

10. 北太平洋の経路システムに関する検討

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: 1 NM = 1,852 m)、垂直方向 2,000ft (1 ft = 0.305 m) 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。しかし、日本と北米を飛行する航空機数は多く、交通容量を増やすために NOPAC (NOrth PACific) 経路という複合経路システムが運用されていた^[1]。これは福岡-FIR (Flight Information Region, 飛行情報区)、アンカレッジ-FIR の北限域に位置する。管制横間隔が 50NM となり、PACOTS (PACific Organized Track System) と呼ばれる可変経路が運用されている現在でも、NOPAC 経路は一般の航空路として運用されている。

現在、ほとんどの航空機が航法性能として RNP10 を満たしており、垂直間隔も 1,000ft 間隔が導入されているので、縦方向 50NM、横間隔 50NM、垂直間隔 1,000ft の飛行が可能である。さらに、RNP4 を満たす機上装備を搭載すれば、縦方向 30NM、横間隔 30NM 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、運航者が飛行毎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。

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^[2,3]。その第一段階として、後述する PACOTS 経路の中の、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^[4]、トラック 2、3、14、15 が UPR を設定した場合^[5]の便益や課題を電子航法研究所では検討してきた。現在は航空会社参加の試行として、トラック 1、3 の机上検討が行われている^[6]。

UPR の経路設定にも制限緩和の動きがある。

最も交通量の多い NOPAC 経路について、現在は UPR を設定するときも NOPAC 経路の飛行運用条件(飛行方向や合流・分岐)を考慮した形で進められている。連邦航空局 (Federal Aviation Administration; 以下、FAA) は、将来的な UPR 導入時を見据え、NOPAC 経路の飛行方向や分岐・合流について、NOPAC 空域利用に関する 3 つの運用案を提示した^[7]。

本報告はその 3 案について、検討を行った。まず、洋上経路について現状の説明を述べ、FAA の提案を説明する。次に、現状の経路分布の傾向と提案された 3 案ごとの傾向を示し、導入可能な経路構成について報告する。

2. 洋上管理

2.1 NOPAC 複合経路

洋上空域における管制間隔は、かつて水平方向は 100NM、高度 29,000ft 以上での垂直間隔は 2,000ft であった。そのため、交通密度の高い時間帯に管制間隔を確保した経路を複数設定する場合は、最適な位置から離れた位置に設定することになる。これらを解消するため、東京-FIR (現在、福岡-FIR)、アンカレッジ-FIR の北限域に NOPAC (NOrth PACific) 経路が設定された。図 1 に日本付近の NOPAC 経路を示す。これらは、5 本の ATS (Air Traffic Service) 経路で、北から R220、R580、A590、R591、



図 1 NOPAC 経路

G344 という名前である。それぞれ 50NM 以上の横間隔が確保されているが、100NM は確保されていない。設定当時は複合経路として、隣接経路同士の飛行方向や高度に制限をつけ、効率的な運航を行っていた。

現在は、水平方向に 50NM での運航が可能な RNP10 対応機がほとんどである。NOPAC 経路は複合経路ではなく一般の航空路として使用されているが、効率的な運用のために、北 2 本の R220、R580 は西行き専用、北から 3 本目の A590 は東行き専用としている。

2.2 PACOTS

NOPAC 経路の南には PACOTS (PACific Organized Track System) と呼ばれる可変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⁾。日本の 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
TRK11,12	日本→ハワイ
TRK14,15	東アジア→西海岸
TRK A,B	ハワイ→日本
TRK C	シアトル・バンクーバー→日本
TRK E,F	西海岸→日本

PACOTS 経路は、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、ノートムで随時公示されている。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) システムで計算される⁶⁾。各同方向経路は横間隔が 50NM 以上確保されるように設定される。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。

2.3 利用者設定経路

利用者設定経路 (UPR) とは運航者が消費燃料、飛行時間などを考慮して飛行毎に設定される。PACOTS は標準的な飛行を想定しているが、

UPR の場合は離陸重量や出発時刻も考慮するので、同方面行きの飛行経路が全て同じ経路になるとは限らない。

3. シミュレーション手法

3.1 検討案

FAA は北太平洋の UPR の導入を見据えて、NOPAC 経路の飛行方法について表 2 の 3 つの運用モデルを提案した。

表 2 提案された運用モデル

モデル	飛行方向	分岐・合流
現行	R220,R580 西行 A590 東行 R591,G344 両方向	合流しない
1	全て両方向	R591 以南で分岐あり
2	R220,R580 西行 A590 東行 R591,G344 両方向	R591 以南で分岐・合流あり
3	全て両方向	全空域で分岐・合流あり

