

図-4.9 表示情報による船首方向の相対航跡密度分布

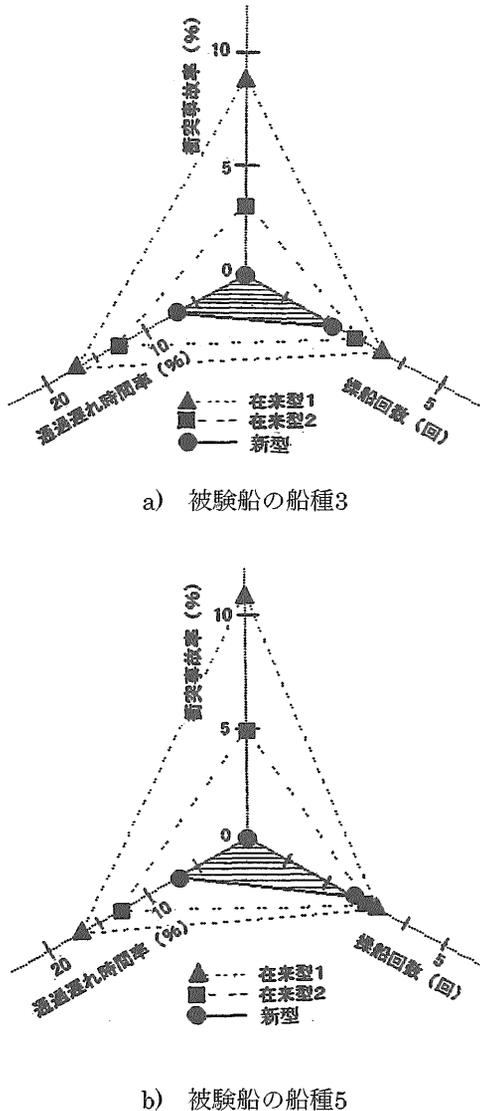


図-4.10 表示方式による支援効果の比較

4.2.3 警報情報の支援効果

警報情報の支援効果は、①警報の発生状況と、②画像と音声警報の参照度合いについて示した。

a) 警報の発生状況

1) ロスト警報

ARPAのロスト目標警報の発生状況を図-4.11に示した。調査時間は延約226時間、捕捉隻数2,891隻である。

在来ARPAではロスト目標警報が1,919隻発生して、1時間当たり平均で8.5隻発生しているの、輻輳海域で全てのロスト目標警報について確認を行うとすると繁雑な作業になる。

一方、新型ARPAの音声ロスト警報は41隻に減って、従来型ロスト目標警報の約2%に低減する。また、音声警報からロスト目標の確認を行うことは実行可能な値であることが分かった。

即ち、ロスト目標船舶の航行状態を評価すると、ロスト目標の中で潜在的衝突危険海域に針路を採って航行したことのある潜在的衝突危険船舶は174隻で、ロスト目標警報の9%に減少する。更に、潜在的衝突危険船舶の中で最接近時間:TCPAが負のロスト目標を除くと、警報を発生する必要があるロスト目標は41隻になる。

したがって、図-4.11は、航行状態を評価して警報を発生することにより、不要な警報の発生頻度が低くなって、警報の信頼性が向上することが分かった。

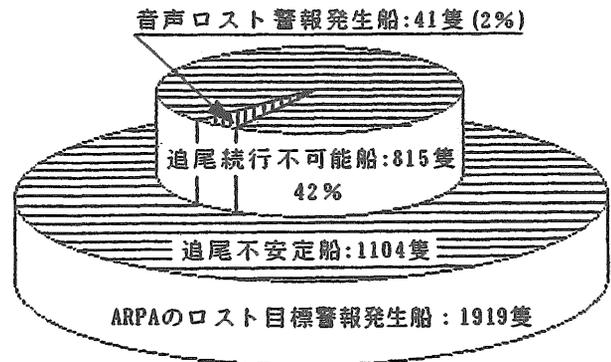


図-4.11 音声ロスト警報の発生状況

2) 危険目標警報

危険目標に対する音声警報の発生状況を図-4.12に示した。

調査の結果、音声による警報の確認作業が可能であることが分かった。

即ち、警報の発生状況は、次の通りである。

①見張り目標警報

見張り目標警報は特に多く発生して、危険目標警報の82%を占めている。

この見張り警報が多い理由は、次の様に分類で

きる。

◇捕捉初期のベクトル変動誤差が大きいために生じる警報は、捕捉初期データ誤差の影響により警報の対象になるが、捕捉が安定した状態では警報の対象から外れることが多い。

◇航路が曲がる海域で発生する警報は、航路の形状が湾曲する海域で一時的に見会い状態が生じることにより発生するもので、操船者は相手船が航路変更することを予想している場合が多い。

②注意警報と危険警報

注意警報は54隻、危険警報は21隻発生している。これらの船舶は、操船者による見張りの対象になっていて、警報の確認を直ちに行うことが可能であることが分かった。

したがって、見張り目標警報の発生条件の設定に関しては、今後更に検討が必要である。

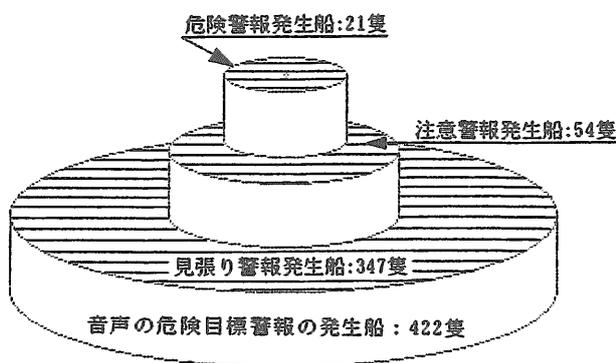


図-4.12 音声危険目標警報の発生状況

b) 危険海域表示情報と音声警報情報の参照度合い

画像と音声による警報情報の参照度合いの調査は、避航対象船の主観的危険度の判断項目を「警報の聞き取りによる情報伝達状況」と、「操船者の主観的評価を基にした警報の参照度合い」について行った。

操船者による航行の危険性の主観的評価は大藤氏²⁸⁾の評価量に準じて、表-4.1.a)の4段階に分けた。また、警報の参照度合いは表-4.1.b)の3段階に分けて、更に、操船者の内省報告による聞き取り調査を実施した。

操船者の主観的評価内容を表-4.2に示した。表-4.2の画像と音声による警報は、反航船の場合よりも、避航判断が難しい横切り船や追い越し船の場合に参照されていることが分かった。

