

シミュレータ実験による大型高速船の運航体制評価

(その1：昼間の航行)

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**	

Evaluation of Navigation System of Large High Speed Vessel
with Simulator Experiment (Part 1 : Day Time Navigation)

by Fujio Kaneko, <i>Member</i>	Yujiro Murayama
Yasuyoshi Ito	Kunihiko 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

Several navigation systems of large high speed vessel were evaluated by the evaluation method introduced in the former paper titled "An Evaluation Method of Navigation System of Large High Speed Vessel in Congested Water Area". The main components of these navigation systems are radar, ARPA, information aid of a navigation assistant.

In this paper, first the limit density of running ships was obtained by simulator experiments. The value is 6 ships/nm². Next by the simulator experiments on the scenarios with traffic condition of 6 ships/nm² and several navigation systems to be examined the effectiveness of the navigation systems was evaluated.

By the evaluation the effectiveness of ARPA and information aid for collision avoidance decision from a navigation assistant can be pointed out. And when the index is only the limit distance to start collision avoidance, the examined large high speed craft may be able to run in the area density of which is smaller than 6 ships/nm² at 50 knots, and the most effective navigation system would be composed of RADAR the period of which is 3 second, ARPA, information aid for collision avoidance decision from a navigation assistant.

1. は じ め に

著者等が開発した大型高速船の運航体制評価手法に従

い¹⁾, 大型高速船の昼間の運航を想定した運航体制の評価を実施した。検討対象となる運航体制を構成する主な要素は, レーダ, ARPA, 援助者による支援である。

まず, 文献1)で求めた評価基準量(避航開始限界距離)を満足する限界航行密度を求め, 次に, その航行密度の交通環境を数種類作り, 幾つかの運航体制とともにシナリオを作成して, シミュレータ実験を実施した。その後, それらの実験から得られた避航データより評価基準量で基準化

* 船舶技術研究所

** 東京商船大学

原稿受理 平成5年7月9日

秋季講演会において講演 平成5年11月9, 10日

して求めた評価量, および操船者に実施したアンケート結果を用いて運航体制の評価を実施した。

なお, シミュレータ実験で使用したレーダおよびARPA模擬装置は文献1)で言及したものであり, レーダは他船の真の位置を点で表示し, ARPAは, レーダ画面上の他船の点から真の速度ベクトルを表示する。

2. 限界航行密度

2.1 シナリオ

他船の航行密度を2隻/nm², 4隻/nm², 7.5隻/nm²とした交通環境を実現するシナリオを, それぞれの航行密度での避航回数になるべく同数に近くなるようにそれぞれ3通り, 2通り, 1通り作成した。他船として小型船(船長50m)のみを発生させた。また, これらのシナリオにおける運航体制は, 標準的な運航体制として要素として周期3秒のレーダ, ARPA, 援助者1名による情報支援から構成される。

なお, これらのシナリオによる実験の後, これらの実験結果を基に設定した限界航行密度6隻/nm²の妥当性を検証するため, 6隻/nm²の航行密度でのシナリオを作成し実験を行った。

2.2 実験方法

上記のシナリオをランダムな順番で選びシミュレータ実験を行った。

以下に各実験における実験方法を示す。

◆操船者は操船卓に, 操船援助者はレーダ模擬装置の前につく (Fig. 1)。

◆操船者は操船補助者の支援を受けながら, 南北方向 (シミュレータ実験開始時点で, 自船が向いている方向) のブイの列に沿い, 以下に示す避航開始限界距離¹⁾以速で避航開始するよう努力しながら, 約10分間操船する。

対小型船前方: 1000 m

対小型船後方: 600 m

◆避航を開始する際, 操船者は「右…度の船を右に避航する」等と言う。

◆操船援助者は情報支援を行う。伝達すべき情報を以下に

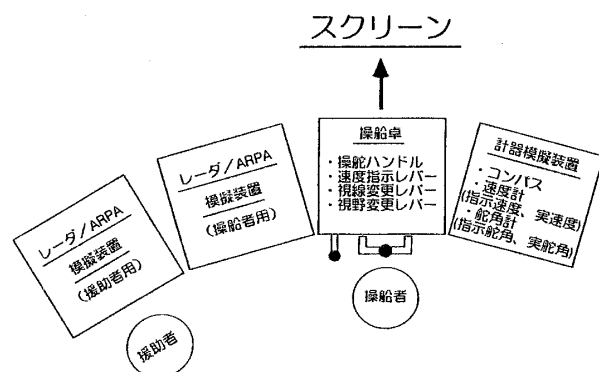


Fig.1 Layout of the simulated bridge in simulator experiments

示す。

・注意すべき, あるいは衝突危険があると操船援助者が判断した船舶の位置, 向き等

・操船者から問い合わせのあった船舶の位置, 向き等

◆各実験が終了する毎に, アンケートに答えていただくとともに, 前回の実験での避航した時点における自船中心, 鉛直上方向がその時点での自船の進行方向の他船の相対船位図に, 避航した他船を確認してその船に印をつけていただく。

なお, 本実験前には慣熟実験を行い, 大型高速船の操船感覚, 景観画像における他船の見え方等に慣れていただいていた。

2.3 実験結果

Fig. 2 に避航開始時点における避航された他船を中心にした自船 (大型高速船) の相対位置を, 航行密度毎にまとめて示す。それらの図で, 鉛直上方は避航された時点における他船の進行方向である。また, 避航を開始した地点を○で囲み, その後の航跡を描いている。

また, Table 1 にアンケート結果を示す。Table 1 でわかるように, アンケートでは, 交通環境および操船における困難さについて操船者の主観的評価を尋ねている。

Fig. 2(a)~(c)より, 航行密度2隻/nm², 4隻/nm², 7.5

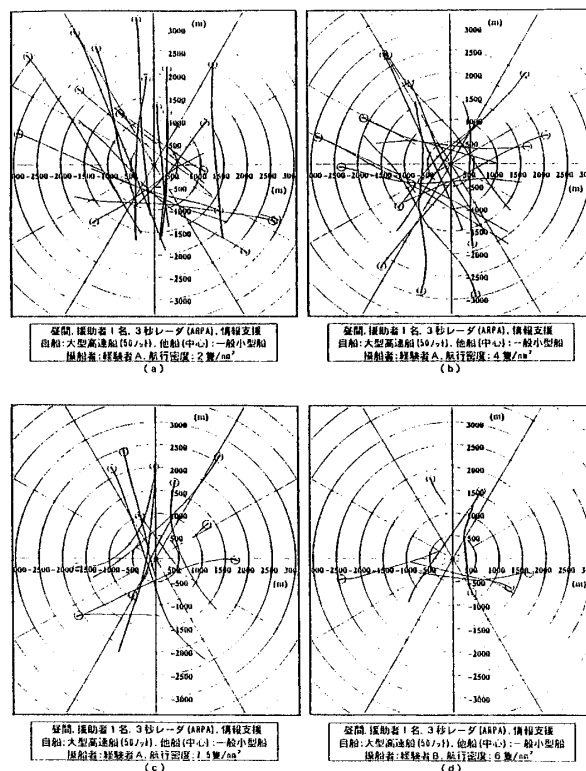


Fig.2 Points of starting collision avoidance action obtained by simulator experiments which were carried out to get the limit density of running ships

Table 1 Result of questionnaires to the operator at the simulator experiments which were carried out to get the limit density of running ships

