

5. 北太平洋上の東行き最適経路の傾向について

航空交通管理領域 ※福島 幸子、福田 豊、住谷 美登里

1. はじめに

洋上空域を飛行する航空機にはレーダが届かないため、歴史的に、かなり広い管制間隔が適用されてきた。

洋上管制間隔は平成10年までは、縦方向15分、横方向100NM（海里：1NM = 1,852m）、垂直方向2,000ft（1ft = 0.305m）であり、100NMの横間隔が確保できるような経路が設定されていた。現在では航法性能としてRNP4を満たす機上装備を搭載すれば、縦方向30NM、横間隔30NM、垂直間隔1,000ftでの飛行ができるようになった^[1]。そのため、より最適経路（燃料最小経路や最短時間経路）に近い経路の設定が可能となり、隣接経路との横間隔短縮や、運航者が飛行ご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。

成田—フィジー／ニューカレドニア間は2007年からUPRの利用ができるようになった。成田—ハワイ、成田—オーストラリアも運用トライアルに向けて検討されている。しかし、今までUPRの導入が検討されてきた空域は、航空交通量の少ない空域である。UPRによって数マイル離れた経路が同一都市間に複数設定されても、お互いの影響を受け、管制間隔確保のために飛行高度を大幅に変更する航空機数は少なかった。また、管制間隔確保のための経路の制約も少なく、UPRの導入は燃料削減の便益をもたらしてきた^[2,3]。

太平洋上で最も交通量の多い、北太平洋空域でもUPRの要望がある^[4]。その第一段階として、トラック1の経路を飛行する航空機がUPRを設定した場合を検討する。どのような経路が希望されるのか、当所の動的経路生成シミュレータを用いて、気象状況による分布を予想し、特に冬場の分布の傾向を報告する。また、実際にその経路を飛行した場合の管制上の検討課題も合わせて報告する。

2. 洋上管理

2.1 PACOTS

洋上空域の飛行経路は、管制横間隔が確保されているものが多い。北太平洋上には、福岡-FIR (Flight Information Region, 飛行情報区)、アンカレッジ-FIRの北限域にNOPAC (North PACific) 経路が設定されている。これらは、5本のATS (Air Traffic Service) 経路で、北からR220, R580, A590, R591, G344という名前である。それぞれ50NMの横間隔が確保されている。その南にはPACOTS (PACific Organized Track System) と呼ばれる経路が気象予報を元に、都市間ごとに毎日設定されている^[5]。福岡-FIRを飛行する代表的なPACOTSについて、表1に示す。

表1 PACOTS

トラック名	都市対
TRK1	日本→シアトル・バンクーバー
TRK2	日本→サンフランシスコ
TRK3	日本→ロサンゼルス
TRK11	日本→ハワイ
TRK12	日本→ハワイ
TRK14	東アジア→サンフランシスコ
TRK15	東アジア→ロサンゼルス
TRK A	ハワイ→日本
TRK B	ハワイ→日本
TRK C	シアトル・バンクーバー→日本
TRK E	西海岸→日本
TRK F	西海岸→日本

東行きは数字、西行きはアルファベットでトラック名がつけられている。PACOTSはノートムで毎日公示されている。TRK1, 2, 3, 11, 12, 14, 15については航空交通管理センターのOTG (Oceanic Track Generator) システムを用いて、設定・公示される^[5]。各経路は横間隔が50NM以上確保されるように設定する。また、NOPAC経路は交通量が多いため、PACOTSがNOPAC空域を利用するには、NOPACの5

本の経路上を飛行するように経路を設定する。

本稿では、TRK1, 2, 3を飛行する航空機を対象とし、TRK1経路を飛行する航空機のUPRの検討を行った。PACOTSを飛行するときには、隣接経路を飛行する航空機との横間隔は確保されているため、横間隔を考慮する必要はない。しかし、UPRを飛行した場合、隣接経路との横間隔の確保も考慮する必要がある。

