

18. 洋上管制の傾向分析及びPBN導入効果に関する考察

航空交通管理領域 ※平林 博子、福島 幸子、岡 恵、伊藤 恵理

1. はじめに

日本が担当する太平洋上管制区では、日本と北米、ハワイ、南太平洋の国々を結ぶ路線以外にも、東南・東アジアの各国と北米・ハワイ・南太平洋間を航行する航空機（以下、オーバーフライト機）も数多く飛行する。世界の経済状況や景気に航空機数は大きく影響を受けるが、2025年までの間に、特に中東とアジア太平洋地域では旅客輸送量の高い増加率が予測されている^[1]。また、航空交通需要拡大に伴い予測される環境問題に対して、地域で連携し取り組む仕組みが確立されつつある^[2]。

太平洋上の航空交通は、レーダーや無線施設が整備されている国内空域とは異なり、CPDLC（Controller Pilot Data Link Communications：管制官パイロット間データリンク通信）、ADS-C（Automatic Dependent Surveillance-Contract）等データリンクを使用した管制運用方式が取り入れられている。飛行経路は、固定経路に加え、柔軟に経路が設定される可変経路がある。柔軟な経路設定は、運航者の求める経済的な経路を実現できるだけでなく、CO₂排出量削減にも効果がある。

将来の航空交通管理の主要素のひとつに軌道ベース運用（TBO: Trajectory Based Operation）がある^{[3][4]}。TBOは、運航者の求める経路を最大限満足させつつ、より効率的に、安全に、さらに環境問題にも対応できる運用を目的としている。洋上管制区では近年、羽田空港国際化に伴う発着枠増加やオーバーフライト機増加など交通量増加とともに、より制限の少ない可変経路が徐々に導入されてきている。交通量増加に伴う柔軟な経路設定を実施している洋上管制区の変遷を知ることは、将来のTBO実施時の管制処理容量を思考するうえでのモデルとなる。

交通需要の予測において、2011年から2022年の間で太平洋を横断する航空機数は年平均4.2%の増加が見込まれている^[5]。北太平洋上を

通過する航空機の多くは福岡 FIR（Flight Information Region）洋上管制区を飛行することから、洋上管制区での効率的な運航が、航空運航全体の効率的な運航へとつながる。

本稿では、可変経路の導入や羽田空港国際化等で変化する洋上交通流分析、及び管制運用の傾向を見るためにCPDLCメッセージ分析を実施した結果を報告する。さらに、PBN（Performance Based Navigation：性能準拠航法）及びデータリンクの性能要件により得られる効果について考察し、潜在的な便益を示す。

2. 太平洋上の管制運用

2.1 洋上経路

太平洋上の飛行経路は、固定経路に加え、「日」や「運航者（飛行）」単位により可変経路が設定される。現在導入されている可変経路としては、日本を含むアジアとアメリカ間で、上空の風を考慮し「日」単位で複数本設定されるPACOTS（Pacific Organized Track System）経路、運航者が消費燃料、飛行時間などを考慮し飛行毎に経路を設計するUPR（User Preferred Route）経路、さらに、飛行中に最適な経路に変更するDARP（Dynamic Airborne Reroute Procedures）がある。



図1 洋上管制空域の経路

従来はスムーズな交通流を確保するためにPACOTSの運用が重要視されてきたが、近年、運航者側での経路設計が可能となってきている

こと、また、地上管制システムの支援機能向上に伴い、PBN及びデータリンクの性能要件により航空機間隔（以下、管制間隔）を短縮して運用できる環境が整ってきたこと等から、より柔軟な経路設計であるUPRが徐々に導入されてきている。表1にUPRの導入経緯を示す。

表1 UPR 導入経緯

日本 - オセアニア
2009年5月試行運用（日-豪）、 2010年7月適用範囲拡大、2013年3月本運用
トラック 11、12、A、B（アジア-ハワイ）
2008年8月試行運用、2009年8月本運用
トラック 1（日本→北米）
2011年6月試行運用、2013年3月本運用
トラック 3（日本→北米）
2012年2月試行運用
トラック 14、15（アジア→北米）
2009年9月試行運用、2011年8月本運用
トラック H、I（北米→アジア）
2010年4月試行運用、2011年8月本運用
トラック K（北米→アジア）
2011年5月試行運用、2013年3月本運用

