

## 4. 洋上縦時間管制間隔の安全性評価手法について

航空交通管理領域 ※藤田 雅人

### 1 まえがき

ADS (Automatic Dependent Surveillance) 機同士の縦時間管制間隔は距離で定められているが、その他の航空機の洋上空域での縦時間管制間隔は時間で与えられている。マック数が指定されている場合、縦時間管制間隔は 10 分以下であり、マック数が指定されていない場合、縦時間管制間隔は 15 分である（一部の経路を除く）。

現在、マック数が指定されていない場合にも縦時間管制間隔を 10 分にすることが検討されている。管制間隔の短縮は航空機の安全な運航に影響を与える手順の変更であり、変更後も安全な運航が担保できるか否かを何らかの方法で確認する必要がある (ICAO Annex11 Para 2.27)。

縦時間管制間隔を 15 分に定めた当時と比べると航空機の速度維持性能が向上してきたため、縦時間管制間隔を失って後続機が先行機を追い抜く可能性は下がっていると予想される。[3]は縦時間管制間隔が喪失して航空機が縦方向に重なる確率（縦方向重畳確率）を計算する時のパラメータである Gain/Loss 分布が[1],[2]に比較して改善されていることを報告している。本稿でも福岡飛行情報区のデータを用いて、北太平洋航空路を飛行する航空機 Gain/Loss 分布が[1]で与えられている航空機の Gain/Loss 分布(マック数指定時)に比較して改善されていることを示す。また、Gain/Loss 分布と初期時間間隔の間に相関があることを示す。さらに、相関を考慮した安全性評価手法について概説し、評価結果を述べる。

### 2 Gain 値と衝突危険度モデル

同一経路・同一高度を飛行する航空機が縦時間管制間隔を喪失して起こる衝突事故数の単位飛行時間あたりの期待値（1 衝突=2 事故）を本稿では衝突危険度とよび、 $N_{ax}$  で表す。 $N_{ax}$  は以下の式で与えられる。

$$N_{ax} = 2P_y(0)P_z(0)\Pi_x \left[ \frac{v_{rx}}{2\lambda_x} + \frac{v_{ry}}{2\lambda_y} + \frac{v_{rz}}{2\lambda_z} \right] \quad (1)$$

各パラメータの意味は表 1 の通り。

表 1 衝突危険度モデルパラメータ

パラメータ	意味
$P_y(0)$	横方向重畳確率。同一経路を飛行する航空機対が横方向で重なる確率
$P_z(0)$	垂直方向重畳確率。同一高度帯を飛行する航空機対が垂直方向で重なる確率
$\Pi_x$	縦方向重畳確率。同一経路・同一高度を相前後して飛行する航空機対が進行方向で重なる確率
$v_{rx}$	縦時間管制間隔を失って、進行方向ですれ違う航空機対の平均相対速力
$v_{ry}$	同一経路を飛行する航空機対の横方向の相対速力
$v_{rz}$	同一高度帯を飛行する航空機対の垂直方向の相対速力
$\lambda_x$	航空機の平均長
$\lambda_y$	航空機の平均翼長
$\lambda_z$	航空機の平均高

衝突危険度モデルを用いた安全性評価では衝突危険度推定値が目標安全度(Target Level of Safety, TLS)を越えないとき安全であると推定する。TLS としては  $5.0 \times 10^{-9}$  (fatal accidents per flight hour)が使われることが多い。

フィックス A からフィックス B へ向かう二機の航空機を考える。先行機がフィックス A を通過した時刻を  $t_{1A}$ 、後続機がフィックス A を通過した時刻を  $t_{2A}$ 、フィックス A を先に通過した航空機がフィックス B を通過する時刻を  $t_{1B}$ 、フィックス A を後に通過した航空機がフィックス B を通過する時刻を  $t_{2B}$  とする。到着時間間隔  $T_A, T_B$  を以下で定める。

$$T_A = t_{2A} - t_{1A} \quad (2)$$

$$T_B = t_{2B} - t_{1B} \quad (3)$$

Gain 値 G は以下の式で定義される。

$$G=T_B-T_A \quad (4)$$

一方、Loss 値 L を以下の式で定義する。

$$L=T_A-T_B=-G \quad (5)$$

二機の航空機が等速飛行していると仮定する。後続機が先行機をフィックス A,B の間で追い抜くのは  $T_B \leq 0$  のときである。言い換えると  $L \geq T_A$  のときである。衝突危険度モデルを考察するときには Loss 値のほうが都合がよいのだが、[1]-[4]では Gain 値が用いられている。

