

# 船舶交通流におけるマン・マシンシステムの一考察 —実船調査による避航時のレーダ写真解析—

有村 信夫\*・山田 一成\*・渡辺 健次\*  
塩田 重須\*\*・大谷 浩二\*\*

A Study on Man-machine System in Vessel Traffic Flow  
(An Analysis of Radar Photographs on Avoid  
Actions Obtained in Ship Survey)

By

Nobuo ARIMURA, Kazunari YAMADA, Kenji WATANABE  
Nobumochi SHIOTA, and Koji OHTANI

## Abstract

This paper is aiming to decrease the mental load at avoid action in congested waterways.

A ship survey was made on avoid actions and mental load on board the Seunmaru.

Here, analysis is made on the relation of the Collision Judgement Index and human reactions, the former having been proposed by Kobayashi and Endo<sup>9)</sup>.

The Analysis gives results as following:

- (1) The upper limit of the Collision Judgement Index at starting time of avoid action is approximately equal to  $100 \times 10^{-4}$  and most of DCPA (Distance of Closest Point of approach) is less than 500m (=5L, L\*ship length).

Almost all avoid action are finished before TCPA (Time of CPA) reaches 2 minutes which roughly corresponds to 7L.

- (2) The frequency of heart pulse increases by  $26 \pm 5\%$  from the ordinary value which indicates increase of mental load.

Above consideration leads a proposal to display an equaltitude map which enables quick look of the Collision Judgement Index.

## 1. まえがき

---

\* システム技術部

\*\* 運輸省・航海訓練所

原稿受付：昭和62年8月20日

航行海域の輻輳化に伴い、航行の安全を目的とした高度自動運航システムの研究開発が各方面で行われており、航行環境情報の収集能力と精度の向上が図られ

ている。

しかし、この様な高度自動運航システムに頼れるようになる迄には、種々の問題解決が必要であり、操船者は他船動向の把握に務めているが、他船に関する情報が著しく不足している為、特定海域を除いて、船舶は操船者個々の意志で独立に航行しているのが現状である。そのため、衝突海難は依然として多く発生している。

例えば、61年度<sup>(1)</sup>の海難審判白書により船舶海難統計<sup>(1,2,3)</sup>を見ると、衝突海難は、全体海難(=10,769件)の約36%であり、全海難審判裁決(=770件)における衝突の原因は、航法の不遵守(=26%)、見張り不十分(=23%)と言った操船者の判断錯誤等の人為的ミスに拘る問題を多く含んでおり、この点の改善対策が指摘されている。

一方、今後予想される運航の自動化や航行援助機器の導入により、船舶の運航にたずさわる要員数はさらに減少し、要員中の熟練者が少なくなる傾向にあると思われる。

この為、運航の際の航行環境条件によっては、操船者の精神的負担の増加や判断錯誤等の発生が重大な事故につながる可能性があるものと考えられる。

従って、操船の意志決定にいたる航行環境情報の判断要素を解析して、未熟練者でも他船の動向把握が容易に可能な航行援助機器の検討が必要である。

本報告は、航行安全の見地から、操船者による判断錯誤の防止と見張り時の精神的負担の軽減を目的として、実船による避航操船の実態調査<sup>(4)</sup>を実施し、操船時に必要な情報と操船判断様式の考察を行い、船舶交通流におけるマン・マシン・システムの立場から航行援助情報の新しい表示方式を提案したものである。

航行時における他船情報の収集手段としては、目視とレーダ観測による方法がある。

レーダ情報は目視より測位精度が高いが、自船に対して相対的である為、短時間の断片的な画面情報による輝点の相対移動からだけでは、相手船の真の運動を直ちに見出すことは難しい。他船の動向を的確に判断するには連続したプロット作業が必要であるが、この処理が煩雑なため省略されることもある。

通常の狭水域航行時の見張り作業では、刻々変化する航行状況の中で豊富な経験と高度な知識を基に連続した目視情報の収集、処理に専念していると思われる。

この為、操船者は操船時の精神的負担が大きくな

り、船舶交通量の変化による精神負担の増減や持続時間の長期化が、操船判断能力の低下や錯誤等の人為的ミスに結び付く可能性があるものと思われる。

従って、操船作業の判断錯誤等の人為的ミスに拘る問題を改善するには、他船情報の収集、処理を行う機械系と、視覚情報から判断、予測を行って操船する人間系との間で情報伝達の効率化を図ることが重要である。即ち、狭水域航行時における操船者の判断様式を実船調査して、操船上に必要な情報を得、航行援助情報の新しい表示方式を提案することが出来れば、操船時の判断錯誤の防止と航行安全の向上に役立つものと考えた。

実態調査は、避航操船時における船間相互の航行状態、及び、操船者に与える精神的負担の様相等の操船特性を知るために、59~60年度に航海訓練所の練習船の青雲丸で訓練海域を利用して4回行われた。

今回の解析は、航海中に得た相対航跡と操船者の心拍数データを基に、小林・遠藤両氏が提唱している衝突危険評価式を用いて、避航動作開始時の衝突危険評価値、最接近距離、最接近時間や避航時の旋回半径等の操船判断様式について考察を行った。

最後に、この解析結果より操船者の情報処理負担を軽減するための航行援助情報として、航行環境の衝突危険評価の予測値を絶対座標系に表示する方式を提案し、簡易シュミレータによる検証試験を行った。

## 2. 調査の概要

本調査では、狭水域航行における操船特性として、避航操船時における船間相互の運動、航行環境の変化に対する操船者の心拍数、及び、船橋内作業の状況を選び、実船の実態調査を通じて把握することにした。

### 2.1 調査対象船

調査対象船青雲丸の主要な諸元は、 $L \times B \times D = 105\text{m} \times 16\text{m} \times 8\text{m}$ 、 $GT = 5061.1\text{t}$ 、航海速力 $= 16.7\text{Kt}$ 、回転数 $= 170\text{RPM}$ である。

### 2.2 調査海域

狭水道、港域等の狭水域においては、他船等の出会いの頻度が増す程、操船者の操船上の難渋の度合いが増大すると予想されるので、調査海域は比較的輻輳度が高い東京湾、大阪湾を主に、表-1に示す航海路を選んで行った。また、調査の時間帯は、船舶交通量が

表-1 実船調査の対象海域

航 海 路
1、草壁港外・明石海峡・友が島水道・剣埼沖・浦賀水道・東京港外
2、神戸港・友が島水道・日の御埼沖・剣埼沖・浦賀水道・横浜港外
3、東京航路・浦賀水道・館山港入口
4、鹿児島港・潮の岬沖・剣埼沖・浦賀水道・東京港外

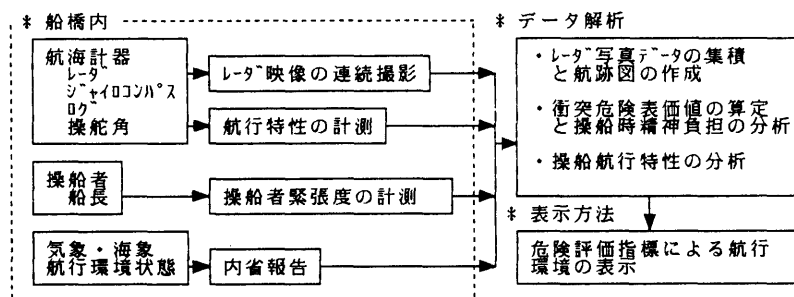


図-1 実船調査のシステム構成

(日本無線株式会社製 JMA-259) を用い、これと当所で製作したレーダ連続撮影装置を併用した。連続撮影装置は、1分毎に露出して、レーダのPPI(ノースアップ)上の船の映像と時間を連続撮影することができる。