3. シミュレーション手法

3.1 シミュレータ

当所の動的経路生成シミュレータ^[1]は、以下の2つから構成される。

- ① TRACK サブシステム
- ② DETECT サブシステム

TRACK サブシステムは、気象情報を基に、最適経路を計算するとともに、離陸重量による高度プロファイルや消費燃料を計算する。気象データは6時間ごとのデータを読み込んでいる。

DETECT サブシステムは航空機間のコンフリクトを検出し、回避操作を行ったときにプロファイルや消費燃料を再計算する。

今回、それぞれの気象情報に基づいた経路を計算し、それらの分布の傾向を調べる。

3.2 空域の設定

実際の空域では、NOPAC 経路は飛行方向が定められており^[5]、OTG による PACOTS の設定にも反映されている。本稿では、福岡-FIR, オークランド-FIR, アンカレッジ-FIR 全域を対象とした。

現在、OTG で TRK1 の経路生成用に使用されているネットワークを図1 (a) に示す。NOPAC の北3本にはネットワークがかかっておらず、南2本分についても、2本の間メッシュがかからず、経路を横断しないようになっていることがわかる。

本シミュレーションで UPR を生成用に使用したネットワークを図1 (b) に示す。NOPAC 空域も含めて、空域いっぱい、緯度1度×経度10度ごとにネットワークメッシュが引かれている。

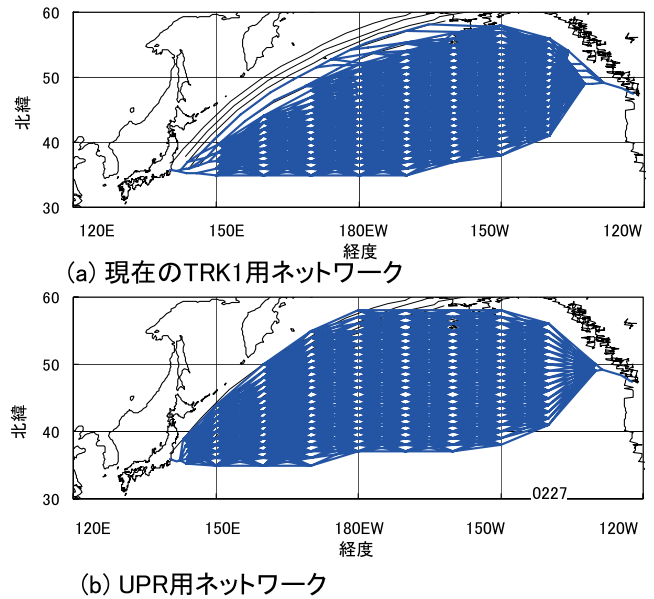


図1 ネットワーク

4. シミュレーション結果

ジェット気流の場所と強さは季節によって異なるので、最適経路の傾向も異なる^[2,6]。ジェット気流の強い部分は季節により、北や南に移動する。夏場は北の方に移動し、冬場は南に移動することが多い。また、冬場は風速が速い傾向がある。

最適経路は風によって変動し、南北の位置で、最も離れた場所では北緯で10度以上異なることもある^[2]。

東行きPACOTSはジェット気流の強い部分を飛ぶため、大圏経路よりも南に設定されることが多い。経路を設定するときに、異なるPACOTSとは管制間隔を確保することから、ジェット気流の最も強い部分を飛行する経路をTRK1, 2, 3のどれにするかは、日によって異なる。また、NOPAC経路は管制間隔確保のために、横断しないような経路を設定するため、ネットワーク上の最適経路が、本来の最適経路とは異なる。

