

避航操船に関する視認システムの信頼性について

翁長一彦*・桐谷伸夫*

Reliability of Watch Systems in Collision Avoidance

By

Kazuhiko OHNAGA and Nobuo KIRIYA

Abstract

The author assumed that collision of ships shall be caused by failure of watch system which is composed between the time of discovering a ship and the time of collision. Therefore the interval of the time is a life of the system.

Data of the time were collected, and the reliabilities of watch systems were analyzed by Weibull distribution. Watch systems were classified into watching vessels system in day time, watching lights system in night, and watching system by radar.

The assumption that collision of ships is caused by failure of watch system is acceptable, the conclusions are as follows:

- 1) Mortality of watching vessels system in day time is caused by fatigue failure until the time of 5 minutes, therefore collisions of fatigue failure type are avoidable in the case of watching for time of more than 5 minutes at the first distance of more than 4,000 m.
- 2) Mortality after the time of 5 minutes in above cases is caused by random failure by the reason that purpose in course of vessel is not able to judged.
- 3) Mortality of watching lights system in night is complexed of fatigue failure and random failure, information made by ships lights has low reliability.
- 4) The watching system by radar image has the superior reliability, by the reason that the system composes a parallel system with human's eye and watching time is maintained at least 1.5 minutes.
- 5) In watching vessels system of day time, the first distances of discovery from small ships distribute uniformly in large range but the first distances of discovery from large vessels are almost constant (20~50 times of length of watching vessel). In watching lights system and watching system by the radar, first distances of discovery distribute uniformly in large range on all ships.

1. ま え が き

船舶が不幸にして衝突する場合には、種々の直接、間接の原因がからみ合っているものと考えられる。しかし極めて狭義に衝突の原因を考えてみれば、最後に避航しうるだけの時間的余裕が無かったことによる。衝突事故の中には、見張りを行わずに漁労作業に従事していた小型漁船に、大型船が全く気付かずに衝突したという事例も散見されるが、これはやはり特異な場

合であろう。見張り作業は航海者の基本的な業務であり、また船灯をはじめ各種の視覚信号器具類が義務づけられており、さらにレーダーの装備により、肉眼の視覚が不十分な場合でもほぼ完全に見張り作業は補充されていると考えられるからである。それにも拘らずある確率で衝突が生じる理由としては、見張り作業に関して人間工学的な見方から指摘される問題があるように思われる。

すなわち、操船者が相手船を視認していても衝突は生じるため、単に見えた見えないの問題ではなく、操船者と相手船から与えられる情報とのマン・マシン系

* 艀装部

原稿受付: 昭和55年5月2日

に何らかの外乱または故障が生じて、避航するだけの時間的余裕が失われる、と考えられる。

これを具体的に述べれば、相手船を初認してから交叉終了までの避航操船時において、操船者に必ずしも正確な情報が与えられているとは限らない。避航操船の判断のもととなるものは、相手船の針路、速度、自船との距離、その他相手船の動静に関するものであろうが、これらの情報は全て視認作業により得られるため、かなり不確実なものである。また天候、視程といった海上気象の状態や他船の動きなどの周辺状況も操船者の判断に対して影響を与えると思われる。

このように、相手船を視認するシステムの信頼度が避航操船に影響を与えると考えれば、視認システムの故障により衝突が生じるのではないかと、という仮説が成立つ。ここで言う視認システムとは、操船者が相手船を視認して何らかの情報を得、ある判断を下してある処置をとる、というマン・マシン系であるが船の操縦性の要素は含まないものとする。システムは相手船を初認した時点で形成され、交叉終了または衝突と同時に消滅する。視認する相手船とは単に船体や船影だけを意味するのではなく、船首尾の波、形象信号、各種船灯とその配列等、船の動静を示すものを意味するが、視認方法の上からは昼間の船影視認、夜間の船灯視認、及びレーダー映像の視認、に大別されよう。

この視認システムが故障したために衝突が生じたとすると、信頼性工学で言うシステムの寿命は初認から衝突までの時間に相当する。信頼性を論ずる場合には、時間が基本的な尺度であるから、この初認から衝突までの視認システムの寿命について検討を加えることにより、その信頼度を論じることが出来、さらに避航操船に与える影響を推定できる、と考えられる。

信頼性工学においては、ハードウェアとしての機器やシステムの信頼度を取り扱うことが多いが、筆者の一人は船舶火災の鎮火という問題を燃焼系の故障として取扱い、消火という人為的要因の多い事象であっても信頼性工学の手法が応用できることを認めたため、同様の手法を船舶の衝突問題について応用し、検討を加えてみたものである。

2. 調査方法及び衝突の一般的状況

昭和49年から51年の3年間の海難審判庁裁決録より衝突事故における初認方法、初認時刻及びその時点での相対距離、衝突時刻等の資料を抽出、整理した。

小型船の衝突事故には前述のような特異なケースが

含まれており、また運航状態や操縦性能が一般大型船とはかなり異なると考えられるため、200 G.T. 以上の船舶を調査対照とした。調査した衝突事故件数は202件であり、1件の事故から両船の2データが得られるが、資料として不十分なものを除き、合計374点の資料が得られた。避航義務の有無について衝突した両船を区別することは難しく、また衝突時の状況より衝突船及び被衝突船の区別をした場合でも結果に明らかな差異が認められなかったため、両船のデータを同等のものとして資料とした。これらを初認方法別に分類し、昼間に船体等の船影を視認した場合、夜間船灯を視認した場合、及びレーダーで映像を視認した場合、の三つに分けて Table 1 に示す。