(2) 操船者(船長)の緊張度の測定は、船長の胸部に貼付した心拍計センサーによるテレメータ方式で心拍数を連続して記録した。

尚、この方法は、文献<sup>(6,7,8)</sup>によると、心拍数が被験者の精神的負担に密接な関係があり、緊張度を求めるのに有効な手段とされている。但し、心拍数は被験者の心理的反応や筋肉活動の影響を受けるため、操船者による航海中の心理状態とその程度について内省報告も併せて作成した。

(3) 航行特性に関する航路変更時の変針角と旋回角速度の関係は、コース・レコーダから調べた。

### 3. レーダ写真の解析手順

レーダ写真の解析に必要な航跡追尾作業は、これまで手作業によって行っていたので、写真-1の様な数百毎のレーダ写真像から航跡図を作成するには、多く

多い8時~17時とした。

更に、航行時の気象条件は、全航海を通じて天候、視界共に良好であった。

### 2.3 調査項目

調査は、図-1に示すシステム構成で、主に次の3項目について計測を行った。

(1) 避航時の自船の船位、他船の航行状況等の観測方法としては、調査船に搭載して有るXバンドレーダ



写真-1 浦賀水道入口のレーダ写真真像

の時間と労力を必要とした。

今回はこの点を考慮して、図-2に示す如く、スライド・プロジェクタによるレーダ写真像をデジタルライザーで読み取って座標化し、パーソナルコンピュータを利用して船番号の自動追尾処理を行い、解析作業の省力化を図った。以下、解析処理内容を簡単に述べる。

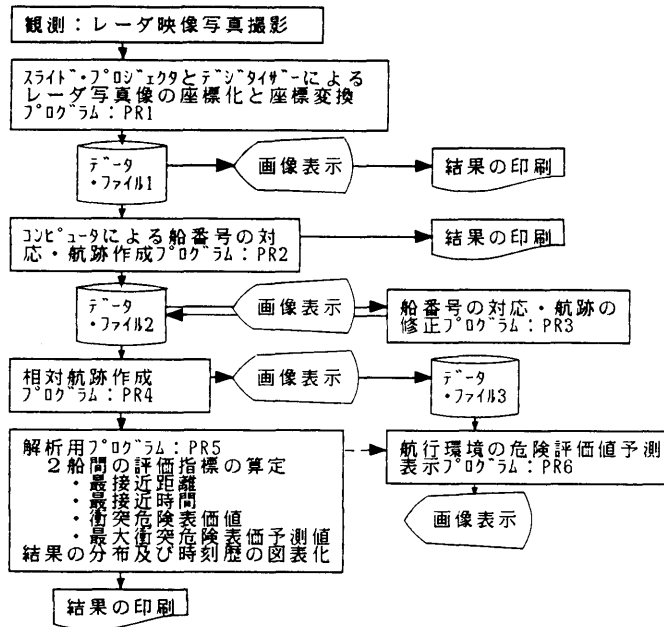


図-2 レーダー観測における解析作業手順

### 3.1 レーダ写真像の座標化

デジタイザ上に投影されるレーダ写真像の位置は、その都度合わせるのが難しいため、各画像に共通した2点（絶対方位の $0^\circ, 180^\circ$ ）を基準入力として定めた。

デジタイザによって数値化された座標データは、縮尺の補正と、相対座標系等の変換を実施し、船舶の位置座標値、船影の長さ、アスペクト、自船方位等の一次処理データをフロッピー・ディスクに出力した。

### 3.2 船番号と相対航跡図の作成

各写真における船の対応付けは、次の通り行った。

即ち、図-3に示す航跡作成の手順により、一次処理データを基に、各船の移動距離と方向を予測し、この予測値と次ぎの写真数値データの比較から、確度の高い船を探し出した。

更に、船影の位置スポットは、変針時における残像の影響で、大きさがかなり変動する為、人手によりグラフィック・ディスプレイ上で平滑化を行なって、観測データの処理を終了した。

### 3.3 解析手法

今回の相対航跡の解析では、小林・遠藤両氏が提唱している式(1)の衝突危険評価値 $^{\circ}CJ$ を用いて、避航動

作開始時における船間相互の位置関係から、この $CJ$ を求めた。

始めに、衝突危険評価式(1)の内容について、図-4に従って簡単に述べる。

図-4は座標の原点に自船を取った時の相手船の相対位置の変化を示している。 $V_P, V_R$ はそれぞれ相対速度ベクトル、接近速度ベクトルを表わし、 $V_x$ は $V_R$ に対する直交成分で相手船の離れて行く速度ベクトルを意味している。

この衝突危険評価式(1)の第1項は最接近点までに残された時間的余裕の逆数を危険度として表わし、第2項は相手船の離れて行く接線速度を安全度として示し、また、第3項では相手船との位置関係を避航操船の難易度として、それぞれ数量化し、総合的な衝突危険評価指標を示している。

$$CJ(\text{sec}^{-1}) = \dot{R}/R - a \cdot R|\dot{\chi}| + b \cdot \chi \quad (1)$$

各係数の意味は、 $R$ : 相対距離 (m),  $-\dot{R}$ : 接近速度 ( $\text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$ ),  $\chi$ : 相対方位 (deg),  $\dot{\chi}$ : 相対方位の角速度 ( $\text{deg} \cdot \text{sec}^{-1}$ ) であり、また、実験定数は、 $a = 3.75 \times 10^{-5} (\text{m}^{-1} \cdot \text{deg}^{-1})$ ,  $b = 1.75 \times 10^{-4} (\text{deg}^{-1} \cdot \text{sec}^{-1})$  である。

