

航路交差点における船舶衝突事故率の推定

京都大学工学部 正会員 黒田 勝彦
京都大学工学部 正会員 〇喜多 秀行

1 はじめに

船舶が大型化、高速化するとともに船舶交通量が増加し、主要狭水路や港湾における航路で輻輳が顕著となつてきている。また、タンカーやLNG船といった危険物輸送船の増加は、一たび事故が発生した場合の莫大な経済的損失と環境への被害の発生を意味する。このような背景のもとで、水路の計画や設計と行なうにあたり安全性に対する検討が経済性に対するものと同様不可欠なものとなつており、海難事故の分析と事故防止のための研究が要請されている。

筆者らは、航路計画に資することを目的とする立場から、まず、交通事故的海難、なかでも大きな割合を占める衝突事故に着目し、衝突事故率と交通特性、航路特性との関係と明らかにしようとしている。このうち、横切りのない直線航路における衝突確率推定モデルも既に提案した^{1),2)}。しかしながら、分析の対象とすべき狭水路は陸地が近接している箇所であるがために横断交通量が無視できない程多い所があり、また、今後交通量が増加する際に交錯が生じ事故の危険度が高くなるのは航路交差点部であると考えられるため、今回横切り船舶とも考慮できるようにモデルの拡張を図ろうとするものである。

本研究では、まずモデルの作成にあたって設定した前提と列挙し、衝突確率推定プロセスの概要と述べる。次に、出会い隻数ならびに出会い時の避航失敗確率から航路交差点部における衝突確率を導く。そして、実際の航路交差点部に例に推定値と実測値と比較することによりモデルの妥当性を検討し、航路、交通特性に関する若干の感度分析も行なう。

2. 衝突確率の推定プロセス

2-1 モデルの前提と避航動態のモデル化

解析の対象とする航路は、図-1に示す如く、長さ L_{c1} 、幅 W_1 、および長さ L_{c2} 、幅 W_2 の2本の一樣な水路が角度 ϕ で交差している航路区間である。この航路上を、避航時を除いて船舶は水路と平行に一定速度で航行し、その航行は互いに他と独立であるものとする。横切り船舶との衝突を論じる際には船幅の影響は小さいと考え、船舶と垂線間長 L とその長さとする線分で表現し、船分の船首側端点をもってその船舶の位置とする。この線分が一部でも重なった場合を「衝突」、避航動作をとることなくそのまま進めば衝突に至る位置関係にある状態を「出会い」と定義する。

交差する2船が出会った時、どちらかの航路に優先指定がない限り、相手船と自船の右舷に見る船舶(義務船)のみが相手船の船尾側へ右転するように避航動作をとり、自船の左舷に相手船と見る船舶(保持船)は速度、進行方向とも変更しないものとする。これは、一般水域における避航方法と規定した海上衝突予防法に基づいている。また、避航際船の際機関の操作や投錨は行なわず、変針のみによるものと仮定する。変針に伴う航跡の変

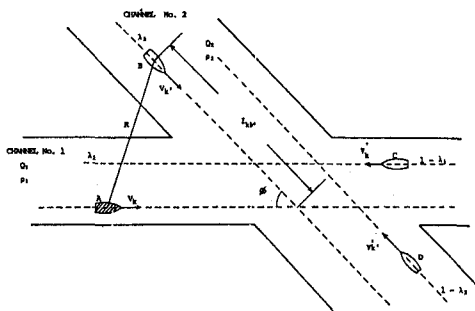


図-1 解析対象航路の概念図

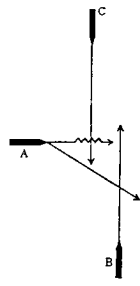


図-2 多重通過の一例

化は折線と近似し、変針角は一定とする。なお、時として2隻以上の船舶が同時に出会う場合(多重遭遇)が生じ、その一例を図-2に示すが、現行の海上衝突予防法に従えば、図中の船舶Aは船舶Cに対して速度、進行方向を保持すると同時に船舶Bに対して避航動作をとらねばならないこととなり、実際に避航は状況に応じて各船舶の判断に委ねられているのが現状である。したがって、規範的な避航動作の記述も困難となるため、本研究では多重遭遇を考慮せず、n隻との出会いは1隻対1隻の出会いがn回生じたものとみなす。

