

PS-23 東京湾口における船舶遭遇に関する解析

海洋リスク評価系 *河島 園子、伊藤 博子

1. はじめに

航行船舶の実態を把握することは、海上交通の安全を評価する上で重要であり、従来から船舶通航量や衝突事故発生場所等の指標により海域の特徴を抽出している¹⁾。また、2船の遭遇頻度も一指標であり、既存式により幾何学的に推定することができる^{2, 3)}。当該既存式は、一定の出会い角で遭遇する2船について、通航位置分布を正規分布等に仮定して遭遇頻度を計算し、船舶の特徴量を考慮できるものである。一方、輻輳海域では様々な見合い関係の船舶が多数航行しており、分布も海域毎に異なり複雑であるため、これらの実態を考慮して海域全体の遭遇頻度を計算することは困難であった。

著者らはこれらの難点に着目し、輻輳海域に対応した船舶遭遇頻度の推定手法を構築した⁴⁾。本論では、当該手法を紹介し、東京湾口のAIS搭載船舶に適用し、月別及び見合い関係別の遭遇頻度を解析した結果を報告する。

2. 船舶遭遇頻度の推定手法

2.1 遭遇頻度推定式

衝突の発生は、船舶が避航動作を取らない場合の幾何学的な衝突回数 N_G と避航に失敗する確率 P_C を掛け合わせた衝突頻度 P により評価される²⁾。 N_G は通常航行時における遭遇回数と捉えることができ、本論ではこれを「遭遇頻度」という。 N_G は船舶の特徴量を用いて推定されるが、著者らは、既存式^{2, 3)}を基に、(1)式及び2.2節の計算方法を考案した⁴⁾。

$$N_G = \sum_i \sum_j \frac{Q_i \cdot Q_j}{V_i \cdot V_j} \cdot f_i(z) \cdot f_j(z) \cdot V_{ij} \cdot D_{ij} \cdot A \cdot \Delta t \quad (1)$$

ここで、 Q は船舶通航量、 V は船速、 $f(z)$ は通航位置分布（航路中央からの船舶航行位置の距離 z の確率密度関数）、 V_{ij} は相対速度、 D_{ij} は幾何学的衝突直径、 A は領域の面積、 Δt は時間である。下添字 (i, j) は船舶の進路グループを表す。

2.2 計算方法⁴⁾

本推定手法の考え方を図1に示す。本手法では、海域を経緯線に平行に細かくメッシュ分割し、分割された各四角形領域（以下、領域という）のAISデータを基に、(1)式より遭遇頻度を計算する。当該メッシュ分割により、領域内において以下の二点の計算が可能となる。

A) 進路グループ θ 同士の遭遇

広い海域では、船舶の進路は場所毎に多様である。細かな四角形領域毎に進路を複数のグループに分けることで、2つの進路グループ θ_i と θ_j の総当たりでそれぞれの遭遇頻度を計算でき、細かな進路の特徴を反映することが可能である。

B) 通航位置分布 $f(z)$ の一様分布の仮定

海域全体の通航位置分布形状を θ 別に正確に表現するこ

とは難しいが、全体の分布を細かく分割することにより、それぞれの $f(z)$ を一様分布に仮定して計算できる。

上記以外の他の変数は以下のように計算する。

a) 船舶通航量 Q (per sec)

Q は、単位時間あたりに各領域を通過した進路 θ の船舶数とする。各領域の4辺を通過した船舶を計数するが、同一船舶が領域内の辺を二度通過すると仮定して計算する。

b) 相対速度 V_{ij} ・衝突直径 D_{ij}

V_{ij} は(2)式、 D_{ij} は(3)式で計算する。 V 、船長 L 、船幅 B は各領域の θ 毎の平均値を用い、出会い角 θ_{ij} 別に計算する。

$$V_{ij} = \sqrt{(V_i)^2 + (V_j)^2 - 2 \cdot V_i \cdot V_j \cdot \cos \theta_{ij}} \quad (2)$$

$$D_{ij} = \frac{L_i V_j + L_j V_i}{V_{ij}} \sin \theta_{ij} + B_j \left\{ 1 - \left(\sin \theta_{ij} \frac{V_i}{V_{ij}} \right)^2 \right\}^{1/2} + B_i \left\{ 1 - \left(\sin \theta_{ij} \frac{V_j}{V_{ij}} \right)^2 \right\}^{1/2} \quad (3)$$