更に、内省報告では、次のことが分かった。

(1) 衝突危険海域表示情報

次の航行環境を把握する場合に有効性が認められた。

①避航操船時の避航海域を迅速かつ精度良く把握で

表-4.1 航行状況の主観的評価指標

a) 航行状態の主観的評価

1	衝突のおそれは無いが余裕を見て避航する
2	衝突のおそれを生ずる可能性がある
3	衝突のおそれがある
4	衝突の危険性がある

b) 警報の参照度合い

1	全く参考にしない
2	少し参考にした
3	大変参考にした

表-4.2 警報の参照度合い

航行状態	操船者の主観的評価				
	見合状況	着目船隻数	危険評価	画像警報	音声警報
反航船		2	1	1	1
		1	2	1	1
		1	2	1	1
		1	2	1	1
		2	2	1	1
		1	2	2	1
		3	3	2	1
		2	3	2	2
横切り船		1	1	1	2
		1	2	2	2
		3	2	2	2
		2	2	1	1
		1	3	1	1
		1	3	1	1
		1	3	2	2
		1	3	3	2
		2	3	2	2
		3	3	2	2
漁業船 追越し船 停留船		1	2	1	1
		1	2	2	2
		2	3	2	2

きる。

②視界制限状態において、視認できない他船との避航領域の動静を知ることができる。

③自船が針路保持船であって、他船の避航動作が遅れている様な状況下で、自船の避航海域を判断することができる。

(2) 音声警報

従来方式と比較すると、次の点で改善が認められた。

①ARPAから離れて見張り以外の作業に従事している時でも、警報の指示内容を聴覚に容易に把握する事が可能である。

②操船者は警報の種類、注意すべき船舶の所在位置、見会い状況、予測航過状況の支援情報を正確に把握できるので、従来方式と比較して、警報の情報伝達時間の高速化が図られる。

③音声による警報を基に、画像警報への注意喚起が出来るため、画像や文字の情報をより効果的に活用することが可能である。

4.2.4 ARPA情報入手時の音声認識率

ARPAへの音声入力部は試作機では導入したが、実証機ではコマンド入力方式として音声入力部は導入しなかったため、ここでは試作機の音声認識率を示した。

音声コマンドに対する音声認識率を、表-4.3に示した。なお、試行回数100回である。

ARPA情報を音声認識入力で入手する方式は、可能であり有効であるが、音声認識時に誤認識が発生することもあった。

実験の結果、数字の音声認識率は単語の音声認識率に比較して低く、次に示す場合には更に認識率が低下することが分かった。

- ①音声認識率はマイクを口元から遠ざけるほど低下する。したがって、マイクと口元の距離を一定に保つ必要がある。
- ②外部の高い騒音によっても誤認識が発生する。
- ③音声認識率は音声認識装置の性能と使用環境に左右されることがある。

したがって、音声認識率は、音声認識装置の性能と使用環境に左右されることがあるため、音声コマンドでARPA情報を入手する場合、誤認識が発生しやすい環境では安全性を考慮して、コマンドキーを用いた入力方式を併用して誤動作を避けるべきであると考えた。

表-4.3 音声の認識率

音声言語	認識率	音声言語	認識率
0番船	100 (%)	危険船は	100 (%)
1番船	99	継続	100
2番船	85	中断	100
3番船	89	中止	100
4番船	82		
5番船	94		
DCPAは	89 (%)	航過距離は	100 (%)
TCPAは	96	接近時間は	100
Distanceは	100	距離は	100
Bearingは	100	方位は	100

4.3 まとめ

航行環境を評価して危険船に関する見張りや警報の情報を音声と、衝突の潜在的危険海域の画像情報を用いて支援する方式は、衝突予防援助システムに活用でき、かつ次の点で有効であることが分かった。

- ①潜在的衝突危険海域情報の表示方式は、衝突事故を予防して、視覚情報処理の負担を低減する。
- ②音声警報情報指示方式は、警報情報収集の迅速化と、情報伝達効率を改善する。
- ③航行環境評価機能は、不要な警報の低減と警報の

信頼性を向上する。

- ④ARPA情報の音声入手時の音声認識率は、今後向上する必要がある。

したがって、音声と画像を用いた支援方式は、少人数化された内航船の船橋において有効であり、また、居眠り防止の効果も期待できるものと考えた。

更に、見張り目標警報の発生条件の設定に関しては、今後更に検討が必要であることが分かった。

5. あとがき

衝突予防援助装置の操船判断支援機能の向上を図る為、航行環境評価指標に船舶の操縦性能特性を採り入れて、音声と画像を用いて支援情報を提供する新型ARPAを開発した。

考察の結果、航行環境評価指標に船舶の操縦性能特性を取り入れて、見張り情報や警報の意味・内容を音声と画像情報を提供する新型ARPAは有効であることが分かった。

考察の結果は、次の通りである。

- ①ARPAで相手船の船舶長を約30mの誤差で推定できる。
- ②ARPAで測定した相手船の船舶長と速力で、操縦性能を計算して避航領域を推定する支援方式は、新型ARPAの航行環境評価指標に活用でき有効である。
- ③見張りの警報情報を音声と、潜在的衝突危険海域情報で提供する支援方式は、操船者に、支援情報を迅速、かつ正確に効率良く伝達するので、衝突予防援助システムに活用でき、かつ有効である。
- ④現状のARPAでは、捕捉追尾目標の乗り移りや、捕捉データに誤差が生じる問題が残っているので、安全性の観点から、最終的には操船者自身が見張りで航行状態を確認する必要があることも分かった。

したがって、今後は、ARPA情報の精度向上を図るために、新型ARPAの他船情報の入手部分に、将来実用化が予測される自動船舶識別システム (AIS) の他船データを取り込んで、ARPA機能の高度化を図る予定である。

謝辞

本研究の実施に当たり、貴重なデータのご提供を賜りました日本船長協会、元日本船舶整備公団、及び全国内航タンカー海運組合、日本内航海運組合総連合会、レーダARPAメーカー、日本無線株式会社他関係者、実船調査でご尽力頂いた航海訓練所(青雲丸、銀河丸)、関西汽船株式会社、阪九汽船株式会社の各位、研究の御指導を賜った山田一成氏に、厚くお礼を述べる。

