統計値と水域形状を用いた交通環境のマクロ的評価

田中 隆博*・井上 欣三**

Macroscopic Evaluation of the Traffic Environment by Utilization of Statistical Data and Figure of Water Area

Takahiro TANAKA and Kinzo INOUE

Abstract

The technique of simulation is often used to evaluate the traffic condition in the present or in the future. However, the special devices, observed data, and high cost are needed to carry out the simulation. In addition, as the simulation process is too complicated, so that such simulation method is not easy to understand for the person who is not having speciality knowledge.

In this paper, the authors estimated the network of maritime traffic by utilizing the statistical data of ships' port entry and the simplified figure of water area of the port. The estimation of number of encountering ships was attempted without such special devices and observed data, and compared with the observed number. Moreover, application to the prediction of traffic environmental condition was indicated.

1. はじめに

海上交通の航行環境の現状を評価したり、これに影響を及ぼす水域の埋立てや構造物の建設による航行環境の変化に伴う船舶の航行状態を予測、評価する手法としてシミュレーションの技法が用いられる。このシミュレーションの技法は、特別な機材や膨大な実航跡データを要するなどの理由によって、その過程が複雑化されがちである。それゆえ、専門的知識を持ち合わせていない者にとっては必ずしも馴染みやすい手法とはいえない。

そこで、本研究では、港湾統計など広く公開されている船舶の出入港に関する統計値および対象水域を簡素化した形状を用いて評価対象水域内における船舶交通のネットワーク、すなわち、船舶の通る路とその量を推定する。そして、交通環境を表現する最も基本的なインデックスのひとつである船舶と船舶との出会い回数を多大な実航跡データを用いることなく、記述的かつマクロ的に求める。ここでは、神戸港のポートアイランド、六甲アイランド間を対

象水域として、図 1 に示す流れでネットワークを想定する。ここにいう記述的かつマクロ的とは、個々の船舶の詳細な動きについては考慮せず、算術的に大略の出会い回数を算出することを意味する。

図 1 出会い回数算出の流れ

* 学生会員 神戸商船大学大学院 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町5-1-1)

**正 会 員 神戸商船大学 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町5-1-1)

2. 出会い回数の算出法

2.1 経路の想定

まず、対象水域を水域と陸域で2値画像化し、水域形状の中間軸を抽出し、これをもとにノードとリンクを想定する。図2が対象水域から抽出した中間軸である。そして、連結したノード間を直線で結合し簡略化する。ノード間には平均水域幅の平行水路を想定する。ここでは、中間軸の抽出手法としてVoronoi Medial Axis⁽¹⁾を用いているが、水域全体をマクロ的に評価する場合、細線化など形状簡素化手法を用いても同等の結果が得られる。

図2では、一般に大型船舶が航行しない狭隘な部分にもリンクが生じていることがわかる。また、端点付近に複数ノードが生成されている場合もある。

図2 対象水域および中間軸

図3 想定した経路

これらのリンクまたはノードでの出会い回数は計算上は微小であり無視できるため、図3のようにさらに簡素化した経路を想定した。

2.2 交通量の推定

一般的に、ある対象水域における船舶の交通量や通航状況を知るためには、交通実態観測に基づく以外に手段がない。しかし、この交通実態観測は多大な労力を必要とする。そこで、神戸港の船舶の入港に関する統計値⁽²⁾から、対象水域の交通量の推定を試みた。このような統計値から、各けい船岸への入出港船の船型分布を詳細に知ることはできないが、一定の規則に基づけば入出港船舶の総トン数の配分を行うことができる。

神戸港の統計値では、外航船および内航船施設別係留状況が示されており、1998年においては、けい留船隻数は公共けい留施設（公共バース）が42,254（隻）[71.5%]、私設けい留施設（私設バース）が16,735（隻）[28.3%]、けい留施設不明が69（隻）[0.2%]であった。総トン数で見ると公共けい留施設が237,751,387（総トン）[89.7%]、私設けい留施設が27,344,233（総トン）[10.3%]、けい留施設不明が13,181（総トン）[0.0%]であった。そして、次の手続きによって、各けい留施設への入出港総トン数の配分および各ノードへ流入する総トン数を推定した。

