船舶交通量を考慮した航路幅員決定法

井 上 欣 三*

Lane Width Required at Congested Route

Kinzo INOUE

Abstract

Author proposed a model to determine the lane width at straight and one way traffic route as the function of the traffic volume, considering the reliability for strandings.

The model was based on the distribution of ship's tracks which were derived from the statistical analyses of traffic surveys by Radar at narrow channels in Japan. According to this analyses, the tracks were normally distributed and the standard deviation could be expressed by a regression equation of lane width and traffic volume on the route.

The width of the lane on the model was determined under the condition that the tracks within $\pm k\sigma$ of the distribution lie within the traffic lane. Standard normal variate k was found in the table of upper probability integrals of the normal distribution, using probability P that the tail of the distribution of ship's tracks protruded out of the traffic lane.

We can obtain the probability P from the formula (3) in this paper under the condition that probability which no stranding will occur during t years equals a certain predetermined level. F in the formula shows the probability that lead a ship to stranding actually within the probability P . And the value of F was estimated at 10^{-2} by means of statistical analysis of accident and traffic surveys at narrow channels.

It would be capable for us to evaluate the required width of traffic lane as the function of the traffic volume according to this model.

1. は じ め に

航路の新設や既存航路の整備拡充を計画する上で、航路幅員を決定することは重要な問題である。従来から、航路幅員の適値を決める問題に関しては、その航路を航行する最大船型1隻の船体運動を解析的に積み重ねて求める方法⁽¹⁾⁻⁽⁷⁾が一般的であった。しかし、海上交通の輻輳が指摘される近年、航路においては多数の船が混在しながら航行する機会が多くなってきている。したがって、航路幅員の算定に際しては、これまでのような1隻の船の航行のみを取り扱う立場とは別に、複数の船の流れを考慮した解析を行なう必要があると思われる。

このような観点から、ここでは、一方航行の直線航路について、計画する航路が一定環境のもとで、一定期間、事故なしに、その機能を達成するには、どの程度の航路幅員を必要とするかを、乗り揚げ事故に対する信頼度を用いて検討し、所要航路幅員を交通量の関数として算定する方法について考察を行なった。

さらに、最終的な航路幅員の決定に際しては、従来の方法と、ここで示す方法が個々に取り扱われるのではなく、これら両面からの検討が必要であるとの考えに立って、二つの算定法相互の関連性を、交通量をベースに位置づけ、その結果を所要航路幅員の決定モデルとして示す。

* 正会員 富山商船高等専門学校（富山県新湊市海老江練合1の2）

2. 所要航路幅員の決定モデル

航路幅員の決定に際して、船舶の輻輳度を考慮することは、殊に狭水道航路や湾口航路においては重要である。

船舶の輻輳度を考慮した所要航路幅員の算定法については後に述べるが、この算定法によれば交通量 (Q) と所要航路幅員 (W) の関係 $W=f(Q)$ は図 1 に示すような比例関係にある。このことは、交通量の増加に伴って航路幅員を大きく設定する必要があることを意味しているが、一方では、交通量の少ない範囲において、所要航路幅員は極めて狭いものとなり、実際への適用に対して問題が残る。

図 1 所要航路幅員の決定モデル

しかしながら、航路を設計する上において、交通量がいかに少なくとも、その航路の通航予想最大船 1 隻が航行できる航路幅員を最小限確保しなければならないことは明らかである。したがって、この条件を所要航路幅員の決定に対する下限条件として考えれば、交通量の少ない範囲においても、所要航路幅員を合理的に決定することが可能となる。

この下限条件に対応する所要航路幅員 (W) は、一般に船の長さ (L) の関数で表わすことができ、両者の関係 $W=f(L)$ は図 1 では交通量とは無関係な横軸に平行な直線となる。

いま、図 1 に示すような、それぞれ立場の異なる二つの算定法を組み合わせたモデルを所要航路幅員の決定モデルと呼ぶことにするが、これによれば、交通量の少ない範囲においては、その航路の通航予想最大船 1 隻が航行可能な航路幅員を所要航路幅員として採用し、交通量が多い範囲においては、交通量の関数として求まる航路幅員を所要航路幅員として採用することになり、最終的な所要航路幅員の決定に際して、船舶の輻輳度を合理的に考慮することができる。

