

隻/nm²、7.5隻/nm²において、避航開始限界距離を厳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の(c)において、避航開始限界距離すれすれで避航開始した例が存在することと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7.5隻/nm²の場合は、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、検証実験として、運航体制評価実験が終了してから実施した6隻/nm²の実験では、操船者は別であるが、避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。

3.2.2.4 対象海域の航行密度との比較

この実験の海域は東京湾を対象としており、ここで得られた限界航行密度6隻/nm²は、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、東京湾横断道路の西水路の最大航行密度(5.01隻/nm²)より少し高い。また、L換算係数(注3)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、浦賀水道の平均航行密度(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、東京湾における最も輻輳している場合の平均的な値より高いが、最も輻輳している場合の最大値に比べると低いが、高速航行を考える場合は、この値で運航体制を評価することは、かなり厳しい評価となり意味があるといえる。

(注2)：数量化理論第Ⅲ類：サンプルがいくつかのカテゴリ分類されるとき、あるサンプルが属しているカテゴリと他のカテゴリ間やサンプル間の親近度を求める手法。

詳しくは、参考文献の14)参照のこと

(注3)：L換算係数：主に運航関係で用いる量、自船の船の長さをL1と遭遇した相手船の船の長さをL2とすると $L = (L_1^2 + L_2^2)^{1/2}$

3.2.3. 運航体制評価実験

3.2.3.1 シナリオ

高速船を自船とした運航体制として、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、それらによる支援が全くないものを含め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、他の高速船情報の表示(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表示した。

交通環境として、航行密度が6隻/nm²で、船種は、小型船が70%、中型船が20%、大型船が10%と設定した。また、他船高速船として、ジェットフォイル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、大型高速船は南北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例を図3-2に示す。この図の▲はブイを表わしており、ブイの間隔は1nmである。

3.2.3.2 実験方法と実験結果

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。

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より以遠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：	1000m	600m
対中型船：	1250m	800m
対大型船：	1500m	1000m

実験結果として得られるものは、各実験が終了する毎に、実施したアンケートと避航開始時点での他船を中心とした自船の相対位置の図である。

3.2.4 運航体制の有効性評価

3.2.4.1 避航開始距離の分散分析^{12)、13)}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

評価量として避航開始限界比(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)を用いた。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。

(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。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。

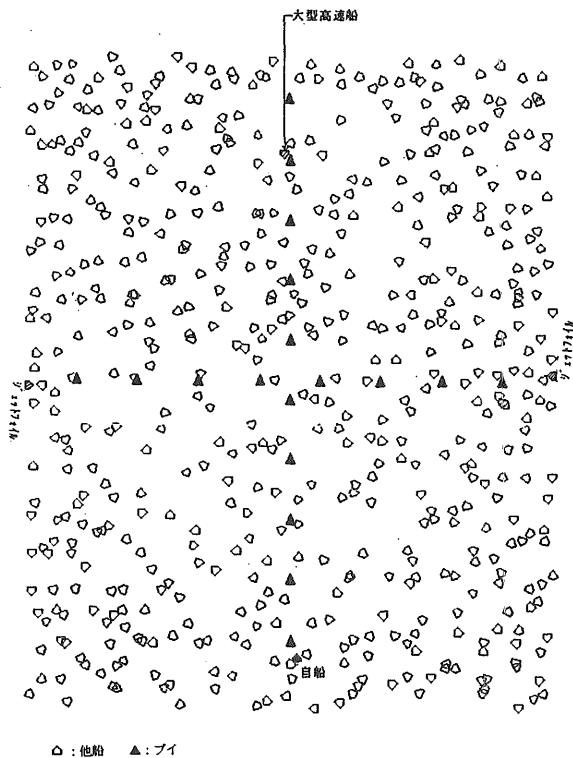


図3-2 交通環境の1例

表3-2 運航体制の支援項目

		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秒) ①, ⑤, ⑬, ⑯				
	情報支援	運航体制D (4秒) ⑥, ⑩, ⑭, ⑮	運航体制B (3秒) ②, ④, ⑪		運航体制C (3秒) ③, ⑦, ⑧	
	判断支援	運航体制E (3秒) ⑦, ⑨, ⑫				

ここでは、まず表3-2に示すAからEまでの5種類の運航体制の各々を組とした場合での分散分析を行い、その後、レーダ周期の違いを組にしたもの、ARPAの有無を組にしたもの、さらに援助者による支援方法の違いを組にしたものの分散分析を行った。

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。また、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。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

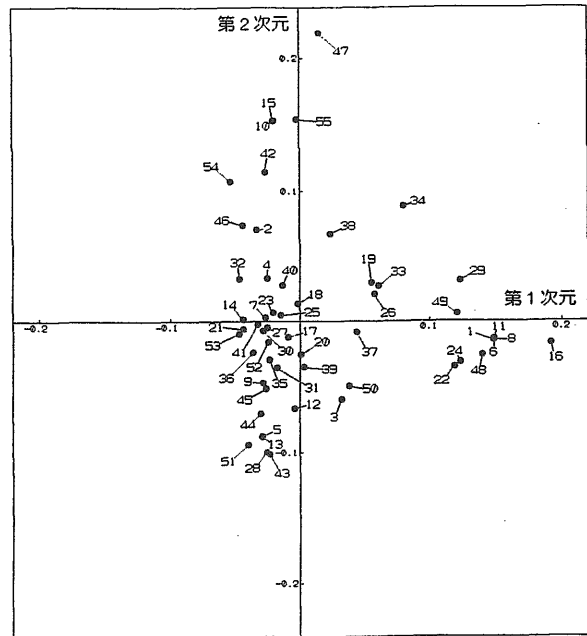


図3-3 数量化理論Ⅲ類による解析例 (昼間のアンケート結果)