衝突危険度モデルにおける縦方向重畳確率は飛行時間の割合で計算される。後続機が先行機を追い抜くのは  $L \geq T_A$  のときであるので、以下の式が成り立つ。各パラメータの意味は表 2 の通り。

$$\Pi_x = \frac{2\lambda_x}{v_{rx}T} \sum_{t=\min}^{\max} E_x(t)P_x(t) \quad (6)$$

縦管制間隔が 15 分のときは、 $T_A \geq 15$  となるが、縦管制間隔が 10 分になれば、到着時間間隔 10 分 ( $T_A=10$ ) でフィックス A を通過してもよいこととなる。したがって、到着時間間隔  $E_x(t)$  の分布は管制間隔が短縮されると変わることが予想される。

表 2 縦方向重畳確率モデルパラメータ

パラメータ	意味
T	考察している空域（経路系）を横切るのに必要な平均飛行時間
$E_x(t)$	航空機の初期縦間隔の分布。初期の縦間隔が t 分であった航空機対の数を全航空機対の数で割ったもの。
$P_x(t)$	Loss 値が t 分以上になる確率。つまり Loss 値が t 分以上になる航空機対の数を全航空機対の数で割ったもの。

### 3 Gain/Loss 分布

考察対象航空路を R220 航空路の NIPPI-NUBDA 間、R580 航空路の OMOTO-ONEMU 間、A590 航空路の PASRO-POXED 間、R591 航空路の AKISU-ADGOR 間、G344 航空路の

CUTEE-CALMA 間とした。(図 1 参照) これらは全て義務位置通報点である。つまり、航空機はこれらの点を通じた時に、その旨管制機関に報告しなければならない。義務位置通報点同士を結んだ経路線分をセグメントと呼ぶことにする。

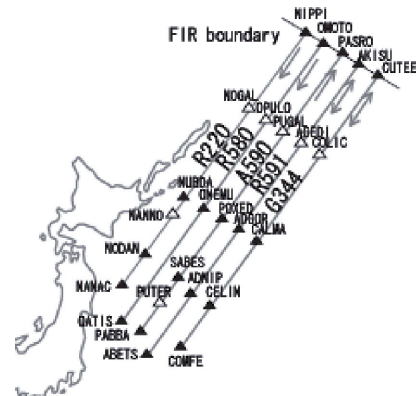


図 1 北太平洋経路システム

これらのセグメントを 2006 年 3 月から 2007 年 9 月までに飛行した航空機の FDPS (Flight Data Processing System) 統計データを用いて、Gain/Loss 分布 (Gain 値の分布) 及び初期時間間隔の分布を求めた。FDPS 統計データには便名・装備機材の他、各通過フィックスでの通過時刻・通過高度、各セグメントでのマック数指定の有無が記載されている。HF 通信による位置通報の場合、管制官が位置通報点通過時刻を分単位で ODP (Oceanic Air Traffic Data Processing system) に入力し、ODP は FDPS にその情報を送信する。一方、ADS もしくは CPDLC (Controller Pilot Data Link Communication) による位置通報の場合、ODP が自動的に FDPS に通過時刻を送信する。

本稿では、マック数指定なしで 10 分の縦管制間隔が実施された場合の衝突危険度を推定する。したがって、Gain/Loss 分布や初期時間間隔の分布を求めるに当たって、マック数指定の管制間隔が適用されている航空機対や ADS 環境下において距離による管制間隔が適用されている航空機対のデータを解析に用いるべきではない。初期位置通報点の同一高度を連続して通過した航空機対のうち、以下の条件に当てはまるものを解析に用いた。

- 二機の航空機はセグメント間で高度を変更しない。
- 二機の航空機はともに当該セグメントにおいてマック数を指定していない。
- 先行機が途中フィックス/最終フィックスを通過してから、後続機が途中フィックス/最終フィックスを通過する間に他の航空機は当該フィックスの同高度を通過しない。
- 初期時間間隔が15分以上（50NMの縦間隔を適用されているADS機対を除外するため。初期時間間隔が15分以上あるマック数が指定されていないADS機対には15分の管制間隔が適用されているものと考えた。）
- 初期時間間隔が60分以下

