

海峡および水道の船舶交通現象に関する研究

制限水路の船舶航行容量について
——観測による航行容量の推定——

田中 健一* 渡辺 健次* 山田 一成*
金丸 貞己* 有村 信夫* 浜島 金司*

Marine Traffic Phenomena on Narrow Straits Studies on the Marine Traffic Capacity

——An Observational Estimation of the Capacity——

By

Ken'ichi TANAKA, Kenji WATANABE, Kazunari YAMADA,
Sadami KANEMARU, Nobuo ARIMURA and Kinji HAMAJIMA

Abstract

The estimation of the marine traffic capacity requires the determination by the observation for the effective domain, which was carried out by "Looking Down Method" on the Chôshi Harbour. Using the statistical manipulation of the obtained data, effects of ship group size, ship speed and waterway width on the effective domain are clarified. The multiple regression formulas for these effects are given as follows :

for the group made up of two ships

$$R_0 = 11.80 + 12.33V + 0.1107W + 0.804L,$$

and for the group made up of three or more

$$R_0 = -4.82 + 6.88V + 0.1957W + 1.742L,$$

where R_0 is the length of the effective domain in metres, V the ship speed in metres per second, W the waterway width in metres and L the ship length in metres, and the mean values of L are 18.06 and 17.97 metres respectively. Furthermore, the traffic capacity in the high speed range of ship is represented by the following formulas :

$$C = \eta \frac{WV_0}{L^2},$$

$$\eta = 0.22 \pm 0.05,$$

where C is the traffic capacity in ships per second, V_0 the normal speed of ship in metres per second.

1. まえがき

狭水道・運河など狭い水域における船舶の輻輳化に対処し、航行船舶の安全確保と海運の輸送能率の向上

を意図して、当所では、航行容量（交通容量）という概念を船舶交通に導入して研究を進めてきた。そして、船舶およびその航行条件が理想に近い形で与えられた場合に、水路を通過し得る最大の交通量をもつ

* 共通工学部 原稿受付：昭和48年3月1日

て、水路の航行容量（基本）と定めた¹⁾。

しかしながら、現実の運用実施中の水路においては、このような最大の交通量に達しているとみなされるものがほとんど存在しないと考えられるので、この量を観測によって把握するには非常に困難性が存在することになる。そこで、この容量の基礎をなす概念として閉塞領域というものを創案した。これは、ほとんど同一方向に、ほぼ同一の速度で航行する船群があった場合、先行船に対する後続船の相対位置を考え、この相対位置分布における後続船の密度最大の位置を結んで得られる先行船の後方を囲む領域であり、この後続船の平均的な追従間隔で作られる範囲が求めれば、この領域を前後左右につなぎ合せて、航行中の船の密度を推定し、これから、容量に近い値が求まるとしても大過なからうと考えたのである¹⁾。

このように、当所における研究は閉塞領域から容量を推定するというアプローチを試みたものであるが、浦賀水道、関門海峡や京浜運河などで観測によって得られた閉塞領域の値には、それぞれの条件において、交通現象をつかむ上で効果があり、かつ、間接的に容量を推定する上でのパラメータの役割があるなど、多くの意義が存在すると考えられる反面、そのいずれの場合においても、1組の先行船・後続船のみで成立つ2船群の場合、すなわち、2体問題の場合について求められたデータが大部分であり、さらに、可航幅もかなり広いので、十分にその影響がきいているのかどうか不明であり、また、船の速度に対する依存性も未知のままなので、容量推定上、必ずしも十分な条件を満足しているとはいえないと思う。そこで今回、これらの問題点を明らかにし、さらに、容量を推定するため観測を実施してみた。観測は小規模なものであったが、以上の点をほぼ満足する成果が得られたので以下にその概要を報告する。

【記号表】

- C : 交通容量, 隻/sec
 $F_{\alpha}(\phi_1, \phi_2)$: 自由度 ϕ_1, ϕ_2 の F 分布の上側確率 α の点
 L : 船の全長, m
 n : 観測データ数
 r : 極座標, m
 $\log r_0$: 回帰式(3)の回帰係数
 R : 閉塞領域の長さ, m
 R_0 : 重回帰式(4), (5)における閉塞領域の相当長さ, m
 S : 閉塞領域の幅, m

- T : 船の総トン数, t
 V : 船の速度, m/sec
 V_0 : 船の満載速度, m/sec
 W : 水路の可航幅, m
 x : 直角座標, m
 y : 直角座標, m
 α : F 分布の上側確率
 $\beta = V/V_0$
 $\eta = \frac{\beta}{RS/L^2}$: 交通容量 (無次元)
 ρ : 相関係数
 θ : 極座標, 度
 \bar{A} : A の平均
 σ_A : A の標準偏差

2. 観測方法

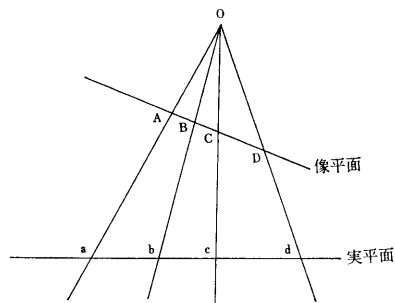
従来、当所では、レーダ連続撮影法、写真三角測量法、通過時間記録法などの方法により閉塞領域を求めるための観測を実施してきたが、ここでは、対象水域を地上の高所より連続的に写真撮影して航行船舶の状況を把握する俯瞰撮影法を採用した。

これは、水面上にあるいくつかの不動点の位置をあらかじめ求めておき、撮影されたフィルム上の画面から、これらの点との関係によって船の位置を求める方法である。観測が簡便で他に比較して費用が僅少ですむという利点があるが、適当な高所の観測場所が必要であり、かつ、対象水域がかなり限定されるという欠点がある。

この方法では、つぎのような条件の成立を仮定している。すなわち

「実平面上の一点と像平面（写真フィルム面）の対応する点をむすぶ直線はすべて一点を通る。」

この条件は理想的なピンホールカメラにおいて成立している。また、この条件のもとでは、実平面上の直



図一1 データ解析における両平面の直線上の点の関係

線は像平面上の直線に写像される。そのとき図-1において、幾何学の定理

$$\frac{ab \cdot cd}{ad \cdot bc} = \frac{AB \cdot CD}{AD \cdot BC} \quad \dots\dots(1)$$

が成立し、実平面上に a, b, c をあらかじめ基準点としてえらび、各点間の距離を測定しておけば、像平面上の A, B, C, D 点間の距離からこの式を用いて実平面上の d 点の位置が求められる。

$ad = \xi', AD = \xi, ab = p, bc = q, AB = P, BC = Q$ とすれば

$$\xi' = \frac{pQ(p+q)\xi}{(pQ - Pq)\xi + Pq(P+Q)} \quad \dots\dots(2)$$

となり、この関係は直角双曲線のグラフで表わされる。

このように、直線上の3点をあらかじめえらんでおけばこの直線上の他のすべての点の座標が写真画面から求められる。

つぎに、実平面上に基準点として1直線上にない4点をえらんでおくと、この4点のつくる4角形の対角線の交点が実平面・像平面ともに確定する。したがって、対角線上の3点が定まることになり、この対角線上のすべての点の座標が上のようにして求められる。いま、図-2のように実平面で対角線を等分し、その等分点をむすべば、斜交座標系をなすメッシュが得られる。各等分点に対応する像平面上の各点は容易に求められ、これらを同様にむすべば対応するメッシュが得られ、平面上のすべての点の座標がこの図を使って求められる。

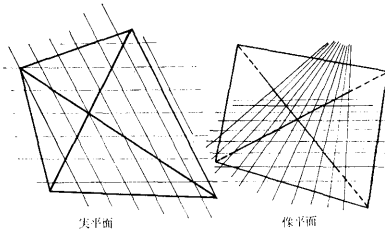


図-2 像平面における等間隔メッシュの作成

また、写真画面上に水平線がうつっている場合、この水平線は近似的に実平面上の無限遠に対応するものとみてよいので、この方法においてえらぶべき基準点の数を減らすことができる。すなわち、実平面上での直線に対応する像平面上の直線は、像平面上の水平線との交点において、実直線の無限遠点に対応するので、直線上の点の座標を求めるさいに必要な基準点の数は2個、同様に平面上の座標に対しては3個で十分である。

