山立ての見通し線誤差によるエリア誤差の計算

図-1に山立ての原理を示す。

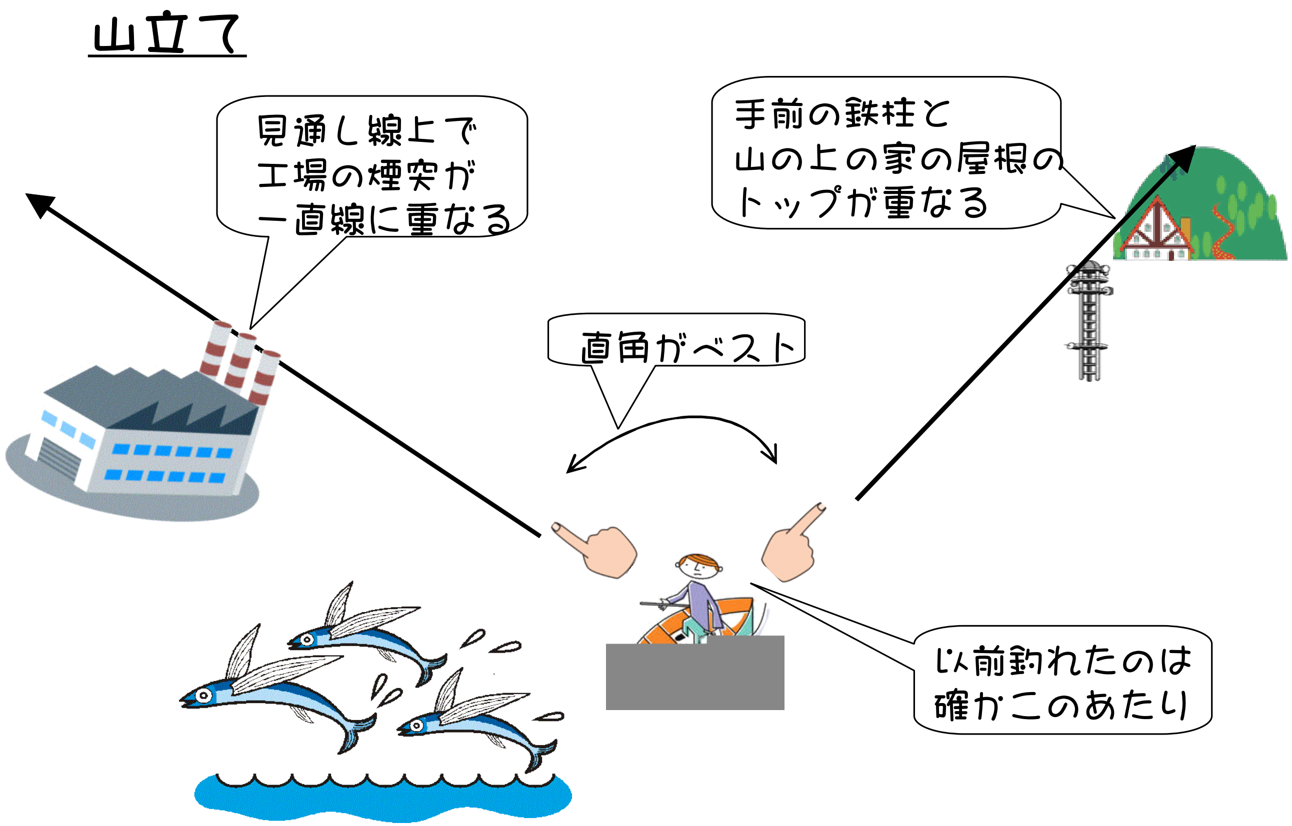

図-1　山立ての原理

図-4は山立ての理想的なモデル、この時は自ボートの位置誤差はない。

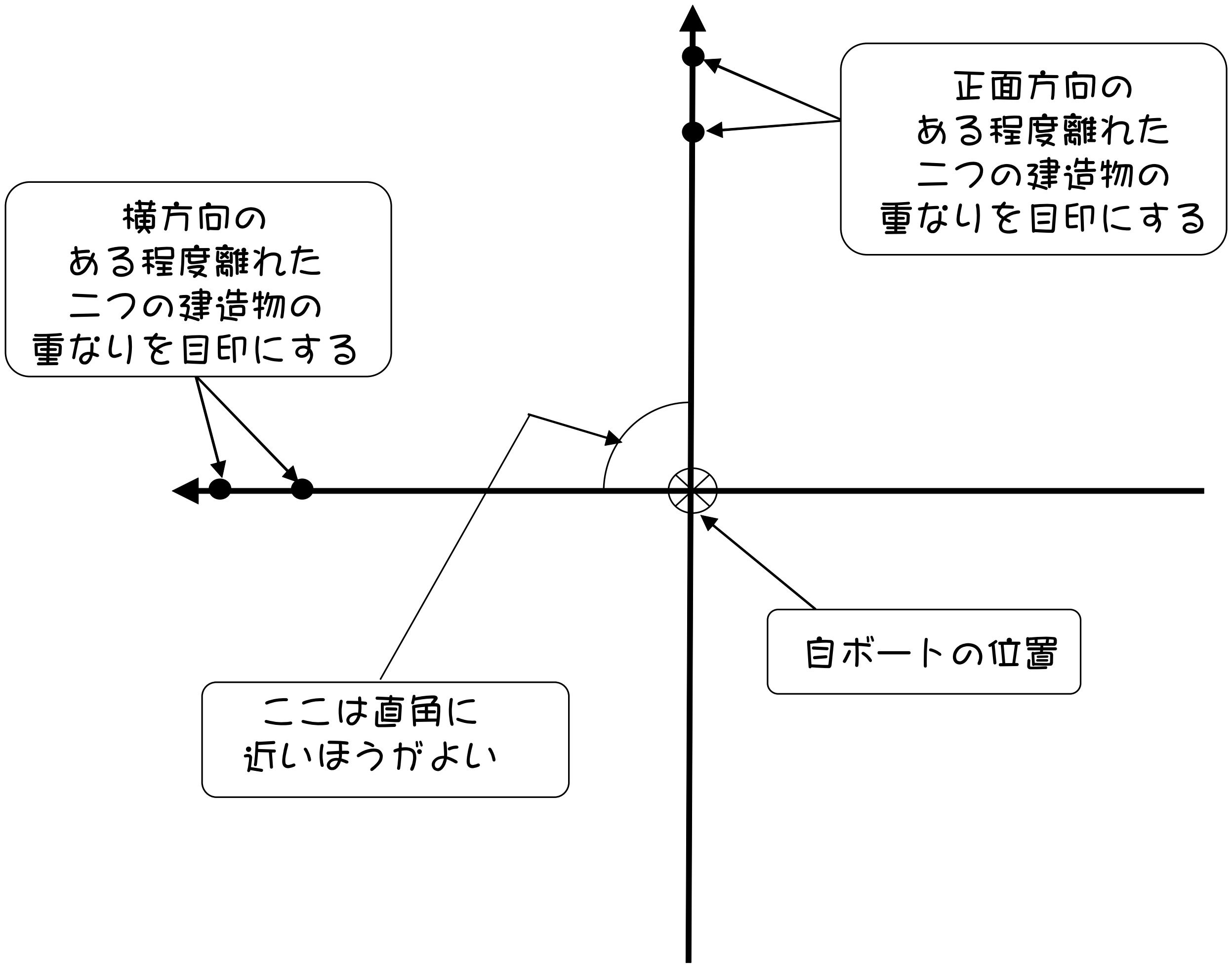

図-4　山立ての理想的なモデル

(注：図2、図3は本資料では欠番）

