

航海灯によるアスペクト判定に関する基礎研究¹⁾

村井康二*・林 祐司*

Basic Study on Discrimination of Aspect Angle by Navigation Lights

Koji MURAI* and Yuji HAYASHI*

Navigators would estimate a relationship among own ship and others by visually looking at navigation lights and the silhouette of other ships at night. An optimal estimation of an aspect angle is the most important for safe navigation to avoid target ships. Here, an aspect angle is a relative angle between a target heading and a target bearing that is used to catch the ship's relationship. Although locations of the navigation light on a ship are prescribed by international regulations for preventing collision at sea, their spatial relationship is not necessarily fixed with every ship.

We challenge to develop a positive estimation method of an aspect angle with locations of navigation lights on two dimensions. In this paper, we have three steps to achieve our purpose, 1) to collect and analyze data for positions of navigation lights in her general arrangement, 2) to find characteristics of estimation errors for aspect angles by simulation study with locations of an oil tanker model including learning effects, 3) to propose a simplified estimation method by modifying positional arrangement of navigation lights.

The results showed characteristics of estimation errors for aspect angles and the effectiveness of our proposed estimation method by simulation study.

key words: aspect angle, navigation light, ships relationship

1. はじめに

夜間において航海者は、自分が操縦する船舶（以下、「自船」と呼ぶ）と周囲に存在する船舶（以下、「他船」と呼ぶ）との相対的な見合い関係（以下、「アスペクト」と呼ぶ）を航海者の視野における他船の航海灯の配置（以下、「航海灯配置」と呼ぶ）、船影、レーダおよび ARPA (Automatic Radar Plotting Aids) からの距離・方位情報、視程を左右する気象・海象条件等を総合して判断していると考えられる。そして、気象・海象条件が良好で他船の灯火および船影が容易に視認できる場合には、航海計器に依存せず、「航海灯配置」および「船影」によるアスペクトの判定が最も基本的な方法であるといえる。

アスペクトの正しい判定は、航海の安全確保のための重要な要件であり、この判定をより信頼性の高いものにするための研究は、船舶の安全航行を達成するために必要不可欠なものである。本研究では、自船と他船の見合い関係を表現するためのパラメータとしてアスペクトを用い、このアスペクトを「他船から見た自船の相対方位角」と定義する。

アスペクトは、自船を取り巻く航海環境の状況が航海灯配置を含めて一次的に存在し、その状況に対して認知能力をもつ航海者が合目的に把握した結果得られる情報であると考えられる。つまり、アスペクト判定は、「物理的な要素である船体における航海灯位置（以下、「航海灯位置」と呼ぶ）およびアスペクト」および「主体的な要素である航海者の認

* 神戸大学海事科学部
Kobe University, Maritime Sciences

1) 本論文の一部は、2002 年東京富士大学で開催された日本応用心理学会第 69 回大会にて発表したものである。

知能力」とに依存すると考えられる。そこで、視覚によるアスペクト判定を容易かつ確実なものにするためには、1) 航海灯位置の現状を明確にすること、2) 航海灯配置とアスペクトの関係を明確にすること、3) 航海者のアスペクト判定能力の向上を支援する航海灯位置の人間工学的検討を行なうことが必要であると考ええる。

一方、夜間における見張りや航海灯の視認に関する先行研究は、自船に対する背景灯火の影響や眼球運動特性に注目して行われているものが多数存在するが、航海灯配置によるアスペクト判定に関する問題について注目した研究は、国内外を通して見られない。

本研究は、夜間において、視覚を用いて他船との見合い関係を判断するための重要要素である「航海灯配置」および「船影」のうち、まず航海灯配置とアスペクト判定の関係について着目する。そして、航海灯配置によるアスペクト判定の方法を確立することを主目的とし、1) 全長 50 メートル以上の動力船（マスト灯 2 本の設置を義務づけられている船舶）を対象に各種船型船舶における航海灯位置（マスト灯、げん灯および船尾灯）の現状調査を行ない、船種・船型別の航海灯位置の特徴を明確にする。そして、2) 調査結果に基づいた油槽船の航海灯配置によるアスペクト判定実験をシミュレーションにより行ない、アスペクト判定誤差の特徴について検討する。同時に、事前学習効果についても検討を行なう。さらに、3) 航海灯位置を変更した 3 種類のモデル船によるアスペクト判定簡便化法を提案し、その評価をシミュレーションにより行なう。

2. アスペクトと航海灯配置

2.1 アスペクトの概要

本研究では、他船との見合い関係を定量的に表現するための変数として、アスペクトを用いる。Figure 1 に 4 種類の自船-他船間の見合い関係とアスペクトの関係について示す。アスペクトとは、自船から他船を見たときの他船の向きをいい、自船からの視線と他船の船首方向のなす角度で表すのが一般的で、他船を基準として表現される。また、アスペクトの値は、船首方向から船尾方向までの 0 度から 180 度に存在し、他船の左右舷においてその値が表

