

# 受信のみによる航空機の接近時間の予測

鈴 木 力

## Prediction of Collision Time of Aircrafts by Receiving Only

Chikara SUZUKI

Recently air traffic becomes much heavier, so the avoidance of air collision becomes very important problem.

For the avoidance it is most suitable method to confirm the position each other by radar. But radar is too heavy, too large and too expensive for small civilian aircraft.

In this paper the new technique is presented for prediction of collision time. It is done on the basis of the receiving power and its differential coefficient of time.

### 1. ま え が き

航空機の交通量の増加にともない、航空機の異常接近の防止が重要な問題となっている。航空機相互の位置を確認するためには、レーダがもっとも適切であるが、すべての航空機にレーダを搭載することは、重量、寸法、価格等の面で实际的ではない。

本論文は、一方の航空機が放射する電磁波を、他方が受信して、その受信電力を処理することにより、衝突までの時間を予測する方法について述べる。

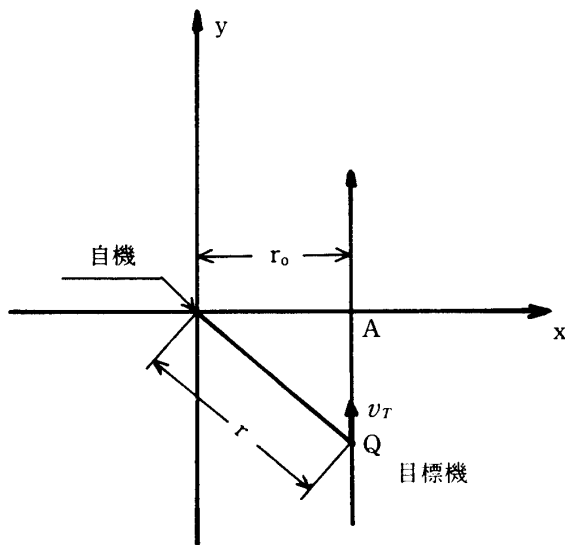
### 2. 測 定 原 理

受信装置を搭載した航空機を自機 (O)、送信装置を搭載した航空機を目標機 (T) と名づける。又、目標機、自機ともに等速直線運動をしているとする。

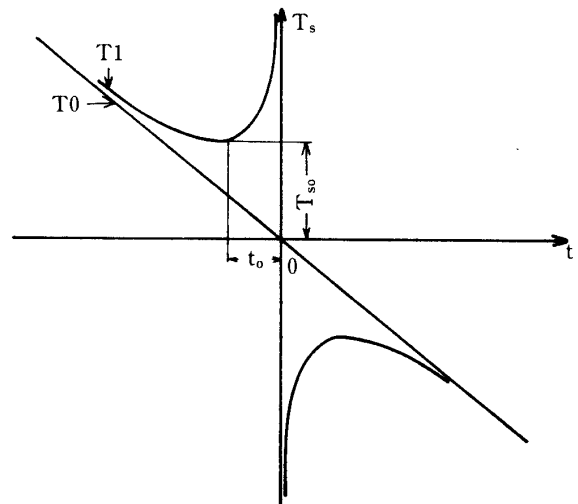
図一 1 に示すように、自機を原点とし、目標機の進行方向に  $y$  軸、それに直角に  $x$  軸をとる。目標機は、自機から  $r$  の距離の点 Q にあり、送信電力  $P_t$  (W)、送信空中線利得  $G_t$  (放射電力  $P = P_t G_t$  (W)) の送信装置から、波長  $\lambda$  (m) の電磁波が放射されているとすると、自機に搭載されている空中線利得  $G_r$  の受信装置の受信電力は、次式で与えられる。

$$P_r = P G_r \left( \frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 \frac{1}{r^2} \quad (1)$$

したがって、受信電力の時間変化率は次式で与えられる。



図一 1 自機と目標機の位置関係



図一 2 接近時間

T 0 : 自機に衝突する目標

T 1 : 自機に異常接近する目標

$$\frac{dPr}{dt} = -2PGr \left( \frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 \frac{1}{r^3} \frac{dr}{dt} \quad (2)$$

(2)式に(1)式を代入すると,

$$\frac{dPr}{dt} = -2Pr \frac{1}{r} \frac{dr}{dt} \quad (3)$$

となり,

$$-r \left/ \frac{dr}{dt} \right. = 2Pr \left/ \frac{dPr}{dt} \right. \quad (4)$$