今回のデータ整理は以上の方法によって行なった

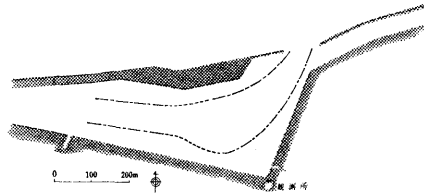


図-3 銚子港観測見取り図

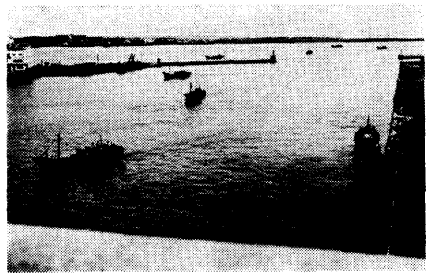


図-4 観測フィルムの1コマ

が、この手続きは、解析幾何学的に計算によって行なうこともできる(付録1参照)。

観測は千葉県銚子港において、昭和46年9月から47年2月までの間、海象・気象の比較的良好な日を選んで実施された。この銚子港は、船の大きさ、船種などの一様性に富む漁船の交通量が、かなり多い場所であり、また、狭い水路における船の航行の状況が観測し易い水域でもある。観測には、電動カメラを使用した。出入港する船群をとらえ、これをカラーフィルムに10sec毎に撮影してかなり多くの有効なデータを収集することができた。図-3は、銚子港における観測の見取り図を示したものである。この図に示される観測所(千葉県銚子水産事務所ビル屋上)におけるカメラの位置は海面上約30mの高所にある。前述の不動点はあらかじめ1/1,000地図から求めておいた。また、図-3で鎖線が可航幅の境界を示す。ここでは船が岸壁から少し離れて航行するので、その航跡の十分密なところをもって可航水域とし、その幅をもって可航幅とする。また、可航幅と岸壁との間の領域を緩衝帯(buffer zone)と呼ぶことにする。図-4には、観測フィルムの1コマを示す。

前述の方法によって、撮影されたフィルムから船の位置が求まるから、これから、先行船に対する後続船の相対位置が計算され、また、連続した3コマのフィルムから船の速度が求められる。ここでは、データ毎の独立性が確保されるように留意してサンプリングを

行なうこととし、原則として、先行船・後続船の速度差は±20%以内、船の全長のちがいも±20%以内、相対方位左右45°以内のものを1組のデータとして採用するものとし、速度、船の全長はすべて、後続船のものを採ることとした。

3. 観測結果とその考察

以上のようにして得られた観測データに統計的処理を施し、閉塞領域に及ぼす要因の影響の検討や航行容量値の推定を試みた。

3.1 閉塞領域に及ぼす要因の影響

3.1.1 船群の大きさ

最初に検討したのは、船群の大きさによって、閉塞領域がどのように変わってくるかということである。図一5の(a), (b), (c)および(d)はこの比較を示したものである。(a)は従来の2船群における後続船の相対位置の分布を従来と同じようなデータ処理の方法によって、プロットしたものである。しかし、ここでは統計処理の必要上、新しい表現方法を用いてこの分布の状況を

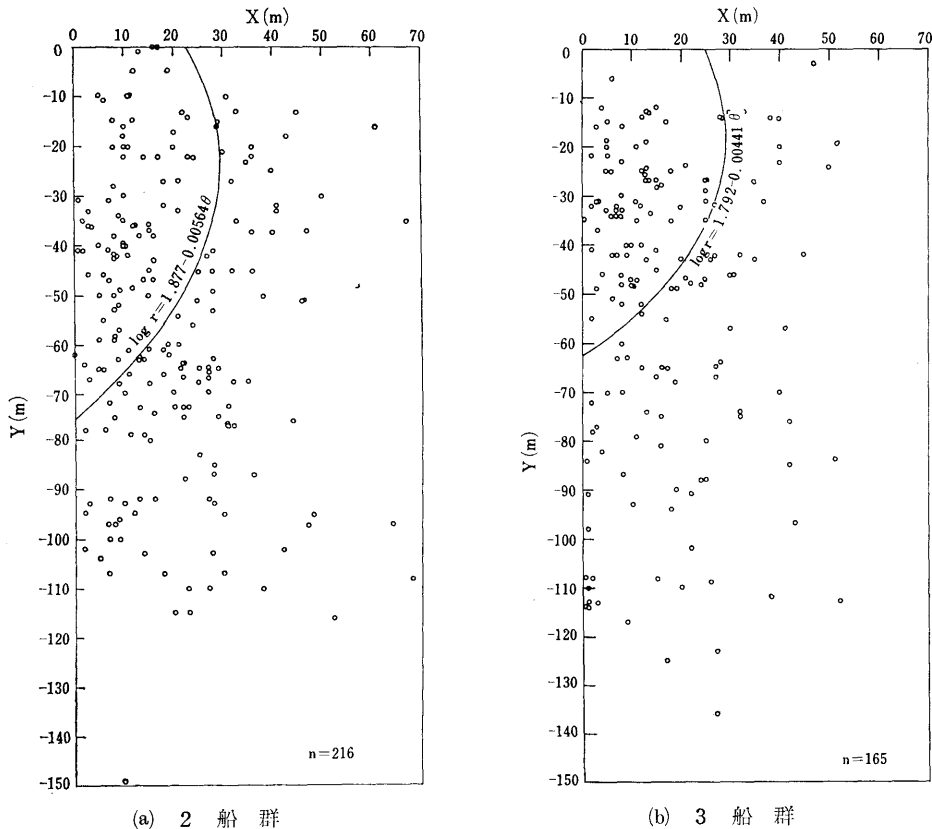
表わした。すなわち、従来はますめを区切り、その密度最大のますめを連ねて閉塞領域を表わしたが、ここでは直角座標(x, y)を極座標(r, θ; 単位: m, 度)に変え、さらに直線回帰

$$\log r = \log r_0 + k\theta \quad \dots\dots(3)$$

(0° ≤ θ ≤ 90°)

が成立つように座標変換を行なった。ここで、logは常用対数を表わす(以下同じ)。また、log r₀ および k は回帰係数を示す。個々の観測データの log r と θ から回帰分析を行なって、log r₀, k を推定し、求まった回帰式を(r, θ)平面に表わしてみると図示のような曲線となる。この表現方法は簡単な形で、従来の閉塞領域をほぼ表わしていることがわかっている(付録2参照)。(b)は3船群の場合、(c)は4船以上の群の場合と同様な分布図である。さらに、(d)は、3船以上の群のとき、前後または左右に他船により、はさまれた船(ここでは内側船と呼ぶことにする)の場合

† 便宜上、θはy軸の負の方向から反時計回りにとることとした。



図一5 後続船の相対位置分布図

の同様な分布図で、これらについても、回帰直線が求まり、それらの曲線がそれぞれの図に画かれている。これら船群の大きさに対応した回帰係数・相関係数などの統計値を表一1に示す。表中の数値から、2船群と3船、4船以上の群、内側船のいずれかの1つとの間には、統計学的に回帰に有意のちがいの存在が立証された(付録3参照)。すなわち、閉塞領域の大きさの比較においては2船群の場合に対し、3船以上の群の場合がはるかに小さくなること、特に、この傾向は内側船というとらえ方をした場合に著しいことが示された。

3.1.2 船の速度・可航幅

つぎに、船の速度や水路可航幅の影響について、重回帰分析を行なった。船群の大きさが同一の場合、データの全数について求められた式(3)の回帰係数を既知とし個々のデータの r , θ を式(3)に与えて得られた r_0 に相当するものを R_0 とする(式(3)の場合に得られた回帰係数の r_0 と区別してこの記号を用いる)。このようにして、個々のデータの R_0 を求めれば、 R_0 は

