来島海峡航路における不安全操船状態の 発生傾向と海難発生傾向との対応

安田 克*・井上 欣三**・臼井 英夫**・広野 康平**

Relationship between Unsafe Ship-handling Situation and Marine Accidents at the Kurushima Strait

Masaru YASUDA, Kinzo INOUE,
Hideo USUI and Kouhei HIRONO

Abstract

An Unsafe Ship-Handling Situation (US) is known as an index that is able to estimate of a potential risk of a marine accident. It is based on the principle of Heinrich, according to this principle, an US corresponds to the detection of some several thousand hidden unsafe situations behind one obvious case of an accident.

An US can be determined, in each time section, in terms of whether or not the Time To Collision (TTC) exceeds the Short Stopping Time (SST) under the corresponding speed. The TTC is calculated as the time until the ship makes contact with the obstacle on the predicted path of ship.

In this study, it has studied from viewpoint of occurrence position of an US and marine accidents at a narrow channel, Kurushima Strait. We researched relationship between collision positions of prediction wakes and an occurrence position of marine accidents. And we defined to Emergency Level (EL) that can express affordability of avoidance of serious situations and we attempted to weight to an US frequency by EL. As a result, it is able to estimate high frequency marine accidents area from occurrence positions of an US. And it will help to determine maintenance or improvement area.

Keywords : *Marine traffic engineering, Marine accident, Unsafe ship-handling situation*

キーワード: 海上交通工学、海難事故、不安全操船状態

1. はじめに

不安全操船状態 (US : Unsafe Ship-handling situation) は、操船に対する衝突・乗揚の危険性を表す指標であり、日本の輻輳する代表的な横浜港、大阪港、神戸港の 3 港について、海難発生率と不安全操船状態の相関性については、両者の間に数千～数万分の一の関係があることが報告されている⁽¹⁾。この関係は、ハインリッヒの法則 (1 つの重大事故の背景に 29 の軽微な事故があり、その陰には 300 のニアミスが存在し、さらにその

背後には数千の不安全状態・行動が存在する) に対応しており、不安全操船状態を評価することにより海難発生率を推定することが可能となるものと考えられる。

本研究では来島海峡航路をモデルとし、操船シミュレータにより操船を行い、狭水道航行時の操船過程における不安全操船状態の発生箇所や頻度に着目し、海難の発生場所との対応を試みた。

* 正会員 神戸大学大学院 自然科学研究科海事科学専攻 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町 5-1-1)

** 正会員 神戸大学海事科学部 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町 5-1-1)

Table 1 Marine Accidents around Kurushima Strait (1994 – 2003)

Date					Type	GT	Weather	Wind Dir.	Wind Velo.	Visibility	Route	Dir.	Tide		
1994	6	28	13	30	Cargo	135	fog	NE	3	0.1			S	162	2.18
1998	10	16	3	32	Cargo	499	fine	W	0	4			S	182	0.67
2002	4	8	6	18	Tanker	499	fog	SSW	2	0.1			S	160	2.72
1997	1	6	0	10	Cargo	492	fine	WSW	12	10	Naka Suido	W	N	316	2.02
1998	10	5	1	20	Cargo	497	fine	ENE	3	10	Naka Suido	W	N	313	2.43
2001	4	20	0	0	Cargo	9548	fine	WSW	5	10	Naka Suido	W	N	303	1.51
1995	4	17	15	50	Tanker		fine	ENE	3	4			N	322	3.34
1996	7	12	14	20	Cargo	197	cloud	NE	5	10			N	325	1.95
1998	4	25	2	18	Cargo	199	fog	N	0	0.1	Naka Suido	W	N	324	2.98
1995	4	30	2	2	Cargo	498	fog	calm	0	1	Naka Suido	W	N	312	2.16
1998	4	23	12	40	Cargo	499	fog	SE	3	0.2	Naka Suido	W	N	320	2.49
2003	10	10	22	43	Tanker	297	cloud	calm	2	10			S	166	2.53
1996	5	31	8	5	Cargo	491	fog	ENE	0	0.2	Nishi Suido	W	S	163	2.85
1995	4	30	0	20	Cargo	495	fog	calm	0	1	Naka Suido	E	S	213	1.03
1998	2	5	3	30	Tanker	499	fine	SSW	5	10			S	164	3.56
1995	3	24	18	40	Cargo	554	cloud	NNW	1	2			N	314	1.68
1995	8	29	2	46	Cargo	607	cloud	calm	0	4			N	310	2.45
2002	1	11	1	20	Cargo	1662	fine	WNW	1	10	Naka Suido	W	N	325	2.47
1994	2	9	5	0	Passenger	698	fine	W	19	4			S	186	0.74
2001	8	8	11	54	Cargo	1282	cloud	ENE	2	10	Naka Suido	E	S	164	2.47
1996	7	4	8	8	Tanker	1513	fog	NNE	5	0.1	Nishi Suido	W	S	217	0.15
2001	3	14	0	30	Cargo	2316	fine	SSW	2	10			S	164	3.66
1994	1	11	9	35	Cargo	2829	cloud	calm	1	4	Naka Suido	E	S	161	3.2
2001	10	17	21	10	Cargo	4159	fine	ENE	11	10	Nishi Suido	W	S	166	4.37
1998	4	23	19	27	Cargo	4452	fog	calm	0	0.1	Naka Suido	W	S	158	2.88
2002	4	28	22	40	Cargo	4738	fine	calm	0	10			S	166	4.4

