

清水建設 正会員 ○河野重行
京都大学工学部 正会員 長尾義三
京都大学工学部 正会員 黒田晴彦

1. はじめに

海外に資源の大部分を頼り、かつ四方を海で囲まれたわが国においては海上輸送のあり方が重大な意味をもっている。したがって、港湾および航路の合理的な計画、設計は大きな関心事である。航路計画は経済的観点はもちろんの事、安全性の観点からも十分な検討が必要ならなければならない。特に昨今の急激な交通量の増加や船舶の大型化などに伴い、海難事故が多発化、大型化の傾向にあるため、安全性に関する検討が非常に重要になってきた。しかしながら海難事故に関する研究があまり進んでいないのが現状である。以上の理由により本研究では統計理論と確率理論を用いて総合的に海難事故を分析した。統計理論による事故分析では事故の要因間の関係を明らかにした。また操船者の緊張度と船舶とをとりまわりの関係を数式的に見出し、従来定量的な取り扱いが困難とされていた操船者の人間的特徴に関する分析を行なった。確率理論による事故分析では、定量化可能な要因を用いて衝突事故モデルを作成する事により、確率的に事故確率の推定式を提案した。

2. 事故の統計的分析

本研究で用いたデータは昭和51年度前半の海難審判庁判決録からとった。ただし海難審判庁判決録に記載された海難事件は純粋な統計的見地から、全海難事故からのランダムサンプルであると仮定した。そして衝突時において回避動作として転舵や全力後進などを行なったか否か船型別と調べた。次に操船者の心理状態をまとめるものとして緊張度を要因と選り、船型との関係を見た。いま、緊張度を定量的に評価するにあたり、次のような基準を設けた。

- 緊張度かたの状態——いねまり、気の中るみなど相手船に全く気づかず衝突した場合
 - 緊張度かたの状態——相手船を認めたとにもかかわらず、操船者の過失により適切な措置を怠った場合
 - 緊張度かたの状態——相手船を認め、不安を感じたが、回避措置が適切でなかったため、衝突した場合
- 次に緊張度の大中小は、船型、日平均交通量、船速、航路幅、航路の屈曲、天候などの要因によって最も影響されるかを数量化理論2類を用いて分析した。結果は講演時に発表する。

3. 事故の確率論的分析

ここでは衝突モデルを作成することにより、確率論的に事故確率の推定式を提案した。このプロセスを図1に示す。以下、このプロセスチャートに従って話をすすめる。ただし数値の都合上、詳細は講演時に説明する。

3-1. 水路における2船の出会い確率の推定方法

ここでは、自船の進路上で対航船が進入してくる場合や、自船の前方進路上に同航路がある場合を出会いと呼ぶ。そして次のような仮定を置く。

1. 1船をその航路 B_k を直径とする円で近似する。
2. 各船は他船に影響されずにそれぞれ独立に進路上を進入とする。
3. 船型を簡単のために4ラングにわけ、各ラングに対する船長を L_k 、船型を X_k 、航路幅を B_k とする。 $k=1, 2, 3, 4$ いま水路に平行なある基準線から船までの距離を x とすると船型AとKの船が出会うとは次式が成立すればよい。

$$|x_k - x_k| < \frac{1}{2}(B_{kA} + B_{kK}) = D_{kK} \quad (1)$$

ところで、井上は、航路分布は直線航路において正規分布をなすことを明らかにした⁽¹⁾。この次式が成立する。

$$P(x) = (1/\sqrt{2\pi}\sigma) \exp\left\{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (2)$$

式(2)で又は方向別と決まる。 σ は交通量と航路幅で決まる。よって船型A, Kをもつ2船の出会い確率 $P(A,K)$ は式(1),(2)より次式となる。

$$P(A,K) = P(1 \leq x_A - x_K < D_{AK}) = \sum_{D_{AK}}^{D_{AK}} P(x_A - x_K) dx_A - x_K \quad (3)$$

式(3)で、2船が反航関係が同航関係かは元の図により決まる。

3-2. 2船が出会う時の衝突確率の求め方

まず、次の仮定を置く

1. 回避と回避は操縦は操作せず、軌道のみによるとする。
2. 船の軌道に伴う軌跡の変化を直線で近似する。
3. 船は、道路上と他船を発見すれば回避し、他船がいなければ元の方向に進む。
4. 船を航路を直線とする円と近似する。

図2、図3にモデルを示す。 L_{AKH}, L_{AKP} は避航開始距離を示す。そして2船を交わす円内を挟む時の L_{AKH}, L_{AKP} をそれぞれ L_{AKH}^*, L_{AKP}^* とすると、 L_{AKH}, L_{AKP} は L_{AKH}^*, L_{AKP}^* より小さくすれば2船は衝突する。いま L_{AKH}, L_{AKP} は正規分布をなすと仮定する。平均値は3より次式で与えられる。

$$\bar{L}_{AKH} = -931.4 + 4.59(V_A + V_K) \quad \text{E.L.V: 船速(m/s)} \quad (4)$$

$$\bar{L}_{AKP} = 326 - 1.39X_A + 3.44X_K \quad \text{E.L.X: 船型(100GT)} \quad (5)$$

