

海峡および水道の船舶交通現象に関する研究

制限水路の船舶の可能航行容量について (A—2)

(その II) 混合交通における交通量換算係数の研究

田中健一*・渡辺健次*・山田一成*・沢井秀之**
金丸貞己*・有村信夫*・浜島金司*

Navigational Traffic Phenomena on Narrow Straits

On the Navigational Traffic Capacity (A—2)

—Part II. On the Equivalent Number of Vessels of Various Size in the Marine Traffic—

By

Ken'ichi Tanaka, Kenji Watanabe, Kazunari Yamada, Hideyuki Sawai,
Sadami Kanemaru, Nobuo Arimura and Kinji Hamajima

The observation in the separation of vessels of various size whose lengths differ considerably was carried out with a mm wave radar and a multi-exposure camera, and the following results were obtained.

The size of effective domain is given as

$$r_{ij} = \sqrt{(r_{ii}^2 + r_{jj}^2)/2}, \quad s_{ij} = \sqrt{(s_{ii}^2 + s_{jj}^2)/2}$$

where r_{pq} and s_{pq} are the length and width of the effective domain respectively and subscripts, p and q , refer to preceding and following vessels, respectively.

The ratio of the area of effective domain of a large sized vessel and that of the standard one is defined as "the equivalent number". Above equations give that the equivalent number is proportional to the square of the length of vessels.

1. まえがき

船舶航行容量とは水路が船舶を収容し、さらにこれを通過せしめる能力を定量的に表現する基本量であるとすでに述べた¹⁾が、これが狭水道などの制限水域における船舶輻轉化にともなって起きてくる海上交通問題解決への有力なアプローチとなることは論を俟たないところであろう。次に、この航行容量を決定するために必要な概念として、後方閉塞領域というものを想定した。定義に従えば、この後方閉塞領域(以下単に閉塞領域という)とは“先行船に対する後続船の相対位置の密度分布を求め、この密度極大の点をつらねる曲

線と先行船の船首を通り進行方向に直角な直線に囲まれた領域”とあるが、水路を船群がほぼ同一方向に航行する場合、その船群の中における一船に対して他船は何らかの拘束を受け、安全に航行するのに必要な適当な相対位置(距離・間隔)を保つであろうという前提から出発して、一船の後方に他船が近づくのを避ける領域を想定して定義づけが行なわれたとみられ、この場合、個々の船による特性のちらばりを考慮して統計的なデータ解析の方法が採られたといえよう。

さらに、かつてこの航行容量に(1)基本航行容量、(2)可能航行容量および(3)実用(設計)航行容量の3水準を設定した¹⁾。航行条件ならびに航路条件が単純な場合における航行容量を第1の水準にとり、基本航行容量とし*、京浜運河ならびに浦賀水道における航

* 共通工学部

** 元共通工学部

原稿受付昭和46年3月2日

* 厳密な定義は文献1)に明示してある。

行船舶の交通現象を観測し、定義に即応した方法でデータ整理を行ない、大型船・中型船および小型船の閉塞領域を求めた。ここでは周知のように船の大きさは千差万別でその長さが数mのオーダから数百mに及びかつ同一の大きさの船はまれにしか相前後して航行することはなく有限な観測日数で必要にして十分なデータを収集することは不可能に近いので大きさにある幅を与えて、その範囲内に包含されるデータはすべて採用するという方法をとっている。従って、ある誤差の範囲を前提とすれば、平均的な船のふるまいが把握できたと考えることも妥当であろう。この結果、閉塞領域の進行方向の長さ r 、幅 s とし、船の長さを L とすると $r \approx 7L$ 、 $s \approx 3L$ であることが示されている²⁾³⁾⁴⁾。しかし、これらは、先行船、後続船とも小型船どうし、中型船どうしというように、ほぼ大きさの等しい場合をいっているのであって大型船と中型船、大型船と小型船というような大きさの異なる場合の閉塞領域の状況を観測によって把握する必要も生じてくる。実際、航行する船群は大きさの異なる2船以上の組合せによって一般的に成立っており、いわゆる混合交通の状態にあると考えるのが妥当であるので、この関係を明らかにすることは重要なことであろう。さらにこの関係は、前に述べた航行容量のうち、航行ならびに航路条