2. 来島海峡航路周辺の乗揚海難事故

海難分析の範囲は、来島海峡航路においても航路幅が狭く屈曲し、潮流の速い馬島周辺海域とした。また、海難種別は乗揚海難を対象とした。

衝突海難は事故発生時の輻輳状況や第3船の介在など発生当時の交通環境に依存し、過去の海難データからは事故発生当時の詳細な交通環境まで把握できないためである。

解析期間は1994年から2003年までの過去10年間を対象とした。

Table 1は過去10年間（1994年～2003年）において来島海峡航路周辺において発生した100トン以上の乗揚海難事故の一覧を示したもので、Fig.1はその中でもとくに馬島周辺海域において発生した乗揚海難事故について発生位置を表したものである。馬島周辺海域では23件の乗揚海難事故が発生しており、10,000トン以上の大型船の乗揚海難事故の発生は過去10年間においてはなかった。乗揚海難の発生は馬島南東部や今治東岸において多く見られる。また、小島西部においても多く見られるが、これは来島ノ瀬戸を航行する船舶の乗揚海難事故であり、武志島西岸においては東水道航行時に発生したものと考えられる。

Fig. 1 Position of Marine Accidents

3. 操船シミュレータ実験

3.1 実施方法

Table 2に操船シミュレータ実験ケースを示す。

操船シミュレータ実験は、4万DWTコンテナ船及び28万DWTVLCCを供試船とした。航行範囲は馬島周辺海域を対象とし、来島出入口付近から操船を開始し、中水道及び西水道を北航または南航し、通過後に実験を終了とした。また、操船者は来島海峡航路航行に熟練した水先人である。

3.2 不安全操船の検出

対象船舶の航跡予測には潜在的操船水域 (Potential Area of Water, PAW) の概念⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾を導入し、時々刻々の操作状態、運動状態から予測航跡を計算した。不安全な操船状態とは、この潜在的操船水域を表す一定時間断面ごとの予測航跡が陸地や浅瀬に衝突するまでの余裕時間 (Time To Collision, TTC) が、対象船舶の最短停止時間 (Short Stopping Time, SST) が小さい場合に検出される。

Fig.2 は来島海峡航路を西航する操船における一定時間断面ごと (1 秒ごと) の予測航跡を描いたものである。

4. 乗揚海難発生傾向と不安全操船状態発生傾向の対応

4.1 不安全操船状態発生分布

馬島周辺海域を 100m メッシュで区分し、各メッシュ内において発生した US 発生頻度を Fig.3 及び Fig.4 に示す。Fig.3 はメッシュ内の頻度を濃淡で示し、Fig.4 はメッシュ内での発生頻度を数値で表したものである。

図に示すように来島海峡航路航行時に発生する US 頻度は、馬島北西部の浅瀬付近 (A 海域)、馬島南東のナガセ鼻付近 (C 海域)、今治東岸の海士瀬付近 (F 海域)、中渡島西岸付近 (G 海域) において周辺より高い頻度が見られる。

Table 2 Case of Simulator experiment

Case	Model Ship	Route	Dir.	Current	
				Dir.	Velocity of narrowest area
1	40,000DWT	Naka Suido	E	S	6kt
2	Container	Nishi Suido	W		
3	280,000DWT	Naka Suido	E	N	3kt
4	Tanker	Nishi Suido	W		
5	40,000DWT	Naka Suido	W	N	6kt
6	Container	Nishi Suido	E		
7	280,000DWT	Naka Suido	W	N	3kt
8	Tanker	Nishi Suido	E

Fig. 2 Potential Area of Water (PAW)

Fig. 3 Frequency distribution of US

Fig. 4 Frequency value of US

4.2 切迫レベルによる評価の重み付け

US 発生時の TTC (衝突・乗揚までの余裕時間) の長さ、本船の SST (緊急停止時間) の長さに着目し、予測航跡が陸地や浅瀬に乗り揚げ、不安全操船状態として検出された場合において、予測航跡が乗揚げるまでの余裕度を「衝突・乗揚危険に対する切迫レベル (Emergency Level)」として定義した。

