

空間における距離は0.31と近く、相関係数は0.70である。また暗視装置についても、「暗視装置あり」と「判断レベル達成に暗視装置が役立った」は第三主成分がプラス同士で、距離は0.30と近く、相関係数は0.66である。これにより、ARPA、暗視装置は、余裕を生みだして判断レベルを達成させ、効果的に高速航行の安全に寄与していることがわかる。しかし、援助者による情報支援、判断支援は、それが「ある」と、「判断レベル達成に役立った」という項目が離れている。距離はそれぞれ、0.88と0.82と遠く、相関係数はそれぞれ0.10、0.22であり、相関が低い。よって、判断レベルの達成については、効果的には役立っていないことがわかる。

一方、「援助者との意志疎通の改善が必要」という項目が「情報支援時の意志疎通困難」、「判断支援時の意志疎通困難」、「援助者からの情報支援不適切」の近くに位置して、相関が強い。また、これらが「判断レベル達成に情報支援が役立った」、「判断レベル達成に判断支援が役立った」という項目の原点に対して対の位置にあることから援助者との意志疎通の改善が必要であることがわかる。

さらに第一、第二主成分軸から、第四象限に余裕があることを第二象限に余裕がないことを示していることが読み取れる。第四象限から第二象限にななめに余裕を表す方向が考えられる。そこで図3-7に示すよう

に項目を分類すると、第四象限を中心に支援があって役立っているグループ、原点の周りと第一、第三象限には支援を必要としているグループが存在し、第二象限には海域の余裕のなさを評価している因子が集まっている。

### 3.4.3.3 昼間の航行実験の主成分分析

次に、昼間の航行実験の17ケースについて分析を行う。

昼間の航行の分析対象となる項目は、表3-7が示すように、アンケート項目数の37である。この37のアンケート項目から、項目同士がどのくらい関係しているかという相関表を作成し、この固有値を求めた結果、有為な主成分が11であった。こちらも非常に項目間の関係が複雑であることがわかる。しかし、第一から第三主成分までで全体の情報の約43パーセントまで集約することができた。

図3-8は昼間の実験の第一、第二主成分平面にアンケート項目の因子負荷量をプロットしたものである。夜間と同様に第一、第二主成分の軸の意味づけを行なう。

第一主成分の軸において、プラス側の絶対値の大きな項目は、「同時に考慮すべき船舶が多い」、「自船操縦性能不十分」、「援助者からの情報支援あり」、「東京湾と比べて輻輳」、「操船困難な場面の連続」、

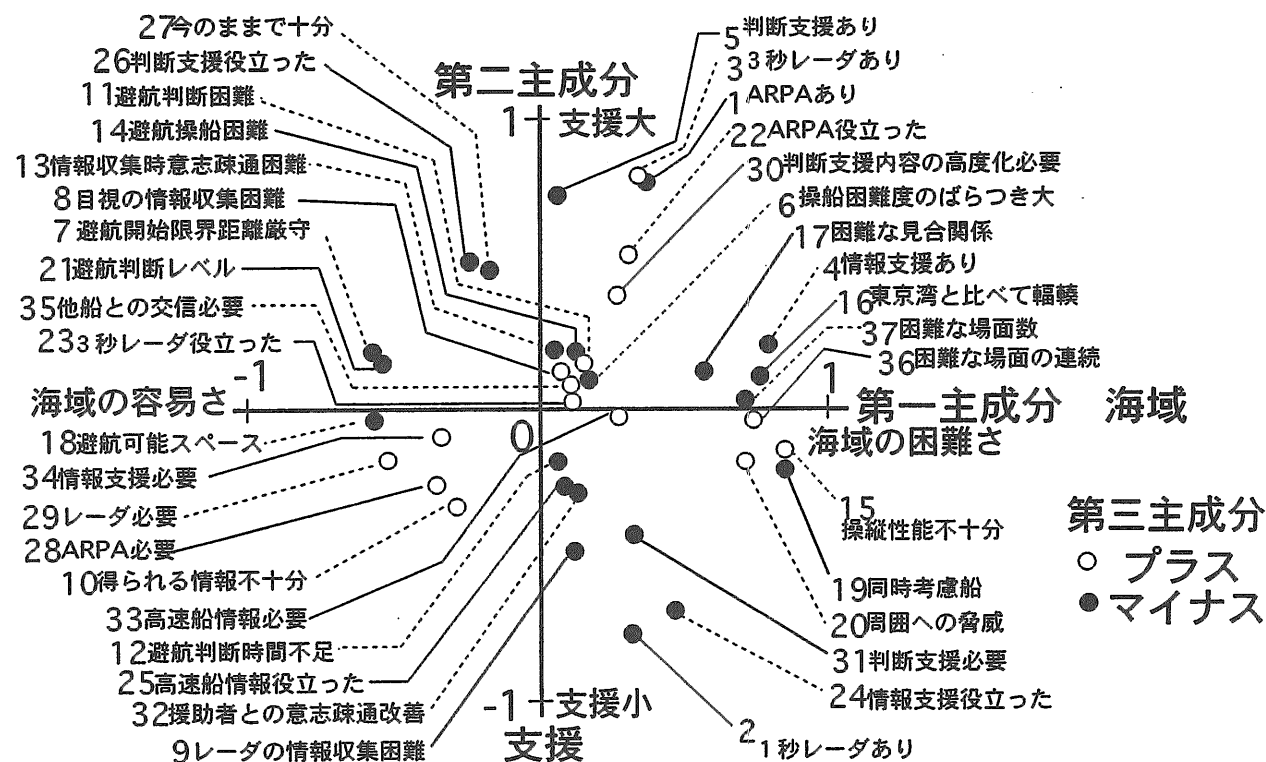


図3-8 昼間航行主成分分析結果

「操船困難な場面数」、「周囲の船舶への脅威」、「困難な見合関係」となっている。マイナス側には、「避航開始限界距離の厳守」、「周りに避航可能スペースあった」、「操船判断のレベル」といった項目がきており、第一主成分は海域の評価を表す軸と意味づけられる。プラス側が海域の困難さを示し、マイナス側が海域の容易さを示している。

