

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 I) 閉塞領域におよぼす潮流の影響の研究

田中健一* 渡辺健次* 山田一成* 沢井秀之*
 金丸貞巳* 有村信夫* 栗村康彦** 藤井弥平***

Navigational Traffic Phenomena on Narrow Straits

On the Navigational Traffic Capacity (A-2)

—Part I. Influence of Tidal Current on the Effective Area of Ships—

By

Ken'ichi Tanaka, Kenji Watanabe, Kazunari Yamada,
 Hideyuki Sawai, Sadami Kanemaru, Nobuo Arimura,
 Yasuhiko Kurimura and Yahei Fujii

The effective area of ships on narrow straits is investigated in search for the influence of tidal current to the navigational traffic capacity.

The observation was made on the Kanmon Straits from Aug. to Sept., 1967, by "Programmed Radar-Photograph Method". This method is developed for this study, and turned out to be very useful.

The results of the survey are given as follows:

$$r = 7L + 0.64 \frac{L_0^2 u}{L u_0} \pm 2L, \dots\dots\dots (1)$$

and

$$s = 3L \pm L, \dots\dots\dots (2)$$

where r and s are the length and width of the effective area respectively, and L and u are the length of ships and the speed of tidal current (L_0 and u_0 are 50 meters and 2 knots respectively).

1. は し が き

狭水道における海難の減少と海運の輸送能率の向上を目的として著者らはここ数年来航行容量の研究を行ってきた。さきに、京浜運河および浦賀水道における航行船舶の観測値より後方閉塞領域を求め¹⁾、ある条件のもとに基本航行容量を試算した²⁾。この基本航行容量決定へのアプローチとしての後方閉塞領域の導出は観測データを一定の基準に従って分類し、統計的

検討を加えたもので個々の操船者の意志や船舶の運動性能などの平均的な取扱いができていて、設定値にある幅をもたせながら交通現象の基本的形態をかかなりの確に表現したものといえよう。しかし、現実の水路が与えられた場合、その水路の容量を決定するには最終的に実用(設計)航行容量によらなければならないので、そのためには、まず可能航行容量[†]を定めておく必要がある。可能航行容量は基本交通容量に種々の条件から導かれる増分(一般には負の値をとる)を足し

* 共通工学部 ** 関連施設部 *** 電子航法研究所

† そのときその場所における最大通過隻数を可能航行容量と定義した。

合わせて決定されるもので、この条件は大別して次の3種が考えられる。その第1条件は、船舶の航路航行所の物象的条件とも呼ばれるべきもので、潮流、潮汐、波浪などの海象、晴雨、風、霧の有無などの気象、昼夜の別、時刻などの要素を含む。つぎに、第2の条件としては航路の設定形状によるもので、幅員、水深のほか、分岐、屈曲、交差など航路の幾何形状によって決定される要素や岩礁、橋脚、陸岸などの障害物の存在その他が考えられる。さらに、第3の条件は交通対象すなわち船舶に関するもので船種、船の大きさおよびこれらの混合の割合などを指すものである。操業中の漁船など停留や停泊中の船舶は船舶自体に関するものであるが、取扱い上第2の条件と考えてさしつかえなからう。

ここでは、その可能航行容量を求める第1段階として、前述の第1の物象的条件のうち潮流の影響という要素を採り上げた。神戸商船大学の山口教授らの研究⁹⁾によると、狭水道航行時、操船者に緊張感を与える最重要条件として船舶の幅員とともに潮流の影響

があげられるが、このことによってもこの要素の採用の重要性がうなづかれよう。ここでは、航行容量におよぼすこの潮流の影響を従来まで調査してきた後方閉塞領域（以下単に閉塞領域という）という観点から検討することとし、潮流の激しい水域を航行する場合の船舶の閉塞領域が潮流の存在によってどのように変化するかを観測によって求めることにした。観測は昭和42年8月から9月にかけて関門海峡においてミリ波レーダを用いて行なわれ、一応の結論を得たのでここに報告する。

