, EEC, 2005）
- 混雑空港および都市圏間を接続する“細長い空域”
- フローコリドーの内部
  - 自律間隔維持（セルフセパレーション）の性能を持つ機体のみが飛行
  - 管制官の介入は不要　⇒　全ての航空機がほぼ最適な経路を飛行可能
- フローコリドーの外部
  - 従来通りの航空管制：自律間隔維持の性能を持たない機体
- 空域全体としての交通容量を拡大
- 装備レベルの異なる機体の混在する航空交通の取り扱いが可能





フローコリドーの便益評価

- 便益評価
  - “全ての航空機が最適経路を飛行できる”ことを想定
  - 現在と比べてどの程度の便益をもたらすか？
- 燃料消費量の推定方法
  - 対地速度 ⇒ 対気速度 ⇒ 抗力 ⇒ 推力 ⇒ 燃料流量
    - 位置・高度：オープンデータ
    - 気象数値予報：気象庁
    - BADAモデル：EUROCONTROL
- 消費燃料最小の飛行経路例



フローコリドーの便益評価

- **消費燃料・飛行時間の低減効果の評価**　※全て標準質量を仮定

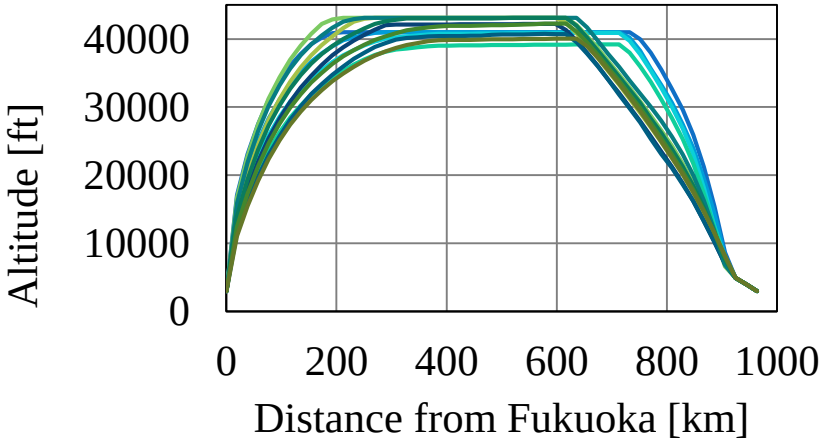
機種	燃料消費量（平均）[kg]	燃料消費量（最適）[kg]	削減量 [kg]	飛行時間（平均）[sec]	飛行時間（最適）[sec]
重み付き平均	**6.32**×10³	→ **5.56**×10³	**0.76**×10³	**4.55**×10³	→ **4.31**×10³
B772	8.15×10³	7.06×10³	1.09×10³	4.54×10³	4.36×10³
B738	3.30×10³	3.02×10³	0.28×10³	4.61×10³	4.18×10³
B788	6.51×10³	5.84×10³	0.67×10³	4.46×10³	4.41×10³

