

## 1. はじめに

運輸安全委員会の統計によると 2017 年に調査の対象となった衝突事故は 202 件で全調査数の 26.5%にあたり、最も大きな割合を占めている。衝突事故の 80%以上がヒューマンエラーに起因する<sup>2)</sup>とされるが、同じような場所・原因で繰り返し発生する傾向があること<sup>3)</sup>も指摘されている。そのため、再発防止には航行する海域の事故発生状況などをあらかじめ把握しておくことが有効である。

船舶運航者は経験から海域の特性に関する知識を蓄積するが、内航海運では乗組員の高齢化がすすみ知識の継承が課題となっている。また近年、日本周辺海域を航行する外国船舶の増加やプレジャーボート、水上オートバイ利用者の増加等により船舶運航者が多様化し、事故防止情報のよりわかりやすい伝達手段についても検討が必要である。

図 1 は、東京湾の衝突事故の発生地点を示したものである。なお、表示したのは運輸安全委員会の船舶事故ハザードマップ<sup>4)</sup>で 2014 年 8 月に検索された衝突事故のうち商船が関係した 215 件である。東京港沖、横浜港沖及び浦賀水道航路で事故が多発していることがわかる。このよう地図上に事故点をプロットすることでその分布から対象海域の衝突の危険性を示すことができる。本研究では事故の発生状況が時間帯によっても変化することを考慮して時空間座標を用いた表示を検討した。また、事故発生点をカーネル密度推定法<sup>5)</sup>により連続関数である確率密度分布に変換して対象海域の衝突危険性を評価した。

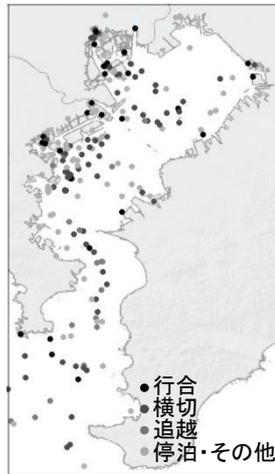


図 1 衝突事故発生点

## 2. 衝突事故発生点の時空間分布

図 1 で示した衝突事故発生点を図 2 に時空間座標 $(x, y, t)$ で表す。事故発生地点 $(x, y)$ は、緯度・経度を平面直角座標に変換し  $x$  座標の正方向を東、 $y$  座標の正方向を北としてしめす。また、発生時刻は下端を 0 時とした高さ方向で示す。東京港から横浜港に至る海域で衝突事故が多いことが示されているが、時空間座標では事故発生点が座標空間中に浮いた状態で表現されることから時刻や場所の特性は難しい。また事故の発生総数は多いが単位面積・時間での頻度は低いことから点分布のみで衝突の危険性を把握することは難しい。しかし、事故発生の際には事故に至らなかった事象が数多くあるとされている。そのため接近したが衝

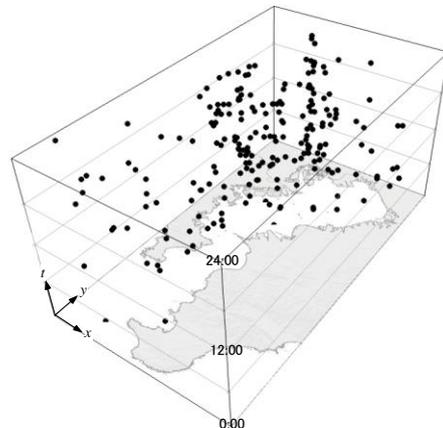


図 2 衝突事故発生点の時空間分布

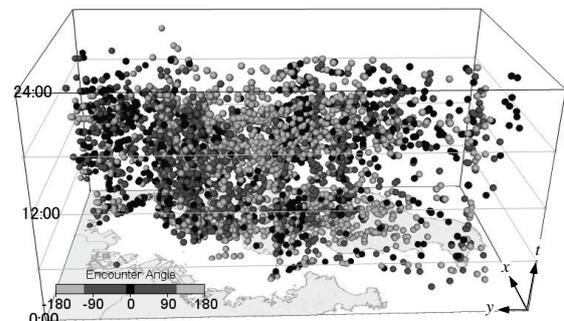


図 3 船舶接近点の時空間分布

突を回避できた事象が多数存在していると考えられる。そこで、船舶同士が接近した地点(船舶接近点)を時空間分布で表示することを検討した。

## 3. 船舶接近点の時空間分布

船舶接近点の抽出には AIS データを用いた。AIS データには、船位、対地速度、船首方位、MMSI、目的地等の情報が含まれており、個々のデータを MMSI 等の船舶固有の情報で船舶毎に振り分け、時刻順にソートすることにより航跡が得られる。5 分以内に船位間距離が 500m 以下となる状態を接近と定義し、得られた航跡を用いて船舶接近点を抽出した。

東京海洋大学の先端ナビゲートシステムにおいて 2014 年 11 月 18 日～24 日に得られたデータから抽出した 3564 点の接近点を図 3 に時空間分布で示す。なお、接近点を示す丸印の濃淡は見合い角を表している。東京港から横浜港にかけては、6:00~18:00 で接近点が多くなっている。また、東京港では行合での接近が他の海域に比べ多くみられ、横浜港では横切りが多くみられる。中ノ瀬航路から浦賀水道航路の周辺では、6:00 と 18:00 付近で接近点が多い一方で 12:00 前後に分布が疎となる時間帯がある。また、航路内では追越しの関係になることが多いが、浦賀水道航路と中

