

輻輳海域における大型高速船の運航体制 評価手法について

正員 金 湖 富士夫*	村 山 雄二郎*
伊 藤 泰 義*	正員 田 中 邦 彦*
沼 野 正 義*	有 村 信 夫*
桐 谷 伸 夫*	正員 福 戸 淳 司*
正員 宮 崎 恵 子*	原 木 信 夫*
正員 今 津 隼 馬**	

An Evaluation Method of Navigation System
of Large High Speed Vessel in Congested Water Area

by Fujio Kaneko, <i>Member</i>	Yujiro Murayama
Yasuyoshi Ito	Kunihiro Tanaka, <i>Member</i>
Masayoshi Numano	Nobuo Arimura
Nobuo Kiriya	Junji Fukuto, <i>Member</i>
Keiko Miyazaki, <i>Member</i>	Nobuo Haraki
Hayama Imazu, <i>Member</i>	

Summary

In Japan, the development of large high speed vessel has been carried out. That large high speed vessel is expected to run even in congested water area. If the vessel starts her service in congested water area the collision risks will be higher than now. So it is urgent problem to develop navigation system which ensure the safety of navigation of the large high speed vessel, to develop useful evaluation method of such navigation system and to evaluate and confirm the effectiveness of the system.

In this paper an evaluation method of navigation system of large high speed vessel with simulator experiments is discussed and an index which is used for evaluation of the effectiveness of navigation system by measuring safety of navigation and was obtained by simulator experiments is shown.

1. はじめに

現在世界各地で高速船の高速化、大型化が進んでおり、日本でも、テクノスーパーライナー（TSL）という大型高速船の研究開発が実施されている。一方、小型高速旅客船の運航は既に各地で実施されており、輻輳海域で航行しているものもある。しかし、海域の安全を脅かすと考えられ

るため、日本では一部の海域を除いて輻輳海域での運航は現在実現していない。したがって、さらに大型の高速船が輻輳海域で高速航行を行うことは輻輳海域における航行の安全にとって大きな脅威となることが予想される。

このような状況に鑑み、大型高速船の運航体制を評価する手法を開発し、それに基づき運航体制を評価すること、また、そうした評価に基づき、大型高速船の運航の安全性を確保する運航体制を確立することは早急な検討を要する課題となっている。

運航体制の評価を行う場合、実海域での試験はほとんど不可能であり、シミュレータ実験以外に有効な試験方法は存在しないと言えよう。また、運航体制は人間一機械系で

* 船舶技術研究所

** 東京商船大学

あり、人間-機械系の評価はその要素のみの評価では不十分で、人間-機械系の全体による実験によりダイナミックな状態でテストして総合的な評価をすることの重要性が古くから強調されている¹⁾。また J. W. Dunlap, J. T. Fucigna らは、人間-機械の界面の定量的なテストにおいては、訓練された人間を使って、あらゆる状態で装置を操作、保守した場合の、その人間の仕事、能力、犯した誤り、操作のおくれなどをチェックして、総合的な操作能力の高低を見ること以外にはない¹⁾、と述べている。こうした人間工学上の見解からも、熟練した操船経験者による実海域航行を想定した運航体制全体での総合的なシミュレータ実験を実施し、その結果による評価を行うことは、運航体制の評価方法として有効であると言える。運航体制の要素である個々の支援機器の性能を評価する（レーダで単位時間当たり何隻まで識別可能か、等）ことも重要であるが、個の最適化はシステム全体の最適化に必ずしもつながらないことはシステム工学の教えるところであり、運航体制全体による実験が不可欠である。

船舶技術研究所では、日本造船研究協会との共同研究にて、大型高速船の安全運航における運航体制の有効性を評価する手法を開発し、種々の運航体制の評価を実施した²⁾。

本報告では、まず、本研究で開発したシミュレータ実験を用いた輜輶海域における大型高速船の運航体制評価手法を紹介する。その後、同評価手法に従った評価の最初の段階で求めた評価基準量について報告する。

なお、今後、同評価手法に従って実施した大型高速船の運航体制の評価について逐次報告する予定である。

2. 大型高速船の運航体制について

この章では、評価対象となる大型高速船の運航体制の要素として考えられる種々の手段を取り上げ、それらのうち本研究での検討対象とした要素を示す。また、評価手法の議論に先立って、それらの要素が操船者の避航判断過程に及ぼす影響を検討することにより、運航体制評価の際のポイントを明確にすると同時に本研究でのそれらの要素の模擬方法について触れる。なお、本研究で使用した大型高速船について付録 A に略述する。

2.1 運航体制の要素

大型高速船の運航体制として、現在運航している小型高速旅客船の運航体制を参考にして作成することが可能と思われる。それらの運航体制の幾つかを Table 1²⁾ に示す。その表を参考にして、本研究での検討に用いた運航体制の要素を Table 2 に示す。Table 2 で○のついている要素が有効性の評価対象となるものであり、他の要素は一定とした。

2.2 運航体制の要素が操船者の判断過程に及ぼす影響

操船者は Fig. 1 にあるように、景観および種々の支援手段を用いて、情報収集、得られた情報を解析して自船がおかかれている状況の判断(状況判断)、すなわちこのまま航行

Table 1 Actual examples of navigation system of high speed crafts

Table 2 Item list of the examined navigation system of large high speed vessel

部門	項目	小項目	検討 対象
運航設備 ・備品	搭載機器	コンパス	有
		速度計	有
		舵角計	有
		レーダ	○
		ARPA	○
		暗視装置	○
		電子海図	有*
運航要員	灯火設備	高速船識別灯	○
		操船援助者	1名
		役割	○
機能維持	乗員教育	シミュレータ訓練	○
	労務管理	勤務時間	○
航路支援 ・環境	情報提供	高速船情報	有*
	環境整備	高速船専用航路設定パイ	有

* : レーダが使用されている場合のみ

輻輳海域における大型高速船の運航体制評価手法について

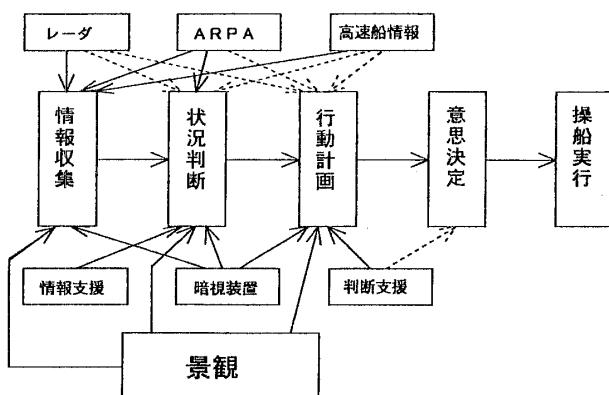


Fig. 1 Relation between decision process and navigation aids

すればどの船舶と衝突あるいはニアミスを起こすか等の判断を行い、その結果を用いて避航計画を作成する（行動計画）。そして、いくつかの代替案を検討した後その一つを採用する（意思決定）。最後に採用した避航計画を実行に移す（操船実行）。