一方、第二主成分の軸では、プラス側で、「表示周期3秒レーダあり」、「ARPAあり」、「援助者からの情報と判断支援あり」、「判断レベル達成にARPAが役立った」といった項目が絶対値が大きい。マイナス側には、「表示周期1秒レーダあり」、「判断レベル達成に援助者からの情報支援役立った」、「レーダの情報収集困難」、「判断レベル向上に援助者からの判断支援必要」、「得られる情報不十分」という項目があり、第二主成分は支援の軸となる。プラス側が支援が高く評価されている項目、マイナス側が支援が必要とされる項目がきている。

以上のことから、表示周期3秒レーダ、ARPA、援助者からの判断支援が操船支援効果が高いと、操船者に評価されていることがわかる。表示周期1秒レーダは有効な支援ではないと評価されたのは、夜間と同様、昼間の航行においても、表示の更新が速すぎると有効に使うことができないことを示している。

次に、項目(因子)同士の関係について検討する。

「ARPAあり」と「判断レベル達成にARPA役立った」は第三主成分もマイナス同士であり、第一、第二、第三主成分軸の空間における距離は0.35と近く、相関係数は0.56と高い。また判断支援も、「援助者からの判断支援あり」と「判断レベル達成に援助者からの判断支援役立った」が第三主成分もプラス同士で、距離は0.47とARPAに次いで近く、相関係数は0.59である。これにより、ARPA、援助者による判断支援は、余裕を生みだし判断レベルを達成して効果的に高速航行の安全に寄与していることがわかる。しかし、表示周期3秒レーダは「あり」と「役立った」は、距離が0.84と離れており、相関係数も0.16と低く、判断レベルの達成には効果的には役立っていない。

しかし、昼間の航行では、第一主成分として、海域の評価が強く出ており、昼間は、支援の効果よりも海域の状態の方が操船者にとって、影響が強いことがわかった。

第三主成分については軸の意味づけが困難であった。

### 3.4.4 結果のまとめ

主成分分析から求められた操船支援の効果の主観的な評価の分析結果は、操船者へのインタビューから得られた答えともよく一致している。操船支援の効果という操船者の主観的な評価を客観的に整理する手法として主成分分析は有効であることが判明した。

## 3.5 結論

シミュレータ実験を用いた運航体制評価法を提案した。その手法により限界航行密度を指標として、輻輳海域においてどの程度の輻輳度まで大型高速船が運航できるかを評価した。その結果、最も輻輳している部分をのぞけば、東京湾内のほぼ全域で高速航行が可能であることが見いだされた。

また、実験結果の解析として、避航開始距離の分散分析の結果やアンケートの数量化理論Ⅲ類で行った支援要素の有効性の分析結果とやはり、アンケートをもとにした主成分分析による支援要素の有効性の結果は、同じ結論を示している。従って、ここで検討した支援要素は、高速航行に有効な支援装置であることが明らかになった。

## 4. 安全性評価法について

### 4.1 余裕による安全性評価法

安全な航行とは、衝突も座礁もしないで航行できるということだけではない。航行中に隠れていた潜在的危険が外乱によって表に現れたとき(顕在化)に、これを見つけて処理したり回避したり出来る余裕を持っていて初めて安全な航行といえる。ここで外乱とは、同じ海域を航行する他の船舶との遭遇や、浅瀬への接近、気象海象の急変、エンジンや航海計器の故障、運転員の急病などが考えられる。運転員は、外乱によって現れた危険を見つけだし(検出)、それを避けたり処理したりする方法を決めて(判断)、実行に移す(操作)という一連の作業をつづける事によって、操船している。

この危険回避のための作業を「危険が顕在化して(危険顕在化時刻)から危険が避けられなくなる限界の時刻(危険回避限界時刻)までの時間」に余裕をもってすることができれば、安全といえる。この余裕の大きさを安全を評価する<sup>8)</sup>。実際の操船では、危険を避けた後の残りの時間に、より大きな余裕を生み出すための作業をする。例えば、高速船の操船では、時間の余裕があれば相手の船に衝突しないように避けて行くだけではなく、避けられる船や周りの船が高速船に脅威を感じないように、航行環境に配慮したコースを考えて航行している。目前の衝突の危険を避ける行動をレベル1の安全な行動とするならば、航行環境を配慮した行動は、レベル2の安全といえる。さらにレベル2の行動でも余裕があれば、より広い海域を考慮した大局的な判断をしながら操船をする。これをレベル3の安全な行動といえる。

このレベルの達成度をまとめると、

- |       |                                  |
|-------|----------------------------------|
| レベル 0 | 余裕がほとんど無い場合には、至近の衝突を回避できない。      |
| レベル 1 | 至近の衝突が避けられる場合でも、相手船の感じる脅威等に配慮する余 |

裕がなく、衝突を回避するのが精一杯である。

- レベル 2 相手船が脅威を感じないよう配慮した衝突回避とかつ周りの船への影響を考慮した操船を行えるが、大局的に最適な航路を選択する余裕はない。
- レベル 3 十分余裕があって、大局的に最適な航路を選択して、潜在的衝突の危険性を事前に回避した操船ができる。

この様に作業に余裕が生まれたときは、より大きな余裕を生むよう行動のレベルを高めることができる。この行動のレベルの高さによって安全性を評価するものである。こうして提案した安全性評価法の考え方をいろいろな状況下での評価の例をいくつか以下に示す。

#### 4.2 操船シミュレータによる狭水道航行の安全性評価例<sup>18)</sup>

狭水道においては、水道の狭さ、航路の屈曲、見通しの悪さ、交通量の多さなどから、その航行の安全の評価は重要な検討課題となっている。

ここでは、音戸ノ瀬戸を対象とした。音戸ノ瀬戸は、広島県呉市近くに位置し、最狭部80m、長さ720mの南北に通じる狭い海峡である。対象船として、699トンのフェリー(船長60m)および曳船(船長24m)とそれに引かれる台船(船長32m)について、狭水道での航行の安全評価を行った。図4-1に音戸ノ瀬戸の概略地図を示す。使用した操舵装置は、指令舵角、実舵角、エンジンレグラフポジションが付いている。また、船速や針路等船の状態量を表示するモニターがついており、随時、船の状態の確認ができる。装備されているARPA模擬装置は、簡易電子海図およびARPAを重畳して表示するようになっており、3秒に1回画面を更新する。