モデル 1 の場合、本来は飛行方向が定められている、NOPAC の北 3 本の経路を逆方向に飛行できる。しかし、一方通行ならば全高度を同方向に使用できるが、両方向通行であれば、1,000ft ずつ逆方向の飛行高度帯となるので、方向別の使用高度帯が減少する。本来なら東行きにしか使えない経路を西行きに使用できれば、容量の増加が見込まれるが、東西交通流が同じ航空路に集中すると、直上高度に逆方向の交通流が存在したときの高度上昇時に制限が生じ、最適高度での飛行ができない可能性が増加する。

モデル 2 は現在のネットワークと同じであり東西交通流が NOPAC の北 3 本では分離されることから、同方向同士のコンフリクトは考慮する必要があるが、逆方向の UPR の交錯は少ないことが予想される。

モデル 3 は最も柔軟な経路が引かれるが、コンフリクトの増加がどの程度であるのかが、問題である。

全体的には、TRK E や F が NOPAC 利用で最も北側の R220 となることはないが、UPR の場合は、カリフォルニア発の経路も R220 とな

り得るため、R220 への集中が予想される。

当所の洋上管制シミュレータ^回は、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 現在の PACOTS 経路分布と分類

UPR は PACOTS と異なることもあるが、PACOTS に近い位置が計算されることが多い。そこで、まず現状の PACOTS 経路の分布を調べ、季節ごとの経路傾向を示す。

まず、代表的な東行き PACOTS（北から TRK1、2、3）と西行き PACOTS（北から TRKC、E、F）の福岡 FIR 東側境界（東経、約 160 度～165 度）での南北位置関係で表 3 に分類した。PACOTS 位置で運用モデルごとの傾向が分類できれば、PACOTS 公示時に UPR 導入の可能性を公表できる。

表 3 PACOTS 位置の分類

タイプ	福岡 FIR の東側境界線の東西交通流の分離	北に位置する TRK
W	○	西行き TRK
M	×	-
E	○	東行き TRK

W、E は南北方向で完全に分離していることを示す。集計期間としては、2009 年 11 月から 2010 年 10 月までとした。図 2 に PACOTS 位置の年間のタイプ別内訳を示す。56% がタイプ W である。この場合はほとんどが TRK C、E、F は NOPAC 空域にあり、TRK 1、2、3 は NOPAC 空域に入らない。同様に東西交通流が逆に分かれるタイプ E は全体の 5% と少ない。また、UPR を計算した時に東西方向の経路が交錯することが予想されるのが、全体の

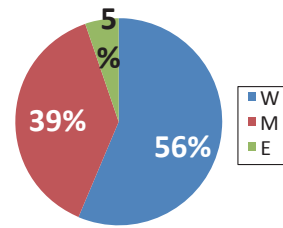


図 2 PACOTS 位置 (年間)

39%にあたるタイプ M である。図 3 に月毎のタイプ別内訳を示す。

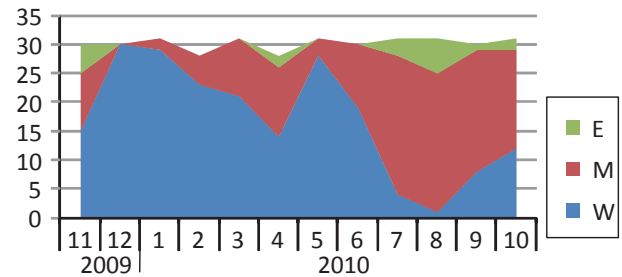


図 3 PACOTS 位置 (月間)

図 3 より、冬場はタイプ W であることが多いが夏場はタイプ M が多い。夏は気温が高く空気密度が低いいため、上昇率が悪くなる。そのため夏に東西方向行きの経路が交錯することは、より低高度の飛行が予想され、消費燃料の検討が必要である。

また、NOPAC 空域にはアジアアンカレッジ便も多数飛行する。PACOTS が南北に分離されるタイプ W、E でもアンカレッジ便はジェット気流の影響を大きく受けないため UPR の傾向は異なる。そのため、他経路との交錯を検討する必要がある。

3.3 シミュレーション

西行き交通流と東行き交通流が両方存在する時間帯を選び、標準的な交通量のシナリオを作成した。空港は代表的な空港を選び、経路的に近い空港の発着となるように、出発時刻を調整した(例:関西→成田)。代表的な北米の空港は、アンカレッジ、シアトル、サンフランシスコ、ロサンゼルス、ダラスとした。また、アジアの空港としては、成田、台北、仁川、上海とした。