2-2. 衝突確率の推定プロセス

船舶は水路と航行する際、地形、潮流、規制等と考慮して一定のコースラインを設定し、それに沿って航行しようとする。航行中に他の船舶と衝突する可能性が生じた場合には、これを避航することによって危険な状態と脱しようとするが、何らかの原因(前方不注意、操船ミス等)により相手船と完全に避航しきれない衝突に至る。

図-3に、本モデルによる、1隻1トリップ当たりの衝突確率を推定するプロセスを示す。モデルへの入力は水路特性、交通特性、ならびに船舶特性であり、気象、海象等の自然条件と操船者特性は、その平均的な状態あるいはばらつきの程度が、観測値として取り込まれている船舶挙動に反映されているものと考えている。

まず、交通特性、水路特性、船舶特性から、2船間の避航失敗確率と交差点で出会う船舶の隻数からn隻である確率と、それぞれ出会いの形態(保持船としての出会い、義務船としての出会い)別、船型別、速度別に導く。そして、船型K、速度 V_k と有する着目船が船型 K' 、速度 $V_{k'}$ と有する相手船との1隻とも衝突することなく航路交差点を通過する確率と求め、その余事象の確率として航路交差点内での船型別、速度別衝突確率を求める。そして、着目船、相手船の船型、速度に関する期待値をとることにより、任意船舶の平均的な衝突確率が得られ、これは航路交差点が有する衝突危険度とする。このようにして計算される航路交差点の衝突危険度と、別途求める同航、反航船に対する衝突危険度から、解析の対象とする航路区間の持つ衝突危険度が求まる。

3. 衝突確率推定モデル

3-1 出会い隻数とその確率

まず、出会いの形態について考える。着目船Aが相手船Bと出会う際に、船Aが船Bに対して保持船(Stand-on Vessel)となる場合と義務船(Give-way Vessel)となる場合の2つの形態があり、以下、前者には赤字S、後者には赤字Gをつけて区別する。今、着目船が保持船である場合と考える。図-4において、衝突が起こる時、航路1と航行する船Aから見て最も早い時期(船Bがそれ以上早く通過すれば衝突しないという意味)にあたるのが(a)であり、最も遅い時期(船Bがそれ以上遅く通過すれば衝突しないという意味)にあたるのが(b)である。

図-5の位置にいる船Aが船Bと衝突するまでに進む距離は、船Aと両船の進路の交点Oとの距離をa、船Aと船Bの船舶長を L_k 、 $L_{k'}$ として、それ

ぞれaおよび $a+L_k$ であるから、

図-5の状態から図-4(a)、(b)の状態へ移る時間 t_1 、 t_2 は、

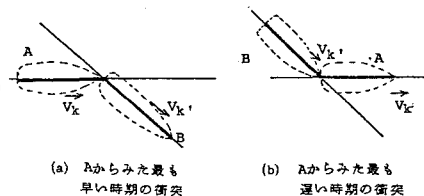
$$\left. \begin{aligned} t_1 &= \frac{a}{V_k} \\ t_2 &= \frac{a+L_k}{V_k} \end{aligned} \right\} \text{----- (1)}$$


図-4 衝突の時機と位置関係

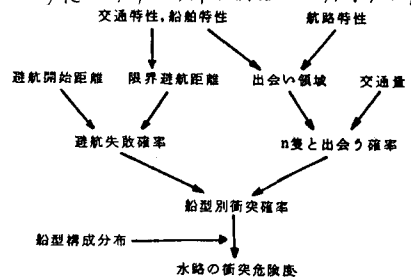


図-3 衝突確率の推定プロセス

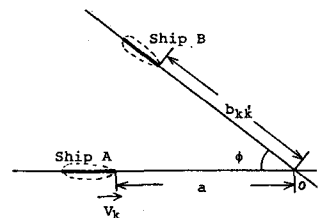


図-5 進路交点までの距離

で与えられる。両船の進路の交点から船Bの船首までの距離を b とすれば、最も早い時期の出会いとなる船Bの位置 b_1 と、最も遅い時期の出会いとなる船Bの位置 b_2 は、それぞれ、

$$\left. \begin{aligned} b_1 &= t_1 V_K - L_K' = a \cdot \frac{V_K'}{V_K} - L_K' \\ b_2 &= t_2 V_K' = (a + L_K) \frac{V_K'}{V_K} \end{aligned} \right\} \text{----- (2)}$$

