船舶の混合交通における交通量換算係数について

田中 健一*・山田 一成*

On the Equivalent Number of Vessels of Various Size in
the Marine Traffic

K. Tanaka and K. Yamada

Abstract

The observation in the separation of various size of vessels whose lengths are different considerably was carried out with a mm wave radar and a multiexposure 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 equation gives that the equivalent number is proportional to the square of the length of vessel.

1. は し が き

狭水道などにおける船舶の輻輳に伴う海上交通工学研究の必要性は、いまさら言を俟たないところである。著者らは、この研究の分野で交通容量という観点から問題解決へのアプローチを試みてきた〔1〕,〔2〕。ここでは、先に発表した閉塞領域に及ぼす湖流の影響に関する研究〔3〕に引きつづき、可能交通容量の第2段階として、この大小船混在時における航行現象のうち、同航の場合の解析を行ない、一応の結論を得たので、以下に報告する。

なお、この問題に関する研究はいままで一部取扱われているが〔4〕, 明確な解析はなされていないようである。

2. 観 測

わが国で最も大型船の交通量の多い浦賀水道において昭和42年8月と昭和43年8月の2回にわたって観測を実施した。観測には前回発表のものと同様、ミリ波レーダ（沖電気工業(株)製, CDSH-4 A型, 9.2mm波）と当所で開発したプログラム・レーダ連続撮影装置を用い、観音埼

*船舶技術研究所（東京都三鷹市新川6-38-1）

航路標識事務所（海面上約46m地点）に観測所を設置した。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

図1 観測装置使用の状況

図2 レーダ写真の1コマ

図3 観測場所付近の見取り図

表1 観測実施要項

観 測	期 間	観 測 対 象 水 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以内の全水域
第 2 次	昭43. 8. 5. 12:00 ～ 8.15. 12:00	同 上

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次とも比較的天候に恵まれ、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。

3. 観測結果とその考察

1分間ごとに約3秒露出し、6分間をフィルム1コマに収めるプログラム・レーダ連続撮影装置を用いて得られた観測フィルムは、前回と同様、フィルム%リーダーにかけられ、これから航跡図が作成された。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(Y)、距離間隔(X))を1組について5点ずつ読取った。また、これに対応する2船の長さおよび速力を求めた。この場合の観測精度の誤差は長さで±10m、時間で±3secぐらいと推定された。ここで、先行船および後続船の大きさを便宜的に表2に示されるような範囲を定めて小型船(A)、中型船(B)および大型船(C)に区分けする。

表3 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 (t)
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10m単位にまるめてある。

次に、船の大きさの区分けに従って相対位置のデータを組分けする。すなわち、船の大きさA, B, Cの先行船に対するA, B, Cの大きさの後続船の組合せ9個について相対位置分布図を求める。その結果を図4に示す。図中のAA; AB; ……は先行船A, 後続船A; 先行船A, 後続船B; ……を示す。また、 $\overline{L_A}, \overline{L_B}, \dots$ 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)を表わし、前述のようにYは先行船に対する後続船の距離(m) |X| は同様間隔(m)を表わす。この場合は、前報と同様左側のデータを右側に重ねて絶対値記号を付してある。枠の中の数字は |X|, Yともそれぞれ50mごとに区切ったますめの中の後続船の頻度を表わしている。この頻度極大のところをつないで閉塞領域を求めることができる。図中の折線はこのようにして求めた閉塞領域の境界線を示す。この9組の閉塞領域をみると、従来から言われているように、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)に比べて閉塞領域が小さい。これらの関係を定量的に求めたものが図5で、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、横軸は添字 p 先行船, q 後続船とし、それぞれの長さを L_p, L_q で表をしたときの $\sqrt{(\overline{L_p}^2 + \overline{L_q}^2)/2}$ を

図4 後続船の相対位置分布図 (50mますめ)

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

示すものである。いま図4の $\bar{L}_A, \bar{L}_B, \bar{L}_C, \bar{L}_B, \dots$ を L_p, L_q に与えて、 $r \cdot s$ を表わすとプロットのようなになる。図中のAA, BBおよびCCは従来の基本交通容量を対象とした先行船と後続船の大きさの等しい場合の閉塞領域の大きさを表わす。これらの点は $r \cdot s$ と図示のようにほぼ直線に乗り、その直線が右上がり、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、 $r \cdot s$ は L_i に比例し、
 $r \doteq 6.5 L_i, s \doteq 2.5 L_i$

となる。これは、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。次にAB, BAはAAとBBの間で、また、BC, CBはBBとCCの間で、それぞれほぼこの直線に乗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、大小船混在時の閉塞領域の長さを r_{pq} 、幅を s_{pq} とすると、近似的に

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

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

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 $r_{ij} s_{ij} / r_o s_o$ をもって表現されるべきで、前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

$$E = r_{ij} s_{ij} / r_o s_o = (L_i / L_o)^2 \dots\dots\dots (2)$$

となる(付録参照)。ただし、 $r_o s_o$ および L_o 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。従つて、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9ということになる。

なお、参考までに図4に収録されているデータの総数について船の大きさ別の平均速力および標準偏差を表で示すと表3のようになる。

表3 観測船舶の全長と平均速力の関係

分類	全長の平均(m)	全長の標準偏差(m)	平均速力(kt)	速力の標準偏差(kt)
小型船	45.0	8.3	10.0	3.5
中型船	80.6	12.6	10.9	2.9
大型船	150.1	26.7	14.0	3.8

4. む す び

浦賀水道で実施したミリ波レーダの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、大小船混在時の閉塞領域の状況を近似的に把握し(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。

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つ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。両者に対し、あつく感謝の意を表する次第である。さらに、ご意見をよせられた電子航法研究所の藤井弥平部長に謝意を表したいと思う。

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(1968), pp. 71~76
- [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), pp. 15~20
- [3] 田中, 藤井: 航行船舶の閉塞領域に及ぼす潮流の影響について, 日本航海学会誌, 41号(1969), pp. 31~39
- [4] 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(1967), pp. 120~126

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

付図 1. AB 2 船の結合のしかた

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従うとし,

$L_B = kL_A, r_{AA} = C_r \cdot L_A, s_{AA} = C_s \cdot L_A$ (k, C_r, C_s は定数) 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つても本文に従つ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

$$Q_I = \frac{2r_{AA}s_{AA} + 2r_{BB}s_{BB}}{r_{AA}s_{AA}} = \frac{2C_r \cdot C_s \cdot L_A + 2 \cdot k^2 C_r \cdot C_s \cdot L_A}{C_r \cdot C_s \cdot L_A^2}$$

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

$$Q_{II} = \frac{2 \cdot 2r_{AB}s_{AB}}{r_{AA}s_{AA}} = \frac{4 \sqrt{\frac{r_{AA}^2 + r_{BB}^2}{2}} \cdot \sqrt{\frac{s_{AA} + s_{BB}}{2}}}{C_r \cdot C_s \cdot L_A^2}$$

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

$$\therefore Q_I = Q_{II} \dots \dots \dots (A-3)$$

従つて, 前後 2 船の結びつきに関係なく換算交通量は一定である。

次に, 異なつた大きさで 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。