

PS-7 船舶遭遇頻度分布を用いた海上交通の地理情報システムの開発

海洋リスク評価系 *河島 園子、伊藤 博子

1. はじめに

衝突の危険を予知した安全な航行や衝突事故を防止する安全対策の構築のためには、海域の位置に関する情報を活用することが重要である。例えば、通航量や通航密度は海域の混雑度を示すため、交通状況を把握した航行や通航数を制限した管制等が可能で、衝突事故発生場所は衝突が発生しやすい海域を示すため、その海域を避けた航行や新たなルールの策定が可能である。また、遭遇頻度は、衝突に繋がる恐れのある船舶間の潜在的な衝突発生数を細かな海域毎に示すため^{1,2)}、衝突の危険を考慮した航行や安全対策の構築が可能である。これらの海域の位置に関する情報は海上交通の地理情報であるため、それらを電子海図上に重ね合わせることで、海上交通を視覚的に判読できる地理情報システムを構築することができる。

本研究では、安全な航行等に寄与する海上交通の地理情報システムを開発することを目指し、重ね合わせの層の情報として遭遇頻度分布を載せることを試みた。本稿では、遭遇頻度分布を用いた海上交通の地理情報システムの概要を報告する。そして、本システムを活用した分析結果を示す。

2. 遭遇頻度

本章では、遭遇頻度の考え方の基となる衝突頻度モデルと、遭遇頻度の定義及び計算手法を示す。

2.1 衝突頻度モデル

船舶同士の衝突発生の表現方法として、幾何学的な衝突位置にある二船が避航操船を取らずに航行した場合に衝突する潜在的な衝突発生数 (N_G : 幾何学的衝突回数) と、その二船が衝突回避に失敗する確率 (P_C : 衝突原因確率) との積により、衝突頻度 (F) を表現する衝突頻度モデル³⁾がある。式(2.1)に衝突頻度モデルを示す。

$$F = N_G \cdot P_C \quad (2.1)$$

2.2 遭遇頻度の定義と計算手法

N_G の推定には船舶動静情報を用いた計算モデル^{e.g.3,4)}を使用するが、比較的広い海域に対するモデルであるため、狭い海域における計算には不向きである。一方、輻輳海域では船舶の進路が錯綜しているとともに、衝突も海域で一様に発生しないため、衝突危険の予知や安全対策の構築には細かな海域の情報も必要である。著者らは、海域の交通流を連続体近似し、海域に計算格子を導入することで、格子毎に潜在的な衝突発生数を計算するメッシュベース推定手法を確立した^{1,2)}、海域の各所の交通の特徴に応じた計算を可能とした。

格子毎に計算した潜在的な衝突発生数を遭遇頻度 (E_f) とし、Pedersen が考案した N_G の計算式⁴⁾を基に、式(2.2)のように格子毎に評価時間 Δt あたりの E_f を定義する。

$$E_f = \sum_i \sum_j \frac{Q_i^{(1)} \cdot Q_j^{(2)}}{V_i^{(1)} \cdot V_j^{(2)}} \cdot f_i^{(1)}(z_i^{(1)}) \cdot f_j^{(2)}(z_j^{(2)}) \cdot V_{ij} \cdot D_{ij} \cdot A \cdot \Delta t \quad (2.2)$$

ここで、 Q は通航量、 V は速度、 $f(z)$ は通航位置分布、 V_{ij} は相対速度、 D_{ij} は幾何学的衝突直径、 A は格子の面積、下添字(i, j) は船舶のグループを表す。なお、次章で示す海上交通の地理情報システムでは、見合い関係別に E_f を計算するため、下添字(i, j) を対地針路のグループとした。式(2.2)の各変数の計算方法は、参考文献1), 2)を参照されたい。

