

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：82627

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K18297

研究課題名（和文）複数隻での見合いにおける最適避航針路の決定方法

研究課題名（英文）Decision of optimal course for collision avoidance under encountering plural ships

研究代表者

三宅 里奈 (Miyake, Rina)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：60618776

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：AISデータから抽出した避航ケースを統計的に分析することによって、複数船舶を対象に避航を行ったときの避航を含む、実際の避航に基づく衝突危険度を評価する手法を構築することを目的とした。

抽出した避航ケースからさらに避航のための操舵時機を特定し、避航開始時機の避航船と保持船の距離と相対方位の変化量を統計的に分析した。その結果から距離と相対方位を用いて、二船間の衝突危険度を4段階に判別する手法を構築した。さらに、それをもとに、船長や相対速度を考慮して正規化した衝突危険度を構築した。

研究成果の概要（英文）：This study's purpose is to establish a new method for evaluating collision risks based on actual collision avoidance manoeuvre. For this purpose, the authors analysed actual collision avoidance manoeuvres extracted from AIS data.

Using extracted data from AIS data, four timings of changing course angle for collision avoidance are identified. Then, focusing on rate of relative bearing change and distance between a give-way ship and a stand-on ship, two indices at start time of collision avoidance, one of the timings, are statistically analysed. As the result, four degrees of collision risk are distinguished on a plate of the indices, which are defined as region of collision risk. Additionally, considering ship length and relative velocity, method for evaluating normalized collision risks is established.

研究分野：海上交通工学

キーワード：AIS 衝突回避 衝突リスク

1. 研究開始当初の背景

近年、欧州を中心として自律航行船舶の研究が進められている。自律航行船舶の実現のためには、他船と衝突する危険性を適切に評価し、避航することが重要である。さらにそのような船舶を実現するには、まずは有人の自律航行船舶の実現が目標になると考えられ、船員が不安を感じないことに加え、合理的な避航を行うことが重要である。

従来の避航アルゴリズムでは、遭遇した船舶を個別に避航し、最終的に全体の危険を回避するという考えに基づいたものである。一方、実際は遭遇した複数の船舶を一つの集団と捉え、計画航路からの偏差などを考慮して避航手段を決定していると考えられる。そこで、既往の衝突危険度評価指標等を用いて実際の避航を分析し、複数の船舶群の中で最も危険度が低い最適な針路を決定するための研究を実施することとした。

しかしながら、自律航行船舶の避航の主な対象海域と考えられる沿岸域で行われている実際の避航の分析を行ったところ、既往の衝突危険度の評価では危険度が低い状況で避航を行っていることが確認された。そのため、まず海上で実際に行われている避航時の衝突危険度を評価する手法を構築することを目指した。

2. 研究の目的

本研究は、海上で実際に行われている避航に基づく衝突危険度を評価する手法を構築することを目的とし、AIS データから避航時の船舶データを抽出し統計的に分析する。既往の衝突危険度の評価方法は、操船者へのインタビュー調査やシミュレータ等による避航の行動分析により構築されたものであるが、本研究は、従来のアプローチとは異なり、AIS データを用いて実際の避航を分析する点に特徴がある。

3. 研究の方法

本研究では、下記に記した内容について実施した。以下に分析方法の概要を示す。

- (1) AIS データから避航ケースの抽出と事前解析
- (2) 避航の特徴を分析
- (3) 避航開始時機の分析
- (4) 衝突危険度の評価手法の検討

- (1) 避航ケースの抽出と事前解析
対象海域および対象期間

実際の避航を分析するため、AIS データから避航ケースの抽出を行った。対象海域は、様々な船種船型の船舶が航行し、様々な見合い関係が発生すると考えられる瀬戸内海西部の周防灘（海域 1：図 1）および伊豆大島から東京湾入口に至る海域（海域 2：図 2）の 2 箇所である。また、気象海象等の影響を