参考文献

- 1) 三宅幸彦：自動船舶識別システム (AIS) について、日本航海学会誌、第137号、平成10年9月、pp. 12～17
- 2) 海難審判協会：海難審判の現状 (昭和58, 60, 62年)
- 3) 鍋島正昭：衝突海難の背景について、海と安全、1993, 11, p2～8
- 4) 有村他：船舶交通流のマン・マシンシステムの一考察、一実船調査による避航時のレーダ写真解析一、船舶技術研究所報告、1988、Vol.25, No, 3、pp. 305～321
- 5) 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一、日本航海学会論文集56号、昭51-12、pp. 101～109
- 6) 有村他：アドバンスARPAの標準化に関するアンケート調査の考察、船研発表会講演集、第62回、平成5年12月
- 7) シップアンド・オーシャン財団：内航船の近代化に関する研究報告、平成6年3月、pp. 54～55
- 8) 有村他：航行環境情報の表示方式に関する考察一Ⅲ、一音声支援システムについて一、日本航海学会論文集、第87号、平成4年5月、pp. 89～97
- 9) 有村他：航行環境情報の表示方式に関する研究、一音声を用いた衝突予防支援装置の警報指示方式について一、船舶技術研究所報告、VOL29. 3、平成4年、pp. 13～32
- 10) 今津隼馬他：変針動作による避航限界の研究、日本航海学会論文集、第82号、平成2年、pp. 77～84
- 11) 今津隼馬：船舶航行と操縦性能、日本造船学会運動性能研究委員会、第10回シンポジウム、平成5年12月、pp. 107-119
- 12) 有村他：船舶諸元特性の統計解析に関する一考察、日本航海学会論文集、第89号、平成5年5月、pp. 237～243
- 13) 杉山高一：多変量データ解析入門、朝倉書店、1996, 11
- 14) 門野明他：旋回性能について、西部造船学会会報、56号、pp. 23～31、昭和53年5月
- 15) 芳村康男：操縦性基準における停止性能の検討、日本造船学会論文集、第176号、平成6年11月
- 16) 日本海事協会：船舶の停止性能について、pp. 1～6、昭和54年2月
- 17) 佐藤裕司：海上ニアミス回避システムへのアプローチ、計測と自動制御学会論文、Vol32、No3、1996年、pp. 401～408
- 18) 吉村義弘：レーダ工学の基礎、啓学出版、1975年8月
- 19) 日本船舶明細書：日本海運集会所、平成4年度出版
- 20) 日本内航船舶明細書：日本海運集会所、平成4年度出版
- 21) 有村他：実船調査による航行環境評価指標の解析、日本航海学会論文集、第97号、平成9年10月、pp.213～223
- 22) 有村他：航行環境評価指標に関する一考察、実船の航跡データを用いた避航領域の提示一、船研発表会講演集、第72回、平成10年12月、pp. 247～252
- 23) 藤井弥平：海上交通工学序説、海文堂出版、昭和46年
- 24) 橋本進：視覚情報とヒューマンエラー、海分堂、平成8年
- 25) 有村他：航行環境情報の表示方式に関する考察、日本航海学会論文集、第82号、平成元年10月、pp. 93～101
- 26) 有村他：新しい衝突予防支援装置の開発一Ⅱ、安全性の評価に関する考察、船研発表会講演集、第66回、平成7年12月、pp. 189～192
- 27) 有村他：航行環境情報の表示方式に関する考察一Ⅱ、一実船調査によるARPA情報の解析一、日本航海学会論文集、第86号、平成3年5月、pp. 325～335
- 28) 大藤高広、原潔：決定木最適化報による避航操船に関する知識構造、日本航海学会論文集、84号、平成2年10月、pp. 29～36

付録 船舶の諸元及び操縦性能特性

海上交通の観測者が、通常のレーダや目視観測で得ることができる他船情報は、船舶の長さや速力に関する情報であるため、航行船舶の判断資料として、船舶の諸元及び統計的性能特性を以下に示した。

1. 船舶の全長と諸元の関係

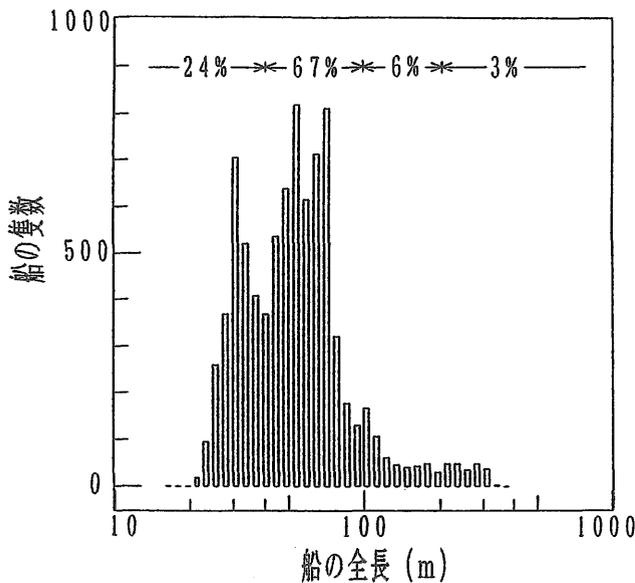
ここで、使用した船舶の諸元統計データは、海運集会所発行の「日本船舶明細書¹⁹⁾；3042隻」と「日本内航船舶明細書²⁰⁾；5240隻」で、これから100トン以上40万トン未満の船舶（8,282隻）の各船毎の船舶全長；L、総トン数；G_T、航海速力；V、型幅；B、型深さ；Dなどの船舶の諸元を得た。また、船舶の形状パターンは船の大きさによってあまり変わらないと仮定すると、 $G_T \propto L^3$ 、 $D \propto L$ 、 $B \propto L$ と考えられるので、常用対数logLとlogG_T、logD、logBの相関を調べた。

なお、両日本船舶明細書では、木船と100トン未満の鋼船及び500トン未満の漁船等は除外されている。

解析で使用した統計データの全長別隻数分布を図一付1に示した。

船舶の全長は15mから400mの広い範囲にわたるが、100m未満の船が全船舶の91%を占めており、残りの9%が100m以上の船となっている。

更に、先に示した船舶明細書では100トン未満の小型船を除外していることを考慮すると、この範囲の船舶はさらに増加するものと考えられる。

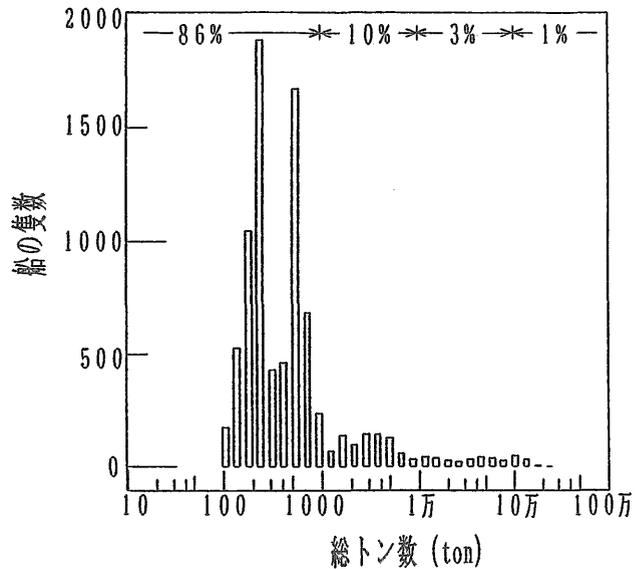


図一付1 船舶の全長の分布

- a) 全長と総トン数の関係
- 1) 総トン数の隻数分布

船舶の総トン数別隻数分布を図一付2に示した。

1000トン未満の船舶は全船舶の約86%、1000トン



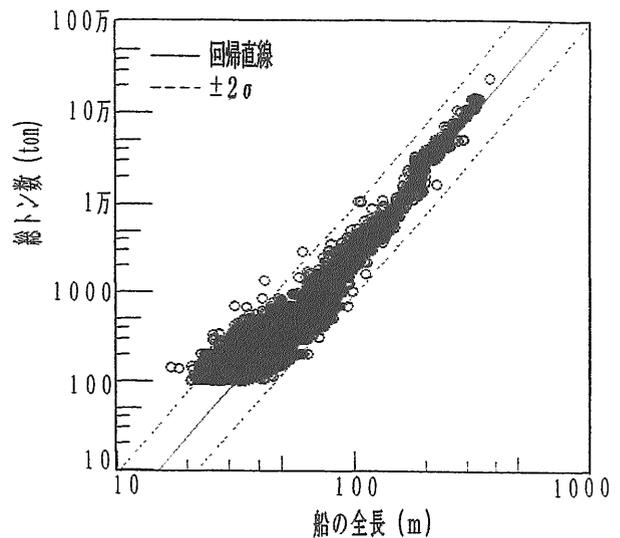
図一付2 船舶の総トン数の分布

～3000トンは5%、3000トン以上は9%ある。また、隻数が多い総トン数分布は200トンと500トン及び700トンの近傍に存在している。これらの総トン数分布が多い理由としては、199トン、499トン、699トンで、船に掛かる税金や着岸料金、登録料金、建造枠等が異なることが影響しているものと考えられる。