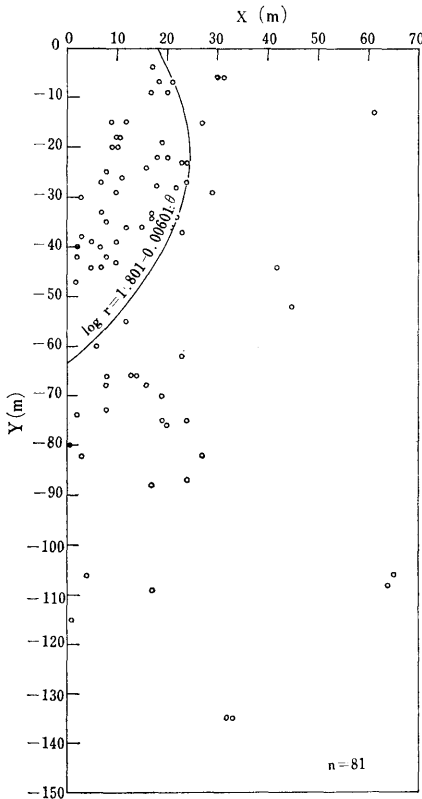
表一1 船群の大きさと統計値

船群の大きさ	2船群	3船群	4船以上の群	内側船
データ数	216	165	81	96
回帰係数 $\log r_0$	1.877	1.792	1.801	1.695
回帰係数 k	-0.00564	-0.00441	-0.00601	-0.00343
相関係数 ρ	-0.5044**	-0.3404**	-0.5369**	-0.3319**
$\overline{\log r}$	1.744	1.695	1.660	1.611
$\sigma_{\log r}$	0.180	0.232	0.228	0.201
$\overline{\theta}$	23.53	21.92	24.48	24.47
σ_{θ}	17.11	18.03	19.99	19.46

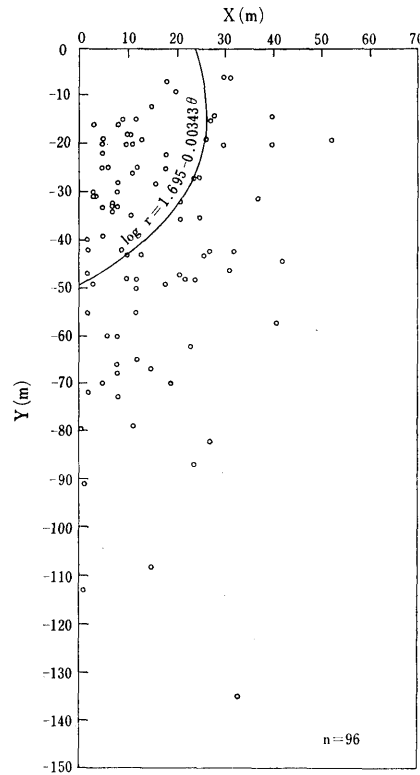
**は $\log r$ と θ との相関が高度に有意(危険率0.01)であることを示す。

$\overline{\log r}$, $\sigma_{\log r}$; $\overline{\theta}$, σ_{θ} はそれぞれ $\log r$, θ の平均および標準偏差を示す。

各データについて閉塞領域の大きさを示すパラメータとして取扱っても、無理でないと考えられる。†いま、



(c) 4船以上の群



(d) 内側船

図一5 後続船の相対位置分布図

観測値を処理して、このようにして求められた各データの R_0 と観測により直接求められた船の速度 V (m/sec), 可航幅 W (m), 船の全長 L (m) を表示すると末尾の表(付録4, 表-A2)のようになる。これを用いて正規方程式を立て、これを解いて直線重回帰の形にして表わしてみると、検定の結果、

2船群に対して

$$R_0 = 11.80 + 12.33V + 0.1107W + 0.804L \quad \dots(4)$$

$$(\bar{V}=3.48, \bar{W}=116.4, \bar{L}=18.06;$$

$$\sigma_V=0.560, \sigma_W=40.2, \sigma_L=4.21)$$

3船以上の群に対して

$$R_0 = -4.82 + 6.88V + 0.1957W + 1.742L \quad \dots(5)$$

$$(\bar{V}=3.34, \bar{W}=105.5, \bar{L}=17.97;$$

$$\sigma_V=0.651, \sigma_W=42.3, \sigma_L=3.44)$$

が得られる(正規方程式, 検定に関しては付録4参照)。ここで, $\bar{V}, \dots, \sigma_V, \dots$ については, 表-1の註の表現に従うものとする。

以上の関係から, 明らかに閉塞領域は速度や可航幅の影響を受けることがわかる。すなわち, 速度や可航幅の減少は, 閉塞領域の大きさを減少させること, およびその減少の程度がわかる。

なお, 当然のことながら, ここで得られた結果は, V, W および L を変数とする R_0 の曲面上の1点 $(\bar{V}, \bar{W}, \bar{L})$ における曲面の1次の微係数が得られたことなので, 実際の適用についてはその範囲におのずから限界がある。

3.2 航行容量の推定

密度が十分に大きくて, 進行方向がほぼ一定の場合の船群における閉塞領域の観測値を用いて, 航行容量が推定されるという考えから, 前に示した内側船の場合のデータを採用してみる。その容量 C は一般に,

$$C = \frac{VW}{RS} = \eta \frac{WV_0}{L^2} \quad \dots(6)$$

で表わされる。ここで, R, S はそれぞれ閉塞領域の

† 同一の大きさの船群のデータをパラメータ(たとえば V) に水準を設けて(たとえば V_1, V_2) 組分けし, その組分けられたデータごとに, 直線重回帰(これが有意である必要のあることは勿論である)を求めそれらの回帰係数 k (たとえば k_1, k_2) のちがいの検定を行なってみると有意差は認められないことおよび従来の研究で, 閉塞領域の存在が認められ, かつ, その長さとの比が条件によってもほとんど変わらないことが認められていることなどにより, この前提はそう無理でないことが推察される。

長さ, 幅を示し, V_0 は満載速度†を表わす。

また, η は換算の便宜上採用した無次元量で,

$$\eta = \frac{\beta}{RS/L^2}, \quad \beta = \frac{V}{V_0} \quad \dots(7)$$

である。いま,

$$R = R_0$$

$S = x, y$ 平面において, 式(3)に R_0 および k を与えて得られる曲線の x の最大値

とする。内側船に関するデータ数は十分多くはないが, 可航幅が十分に小さいと見なされる場合($W \approx 4L$)のデータを採用すると,

$$\beta = 0.82 (\sigma_\beta = 0.18) \text{ で}$$

$$\eta = 0.22 \pm 0.05 \text{ (95\%信頼限界††)} \quad \dots(8)$$

が得られる。かつ, β のこの値の近傍では, β に関して η はほぼ一定とみなされる。この結果をもとにして, η と β の関係を図示すると, 図-6のようになる。この図では, 実線の部分が上で得られた値を示し, 斜線の部分が95%信頼限界の範囲を示す。この

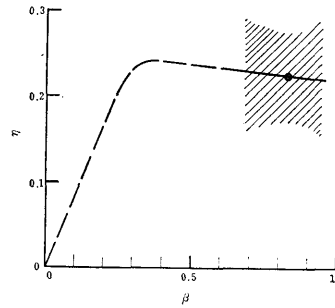


図-6 航行容量と速度の関係

測結果では, この範囲が $\beta = 0.82$ の位置を最小として両側に大きくなる傾向を示す†††。また, β の0.7付近以下を破線で仮に示した。この破線の部分はいまのところ不明であるが, $\beta = 0$ で $\eta = 0$ となること, および β が小さい範囲では η がほぼ β に比例すると

† 銚子港在籍漁船の全長と総トン数および全長と満載速度との関係を表わす統計値が付録5に示されている。

†† $\sum_{i=1}^{56} \frac{V_i/V_0}{RS/L^2} = 12.2670, \quad \sum_{i=1}^{56} \left[\frac{V_i/V_0}{RS/L^2} \right]^2 = 4.4230,$

$\therefore \bar{\eta} = 0.2190, \sigma_\eta = 0.1757,$

一般に, 平均 \bar{x} , 標準偏差 σ , データ数 n の95%信頼限界は $\bar{x} \pm 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}$ で表わされる。

††† この実線上の β に対する η の信頼限界の計算において, 主として $\frac{V/V_0}{RS/L^2}$ のデータ数 n が $\beta = 0.82$ に対する n より漸次小さくなるためである。

考えられることなどによりこのような表現をしてみたのである。そして、この部分に対しては今後の研究に待たねばならないことはいうまでもないが、サービス水準³⁾などと関連して考えてみると、この部分に当る低い速度でのその値は、それほど重要でないといえると思う。つぎに、ここで留意すべきことは、緩衝帯を考慮せねばならないこと、十分大きい L に対しては、 η にある程度の修正を加える必要があり得ることなどである。

