

AIS記録データに基づく避航操船手法の解析

三宅 里奈¹・福戸 淳司²・長谷川 和彦³

Analyses of the Collision Avoidance Behaviours Based on AIS Data

Rina MIYAKE, Junji FUKUTO and Kazuhiko HASEGAWA

Abstract

Authors have developed a collision avoidance algorithm for a navigational support system. However, some gaps between collision avoidance behaviours by the algorithm and by active seafarers were found through a series of simulation runs for evaluating the system's feasibility. In order to clear the gaps, therefore, authors analysed collision avoidance manoeuvres those were extracted from one month AIS recorded data of a congested sea area, one to one encounters extracted from AIS recorded data were analysed. In this paper, characteristics of collision avoidance behaviours analysed from the AIS data are described and concepts applying the characteristics to the algorithm is briefed.

Keywords : *marine traffic, collision avoidance, AIS data, passing distance*

キーワード: 海上交通工学, 衝突回避, AIS データ, 航過距離

1. はじめに

避航操船手段はこれまで多くの研究者がモデル化を試みており⁽¹⁾⁽²⁾、その多くが限界に近い衝突の脅威(衝突リスク)をトリガーとして、何らかの操船を行い避航するというものであった。

海上技術安全研究所では、この考えに基づき、船舶の航行安全性向上のため、大阪大学と共同で開発した避航操船アルゴリズムを用い、避航操船支援システムの開発を行っている⁽³⁾⁽⁴⁾。操船シミュレータを用いて、この避航操船アルゴリズムに基づく避航操船支援のための評価実験を、熟練船員を対象に実施したところ、熟練船員の避航結果の評価からこの避航操船アルゴリズムに基づく避航方法が実際の避航操船手段よりも時間的、距離的に余裕が少ないことがわかった⁽⁵⁾。すなわち、現実の避航時期および避航手段は、上述の避航時期より余裕のある時点で、

比較的小さな角度の変針による避航操船が行われている。有効な操船支援システムを構築するにあたり、この違いに注目して、実際の操船に近い交通環境を再現することを検討している。しかし、実際の交通環境における避航操船の実態を纏めたデータは少ない⁽⁶⁾。一方、AIS 搭載の義務化に伴い、制限はあるものの海上交通流での見合い関係が詳細に解析され報告されている⁽⁷⁾。

本論では、実際の運航状況に合致した避航操船アルゴリズムを開発することを目的として、記録された AIS データから実運航での避航操船(以下、ケース)を抽出し解析した。具体的には、AIS から抽出した横切りの見合いでの 2 船について、避航の有無および避航のための変針時期を特定した。さらに航過する際の航過距離および最小離隔距離を解析し、避航操船の特徴を示した。最後に、避航操船支援シ

¹ 正会員 海上技術安全研究所 運航物流系 (〒181-0004 東京都三鷹市新川 6-38-1) r_miyake@nmri.go.jp

² 正会員 海上技術安全研究所 運航物流系 (〒181-0004 東京都三鷹市新川 6-38-1) fukuto@nmri.go.jp

³ 正会員 大阪大学 工学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1) hase@naoe.eng.osaka-u.ac.jp

システムで使用しているアルゴリズムでの避航操船手段と実際の避航操船のギャップを埋めるために、解析から得た実際の避航操船の特徴を避航操船アルゴリズムに適用するための概念を示した。

2. 横切りの見合い関係の抽出

2.1 対象海域およびゲート設定

2 船の見合いにおける避航の有無および避航する場合の避航時期やその避航手段を AIS データから抽出するため、横切りの見合いの多発が予想される周防灘を対象海域として選定し、Fig. 1 に示す 6 ゲートを設定した。このゲートを航過した船舶のうち、Gate 1 と 4 を南北に航行する船舶（以下、南北航行船）とそれと交差する Gate 2 と 6 を東西に航行する船舶（以下、東西航行船）を対象として、横切りの見合いにおける避航状況について解析を行った。

なお、解析には、2013 年 8 月 1 日から 8 月 31 日までの 31 日間の AIS データを用いた。Fig. 1 は、8 月 1 日に対象海域を航行した全船舶の航跡をプロットしたものである。

2.2 交通流の特徴

この海域での交通流は、Gate 2-6 の東西航行船が大半であった。解析においては、南北航行船と東西航行船の見合い関係を抽出し、そのときの避航操船の解析を行った。なお、南北航行船は、すべて A 丸 (Loa=67m, B=12m) であった。この際の避航操船は、東西に推薦航路が設定されていることから、A 丸が協力的に東西航行船を避航することが観測された。