Table 1 Data of Collisions in Watching Systems

Watching System	Total	$t < 1 \text{ min.}$	$t \geq 1 \text{ min.}$
Vessels	87(.233)	24(.064)	63(.168)
Lights	129(.345)	5(.013)	124(.332)
By Radar	158(.422)	0(0)	158(.422)
Total	374(1.000)	29(.078)	345(.922)

初認から衝突に至る迄のシステム寿命 t (衝突時間と名づけるが、一般には初認からの経過時間を視認時間とよぶ)の精度は、裁決録の表現から1分程度である。しかし、資料の中には衝突時間1分未満と考えられる場合(裁決録の記載では、衝突時刻直前に初認、あるいは初認した直後になすすべもなく衝突、という表現が多い)があり、これらは初認してから避航動作が行えるような状況ではなく、視認システムという仮定が成立しないと考えられる。したがって Table 1 では $t=1 \text{ min.}$ を境として衝突件数を示したが、昼間の船影視認の場合にはその約28%が上記のように視認システムが成立しない、この値は船灯視認の4%、レーダー映像視認のゼロに較べて著しく高く、意外の感じを与える。またレーダーの場合を除いた昼間、夜間の比率は4:6となり、一般に報告されている値²⁾に較べて夜間の衝突発生率は若干低い。

衝突時の天候との関係を Table 2 に示す。

衝突の発生件数は、晴れ及び霧の場合に多数を占めており、特に霧の場合は、全体の45%を占めている。霧中における初認方法は、その84%がレーダーによるものである。また天候が晴れであっても衝突するものが、全体の30%にものぼっており、さらに晴れに

Table 2 Data of Collisions by Weather

Watching System	Weather				Total
	Fine	Cloud	Rain & Snow	Fog	
Vessels	27 (.10)	20 (.05)	10 (.03)	20 (.05)	87 (.23)
Lights	71 (.19)	39 (.10)	13 (.04)	6 (.02)	129 (.35)
By Radar	6 (.02)	4 (.01)	7 (.02)	141 (.38)	158 (.42)
Total	114 (.30)	63 (.16)	30 (.09)	167 (.45)	374 (1.00)

において船影初認したものが全体の 10% を占めていることから、昼間の視程が確保された状況で相手船を視認した場合においても、衝突が発生しうることを示している。

天候が霧の場合を除き、船影視認と船灯視認との比率は、3~4 対 7~6 となり前記の比率に近いが、霧の場合には、逆に船影視認時の衝突件数が極めて多い。この船灯視認の率が低い分は、レーダー使用に切り換えられたと考えられるから、天候が霧の場合には、昼間に比べて夜間のレーダー使用率が非常に大きいと推測される。

雨（雪を含む）と霧の場合を天候不良時とすると全体の過半数を占め、他の報告³⁾と著しく異なる。全衝突件数に小型船が占める率は極めて高いため³⁾、このような差が出た理由は、200 G.T. 未満の船舶を調査対象としなかったことによると思われる。すなわち、200 G.T. 以上の船舶においては、霧中等の天候不良時に衝突が発生しやすいといえる。

Fig. 1 に衝突時間と初認時の相対距離を示す。両船の相対距離と衝突するまでの視認時間の値は、図の右下の範囲にランダムに分布するが、それらの上限値を結ぶとほぼ 14.5 m/sec. の線に一致し、どの視認方法でもほぼ等しい。この値は、初認してから衝突するまでの最大相対速度に対応するから、最短時間で衝突した場合であり、両船が反航状態にあって等速度と仮定すれば約 14.1 kt の速度となる。

裁決録の記述からは、衝突した両船の行き合い条件を正確に把握することが難しいため、Fig. 1 にはこれらを区別せずに図示したが、両船が反航状態であれば、当然上記の上限値の近傍に分布する筈であり、同航船であれば時間軸の近くに、横切状態では両者の中間に、それぞれ分布するものと思われる。