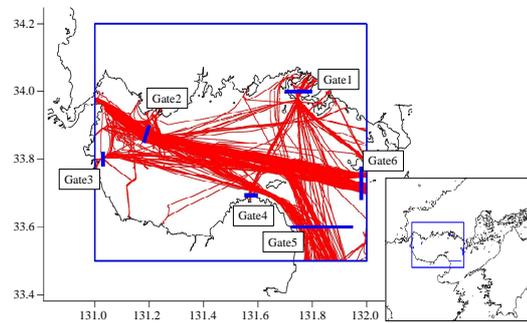


図 1 海域 1 の AIS データ (2013/8/1)

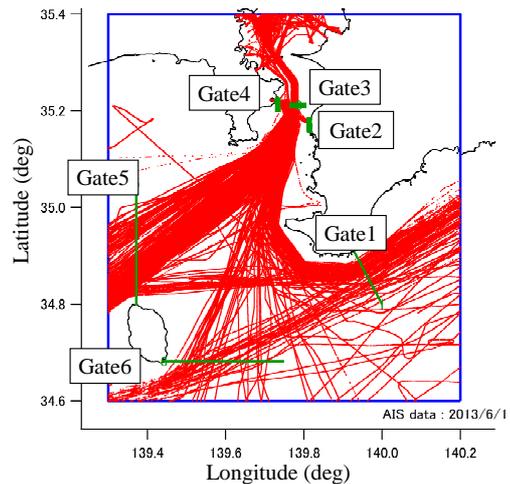


図 2 海域 2 の AIS データ (2013/6/1)

表 1 見合い発生条件

	海域 1	海域 2
距離	9,260m 以下	18,520m 以下
TCPA	-	30 分以下
DCPA	-	3,704m 以下

受けにくいと考えられる時期として、それぞれ 2013 年 8 月 1 日から 8 月 31 日 (31 日間) と 2013 年 6 月 1 日から 6 月 30 日 (30 日間) の AIS データを用いた。

AIS データの加工

表 1 に示す条件を満たす 2 隻を見合いが発生したとして AIS データから抽出し、10 秒毎に同期させたデータに加工した。このとき、距離や相対速度などの 2 隻の相対運動なども算出した。なお、それぞれの条件は、海域の特徴を考慮して設定した。

避航ケースの抽出

同期させたデータをもとに、避航船が保持船を避航したかを判定し、避航が行われたケース (避航ケース) と行われなかったケース (非避航ケース) に分類した。避航の有無の判定方法の概要を記す。海域 1 では、避航の抽出方法を模索しながら手作業で判定した。具体的には、何らかの操船を行った直後に

DCPA がそれまでの値に比べて増加した場合に避航を行ったと判断した。海域2は、海域1で行った判定方法をもとに避航抽出アルゴリズムを作成し、同期させたデータから機械的に避航の有無の判別を行った。なお、本研究で用いた避航ケースは、複数の船舶を対象に避航を行ったものを含んでいるが、1対1の見合いとして扱った。

避航操舵時機の特定

避航を開始するときや終了するときなどの変針を行うそのときどきが、操船者にとって衝突危険度が大きく変化するときと相当すると考え、避航ケースについては、避航開始時機、変針角保持時機、避航終了時期、復帰終了時期の4つの操舵時機を特定した。

(2) 避航の特徴

操船者が避航を行う際に意識していると考えられる避航船と保持船の距離に着目して、抽出した避航ケースおよび非避航ケースの航跡を比較するとともに、各操舵時機での避航船と保持船の相対位置関係を分析した。

また避航船回りには他船を侵入させたくない領域が存在していることが一般的に知られていることから、避航船を中心として前後左右の軸上を保持船が通過するときの距離を分析し、避航で確保する距離を求めた。

(3) 避航開始時機の分析および(4) 衝突危険度の評価手法

衝突危険度と避航開始には関係があると考え、避航開始時機の分析を行った。保持船との距離に加え、操船者は避航の際に意識していると思われるもう一つの指標、避航船から見た保持船の相対方位の変化量(方位変化)に着目した。