図-5は見通し線上の建造物の位置判断に
最大e1（正面方向）と最大e2（横方向）の誤差があった場合の
自ボートのエリア範囲を示す。

この場合は、右下方向に誤差範囲が大きいことを示している

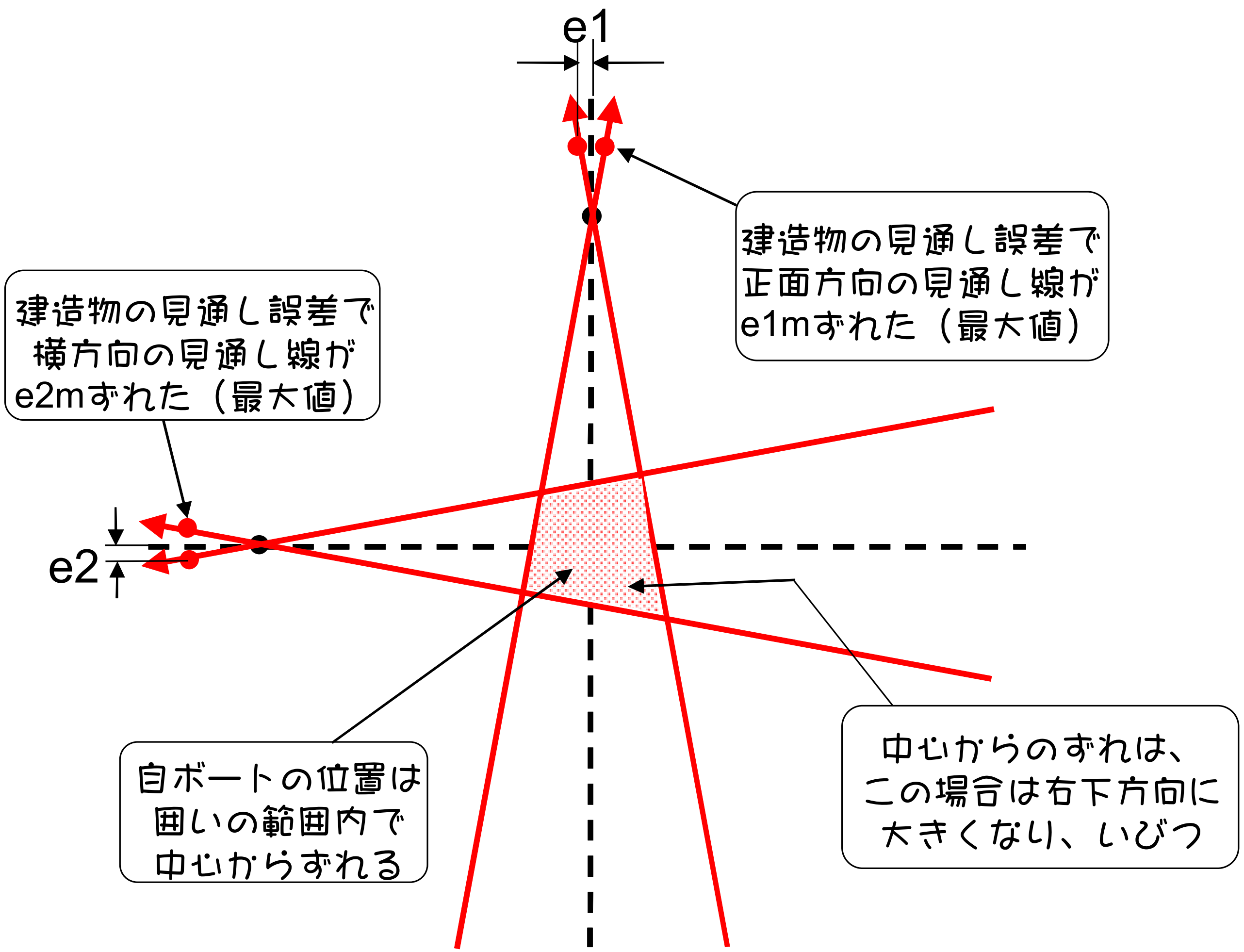

図-5 目印の建造物に対して見通し誤差がある場合のエリア誤差

図-6-1に山立ての一般化したモデルを示す。
山立てでは二つの見通し線が直交しているときに最もよい精度が得られるが
ここでは見通し線が斜めに交差している場合、またボート位置から正面方向と
横方向の目印建造物までの距離が異なることなどを想定し、モデルを一般化した。
なお、見通し線の交差角度（θ）については誤差範囲がθ=0~180とθ=180~360に対して
対象であることからここではθ=0~180について、図中で示したひし形状誤差範囲の本来の
ボート位置からの各角までの最大誤差a、b、c、dの長さを計算する。