これら一連の過程に種々の支援手段がどのように係っているかを以下に考慮する。

景観は自船回りの他船の情報を直接操船者に与えるため、最も信頼のおける情報源である。また、他船のアスペクト角の変化率で他船との衝突判定ができる、状況認識にも寄与する。さらに、空き水域等も直接わかるため、行動計画にも寄与する。シミュレータ実験でも、操船者はレーダではどこにも活路が見出せない状況であっても、景観では見出せる場合があるとコメントしていた。

レーダは他船の位置を表示するため、主に他船の位置の情報収集の支援を行うことになる。また、残像があるので、他船の相対的進行方向をある程度判断することができる。さらに他船の大きさおよび向きもある程度レーダ画面から判別できる。また、レーダでは、他船の集団、空き水域等の情報を得ることができるために、状況認識、行動計画にも少し寄与する。

本研究で模擬したレーダは、他船の真の位置を同じ大きさの点で示し、残像はない。したがって、シミュレータ実験では他船の位置、集団、空き水域の情報収集に寄与することになる。また、本研究ではレーダ周期の効果の検討も実施した。

ARPAは、他船の速度ベクトルをCRTに表示するため、他船の速度の情報収集に寄与し、相対ベクトル表示の機能等を使用することにより、衝突判定の支援としても役立ち、状況認識の支援として寄与する。しかし、自船が高速船の場合は他船の捕捉が困難となり、また過去のデータから速度を算出するため、表示された他船の速度ベクトルの信頼性はかなり低いことになる。

本研究で模擬したARPAは、レーダ模擬画像上の他船

を示す点に他船の真の速度ベクトルを付加するものであり、現在のARPAに比べて速度の信頼性はかなり高いと言える。したがって、本研究では他船の信頼性の高い速度ベクトルの効果の検討を行うことになる。

高速船が実海域を運航する場合には、陸上の運航管理センターが航行中の高速船の位置情報を各高速船に伝達する支援を実施することが期待できると思われる。避航の際非常に困難なのは高速船との見合いであることは明らかであり、このような陸上からの支援は有効と思われる。本研究では、高速船情報としてそのような陸上からの高速船の位置情報を考え、レーダおよびARPA模擬画面上の高速船を示す点および速度の色を他の一般船とは異なる色として表示した。したがって、この情報は高速船の位置を明確に示すため、高速船の位置の情報収集に主に寄与する。

暗視装置は夜間判然としない他船の船影を明確に表示し、限られた視界、モノトーン映像ながら昼間の景観に近い情報を提示するため、景観と同様、情報収集、状況認識、行動計画に寄与する。実際の暗視装置は微光増幅型と熱感応型の2種類あり、前者は遠くの光でも十分感知できるが強い光の場合光点周りの画像が白くなる現象（ブルーミング現象）が生じ、また、後者は光点にはほとんど反応せずしたがってブルーミング現象は生じないが船舶、ブイ等の灯火を感知しない等、それぞれ一長一短がありどのタイプが良いとの結論は現在のところ出ていない³⁾。

本研究では、暗視装置として熱感応型を模擬した画像を作成し、東京湾のように背景光があっても船影がはっきりと認知される状態を考慮することにした。

援助者による情報支援は、他船のうち自船と危険な遭遇関係にある船だけを選択して操船者に伝えるため、状況認識の時間短縮に役立つ。

援助者による判断支援は、どのような行動を起こしたら良いかについて参考となる意見を伝えるため、行動計画に寄与する。また、シミュレータ実験での操船者のコメントで、どのような行動をとったらよいか迷っているときタイミング良く支援されるとその意見に従うとあることからも、判断支援は意思決定にも寄与すると言える。

また、訓練によって、避航判断の各過程における操船者の能力が向上するため、訓練による熟練の程度により、各過程での所要時間が短縮される。

長時間航行の際には疲労により操船者の能力が低下することが考えられ、航行時間が長くなるにつれ判断の各過程に要する時間が長くなる。

操縦性能が良ければ避航計画の作成が容易になるため、行動計画の時間短縮に寄与することになる。また、航路の追従が容易になるため、操船実行に寄与する。しかし、本研究では、操縦性の検討は行わなかった。

このように、運航体制を構成する種々の支援手段は避航における操船者の一連の判断過程に有用な情報を与え、各

過程に要する時間を短縮する働きをする。したがって、支援手段は操船者の心理的余裕を増加させ、種々の不測事態の対処のための潜在的な能力を拡大することになる。また、余裕が増加すれば、より高次な判断を行う時間が生じ、安全を確保しつつ効率的な航行を実施することが可能となる。

3. 運航体制評価手法について

本研究では、運航体制評価手法として、ある定められた対象海域で大型高速船運航を行うにはどのような運航体制が良いかをシミュレータ実験を実施して求めることを目標とした合目的的な評価の手続きを開発した。しかしながら、大型高速船以外でもこの手法は使用でき、また、得られた評価手続きの各項目を適当に置き換える、手続きのうちある部分を省略あるいは変更する等により、種々の目的の評価に使用することが可能と思われる。

開発された評価手続きをフローチャートにして Fig. 2 に示す。この章では、Fig. 2 にしたがって、評価の各項目を概説する。また、本研究で用いた各項目での具体的手段についても簡単に示すことにする。それらの具体的手段はそれらを用いて実際に評価を行う今後の報告で詳述する。

3.1 評価基準量の導出

評価は主に安全性の観点からなされる。したがって、安全性を何等かの方法で定量化し、比較可能にすることが必要である。

航行における安全とは、物理的に船舶が衝突しないことだけを意味するわけではない。航行の際に操船者は、自船の周囲に他船の進入を忌避する領域すなわち閉塞領域を設けていることが知られている。このことから、本研究では、航行の安全とは対象海域の操船者に心理的な脅威を与えない状態と定義することにする。

操船者に脅威を与えるものとして、閉塞領域を犯すことのほかに、危険な見合いが生じた場合に海上衝突予防法にしたがって避航義務船が速やかに避航しないことが挙げられる。しかし、相手船が高速船の場合は、危険な見合いが生じたら権利船、義務船の別なくどの場合でも高速船が避航しなければ衝突してしまう可能性が高い⁴⁾。また、その場合衝突までの時間は一般船同士に比べて格段に短い。これらのことより、一般船操船者が脅威を感じることのない大型高速船の避航開始の時点での一般船と大型高速船との距離を基準にして安全を定量化することも可能である。

また、航行の各時点における、通常は表面には表れないが種々の不測の事態によって顕在化する潜在的な危険の程度によって航行の各時点における安全を計測しようとの研究もなされている⁵⁾。

