

PS-8 OZT 定量化手法を活用した衝突事故解析手法の構築

海洋リスク評価系 * 三宅 里奈

1. はじめに

海技研では、衝突の事故解析支援の手法として、衝突危険度指標を用いて、事故時の衝突に対する危険感を定量的に評価する手法を構築した¹⁾。指標の一つとして、他船の存在およびその運動により自船の行動空間が妨害されるゾーンを指す Obstacle Zone by Target (OZT)²⁾³⁾⁴⁾を用いている。OZTを用いた事故解析支援手法をより容易にすることを目的とし、OZT 情報から衝突危険性を定量化する手法として、OZT 閉塞度と呼ぶ指標を考案し、その有効性の検証を行った⁵⁾。本論では、その一部を紹介する。

2. OZT を用いた事故解析支援手法の課題

OZT の概念として、図 1 に衝突針路と OZT を示す。自船と他船の距離が安全航過距離 (safety passing distance: SD) になる自船の針路を衝突針路 (図中の C_{O1} および C_{O2}) という。この衝突針路に挟まれる他船の進路の線分を OZT と呼び、自他船の距離が SD 以下になる場所を意味する。なお、詳細は文献³⁾⁴⁾を参照されたい。

OZT は航海支援を目的に開発されたものであり、現在では主に自動避航の経路探索の判断材料として使用されることが多い。一方で事故解析での用途においては、自船が遭遇した OZT がどの程度危険であるかを評価する必要がある。しかしながら、自船と OZT の位置関係等を元に自船進路の閉塞の程度や余裕時間を解析し、衝突危険性を評価するため¹⁾、解析への十分な知見を要することに加え、衝突危険性の増減の定量的評価が困難という課題がある。

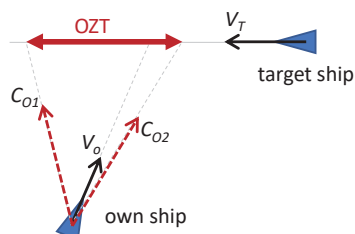


図-1 衝突針路と OZT

3. OZT の定量化手法

3.1 コンセプト

前述の課題を解決するため、3つのコンセプトを挙げて OZT の定量化を図った。1つ目は、OZT に対する自船の衝突危険性の数値化である。衝突危険性は、OZT により自船の針路が閉塞される程度と位置付け、衝突の衝突時の危険が最大となることを目指した。2つ目は、船舶の長さや速力を考慮した数値の正規化である。3つ目は、他船が複数であっても地

図上に表示可能という OZT の特徴を生かすため、自船対1隻、自船対多隻のように、評価対象隻数の選択の自由化である。

3.2 OZT 閉塞度

このコンセプトを満足する定量化手法として、OZT 閉塞度と呼ぶ指標を構築した。図 1 を例に、自船が L_o の長さ、速力が V_o とし、針路と進路が同じとする。現針路に対し OZT までの余裕時間が TCPA であるとき、速力および長さを考慮した無次元余裕時間は TCPA' は(3.1)式で表される。これを正規化し、衝突している状態が最も危険とするコンセプトを考慮すると、現針路での不安全率 R は、いずれの船舶にとって安全とする無次元化された安全余裕時間 T_0 との比として、(3.2)式で表される。また、OZT までの余裕時間が同じであっても、現針路での不安全率は、それ以外の針路よりも危険であると判断すべきと考える。そこで重み係数として、現針路からのずれによる危険減衰率 w_i を(3.3)式で表す。

最後に、OZT により閉塞される程度を表す OZT 閉塞度は、(3.4)式のように、現針路を中心とした任意の刻み幅での針路 ($i=1, 2, \dots, n$) に対する R_i と w_i の加重平均で算出する。なお、複数隻を評価する場合は、針路毎に自船から最も近い OZT を評価対象とする。

$$TCPA' = \frac{TCPA \cdot V_o}{L_o} \quad (3.1)$$

$$R = 1 - \frac{TCPA'}{T_0} \quad 0 < R \leq 1, T_0 = 15.0 \quad (3.2)$$

$$w_i = \exp(-a_c \cdot \Delta C_o) \quad , 0 < w_i \leq 1 \quad (3.3)$$

$$w_i = \begin{cases} 0.019 & (\text{right turn}) \\ 0.026 & (\text{left turn}) \end{cases}$$

$$BC_{OZT} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i \times w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (3.4)$$

4. 衝突の事故事例による検証

4.1 対象事例

OZT 閉塞度が事故解析に有効かを検証するため、事故調査報告書との比較を行った。本論では、認知の妥当性検証について紹介する。対象の事故は、2018年5月4日7時02分49頃に阪神港神戸区で発生した衝突である⁶⁾。衝突した2隻の諸元を表1に示す。

表-1 船舶諸元

	総トン数 [トン]	全長 [m]	幅 [m]
A 船	97,825	338.17	45.60
B 船	9,566	141.03	22.50

4. 2 検証

4. 2. 1 検証方法

図2は、衝突前に両船が遭遇したOZT (SD = 258.96 m) の位置である。各船の正横より前方にあるOZTのみを対象とした。図3は、このOZTの両端をSD分延長した線分を対象に、各船の針路を中心に0.1度刻みで片舷5度を条件としたときのOZT閉塞度である。網掛け部は、B船の変針前の状況である。表2に事故調査報告書から抽出した危険感を示す。OZT発生位置も一部考慮し、OZT閉塞度と危険感を比較した。

