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－

井上欣三*・増田憲司**・世良 亘*・臼井英夫***

Guidelines to Assess the Safety of Marine Traffic－IV.

－Estimation of Potential Danger of Near Miss－

Kinzo INOUE, Kenji MASUDA, Wataru SERA and Hideo USUI

Abstract

The purpose of this research work is to develop a model which analyzes the relationship of cause and effect of accident in quantitative terms. It depends on the behavior of mariner whether an accident will occur or not in the shiphandling process executing under the combination of the various conditions such as external disturbances, topographical restriction and traffic congestion. In the present paper, a quantitative model to express what magnitude of potential danger of near miss is latent when a mariner takes what kind of action in the shiphandling process is proposed.

And a guideline to generalize the evaluation of the difficulty and the safety of the shiphandling is indicated by using a rating chart which is composed of the latent environmental stress value and the occurrence rate of near miss danger.

1. はじめに

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一連の研究の目的は、海上における船舶交通の評価に関する技術的手法を開発、提案するとともに、そこで開発された評価手法を適用して海上交通の安全向上方策の具体化を図ることにある。

海上交通評価に関する技術的手法の開発については、操船者を取り巻く周辺環境が課す困難性と当該条件下で操船者が実行する操船過程に潜む危険性を互いに独立な評価項目として扱い、それぞれの両側面から定量評価する必要があるとの考えにたっている。このような考えのもと、第1報⁽¹⁾においては、地形環境・交通環境など操船者を取り巻く周辺環境が操船者に課す困難性を定量評価するためのモデル(環境ストレスモデル、Environmental Stress Model)を提案し、第2報⁽²⁾においては、与えられた環境下で操船者が自船の運動を制御する過程に潜在する危険性をPAW(潜在的操船水域、Potential Area of Water)の概念を導入して定量化するための考え方を示した。また、第3報⁽³⁾では、船舶が形成する交通流に操船者という人間の技術要素が介在すると、その水域が本来課す困難性の程度が操船者の技術水準に応じて隠されるという評価技術上のむつかしさを取り上げ、潜在環境負荷と残存環境負荷の考え方を導入して、ヒューマンファクターを考慮した時の困難性評価のあり方について指針を示した。

ところで、同じ困難性の条件下でもそれが衝突や乗り揚げなど事故の危険に結び付くかどうかは操船の過程において操船者がとる行動に依存する。つまり、1船の操船に着目する時、そこで行われる操船に潜

* 正会員 神戸商船大学 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町5-1-1)

** 正会員 海技大学校 (〒659-0026 芦屋市西蔵町12-24)

*** 正会員 広島商船高等専門学校 (〒725-0200 広島県豊田郡東野町4272-1)

む危険性は、その環境条件が課す困難性のもとで操船者自らが作り出すものである。そこで、この第4報では、自然外乱条件、地形制約条件、交通輻輳条件など、与えられた環境下で操船者がどのような操船を行うと、そこにはどれほどの危険が潜在するか、事故発生の際に潜むリスクポテンシャルの大きさを定量的に表現するモデルを提案する。

具体的には、第2報に述べたPAWの概念に基づく危険性評価の考え方をもとに、操船者が感じるニアミスの危険感を組み込んだニアミス危険発生率の推定モデルを提案する。そして、第1報からここまですべて述べてきた海上交通安全評価における困難性と安全性の評価の総合化の考え方について指針を示す。

2. ニアミスの定義とその判定

ニアミスの概念は「航空機どうしが異常に接近して危うく衝突しそうになること」⁽⁴⁾と説明されるように航空機の世界では一般的である。海上交通の世界ではニアミスは概念としては存在していても用語として定義して用いられることはなかった。わずかに井上が論文⁽⁵⁾において超高速船と一般船舶との接近に対して操船者が感じる危険感をニアミスの概念に対応させて定量化した経緯があるが、最近では、海難事故の要因分析の研究においてニアミスを調査の対象にする例が増えつつある。

