

## CARATS Open Data の航跡から出発・到着空港および 推奨経路を推定する方法について

国土交通省 航空局 交通管制部 交通管制企画課  
将来の航空交通システムに関する推進協議会事務局  
国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 電子航法研究所

### 1. 概要

本資料は、CARATS Open Data の航跡から出発・到着空港および推奨経路を推定する方法を述べる。国際線については、外国の出発・到着空港ではなく、福岡 FIR 境界線を通過する FIX 情報を推定する。推定方法は、空港および境界線 FIX の緯度・経度と航跡の先頭・末尾のデータを比較し、最短距離の組合せから推定する。推奨経路は、標準的な飛行計画に使用される経路であり、出発・到着空港の組合せから特定される。

### 2. 手順

#### 2.1. AIS JAPAN のアカウントの準備

空港および境界線 FIX の緯度・経度を取得するために、以下の処理を行う前提として AIS JAPAN のアカウントが必要である。

ログイン画面 URL : <https://aisjapan.mlit.go.jp/Login.do>

(右下のメニュー 「Create your account」 から新規アカウントの取得が可能。)

#### 2.2. 空域データファイルの作成

##### 2.2.1. AIP の情報の取得

AIS JAPAN にログインし、AIP (航空路誌) の表 1 の情報を参考に、空域データファイルを作成する。

AIP JAPAN では、東京座標系と WGS84 が測地準拠基準として用いられ、東京座標系は標準字体、WGS84 座標系は斜字体で示されている[1]。WGS84 座標系表示のうち精度が国際民間航空機関(ICAO)第11付属書および第14付属書における諸要件に適合しないものについては\*印によって区別されている。

表 1. 空域データの AIP 記載箇所

データの内容	AIP の記載箇所
空港標点の座標	AIP Part3 AD2 AERODROMES AD 2.2 AERODROME GEOGRAPHICAL AND ADMINISTRATIVE DATA 1. ARP coordinates and site at AD
福岡 FIR (飛行情報区) 境界線の座標	AIP Part2 ENR2.1 FIR,UIR,TMA 1 FIR
FIX 座標 (重要地点)	AIP Part2 ENR 4 RADIO NAVIGATION AIDS/SYSTEMS ENR4.3 NAME-CODE DESIGNATORS FOR SIGNIFICANT POINTS
ATS ルート	AIP Part2 ENR3 ATS ROUTES

### 2.2.2. 福岡 FIR 境界線上にある FIX の抽出

福岡 FIR 境界線座標と FIX 座標から、福岡 FIR 境界線上にある FIX（以下、境界線 FIX と呼ぶ）を抽出する。福岡 FIR の太平洋上のエリアにおいては空域の有効利用を図るため、日本－北米間、日本－ハワイ間および北米－東南アジア間に PACOTS と呼ばれる経路が設定されている。PACOTS は、日本側の出入点と、北米大陸西海岸近傍との出入点及びハワイ西部の出入点の間に“日”単位で選定される経路およびこれに接続する洋上転移経路等からなり、経由する地点は経度 10 度毎に緯度 1 度単位で指定される[2]。