視認方法による差はかなり明瞭に現れており、船影視認では衝突時間、相対距離ともに低い範囲に分布し、船灯視認では中位の範囲に、レーダー視認では高

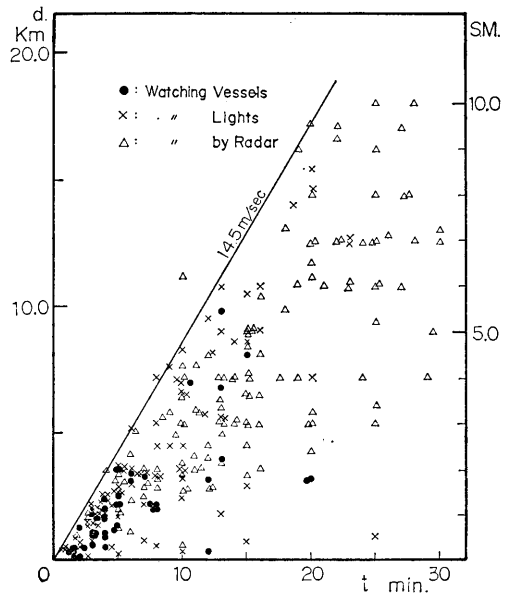


Fig. 1 Life of Watching System (Time to Collision) vs. Distance in Discovery

い範囲に分布する。この結果から判断する限りにおいては、船灯の光到達距離が問題になるとは思われないが、逆に考えればかなり遠くから視認していても衝突が生じる率が高いとも言える。すなわち、船影（昼間）でも船灯（夜間）でも視認時間と相対距離との関係が同等確率で生じるならば、早く遠くから船影を初認したものは避航に成功しており、この図に表われない。したがって船影視認の場合に較べて、船灯の視認システムは避航の判断に対して誤りを生じやすい劣質のシステムではないか、という示唆が得られる。

レーダー映像による視認の場合には、やがて肉眼による視認システムに移行する筈であるが、この時刻に関する資料は容易に得られ難い。Table 2 に示すようにレーダー視認の 89% は天候不良のため視程が悪く、裁決録を調査した印象からも肉眼視認に移ったときの

相対距離や衝突時間はかなり低いようである。なお、 $t < 1 \text{ min.}$ のものは、初認時刻と共に初認距離についての記載も不明確で「至近、近距離」等となっているものが多いため Fig. 1 からは除外した。

3. 信頼性解析の方法

3.1 解析の手法

信頼度は信頼性を定量化して測るひとつの尺度であり、「ある機器またはシステムが定められた条件のもとで、定められた時間の間、その目的を適切に達成することができる確率をいう」と定義される。したがって、あるシステムが実動をつづけ故障に至るまでの寿命分布から、システムの信頼度を求めることが出来る。

システムの寿命分布によくあてはまる分布としてワイブル分布が広く用いられるが、これは実測データとの適合性がよく、また解析的にも取り扱いやすく、各パラメータの物理的意味の理解により、その故障のメカニズムを把握し理解することが可能なためである。

ワイブル分布における確率密度関数 $f(t)$ 、信頼度関数 $R(t)$ 、故障率関数 $\lambda(t)$ を (1)~(3) 式に示す。

$$f(t) = \frac{m}{\alpha} (t-\gamma)^{m-1} \exp \left\{ -\frac{(t-\gamma)^m}{\alpha} \right\} \quad (1)$$

$$R(t) = \exp \left\{ -\frac{(t-\gamma)^m}{\alpha} \right\} \quad (2)$$

$$\lambda(t) = \frac{m}{\alpha} (t-\gamma)^{m-1} \quad (3)$$

但し $t \geq \gamma$

m, α, γ の各パラメータは、それぞれ形のパラメータ (shape parameter), 尺度のパラメータ (scale parameter), 位置のパラメータ (location parameter) と呼ばれ、ワイブル分布の物理的意味を理解するための重要な決め手となる。特に m の値で分布の形が変化し、 $0 < m < 1$ では $f(t)$ 、 $\lambda(t)$ は t と共に減少し、 $m = 1$ では $f(t)$ は指数分布と一致し $\lambda(t) = \text{const.}$ となる。 $m > 1$ では $f(t)$ は極大値を持った曲線となり、 m が 1 に近ければ対数正規分布に類似し、 m が大きくなると正規分布に近づく。 $\lambda(t)$ は t と共に増加する。

したがって $m < 1$ の場合は、 t が小さい処で故障が多く発生し時間が経過すると共に故障し難くなるため、初期故障を意味する。 $m = 1$ では故障率一定のため偶発故障となり、 $m > 1$ であれば時間の経過と共に故障しやすくなるため摩耗故障となる。パラメーターの値が異なる二つのワイブル分布が重ね合わされたも

の、すなわち

$$f(t) = P_1 f_1(t) + P_2 f_2(t) \quad (4)$$

ここで $P_1 + P_2 = 1$

で表わされる場合を混合型ワイブル分布といい、 $m_1 < 1, m_2 > 1, \gamma_1 = 0, \gamma_2 > 0$ であれば人間の年齢別死亡率等によく見られるバスタブ型の関数となる。また、

$$\int_{\gamma_1}^{\delta} f_1(t) dt = \int_{\gamma_2}^{\delta} f_2(t) dt \quad (5)$$

但し、 $\delta > \gamma_1, \gamma_2$

の関係がある δ を境として分布型が異なるものを複合型ワイブル分布という。いずれの場合にも m の値が大きく異なれば故障の発生状況が異なることを意味するため、故障の原因や故障したエレメントを発見することが可能となる。