なお、所要航路幅員の決定モデルにおいて、交通量とは無関係な船の長さの関数として示される航路幅員については、ここでは、次の算定式により求めることにする。

$$W=1.9L \quad (1)$$

(1) 式は国内外において従来から提唱されてきた解析的な算定結果をとりまとめたものであり⁽⁸⁾、 L は航路を航行すると予想される最大船の長さである。

3. 交通量の関数としての所要航路幅員

3.1 対象航路の検討上の要件

ここでは、一方航行の直線航路を検討の対象とし、航路の両側端は地形や浮標などにより判別が可能であり、さらに、航路の途中において他船の流入や流出がない最も基本的な航路形態を考えている。

船舶の航行の流れとしてとらえる立場にたてば、一方航行航路における航跡分布は一般に次のようにモデル化できるが⁽⁹⁾、ここで扱う航路における航跡分布もこのモデルに従うものとする。

- (1) 航跡分布は正規分布で近似できる。
- (2) 航跡分布の平均値位置は航路中央線に一致する。
- (3) 標準偏差は次の重回帰式で示される。

$$\sigma = -7.17 + 0.105W + 2.168Q_L \quad (2)$$

ここに、 W は航路幅員であり、 Q_L は時間平均 L 換算交通量である。ただし、船の大きさは、3,000 G.T. 以上 (標準船長 140 m) の船の当量を 4 とし、500~3,000 G.T. (標準船長 70 m) の船の当量を 2 とし、100~500 G.T. (標準船長 35 m) の船の当量を 1 とし、隻数換算を行なう。

3.2 航路の乗り揚げ事故に対する信頼度

所要航路幅員の大きさは、その航路の安全性のレベルをどの程度に維持するかによって異なるものと考えられる。いま、航路通航船 1 trip 当りの乗り揚げ事故発生確率を Z とすれば、一定期間 t 内に乗り揚げ事故が発生しない確率は次式で表わされる。

$$R(t) = (1 - Z)^{N(t)} \quad (3)$$

ここに、 $R(t)$ は、計画する航路が、一定環境のもとで、一定期間、乗り揚げ事故なしに、その機能を達成する確率であり、期間 t 内における航路の乗り揚げ事故に対する信頼度を与えるものである。

また、 $N(t)$ は、一定期間 t 内に航路を通過する船舶数であり、 t を年単位の時間区間にとれば、

$$N(t) = Q_L \text{ 隻/時} \times 24 \text{ 時間} \times 365 \text{ 日} \times t \text{ 年} \quad (4)$$

の関係がある。

3.3 乗り揚げの潜在確率および乗り揚げの生起確率の定義

図2は一方航行航路における航跡分布モデルを示しているが、いま、航跡分布の裾の航路外へのはみ出しに着目するとき、航跡分布の裾が航路外へのはみ出す確率は正規分布の上側確率に対応し、この確率の大きさは、通航船の航跡のばらつきの様子と関係がある。

つまり、通航船の多くが航路の中央付近を航行し、航路側端に近寄って航行する船が少ない場合は、航跡分布の裾の広がり小さく、したがって、分布の裾の航路外へのはみ出し確率は小さい。一方、航路側端に近寄って航行する船が多い場合には、航跡分布の裾の広がり大きくなり、分布の裾の航路外へのはみ出し確率も大きくなる。

このような航跡分布の裾の航路外へのはみ出し確率は、通航船 1 trip 当りの乗り揚げ事故発生確率 (Z) に直接対応するものではないが、航路における乗り揚げ事故発生可能性の大小を示唆する量として取り扱えるものと思われる。

