

可航水域の形状変化に伴う船舶航行パターンの変化予測

Estimation for the Geometrical Pattern of Ship's Paths
with Changing the Shape of Navigational Area

喜多 秀行^{*}・黒田勝彦^{**}

by Hideyuki Kita and Katsuhiko Kuroda

The Progress of coastal waters utilization such as offshore airports, trans-bay bridges and reclaimed urban spaces gives much influence to the navigational safety. So, the impact analysis by the change of water area utilization on the navigation becomes to be more important. However, no enough method to estimate the navigational pattern in a coastal waters after changing the shape of it, which is a base of the impact analysis, has been established.

This study discusses the characteristics of the networks of ships' path, and arranges a framework to estimate the change of pattern with the change of shape of water area. Then, a mathematical model which gives a posterior distribution of ships' path in a vicinity of newly settled offshore structures is proposed. Numerical case study comparing estimated and observed distribution shows good fitness.

1. はじめに

沿岸水域の利用が高度化するにつれ、水域の占有的な利用や埋め立てによる陸地化が進み、水域形状は日々変化しているといっても過言ではない。とりわけ、三大湾をはじめとする大都市前面湾域では、海上空港や横断道路、廃棄物処理場の建設をはじめ、在来港湾の沖合展開に伴う埋立などが計画され、既に実施に移されているものも少なくない。

しかるに、これらの湾域は同時に海上輸送の場でもあり、種々の利用計画は高密度な海上交通に多大な影響を及ぼすため、計画策定に際しては、混雑の発生する水域や危険度の変化を的確に把握し、不都合の生じることがないように留意しなければならない。

そのため、航行水域の形状変化が船舶航行に及ぼ

* 正会員 工博 京都大学助手 工学部交通土木工学教室
(606 京都市左京区古田本町)

** 正会員 工博 京都大学助教授 工学部交通土木工学教室
(606 京都市左京区古田本町)

す影響を予測することが要請されるのであるが、予測に当たっては、水域形状が変化した場合の状態における船舶の航行パターンを基礎にして、危険度等の状態変数を算定する作業が行われる。ところが、基礎となるべき航行パターンの推定法は未だ確立されていないのが現状である。

そこで、以下では、可航水域内に構造物が設置されるなどしてその形状が変わる場合に、それに伴う航行パターンの変化を推定する方法について述べ、その一部をなす“構造物近傍における船舶航行位置分布の推定法”について提案する。

2. 航行パターンの将来予測の考え方

(1) 海上交通ネットワークの特徴

議論に先立って、まず海上交通ネットワークと道路交通ネットワークの基本的な差異について整理してみよう。

ネットワークの形状はネットワークを構成する各

リンクの形状とその配置形態からなる。

ネットワークのマクロな形状であるリンク配置形状に関しては、道路交通におけるネットワークでは、既存ないし新規に供給される道路により先決的に規定される。

一方、広い湾域や港内水域施設における海上交通ネットワークを考えた場合は一般にそうではない。水深による制約や航路指定等を除いて、基本的に船舶は任意の水域を自由に航行することができるため、先決的に規定されたリンクの配置形状というものはない。すなわち、OD間がすべて可航水域であれば、船舶は原則的にこの間を直線で結ぶように航行する。そして、ODの数が多く、かつその位置が平面的な広がりをもっている場合に、その形状はこれらを互いに直線で結ぶようなネットワーク状を呈する。しかし、多くの場合、OD間には陸岸や浅瀬、泊地、海洋構造物、航行位置指定（航路指定、航法指示のブイetc.）等、直進を妨げるものが存在し、これらを迂回する必要があるため、折れ線状となる。そして、複数のODルートが部分的に同一コースを共有するといったように、分合流ノードを有する道路交通ネットワークに類似してくる（図-1参照）。

このように、広域湾内等における船舶航行の実態はネットワークとして把握することが適切となる場合が多いが、そのリンク配置形状は、船舶交通（航路）の集積として結果的に形成されるという点が道路交通ネットワークとの基本的な違いである。