3.2 制約条件

視認システムの故障により衝突が生じると考えた場合に、厄介な問題はサンプルとして前記の衝突した事例しかないということである。衝突せずに無事に避航した場合の視認システムの稼動時間（すなわち視認時間）を求めるには、長期間にわたる現場観測によってデータを集めるか、操船シュミレーター等を利用するか、の何れかであろう。しかし、前者の方法で十分な数の資料を得るためには途方もない期間を必要とするであろう。また後者の方法で視認システムをシミュレートできるか否か十分な検討が必要である。

さらに、無事に視認システムが稼動終了して両船が交差終了した場合、その視認時間を衝突時間と同列に取扱ってよいか、という基本的な問題がある。この両者は性質が異なり、耐久テストにおける途中打ちりのような場合とはいささか異なると思われる。

衝突時間と同列に取扱えるような意味で避航できたときの視認時間が定義出来、かつその資料が得られるならば両者をまとめて取扱い、衝突そのものの信頼度すなわち衝突確率の問題を検討出来る望みが生まれる。しかし、現状においては衝突した場合だけを取扱はざるを得ないため、システムの相異なるすなわち視認方法の別による信頼度の差だけを取扱うこととする。

4. 視認システムのワイブル分布

横軸に時間 t 、縦軸に衝突発生件数の累積確率をプロットしたワイブル確率紙を Fig. 2~4 に示す。図中の丸印はデータ値そのままであるが、これが直線にならない場合は $\gamma \neq 0$ のため try and error で γ の値を推定し、修正した値を \times 印で示した。なお、衝突時間

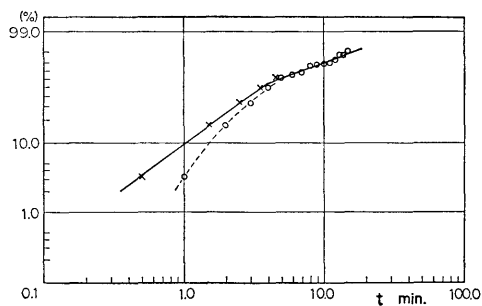


Fig. 2 Weibull Chart of Watching Vessels System

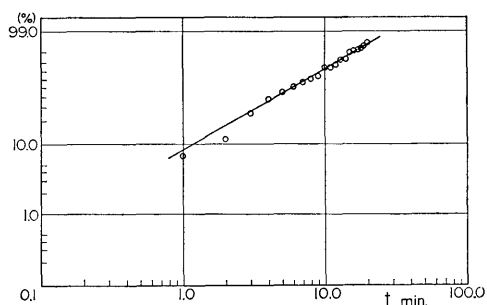


Fig. 3 Weibull Chart of Watching Lights System

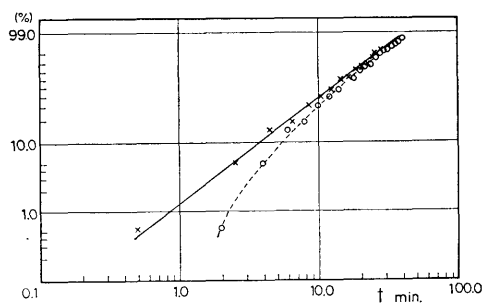


Fig. 4 Weibull Chart of Watching System by Radar

が 1 min. 未満のため視認システムが成立しないと考えられるものは、以後すべてデータから除外して取扱わないこととする。

船影を視認した場合 (Fig. 2) は複合型ワイブル分布となっており、 $t=5$ min. を境として 2 つの異なる性質のワイブル分布となる。また $t<5$ min. の場合には、 $\gamma=0.5$ min. となる。

船灯視認の場合のワイブル分布 (Fig. 3) は、データ量が少ない場合には Fig. 2 と同様の複合型になる傾

向が認められたが、データがある量以上に達すれば単一のワイブル分布になると認められる。

レーダー映像を視認した場合は明らかに $\gamma \neq 0$ であり、これを修正すると単一のワイブル分布型となる。

視認方法別に、ワイブル確率紙より求めた各パラメータの値、平均寿命 μ 、及び分散の平方根 σ を Table 3 に示す。なお、ワイブル分布の μ, σ はそれぞれ (6), (7) 式で与えられる。

Table 3 Parameters and Others of Weibull Distributions

Watching System	m	α	γ	μ	σ
Vessels $t<5$	1.53	10.3	0.5	4.2	2.8
" $t>5$	0.75	3.5	0	—	—
Lights	1.18	1.11	0	7.3	6.2
By Radar	1.55	76.7	1.5	14.5	9.7

$$\mu = \alpha^{1/m} \Gamma\left(\frac{1}{m} + 1\right) \quad (6)$$

$$\sigma = \alpha^{1/m} \left\{ \Gamma\left(\frac{2}{m} + 1\right) - \Gamma^2\left(\frac{1}{m} + 1\right) \right\}^{1/2} \quad (7)$$

衝突時間の分布は、Fig. 2~4 に示すように各視認方法によって明らかに異なり、かつそれぞれに規則性がある、ワイブル分布によく合致する。すなわち、初認から衝突に至る迄の時間は視認システムの寿命である、とする仮定に一応の根拠が与えられる。

5. 視認システムの信頼性

故障確率密度関数 $f(t)$ を (1) 式より求めて Fig. 5 に示す。ヒストグラムによって示したものは、資料による統計値であるが両者は比較的良く一致する。

