

図5-3 近代化船航行実験の実際の航跡図例

る。

- (1) 一連の避航動作等の当直作業を、一当直時間の間を通して、安全を確保する余裕を持ってできる操船機能を維持するための、支援のあり方を求める。
- (2) 求められた支援機能を組み込んだ支援機器と当直体制とで、安全に航行できることを確認する。

この実験で得られた実際の航跡図の例を図5-3に示す。これを見ると、出港後3時間55分ぐらいの時間が経過した時に、直前に邪魔船を発生させたため、35°の大角度変針をしたときを除いて、邪魔船に遭遇したとき、十分に余裕を持って避航している。また、大角度変針の時も含めて避航変針後は、速やかにコースに戻る操船を行っていることがわかる。

5.2.2 実験インタビューの結果

被験者へのインタビューやアンケートの結果を基に、相互補完のモデルに従い以下の①、②、③に示す項目について検討し、安全性を評価した。

5.2.2.1 ①の実験インタビュー

- ① 航行の安全を担保する機能が当直体制と航海計器に備わっているか。

①-1 人間側の特性把握

- ・必要な作業の種類、作業量の把握
通常海域を航行する際の当直の作業は、直接に操船する作業の他に、海図整備や通信等による航海の全体像把握や、個々の知識・情報の確認作業等の間接に航行の安全を保つ作業がある。雑作業に気を取られたがために必要な操船作業を誤ることがあれば省略、廃止等が必要となる。
- ・作業能力(≡作業量/時間)の評価
通常海域を航行する際に必要な作業量は、一連の避航作業中といえども当直者の作業能力に比べてはるかに少ないものである。

①-2 機械側の特性把握

- ・コース保持機能等の自動制御機能

実験で使用した航海機器のオートパイロット機能とルートトラッキング機能は十分にコース保持機能を発揮した。

ルートトラッキングの変針点接近警報は、航海機器に組み込んであり、十分に機能した。

①-3 人間・機械系の特性把握

・航海機器の使い勝手

ARPAは、海岸線とともに、他船の位置と針路、速度を正確に図形表示している。予定航路の表示も選択することができる。

ルートトラッキング、オートパイロットともに針路保持機能は良好で、検出、判断作業に当直者の能力を振り向けることができ、余裕を増すことに有効であった。

・情報の入出力速度

自船が低速船であるため、高速船と比較して情報の入力出力で時間が不足することはなかった。

・航行モードの表示

自動航行のモードの表示は、CRT上だけでなく、ブリッジ内のどこからでも見える所に大きく表示することが必要である。

5.2.2.2 ①の実験インタビューの考察

以上の結果、①をまとめると、

通常海域の航行ならば、主とした検出作業を航海機器に頼り、十分な避航判断支援機能が備わり、ゆっくりした表示更新速度の航海機器で、当直員不在の対策が組み込まれている操作支援(オートパイロット)ならば、疲労も少なく、長時間の一人当直が可能と考える。

5.2.2.3 ②の実験インタビュー

- ② 一当直の間に航行の安全を担保する機能が維持されるか。

②-1 人間側の機能低下

・長時間の疲労程度

両被験者とも、1時間ほどで「目が痛くなった」と申告している。アンケートでは、両者とも、4時間の一人当直中に、情報収集、判断、操舵の各機能が鈍くなってきたとは感じていないと申告している。実験者側からの観察でも、疲労はあるが判断機能は落ちていないと判定している。

・機能維持程度評価および影響把握

海上では、通常の判断レベルが、陸上勤務の半分程度の能力になると、両被験者は考えているが、これらの影響は大きくないと考える。

②-2 機械側の機能低下

故障率評価は、今回の実験に直接関連しないので、今回は実施しなかった。

しかしながら、近年、船舶の大型化、高速化、多数の分岐航路の存在、周辺の街、臨海工業地帯による背景光の増加等、航行援助施設を取りまく環境が大きく変化している。

このため、この海域における、最適かつ経済的な航行援助施設の整備を行うべく、航路の形態、海象、背景光等、変化する諸条件の中での、適切な施設の機能、配置について代替案等の比較評価が行われ、新航路が提案された。新航路設定工事の前に、新航路が航路帯を示すブイ等の認識の容易さについてシミュレータを用いて確認する作業を行った。

6.2 関門航路の現状と改良点²⁶⁾

6.2.1 現航路の問題点

関門海峡における夜間航行では、航路帯を示すブイがその背景である陸上の光(背景光)に紛れてしまい、操船者が航路を把握することが困難になっている。また、水深が十分でないため、現在の航路帯は屈曲している。そのため、次のような問題点がある。

- ・六連島東水路から航路に進入するさい、90度近い大変針の必要があり、西航路との行き合い関係もあって、オーバーランの傾向がある。
- ・背景光、輻輳する航行船舶の灯火等にブイの灯火が埋没し、見にくい。
- ・航路法線が屈曲しているため、東行の場合、主航路に入り第一導灯に乗る前に、まず背景光がある工業地帯に向かいその後明かりの少ない彦島に向かうことになる。
- ・強潮流である。
- ・多数の分岐航路が存在する。

6.2.2 新航路の概要

新航路は、以下に示すような改良がなされている。

- ・航路幅の拡張。
- ・出来るだけ航路を直線航路とする。
- ・一部ブイの灯火を同期させる。

6.3 航路標識の灯火表現

航路標識として、特に夜標として、灯台、灯浮標(ブイ)、導灯の3種類を扱った。導灯とは、狭水道、狭い湾口を航行する場合に、船舶に航路を示すためのもので、ある航路の延長線上に、高さの異なる2ケの灯火を設置したもので、その航路に乗れば、上下2ケの灯火は、上下同一線上に視認される。

灯火の評価項目として、灯質、灯色、灯高、光度等^{26)、27)、28)}が上げられるが、ここでは、光度、灯色、光の大きさ、灯質を用いた。導灯の評価項目として、側感度を用いた。さらに、背景光の評価項目として、密度分布を用いた。

