

平成 30 年 6 月 26 日現在

機関番号：12614

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16304

研究課題名(和文)航海士の状況認識を考慮したレーダにおける船舶の自動捕捉に関する研究

研究課題名(英文)Detection method of ship images within radar images in consideration of navigator's situation awareness

研究代表者

西崎 ちひろ (Nishizaki, Chihiro)

東京海洋大学・学術研究院・助教

研究者番号：70570993

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、SAGAT (Situation Awareness Global Assessment Technique) を用いたシミュレータ実験により航海士の状況認識を計測し、見張りが必要な船舶を判定する閾値を提案した。また、レーダ画像処理により船舶の可能性が高い画像を自動抽出し、その後、操船者の状況認識の特徴を反映した閾値を用いた「レーダにおける船舶画像の実用的な自動捕捉アルゴリズム」を提案した。航海士の主観的評価より、本アルゴリズムが操船実務経験者の見張り傾向を十分に反映していることを確認した。

研究成果の概要(英文)：In this study, navigators' situation awareness(SA) was measured in a ship maneuvering simulator using the Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT). From the results, I proposed a new risk category named as "attention area," that covers ships with high priority level in the SA of navigators, and a limit line surrounding ships with high priority levels was identified. By using radar image processing and new risk category to detect ships with high priority levels, the detection method of ship images within radar images was proposed. The validity of the method was confirmed by subjective evaluation of navigators.

研究分野：航海学，人間工学，安全工学

キーワード：航海士の状況認識 レーダ 画像処理 操船シミュレータ 航海支援

1. 研究開始当初の背景

船員数の減少や船員の高齢化が進む中、少人数で見張り精度を維持し、かつ航海士の負担を減らすための対応が求められている。一方、衝突海難の原因の40.8%は「見張り不十分」であるという指摘がされており、衝突海難の低減には、見張りの精度を上げる必要がある。

AIS (Automatic Identification System) の搭載義務化により、内航船においても総トン数500トン以上の船舶については、GPS 船位や船名等の詳細情報を参照することができる。しかし、内航船の多くはAISの搭載義務のない大きさであり、現在AISの搭載義務のない船舶や小型の漁船に関する情報は、目視やレーダから収集する必要がある。

大型船からの見張り作業の支援に関し、光学センサーを用いた航行船舶の抽出についての研究が進められている。また、海上技術安全研究所では、AIS研究の一部として、複数の画像センサーを用いた航行障害検出システムの研究が実施されてきた。これらの研究から、見張り精度の向上には、現在搭載させている航海計器とは別に、光学センサー等を用いた新たな監視システムの導入が有効であると言える。一方、新しいシステムの導入にはコストが発生し、搭載義務化するための規則改定が必要となるため、現状では、すでに多くの船舶に搭載されている航海計器を用いて、見張り精度を向上させる工夫が必要と考えられる。

航海士にとってレーダは、現状の見張り作業において、主に使用される航海機器の一つである。目視による見張りを重要視する日本の航海士であっても、夜間や狭視界時における情報収集には、レーダが必要不可欠であり、視界良好時であっても、ARPA (Automatic Radar Plotting Aid) 機能により、衝突の危険等の情報を把握するため使用されている。しかし、レーダはあくまで電波の反射の有無を示す機器であり、海面反射等の偽像を多数含むと共に、船舶であるかどうかの判断には、レーダを使用する航海士の経験や技能が必要とされる。また、ARPAの自動捕捉機能では、海面反射や陸上等の雑音と船舶画像の識別がされておらず、捕捉数も限られるため、多くの航海士は利用をしていないのが現状である。従って、見張りの精度を維持しながら、より多くの船舶に対する見張りを行い、かつ、航海士の負担を減らすためには、レーダ画面上で航海士が捕捉を必要とする物標を優先して自動捕捉する仕組みが必要である。

申請者は実習船及び実験による乗船経験を有し、操船シミュレータを用いた航海士の認知に関する研究に取り組んできた。その結果、複数の船舶が存在する場合、航海士は全ての船舶を同じ頻度・重要度で監視しているわけではなく、それらの船舶に優先順位を付けて見張りを行っていることが明らかとな

