

京都大学工学部 正会員 ○喜多 秀行
 京都大学工学部 正会員 黒田 勝彦
 (株) 佐藤工業 正会員 河野 一郎

1. はじめに

道路交通工学の分野では、交通処理能力の一つの尺度として「道路交通容量」なる概念が用いられ、道路の規模決定に欠くべからざるものとなっている。海上交通計画の分野においても海上交通容量なるものを明らかにし、これを用いて同様のアプローチで航路設計を行なうことは有用であると考えられるが、船舶交通流挙動の多様性や複雑性のゆえに、確定した値が定められていないのが現状である。本研究では、まず、船舶交通流解析の基礎的概念となる避航領域に関する従来の定義に再検討を加え、航行実態観測資料をもとに避航領域の解析を行なう。ついで、求めた避航領域を組み込んだ航行シミュレーションモデルを構築し、交通特性や航路特性の変更に伴う種々のサービス特性値の変化を求める。そして、これらサービス特性値と実用交通容量との関連に考察を加え、従来の避航領域の定義を用いた結果とも比較する。

2. 避航領域の確率的記述とその解析

航行船舶は、他船との衝突に対する安全性を確保するため、両船の航行状態に応じた一定の距離を隔てていることが要請され、見かけ上他船をその中へ入れない領域を有するようになり得る。この領域が避航領域と呼ばれるものであり、これまで種々の定義とそれに対応する数値が提案¹⁾²⁾³⁾されている。これら諸定義はいずれも、①避航領域の大きさを着目船の船舶長にのみ関連する量としていること、②避航領域の大きさを確率的に取り扱っていること、③着目船の並傍を通過する船舶の全てを解析対象としていること、の3点を特徴としている。しかも、大洋上での出会いと多数の船舶の間を繞るよう航行する場合の比較を持ち出すまでもなく、避航領域の大きさが混雑をはいれめとする航行環境や他船の船舶諸元に大きく影響されることは容易に想像される。また、船舶の挙動が操船者の主観的判断や予測し得ない外力の変動などに基くものであることを考えれば、操船者の安全と考える船舶の離隔距離もばらつきを有するものであると言えよう。実際、従来提案されている避航領域に関する諸定義間の相違も、ばらつき上のこの点を採用するかの違いに起因するところが多い。さらに、避航領域の解析のために、並傍を通過したか否かにかかわらず、あくまで着目船と避航した船舶のみを対象とすべきである。そこで、筆者らは避航領域を確率的に捉え、避航動作をもった船舶に関する航路データから避航領域と船舶特性・交通特性と関連付けた形で求めることにした。

解析に用いたデータは、京浜運河で実施された航行実態観測調査結果⁴⁾である。まず、レーダー写真をもとに描かれた航路図から明らかに避航を行なったと見られる航路対を抽出し、両船の航行速度、船舶長、トン数、相対速度、交通密度などについて調べた。そして、着目船の船首尾線を横切す地点と船舶中心との距離(前方避航領域・後方避航領域)および船舶中心を通り船首尾線に垂直な線を横切す地点と船舶中心との距離(側方避航領域)を被説明変数とし、上記の船舶・交通諸特性を説明変数とする重回帰分析を行なった。その結果が次式であり、ランダム項の分布は正規分布に従うことがわかった。その一部を図-1に示す。

$$\left. \begin{aligned} R_{01} &= 4.53L_1 + 2.40L_2 - 1.24V_1 + 0.89V_2 - 19.59Q + 275.21 + N(0, 32^2) \\ R_{02} &= 5.01L_1 - 1.49L_2 + 0.11V_1 + 0.02V_2 - 1.27Q - 25.12 + N(0, 42^2) \\ R_{M1} &= 15.29L_1 - 1.50L_2 + 1.04V_1 - 0.63V_2 - 11.36Q - 234.59 + N(0, 145^2) \\ R_{M2} &= 1.34L_1 + 0.25L_2 + 0.15V_1 - 0.04V_2 - 3.30Q + 77.55 + N(0, 12^2) \end{aligned} \right\} \quad \text{--- (1)}$$

ここに、 R_{01} , R_{02} , R_{M1} , R_{M2} はそれぞれ同航時後方、同航時側方、反航時前方、反航時側方の避航領域の大きさで

あり、 L_1 と L_2 は着目船と相手船の船舶長、 V_1 と V_2 は同じく航行速度を表わす。避航領域の大きさとして船舶長の単位はm、航行速度の単位はm/分である。また、 Q はレーダー画面(半径0.5マイル)上に存在している航行船舶数であり、交通密度に相当するものである。(1)式の値は、 V や Q により異なるが、一般に従来提案されているものより小さな値となる。

