

操船シミュレータを用いた高速航行の安全評価手法

海上安全研究領域 * 沼野 正義、丹羽 康之、伊藤 博子
宮崎 恵子

輸送高度化研究領域 福戸 淳司、田中 邦彦、岡崎 忠胤

1. はじめに

現在、海事3局庁では「海上ハイウェイネットワークの構築」を推進しており、ハードとソフトの施策を有機的に組み合わせることにより、安全性と効率性の両立した海上輸送網の構築を目指している。

海上技術安全研究所は、その一環として、国土交通省海事局の委託に基づき、平成14年度、15年度にわたって、シミュレータ実験を通じ、輻輳海域を高速航行する船舶に要求される技術要件を明らかにするための手法確立の調査研究を行った。

本報告では、調査研究の成果として得られた手法を、評価例とあわせて輻輳海域における高速航行の安全評価手法として提案する。

2. 輻輳海域における高速航行の要件

輻輳海域における高速航行の安全確保のためには、一般他船への影響最小化と、高速航行による時間的な制約を考慮した余裕の確保が重要である。このための要件は次のようにまとめられる。

- (1) 一般他船の操船者に脅威を与えない
 - ・ 先行避航
 - ・ 十分な離隔距離等、影響の最小化
 - ・ わかりやすい操船行動
- (2) 高速船操船者が余裕を持って操船できる
 - ・ 迅速かつ的確な情報収集
 - ・ 早期の意思決定
 - ・ 十分な操縦性能
 - ・ 通常操船・緊急操船の確実かつ容易さ

実海域に投入する高速船の操縦性能、設備、運航体制等を決定するためには、適切な評価が必要であり、操船シミュレータを利用した評価が有効であると考えられる。

3. 操船シミュレータによる安全評価

高速船は在来船と異なり、投入される海域、用途等により様々な形態をとるため、操縦性能等、個別の要素について一律の性能要件を設定することが極めて困難である。このため、技術要件の評価においては、高速船を操縦性能、航海支援機器、操船者等、ハード及びソフトを含めた全体システムとしてとらえ、全体システムの挙動を把握することにより評価することとし、全体システムを操船シミュレータに組み込んで、シミュレータ実験により安全評価を実施することとした。

シミュレータ実験による評価においては、シミュレーションの限界や制約を考慮するとともに、評価目的に適合した評価対象のモデル化を行うために次の事項に留意する必要がある。

(1) 交通環境

就航予定海域の交通流データを基に対象海域の船舶交通をシミュレータ上に再現する。

(2) 対象高速船の操縦性能

水槽実験等から推定された旋回性能、加減速性能、風の影響を基に、操縦運動モデルを作成し、シミュレータ上に再現する。

(3) 操船インタフェース

操船に必要な自船・他船情報表示や航海支援機器等、対象高速船に搭載する機能を模擬したインタフェースをシミュレータに再現する。

(4) 景観画像

操船判断に必要な他船の航行状況ならびに地形および灯浮標、建物等、著目標が被験者から違和感なく視認できるような景観を表示する。

(5) 実験シナリオ

就航予定海域において、遭遇することが予想される交通パターン、時間帯、運航体制を想定し、

これらを含む最も厳しい条件のシナリオを設定する。

これらを前提として、次のような評価を行う。

(6) シミュレータ実験の妥当性評価

上記(1)～(5)の要件が満たされていることの確認を行う。

(7) 安全な操船（自船の安全だけでなく、他船に脅威を与えない操船）

避航操船のタイミング、風の影響、航海支援、運航体制等の観点から、操船結果の安全性の評価を得る。

(8) 他船からの見た高速船の視認性確認

シミュレータ実験結果を再生して遭遇他船に視点を移し、他船の立場で対象高速船の視認性を確認する。

また、操縦性能等ハードの要件については被験者の操船操作への習熟により評価の違いが見られなくなる等が、予備実験およびその考察から明らかになっており、このため、安全評価は熟練操船者である被験者の総合的な主観的評価を行うとともに、客観的評価によって一般船との比較により主観的評価を裏付ける必要がある。

