

オンボード航空機監視システム構築に向けた放送型自動従属監視信号の活用

Utilization of Automatic Dependent Surveillance Broadcast signals for on-board aircraft surveillance systems

知能機械工学コース

機械システム制御研究室 1275031 松倉 大輔

1 はじめに

コロナ禍の収束により、国内の航空交通量が高まっているが、航空機は常に安全を保障して飛行しなければならない。

また、多くの航空機が飛び交う空域においても他機と安全な距離を維持しながら飛行しなければならない。ましてや、飛行中における干渉・衝突や滑走路での接触は断じて起こしてはいけない。操縦士が飛行中において広範囲で他機の位置や高度を早い段階で把握できると、これらの問題を未然に防ぐことができると考えられる。

また、2001年に起きた駿河湾上空ニアミス事故⁽¹⁾では、上空で接近した日本航空の2機(JAL907便とJAL958便)が空中衝突防止装置(TCAS: Traffic Alert Collision Avoidance System)から双方に適切な回避指示が出ていたにもかかわらず、管制の誤った指示により最接近距離約135[m]、最接近時高度約40[m]という異常接近を引き起こした。こうした管制官のヒューマンエラーの対応策として、最大200海里という広範囲で送信される放送型自動従属監視信号(ADS-B: Automatic Dependent Surveillance-Broadcast)を用いることで、操縦士が機上において早期に自機と他機の動態情報を把握することが有効であると考えられる。

放送型自動従属監視信号(ADS-B)とは、衛星測位システムを使用する監視技術である。このADS-Bにより自機の位置を示す緯度と経度、高度などの情報を取得できる。覆域の最大範囲は半径370[km]未満であり、周波数は1090[MHz]となっている。

本研究では、機内で自機と周辺機のADS-B信号を受信し、飛行中の接近度合いを間隔指標として事後解析する。本研究では、即時に正確な動態情報を収集し、可視化することで操縦士による周囲の状況把握の向上と管制の指示に依存しない機体間相互通信の実現を目指す。

2 機上でのADS-B受信方法

実際に、高知発羽田着の便に搭乗し、MATLABの受信ツールと1090MHzの信号を受信することができる専用のアンテナを用いることで、自機と周辺機である他機のADS-B信号の取得を試みた。

また、受信ツールにおいて、受信時間間隔を設定でき、実際の飛行データとMATLABで取得したADS-Bデータに時間の遅れを生じさせないように20秒間隔で取得を行った。

図1に機上でADS-B信号を取得している様子を示す。

2024年11月20日に取得したADS-Bデータを基に自機と他機の位置を地図上にプロットしたものを図2に示す。

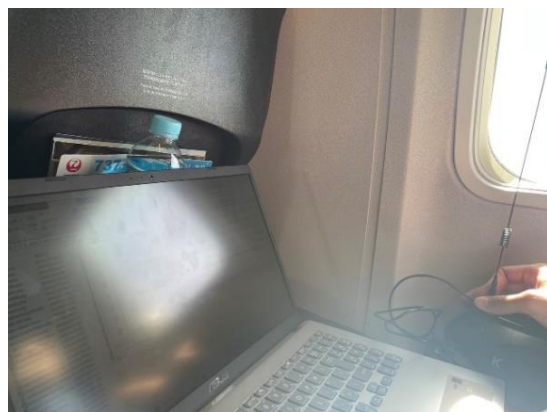


Fig1. Onboard ADS-B signal acquisition

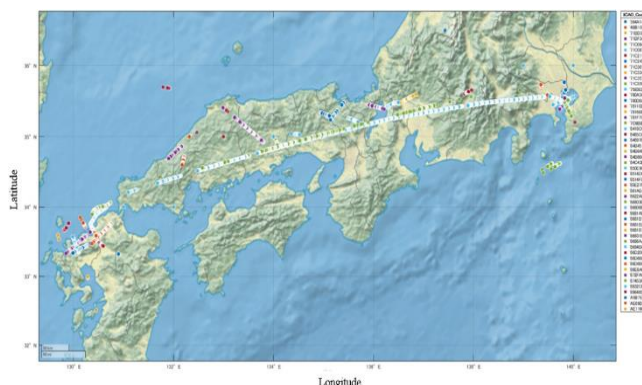


Fig2. Aircraft location plotted by obtained ADS-B data

自機は羽田空港発、福岡空港着のJAL237便である。座席に関しては、右側の席でADS-B信号の取得を試みており、自機の進行方向の右側のADS-B信号は取得できているが、左側の他機のADS-B信号はあまり取得できていないことがわかる。また、アンテナを機体の窓に近づけると取得精度が向上しやすくなるという傾向もみられた。

3 ADS-B信号のメッセージの変換

受信したADS-B信号のメッセージは、16進数で表されている。これを56ビットまたは112ビットの長さで特定のビット数に分割することで、自機のあらゆる情報が読み取れる。テキストデータに保存された緯度や経度など位置情報は、この16進数のメッセージから特定の箇所を識別し、計算されたものである。

Table1 Specific large/small relationship of separation index

Separation index	Location of own aircraft and other aircraft
① $I > 0$	Other aircraft exists outside the protected area
② $I = 0$	Other aircraft is on the surface of the protected area
③ $I < 0$	Other aircraft is inside the protected area (Abnormal approach)