また、避航を行った場合の避航手段は、すべて変針によるものであり、大幅な減速による避航は確認できなかった。

2.3 AIS データを用いた避航操船の抽出方法

変針による代表的な避航操船手段では、変針を行った後、原針路あるいは計画航路での次の変針点に向かう復帰航路に戻るための変針を行う。

このような避航動作は、文献⁽⁸⁾によると、Fig. 2 のようなコースレコーダの記録紙の上にパルス状またはステップ状にあらわれる。

AIS データを用いて避航のための変針を特定するには、Fig. 2 のように船首方位の変化から避航開始時期や避航終了時期を判断できる。

また、避航操船アルゴリズムを解析するためには、避航するケースが多いことが望ましい。そのため、

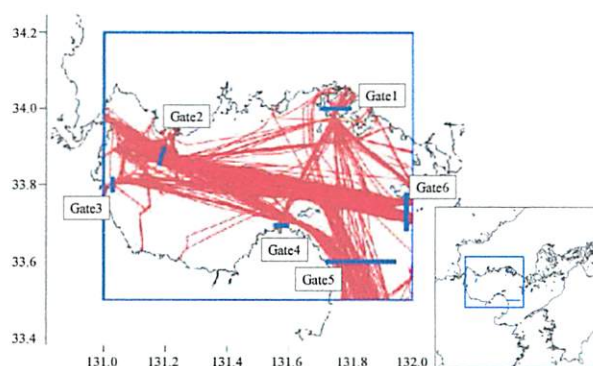


Fig. 1 Trajectories of AIS data on 1st August 2013

最終的には、AIS データからのケースの抽出は自動化することを目指す。今回は航跡図や針路、速力、遭遇船との相対航跡、相対針路、相対速力、相対方位、最接近時間 (TCPA) と最接近距離 (DCPA) 等の時刻歴をグラフ化し、これらのデータから著者の一人が総合的に判断して、その抽出条件を設定し、手作業でケースを抽出した。具体的には、何らかの操船を行い、かつ、DCPA がそれまでの値に比べ大きくなった場合に避航を行ったと判断した。さらに避航操船時期を特定し、Fig. 2 を例にすると、 T_1 は避航を開始したとき、 T_2 は 3.3.1 項で後述する変針角を保持したとき、 T_3 は避航操船を終了したときとした。

また、本論では、遭遇状況とは一般的に他の船舶と出合った状態を示し、遭遇船とは一般的に出合った他方の船舶を示すものとする。また、海上衝突予防法における避航義務船を避航船、同針路保持船は保持船と呼ぶこととする。

2.4 2 船間における避航操船の抽出

A 丸と東西航行船がおおむね 5NM 以内に接近した見合い関係において、それぞれの船舶が避航を行ったか否か、また、避航を行った場合は、その避航時期と避航手段を手作業で抽出した。なお、複数船との見合いが生じた場合も、1 船対 1 船での見合いとして解析を行った。

A 丸と東西航行船での見合いにおいて、避航船が避航した 87 ケース (Fig. 3 (A)) の避航時期および避航手段を抽出した。なお、相対的な運動を求めるため、全船舶の AIS データを 10 秒ごとに同期して、解析に用いた。Fig. 3 は、抽出したケースと、以下に述べる解析に用いたケースの関係を示している。

抽出した 87 ケースにおいて、避航船の船長構成は、Fig. 4 に示すように、67m の A 丸が 75 ケースと

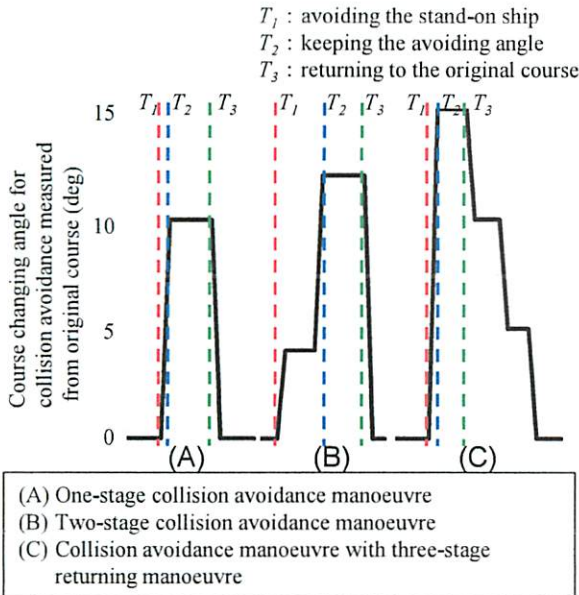


Fig. 2 Samples of collision avoidance on course recorder (drawn based on reference (8))