3. 航行シミュレーションによるサービス特性値の変化の算定と海上交通容量
 道路の実用交通容量はサービス水準とサービス交通量によって定義され、このサービス水準は走行速度や交通量-容量比あるいは自由流-強制流かとい、に種々の状態の組み合わせで表現されるが、海上交通に関しては、このようなサービス水準は何ら定められていない。そこで、航行状態を表わす個々のサービス特性や交通量の増加に伴ってどのように変化するかをまず知ることにし、実用交通容量算定の基礎とする。このために、以下に述べるような船舶航行シミュレーションモデルを作成した。

対象とする航路は直線上の一方通行航路であり、航路長と航路幅をパラメータとしてその値を変えることができる。この上を(1)式で与えられる避航領域と有する船舶が航行し、各船の船型、速度、および避航領域の大きさのばらつきはそれぞれ正規乱数から与えられる。船舶の航行は直進が基本であり、他船の避航領域内に侵入しない限り直進するものとする。シミュレーションは定時間隔時間制御方式をとり、船舶が固有の速度で1クロック直進すると先行船舶の避航領域内に入り、もしこの場合は、一定の変針角をもって変針避航する。また、側方にも船舶が存在していて変針避航が不可能な場合は、前方の船舶と共に速度まで減速し追従航行する。航路入り口への船舶の到着はポアソン到着とし、到着時のゲートライン上での航行位置は正規乱数で与えられる。到着船舶は一旦進入待ち行列に入ると、その時刻に航路に進入できる場合は即刻待ち行列から離脱し、待ち時間が発生しない。そして、各船舶の航路入り口への到着時刻、進入時刻、通過完了時刻ならびに各クロックタイムごとの航行位置や速度を記録され、これから平均航行速度や変針回数などを計算される。

本研究で検討したサービス特性を表-1に示す。図-2、図-3はこれらのサービス特性の値と交通量との関係を示したものの一部である。これより、例えば、航路入り口での待ちかほと発生しない状態の上限をもって待ちに關する実用上の交通容量と考えると、航路幅700m、平均船舶長50mの場合、約60隻/時)となることを読みとれる。

4. おわりに

結果の詳細ならびに従来の避航領域の定義を用いた場合との比較とこれらに対する考察は、紙面の制約上、講演時に述べることとする。最後に、航路データを提供していただいた鳥羽商船高専の矢島澄夫教授に感謝の意を表します。

- <参考文献> 1) 藤田昭昭: 船舶の避航領域について, 日本航海学会誌, No. 35, pp. 71~76, 1966
 2) 杉崎昭生: 同航領域の一考察, 日本航海学会論文集, No. 48, pp. 147~154, 1972
 3) E.M. Goodwin: A Statistical Study of Ship Penalties, J. of Navigation, vol. 28, No. 3, pp. 238~244, 1975
 4) (財)日本船舶振興協会, 川崎汽船局: 京浜運河船舶交通調査報告書, 1982
 5) National Academy of Science-National Research Council: Highway Capacity Manual, H.R.B. Special Report 37, 1964

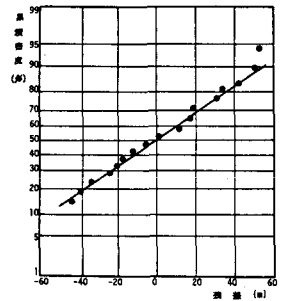


図-1 誤差の確率分布 (同航時間方領域)

表-1 船舶交通流の状態を特徴づけるサービス特性

1	単位時間交通量
2	交通量-交通容量比
3	平均速度
4	平均所要時間
5	平均進入待ち時間
6	平均進入待ち船数
7	平均通過時間
8	船舶密度
9	平均変針回数
10	平均減速回数
11	平均追従航行時間比
12	事故率

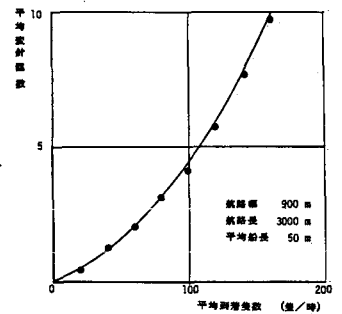


図-2 平均到着隻数と平均変針回数

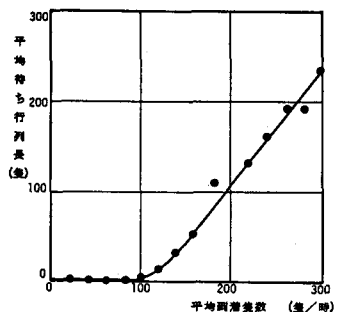


図-3 平均到着隻数と平均待ち行列長