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例もある。これは、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も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。

3.2.4.2 アンケート結果の数量化理論Ⅲ類による評価

図3-3に数量化理論Ⅲ類¹⁴⁾による解析を施した結果を示す。この図3-3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。表3-3に、解析に使用したカテゴリーを列挙した。それらのカテゴリーは、実験条件、実験毎の被験者の意見等である。ある実験条件の時に、ある意見が生じる場合が多ければ、図3-3における実験条件とその意見の点が近くなる。アンケートでの回答パターンが似ているカテゴリー同士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

表3-3 数量化理論Ⅲ類で用いたカテゴリーの例

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：目先の避航判断のみ	
	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				
	10.	判断支援あり				
	11.	援助者による支援なし				
	12.	3秒レーダと情報支援(運航体制B)				
	13.	1秒レーダと情報支援(運航体制C)				
	14.	3秒レーダと情報支援とARPA(運航体制D)				
	15.	3秒レーダと判断支援とARPA(運航体制E)				
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	困難の理由	39.	情報収集が困難：目視の情報収集が困難 得られる情報が不十分 レーダの情報収集が困難	
	17.	操船困難な場面間の困難度の違い：あまり大きくない		40.	状況判断、行動計画、意思決定が困難：避航判断が困難 判断時間が不足	
	18.	操船困難な場面間の困難度の違い：大きい		41.	操船実行が困難：避航操船が困難 操縦性能が不十分	
	19.	操船困難な場面の連続性：ほとんど連続していない		42.	援助者との意思疎通困難	
	20.	操船困難な場面の連続性：あまり連続していない	役立った支援	43.	3秒のレーダが役立った	
	21.	操船困難な場面の連続性：かなり連続していた		44.	情報支援が役立った	
	22.	東京湾と比較した輻輳度：あまり輻輳していなかった		45.	高速船情報が役立った	
	23.	東京湾と比較した輻輳度：それ以上に少し輻輳していた	46.	ARPAが役立った		
		かなり輻輳していた	47.	判断支援が役立った		
	24.	見合関係の困難度：簡単	必要な支援	48.	レーダが必要	
	25.	見合関係の困難度：あまり難しくない		49.	情報支援が必要	
	26.	避航可能スペース：かなりあった		50.	ARPAが必要	
	27.	避航可能スペース：あまりなかった		51.	判断支援が必要	
	28.	避航可能スペース：ほとんどなかった		52.	意志疎通の改善が必要	
	29.	同時に考慮すべき船舶数：あまり多くなかった		53.	他船との通信が必要	
30.	同時に考慮すべき船舶数：多かった、たいへん多かった	54.		判断支援の内容の高度化が必要		
		55.	この運航体制で十分			

なる。

例として、「ARPA有り」の категорияと「ARPAが役立った」の категорияが近く、このことは操船者が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。これと表裏一体となるものとして、「ARPAなし」と「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。等の分析結果が得られた。

3.2.5 結果のまとめ

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、この海域で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) 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) 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) 大型高速船は東京湾の浦賀水道の分離航路および川崎沖の錨泊地を外して航行すれば、東京湾での高速航行(50kn)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。

3.3 夜間航行のシミュレータ実験と評価¹⁵⁾

3.3.1 シミュレータ実験の概要

大型高速船の昼間の運航と同様に、大型高速船(船長127m、50ノット)の夜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、および暗視装置である。

運航評価手順は、昼間運航の場合と同様である。シミュレータ実験で使用したレーダ、ARPA模擬装置は、昼間の実験と同じであるが、夜間航行特有の機器として、暗視装置があり熱感応型を模擬したもので、船影が明瞭に見えるものである。

また、評価基準量は、昼間の値を使用した。

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2: 夜間の航行)

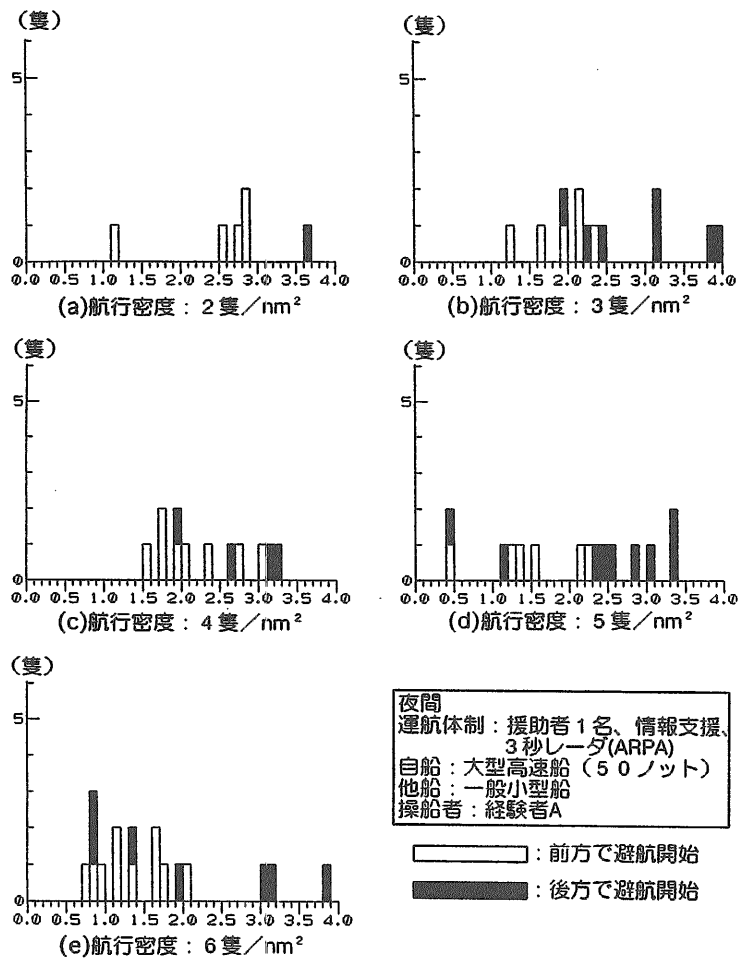


図3-4 各航行密度における避航開始限界比のヒストグラム

表3-4 アンケート結果のまとめ(夜間)

