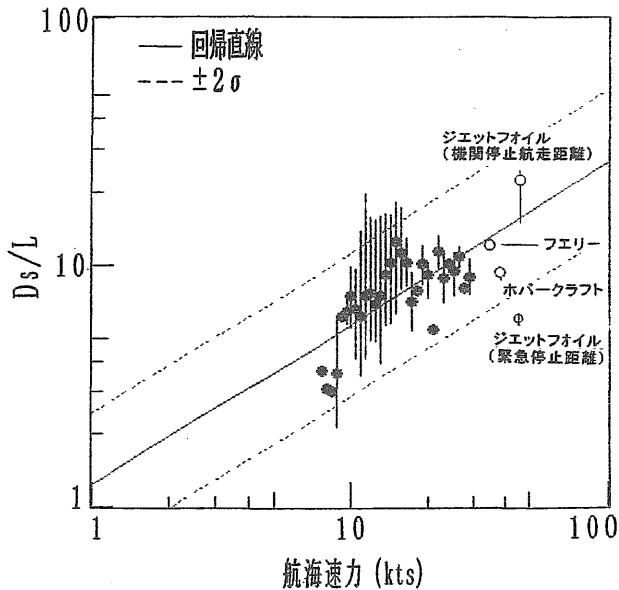


a) 全長と停止距離の関係



b) 速力と停止距離の関係

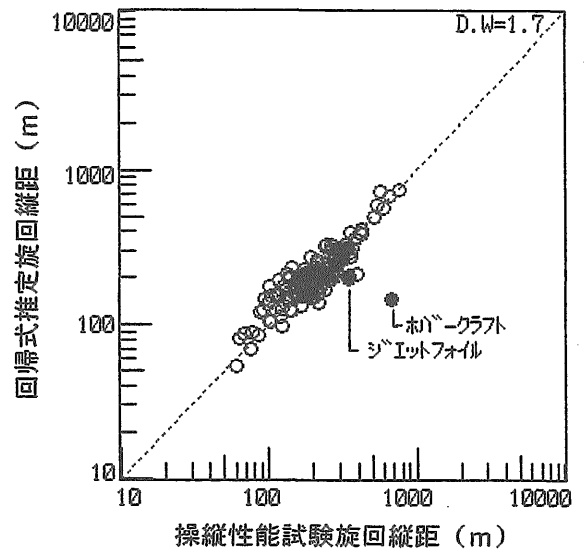
図-3.6 停止距離特性

ビン・ワトソン比は ($r_s=0.93$, $t_L=17$, $t_V=10$, $D.W=1.36$) である。

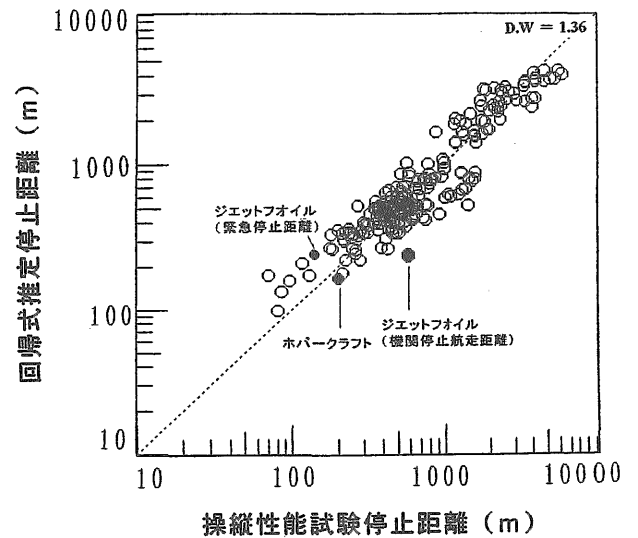
3) 操縦性能試験特性と重回帰式で推定した操縦性能特性の関係

推定式の妥当性は、操縦性能試験値と操縦性能試験のL、Vを用いて重回帰式で計算した推定値(旋回縦距離：図-3.7.a)、停止距離：図-3.7.b)の関係を示した。

例えば、図-3.7.a)の横軸は操縦性能試験の旋回縦距離、縦軸は重回帰式による旋回縦距の推定値を示す。分析結果は、次の通りである。



a) 旋回縦距離の推定



b) 停止距離の推定

図-3.7 操縦性能試験特性と重回帰式推定操縦性能特性

- ①旋回縦距離の重回帰式 (3.6) のダービン・ワトソン比; $D.W$ は、停止距離 (式 (3.7)) の値に比較して大きい。即ち、推定精度は式 (3.6) の方が高いので、航行環境評価指標の規格化要素としては旋回縦距離を採用した。
- ②実船の操縦性能特性は、船種や積載重量によって変化する。また、推定値は平均を表しているので分散誤差が生じる。したがって、将来的にはAISを利用して正確な操縦性能特性を把握する必要がある。

3.2.4 ARPAを用いた船舶長の観測精度

衝突予防援助装置の航行環境評価指標要素としては、船舶の操縦性能特性を考えているので、ARPAで

相手船の船舶長を測定して旋回縦距離と停止距離を推定する必要がある。

したがって、新型ARPAでは船舶長を測定する機能を新しく改造して付加した。

ここでは、ARPAレーダを用いて測定した相手船舶船長の観測精度について検討した。

なお、相手船の船舶長を測定する方法として画像情報を用いた試み¹⁷⁾はあるが実現していない。

a) レーダ性能特性の概要

船舶レーダは、電波を用いて目標物の距離と方位を知る装置であり、文献¹⁸⁾を引用するとレーダ電波の受信反射電力と距離分解能は、次の様に与えている。

レーダ電波の受信電力； P_R は、レーダの送信出力； P_T 、送受信アンテナの利得； G 、レーダ目標の有効反射面積； S 、電波の波長； λ 、目標物までの距離； R として、式 (3.8) で決まる。

$$P_R = P_T \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot S / [(4 \pi)^3 \cdot R^4] \quad (W) \quad (3.8)$$

レーダの最小距離分解能； r (m) は、パルス幅； τ (μ sec) で決まる。

$$r = 150 \tau \quad (m) \quad (3.9)$$

通常、ARPAレーダでは使用レンジによってパルス幅を変えている。今回の場合、パルス幅は、3nmレンジ(1 Nautical Mile : 1nm=1852m)では $\tau = 0.2 \mu$ sec、6nmレンジでは $\tau = 0.6 \mu$ secを使用している。

したがって、最小距離分解能は、 0.2μ sec幅パルスでは約30m、 0.6μ sec幅パルスでは約90mになる。

b) 実船調査の概要

船舶長の観測調査は、「銀河丸」(航海訓練所・練習船)と、サンフラワー・フェリ「こがね丸」(関西汽船、株)を利用して、大阪港と東京港で沖待ちをしている停泊時に実施した。

ARPAデータは、新型ARPAの実証機の信号処理部に相手船舶船長の測定出力部を付加する改造を行うことにより、図-3.8に示す出力フォーマットで、3秒毎に収集した。

実験は、次の2項目に分けて行った。

(1) ARPA機能の感度特性

ARPA機能の感度特性に関する実験では、同じ航行状態を再現する必要があるため、レーダ信号記録装置で航行中に記録したレーダ信号データを再生して、感度レベルを調整した場合の観測船舶長の変化傾向を調べた。

