

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：55502

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13253

研究課題名（和文）若手航海者のための避航行動指標の開発

研究課題名（英文）A study on development of educational index for young navigator to avoid risk of collision

研究代表者

久保田 崇（Kubota, Takashi）

大島商船高等専門学校・商船学科・教授

研究者番号：40413843

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,400,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、航海者の避航行動に関する評価指標の構築を目指し、認知実験を行った。実験より得られた行動データから航海者の避航時の行動過程や情報共有に関するコミュニケーションモデルを提案した。次に航海者の主観的な衝突の危険評価を定量化するために、接近する他船に対して航海者が感じる主観的衝突の危険評価を、TCPAを変数とするシグモイド関数で近似式し、他の船舶を視覚情報に基づいて瞬時に判断する主観的な衝突の危険度を、DCPAを変数とする新たな指標である総合的な主観的衝突のおそれ(SYSROC)を示し、船型別のSYSROCの差異を示した。そして最後にSYSROCを用いた教示法と評価法を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本来、航海者が他船を避ける一連の動作（意思決定、判断、行動およびそれに掛かる情報共有、タイミング）すなわち避航技術は、多くの経験から研ぎ澄まされ、より安全かつ経済的な動作ができるようになる。しかし、短い乗船期間でプロモートを急かされている若手航海者には経験を積む時間が少ない。そのため、本避航行動指標はその経験値を埋めることに役立つと考える。具体的には、ベテラン航海者が経験から得られた避航に関する意思決定や判断を指標を用いて数値・可視化することにより、今まで曖昧で感覚的で、職人技のように、経験し学んでようやく得られていた避航技術を、数値や色といった分かり易い方法で伝達補助することが可能となる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to construct educational index for young navigator to avoid risk of collision. the cognitive experiment was carried out. A communication model to avoid collision about process and resource sharing was constructed from the data of the experiment. Next Navigator's subjective risk of collision: SROC was approximated by sigmoid with variable "Time to the closest point of approach: TCPA" to quantify them. And then Navigator's Synthetically Subjective Risk of Collision: SYSROC which was multiplied SROC and Navigator's subjective risk of collision on the basis of visual information as new index formula with variable "Distance at the closest point of approach: DCPA. After that the space of SYSROC by the type of vessel were shown. Finally how to educate and assess by SYSROC was presented.

研究分野：航海計器

キーワード：操船シミュレータ 衝突のおそれ 避航

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

現在、団塊の世代の航海者が現役を去り、海運界全体が航海者不足である。平成19年には海洋基本法が制定され、法中の第5条「海洋産業の健全な発展」により、次世代の航海者の採用・育成が推奨され、20代の若手航海者が増加している。しかし安全航海を脅かす新たな問題も発生している。本来、航海者の技術の向上は経験を積むことで実現されるものであるが、商業船舶では昇進が早く、短い乗船経験での航海者育成が急務となり、若手航海者にはプレッシャーとしてのしかかる。近年では、未熟な若手航海者が起因した海難事故も発生している。また平成19年には、海上の案内役である水先人制度が変わり、十分に経験を積んだ航海者が行ってきた水先業務を乗船経験の少ない新卒者が実施しており不安視する意見もある。従って20代の若手航海者の経験不足をフォローする新支援システムが早急に必要である。本研究は次世代を担う若手航海者が安全に航行できる支援システムを構築することを目的とする。

### 2. 研究の目的

本研究では航海者の避航行動に関する評価指標の構築を目指す。避航技術は多くの経験から研ぎ澄まされて、より安全かつ経済的な動作ができるようになる。しかし、先に述べたように、現在の若手航海者にはこの経験を積む時間が少ないため、従来の方法では避航行動を磨くことが難しい。そのため本研究で数値的・可視的な分かりやすい評価指標を設け、効率良く避航行動を磨くことが可能であると考え。具体的には、ベテラン航海者が経験から得られた避航に関する意思決定や判断を可視化することにより、今まで曖昧で感覚的で経験を積むことのみで精錬されていく職人技のような技術を若手航海者にも分かり易く伝達することが可能となる。