このように、評価基準量として種々の量を使用することができ、それぞれ他の基準に置き換えることのできず、かつ安全の指標として有効と思われる幾つかの基準を策定

し、計測可能な量としてそれらの基準量を求めることになる。ある海域で航行可能であるためには、関係者によって合意された評価基準量のすべてを満たすことが必要である。これらの評価基準量は既に報告されている値、あるいはシミュレータ実験で求めた値等で定量化して用いることになる。

本研究では、評価基準量を 1 種類、上述した一般船操船者が脅威を感じることのない大型高速船の避航開始の時点での一般船と大型高速船との距離とした。

また、シミュレータ実験を実施しこの距離を求めた。

3.2 限界幅轍度の導出

限界幅轍度は、これ以上の幅轍度の交通環境では評価基準を守れないとみなされる限界的な幅轍度であり、運航体制の評価において使用する交通環境を作成する際に使用される。運航体制として幾つかの代替案が考えられるが、それらの有効性をシミュレータ実験で評価する際、有効性の違いが十分に表れると期待される交通環境で実施することが重要である。そのためには、標準的な運航体制（既に採用されている、あるいは、有効性がほぼ中間的と思われる運航体制の代替案）を使用したシミュレータ実験により求めた限界幅轍度で交通環境を作成し、運航体制の実験を実施することが有効である。

海域が幅轍しているということには種々の要素が関係している。それらの要素には、航行密度、航行船舶の速度分布、遭遇頻度、遭遇パターン、航行船舶の船種の構成、空き水域等がある。それらの要素を複合した幅轍度という指標は未だ開発されていない。それらの要素はすべて航行における困難さに影響するものであり、幅轍度とは、交通環境の困難度とも言える。

しかし、航行船舶の速度分布および船種構成が一定であれば、平均的な空き水域、自船に対する遭遇頻度等は統計的に航行密度によって定まることは明らかである。したがって、航行船舶の速度分布および船種構成を一定にして同じ航行密度における航行の実験を各実験とも十分な時間実施すれば、それらすべての実験における交通環境の困難さは同一になると期待できる。

それで、本研究では、幅轍度として船種を一つ、速度分布を一定にした航行密度を採用することにした。航行密度をもって限界幅轍度とする場合、限界航行密度という語を用いることとする。

また、将来合理的な幅轍度の定義が明らかになれば、それを使用することになる。

3.3 限界幅轍度と対象海域の幅轍度との比較

3.2 で求めた限界幅轍度が、対象海域の現実の交通環境における幅轍度と比較して甚だしくかけ離れているならば、シミュレータ実験による運航体制の評価を行うことは実際的な意味がなくなる。なぜなら、限界幅轍度が実際より高過ぎる場合は、どのような運航体制でも実際の海域

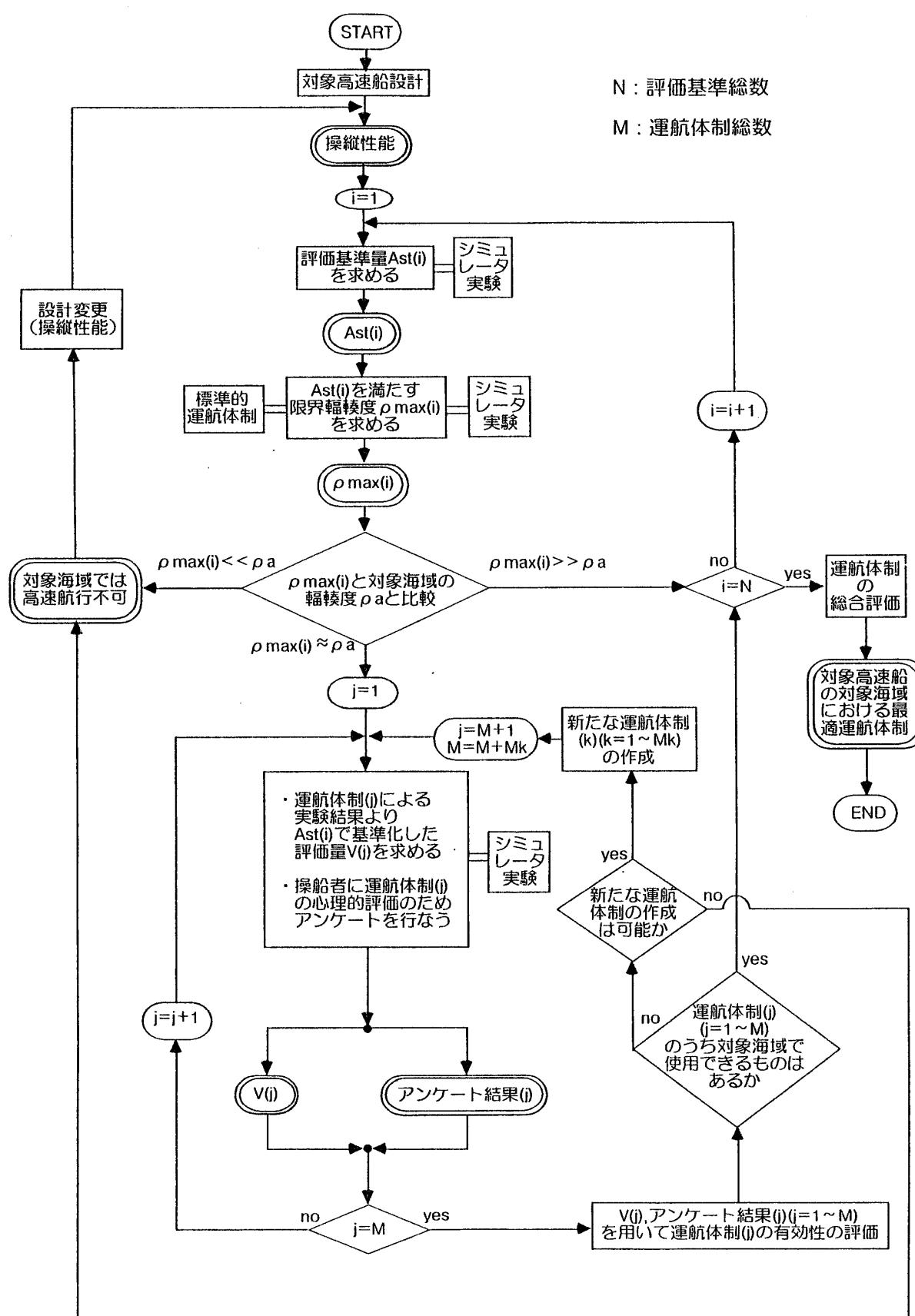


Fig. 2 Evaluation procedure of navigation system of large high speed vessel

で使用することに問題はないと考えられ、また、限界輻輳度が実際より低過ぎる場合は、どのような運航体制によっても実際の海域で対象高速船が高速航行することは不可能と考えられるからである。後者の場合は、操縦性能を改善する設計変更を実施しない限り対象高速船は対象海域での高速航行は可能とならない。したがって、シミュレータ実験で求められる限界輻輳度を実際の海域における輻輳度と比較して評価することが必要である。