となる。ここに V_K 、 V_K' は船A、Bの速度である。これより、任意の位置と航行する船Aと航路交差点で出会う船は、両船の進路交点Oから距離 b_1 と b_2 の間と航行している船であることがわかる(図-6)。船Bの進路は航路2の航路幅方向の全ての位置ととりうるため、結局、図-7に示す斜線の領域(出会い領域)に存在する船舶が交差点で船Aと出会うことになる。ここで、このようにして与えられる出会い領域の面積は、船Aと船Bの速度比と船舶長、航路交差角の4から定まり、船Aの位置には依存しないことに注意しておく必要がある。

次に、出会い領域内に存在する船舶数を求めよう。航路上と航行する船舶がある見通し線上に到着する到着時間間隔はポアソン分布に従うことが報告されている。これを基に、各船型別に見た船舶到着時間間隔の分布もポアソン分布に従うものと仮定する。船型Kの着目船が船型K'の相手船 n 隻と出会う確率 $P_{ENC}(n|K, K', V_K, V_K')$ は、着目船の出会い領域に船型K'の船が n 隻存在する確率であることは前に述べた。これは、

$$\delta t = \frac{b_2 - b_1}{V_K'} = \frac{L_K}{V_K} + \frac{L_K'}{V_K'} \text{----- (3)}$$

で与えられる時間間隔 δt に、出会い領域の上流側の境界線上と船型K'の船が n 隻通過する確率に等しい。(したがって、船型K、速度 V_K の着目船Aが船型K'、速度 V_K' の相手船 n 隻と出会う確率 $P_{ENC}(n|K, K', V_K, V_K')$ は、船Aを保持船と考えている λ の添字 S とつけて、

$$P_{ENC}^S(n|K, K', V_K, V_K') = \frac{\{\lambda_2 \cdot Q_2 \cdot Q_2(K') \cdot \delta t\}^n}{n!} e^{-\lambda_2 \cdot Q_2 \cdot Q_2(K') \cdot \delta t} \text{----- (4)}$$

と計算される。ここに、 λ_2 は航路2における方向別交通量比(1方向交通量と全交通量の比)、 Q_2 は航路2の交通量 $Q_2(K')$ は船型K'の船舶の全交通量に対する確率密度である。

船型Kと船舶長 L_K で表わすと、 $\log L_K$ が正規分布 $N(\mu_{\log L_K}, \sigma_{\log L_K})$ に従うことが知られている。着目船Aが義務船となる場合は航路2と逆方向に航行する船舶と考えればよいから、方向別交通量比のみを変えて、次式となる。

$$P_{ENC}^G(n|K, K', V_K, V_K') = \frac{\{(1-\lambda_2) \cdot Q_2 \cdot Q_2(K') \cdot \delta t\}^n}{n!} e^{-(1-\lambda_2) \cdot Q_2 \cdot Q_2(K') \cdot \delta t} \text{----- (5)}$$