そして、1万トン以上の船舶は4%と少ないが、この値の他に外国籍の船舶が加わることを考慮すれば日本近海で航行している船舶はもう少し増加するものと考えられる。

2) 全長と総トン数の相関

船舶の全長と総トン数の関係を図一付3に、また、



図一付3 船舶の全長と総トン数の関係

総トン数； G_T の回帰式は式(1)に示した。

$$\log G_T = 2.669 \log L - 2.011, \quad \sigma = \pm 0.212 \quad (1)$$

回帰式の相関係数は $r = 0.92$ 、 $t = 218$ 、 σ は標準偏差である。

なお、図一付3の実線は $\log G_T$ の $\log L$ 上への回帰直線で、点線は $\pm 2\sigma$ の値を示す。また、回帰直線より $\pm 2\sigma$ 離れたものはほとんどが押船や曳船等である。

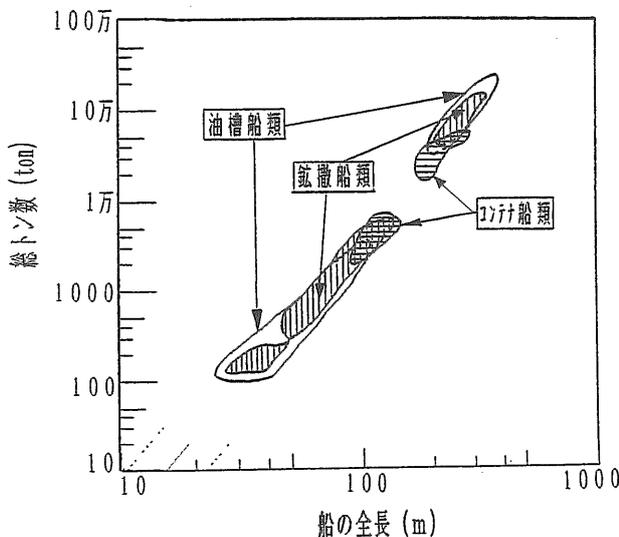
3) 船種分類別の全長と総トン数の関係

船舶の種類は46種に分類されているので、ここでは船種の分類を表一付1の様に7種類に区別して割合と分布傾向を示した。また、船種分類別分布を図一付

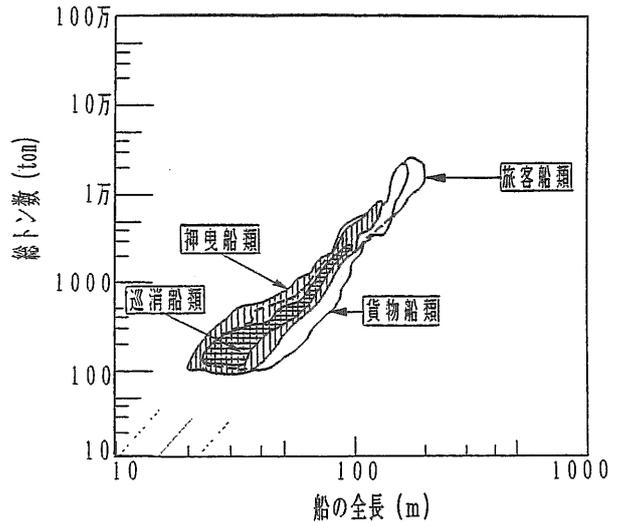
表一付1 海運集会所データにおける船種の分類と割合

船種の分類	船種	隻数	比率 (%)
1. コンテナ船	自動車運搬船・コンテナ船	157	1.9
2. 油槽船	油槽船・鉱油・OBO・撤油・ ガス・液化ガス運搬船	1,743	21.1
3. 鉱撤船	鉱撤・鉱炭・炭・撤・鋼材・ ペレット・コーク・ボーキサイト運搬船	552	6.7
4. 貨物船	貨物・曳重船・スクラップ・セメント・ コークス・灰・土砂・石材・木材・ パルプ・チップ・穀物・塩・ 冷凍運搬船	3,301	39.9
5. 旅客船	旅客・フェリー	790	9.5
6. 押曳船	ロー・押曳船・特殊・起重・ 渡津船	1,514	18.2
7. 巡消船	巡・消・救・観・測・加工・ 給水船	225	2.7
合計		8,282	

* 100ト未満の鋼船、木船及び500ト未満の漁船は除外されています。



図一付4 船種別全長と総トン数の関係 (油槽船類、鉱撤船類、コンテナ船類)



図一付5 船種別全長と総トン数の関係 (巡消船類、貨物船類、旅客船類、押曳船類)

表一付2 船種別の全長と総トン数の関係

種類	単回帰式 (ton)	標準偏差 (σ)	相関係数 (r)	係数の t 値	データ数 (隻)
1. コンテナ船類	$\log G_T = 3.422 \log L - 3.496$	± 0.121	0.97	60.07	157
2. 油槽船類	$\log G_T = 2.941 \log L - 2.485$	± 0.135	0.97	192.53	1743
3. 鉱撤船類	$\log G_T = 3.072 \log L - 2.638$	± 0.092	0.99	177.62	552
4. 貨物船類	$\log G_T = 2.316 \log L - 1.511$	± 0.192	0.84	92.73	3301
5. 旅客船類	$\log G_T = 2.425 \log L - 1.402$	± 0.140	0.97	119.18	790
6. 押曳船類	$\log G_T = 2.011 \log L - 0.735$	± 0.130	0.89	80.12	1514
7. 巡消船類	$\log G_T = 1.939 \log L - 0.702$	± 0.133	0.94	42.94	225

4、図一付5に示した。

図一付4によると、コンテナ船類、鉱撤船類、油槽船類では長さ約200m、総トン数1万トンを境に内航船と外航船が分れている。また、図一付5の貨物船、旅客船は約2万トンを上限として分布する。