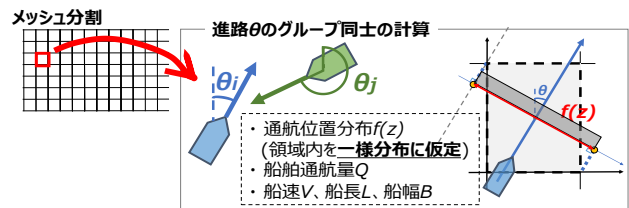


図1 計算の考え方

3. 東京湾口における船舶遭遇頻度

本手法を、東京湾口を中心とする北緯34.8度から35.2度、東経139.4度から140.0度の海域のAIS搭載船舶に適用した。本論では、領域の大きさが経緯度0.2分になるように海域をメッシュ分割した。 θ は各領域で5度ずつ分けた。

3.1 月別の遭遇頻度

東京湾内の主要港湾（東京・横浜・川崎・千葉・木更津）の月別の入港隻数は3月が最も多く⁵⁾、6月が平均的と言われている。そこで、本論では、2017年6月及び2018年3月の領域毎の1日換算の遭遇頻度を図2及び図3にカラースケールで示す。湾内と湾外では船舶数の差が原因で遭遇頻度に大きな違いがあるが⁴⁾、湾外の遭遇の特徴を見やすくするため、遭遇頻度のスケールを小さく設定し、遭遇頻度が0.005 (times/(day・area)) を超える領域は最大の色で表した。

図2と図3より、変針時の目標灯台の周辺海域で船舶が密集することや、遭遇の多い航路筋があること等の特徴は両月ともに読み取れた。一方、船舶数の多い3月は、6月よりも湾外の遭遇海域が幅広く、密集した遭遇が見られなかった。船舶数が多い場合、遭遇海域が幅広く分布する可能性がある

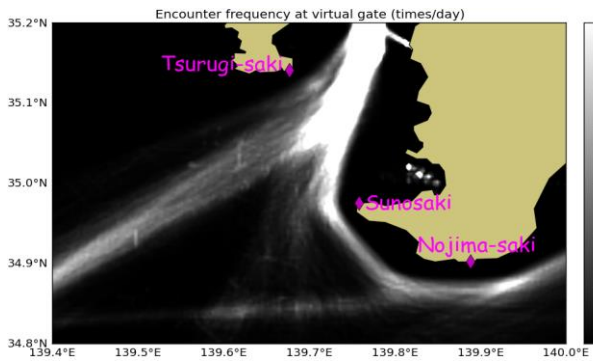


図2 各領域の1日換算の船舶遭遇頻度 (2017年6月)

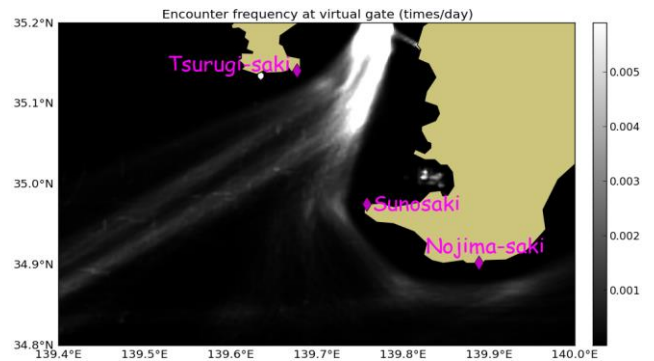


図4 追越し関係の船舶の船舶遭遇頻度 (2018年3月)

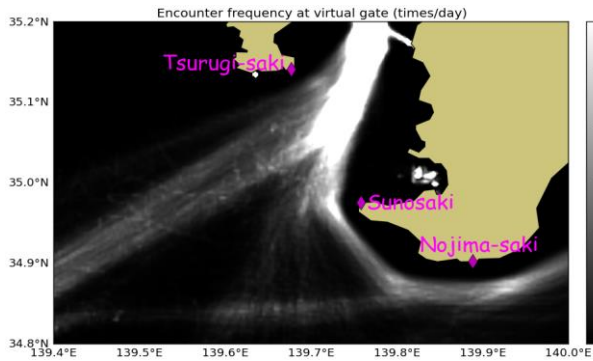


図3 各領域の1日換算の船舶遭遇頻度 (2018年3月)