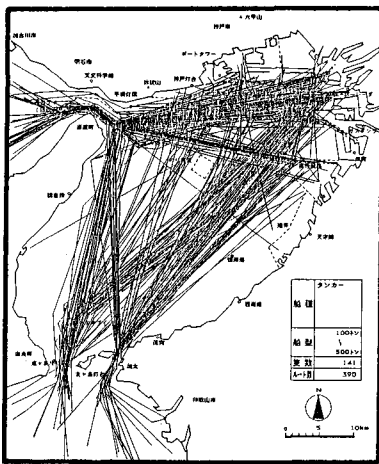


図-1 海上交通ネットワークのイメージ
(文献1)より転載)

個々のリンク形状についても同様に、道路交通ネットワークにおけるそれが道路区間の幅員や曲率等であらかじめ規定されているのに対し、海上交通ネットワークでは航跡の集積として認識される。すなわち、航路指定がなされている区間以外はリンクの幅員を規定することができず、また、指定されている区間であっても、通常、そこを航行する船舶の航跡は部分的に当該領域をはみ出している。また、交通量が多いほど交通流の幅は広がる傾向にあるので、リンクの形状は Flow-dependent となる。

(2) 航行パターンの将来予測に関する全体的フロー

ここでいう航行パターンとは、当該水域を航行する船舶の“位置的な特性”と“量的な特性”の両者を包含した概念である。すなわち、船舶航跡によって形づくられるネットワークの形状と、その上をどのような船がどれだけ航行しているかという船舶交通流の特性の、両者によって記述される船舶航行の実態を指す。

図-2は、水域の利用形態の変化が可航水域の形状変化をもたらす場合に、それに伴って航行パターンがどのように変化するかを推定するフローである。

将来の航行パターンを予測する際の基礎となるものは、当然ではあるが現在の航行パターン、すなわち現在のネットワーク形状と現在のOD交通量であり、この両者からそれぞれ将来のネットワーク形状とその上を航行する船舶交通量を推定する。

将来のネットワーク形状の予測の部分は、構造物の設置等に伴う可航水域の形状変化により、航行が阻害されるリンク上を航行する船舶が、どのような迂回行動を選択し、新たなリンクを形成するかを予測するものである。

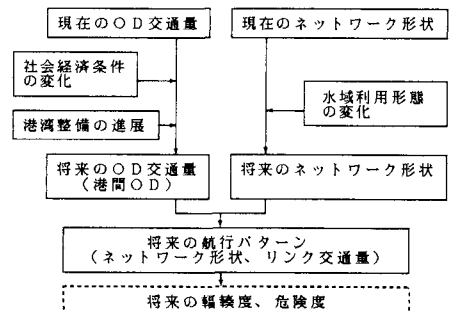


図-2 航行パターンの将来予測の考え方

一方、予測の対象とする水域利用形態の変化後の時点においては、当該水域を航行する船舶の交通量や船型構成が変化しているため、ネットワーク形状の予測と並行してこれらについても予測しておく必要がある。その方法としては、社会経済条件の変化や港湾整備の進展による各港港湾取扱貨物量の予測値を各港の入出港船舶数に変換し、現在パターン法によって現在OD交通量から将来OD交通量を推定するのが一般的である²⁾。

このようにして得た将来の航行パターンをもとに、船舶の輻輳度や航行危険度を算出し、対象としている水域形状の変化を評価するための基礎情報とする。

(3) 海上交通ネットワークの形状推定

操船者が目的地に向けて船を進める場合、航行しようとする水域、例えば湾口から港口あるいは港口から湾口に至る間の水域の状況をまず想い描いた後、安全にかつ効率よく航行するための変針点を適宜設定し、順次このコースラインに従って航過して行くのが通例である。しかし、全ての船が必ずしもコースラインを全くはずれることなく航行できるわけではないため、実際には予定コース周辺のある幅をもった範囲内にばらついて航行する。そして航行中に陸岸や障害物に予定以上に接近してしまうこともあるため、これらに対する避航動作をとる。