2. 観測について

この潮流の影響をみるためには、潮流流速の値が規則的に大きく変わり、航行量が多く、かつ観測に便利なところを選ぶ必要がある。この条件に適している場所として関門航路を選んだ。ここは鳴門海峡や来島海峡などとともに潮流の激しいところで早瀬瀬戸付近では最強時6~8ktにも達する。今回は2回の現地調査の後、観測水域を大瀬戸付近に定めた。これは、観測

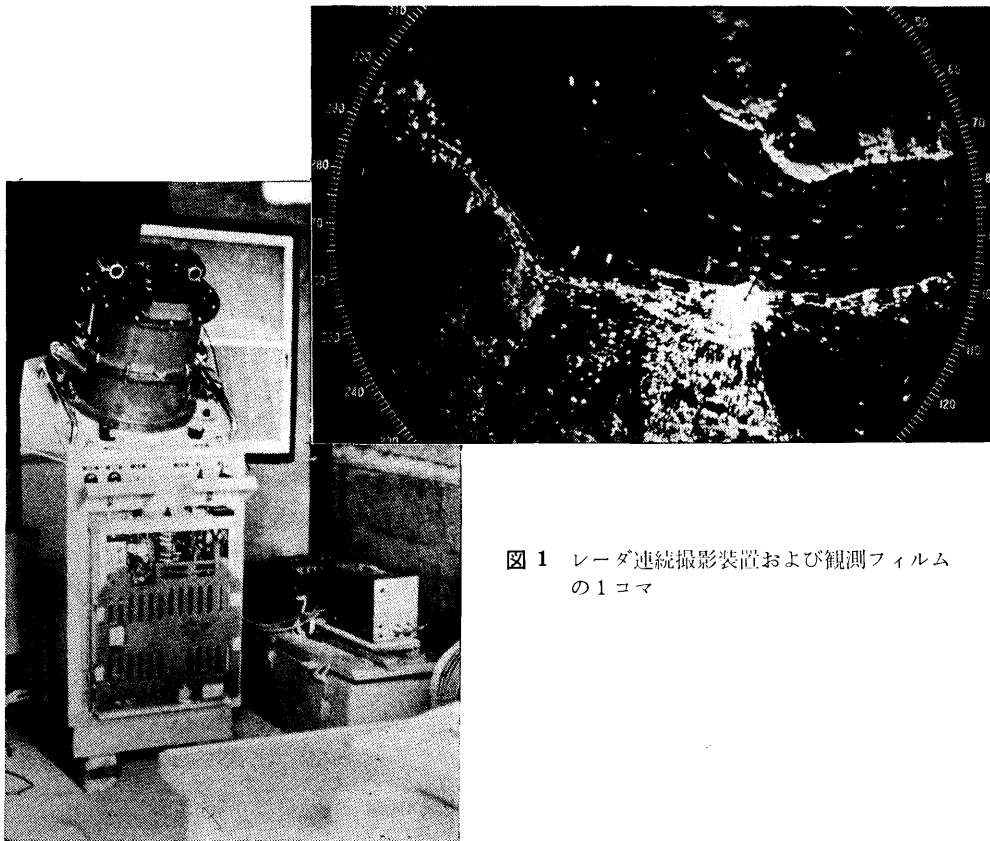


図1 レーダ連続撮影装置および観測フィルムの1コマ

が立地条件上簡便に行なえるという理由のほか、比較的広い水域にわたって潮流が一樣であるという理由によるものである。

観測方法としては、ミリ波レーダ（沖電気工業株式会社製 CDSH-4A 型 9.2 ミリ波）を用い、これと当所で新しく開発したレーダ連続撮影装置を併用した。レーダ撮影による解析はいままで各所で多く行なわれているが、何れも 20 秒ないし 1 分間ごとに 1 コマずつ撮影するものであって長い日数の観測を実施すると龐大な量のフィルムが使用され、その結果、データ解析に多くの時間と労力が費やされることになる。ここで使用した連続撮影装置は、レーダの PPI 上の船の影像を 1 分間ごとに 6 分間 1 コマのフィルムに撮影するもので、この程度の多重露出ではフィルムのハレーションも問題にならない。従って、航跡は 1 分間ごとの船影のスポットを辿って求められるが、その船の進む向きはこの 1 分間ごとのスポットのパターンを予めプログラムしておくことによって簡単に判別ができる。このようにして経験の少ない補助者でも航跡を簡単にトレースすることができる。また、モータドライブカメラのフィルムが 1 本 250 コマであるから 1 日 24