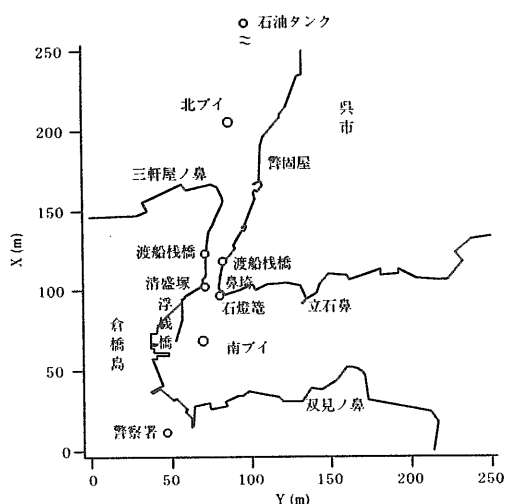


図4-1 音戸ノ瀬戸の地形

簡易電子海図の表示内容は、海岸線、航路パイ等の情報を自船の位置を中心に表示する。表示方法は、距離レンジ(0.75NM/1.5NM/3NM/6NM/12NM)、表示座標系(North-up/Head-up)の変更が可能となっている。

ARPAに関しては、ターゲットとなる船の速度ベクトル(絶対表示/相対表示)、速度ベクトル長(3min./6min./12min.)の表示が可能である。なお、本実験では海域の航行船舶の状況に関する情報支援がある場合を想定して、ARPAにおいては、山陰に隠れて通常のレーダでは得ることのできない船舶の情報も重畳して表示している。

実験は、フェリーおよび曳船とそれに引かれる台船(以下曳船と呼ぶ。)それぞれについて、単船のみでの通航実験および交通流中でのシミュレータ実験を行い、通航時の余裕、航路内に反航船がいる等通航困難な場合の対応、支援情報がある場合情報の有無が操船に及ぼす効果を中心に、評価を行った。

交通流シミュレーションは、実態調査に基づいた交通流をもとに最狭部に反航船の確認なしに進入する船等を加えて、交通流を作成した。また、船種については、漁船、貨物船、台船、フェリー、曳船を設定した。安全を評価する手順としては、対象となる船舶の航行シミュレーションの結果および対象海域の交通流シミュレーション結果等から航行安全に関する問題箇所を抽出し、その問題箇所への対応を操船シミュレータ実験により評価を行った。

また、航行全体を通して、問題となる箇所およびそれに対する対策案を、余裕の観点から、どのような外乱や不測の事態を想定し、これにどのように対処するか等を各実験終了後に被験者へのインタビューおよびアンケート調査を通じて調べた。シミュレータ実験の例として図4-2に、フェリーの北航時の航跡図を示す。

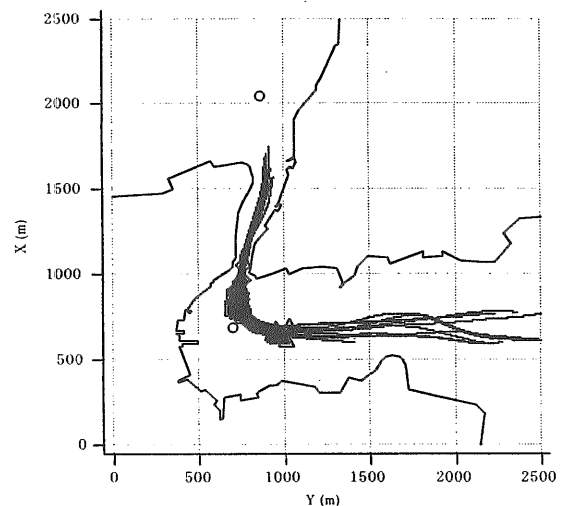


図4-2 フェリーの北航時の航跡図

音戸ノ瀬戸の場合、操船者はできるだけ早い時期に航路内を確認し、船を航路の軸線上に乗せることが最も優位な余裕と考えており、これを実現するために最大舵角を取ることは、適切と評価していると考えられる。

また、最大舵角を取って得られる最狭部から航路軸線上に乗せることのできた位置までの距離は余裕があると評価しており、最大舵角での旋回性能も十分であったと評価できる。余裕については、特に狭水道で潮流等の影響がある場合、対応の遅れが事態を悪くするため、最大舵角をとって対応している。つまり、この場合は操作機の余裕よりも事態への対応の早さ、すなわち時間的な余裕を優先しており、時間的余裕を持つことが適切な操船と評価している。

操船者は、単船での南航の操船は、南ブイの南海面に余裕があり、不測の事態があった時にはすぐに舵を戻せることも余裕と考えており、35度の操舵角を適切な操舵量と判断していた。

また、曳船の単船での通航実験を実施した。その最適な操船方法は、南ブイまでは南ブイを目指して航行し、ブイまで200mの位置に達した時に最微速(5kn)程度の船速になるように減速する。この際反航船がない場合には、南ブイのさらに南を狙い、できるだけブイに近づいて航行する。ブイまで200mの位置に達した時、10から15度の舵角を取る。旋回の途中で航路内を確認し、反航船がない場合には、音戸ノ瀬戸の手前200m付近で曳船および台船が航路軸線上に乗せるよう当て舵を利かせ、台船の旋回を止める。また反航船がいる場合には、Uターンを行い再度進入をやり直す。航路内に入る際は橋まで最微速(5kn)で行き、狭水道通航後は、石油タンク、北ブイと目標を変えながら航行する。図4-3に曳船の交通流中の航跡図を示す。

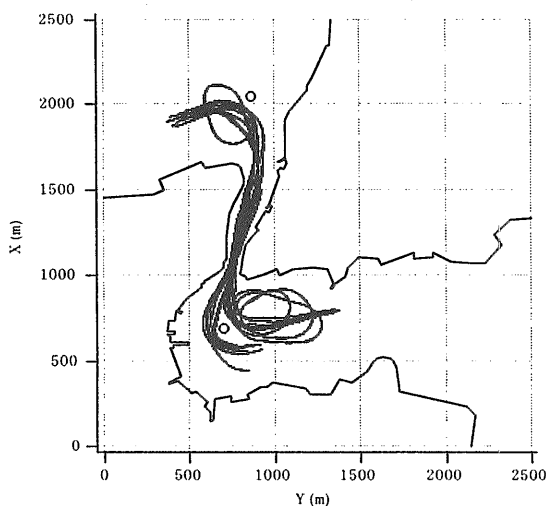


図4-3 曳き船の航跡図

得られた結果から、航行の安全評価をまとめた。実験結果および航行の安全についてのインタビュー結果を整理すると、4.1で述べたように、第1レベルは、対象とする狭水道を物理的に通航することができるということであり、第2レベルは、対象とする狭水道を通航する他の船舶を考慮した操船法を採用することである。第3レベルとして、広範囲の航行船舶の情報や潮流などの情報を考慮することであり、危険な見合い関係を生じないような航行計画に基づいた操船が可能となる。

