

オープンデータを用いた 将来の航空交通管理の評価事例

武市 昇

首都大学東京 システムデザイン研究科

航空宇宙工学域 准教授

CARATSオープンデータ活用促進フォーラム

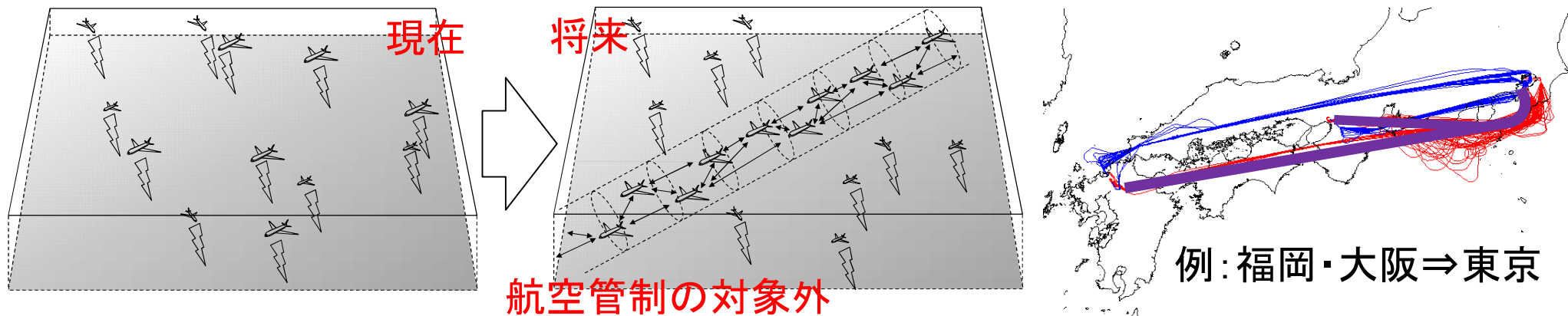
2015年9月4日

将来の航空交通管理

- 当研究室でのオープンデータを用いた取り組み
 - (1) 自律間隔維持の応用：フローコリドー
 - (2) 四次元航法の応用：継続降下運用 (CDO)
- オープンデータの使用事例
 - 将来の運航方式がもたらし得る便益の評価
 - 燃料消費量の削減：比較対象として
 - 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
 - 飛行時間の精度向上：どの程度の精度になるか？
 - 将来の運航方式を検証する実験のデータソースとしての活用

フローコリドールの概要

- CARATS & NextGenで計画されている運航方式
- 混雑空港および都市圏間を接続する“細長い空域”
- フローコリドールの内部
 - 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
- フローコリドールの外部
 - 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



フローコリドールの便益評価

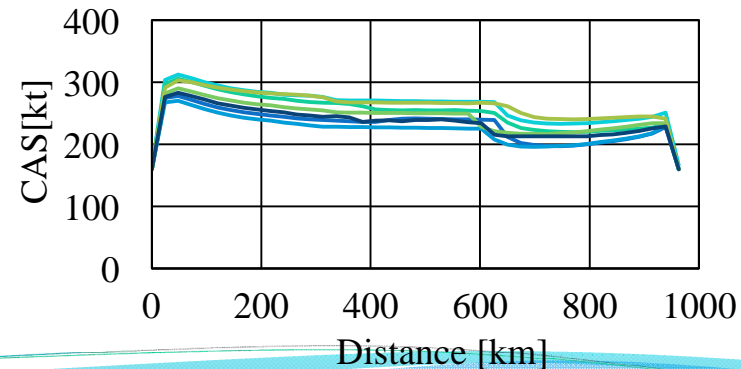
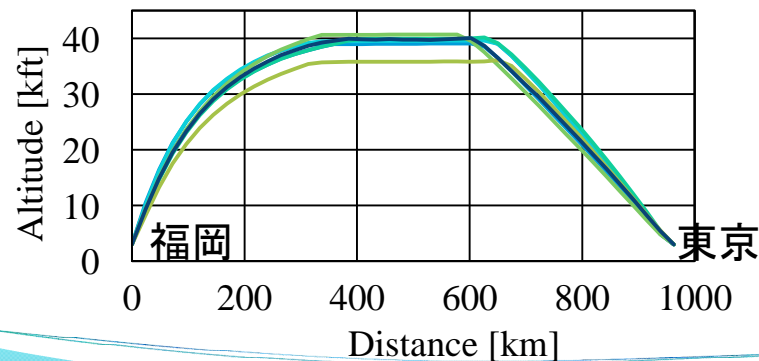
- 便益評価

