

港内航行安全性評価のための簡易シミュレーション

SIMULATION MODEL FOR SAFETY ASSESSMENT OF VESSEL TRAFFIC IN PORT

黒田 勝彦*, 横山 知文**

By Katsuhiko KURODA and Tomofumi Yokoyama

Assessment of navigational safety in port has been done by ship operation simulator and/or network simulation. The former is only available for evaluation of the navigational safety of, for example, the ship of maximum size, but not for congested traffic. On the contrary the latter is applicable for any traffic condition but it consumes long computer time and cost. Therefore, development of a simple simulation model to evaluate the navigational safety in port is required. The present paper proposes a simulation model of a vessel traffic at particular waters in port. A case study is conducted at a Osaka Port to demonstrate the usefulness of the proposed model. It is shown that 14 hours simulation needs about 15 minutes computing time by the PC-8000 class personal computer.

1. 緒言

港内の航行安全性の検討は、埠頭の利用計画、人工島の配置計画、航路計画にとって必要不可欠である。しかし、港外航路や水道と異なり、船舶の動きが複雑なことから航行危険度を数学モデルで表現する¹⁾ことが困難である。そこで、やむなく設定された港内の航路網、岸壁、港口からなるネットワークを組み、ネットワーク上での航行シミュレーションを実施して、港内航行の危険度を検討している。それらの代表的シミュレーションモデルが奥山²⁾によるネットワークシミュレーションモデルである。しかし、このモデルでは、ネットワーク上の任意

の区間で船舶が衝突せずに航行出来るために必要な待ち時間を算定する、という方法でいわば混雑度指標を危険度指標に代替している。また、通常この種のシミュレーションは計算量が膨大となり小型のパーソナルコンピュータでの計算が困難である。

このような事情から、本研究では、

- ①危険度が実際に港内を航行する船長やパイロットにも感覚的に判断出来る指標を出力出来る、
- ②膨大な計算を実施しなくても手軽にパーソナルコンピュータでも計算出来る、

という2点の特徴を持つシミュレーションモデルを開発した。以下、2章では、シミュレーションモデルの概要を述べ、3章では大阪港で適用した例を示し、モデルの実用性について検討する。4章では得られた成果と今後の課題を纏める。

Keyword: vessel traffic, collision risk, Simulation

* 正会員 工博 熊本大学教授 工学部土木環境工学科
〒862 熊本市黒髪2丁目39-1

**正会員 運輸省第四港湾建設局

表-1 船舶データ

GATE NO.	SHIP NO.	ARRIVAL TIME	SHIP TYPE	LENGTH	VELOCITY	WAKE NO.
1	J	AT(I,J)	ST(I,J)	SL(I,J)	V(I,J)	NT(I,J)
1	1	6:00	TANKER	125.0	12.0	15
	2	6:02	CARGO	70.5	10.5	6
	.			...		..
2	1	6:25	CARGO	90.0	11.2	20
	.			...		..
	.			...		..

2. シミュレーションモデルの概要

2.1 シミュレーションのための準備

先に述べた計算時間を短縮するという条件を満たすために港内の全ての航行域を対象とせず、交通が交錯する水域を予めピックアップし、指定した水域に図-1に例示したような仮想ゲートを設定する。この仮想水域でのゲート別OD交通量（船種・船型・速度・コース・ゲート到着時刻）を予め求めておく³⁾。予め求められた船舶交通データは表-1に例示した形式でストックされている。表中、WAKE NO.は、各船舶が採るコースの番号を意味している。一方、コースについては、表-2に例示したように港内の任意地点を原点とする座標での位置がデータとしてストックされている。

以上のデータを基に、指定された水域を通行する船舶交通流についてシミュレーションを実施し、水域内を航行中に衝突あるいは衝突の可能性を持つ船舶ペアを出力する。

表-2 航跡データ

GATE	ORIG.	DEST.	WAKE NO.	PITCH	COORDINATE	
I	NO	ND	N	K	X(N,K)	Y(N,K)
1	11	21	1	1	110.5	123.0
				2	120.0	125.0
				3	145.0	126.5
1	12	22	2	1	125.5	160.5
				2	125.5	165.5
				.		
2	21	31	10	1	10.5	23.5
				2	15.0	24.0
				.		