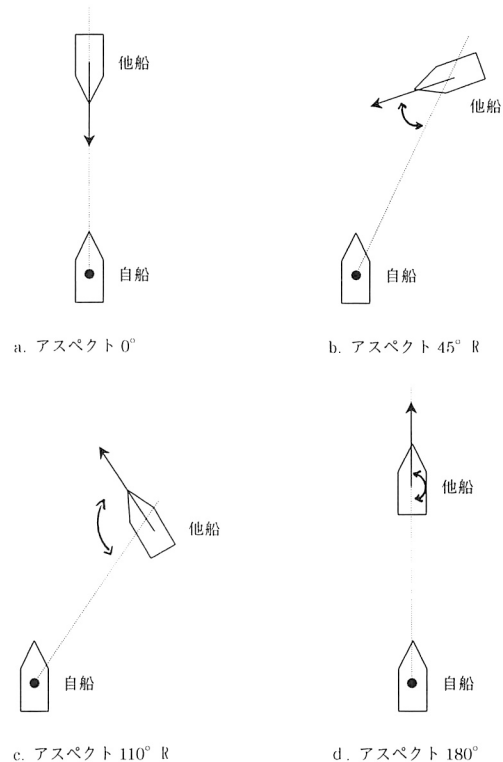


Figure 1 自船-他船間の見合い関係とアスペクトの関係

現される。

Figure 1 は、アスペクトが 0 度、45 度、110 度および 180 度の場合をそれぞれ示しており、見合い関係としては順に“正船首から向かってくる船舶（反航船）”、“右舷船首側からの反航ぎみの横切り船”、“右舷船首側からのほぼ同じ方向に進む（同航）横切り船”および“正船首の同航船”となる。そして、図中の矢印付実線および点線は、それぞれ他船の船首方向、自船から見た他船の視線を示しており、アスペクトは両者の交角となる。また、アスペクト 45 度および 110 度の角度値の後に付加された“R (Red)”は他船の左舷側を、“G (Green)”は右舷側を意味し、げん灯の色と合致する。

2.2 航海灯位置

航海灯の照射範囲および視認距離は、海上衝突予防法によりそれぞれ Figure 2 および Table 1 のとおり定められる。ただし、Figure 2 および Table 1 については、全長 50 メートル以上の動力船を対象としている。Figure 2 より照射範囲が船尾方向か

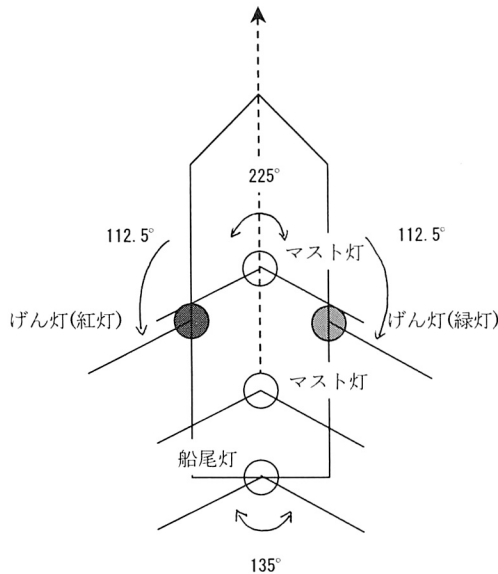


Figure 2 航海灯の照射範囲

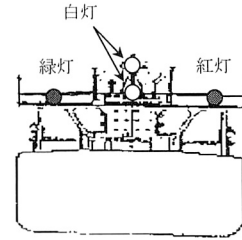
Table 1 航海灯の視認距離

マスト灯	6 海里
げん灯	3 海里
船尾灯	3 海里

ら左右 67.5 度 (合計 135 度) の範囲では、船尾灯のみしか視認することはできないために、本研究では正船首方向から左右 112.5 度 (合計 225 度) を見せる他船を研究の対象とする。また、視認距離については、2 海里先の他船を想定している。

次に、Figure 2 および Table 1 に示したとおり、全長 50 メートル以上の動力船は航海灯として、マスト灯 2 個、げん灯 2 個 (緑灯および紅灯) および船尾灯 1 個を有する。そして、他船の船首方向から左右 112.5 度 (合計 225 度) の範囲では、アスペクト 0 度 (正船首方向) 付近を除いて、マスト 2 個およびげん灯 1 個が視認できる。つまり、これら 3 個の航海灯配置がアスペクトにより変化する。アスペクトと航海灯配置の関係について、アスペクトが 0 度 (正船首方向) および 90 度 (正横方向) の場合の例を Figure 3 に示す。また、アスペクト約 65 度の場合の実例を Figure 4 に示す。

Figure 3a より、アスペクト 0 度 (正船首方向) の場合はげん灯 2 個およびマスト 2 個を視認することが可能であり、アスペクト判定は容易である。



a. アスペクト 0°



b. アスペクト 90° G

Figure 3 アスペクトと航海灯配置の関係の一例 (アスペクト 0°, 90° G)

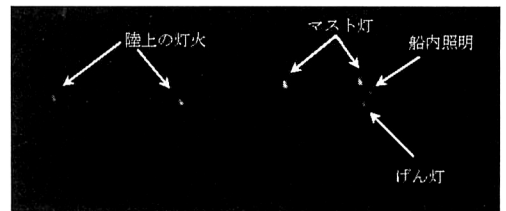


Figure 4 航海灯配置の実例 (アスペクト約 65° R)

一方、そのアスペクト以外では、Figure 3b および Figure 4 に示すとおり、3 個の航海灯配置は随時変化する。

3. 航海灯とアスペクト判定モデル

3.1 航海灯位置の現状

航海灯位置は、海上衝突予防法および同施行規則により規定される。しかし、その規定は多様な船型をもつ船舶に対して、航海灯の設置位置に許容範囲をもたせている。つまり、全長が同じ船舶でも、必ずしも航海灯位置は同一ではなく、アスペクトが同一の見合い関係においても、厳密には航海灯配置が船舶毎に異なる。このような同一アスペクトに対する航海灯配置の差異の存在は、航海灯配置によるアスペクト判定に誤差を発生させ、アスペクト判定の正確さを低減させる要因となる。

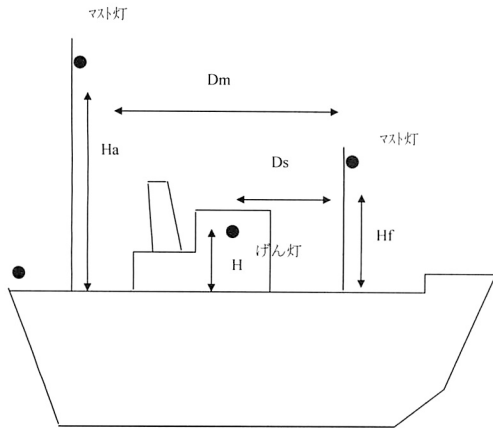


Figure 5 航海灯位置を表す5種類の変数

そこで、航海灯位置の実態を明らかにするために、長さ50メートル以上の船舶を対象として、客船・フェリー5隻、コンテナ船7隻、Ro-Ro船3隻、エタノール・ケミカル船3隻、Liquefied Petroleum Gas船3隻（以下、LPG船と呼ぶ）、油槽船16隻、ばら積船22隻の7種類の合計59隻に対して航海灯位置の調査を行なう。ここで、Ro-Ro船とはRoll-on/Roll-off船を意味し、岸壁と自船の間に車が渡る橋を渡して、この上にトレー等を行なう船舶をいい、船型が他の船種と大きく異なる。