このような状況を念頭に置くと、将来のネットワーク形状を推定する作業は

- ①水域形状の変化に伴う新たなコースラインを設定する
- ②当該コースラインに沿って航行する船舶の航行位置分布を推定する

という2つの段階をとることが、実際に即した方法であると考えられる(図-3)。

前者については、現在のところ、将来の水域形状を記入した海図上に海事経験者が適宜コースラインを描くという方法がとられている。本研究においても特にこれに代わる方法を提案するものではなく、水域形状の変化に伴って新たに設定されるコースラインは別途与えられるものとして議論を進めるが、将来的には海事経験者のコース選択構造を抽出し、モデル化してゆくことが望まれる。

一方、後者については、上述の如く設定されたコースラインの周辺が全て可航水域であれば船舶は所

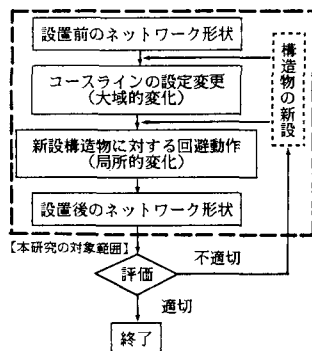


図-3 建造物の設置に伴うネットワーク形状の変化

定の航行位置分布に従って航行する。しかし周辺に海洋構造物が存在すれば航行位置分布が変わる。これは、接近して航行する船舶が回避動作をとるためと考えることができる。そこで、以下ではこの考え方に沿ったモデルを提案する。

(4) 航行パターンの変化予測に関する従来の研究

これまで、航行パターンの変化を予測する際には、主としてシミュレーション・モデルが用いられてきた。これらのシミュレーション・モデルは、

- ①水域をいくつかのブロックに分け、それぞれの通過時間と同時存在可能最大船舶数を規定することにより、ブロックごとの混雑度に関する統計量を求めるマクロ・シミュレーション³⁾
- ②各船舶ごとに時々刻々の航行環境に対応して操船パターンを選択させ、一連の航行挙動を模擬するミクロ・シミュレーション⁴⁾
- ③視界再現装置上に作成される航行環境を見て操船者が舵と機関を操作するというプロセスを繰り返す、航行挙動を模擬するビジュアル・シミュレータ⁵⁾

の3つに大別される⁶⁾⁷⁾。

①と②はあらかじめコースラインが明示的に与えられ、③では操船者が実施に先立って暗黙のうちにこれを作成するが、いずれも、まずコースラインが設定され、しかる後に航行動作が決められるという点で共通している。

①のタイプのモデルは、モデル開発の意図が異なることもあって必ずしもリンク形状の変化が推定できるようになっているわけではないが、②や③のタイプのものでは、出力結果が個々の船舶の航跡の形

で得られ、しかもよく検討された操船判断機能が組み込まれているものについては現実に近い航跡となることが検証されているため、これを集計・整理することによりリンク形状を知ることができる。しかし、数多くの航跡を得ることは一般的に多くの計算時間を要し、なかでも③のシミュレータは実際の操船と同じ長さの時間を必要とする。

また、上記以外の方法として、「迂回前の航行位置分布と同じ形状で、かつ構造物（海上空港）から1海里の地点が1 σ の位置となるように、迂回後の航行位置分布を設定する」という方法が運輸省⁹⁾に見られるが、理論的な根拠は示されていない。

以上のような状況を踏まえ、本研究では、構造物が存在することに対する操船判断を明示的に取り扱い、かつ航行位置分布を直接的に求める方法を提案する。

3. リンク形状の推定モデル

(1) 事前航行位置分布と離隔距離分布

問題を単純化するため、以下では、「ネットワーク上のあるリンクの近傍に構造物が設置される」という状況を想定し、この構造物によってリンク形状、すなわち航行位置分布がどのように変化するかを推定する方法について論じる。

一般に、船舶はコンパスを用いて予定した針路（船首方位）を保ちながらコースラインに沿って航行する。しかし、コースラインはいわば一つの目安であり、また船位測定誤差や他船との安全間隔を保持する必要が生じるといった理由により、必ずしもコースラインを厳密にたどれるわけではない。そのため、実際には設定したコースラインと平行な航跡が多数出現することとなる。コースラインに直交する断面上でこれらの航跡の位置の分布を見たものが、航行位置分布（あるいは航跡分布）と呼ばれているものである。