以上の抽出条件で抽出されたデータの数はいずれも13,355件であった。全データを用いて推定したGain/Loss分布（■マーク）を図2に示す。分布モデルとしては、両側指数分布がよく当てはまるように思われる。このことは[1]、[2]、[3]、[4]で示唆されている結果と矛盾しない。

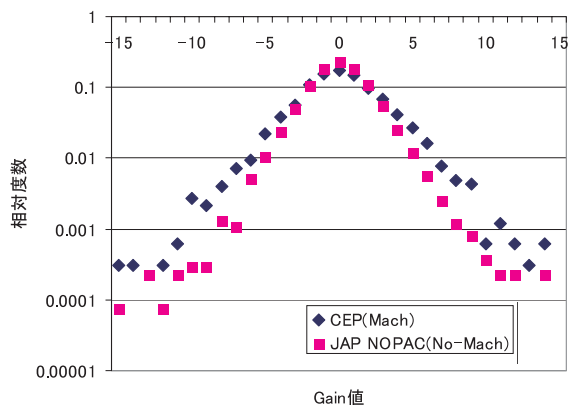


図2 Gain/Loss 分布（全データ）

[1]で与えられているマック数指定時のGain/Loss分布（◆マーク）も図2に示されている。縦管制間隔を10分にした時、Gain値が-10以下のとき（Loss値が10以上のとき）、先行機と後続機は進行方向ですれ違う。したがって、図2において、Gain値が-10以下のとき、■マークのGain値の相対頻度が◆マークのGain値の相対頻度を下回っていれば、現在のNOPACの航空機対は[1]で考察されているマッ

ク数指定時のCEPの航空機対よりも、縦間隔を失って後続機が先行機を追い抜く可能性は低いと推定できる。Gain値が-10以下で、◆マークのGain値の相対頻度が■マークのGain値の相対頻度を下回るのは、Gain値が-13のときのみである。しかし、Gain値が-14のとき■マークのGain値の相対頻度は0で、◆マークのGain値が-14の時の相対頻度は■マークのGain値が-13の時の相対頻度を上回っている。したがって、現在のNOPACをマック指定なしで飛行する航空機（及び管制機関）が到着時間間隔を維持する能力は、[1]で観測されたマック指定されて飛行する航空機の到着時間間隔を維持する能力よりも高いことが分かる。

全データ13,355件のうち、A590航空路を飛行した航空機対のデータは7,870件、R220航空路を飛行した航空機のデータは3,617件であった。全データ、A590航空路を飛行した航空機対のデータ及びR220航空路を飛行した航空機のデータという3つのデータセットに対して、初期時間間隔とGain値の間の独立性の $\chi^2$ 検定を実施したところ、有意水準5%で独立性の仮説は棄却された。初期時間間隔とGain値の間には相関があると思われる。この結果は[4]と一致している。

A590航空路は東向きであり、PASRO通過後も長時間飛行する。その間、ずっと管制間隔が確保されていなければならない。したがって、先行機が後続機よりも飛行速度が遅いと予想され、POXED通過時点で縦間隔が短い場合、管制官は両機を同じ高度でPOXED-PASROの間を飛行させるであろうか。この場合、管制官は例えば、POXED通過時点で縦間隔が確保できていたとしても、高度変更を指示する可能性が高い。したがって、初期時間間隔が短い場合には、Gain値にバイアスがかかるものと思われる。

初期時間間隔の値毎にGain/Loss分布の平均と標準偏差を求めた。図3は初期時間間隔とGain値の分布の平均の関係を、図4は初期時間間隔とGain値の分布の標準偏差の関係を表している。グラフ中の直線は最小二乗法による直線近似を示している。平均は減少傾向、標準偏差は増加傾向にあるのが見て取れる。また、A590航空路では初期時間間隔が短いとき、他

の場合と比べて、平均が大きな値を取っていることも見て取れる。NOPAC 全体に対する統計でも同じ傾向が見られるのは、全データに占める A590 航空路のデータ数の割合が高いためである。R220 航空路における初期時間間隔が 15 分のとき標準偏差が 0.5 と小さくなっているが、データ数が 6 と小さく、この値は信頼できない。