(2) 船舶長の観測精度

船舶長の観測精度は、ARPAレーダで測定した相手

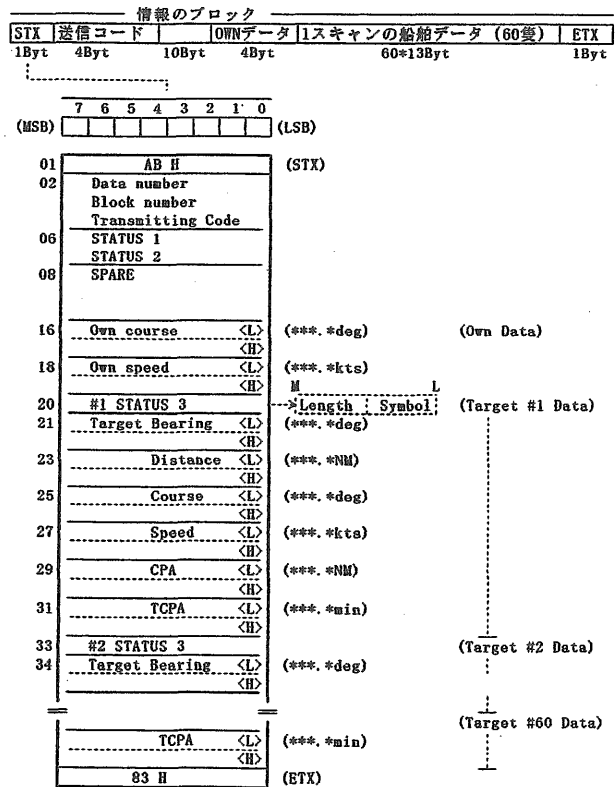


図-3.8 ARPAのフォーマット

船の船舶長(「観測船舶長」と言う)と、目視観測で確認した船舶名から船舶明細書^{19), 20)}で調べた全長(「実船舶長」と言う)を比較して調べた。

c) ARPAレーダの感度特性

ARPAで観測した船舶長は、海面反射波信号(シークラッタ)レベルの調整、受波信号の増幅利得(ゲイン)レベルの調整、パルス幅の切り替え等の要因で変化するので、これらの感度特性の調査は、パルス幅が($\tau = 0.2 \mu$ sec)の状態で行った。

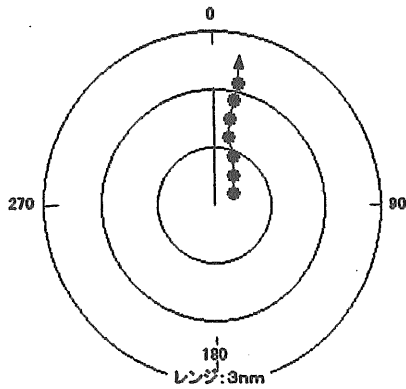
1) シークラッタ特性

シークラッタ特性の実験は、ゲインレベルを(GL=10)に設定して行った。

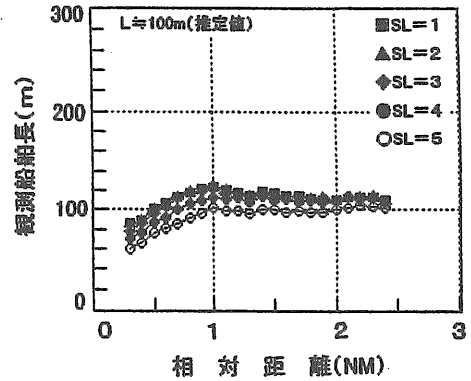
シークラッタレベルを(SL=1~5)の範囲で調整した場合の観測船舶長の変化を図-3.9に示した。

図-3.9において、シークラッタレベルが $SL \leq 5$ の条件下では1nm以上における観測値が実船舶長に対して大きくなるが、1nm以下における観測値は実船舶長に対して小さくなるのが分かった。

即ち、海象が荒れて海面反射が大きい時にはシークラッタを抑制する様にSLレベルを上げて使用するが、SLが大きい(SL=5)の場合でも、自船から1nm以上の距離では測定誤差が小さくなり有効である。また、1nm以下の距離では全体的に測定値が小さくなる傾

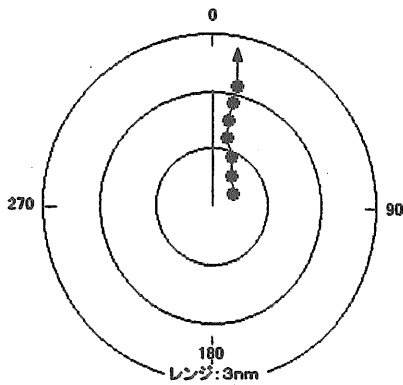


a) 相対航跡

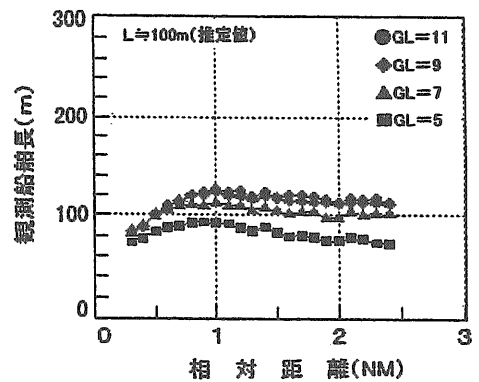


b) シークラッタレベル(SL)による観測値の変化

図-3.9 シークラッタレベルと観測船舶長の関係



a) 相対航跡



b) ゲインレベル(GL)による観測値の変化

図-3.10 ゲインレベルと観測船舶長の関係

向があるので、安全性向上の観点からは自船から1nm以上の距離で測定した船舶長データを使用する必要がある。

2) ゲイン特性

ゲイン特性の実験は、シークラッタレベルを(SL=3)に設定して行った。

ゲインレベルをGL (=5~11) に調整した場合の観測船舶長の変化を図-3.10に示した。

図-3.10は、ゲインレベルGL≤7の条件下では1GL当たり約6%減少して、観測誤差は小さくなるが、(GL>9)では利得が飽和状態になって観測船舶長値が緩やかに増加することが分かった。

したがって、通常はゲインレベル (GL>7) で使用していて、船舶長は大き目に観測されているので、安全性の観点からは船舶長データとして有効に使用できることが分かった。

d) 船舶長の観測精度

船舶長観測時のARPA機能は、観測時の海面反射状態を考慮して、「こがね丸」では(τ=0.2μsec、レンジ=3nm、SL=3、GL=9)、「銀河丸」では(τ=0.6μsec、レンジ=6nm、SL=6、GL=10)に設定した。

観測調査で船名を確認した船舶数は、0.2μsec幅パルスを用いた調査では47隻、0.6μsec幅パルスを用いた調査では117隻であった。

調査対象船名の実船舶長と観測船舶長及び観測誤差の関係は、0.2μsecパルスで測定した例を表-3.1に示した。

1) 0.2μsec幅パルスによる観測精度

実船舶長と観測船舶長の間を関数を図-3.11に、また、実船舶長; L₀(m)に対する観測船舶長; L_K(m)の回帰式は式(3.10)に示した。

$$L_K = 0.76L_0 + 42.41, \quad \sigma = \pm 32.55 \quad (\text{m}) \quad (3.10)$$

表-3.1 実船舶長と観測船舶長の比較 (パルス幅: 0.2 μsec)