実験 番号	自船	航行 密度 隻/m ²	シナリ オ中の 縦横度 の差	縦横 場面の 連続性	東京湾 と比較 した 混雑さ	相手に 脅威を 与えた か	与えた 脅威の 種類	操船の 困難な 場面の 差	操船の 困難な 場面の 連続性	困難 な 場面 数	なぜ困難に感じたのか(回数)			一番 限界の どこまで 判断でき たか	それはどの 支援が役立 った結果か	全体 中の 限界 遵守	この縦横 度は大型 高速船航 行可能か
											情報	判断・行動・船舶	環境				
①	大型高速船 50ノット	4	あまり 大きく なかつ た	かなり 連続し ていた	東京湾 以上に かなり 混雑	少し 与えた	相手 船首に 自船を 向けた	大き かった	かなり 連続し ていた	3回	目視による収集困難(2) レーダによる収集困難(3)	遊航判断が困難(1)	周りの遊航スペース不足(1) 同時考慮の船が多い(2) 困難な出会いが連続(1)	質問 せず	質問 せず	質問 せず	質問 せず
②	大型高速船 50ノット	2	小さ かった	ほとん ど連続 してな かった	それ以 下に非 常にす いてる	全く 与えな かった	—	小さ かった	ほとん ど連続 してな かった	0回	—	—	—	質問 せず	質問 せず	質問 せず	質問 せず
③	大型高速船 50ノット	2	大き かった	ほとん ど連続 してな かった	東京湾 以下に 少しす いてる	かなり 与えた	自船 行動の 伝達が 不明確	大き かった	あまり 連続 してな かった	1回	目視による収集困難(1)	遊航判断が困難(1)	周りの遊航スペース不足(1)	質問 せず	質問 せず	質問 せず	質問 せず
④	大型高速船 50ノット	7.5	小さ かった	かなり 連続し ていた	東京湾 以上に かなり 混雑	かなり 与えた	相手 船首に 自船を 向けた	小さ かった	かなり 連続し ていた	5回	目視による収集困難(4) レーダによる収集困難(3)	遊航判断が困難(3) 判断時間の不足(2) 遊航操船が困難(1) 自船の操縦性能不足(1)	周りの遊航スペース不足(3) 同時考慮の船が多い(4) 困難な出会いが連続(3)	質問 せず	質問 せず	質問 せず	質問 せず
⑤	大型高速船 50ノット	2	あまり 大きく なかつ た	ほとん ど連続 してな かった	それ以 下に非 常にす いてる	ほとん ど与え なかつ た	—	あまり 大きく なかつ た	ほとん ど連続 してな かった	0回	—	—	—	質問 せず	質問 せず	質問 せず	質問 せず
⑥	大型高速船 50ノット	4	あまり 大きく なかつ た	ほとん ど連続 してな かった	東京湾 以上に 少し 混雑	ほとん ど与え なかつ た	—	小さ かった	ほとん ど連続 してな かった	0回	—	—	—	質問 せず	質問 せず	質問 せず	質問 せず
⑦	大型高速船 50ノット	6	大き かった	かなり 連続し ていた	東京湾 以上に かなり 混雑	ほとん ど与え なかつ た	航路距 離が短 すぎた	大き かった	あまり 連続 してな かった	2回	—	—	周りの遊航スペース不足(1) 同時考慮の船が多い(1)	どちら ともい えず	相手船へ の影響を 考慮した 遊航判断	ARPAの使用 できた	条件付き で可能

隻/nm²において遊航開始限界距離を遵守できなかった例は存在しないことがわかる。しかし7.5隻/nm²においては、遊航開始限界距離すれすれで遊航開始した例が存在すること、また、アンケート結果より、それ以外の航行密度の場合に比べて操船者が感じる困難さがかなり大きいこと等より、限界航行密度を4隻/nm²と7.5隻/nm²のほぼ中間で切りのいい数である6隻/nm²とした。また、運航体制評価実験が終了してから実施した6隻/nm²の実験(Fig. 1(d))では、操船者は別であるが、遊航開始限界距離が遵守されており、かつ心理的にも7.5隻/nm²の場合ほどの困難さを感じてはいないことがわかるため、限界航行密度を6隻/nm²としたことは妥当であったと思われる。

2.4 対象海域の航行密度との比較

文献1)で述べたように、本研究では対象海域を東京湾としており、ここで得られた限界航行密度6隻/nm²は文献1)にある東京湾の航行密度と比較すると、単純航行密度において浦賀水道の分離航路(北航)の最大航行密度(6.75隻/nm²)より少し低く、また、東京湾横断道路西水路の最大航行密度(5.01隻/nm²)より少し高い。また、 L 換算した数値で比較すると、この実験で使用した他船である小型船は船長50mの貨物船をモデルにしているため、文献1)にある算式より総トン数は366トンとなるので換算係数換算係数は1¹⁾であり、換算後の航行密度は単純航行密度と同じになることを考慮すると、浦賀水道の L 換算の平均航行密度(6.72隻/nm²)より少し低く、東京湾横断道路の西水路の最大航行密度(4.25隻/nm²)よりかなり高いことがわかる。

以上より、ここで導出した限界航行密度(6隻/nm²)は、東京湾に比べると最も輻輳している海域の平均的な値より高いが、最も輻輳している海域の最大値に比べるとそれよ

り低いと言える。

したがって、運航体制評価実験を行い運航体制を評価することには意味があることになり、3章以下でそれを行う。

3. 運航体制評価実験

3.1 シナリオ

ここでは、運航体制として、レーダ(3秒周期、1秒周期)、ARPA(有、無)、操船援助者による支援(情報支援、判断支援)の組み合わせによるものを考える。これらの組み合わせは15通りできるが、実際に運航体制として実現可能性のあるものを、実験回数の制限等を考慮し、それらによる支援が全くないものを含めTable 2にある5種類を検討した。

レーダ、ARPA、操船援助者による支援の他の支援手段として、高速船情報の表示(レーダ画面上に一般船とは異なる色で表示)、また、高速船の航行レーンを示すブイを景観画像中に設置し、さらに電子海図を想定してそれらのブイの位置をレーダ画面上に船とは異なる色で表示した

Table 2 Examined items of the navigation systems and experiment number

		レーダ					
		なし	周期 3秒		周期 1秒		
			ARPA あり	ARPA なし	ARPA あり	ARPA なし	
援助者による支援方法	なし	運航体制A (4ヶ-ス) ①、⑤、⑬、⑯					
	情報支援	運航体制D (4ヶ-ス) ⑥、⑩、⑭、⑮	運航体制B (3ヶ-ス) ②、④、⑪			運航体制C (3ヶ-ス) ③、⑧、⑫	
	判断支援	運航体制E (3ヶ-ス) ⑦、⑨、⑰					

(Table 3)。しかし、これらについての検討のための実験は行わない。

交通環境として、航行密度 $6 \text{ 隻}/\text{nm}^2$ で、船種は、文献 1) で言及したように、小型船が 70%，中型船が 20%，大型船が 10% である (Table 4)。この場合、L 換算の航行密度は、 $12.6 \text{ 隻}/\text{nm}^2$ である。また、他船高速船として、ジェットフ

Table 3 Common items among the navigation systems

援助者の数	1人 (運航体制Aではなし)
相手高速船に 関する情報	あり (運航体制Aではなし) レーダ画面に一般船と異なった色の点で表示される。
ブイ	高速船の専用航路を示すために設置。 南北方向、東西方向それぞれ間隔 1 nm、2 秒明、2 秒暗。 レーダ画面には、船舶と異なった色の点で表示される。

