

洋上縦時間管制間隔の 安全性評価手法について

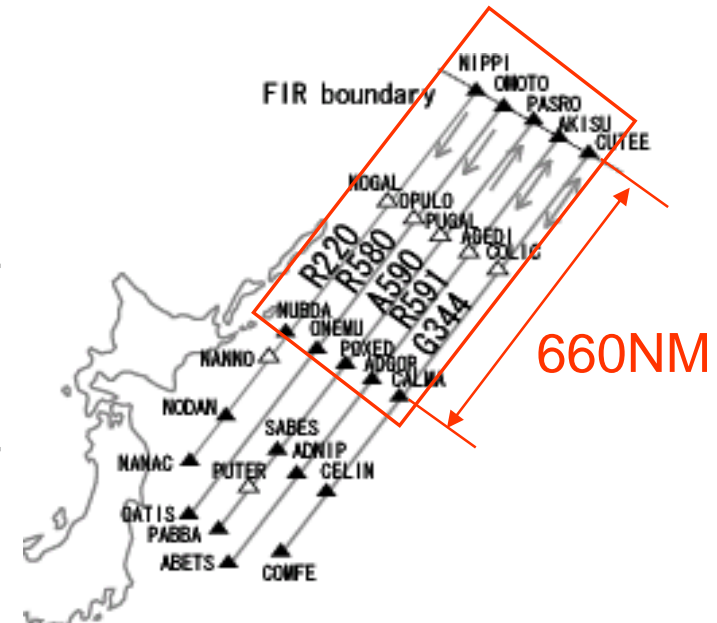
航空交通管理領域

藤田 雅人



プレゼンテーションの構成

1. 定量的安全性評価概説
2. Gain/Loss値と衝突危険度モデル
3. Gain/Loss分布
 1. 解析方法
 2. 解析結果
4. 義務位置通報点が660NM間隔のときの安全性評価
5. 義務位置通報点が330NM間隔のときの安全性評価



定量的安全性評価概説



安全性評価の必要性

Annex 11

- 安全管理の実施**義務**
- 安全目標レベルと達成目標設定の**義務**
- ATCシステムの安全関連部の変更は**安全性検証後にのみ実施可能**

- 定性的安全性評価・定量的安全性評価のいずれでもよいが、実施は義務。
- 定量的安全性評価に関する研究を主に実施

安全性評価対象

■ 洋上航空路の管制間隔

□ 縦方向

■ 時間が基準となるもの(位置通報点の通過時間差)

□ ナックナンバーテクニック(スピード指定)適用機

- 10分以下

□ 非適用機

- 15分 (10分への短縮を検討中)

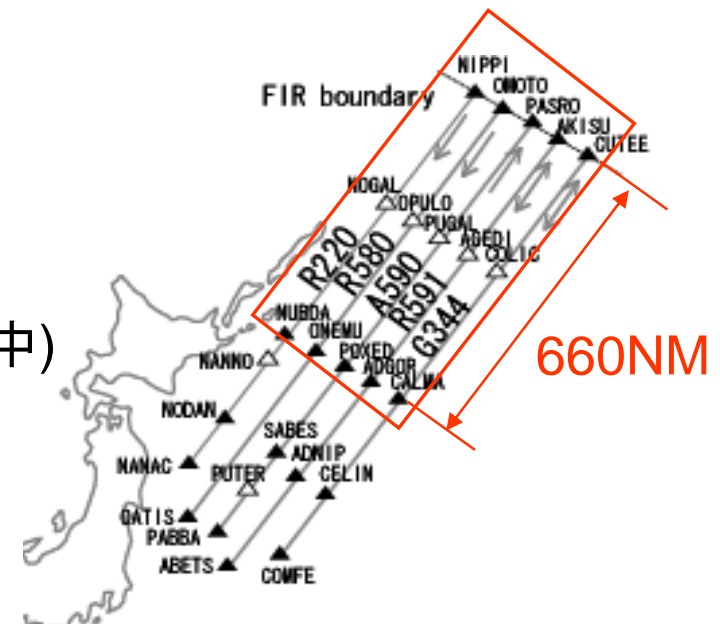
■ 距離が基準となるもの(常時監視)

□ ADS機

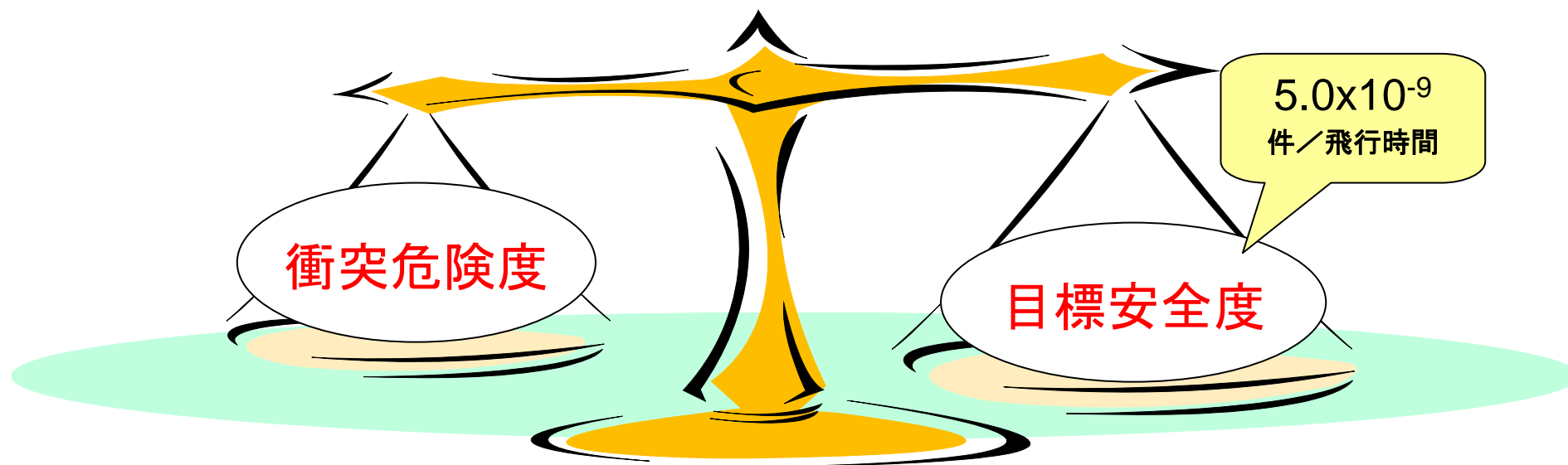
- 50NM (30NMへの短縮を検討中)