### 3. 研究の方法

#### (1) データについて

先ず航海者の避航行動に関するデータを得るために本校で行われているBRM研修を利用する。BRM研修は瀬戸内海を航行する内航船舶のプロの航海者が本校操船シミュレータを使用し行う安全航行研修であり、実務経験豊富な航海者が来校する。なお本訓練はすでに数回行われており、指標を構築するために記録した十分なデータ<行動データと映像・シミュレータのログ(船舶の航跡など)>は存在し、それを利用する。更に、より良い指標の構築をめざすため、本研究では新たに航海者12名そして学生10名を集め、データ収集を実施する。

#### (2) データ収集と実験

データ収集のために、操船シミュレータで二つのシナリオを用意した。一つ目は上記、BRM訓練と同じシナリオである。図1より海域は難所である来島海峡航路を利用し、シナリオの数か所に要避航ポイントを置く。二つ目は避航義務のある右舷から接近する船舶を避航するシナリオである。図2に示すように、接近する船舶に対して、主観的衝突のおそれ(Subjective Risk of Collision: SROC)を5段階評価(「ない」:1から「ある」:5まで)で毎分記録した。

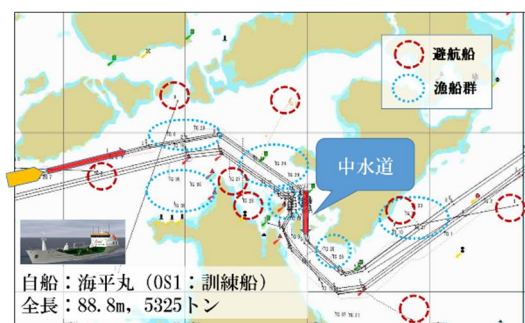


図1 実験シナリオ1

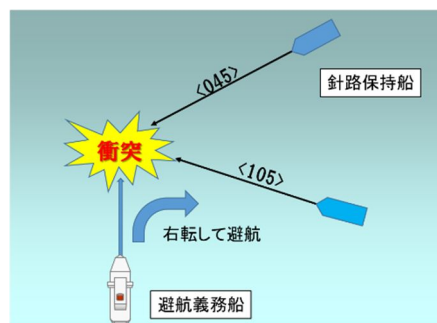


図2 実験シナリオ2

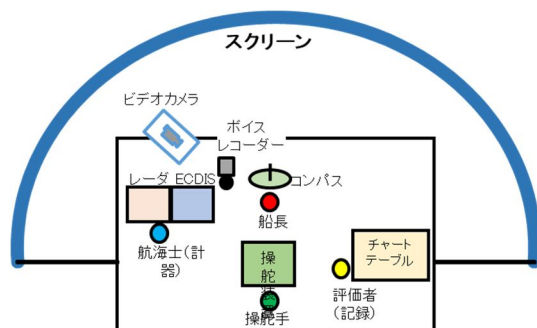


図3 実験配置および実験の様子

また図3に実験配置と実験の様子を示す。記録係が書記する被験者の「時系列の行動と発令」、ボイスレコーダーに記録された「船長・航海士と他の乗組員の会話」、ビデオカメラに記録された「被験者の行動・移動・音声」、そしてシミュレータに記録された「船舶の動静」を解析する。

### (3) 解析結果の検証

#### ・ コミュニケーションモデルの構築

先の研究より、航海者の避航行動モデルは構築されている。図4に避航行動モデルを示す。図4より、他船情報の初認から衝突のおそれの判断、避航行動に移行するまでの過程と時期は最も重要であるが、過程に至るまでの情報共有も重視しなければならない。理由としては、訓練過程で情報共有の観点なしに行動(結果)を見ると、航海者と学生で似た行動結果となることがあるからである。そこで実験より得られる会話を基に、船橋内における情報共有モデルすなわちコミュニケーションモデルを作成し、それを指標とする。

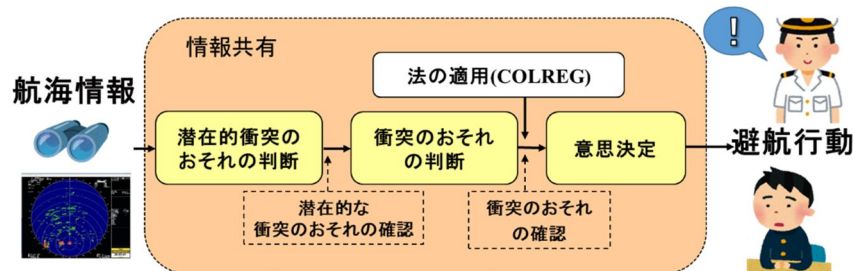


図4 避航行動モデル

#### ・ 総合的な主観的衝突のおそれ

解析結果より、総合的な主観的衝突のおそれ(Synthetically Subjective Risk of Collision: SYSROC)を求める。SYSROCはターゲットの最接近時間(Time to the Closest Point of Approach: TCPA)と最接近距離(Distance at CPA: DCPA)を変数とする主観的衝突のおそれ(Subjective Risk of Collision: SROC)の積で表され、以下の式となる。