船影を視認した場合において、 $t<5$ min. では $m=1.53$ であるから $f(t)$ は正規分布型に近く、 $t>5$ min. では $m=0.75$ と 1 より小さいため指数分布よりも急激に $f(t)$ は低下し、5 min. を境とした不連続な関数となる。すなわち、衝突時間が 0.5~5.0 min. の場合は、視認システムが摩耗故障したために生じた衝突であって、いわば起るべくして起ったものといえる。これを具体的に述べれば、この程度の視認時間では相手船の運動に関する十分な情報が得られず、避航のための正確な判断が行い難く、操船に必要な時間が失われたものと考えられる。

一方、5 min. 以上の衝突時間が確保された場合は、 $m<1$ のために明らかに偶発故障と考えられる。この

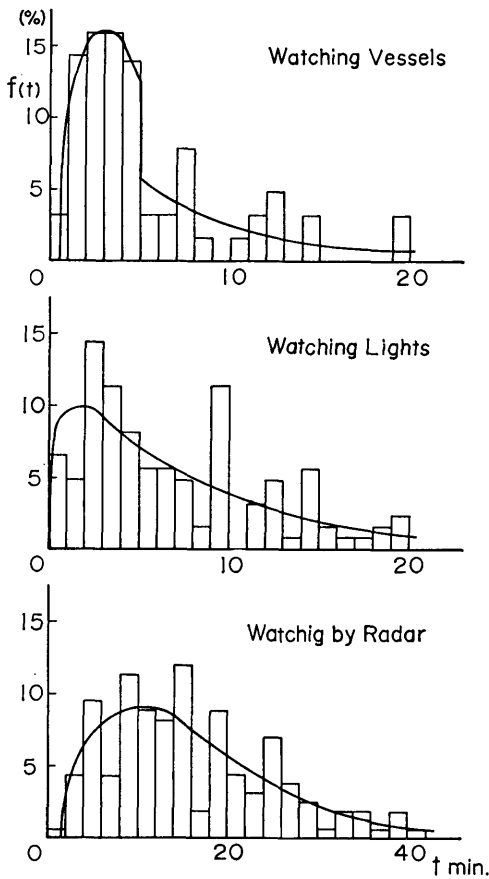


Fig. 5 Probability Density Function of Failure

場合は、視認時間にかなりの余裕を持ち、したがって相手船の運動に関して正確な判断を下しうるにも拘わらず偶発的な故障が生じた事となり、いわば予想外の状況変化に対応できずに衝突したものと思われる。この不測の状況変化に該当するものを裁決録の記録からひろってみると、相手船が予想に反して急に針路を変えた場合、または予想に反していつ迄も変針せずに直進して来た場合、及び不意に他船が現われて（または他船を発見して）両者の対応処置に苦慮した場合等が大部分であり、航路の交叉部や狭水路で見通しが効かない処で多く発生している。これらはいわば相手船の意図が不明なために発生したものと見える。

なお $t=5$ min. における初認距離は、Fig. 1 から 4000 m 以下となる。従って 4000 m 以上の初認距離が確保されるならば避航動作の信頼度を保つだけの情報が得られて摩耗故障型の衝突はさけられると考えられる。

船灯視認の場合は、 $m=1.2$ の単一型ワイブル分布であり、確率密度関数は $t=2.5$ min. で最も高く以後は指数関数的に低下する。 t が小さい処で $f(t)$ の値が大きいため初期故障型に類似しているが、 $m>1$ であるから摩耗故障型と考えられ、さらに m の値が比較的 1 に近いので t の大きな処では偶発故障と似た性質を有する。実際の発生度を示すヒストグラムもかなり広い範囲にややランダムに分布している。すなわち、相手船からの情報不十分による摩耗故障と、相手船の意図不明による偶発故障とが混在したシステム故障と考えられる。またデータ数が少ない場合には、両故障が分離される傾向を持つこともその根拠になる。

衝突時間が 2.5 min. における最大初認距離は、Fig. 1 から約 2,000 m となる。これは、晴天暗夜における乙種霧灯の光到達距離の 1/3 以下、甲種の 1/5 以下であり、天候・視程が衝突発生に大きく影響していることは見過せない。

レーダー映像による初認の場合は、視認システムの寿命の分布が広く、船影、船灯初認の場合と比較すればほぼ 2 倍の寿命時間を有する。またレーダー初認では、やがて肉眼による船灯、船影の視認へと移行する筈であるが、ほとんどの場合が霧等により視程不良のため、その効果は充分とはいえない。

レーダー視認の場合の m 値は、1.55 であって、船影視認の場合 ($t<5$ min.) とほぼ等しく摩耗故障型の衝突である。故障確率密度が最大となる衝突時間は 10~12 min. であり、初認距離は最大 9~10 km 程度となる。このように遠くから初認していても情報不十分による摩耗故障を生じる原因は、上記のような理由によると考えられるが、一方においては $\gamma=1.5$ min. のため、必ずこの時間以上の視認時間が確保されて視認システムが常に成立つという長所がある。

