



操船シミュレータ演習の評価についての研究

井上, 一規

(Degree)

博士 (海事科学)

(Date of Degree)

2013-09-25

(Date of Publication)

2014-09-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第5964号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1005964>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



博士論文

操船シミュレータ演習の評価についての研究
Study on Evaluation Indices
of
Ship Maneuvering Simulator Training

平成 25 年 7 月

神戸大学大学院海事科学研究科

井上 一規

内容梗概

本論文は、筆者が神戸大学大学院海事科学研究科博士課程後期課程在学中及び東京海洋大学先端科学研究センターにおいて行った研究をまとめたものである。その内容は、操船シミュレータ演習の具体的な評価指標の検討をするものである。本論文は以下の5章から構成される。

第1章は緒論であり、研究の背景及び目的を述べる。

従来の一級水先人に加えて船長、航海士として商船の操船経験を有しない三級水先人は、航海当直の経験もなく、出入港作業についての経験は航海訓練所の練習船等以外にはほとんど有しない。改正水先法及び同施行規則の水先人養成に関する条文によれば、水先人に必要な知識や技術の内、港内操船と湾内の輻輳海域における航行を短期間に修得させ、三級水先人免許取得後に各水先区で育成する狙いがある。

操船シミュレータ訓練は、この三級水先人養成における港内と湾内の操船技術の取得に有効であると考えられ、技術習得に欠かせない評価の手法について検討する。

第2章は入船着棧操船についての操船シミュレータ演習とその評価手法について述べる。本章では入港着棧操船を対象としたシナリオによる操船シミュレータ演習終了直後に、本船の船体運動を解析することにより求めた評価指標を用いて操船技術を評価する手法を提案し、この手法による評価の実例を示す。

第3章では、輻輳海域での操船シミュレータ演習における演習効果の具体的な指標を得るために、状況認識を定量化する実験を行い、評価の手法を提案する。

インストラクタより、三級水先修業生の「見張り」技術の修得に問題点があるという指摘を受けているが、同演習時のインストラクタによる評価手法

や、問題点の指摘方法が主観的となる傾向があり、三級水先修業生に真意が伝わっているか否かの疑問があった。

そのために SAGAT 手法を同演習評価に導入して、演習初期段階と演習最終段階における船舶認識率に変化があるかの検討を行う。その結果、操船シミュレータ演習の進捗度に連動して、船舶認識率の向上が確認された。特に「注意を要する船舶」と「シナリオ上認識すべき船舶」の船舶認識率は、輻輳海域での操船シミュレータ演習における演習効果を評価する指標に成り得ることが確認できた。

第 4 章では、MTS 法の概念を用いて「普通と異なる」という感覚を生起させる基準となる標準空間を操船領域に定義して、その閾値の妥当性を検討した。

操船領域における標準空間の基準点と着岸岸壁前面の回頭時の船首位置とのユークリッド距離を **Discrete Distance** と定義し、出船回頭操船における操船技術の評価指標とした。多変量のデータを「パターン認識」し、多項目の推力を制御する出船回頭操船の習熟評価に簡易な指標として、相対比較も対応できる評価指標として有効であることが確認できた。

一方、4.2 節の操船シミュレータ演習のシナリオが風力は **Calm** で操船に影響を与えることはなかったが、当該シナリオに風速が卓越した環境（風向 **North**、風速 **8m/sec**）を付加し、厳しい航行環境下での操船シミュレータ演習で実施し、その場合の評価指標について検討を行った。その結果、評価結果の即時性、簡便な評価基準及び相対比較の容易性の担保と云った利点を備えた評価指標を提案した。

第 5 章は結論であり、本研究で得られた成果を総括するとともに、今後の課題について述べる。

関連発表論文

A 学会論文

1. 井上、日向野、岡崎、矢吹：操船シミュレータによる着岸訓練の評価手法について、日本航海学会論文集、第 124 号、pp.63-69、2011 年 3 月
2. 井上、岡崎、村井、林：操船シミュレータ訓練時の状況認識計測についての基礎的研究、日本航海学会論文集、第 126 号、pp11-18、2012 年 3 月
3. 井上、岡崎、村井、林：操船シミュレータによる回頭着岸操船訓練評価の基礎的研究、日本航海学会論文集、第 128 号、pp207-215、2013 年 3 月
4. K.INOUE, T.OKAZAKI, K.MURAI, Y. HAYASHI : Fundamental Study of Evaluation at Berthing Training for Pilot Trainees Using a Ship Maneuvering Simulator, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, pp.135-141, March, 2013

B 国際会議

1. K. INOUE, H. YABUKI, T. OKAZAKI : On the Evaluation of Berthing Training for Pilot Trainees Using a Ship Maneuvering Simulator, International Association of Maritime University (The 12th Annual General Assembly of IAMU) , pp.319-326, June, 2011

C 参考論文

1. 竹本、野村、矢吹、井上：水先人避航行動の特徴と衝突防止、日本航海学会論文集、第 124 号、pp.47-55、2011 年 3 月

目次

第1章 緒論.....	1
1 研究の背景と目的.....	1
1.1 研究の背景.....	1
1.2 研究の目的.....	2
1.3 港内操船.....	2
1.4 輻輳海域の操船.....	3
1.5 操船シミュレータ.....	3
1.6 操船シミュレータ演習の評価.....	5
1.6.1 操船シミュレータ演習.....	5
1.6.2 評価シート.....	5
1.7 インストラクタによる評価手法.....	7
1.8 ピアアセスメントについて.....	8
1.9 ISO9001 への対応.....	9
1.9.1 スキル評価.....	9
1.9.2 力量.....	9
1.9.3 スキル評価.....	10
1.9.4 記録の必要性.....	10
1.10 本論文の構成.....	11
第2章 入船着棧操船の評価方法の提案.....	13
2.1 港内操船.....	13
2.2 入船着棧橋の操船シミュレータ演習.....	13
2.2.1 評価方法の開発.....	14
2.2.2 評価指標.....	14
2.2.3 評価指標の検討.....	15
2.3 総合評価.....	19
2.4 他の操船シミュレータ演習への適用.....	22
2.5 まとめ.....	25
第3章 輻輳海域における操船シミュレータ演習.....	27
3.1 操船シミュレータ演習の概要.....	27
3.2 状況認識の計測方法.....	27
3.2.1 SAGAT 手法.....	27
3.2.2 計測プログラムの開発.....	28
3.2.3 実験シナリオ.....	29

3.3	認識船の評価	32
3.3.1	認識船	32
3.3.2	注意を要する船舶	32
3.3.3	シナリオ上認識すべき船舶	33
3.4	実験概要	38
3.4.1	被験者	38
3.4.2	実験結果	40
3.4.3	SAGAT 計測の有効性	43
3.5	考察	45
3.6	まとめ	46
第 4 章	出船回頭操船	47
4.1	回頭操船の概要	47
4.2	実験シナリオ	47
4.3	評価手法	48
4.3.1	目的と評価手法	49
4.3.2	MTS 法	49
4.3.3	操船シナリオでの指標基準	51
4.3.4	閾値の設定及び妥当性の検討	51
4.4	本手法による評価結果	57
4.5	外的条件が操船に影響を与える場合の操船シミュレータ演習	58
4.5.1	離岸距離のデータ	60
4.5.2	航跡図	60
4.6	基準点と回頭位置の距離	62
4.7	まとめ	63
第 5 章	結論	65
	謝辞	69
	参考文献	71
	付録	75

目 次

図 1.1	平成 19 年 4 月以降の水先人免許の行使単位と取得方法	1
図 1.2	評価シート	6
図 2.1	一級水先修業生の評価結果	16
図 2.2	三級水先修業生 1 の結果	20
図 2.3	三級水先修業生 3 の結果	20
図 3.1	他船の状況認識の記録紙と記入例	28
図 3.2	レーダチャートプログラムの出力	29
図 3.3	プログラムの表示画面	32
図 3.4	開始 25 分後の航行状況 (オペレータ画面)	37
図 3.5	認識すべき船舶の数	42
図 3.6	横切り船の認識率	42
図 3.7	パワースペクトル	43
図 3.8	被験者 C の SNS	44
図 3.9	被験者 D の SNS	44
図 4.1	インストラクタによる模範操船	48
図 4.2	標準空間の概念	50
図 4.3	回頭実験の説明図	51
図 4.4	回頭実験 (初速 0.0kts)	53
図 4.5	回頭実験 (初速 1.0kts)	53
図 4.6	回頭実験 (初速 2.0kts)	54
図 4.7	回頭実験 (初速 3.0kts)	54
図 4.8	90 度回頭時の船首位置 (2008 年、2009 年及びインストラクタ)	56
図 4.9	90 度回頭時の船首位置 (2008 年 - 2012 年)	58
図 4.10	一級水先修業生の航跡図 (風向 North、風速 8m/sec)	63
図 4.11	一級水先修業生の航跡図 (船速が不十分の場合)	63

表 目 次

表 2.1	インストラクタ (Ohi No.4 Berth)	18
表 2.2	一級水先修業生 (Ohi No.4 Berth)	18
表 2.3	三級水先修業生実験 (Ohi No.4 Berth)	18
表 2.4	インストラクタと水先修業生の比較 (Ohi No.4 Berth)	21
表 2.5	評価の例	21
表 2.6	インストラクタの指標 (Honmoku D Berth No.4)	23
表 2.7	一級水先修業生 (Honmoku D Berth No.4)	23
表 2.8	三級水先修業生 (Honmoku D Berth No.4)	23
表 2.9	三級水先修業生の総合評価	24
表 3.1	関係船 24 隻のリスト	31
表 3.2	「シナリオ上認識すべき船舶」	38
表 3.3	操船シミュレータ演習カリキュラム	39
表 3.4	状況認識実験 1 の結果	41
表 4.1	実験船の要目	52
表 4.2	Pilot Card	52
表 4.3	実験結果	55
表 4.4	回頭操船結果 (2008 年、2009 年)	56
表 4.5	Discrete Distance (2008 年から 2012 年)	59
表 4.6	外的条件が卓越した環境下での操船シミュレータ演習の船速と横距離	61
表 4.7	インストラクタ模範操船の船速と離岸距離	62

第1章 緒論

1 研究の背景と目的

1.1 研究の背景

平成19年の水先制度の改正は、水先制度をより安全で、効率的かつ的確なサービスを安定的に利用者に提供できる総合的な仕組みとして構築され、水先制度の高度化・基盤強化を計るものとして現在に至っている。新しい水先法での水先人養成には、かつては一定期間の船長経験を経た者が水先人国家試験を受験していたが、近年の日本人船長の減少によって従来通りの水先人の人材確保が困難になると予想され、等級制を設けて新規学卒者である三級海技士（航海）を有する者からも水先人になる道が開かれた。図1.1に平成19年4月以降の水先人免許の行使範囲と取得方法の概要を示す。

1 水先人の免許の等級と行使範囲				
免許	行使範囲			
一級水先人	制限なし			
二級水先人	上限5万総トンまでの船舶、但し、危険物積載船は上限2万総トンまで			
三級水先人	上限2万総トンまでの船舶、但し、危険物積載船は不可			

注 二級及び三級の水先人は、一定の水先業務経験を経た後、上級免許に進級する。

2 免許を取得するための要件及び方法				
要件		一級水先人	二級水先人	三級水先人
乗船履歴	船舶 総トン数	3,000GT 以上	3,000GT 以上	1,000GT 以上
	航行区域	沿海以遠	沿海以遠	沿海以遠
	職務 職名	船長	一等航海士以上	航海士以上又は 実習生
	期間	2年以上	2年以上	1年以上
海技免状	三級海技士（航海）又はこれより上位の資格免許			
養成施設	当該級の登録水先人養成施設の課程の修了			
国家試験	当該級の水先人試験（身体、筆記、口述）の合格			

図 1.1 平成19年4月以降の水先人免許の行使単位と取得方法

新しい水先法での水先人養成には、実践的な技能を体得するために操船シミュレータ演習の活用が図られた。操船シミュレータ演習は、技術取得に要する時間が短縮できること、合理的なシナリオの設定ができること、反復演習ができること、再現性があること、実船の演習・訓練では危険あるいは不

可能なことでも演習出来ることなど利点が多い。(NAVIGATION 第 183 号)[1-1]
しかしながら、その演習や訓練の評価については具現化された演習目標や明確化された演習方法が決定できるものではなく、その演習評価は評価シートによるインストラクタの主観的評価が主体である。

1.2 研究の目的

本論文では操船シミュレータ演習での具体的指標を検討し、評価に有効な簡易で理解しやすい手法について考察し、経験の浅い若年の水先人の技能の向上に役立ていくことが最終目標である。

1.3 港内操船

港内操船を2つのカテゴリーに大別すると、岸壁前面まで船をもたらす行船方法（アプローチ操船）と岸壁近くにおける操船運用方法（係留操船）に分類することができる。行船方法が適正であれば、無理のない安全な係留操船のながれが確立され岸壁近くの操船は容易になる。港内における操船上、すべての基本となるものは、「本船に保有させる速力が如何にあるべきかということである。」（北原）[1-2]とあり、水先人がもっとも重要とみる操縦性について、ランズバーグ（Landsburg）らの水先人に対するアンケート調査によると次の項目が下記の順位で重要な操縦性とみられている。

- ① 低速時の操縦性能
 - ② 適当な後進力をかけながらでもまっすぐに保針できる停止性能
 - ③ 操舵と操機（主機を操作すること）に対する船の応答の時間的速さ、(タイムラグ)
 - ④ 転舵、当て舵による適切な回頭力のコントロール
- と述べている（本田）[1-3]

本論文ではアプローチ操船の検討において、船速、針路の保持及び離岸距離についての評価指標を検討する。岸壁前面回頭操船の評価指標について Mahalanobis-Taguchi System 法（MTS）の概念をもとに、パターン認識の指標化を検討する。（立林）[1-4]

1.4 輻輳海域の操船

海上における海技者の職務は海上技術の多様性と自己完結性に特色がある。海技者は液化天然ガス運搬船 (Liquefied Natural Gas Carrier ; LNG 船)、自動車専用運搬船 (Pure Car Carrier ; PCC 船)、固体バラ積み貨物専用船、客船など種類の異なる船を運航している。それぞれの船型や船種に応じた海上技術が必要となる。また、自然条件や地形条件などにより操船環境も刻々と変化するために、その状況に応じた適切な処理ができる技能が必要である。最近では、経験の浅い海技者の船橋当直中の見張り業務の取得に弱点がみられ、その行動特性の分析を(伊藤)[1-5]が研究している。これらの先行研究を参考にして、輻輳海域の訓練評価を Situation Awareness Global Assessment (SAGAT) を適用して、新しい水先法による三級水先修業生の状況認識訓練効果を計る。

1.5 操船シミュレータ

操船シミュレータは 1970 年代に開発され、1990 年初頭よりコンピュータ技術と画像処理技術の急速な発達により CGI 方式の視界再現技術が向上し、船舶職員及び水先人養成に活用することが論議されるようになった。

1997 年の Marine Simulator Seminar 1997 (セミナー：船舶操縦に関するシミュレータの活用 —教育訓練と運航環境の評価—) は「1978 年の船員の訓練及び資格証明並びに当直の基準に関する国際条約 (STCW) の改正」が 1995 年 7 月に採択されたことにより、当時の操船シミュレータ事情をまとめ、日本の操船シミュレータの教育訓練及び演習への活用の有効性について提案 [1-6]、[1-7] をしている。

操船シミュレータによる演習効果をあげるには、適切な演習評価が必要である。現状では熟練のインストラクタが、自身の経験を基にして評価・指導を行っているが、インストラクタの負担の軽減や客観的な評価のために評価指標の開発が求められている。

操船シミュレータ演習を進めて行くうえで、インストラクタの役割は重要である。操船演習に入る前のブリーフィングには各シナリオの内容、そのシナリオの演習目的、注意事項等の説明 (設定外力、環境) を十分に実施しておく必要がある。インストラクタは修業生の演習に関する知識と理解がどの

程度か把握する必要がある。また、操船演習中に修業生が限られた時間内の操船でどれだけ操縦性能を理解し、体得できたかを観察する必要がある。インストラクタは操船演習の終了後の記録（航路図、出力図など）をもとにデブリーフィングをマネジメントする。これにはインストラクタの実体験からの意見があればさらに効果的である。船長の心理的な面の意見、考え方も引き出せば当該演習者の実船の操船に役立てることが大きいと考えられる。

本研究では、東京海洋大学先端科学技術研究センター内の「水先人養成訓練用操船シミュレータ」で操船演習されているシナリオ及びデータを活用する。この操船シミュレータは、フルミッションタイプで模擬船橋と映像システムより構成される。映像システムの仕様は以下の通りである。

- ・ スクリーン：円筒型ソフトスクリーン、半径 3.0m
- ・ 水平視野角：240 度
- ・ 垂直視野角：30 度

また、模擬船橋は、実機の航海計器、操船用機器等が装備されている。船橋内部のサイズと装備されている航海計器の詳細は以下の通りである。

- ・ 船橋サイズ（有効）：幅 4.5m, 奥行 4.0m, 高さ 2.2m
- ・ 装備機材： 航海コンソール（主機操作、バウスラスタ操作）, Radar, ARPA（Automatic Radar Plotting Aids）, ECDIS（Electronic Chart Display and Information System）, 操舵スタンド（Steering Stand）, 風向計, 風速計, 船速計, 回頭角, 速度計, 舵角指示計, 操船用コンパススタンド, VHF 通話装置, 音響測深機, ドップラログ（Doppler log）表示器, 航海灯制御盤, 双眼鏡型表示装置

2012 年 4 月に改良され、以下のようになった。

- ・ スクリーン：円筒形ハードスクリーン 半径 4.0m
- ・ 水平視野角： 360 度
- ・ 垂直視野角： 30 度
- ・ 船橋サイズ： 幅 4.0m, 奥行き 4.0m, 高さ 2.2m

1.6 操船シミュレータ演習の評価

1.6.1 操船シミュレータ演習

操船シミュレータの開発は約40年前にはじまり、海技者の教育訓練と航行環境のアセスメント等に利用されてきた。[1-8] ブリッジチームのパフォーマンスについて操船シミュレータ演習の評価モデルについては角田ら [1-9]、[1-10] の研究がある。

初級海技者の操船演習、上級海技者の操船演習に操船シミュレータが使用されており、International Maritime Organization (IMO) のSTW小委員会にSTW33/3 (5 September 2001) に操船シミュレータ演習の有効性についての文書がだされている。これらの文書は、IMOのModel Course 1.22として操船シミュレータと船橋当直員のチームワークに関する文書として広く知られている。

平成19年の水先制度の改正は、等級制を設けて新規学卒者である三級海技士(航海)の免許を有する者からも水先人になる道筋をつけた。この制度による水先人養成制度に重要かつ不可欠な演習として操船シミュレータ演習がとりあげられている。(図1.1参照)

本論では水先人養成用に使われている操船シミュレータ演習を対象に、その評価方法についての検討を行う。

1.6.2 評価シート

図1.2は、水先修業生の操船シミュレータ演習に対するインストラクタ(水先人及び元水先人で当該演習の教師)による評価シートのサンプルである。IMOのModel Course 1.22に勧告された評価項目から一部を抜粋している。図1.2では提示した技能の理解が「十分」、「まだ十分でない」という2段階でチェックしているが、「できる」、「普通」、「不十分」の3段階で評価する方法や中間に評価が集中する傾向を排除するために6段階に評価する手法がある。

Check List (sample)	
<input type="checkbox"/>	1 Take account of local physical environmental features, current, wind tide
<input type="checkbox"/>	1.1 Recall tidal regime for entry
<input type="checkbox"/>	1.2 Identify locations where current effects can be anticipated
<input type="checkbox"/>	1.3 Consider draft/ depth configuration
<input type="checkbox"/>	1.4 Establish wind effects and areas of impact
<input type="checkbox"/>	2 Create a berthing plan
<input type="checkbox"/>	2.1 Complete the pilot card
<input type="checkbox"/>	2.2 Accept the pilot's berthing plan
<input type="checkbox"/>	2.3 Confirmed responsibilities for Bridge team
<input type="checkbox"/>	3 Basic Maneuvering
<input type="checkbox"/>	3.1 Establish slow speed control
<input type="checkbox"/>	3.2 Calculate distance from berth to establish speed control
<input type="checkbox"/>	3.3 set rudder angle
<input type="checkbox"/>	3.4 Return rudder amidships after stop engine
<input type="checkbox"/>	3.5 Minimize periods of "no control"
<input type="checkbox"/>	4 Turn the ship
<input type="checkbox"/>	4.1 Determine transverse thrust effect for propeller
<input type="checkbox"/>	4.2 Determine transverse thrust effect for ship shape and condition
<input type="checkbox"/>	4.3 Conduct a controlled turn
<input type="checkbox"/>	4.4 Set speed of the ship for the swing
<input type="checkbox"/>	4.5 Determine when to start the swing
<input type="checkbox"/>	5 Bridge communication
<input type="checkbox"/>	5.1 Ensure Pilot and bridge team are able to communicate effectively
<input type="checkbox"/>	5.2

