

V 夜間における船舶灯の視認力に関する実験的検討

目 次

A はじめに	30
B 視力と船舶灯の視認力に関する実験	30
C 点光源の閾値に関する実験	41
D 考 察	41

A はじめに

夜間の航行において、相手船の動勢を知る唯一の方法は、マスト灯（白）、げん灯（紅）、船尾灯（白）、停泊灯（白）ならびに漁ろう船、特殊作業船、引船、運航不自由船などの掲げる白、紅、緑灯の視認による判断である。

これらの船舶灯の掲揚は、海上衝突予防法として国際的な規則にしたがって定められている。これらの船舶灯を正しく視認できるかどうかは、海上衝突予防を左右する大きな問題である。今回は、視力との関連に重点をおき、船舶灯の視認力について実験的に検討することにした。

一般に物体あるいは光源が識別できるかどうかは、対象の輝きと背景の輝きの対比がある限界値以上であるかどうかによってきまる。しかし、点光源のように視角が小さい場合には（暗順応で $\alpha \leq 20'$ 、明順応で $\alpha \leq 0.4'$ ）、点光源の光が観測者の目に生ずる照度が識別の因子となるといわれている。したがって、点光源の観測方向の光度を I 、距離を r 、大気中の光の減衰係数を σ 、光の大気透過率を τ とすると、観測者の目に生ずる照度 E は、

$$E = I \cdot \exp(-\sigma r) / r^2 = I / r^2 \cdot \tau^r$$

で表わされる。

この観測者の目に生ずる照度 E は、光源の光度、光源よりの距離、大気が澄んでいるか霧などがあるかによって変る大気透過率などの物理的条件によってきまることがわかる。しかし点光源の視認力を考える場合には、視覚生理の側から問題になる光源の色、点光源の背景の明るさ（背面輝度）がある。すなわちこれらによって光源の見えなくなる閾値照度（threshold illuminance）が大きく影響される。さらに大きな要因として見のがすことのできないこととして、見るひとの眼の良否があげられる。今回は、特に見るひとの視力との関係に重点を置いた。

実験としては、まず光源（白）の光度は現用の 40W 船舶用電球として 32cd とし、大気の状態は国際可視度規定にしたがい、色フィルタは船用の標準色ガラスに近いものを選び、点光源の背面輝度は暗夜 ($10^{-4} \sim 10^{-3} \text{cd/m}^2$) とし、見るひとは色覚正常者であることを条件とした。そして視力の変化により視認力がいかに変わるかということに目標をおき、灯火パターンの視認力実験を行なった。さらに点光源の閾値に関する実験をこころみ、あわせて船舶灯の視認力について考察した。


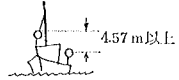

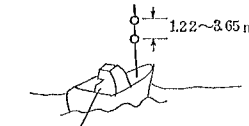

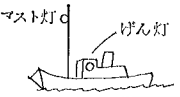

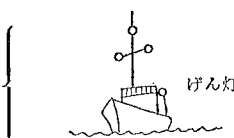



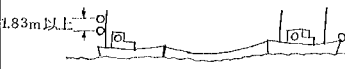



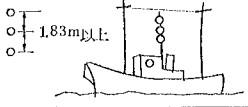

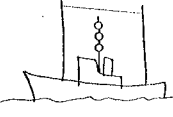

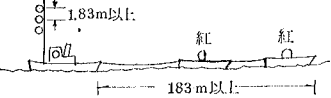
B 視力と船舶灯の視認力に関する実験


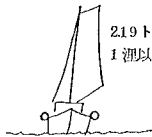

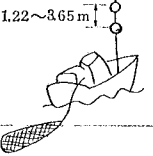

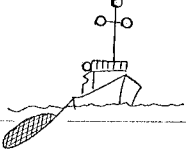



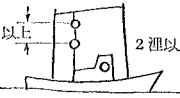

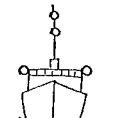

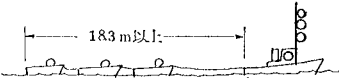

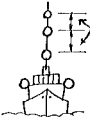

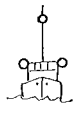

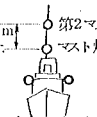
1. 実験方法

a 工学部学生 5 名の色覚正常者を被験者とし、凸レンズを用いて視力を低下させ、両眼視力 1.0, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2, 0.1 で実験した。

b 船舶灯の灯火パターンを、海上衝突予防法で定められた具体例にしたがって選び、表 I のような I 群と II 群とした。I 群は白、紅灯の組み合わせ、II 群は白または紅灯と緑灯の組み合わせとした。

表-1. 船舶灯の灯火パターン

灯火パターン	具	体 例
		<p>長さ4.575メートル以上の船の停泊灯。また長さ4.575メートル未満の船舶では船尾に白灯を必要としないが、しかし掲げることができるので、長さ4.575メートル未満の船の停泊灯の場合もある</p>
		<p>トロール船以外の方法で漁ろうしている漁船、この漁船の用いている漁具の長さは153メートル以下（対水速度を有しない）</p>
		<p>向って左の方へ航行中の動力船で長さ4.575メートル以下のもの</p>
		<p>(田 法) 網又はなわを用いて漁ろうしている航行中の漁船（対水速度を有しない）</p>
		<p>(田 法) 向って左の方へ航行中の漁ろうしている漁船、この漁船の用いている漁具は、網又はなわで、その長さは153mを超えるもの</p>
		<p>他の船舶を引いて、或いは押して、向って左の方へ航行中の動力船、但し2隻以上を引いている場合は、その動力船の船尾から引かれていた最後の船の船尾までの長さが183m以下のもの</p>
		<p>運転が自由でない状態で向って左の方へ航行中の船舶（対水速度を有する）</p>
		<p>向って左の方へ航行しながら特殊作業に従事している船舶（対水速度がある場合）</p>
		<p>特殊作業に従事している船舶で、航行中であるが対水速度を有しない場合</p>
		<p>他の船舶を引いて、向って左の方へ航行中の動力船、但しその動力船の船尾から、引かれていた最後の船の船尾までの長さが183m以上のもの</p>