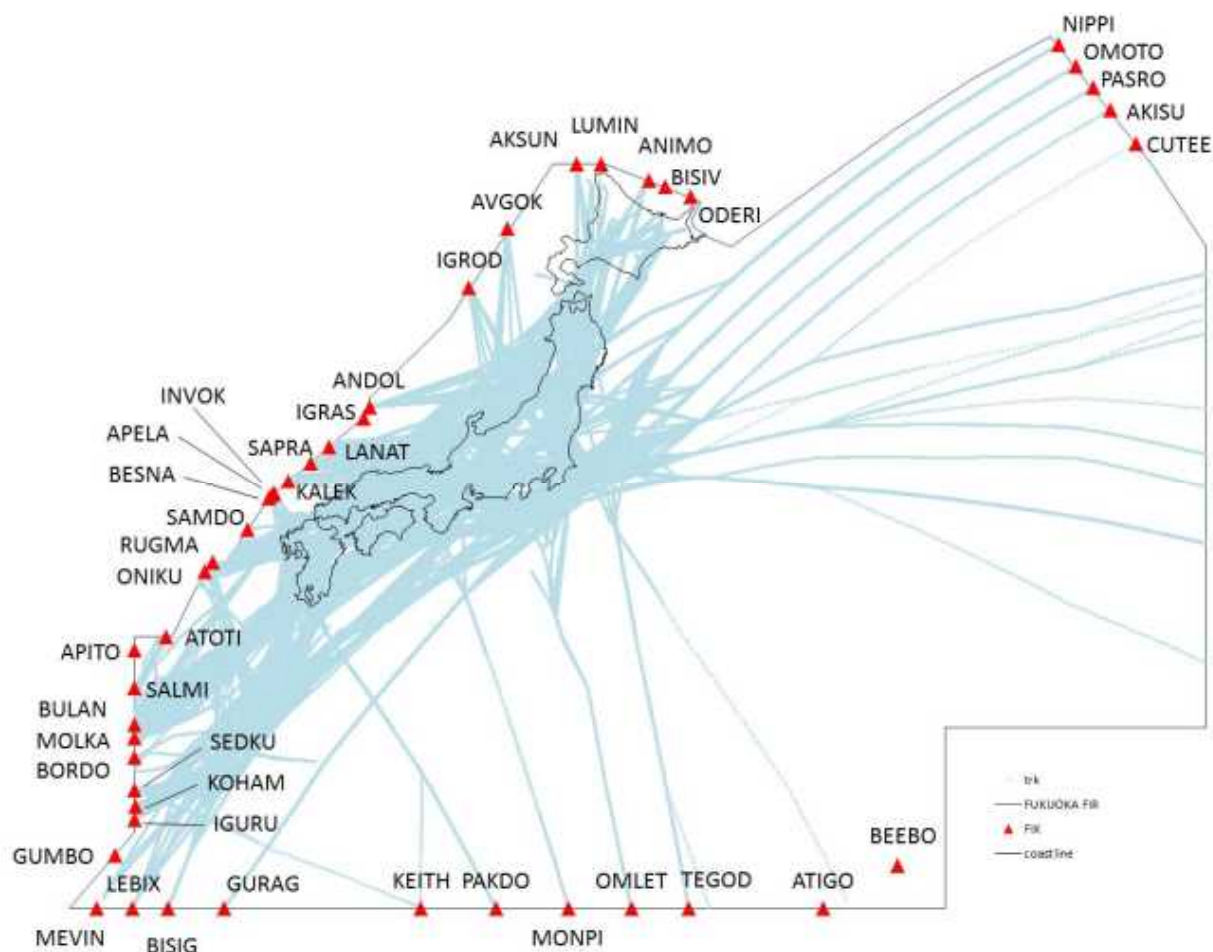


図 1. 航跡と福岡 FIR 境界線上にある FIX の例

### 2.3. 出発・到着空港の推定

CARATS Open Data から各便の出発・到着空港（国際線については FIR へ入域した点または出域した点（以下、入出域 FIX と呼ぶ））を推定する。

CARATS Open Data は複数の便の航跡データが時系列に並んでいるため便毎に並べ替え、各便の先頭・末尾の航跡データの座標と空港標点（または境界線 FIX）の座標を比較する。距離の近い空港（または境界線 FIX）を出発・到着空港（または入出域 FIX）と推定する。先頭・末尾の複数の高度データから上昇・降下率を計算し、距離の条件と併用することで、より正確に推定できる。

推定の際には以下の点に注意が必要である。

- ・複数のデータファイルにまたがる便は結合した後、先頭・末尾の航跡データの座標を利用する。
- ・レーダ電波の受信状況等により、航跡データの先頭・末尾の座標と空港との距離には、ばらつきがある。
- ・一週間の連続したデータの初日の開始時や最終日の終了時、またデータの欠如などにより、先頭・末尾のデータが出発・到着時でない場合、空港との距離で推定を行うことはできない。