時間の連続撮影が 1 本のフィルムに収められ、そう多くのフィルムを必要としない利点もある。この装置の使用の状況および得られたフィルムの 1 コマを図 1 に示す。また、その系統図を図 2 に示す。モータドライブカメラのシャッターおよびフードのシャッターはそれぞれギヤードモータを用いた制御装置の信号電流によって作動し、前者は 6 分間のうち約 5 分 30 秒間モータドライブ機構によって開放となり、後者はラックピニオン型移動シャッターにより 1 分間ごとに約 3 秒間だけ露出される。レーダのアンテナの回転が約 3 秒間なので、レーダの PPI の走査の 1 回分が 1 分毎に撮影されることになる。

このレーダ装置を用い、下関市福浦動物検疫所跡、および北九州市門司区大里サッポロビール株式会社工場建屋屋上に観測所を設置し、観測を実施した。その実施要項を表 1 に示す。また、観測の見取り図を図 3 に示す。なお、実施期間中は天候に恵まれ、悪天候としては 8 月 30 日、8 月 31 日の夜半、および 9 月 3 日の夕方、強雨に見舞われただけであり、他は晴天であった。また、レーダの調子も観測期間中良好であった。

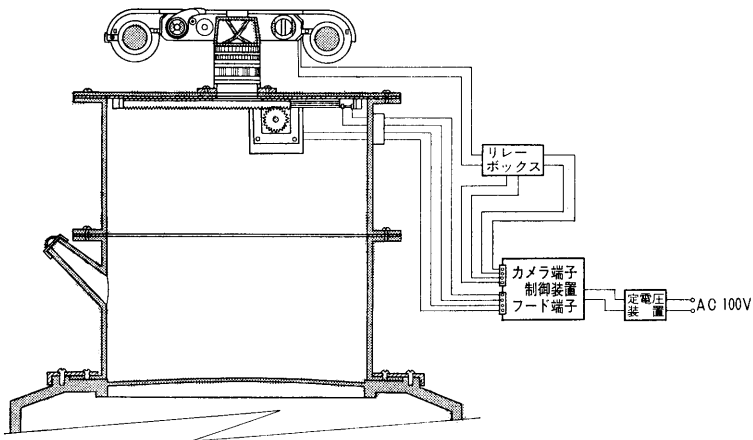


図 2 レーダ連続撮影装置の系統図

表 1

観測所	観測期間	観測水域	観測中の潮流の最大流速
下 関	昭 42・8・20・12,00～	観測所を中心とする半径 約 2.5 km 以内の全水域	東 流 約 2 kt
	昭 42・8・25・12,00		西 流 約 3 kt
門 司	昭 42・8・29・12,00～	観測所を中心とする半径 約 3.0 km 以内の全水域	東 流 約 5 kt
	昭 42・9・ 4・12,00		西 流 約 6 kt

