船舶諸元特性の統計解析に関する一考察

有村 信夫*・山田 一成*
菅澤 忍*・池上 二郎**

Study on Statistical Analysis of Various Elements Related to Vessel

Nobuo ARIMURA, Kazunari YAMADA,
Shinobu SUGASAWA and Jirou IKEGAMI

Abstract

Relations among various elements on vessel performance were statistically analyzed based on the Japanese Vessel Specifications, Specifications for Domestic Vessels in Japan (8,362 vessels, 1992) and ship maneuverability tests at sea (320 vessels).

Relations of various elements are expressed by regressive linear equations of logarithms.

Results are useful for statistically evaluating the maneuvering support system that estimates the dimensions of other vessels based on watch data.

For example, the following equation represent the relation among the vessel length L , gross tonnage GT , sea speed V , and stopping distance, wherein σ denotes standard deviation.

$$\log GT = 3.004 \log L - 2.543, \sigma = 0.254 \quad (1)$$

$$\log V = 0.368 \log L + 0.400, \sigma = 0.079 \quad (2)$$

$$\log D_s = 1.446 \log L + 0.010, \sigma = 0.016 \quad (3)$$

1. はじめに

近年、海上交通が輻輳化する中で船舶が大型化・高速化して、運航要員は少人数化する傾向にある。また、高速船が就航する輻輳海域では、操船者の負担を軽減するための操船判断支援システムが望まれている。

一方、操船者は航行の安全性を判断するために、目視により相手船の大きさや速力等の情報を収集し、長年の実務経験から相手船の諸元性能を推測して、操船時の一判断情報にしていると考えられる。

即ち、互いに相手船の形状に拘る諸係数と諸性能を知ることは、相手船の立場を知る上での判断材料として重要なことである。

さらに、海上交通現象を巨視的立場から把握するためには、船の統計的諸元性能について考察する必要があり、また、船の諸元性能を巨視的に把握することは、安全運航に関する操縦性基準 (IMO) を検討^(2,3)する場合でも考慮されているように重要である。

船の統計的な諸係数と諸性能については、20 数年前に藤井氏⁽¹⁾によって報告されている。

しかし、今日では当時と比べて船舶の種類も変わっていると思われるが、この種の統計分析は見当たらない。

今回は日本船舶明細書・日本内航船舶明細書 (平成 4 年度版)^(4,5) と関係者の善意によって提供された多くの操縦性試験データを基に、船舶の形状に拘る諸係数と諸性能について統計分析を行ったので以下に報告する。

* 正会員 運輸省船舶技術研究所 (〒181 東京都三鷹市新川 6-38-1)

** 正会員 運輸省航海訓練所 (〒231 横浜市中区北仲通 5-57 横浜第 2 合同庁舎)

2. 調査概要

船舶の諸係数ならびに諸性能に関する検討は、船舶明細書に記載されている 100 トン以上、40 万トン未満の日本国籍船舶 (8,362 隻) と操縦性能試験データ (320 隻) を調査対象に統計的分析を行った。

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。また、船舶明細書では船の種類を 56 種に分類しているが、ここでは表 1 で示すように 7 種類にまとめて考察することにした。

はじめに、船舶明細書等のデータから船の長さ: L 、総トン数: GT (トン)、航海速度: V (knt)、型幅: B (m)、型深: D (m)、特性時間: τ (sec) と置いて、諸係数と長さ及び速度の関係を調べた。

次に、避航動作に拘るものとしては、船の旋回性能と停止性能等が避航限界を知る上で重要な要素となる。

即ち、旋回性能としては最大舵角時の旋回縦距: D_A 、旋回横距: D_T 、90 度旋回時間: T_{90} 、180 度旋回時間: T_{180} を選び、また、停止性能としては停止距離: D_s と停止時間: T_s の関係を取り扱った。

これらの値は、非常に広範囲に渡るため、船の全長は 10 を底とした対数 $\log L$ を λ と置き、他の諸元についても 10 を底とした対数の値に変換して、諸元間の関係は両対数で表わしている。

3. 諸係数及び諸元性能と長さの関係

ここでは、船舶の形状に拘る諸係数と諸性能について、船の全長の $\log L$ をパラメータとして調べた結果を表 2 にまとめて示す。なお、藤井氏の文献によれば、船の運動性能と長さは密接に関係していることが示されている。