NOPAC 全体の Gain/Loss 分布の平均値を見ると、初期時間間隔が 15 分から 18 分までの間と 19 分から 30 分までの間、31 分から 60 分までの間で Gain/Loss 分布の平均値の増加率が異なるように見える。図 5-図 7 は初期時間間隔が 15 分から 18 分、19 分から 30 分、31 分から 60 分までの間の Gain/Loss 分布の平均値と標準偏差を表したものである。近似式も図中に示されている。図 3 や図 4 に比べて、線形近似が比較的良好に当てはまることが見て取れる。

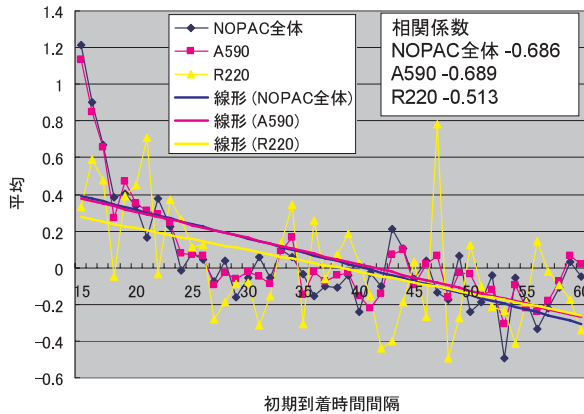


図 3 Gain/Loss 分布の平均 (15分≤初期時間間隔≤60分)

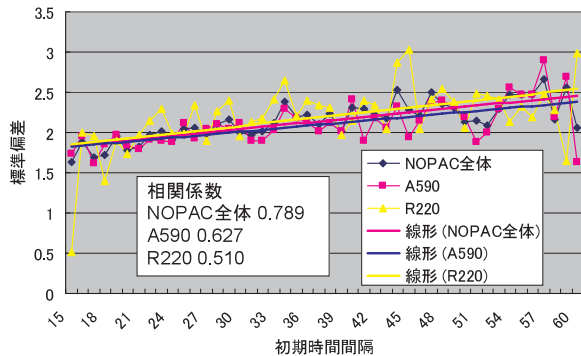


図 4 Gain/Loss 分布の標準偏差 (15分≤初期時間間隔≤60分)

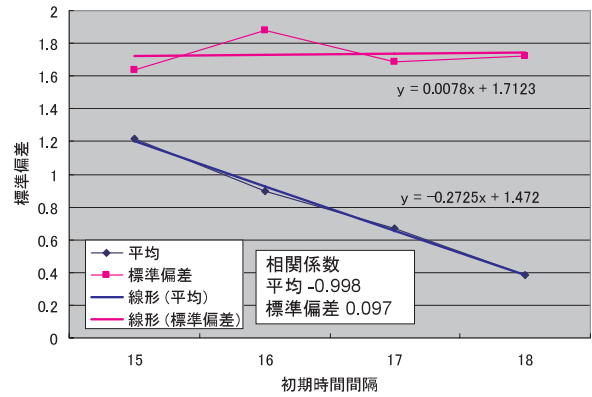


図 5 Gain/Loss 分布の平均・標準偏差 (15分≤初期時間間隔≤18分)

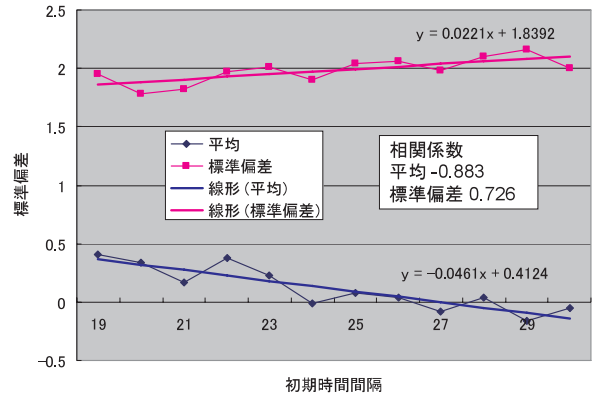


図 6 Gain/Loss 分布の平均・標準偏差 (19分≤初期時間間隔≤30分)

