

港内航行安全性の簡易評価法

SIMPLE ASSESSMENT OF NAVIGATIONAL SAFETY IN PORT.

黒田 勝彦*, 野中 隆博**

By Katsuhiko KURODA and Takahiro NONAKA

In planning of ports and harbours, the assessment of navigational safety is one of important jobs. Traditional methods to assess the navigational safety are those by mathematical models, network simulation models and ship-handling simulators. However, these have some problems in saving time and cost and in realization of navigational environments. Under these circumstances, the present paper proposes a simple simulation method to assess the navigational safety in ports. The method is applied to Osaka Port in order to demonstrate its usefulness. At the same time, questionnaires are distributed to the captains who have been sailing in Port of Osaka in order to investigate how the pilots consider the result of the simulation.

1. はじめに

近年、東京湾、伊勢湾、大阪湾などに位置する港湾をとりまく環境として、港湾施設の沖合い展開、市民の親水空間の整備に対する要望、住宅用地の要望などがあげられる。このような港湾利用の高度化・多様化にともなう埋立地、沖合い人工島の増加は、船舶の航行安全性と密接な関係にある。

港湾計画では、新人工島の規模、配置による航路の変更、航行水域の狭小化、また新人工島による船舶交通量の増加など、これらが船舶の航行安全性に対してどのような影響をおよぼすか評価し、計画を作成する必要がある。

過去の航行安全性の評価方法としては、数理モ

デル¹⁾、シミュレーションモデル²⁾、操船シミュレータの利用などがあげられる。しかし、数理モデルでは、外洋や狭水道などの比較的に整流化された交通流を対象としており、港内のような複雑な交通流を対象とするのは困難である。また、後者のネットワークシミュレーションでは、計算量が膨大になるという問題があり、操船シミュレータでは航行環境の入力、輻輳交通の再現が困難である。

このようなことを背景に本研究では、以下のことを目的としている。

- ①港内航行安全性評価のための簡易シミュレーションモデルの開発。
- ②操船者にとって感覚的に判断できる指標による衝突危険度の評価。
- ③新人工島などの建設による航路環境、船舶構成の変化による航行安全性への影響の評価。
- ④操船者の衝突回避行動(減速回避)に対する心理的負担度と、モデルによる危険度評価の対応づけ。

キーワード: 海上交通, 安全性評価, シミュレーションモデル

*正会員 工博 熊本大学教授 工学部土木環境工学科

**学生員 熊本大学大学院工学研究科

(〒860 熊本市黒髪2丁目39-1)

2. シミュレーションモデルの概要

(1) モデルの開発にあたって

船舶の航行安全性を評価するシミュレーションモデルは、その実用性を得るために次にあげる特性の変化、および船舶動態に対応できるものでなくてはならない。

- ・ 航路特性の変化（海上交通の場の変化）
- ・ 船舶特性の変化（航行船舶の量、質の変化）
- ・ 海上交通方法の変化（航行規制の変化）
- ・ 避航動態（変速、変針）

本モデルでは、航路データ、船舶データを既知のものとして取扱い、これらの入力データを変化させることにより、特性の変化への対応づけを行う。実際としてはこれに自然条件特性の変化（波浪、風雨、水深）も考慮すべきであるが、これらを定量化するのは困難なため本モデルではこの特性の考慮は行わないものとする。

(2) モデルの簡易化

本モデルでは計算時間の短縮を計るために、港内全域においてシミュレーションを実施するのではなく、港内において船舶交通が輻輳するであろうと思われる水域に着目し、その水域において集中的にシミュレーションを行うことで計算の効率化を行う。この水域を着目水域と呼ぶことにする。着目水域は、それを取り囲む仮想ラインにより設定され、そのラインは等間隔のゲートによって区切られている。

着目水域における海上交通流データ（ゲート進入時刻、ライン・ゲートOD、船速、船長、船種、船型、航路番号、ライン進入番号）、航路データ（着目水域においてX-Y座標系を任意にとり、その離散的な点のつながりで表される）はすでに与えられているものとする。