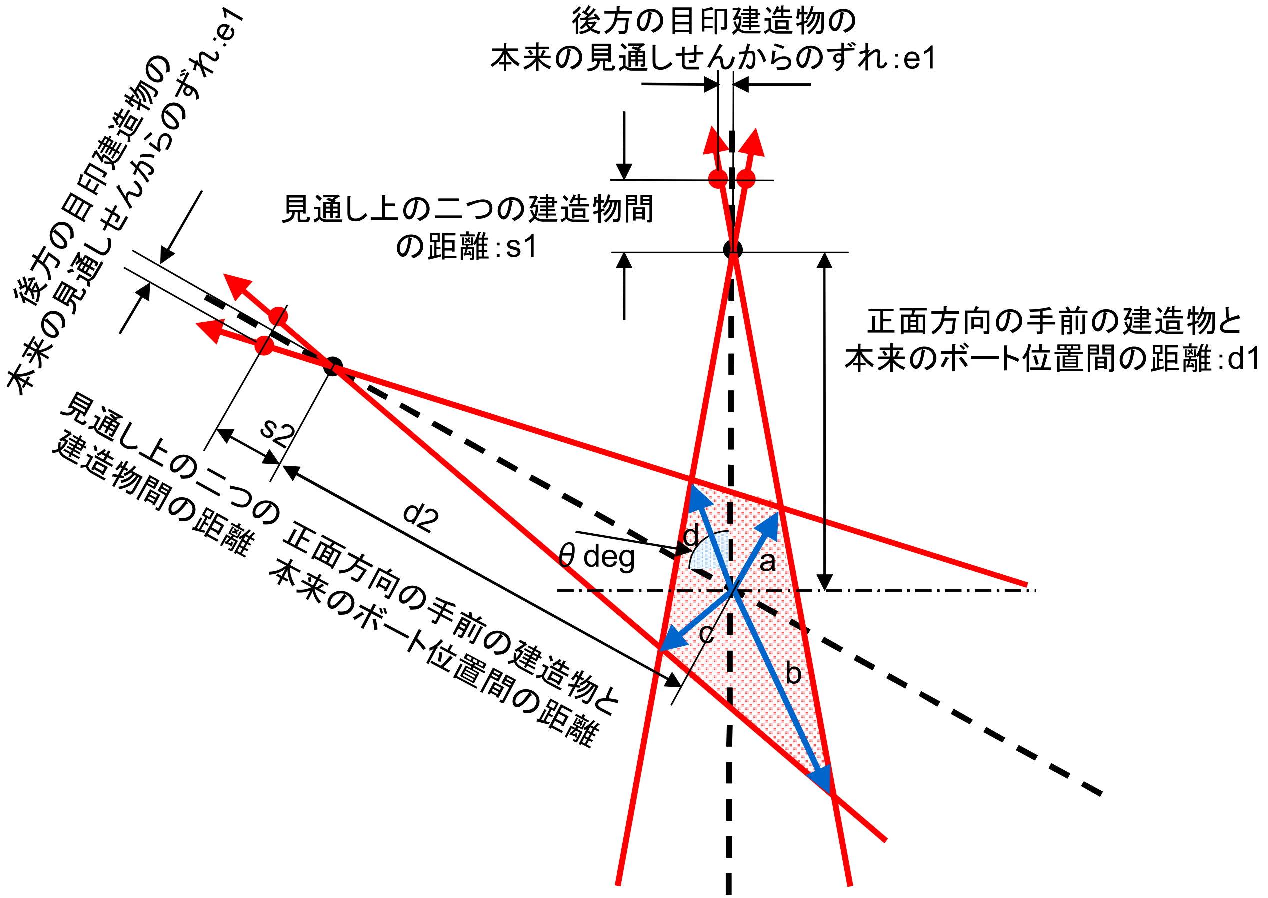

図-6-1　山立てモデルの一般化

長さa、b、c、dを計算するためには4つの見通し線①、②、③、④を
(x,y)=(0,0)を中心とするx-y座標系で一次直線として定義し、
それぞれの見通し線のの交点の座標を求めた後に、ピタゴラスの定理で計算すればよい。