図 1.2 評価シート

船橋の操舵室で出入港作業を担当する乗組員（ブリッジチーム員）と水先人にもこの評価シートを事前に配布し（付録：海技振興センターの三級水先修業生用の評価シートサンプル参照）、操船シミュレータ演習後のデブリーフィング時に操船者とインストラクタ及びブリッジチーム員の演習効果の討論資料として活用している。インストラクタがそれらの討論を参考にして、全体を総括して講評を行っている。

この方法は、インストラクタの操船経験に裏付けられた主観的な評価といえる。水先修業生の評価シートによる成績評価は、操船シミュレータから出力される航跡図、機関使用状況、舵使用状況等の出力図、デブリーフィングの討論等を参考にして、操船中の状況対応をインストラクタの経験から点数化した評価や船橋操舵室での操船態度等を参考にしてインストラクタが操船者を総合評価する。

1.7 インストラクタによる評価手法

インストラクタは「1978年の船員の訓練及び資格証明並びに当直基準に関する国際条約」に基づいて（財）海技振興センターが作成した評価シートをもとに三級水先修業生を4段階で評価している。（付録）、たとえば、基本操船の評価シートの外力影響の体得（船種）の項目では、「風による操船への影響（保針性、旋回性、停止距離、ドリフト等）を確認できたか（低速時）」、タグボート使用の基本を体得の項目では「タグボートの性能を確認したか」といったように、訓練の対象となる技術の具体的及び明確な細やかな提示を行う上で難点がある。

インストラクタは評価シートを修業生に操船シミュレータ演習の開始時に配布し、修得する項目を説明の上、操船シミュレータ演習を実施する。同演習終了後に自己採点を求め、それを参考に演習時のインストラクタの評価と合わせてインストラクタの総合評価としている。基本操船訓練、応用操船訓練が終了した段階で修業生よりアンケートという形で自己の総合評価の提出を求めている。この評価手法は、1.6.2で述べた評価シートによる手法とセルフアセスメントの手法を用いて、インストラクタの説明が修業生に理解されたかどうかの確認をはかるなどの客観性に配慮している。

インストラクタの資格についてはIMOモデル訓練課程の1.22項目でも言及しているが「担当訓練教官は、船長（または同等の資格）としての免状を持たなければならない、少なくとも2年以上の操船経験を持たなければならない。また同時に、訓練教材としての操船シミュレータを操作するために必要な訓練と経験を有していなければならない。訓練生の各グループを監督するために、同様の資格と経験を有する追加の訓練教官が必要である。すべての訓練教官は、1978年STCW条約で要求される以上の船体運動に関する流体力学の理論的知識を持っていなければならない。操船シミュレータの操作について説明を受けることに加えて、訓練教官は、操船シミュレータを訓練目的に使用するについての研修に参加しなければならないことが勧告されている」（藤井2000第2回操船シミュレータ [1-11]）とある。ここで説明されている訓練教官、訓練生は本論文のインストラクタ、修業生である。

1.8 ピアアセスメントについて

ピアアセスメントは グループワークによる学習や演習で修業生がお互いに学習や演習の評価を行い、技術の改善を図る手法である。自己評価（セルフアセスメント）と修業生相互による評価（ピアアセスメント）で現在行われている演習シナリオ終了後のデブリーフィングがこの手法を取り入れている。デブリーフィング時には水先人役の修業生とブリッジチームの役割を担当した修業生がインストラクタとともに、同じシナリオでの行動を評価することで、互いの技術を向上させる。修業生の知識レベルや技能レベルがおおむね同じ時には効果があるが、その差が大きい場合は効果が期待できないという問題点がある。例えば、一級水先修業生の演習に三級水先修業生が操舵などで加わった場合、三級水先修業生は一級水先修業生のデブリーフィングの内容を十分に理解できる知識や経験が少なく、評価される点や反省点を生かすことが困難である。

ピアアセスメントの効果は学習途上や成果として作成するレポート、作文、作品などの成果物に対して同じ学習をするコミュニティに属する学習者同志が評価を行うピアアセスメントでは修業生が評価のプロセスに参画することで、学習や演習の内省を促す効果や学習の動機を高める効果が期待される。(植野 [1-12] [1-13])

操船シミュレータ演習の場合、シナリオを実行する操船者がブリッジチーム役の修業生に評価されるのがピアアセスメントにあたる。これに対し水先人役として操船する修業生自身が評価するのがセルフアセスメントである。セルフアセスメントは修業生自身が考えていることや、知識不足や技量不足で不安に感じたことなどを自分自身で知ることができるため、自身の学習効果を改善することが期待できる。

一方、心理的に自己防衛が働き、自己の欠点を直視できない修業生も存在するため、このようなセルフアセスメントの効果は限定的であるといえる。過大評価、過小評価する傾向にある修業生については、このセルフアセスメントではその結果に対する評価に調整が必要になる。

ピアアセスメントでは、他の修業生と自身の学習、演習効果を比較することができるので、客観的な視点から自身の演習効果を振り返ることが期待さ

れ、同じ立場である修業生からの助言はインストラクタによる評価より受け入れやすい利点がある。しかし、ピアアセスメントでは評価者が修業生と同じく学習、演習途上であるため、その評価の信頼性に疑問の余地があり、評価者内での評価基準が一定していないなどの問題点もある。ピアアセスメントの効果をあげるためには、評価の観点や評価指標を共有すること、他者を評価するスキルをあげることなどが必要となる。本論では、この手法の効果については紹介にとどめる。

1.9 ISO9001 への対応

品質マネジメントシステム関係の ISO9001 では、その第 6 章に「資源マネジメント」の要求事項を規定している。一般企業、事業所において現在多く取り入れられている外部に対する説明に相当する。概要を下記に述べるが、スキル評価の基準と記録が重要となる。

この章で述べる具体的資料は、評価指標の記録、演習を行った記録としての航跡図と出力図である。評価資料は、演習日時、評価者、評価の手法を記録しているので、この規格を満足する資料となり得ると考える。この規格の審査を受ける場合は、その審査規定によるのでここでは評価の記録の重要性の面からの参考にとどめる。

1.9.1 スキル評価

ISO9001:6.2 項（人的資源）として、人的資源の要求事項に関連して整備保全要員や生産現場の要員の人材育成管理で使用される「スキル評価」の手法が多く、の事業体で取り入れられている。ここで使用される「スキル評価表」は直接には 6.2.2a) 項の「要員に必要な力量を明確にする」への対応であるが、ISO9001 審査ではこの「スキル評価表」の運用と教育訓練の記録を示せば「要員は力量があること」をはじめ 6.2 項のすべてを満たすとみなされている。

1.9.2 力量

同規格の「力量がある」は英語では competent である。「(何かをするために) 不可欠な又は適切な能力がある」、すなわち「何かを必要な程度に遂行するの

に十分な技能、知識を持っている」意味である。そして、「力量 (competence)」はそのような能力とか、そのような状態であることを意味する。この「何か」とは規格では「製品品質に影響ある仕事」であり、個々の要員に命じ、委ねた業務、遂行する能力と説明されている。従って「力量」とは職務遂行力のことと理解できる。

同規格では各要員に特定の業務を与えることを「責任及び権限を定める」(5.5.1 項) と表現されているために、「力量」は各要員に定められた責任及び権限、つまり職責を全うする能力のことだとも理解できる。

この力量の有無は「(学校) 教育、(組織内での) 教育訓練、(特別な) 技能及び経験 (職務経歴)」(6.2.1 項) を基準として判断している。職務遂行力があるとは、ある要員がその職務を所定の手順に則って実行し、所定の結果を出すことができるという意味だが、規格ではそれが上記の4つの事実によって裏付けられる (demonstrated) 場合に「力量がある」と云う。

1.9.3 スキル評価

一般に「スキル評価」では、事業所単位、職場単位に業務とそれを構成する作業の内容を分析して、職場の業務の遂行に必要な要素作業や要素技能を細分して取り出し、これらのひとつひとつに関する各要員の習熟度を 3-5 段階に格付けする。これに基づいて各要員の育成計画が策定され、教育訓練などによって習熟度の向上が図られ、その結果は定期的に評価され、各人のスキルの格付けが変更される。

1.9.4 記録の必要性

力量とスキル評価はその検査を行った時の記録とその保管が ISO9001 の手法では求められる。各修業生の航路図と出力図が演習の日時とともに記録され、インストラクタによる総合評価が記録されているのが現状であるが、これに加えて、本論文の評価指標を記録に加えれば、力量の測定、スキル評価の具体性が深まる。更なる研究で具体的指標が増加するのであれば、このスキルの評価は客観的評価の記録となりうる。

1.10 本論文の構成

本論文の各章の構成と概要について以下に述べる。

第1章では緒論であり、概要を述べる。

第2章では港内操船のうち入船着岸操船として入船着岸操船の評価方法の検討を述べる。

第3章では輻輳海域の操船シミュレータ演習における状況認識についての検討と演習の習熟度の検証を図る。

第4章では港内操船の中で、現在多く就航しているPCC船のように係留舷が限られている船の出船回頭操船演習を取り上げ、パターン認識の評価指標の検討を述べる。

最後に第5章で本論文のまとめを行い、今後の展望を述べる。

第 2 章 入船着棧操船の評価方法の提案

2.1 港内操船

港内操船を 2 つのカテゴリーに大別すると、岸壁前面までのアプローチ操船と岸壁前面から着岸までの係留操船に分類することができる。アプローチ操船が適正であれば、岸壁前面から岸壁までの平行移動する係留操船は容易になる。

港外から所定の進路を保持しつつ岸壁に接近し、岸壁前面において船体を停止するまでの操船をアプローチ操船と定義し、岸壁前面から岸壁までの横移動の操船運用方法を係留操船と定義する。(橋本・矢吹・岡崎 2012) [2-1]

船長経験を有しない水先修業生の養成に、現在では操船シミュレータを活用して短時間にかつ効率的にその技術を演習する方法が求められている。現在の操船シミュレータは、岸壁近くの流体の流れの再現や係留索を取り扱う係留作業及びその疑似画像については、いまだ開発途上である。よって、本論文では港内操船のうち、入船着棧のアプローチ操船演習の評価を第 2 章、岸壁前面回頭を含む出船着棧アプローチ操船演習の評価を第 4 章で検討する。

2.2 入船着棧橋の操船シミュレータ演習

ここでは、操船シミュレータ演習が終了する毎に出力される船体運動の時系列データに着目し、これらを指標として、水先修業生の操船技術を客観的かつ簡便に評価する手法を検討する。

着棧操船を評価する 1 つの客観的指標として、大津 [2-2] が最短時間着棧操船方法を、船舶の操縦運動モデルから数学的に示している。しかし、最短時間着棧操船方法は、操船所要時間を評価関数とした操縦性能の限界を示すものであるため、操船シミュレータ演習結果の評価指標として利用することは困難である。

一方、岡崎・日向野 [2-3] は、着棧操船のシミュレータ演習の結果から着棧位置までの残り距離に対する船速を分析し、その結果を操船上の安全マージンとして最短時間着棧操船問題に拘束条件として設定することを提案している。そこで、三級水先修業生の操船シミュレータ演習を対象として、操船

上の観点から、着棧操船シミュレータ演習における船舶の状態変数を着棧位置までの残り距離を基本にして、訓練結果を定量的に評価できる指標を提案し、その妥当性について検討する。

2.2.1 評価方法の開発

一級及び三級水先修業生（以下、修業生）を対象とした操船シミュレータによる着棧操船シミュレータ演習では、まず、インストラクタによるブリーフィングの後、インストラクタが模範操船を示して、各修業生に同一の環境条件での演習を実施している。このとき、実際に操船を行う水先人役の修業生以外は、船長、航海士、操舵手として操船を補佐しながら、操船水先人役の操船を学習する。

演習後に出力される、時間、位置、船首方位、船速、主機使用状況、舵角等のデータから評価指標を計算するプログラムを開発する。

2.2.2 評価指標

修業生は操船シミュレータ演習のシナリオをインストラクタの模範操船後に実行する。同演習は原則として修業生4名を1チームとし、水先人役、船長役、航海士役、操舵役に付き演習を行う。4名を超える場合は船橋内の見学者として同じシナリオを体験する。各修業生が1回はこのシナリオで水先人役を行うことで同シナリオの演習が終了する。修業生はブリッジ・リソース・マネジメント（Bridge Resource Management ; BRM）の役割を学習するとともに、水先業務の疑似体験としての学習と実務修習における指導水先人の技術を学習するための準備体験でもある。

BRMとは、安全運航を達成するために船橋（ブリッジ）で利用可能なあらゆるもの（リソース）を有効活用（マネジメント）することで、現在の商船では一般に活用されている。[2-4]

ここで、インストラクタ、一級水先修業生及び三級水先修業生各人の操船経験について記述する。

インストラクタは外航商船船長として3年以上の操船経験に加え、水先人として15年以上の離着棧操船の経験を有する。一方、一級水先修業生は、外

航商船又は内航商船船長として2年以上の操船経験を有し、三級水先修業生は、三級海技士（航海）の海技免状を所持しているが、船長としての操船経験はなく、航海士としての経験を有していない者も存在する。また、インストラクタは操船シミュレータ演習専門のインストラクタ講習を5日間受講している。

一般に、修業生は、インストラクタが行う模範操船における一連の船体運動の制御法を忠実に模倣しようとする傾向が見受けられるので、これに注目して、一つの訓練シナリオが終了する毎に出力される船舶の状態変数である航跡、船速及び船首方位等の時系列データを指標として、操船技術を評価することとする。

例えば、東京湾水先区では、船型と棧橋・岸壁毎の進入角度、船速の制御、岸壁前面における停止時の離隔距離等の標準を定め、これに基づいて着棧操船を行っている。そこで、着棧位置までの残り距離が $3L$ （ L は船の長さ）、 $2L$ 、 $1L$ 及び $0.5L$ の地点を評価地点とし、各評価地点における船舶の状態変数である船速、岸壁方位線（対象岸壁の船舶が係留する方位の線）[2-5]と船首方位との為す角（岸壁への進入角度）及び岸壁方位線との横距離を評価指標として、修業生の操船をインストラクタの模範操船と比較することにより、操船技術を評価する。

2.2.3 評価指標の検討

東京港大井埠頭4号埠頭への着棧操船を行うシミュレータ演習シナリオについて、インストラクタ、一級水先修業生、三級水先修業生の操船を相互に比較し、2.2.2で提案した評価方法の有効性を検討した。

図2.1は、総トン数70,000トンのコンテナ船（長さ L :300.2m、幅 B :38.7m、喫水 d :12.0m Even Keel）の東京港大井4号埠頭への入船左舷係留における一級修業生の操船結果を、インストラクタのそれと比較したものである。図中の実線は、評価を受ける修業生の状態変数の時系列データを示す。○は各評価地点におけるインストラクタの評価指標の平均値を、半分黒く塗った丸印は標準偏差を示す。□は一級水先修業生13名の平均値を示し、半分黒く塗った四角印は標準偏差をそれぞれ示す。図に示すように、この方法により、被評

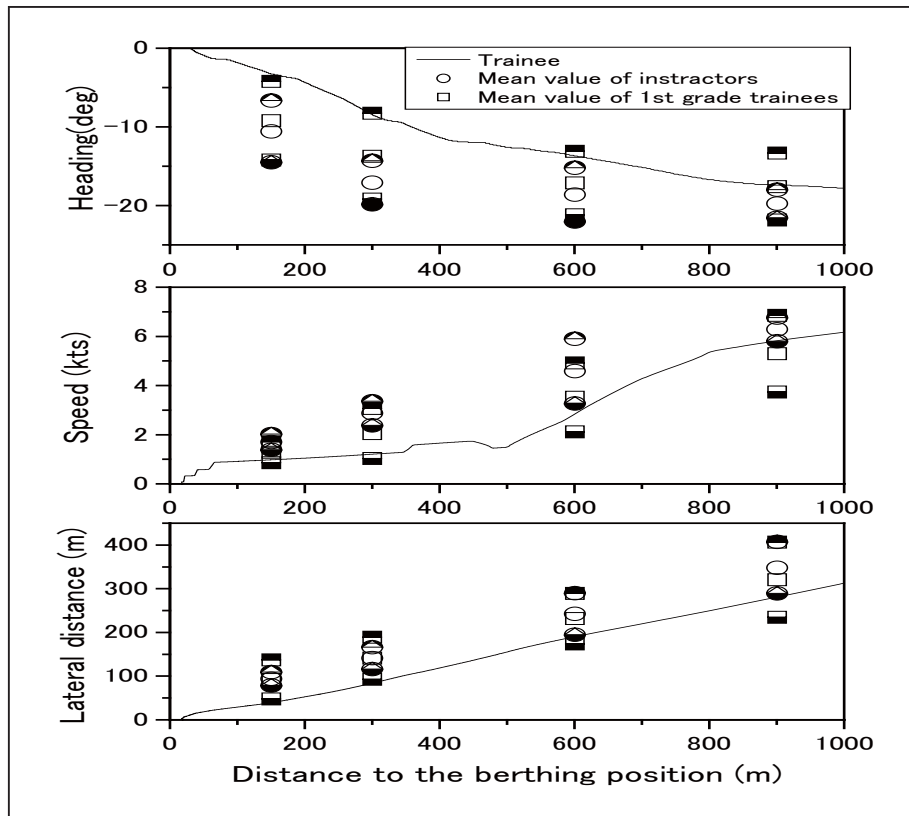


図 2.1 一級水先修業生の評価結果

価値者たる修業生の操船技術をインストラクタの操船技術及び全修業生の平均的な操船技術と簡便に比較でき、インストラクタは、定量的に評価できる指標に基づく技術の評価と合わせ、被験者が改善を要する船体運動の制御法等をフィードバックできる。

表 2.1 は、インストラクタが実施した 4 回の模範操船の解析結果で、表には各評価位置における岸壁方位線との横距離 (Lateral Distance)、船速 (Speed)、岸壁への進入角度 (Approach Angle) の平均値と標準偏差を示している。表中の負の符号は、栈橋を左舷側に見る角度でのアプローチを意味する。たとえば、岸壁方位線が 328 度の場合、マイナス 10 度は計画進入進路 308 度に対して 298 度で進入していることを表す。表 2.2 は、一級水先修業生 13 名が実施した操船についての同様の解析結果である。

なお、一級水先修業生の操船は各自が 1 回行ったのみであるが、各評価地点における評価指標は、13 名全員の平均値と標準偏差から求めた。総トン数 70,000 トンのコンテナ船は三級水先修業生の演習対象船型ではないので、比較検討のためにここでは実験的に行った三級水先修業生の同一シナリオによる操船の結果を表 2.3 に示す。

インストラクタの平均値と標準偏差を見ると、0.5L 評価地点では船速と岸壁への進入角度の標準偏差は、0.4kts と約 3deg. であり偏差が少ない。タグボートの推力をコントロールし、着棧目標地点沖に向っている。0.5L 評価地点では岸壁方位線との横距離の標準偏差は 15.3m で模範操船に近い状態を維持していることがわかる。0.5L 評価地点では、ほぼ岸壁前面であり、その離隔距離が一定であり、次の係留操船が模範操船に近い状態で行える準備が出来ているといえる。インストラクタの操船は模範操船の再現性が高く、評価基準に適する。

一方、船長経験のある一級水先修業生においては、3L 評価地点で、岸壁方位線との横距離の標準偏差が 100m とばらつきがあり、0.5L 評価地点で岸壁方位線との横距離の標準偏差が 37.1m とインストラクタに比べて偏差が大きい。