3. 遭遇頻度分布を用いた海上交通の地理情報システム

3.1 システムの全体像

図-1 に遭遇頻度分布を用いた海上交通の地理情報システムの全体像を示す。図-1 に示すように、本システムでは、海域、期間、及び計算格子の大きさを設定した上で、それに該当する船舶動静情報を海上技術安全研究所が所有するデータベースから抽出し、格子毎に E_f を計算する。そして、計算結果を基にして、海図上に E_f のカラー濃淡図を表示する。次節に、本システムの表示機能を示す。

3.2 システムの機能

本節では、本システムの3つの主要な機能を示す。

(1) 見合い関係別の遭遇頻度の表示

本システムには、追越し、正面、横切り関係の3種類の見合い関係別に遭遇頻度を表示する機能がある。見合い関係は、二船の対地針路から求められる出会角 θ_{ij} を基に計算する。ここで、 θ_{ij} は式(2.2)の相対速度 V_{ij} 及び幾何学的衝突直径 D_{ij} を推定する式に含まれているため、 θ_{ij} 及び見合い関係に基づいた E_f を計算することができる。

(2) 時間帯毎の遭遇頻度の表示

本システムには、時間帯を選択して E_f を表示する機能がある。全時間帯もしくは1時間単位を選択し、それぞれの時間帯で計算した遭遇頻度を表示する。また、本システムで最初に対象期間を設定する際に、細かな時間を設定することで、あらゆる時間帯の遭遇頻度を表示することもできる。

(3) 選択した海域全体の遭遇頻度の積算値の計算

本システムには、対象海域内で選択したエリアの全ての格

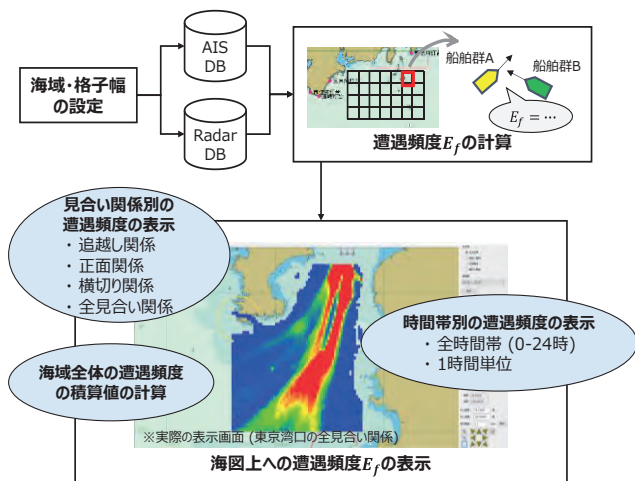
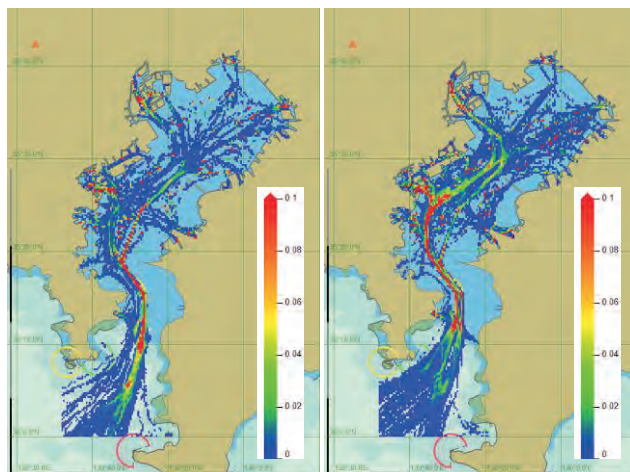


図-1 遭遇頻度の地理情報システムの全体像



(a)5-6時の遭遇頻度 (b)17-18時の遭遇頻度
図-2 東京湾における追越し関係の遭遇頻度の分布

子の E_f を積算する機能がある。衝突頻度 F 及び衝突原因確率 P_C は比較的広い海域を対象として推定するため、 F を調査し、エリアにおける各格子の E_f を積算し、式(2.1)を用いることで広い海域において P_C を計算することができる²⁾。