## 2.4. 推奨経路の推定

航空機が標準的に飛行計画に使用するための経路は航空情報サーキュラー（AIC）に掲載されている[3]。AIS JAPAN にログインし、AICs の情報を表示する。

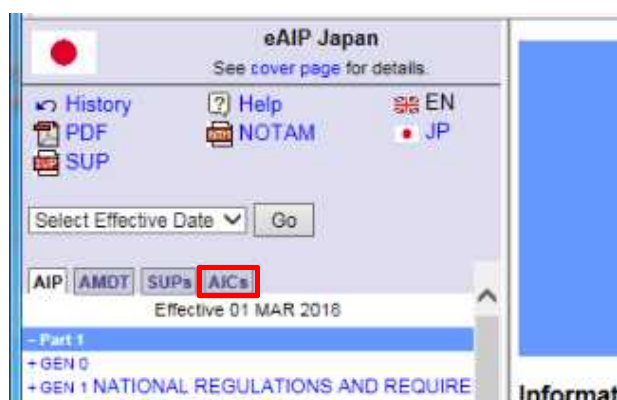


図 2. AICs

サーキュラーのリストの中の「Change of Flight Planned Routes」に推奨経路が記載されている。

出発・到着空港や方面の組合せで推奨経路が特定されるため、2.3 で推定した出発・到着空港（または入出域 FIX）から推奨経路が推定される。推奨経路を FIX の繋がりに変換するためには、ATS ルート情報を利用する。

## 3. その他の情報

AIP にはその他にも以下のような情報が記載されている。上記の方法は、空港の滑走路端の座標を使用することにより、滑走路の推定にも応用できる。

表 2. その他の情報

データの内容	AIP の記載箇所
各滑走路の座標	AIP Part3 AD2 AERODROMES AD 2.12 RUNWAY PHYSICAL CHARACTERISTICS
出発・到着経路	AIP Part3 AD2 AERODROMES AD 2.24 CHARTS RELATED TO AN AERODROME
FIX 座標 (エンルート無線航法施設)	AIP Part2 ENR 4 RADIO NAVIGATION AIDS/SYSTEMS ENR 4.1 RADIO NAVIGATION AIDS - EN-ROUTE

## <付録> 2 地点の緯度経度から距離を求める方法

地球は立体的な形状をしているため、2 地点間の距離を求めるためには大円距離を求める必要がある。2 地点の緯度経度から距離を求める方法には様々な計算方法があり、例えば以下のような方法が知られている[4]。(1)は地球を球と仮定して計算する。それ以外は全て地球を回転楕円体と仮定して計算する。

### (1) 球面三角法で計算する方法 (Haversine)

地球半径： $R$  点 $P$ の緯度： $\phi_p$  点 $P$ の経度： $\lambda_p$  点 $Q$ の緯度： $\phi_q$  点 $Q$ の経度： $\lambda_q$  (単位はラジアン)

$$L = R \cos^{-1} \{ \sin \phi_p \sin \phi_q + \cos \phi_p \cos \phi_q \cos(\lambda_p - \lambda_q) \}$$

### (2) 国土地理院の式で計算する方法[5][6]

この方法は計算式が複雑だが、精度の高い 2 点間の距離を計算することができる。

### (3) ヒュベニの式で計算する方法

ヒュベニの「ガウスの平均緯度式の改良式」の第 1 項のみを使用した簡易式

点 $P$ の緯度： $\phi_p$  点 $P$ の経度： $\lambda_p$  点 $Q$ の緯度： $\phi_q$  点 $Q$ の経度： $\lambda_q$  (単位はラジアン)

長軸半径 (赤道半径)： $a$  離心率： $e$  緯度の平均値： $\overline{\phi_{pq}} = \frac{\phi_p + \phi_q}{2}$

$$\text{子午線曲率半径} : M = \frac{a(1 - e^2)}{\left( \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \overline{\phi_{pq}}} \right)^3} \quad \text{卯酉線曲率半径} : N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \overline{\phi_{pq}}}}$$

$$d = \sqrt{\{(\phi_p - \phi_q)M\}^2 + \{(\lambda_p - \lambda_q)N \cos \overline{\phi_{pq}}\}^2}$$