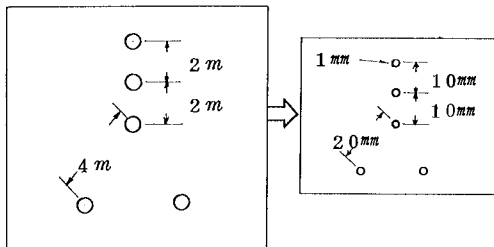
灯火パターン II	具	体 例
 (緑×紅)	 219トン未満の帆船 1 漕以上	こちらに正船首を向けて航海中の帆船
	 1.22~3.65 m	漁ろう中のトロール漁船 (対水速度を有しない)
		(旧 法) 向かって左の方へ航行中の漁ろうしている漁船。この漁船の用いている漁具は網又はなわで、その長さは 1 5 3 m を超えるもの
	 1.83 m 以上	他の船舶を引いて或は押して、向って右の方へ航行中の動力船、但し 2 隻以上引いている場合は、その動力船の船尾から引かれている最後の船の船尾までの長さが 1 8 3 m 以上のもの
	 1.83 m 以上 2 漕以上	運転が自由でない状態で、向って右の方へ航行中の船舶 (対水速度を有する)
		運転が自由でない状態で航行中の船舶が正船首をこちらに向けている場合 (対水速度を有する)
	 183 m 以上	2 隻以上の船舶を引いて、向って右の方へ航行中の動力船、但しその動力船の船尾から引かれている最後の船の船尾までの長さが 1 8 3 m 以上
	 1.83 m 以上	2 隻以上の船舶を引いた航行中の動力船が、正船首をこちらに向けた場合
		こちらに正船首を向けて航行中の動力船で、長さ 4 5. 7 5 m 以下のもの
	 4.57 m 以上 第2マスト灯 1マスト灯	第2マスト灯を掲げて、こちらに正船首を向けて航行中の動力船、一般に長さ 4 5. 7 5 m 以上の大型船

注1)

実験に使用した色フィルターの特性

	色度 (A光源)		視感透過率 (%)
	x	y	
Red	0.692	0.308	14.8
Green	0.250	0.532	13.3

注2)



c 実験に使用した色フィルタは表1の注1)のとおりで、現行の標準色ガラス(昭和20年以前製作による通信省管船局標準色ガラス)に近い色度のものを選んだ。

d 灯火パターンの大きさは、表1の注2)のように、灯火の間隔は2m, 4mとし、それぞれの灯火パターンを0.5 漉、1 漉、1.5 漉で暗夜において見るという条件にした。

e 各灯火パターンの明るさは、 $E=I/r^2 \cdot \tau^r$ の関係より求めた。すなわち図1にその関係を示す。

横軸に目と灯火の距離、縦軸に目に到達する照度とした。天気状態と大気透過率の関係は国際可視度規程にしたがい、表2によった。そして、夜間は霞(もや)、霧などの天気状態を正しく判断するよい方法がなくて困っているのが現状であるが、参考のため昼間の可視距離をあげておいた。そこで、0.5 漉では③~⑧、1 漉で⑨~⑪、1.5 漉で⑫~⑭の各点での40Wの白灯をみたときの目に到達する照度における灯火パターンの視認力を求めた。

f 灯火パターンを各条件で見せ、そのパターンの正答率を視認率とよんで視認力を表わすことにした。

g 以上のような条件を実験室における実験に simulate するため、灯火パターンを表1の注2)のように、1mmφの小円形孔の灯火でその間隔は10mm, 20mmとし、目と灯火の距離を視角より計算して0.5 漉、1 漉、1.5 漉に対応し、4.63m, 9.26m, 13.89mとした。

h この灯火パターンの白灯の明るさは、図1の③~⑭の各点における目に到達する照度に一致するようそれぞれ輝度を設定した。すなわちこの灯火パターンをおく光源面は、光源箱内に40Wの電球を入れ、光源の位置の移動、拡散透過面の厚さと電圧の調整(98~110V)等により輝度を変化させ、それぞれ pritchard photometerにより輝度を測定して設定した。したがって光源がA光源でないこと、拡散透過面の厚さをそれぞれ変えたこと、電圧の微調整をしたことで、色フィルタの色度xyはA光源の場合と変わってくると考えられる。しかし、実際の海上では天候等により色度xyは変るものであり、実験の目的から考えてわずかな色度の変化は無視することとした。

2. 実験結果

測定結果は表3のとおりである。パターンI群とII群に別けて、被検者5名の平均視認率 \bar{X}_5 と標準偏差 σ を求めた。なお、パターンII群については5名のうち2名が緑灯の視認力が特に弱かったので、これを区別して \bar{X}_3 と \bar{X}_2 としてつけ加えた。色覚正常者で緑灯の組まれた灯火パターンが見にくいということは後でさらに検討することにするが、パターンI群にくらべてII群の視認力はおちる。したがって灯火

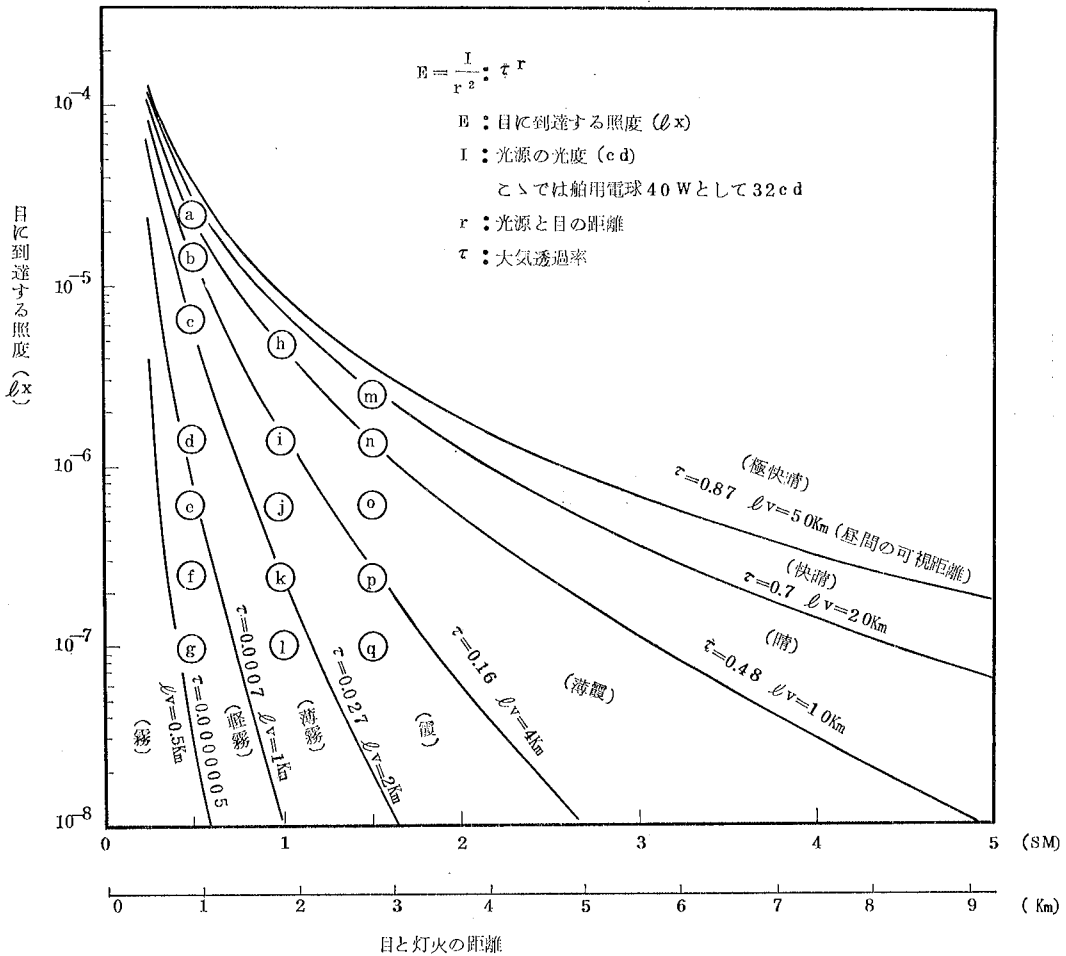


図1 灯火パターン視認力の各測定点

パターンII群の σ_5 は、視力1.0においても0.5
 泓の①②③④点を除いて大となり、ばらつきが
 大きいことを示している。

また視力の低下により視認率は低下し、 σ も
 大きくなっていく。目と灯火の距離と視認力と
 の関係においても、同じ大きさの灯火パターン
 を、見るひとの目に到達する照度が同じになる
 明るさで距離別にみると、明らかに視角の減少
 によって視認力が低下することがわかる。