村山、山崎らは論文⁽⁶⁾⁽⁷⁾において、事故には至らないが緊急な危機回避行動が要求される状態において緊張、興奮、恐怖を伴ってヒヤリとするような状態を取り上げ、これを「未然事故」という用語で表現している。今津らは論文⁽⁸⁾において、事故に至る手前で事故が回避できたヒヤリハット事例を「ニアミス」と呼んでいる。そして、鈴木らは論文⁽⁹⁾において、一歩間違えば事故になるような運航状態をとりあげ、これを「危険運航」と呼んでいる。これらの研究は、そこで使用される用語はまちまちであるが、いずれも過去に遭遇したニアミス経験を操船者にアンケート調査し、ニアミス事例の抽出を通じて事故の要因を分析しようとするもので、等しくニアミスの概念を研究の対象にしている。

本研究においてもニアミスの概念を研究対象にするものの、本研究では、事故の危険要因とそれがもたらすリスクの大きさとの因果関係を解析的に定量評価するための実用モデルを開発することを目的としている。そして、すでに開発した環境ストレスモデルとここに提案するニアミス危険の定量評価モデルの両モデルの運用を通じて、人(人間要素、技術要素など)－船(船体要素、性能要素など)－環境(自然環境、地形環境、施設環境、情報環境など)で構成される海上交通に係わるシステムの改善効果を予測評価することにより、海上交通の安全向上方策の具体化を図る考えである。

本研究で用いるニアミスの概念は、先にレビューした論文に説明される概念と同じであるが、ここでは、解析モデルとしての説明に便なるように、ニアミスを『結果として事故に至らなかったものの、このままの運動状態を放置すると事故に至ったであろう状況』と定義する。

このようなニアミス状態の発生は以下の手順により判定する。図1にニアミスの判定方法を図解説明する。

- ①一連の操船を微小時間断面に区切る。
- ②各時間断面ごとに、PAW(潜在的操船水域：現在の運動状態がこのまま続くとしたときの予測航跡、Potential Area of Water)を推定する。

図1 ニアミスの判定

- ③PAWによる予測航跡が他船と衝突、または、障害物に乗り上げるまでのTTC(危険が顕在化するまでの余裕時間、Time To Collision)を計算する。
- ④TTCを操船者が感じる危険感 SJ_s (他船との接近に対する危険感、Subjective Judgment for Ship)、 SJ_L (地物との接近に対する危険感、Subjective Judgment for Land)の値に変換する⁽¹⁰⁾。
- ⑤ SJ_s 、 SJ_L の値が《非常に危険》という感覚に対応する数値指標値6を上回るかどうかによってニアミス状態であったかどうかを判定する。
- ⑥時間断面の総個数(N)に対するニアミス状態の発生回数($n[SJ_s, SJ_L \geq 6]$)の比を求めることにより、一連の操船に含まれる潜在危険をニアミス危険発生率(P_D)として定量化する。

$$P_D = n[SJ_s, SJ_L \geq 6] / N \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、式(1)において、 $n[SJ_s \geq 6]$ のみを対象に集計すれば衝突に関するニアミス危険発生率が、 $n[SJ_L \geq 6]$ のみを対象に集計すれば乗り揚げに関するニアミス危険発生率が、それぞれ独立に算定できる。

3. 狭水路航行に潜む危険性

地形、障害物、または、水深等で航行水域が制約される水路を1隻の船が単独航行する際、その操船に潜むリスクの種類は乗り揚げのリスクである。そして、このような制約された水域において実行される操船が乗り揚げに対し安全かどうか、言い換えれば、その操船に潜む乗り揚げのポテンシャルリスクの高さは、その水域においてどのような性能の船をどのような操船者がどのように操船するかで異なる。

図2、図3、図4は、幅300メートルの狭水路を設定し、この水路を3,000総トンの船が航行するときの乗り揚げのニアミス危険の発生状況を試算したものである。操船は神戸商船大学のビジュアル操船シミュレータで行い、操船者は大型船操船経験者があつた。ただし、外力の影響はないものとした。

図2は、直線水路を保針操船するときの結果である。自船の航跡から枝分かれして描かれる曲線はPAWの予測航跡を示している。この場合は極めて安定した操船がなされたことから、乗り揚げのニアミス危険は発生していない。図3は、不安定な操船を意図的に作り出すために、直線水路内で舵角5度のZテストを行った時の結果である。自船の航跡上にX印でプロットした箇所でも乗り揚げのニアミス危険が発生している。狭水路で蛇行するような不安定な操船を行うときのリスクポテンシャルの高まりがよく分かる。図4は、60度の変針操船に潜む乗り揚げのニアミス危険の発生の様子を示している。変針前に潜む前方壁への乗り揚げ危険、変針中の右側壁への乗り揚げ危険、変針後の当て舵による蛇行が招く乗り揚げ危険など、これまで操船者が感覚的にとらえていた変針操船に伴う潜在危険の存在を