船名	観測船舶長		観測誤差		推定停止距離(m)		推定誤差		船舶長比	
	Lo(m)	Lk(m)	Ld(m)	Ls(m)	Ds(Lo)	Ds(Lk)	Ds(m)	Ds(m)	Ds/L	Ds/L
1 新賀丸	71	92	21	21	420	544	124	17	1.7	
2 第5富士宮丸	36	65	29	29	228	412	184	5.1	5.1	
3 王子丸	37	73	36	36	202	399	197	5.3	5.3	
4 第18金比羅丸	54	95	41	41	342	602	260	4.8	4.8	
5 幸伸丸	75	101	26	26	507	682	176	2.3	2.3	
6 第2蒼海丸	39	86	47	47	195	430	235	6.0	6.0	
7 第一平和丸	37	70	33	33	185	350	165	4.5	4.5	
8 大照丸	45	86	41	41	266	508	242	5.4	5.4	
9 北斗丸	124	129	5	5	838	871	34	0.3	0.3	
10 第5栄豊丸	90	117	27	27	608	790	182	2.0	2.0	
11 第3久美丸	56	100	44	44	378	676	297	5.3	5.3	
12 フェニックス丸	164	179	15	15	1,239	1,352	113	0.7	0.7	
13 第2光丸	37	75	38	38	202	410	208	5.6	5.6	
14 第86福丸	58	70	12	12	317	382	66	1.1	1.1	
15 第21三栄丸	46	94	48	48	251	514	262	5.7	5.7	
16 日暮丸	54	84	30	30	319	496	177	3.3	3.3	
17 第28菅造丸	43	69	26	26	290	466	176	4.1	4.1	
18 第一東洋丸	105	126	21	21	752	902	150	1.4	1.4	
19 興和丸	52	66	14	14	284	361	76	1.5	1.5	
20 第5豊和丸	40	83	43	43	254	526	273	6.6	6.6	
21 しんく丸	65	73	8	8	610	685	75	1.2	1.2	
22 第38玄洋丸	65	103	38	38	465	737	272	4.2	4.2	
23 明和丸	34	67	33	33	170	335	165	4.9	4.9	
24 第2飛翔丸	64	97	33	33	378	573	195	3.0	3.0	
25 第8日昌丸	75	113	38	38	475	716	241	3.2	3.2	
26 第15日昌丸	24	71	47	47	131	388	257	10.7	10.7	
27 すず丸	42	82	40	40	266	520	254	6.0	6.0	
28 第2ふじしろ丸	47	87	40	40	257	475	219	4.6	4.6	
29 第10富士宮丸	33	72	39	39	209	456	247	7.5	7.5	
30 第11菅造丸	36	67	31	31	197	366	189	4.7	4.7	
31 かんさい丸	72	102	30	30	486	699	203	2.8	2.8	
32 さやま2	115	116	1	1	955	964	8	0.1	0.1	
33 第12大洋丸	38	69	31	31	171	311	140	3.7	3.7	
34 旭丸	54	61	7	7	342	387	44	0.8	0.8	
35 第2舞臺丸	47	88	41	41	257	481	224	4.8	4.8	
36 東丹丸	41	80	39	39	260	507	247	6.0	6.0	
37 第3松豊丸	35	57	22	22	236	385	149	4.2	4.2	
38 第8神力丸	65	87	22	22	384	514	130	2.0	2.0	
39 さやま2	115	113	-2	-2	997	980	-17	-0.2	-0.2	
40 第28栄造丸	43	79	36	36	290	534	243	5.7	5.7	
41 アクアジェット	34	57	23	23	497	833	336	9.9	9.9	
42 アクアジェット	34	57	23	23	497	833	336	9.9	9.9	
43 第2照葉丸	61	54	-7	-7	412	365	-47	-0.8	-0.8	
44 新里丸	83	112	29	29	594	802	208	2.5	2.5	
45 あかつき丸	100	117	17	17	903	1,057	154	1.5	1.5	
46 第8光洋丸	117	154	37	37	972	1,279	307	2.6	2.6	
47 大阪丸	150	156	6	6	1,459	1,517	58	0.4	0.4	
平均値			全:27.6				179	3.8		