4. む す び

いままで不明であった閉塞領域に及ぼす船群の大きさ、船の速度、可航幅などの影響が明らかとなり、これらの影響が無視できないことが示されたが、より完全な定量的把握は、今後に残された問題であろう。

また、航行容量の概略値を推定することができたが、この値も、今後、研究の進展によって多少の変動が行なわれることであろう。しかし、ここで得られたこれらの結果は、運用上の目安としての意義は十分大きいものがあると考えられる。

最後に、本観測は、千葉県銚子水産事務所の多大の協力によって遂行されたものであり、また、調査に関しては、千葉県銚子漁港事務所、水産庁漁船課、海上保安庁、運輸省船舶局の協力を得たので、これらの諸機関に対し感謝の意を表する次第である。

なお、統計計算の一部は当所の共用計算機 FACOM 270-20 を用いて行なった。

(付記：本報告は昭和47年11月当所の研究発表会で発表の内容⁴⁾ に加筆したものである。)

付録1. 船舶位置の解析幾何学的計算

本文で述べたように、観測値のデータ解析は、作図法によって行なわれたが、この解析幾何学的方法によっても行なうことができる。特に、この方法は、電子計算機の利用により、系統的なデータ整理を行なうこ

とができる。参考までにこの方法を紹介する。

いま、像平面(直角座標)上の4点 (X_i, Y_i) ($i=1, 2, 3, 4$) に対応する実平面(直角座標)上の4点を (x_i, y_i) ($i=1, 2, 3, 4$) とする(図-A1参照)。ここで、像平面上の点 (X, Y) を知って実平面上の対応点 (x, y) を求めるものとする。

像平面および実平面において、これら4点を頂点とする4辺形の対角線の交点を、それぞれ (ξ, ζ) , (ξ', ζ') とすれば、解析幾何学の定理により

$$F(P, Q, R, S, p, q, r, s) \\ \equiv \frac{(R-P)(Qs-qS)-(S-Q)(Pr-pR)}{(s-q)(R-P)-(r-p)(S-Q)}$$

のとき

$$\xi = F(X_1, X_2, X_3, X_4, Y_1, Y_2, Y_3, Y_4) \quad \dots\dots(A-1)$$

$$\xi' = F(x_1, x_2, x_3, x_4, y_1, y_2, y_3, y_4) \quad \dots\dots(A-2)$$

となる。

別に、像平面上に4辺形 $(X_1, Y_1)(X_2, Y_2)(X, Y)(X_4, Y_4)$ と $(X_1, Y_1)(X, Y)(X_3, Y_3)(X_4, Y_4)$ を考え、それぞれの対角線の交点を (ξ_a, ζ_a) , (ξ_b, ζ_b) とすれば、同様にして、

$$\xi_a = F(X_1, X_2, X, X_4, Y_1, Y_2, Y, Y_4) \quad \dots\dots(A-3)$$

$$\xi_b = F(X_1, X, X_3, X_4, Y_1, Y, Y_3, Y_4) \quad \dots\dots(A-4)$$

また、これに対応する実平面上の点については、それぞれ、

$$\xi_a' = F(x_1, x_2, x, x_4, y_1, y_2, y, y_4) \quad \dots\dots(A-5)$$

$$\xi_b' = F(x_1, x, x_3, x_4, y_1, y, y_3, y_4) \quad \dots\dots(A-6)$$

一方、本文式(1)の関係から ξ_a と ξ_a' の対応において

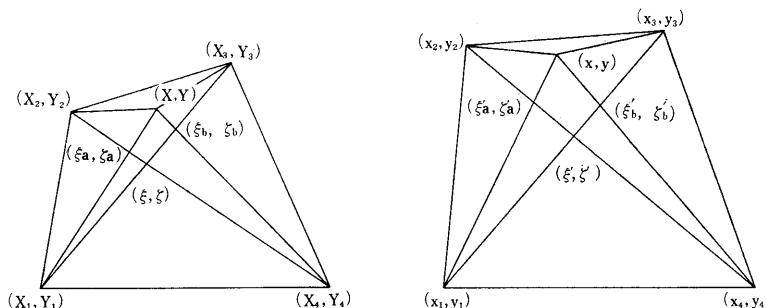


図-A1 像平面上と実平面上の点の対応

$$\frac{(x_2 - \xi_a')(\xi' - x_4)}{(x_2 - x_4)(\xi_a' - \xi')} = \frac{(X_2 - \xi_a)(\xi - X_4)}{(X_2 - X_4)(\xi_a - \xi)}$$

が得られる。上式を ξ_a' について整理すると

$$\begin{aligned} \xi_a' = & \{(X_2 - \xi_a)(\xi - X_4)(x_2 - x_4)\xi' \\ & + (X_2 - X_4)(\xi_a - \xi)(\xi' - x_4)x_2\} \\ & \times 1 / \{(X_2 - \xi_a)(\xi - X_4)(x_2 - x_4) \\ & + (X_2 - X_4)(\xi_a - \xi)(\xi' - x_4)\} \equiv M_a \dots\dots (A-7) \end{aligned}$$

同様に、 ξ_b と ξ_b' の対応において

$$\begin{aligned} \xi_b' = & \{(X_3 - \xi_b)(\xi - X_1)(x_3 - x_1)\xi' \\ & + (X_3 - X_1)(\xi_b - \xi)(\xi' - x_1)x_3\} \\ & \times 1 / \{(X_3 - \xi_b)(\xi - X_1)(x_3 - x_1) \\ & + (X_3 - X_1)(\xi_b - \xi)(\xi' - x_1)\} \equiv M_b \dots\dots (A-8) \end{aligned}$$

が得られる。式 (A-5)(A-6) にこの M_a, M_b を代入して連立方程式

$$\left. \begin{aligned} [(x_2 y_4 - x_4 y_2) + y_1(x_4 - x_2) - M_a \\ \times (y_4 - y_2)]x + [(x_4 - x_2)(M_a - x_1)]y \\ + [M_a x_1(y_4 - y_2) - M_a y_1(x_4 - x_2) \\ - x_1(x_2 y_4 - x_4 y_2)] = 0 \\ [(x_1 y_3 - x_3 y_1) + y_2(x_3 - x_1) - M_b \\ \times (y_3 - y_1)]x + [(x_3 - x_1)(M_b - x_2)]y \\ + [M_b x_2(y_3 - y_1) - M_b y_2(x_3 - x_1) \\ - x_2(x_1 y_3 - x_3 y_1)] = 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots (A-9)$$

が得られる。

最終的には連立方程式 (A-9) から x, y の値を求めればよいわけである。以上の式を使って行なう計算の手順をフローチャートで示せば図-A 2 のようになる。図中の δ は十分小さな正の実数とする。

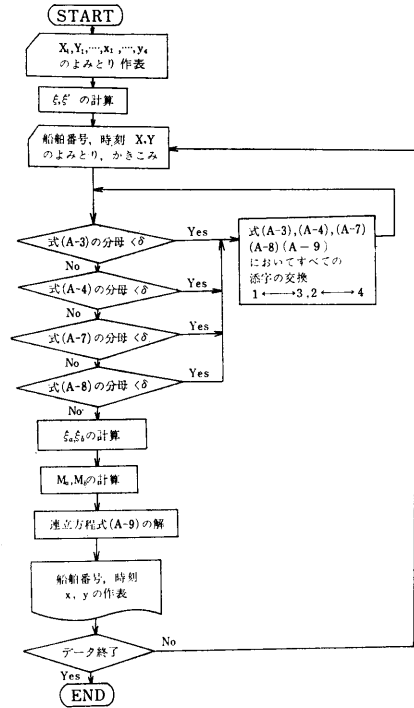


図-A 2 船舶位置計算の手順を示すフローチャート

付録2. 閉塞領域表現の比較例

従来用いている閉塞領域の定義に従った表現方法(後続船の相対位置分布図を作り、それを適当な大きさのますめに区切って、密度最大の位置を連ねて求める方法)と本文式(3)を用いる方法との比較の結果は、ほぼ一致するが、それらの比較の1例を図-A 3に示す(この例では文献 1)の数値を用いた)。