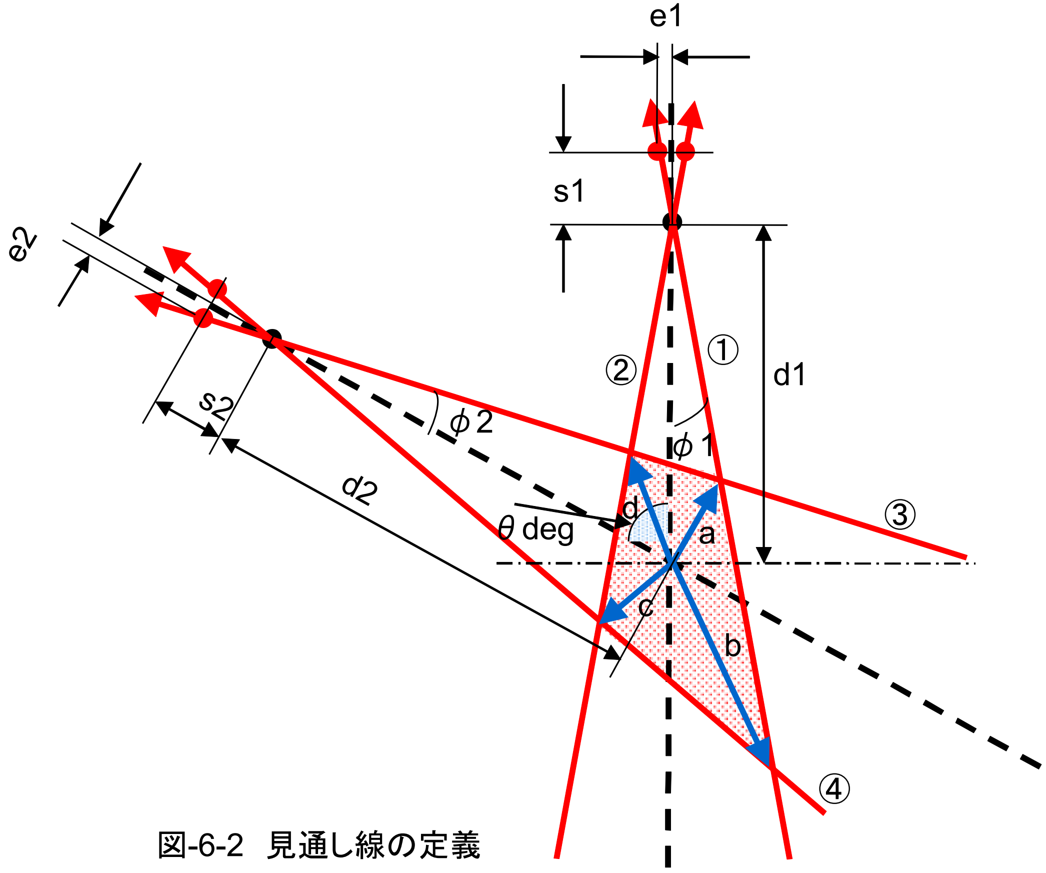

図-6-2 見通し線の定義

ここで、各直線を以下のように定義する。

① $y = a_1 x + b_1$

② $y = a_2 x + b_2$

③ $y = a_3 x + b_3$

④ $y = a_4 x + b_4$

次に各式の傾きaは図より

$a_1 = -s_1 / e_1$

$a_2 = s_1 / e_1$

$a_3 = \tan((\theta + 90) + \varphi_2)$

$a_4 = \tan((\theta + 90) - \varphi_2)$

ここで、$\varphi_2 = \tan^{-1} e_2 / s_2$

直線③と④の切片については

図-6-3に示す拡大図を参考にして

$\alpha = 90 - \theta$

直線③の傾き角度は$\theta + 90 + \varphi_2$であることから

$\beta = 180 - (\theta + 90 + \varphi_2)$

直線④の傾き角度は$\theta + 90 - \varphi_2$であることから

$\gamma = 180 - (\theta + 90 - \varphi_2)$

である。

一方、

$e_2 : s_2 = r : d_2$　より

$r = e_2 d_2 / s_2$

これらを使って切片を表すと

$b_3 = r\cos\alpha + r\sin\alpha\tan\beta$