偏っていたため、横切りの見合いにおける一般的な特徴を抽出することは難しいと考えた。このため、まず、A丸が避航を行った75ケース (Fig. 3 (B)) を対象にして解析を行った。同じ操船者がA丸を操船していると考えられ、避航時期や操船方法は似た傾向になると想定される。

なお、75ケースのうち、A丸の避航対象である保持船の船長構成は、不明が1隻あったが、50mから最大243mまでさまざまであった。具体的には、多い順に、70-80m (18 ケース)、80-90m (11 ケース)、100-110m、110-120m および 180-190m (ともに6 ケース) であった。

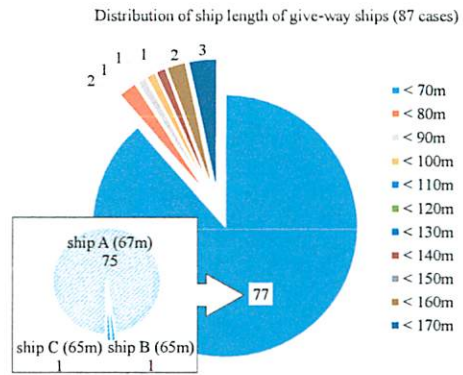


Fig. 4 The distribution of ship length of give-way ships

3. 観測された避航操船の特徴

3.1 解析対象

Fig. 5 は、A丸が避航した75 ケースに関して、A丸を原点として、船首方向を縦軸上向きとした相対座標系 (以下、相対座標系) にA丸が避航を開始した時点 (T_1) での保持船の相対速度ベクトルを示したものである。各矢印の始点の円の直径は、保持船の船長を示している。

A丸と保持船の距離がおおむね3NM未満で避航を開始したケース (Fig. 3 (C)) が多く、58 ケースであった。

一方で、3.0 NM 以遠で避航を開始したケース (Fig. 3 (D)) が確認できたが、その状況を詳しく見ると、複数の船舶が連続して接近してきたため、1回の変針で避航を行ったケースや、A丸の前方に左右両方から複数の船舶が接近したため、連続して避航を行ったケースなどであった。前者の場合は、まず先行船を避航操船の対象とした後、後続船を引き

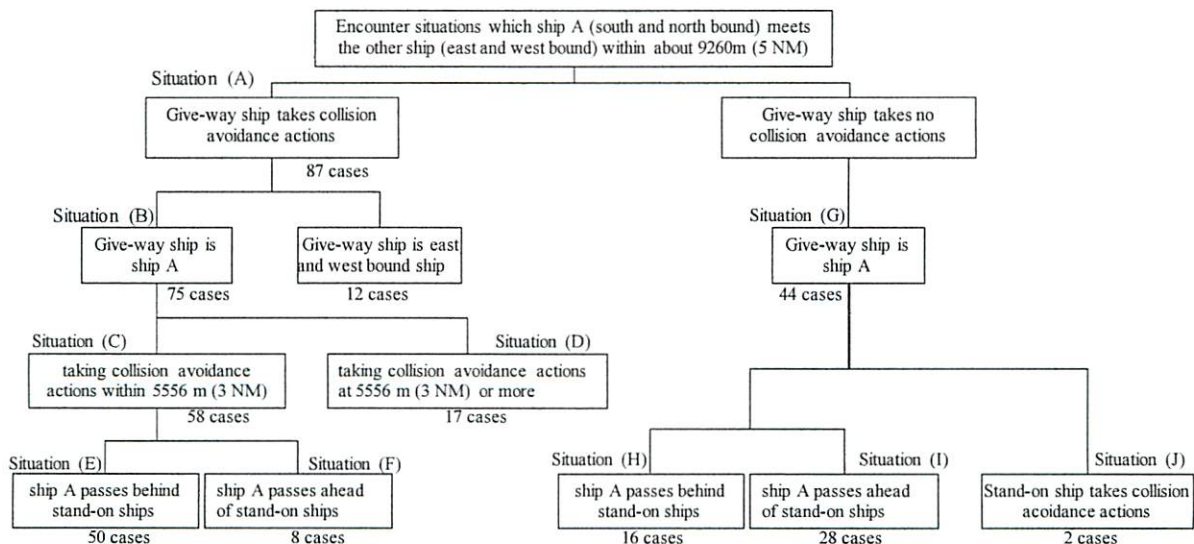


Fig. 3 Number of extracted collision avoidance actions from AIS data

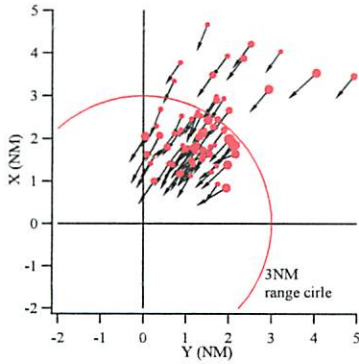


Fig. 5 Relative vectors of stand-on ships against Ship A, when Ship A starts to change its course for collision avoidance.