(a) 公共けい留施設について、隣接するけい留施設の総トン数がまとめて集計値として示されている場合は、船舶の総トン数が全長の3乗に比例することから、図4に示すように各けい留施設の延長の3乗で総トン数を比例配分

図4 総トン数で配分した係留施設への交通量

表1 各ノードでの総トン数で配分した発生交通量とルート

ノード	交通量 (トン/日)	出港ルート (入港の場合は同交通量が逆をたどる)
1	2,392	1-2-6-17-21-22-25
2	53,531	2-6-17-21-22-25
3	2,851	3-2-6-17-21-22-25
5	2,180	5-8-10-11-12-18-17-21-22-25
6	1,348	6-17-21-22-25
7	1,118	7-6-17-21-22-25
10	5,010	10-11-12-18-17-21-22-25
12	1,065	12-18-17-21-22-25
13	5,793	13-12-18-17-21-22-25
14	3,723	14-10-11-12-18-17-21-22-25
17	13,849	17-21-22-25
19	15,851	19-18-17-21-22-25
20	42,090	20-21-22-25
21	27,020	21-22-25
計	177,821	

(b) 私設けい留施設については、集計値が示されているのみで、けい留場所の詳細が公表されていないため、(a)同様に、各私設けい留施設の延長の3乗で集計値を比例配分

(c) 配分した総トン数を最も近いノードへの総トン数とし、この総トン数は最短ルートを経て港外へ流出し消失、また、逆のルートを経て同ノードにて消失する

以上の手続きによって対象水域のノードへの総トン数で配分した交通量およびルートを表1に示す。

2.3 出会い回数の算出

ここに交通環境をマクロ的に評価することは、船舶が航行中に他の船舶とどれくらい出会うかを求めることを意味する。ここでは、船舶と船舶との出会いを「両船舶がそのまま直進すれば両船舶間の相対距離が一定値以下になる場合」と定義する。

2つの交通流AとBが交差する場合、単位面積、単位時間あたり一定の出会い半径 r (km)内での出会い頻度 λ は、式(1)で表される⁽³⁾。

$$\lambda = 2 \cdot r \cdot d_A \cdot d_B \cdot V_R \quad \text{.....(1)}$$

ここで、 d_A ：交通流Aの航行密度 (隻/km²)

d_B ：交通流Bの航行密度 (隻/km²)

V_R ：相対速力 (km/h)

総トン数で配分した交通量 (以下、単に「交通量」という。)は港外から流入し、それぞれのけい留施設に最も近いノードで消失 (着棧したものとする) し、また、同量の交通量が同ノードから最短ルートを経て港外へ流出するものとする。図5(a)に示すように、リンクにおける単位時間あたりの出会い頻度 λ_L は、式(2)で表すことができる。

$$\lambda_L = 2 \cdot r \cdot d_A \cdot d_B \cdot D \cdot W_L \cdot V_R \quad \text{.....(2)}$$

ここで、 W_L ：リンクの幅 (km)

D ：リンク長さ (km)

図5 リンクおよびノードでの出会いを求める図

また、ノード付近における出会いの状況を表現することは非常に難しいが、ここでは、幹となるリンク (対象とするノードにつながる最大交通量のリンク) と他のリンクを図5(b)に示すように配置し、幾何学的に求まる共通領域Sにおいて、交通流 N_A と N_B および N_A' と N_B' が会うものと考え、Sでのそれぞれの出会い頻度 λ_N は、式(3)で表すこととした。

$$\lambda_N = 2 \cdot r \cdot d_A \cdot d_B \cdot A \cdot V_R \quad \text{.....(3)}$$

ここで、 A ：共通領域Sの面積 (km²)