Table 4 Traffic condition

他船交通流	非整流
交通流の密度	$6 \text{ 隻}/\text{nm}^2$
他船の船種	大型船 (船長 209 m、バルクキャリア) 全船の 10%
	中型船 (船長 100 m、一般貨物船) 全船の 20%
	小型船 (船長 50 m、一般貨物船) 全船の 70%
	ジェットフォイル (50 ノット) 2 隻
	大型高速船 (50 ノット) 1 隻

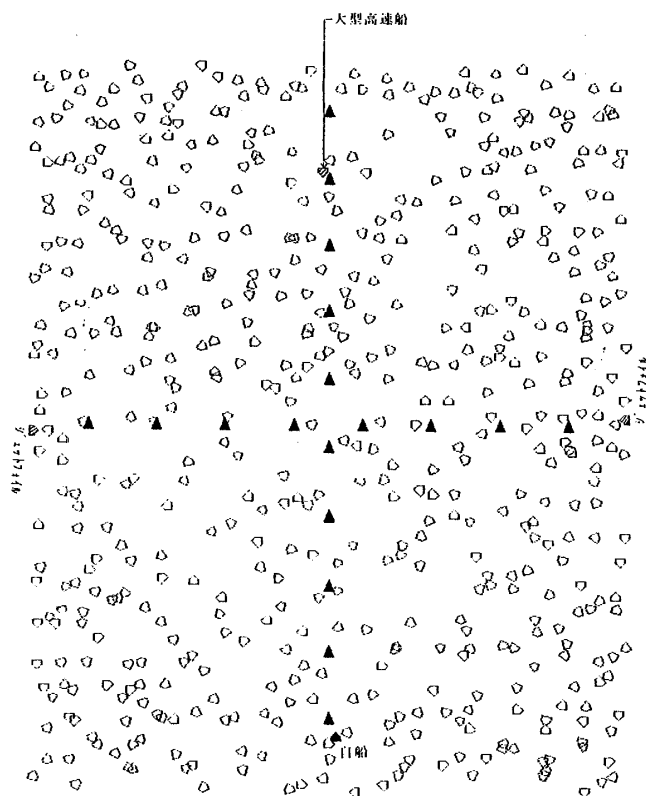


Fig. 3 An example of traffic condition

ォイル 2 隻、自船と同じ大型高速船 1 隻を発生させている。ジェットフォイルは東西方向のブイに沿って航行し、大型高速船は南方向のブイに沿って南航し自船に対して反航する。交通環境の 1 例を Fig. 3 に示す。Fig. 3 において▲はブイを表わしており、ブイの間隔は 1 nm である。

3.2 実験方法

上記のシナリオ (①～⑱) をランダムな順番で選びシミュレータ実験を行った。

以下に各実験における実験方法を示す。

- ◆操船者は操船卓に、操船援助者はレーダ模擬装置の前につく。
- ◆操船者は操船補助者の支援を受けながら、南北方向 (シミュレータ実験開始時点で、自船が向いている方向) のブイの列に沿い、以下に示す避航開始限界距離¹⁾以上で避航開始するよう努力しながら、約 10 分間操船する。

前方 後方

対小型船: 1000 m 600 m

対中型船: 1250 m 800 m

対大型船: 1500 m 1000 m

- ◆避航を開始する際、操船者は「右…度の船を右に避航する」等と言う。
- ◆操船援助者は以下に示す情報を、適宜操船者に伝える。
(情報支援の場合)
 - ・注意すべき、あるいは衝突危険があると操船援助者が判断した船舶の位置、向き等
 - ・操船者から問い合わせのあった船舶の位置、向き等
(判断支援の場合)
 - ・情報支援の場合の情報
 - ・空いている水域の情報
 - ・どの他船をどのように避航すべきか
 - ・避航方法によるその後の航行のしやすさ
 - ・全体を見通した場合の効率的な航行方法

等

- ◆各実験が終了する毎に、アンケートに答えていただくとともに、前回の実験での避航した時点における自船中心、鉛直上方向がその時点での自船の進行方向の他船の相対船位図に、避航した他船を確認してその船に印をつけていただく。

なお、本実験前には慣熟実験を行い、大型高速船の操船感覚、景観画像における他船の見え方等に慣れていただいた。

3.3 実験結果

Fig. 4 に避航開始時点における避航された他船を中心にした自船 (大型高速船) の相対位置を、また、Fig. 5 に避航開始限界比 (避航開始距離を船種、接近方向毎の避航開始限界距離で割った値) のヒストグラムを運航体制毎にまとめて示す。Fig. 4 において、鉛直上方は避航された時点における他船の進行方向である。また、避航開始地点に S とあ

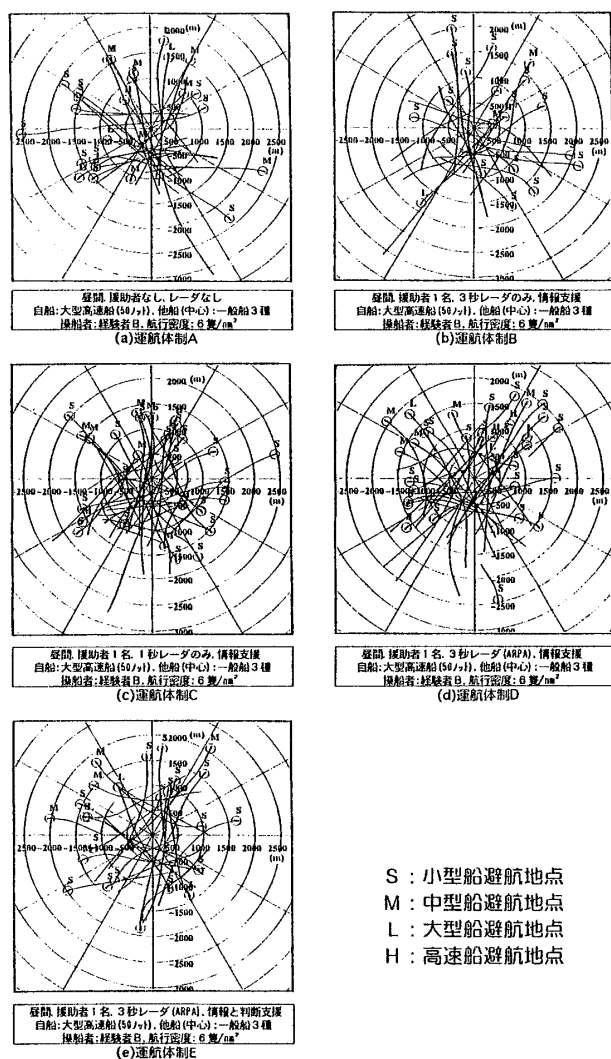


Fig. 4 Points of starting collision avoidance action obtained by simulator experiments which were carried out to examine the effectiveness of the navigation systems

るのは小型船を, M とあるのは中型船を, L とあるのは大型船を, H とあるのは高速船を避航したことを意味する。

また, Table 5 にアンケート結果を示す。アンケートでは, 運航体制の要素である種々の支援手段の有効性について, また, 交通環境, 操船における困難さ等についての操船者の主観的評価を尋ねている。

4. 運航体制の有効性評価

4.1 避航開始距離の分散分析による評価

分散分析 (1 元配置) で用いた数値は以下のものである。

(1) 避航開始限界比

この値は文献 1) で言うところの評価量である。ただし, 0.8 未満の数値は避航開始失敗として分散分析には用いなかった。避航開始の失敗は, 避航方法がなかなか見出せない等の避航が非常に困難な状況に遭遇したことが原因とも

