

15. 垂直短縮間隔運用後の航空機衝突防止装置動作への影響

通信・航法・監視領域 ※住谷 泰人
機上等技術領域 小瀬木 滋
研究企画統括 白川 昌之

1. はじめに

現在、日本の主な大型航空機には航空機衝突防止装置(ACAS : Airborne Collision Avoidance System)が搭載されている。ACAS は、異常接近や空中衝突の可能性のある航空機を検出し、パイロットに対し、周囲の航空機の状況や回避情報を音声や表示で知らせる。パイロットに知らせることのできる音声や表示は、TA (Traffic Advisory: 航空交通情報) と RA (Resolution Advisory: 回避アドバイザリ) の2種類がある。

ACAS は、1995年11月から ICAO (International Civil Aviation Organization: 国際民間航空機関) の国際標準が発効され、垂直方向の RA を有する ACAS II が使われてきている。また、1990年代後半には ACAS II のソフトウェアのアルゴリズムが改訂された。アルゴリズムの改訂は、よりの確な RA を発生させるため、実際の運用に並行し、逐次実施されている。この改訂により、現在 ACAS II では、バージョン7のアルゴリズムが使われている。

日本では、1990年頃から、ACAS II に準拠した製品版の TCAS (Traffic alert and Collision Avoidance System) II の搭載及び試験運用がはじめられている。TCAS II は、現在、国土交通省航空局の規定で搭載が義務化され、日本国内を飛行するほとんど全ての大型商用機に搭載されている。バージョン7のアルゴリズムを有する TCAS (TCAS Ver.7) の搭載は、2000年夏頃から始められ、2003年1月までに全ての装備が完了している。これは、旧バージョンである TCAS Ver.6.04A の搭載航空機からの移行や、新規の航空機の購入に基づくものである。

パイロットは、ACAS の運用中に RA が発生した場合、国土交通省航空局に RA レポートを提出する。RA レポートは、RA の発生状況を記入するチェックシートである。当研究所では、国土交通省航空局の協力のもと、1995年以降、RA レポートに基づく ACAS の運用モニタリングを行っている。この解析の結果、バージョン

7 は、旧バージョンよりも、不要警報の低減、的確な RA の発出等が明らかになっている。

2005年秋に垂直短縮間隔(RVSM : Reduced Vertical Separation Minimum)が日本国内の空域に導入された。ACAS のバージョン7へのアルゴリズム改訂は、もともと、世界各国の RVSM の導入を想定し、不要警報の低減等を図る目的である。しかし、RVSM の導入による実際の影響や効果等は、RVSM 導入後の ACAS における RA の発生状況を解析しなければわからない。このため、現在導入されているアルゴリズムバージョン7の ACAS において、RVSM 前後の RA レポートの解析結果をもとに ACAS への影響の検討を試みた。本稿では、この検討結果を報告する。

2. ACAS と RVSM

2.1 ACAS の動作

ACAS は航空機上に搭載された小型の二次レーダを用い、周辺の航空機と質問応答信号を送受信する。ACAS 搭載機は、質問信号の送信から応答信号の受信までの時間に基づき、応答した航空機とのスラントレンジを測定する。ACAS 搭載機は、無指向性の複数アンテナを組み合わせたアンテナを航空機の上下に設置しているため、その電界強度により、相手機の方角を知ることができる。また、応答信号により伝送される相手機の気圧高度情報を解読する。これらから求めた相手機との相対位置情報に基づき、図1に示す保護領域内で測定された周辺の航空機の中に、異常接近や空中衝突の可能性が

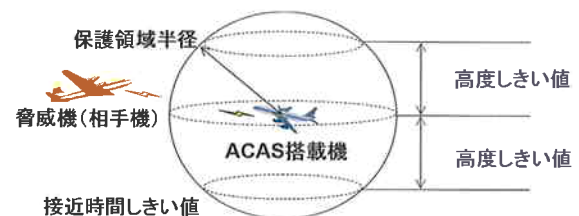


図1 ACAS 搭載機と相手機の位置関係

ある航空機が検出された場合、TA もしくは RA のアドバイザリを ACAS 搭載機のパイロットに提供する。

TA は、周囲の航空機が接近中であるが、最接近までの時間的余裕がある場合に、回避を指示せず、ACAS 搭載機から見た相対位置を知らせる。RA は、TA よりも周囲の航空機が接近し、より衝突の危険性がある場合に、衝突回避方向や回避速度の目安を音声や表示で指示する。

