

# 分散確率的探索アルゴリズムを用いた船舶衝突回避における非協力船舶の影響

## Impact of Ego-Ships in Ship Collision Avoidance using Distributed Stochastic Search Algorithm

唐渡 裕基<sup>\*1</sup>

Hiroki Karato

平山 勝敏<sup>\*1</sup>

Katsutoshi Hirayama

沖本 天太<sup>\*1</sup>

Tenda Okimoto

金 東均<sup>\*2</sup>

Donggyun Kim

<sup>\*1</sup>神戸大学

Kobe University

<sup>\*2</sup>北京理工大学

Beijing Institute of Technology

DSSA\_SCA is a state-of-the-art distributed algorithm for solving the Ship Collision Avoidance (SCA) problem. This work empirically investigates how the existence of “Ego-Ship”, who cannot communicate her intention with neighboring ships, affects the performance of DSSA\_SCA using some sample data from www.vesselfinder.com.

### 1. はじめに

国土交通省運輸安全委員会が公開している船舶事故の統計によれば、毎年 200 件を超える船舶同士の衝突事故が発生している。船舶衝突事故による人的、経済的、環境的被害は規模によっては甚大なものとなるため、それを避ける手段として、現状、法的あるいは技術的な対策が複数講じられている。

一つ目は船舶運用規則の制定である。1972 年に国際海上衝突予防規則（通称 COLREG 条約）が制定され、その後、部分改正を重ねながら船舶衝突を防止するための国際的な船舶運用規則が確立されている。ただし、その規則は、基本的には 1 隻の船舶が他の 1 隻の船舶と対面するいわゆる 1 対 1 状況における行動指針を定めたものであるため、例えば多くの船舶が輻輳する可能性のある港湾近くの狭いエリア（輻輳海域）においてはうまく機能しない。

二つ目は管制センターの設置である。東京湾、伊勢湾、瀬戸内海のような輻輳海域には、海上交通センター（VTS センターあるいはマーチス）という管制施設が沿岸地域に設置されており、専門の管制官による管制コントロールが実施されている。現在、海上交通センターは日本国内では 7 箇所（東京、名古屋、伊勢、大阪、備讃瀬戸、来島海峡、関門海峡）に設置されている。海上交通センターの設置はもちろん有効だが、設置および維持のためのコストがかかる。また、管制コントロールには、複雑な状況における瞬時の判断が求められるため、かなりの熟練を要すると考えられる。

三つ目は近隣船舶の情報を得るシステムの利用である。ARPA（Automatic Radar Plotting Aid）というシステムでは、レーダーを使って得た近隣船舶の位置をディスプレイ上にプロットし、操船者を側面から支援する。また、AIS（Automatic Identification System）というシステムでは、それを搭載した船舶同士が互いに様々な情報（識別子、船種、位置、針路、速度、目的地など）を無線でやり取りして操船者に知らせ、その判断を支援する。なお、一定の基準を満たす船舶に対しては、AIS の搭載が国際的に義務付けられている。

筆者らは、船舶の完全自動運航の実現を目指して、マルチエージェント探索の技術を応用した分散確率的探索アルゴリズム（DSSA\_SCA: Distributed Stochastic Search Algorithm for Ship Collision Avoidance）[Kim 2017] を提案し

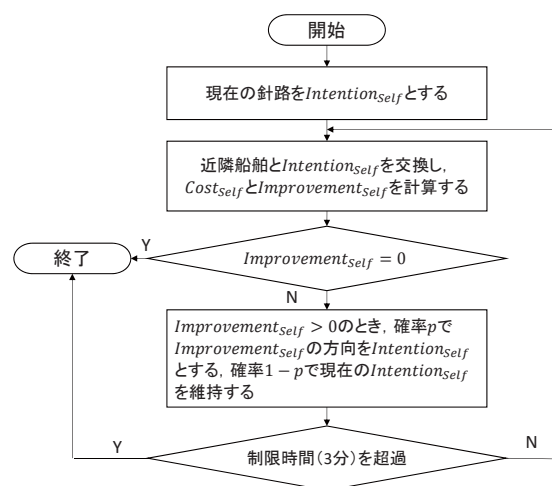


図 1: Co-Ship の手続き

た。DSSA\_SCA では、AIS のような通信機能をもった船舶同士が互いの意図を交換することにより、衝突を回避する針路を自動的に決定する。しかし、その一方で、現実の海上輸送においては、AIS 搭載義務のない漁船やプレジャーボートのような小型船が大きく船舶衝突事故に関係している。本研究では、すべての船舶が通信機能をもつ「協力的な船舶 (Co-Ship)」と仮定する DSSA\_SCA において、通信機能をもたない「非協力的な船舶 (Ego-Ship)」の存在が性能にどう影響するかをシミュレーション実験により調べる。

### 2. 協力的な船舶 (Co-Ship)

本研究では、DSSA\_SCA に従って針路を決定する船舶を「協力的な船舶 (Co-Ship)」とよぶ。Co-Ship は、図 1 の手続きに従って 3 分毎にそれぞれの針路を更新する。

$Intention_{Self}$  とは、DSSA\_SCA の実行中に暫定的に設定した仮の針路（意図）であり、検知範囲に存在する近隣船舶の意図に応じて実行中に何度も変更される可能性がある。なお、実際に Co-Ship が採用する針路は、手続きが終了した時点での最新の意図とする。

各船舶は、現在の針路を中心として、左舷方向に最大  $45^\circ$  ( $-45^\circ$ )、右舷方向に最大  $45^\circ$  ( $+45^\circ$ ) の間を  $5^\circ$  刻みで方向を