分散は上式のもとになったデータから推定した。そして L_{AKH}^*, L_{AKP}^* は本モデルより次式で表わされる。

$$L_{AKH}^* = D_{AK} / \sin \theta, \quad L_{AKP}^* = D_K \cdot \sqrt{V_A^2 + V_K^2 - 2V_A V_K \cos \theta} / (V_A \cdot \sin \theta) \quad (6)$$

以上より L_{AK} が L_{AK}^* より小さくなる確率が出会う2船の衝突確率 P_{CAK} である。 P_{CAK} は次式となる。

$$P_{CAK} = P(L_{AK} < L_{AK}^* | 1 \leq x_A - x_K < D_{AK}) = \sum_{D_{AK}}^{D_{AK}} P(L_{AK} | 1 \leq x_A - x_K < D_{AK}) dL_{AK} \quad (7)$$

式(7)と式(3)より2船の衝突確率 P_{CAK} は次式となる。

$$P_{CAK} = P(L_{AK} < L_{AK}^* | 1 \leq x_A - x_K < D_{AK}) \cdot P(1 \leq x_A - x_K < D_{AK}) \quad (8)$$

3-3. 水路の衝突確率

いま水路と衝突対象となる船がラング別に異なるとする。ただし $K=2,3,4$ である。この水路の衝突確率 P は次式で与えられる。

$$P = \sum_{K=2}^4 \left\{ 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_{CAK})^{m_i} \right\} \cdot P(A) \quad (9)$$

E.L.P(A)は船型Aの船の生起確率を表わす。

3-4. 計算結果

式(9)の P は交通量 Q や航路幅 W の関数である。式(2)で Q や W の値を変えた時の P の変化をみた。次の一例を図4、図5に示す。詳細は参考文献と発表する。

(参考文献)

- (1) 井上欣三：直線航路とあける航路分布のモデル化と航路分布と関する一考察 日本航海学会誌 No.56 1977
- (2) 運輸省第3港湾建設局：海上交通計画調査報告書 1973

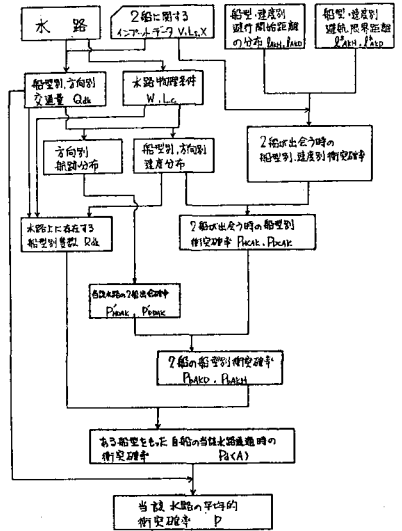


図1 任意水路における衝突確率計算のフローチャート

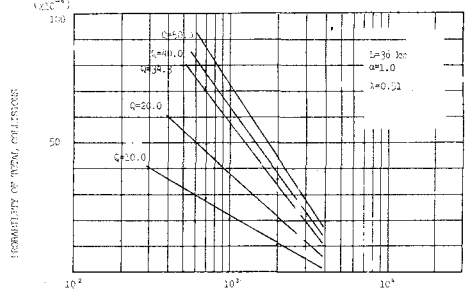
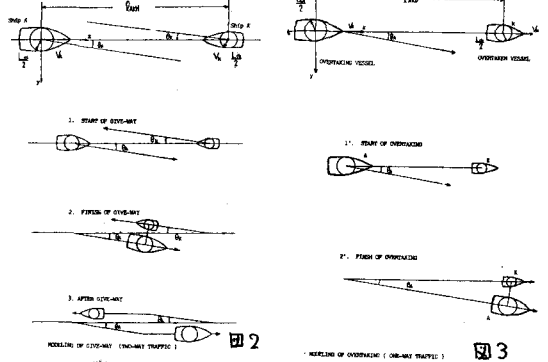


図4 COLLISION PROBABILITY VERSUS TRAFFIC VOLUME AND WATERWAY WIDTH

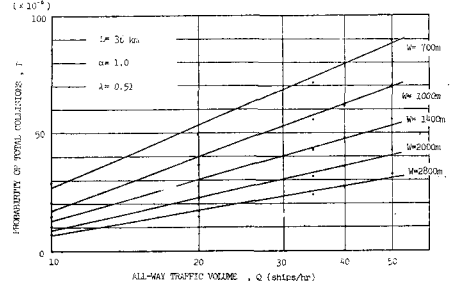


図5 COLLISION PROBABILITY VERSUS TRAFFIC VOLUME AND WATERWAY WIDTH