

## 19. 日本における航空衛星通信トラフィックの現状

監視通信領域 ※住谷 泰人、大津山 卓哉  
 航法システム領域 坂井 丈泰、齊藤 真二、山 康博  
 航空交通管理領域 福田 豊、蔭山 康太

### 1. はじめに

円滑な航空交通の実現に向け、航空交通システムにおける運用の改善が検討されている。この改善方法の一つとして、トラジェクトリベース運用(TBO: Trajectory Based Operation)が挙げられる。TBOでは、航空交通管制(ATC: Air Traffic Control)における航空機の運航時間を綿密に管理、調整し、円滑な航空交通流と運用の改善を図る[1]。また、航空機の運航時間の管理調整のために、航空専用システムであるCNS/ATM (Communication, Navigation and Surveillance: 通信・航法・監視 / Air Traffic Management: 航空交通管理)システムを用い、トラジェクトリに関するデータを空地(航空機と地上)間で共有する[2]。特に、CNS/ATMシステムにおける空地間の伝送路(データリンク)の通信トラフィック性能は、データ共有を図る上でのデータ更新頻度等の性能維持に直接関係する。通信トラフィック性能は、現在の通信トラフィック状況に基づく航空機数、及び航空機から発出されるメッセージの長さやメッセージ同士の間隔を、性能予測のパラメータとして適用することで算出できる[3]。

本稿では、TBOと密接に関係するCNSシステムについて各飛行フェーズとの関係を図解する。また、通信トラフィック性能を求めるための基礎データを収集するため、航空機から地上の管制機関に送信される実際の通信メッセージを利用して、日本周辺の洋上における航空衛星データ通信トラフィックを統計分析した結果の一例を紹介する。さらに、過去に解析した航空衛星データ通信トラフィックの統計分析結果[3]と今回の統計分析結果を比較し、検討した結果も報告する。

### 2. TBOとデータリンク

#### 2.1 TBOと航空機の運航

地上の航空管制官(以下、管制官)は各空域で利用可能なCNS/ATMシステムを用いて、航空

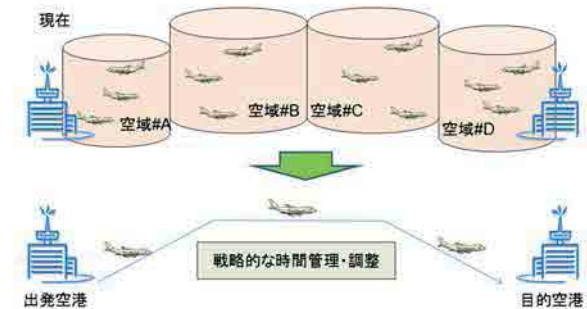


図1 空域ベース運航とTBO運航 ©ENRI

機上のパイロットと逐次応答許可(クリアランス)を行い、航空機を交通整理するとともに、安全に運航させる。これにより、航空機上では、パイロットが管制官の指示やCNS/ATMシステムにより、周囲の状況や運航状況を正しく判断して運航できる。TBOでは、図1のように、現在の空域ベースの応答許可の概念を、戦略的な航空機の時間管理の概念に移行させる。これにより、管制官は出発から到着まで、安全かつ効果的に航空機の間隔を時間管理し、航空機の希望経路や高度等をできる限り受け入れる。管制官が到着までの航空機の時間毎の動きを正確に求め、円滑な航空機の運航を実現させるためには、管制官とパイロットの間の互いの意思決定に関するCNSシステムやツール、アビエーション機能の自動化等が必要不可欠とされる。図2に現行及び将来のCNSシステムを飛行フェーズ別に示す。

#### 2.2 データリンク

TBOとCNSシステムのうち、空地間のトラジェクトリの意思疎通と調整は、音声及びデータによるデータリンクシステムに依存する。現在のデータリンクは、国内で主として利用されるVHF帯通信のほか、洋上等国際線で主として利用される衛星通信システム及びHF帯通信が挙げられる。これら各データリンクは、管制のためのATC(航空管制通信)や、航空会社の運航管理用のAOC(運航管理通信)等様々な用途で使われている[4]。TBOではATC利用を考慮した