更に、船種分類別の全長と総トン数に係る回帰式は、表一付2で示すように用途により諸元と相関係数 r 、 t 値に相違が認められた。

例えば、総トン数 G_T は、コンテナ船類では全長の3.422乗に比例しているが、巡消船類の船舶では全長の1.939乗に比例しており小さくなっている。

したがって、船種によって全長に対する総トン数の分布傾向が異なる。

b) 全長と型幅の相関

船舶の全長と型幅の関係を図一付6に、また、型幅； B の回帰式は式(2)に示した。

$$\log B = 0.673 \log L - 0.152, \quad \sigma = \pm 0.075 \quad (2)$$

相関係数は $r = 0.88$ 、 t 値は171.63である。

図一付6によると、船舶の全長が150m以上の油槽船類と鉱撤船類では船型が肥大化している。

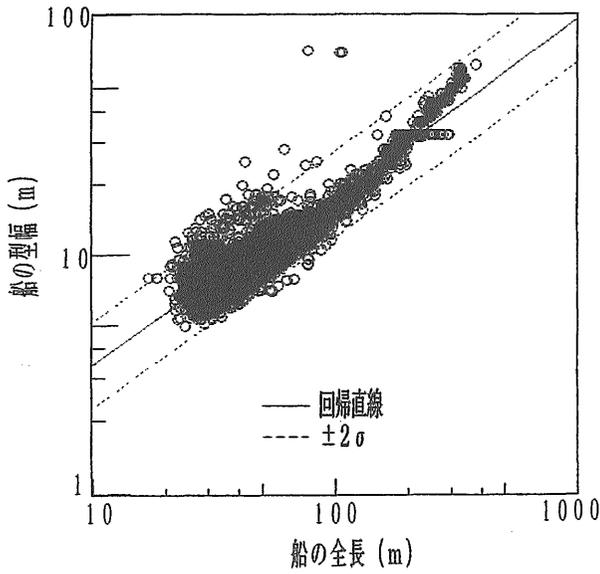


図-付6 船舶の全長と型幅の関係

例えば、船舶の全長Lが180m以上のコンテナ船の型幅は、全長に関係なく約35mで一定である。また、全長100m以下の船舶で型幅の標準偏差が 2σ の近傍にあって、型幅が10mから20mの船舶の多くは押曳船等の作業船である。

更に、図-付7によると、肥大度係数(L/B)は100m以下の船舶では増加する傾向を示すが、100m以上の船舶ではコンテナ船を除くと弓なりに減少して船型が肥大化している。

したがって、式(2)の使用は注意する必要がある。

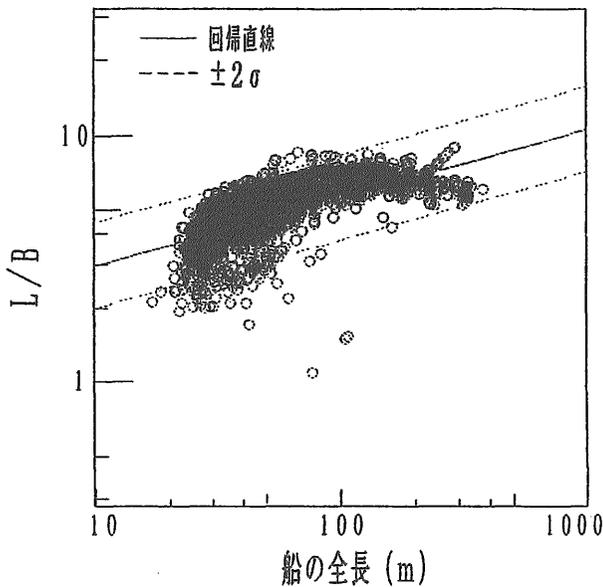


図-付7 船舶の全長と肥大度係数の関係

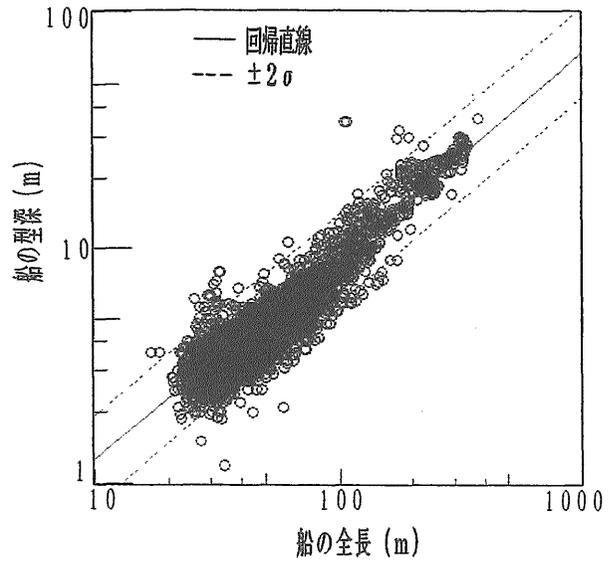


図-付8 船舶の全長と型深さの関係

c) 全長と型深さの相関

船舶の全長と型深の関係を図-付8に、また、型深さDの回帰式は式(3)に示した。

$$\log D = 0.851 \log L - 0.789, \quad \sigma = \pm 0.083 \quad (3)$$

相関係数は $r = 0.90$ 、t 値は197.73である。また、型深さDは船舶全長の0.851乗に比例して、超大型船の型深さの上限は約35mである。

d) 全長と航海速力の関係

航海速力の隻数分布を図-付9に示した。

船舶の航海速力は、11ktsを中心に1.5ktsから50kts

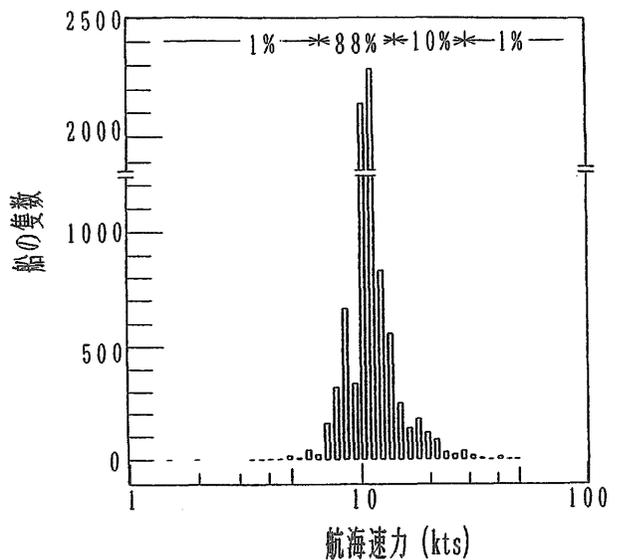


図-付9 船舶の航海速力分布

の範囲に分布しているが、7kts未満と30kts以上の船舶はそれぞれ約1%で少なくなっている。また、30kts以上の高速船は近年増加する傾向にある。

更に、全長と速力の間には一般的に相関性はないが、全長と航海速力の関係を図-付10に示す。

現状における航海速力;Vの回帰式は、式(4)に示した。

$$\log V = 0.253 \log L + 0.605, \quad \sigma = \pm 0.075 \quad (4)$$

相関係数 $r = 0.57$ 、 t 値 = 63.7である。

なお、回帰式は船舶の全長が50m未満で、5kts未満の低速船と18kts以上の高速船を除いて求めた。また、航海速力としては、公式運転時の約85%出力の値を取った。