本研究では、東京湾を対象海域として選ぶこととする。また、ここでは輻輳度として航行密度を採用するため、付録Cに東京湾における航行密度について触れておく。

3.4 運航体制評価シミュレータ実験による評価量の導出および操船者へのアンケート

得られた限界輻輳度で交通環境を作り、それらと運航体制の代替案とを組み合わせてシミュレータ実験条件(以下、シナリオと呼ぶ)を設定し、シミュレータ実験を行う。その後、実験により得られた避航データを評価基準量で基準化する。

本研究では、避航データとして避航開始距離を用い、評価基準量である一般船操船者が脅威を感じることのない大型高速船の避航開始の時点での一般船と大型高速船との距離で割ることにより基準化する。基準化された避航データを評価量と呼ぶことにする。

また、評価量による評価の他に、運航体制が大型高速船の操船者の心理面での効果すなわち心理的な余裕の増加を評価することも重要である。そのために、2章で述べたような操船者の避航判断の各過程における支援手段の効果を定量化できれば良いが、それは困難である。したがって、操船者への心理面での効果を評価するためには操船者の印象あるいは意見等を考慮することが良い方法と言える。航空機の分野では、航空機の制御のしやすさ等の評価に、パイロットによる評点法等が用いられている⁶⁾。以上の理由から、各実験終了後、運航体制の有効性に関する操船者の主観的評価を聞くためのアンケートを実施する。

本研究では、限界輻輳度として船種および速度分布を一定にした交通環境の航行密度を採用するが、運航体制の評価実験では、対象海域の特徴をより明確に表現した交通環境における運航体制のそれぞれの要素(支援機器等)の有効性の検討を実施することが重要であるため、同一船種ではなく、実海域に似せた船種構成の交通環境を作成することとした。本研究における運航体制評価実験で用いた船種構成について付録Dで述べることにする。

3.5 運航体制の有効性の評価

運航体制の違いにより評価量に違いが出てくることが予想される。それらの違いを定量的に評価するためには種々の統計的な手法を応用することが有効である。

本研究では、評価量に分散分析を施すことにより、運航体制の違いによる評価量の違いの検定を実施した。

また、アンケート結果の解析には、0と1のカテゴリーデータの解析に有効な数量化理論III類を用いることにより、運航体制と心理的余裕との関連を評価し、有効と思われる運航体制および支援手段を見出すことにした。

もし、このような評価により、検討してきた運航体制の代替案の中に対象海域の輻輳度での安全運航を保証するものが存在しないことが判明すれば、新たな運航体制を作成し、シミュレータ実験および評価をやり直すことになる。この段階でそのような運航体制の作成が不可能である場合には、対象海域での対象高速船の高速航行は不可能であるということになり、高速船の設計変更に戻る。

評価基準量が複数ある場合には、それら各自に付き評価が行われることになり、それらの評価結果に基づき総合評価を実施し、最適な運航体制が求められる。

4. 評価基準量(避航開始限界距離)の導出

本研究で採用した評価基準量である一般船操船者に脅威を与えない避航開始距離は、昼間と夜間では異なると思われるが、実験回数の制限より昼間のみのシミュレータ実験で求めたものを、夜間の実験においても使用した。なお、シミュレータ実験では一般の大型船の船長経験者を一般船の操船者として採用した。

4.1 実験方法

◆操船者にシミュレータの操船卓についていただき、一般船(小型、大型)の船橋において一般船を操縦しており、一般船の進行方向に対して大型高速船が種々の方角から50ノットで近づいてくることを想定したシミュレータ実験を行う。

なお、一般船は13ノットで直進し、操船者は操船を行わない。また、大型高速船1隻以外の他船を発生させず、1対1の見合いのみの実験となる。

◆操船者は実験中に以下の2つを申告する。

(1) 心理的な負担を感じることのない大型高速船の避航開始の限界点(この地点と一般船との距離を、避航開始期待距離と呼ぶ)

(2) 大型高速船の避航を我慢できる避航開始の限界点(この地点と一般船との距離を、避航開始限界距離と呼ぶ)

◆シミュレータ実験において、操船者が使用できる情報は以下のものである。

(1) 一般船からの景観画像

使用した船舶技術研究所のシミュレータは、視野が90度と狭いため、また、双眼鏡を使用した状況を作り出すことを目的とし、操船卓にあるジョイスティックおよびレバーを用いて、視野および視線を以下に示すように変更することを可能にしている。

(視野)

- ・視線方向を中心に左右15度計30度を90度に拡大
- ・視線方向を中心に左右90度計180度を90度に縮小

(視線)

- ・10度単位で自船の進行方向より左右180度まで変更
- それらを操作しなければ、視線は自船の進行方向、視野は視線方向左右45度計90度である。

(2) レーダー/ARPA 模擬画像

Fig.3に示す画像を表示するレーダー/ARPA模擬装置を操船者の脇に置き操船者がレンジ等を変えて使用できるようにした。Fig.3の画像はARPA模擬画像であり、船舶の位置あるいは速度ベクトルは各時点の真値が表示される。

なお、実験前に、慣熟実験を行い一般船（小型、大型）の操船感覚、大型高速船の見えかた等に慣れていただいた。

4.2 実験結果

Fig.4に一般船の種類および操船者の違い毎に、一般船を中心とした大型高速船の避航開始期待地点、避航開始限界地点を示す。

これらの図より、大型高速船によって避航される自船が小型船、大型船とも、前方、後方で違いがみられるが、それぞれの領域においては大型高速船の接近角度の違いによる避航開始期待距離、および避航開始限界距離の違いはそれほど認められないといつて良いようと思われる。したがって、それぞれの距離を前方、後方にわけて平均値等を算出した。操船者AおよびBの結果から求めた値をTable.3に示す。

避航開始期待距離および避航開始限界距離は、心理的かつ目標的なものであるため、Table 3を参考にして、以下のように設定する。

◆ 避航開始期待距離

- 対小型船前方：2500 m
- 対小型船後方：1500 m
- 対大型船前方：3500 m
- 対大型船後方：2000 m

◆ 避航開始限界距離

- 対小型船前方：1000 m
- 対小型船後方：600 m

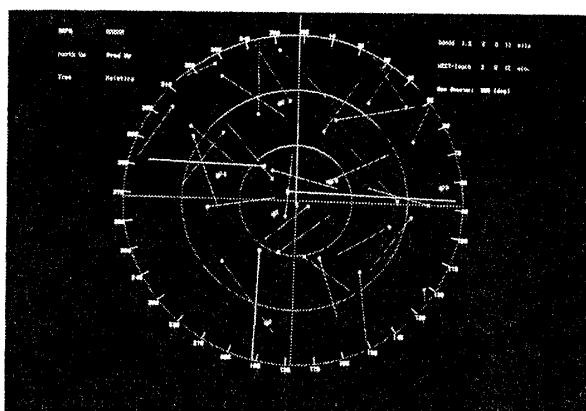


Fig.3 An example of picture on CRT of RADAR/ARPA simulator

対大型船前方：1500 m

対大型船後方：1000 m

本研究では評価基準量として、避航開始限界距離を採用することにした。

また、運航体制評価シミュレータ実験では、小型船、大型船の他に中型船（船長100 m）も他船として使用するが、中型船の避航開始限界距離を小型船、大型船の値の中間の値として、以下のようにした。