6.4 シミュレータ実験

6.4.1 実験概要

シミュレータ実験では、現航路については、灯火、導灯および背景光と、実際の海上における標準的な視認条件での灯火、導灯および背景光との比較、検討を行い、さらに、現航路の問題点を確認し、また、新航路については、改良点を確認するとともに、航路標識の設置位置、機能について検討を行った。シミュレーションにおける対象海域を、六連島北端から真東に引いた線から、関門海峡海上交通センターと山底の鼻灯台を結んだ線までとした。シミュレータ実験では、この航路を往復して、実験を行った。今回は、航路標識の灯火の評価を主目的としたため、他船は数隻程度とした。また、ブイ等の見え方に潮流はあまり関係がないのでなしとした。操船は関門海峡を航行した経験をもつ航海訓練所の船長が行った。実験中に聞き取り調査、および実験後にアンケート調査を行った。評価は、船長をはじめとして、海上保安庁灯台部および第七管区海上保安本部灯台部の関係者を交えて実施した。

6.4.2 評価

1) 現航路

ここでは、ブイ、導灯および背景光が、現実に近いレベルで表現することができることを目的とした。これによって、航行シミュレーションの信頼性が高く評価でき、現航路の問題点の再現、確認が可能となった。

2) 新航路

新航路では、航路幅が拡張され、また航路が直線となり、しかも、ブイが同期点減するため、ブイを視認しやすく、操船が容易となったことが確認できた。

これはその後実施した、関門航路実態調査においても同様の結果がえられた。

また、変更後の関門航路に関して、関門水先人会事務所で行った聞き取り調査を行った結果、関門航路の航行のしやすさは向上したとの評価を得た。

6.5 関門航路における灯浮標の新設等整備計画

この関門航路における灯浮標の視認性をさらに高め、さらなる航行の安全を図るためにこの計画で指摘されているいくつかの問題点、およびその対策案について、シミュレータ実験を通して再度検討を行った。

検討した項目は、以下のような点である。

- 浮標を新設する。
- 同期点減化する。
- 浮標の光力を増大する。
- 灯質を変更する。

シミュレータ実験は、各検討項目に対応したシナリオを作成し、実験後にアンケート調査を行って、評価を行い、良好な成果を得た。

7. 輻輳海域を航行する高速船の航法の提案

7.1 高速船と一般船による見合い実船実験³⁰⁾

輻輳海域における高速船の安全な航行方法を求めることを目的として、実海域においてT S L飛翔と一般船の見合い実験を行った。

実船実験に先立って、当所の操船シミュレータを用いて、T S L飛翔と一般船との見合いシミュレータ実験を行い、実船実験のためのシナリオ作成および安全な航行方法の検討等を行った。見合い実船実験では、T S L飛翔の避航開始距離、航過距離等の実測と一般船の操船者の感じる脅威が、その接近方向と避航開始距離によって、どのように変化するかをアンケートにより調査し、避航開始距離との関係を求めた。また、T S L飛翔の避航操船行動に対する一般船からの視認性を調べるための実験も行った。

実船実験に参加した一般船としては、航海訓練所の北斗丸と銀河丸、東京商船大学の汐路丸、神戸商船大学の深江丸の4隻で、その操船者の人々は、実船実験とシミュレータ実験の両方に参加した。

アンケート調査票の設問は、次の3つである。

- ①各遭遇における、一般船の操船者が感じる脅威を求める
- ②一般船の操船者が、衝突の危険が発生したかどうかを判定する

③衝突の危険の程度が減少したと判定する

7.1.1 シミュレータ実験

7.1.1.1 シミュレータ実験の概要

実海域における実船実験は数が限られるので、有効に活かすことができるように、前もって、操船シミュレータを用いて、シミュレータ実験を行った。シミュレータ実験の目的は、以下のようである。

- (1) 実船実験の見合い状況の理解とその慣熟
- (2) 実船実験のシナリオの検討と修正および決定
- (3) 数の限られた実船実験で網羅できないシナリオの実行
- (4) 実船実験との比較
- (5) 安全な航行方法の検討

評価者である操船者は、T S L飛翔および一般船の船長を含む2人である。

シミュレータ実験の実験条件と結果を表7-1に示す。測定された避航開始距離と変針角度および航過距離が示されている。

各実験中と終了後にインタビューとアンケートを実施して、シナリオの検討と安全な航行方法の検討を進めた。

7.1.1.2 シミュレータ実験結果と考察

表7-1 シミュレータ実験の条件と結果

日付	通し番号	遭遇パターン	T S L飛翔の船速(ノット)	避航開始距離(海里)	変針角度(度)	航過距離(海里)	備考
7月6日	北斗丸実験1	0	40~45	1.00	20	船首左0.38	
	北斗丸実験2	-90	40~45	1.00	20	船尾左0.40	
	北斗丸実験3	-30	40~45	1.00	20	左0.31	
9月5日	汐路丸実験1	-49	40~45	2.50	15	左0.54	
	汐路丸実験2	-42	40~45	2.30	12	左0.38	
	汐路丸実験3	-47	40~45	1.80	20	左0.44	
	汐路丸実験4	-49	40~45	1.50	15	左0.29	
	汐路丸実験5	-49	40~45	2.00	18	左0.25	
	汐路丸実験6	-45	40~45	2.00	-15	船首0.54	
	汐路丸実験7	-47	40~45	1.30	30	左0.46	
	汐路丸実験8	-43	40~45	2.00	-30	船首0.89	
9月6日	汐路丸実験9	-40	40~45	2.20	7	左0.36	
	汐路丸実験10	-46	40~45	2.40	18	左0.54	
	汐路丸実験11	-50	40~45	1.50	10	左0.15	
	汐路丸実験12	-49	40~45	1.00	18	左0.20	
	汐路丸実験13	-60	45 → 30	2.00	0	左0.16	減速して避航
	汐路丸実験14	-40 → -40 → -45	40~45	1.50	10 → 5もどす	左0.10	
	汐路丸実験15	-56	40~45	1.50	30	左0.20	
	汐路丸実験16	-45	40~45	1.00	20	左0.22	
	汐路丸実験17	-45	40~45	2.00	5	左0.16	
	汐路丸実験18	-46	40~45	1.50	10	左0.22	
	汐路丸実験19	-49 → -32 → -42	40~45	2.00, 1.00	17 → 18もどす	左0.31	
	汐路丸実験20	-51	40~45	なし	なし	左0.08 船尾0.11	衝突しない関係で接近視認実験
	汐路丸実験21	-44	40~45	2.50	8	左0.30	
	汐路丸実験22	-47 → -17 → -47	40~45	2.50, 1.00	30 → もどす	左0.69	
	汐路丸実験23	-74	40~45	1.00	20	船尾0.16	
10月4日	銀河丸実験1	45	40~45	1.80		左0.20	銀河丸が避航
	銀河丸実験2	-55	40~45	2.50, 2.00, 1.50		左0.60	視認実験
	銀河丸実験3	-50	40~45	2.00	22	左0.50	
	銀河丸実験4	-45	40~45	0.90	35	左0.40	
	銀河丸実験5	46	40~45	0.90	32	船首0.40	
	銀河丸実験6	97	40~45	0.60	41	船首右0.30	
	銀河丸実験7	-56	40~45	0.80	25	左0.40	
9月22日	茶江丸実験1	-48	40~45	1.00	30	左0.32	
	茶江丸実験2	-46	40~45	0.75	40	左0.19	
	茶江丸実験3	54	40~45	2.00	25	船首0.67	
	茶江丸実験4	-49	40~45	1.00	30	左0.27	船尾を遡る
	茶江丸実験5	-50	40~45	1.50	10	船尾左0.16	
	茶江丸実験6	-46	40~45	0.50	40	左0.20	
7月13日	飛翔実験1	-5	40~45	0.30	45	左0.20	
	飛翔実験2	-102	40~45	0.20	48	船尾左0.10	
	飛翔実験3	42	40~45	0.20	-63	右0.10	
	飛翔実験4	-33	40~45	0.30	29	左0.10	
	飛翔実験5	46	40~45	0.20	41	船首0.10	
	飛翔実験6	106	40~45	0.40	39	船首右0.20	