(3) シミュレーションの流れ

図2-1に本シミュレーションのフローチャートを示す。

(a) 衝突危険性の判定

通常、船舶は航行中、他船に対してある一定の距離を持って航行している。これは、衝突の危険性を避けるために、自船のまわりに他船の進入を許さない排他的な領域（避航領域）を有していることを意味している。

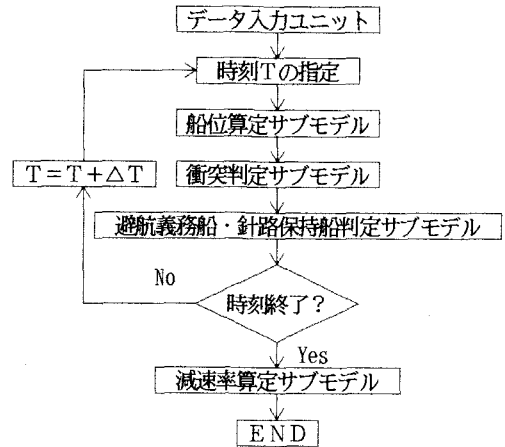


図2-1 シミュレーションフローチャート

避航領域は港内、港外などの航行環境、操船者の主観的な判断、船速などにより変化するものの、船長を L とすると、概ね前方に数 L ～十数 L 、後方に $3L$ ～数 L 、左右に $3L$ ～ $4L$ の範囲とされており、形状は楕円、または前方楕円、後方半円とするものが多い。しかしながら、港内のように輻輳した水域における避航領域を定量化したものはない。このため本研究では安全面を考え、狭水道などで用いられている長澤の避航領域⁴⁾を用いることとする。この避航領域は次式に示す、短半径 A 、長半径 B の楕円により表される。

$$\text{短半径 } A = (3 - 2 \cdot \exp(-0.18 \cdot RV)) \cdot L_r$$

$$\text{長半径 } B = \begin{cases} 0.75 \cdot V1 \cdot L_r & (V1 \geq 2 \text{ Knot}) \\ 1.5 \cdot L_r & (V1 < 2 \text{ Knot}) \end{cases}$$

$L1$: 自船の船長 $L2$: 相手船の船長

$V1$: 自船の速度 $V2$: 相手船の速度

RV : 相対速度 L_r : 両船の船長の2乗平均値

本モデルでは、船舶が着目水域を航行中に他船が避航領域に進入してきた場合、2船は衝突の危険性があると判断する。また、他船が進入しなかった場合、船舶は十分安全に着目水域を航行できたものとする。

(b) 避航義務船・針路保持船の判定

海上を航行する船舶は、衝突の危険性があると判断された場合、避航の義務を負う避航義務船と針路を保持する針路保持船のいずれかとなる。これは、2船の出会い状況により決まり、海上衝突予防法⁵⁾により次のように定められている。

- ・真向かいに行き会う場合には、互いに避航の義務を負う。
- ・追越し船はすべての場合に確実に避航しなければならない。
- ・互いに進路を横切の場合には、他船を右舷側に見る船舶が原則として避航の義務を負う。

本研究においても、これに準じ避航義務船、針路保持船の判定を行っている。ただし、船長200mを超える大型船については、その船舶が避航の義務を負う場合でも針路優先権を考慮し相手船を避航義務船としている。

(c) 危険度評価の指標

本来、船舶の避航行動とは衝突危険時の状況や航行環境により速度変更、針路変更の複雑な組み合わせにより行われる。その行動は、操船者の主観的・経験的（感覚的）判断によることが大きく、港内のように交通の輻輳する水域においてその行動を定量化することは極めて困難である。このため本研究では、船舶は変針による避航は行わないものと仮定し、減速による避航行動のみを行うものと仮定する。

着目水域の安全性の評価、および衝突危険の度合いを表す指標としては衝突危険ペア、減速率の2つを用いることとする。

衝突危険ペアとは、シミュレーションの結果として得られる、着目水域における潜在的な衝突の危険性を有する船舶ペアのことを意味する。これをもとに、着目水域を航行する全船舶と、衝突危険性を有する船舶との比率を調べることでその水域の航行危険度を知ることができる。また結果には、船舶ペアの衝突危険時の情報（2船の船位、船速、船型等）も出力されるのでこれらの情報から、着目水域の衝突状況の様々なデータを得ることができる。