4．在来船との比較のための評価指標

航行の安全を評価する指標は、評価の観点に応じて、次のような提案がなされている。

(1) 航行の場としての評価

・一定時間衝突なく直進できる割合：海域の閉塞度

・一定面積の海域を航行する船舶数：航行密度

(2) 操船結果の評価

・避航開始時期：CJ 値等

・航過時の離隔距離：最接近距離

・操縦機能喪失等潜在危険評価：不安全操船

高速航行と在来船との比較によって安全評価を行うためには、速力による違いを反映できる指標を選定する必要があるが、上記の指標のうち速力の違いを明に表現できるものとして、不安全操船指標が考えられる。舵制御不能のような操縦機能の喪失を想定して、緊急停止による危険回避の有効性を評価する指標であり、高速航行時の停止性能を評価するものとして有効な指標と考えられる。

本報告では、速力推定の不確実性を考慮した閉塞状態を表すものとして、大局的な操船判断における余裕を評価する下記の指標を提案する。

・OZT(Obstacle Zone by Targets)に基づく閉塞度

OZT は、自船及び他船の速力誤差等を考慮して、自船と他船の相対位置及び運動状況から、自船の針路を変更して直進した場合に、設定した危険判定半径以内になる対象他船との衝突危険領域をプロットしたもので、この領域を回避する操船を行えば、衝突無く安全に航行できる。このため、現実的な操船方法の範囲を設定し、その範囲の中で取り得る操船方法があることが操船余裕につながる。逆に、操船方法がない場合、当初の速力を維持したままでは安全に航行できる余地が無く、操船余裕が無い状態（以下、閉塞状態）を示している。

5．評価法の提案

操船結果そのものは、熟練操船者である被験者の主観的評価によるものとし、これらの基本となる操船余裕を在来船との比較において客観的に評価して、主観的評価を裏付けるものとする。

操船結果を客観的に裏付ける指標としては、避航開始距離、航過距離分布、不安全操船等、様々な指標が考えられるが、輻輳海域における高速航行の安全評価においては、在来船との比較において、操船判断のための余裕を評価する指標として、OZT を用いた閉塞状態の有無を採用することとする。表 1 に評価法をまとめた。

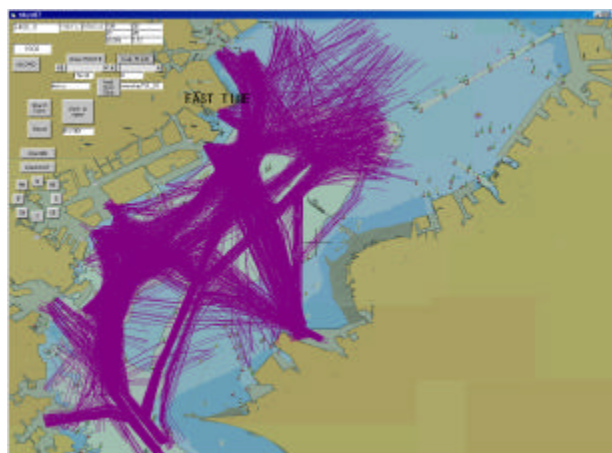


図 1 シミュレーションに登場する全船舶の計画航路

6. 評価例

前項で提案した評価法に従って、輻輳海域として、東京湾の交通流を用い、現在建造中の小笠原TSLの操縦性能等を用いた操船シミュレータ実験による評価を実施した。

図1は、実験に用いた東京湾の交通流を示しており、1990年の実態観測を基に、アクアライン、中ノ瀬西方ブイの設置等を考慮した修正を加えたものを用いた。速力の違いを評価した例を図2、3、4、表2に示す。OZTによる閉塞度の比較から、本実験条件では、高速航行の設定速力である37.6ノットにおいて在来船と同等以上の余裕が存在すると思われる。

7. おわりに

地球温暖化対策の一環として、海上、陸上輸送の適正配分のために、安全かつ効率的な海上輸送の実現が求められている。輻輳海域における安全な高速航行の実現はこのための重要な要素であるとする。実運用において速力等の段階的な安全確認の手順は不可欠であるが、設計、開発段階においては、シミュレータ実験等により、事前に安全評価を行い、クリアすべき要件を明らかにする

ことが重要である。

高速航行の安全は、適切な運航体制、航海支援機器等インタフェースと船舶性能が備わって実現できると考える。また、在来船との共存が不可欠の要素であり、総合的な評価が必要である。