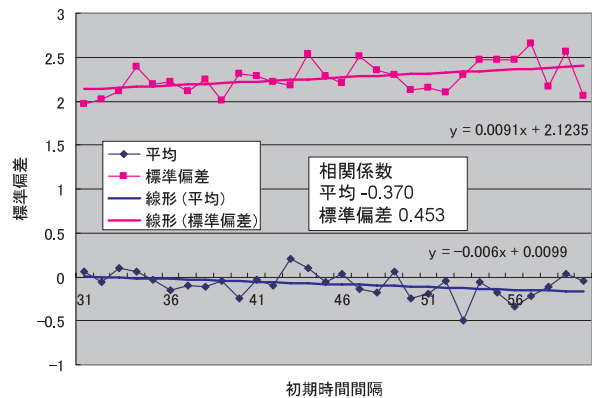


図 7 Gain/Loss 分布の平均・標準偏差 (31分≤初期時間間隔≤60分)

#### 4 衝突危険度推定 (義務位置通報点の間隔が約 660NM のとき)

4.1 表 2 等で与えられているパラメータ  
まず、 $\Pi_x$  を除く表 1 で与えられているパラメ



一タの値ならびにセグメント間を飛行するのに必要な平均時間  $T$  を定める。

垂直方向重畳確率  $P_z(0)$ 、航空機のサイズ  $\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$ 、横方向と垂直方向の相対速力  $v_{ry}, v_{rz}$  は、ADS 機に対する 50NM 縦管制間隔安全性評価 ([5]) に用いられた値を用いることとする。

マック数を指定せずに、対象空域を 2006 年 2 月から 2007 年 9 月までに飛行した航空便のうち GPS を搭載していた便の割合は 30.43% であった。GPS 搭載率を考慮して [5] と同様の方法で求めた横方向重畳確率  $P_y(0)$  の値は 0.088 であった。

対象空域の義務位置通報点間の距離は約 660NM である。航空機の平均速度を 480knot とすると、これらのセグメントを飛行するのにかかる時間は  $T=1.375$  時間である。

$v_{rx}$  は「縦間隔を失って、進行方向ですれ違う航空機対の平均相対速力」と定義されている。しかし、縦間隔を失う事象は非常に稀にしか起こらないため、観測により  $v_{rx}$  を求めることは不可能である。ここでは評価に用いる  $v_{rx}$  の値として、初期時間間隔が 10 分あった航空機対が次のフィックスで追いつかれるときの航空機間の平均速度を採用する。先行機が次のフィックスに到着するのは  $(1.375 \cdot 10/60) = 1.208$  時間後である。次のフィックスで後続機が先行機に追いつくためには、 $480 \cdot 10/60 = 80$  NM あった先行機と後続機の相対距離が 0 になるので、相対速度は  $80/1.208 = 66.2$  knot である。したがって、 $v_{rx} = 66.2$  となる。まとめると、表 3 の通り。

#### 4.2 Gain/Loss 分布の推定

図 3,4 から初期時間間隔が大きくなるにしたがって小さな Gain 値が発生する頻度が高くなることを見て取れる。Loss 値が初期到着間隔以上になると進行方向でのすれ違いが起こることを考えれば、初期時間間隔が大きくなるときのデータ（大きな Loss 値の発生頻度が高い）を用いて、初期時間間隔が短いときの Gain 値（を推定すれば、衝突危険度の過大評価につながる）が分かる。したがって、図 2 で与えられた Gain/Loss 分布を初期到着間隔の値に関係なく適用するのではなく、初期到着間隔の値毎に異なる Gain/Loss 分布を用いることとする。

表 3 衝突危険度モデルパラメータの値

パラメータ	値
$P_y(0)$	0.088
$P_z(0)$	0.538
$v_{rx}$	66.2knots
$v_{ry}$	20knots
$v_{rz}$	1.5knots
$\lambda_x$	0.036NM
$\lambda_y$	0.032NM
$\lambda_z$	0.010NM
$T$	1.375 時間

Gain/Loss 分布は平均  $m$ 、スケールパラメータ  $\lambda$  の両側指数分布に従うと仮定する。両側指数分布の確率密度関数は以下の式で表される。

$$f(x) = \frac{\exp(-|x-m|/\lambda)}{2\lambda} \quad (7)$$

この分布の標準偏差は  $\sqrt{2}\lambda$  であり、 $t > m$  のとき、 $P_x(t)$  は以下の式で表される。

$$P_x(t) = \frac{\exp(-(t+m)/\lambda)}{2} \quad (8)$$

図 5-図 7 の Gain/Loss 分布の平均ならびに標準偏差の線形近似式を用いて、縦管制間隔が 15 分の時、初期時間間隔が  $T_i$  のときの Gain/Loss 分布の平均・分散は以下の式で表される。