実験 順	自船	航行 密度 隻/nm ²	シナリ オ中の 輻輳度 の差	輻輳 場面の 連続性	夜間東 京湾と 比較し た連続 性の差	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)			いちばん 限界の 厳守 できた か	困難な ところで はそれ はどの 支援が 役に立 った 結果か
											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	少し輻 輳して いた	殆ど 与えな かつた	相手船 首に自 船を向 けた	あまり 大きく なかつ た	かなり 連続し ていた	2回	目視による収集が困難(3) レーダによる収集が困難(2) 夜間であること	避航判断が困難(1)	同時考慮の船が多い(1)	できた	相手船へ の影響を 考慮した 避航判断 ARPAの使用 情報+判断支援
②	大型高速船 50ノット	2	小さ かつた	ほとん ど連続 してな かつた	それ以 下に非 常にす いてる	殆ど 与えな かつた	避航開始 が遅れた 航路距離 不足	小さ かつた	ほとん ど連続 してな かつた	0回	---	---	---	できな かつた	航行海域 の主観的 避航パス の考慮 ARPAの使用 3秒レーダの使用
③	大型高速船 50ノット	3	小さ かつた	ほとん ど連続 してな かつた	東京湾 以上に 少しい ている	殆ど 与えな かつた	航路距離 不足	小さ かつた	殆ど 連続 してな かつた	0回	---	---	---	できた	相手船へ の影響を 考慮した 避航判断 ARPAの使用 情報+判断支援
④	大型高速船 50ノット	6	大き かつた	かなり 連続し ていた	東京湾 以上に かなり 輻輳	かなり 与えな かつた	相手に自 船に向けた 航路距離 不足	大き かつた	かなり 連続し ていた	2回	目視による収集が困難(1) レーダによる収集が困難(1) 得られる情報が不十分(1) 夜間であること	避航判断が困難(1) 判断時間の不足(1)	同時考慮の船が多い(1) 困難な出会いが連続(1)	できな かつた	目先の避 航判断の み 情報+判断支援
⑤	大型高速船 50ノット	5	大き かつた	かなり 連続し ていた	東京湾 以上に かなり 輻輳	かなり 与えな かつた	相手に自 船に向けた 航路距離 不足	大き かつた	かなり 連続し ていた	3回	目視による収集が困難(1) レーダによる収集が困難(1) 夜間であること	避航判断が困難(1) 判断時間の不足(1) 避航換船が困難(1)	同時考慮の船が多い(1) 困難な出会いが連続(1)	できな かつた	目先の避 航判断の み ARPAの使用 情報+判断支援
⑥	大型高速船 50ノット	4	あまり 大きく なかつ た	あまり 連続し ていた	東京湾 と同程 度に 連続	ほとん ど与え なかつ た	---	小さ かつた	ほとん ど連続 してな かつた	0回	---	---	---	できた	相手船へ の影響を 考慮した 避航判断 ARPAの使用 情報+判断支援
⑦	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 かつた	それ以 下に非 常にす いてる	全く 与えな かつた	---	小さ かつた	ほとん ど連続 してな かつた	0回	---	---	---	できた	相手船へ の影響を 考慮した 避航判断 ARPAの使用 情報+判断支援
⑧	大型高速船 50ノット	6	大き かつた	かなり 連続し ていた	東京湾 以上に かなり 輻輳	少し 与えな かつた	相手に自 船に向けた 航路距離 不足	大き かつた	ほとん ど連続 してな かつた	1回	目視による収集が困難(1) 夜間であること	避航判断が困難(1)	避航可能パスがない(1)	できな かつた	目先の避 航判断の み 3秒レーダの使用 情報+判断支援
⑨	大型高速船 50ノット	3	小さ かつた	ほとん ど連続 してな かつた	それ以 下に非 常にす いてる	全く 与えな かつた	---	小さ かつた	ほとん ど連続 してな かつた	0回	---	---	---	できた	相手船へ の影響を 考慮した 避航判断 ARPAの使用 情報+判断支援
⑩	大型高速船 50ノット	5	あまり 大きく なかつ た	あまり 連続し てな かつた	東京湾 と同程 度に 連続	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 かつた	1回	目視による収集が困難(1)	避航判断が困難(1)	同時考慮の船が多い(1)	できな かつた	相手船へ の影響を 考慮した 避航判断 3秒レーダの使用 情報+判断支援

3.3.2 限界航行密度

3.3.2.1 シナリオ

他船の航行密度を2隻/nm²、3隻/nm²、4隻/nm²、5隻/nm²、6隻/nm²、とした交通環境を実現するシナリオを航行密度毎に2通りずつ作成した。他船として小型船(船長50m)のみを発生させた。シナリオの運航体制の要素としては、周期3秒のレーダ、ARPA、援助者1名による情報支援である。

3.3.2.2 実験方法

上記のシナリオをランダムな順番で選ビシミュレータ実験を行った。各実験における実験方法は昼間での実験と同様である。

3.3.2.3 実験結果

図3-4に各航行密度における避航開始限界比のヒストグラムを示す。図3-4の横軸は避航開始限界比であり、縦軸は0.1毎の避航開始限界比で避航された他船の隻数である。また、表3-4に実験毎のアンケート結果を示す。アンケートでは、各実験における交通環境の主観的評価、操船者が感じた避航の困難さ等を質問している。