2. 2 適用管制間隔

洋上管制区では、関係する航空機のPBN及びデータリンクの性能要件の組み合わせにより、適用管制間隔が変わる。表2に福岡FIR洋上管制区での現在の適用管制間隔を示す。管制間隔が小さくなることで高密度な管制運用が可能となり、より多くの航空機が最適な経路で飛行することが可能となる。

表2 福岡FIR洋上管制区適用航空機間隔

(縦間隔/横間隔)

航空機1 航空機2	RNP4, D/L*	RNP10, D/L*	その他
RNP4 D/L*	30NM/30NM	50NM/50NM	15(10)分*** /100NM
RNP10 D/L*	50NM/50NM	50NM/50NM	15(10)分*** /100NM
その他	15(10)分*** /100NM	15(10)分*** /100NM	15(10)分*** /100NM

※D/L：データリンク機

***速度または位置通報点により異なる。

3. 洋上管制区航空機数の統計

ODP (Oceanic Data Processing System : 洋上管制データ表示システム) のプロット情報と飛行計画情報を照合し、福岡FIRの洋上管制区を飛行した航空機情報を抽出した。2008年2月から2013年1月までの、2か月毎の一週間を対象とした。

3. 1 過去5年の航空機数の変化

対象期間に洋上管制区を飛行した航空機数の経年変化を図2に示す。リーマンショックを境に世界的な経済の冷え込みが航空需要にも影響を与え、2008年後半から航空機数は減少している。成田空港滑走路の延伸、羽田空港4本目の滑走路供用開始が始まり、また、世界経済も徐々に回復傾向に向かうに伴い、再び2008年以前の水準に回復しつつある。

また季節による差もある。冬場は南下し強風となるジェット気流の影響で、北太平洋を飛行するオーバーフライト機は、福岡FIRより北側のロシア担当FIR内を飛行する傾向がある。このため、冬の福岡FIR洋上管制区の航空機数は夏と比較すると減少する傾向がある。

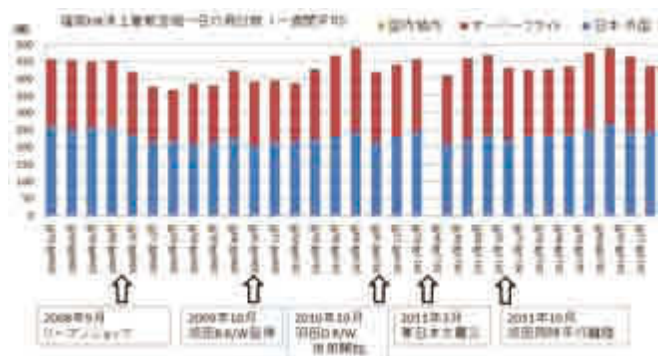


図2 福岡FIR洋上管制区一日の航空機数

3. 2 一日の変化

2008年及び2012年の夏のある一日における福岡FIR洋上管制区内の航空機数を方面別に図3に示す。集計は、一時間中に洋上管制区に存在した航空機数の総計である。2012年の傾向としては、12時(以下、時刻は日本時間で示す。)過ぎの交通量のピークがより顕著になっている。2008年と2012年の各時間の機数を比較すると、12時、13時台でそれぞれ32%増、35%増である。一方でピークを挟む9時、16時台はそれぞれ