したがって、ここでは、航跡分布の裾が航路外へのはみ出す確率を、乗り揚げ事故発生のポテンシャルの高さを与える量と考えて、乗り揚げの潜在確率 (P) と定義する。乗り揚げの潜在確率 (P) は、このすべてが乗り揚げ事故につながるわけではなく、このうちの或る割合で事故が起きるものとすれば、実際に乗り揚げ事故が発生する確率 (Z) は、乗り揚げの潜在確率 (P) を用いて次式のように関係づけることができる。

$$Z = F \cdot P \quad (5)$$

ここに、 P : 乗り揚げ事故発生の可能性を含む確率 (乗り揚げの潜在確率)

F : このような運航のうち、乗り揚げ事故に至る確率。

Z : 通航船 1 trip 当りの乗り揚げ事故発生確率。

(5) 式に新しく導入した確率 F は、ここでは乗り揚げの生起確率と定義する。

3.4 乗り揚げの生起確率 (F) の推定

乗り揚げの生起確率 (F) は操船者の人間的要因、船舶の機械的要因、航路の自然的、環境的要因などに起因して決まるものと考えられるが、ここでは、過去の乗り揚げ事故の実態分析から求まる通航船 1 trip 当りの乗り揚げ事故発生確率 (Z) と、事故調査地点における航跡分布の分析から求まる乗り揚げの潜在確率 (P) を用いて、次式

$$F = Z/P \quad (6)$$

による推定を試みた。

乗り揚げ事故の分析資料は過去の長期間にわたる事故記録が必要となるが、国内の乗り揚げ事故多発地点に関していくつかの報告がある^{(10)~(14)}。これらの資料の中から、なるべく船舶の流れが直線となっているような調査個所を選び、ここでは、備讃瀬戸、早瀬瀬戸、鳴門海峡、友ヶ島水道および明石海峡の調査資料を乗り揚げの生起確率 (F) の推定資料として利用した。

それぞれの調査個所における推定結果は表1にとりまとめて示したとおりである。

図3~6は備讃瀬戸、早瀬瀬戸、鳴門海峡、友ヶ島水道において、それぞれの事故調査期間中に発生した乗り揚げの概略位置を示している。ただし、備讃瀬戸については昭和41年からの5年間に発生した乗り揚げ事故を○印で、海上交通安全法施行後の昭和50年からの3年間に発生した乗り揚げ事故は□印で大きさ別にプロットした。

