

15. 太平洋上可変経路のゲートウェイについて

航空交通管理領域 ※住谷 美登里、福島 幸子、福田 豊

1. はじめに

太平洋の洋上航空路において、航空機の効率的な運航確保の観点から気象条件等を考慮し、「日」単位で都市間ごとに可変経路を設定する PACOTS (Pacific Organized Track System : 太平洋編成経路システム) が運用されている。我が国から北米方面へ向かう東行き PACOTS の経路は、航空交通管理センターが気象予報に基づき、OTG (Oceanic Track Generator : 洋上可変経路発生システム) を用いて各経路間の管制間隔を考慮して設定され、NOTAM (Notice to Airmen) で公示される⁽¹⁾。

現在、さらなる運航効率のため運航者が飛行毎に出発時刻に合わせて最新の気象状況をもとに最適な経路を設定する利用者設定経路 (UPR : User Preferred Route) の導入が進められている⁽²⁾。

また空港に着陸する際の消費燃料を大幅に削減できる方法としてテイラードアライバル (TA : Tailored Arrival) がある⁽³⁾⁽⁴⁾。これは、エンジンの推力を下げたまま連続的になだらかに降下する方法である。PACOTS 経路の行き先の一つである米国サンフランシスコ空港 (以下 KSFO とする) でも運用されている。

著者らは、当所所有のシミュレータを用いて PACOTS や UPR の経路設定について検討をしている⁽⁵⁾⁽⁶⁾。今後 TA や UPR のような効率的な運航が期待され、さらなる導入のためには運用条件や便益等の検討が必要である。

そこで今回は KSFO 行き PACOTS 経路や UPR および TA について検討した。本稿ではまず、PACOTS 経路が通過する入出ゲートウェイの状況や TA とゲートウェイの関係について報告する。次にシミュレーションで PACOTS 経路や UPR を飛行した時の消費燃料等を求め、比較検討をした結果を報告する。

2. 北太平洋上の経路

2.1 可変経路 (PACOTS) 経路

気象条件により毎日経路が変わる可変経路として PACOTS 経路がある。PACOTS 経路は 1 日に 1 回標準的な飛行を想定し、都市対ごとに最適経路に近い経路を計算し公示される。

PACOTS 経路は、まず出発空港から入口ゲートウェイへ向かい、その後可変経路を通過して出口ゲートウェイから到着空港へ向かう。図 1 に、固定経路である北太平洋 (NOPAC : North Pacific) ルート 5 本、および PACOTS の 3 経路 (TRK1、TRK2、TRK3) の主な行き先空港および主なゲートウェイの名称 (アルファベット 5 文字) と位置を示す。

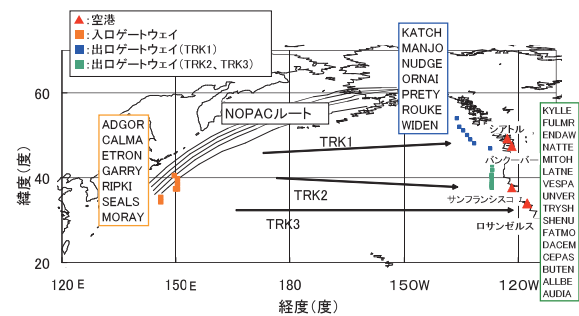


図 1 NOPAC ルートと PACOTS 経路

入出ゲートウェイ間は経路ネットワークを用いて最適経路 (最短時間経路または最小燃料経路) を計算し設定する。この経路ネットワークとは、緯度方向 1 度、経度方向 10 度の計算上のメッシュである。

北側にあるゲートウェイを通過すると最短距離経路の大圏航路に近い経路が設定できる。また東行きの航空機はジェット気流に乗る経路で飛行すると、消費燃料と所要時間を大幅に短縮することができる。しかし PACOTS の各経路は、NOPAC ルートと同様、経路間は管制間隔 (50NM) 以上に設定し、通常ゲートウェイは各経路で共有することはない。そのため、すべての経路が最適経路になるとは限らない。

2.2 UPR

近年航空機の航法性能や監視性能が向上し、

管制間隔が短縮されてきているため、より効率的に運航できる経路として UPR の導入が要望されている。UPR は、運航者が飛行毎、出発時刻に合わせて最新の気象状況をもとに離陸重量等を考慮して最適経路を計算する。

すでに太平洋上でも交通量が少ない地域から導入されている⁽²⁾。交通量が多い北米への経路での UPR は、多くの航空機の希望経路が重複して希望高度にならない場合もある。そこで UPR の効果の検討が必要でまだ導入にいたっていない。

2.3 テイラードアライバル (TA)