$$SROC(TCPA) = \frac{1.0}{1.0 + \exp\{A(TCPA) + B\}} + 1.0 \quad (1)$$

$$SROC(DCPA) = \exp\{-1.3 \times DCPA\} \quad (2)$$

(1)式より係数AはSROCの傾きを表しており、BはSROCが5段階評価の中間値となる時間遅れを表す。すなわちAはSROCの時間(分)当たりの変化率(緩急)そしてBはSROCの認知遅れを示している。また(2)式は前研究によりプロの航海士の判断データより得られたもので、本研究では、DCPAの変化に対して本式を理想的な判断基準と見なし、係数の変化は無しとする。そしてこれらの積により、SYSROCが(3)式の様に求められる。

$$SYSROC(TCPA, DCPA) = SROC(TCPA) \times SROC(DCPA) \quad (3)$$

また、これを複数のターゲットが存在する場合に拡張するために複数ターゲット各々のSYSROCと各重み係数(1)の積を求め、これらの和によって次式とする。

$$SYSROC = \lambda_1 SYSROC_1 + \lambda_2 SYSROC_2$$

なお乗船経験によりSYSROCは変化する為、船種別の(1)式の係数A,Bの違いを求める。

#### (4) 表現

SYSROCの理想的な表現方法(時系列的・空間的)を提示する。なお表現開発には時系列的な数値シミュレーションが可能なソフトウェアを使用する。

## 4. 研究成果

### (1) コミュニケーションモデル

ボイスレコーダーの「船長・航海士と他の乗組員の会話」記録より、避航行動時のコミュニケーションモデルを作成した。図3にコミュニケーションモデルの一部を示す。図5より情報共有は船長の報告要求や他船情報の要求、そして情報確認への航海士や操舵手からのアンサーバックで完了する。また航海士や操舵手からの報告および確認に対する船長のアンサーバックによ

り完了する。情報共有は二者間で交わされる対の2つ発話から成り立つことが明らかとなった。また針路保持や避航の為の行動時には、船長の動作命令から完了までにいくつかの情報共有を経て、コミュニケーション過程が成されていることが分かった。本モデルを用いて若手航海者との情報共有や協調行動を相対的に評価することが可能であると考えられる。

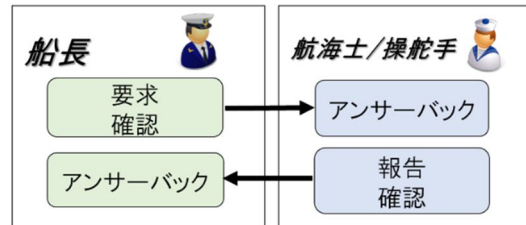


図5 コミュニケーションモデル(抜粋)

(2) SYSROC の差異

船種別の被験者から得られた SROC (TCPA) の係数 A, B の差異を下表に示す。

表1 SROC (TCPA) の係数 A, B (船種別)

	学生	練習船	内航セメント船	内航タンカー	フェリー
A	0.58	0.87	0.72	0.64	0.60
B	4.1	2.2	2.6	2.5	3.4
被験者数	10	10	5	4	3

表1より、比較対象として学生の数値を示している。先にも述べたように、係数 A は SROC の変化率、B は認知遅れを表している。少し分かり易く説明すると、A が小さい場合、衝突のおそれの判断が鈍くなり、大きくなるにつれ、衝突のおそれの判断が活発になる。また B は衝突のおそれが「ない」から、「ある」に切り替わるポイントを表しており、B が小さい場合、衝突のおそれを認知するのが早くなり、大きくなるにつれ、衝突のおそれを認知することが遅くなる。従って学生はプロの航海者に比べ、最も衝突のおそれの認知が遅く、また認知した後も衝突のおそれの判断が鈍いことが分かる。また航海者の乗船経験のある船種別の結果では、学生を訓練する練習船の航海者が最も衝突のおそれの認知が早く、また認知した後も衝突のおそれの判断が活発であることが分かった。

