

国内定期旅客便の運航効率の客観分析に関する研究 (平成24年度～26年度共同研究成果)

平成27年度(第15回)電子航法研究所研究発表会, 調布

2015年 6月 4日

宮沢与和, 原田明德, 小塚智之, 重富貞成 九州大学大学院
ビクラマシンハ・ナヴィンダ, マーク・ブラウン, 福田 豊 電子航法研究所



平成26年度の研究チームメンバ(平成27年3月)

1. はじめに

- | 研究の背景と目的

2. 定期旅客便の運航効率の客観的分析

- | 飛行状態の推定と軌道最適化

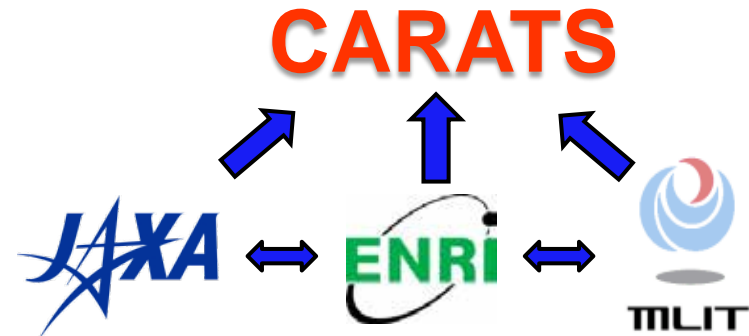
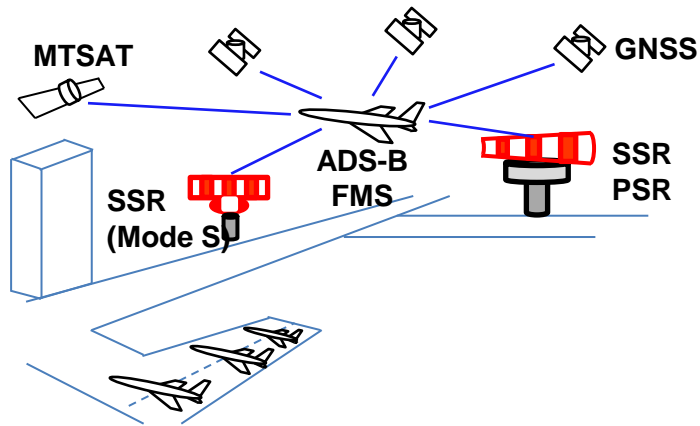
3. 潜在的な便益の分析結果

- | 東京国際空港到着便の統計的な分析

4. まとめ

研究の背景

航法・通信・監視技術の高度化



将来の航空交通管理のビジョンがまとめられ、研究開発のロードマップが示されている。

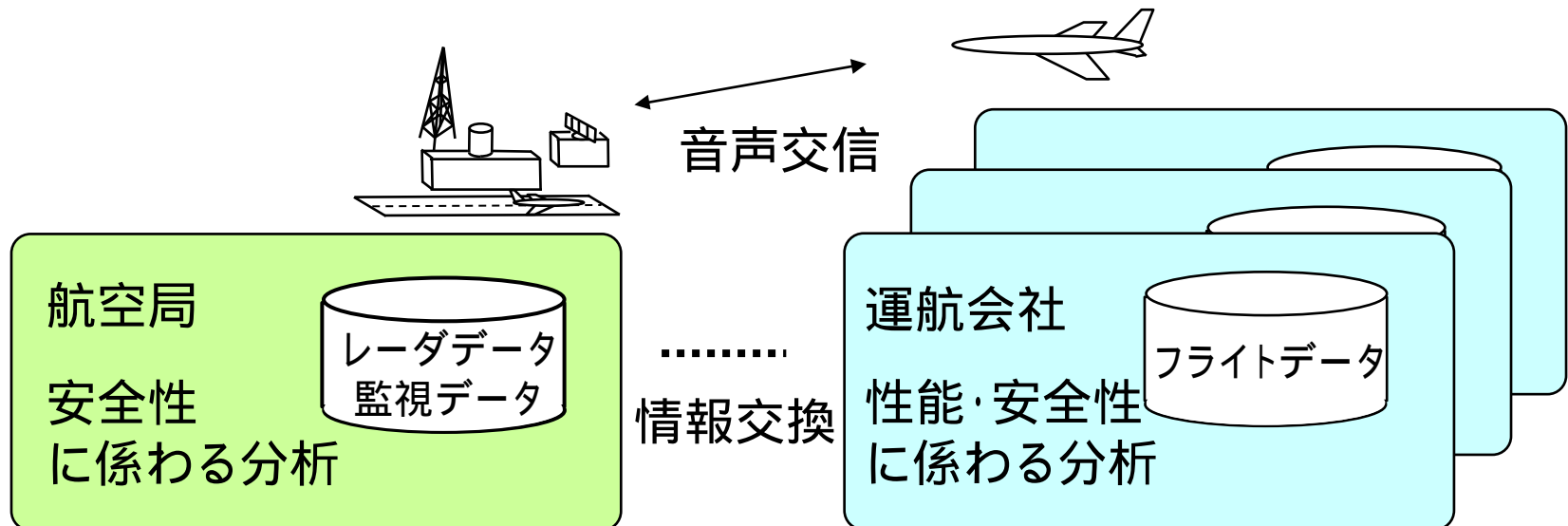
- 国土交通省と政府研究機関はCARATSの具体化を推進している。
- 大学の教育と研究の資源を必要とし、参加を呼びかけている。