これらのアドバイザリは、相手機との位置関係、高度しきい値や接近時間しきい値等に基づいて決定される。パイロットは、指示されたアドバイザリに基づき、回避操作を行う。

ICAO の規格である ACAS には、ACAS I、ACAS II、ACAS III の 3 種類が規定されている。ACAS I は TA のみで RA 機能をもたない。ACAS II は TA に加え、垂直の RA 機能を有している。ACAS III は TA に加え、垂直と水平の RA 機能を有している。これらのうち、ACAS III は、方位の位置測定精度が悪く、国際標準も未完成のため、製品化されていない。このため、近年航空機に搭載されている ACAS は ACAS II となっている。

日本では、1990 年頃の搭載以降、1996 年 1 月 4 日に正式運用が始められ、その後、2001 年 1 月 4 日からは、「座席数が 30 席又は最大離陸重量が 15 トンを越え、かつタービン発動機を装備した航空運送事業用航空機」への装備が義務化された。また、2005 年 1 月 1 日からは義務化対象となる航空機が「座席数が 19 席又は最大離陸重量が 5.7 トンを越え、かつタービン発動機を装備した航空運送事業用航空機」に改訂されている。

各航空機に搭載される ACAS のアルゴリズムバージョンは年代により異なる。例えば、1994 年頃のアルゴリズムはバージョン 6 及びバージョン 6.04A が混在した環境であったが、1995 年から 2000 年にかけてはバージョン 6.04A のみとなった。2000 年から 2002 年にかけては、バージョン 6.04A とバージョン 7 が混在した環境であったが、それ以降、現在まではすべてバージョン 7 のみの環境である。アルゴリズムがバージョン 7 へ改訂されたことにより、旧バージョンと比べ、不要警報等が低減し、RA の減少や

予測精度の向上、高交通密度下での電磁干渉の低減等が図られている。

なお、現在、主に使用されている製品版の ACAS は、この ICAO 規格を満足し、上下の回避方向と、回避する上昇又は降下速度の目安を指示できる TCAS II である。

2.2 RVSM

2005 年 9 月 30 日午前 4 時より RVSM が日本の国内空域に導入された。この導入により、29000ft 以上の高度の間隔が 2000ft から 1000ft に短縮されている。RVSM は、29000ft 以上の空域において、導入前と同じ空域ボリュームでも、航空機を密にし、航空機数を増加できるため、より効率的な運航が行える可能性がある。しかし、航空機が密になるため、航空機同士の間隔が小さくなり、ACAS のアドバイザリを発生しやすくなる可能性がある。

3. ACAS の運用モニタリング

3.1 概要

ACAS の運用中に RA が発生した場合には、国土交通省航空局の規定に基づき、パイロットは発生時刻や経過、位置、RA が発生した状況等を RA レポートに記入し、国土交通省航空局に提出することになっている^[1]。

RA レポートの設問は、パイロットが記載しやすく、統計処理が施しやすいよう、選択肢のチェック項目のほか、日時や高度等数値の記載項目と備考欄等の記述部を組み合わせた書式で構成されている。主な記載項目は、RA が発生した年月日、便名、位置、高度、飛行フェーズ、RA の種類や発生状況、RA への追従の有無、相手機の種類等である。なお、RA レポートの書式は、概ね同一の質問内容で構成されているが、項目の質問の文言、質問の順番や書式、設問の加除等、航空各社により異なる場合がある。本稿における RA レポートの解析は、厳密には書式が異なるものの、質問内容が全て同一であり、質問順による回答率の違いはないという仮定のもとで実施している。