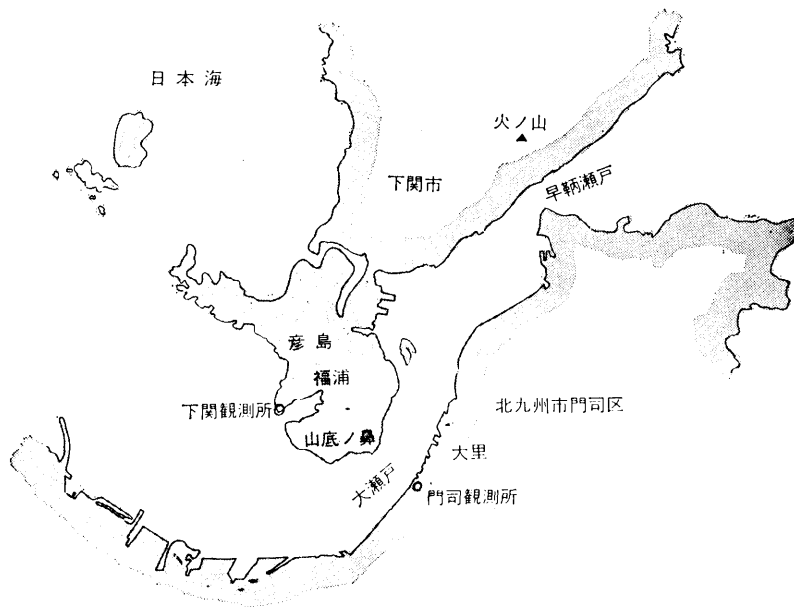


図3 観測所の見取り図

3. 観測結果

観測によって得られたフィルムをフィルムリーダーにかけ、映像面にトレーシングペーパーをあてて1コマずつペーパー上に船影をプロットして航跡図を作成した。これから、前報告と同じようにして先行船に対する後続船の相対位置すなわち距離(Y)、間隔(X)を読取った。この場合、船の大きさはレーダフィルムの画像の中の船影のスポットから求めることになり、その大きさが実際の船に大体比例して撮影されることになるが、絶対長が大きめにでてくるほか、たとえば機帆船と小型鋼船のような船種のちがいやPPI上の位置、船の進む方向などによっても船影の大きさがかなり変わり、それだけ精度が悪くなるのでこの点注意する必要がある。ここでは既知の船の長さから得られた較正曲線によって補正するとともに、5点のデータの平均をとって精度の向上に努めた。一方、相対位置に関しては、あらかじめ海図によって静止目標間の距離を定めておき、これとの比較およびPPI上の500mおきの較正同心円との比較ができるので、レーダの分解能(方位分解能で28分)の程度の精度は確保されているように考えられる。総合して誤差は長さで $\pm 10\text{m}$ 、時間で ± 3 秒ぐらいである。まだレーダフィルムに示されている船の位置の潮流の向きおよび流速の大きさ

を知るため海上保安庁発行の潮流図⁴⁾および潮汐表⁵⁾を用いた。フィルムに撮影された時刻に対応して潮流が求められるので船の向きによって順流逆流の別および潮流の大きさが決定される。この場合、反流・環流などや非定常流の水域をさけて定常流と推定される水域のデータのみを採用した。従って、データにかなりの制限が加えられることになり航行量の割に有効なデータはそれほど多くない。また、上述の図表を用いるため潮流流速に関してはかなりの誤差が見込まれるが、その大きさは $\pm 0.5\text{kt}$ ぐらいと推定される。なお、参考までに一例として本観測期間中の9月1日正午から2日正午までの門司観測所前面該当水域の潮流曲線を図4に示す。

次に、閉塞領域を求めるため後続船の相対位置分布図を作成した。この場合、パラメータとして潮流流速のほか、昼夜の別、船の長さ、船の速さなどがあげられるが、これらをすべて考慮してデータを分けるとデータの数がかなり不足するので従来の報告¹⁾に従って、簡略化を行ない、ここでは潮流と船の大きさを表わす船の長さのみに着目した。前者には、順流(流速 2.1kt 以上)、逆流(流速 2.1kt 以上)および憩流(順・逆流とも 2.0kt 以下)の3水準を採用した。また、後者は閉塞領域の船の長さへの依存性が船速、船種など他のパラメータに比較して大きいことがいま

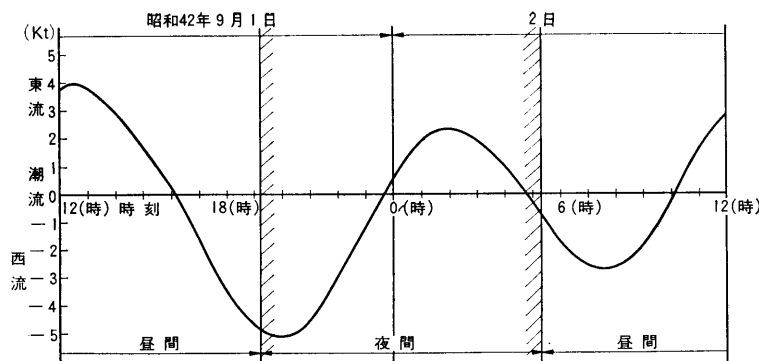


図4 観測期間中の潮流曲線の1例 (門司観測所前面該当水域)