これらの測定結果により視力との関係を明ら
 かにするため、視力と灯火パターンの視認力の

関係を示すと図2のとおりである。

すなわち、つぎのことがいえる。

a 0.5泓, 灯火パターンI群

視力1.0, 0.8, 0.6, 0.4まで、 $\tau=0.0007$,
 昼間の可視距離で1Kmに相当する大気状態
 (d~e点)の薄霧の下限以上では、 σ は小さ
 く視認率は80%以上で高い。

視力0.2では急に視認率は低下して σ も大と
 なり、また0.1ではさらにいちじるしく低下す
 る。

(b) 0.5泓, 灯火パターンII群

表2. 天気状態と昼間の可視距離、大気透過率

(国際可視規程)

視程	天気状態	昼間の 可視距離 Km	大気透過率 (τ)	
			%/Km	%/哩
0	極濃霧	~0.05	--	--
1	濃霧	0.05~0.2	--	--
2	霧	0.2~0.5	~0.004	~0.00005
3	輕霧	0.5~1	0.004~2	0.00005~0.07
4	薄霧	1~2	2~14	0.07~2.7
5	霞	2~4	14~37	2.7~16
6	薄霞	4~10	37~68	16~48
7	晴	10~20	68~82	48~70
8	快晴	20~50	82~93	70~87
9	極快晴	50~	93~	87~

注) 昼間の可視距離は視感視測によって定める場合は、目標として十分暗く、視角 20' 以上の対象 (たとえば森、建物、島) を選びちょうど見えなくなる距離をいう。

アメリカでは対象と背影の見かけの輝度の対比が 0.02 に減衰する距離を気象距離 (Meteorological range) と呼んでいるが、これは一般に視程あるいは視界と呼んでいる距離に相当する。

視力 1.0, 0.8, 0.6 で、 $\tau=0.027$, 昼間の可視距離で 2Km に相当する大気状態 (c 点) の霞の下限以上では、 σ は小さく視認率は 88% 以上で高い。

視力 0.4 では大気状態がよくても、 σ は大きい 80% の視認率であり、視力 0.2, 0.1 ではそれぞれいちじるしく低下する。

(c) 1 哩, 灯火パターン I 群

視力 1.0, 0.8, 0.6 で、 $\tau=0.16$, 昼間の可視距離で 4Km に相当する大気状態 (i 点) の薄霞の下限以上では、 σ は割合小さく、視認率も 80% 以上で高い。

視力 0.4 では急激に視認率は低下し、 σ も大きくなる。さらに視力 0.2 では極端に低下して約 10% 以下である。

(d) 1 哩, 灯火パターン II 群

視力 1.0 で、大気状態がいかによくても (i 点以上), σ は大きい 60% 以下となり、さらに視力 0.8, 0.6 でも 45% 以下、視力 0.4 で 30% 以下となる。視力 0.2 では視認率は 0 である。

(e) 1.5 哩, 灯火パターン I 群

視力 1.0 で、 $\tau=0.48$, 昼間の可視距離で 10 Km に相当する大気状態 (n 点) の晴の下限以上では、 σ は割合小さく視認率も高い。

視力 0.8, 0.6 となると急に低下し、さらに視力 0.4 となると、いちじるしく低下する。

視力 0.2 では、視認率は 5% 以下で 0 と考えてよい。

(f) 1.5 哩, 灯火パターン II 群

視力 1.0 で、大気状態がいかによくても (m 点, n 点), σ は大きい 50% 以下と

表3. 灯火パターン視認力実験の測定結果

(0.5 遅)

測定点	視認率 %		視力							
	パターン I 群	パターン II 群	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0.1		
a	\bar{x}_5	100	100	100	92	80	24			
	σ_5	0	0	16.0	31.0	10.1				
	\bar{x}_3	100	100	83.5	73.3	30				
	\bar{x}_2	100	100	100	55	40	0			
	\bar{x}_5	100	100	100	72	60	18			
	σ_5	0	0	24.8	24.5	12.4				
b	\bar{x}_5	100	100	100	98	84	24			
	σ_5	0	0	4.1	16.0	18.6				
	\bar{x}_3	100	100	96.6	93.3	63.3	30			
	\bar{x}_2	100	100	100	65	45	5			
	\bar{x}_5	100	100	98	82	56	20			
	σ_5	0	0	41	18.9	18.6	17.9			
c	\bar{x}_5	100	100	98	98	82	36			
	σ_5	0	0	4.1	4.1	18.8	18.8			
	\bar{x}_3	100	100	100	100	53.3	40			
	\bar{x}_2	100	95	70	45	15	5			
	\bar{x}_5	100	98	88	78	38	26			
	σ_5	0	4.1	19.1	27.1	21.4	20.6			
d	\bar{x}_5	100	100	90	86	66	10			
	σ_5	0	0	8.9	15	29.4	13.4			
	\bar{x}_3	96.6	96.6	93.3	83.3	20	0			
	\bar{x}_2	40	5	0	0	0	0			
	\bar{x}_5	74	60	56	50	12	0			
	σ_5	3.4	14.3	45.8	41	16	0			

e	パターン I 群	\bar{x}_5	98	94	82	72	40	2
		σ_5	4.1	8	31.5	37.7	26.7	4
	パターン II 群	\bar{x}_3	80	73.3	40	28.6	6.6	0
		\bar{x}_2	0	0	0	0	0	0
		\bar{x}_5	48	4.4	24	16	4	0
		σ_5	45.8	38.7	29.4	32.1	25.3	0
f	パターン I 群	\bar{x}_5	76	62.5	62	52	6	0
		σ_5	22.5	33.2	36.6	42.7	11.1	0
	パターン II 群	\bar{x}_3	0	0	0	0	0	0
		\bar{x}_2	0	0	0	0	0	0
		\bar{x}_5	0	0	0	0	0	0
		σ_5	0	0	0	0	0	0
g	パターン I 群	\bar{x}_5	12	0	0	0	0	0
		σ_5	9.8	0	0	0	0	0
	パターン II 群	\bar{x}_3	0	0	0	0	0	0
		\bar{x}_2	0	0	0	0	0	0
		\bar{x}_5	0	0	0	0	0	0
		σ_5	0	0	0	0	0	0