が得られる。

左辺 $r$ は、時刻 $t$ における自機から目標機までの距離、 $dr/dt$ は、そのときの目標機の接近速度であるから、その接近速度をその後も維持すれば、

$$T_s = -r \left/ \frac{dr}{dt} \right. \quad (5)$$

で与えられる $T_s$ 秒後には、目標機が自機に衝突することになる（以下これを接近時間という）。

(4)式は、接近時間 $T_s$ が受信電力とその時間変化率の比で求められることを示している。

$r$ は自機から目標機までの距離であるから、 $dr/dt$ は、目標機が接近している場合は、 $r$ が時間とともに減少しているのであるから負、したがって、目標機が自機に接近している場合 $T_s$ は正、遠ざかっている場合は負となる。

図一 2 において、横軸に、目標機が自機に最も接近する（図一 1 の点 A）時刻を原点とする時間、縦軸に接近時間 $T_s$ をとると、自機に衝突する目標は直線 T0、異常接近するが衝突しない目標は曲線 T1 のようになる。

即ち、異常接近する目標 T1 の場合には、最接近時刻の $T_0$ 秒前に、接近時間 $T_s$ は減少から急激

な増大に移行し、衝突しない目標であることが認識される。

又、接近時間  $T_s$  は(5)式に関連して述べたように、衝突の危険を示す指標としての性質を持っている。

### 3. 考 察

(1) 目標機が自機に最も接近する位置を A 点とし、OA 間の距離を  $r_0$  とする(図-1)。又計算を簡単にするために、目標機が A 点を通過する時刻を時間  $t$  の原点とし、通過前を負、通過後を正とする。

任意の時刻  $t$  における自機から目標機までの距離  $r$  は、目標機の自機に対する相対速度を  $v_r$  とすると次式で与えられる。

$$r = \sqrt{r_0^2 + v_r^2 t^2} \quad (6)$$

したがって、

$$dr/dt = (v_r^2 t) / \sqrt{r_0^2 + v_r^2 t^2} \quad (7)$$

$$T_s = -r / \frac{dr}{dt} = -\left\{ t + \left( \frac{r_0}{v_r} \right)^2 \frac{1}{t} \right\} \quad (8)$$

$$\frac{d}{dt}(T_s) = -\left\{ 1 - \left( \frac{r_0}{v_r} \right)^2 \frac{1}{t^2} \right\} \quad (9)$$

となる。

上式から、 $T_s$  が最小になる時刻  $t_0$ 、その時の接近時間(最小接近時間)  $T_{s0}$  は次式で与えられる。

$$t_0 = \mp r_0 / v_r \quad (10)$$

$$T_{s0} = \pm 2r_0 / v_r \quad (11)$$

(複号の上側は接近、下側は遠ざかる場合に対応する)。

即ち、 $T_s$ 、 $t_0$ 、 $T_{s0}$  は、 $r_0/v_r$  で定まる。又、 $T_s$  が最小となるとき自機から目標機までの距離は、

$$r_{00} = \sqrt{2} r_0 \quad (12)$$

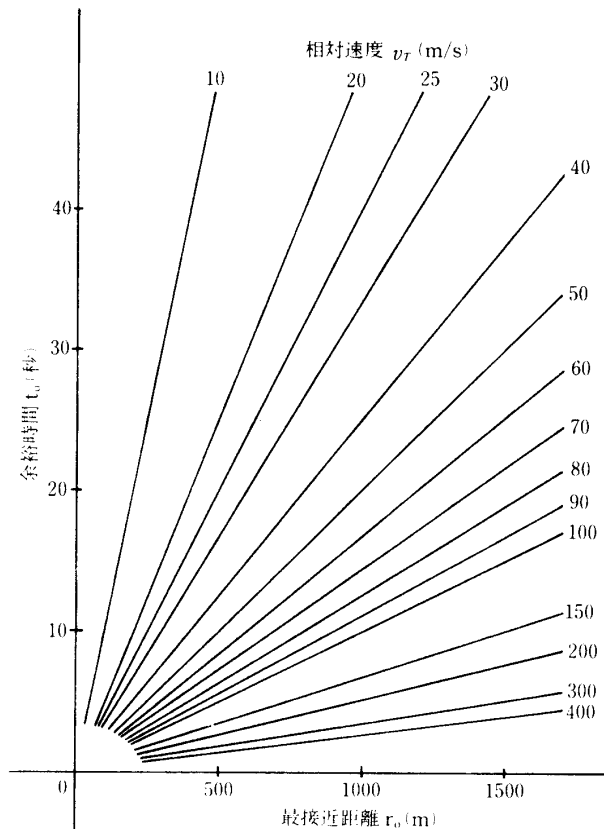
である。

(2) 接近する目標の接近時間  $T_s$  が、減少から増大に移行するのは、最接近時刻の  $t_0$  秒前である(以下  $t_0$  を余裕時間という)。最接近距離  $r_0$  を横軸にとり、相対速度  $v_r$  をパラメータとして余裕時間を求めると、図-3 に示すような直線群が得られる。又、相対速度  $v_r$  を横軸にとり、余裕時間  $t_0$  をパラメータとして最接近距離を求めると、図-4 に示すようになる。