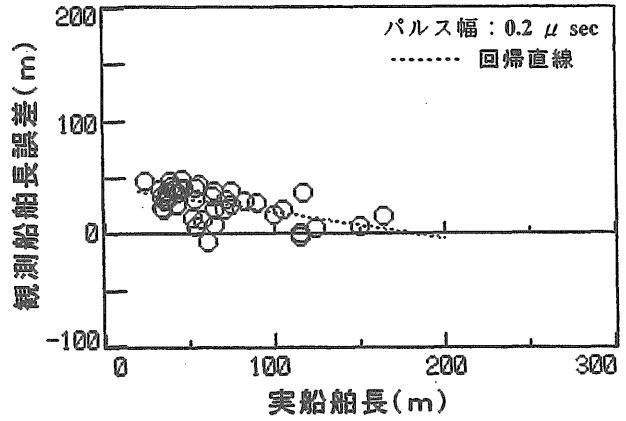


図-3.12 0.2 μsecパルスによる観測船舶長さ誤差と実船舶長さの関係

$$L_D = -0.23L_0 + 42.41, \sigma = \pm 32.55 \text{ (m)} \quad (3.11)$$

観測誤差の最大値は-7m~48mの範囲にあり、平均値は27.6mである。

2) 0.6 μsec幅パルスによる観測精度

観測船舶長と実船舶長さの関係を図-3.13に、また、実船舶長に対する観測船舶長さ L_K の回帰式は式(3.12)に示した。

$$L_K = 0.49L_0 + 102, \sigma = \pm 24.6 \text{ (m)} \quad (3.12)$$

なお、図-3.11では(鎖線:距離分解能(30m)、実線:観測船舶長さの回帰直線)を示す。

次に、観測船舶長さ誤差と実船舶長さの関係を図-3.12に、また、実船舶長に対する観測誤差 L_D (m)の回帰直線(鎖線)式は式(3.11)に示した。

観測値は、小型船では実船舶長さより大きな値になるが、90m以上の船では実船舶長と等しくなる傾向が認められた。

なお、図-3.13では(鎖線:距離分解能(90m)、1点鎖線:観測船舶長さの回帰直線、白丸(○):在来船、黒丸(●):高速船)を示す。

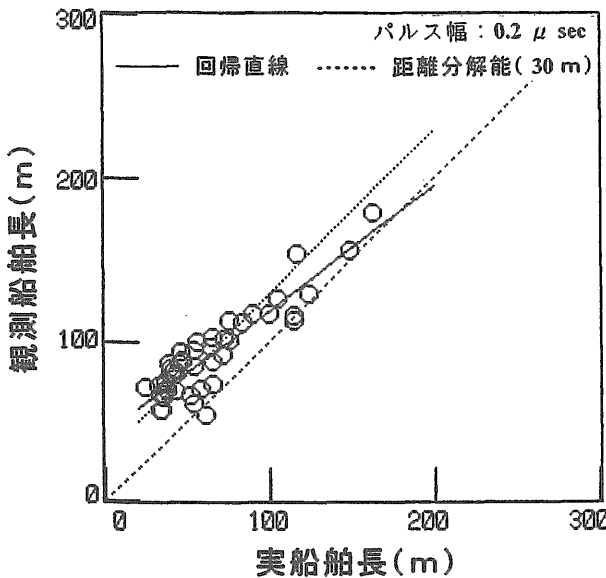


図-3.11 0.2 μsecパルスによる観測船舶長さ誤差と実船舶長さの関係

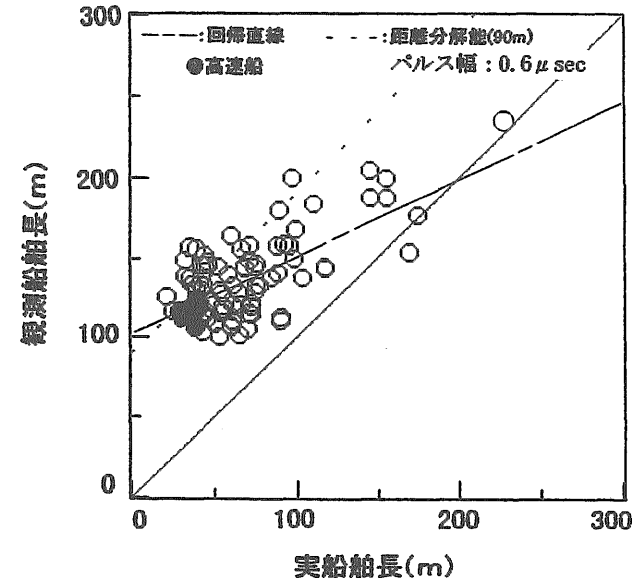


図-3.13 0.6 μsecパルスによる観測船舶長さ誤差と実船舶長さの関係

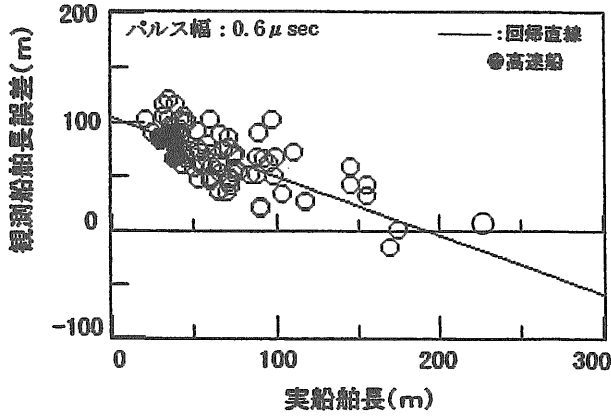


図-3.14 0.6μsecパルスによる観測船舶長誤差と実船舶長の関係

次に、観測船舶長誤差と実船舶長の関係を図-3.14に、また、実船舶長に対する観測誤差； L_D の回帰式を式(3.13)に示した。

$$L_D = -0.5L_0 + 102, \quad \sigma = \pm 24.9 \quad (\text{m}) \quad (3.13)$$

観測誤差は、実船舶長が約100m以下の船では約(距離分解能-実船舶長)の範囲で、小型船ほど大き目に測定されるが、約100m以上の船では誤差が小さくなって、実船舶長に近い値を測定している。

3) 観測距離と観測誤差の関係

観測距離に対して観測船舶長が小さくなる領域は、自船の近傍約1nm以内にあり、1nm以遠では実船舶長に対して観測船舶長が大きく、観測誤差はほぼ一定になっている。

この傾向は、シークラッタの感度特性と一致している。

e) まとめ

解析の結果は、次の通りである。

- ①シークラッタレベルは、通常、海面反射信号の受信状態によって適宜変えて使用するが、 $SL \leq 5$ の範囲であれば、船舶長データとして有効である。また、自船の近傍(1nm以下)では観測値が小さくなるので、安全性の観点からは1nm以遠のデータを使用する必要がある。
- ②ゲインレベルは、 $GL \geq 7$ で使用すれば船舶長が大き目に測定できるので、安全性の観点からは $GL \geq 7$ で使用する必要がある。
- ③ARPAレーダのパルス幅は、現在はレンジ毎切り替えているが、将来的には10nmレンジまで、0.2μsecを使用する必要がある。

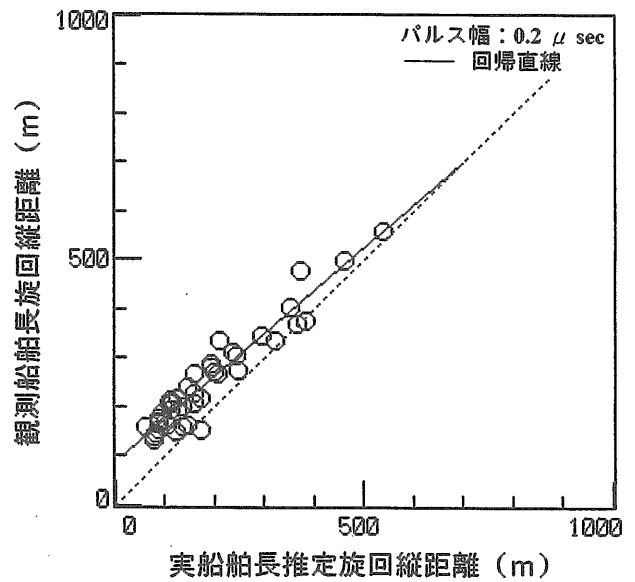
即ち、従来のARPAレーダでは、レンジを拡大してレーダ画面上で、陸地と自船の航行位置関係を確認する必要があつたが、GPS (Global

Positioning System)が普及した現在においては自船位置はGPSで確認できるので、ARPAでは約10nmまでの他船情報が有れば十分である。

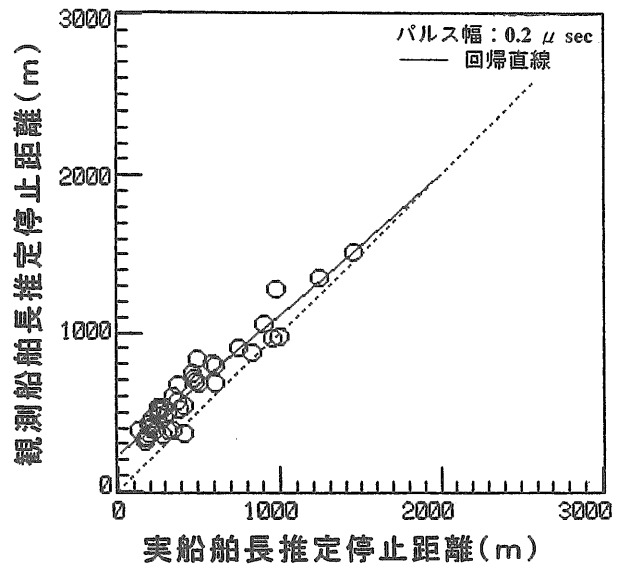
3.2.5 ARPAによる操縦性能特性の推定

新型ARPAの航行環境評価指標の避航領域を判断する要素の操縦性能特性(旋回縦距離と停止距離)は、ARPA(レーダパルス幅; 0.2μsec)で測定した相手船舶の速力と船舶長で推定した。

推定方式の妥当性を比較する為、観測船舶長と速力で推定した操縦性能特性(旋回縦距離; D_{AK} 、停止距離; D_{SK})と、船名から船舶明細書で調べた実船舶長と速力で求めた推定値(D_{A0} 、 D_{S0})の関係を、図-3.15.a)



a) 旋回縦距離の推定



b) 停止距離の推定

図-3.15 観測船舶長と速力による操縦性能特性の推定

(旋回縦距離)と図-3.15.b) (停止距離)に示した。

なお、図-3.15.a)の横軸は実船舶長による推定値の旋回縦距離、縦軸は観測船舶長による推定値の停止距離を示す。

推定値(旋回縦距離; D_{AK} 、停止距離; D_{SK})の回帰式は、実船舶長による推定値(旋回縦距離; D_{A0} 、停止距離; D_{S0})として、式(3.14, 3.15)に示した。

$$D_{AK} = 0.87D_{A0} + 89.1, \quad \sigma = \pm 109.11 \quad (\text{m}) \quad (3.14)$$

$$D_{SK} = 0.88D_{S0} + 229.4, \quad \sigma = \pm 229.92 \quad (\text{m}) \quad (3.15)$$