(1 週)

測定点	視力		1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0.1
	視認率多	視力						
①	パター I 群	\bar{x}_5	96	92.5	90	68	12	0
		σ_5	8	13.5	15.5	26.4	11.7	0
	パター II 群	\bar{x}_3	90	80	63.3	46.6	3.3	0
		\bar{x}_2	10	5	10	0	0	0
		\bar{x}_5	58	42.5	42	28	2	0
②	パター I 群	σ_5	42.5	37.2	24.2	30.6	4	0
		\bar{x}_5	98	92.5	74	36	2	2
	パター II 群	σ_5	4	7.5	11.1	29.5	4	4
		\bar{x}_3	90	95	75	60	0	0
		\bar{x}_2	5	5	0	0	0	0
③	パター I 群	\bar{x}_5	56	40	30	24	0	0
		σ_5	43.4	36.7	26.8	35.2	0	0
	パター II 群	\bar{x}_5	80	68	56	26	6	0
		σ_5	14.1	24.8	34.4	26.5	12	0
		\bar{x}_3	50	26.6	30	20	0	0
④	パター I 群	\bar{x}_2	0	0	0	0	0	0
		\bar{x}_5	30	16	18	12	0	0
	パター II 群	σ_5	36.4	32	36	22.5	0	0
		\bar{x}_5	54	28	22.5	5	0	0
		σ_5	25.8	27.1	22.7	8.7	0	0
⑤	パター I 群	\bar{x}_3	0	0	0	0	0	0
		\bar{x}_2	0	0	0	0	0	0
	パター II 群	\bar{x}_5	0	0	0	0	0	0
		σ_5	0	0	0	0	0	0
		\bar{x}_5	12	0	0	0	0	0
⑥	パター I 群	σ_5	9.1	0	0	0	0	0
		\bar{x}_3	0	0	0	0	0	0
	パター II 群	\bar{x}_2	0	0	0	0	0	0
		\bar{x}_5	0	0	0	0	0	0
		σ_5	0	0	0	0	0	0

(1.5 週)

測定点	視力		1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0.1
	視認率多	視力						
①	パター I 群	\bar{x}_5	98	85	74	28	4	0
		σ_5	4	11.2	26.5	29.3	8	0
	パター II 群	\bar{x}_3	83.3	70	43.3	30	0	0
		\bar{x}_2	5	0	0	0	0	0
		\bar{x}_5	52	35	26	18	0	0
②	パター I 群	σ_5	39.2	40.9	25.0	24	0	0
		\bar{x}_5	88	52.5	42	18	0	0
	パター II 群	σ_5	11.8	14.8	30.6	18.3	0	0
		\bar{x}_3	63.3	45	26.6	16.6	0	0
		\bar{x}_2	0	0	0	0	0	0
③	パター I 群	\bar{x}_5	38	22.5	16	10	0	0
		σ_5	33.7	28.6	23.4	15.5	0	0
	パター II 群	\bar{x}_5	74	38	28	0	2	0
		σ_5	20.6	19.3	27.1	20	4	0
		\bar{x}_3	43.3	20	10	6.6	0	0
④	パター I 群	\bar{x}_2	0	0	0	0	0	0
		\bar{x}_5	26	12.1	6	4	0	0
	パター II 群	σ_5	29.4	19.4	7.7	8	0	0
		\bar{x}_5	48	12.5	8	4	0	0
		σ_5	20.5	21.7	9.8	8	0	0
⑤	パター I 群	\bar{x}_3	0	0	0	0	0	0
		\bar{x}_2	0	0	0	0	0	0
	パター II 群	\bar{x}_5	0	0	0	0	0	0
		σ_5	0	0	0	0	0	0
		\bar{x}_5	0	0	0	0	0	0
⑥	パター I 群	\bar{x}_5	0	0	0	0	0	0
		σ_5	0	0	0	0	0	0
	パター II 群	\bar{x}_3	0	0	0	0	0	0
		\bar{x}_2	0	0	0	0	0	0
		\bar{x}_5	0	0	0	0	0	0