加えて、船速は着棧操船が始まる 3L 評価地点での平均値は、約 1.0kt インストラクタの値に比べて遅く、標準偏差では 1.9kts となり、着棧操船の実経験が少ないことが推測できる。すなわち航海速力での船体運動には十分な経験があるが、低速域においては、船体運動の制御には舵や高出力の主機の操作よりも、タグボートによる推力の細やかなコントロールが必要であり、この点においてタグボートの推力調整に対する演習と訓練が必要であることが分かる。

船長としての操船経験のない三級水先修業生では 3L 評価地点では、船速は模範操船を維持するも、横距離では 281.5m とインストラクタより 66.7m 岸壁に接近し、0.5L 評価値地点では岸壁との横距離が 39.2m とほぼ船幅 (38.7m) しかなく、模範操船より岸壁に接近し過ぎて、次の係留操船が困難であると同時に船長に不安感を抱かせる結果となっている。

表 2.1 インストラクタ (Ohi No.4 Berth)

Evaluation point	Lateral Distance (m)		Speed (kts)		Approach Angle (deg.)	
	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D
3L	348.2	59.0	6.1	0.4	-19.8	1.8
2L	242.4	47.5	4.6	1.3	-18.6	3.4
1L	141.4	25.0	2.9	0.4	-17.1	2.8
0.5L	93.9	15.3	1.7	0.4	-10.6	3.9

(L: Length of the ship)

表 2.2 一級水先修業生 (Ohi No.4 Berth)

Evaluation point	Lateral Distance (m)		Speed (kts)		Approach Angle (deg.)	
	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D
3L	309.6	100.4	5.1	1.9	-17.5	5.1
2L	225.5	58.7	3.2	1.7	-17.4	3.6
1L	136.1	39.9	1.9	1.1	-14.2	5.8
0.5L	88.9	37.1	1.3	0.6	-10.0	5.0

(L: Length of the ship)

表 2.3 三級水先修業生実験 (Ohi No.4 Berth)

Evaluation point	Lateral Distance (m)	Speed (kts)	Approach Angle (deg.)
3L	281.5	5.7	-17.4
2L	190.5	2.9	-13.7
1L	84.3	1.1	-8.5
0.5L	39.2	1.0	-3.3

(L: Length of the ship)

2.3 総合評価

表 2.2、2.3 に示した一級及び三級水先修業生が行った操船の解析結果を、インストラクタが行った模範操船の解析結果（表 2.1）と比較した。表 2.4 は、各評価指標についてインストラクタの評価値と一級及び三級水先修業生の評価値の差を整理したものである。図に示したように、全ての指標について、一級水先修業生に較べ三級水先修業生の模範操船との差が大きく、三級水先修業生の操船技術が許容される水準に達していないことを示している。これは、主として一級水先修業生と三級水先修業生の実船における操船経験の差に起因すると考えられる。

このような三級水先修業生の操船シミュレータ演習においては、いきなり水先経験者であるインストラクタの操船レベルに到達することを要求するのではなく、当面は、水先人としての操船経験のない一級水先修業生のレベルに到達することを目標として、総合的に評価するのが三級水先修業生の動機付けに有効と考える。

以上から、三級水先修業生個々の操船シミュレータ演習を総合的に評価する方法を以下のとおり検討した。

まず、修業生の評価指標がインストラクタによる模範操船における標準偏差（ 1σ ）内にある場合を A（3点）、一級水先修業生の操船における 1σ 内にある場合を B（2点）、一級水先修業生の操船における 2σ 内にある場合を C（1点）とする。これにより、各評価地点における三級水先修業生の操船が点数で表記でき、数値での評価が可能となる。

次に、評価地点別に評価点について重み付けを行う。評価点の重み付けは、3L 評価地点において 1、2L 評価地点において 2、1L 評価地点において 3、0.5L 評価地点において 4 とする。この評価手法は、3L 評価地点での偏差が大きくなってしまった場合でも、着棧位置に近づくまでにインストラクタの模範操船に近づくよう修業生が修正の操船を行うことを推奨するために設定した。なお、重み付けについては、さらに実験を重ねて演習効果が高まるように修業生にとってもよりわかりやすい客観的な値を検討する必要があると考える。

表 2.5 は、このような考え方に基づいて 2.3 に示した三級水先修業生の操船を総合的に評価した結果である。なお、表中の Grade は Total points を 100 点に

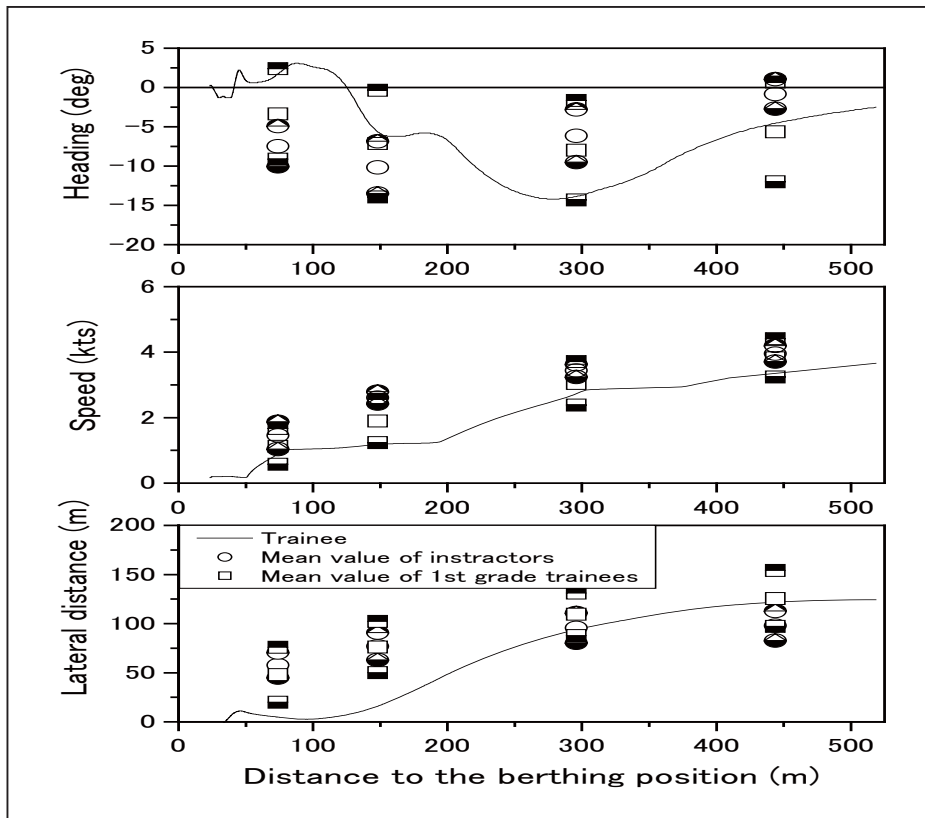


図 2.2 三級水先修業生 1 の結果

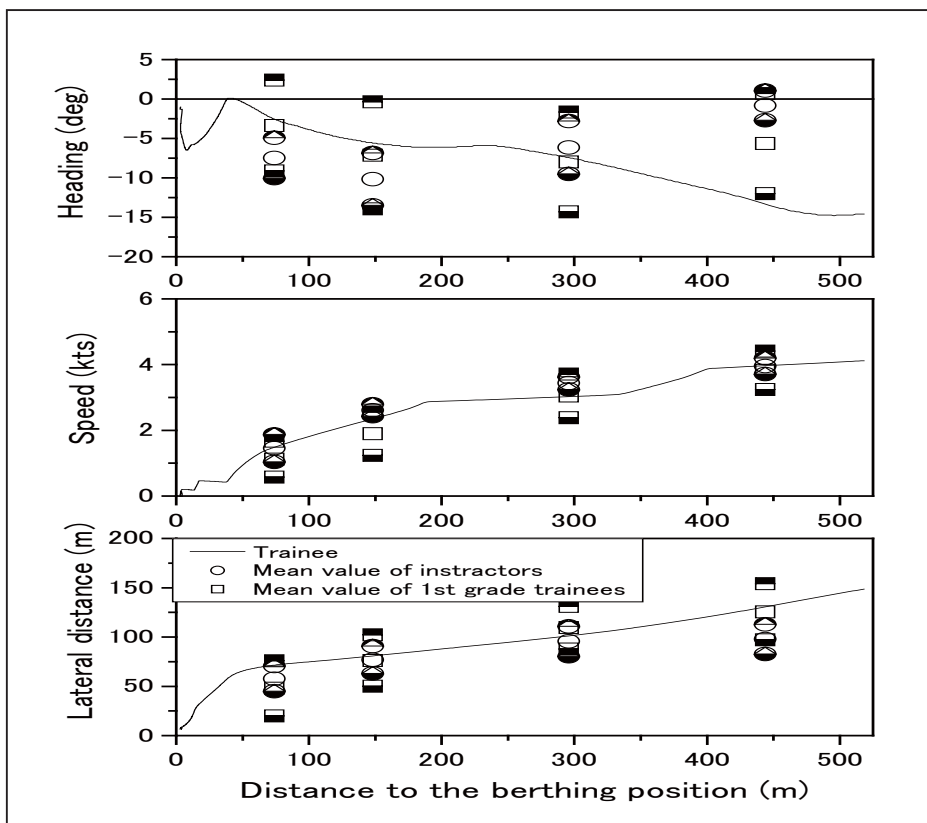


図 2.3 三級水先修業生 3 の結果

表 2.4 インストラクタと水先修業生の比較 (Ohi No.4 Berth)

Evaluation point	1 st grade trainee			3 rd grade trainee		
	Lateral Distance (m)	Speed (kts)	Approach Angle (deg.)	Lateral Distance (m)	Speed (kts)	Approach Angle (deg.)
3L	38.6	1.0	2.3	-66.7	-0.4	2.4
2L	16.9	1.3	1.2	-51.9	-1.7	4.9
1L	5.3	1.0	2.9	-57.1	-1.7	8.6
0.5L	5.0	0.4	0.6	-54.7	-0.8	7.3

(L: Length of the ship)

換算して求めた評価値である。

この修業生のケースでは、3L から 2L の評価地点における評価は B で、着
 棧位置へアプローチする初期段階のアプローチ操船の技術はほぼ一級水先修
 業生と同程度と判断できるが、アプローチ操船の最終段階である 1L から 0.5L
 における評価は C となっており、模範操船からの差分が大きかったにもかか
 わらず差分を修正するための船体運動の制御が不十分であったことがわかる。
 また、総合評価点は約 50 点であり、更なる操船シミュレータ演習が必要と判
 断できる。

表 2.5 評価の例

		3 rd grade trainee
3L	Speed	B
	Approach Angle	A
	Lateral Distance	B
2L	Speed	B
	Approach Angle	B
	Lateral Distance	C
1L	Speed	C
	Approach Angle	C
	Lateral Distance	C
0.5L	Speed	C
	Approach Angle	B
	Lateral Distance	C
Total points (90)		42
Grade		46.7

(L: Length of the ship)

2.4 他の操船シミュレータ演習への適用

10,000 総トンのコンテナ船（長さ L:147.87m、幅 B:23.25m、喫水 d:6.89m Even Keel）を横浜港本牧 D 埠頭 4 号岸壁に入船左舷係留する操船シミュレータ訓練のシナリオで実験を行い、前節で提案した評価方法を用いて三級水先修業生の操船技術の評価を試みる。

当該コンテナ船を用いた操船シミュレータ演習は、三級水先修業生と一級水先修業生が同様のシナリオで行っており、両者の操船技術の比較評価を行うことが可能である。

評価に使用する指標は、操船シミュレータを用いてインストラクタが行った 6 回の模範操船及び一級水先修業生 28 名が行った操船を解析して求める。インストラクタによる模範操船の解析結果を表 2.6 に、一級水先修業生が行った操船の解析結果を表 2.7 にそれぞれ示す。表 2.8 は、三級水先修業生 3 名が行った操船の解析結果である。

東京港大井埠頭 4 号シナリオの結果と同じく、インストラクタの模範操船の忠実な模倣を試みる一級水先修業生の標準偏差は、楕円形栈橋のスリット状の水路にはいる 3L 評価地点で 38m、2L 評価地点で 23m となり、ばらつきがインストラクタの模範操船よりも大きい。平均値の差異について目を向けてみると、インストラクタは 3L 評価地点では、岸壁方位線との横距離が 97.9m に対して、一級水先修業生は 122.3m、三級水先修業生は 117m であり、2L 評価地点では、インストラクタの値が 95.6m に対して、一級水先修業生では 107.5m、三級水先修業生では 95.6 m と、インストラクタの値に比べて一級修業生は横距離を多くとる傾向にある。

表 2.6 インストラクタの指標 (Honmoku D Berth No.4)

Evaluation point	Lateral Distance (m)		Speed (kts)		Approach Angle (deg.)	
	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D
3L	97.9	15.0	3.8	0.2	-0.8	1.9
2L	95.6	15.2	3.4	0.0	-6.1	3.3
1L	77.1	13.9	2.5	0.0	-10.2	3.3
0.5L	57.8	12.8	1.5	0.4	-7.5	2.6

(L: Length of the ship)

表 2.7 一級水先修業生 (Honmoku D Berth No.4)

Evaluation point	Lateral Distance (m)		Speed (kts)		Approach Angle (deg.)	
	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D
3L	122.3	38.0	3.8	0.6	-5.8	7.9
2L	107.5	23.9	3.0	0.8	-8.8	6.1
1L	77.7	26.0	2.1	1.0	-7.6	6.8
0.5L	51.5	27.3	1.1	0.6	-4.2	6.8

(L: Length of the ship)

表 2.8 三級水先修業生 (Honmoku D Berth No.4)

Evaluation point	Lateral Distance (m)		Speed (kts)		Approach Angle (deg.)	
	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D
3L	117.6	-19.7	1.7	0.3	-2.6	1.8
2L	95.6	0.0	1.4	0.4	-2.6	-3.5
1L	52.6	24.5	0.8	0.5	-8.0	-2.2
0.5L	35.5	22.3	0.5	0.3	-5.1	-2.4

(L: Length of the ship)

三級水先修業生 3 名のそれぞれについて行った総合評価の結果を表 2.9 に示す。

三級修業生 1 の 3L 評価地点での進入角度の評価は、一級修業生の値と同等であったが、その後のタグボートの適切な制御が不十分で岸壁前面に到着した時点での模範操船との隔たりが大きい。修業生 1 は 2L 評価地点、1L 評価地点と総合点からタグボートの推力制御対するに訓練が必要と判定できる。

修業生 2 は、3L 評価地点での船速がインストラクタの模範操船の値と比較して差異が大きかったが、2L 評価地点及び 1L 評価地点において船体制御の立て直しを図り、0.5L 評価地点では模範操船に近い船体状態となったのでその結果が総合点に反映された。

それに比較して修業生 3 は、3L 評価地点へのアプローチ操船が模範操船に近い状態に到達することができ、その後のタグボーートを使用した船体制御も適切で、岸壁前面ではほぼインストラクタの模範操船の範囲を維持することができた。

表 2.9 三級水先修業生の総合評価

		trainee		
		1	2	3
3L	Speed	B	C	A
	Approach Angle	B	A	C
	Lateral Distance	B	A	B
2L	Speed	B	C	B
	Approach Angle	B	B	A
	Lateral Distance	A	A	A
1L	Speed	C	B	B
	Approach Angle	B	A	B
	Lateral Distance	D	B	A
0.5L	Speed	B	B	A
	Approach Angle	C	B	B
	Lateral Distance	C	B	B
Total points (90)		45	64	71
Grade		50.0	71.1	78.9

(L: Length of the ship)

このように三級水先修業生のアプローチ操船技術の個人差が評価地点での評価と総合評価で明らかとなった。船橋での他の修業生のアプローチ操船を学習した効果やインストラクタの模範操船の理解度でも個人差が出ていると推測できるので、改善点の指摘が容易となり、演習評価として適切なものであると考える。

図 2.4 に三級水先修業生 1 の出力を図 2.3 に三級水先修業生 3 の出力を示す。デブリーフィング時に演習結果を修業生にフィードバックする参考資料になり、演習効果を向上させることができる。

2.5 まとめ

着棧操船演習を例に、あるシナリオによる訓練が終了と同時に本船の船体運動を解析することにより評価指標を求め、これを用いて操船技術の評価する手法を提案し、この手法による評価の実例を示した。

主要な結論は次のとおりである。

- (1) インストラクタは模範操船を提示し、修業生は同一のシナリオ、同一の外的条件で操船演習するので、技術習得の演習目標が明確になり学習しやすい。
- (2) 一級水先修業生の平均と標準偏差は、実船経験が少ない三級水先修業生の技術水準を評価する指標に適している。
- (3) 評価指標による操船演習と各評価地点での加重した総合点は三級水先修業生の評価地点からの立て直しを反映し、技術向上の動機付けの支援となる。
- (4) 訓練終了後の船体の状態変数を用いるので、操船している修業生に特別の心理的負担をかけずに、定量的に評価できる資料が抽出できる。
- (5) 提案した評価方法により、インストラクタは評価を短時間に行うことが可能で、デブリーフィング時に訓練結果を直ちに修業生にフィードバックすることにより、訓練効果を向上させることができる。

なお、今回は着棧操船におけるアプローチ操船に焦点を当てて評価手法を検討したが、着棧操船全体を評価するためには、アプローチ後の横移動操船の評価手法についても検討する必要がある、今後の課題と考える。

第3章 輻輳海域における操船シミュレータ演習

3.1 操船シミュレータ演習の概要

操船シミュレータでは、離着陸操船演習、輻輳海域における航行操船演習及び危機対応操船演習等を実施している。なかでも輻輳海域における航行操船演習は、目的に合致した航行条件を設定したシナリオで、出発地点から到着地点までの安全で効率的な運航を求められる。修業生が操船することにより、自船の状態と航行環境は変化し、シナリオで設定された多くの他船や物標等は、各修業生で少しずつ異なり、そのために他船が自船に及ぼす影響が個人毎に若干異なる。

インストラクタは修業生の操船を評価する場合、他船等の見張り状況（状況認識）、操船の意思決定のタイミング、船橋内でのオーダー等を同じ船橋内、あるいはオペレータ室で観察し、チェックリストによって評価し、操船演習の指導をしている。

シナリオ実施中において、様々に変化する他船群の中から注意すべき船舶を適切なタイミングで認識できるかを計測することができれば、インストラクタの指摘を修業生に具体的に伝えることができ、より効果的に操船演習を実施することができる。

この章では、操船シミュレータ演習中の操船者が認識している状況認識を計測する手法として、航空機のヒューマンインターフェース開発において、被験者の状況認識を計測する方法として使われている Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT) [3-1] の適用を試みる。三級水先修業生の養成初期に SAGAT による計測を行い、当該修業生が操船シミュレータ演習、水先業務の実務修習、外航船と内航船による乗船修習を行った後に、再び SAGAT による状況認識の計測を行い、修習効果についても検討する。

3.2 状況認識の計測方法

3.2.1 SAGAT 手法

SAGAT は、操船シミュレータ演習においてシナリオを実行中にシナリオを突然中断し、被験者に状況認識の質問を行い、回答を得る手法を用いる。中

断時間はシナリオの流れを妨げないように2分以内とする。回答後、操船シミュレータ演習を再開し、シナリオ終了までこれを繰り返して被験者の回答を収集する。なお、シナリオ中断時は状況認識を確定するために操船シミュレータの景観を暗くする。

3.2.2 計測プログラムの開発

輻輳海域航行中に被験者が認識している状況認識内容を抽出するために、レーダチャート紙に認識している船舶の自船との相対方位、相対距離、針路、速度及び船舶の大きさ等の回答を求める。この実験でのシナリオの中断は、短時間が望ましい。回答を口頭で報告する場合は、認識している船舶が曖昧になる懸念がある一方、文章・メモ書き等で筆記回答する場合は回答時間が2分を超えることが想定される。両者の条件を充足させるために、操船シミュレータ演習で使用している Radar や Automatic Radar Plotting Aid (ARPA) 画面のイメージに近いレーダチャート紙に回答する方法を用いた。この方法で事前に予備調査を行い、2分の超えない範囲で記録を得られること確認した。