新しい技術の導入によってもたらされる便益について現状にもとづいた定量的かつ詳細な分析はあまり行われていない。

本発表は、CARATSに資することを目的として平成24年度から平成26年度に電子航法研究所と共同で実施した研究の成果である。

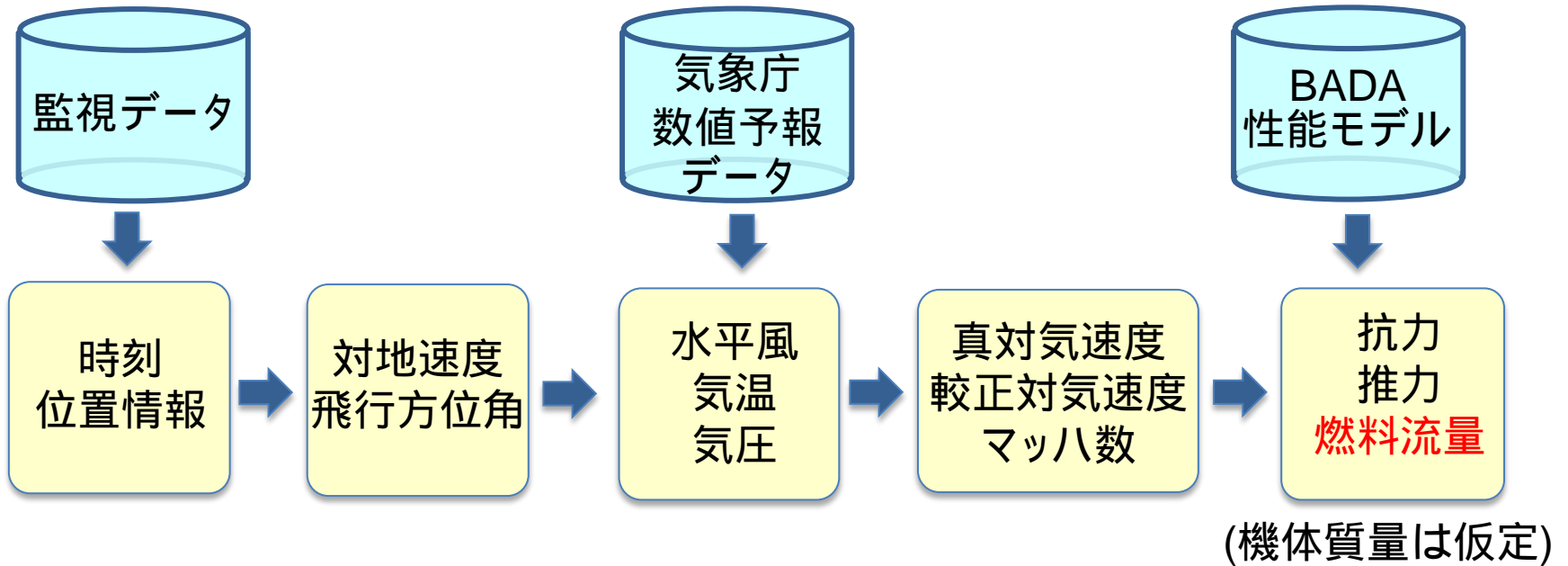
研究の目的

- CARATSの推進による潜在的便益を明らかにするために**航空交通の効率の現状を定量的に解析する方法**を提案し、その有効性を確認する。
- 航空交通システムの現状を分析するためには、対象とする空域の**全ての航空機を解析**する必要があり、**監視データ**を利用することが前提となる。しかし、航空機に搭載された飛行記録装置のような十分な情報がないので工夫が必要となる。