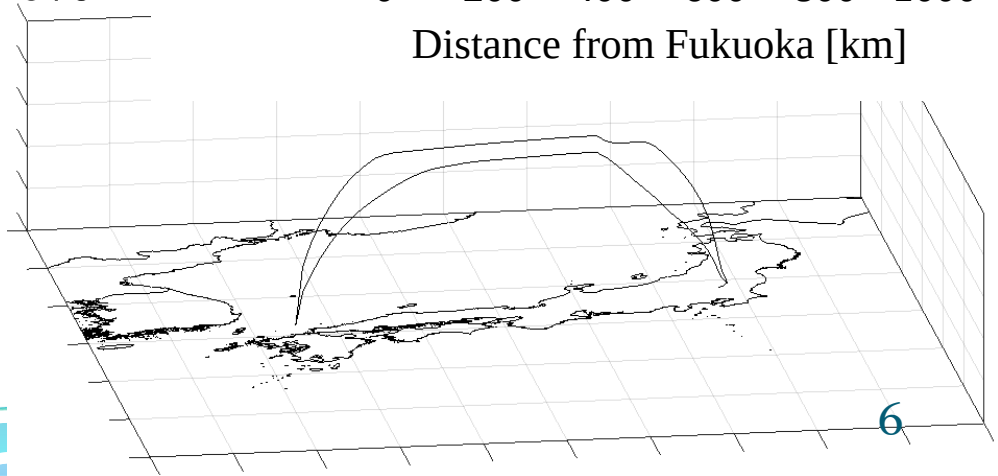
  - 飛行時間を延長せずに燃料消費量の削減が可能

- フローコリドーの利用要件
  - 航空機：自律間隔維持の性能を持つこと
    - 一方、普及には時間がかかる
- フローコリドーの導入条件
  - どの程度の割合の航空機が利用できればメリットがあるか？

フローコリドーの導入条件

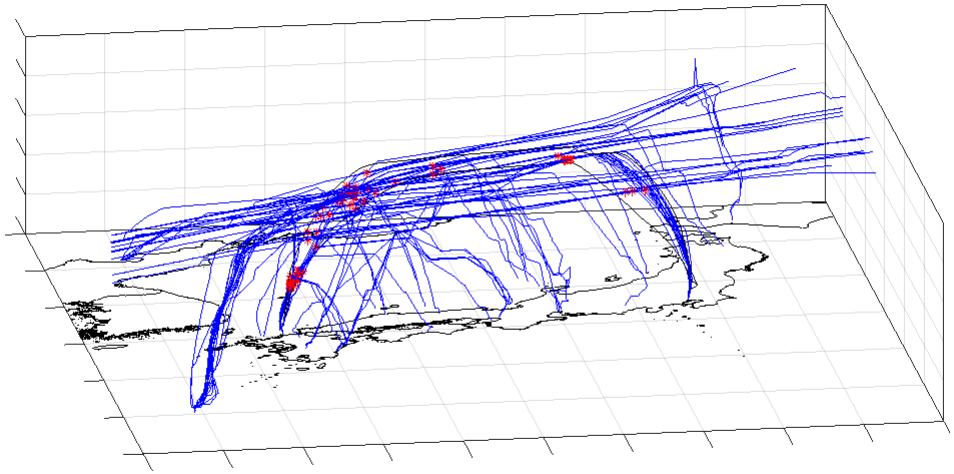
- フローコリドーの導入条件
  - 全体として燃料消費量を増やさない
  - フローコリドー内部の航空機は必ず得をする
    ⇒フローコリドーを利用できる航空機の割合を求める
- まずはフローコリドー空域の推定
  - あらゆる航空機の最適軌道の解析
    - 代表的な機種：777・787・737
    - 質量状態：BADA質量の100～70%
  - フローコリドー空域
    - これらの最適軌道の包絡線