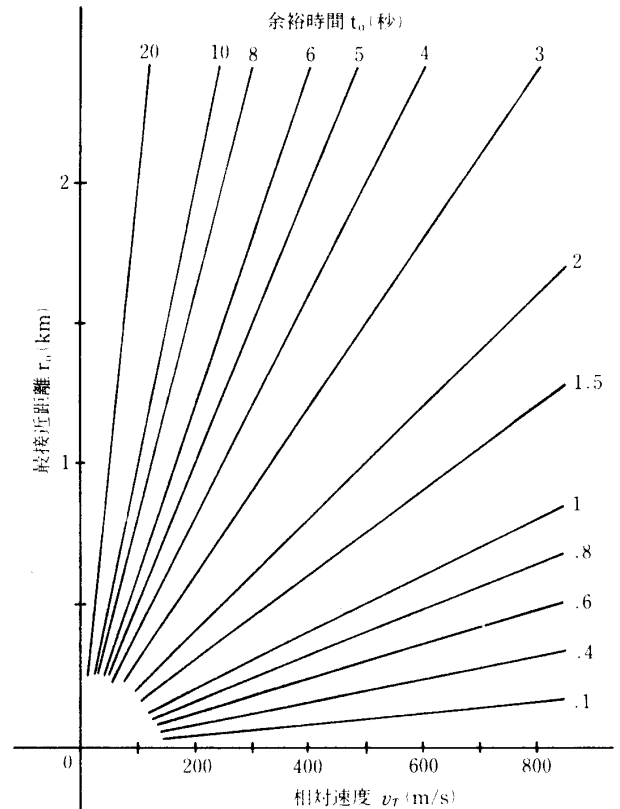
接近する目標が、衝突するか否かを判断する事象として、接近時間  $T_s$  の減少から増大への移行を用いるとすれば、回避に要する時間以下の余裕時間をもつ目標は、衝突するとして処置しなければならない。

パイロットの状況の判断、決心、操作に要する時間や、航空機の応答時間等はさまざまであろうが、実際に起る場面を想像してみると、 $t_0$  はやや小さすぎると思われる。

(3)  $T_s$  の時間変化率は、(9)式からわかるように、衝突する目標 T0 の場合は、-1 を保持するの



図一 3 最接近距離と余裕時間の関係  
(パラメータ：相対速度)



図一 4 相対速度と最接近距離の関係  
(パラメータ：余裕時間)

に対し、異常接近するが衝突しない目標T1の場合は、 $-1$ から接近するにしたがって $+\infty$ に向って変化してゆく。したがって、時間変化率が $-1$ よりすこし大きな値、 $-1+\Delta$ になった時点で、衝突しない目標であると判断することが出来る。(9)式において、 $dTs/dt = -1+\Delta$ とおくと、直ちに次式が得られる。

$$t = \pm \frac{1}{\sqrt{\Delta}} \left( \frac{r_0}{v_r} \right) \quad (13)$$

$\Delta = 0.1$ とすると、 $t = -3.2t_0$ 、又、 $\Delta = 0.2$ とすると、 $t = -2.2t_0$ となり、余裕時間は、約2～3倍改善される。

#### 4. シミュレーション

##### (1) 諸元等

###### ア 送信装置 (目標機)

送信電力： $Pt = 10W$

周波数： $f = 3MHz$  ( $\lambda = 100m$ )

空中線：無指向性

：利得  $Gt = 1$  (0dB)

(放射電力 10W)

###### イ 受信装置 (自機)

空中線：無指向性

：利得  $Gr = 1$  (0dB)