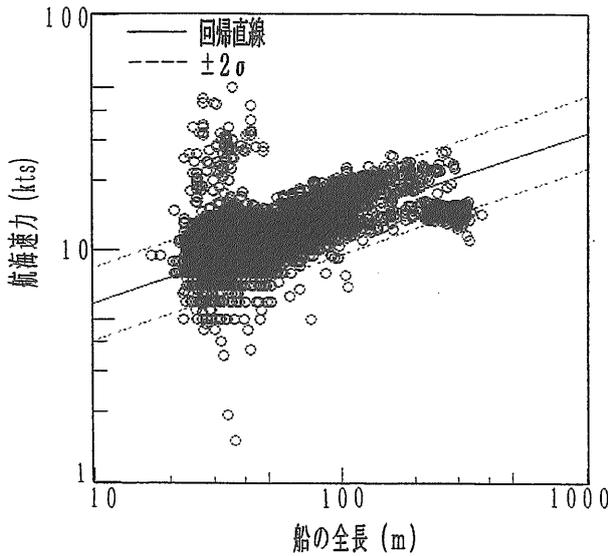


図-付10 船舶の全長と航海速力

e) 全長と特性時間の相関

特性時間; τ は、船舶が自船の全長の距離だけ進む時間; L/V で定義して、全長と特性時間の関係を図-付11に、また、特性時間 τ の回帰式は式(5)に示した。

$$\log \tau = 0.787 \log L - 0.402, \quad \sigma = \pm 0.096 \quad (5)$$

相関係数は $r = 0.86$ 、 t 値は157.93である。

高速船の航海速力時の特性時間 τ は約1秒で小さいが、大型タンカーの τ は約50秒となっている。

2. 船舶の諸元と性能特性の関係

船舶の諸元と性能特性の関係は、本文3.2.3章に示した操縦性能試験データ¹²⁾を使用して、全長L及び速力Vと性能特性(旋回性能、停止性能)の回帰式を表一

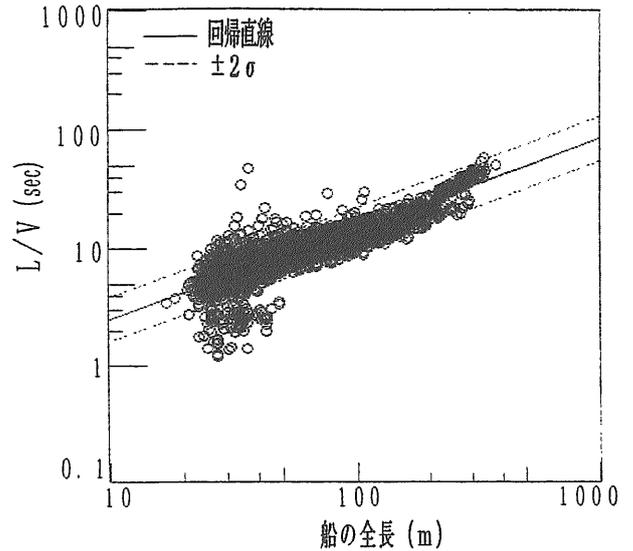


図-付11 全長と特性時間の関係

表-付3 船舶の全長と性能の関係

諸元性能	回帰式 log L	標準偏差(σ)	相関係数(r)	係数のt値	データ数(隻)
1. 旋回縦距離	$\log D_A = 1.135 \log L + 0.225$	± 0.084	0.87	26.67	212
2. D_A/L	$\log D_A/L = 0.135 \log L + 0.225$	± 0.085	0.21	3.18	212
3. 旋回横距離	$\log D_r = 1.152 \log L + 0.218$	± 0.100	0.84	23.27	212
4. D_r/L	$\log D_r/L = 0.152 \log L + 0.218$	± 0.100	0.23	3.44	212
5. 90度旋回時間	$\log T_{90} = 0.768 \log L + 0.258$	± 0.040	0.91	20.43	82
6. 停止距離	$\log D_s = 1.395 \log L + 0.119$	± 0.126	0.93	44.18	269
7. D_s/L	$\log D_s/L = 0.395 \log L + 0.119$	± 0.126	0.61	12.53	269
8. 停止時間	$\log T_s = 1.106 \log L + 0.106$	± 0.137	0.89	32.10	269

表-付4 速力と性能の関係

諸元性能	単回帰式 log V	標準偏差(σ)	相関係数(r)	係数のt値	データ数(隻)
1. 旋回縦距離	$\log D_A = 2.137 \log V - 0.018$	± 0.181	0.79	18.68	212
2. D_A/L	$\log D_A/L = 0.449 \log V - 0.016$	± 0.081	0.34	5.24	212
3. 旋回横距離	$\log D_r = 2.237 \log V - 0.095$	± 0.119	0.77	17.69	212
4. D_r/L	$\log D_r/L = 0.550 \log V - 0.094$	± 0.096	0.35	5.42	212
5. 90度旋回時間	$\log T_{90} = 1.331 \log V + 0.270$	± 0.072	0.69	8.71	82
6. 停止距離	$\log D_s = 2.549 \log V - 0.043$	± 0.257	0.71	16.49	269
7. D_s/L	$\log D_s/L = 0.667 \log V + 0.135$	± 0.144	0.43	7.71	269
8. 停止時間	$\log T_s = 1.645 \log V + 0.398$	± 0.257	0.54	10.73	269

表-付5 全長および速度と性能の関係

諸元性能	重回帰式	重相関係数(r)	係数Lのt値	係数Vのt値	D.V比
1. 旋回縦距離	$\log D_A = 0.892 \log L + 0.631 \log V - 0.016$	0.88	10.43	15.46	1.71
2. D_A/L	$\log D_A/L = -0.107 \log L + 0.631 \log V - 0.016$	0.35	1.26	15.46	1.71
3. 旋回横距離	$\log D_r = 0.889 \log L + 0.737 \log V - 0.094$	0.86	8.77	5.22	1.61
4. D_r/L	$\log D_r/L = -0.110 \log L + 0.737 \log V - 0.094$	0.36	-1.09	15.22	1.67
5. 旋回時間	$\log T_{90} = 0.614 \log L + 0.137 \log V + 0.396$	0.91	8.11	3.38	1.07
6. 停止距離	$\log D_s = 1.253 \log L + 0.351 \log V + 0.003$	0.93	17.56	10.75	1.36
7. D_s/L	$\log D_s/L = 0.253 \log L + 0.351 \log V + 0.003$	0.57	3.54	10.75	1.36
8. T_s	$\log T_s = 1.239 \log L - 0.490 \log V + 0.404$	0.90	17.45	-15.13	1.25