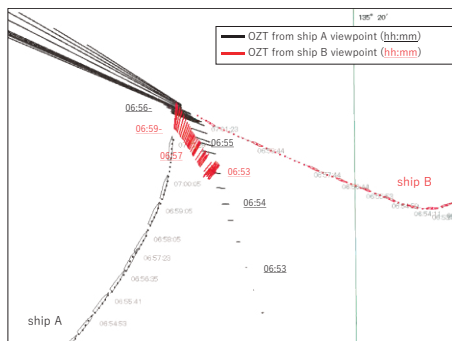


図-2 衝突までの航跡とOZT位置

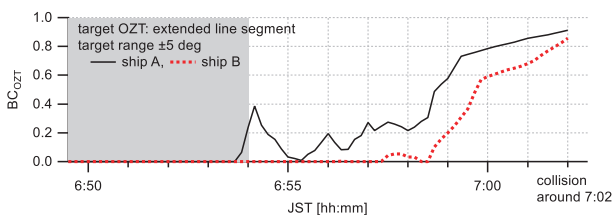


図-3 衝突までのOZT閉塞度の変化

表-2 相手船に対する危険感のタイムライン

時刻	A船	B船
06:53頃	(船長Aは) B船との衝突のおそれはないと思った。	
06:54頃		(船長Bは) B船がA船の船首方を通過できると思った。
06:55頃	(水先人Aは) A船とB船の相対方位に変化がないように感じた。	
06:57頃	(水先人Aは) A船が徐々に速力を落としていることから、B船の船尾方を通過できると思い左転を続けた。	(船長Bは) DCPA値の減少が気になったが、レーダーで見たB船の予測針路などからB船がA船の船首方を通過できると思った。
	(訓練生Aは) レーダーで確認し、B船との衝突のおそれを感じた。	
07:00頃		(船長Bは) A船が左転しているのを視認して危険を感じ、右舵10度を指示した。
07:01頃	(水先人Aは) B船との衝突のおそれを感じ、左一杯を指示した。	
07:02:49	衝突	

4. 2. 2 考察

A船について観察する。船長Aが衝突のおそれはないと判断した06:53頃、OZT閉塞度は0であり、認知状況と一致している。水先人Aが相対方位に変化がないと感じた06:55頃、OZT閉塞度は0であったが、06:54頃は最大で約0.4であり、B船が気になる状況であったことと一致している。訓練生がB船との衝突のおそれを感じたと思われる06:57から07:00の間、特に06:58から06:59はOZT閉塞度が約0.3から約0.7まで急上昇しており、衝突の危険性が高いことと一致している。

B船について観察する。船長Bが問題なく通過できると判断した06:54頃、OZT閉塞度は0であり、認知状況と一致している。船長BがDCPA値の減少が気になったが問題なく通過できると判断した06:57頃、OZTはB船の針路正面にはなく、OZT閉塞度が最大で0.05であり、通過可能の判断と一致している。船長Bが危険を感じた07:00頃、OZT閉塞度は約0.6であり、その前後でも上昇していることと一致している。

以上より、危険感の強弱とOZT閉塞度の相関は今後の課題として残るものの、危険感と一致していることから、OZT閉塞度は認知の妥当性評価に十分適用できると考える。

7. まとめ

本研究は、OZTによる衝突の事故解析を補助することを目的に、OZTを定量化する手法としてOZT閉塞度の指標を提案した。さらに、OZT閉塞度の有効性を検証するため、実際に発生した衝突の事故調査報告書に記載される危険感との比較を行い、他船に対する認知の妥当性評価に十分適用可能であることを示した。他の事例への適用可能かの検証は必要であるものの、OZT閉塞度は事故解析を補助するツールとして有効と考えられる。OZTの発生位置図等との併用により、より容易で確実な評価が可能であり、結果としてより高度な事故原因究明に貢献できると期待される。

参考文献

- 1) 三宅 里奈他：コンテナ船衝突事故に係る状況認識の評価，日本航海学会論文集，140巻（2019），pp.68-76.
- 2) 今津 隼馬他：相手船による妨害ゾーンとその表示について，日本航海学会論文集，第107号（2002），pp.191-197.
- 3) 今津 隼馬：衝突針路を使ったOZT算出方法，日本航海学会誌Navigation，第188号（2014），pp.78-81.
- 4) H. Imazu, Evaluation Method of Collision Risk by Using True Motion, J. TransNav, Vol.11, No.1（2017），pp. 65-70.
- 5) 三宅 里奈：衝突危険度評価を活用した衝突事故解析手法の確立ーOZT定量化手法の構築ー，日本船舶海洋工学会論文集，第34号（2021），pp.159-169.
- 6) 運輸安全委員会：船舶事故調査報告書，https://www.mlit.go.jp/jtsb/ship/rep-acci/2019/MA2019-6-2_2018tk0004.pdf（2022.5.10現在）