各調査個所における通航船 1 trip 当りの乗り揚げ事故発生確率 (Z) は事故件数を事故調査期間中の交通量で

図2 一方航行航路における航跡分布モデル

表 1 乗り揚げの生起確率 (F) の推定

乗り揚げ事故 調査期間および 調査箇所	S. 41~S. 45 備讃瀬戸島 100 G.T. 以上	S. 41~S. 45 備讃瀬戸島 100 G.T. 以上	S. 41~S. 45 備讃瀬戸島 100~500 G.T.	S. 41~S. 45 備讃瀬戸島 小瀬居島 500 G.T. 以上	S. 50~S. 52 備讃瀬戸島 三ツ子島 100 G.T. 以上	S. 50~S. 52 備讃瀬戸島 牛島・本島間 100 G.T. 以上	S. 37~S. 44 早瀬瀬戸 壇之浦海岸 全船	S. 41~S. 45 鳴門海峡 中瀬・裸島間 全船	S. 37~S. 41 友ヶ島水道 沖ノ島・成山島間 全船	S. 40 明石海峡 試錐やぐら
乗り揚げ事故調 査に使用した資 料	資料 ⁽¹⁰⁾	資料 ⁽¹⁰⁾	資料 ⁽¹⁰⁾	資料 ⁽¹⁰⁾	資料 ⁽¹¹⁾	資料 ⁽¹¹⁾	資料 ⁽¹²⁾	資料 ⁽¹⁰⁾	資料 ⁽¹³⁾	資料 ⁽¹⁴⁾
乗り揚げ事故件 数	5件	6件	15件	5件	2件	2件	12件	22件	23件	資料 ⁽¹⁴⁾ より
調査期間中の船 舶交通量	片側交通量 32万隻	片側交通量 32万隻	片側交通量 9万隻	片側交通量 6万隻	片側交通量 15.25万隻	全交通量 30.5万隻	片側交通量 132.6万隻	全交通量 73万隻	全交通量 83.6万隻	
通航船 1 trip 当 りの乗り揚げ事 故発生確率 (Z)	10 ^{-4.81}	10 ^{-4.73}	10 ^{-3.78}	10 ^{-4.08}	10 ^{-4.88}	10 ^{-5.18}	10 ^{-5.04}	10 ^{-4.52}	10 ^{-4.56}	10 ^{-3.9}
航跡調査年度お よび調査機関	S. 43.7 備讃瀬戸 (神戸商船大学港湾運 航技術研究会)	S. 43.7 備讃瀬戸 (神戸商船大学港湾運 航技術研究会)	S. 46.7 備讃瀬戸 (海上保安庁)	S. 46.7 備讃瀬戸 (海上保安庁)	S. 48.9 備讃瀬戸 (海上保安庁)	S. 48.9 備讃瀬戸 (海上保安庁)	S. 45.8 早瀬瀬戸 (海上保安庁)	S. 46.7 鳴門海峡 (海上保安庁)	S. 48.10 友ヶ島水道 (神船大港湾運 航技術研究会)	S. 40.4 明石海峡 (神船大港湾運 航技術研究会)
船跡分布の標準 偏差 (σ)	116.8 m	113.3 m	337.7 m	213.0 m	98.3 m	111.9 m	106.8 m	70.4 m	589.9 m	176.8 m
可航水路の側端 位置	2.98 σ	3.25 σ	2.07 σ	2.48 σ	2.98 σ	本島側 3.02 σ 牛島側 3.69 σ	3.06 σ	中瀬側 4.52 σ 裸島側 4.00 σ	沖ノ島側 2.58 σ 成山島側 2.93 σ	2.26 σ
乗り揚げの潜在 確率 (P)	10 ^{-2.84}	10 ^{-3.24}	10 ^{-1.72}	10 ^{-2.18}	10 ^{-2.84}	10 ^{-2.86}	10 ^{-2.96}	10 ^{-4.46}	10 ^{-2.18}	10 ^{-1.92}
乗り揚げの生起 確率 $F=Z/P$	10 ^{-1.97}	10 ^{-1.49}	10 ^{-2.06}	10 ^{-1.90}	10 ^{-2.04}	10 ^{-2.32}	10 ^{-2.08}	10 ^{-0.06}	10 ^{-2.38}	10 ^{-1.98}

図 3 備讃瀬戸における乗り揚げ発生地点の概位
およびゲートライン

図 4 早鞆瀬戸における乗り揚げ発生地点の概位
およびゲートライン

図 5 鳴門海峡における乗り揚げ発生地点の概位
およびゲートライン

図 6 友ヶ島水道における乗り揚げ発生地点の概位
およびゲートライン

割り算して求めるが、海交法施行前における備讃瀬戸の各調査箇所および海交法施行後の三ツ子島では乗り揚げが航路の片側に集中して発生しており、また、早鞆瀬戸では船の流れと岸線が平行となっている壇之浦海岸への乗り揚げを対象としているので、事故調査期間中の交通量は、この場合、乗り揚げ地点側だけに着目するのが適当と思われる。したがって、これらの調査箇所においては事故調査期間中の全交通量の 1/2 を片側交通量とし、通航船 1 trip 当りの乗り揚げ事故発生確率 (Z) の計算にはこれを用いた。なお、海交法施行後における備讃瀬戸の牛島・本島間および鳴門海峡、友ヶ島水道においては航路の両側に平均して乗り揚げが発生していたので、これらの調査箇所については事故調査期間中の全交通量を用いた。

なお、明石海峡については、資料⁽¹⁴⁾によれば、試錐やぐらへの衝突つまり乗り揚げ事故は延べ 70 ケ月の設置期間中に 16 件あり、この間の交通量は 1 日平均 1,100 隻と報告されているが、試錐やぐらは図 7 にみられるように航路筋のほぼ中央に設置されている。このような場合は航路側端への乗り揚げと異なり、通航船 1 trip 当りの乗り揚げ事故発生確率の計算には、やぐらの近傍を航過する交通量の海峡全体の交通量に対して占める割合が問題となるので、資料⁽¹⁴⁾に示されているように交通密度を考慮して事故発生確率を求めるのが適当と思われる。したがって、ここでは、通航船 1 trip 当りの乗り揚げ事故発生確率 (Z) は資料⁽¹⁴⁾における計算値 $10^{-8.9}$ をそのまま準用した。