図2 保針操船におけるPAW
(水路幅：300m、自船船型：3,000GT)

図3 蛇行操船に潜む乗り揚げのニアミス危険
(水路幅：300m、自船船型：3,000GT、5°Z操舵)

図4 変針操船に潜む乗り揚げのニアミス危険
(水路幅：300m、自船船型：3,000GT、変針角60度)

図5 蛇行と変針操船に潜む乗り揚げのニアミス危険

うまく説明しているといえる。

図5左図は、水路中央を直進する場合の乗り揚げニアミス危険発生率と5度Zの蛇行操船および10度Zの蛇行操船を行った場合の乗り揚げニアミス危険発生率を、水路幅300メートルおよび500メートルについて試算した結果を比較したものである。また、図5右図は、直進航行と30度変針操船および60度変針操船を行うときの乗り揚げニアミス危険発生率を、水路幅300メートルおよび500メートルについて試算した結果を比較したものである。いずれの操船も6キロメートルの距離を10ノットで航行する間を対象に5秒ごとの時間断面でニアミス危険発生率を計算した。

狭水路で蛇行するような不安定な操船には高いリスクが包含されるが、水路幅が広くなるとリスクポテンシャルはそれに応じて下がること、屈曲航路における変針操船では変針角が大きいほど高いリスクが包含されるが、水路幅が広くなるとリスクポテンシャルはそれに応じて下がることなど、どのような水路でどのような船をどのような操船者がどのように操船するとどれくらい危険なのかを数値指標で比較することが可能になった。

4. 港内操船に潜む危険性

4.1 港内交通流左折横断の危険性

近年における港湾の埋め立て沖だしによる造成法は港を奥深い形状にするとともに、水路の両側にバースを配置する例が多い。その結果、入港時、交通輻輳を縫って港の奥のバースまで長い距離を航行したり、航行距離は短いものの港口付近で主要交通流の横断が必要であったり、港内操船に新たなジレンマを与えている。このような2種類の操船において、どちらがどれほどより高いリスクポテンシャルを包含するか比較を試みた。

交通輻輳時間帯における港内操船に潜むリスクの主なものは他船との衝突のリスクである。そこで、横浜港の早朝ラッシュ時交通輻輳時間帯を対象に、横浜航路を大棧橋まで航行するケースと、防波堤通過直後に交通流を左折横断して本牧Cバースに向かうケースについて、衝突のニアミス危険発生率を算定した。操船は神戸商船大学のビジュアル操船シミュレータを用いて実施し、操船者は内航船長がたった。操船する自船は3,000総トンとして横浜港における早朝ラッシュの交通流を操船シミュレータのシナリオに再現した。

図6、図7は、大棧橋向けと本牧Cバース向けの操船結果の一例である。自船の航跡から枝分かれして描かれる曲線はPAWの予測航跡を示している。また、自船の航跡上にX印でプロットした箇所では衝突のニアミス危険が発生している。

この実験操船では、大棧橋への操船には2名の船長が、本牧への操船には4名の船長がたった。図8は、それぞれの操船に関するニアミス危険発生率を比較して示している。交通流を左折横断する操船には

図6 横浜港大棧橋向け航行に潜む衝突のニアミス危険

図7 横浜港本牧Cバース向け航行に潜む衝突のニアミス危険

明らかに高い危険性が潜在する。

4.2 船型による危険性の比較

同じ交通流条件下でも操船する自船の船型によってリスクポテンシャルの大きさは異なることが予想される。ここでは、大阪港、神戸港、横浜港の3つの国内主要港湾を対象に、操船する自船の大きさに応じてニアミス危険発生率がどのように異なるか検証した。操船は神戸商船大学のビジュアル操船シミュレータを使用して実施し、各港の早朝ラッシュ時間帯の交通流を操船シミュレータのシナリオに再現した。大阪港においては自船を300総トンと3,000総トン、神戸港においては自船を1,000総トン、3,000総トン、5,000総トン、10,000総トン、横浜港においては自船を3,000総トンとし、操船には内航船長があたった。表1にシミュレータ操船の実施ケースをとりまとめる。

