

京都大学大学院 学生員 長谷川雅一
京都大学工学部 正 員 喜多秀行

1. はじめに 船舶の避航は混雑している海上交通流における最も重要な局面であり、避航挙動の集積として形成される避航領域は、海上交通流の挙動を記述する際に極めて有効な概念となる。従来、避航領域の大きさは主として航行実態観測調査から統計的に求められてきたが、避航船舶と非避航船舶との判別の困難性や統計的取り扱いに必要とされるサンプル数の点で問題がないわけではない。このような理由から、筆者の1人は、避航時における操船者の意思決定行動に着目して避航領域の生成構造をモデル化するアプローチの有効性を指摘し、その第一歩として同航時側方避航領域同定モデルを提案している¹⁾²⁾。これは、避航時の操船行動を避航目標点の選択行動とみなし、選択された避航目標点を目指して航行した結果として現れる航跡が側方避航領域を形成すると考えるもので、良好な現象説明力を有することが検証されている。しかしながら、避航領域はもとより2次元的な広がりをもつ概念である。そこで、本研究では、避航目標点ではなく、避航動作の開始から避航目標点に至る一連の避航コースの選択行動を記述することにより、先のモデルを本来の2次元的な同航時避航領域モデルへと拡張する。

2. 避航操船行動のモデル化 避航コースを規定する要素には、避航開始時機や側方変位量、あるいは回頭角や舵角といったいくつかのものがあ、り、避航コースはこれらの要素の組み合わせとして規定される。したがって、避航コースの選択とはこれらの要素それぞれの選択にほかならない。しかし、操船者に対するヒアリング結果によると、その選択の順序は必ずしも任意ではなく、まず最初に被避航船に対する側方間隔を、次いでその位置へどのようにして船を持っていくかを決定することが多いようである。そこで、モデル化にあたっては、まず側方の避航目標点を選び、しかる後にそこへ至るためのコースを選ぶという段階的な選択を行うものとする。このうち、前者は先に提案した側方避航領域同定モデルでモデル化されており、後者についても選択される回頭角や舵角の範囲が避航開始時機のそれに比べて小さいため、通常よく用いられる舵角や回頭角で代表させることができると考えると、結局、残されたものは避航開始時機の選択行動のモデル化であることが理解される。

3. 避航開始時機の選択 避航船の周辺に被避航船以外の船舶が存在しない場合においても、避航船の避航開始距離(避航開始時点における2船間の距離)は大きくばらついていることが知られている。この様子は避航開始距離分布として(1)式のように整理されており³⁾ 避航船は基本的にはこの分布に従って避航を開始する。しかし、予定避航コース上で被避航船以外の他船と衝突する危険性のある場合が考えられるため、避航船が常にその上を航行できるとは限らず、所定の安全性を確保するために衝突の危険がある他船(以下、第三船という)の位置に応じて避航開始時機を遅らせ、避航コースを変更する必要に迫られる。いま、避航コース上の任意の地点に注目し、先のモデルと同様に突然の回頭に起因する衝突を考えると、この地点で第三船と衝突するためには、第三船は、この地点を原点とするx-y座標系上の(2)、(3)式で表される領域内を航行している必要がある。逆に、この領域内を航行している船舶は、時間tの後に注目している避航コース上の地点で避航船と衝突する可能性がある。衝突の可能性は避航コース上のすべての地点に対して存在しているため、コース上のすべての点に対して同様の領域を求め、かつ、避航船が基準とな

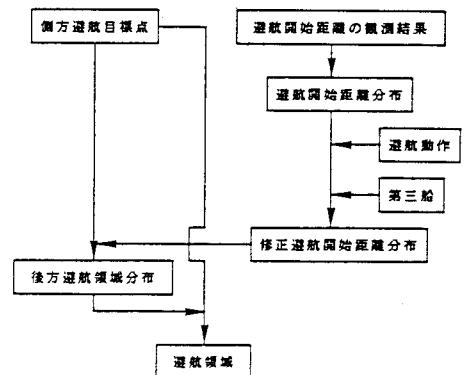


図-1 モデル化のフロー

る地点(ここでは、避航開始点)からその地点に到着するまでに要する時間を考慮すると、避航船が避航開始点にさしかかった時点で第三船と認知すべき船舶の位置は(4)式で表される領域として与えられる。