- “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：機種別



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 | 機数 | 燃料消費量 (平均) [kg] | 燃料消費量 (最適) [kg] | 飛行時間 (平均) [sec] | 飛行時間 (最適) [sec] |
|------|-------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 平均 | 2099 | 6.61×10^3 | 5.38×10^3 | 4.56×10^3 | 4.39×10^3 |
| B772 | 877 | 8.15×10^3 | 6.62×10^3 | 4.54×10^3 | 4.37×10^3 |
| B738 | 419 | 3.30×10^3 | 2.70×10^3 | 4.61×10^3 | 4.61×10^3 |
| B763 | 263 | 6.63×10^3 | 5.41×10^3 | 4.56×10^3 | 4.16×10^3 |
| A320 | 274 | 3.15×10^3 | 2.52×10^3 | 4.66×10^3 | 4.51×10^3 |
| B74D | 132 | 12.21×10^3 | 9.85×10^3 | 4.42×10^3 | 4.05×10^3 |
| B773 | 81 | 9.59×10^3 | 8.01×10^3 | 4.55×10^3 | 4.24×10^3 |
| B788 | 53 | 6.51×10^3 | 5.44×10^3 | 4.46×10^3 | 4.44×10^3 |

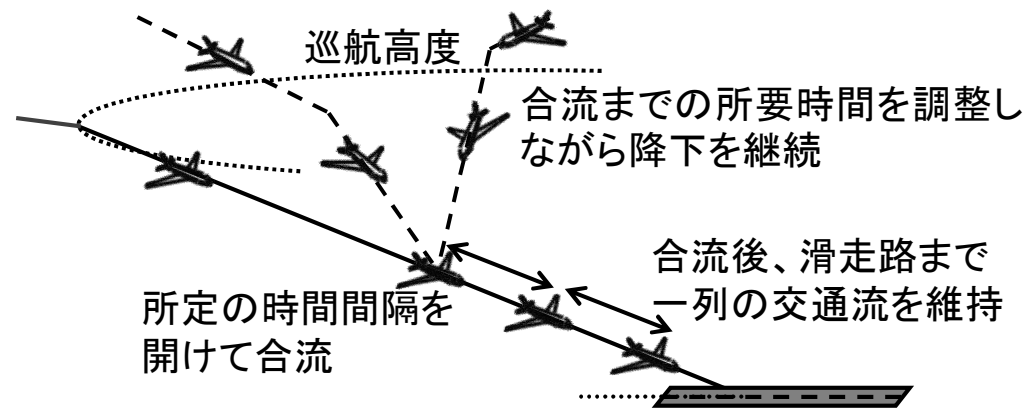
● 運航局面ごとの効果の分析

- 巡航だけでなく降下経路にもフローコリドーの導入効果が高い
 - では降下経路の自律間隔維持は？ ⇒ 新たな課題の導出

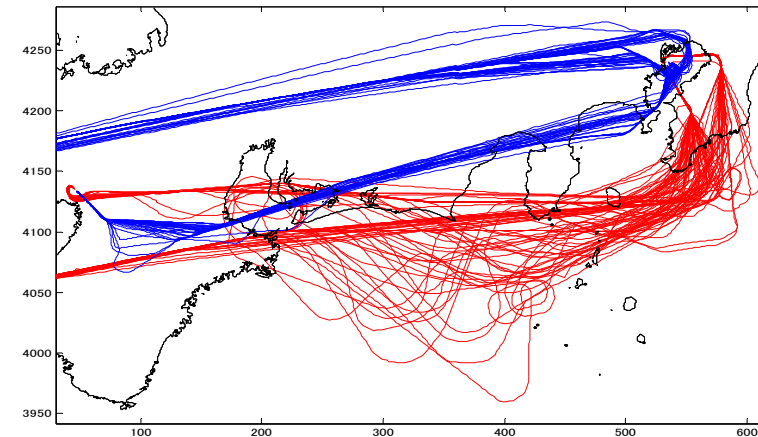
| 燃料消費量 | 機種 | 平均[kg] | 最適[kg] | 低減[kg] |
|-------|----|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | 上昇 | 3.27×10^3 | 3.54×10^3 | 2.73×10^2 |
| | 巡航 | 2.20×10^3 | 1.21×10^3 | -9.92×10^2 |
| | 降下 | 1.15×10^3 | 0.63×10^3 | -5.25×10^2 |
| | 全体 | 6.61×10^3 | 5.38×10^3 | 1.23×10^3 |