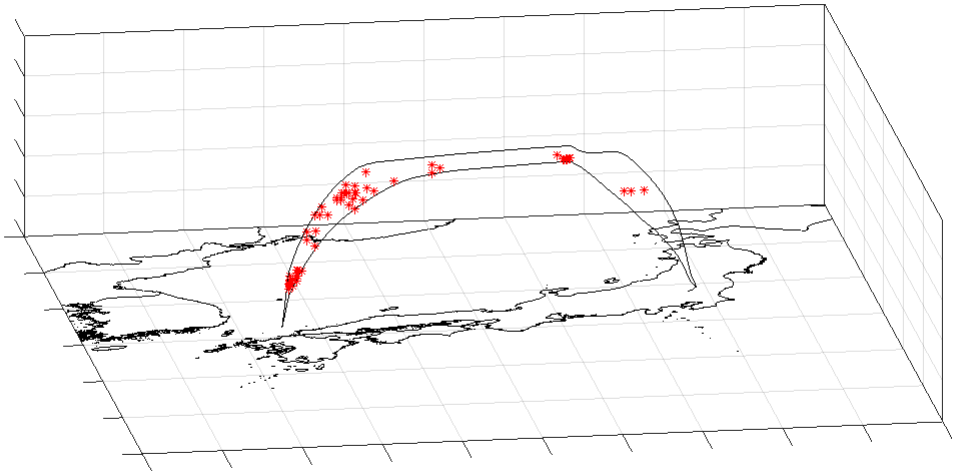




フローコリドーの導入条件

- フローコリドー空域との干渉の抽出
  - 現在の運航便からフローコリドーと干渉する便を抽出
    - 羽田空港・成田空港・福岡空港到着便は除く
      - 現在：ベクタリングの過程で干渉
      - フローコリドー導入時：セクター位置の変更
  - ある一日：72便を抽出



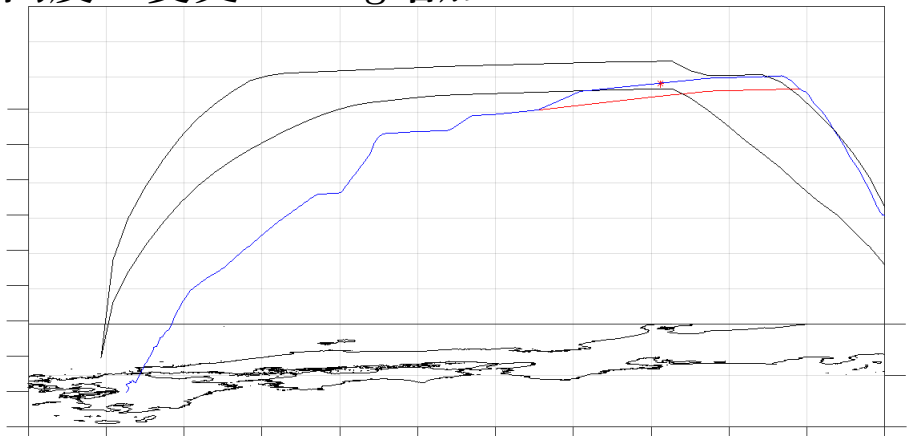


フローコリドーの導入条件

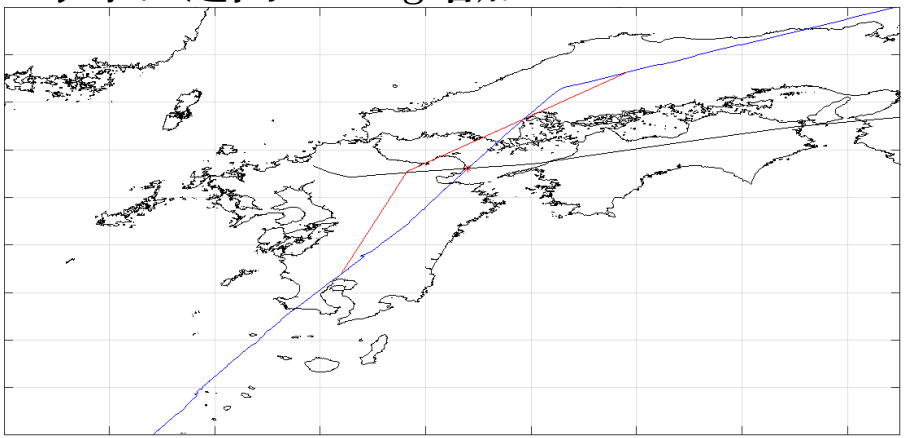
- 干渉を解消する経路を生成
  - FMS・MCPの簡単な操作により飛行できる経路
  - 例：高度のみ変更・同一高度で迂回
- 燃料消費量の増加量を評価

