

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 5 月 30 日現在

機関番号：12614

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2023

課題番号：18K13960

研究課題名(和文)人為的要因の船舶衝突事故低減のための航行妨害ゾーン発生海域の推定

研究課題名(英文)The Estimation of Navigation Hazard Zones to Reduce Ship Collision Accidents Caused by Human Factors

研究代表者

福田 厳 (Fukuda, Gen)

東京海洋大学・学術研究院・准教授

研究者番号：10734478

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究において、過去に船舶の衝突が発生した付近はOZT密度が相対的に比較したときに、最も高い値ではなく、ある一定値付近にあることが判明した。これにより、OZTつまり衝突ゾーンが多く発生しているような海域では航海士は注意して航行しているため過去に衝突が発生していないが、OZT(衝突ゾーン)は発生しているが、そこまで高い値が出ていない場所では、航海士が不注意となり衝突が発生している可能性があることを示すことができた。さらに、2019年浦賀水道の南側にバーチャルAISブイ設置後の新たな交通流に対しOZT密度を用いて危険でとなるエリアを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

過去に船舶の衝突が発生した付近はOZT密度が最も高い値ではなく、ある一定値付近にあることを明らかにし、OZTは発生しているが、そこまで高い値が出ていない場所では、航海士が不注意となり衝突が発生している可能性があることを示すことができたことは社会的意義があると考えられる。さらに、バーチャルブイ設置後の交通流として、バーチャルブイ3号(一番太平洋側)付近では東京湾から千葉方面に向かう船舶および東京湾に入港する船舶同士で新たにOZT密度が相対的に高い海域が発生しており、この値が過去に衝突のあった場所のOZT密度と近いことを示したことは、人為的要因による衝突事故を未然に防ぐために重要な成果であると考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this study, it was found that the OZT density near areas where past ship collisions occurred is not the highest but rather around a certain value. This indicates that in regions with high OZT density, navigators are more cautious, resulting in fewer collisions. Conversely, in areas where OZT zones are present but not as highly dense, navigators may be less attentive, leading to more collisions. Additionally, after the installation of a virtual AIS buoy south of the Uraga Channel in 2019, we identified new hazardous areas in the altered traffic flow using OZT density.

研究分野：海上交通分析

キーワード：衝突ゾーンの見える化 OZT OZT密度 ビッグデータ AIS 海上交通分析

1. 研究開始当初の背景

海上保安庁の『海難の現況と対策について(平成 27 年度版)』によると、貨物船、タンカーおよび旅客船の衝突事故件数は、平成 23 年以降は年間約 200 隻前後(平成 28 年 190 隻)で横ばい状態である。一方で、船舶の大型化や、可燃性の高い LNG 燃料の普及が進めば、衝突事故による人的被害および環境被害の拡大の可能性が高まるため、衝突予防がより一層重要な課題となる。

ハインリッヒの法則によると、1 件の事故に対し、29 件の軽度な事故、300 件のニアミスが存在しているとされる。そこで、船舶の動きからニアミスが多く発生している海域を推定し、危険海域を特定する研究が国内外で進められている。しかし、操船方法などは個人差があり、全てのニアミスを船舶の航跡や、船舶間距離から把握することは事実上難しく、まだ確立されていない。ここで、平成 27 年度の衝突事故原因をみると、人為的要因の見張り不十分(55%)、操船不適切(26%)および居眠り運航(6%)の順に多く、過去 5 年間でも人為的要因による船舶衝突が全体の約 9 割を占めている。通常、船舶は衝突する場所を避けて航行しているが、先に示した約 9 割は何らかの人為的要因により、衝突する場所に侵入していることになる。つまり、この衝突する場所が多く発生している海域を特定することにより、危険な海域を推定できると考えた。研究代表者は科学研究費若手研究(B)課題番号 15K16308 の補助を受け、津波避難対策立案のための海上交通分析に、この衝突する場所を相手船の進路上に示すことができる「相手船による航行妨害ゾーン(OZT: Obstacle Zone by Target)」(Fig.1)を用いる検証を行った。