減速率とは、各衝突危険ペアについて船舶（避航義務船）が減速による避航を行った時の減速の度合いを意味する。船舶の初期航行速度を V_0 、避航可能速度を V_1 とすると減速率は次式で表される。

$$\text{減速率 (\%)} = \frac{V_0 - V_1}{V_0} * 100$$

この減速率の大小により、各衝突危険ペアがその衝突の危険性に対してどの程度の心理的負担度を持っているかの判断を行う。当然、減速率の大きいペアが、衝突に対して高い危険性を持つこととなる。

3. 大阪港への適用

(1) 大阪港の概要

大阪港はわが国において有数の国際貿易港であるとともに、西日本における内航貿易の1つの中心地となっており、現在内航、外航合わせて1日約300隻の入港がみられる海上交通の活発な港となっている。また「テクノポート大阪」計画による新人工島の建設や大水深コンテナバースの建設計画など今後さらなる発展が予想され、それによる海上交通の過密化も予想される。

このように港内船舶の航行危険度が高いと考えられる大阪港において、現況の海上交通流データ、および2005年における新人工島、コンテナバースを考慮した予測データを用いてシミュレーションを行う。これにより、航路環境、船舶構成量変化による船舶の航行安全性の変化の評価を行う。また、後に述べる船長を対象として行った、減速による避航行動の心理的負担度のアンケート調査結果と比較することにより本モデルの妥当性を検討する。

(2) 着目水域の設定

本シミュレーションモデルは計算時間の短縮のために着目水域を設定する。現況の大阪港においては、港口から入港して、舞島埠頭方向（ライン③）、内貿埠頭方向（ライン①）、天保山客船ターミナル方向（ライン②）へ抜ける航路が交通が最も輻輳する水域であると判断し、ライン①、②、③、④、およびライン④、⑤、⑥で囲まれる2つの水域、を着目水域とした（図3-1参照）。

2005年の大阪港の予想図を図3-2に示す。新人工島が建設されコンテナバースにコンテナ船が行き来する交通流が新たに予測される。このため着目水域は現況との対比を行うことも考慮し、ライン①'、②'、③'、④'、⑤'、およびライン⑤'、⑥'、⑦'、⑧'で囲まれる水域とした。