結果として、航行密度2~4隻/nm²において避航開始限界距離を厳守できなかった例は存在しない。しかし5および6隻/nm²においては、避航開始限界距離を遵守できない例が存在しており、また、アンケー

ト結果からも、4隻/nm²以下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。以上より、夜間の限界航行密度を4隻/nm²とした。

3.3.2.4 対象海域の航行密度との比較

対象海域とした東京湾の航行密度と、ここで得られた限界航行密度4隻/nm²は、単純航行密度において浦賀水道の分離航路(南航)の最大航行密度(8.84隻/nm²)よりかなり低く、また、同水道(北航)の平均航行密度(2.21隻/nm²)、さらに、東京湾横断道路の西水路の最大航行密度(1.21隻/nm²)よりかなり高い。東京湾でも最も輻輳度の高い水域の一部である浦賀水道と平均的な海域である東京湾横断道路の西水路近傍の2つの領域での比較であるが、限界航行密度(4隻/nm²)は、東京湾の平均的な夜間の航行密度より高く、最も輻輳している海域の平均的な航行密度より若干低いと言えよう。したがって、東京湾の夜間航行を想定して運航体制評価実験を行うことには意味がある。

3.3.3 運航体制評価実験

3.3.3.1 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)、暗視装置(有、無)、識別灯(有、無)の組み合わせによるものを考える。ここでは運航

表 3-5 操船支援の調査パラメータ

操船支援	パラメータ
レーダ	なし、表示周期3秒、表示周期1秒
ARPA	なし、あり
高速船情報表示	なし、あり
援助者による支援	なし、情報支援のみ、情報と判断支援
暗視装置（夜間航行時）	なし、あり
高速船識別灯（夜間航行時）	なし、あり

体制として実現可能性のある6種類の運航体制を検討した(表3-5)。

レーダ、ARPA、操船援助者による支援、暗視装置以外に提供される、共通した支援手段としては、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)、高速船の航行レーンを示すブイ(景観画像中に設置)、および電子海図(ブイの位置をレーダ画面上に船とは異なる色で表示)等がある。

交通環境として、航行密度4隻/で、船種は、小型船が70%、中型船が20%、大型船が10%である。この船種構成は、昼間、夜間を通しての平均的な値である。また、他船高速船として、ジェットフォイル2隻、自船と同じ大型高速船1隻を発生させている。用意したシナリオ1~15をランダムな順番で選びシミュレータ実験を行った。

3.3.3.2 実験方法と実験結果

実験はシナリオをランダムに選び、実験を行った。結果は、アンケート結果と避航開始限界比のヒストグラムを運航体制毎にまとめたものである。

3.3.4 運航体制の有効性評価

3.3.4.1 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。

- 避航開始限界比
- 避航開始失敗率

ここでは、6種類の運航体制の各々を組にしたもの、レーダ周期の違いを組にしたもの、ARPAの有無を組にしたもの、援助者による支援方法の違いを組にしたもの、暗視装置の有無を組にしたものについてそれぞれ分散分析を行った。

ここで用いた交通環境のもとでの夜間航行においては、ARPAがなければ、レーダがあっても他船の動向を認識することが困難で情報収集および状況判断が遅れ、したがって、行動計画および避航操船の実行が遅れて避航開始限界距離を遵守することは困難であると思われる。また、ARPAがあれば、ARPAがない場合に比べると状況判断までの時間が短縮されて生じた余裕時間を用いて行動計画をより十分に行えるが、行動計画に当てられた時間が長くなり結果として全体的に

避航開始がARPAなしの場合に比べて遅れ、避航開始限界比は小さくなったと考えられる。しかし、避航開始限界距離を下回らないで避航開始するために必要な余裕はあり、避航開始の失敗は減少したと思われる。

また、ARPAに判断支援が加わることにより、情報のみの支援の場合に比べて行動計画に要する時間が短縮され、避航開始限界比が大きくなったと思われる。また、避航開始限界比が大きくなったため、避航開始限界比の取り得る値の範囲が広くなり、結果として避航開始限界比の標準偏差は情報支援のみの場合より大きくなっている。この場合の避航開始限界比、避航開始失敗率の平均値は、同じ運航体制のもとでの昼間の航行の結果とほぼ一致している。

アンケート結果から、暗視装置は有効との回答が多く、暗視装置があればさらに余裕が大きくなると思われる。しかし、暗視装置が加わっても避航開始限界比は統計的に有意なほど大きくなってはいない。このことは余裕があっても必ずしも避航開始限界比の増加に結びつくことにはならず、次節のアンケート結果の解析にあるように、暗視装置が加わりそれとともに援助者の数が増すことによりかえって意思の疎通の困難が生じ、操船者の判断過程に遅れが生じたためと考えられる。