まず、3.2 で述べた PACOTS 位置のタイプごとにその日の気象条件で、3.1 で述べた各運用モデルに従った UPR をそれぞれ計算した。そ

の後、コンフリクトを検出し、そのコンフリクトを解消するための管制シミュレーションを行い、飛行高度、消費燃料を検討した。

経路の交差・合流の有無や、それらの方向を評価した。経路は洋上空域では交差しないことが望ましい。特に、逆方向の経路の交差は、効率的な高度上昇の面からも望ましくない。

4. シミュレーション結果

4.1 モデルごとの位置傾向

モデル 1 とモデル 2 は位置的には近い UPR が引かれた。しかし、NOPAC 経路の利用条件が異なるため、ある航空機の NOPAC 空域での UPR はモデル 1 と 2 は隣の NOPAC 経路となることもあった。

モデル 3 は多くの交差や合流がみられるとともに、NOPAC 空域に限らず、逆方向も含めた経路の集中が見られた。図 4 に示すように、東西交通流が集中した場合が多かった。黒線は東行きで、赤線は西行きを示す（後出の図も同様）。

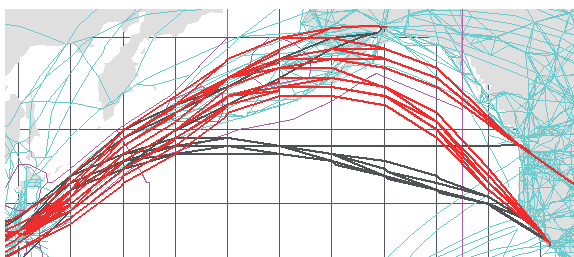


図 4 UPR 例①-モデル 3 (タイプ W)

4.2 タイプ W

図 5 にタイプ W の PACOTS 例を示す。

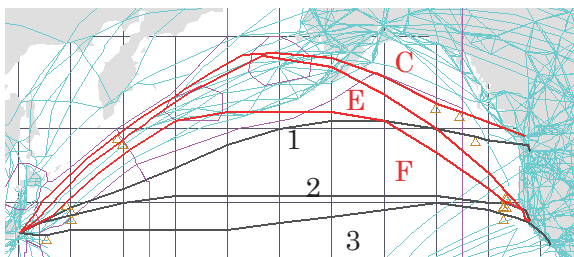


図 5 PACOTS 例 (タイプ W)

東行きは北から TRK 1、2、3 を示し、西行きは北から TRK C、E、F を示す。

図 6 に図 5 と同日のモデル 1 での UPR 例を示す。

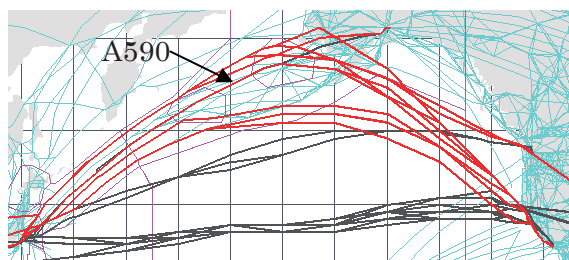


図 6 UPR 例②-モデル 1 (タイプ W)

福岡 FIR 内では PACOTS 経路が東行きと西行きで南北で分離しているため、UPR もあまり交わらない。しかし、4.1 で述べたように、モデル 2 の場合と UPR の位置は近いが、西行きが現在は東行き専用となっている A590 に引かれることがあった。東行き経路が南下する日でも、北側の経路をとるアンカレッジ行きやダラス行きは NOPAC を利用することが多いので、モデル 1 はコンフリクトの増加が予想される。しかし、A590 での交錯がない日やアンカレッジ行きのみの日もあり、交錯の少ない日もあった。

モデル 2 では NOPAC 最北の R220 に集中することもあるが、これは現状でも生じている。

4.3 タイプ M

タイプ M では、TRK の位置によって、傾向が異なった。しかし、全体的にモデル 1 はタイプ W の場合よりもさらに多くの経路交錯が見られた。

タイプ W は北側の経路をとる東行きのみが西行きと交錯したが、タイプ M はそもそも東西交通流が同じような位置にあるため、多くの東西経路が交錯した。この例を図 7 に示す。

