

【 目次 】

第1章 序論

- 1—1 研究の背景
- 1—2 研究の目的
- 1—3 研究の手順
- 1—4 用語の定義

第2章 既存研究の整理

- 2—1 既存研究の整理
- 2—2 研究の位置づけ

第3章 洋上飛行経路の説明

- 3—1 洋上飛行経路の種類
- 3—2 洋上での管制間隔
- 3—3 東行き PACOTS 及び UPR の巡航高度

第4章 航空便軌跡データを用いた上空通過機と

日本発機のフライトの実態分析

- 4—1 航空便軌跡データの説明
- 4—2 実態分析の概要
- 4—3 研究対象空港の選定
- 4—4 上空通過機と日本発機の
飛行経路分析
 - 4—4—1 同日・同目的地での分析
 - 4—4—2 洋上飛行経路の実態分析
- 4—5 上空通過機と日本発機の
飛行高度分析
- 4—6 上空通過機と日本発機の
フライトの実態分析結果

第5章 上空通過機と日本発機の

フライトコストの分析

- 5—1 シミュレーションによる計算
 - 5—1—1 使用したシミュレーションの説明
 - 5—1—2 シミュレーションの計算結果
- 5—2 消費燃料コストの分析
- 5—3 CO₂ 排出におけるコストの分析
 - 5—3—1 排出量取引の説明
 - 5—3—2 排出量取引のコスト分析
- 5—4 フライトコストの分析結果

第6章 結論

- 6—1 結論
- 6—2 今後の課題

1. 研究の背景

国際航空の需要は世界的に増加し続けており、2005年から2014年の間で世界全体での国際線利用者数は平均年率3.9%増加している。その中でもアジア太平洋地域では平均年率6.1%という大きな伸び率を記録している¹⁾。これに伴い航空機からのCO₂排出量も増えており、2050年には2005年の6倍ものCO₂排出量増加が予測されている²⁾。また、我が国の上空にはアジア-北米間を結ぶ主要航路があることから、日本上空を飛行する航空機は年々増加しており、上空での航空機間隔が保てない状況（以下、コンフリクト）では、希望高度よりも低高度の飛行や出発遅延を要求される場合がある（上空通過機問題）。低高度の飛行は気圧の影響により空気抵抗が大きくなり、燃費が悪くなる。これにより我が国の航空機の消費燃料量、CO₂排出量は増加の一途をたどっている³⁾。また、出発遅延が要求された場合、過度な燃料消費は避けられるものの定時制が守られず、旅客の時間価値の損失につながる。

航空機の運航費用の中で燃料費は大きな割合を示しており、運航コストに直結している。航空会社は燃料費負担軽減のために、国際線利用客に燃油サーチャージと呼ばれる燃料費の価格変動に属した料金徴収制度を実施している。今後、上空通過機問題によって消費燃料量が増加し続ければ、航空会社による新たな料金徴収制度が制定され、旅客の金銭的負担は増加し、旅客数に大きな影響を与える可能性が考えられる。

また、ICAO（国際民間航空機関）は増加し続けるCO₂排出量への対策として、2010年に世界共通の目標として2050年まで年平均2%で燃料効率改善を行うように定め、国際線のCO₂排出量を2020年レベルで頭打ちにする削減計画を提示した。これによりICAOは2020年以降、排出量取引を活用することを採択した。排出量取引によって上乗せされるコストを負担するために航空会社は運賃の値上げを実施すると予測されており、その値段は航空会社が置かれた競争状況や地理的特徴によるとされている⁴⁾。

そんな中、アジアでは国際空港間での旅客利用者の獲得競争が繰り広げられており、今後、アジアにおいて国際空港間の利用者獲得競争はさらに激化すると考えられる⁵⁾。しかし我が国は上空通過機問題や排出量