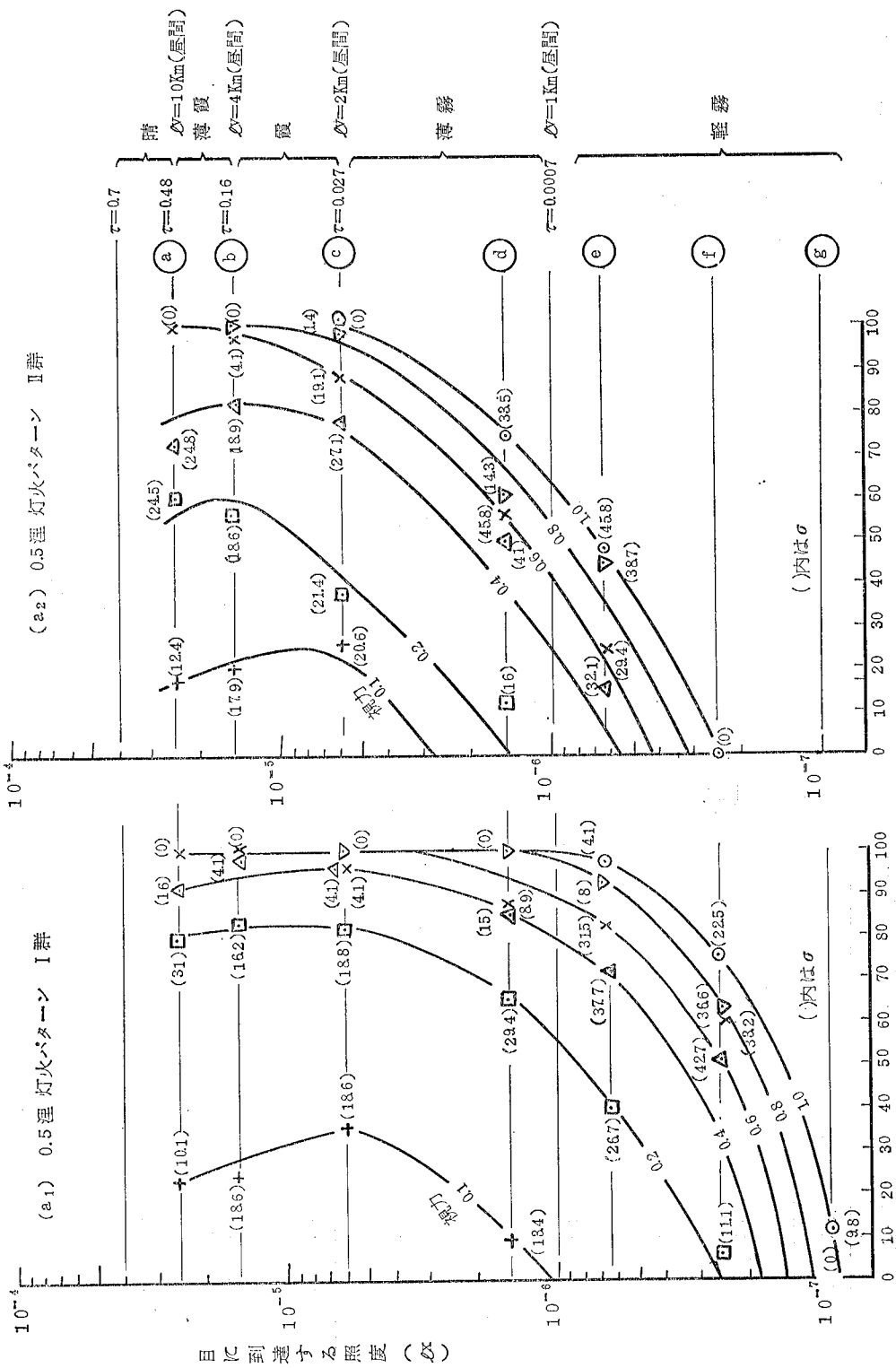
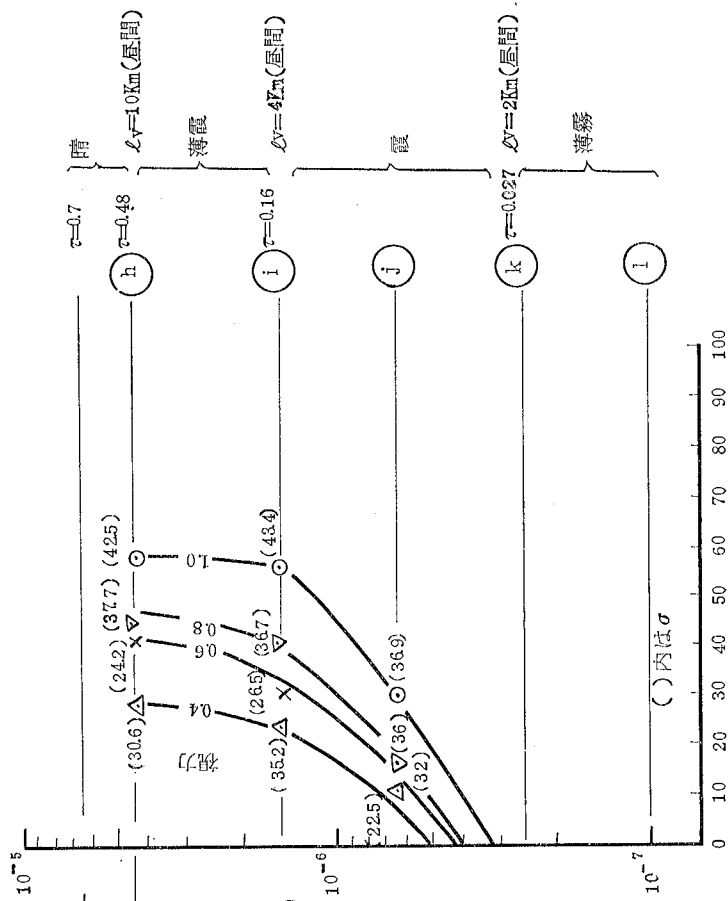
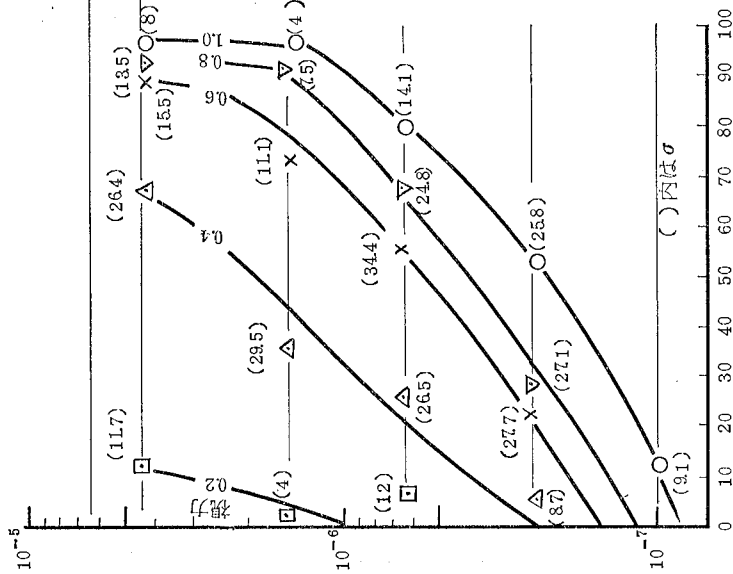


図 2. 視力別灯火パターン視認率 (%)