	出発・離陸・上昇	巡航	降下・着陸・到着
通信(C)	VHF通信(Analog → VDL) 衛星通信(Inmarsat3 → 4, Iridium → Iridium Next) AeroMACS(空港)	VHF通信(Analog → VDL) 衛星通信(Inmarsat3 → 4, Iridium → Iridium Next) HF通信 LDACS	VHF通信(Analog → VDL) 衛星通信(Inmarsat3 → 4, Iridium → Iridium Next) AeroMACS(空港)
航法(N)	RNP, PBN GPS/GNSS ILS 慣性航法システム	RNP, PBN GPS/GNSS 慣性航法システム	RNP, PBN GPS/GNSS ILS 慣性航法システム
監視(S)	SSRモードS WAM (MLAT) ADS-B ASAS	SSRモードS DAPS(データリンク機能?) ADS-B ASAS	SSRモードS WAM (MLAT) ADS-B ASAS

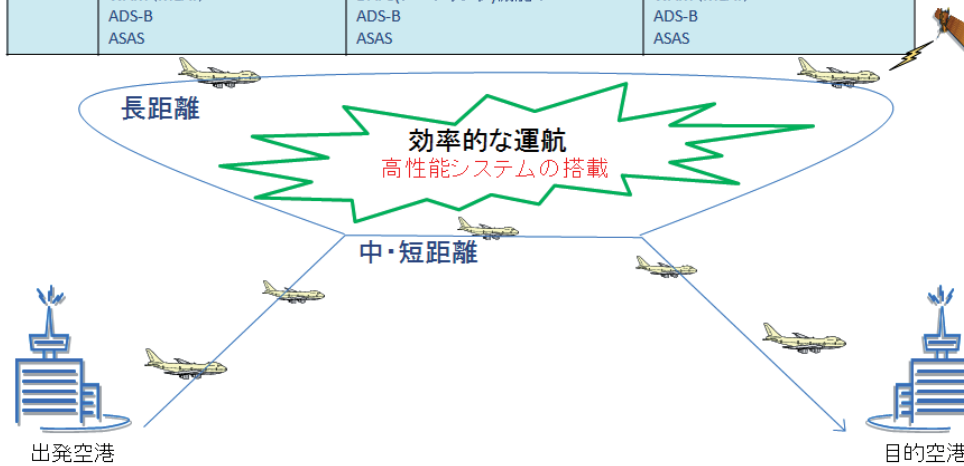


図2 現行及び将来の各 CNS システムと飛行フェーズ ©ENRI

信頼性のある通信手段が要求されるため、データ共有の能力やデータ更新頻度が関係するデータリンクの性能を把握し、TBOを円滑に行うための検討を進める必要がある。

### 3. データリンク性能と伝送特性

#### 3.1 伝送特性の統計解析

データリンク性能の現状を把握するため、国土交通省航空局の協力のもと、航空用の通信データについて、通信トラフィック性能を予測する上で、パラメータとして利用される航空機数や通信メッセージ長、及びその伝送間隔等を統計分析した。この通信データは、実際に航空機から管制機関及び地上の衛星基地局を経由して送信され、航空管制機関(航空交通管理センタ)で受信される情報である。情報の統計分析期間は2011年度(2011年4月1日～2012年3月31日)の1年間とした。

本解析では、航空衛星通信システムのデータのうち、ATCに最も関連する航空機から地上への位置情報伝送に用いられる代表的なデータとして、ADS(自動位置情報伝送・監視機能)レポートを中心に実施した。また過去2008年に調査した期日と同一の日程については、送受信間隔

等を詳細に分析し、3年間経過後の相違を、他のAOC(運航管理通信)やCPDLC(管制官-パイロット間データリンク通信)等を含む全てのメッセージとも比較した。

#### 3.2 解析結果

##### 3.2.1 2011年度における伝送特性

任意の解析日におけるADSレポートを送信した航空機の位置を図3に示す。図3の●印が航空機の位置である。このように、特に海洋の航空路上を中心に衛星を利用した航空通信が行