- 経路の例

羽田 ⇒ 鹿児島
高度の変更：50kg増加



那覇 ⇒ 小松
水平に迂回：49kg増加



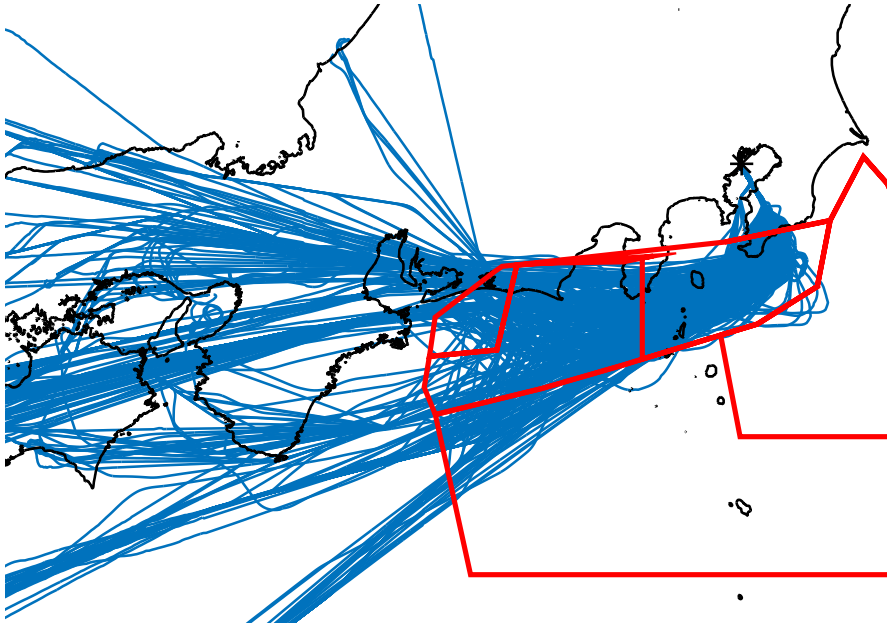
フローコリドーの導入条件

- 燃料消費量の増加
  - ある一日の72便 ⇒ 3720kg増加
  - 最適軌道での削減量と比較 ⇒ 必要搭載機数を求める
    - B772：1090kg　⇒　4機　（現在約25便/日運航）
    - B738：280kg　⇒　14機（同約15便/日）
    - B788：670kg　⇒　6機　（同約10便/日）

- フローコリドーの導入による便益
  - 一部の航空機への自律間隔維持の導入だけで十分
  - 早期に導入し順次拡大することができる
    - 機上装置の導入促進の効果

遅延時間の評価と予測

- 管制による遅延
  - 羽田空港に至る空域で慢性化



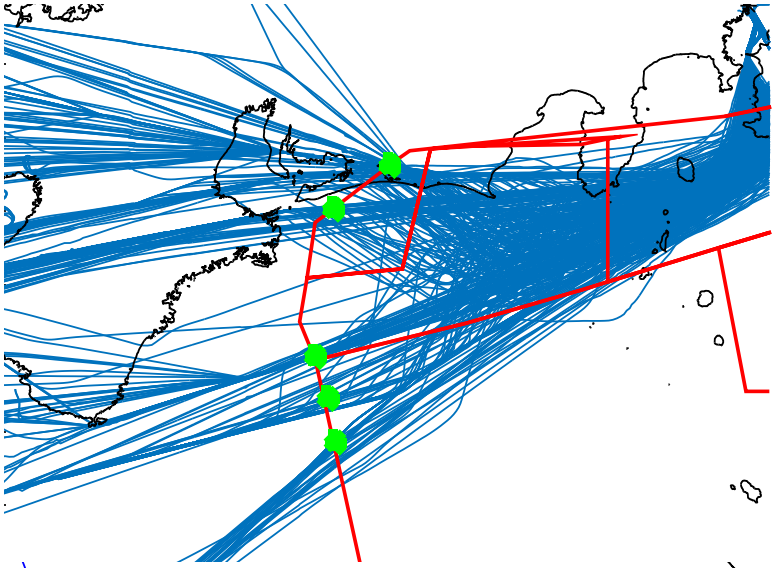
- 対応方法
  - あらかじめ“遅延”させておく
  - 出発空港で離陸時間を遅らせる
    - 出発時刻制御（EDCT)
  - 混雑セクターに入る時刻を遅らせる
    - SCAS（CFDT）