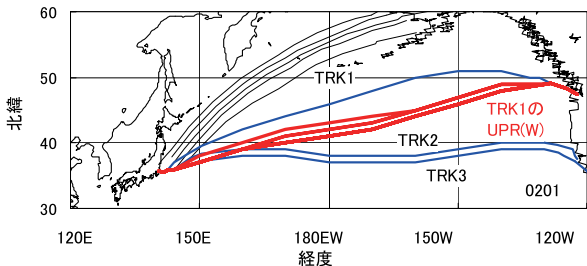
夏場はTRK1から設定することが多いが、本来の最適経路はNOPACを横断する経路である場合が多い。冬場はTRK2やTRK3から設定することが多いため、TRK1は最適経路でない場合が多い。

以下、成田発シアトル行きのUPRを赤線で示す。青線は北からTRK1, 2, 3, 黒線は海岸

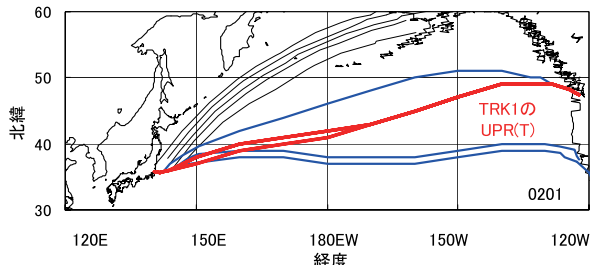
線と NOPAC 経路である。

4.1 冬の経路傾向

2007年2月1日の成田発シアトル行き
UPRを図2に示す。この日は、冬型の気圧配置
であった[7]。



(a) 離陸重量による変化(0201)



(b) 出発時刻による変化(0201)

図2 2月1日の経路

(a)は離陸重量を 640,000lbs から 840,000lbs
まで 20,000lbs ずつ変化させたものである。図
中、UPR(W)で示される。(b)は出発時刻を
0800UTC (UTC: 世界標準時) から 1600UTC
まで 2 時間ずつ変化させたものである。図中、
UPR(T)で示される。

離陸重量による差のほうが経路の幅（南北）
がある。これは、離陸重量により到達高度が異
なり、それぞれの高度に最適な風を選択するた
め、ジェット気流の強い部分の幅が広いとき
に起こる。出発時間を変えたときの変化、時間
推移に伴う気流の移動が早いと、この差が大き
くなる。

2007年2月11日の成田発シアトル行き
UPRを図3に示す。この日も冬型の気圧配置で
あった[7]。

日本近くの最適経路が TRK3 に近かったため、
TRK1 の UPR は TRK1 に一致せず、TRK2 や
TRK3 と一部重複することとなった。

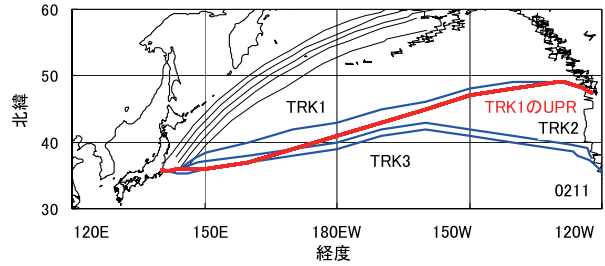
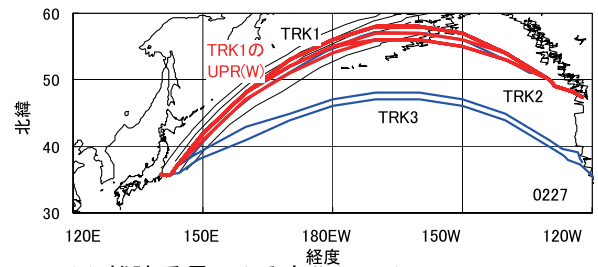