続き避航操船の対象としたと考えることができる。後者の場合は、複数の船舶の合間をA丸が避航しつつ航行したため、1隻を対象に避航を行ったというよりも、全体の流れを見ながら避航を行った結果と考えられる。また、3.0NM未満で避航するケースと比較して、3NM以遠のケースでの避航開始地点の分布が分散していることから、全体の流れを見て避航した結果、保持船の位置がばらついたと考えられる。

そのため、本論では、避航操船の解析対象は、A丸と保持船の距離が3NM未満で避航を開始したケースに限定した。なお、58ケース中、保持船も避航したケースは皆無であった。

3.2 避航した場合の相対航跡の解析

58ケースについて、A丸が避航を行った場合の最小離隔距離および航過距離を求めた。A丸の相対座標系における保持船の航跡（以下、相対航跡）をFig.6およびFig.7に示す。なお、図中の矢印は保持船のおおよその相対進行方向を示している。

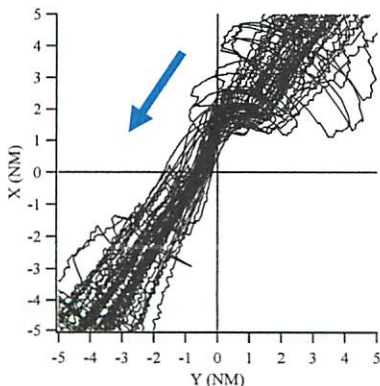


Fig. 6 Relative trajectories of stand-on ships against Ship A, where it passes behind each stand-on ships.

3.2.1 最小離隔距離

それぞれのケースの遭遇状況の結果として、避航船と保持船が最も接近した時の保持船の相対位置は、グラフ上の原点、つまりA丸からそれぞれの相対航跡への最小距離を半径にもつ円と相対航跡との接点に相当する。これを最小離隔距離と呼ぶこととする。Fig.8に、最小離隔距離と保持船の船長の関係を示す。ほとんどのケース（47ケース）の最小離隔距離は370m以上1482m未満（0.2NM以上0.8NM未満）の間に分布している。また、最小離隔距離が0.8NM以上であったケースは、大きくふたつに大別できた。

ひとつは、保持船を航過中、その後方から別の船が接近してきたため、主となる避航対象が後続船になったことで、先行船に対する最小離隔距離が大きくなったケースであった。ふたつ目は、避航変針と目的地に向かうための変針が一致しているケースであり、本来の変針で避航の目的が果たせることから、本来の変針角が避航時の変針角より大きかったために、最小離隔距離が大きくなったケースであった。

さらに、A丸が保持船を航過したときの状況別に分析を行った。A丸が保持船の後方を航過した50ケース（Fig.3(E)）において、保持船に最も接近したケースは最小離隔距離が約310m、その時の保持船の船長は105mであった。また、前方を航過した8ケース（Fig.3(F)）においては最小離隔距離が約900mで、保持船の船長は72mであった。後方もしくは前方を航過したケースともに、最小離隔距離が1482m（0.8NM）未満の保持船についてみると、保持船の船長と最小離隔距離との間には相関関係が見られなかった。

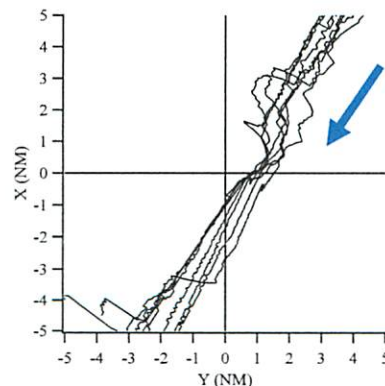


Fig. 7 Relative trajectories of stand-on ships against Ship A, where it passes ahead of each stand-on ships.

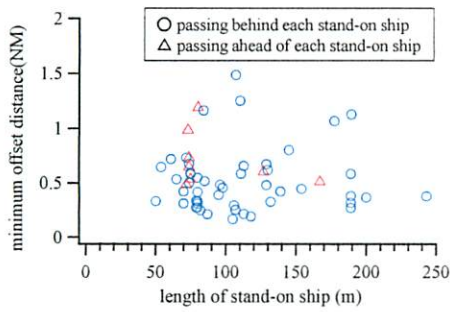


Fig. 8 Relation between minimum offset distance and length of stand-on ship.