(3) 入力データ

大阪港においてシミュレーションを実行するにあたり、船舶動態調査データによる現況データと交通予測モデルから得られる2005年予測データの2つの入力データを用いた。

(a) 船舶動態調査データ

平成3年7月30日（火）、午前6時から午後8時

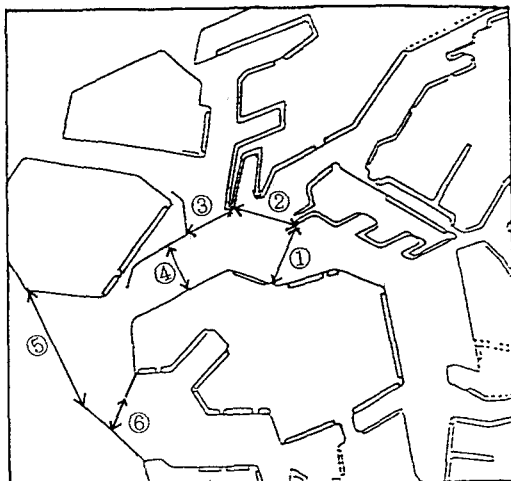


図3-1 大阪港における着目水域（現況）

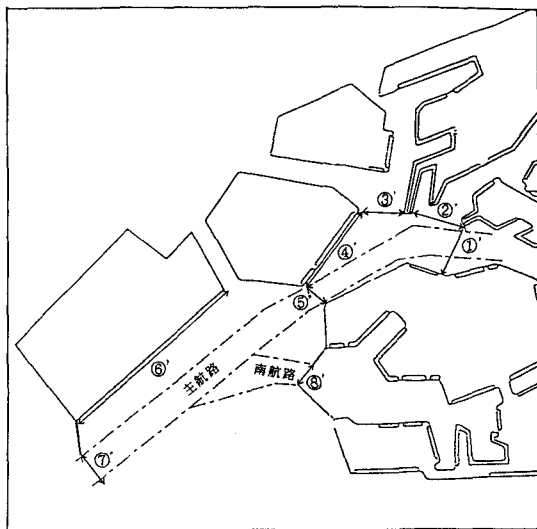


図3-2 大阪港における着目水域（2005年）

までの14時間において大阪港で行われた船舶動態調査結果のデータを用いる。以下に調査内容を示す。

調査は100m間隔の仮想ゲートが設置された仮想ライン①～⑥において行われた（図3-1参照）。

各ラインにおいて出入港船の船名、船種、船型、ライン到着時刻、針路、ラインOD、通過ゲート、通過番号の目視観測を行い、並行して大阪港ハーバーレーダーを用いて船舶の航跡観測も行っている。

本研究では、この各ラインごとにおける船舶データをを用いて各船舶のゲートODのデータを作成し、整理した船舶データとレーダーによる航跡データの照合を行うことにより各船舶の航跡を求め、船舶台

帳より船長を求める。しかしレーダーが小型船を捉えきれていないため、小型船舶の航跡を目視観測によるゲートODより求めている。先に、1日平均約300隻の入港状況であると述べたが実際は港内において内々のトリップを行う小型船舶が多くみられ、この船舶動態調査による着目水域の船舶データ数は①～④水域で987隻、④～⑤水域で504隻となった。

（b）海上交通予測モデルによる予測データ

本研究と並行に行っている黒田・山本の研究⁶⁾による「バース別荷役能力を考慮した港内船舶交通予測モデル」の大阪港における結果を用いて、2005年の海上交通予測データを得るものとする。

船舶ODの予測はライン①'、②'、③'、④'を出港した船舶はライン⑤'を通過し、ライン⑤'から入港した船舶はライン①'、②'、③'、④'のいずれかを通過するものと仮定している（⑤'～⑧'水域も同様）。ラインの通過位置すなわち通過ゲートは正規乱数を発生させ求めている。またゲート間隔は100mとし、船速、船長については船種・船型別に統計的な値を与えている。この予測モデルによる2005年の船舶データ数は①'～⑤'水域では321隻、⑤'～⑧'水域で391隻となった。この2005年データには内々トリップは含まれていない。

（4）シミュレーションの実行

前述した2つのデータを用いて、大阪港において午前6時から午後8時までの14時間においてシミュレーションを実行した。

本シミュレーションモデルでは、ある2船が着目水域において、互いの避航領域を出入りしながら航行していく場合、すなわち時刻T1において衝突危険ペアと判断された船舶S1、S2が次の時刻 $T1 + \Delta T$ においても衝突危険ペアと判断された場合、最初の衝突危険状態のみを出力しその後の衝突危険状態は出力しないものとした。

（a）動態調査データによるシミュレーション結果

①～④水域において733ペア、④～⑥水域において540ペアの衝突危険ペアが存在した。船舶が航行水域を航行中に衝突危険状態になる回数を示したのが表3-1である。これより、重複する船舶を除くと、それぞれの水域において672隻、397隻の船舶が、すなわち航行船舶の68%、79%が潜在的な衝突の危険

表 3-2 船型対別衝突危険分布表 (①～④水域：実態調査データ)

義務船	相手船	船 型												合計
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
船型	1 20トン未満	28	34	48	21	12	6	7	1	5	2			164
	2 100トン未満	28	29	41	20	16	5	1	2	4				146
	3 200トン未満	66	39	52	31	13	9	1	3	5	4			223
	4 500トン未満	13	10	21	20	8	5	3	1	3	3			87
	5 1千トン未満	15	7	15	10	1	2		1					51
	6 3千トン未満	11	8	6	3	4	1		1					34
	7 6千トン未満	2	2	3										7
	8 1万トン未満	2	4	2	1	1								10
	9 3万トン未満	2	2	4	2									10
	10 5万トン未満									1				1
	11 10万トン未満													
	12 10万トン以上													
合計		167	135	192	108	55	28	12	9	18	9			733