- (1) 実船実験の見合い状況の理解とその慣熟
- (2) 実船実験のシナリオの検討と修正および決定
シナリオに修正を加えていき、最終的に、実船実験にふさわしいシナリオとした。
- (3) 数の限られた実船実験で網羅できないシナリオの実行
シミュレータ実験では、実船実験よりも多くのシナリオを実行した。それにより、操船者の感じる脅威の変化やT S L飛翔の避航操船行動の認識のし易さについて検討した。
- (4) 実船実験との比較
- (5) 安全な航行方法の検討

各実験終了後に操船者に対して行ったアンケートの結果、全体の傾向としては、T S L飛翔の避航開始距離が小さいほど、当然のことながら、その遭遇で感じた最大脅威のランクが高い結果となっている。同じ避航開始距離であれば、変針角度が大きいほど最大脅威のランクが低くなる傾向にある。こうしたことから、一般船に対して、自船(高速船)の避航意志を、大きな動作等で明確に示すことが重要であることがわかる。

操船者は、衝突の危険減少判定に用いた項目としては、相手船の方位角(ベアリング)とその変化および相手船の姿勢(アスペクト)とその変化を最も重要視している。次に、相手船との距離に関する項目と相手船の意志を重要視し、次いで相手船の速度に関して注意を払っている。

衝突の危険減少判定に用いた項目については、どの操船者も、相手船の方位角(ベアリング)の変化、および相手船の姿勢(アスペクト)の変化を最も重要視している。

一般船からみたT S L飛翔の避航動作の視認性についてのシミュレータ実験も行った。一般船に対して、T S L飛翔が右からと左からそれぞれ近づいて、変針角度を変えて、避航操船動作を行った。その際、一般船が、T S L飛翔の避航動作を視認できたかどうかを調べた。T S L飛翔が、一般船に接近する場合、左の方向から接近し、右に変針して一般船の船尾を航過する避航の方法は、一般船側から見て非常に早く高速船の避航の確認ができることがわかった。しかし、一般船の右舷の方向から接近し、右転して船首を航過する場合には、一般船からは、T S L飛翔が転針したことを確認しにくいことが明らかになった。

7.1.1.3 実船実験

1) 実船実験の概要

実海域における、T S L飛翔と一般船による見合い実験を表7-2に示す。運輸省航海訓練所の5,000トンの大型船(北斗丸、銀河丸)および東京、神戸の両商船大学の500トンの中型船である練習船(汐路丸、深江丸)を用い、他の船舶の航行の少な

表7-2 実船実験の概要

一般船船名と大きさ	実験の日付	実験場所	実験のケース数
航海訓練所北斗丸 5,877ト、125m	7月29日	足摺岬160度 30海里沖	2
東京商船大学汐路丸 425ト、50m	9月27日、28日	伊豆大島東側 海域	12
航海訓練所銀河丸 4,888ト、115m	10月27日	紀伊水道 和歌山寄り沖	6
神戸商船大学深江丸 449ト、50m	11月1日	室戸岬北東沖	11

い伊豆大島の東海域、および、紀伊水道を抜けた海域と四国沖海上で実施した。

表7-3は、実船実験の全実験ケースの実験条件と当日の気象・海象条件、測定された避航開始距離と航過距離の一覧表である。

2) 実船実験結果と考察

シミュレータ実験と同様、全体の傾向としては、避航開始距離が小さいほど、最大脅威のランクは高いことがわかる。2海里より接近した避航では、多くの評価者が、輻輳海域での遭遇と同じ脅威の程度以上を感じており、低く評価しているのは、T S L飛翔側と一般船側では操船責任を負っていない評価者である。一般船の操船責任者の評価は、5,000トンクラスと同様、避航開始距離1海里前後が、許容の境の所としている。

操船者は、衝突の危険判定に用いた項目としては、相手船の方位角(ベアリング)とその変化および相手船の姿勢(アスペクト)とその変化を最も重要視している。次に、相手船との距離に関する項目と相手船の意志を重要視し、次いで相手船の速度に関して注意を払っている。

衝突の危険減少判定に用いた項目については、どの操船者も、相手船の方位角(ベアリング)の変化および相手船の姿勢(アスペクト)の変化を最も重要視している。次に重要視する項目としては、相手船の意志、次いで、相手船との距離に関する項目となっている。

シミュレーション実験と実船実験を結果の比較すると、必ずしも同じ遭遇条件ではないが、全体の傾向としては、大きな違いは見受けられなかった。しかし、多少、シミュレータ実験の方が、最大脅威のランクを低く評価している。

3) T S L飛翔の避航動作に対する一般船からの視認実験

一般船からみたT S L飛翔の避航動作の視認実験を実施した。左舷または、右舷正横から接近し、途中で10度、20度、30度の角度で変針をする。これらの一連の動作を一般船から見る視認性について調査した。