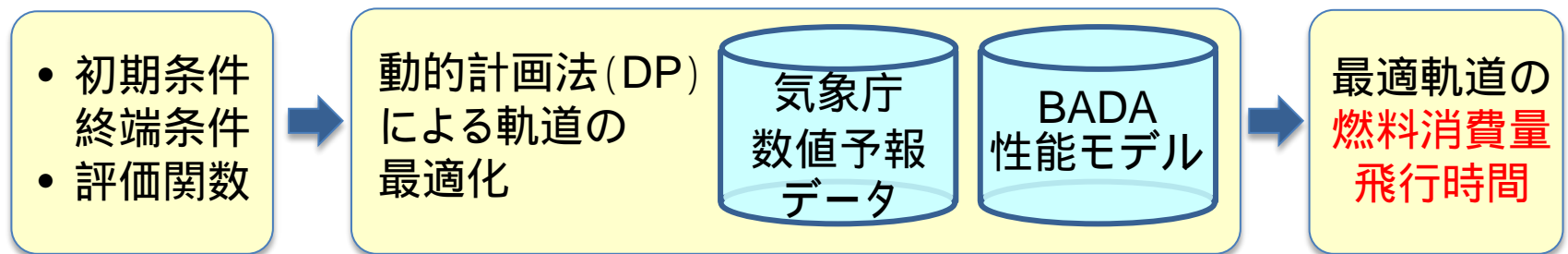


運航効率の客観解析

【飛行状態の推定】



【同じ条件とデータで軌道最適化】



動的計画法による軌道最適化

評価関数 Performance Index

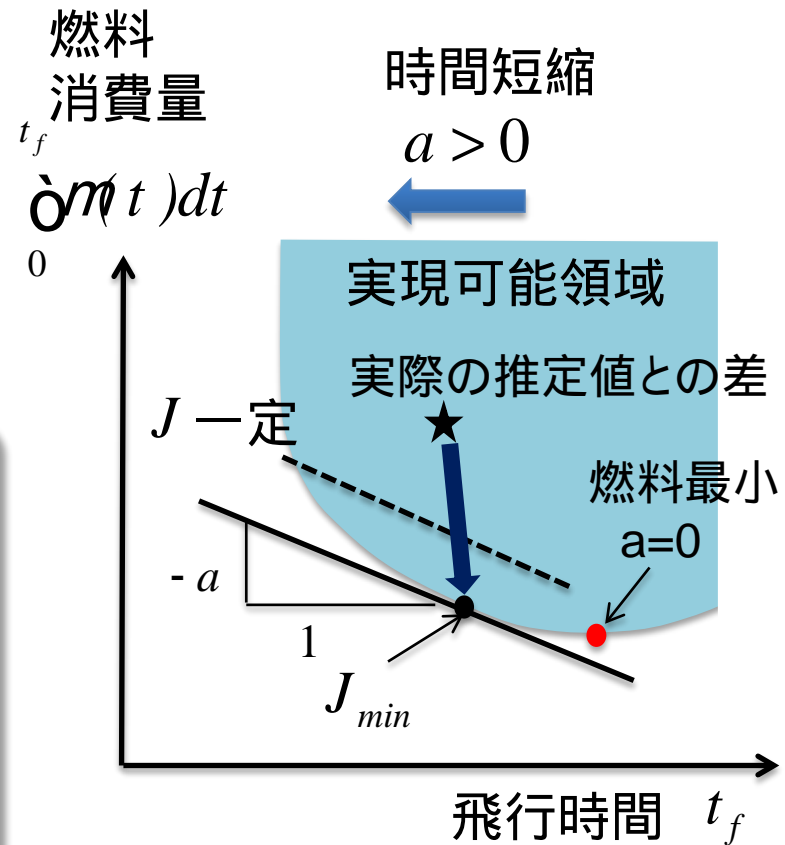
$$J = \int_0^{t_f} \dot{m}(t) dt + a t_f$$

(\dot{m} : Fuel flow, a : 時間の重み, kg/s)

コストインデックス CIとの関係

$$J_{dollars} = \int_0^{t_f} \frac{1}{100} C_{fuel} \frac{1}{0.4536} \dot{m}(t) dt + C_{time} \frac{1}{3600} t_f$$

$$CI = \frac{C_{time} [\$/hour]}{C_{fuel} [¢/lb]} = \frac{3600}{100 \cdot 0.4536} a = 79.37a$$



- コストインデックスは運用者が選択するものであるが、解析においては一定の値を用いる。 $a=0.5$ (CI=40)
- 進行方向, 高度, 速度(CAS), 直線経路からの横変位の4次元の空間に格子を設定して最適遷移軌道を動的計画法により導く。

運航効率の客観解析 具体的な応用例

実際の飛行データ



Fig. 1 ENRI's experimental Mode S SSR.