(3) SYSROC 空間の表現

SYSROC を評価するためのシナリオを図6に示す。評価シナリオは、航海者にとって比較的判断が困難であると考えられる左右両舷からの横切り船が同時に接近する見合い関係であり、図6にシナリオ開始時の状態を示す。本シナリオは、自船は進行するにしたがって何処かで針路保持と避航義務を考慮する必要が生じ、避航行動開始するのか判断を迷う上に、比較的起こりやすい見合い関係である。

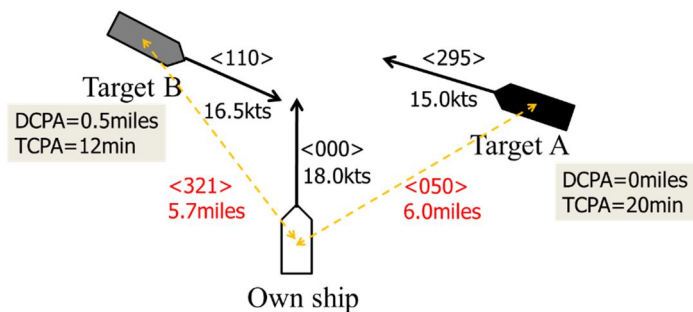


図6 評価シナリオ

右舷からの横切り船をターゲット A とし、左舷から横切り船をターゲット B とし、自船に対してこれら2隻のターゲットが各矢印の方向で進んでいる。この評価シナリオの条件下で3Dグラフ作成ソフトを使用し、表現した SYSROC 空間を図7に示す。

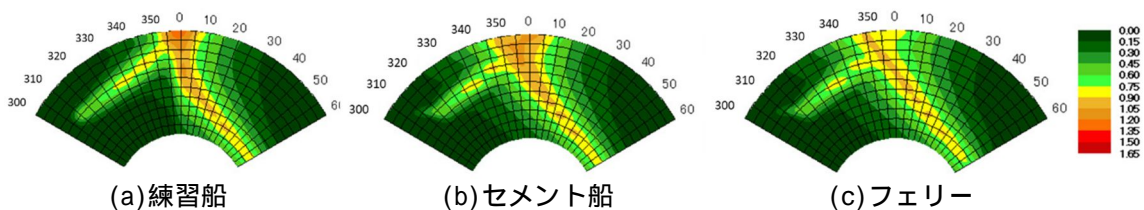


図7 SYSROC 空間

図7は評価シナリオ直後の SYSROC 空間を表している。グラフの円周軸は300度から60度、計120度前方視野を表している。また半径軸は、速力を表しており通常操船で利用される速力の7から18ノットを示している。また色は SYSROC 値を示しており、深い緑から濃い赤までで主観的な衝突のおそれの度合いを示している。言い換えると、図7に示した船種別の SYSROC は各船種

で経験を積んだ航海者の主観的衝突のおそれを示すものである。図7を見てわかるように、船種別の SYSROC 空間は(a)練習船では主観的衝突のおそれを色濃く示す部分が多く、(c)フェリーでは、他のものに比べ、主観的衝突のおそれを色濃く示す範囲が少なくなっていることが分かる。これは練習船では、教示する立場であるため、主観的な判断が厳しくなっており、他の商業船では、比較的に判断に余裕があることを示している。

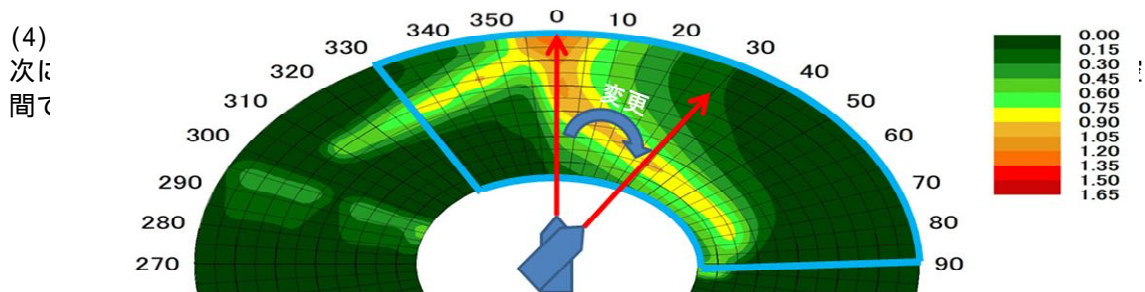


図8 SYSROC 空間 (前面抜粋)