図 7 明石海峡における試錐やぐら設置位置
およびゲートライン

図 8 航跡分布
(備讃瀬戸 与島)
資料数 365 隻
横軸区分 50 m

図 9 航跡分布
(備讃瀬戸 牛島)
資料数 342 隻
横軸区分 50 m

図 10 航跡分布
(備讃瀬戸 小瀬居
島 100~500 GT)
資料数 444 隻
横軸区分 200 m

図 11 航跡分布
(備讃瀬戸 小瀬居
島 500 GT 以上)
資料数 97 隻
横軸区分 200 m

図 12 航跡分布
(備讃瀬戸 三ツ
子島)
資料数 132 隻
横軸区分 50 m

図 13 航跡分布
(備讃瀬戸 牛島・
本島間)
資料数 135 隻
横軸区分 50 m

図 14 航跡分布
(早瀬瀬戸 壇之
浦海岸)
資料数 507 隻
横軸区分 50 m

図 15 航跡分布
(鳴門海峡 中瀬・
裸島間)
資料数 548 隻
横軸区分 85.7 m

図 16 航跡分布
(友ヶ島水道 沖
ノ島・成山島間)
資料数 821 隻
横軸区分 500 m

図 17 航跡分布
(明石海峡 試錐
やぐら)
資料数 245 隻
横軸区分 100 m

ゲートライン上における通航船の航跡分布は、出来れば事故調査期間中の観測資料から求めることが望ましいが、レーダ観測の範囲、日数、解析上の精度などの点から事故調査期間に合致する観測資料が得られない場合は、なるべくそれに近い年度の観測資料を選んで使用した。

航跡分布を求めたゲートラインは図 3~7 に、各ゲートライン上における航跡分布は図 8~17 に示したが、一方航行航路でない調査箇所においては航跡分布

は両方向併せて集計し、また、航路の片側の乗り揚げ事故を対象とした調査箇所においては航跡分布は平均値位置より事故地点側について示している。なお、明石海峡については、航跡は試錐やぐらをはさんで両側に分布するので、航跡分布は船の通航方向ならびに船が試錐やぐらのどちら側を航過したかには無関係に、やぐらとの離隔距離をとって集計し、これを平均値位置よりやぐら側について示している。

それぞれの航跡分布について求めた標準偏差は表 1 にとりまとめたが、航路の片側の乗り揚げ事故を対象とした調査箇所および明石海峡においては、標準偏差の計算にあたって事故地点と反対側の航跡のばらつきが、事故地点側の航跡のばらつきの様子を量的な影響を及ぼすことを避けるために、航跡分布の平均値をはさんで事故地点側と同様な分布が、その反対側にも出現するように仮定して計算を行なった。

ここに、可航水路の側端が航跡分布の平均値位置より何 σ の点に位置するかを標準偏差を用いて求めれば、この点の外側におちる確率が乗り揚げの潜在確率 (P) に対応するが、この場合、各調査箇所における航跡分布は正規分布とみなし得るので乗り揚げの潜在確率 (P) は正規分布の上側確率表を用いて求めた。なお、事故地

点における可航水路の側端は一律に決めることはむづかしいが、ここでは、水深 5~10 m を目安に設定した。ただし、明石海峡については、可航水路の側端は物理的に決まるのであらたに設定する必要はない。それぞれの調査個所について求めた乗り揚げの潜在確率 (P) は表 1 に示したとおりである。

したがって、乗り揚げの生起確率 (F) は、通航船 1 trip 当りの乗り揚げ事故発生確率 (Z) と乗り揚げの潜在確率 (P) を用いて、(6) 式の関係により、表 1 の最下段にとりまとめたように推定される。