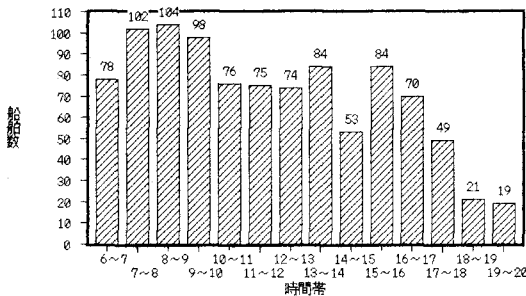


図 3-3 時間帯別到着船舶数 (①～④水域)

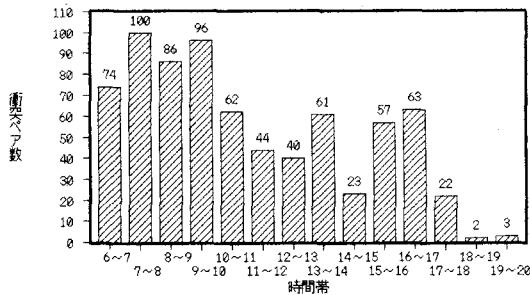


図 3-4 時間帯別衝突ペア分布図 (①～④水域)
性を持ちながら航行していることとなる。また、水域を航行する船舶の衝突危険状態を持つ平均的回数は①～④水域においては1.49回/隻、④～⑤水域においては2.14回/隻である。

図 3-3 に時間帯別到着船舶数 (①～④水域) を、図 3-4 に衝突危険ペアの時間帯別出現分布 (①～④水域) を示す。到着船舶数が増加するほど衝突危険ペアの出現率も増加していることが分かる。

現況データでは航行船舶の90%が500トン未満の中型船舶である。このため表 3-2 から分かるように小型船、中型船同志による衝突危険状態が全体の68%を占めている。これは、港内における小型船舶の内タトリップによるものが多く含まれていると思わ

表 3-1 衝突頻度分布表 (①～④水域)

回数	隻数(%)	回数	隻数(%)
0回	315(32)	3回	88(9)
1回	287(29)	4回	53(5)
2回	191(19)	5回以上	53(5)

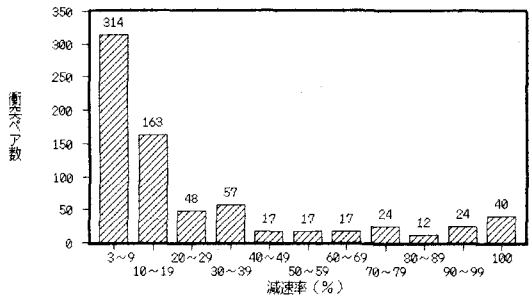


図 3-5 減速率分布図 (①～④水域)

れる。これに対し、1万トン以上の大型船舶の関係する衝突危険状態は5%である。

各衝突危険ペアの危険度の度合いである減速率の分布 (①～④水域) を図 3-5 に示す。

これによると、衝突危険ペアの70%近くは30%未満の軽度な減速により衝突危険の状態を回避できていることが分かる。④～⑥水域においても60%近くが同様の状態にある。

(b) 2005年データによるシミュレーション結果
①'～⑤'水域において239ペア、⑤'～⑧'水域において398ペアの衝突危険ペアが存在した。表 3-3 より重複する船舶を除いて、それぞれの水域において220隻、229隻の船舶が、すなわち航行船舶の69%、59%が潜在的な衝突の危険性を持って航行していることが分かる。また、水域を航行する船舶が衝突危険状態を持つ平均的回数は①'～⑤'水域においては1.49回/隻、⑤'～⑧'水域においては2.04回/隻である。

表 3-4 船型別衝突危険分布表 (①'~⑤'水域: 2005年データ)

義務船	相手船	船 型									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	合計
船 型	1 100トン未満		9								9
	2 500トン未満	13	145	19	8	1		12	2		200
	3 1千トン未満	1	10		1			1			13
	4 3千トン未満		1	1							2
	5 6千トン未満		2								2
	6 1千トン未満										
	7 2千トン未満	1	8								9
	8 3万トン未満		4								4
	9 3万トン以上										
合計		15	179	20	9	1		13	2		239