付録3. 回帰直線のちがいの検定について

検定方式²⁾

いま、次の k 個の直線回帰式があるとする。

$$\left. \begin{aligned} y = \alpha^{(1)} + \beta^{(2)}x \\ y = \alpha^{(2)} + \beta^{(2)}x \\ \vdots \\ y = \alpha^{(k)} + \beta^{(k)}x \end{aligned} \right\} \dots\dots (A-10)$$

仮説 H_1 : これらの回帰直線は同一である。

$$\left. \begin{aligned} \alpha^{(1)} = \alpha^{(2)} = \dots = \alpha^{(k)}, \\ \beta^{(1)} = \beta^{(2)} = \dots = \beta^{(k)} \end{aligned} \right\} \dots\dots (A-11)$$

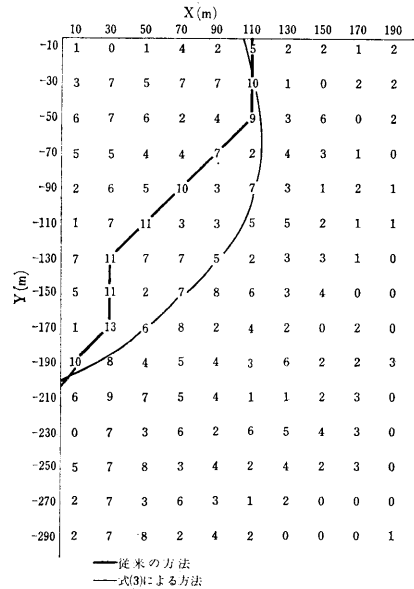


図-A 3 閉塞領域表現比較の1例

$$\text{統計量: } T_1 \equiv \frac{(R_{yy}^* - R_{yy}) / (2k - 2)}{R_{yy} / (n - 2k)} \quad \dots\dots (A-12)$$

$$\text{ただし, } R_{yy}^* = S_{yy}^* - \frac{S_{xy}^{*2}}{S_{xx}^*}$$

$$R_{yy} = \sum R_{yy}^{(i)}, \quad R_{yy}^{(i)} = S_{yy}^{(i)} - \frac{S_{xy}^{(i)2}}{S_{xx}^{(i)}}$$

$$\begin{cases} S_{xx}^* = \sum S_{xx}^{(i)} + \sum n^{(i)} [\bar{x}^{(i)}]^2, & -n\bar{x}^{*2} \\ S_{xy}^* = \sum S_{xy}^{(i)} + \sum n^{(i)} \bar{x}^{(i)} \bar{y}^{(i)} - n\bar{x}^* \bar{y}^* \\ S_{yy}^* = \sum S_{yy}^{(i)} + \sum n^{(i)} [\bar{y}^{(i)}]^2 - n\bar{y}^{*2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} n = \sum n^{(i)} \\ \bar{x}^* = \frac{\sum n^{(i)} \bar{x}^{(i)}}{n} \\ \bar{y}^* = \frac{\sum n^{(i)} \bar{y}^{(i)}}{n} \end{cases}$$

$$\begin{cases} S_{xx}^{(i)} = n^{(i)} \sigma_{xx}^{(i)2} \\ S_{xy}^{(i)} = n^{(i)} \rho^{(i)} \sigma_{xx}^{(i)} \cdot \sigma_{yy}^{(i)} \\ S_{yy}^{(i)} = n^{(i)} \sigma_{yy}^{(i)2} \end{cases}$$

ここで、添字 (i) は各回帰式を示し (i=1, 2, …, k), $\sum_{i=1}^k$, n はデータ数, \bar{x} , \bar{y} はそれぞれ x, y の平均, σ は標準偏差, ρ は相関係数を示す。

$$\text{棄却域: } T_1 > F_{\alpha(2k-2, n-2k)} \quad \dots\dots (A-13)$$

$F_{\alpha(\phi_1, \phi_2)}$ は自由度 ϕ_1 , ϕ_2 の F 分布の上側確率 α の点。

仮説 H_2 : これらの回帰直線は平行である。

$$\beta_0^{(1)} = \beta^{(2)} = \dots = \beta^{(k)} \quad \dots\dots (A-14)$$

$$\text{統計量: } T_2 \equiv \frac{(R_{yy}^{**} - R_{yy}) / (k - 1)}{R_{yy} / (n - 2k)} \quad \dots\dots (A-15)$$

$$\text{ただし, } R_{yy}^{**} = \sum S_{yy}^{(i)} - \frac{(\sum S_{xy}^{(i)})^2}{\sum S_{xx}^{(i)}}$$

$$\text{棄却域: } T_2 > F_{\alpha(k-1, n-2k)} \quad \dots\dots (A-16)$$

検定結果

これらの式に、本文表-1の数値を代入して、2船群と3船群、4船以上の群、内側船のいずれかの1つとの回帰直線のちがいの検定を行ってみた。その計算結果を表-A1に示す。いずれの場合においても、仮説 H_1 は高度に有意 ($\alpha=0.01$) で捨てられ、仮説 H_2 は有意でなく、捨てられない。すなわち「これらの回帰直線の間には、明らかにちがいが認められる。しかし、平行でない」と主張することはできない」という結果が得られた。

表-A1 回帰直線のちがいの検定結果

対象	2船群と3船群	2船群と4船以上の群	2船群と内側船
T_1 $F_{\alpha(2k-2, n-2k)}$	9.01** $F_{0.01(2,377)}$ =4.66	8.89** $F_{0.01(2,293)}$ =4.68	21.80** $F_{0.01(2,308)}$ =4.68
T_2 $F_{\alpha(k-1, n-2k)}$	0.726 $F_{0.05(1,377)}$ =3.86	0.513 $F_{0.05(1,293)}$ =3.87	2.80 $F_{0.05(1,308)}$ =3.87

**は本文表-1の説明に同じ。

付録4. 直線重回帰について

本文で述べたように、直線重回帰分析に必要な観測データを表-A2に示す。この表において(a): 2船群 (b): 3船以上の群, (c): 内側船を表わし, V: 速度 (m/sec), W: 可航幅 (m), L: 船の全長 (m), R_0 : 本文で説明したように個々のデータを統計処理して得られる閉塞領域の相当長さ (m) を示す。

表-A 2 観測データ一覧表 (a) 2船群

番号	V(m/sec)	W(m)	L(m)	R ₀ (m)	番号	V(m/sec)	W(m)	L(m)	R ₀ (m)
1	4.00	70	12.0	29	43	3.90	70	22.0	52
2	4.00	70	12.5	38	44	3.40	70	20.5	55
3	3.95	70	26.0	150	45	3.40	70	20.5	52
4	3.35	70	27.0	180	46	2.95	70	16.0	76
5	2.40	70	11.0	32	47	2.95	70	16.0	60
6	2.70	70	12.0	39	48	3.10	70	20.5	75
7	2.70	95	11.5	39	49	4.10	70	22.0	49
8	2.35	70	12.5	36	50	3.45	70	23.0	76
9	3.40	70	18.0	44	51	3.60	70	24.0	77
10	3.40	70	16.5	51	52	3.70	70	24.5	51
11	4.60	70	18.5	38	53	3.90	70	25.0	87
12	3.35	70	18.0	109	54	3.55	70	22.0	67
13	3.30	70	18.0	110	55	3.00	70	19.5	59
14	3.85	160	17.5	106	56	4.05	70	23.5	94
15	3.45	135	17.5	95	57	3.80	70	21.5	59
16	3.50	110	18.0	82	58	3.85	70	19.5	49
17	3.05	70	15.0	96	59	3.45	70	22.5	104
18	3.35	70	14.5	104	60	2.50	70	20.0	45
19	3.25	170	14.5	99	61	3.80	70	18.5	64
20	3.60	150	14.5	91	62	3.00	135	17.0	60
21	4.00	175	14.5	115	63	3.50	70	20.0	102
22	3.70	125	13.5	75	64	3.60	70	20.0	100
23	4.00	145	14.5	113	65	4.50	180	22.0	88
24	3.95	95	14.0	57	66	3.85	150	17.0	87
25	3.90	120	14.5	135	67	3.25	115	14.0	84
26	3.90	100	14.5	173	68	3.10	97	14.0	35
27	4.10	70	13.0	105	69	2.95	90	14.5	167
28	3.95	160	14.0	103	70	4.10	135	12.0	157
29	3.80	135	13.5	115	71	4.10	110	12.0	142
30	3.80	110	12.5	125	72	4.80	110	23.0	56
31	3.40	70	10.5	53	73	3.40	145	18.0	81
32	3.30	70	10.5	48	74	3.05	140	18.5	56
33	3.20	70	11.5	40	75	3.05	170	18.5	81
34	3.30	165	11.0	40	76	3.65	153	9.0	57
35	3.60	140	11.0	65	77	4.20	130	16.0	121
36	3.25	115	11.0	33	78	3.45	180	9.5	54
37	3.50	95	11.5	30	79	3.40	70	9.0	49
38	3.35	70	11.0	32	80	2.80	110	20.5	51
39	3.25	70	20.5	32	81	3.50	140	18.0	29
40	2.80	70	19.0	18	82	3.35	95	22.5	70
41	2.95	70	16.5	16	83	3.40	110	21.0	131
42	4.25	70	23.0	38	84	4.25	95	16.0	130

