

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
愛知県土木部		小川秀史

1. はじめに

輻輳水域における交通事故的海難の減少を図るためには、操船方法や船舶性能の改善と並行して水路そのものの改良や航行規制など円滑な船舶交通を実現するための有効な対策をたてることが必要となる。その際、重要となる概念の1つに水路が持つ船舶疎通能力、すなわち水路の実用交通容量があり、これを算定するための基本となる要素に避航領域がある。そこで、まず避航領域の概念を明らかにし、定量化することから始めなければならない。

2. 本研究における避航領域の考え方

避航領域に関するこれまでの研究は、航行実態観測資料に基づくもの^{1)~3)}と、船舶の運動性能を基礎とするいわゆる避航限界を求めたもの^{4)~6)}に大別される。前者は、求められた避航領域の大きさが現在の航行環境の下での平均値的なものでなく、また、これを求める際に着目船の近傍を通過する非避航船をも含むすべての船舶の航跡ないし位置が用いられているため、実際の避航領域より大きいものとなっていると思われる。では、避航領域は操船者の特性や航行環境などによっても規定ため、これらを考慮に入れることなく単に物理的な運動特性の航限界を交通容量の算定などにそのまま用いることは現実的で

さて、避航時の挙動は個々の状況により異なり、また同じ状況であったとしても操船者により異なる。従って、避航領域は本来的にばらついているものと捉えるべきである。また、航行シミュレーションなどによって交通流挙動を解析する際には従来示された避航船と非避航船双方の平均的挙動でなく、避航船そのものの避航挙動が記述されていることが必須となる。個々の航行挙動が記述されれば例えばLumb⁷⁾の方法で集計化することにより、従来提案されている避航領域を誘導することも可能となる。本研究の目的から、この非集計確率避航領域は、交通特性などの諸特性の変更がもたらす影響を反映する形に整理されることが要請されており、加えて、水路のサービス特性の1つである航行安全性と実用交通容量を対応づけうるものであることが望ましい。

以上のような取扱いを可能とするため、本研究では、避航領域を操船者の意思決定に基づく避航行動の結果として被避航船の周囲に現れるものとする。そのため、まず操船者の避航行動のモデル化を図る。そして、得られた一連の避航行動をもとに避航領域を同定するモデルを作成する。

3. 操船者の行動決定基準と避航コースの選択

船舶の避航、すなわち他船との衝突を回避する局面では安全性の確保が最も卓

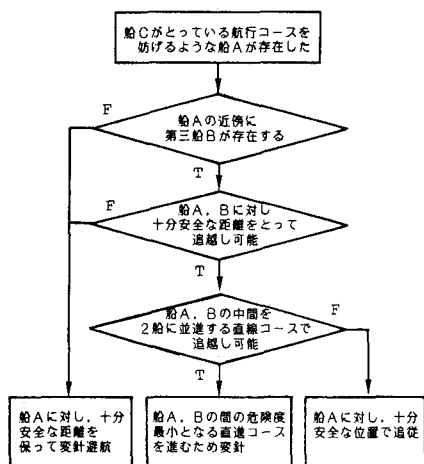


図-1 避航時の操船プロセス

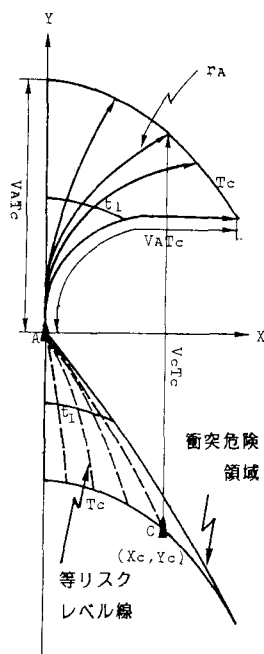


図-2 衝突危険領域と
リスクレベル

越した要素となることはいうまでもないが、多くの場合、安全性とそれ以外の要素（迅速性、快適性など）とはトレード・オフ関係を構成している。操船者はこれらを意識的ないしは無意識のうちに総合的に評価し、最も高い効用を与える代替案を選択していると想像されるが、これら諸要素を全て含む総合的な評価尺度を設定することは現段階では非常に困難である。そこで、本研究では輻輳した水域でとりわけ支配的な要素となる航行安全性に着目し、これを他船との衝突危険度で記述することにより評価尺度とする。この尺度上に、操船者がこれ以上大きな危険は受け入れられないため経済性・迅速性などを犠牲にしても安全性を確保したいと考えるような危険度の上限を意味する「許容最大衝突危険度」と、安全性を高めることがそれ以上の経済性・迅速性の低下をもたらし、かえって総合的な効用を下げるため受け入れ難いとするような危険度の下限を意味する「許容最小衝突危険度」を設定する。そして、上・下限を有する本評価尺度上での衝突危険度の最小化を操船者の行動決定基準として採用する。