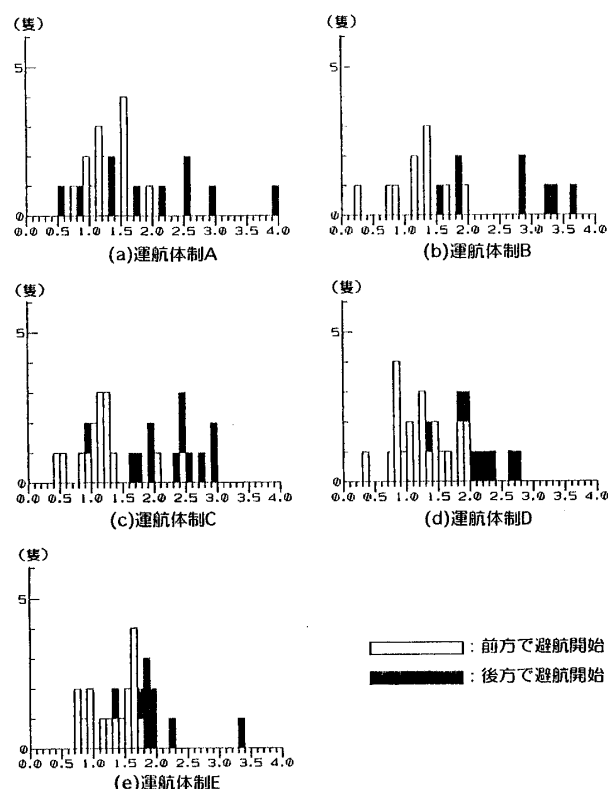


Fig. 5 Histogram of the starting collision avoidance limit ratio (ratio of distance between collision avoiding action start point and avoided ship to the limit distance)

考えられ, その値も分析で使用すれば運航体制のレベルによる違いを隠すことになりかねないからである。避航開始の失敗を 0.8 未満にした理由は, 避航開始限界距離を求めた実験結果では標準偏差が平均値の 2 割ほどあり, 避航開始限界距離を守ったつもりでもそれぐらいのずれは生じ得ると判断したことである。さらに, シミュレータ実験開始直後で判断に十分な時間がかかることができないうちに避航せざるを得なかったデータおよび高速船を避航したデータは除いた。

(2) 避航開始失敗率

これは, 避航開始の失敗の数を避航を実施した回数で割った値である。ただし, その回数には, シミュレータ実験開始直後で判断に十分な時間がかかることができないうちに避航せざるを得なかった場合は含まない。避航開始の失敗は, 交通環境の困難度の違いが主な原因と考えられる場合もあるが, 運航体制のレベルの違いがその原因であることも考えられる。それで, この値で分散分析を行うことは, 両者の影響を含めた違いを検定することになる。また, この値は, 評価基準量を求めているため評価量ではないが, すべての実験において交通環境の困難度が一定であれば, 運航体制の有効性を示す数値と考えられる。

ここでは, まず 5 種類の運航体制の各々を組とした場合

Table 5 Result of questionnaires to the operator at the simulator experiments which were carried out to examine the effectiveness of the navigation systems

実験 番号	航行 密度 隻/nm ²	交通 環境	他船 の 混雑	ARPA	レーザ 周期と 高速船 の情報	援助 者の 支援 内容	操船 の 困難な 場面 の 差	避航開始 距離の 厳守	操船 の 困難な 場面 の 連続性	困難 な 場面 数	なぜ困難に感じたのか	東京湾 と比較 して	見合い 関係は	いちばん操船が困難なところでは 避航可能 なバース は	同時考 慮の船 は	周囲に 脅威を 感じ ていた か	どこまで判 断していた か	前項目の判断レ ベルになるた めに、役に立 った支援	判断の範囲を広げる ために、必要な支援
①	6	A	-	-	-	-	小さ かった	できた	ほとんど 連続して なかった	0回	困難と思わなかった。	あまり 複雑し ていな かった	簡単な 見合い 関係だ った	かなり あつた	ほとん ど与え なかつ た	ほとんど 与えな かつた	相手船へ の影響を 考慮し た避航判 断	ARPAが使えること	
②	6	H	-	-	3秒 ○	情報 支援	あまり 大きく なかつ た	できた	あまり 連続し ていな かった	2回	目視の情報収集が困難 避航判断が困難 行動開始の遅れ	それ以 上に少 し複雑 してな かつた	簡単な 見合い 関係だ った	かなり あつた	多かつ た	少し 与えた	相手船へ の影響を 考慮し た避航判 断	ARPAが使えること	
②	6	H	-	-	3秒 ○	情報 支援	あまり 大きく なかつ た	できた	あまり 連続し ていな かった	2回		それ以 上に少 し複雑 してな かつた	あまり 難しく はなかつ た	あまり あつた	多かつ た	少し 与えた	航行海域 内の主観 的最近の 通過パス の考慮	ARPAが使えること	
③	6	K	-	-	1秒 ○	情報 支援	大き かった	できな かつた	かなり 連続し ていた	2回	レーザの情報収集が困難 判断時間が不足 操縦性能が不十分	それ以 上に少 し複雑 してな かつた	あまり 難しく はなかつ た	あまり あつた	多かつ た	少し 与えた	航行海域 内の主観 的最近の 通過パス の考慮	情報支援があつた こと	ARPAが使えること 援助者との意志疎通 の改善
③	6	K	-	-	1秒 ○	情報 支援	大き かった	できな かつた	ほとんど 連続し てなかつ た	2回	レーザの情報収集が困難 操縦性能が不十分	それ以 上に少 し複雑 してな かつた	あまり 難しく はなかつ た	あまり あつた	多かつ た	少し 与えた	相手船へ の影響を 考慮し た避航判 断	情報支援があつた こと 高速船情報が予め わかっていたこと	援助者との意志疎通 の改善
④	6	I	-	-	3秒 ○	情報 支援	大き かった	できな かつた	あまり 連続し ていな かつた	1回	目視の情報収集が困難 避航判断が困難 操縦性能が不十分	それ以 上に少 し複雑 してな かつた	あまり 難しく はなかつ た	ほとん どなかつ た	多かつ た	かなり 与えた	目先の避航 判断のみ	ARPAが使えること	
⑤	6	B	-	-	-	-	あまり 大きく なかつ た	できた	ほとんど 連続し てなかつ た	0回	得られる情報が不十分 レーザが必要	あまり 複雑し ていな かつた	簡単な 見合い 関係だ った	かなり あつた	ほとん ど与え なかつ た	ほとんど 与えな かつた	相手船へ の影響を 考慮し た避航判 断	レーザが使えること	
⑥	6	D	-	○	3秒 ○	情報 支援	大き かった	どちら ともい えない	かなり 連続し ていた	3回	目視の情報収集が困難 操縦性能が不十分	それ以 上に少 し複雑 してな かつた	あまり 難しく はなかつ た	あまり あつた	多かつ た	少し 与えた	相手船へ の影響及び海 域内の通過 パスの考慮	ARPAが使えたこと	
⑥	6	D	-	○	3秒 ○	情報 支援	大き かった	どちら ともい えない	かなり 連続し ていた	3回	目視の情報収集が困難 操縦性能が不十分	それ以 上に少 し複雑 してな かつた	あまり 難しく はなかつ た	あまり あつた	多かつ た	少し 与えた	相手船へ の影響を考慮 した避航判 断	ARPAが使えたこと	
⑦	6	F	-	○	3秒 ○	情報 + 判断 支援	あまり 大きく なかつ た	どちら ともい えない	かなり 連続し ていた	4~5回	避航判断が困難 操縦性能が不十分	かなり 複雑し ていな かつた	あまり 難しく はなかつ た	あまり あつた	多かつ た	少し 与えた	目先の避航 判断のみ	ARPAが使えたこと	判断支援内容の高度 化
⑦	6	F	-	○	3秒 ○	情報 + 判断 支援	あまり 大きく なかつ た	どちら ともい えない	かなり 連続し ていた	4~5回	目視の情報収集が困難 避航判断が困難 操縦性能が不十分	それ以 上に少 し複雑 してな かつた	あまり 難しく はなかつ た	あまり あつた	多かつ た	少し 与えた	目先の避航 判断のみ	ARPAが使えたこと	判断支援内容の高度 化
⑧	6	L	-	-	1秒 ○	情報 支援	あまり 大きく なかつ た	どちら ともい えない	かなり 連続し ていた	5~6回	避航判断が困難 判断時間の不足 操縦性能が不十分	かなり 複雑し ていな かつた	あまり 難しく はなかつ た	かなり あつた	たいへ ん多かつ た	少し 与えた	目先の避航 判断のみ	情報支援があつた こと	情報支援だけでなく 判断支援があること
⑧	6	L	-	-	1秒 ○	情報 支援	あまり 大きく なかつ た	できな かつた	かなり 連続し ていた	5~6回	目視の情報収集が困難 避航判断が困難 操縦性能が不十分	かなり 複雑し ていな かつた	あまり 難しく はなかつ た	あまり あつた	たいへ ん多かつ た	少し 与えた	目先の避航 判断のみ	情報支援があつた こと	情報支援だけでなく 判断支援があること