その理由として、最小離隔距離の航過時は、どちらのケースでも A 丸から離れる方向に保持船が航行しているため、保持船の船長によらず一定の離隔距離を確保していると考えられる。

3.2.2 航過距離

井上らは制約水域における 2 船間の航過距離を、自船の前後・左右距離を用いて他船の侵入を許容できない領域として定義している⁽⁹⁾。Fig.6 および Fig.7 の A 丸周りにも保持船が侵入していない領域が確認できる。そこで、58 ケースについて、井上らの手法に基づき、保持船が A 丸の船首尾線および正横線を航過した時の A 丸からの距離を航過距離として、保持船の船長との相関を求めた。ここでは詳細は割愛するが、A 丸の前方および左方の航過距離は、わずかながら、保持船の船長に比例する傾向が見られた。なお、本論においては、A 丸の前方および後方における航過距離を前方航過距離、後方航過距離、右方および左方における航過距離を右方航過距離および左方航過距離と呼ぶ。

A 丸が保持船の後方を航過した 50 ケースにおいて、前方航過距離は、49 ケースが 1482m (0.8NM) 以上であった。左方航過距離は、39 ケースが最小離隔距離と同様に 370m 以上 1482m 未満 (0.2NM 以上 0.8NM 未満) であった。

また、A 丸が保持船の前方を航過した 8 ケースでの右方航過距離は 7 ケースが 1482m (0.8NM) 以上、後方航過距離は全ケースが 1482m (0.8NM) 以上であった。

3.3 避航操船時期の解析

3.3.1 1 船対 1 船での遭遇状況

海上衝突予防法では、衝突回避動作をとる場合は、他の船舶との間に安全な距離を保って航過し、十分に遠ざかるまでその動作の効果を確かめなければな

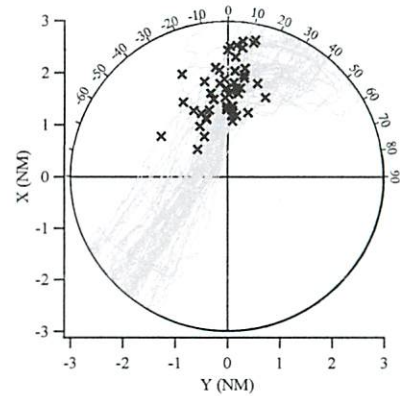


Fig. 9 Relative positions of stand-on ships against Ship A, where Ship A finishes collision avoidance actions when it passes behind each stand-on ship.

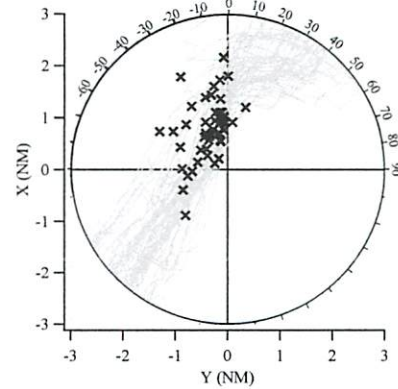


Fig. 10 Relative positions of stand-on ships against Ship A where Ship A returns to its original course when it passes behind each stand-on ship.

らないとしている。

一方、文献⁽⁸⁾では、Fig.2 の中央の図のように避航角が増加する避航操船は、操船者の最初の判断が不十分であったか、または相手船の変針などが起こったため判断を修正する事態が生じたことを示している。つまり、パルス状の山またはステップ状の最大の山は、操船者の判断が十分であった結果と言える。

そこで、本論では、Fig.2 のパルス状または最大のピークを持つステップ状の針路変化の山の始点に相当するとき (T_2) を、他の船舶との間に安全な距離を保つことができる変針角を保持したとき (以下、変針角保持 (時)) とした。また、パルス状またはステップ状の山の終点 (T_3) を、避航操船を終了したとき (以下、避航終了 (時)) とし、それぞれの時点における 2 船の相対位置を求めた。

A 丸が保持船の後方を航過した 50 ケースにおいて、Fig.9 および Fig.10 に変針角保持時および避航終了

時の保持船の相対位置を相対航跡に重畳表示したものを示す。26 ケースにおいて、船首尾線航過前に変針角保持が行われていた。さらに、保持船を望む方位（以下、相対方位）が、船首尾線を挟んだ左 5 度から右 10 度の間に、変針角保持を行っているケースが多かった（30 ケース）。また、避航終了時点の相対方位は、船首尾線から左に 15 度までの範囲のときが多く（20 ケース）、次いで左に 65 度まで広く分散していた（21 ケース）。3.2.1 項の最小離隔距離航過時と避航終了時の関係を比較すると、ほとんどのケース（44 ケース）で最小離隔距離を航過する前に、原針路あるいは復帰航路に戻していることがわかった。