ところで、操船者にとって、先行船が変針・減速することにより自船に接近・衝突すること、あるいはこれを避航することによりもたらされる他船との衝突が、輻輳水域において予想される主たる危険であるため、ここでは、先行船のこのような変針・減速に起因する衝突危険度をもって、操船者が抱く衝突危険度とする。これは、先行船が自船の進路上の回避しきれない位置に進出してくる確率であり、先行船が変針または減速する確率と変針・減速した船がある進路をたどる確率から規定される。一方、認識の遅れや発令後実際に船体が回頭をはじめまでの遅れの存在により、先行船が進路を変えた瞬間からある実行時間遅れ τ の間後続船は直進してしまう。操船者はこの遅れを見込んで操船を行うため、上述の先行船がある位置に進出する確率と実効時間遅れから、図-1のような衝突危険領域を衝突危険度と関連づけて求めることができる。図-2は避航時の操船プロセスを示すものであり、先行船の周辺に他船が航行していない場合、後続船は先行船に対する衝突危険領域上で最小許容衝突危険度を越えず、かつ先行船に最も近い地点を通過して追越すように操船するものとする。先行船の周辺に他船が航行している場合は、両船に対する衝突危険度が最小となるような地点を航過するよう操船するものとし、その際の衝突危険度が最大許容衝突危険度を越えるようであれば、追越しをあきらめ追従すると考える。なお、認識・判断に伴う種々の不確実性の故に実際の進路は予定進路の回りにばらつく。そこで、解析にあたってはこのばらつきに対処するための余裕領域を組込み、個々の状況に対応する避航コースが規定できるように留意した。紙面の都合上、定式化の詳細は講演時に示すこととする。

4. 数値計算例

以上に述べた考え方に沿って、第3船をも含んだ相対的な位置関係や各船の船舶長などに関する種々の組合せに対する避航コースを計算し、これを集計することによって側方避航領域の密度分布を求めた。図-3は、先行船、追越し船の船舶長がそれぞれ 100mと80m、交通量が40隻/時、航路幅が1000mの場合の結果を示すもので、平均値が 257.4m、標準偏差が53.4mの正規分布にほぼ一致する。従来提唱されている平均船舶長の 3.2倍なる値（288m）と比較すると、従来のものの方が若干大きな値を示している。この理由は、従来の方法ではなんら避航行動をとっていない航跡データをも含めて領域の算定を行っているためと考えられる。

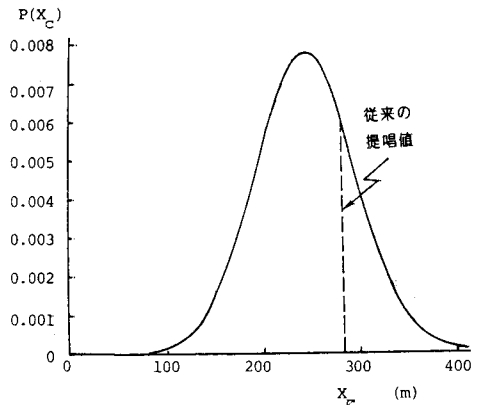


図-3 側方避航領域の分布

<参考文献> 1) 藤井他4名；船舶の閉塞領域について、日本航海学会誌、No.35，pp. 71～76，1966 2) 杉崎昭生；閉塞領域の一考察、日本航海学会論文集、No.48，pp.147～154，1972 3) E.M.Goodwin；A Statistical Study of Ship Domain, (in S.H.Hollingdale ed. Mathematical Aspects of Maritime Traffic, pp.103～127, Academic Press, 1977) 4) 渡辺健次；後方閉塞領域の導出とその例、船舶技術研究所報告、Vol.3，No.5，pp.397～401，1966 5) 原 潔；避航開始距離について、船舶大紀要、No.18，1971 6) 杉崎、大津；運動学的に見た衝突現象-I、日本航海学会論文集、No.50，pp.85～90，1973 7) W.G.T.Lumb；The Estimation of the Mean Size of Ship Domain, J.of.Navigation，vol.36，No.1，pp.130～136，1983