3.3.4.2 アンケート結果の数量化理論Ⅲ類による評価

アンケート結果に数量化理論Ⅲ類による解析を施した結果を示す。図3-5より、「2.ARPAあり」

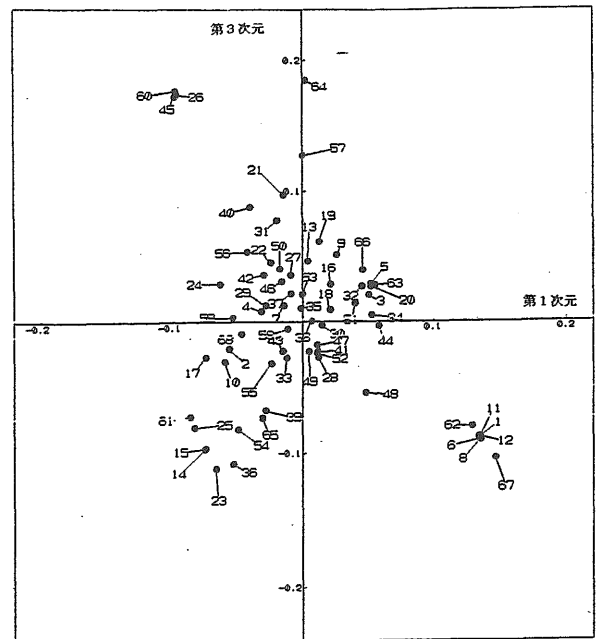


図 3-5 数量化理論Ⅲ類による解析例 (夜間のアンケート結果)

の категорияと「59. ARPAが役立つ」の categoria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、categoriaを「」で示す。これと表裏一体となることとして、「3. ARPAなし」と「63. 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「62. レーダ必要」および「67. 高速船識別灯」が近く、支援が何もない場合はまずレーダ、高速船識別灯を必要と考えることを示していると思われる。

さらに、「10. 判断支援あり」、「2. ARPAあり」と「68. この運航体制で十分」とが近く、ARPA、判断支援からなる運航体制はこの操船者にとって、夜間において、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ると思われる。「15. 暗視装置あり」と「61. 暗視装置役立つ」が近く、この操船者は暗視装置の有効性を認めていることを示していると考えられる。また、「15. 暗視装置あり」と「68. この運航体制で十分」との距離は、「10. 判断支援あり」、「2. ARPAあり」と「68. この運航体制で十分」との距離よりかなり長い、このことは、この操船者はARPAおよび判断支援があれば暗視装置がなくとも夜間での航行には既に十分と考えているからと思われる。しかし、「15. 暗視装置あり」と「54. 援助者との意思疎通困難」が近く、支援機器が増えることによる援助者の増加に伴い、意思疎通の問題が表面化することが見受けられる。こうした意思疎通の問題は、操船チームの訓練、あるいはどの機器の情報であるかという識別のための特殊なことばの使用等により改善可能と思われる。

アンケートでは高速船の識別灯の有効性を回答した例は存在しなかった。おそらく、レーダ画面上に高速船の情報が表示されているのでレーダがあれば高速船の識別灯の必要を感じないと思われる。しかし、高速船の情報が無い場合は、上述のように高速船の識別灯の必要を回答している。

3.3.5 結果のまとめ

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、夜間において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4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および避航開始失敗率の分散に違いが生じ、ARPAがない場合はそれ以外の運航体制の場合より避航開始失敗率が高い。また、ARPAに判断支援が加わることにより余裕は大きくなり、避航開始限界比、避航開始失敗率ともこれと同じ運航体制で、限界航行密度(6隻/nm²)で同じ船種構成の交通環境における昼間の航行の場合とほぼ同じ値になる。

nm²)で同じ船種構成の交通環境における昼間の航行の場合とほぼ同じ値になる。

(3)避航開始距離の分散分析、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、夜間航行における運航体制の要素として、ARPA、判断支援、暗視装置が操船者の判断に有効であることが示された。しかし、支援機器が増えることによる援助者の増加に伴い表面化する意思疎通の問題の改善が必要である。

(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4隻/nm²以下の航行密度の海域における夜間の高速航行(50kn)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。

3.4 主成分分析による解析¹⁶⁾

3.4.1 主成分分析について

前述した昼間、夜間のシミュレータ実験で用いたシナリオでは、操船者が優れた技量、能力によって航行の困難さを吸収してしまい、想定した以上に、客観的な余裕時間や距離としての支援効果の現われ方が少ない結果となった。一方、操船者へのアンケートおよびインタビューでは、各種の支援の効果に対する主観的な意見が述べられている。このため、熟練した操船者の主観的な意見は、高速航行の安全性を評価する上で非常に貴重である。そうした意見を汲み上げるため、このアンケート結果を対象として、操船支援の効果に対する操船者の主観的な評価の解析を、変数が多岐にわたり、かつ、それぞれ複雑に関連しているデータの解析に有用な主成分分析法を用いて行った。主成分分析は、変数がたくさんある複雑なデータをより少ない主成分という直交した変数に整理する手法である¹⁷⁾。

3.4.2 シミュレータ実験

昼間、夜間のシミュレータ実験におけるアンケートの部分を少し詳細に述べる。

3.4.2.1 シミュレータ実験のアンケートの取り方

シミュレータ実験において、操船者には、1回の実験が終了する度に、その実験に関するアンケート用紙に回答を記入してもらった。アンケートの回答は、言葉による選択肢を用意し、回答しやすいように配慮した。また、実験を行なう前に、アンケートについての説明を一通り行ない、疑問点は明らかにし、アンケート回答中の不明な点については、その都度説明した。シミュレータ実験は昼間と夜間の航行を対象にして、昼間を17回、夜間を24回行った。