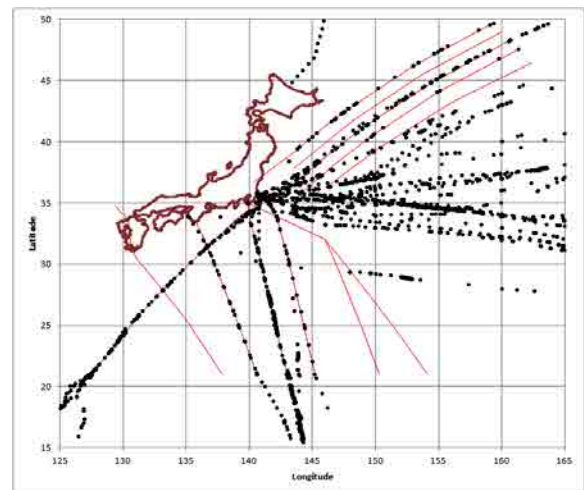


図3 ADSレポートを送信した航空機位置例

われていることがわかる。

図4にADSレポートを送信した航空機数について、2011年度の各月のUTCの時間帯毎で平均値を実線で記した。図4の点線は、2011年度における各日の時間帯毎の最大と最小の航空機数である。3～4時の時間帯で最高102機の航空機が、最低でも23～0時の時間帯で5機の航空機がADSレポートを送信していた。各月の平均値で20機程度の差がある。また、19～2時の時間帯のADSレポートを利用する航空機が少ないが、3～5時の時間帯のADSレポートの利用航空機数が多く、次いで15～16時前後の利用が多い傾向がみられた。航空機が少ない時間帯は、日本時間(JST)の4～11時頃に、航空機が多い時間帯は12～14時(JST)頃に該当し、出発及び目的空港の運用時間や旅客用航空機の出発到着の混雑時間帯に依存した可能性がある。また、月平均の最大は7月で、最小は4月であった。航空機の運航数は夏に多く、秋は少ない傾向のため、4月の航空機数の減少は東日本大震災直後

の航空機の減便による影響も考えられる[5]。

分析したこれらの航空機の推移を曜日別に統計分析した結果を図5に示す。月平均のグラフ同様、3～5時の時間帯が多い。曜日よりも月による機数のばらつきの方が大きい。

同様に、ADSレポート数について2011年度の各月の時間帯(UTC)毎の平均値を図6に、曜日別の時間帯毎の平均値を図7に示す。航空機数と比較してばらつきが大きい。また航空機数と同様に、曜日よりも月によるばらつきが大きかった。なお、最大のADSレポート数と最大航空機数を示した時間帯は必ずしも一致していなかった。

航空機の種類が判別可能な場合については、その航空機の種類別のメッセージ長とメッセージ数について、年度上半期(4月～9月)と下半期(10月～3月)毎に図8に示した。図中、1octetは8bitを表している。Otherは飛行検査機等からのADSレポートである。