以上より、避航船は、当初予定していた避航開始点に到着した時点で上述の領域に航行船舶が存在しない場合は予定避航コース上を航行し、領域内に航行船舶が存在している場合には避航の開始を遅らせて領域内に船舶が存在しなくなるまで待ち、船舶が当該領域を抜け出した時点で、その時の避航船の航行位置を避航開始点とする避航コースに沿って避航を始めることとなる。このようにして、先に述べた避航開始距離分布は修正され、これと対応する形で、周辺航行船舶の航行位置に応じて実現する避航コースの分布が得られる。これが、とりもなおさず同航時の避航領域となる。

4. 数値計算例 いくつかの設定条件の下で、上述の考え方に沿って避航領域を試算した結果を以下に示す。

避航船、被避航船、第三船の船舶長をそれぞれ100m, 80m, 100m、同じく速度を6m/s, 3m/s, 4m/sとする。また避航船の常用舵角は15°、被避航船と第三船の最大舵角は35°とし、無次元化された旋回性指数 K' は1.8、追従性指数 T' は2.5とする。避航船と被避航船の側方船間距離は、250mとした。そして、被避航船上に固定されたX-Y座標系(被避航船の進行方向がY軸の負方向、進行方向右側がX軸の正方向、原点は被避航船上)をとり、避航船の位置(単位:m)が(0, 1500)の時に第三船が位置(300, 800)を航行している状況を想定し、上述の条件の下での修正避航開始距離分布を求めたところ、図-2に示すような結果を得た。この結果は、観測結果に基づいて従来提唱されている後方避航領域より総じて大きいものとなっているが、その理由の1つとして、被避航船よりかなり離れた位置における避航がともすれば見落とされがちとなる傾向があったためではないかと推察される。

5. おわりに 提案したモデルは、避航時のコース選択基準の吟味や実績値との比較による妥当性の検証などすべてにわたって必ずしも十分な検討がなされたわけではないが、さらに検討を加えて改良を図っていきたいと考えている。

【参考文献】 1) 喜多, 黒田, 小川: 対象船の航行不確実性を考慮した避航領域同定モデル, 土木学会第37回年次学術講演会講演概要集第4部, P.121~122, 1984 2) 黒田勝彦, 喜多秀行: 避航領域の確率論的取扱について, 土木計画学研究講演集NO.7, P.331~338, 1985 3) 黒田勝彦, 喜多秀行: 船舶衝突確率の推定モデル, 土木学会論文報告集, No339, P.188, 1983

$$l = 87.1 + 6.40L_1 + 1.80L_2 + 2.45(L_1 + L_2) \varepsilon_r$$

L_1 : 避航船の船舶長
 L_2 : 被避航船の船舶長
 $\varepsilon_r = N[0, 1]$ (1)

$$x = r(1 - \cos(V_c \cdot t / r))$$

$$y = r \cdot \sin(V_c \cdot t / r)$$

for $V_c \cdot t / r \leq \pi/2$ (2)

$$x = V_c(t - (\pi \cdot r) / (2 \cdot V_c))$$

$$y = r$$

for $V_c \cdot t / r > \pi/2$ (3)

$$r \leq r, 0 < t \leq T$$

r : 第三船の最小回転半径, V_c : 第三船の速度
 $(X(T_a) + x, Y(T_a) + y + V_c(T_a - t))$
 $0 < t \leq T$
 T_a : 避航船の避航開始点より衝突点までの所要時間
 V_c : 第三船の速度 (4)

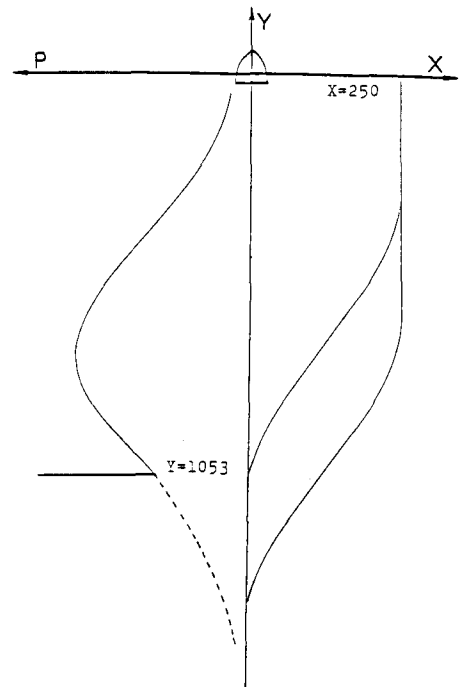


図-2 修正避航開始距離分布と避航領域