

卒業論文要旨

東京国際空港到着便の最適な交通流の形成

システム工学群

機械システム制御研究室 1250151 松石 明貴子

1 緒言

1.1 研究背景

現行の航空交通管理 (Air Traffic Management, ATM) は、原則として分割された空域およびあらかじめ設定された飛行経路に基づく航空管制を基本として行われている。管制処理容量を超える場合、出発待機や迂回で時刻調整がされてきたが、調整可能な時間に限界があり、特定空域への集中を避けられず、運用維持が困難になりつつある。こうした課題を受け、将来の航空交通システム改善に向けた長期ビジョン「CARATS」が策定され、より柔軟で効率的な飛行を実現するために軌道ベースの ATM 運用への移行が示されている。

現在の航空路では、ウェイポイントを基にした RNAV (Area Navigation) ルートが導入されている。従来の航空保安無線施設に依存したルートと比較し、RNAV ルートはより柔軟かつ効率的な飛行経路を設定可能である。しかし、東京国際空港への到着経路においては、周辺空域の混雑により、最終進入段階で航空管制官によるレーダー誘導が行われている。

レーダー誘導では、管制官がレーダーを用いて航空機的位置を監視し、個別に速度や進路を指示する。これにより、交通状況に応じた柔軟な対応が可能となるが、一方で管制官の負担が増大し、航空機側も逐次指示に従う必要が生じるため、必ずしも効率的とは言えない。特に、東京国際空港のような混雑空港では、多数の航空機を同時にレーダー誘導する必要があり、管制官の負担はさらに大きくなる。また、航空機側も RNAV ルートに基づいて効率的に飛行してきたにもかかわらず、最終段階でレーダー誘導によって経路が変更されることで、飛行経路の最適性が損なわれる可能性がある。

本研究では、東京国際空港への到着経路におけるレーダー誘導に着目し、RNAV ルート上での時間調整を行うことで、到着管理のさらなる効率化を図る。

1.2 研究目的

飛行軌道を、RNAV ルートを用いたフライトプランで設定されたルートに固定し、特定のウェイポイントの通過時刻で着陸時刻を制御することにより、飛行時間の最適化を行う。

2 研究手順

2.1 混雑時間帯、日付の特定

Flightlader24⁽⁴⁾ が提供する実飛行データから、2024 年 04 月中の東京国際空港に着陸する便が最も混雑する時間帯として 17 日の 18:00 から 19:00 のデータを用いた。

2.2 フライトプランで設定された飛行経路の特定

2.2.1 SID と RNAV ルートの接続 WAYPOINT

2.1 節で抽出した軌道データから、出発地である国内 26 空港の出発方式のルートを示した SID (Standard Instrument Departure) と RNAV ルートの接続 WAYPOINT を AIS JAPAN⁽³⁾

を用いて特定した。

2.2.2 国際線の福岡 FIR への進入 WAYPOINT

国際線に対して、日本が管制業務を行う区域である福岡 FIR (Flight Information Region) に進入する WAYPOINT の特定を行った。

Table 1 International FIR entry waypoints

International approach waypoints
ADNAP
POVAL
LANAT
MOLKA
MEVIN

2.2.3 東京国際空港 (RJTT) への STAR

東京国際空港への進入ルートである STAR (Standard instrument arrival) を特定するため、北、西、東からの 3 種類に分け、それぞれ使用する STAR を以下とした。

Table 2 STARs for Tokyo International Airport (RJTT)

From	STAR
North	GODIN 1C ARRIVAL
West	AKSEL NIGHT ARRIVAL
East	AROSA 1A ARRIVAL

さらに、それぞれの WAYPOINT と RNAV ルートを繋ぎ、フライトプランで設定された飛行経路を特定した。

図 1 に国際線と国内線の特定制された RNAV ルートを示す。

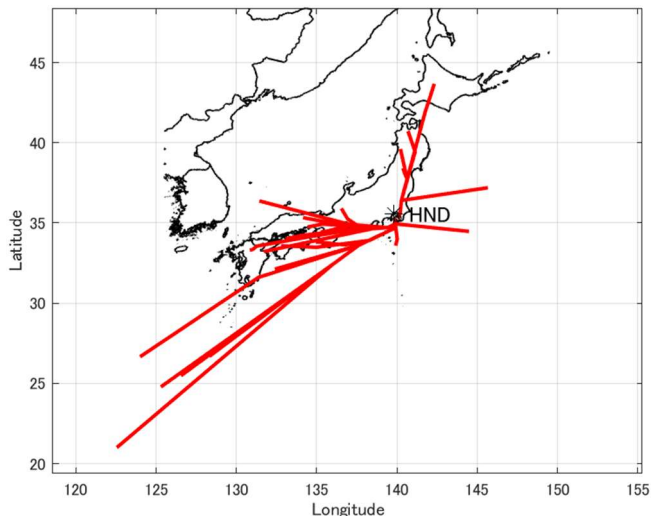


Fig 1 Estimated RNAV route

2.3 出発時刻と到着時刻の分析

得られた実飛行データの日付において、実際の出発時刻 ATD(Actual Time of Departure), 予定出発時刻 STD(Scheduled Time of Departure), 実際の到着時刻 ATA(Actual Time of Arrival) 予定到着時刻 STA(Scheduled Time of Arrival)から、出発遅延と到着遅延の関係について調べた。

$$(ATD - STD) = \text{出発遅延}$$

$$(ATA - STA) = \text{到着遅延}$$

$$\text{到着遅延} - \text{出発遅延} = \text{予定飛行時間からの増減}$$

Table 3 Average time saved on scheduled flights

7:00~10:00	18:00~19:00
5min	27min

同日の便で 7:00~10:00 に到着する便に比べ、混雑した時間帯に着陸する便は飛行時間が短縮される傾向にあった。

2.4 3パラメタ法による軌道生成⁽¹⁾

時間指定による交通流のシミュレーションを行うために、特定した RNAV ルートから高度、速度を生成する。

3 パラメタ法は、シミュレータによる飛行試験結果から FMS (Flight Management System) が速度パラメタを元に軌道を算出しているという知見に基づき考案された軌道生成法である。上昇較正対気速度、巡航マッハ数、降下較正対気速度の 3 つの速度パラメタの組み合わせによって軌道を生成する。巡航高度と飛行距離はあらかじめ設定する必要がある。