3.1 総トン数と長さの関係

全船舶についての総トン数と長さの関係は図 1 に示す通りである。

図 1 の実線は、 $\log GT$ の λ の上への回帰直線で、点線は $\pm 3\sigma$ (σ : 標準偏差値) の値を示している。また、回帰直線より $\pm 3\sigma$ 離れたものはほとんどが押曳船等である。

回帰直線式は

$$\log GT = 3.004 \lambda - 2.543 \pm 0.254 \quad (\text{トン}) \quad (1)$$

となる。また、標準偏差値 σ は 0.254 である。

図 1 の分布を船種別に分けて調べると、コンテナ船類、鉦撤船類、油槽船類では長さ約 200 m、総トン数 1 万トンを境に内航船と外航船が分かれ

表 1 船の種類と分布

分 類	隻 数	%
1. 汎用船類	168	2
2. 油槽船類	1,754	21
3. 鉦撤船類	563	7
4. 貨物船類	3,314	40
5. 旅客船類	802	9
6. 押曳船類	1,525	18
7. 巡消船類	236	3

* 100ton未満の鋼船、木船、
500ton未満の漁船等は除外
されている。

表 2 船の諸元性能と長さの関係

諸 元	(単位)	近 似 式	(標準偏差)	データ数
1. 総トン数	(ton)	$\log GT = 3.004 \log L - 2.543$	± 0.254	8282
2. 航海速度	(knt)	$\log V = 0.368 \log L + 0.400$	± 0.079	8276
3. 特性時間	(sec)	$\log \tau = 0.763 \log L - 0.363$	± 0.097	8276
4. 型深さ	(m)	$\log D = 0.862 \log L - 0.762$	± 0.095	8282
5. 型幅	(m)	$\log B = 0.723 \log L - 0.187$	± 0.092	8279
6. L/B		$\log L/B = 0.277 \log L - 0.198$	± 0.087	8279
7. 旋回縦距	(m)	$\log D_A = 1.120 \log L + 0.254$	± 0.088	212
8. D_A/L		$\log D_A/L = 0.127 \log L + 0.231$	± 0.089	212
9. 旋回横距	(m)	$\log D_T = 1.154 \log L + 0.213$	± 0.103	212
10. D_T/L		$\log D_T/L = 0.161 \log L + 0.190$	± 0.104	212
11. 90度旋回時間	(sec)	$\log T_{90} = 0.768 \log L - 0.263$	± 0.041	82
12. T_{90}/τ		$\log T_{90}/\tau = 0.109 \log L - 0.396$	± 0.046	82
13. 180度旋回時間	(sec)	$\log T_{180} = 0.796 \log L - 0.509$	± 0.045	82
14. T_{180}/τ		$\log T_{180}/\tau = 0.138 \log L - 0.642$	± 0.049	82
15. 停止時間	(sec)	$\log T_s = 1.161 \log L + 0.004$	± 0.140	269
16. T_s/τ		$\log T_s/\tau = 0.421 \log L + 0.330$	± 0.115	269
17. 停止距離	(m)	$\log D_s = 1.446 \log L + 0.010$	± 0.016	269
18. D_s/L		$\log D_s/L = 0.449 \log L - 0.006$	± 0.128	269

ていることが判る。

さらに、船の種類別の回帰直線は表3で示すようにわずかながら差が認められる。

例えば、総トン数 GT は、コンテナ船類で長さの3.494乗に比例しているが、巡視船・消防船等の船舶では長さの2.141乗に比例して小さくなっている。また、他の種類の船に比べて、貨物船類の標準偏差は大きいことが判るから、いろいろな使用目的の船が混在していると思われる。

次に、図1における船舶の長さとしきの分布状態を参考までに示す。

○ 長さの分布

船の長さ別の隻数分布は図2に示す通りである。なお、船の全長の対数 ($\lambda = \log L$) を採った横軸のメッシュは0.04である。

船の長さは15mから400mの広い範囲に渡るが、100m未満は全船舶の91%を占めており、残りの9%が100m以上となっている。

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

○ 船の大きさの分布

船の大きさ別隻数分布は、横軸 ($\log GT$) のメッシュ:0.11で、図3のようになる。

1000トン未満の船は全船舶の約86%あって、200トンと600トンの近傍の値に多く存在している。そして、1万トン以上の船は4%と少ないが、この値の他に外国籍の船が加わることを考慮すれば、日本近海で航行している船はもう少し増加するものと思われる。