対中型船前方：1250 m

対中型船後方：800 m

5. 結 言

以下に示す結果が得られた。

(1) 輻輳海域における大型高速船の運航体制を評価する一連の手続きが求められた。この手続きは、大型高速船だけでなく一般の高速船の場合も同様に適用可能であり、運航の対象海域を高速航行する場合の最適な運航体制を求めるために有効と思われる。

(2) 同手続きの最初の段階で求める評価基準量として、避航開始限界距離を採用し、その値を一般大型船の船長経験者によるシミュレータ実験を実施することにより求めた。

謝 辞

本研究で、操船者となっていた大型船の船長経験者、また、操船者を派遣していただいた（株）郵船海洋科学、

Table 3 Desirable distance to start collision avoidance and limit distance to start collision avoidance

避航開始期待距離		平均(m)	標準偏差(m)
	前方	2633.3	457.8
対小型船	後方	1786.8	885.0
	前方	3436.3	360.6
対大型船	後方	2101.8	443.0

(a)避航開始期待距離

避航開始限界距離		平均(m)	標準偏差(m)
	前方	1014.0	224.7
対小型船	後方	587.7	286.4
	前方	1473.1	180.4
対大型船	後方	847.1	258.0

(b)避航開始限界距離

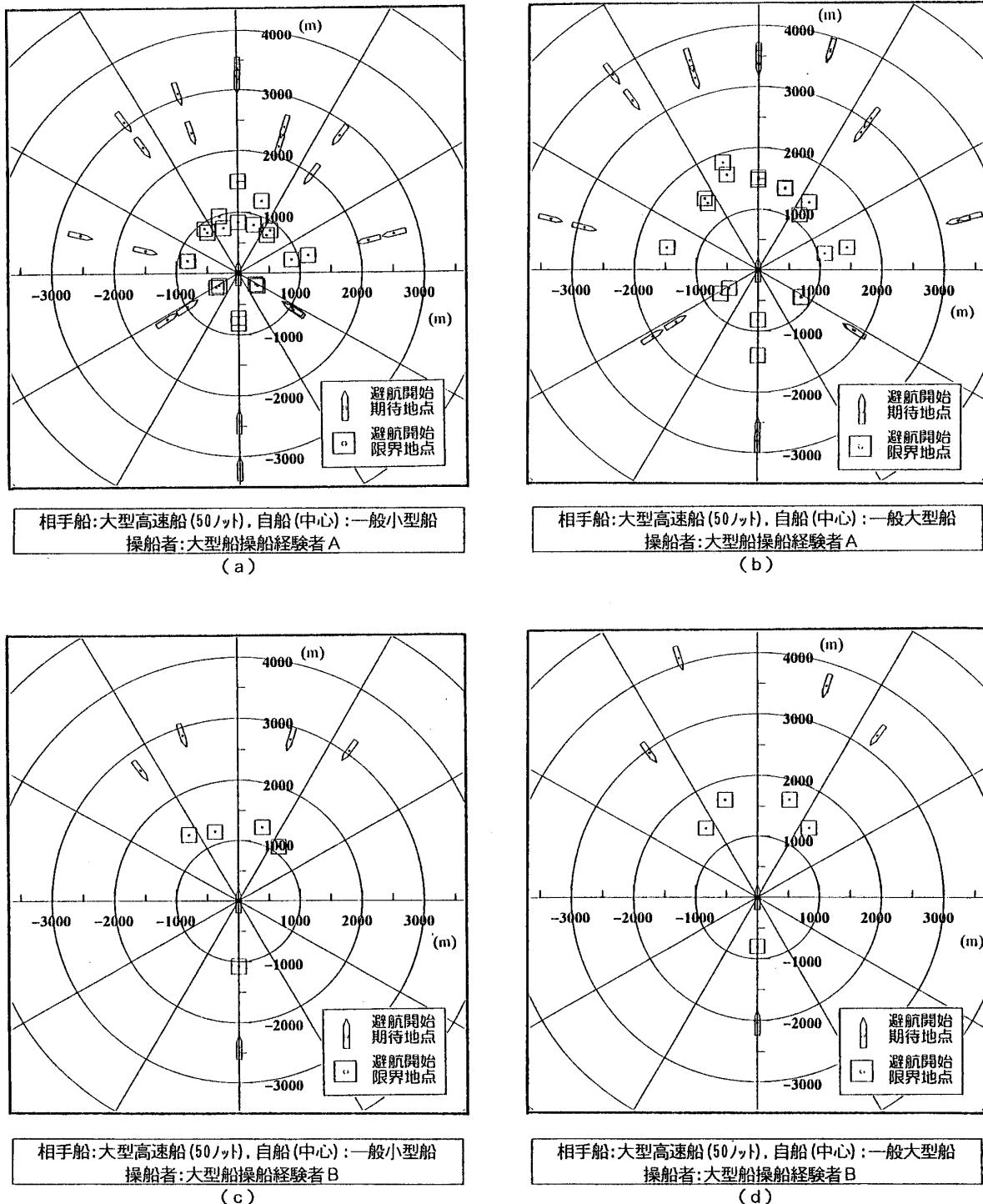


Fig. 4 Desirable points to start collision avoidance and limit points to start collision avoidance obtained by simulator experiments

さらに、(社)日本造船研究協会 RR 744 委員会の委員の方々、特に委員長である東京大学の小山健夫教授、同委員会の運航 WG の委員長である神戸商船大学の原潔教授には有益な意見をいただきました。これらの方々に衷心よりの感謝の意を表します。

参考文献

- 1) たとえば飯山: 人間-機械系設計の評価法の現状、人間工学、第5巻、第6号 (1969), pp. 363-365.
- 2) (社)日本造船研究協会 RR 744 報告書: 高速船の国際基準に関する研究、研究資料 No. 200 R (1993).
- 3) 今津ほか: 避航限界と被避航限界の研究、日本航海

- 学会論文集, 第 85 号 (1991), pp. 9-16.
- 4) 超高速船旅客船の夜間航行の安全性に関する調査検討報告書. (社)日本旅客船協会 (1991), p. 79-80.
 - 5) 沼野ほか: 船舶航行における潜在的危険の評価, 日本航海学会論文集, 第 85 号 (1991), pp. 25-31.
 - 6) 井口雅一: 人間-機械系一人による機械の制御一, 共立出版 (1970.5), p. 39-41.
 - 7) 田中ほか: 船舶航行システムの安全評価用シミュレーター I. 一リアリティのある景観情報一, 日本航海学会論文集, 第 88 号 (1993), pp. 129-136.
 - 8) 東京湾船舶航行調査研究会: 平成 3 年度東京湾船舶航行調査報告書, 東京商船大学 (1992), p. 16, 19, 22, 78.
 - 9) 東京湾横断道路海上交通実態調査報告書, 東京湾横断道路(株) (1991), p. 9, 11, 75, 295, 375.
 - 10) 奥山: 海上交通計画情報に関する研究, 港湾技術研究所資料 No. 536 (1985), p. 43, 164, 170, 171.