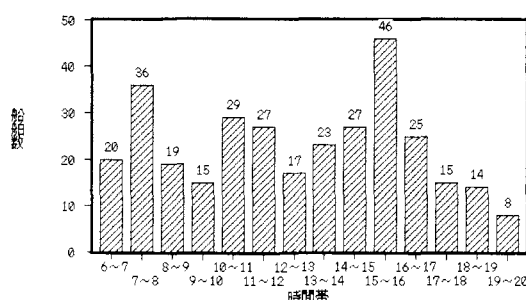


図 3-6 時間帯別到着船舶数 (①'~⑤'水域)

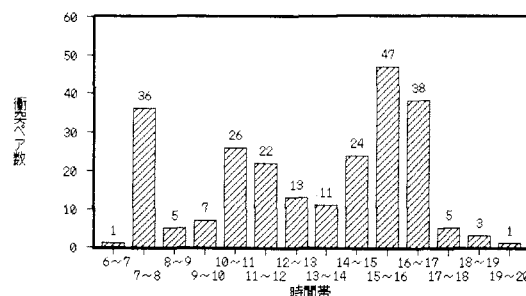


図 3-7 衝突ペア分布図 (①'~⑤'水域)

衝突危険ペア, 船型別衝突危険分布は現況データと同様にそれぞれ到着船舶数, 船型分布に対応したのとなっている (図 3-6, 図 3-7)。

図 3-8 を見てみると①'~⑤'水域では, 衝突危険ペアの80%が30%未満の軽度な減速により衝突を回避できることが分かる。⑤'~⑧'水域では69%のペアが同様の状態となっている。

(c) 現況・2005年の比較; 結果のまとめ

動態調査データとモデルによる予測データには内々トリップを含むか含まないかという違いがある。このため, 両データによる結果をそのまま用いて現況と2005年の比較を行うことはできない, そこで予測モデルにより現況予測データを作成し, そのデータによるシミュレーション結果を用いて比較を行う。

表 3-3 衝突頻度分布表 (①'~⑤'水域)

回数	隻数(%)	回数	隻数(%)
0回	101(31)	3回	43(13)
1回	83(25)	4回	15(5)
2回	68(21)	5回以上	11(5)

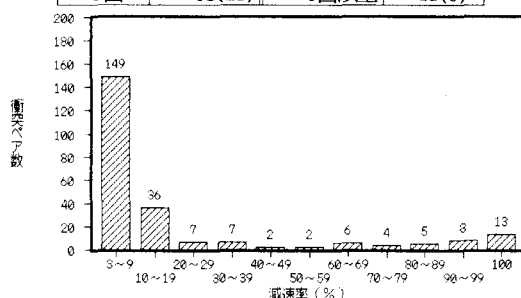


図 3-8 減速率分布図 (①'~⑤'水域)

表 3-5 シミュレーション結果

	実態調査データ	現況予測データ	2005年予測データ
水域	①~④	④~⑥	①~④ ④~⑥ ①'~⑤' ⑤'~⑧'
A	987	504	367 409 321 391
B	733	540	178 379 239 398
C	1.49	2.14	0.97 1.85 1.49 2.04

A: 船舶数 B: 衝突ペア数 C: 平均衝突回数 (回/隻)

3つのデータによるシミュレーションの結果をまとめたものが表 3-5 である。

現況予測データと2005年予測データの結果を用いて現況と2005年の比較を行う。比較は①~④水域を①'~⑤'水域, ④~⑥水域を⑤'~⑧'水域に対応させて考える。

表 3-5 を見ると, 両水域において2005年の衝突危険ペア, 平均衝突回数の数がそれぞれ増加している。これより2005年の方が航行安全性は低くなり衝突危険度が高い水域となっているものと考えられる。これらの要因としては, ①'~⑤'水域についてはライン④'における新たな交通流の発生, ⑤'~⑧'水域については, 主航路と交差する南航路の船舶数の増加, コンテナバースによるコンテナ船の交通流の発生が考えられる。