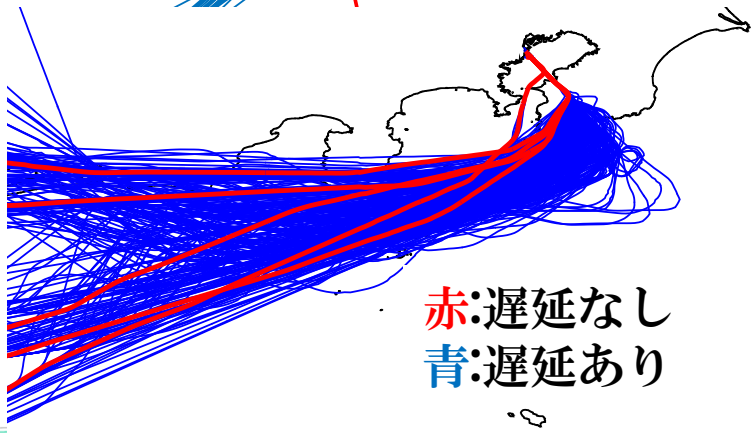
- いずれも遅延時間を正確に予測できると効率向上

遅延時間の評価

- データの制約
  - オープンデータには飛行計画が含まれない
    - “真の遅延”は不明確
  - 解析できる“遅延”を評価
  - 入域後に生じた遅延
    ⇒“管制による遅延”とみなす

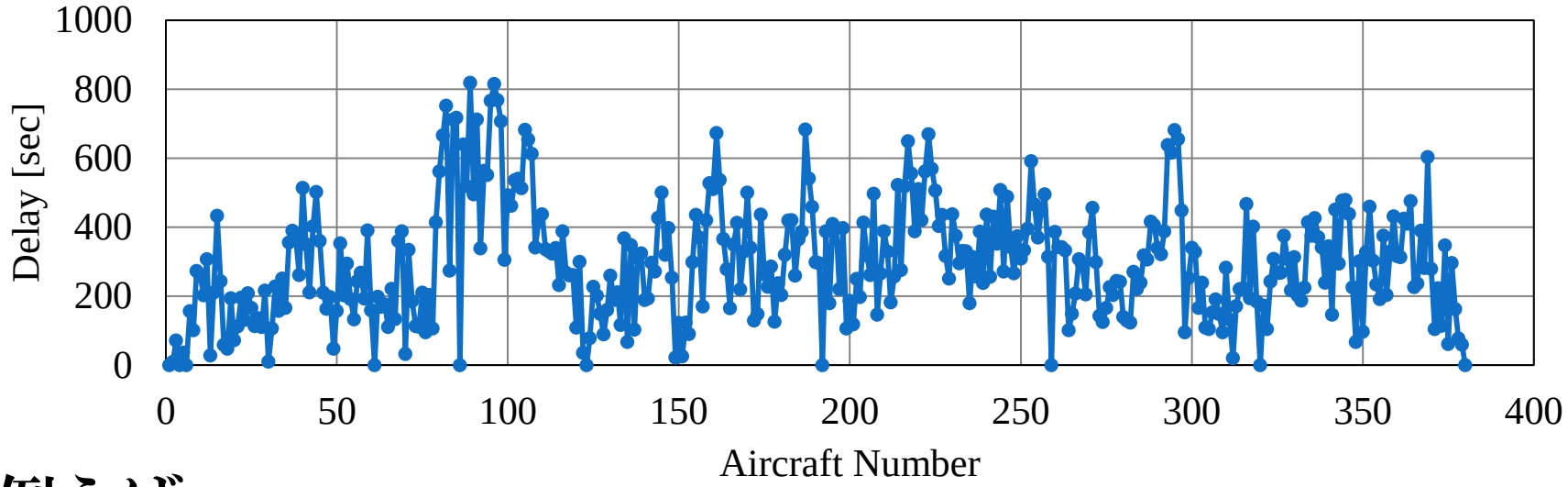
- セクター入域点はほぼ固定
  - 各点毎の最短飛行時間との差
    ⇒“遅延”とみなす