以後、構造物を通りコースラインに直交する線上における構造物設置後の航行位置分布を“離隔距離分布”と呼ぶこととし、構造物が無い時点の航跡分布を“事前航行位置分布”という。したがって、以下で述べることは、構造物に対する船舶の避航挙動を介して、事前航行位置分布から離隔距離分布を推定する方法ということになる。

(2) 避航挙動のモデル化

まず、船舶の避航挙動をモデル化する。

構造物周辺では、船舶はさまざまな事態の発生を予測し、それらが生じたとしても構造物への衝突が避けられる位置にまで回避して航行することが要請される。どのような事態を想定するかにより回避すべき位置は異なり、例えば、

- ・機関故障の際にも構造物と衝突しない位置まで回避する
- ・予想される外力の擾乱に対しても船の体勢を立て直し、衝突を避けられる位置まで回避する
- ・構造物が船体運動に及ぼす流体力学的影響を無視しえる位置まで回避する

といった操船基準や、これに何らかの余裕を加えたものが考えられる。また、操船者によって、あるいは状況によって操船基準が異なるということもあるため、どのような基準を設定するのが適切であるかが、ひとつの重要なポイントになる。その選定のためには、それぞれの大小関係や設定の実態、あるいはモデルの現象説明力といった観点からの検討が不可欠となるが、現段階ではこの種の情報が皆無に近いので、ここでは、まず比較的安全側の基準と考えられる、

「逆転制動をかけることによって、コース上のいかなる場所からも構造物に接触することなしに停止できる間隔を保持する」

を操船基準と考え、航行実態との適合性を検討する。

さて、船舶は逆転制動時には側方移動を抑えることができず、図-4に示すような滑らかな円弧状の曲線を描いて停止に至る。その際の最大横変移量は

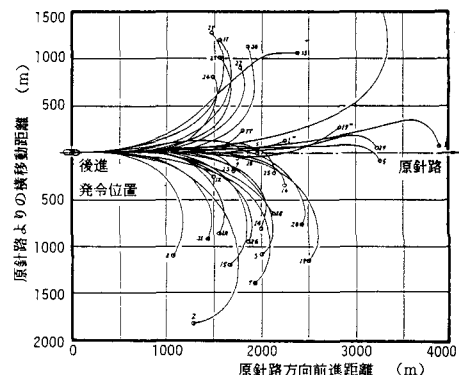


図-4 前進中後進発令による船体停止までの航跡（文献 9）より転載）

船型や速度、あるいは運動特性によって異なるが、これを S とすると、上述の操船基準は、

「構造物とコースラインとの間隔が最大横変移量、 S より小さい位置を航行している船舶は、衝突に対する安全性を確保するために、構造物との距離が S であるコースへと遷移する」

と言い替えることができる。すなわち、事前の航行位置を x_p とすると、遷移後の航行位置 x_i は次のように表わされる。

$$\begin{cases} x_i = x_p & \text{for } x_p \geq S \\ x_i = S & \text{for } x_p < S \end{cases} \quad \dots(1)$$

また、後述する事例研究のように航路の両側に構造物がある場合には、コースラインに近い方（左舷対左舷で行き合うという海上衝突予防法の規定により狭水路等では通常右側航行となっているため一般的には右側）の構造物に対してまず安全な間隔を保つよう航行すると考える。しかし、両者に対して安全と考える距離が同時に確保できないような場合には、どちらに対しても安全性が同等となる位置、すなわちここでは最大横変移量が左右で変わらないとしているので、その中央へと遷移すると考える。

なお、構造物を避航しようとするときに周辺に他の船舶が存在し、これに対しても避航を要するという状況が生じると予想されるが、ここではこのような状況を明示的に取り扱わない。しかし、事前航行位置分布に混雑の程度が反映されているため、他船の存在による影響は事前航行位置分布の変化を通じて考慮される形になっている。