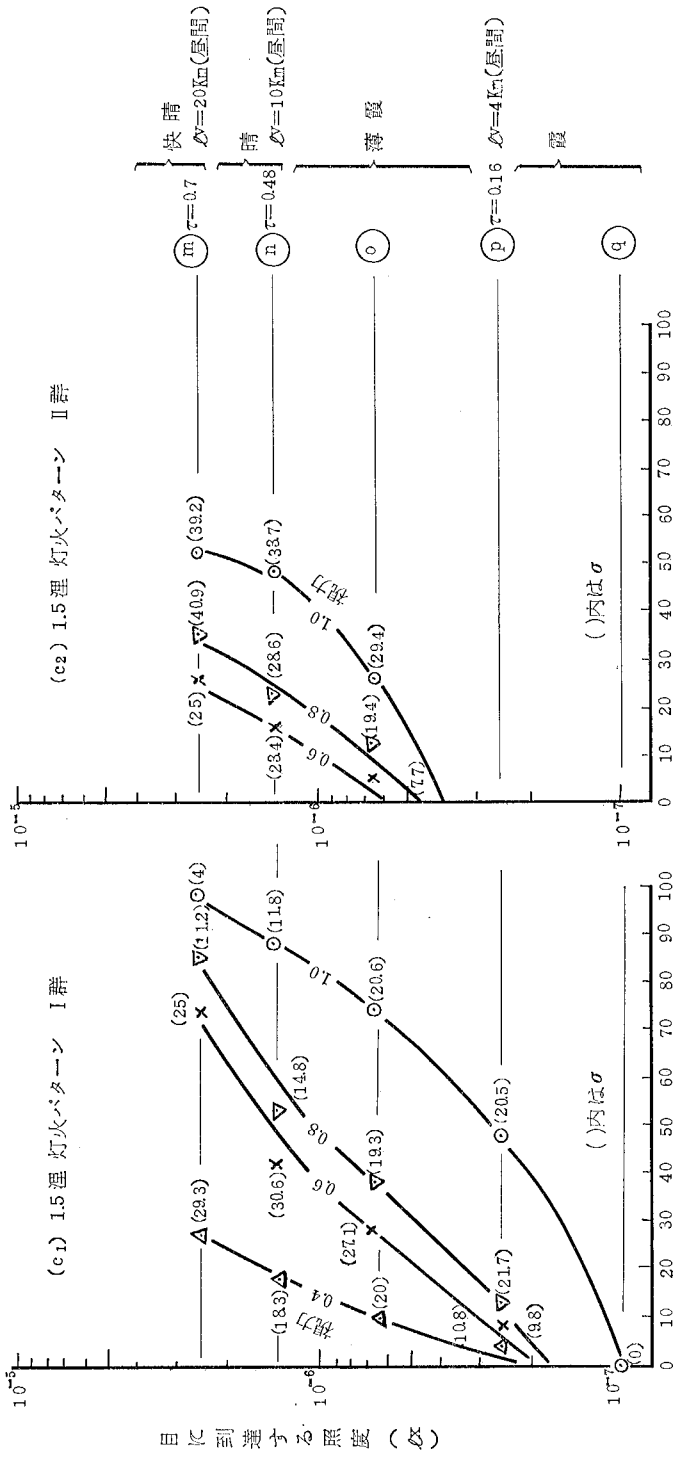
(b₂) I 型 灯火パターン II 群



(b₁) I 型 灯火パターン I 群



灯火パターン視認率 (%)



なり、さらに視力 0.8 で 25% 以下、0.4 で 15% 以下となり、 σ は大きいがいちじるしく低下する。

視力 0.2 では視認率は 0 となる。

C 点光源の閾値に関する実験

1. 実験方法

a 被検者は実験 I と同じ。

b 点光源として視角 $3.4'$ ($2\text{mm}\phi$ の円形孔を 2m の距離で見るとした。これは暗順応で視角 $\alpha \leq 20'$ の場合で、点光源をみて観測者の目に生ずる照度が識別の因子となる場合である。

c 実験に使用した色フィルタの特性は実験 I と同じであるが、赤ならびに緑のフィルタには 12.5%、白の点光源には 1.56% の視感透過率になるニュートラル・フィルタを組合わせて用い、それぞれ閾値に近い明るさまで落した。

d さらに色度を変えないで明るさを微制御する方法として、光源とフィルタの中間に扇形角度の変えられる回転盤 (episcotister) を用いた。すなわち、扇形の窓をあけて円板をモータで 1 分間 3,000 回転し、その扇形の窓の大きさは扇形角度を変えるシャッターで調節できるようになっており、この窓の通して出る光の量を加減して、ニュートラル・フィルタを通したと同じ視覚的効果をあげることができる。

e 加減された円形孔の明るさは、Pritchard photometer で見かけの輝度を測定して求めた。

2. 実験結果

閾値には光源の色を識別できる閾値と、光源の存在だけを識別できる閾値とがある。前者 Etc を有色閾値 (chromatic threshold)、後

者 Et を無色閾値 (achromatic threshold) としているが、この実験では有色閾値 Etc を測定したものである。

光源の有色閾値と可視距離 r_v との関係は、
$$\text{Etc} = L/r_v^2 = \rho I_w/r_v^2 \cdot \tau^{r_v}$$
 である。ただし、その光源は無色の光源と色フィルタの組合わせと考え、 ρ は色フィルタの視感透過率で、 I_w は白色換算光度といわれている。

船の紅灯、緑灯は、40W の電球に色ガラスの組合わせであり、 I_w は 32 cd に相当する。紅灯、緑灯の閾値として Etc/ρ を求めた。測定結果は表 4 (a)(b) のとおりである。

また、船舶灯の閾値として、白灯は $6.58 \times 10^{-8} \text{lx}$ 、紅灯は $1.37 \times 10^{-7} \text{lx}$ 、緑灯は $7.61 \times 10^{-7} \text{lx}$ となった。

なお、この実験においては、視力との関係で閾値がどのように変るかを求めようとしたが、閾値の判定が難しく正常視力のみによった。

D 考 察

a 海上衝突予防法によると、大気が清澄な暗夜において、長さ 19.80m 以上の動力船ではマスト灯 5 浬以上、げん灯、漁ろうに関する灯火、特殊作業船等の白、紅および緑の連掲灯では 2 浬以上となっている。

船舶用電球は 40W とし、実験 II の有色閾値を求めた結果から船舶灯と視認距離の関係を求めると、図 3 のとおりとなる。国際可視度視程にしたがって、快晴の下限から上限において、マスト灯白は 5 浬から 7.2 浬、紅灯は 4 浬から 5.4 浬、緑灯は 2.3 浬から 2.8 浬となっている。さらに天気状態が悪くなって大気透過率 τ が大となる程いちじるしく視認距離が小さくなるのがわかる。これらは視力が正常のひとの場合

表4. 閾値の測定結果

(a)

被検者	白の有色閾値 (lx)	赤の有色閾値 (lx)	緑の有色閾値 (lx)
Y	3.77×10^{-8}	1.49×10^{-8}	5.92×10^{-8}
O	5.11×10^{-8}	1.83×10^{-8}	6.46×10^{-8}
I	5.11×10^{-8}	2.29×10^{-8}	7.00×10^{-8}
M	8.07×10^{-8}	3.50×10^{-8}	11.30×10^{-8}
K	10.80×10^{-8}	3.04×10^{-8}	19.90×10^{-8}

(b)

点光源 閾値	有色閾値 Etc		有色閾値/色フィルタ視感透過率 ^{Etc} ρ	
	平均値 \bar{x}	標準偏差 σ	平均値 \bar{x}	標準偏差 σ
白	6.57×10^{-8}	2.54×10^{-8}		
赤	2.03×10^{-8}	0.845×10^{-8}	1.37×10^{-7}	0.75×10^{-7}
緑	10.12×10^{-8}	5.25×10^{-8}	7.61×10^{-7}	3.95×10^{-7}

である。特に緑灯の見にくいことには注目すべきである。

b 視力との関係で視認距離を実験Iの視力と船舶灯の視認力に関する実験結果により考察した。図3の注1)のとおりである。

灯火パターンI群に対して緑灯の組まれたII群の視認率はきわめて低い。さらに、同じ大きさの同じ明るさの灯火パターンに対して、0.5 哩より1 哩1.5 哩と視角と明るさが小さくなるにしたがって視認率が低くなっていくことがわかる。

0.5 哩でみると、パターンI群で薄霧の下限以上では視力1.0, 0.8, 0.6, 0.4で視認率80%以上で高い。パターンII群で霞の下限以上では視力1.0, 0.8, 0.6, 0.4でパターンI群と同様視認率80%以上で高い。

1 哩でみると、パターンI群で薄霞の下限以上では視力1.0, 0.8, 0.6で視認率80%以上で高い。パターンII群では視力1.0で σ は43でばらつきが大きい、視認率は60%以下となる。