本調査では、航海灯位置を表すために5種類の変数（ D_m , D_s , H , H_f および H_a ）を用いる。これらの変数は、それぞれ前後マスト灯間の水平距離[m]（ D_m ）、前部マスト灯からげん灯までの水平距離[m]（ D_s ）、最上層の全通甲板（船体の最前部より最後部まで貫く甲板のこと）からげん灯までの高さ[m]（ H ）、最上層の全通甲板から前部マスト灯までの高さ[m]（ H_f ）、最上層の全通甲板から後部マスト灯までの高さ[m]（ H_a ）である。Figure 5 に各変数の定義を図示する。ここで、各航海灯の高さの基準は、最上層の全通甲板または喫水線を採用することが考えられるが、本研究では「各航海灯の相互間の配置に注目していること」および「航海灯の設置位置の基準は、最上層の全通甲板からの高さをもって規定されていること」から、全通甲板をその基準に用いることにする。

調査結果の一覧を Table 2 に示す。船舶番号の上1桁は前述した7種類の船舶に対して客船・フェリーを「1」、コンテナ船を「2」、Ro-Ro船を「3」、エ

タノール・ケミカル船を「4」、LPG船を「5」、油槽船を「6」、ばら積船を「7」として、船種の区別をするために用いる。また、下2桁は船種毎の船舶固有番号を表す。 G/T は総トン数、 L_{pp} は垂線間長（全長に準ずるもの）、 B は全幅、 D_m , D_s , H , H_f および H_a はそれぞれ前述したとおりである。

3.2 基本モデルパラメータの選択と現状

アスペクト判定は、航海者が二次元的な航海灯配置を如何にアスペクトとして三次元的に認知するかということである。ここで、二次元的とは、他船の各航海灯の位置（航海灯位置）を平面的な位置（航海灯配置）として認知することを意味し、三次元的とは、自船と他船の空間的な見合い関係を意味する。

本研究では、航海灯配置によるアスペクト判定のためのモデルとして、「マスト灯2個およびげん灯1個を頂点とする三角形」（Figure 6 の点線で示された三角形）および「マスト灯2個を頂点とする直角三角形」（Figure 6 の実線で示された三角形）を提案する。そして、三角形の頂角（ $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ および ϵ ）を、航海灯配置を表現する状態パラメータとし、ここでは、これらをモデルパラメータと呼ぶ。Figure 6 は、アスペクト90度の航海灯配置とモデルパラメータを示す。アスペクト90度の場合のモデルパラメータ $\alpha_{90} = \angle cab$, $\beta_{90} = \angle acb$, $\gamma_{90} = \angle abc$, $\delta_{90} = \angle acd$ および $\epsilon_{90} = \angle cad$ は各船舶固有の値をもち、これらを特に基本モデルパラメータと呼ぶ。ここで、基本モデルパラメータ δ_{90} および ϵ_{90} は補角関係にある。

3.3 基本モデルパラメータの特徴

Figure 7 に調査した59隻分の基本モデルパラメータの結果を示す。

Figure 7 の各基本モデルパラメータの特徴を観ると、前部マスト灯位置でげん灯と後部マスト灯がなす角度 α_{90} は、客船・フェリーの75度前後を除き、全て約10度以下に集中しており、比較的船種によるばらつきの少ないパラメータであることがわかる。