さて、渡辺¹⁰⁾ は、逆転制動時の船体運動に関して「速さは一定の加速度 a で減じ、同時に進行方向は一定の角速度 ϕ で変化する」と仮定し、運動方程式を解くことによって図-5に示す結果を求めている。そこで、本研究ではこれを直線近似し、4~8ノットの範囲では、逆転制動時の最大横変移量 S は、

$$S = (1.26V - 1.73) L \quad \dots(2)$$

で与えられる値とした。ここに、 V は速度(m/s)、 L は船舶長(m)であり、 $S(L)$ の単位はmである。 V と L の間には、

$$\log V = 0.29 \log L + 0.23 \quad \dots(3)$$

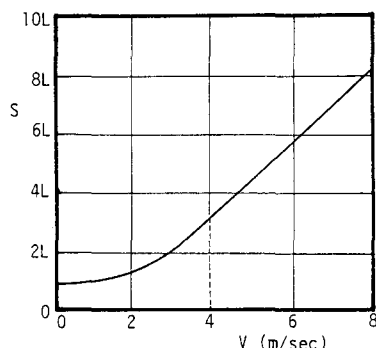


図-5 速度・船型と最大横変移量の関係¹⁰⁾

なる関係がある¹¹⁾ ため、 S は L のみの関数、

$$S(L) = (2.14L^{0.29} - 1.73) L \quad \dots(4)$$

となる。

(3) 不確実性による航行位置のばらつき

しかしながら、外力条件や操船時の認識・予測・操作に係わる種々の不確実性が存在するため、 $x_p < S(L)$ の位置を航行している船舶が $x_i = S(L)$ なる位置を目指して遷移してもある距離 ε だけずれ、実際の航行位置は構造物からの距離が S であるコースの回りにばらつく。この事実を考慮に入れると、遷移後の実際の航行位置 x は、

$$x = x_i + \varepsilon \quad \dots(5)$$

と表わされる。そして、 ε が正規確率変数 $N(0, \sigma_\varepsilon^2)$ に従うものと仮定すると、遷移した船の実際の航行位置 x は、次のような分布に従うこととなる。

$$p_g(x|L) = N(S(L), \sigma_\varepsilon^2) \quad \dots(6)$$

なお、ここでは、操船上の不確実性によるばらつきの内容として、

①操舵に伴う固有のヨーイング運動による蛇行

②外力の変動によって誘起される船体運動とそれに対する修正動作に起因する不測のぶれ

の2つを考える。そして、その大きさ σ_ε は、西日本港湾運航技術研究会¹²⁾ に示されている両者の和 $\eta_{\text{船}}$ が、 $3\sigma_\varepsilon$ に等しいとして値を設定する。

(4) 離隔距離算定のための集計法

以上は、個々の船舶が構造物周辺でどのような位置を航行するかを記述するモデルであるが、求めるべきリンク形状は、遷移する船としない船が全体と

して形づくる離隔距離分布であるため、次に、その算定法を示す。

船舶の操船行動が上述の基準に沿ったものであるとすると、船舶長 L の船舶が、構造物からの離隔距離が x である位置を航行するという事象は、①事前の航行位置 x_P が $x_P = x$ であり、かつ $x_P \geq S(L)$ であったため、構造物に対して避航することなく航行した、②事前の航行位置 x_P が $x_P < S(L)$ であったため、構造物を避航し、 $x_1 = S(L)$ のコースに遷移しようとしたが、操船上の不確実性の故に x の位置へと至った、という2つの場合に生起し、かつこれ以外には生起しない。

それ故、船舶が①の過程を経て位置 x を航行するという事象の確率密度関数 $P_1(x|L)$ は、事前航行位置分布を $f_P(x_P)$ として、次のように表現できる。

$$P_1(x|L) = \begin{cases} f_P(x) & \text{for } x \geq S(L) \\ 0 & \text{for } x < S(L) \end{cases} \quad \cdots(9)$$