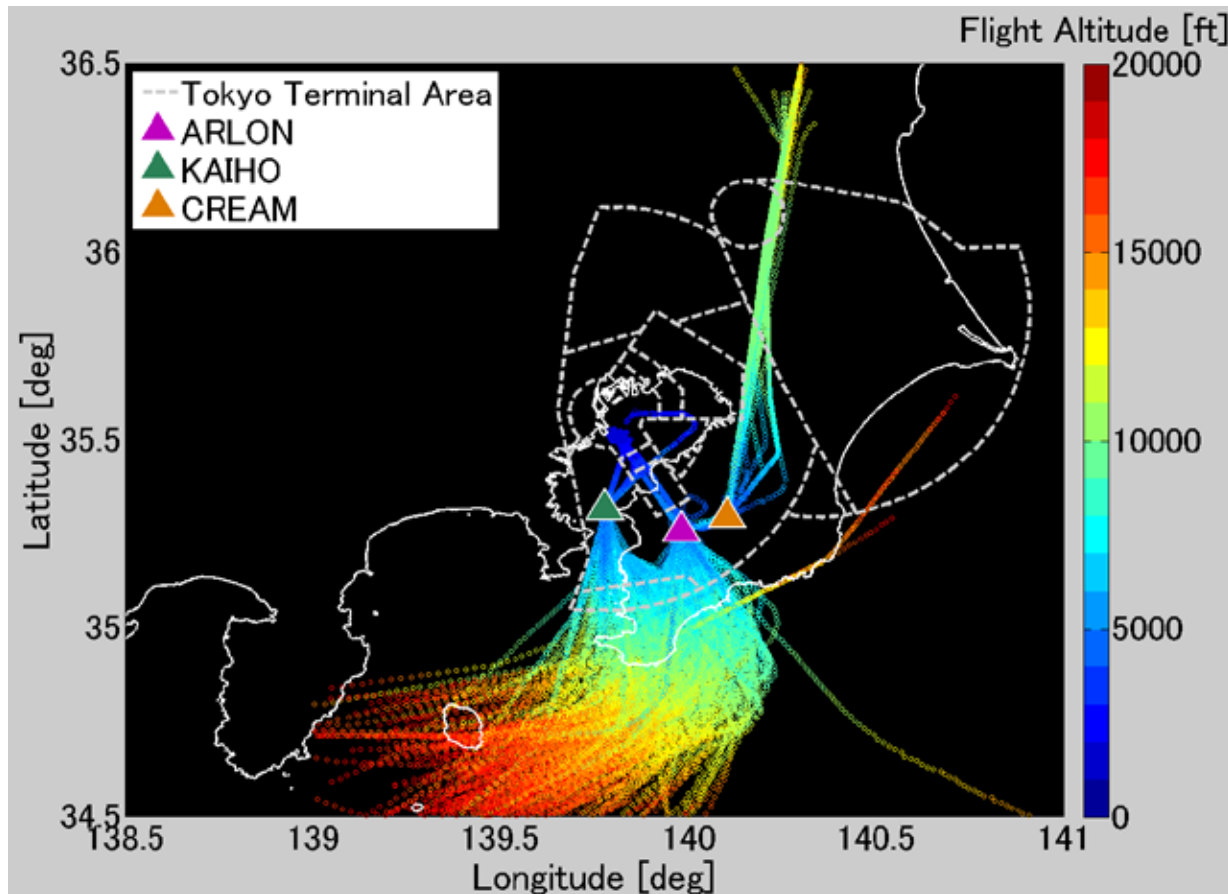
電子航法研で試験運用するSSR mode S

名称	Chofu SSR Mode S Test Ground Station
位置	ENRI (Tokyo, Japan)
周期	10 [sec]
覆域	250 [NM] at 40,000 [ft]

- 使用するSSR Mode Sの計測パラメタは、時刻、識別番号、気圧高度、緯度、経度。
- これらのデータは、覆域内のほとんどすべての航空機について得られるので、運航効率の分析に有用である。

到着機の運航効率分析 東京国際空港到着便

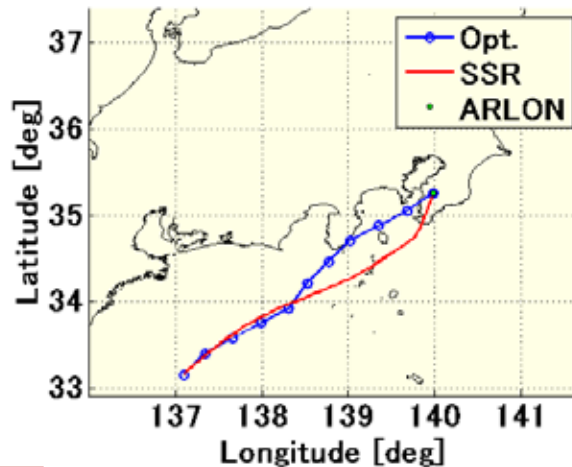
- 到着機は標準経路(STAR)上の3つのフィックスすなわちKAIHO, ARLON, CREAMにおいて合流している。 → 合流点までの運航効率を分析