っている。従って、この航海士の船舶に対する見張りの優先順位の詳細を明らかとし、レーダにおける船舶画像の選択基準に反映することで、航海士が見張りが必要であると考えられる船舶から優先的に捕捉がされる、実用的な自動捕捉方法を提案できると考える。

2. 研究の目的

本研究は、操船シミュレータ実験から得られる航海士の状況認識の特徴を、レーダにおける船舶画像の選択に反映することで、航海士が一般的に情報を必要とする船舶の画像から優先的に自動捕捉する方法を提案することを目的とする。

航海士の見張り不十分が原因とされる衝突海難の低減には、現在多数の船舶に搭載がされ、かつ航海士の見張り作業で最も一般的に使用されている、レーダによる見張り精度を向上させることが有効と考えられる。レーダにおいて、航海士が一般的に情報を必要とする船舶の画像を優先的に自動捕捉することで、手動捕捉の手間を省き、かつ、捕捉してから計算が必要となる船舶の動的情報を遅延なく参照することが可能となり、より多くの船舶に対する見張りが可能となると考えられる。そのため、本研究は具体的には以下を実施する。

(1)航海士の状況認識の特徴の把握

研究背景を踏まえ、SAGAT (Situation Awareness Global Assessment Technique) を用いた操船シミュレータ実験により、複数の船舶が存在する一般的な交通流における航海士の状況認識の特徴、具体的には、複数の航海士が共通して見張りを行っている船舶の特徴及び航海士の見張りの優先順位の特徴・優先順位の決定基準を明らかにする。

(2)航海士の状況認識の特徴を踏まえた自動捕捉アルゴリズムの構築及び提案

(1)で明らかとした航海士の状況認識の特徴を、レーダにおける船舶画像の選択基準に反映し、レーダにおける実用的な自動捕捉方法を提案する。

3. 研究の方法

本研究は、航海士の状況認識の特徴を反映した、レーダにおける船舶画像の実用的な自動捕捉アルゴリズムの提案を目的として、以下の項目を3年間で実施する。

(1)SAGATを用いた操船シミュレータ実験による航海士の状況認識の計測

SAGATを用いた操船シミュレータ実験により、複数の船舶が存在する一般的な交通流における航海士の状況認識の特徴を計測する。

本実験では、複数の船舶が存在する、いくつかの一般的な交通流を再現し、操船実務経験のある被験者に通常の見張り作業を行わ

せる。実験中は、通常の見張り作業の合間に、定期的の実験シナリオを一時停止し、船橋後方の海図台等、周囲の状況が確認できない状態で、PPI スコープを模擬した記録紙に、被験者が記憶している周囲の状況（認識している船舶とその動向）を記入させる。被験者が記録紙に複数の船舶を記入した場合は、それらの船舶について見張りの優先順位を番号で記入させ、記入が全て終了した時点で、速やかに実験シナリオを再開し、見張り作業を継続させる。

同じ状況を繰り返し再現できる操船シミュレータを利用することで、複数の被験者について、同じシナリオ条件における船舶の見張り状況を計測することが可能である。また、ビデオカメラや赤外線カメラを用いることで、実験中の被験者の行動・反応・発言データや鼻部皮膚温度等の生理データを同時に収集し、行動分析や緊張度の分析を行うことが可能である。SAGAT の計測では、実際のレーダと同様の PPI スコープを模擬した記録紙を用いることで、記入時間が短縮でき、かつ、分析において実験シナリオの船舶と被験者が記入した船舶との照合が容易となる。また、周囲の状況だけではなく、他船に対する見張りの優先順位を合わせて記入させることで、自動捕捉アルゴリズムを検討する際、優先的に自動捕捉する順番を決定することが可能である。

(2) 航海士の状況認識の特徴及び傾向の分析

SAGAT による操船シミュレータ実験において、被験者が記録紙に記入した航海士の状況認識（見張り状況）の結果を用いて、航海士の見張りの優先順位付けの傾向や、多くの被験者が共通して見張りを行っている船舶の特徴、逆に多くの被験者がほとんど認識をしていない船舶の特徴を明らかにする。船舶の特徴とは、相対距離や相対方位、方位変化率や他船の針路等の具体的な閾値である。