件に具体性を与える第2水準の可能航行容量に関するもので、さきに発表した閉塞領域に及ぼす潮流の影響の研究⁴⁾について、その第2段階をなすものである。なお、この関係に関しては、いままで一部とり扱われている⁵⁾が、まだ明確な解析は行なわれていないようである。

以上の可能航行容量について、与えられた水路の与えられた条件のもとにおける実際の航行容量は第3の水準である実用（設計）航行容量であることはいうまでもない。

2. 観測について

この混合交通における2船以上で形成する船群の航行状況を把握するための観測を浦賀水道で昭和42年8月と43年8月の2回にわたって実施した。昭和43年の海上保安庁の調査によると、この浦賀水道では日平均交通量（航行量）が汽船で587隻、そのうち総トン数3,000t以上が68隻を占め、他の狭水道たとえば明石海峡や備讃瀬戸東部などに比べて、大型船の交通量ははるかに多い⁶⁾（明石海峡では、日平均交通量549隻中総トン数3,000t以上が35隻、備讃瀬戸東部は同様669隻中18隻）。また、この水道では潮流が最大2ktぐらいで船の大きさに比較してほぼこの影響

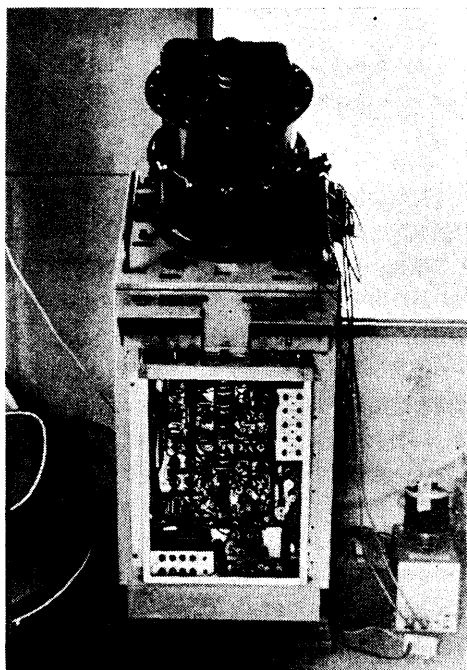


図1 観測装置使用の状況

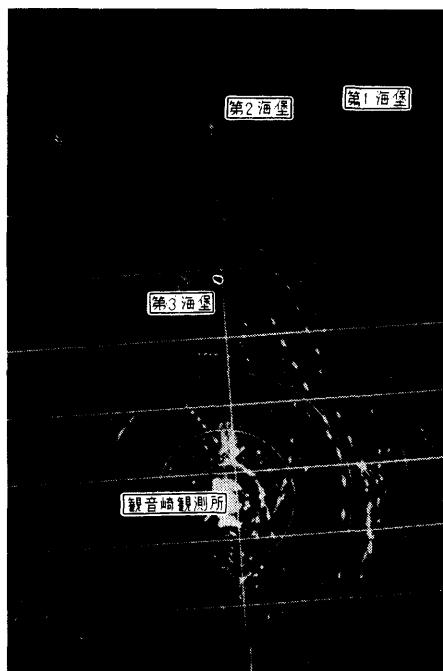


図2 レーダ写真の1コマ

表 1 観測実施要項

観測	期 間	観 測 対 象 海 域
第 1 次	昭 42.8.1. 12:00~8.11. 12:00	浦賀水道 3 号浮標付近を中心とする半径約 5 km 以内の全海域
第 2 次	昭 43.8.5. 12:00~8.15. 12:00	同 上

が無視できること、航路幅が約 2 km もあってかなり広いこと、眺望見通しなどの点でよい観測場所が得やすいことなどの利点がある上、この場所では以前当所で写真三角測量法によって大型船ならびに中型船の閉塞領域に関する調査を行なっているのでこれらの調査結果^{2),3)}との比較も可能であることも好都合なことである。