実験結果から得られたフェリーおよび曳船の現在のレベルは、第2レベルの状況と評価できる。但し、曳船の南航時等反航船が進入してくると処置できない状況がありうるため、最狭部付近に船がいることを知らせる何らかの方法が必要と考える。また、安全のレベルを向上するには、海域全体の他船の通航状況や詳細な潮流の情報等が必要と考えられる。

#### 4.3 操船シミュレータによる長時間高速航行の安全性評価例<sup>19)</sup>

長時間高速航行の安全性を航行シミュレータ<sup>2)</sup>、<sup>20)</sup>を用いて評価し、長時間高速航行の安全を担保するための方策について考察をした例を示す。

##### 4.3.1 長時間航行の安全性評価法

他船と遭遇する頻度の少ない通常海域の長時間航行の安全性評価は、パラメトリックな実験を実施するのは、困難であるため、次のような評価法で行った。

- ①航行の安全を担保する機能が、当直体制と航海機器とでできたシステムに備わっている。
- ②一当直の間に①の機能が維持されている。
- ③航行中に②の機能が低下した時、それが検出でき、機能の回復や代替等の手段を講じることができる。

長時間高速航行の安全に影響を及ぼす要因として、疲労要因と時間要因が考えられるが、このシミュレータ実験は、交通量の少ない海域での長時間高速航行の安全評価であるため、疲労要因についてのみ評価した。

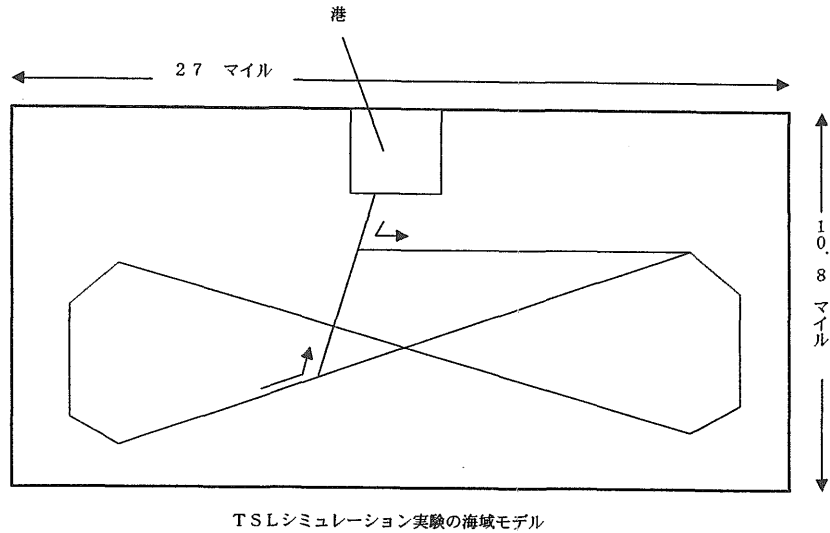
このシミュレータ実験では、操船者が避航対象船を十分な余裕を持って見つけられることとその能力が長時間保持できることを確認することで、①の機能が保たれているとして長時間高速航行の安全性を評価する。

この確認と評価は、被験者の主観的評価、実験者の主観的評価、実験結果による客観的評価、高速航行の安全余裕の考え方による評価を総合して行った。

##### 4.3.1.1 長時間高速航行の安全性評価の実験

###### 1) 実験海域の表現

航行シミュレータのメモリー容量とCPU負荷、画像更新速度等の制約から、20km×50km(10.8マイル×27マイル)の海域に8の字航路を設定して、航行環



●: 燈台      △: ブイ (緑)      ▲: ブイ (赤)

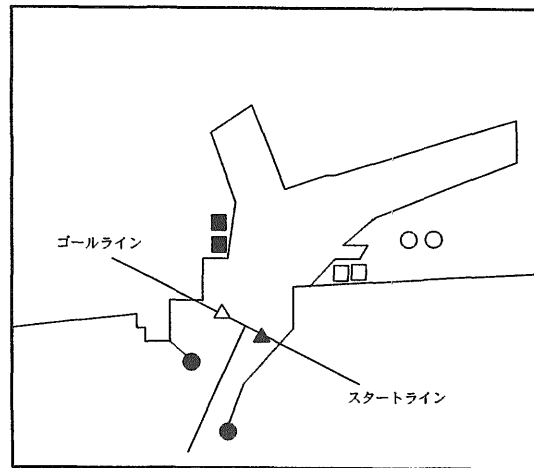


図4-4 航路と港のモデル

境データ(海面データ、地形データおよび著目標)と港のデータを作成した。図4-4に実験海域と設定された航路、港のモデルを示す。

2) 実験の概要

昼と夜の環境で、通常の海域における高速航行による実験を行った。当直は1人で4時間とし、前半の被験者は出港から次の当直引継までを、後半の被験者は当直引継から入港までを行った。航行の安全を阻害する外乱として、通常航行をする他船(貨物船)を発生させた。

4.3.1.2 長時間高速航行の安全性評価の実験結果

1) 被験者の主観的な評価

主観的評価として、目、肩、首の疲労を訴えているが、4時間の高速航行の間に、「情報収集-判断-操舵」の一連の作業が安全に影響するほど鈍くなることはなかったと、被験者は判断している。当直の疲労の程度は、夜間高速航行2.5時間が昼間高速航行4時間に相当する疲労と評価している。

総合して、通常速度の当直よりも高速航行は疲労するが、通常の海域の高速航行で、かつ、緊急時に当直応援要員が待機している体制があるならば、昼間高速航行の当直は1人で、夜間高速航行も1人で可能ではあるが安全を保障するには2人が良いと、被験者は主観的に評価している。

2) 実験者の主観的評価

テレビカメラを通しての観察や、アンケートやインタビューの回答等に対する被験者の感想等から、被験者は、疲労はあるものの4時間の当直を通して、十分な信頼性のある操船を行っていたと評価する。