T S L飛翔が、一般船の左舷方向から接近して右転変針する場合、すなわち、一般船の船尾方向を航過する避航の方法は、一般船側からのT S L飛翔の避航の

表7-3 実船実験の条件と結果

日付	通し番号	通過パターン	T S L 飛翔の船速(ノット)	避航開始距離(海里)	航過距離(海里)	海象	視程	備考
7月29日	北斗丸実験1	-45	40~45	2.00	右0.8	良	良	
	北斗丸実験2	-90	40~45	1.50	船首0.5	良	良	
9月27日	汐路丸実験1	90	40~45	2.20	船首0.35	良	良	
9月28日	汐路丸実験2	-45	40~45	2.00	左1.01	良	悪	視程2海里
	汐路丸実験3	-45	40~45	1.01	左0.35	良	悪	視程2海里
	汐路丸実験4	-90	40~45	1.15	左0.59	良	悪	視程2海里
	汐路丸実験5	90	40~45	0.90	船首0.69	良	悪	視程2海里
	汐路丸実験6	90	30	0.71	右0.37	良	悪	視程2海里
	汐路丸実験7	-45	30	0.95	左0.33	良	悪	視程2海里
	汐路丸実験8	45	40~45	1.13	船首0.56	良	悪	視程2海里
	汐路丸実験9	0	40~45	1.20	左0.50	良	悪	視程2海里
	汐路丸実験10	90	40~45	1.40	左0.78	良	悪	視程2海里 汐路丸避航 飛翔協力動作
	10月27日	銀河丸実験1	-90	40~45	2.00	左0.6	悪	良
銀河丸実験2		-45	40~45	2.00	左0.38	悪	良	波高1.85m, 風速18m/s
銀河丸実験3		-90	40~45	0.65	左0.26	悪	良	波高1.85m, 風速18m/s
銀河丸実験4		90	40~45	0.80	右0.35	悪	良	波高1.85m, 風速18m/s
銀河丸実験5		45	40~45	2.47	右0.54	悪	良	波高1.85m, 風速18m/s 先行避航
11月1日	深江丸実験1	-90	40~45	2.50	船尾0.37	悪	良	波高1.84m, 風速30m/s
	深江丸実験2	-45	40~45	1.97	左0.45	悪	良	波高1.84m, 風速30m/s
	深江丸実験3	-45	40~45	0.96	左0.22	悪	良	波高1.84m, 風速30m/s
	深江丸実験4	-90	40~45	0.60	左0.1	悪	良	波高1.84m, 風速30m/s
	深江丸実験5	90	40~45	0.71	右0.21	悪	良	波高1.84m, 風速30m/s
	深江丸実験6	90	30	0.61	船首右0.33	悪	良	波高1.84m, 風速30m/s
	深江丸実験7	55	40~45	0.75	船首0.33	悪	良	波高1.84m, 風速30m/s
	深江丸実験8	0	40~45	0.75	左0.22	悪	良	波高1.84m, 風速30m/s
	深江丸実験9	90	40~45	2.97	船尾0.56	悪	良	波高1.84m, 風速30m/s 先行避航

注釈 波高：最大有義波高、 風速：最大瞬間風速

視認性が良い。しかし、一般船の右舷の方向から接近し、右転して船首を航過する場合には、一般船側から T S L 飛翔の変針を確認するのに時間を要しており、視認性が落ちていることがわかる。

その理由として、一般船から見たときに、T S L 飛翔の船首が自船の船尾を向いたときには、その変化がわかりやすいが、T S L 飛翔の当面する船側のみを見るときには、向首変化が視認しにくいことがあげられる。

これらのことから、T S L 飛翔が一般船の船尾を航過する避航方法は、一般船から見た場合の視認性に非常に優れていることが明らかになった。

7.1.1.4 結果のまとめ

- (1) T S L 飛翔が一般船の船尾を航過するという避航動作が、一般船からの視認性には極めて優れていることが明らかになった。また、T S L 飛翔の避航操船動作に対する一般船からの視認に要する時間を測定できた。
- (2) 操船者が、衝突の危険判定に用いた項目としては、相手船の方位角（ベアリング）とその変化および相手船の姿勢（アスペクト）とその変化を最も重要視している。
- (3) 衝突の危険減少判定に用いた項目は、どの操船者も、相手船の方位角（ベアリング）の変化および相手船の姿勢（アスペクト）の変化を最も重要視している。

7.2 東京湾を例にした高速航行シミュレータ実験例³¹⁾

高速船の高速航行に関する例として、輻輳海域であ

る東京湾における高速航行シミュレータ実験を行った。

図7-1のように実験に用いた東京湾内の船舶交通流は、もっとも船舶数の多かった朝7時からの1時間のデータを基にした。輻輳海域での高速航行における船速の影響を明らかにするために、上記の交通流の中を、中ノ瀬出口から、東京灯標までの北航と、東京灯標付近から浦賀水道入り口までの南航について、それぞれ船速を、20ノット、35ノットおよび50ノットとして、シミュレータ実験を行った。船速は、それぞれ一

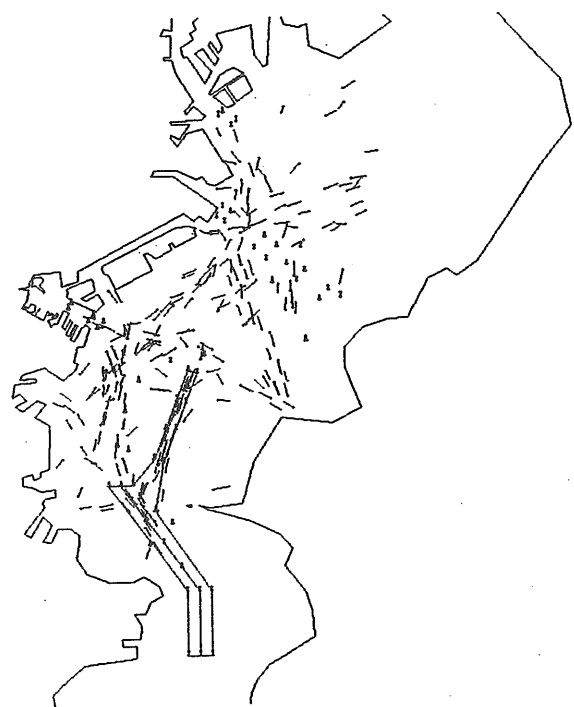


図7-1 東京湾の船舶交通流

定とするが、通常の航行と同様に必要に応じて減速してもよいものとしたが、何れの場合も結果的には、減速は行われなかった。被験者は、高速船の航行の熟練者として、T S L飛翔の船長および一等航海士の2名にお願いし、レーダー/ARPAの情報支援付きで操船していただいた。実験結果の解析例として、3分以内に0.2マイル以内に近づく可能性のある船舶を抽出し、それらの船舶について、最終的な航過状況を集計した。この中で最も接近した前方での航過距離は1,050mであった。シミュレータ実験結果についての被験者の自己評価は、すべてのケースに対して安全な航行が可能であるとの結論であった。以下の被験者の意見から以下のことが明らかになった。