4 保護領域

自機と周辺機である他機の距離を相対的に示すために、自機の周囲において保護領域というディスク型の領域を考える。

保護領域の半径を $d_0 = 5[\text{NM}]$ 、自機から保護領域の上下面までの高度差を $h_0 = 1000[\text{ft}]$ とする。5NMは、安全のために管制官が確保すべき最小の間隔であり、10秒間に1回の頻度で各航空機の位置を認知する管制官にとって、必要最低限の水平距離に設定されている。 $h_0 = 1000[\text{ft}]$ は、平成17年に導入された短縮垂直間隔を基にしており、航空法施行規則174条にもこの数値が記載されている。

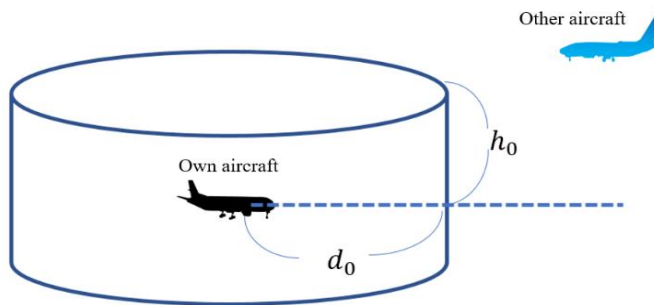


Fig.3 Simplified diagram of the protective field

5 間隔指標⁽¹⁾

保護領域の定義から、自機と他機の水平距離と高度差を d_0 と h_0 を用いて無次元化し、いずれかの最大値から1を減ずることで接近度合いを指標として式(1)に表す。この指標を間隔指標として定義する。

また、水平距離の計算は、地球を真球と仮定した場合の二点間距離から導出している。具体的な間隔指標の大小関係を表1に示す。

$$I = \max\left(\frac{|\Delta h|}{h_0}, \frac{d}{d_0}\right) - 1 \quad (1)$$

表1のように、間隔指標が0を上回れば、他機は自機の保護領域外を飛行しており、安全な機体間距離を確保して飛行していることがわかる。間隔指標が0であれば、他機は保護領域の表面に存在している。また、間隔指標が0を下回れば、他機は保護領域内に入って飛行していることから異常接近しているということになる。

6 解析結果

機上で取得したADS-B生データを基に自機と各周辺機との間隔指標の解析を行った。

図4に2024年11月20日に取得したデータの解析結果を示す。

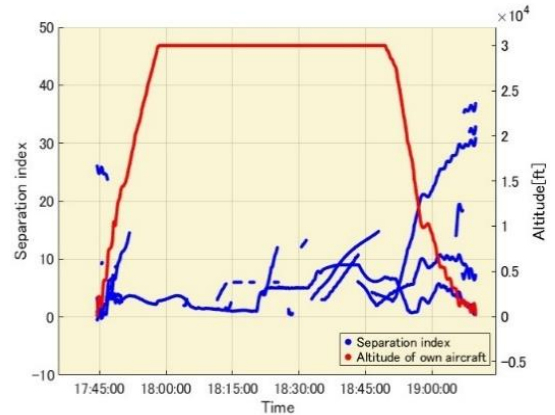


Fig.4 Separation index

図4の赤線は、自機の高度履歴を示しており、青線は自機と他機とのそれぞれの間隔指標を示している。

青線に関して、ADS-B信号の覆域で取得できた機体ごとの1[s]間隔の解析となっており、同一時刻において複数のデータが存在することが見て取れる。

間隔指標に関しては、自機の飛行中に0を下回り、自機と異常接近している時間帯は見られず、他機が自機の保護領域外を飛行していることがわかる。離陸時刻の17:45:00前後においては、空港面上に存在する多数の機体により間隔指標が0に近い値をとっており、ADS-B信号が他の時間帯に比べて多く取得されていることがわかる。

図4より、間隔指標の最小値0.41であり(18:28:18時点)、対象となった機体は広島空港発羽田空港着のJAL264便であった。当該時刻の自機と他機(JAL264便)は姫路上空ですれ違っており、 d/d_0 は1.199、 $|\Delta h|/h_0$ は1.41という解析結果から、 $|\Delta h|/h_0$ から1を減ずることで間隔指標の最小値を導出しているということがわかる。

7 まとめ

本研究では、ADS-B信号を機上で取得し、生データを基に自機と他機の接近度合いを保護領域と間隔指標を用いて解析した。現在では、自機と他機の距離および高度差の確保・維持は、管制官のみによってなされているが、図4のような数値をコックピット上で表示することができれば、仮に他機が自機の保護領域内に進入した場合でも操縦士の判断により、安全な距離を確保するための操作が可能となり、安全性の向上につながると考えられる。

参考文献

- (1) 国土交通省, 航空・鉄道事故調査委員会, 航空事故調査報告書(2002.7.12), 2002-5-JA8904
- (2) 森亮太: 洋上における航空機の管制間隔とその安全性評価, REAJ誌2017 Vol.39, No.4 (通巻236号)
- (3) 日本国法令(1952.7.31), 航空法施行規則第174条.官報, 運輸省令第56号, pp401-402.
- (4) 小塚智之, 宮沢与和, ナヴィンダ キトマル ビクラマシンハ, マーク ブラウン, 福田豊: 監視データを用いた航空機の干渉回避指示推定, 航空宇宙技術, Vol.14, pp.77-83, 2015