四次元航法による継続降下運用

- 継続降下運用（Continuous Descent Operation：CDO）
 - 特定地点で時間基準の間隔を確保して合流
 - 特定地点：中間高度の合流地点・FAP/FAFなど
 - 降下開始から合流地点までの飛行時間を調整
 - コンフリクトを避けながら低推力で降下を継続
 - ⇒ 燃料消費量・騒音を低減できる



福岡・大阪
⇒東京便の現在の軌跡

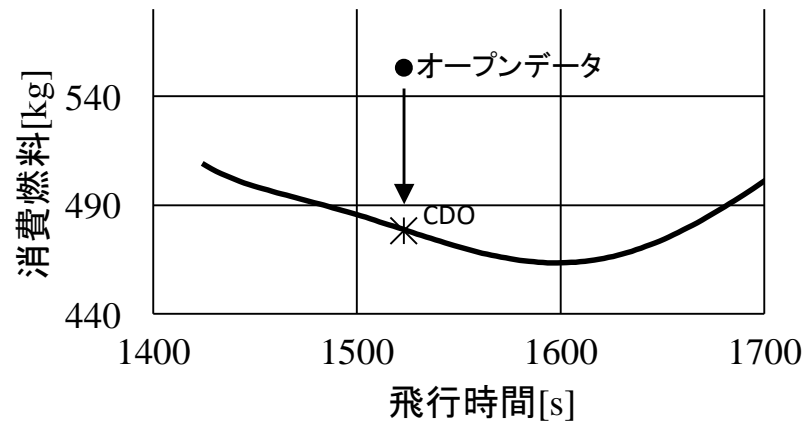
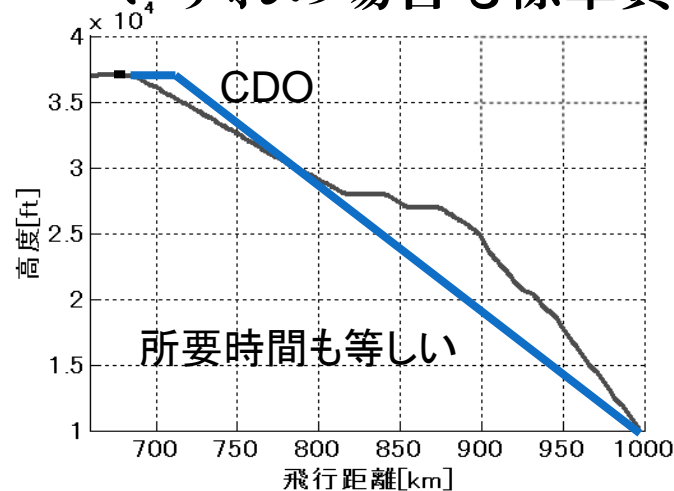
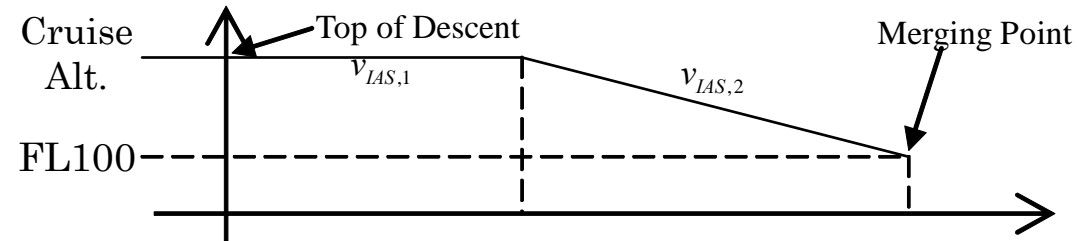