本研究では、別の研究者が行ったレーダーシミュレータ実験結果をもとに、横軸を距離、縦軸を方位変化とする二つの指標の関係により、3段階の危険度を領域として表現した従来研究をもとに衝突危険度の評価方法の検討を行った。

4. 研究成果

(1) 避航の特徴

避航の特徴として以下のことが明らかとなった。避航船が保持船の後方を通過する場合は、避航船の正面を保持船が通過するときの距離を、避航船が保持船の前方を通過する場合は、避航船の右正横を保持船が通過するときの距離を確保していることがわかった。

さらに、避航船が避航により確保する保持船との距離の一般化を行った。その結果、その距離は、見合い関係に依存すること、保持船の船長に比例すること、他船の侵入を絶対的に許容できない距離と許容できる距離の2種類が存在することが明らかとなった。すなわち、保持船との距離が確保できないときに

避航を開始することから、避航開始時機の状況を分析することによって、避航時の衝突危険度が評価できると考えられる。

(2) 避航開始時機の分析

避航開始時機における距離と方位変化の二変数の関係を最小二乗法により近似し、平均的な避航開始時機の近似曲線を求めた。さらに、その近似曲線のまわりに分布する避航開始時機の信頼区間を求めた。その結果、ほとんどの避航船が避航を開始する時機は、距離と方位変化の二変数を用いて表現される平面上の領域として広がっていること、二変数を両対数で表したときその領域を表す境界線は直線で表されることがわかった。すなわち、衝突危険度は二変数の平面上に領域として定義できると考えられる。

(3) 衝突危険度の評価手法の検討

距離と方位変化による衝突危険度

避航開始時機の分析結果をもとに、避航開始時機以外の避航に伴う操舵時機を適用した結果、ほとんどの避航船が避航を開始する領域の上方、すなわち安全側とされる領域にほぼすべてのケースが分布していた。このことから既往研究のレーダーシミュレータ実験により定義された領域とほぼ一致する形で、距離と方位変化の平面上に領域として広がる複数の衝突危険度を定義できること、既往研究で考えられていた領域の範囲よりも遠方に、その領域が連続して広がっていることが明らかとなった。また、各領域の境界線は、距離と方位変化を両対数としたときに直線の関係になることを示した。

図3は、各操舵時機における距離と方位変化の関係の分析結果から定義した衝突危険度の領域を示している。横軸は距離、縦軸は方位変化を示し、それぞれ対数をとった両対数グラフである。また、それぞれの領域の定義を表2に示す。

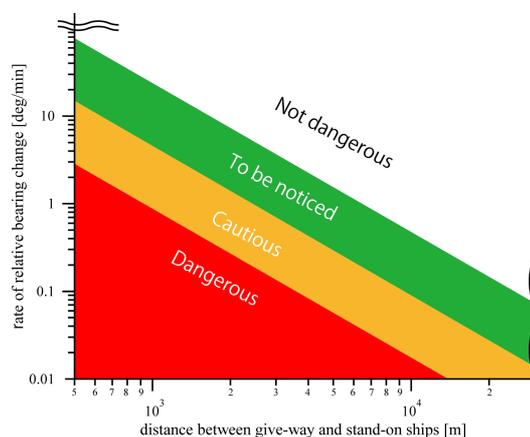


図3 距離と方位変化による衝突危険度 (領域)

表 2 衝突危険度（領域）の定義

領域名	状態
安全 (Not dangerous)	避航が行われない安全な状態
要監視 (To be noticed)	操船者が平均的に避航を開始する状態
注意 (Cautious)	避航することを強く推奨する状態
危険 (Dangerous)	ただちに避航が必要な状態