3.4.2.2 調査した操船支援

本シミュレータ実験にて調査した操船支援を表3-

表 3-6 夜間航行のアンケート項目と回答

1. 暗視装置 ある 1 ない 0	17. 避航操船が困難 はい 1 いいえ 0	前項の判断レベル達成に役立った支援は
2. 高遠船識別灯 ある 1 ない 0	18. 自船操縦性能が不十分 はい 1 いいえ 0	
3. ARPA ある 1 ない 0	19. 高遠船との遭遇を意識 はい 1 いいえ 0	26. ARPAが役立った はい 1 いいえ 0
4. 表示周期1秒のレーダ ある 1 ない 0	一番操船が困難な所では	27. 情報支援が役立った はい 1 いいえ 0
5. 表示周期3秒のレーダ ある 1 ない 0		28. 高遠船情報が役立った はい 1 いいえ 0
6. 援助者からの情報支援 ある 1 ない 0	20. 東京湾と比べて幅狭していた 東京湾以上に幅狭 2 同程度に幅狭 1 あまりしていない 0	29. 判断支援が役立った はい 1 いいえ 0
7. 援助者からの情報と判断支援 ある 1 ない 0	21. 困難な見合関係だった 難しい見合関係 2 あまり難しくない 1 簡単な見合関係 0	30. 暗視装置が役立った はい 1 いいえ 0
8. 操船困難な場面とやさしい場面の差 大きかった 2 あまり大きくない 1 小さかった 0	22. 避航可能スペースは かなりあった 2 あまりなかった 1 ほとんどなかった 0	操船判断レベル向上に必要な支援
9. 避航開始限界距離の厳守 できた 1 どちらともいえず 0 できなかった -1	23. 同時に考慮すべき船舶は 多かった 3 たいへん多かった 3 多かった 2 あまり多くなかった 1 少なかった 0	
前項の厳守が困難だった理由	24. 周囲の船舶に脅威を与えた かなり与えた 3 少し与えた 2 ほとんど与えない 1 全く与えなかった 0	31. 今のままで十分 はい 1 いいえ 0
10. 自視の情報収集が困難 はい 1 いいえ 0	25. 操船判断のレベル 海域内の主観的 最適パスを考慮した 3 相手への影響を 考慮した避航判断 2 目先の判断のみ 1	32. ARPAが必要 はい 1 いいえ 0
11. 情報収集時の援助者との意志疎通困難 はい 1 いいえ 0		33. レーダが必要 はい 1 いいえ 0
12. 援助者からの情報不適切 はい 1 いいえ 0		34. 判断支援が必要 はい 1 いいえ 0
13. 得られる情報が不十分 はい 1 いいえ 0		35. 援助者との意志疎通の改善が必要 はい 1 いいえ 0
14. 避航判断が困難 はい 1 いいえ 0		36. 暗視装置が必要 はい 1 いいえ 0
15. 避航判断の時間が不足 はい 1 いいえ 0		37. 高遠船識別灯が必要 はい 1 いいえ 0
16. 判断時の援助者との意志疎通困難 はい 1 いいえ 0		38. 情報支援が必要 はい 1 いいえ 0
		39. 操船困難な場面は連続していた 連続していた 2 あまりしていない 1 ほとんどしていない 0
		40. 困難な場面の数 場面数をそのまま数量化した 2回 2 1回 1 0回 0

表 3-7 昼間航行のアンケート項目と回答

1. ARPA ある 1 ない 0	一番操船が困難な所では	24. 情報支援が役立った はい 1 いいえ 0
2. 表示周期1秒のレーダ ある 1 ない 0	16. 東京湾と比べて幅狭していた 東京湾以上に幅狭 2 同程度に幅狭 1 あまりしていない 0	25. 高遠船情報が役立った はい 1 いいえ 0
3. 表示周期3秒のレーダ ある 1 ない 0	17. 困難な見合関係だった 難しい見合関係 2 あまり難しくない 1 簡単な見合関係 0	26. 判断支援が役立った はい 1 いいえ 0
4. 援助者からの情報支援 ある 1 ない 0		18. 避航可能スペースは かなりあった 2 あまりなかった 1 ほとんどなかった 0
5. 援助者からの情報と判断支援 ある 1 ない 0	19. 同時に考慮すべき船舶は 多かった 3 たいへん多かった 3 多かった 2 あまり多くなかった 1 少なかった 0	
6. 操船困難な場面とやさしい場面の差 大きかった 2 あまり大きくない 1 小さかった 0	20. 周囲の船舶に脅威を与えた かなり与えた 3 少し与えた 2 ほとんど与えない 1 全く与えなかった 0	27. 今のままで十分 はい 1 いいえ 0
7. 避航開始限界距離の厳守 できた 1 どちらともいえず 0 できなかった -1	21. 操船判断のレベル 海域内の主観的 最適パスを考慮した 3 相手への影響を 考慮した避航判断 2 目先の判断のみ 1	28. ARPAが必要 はい 1 いいえ 0
前項の厳守が困難だった理由		29. レーダが必要 はい 1 いいえ 0
8. 自視の情報収集が困難 はい 1 いいえ 0	前項の判断レベル達成に役立った支援は	30. 判断支援の内容の高度化が必要 はい 1 いいえ 0
9. レーダの情報収集が困難 はい 1 いいえ 0		31. 判断支援が必要 はい 1 いいえ 0
10. 得られる情報が不十分 はい 1 いいえ 0	22. ARPAが役立った はい 1 いいえ 0	32. 援助者との意志疎通の改善が必要 はい 1 いいえ 0
11. 避航判断が困難 はい 1 いいえ 0	23. 表示周期3秒のレーダが役立った はい 1 いいえ 0	33. 高遠船情報が必要 はい 1 いいえ 0
12. 避航判断の時間が不足 はい 1 いいえ 0		34. 情報支援が必要 はい 1 いいえ 0
13. 情報収集時の援助者との意志疎通困難 はい 1 いいえ 0		35. 他船との交信が必要 はい 1 いいえ 0
14. 避航操船が困難 はい 1 いいえ 0		36. 操船困難な場面は連続していた 連続していた 2 あまりしていない 1 ほとんどしていない 0
15. 自船操縦性能が不十分 はい 1 いいえ 0		37. 困難な場面の数 場面数をそのまま数量化した 2回 2 1回 1 0回 0