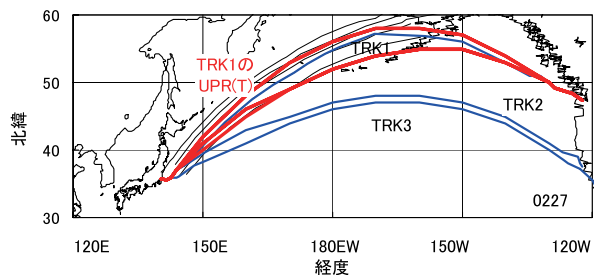
図3 2月11日の経路

また、ジェット気流が強く幅が狭く、時間推
移に伴う変化が少なかったため、最適経路は時
間、離陸重量を変えても、同じであった。

2007年2月27日の成田発シアトル行き
UPRを図4に示す。この日は寒気を伴う気圧の
谷があったが、日本列島周辺は春の不安定な大
気状態であった[7]。



(a) 離陸重量による変化(0227)



(b) 出発時刻による変化(0227)

図4 2月27日の経路

ジェット気流は強かったが、かなり南下して
おり、TRK3 もジェット気流を利用していない。
このような場合は、冬場であっても大圏経路に
近い経路が UPR となる。

4.2 夏の経路傾向

2007年8月26日の成田発シアトル行きUPRを図5に示す。この日は猛暑に見舞われ典型的な夏の天気であった[7]。

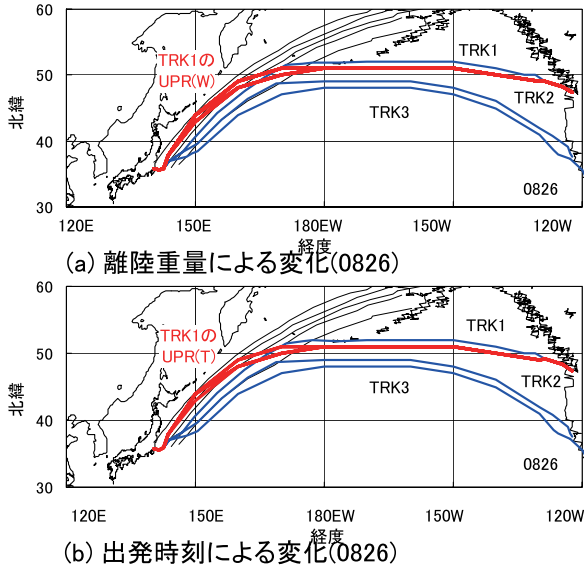


図5 8月26日の経路

夏場は、ジェット気流が弱いため、大圏経路に近い経路が最適経路となる。そのため、経路はTRK2よりは、NOPAC経路と呼ばれる経路に重なる傾向にある。実際、PACOTSも夏はNOPAC経路を横断しないように設定している。これをUPR化すると、NOPAC経路を横断する経路が増えることになり、管制上の制約がかかることになる。