後部マスト灯位置でげん灯と前部マスト灯がなす角度 β_{90} は、全体としては70度前後に分布するが、客船・フェリーでは数度以下、Ro-Ro船では

Table 2 各種船舶の航海灯位置

船舶番号	G/T	Lpp [m]	B [m]	Dm [m]	Ds [m]	H [m]	Hf [m]	Ha [m]
101	17345	199.5	25.0	108.7	1.1	8.4	11.4	20.3
102	13597	196.0	27.0	77.0	1.2	10.3	13.4	25.6
103	15188	189.0	27.0	108.5	1.1	10.2	13.2	24.2
104	21906	174.0	24.0	124.5	1.5	7.9	11.1	21.0
105	23340	167.0	24.0	83.5	1.3	6.3	10.9	19.2
201	58923	299.8	37.2	219.1	215.0	17.5	21.0	30.4
202	49716	288.3	37.2	217.0	213.4	13.4	17.9	28.0
203	56248	279.1	37.8	182.1	172.6	15.3	18.1	28.5
204	60177	300.0	37.1	218.5	214.0	15.4	17.7	30.8
205	49375	275.0	32.2	195.1	190.5	15.2	19.1	31.1
206	49779	294.1	32.2	206.1	203.6	14.4	16.4	30.9
207	48305	276.5	32.2	202.0	194.8	14.2	19.7	30.7
301	5310	139.7	21.5	98.1	41.6	8.5	14.2	18.7
302	5930	134.7	22.4	79.7	78.5	8.9	15.4	20.0
303	5968	157.9	23.0	139.3	35.1	6.8	11.4	17.3
401	20597	175.0	27.7	145.1	142.7	10.1	16.2	21.9
402	5973	125.0	18.8	90.8	87.9	6.6	8.1	14.7
403	57235	182.8	32.2	142.8	139.7	6.8	11.7	18.9
501	44549	230.0	36.6	176.3	174.0	6.5	9.5	20.6
502	23519	179.0	27.4	148.3	146.1	14.9	18.6	24.8
503	44546	230.0	36.6	178.3	175.2	6.0	9.7	17.3
601	56924	241.0	42.0	218.3	213.2	14.2	17.8	27.6
602	24433	185.2	32.2	156.7	151.6	6.2	21.4	32.9
603	56951	241.0	42.0	216.3	213.1	6.0	13.8	29.3
604	57145	244.4	41.2	232.7	218.5	5.0	12.6	28.3
605	163822	340.0	56.0	285.0	280.0	5.8	11.6	24.9
606	148362	333.0	60.0	283.0	277.8	10.8	13.6	25.2
607	57463	244.8	41.2	203.4	200.1	5.9	10.8	23.7
608	147007	322.0	58.0	182.8	179.7	13.6	14.1	28.0
609	156837	328.0	57.0	262.0	255.7	5.2	10.3	19.3
610	146849	338.0	58.0	276.8	272.0	12.4	15.5	31.1
611	147580	333.0	60.0	260.0	254.2	10.9	15.8	32.1
612	137712	315.5	58.0	254.3	247.6	8.7	16.1	26.4
613	79978	269.9	46.0	215.4	206.6	5.3	13.3	24.3
614	52196	232.0	42.0	181.2	172.9	11.7	15.9	25.9
615	55962	241.4	42.0	200.4	190.1	7.3	11.4	25.1
616	76992	274.3	43.2	193.5	187.1	5.9	12.8	26.8
701	36615	225.0	32.2	211.0	208.3	6.7	7.5	25.8
702	18793	176.5	27.0	147.4	145.4	9.7	11.9	23.7
703	18108	169.0	27.0	140.0	137.9	11.3	13.0	24.7
704	15500	164.5	24.0	135.6	132.6	10.5	16.0	23.8
705	14599	157.3	26.0	124.0	121.3	12.0	18.3	22.5
706	87803	289.0	45.0	241.4	236.5	7.5	18.3	32.2
707	36604	225.0	32.2	187.6	182.5	4.1	11.2	19.4
708	26063	185.7	30.4	157.1	154.0	11.7	12.3	21.0
709	18302	166.0	27.0	142.1	138.3	5.4	10.2	31.5
710	18112	169.3	27.0	130.9	127.3	12.5	13.9	25.6
711	77274	273.0	43.0	288.5	225.6	5.7	11.8	25.2
712	93698	290.0	46.0	253.1	250.0	6.2	12.7	26.6
713	32744	198.0	31.0	164.5	159.4	11.4	12.6	20.2
714	26062	185.7	30.4	162.7	157.6	4.9	6.9	17.6
715	18108	169.0	27.0	146.0	141.1	11.3	12.0	23.6
716	11121	148.2	22.8	115.1	111.0	12.2	13.9	26.1
717	77321	273.0	43.0	242.8	237.7	5.6	7.8	25.1
718	77255	273.0	43.0	233.1	229.9	6.0	12.5	20.7
719	27011	189.8	31.0	140.4	137.3	12.0	14.7	21.8
720	18302	166.0	27.0	141.1	138.0	6.1	8.6	16.9
721	26070	185.7	30.4	161.8	158.4	9.8	10.8	18.6
722	48323	235.0	38.0	202.6	199.3	5.5	10.6	20.5

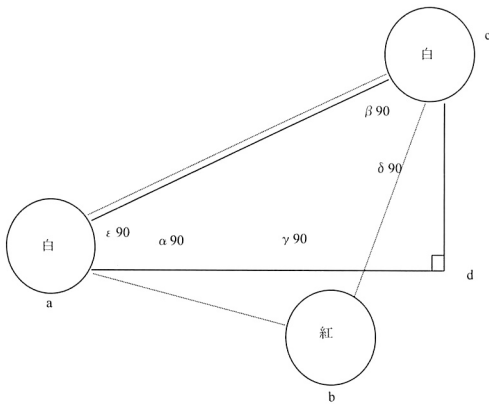


Figure 6 モデルパラメータの定義

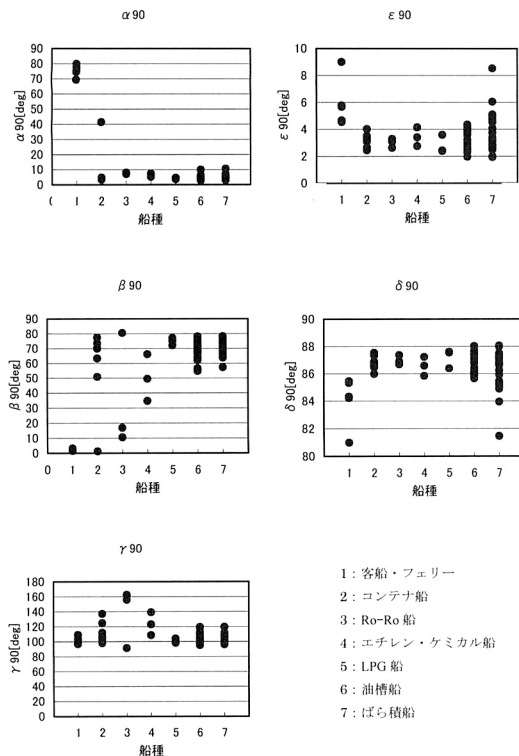


Figure 7 基本モデルパラメータの調査結果

10度や20度のものがあり、エタノール・ケミカル船では約50度を中心にばらつきの幅が大きい。これらより、 β は船種によるばらつきが大きいパラメータであるといえる。

げん灯位置で前部マスト灯と後部マスト灯がなす角度 $\gamma 90$ は、全船種を通じて、平均が約105度で、大部分は95度以上120度以下に分布している。エタノール・ケミカル船やRo-Ro船の一部では、 γ が