$b_4 = -(r\cos\alpha + r\sin\alpha\tan\gamma)$

となる。

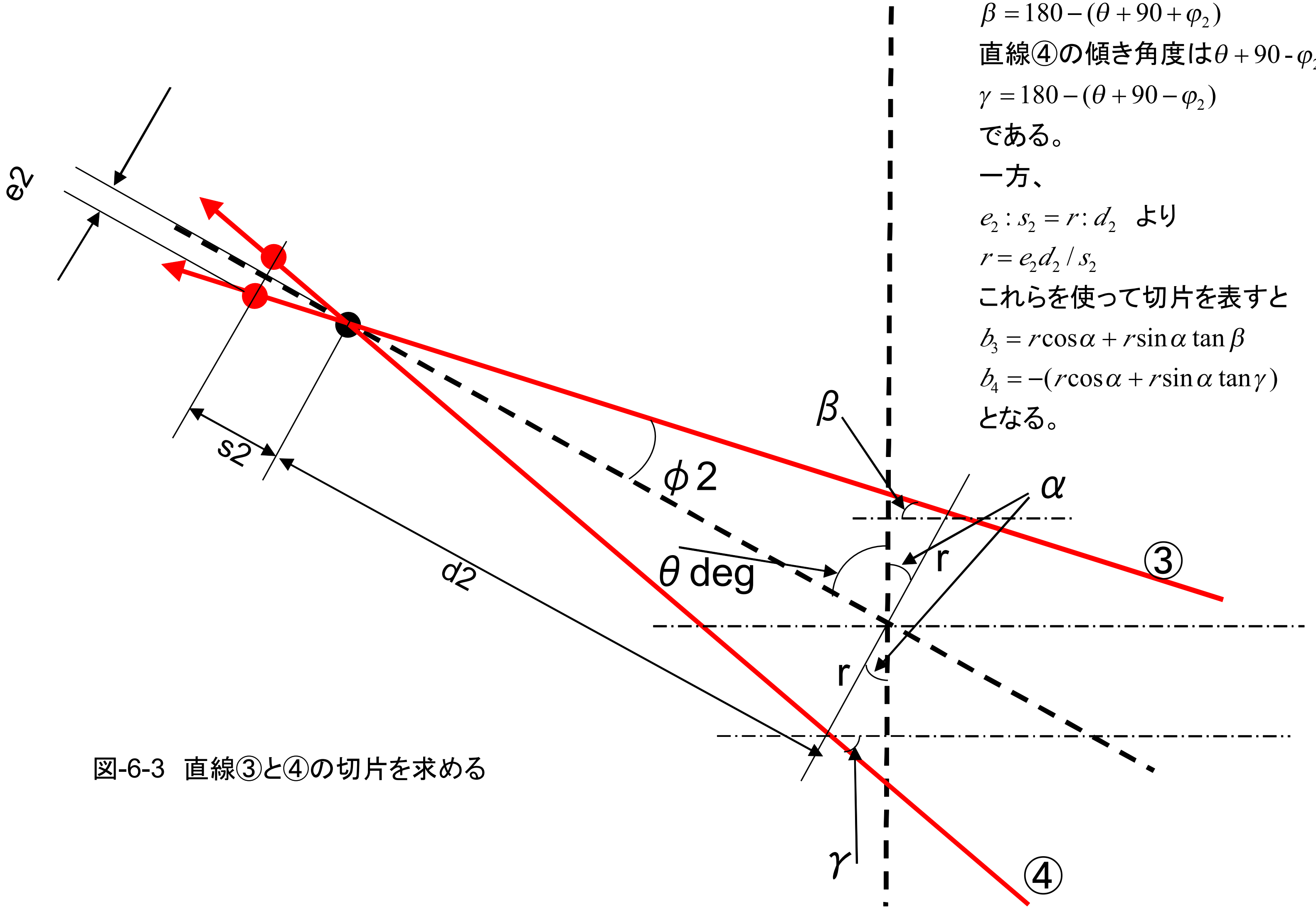

図-6-3　直線③と④の切片を求める

以上より、求めた4つの直線の傾きと切片を次表にまとめる

	傾き(a)	切片(b)
直線①	$a_1 = -s_1 / e_1$	$b_1 = d_1$
直線②	$a_2 = s_1 / e_1$	$b_2 = d_1$
直線③	$a_3 = \tan(\theta + 90 + \tan^{-1} e_2 / s_2)$	$b_3 = (e_2 d_2 / s_2)(\cos(90 - \theta) + \sin(90 - \theta) R_1)$ 但し、$R_1 = \tan(90 - \theta - \tan^{-1} e_2 / s_2)$
直線④	$a_4 = \tan(\theta + 90 - \tan^{-1} e_2 / s_2)$	$b_4 = -(e_2 d_2 / s_2)(\cos(90 - \theta) + \sin(90 - \theta) R_2)$ 但し、$R_2 = \tan(90 - \theta + \tan^{-1} e_2 / s_2)$

次に4つの交点（最大誤差a, b, c, dに対応する）の座標$(x_a, y_a), (x_b, y_b), (x_c, y_c), (x_d, y_d)$を求める。

直線①、③の式より

$$a_1 x_a + b_1 = a_3 x_a + b_3$$

$$\therefore x_a = (b_3 - b_1)/(a_1 - a_3)$$