2.2 シミュレーション手順

図-2に本シミュレーションの手順の概要を示す。

まず、表-1および表-2に示した船舶データおよび航

跡データを読みとり、シミュレーション開始時刻を設定し、 ΔT (秒) 刻みで各ゲートから水域に船舶を進入させる。指定時刻において、水域に進入させた全船舶について

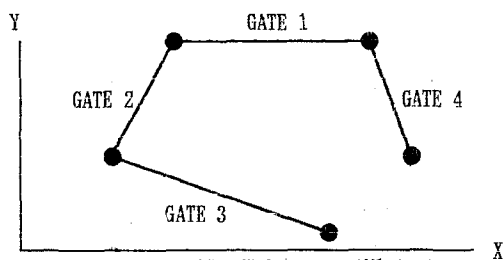


図-1 水域に設定された仮想ゲート

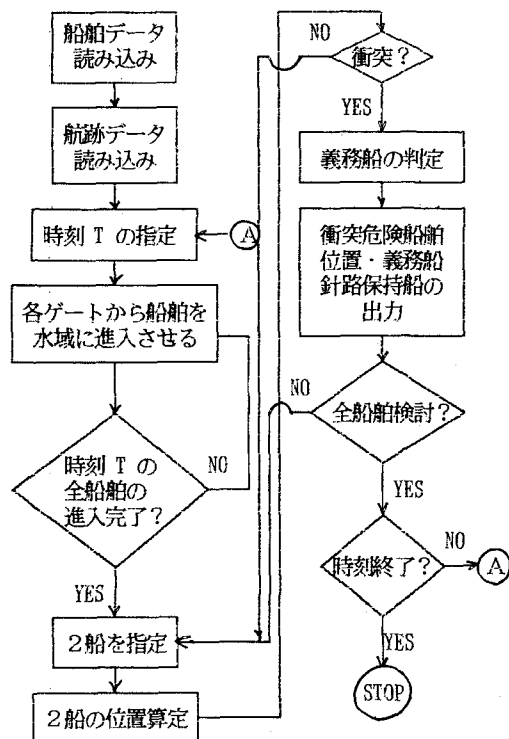


図-2 シミュレーションの概要

て、2船同士の衝突の有無を判定する。衝突ペアについては衝突前の位置関係からどちらが義務船か針路保持船かを判定する。衝突が無い場合は異なる2船について同様の検討を繰り返す。以上の手順で衝突ポテンシャルを有するペアが同定され、その2船の衝突位置、義務船の有無、航行速度が出力される。

2・3 義務船の避航と危険度合いの定量化

実際の状況では、義務船（相手船を自船の右舷に見る船）は海上衝突予防法により衝突を避けるための避航義務を負っている。しかし、避航運動は特に交通が輻輳する海域では、針路変更、速度変更を組み合わせで行われるのでこれを定量化するには極めて煩雑である。そこで、本シミュレーション・モデルでは、最初避航義務を負う船舶でも避航をさせずに指定された航跡上に航行させ、衝突あるいは衝突の危険があるペアを出力させた。しかし、その衝突危険を持つペアが実際にどの程度危険な状況であったかを判断するために、減速避航した場合の減速度（初期航行速度に対する避航減速度の比）を算定することとした。そのために、1回目のシミュレーションによる衝突危険ペアについて避航義務を負う船舶の航行速度を低下させてシミュレーションを繰り返す。これによって、当初の衝突がどの程度危険であったかを二重の方法で知ることが出来る。すなわち、