$$m = \begin{cases} 1.472 - 0.2725(T_i - 15) & 15 \leq T_i \leq 18 \\ 0.4124 - 0.0461(T_i - 19) & 19 \leq T_i \leq 30 \\ 0.0099 - 0.006(T_i - 31) & 31 \leq T_i \leq 60 \end{cases} \quad (9)$$

$$\sqrt{2}\lambda = \begin{cases} 1.7123 + 0.0078(T_i - 15) & 15 \leq T_i \leq 18 \\ 1.8392 + 0.0221(T_i - 19) & 19 \leq T_i \leq 30 \\ 2.1235 + 0.0091(T_i - 31) & 31 \leq T_i \leq 60 \end{cases} \quad (10)$$

縦管制間隔が 10 分になった時、Gain/Loss 分布の平均・分散はどのように変化するであろうか？以下の 2 つの場合を考える。

- ① 悲観的な推定。縦管制間隔が 15 分で初

期時間間隔が(15+t)分の時の Gain/Loss 分布と縦管制間隔が 10 分で初期時間間隔が(10+t)分の時の Gain/Loss 分布は同じであると仮定する。

- ② 楽観的な推定。(9),(10)式の第一番目の式が  $10 \leq T_i \leq 15$  でも同様に成り立つ。

### 4.3 初期時間間隔の推定

Gain/Loss 分布を推定するのに用いたデータを用いて、初期時間間隔を求めた。(表 4)

表 4 縦管制間隔 15 分の初期時間間隔の分布

初期時間間隔	航空機対数	$E_x(t)$
15	37	0.002771
16	114	0.008538
17	212	0.015878
18	287	0.021495
19	353	0.026438
20	411	0.030782
中略		
59	196	0.014679
60	165	0.012358
合計	13352	1

縦管制間隔が 15 分から 10 分へ短縮されれば交通流が変化し、初期時間間隔も変化する。管制間隔が変化した時の交通流を予想するのは至難である。したがって、縦管制間隔 10 分の時の初期時間間隔の分布は[2],[3]で用いられている方法で推定した。つまり、初期時間間隔が全ての航空機対に対して、5 分短縮されるとした。縦管制間隔 10 分、15 分の時の航空機の初期縦管制間隔の分布  $E_x(t)$ をそれぞれ  $E_{x,10}(t)$ ,  $E_{x,15}(t)$ と書くと、

$$E_{x,10}(t) = E_{x,15}(t+5) \quad (11)$$

となる。 $E_{x,15}(t)$ の値は表 4 に与えられている。

### 4.4 衝突危険度推定値

式(1),(6),(8),(9)・(11)及び表 3,4 の値を用いて衝突危険度を推定した。表 5 にその結果をまとめた。衝突危険度推定値は楽観的仮定の場合でも  $2.42 \times 10^{-8}$  (件/飛行時間)である。衝突危険度推定値は目標安全度  $5.0 \times 10^{-9}$  (件/飛行時間)を上回る。したがって、15 分の縦間隔管制間隔を

10 分に縮めた場合、安全であるとは言えない。

第 3 章で述べたように、現在の NOPAC の航空機対は[1]で考察されているマック数指定時の CEP の航空機対よりも、縦間隔を失って後続機が先行機を追い抜く可能性は低くなっている。一方で、横方向・垂直方向の航法精度が上がったため、後続機が先行機を追い抜いたときには衝突にいたる可能性が大きくなっている。その結果、縦管制間隔を 10 分に縮めると目標安全度を満たさなくなっている。

表 5 衝突危険度推定値  
(義務位置通報点間隔 660NM)

Gain/Loss 分布の仮定	衝突危険度 (件/飛行時間)	目標安全度との比較
悲観的	$1.15 \times 10^{-7}$	×
楽観的	$2.42 \times 10^{-8}$	×

### 5 衝突危険度推定 (義務位置通報点の間隔が約 330NM のとき)

ここでは、義務位置通報点の間隔が現行の半分の約 330NM になったときの衝突危険度を推定する。R220 航空路の NIPPI-NUBDA の中間には NOGAL、R580 航空路の OMOTO-ONEMU の中間には OPULO、A590 航空路の PASRO-POXED の中間には PUGAL、R591 航空路の AKISU-ADGOR の中間には AGEDI、G344 航空路の CUTEE-CALMA の中間には COLIC というフィックスがあるが、これらは義務位置通報点でないため、これらのフィックスの通過時刻に関する信頼できるデータが入手できない。したがって、3 章で考察した Gain/Loss 分布を本章でも用いる。