番号	V(m/sec)	W(m)	L(m)	R ₀ (m)	番号	V(m/sec)	W(m)	L(m)	R ₀ (m)
85	3.25	130	21.5	64	128	3.60	70	16.0	117
86	4.55	120	22.5	200	129	3.75	160	15.5	151
87	3.45	70	19.0	45	130	3.95	140	15.5	137
88	3.70	155	20.0	65	131	4.15	115	15.1	121
89	3.00	180	19.5	44	132	4.70	105	21.5	53
90	2.85	70	19.5	48	133	4.30	140	21.0	68
91	4.05	180	18.0	87	134	3.90	170	21.0	83
92	4.05	70	18.0	100	135	3.80	70	21.0	91
93	2.90	70	18.0	49	136	4.60	145	20.0	59
94	4.05	160	19.0	74	137	4.50	180	19.5	60
95	4.05	70	19.0	122	138	3.80	70	21.0	115
96	2.80	70	18.0	79	139	4.05	70	21.0	75
97	2.85	70	18.0	71	140	4.05	70	23.5	102
98	2.90	180	18.0	71	141	3.70	125	18.5	82
99	3.10	160	17.5	66	142	3.80	70	17.5	96
100	2.80	140	17.0	65	143	3.80	70	22.5	124
101	3.35	140	26.5	117	144	3.30	170	20.0	58
102	3.35	160	25.5	126	145	3.55	160	18.5	73
103	4.15	140	18.0	91	146	3.85	130	20.0	90
104	3.85	170	17.5	79	147	4.15	110	21.0	125
105	3.60	70	15.5	58	148	4.30	180	20.0	75
106	4.05	70	13.0	80	149	4.65	170	20.0	63
107	3.55	170	12.5	77	150	4.70	140	20.0	67
108	3.60	140	12.5	80	151	4.40	180	25.0	151
109	3.80	120	12.5	102	152	4.05	180	24.0	103
110	3.80	95	12.0	143	153	3.65	120	25.0	97
111	3.05	70	12.0	73	154	4.00	120	25.0	103
112	2.75	180	12.0	78	155	3.85	150	25.0	103
113	3.10	160	12.0	83	156	3.70	180	18.5	110
114	3.10	135	11.5	78	157	4.05	170	17.5	136
115	2.85	135	14.5	46	158	4.15	150	17.5	84
116	3.60	150	26.0	60	159	4.20	130	18.0	60
117	4.15	125	26.0	75	160	4.15	140	19.0	70
118	4.40	100	26.5	74	161	4.15	90	19.0	67
119	3.40	70	19.0	87	162	4.05	90	20.0	83
120	3.90	70	18.5	89	163	4.05	90	20.0	94
121	3.65	155	18.0	94	164	2.00	70	9.5	28
122	3.50	130	18.0	94	165	2.00	70	10.0	28
123	3.75	110	18.0	119	166	2.30	130	10.0	86
124	3.75	90	18.0	119	167	2.10	110	10.0	80
125	3.30	170	13.5	169	168	3.95	180	18.0	111
126	3.40	145	14.0	117	169	2.70	90	21.5	98
127	3.80	70	21.5	73	170	3.55	180	17.5	43

番号	V(m/sec)	W(m)	L(m)	R ₀ (m)	番号	V(m/sec)	W(m)	L(m)	R ₀ (m)
171	3.40	170	20.0	43	194	3.25	110	21.5	70
172	3.55	180	24.0	91	195	3.35	160	18.5	53
173	3.20	180	22.0	113	196	3.45	170	15.0	33
174	3.15	180	22.0	108	197	3.10	140	21.0	41
175	2.00	160	11.0	123	198	3.35	170	19.5	69
176	3.55	150	15.5	89	199	3.10	170	22.5	96
177	3.35	160	14.5	81	200	3.05	170	16.5	83
178	3.10	170	14.5	95	201	3.15	70	18.0	36
179	3.00	70	15.0	130	202	3.50	150	21.0	49
180	2.75	130	21.0	69	203	3.20	70	26.0	194
181	2.75	140	21.5	76	204	3.15	170	21.0	104
182	2.85	160	20.0	82	205	3.50	160	21.5	101
183	3.10	180	22.0	96	206	3.55	140	20.5	89
184	3.40	170	19.0	50	207	2.85	170	21.5	180
185	3.15	140	20.0	53	208	3.40	70	21.0	96
186	2.75	120	20.5	53	209	3.00	150	21.0	97
187	2.75	100	20.0	47	210	3.55	160	21.0	109
188	2.20	140	10.5	118	211	3.05	100	21.5	112
189	2.10	90	10.0	70	212	2.90	160	19.5	90
190	2.95	70	19.0	49	213	2.15	120	20.0	106
191	3.25	70	19.0	79	214	3.15	180	24.0	147
192	3.00	70	22.5	107	215	3.45	70	24.5	178
193	2.50	70	20.0	24	216	3.00	130	20.0	70

表-A 2 観測データ一覧表 (b) 3船以上の群

番号	V(m/sec)	W(m)	L(m)	R ₀ (m)	番号	V(m/sec)	W(m)	L(m)	R ₀ (m)
1	3.05	70	14.0	26	16	3.95	70	18.0	108
2	3.30	70	20.0	39	17	4.50	70	22.0	66
3	3.60	180	20.0	73	18	3.40	165	19.0	67
4	4.00	70	20.0	43	19	4.15	145	18.0	71
5	4.00	150	18.0	27	20	3.75	155	12.0	166
6	4.00	180	19.5	65	21	3.45	130	11.0	135
7	3.75	125	19.0	24	22	3.55	125	18.0	133
8	3.95	150	20.0	55	23	3.70	145	18.0	137
9	2.75	70	15.0	33	24	4.25	70	22.5	63
10	2.40	70	13.5	28	25	4.30	110	20.5	68
11	3.20	70	15.0	49	26	3.95	135	20.5	101
12	3.65	70	21.5	62	27	3.95	70	18.0	64
13	3.95	70	23.5	103	28	3.80	70	18.0	46
14	3.30	160	16.5	92	29	3.50	150	18.0	114
15	3.90	150	20.0	90	30	3.50	170	18.0	66