受信間隔：1秒

ウ 初期値，移動速度等（図－5）

(ア) 初期値

目標機座標： $X_T = -15 \times 10^3 \text{m}$

$Y_T = -15 \times 10^3 \text{m}$

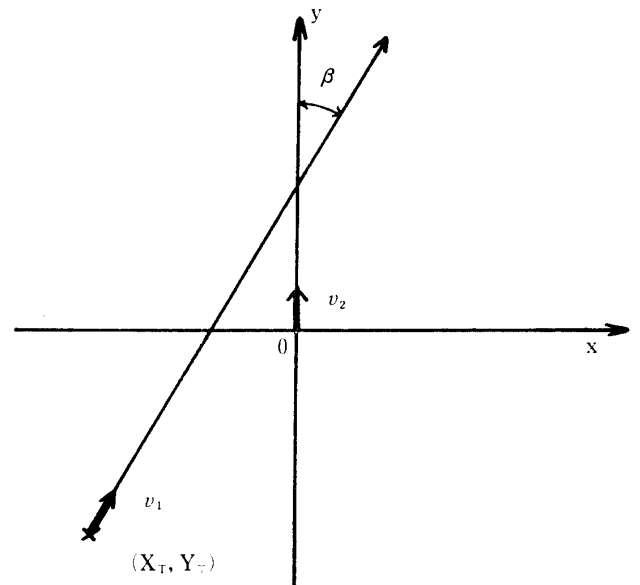
自機座標： $X_o = 0 \text{m}$

$Y_o = 0 \text{m}$

自機進行方向： $y$ 軸正の方向

目標機進行方向（自機進行方向に対し）

： $\beta = 55^\circ \sim 65^\circ$



図－5 シミュレーション計算の航跡

(イ) 移動速度

目標機： $v_1 = 300 \text{m/s}$ （約550ノット）

自機： $v_2 = 109.81 \text{m/s}$ （約216ノット）

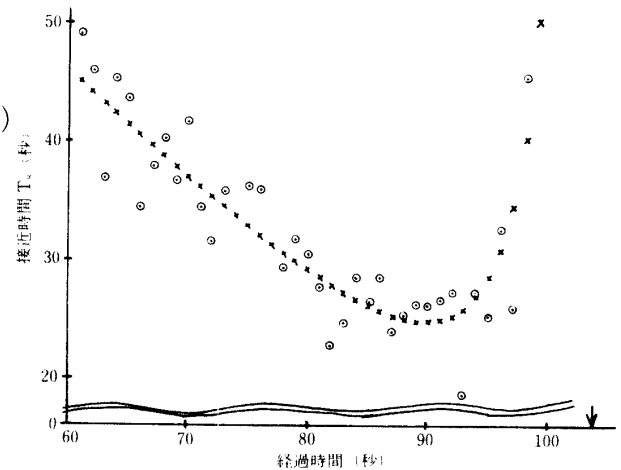
エ 測定誤差

受信電力：10%

受信電力時間変化率：10%

(2) シミュレーション結果

表1及び図－6のとおりであった。又，  
接近時間の誤差は約20%，余裕時間の誤差  
は約40%であった。



図－6 シミュレーション結果の一例  
(NO11)

表－1 シミュレーション結果

項目 No.	目標機進行方向	余 裕 時 間		最小接近時間	交 又 角	相 对 速 度	最接近距離
	$\beta$ (度)	to (秒)		$T_{so}$ (秒)	$r$ (度)	$v_r$ (m/s)	$r_o$ (m)
		真 值	測定値				
1	35	11.3	14	18.8	51.7	219	2472
2	34	9.1	15	16.7	50.4	218	1987
3	33	6.9	5	10.7	49.0	216	1498
4	32	4.7	6	6.9	47.7	215	1003
5	31	2.4	4	5.0	46.4	214	504
6	30	—	—	—	45.0	212	0
7	29	2.4	4	3.9	43.6	211	508
8	28	4.9	4	7.4	42.2	210	1019
9	27	7.4	9	10.7	40.9	208	1534
10	26	9.9	9	14.4	39.4	207	2052
11	25	12.5	9	18.9	38.0	206	2573

#### 4. 結 論

一方の航空機が放射する電磁波を、他方が受信して、その受信電力を処理することによって、衝突までの時間を予測し、危険回避の基準とすることが出来ることを明かにした。

レーダに比し、軽易な装置で実現できる測定法であると考えられる。

#### 5. 謝 辞

本研究の計算に関し、有益な助言をいただいた本学電子計算機室 助教授 加藤芳信氏、同室員 石井信彦氏、清水英行氏の諸氏に感謝する。

#### 参 考 文 献

- (1) R. G. Wiley : Electronic Intelligence : The Analysis of Radar Signals. Artech House, Inc. 1982.
- (2) 鈴木 力 : 受信のみによる異常接近探知法, 電子通信学会総合全国大会 昭和61年3月.
- (3) 鈴木 力, 沢田道弘 : 輻射電力距離測定方法, 特許公報 昭58-31550.