3-2 避航失敗確率

図-8は衝突の形態を示したものである。前節で述べた最も早い時期に衝突する船が衝突と回避するためには、船首が着目船の進路と横切る時点で、 $d_{KK'}$ 、

$$d_{KK'}^S = L_K + \frac{V_K}{V_K'} \cdot L_K' \text{----- (6)}$$

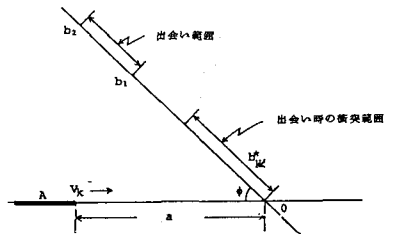


図-6 出会い範囲とその長さ

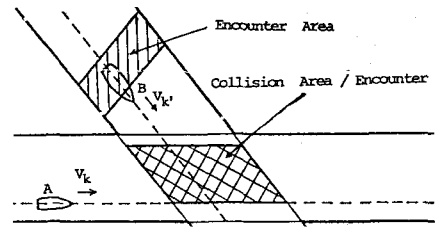


図-7 出会い領域と衝突領域

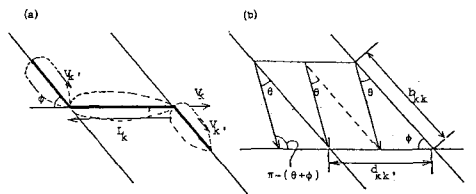


図-8 出会いの時期と避航航路

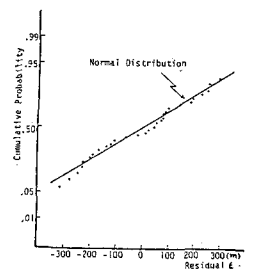


図-9 避航開始距離のランダム項の分布

だけ側方に変位させることが必要である。そこで、船首と船尾が同じ航跡ととらえて、避航航跡は(b)の如く示される。これより、2船の出会いの時期によって、避航のため側方に変位すべき距離は $0 \sim d_{KK'}$ であり、その距離はランダムに定まる。そこで、平均距離 $d_{KK'}/2$ をもってこの距離と代表せると、変針角 θ のもとで、着目船の進路と横切る時点で $d_{KK'}/2$ 以上変位するために避航を開始（なければならぬ距離の最小値 $b_{KK'}^*$ と避航限界距離と呼ぶことにすると、 $b_{KK'}^*$ は、

$$\frac{b_{KK'}^*}{\sin\{\pi-(\phi+\theta)\}} = \frac{d_{KK'}/2}{\sin\theta} \quad \text{---- (8)}$$

なる関係と(6)式から

$$b_{KK'}^* = \frac{\sin(\phi+\theta)}{2\sin\theta} \left(L_K + \frac{V_K}{V_{K'}} \right) L_{K'} \quad \text{---- (9)}$$

として与えられる。着目船Aと避航すべき相手船Bが、進路交点Oから距離 $0 \sim b_{KK'}^*$ の範囲で避航を開始しようとしても両船は衝突をまぬがれない。着目船Aが義務船のときは $\phi \geq \pi - \theta$ とし、船型に関する添字KとK'とを交換して次式となる。

$$b_{KK'}^* = \frac{\sin(\phi-\theta)}{2\sin\theta} \left(L_{K'} + \frac{V_{K'}}{V_K} \right) L_K \quad \text{---- (10)}$$

次に、着目船Aと避航すべき相手船Bが避航に失敗し、衝突する確率を求めよう。義務船が避航を開始した地点から保持船の進路との交点までの距離を「避航開始距離、 $l_{KK'}$ 」と名付ける。この避航開始距離は船舶特性、交通特性等により異なる値となり、かつ操船者特性や自然条件によるばらつきを伴っており、

$$l_{KK'} = \bar{l}_{KK'} + \varepsilon \quad \text{---- (11)}$$

と表わす。ここで、 $\bar{l}_{KK'}$ は上述の諸特性の関数となり、 ε はランダム変数である。運輸省才三湾建設局の観測結果より、 $\bar{l}_{KK'}$ は義務船の船種・数 $q_{TK'}$ 、義務船の速度 $V_{K'}$ 、避航開始時の2船間の距離 R の関数とすれば説明力が高く、その時の残差 ε の分布は平均値0の正規分布と見なせることがわかってゐる。残差の分布の1/3が図-9に示す。このことより、着目船および相手船の避航開始距離分布 $\phi(l_{KK'}^g)$ 、 $\phi(l_{KK'}^f)$ は次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} \phi(l_{KK'}^f) &= \bar{l}_{KK'}(q_{TK'}, V_{K'}, R | K, K') + \varepsilon(0, \sigma_\varepsilon^2) \\ \phi(l_{KK'}^g) &= \bar{l}_{KK'}(q_{TK}, V_K, R | K, K') + \varepsilon(0, \sigma_\varepsilon^2) \end{aligned} \right\} \quad \text{---- (12)}$$