- ①当初の衝突危険のある船との衝突を回避するためには、どの程度減速する必要があるか、
 - ②減速によって衝突を回避しようとするれば、新たな衝突の危険がどの程度（新しい衝突危険ペアの数）発生するか、
- の2点である。

港内の交通輻輳水域を航行する船の船長やパイロットにこのような情報を与えると、その水域と交通状態がどの程度危険であるかを感覚的に判断させることが出来る。

2・4 衝突危険の判定

交通の輻輳する水域では、船舶は互いに衝突を避けるために、船舶を取りまく一定の空間には進入しないように避航する。その結果、ある一隻の船に着目すると、その船の周囲には如何なる船も進入しなかった空白の空間が出来る。これを、避航領域と呼んでいる。この避航領域は当然航行環境（広大な海域か、航行可能水域が限定されているか、等）によって変化することが認められているが、現在のところ、航行環境別に避航領域を定量化出来る段階に研究が至っていない。そこで、評価として

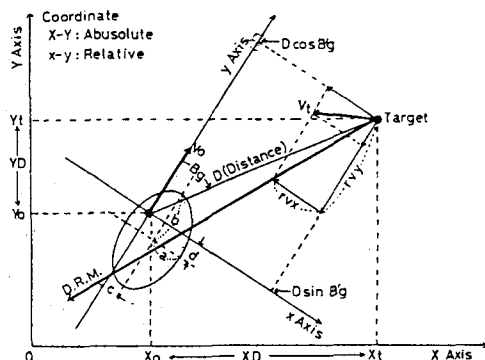


図-3 避航領域（長澤による）

は安全側を見込んで、広大な海域について適用されている長澤⁴⁾の避航領域を用いる。これは、図-3に示したように、避航義務船の周りに楕円を想定し、この範囲に相手船が進入すれば衝突、領域内に相手船を進入させずに通過できれば衝突は無い、と判定する。

3. 大阪港でのケーススタディ

3・1 大阪港での実態調査

平成3年7月30日（火）午前6時から午後8時までの14時間に亘って大阪港での船舶動態調査を行った。調査では、次頁の図-4に示すように、港口からの大関門を含む水域（ゲート①～④で囲まれた水域）及び港口ゲート⑤、港口ゲート⑤より分離する航路上のゲート⑥およびゲート⑦において通行する船舶の船名、船種、船型、航行速度、針路を目視観測によって記入するとともに、大阪港ハーバーレーダ画面にカメラを据え付けたレーダーによる航跡観測を行った。図-5にゲート④での入港船舶に関する観測野帳の一部を、図-6にレーダー観測結果の一例を示す。野帳は各ゲートにおける片方の陸側で双眼鏡によって専門家が視認した船名、速度、船種、船型を補助員が順次記入する方式を採用した。

データ整理はこの野帳記録を基に、船舶台帳から、船種・船型を確認した。また、航跡は各ゲートで記録された船舶について照合するとともに、同時に観測されたレーダ記録（図-6）と併せて総合的に確認を行った。しかし、レーダ画像では、小型船の同定が困難で、不正確ではあるが、主として野帳の記録から航跡を求めた。