表3 船種別の総トン数と長さの関係

種 類	近 似 式 (単位: ton) (標準偏差)	データ数
1. 汽船類	$\log GT = 3.494 \log L - 3.645 \pm 0.122$	157
2. 油槽船類	$\log GT = 3.008 \log L - 2.543 \pm 0.155$	1743
3. 鉱油船類	$\log GT = 2.959 \log L - 2.399 \pm 0.101$	552
4. 貨物船類	$\log GT = 2.825 \log L - 2.273 \pm 0.245$	3301
5. 旅客船類	$\log GT = 2.435 \log L - 1.405 \pm 0.141$	790
6. 押曳船類	$\log GT = 2.395 \log L - 1.305 \pm 0.141$	1514
7. 消防船類	$\log GT = 2.141 \log L - 0.939 \pm 0.145$	225

図1 総トン数と長さの関係

図2 船の長さの分布

図3 船の大きさの分布

3.2 航海速力と長さの関係

全船舶の航海速力と全長の関係は図4の如くなり、航海速力分布を船種別で詳細に調べると、コンテナ船類では船型の大型化と共に速力は増加する傾向にあるが、油槽船類と鉾撤船類では速力約15kntを上限值として一定となっている。また、回帰直線から離れた50m未満の船では、7knt以下の低速船は主に作業船であり、17knt以上は高速船として分けられる。

ここでは、船の長さが50m未満で5knt未満の低速船と20knt以上の高速船を除いて回帰直線を求めると、

$$\log V = 0.368 \log L + 0.400 \pm 0.079 \quad (\text{ノット}) \quad (2)$$

となり、標準偏差は $\sigma = 0.079$ である。

さらに、船の種類別の航海速力と長さの関係は表4に示している。

船の種類別の特徴は次のようになる。

○ 重量物を運搬する油槽船類・鉾撤船類・押曳船類等の航海速力では船の全長 L の0.223乗から0.296乗に比例しており、一方、貨物船類・巡視船類・コンテナ船類等では L の0.456乗から0.545乗に比例することが判る。

○ 船の全長が50m以下で速力30knt以上の船の種類は旅客船類と消巡船類によるものである。

次に、図4における航海速力の分布状態を参考までに示す。また、航海速力別の隻数分布は、横軸($\log V$)のメッシュ:0.04に採ると図5の通りである。

船舶の航海速力は11kntを中心に1.5kntから50kntの範囲に分布しているが、7knt未満と30knt以上の船はそれぞれ約1%で少なくなっている。

図4 航海速力と長さの関係

3.3 船の型幅と長さの関係

全船舶の型幅と全長の比(L/B)の関係を図6に示している。

油槽船類と鉾撤船類の型幅は、他の船に比べて、(L/B)が小さくなる傾向にあり、船型が肥大化していることが判る。

3.4 特性時間と船の長さの関係

特性時間は、(船の垂線間長 L_{pp} /航海速力 V)で定義して、以下、これを τ で表わす。即ち、船が自船の長さの距離だけ進む時間を物さしとして、これを特性時間と言う。

表4 船種類別の航海速力と長さの関係

種類	近似式 (単位: knt) (標準偏差)	データ数
1. 汎用船類	$\log V = 0.467 \log L + 0.238 \pm 0.034$	157
2. 油送船類	$\log V = 0.296 \log L + 0.480 \pm 0.036$	1743
3. 鉾撤船類	$\log V = 0.277 \log L + 0.519 \pm 0.049$	552
4. 貨物船類	$\log V = 0.545 \log L + 0.041 \pm 0.049$	3301
5. 旅客船類	$\log V = 0.324 \log L + 0.615 \pm 0.150$	789
6. 押曳船類	$\log V = 0.233 \log L + 0.648 \pm 0.104$	1511
7. 消巡船類	$\log V = 0.456 \log L + 0.397 \pm 0.176$	223

図5 船の速力分布

特性時間と船の全長 L の関係は、図 7 の様になる。

高速船の特性時間 τ は約 1 秒で小さいが、大型タンカーの τ は約 50 秒となっているため、大きさが異なる船種の運動性能に拘る指標として使用できる。

図 6 船の肥大度と長さの関係

図 7 特性時間と長さの関係

3.5 旋回性能と船の長さの関係

a) 旋回縦距 D_A 及び旋回横距 D_T と全長 L の関係について述べる。

表 2 の回帰直線式 (7 式、9 式) によると、 D_A は L の 1.120 乗に比例し、また、 D_T は L の 1.154 乗に比例して、わずかに D_T の方が大きいことが判る。