機種別の特徴として、メッセージ長が段階的

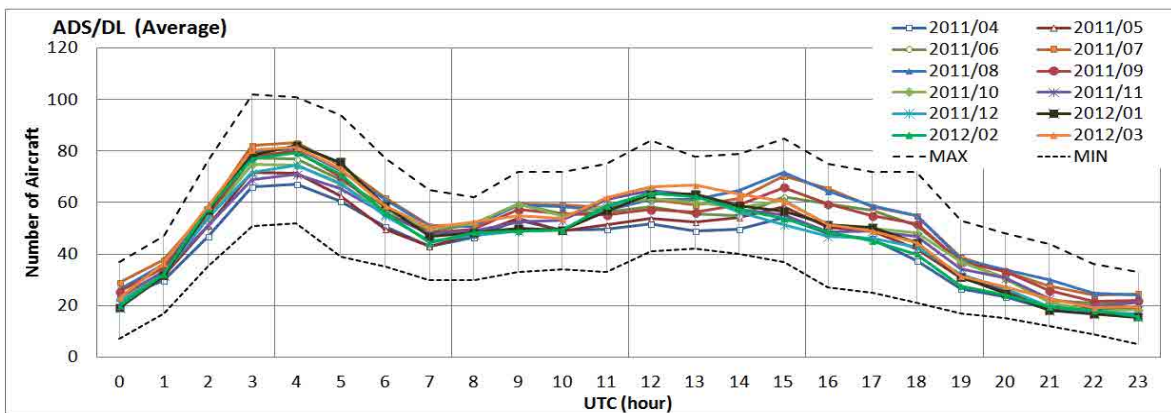


図4 ADSレポートを送信した航空機数の月別時間推移（各月平均、最大、最小）

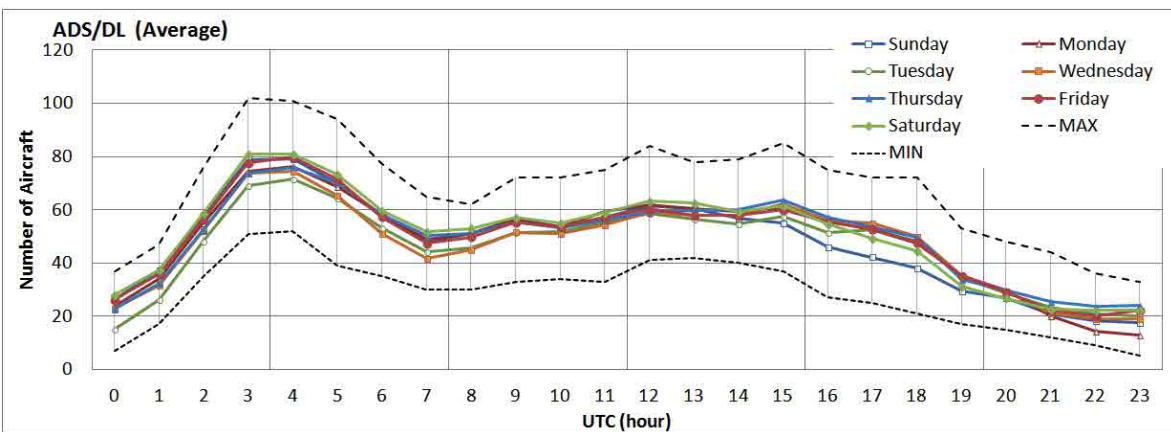


図5 ADSレポートを送信した航空機数の曜日別時間推移（各曜日平均、最大、最小）

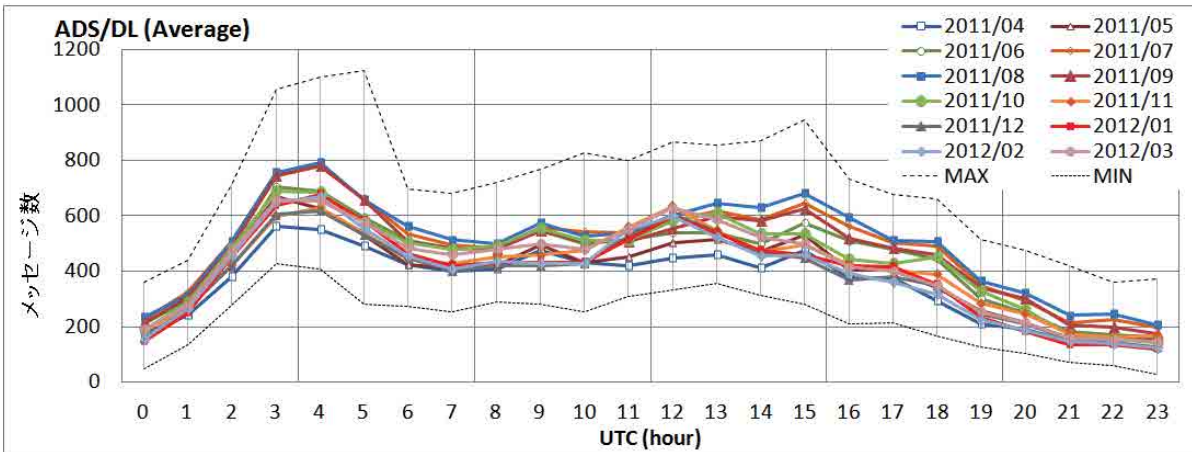


図6 ADS レポート数の時間推移（月平均、最大、最小）

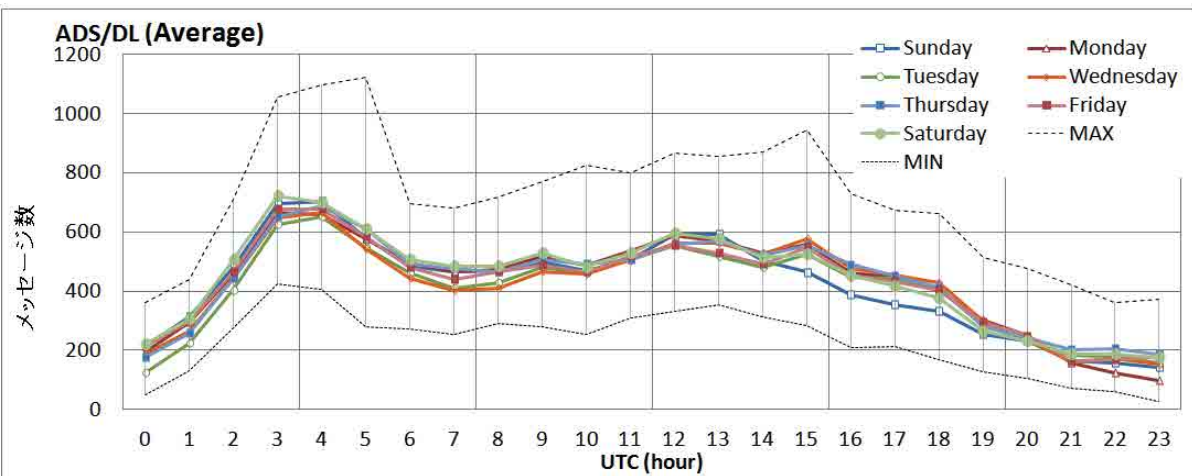
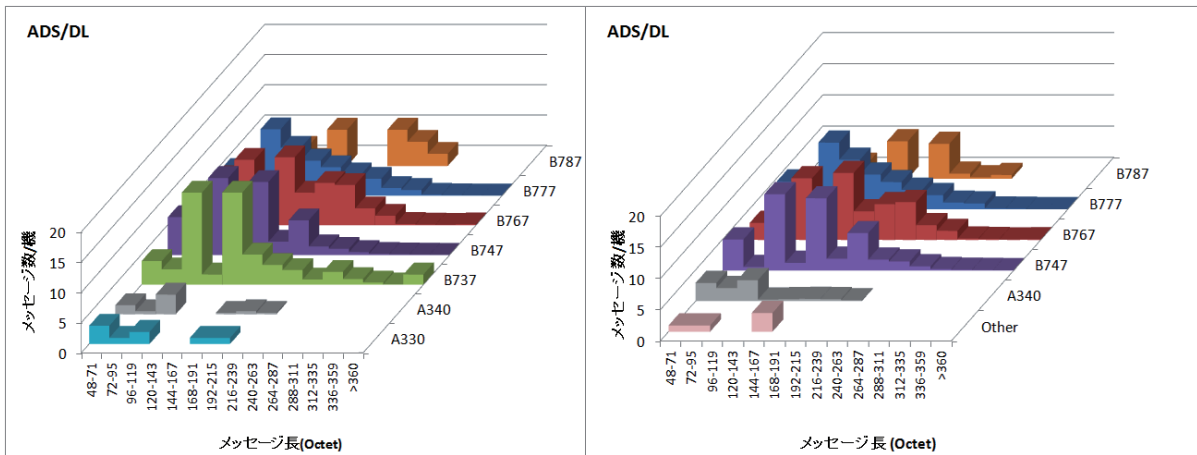


図7 ADS レポート数の曜日別時間推移



(a) 2011 年度上半期(4月～9月)

(b) 2011 年度下半期(10月～3月)

図8 機種別の航空機あたりのメッセージ数とメッセージ長分布