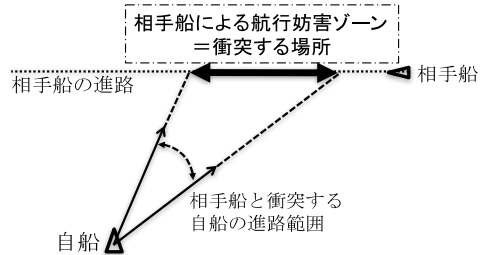


Fig.1 相手船による航行妨害ゾーン = 衝突する場所

この分析方法では、サンプリング期間に、各グリッドに発生した航行妨害ゾーンをカウントし、単位時間・単位面積当たりの航行妨害ゾーン密度(以下、OZT 密度)として出力することができる。開発当初までの分析で、船舶が密集し航跡密度が高くなるエリア(Fig.2)とは異なる港外に、航行妨害ゾーンが多く発生していることが明らかとなった(Fig.3)。この海域では、Fig.3 に示す位置で、平常時においても、実際に衝突が発生している。そこで、本研究においては、分析対象を輻輳・準輻輳海域に広げ、ビッグデータ分析を行い、学術的「問い」であるどの程度のデータ分析期間で海域の特徴が把握でき、どの程度の値であれば危険であるのか指標を明らかにすることにより、OZT 密度の推定を、通常の上交通分析にも利用できるよう発展させることができると考えた。これまでに無い新しい観点から分析を行うことにより、海上交通安全対策への利用や、船舶運航者への周知により、ニアミスの減少、延いては人為的要因の船舶衝突事故低減を実現できるのではないかと考えたことが研究会開発当初の背景である。



Fig.2 清水港周辺の貨物船同士衝突位置、航跡密度が高くなるエリアと AIS 船舶航跡

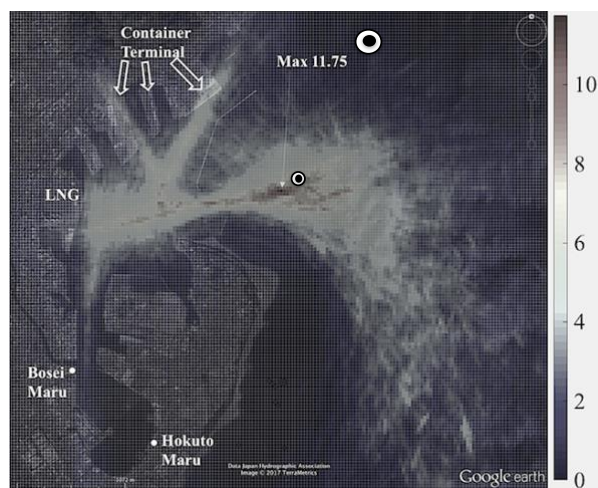


Fig.3 清水港周辺における OZT の 1 日の発生回数の平均と貨物船同士の衝突位置

2. 研究の目的

これまで得られた知見を基礎として、船舶自動識別装置(以下、AIS)により取得されたビッグデータを、OZT 密度により分析し、衝突の危険がある海域を推定することによって、人為的要因の船舶衝突事故を低減し、人命および環境の保護に貢献することを目的とする。

3. 研究の方法

船舶衝突事故低減を達成するには、全国、特に輻輳・準輻輳海域における AIS ビッグデータ分析を行うことが望ましい。しかし、研究当初はビッグデータ処理に適したソフトがなかったため、まずはソフト開発を行い、その後、海域の特徴把握に要するデータ分析期間および他の分析方法とも比較しながら当該海域における危険の指標を明らかにすることを目指した。

そこで、ビッグデータ分析に適したソフト開発および分析に必要なデータ処理および OZT 密度の推定による海上交通分析の実施の一部を行なった。具体的な方法としては、並列計算システムを導入し、ビッグデータ処理に対応させた AIS データ処理ソフト、OZT 密度推定ソフト、航跡密度計算ソフト、OZT を発生させている船舶の航跡密度推定ソフトおよび LOPC 密度推定ソフトのプログラム開発を行った。LOPC 密度については、全ての LOPC を計算するのではなく Fig. 4 に示す様に OZT に対して設定値を決めて保存する方法を提案した。