までの研究によってわかっており、さらに、船の総トン数と長さが密接に関係づけられているなどの理由によって採用したものである。この船の長さによるデータの区分け方法としては、船の長さ 60 m 以下のものが全体のおよそ 80% を占めているので、先行船・後続船とも 60 m 以下のもののみを採り、先行船・後続船とも長さが 10~30 m の範囲にあるものの組合せデータ、20~40 m の範囲にあるもののデータというように長さを 4 水準にした。同一のデータを 2 回、3 回と使用することがあるので、この点精度は劣ることになるが、データ数に限度があるので、この方法を採用するのやむを得ぬことであろう。

このように区分けして相対位置分布図を求めたものが図 5 である。なお、相対位置の分布のデータ点数は従来の報告と同様、重みを等しくするため同一の前後の船の組に対して 5 点ずつ採ってある。図中の数字は 40 m ますめの中の頻度を表わし、 $|X|$ は間隔 (左方のデータは右方に重ねた)、 Y は距離を表わす。 L_1 、 L_2 などは前述の船の長さの平均 (単位: m) を、 u は潮流流速の平均 (順流: 正, 逆流: 負, 単位: kt) を表わす。密度の大きいところをつないで閉塞領域を求めることができるが、この場合、密度の大きいところがそれほど顕著に現われていないようにみえる。しかし、これは、本質的に個々の船の動きに相当のばらつきがあってある程度の幅がでてくることのほか潮流の評価において精度がそれほどよくないことでの他の水準のものがまぎれこんでいる場合もあることなどの理由によるものであろう。そこで、前報告と同じようにして 40 m ますめを足し合せて 80 m ますめのものを作ってみると、大体同じところに密度極大の位置がくる。図 6 は試みに図 5 の右下の $L_1=49.0$ 、逆流の場

合を例にとって 80 m ますめにして図示したものである。ここでは、便宜上 $X=0$ をはさんで足し合せてある。他の場合についても同様のことがいえる。このことによっても、閉塞領域の存在の確証がなりたつ。次に、図 5 に示された閉塞領域をみると、順流の時は、進方方向の大きさ r がどの場合でも後方に大きく引伸ばされ、逆流の場合は反対に縮小されていることがわかる。また、進行方向に直角な方向の大きさ s は順流・逆流とも大きな差はないようにみえる。また、憩流の場合、 r 、 s とも従来の基本航行容量を対象とした閉塞領域の r と s に近い値を示すはずであるが、この関係を見るため r 、 s と船の長さ L を対数座標上にプロットしその相関を直線で示したものが図 7 で図中の r_0 、 s_0 は憩流のときの r 、 s を示す。これによると、 $r_0 \approx 7L$ 、 $s_0 \approx 3L$ と従来の値よりいくぶん小さめの値が得られたが、このことが関門海峡における航行船舶の特性であるのかどうかいまの段階では不明である。また、前述の順流・逆流の r の値を定量的に表わすために試みに $[|dr_s| + |dr_{-s}|]/2$ と L との相関をみた。この関係を図示したものが図 8 であり、図 7 と同様、両軸とも対数目盛で示してある。ここに dr_s 、 dr_{-s} はそれぞれ順流でほぼ 3 kt、逆流でほぼ 3 kt であるときの r の増分を示したものである。これによると、この和の平均の値が L に対して右下りに約 45° 傾いた相関を示しているので、潮流による増分は憩流の近傍では、ほぼ L^{-1} に比例することがわかる。すなわち、船が大型化してくるに従って潮流の影響を受け難くなっていくことを示している。また、この増分は潮流流速 u に比例して大きくなるとみてさしつかえなからう。次に、図 5 に示してある v の値は船の対地速度 (単位: m/秒) で、これは当然のことながら、憩流に