定義した衝突危険度（領域）の妥当性を検証するため、別の地域の AIS データから新たに抽出した避航ケースでの一連の行動を本評価法に適用した。図 4 および図 5 に検証に用いた避航ケースの航跡と検証結果の例を示す。図 5 中の折れ線グラフは避航船の行動中の状態量変化を示し、折れ線グラフの色は避航の操舵時機別に識別している。避航開始前(折れ線グラフ赤色に相当)は領域“要監視”の状態であったが、避航開始後は、領域“安全”と“要監視”の境界に沿う形で安全な状態を保っていることから、衝突危険度（領域）の評価は妥当であると言える。

衝突危険度の正規化の検討

避航船の船長と相対速度を考慮して衝突危険度の正規化の検討を行った。本研究では、距離を避航船船長で割った無次元距離と、相対距離を 1 分当たりの相対距離変化量で割った無次元距離を掛けたものを無次元相対距離と定義し、無次元相対距離と方位変化の二変数によって正規化を行った。

まず、図 3 の衝突危険度に避航ケースの避航開始時機における状態量を適用し、それぞれのケースを領域別に分類した。つぎにその領域別に、避航開始時機での無次元相対距離の分布を分析し、ガンマ関数によりその分布を表した。図 6 に避航開始時機での無次元相対距離の分布と推定したガンマ分布累積分布関数を示す。上から領域“安全”、“要監視”、“注意”、“危険”である。避航開始時機は領域の危険度が上がるにつれて、早めに避航を行っていることが確認できた。

さらに距離と方位変化で表される衝突危険度の境界線を表す数式を変換し、避航船船長と相対速度の影響を考慮した無次元相対距離と方位変化の関係で表した。図 7 は、正規化された衝突危険度の検証例であり、検証に用いた避航ケースは図 5 と同じである。横軸は無次元相対距離、縦軸は方位変化を示す。図 7 中の領域の境界線は、検証に用いた避航ケースの避航船の船長および避航開始時機における相対速度をもとに正規化した。また、図 7 の破線が示す 20% から 100% の線は、上述で推定したガンマ分布累積分布関数をもとに、避航開始が行われる割合を示している。

