航行船舶の閉塞領域に及ぼす潮流の影響について

田中 健一*・藤井 弥平**

Influence of Tidal Current on the Effective Area of Ships

K. Tanaka and Y. Fujii

Abstract

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

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

The results of the survey are given as follows.

$$r = 7L + 0.7 \frac{L_0^2 u}{L u_0} \pm 2L \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{and} \quad s = 3L \pm L \dots\dots\dots (2)$$

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海上交通容量の研究を行なつてきた。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] [2], ある条件のもとに基本交通容量を試算した [3]。この基本交通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つて分類し、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なりの確に表現したものと言える。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）交通容量によらなければならないので、そのためには、まず可能交通容量を定めておく必要がある。可能交通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）を足し合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、船舶の航路航行時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、時刻などの要素が含まれる。つぎに、第2の条件として航路の設定形状によるもので、幅員、水深のほかに、分岐、屈曲、交差など航路の幾何形状

* 船舶技術研究所（三鷹市新川6-38-1）

** 電子航法研究所（同 上）

によつ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、その可能交通容量を求める第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あげてみた。神戸商船大学の山口教授らの研究[4]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輻輳度とともに潮流の影響があげられるが、このことによつ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、交通容量に及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つてどのように変化するかを観測によつ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以下に報告する。

2. 観測について

この潮流の影響をみるためには、潮流の値が規則的に大きく変わり、海上交通量が多く、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つ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 CDSH-4D9.2型ミリ波）を用い、これと船舶技術研究所で新しく開発したレーダ連続撮装置を併用した。レーダ撮影による解析は今まで各所で多く行なわれているが、何れも20秒ないし1分間毎に1コマずつ撮影するものであ

第1図 レーダ連続撮影装置および観測ファイルの1コマ

つて長い日数の観測を行なうとぼう大な量のフィルムが使用されることになり、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。従つて、航跡は1分間ごとの船影のスポットを辿つて求められるが、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つて簡単に判別することができる。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

第2図 レーダ連続撮影装置の系統図

第3図 レーダ連続撮影装置の配線図

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、配線図を図3に示す。モータドライブカメラのシャッターおよびフーダ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つて作動し、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つて開放となり、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分間毎に撮影されることになる。

このレーダ装置を用い、下関市福浦の動物検疫所跡、および北九州市門司区大里のサツ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4に示す。なお、実施期間中、天候に恵まれた観測装置は大体良好に作動した。

表 1

観 測 所	観 測 期 間	観 測 水 域	観測期間中の潮流の最大流速
下 関	昭42. 8. 20 12.00～ 昭42. 8. 25 12.00	観測所を中心とする半径 約2.5km以内の全水域	東 流 約 2 kt 西 流 約 3 kt
門 司	昭42. 8. 29 12.00～ 昭42. 9. 4 12.00	観測所を中心とする半径 約3.0km以内の全水域	東 流 約 5 kt 西 流 約 6 kt

第4図 観測所の見取り図

第5図 後続船の相対位置分布図 (40mますめ)

3. 観測結果

観測によつて得られたフィルムをフィルムリーダーにかけ、1コマずつトレーシングペーパーに引伸ば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) を読取つた。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つ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つてく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つて補正するとともに、5点のデータの平均をとつ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つ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おきの較正同心内との比較ができるので、レーダの分解能(方位分解能で15')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。また、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大きさを知るため海上保安庁発行の潮流図および潮流表を用いた。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つて順流・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。従つて、データにかなりの制限が加えられることになり交通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。

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のほか、昼夜の別、船の長さ、船の対地速力などがあげられるが、これらをすべて考慮してデータを区別けするとデータの数がかなり不足するので、従来の報告に従つて、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今までの研究によつて分つており、さらに、船の総トン数と長さとは密接に関係づけられているなどの理由によつ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 60m 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 60m 以下のもののみを採用し、先行船後続船とも長さが $10\sim 30\text{m}$ の範囲にあるものの組合わせデータ、 $20\sim 40\text{m}$ の範囲にあるもののデータというように長さを4水準に区別けした。同一のデータを2回、3回と使用することがあるので、この点確度は劣ることになるが、データ数に限度がある以上、この方法を採用するのもやむを得ぬことであろう。しかし、船の長さが $10\sim 30\text{m}$ のデータと $40\sim 60\text{m}$ のデータとは全然重複していない点には注目されたい。このようにして区別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点ずつ採つてある。図中の数字は 40m 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 は潮流流速の大きさの平均(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つて或程度の幅がでてくることや潮流