以下、衝突危険評価値を単に危険評価値と書き、さ

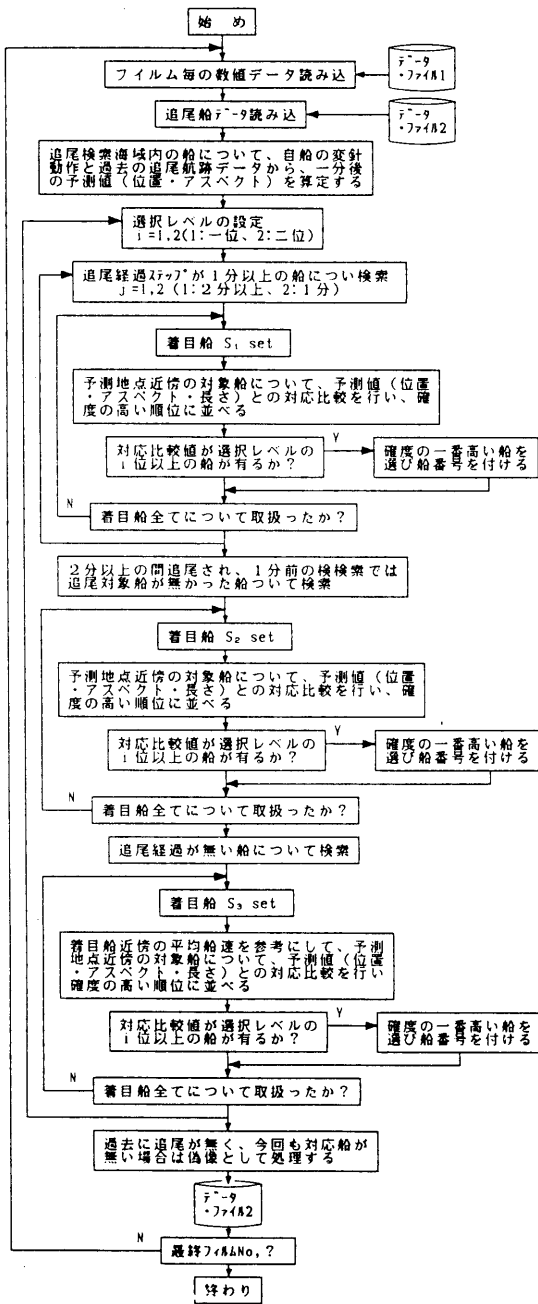


図-3 航跡図の作成フロー

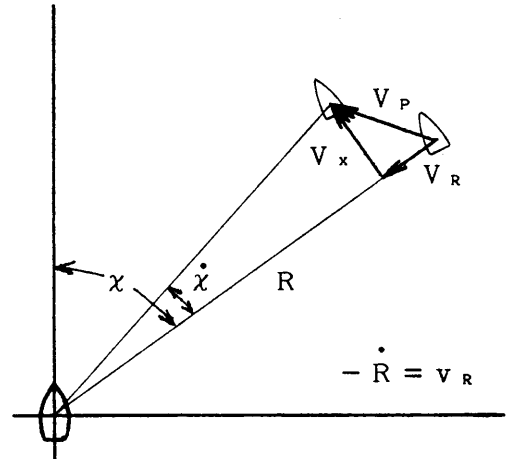


図-4 衝突危険評価式における他船の動き

らに、自船、他船とも避航せずそのまま直進すると仮定した時の最接近点までに予測される衝突危険評価値の最大値を最大危険評価予測値とした。

#### 4. データの解析と考察

以下の考察では、観測によって得られたレーダ画面の連続撮影フィルム(12時間)から読み取った各船舶の座標値を基に、相対航跡図を作成して、解析の基礎データとした。

##### 4.1 相対航跡から見た避航特性

明石海峡付近における13分間の相対航跡例を図-5に示す。

この相対航跡からは、自船の前方の他船が避航する場合と、通過後に自船の後方で他船が針路変更する場合の避航例が認められる。そして、自船周りには他船が近寄らない避航領域が見られる。

この相対航跡から自船の閉塞領域を求める為に、図-6に示す相対航跡の隻数密度分布を作成した。

この場合、パラメータとしては船の長さ、船の速さ等が上げられるが、ここでは、データ数の不足からこれらを一体として、主として大阪湾と東京湾における1分毎の相対位置関係を(100m)<sup>2</sup>の面積単位で重ね合わせて、相対航跡の隻数密度(=船の隻数/(100m)<sup>2</sup>)をZ軸に取って立体図で示した。

この図から、自船の周りには、他船が少ない相対閉塞領域とも言える領域が認められる。

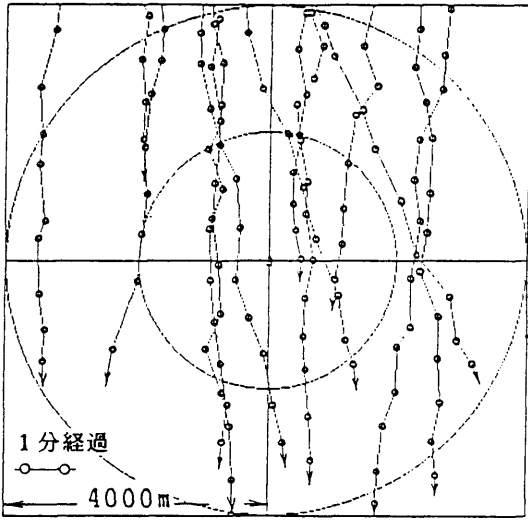


図-5 相対航跡図

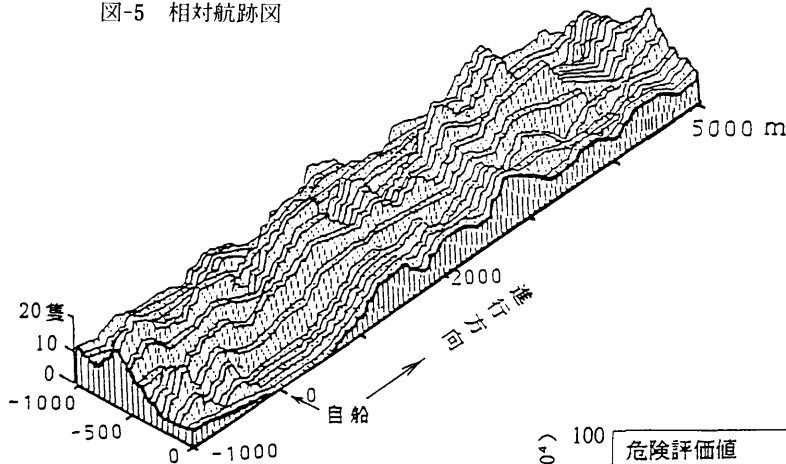


図-6 相対航跡密度分布

尚、以下の衝突危険評価値の考察では、74件の測定例における避航関係を取り扱った。

4.1.1 避航開始距離分布と危険評価値の比較

避航操船の判断要素としては、自船の船速・操縦特性、他船の船速、両船に関する距離・方位・針路交差角等、他にも多くが考えられるが、今回のレーダ写真の解析では、避航運動の航行状態を表わす量として、避航開始時期の相対距離、危険評価値、最大危険評価予測値、最接近距離、最接近時間を選んだ。

避航開始時期の相対距離と危険評価値、最大危険評価予測値の分布を図-8に示す。

図-8の下図は、避航開始時の相対距離を200m間

その領域の形状は、自船の前方：約700m (=7L, L=自船の長さ)、後方・横方向：約200m (=2L)の略楕円形であった。

尚、一般の閉塞領域等については、多くの論文<sup>10,11,12)</sup>があるので、これ等との関係については、今後検討する予定である。

次に、横切り船の避航動作例について、避航時における危険評価値CJと、両船とも現在の針路、速度で進行するものと仮定した時の最接近距離DCPA、最接近時間TCPA、変針角の関係を図-7の時刻歴で示した。

例えば、時刻歴240sec、相対距離約2500mにおいて最接近距離が短くなってCJ値が約 $40 \times 10^{-4}$ になると、最接近距離を大きくする様に変針操作がなされ、避航後はCJの低下が認められる。