□ 横方向

□ 高さ(垂直)方向



定量的安全性評価



衝突危険度

単位飛行時間あたりの衝突事故件数の期待値

Gain/Loss値と衝突危険度 モデル



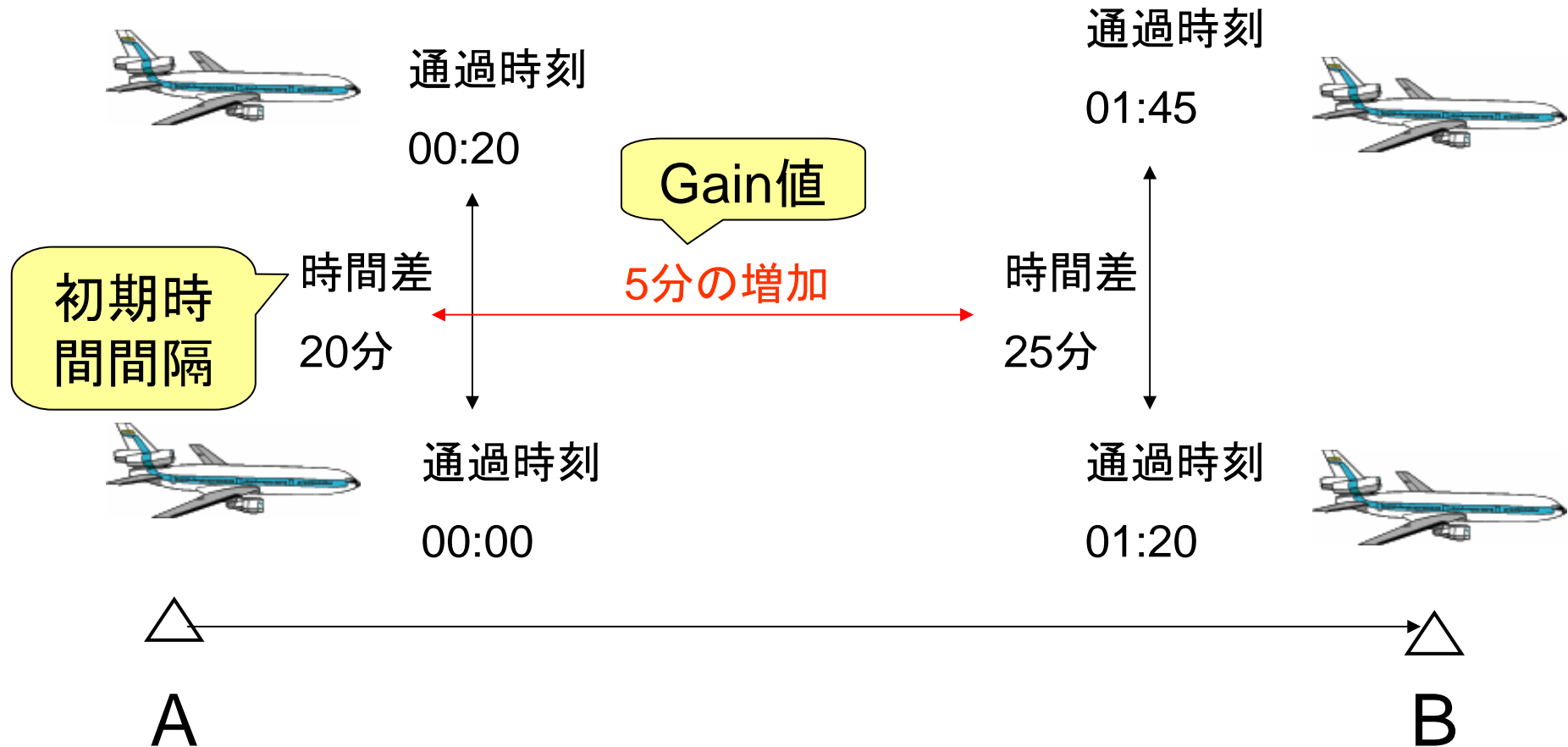
衝突危険度推定式

追い越す確率

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

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
Π_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
λ_x	航空機の平均長
λ_y	航空機の平均翼長
λ_z	航空機の平均高

Gain値／Loss値



初期時間間隔とLoss値

- A点での時間差 X分
- Gain値 Y分
- B点での時間差 (X+Y)分
 - つまり、 $X+Y \leq 0$ のとき後続機は先行機を追い越す。

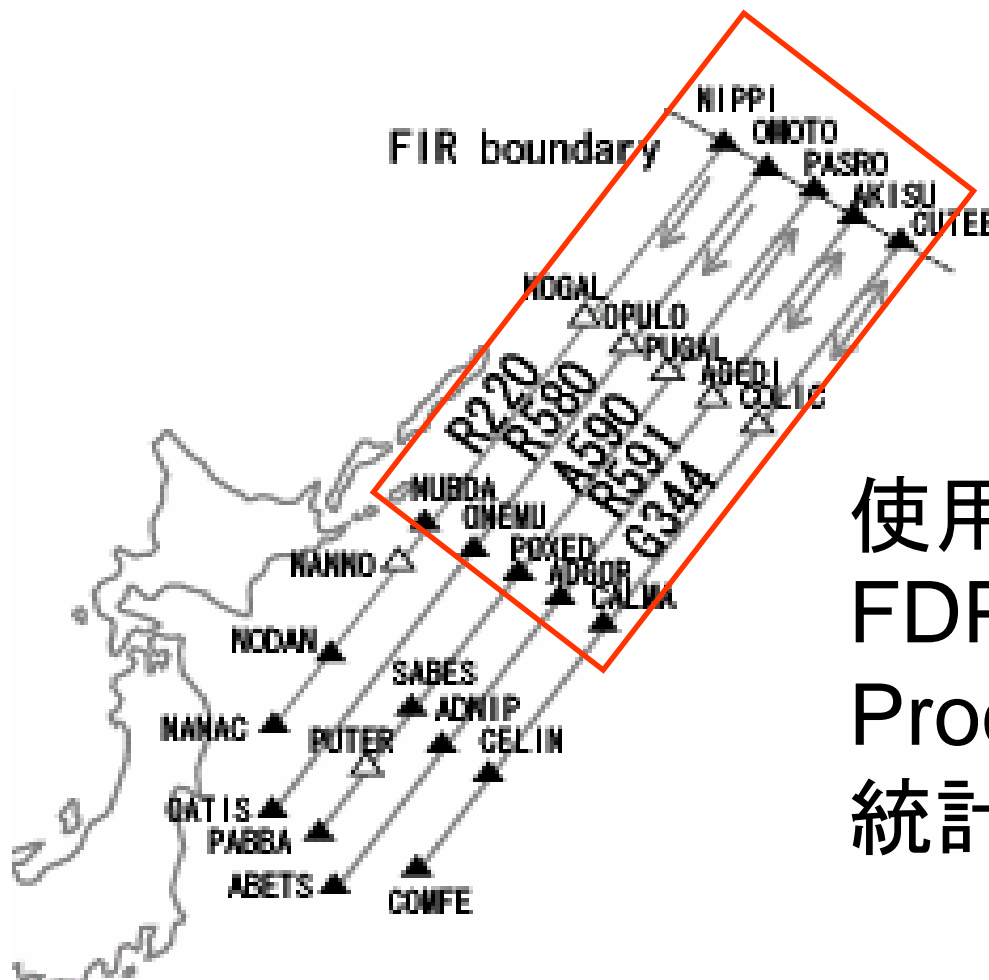
$$\Pi_x = \frac{2\lambda_x}{v_{rx}T} \sum_{t=\min}^{\max} E_x(t)P_x(t)$$

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。

Gain/Loss分布



使用データ



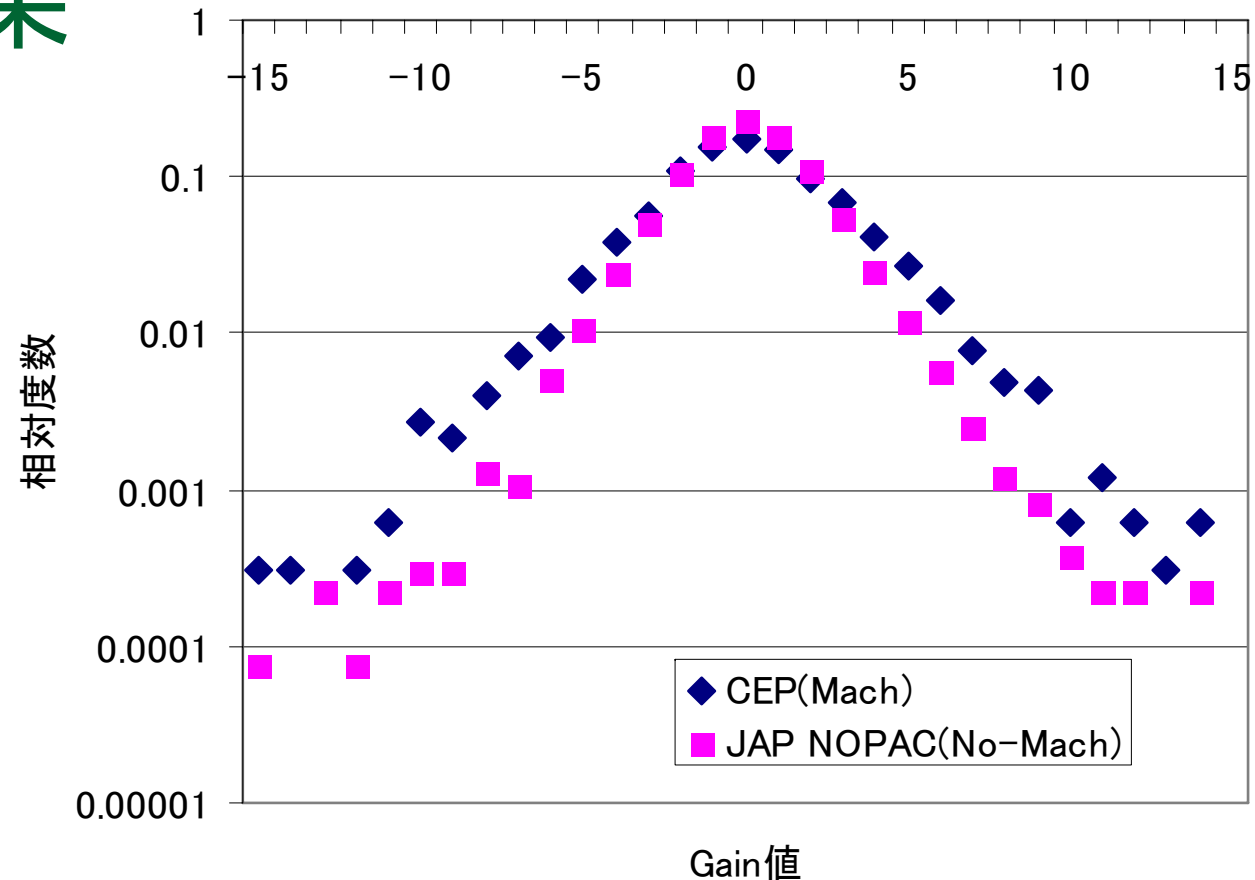
考察期間
2006年3月から
2007年9月まで

使用データ
FDPS (Flight Data
Processing System)
統計データ

データの抽出条件

- 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

解析結果



マックナンバテクニックを適用せずにNOPACを飛行した航空機のGain/Loss分布は1970年代のマックナンバテクニックを適用してCentral East Pacific Track System を飛行した航空機より「追いつく可能性」は低い