上式で表わされる避航開始距離分布 $\phi(l_{KK'}^f)$ 、 $\phi(l_{KK'}^g)$ を知ることにより、船型、速度がそれぞれ K 、 V_K の義務船が同じ K 、 V_K の保持船に出会、実際の避航失敗確率 $P_F^3(K, K', V_K, V_{K'})$ は、相手船の避航開始距離 $l_{KK'}$ が限界避航距離 $b_{KK'}^*$ より小さい確率として次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} P_F^f(K, K', V_K, V_{K'}) &= \text{Prob}[l_{KK'}^f \leq b_{KK'}^*] = \int_0^{b_{KK'}^*} \phi(l_{KK'}^f) dl_{KK'}^f \\ P_F^g(K, K', V_K, V_{K'}) &= \text{Prob}[l_{KK'}^g \leq b_{KK'}^*] = \int_0^{b_{KK'}^*} \phi(l_{KK'}^g) dl_{KK'}^g \end{aligned} \right\} \quad \text{---- (13)}$$

3-3 航路交差点における衝突確率

航路交差点において、船型Kの着目船（保持船）と船型K'の義務船と衝突することなく交差点を通過（終える）確率 P_{safe} は(13)式の避航失敗確率 $P_F^f(K, K', V_K, V_{K'})$ と(4)式の出会ひ隻数の確率 $P_{\text{Enc}}(n | K, K', V_K, V_{K'})$ より、

$$P_{\text{safe}}^f(K, K', V_K, V_{K'}) = \sum_{n=0}^{\infty} \{1 - P_F^f(K, K', V_K, V_{K'})\}^n \cdot P_{\text{Enc}}(n | K, K', V_K, V_{K'}) \quad \text{---- (14)}$$

で与えられる。ここで、 $P_F^f(K, K', V_K, V_{K'}) \ll 1$ であるので上式は次のように変形される。

$$P_{safe}^S(K, K', V_K, V_{K'}) = \sum_{n=0}^{\infty} \{ 1 - n \cdot P_F^S(K, K', V_K, V_{K'}) \} \cdot P_{ENC}(N | K, K', V_K, V_{K'})$$

$$= 1 - \lambda_2 Q_2 \varphi_2(K') \delta \cdot P_F^S(K, K', V_K, V_{K'}) \quad \text{---- (14')}$$

$\lambda_2 Q_2 \varphi_2(K') \delta$ は航路2を航行する船型 K' の義務船の時間あたりの交通量である。着目船が義務船となる場合の非衝突確率 $P_{safe}^G(K, K', V_K, V_{K'})$ も同様に、

$$P_{safe}^G(K, K', V_K, V_{K'}) = 1 - (1 - \lambda_2) Q_2 \varphi_2(K') \delta \cdot P_F^G(K, K', V_K, V_{K'}) \quad \text{---- (15)}$$

で与えられる。(1)より、船型 K 、速度 V_K の着目船が、交差航路と通航する船型 K' 、速度 $V_{K'}$ のいずれとも衝突しない確率 $P_{safe}(K, K', V_K, V_{K'})$ は、次式の如く両者の積として得られる。

$$P_{safe}(K, K', V_K, V_{K'}) = P_{safe}^S(K, K', V_K, V_{K'}) \cdot P_{safe}^G(K, K', V_K, V_{K'})$$

以上の議論は、ある特定の船型、速度を有する着目船と相手船についてなされてきた。実際の船舶交通流では船型、速度は範囲にわたっている。とれ故、横切り船舶に対する平均的な衝突危険度 $P_{c, cross}$ は、全ての船型速度の船舶が衝突しないという事象の余事象の確率として求めなければならぬ。藤井は突能観測調査とともに、船型構成分布 $\varphi(L)$ も船型別航行速度分布 $\varphi(V_K)$ の分布形を明らかにしている。これをを用いて、横切り船舶に対する平均的な衝突危険度 $P_{c, cross}$ は次のように定式化される。

$$P_{c, cross} = 1 - \int_0^M \int_0^M \int_0^M \int_0^M \{ 1 - P_{safe}(K, K', V_K, V_{K'}) \} \varphi_1(L_K) \varphi_2(L_{K'}) \varphi(V_K) \varphi(V_{K'}) dV_K dV_{K'} dL_K dL_{K'} \quad (17)$$