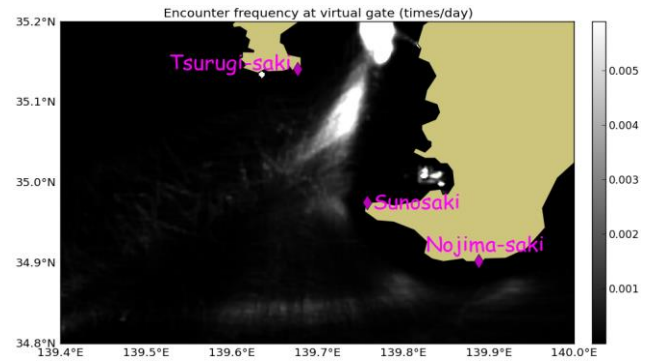


図5 横切り関係の船舶の船舶遭遇頻度 (2018年3月)

が、2018年1月より設置された伊豆大島西岸沖の推薦航路の影響も考えられるため、今後も動向を注視する必要がある。

3.2 見合い関係別の遭遇頻度

衝突の発生は、2船の見合い関係により異なると考えられている⁶⁾。本節では、2船の見合い関係を出会角 θ_{ij} で場合分けし、以下の見合い関係別に2018年3月の遭遇頻度を示す。

- ・追越しの関係：同航する他船の正横後20度を超える後方に船舶が位置する場合の2船 ($0 \leq |\theta_{ij}| < 70$)
- ・横切りの関係：同航あるいは反航する他船の進路を大きく横切る位置に船舶が位置する場合の2船 ($70 \leq |\theta_{ij}| \leq 155$)
- ・行会いの関係：反航する他船と正面あるいはほぼ正面に船舶が位置する場合の2船 ($155 < |\theta_{ij}| \leq 180$)

図4に追越し、図5に横切り、図6に行会い関係の遭遇頻度を示す。3.1節の通り、2018年3月の湾外における遭遇海域は密集していないため遭遇頻度が極めて高い領域はなかった。一方、東京湾周辺では様々な見合い関係が発生しており、それぞれ遭遇の特徴があることが示された。横切り関係の船舶の場合、湾口に遭遇海域を形成するが、湾外では追越しや行会い関係で遭遇する船舶が多かった。また、行会い関係の遭遇は一本の航路筋を形成しているが、追越し関係は複数の航路筋で遭遇海域が構成されていた。

4. まとめ

著者らが構築した輻輳海域における航行船舶の安全評価指標である船舶遭遇頻度の推定手法を用いて、東京湾口のAIS搭載船舶の遭遇を解析した。これより、月別や見合い関係別の遭遇海域や頻度の高低を把握することができた。

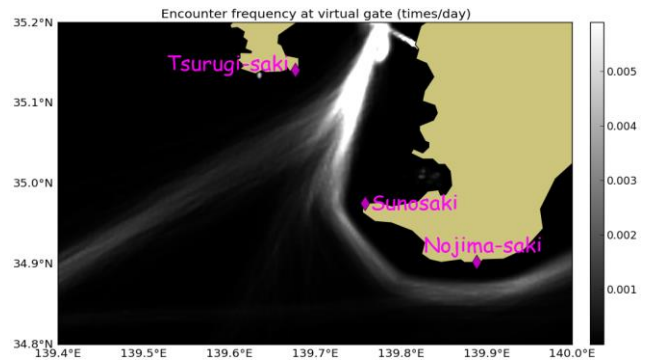


図6 行会い関係の船舶の船舶遭遇頻度 (2018年3月)

本手法は海域固有の特徴を考慮することができるため、他の海域へも適用することが可能である。

参考文献

- 1) 伊藤 他：沿海海域における船舶交通流のモデル化について、日本船舶海洋工学会論文集, 第19号, pp. 235-244, 2014.
- 2) Y. Fujii, *et al.*: The Analysis of Traffic Accidents, Journal of Navigation, Vol. 24, No. 4, pp. 534-543, 1971.
- 3) P.T. Pedersen: Collision and Grounding Mechanics, Proceedings of WEMT 95, Vol. 1, pp. 125-157, 1995.
- 4) 河島 他：輻輳海域における船舶遭遇頻度の推定手法の開発, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第26号, pp. 195-199, 2018.
- 5) 日本海難防止協会：東京湾における管制一元化に係る調査研究 報告書, 2015.
- 6) 藤井弥平 他：海上交通工学, 海文堂, pp. 81-83, 1981.