に減少する B777 や、任意の特定のメッセージ長の頻度が多い B737 や B747、特定のメッセージ長の多い頻度と段階的に減少する両方の特徴を持ち合わせた B767 等、異機種間では異なる傾向がある。B787 では、メッセージの長さにより、上半期と下半期で傾向が異なる場合もあつ

たが、上半期も下半期もその他の同一機種では、ほぼ同じ傾向を示した。これらは、各航空機の搭載機材に基づくデータリンク性能による可能性が考えられる。

3. 2. 2. 過去の分析結果例との比較 [3],[6]

ADS レポートは航空機から送信される時刻

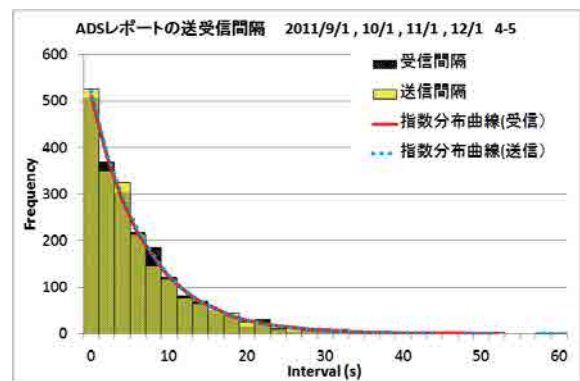
のタイムスタンプが含まれているため、航空機がレポート送信する時刻と地上でレポート受信する時刻の双方を分析できる。航空機の送受信間隔の違いがメッセージの間隔に与える影響をみるため、同一のADSレポートにおける送信と受信の間隔を解析した。ここで、送信間隔とは全ての送信メッセージを時間順に並べたときのメッセージ同士の間隔、受信間隔とは全ての受信メッセージを時間順に並べたときのメッセージ同士の間隔とした。