図-3.15によると、観測船舶長による推定値(旋回縦距離; D_{AK} 、停止距離; D_{SK})の平均誤差は、実船舶長を用いた推定値と比較して、旋回縦距離では約66m (1.4L)、停止距離では約230m (4.8L)大きい。

推定結果は、次の通りである。

- ① ARPAレーダのパルス幅が $0.2 \mu\text{sec}$ の場合、観測船舶長誤差は約30mであることを考慮すると、操縦性能特性は安全側に推定できるので、本推定法は有効である。
- ② 避航領域の規格化要素としては、旋回縦距離を採用した。

3.2.6 避航領域の実態調査

航行環境評価指標要素の避航領域は、実船調査で観測集積した船舶航跡データを基に、解析した^{21), 22)}。

a) 実船による航跡データの調査の概要

航跡データの調査方法は、次の通りである。

1) 調査期間

航跡データの実船調査は、平成元年から6年度と平成11, 12年に「銀河丸」(主要な諸元: $L \times B \times D = 110 \text{ m} \times 16 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 、 $G_T = 4,888 \text{ t}$ 、航海速力: 17kts)で、また、平成7年から9年度に「こがね丸」($L \times B \times D = 150 \text{ m} \times 25 \text{ m} \times 13 \text{ m}$ 、 $G_T = 9,684 \text{ t}$ 、航海速力: 23kts、関西汽船・株)で、被験船に搭載してあるXバンドのレーダARPA (JAS-800C、JMA-8263-7CA)を利用して実施した。

2) 調査海域

調査海域を図-3.16に示した。

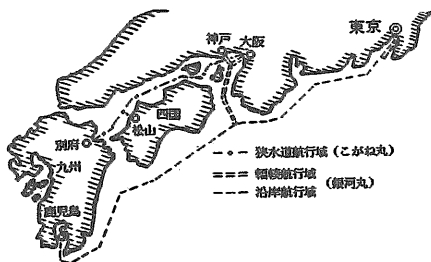


図-3.16 実船調査の航行海域

航行海域における被験船の主な航行時間帯と平均速力は、次の通りである。

沿岸海域: 「銀河丸」は昼間における中速航行(17kts)

幅狭海域: 「銀河丸」は昼間における低速航行(13kts)

狭水道域: 「こがね丸」は夜間における高速航行(23kts)

3) 航跡データ

ARPAデータの時刻歴例を図-3.17に示した。

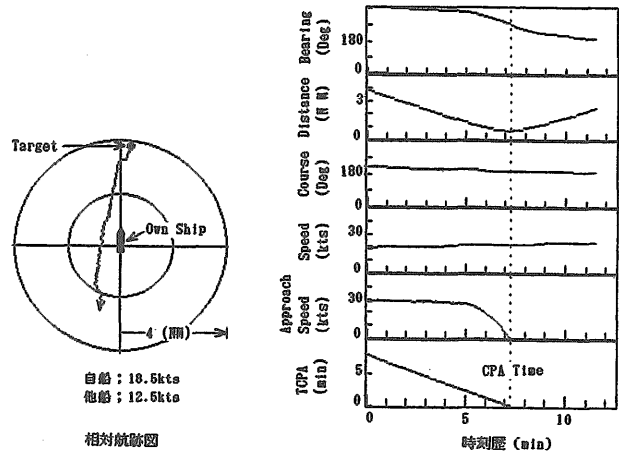


図-3.17 ARPAデータの時刻歴

航跡データの航行海域における捕捉追尾回数分布は、次の通りである。

全航跡データの捕捉追尾回数は、沿岸航行海域: 240,498回、幅狭航行海域: 146,341回、狭水道航行海域: 430,309回である。また、潜在的衝突の危険性がある避航対象船が捕捉データ全体に占める割合は約10%である。更に、避航対象船の接近方位分布は、航行海域の平均値で示すと船首方位: 80%、前横方位: 18.1%、後横方位: 1.1%、船尾方位: 0.7%である。

なお、この避航対象船による航跡数頻度分布は、避航距離の解析で使用した。

4) 避航領域の解析項目

避航操船時の操船者は、相対ベクトルが衝突針路上にある時は避航開始時の距離的・時間的余裕を、また、衝突の見合い関係を回避した後は自船と相手船がすれ違う時の離間距離「航過距離」の余裕を判断要素にしている。

したがって、避航領域の解析は、衝突の危険性のある避航対象船が存在する相対ベクトル方向の避航距離(危険距離、十分距離)と、自船近傍を航過する時に他船の侵入を避ける航過距離(危険距離、十分距離)について行った。

なお、避航領域の解析では、航跡数頻度が5%以上

の分布データを取り扱った。

5) 避航領域の規格化指標

操縦性能特性と速度依存性を図-3.18に示した。

避航操船時の判断要素には、旋回縦距離； $D_A(L, V)$ が影響しているものと考えて、避航領域は旋回縦距離； $D_A(L, V)$ の式 (3.16) で規格化した。また、停止距離の規格化式； $D_s(L, V)$ は式 (3.17) に、旋回縦距離； $D_A(L, V)$ と停止距離； $D_s(L, V)$ (式 (3.17)) との換算係数は V が10kts~40ktsの範囲の値を近似して式 (3.18) に示した。なお、換算船舶長； $L=L_K$ or L_W 、接近速度； V である。

$$D_A(L, V) = \text{Exp}(0.892 \cdot \log L + 0.631 \cdot \log V - 0.0367) \quad (\text{m}) \quad (3.16)$$

$$D_s(L, V) = \text{Exp}(1.253 \cdot \log L + 0.351 \cdot \log V + 0.0082) \quad (\text{m}) \quad (3.17)$$

$$H = (D_s(L, V) / D_A(L, V)) = 0.0046 \cdot L + 1.87 \quad (3.18)$$

旋回縦距離の表記は、自船舶長； L_0 、相手船舶長； L_T として、

①換算船舶長 ($L_K = \sqrt{(L_0^2 + L_T^2)}/2$)と接近速度 V による旋回縦距離； $D_{ALK}(=D_A(L_K, V))$

②換算船舶長 ($L_W = L_0 + L_T$)と接近速度 V による旋回縦距離； $D_{ALW}(=D_A(L_W, V))$

と置いた。

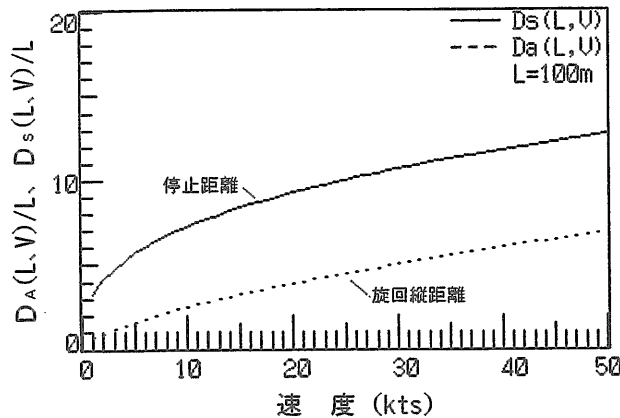


図-3.18 規格化操縦性能特性の速度依存性

b) 避航領域の解析結果

1) 航行海域の航跡数頻度分布

実船調査の航跡数頻度分布はX軸に接近速度、Y軸に相対距離、Z軸に航跡数頻度として、上から順に a) 沿岸航行海域、b) 輻輳航行海域、c) 狭水道航行海域として図-3.19に示した。