- (1) 20ノットと50ノットでの航行を比較すると、低速では時間的な余裕は大きいが見合い関係となり得る船舶の数が多くなるため、判断のための負担はかえって大きくなる。また、危険な見合い関係が生じた場合、それが解消されるまでの時間が長いために、緊張が持続する傾向にある。
- (2) 50ノットでの航行に関して、今回の実験条件では、安全を担保するための作業について、時間的な余裕は十分であった。さらに高速での航行(50ノット以上)になると時間的な影響が効いてくると考えられる。
- (3) 整流されている場合は、他船の動向を推定しややすいが、非整流の場合は、他船の意志が判らないため、自船の行動決定の負担が大きかった。

被験者が、当実験において余裕があったと自己評価していることについて、実験時の操船作業の観測から、ARPA支援情報を基に、衝突危険船の同定と同時に、避航行動を決定する際に避航後に危険な見合い関係を生じないことを確認していることが明らかになっており、4.1で述べた、安全余裕の評価からは、大局的な判断が可能な第3レベルの安全余裕が実現されていたと考えられる。船速が50ノットの場合は、3分以内に0.2海里以内に接近する可能性のある船舶は多いが、実際に避航した船舶は少なく、避航開始距離はいずれも1000m以上となっている。これらの避航においては、一般船には脅威を与えていないとの被験者の主観的評価であることから、最接近点までの時間的余裕が40秒以上あれば相手船に脅威を与えないと考えていることがわかる。船速が20ノットの場合と比較しても避航開始距離は、あまり違いがなく、最接近点到達時間のみが大きくなっている。従って、この避航開始距離は、いずれも衝突コースのまま近づいてきてこの距離で避航を開始したのではなく、周囲の船舶の動向を考慮して最終的な行動をとった距離と考えられる。

7.3 輻輳海域における航法の提案²²⁾

7.3.1 輻輳海域における航法

一般船が既に形成している海上交通の世界に、高速船が参入し、受け入れてもらうためには、高速船が、これと遭遇する一般船に脅威を与えないような航行形態をとることが重要である。このため、高速船が一般船に与える危険感(脅威)の構造を考察し、モデル化した。その結果と実船実験結果とを照らし合わせ、同モデルの検証を行った。

また、衝突の危険感モデルの意味するところを考察することによって、実船実験で得られる主観的な数値から、より客観的な考え方を求め、実船実験ではできなかったケースや、対象船舶が異なってもその高速航行の評価が得られるように、一般化した手法とした。

7.3.2 高速船が与える危険感の構造モデル

高速船の危険感の構造モデルは、次のように分類して考えることができる。すなわち、一般船のみに避航義務がある場合、一般船に針路保持義務がある場合、および双方ともに避航義務を負う場合である。

- ① 高速船が一般船からみて右側から接近し、一般船が避航義務船になる場合
 - ② 高速船が一般船からみて左側から接近し、一般船が針路保持義務船になる場合、このときには、主として高速船の操縦性能と、一般船の操縦性能とから定まる次の3段階で危険感が増していく。
 - I) 一般船において余裕を持って衝突コースから回避することができるときは、危険感を感じずが許容できる。
 - I') 同上で、余裕がないときは、危険感は大きく、許容できない。
 - II) 一般船が独自に衝突コースから回避することはできないが、高速船は独自に衝突コースから回避することができるか、または、高速船の避航の意思がわかるときは、危険感を感じずが、許容できる。
 - III) 同上で、高速船が衝突コースから回避することができるにもかかわらず、高速船に避航の意思があるかどうかかわからないときには、危険感は大きく、許容できない。
- さらに状況が緊迫すると、危険感の段階ではなく、衝突に至る。
- ③ 高速船と一般船とが、真向かい又はほとんど真向かいに接近し、双方が避航義務を負う場合、このときには、一般船は高速船の異常な接近速度に危険感を感じるが、余裕を持って衝突コースから回避できるときは許容できる。
- しかし、高速船において、先行避航等をするときには、前示②の、一般船が針路保持船の場合と同じような種類の危険感になる。

7.3.3 許容できる危険感

ここで、高速船に対してのみ、常に先行避航や船員

の常務による諸動作を求めて、一般船には避航に関する動作を求めないものとする場合には、許容できる危険感の範囲にある高速船との見合い関係をまとめると次のようになる。

〔高速船との許容できる見合い関係〕＝

〔一般船が独自に余裕を持って衝突コースから回避できる〕

または

〔高速船が独自に余裕を持って衝突コースから回避できる〕

ここでは、一般船や高速船が衝突回避に通常の手段の他にいくつかの手段を多重に持つことを余裕という言葉で表現する。これは、通常の避航手段がとれない場合でも、減速のような他の緊急避航手段がとれることを意味する。上記の各項目を次のように簡単化して船舶操縦性能で表すことができるとしよう。

〔一般船が独自に余裕を持って衝突コースから回避できる〕

一般船が、衝突予定地点を余裕を持って避けられる距離にいることである。安全側になるようにこれを言い換えれば、「一般船の最大縦距と操船作業に必要な時間及びその不確実さを吸収する時間に相当する距離との和が衝突予定地点までの距離より短いこと」が必要である。

〔高速船が独自に余裕を持って衝突コースから回避できる〕

一般船と同様に、次のように言い換えることができる。すなわち、「高速船の最大縦距と操船作業に必要な時間及びその不確実さを吸収する時間に相当する距離との和が衝突予定地点までの距離より短いこと」が必要である。ここで最大縦距を採用したのは、最大縦距は、船が相手船に接近しても衝突コースから外れた位置で最接近する距離である理由からである。

許容できる見合い関係とは、一般船または高速船のどちらかが、この条件を満足していればよい。

7.3.4 通過(海上衝突予防法第8条)に対する考察

高速船に対するもう一つの危険感として評価しなければならぬものに「高速船の通過」がある。通過を表す指標として通過における距離(以下、航過距離という)があり、高速船が一般船を通過する場合、その速度差から専ら高速船側に航過距離を確保する操船が要求される。このため、安全な航過距離は、高速船が航過中に制御不能な針路の揺らぎや不測の事態が生じて、高速船の操船のみで衝突を回避できる距離とすべきであろう。