取引の影響から運航コストの増加や運賃値上げ等が考えられる。その結果アジアでの国際空港間での旅客利用者の獲得競争において不利な立場にあると考えられる。

2. 既存研究の整理

Kinoshita et al³⁾は既存研究で明らかにされていない上空通過機問題の実態を調査、分析を行った。その結果、コンフリクトが発生するポイントを通過する際、日本発機の飛行高度が上空通過機より低いことを明らかにした。また、シミュレーションから上空通過機による日本発機の損失高度と損失時間を示したが、コンフリクトポイント（日本上空から太平洋上空域への出域ポイント）（図-1）のみに限定したもので、フライト全体を通しての損失に関しては簡易的な値しか示していない。

排出量取引コストについてはSchellhase et al⁶⁾はEUで独自に行われている排出量取引（EU-ETS）を航空業界に当てはめた場合に生じる排出量取引での金額の差を推計しているが、上空通過機等の地理的な条件は考慮していない。

以上のことからフライト全体を通して、より精度の高い損失コストを示す必要がある。

3. 研究の目的

前述した背景を踏まえ、上空通過機問題と排出量取引を考慮した日本発機のコスト分析を行う。そのために日本上空のみでなく、アジア-北米間の洋上における上空通過機と日本発機の経路に関して、特に従来は明らかにされていない路線別の経路重複率に着目して実態分析を行う。その結果をもとに、上空通過機に起因した日本発機の高度損失による消費燃料量およびCO₂排出量の増加量を路線別に求める。そこに排出量取引という新たな制度で増加するコストも併せて計量することで、上空通過機による日本発機へのコスト増加影響を評価することを目的とする。

4. 航空便軌跡データを用いた上空通過機と日本発機のフライトの実態分析

本研究では経路分析にFlight Aware⁷⁾と呼ばれる過去

4 ヶ月間の様々な飛行データを閲覧できる web サイトを使用した。なお、収集データの内、推定データは除いた。

成田空港は東経約 140°に位置し、アメリカ西海岸の沿岸部にあるサンフランシスコ空港は西経約 122°に位置している。よって太平洋上の経路分析として図-2 のように東経 150°から 230°（西経表示を東経表示に変更）までの 5°ごとの計 17 点で、同目的地空港へ飛行する日本発機と韓国発機、中国発機それぞれの飛行軌跡データの緯度を比較する（表-1）。洋上では縦、横間隔を 50 海里以上とる必要があるため、計測点での緯度の差が 50 海里以内（緯度換算：約 0.8333°以内）のものは同一経路を飛行したものとみなした。

図-3 に分析結果の一例を示すと、仁川空港発機は運航している目的地空港への全路線の飛行経路で日本上空を通過していた。一方で、北京空港発の各目的地空港へ向かう航空機は、サンフランシスコ行きの 1 便を除いた全てで日本上空を通過せず、全くの別経路で飛行していたことが明らかになった。またボストン行きの上海発機も同じく日本上空を通過せずに全くの別経路を飛行していた。このことから仁川空港発機が運航していないサンノゼ行き、ボストン行きの経路は選定した出発地空港からの上空通過が存在しなかった。その他の選定した目的地空港行きの日本発機と上空通過機の平均経路重複率を示す（図-4）。

5. 上空通過機と日本発機のコスト分析

Flight Awareでの飛行軌跡は全ての機材が表示されるわけではないため、当該データのみでは上空通過機による高度損失は正確に評価できず、また交通量等の条件変化の影響は評価できない。そのため、Kinoshita の開発したシミュレーションに一部改良を行い、路線別の日本発機の高度損失および遅延時間を推定した。主な改良点は、日本発機のコンフリクトポイントでの高度選択を確率的に変動させること、複数機がコンフリクトを起こした場合の2種類の管制処理方法（高度変更、出発時刻遅延）について確率的に両者を併用することを可能とした。2022年需要予測値⁸⁾での上空通過機量における、「高度変更のみ」、「時間変更のみ」、「高度変更、時間変更両方を確率的に使用」の3パターンで