実験 番号	航行 密度 隻/nm ²	交通 環境	他船 の 混雑	ARPA	レーザ 周期と 高速船 の情報	援助 者の 支援 内容	操船 の 困難な 場面 の 差	避航開始 距離の 厳守	操船 の 困難な 場面 の 連続性	困難 な 場面 数	なぜ困難に感じたのか	東京湾 と比較 して	見合い 関係は	いちばん操船が困難なところでは 避航可能 なバース は	同時考 慮の船 は	周囲に 脅威を 感じ ていた か	どこまで判 断していた か	前項目の判断レ ベルになるた めに、役に立 った支援	判断の範囲を広げる ために、必要な支援
⑨	6	G	-	○	3秒 ○	情報 + 判断 支援	大き かった	できた	ほとんど 連続し てなかつ た	2回	判断時間が不足 避航判断が困難	それ以 上に少 し複雑 してな かつた	あまり 難しく はなかつ た	かなり あつた	ほとん ど与え なかつ た	航行海域 内の主観 的最近の 通過パス の考慮	情報支援だけで なく判断支援にな ったこと	今のままで十分	
⑨	6	G	-	○	3秒 ○	情報 + 判断 支援	大き かった	できた	ほとんど 連続し てなかつ た	2回	避航判断が困難	それ以 上に少 し複雑 してな かつた	あまり 難しく はなかつ た	かなり あつた	ほとん ど与え なかつ た	航行海域 内の主観 的最近の 通過パス の考慮	情報支援だけで なく判断支援にな ったこと	今のままで十分	
⑩	6	E	-	○	3秒 ○	情報 支援	大き かった	できな かつた	かなり 連続し ていた	3~4回	得られる情報が不十分 高速船情報が必要 避航判断が困難 操縦性能が不十分	かなり 複雑し ていな かつた	あまり 難しく はなかつ た	あまり あつた	たいへ ん多かつ た	かなり 与えた	目先の避航 判断のみ	情報支援があつた こと	高速船情報が必要 なこと
⑩	6	E	-	○	3秒 ○	情報 支援	大き かった	できな かつた	かなり 連続し ていた	3~4回	目視の情報収集が困難 操縦性能が不十分	かなり 複雑し ていな かつた	あまり 難しく はなかつ た	あまり あつた	多かつ た	かなり 与えた	目先の避航 判断のみ	情報支援があつた こと	
⑪	6	J	-	-	3秒 ○	情報 支援	あまり 大きく なかつ た	できた	ほとんど 連続し てなかつ た	1回	操縦性能が不十分	あまり 複雑し ていな かつた	あまり 難しく はなかつ た	あまり あつた	多かつ た	少し 与えた	目先の避航 判断のみ	情報支援があつた こと	ARPAが使えること
⑫	6	M	-	-	1秒 ○	情報 支援	あまり 大きく なかつ た	できた	あまり 連続し ていな かつた	1回	目視の情報収集が困難 操縦性能が不十分	それ以 上に少 し複雑 してな かつた	あまり 難しく はなかつ た	かなり あつた	多かつ た	少し 与えた	目先の避航 判断のみ	情報支援があつた こと 高速船情報が予め わかっていたこと	ARPAが使えること
⑬	6	C	-	-	-	-	大き かった	できた	あまり 連続し ていな かつた	1回	目視の情報収集が困難 得られる情報が不十分 ARPAが必要	それ以 上に少 し複雑 してな かつた	あまり 難しく はなかつ た	かなり あつた	ほとん ど与え なかつ た	航行海域 内の主観 的最近の 通過パス の考慮	ARPAが使えること 情報支援があること	ARPAが使えること	
⑭	6	L	-	○	3秒 ○	情報 支援	あまり 大きく なかつ た	できな かつた	あまり 連続し ていな かつた	1回	避航判断が困難 操縦性能が不十分	それ以 上に少 し複雑 してな かつた	あまり 難しく はなかつ た	あまり あつた	多かつ た	かなり 与えた	目先の避航 判断のみ	高速船情報が必要 なことがわかって いたこと	今のままで十分
⑮	6	J	-	○	3秒 ○	情報 支援	大き かった	できな かつた	ほとんど 連続し てなかつ た	1回	得られる情報が不十分 高速船情報が必要 避航判断が困難	あまり 複雑し ていな かつた	あまり 難しく はなかつ た	あまり あつた	多かつ た	少し 与えた	相手船へ の影響を 考慮し た避航判 断	レーザが使えること	
⑯	6	D	-	○	3秒 ○	情報 + 判断 支援	あまり 大きく なかつ た	できな かつた	ほとんど 連続し ていな かつた	1回	援助者との情報収集時の 意志疎通が困難 操縦性能が不十分	それ以 上に少 し複雑 してな かつた	あまり 難しく はなかつ た	あまり あつた	多かつ た	ほとん ど与え なかつ た	相手船へ の影響を 考慮し た避航判 断	ARPAが使えたこと 援助者との意志疎通 の改善	

での分散分析を行い、その後、レーダ周期の違いを組にして(運航体制 B と C)、ARPA の有無を組にして(運航体制 B と D)、さらに援助者による支援方法の違いを組にして(運航体制 D と E)、分散分析を行った。分散分析表を Table 6～Table 9 に示す。また、Table 10 に各運航体制の避航開始限界比および避航開始失敗率の平均値および標準偏差を示す。それらの分散分析表の見方は付録 A を参照のこと。

避航開始限界比による分散分析の結果、25%の危険率で、ARPA の有無、レーダ周期の違いによる避航開始限界比の平均値の違いがあると検定することができる (Table 7 および Table 8)。また、Table 10 より避航開始限界比の平均値はレーダ周期が高い方が、また、ARPA のある方が小さくなっている。このことはおそらく運航体制のレベルが上がれば、心理的に余裕が生まれ避航開始限界比を十分に意識して不必要に早く避航せず、航行の効率をも考えて操船