#### 5.1 表 1 等で与えられているパラメータ

衝突危険度モデルのモデルパラメータの値は、義務位置通報点間隔が約 660NM の場合とほぼ同じである。しかし、義務位置通報点間が半分になったので、セグメントの飛行所要時間  $T$  は半減し、 $T=0.6875$  時間となる。それに伴い  $v_{rx}$  の値も変化する。 $v_{rx}$  の計算方法は 4.1 節と同様である。計算結果は、 $v_{rx}=153.6$  となる。

まとめると、表6の通り。

表6 衝突危険度モデルパラメータの値

パラメータ	値
$P_y(0)$	0.088
$P_z(0)$	0.538
$v_{rx}$	153.6knots
$v_{ry}$	20knots
$v_{rz}$	1.5knots
$\lambda_x$	0.036NM
$\lambda_y$	0.032NM
$\lambda_z$	0.010NM
T	0.6875 時間

### 5.2 Gain/Loss 分布の推定

義務位置通報点間隔が 660NM の Gain/Loss 分布から義務位置通報点間隔が 330NM になったときの Gain/Loss 分布を推定する。

660NM 離れたフィックス A からフィックス B へ向かう二機の航空機を考える。フィックス C はフィックス A とフィックス B の中間にある。

先行機がフィックス A を通過した時刻を  $t_{1A}$ 、後続機がフィックス A を通過した時刻を  $t_{2A}$ 、フィックス A を先に通過した航空機がフィックス B を通過する時刻を  $t_{1B}$ 、フィックス A を後に通過した航空機がフィックス B を通過する時刻を  $t_{2B}$  とする。両機が等速で飛行していると仮定すると、先行機が中間地点のフィックス C

を通過する時刻は  $\frac{t_{1A} + t_{1B}}{2}$  であり、後続機がフ

ィックス C を通過する時刻は  $\frac{t_{2A} + t_{2B}}{2}$  である。

フィックス A, B での到着時間間隔  $T_A, T_B$  は式 (1), (2) で与えられ、フィックス C での到着時間間隔は

$$T_C = \frac{t_{2A} + t_{2B}}{2} - \frac{t_{1A} + t_{1B}}{2} \quad (12)$$

で与えられる。

定義によりフィックス AB 間での Gain 値  $G_{AB}$  は以下の式で定義される。

$$G_{AB} = T_B - T_A \quad (13)$$

一方、フィックス AC 間での Gain 値  $G_{AC}$  は以下の式で定義される。

$$G_{AC} = T_C - T_A \quad (14)$$

(1), (2), (12), (13) 式を用いて、(14) 式を変形すると

$$\begin{aligned} G_{AC} &= T_C - T_A \\ &= \left( \frac{t_{2A} + t_{2B}}{2} - \frac{t_{1A} + t_{1B}}{2} \right) - (t_{2A} - t_{1A}) \\ &= \frac{1}{2} (t_{2B} - t_{1B} - t_{2A} + t_{1A}) = \frac{1}{2} (T_B - T_A) \quad (15) \\ &= \frac{G_{AB}}{2} \end{aligned}$$

を得る。したがって、フィックス AC 間での Gain 値  $G_{AC}$  はフィックス AB 間での Gain 値  $G_{AB}$  の半分の平均・標準偏差を持つ分布に従う。

図3及び図4から初期時間間隔が大きくなるにしたがって小さな Gain 値（大きな Loss 値）が発生する頻度が高くなることを見て取れた。初期時間間隔が短ければ、航空機が次の義務位置通報点まで飛行する間に管制間隔を失う可能性が大きくなるため、管制官が両機の相対速度に注意を払い、先行機が追い越しそうな場合はあらかじめ高度変更させる等の処置を取ることが原因であると考えられる。しかし、義務位置通報点の間隔が半減された場合、同じ初期時間間隔・相対速度でも管制間隔を失う可能性は減少するため、管制官があまり両機の相対速度に注意を払わなくなるかも知れない。観測から導き出された式(9),(10)にはこれらの要因の影響も含まれていると考えられるため、義務位置通報点間隔が 330NM になったときの Gain/Loss 分布の平均・標準偏差を式(9),(10)から式(15)を用いて導き出すと、リスクの過小評価につながる可能性がある。