(3) 実海域におけるレーダデータの収集（ラスタ画像の収集）

自動捕捉アルゴリズムの検討及び実装に用いる、実海域で得られるレーダデータの収集を行う。実海域のレーダデータを用いることで、偽像の存在や電波のビーム幅の影響等、実際のレーダで起こり得る画像特徴を考慮した、自動捕捉アルゴリズムの検討が可能である。また、実船におけるデータ収集を行うため、現実遭遇する船舶交通流の一部を記録できることから、航海士の状況認識を明らかにするための操船シミュレータ実験における実験シナリオを作成する際、参考情報として活用することができる。

(4) レーダ画像処理による捕捉対象画像の絞込み

通常レーダ画像には、船舶以外の画像も多く含まれている。そのため、通常航海士が

目にしていない PPI スコープのレーダ画像を 1 枚のラスタ画像として扱い、事前に自動捕捉の対象となる画像の絞込み（船舶画像の自動抽出）を行う。事前に高い精度で、自動捕捉の対象となる画像の絞込みを行うことで、誤判定の少ない自動捕捉結果に繋がると考えられる。

(5) レーダの自動捕捉アルゴリズムの構築及び実装

レーダの自動捕捉対象となる画像の特徴点として、(2)で提案したと閾値を組み込むことで、航海士が見張りが必要と考える船舶から優先的に自動捕捉するためのアルゴリズムを検討し、(4)で自動捕捉の対象として絞り込まれたレーダ画像のデータを用いて実装する。

(6) レーダ自動捕捉結果の有効性と実用性の評価

(5)で実装した自動捕捉結果の有効性及び実用性の評価と、問題点がある場合には改善事項の洗い出しを行う。実装した自動捕捉の結果を検証し、(2)の航海士の状況認識の特徴分析から明らかとなった、複数の被験者が共通して見張りを行っている船舶が確実に捕捉されていることを確認する。航海士の状況認識の特徴分析の結果と比較評価を行い、自動捕捉結果が十分でない判断された場合は、追加で捕捉の必要がある船舶画像とその特徴を分析し、自動捕捉アルゴリズムの修正を行う。

4. 研究成果

(1) SAGAT を用いた操船シミュレータ実験による航海士の状況認識の計測

① 実験シナリオ

様々な見合い関係における見張りの特徴を計測するために、計 24 隻の船舶を発生させる実験シナリオを作成した。具体的には横切りの見合い関係における保持義務船・避航義務船による状況認識の違いを把握するため、他船の配置は左舷・右舷の両方に分散させる配置とし、同航船や反航船も出現させた。船舶は通常右側航行をしているため、左右の横切り船も基本的に右舷航行を行うよう配置した。また、陸上や航路が見張りに与える影響を避けるため、海域は外海（Open Sea）とした。

② 実験方法

実験は、操船実務経験のある 7 名の被験者を対象に行った。実験前、全ての被験者に対し、実験の内容や被験者の権利について説明を行い、インフォームドコンセントを得た上で、実験を行った。

実験中、被験者には、一般的な航海計器を利用した通常の見張り当直作業と、5 分毎に見張り作業を中断し、その際認識している全

ての船舶を1分以内にPPIスコープを模擬した記録紙へ記入するタスクを課した。

記録紙には、認識している船舶の位置とその特徴（認識した船舶の相対方位距離、船首の向いている方向）を記入させた。また、本実験では、航海士の見張りの優先順位の特徴を明らかにすることを最終目的としているため、レーダチャートに記入した船舶について、見張りの優先順位の高い船舶から順に、番号の記入も合わせて指示した。

シミュレータ実験終了直後、各被験者に通常の見張り作業についてヒアリング調査を行った。

③航海士の状況認識の計測結果

認識した船舶を分析した結果、7名の被験者は、共通の船舶を同時刻に認識していることが明らかとなった。また航海士は、周囲に複数の船舶が存在する際、それらに優先順位を付けており、優先順位が高い船舶は、複数の被験者で共通していた。一方、7名の被験者が共通してまったく認識していない船舶の存在も明らかとなった。