するようになることを意味していると考えられる。実験の最中、ある船舶との衝突危険を認知してもまだ距離がある場合、操船者はその船はいずれ避航することになるだろうと援助者に話していた。このことは、実験に携わった操船者は衝突危険を認知してもすぐには避航動作を開始せず、余裕の時間で航行の効率等の避航判断以外のことを考慮していることを示しており、この考察が妥当であることを示している。

この考察をさらに裏付けけるものとして、運航体制全体の分散分析における分散の Bartlett の検定で、分散の違いが存在することが 25%の危険率で有意となっていること (Table 6)、そして、分散は運航体制のレベルが上がるほど小さくなっている (Table 10) ことを上げることができる。分散がレベルの高い運航体制ほど小さいことは Fig. 5 から伺える。同様に、情報支援と判断支援の組の分析結果より、避航開始限界比の平均値にはほとんど差がないものの、10%の危険率で両者の分散に違いがあると検定できる (Table 9) こともこの考察を支持していると言えよう。すなわち、運航体制のレベルが上がることによって生じる余裕時間を用いて、避航するタイミングを一定にするよう操船することが可能になり、安全であるとともに効率的な航行が可能になると言える。

また、まったく支援が無い場合でも支援のある場合と同様の良い結果を得ていることは、熟練した操船者が、判断の過程を適宜簡略化し、避航開始の時点が遅らせることの

Table 6 Result of analysis of variance(ANOVA) — factor is navigation system, levels are navigation system A, B, C, D, E —

評価基準	要因	変動	自由度	分散	分散比(F)	Bartlett検定値(B)
避航開始限界比	組間(運航体制A,B,C,D,E)	1.880	4	0.470	0.835	5.974
	組内	58.535	104	0.563	$F_{104}^1(50\%)=0.844$	$\chi_4^2(25\%)=5.39$
	計	60.415	108	—	$F_{104}^1(25\%)=1.37$	$\chi_4^2(10\%)=7.78$
避航開始失敗率	組間(運航体制A,B,C,D,E)	0.0084	4	0.0021	0.373	0.248
	組内	0.0677	12	0.0056	$F_{12}^4(50\%)=0.888$	$\chi_4^2(50\%)=3.357$
	計	0.0761	16	—	$F_{12}^4(25\%)=1.55$	$\chi_4^2(25\%)=5.39$

Table 7 Result of analysis of variance(ANOVA) — factor is RADAR rotating cycle time, levels are 3 seconds and 1 second (navigation system B, C) —

評価基準	要因	変動	自由度	分散	分散比(F)	Bartlett検定値(B)
避航開始限界比	組間(レーダ周期, 運航体制B,C)	1.039	1	1.039	1.776	0.861
	組内	22.221	38	0.585	$F_{38}^1(25\%)=1.36$	$\chi_1^2(50\%)=0.455$
	計	23.259	39	—	$F_{38}^1(10\%)=2.84$	$\chi_1^2(25\%)=1.32$
避航開始失敗率	組間(レーダ周期, 運航体制B,C)	0.0061	1	0.0061	1.513	0.479
	組内	0.0161	4	0.0040	$F_4^1(50\%)=0.549$	$\chi_1^2(50\%)=0.455$
	計	0.0221	5	—	$F_4^1(25\%)=1.81$	$\chi_1^2(25\%)=1.32$

Table 8 Result of analysis of variance(ANOVA) — factor is ARPA, levels are with ARPA and without ARPA (navigation system B, D) —

評価基準	要因	変動	自由度	分散	分散比(F)	Bartlett検定値(B)
避航開始限界比	組間(ARPAの有無, 運航体制B,D)	1.563	1	1.563	2.533	0.439
	組内	24.683	40	0.617	$F_{40}^1(25\%)=1.36$	$\chi_1^2(50\%)=0.455$
	計	26.246	41	—	$F_{40}^1(10\%)=2.84$	$\chi_1^2(25\%)=1.32$
避航開始失敗率	組間(ARPAの有無, 運航体制B,D)	0.0039	1	0.0039	0.590	0.0091
	組内	0.0330	5	0.0066	$F_5^1(50\%)=0.528$	$\chi_1^2(50\%)=0.455$
	計	0.0368	6	—	$F_5^1(25\%)=1.69$	$\chi_1^2(25\%)=1.32$

Table 9 Result of analysis of variance(ANOVA) — factor is aid by assistant, levels are information only for data acquisition and information for aid of collision avoiding decision (navigation system D, E) —

評価基準	要因	変動	自由度	分散	分散比(F)	Bartlett検定値(B)
避航開始限界比	組間(情報支援・判断支援, 運航体制D,E)	0.0001	1	0.0001	0.00026	3.022
	組内	19.1976	46	0.417	$F_{46}^1(25\%)=1.36$	$\chi_1^2(10\%)=2.71$
	計	19.1977	47	—	$F_{46}^1(10\%)=2.84$	$\chi_1^2(5\%)=3.84$
避航開始失敗率	組間(情報支援・判断支援, 運航体制D,E)	0.0	1	0.0	0.0	0.040
	組内	0.0313	5	0.0063		$\chi_1^2(50\%)=0.455$
	計	0.0313	6	—		$\chi_1^2(25\%)=1.32$

Table 10 Mean and standard deviation of the starting collision avoidance limit ratio and failure ratio of start of collision avoidance

運航体制				避航開始限界比		避航開始失敗率	
種類	レータ	ARPA	援助者の支援	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
A	なし	なし	なし	1.782	0.925	0.071	0.082
B	3秒	なし	情報	2.081	0.869	0.089	0.078
C	1秒	なし	情報	1.749	0.697	0.026	0.044
D	3秒	あり	情報	1.679	0.737	0.042	0.083
E	3秒	あり	判断	1.676	0.504	0.042	0.072

ないようにして安全のレベルを一定に保つ能力があることを示しているとも考えられるが、支援がない場合の交通環境がたまたま支援がある場合の交通環境より簡単であることが原因の一つとも考えられ、このことはアンケート結果の解析からも伺える。

避航開始失敗率の分散分析からは、有意な結果が得られなかった。

なお、Fig. 5 より、どの運航体制でも後方からの避航の場合前方からの避航に比べて避航開始限界比が大きくなっているが、このことはおそらく他船の向きの判断が不十分で安全のためすべて前方からの避航と同様の基準で避航したものであると思われる。また、同図より、運航体制 E は他の運航体制と比べて避航開始限界比の最小値が高い (0.7 以上) ことがわかる。

4.2 アンケート結果の数量化理論Ⅲ類による評価

Fig. 6 に数量化理論Ⅲ類による解析を施した結果を示す。ここで用いたカテゴリーの数は 55 であり、それらを Table 11 に示す。それらのカテゴリーは Table 5 にあるアンケートの項目および回答から設定したものである。数量化理論Ⅲ類については付録 B を参照のこと。Fig. 6 の第 1 次元の軸は 1 以外で最大の固有値に対応する軸であり、第 2 次元の軸は、その次の大きさの固有値に対応する軸である。数量化理論Ⅲ類は、アンケートでの回答パターンが似ているカテゴリーどうしには近い数値を与え、似ていないカテゴリーには異なった数値を与える方法であるため、固有値毎に座標軸を設定し、固有値毎に与えられる数値を座標とする点を打つと、似ているカテゴリーは近くに固まり、似ていないカテゴリーは遠くに離れることになる。カテゴリーの分離が不十分であればさらに小さい固有値に対応する座標軸を設定することになる。ここでの結果からは 2 次元で十分と判断した。