140度から160度の大きい値を示すものもある。調査の結果より、 γ は α ほど一定ではないが、 β ほどばらついていないといえる。

後部マスト灯位置で前部マスト灯と後部マスト灯がなす角度 $\delta 90$ は、前部マスト灯位置において後部マスト灯が水平となす角度である $\epsilon 90$ と補角関係にある。 $\delta 90$ ($\epsilon 90$)は全船種で81度から88度(2度から9度)の7度以内に収まっている。全船種で88度(9度)を超えるものはない。そのために、 δ は α より船種による変動の少ないモデルパラメータであるといえる。

これらの結果から、パラメータには、船種別による差異とばらつきがあることがわかる。

3.4 アスペクト判定と最適モデルパラメータ

航海灯配置を用いたアスペクトの判定とは、視覚的に認知している二次元的な航海灯の相対位置を表すモデルパラメータを基礎データとして、これを三次元的な航海灯位置に変換する作業であると考えられる。つまり、全船種に対して変動の少ないモデルパラメータを媒介変数にすれば、誤差の少ないアスペクト判定を行なうことができると考えられる。そこで、前節で得られた結果から、全船種に対して変動の少ないモデルパラメータ α または δ (または ϵ)がアスペクト判定に用いるパラメータとして優れていると考える。

さらに、これら3つのモデルパラメータのうち、 α には角度判定の際、 α を含む三角形の二辺が水平、垂直という基準として参照可能な方向を含まない。つまり、角度の判定が容易でないと考えられる。他方、モデルパラメータ δ (または ϵ)の場合は、必ずしも明示的ではないが、その角を挟む一辺が、垂直または水平で、これらが視覚的に参照軸として有効に働く可能性があることから、 α に比較してその角度判定は容易であると考えられる。また、モデルパラメータ δ と ϵ は、補角関係にあり、角度判定の際、相互補完的な働きをすることが期待でき、両者を常に参照することで角度判定が容易になるという利点がある。

以上のことから、アスペクトを視覚的に判定するために利用するモデルパラメータとしては、 δ (または ϵ)が適当であると結論する。

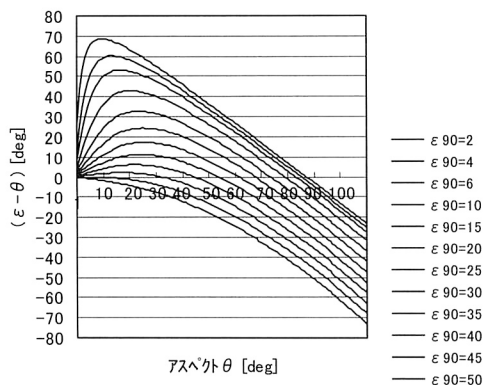


Figure 8 $(\varepsilon - \theta)$ 値とアスペクト θ の関係

4. 最適基本モデルパラメータの変更とアスペクト判定

前章で採択した最適モデルパラメータ δ (ε) の値が、アスペクト判定誤差の改善にどのように関係するかについて、ここでは検討する。具体的には、アスペクトとモデルパラメータの相関を明らかにするために、両者の差がアスペクト変化に対してどのように変化するかを (1) 式により計算する。本研究では、基本モデルパラメータ $\varepsilon 90$ を 2, 4, 6, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 度および 50 度と変更し、アスペクト θ を 0 度から 112 度まで変化させた場合の $(\varepsilon - \theta)$ 値を求める。計算結果を Figure 8 に示す。

$$(\varepsilon - \theta) = 90 - \tan^{-1} \{ (H_a - H_f) / (D_m \times \sin \theta) \} - \theta \quad (1)$$

Figure 8 より、アスペクト θ と $(\varepsilon - \theta)$ 値の関係については、アスペクトが約 15 度以下の場合には $(\varepsilon - \theta)$ の値がアスペクト変化に対して非線形であり、アスペクト判定は困難であると考えられる。また、アスペクトが大きくなるとその関係は線形に漸近し、アスペクト判定は比較的容易になると予想できる。

5. アスペクト判定実験

ここでは、4 章の成果を踏まえて、実船の航海灯位置を用いたアスペクト判定実験をシミュレーションにより行ない、1) アスペクト判定誤差の特性、2) 事前学習効果、3) アスペクト判定誤差を低減させるための改善策の実行可能性について検討する。

5.1 実験概要

航海灯の模擬は、油槽船例 1 隻（以下、「実モデル船」と呼ぶ）に加えて、基本モデルパラメータ $\varepsilon 90$ が 30 度、35 度および 40 度の 3 隻のモデル船（以下、「モデル船 1」、「モデル船 2」および「モデル船 3」と呼ぶ）の合計 4 種類を用いる。

シミュレーションは、航海灯を 15 インチのディスプレイ上に映像として表示する。また、アスペクトの変化は、左右 112.5 度の範囲で一様乱数を発生させ対応する。

一回の実験は、被験者に対するアスペクトを変化させた航海灯の提示と、これらの提示に対する被験者のアスペクト判定報告の繰返しをもって行なう。そして、20 人の被験者に対して、一人あたり 360 回のアスペクト判定実験を行なう。

被験者は実モデル船に対して 3 グループ、モデル船に対して 1 グループの合計 4 グループ（1 グループは 5 人で構成する）とする。具体的には、実モデル船に対するアスペクト判定実験を 1) 一切、事前学習を行なわない、2) 実験対象船のアスペクトを 0 度から 360 度まで 15 度間隔で各アスペクトに対する航海灯配置を十分に事前学習する、3) アスペクト 60 度の場合の航海灯配置のみを十分に事前学習するの 3 グループおよび 4) モデル船を対象とした実験として、上記 1) の条件を 4 人の被験者に、2) の条件を 1 人の被験者に対して行なう。ここで、被験者は国土交通省航海訓練所の練習船による 3 カ月の乗船経験を有する神戸商船大学商船システム学課程航海学コース（現、神戸大学海事科学部）の学生である。