各視認システムの信頼度関数 $R(t)$ を (2) 式より求めて Fig. 6 に示す。破線に×印で示したものは、データ値であり、両者は良い一致を示す。

船影視認の場合、複合型ワイブル分布であるため、信頼度関数 $R(t)$ も 5 min. 境に変化し、5 min. までは、急激に減少し、それ以後は徐々に減少する。船灯視認とレーダーによるものは、一様に減少する傾向を示している。10 min. 程度までの $R(t)$ の値は、船影視認によるものが最も低く、MTBF の値に示されるように船影視認は、他の視認方法と比較して視認時間が短いことを表わしている。

信頼度関数 $R(t)$ は、システムの故障に対する残存

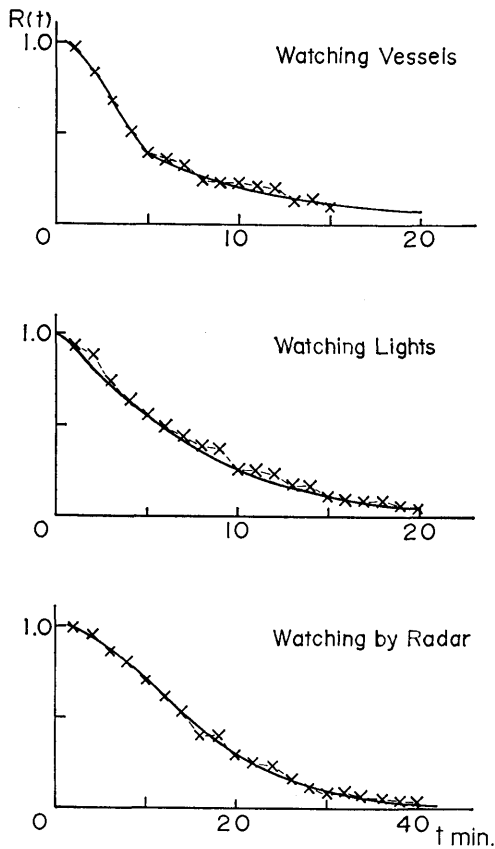


Fig. 6 Reliability Function

確率を表わすから、3.2 に述べたように、衝突時間だけでなく視認時間も含めて同列に取扱った場合には衝突確率を論ずることが出来、大変大きな意味を持つ筈である。しかし、衝突した場合だけのデータについて $R(t)$ を検討してもあまり意味はないように思われる。

故障率関数 $\lambda(t)$ を (3) 式より求めて Fig. 7 に示す。

船影視認の故障率は、 $f(t)$ 、 $R(t)$ と同様に 5 min. を境として不連続に変化しており、5 min. 以内の故障率は、船灯視認やレーダーの場合と比較すると最も高いが、5 min. 以後では大きな変化がなくなりほぼ一定の傾向を示し、偶発故障であることを示している。

船灯視認では、視認時間の短いところでも故障率は高く、以後漸増傾向にあるがほぼ一定となって、やはり偶発故障であることを示す。

レーダー映像による視認の場合の故障率は三者の中で最も低い。時間と共に $\lambda(t)$ は増化するが、あまり t が大きく、従って遠い初認距離における視認システム

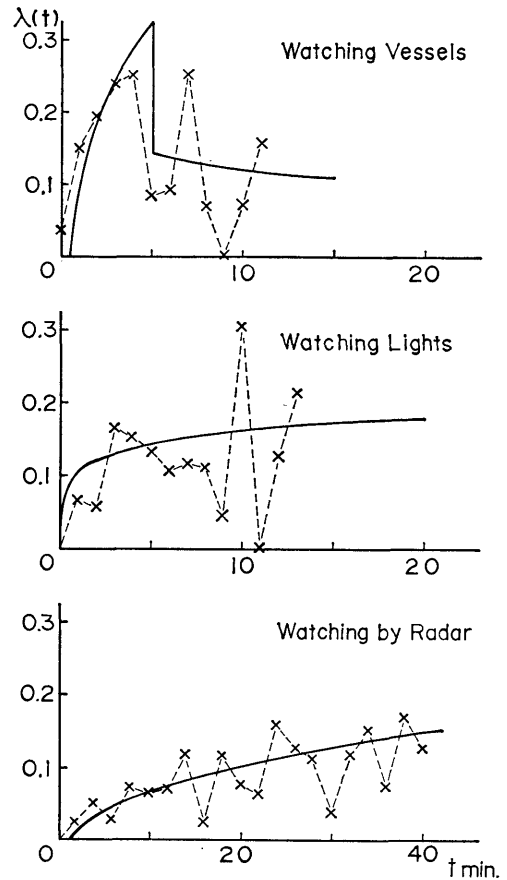


Fig. 7 Failure Rate

は実用上あまり意味がないから、 $t > 20$ min. の $\lambda(t)$ の値を問題とする必要はないであろう。

ここで故障率とは衝突率であり、ある視認時間 t においてまだ衝突していないものが、次の単位時間内に衝突を起こす確率である。従って、本報のように衝突した場合のみを取扱う時には、各システムの優劣を比較するのに最もよい指標であり、レーダー視認が最も優れているシステムであるといえる。この理由は、レーダーで初認し以後肉眼視認が追加されるため、肉眼による情報が不充分とはいえ並列システムとなるためであろう。またそのために最低 1.5 min. 以上の視認システムが維持されることが考えられる。