動態調査データとモデルによる現況予測データとの結果を比べると、現況予測データを用いた方が安全性は高く評価されることが分かる。このためモデルによる予測データを用いた場合、実際の状況は結果よりも危険な状態にあると考えなくてはならない。

これらの結果より大阪港の船舶航行状況を考えると、各着目水域を航行する船舶は1トリップにおいて1～2回程度、衝突の危険性を感じていることから、大阪港は操船者にとって衝突の危険性を非常に感じ易い水域といえる。しかしながら、減速率の分布を考えると、現況・2005年ともに30%以下の軽度な減速量により衝突危険状態を回避できる船舶ペアが60%以上を占める分布となっている。次章で示すアンケート結果から操船者は30%以下の減速量に対しては避航行動に心理的負担度をあまり感じていないことが分かるため、船舶は衝突に対しある程度余裕を持った航行を行っているものと考えられる。

4. 操船者に対する心理的負担度アンケート

(1) アンケート調査

ある水域の安全性を評価するとき、シミュレーションなどによる客観的な評価とともに、その水域を航行している操船者の主観的評価を考慮する必要がある。そこで本研究では、減速による避航行動が操船者にどのような心理的負担を与えるか、アンケートを行い調査した。このアンケートは「大阪港新航路体系の安全性の評価」の一部として行われた。

アンケート回答総数は19船舶であり、その船種はタグ、曳船など200総トン未満のものであり、50総トン未満の小型船舶を5隻含んでいる。したがって、このアンケート調査は小型船・中型船の操船者についての航行水域の主観的評価と考えるられる。

(2) アンケート内容

アンケートでは、大阪港を航行中に衝突の危険性に出会ったときの心理的負担度を、その相手船の大きさ、減速避航の減速量の大きさの度合い別に、4段階で評価を行っている。

・相手船の大きさ

自船と同じ船

船長50メートル(200～500総トン)の船

船長100メートル(3,000～5,000総トン)の船

船長200メートル(10,000～20,000総トン)の船

表4-1 アンケート結果の一例(自船と同じ)

回答	自船と同じ船 速度減				
	10%	25%	50%	75%	100%
1	12	9	3		
2	7	6	4		
3		4	11	10	3
4			1	9	16
合計	19	19	19	19	19

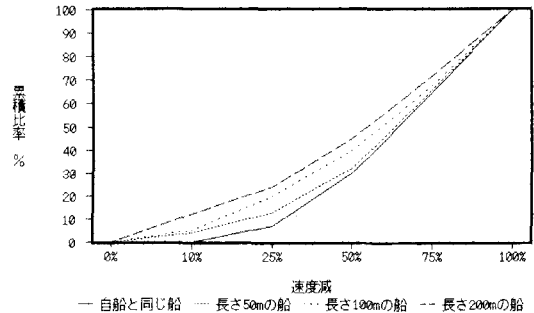


図4-1 心理的負担度の累積比率(相手船別)

・減速の度合いの段階

1～1.5ノット減(－10%)

2～3ノット減(－25%)

速度半減(－50%)

極微速(－75%)

停止(－100%)

・心理的負担度：回答番号

まったく負担を感じない：1

どちらともいえない：2

多少負担を感じる：3

極めて負担を感じる：4

また同時に、心理的負担度を感じ始める減速量のアンケートも行っている。

自船と同じ大きさの船舶に対するアンケートの結果を表4-1に示す。

これを見ると自船と同程度の船舶の場合、10%の減速避航は操船者にとって、心理的負担度がほとんど見られない。25%では4人(21%)が多少負担を感じ始める。50%では12人(63%)が負担を感じ始め、75%以上になるとすべての操船者が避航行動に対して心理的負担を感じていることが分かる。