5に示す。

レーダは「レーダ表示がない」、「表示周期3秒レーダ」、「表示周期1秒レーダ」の3種類を調べた。両レーダとも、1秒ごとに正しい値を得ることができるが、その表示を3秒ごとに行なうのか1秒ごとに行なうのかが相違点である。ARPAは「なし」、「あり」の2種類を調査した。援助者による支援は、操船者の隣に「援助者がいない」、「援助者が情報のみの支援をする」、「情報だけでなく判断の支援まで行う」の3種類である。以上は、昼間と夜間に共通している操船支援である。

夜間の航行にはさらに、暗視装置が「なし」の場合と「あり」の場合の2種類、大型高速船、ジェットフォイルとも高速船の識別灯が「なし」、「あり」の2種類を調べた。

昼間の航行は、援助者もレーダもない組み合わせ、援助者が情報支援のみ行ない表示周期3秒のレーダだけが使用できる場合、高速船情報がある場合、ARPAが使用できる場合、援助者が判断支援を行なう場合、援助者が情報支援のみ行ない、表示周期1秒のレーダだけが使用でき、高速船情報がある場合等の昼間の組み合わせは、17ケースである。

夜間の航行では、援助者もレーダもない場合、援助者が情報支援のみ行ない、表示周期3秒のレーダだけが使用できる場合、高速船情報がある場合、ARPAが使用できる場合、援助者が判断支援を行なう場合、援助者が情報支援のみ行ない、表示周期1秒のレーダだけが使用でき、高速船情報がある場合等の組み合わせ、および暗視装置と高速船識別灯を加えて、夜間は合計24ケースである。

3.4.3 主成分分析による操船支援の主観的評価

3.4.3.1 主成分分析とアンケート回答の数量化

表3-6に夜間の航行、表3-7に昼間の航行の分析対象となるアンケート項目とアンケートの回答をどのように数量化しているかを示す。アンケート項目は、操船結果として現われにくい、情報収集時、判断時、操船行動時における操船者の心理的な困難さや操船支援の効果の主観的な評価について尋ねることを主眼として選んでいる。また、昼間と夜間の航行でそれぞれ航行密度は一定であるが、シナリオごとに他船の船舶発生が違うので、シナリオの揺らぎを同定するために、シナリオそのものへの主観的評価を尋ねる項目も盛り込んでいる。回答の数量化は、基本的には、ある、ないで答えている項目は、それぞれ1、0を当てはめ、かなりあり、少しあり、ほとんどない、まったくないのように数段階で回答するような項目は、0から3のように整数を当てはめ数量化した。

3.4.3.2 夜間の航行実験の主成分分析

操船支援の種類がすべて入っており、それだけ支援効果が顕著であると考えられる夜間の実験、24ケースについて分析を行なった。

夜間の分析対象となる項目は、表3-6が示すように、アンケート項目数が40である。この40のアンケート項目から、昼間の場合も同様にしたが、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12であった。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44パーセントまで集約することができた。この主成分と、因子であるアンケート項目との相関係数は因子負荷量と呼ばれる。

図3-6は夜間の実験の第一、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。この図の絶対値の大きい項目から意味を抽出し、第一、第二主成分の軸の意味づけを行なう。

第一主成分の軸の意味を抽出する。絶対値の大きい項目として、プラス側に「ARPAあり」、「判断レベル達成にARPAが役立った」、「援助者による情報と判断支援あり」、「表示周期3秒レーダあり」、「高速船識別灯あり」、「暗視装置あり」が位置し、マイナス側に、「得られる情報不十分」、「判断レベル向上にARPAが必要」、「表示周期1秒レーダあり」、というようになっており、支援の軸であることがわかる。またプラス側には支援が高く評価されているもの、マイナス側には、低く評価されているものがきている。

以上のことから、操船者は、ARPA、判断支援、表示周期3秒レーダが操船支援として有効であると評価している。高速船識別灯、暗視装置、情報支援がこれらに次いで有効と評価していることが明らかになった。

表示周期1秒レーダは有効な支援ではないと評価されているが、データの正確さとしては、表示周期3秒レーダと同じであるが、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表している。

第二主成分の軸も同様に、プラス側に、「東京湾と比べて輻輳していた」、「困難な見合関係だった」が位置し、マイナス側に、「周りに避航スペースがあった」、「避航開始限界距離の厳守」というようになっており、海域の評価を表す軸である。プラス側は海域の困難さを、マイナス側は、海域の容易さをあらわすようになっている。第三主成分の軸は意味づけが困難であった。

夜間航行の主成分分析では、第一主成分として支援の効果が出てきており、夜間は、海域状況よりも操船支援が操船者に強く影響していることがわかる。

次に、項目(因子)同士の関係について検討する。

判断レベルは操船に余裕がある場合は高く、余裕がない場合は低くなると考えられる。「ARPAあり」と「判断レベル達成にARPAが役立った」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