4.3 秋の経路傾向

2007年10月28日の成田発シアトル行きUPRについて図6に示す。当日は秋晴れの典型的な秋の天気であった[7]。

UPRはTRK1とTRK2の間の、ジェット気流の蛇行部分の北にそっていた。時期の変化が早いため、出発時刻を変えた(b)の幅が大きくなっている。

4.4 季節ごとの経路傾向

ジェット気流に乗って経路は引かれるため、夏は北に引かれ冬は南に引かれる傾向がある。しかし、冬場であってもジェット気流がかなり

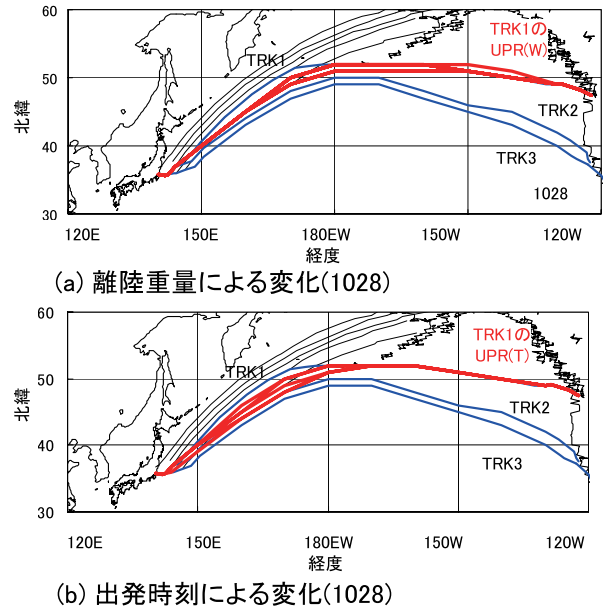


図6 10月28日の経路

南下し、TRK1の最適経路に適さない場合は、大圏経路に近い経路がUPRとして引かれる場合もある。

成田からの出発機については、離陸重量や出発時刻による差は図4のように、強いジェット気流が経路にかかるときに大きかった。時にジェット気流の時間変動があるときは、離陸重量による差が大きい。

1日のなかで、UPRの南北の変動幅はジェット気流によって異なる。ジェット気流の強い部分の幅が広いときや、時間推移による変化が早いときは、経路の変動幅が広がる。特に成田空港よりも西の地域で経路にあたる部分に強いジェット気流があると、成田以西の空港からの出発機のUPRは、成田の出発機のUPRとは異なる傾向がある。

5. コンフリクトの予測

5.1 2月の解析

2007年のFDPSの飛行統計データから1日分のTRK1,2,3を飛行した89機分の交通流を抽出した。

TRK1を飛行する経路の最適経路がTRK2やTRK3に重複することが予想される2月について、中部、関西の出発機やアジアからの通過機

も含めてUPRを算出した。

成田以西の空港から成田空港近くの地点までは、同一空港からその地点までの経路は全て同じ経路を飛行するものとした。

TRK1を航空機ごとにUPRを引いた場合、近くの経路との重複後の最終分岐位置を表2に示す。

例えば、2月3日について、「TRK2との分岐が180E」とは、160Eや170Eでは重なっていないこともあるが、180Eで重複し、それ以降（それより東側）では重複しないことを示す。また、180Eで分岐しているので、170Wまでは管制横間隔及び縦間隔が確保できない間は、異なる高度で飛行しないと、管制間隔が取れない

ことを示す。2月26日、27日はG344の終端まで重なっているため、G344を飛行する縦間隔が確保できない航空機とは、同じ高度を飛行することはできないことを示す。

2月は、必ずどこかの経路と重複した。特に、TRK2とは28日中15日は、170E以東での分岐であった。UPRの導入には管制間隔確保とその後の飛行高度の検討が必要である。

TRK2やTRK3との重複が多かった2月17日について、コンフリクト検出数を解析した。成田発シアトル行き経路を図7に示す。この日は、真冬並みの寒さであった^[7]。

表2 近くの経路との分岐位置

Date	R220	R580	A590	R591	G344	UPR (TRK1)	TRK2	TRK3
1			150E	150E	160E	-	160E	150E
2						-	160E	
3						-	180E	170E
4						-	160E	
5				150E	155E	-	150E	
6				150E	155E	-		
7					150E	-	155E	150E
8				150E	150E	-	160E	150E
9				150E	150E	-	170E	160E
10					150E	-	170E	160E
11						-	170W	170E
12						-	180E	170E
13						-	160E	150E
14			150E	150E	155E	-	170E	160E
15				150E	150E	-		
16						-	180E	
17				150E	150E	-	170W	180E
18			150E	155E	155E	-	160W	170E
19				150E	150E	-	170W	170E
20				150E	155E	-		
21				150E	170E	-	170E	
22				150E	155E	-	160W	150E
23				150E	155E	-	160W	
24		150E	155E	160E	170E	-	170W	
25	170E	175E	180E	175W	165W	-		
26	180E	175W	170W	165W	全て	-		
27	180E	175W	170W	165W	全て	-	150E	
28				155E	170W	-		