また、②の過程を経て位置 x を航行するという事象の確率密度関数 $P_2(x|L)$ は、(6)式に示した船が遷移したという条件の下で位置 x を航行するという事象の確率密度関数 $P_0(x|L)$ と、その船が遷移する確率、すなわち $x_P < S(L)$ となる確率 $P_E(L)$ から、次式のように表わされる。

$$P_2(x|L) = P_0(x|L) \cdot P_E(L) \quad \cdots(10)$$

$$\text{但し、} P_E(L) = \int_{-\infty}^{S(L)} f_P(x) dx$$

したがって、結果として離隔距離が x となる事象の確率密度関数 $P(x|L)$ は、両者の和、

$$P(x|L) = P_1(x|L) + P_2(x|L) \quad \cdots(8)$$

として与えられる。

これより、船型構成分布を $f_L(L)$ とすれば、全船型に関して集計された、位置 x における航行船舶の確率密度関数 $P(x)$ は、次式のように表される。

$$P(x) = \int_0^{\infty} \{ P_1(x|L) + P_2(x|L) \} f_L(L) dL \quad \cdots(4)$$

(5) モデルに関する若干の議論

操船行動は、気象・海象等の自然条件、水深や屈曲等の航路特性、保針性や加減速性能等に関する船舶特性、さらには操船者の技術や性質等に係わる操

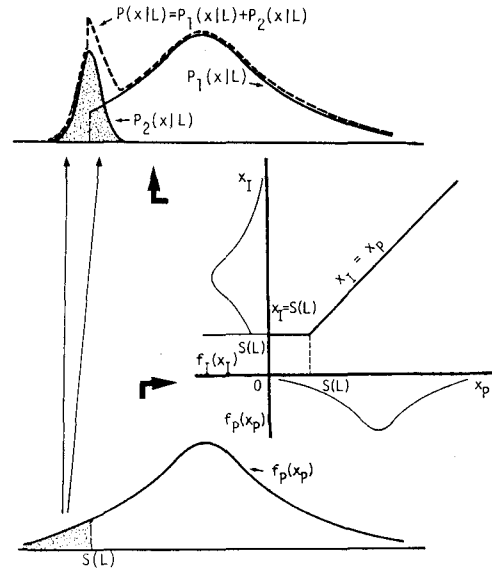


図-6 離隔距離分布算定の概念図

船者特性といった多様な要素の影響を受ける。それゆえ、操船行動に基礎を求める現象説明モデルには、これら諸特性の全てが考慮に入れられていることが理想的である。しかし、実際には全ての要素を考慮したモデルが一挙に構築できるわけではないため、まず骨格を作った後に肉付けをしてゆくこととなる。

ここで提案したモデルも、この意味では「複雑な操船者の判断を支配的ないくつかの要素から構成される一定の操船基準に単純化して表現し、航行実態がこの基準に基づく操船行動の結果として形成されているとして記述する」という骨格の段階であり、モデルへの導入を図るべき要素も数多く残されている。そこで、モデルの構築に当たっては、このような要素を必要に応じて容易に組み込むことができる構造とするよう留意した。

例えば、船体運動に大きな影響を及ぼす要素の一つに潮流があるが、潮流が存在する場合は対水速力が0となっても対地速力は0とならないため、流向が構造物に向いている限り安全性は確保されない。現段階のモデルはこのことについては何も触れていない。しかし、この効果はモデルの中の最大横変移量を設定するところで付加的に考慮することが容易である。流向が構造物に向かっている場合に船舶は構造物からより離れて航行し、逆の場合は近づいて

航行しているが、前者の場合、対地速力が0になるまでに進出する横変移量が潮流のない場合のそれに比べて大きく、逆に後者の場合は小さいという事実からこの現象が説明できるであろうと予想することは、さほど困難ではない。

このように、航行船舶の挙動を単なる物理現象と見なしその諸量を統計的に整理するのではなく、操船者の行動基準にまで立ち戻ってモデル化しようとするアプローチは、種々の要素をどのような形で取り入れてゆけばよいかを経験等に照らして類推することが比較的容易であるという点で、有用な方法であるといえる。しかし、その妥当性を検討するためには、本モデルが、航行位置分布という交通現象の大略的傾向を説明しうるものとなっているかどうかをとりあえず確かめておく必要がある。

4. モデルの妥当性に関する検証

(1) 検証に用いたデータ

以上に示したモデルの妥当性を検証するために事例研究を行い、実態観測調査資料を用いて観測値と計算値との対応を検討する。

対象水域は山口県下の大島瀬戸である。大島大橋架設前の可航幅は約 730 m、現在はその両端からそれぞれ 200mの地点に橋脚 P3 と P4 が設置されている。ほとんどの船舶はこの間を通航しているため、この橋脚を新たに設置された構造物と見なすことができる。提案した方法によって橋脚がない時点の航行位置分布から推定した航過距離分布と、橋脚設置後に観測した航過距離分布とを対照することにより、モデルの妥当性を検討した。