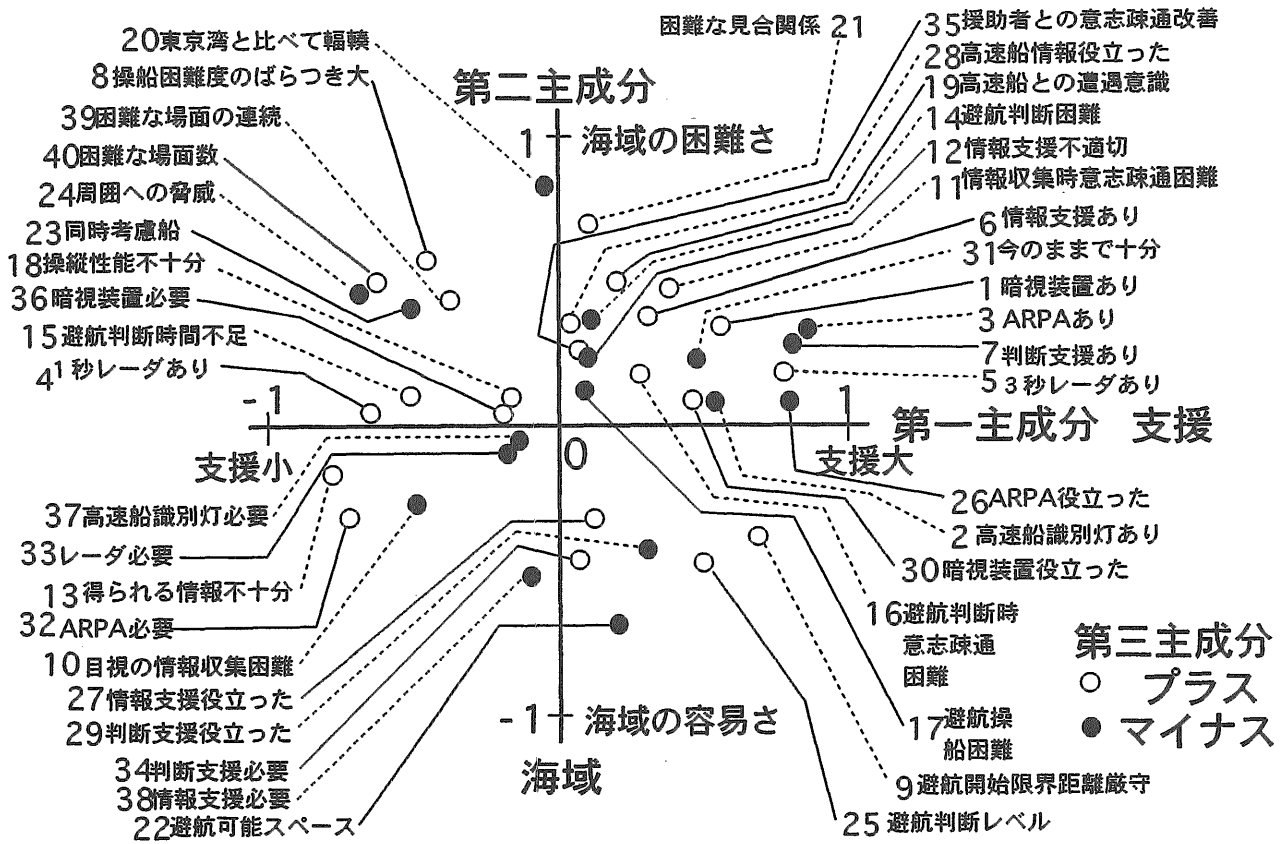


図 3-6 夜間航行主成分分析結果

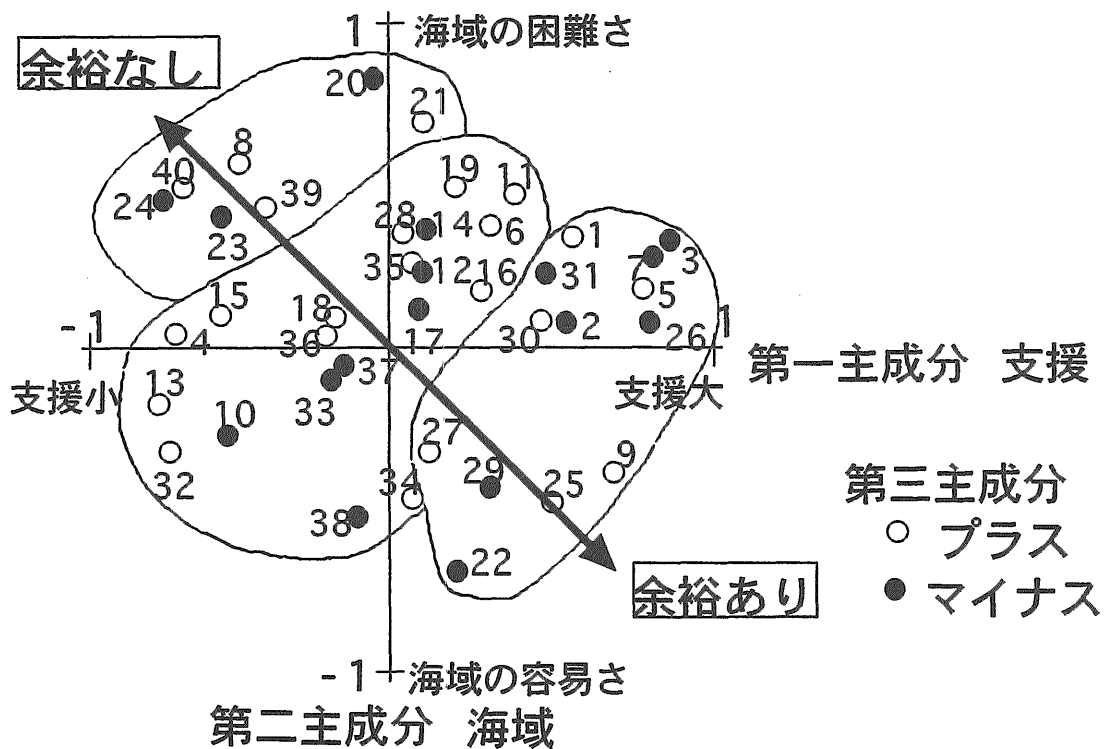


図 3-7 夜間航行主成分分析の因子のグループ化