さらに、船舶の総トン数 G (トン) と全長 L (m) との関係が、式(4)で表される⁽⁴⁾とすると、

$$G = L^3 / 250 \quad \text{.....(4)}$$

式(2)で表したリンクにおける出会い頻度 λ_L は、式(5)のとおりに変形できる。

$$\begin{aligned} \lambda_L &= 2 \cdot r \cdot (N_A / (V \cdot D))^2 \cdot D \cdot W_L \cdot V_R \\ &= 2 \cdot r \cdot (T_A / (G \cdot V \cdot D))^2 \cdot D \cdot W_L \cdot V_R \\ &= 2 \cdot m \cdot ((250 \cdot G)^{1/3} / 1,000) \\ &\quad \cdot (T_A / (G \cdot V \cdot D))^2 \cdot D \cdot W_L \cdot V_R \\ &= k_L \cdot m / G^{5/3} \quad \text{.....(5)} \end{aligned}$$

ここで、 N_A ：交通流Aの交通量 (隻/h)

V ：交通流の速力 (km/h)

T_A ：ノードの交通量 (トン/h)

G ：換算総トン数 (トン/隻)

m ：換算総トン数の船舶の全長に対する出会い半径の比

k_L ：定数

すなわち、各リンクへ流入する交通量がわかれば、換算総トン数 G (トン) にしてどれだけの出会い頻度や出会い回数があるか推定することができる。以下、式(5)で、定数 k_L をリンクの出会い係数と呼ぶこととする。

また、式(3)を、

$$\begin{aligned} \lambda_N &= 2 \cdot r \cdot N_A \cdot N_B (1 / (V \cdot D))^2 \cdot A \cdot V_R \\ &= 2 \cdot r \cdot T_A \cdot T_B (1 / (G \cdot V \cdot D))^2 \cdot A \cdot V_R \end{aligned}$$

$$= 2 \cdot m \cdot ((250 \cdot G^{1/3}) / 1,000) \cdot T_A \cdot T_B (1 / (G \cdot V \cdot D))^2 \cdot A \cdot V_R$$

$$= k_N \cdot m / G^{5/3} \dots\dots\dots (6)$$

ここで、 N_B ：交通流Bの交通量（隻/h）

T_B ：ノードの交通量（トン/h）

k_N ：定数

式(6)のとおり変形することで同様の定数はノードにも求まり、その定数 k_N をノードの出会い係数と呼ぶこととする。こうして、リンクやノードの出会い係数から単位時間あたりの水域全体の出会い頻度 λ_T を、

$$\lambda_T = (\Sigma k_L + \Sigma k_N) \cdot m / G^{5/3} \dots\dots\dots (7)$$

式(7)のとおり任意の船型に換算した量として算術的に求めることができる。図3のリンクおよびノードの出会い係数等の要目を表2に示す。

以上の手続きによって、統計値から算術的に出会い頻度や出会い回数を算出することができる。ここでは追越しによる出会いが考慮されていないものの、港内などの限定された水域においては、その回数は多くないと考えられる。このことは、次章の交通観測結果からも明らかである

3. 交通実態観測

3.1 観測の方法および結果の概要

2章で示した出会い回数の算出法による出会い回数と現実の交通実態から求めた出会い回数とを対比するデータを得るために、35mm SLRカメラ撮影による交通実態観測を行った。観測日時、機材等の概

表2 (a) 各リンクの要目

リンク	長さ (km)	平均幅 (km)	面積 (km ²)	交通量 (ト/日)	出会い係数 k_L (10kt)
1-2	1.498	0.489	0.732	2,392	41
2-3	2.329	0.440	1.026	2,851	102
2-6	0.404	0.868	0.350	58,773	3,798
5-8	0.320	0.351	0.112	2,180	10
6-7	1.976	0.566	1.119	1,118	10
6-17	1.811	0.854	1.546	61,239	18,784
8-10	0.330	0.452	0.149	2,180	8
10-11	0.754	0.392	0.296	10,913	541
10-14	1.796	0.394	0.708	3,723	149
11-12	0.927	0.471	0.437	10,913	553
12-13	1.217	0.234	0.284	5,793	413
12-18	0.968	0.869	0.841	17,771	830
17-18	0.805	1.050	0.845	33,622	2,047
17-21	0.963	0.981	0.945	95,033	27,407
18-19	2.113	0.267	0.565	15,851	4,691
20-21	1.847	0.507	0.937	42,090	15,245
21-22	0.500	0.623	0.311	177,821	59,862
22-25	1.991	0.503	1.002	177,821	295,355