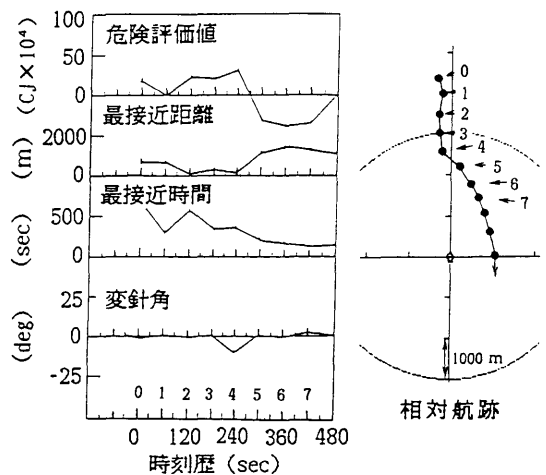


図-7 避航動作例

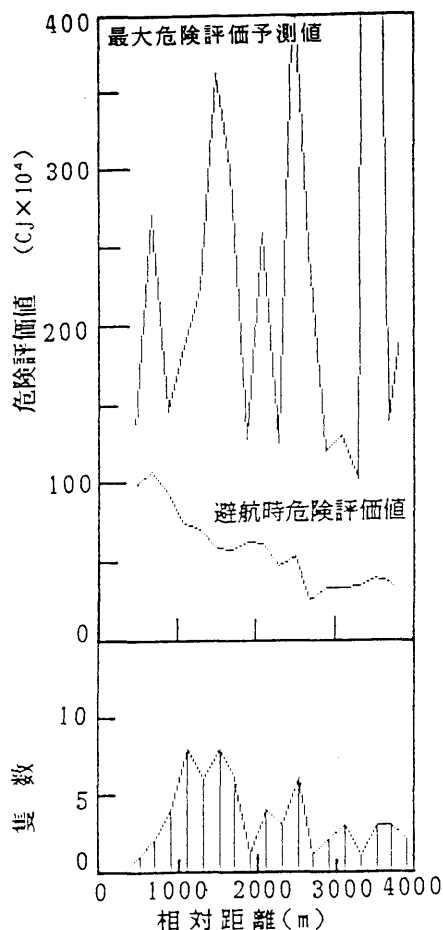


図-8 避航開始距離分布と危険評価値の関係

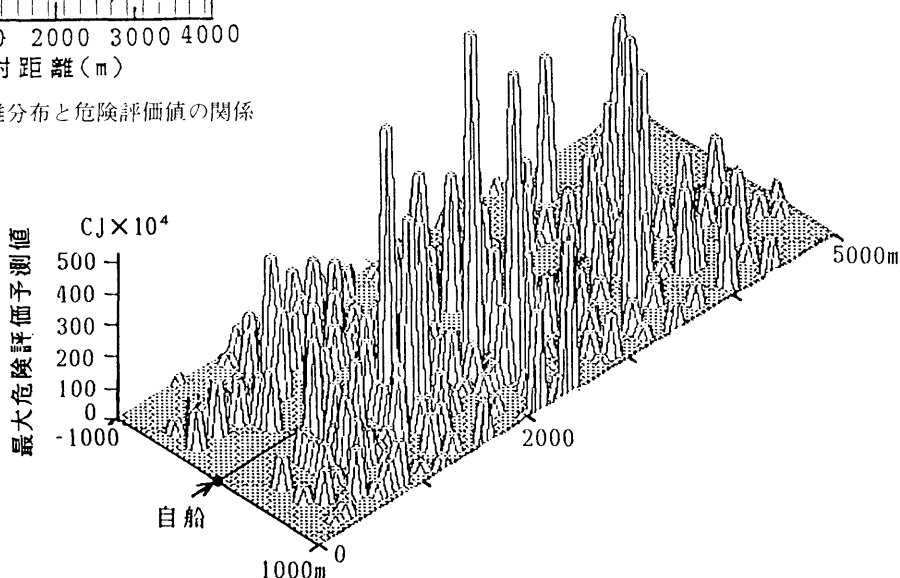


図-9 最大危険評価予測値で見た相対航跡

隔にとって、隻数分布を示したものであり、図-8の上図は、避航開始時点における危険評価値と、避航せずそのまま直進したと仮定した場合に予測される最大危険評価予測値を相対距離に対応して示したもので、隻数分布の各値で平均して求めたものである。図-9は、図-6に対応した相対航跡上での最大危険評価予測値をZ軸に取って、航行環境の危険状態を示したものである。

図-8の下図の避航開始距離からは、1200mと2500m付近に大小二つのピーク値が見出され、自船に近いピークは同航船と反航船によるもので、遠くのピークは前方横切り船と特に大型の反航船によるものである。

避航の65%が相対距離2500m以内で行われている。

相対距離が800m以下では、避航する船の数が少なく、相対閉塞領域が認められる。

図-8の上図の避航時における危険評価値 $CJ$ の最大値は、相対距離1000m以下で $100 \times 10^{-4}$ 前後の値であるが、1500mを越すと、 $CJ$ 値は漸減する傾向を持っている。しかし、相対距離1000m付近での最大危険評価予測値は非常に大きな値を示し、他船が接近するに従って徐々に低下する現象が見出される。これは他船が遠方にいる時に図-9の最大危険評価予測値の様な危険状態を予測して、避航操船が行われている

ためとも思われる。

4.1.2 避航開始時における最接近距離分布

自船の衝突危険領域を守るために、避航開始時期の最接近距離の分布を求め、図-10 に示した。横軸に避航開始時期の最接近距離を 100m 間隔で採り、縦軸に避航船の隻数頻度を示した。

この分布では、避航の 82% が最接近距離 500m 以内にあるから、この 500m の値は、本船が他船を避けるための衝突危険領域の半径に相当するものと考えられる。

即ち、衝突危険領域の半径は調査船の長さの約 5 倍である。

4.1.3 避航時の危険評価値と余裕時間の関係

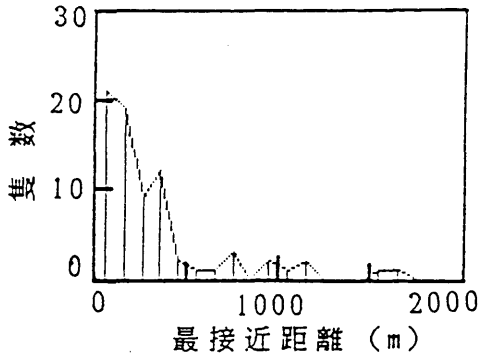


図-10 避航開始時の最接近距離分布

避航開始時における危険評価値と最接近時間の関係を 図-11 に示した。

両者の間には相関関係が認められる。例えば、危険評価値が  $60 \times 10^{-4}$  以下の値で、最接近時間が 3 分以下の範囲では、避航を行わないことが判る。