一方、A 丸が保持船の前方を航過した 8 ケースでは、相対方位が船首尾線の右 45 度から 90 度の範囲のときに、全ケースで変針角保持を行っていた。その後、相対方位が右 90 度未満、すなわち A 丸の正横線を航過する前に避航を終了していたケースが 3 ケースあった。また、残りの 5 ケースも、3.2.1 項の最小離隔距離を航過する前に、原針路あるいは復帰航路に戻していたことがわかった。

以上のことから、A 丸の操船者は、保持船の後方を航過する場合は、保持船が自身の船首尾線を航過する時の距離（前方航過距離）を確保して避航を行っていると考えられる。また、保持船の前方を航過する場合は、正横を航過するときの距離（右方航過距離）を確保して避航していると考えられる。すなわち、操船者が感じる危険度は、保持船の後方を航過する場合は船首尾線を、前方を航過する場合は正横を航過した後に低くなると言える。

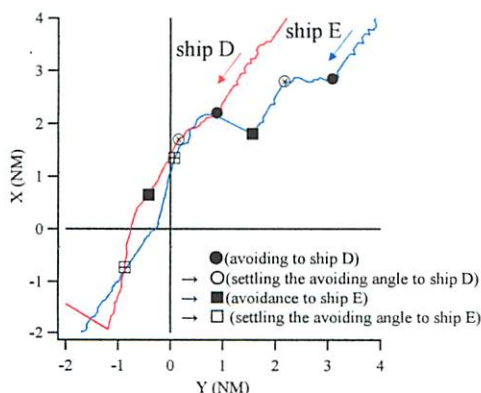


Fig. 11 Relative positions of stand-on ships against Ship A on successive encounter situations.

3.3.2 連続する遭遇状況

前述した操船者が感じる危険度を検証するため、複数の船舶と連続して遭遇した状況での避航操船時期とそのときの相対位置を求めた。

Fig. 11 は、A 丸が 2 隻（先行 D 丸、後続 E 丸）に連続して遭遇した状況で、それぞれの船に対して避航開始および変針角保持を行ったときの相対位置を、相対航跡に重畳したものである。はじめに A 丸は、D 丸に対して避航を開始し（●印）、D 丸が A 丸の船首尾線を航過する直前に変針角保持を行った（○印）。その後、D 丸の後方を航過中に、A 丸の右前方から後続 E 丸が接近したため、さらに大きく変針角をとり避航を行った（■印）。E 丸が船首尾線を航過する直前に、変針角保持を行い（□印）、A 丸はもとの針路に向けて変針した。

このケースでは、A 丸の先行 D 丸に対する DCPA は、後続 E 丸に対する避航を始めた後もほぼ一定という結果であったことから、D 丸との距離を保ったまま E 丸も避航するというものであった。しかしながら、D 丸が船首尾線を航過した後の主たる避航対象は、E 丸に移り、相対的に D 丸に対して感じる危険度が下がったと言える。

3.4 避航しない場合の相対航跡の解析

保持船が船首尾線もしくは正横を航過するときの航過距離を確保するため避航を行っていることを前提にすると、2 船の遭遇状況において、それらの航過距離が確保できている場合は、避航しないと考えられる。

A 丸が避航船になる見合い関係にも関わらず、針路を変更することなく保持船を航過した 44 ケース（Fig. 3 (G)）について、解析した。

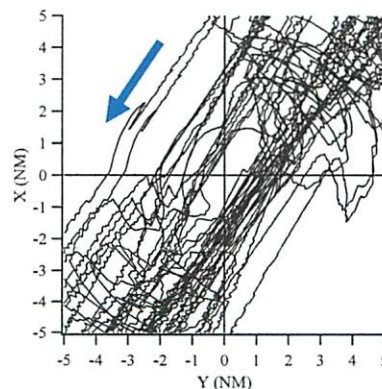


Fig. 12 Relative trajectories of stand-on ships against Ship A, where Ship A takes no collision avoidance actions.