また、AIS データを Decoding し、1 秒間ごとに線形補間した。駿河湾については処理を行なった後、約 3 年間のデータを用いて OZT 密度および LOPC 密度を推定した。

次に、分析に必要な期間の特定、OZT 密度と LOPC 密度との比較および航行妨害ゾーンを発生させている船舶と航行密度の比較についての研究を実施した。この時点で、推定結果を用いて自船の行動を判断する際に、おおよそ危険な場所は判断できるが、それをどのように自船の行動に結びつけていけば良いのかが難しいという指摘がある船舶運航者から受けた。また、本研究で進めているバーチャルブイなどの海上交通への効果を確認することも難しいことが判明した。そこで、OZT を計算する方法および OZT 密度を計算する方法について、より船舶に乗船している運行者から見た形にするための新しい方法を考案し、東京湾入り口付近に設置されたバーチャルブイによる整流効果を推定した。

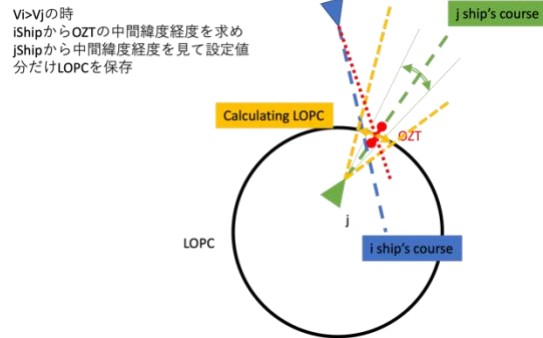


Fig. 4 LOPC 密度の計算について

4. 研究成果

2018 年度に OZT 密度では船舶の航跡が合わさる部分の密度が高くなっていることを明らかにした。この海域は航跡密度が高くなる清水港の入り口付近とは異なる海域である。また、LOPC 密度においては過去に衝突の起きたものと同じ見合い関係の位置の LOPC 密度が高くなる結果が得られた。清水港で過去に衝突があった自船・他船が入港する際の見合い関係における OZT 密度と LOPC 密度を Fig. 5 および Fig. 6 に示す。Fig. 6 に示した通り、過去に同じ見合い関係で船舶が衝突した清水港出入り口付近の LOPC 密度が高くなっていることが確認できる。この結果を、2 月に東京海洋大学で行われた「第 2 回 航行妨害ゾーン (OZT) の利用と展望 - 自動航行に向けて -」において「衝突ゾーンの見える化」を発表した。

2019 年度には清水港で取得した AIS データ 3 年間分の分析を行った結果、1 年程度の分析で OZT 密度の相関が 0.8 を超えることがわかった。OZT 密度が平均化されていくためには、一般的に知られている通りある程度の船舶数が必要である。清水港では 1 年間程度で相関がとれるという結果であれば、航行隻数がより多い東京湾入り口周辺および伊豆大島付近では、1 年もしくはそれ未満の期間で相関がとれてくることが推定できた。また、OZT 密度および LOPC 密度を推定した結果、これまでの想定通り、OZT 密度と航行密度に異なる点があることを確認できた。しかし、推定結果を用いて自船の行動を判断する際に、おおよそ危険な場所は判断できるが、