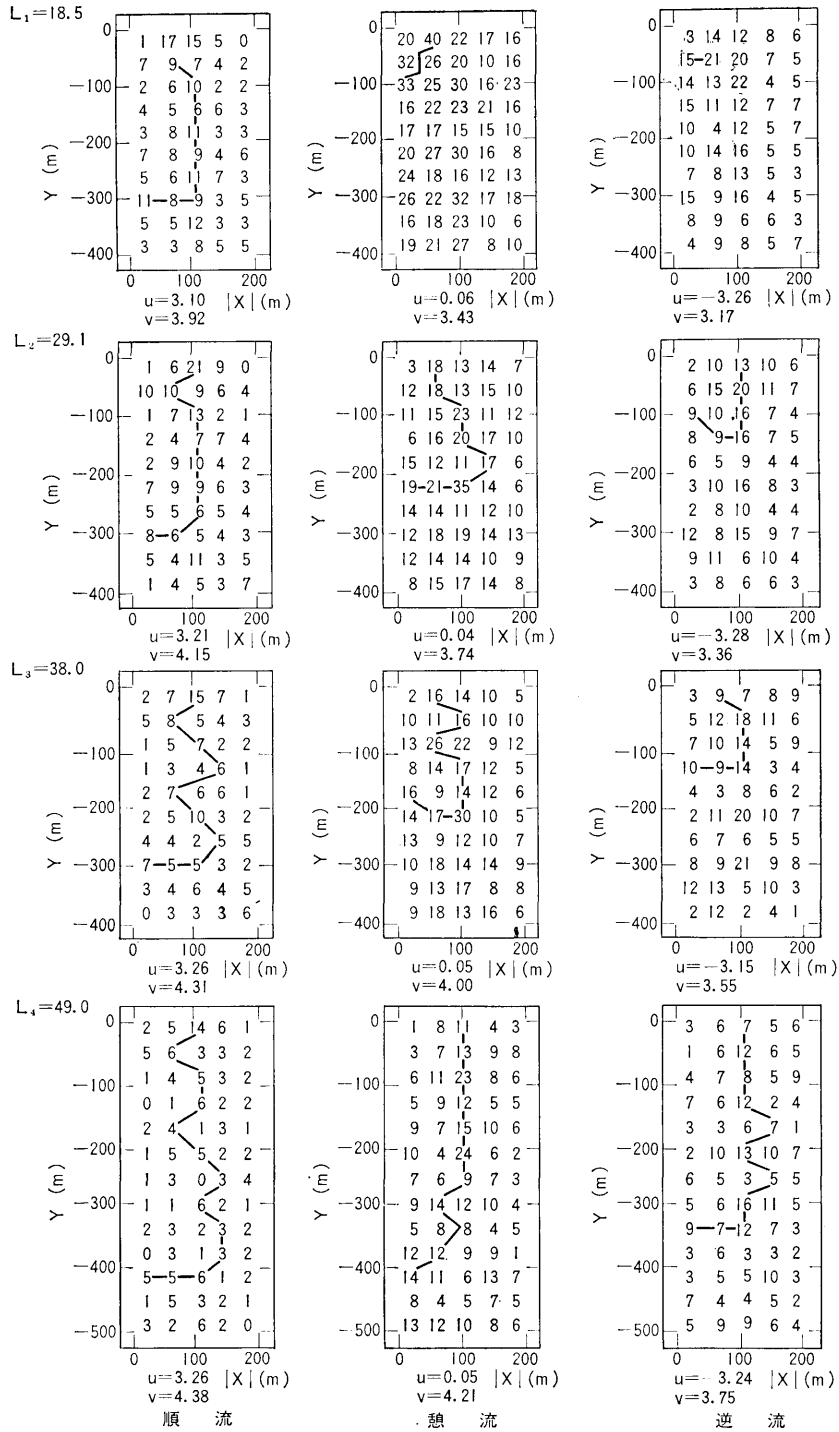


図 5 後続船の相対位置分布図 (40 m ますめ)