番号	V(m/sec)	W(m)	L(m)	R ₀ (m)	番号	V(m/sec)	W(m)	L(m)	R ₀ (m)
31	3.95	150	18.0	71	74	3.35	160	15.5	57
32	3.80	130	18.0	115	75	3.35	170	18.0	44
33	3.95	120	18.0	79	76	3.45	180	19.0	85
34	3.80	100	18.0	118	77	3.30	180	15.5	55
35	2.70	70	16.0	41	78	3.70	140	19.5	52
36	3.65	70	21.0	79	79	3.25	160	20.0	99
37	3.40	70	18.0	37	80	3.55	170	21.5	86
38	3.35	70	21.0	85	81	4.15	170	22.0	56
39	3.25	70	19.0	58	82	3.50	140	20.0	64
40	3.85	95	17.5	51	83	3.50	160	21.0	47
41	3.65	115	20.5	108	84	3.50	170	23.0	74
42	3.75	130	15.5	53	85	3.50	160	24.0	75
43	3.25	120	17.5	55	86	3.25	160	19.0	72
44	3.55	112	18.5	38	87	3.35	170	16.5	77
45	4.00	140	20.0	128	88	3.50	170	20.0	39
46	3.25	135	18.0	44	89	3.55	150	22.0	85
47	3.80	170	20.0	143	90	3.40	180	18.5	48
48	3.50	135	16.0	92	91	3.40	180	18.5	82
49	3.25	131	18.0	77	92	3.20	130	13.5	92
50	3.30	160	18.5	56	93	2.85	70	18.0	78
51	3.85	70	20.0	160	94	3.10	70	19.5	123
52	4.05	170	22.0	87	95	3.25	70	17.5	44
53	3.50	170	22.0	99	96	3.25	70	19.5	89
54	2.55	170	17.5	115	97	3.05	130	20.5	33
55	2.80	160	17.0	122	98	3.45	140	24.0	64
56	2.85	130	19.0	109	99	3.05	140	19.5	30
57	3.10	120	16.5	111	100	3.00	140	16.0	69
58	3.40	90	17.5	109	101	2.75	140	20.5	102
59	3.25	90	17.5	99	102	3.15	160	21.0	116
60	3.25	140	26.0	49	103	3.15	170	22.0	108
61	2.95	120	25.5	48	104	3.00	180	23.0	135
62	2.60	90	27.0	41	105	3.45	70	18.5	61
63	4.10	150	19.5	76	106	2.30	70	19.5	80
64	3.95	120	18.0	106	107	2.45	170	21.0	142
65	4.10	120	19.0	36	108	2.50	110	20.0	70
66	4.00	90	18.0	104	109	3.00	160	21.0	153
67	4.05	90	20.0	87	110	3.90	170	19.5	78
68	4.10	170	20.0	83	111	3.00	180	19.0	113
69	3.85	180	18.5	77	112	2.90	160	19.5	73
70	3.95	170	18.5	106	113	2.40	180	19.0	113
71	3.65	150	20.5	99	114	2.55	170	20.0	87
72	3.15	120	20.5	54	115	2.65	160	20.0	100
73	3.55	140	17.0	53	116	2.30	100	20.0	118

番号	V(m/sec)	W(m)	L(m)	R ₀ (m)	番号	V(m/sec)	W(m)	L(m)	R ₀ (m)
117	4.40	70	18.5	42	160	2.05	70	12.5	24
118	3.85	70	16.0	124	161	2.35	70	12.5	32
119	4.25	70	17.5	90	162	2.30	70	12.5	40
120	2.60	70	18.0	68	163	2.55	70	11.5	30
121	3.40	70	20.0	55	164	2.45	70	12.0	38
122	3.35	70	21.0	42	165	2.30	70	13.5	36
123	3.35	70	21.0	79	166	3.10	130	15.0	43
124	2.25	70	13.5	31	167	3.20	150	15.5	46
125	2.45	70	13.5	18	168	2.85	135	15.0	49
126	2.40	70	13.5	29	169	4.00	140	16.5	166
127	2.35	70	13.5	60	170	3.80	130	18.0	115
128	3.10	70	14.5	37	171	4.25	70	22.5	60
129	2.65	70	13.0	13	172	4.30	165	23.0	104
130	2.25	70	13.0	38	173	2.90	70	18.5	84
131	2.20	70	13.0	19	174	2.90	70	17.5	66
132	2.35	70	14.0	29	175	3.40	70	19.5	83
133	2.30	70	12.0	39	176	2.95	140	22.5	110
134	2.40	70	12.0	15	177	2.85	170	18.5	44
135	1.60	70	10.0	35	178	2.95	180	18.0	53
136	2.75	70	12.5	23	179	3.00	170	23.0	179
137	2.80	70	16.5	49	180	4.10	180	19.0	168
138	2.50	70	12.0	52	181	4.25	180	20.0	75
139	2.45	70	12.0	42	182	4.50	170	20.5	53
140	2.65	70	13.0	59	183	4.00	180	21.5	44
141	2.75	70	13.0	57	184	4.20	180	23.0	63
142	2.70	70	12.0	57	185	3.50	160	22.5	100
143	2.70	70	12.5	48	186	4.15	170	21.5	64
144	4.40	70	20.0	78	187	3.60	130	22.0	76
145	4.80	70	20.0	39	188	4.15	160	20.0	49
146	3.90	70	21.5	83	189	4.35	140	21.0	62
147	3.10	70	13.0	69	190	4.15	140	20.0	49
148	3.15	70	14.0	38	191	4.00	70	19.0	98
149	3.95	70	13.5	38	192	3.90	70	17.5	60
150	3.95	70	15.0	61	193	2.70	70	15.5	52
151	3.60	70	12.0	60	194	2.75	70	18.0	38
152	3.00	70	10.0	33	195	2.75	70	15.5	32
153	2.05	70	11.0	65	196	3.10	70	16.5	40
154	3.70	70	15.0	40	197	3.60	70	16.5	40
155	2.85	70	12.5	37	198	3.40	70	16.0	34
156	1.85	70	12.0	86	199	3.90	70	15.0	36
157	2.75	70	14.0	33	200	3.45	70	15.5	42
158	2.60	70	13.5	45	201	3.45	70	15.0	33
159	2.30	70	12.5	23	202	4.10	70	17.5	87

番号	V(m/sec)	W(m)	L(m)	R ₀ (m)	番号	V(m/sec)	W(m)	L(m)	R ₀ (m)
203	3.70	70	17.5	48	225	3.20	70	20.0	94
204	4.10	70	18.0	48	226	3.30	70	19.5	62
205	4.00	70	17.5	124	227	3.40	70	21.0	59
206	4.10	70	17.5	78	228	3.00	70	17.0	30
207	2.85	70	19.0	80	229	3.30	70	20.0	30
208	2.75	70	17.0	52	230	2.75	70	18.5	65
209	3.50	70	20.5	60	231	2.50	70	22.5	80
210	4.60	70	21.5	70	232	2.30	70	27.0	110
211	4.35	70	20.0	53	233	2.70	70	22.5	73
212	4.95	70	17.0	27	234	2.90	70	26.0	49
213	4.70	70	17.5	110	235	3.50	70	19.5	89
214	4.65	70	17.0	184	236	3.65	70	23.0	81
215	4.35	70	16.5	67	237	4.50	70	20.5	55
216	4.25	70	18.5	32	238	4.25	70	20.5	109
217	4.65	70	17.0	191	239	3.50	70	19.0	58
218	3.25	70	24.0	46	240	3.40	70	21.5	120
219	2.95	70	20.0	50	241	2.90	70	11.0	92
220	2.55	70	21.0	50	242	2.25	70	10.0	41
221	2.90	70	13.0	30	243	2.85	70	11.0	75
222	2.65	70	14.0	49	244	4.20	70	15.0	33
223	2.95	70	20.0	89	245	2.10	70	13.5	43
224	2.75	70	22.0	96	246	2.30	70	14.0	48

表-A 2 観測データ一覧表 (c) 内側船

番号	V(m/sec)	W(m)	L(m)	R ₀ (m)	番号	V(m/sec)	W(m)	L(m)	R ₀ (m)
1	3.05	70	14.0	26	17	3.85	95	17.5	51
2	3.30	70	20.0	39	18	3.25	120	17.5	55
3	3.60	180	20.0	73	19	3.55	110	18.5	38
4	4.00	150	18.0	27	20	3.25	135	18.0	44
5	3.75	125	19.0	24	21	3.30	160	18.5	56
6	2.75	70	15.0	33	22	4.10	120	19.0	36
7	3.65	70	21.5	62	23	4.05	90	20.0	87
8	3.30	160	16.5	92	24	3.85	180	18.5	77
9	4.50	70	22.0	66	25	3.55	140	17.0	53
10	3.55	125	18.0	133	26	3.35	170	18.0	44
11	4.30	110	20.5	68	27	4.15	170	22.0	56
12	3.95	135	20.5	101	28	3.50	140	20.0	64
13	3.95	70	18.0	64	29	3.50	170	23.0	74
14	3.50	170	18.0	66	30	3.50	170	20.0	39
15	3.95	150	18.0	71	31	2.85	70	18.0	78
16	3.80	100	18.0	118	32	3.25	70	17.5	44