3) 実験結果による客観的評価

図4-5に示すフリッカーテストと、図4-6に示す航跡図のように、避航を行った際の行動、航跡とから客観的評価を行った。それぞれの4時間の当直時間内に、疲労による視覚への大きな影響はなく、速度を落とす操船行動及び急激な大角度変針の操船行動は観測されず、4時間当直の間に避航行動等に影響を及ぼす疲労はなかったと考えられる。

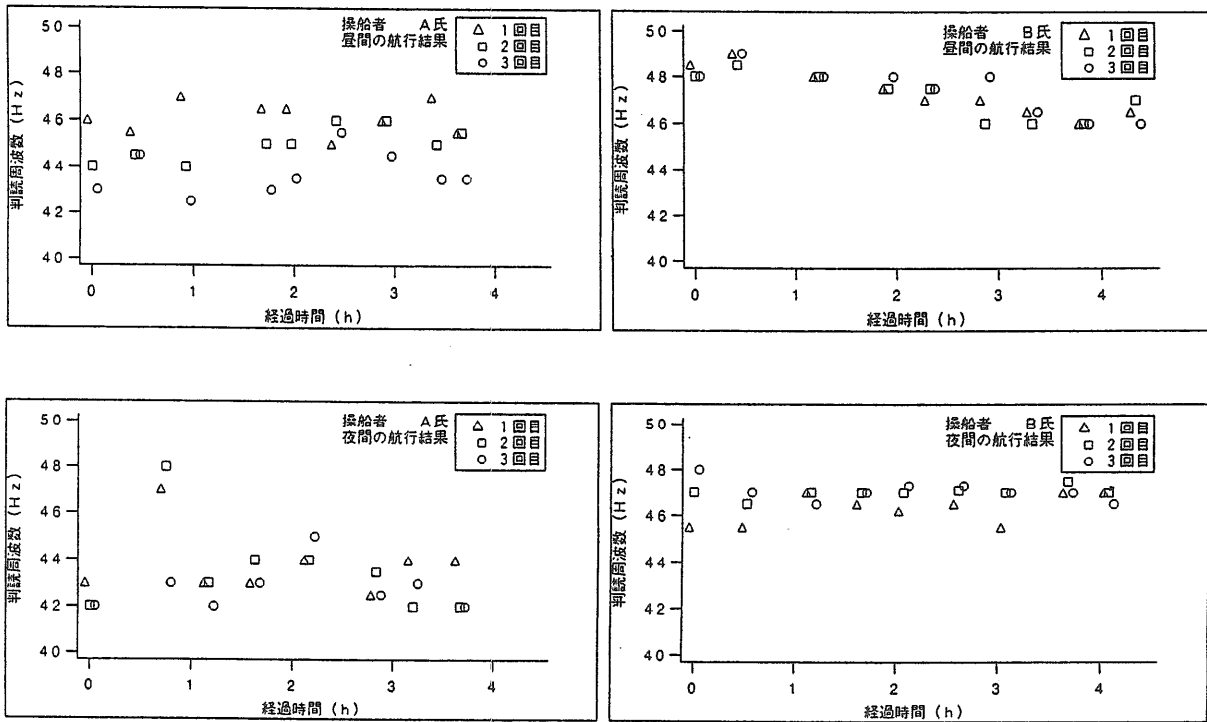


図4-5 フリッカテストの結果

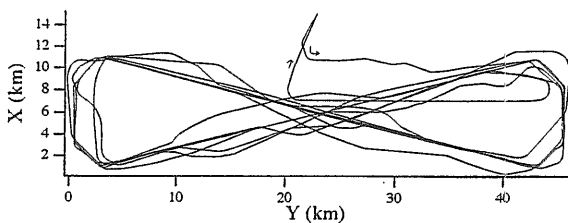


図4-6 高速航行実験の実際の航跡図例(夜間)

4) 高速航行の安全余裕による評価

高速航行の安全性評価は、ゆとりをもって作業ができたかと言うことである。高速航行の安全が一般船航行の安全と大きく異なる点は、一連の作業に必要な時間が、高速航行の安全を左右することである。

この実験では、通常海域での実験のため「安全の持ち時間」が長く、一連の操船作業の所要時間が疲労要因によって長くなることによって、持ち時間が安全を阻害するまでに少なくなるということは観測されなかった。また、疲労要因が一連の操船作業を誤らせることもなかった。しかし、高速船の速度を考えた場合、一人当直時の当直員の急病等のダウンに対処した体制を取ることは必要である。

5) 総合評価

今回は疲労要因の効果をみることを主とした長時間高速航行シミュレータ実験であったため、1人当直で

も安全な高速航行が可能と判断できるような評価が得られた。しかし、高速航行の安全モデルによる評価からは、疲労要因の影響を減らす支援の手段を講じることが要求されている。

4.3.2 長時間高速航行の安全性向上の方策

高速航行の安全を確保する支援システムのあり方は、疲労要因の低減、時間要因の低減と、操船における「検出-判断-操作」の一連の各作業の負担の低減を行うことに加えて、緊急時作業支援の処理マニュアルの整備が必要である。

4.3.2.1 疲労要因低減

高速航行における疲労要因のほとんどが、視覚情報の密度が高いことである。これらを低減するための方策は、次の通りである。

- レーダーやARPAの性能の向上をはかり、浮遊物に対する視覚情報の必要性を低減させる。
- 海上監視において、視覚情報の有無の第1次情報処理を行う装置の開発を行い、情報の最終判断だけを人間が行う。
- 長時間監視作業による疲労蓄積と休憩時の疲労回復のバランスがとれる当直時間を求める。
- 航路保持の機能は、オートパイロットやルートトラッキング機能を持つ機械にまかせ、人間の機能の余裕を作る。

#### 4.3.2.2 時間要因低減

緊急事態発生時の時間要因低減は、安全の持ち時間を増やすことである。これを低減するための方策は、次の通りである。

- 潜在的危険の顕在化を早期に的確に予知し、当直者に報知する。
- 危険回避の限界を広げるために、操縦性能等を向上する。
- 推力喪失や操舵不能といった緊急事態発生の可能性を常に考慮した操船を行う。
- 緊急事態発生時の対応処置作業を迅速に行うために、緊急時応援要員の出勤を速やかにできる体制をとる。