当研究所では、ACAS による既存のシステムへの効果や影響を調査する目的で、1998 年 3 月まで航空振興財団に設置された航空機衝突防止

装置委員会が行った運用評価^[2]に、国土交通省（当時運輸省）航空局との技術協力の一環として参加していた。1998年4月以降、委員会は終了したが、国土交通省航空局との協議のもと、現在も継続的に、運用評価の一部であるRAレポートの項目別分類結果とその考察等の運用モニタリングを行っている。これは、ICAO等で行っている国際レベルでの運用調査において、その役割の一端を担い、諸外国のデータと対照する等、運用上取得した情報をソフトウェアや規定の改定に反映させることを目的としている。運用モニタリングの結果は、ICAOのSICAS (Secondary Surveillance Radar Improvement and Collision Avoidance Systems:二次監視レーダ改良及び衝突防止システム)パネルやその後継であるSCRS (Surveillance and Conflict Resolution Systems:監視および衝突回避システム)パネル、AS (Aeronautical Surveillance: 航空監視)パネル及びそれらの作業部会(Working Group)や各種学会等で報告している^{[3][4][5]}。

3.2 方法

RAレポートを、RAの発生前年別や、RAレポート内の主なチェック項目に基づき分類した。分類項目は、RAの発生高度、RAが発生した際の航空機の高度変移量、飛行フェーズ、RA発生の原因となった相手機の種類、発生したRAの種類、5項目のほか、RAへの追従や、RAの必要性等、パイロットのRAへの対応の項目である。これらのうち、高度や高度変移量は数値での記入欄があり、残りの項目はチェック欄が設けられている。なお、これらはこれまでに当所が実施してきた運用モニタリングの一部の項目に基づくものである。

対象期間は、2004年1月1日～2006年12月31日までの3年間として調査検討を行った。

3.3 結果

統計的にまとめた結果を以下に示す。RAレポート数の年変移の図においては、RAレポートに基づき報告されたRAの発生年について、2004年を“'04”、2005年を“'05”、2006年を“'06”のように表した。

これ以外の図においては、2004年は“'04”、

2005年のRVSM導入前までは“'05”、2005年のRVSM導入後と2006年上半期はまとめて“'05-'06 1st(R)”、2006年下半期は“'06 2nd(R)”と表した。図中における数値はRAレポート数である。

3.3.1 RAレポート数と搭載機数

2004年以降のRAレポートは全てバージョン7の報告であった。RAレポート数とRA Eventsの年変化を図2に示す。RA Eventsは、同一の遭遇事例に伴う各航空機からのRAレポートを1件と数えた場合である。

RA EventsのRAレポート数に対する割合をみると、どれも95%程度でその変更に伴う著しい増減がない。よって、同一の遭遇事例に対する各航空機からのRAレポートの提出状況と、RVSMによる影響が無関係であるものと考えられる。

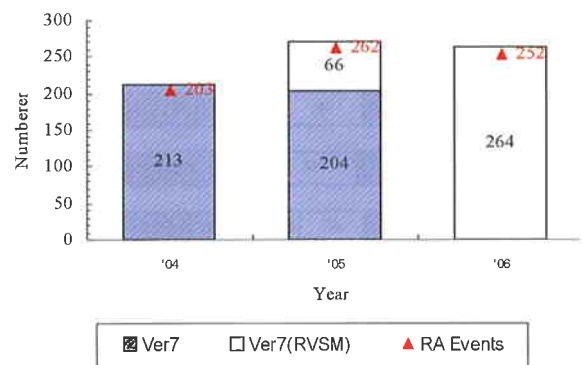


図2 RAレポート数の年変移

3.3.2 RAレポートの高度別分類

RAが発生した高度別にRAレポートを分類した結果を図3に示す。

RVSM導入後、特に30000ftよりも高い高度のRAレポートの割合が増加し、5000ft以下の高度の割合が減少している。RVSM導入後、29000ft以上の高度での航空機数と密度が増加したためにRA発生数が増加した可能性がある。また、RVSM導入後の変移をみると、35000ftよりも高い高度でのレポートの割合が増加傾向である。