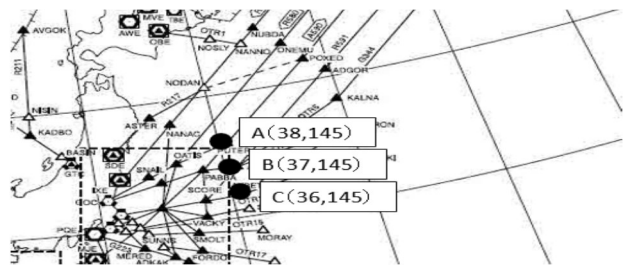


図-1 コンフリクトポイント設定地点

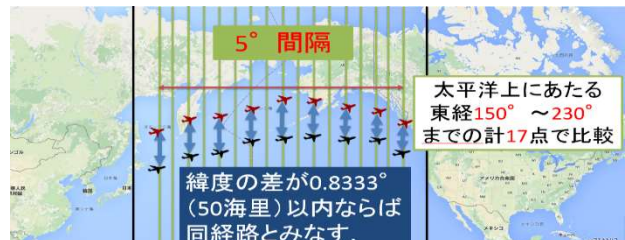


図-2 太平洋上の飛行経路分析

表-1 選定対象空港

出発地 空港	日本発機	成田空港
	韓国発機	仁川空港
	中国発機	北京空港、上海空港
目的地 空港	西海岸	サンフランシスコ空港 (SFO)
		ロサンゼルス空港 (LAX)
		サンノゼ空港 (SJC)
	東海岸	ニューヨーク空港 (JFK)
		ワシントン空港 (IAD)
		ボストン空港 (GELL)



図-3 洋上の飛行データ「ロサンゼルス行き」

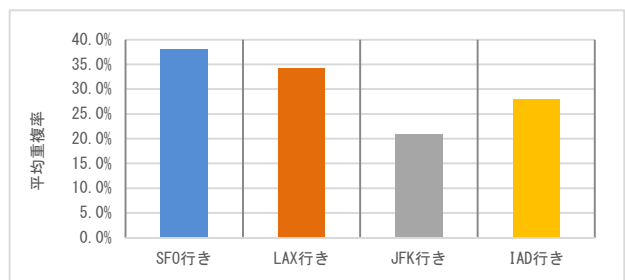


図-4 日本発機と上空通過機の平均経路重複率

のコンフリクト回避をした際、一機あたりの損失高度 (ft) および損失時間 (h) を算出した。高度変更による損失高度において目的地空港ごとに分析を行った。その際、経路分析時に収集した洋上範囲でのフライト時間を使用し、前述で求めた各目的地空港への重複率

を考慮した総損失消費燃料量，総CO₂排出量を求め，排出量取引を考慮したコストを算出した（図-5）．計算には1\$=120円，1€=130円，燃料費は1バレル当たり57\$⁹⁾，排出量取引コストは1t-CO₂当たり5.7€¹⁰⁾を使用した．時間変更による損失時間には国際航空旅客の時間価値を平均した9199（円/h）¹¹⁾，国際線搭乗率¹²⁾，座席数¹²⁾をかけたものを算出した（図-6）．図-7はこれら両方の手法を取り入れたものを示している．

6. 各分析の結果と考察

経路分析より明らかになった，日本上空を通過しない北京発機と上海発機の経路は，日本上空を通過する経路よりも目的地空港までの距離が短い経路であった．一方で，北京発機で唯一日本上空を飛行していたサンフランシスコ行き UAL888 便と別経路のサンフランシスコ行き CCA985 便を 30 日間比較したところ，飛行距離は平均 500 マイル以上 UAL888 便の方が長かったにも関わらず，飛行時間は平均約 12 分，UAL888 便の方が短かった．この結果，北京発機は日本上空を通過する経路を選択しても，効率的な運航ができる可能性が考えられる．現在は北米に向かう際，日本上空を通過しない経路選択の北京発機が，今後の航空需要予測の増加に伴い日本上空を通過する経路を選択すれば，上空通過機問題はさらに深刻化すると考えられる．

コスト分析から損失高度における排出量取引によって増加したコストの割合は，全体コストの約 2.2%であることが明らかになった．損失時間によるコストと損失高度によるコストを比較すると圧倒的に損失時間によるコストが大きいことが分かった．損失高度によるコストを目的地空港ごとに運航している全成田発機で上空通過機量 2.0 倍のケースで計算したところ年間約 4160 万円のコスト増加であった．この結果から遅延コストに比べると高度損失による燃料消費・排出量取引コストは，その単価の上昇可能性を考慮しても，航空会社の運営に大きな影響があるコストではないことが分かった．