観測には、さきに発表⁴⁾のものと同様、ミリ波レーダ(沖電気工業KK製、CDSH-4A型 9.2 mm 波)と当所で開発したレーダ連続撮影装置を用い、観音埼航路標識事務所に観測所を設置した。この場合、レーダ・アンテナの位置は海拔約 50 m の高所において周囲の障害物はほとんどなく比較的広い範囲の海域の船舶が観測された。本観測における観測装置使用の状況を図 1 に、また観測により得られたレーダ写真の 1 コマを

図 2 に示す。さらに、観測実施要項を表 1 に、観測場所付近の見取り図を図 3 に示す。

観測は第 1 次、第 2 次とも比較的気候に恵まれ、かつ観測装置もほぼ順調に作動し、一部を除いて良好な結果が得られた。

なお、観測の実施に当っては、野帳を用意し、双眼鏡などにより認知可能なかぎり航行船舶の名称とその通過時刻、気象海象などの状況を克明に記録して、レーダ観測データの参考に供した。

3. 観測結果とその考察

レーダ連続撮影装置は前報で説明したように、1 分間ごとに約 3 秒露出し、6 分間をフィルム 1 コマに収めるもので、レーダの PPI 上の船影はフィルム上に 1 分間ごとに写しこまれる⁴⁾。したがって、この 1 分間

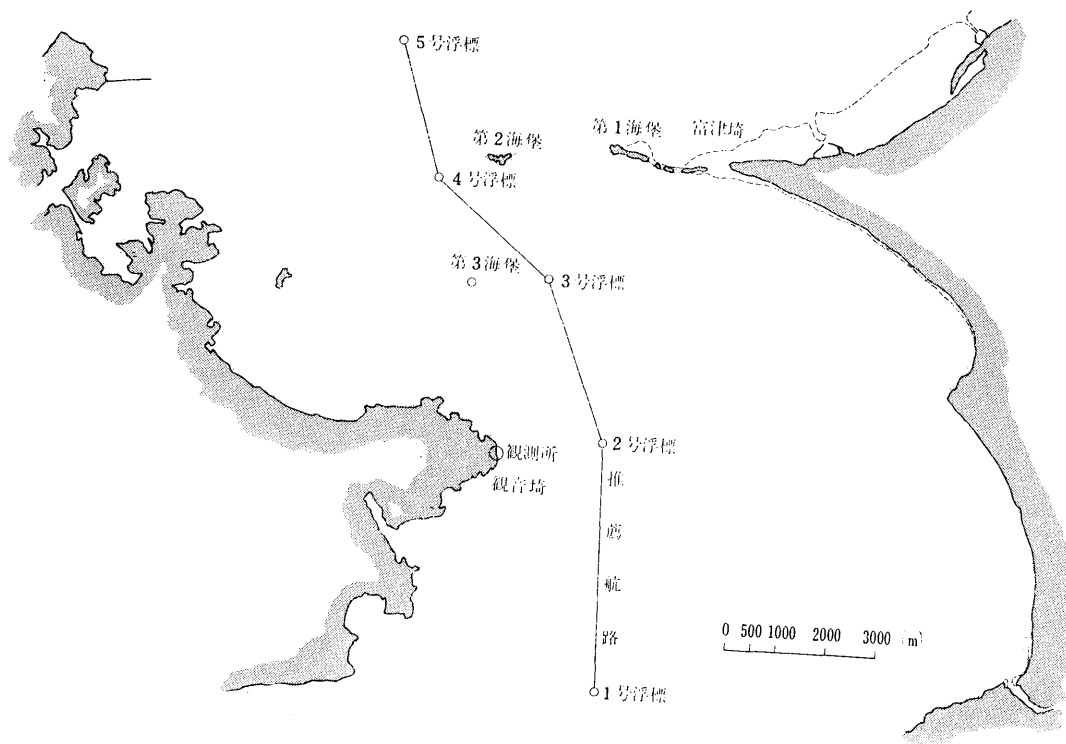


図 3 観測場所付近の見取り図

ごとの船影をトレースすることによって航跡図が得られる。観測フィルムは前と同様、フィルム・リーダーにかけられ、トレース紙上に航跡図が求められた。さらに、これより先行船に対する後続船の1分間隔ごとの相対