図9に過去に解析した2008年9月1日、10月1日、11月1日、12月1日の4～5時の時間帯と共に、2011年の同日のADSレポートの送受信間隔の結果例を示す。図9(a)は2011年、図9(b)は2008年の送受信間隔のヒストグラムを示している。図9において、区間幅は2秒であり、明黄色の棒が送信間隔、黒色の棒が受信間隔、赤実線と青点線は標本データの平均値に基づく指数分布関数の曲線を表している。図中、暗黄色は明黄色と黒色の頻度が重複する箇所である。送信間隔と受信間隔は完全に一致していないが、共に各標本データの平均値に基づく指数分布関数の曲線にほぼ従った。また、2011年の結果は2008年と比べ、0～2秒の最小伝送間隔の場合に、1.6～2.0倍程度の最大頻度を示した。

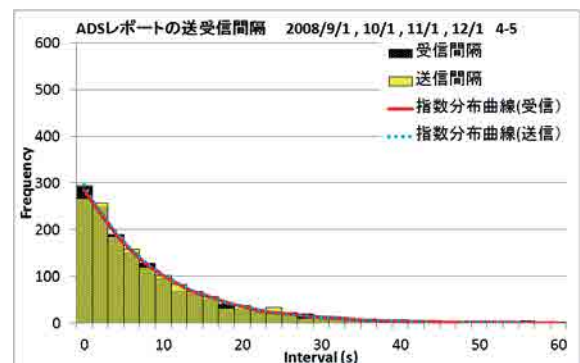
他の各時間帯における送信間隔と受信間隔の分布もほぼ同様であったため、2008年同様メッセージ間隔への影響は少ないものとみなし、図10に、全ての時間帯におけるADSレポートの送信間隔の平均値と95%値を、2011年度と2008年度で比較した。双方共に、送信間隔の平均値の最小時間帯は4～5時であり、2011年は約7.1秒、2008年は約9.5秒であった。このときの95%値は2011年で約22秒、2008年で約28秒である。全ての時間帯を通じて、2011年の送信間隔の平均値及び95%値は、2008年の送信間隔よりも減少していた。

最後に航空衛星通信システムにおける全メッセージの性能を検討するため、他のAOC(運航管理通信)やCPDLC(管制官-パイロット間データリンク通信)等を含む全メッセージとの比較解析結果を報告する。ADSレポート以外のメッセージは、送信時刻のタイムスタンプを含んでいないため、受信時刻のみで解析した。図11

に全ての時間帯における全メッセージの受信間隔の平均値と95%値を、2011年度と2008年度で比較した。双方共に、受信間隔の平均値の最小時間帯はADSレポート同様、4～5時であり、2011年は約2.1秒、2008年は約2.9秒であった。このときの95%値は2011年で約7秒、2008年で約9秒である。全ての時間帯を通じて、2011年の受信間隔の平均値及び95%値は、2008年の受信間隔のこれらの値よりも2/3程度に減少していた。ADSレポートの送信間隔と比較して、



(a) 2011年



(b) 2008年 [3]

図9 ADSレポートの送受信間隔ヒストグラムの解析比較例

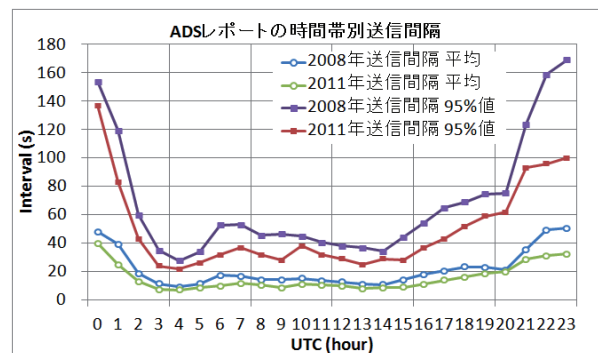


図10 ADSレポートの時間帯別送信間隔の解析比較 [3]