注：特に、西経170度以東のものを赤字とした。

150Eは東経150度、170Wは西経170度を表す。

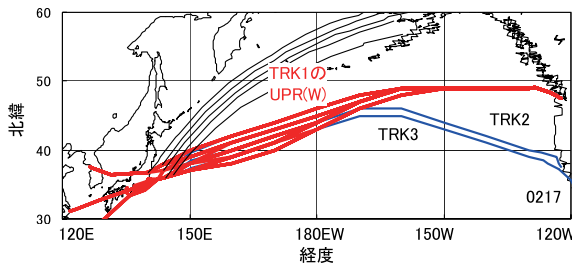


図7 2月17日の経路

TRK2とは160Wまで、TRK3とは170Wまで管制間隔が確保できないUPRも引かれた。

将来の全ての航空機がRNP4を満たす機上装備を搭載することを想定して、全て縦間隔30NM、横間隔30NMでコンフリクト件数を予測した。PACOTS飛行時は49件、TRK1をUPRにしたときは78件であった。コンフリクト解消後の飛行高度と燃料消費を比較検討する必要がある。

5.2 10月の例

TRK1のUPRがTRK2と重複しないことが予想される秋について一例を示す。

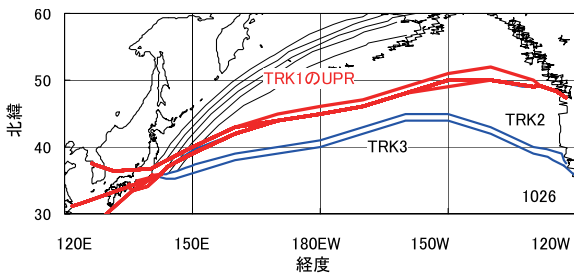


図8 10月26日の経路

10月26日の成田発シアトル行き経路を図8に示す。この日は、日本列島南を台風が北上中であったが、東側は高気圧に覆われていた^[7]。

TRK2と重複しておらず、NOPACとの重複も155Eまでである。PACOTS飛行時のコンフリクト件数は26件であった。TRK1をUPRとした場合は33件であった。UPRがTRK2とコンフリクトにはならないようなときは、UPRの経済効果がでるものと予想される。

6. まとめ

太平洋上を飛行する航空機が従来どおりのPACOTS経路を飛行した場合と、TRK1のみUPRを飛行した場合の経路を比較した。

その結果、10月のように、TRK1が最適経路に近いときは、TRK1のUPRがTRK2と管制間隔が取れる方向で引かれるため、便益があることがわかった。半面、2月のように、風が強くと、TRK2やTRK3が最適経路となっているときは、TRK1のUPRはTRK2やTRK3と交差するため、コンフリクトが増加し、管制間隔確保のために最適高度を飛行できない可能性が高いことがわかった。

今後、TRK2と管制間隔を取りながら、TRK1をUPRとしたときの便益を検討したい。また、今回は解析対象としなかったが、NOPAC経路を飛行する交通流との関係も検討したい。

研究を進めるに当たり、洋上管制に関するデータとFDMSのデータをご提供くださった、国土交通省福岡航空交通管制部航空交通管理センターの管理管制官各位に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 国土交通省報道発表資料：“洋上空域における管制業務の高度化について（管制間隔の短縮及びUPR方式の試行運用）～洋上空域における運航効率の向上～”，http://www.mlit.go.jp/report/press/cab13_hh_000004.html, 2008年8月.
- [2] 福田，福島，住谷，瀬之口：“洋上経路の管制間隔短縮の効果”，第5回電子航法研究所発表会講演集,2005年6月.
- [3] JCAB：“Study on the effect on 30 NM separation on Eastbound PACOTS”, IPACG/28, IP14, May. 2008.
- [4] IATA：“User Preferred Routes”, IPACG/29 WP19 Oct. 2008.
- [5] 国土交通省航空局：“航空路誌（AIP Japan）”，2009.
- [6] 福田，福島，住谷，瀬之口：“ATM環境下における洋上空域効率的運用手法に関する研究”，電子航法研究所要望研究報告書，平成17年6月.
- [7] 気象庁：“日々の天気図”，<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html>