(付3、付4)に、LとVによる重回帰式を表-付5に示した。

a) 船舶の旋回性能の概要

ここでは、全長L及び速力Vと旋回性能の関係を示した。

1) 全長と旋回径の相関

全長と旋回横距(D_T/L)の関係を図-付12に、また、旋回横距(D_T/L)の回帰式は式(6,7)に示した。

$$\log D_A/L = 0.135 \log L + 0.225, \sigma_A = \pm 0.085 \quad (6)$$

$$\log D_T/L = 0.158 \log L + 0.196, \sigma_T = \pm 0.010 \quad (7)$$

相関係数は ($r_A=0.21, r_T=0.23$)、 t 値は ($t_A=3.18, t_T=3.34$) である。

式(6,7)は、全長に対する依存性が小さいことを示している。

そして、一般船では ($D_A/L \leq 4.5$ と、 $(D_T/L) \leq 5$ の範囲にあるが、高速船では ($D_A/L \geq 10$ 以上にあるため、高速船はこの回帰式を適用できないことが分かった。

なお、図-付12とでは、横軸 ($\log L$) のメッシュ: 0.04 毎に取り出した (D_A/L) と (D_T/L) の対数平均を黒丸 (●) で、また、高速船を (○) で、更にデータの分布範囲を縦の棒線で示している。

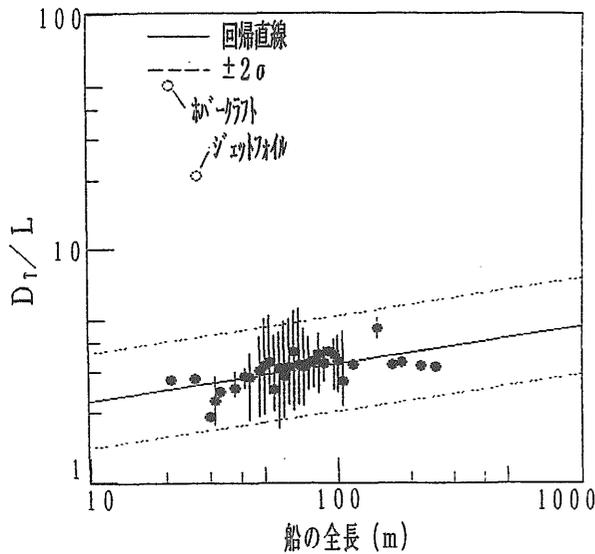


図-付12 全長と旋回横距離の関係

2) 全長と旋回時間の相関

航海速力を旋回初期速力として、35度転舵した場合の90度旋回所要時間; T_{90} (sec) と全長の関係を表-付3と表-付4の5番目の式に示した。

全長と無次元化90度旋回時間の関係を図-付13に、また、無次元化90度旋回時間; T_{90}/τ は式(8)に示した。

$$\log T_{90}/\tau = 0.109 \log L + 0.396 \quad (8)$$

そして、高速船を除くと ($T_{90}/\tau \leq 5$ の範囲で90度旋回が可能であると考えられる。

なお、図-付13では、横軸 ($\log L$) のメッシュ: 0.04 毎に取り出して、 T_{90}/τ の値を黒丸 (●: 在来船) でまた、(○) は高速船を示している。

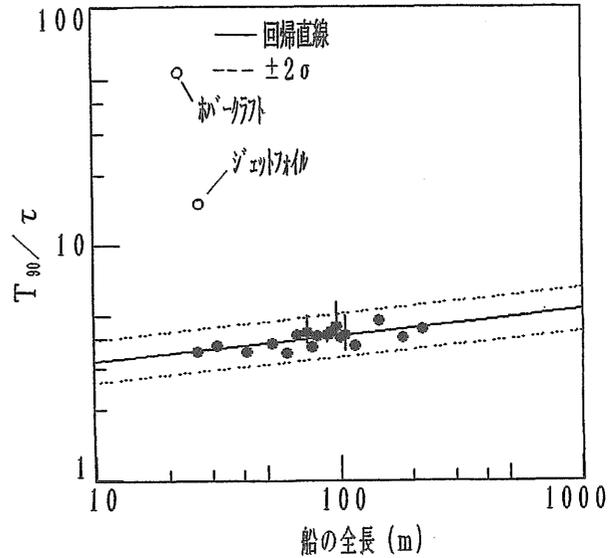


図-付13 全長と90度旋回時間の特性時間比

3) 速力と旋回径の相関

船舶の全長で無次元化旋回横距離と速力 V (kts) の関係を図-付14に、また、旋回径 ($D_A/L, D_T/L$) の回帰式は式(9,10)に示した。

$$\log D_A/L = 0.449 \log V - 0.016, \sigma_A = \pm 0.081 \quad (9)$$

$$\log D_T/L = 0.550 \log V - 0.094, \sigma_T = \pm 0.096 \quad (10)$$

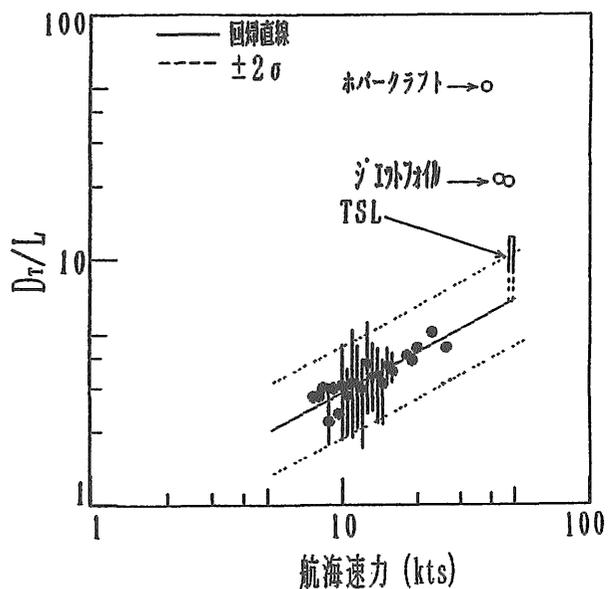


図-付14 旋回横距離の速力依存性

相関係数は ($r_A=0.34$, $t_T=0.35$)、 t 値は ($t_A=5.2$, $t_T=5.4$) である。

図-付14によれば、20ktsの時の旋回径は10ktsの時に比較して約20%大きくなるが、約47ktsの高速船では回帰式の約2倍になっている。

したがって、旋回性能は全長Lに比べて、速力依存性の傾向が大きい。また、高速船では回帰式からの分散が大きい。

なお、図-付14では、横軸 ($\log V$) のメッシュ: 0.04毎に取り出した値 (D_A/L , D_T/L) の平均を黒丸 (●: 在来船) と白丸 (○: 高速船) で、データの分布範囲を縦の棒線で示す。

4) 全長及び速力と旋回径の相関

旋回性能は、全長と速力に関する重回帰式で求めて、重相関係数と t 値及びダービン・ワトソン比; D.W を表-付5に示した。

旋回径 (D_A , D_T) の重回帰式は、式 (11,12) に示した。

$$\log D_A = 0.892 \log L + 0.631 \log V - 0.016 \quad (11)$$

$$\log D_T = 0.899 \log L + 0.737 \log V - 0.094 \quad (12)$$

重相関係数と t 値及びダービン・ワトソン比は ($r_A=0.89$, $t_L=10.43$, $t_V=15.46$, D.W=1.71) と、($r_T=0.86$, $t_L=8.77$, $t_V=15.22$, D.W比=1.61) である。