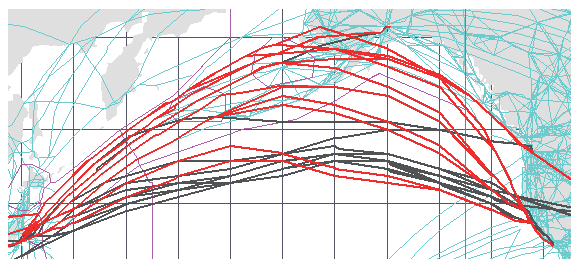


図 7 UPR 例③-モデル 1 (タイプ M)

モデル 2 でも図 8 のように、東西交通流が重なる場合も多かった。

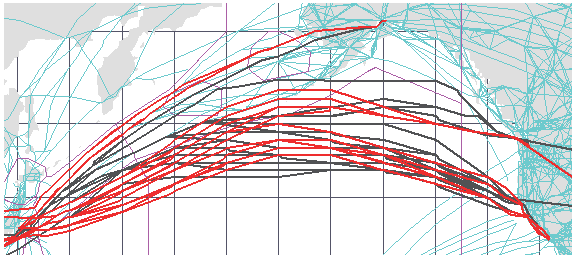


図 8 UPR 例④-モデル 2 (タイプ M)

東行き経路は、ジェット気流を利用するように経路が引かれるため、夏場や一部の冬場（ジェット気流がかなり南下し、TRK1 の最適経路に適さない場合）のようにジェット気流の影響をあまり受けないときには、大圏経路に近い経路が UPR として引かれるため東西交通流が重なる傾向となる。この場合は NOPAC 空域以南での交錯となったが、このような場合も UPR を導入する場合は効率的な運用のために何らかの制限が必要である。

経路の交錯が少なかった例を図 9 に示す。

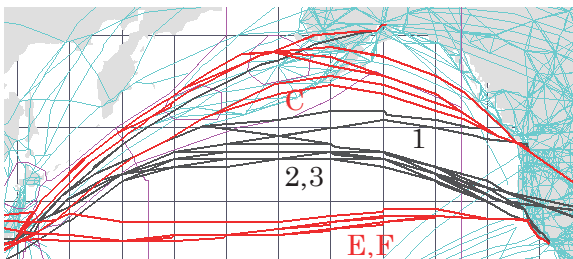


図 9 UPR 例⑤-モデル 2 (タイプ M)

北から TRK C、TRK 1、2、3、TRK E、F という順番かつ、「TRK C」「TRK 1、2、3」「TRK E、F」というグループに位置が分かれ、グループ間の間隔が広いときに東西交通流が南北に分離されたが、例は少なかった。

4.4 タイプ E

図 10 のように、TRK 3 と TRK C と TRK E、F の UPR の位置が離れた場合は、モデル 1、2 では問題となるような交錯は NOPAC 空域ではおきなかった。

しかし、図 11 のように、TRK C と TRK 3 の UPR が近い場合は東行きの交通流の UPR がモ

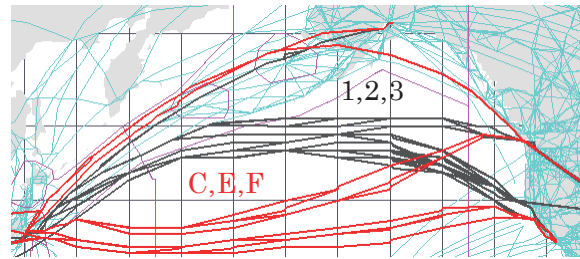


図 10 UPR 例⑥-モデル 2 (タイプ E)

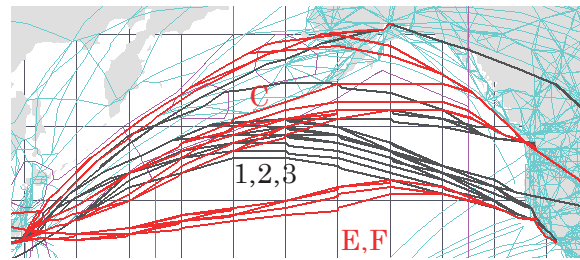


図 11 UPR 例⑦-モデル 1 (タイプ E)

デル 1 では NOPAC 経路の北 2 本（本来は西行き）となるが、アンカレッジなど北側の経路を通る西行きはやはり NOPAC 経路の北側の経路を通ることになるため交錯した。

NOPAC 最北の R220 を通過する西行き航空機が少なかった日もあり、NOPAC 北側の 3 本の利用方法としては、現在の逆方向の運用も検討の余地はあり、今後の課題としたい。