図 18 は、それぞれの調査個所において推定した乗り揚げの生起確率 (F) と通航船 1 trip 当りの乗り揚げ事故発生確率 (Z) の関係を示すが、これによれば、乗り揚げの生起確率 (F) は 10^{-2} を中心に $10^{-1.5} \sim 10^{-2.5}$ の範囲にばらついている。このことから、乗り揚げの生起確率 (F) は大約 10^{-2} 程度の値をとるものと推定することができる。

ただし、鳴門海峡においては、乗り揚げの生起確率 (F) はほとんど 1 に近いが、このことは乗り揚げの潜在確率 (P) が通航船 1 trip 当りの乗り揚げ事故発生確率 (Z) に直接対応することを意味しており、潮流の早い鳴門海峡での船舶航行の困難性を示すものと思われる。

3.5 標準正規変量 (k) を媒介とした所要航路幅員の算定

いま、乗り揚げの生起確率 (F) が既知となったので、(5) 式の関係をも (3) 式に代入する。

$$R(t) = (1 - F \cdot P)^{N(t)} \quad (7)$$

(7) 式において、期間 t 、およびその間の航路の乗り揚げ事故に対する信頼度 $R(t)$ を、航路設計上適切なレベルに規定すれば、任意の交通量 (Q_L) に対して乗り揚げの潜在確率 (P) を逆算することができるが、このようにして得られる乗り揚げの潜在確率 (P) は、航路の乗り揚げ事故に対する信頼度を規定レベルに維持するために必要な航跡分布の裾の航路外へのはみ出しの限界に対応する。

つぎに、航跡分布は正規分布を仮定しているので、正規分布の上側確率表を用いて、このような乗り揚げの潜在確率 (P) の限界値に対応する標準正規変量 (k) の値を求める。ここに、標準正規変量とは、正規分布の確率変数を X とするとき、 X の平均値 μ からのへだたりを標準偏差 σ を用いて基準化した量をいい、 $k = (X - \mu) / \sigma$ の関係がある。また、乗り揚げの潜在確率 (P) の限界値と、この確率を正規分布の上側確率とするような標準正規変量 (k) の値は図 2 に示す関係にある。

すなわち、時間平均 L 換算交通量が Q_L 隻/時であるような航路を設計するとき、期間 t 年の乗り揚げ事故に対する信頼度を規定の $R(t)$ に維持するためには、航跡分布の裾 $k\sigma$ の点が航路側端に一致する場合をその限界条件として考えればよいことになる。つまり、 $\pm k\sigma$ の範囲の航跡が航路内におさまるように航路幅員を決めればよいと考えることができる。

いま、航跡分布の裾 $k\sigma$ の点がちょうど航路側端に一致するのは、次式の条件が成り立つときである。

$$k\sigma = 0.5W \quad (8)$$

標準偏差 σ は (2) 式の重回帰式で示されるので、結局、

$$k(-7.17 + 0.105W + 2.168Q_L) - 0.5W = 0 \quad (9)$$

したがって、(9) 式を W について解けば、任意の交通量に対する所要航路幅員を標準正規変量を媒介として求めることができる。

3.6 数値計算結果

図 19 は航路の乗り揚げ事故に対する信頼度を $R(t) = 0.95$ 、($t = 10$ 年, 5 年, 3 年, 1 年) とする時の所要航路幅員を $Q_L = 20$ 隻/時までの交通量について計算し、その結果を所要航路幅員の決定モデルの考え方に示したものである。

なお、この場合、(1) 式による通航予想最大船 1 隻が航行可能な航路幅員の算定には、長さ 150 m の船を例

図 18 乗り揚げ事故発生確率 (Z) と乗り揚げの生起確率 (F) の関係

図 19 一方航行航路の所要航路幅員, $R(t)=0.95$ (通航予想最大船の長さ 150m)

図 20 一方航行航路の所要航路幅員, $R(t)=0.75$ (通航予想最大船の長さ 150m)

図 21 一方航行航路の所要航路幅員, $R(t)=0.60$ (通航予想最大船の長さ 150m)