なお、交差航路におけるトータルな衝突危険度 P_c は、反航船と同航船に対する衝突危険度 $P_{c, straight}$ とらべに横切り船に対する衝突危険度 $P_{c, cross}$ より、次式で与えられる。

$$P_c = 1 - (1 - P_{c, straight})(1 - P_{c, cross}) \quad \text{---- (18)}$$

4. 推定結果とその検討

4-1 備護瀬戸への適用

交差点の航路指定されている備護瀬戸東部および西部(図-10)に対して本モデルを適用し、衝突危険度と求めた。ただし、東部では備護瀬戸東航路(両側通行)が宇高東航路、宇高西航路(それぞれ片側通行)と、西部では備護瀬戸北航路(片側通行)が水島航路(両側通行)と交差するものとして衝突確率と求め、備護瀬戸南航路は交差のない航路として扱った。また、交差点における左右折船舶は全交通量に占める割合が小さいこともあり、今回は考慮しないものとする。モデルへのインプット・データは表-1に示す。

なお、備護瀬戸東部、西部とも海上交通安全法(一般法)による海上衝突予防法に對し特別法となる)による最高速度制限と優先指定がなされ

	L km	W m	Q ships/hr	λ	M	σ
東航路	37.0	1400	23.2	0.498	1.91	0.575
宇高東航路	5.0	700	7.3	0.987	1.44	0.504
宇高西航路	6.0	700	7.7	0.987	1.47	0.517
北航路	22.0	700	13.3	0.013	1.71	0.463
水島航路	14.0	700	5.2	0.276	1.31	0.499
南航路	23.0	700	15.3	0.986	1.77	0.476

Q: 海上保安庁通航船舶突能調査報告書より1973~1977の5年間平均

ているため、計算に 表-1 備護瀬戸における航路諸元

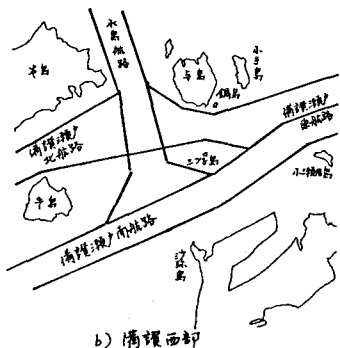
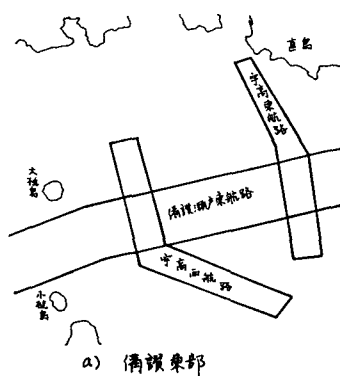


図-10 備護瀬戸航路図

めたつては以下の事項と考慮した。最高速度制限は宇高東航路、西航路と除き12ノットである。備護比航路は水島航路に優先する。また、避航開始距離を規定する(12)式の具体的な形は文献により