避航操船はこの分布を包む 2 曲線で挟まれた領域で行われている。そして、避航操作は最接近までの時間が 2 分以上ある地点で開始されている。

尚、測定点のばらつきの原因としては、自他船の諸元、特性、相対速度の違いによるものと推測される。

4.1.4 最大危険評価予測値と最接近距離の関係

避航動作時における最大危険評価予測値、最接近距離、最接近時間、危険評価値等の状態量の時刻歴を 図-12 に示した。

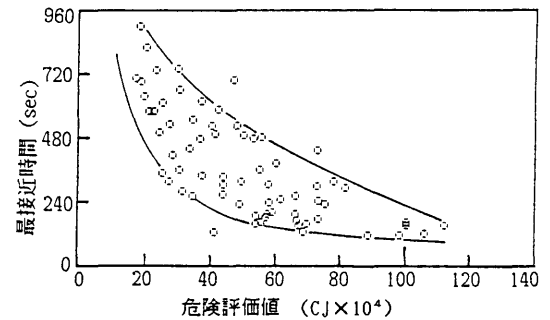


図-11 避航開始時の危険評価値と最接近時間の関係

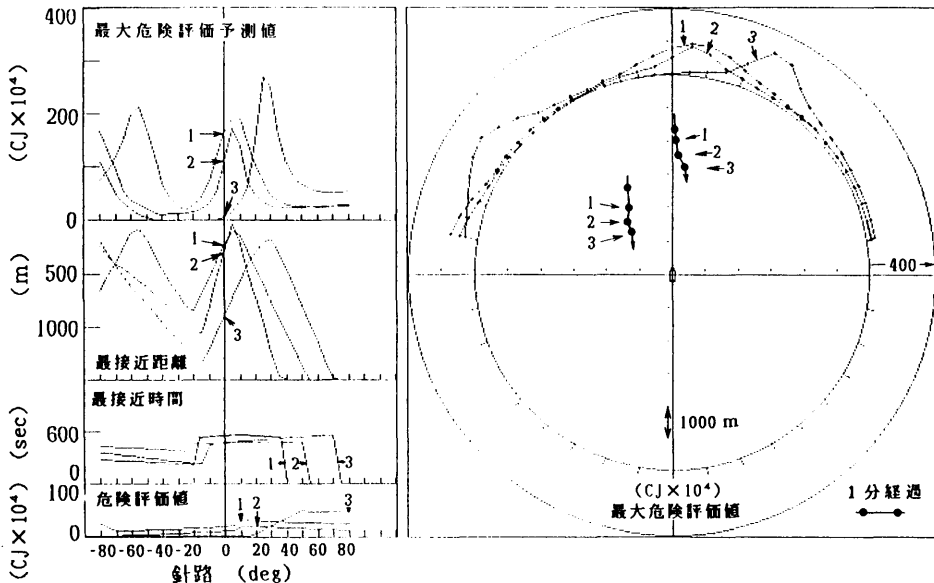


図-12 危険評価値と最接近距離の対応関係



左図は、右図の避航状態における相対航跡上の時刻歴(1,2,3)において、自船の現航針路を基準にして左右80°までの範囲で仮想変針した時の各々の計算値を示したものである。現在時点での危険評価値が小さい時でも、その針路上の最大危険評価予測値が  $100 \times 10^{-4}$  を越える様な場合には、仮想針路の最大危険評価予測値の小さい谷間に向かって自船の針路を採っている様である。そして、避航の過程からは現航針路の最大危険評価予測値が低下していることが判る。

従って、操船者は、仮想変針角と最接近距離の関係から最大危険評価予測値を予測して、操船上の一判断資料を得ている様に思われる。

以下に、この危険評価値と心身反応との関連性について述べる。

#### 4.2 心拍数の測定

操船時における操船者の精神的負担の様子を知るための測定は、草壁港外・友ヶ島水道・剣崎沖浦賀水道・東京港外の各区分で行い、延べ計測時間は3時間10

分である。そして、被検者の経歴概要は、年齢46才、海上実歴16年5ヶ月、船長実歴1年3ヶ月である。

#### 4.2.1 心拍数の解析

図-13は、操船作業と心拍数の関係を調べたもので、各操船作業項目に対応した心拍数のピーク値の変動範囲を棒グラフで示している。

尚、操船者の平常時における心拍数は、60回/分であった。

操船作業時において心拍数の上昇が特に大きいのは、見張りの認識判断時であり、平常値に対して平均  $26 \pm 5\%$  上昇した。また、針路変更の指示後は、心拍数が一時的に平常値に低下することが判った。

例えば、図-14の様な他船(約500GT)の横切り状態における操船者の心拍数の記録例を図-15に、この時の心拍数の変化と危険評価値の関係を図-16の(c)図に示している。

図-15からは、小型船の接近に伴い連続した目視観測で、衝突の危険状態を回避する避航の判断時に操船者の心拍数が約30%上昇しており、また、避航処置

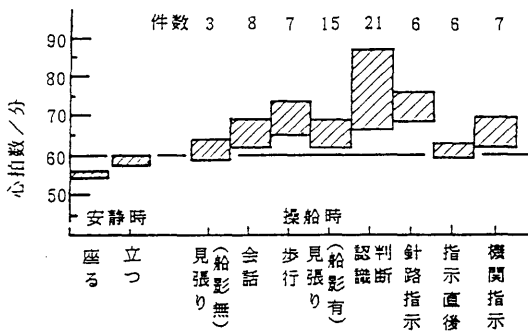


図-13 操船者の動作状態と心拍数の変化

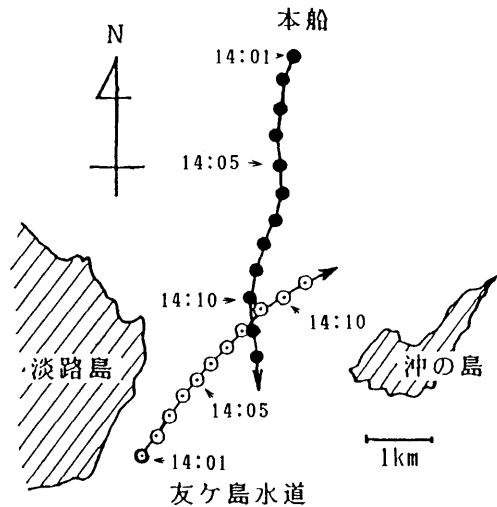


図-14 横切り船による避航状態

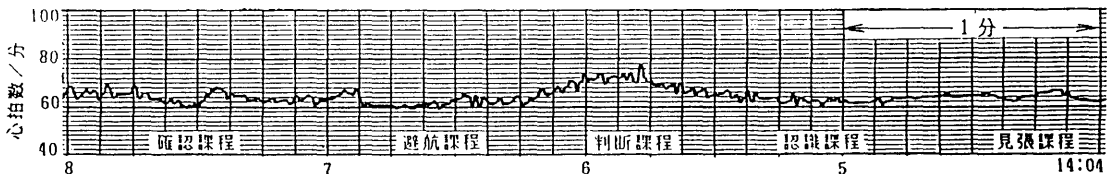


図-15 避航時の心拍数の記録値

の指示を操舵士に対して行えば、心拍数は平常値に低下する。更に、避航後の安全の確認時には、再度13%程度の上昇が認められる。

一方、この時の操船者（船長）の内省報告では「他船が右前方に認められた時から左へ航過するまで平常状態を上まわる緊張が持続していた。」と述べており、この間の精神的負担は心拍数の上昇と一致している。

以上の結果、避航の判断時における操船者に拘わる心拍数の変化と先に述べた危険評価値の関係は、図-16の相対航跡から得た危険評価値と心拍数の対応例の如く強い相関関係が認められ、危険評価値の大きい避航操船の判断時に、操船者は緊張して精神的負担が大きいことが判った。

### 4.3 旋回角速度の分布

好天時のコースレコーダと航海航路図から、避航経過時間、及び、避航時と航路変更時における変針角度と旋回角速度の関係を求めて、図-17に示した。（航路変更時：81例、避航時：64例）

図-17-aは、避航時における針路変更開始時から元の航路に復帰するまでの避航経過時間を示したもの

で、避航に要する所要時間の多くが10分以内に終了している。

図-17-bは、一回の変針による角度の分布である。

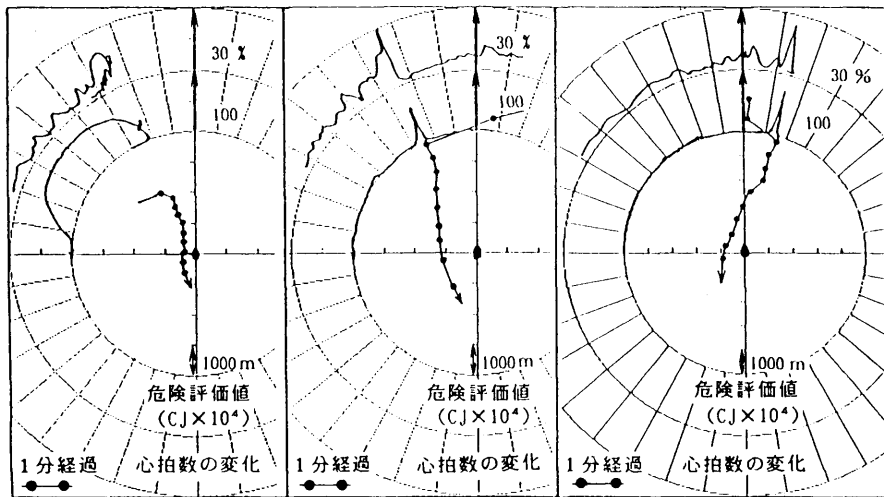
航路の変更の場合は $10\sim 80^\circ$ と比較的広く分布するが、避航の場合は $10^\circ$ をピークとして $40^\circ$ 以内にある。

