

航空機の運航効率向上に向けた直接運航経費の傾向分析

Trend Analyses of Direct Operational Cost for Improvement of Aircraft Operational Efficiency

航空宇宙工学コース

機械システム制御研究室 1275038 吉川 友佑

1 緒言

2022年12月に「航空の脱炭素化の推進」を盛り込んだ改正航空法が施行され、各エアラインや各空港が脱炭素の取り組みを進めることができるよう国土交通省により航空脱炭素推進基本方針が定められた⁽¹⁾⁽²⁾。本方針の6つの具体的施策のうち、①SAF(Sustainable Aviation Fuel)の導入促進、②管制の高度化などによる運航の改善、③航空機環境新技術の導入の3つが航空機の運航による燃料の削減を目的としたものである。カーボンニュートラルを達成するには積極的な利用促進が進められている SAF の購入や新技術などにより化石燃料の消費を極力抑えることが望ましいが多大なコストを要する。そのため環境対策への配慮のため、経済性の観点から運航コスト削減に向けた運航コストの推算が必要である。運航コストの削減方法を検討するには運航計画を作成する観点から旅客が利用する数多くの定期運航便を対象にコストを推算し分析する必要がある。

そこで国土交通省航空局より研究開発活性化のために提供されている、国内における定期運航便の大規模な航跡データである CARATS オープンデータを用いる。

現在国内の定期路線を飛行する大型の旅客機および貨物機には飛行管理システム (Flight Management System, FMS) が装備されており、機体側では経済性を最大化するような飛行が計画されている。経済性の指標は飛行にかかる直接運航経費 (Direct Operating Cost, DOC) であり燃料消費量、飛行時間およびコストインデックスで構成されている。

本研究は、CARATS オープンデータを用いて運航コストの定量的推算および傾向分析を行い、航空会社が運航コスト削減を行う上で助けとなる運航コストの予測モデルを開発することを目的とする。

2 解析に使用したデータの概要

2.1 CARATS オープンデータ

本研究は、国土交通省航空局が将来の航空交通システムに向けた研究開発の促進のため提供している CARATS オープンデータのうち、2022年度12ヵ月のデータを用いる。このデータは日本国内の上空を飛行する計器飛行方式による定期便を対象としており主に航空路監視レーダによって取得され、座標変換、統合されたデータである⁽³⁾。各年度の各月連続した7日間の期間に、航跡情報 (時刻、緯度、経度、気圧高度)、および機種、仮想的に割り当てられた便名が格納されている。本研究では、福岡空港から東京国際空港へ飛行した便について解析を行う。解析に用いるデータの詳細を右段の表1に示す。

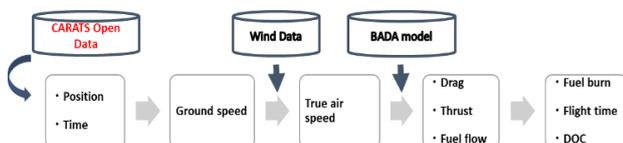


Figure. 1 Overview of flight state estimation

Table 1 Details of the CARATS open data used

FY2022			
Data period (left) and Number of flights analyzed (right)	2022	April 11-17	55
		May 9-15	60
		June 6-12	69
		July 4-10	67
		August 15-21	77
		September 12-18	62
		October 10-16	63
		November 7-13	64
		December 5-11	70
		January 9-15	71
2023	February 6-12	73	
	March 6-12	71	
total		802	
Model	A359		
Route	From Fukuoka Airport to Tokyo International Airport		
Data Items	Time, latitude, longitude, pressure altitude, aircraft type, virtual flight number		
Data Cycle	Approximately 10 seconds		

直接運航経費の推定方法

2.2 飛行状態推定

直接運航経費推算のため、まず飛行状態推定を行い燃料消費量の推算を行う。左段の図1に飛行状態推定の手順を示す。

まず、CARATS オープンデータより得られる航空機の位置の時間変化から対地速度 (Ground Speed, GS) を求める。これに気象庁が提供する数値予報 GPV (Grid Point Value) データのうち GSM (Global-Spectral Model) (日本域) 数値予報モデル⁽⁴⁾を用い風速、気温等の気象データを適用し真対気速度 (True Air Speed, TAS) を求める。

その後、欧州航空航法安全機構 (EUROCONTROL) が維持・管理する BADA (Base of Aircraft Data) モデルの Revision 3.14⁽⁵⁾ を利用し推力 (Thrust)、燃料流量 (Fuel flow) を導出する。燃料消費量については燃料流量を時間で積分し求める。

2.3 直接運航経費とコストインデックスの関係

航空機の飛行状況と直接的に関係する費用を直接運航経費 (DOC) という。1回のフライトあたりの DOC[\$]は消費した燃料による燃料コストと飛行時間による時間コストの和として式(1)で表される⁽⁶⁾。また式(1)は Airbus の機種の DOC 推算を表す式である。(DOC を文字 J で表す。)

$$J[\$] = C_{fuel} \int_{t_0}^{t_f} \mu(t) dt + C_{time} \frac{1}{60} \int_{t_0}^{t_f} dt \quad (1)$$

C_{fuel} は燃料の価格[\$/lb]であり、 C_{time} は時間あたりのコスト[\$/min]である。 μ は燃料流量[kg/s]である。時間コストには燃料以外の経費、すなわち航空機の減価償却費またはリース費、整備費用、人件費等が含まれる。燃料コストと時間コストのどちらをどれだけ考慮するかを決める指標としてコストインデックス CI がある⁽⁷⁾。Airbus の CI は式(2)で定義される。

$$CI[\text{kg}/\text{min}] = \frac{C_{time}[\$/\text{min}]}{C_{fuel}[\$/\text{kg}]} \quad (2)$$