$$\therefore y_a = a_1(b_3 - b_1)/(a_1 - a_3) + b_1$$

直線①、④の式より

$$a_1 x_b + b_1 = a_4 x_b + b_4$$

$$\therefore x_b = (b_4 - b_1)/(a_1 - a_4)$$

$$\therefore y_b = a_1(b_4 - b_1)/(a_1 - a_4) + b_1$$

直線②、④の式より

$$a_2 x_c + b_2 = a_4 x_c + b_4$$

$$\therefore x_c = (b_4 - b_2)/(a_2 - a_4)$$

$$\therefore y_c = a_2(b_4 - b_2)/(a_2 - a_4) + b_2$$

直線②、③の式より

$$a_2 x_d + b_2 = a_3 x_d + b_3$$

$$\therefore x_d = (b_3 - b_2)/(a_2 - a_3)$$

$$\therefore y_d = a_2(b_3 - b_2)/(a_2 - a_3) + b_2$$

最後に、交点の座標からピタゴラスの定理により座標$(0,0)$から各交点までの距離a, b, c, dを求める。

$$a = \sqrt{{x_a}^2 + {y_a}^2}$$

$$b = \sqrt{{x_b}^2 + {y_b}^2}$$

$$c = \sqrt{{x_c}^2 + {y_c}^2}$$

$$d = \sqrt{{x_d}^2 + {y_d}^2}$$