更に、図-17-cの一回の変針動作に必要な時間の分布からは、航路変更の場合は1分以上かかるのに対して、避航の場合は1分以内に避航動作が終了している様である。

図-17-dは変針角度に対する平均旋回角速度の関係を示したものである。避航時の変針角度は $40^\circ$ 以内に分布しており、避航時の旋回角速度は、航路変更時よりも大きい値を示している。

この理由としては、相手船に対して自船の避航動作の意志を迅速に伝達するために、航路変更時より大きい舵角を採っている。そして、この避航動作は短時間に終了させているものと思われる。

このことから、自船が変針する場合には航路変更時と避航時において操船方式が多少異なっていると思われる。



(a) 左舷へ航路変更中の避航 (b) 右舷へ航路変更後の避航 (c) 横切り船に対する避航

図-16 避航時の危険評価値と心拍数の対応例

## 5. 航行環境の危険予測表示方式

### 5.1 解析の結果

観測結果を簡単にまとめてみると、操船者は船橋での見張り作業により、時々刻々と変化する種々の航行環境情報を連続的に処理しながら、危険状態の予測を行っている為、操船時の精神的負担は、特に、見張り作業中の避航操船の判断時に大きい様である。また、避航開始時における危険評価値は、約  $20 \times 10^{-4} \sim 110 \times 10^{-4}$  の範囲を採っている。更に、自船の針路上における最大危険評価予測値が約  $100 \times 10^{-4}$  以上の値になると避航操作を行っている。

この点から、避航操船は最大危険評価予測値を約  $100 \times 10^{-4}$  以下による様に行われているとの仮説が立てられる。即ち、避航判断時の操船感覚としては、航行中の危険評価値と、最大危険評価予測値とを用いた方がより適切である。

操船者は、航行援助情報の内容から針路上の衝突危険状態の予測と、自船の避航が他船に及ぼす影響等の操船判断に必要な環境情報を短時間に把握する必要性があると考えられる。

しかし、実際の航行で用いられているレーダ画面から得られる他船情報は、自船の進行方向を基準に採った相対座標で表示される為、操船者が他船の針路を予測して操船判断を行う時には、真運動を表す絶対座標の海図上で扱われている。

この点から、航行援助情報の表示方式は、自船、他船の現在位置を基準として、その後の真運動を表現出来る絶対座標系を考え、その上に、衝突危険度の予測値を表示する方が、目視情報やレーダ情報のみを採用扱う場合よりも確度の高い情報が得られると思われる。

従って、操船者の航行援助情報としては、図-18、図-19の様な危険評価値を用いた航行環境の情報表示計が考えられる。

図-18は反航船の出会い状況例で、図-12の時刻歴(1)である。また、図-19は横切り船の出会い状況例で、図-14の時間14:06を通過する時の地点である。

図-18の例では、左舷に10度、図-19では右舷に20度避航操船を行っている。

### 5.2 航行環境における情報表示方式のシミュレーション例

ここでは、自船の近傍海域における危険予測値を危

(315)

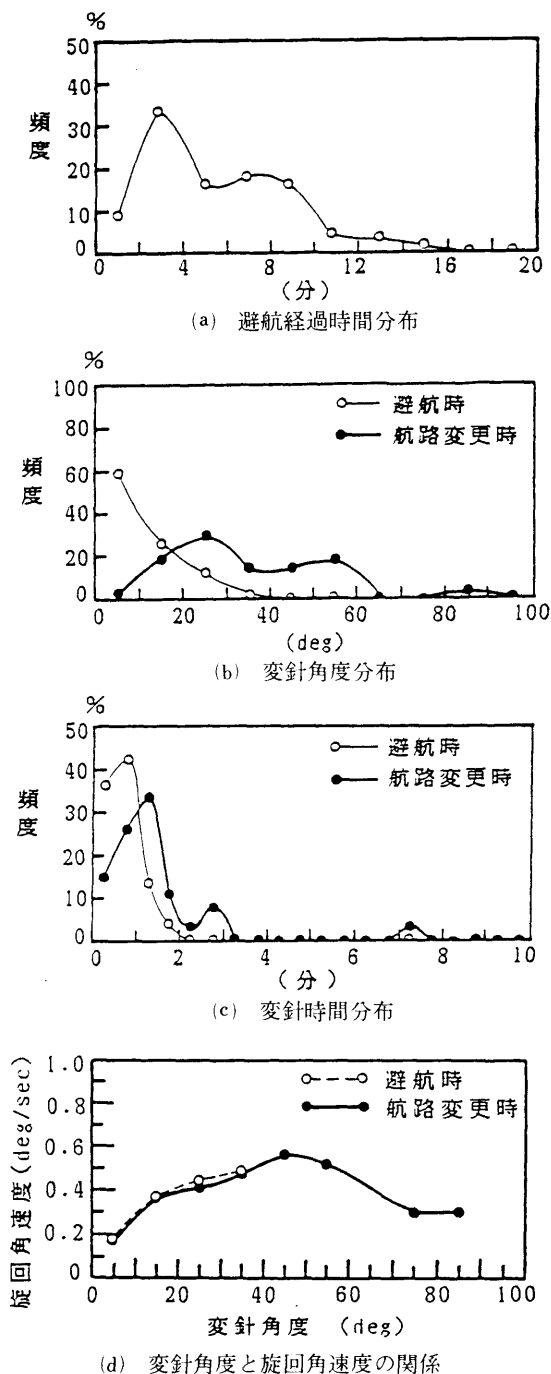
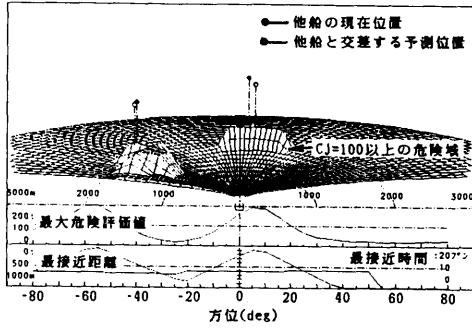
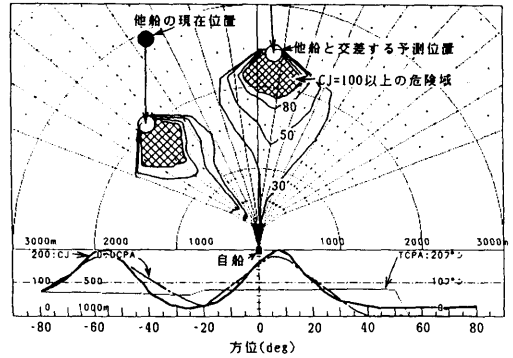