図 7 から、避航開始前(折れ線グラフ赤色に相当)は領域“要監視”の状態であったが、

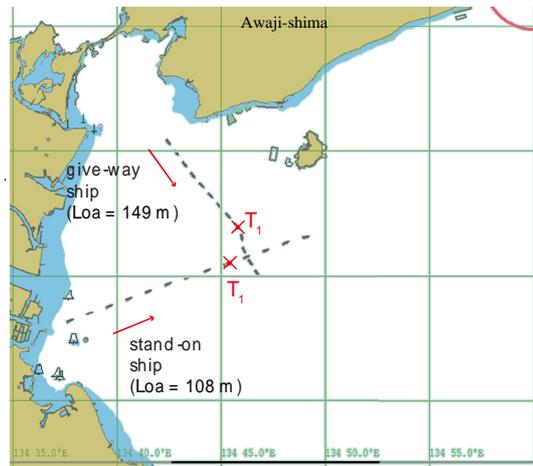


図 4 検証に用いた避航ケースの航跡

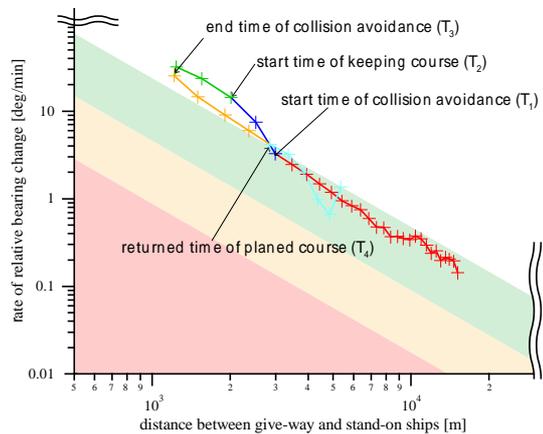


図 5 衝突危険度（領域）の検証例

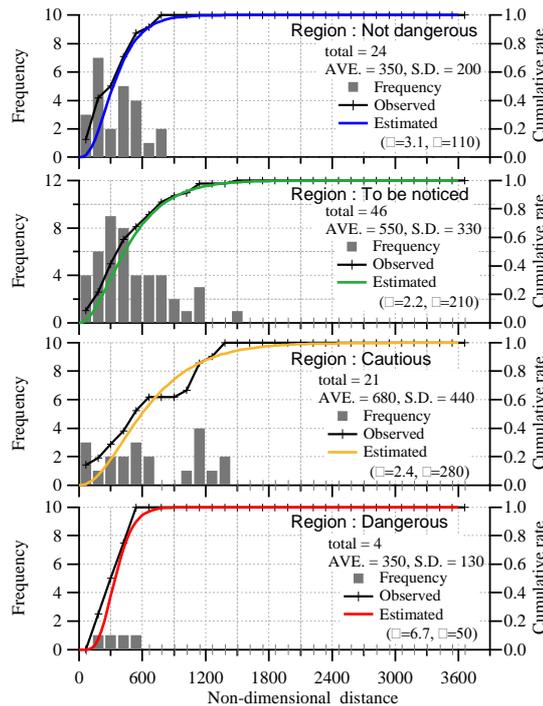


図 6 避航開始時機における無次元相対距離の分布

避航開始後は、領域“安全”と“要監視”の境界に沿う形で安全な状態を保っていることがわかる。また、この避航ケースでは、比較的遅い時機に避航を開始していることがわかる。以上から、正規化された衝突危険度の評価は妥当であると言える。

この正規化された衝突危険度の評価方法により、船長や見合い関係に関わらず、二船が遭遇したときの衝突危険度を適切に評価できると考えられる。

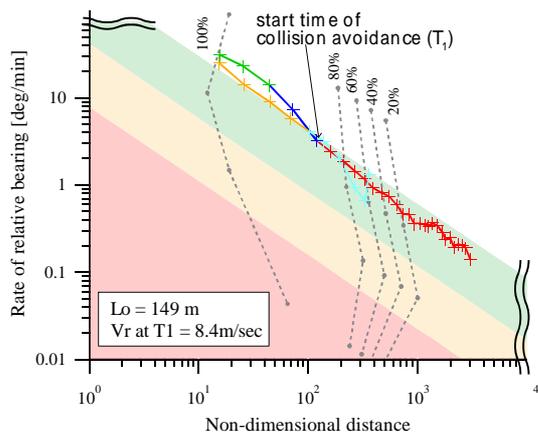


図7 正規化された衝突危険度の検証例

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3件)

三宅里奈, 福戸淳司, 長谷川和彦: AIS記録データに基づく避航操船手法の解析, 日本航海学会論文集, Vol.133, pp.66-74, 査読有, 2015

三宅里奈, 長谷川和彦, 福戸淳司: AISデータを用いた避航の行動分析に基づく衝突危険度評価, 日本航海学会論文集, 第135巻, pp.43-52, 査読有, 2016

三宅里奈, 長谷川和彦, 福戸淳司: 実際の避航の行動分析に基づく船舶間の衝突危険の定量的評価, 日本船舶海洋工学会論文集, 第24号, pp.283-290, 査読有, 2016

[学会発表](計3件)

三宅里奈, 福戸淳司, 長谷川和彦: AIS記録データに基づく避航操舵時の相対距離について, 日本航海学会第133回公演会, 2015.11.

三宅里奈, 福戸淳司, 長谷川和彦: AISデータを用いた避航の行動分析に基づく衝突危険度評価, 日本航海学会第134回公演会, 2016.5.

R. MIYAKE, J. FUKUTO, K. HASEGAWA: Evaluation Method of Collision Risk Based on Actual Ship Behaviours Extracted from AIS Data,

12th International Conference on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation (TransNav2017), 2017.6 (確定)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三宅 里奈 (MIYAKE RINA)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 その他部局等 研究員

研究者番号: 60618776