運動モデルは非慣性座標系における質点近似の運動モデルとし、質量変化はないものとする。また、経路角の変化は小さいとした準定常飛行を仮定する。機体性能モデルは欧州航空航法安全機構 (the European Organization for the Safety of Air Navigation, EUROCONTROL) から提供されている BADA (Base of Aircraft Data) モデルを用いる。

上昇・降下フェーズは、較正対気速度一定とマッハ数一定の速度に従う。上昇・降下のマッハ数は、巡航マッハ数と同じ値を用いる。較正対気速度一定からマッハ数一定へ遷移する点は BADA の技術書記載の式に従う。

軌道算出の手順は、はじめに巡航高度から終点までの降下フェーズを計算し降下開始点を求めた。次に飛行開始点から、求めた降下開始点までの上昇と巡航を計算し軌道を生成した。⁽¹⁾ 求めた軌道を福岡空港から東京国際空港を一例として図 2 に示す。

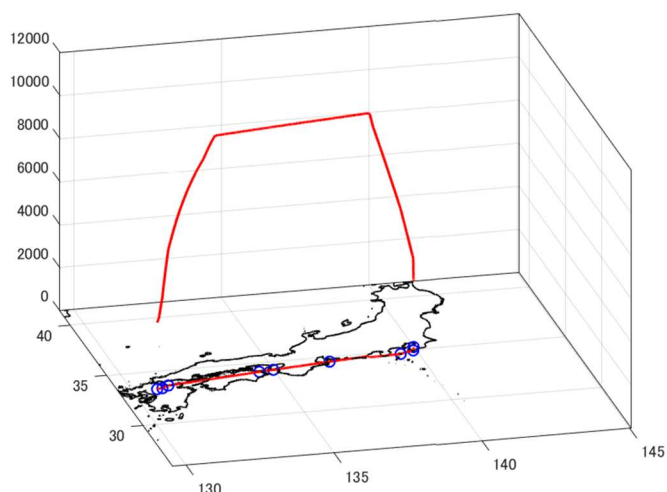


Fig 2 Trajectory generated by the three-parameter method

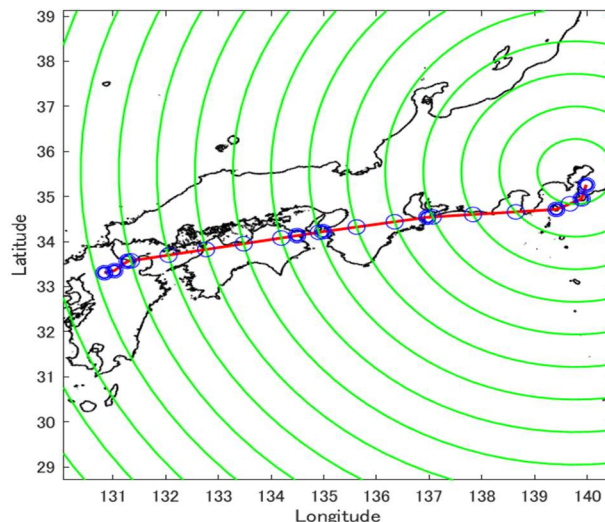


Fig 3 Waypoint and check point(50-mile rings)

2.5 東京国際空港から等距離となる点の決定

出発点から東京国際空港まで 50 マイルの地点ごとで通過時刻を取得する。福岡空港から東京国際空港を例として図 3 に示す。

3 結言

本研究では、東京国際空港への到着経路におけるレーダー誘導に着目し、RNAV ルート上での時間調整による到着管理の効率化を検討した。Flightradar24 の実飛行データと AIS JAPAN のデータを用いて、飛行時間に関する分析を行い、混雑している時間帯に到着する便は飛行中に時間短縮を行う割合が高いことが示された。

また、時間調整によるシミュレーションを行うためフライトプランに基づく飛行経路を特定し、3 パラメタ法を用いて航空機の軌道を生成した。

今後は、得られたデータを用いて、ウェイポイント通過時刻の調整にテーブル最適化や遺伝的アルゴリズムといった最適化手法を適用することを検討する。さらに、航空機の速度や経路をより詳細にモデル化し、天候や他の要因をシミュレーションに組み込むことで、より高度な分析が可能になると考えられる。また、複数の航空機の相互作用を考慮したシミュレーションを行うことで、より現実的な交通流の最適化に貢献できる可能性がある。

謝辞

本研究の遂行にあたり、原田明徳准教授、岡宏一教授、には格別のご指導とご協力を賜りました。また、研究室の皆様、友人、そして家族に心より感謝申し上げます。

文献

- (1) 仲村 兼斉, “定期旅客便の軌道予測のための 3 パラメタ法による飛行軌道最適化”, 高知工科大学 卒業論文 (2020).
- (2) AIS Japan, Japan Aeronautical Information Service Center, URL: <https://aisjapan.mlit.go.jp>, 2025. 1. 21
- (3) Flightradar24, URL: <https://www.flightradar14.com>, 2025. 1. 21