図-17 避航時と航路変更における変針動作の比較

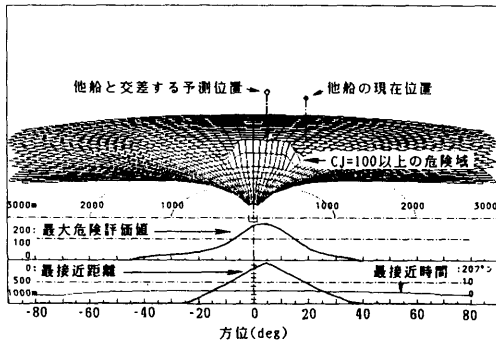


(a) 危険度の立体表示

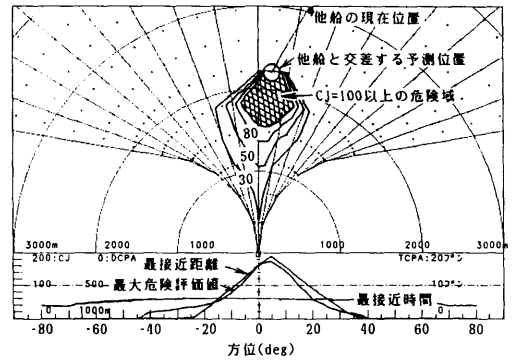


(b) 危険度の等高線表示

図-18 危険評価値による航行環境の表示 (反航船の場合)



(a) 危険度の立体表示



(b) 危険度の等高線表示

図-19 危険評価値による航行環境の表示 (横切り船の場合)

危険度の大きさをグラフィック表示できる簡易シミュレータを作成して、情報表示方式の効果について検討を行った。

その表示機能は図-20, 21, 写真-2, 3 に示す通りである。また、図と写真中の標記内容を表-2 に示す。

簡易シミュレータの表示方式は、レーダから得られる他船の位置情報により自船の現在針路を基準として左右に仮想変針した時の危険評価予測値を模擬して、航行水平面上に立体図と等高線図でディスプレイ上に表している。

図-21 は、従来のレーダで用いられている相対速度ベクトル表示である。

写真-2.(a) は、真運動の速度ベクトルと変針動作で生じる近傍海域における危険度の等高線、及び、他船との衝突地点を表示している。

他船の位置印は、現在の針路を維持した場合に、予測時間 (2 分) 内に起こる最大危険評価予測値のレベルで色分けを行って、対象船の危険度を識別出来るようにしてある。

写真-3.(a) は、写真-2.(a) の危険評価値を立体的に画面表示している。

更に、写真-2.(b) には現在針路上の危険評価値と仮想変針動作による針路を横軸に採り、短時間 (2 分) の最大危険評価予測値と最接近距離、最接近時間を示している。また、写真-3.(b) には、現在針路上の危険評価値、最接近距離、最接近時間についての予測値と最大危険評価予測値を示した。

実験の条件と方法は次の通りである。

水路は東京港における第一航路と、第二航路の交差点付近をモデル化して、図-20 に示した。また、各種

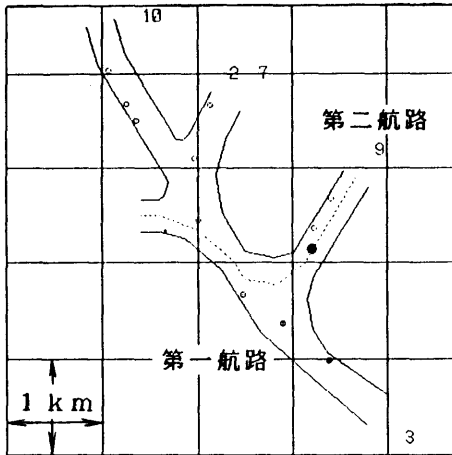


図-20 東京港におけるモデル水路  
(…●…: 自船位置と予定航路例)

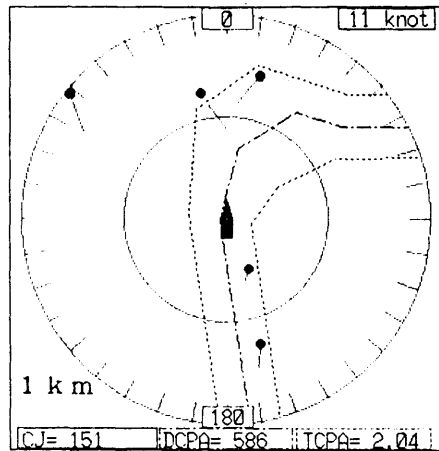


図-21 相対座標系表示例  
(写真 2-1、写真 3-1 に対応)

表-2 標記内容の説明

1、写真-2.(a)、3.(a)の場合	2、写真-2.(b)の場合
<p>記号内容</p> <p>○ — : 他船真運動の速度ベクトル</p> <p>● — : 衝突地点と他船の方位</p> <p> : 海域の危険度と船の位置印の色分けはグラフの危険度レベルに対応</p> <p>--- : 予定航路</p>	<p>上の図から、針路上の短期危険評価予測値、変針動作による最大危険評価予測値、最接近距離、最接近時間を表示している。</p>
	<p>3、写真-3.(b)の場合</p> <p>左の図から、針路上の短期危険評価予測値、最接近距離、最接近時間、変針動作による最大危険評価予測値を表示している。</p>

船の諸元、性能特性は、船の長さを統計的な値でモデル化したものを用いた。

実験者は任意の一船を選んでO-D航路に沿って、図-21、写真-2,3のそれぞれの情報を基に針路を選択して、他船を避航しながら航行させる。

これらの画像情報は、10秒毎に更新され、実験者は、これらの画像情報を基に操船している。

尚、写真-2,3の1,2,3は20秒毎の画像情報である。

例えば、写真-2.(a)-1からは、現在の針路が219度で、危険評価値が $80 \times 10^{-4}$ であることが判る。

また、予定航路上の右舷30度と60度には、左舷から

の侵入船と右舷から反航船による危険海域が存在し、最接近余裕時間が約2分であることも判る。

従って、避航操船は最大危険評価予測値が低下する右舷40度に目標針路を採って、左舷からの船を避航し、反航船についてはまだ遠いので、次のステップ以降で考慮すれば良いことが判る。

従って、実験者は、以下同様に操船操作を繰り返して行う。

これらの実験例で示される様に、操船者は、写真-2、写真-3の様な危険状態を直感的に把握できて、安全な針路選択が容易になることが判る。

従って、相対表示の位置情報等では、危険状態を瞬

時に把握出来ない点が改善される。

これらの点をまとめてみると、操船者は、この表示計の情報から自船針路の危険状態を直感的に把握でき、この画像情報と操船者の視覚による判断様式のイメージを重ねる事ができるので、避航動作が完了する以前に自船の避航が及ぼす影響や衝突危険評価値を予測することが可能であり、危険状態の発生を未然に防止することが出来ると思われる。

また、この画像情報により、情報の取捨選択と情報の重み付けが短時間に行われるので、高速での避航操船時や夜間・霧中等の見張時に操船者の情報処理負担を軽減する可能性があるものと考えられる。

## 6. 結 び

本研究は、航行安全の見地から、操船者による判断錯誤の防止と見張り時の精神負担の軽減を目的とし、狭水域航行時における操船判断特性に関連して、航行時の相対航跡と操船者の精神的負担について実態調査を行った。

そして、航海中に得たレーダ写真の相対航跡データより、小林・遠藤両氏の衝突危険評価値を求め、避航時の衝突危険評価値と心拍数の関係について検討を行った。その結果は、次の通りである。