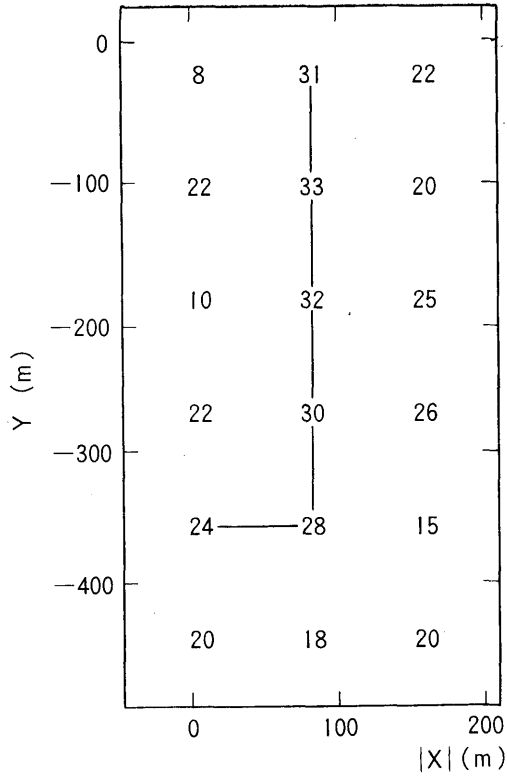


図 6 後続船の相対位置分布図の例 (80m ますめ)