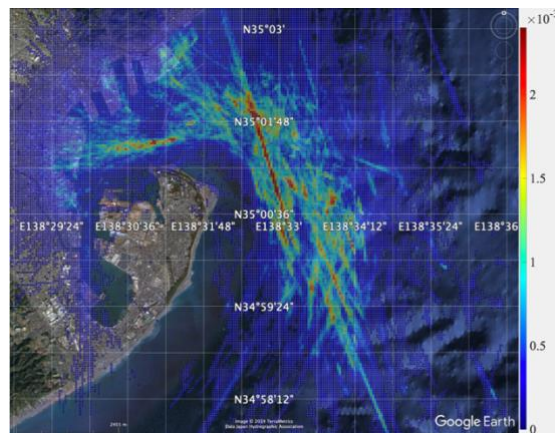


Fig. 5 自船および他船とも入港の見合い関係で計算された OZT 密度

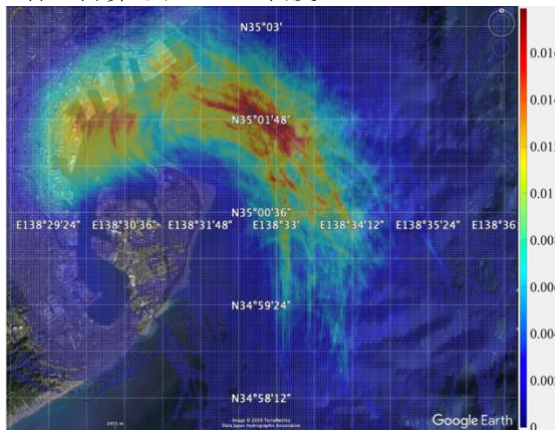


Fig. 6 自船および他船とも入港の見合い関係で計算された LOPC 密度

それをどのように自船の行動に結びつけていけば良いのかが難しいという指摘をある船舶運航者から受けた。また、本研究で進めているバーチャルブイなどの海上交通への効果を確認することも難しいことが判明した。そこで、2020 年度に OZT を計算する方法および OZT 密度を計算する方法について、より船舶に乗船している運行者から見た形にするための新しい方法を検討した。これまで OZT を計算するには、対象船舶との見合い関係から危険円を設定しそれに対する OZT を求めていた。また、OZT 密度分析においては、全ての発生した OZT を対象としてきた。しかし、実際には危険でない OZT も含まれてしまう問題があった。そこで本研究においては、危険ではない OZT の計算を避けるために、自船の進路方向に OZT が出現した場合にのみ、その他の OZT を計算する方法を採用した。また、OZT を計算する際に、特に同航船に近い状況で OZT が非常に長くなってしまい、OZT 密度を計算した際にどのような OZT により OZT 密度が高くなっているのかを推定することが難しいという問題があった。そこで、これまで使用してきた SD の直径を 3 分割し 3 つの SD により OZT を計算する方法とその計算された OZT の自船に近い側から自船と遠い側の OZT を結んだ線に垂線をおろし、交点を新たな OZT とする方法を用いた。新たな OZT の基本的な求め方は、自船周りに SD を設定し、その領域に他船が侵入できないコースを求める。本研究においては、これまで使用してきた SD の中を 3 つの円に分割するように SD を設定した。本 SD の設定方による OZT の進路を求める方法について、作図による方法について述べる。

1. 従来の SD を他船の速度ベクトル方向に 3 等分する SD を作図する
2. その作図した SD に対して、他船の位置から接線を引く
3. 各接線を自船の位置から伸ばした他船の速度ベクトルの先端に接するように平行移動する
4. 平行移動した接線と自船の速度円の交点を求める
5. 各交点の一番外側の点と自船位置を結んだ線の範囲が OZT の進路範囲となる

OZT Co から Target ship の速度ベクトルの先を結んだベクトルは、自船が各コースを進んだ際の相対速度となる。つまり、この図の場合 Co3 と Co4 は相対速度がマイナス方向となるため、答えは Co1 と Co2 を結んだ間だけとなる。また、Target Ship から各 SD に引いた接線の長さを各相対速度で割ることにより TCPA を求めることができる。自船から近い OZT の端点を OZT1、遠い側の OZT の端点を OZT2、俯角を θ 、自船から OZT1 までの距離を $D1$ とする。自船と OZT2 を結んだ線に OZT1 から垂線を下ろした時の交点を OZT2' とする。この時、自船から OZT2' までの距離 $D2$ を $D2 = D1 \cos \theta$ のように計算し求める。

これにより、自船から $D2$ の距離にある新たな OZT2' を求めることができる。OZT1 と OZT2' を結んだ範囲が新しい OZT となる。ただし、OZT の端点の間の距離が 10m 以下の時は、この処理を行わず、先に求めた OZT をそのまま用いる。