ヒュベニの厳密解については文献 7 を参考にして頂きたい。

### (4) Vincenty の式で計算する方法 (Vincenty 法)

Vincenty 法には順解法 (direct method) と逆解法 (inverse method) があり、逆解法を用いて 2 点間の距離が計算できる[8]。順解法はある点からの距離と方位角により、他の点を求めるものであり、逆解法は 2 点間の楕円体面上距離と方位角を求めるものである。

無料で利用可能な 2 点間の距離を計算するプログラムの配布例として、以下のようなものがある。

#### ・ PostGIS[9]

PostGIS は PostgreSQL リレーショナルデータベースで地理空間情報を扱うための拡張である。

#### ・ アメリカ国立測地測量局の Geodetic Tool Kit [10]

計算法は Vincenty 法を用いている。実行ファイルとソースコードがあり、実行ファイルをダウンロードすればすぐに使用することができる。ソースコードは FORTRAN を用いている。

#### ・ Linux のコマンド invgeod[11][12]

Linux とは、Unix 系の OS であり、無料で入手することができる。Linux のコマンドに順解法(geod)

と逆解法(invgeod)があり、逆解法を用いて 2 点間の距離が計算できる。

各方法の精度の検証は文献 4 に記載があり、また、ウェブサイト等で公表されている場合もある。精度と計算量はトレードオフの関係にあるため、必要とする精度に応じた最適な計算法を選択して頂きたい。例えば空港の推定では、距離の値そのものではなく相対的な比較として距離を使用するだけなので、計算負荷が軽い「(1) 球面三角法で計算する方法」や「(3) ヒュベニの式で計算する方法」の簡易式が適していると考えられる。

#### 参考文献

##### [1] AIP Part1

GEN 2 TABLES AND CODES

GEN 2.1 MEASURING SYSTEM, AIRCRAFT MARKINGS, HOLIDAYS

3 GEODETIC REFERENCE DATUM

[2] 福田 豊、洋上経路の管制間隔短縮の効果、電子航法研究所研究発表会 講演概要、第 5 回 平成 17 年 6 月

[3] 林 絹子、「日本における航空交通管理」2.1 飛行計画経路の管理及び調整、航空環境研究 No.18 2014, PP.10-16

[4] 三浦英俊、緯度経度を用いた 3 つの距離計算方法、オペレーションズ・リサーチ、2015 年 12 月号

[5] 国土地理院 測量計算サイト：<https://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/main.html>  
(2018 年 3 月 29 日閲覧)

[6] 国土地理院 距離と方位角の計算式：

<https://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/surveycalc/algorithm/bl2st/bl2st.htm>  
(2018 年 3 月 29 日閲覧)

[7] Von Karl Hubeny, Graz, Zur Entwicklung der Gauss'schen Mittelbreitenformeln, Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen 42 (1), S. 8–17 1954

[8] T. Vincenty, Direct and inverse solutions of geodesics on the ellipsoid with application of nested equations, Survey Review XXIII. 176, April 1975

[9] PostGIS：<https://postgis.net/> (2018 年 3 月 29 日閲覧)

[10] National Geodetic Survey, INVERSE/FORWARD/INVERS3D/FORWRD3D Computation Utilities：[https://www.ngs.noaa.gov/TOOLS/Inv\\_Fwd/Inv\\_Fwd.html](https://www.ngs.noaa.gov/TOOLS/Inv_Fwd/Inv_Fwd.html)  
(2018 年 3 月 29 日閲覧)

[11] PROJ.4 geod：<http://proj4.org/apps/geod.html> (2018 年 3 月 29 日閲覧)

[12] C. F. F. Karney, Algorithms for Geodesics, J. Geodesy 87(1), 43–55 (2013)