TA は空港に着陸する際の消費燃料を大幅に削減できる方法である。

今までの一般的な空港での着陸は段階的に高度を下げて、水平飛行に移るときにエンジンの推力をあげていた。しかし TA は空港へ進入するとき巡航高度からエンジンの推力を下げたまま連続的に降下する方法のため、途中でエンジンの推力を上げる必要がなく、消費燃料を減らすことができる。

KSFO やロサンゼルス空港等で TA は運用されているが、TA を利用できるゲートウェイが予め定まっている⁽⁴⁾。日本から KSFO への経路では出口ゲートウェイによって TA を利用できるため、今回は KSFO 行きについて検討した。

3. ゲートウェイ

3.1 PACOTS 経路の入出ゲートウェイ

2008 年 4 月 2 日から 1 年間 (365 日) の PACOTS の 3 経路の入出ゲートウェイ状況を図 2 に示す。

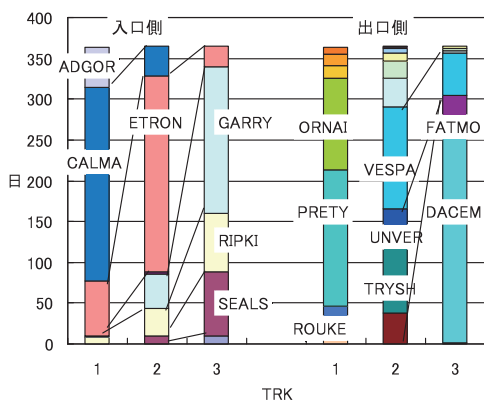


図 2 各経路入出ゲートウェイ

入口ゲートウェイでは、TRK1 は北側のゲートウェイの ADGOR や CALMA、TRK2 は ETRON、TRK3 は GARRY を主に通過している。TRK1 の月別ゲートウェイ状況を見ると 8、9 月は北側の ADGOR と CALMA のみ通過していた。これは夏のジェット気流は北側にあり弱く、経路が北側の大圏航路に近く設定されるためである。冬はジェット気流が南側にあり、かつ強いので南側にある GARRY や RIPKI を通過することもある。

3.2 TA とゲートウェイの関係

図 3 に KSFO 行き経路を示す。■が出口ゲートウェイである。

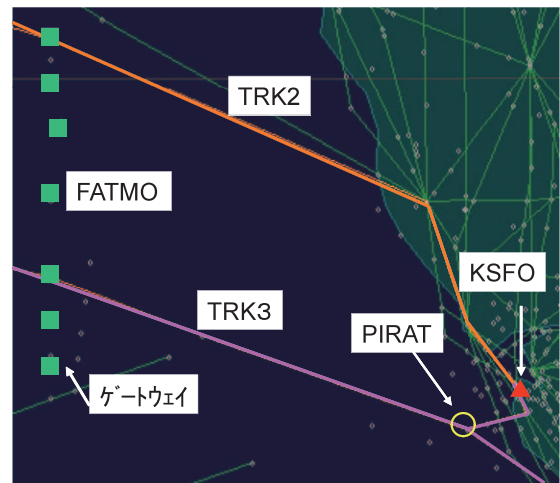


図 3 KSFO への経路

KSFO で TA を利用するには、PIRAT を通過して南側から着陸しなければならない⁽³⁾。PIRAT を通過するには FATMO より南側のゲートウェイを通過する必要がある。

図 2 より TRK2 の出口ゲートウェイは FATMO より南側のゲートウェイは 1 日もなかった。TRK3 は FATMO より北側のゲートウェイも利用しているが、南側のゲートウェイを通過した日は全体の 83.6%であった。

4. PACOTS 経路と TA

4.1 シミュレーション条件

当所所有の「洋上管制シミュレータ」⁽⁵⁾⁽⁶⁾を用いて表 1 の条件をもとに PACOTS 経路を飛行したときの消費燃料を求めた。実運用の PACOTS 経路は、運用時間の 24 時間前に気象予報をもとに計算しているが、今回のシミュレーションでは、気象庁発行の解析データに基づ

いて出発時刻の気象条件で経路を飛行させた。

表1 シミュレーション条件

| 項目 | 設定値 |
|-------|-------------------------------|
| 航空機型式 | B747-400 |
| 離陸重量 | 735,000lbs (1lbs=0.4536kg) |
| 出発時刻 | 0900UTC (UTC=JST-9) |
| 出発空港 | 成田 |
| 気象条件 | 気象庁発行の解析データ 当日 0900UTC の気象 |