#### 4.3.2.3 操船支援作業

操作作業の支援も、操船性能の向上や操作機器の改良で達せられると考え、判断支援についての方策のみを述べる。

- 誤判断を避ける支援を最良とする。
- 選択可能ないくつかの戦術について結果を予測表示し、操船者に選択させる。
- 判断に時間がかけられない切迫した緊急時には、機械側が判断を選択し実行する。  
人間側が機械側の選択に対して優先介入する道は残す。
- 緊急時の操作支援の一つとして、マクロ命令の自動実行機能があれば有効と考える。

#### 4.3.2.4 緊急時処理作業支援

緊急時の処理マニュアルの整備が最重要であるが、考慮していなかった緊急事態の発生時に、どのように対処すべきかも明記すべきである。

- どのような種類と程度の緊急事態発生かを操船者に報知する。  
処理マニュアルにある処理のシーケンスを自動表示したり、音声で指示する。
- 事前に緊急時の処理の体験と学習をシミュレータで経験することは有効である。

#### 4.3.3 結果のまとめ

高速航行の長時間当直の安全性を評価するために、問題点を特に疲労の面に焦点をあててシミュレータ実験を行った。

長時間高速航行における結論は、以下のようである。

- 静穏時の通常海域の昼間、夜間の長時間航行は、適当な支援があれば、高速船は、一名当直で航行できるが、疲労は複数当直よりも大きい。
- 高速船の当直作業では、航行環境情報取得作業に多くの時間をかけている。

- 高速船用のARPAは、相手船の位置等、航行環境を正しく短時間で把握できるように支援すべきである。
- 一名当直の場合、高速船では当直員がダウンしている時には、外乱発生警報で控えの当直員がブリッジにきて処理をする時間的余裕は十分とは言えないので考慮する必要がある。

### 5. 内航タンカー近代化船を例とした適切な航行支援について

日本の産業を支える内航海運において、より高い安全性、効率性および労働環境の改善を目指した近代化船の開発が求められている中で、船橋における当直についても、適切な支援装置の導入によって操船者の負担を軽減し、安全性を高める必要がある。

#### 5.1 内航タンカー近代化船の狭水道航行における運航支援<sup>21)</sup>

狭水道航行における適切な支援のあり方を明らかにするために、潮流の強さ及び特殊な航行方法で有名な来島海峡を対象とした操船シミュレータ実験を行って、適切な支援装置の機能仕様を求めた。さらに、船長、操舵士、レーダー監視者からなる3人当直の役割分担をモデル化し、1人当直を、支援装置が船長以外の操舵士およびレーダー監視者の役割を分担するものとしてモデル化し、これを基に、狭水道航行における適切な支援の機能仕様を明らかにした。

##### 5.1.1 操船シミュレータ実験

狭水道航行における適切な運航支援のあり方を明らかにするために、適当なレベルの支援装置を備えたシミュレータ実験を実施し、実験結果を踏まえて、その支援機能に適宜改良を加えた。

##### 5.1.1.1 実験の概要

シミュレータ実験の海域として、強潮流、屈曲航路、航路の交差および横切り船等を考慮して、来島海峡を選定した。海岸線や島影等の船橋からの景観は、海図を基にビデオ等の取材結果を含めて、昼間および夜間の両方について作成した。潮流<sup>22)</sup>は、参考文献(22)の流況図から、タブレットを使って読み込んだ値を基に連続補間の方法で与えた。船舶交通流<sup>23)</sup>は、参考文献(23)の実態調査結果を基に、船種および大きさから、フェリー、貨物船、漁船等に割り振って、シミュレータ実験のシナリオに盛り込んだ。実験に使用した操舵スタンドでは、ジャイロリピータが船首方位を示し、レバー操作による手動・自動の切り替えによって、舵輪による舵操作とジャイロリピータ上の指示による針路保持が可能である。RADAR/ARPA装置として、ワークステーション上に、海岸線、法定航路、プイ、

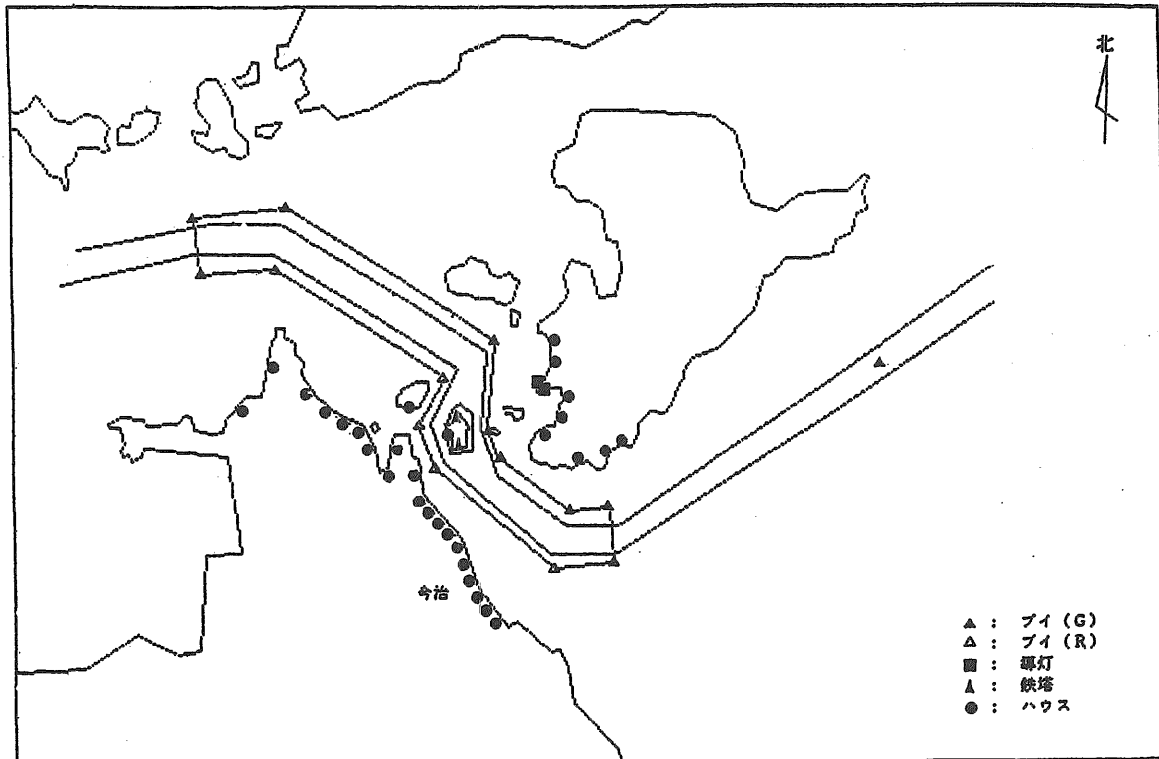


図5-1 来島海峡の海岸線および著目標と北流時の北航および南航の目標航路

潮流信号所等の海図上の著目標および自船の目標航路、船速、船首方位、他の通航船の位置と速度ベクトルを情報として表示した。なお、同装置の操作は、単純化のためにマウスおよびスペースバーだけとした。