この新たな方法を用いることにより、過去に船舶の衝突が発生した付近は OZT 密度が相対的に比較したときに、最も高い値ではなく、ある一定値付近にあることが判明した。これにより、OZT つまり衝突ゾーンが多く発生しているような海域では航海士は注意して航行しているため過去に衝突が発生していないが、OZT (衝突ゾーン) は発生しているが、そこまで高い値が出ていない場所では、航海士が不注意となり衝突が発生している可能性があることを示すことができた。これは、船舶の衝突の原因の 8 割が人為的要因であることの裏付けにもつながる。また、バーチャルブイ設置後の交通流として、Fig. 7 に示すようにバーチャルブイ 3 号 (一番太平洋側、Fig. 7 では 3 個の菱形マークの一番南側の菱形の位置) 付近では東京湾から千葉方面に向かう船舶および東京湾に入港する船舶同士で新たに OZT 密度が相対的に高い海域が発生 (アルファベット数字 II は過去に同じ見合い関係で衝突があった位置を示している) しており、この値が過去に衝突のあった場所の OZT 密度と近いことが判明した。この海域は今後、継続的に分析していく必要があると結論づけた。本論文では Fig. 7 で示した以外に、全ての航行関係について自船をからみた OZT の分布を分析することによって OZT 密度を示した。この手法について、査読者からも新しい手法を開発しているとの高い評価を得た。

さらに、これまでの研究成果および研究過程から、AIS を用いた分析において位置情報に誤差があり、現在規定されている AIS の位置精度を満たせていない可能性があることを見出した。その他の点についても課題を見出し、その成果をまとめ 2022 年度 8 月に論文投稿を行った。しかし、

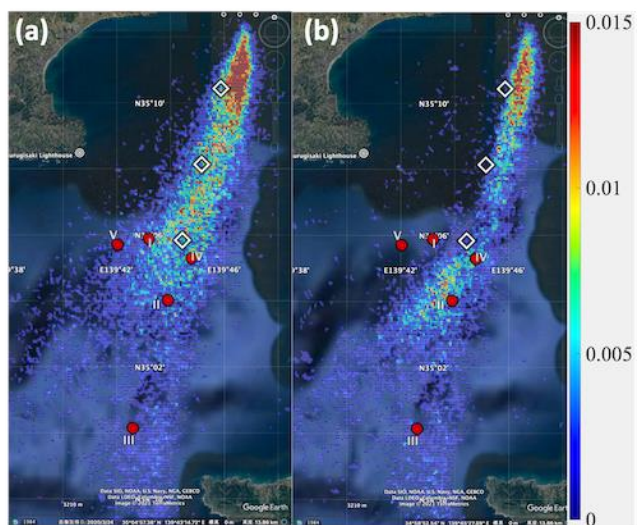


Fig. 7 東京湾に入港する自船に対し他船との関係の OZT 密度 TransNave2021 (DOI: 10.12716/1001.15.02.24) の Fig. 11 より

当該科研費の期間中に査読が終わらず 2024 年 5 月現在 3 度目の査読結果に対する修正を行い再投稿した状況である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 G. Fukuda, H. Tamaru, R. Shoji	4. 巻 15
2. 論文標題 Estimation of Changes in Marine Traffic Flow Due to Installation of Virtual Buoys Based on the OZT Method	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation	6. 最初と最後の頁 445-453
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.12716/1001.15.02.24	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 福田 巖, 田丸 人意, 庄司 るり	4. 巻 31
2. 論文標題 OZT・LOPC 密度による衝突ゾーン発生海域の推定	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演会論文集	6. 最初と最後の頁 271, 276
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 福田 巖
2. 発表標題 OZT・LOPC 密度による衝突ゾーン発生海域の推定
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福田 巖
2. 発表標題 衝突ゾーンの見える化～OZT密度およびLOPC密度を用いた推定～
3. 学会等名 第2回 航行妨害ゾーン(OZT)の利用と展望 - 自動航行に向けて -
4. 発表年 2018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
---------	---------