以上のことを考慮すると、具体的には、不測の事態や制御結果の揺らぎ等で高速船の針路が偏する角度と、高速船が余裕を持って緊急停止するまでに要する距離、または、許容できる距離のうち長い距離とによってで

表7-4 輻輳海域の危険感(ランク7)で見込んでいと推定される離隔

5,000トンクラス		500トンクラス	
銀河丸(左)	0.38(海里)	汐路丸(左)	1.3(海里)
銀河丸(右)	0.88(海里)	汐路丸(右)	1.4(海里)
北斗丸	0.18(海里)	深江丸(左)	1.8(海里)
		深江丸(右)	1.8(海里)
飛翔	1.36(海里)		1.26(海里)
	5000トンの平均値		500トンの平均値

きる扇形に、一般船が触れないような航過距離を高速船は保つべきである。

7.3.5 実験結果(避航開始距離)の考察

T S L 飛翔と一般船との見合い実船実験³⁰⁾における一般船側の安全判定採点結果(衝突危険判定(脅威)の最大値のランク付け)をまとめると、500トンクラスの船舶も5,000トンクラスの船舶も、トン数の比ほど大きな差は見られなかったことと、高速船の接近方向による大きな差異もみられなかったことがわかった。

ここで、実験船各船の操縦性能から、操舵指令が発せられてから最大縦距に達するまでの距離と一般船と高速船の速度を、それぞれ12.5ノット、50ノットと仮定して、それぞれの船が最大縦距に達するまでの所要時間の間に、双方が航走する距離の和を計算し、それと輻輳海域での高速船の許容できる避航開始距離の値とから、今回の実験において各船が見込んでいた離隔距離は、表7-4の通りと推定できる。

5,000トンクラスの船の実験で得られた離隔距離は、飛翔の離隔距離よりも小さい。このことは、高速船との見合いにおいては、5,000トンクラスの船は、自力で避航するよりも飛翔側の避航を期待することを選択して、飛翔側の余裕を自船の余裕としていることを示している。500トンクラスの船の離隔距離は、いずれも1.3~1.8海里の余裕を見込んでいることがわかる。一般船と高速船の速度をそれぞれ12.5ノット、50ノットとすると、1.5海里の離隔距離は、正面からの見合いの場合では、衝突予定地点まで高速船は1.2海里、一般船は0.3海里の距離に相当し、それぞれ約86秒の時間に相当する。この値は、それぞれの一般船にとって、操船作業等に必要時間とその不確実さを吸収するための時間に充てているものと思われる。これらの時間は、高速船との出会いを数多く経験し、高速船の航行方法に習熟すれば、操船作業に必要な時間は短縮されることが期待される。

この実験における飛翔側の離隔距離は、500トンクラスに対する値も5,000トンクラスに対する値もほぼ同じで、1.3海里近傍である。この値は約75秒の時間に相当する。これも前節の東京湾内の高速航行シミュレーション結果から明らかになった、相手船に脅威を

与えない時間40秒よりはるかに大きい。これから高速船にとっての操船作業等に必要の時間とその不確実さを吸収するための時間としては十分に長いものと考えられる。これは、一般船が輻輳海域で通常遭遇する際に感じる危険感と同程度の危険感を感じているときでも、高速船側としてはまだ十分な時間的な余裕を残しているということを意味している。

7.3.6 実験結果(航過距離)の考察

一般船は高速船との航過距離は一般船同士と同様に考えて、評価しているようである。飛翔の緊急停止までに必要な距離を、操作に必要な時間も考慮してその間に航走する距離を、1.5海里と仮定する。自動にせよ手動にせよ針路の制御の揺らぎを最大±5度以内と考え、1.5海里先の偏差は0.13海里になる。実験におけるレベル7の許容できる最大の避航開始距離は2.5海里であるので、この値から、偏差は0.22海里となり、航過距離としては、この値にある程度以上の距離を持たせれば良い。これは、一般船同士とあまり変わらない値である。航過距離を保証するためには、高速船は停止距離が短いだけでなく、停止処置をとるまでの所要時間を短くすることも要件となる。

7.4 輻輳海域での許容できる避航開始距離の考察

今回の避航実験では、一般船の危険感、高速船が衝突コースから避航を開始する直前が最大であり、その後は比較的近距离を航過しても許容できる危険感に留まっている。従って、高速船は、先行避航に努めるとともに、一般船と長時間にわたって衝突コースにならないように配慮し、前述の航過距離を確保することに主として留意するならば、輻輳海域において、高速船は一般船に許容されると考えられる。

以上のことを勘案すると、輻輳海域においては、衝突コースで接近した場合の避航開始距離を求めるためには、通常の避航手段を取る所要時間に加えて、高速船の行動の確認を含めた操船判断のための時間とその不確実さを吸収する時間を考慮すれば良いと考える。銀河丸との視認性の実験では、変針角度が30度の場合には、飛翔が変針の指令を発してから銀河丸が飛翔の変針を視認するまでに、視認性の悪い船首側避航の場合でも、12~14秒で視認している。このことから、高速船との見合いにおいて、一般船が必要とする操船判断の時間は、高速船の避航意思を確認するための15秒程度の時間を含んだ操船のために必要な時間とその不確実さを吸収するための時間の和と考えられ、この時間余裕に相当する距離を余裕としてみる事ができよう。

もしも、この時間が短くなると、許容される避航開始距離がどのような値になるかを例として計算してみた。

なお、実験から得られた高速船の行動を確認するための時間15秒と、操船に必要な時間とその不確実さを吸収するために必要な時間を15秒と仮定した時の、輻輳海域における衝突の危険を避けるための距離を求めた例を表7-5に示す。高速船、一般船の速度は、それぞれ50ノット、12.5ノットとしている。

この「操船に必要な時間と不確実さを吸収するために必要な時間として仮定した15秒」について、パイロットを含むヴェテランの船長経験者(官・民の大型船)10人にインタビューを行い、その妥当性を検討した。それによると、ほぼ全員が15秒程度みればよいであろうとの見解であった。

5,000トンクラスの一般船が自力避航をする場合の必要距離の和は、高速船側が避航する場合の距離よりも大きいため、余裕としてみる時間の合計が30秒の場合の必要距離の和としては、高速船側の避航を期待した1.26海里をとるのが妥当である。