頻繁にベクタリングが
行われている

四次元航法による継続降下運用

● CDOの効果の解析

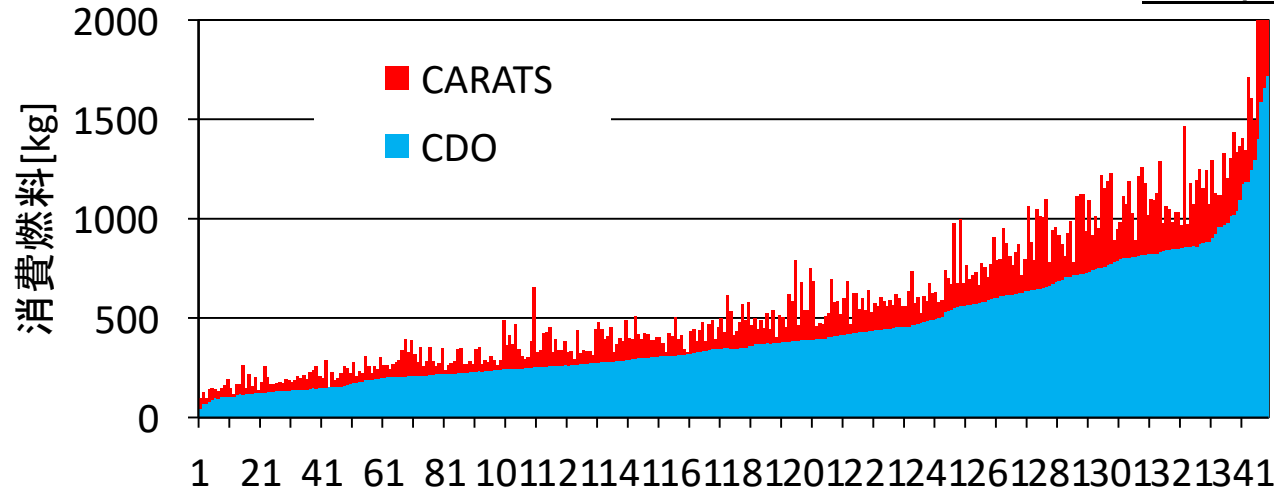
- 最小数の経路
- 巡航高度 ⇒ 高度10000ft
- オープンデータと等しい飛行時間・飛行距離のCDO経路
⇒ オープンデータの解析結果と比較 ⇒ 燃料削減効果
- 解析対象：羽田着の349便（B772・B763・A320・B738他）
 - オープンデータと同じ風況を使用
 - いずれの場合も標準質量を仮定