$$p(L_{kk}') = -177.1 + 12.0GTk' + 0.24V_k' + 0.06R + N(0.243^2)$$

$$p(L_{kk}'') = -177.1 + 12.0GTk'' + 0.24V_k'' + 0.06R + N(0.243^2)$$

とし、避航開始時の西船間距離Rはデータの平均値から1,500mとした。単位はGTがトン、Vが $\frac{m}{min}$ である。

本モデルによる推定値と実際の事故件数から求めた実績値、および藤井の方法(詳細は文献のと参照されたい)による推定値と比較したものが表-2である。実績値と藤井の方法による推定値は、東部・西部とも航路全体にわたるものである。これらと比較してみると、本モデルによる推定値は、東部では実績値に近いものとなり、西部では実績値の1/2弱の推定値となっている。これは、先に述べたように、東部では航路全体を対象として計算しているが、西部では対象とした船舶(水島航路と比航路と通行する船舶のうち交差するものと、南航路と通航する船舶)の交通量が西部全体の交通量の約1/2であることに起因している。したがって、東部・西部とも推定値はほぼ妥当なものと思ふことができる。なお、どちらも実績値を下回る結果となっているのは、モデルの簡単化のために設けた仮定や考慮しなかった事項のうち、推定値と過小とするもの——多重遭遇を考慮しなかったこと、操業漁船が深い海域であるにもかかわらずその存在を無視したこと、夜間・狭視界の場合も視界の良好な時の諸数値を用いたこと等——による影響が、推定値と過大とするもの——避航動作と変針のみに限定したこと等——による影響よりも大きいことにより、もたらされたものと考えられる。ただし、実績値として用いた数値が高々5年間の平均値であるため、実績値の精度そのものにも問題は残っている。表-3は東部海域の各航路ごとに更に細かく検討した結果である。実績値が個々の航路ごとに採られていないため比較することはできないが、交差部の衝突確率がそれ以外の区間より大となっている傾向が読み取れる。

4-2 航路・交通特性に関する感度分析

主航路に交差航路が1本交わっている航路交差部を想定し、いくつかの航路特性、交通特性を変化させた場合の、主航路と通過する船舶の1トリップ当たり船舶衝突確率を求めた。

図-11は、交差航路の交通量を変化させたものである。交差航路の交通量の増加は主航路と航行する船舶の衝突確率を増大させるが、今回は多重遭遇を考慮していないため、交通量が増えても衝突確率はそれほど急激に増大するといった結果とはなっていない。

図-12は、航路の交差角と主航路の衝突確率との関係を示したものである。この結果からは航路が直角に交

わった場合が最も危険と言える。そして、交差角を小さくし、道路におけるウィービング区間のように分合流を基本とした航路設定が事故率を小さくする観点から有利であることが明らかとなった。この理由の1つは、避航開始距離は2船舶の距離によって決定される部分が大さく、航路交差角にはよらないため、同じ船舶間距離を有する2隻であっても交差角が小さい時の方が衝突予想点(西船の進路の交点)に至る余裕時間が長く、避航に成功する可能性が高いためと思われる。また、避航のために必要となる側方変位量が、義務船から見た保持船の船長の射影に比例するため、限界避航距離が交差角により変化することも影響しているよう。

避航開始距離の変化が衝突確率に及ぼす影響を見ても図-13である。ここでは(12)式で規定される避航開始距離分布をもとに、分

水 道 名	本 モ デ ル P	実 績 値 P	藤井の方法による推定値 P
東 部	0.797×10^{-4}	0.999×10^{-4}	1.216×10^{-4}
西 部	0.323×10^{-4}	0.852×10^{-4}	1.172×10^{-4}

表-2 推定値と実績値との比較

	東 航 路	宇高東航路	宇高西航路
東 航 路	0.238×10^{-4}	0.600×10^{-4}	0.676×10^{-4}
宇高東航路	0.600×10^{-4}	0.0306×10^{-4}	
宇高西航路	0.676×10^{-4}		0.0400×10^{-4}
衝突確率	1.514×10^{-4}	0.631×10^{-4}	0.716×10^{-4}

表-3 満喫東部航路別衝突確率

散一定のまゝ平均値のみを0.5~1.8倍に変えたものと示す。避
航開始距離がいまくなれば衝突確率は指数的に増大し、避航の遅
れが危険度の増大に直結することが読み取れ、濃霧等視界時に
衝突事故が多発することの裏づけともなっている。

5 おわりに

本研究では、先に提案した横切りのない航路を対象とする航路
計画における諸操作変数と船舶の避航動態と考慮して構築された
船舶衝突事故率推定モデルと、横切りをも考慮に入れられるよう
拡張をほかり、交差航路における事故率推定モデルを提案した。
そして、このモデルと備瀬瀬戸の東部および西部海域に適用し、
モデルの妥当性を明らかにした。さらに衝突確率に影響を及ぼす
要因に関する感度分析を行い、結果に関する考察を加えた。