1. 相対閉塞領域は進行方向で700m(=7L)、横方向・後方で200m(=2L)であった。
2. 避航操船開始時の衝突危険半径は約500m(=5L)であった。
3. 衝突危険評価値と余裕時間の関係より避航対象領域を得た。そして、避航時には最大衝突危険評価予測値が約 $100 \times 10^{-4}$ 以下の値を評価基準として、最接近時間が2分以上ある距離で避航が行われていることが判った。
4. コースレコーダの記録解析からは針路変更と他船避航の場合について両者の操船様式の違いが認められた。
5. 操船者は、衝突の危険状態を回避する避航判断時には緊張しており心拍数が平常値の60回/分に対して平均 $26 \pm 5\%$ 上昇していた。そして、この心拍数の上昇と最大衝突危険評価予測値の関係には、強い相関が認められた。
6. 危険海域の情報表示方式について、自船の近傍海域の危険予測値をグラフィック表示する簡易シミュレータを作成して情報の表示効果について検討を行っ

た。

以上の結果から、操船者の情報処理負担を軽減する援助情報として、航行環境の衝突危険評価の予測値を航路水平面上に等高線図で表すパーソナルコンピュータによる表示方式を提案した。

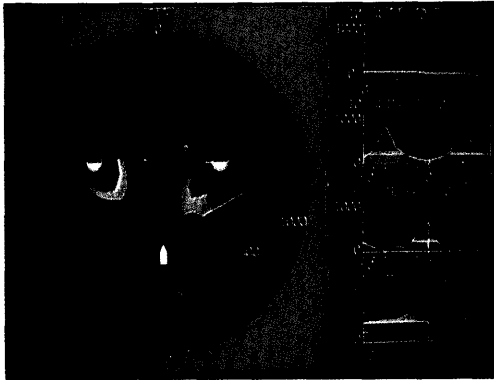
今後は、この表示計の効果について、データを蓄積して検討を行う予定である。

## 謝 辞

本実船調査に当たり多くのご協力・ご支援を頂いた航海訓練所研究第2科八木健之元課長他、青雲丸乗組員の関係者各位に感謝の意を表します。また、有益な御意見を戴きましたシステム技術部翁長一彦部長、並びに、調査段階で種々討論、ご支援頂いた元共通工学部の関係者の方々、特に金丸貞巳技官、退官された田中健一氏、浜島金司氏に厚くお礼申し上げます。

尚、本研究は、航海訓練所との共同研究で実施したものである。

1. 航路変更時における避航動作の開始時



(a)

(b)

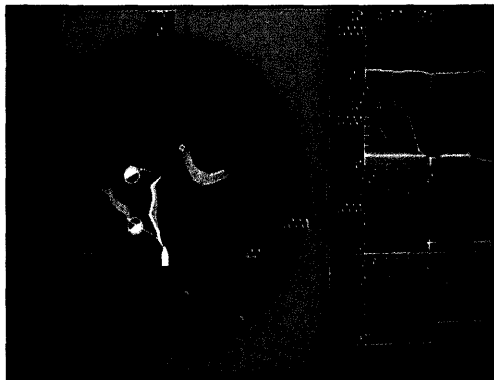
2. 20秒後



(a)

(b)

3. 40秒後



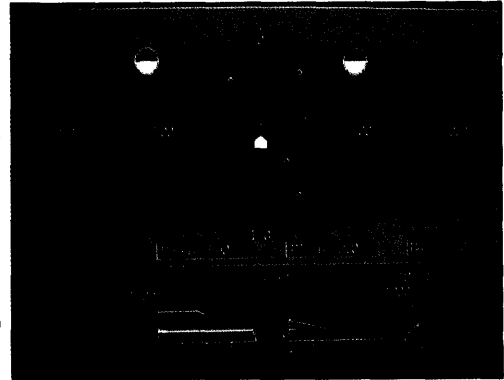
(a)

(b)

写真-2 航行環境の危険評価値等高線表示による予測（シミュレータによる20秒毎の表示例）

- (a). 危険評価値の等高線表示
- (b). 上図から直進時危険評価値、変針時最大危険評価値、最接近距離、最接近時間

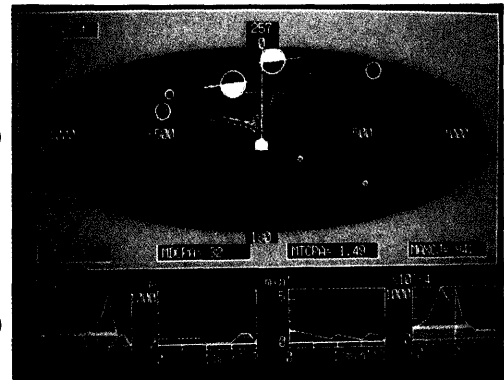
1. 航路変更時における避航動作の開始時



(a)

(b)

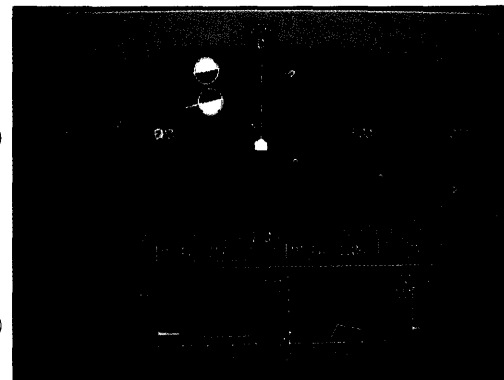
2. 20秒後



(a)

(b)

3. 40秒後



(a)

(b)

写真-3 航行環境の危険評価値立体表示による予測（シミュレータによる20秒毎の表示例）

- (a). 危険評価値の立体表示
- (b). 左図から直進時危険評価値、最接近距離、最接近時間、変針時最大危険評価値

## 参考文献

- 1) 海難審判協会：海難審判の現状（昭和59年度版）、海難審判77,
- 2) 海難審判協会：海難審判の現状（昭和61年度版）、海難審判86,
- 3) 鍋島正昭：衝突海難防止対策について、海難審判協会、海難審判87,
- 4) 田中健一、金丸貞巳、浜島金司、有村信夫、渡辺健次、塩田重須、大谷浩二：狭水域操船に関する実船調査、船研発表会講演集第46回、昭和60-11、p. 58-61
- 5) 有村信夫、山田一成、塩田重須、大谷浩二：実態調査による避航時のレーダ写真解析、航海学会論文集第77号、(1987)、p125-132
- 6) 大谷浩二：操船者の緊張感に関する実験的研究について、航海訓練所調査研究時報、NO. 39、(1961)-1
- 7) 大橋信夫・杉原弥生：操船者の精神的緊張-I、一心拍数からみた大型船の出入港時における精神的緊張について、航海学会雑誌第38号、昭42-12、p. 31-38
- 8) 黒田隆：操船者の緊張感に関する実験的研究-I、一航海当直中の操船者の心身反応を中心として、航海学会誌第38号、昭和42-12、p. 39-46
- 9) 小林弘明・遠藤真：船舶避航操縦の解析、一人間・機械系解析の観点より、航海学会論文集第56号、昭51-12、p. 101-109
- 10) 藤井弥平：海上交通管制の研究-II、航海学会論文集第55号、(1976)、p. 127
- 11) 山田一成、有村信夫、田中健一：船舶交通流評価としての船の速度分布と通過時間分布-(そのI) 船舶技術研究所報告、昭和60-7、Vol. 22、No. 4、p. 331-317
- 12) 山田一成、有村信夫：船舶交通流評価としての船の速度分布と通過時間分布-(そのII)、一船舶交通流におけるマン・マシンシステムの一考察一、船舶技術研究所報告、昭62-9、Vol. 24、No. 5、p. 31-44