れ8%減、6%減である。

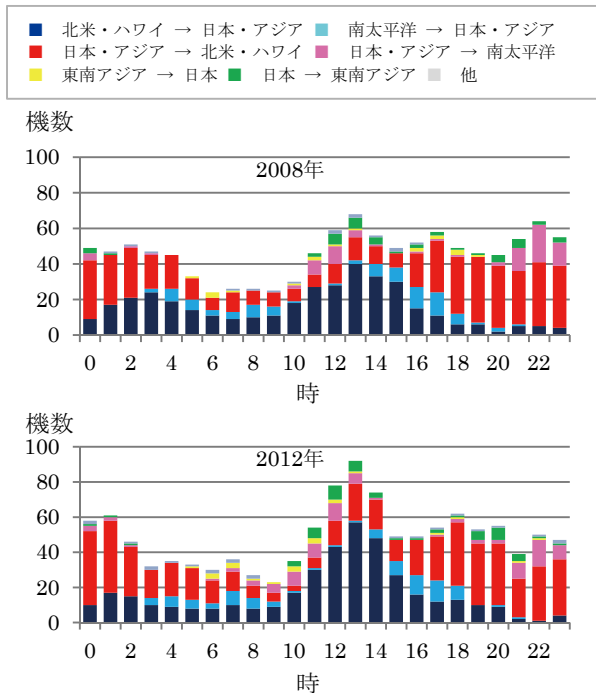


図3 方面別航空機数（夏の一日）

3.3 オーバーフライト機の変化

図4は洋上管制区における各時間のオーバーフライト機数を示す(3.2と同日)。交通量のピークである13時台の機数において、2012年を2008年と比較すると114%増である。一方で交通量の少ない9時台では64%減である。

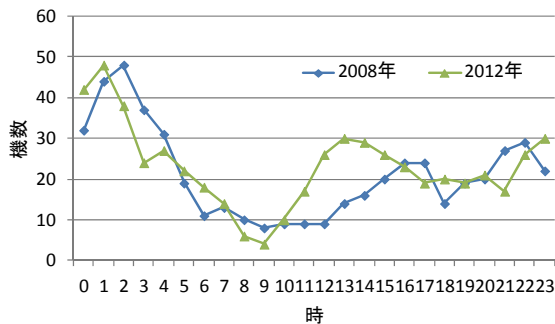


図4 オーバーフライト機数（夏の一日）

3.4 成田・羽田空港発着機

洋上管制区における成田・羽田空港発着機数は、日本の空港からの発着機の約7割を占める。図5は洋上管制区における成田・羽田空港発着機数の夏の一日の変化を2008年と2012年を比較して示す(3.2と同日)。2008年と比較し2012年夏の傾向としては、羽田空港の国際化により夜間の羽田空港発着機数の増加、及び成田空港

発着機の昼間のピーク時の集中がある。2008年各時間の機数と比較すると、13時台は20%増、9時台は38%減である。

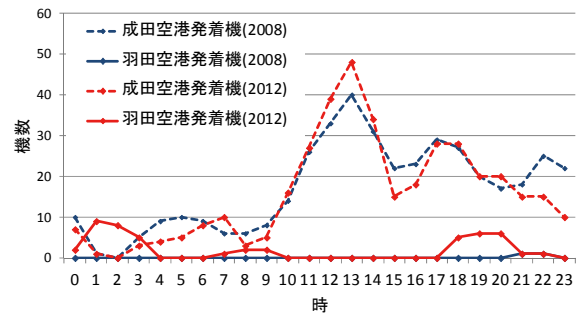


図5 成田・羽田空港発着機数（夏の一日）

オーバーフライト機及び成田空港発着機の集中が13時台のピークをより顕著なものにし、一方でピークを挟む前後の時間帯においてはオーバーフライト機、成田空港発着機ともに交通量が減少している。

今回はジェット気流の弱まる夏の一日を比較したが、同様に2008年から2013年までの冬の一日を比較したところ、北米から日本を含むアジア方面への航空機数が飛行全体に占める割合は、日によりばらつきが大きかった。北太平洋上の交通流は、上空の風の影響を大きく受けるため、特に北米からの飛行経路は日によって異なる。今回分析した2008年から2013年の夏3日及び冬6日においてピーク時の13時に占める北米からアジアへの航空機数の全体に占める割合は、多い時で51%、少ない時で30%であった。上空の風により変化する北米からアジアへの交通流が全体の交通流の動きに波及する。

4. リクエストメッセージ分析

洋上管制区でのパイロットから管制官への高度変更リクエストは、主に経済的・高度での飛行のためと悪天候回避のためになされる。しかし、高度変更することで他の航空機と管制間隔が保たれない場合は、高度変更リクエストは応じられない。高密度運航における理想的な高度プロファイルでの飛行が実現されることは、運航者の求める飛行を最大限満足させることを目標としている将来の航空交通管理において重要な要素である。パイロットからの高度変更リクエストが応じられる割合が高ければ高い程、運航者