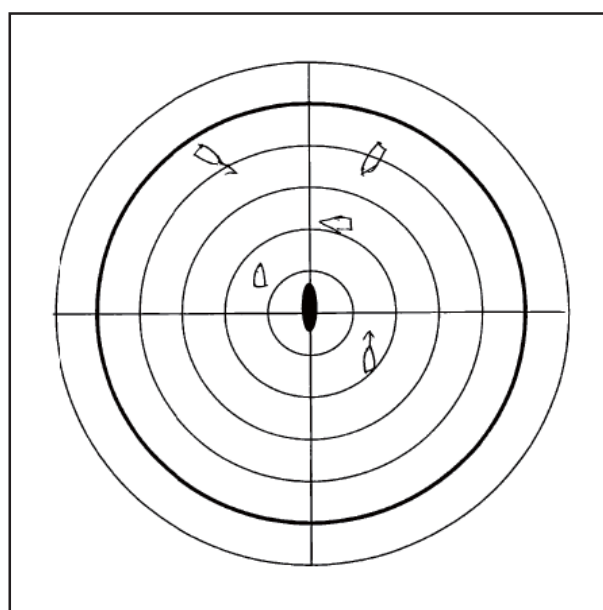


図 3.1 他船の状況認識の記録紙と記入例

回答のレーダチャート紙から被験者が認識している船舶を特定するために、計測時の他船 ID 番号と状況を実験時の操船記録より抽出するプログラム（レーダチャートプログラム）を開発した。ARPA 型式で出力し、被験者の回答と照合して船舶 ID 番号を特定した。図 3.1 に記録紙に記入例を示す。

図 3.2 ではレーダチャートプログラムの出力を示す。'Target ship' は「注意を要する船舶」で△印で画面に出力される。

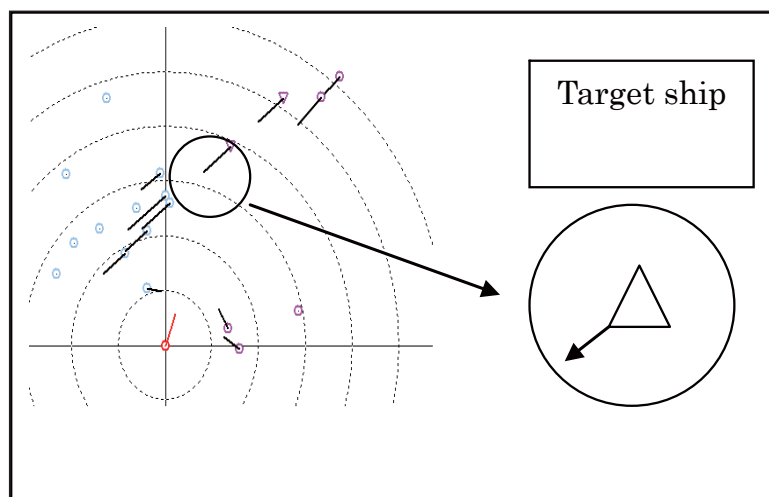


図 3.2 レーダチャートプログラムの出力

3.2.3 実験シナリオ

実験シナリオとして、浦賀水道航路北口から北上して、横浜航路へ航行する総トン数 28,000 トンのコンテナ船（全長 218.5m、幅 31.2m、船首喫水 10.5m、船尾喫水 10.5m）を用いる。航程は 5.5 マイル、シナリオ開始時刻は 06 時 30 分、浦賀水道へ向かう南航船の交通流を東京湾中ノ瀬西方第一号灯浮標（整流ブイ 1 番）、東京湾中ノ瀬西方第二号灯浮標（整流ブイ 2 番）の間又は整流ブイ 2 番を過ぎて左転して横浜航路に向かうシナリオである。シナリオ開始時の本船船速は 12.0kts で、横浜航路沖到着時には 8.0kts になるように速力調整を行う。本船に関係する停泊船、横切り船及び南航船等（関係船）は合計 24 隻を用意し、各関係船には ID 番号をつける。

シナリオに用いた関係船 24 隻のリストを表 3.1 に示す。この操船シミュレータ演習で、インストラクタはブリーフィングにて三級水先修業生に以下のような注意事項を説明する。

- ① 最初に南航船の交通流のどのあたりを横切るかを大まかに予想する。
- ② 浦賀水道航路中央第六号灯浮標（浦賀 6 番ブイ）を通過した付近で中ノ瀬整流 2 番ブイに接近しながら北航する際に、南航船の中から横切りの目標となる船舶を決めておく。
- ③ 速力の関係から浦賀 6 番ブイを出たときに東京湾アクアライン東水路付近を南下する船舶と見合い関係が発生する確率が高い。
- ④ 中ノ瀬西側整流ブイ 1 - 2 番の間では南航船を左舷側に見て航行することを心掛ける。
- ⑤ 南航船を横浜区に向かって横切る際には、船速 8.0kts から 10.0kts を維持する。
10.0kts 以上の速力の場合パイロットステーションまでに減速する際にスムーズな減速が困難になるためである。また、8.0kts 以下の速力であれば変針中に減速され、南航船の航行を妨害することとなり、安全航行の妨げになる。
- ⑥ 南航船の船列を横切る時は、南航船のみに注目することにより、視野が狭まる恐れや南航船の陰に隠れる船舶の存在に気づくのが遅れることがあるので、南航船の列を横切る前に横浜航路付近の航行環境や出入港船を確認しておく。

表 3.1 関係船 24 隻のリスト

No.	ID	Kind of ship	Position	Speed	Destination
1	1	Ferry	1.5mile behind of ID 2	20kts	Uraga NO.1
2	2	Container large		15kts	Uraga NO.1
3	3	Cargo boat 499type		12kts	Uraga NO.1
4	4	Cargo boat	from Ogishima	12kts	Uraga NO.1
5	5	Fishing boat	from Yokosuka	11kts	Nakanose
6	6	Ferry	Nakanose traffic	12kts	Tokyo
7	7	Pleasure boat	drifting	drifting	drifting
8	9	Small ship	drifting	drifting	drifting
9	10	Small ship	drifting	drifting	drifting
10	11	Container large	Anchor	anchor	anchor
11	23	Container ship middle	0.3mile front of ID 2	10Kts	Uraga NO.1
12	24	Tanker (499type)	Tsurumi passage	10kts	Uraga NO.1
13	25	Tanker (499type)	1.0mile front of ID 2	10kts	Uraga NO.1
14	26	Container ship	Yokohama	5kts-12kts	Uraga NO.1
15	27	Bulker large	1.0mile behind of ID 2	14kts	Uraga NO.1
16	28	Gut ship	Negishi	8kts	Kawasaki
17	29	Cargo boat middle	Tsurumi passage	13kts	Uraga NO.1
18	30	Container large	Tsurumi passage	5kts-13kts	Uraga NO.1
19	32	Small ship	Nakanose traffic	anchor	anchor
20	33	Container middle	Nakanose anchorage	8kts	Negishi
21	34	Cargo boat middle	Nakanose anchorage	5kts-8kts	Yokohama
22	35	Container	Tokyo	13kts	Uraga NO.1
23	37	Container	1.5mile behind of ID 27	15kts	Uraga NO.1
24	38	Container	1.5 mile behind of ID37	15kts	Uraga NO.1

3.3 認識船の評価

3.3.1 認識船

被験者が認識した船舶を評価するために、認識すべき船舶の指標を二つ設定する。まず実験シナリオをレーダチャートプログラムと操船シミュレータ再生により「シナリオ上認識すべき船舶」を時系列データとして設定する。次に他船の相対方位変化率と相対距離に着目した「注意を要する船舶」を操船シミュレータ演習結果より算出し、時系列データとして設定した。図 3.3 は作成したレーダチャートプログラムの出力図である。

この「シナリオ上認識すべき船舶」と「注意を要する船舶」を本論文では認識船とする。

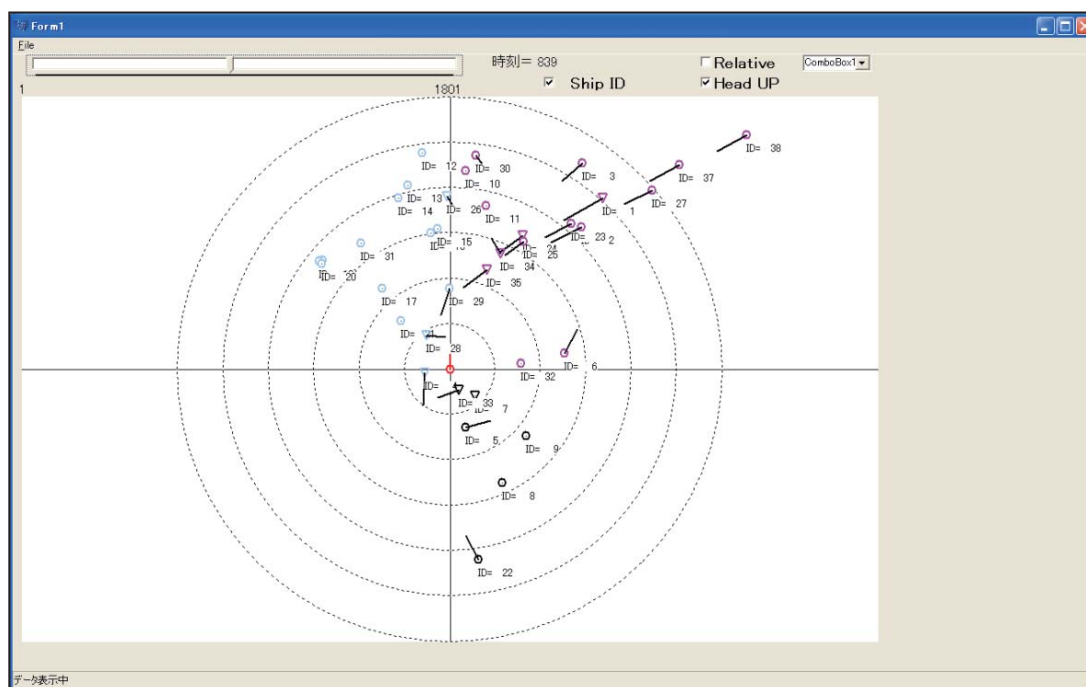


図 3.3 プログラムの表示画面

3.3.2 注意を要する船舶

被験者が認識する船舶を評価するために、状況認識の計測を行った時点で操船者が認識すべき船舶として中村 [3-2] が提案した「注意を要する船舶」を適用する。定義式は以下の通りであり、相対方位の変化が小さい船舶を「注

意を要する船舶」と定義している。

$$\dot{\omega} \leq \alpha \cdot R^\beta \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $\dot{\omega}$ は方位変化率 (DEG/MIN)、 R は相対距離 (M)、 α 、 β は重み係数である。各パラメータ値は、30,000 点の実験結果データから、以下の通り提案されている。

- (1) 他船舶が自船の船首をこれから航過する場合

$$\alpha = 4.5 \times 10^5, \quad \beta = -1.7$$

- (2) 他船舶が既に自船の船首を航過した場合

$$\alpha = 3.0 \times 10^5, \quad \beta = -1.7$$

ここでは、操船シミュレータ演習結果を記録するレーダチャートプログラムに、上記の「注意を要する船舶」のアルゴリズムを組み込み、レーダチャートプログラム上に「注意を要する船舶」を表示する機能を付加した。レーダチャートプログラムでは、他船 ID 番号、針路ベクトル、船位 (○印) を表示し、「注意を要する船舶」は△印で表示する。(参照：図 3.2、図 3.3)

3.3.3 シナリオ上認識すべき船舶

実験シナリオは、浦賀水道航路北口を起点として、船速 12.0kts で開始し、整流 1 番ブイを左舷に見ながら整流 2 番ブイの北側で左転し、南航船の交通流を横切り、横浜航路に 8.0kts 進入する。操船シミュレータ演習時間は約 28 分である。このシナリオで操船シミュレータ演習を開始し、5 分毎にシナリオを中断する。中断時における本船に関する船を「シナリオ上認識すべき船舶」とし、3 段階に選定した。

Level 1 ; 船舶の状態が確認できるもの。認識して動静は確認するが今後の動向に変化がない場合は「注意を要する船舶」に変更されることはない。

Level 2 ; 本船と近距離までの接近あるいは針路の交差の関係性が懸念される船舶で、動向の変化について定期的に確認する必要がある船舶。

Level 3 ; 「注意を要する船舶」、「衝突の可能性のある船舶」あるいは不安を

抱くほど急接近する船舶。

認識すべき船舶をどのように判断すべきか、水先人であるインストラクタに対しアンケート調査（インタビュー形式）を実施した。

インタビューの結果は以下の通りである。

質問 1：水先人が水先業務を行う際にはどのように船舶を認識しているか。

回答 1：

最初に目的地への航行計画をイメージする。シナリオ開始の段階から本船と関係するすべての船舶を判断することはできない。しかし、風潮流の影響や本船の転舵や船速の増減、他船の状態変化から様々な状況が発生するためその時に応じて対応をしなければならない。まず周囲全体を見張り、特定の船舶を注視するのではなく、全ての船舶を意識する。その中で本船の今後の推定位置に見合い関係を生じない船舶、安全に航過できる船舶を除去し、残った船舶の中で注視する船舶の優先順位をつける。そして優先順位の高いものから順に対処する。

質問 2：優先順位はどのように決めるのか。

回答 2：

① 近距離の船舶

本船に近い距離の船舶をまず確認する。これにより現段階での判断や今後の他船の行動が予測しやすくなる。一方、近距離のため、当該船舶に対応する時間的余裕が少ない特徴がある。

② 接近する船舶

近距離に位置する船舶で、さらに接近してくる行会い船と横切り船は優先度が高い。特に行会い船は相対的に接近までの時間が短くなるため、他の関係のある船舶よりも注目度が高い。一方、同航船は追い越す場合に針路が交差する等の危険性が発生することがあるが、接近するまで時間があるので、対応方法を考える余裕があり、また他船を避航する等により、航行環境が変化することもある。停泊船は自船から接近しなけれ

ば近づくことはなく、また航行を開始したとしても初動は低速であるため避航は容易である。

次に接近してくる船舶が本船の右舷側と左舷側にいる場合は、右舷側の船舶を優先する。横切りの関係の場合海上衝突予防法第15条に「二隻の動力船が互いに進路を横切る場合において衝突するおそれがあるときは、他の動力船を右舷側に見る動力船は、当該他の動力船の進路を避けなければならない。この場合において、他の動力船の進路を避けなければならない動力船はやむを得ない場合を除き、当該他の動力船の船首方向を横切ってはならない。」とあるように右舷側に見る船舶を避航する必要がある。また左舷側の船舶は本船を右舷側に見るため、避航船として航行することとなるため、本船には保持船（保持船：針路及び速力を保持する船）として航行することが求められる。

次に、行き会いの関係の場合、海上衝突予防法第14条に「二隻の動力船が真向かい又はほとんど真向かいに行き会う場合において衝突するおそれがあるときは、各動力船は、互いに他の動力船の左舷側を通過することができるようにそれぞれ針路を右に転じなければならない。」とあるように避航動作は右転する。行会い船との関係で右に舵を取るときに右舷側の他の船舶と新しく衝突の恐れのある見合い関係を発生させないように、早い段階で周囲の状態を予測し、避航する必要がある。これらの理由から、右舷側の船舶は優先される。また、左舷側から接近してくる横切りの船舶には注意喚起を行い、避航動作を促し、その動向は注視する必要がある。

③ 船速の速い船舶、速力差の大きい船舶

本船と他船の船速とその速力差を把握しておくことは重要である。近距離の船舶や接近してくる船舶の速力が早ければ、その分、接近まで時間的余裕はなくなる。また同航船では今後本船から離れていくのか、徐々に接近していくのかによって判断する時間余裕が決まる。

この指針を参考に航行環境を設定し、「シナリオ上認識すべき船舶」を抽出

することとした。シナリオが構築された段階でシミュレータを起動してインストラクタと「シナリオ上認識すべき船舶」を確認した。

「シナリオ上認識すべき船舶」は、操船シミュレータで航行業務の演習を担当するインストラクタとシナリオを実行して、5分毎に本船との関係を調べて「シナリオ上認識すべき船舶」の設定を確認した。

上記の操船上の注意点を考慮し、「シナリオ上認識すべき船舶」を以下の通りまとめた。設定基準は、以下の通りである。

- (1) 本船に3海里（マイル）以内に近接している船舶
- (2) 本船に接近する船舶
- (3) 船速の速い船舶

① 実験開始5分経過

ID番号5の横須賀方面から中ノ瀬に向かう漁船、ID番号33の中ノ瀬泊地から根岸に向かうコンテナ船が横切り関係にある。

② 実験開始10分経過

ID番号33のコンテナ船は横切り関係にあり、ID番号28の根岸から川崎に向かうガット船（ガット船：グラブ付き揚貨装置を持つ自航式石材運搬船のこと。砂を運ぶ「砂ガット」、捨石を運ぶ「石ガット」がある）とID番号29の鶴見航路から出て浦賀水道航路北口に向かう船の動向に認識が必要である。

③ 実験開始15分経過

ID番号33の中ノ瀬泊地から根岸に向かうコンテナ船は本船の船尾を航過した。ID番号28は右へ変針して本船に接近してきたので注意を要する。本船の位置は整流ブイ1番に近く、横切りのタイミングを計る必要がある。ID番号2の南航するコンテナ船(15.0kts)に注目し、相対距離、船速、前後の交通流の状況を確認する。ID番号2の船舶の後方はID番号2の船舶より遅いID番号27のバラ積運搬船(14.0kts)がおり、この間を横切ること意思決定する。

④ 計測開始20分経過

ID番号28のガット船は本船の船尾を航過したので、交通流横切りの

目標としている ID 番号 2 のコンテナ船に注目し、その後方を航行する ID 番号 27 のバラ積運搬船との船間距離を確認する。並行して、横浜航路付近の出港船、航行船などの周囲の状況を確認する。ID 番号 26 のコンテナ船が横浜航路を出て南航すること、ID 番号 11 の停泊船、ID 番号 34 の中ノ瀬泊地から横浜航路に向かう船がある。

⑤ 計測開始 25 分

本船の交通流の横切りが開始されたので、ID 番号 27 のバラ積運搬船とその近くを南航する ID 番号 3 の小型船が右舷側に存在するのでその動きに注意する。

以上の分析を基に「シナリオ上認識すべき船舶」を、前述の三段階の Level でインストラクタの意見を踏まえて、シナリオ進行の時系列で決定した。表 3.2 に「シナリオ上認識すべき船舶」を示す。(図 3.4 参照)

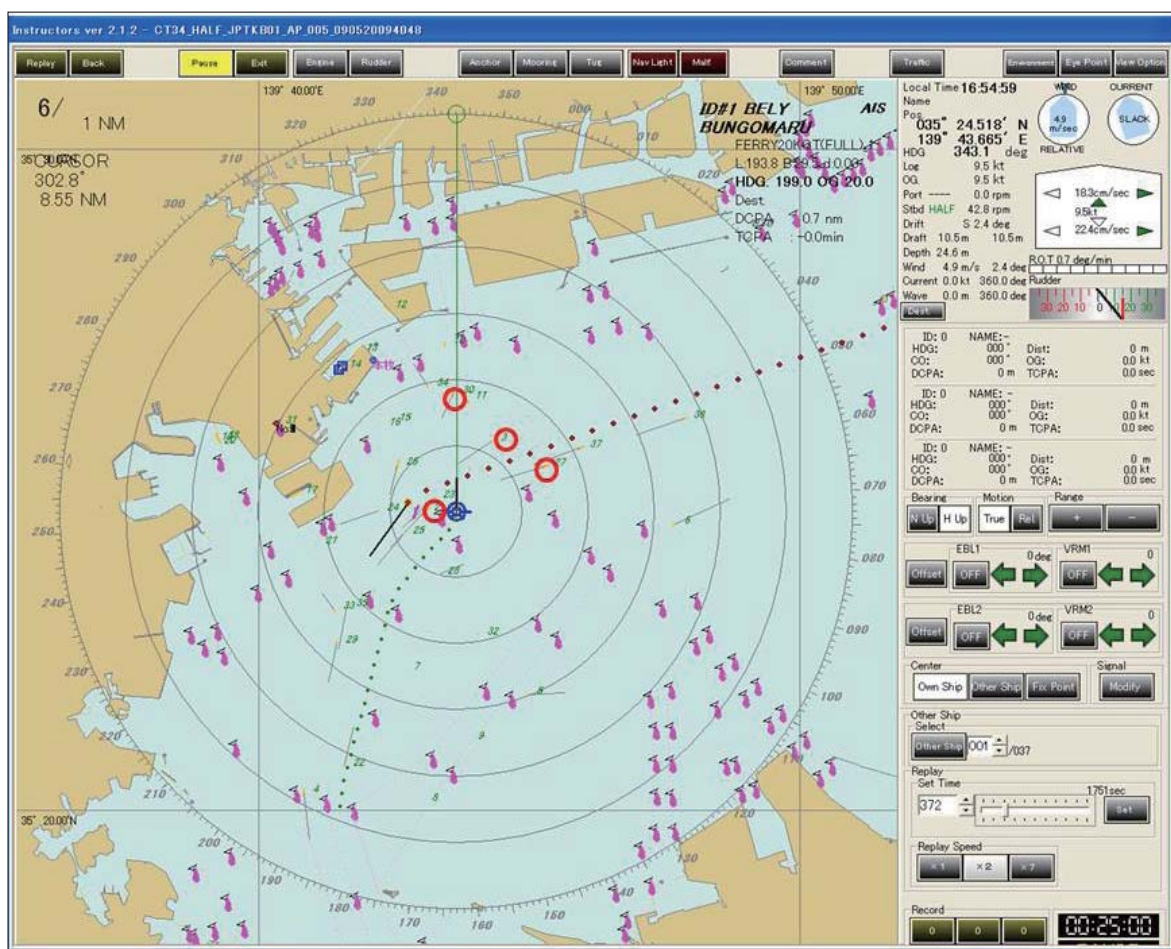


図 3.4 開始 25 分後の航行状況 (オペレータ画面)