④状況認識に関するヒアリング調査結果

通常の見張り作業において、同時に見張りを行っている船舶の数は、最大でも5隻程度であることが明らかとなった。また、航海士は見張りの優先順位を付ける上で、他船の方位変化率・距離・見合い関係の3つの情報を重要視している。さらに、使用しているレーダレンジは海域による差があり、外海（Open Sea）では12~24nm、沿岸域では6~12nm、湾内では3~6nmであることが明らかとなった。

(2) 航海士の状況認識の特徴及び傾向の分析

複数の被験者に共通して認識された船舶は、一般的な見張り作業において必ず見張りが必要な船舶であると言える。また、ヒアリング調査により同時に見張りを行っている船舶の数は、最大でも5隻程度であることから、各被験者が1~5番までの優先順位を付けた船舶は、レーダにより自動捕捉しておく必要があると考えられる。

一方、原らによって提案されている他船の衝突危険度評価式は、他船の方位変化率と距離による指標であり、危険領域と注意領域が定義されている。しかし、本研究で被験者が共通して認識した船舶は、危険領域と注意領域の中には判定されないことが明らかとなった。そこで、本研究では、原らによる衝突危険度評価式を元に、新たに航海士が認識すべき船舶を判定するための領域（閾値）を提案した。図1は、右からの横切船に対する被験者の状況認識の結果及び、航海士が認識すべき船舶を判定するための領域（閾値）の結果を示す。図1の右半分は横切前の状況、左半分は横切後の状況を示し、縦軸は他船の方位変化率、横軸が距離を示す。各被験者が認

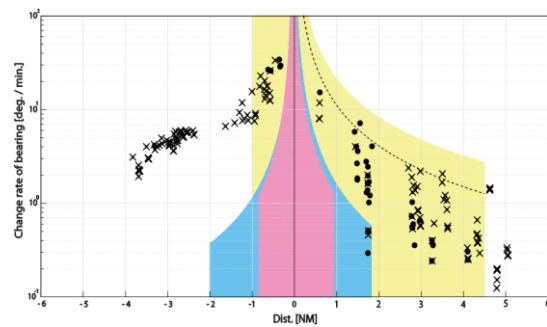


図1 右舷横切船に対する状況認識結果及び航海士が認識すべき船舶を判定指標

識した船舶を黒色の丸印、認識しなかった船舶を×印で示す。また、原らが提案する危険領域と注意領域をピンク色及び水色の領域で、本研究で提案した認識すべき船舶を判定するための領域（閾値）を黄色の領域で示す。

図1より、本研究で被験者が認識した船舶は黄色の領域で十分にカバーされていることが分かる。しかし、横切前の船舶で、被験者が1~5番までの優先順位を付けた船舶だけに着目すると、図1の破線の範囲でカバーされる。つまりレーダの自動捕捉機能では、この破線でカバーされる船舶は必ず捕捉する必要があることが明らかとなった。

(3) 実海域におけるレーダデータの収集（ラスタ画像の収集）

研究当初、レーダの自動捕捉の対象となる画像の絞込みアルゴリズムの修正には、瀬戸内海で過去蓄積したレーダのラスタ画像を用いていた。しかし、気象海象、偽像の存在や電波のビーム幅の影響等、他の海域で起こり得るレーダ画像の特徴も考慮するため、東京海洋大学実習船「汐路丸」において東京湾におけるレーダのラスタ画像及び電波反射強度データを収集した。

(4) レーダ画像処理による捕捉対象画像の絞込み

(3)において、新たに東京湾におけるレーダラスタ画像を収集し、以前構築した画像処理アルゴリズムによる処理をした結果、雑音処理において船舶画像の欠落が発生した。これは、海域や気象海象の差、及び使用したレーダ自体の性能による差が原因であることが明らかとなった。そこで、レーダの自動捕捉の対象となる画像の絞込みアルゴリズムに、入力されるレーダ画像に応じて、複数の雑音処理アルゴリズムを切替える機能を付加し、船舶の可能性のある画像を落とさず残すことができるよう修正を行った。