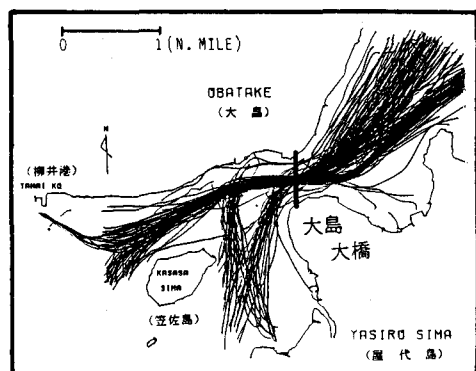


図-7 大島瀬戸における東航船舶航跡図
(文献 14) に加筆したもの)

観測期間は、昭和57年10月4日～7日の72時間である。この間に大島瀬戸を航行した全船舶のレーザ映像を写真撮影し、デジタイザーで航跡を読み取るによりデータを作成した。観測期間中に大島大橋の下を通航した船舶は約 670隻、このうち、柳井港沖から笠佐島北方を経て大島大橋東方へと航行した 209隻の東航船を抽出して、離隔距離分布を求めた。なお、大島大橋を航過する前後に反航船(西航船)と行き合ったものは34隻であった。

船型構成については、船舶長の常用対数が $N(1.57, 0.17^2)$ に従う分布でよく近似できるため、これを船型構成分布 $f_L(L)$ として用いた。

一方、事前航行位置分布については大島大橋架設前の観測結果を用いるべきであるが、利用できる形で残されていないため、今回は架設前の可航幅等をもとに、一様な航路における航行位置分布 $f_x(x)$ と航路幅 W ・交通量 Q_L の関係を整理した井上¹³⁾ の式、

$$\begin{aligned} f_x(x) &= N(\mu_x, \sigma_x^2) \\ \mu_x &= aW \\ \sigma_x &= -7.17 + 0.105W + 2.168Q_L \quad \cdots(12) \end{aligned}$$

を用いて推定した。ただし、 μ_x は航路中央から分布の平均値までの距離、 a は航路側端条件を示すパラメータであり、ここでは $a=0.1$ とした。

得られた事前航行位置分布は $N(290, 75^2)$ である。
(2) 結果とその考察

図-8の破線は事前航行位置の累積分布を、実線と黒点は離隔距離累積分布の計算値と観測値を示すものである。横軸の目盛りは航路南端からの距離で

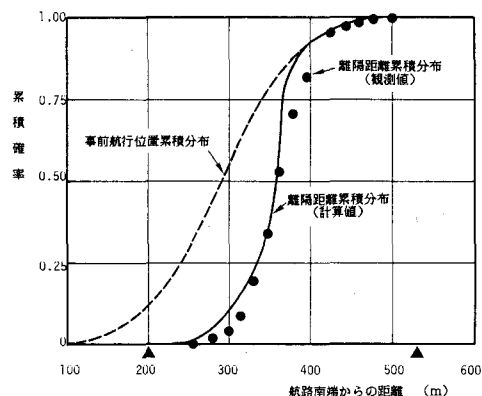


図-8 観測値と計算値の対応関係

あり、横軸上の三角形は橋脚の位置を示している。

これを見ると、全体的には観測値が計算値に沿ったものとなっている。しかし、航路北側（東航船にとっては左側）で、計算値よりも観測値の方が航路側端に近づいて航行する船舶が多いという傾向が現れている。その原因として、大島瀬戸東方で航路が実質的に直進と左折の2方向に分岐しているため、左折船舶のうち short cutする船舶が存在していること、すなわち、直線状の航路と仮定して算定したことに起因する誤差が出ていることが考えられる。

次に、以前に報告されている構造物と周辺航行船舶との離隔距離に関する観測結果と上記の結果を比較し、上記の結果が事例研究の対象とした大島瀬戸に限定されるものであるか否かを検討した。