詳細に観察すると、A丸が複数の船舶と遭遇したときに、先行の保持船を避航して航過し、もとの針路に戻した後に、A丸が針路を変えないまま後続の保持船を航過する状況であった。これを避航しなかったケースとして、避航したケースと比較しその特徴を解析した。A丸が保持船の後方を航過したケース (Fig. 3 (H)) は16ケース、前方を航過したケース (Fig. 3 (I)) は28ケースであった。また、保持船がA丸を避航したケース (Fig. 3 (J)) は2ケースであった。Fig. 12は、A丸が避航しなかった44ケースにおける保持船の相対航跡を示し、図中の矢印は保持船のおおよその進行方向を示している。

3.4.1 最小離隔距離

保持船に最も接近したケースでの最小離隔距離は保持船の後方を航過したケースで約760m、そのときの保持船の船長は64mであった。

これは、3.2.1項で示した、A丸が避航した場合の最も接近したケースにおける最小離隔距離よりも大きい。

一方、前方を航過したケースにおける最小離隔距離は約780mで、船長は89mであった。これは、3.2.1項で示したA丸が避航した場合のものよりも小さいが、操船者が許容できる範囲内であったと考えられる。

3.4.2 航過距離

保持船の後方を航過した16ケースにおいてA丸の前方の航過距離は、15ケースが1482m (0.8NM)以上であった。左方は15ケースが926m (0.5NM)以上であり、そのうちの12ケースが1482m (0.8NM)以上であった。

保持船の前方を航過した28ケースにおいてA丸の後方の航過距離は、全ケースが1482m (0.8NM)以上で、右方は24ケースが1482m (0.8NM)以上であった。

これらは、ほとんどのケースで3.2.2項で示した航過距離に一致している。2船の遭遇において、避航しなかった場合の条件は、(1)最小離隔距離が一定以上離れている、(2)前方もしくは右方航過距離が十分である、と考えられる。

4. 避航操船アルゴリズムへの適用

以上の分析をもとに、海上技術安全研究所が開発している避航操船支援システム⁽³⁾⁽⁴⁾で、実際の避航実態に即した操船支援を行うために、避航操船アルゴリズムへ適用すべき避航操船の特徴を述べる。

4.1 避航操船アルゴリズム

避航操船アルゴリズムは、大阪大学が開発したもので、遭遇船との衝突のおそれの判断、および避航の要否の判断は衝突危険度 (CR) を用いて決定される⁽¹⁾。その詳細は割愛するが、衝突危険度は自船と遭遇船との相対位置および相対速度から求まるTCPAとDCPAを用い、操縦性能および船長で船舶の特性を補正して、Fuzzy推論により求められる。複数船に遭遇した場合は、CRが最も大きい船舶が避航対象となる。

4.2 実際の避航操船とのギャップ

避航操船アルゴリズムによる避航操船手段と実際の避航操船とのギャップを以下に示す。

CRを決定するTCPAおよびDCPAの閾値は、熟練船員による操船シミュレータでの避航開始位置の計測結果に基づいて決定された。今回実施した熟練船員による操船シミュレータを用いた避航操船支援システムの評価では、現在の避航操船アルゴリズムの閾値は、実際の避航操船の閾値よりも小さいということが評価から得られた⁽⁵⁾。

また、TCPAとDCPAに基づきCRが決定されるため、両者もしくは一方に余裕がない場合は、危険度が大きく評価される。そのため、複数船が見合ったときに、見合い関係によっては、必要な避航操船の開始が遅れるケースが確認された。

具体的には、3.3.2項のような連続した遭遇で先行船および後続船に対するDCPAが同じ場合、避航船はまず先行船と後続船のCRを求め、TCPAの余裕が少なくCRがより高い先行船を対象に避航を開始する。その後も両船に対するCRを評価して、保持船を決定するが、先行船がCPAを通過するまでは、先行船の方が後続船よりもCRが高く評価され、先行船を対象に避航を継続する。そのため、先行船と後続船の位置関係によっては、先行船を避航対象として長時間評価することになり、避航船と後続船のみの1対1での見合いの状況では、既に避航を開始している位置関係にもかかわらず避航操船が行われないというケースがあった。

4.3 観測結果の適用例

このギャップを少なくするため、観測された避航操船の特徴を避航操船アルゴリズムに適用する。本論で解析した避航操船は、比較的船長の小さいA丸が行った操船であるため、一般化して実際に適用す

るには、さらなる検討が必要であるが、ここでは概念として示す。

3.4 節では、最小離隔距離と前方航過距離（右方航過距離）の両者、もしくは片方がある閾値を満足しない場合は、避航を行うことを示した。避航操船アルゴリズムにも、DCPA の他、前方航過距離（右方航過距離）を考慮するべきである。前方航過距離（右方航過距離）を考慮するために、距離的な要素である DCPA に前方航過距離（右方航過距離）の余裕を加える。