表 3.2 「シナリオ上認識すべき船舶」

			Time(min)	3	5	7	10	13	15	17	20	23	25	27
No.	ID	Kind of ship	Destination											
1	1	Ferry	Uraga NO.1											
2	2	Container large	Uraga NO.1					Level 1	Level 1	Level 1	Level 1	Level 2		
3	3	Cargo boat 499type	Uraga NO.1										Level 1	Level 3
4	4	Cargo boat	Uraga NO.1				Level 1							
5	5	Fishing boat	Nakanose		Level 1	Level 2								
6	6	Ferry	Tokyo							Level 1				
7	7	Pleasure boat	drifting											
8	9	Small ship	drifting											
9	10	Small ship	drifting											
10	11	Container large	anchor								Level 1		Level 1	
11	23	Container ship middle	Uraga NO.1											
12	24	Tanker (499type)	Uraga NO.1											
13	25	Tanker (499type)	Uraga NO.1											
14	26	Container ship	Uraga NO.1								Level 1			
15	27	Bulker large	Uraga NO.1								Level 1	Level 1	Level 2	
16	28	Gut ship	Kawasaki			Level 1	Level 1	Level 1	Level 1					
17	29	Cargo boat middle	Uraga NO.1						Level 1					
18	30	Container large	Uraga NO.1										Level 1	Level 1
19	32	Small ship	anchor											
20	33	Container middle	Negishi	Level 1	Level 1	Level 1	Level 1							
21	34	Cargo boat middle	Yokohama											
22	35	Container	Uraga NO.1					Level 1	Level 1	Level 1				
23	37	Container	Uraga NO.1											
24	38	Container	Uraga NO.1											

3.4 実験概要

3.4.1 被験者

4名の三級水先修業生（東京海洋大学 大学院在学）を被験者とし、学習効果検討に SAGAT の手法で状況認識計測実験を操船シミュレータ演習の進捗に合わせて2回を行う。同時に SAGAT 手法の有効性も実験で検討する。

実験 1 (EXP.1) は、操船シミュレータによる基礎演習が修了した段階（初期段階）、また、実験 2 (EXP.2) は実用演習が修了した段階（最終段階）後に実施

表 3.3 操船シミュレータ演習カリキュラム

Training Category	Experiment	Outline of Training	Training Period
Ship Handling simulator course II and III		Basic training of ship handling simulator	Oct., 2009 - Feb., 2010
	EXP 1 (Feb., 2010)		
On board training by a domestic vessel		Training for navigation at bridge	March, 2010
Ship Handling simulator course I, IV and V		Training for harbour area and congestion area in Tokyo bay by Ship Handling simulator	Apr., 2010 - Sept., 2010
On board training by a ocean going vessel		Training for navigation at bridge	Sept, 2010 - Nov., 2010
On the job training with pilots in Tokyo bay (1)		Basic training for harbour job and bay job with pilots	Jan., 2011 - May, 2011
Ship Handling simulator course I, IV and V		Advances Training for harbour area and congestion area in Tokyo bay by Ship Handling simulator	June, 2011
	EXP 2 (July, 2011)		

する。

実験 1 (EXP.1) では被験者は基礎演習のみの修了であるので、操船しながらの状況認識は作業の負荷が過大と考え、同じシナリオを船長経験のある一級水先修業生が実施した録画を用いて行い、状況認識の実験計測とした。三級水先修業生の演習カリキュラムを表 3.3 に示す。被験者 A、B、C の乗船経験は海技免状取得のための練習船の乗船経験のみ、被験者 D は練習船と商船の乗船経験 10 年である。SAGAT の計測は 5 分毎に操船シミュレータ演習のシナリオを中断し、画面を消したあと 2 分以内にレーダチャート紙に被験者が認識している状況認識を記入することで行う。シナリオの実行時間は約 28 分である。

3.4.2 実験結果

被験者は操舵、速力の調整を各自の判断で行うため、各被験者の SAGAT 測定ごとに「注意を要する船舶」と「シナリオ上認識すべき船舶」を確認し、各被験者の認識すべき横切り船、南航船の認識率を求めた。

横切り船の認識率の演習初期段階と最終段階を比較してみると、被験者 A の認識率が低下している。これは、被験者 A の認識船舶の総数が他の被験者に比べて約 2 倍と多かったため実験 1 での認識率が高くなった。しかし、実験 2 では他の被験者と認識船舶数は同様になっており、全体の演習効果として、見張り作業での認識船の絞り込み技能が向上したと推定される。

一方、被験者全員の横切り船認識率は、実験 2 では 70% 以上に向上しており、演習の効果があったと推定される。

また、横切る交通流の南航船の認識率については、実験 2 でもばらつきがあり、技能の取得が難しいことが類推される。

実験 1 の各被験者の状況認識をまとめたものが表 3.4 である。

表 3.4 状況認識実験 1 の結果

Time			5min				10min				15min				20min				25min			
ID	Kind of ship	Situation	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
5	Fishing boat	Cross	●	●		●																
28	Gut ship	Cross	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●								
33	Container	Cross	●		●		●			●												
34	Container	Cross	●			●						●										●
6	Ferry	Same way	●				●				●				●				●	●		
4	Cargo ship	Head on			●		●			●	●											
29	Cargo ship	Head on	●	●				●														
35	Container	Head on	●	●			●	●	●	●	●			●	●							
25	Tanker	Head on	●				●	●	●		●	●	●	●	●			●				
24	Tanker	Head on	●				●	●			●	●	●	●	●			●				
23	Container	Head on						●				●	●		●	●	●	●	●			●
1	Ferry	Head on					●				●		●	●		●	●	●	●			●
2	Container	Head on					●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●			●
3	Small ship	Head on													●				●	●	●	●
27	Bulker	Head on					●				●				●	●	●	●	●		●	●
37	Container	Head on									●				●	●			●			
38	Container	Head on															●					
30	Container	Head on																	●			
26	Container	Head on													●			●	●			
7	Pleasure boat	Drift					●			●												
9	Small boat	Drift									●											
10	Small boat	Drift																	●	●		
11	Container	Anchor	●		●						●								●	●	●	●
32	Small ship	Drift					●				●						●					
Total			10	4	4	3	12	7	3	5	13	6	6	6	10	5	6	8	10	3	4	7

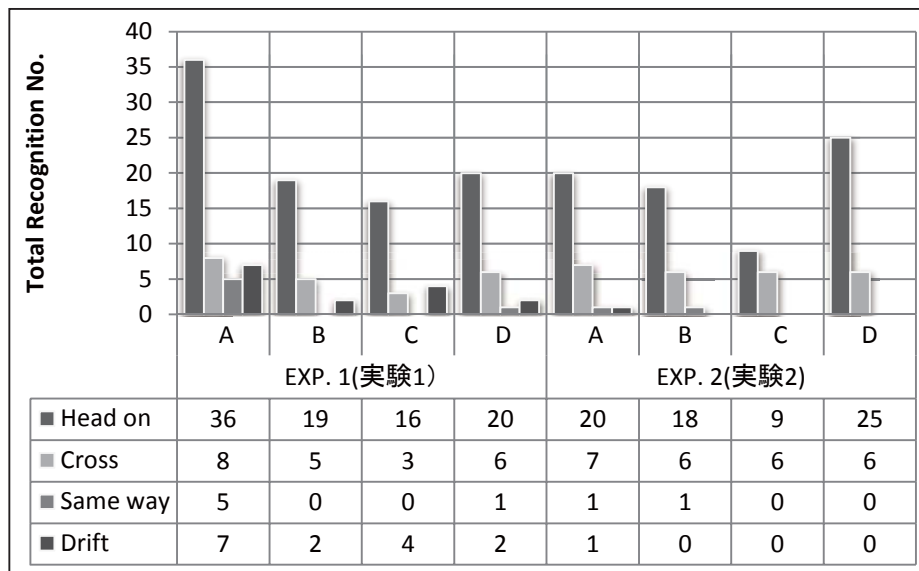


図 3.5 認識すべき船舶の数

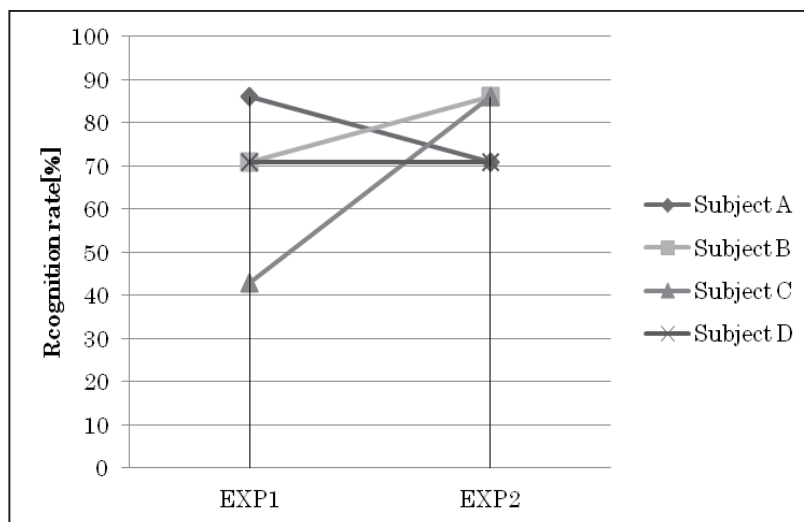


図 3.6 横切り船の認識率

図 3.5 に状況認識の総数を他船の行動別に、図 3.6 に横切り船の認識率を実験別に示す。

3.4.3 SAGAT 計測の有効性

前述のとおり、本研究では SAGAT の状況認識計測時に操船シミュレータを一時停止し、被験者にレーダチャートに認識船舶を記入させている。この一時停止した場合の被験者に対する影響を検討するため、心拍の R-R 間隔を計測し、SNS 値（緊張度の指標）を算出し被験者の緊張状態を推定した。

被験者に心拍計測装置をつけて、R-R 間隔データを測定した。時間軸に対し不等間隔な R-R 間隔データを、3 次のスプライン補間し 1 秒間隔の R-R 間隔データとした。それを 1 秒間隔で抽出し 64 秒間を 1 つの区切りとしフーリエ変換し、図 3.7 にパワースペクトルを示す。

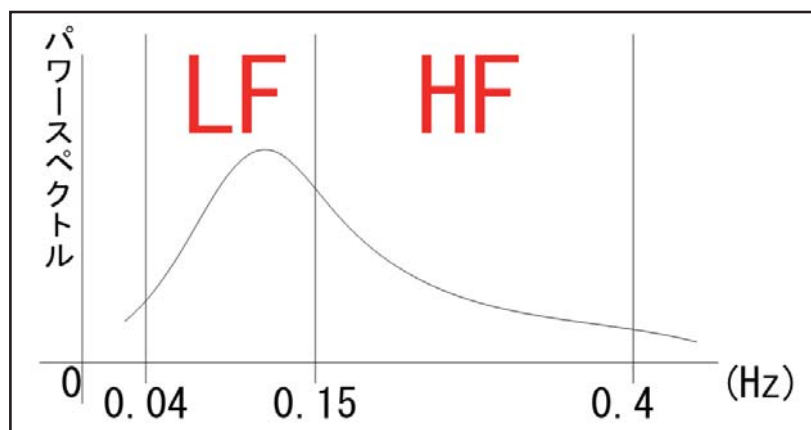


図 3.7 パワースペクトル

パワースペクトルでは、0.04Hz から 0.15Hz を低周波帯 (LF)、0.15Hz から 0.4Hz を高周波帯 (HF) と定義する。LF は、一般に交感神経と副交感神経の活動を反映し、HF は副交感神経の活動を反映する。緊張状態では、交感神経の活動が活発になるため、LF が上昇する。このパワースペクトルの LF と HF をそれぞれ 64 秒間隔で積分し、緊張度の指標である SNS 値 [3-3] を求めた。尚、SNS 値は以下の式で求められる。

$$SNS = LF / HF$$

LF が上昇すれば SNS 値も上昇するから、被験者を緊張させるイベントが発生すると、SNS 値は上昇する。

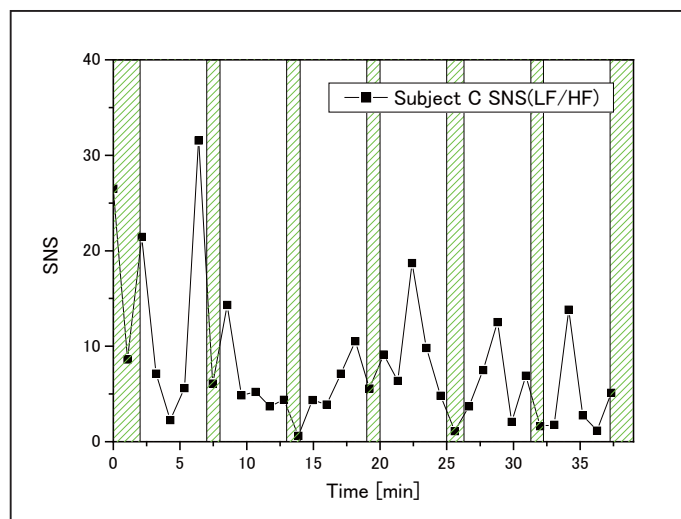


図 3.8 被験者 C の SNS

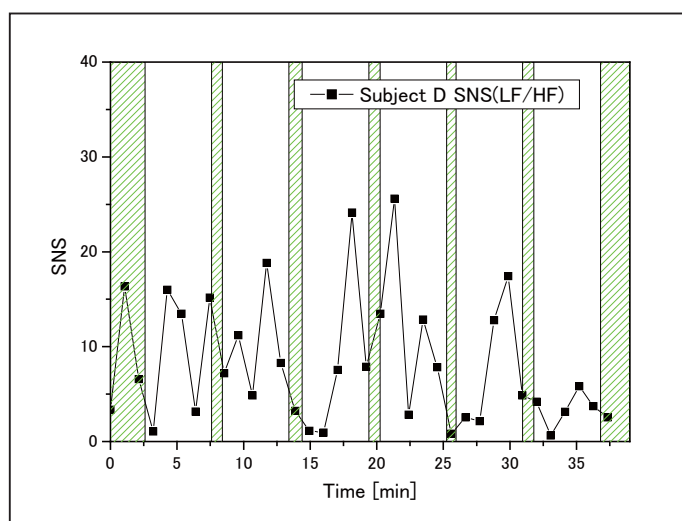


図 3.9 被験者 D の SNS

被験者の SNS 値の変化を時系列で図 3.8 及び図 3.9 に示す。図中の斜線部分は操船シミュレータ演習の中断していた時間帯を表す。操船シミュレータ演習の中断時に被験者の緊張が低下しているが、操船シミュレータ演習の再開後に緊張状態がすぐに回復している傾向が読み取れ、操船シミュレータ演習中の緊張が維持されていることがわかる。

3.5 考察

操船における状況認識は、目視によるターゲット把握、他船の相対方位変化であるが、それを支える情報収集は、Radar、ARPA、船舶自動識別装置 (AIS) 等の航海計器と船橋に配置された見張り員の報告からの情報である。その信頼性と即時性の良さから、現在でも目視が最重要視されている。目視による有効な情報の収集は航海当直の経験の積み重ねによると一般的に海技者間で云われている。航海経験の浅い航海士の見張り業務の取得に弱点が見られる(伊藤) [3-4] との分析もあり、商船乗船経験を保有しない三級水先修業生の場合、目視によるターゲット把握を目的とした操船シミュレータ演習は、養成課程の重要な演習要素の一つであり、操船シミュレータ演習の内容強化が特に求められる点でもある。

避航操船の判断を要求される重要な局面は、認知された状況と、それに基づいた操船者の判断基準による計画航路の維持や航路の変更にある。現状の操船が安全と判断される場合は、その針路と速力が維持され、危険があると判断された場合、その危険を回避する行動が選択される。この判断は、他船の状況変化、風潮流などの航行環境及び計画航路からの偏位などと自船の状態を基にして総合的に意思決定される。操船行動の認識に関しては、状況認識手法で分析する研究(西崎) [3-5] がある。

本研究の SAGAT では、シナリオが中断される直前の認識について、レーダチャート紙に回答するので、操船者の操船に対する留意するターゲットや他船の状況を反映している。操船経験の少ない場合、周囲の他船について必要以上に注意を分散される様子が初期段階の分析より確認ができた。また認識率が初期段階より最終段階で高まるのは演習効果の現れととれる。操船シミュレータ演習時の状況認識計測に SAGAT の適用を提案し、認識すべき船舶の認識率を検討した結果、当該演習の具体的効果を確認することができた。

3.6 まとめ

本章では輻輳海域での操船シミュレータ演習において演習効果の具体的指標を得るために、状況認識に関する実験を行った。インストラクタより、三級水先修業生の「見張り」の技術向上の必要性を指摘されているが、演習時のインストラクタによる評価の表現や指摘すべき点が主観的となることにより、三級水先修業生に指摘点や評価の内容が正確に伝わるか疑問の余地がこれまでにあった。それらの問題点を払拭するために SAGAT 手法を当該演習の評価に導入して、演習初期段階と最終演習段階間で船舶認識率に向上がみられ、操船シミュレータ演習の有効性が確認できた。換言すれば、中村 [3-2] が提案した「注意を要する船舶」と「シナリオ上認識すべき船舶」の認識率が、操船シミュレータ演習評価の具体的な指標の一つに成り得ることが確認できた。

今後の課題として、以下の4点が考えられる。

- ① 水先人や船長経験者等の状況認識データを入手すること。
- ② 水先人にインタビュー等を行い、「シナリオ上認識すべき船舶」の選定基準のより明確化を行い、それに基づいてシナリオを改良し、認識の演習効果を向上させること。
- ③ 実験により得た三級水先修業生の状況認識データをもとに効果的な演習シナリオの作成を行うこと。
- ④ シナリオを作成する輻輳海域の AIS 情報を入手する。瀬田 [3-6] は三大湾の海上交通解析として AIS 情報を入手し、操船困難度のアセスメントについて研究を行っている。AIS 情報、「シナリオ上認識すべき船」と操船が困難な交通環境等をあわせた総合的なシナリオは、操船シミュレータ演習に有効と考えられ、より総合的な評価指標の構築を検討する必要がある。

第4章 出船回頭操船

4.1 回頭操船の概要

第2章では、操船シミュレータ演習における港内操船において、入船着岸、楕形棧橋入船着棧のアプローチ操船を定量的に評価する指標を提案した。本章では、商船の船長経験者間で最も難しい操船と云われる大型 PCC の出船回頭操船を操船シミュレータ演習で修業生が操船演習を行った際の演習内容の評価についての具体的な評価基準を提案する。具体的には、通常操船環境を基にしてそれを外れる値を異常値として具体的指標を設定する。