4. システムを活用した遭遇頻度の計算結果

本システムを活用して、見合い関係及び時間帯を考慮した遭遇頻度を計算した。東京湾(北緯 35.0°~35.7°, 東経 139.6°~140.1°)を対象とし、対象海域に0.2分の大きさの格子を設置し、2021年3月1日~14日のAISデータを用いた。本稿では、計算結果の例として、追越し関係の遭遇頻度を示す。ここで、追越し関係は二船間の出会角 θ_{ij} の範囲が $0 \leq \theta_{ij} < 70^\circ$ と定義した^{1,2)}。なお、その他の見合い関係及び出会角の定義は参考文献1), 2)を参照されたい。

まず、対象海域における追越し関係の全時間帯の遭遇頻度を計算した。対象海域の全格子の E_f を積算したところ、1年あたり約58万回であった。これは潜在的な衝突発生数であるため、このうち船舶が避航に失敗すれば衝突する。衝突回避に失敗する確率(P_C)は、 10^{-5} 程度である。

次に、各格子の1日あたりの追越し関係の E_f を観察する。図-2(a)に5-6時の分布を、図-2(b)に17-18時の分布を示す。図-2(a)より、5-6時には浦賀水道航路の北航レーン及び中ノ瀬航路の E_f が高く、図-2(b)より、17-18時には浦賀水道航路の南航レーンの E_f が高かった。東京湾では朝方に航路を北航する船舶が多く、夕方に航路を南航する船舶が多いため⁵⁾、船舶同士が遭遇する頻度が高くなったと考えられる。また、遭遇頻度は通航量では表すことができない潜在的な衝突の発生を加味するため、図-2で潜在的な衝突が発生しやすい場所と頻度が時間帯により異なることが確認された。

5. 今後の展望

自動運航船を運航させるためには、衝突の危険の少ない海域を選択することも安全性向上に重要である。遭遇頻度は、潜在的な衝突が発生しやすい海域と頻度を加味した航路計画を立案することが可能であると考えられる。更に、衝突事故発

生場所等の点データも、格子毎の点密度の分布とすることで視覚的に判読しやすくなり、安全な航路の選定に役立つと考える。今後は、本システムの重ね合わせの層の情報を増やし、時間帯別の遭遇頻度等の分布を活用して航路計画を立案できるように、本システムを拡張する予定である。

6. まとめ

安全な航行等に寄与する海上交通の地理情報システムを開発するため、本稿では、重ね合わせの層の情報として遭遇頻度分布を載せたシステムの全体像及び表示機能を報告した。また、本システムを活用して、東京湾における追越し関係の遭遇頻度を時間帯別に計算したところ、時間帯別の遭遇頻度の違いが確認された。本システムが衝突の危険を予知した安全な航行や航海計画の立案に寄与することを目指し、今後は本システムを拡張する予定である。

謝辞

本研究は、防衛装備庁が実施する安全保障技術研究推進制度 JPJ004596 の支援を受けたものである。

参考文献

- 1) Kawashima, S. & Itoh, H. : Assessment of ship encounter and collision in congested sea areas, Proc. of the 8th ICCGS (2019), pp.267-274.
- 2) 河島園子, 伊藤博子, 川村恭己 : 衝突頻度モデルに基づく衝突原因確率の推定, 日本航海学会論文集, 第 144 巻 (2021), pp.32-41.
- 3) Fujii, Y., et al. : Some Factors Affecting the Frequency of Accidents in Marine Traffic, J. of Navigation, Vol.27 No.2 (1974), pp.235-252.
- 4) Pedersen, P. T. : Collision and Grounding Mechanics, Proc. of WEMT 1995 (1995), pp.125-157.
- 5) 公益財団法人海上保安協会 : 東京湾の安全な航行環境の構築に向けて, 調査報告書 (2017).