四次元航法による継続降下運用

- 羽田空港に着陸する航空機の燃料の最適化
 - 2012年5月11日の349便を解析

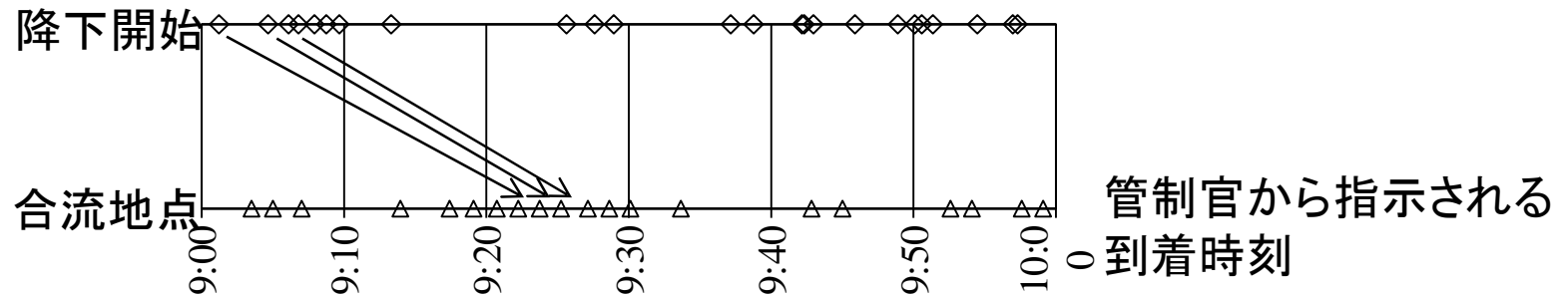
※全て標準質量を仮定



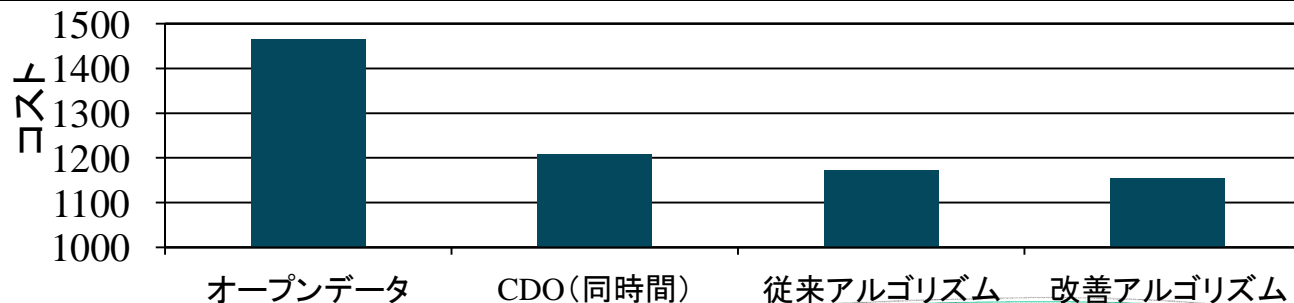
| | 消費燃料[kg] | | | | ※“最悪ケース”に該当 |
|---------|----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| | 全平均 | A320(36機) | B772(53機) | B763(85機) | B738(99機) |
| オープンデータ | 587.4 | 376.9 | 789.7 | 740.5 | 409.6 |
| CDO | 434.3 | 303.8 | 576.6 | 528.5 | 306.3 |
| 差 | 153.1 | 73.1 | 213.1 | 212.0 | 103.3 |

四次元航法による継続降下運用

- スケジューリングによる安全化&高効率化
 - 無駄なく安全な合流地点到着時間の指定
 - 実際の交通流のデータを“実験”で利用

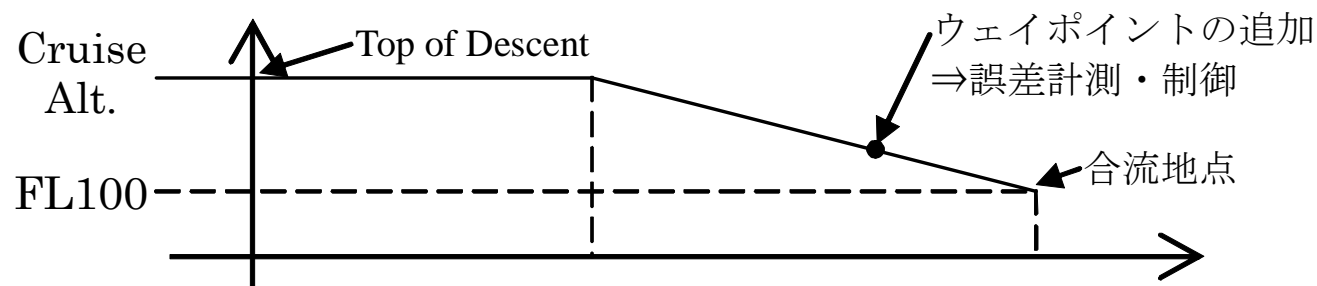


- コストの更なる低減が可能 (CI=40に相当する場合)
 - コスト = 燃料と飛行時間の重み付き和
 - 到着時間の調整によるコスト最小化を“実験”で実証



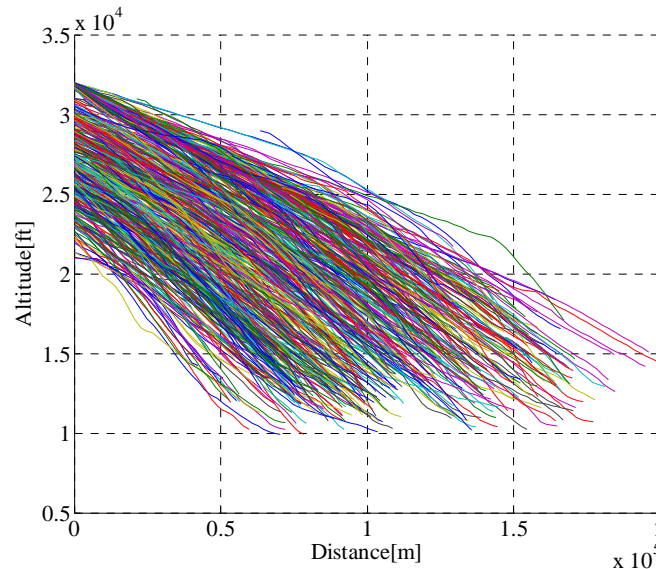
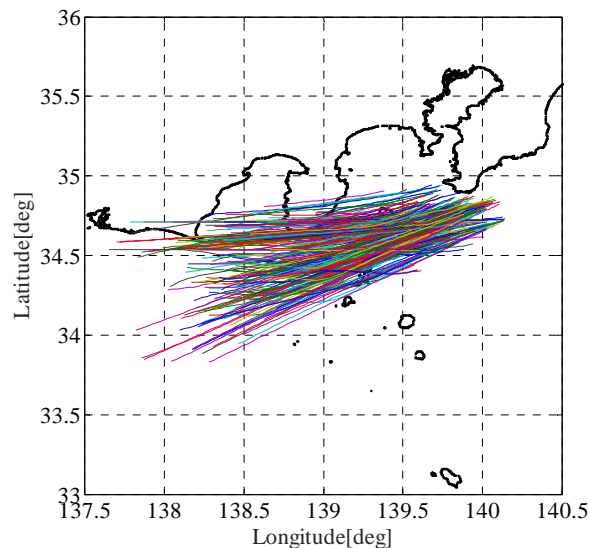
四次元航法の降下時間の精度向上