の評価において精度がそれほどよくないことで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40mますめを足し合せて80m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 $L_4=49.0$ 、逆流の場合を例にとつて80mますめに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いる。他の場合についても同様のことがいえる。このことによつても、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、進行方向の大きさが r 程度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 とも従来の基本交通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、この関係をみ

第6図 後続船の相対位置分布図の1例
(80mますめ)

第7図
 r_0 , s_0 と L の関係図

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

るため r 、 s と L を対数目盛で表現しこれら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 $(|\Delta r_2| + |\Delta r_{-2}|)/2$ 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、 Δr_2 、 Δr_{-2} はそれぞれ順流ではば 3 kt、逆流ではば 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、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つていくことを示している。また、この増分は u に比例して大きくなるとみてさしつかえなかろう。次に図5に示してある v の値は船の対地速力 (m/秒) で、これは当然のことながら、憩流に対して順流が大きめになり、逆流が反対に小さめになる。ただし、ここで、この速力が満載速力に対して10~20%ぐらい小さめにでているのは潮流の存在によつて一般に速力がセーブされていることの本来の原因のほか、前述のように潮流流速の評価精度の悪いこと、船の長さの比較的短い機帆船が割合多いことと、この水路の特性の影響があることなどが原因していると考えられる。

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、

$$r \doteq r_0 + \left(\frac{|\Delta r_1| + |\Delta r_2|}{2} \right) \cdot \frac{u}{3} = 7L + 0.7 \frac{L_0^2 u}{L u_0} \pm 2L \quad \dots\dots\dots (1)$$

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

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行の大きさを表わす。 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 の関係を直角立体座標で図示したものが図6で、図中に観測値をプロットしておく。

第9図 $r-L-u$ の関係図

5. む す び

航行船舶の後方閉塞領域に及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つ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つ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、可能交通容量のうち、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。

今後は可能交通容量の第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

本研究は運輸省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つ

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, 田中, 渡辺, 山田: 船舶の閉塞領域について, 日本航海学会誌, 35号 (1966)
- [2] 藤井, 田中, 山田, 沢井, 金丸: 中型船の閉塞領域について, 日本航海学会誌, 38号 (1967)
- [3] 藤井, 渡辺, 田中, 山田, 沢井: 水路の基本航行容量の一試算, 日本航海学会誌, 36号 (1966)
- [4] 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, 34号 (1965)
- [5] 榊: 関門航路における海難防止対策, 航海 No. 28

〔質疑応答〕

憩流時を順, 逆流とも 2 kt 以下として資料を整理しておられるが, 検討されている船の長さが 60m であると, 速力はせいぜい 12kt 以下なので, 2 kt を憩流と考えるには無理があると思いますが如何がですか。

(鞠 谷)

〔解答〕

ご指摘のように憩流の範囲をせまくして, データを区別けして潮流の影響を求める方が適切と考えられるが, このような区別けを行なうと, (1) データ数がかなり不足し, (2) 潮流の精度が ± 0.5 kt 位なので, その誤差の影響が大きくなる。そのため, 次善の策として, 第 1 近似を目標にして本論文のように区別けした。

なお, 本論文の場合, 憩流のデータは, 2 kt 以下の順流, 逆流のデータが混入しているので, 閉塞領域の境界線の幅は大きくなってしまいが, その混入の割合が同程度の重みと考えられるので, ある程度は潮流の影響が相殺されていることも考えられ, 従来の基本交通容量を対象とした閉塞領域の大きさとあまり差がないのであろう。それ故, 憩流の範囲の幅をせまくした値とそれほどかけ離れた値でないように思われる。