Fig. 6 より、「2. ARPA 有り」のカテゴリーと「46. ARPA が役立った」のカテゴリーが近く、このことは操船者は ARPA の有効性を認めていることを示していると考えられる。以下、カテゴリーを「」で示す。これと表裏一体となることとして、「3. ARPA なし」と「50. ARPA が必要」とが近く、この操船者は ARPA の必要性を感じていることがわかる。

また、「1. 支援手段なし」と「48. レーダ必要」が近く、支援が何もない場合はまずレーダを必要と考えていることがわかる。

さらに、「10. 判断支援あり」(すなわち「15. 運航体制 E」)と「55. この運航体制で十分」とが近く、3 秒レーダ、ARPA、判断支援から成る運航体制はこの操船者にとって、シミュレータ実験で用いた交通環境で航行するのに十分との印象を与えていたと思われる。

高速船情報ありのときはレーダありすなわち運航体制 B, C, D, E のときであって、「7. 高速船情報あり」と輻

輻度が高いことを示すカテゴリー(「23. 東京湾と比較して輻輳していた」、「27. 避航可能スペースあまりなかった」、「30. 同時に考慮すべき船舶数多かった」等)が近く、それらの運航体制での実験では、交通環境は困難である場合が多いと感じていることを示していると考えられる。これと裏腹に、レーダなし、すなわち支援なしの場合は交通環境

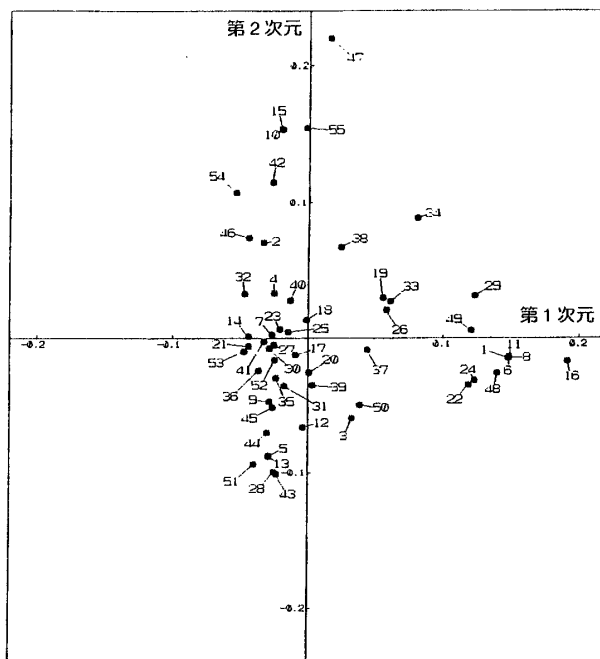


Fig. 6 Result of analysis of the questionnaires by quantification theory III

Table 11 Categories used in analysis by quantification theory III

カテゴリー			カテゴリー			
分類	No.	項目	分類	No.	項目	
運航体制および支援手段	1.	支援手段なし（運航体制A）	操船および判断評価	31.	避航開始限界距離の遵守できた	
	2.	ARPAあり		32.	避航開始限界距離の遵守どちらともいえない	
	3.	ARPAなし		33.	避航開始限界距離の遵守できなかった	
	4.	3秒レーダあり		34.	周囲の船舶に与えた脅威の有無：ほとんど与えない	
	5.	1秒レーダあり		35.	周囲の船舶に与えた脅威の有無：少し与えた、かなり与えた	
	6.	レーダなし		36.	判断レベル：自先の避航判断のみ	
	7.	高速船情報あり		37.	判断レベル：相手船への影響を考慮した避航判断	
	8.	高速船情報なし		38.	判断レベル：航行海域内の主観的最適パスの考慮	
	9.	情報支援あり		困難の理由	39.	情報収集が困難：自視の情報収集が困難 得られる情報量が不十分
	10.	判断支援あり			40.	状況判断・行動計画・意思決定が困難：レーダの情報収集が困難
	11.	援助者による支援なし			41.	状況判断が困難：判断時間が不足
	12.	3秒レーダと情報支援（運航体制B）			42.	操船実行が困難：避航操船が困難 操縦性能が不十分
	13.	1秒レーダと情報支援（運航体制C）			43.	援助者との意思疎通困難
	14.	3秒レーダと情報支援とARPA（運航体制D）			44.	3秒のレーダが役立った
	15.	3秒レーダと判断支援とARPA（運航体制E）			45.	情報支援が役立った
交通環境評価	16.	操船困難な場面間の困難度の違い：小さい	46.		高速船情報が入った	
	17.	操船困難な場面間の困難度の違い：あまり大きくない	47.		ARPAが役立った	
	18.	操船困難な場面間の困難度の違い：大きい	48.		判断支援が役立った	
	19.	操船困難な場面の連続性：ほとんど連続していない	49.		レーダが必要	
	20.	操船困難な場面の連続性：あまり連続していない	50.		情報支援が必要	
	21.	操船困難な場面の連続性：かなり連続していた	51.		判断支援が必要	
	22.	東京湾と比較した輻輳度：あまり輻輳していなかった	52.		意思疎通の改善が必要	
	23.	東京湾と比較した輻輳度：それ以上少し輻輳していた	53.		他船との適応が必要	
	24.	見合関係の困難度：簡単	54.	判断支援の内容の高度化が必要		
	25.	見合関係の困難度：あまり難しくない	55.	この運航体制で十分		
	26.	避航可能スペース：かなりあった				
	27.	避航可能スペース：あまりなかった				
	28.	避航可能スペース：ほとんどなかった				
	29.	同時に考慮すべき船舶数：あまり多くなかった				
	30.	同時に考慮すべき船舶数：多かった、たいへん多かった				

がそれほど困難でないと感じているようである。このことは、ここでの運航体制評価実験で支援なしの場合の避航結果が他の場合と比較して遜色ないことの一つの理由と考えられる。

以上の分析より、運航体制および、その要素である種々の支援手段の有効性がある程度明らかになったと思われるが、純粋に運航体制の違いを実験結果から抜き出すためには、交通環境、すなわち運航体制に対する問題の困難度を一定にすることの重要性が浮かび上がってきたように思われる。交通環境の困難さには、見合い関係の困難さ、空き領域、見合いの連続性（すなわち遭遇頻度）等が関係すると考えられる。交通環境の困難さを一定にするために全く同じパターンの見合いを設定することは、その問題が覚えられてしまうため不適当である。したがって、交通環境の困難度、すなわち輻輳度の指標を開発することが重要であり、このことに関して今後の研究が期待される。

5. 総 合 評 価

以上より、評価基準を避航開始限界距離のみにし、アンケート結果を加味して評価した場合、ここで用いた操縦性能を持つ大型高速船は航行密度が6隻/nm²以下の海域での高速航行(50 KT)は可能と思われる。また、その際の運航体制は周期3秒のレーダ、速度ベクトルを正確に表示するARPA、および判断支援によるものが最適と思われる。しかし本研究では、一般船の大型高速船に対する閉塞領域等の基準を考慮しなかったため、実際に、ここで考慮した大型高速船のそうした海域での高速航行の可否を判定するにはさらに検討を要する。