着岸岸壁前面での回頭は、離岸距離、船速、回頭角速度、風速及び風向等の多項目の情報を短時間で収集し、それらの情報を基にしてバウスラスタ、タグボート、舵及び主機と多項目の制御を同時並行的に行っている。水先人はこれらの情報とアクチュエータであるバウスラスタ、タグボート、舵及び主機の制御をパターン認識して、操船の意思決定を行っている。水先人及び元水先人であるインストラクタは、長年の嚮導経験の積み重ねから得たパターン認識を基にして修業生の演習評価を主観的に行っているのが実状である。

このパターン認識を用いて、出船回頭操船の具体的な評価指標を検討する。この評価指標を用いて、操船シミュレータ演習終了直後の修業生に当該評価指標による評価を示すことで、操船技術が伝承できることを検討し、さらに操船シミュレータ演習の指導方法に応用する。

4.2 実験シナリオ

大型 PCC（長さ L:199.93m、幅 B:32.26m、喫水 d:8.5m）が千葉港中央埠頭 F 岸壁に岸壁前面で回頭して出船着岸する操船シナリオを実施する。千葉港中央埠頭 F 岸壁は、全長 240m、岸壁側傍水深 12m であり、埠頭の西端より 540m に着岸目標（Bridge Mark：船橋前面位置を示す旗）を設置する。

PCC は荷役に用いられるランプウェイが右舷側に設置されているのが一般で、この回頭操船は頻繁に行われている。

操船シミュレータ演習は、タグボート（出力 3,500 馬力）2 隻、バウスラスタ 1 基（出力 17.8 ton）、主機および舵を使用して、埠頭手前約 1,200m の同港 9

号灯浮標より演習を開始し、岸壁方位線に平行な水路を航行する。具体的には、タグボート 2 隻各々を大型 PPC の左舷船首、船尾に配置し、Bridge Mark から沖に船の長さに対応する 200m 地点（以下「基準点」とする）で左回頭を行い、岸壁方位線に平行に船体を保ち、5cm/sec の横移動速度で岸壁に接近して着岸する。

このシナリオの中で、操船者は、BRM (Bridge Resource Management) [4-1] の手順に従って、本操船計画を船長に説明し、船長の承認を得る。船橋作業メンバー全員（以下「ブリッジチーム」とする）が、この操船計画をもとに、船速、離岸距離、風速等の自船と航行環境に関する情報を操船者に報告し、操船者はこれらの時々刻々と変化する多数の情報を確認しながら、主機、舵、スラスタ等の推力制御を行って操船を実行する。図 4.1 に模範操船の航跡図を示す

4.3 評価手法

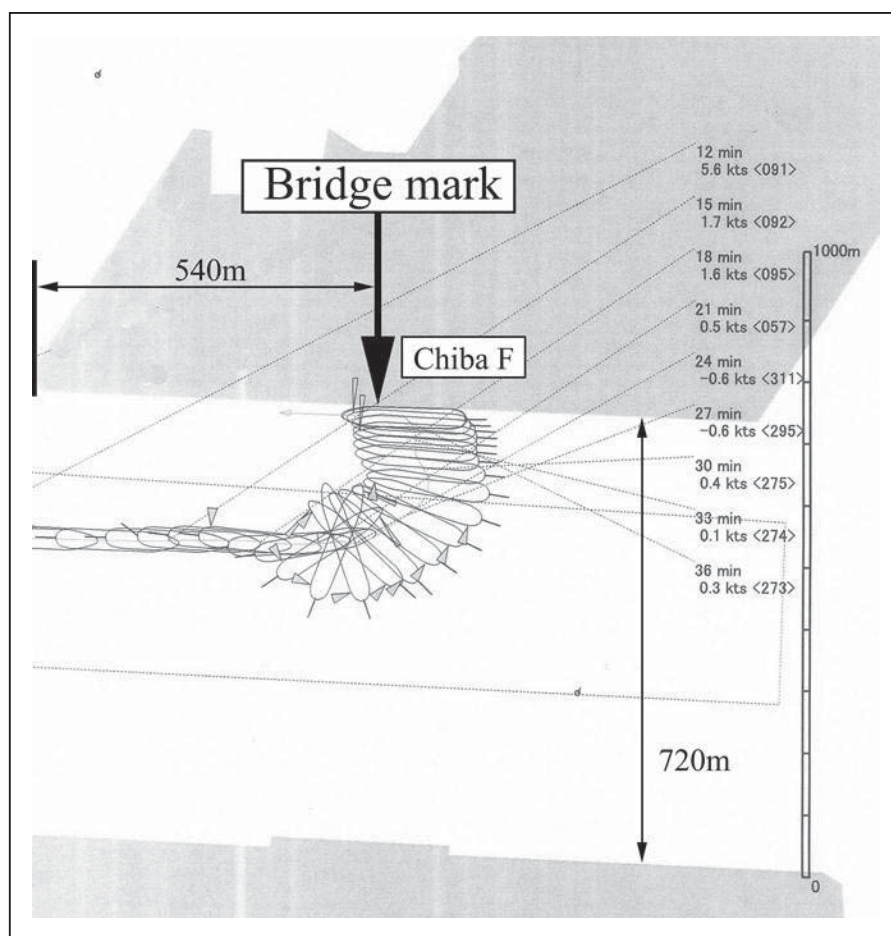


図 4.1 インストラクタによる模範操船

4.3.1 目的と評価手法

前述のとおり、本シナリオは、多項目の時々刻々と変化する情報をもとに、臨機応変な操船判断を必要とする操船シミュレータ演習である。そのため、修業生に対するインストラクタの評価や指導は、目立つ行動の是正を主目的としたもので、おおまかな表現による総括的な評価や指導になりやすい。しかし、そのような評価や指導では、操船者たる修業生は不具合の判断や精緻な推力制御などの理解が難しく、水先人に求められる技術のレベルの習得には時間がかかることになる。

経験豊富な水先人は、船速、回頭速度、針路との偏差、風速など多項目の計測情報を認識し、この膨大な情報を即時に判断して、主機、舵、タグボートの制御を行い、結果として円滑で安全な操船を実現している。彼らが主機、舵及びタグボートを制御することができるのは、すべての情報をパターン化して認識することを経験的に習得しているからである。換言すれば、本船及び操船環境全体を見て、普通と異なる点があるか否かを即座に判断しているのである。

この「普通と異なる」という感覚を、操船シミュレータ演習によって習得するためには、対症療法的な指導だけでは対応できない。そこで、訓練の結果を Mahalanobis-Taguchi System (MTS) 法 [4-2] [4-3] [4-4] [4-5] の概念を用いた評価指標データを活用することを検討する。

4.3.2 MTS 法

MTS 法とは、品質工学分野の評価手法の一つである。人の行動を状態として規定し、その行動データをもとに正常状態の範囲として標準空間 (Normal Area) を設定する。標準空間内の指標は正常状態であり、標準空間から離れた指標は異常状態である。異常の度合いの強弱は、標準空間からの距離となって表現できる。(図 4.2)

MTS 法は品質工学会【註 4-1】での発表があり、火災報知システムの火災検知の開発や官能検査 (人間の感覚を用いてさまざまな特性を測定する検査) などでの活用が報告されている。例えば、DVD デッキの製造ラインの工程における異音検査の自動化の判定技術に応用して実用化を図った報告がある。

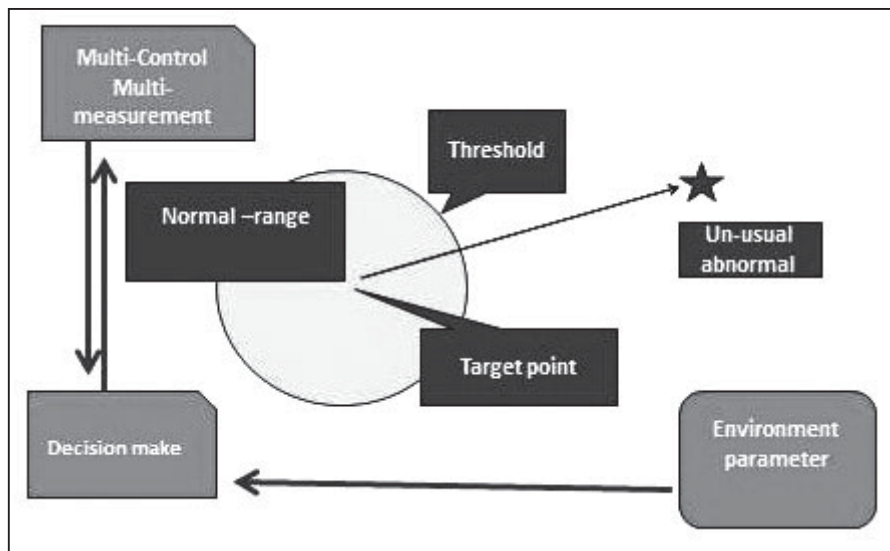


図 4.2 標準空間の概念

[4-6]

MTS 法の概要は下記 3 点になる。

① 正常と異常の判定

正常と異常の判定ができる変数の相関関係を考慮したマハラノビスの距離を用いるため、標準空間（正常と判断される空間）からの逸脱を鋭敏にとられることができる。

② 異常の主原因の特定

原因分析に適用可能で、ふたつの水準系の直交座標を利用して、各変数を使用した場合と使用しない場合とのマハラノビスの距離の差を推定し、異常の主原因を、正常の閾値から逸脱することで特定できる。

③ 数値化しにくいものに対する尺度

MTS 法で使うマハラノビス距離は見た目の差異や波形の違いなどひとつの数値では表しにくいものに対しての尺度の概念で、標準空間の境界が閾値（Threshold）である。

閾値は、技術的判断から決める場合と過去のデータからの経験的・統計的に求める場合とがある。本論では技術的な判断の面から検討する。

【註 4-1】品質工学会（www.qes.gr.jp）

品質工学は（Quality Engineering Taguchi Methods Taguchi Quality Engineering）とよばれ、技術開発・製品開発を効率的に行う技法として田口玄一氏が考案したもの。工学的に体系化され 1980 年代にその価値が認識され、1990 年代に

入り技術開発の基本的な方法論として注目され、1993年5月に「品質工学フォーラム」を設立した。1996年に学術団体として正式な認可を受け、1998年7月から「品質工学会」と改称している。

4.3.3 操船シナリオでの指標基準

本シナリオは、基準点に向けて自船船速を制御して、基準点で左回頭し、着岸する操船であり、基準点における回頭の技術修得が目的である。

そこで、船首が90度回頭した船首位置（岸壁に90度向首した位置）と基準点との間のユークリッド距離をDiscrete Distanceと定義し、指標とした。そして、閾値は4.3.4で後述する実験をもとに112.5m (0.56L)とした。(L: 船の全長を無次元化したもので、本章では200mとする。)

4.3.4 閾値の設定及び妥当性の検討

閾値の設定のために、表4.1に実験要目と表4.2にPilot Cardを示す同船型船を用いてタグボート1隻を使用して、左回転の180度回頭実験を操船シミュレータで行った。(図4.3) 水深はシナリオと同じ12mであり、水深と喫水の比は1.4 ($H/d=1.4$)である。初速を0.0kt、1.0kt、2.0kts、3.0ktsと変化させ、船体中心の移動量と船首の移動量を測定した。

図4.4、図4.5、図4.6及び図4.7に回頭実験の自船の航跡を示す。タグボー

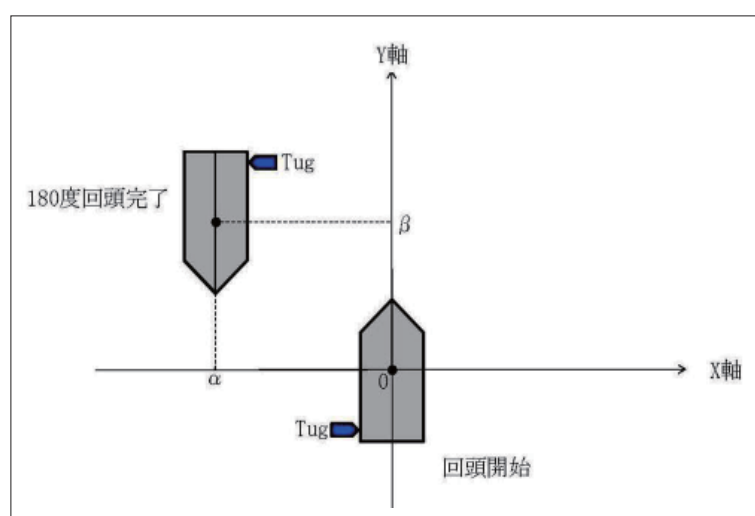


図 4.3 回頭実験の説明図

表 4.1 実験船の要目

Ship type	PCC (PureCarCarrier)
International Gross ton	58,000 Ton
Dead Weight	22,000 Ton
Displacement	30,030 Ton
LOA	199.93 M
Breadth	32.26 M
Draft Fore	8.50 M
Draft Aft	8.50 M
Bow Thruster one	17.8 Ton
Depth	12.0 M
H/d	1.4

表 4.2 Pilot Card

PILOT CARD

Ship name PCC6,000台機船(Hald) Date 2007/3/15
 Gross Tonnage 58,000 ton Deadweight 22,000 ton Year built _____
 Draught aft 8.50 m/ ft in. Forward 8.50 m/ ft in. Displacement 30,030 ton

SHIP'S PARTICULARS

Length overall 199.93 m Anchor chain: Port 13 shackles, Starboard 13 shackles
 Breadth 32.26 m Stern _____ shackles
 Bulbous bow Yes No (1 Shackle = 27.5 m/ _____ fathoms)

STEERING

Rudders 1 (number) 35° (maximum angle)
 Propellers 1 (number) Direction of turn Left Right
 Thrusters 1 (number) Bow power 17.8 ton Stern power _____ ton

Performance Data

Type of engine:	Diesel	Maximum power:	13,500 kW
Type of propellers:	Fixed Pitch		
Manoeuvring Engine order	RPM	Speed(knots)	
		Loaded	Ballast
Navigation Full	106.0	20.0	
Full ahead	58.0	11.5	
Half ahead	45.0	8.9	
Slow ahead	37.0	7.4	
Dead slow ahead	30.0	5.9	
Dead slow astern	30.0	Time limit astern (No limit) min	
Slow astern	40.0	Full ahead to full astern sec	
Half astern	46.0	Max. no. of consec. starts	
Full astern	49.0	Minimum RPM knots	
		Astern power % ahead	

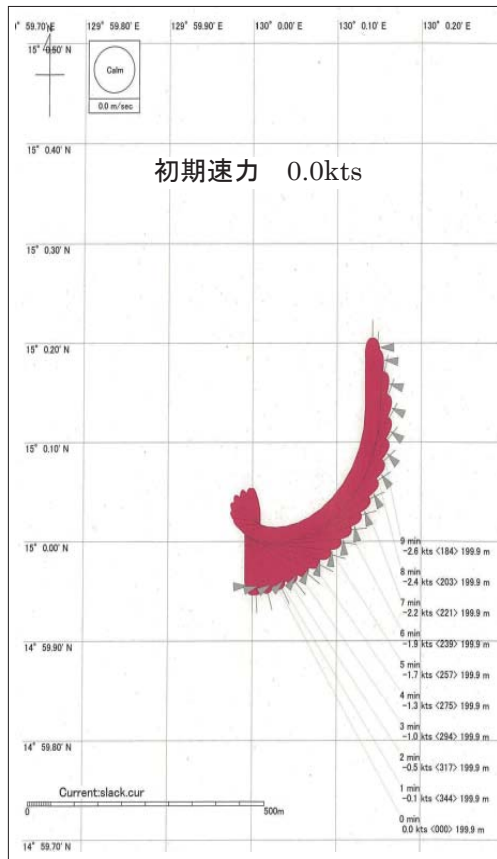


図 4.4 回頭実験 (初速 0.0kts)

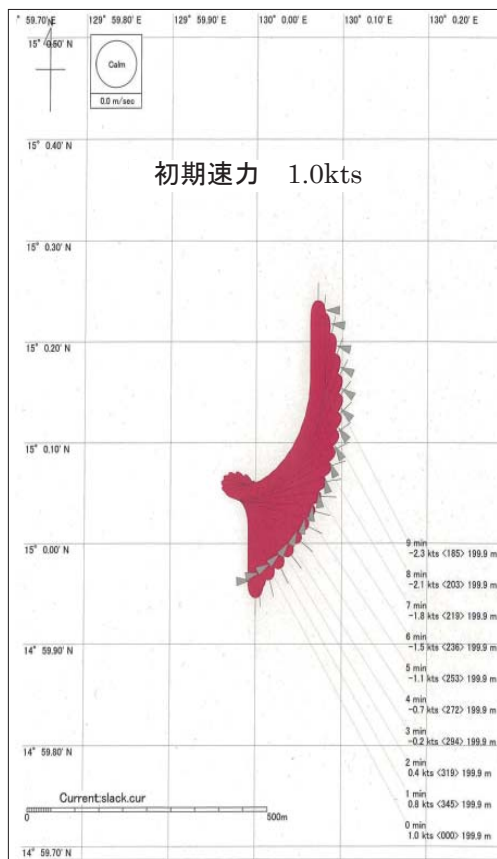


図 4.5 回頭実験 (初速 1.0kts)

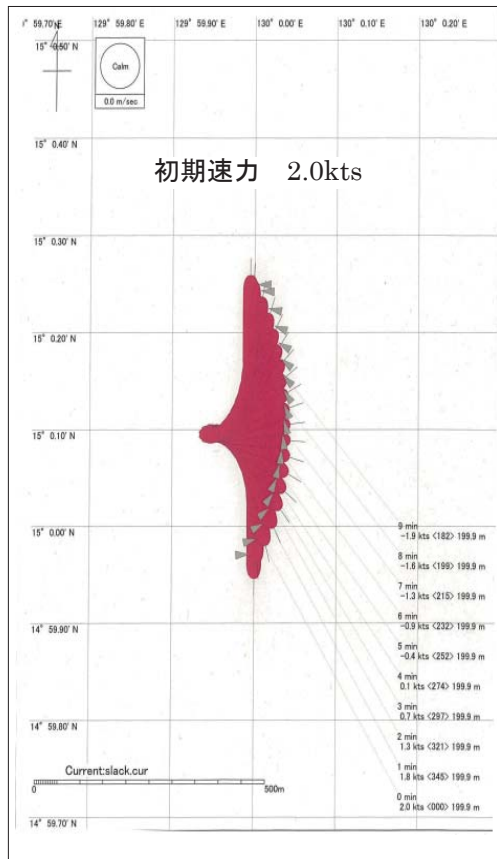


図 4.6 回頭実験 (初速 2.0kts)

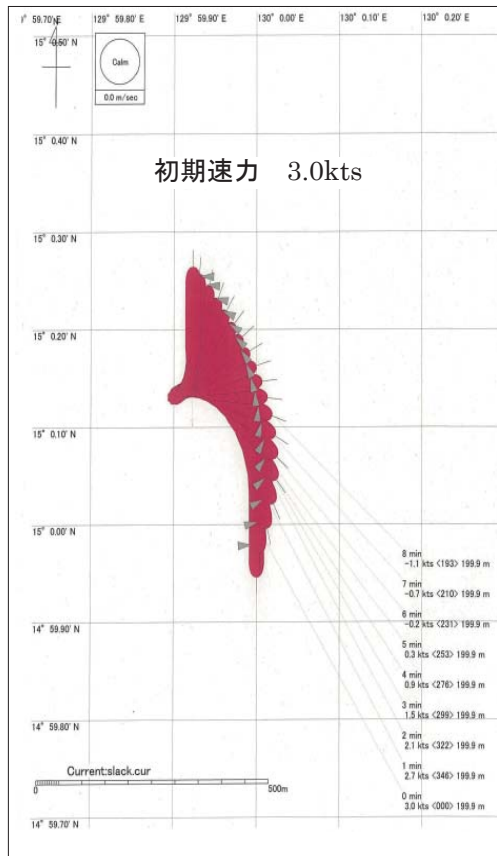


図 4.7 回頭実験 (初速 3.0kts)

トは自船の 7 時の位置に配置し、3 時の方向（船体に 90 度）へ Full で押す。

結果は、表 4.4 に示した通りである。本表は、終着点での船の中心点の距離 X、Y 及び船首移動量である Bow（横方向：X 軸）を、初速（Init. Speed）に分けて示す。