3.3.3 RAレポートの高度変移量別分類

RAが発生した高度変移量別にRAレポート

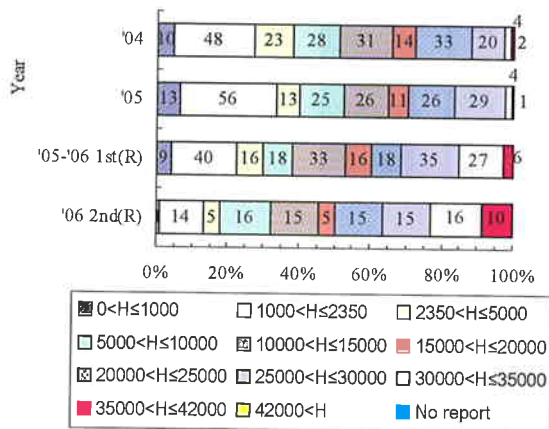
を分類した結果を図4に示す。

RVSM 導入後、1000ft よりも大きな高度変移は1件であった。RVSM 導入前には2000ft 以上の非常に大きな変移量が発生していたが、RVSM 導入後は発生しておらず、ここ半年は、1000ft よりも大きな高度変移量の RA レポートはない。

3.3.4 RA レポートの飛行フェーズ別分類

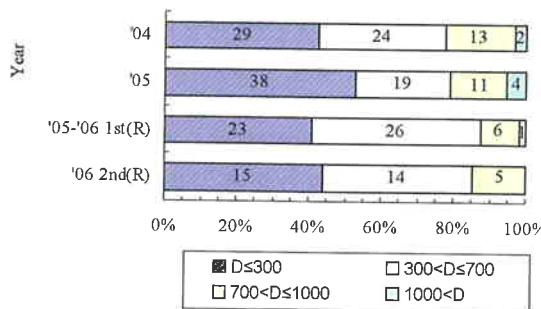
RA が発生した飛行フェーズ別に RA レポートを分類した結果を図5に示す。

RVSM 導入後の高度の使い方の変化に伴い、APP/LDG（着陸中）の割合に減少の傾向が見られ、CLB（上昇中）や DES（降下中）の割合に増加の傾向がみられた。図3をみると、30000ft よりも高い高度の割合が増加していたが、CRZ（巡航中）の割合は減少の傾向が見られた。このことから、RVSM 導入後は、高度変更やレベ



※H：高度 (FT)

図3 高度別分類



D：高度変移量 (FT)

図4 高度変移別分類

ルオフ時等の RA 発生による RA レポートの割合が導入前よりも増加した可能性が高いと考える。

なお、T/O（離陸）や GA（着陸復行）の RA レポートの割合は以前同様、非常に少なく、あわせても10%に満たない程度である。

3.3.5 RA レポートの RA タイプ別分類

RA が発生した RA タイプ別に RA レポートを分類した結果を図6に示す。

Preventive RA（防御的な RA。現在の飛行方法を変更しない RA）の変化は少ない。RVSM 導入後、Adjust RA（急激な飛行方法の変化ではなく、高度上昇・降下率等を調整する RA）の割合が増加している。Corrective RA（Adjust RA 以外で、現在の飛行方法を変更する RA）の割合は変動があり、不明である。前節に述べたとおり、上昇や降下中の飛行フェーズにおける RA レポートの割合が増加しており、高度変更時の RA 発生の可能性が高い。このことから、