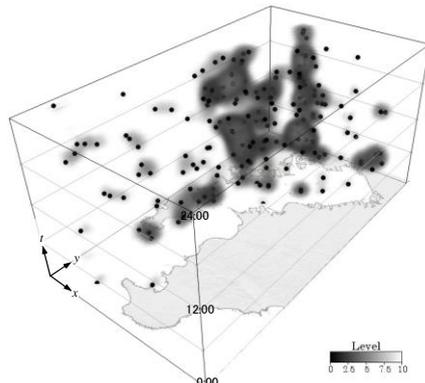


図4 衝突事故の発生確率密度分布

ノ瀬航路の分岐付近では行合もみられる。このように船舶接近点は海域の特徴を示す材料の一つと成りうることを示された。

#### 4. カーネル密度推定法による衝突事故発生確率密度分布

2章で示したように、衝突事故発生点の点分布のみでは衝突の危険性を示すことは難しい。そのため、点分布を連続関数である確率密度分布に変換して衝突事故の発生傾向を示した。本研究では、(1)式に示す地理的な距離と時間的なずれを考慮することができる3次元カーネル密度推定法<sup>9)</sup>を用いて変換した。

$$\hat{f}(x, y, t) = \frac{1}{nh_s^2 h_t} \sum_{i=1}^n K_s \left[ \frac{x-x_i}{h_s}, \frac{y-y_i}{h_s} \right] K_t \left[ \frac{t-t_i}{h_t} \right] \quad (1)$$

ここで、 $K_s$ 、 $K_t$ はそれぞれ地理的距離及び時間的なずれに基づくカーネル関数であり、(2)式を満たすものである。

$$\int_{R^d} K(u) du = 1 \quad (2)$$

本研究では、カーネル関数として Gaussian カーネルを用いた。また、 $h_s$ 、 $h_t$ はそれぞれのカーネル関数のバンド幅、 $n$ は事故点数である。図4に $h_s=1852m(1.0mile)$ 、 $h_t=60min$ で推定した結果をボリュームレンダリングによって3次元密度分布図で示す。なお、推定された確率密度はバンド幅を基準とした単位面積及び単位時間当たりの事故発生数に準じた値であるため10段階に変換したレベルを用いて示す。レベルが大きい領域は衝突が多く発生し衝突危険性が高いことを示す。レベルの大きい領域が柱状に示されていれば時間に関わらず衝突の危険性が高いが、図4では島状であることから時間によっては注意が必要な海域があることを示している。図5は、3次元確率密度分布を利用して航路に沿った衝突危険性を推定したものである。航海計画立案時には航路、船速、出港時刻等を設定するため、航行地点と航過時刻が定まる。図5は、図中に白線で示す東京港を出立地とする航路を17時に出港し船速12ktで航行した場合の推定結果である。時系列は出港後の航行時間を横軸に取りレベルの変化を示している。出港後90分付近で最もレベルが高くなる。このとき、時空間座標中矢印で示した海域を航行している。

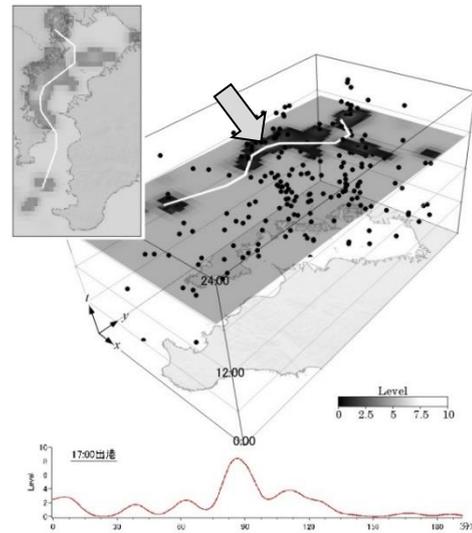


図5 計画航路に沿った衝突危険性

#### 5. まとめ

衝突危険性を時空間で連続的にとらえるため、東京湾における衝突事故発生点及び船舶接近点を3次元分布で表し、海域の衝突危険性が時間帯により異なることを改めて示した。また、船舶接近点が海域の特徴を表すことを示した。そして、3次元カーネル密度推定法による事故発生確率密度分布を用いて対象海域の衝突危険性を評価した。利用方法として、航海計画立案時に予定航路の衝突危険性を推定すること挙げた。航行条件には様々な制約があり、本手法で推定される衝突危険性を小さくできないことも多い。しかし、衝突危険性の大きい海域を出港前に確認し、危険性を認識したうえで操船することは事故防止に有効であると考えている。

#### 謝辞

本研究は、東京海洋大学の庄司り教授より AIS データの提供及び分析に関する助言をいただきました。深く感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 運輸安全委員会；船舶事故の統計，<http://jtsb.mlit.go.jp/jtsb/ship/ship-accident-toukei.php>,2018/6.
- 2) T.TAKEMOTO, et al.: The Characteristics of Navigator's Error in Ships' Collision Accidents, Proc. Of ANC2007, pp.213-221, 2007.11.
- 3) 杉崎昭生・伊沢誠志・増井真：海難分布図作成プログラム，航海，第41号，pp.5-11，日本航海学会，1973.9.
- 4) 運輸安全委員会：船舶事故ハザードマップ，<http://jtsb.mlit.go.jp/hazardmap/>，2018.6
- 5) B.W.Silverman：Density Estimation for Statistics and Data Analysis, CHAPMAN&HALL, 1986
- 6) 中谷友樹・矢野桂司：犯罪発生の時空間3次元地図，地学雑誌，Vol.117, No.2, pp.506-521, 2008.