6. 船舶の大きさと視認システムとの関係

衝突の発生状態は大型船と小型船とでかなり異なり、一般に全衝突件数の中で小型船が占める率は著しく高く、またある航路の 1 トリップ当りの衝突確率も

大型船と小型船とは異なる⁸⁾。従って視認システムやその故障の状態も船舶の大きさで相違するのではないかと推定される。

しかし、衝突時間と船舶の G.T. との間には明確な関係は見出せないようである。例えば、衝突した両船の G.T. をそれぞれ横軸、縦軸にとり、衝突時間を適当な帯域に分けて符号化して記してみても、衝突時間は全くランダムに分布して等時間線や等時間領域は見出せない。また、衝突時間と両船の G.T. の積または比との関係を求めてみても一様分布となる。

そこで衝突時間ではなく、初認時の相対距離（初認距離）が船舶の大きさと関係があるのではないかと、この考えの下に若干の検討を加えてみる。裁決録の資料には総トン数しか記載されていないため、便宜的に船舶の長さ L を

$$L = 6.4 \text{ G.T.}^{1/3}$$

とし、視認を行う船（自船）の長さを L_s 、被視認船（相手船）の長さを L_t とする。Fig. 1 に示した初認距離（自船からの） d を L_t で除して無次元化し、 L_s との関係を示したものが Fig. 8~10 である。 d/L_t は相手船の大きさに応じて定まる視角の逆数に相当する値となる。

昼間に船影を視認した場合には、 $L_s \leq 50 \text{ m}$ 程度の小型船の初認距離は極めて広い範囲に分布するが、中、

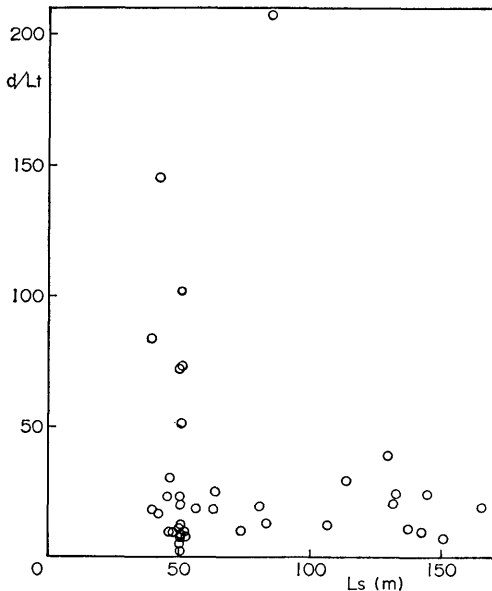


Fig. 8 Ships Length vs. Distance in Discovery (Watching Vessels System)

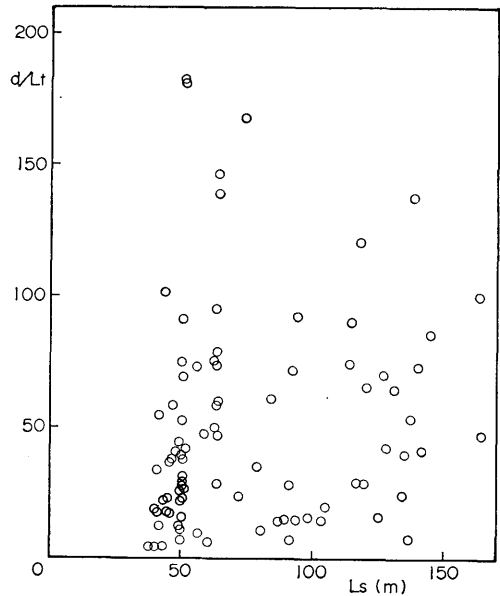


Fig. 9 Ships Length vs. Distance in Discovery (Watching Lights System)

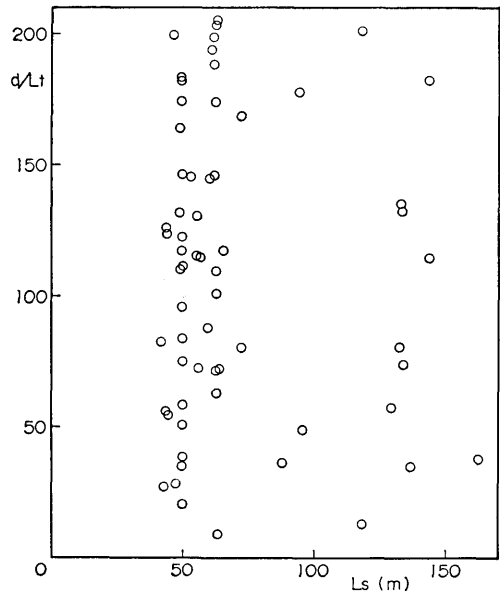


Fig. 10 Ships Length vs. Distance in Discovery (Watching System by Radar)