緑灯が白、紅灯の組合せで見にくく、視力0.8, 0.6となるとさらに45%以下となる。

1.5 哩でみると、パターンI群で晴の下限以上では、視力1.0で視認率88%以上で高い。視力0.8, 0.6では σ が大きくなるが45%以下、視力0.4で30%以下となる。パターンII群では視力1.0でも σ は35前後でばらつきが大きい、緑灯の見にくいことが原因で50%以下である。

c 灯火パターンI群II群で視認率80%, 60%, 40%となる最低の目に到達する照度を視力別にプロットしてみると、図4のとおりとなる。

視認率80%の場合、0.5 哩ではパターンI群II群とも天候の悪条件で視力0.4までよくみえる。1 哩では、パターンI群において薄霞の下限で視力0.6となり、視力0.4以下ではプロットされない。同じく1.5 哩では快晴の下限で視力0.6となり、視力0.4以下ではプロットされない。そして、パターンII群では、1 哩1.5 哩ともに視力1.0でも視認率80%をのぞむことが

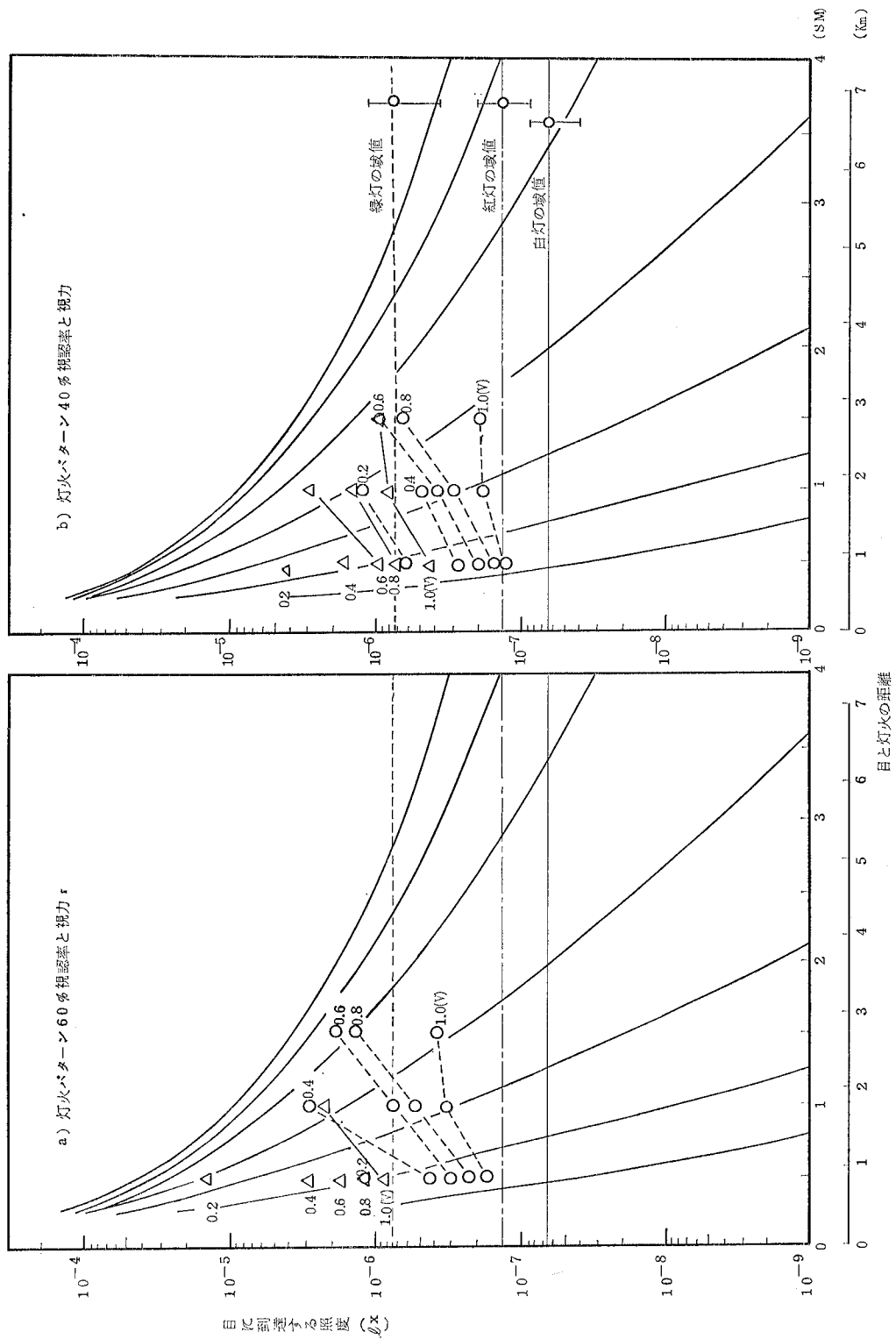
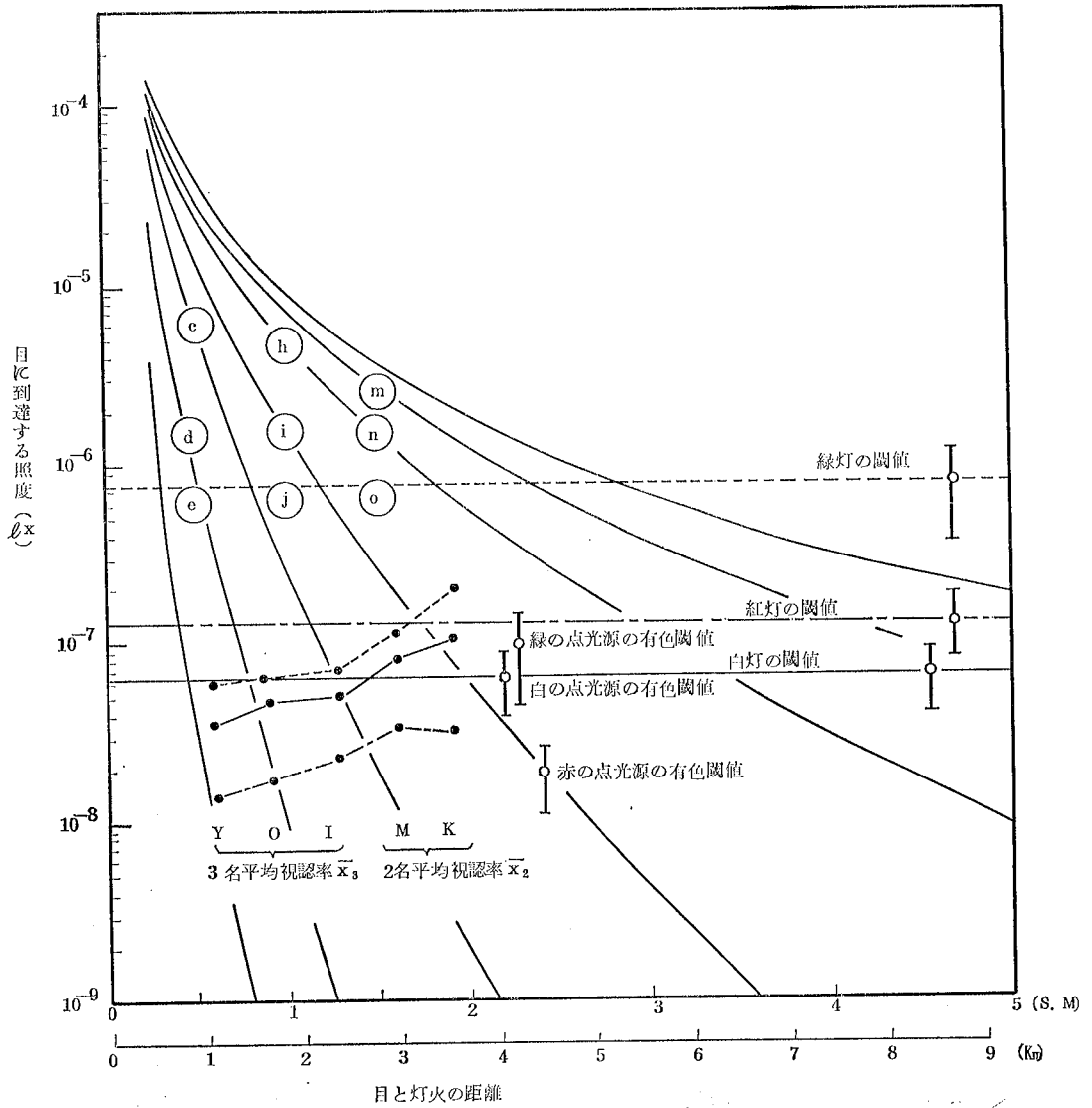