各相手船別の心理的負担度の累積比率を図4-1に示す。

この図を見ると、相手船が大型船になるほど減速避航に対する心理的負担度を感じ易くなっている。また、25%を境にグラフの傾きが増加していること

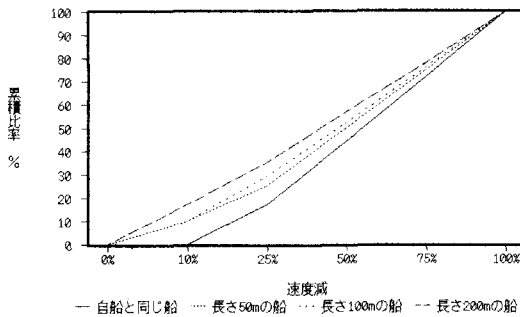


図 4-2 小型船グループ

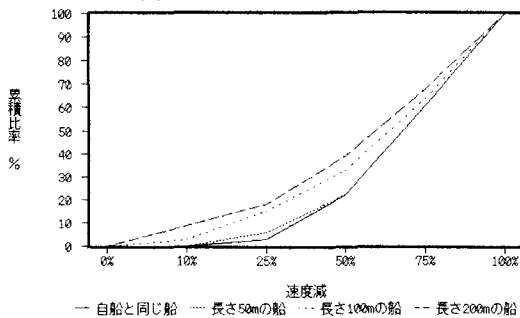


図 4-3 中型船グループ

が分かる。これは軽度の減速量に対する心理的負担度の感じ方と、それ以上の減速量に対する感じ方が違うことを表している。これを小型船舶、中型船舶別に分類すると図 4-2、図 4-3 の様になる。

これらを見ると、20 トン未満の小型船グループは心理的負担度が直線的に現れていることより、減速量の大きさによらずほぼ同一の感じ方をしている。これに対し中型船のグループは軽度の減速量に対する心理的負担度の感じ方と、それ以上の減速量に対する感じ方に大きな違いがあることが分かる。これは小型船の操船者の方が避航行動の負担の感じ方が大きいことを意味している。

これらの結果をまとめると次のようになる

- ・相手船が自船と同じ大きさの船舶で、10%程度の軽微な減速の場合、操船者は避航行動の心理的負担度を感じない。すなわち、操船者は避航行動とは考えていないと思われる。
- ・自船が大きくなるほど心理的負担度を感じ始める減速量が大きくなる（衝突の危険性を感じにくくなる）傾向がみられる。
- ・相手船が大きくなるほど心理的負担度を感じ始める減速量が小さくなる（衝突の危険性を感じ易くなる）傾向がみられる。

今回のアンケートは、200 総トン未満の船舶の操船者を対象としたアンケートとなっており、被験者の数も少ない。今後、各船種・船型の多数の船長について同様のアンケートを行う必要がある。

5. おわりに

本研究で得られた成果を以下に示す。

- ・特定水域における潜在的な衝突危険度をシミュレーションモデルにより算定し、衝突に関する情報を与えることができる。
- ・大阪港の現況と将来における安全性の評価を行いその変化について考察を行った。
- ・水域を航行している操船者にアンケート調査を行うことにより減速避航に対する心理的負担度の考察を行った。

モデルの問題点を以下に示す。

- ・避航領域として港外による値を用いているため結果はかなり厳しい値が推定されている。
- ・減速後の航行により衝突ペアの相手船以外の船舶との新たな衝突の発生の可能性が考えられる。

今回はシミュレーションの結果の列挙に終始した形となったが、今後は上記した問題点についての考察を行う必要がある。また、今回は 2005 年の交通について、1 つの航路案についてのみ考えたが、実際の港湾計画や航路計画においては複数の航路案の検討を行うので、各航路案についてシミュレーションを行いその航路体系別による安全性の評価も行う必要がある。

参考文献

- 1) 例えば、原 潔：船の衝突確率を任意の水域で推定する方法について、日本航海学会論文集 NO.46, PP.191~200, 1971
- 2) 例えば、奥山 育英：ネットワークシミュレーション、日本航海学会誌 NO.80, PP.20~27, 1984
- 4) 長澤 明：避航を考慮した海上交通シミュレーション、日本航海学会誌 NO.80, PP.28~34, 1984
- 5) 園部 敏・植村 栄治：交通法・通信法
株式会社 有斐閣
- 6) 黒田・山本：パース別荷役能力を考慮した港内船舶交通予測モデル、土木学会西部支部講演概要集, PP.704~705, 1993