なお、表7-5の距離の和は、一般船、高速船の両者の必要距離の和を示しており、両者のコースが交叉している場合の2船間の直線距離としての避航開始距離は、さらに短くなる。一般船の必要距離をAとし、高速船の必要距離をBとし、両者の交叉角を α とするならば、両者間の距離(避航開始距離)は(A²

表7-5 輻輳海域における衝突の危険を避けるために必要な高速船と一般船のそれぞれの距離の和の例*(高速船の行動視認時間15秒、操船意思決定等の時間15秒とした場合)

	一般船が走る距離 (A)	高速船が走る距離 (B)	両船の距離の和 (A+B)
5,000トンクラス 自力避航の場合 高速船の避航を期待する場合	0.42 (海里) 0.25 (海里)	1.72 (海里) 1.01 (海里)	2.14 (海里) 1.26 (海里)
500トンクラス 自力避航の場合	0.18 (海里)	0.74 (海里)	0.93 (海里)
高速船 自力避航の場合	0.25 (海里)	1.01 (海里)	1.26 (海里)

* 正面から見合った場合には避航開始距離に相当

表7-6 輻輳海域における高速船の許容できる避航開始距離の一例(高速船の行動視認時間15秒、操船意思決定等の時間15秒の場合)

	一般船が走る距離 (A)	高速船が走る距離 (B)	避航開始距離* (S)
5,000 自力避航の場合 高速船の避航を期待する場合	0.42 (海里) 0.25 (海里)	1.72 (海里) 1.01 (海里)	1.76 (海里) 1.04 (海里)
500 自力避航の場合	0.18 (海里)	0.74 (海里)	0.77 (海里)
高速船 自力避航の場合	0.25 (海里)	1.01 (海里)	1.04 (海里)

* $S = (A^2 + B^2 - 2AB\cos\alpha)^{1/2}$ (交叉角度 $\alpha = 90$ 度の場合)

$+B2 - 2AB\cos \alpha) 1 / 2$ で与えられる。

両者の交叉角度が90度の場合の、表7-5に相当する避航開始距離の例を表7-6に示す。これらの値は、7.2の東京湾のシミュレーションによって得られた前方横切りにおける許容できる避航開始距離の値の最小の例1,050mに近く、高速船に対する一般船の操船意思決定等に必要時間として30秒程度を考慮することは妥当と思われる。このように、避航開始距離については実船実験からの表7-4を基本として輻輳海域の航行を考えることになるが、高速船が先行避航を徹底する航法が周知されれば、一般船の操船意思決定等に必要時間が例示したように短くなることが期待される。

7.5 高速船の安全な航行方法について

対象とする高速船の操縦性能、停止性能等が求められれば、操船作業等における必要時間という形で、一般に認められるような時間における余裕や、それに相当する距離における余裕を定めることができ、安全な高速航行をするために必要な最小避航開始距離や、航過距離を客観的に求め、高速航行の安全性を評価することができる。実船実験の結果からは、輻輳海域で一般船に許容されるためには、高速船は、一般船に衝突の危険を感じさせない航行方法をとればよいことがわかる。実船実験で得られた輻輳海域での遭遇で通常に感じられる程度の危険感を与える境界より外側に高速船がいる場合には、高速船は見合い関係を生じないように狭義の先行避航を行う。この境界を越えても、万が一、衝突の危険がある場合には、高速船は一般船に先んじて、専ら避航を行う。

さらに、操船等に必要なしかるべき余裕を持った距離を与える境界を越えた場合は、高速船は減速して避航を行う。ただし、トラブル等による万が一の衝突の危険に備えて緊急停止の領域は必ず確保しておく。このように、高速船が一般船との衝突を避ける手段をいくつも用意して、なおかつ、一般船に危険感を与えないように配慮して航行していることを、一般船から理解されることが輻輳海域の高速航行の要件となる。

実船実験では、一般船が許容できる高速船の航過距離が一般船同士と同程度であることがわかった。このことから、同行になるように交通流を整流することによって、出会い関係における横切りをなくすように努めれば、輻輳海域での高速航行をより安全に行うことができると考える。

これら航行方法を効果的かつ確実にを行うためには、高速船であるということを表示するフラッシングライト等の灯火の整備や、避航動作の視認が容易な前後部マストの整備とともに、さらに、避航動作の視認が容易な船尾側への変針の励行が望ましい。

また、一般船がこのような高速船の航行方法等を許容するために、次のような前提条件が望ましいものと

考える。

- 高速船側は、衝突防止の各動作を徹底して遵守する。そのために必要な運航体制を常に執ること。
- 前項の要件にもかかわらず、一般船は高速船を避航するための操船をすることがあることを高速船は考慮して、余裕のある操船をすること。

例えば、高速船が一般船の右側から接近し、一般船からの視認性の良い船尾側避航をする際にも、一般船が避航義務を感じて右転する可能性があることを考慮しながら、高速船が余裕のあるうちに、一般船の船尾側に変針すべきであろう。なお、高速船がどのように航行し、どのように一般船を避航するかということや、このような避航が可能な運航体制を常に執っていることを、一般船が周知することとなる場合は、より安全な航行が可能であろう。

高速船の設計に当たっては、一般船に衝突の危険を感じさせない航行方法を行うために重要な最小避航開始距離や、航過距離が高速船の性能等に大きく依存することから、当然のことではあるが、次のことに一層配慮することが望まれる。

- 変針性能、停止性能を高めること。
- 精度がよく信頼性が高い針路保持機能を持つこと。

さらに、これらの性能を十分に生かすために、運航者がこれらの操縦操作をすばやく間違いなく行えるようなインターフェイスを持つこと。

以上、通常 of 精神条項と同じ様な表現であるが、各項目に意味付けがなされた条項表現となり、具体的な設計要件として検討できる表現となった。

8. おわりに

シミュレータを用いた研究として、これまで述べたように多岐にわたり数多くの有用な成果が得られた。成果として、造船研究協会のRR関係における委員会の基礎資料の作成、高速船の安全性評価技術手法の確立と高速船の安全な運航方法の提案、内航タンカーの近代化船に搭載する航行支援機器の開発における設計要件の抽出と実機の製作および海上保安庁灯台部が関門海峡の航路幅拡張工事に伴い実施した、プイの移設の事前・事後の検討及び評価等が挙げられる。

特に、高速船の運航に関する安全性評価法の考え方として、当所が提案した余裕を指標とする評価の考え方は各方面に於いてかなり受け入れられつつある。また、これまであまり例がない実海域における、実船による見合い実験を基にして、一般船から受け入れやすい輻輳海域における大型の高速船の航行方法についての提案も行った。将来、大型高速船の運航が実現するとき、現実の航行方法とするためには、各方面に於いて更に検討を重ねる必要はある。しかし、基本的な問題については、成果が得られたものと考えている。