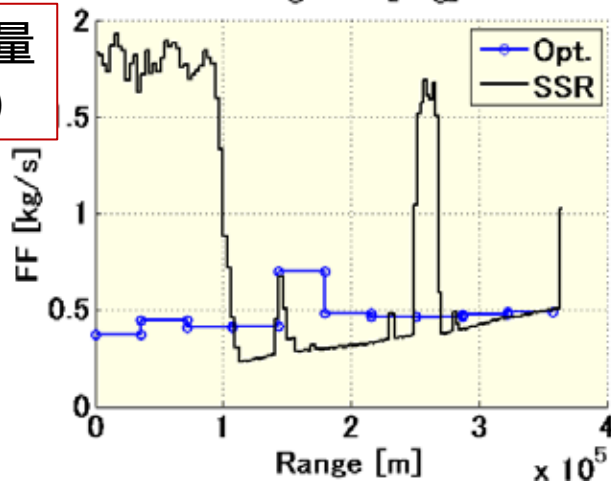
2012年のある日東京国際空港における到着機の航跡

1ケースの解析例 実際の飛行と最適軌道

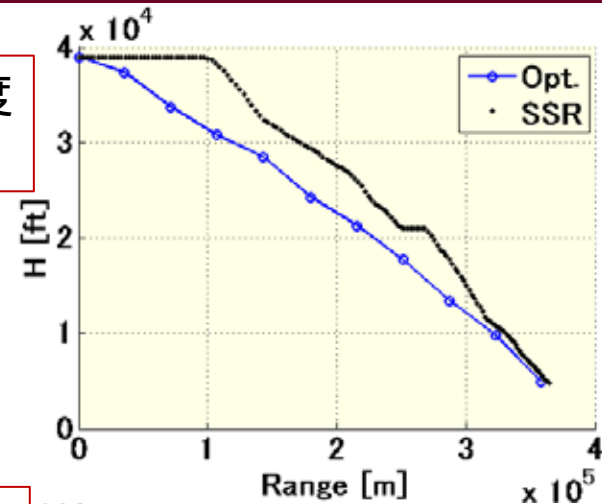
緯度
経度
(度)



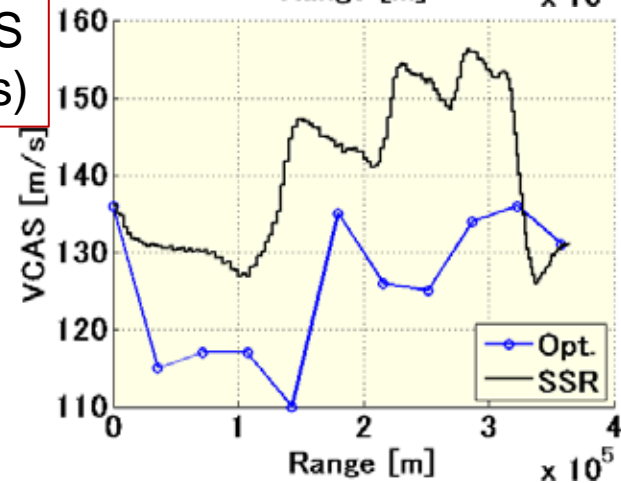
燃料流量
(Kg/s)



高度
(ft)