考察(1)

- 現在のNOPACを飛行する航空機は、1970年代のCEPを飛行する航空機に比べて、衝突危険度は低いか？
 - 「追いつく可能性が低い」からといって「衝突危険度が低い」とは限らない。
 - 「追いつく可能性が低く」なったが、「万が一追いついたときに衝突する可能性」が高くなったかも知れない。

追いつけば衝突

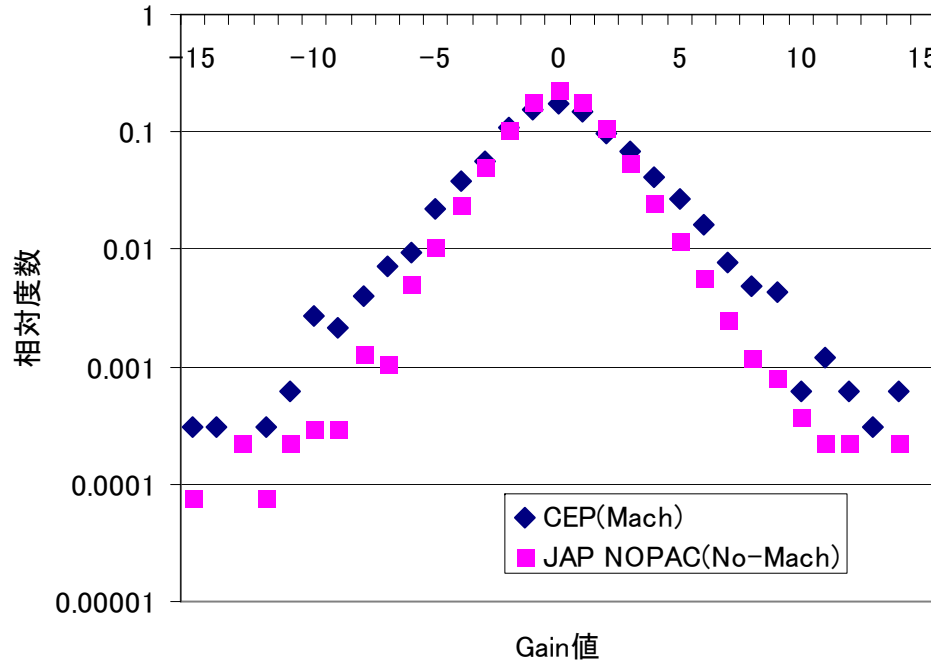


追いついても追い越しのみ

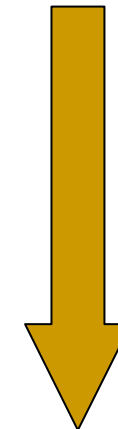


高度維持性能・経路維持性能が高いほど万が一追いついたときに衝突にいたる可能性が高い。

考察(2)



大半が初期時間間隔
が大きいときのデータ



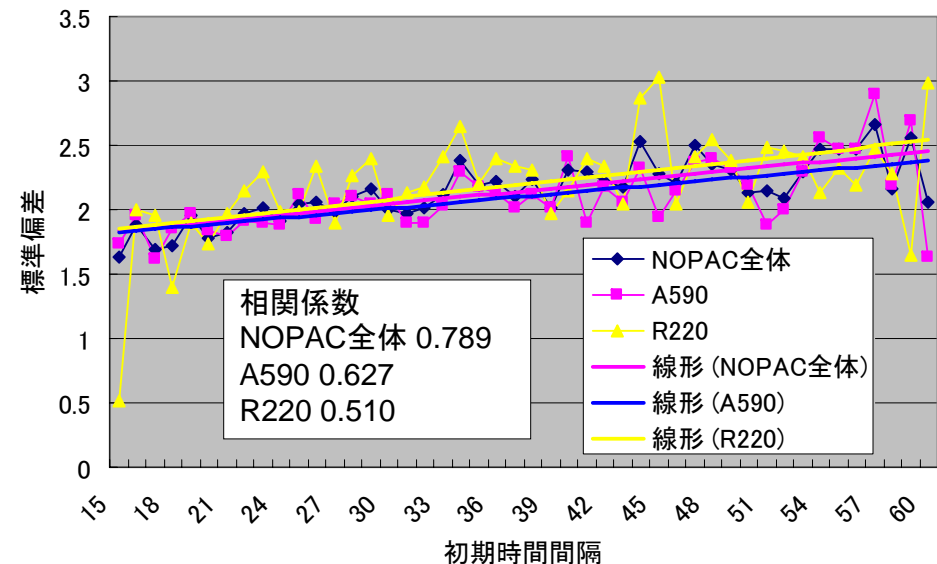
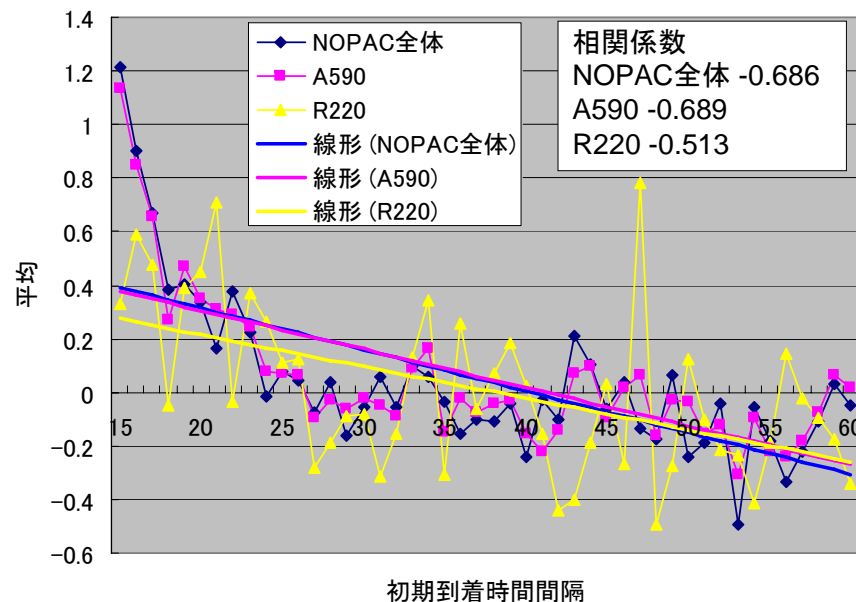
初期時間間隔が短
いほど、後続機が
先行機より速い場
合同高度／同経路
を飛行させない。