付録 A 大型高速船について

大型高速船は船長約 120 m で 50 ノットで航行することを想定したものである。視点の高さは約 17 m である。

その操縦モデルとして、旋回モデルは旋回角速度は 1 次遅れの応答モデルを用い、舵のモデルも 1 次遅れのモデルとし、0 度から最大舵角 (35 度) までの時間が 14 秒となるように舵の旋回速度に制限を設けた。

旋回角速度は最大 2 度/秒 (50 ノット時) である。

その結果、操縦性能は一般の大型船と同様なものとなっている。

付録 B シミュレータについて⁷⁾

ここで使用した船舶技術研究所のシミュレータのハードウェア構成を Fig. 5 に示す。景観画像表示システムは、主コンピュータと LAN を経由して接続されており、主コンピュータから 0.2 秒毎に自船および他船の位置、速度等の情報を得、それらのデータに基づき外挿を行い、昼間の景観で 30 枚/秒、夜間の景観で 20 枚/秒の表示速度を達成しており、非常に滑らかな画像が実現している。また、海面も実際に近い波模様を描画し、霧をかけ視点からの距離に応じて見えにくさを設定することができ臨場感を現出している。

また、レーダ模擬装置、暗視画像模擬装置等の種々の支援機器も同様に主コンピュータと LAN を経由して接続され、景観画像表示システムとは独立な通信周期で主コンピュータから必要なデータを受け動作する。

付録 C 東京湾の航行密度について

東京湾はその部分領域によって航行密度が異なるが、代表的な領域として、浦賀水道および東京湾横断道路付近の海域における航行密度について考える。その際航行密度を以下に示す方法で求めた。

指定されたゲートラインを一定時間 ($T(\text{hour})$) に通過する船舶数を N 、指定されたゲートラインを一定時間 (T) に通過する船舶の平均速度を $V(\text{km}/\text{hour})$ 、指定されたゲートラインの幅 (船舶の進行方向と垂直) を $B(\text{km})$ とするとき、指定されたゲートライン近傍の船舶航行密度 ρ を以下の式で近似する。

$$\rho = \frac{N}{V \times T \times B} \quad (\text{隻}/\text{km}^2)$$

$$= 1.852^2 \times \frac{N}{V \times T \times B} \quad (\text{隻}/\text{nm}^2)$$

C.1 浦賀水道⁸⁾

ここで使用したデータは、1991 年 9 月 3 日 12:00 ~ 9 月 4 日 12:00 にかけての観測結果である。

(1) 最大航行密度

文献 8) により、午前 5 時から 6 時にかけて北航船がピークに達し、Table 4 および Table 5 より分離航路 (北航) を通過する船舶は 27.4 隻と求めることができ、観測浦賀水道における北航船全体の平均速度は 10.74 KT、分離航路の幅は 700 m であるから、

$$\rho = 27.4 / (10.74 \times 1.852 \times 0.7)$$

$$= 1.97 \quad (\text{隻}/\text{km}^2)$$

$$= 6.75 \quad (\text{隻}/\text{nm}^2)$$

また、文献 7) を基に作成した Table 4 より、この航行密度を L (船長) 换算した航行密度 ρ_L は、(L 换算係数 (Table 6) は文献 9) による)

$$\rho_L = (46 \times 0.194 \times 0.5 + 6 \times 0.631 + 9 \times 0.938 \times 2 + 9 \times 4) / (10.74 \times 1.852 \times 0.7)$$

Table 4 Number of ships which passed through Uraga channel since am 5:00 to 6:00 Sep. 4 1991

時 刻	総 数	北 航	南 航	20 トン 未満		20 ~ 500 トン		500 ~ 3,000 トン		3,000 ~ 20,000 トン		20,000 トン 以上	
				北	南	北	南	北	南	北	南	北	南
	5:00 ~ 6:00	82	70	12	46	10	6	1	9	1	9	0	0

観測日時: 1991 年 9 月 4 日 5:00 ~ 6:00
ゲートライン: 汐路丸瀬泊位置 (第 3 海堡灯標より 81°, 3350m) と 観音崎灯台を結んだ線

Table 5 Number and ratio of north going ships which passed through gate 4 since 12:00 Sep. 3 to 12:00 Sep. 4 1991

ゲート No. (G)	1	2	3	4			5	6	小計 M(j)
				N(j)	N(j)/K(j) %	N(j)/M(j) %			
20 トン未満	49	72	6	41	12.2	19.4	19	24	211
20~500 トン	27	17	0	111	32.9	63.1	20	1	176
500~3,000 トン	1	2	0	120	35.6	93.8	5	0	128
3,000~20,000 トン	0	0	0	54	16.0	100	0	0	54
20,000 トン以上	0	0	0	11	3.3	100	0	0	11
合計 K(j)	77	91	6	337	100	—	44	25	580

観測日時: 1991 年 9 月 3 日 12:00 ~ 9 月 4 日 12:00 (24 時間)
ゲートライン: 汐路丸瀬泊位置 (第 3 海堡灯標より 81°, 3350m) と 観音崎灯台を結んだ線