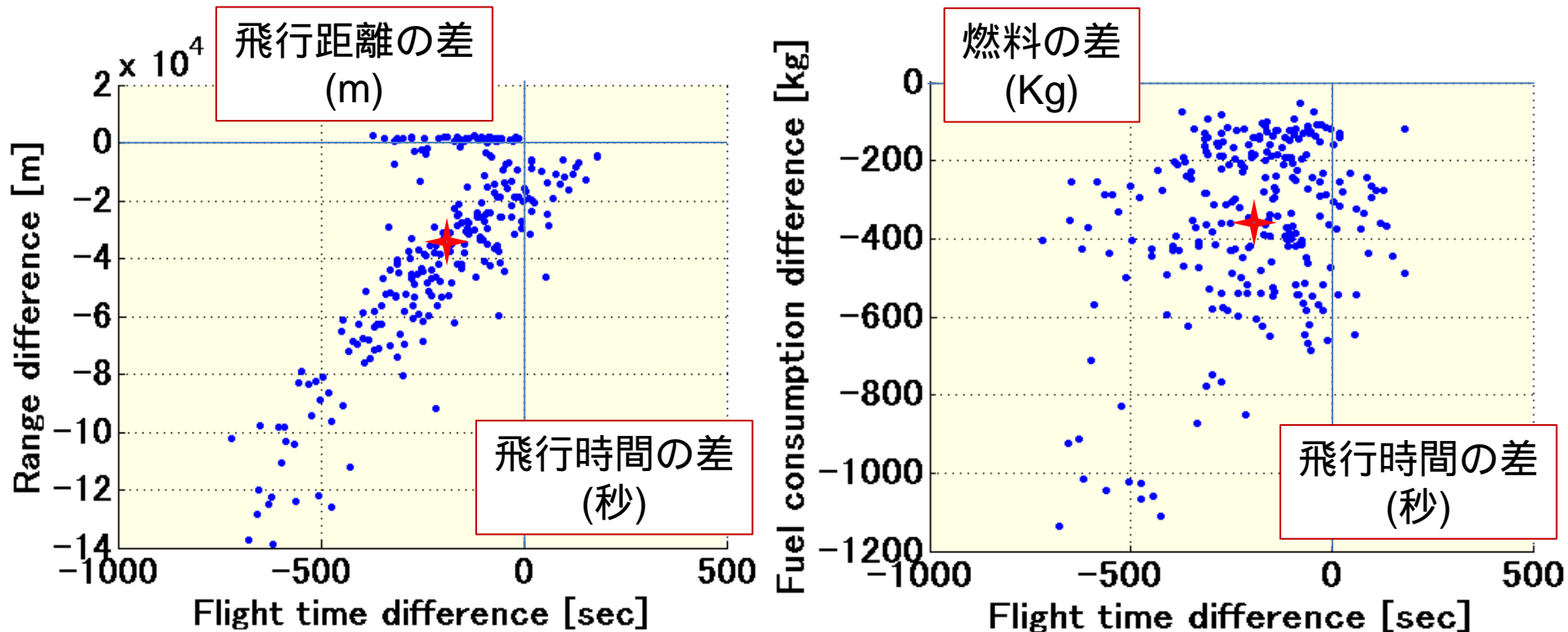
CAS
(m/s)



飛行時間の重み係数 $a=0.5$	実際の飛行(SSR)	最適な飛行 (Opt)
飛行時間 [sec]	1464	1647 (+183)
燃料消費量 [kg]	1141	644 (-497)
飛行距離 [km]	364.6	358.1 (-6.5)