位置(距離(Y), 間隔(X))を先行船・後続船の1組について5点ずつ読取った。また、これらに対応した前後2船の全長および速度を求めた。この場合の観測精度は長さで、±10 m, 速度で ±0.5 m/sec ぐらいの

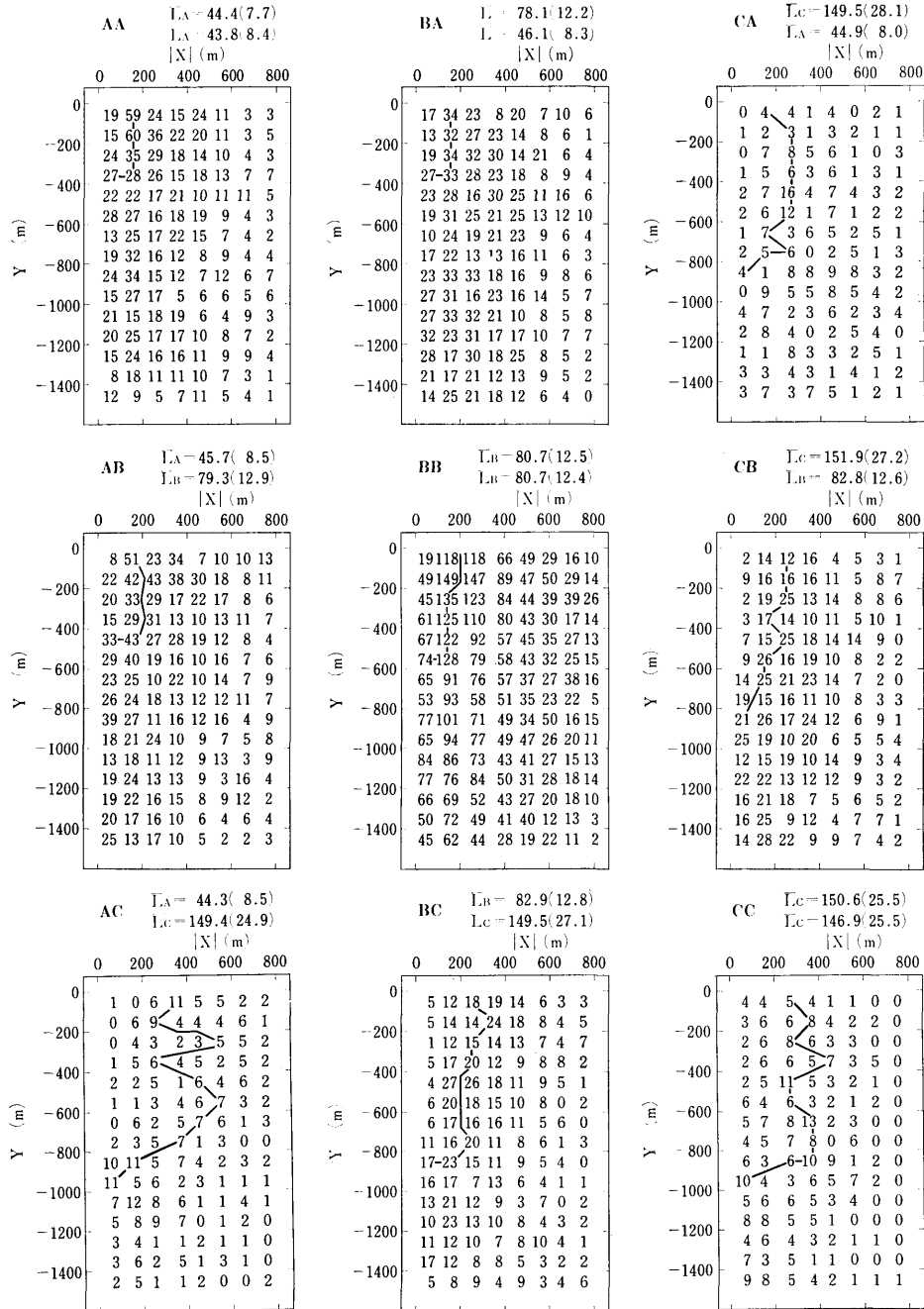


図 4 後続船の相対位置分布図 (50 m ますめ)