先行機と後続機の速
度差をあまり考慮して
いない場合

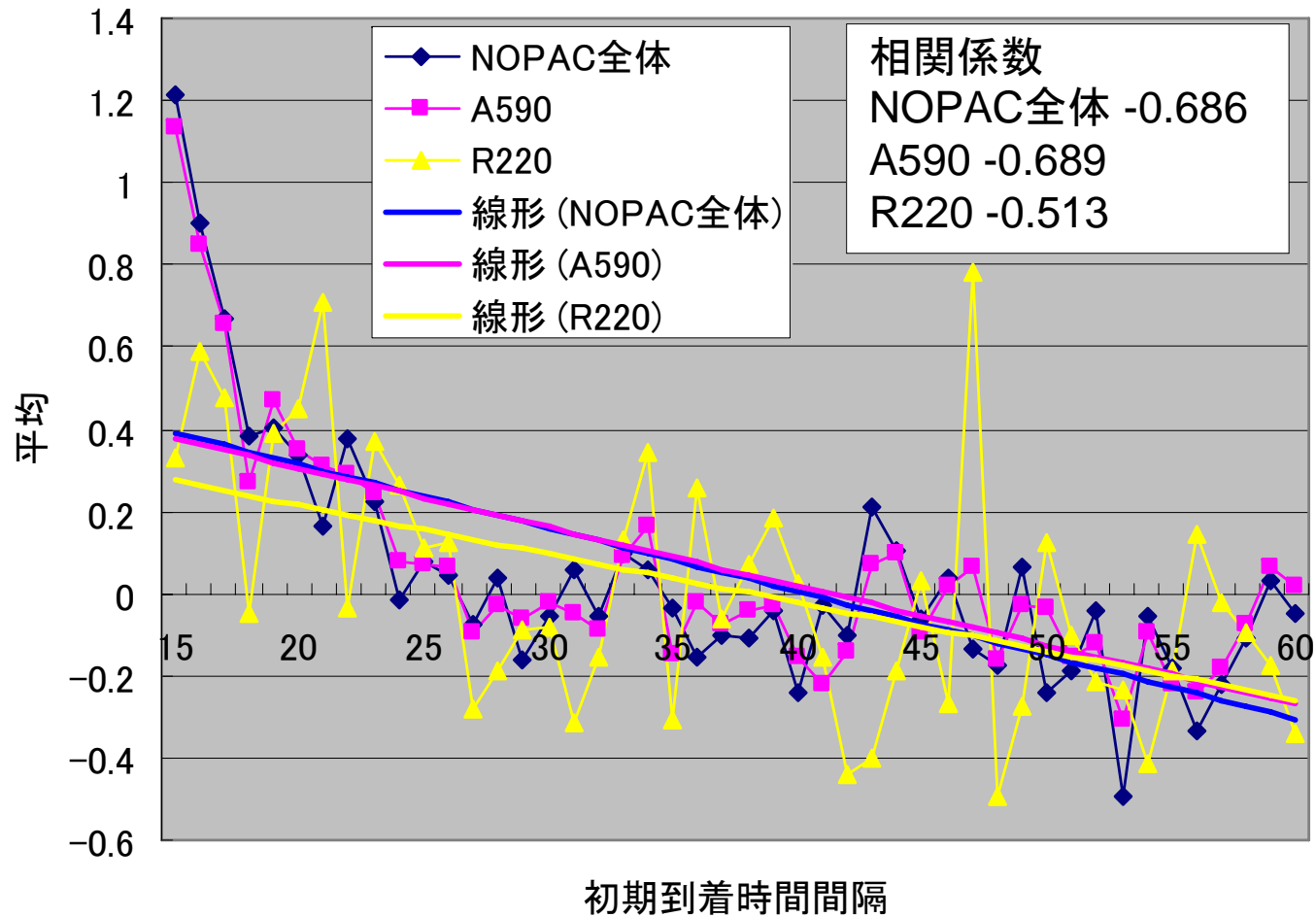
リスクの
過大評価

初期時間間隔とGain値の相関(1)

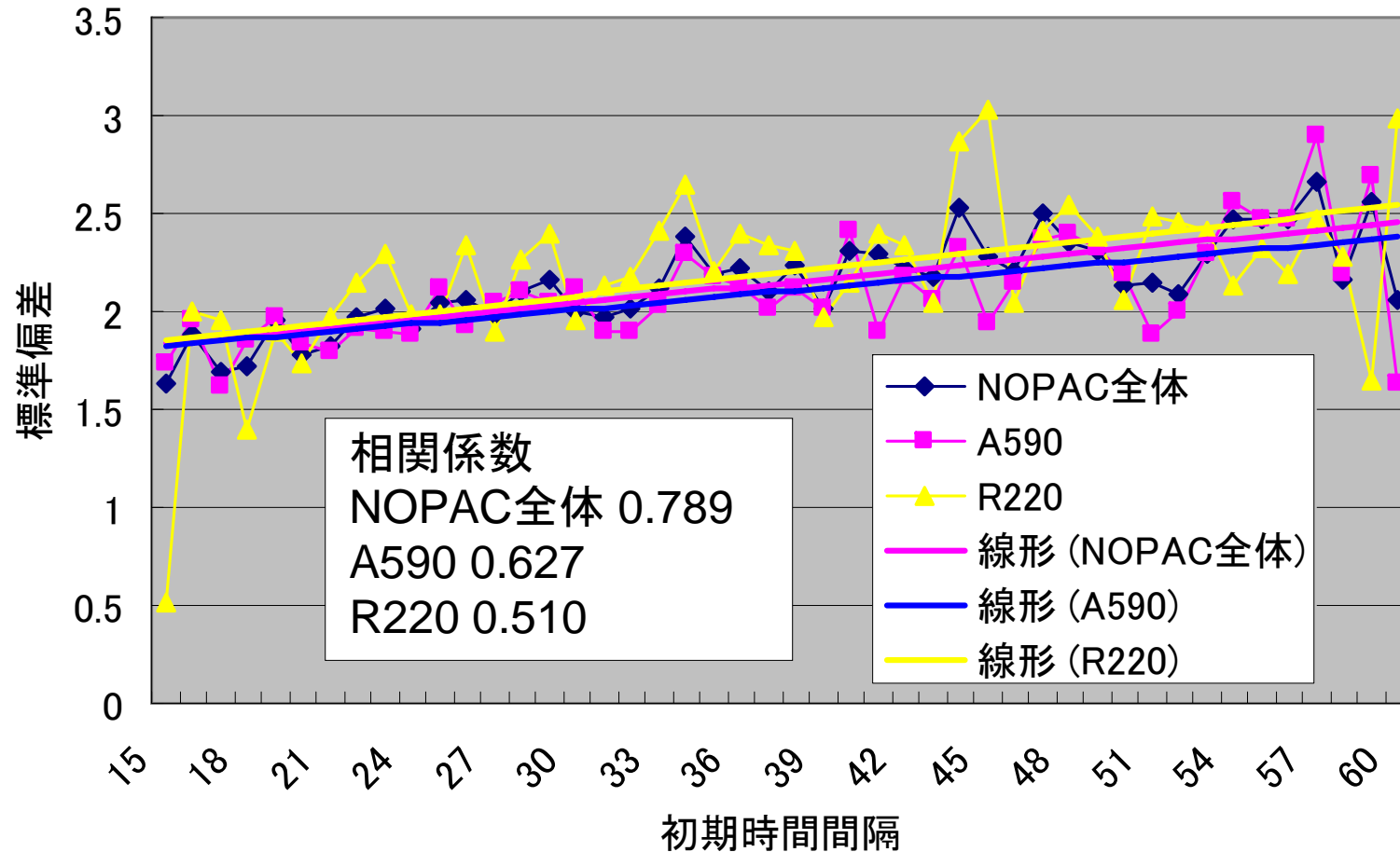
- 初期時間間隔が短いほど、後続機が先行機より速い場合同高度／同経路を飛行させない。
- 初期時間間隔とGain値の間には「関係がある」



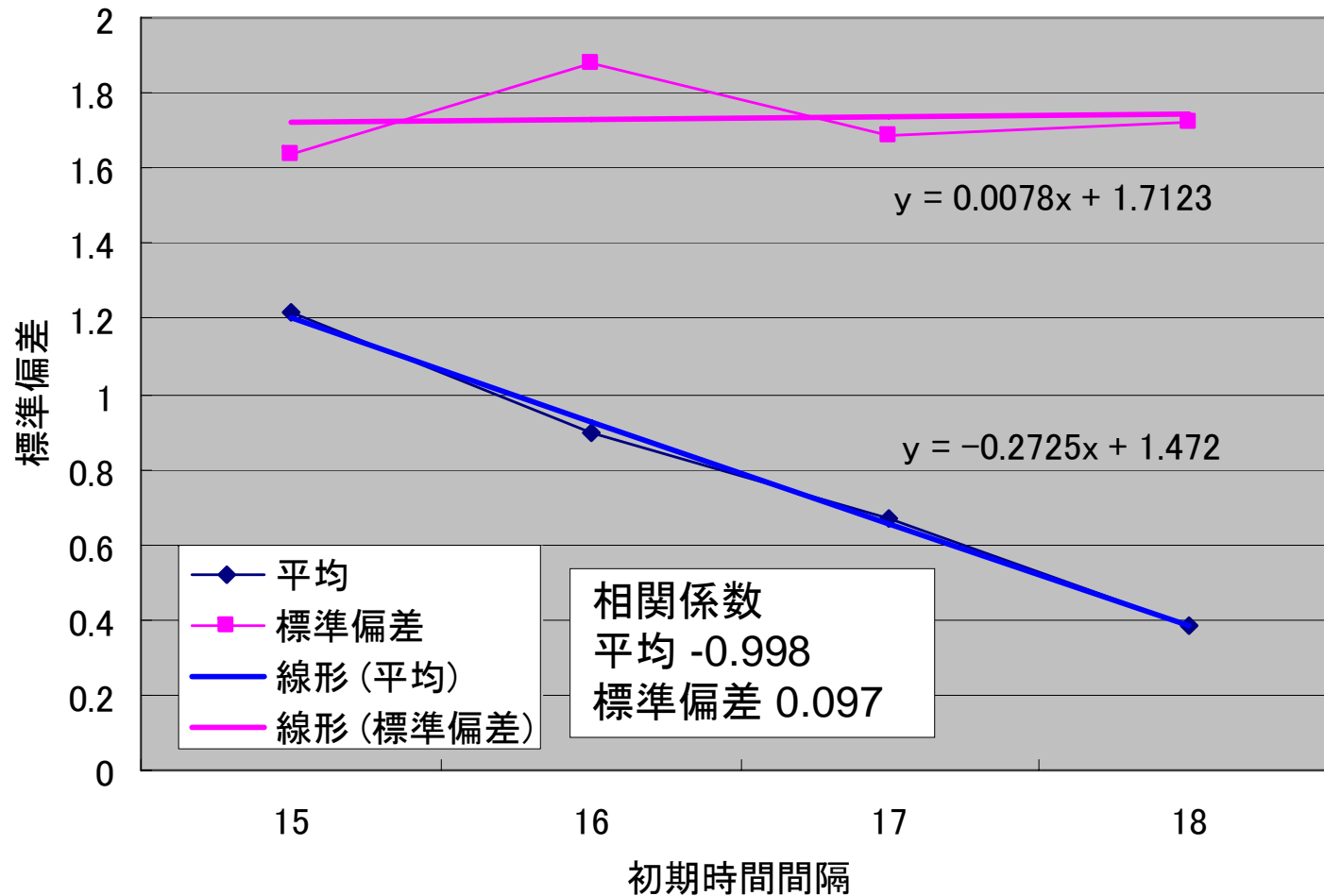
初期時間間隔とGain値の相関(2)