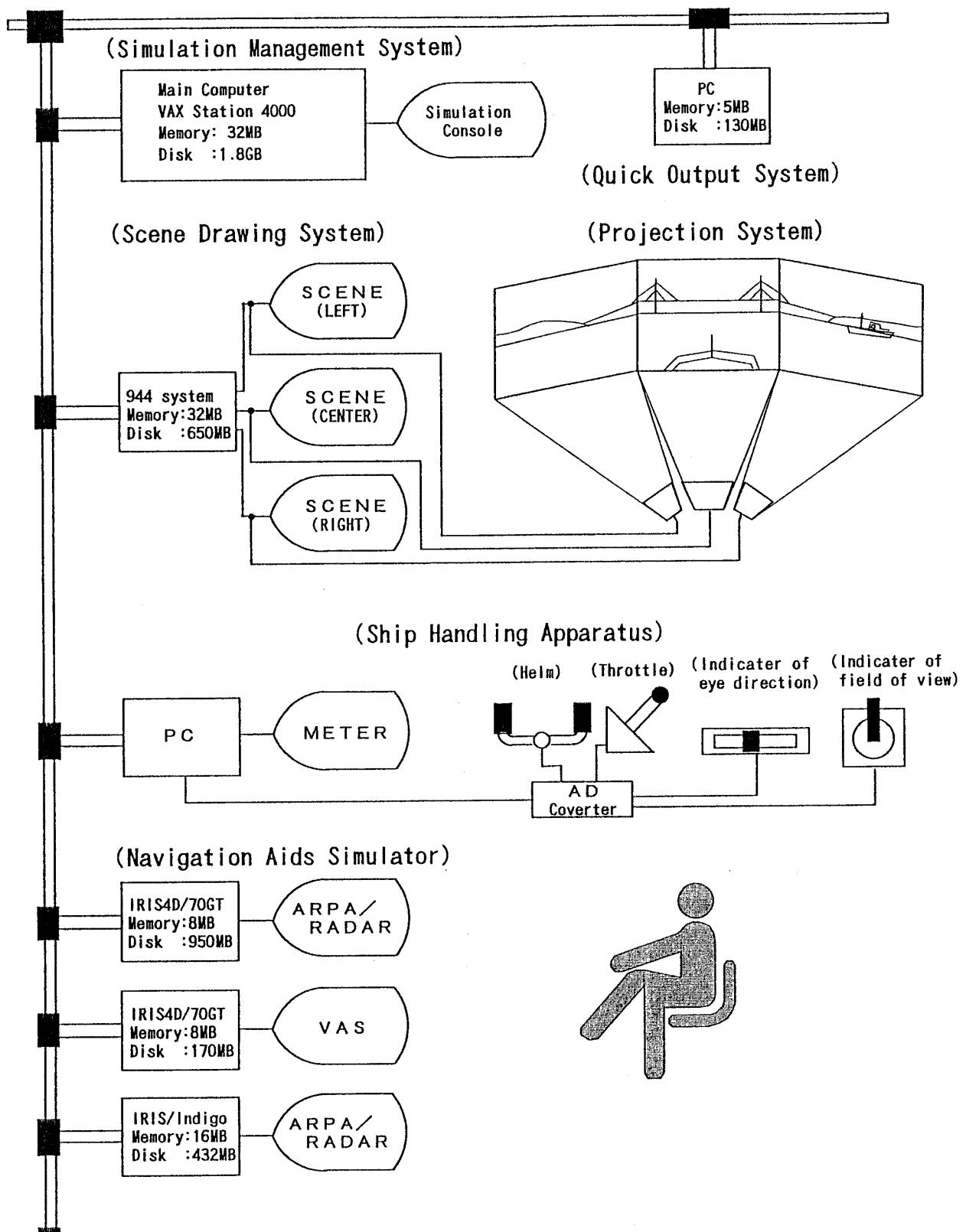


Fig. 5 Hardware composition of the simulator

輻輳海域における大型高速船の運航体制評価手法について

$$=4.39 \text{ (隻/km}^2)$$

$$=15.06 \text{ (隻/nm}^2)$$

(2) 平行航行密度

文献7)より、24時間の北航船が分離航路(北航)を通過する船舶は計337隻、1時間あたりの平均は、14.04隻であり、平均速度は10.74KT、分離航路の幅は700mであるから、

$$\rho = 14.04 / (10.74 \times 1.852 \times 0.7)$$

$$= 1.01 \text{ (隻/km}^2)$$

$$= 3.46 \text{ (隻/nm}^2)$$

また、文献7)を基に作成したTable5より、この航行密度をL換算した航行密度 ρ_L は、

$$\rho_L = \rho \times (0.122 \times 0.5 + 1.0 \times 0.329 + 0.356$$

$$\times 2 + 0.16 \times 4 + 0.033 \times 6)$$

$$= 1.96 \text{ (隻/km}^2)$$

$$= 6.72 \text{ (隻/nm}^2)$$

C.2 東京湾横断道路近傍⁹⁾

ここで使用したデータは、1990年10月2日10:00~10月4日10:00にかけての観測結果である。

(1) 最大航行密度

文献9)より、午前11時から12時にかけて西水路航行船がピークに達し、西水路を通過する船舶は北航、南航合わせて83隻であり、平均速度は10.2KT、西水路の幅はほとんど3kmであるから、

$$\rho = 83 / (10.2 \times 1.852 \times 3.0)$$

$$= 1.46 \text{ (隻/km}^2)$$

$$= 5.01 \text{ (隻/nm}^2)$$

また、文献8)を基に作成したTable7より、この航行密度をL(船長)換算した航行密度 ρ_L は、

$$\rho_L = \rho \times (0.641 \times 0.5 + 0.192 + 0.167 \times 2)$$

$$= 1.24 \text{ (隻/km}^2)$$

$$= 4.25 \text{ (隻/nm}^2)$$

(2) 平均航行密度

文献9)より、48時間に西水路を通過する船舶は北航、南航合わせて1625隻、1時間あたり平均33.8隻、平均速度は10.2KT、西水路の幅はほとんど3kmであるから、

$$\rho = 33.8 / (10.2 \times 1.852 \times 3.0)$$

$$= 0.60 \text{ (隻/km}^2)$$

$$= 2.06 \text{ (隻/nm}^2)$$

また、同様にこの航行密度をL(船長)換算した航行密度

Table 6 L conversion coefficients

大きさ (GT)	0 ↓ 100 トン	100 ↓ 500 トン	500 ↓ 3,000 トン	3,000 ↓ 20,000 トン	20,000 ↑ 以上
L換算係数	0.5	1	2	4	6

ρ_L は、

$$\rho_L = \rho \times (0.513 \times 0.5 + 0.261 + 0.195$$

$$\times 2 + 0.03 \times 4 + 0.01 \times 6)$$

$$= 0.61 \text{ (隻/km}^2)$$

$$= 2.09 \text{ (隻/nm}^2)$$

(錨泊地における航行密度について)

東京湾横断道路近傍の海域では、川崎沖等に船舶の錨泊地がある。したがって、航行している船舶だけでなく、錨泊船を考慮する必要がある。

文献9)によると、川崎沖の錨泊地における錨泊船の密度は平均5隻/km²以上であり、そこでの航行密度は0.5~1.0隻/km²(平均)であるため、そこでの実質的な航行密度は $\rho = 5.5 \sim 6.0 \text{ 隻/km}^2$ 以上(18.9~20.6隻/nm²以上)となる。