謝辞 本研究は、国土交通省の技術研究開発委託費により実施されました。当調査研究の実施に当たって、ご指導いただいた東京海洋大学 今津 隼馬教授をはじめ、シミュレータ実験の被験者としても協力いただいた日本船長協会 澤山 恵一氏(現エム・オー・マリンコンサルティング)、東京水先区水先人会 小林 武人氏、横須賀水先区水先人会 小関 隆夫氏、その他「ファーストトラック・シーレーン(湾内高速航行)検討会」の検討メンバーの方々に、深く感謝いたします。

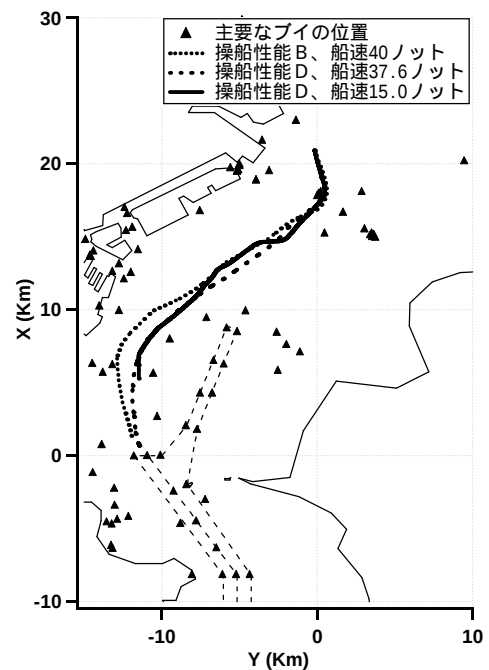


図2 シミュレータ実験航跡

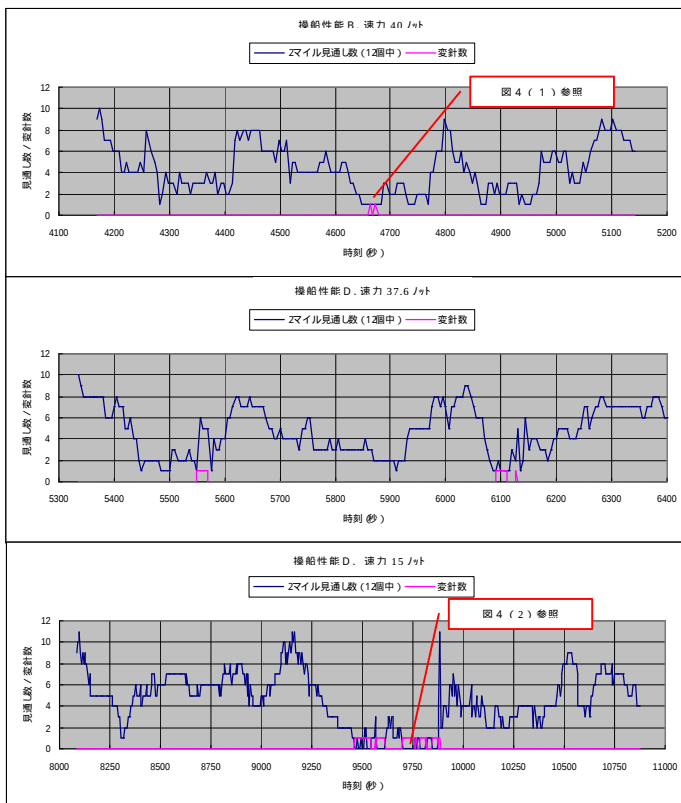


図3 見通し数の経時変化(昼間航行時)

表2 閉塞状態(見通し数=0)の最大継続時間及び発生回数の解析結果(昼間航行時)