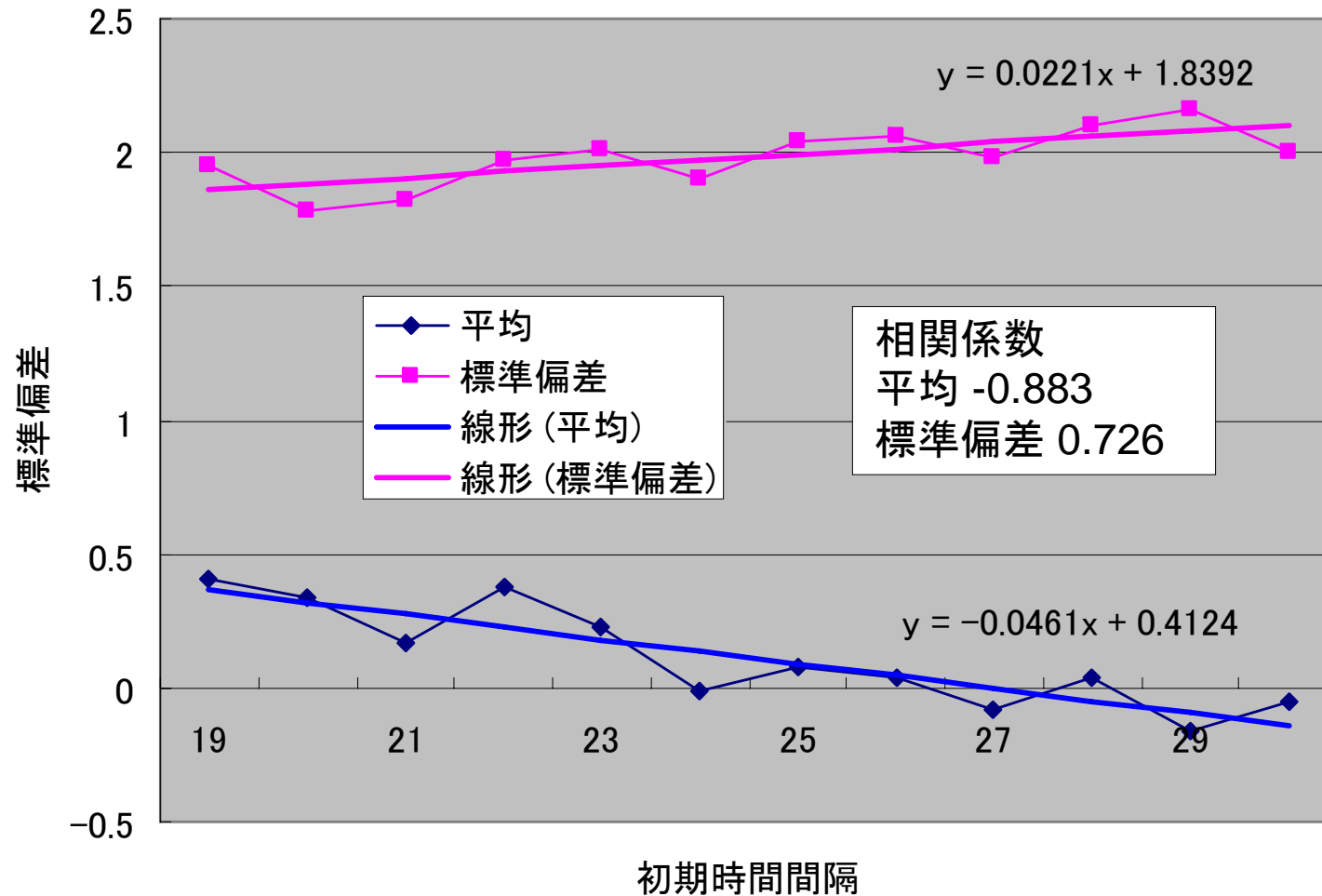
初期時間間隔とGain値の相関(3)



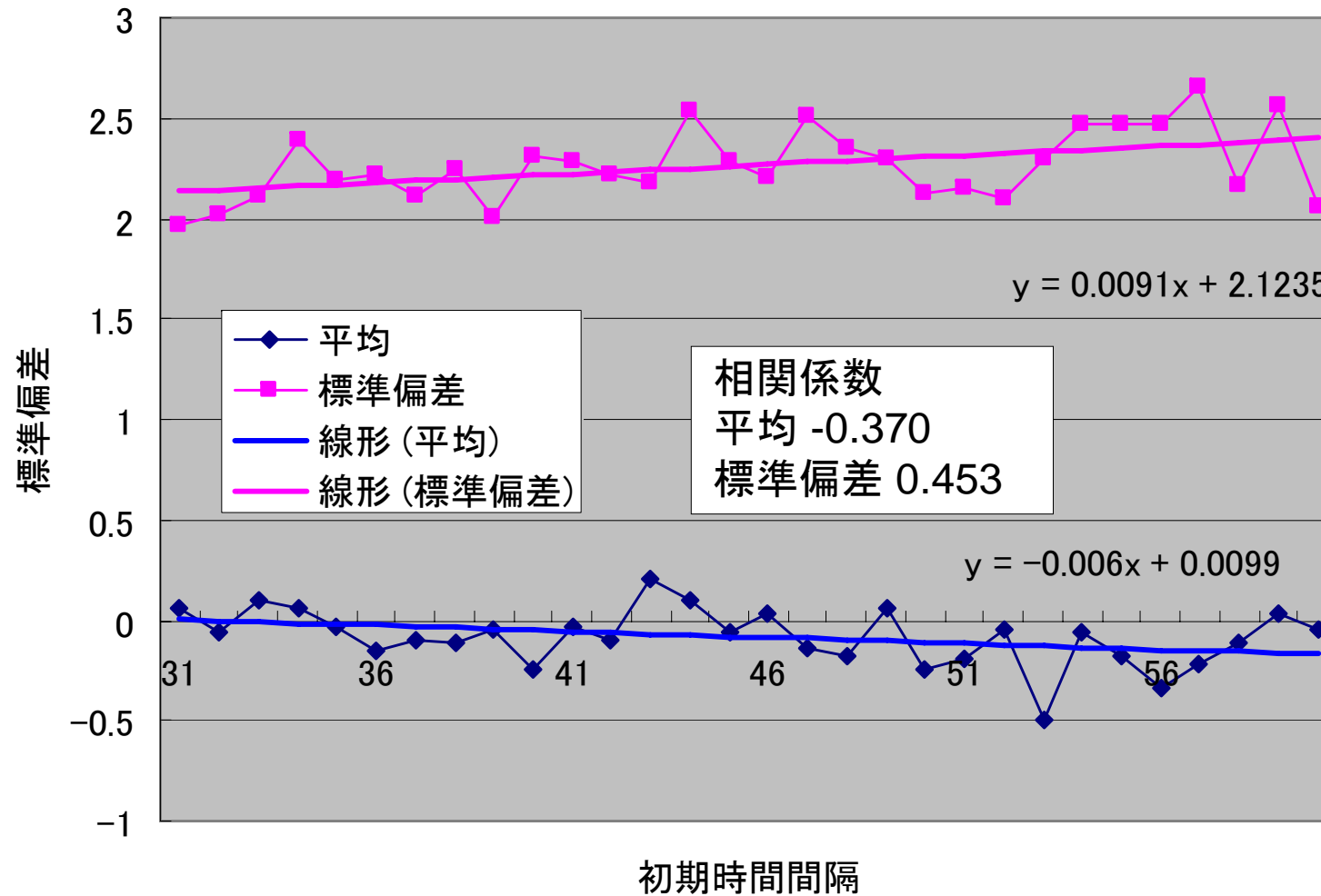
初期時間間隔とGain値の相関(4)