7. 結論

本研究では洋上での経路分析を行うことで，上空通過機と日本発機が同一経路を重複して飛行しているこ

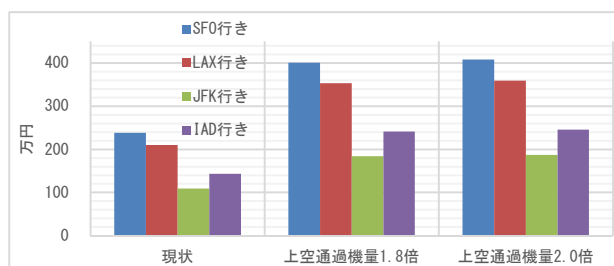


図-5 高度変更における一機当たりの年間平均総損失コスト

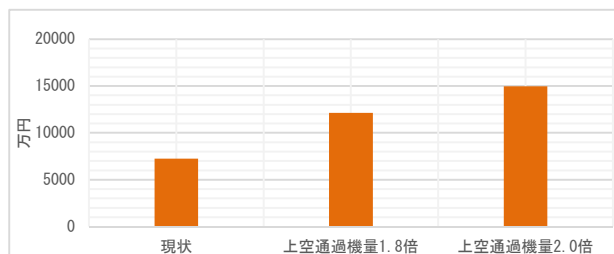


図-6 時間変更における一機当たりの年間平均総損失コスト

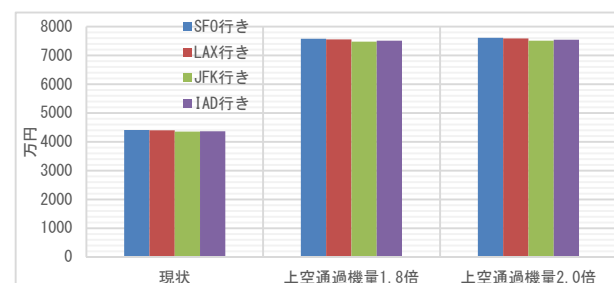


図-7 高度変更と時間変更を組み合わせた一機当たりの年間平均総損失コスト

とを明らかにした．またその結果から洋上におけるフライト全体を通しての上空通過機による日本発機の損失コストを示し，日本発機へのコスト影響は小さいことを明らかにした．

【参考文献】

- 1) UNWTO : Outlook for International Tourist Arrivals, 世界観光指標2015年1月号
- 2) 鈴木崇正・室町泰徳：航空によるCO₂排出の現状と将来予測に関する基礎的研究，土木計画学研究・論文集，Vol.26, No.3, pp.497-510, 2009.
- 3) Hayato KINOSHITA and Terumitsu HIRATA: Simulation Analysis of Conflict between International Departure Flight from Japan and Overflights, The 18th Air Transport Research Society world conference, 2014.
- 4) 環境省：炭素市場の現状と傾向2012, http://www.env.go.jp/earth/ondanka/det/os-info/mats/worldbank_stcm2012.pdf
- 5) 国土交通省：充実した航空ネットワークの構築と需要の開拓, <http://www.mlit.go.jp/common/001042470.pdf>
- 6) Schellhase, J, W. Grimme and M. Schafer : "The inclusion of aviation into the EU emission trading scheme-impacts on competition between European and non-European network airlines", Transportation Research Part D, 2010.
- 7) Flight aware: <https://ja.flightaware.com/>
- 8) 国土交通省交通政策審議会航空分科会第10回基本政策部会配布資料, <https://www.mlit.go.jp/common/001017432.pdf>
- 9) JAL: 2016年 1月燃油サーチャージ適用額, <https://www.jal.co.jp/jalcargo/inter/news/pdf/jcs-151209.pdf>
- 10) EEX : <https://www.eex.com/en/#en>
- 11) 国土交通省：国可航空旅客需要予測手法
- 12) JAL:2015年3月期決算説明会, https://www.jal.com/ja/investor/library/results_briefing/pdf/fy2014q4_0430ja.pdf