速力	閉塞状態の最大継続時間	閉塞状態の発生回数
40ノット	0	0回
37.6ノット	0	0回
15ノット	65秒	10回

表 1 輻輳海域高速航行のシミュレータ実験
結果の評価手法

評価対象の高速船（以下、対象高速船）が就航する予定海域の交通環境、対象高速船の操縦性能、操船インタフェース、景観画像を適切にモデル化してシミュレータ上に取り入れ、策定した実験シナリオに基づいて熟練操船者等を被験者としたシミュレータ実験を行い、以下の解析を行うこと。
(1) 被験者の主観的評価解析 により、シミュレータ実験の妥当性を評価するとともに、安全な操船ができることを示すこと。また、他船から見た高速船の視認性を確認すること。 (2) 目標による妨害ゾーン（OZT：Obstacle Zone by Target）を基にした客観的評価解析により、閉塞状態の継続時間及びその発生回数が在来船の結果に比べ同等以下であることを示すこと。
OZT を基にした客観的評価解析 < 解析にあたっての条件設定 > ・ 自船速力は当初の速度を維持 ・ 変針角は自船前方 ± 30 度 ・ 評価範囲は距離 0.5 マイル以遠、2 マイル以内 ・ 危険判定半径は 0.07 マイル（130 m） 他船及び自船の前後方向の速度誤差は ± 1 ノット （注）条件設定については、今回の実験においては、上記により行った。条件設定については、海域の状況、船型、性能等に応じて、個別に行う必要がある。 < 解析の手順 > ・ 自船速力は当初の速度を維持 ・ 自船前方 ± 30 度の探索空間を 5 度ずつ 12 の領域に分け、各領域に角度 2 度以上連続する OZT の間隙が存在するかどうかを実験結果から求める。 ・ OZT の間隙の有無は、0.5 マイル以上、2 マイル以内に OZT があるかどうかを求め、OZT が無い場合を取り得る操船方法があると判断し、12 の領域の内、操船方法があると判断出来た領域の個数（以下、見通し数）を算出する。 ・ 見通し数 = 0 の場合、最も見通しの利く方位の OZT の手前 0.5 マイルにおいて再度変針することによって、最終的に見通し数を算出する。 ・ 見通し数 = 0（閉塞状態）の継続時間、発生回数を求め、在来船との比較により、対象高速船の操船余裕を定量的に評価する。

ここで、被験者の主観的評価は、3. の (1) ~ (8) に留意して実施する。

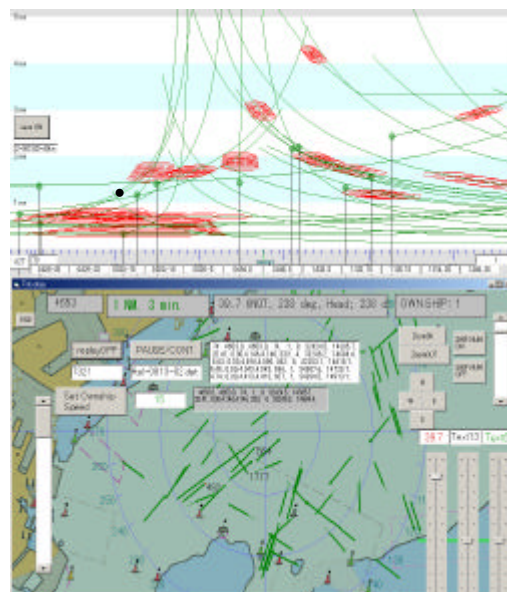


図 4 (1) OZT 表示（操船性能 D、速力 40 ノット）
OZT の隙間が直進線上に存在するとともに、前方 1 マイル先で左 20 度（●）に隙間が存在する。

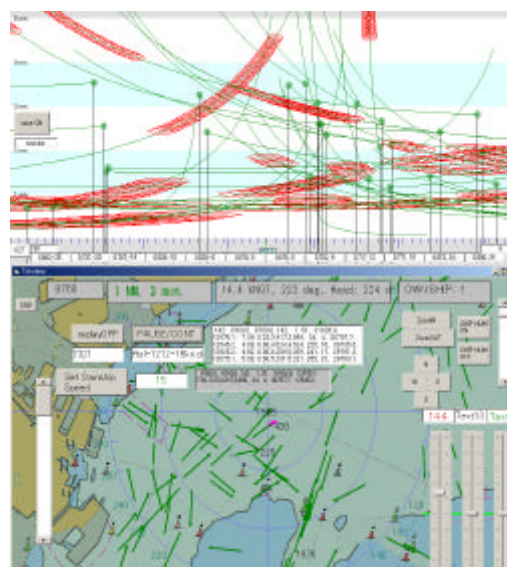


図 4 (2) OZT 表示（操船性能 D、速力 15 ノット）
横切り船による OZT が重なっており、前方の広い範囲が閉塞