図-3.19の航跡数頻度分布からは、自船の周りには他船の侵入を避ける領域(「避航領域」又は「閉塞領

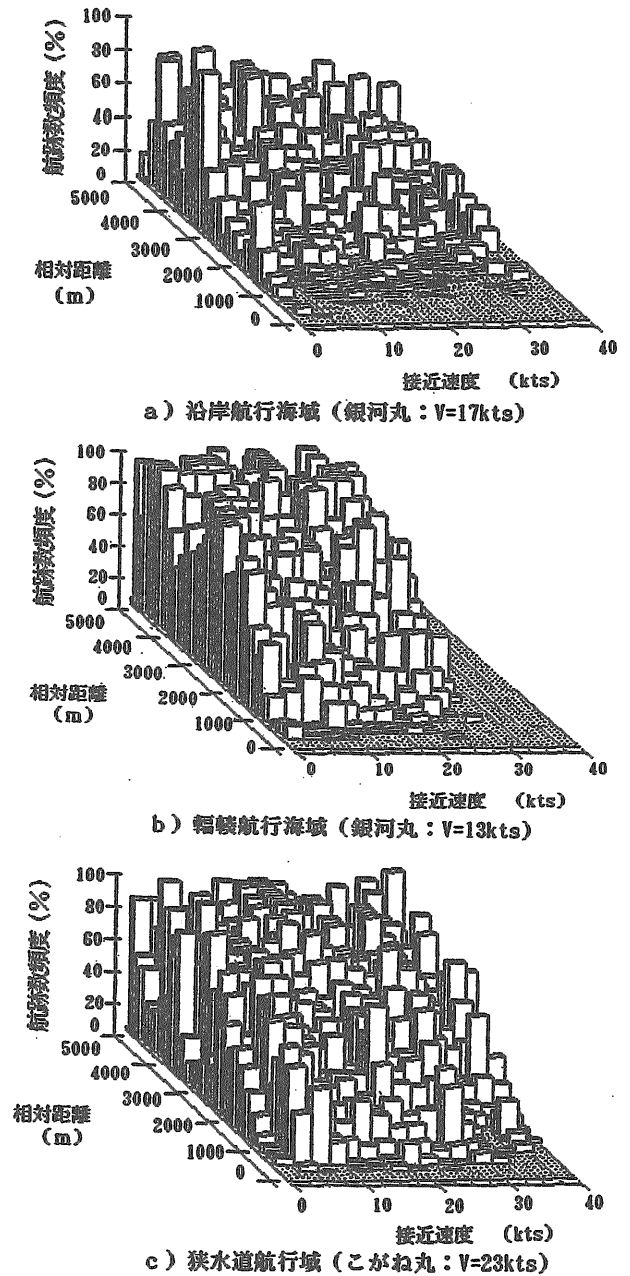


図-3.19 航行海域における航跡数頻度分布

域²³⁾と言う)が認められる。

この避航領域の航跡数頻度分布は、操船者が避航動作の判断時に航行海域の輻輳状況や相手船の諸元及び性能特性を推測して得た2船間の衝突防止に必要な避航操船の評価指標量を表しているものと考えた。

したがって、避航領域の要素には、接近速度、船舶の停止距離特性、相対ベクトル、見会い状態、航行海域の輻輳状況等を取り入れた。

2) 避航領域を構成する航行船舶の船舶長分布
航行船舶の船舶長分布は、銀河丸の航海経路(東京

港から大阪港間)で測定した航跡データを基に、観測船舶長を横軸、船舶長の頻度を縦軸、鎖線：小型船と大型船側からの累積頻度として、図-3.20に示した。

図-3.20から、航行船舶の累積頻度が95%以上の船舶長は、約20mから170mに分布していることが分かった。

したがって、避航領域の解析では、自船近傍の避航危険領域は小型船 ($L_T=20m$) によって、避航十分領域は大型船 ($L_T=170m$) によって構成されたものと仮定した。

例えば、自船と小型の相手船による換算船舶長は、沿岸航行域と輻輳航行海域では ($L_O=115m, L_K=82m$)、狭水道航行域では ($L_O=150m, L_K=107m$) となる。また、被験船と大型船の相手船による換算船舶長は、沿岸と輻輳航行海域では $L_K=145m$ 、狭水道航行域では $L_K=160m$ とした。

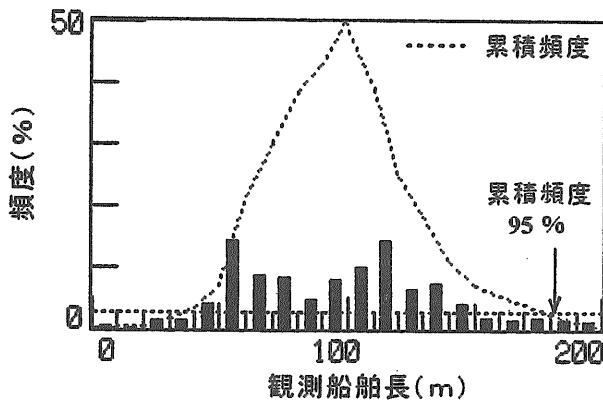


図-3.20 航行船舶の船舶長分布

3) 輻輳海域における避航領域と換算船舶長の関係

輻輳海域における避航危険領域と換算船舶長の関係は、相手船船舶長の分布を、20~80m、80~130m、130~170mの分布に分けて調べた。

輻輳海域における避航危険領域 (航過危険距離、避航危険距離) と旋回縦距離; $D_A(L, V)$ 要素の換算船舶長 (L_K, L_W) の関係を図-3.21に示した。

図-3.21の横軸は船舶長分布の下限値、縦軸は避航危険距離と航過危険距離に対応する旋回縦距離; $D_A(L, V)$ の換算船舶長値 (L_K, L_W)を示している。

分析の結果は、次の通りである。

- ①航過危険距離は、換算船舶長; L_K と接近速度; V による旋回縦距離; $D_A(L_K, V)$ と相関がある。
 - ②避航危険距離は、換算船舶長; L_W と接近速度; V による旋回縦距離; $D_A(L_W, V)$ と相関がある。
- 即ち、換算船舶長; L_W は、旋回縦距離比 ($L_W=135m:2.5D_A(L_W, V)$ 、 $L_W=195m:2.8D_A(L_W, V)$ 、 $W=245m:3.0D_A(L_W, V)$) と比例関係にある