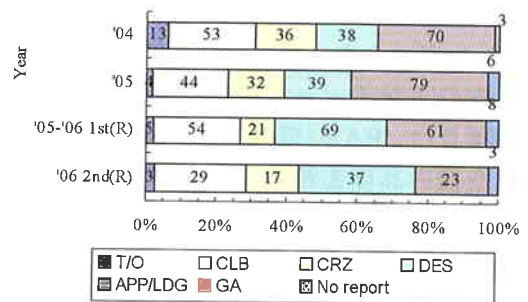


図5 飛行フェーズ別分類

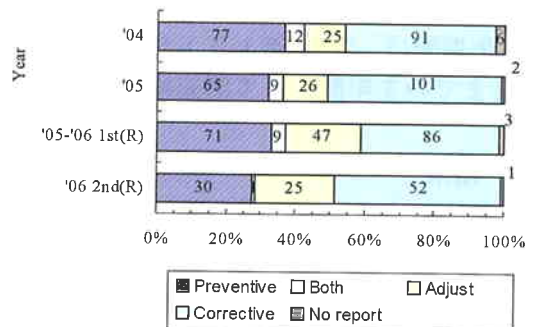


図6 RA タイプ別分類

上昇率や降下率を調整する RA が増加し、結果的に Adjust RA の割合が増加した可能性が高くなったと考える。

3.3.6 RA レポートの相手機数別分類

遭遇した相手機別に RA レポートを分類した結果を図7に示す。

RVSM 導入後、Commercial（商用機）や Large Aircraft（大型機）の割合が増え、Military（軍用機）と Small Aircraft、G/A（小型機等）の割合が減少した。Helicopter（ヘリコプタ）の割合はそれほど変化していない。30000ft よりも高い高度の RA レポートの割合が増加し、5000ft 以下の高度の RA レポートの割合が減少しているため、これらの高度を飛行する代表的な航空機の割合が変動したものと考える。

3.3.7 RA レポートのパイロットの対応別分類

RA レポートを RA への追従や RA の必要性といったパイロットの対応別にチェック項目毎に分類した結果を図10に示す。

なお、RA の必要性は RA レポートによっては RA が状況に即していたか否かという質問であったものもある。

図8(a)をみると、RVSM 導入直後、約9ヶ月の間に RA に従わなかった場合は3件で、RA に従う割合は増加し続けていたが、ここ半年は RA に従わないと回答した RA レポートが6件あることがわかる。

前者の3件のうち2件は低高度(1500ft、2000ft)で着陸の飛行フェーズ、1件はレベルオフに移る直前の高度変移中(27500ft)の上昇中であつた。

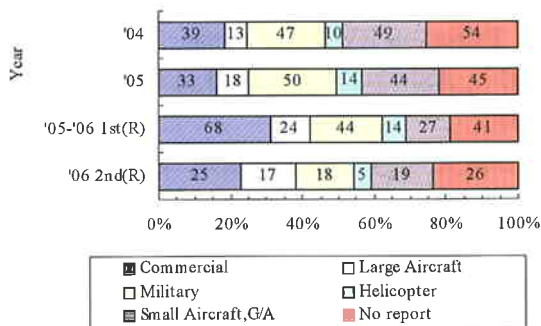


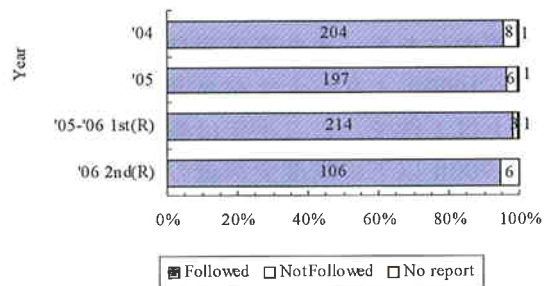
図7 相手機別分類

また、相手機をモニターしている最中や RA に従う間がなかったとコメントされたものが含まれていた。

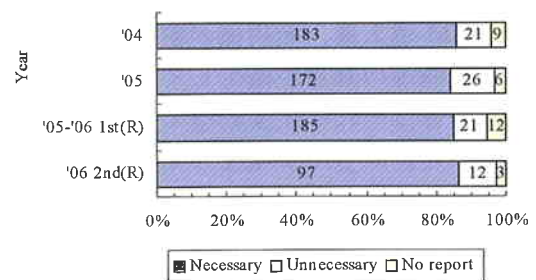
後者の6件のうち、3件は低高度(2000ft が2件、1800ft)で着陸の飛行フェーズ、1100ft で離陸の飛行フェーズであつた。残り2件のうち、1件は VFR Traffic で、Visual contact のため左右の動きで回避したとのコメントがあつたが、もう1件は巡航中で、10000ft 程度、相手機が軍用であるもののコメントがないため、詳細な状況はわからない。

状況的に RA に従う間がなかった場合はあるものの、概ね、原則 RA に従っている状況である。しかし、RA に従っていない割合がここ半年で従来よりも増えており、RA に従える状況であつたか否かについては、RA レポートに基づき、調査を継続していくことが必要であると考える。

なお、図8(b)に示すとおり、RA が必要もしくは状況に即していたと考えるパイロットの割合はほとんど変化しておらず、依然として10%程度は不要または状況に即していないと考えている。特に詳細を調査すると、レベルオフ時や