本論の避航船が保持船の後方を航過した場合における前方航過距離と最小離隔距離を例にすると、最小離隔距離が 370 m (0.2 NM)、前方離隔距離が 1482 m (0.8 NM) 以内に接近するケースはまれである。そのため、任意の 2 船の見合いを考慮する場合は、DCPA と前方航過距離を求め、上述の 2 つの閾値以下の場合、危険度を最大とし、閾値以上の場合、閾値からの余裕に応じて、危険度が小さくなるように設定する。アルゴリズムに適用するための閾値は、本論で求めた閾値や著者らが東京湾での見合いにおける航過距離を解析した結果⁽¹⁰⁾を用いることができる。

さらに、3 章全体を通して、操船者が感じる危険度は、保持船の後方を航過する場合は船首尾線を、前方を航過する場合は正横を航過した後に低くなることを示した。そこで、時間的な要素である TCPA の他、船首尾線（正横線）を航過するまでの時間を考慮して、船首尾線（正横線）航過後は危険度が低くなるように表現する。これにより 3.3.2 項で示したような後続船に対する避航操船の遅れを回収することが可能である。

5. 結論

実際の運航により合致した避航操船アルゴリズムを開発することを目的として、AIS データから横切りの見合いを例に、実運航での避航操船の実態の解析を行った。遭遇した 2 船の船体位置や船首方位、相対運動などの情報を解析することにより、避航操船開始時期を特定することができ、避航操船の特徴を抽出することができた。

AIS の記録データから抽出した A 丸の避航操船について、その特徴を解析した結果、保持船の後方を航過する場合は、船首尾線を航過する時の距離（前方航過距離）を、保持船の前方を航過する場合は、正横を航過するときの距離（右方航過距離）を確保

して避航していた。すなわち、操船者が感じる危険度は、遭遇船の後方を航過する場合は船首尾線を、前方を航過する場合は正横を航過した後に低くなると考えられる。

また、避航操船を行う条件は、(1) 最小離隔距離が任意の閾値以下である、(2) 前方もしくは右方航過距離が任意の閾値以下である、ことであることがわかった。

最後に、実際の避航実態に即した操船支援を行うために、避航操船アルゴリズムへ適用すべき AIS データに基づく避航操船の特徴として、避航操船支援システムの評価実験で得られたギャップと、それを少なくするための概念を紹介した。

謝辞

本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費若手研究(B) (No. 15K18297 代表者：三宅里奈)の支援を受けて実施した。

参考文献

- (1) K. HASEGAWA, J. FUKUTO, R. MIYAKE, M. YAMAZAKI: An intelligent ship handling simulator with automatic collision avoidance function of target ships, Proc. of INSLC 17, 2012.
- (2) 榎野純, 矢吹英雄, 大矢賢太, 今津隼馬: 水先人のための OZT を用いた避航操船の評価について, 日本航海学会論文集, 第 124 号, pp. 57-61, 2011.
- (3) J. FUKUTO, Y. NIWA, M. MINAMI et al.: Two new support functions for collision avoidance, Proc. of ISIS 2011, pp. 169-181, 2011.
- (4) M. MINAMI, Y. NIWA, J. FUKUTO: Study on Automatic Navigational Intension Exchange Support System, Proc. of ANC 2012, pp. 130-137, 2012.
- (5) R. MIYAKE, J. FUKUTO, Y. NIWA M. MINAMI: A user test of Automatic Navigational Intention Exchange Support System using an intelligent ship-handling simulator, Proc. of CAMS 2013, 2013.
- (6) 有村信夫, 福戸淳司, 丹羽康之: 船舶の航行環境安全性評価指標に関する研究 閉塞避航領域指標について, No. 116, pp. 99-106, 2007
- (7) 日本海難防止協会: 海難多発海域における安全

対策の構築に関する調査研究報告書, 2012.

- (8) 海上交通工学 : 藤井弥平, 卷島勉, 原潔, pp. 96, 海文堂, 1981, ISBN4-303-23401-X.
- (9) 井上欣三, 宇佐美茂, 柴田登紀子 : 制約水域における航過距離と離隔距離に関する操船者意識のモデル化, 日本航海学会論文集, No. 90, pp. 297-306 1994.
- (10) R. MIYAKE, J. FUKUTO, K. HASEGAWA: Modeling of Observed Ship Domain in Coastal Sea Area Based on AIS Data, Activities in Navigation: Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, pp.143-150, CRC Press, ISBN 978-1-138-02858-6, 2015.