一般に、管制官は初期時間間隔が大きいときは、小さいときに比べて先行機・後続機の相対速度に注意を払う度合いは少なくなると思われる。初期時間間隔の小さな観測データの割合は比較的小さいので、全観測データ 13,355 件の Gain 値の分布の平均・標準偏差を取れば、あまり管制官が先行機・後続機の相対速度に注意を払っていない時の Gain 値の分布の平均・標

準偏差と大きく異ならないと思われる。

全 13,355 件のデータの平均は 0.04178 分、標準偏差は 2.141 分である。(15) 式から義務位置通報点間隔が 330NM になったときの Gain/Loss 分布の平均は  $0.04178/2=0.02089$  分、標準偏差は  $2.141/2=1.071$  分である。同様に A590 航空路のデータ 7870 件、R220 航空路のデータ 3617 件についても同様に Gain/Loss 分布の平均・標準偏差を求めた。データ数が少なかったため、A590 航空路、R220 航空路以外の航空路のデータを用いた個別の解析は実施しなかった。結果を表 7 にまとめた。

表 7 Gain/Loss 分布の統計量推定値

考察空域	平均(分)	標準偏差 (分)
NOPAC	0.02089	1.071
A590	0.01963	1.046
R220	0.00677	1.121

### 5.3 初期時間間隔の推定

義務位置通報点が増えても初期時間間隔の分布は変わらないと想定される。したがって、義務位置通報点の間隔が 660NM の時と同様に表 4 と式(11)から得られる  $E_{x,10}(t)$  の値を用いる。

### 5.4 衝突危険度推定値

式(1),(6),(8),(16)・(21)及び表 4,6,7 の値を用いて衝突危険度を推定した。表 8 にその結果をまとめた。その結果、推定値が最も高い R220 航空路でも  $1.93 \times 10^{-9}$  (件/飛行時間)で、目標安全度を満たした。したがって、15 分の縦間隔管制間隔を 10 分に縮めても、義務位置通報点の間隔を 330NM に縮めれば、安全であると想定される。

## 6 まとめ

2006 年 3 月から 2007 年 9 月までに北太平洋航空路を飛行した航空機の FDPS 統計データを使って、マックナンバテクニックを使用せずに時間間隔を 10 分に縮めたときの洋上縦時間管制間隔の安全性評価を実施した。評価に当たっては、Gain/Loss 値と初期時間間隔の相関を考慮した。その結果、衝突危険度は楽観的推定で

も  $2.42 \times 10^{-8}$  (件/飛行時間)であり、目標安全度  $5.0 \times 10^{-9}$  (件/飛行時間)を上回ることが分かった。義務位置通報点間隔を半減 (330NM) した場合、衝突危険度は  $1.93 \times 10^{-9}$  (件/飛行時間)であり、目標安全度を満たすことが分かった。

### 謝辞

FDPS 統計データを提供していただいた ATM センターの関係各位に感謝します。

表 8 衝突危険度推定値  
(義務位置通報点間隔 330NM)

考察空域	衝突危険度 (件/飛行時間)	目標安全度 との比較
NOPAC	$9.89 \times 10^{-10}$	○
A590	$9.89 \times 10^{-10}$	○
R220	$1.93 \times 10^{-9}$	○

### 参考文献

- [1] Longitudinal separation analysis of the Central East Pacific Track System, June 1977, Report No. FAA-EM-77-3
- [2] Analysis and recommendation of the potential for the reduction of longitudinal separation in Pacific Ocean environment, January 1986, Report No. DOT/FAA/CT-TN85/39
- [3] Safety assessment of 10-minute longitudinal separation in portions of the Pacific Ocean airspace comparing the gain/loss probability distributions
- [4] 長岡栄・高橋美登里・天井治 マック数指定を考慮した縦方向衝突危険度モデルの考察 日本航海学会論文集 95 号, 平成 8 年 9 月
- [5] Fujita, M. Nagaoka, S and Amai, O. Safety Assessment prior to Implementation of 50NM Longitudinal Separation Minimum in R220 and R580, ICAO SASP-WG/WHL/9 WP/14, May 2006.