にとって計算した。

図 20 は $R(t)=0.75$, ($t=10$ 年, 5 年, 3 年, 1 年) の場合の計算結果であり, 図 21 は $R(t)=0.60$, ($t=10$ 年, 5 年, 3 年, 1 年) の場合の計算結果を示している。

4. 航路設計上の問題点

図 22 は現状における一方航行狭水道の航路幅員と時間平均 L 換算交通量の関係を, 所要航路幅員の決定モデルの上にプロットしたものである。図の右端 4 つは備讃瀬戸北航路の例をプロットしたもので, 中程の 1 つは葛島水道, 左端の 2 つは来島海峡中水道の例であるが, これによれば, 現状の航路が計算上の航路のどの程度の信頼度レベルに対応するかを知ることができる。また, 図 23 は (3) 式における Z と $R(t)$ の関係を Q_L が 15 隻/時の場合について計算した結果を t をパラメータに示したものである。

ところで, これまでに述べた方法によれば, 一定期間内 t における航路の乗り揚げ事故に対する信頼度 $R(t)$ を規定することにより, 所要航路幅員は交通量の関数として求めることができるが, 航路を設計するにあたって, 一定期間 t をどの程度に, また, その間の信頼度 $R(t)$ を如何に見積るかは極めて難しい問題である。

これについては, 図 22 に示したような現状航路と計算上の航路との対応関係をもとに現状との対比のなかで規定すべき信頼度を見積るのも一方法かと思われるが, また, その他に, 航路の乗り揚げに対する安全性を確保するのに必要な事故発生確率 (Z) を設定した上で, 図 23 に示した関係を用いて規定すべき信頼度の目安を求

図 22 モデルによる所要航路幅員と現状の航路幅員 (通航予想最大船の長さ 150m)

図 23 航路の乗り揚げ事故に対する信頼度と事故発生確率の関係

める方法も考えられよう。しかしながら、計画する航路の社会的・経済的効果、また工事に伴う地理的・技術的困難性、さらには、工事に要するコスト等々も無視し得ない問題であるので、むしろ、これらすべてを含む総合的評価の上に立って適切な信頼度レベルを定めるのが適当であろうと思われる。

一方、いかに適切な航路幅員が求められようとも、現実問題として地形的に航路の拡幅が不可能な場合も考えられる。このような場合には、交通量の規制やその他の管制、さらに航行援助施設の設置等の航路の運用面での処置により船舶航行の安全性を確保することが必要となる。

5. む す び

一方航行の直線航路を対象として、所要航路幅員を交通量の関数として求める方法を示した。この算定モデルは現状の直線一方航行狭水道における船舶航行の実態分析から導かれた航跡分布モデルがベースになっている。したがって、所要航路幅員の数値計算結果は、航跡分布モデルの適用範囲によって制限を受けることになる。

ここに、時間平均 L 換算交通量については 20 隻/時、航路幅員については 1400 m までがその範囲であるが、操船者が航路の中央航行を意図するかぎりにおいては、さらに航路幅員の広い場合でも航跡分布はこのモデルにしたがうものと思われる。しかしながら、これについては今後、操船シミュータなどにより検討を重ねる必要がある。

また、この算定モデルにおいては、乗り揚げの生起確率 (F) の概念を導入した。この確率の値は、ここでは、過去の乗り揚げ事故資料とその海域における船舶航行の実態資料を用いて推定を行なったが、ここで考えている算定モデルに正確に一致する推定資料を現状の実態資料のなかから得ることは容易ではなく、この意味においては、乗り揚げの生起確率 (F) の推定に対してミクロな評価をなし得たとはいえない。しかしながら、これについては今後の修正もあり得ることも含めて一応の目安を示し得たものと思われる。なお、今後はここで行なったような経験的側面からの推定だけでなく、理論的側面からの検証が望まれる。