4.2 交通量

2008年8、10、12月の各1週間計21日分についてTRK2、TRK3の交通量を飛行計画情報により求めた。その結果TRK2は1日平均36便でTRK3は1日平均21便であった。このうち各経路のKSFO行き便数および各経路の成田発KSFO行き便数を求め表2に示す。TRK2経由KSFO行きは平均20便に対してTRK3経由KSFO行きは平均3便であった。

4.3 シミュレーション結果

4.2節の調査日のうちTRK3の出口ゲートウェイがTAを利用できるゲートウェイ(FATMOより南側)であった日は14日間であった。それらの日の、TRK2経由KSFO行きとTRK3経由KSFO行きの消費燃料を表1のシミュレーション条件をもとに求めた。

通常TRK3経由でFATMOより南側のゲートウェイを通過してKSFOへ向かう経路はTRK2経由KSFO行き経路より距離が長く消費燃料も多くかかる^⑤。TAを利用すると、590kg(1300lbs)の燃料削減が期待できる^④ため、TRK3経由でKSFOへ飛行する場合もある。しかしTAでも途中から通常の到着経路を通過する場合もある。そこで今回はTRK3経由KSFO行きの消費燃料は、TAにより1000lbs削減できると仮定した。TRK3とTRK2の消費燃料差を求め表2に示す。

表2より消費燃料差がTAにより削減できると仮定した値1000lbs以下の日は5日あった。これらの日はTRK3経由TA利用KSFO行きの消費燃料がTRK2経由KSFO行きの消費燃料より少ない。ただし、5日間の全てのKSFO行きがTRK3経由とは限らない。

消費燃料差と出口ゲートウェイの関係としてTRK2とTRK3の出口ゲートウェイ位置の緯度

間隔差(出口間隔)も求め表2に示す。出口間隔が大きいと消費燃料差も大きくなる傾向がわかる。

表2 TRK2・TRK3経由KSFO行きの比較

| 日 | TRK2 便数 | TRK3 便数 | 出口 間隔(度) | 消費燃料 差 (lbs) |
|-------|------------|------------|-------------|--------------------|
| 8/18 | 17(3) | 5(2) | 1.8 | 350 |
| 8/22 | 20(5) | 3(0) | 2.2 | 1867 |
| 8/23 | 25(4) | 2(2) | 1.8 | 515 |
| 8/24 | 29(5) | 4(0) | 1.2 | 2432 |
| 10/20 | 21(4) | 0(0) | 2.2 | 2696 |
| 10/21 | 20(4) | 3(1) | 2.2 | 1769 |
| 10/22 | 17(4) | 1(1) | 1.6 | 1683 |
| 10/26 | 23(5) | 1(0) | 1.7 | 787 |
| 12/22 | 17(4) | 5(2) | 2.2 | 3302 |
| 12/24 | 17(5) | 0(0) | 3.4 | 4522 |
| 12/25 | 15(5) | 6(1) | 1.6 | 2221 |
| 12/26 | 22(7) | 4(0) | 2.2 | 1498 |
| 12/27 | 19(3) | 4(2) | 2.2 | 587 |
| 12/28 | 17(4) | 4(0) | 1.7 | 942 |

()は成田発の便数

5. UPRのシミュレーション

5.1 UPRのゲートウェイ

TRK1をUPRにする場合の経路傾向について文献(5)で報告したので、今回は、TRK2(KSFO行き)のUPRについて検討した。表1のシミュレーション条件で経路ネットワークを用いて2008年8、10、12月の全日のKSFO行きUPRを求めた。他の各経路との管制間隔は全く考慮していない。

入口ゲートウェイはCALMAが多い。12月は南側のSEALSも通過しており、図2のTRK1の入口ゲートウェイ状況と傾向が似ている。つまりTRK1のゲートウェイは最適である場合が多いことがわかる。

出口ゲートウェイはFATMOより南側のゲートウェイである日が3ヶ月のうち8月で2日、10月で6日、12月で5日の計13日(14%)あった。これらの日ではTAを利用できるため、消費燃料がより少なくなると思われる。

5.2 UPRとPACOTS経路の比較検討

表1のシミュレーション条件で離陸時刻をPACOTS運用時間に合わせて6時(0600UTC)から21時まで3時間毎に変化させ、KSFO行きUPRを求めた。離陸時刻によって、出口ゲートウェイがFATMOより南側から北側へ変化

した例として8月18日のUPRを図4に示す。出口ゲートウェイが離陸時刻6時と9時の時はTAを利用できる南側のゲートウェイであったが、12時からは北側のゲートウェイになった。