また、レーダラスタ画像と同時収集した電波反射強度データを併用した処理を行った結果、より多くの船舶以外の画像（雑音）を抑制できるが、現状ではリアルタイムで捕捉対象画像の絞込みを行うことが難しいことが明らかとなった。そこで、本研究では、

電波反射強度データを使わず，レーダラスタ
ー画像理だけで捕捉対象画像の絞込みを行
うこととした。

(5) レーダの自動捕捉アルゴリズムの構築及
び実装

本研究で提案する，航海士の状況認識を考
慮したレーダの自動捕捉アルゴリズムのフ
ローチャートを図2に示す。本アルゴリズム
では，まず(4)で修正を行ったレーダ画像処理
による捕捉対象画像の絞込みを行い，次に(2)
で提案したと認識すべき船舶を判定するた
めの閾値を用いて，最終的にレーダ自動捕
捉対象画像を選定する。

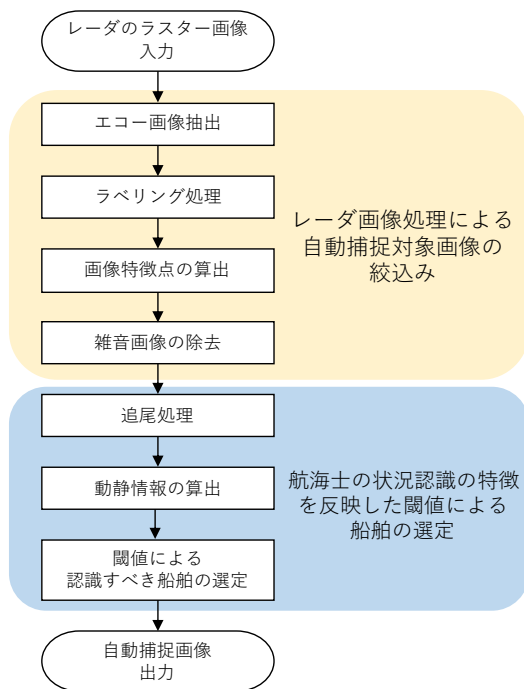


図2 航海士の状況認識を考慮した
レーダの自動捕捉アルゴリズム

図3に入力画像(レーダのラスタ画像)，
レーダ画像処理による捕捉対象画像の絞込
み結果として，陸上及びその影となる画像
を判定した結果を図4に示す。図4では，
水色が陸上として判定した画像であり，自
船から見て陸上の陰になる画像は雑音と
して点のみ描画している。

認識すべき船舶の閾値を用いて捕捉対
象画像を判定させるには，画像の自動追
尾を行い，方位変化率等の動静情報を計
算する必要がある。図5に，船舶の可能
性がある画像を自動追尾させた結果を示
す。図5の画像の中から，(2)で提案
したと認識すべき船舶を判定するための
閾値を用いて捕捉対象船舶を選定した
結果を図6に示す。図6の赤色が，本
研究で構築したアルゴリズムによる自動
捕捉対象船舶である。

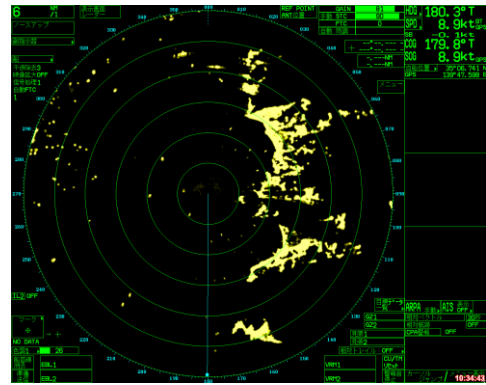


図3 レーダラスタ画像 (入力画像)