- CDOは到着時間の精度が重要
 - しかし合流地点到着までに誤差が生じる
 - 現在の約半数の機体：降下経路のRTAには非対応
 - 降下中に到着時間を自動的に制御できない
 - 途中にウェイポイントを設置
 - 飛行時間誤差を計測
 - 飛行速度を調整して誤差の解消を試みる
- ⇒ オープンデータで“実験”



四次元航法の降下時間の精度向上

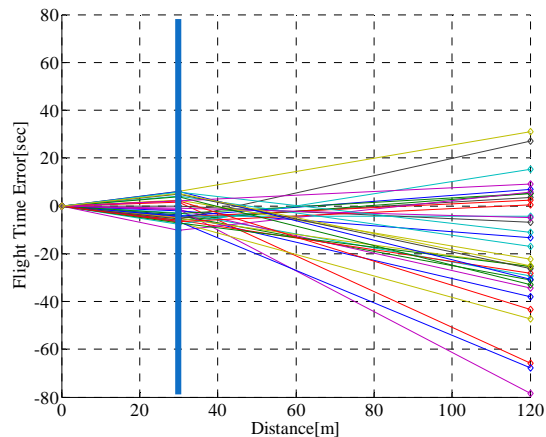
- オープンデータから飛行データを抽出
 - IASがほぼ一定のデータを抽出
 - ⇒ 速度指示された実運航を模擬する
 - 実験対象の範囲のデータを抽出
 - 西方面⇒東京
 - 継続的に降下するデータ



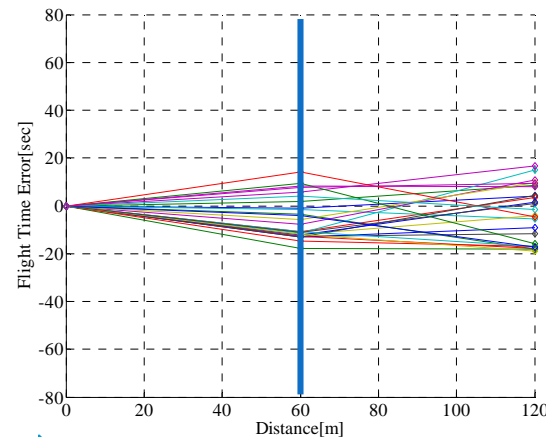
四次元航法の降下時間の精度向上

● 実験内容

- 高度30000ftから15000ftまで継続的に降下することを想定
- 途中にウェイポイントを設定し四次元航法の精度を向上
 - 通過時間誤差を計測
 - 通過後に速度を変化させて終端点の到着時刻精度を向上させる
- “実験” データとして活用：“本当の誤差”を含む



到着時間精度: RMS18.2sec



RMS9.9sec



まとめ

- 将来の運航方式の便益評価
 - 数値シミュレーションだと
 - 設定した誤差しか考慮できない
 - 誤差の振る舞いも設定できてしまう
 - どんなに詳細にモデル化しても所詮はシミュレーション
 - 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
 - 様々な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

まとめ

- オープンデータに関する考え
 - オープンデータ：事実の記録
 - データ処理により“限りなく本物に近いデータ”になる
 - “研究目的のデータ処理”の範囲では十分
 - 定性的な検証（比較評価）への活用には有意義
 - 一方、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（いずれも無理は承知ですが）
 - 質量情報
 - 有効数字2桁でも
 - 運航意図の情報：“真の誤差”の抽出
 - 航空機のFMSおよびMCPの入力
 - 管制官の指示