5.2 実験手順

実験の準備および手順は、以下のとおりである。Figure 9 にフローダイアグラムを示す。

1. 実験者は、航海灯の模擬映像を被験者の目の高さで、前方 1.6 m に設置した 15 インチディスプレイ上に、他船までの距離を 2 海里と想定して提示する。そして、ディスプレイ上に模擬した航海灯以外の視覚的情報の影響を排除するために、実験室は暗室とし、ディスプレイ周囲には暗幕を張り、他の物が一切視認できないようにする。
2. 被験者は、事前学習を行なう場合には、定め

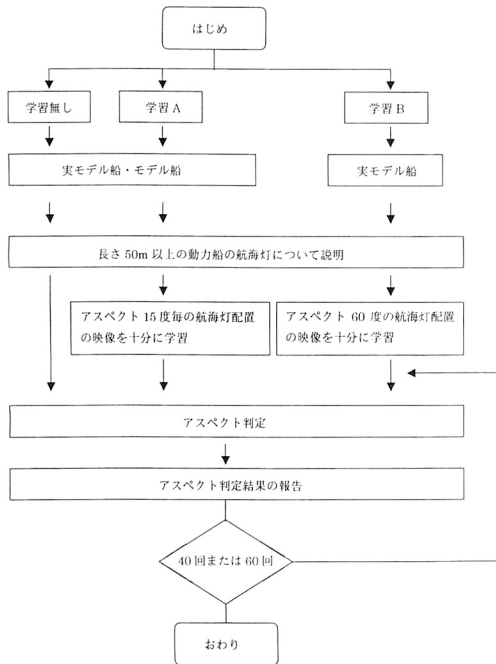


Figure 9 実験手順

られた学習条件に従い学習を行なう。

a) 学習 A: アスペクト 15 度間隔の航海灯配置について十分に事前学習する。

b) 学習 B: アスペクト 60 度のみの航海灯配置について十分に事前学習する。

なお、モデル船を対象とした実験に対する事前学習は、学習 A のみである。

3. 実験者は、長さ 50 m 以上の動力船の航海灯に関する規定の概要（視認距離、射光範囲および設置位置）について説明する。

4. 実験者は、モデル船を対象とした実験の場合には、モデルパラメータ ε およびアスペクト θ の

関係について説明する。

5. 実験者は、ディスプレイ上に航海灯の模擬映像を表示する。そして、被験者はアスペクトを判定し、判定結果を口頭により報告する。

6. 被験者は、アスペクトを連続して 60 回変化させる実験を 2 回、アスペクトを連続して 40 回変化させる実験を 6 回行なう。つまり、合計 360 回のアスペクト判定を行なう。実験者は、この実験を 4 グループ、合計 20 人の被験者に対して行なう。

5.3 アスペクト判定実験結果と考察

アスペクト判定は、 ε 等のモデルパラメータからアスペクト θ を推定するという航海者の認知活動の一つである。原理的には、対象船のモデルパラメータ ε を目測し、これから Figure 8 の基本モデルパラメータ ε_{90} が約 3 度の $(\varepsilon - \theta)$ 曲線の値を差し引きすることにより達成できる。ここで、 $(\varepsilon - \theta)$ 曲線の値をどのようなプロセスで見つけているのが重要となる。つまり、この曲線が線形で単純であるほど判定が容易かつ正確に行なわれる可能性が高いと考えられる。したがって、単純な曲線になるモデルパラメータを見つけることができればアスペクト判定は容易になる。

5.3.1 アスペクト判定誤差の特性および事前学習効果（実モデル船）

実態調査により得られた油槽船のモデルパラメータを用いたアスペクト判定実験の結果について、航海灯配置に対する「事前学習無し」、「十分な学習あり（学習 A）」および「簡易学習あり（学習 B）」の各条件付きで行なったアスペクト判定実験の結果を

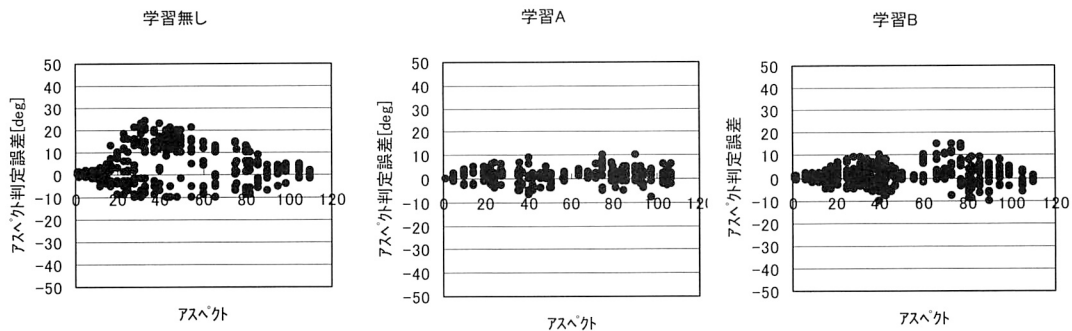


Figure 10 アスペクト判定誤差（実モデル船）

それぞれ Figure 10 に示す。Figure 10 で誤差が正側に現れる場合は、差し引いた値が十分でないことを示し、負側に現れる場合は、修正過度になる。

Figure 10 より、アスペクト 0 度および 110 度付近では学習条件に関係なくアスペクト判定誤差は小さく現れている。特に、0 度付近ではそれが顕著である。そして、90 度付近では 5 度から 10 度程度誤差が生じ、0 度付近に比べてアスペクト判定が困難であることを示している。0 度付近では 2 個のげん灯が利用でき、またマスト灯の垂直性から判定が容易になる。110 度付近は船尾灯の見え始めるアスペクトということでアスペクトの判定が容易になる。

事前学習の効果については、学習 A (最大誤差 +10 度, -8 度), 学習 B (最大誤差 +16 度, -10 度), 事前学習無し (最大誤差 +25 度, -10 度) の順でアスペクト判定誤差は大きい。全体としての誤差の標準偏差も同様の傾向を示している。