さらに、 D_A と L の関係は図 8 の通りであり、 D_A を船の長さ L で無次元化したものは図 9 のようになる。

船の長さで無次元化 (D_A/L , D_T/L) すると、 $\log L$ の係数がそれぞれ 0.127 乗と 0.161 乗に比例するため、長さに対する依存性が小さいことが表 2 の (8 式、10 式) から判る。

また、高速線を除くほとんどの船が $(D_A/L) \leq 4.5$ の範囲にあることを示している。

なお、図 9 では、横軸 ($\log L$) のメッシュ: 0.04 ごとに取り出した (D_A/L) の対数平均を黒丸 (●) で、データの分布範囲を縦の棒線で表わしている。

図 8 旋回縦距と長さの関係

図 9 旋回縦距の全長比

b) 90度旋回時間 T_{90} と180度旋回時間 T_{180} と長さの関係について述べる。

表2の回帰直線式によると、 T_{90} は全長 L の0.768乗に比例し、また、 T_{180} は L の0.796乗に比例している。また、 T_{90} を船の特性時間 τ で無次元化したものは図10のようになる。

さらに、特性時間 τ で無次元化 (T_{90}/τ , T_{180}/τ) した表2の(12式、14式)からは、 $\log L$ の係数がそれぞれ0.109乗と0.138乗に比例しているため、長さに対する依存性が小さいことが判る。

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。

したがって、船の長さが大きく変化する場合でも適用できるから、小型船から大型船までの巨視的な旋回性能の推定が可能であると考えられる。

なお、図10では、横軸 ($\log L$) のメッシュ: 0.04ごとに取り出した (T_{90}/τ) の対数平均を黒丸(●)で、データの分布範囲を縦の棒線で表わしている。

図10 90度旋回時間の特性時間比

3.6 停止性能特性と長さの関係

表2によると逆転制動時の停止距離 D_s は全長 L の約1.446乗に比例している。また、逆転制動時の停止時間 T_s は全長 L の1.161乗に比例している。なお、停止距離・停止時間の性能と長さの関係は、それぞれ図11と図12に示している。

さらに、旋回性能と同様に停止性能 (D_s と T_s) に関しても無次元化 (D_s/L , T_s/τ) を行えば $\log L$ の係数はそれぞれ約0.449乗と約0.421乗に比例する。

したがって、停止性能を長さや特性時間で無次元化して巨視的に推定することが可能であることが判る。そして、停止距離の上限は、 $(D_s/L) \leq 20$ の範囲にあることが判る。

図11 停止距離と長さの関係

図12 停止時間と長さの関係

4. まとめ

今回は、船の諸元性能を巨視的に把握する判断資料を得るため、船舶諸元性能の統計データを解析して、船の総トン数、航海速力、型幅、型深、特性時間、旋回性能、停止性能等の諸係数、及び諸性能についての長さの関係を示すと共に、船の種類別の回帰直線式を調べることが出来た。

その結果は、次の通りである。

- 船の種類によって船の形状の諸係数は多少異なるが、船の長さから諸性能の巨視的推定が可能である。
- 船の長さが大きく変わる範囲でも、停止性能や旋回性能を表 2 からモデル化できる様になった。
- 船の諸元性能と長さの回帰直線の 3σ (標準偏差) 以内に無い船の多くは低速の作業船と高速船であることが判った。
- 船の諸元性能について藤井氏のデータと比較すると、 $\log L$ の係数は、航海速力：21%、旋回縦距：12%、総トン数：9%程増加しているが、他のものについての変化は 5%以下であった。

この係数値の変化の原因としては、約 30 年間に渡る運行体制の変化と、速力の速い船の増加や大型船の増加傾向によるデータの母集団の違いとが考えられる。

したがって、これらの結果は、見張り情報から他船の大きさを捉えて、他船の諸係数や諸性能を推定する操船支援システムの統計的判断資料として、役立つものと考ええる。

最後に本研究の調査実施に当たり、貴重な性能試験データの御提供を賜りました日本船舶整備公団及び全国内航タンカー海運組合他関係者各位に、厚くお礼を述べる次第です。

参 考 文 献

- (1) 藤井弥平：海上交通工学序説、海文堂出版、昭和 46 年
- (2) 日本海事協会：船舶の停止性能について、昭和 54 年 2 月
- (3) 門野 明他：旋回性能について、西部造船学会、第 56 回、昭和 53 年 5 月
- (4) 日本船舶明細書：日本海運集会所、平成 4 年度出版
- (5) 日本内航船舶明細書：日本海運集会所、平成 4 年度出版