この研究にあたっては、神戸商船大学原潔助教授には熱心に御討議、御指導を頂き、また、この間暖かく激励して下さった神戸商船大学本田啓之輔教授、資料の使用に際し快く御協力、御便宜を計って頂いた海上保安大学校榊正三名誉教授に心より御礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) R. G. Garthune & others: The Performance of Model Ships in Restricted Channels in relation to the Design of a Ship Canal, DTMB Report 601, 1948
- (2) 神戸商船大学港湾運航技術研究会: 瀬戸内海航路の余裕水深と航路幅員に関する調査報告書, 昭和 39 年 3 月
- (3) 豊田清治: Dead Weight と航路幅・水深の関係, 航海, 第 29 号, 昭和 44 年 3 月
- (4) 飯島・本田: 港湾水路の幅員について, 日本航海学会論文集, 第 50 号, 昭和 48 年 10 月
- (5) J. Siebol and J. H. G. Wright: Application of Ship Behaviour Research in Port Approach, Proceedings of Ship Behaviour in Confined Water, Symposium held in London, 1974
- (6) 西日本港湾運航技術研究会: 航路計画調査, 長大航路における航路幅員決定法について, 昭和 52 年 3 月
- (7) I. Oldenkamp: Statistical Analysis of Ship's Manoeuvres, Symposium of Ship Handling, 1973 at Wageningen
- (8) 本田啓之輔: 航路と操船, 「航路と安全」シンポジウム, 昭和 53 年 11 月
- (9) 井上欣三: 直線航路における航跡分布のモデル化と航路分離に関する一考察, 日本航海学会論文集, 第 56 号, 昭和 52 年 10 月
- (10) 日本海難防止協会: 本州四国連絡橋航行安全調査報告書, 昭和 48 年 3 月
- (11) 海上保安庁: 海難調査票, 昭和 50 年度～昭和 52 年度
- (12) 神鳥 昭: 関門海峡における乗揚海難の動向, 日本航海学会論文集, 第 50 号, 昭和 48 年 10 月
- (13) 第五管区海上保安本部: 管内主要航路における船舶交通の実態, 昭和 43 年 3 月

- (14) 藤井・山内・水城：海上交通事故の研究・Ⅲ—乗り揚げについて—，日本航海学会論文集，第 50 号，昭和 48 年 10 月

質 疑 応 答

飯島幸人：① 乗り揚げの生起確率 (F) を決めるための例として挙げた乗り揚げ事故の場所は直線航路ではなく曲線航路であると思われる。したがって，偶然的に乗り揚げが生じたのではなく，他の要因が入っているとされるので例としては適当でないと考える。② また，この例を用いるならば曲線航路に関する航跡分布モデルを用いるべきであろう。③ (2) 式は追い越し禁止の場合とそうでない場合とで変わるのではないか。

井上欣三：① 使用したデータのうち，なかには航路の屈曲の影響を含むものもあるかもしれませんが，そうでないものもあると思います。算定モデルに正確に一致する推定資料を現状の実態資料のなかから求めることは容易でないのが実情であります。この意味から，ここに示した推定結果は今後の修正もあり得ることも含めて一応の目安を示したものと考えております。これについては，今後は経験的側面からの推定以外の方法によっても検証を行なう必要があると思います。② 航路の曲線部分については御指摘のような考え方にもとづいてアプローチするのも一方かと思います。③ 確かに異なってくると思われますが，追い越しを禁止する場合は基本的には 1 隻の船の単独航行を取り扱うことに対応すると思います。(2) 式では，追い越しによる航跡の横偏位も評価されていると考えております。

奥山育英：① このモデルの根拠は何によっていますか。② 乗り揚げの生起確率 (F) の推定に，現実の乗り揚げデータを用いていますが，そのときの天候はどうだったのですか。乗り揚げは天候に非常に影響を受けると思います。

井上欣三：① この算定モデルは現状の直線一方航行狭水道における船舶航行の実態分析から導かれた航跡分布モデルをベースにしています。② 事故発生当時の模様についての詳細は不明です。ここに示した推定結果は事故が発生する種々の要因を包含したものと考えるのがよいと思います。個々の要因と生起確率 (F) の関係をうまく対応づけるのは難しいと思いますが，検討の必要があると考えています。