初期時間間隔とGain値の相関(5)



初期時間間隔とGain値の相関(6)



初期時間間隔とGain値の相関(7)

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

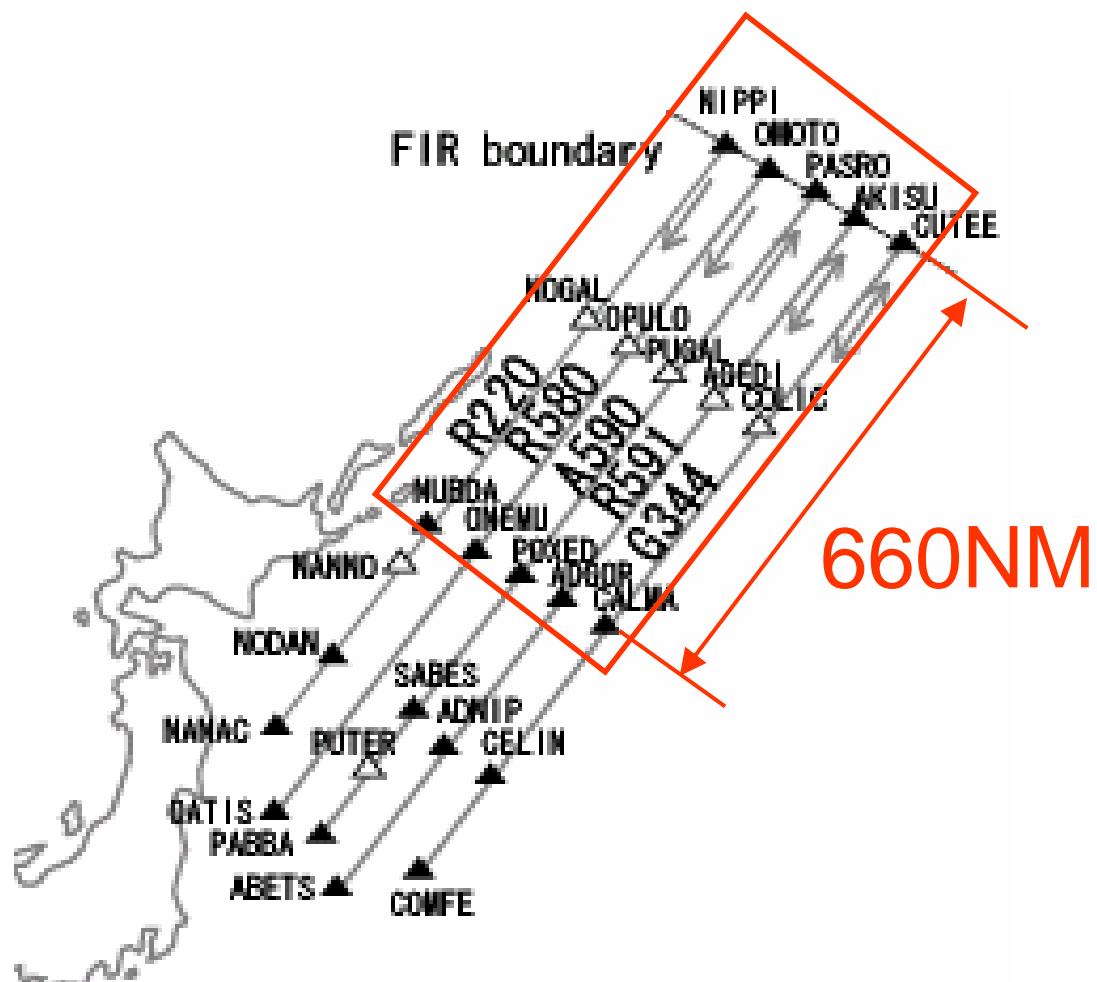
$$m = \begin{cases} 1.472 - 0.2725(T_i - 15) & 15 \leq T_i \leq 18 \\ 0.4124 - 0.0461(T_i - 19) & 19 \leq T_i \leq 30 \\ 0.0099 - 0.006(T_i - 31) & 31 \leq T_i \leq 60 \end{cases}$$

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

義務位置通報点が660NM 間隔のときの安全性評価



義務位置通報点の間隔



衝突危険度パラメータ

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

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

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
λ_x	0.036NM
λ_y	0.032NM
λ_z	0.010NM
T	1.375時間

Gain/Loss分布の推定

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

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

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

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

初期時間間隔の分布(実測値)

初期時間間隔 (実測値)	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

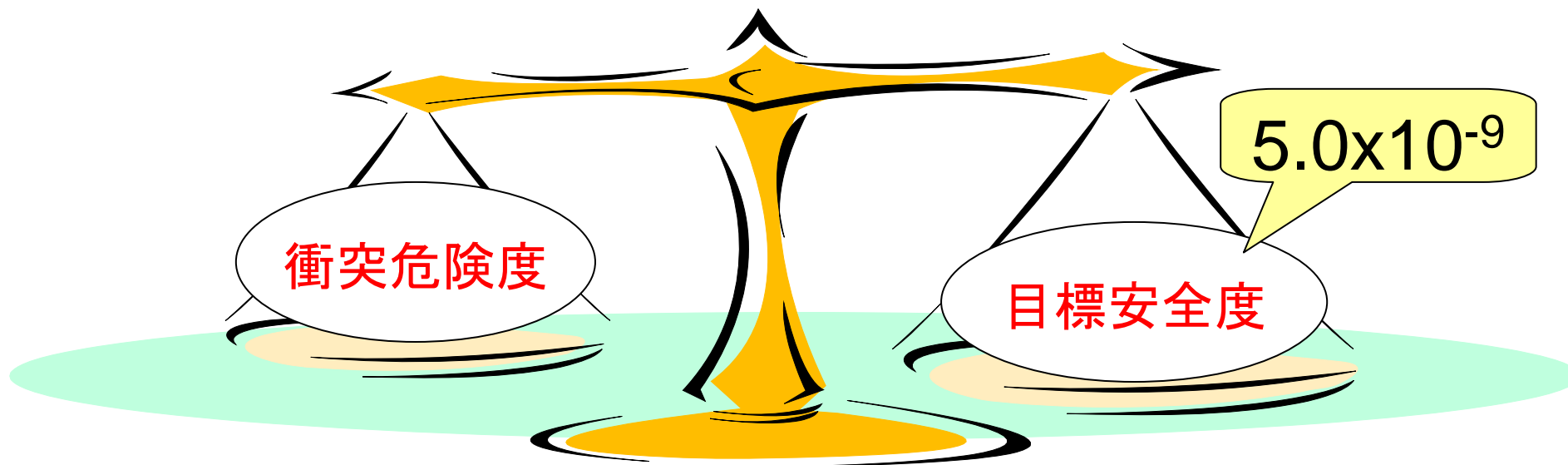
初期時間間隔の分布(予測値)

初期時間間隔 (予測値)	航空機対数	$E_x(t)$
10	37	0.002771
11	114	0.008538
12	212	0.015878
13	287	0.021495
14	353	0.026438
15	411	0.030782
中略		
54	196	0.014679
55	165	0.012358
合計	13352	1