表2 (b) 交差ノードにおける要目

ノード	面積 (km ²)	出会い係数 k_N (10kt)
2	0.117	211
6	0.210	1,018
10	0.072	111
12	0.056	3,098
18	0.089	2,448
17	0.244	62,818
21	0.261	115,366

表3 交通実態観測の概要

1. 観測日時

(1) 1999年7月30日 0500～2000

(2) 同年9月18日 0500～2000

2. 観測場所

神戸市灘区長峰台 標高約220(m)

3. 観測機材

35mm SLR (85mm F1.4) 三脚固定

ISO 100 (一部増感現像) モノクロフィルム
双眼鏡 (7×42mm)

ワイドバンドレシーバ (国際VHF受信)

記録用紙 (船型、船種、管制信号の状況等記入)

表4 交通実態観測集計の概略

(a) 船種、船型別観測隻数		単位：隻							
船種	船型 (トン)	～50	50～200	200～500	500～1,000	1,000～3,000	3,000～5,000	5,000～10,000	10,000～
貨物船			56(28)	25(19)	(1)	2(5)	5(3)		2
コンテナ船					3(2)	2(1)	4(2)	2(4)	3(2)
自動車専用船							4		
客船			4(1)						4(1)
油タンカー			4(2)	5(2)					1
液体タンカー				(1)					(1)
セメントタンカー							1		1
鉱石タンカー								4(1)	4(1)
タグボート			88(50)						88(50)
タグボート (被曳)		37(33)	2						39(33)
その他		8	8(8)						16(8)
雑船		160(158)							160(158)
計		205(191)	162(89)	30(22)	3(3)	4(6)	14(5)	2(4)	10(3)

(b) 船種、船型別速力 (水域中央部で計測できたものの平均値)		単位：kt							
船種	船型 (トン)	～50	50～200	200～500	500～1,000	1,000～3,000	3,000～5,000	5,000～10,000	10,000～
貨物船			10.2(10.6)	11.7(10.0)	(7.6)	11.2(9.2)	9.7(8.6)		8.3
コンテナ船					12.6(7.9)	9.8(8.9)	10.3(9.0)	11.5(8.9)	7.6(7.3)
自動車専用船							11.4		
客船			13.6(15.1)						
油タンカー			10.9(10.8)	11.2(13.1)					8.5
液体タンカー				(10.1)					
セメントタンカー							10.3		
鉱石タンカー									8.1(10.0)
タグボート (被曳)		4.1(4.9)	6.8						

() 外は7月30日

() 内は9月18日

要を表3に示す。この実態交通観測集計の結果の概要は表4に示すとおりである。7月30日は小型船も含めた総隻数が430(隻)、一方、9月18日は323(隻)であり、両日間では約100隻の差があった。大型船が入出港することは、これを支援するためのタグボート、パイロットボート、はしけなどの動きとも密接に関係し、全体の船舶の交通量は大型船の入港隻数の日変動の数倍の動きとして現れる。理想的には長期観測を行って、この日変動を相殺できるだけのデータに基づく議論も必要であるが、それを得るためには膨大な労力と経費を要する。今回は2日間の交通実態観測から求めた出会い回数と算術的に求めた出会い回数とを対比した。

なお、表4(b)から、この水域における船舶の速力は、船型が大きくなるにつれ低下する傾向がみられるものの、ほぼ 10 ± 2 (kt)の範囲であった。

3.2 航跡データの取得方法

観測両日もとも3分間隔で同水域の撮影を行った。撮影済みのフィルムは現像した後、フィルムスキャナ(2,720 dpi)によってデジタル化した。このデジタル化した画像上の座標値(x,y)から地上座標(X,Y)への変換は、ここでは限定された水域であるので平面への変換を考え、式(8)で表される射影変換⁵⁾を用いた。

$$\begin{aligned} X &= (b_1 \cdot x + b_2 \cdot y + b_3) / (b_7 \cdot x + b_8 \cdot y + 1) \\ Y &= (b_4 \cdot x + b_5 \cdot y + b_6) / (b_7 \cdot x + b_8 \cdot y + 1) \quad (8) \end{aligned}$$