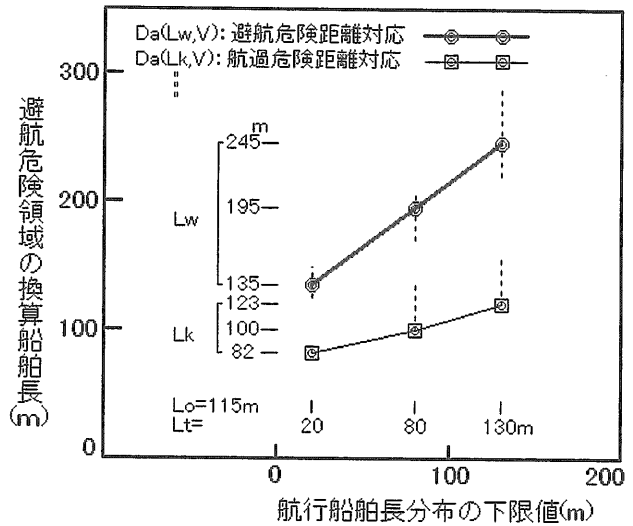


図-3.21 輻輳航行海域における避航危険領域の換算船舶長と航行船舶長の関係

が、換算船舶長; L_K は旋回縦距離比 ($L_K=83m:3.7D_A(L_K, V)$ 、 $L_K=99m:5.1D_A(L_K, V)$ 、 $L_K=123m:5.8D_A(L_K, V)$) と比例関係にない。

- ③航過十分距離は、換算船舶長; L_K と接近速度; V による旋回縦距離; $D_A(L_K, V)$ と相関がある。
- ④避航十分距離は、通常航行船舶中の大型船の相手船舶長; L_T (約170m) と自船舶長; L_O による換算船舶長; L_K と接近速度; V による旋回縦距離; $D_A(L_{K170}, V)$ と相関がある。

例えば、相手船の船舶長が ($L_T=20m:L_K=83m:L_W=135m, L_T=80m:L_K=99m:L_W=195m, L_T=130m:L_K=123m:L_W=245m$) の場合、航過危険距離と避航危険距離は図-3.22の様になる。

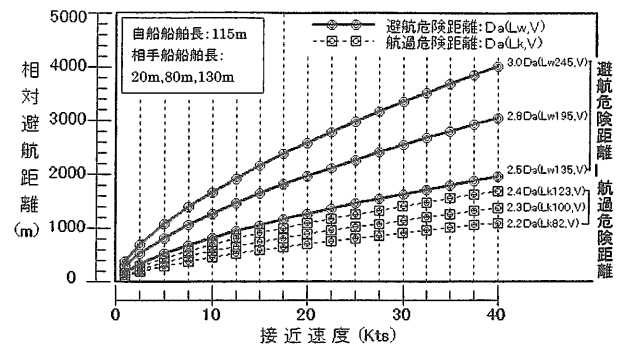


図-3.22 輻輳海域における避航領域と換算船舶長の関係

4) 航行海域における避航領域

航行海域における避航領域 (避航距離、航過距離) は、旋回縦距離 ($D_{ALK}, D_{ALK170}, D_{ALW}$) で規格化して、また停止距離 ($D_{SLK}, D_{SLK170}, D_{SLW}$) との関係も併記して、表-3.2に示した。更に、避航領域定数は見会い状

表-3.2 航行海域における避航領域のパラメータ

避航領域	沿岸航行海域	幅員航行海域	狭水道航行海域
航過危険距離: $C_{LA}D_{ALK}$	$3.6 D_{ALK}$	$2.2 D_{ALK}$	$1.4 D_{ALK}$
: $C_{LS}D_{SLK}$	$1.6 D_{SLK}$	$1.0 D_{SLK}$	$0.6 D_{SLK}$
航過十分距離: $C_{MS}D_{ALK}$	$5.8 D_{ALK}$	$4.0 D_{ALK}$	$3.1 D_{ALK}$
: $C_{MS}D_{SLK}$	$2.3 D_{SLK}$	$1.6 D_{SLK}$	$1.2 D_{SLK}$
避航危険距離: $C_{DA}D_{ALW}$	$4.0 D_{ALW}$	$2.5 D_{ALW}$	$1.5 D_{ALW}$
: $C_{DS}D_{SLW}$	$1.6 D_{SLW}$	$1.0 D_{SLW}$	$0.6 D_{SLW}$
避航十分距離: $C_{MA}D_{ALK170}$	$17.7 D_{ALK170}$	$15.2 D_{ALK170}$	$13.1 D_{ALK170}$
: $C_{MS}D_{SLK170}$	$7.0 D_{SLK170}$	$6.0 D_{SLK170}$	$5.0 D_{SLK170}$
K_{MA}	$C_{MA}D_{ALK170}/C_{MA}D_{ALK}-1$		
K_{MS}	$C_{MS}D_{SLK170}/C_{MS}D_{SLK}-1$		
K_{LA}	$C_{DA}D_{ALW}/C_{LA}D_{ALK}-1$		
K_{LS}	$C_{DS}D_{SLW}/C_{LS}D_{SLK}-1$		

態係数 $\alpha=0.2$ 、定数 $n=6$ である。

(1) 航過危険距離

幅員航行海域における航過危険距離の分布領域(航跡数頻度分布が5%以上)を図-3.23に示した。図-3.23のX軸は接近速度、Y軸は相対距離、鎖線は換算船舶長; L_K と接近速度による旋回縦距離; D_{ALK} を示す。

航行海域の航過危険距離は、狭水道航行海域では約 $1.4D_{ALK}$ 、幅員航行海域では約 $2.2D_{ALK}$ 、沿岸航行海域では約 $3.6D_{ALK}$ である。

即ち、幅員航行海域を基準に取ると、沿岸航行海域では約1.6倍余裕を大きく取っているが、狭水道航行海域においては約40%余裕が無い状態で航行していることが分かった。

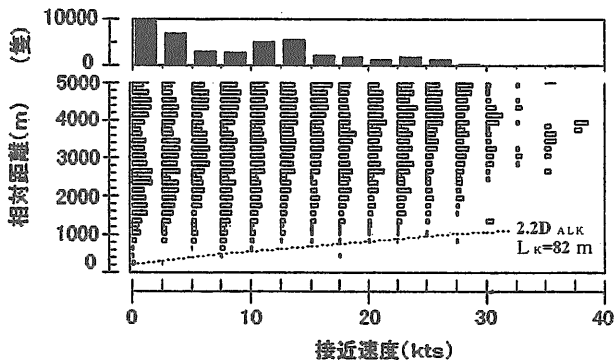


図-3.23 幅員航行海域における航過危険距離

(2) 避航危険距離

幅員航行海域における避航対象船による避航距離(避航危険距離:近地点の分布、避航十分距離:遠地点の分布)を図-3.24に示した。

避航危険距離(図-3.24の近地点分布)は、小型船によって形成されているものと仮定して、被験船と小型船による換算船舶長; L_W と接近速度による旋回縦距離; D_{ALW} で規格化した。

分析の結果、次の通りである。

①幅員海域の避航危険距離は、航過危険距離に対して約1.6倍大きい。また、横切り船の避航距離は反

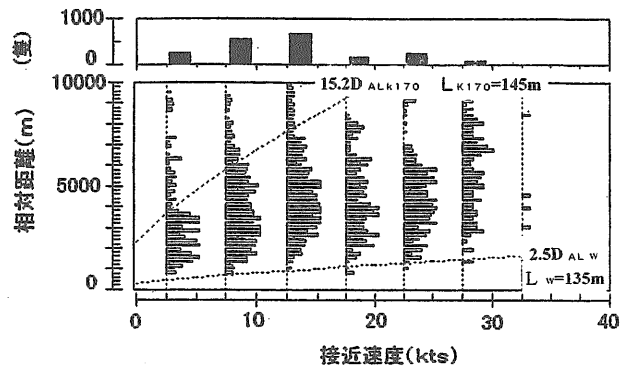


図-3.24 幅員航行海域における避航距離

航船や同航船に比較して、約20%大きくなっている。

②航行海域の避航危険距離は、狭水道航行域では約 $1.5D_{ALW}$ 、幅員航行域では約 $2.5D_{ALW}$ 、沿岸航行域では約 $4.0D_{ALW}$ である。