の求める飛行が実現できていることになる。そこで、管制官パイロット間データリンク通信である CPDLC メッセージから、どの程度パイロットからの高度変更リクエストが応じられているかを分析した。

4. 1 CPDLC メッセージの分析

福岡 FIR の洋上管制区を飛行する航空機の約 7 割は CPDLC を使用している。CPDLC メッセージを使用し、パイロットからの高度変更リクエストに対する管制側の回答を分析した。

対象期間：

- 2009年 6/22~6/28, 8/17~8/23, 12/21~12/27
- 2010年 2/15~2/21, 6/21~6/27, 8/16~8/22, 12/20~12/26
- 2011年 2/21~2/27, 7/4~7/10, 9/5~9/11, 11/7~11/13
- 2012年 1/9~1/15, 7/9~7/15

4. 2 Unable リプライ率

パイロットからの高度変更リクエスト数に対する管制側からの最初の返答が「Unable（高度変更は許可されない）」であった割合を Unable リプライ率とした。高度変更リクエストの内訳は、上昇リクエストが 92%、降下リクエストが 5% 及び複数の高度帯をブロックするリクエストが 3% であった。図 6 に高度変更リクエスト数と Unable リプライ率を示す。2010 年 6 月以降 24% 以上の Unable リプライ率が続いている。図 2 に示すとおり洋上管制区の航空機数は、2010 年 4 月から一時期上昇に転じている。交通量増加と共に Unable リプライ率が低く抑えられない傾向がある。

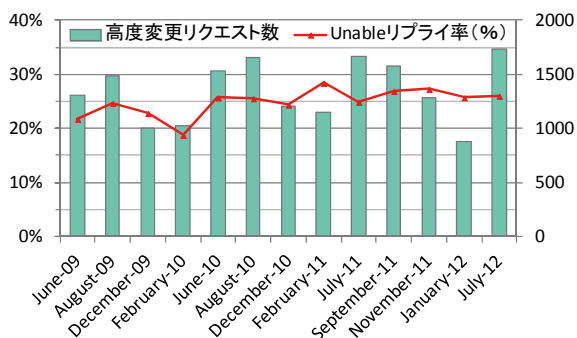


図 6 Unable リプライ率

(リクエスト数及びリプライ数は各月一週間の累計を示す。)

4. 3 交通量と Unable リプライ率

交通量増加に伴い空域の交通密度が高くなると、管制間隔を維持するために高度変更リクエストに応じられないケースが多くなると推測される。そこで、洋上管制区を飛行した航空機数と Unable リプライ率の相関を求めた。図 7 は対象期間各一週間の総計から 3 時間毎をひとつのプロットとして表したものである。航空機数に応じて Unable リプライ率は高くなる。航空機数と Unable リプライ率の相関係数は 0.64 であった。また、同等の航空機数の場合であっても時間帯によって Unable リプライ率の傾向が異なる。同等の航空機数で Unable リプライ率の低い傾向の時間帯（9-12 時、15-18 時）は、日本と各方面を結ぶ飛行が多いのに対して、Unable リプライ率が高い時間帯（0-3 時、3-6 時）は、北米とアジア間の同方面の交通が主流である。