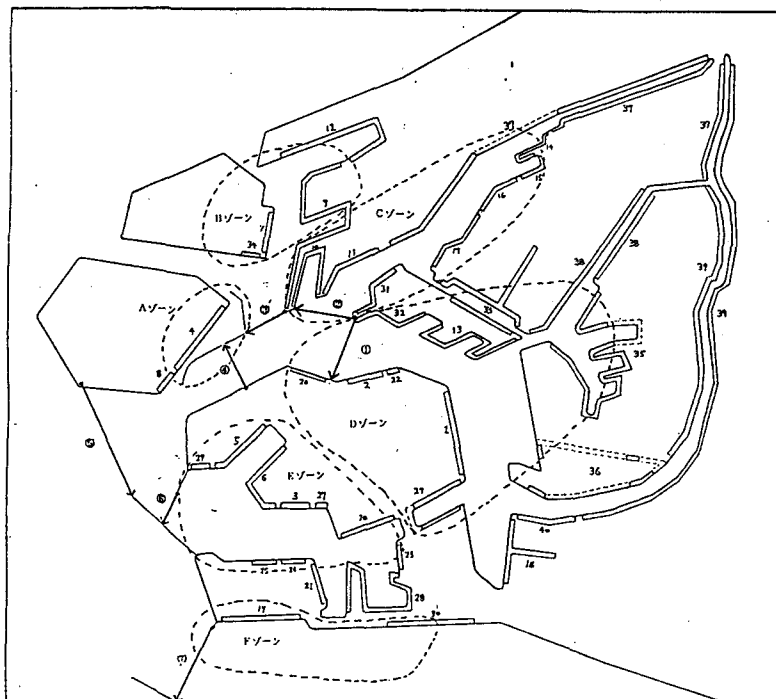


図-4 大阪港における観測水域と設定した仮想ゲート

観測日：平成 年 月 日 ()		観測点：		観測者：	
---------------------------	--	------	--	------	--

番号	船 名 〔 船籍港 国 籍 〕	通過時刻	通過位置 (○をつける)	通過方向 (○でかこむ)
()		時 分		

船 種 (○でかこむ)	船 型 (○でかこむ)	隻 数 〔 一団の漁船の 数 曳 航 船 の 引かれる数 〕	備 考
1. 貨物船 8. カーフェリー 2. コンテナ船 9. 土砂運搬船 3. 重運物船 10. 曳航船 4. 自動車専用船 11. 作業船 5. バルク専用船 12. 官庁船 6. タンカー 13. 水中翼船 7. 旅客船 14. その他	1. 20ト未満 7. 3千～6千 2. 20～100 8. 6千～1万 3. 100～200 9. 1万～3万 4. 200～500 10. 3万～5万 5. 500～1千 11. 5万～10万 6. 1千～3千 12. 10万ト以上		

図-5 ゲート④の入港船観測の野帳例

先に述べた船舶データおよび航跡データは、この目視観測データとレーダ観測データから作成した。現在小型船を含めた全てのデータの整理が完了していないが、ゲート①～④の水域で整理出来た大型船のデータは全部で86隻あった。ゲート①での船舶データの例を表-3に示す。本研究では、この船舶交通についてシミュレーションを行い計算時間、出力の評価を行う。

3・2 衝突危険を有するペア

前述の86隻の船について、午前6時から午後20時までの14時間について、30秒刻みでシミュレーションを実施した。出力例を表-4に示す。この例では、衝突の危険を持ったペアが全部で14ペアあることを意味しており、それぞれの衝突危険ペアについて衝突時刻、義務船及び相手船の進入ゲート、そのゲートでの進入船舶順位、衝突位置、義務船の航行速度が出力されている。このシミュレーションでは、特定の2隻が互いの避航領域に出たり入ったりしながら水域を競争しながら航行するような場合は、最初の衝突危険判定のみをカウントし、二度目以降の衝突危険はカウントしないようにしている。表中、GIMU-SEN NO KAZU は衝突の場合に片方だけが義務船となる場合は1、両方が義務船となる場合は2として区別している。したがって、5番目の衝突ペアの場合は、両船とも義務船であることを示している。また、この例でもわかるように、衝突の危険は入港船と出港船の船舶の交錯がピークを迎える午前10時～12時と出港船がピークとなる午後3時～5時において衝突の危険性が高いことが推察される。

この水域での大ざっぱな航行危険度は86隻が航行した中で、14件の衝突危険が存在し、約3割の船舶は衝突の危険性をはらんだ航行をしていることになる。小型船舶を全て含んだ交通でのシミュレーションではないのでこのまま交通危険度についての結論は出せないが一日あたり350隻あまりの船舶が港内を航行する現在の大阪港では、少なくとも、船長やパイロットが緊張を強いられる交通であることは確かであろう。