ここで、 b_i ($i=1, \dots, 8$): 未知定数

式(8)の未知定数 b_i は4点の既知点によって定めることができる。ここでの手法は、少ない人数で観測ができること、また、写真フィルムとフィルムスキャナを用いることで、非常に高解像度の画像が低コストで得られることが利点である。今回の観測場所からは、1画素に相当する長さから算出すると、水域の中央部付近の水平方向では1(m)未満の精度で船舶の位置が読みとれるはずであるが、実際にはデジタル化する際のフィルムの平坦性やフィルムの粒状性の問題、撮影レンズの解像度やディストーションの影響などによって絶対誤差(4点を基準にして得られた平面上の座標と地上座標との差)にもばらつきがあった。そのため、絶対誤差の平均が最小(7月30日については26.9(m)、9月18日については30.5(m))となる基準画像を選定し、この基準画像と各撮影コマとを画像処理ソフトウェアによって合成し、対象船舶周辺に写っている固定物標でマッチングをすることによって、相対的な誤差が小さくなるように配慮した。そして、得られた船舶の地上座標(X, Y)

図6 射影変換によって得られた航跡

を5秒間隔で補間した結果を図6に示す。同図においては、今回は撮影間隔を3分としたため、急変針を伴う場合には、防波堤上を横切っている航跡も見受けられるが、バースへの接岸航跡から判断して、おおむね良好な変換がなされているといえる。

以上の手続きから得られた航跡を、計算機上で再現させ、撮影範囲における船舶と船舶とが一定距離以下となる出会い回数を求めた。ただし、今回の撮影間隔では、避航操船などについての詳細な船体運動の過程をとらえることができないため、至近の出会い回数についての信頼性はあまり高いものと考えられる。

図7 時刻帯別出会い発生状況(7月30日)

4. 出会い回数の算出結果と実態観測との対応

図7は、7月30日の実態観測から得られた各時刻帯別の出会い回数を示すグラフである。同図から、08、13、16時頃にピークがあることがわかる。特に、08時頃のピークが顕著であるのは、

- ・入港船舶の一方向的な流れに対し、少数であってもこれに反航する出港船や通過船があると、出会い回数を増加させる

- ・入港船舶が逐次入港し、「追いつき」の状態が生じることがある

ためである。なお、観測両日とも入港船舶が集中する07時前後に同水域内での追越しは目視観測では確認できなかった。

つぎに、2章で述べた出会い回数算出法による出会い回数については、以下の4ケースで算出した。

- ①：24時間かけて交通量が均一に出入港すると想定
- ②：12時間かけて交通量が均一に出入港すると想定
- ③：①について撮影範囲を考慮
- ④：②について撮影範囲を考慮

それぞれ船舶の全長に対する出会い半径の比 m を2～8の範囲で変化させて出会い回数を算出した結果と交通実態観測によって観測された出会いの回数を図8に示す。なお、交通実態観測によって出会いが観測された船舶の総トン数が図8に示すようにおおむね3,000～5,000(トン)であったことから、ケース①～④の算出では換算総トン数 G を4,000(トン)とした。また、表4(b)に示すように、対象水域中央における船舶の速力が10(kt)前後であったことから、速力 V は10(kt)とし、交通実態観測からは、50～200(トン)のカテゴリー以上の船舶を対象とし

て出会い回数を求めた。 m が2～8の範囲であれば計算によって求めた出会い回数も実態観測から得た出会い回数も比例関係となっていることがわかる。

ところで、交通実態観測から、対象水域内で船舶の航行が観測されるのはおおむね昼間であり、夜間は大型船舶の通航がほとんどないことがわかっている。また、統計値から求めた同水域の1日あたりの交通量(177,821×2=355,642(トン))と7月30日に観測された交通量(276,900(トン))とが比較的近いことから、上記のケース④と7月30日との出会い回数は近くなると予想される。ところが、図8に示すように両者にはおよそ2倍のひらきが生じている。これは、