拡張されたモデルは、同航、反航と横切りで避航、衝突と交配
する要因が異なるため、挙動記述の簡略化等の取り扱いで横切り
を考慮しないモデルと異なるところがあるが、基本的には互いに
整合性のあるモデルとなっている。したがって、両モデルとも入
力となる諸特性も共通であり、衝突することなく対象航路区間と
通過し終える確率、 P_{safe} 、の段階で、両者の結果は重ね合わせ
が可能である。簡略化の取り扱い、とりわけ船舶形状と表現する
際に船舶長と船幅の双方を考慮することにより、横切りのない場
合のモデルは、横切りを考慮したモデルの特殊な場合($\phi = \pi$)に
帰着する。なお、今回は出会いの状態となる船舶の1隻対1隻
の挙動を基に、個々の出会いが相互に影響を及ぼすことがないと
の仮定を導入してモデルを作成したが、実際には図-2に例示し
た如く、この仮定が成り立たない状況(多重遭遇)が生じることが
ある。また、操船者は自船の周囲の全ての船舶および航路終端
に注意を払って航海しており、複数の相手船を船群と考えると、こ
の船群に対する避航といったものを考える必要も出てくると思わ
れる。これらの扱いについては今後の課題としたい。

最後に、計算面で運輸省高橋浩二氏(元京都大学大学院生)の
協力を得たことに付記し、謝意を表する次第である。

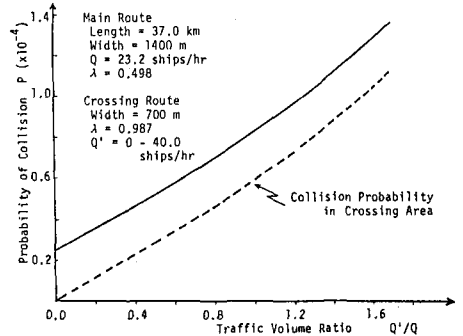


図-11 交差交通量と衝突確率との関係

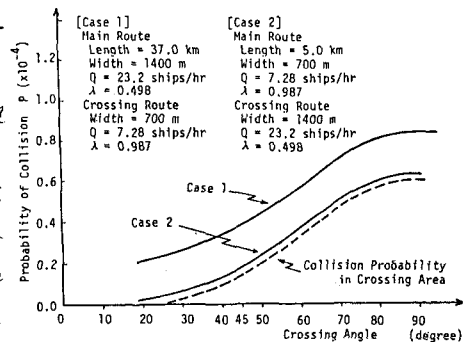


図-12 交差角と衝突確率の関係

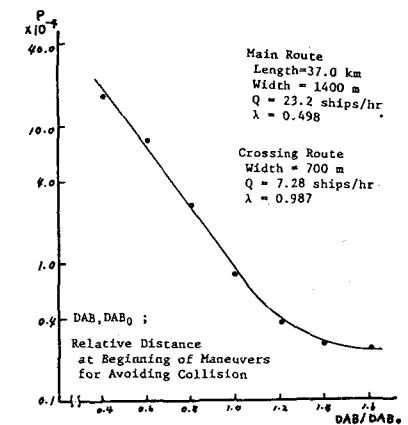


図-13 避航開始距離と衝突確率の関係

＜参考文献＞

- 1) K. Kurada, H. Kita, S. Kono; Mathematical Model of Ship Collision Probability, Memoirs of the Fac. of Eng., Kyoto University, Vol. XLIV, Part 1, PP.135~157, 1982. 1
- 2) 黒田勝孝, 喜多孝行; 船舶衝突確率の推定モデル, 工学会論文報告集(投稿中)
- 3) 原, 深; 船舶交通の統計的解析-I, 日本航海学会誌, Vol. 35, PP.77~83, 1966. 7
- 4) 藤井, 正平; 序説海と交通工学, PP.8~90, 海文堂, 1971. 11
- 5) 運輸省オーストラリア建設局; 航海再編成調査(航路容量調査)報告書, PP.36~40, 1972. 3
- 6) 藤井, 正平; 避航と衝突の確率について, 日本航海学会20周年記念論文集, PP.63~73, 1968. 7