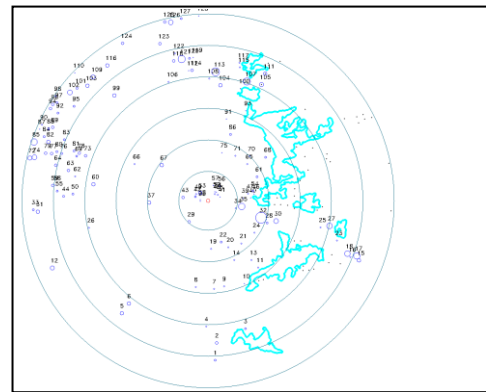


図4 レーダ画像処理による捕捉対象画
像の絞込み結果

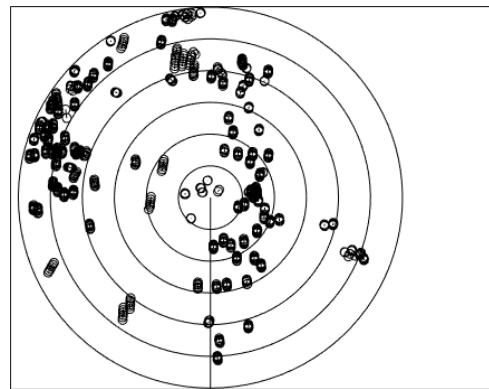


図5 自動追尾結果

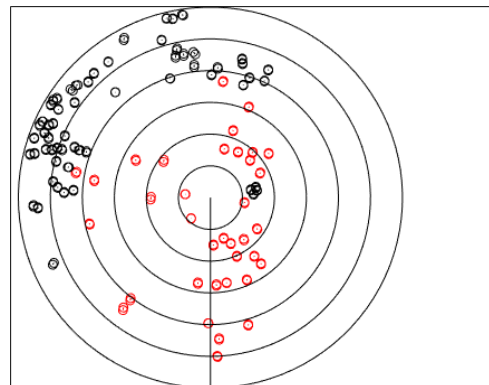


図6 捕捉対象船舶を自動抽出した結果

(6) レーダ自動捕捉結果の有効性と実用性の評価

(2)の航海士の状況認識の特徴分析から明らかとなった、複数の被験者が共通して見張りを行っている船舶が、(5)の実装結果で確実に捕捉されていることを確認した。また、航海士の主観的評価より、本アルゴリズムが操船実務経験者の見張り傾向を十分に反映していることを確認した。

本研究は(1)~(6)の項目を実施し、船舶の可能性が高い画像をレーダ画像処理により自動抽出し、その後、航海士の状況認識の特徴を反映した閾値を用いて、自動捕捉が必要な船舶画像の選定を行う「レーダにおける船舶画像の実用的な自動捕捉アルゴリズム」を構築し提案を行った。また、航海士の主観的評価より、本アルゴリズムが操船実務経験者の見張り傾向を十分に反映していることを確認した。

今後は、自動捕捉結果の定量的評価を行う必要がある。本研究では、船舶の可能性のある画像を落とさず自動捕捉することを目標に実施したが、雑音を船舶として自動捕捉するケースが発生しており、電波反射強度データのリアルタイムによる活用を検討する等、アルゴリズムの改良が必要であると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

- ① 西崎ちひろ, 操船者の見張り作業におけるエラーモードの検討, 日本航海学会論文集, 査読有, 第132巻, 2015, pp.105-113
- ② Chihiro NISHIZAKI, Measurement of a Navigator's Situation Awareness for Crossing Ships using SAGAT, Proceedings of Asia Navigation Conference 2016, 査読無, 2016, pp.7-13
- ③ Tadatsugi OKAZAKI, Chihiro NISHIZAKI, A Study on Evaluation Method for Ship Maneuvering Simulator Training, Proceedings of IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics 2017, 査読有, pp.3119-3124
- ④ Chihiro NISHIZAKI, A Characteristic of a Navigator's Situation Awareness for Crossing Ships, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 査読有, Vol.11, No.2, 2017, pp.295-300, DOI: 10.12716/1001.11.02.12
- ⑤ Chihiro NISHIZAKI, Development of Navigation Support System to Predict New Course of Ship, Proceedings of World Automation Congress 2018, 査読有, IFMIP MP-1-4

6. 研究組織

(1)研究代表者

西崎 ちひろ (NISHIZAKI CHIHIRO)

東京海洋大学 学術研究院

助教

研究者番号 : 70570993