6. 結 言

以下のことが明らかになった。

(1) シミュレータ実験により、ここで考慮した大型高速船が避航開始限界距離を遵守可能な限界航行密度は6隻/nm²である。

(2) シミュレータ実験結果より求めた評価量を分散分析した結果、運航体制の違いにより避航開始限界比の分散に違いが生じ、支援レベルが高くなるにつれて小さくなることが確認された。また、運航体制のレベルが上がるにつれて避航開始限界比が低くなることが言えた。これらのことは、運航体制のレベルが上がることによって生じる余裕時間を用いて、操船者は避航するタイミングを一定にするよう操船することが可能になり、安全であるとともに効率的な航行が可能になることを示していると考えられる。

(3) 避航開始限界比の分散分析、およびアンケート結果の数量化理論Ⅲ類による解析から、運航体制の要素として、ARPA および判断支援が操船者の判断に有効であることが示された。

(4) 評価基準を避航開始限界距離のみにし、アンケー

ト結果を加味して評価した場合、ここで用いた操縦性能を持つ大型高速船は航行密度が6隻/nm²以下の海域での高速航行(50 KT)は可能と思われる。また、その際の運航体制は3秒周期レーダ、ARPA、判断支援によるものが最適と思われる。

(5) 大型高速船が対象海域を高速航行可能かどうかの判断およびその際の最適な運航体制の導出に、文献1)にある評価手続きに基づき、シミュレータ実験を行い、その結果を分散分析で解析し、また、操船者に対して支援手段の有効性等を尋ねるアンケートを実施し、その結果を数量化理論Ⅲ類で解析することの有効性が確認された。

謝 辞

本研究で実施したシミュレータ実験には、(株)郵船海洋科学より操船者および操船援助者として多くの方を派遣していただきました。また、(社)日本造船研究協会 RR744 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。以上の方々に衷心からの感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 金湖ほか：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、日本造船学会論文集、第174号。
- 2) 廣津：分散分析、教育出版、1976、p 58-66
- 3) 林：統計学講義、第2版、丸善、1973、p 234-239
- 4) 河口：多変量解析入門Ⅱ、森北出版、1978、p 89-98

付録 A 分散分析について^{2),3)}

分散分析は、ある実験による実測値に影響を及ぼすと考えられる幾つかの要因 (factor) がある場合、それらによって本当に実測値が左右されているかどうかを検定する統計の手法である。ある種類の要因に属する幾つかの要素を水準 (level) あるいは組と呼ぶ。この手法の概要について簡単に説明する。

実測値に影響を及ぼすと考えられる要因が一つの場合を取り上げる。実測値 X_{ij} は以下の式で表わされると仮定する。

$$X_{ij} = \mu + a_i + \varepsilon_{ij}$$

ここで、

μ : 組によって影響されない定数

a_i : 組 i に起因する特殊性

ε_{ij} : 誤差、平均 0、分散 σ^2 (すべての組で同一と仮定)

を表わす。この仮定のもとで、 $a_i \neq a_j$ ($i \neq j$) かどうかを検定するのが分散分析である。

また、

m : 組の数

n_i : 組 i の実測値の数

Table 12 Table used in analysis of variance (ANOVA)

要因	変動	自由度	分散	分散比(F)
組間 A	$S_A = \sum_i n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2$	$m-1$	$V_A = S_A / (m-1)$	$F = \frac{V_A}{V_{R(A)}}$
組内 R(A)	$S_{R(A)} = \sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$	$n-m$	$V_{R(A)} = S_{R(A)} / (n-m)$	
全 AR	$S_{AR} = \sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x})^2$	$n-1$	—	

Table 13 Relation between sample and category

カテゴリー サンプル	1	2	...	K	計
1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1K}	m_1
2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2K}	m_2
...	...	...	...	...	...
L	x_{L1}	x_{L2}	...	x_{LK}	m_L
計	n_1	n_2	...	n_K	N

$$x_{ij} = 0 \text{ or } 1$$

n : 実測値総数 $\left(n = \sum_{i=1}^m n_i\right)$

とし, Table 12 のような分散分析表を作成すると,

$$F = V_A / V_{R(A)}$$

を求め, F と F 分布表より危険率 $\alpha\%$ における臨界値 $F_{n-m}^{m-1}(\alpha)$ を比較し,

$$F > F_{n-m}^{m-1}(\alpha)$$

の場合に, 実測値 x_{ij} は, 考慮している要因により影響を受けているとみなすのである。このことは, すなわち, x_{ij} はその要因により影響を受けていないとの仮説を危険率 $\alpha\%$ で棄却することである (F 検定)。

分散分析では, 各組の分散が同一であると仮定しているが, この等分散性の仮定が崩れた場合でも F 検定は頑健であることが知られている。

次に, 等分散性の仮定を検定する方法を示す。

$$X_i = \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} / n_i$$

$$X = \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} \right) / n$$

$$S_i = \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - X_i)^2 / (n_i - 1) \quad (i=1 \cdots m)$$

とおき, 以下に示す B を求める。

$$B1 = (n-m) \left\{ \log \left(\sum_{i=1}^m (n_i - 1) S_i / (n-m) \right) \right.$$

$$\left. - \sum_{i=1}^m (n_i - 1) \log S_i / (n-m) \right\}$$

$$B2 = 1 + \left\{ \sum_{i=1}^m 1 / (n_i - 1) - 1 / (n-m) \right\} / 3(m-1)$$

$$B = B1 / B2$$

B は自由度 $m-1$ の χ^2 分布にしたがう。

したがって, $B > \chi^2(\alpha)$ の場合, 組による分散の変化があると $\alpha\%$ の危険率で検定できる。これを Bartlett の検定という。

付録 B 数量化理論Ⅲ類について⁴⁾

あるサンプル (たとえば人間等) がどのカテゴリー (たとえば性格) に属しているかいないかを示す結果が Table 13 のように与えられた場合, カテゴリー間およびサンプル間の親近度を求める手法が数量化理論Ⅲ類である。

Table 13 の x_{ij} は, 0 と 1 のいずれかをとる。

サンプルの各々に $a_i (i=1 \cdots L)$, カテゴリーの各々に $b_j (j=1 \cdots K)$ という数値を与え, 以下に示す方法でそれらを求める。

$$X = [X_{ij}]$$

$$P = \begin{bmatrix} p_{ii} = m_i \\ p_{ij} = 0 \quad (i \neq j) \end{bmatrix}$$

$$Q = \begin{bmatrix} q_{ii} = \sqrt{n_i} \\ q_{ij} = 0 \quad (i \neq j) \end{bmatrix}$$

等の行列を作り, さらに以下の行列 Y を求める。

$$Y = Q^{-1} X^t P^{-1} X Q^{-1}$$

Y の 1 以外でその次に大きい固有値 e_1 に対応する固有ベクトルを v_1 とすれば $A = (a_i)$, $B = (b_j)$ を以下のように求める。

$$A = 1 / \sqrt{e_1} P^{-1} X v_1$$

$$B = Q^{-1} v_1$$

これで, カテゴリー, サンプルを各々直線上で b_j, a_i のところに配置することができる。

親近度の高いカテゴリーは互いに近いところにかたまる。サンプルの場合も同様である。もし, 1 次元では親近度の低いカテゴリーあるいはサンプルの分離が不十分であれば, e_1 の次に大きい固有値 e_2 に対応する固有ベクトルから同様の手順で A, B をもとめ, e_1, e_2 それぞれに対応する値から 2 次元平面にカテゴリーあるいはサンプルを配置する。

このようにして, 数量化理論Ⅲ類によりカテゴリーあるいはサンプルの関係を把握することができる。