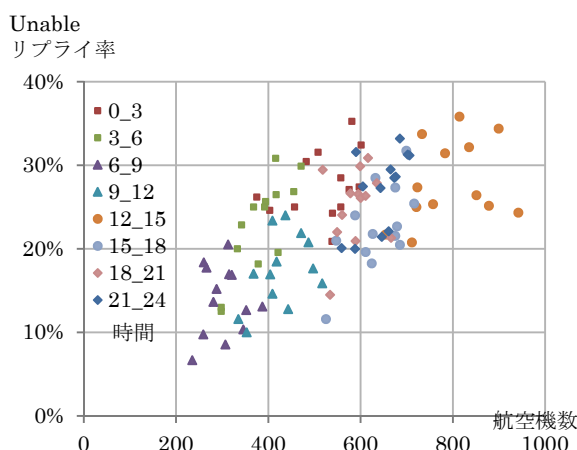


図 7 航空機数と Unable リプライ率の相関図

4. 4 シティペアと Unable リプライ率

福岡 FIR 内洋上管制区は、方面により飛行距離、経路構成等が異なる。アラスカ方面は NOPAC 経路、北米・ハワイ方面は主に PACOTS 経路、南太平洋方面は主に ATS 経路を飛行する。方面別の Unable リプライ率を表 3 に示す。日本からのハワイ便及び東南アジアと日本間の Unable リプライ率は他のシティペアよりも高い。日本からのハワイ便に関しては、冬場に比べ夏場の Unable リプライ率が高い傾向があった。夏場は日本からのハワイ方面への経路と北米からのオーバーフライト機の経路が太平洋上

で交差するケースが多く発生するため、Unable リプライ率が高くなる可能性が高くなると推測される。一方東南アジアと日本間は、三宅島から南西方向に延びる航空路 A590 を飛行する。A590 では双方向運用が実施されており、対面で飛行する交通が多くあるので Unable リプライ率が高くなる傾向があると推測される。

表3 方面別 Unable リプライ率

日本⇒北米	23%
日本⇒アラスカ	18%
日本⇒ハワイ	37%
日本⇒南太平洋	25%
日本⇒東南アジア	41%
北米⇒日本	20%
アラスカ⇒日本	15%
ハワイ⇒日本	18%
南太平洋⇒日本	19%
東南アジア⇒日本	34%
東南アジア⇒ 北米、アラスカ、ハワイ	23%
東アジア⇒ 北米、アラスカ、ハワイ、南太平洋	27%
北米、アラスカ、ハワイ ⇒東南アジア	27%
北米、アラスカ、ハワイ、南太平洋 ⇒東アジア	27%

4. 5 関連航空機との位置関係

今回の CPDLC メッセージ解析期間で Unable リプライ率の高かった二日間（DAY1、DAY2 とする。Unable リプライ率はそれぞれ 34%、32%である。）において、航跡情報から高度変更リクエストに関連する航空機を特定し、位置関係を分析した（表5）。同方向／同経路上を飛行する航空機間での管制間隔維持のために、高度変更リクエストが応じられない件数が最も多かった。DAY1 に関しては、対象航空機が認められなかった「不明」が多い。隣接セクター及び隣接 FIR との調整の結果高度変更に応じられなかったケース、または数時間先の交通流を考慮し戦略的に高度を確保するケースでは航跡情報では判断ができないため「不明」となる。DAY1 では北米からのオーバーフライト機のコースが洋上管制区で交差するケースが多く見られた。「不明」が多く発生したのは、戦略的な高

度確保のためだったと思われる。

表5 高度変更リクエスト機と関連航空機との位置関係

関連機との位置関係	DAY1	DAY2
同方向／同経路（分岐含む）	27	37
同方向／クロス経路	5	5
同方向／合流経路	3	4
逆方向／同経路（分岐含む）	0	3
逆方向／クロス経路	3	7
逆方向／合流経路	0	2
不明	22	2
TOTAL	60	59

5. 考察

5. 1 RNP10/4 導入効果

洋上管制区では、PBN 及びデータリンクの性能要件により短縮管制間隔が適用できる。高度変更リクエスト機及び関連航空機において、PBN 及びデータリンク性能要件が変わることによって高度変更可能であった件数を調べた。表6に、DAY1 と DAY2 の Unable リプライ件数のうち、高度変更リクエスト機または関連航空機が RNP10 機であった場合、または、RNP4 機であった場合は高度リクエストが応じられた件数を示す。この中には、計測時点では管制間隔があるが将来的に間隔が保持できないと判断したケースも含む。結果は 28 件であり、Unable リプライ件数の約 1/4 である。全ての航空機が短縮管制間隔を適用できる PBN 及びデータリンク性能要件であるなら、福岡 FIR 内だけでも「Unable」と返答された約 1/4 の飛行が、高度変更可能となる。