内航タンカー近代化船については、平成9年度には、

開発した航行支援機器類を搭載した実船が竣工した。現在、実船による評価・検討を実施し、人に優しい、より使いやすい航行支援システムとしての一層の育成を図ることとしている。

また、関門海峡のブイ移設の研究に於いて開発した灯火の表現技術をもとにした、シミュレータを用いた航行援助施設の設置に関する評価法は、海上保安庁灯台部から今後のブイの敷設、埠頭灯台の設置、航路策定等の事前及び事後の評価法として、大いに有効であるとの評価を受けた。今後も、シミュレータ装置の利用も含んだ、継続した協力を期待されている。

そうした例として、東京湾横断道路（アクアライン）の完成により、橋梁付近の水域に航路を設定する必要がある。この開発した評価システムを用いて、現在、ブイの設置について検討を実施しているところである。今後は、さらに汎用化したシステムとしてのブラッシュアップも計画している。

本シミュレータは、設置された平成3年度末の当時においては、一応、実用的にも、機能的にも日本におけるトップクラスのシステムであったが、研究が終了した平成7年度においては、世間の計算機のレベルからも、シミュレータの機能からも、かなり遅れたシステムとなっていた。計算機の進歩には目を見張るものがある。

今後のシミュレータを用いた研究を考えた場合、ハードとしてのシミュレータは、船研として保有すべき設備の一つであり、しかも最新のものであれば言うことはない。

しかも、こうした船研のシミュレータ設備は、シミュレータを持たない他の国立機関が実施する業務の受け皿としての位置づけも考える必要がある。

しかし、その設置費用は、まだまだ高価であり、設置後の保守に要する費用もかなりの額にのぼる。そのため、限られた予算の中で当所の研究の目的にあったシミュレータの整備を心がける必要がある。

こうした状況のもと、国の研究機関としての船研は、安全性の確保や安全性評価の研究を行う必要がある。特にその中で、最近の海難事故の90%以上を占めるヒューマンエラーによる事故の防止策の研究を一層、推し進めていく必要がある。そうした研究の例として、荒天時におけるヒューマンファクターに関する研究があるが、これまで、実船以外再現が不可能であったため、ほとんど研究がなされていない。この研究を、荒天の状態を模擬できるシミュレータが可能とする。

船の運航は、人間がシステムの要素の一部として組み込まれるシステムである。こうしたマン・マシン系におけるヒューマンファクターの研究には、シミュレータは不可欠な実験ツールであり、唯一のツールであると考えてもよい。船舶の航行の安全確保のために、当所にこうした荒天を模擬できるシミュレータの整備を

望むものである。

<参考文献>

- 1) 金湖他：船舶航行システムの安全性評価用シミュレータの開発、日本航海学会第85号（1991）
- 2) 田中他：船舶航行システムの安全性評価用シミュレーター、一リアリティーのある景観画像一、日本航海学会論文集、第88号（1993）
- 3) 金湖他：幅狭海域における大型高速船の運航体制評価手法について、日本造船学会論文集第174号（1993）
- 4) 例えば、飯山：人間—機械系設計の現状、人間工学第5巻、第6号（1969）
- 5) 宮崎他：海上交通の安全に及ぼす高速船航行の影響の評価、日本航海学会論文集87号（1992）
- 6) 例えば飯山：人間—機械系設計の評価法の現状、人間工学第5巻第6号（1969）
- 7) 今津他：避航限界と被避航限界の研究、日本航海学会論文集、第85号（1991）
- 8) 沼野他：船舶航行における潜在的危険の評価、日本航海学会論文集、第85号（1996）
- 9) 東京湾船舶航行調査研究会：平成3年度 東京湾船舶航行調査報告書、東京商船大学（1992）
- 10) 東京湾横断道路海上交通実態調査報告書、東京湾横断道路（株）（1991）
- 11) 金湖他：シミュレータ実験による大型高速船の運航体制評価（その1：昼間の航行）、日本造船学会論文集、第174号（1993）
- 12) 廣津：分散分析、教育出版（1976）
- 13) 林：統計学講義、第2版（1973）
- 14) 河口：多変量解析入門 森北出版（1978）
- 15) 金湖他：シミュレータ実験による大型高速船の運航体制評価（その2：夜間の航行）、日本造船学会論文集、第175号（1994）
- 16) 宮崎他：大型高速船支援効果の操船者による主観的評価、日本航海学会、第89号1992）
- 17) 寺野：システム工学入門— あいまい問題への挑戦—、共立出版（1985）
- 18) 福戸他：狭水道における操船時の余裕について、日本航海学会、第92号（1995）
- 19) 伊藤他：シミュレータを用いた長時間運航の安全性評価について、日本航海学会、93号（1994）
- 20) 福戸他：航行安全評価に用いる操船シミュレータ、日本航海学会誌、第118号（1993）
- 21) 沼野他：狭水道航行のための運航支援、日本航海学会、第92号（1995）
- 22) 平成5年度 本州四国連絡橋航行安全調査報告書：本州四国連絡橋公団、（社）瀬戸内海海上安全協会（平成6年3月）
- 23) 海峡部の通航船実態調査報告書（来島海峡）：

本州四国連絡橋公団第三建設局、(社)日本海難防止協会(平成4年3月)

- 24) 田中他：操船シミュレータを用いた関門海峡の灯火の表現方法：第66回船舶技術研究所講演会(1995)
- 25) 田中他：操船シミュレータ上の灯火の表現手法とその評価、日本航海学会、第95号(1996)
- 26) 杵名景義：海図の読み方、天然社
- 27) ライティングハンドブック：照明学会編、オーム社
- 28) 新編色彩科学ハンドブック：日本色彩学会編、東京大学出版会
- 29) 吉永弘編：応用分光学ハンドブック、朝倉書店
- 30) 宮崎他：高速船と一般船との見合い実験—実験船実験とシミュレータ実験—、日本航海学会論文集第95号(1996)
- 31) 沼野他：東京湾を例とした輻輳海域の高速航行シミュレータ実験、日本航海学会論文集、第95号(1996)
- 32) 伊藤他：輻輳海域における高速船の安全な航行方法(高・低速2船間の見合い関係における衝突の危険回避モデル化)、日本航海学会論文集、第95号(1996)