- (a) 入港船舶は07時前後に集中して入り、出港船舶は15時以降に多く、均一的な交通流ではない

- (b) 水路の管制信号によって、大型船間での出会いが生じないように配慮されている

- (c) 避航操船による出会いの削減

などの影響が理由として考えられる。同図からわかるように、交通実態観測に基づく出会い回数とケース③、すなわち、24時間かけて交通量が均一に出入港すると想定した場合と極めて近い値を示している。交通管制などの規制がなく、12時間かけて均一に交通流が流れるという計算に対して、上記の理由が相乗的な効果を与えた結果が安全側になるためと考えられる。すなわち、平均的に船舶が出入港する場合よりも船舶の出会いを減少させる方向に働いているためであると考えられる。結果的に、この対象水域では24時間かけて均一な交通量の交通を想定した場合と対応している。

5. 出会い回数と衝突事故件数との関係

神戸港の港域内においては、年平均約25.6件(1996～1998年の平均)の衝突事故が報告⁽⁶⁾されている。この対象水域には船舶の入港に関する統計から算出すると、同港の約1/4の交通量がある。式(1)からわかるように、2つの交通流が交差する場合には交通量の2乗に比例して出会い回数が増加する。また、水域内に交差の場所(ノード)が増えるに従って出会い回数も増加する。すなわち、同じ交通量であっても交差の状態やノードの数など水域を取りまく環境によって出会い回数に差が生じるが、いまかりに、同水域が港全体からみて平均的な水域環境にあるものとし、さらに、衝突事故件数が交通量に比例すると考えれば、同水域内で衝突事故の1/4が発生すると仮定できる。 $m=2$ における年間出会い回数 $29 \times 365 = 10,585$ (回/年)につきおよそ $25.6 \times 1/$

図8 出会い回数を示すグラフ

4 (件) の衝突が生じていることになるから、衝突確率は 6.0×10^{-4} となる。これに対し、幾何学的衝突確率 (衝突件数/幾何学的衝突回数) が、式(5)および(6)での $m=1$ に相当する場合で $0.9 \sim 1.6 \times 10^{-4}$ とされる⁽⁴⁾。2章の出会い回数の算出法による出会い回数は、ケース④と実態観測結果とがおおよそ合致することは先に示したとおりである。交通実態観測に基づく航跡は避航操船が加わった結果であり、幾何学的衝突回数はここでの出会い回数より多くなることを考慮すれば、衝突確率については非常に近い

値となっている。

6. 交通環境変化の予測への応用例

以上の結果を応用すれば、操船環境の将来の変化に対する影響を予測することが可能となる。ただし、ここでは将来的な交通需要の変化はあらかじめ与えられているものと想定する。

例えば、図9に示すような管制などの規制がないモデル港を想定し、同図内で示した領域が埋め立てられるとともに、交通量が将来的に2割増加するものとする。埋立て前後のネットワークを想定すると図10のとおりとなる。そして、

①現状

②将来

③ルート1'⇌13'の交通を管制

④ルート1'⇌13'および4'⇌13'の交通を管制

①～④のケースについて、2章の手続きと同様にそれぞれの出会い係数 k_L および係数 k_N を求め、日中の12時間で交通量が均一に出入港すると仮定して出会い回数を算出した結果を表5に示す。同表②の結果から、この水域での出会い回数は、交通需要および航行環境の変化によって約6割増加すると予想できる。この場合、かりに神戸港の例のとおり、 $m=2$ において 6.0×10^{-4} 程度の衝突確率があるとする、

図9 モデル港

表5 モデル港での出会い回数

	m=2	m=4	m=6	m=8
①現状	26	52	78	104
②将来	42	85	127	170
③	38	74	112	144
④	28	56	83	111

単位は回/日。換算総トン数4,000 (トン)