連絡先: 平山 勝敏, 神戸大学大学院海事科学研究科, 〒 658-0022 神戸市東灘区深江南町 5-1-1, hirayama@maritime.kobe-u.ac.jp

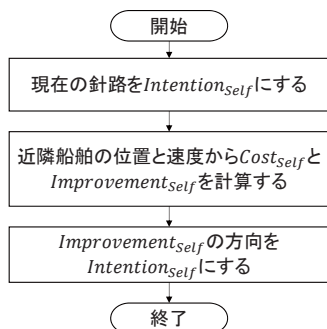


図 2: Ego-Ship の手続き

選択し、針路を変更できるものとする。各船舶は、各方向について以下に示す式でコストを計算し、コストが最小となる方向を仮の針路（意図）としてその都度確率的に選択する。

$$Cost_{Self}(crs) \equiv \alpha \sum_{j \in Neighbors} CR_{Self}(crs, j) + EF_{Self}(crs) \quad (1)$$

ここで、

$$CR_{Self}(crs, j) \equiv \begin{cases} \frac{15}{TCPA_{Self}(crs, j)} & \text{if } Self \text{ will collide with } j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

は衝突危険性を表す指標であり、具体的には自船舶  $Self$  が方向  $crs$  を選択した際の 15 分先までの状況を先読みし、船舶  $j$  と衝突すると判断される場合は衝突までの残り時間 TCPA (Time to Closest Point of Approach) の逆数をコストとして返す。一方、船舶  $j$  と衝突しないと判断される場合は 0 を返す。一方、

$$EF_{Self}(crs) \equiv \frac{|\theta_{dest} - \theta_{Self}(crs)|}{180}$$

は非効率性を表す指標であり、自船舶  $Self$  が選択する方向  $crs$  と目標地点が存在する絶対方向  $\theta_{dest}$  の差の絶対値をコストとして返す。

なお、 $Improvement_{Self}$  とは、現在選択している仮の針路 ( $Intention_{Self}$ ) から方向を変更した場合のコストの減少幅の最大値である。 $Improvement_{Self}$  の方向とは、コストの減少幅が最大となる方向を意味する。

### 3. 非協力的な船舶 (Ego-Ship)

AIS 等の通信機能を持たず、近隣船舶に対してその意図を知らせることができない船舶を「非協力的な船舶 (Ego-Ship)」とよぶ。本研究では、Ego-Ship は ARPA を搭載し、レーダーを使って近隣船舶の位置や速度を測定できると想定する。すなわち、近隣船舶の現在の針路<sup>\*1</sup>をもとに、式 (1) を用いて自船舶における各方向のコストを計算することができる。Ego-Ship は、コストを計算した後、直ちにコストの減少幅が最大となる方向に次の針路を設定する。

図 2 に Ego-Ship の手続きを示す。なお、Ego-Ship は近隣船舶と意図の交換を行わないため、Co-Ship よりも頻繁に針路を更新できると考えるのが自然である。本研究では、Co-Ship の 3 分毎に対して、Ego-Ship は 1 分毎に針路を更新できるものとした。

\*1 近隣船舶の意図ではなく、ARPA を通して観測できる針路のみに基づくことに注意。

### 4. シミュレーション実験

Co-Ship と Ego-Ship が混在する状況が結果にどう影響するかシミュレーション実験により調べる。本実験では、Co-Ship の数に対して Ego-Ship の割合を次第に増やしていき、衝突回数と遠回り率がどう変化するか測定した。遠回り率とは、(実際に航行した距離)/(最短航路の距離) で計算され、最短航路から外れるほど一般に大きな値となる。



図 3: 8 隻の船舶の位置情報

シミュレーション実験で使用するデータは、図 3 のように [www.vesselfinder.com](http://www.vesselfinder.com) 上で瀬戸内海淡路島西方の海域から任意に抽出した 8 隻の船舶の位置情報をもとに作成した。各船舶の目標地点は、データ取得時における各船舶の針路の延長上にあるものとし、すべての船舶について船速を 12 ノット、検知範囲（近隣船舶との通信可能範囲）の半径を 12 海里、安全領域（衝突と判定される範囲）の半径を 0.5 海里とした。

表 1: 衝突回数と遠回り率

	#Ego-Ship		
	0	4	8
衝突回数	0	2	3
Co-Ship の遠回り率	1	1.00289	-
Ego-Ship の遠回り率	-	1.00013	1

Ego-Ship の数を 0 隻、4 隻、8 隻と変化させたときの衝突回数と遠回り率の結果を表 1 に示す。EgoShip を増やすと衝突回数は明らかに増加する。なお、掲載していない他の問題例での実験も含め、衝突は常に Ego-Ship 間または Ego-Ship と Co-Ship 間で起こり、Co-Ship 同士が衝突することはなかった。また、Ego-Ship との衝突を避けるために Co-Ship が迂回するケースが多く、その結果、Co-Ship の遠回り率が増加することが分かった。

### 5. 今後の課題

より現実に近い設定でシミュレーション実験を網羅的に行うこと、針路変更だけでなく速度変更も可能とするよう DSSA\_SCA を拡張すること等が今後の課題として挙げられる。

### 参考文献

[Kim 2017] Donggyun Kim, Katsutoshi Hirayama, Tenda Okimoto: Distributed Stochastic Search Algorithm for Multi-ship Encounter Situations, Journal of Navigation, Vol.70, Issue 4, pp.699–718 (2017).