表 2 船舶の大きさの分類

分類	記号	全長の範囲 (m)*	総トン数のおおよその範囲 (GT)
小型船	A	30~50	100~500
中型船	B	60~100	500~3,000
大型船	C	110~200	3,000~20,000

* 精度の点から 10 m 単位にまとめてある。

誤差が推定される。ここで、先行船ならびに後続船の大きさを便宜的に表 2 に示されるような範囲のもとに、小型船(A)、中型船(B)および大型船(C)に区分けした。これは、前に述べたような先行船・後続船はそれぞれ一定の大きさのもののみを組合せを取扱うべきであるが、実際のデータには数に限度があるので大きさに一定の幅を与えている。

したがって、船の大きさはそれぞれの範囲の平均を選ぶものとし、その平均の比がほぼ等比級数となるようにした。

次に、船の大きさの区分けにしたがって、相対位置のデータを組別けした。すなわち、船の大きさ A, B, C の先行船に対する大きさ A, B, C の後続船の組合せ 9 個について相対位置分布図を求めた。ただし、この場合のデータは昼間(4:30~17:00)のもののみ採用し、フェリー、曳引船などは特殊のものとしてデータから除外している。それでも、先行船・後続船の組の数は合計で約 15,000 個えられている。図 4 は後続船の相対位置を 50 m ごとのますめに区切ってえられた相対位置分布図である。ここで、AA; AB; ……はそれぞれ先行船 A, 後続船 A; 先行船 A, 後続船 B; ……を示す。また \bar{L}_A, \bar{L}_B は上段が先行船の長さの平均(m), 下段が後続船の長さの平均(m)を示し、カッコ内の数字はそれぞれの標準偏差を示している。これから同一の分類の範囲に入る船の長さの平均および標準偏差はほぼ等しいことがわかる。Y は前述のように、先行船に対する後続船の距離 (m), は |X| 同様に間隔(m)を表わす。この場合は、前報と同様に X に関し、左側のデータを右側に重ねて絶対値記号をつけてある。枠の中の数字はさきに述べたように 50 m ますめの中の後続船の頻度を表わしているが、この 50 m ますめにすることによってこの頻度最大の点を連ねて閉塞領域がえられた。図中の折線は、この閉塞領域の境界線を示し、この境界線と原点を含み X 軸, Y 軸に囲まれた領域が閉塞

領域である。この 9 個の相対位置分布図における閉塞領域をみると、従来からいわれているように、その大きさに対する船の長さの依存性が明確にでていて、小型船どうしの組合せ (AA) や小型船と中型船の組合せ (AB, BA) は大型船どうしの組合せ (CC) や大型船と中型船の組合せ (CB, BC) に比べて閉塞領域は小さい。

これらの組合せと閉塞領域の大きさとの関係を定量的に求めたのが図 5 である。縦・横軸とも対数目盛を施し、縦軸は閉塞領域の進行方向の長さ r (m) とこれに直角方向の幅 s (m) とを示し、横軸は先行船 p , 後続船 q としてそれぞれの長さを L_p, L_q で表わしたときの $\sqrt{(L_p^2 + L_q^2)/2}$ (m) を示すものである。いま、図 4 の $\bar{L}_A, \bar{L}_A; \bar{L}_A, \bar{L}_B; \dots\dots$ などを L_p, L_q に与えて r, s を表わしてみるとプロットのようになる。このような横軸の表現をしておくと、先行船・後続船の大きさのほぼ等しい、いわば、基本航行容量を対象とした場合の閉塞領域の大きさは、従来の表現と類似の表現ができて図中の AA, BB, CC のプロットがえられる。これらの点は図示のような直線にほぼ沿うことが分り、その直線は右上がり、おおよそ 45° となつて $\sqrt{(L_p^2 + L_q^2)/2} = L_i$ ($i=A, B, C$) であるから、 r, s は L_i に比例し、 $r \approx 6.5 L_i, s \approx 2.5 L_i$ となる。これは、多少小さめではあるが断片的に求めた従来の値にほぼ等しいことを示している。