一般に情報量が多いほど“あいまいさ”が低下する。事前学習有りは情報が与えられたと見なされ、その場合に誤差が小さくなるのは当然と考えられる。ただし、情報の伝達ポテンシャル (情報にさらされた時の情報吸収能力) には個人差があり、事前学習が常に有効に働くとは限らないが、本実験の場合は有効であると判断できる。結果として、誤差の最大幅が学習 A では事前学習無しに比べて半減している。

事前学習無しの場合のアスペクト判定誤差は、アスペクト 0 度および 110 度付近の約 10 度内で小さく、0 度付近はそれが特に顕著である。誤差のピークはアスペクト 30 度から 60 度付近にあり、最大で 10 度の修正過多 (負側) と 25 度の修正不足 (正側) が発生している。

部分的な学習効果 (学習 B) としては、情報が与えられるアスペクト (60 度) 付近でのアスペクト判定誤差が、アスペクト 0 度の場合と同程度に減少している。さらに、アスペクトが 60 度以下の範囲では、事前学習無しの場合、最大 25 度あるアスペクト判定誤差が、最大 10 度に減少し、学習効果は著しい。ただし、アスペクト 60 度以上の範囲では、事前学習無しと同程度のアスペクト判定誤差を示し、改善は見られない。アスペクト 0 度は明確に判別できるが、アスペクト 90 度は明確に判別できない。アスペクト 60 度の情報が与えられる場合、アスペ

クトが容易に判定できる 0 度との間のアスペクトに対する推定能力が向上し、他方、アスペクト判定が困難な 90 度との間のアスペクト推定能力は現状維持に留まっていると考えられる。また、この範囲では ε の変化率が極めて小さいことが特徴でもある。

十分な事前学習を受ける場合 (学習 A) には、アスペクト判定誤差が正負 10 度以内に収まり、誤差特性はアスペクトに対して平坦となり、アスペクトへの非線形的な依存性を殆ど示さない。

これらの結果から、事前学習を行なうことにより航海灯によるアスペクト判定誤差は、全体の誤差幅で約 17 度小さくなり、これは事前学習無しの場合からの半減を意味する。また、一つのアスペクト情報のみを与える場合でも、誤差幅が 8 度減少する。これは、約 3 分の 1 の減少を意味する。

以上の結果から、長い乗船経験による判定能力の向上は当然期待されるところであるが、事前学習によってもアスペクト判定の誤差を大幅に低減できる可能性があると考えられる。また、アスペクト 90 度の明確な判定が可能になれば、全体の判定誤差の低減が可能となることが期待できる。

5.3.2 アスペクト判定簡便化法の誤差特性 (モデル船)

Figure 8 を参考に、アスペクト判定を簡便化する方法として、 $(\varepsilon - \theta)$ 曲線の値の大部分が、 ± 10 度以内に収まる曲線に対応する ε_{90} を基本モデルパラメータにもつ航海灯位置を採用し、目測するモデルパラメータ δ の値を、そのままアスペクト θ の値とする方法を提案する。この提案方法では、アスペクト約 60 度以内で、判定誤差が ± 10 度以内に収まることが期待できる。

具体的にその実行可能性および有効性を確かめるため、基本モデルパラメータ ε_{90} がそれぞれ 30 度、35 度、40 度である 3 隻のモデル船 (モデル船 1, モデル船 2 およびモデル船 3) を対象とするアスペクト判定実験を行なう。そして事前学習無しの場合の結果を Figure 11 に、また十分な事前学習を行なう場合の結果を Figure 12 に示す。

Figure 11 より、事前学習無しの場合、判定誤差は若干、 $(\varepsilon - \theta)$ 曲線の非線形部分と相関しているように見えるが、アスペクトに対する依存を明確には