付録D 運航体制シミュレータ実験における船種構成について

以下に、ここでの対象海域である東京湾における航行船舶の船種構成より、運航体制のシミュレータ実験で採用した船種構成を求める。

シミュレータ実験において重要なことは避航距離であり、それに影響を与えるのは船の大きさである。したがって、船種の違いを船の大きさの違いに置き換えることにする。運航体制評価シミュレータ実験では船種を代表して3種類の大きさの他船を使用することにした。それぞれ、小型船(船長50mの一般貨物船)、中型船(船長100mの一般貨物船)、大型船(船長209mのバルクキャリア)である。

小型船は、船長75mまでの船舶を、中型船は、船長75m

Table 7 Number and ratio of ships which passed through the gate line of the west route near the crossing road of Tokyo-Bay since am 10:00 Oct. 2 to am 10:00 Oct. 4 1990 and since am 11:00 to 12:00 Oct. 3 1990

大きさ (GT) ↓	時刻	2日10:00~4日10:00		3日11:00~12:00	
		N(i)	N(i)/K(j)%	N(i)	N(i)/K(j)%
0~100 トン	0~100 トン	777	51.3	50	64.1
100~500 トン	100~500 トン	396	26.1	15	19.2
500~3,000 トン	500~3,000 トン	296	19.5	13	16.7
3,000~20,000 トン	3,000~20,000 トン	45	3.0	0	0
20,000 トン以上	20,000 トン以上	1	0.1	0	0
小計K(j)		1515	100	78	100
不明		110	—	5	—
合計		1625	—	83	—

観測日時：1990年10月2日10:00~10月4日10:00(48時間)

ゲートライン：東京湾横断道路浮島取付部工事区域と
川崎人工島工事区域それぞれの観測点を結んだ線

~150 mまでの船舶を、大型船は船長150 m以上の船舶を代表するものとする。したがって、それぞれのクラスの船の構成比を求める必要がある。

Fig. 6 および Fig. 7 より、船長に対応した総トン数を求めることができる。

(1) 船長から重量トン

Fig. 6 を数値を対数変換したもので回帰分析を行った結果が文献 10) にあり、Table 8(a) にその係数を示す。

回帰式を以下に示す。

$$\log y (\text{船長}) = a + b \cdot \log x (\text{重量トン})$$

したがって、

$$x = 10.0^{(\log y - a)/b}$$

$y = 75$ m の場合は

$$x = 10.0^{(\log 75 - 0.654)/0.362} = 2361 (\text{重量トン})$$

$y = 150$ m の場合

$$x = 10.0^{(\log 150 - 0.947)/0.297} = 13751 (\text{重量トン})$$

(2) 重量トンから総トン

Fig. 7 を数値を対数変換したもので回帰分析を行った結果が文献 10) にあり、Table 8(b) にその係数を示す。

回帰式の形は(1)の式と同じである。

(1)より、

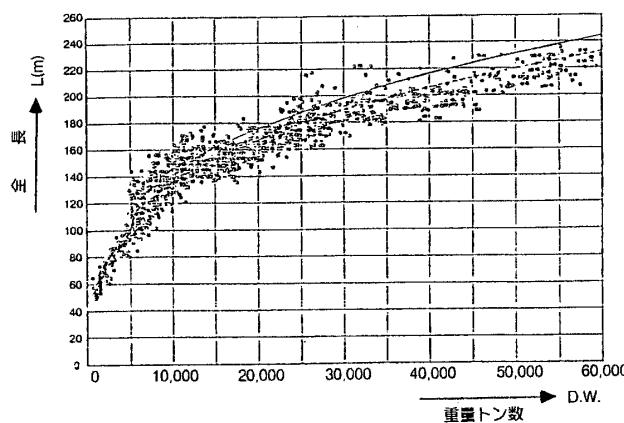


Fig. 6 Relation between D. W. and length of cargo ships

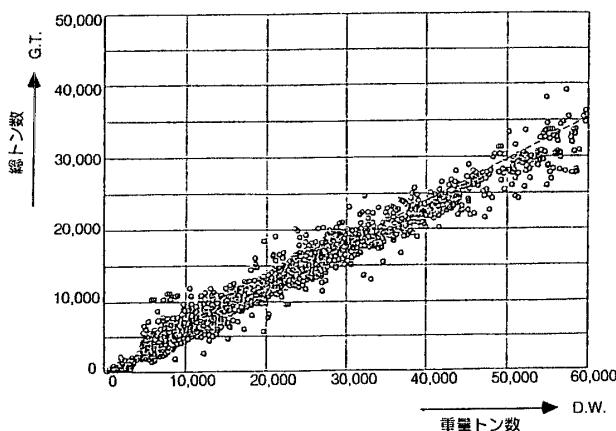


Fig. 7 Relation between D. W. and G. T. of cargo ships

$$\log y (\text{総トン}) = a + b \cdot \log x (\text{重量トン})$$

したがって、

$$y = 10.0^{(a+b \cdot \log x)}$$

$x = 2361$ 重量トンの場合は

$$y = 10.0^{(-0.366+1.015 \cdot \log 2361)} = 1142 (\text{総トン})$$

$x = 13751$ 重量トンの場合は

$$y = 10.0^{(-0.061+0.966 \cdot \log 13751)} = 8642 (\text{総トン})$$

(3) 船種構成比

上記の結果と海上保安庁による観測結果に基づく Table 9 より

$$\text{小型船: } (68+864+596+313)/(2274+313)$$

$$= 0.714$$

$$\text{中型船: } (416+207 \times (8500-3000)/(10000-3000))/(2274+313) = 0.224$$

$$\text{大型船: } (207 \times (10000-8500)/(10000-3000) + 69+54)/(2274+313) = 0.065$$

となる。ここでは、きりの良い構成とするため、以上をもとに以下のような構成比とすることにした。

小型船: 70%

中型船: 20%

大型船: 10%

Table 8 Coefficient of regression

回帰係数 (DW → L)	500 ≤ D.W. < 5,000	5,000 ≤ D.W. < 60,000
a	0.654	0.947
b	0.362	0.297

(a) D.W. vs. L

回帰係数 (DW → GT)	500 ≤ D.W. < 5,000	5,000 ≤ D.W. < 60,000
a	-0.366	-0.061
b	1.015	0.966

(b) D.W. vs. G.T.

Table 9 Number of ships which passed through the gate line of Uraga channel since 14:00 Aug. 8 to 14:00 Aug. 11 1978

大きさ (GT) 方向	一般船舶								漁船			
	100 トン 未満	100	500	1,000	3,000	10,000	20,000	小 トン 以上	計	100 トン 未満	100	500 トン 以上
北航	28	400	280	220	120	43	32	1123	138	3	2	143
南航	40	464	316	196	87	26	22	1151	165	4	1	170
合計	68	864	596	416	207	69	54	2274	303	7	3	313

一般船舶: 普通船、押送船、漁船を除く船舶
観測日時: 1978年8月8日14:00~8月11日14:00 (72時間)
グートライン: 第1海堡、第2海堡、第3海堡、観音崎灯台を結ぶ線