さらに、AB, BA は AA と BB の間で、また BC,

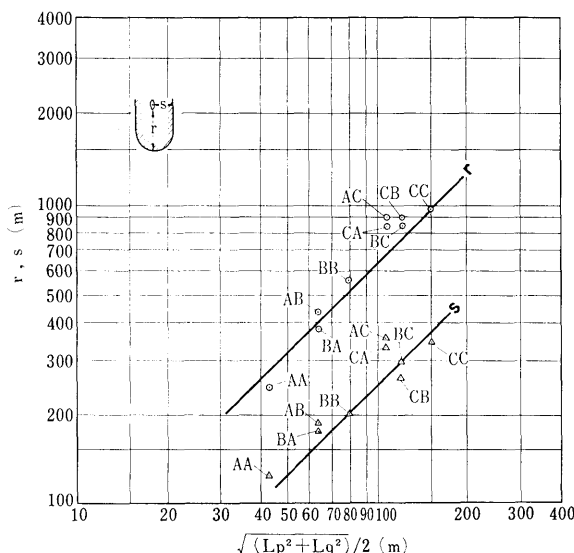


図 5 r, s と $\sqrt{(L_p^2 + L_q^2)/2}$ の関係

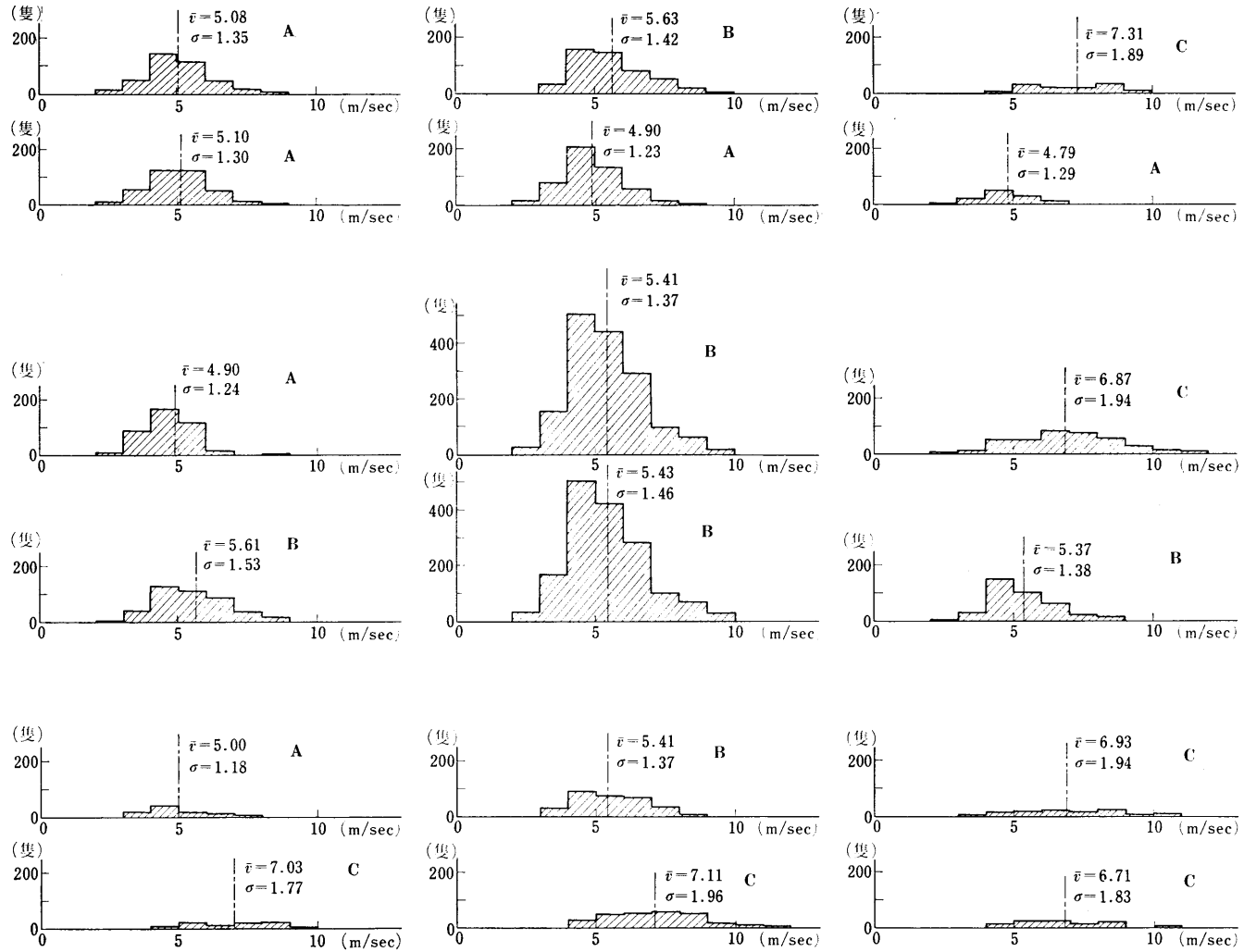


図 6 船舶の速度分布図

CB は BB と CC の間で、それぞれほぼこの直線にのっていることが分る。しかし、AC と CA とはいくぶんこの直線から離れているようである。いま、大小船混在時における閉塞領域の長さを r_{pq} 、幅を s_{pq} とすると

$$\left. \begin{aligned} r_{ij} &= \sqrt{(r_{ii}^2 + r_{jj}^2)/2}, \\ s_{ij} &= \sqrt{(s_{ii}^2 + s_{jj}^2)/2}. \end{aligned} \right\} \dots\dots (1)$$

$(i, j = A, B, C)$

が成立つとして差支えない。

混合交通における交通量を統一的に取扱う換算交通量を算出する場合、その換算係数は閉塞領域の面積比 $r_{ij}s_{ij}/r_0s_0$ をもって表現されるべきで、(1) の関係式が一般に成立つとすれば、混合の割合に関係なく、この換算係数 E は

$$E = r_{ij}s_{ij}/r_0s_0 = (L_i/L_0)^2 \dots\dots (2)$$