義務位置通報点が330NM 間隔のときの安全性評価

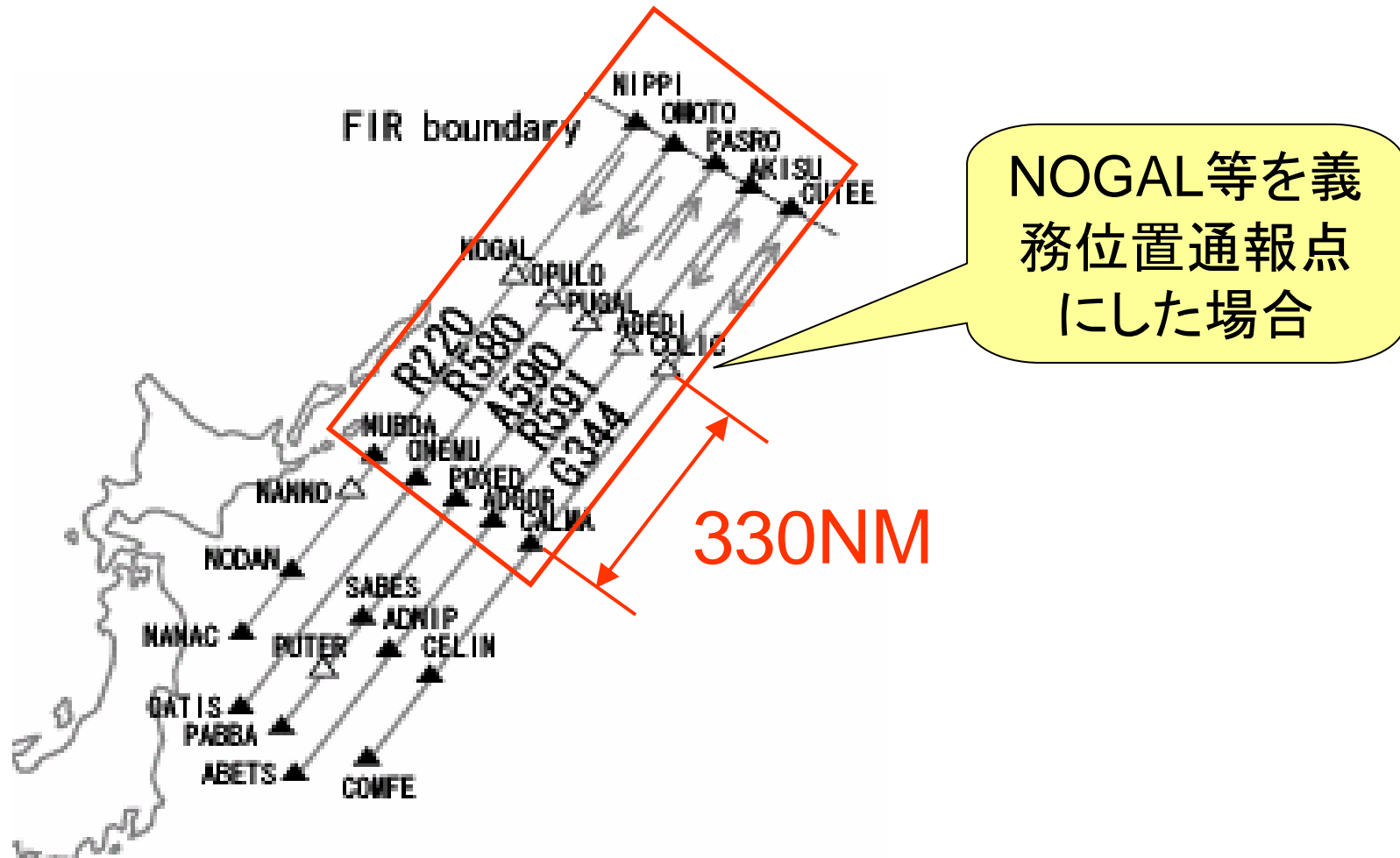


衝突危険度推定値



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	1.15×10^{-7}	×
楽観的	2.42×10^{-8}	×

フィックスの間隔



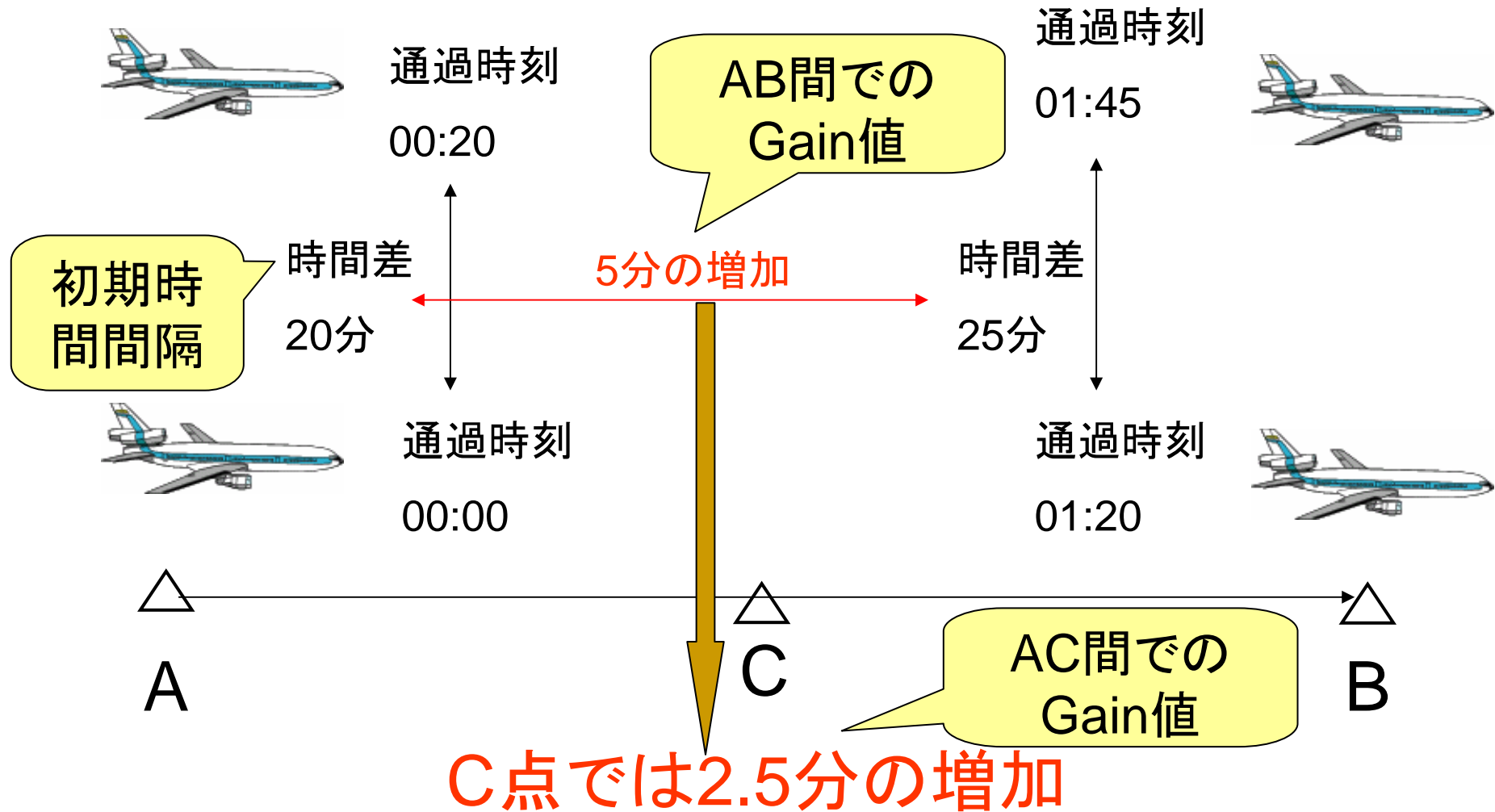
衝突危険度パラメータ

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

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

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
λ_x	0.036NM
λ_y	0.032NM
λ_z	0.010NM
T	0.6875時間