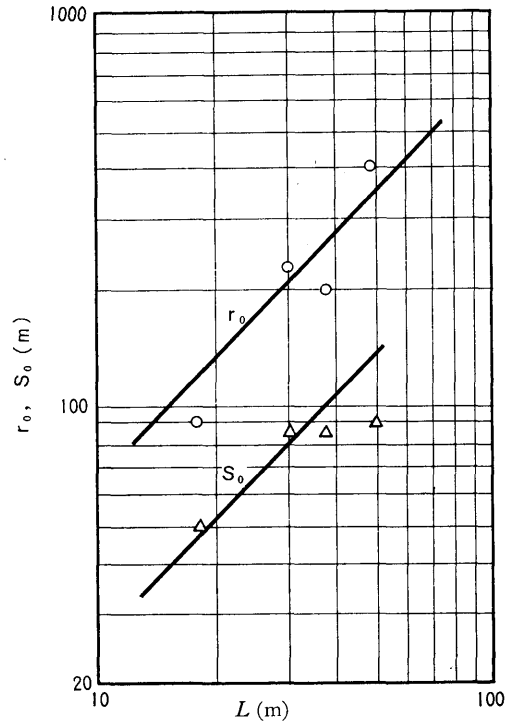


図 7 r_0, s_0 と L の関係図

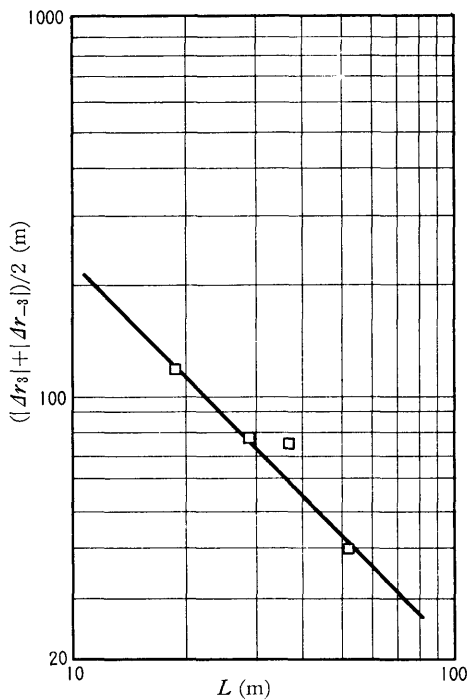


図 8 $(|\Delta r_3| + |\Delta r_{-3}|)/2$ と L の関係図

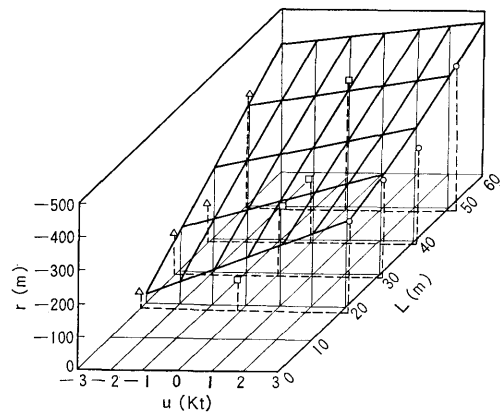


図 9 $r-L-u$ の関係図

対して順流が大きめになり、逆流が反対に小さめになる。ここで、この速度が満載速度に対して10~20%ぐらい小さめにでてくるのは潮流の存在によって一般に速度がセーブされることの本来の原因のほか、前述のように潮流流速の精度が悪いこと、船の長さの比較的短い機帆船が割合多いこと、この水路の特性の影響などが原因となっていると考えられよう。

4. 潮流の影響の数式表現

以上の結果から、潮流のある場合の閉塞領域の大きさは

$$r = r_0 + \left(\frac{|Dr_3| + |Dr_{-3}|}{2} \right) \cdot \frac{u}{3}$$

$$= 7L + 0.64 \frac{L_0^2 u}{Lu_0} \pm 2L \quad \dots\dots(1)$$

$$s = s_0 = 3L \pm L \quad \dots\dots(2)$$

で表わされる。ただし、 r, s はそれぞれ閉塞領域の進行方向の大きさ、進行方向に直角の方向の大きさを表わし、 u は潮流流速（順流：正、逆流：負）、 L は船の長さを示し、また L_0, u_0 はそれぞれ標準の船の長さおよび標準潮流流速を表わし、ここでは $L_0 = 50\text{m}$ 、 $u_0 = 2\text{kt}$ とする。さらに、上式の適用範囲は船の長さで $60\text{m} \geq L \geq 20\text{m}$ 、潮流流速で $3\text{kt} \geq u \geq -3\text{kt}$ である。

(1)式の r, L および u の関係を立体直角座標で図示したものが図9で、図中に観測値をプロットしておく。

5. む す び

航行船舶の後方閉塞領域におよぼす潮流の影響をみるために、関門海峡でミリ波レーダおよびレーダ連続撮影装置を用いて観測を行ない1分間ごとの航行船舶の位置をフィルムに収めた。このフィルムを解析する

ことによって潮流の大きさおよび船の長さをパラメータとする閉塞領域の大きさがある幅をもって定量的に求められ、(1)式および(2)式の形に数式化された。

船の大きさの精度や潮流流速の評価にまだ改善の余地は多少あるが、可能航行容量のうち、潮流による影響の基礎資料が得られたものと考えられる。しかし、この課題の研究を発展させるためには、上述の点の改善に努めるほか、潮流流速や船の大きさの大きい範囲まで調査解析を行なう必要もあろう。

今後は可能航行容量の第2段階として大型船・中型船・小型船混在の場合の船舶換算率（当量）について調査研究を進める予定である。

6. 謝 辞

本研究は第四港湾建設局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農林省水産大学校運航技術研究会および日本レーダーサービス株式会社からも多くの協力を得た。あつく感謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) 藤井ほか：制限水路の船舶の基本航行容量について（そのⅠ）小型船の閉域領域の調査，船舶技術研究所報告，Vol. 3, No. 2（昭41.3月）
（そのⅡ）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）
（そのⅢ）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）
- 2) 藤井：船舶の航行容量の試算，船舶技術研究所報告，Vol. 3, No. 4（昭41.9月）
- 3) 山口・黒田：狭水道における操船者の緊張感，日本航海学会誌，No. 34, pp. 1~8（昭40.10月）
- 4) 海上保安庁，下関海峡潮流図（昭31.3月）
- 5) 海上保安庁，昭和42年度潮汐表第1巻（昭41.8月）