番号	V(m/sec)	W(m)	L(m)	R ₀ (m)	番号	V(m/sec)	W(m)	L(m)	R ₀ (m)
33	3.05	130	20.5	33	65	4.35	140	21.0	62
34	3.05	140	19.5	30	66	4.15	140	20.0	49
35	2.30	70	19.5	80	67	4.00	70	19.0	98
36	2.50	110	20.0	70	68	3.90	70	17.5	60
37	3.00	180	19.0	113	69	2.70	70	15.5	52
38	2.90	160	19.5	73	70	2.75	70	18.0	38
39	2.55	170	20.0	87	71	2.75	70	15.5	32
40	4.40	70	18.5	42	72	3.60	70	16.5	40
41	2.25	70	13.5	31	73	3.90	70	15.0	36
42	2.45	70	13.5	18	74	3.45	70	15.5	42
43	3.10	70	14.5	37	75	4.10	70	17.5	87
44	2.75	70	12.5	23	76	3.70	70	17.5	48
45	2.80	70	16.5	49	77	4.10	70	18.0	48
46	2.50	70	12.0	52	78	2.85	70	19.0	80
47	4.40	70	20.0	78	79	4.60	70	21.5	70
48	3.10	70	13.0	69	80	4.35	70	20.0	53
49	3.60	70	12.0	60	81	4.95	70	17.0	27
50	1.85	70	12.0	86	82	4.70	70	17.5	110
51	2.75	70	14.0	33	83	4.25	70	18.5	32
52	2.05	70	12.5	24	84	2.95	70	20.0	89
53	2.35	70	12.5	32	85	3.30	70	19.5	62
54	2.30	70	13.5	36	86	3.40	70	21.0	59
55	3.10	130	15.0	43	87	3.00	70	17.0	30
56	4.25	70	22.5	60	88	3.30	70	20.0	30
57	2.90	70	17.5	66	89	2.75	70	18.5	65
58	2.95	140	22.5	110	90	2.50	70	22.5	80
59	2.85	170	18.5	44	91	2.30	70	27.0	110
60	2.95	180	18.0	53	92	2.70	70	22.5	73
61	4.10	180	19.0	168	93	3.50	70	19.5	89
62	4.25	180	20.0	75	94	4.50	70	20.5	55
63	4.50	170	20.5	53	95	2.90	70	11.0	92
64	4.15	170	21.5	64	96	4.20	70	15.0	33

また、表一A 3 は直線重回帰式作成のための正規方程式ならびに回帰の F 検定に必要な表一A 2 から得られた統計値を示したものである。

表一A 3 正規方程式・F 検定に必要な統計値

2 船群

$$\begin{aligned}
 n &= 216 & \sum V &= 751.377 & \sum W &= 25149.3 & \sum L &= 3900.45 & \sum R_0 &= 17733.4 \\
 \sum V^2 &= 2981.57 & \sum WV &= 87904.6 & \sum LV &= 13707.2 & \sum R_0 V &= 92682.0 \\
 & & \sum W^2 &= 3289950 & \sum LW &= 454441 & \sum R_0 W &= 2110180 \\
 & & & & \sum L^2 &= 74287.8 & \sum R_0 L &= 325073 \\
 & & & & & & \sum R_0^2 &= 1713840
 \end{aligned}$$

3 船以上の群

$$\begin{aligned}
 n=246 \quad \Sigma V=821.773 \quad \Sigma W=25955.2 \quad \Sigma L=4420.88 \quad \Sigma R_0=17244.2 \\
 \Sigma V^2=2849.86 \quad \Sigma WV=88067.6 \quad \Sigma LV=14989.6 \quad \Sigma R_0V=58977.5 \\
 \Sigma W^2=3179040 \quad \Sigma LW=479091 \quad \Sigma R_0W=1937030 \\
 \Sigma L^2=82395.8 \quad \Sigma R_0L=318976 \\
 \Sigma R_0^2=1497730
 \end{aligned}$$

内側船

$$\begin{aligned}
 n=96 \quad \Sigma V=328.196 \quad \Sigma W=9786.75 \quad \Sigma L=1737.48 \quad \Sigma R_0=5781.87 \\
 \Sigma V^2=1167.40 \quad \Sigma WV=33888.1 \quad \Sigma LV=6009.79 \quad \Sigma R_0V=19954.1 \\
 \Sigma W^2=1162620 \quad \Sigma LW=180817 \quad \Sigma R_0W=613325 \\
 \Sigma L^2=32265.9 \quad \Sigma R_0L=107311 \\
 \Sigma R_0^2=417702
 \end{aligned}$$

表一A4 F検定結果

船群の大きさ	2 船 群	3 船以上の群	内 側 船
回帰式	式(4)	式(5)	式(A-17)
分散比 V_E	6.30**	16.81**	1.061
$F_\alpha(\phi_1, \phi_2)$	$F_{0.01(3,212)}=3.91$	$F_{0.01(3,242)}=3.91$	$F_{0.05(1,94)}=3.94$

**は本文表一1の表現に同じ。

さらに、表一A4は、F検定の計算結果を表示したものである。これによると、2船群および3船以上の群に対しては、それぞれの3重回帰式(4)、(5)が両式とも高度に有意($\alpha=0.01$)であったが、内側船に対しては V のみの回帰

$$R_0 = 46.101 + 4.132V \quad \dots\dots(A-17)$$

$$(\bar{V}=3.42, \bar{W}=101.9, \bar{L}=18.10;$$

$$\sigma_V=0.688, \sigma_W=41.4, \sigma_L=2.93)$$

が有意でなく、したがって、 V, W の2重回帰や V, W および L の3重回帰は勿論有意でないことがわかった。この内側船の有意でない結果はデータ数が少ないことに基づくものと思われる。

付録5. 銚子港在籍漁船の統計値

(図一A4参照)

L : 船の全長, m

T : 総トン数, t

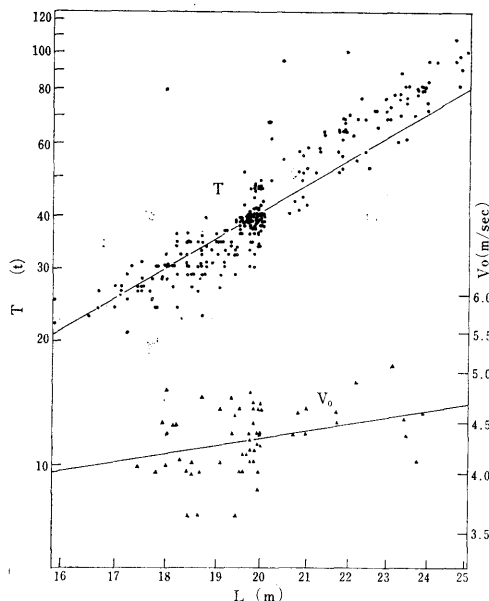
V_0 : 満載速度, m/sec

ρ : 相関係数

**は表一1の説明に同じ

船の全長と総トン数の関係

$$\log T = -2.21 + 2.94 \log L$$



図一A4 船の全長と総トン数・満載速度の関係

$n=272$

$$\Sigma \log L = 354.1265$$

$$\Sigma (\log L)^2 = 461.6354$$

$$\sum \log T = 442.7018$$

$$\sum (\log T)^2 = 727.7674$$

$$\sum \log L \cdot \log T = 578.0927$$

$$\rho = 0.8373^{**}$$

船の全長と満載速度の関係

$$\log V_0 = 0.214 + 0.324 \log L$$

$$n = 59$$

$$\sum \log L = 76.4546$$

$$\sum (\log L)^2 = 99.1315$$

$$\sum \log V_0 = 37.4073$$

$$\sum (\log V_0)^2 = 23.7829$$

$$\sum \log L \cdot \log V_0 = 48.4929$$

$$\rho = 0.3055^{**}$$

参考文献

- 1) 藤井弥平・渡辺健次・田中健一・山田一成・宮城
絃子：小型船の閉塞領域の調査，船舶技術研究所報
告，第3巻第2号，昭41—3，pp. 1—17.
- 2) Chakravarti, I. M., Laha, R. G. and Roy,
J. : *Handbook of Methods of Applied Statistics*,
Vol. 1. John Wiley & Sons, Inc, 1967, pp. 362
—369.
- 3) 田中健一：交通容量に関する一知見，航海，第33
号，1971，pp. 32—35.
- 4) 田中健一・渡辺健次・山田一成・金丸貞己・有村
信夫・浜島金司：制限水域の船舶交通容量の研究—
観測による容量の推定について—，船舶技術研究所
研究発表会講演概要，昭47—11，pp. 63—66.