また、実測データのLとVを用いて、式 (11,12) の重回帰式で旋回径を計算した推定値と、実測値の旋回横距離の関係は図-付15に示した。

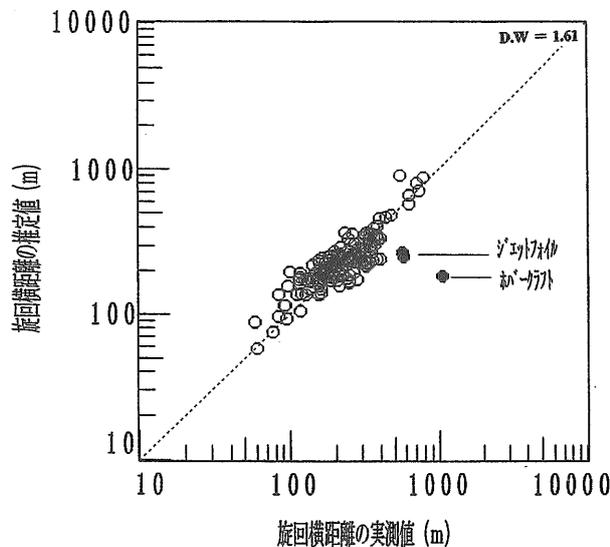


図-付15 旋回横距離の実測値と推定値の関係

5) 全長及び速力と90度旋回時間の相関
90度旋回時間; T_{90} の重回帰式は、式(13)に示した。
 $\log T_{90} = 0.614 \log L + 0.137 \log V + 0.396 \quad (13)$

回帰式の重相関係数と t 値及びダービン・ワトソン比は ($r=0.91$, $t_L=8.11$, $t_V=3.38$, D.W=1.07) である。また、実測データLとVを用いて式(13)の90度旋回時間を計算した推定値と実測値との関係は図-付16に示した。

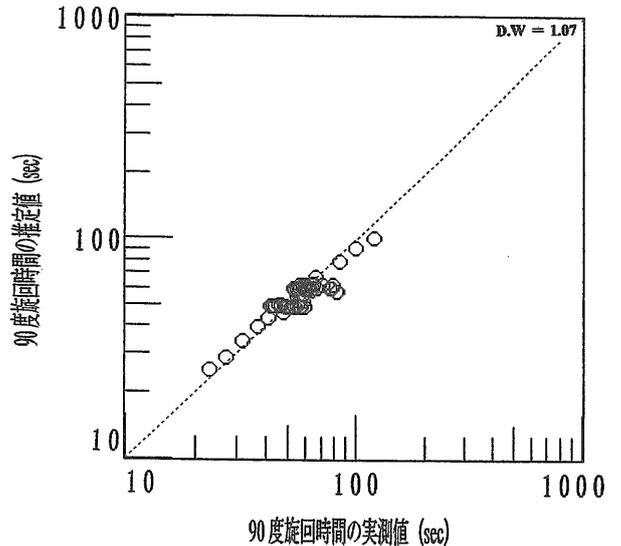


図-付16 90度旋回時間の実測値と推定値の関係

b) 船舶の停止性能

全長及び速力と統計的停止性能の関係を次に示した。

1) 全長と停止距離の相関

無次元化停止距離; D_s/L と全長の回帰式は、式(14)に示した。

$$\log D_s/L = 0.667 \log V + 0.135, \quad \sigma = \pm 0.144 \quad (14)$$

相関係数と t 値は ($r=0.43$, t 値=7.71) である。停止距離; D_s の回帰式は、式(15)に示した。

$$\log D_s = 0.395 \log L + 0.119, \quad \sigma = \pm 0.126 \quad (15)$$

相関係数と t 値は ($r=0.61$, $t=12.53$) である。そして、停止距離の上限は、(D_s/L) ≤ 20 の範囲にある。

なお、ジェットフォイルではウオータージェットを逆噴射して緊急停止するので無次元化停止距離は約5.5倍から6.6倍になって、在来船に比較して非常に短くなるが、機関停止による航走停止距離は在来船の停止距離特性に相当して長いので、操船の安全性を考慮して、

高速船の場合は機関停止航走距離のデータを用いた。

2) 全長と停止時間の相関

全長と停止時間の関係を図-付17に示した。

表-付3の8番目の式によると逆転制動時の停止時間 T_s (sec) は全長 L の1.106乗に比例して、相関係数と t 値は ($r=0.89$ 、 t 値=32.10) である。

重回帰式のダービン・ワトソン比の有意性は低いので、 L と V の他にも影響を与える要素があることが考えられる。

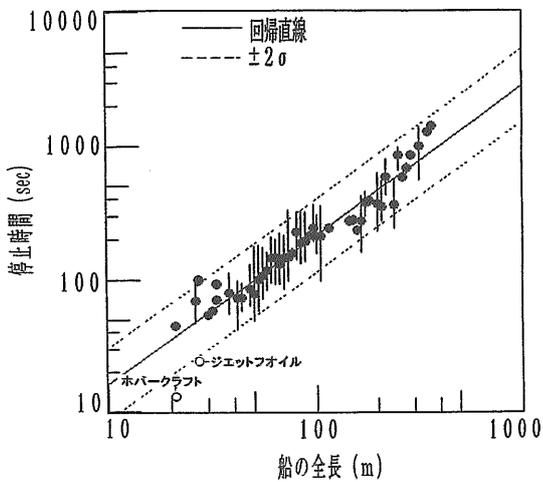


図-付17 全長と停止時間の関係

3) 全長及び速力と停止時間の相関

停止時間 T_s の重回帰式は、式(16)に示した。

$$\log T_s = 1.239 \log L + 0.490 \log V + 0.404 \quad (16)$$

重相関係数と偏回帰係数の t 値及びダービン・ワトソン比は($r_s=0.90$ 、 $t_L=17.45$ 、 $t_V=-15.13$ 、 $D.W=1.25$)である。また、実測データ L 、 V を用いて式(16)の重回帰式で停止時間を計算した推定値と実測値との関係は図-付18に示した。

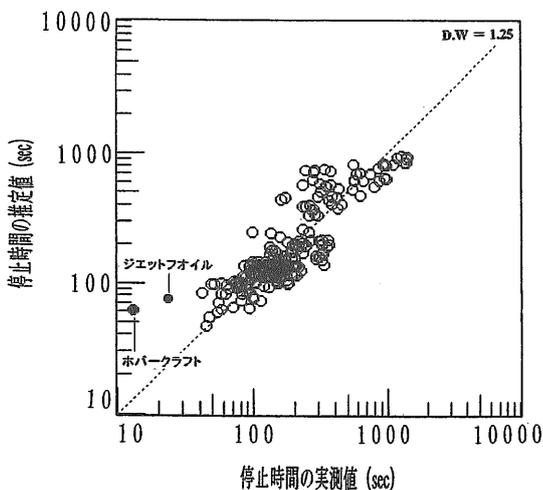


図-付18 停止時間の実測値と推定値の関係