3・3 衝突危険ペアの危険度

図-7は、表-4の14の衝突危険ペアについて義務船の速度を低下させ（減速避航させ）再び水域に進入させた場合のシミュレーション結果である。ただし、義務船の減速は一度に全ての義務船についておこなうのではなく、衝突危険ペアの一つ一つに着目してシミュレーションを14回繰り返した。

表-3 大阪港ゲート①での船舶データ例

GATE	NO	ARIV.TIME	TYPE	SIZE	VELOCITY	WAKE
1	1	6:55:30	6	34.00	4.5	1
1	2	8:10:0	1	71.10	4.1	2
1	3	10:15:30	6	49.80	5.9	24
1	4	10:31:30	1	79.27	4.9	25
1	5	11:7:0	1	90.68	4.8	26
1	6	11:31:0	7	49.59	5.1	4
1	7	11:42:30	8	34.00	5.1	17
1	8	12:6:0	2	189.65	4.1	27
1	9	12:17:30	6	82.50	6.3	28
1	10	12:35:0	7	49.59	4.4	5
1	11	13:03:0	9	75.61	4.4	18
1	12	13:12:0	6	28.19	6.3	19
1	13	13:15:0	5	65.38	4.5	29
1	14	13:35:30	7	49.59	6.5	6
1	15	14:25:0	7	49.59	5.1	7
1	16	15:23:0	10	30.20	4.2	8
1	17	15:36:0	7	49.59	5.0	12
1	18	15:39:0	7	32.16	6.9	11
1	19	16:5:0	1	64.59	5.7	30
1	20	16:11:0	2	269.67	9.7	31
1	21	16:29:30	1	49.50	5.2	32
1	22	16:35:30	6	33.70	5.0	22
1	23	16:39:30	9	66.20	4.6	33
1	24	16:42:0	1	49.95	4.3	34
1	25	17:0:0	9	63.20	3.4	13
1	26	17:16:30	1	58.00	5.6	35
1	27	17:33:0	7	49.59	5.2	15
1	28	18:1:0	1	73.48	6.0	36
1	29	18:11:0	10	31.49	6.2	37
1	30	18:32:0	1	47.00	4.3	38
1	31	19:23:0	1	85.70	4.5	39