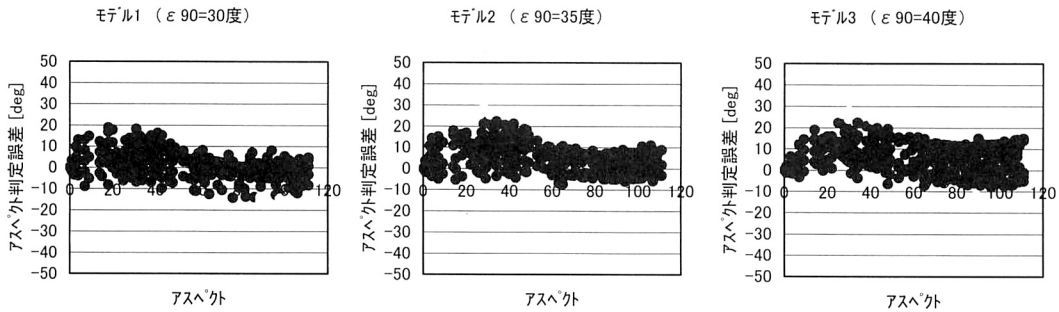


Figure 11 アスペクト判定誤差（モデル船，学習無し）

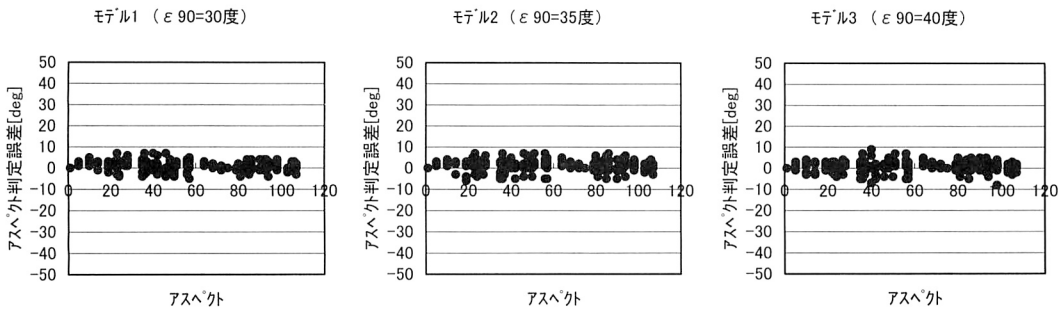


Figure 12 アスペクト判定誤差（モデル船，学習 A）

示さない。また、今回、実験に採用したモデル船が、判定誤差の許容範囲を ± 10 度と仮定して選定されたモデルパラメータ ε をもつことを考慮すれば、この ± 10 度を許容しているアスペクト約60度までの範囲での判定誤差は、この許容誤差と被験者の判定誤差の和となる。アスペクト判定誤差の最大値および最小値は、モデル船毎にそれぞれ+19度、-14度（モデル船1）、+22度、-7度（モデル船2）、+22度、-8度（モデル船3）であり、実モデル船の事前学習無しの場合に対する判定誤差（+25度、-10度）と比較するとモデル船1の修正過度を除いて、若干ではあるが判定誤差は小さい（危険率1%有意）。この点から考えれば、提案する簡便なアスペクト判定方法も十分実用可能であると考えられる。

次に、Figure 12 より十分な事前学習を行なう場合、全体としてのアスペクト判定誤差は、アスペクトに依存せず、最大で10度以下と小さい。各モデル船の最大値および最小値はそれぞれ+10度、-8度（モデル船3）、+8度、-7度（モデル船2）、+8度、-5度（モデル船1）程度に収まっており、基本モデルパラメータ $\varepsilon 90$ が小さいほど誤差が小さい。このモデル船の判定誤差と実モデル船で十分学習を

行なう場合（学習 A）の結果（Figure 10, 学習 A：誤差の最大値+10度，最小値-9度）を比較すると、全体として誤差は若干小さくなったが危険率5%で有意でなかった。

6. ま と め

本研究は、航海灯によりアスペクト判定を行なう際に発生するアスペクト判定誤差とその低減方法についての知見を得ることを目的とし、1) 航海灯位置の現状の把握および解析、2) 航海灯配置のシミュレーションによるアスペクト判定実験、3) アスペクト判定誤差の改善方法の提案について、それぞれ行なった。そして、アスペクト判定誤差の特徴を明らかにするとともに提案するアスペクト判定簡便化法の実行可能性と有効性の実証のためのアスペクト判定実験を行なった。以下にまとめを記す。

- 1) 航海灯位置の現状を7船種，合計59隻分を対象に調査を行なった。
- 2) 前後マスト灯，げん灯の3つの灯火により構築される空間の2つの三角形をアスペクト判定のためのモデルとして仮定し，5つの頂点角を状態変数的に捉え，これをモデルパラメータとした。

- 3) アスペクト 90 度の場合のモデルパラメータを特に基本モデルパラメータと呼び、59 隻分の調査データから、船種、船型への依存の少ないアスペクト判定のために最適な基本モデルパラメータを選定した。これは、前部マスト灯の位置において後部マスト灯と水平参照軸が成す角 $\epsilon 90$ であることがわかった。
- 4) アスペクト判定実験を航海灯配置に対する「事前学習の有無」別および「事前学習条件」別により、3 ケースに分類して行なった結果、十分な事前学習によりアスペクト判定の誤差幅が半減した。現状の基本モデルパラメータ $\epsilon 90$ のシステムでも事前学習を行なうことにより、かなりの誤差改善が期待できることがわかった。ここで“事前学習”とは、アスペクトとモデルパラメータの関係を視覚的に擬似体験し、理解を深めることであり、“十分”とはアスペクトを一定角度間隔で全面にわたって変化させ、そのときのモデルパラメータ $\delta(\epsilon)$ を視覚的に体験理解することである。
- 5) アスペクトを一点のみ事前学習した場合でも、アスペクトの全範囲ではなく局所的であるが、アスペクト判定誤差を約 3 分の 1 減少できた。不十分と考えられる事前学習であっても判定誤差の低減に十分有効であると考えられる。アスペクトの角度を変化させて事前学習の効果を検討することが今後の研究課題である。
- 6) 簡便なアスペクト判定法は、基本モデルパラメータ $\epsilon 90$ の変更を伴う点で問題なしとしなが、原理が単純で、誤差の低減についても有効であった。アスペクト判定誤差は、事前学習無しの場合に対応する現状の航海灯配置の場合と比較して小さくなると考えられる。

本研究は、航海灯によるアスペクト判定システムの最適化を実現するための基礎を支えるものである。今後とも、航海者のストレスを軽減し、船舶の安全航行に貢献するアスペクト判定システムとしての航海灯位置改善のため、系統的かつ人間工学的の研究が必要であると考ええる。また、アスペクトの判定実験にあたっては、ディスプレイ上での模擬ではなく、より実際的な実験環境で実験を行なうことが肝要であることから、操船シミュレータを利用して研究を進めて行く予定である。

謝辞

本研究にご助力いただいた神戸商船大学、三好雄一名誉教授に心からお礼申し上げます。また、本研究の一部は、佐藤愛子学術奨励金の援助を受けることにより行われました。

引用文献

- 日本航海学会編 1993 基本航海用語集. 海文堂.
古荘雅生・友永正昭・甲斐繁利 1993 夜間における高速船操縦者の見張りについて. 日本航海学会論文集, 90, 339-350.
若生知己・楢崎幸一・稲垣襄二 1974 航行安全上からみた航海者のための視覚伝達に関する研究—III—目の感度分布と背景光の関係—. 日本航海学会論文誌, 52.
海上保安庁警備救難部航行安全課監修 1990 図解海上衝突予防法. 成山堂.
宮本榮編 1996 図解船舶・荷役の基礎用語. 成山堂.
JSEA 1991 Shipbuilding and Marine Engineering in Japan.
JSEA 1995 Shipbuilding and Marine Engineering in Japan.
船舶技術協会 1996 船の科学, 1-12.
(受付: 2003. 7. 9, 受理: 2004. 1. 15)