図3. 船舶灯の視認距離(2)



c	視力	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0.1	h	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0.1	m	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0.1
	\bar{x}_3	100	100	100	100	53.3	40		90	80	63.3	46.6	33	0		83.3	70	43.3	30	0	0
	\bar{x}_2	100	95	70	45	15	5		10	5	10	0	0	0		5	0	0	0	0	0
d	\bar{x}_3	96.6	96.6	93.3	83.3	20	0	i	90	95	75	60	0	0	n	63.3	45	26.6	16.6	0	0
	\bar{x}_2	40	5	0	0	0	0		5	5	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
e	\bar{x}_3	80	73.3	40	26.6	6.6	0	j	50	26.6	30	20	0	0	o	43.3	20	10	6.6	0	0
	\bar{x}_2	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0

図4. 灯火パターンII群の視認率と有色閾値の関係

できない。

視認率60%の場合には、1 湊においてI群では視力0.4、II群において視力1.0がプロットされる。さらに視認率40%では、各距離で各視力に対する目に到達する照度は低くなっていく。

これらの灯火パターン視認率と視力の関係を、白灯、紅灯、緑灯の閾値との関連でみると興味深い。緑灯の閾値が高いのでII群が見にくくなっていることがうなづける。40%の視認率の場合をみれば、さらにその閾値との関係がはっきりする。

d 緑灯の組合わされたパターンII群では、I群に比べて距離1 湊、1.5 湊で視認率がきわめて低く σ が大でばらつきが大きい。このことは表3で5名のうち2名が緑灯の視認力が弱かったので、 \bar{x}_3 と \bar{x}_2 に分けて比較していることともつながる。そこで、灯火パターンII群の視認率と有色閾値の関係を検討してみることにした。図4のとおりである。

被検者Y.O.Iに比べてM、Kは白灯赤、緑の点光源の閾値が高い。紅灯、緑灯の有色閾は、光源が無色の光源と色フィルタの組合わせと考えられるので、色フィルタの視感透過率 ρ として Etc/ρ に相当する閾値であるが、この緑灯の有色閾値 $7.61 \times 10^{-7} lx$ ($\sigma = 3.95 \times 10^{-7}$)と灯火パターンII群の視認率 \bar{x}_3 、 \bar{x}_2 と比較した。 \bar{x}_3 との比較では問題がないが、 \bar{x}_2 との比較では④⑥⑧⑩⑫⑭⑯点においていちじるしく視認率が低い。これは白、紅灯と緑灯の組合わせによる光刺激のアンバランスにより緑灯が見にくくなるというような、何らかの原因により生ずるものと推察されるが、その原因については今後の検討にまたざるを得ない。

ねんのため、被検者M、Kに対して、眼底検査、暗順応検査等をしたが眼疾の所見は得られず、Anomaloscopによる精密検査を実施したが正常範囲であった。しかし色彩弁別検査では誤数(Mは36、Kは31)が若干多かった。

e 以上述べてきたことは、2つの実験を通じて考えられる夜間における船舶灯の視認力の実情である。しかし航海士らに必要な視力基準の検討には、操船者としての技術的な立場からの判断が大きく左右するので、一概に結論を出すことはむずかしい。

しかし一応整理してみるとつぎのとおりである。

(1) 裸眼視力のみ許される場合

視力(両眼視力)1.0以上あることがのぞましい。

0.5 湊では視力0.4以上あればよい。1 湊では白、紅灯の灯火パターンでは視力0.6あればよいが、緑灯の含まれた灯火パターンでは視力1.0でも視認され難い。1.5 湊では白、紅灯のパターンで視力1.0でよく視認されるが、緑灯が含まれると同様にいちじるしく低下する。

(2) 矯正視力が認められる場合

矯正視力で1.0以上あることがのぞましい。

ただしこの場合、船外において荒天時の雨雪の中での作業、例えば救命艇をおろす作業、船首での見張等では眼鏡使用が不利となるであろうことが推察される。このような場合の眼鏡の使用可否の問題は別途検討を要す。

(3) 裸眼視力のみ許され双眼鏡を常備して使用できる場合

裸眼視力(両眼視力)0.6以上あることがのぞましい。

灯火パターンの視認力実験では、灯火パター

ンの各条件での灯火の配列も含めた正答率を視認率としているのであって、灯火の存在については、白、紅、緑灯の閾値に近い線まで認められる。灯火の存在が認められれば双眼鏡により灯火パターンを確認すればよい。したがって、現実に緑灯单独の場合は少ないので、よく視認される白、紅灯の視認率を問題とすればよい。

灯火パターンI群の視力別視認率を表3で見ると、0.5 湮で視力 0.4 と 0.2 の間に、1 湮では視力 0.6 と 0.4 の間に、1.5 湮では視力 1.0 と 0.8、0.6 と 0.4 の間に急激な低下が認められる。また灯火パターン視認率80%、60%、40%と視力との関係を図4からみても、視力 0.6 以上あることがのぞましい。

また、双眼鏡を常備していても、狭い港内操

船等で船が錯綜し、近距離で双眼鏡をひんぱんに使用するゆとりがなく、裸眼視力での操船がより有利であると考えられる 0.5 海湮以内の視界においては、視力 0.4 まで許されるので、視力 0.6 以上あればこの点も満足できる。

(神田 寛，小原武之，本研究はIVの研究とともに、1969年海難防止協会委託研究費によるものである。一海技従事者の視力に関する研究—中間報告書に所載されているが東京大学大島正光先生，東京医科大学松尾治亘先生・倉田浩二先生，福田忠俊先生，航海訓練所千原義男先生，労研狩野広之先生のご協力をいただいた。)