統計解析 最適軌道の実際の飛行との比較

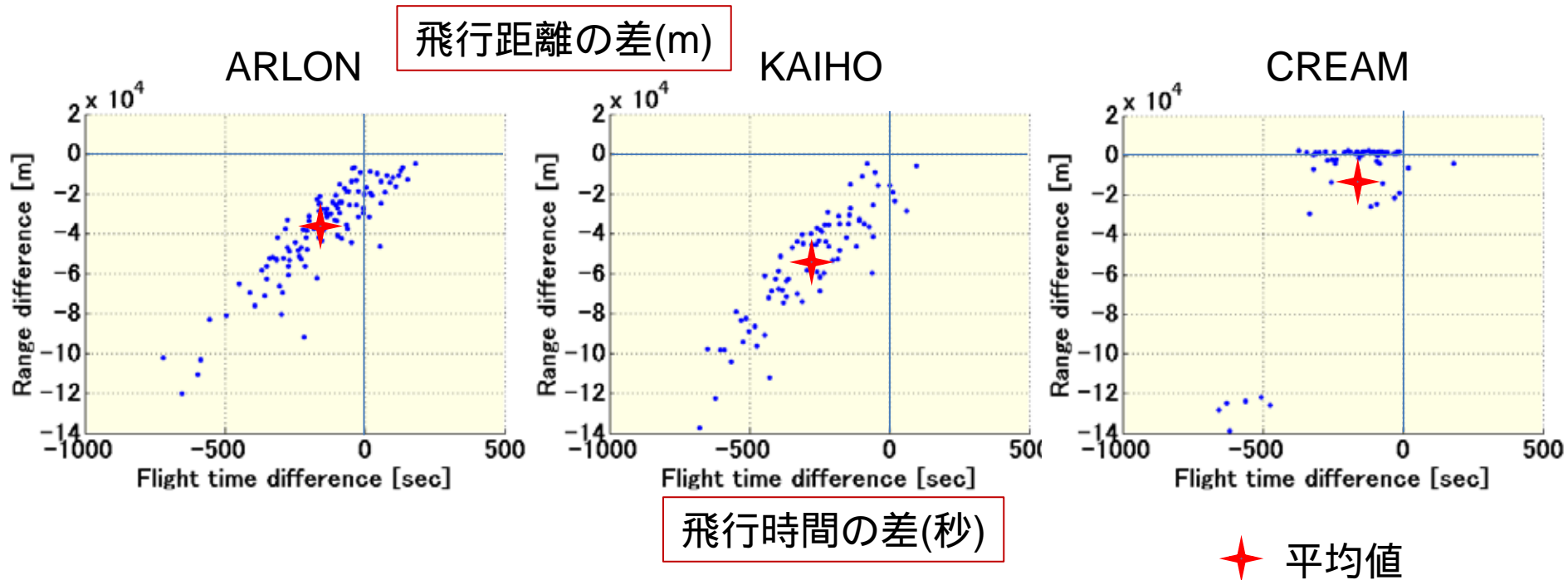
3つの代表的な機種について解析，全体の約半数256便



最適軌道－実際の推定値	★ 平均値
燃料消費量の差, kg	-362
飛行距離の差, km	-36.6
飛行時間の差, sec	-202

統計解析 最適軌道の実際の飛行との比較

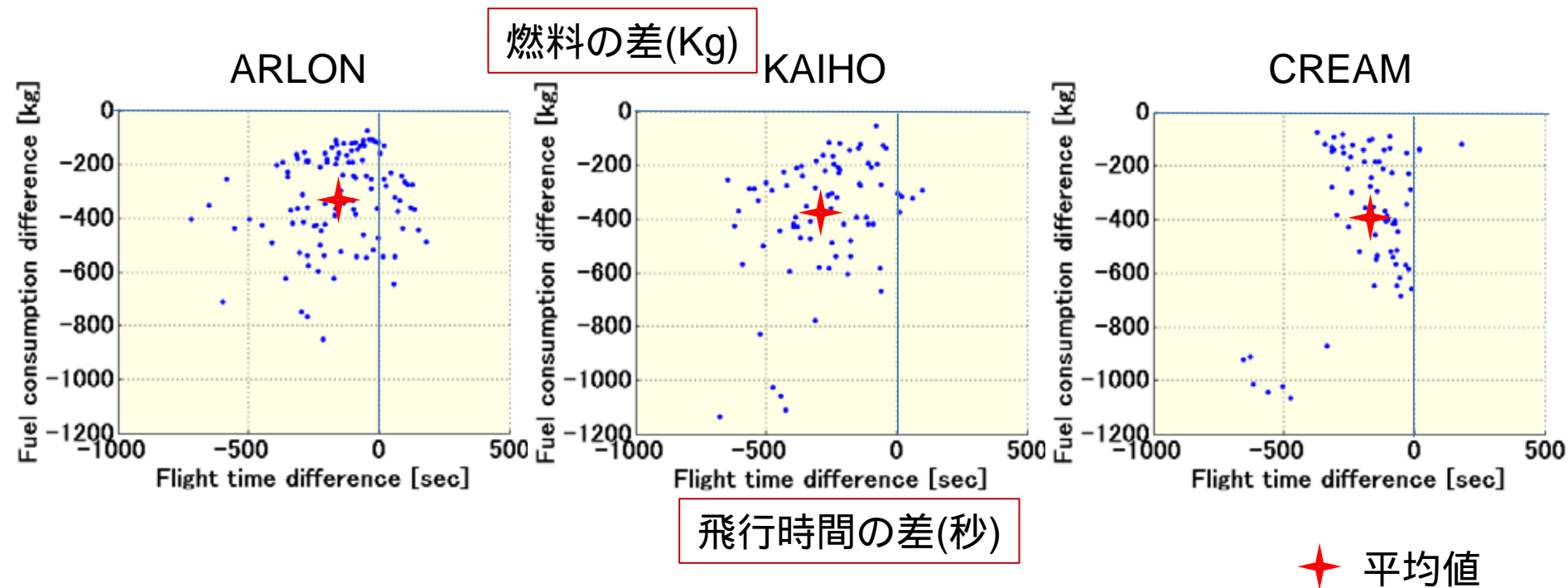
通過する3つのFixに分けて分析，飛行時間と飛行距離



飛行時間の重み係数 $a=0.5$	ARLON	KAIHO	CREAM
飛行距離の差の平均, km	-38.3	-54.3	-14.9
飛行時間の差の平均, 秒	-154	-279	-191
解析した便数	108	77	71