切迫レベルは(1)式に示すように 0 から 1 の数値で求めることができる。このとき、得られた値が 0 に近いほど (すなわち、 $TTC=SST$)、本船が止まることのできる時間 (SST) に極めて近いところで潜在的に乗揚げをすることを表し、危険を回避する余裕度が高いことを意味する。一方、数値が 1 に近いほど SST に対し TTC が小さく危険を回避する余裕度が小さく、危険に対する切迫レベルが高いことを意味する。

$$Emergency\ Level = 1 - \frac{TTC}{SST} \dots\dots\dots (1)$$

Fig.5 に各メッシュ内における衝突・乗揚危険に対する切迫レベルの平均値を示す。

図に示すように馬島南東岸のナガセ鼻付近 (C 海域) 及び今治東岸の海士瀬付近 (F 海域) において衝突・乗揚危険に対する切迫レベルが周辺海域に比較して高く現われた。

4.3 不安全操船状態と海難発生位置との対応

操船シミュレータ実験による来島海峡航行時における US 発生頻度及び衝突・乗揚危険に対する平均切迫レベルから、US 発生頻度の高い海域は馬島北西部 (A 海域)、馬島南東部 (C 海域)、今治東岸 (F 海域)、中渡島西岸 (G 海域) であり、乗揚危険に対する切迫レベルが高い海域は、馬島南東部 (C 海域)、今治東岸 (F 海域) であった。

Fig.6 に US 発生頻度が高く、衝突・乗揚危険に対する切迫レベルが高い海域と乗揚海難発生場所を重ねて示す。図に示すように US の発生頻度及び乗揚危険に対する切迫レベルがともに高い海域 (馬島南東部: C 海域、今治東岸: F 海域) と過去 10 年間における乗揚海難事故の多発海域が一致していることが分かる。

不安全操船状態の頻度及び衝突・乗揚危険に対する切迫レベルにおいては、絶対的な判断基準はないものの、目安として頻度 100 以上、切迫レベル 0.6 以上を判断基準として、不安全操船状態の高出現頻度海域及び乗揚までの余裕度を考慮した「衝突・乗揚危険に対する切迫レベル」の高い海域を評価することにより、乗揚海難発生海域の傾向がよく反映され得ることが分かった。

Fig. 5 Average of Emergency level

Fig. 6 Relationship between US and marine accidents

5. おわりに

不安全操船状態の発生率と海難事故の発生率の比率の関係については、数千分の1の関係があることが推定されているが、一方で本研究で行ったように「不安全操船状態の発生頻度」及び「衝突・乗揚危険に対する切迫レベル」をそれぞれ評価する考えを導入することにより、海難事故多発海域（馬島南東岸、今治東岸）との対応をとることができた。このことより今後、海難発生が予測される箇所の推定が可能になったと言える。

測航跡を計算しました。

②乗揚海難データは、第六管区海上保安本部から提供していただいたデータですが、乗揚事故発生時の詳細な航行状況までは入手出来ておりません。今後、他の海域においても同様の手法により対応を取り、モデルの信頼性を高めていきたいと考えており、その際には乗揚海難事故の発生メカニズムと不安全操船の発生メカニズムの対応も含めて研究を進めたいと考えています。

参考文献

- (1) 井上欣三他：不安全操船状態を指標とする操船の安全性評価モデル, 関西造船協会論文集, 第241号, pp. 205-210, 2004.3
- (2) INOUE K. : Concept of Potential Area of Water as an Index of Risk Assessment of Ship Handling, The Journal of Navigation, The Royal Institute of Navigation, Vol.43, No1, pp.1-7, January 1990.
- (3) 井上欣三他：海上交通安全評価のための技術的ガイドライン策定に関する研究－Ⅱ．－潜在的操船水域の概念に基づく操船の安全性評価－, 日本航海学会論文集, 第99号, pp.163-171, 平成10年9月
- (4) 井上欣三他：海上交通安全評価のための技術的ガイドライン策定に関する研究－Ⅳ．－ニアミス危険の定量化と総合評価への指針－, 日本航海学会論文集, 第102号, pp.203-209, 平成12年3月

質疑応答

岩崎寛希（国立 大島商船高等専門学校）：

- ①不安全操船状態を検出する場合の予測航跡とは、どのように求められましたか。
- ②Fig.1 の乗揚海難の原因は、単独乗り揚げか、または複合的な原因ですか。

安田 克：

- ①予測航跡の算出は、操縦運動モデル（MMG モデル）により求められます。具体的には操船シミュレータから1秒毎に出力される船の運動データ及び制御データ、外力データを運動方程式に代入し、その時点の状態が継続した場合の予