4.5 モデルとタイプの総括

NOPAC 空域での東西交通流の交錯は表 4 のようになる。

モデル 2 については、タイプ W のときは交錯が少なく、導入の可能性がある。また、表中「交錯あり」とした、3 件については本報告の

表 4 NOPAC 空域での交錯

タイプ	モデル 1	モデル 2	モデル 3
W	交錯あり	交錯少ない	交錯多い
M	交錯多い	交錯多い*	交錯多い
E	交錯あり	交錯あり	交錯多い

分類よりもさらに詳細な検討を行い、導入可能な経路構成を検討したい。

なお、*については、交錯する場所が NOPAC 空域の南側の空域のこともあり、本報告の対象と別に、TRK 1 や TRK 3 の UPR の机上検討⁶⁾

の結果を参考とする必要がある。

5. 考察

図 3 で、各 PACOTS タイプの経路が引かれた 10 月について、UPR が引かれた場合に、NOPAC よりも北に UPR が引かれる場合を検討する。UPR が NOPAC よりも北の場合はハバロフスク-FIR の固定経路を飛行することになり、現在も、この経路を飛行する場合がある。

実際に、2010 年 10 月に西行き交通流がどの経路から福岡 FIR に入域したかを示す。R581、G344 については合流もあるため、AKISU、CALMA で計数した。なお、NOPAC よりも南の FIR 内から入域した場合は表示していないため、このグラフの上限値は西行き交通量の合計値を示さない。

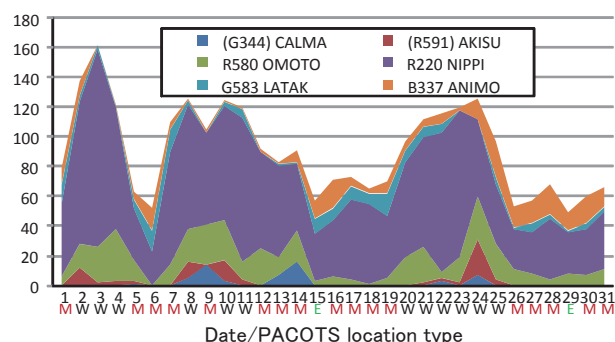


図 12 西行き交通流の福岡 FIR 入域 FIX

B337、G583 はロシアの空域であり、NOPAC 空域では交錯しない。R220 に UPR が集中することが予測されても、多くの航空機がロシア空域を飛行すれば R220 の交通量の増加は緩和される。しかし、PACOTS の位置関係と実際のロシア空域飛行機数の傾向は今後の課題である。

6. まとめ

太平洋上の経路の現状の運用状況と、FAA の提案する、NOPAC 空域での UPR 導入に関する 3 つの経路モデルについて紹介し、それぞれの経路モデルで UPR を計算した場合の経路交錯を比較した。

その結果、最も自由度の高いモデル 3 は交差・合流が多すぎることから、経路運用上問題

があることがわかった。

また、モデル 1 は NOPAC 経路上の東西交通流が重複したが、経路の傾向によっては、重複の少ない日もある。特に、東行きが北側に位置する時は重複が少なく有効な場合もあり、新たな制限も含めて、導入の可能性は、今後の課題としたい。

モデル 2 は東西交通流が南北に分離するような日は有効であり、これは日数として 56%となる。なお、これは NOPAC 空域内のことであり、NOPAC 南側の空域については、現在進められている、TRK 1、3 の UPR 机上検討の結果を参考にする必要があります。

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] 住谷，長岡，天井，“航空交通流の時間的特性に基づく到着間隔分布モデル”，電子航法研究所報告，No.99，Feb.2002.
- [2] IATA，“User Preferred Routes”，IPACG/29 WP19 Oct. 2008.
- [3] IATA，“Pacific Project”，IPACG/31，WP/14，Oct. 2009.
- [4] JCAB，“Simulation analysis of UPRs of TRACK 1 with restrictions”，IPACG/31，IP/15，Oct. 2009.
- [5] JCAB，“Simulation results of UPR of TRACK2, 3, 14 and 15”，IPACG/33，IP/18，Nov. 2010.
- [6] JCAB/FAA，“IPACG/33 Final Repoer”，IPACG/33，Nov. 2010.
- [7] FAA，“Alternative Route Structures and the Incorporation of User Preferred Routes (UPRs) into NOPAC”，IPACG/33，WP/03，Nov. 2010.
- [8] 国土交通省，“AIP Japan”
- [9] 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.