遅延時間の評価

- ある一日の遅延時間

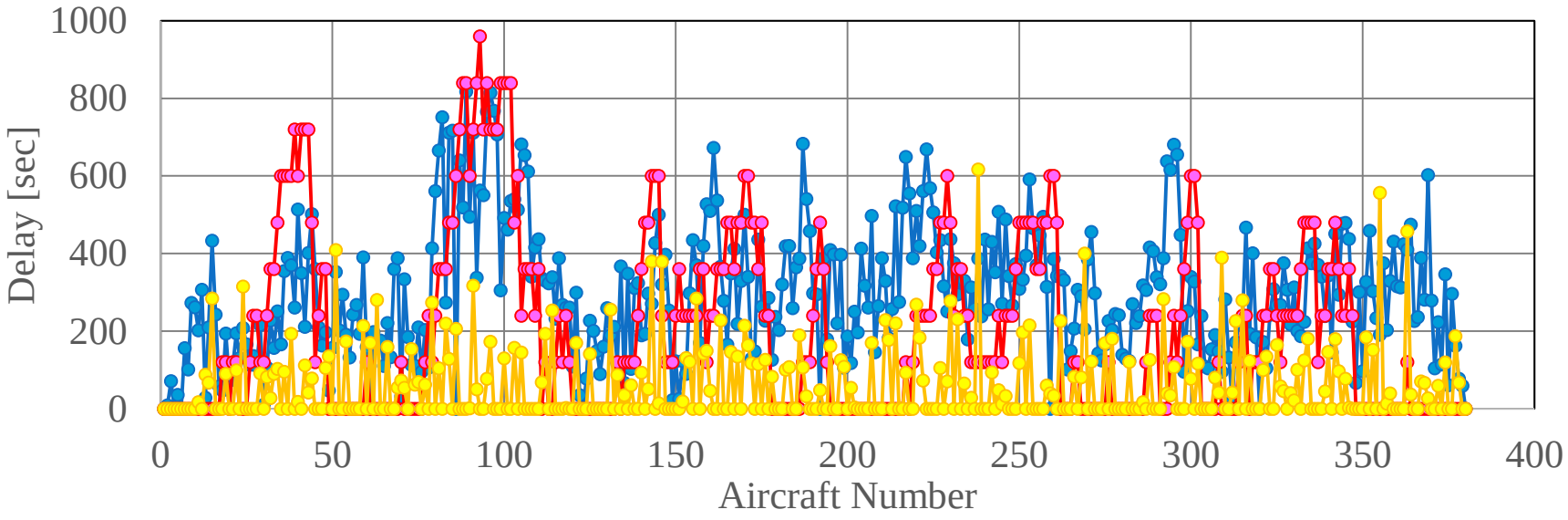


- 例えば
  - 混雑セクターに入る前に予測できれば ⇒ SCAS/CFDTの活用
  - 離陸前に予測できれば ⇒ EDCTの活用

- 本日：セクター進入直前での予測の検証
  - 今後の課題：離陸直前での予測

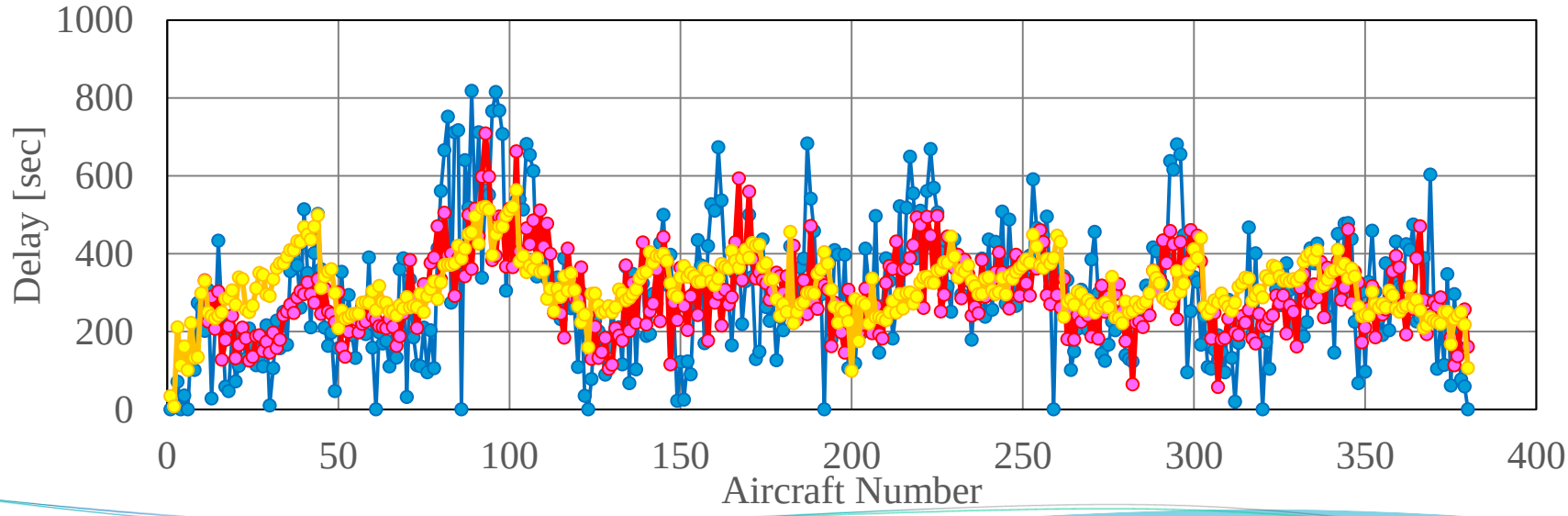
遅延時間の予測

- 遅延時間の予測方法
  - セクターの容量から予測 ⇒ 赤線
    - (セクター内機数 - 処理容量)×着陸間隔
  - 待ち行列から予測 ⇒ 黄線
    - Max(先行機の予測着陸時間＋着陸間隔, 自機の予測着陸時間)
      - BADAの標準軌道を使用 ⇒ 日本の空域の実情に合っていない



遅延時間の予測

- 遅延時間の決定要因
  - 物理的には飛行計画・気象条件で決まるはず
  - しかし実際に評価してみるとそれらの影響が複雑で不明確
  - こういう時は ⇒ 機械学習
    - とりあえず結果を出して後から解釈する
    - 予測に用いたパラメータ：入域点・入域時のセクター内機数
      - 黄線：通常のニューラルネット＋直前機との時間間隔
      - 赤線：前方の航空機の予測値を利用するニューラルネット



まとめ

- オープンデータ利用の事例紹介
  - 将来の運航方式の便益評価
  - 評価・分析手法の検証
- 実データの利用
  - 実際の振る舞い
    - 単体の航空機として・交通流として
    - あらゆる影響を考慮したことに相当する
      - 限りなく事実に近い“実験”が可能に
  - 数値シミュレーションだと
    - 想定したことしか考慮できない
    - どんなに詳細にモデル化しても意義は変わらない

まとめ

- オープンデータに関する考え
  - 定性的な検証（比較評価）への活用には有意義
    - 研究目的には利用価値がある
  - 定量的な検証の精度には限界
    - 定量的評価に必要なデータの欠落
      - 研究成果の実用化可能性の検証には別の手段が必要

- 今後の活用に有効なデータ
  - 運航意図の情報：“真の誤差”の抽出
    - フライトプラン
    - 航空機のFMSのデータ
    - 管制官の指示およびMCPの入力

※軌道ベース運用の評価・検証には不可欠