通常の右側通行の北流および航路が交差する南流のそれぞれについて、北航および南航、昼間および夜間のそれぞれについて実験シナリオを設定した。

図5-1に、シミュレータに表現した海岸線、ブイ、導灯、鉄塔等の位置と北流時の北航および南航の目標航路を併せて示す。北航時のシナリオに従って操船された実験結果として、図5-2(a)に、実際の航跡図、図5-2(b)に舵角、旋回速度、針路および船速の時系列データを示す。

#### 5.1.1.2 実験の方法

上記のシナリオを、来島航路の通航経験が十分にある熟練した船長2人に交互に被験者となっていただき、3000GT相当のタンカーを単独で操船し、運航支援装置の操作性や提供情報のあり方について、シミュレータ実験の各局面に応じた意見をもらった。これらの意見は、適宜、支援装置の仕様に組み込むとともに、実験期間中に実現が難しい仕様については、補助者がその機能を代行することとした。このように、実験と支援装置の改良を繰り返し、最終的に、狭水道航行における運航支援のあり方を明らかにした。以下に、その

主な検討過程と改良点を示す。

- (1) 操作入力：当初キーボード入力であったが、希望する機能を得るためのキーをキーボード上で探す必要があったので、これを画面上のボタンをマウスで選択する方式に改良した。しかし、ワンタッチで操作できるためには、ボタンの位置、大きさ表示形式等にさらに配慮する必要があり、実験の最終段階では、補助者を介した音声入力とし、その有用性を確認した。
- (2) 情報の表示法：ARPA表示と海岸線および海図上の著目標を重畳した表示について、当初は、相手船、海図情報および目標航路を重ねて表示していたが、基本的には相手船の情報を優先することが重要であり、必要なときに海岸線、目標航路等の表示を重ねる仕様にする必要が指摘された。実験においては、相手船以外の表示の輝度を下げるとともに、変針点での目標方位等の数値情報は必要な場合のみ表示することで対応した。
- (3) 表示情報の内容：強潮流時においては、自船の対地船速ベクターの表示が有用であるとの指摘があり、ARPA表示の自船ベクターとして明に表示し、船首方位は輝度を下げて表示した。その他の高度な支援として、目標航路に沿って変針することを想定した変針後の情報を得るためのセンチフトやシミュレーション機能が必要であること等が指



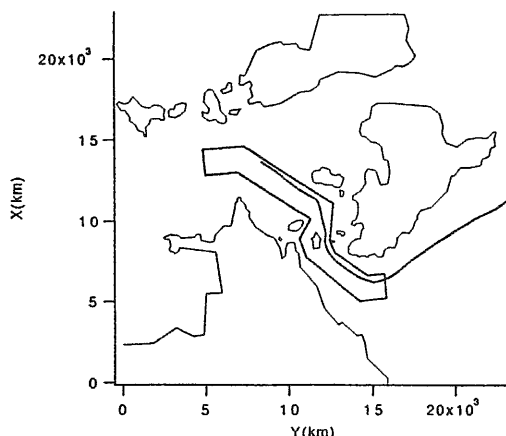


図5-2(a) 北流北航シナリオでの実際の航跡図

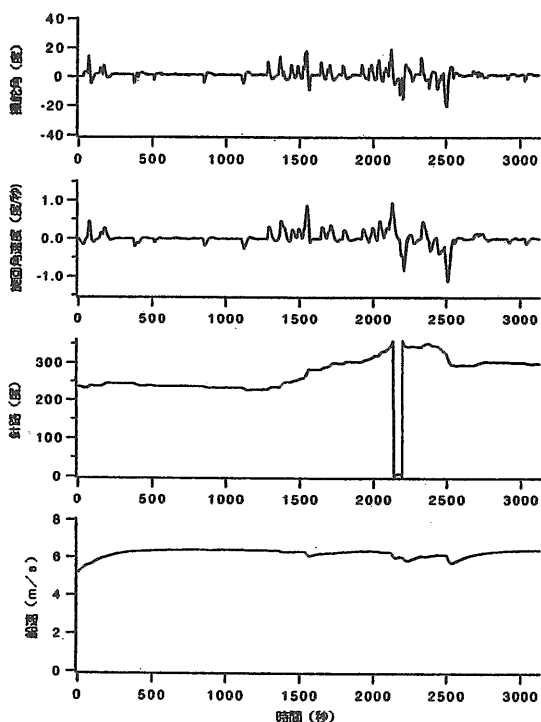


図5-2(b) 北流北航シナリオでの実験結果例  
— 一時系列データ

摘された。また、予定航路上の通過点で適時、適切な運航支援情報を提供するだけでなく、熟練者の知識に基づいたその点での注意すべき事項等を操船者に通報することも経験の伝承という意味で有用であるとの指摘があり、本実験期間中の確認はできなかったが、これらは今後実現すべき重要な機能として採用した。

### 5.1.2 狭水道航行における支援装置の機能仕様

シミュレータ実験の結果から得られた狭水道航行における支援装置の機能や操作性等に対する意見をまとめると次のようになる。

#### (1) 操作性

狭水道における見張りに専念するために、機能や表

示の選択の操作を音声によるノータッチ、または、ワンタッチで実現できることが必要。多数のキーから操作に必要なボタンを選択することは望ましくない。

#### (2) 情報表示

航行の各局面毎に、必要最小限の情報を表示する。多くの情報の中に必要な情報が埋もれないようにする必要がある。付加的な表示を要求する際にも、(1)の操作性の要件を満たすことが必要である。

#### (3) 支援機能

予定航路上での自船の状況、現在の状況および将来の予定や予測情報の表示、衝突危険船の報知と避航操船の提示、座礁危険の報知と避航操船の提示、予定航路上の通過点に応じた情報表示形態の自動選択等の支援があれば、さらに余裕のある航行が可能となる。