③: ルート1' ⇌ 13' の交通を管制

④: ルート1' ⇌ 11' および1' ⇌ 13' の交通を管制

図10 想定したネットワーク

$(42-26) \times 365 \times 6.0 \times 10^{-4} = 3.5$ (回/年) の衝突事故の増加が見込まれる。

そこで、大きな交通量をもつルート $1' \longleftrightarrow 13'$ について出港、入港それぞれ6時間ずつを割り当て、同ルートを経る交通量同士の出会いを完全に排除した結果が③であり、この場合、将来的な出会い回数の増加を4割程度までに抑えることができる。さらに、ルート $4' \longleftrightarrow 13'$ についても同様のタイムテーブルで交通を管制した結果が④であり、この場合、将来的な出会い回数、すなわち、衝突事故を現状程度にまで抑えることができると考えられる。

このように、本研究の手法は、船舶の細かな、いわばミクロ的な挙動について言及することはできないものの、港内などの広い水域における交通環境の変化や交通管制などの安全化施策の効果をマクロ的に見ることができる。

7. おわりに

以上のように、2章の出会い回数の算出の手法は、先に文献⁽⁷⁾で報告したとおり、水域の形状から船舶の経路を推定する手法を利用して船舶交通流のネットワークを想定することにより、実態観測に基づかなくともおよその出会い回数を算出ができることがわかった。本研究は出会い回数という「量」的評価を行ったが、実際には各々の出会いは、その状況によって「質」的な差異があるものと考えられる。このような「質」的な表現手法を確立し、水域の交通環境のマクロ的特性を表現することによって、水域相互の質的な環境の比較手法へ発展できるものと考えられる。

また、神戸港の限定された水域であるが、出会い回数算出の手法による衝突確率と幾何学的衝突確率がオーダーとして一致することは、ここでの手法が比較的精度のよい結果を示すことを意味するものと考えられる。この手法は単に現状の水域全体の出会い回数を算出するにとどまらず、交通需要の変化や埋立てなどによる交通環境への影響を予測する手段となる。そして、出会い係数や平均水域幅を利用して、水域全体からみて隘路となる部分を抽出し、さらに詳しく検討すべき水域を指摘することも可能となる。

ここでの手法をそのままより広い水域に適用するためには、解決すべき問題もあるものの、港内のように限定された水域であれば、他の港についても同様の結果が得られるものと考えられる。

参考文献

- (1) R. Ogniewicz, M. Ilg: Voronoi Skeletons: Theory and Applications, Proceedings CVPR'92, 1992.
- (2) 神戸市港湾整備局: 神戸港大観, 1999.
- (3) 日本航海学会: 日本航海学会誌 NAVIGATION第80号 (海上交通工学特集), 1984.
- (4) 藤井弥平・巻島 勉・原 潔: 海上交通工学, 海文堂, 1981.
- (5) 日本写真測量学会: 写真による三次元測定, 共立出版, 1983.
- (6) 運輸省運輸政策局情報管理部: 海難統計年報平成8年~10年, 1997~1999.
- (7) 田中・井上: 水域環境のマクロ的評価手法に関する研究, 日本航海学会論文集第100号, 1999.

質疑応答

中村紳也 (日本郵船(株)): ここでの手法は、「安全性評価のカテゴリー分類への適用」「詳細に検討すべきボトルネックの抽出」「他港との相対比較」などへの応用が考えられますが、提案したマクロ的評価を利用するにあたっての位置付けについて教えてください。

田中隆博: 本研究は、複雑化している現在のシュミレーションとは逆に、統計値と水域形状という2つの情報からシンプルに交通環境を評価しようという試みですが、これによって、広い水域の中から特に詳細に検討すべき水域を抽出し、いわばミクロ的なシュミレーションの効率的な実施の支援への応用が可能と考えます。

宮坂真人 ((株)エム・オー・マリンコンサルティング): 「リンク上における出会い」は直感的に理解することができますが、「ノード上における出会い」についての概念をもう少し詳しく御教授下さい。

田中隆博: 図3に示すように、幾何学的なネットワーク上に交通流を想定した場合、リンク上においては図5(a)のように、同一の入出港流が行き会うことによる出会いが生じます。また、ノードにおいては図5(b)のように、交通流の分岐による他の交通流との交差による出会いを考慮しなければなりません。本研究では、同図のような共通領域によって、交通流の交差による出会いを考慮しました。