となる(付録参照)。ただし、 r_0 、 s_0 および L_0 は標準船の閉塞領域の長さ、幅および船の長さを示すものである。したがって、たとえば船の長さが標準船の2倍の船は換算係数4、3倍の船は換算係数が9ということになる。

なお、参考までに、図4のデータに関連して船の速度分布を表わしたものが図6である。この図6では、図4のAAがこのAAに対応するというように図4の行列との対応を同形の行列で示してある。図中の \bar{v} は速度の平均を、また、 σ はその標準偏差を示している。この図から、これらの平均速度や標準偏差は大中小の船の大きさにしたがって組合せや標本の数(中型船が最も多く、大型船が少ない)のいかんにかかわらずほぼ等しいことが分る。かつ、これらの平均速度はそれぞれ図4で示される船の長さに対応した満載速度にほぼ等しいことが分る。したがって、小型船が先行船で、大型船が後続船の場合は一般に追い越しが行なわれ、大型船、小型船が逆の場合は、大型船に対して小型船は一般に引き離れて行くことが考えられる。しか

し、この場合でもこれらの2船間には相対的な関係位置をもつための操船上の配慮が行なわれているとみられるので、前述のように大きさのほぼ等しい場合と同様なデータ解析上の取扱いが成立つとしても差支えなからう。

4. む す び

浦賀水道で実施したミリ波レーダによる海上交通実態観測結果から、長さが30~200mの範囲の船について、大小船混在時同航の場合の閉塞領域の状況を近似的に把握して(1)式を導いた。