具体的な意見として、強潮流下でのオートパイロットの有効性、ARPA上でのシミュレーション機能の充実、ARPA表示におけるレンジとベクトル長さの連動、予定航路上の各時点における適切な支援情報、例えば変針点前での変針後の他船との見合い関係に関する情報の提供の必要性が述べられた。また、自動航路保持については、狭水道に特有なものとして、強潮流による針路の大きな振れを自動的に補償できれば有効な支援であるが、それでも横からの強潮流下で航路を保持する際には、船首方位が航路の外側を向いたり、反航船の前方に向いたりする場合があります、これらを守る機能を自動航路保持に組み込む必要性が述べられた。

これらの、意見を基にすると、狭水道航行を単独で行う場合に必要な支援の主機能は次のようになる。

- (1) 操舵支援：潮流の影響を考慮した針路保持および航路保持、
- (2) 危険船情報支援：衝突の危険のある船舶について、方位、距離および最適避航手段等の提供、
- (3) 座礁防止支援：法定航路または推奨航路からの逸脱、予定航路からの偏差等の報知、さらに、
- (4) 見張りに専念させるための支援：目視による見張りを中断することなく上記の支援が得られることが必要である。

これらの機能仕様が現時点ですべて満足されることは非常に難しいが、現実には、これらの支援機能の達成度に応じた当直体制をとることによって、狭水道航行における安全余裕が確保できると考える。

### 5.1.3 適切な支援装置を備えた一人当直のモデル

実験結果から得られた狭水道航行における支援装置の機能仕様を基に、狭水道航行を船長、操舵士およびレーダー監視者の3人当直を基本とした役割分担を想定し、船長以外の2人の役割を支援装置が分担することとして、1人当直をモデル化した。このときに支援装置が受け持つ役割は次のようになる。

- (1) 操舵士の役割は、船長の指令に基づく針路保持、航路保持、避航操船の実施であり、これに船長との意思の疎通および誤り訂正機能が加わる。
- (2) レーダー監視者の役割は、他船の航跡をプロットし、衝突危険船を判断し、船長に伝える。また、海岸線、可航域、法定航路および自船の予定航路等と自船との位置関係から座礁危険等を判断し、船長に伝える。船長の要請に応じて詳細な情報を提示するとともに、重点的な監視項目を変更する。さらに、船長との意思の疎通および誤り訂正機能が加わる。
- さらに、
- (3) 船長の判断や操作を支援するために、予定航路上の各局面に応じた情報表示モードの自動選択や、目標航路からの偏差の表示等の機能が必要である。これらの機能は、当直者が見張りに専念できるように音声入出力によるノータッチ操作と状況に適合した情報の提供を基本とする。また、単独で当直を行うことによって生じる誤判断や誤操作等を防止する手段を講じる必要がある。

#### 5.1.4 結果のまとめ

1人当直を仮定した支援のあり方の検討を基に、狭水道航行を対象とした運航支援装置の仕様を明らかにした。これは、1人当直に限らず、2人以上の当直体制においても有効な支援が余裕をもたらすことによって安全が確保できるという考えに基づいたものである。現在、ワンマンブリッジオペレーションについて検討がなされているところであるが、支援装置の機能は単にこれを構成する要素機能の検討だけではなく、複数人の当直体制で行われている作業のモデル化を基に実際の当直者の余裕を確保するという観点から検討する必要があると考える。さらに、近代化船のように現行システムより高度の安全性や労働環境を実現する必要がある場合には、現在より優れた安全性や労働環境として作業をモデル化し、これに対応した支援装置の機能仕様を実現する必要がある。

しかし、これらの機能仕様は、必要条件から求めたものにすぎず、実船での運用を通じて実用システムとして十分なものに作り上げられなければならない。今回のようなシミュレータ実験を用いた手法は、第1段階としての機能仕様を明らかにすることに有効であるとともに、改良段階における実船での経験の補完にも有効であると考えられる。

## 5.2 内航タンカー近代化船の長時間航行の安全確保支援<sup>19)</sup>

乗組員の高齢化と人手不足の対策としてワンマンブリッジと改良された支援機器を搭載する内航近代化船においても、長時間航行のための安全性を確立する必

要があるが、長時間航行における当直体制、備えるべき支援機器の機能等ははまだ詳細に議論されていない。長時間航行の安全性を航行シミュレータを用いて評価し、長時間航行の安全を担保するための方策について考察する。

### 5.2.1 シミュレータ実験

実験は、3000トンの内航タンカー近代化船が、通常海域を一人当直で長時間航行する場合の安全を評価するデータを収集するために実施した。実験海域は、4.1の高速航行の実験で述べた同じ8の字の海域である。以下に実験の概要、手順について述べる。

#### 5.2.1.1 実験の概要

長時間航行における当直者の機能、必要な作業、作業分担、問題点の抽出、および、安全評価法、支援システムの評価法が明確になるように、実験は1人当直で行い、安全性評価の結果から長時間航行に必要な支援システム及び妥当な当直体制を検討する。

#### 5.2.1.2 実験の手順

長時間航行のシミュレータ実験は、次の手順で行った。

- シミュレータ実験は、1日目が慣熟運転、2日目は昼間の景観、3日目は夜間の景観で行った。
- 当直は1人で3時間とし、前半の被験者は出港から次の当直引継までを、後半の被験者は当直引継から入港までを行った。
- 航行の安全を阻害する外乱として、実験者側が別室から任意に発生、操船できる通常航行をする他船(貨物船)を発生させて、任意の見合い関係を生じさせ、必要に応じて避航せざるを得ない状況を作った。
- 実験で用いた航行支援装置は、ARPA機能(簡易電子海図の模擬として、航路、港の海岸線をあわせて表示する。)を備えている。
- 自船の操縦性能は、3000トンのタンカーである。

#### 5.2.1.3 実験の進め方

前述のように、実験の進め方は、重い作業負担(一人当直、他船との難しい遭遇、使い勝手や機能が不十分な支援機器など)を課した一種の過負荷実験である。

安全評価に用いたデータは、実験結果や被験者であるベテランの船長からアンケートやインタビューを通して抽出した、航海に関する知識、近代化船が備えるべき機能の要求、航行の評価など、および実験者側からみた主観的な評価である。

通常海域の長時間航行の安全評価は、4.3.1で述べた①、②、③、の項目を確認できたときに、安全に航行できるとする相互補完の考え方で次の項目を検討す