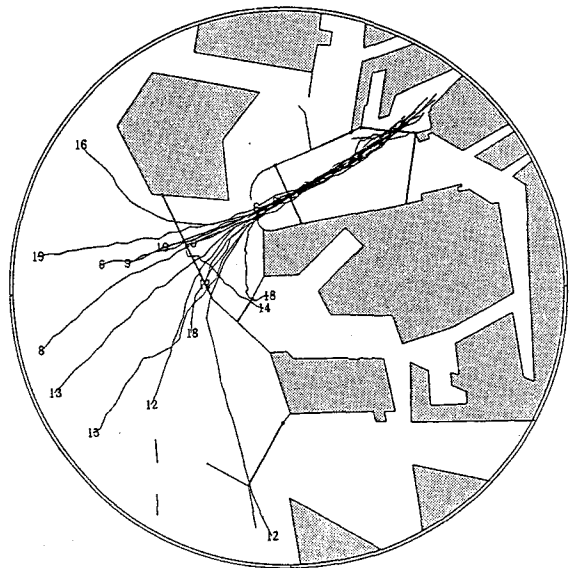


図-6 レーダ観測結果の一例

表-4 シミュレーションの出力例

COLITION RISK OF PORT OF OSAKA											
MAX.COL= 14	COL.NO.	JIKOKU	GIMU-SEN		GIMU-SEN ICHI		AITE-SEN		AITE-SEN ICHI		GIMU-SEN
			I	J	X	Y	I	J	X	Y	VELOCITY
											NO KAZU
	1	9:21: 0	4	11	3176.1	536.9	4	10	3341.2	706.1	5.30
	2	10:25: 0	4	12	3713.9	894.8	1	3	3709.6	939.8	4.70
	3	10:34: 0	4	12	6137.7	1293.0	1	4	6236.6	1418.0	4.70
	4	10:42:30	3	1	3647.3	930.3	1	4	3853.2	1066.0	5.50
	5	11: 5:30	2	4	4908.4	1682.5	2	5	5008.6	1716.8	2.80
	6	12:14:30	4	16	2578.1	-73.1	3	4	2565.9	44.8	5.10
	7	12:18: 0	4	15	4120.3	1085.7	1	8	4229.4	1270.2	5.10
	8	12:19:30	4	16	3709.1	913.4	1	8	3890.5	1133.9	5.10
	9	15:50: 0	3	12	5640.6	1520.6	3	11	5668.0	1444.9	5.50
	10	16:16: 0	4	21	3770.3	899.9	1	20	4174.5	1205.4	4.60
	11	16:18:30	4	20	4186.4	1111.9	4	21	4369.1	1194.4	6.30
	12	17:18:30	4	22	6749.8	1292.7	1	26	6778.1	1247.8	3.30
	13	18: 5 0	4	23	4832.3	1424.9	1	28	4885.1	1505.3	11.20
	14	18:41:30	4	26	4787.9	1444.0	1	30	4837.1	1444.4	5.90

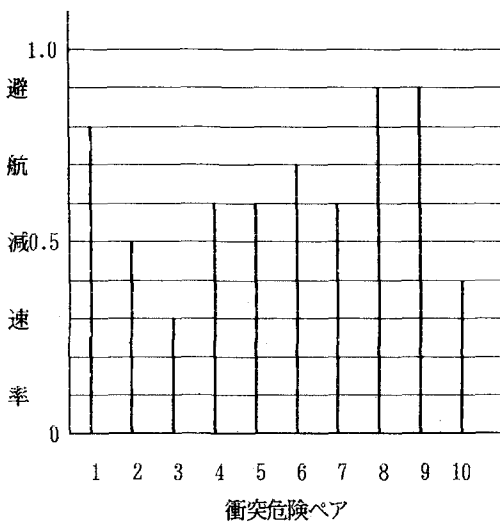


図-7 衝突危険ペアの避航減速率

図-7を見て判断されるように、同じ衝突危険ペアと判断されたものでも、その危険の度合いはそれぞれ異なっている。観測中に一件の衝突事故もなかったことから、計算された全ての衝突危険ペアは何らかの避航によって結果的に衝突を回避していたことになる。その実態は図-7によって判断出来る。すなわち、ペア1, 8, 9は少しの減速で衝突を回避出来る程度でたつたのに対し、2, 3, 10といったペアは航行速度を3~4割まで低下させないと当初の衝突危険が避けられなかった程危険な状態であったことを意味する。

以上のことはもちろん先に定義した避航領域の設定の

方法によって変わってくることに注意しておく必要がある。

4. おわりに

本研究では、計算時間が短くて済み、しかも、港内航行の危険度が操船者に判断出来る情報を提供できる、という2点を解決するために、港内の予め設定された水域でのシミュレーションだけを重点的に行えるモデルを提案した。シミュレーションの前提として、水域に設定した仮想ゲートでの船舶データと航跡データが必要となるが、前述したようにこれを推定するためのモデル開発も別途進めている。

大阪港での予備的ケーススタディの結果を操船者に見せたところ、彼らが感じている危険度とほぼ対応していることが解った。今後は複数の船舶が水域で出会う状態を画面表示した方がより感覚的に把握しやすいという意見であるので、時々刻々の状況を画面表示した結果と比較検討し、船長・パイロットにアンケート調査を実施して更に感覚的危険度との対応を定量化したい。

参考文献

- 1)例えば、黒田・喜多：土木学会論文報告集NO.339, 1983
- 2)奥山育英：航海 NO.80, 1984.
- 3)黒田・宮崎：第15回土木計画学研究講演集, 1992.
- 4)長澤 明：航海 NO.80, 1984.