同シナリオでは、基準点で回頭する時点では 0.0 ノットを想定している。し

表 4.3 実験結果

Init. Speed kts	X (m)	Y (m)	(X) Bow (m)	min	sec
0.0	255.30	278.30	-43.80	9.25	555.0
1.0	128.20	344.20	-75.00	9.30	558.0
2.0	-9.70	377.70	-112.50	9.17	550.0
3.0	-138.30	386.90	-190.60	8.80	528.0

かし、常に 0.0kt で回頭するとは限らない。他方、本船が 3.0kts を超えるとタグボートは体勢が整えられない。そこで、初速 2.0kts での船首移動量 112.5 m (0.56L) を閾値として設定する。次に、本閾値の妥当性について、2008 年・2009 年の同シナリオの操船シミュレータ演習の結果を用いて検討する。

本データは、インストラクタの模範操船 4 回（同一人が行っているものも含む）、修業生（2008 年、2009 年）13 名の操船シミュレータ訓練を基にしたものである。

図 4.8 は、基準点を 0 として、インストラクタと修業生の 90 度回頭の位置をプロットしたものである。岸壁方位線方向を X 軸に、方位線の直角方向を Y 軸とした。X 軸は基準点から港口方向をマイナス L とし、Y 軸は基準点から岸壁に近づく方向をプラス L とした。この場合、岸壁方位線に位置が離散しているため、見やすいように X 軸と Y 軸の縮尺を変えている。

表 4.4 は、回頭時の船首位置と基準点からのユークリッド距離、4.3.3 で定義

表 4.4 回頭操船結果 (2008 年、2009 年)

ID	Long X (L)	Lat Y (L)	Discrete Distance(L)
1	-0.30	0.05	0.30
2	0.05	-0.01	0.05
3	0.06	0.05	0.08
4	0.03	0.02	0.03
5	-0.51	-0.11	0.52
6	-0.70	-0.13	0.71
7	-1.20	-0.18	1.21
8	-0.80	-0.36	0.88
9	-0.79	-0.19	0.81
10	-0.60	-0.02	0.60
11	-0.43	0.01	0.43
12	-0.54	0.15	0.56
13	-0.36	-0.04	0.36
14	-0.39	-0.23	0.45
15	-0.36	-0.25	0.44
16	-0.13	-0.13	0.18
17	0.14	-0.19	0.24

した Discrete Distance の一覧表である。ID 番号 1 から 4 はインストラクタの模範操船であり、ID 番号 5 から 7 は 2008 年の修業生、ID 番号 8 から 17 は 2009 年の修業生である。網掛けは、Discrete Distance 欄の数値が上記閾値 112.5m (0.56 L) の範囲以内のデータであることを示すものである。

図 4.8 から、修業生はタグボートやバウスラスターの制御が不十分のため、

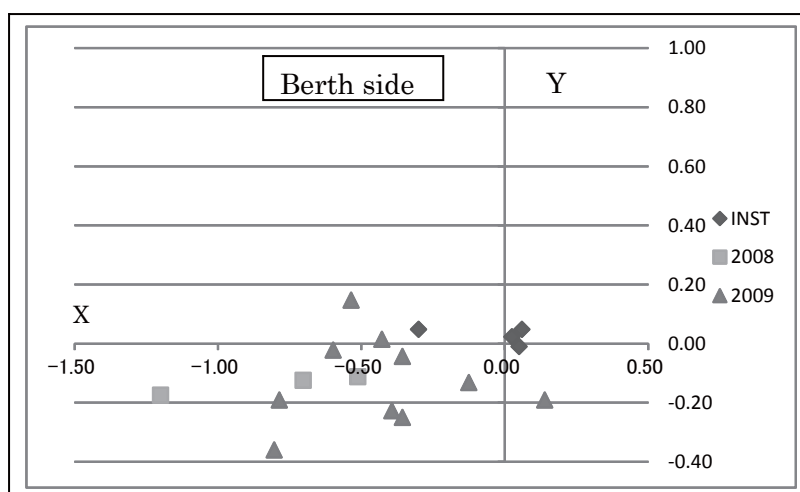


図 4.8 90 度回頭時の船首位置 (2008 年、2009 年及びインストラクタ)

模範操船と比べて 90 度回頭の位置が不規則に分散している。修業生の内 5 名が Discrete Distance で閾値を外れた。従って、本閾値は、模範操船は 100%、訓練に不慣れな修業生でも 60%を超える領域を保証しており、回頭の評価指標として使えることを確認した。

4.4 本手法による評価結果

提案手法で 51 名（インストラクタを含む 2008 年から 2012 年の修業生）の操船シミュレータ演習の結果をプロットしたものが、図 4.9 である。表 4.5 に平均値、標準偏差、ユークリッド距離を用いた閾値の判定結果を示す。51 データ中、標準空間にはいるデータは 19 件 37.3%であった。

表 4.5 に表すように、51 例の Discrete Distance の平均値は 0.69L、標準偏差は 0.36L である。なお、閾値は標準空間を設定するのに技術的判断から実験によって得た 0.56L を使用した。当該 5 年間の一級水先修業生演習から 51 例の平均値と実験より求めた閾値との差は 0.13L であり、これは標準偏差の 0.36L の範囲内になっているので、「普通と異なる」という感覚を生起させる基準となる標準空間を定義する閾値として妥当といえる。

換言すれば、異常の度合いの強弱は標準空間からの距離となって表されるので、閾値と実験によって得た平均値との差は、船長経験のある操船者でも技術面において個人差が大きいことが推測され、大型 PCC の出船回頭操船の難しさを現していると云える。統計的に得られた Discrete Distance の平均値と標準偏差は、各操船者の成績評価の評価指標として、多項目の推力の制御の説明に利用が可能である。

タグボート 1 隻による 180 度回頭実験のデータより「普通と異なる」という状況を明確にするために、標準空間設定閾値を設定、5 年間の同様のシナリオによる 51 例の Discrete Distance を検証した。

まとめると以下 3 点になる。

- ① 異常の度合いの強弱は基準点からの距離 Discrete Distance となって表される。船長経験のある一級水先修業生でも技術面の個人差が大きいことが回頭時の船首位置のばらつきから推測され、大型 PCC の回頭操船の難しさを現している。

- ② 演習の目標として、標準空間内に船首回頭点が入ることを目標とし、統計的に得られた **Discrete Distance** の平均と標準偏差は、各操船者の成績評価の評価指標として、多項目の推力の制御の説明にと利用が可能である。
- ③ **Discrete Distance** は簡便で、操船シミュレータ演習終了後に素早く計算でき、操船者、インストラクタ及びブリッジチームにとって具体的で解りやすい指標となる。

4.5 外的条件が操船に影響を与える場合の操船シミュレータ演習

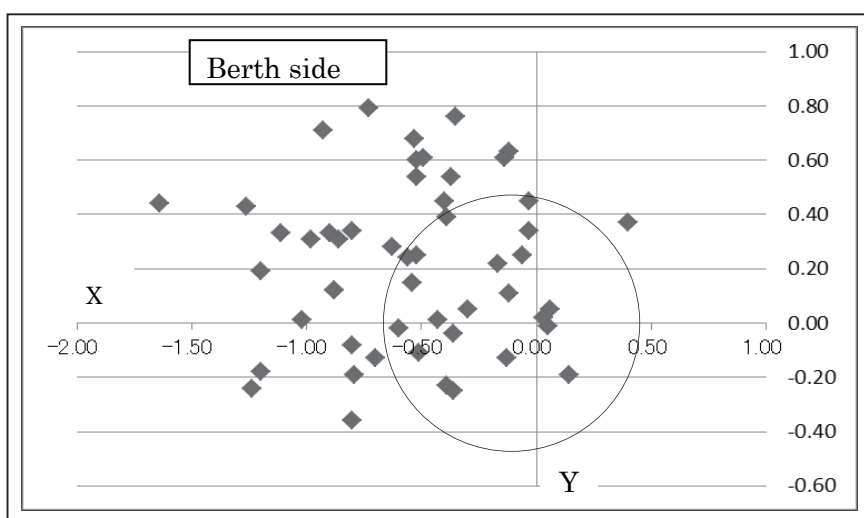


図 4.9 90 度回頭時の船首位置 (2008 年 - 2012 年)

表 4.5 Discrete Distance (2008 年から 2012 年)

ID	wind	X (L)	Y (L)	Discrete Distance(L)
1		-0.30	0.05	0.30
2		0.05	-0.01	0.05
3		0.06	0.05	0.08
4	North 13m/sec	0.03	0.02	0.03
5		-0.52	0.25	0.58
6		-0.52	0.54	0.75
7		-0.93	0.71	1.17
8		-0.35	0.76	0.83
9		-0.39	0.39	0.55
10	South 6m/sec	-0.51	-0.11	0.52
11	South 6m/sec	-0.70	-0.13	0.71
12	South 6m/sec	-1.20	-0.18	1.21
13	South 8m/sec	-0.80	-0.36	0.88
14		-0.79	-0.19	0.81
15		-0.60	-0.02	0.60
16	North 8m/sec	-0.43	0.01	0.43
17	North 8m/sec	-0.54	0.15	0.56
18	North 8m/sec	-0.36	-0.04	0.36
19	South 8m/sec	-0.39	-0.23	0.45
20		-0.36	-0.25	0.44
21		-0.13	-0.13	0.18
22	North 8m/sec	0.14	-0.19	0.24
23		-0.12	0.63	0.64
24		-0.40	0.45	0.61
25		-0.03	0.34	0.34
26		-0.52	0.60	0.79
27		-1.26	0.43	1.33
28		-0.17	0.22	0.28
29		-0.37	0.54	0.66
30		-0.98	0.31	1.03
31		-1.24	-0.24	1.26
32	South 8m/sec	-0.03	0.45	0.46
33	North 8m/sec	-0.06	0.25	0.26
34	North 8m/sec	0.40	0.37	0.55
35	North 8m/sec	-0.12	0.11	0.16
36	North 8m/sec	-0.80	0.34	0.87
37	North 8m/sec	-0.80	-0.08	0.81
38		-0.63	0.28	0.69
39		-1.11	0.33	1.16
40	North 8m/sec	-0.88	0.12	0.89
41	South 8m/sec	-1.20	0.19	1.22
42	South 8m/sec	-0.49	0.61	0.78
43	North 8m/sec	-0.56	0.24	0.60
44		-0.90	0.33	0.96
45	North 8m/sec	-1.02	0.01	1.02
46		-0.53	0.68	0.86
47	North 8m/sec	-0.88	0.12	0.89
48		-1.64	0.44	1.70
49		-0.86	0.31	0.91
50		-0.73	0.79	1.08
51		-0.14	0.61	0.62
Average		-0.54	0.21	0.69
Standard Deviation		0.42	0.30	0.36

4.5.1 離岸距離のデータ

4.2 節の操船シミュレータ演習のシナリオが風力は Calm で操船に影響を与えることはなかった。当該シナリオに風速が卓越した環境（風向 North、風速 8m/sec）を付加し、厳しい航行環境下での操船シミュレータ演習で実施し、その場合の評価指標について検討を行った。

表 4.5 は、基準点からの距離の各評価地点 (3L, 2L, 1L) における、離岸距離と船速を計測した値を示す表である。インストラクタが模範操船を行った 4 回分のデータの平均値をとり（表 4.7）、一級水先修業生の操船と比較した先行研究 [4-7] の手法による評価指標である。

模範操船の平均値と標準偏差より、標準範囲（平均値±標準偏差）として操船者の数値に対して標準範囲にある数値を網掛けによって示している。なお、当該データはシナリオ開始地点からの操船シミュレータ演習の時間を参考に計測しており、平均値は 33.3 分、基準点手前 3L から終了までの平均時間は 23.9 分であった。

統計的にみると、表 4.6 から一級水先修業生は模範操船と比較して離岸距離を大きくとり、船速が低減する傾向が読み取れる。

統計的処理を行うために、評価指標は当該演習直後に得ることができないのがデメリットであるが、厳しい航行環境下での評価指標と一つとして用いることができ、事後の総合評価や、操船者の相対的な成績評価には有効な評価指標と考える。

これらの統計処理したデータは船長経験のない三級水先修業生用のシナリオを作成する際に活かすことが可能である。

4.5.2 航跡図

航跡図は演習後に直ちに出力されるので、デブリーフィングの資料として

表 4.6 外的条件が卓越した環境下での操船シミュレータ演習の船速と横距離

ID	wind	3L LateralD(L)	2L LateralD(L)	1L LateralD(L)	3L Speed (m/sec)	2L Speed (m/sec)	1L Speed (m/sec)	Working time	
								Start min	3L min
1		0.98	0.92	0.83	2.01	1.59	0.98	28	18
2		1.12	1.06	0.98	1.85	1.59	1.03	28	19
3		1.26	1.26	1.26	2.01	1.44	1.29	32	22
4		1.15	1.01	0.66	1.85	1.54	0.93	26	18
5		0.92	0.78		1.80	0.98		40	31
6		1.38	1.38	1.15	2.32	1.90	1.59	30	22
7		1.15	1.06	0.83	2.52	2.37	1.49	27	19
8		1.35	1.21	0.75	2.16	1.39	0.51	26	18
9		1.06	0.92		2.26	1.54		36	28
10	S 8m/sec	1.38	1.29	1.38	1.95	1.59	1.29	28	19
11	N 8m/sec	1.44	1.44	1.35	2.11	1.75	1.44	27	18
12	N 8m/sec	1.38	1.32	1.03	1.65	1.23	0.51	27	18
13	N 8m/sec	1.29	1.21	1.21	1.70	1.03	0.87	33	25
14	N 8m/sec	1.09	1.03	1.06	2.06	1.44	1.08	32	24
15	N 8m/sec	1.00	1.00	1.15	1.65	1.03	0.41	37	27
16		1.12	1.09		1.90	1.65		35	26
17		1.30	1.25	1.18	2.37	1.34	0.26	31	23
18	N 8m/sec	1.34	1.30	1.04	1.90	0.62	0.82	33	25
19	S 8m/sec	1.48	1.48	1.46	1.95	1.34	0.72	43	34
20	S 8m/sec	1.32	1.24	1.09	2.21	1.95	1.49	36	27
21	N 8m/sec	1.23	1.09	0.95	2.37	1.90	0.98	28	19
22	N 8m/sec	1.27	1.11	0.93	2.42	1.70	0.26	30	21
23	N 8m/sec	1.20	1.11	1.02	2.57	1.90	-0.36	35	26
24		1.16	1.11	0.93	1.95	1.23	0.05	39	30
25	N 8m/sec	1.11	1.11	0.93	1.95	1.39	0.05	43	34
26		1.04	0.76		0.51	0.93		44	28
27		1.04	0.97	0.74	1.54	1.54	0.31	35	22
28		0.79	0.67	0.49	1.54	1.54	0.57	35	22
29		1.16	1.09	1.00	2.88	1.75	1.23	43	31
	AVE	1.19	1.11	1.02	2.00	1.49	0.79	33.3	23.9
	STAND	0.16	0.19	0.22	0.42	0.36	0.51	5.5	4.9

表 4.7 インストラクタ模範操船の船速と離岸距離

Instructor's Average		(Instructor 4)
Longitudinal(L)	Lateral distance(L)	Ship speed(m/sec)
0.5L	1.01	1.10
1.0L	1.03	1.50
2.0L	1.08	2.10
3.0L	1.12	2.60

Instructor's Standard deviation		
Longitudinal(L)	Lateral distance(L)	Ship speed(m/sec)
0.5L	0.07	0.30
1L	0.07	0.20
2L	0.09	0.30
3L	0.09	0.30

有効であり、操船者はインストラクタの評価に対する理解を深めることができる。

例えば、図 4.10 及び図 4.11 は、4.2 節と同様のシナリオであるが、風向 North、風速 8m/sec の外的条件下での、一級水先修業生が操船した航跡図である。陸岸からの強風下での大型 PCC 操船が困難であることを表している。

図 4.11 は、同じ大型 PCC で出船回頭操船を行っているものである。自船船速が不十分な例であり、そのために船体制御が困難となり、回頭動作が早まっているのがわかる。回頭時の回頭速度も遅く、タグボート、スラスタ等の推力制御が不十分で再演習の必要性が判断できる。これらの解説についてはインストラクタの操船経験と主観が入るのは避けられないが、具体的なベンチマークがあると指摘も具体的になり、操船者の理解が促進される。

4.6 基準点と回頭位置の距離

第 4 章では、基準点と回頭時の船首位置との Discrete Distance を提案し、検討を行った。操船シミュレータ演習直後に出力される航跡図（図 4.10 及び図 4.11）から即時に算出でき、標準空間を用いることで模範操船との整合度の比較が容易にできる。そのうえ、他の修業生や過去の記録と比較して、幅広く自分の技量を把握することが可能である。例えば、閾値から大幅に乖離していた場合、タグボート、自船の舵、主機使用の出力図、インストラクタの主観的評価と合わせて、具体的に技術不足の点をインストラクタは指導するこ

とが可能となる。

5年間の操船シミュレータ演習の結果から51例の平均値を得ることができたが、許容される基準点からの距離の閾値については、演習効果、効果的なシナリオ作成への応用、再訓練の必要性の判断などを参考にして、更に検討を重ねる必要がある。

4.7 まとめ

これまで述べてきた通り、操船シミュレータ演習には多様な評価の手法が

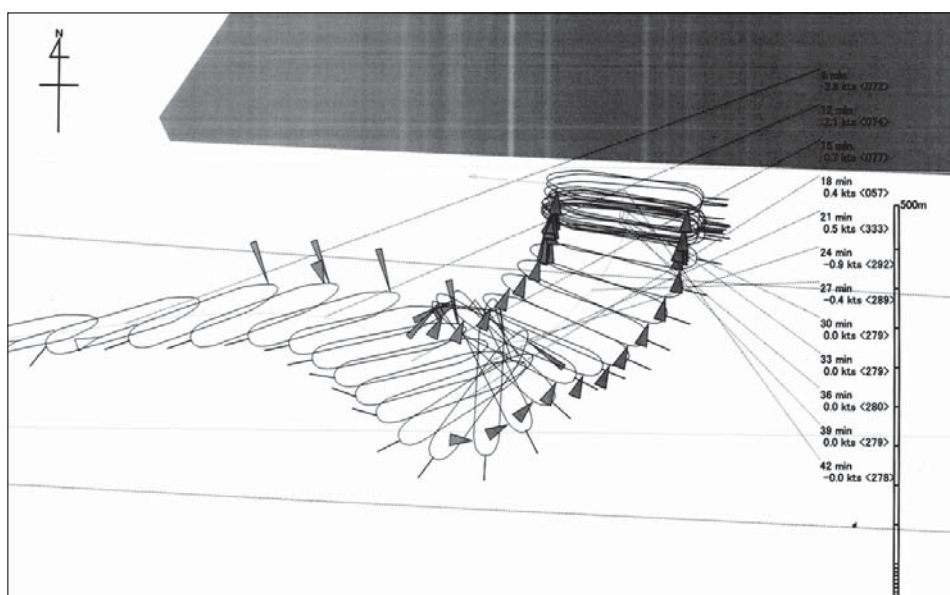


図 4.10 一級水先修業生の航跡図 (風向 North、風速 8m/sec)

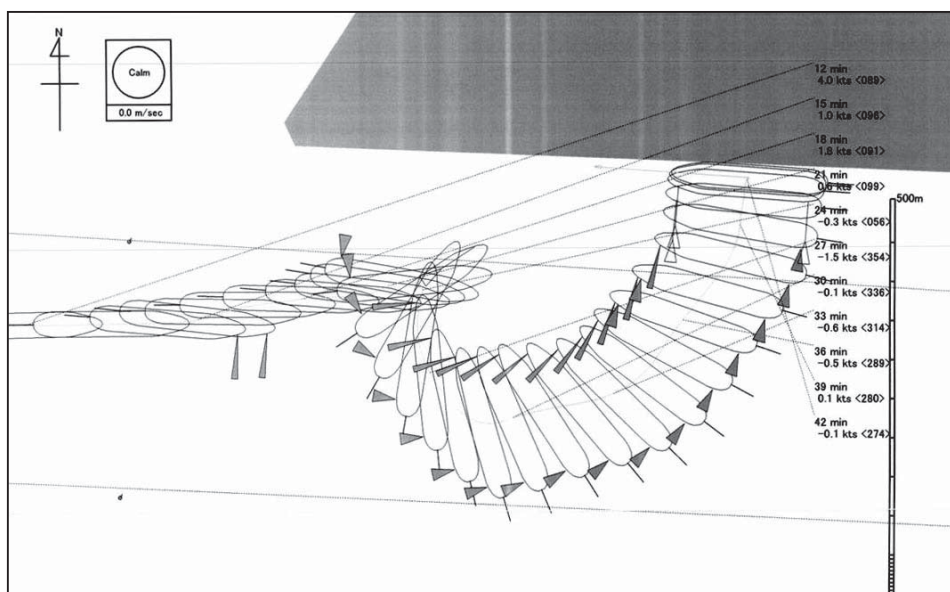


図 4.11 一級水先修業生の航跡図 (船速が不十分の場合)