大型船では $d < 50L_t$ に比較的好く集っており、大型船程やや遠くなる傾向が見られる。しかし、夜間船灯視認の場合には、自船の大きさにあまり関係なく初認距離は広い範囲に分布する傾向が生じ、さらにレーダ

一映像による視認の場合には一層その傾向が大きくなる。

中型船、大型船が船影を視認して避航出来た場合は、この分布の上限以上の初認距離が確保されていたと推定されるから、初認がおくれて相手船の長さの20~50倍以下の距離で初認した場合に衝突する危険性が生じるといえる。一方、小型船は初認距離にあまり関係なく、かなり早くから視認していても衝突する危険性がある。

このような自船の大きさによる衝突発生傾向の相違は、夜間船灯視認の場合には弱くなり、中、大型船であっても小型船と同様に、初認距離にあまり関係なく衝突が生じる。これはやはり船灯が与える情報が劣質であり、長時間（または長距離から）視認していても充分精確な避航の判断が行えないためであろう。

レーダー視認の場合は、初認距離はレーダーの性能で左右されると思われるため、小型船でも大型船でもその性能に差がないとすれば、初認距離は船舶の大きさとは無関係となる。なおこれらの図からも、明らかに200 G.T.に近い小型船の衝突発生件数が大きいことが窺える。

7. ま と め

船舶の衝突事故について、衝突回避のための視認システムが故障した結果衝突が生じる、との考えの下に、信頼性工学の立場からそれぞれの視認方法についてそれらの信頼度を検討した。その結果、船舶の衝突は避航のための視認システムというマン・マシン系の故障により惹き起こされるという考え方に妥当性があると認められ、各視認方法ごとに故障形態に差があることが認められた。

主要な結論を要約し、衝突防止に関する若干の示唆を含めて述べれば次のとおりである。

- 1) 昼間に相手船の船影を視認した場合には、5分以上の視認時間、4,000 m以上の初認距離が確保できれば、相手船の運動に関する情報が十分に得られて避航に必要な正確な判断がなされるため、摩擦故障型の衝突は避けられる。
- 2) 上記の場合であっても、相手船の意図までは判断できないため、不意の状況変化が生じた場合には視認システムの偶発的な故障（衝突）が起り得る。これらは主に航路の交叉、分岐合流、または見通しが悪い、等の条件下で発生するため、そのような個所では充分な見張りと操船上の注意が

必要である。

- 3) 夜間に相手船の船灯等を視認した場合には、それらから得られる相手船の運動に関する情報の信頼度が低く、昼間に較べてより長い視認時間が得られていても摩擦故障型の衝突が起り得る。また相手船の意図不明による偶発故障型の衝突も混在して発生するため、充分な注意を払って昼間よりも長い視認時間を保持した後に操船の判断を下す必要がある。
- 4) レーダー映像による初認の場合には、長い視認時間が確保されるにも拘わらず衝突する場合がありますが、視認システムが常に成立し、衝突する迄には最低1.5分の時間が存在する。また衝突率は最も低く、避行した場合を含めたときの衝突発生確率は最も低いと推定される。これはレーダーと肉眼との二重システムになるためと考えられるから、常にレーダーを併用すれば衝突の危険性をより低減できるものと思われる。
- 5) 視認システムの故障と船舶の大きさとの間には直接の関係は無いと認められる。しかし、船舶（自船）の大きさと衝突時の初認距離との間にはある関係があり、船影視認時には大型船ほどその影響が顕著に表われる。すなわち小型船の衝突時の初認距離は常に広い範囲に一樣に分布するのに反し、大型船は昼間には一定距離（相手船の長さの20~50倍）に発生し、夜間、レーダー使用の順に一樣分布に近づく傾向がある。

なお、船影視認の場合に衝突時間が1分未満のものが約30%あり、また船灯視認の場合にも衝突時間ゼロのものが理論的にありうる、ということは不思議に思われる。このような場合は、単に気象による視程の影響だけとは考えられず、避航操船システム（視認システムも含む）全体の問題が関係していると思われる。つまり、避航のシステムを待ち合わせの理論の問題とした場合^{3),4)}に、サービスが間に合わなくなったような例がこれに相当するのではないかと思われる。これらについては、今後一層の研究が必要であろう。

本報の調査、研究を進める段階において、東海大学平本文男教授、大阪大学中村彰一教授、東京大学小山健夫教授、横浜国立大学中村貴憲教授、神戸商船大学本田啓之輔教授らから熱心な御討論と御指摘をいただいたことに対して、厚く御礼申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 翁長一彦: 船舶火災事故に対する信頼性解析, 日本造船学会誌, 第 582 号, 昭和 52 年 12 月.
- 2) 例えば, 神鳥 昭: 海上交通事故, 航海, 第 46 号, 昭和 50 年 6 月.
- 3) 原 潔: 避航システムモデルによる衝突確率の考察, 日本航海学会論文集, 第 50 号, 昭和 48 年 12 月.
- 4) 原 潔: 避航操船の信頼性工学的考察, 関西造船協会, 昭和 52 年度秋季連合大会.