山口ほか¹⁵⁾は、明石海峡航路に設置された試鍾用やぐらおよび作業船と航行船舶との離隔距離を観測している。明石海峡航路は大型船が多く小型船が主体の大島瀬戸の数値と直接比較することは適当でないため、距長比（離隔距離／船舶長）の平均値でみると、明石海峡航路での値が約 1.5L であるのに対し、大島瀬戸では約 4L であり、かなり違いがあるように見える。しかし、航行船舶の船型と航路幅の関係を見ると大型船の多い明石海峡航路の方が相対的にかなり狭く、大型船については希望する離隔距離がとれているとは言い難い面がある。そこで、航路幅に対する船舶長の比率が大島瀬戸におけるものと近くなる 1000 GT クラスのデータのみを取り出して比較したところ、約 3.6L となり、ほぼ同じような値となっていることがわかった。

以上のことを踏まえると、計算値と観測値はおおむね良好な一致を見せているとみなせ、提案したモデルの妥当性をある程度示し得たものと考えられる。

5. おわりに

本研究では、水域利用の高度化につれて、水域形状の変化に伴う船舶航行パターンの変化を予測することが、今後ますます要請されることを指摘した。そして、その方法として、航行パターンをネットワークとして認識した上で、「リンクの配置形態」と「リンク形状」の2段階に分けて予測を行うことが有用であるとの考え方を述べた。

また、「衝突回避のための操船基準」なる概念に

基づいて海洋構造物の設置に伴うリンク形状の変化を推定するモデルを提案した。事例研究を行った結果、提案したモデルはかなり高い現象説明力を有することが明らかとなった。

しかし、今回提案したモデルは未だ開発の第一段階にあり、本文中でも述べたように、今後さらに多くの影響要素を組み込んで、様々な環境のもとで適用することができるように改良していく必要がある。また、事例研究の結果明らかとなった直線航路の仮定に起因する誤差は、衝突に対する危険の増大をいくらかなりとも受け入れても、short cut による迅速性の増大を選好することがあるという事実を示すものとみなせる。そのため、このような水域における変化をよりの確に予測するには、文献16)で提案したような、両者のトレード・オフ関係を組み込んだモデルへと発展させることが要請される。

【参考文献】

- 1) (社)神戸海難防止研究会：大阪湾の海上交通環境についての調査報告書，p.35，1985
- 2) 長尾義三編著：港湾・沿岸域計画，技報堂出版，1987
- 3) 例えば，奥山育英：ネットワークシミュレーション，航海，No.80，pp.20-27，1984
- 4) 例えば，長沢 明：避航を考慮した海上交通シミュレーション，航海，No.80，pp.28-34，1984
- 5) 例えば，I. Oldenkamp：Statistical Analysis of Ship Manoeuvres，Proc. of the Symposium "Ship's Handling"，Wageningen，1973
- 6) 奥山育英：海上交通シミュレーション特集号の展望，航海，No.80，pp.2-7，1984
- 7) 喜多秀行：船舶衝突危険度の解析モデル，航海，No.87，pp.27-35，1986
- 8) 運輸省：関西国際空港の環境影響評価案，pp.536-537，
- 9) 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，p.42，1964
- 10) 渡辺健次：海峡および水道の船舶交通現象に関する研究 -B II 後方閉塞領域の導出とその例（第一報）-，船舶技術研究所報告，Vol.3，No.5，pp.53-57，1966
- 11) 藤井弥平：序説海上交通工学，p.32，1971
- 12) 西日本港湾運航技術研究会：航路計画調査 一長大航路における航路幅員決定法について-，pp.69-165，1977
- 13) 井上欣三：直線航路における航路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，No.58，pp.103-115，1977
- 14) 辻 啓介：大島瀬戸船舶航行調査結果，大島商船高等専門学校紀要，No.17，pp.17-32，1984
- 15) 山口篤利ほか：危険物等の離隔距離について，日本航海学会誌，No.34，pp.59-64，1985
- 16) 喜多秀行ほか：避航コースの選択と同航時船舶避航領域の算定，土木計画学研究・論文集，No.4，pp.53-60，1986