使用されている。その中では、演習終了直後に素早く具体的な評価指標で表される手法は数少ない。本章では、演習直後に出力される航跡図と主機、舵及びタグボート等の使用実績が具体的な数値として得られるので、これらの値を利用して求める評価指標を考察した。

岸壁着岸操船は、多項目の計測結果をもとに、多数の推力の制御を行うため、操船が複雑になり、即時に数値による評価結果を出すことは困難である。第4章で検討した手法は、標準空間との距離を用いて、異常の強弱を評価するため、さまざまな計測データや種々の推力制御の適不適により発生する異常状態を一つの指標で評価することができる。また、個別に事由を説明することができるので、インストラクタによる講評、ピアアセスメントにおける事象の共有など操船者にとって本人の操船技術レベルや操船上の弱点が理解しやすいという利点がある。

また、インストラクタは操船経験に基づく表現で指導しているが、これに具体的な指標が裏付けされるため、インストラクタの指導表現にも一定の基準を設けやすくなる。操船者は数値により過去の結果との比較も容易になり、複数のインストラクタのコメントが数値化されることにより相対比較でき、異常な制御、失敗への理解が深まる。

本章で検討した評価手法の利点は、以下の3点である。

- ① 評価結果の即時性の担保
- ② 周知による具体的基準
- ③ 相対比較の容易性

今後の課題として、より効果的な評価を得るためには、異常状態と標準空間との差により評価方法、模範操船との相対比較による評価方法、時間による評価方法を付加し、外力が卓越した航行環境下でのシナリオを含めて総合的な評価の検討が必要である。

この総合評価は操船者の成績評価の資料として、あるいは三級水先修業生用の「普通とは異なる」という感覚を習得するシナリオの開発において有効であると考えられる。

第5章 結論

「操船シミュレータ演習の評価についての研究」と題する本論では、水先修業生の操船シミュレータ演習における簡易で即時性のある具体的評価指標について基礎的検討を行ったものである。

平成19年4月より施行された改正水先法に基づき、安定した水先人確保のために、東京海洋大学、神戸大学及び海技大学校の3つの登録水先人養成施設において、商船での乗船経験を有しない者を対象とした三級水先人の養成が開始され、6年が経過した。

従来の一級水先人に加えて船長、航海士として商船の操船経験を有しない三級水先人は、航海当直の経験もなく、出入港作業についての経験も練習船以外にはほとんどない。水先人に必要な知識や技術のうち、港内操船と湾内の輻輳海域における航行を短期間に養成し、三級水先人免許取得後に各水先区で育成していくことが強く求められている。

操船シミュレータ演習はこの三級水先人養成における操船技術の修得に有効であると考えられ、安全かつ効率的な操船を実現するために、座学の養成過程において最も重要な位置づけである。本研究では下記のように具体的評価についての成果が得られた。

第2章では入船着岸操船を例に、シナリオによる演習が終了すると同時に本船の船体運動を解析することにより評価指標を求め、これを用いて操船技術を評価する手法を提案し、この手法による評価の実例を示した。

主要な結論は次のとおりである。

- ① インストラクタは模範操船を提示し、修業生は同一のシナリオ、同一の外的条件で演習を行うので、修業生の技術修得の演習目標が理解しやすい。
- ② 一級水先修業生の平均値と標準偏差は、操船経験のない三級水先修業生の技術レベルを測る評価指標に適しており、彼ら／彼女らの当面の目標値として設定することができる。
- ③ 評価指標による操船シミュレータ演習と各評価地点での加重した総合

点は三級水先修業生の評価地点からの立て直しを反映し、技術向上の動機付けの支援となる。

- ④ 訓練終了後の船体の状態変数を用いることにより、操船している修業生に特別の心理的負荷をかけずに、定量的に評価できる評価指標を抽出できる。
- ⑤ 提案した評価方法により、インストラクタは評価を短時間に行うことが可能で、デブリーフィング時に演習結果を直ちに修業生にフィードバックすることにより、演習効果を向上させることができる。

第3章では、輻輳海域での操船シミュレータ演習において演習効果の具体的指標を得るために状況認識の実験を行った。インストラクタより、三級水先修業生の「見張り」技術向上の必要性を指摘されているが、演習時のインストラクタによる評価の表現や、指摘のポイントが主観的になってしまい、三級水先修業生によく伝わるか疑問の余地があった。SAGAT手法を操船シミュレータ演習の評価に導入し、この水先養成過程の初期段階と最終段階に実施した船舶認識実験により船舶認識率に初期と最終の間に改善の変化がみられ、操船シミュレータ演習の有効性が確認できた。

第4章では、岸壁前面における回頭による出船着岸操船をMTS法の概念を用いて「普通と異なる」という感覚を生起させる基準となる標準空間を定義してその閾値の妥当性を検討した。標準空間の基準点と岸壁前面の回頭時の船首位置との距離(DiscreteDistance)を評価指標として、多変量データを「パターン認識」し、多項目の推力制御を行う操船の評価に簡易な指標として提案し、相対比較も容易であることが確認された。

また、これまで述べてきた通り、操船シミュレータ演習には多様な評価の手法が使用されている。その中では、演習終了直後に素早く具体的な評価指標で表される手法は数少ない。本章では、演習直後に出力される航跡図と主機、舵及びタグボート等の使用実績が具体的な数値として得られるので、これらの値を利用して求める評価指標を考察した。

岸壁着岸操船は、多項目の計測結果をもとに、多数の推力の制御を行うため、

操船が複雑になり、即時に数値による評価結果を出すことは困難である。ここで検討した手法は、標準空間との距離を用いて、異常の強弱を評価するため、さまざまな計測データや種々の推力制御の適不適により発生する異常状態を一つの指標で評価することができる。また、個別に事由を説明することができるので、インストラクタによる講評、ピアアセスメントにおける事象の共有など操船者にとって本人の操船技術レベルや操船上の弱点が理解しやすいという利点がある。

一方、インストラクタは操船経験に基づく表現で指導しているが、これに具体的な指標が裏付けされるため、インストラクタの指導表現にも一定の基準を設けやすくなる。操船者は数値により過去の結果との比較も容易になり、複数のインストラクタのコメントが数値化されることにより相対比較でき、異常な制御、失敗への理解が深まる。

謝辞

本論文は、神戸大学大学院 海事科学研究科 林祐司 教授のご指導の下に、筆者が同大学大学院海事科学研究科博士課程後期課程在学中及び東京海洋大学先端科学研究センターにおいて行った研究をまとめたものである。

最初に、本論文をまとめるにあたり常にご親切になる御指導、御鞭撻を賜りました神戸大学海事科学研究科 林祐司 教授に対し、深甚なる感謝の意を表します。

本論文の執筆にあたり貴重なご教示を頂きました東京海洋大学大学院 矢吹英雄 名誉教授、東京海洋大学大学院 竹本孝弘 教授、東京海洋大学大学院 岡崎忠胤 教授ならびに神戸大学海事大学院海事科学研究科 村井康二 准教授に深く御礼申し上げます。

本研究の遂行と実験に数々のご協力をいただいた神戸大学大学院水先教育研究棟の皆様、東京海洋大学先端科学技術研究センターの操船シミュレータ演習で協力とご助言をいただいた、インストラクタの大羽 純昭 客員教授、加藤信 客員教授、立石健三 客員教授、吉川渉 客員教授、猪森正武 客員教授、後藤清孝 客員教授および水先修業生の皆様に深く感謝をいたします。

また、財団法人 海技振興センターには水先修業生の演習訓練に必要な操船シミュレータの無償貸与、インストラクタの派遣及びオペレータの派遣等の援助を頂き感謝をいたします。

筆者の研究活動に関するすべての方々にここに記して心より感謝の意を表します。

最後になりましたが、常に健康に気遣い励ましてくれた妻 説子、子供達 智、薫に深く感謝します。

参考文献

第1章

- [1-1] 石橋篤・内野明子・西村知久・小林弘明：海事シミュレータの活用事例、NAVIGATION、第183号、pp.3-pp53、日本航海学会、2013
- [1-2] 北原久一著：港内の操船、成山堂書店、1966年9月
- [1-3] 本田啓之輔著：操船通論、成山堂書店8訂版、2008年6月
- [1-4] 立林和夫：入門タグチメソッド、日科技連、2004年4月
- [1-5] 伊藤耕二・小林弘明：単独操船における経験の浅い航海士の行動特性の分析、日本航海学会論文集、第126号、pp.1-9、2012年3月
- [1-6] Marine Simulator Seminar 1997 セミナー：船舶操縦に関するシミュレータの活用－教育訓練と運航環境の評価－、日本航海学会操船シミュレータ研究会、1997年1月
- [1-7] 第2回操船シミュレータ・シンポジウム Marine Simulator Symposium 2000 航行安全とシミュレータ－21世紀へのシミュレータの活用－、日本航海学会・操船シミュレータ研究会、2000年2月
- [1-8] 遠藤真：操船シミュレータ研究会の活動－海事社会への貢献と連携－、Navigation テキスト、日本航海学会、2007
www.toyama-cmt.ac.jp/~endo/publication/Activities/OfMSSR.pdf
- [1-9] 角田領・大和裕幸・安藤英幸：シミュレーションによるブリッジチームのパフォーマンス評価方法、日本船舶海洋工学会論文集、第5号、pp.47-55、2007
- [1-10] 大和裕幸・安藤英幸：チームヒューマンファクター分析、東京大学大学院 新領域創成科学研究科、環境学専攻
<http://www.nakl.t.u-tokyo.ac.jp/>
- [1-11] 藤井照久・小林弘明：STCW条約の改正への対応－改正の課程とシミュレータ活用に向けた提言－、Marine Simulator Seminar 1997、日本航海学会操船シミュレータ研究会、1-1－1-23、1997
- [1-12] 藤原康宏：ピアアセスメント、電気情報通信学会「知識ベース」S3群－11編－3章、pp.22-25、2009
[www//ieice-hbkb.org/files/S3/S3gun_11](http://www.ieice-hbkb.org/files/S3/S3gun_11)

- [1-13] 宇都雅輝・植野真臣：ピアアセスメントにおける項目反応理論、
c3-3 pp.136-137、教育システム情報学会 第37回全国大会、2012

第2章

- [2-1] 橋本進・矢吹英雄・岡崎忠胤共著：操船の基礎（二訂版）、海文堂、
2012年3月
- [2-2] 大津皓平・正司公一・岡崎忠胤：最短時間操船に関する研究Ⅱ、日
本航海学会論文集91号、pp.21-29、1994
- [2-3] T.OKAZAKI, F.HIGANO and J.KAYANO. A Study on Berth Maneuvering Using Ship
Handling Simulator, Proceedings of IEEE International Conference on
System, Man and Cybernetics 2009, pp.660-665, 2009
- [2-4] 廣澤明 訳：ブリッジ リソース マネージメント、成山堂書店
2011年2月
- [2-5] 高橋宏直・柳原啓二：NILIM-AISによるコンテナバースへの着岸・離
岸のための泊地規模に関する分析、国総研資料 No.496、pp.1-10, 2008
www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoutnn/tnn0496pdf/ks-49604.pdf

第3章

- [3-1] Mica R.Endsley：Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT) ,
IEEE National Aerospace and Electronics Conference, Vol.3, pp.789-795, 1988
- [3-2] 中村紳也：海上交通に関する安全評価手法の確立、広島大学学位論文、
1996
- [3-3] 小林弘明・仙田晶一：心拍変動データによる操船者の知的負担の
研究、日本航海学会論文集、第98号、pp.247-255、1998
- [3-4] 伊藤耕二・小林弘明：単独操船における経験の浅い航海士の行動
特性の分析 日本航海学会論文集、第126号、pp.1-9、2012
- [3-5] 西崎ちひろ・吉村健志・田村兼吉・三友信夫：操船シミュレータを
用いた操船行動に関する解析手法、日本航海学会論文集、第123号、
pp.95-102、2010
- [3-6] 瀬田広明・大木未来・臼井英夫・酒出昌寿：三大湾の海上交通解

析 — AIS 搭載船の操船困難度評価 —、日本航海学会論文集、第 123 号、pp.13-19、2010

第 4 章

- [4-1] 廣澤明 訳：ブリッジ リソース マネージメント 成山堂書店
2011 年 2 月
- [4-2] 立林和夫：入門タグチメソッド、日科技連、2004 年 4 月
- [4-3] 矢野宏：やさしい「タグチメソッド」の考え方、日刊工業新聞社、
2003 年 9 月
- [4-4] Elizabeth A Cudney, Jungeui Hong, Rajesh Jugulum, Kiumars Paryani, Kenneth
M Ragsdell, Genichi Taguchi ; An Evaluation of Mahalanobis-Taguchi System
and Neural Network for Multivariate Pattern Recognition, Journal of
Industrial and Systems Engineering, Vol. 1, No.2, pp.139-150
- [4-5] Elizabeth A Cudney, Kioumars Paryani and Kenneth M. Ragsdell ; Applying
the Mahalanobis-Taguchi System to Vehicle Ride, Journal of Industrial and
Systems Engineering, Vol.1, No.3, pp.251-259,
- [4-6] 小菅太・田端文夫・大滝淳司・上原孝之・山本和幸：官能検査を自
動化するための判定技術、富士通テン技報、Vol.28、No.1
- [4-7] 井上一規・日向野史崇・岡崎忠胤・矢吹英雄：操船シミュレータに
よる着棧訓練の評価方法について、日本航海学会論文集、第 124 号、
pp63-69、2010

付録

三級水先人養成操船シミュレータ訓練 ー評価の手引きー、財団法人 海
技振興センター、平成 22 年 1 月

三 級 水 先 人 養 成
操 船 シ ミ ュ レ ー タ 訓 練

— 評価の手引 —

平成 22 年 1 月

財団法人 海技振興センター

目 次

1	評価の方法	1
1.1	個別評価	1
1.2	総括評価	5
2	評価の時期	5
参考資料		
1	基本操船シナリオ	1
2	応用操船シナリオ	2

基本操船および応用操船訓練の評価にあたっては、
各シナリオのねらいを達成すべき目標とし、その達成度を測るものとする

1 評価の方法

基本操船訓練、応用操船訓練の各訓練で「個別評価」を行い、各個別評価を総括して最終的な「総括評価」を実施する。

1.1 個別評価

個別評価では各評価項目に達成目標を設定し、それぞれ次の3段階で評価する。

Excellent	3点	: 十分満足と判断
Very Good	2点	: おおむね満足と判断
Good	1点	: 努力を要すると判断

評価シートの評価項目合計の満点を100とし、取得した得点の割合を総得点とする。

例えば、(評価シート1)の場合、全評価項目が20項目で、3点×20項目=60点を満点とする。訓練の結果、獲得した点数が56点ならば、 $56/60 \times 100 = 93$ 点が個別評価の総得点となる。

【個別評価】

基本操船:

(評価シート1)

基本的な操縦性能の体得	シナリオ No.01-21
外力影響の体得	シナリオ No.22-55
タグボート使用の体得	シナリオ No.56-73

応用操船

(評価シート2)

複合外力影響の体得	シナリオ No.01-14
他船との行合い避航	シナリオ No.15-25

(評価シート3)

着離岸の基本を体得	シナリオ No.26-38
-----------	---------------

表 1.2 応用操船 評価シート 2

評価シート2 応用操船訓練 (氏名)		年 / 月 / 日			
		採 点			
評価項目	3点	2点	1点	0点	
	Excellent	Very good	Good		
複合外力影響の体得 (船種)		シナリオNo.01-14			
風・潮流による保針性への影響を確認できたか (低速時)					
風・潮流による旋回性への影響を確認できたか (低速時)					
風・潮流による停止距離への影響を確認できたか (低速時)					
風・潮流および自船の操縦性能・コンディションを考慮し適切な時期に変針を開始したか					
風・潮流による偏位に着目し、障害物から十分な距離を確保できたか					
他船との行き合い、避航の体得 (船種)		シナリオNo.15-25			
[認知 (見張り)]					
他船の動向を正確に把握できているか					
目視、レーダー、AIS等を用いて余裕のある時期に、他船の存在や航路標識を発見しているか					
停留している船舶や浮標との離隔距離は適切だったか					
存在を発見した船舶との衝突のおそれを適切に判断していたか					
船首航過に注意を払っていたか					
複数船との遭遇時において、余裕のある時期に適切な避航動作ができたか					
[判断 (適法性)]					
予防法、港則法に従った操船がなされていたか					
予防法、港則法上、他船との見合関係において、適切な行動をとっていたか					
予防法、港則法で定められている注意喚起信号、警告信号、追越し信号、操船信号等を理解していたか					
[伝達 (安全性)]					
レーダー及びARPAの操作・取扱に熟練していたか					
適切に信号 (操船信号・警告信号・注意喚起信号) を実施できていたか					
合計 得点					
(備考) 目標達成度 Excellent 3点 : 十分満足と判断 Very Good 2点 : おおむね満足と判断 Good 1点 : 努力を要すると判断					総 得 点 ___/48 × 100 = ___点

得点/満点 × 100 = 総得点

表 1.3 応用操船 評価シート 3

評価シート3 応用操船訓練 シナリオNo. (氏名)		年 / 月 / 日			
		採 点			
評価項目	シナリオNo.26 -38	3点	2点	1点	0点
着離岸の基本を体得					
タグとのコミュニケーションは適切であったか					
機関、スラスター使用前に作動確認を行ったか					
故障時の用錨、タグによる制動等の応急対応を理解、準備しているか					
CPP船特有の性能の習得（後進時の船首の左右いずれかへの振れ・ミニマムスピード等の船長への事前確認等）					
船長とのコミュニケーション（英語）は適切に行われたか					
見張りの励行を十分に行ったか					
(バースへのアプローチ操船)					
アプローチは、外力（風、潮流等）の諸状況を勘案して適切であったか					
タグボート・舵・機関等の使用状況は適切であったか					
バース接近時の船体姿勢・船速の制御は適切であったか					
離岸・離船距離は適切であったか					
(着岸操船)					
横押し時に外力（風、潮流等）の影響を考慮していたか					
接岸速度は適切であったか					
横方向への押し引き時のタグボートの使用状況は適切であったか					
タグラインの長さの適否を確認したか					
タグの配置位置（PCCサンクンビット・正船尾・コーター部係止、タグブッシュマーク留意）が適切であったか					
タグ（特に船尾に配置したタグ）へのEngine使用時の連絡を行ったか					
本船機関使用状況は適切であったか					
舵、スラスター等の使用状況は適切であったか					
略平行着岸が出来たか					
(用錨着岸操船)					
接近速度は適切であったか					
投錨位置、本船姿勢及び速度は適切であったか					
横押し時のタグボートの使用状況は適切であったか					
本船機関使用状況は適切であったか					
舵、スラスター等の使用状況は適切であったか					
錨鎖の伸張節数は適切であったか					
略平行着岸が出来たか					
(離岸操船)					
本船機関使用状況は適切であったか					
舵、スラスター等の使用状況は適切であったか					
用錨離岸時の錨鎖の使用は適切であったか					
タグの使用状況は適切であったか					
離岸時の船体姿勢（略平行引出し）・離岸・離船の距離は適切であったか					
		合計			
		得点			
(備考) 目標達成度	Excellent	3点	: 十分満足と判断		
	Very Good	2点	: おおむね満足と判断		
	Good	1点	: 努力を要すると判断		
		総		得点	
		得点			

得点/満点×100=総得点