次に、この関係式から一般の大きさの船の混合交通における換算係数が(2)式で表わされること、すなわち、船の長さの2乗に比例することを示した。

5. 謝 辞

本観測は海上保安庁の後援のもとに行なわれたものであり、また観測の実施に当っては日本レーダーサービス(株)からも多くの援助を受けた。ここに記して謝意を表す。さらに、貴重など意見を寄せられた電子航法研究所の藤井弥平部長に感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 藤井ほか：小型船の閉塞領域の調査，船舶技術研究所報告，Vol. 3, No. 2 (昭41.3月)
- 2) 藤井ほか：大型船の閉塞領域の調査，船舶技術研究所報告，Vol. 3, No. 2 (昭41.3月)
- 3) 藤井ほか：中型船の閉塞領域の調査，船舶技術研究所報告，Vol. 4, No. 4 (昭42.7月)
- 4) 田中ほか：閉塞領域におよぼす潮流の影響の研究，船舶技術研究所報告，Vol. 6, No. 3 (昭44.5月)
- 5) 東京商船大学船舶運航技術研究会：浦賀水道船舶交通実態調査報告書，(昭42.12月) pp. 120~126
- 6) 海上保安庁：海上保安の現況，(昭和45.5月) p. 37

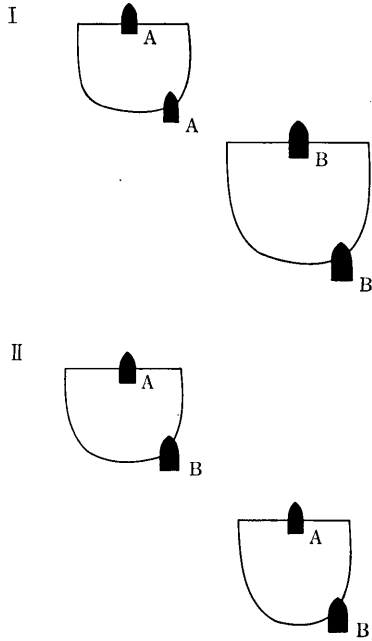
付 録

混合割合に関係なく換算係数が一定であることの証明

いま簡単のために標準船を A , 対象船を B とし, この A, B 2 種の大きさの船の組合せだけを考えることにする。添字は本文の約束にしたがうとし,

$$L_B = kL_A, r_{AA} = C_r \cdot L_A, S_{AA} = C_s \cdot L_A$$

(K, C_r, C_s は定数)



付図 1 AB 2 船の結合のしかた

とすれば, 面積一定の水域に A 2 隻, B 2 隻が航行するとき付図 1 のように A と A ; B と B の結びつきの場合 (I) と A と B ; A と B の結びつきの場合 (II) とが考えられる。II の場合, A, B いずれが先行船であっても本文にしたがって同一の関係が成立つとする。

I, II の場合の換算交通量をそれぞれ Q_I, Q_{II} とすれば

$$Q_I = \frac{2r_{AA} \cdot S_{AA} + 2r_{BB} \cdot S_{BB}}{r_{AA} \cdot S_{AA}}$$

$$= \frac{2 \cdot C_r \cdot C_s \cdot L_A^2 + 2 \cdot k^2 C_r \cdot C_s \cdot L_A^2}{C_r \cdot C_s \cdot L_A^2}$$

$$= 2(1 + k^2) \quad \dots\dots (A-1)$$

$$Q_{II} = \frac{2 \cdot 2r_{AB} \cdot S_{AB}}{r_{AA} \cdot S_{AA}}$$

$$= \frac{4 \sqrt{\frac{r_{AA}^2 + r_{BB}^2}{2}} \sqrt{\frac{S_{AA}^2 + r_{BB}^2 + S_{BB}^2}{2}}}{C_r C_s L_A^2}$$

$$= 2(1 + k^2) \quad \dots\dots (A-2)$$

$\therefore Q_I = Q_{II}$

したがって, 前後 2 船の結びつきに関係なく換算係数は一定である。

次に, 異なった大きさの 3 船以上があり, これらの船が 1 船ずつ直列に結びついている場合や, 同一の大きさで 3 船以上があり同様に結びついている場合なども標準船を含む含まないにかかわらず以上の考え方がそのまま拡張できる。

それ故, 混合の割合に関係なく換算係数は一定となることが証明される。