(3) 避航十分距離

避航十分距離(図-3.24の遠地点分布)は、相手船の大きさよりも航行海域の大型船(約170m)を想定した余裕を取っていることが分かった。したがって、被験船と大型船の相手船($L_T=170m$)による換算船舶長; L_{LK170} と接近速度による旋回縦距離; D_{ALK170} で規格化した。

航行海域の避航十分距離は、沿岸航行域では約 $17.7D_{ALK170}$ 、幅員航行海域では約 $15.2D_{ALK170}$ 、狭水道航行域では約 $13.1D_{ALK170}$ である。

即ち、避航十分距離は通常航行時の大型船(約170m)を相手船として想定した場合の換算船舶長; L_{LK170} と接近速度による旋回縦距離; D_{ALK170} に相当する余裕を取っている。

(4) 航過十分距離

幅員航行海域における正横方向の航過十分距離(鎖線の遠地点)の航跡数頻度分布を図-3.25に示した。

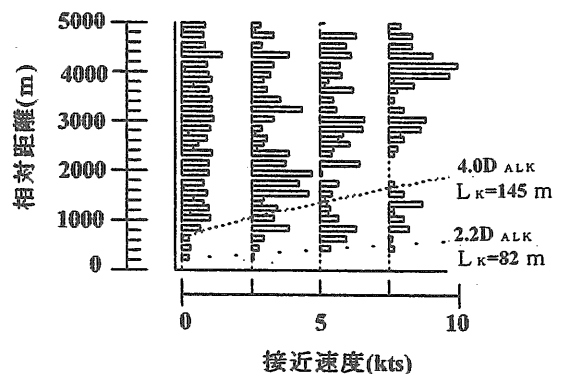


図-3.25 幅員航行海域における航過距離

図-3.25から、航跡数頻度分布が高くなる航過十分距離は、接近速度が10kts以下の船で、他船の侵入を避ける傾向が認められた。

航行海域の航過十分距離は狭水道航行域では約 $3.1D_{ALK}$ 、輻輳航行海域では約 $4.0D_{ALK}$ 、沿岸航行域では約 $5.8D_{ALK}$ であることが分かった。

(5) 避航領域の規格指標（旋回縦距離、停止距離）による比較

航行海域における避航領域は、自船船舶長：100m、他船船舶長：100m、接近速度：25ktsの条件の計算例を図-3.26に示した。

例えば、輻輳航行海域における避航領域を旋回縦距離で規格化すると（避航十分距離：約 $6D_{SLK}$ 、避航危険距離：約 $1D_{SLW}$ 、航過十分距離：約 $1.6D_{SLK}$ 、航過危険距離：約 $1D_{SLK}$ ）である。

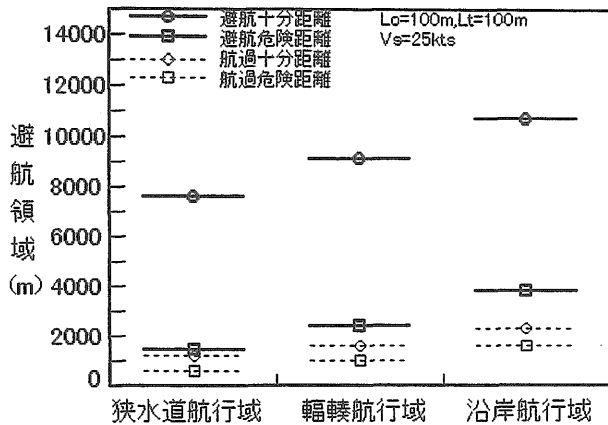


図-3.26 航行海域に対する避航領域の変化

(6) まとめ

航跡数頻度分布の解析結果は、次の通りである。

- ① 避航領域は、旋回性能特性で規格化できる。
- ② 避航危険距離は換算船舶長； L_K と、航過危険距離は換算船舶長； L_W と相関がある。
- ③ 航行海域によって避航領域の大きさは異なる。

3.2.7 避航領域のシミュレーション

a) 避航領域の形状

避航領域（避航危険領域と避航十分領域）は、他船が直進して、自船が衝突針路を中心に左右に避航変針した場合をシミュレーションして、図-3.27の相対座標上に示した。

b) 避航領域と衝突危険度の関係

避航領域と衝突危険度の関係は、絶対座標避航領域を図-3.28の右側に自船衝突針路近傍の避航危険領域

D_L 、左側に自船の針路上の衝突危険度（式3.3）を示した。

図-3.28の避航領域は、自船が衝突針路に対して、左右に30度の範囲で避航変針した場合の避航危険領域距離をシミュレーションして示している。

図-3.28からは、自船の現在針路は避航危険領域上にあつて、左図の衝突危険度指数からは約4.5km航行すると針路上の潜在的衝突危険度が高くなることが分かる。

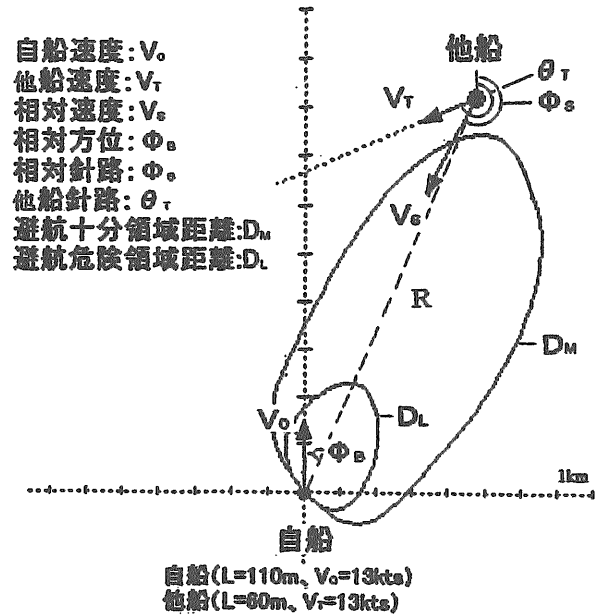


図-3.27 相対座標上の避航領域

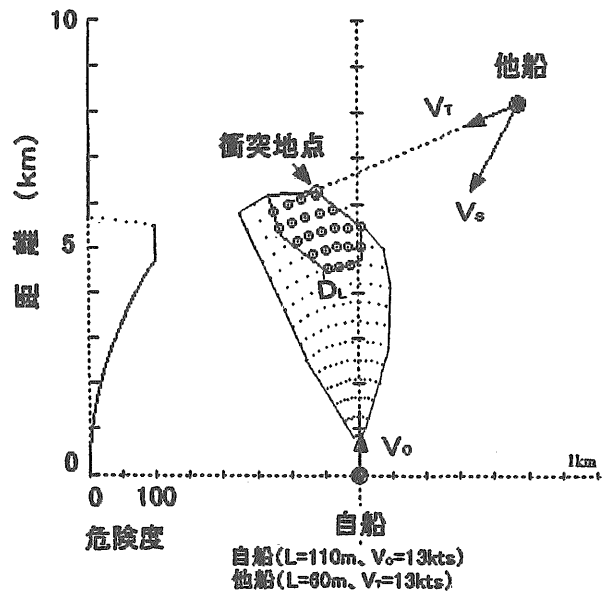


図-3.28 絶対座標上の避航危険領域