コストインデックス CI を式(1)と式(2)から、DOC を推算する式は式(3)のように表される。

$$J[\$] = C_{fuel} \left(\int_{t_0}^{t_f} \mu(t) dt + \frac{CI}{60} \int_{t_0}^{t_f} dt \right) \quad (3)$$

本研究での解析に用いる機種 A359 は CI が 100 で固定されているため、CI=100 を用いて DOC の推算を行う。

3 結果

3.1 便名(時間帯)・月・曜日が DOC へ及ぼす影響度の比較

便名(時間帯)・月・曜日による DOC の傾向分析から回帰モデルを構築し、各要因が及ぼす影響度の分析を行う。図 2 は各要因が DOC 変動に及ぼす影響度を比較したものである。カテゴリ・スコアのレンジは DOC への影響度を示しており、補正決定係数 R^2 は回帰モデルの正確さを示している。

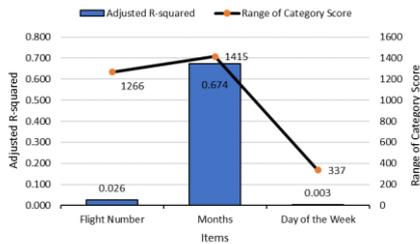


Figure. 2 Impact of Items on DOC

図 2 よりカテゴリ・スコア、補正決定係数が共に高いことから、年間を通し「月」のみが DOC の変動に顕著に影響していることが明らかになった。

3.2 説明変数の選択と予測モデル作成

風速、初期重量、飛行距離、巡航高度 (Cruise altitude)、巡航マッハ数の 5 変数を説明変数とし DOC を目的変数とした回帰モデルを作成する。各説明変数の組み合わせによる予測精度の違いを表 2 に示す。

Table 2 Prediction accuracy of explanatory variables

Model	Response variable	Explanatory variables	Adjusted R-squared
1	DOC	Wind speed, initial weight, flight distance, cruising altitude, cruising Mach number	0.9984
2	DOC	Wind speed, initial weight, flight distance, cruising altitude	0.9984
3	DOC	Wind speed, initial weight, flight distance	0.9984
4	DOC	Wind speed, flight distance	0.9982
5	DOC	Wind speed, initial weight	0.8416

表 2 よりモデル 1~4 の予測精度に大きな差異は見られない。そのため、モデル 4 の風速と飛行距離を運航前に把握できれば、DOC を予測することが可能であり補正決定係数も高いことから、予測精度の高いモデルとなる。しかし、混雑や悪天回避による経路長の延伸の影響により運航前に飛行距離を高精度に把握することは極めて困難である。そのため、モデル 5 の赤色で示した組み合わせのモデルが運航前に把握可能な変数を用いた実用的に有意なモデルである。式(4)にその回帰モデルを風速 x_{wind} 、初期重量 x_{mass} を用い示す。さらに、回帰モデル式を用いて推定した DOC を図 3 に示す

$$DOC = -28.89x_{wind} + 0.43x_{mass} - 82218.87 \quad (4)$$

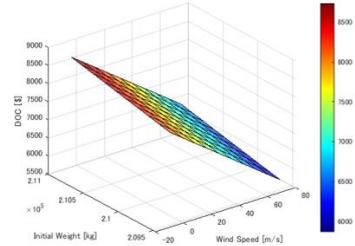


Figure. 3 General Form of a 3D Regression Equation

図 3 は各変数に対する DOC の変化を回帰式に基づいて 3D 表現したもので色の違いで DOC の高さを示している。

4 結論

本研究より年間を通して DOC は各要因の中でも「月」による変化が最も顕著であることが明らかとなった。また気象予報による風速と運航前に既知の初期重量を用いて運航コストの予測可能性を示した。この結果は、民間航空機の定期運航便の航跡データが極めて多く含まれる CARATS オープンデータを活用し解析したため、航空会社が運航計画を策定する際に十分活用可能な成果を得ることができたといえる。さらに月ごとの計画指針を適切に調整することにより DOC の抑制が可能であることも示唆された。

本研究の目的である「運航会社が運航コストを削減するための支援となる予測モデル」を提案することができた。

文献目録

- (1) 国土交通省, “航空脱炭素化推進基本方針の策定について~空のカーボンニュートラルを目指して~,” 国土交通省, 2022.
- (2) 国土交通省, “航空脱炭素化推進基本方針,” 2022.
- (3) 岡 恵, 福田 豊, 上島一彦, “航空交通データ (CARATS Open Data) の提供と研究開発への活用,” 日本航空宇宙学会誌, 2020.
- (4) E. E. CENTRE, USER MANUAL FOR THE BASE OF AIRCRAFT DATA (BADA) REVISION 3.14, 2017.
- (5) 十時寛典, 小塚智之, 宮沢与和, 船曳孝三, “定期便フライトデータと気象庁数値予報 GPV データとの比較評価,” 航空宇宙技術, 2013.
- (6) 原田明徳, 武市昇, “飛行計画および航跡データを用いた直接運航経費の傾向分析,” 第 54 期年会講演会, 2023.
- (7) B. Roberson, “Fuel Conservation Strategies:Cost Index Explained” .