表6 PBN、データリンク性能により適用管制間隔が変わった場合に高度変更リクエストが応じられた件数

	DAY1	DAY2
RNP10 以上なら応じられた件数	6	14
RNP4 以上なら応じられた件数	3	5
Unable リプライ件数	60	59

5. 2 交通密度と管制処理容量について

電子航法研究所では、短縮管制間隔やフレキ

シンプル経路に応じた効率的な経路設定の研究を続けている^[6]。また、RNP4 導入効果は交通量の多い条件下の方が高いことも示されている^{[7][8]}。近年洋上管制区では、短縮管制間隔の適用が導入されつつあり、運航者の理想とする高度プロファイルが実現され易い環境が整ってきている。同時に交通密度の高まりから、要求する高度変更が実現できない状況も増加すると考えられる。UPR 等柔軟な経路設定は、同経路を飛行する航空機数は少なくなるかもしれないが、交差点・合流点の増加が理想的な高度プロファイルに与える影響はケースバイケースであり、解析を進めている^[9]。同時に、経路構成が複雑になることで管制処理容量に影響する可能性も考慮する必要がある。

現在国内管制空域において、交通が集中しないよう交通流管理が日々実施されている。洋上管制区においてもプロアクティブな交通流の調整が提案されている^[10]。国外からの長距離フライトの交通流を管理・制御することは多くの課題があるが、国際的な航空交通管理の実現のためには必要であると思われる。

6. まとめ

UPR 導入、羽田空港国際化等で変化する洋上交通流の傾向を分析した。世界的な経済の動きが航空需要にも影響を与え、2008 年後半から航空機数は減少したが、現在再び 2008 年以前の水準に回復しつつある。また一日の流れにおいては、日により変化する北米からアジアへの交通流が全体の交通流の動きに波及する。

CPDLC メッセージ分析では、交通量増加に伴い Unable リプライ率が高くなっていった。特に、同方面への交通流が多くある時間帯において高くなる傾向がある。

高度変更リクエストが応じられないケースとしては、同方向/同経路上を飛行する航空機間で管制間隔が維持できないことが原因である件数が多かった。また、短縮管制間隔を使用できる PBN およびデータリンクの性能要件であったなら高度変更リクエストに応じられた件数は、Unable リプライ件数の約 1/4 であった。

管制通信に関して今回は CPDLC メッセージのみを分析したが、今後は、洋上における HF

周波数帯を使用した音声通信を含めて分析することで、管制運用の傾向をトータルで分析することを検討したい。さらに、交通流・交通密度と理想的な高度プロファイル、管制処理に与える影響について検討したいと考える。

謝辞

洋上管制に関するデータ、FDMS データをご提供くださった、国土交通省航空局並びに福岡管制部航空交通管理センターの関係者皆様に感謝いたします。

文献

- [1] ICAO “Long-term Traffic and Aircraft Movement Forecasts.”
http://www.icao.int/sustainability/pages/eap_fp_forecast_longterm.aspx
- [2] ICAO “Asia and Pacific Initiative to Reduce Emissions (ASPIRE), annual report”, 2012.
- [3] ICAO “Global Air Traffic Management Operational Concept”, ICAO Doc 9854AN/458, 2005.
- [4] 国土交通省航空局: “将来の航空交通システムに関する長期ビジョン”, 将来の航空交通システムに関する研究会, 2010.
- [5] ICAO “Report of the Asia/Pacific area Traffic Forecasting Group 16th meeting”, September 2012.
- [6] 福島、住谷、福田 “北太平洋の経路システムに関する検討” 第 11 回電子航法研究所発表会講演概要, June 2011.
- [7] 福島、岡田、住谷、福田 “洋上経路における RNP4 の導入効果について” 第 12 回電子航法研究所発表会講演概要, June 2012.
- [8] ENRI “RNP4 Benefit on PACOTS Route” IPACG35, IP21, November 2011.
- [9] JCAB “Alternative Route Structures and the Introduction of PACOTS into NOPAC” IPACG37, WP03, October 2012.
- [10] 福島、福田 “東行き太平洋経路における飛行計画時調整法の提案” 電子情報通信学会論文誌 B vol.J88-B No.4, pp804-812, April 2005.