図8より、自船はこのままの針路000度、速力18ノットで航行すると衝突のおそれがある状況になることが視覚的に色で知ることが出来る。そのため、色で判断し、2段階目に安全域である緑色のエリアに避航するため、針路030度、15ノットに変更した場合、どのようにSYSROCが変化するかを図9に示す。

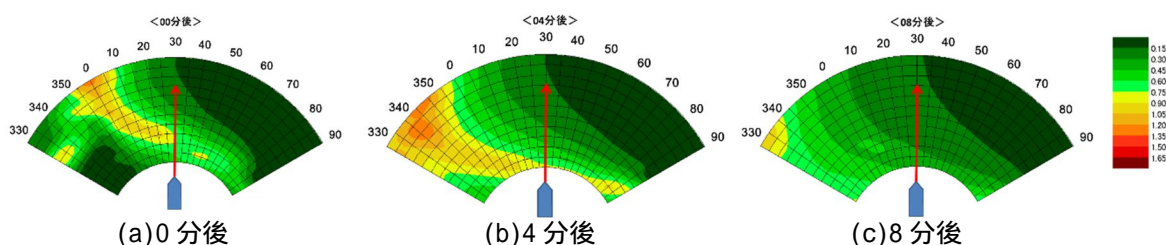


図9 SYSROC 空間の変化 (変更後)

図9は仮想計測器ソフト上で時系列的に再現したSYSROC空間である。図9(a)は変更直後の状態である。これにより、視覚的に船首方向に衝突のおそれから逃れられたことが視覚的に分かる。また4分後の(b)では左側に避けたSYSROCが高いエリアが危険のピークを迎えたことが視覚的に理解できる。そして8分後の(c)では、時間経過とともに、ターゲットの衝突のおそれが遠ざかったことが視覚的に理解できる。以上の様に、複雑な見合い関係にあるターゲットに対しても視覚的な補助を得られれば、避航の意思決定に手間取っていた学生においても、航海者を模倣することが容易になると考える。またSYSROC空間を用いて評価する場合、熟達した航海者のSYSROC値が得られれば、それと比較することで分かり易く未熟な部分を指摘する事も可能であると考える。そして総合的な行動評価は、環境要因や他者とのコミュニケーション、そしてSYSROCと様々な因子が絡み合う為、今回、提示したコミュニケーションモデルとSYSROCを融合した評価法を考えていくことを今後の課題とする。

おわりに、コロナ禍の影響で2020年3月以降、被験者を集めて実験することがまもなくなくなり、予定していた航海士によるSYSROC空間の検証が実施出来なかった。暫くは外部からの被験者を呼んでの実験は難しいが、数値シミュレーションを含め、本研究を更に精練させていきたいと考えている。

#### <引用文献>

- 国土交通省 HP、海洋基本法、<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kaiyou/konkyo7.pdf>、accessed on 2017.10
- 日本水先人連合会 HP、養成制度、<http://pilot.or.jp/howto/index.html>、accessed on 2017.10
- 中国海技学院(広島県)との共同研究、<http://www.h7.dion.ne.jp/~ka-csk/oogata-3.html>、accessed on 2017.10
- 久保田 崇、河口 信義、航海者の意思決定・行動モデルに関する研究- シミュレータによる避航実験 -, 日本航海学会論文集 122号、2009、63-68
- 久保田 崇、河口 信義、航海者の意思決定・行動モデルに関する研究 - 総合的な主観的衝突のおそれ -, 日本航海学会論文集 122号、2010、21-26

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Takashi Kubota
2. 発表標題 EDUCATION AND ASSESSMENT USING A SHIP-HANDLING SIMULATOR: APPLICATIONS FOR COMMUNICATION ANALYSIS
3. 学会等名 19th ASIAN CONFERENCE on MARITIME SYSTEM and SAFETY RESEARCH (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久保田 崇
2. 発表標題 操船シミュレータによる教育・評価方法 -情報共有モデル・協調行動モデルによる教示の試用-
3. 学会等名 日本航海学会第139回講演会（招待講演）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------