(a) RA への追従



(b) RA の必要性

図8 パイロットの対応別分類

相手機の急激な高度変動や離着陸時の RA 発出により、必ずしも RA を必要としていない状況で、RA が発出されることがあり、これが一因と考える。

4. まとめ

本報告では、パイロットから国土交通省航空局に提出され、収集された ACAS の RA レポートに基づき、ACAS 運用下での RA 発生状況のモニタリングを行った結果の一部を報告した。特に、2005 年 9 月末に日本国内空域に導入された RVSM 前後の RA レポートを比較することで、RVSM 導入に伴う ACAS の運用等への影響の結果を中心に検討した。

この結果、RVSM 導入の前後において、月平均の RA レポート件数の差はほとんど無いことがわかった。よって、RVSM 導入による RA 発生頻度の変化はないと考える。

しかし、RA レポート内のチェック項目や経年変化をみたところ、RVSM 導入後において、いくつかの異なる点が見られた。

高度に着目すると、RVSM 導入後は、3000ft よりも高い高度の割合が増加し、5000ft よりも低い高度の割合が減少している。特にここ半年では 35000ft よりも高い高度の割合が増加している傾向にある。また高度変移量は、RVSM 導入後、1000ft よりも大きな高度変移量の RA レポートは 1 件で、ここ半年は無い状況である。また、700ft 以下の高度変移量の割合が増加傾向にあるが、必ずしもより小さな変移量ほど増加しているわけではない。

飛行フェーズ別の分類においては、RVSM 導入後、着陸の飛行状態は減少したものの、上昇や降下中といった高度変化を伴う RA レポートの割合が増加している。遭遇した相手機をみると、RVSM 導入後、商用機の割合が増え、軍用機や小型機等の割合が減少しているが、ヘリコプタの割合はそれほど変わっていない。これら相手機の変化は RA が発生した高度にも関係があるためと考える。

また、RA のタイプを大別したところ、Preventive RA といった現在の飛行方法に変化を生じさせない場合には、RVSM 前後でその割合に変化はみられなかった。しかし、飛行方法

を変化する Adjust RA(主に高度変化率の調整の RA)において、RVSM 導入後、増加する傾向が見られた。

以上のとおり、少なくとも RA が発生する高度や RA の種類、遭遇した相手機等について RVSM 導入後変化が現れており、特に、RA の発生場所やその状況が変化していると考えられる。

RA に対するパイロットの対応については、ほぼすべてのパイロットが、原則 RA に従っている状況が明らかになった。特に、ここ半年はこれまで RA にしたがっていた割合の増加傾向が停滞し、状況により RA に従っていない場合が RA レポートに報告されている。このことから、今後とも調査を継続していくことも必要であると考えられる。なお、RA を必要もしくは状況に即していると考えられるパイロットの割合はあまり変化せず、依然として、10%程度は不要または状況に即していないと考えていることも明らかになった。

今回の調査は、RVSM 導入後、1 年 3 ヶ月程度の期間を基にしたものであり、引き続き調査を継続し、相関関係等も明らかにしていきたいと考えている。また、不必要や状況に即していないとされる RA レポート等に特に着目した解析等、よりよい ACAS アルゴリズムの改訂のため、調査や ICAO 等への報告を継続していきたいと考える。

参考文献

- [1]AIC Nr.027/04,国土交通省航空局,Dec.2004
- [2]航空振興財団:“平成9年度 航空機衝突防止装置運用調査 報告書”,1998年3月
- [3]住谷泰人,小瀬木滋,白川昌之,宮邊健治:“ACAS II Operational Monitoring Report on the Effect of RVSM in Japan, First report of 2007”,ASP02-23, presented in Brussels, April. 2007
- [4]住谷泰人,小瀬木滋,白川昌之:RA レポートに基づく ACAS II のアルゴリズムバージョン 7 の改訂効果,電子航法研究所報告 No.116, Jan. 2007
- [5]住谷泰人,小瀬木滋,白川昌之:“RVSM 導入による ACAS 回避アドバイザリへの影響の一検討”,信学技報 SANE2006-135, Feb.2007