統計解析 最適軌道の実際の飛行との比較

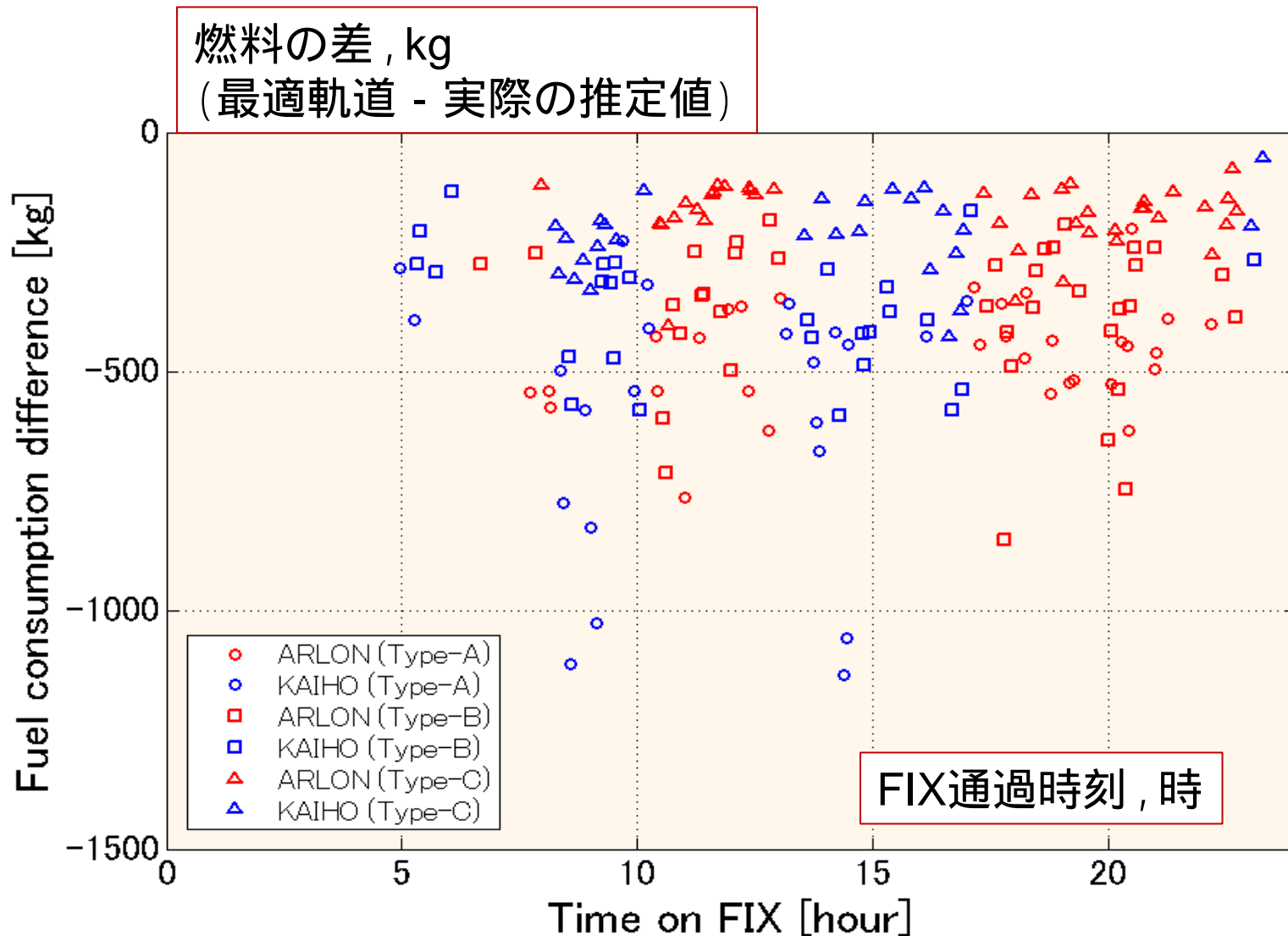
(続き) 通過する3つのFixに分けて分析, 飛行時間と燃料消費量



飛行時間の重み係数 $a=0.5$	ARLON	KAIHO	CREAM
燃料消費量の差の平均, kg	-327	-381	-396
飛行時間の差の平均, 秒	-154	-279	-191
解析した便数	108	77	71

統計解析 最適軌道の実際の飛行との比較

時間による変化： ARLONとKAIHOの通過機の1日分 185便



まとめ

1. 旅客機の運航効率(燃料消費と飛行時間)を定量化するために飛行状態推定と動的計画法による軌道最適化から成る方法を提案し、解析ツールを開発した。
2. 電子航法研究所が試験運用するSSR Mode S の監視データを用いて東京国際空港への到着便の運航効率を分析した。2012年のある1日の到着便の約半数の256便を解析した結果、平均で362kgの燃料消費削減と202秒の飛行時間の短縮の可能性があった。(レーダ覆域での解析)
3. 潜在的便益の統計的な定量化とその要因を知ることは、航空交通管理の研究開発に有用な情報を提供することができる。
4. 一つのレーダの覆域内の主に降下フェーズを対象としたが、範囲を広げて全機を解析することが今後の課題である。CARATS Open Dataを使用して検討を行っている。
5. また、航空機間の干渉や空域の制限等の現実的な制約を課した最適軌道についても検討を行う必要がある。

本研究は、平成24年度に**電子航法研究所**が募集した公募研究において採択され九州大学と電子航法研究所が平成26年度まで実施した共同研究の成果である。

気象データは**気象庁**の数値予報データを使用した。使用にあたっては、**京大生存圏研究所**が公開しているホームページ上のデータを利用した。機体性能モデルについては、**EUROCONTROL**が開発したBADAモデルを使用した。これらの機関が提供する便宜に対して謝意を表す。

ご清聴ありがとうございました。