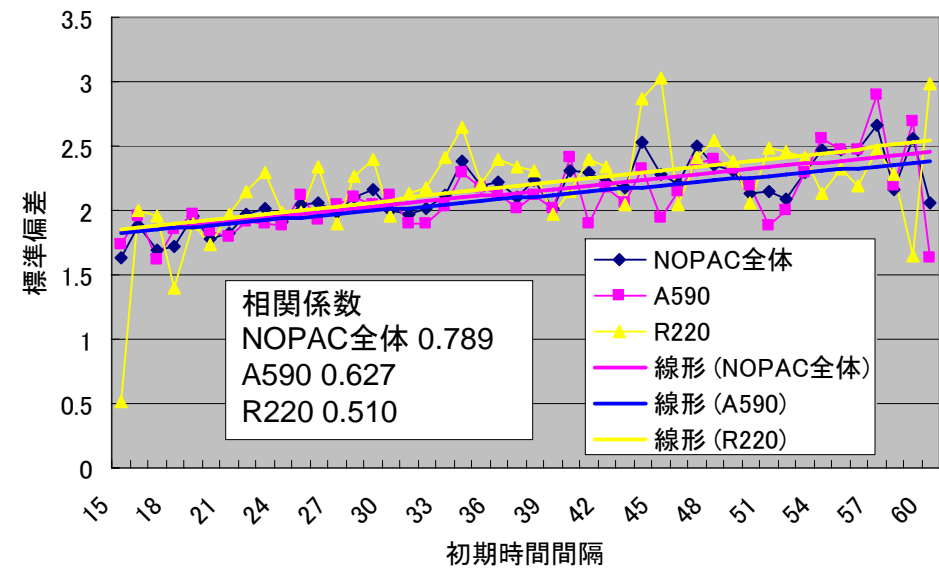
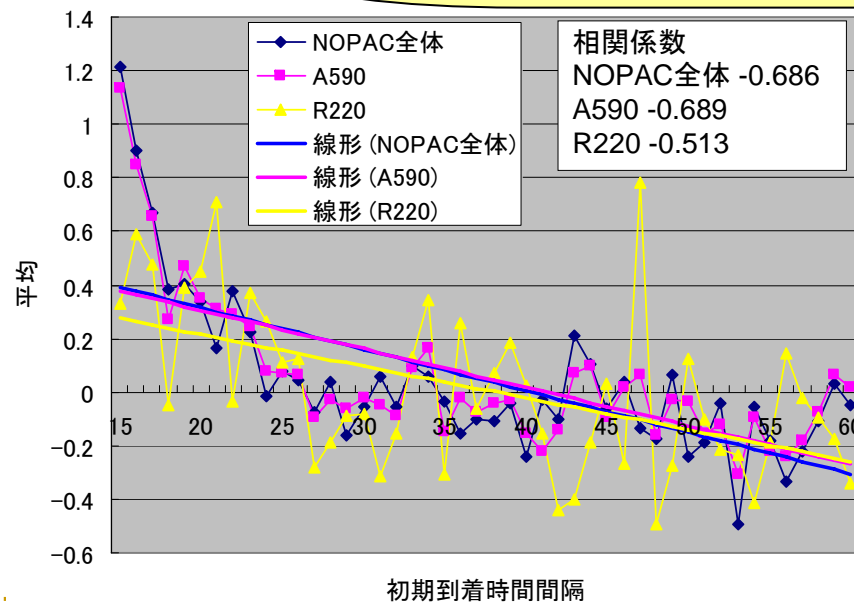
Gain値／Loss値



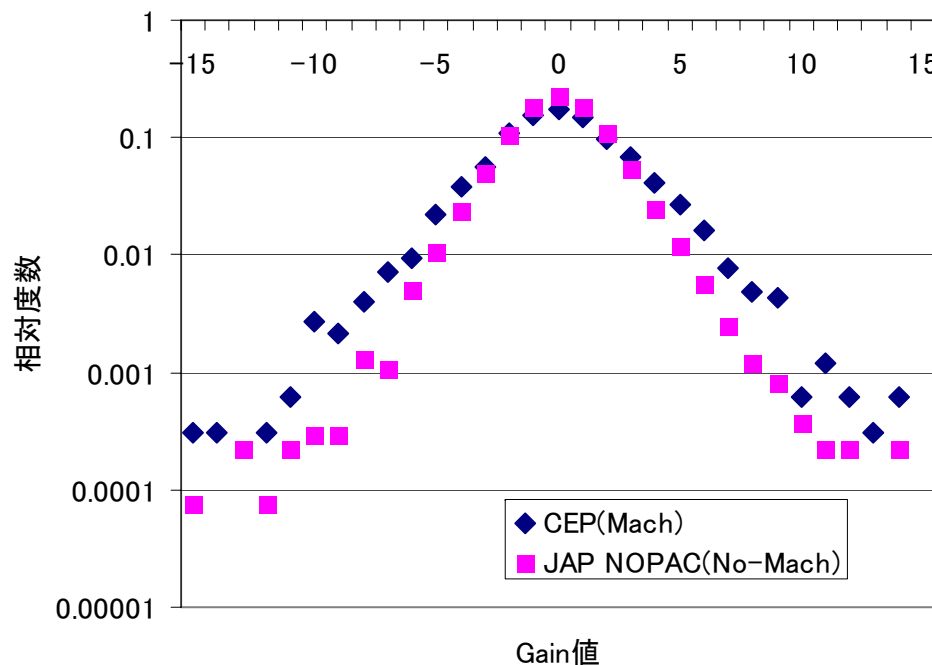
初期時間間隔とGain値の相関を考慮すべきか？

- 初期時間間隔が短いほど、後続機が先行機より速い場合同高度／同経路を飛行させない。

監視の頻度が倍になっても同程度速度差を気にするか？→わからない。



初期時間間隔とGain値の相関を考慮しないと...



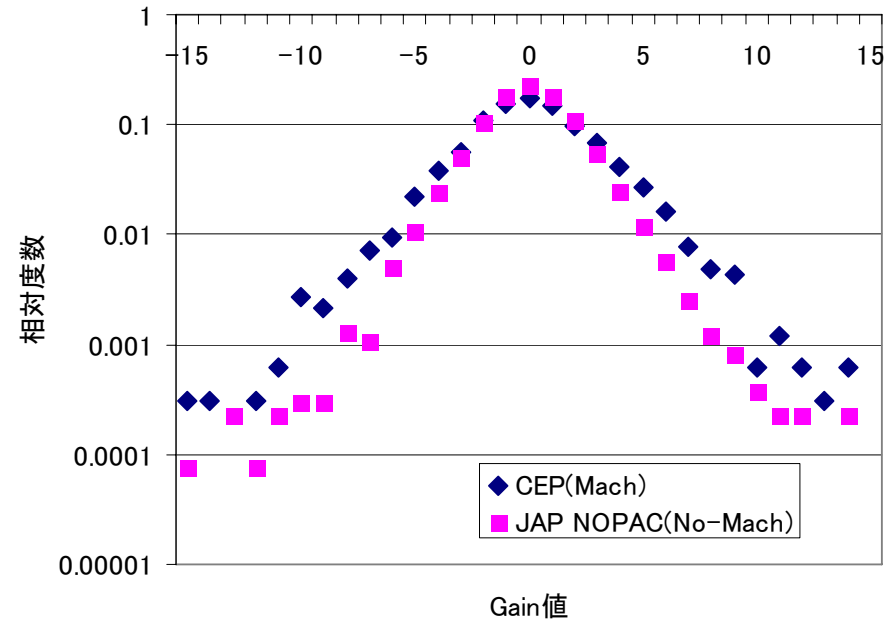
大半が初期時間間隔
が大きいときのデータ

初期時間間隔が短いほど、後続機が先行機より速い場合、合同高度／同経路を飛行させない。

先行機と後続機の速度差をあまり考慮していない場合

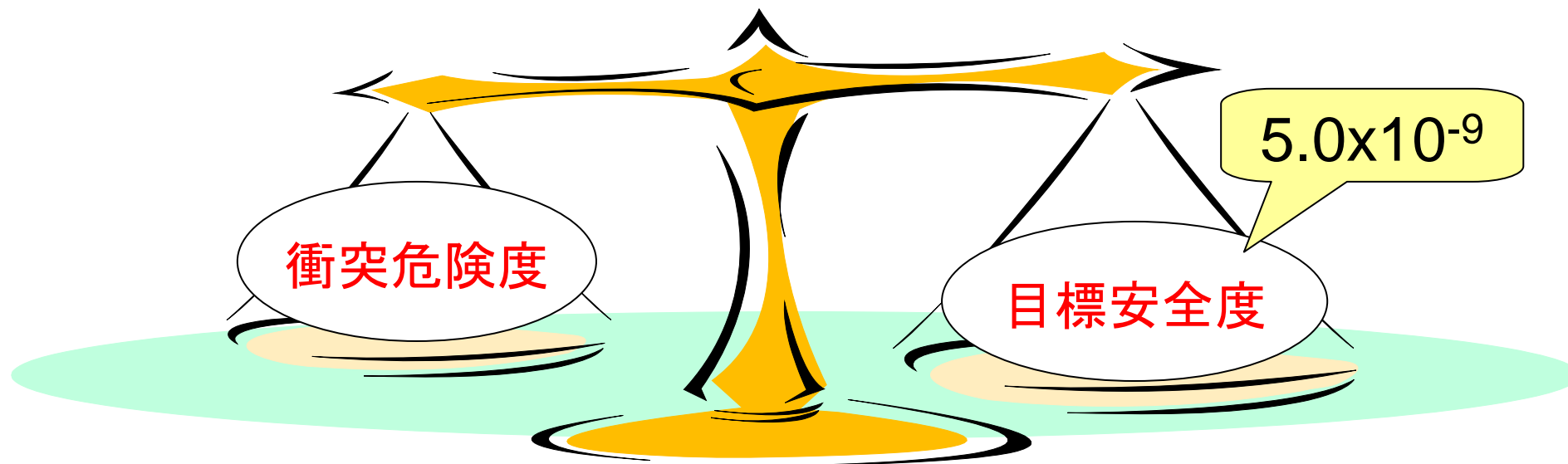
過大評価でも目標安全度を満たせば、安全

Gain/Loss分布の統計量



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

衝突危険度推定値



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

ご清聴ありがとうございました。