全メッセージは平均で 1/3 以下の間隔となる傾向は 2008 年とあまり変わらない。しかし、伝送間隔については、2008 年からの 3 年間で 1/3 程度減少しており、これは年率 10%程度の伝送間隔の減少に相当する。この値は当初年率 3%程度の航空交通量の増加で想定[3]していた状況とは異なり、10 年間で約 2.5 倍の通信量の可能性があるため、再度の性能予測と共に、将来的に、伝送路の混雑とトラフィック性能について検討をすすめる必要があると考える。

#### 4. まとめ

円滑な航空交通の実現に向けた航空交通システムの運用を改善する方法の一つとしてトラジェクトリベース運用(TBO) が考えられている。本稿では、TBO で今後利用する可能性のある各飛行フェーズの CNS システムを図解した。CNS システムにおいて通信(C)は、実際の航空機～地上間の情報共有手段に位置付けられる。通信性能を予測するための基礎データを求めるため、航空機から管制機関に送信される実際の通信メッセージを用いて、日本周辺の洋上における航空衛星データ通信トラフィックの統計分析を行った。

この結果、航空機の位置情報である ADS レポートの数や航空機数は、曜日よりも月による変動が大きく、時間帯による変動が最大であることがわかった。また、ADS レポート数は航空機数の時間変動よりも大きかった。航空機種に着目すると、年度前半と後半における同一航空機種のメッセージ数とメッセージ長分布の違いは少ないが、異機種によるメッセージ数とメッセージ長の特徴の違いがみられた。

今回実施した 2011 年の調査結果は、2008 年に実施した航空衛星データ通信の解析結果と同様に、送信間隔と受信間隔の任意の時間帯別ヒストグラムはほぼ一致し、共に指数分布関数の曲線に従っていた。送信される ADS レポートや受信される全てのメッセージについて、時間帯別の伝送間隔を比較したところ、共に最小の伝送間隔は、4～5 時の時間帯で同一であった。しかし、2011 年の伝送間隔は、2008 年と比較し、ADS レポート及び全メッセージについて、全ての時間帯で平均値も 95%値も 30%程度減少して

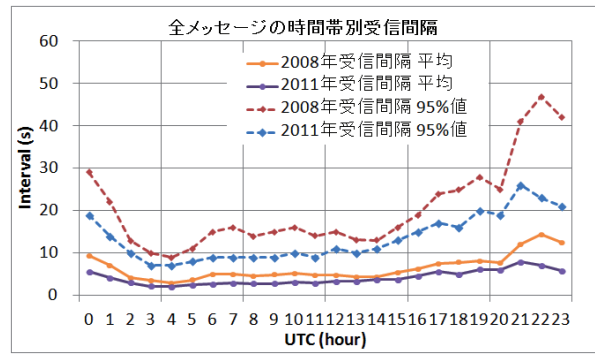


図 11 全メッセージの時間帯別受信間隔の解析比較 [3]

いることが明らかになった。

本稿において解析した結果は、将来の航空衛星通信トラフィックの性能予測における基礎データとして用いることができる。今回は航空衛星通信トラフィックについて調査したが、今後は、他の通信システムのトラフィック状況についても検討を進めたいと考える。

#### 謝辞

本解析にあたり、データ収集及び貴重なご意見等にご協力いただきました国土交通省航空局及び大阪航空局神戸衛星センタの関係各位に感謝の意を表します。

#### 参考文献

- [1]今村純, “将来の航空通信システムの長期ビジョン(CARATS)について”, (社)日本航海学会航空宇宙研究会講演会資料, Oct. 2011
- [2]住谷泰人, “航空用移動通信システムの動向”, (社)日本航空宇宙学会第49回飛行機シンポジウム講演会講演集 2E12, Oct. 2011
- [3]住谷泰人,石出明, “洋上の航空衛星データ通信トラフィックの解析とシミュレーション予測”, 信学論 B Vol. J93-B No.12, pp.1666-1676, Dec. 2010
- [4]北折潤, “空地データリンク技術”, (社)日本航空宇宙学会誌 Vol.57 No.666, Jul. 2009
- [5]福田豊, 福島幸子, “洋上空域の近接解決のための制御手法”, 日本航海学会第 109 号, Sep. 2003
- [6]住谷泰人, “日本における航空衛星通信トラフィックの一検討”, 日本航空宇宙学会第 43 期年会講演会 E08, Apr. 2012