図5に8月18日各離陸時刻にUPRを飛行したときの消費燃料（■）を示す。なお、6時と9時はTAを利用できるゲートウェイのため、UPR経由KSFO行きの消費燃料からTAにより1000lbs削減できると仮定した値（□）も示す。同様に8月18日のPACOTS経路も離陸時刻を変化させてTRK2経由KSFO行き（▲）、TRK3経由KSFO行き（△）の消費燃料を求め、図5に示す。UPR同様TRK3経由KSFO行きの消費燃料から1000lbs削減できると仮定した値（△）も示す。

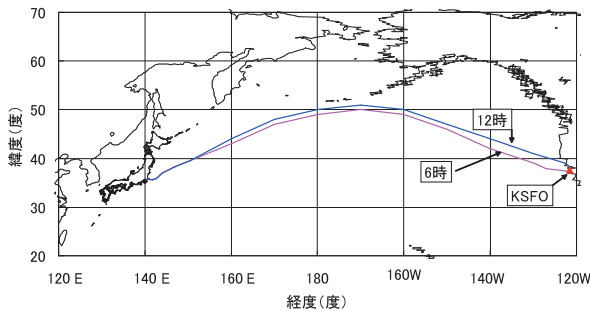


図4 KSFO行きUPR例(8月18日)

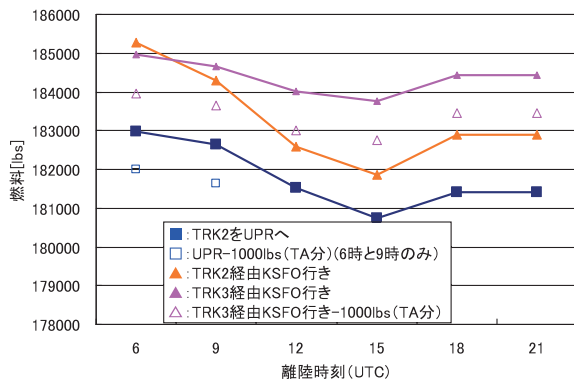


図5 KSFO行きUPRとPACOTS経路の消費燃料比較（8月18日）

8月18日ではUPRの消費燃料はPACOTS経路と比較して1000lbs以上少ない。6時と9時のUPRではTAを利用できるゲートウェイを通過しているため、TAを利用するとより燃料が少なくなる。PACOTS経路において6時と9時にはTRK3でTA利用による削減量を考慮した消費燃料がTRK2の消費燃料より少なかったが、12時からは、TRK2の消費燃料より大き

くなっている。離陸時刻を考慮して経路を選択する必要がある。

6. まとめ

日本からサンフランシスコ空港（KSFO）へ飛行する経路として太平洋上可変経路であるPACOTS経路、運航者が飛行毎により最適な経路を設定するUPRについて検討した。また着陸時の燃料を節約できるTAも検討した。

PACOTS経路で通常KSFOへ飛行するTRK2は、TAを利用できる南側の出口ゲートウェイである日は調査期間ではなかったが、TRK2より南側の経路で距離が長いTRK3では、84%の日がTAを利用できる出口ゲートウェイであった。

TRK3の出口ゲートウェイがTAを利用できる南側のゲートウェイである日のTRK2とTRK3のKSFO行きの消費燃料をシミュレーションで求めた。TRK3でTA利用による削減量を考慮した消費燃料がTRK2の消費燃料より少ない場合は21日中5日であった。ただし、離陸時刻によって消費燃料が変わるので経路を選択する必要がある。

シミュレーションでKSFO行きUPRを求めた。入口ゲートウェイ状況は、PACOTSのTRK1の状況と似ていた。出口ゲートウェイは、TAを利用できる南側のゲートウェイを通過する場合もあった。

今回は期間を限定して、PACOTS経路およびTAを検討したので、今後さらに検討していきたい。またKSFO行きUPR経路を他の経路や交通流を考慮せずに設定したので、今後実運用下の交通流をもとに運用条件等についてさらなる検討をしていきたい。

参考文献

- [1] 国土交通省航空局：“航空路誌”、2009
- [2] JCAB：“Study of Introduction of User Preferred Routes of Track1/2/3”、IPACG/31 IP/5、Oct.2009
- [3] <http://www.jal.com/ja/soraeco/group/tailored/>
- [4] FAA：“Tailored Arrival”、IPACG30 IP/17、May 2009
- [5] 福島、船井、福田、住谷：“太平洋上の東行きPACOTSとUPRの比較”、日本航空宇宙学会第41期年会講演会、pp.558-562、2010.4
- [6] 福島、福田、住谷：“北太平洋上の東行き最適経路の傾向について”、電子航法研究所研究発表会講演概要、pp.25-30、2009.6