図8 港内交通流左折横断の危険性

表1 シミュレータ操船の実施ケース

	大阪港			神戸港				横浜港
自船船型	300GT	3,000GT	10,000GT	1,000GT	3,000GT	5,000GT	10,000GT	3,000GT
操船者数	4名	5名	3名	4名	7名	6名	2名	2名
目的バース	28岸壁			摩耶埠頭				大棧橋

図9は、複数の操船者によるニアミス危険発生率の出現値を港ごと船型ごとに平均値を求めてプロットしたものである。概ね自船船型が大きくなるほど潜在危険度は高くなる傾向が見られた。

4.3 主要港湾の危険性比較

図10は、自船船型3,000総トンの場合について、大阪、神戸、横浜の各港に早朝ラッシュ時間帯に入港操

船するときのニアミス危険発生率の計算結果をプロットし、リスクポテンシャルの港湾間比較を試みたものである。どの港においても乗り揚げのニアミスはほとんど発生していなかった。すべてが衝突のニアミスであったとみてよい。これにより港湾間の航行危険性の順序関係が明らかになった。

なお、図10は横軸にシミュレータ操船のシナリオに設定した交通環境に対して求めた潜在環境負荷⁽³⁾をとり、縦軸はここに提案したモデルのもとで求めたニアミス危険発生率をとっている。この図は、どの港ではどれほどの困難性が課せられ、その困難性のもとで各船長はどれほどの安全な操船を行い得たかを、2次元数値座標のもとで表示している。

つまり、この一連の研究の考えの基礎としてきた「環境が課す困難性と操船者が作り出す危険性を互いに独立な評価項目として扱い、これらを総合化する評価の考え方」を視覚的に表現したものである。このようなレーティングテーブルを用意することにより、各港湾に潜在するリスクポテンシャルの絶対比較はもとより、海上交通の安全性の評価を客観的体系的に整理して表現することが可能になったといえる。

4.4 操船者の技量の評価

図10をみてわかるように、操船者自らが作り出す危険性にはばらつきがみられる。これは、同じ環境条件下でもそれぞれの操船過程で自船の位置どり、コースどり、速力設定、他船避航の時期や方法が操船者の技量や経験に応じて異なるためである。このように個人ごとの評価結果を図10に示したレーティングテーブル上にプロットすることにより、操船者個人の技量の絶対評価が可能になるとともに、一人の操船者の操船試行の結果をこのレーティングテーブル上でトレースすることにより、操船者個人の技術錬磨のプロセス評価が可能となる。

5. むすび

本論文において提案したニアミス危険発生率を評価指標とする操船の安全性評価モデルは、自然外乱条件、地形制約条件、交通輻輳条件など、与えられた種々の環境条件の組み合わせに対して、操船者がどのような操船を行うと、そこにはどれほどの危険が潜在するか、換言すると、どれほどの安全性が確保できるかを数値指標で明らかにするものである。

また、この論文では、潜在環境負荷の値とニアミス危険発生率の値を組み合わせたレーティングテーブルを用いて、環境が課す困難性と操船者が作り出す危険性を総合評価するための指針を示した。

第1報から第4報を通じて提案した困難性と安全性の定量化モデルと海上交通評価のための考え方は、ここに取り上げた港湾の安全性のレーティングのみならず、港湾の改良工事や海上建設工事が船舶交通に及ぼす影響の判断や安全対策の効果の評価等々に対して、客観的数値指標による体系的評価を可能にするものである。

図9 船型による危険性の比較

図10 レーティングテーブルを用いた主要港湾の危険性比較

また、今後、操船シミュレータを用いた教育研修や乗船履歴代替研修への操船シミュレータの導入などにおいては、インストラクターが誰であっても主観の入る余地のない客観的数値指標による公平公正な操船者個人の技能向上のプロセス評価が重要となるが、ここでの研究成果はこの面においても新しい観点からの解答を与えている。

参 考 文 献

- (1)(2)(3) 井上欣三ら：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－Ⅰ., Ⅱ., Ⅲ., 日本航海学会論文集, 第98, 99, 100号, 1998～1999年.
- (4) 広辞苑、岩波書店.
- (5) 井上欣三：航過距離に関する操船者の安全感覚－超高速船と一般船舶の意識の差異－, 日本航海学会論文集, 第86号, 1992年.
- (6) 村山義夫ら：未然事故調査試行結果について, 日本航海学会論文集, 第98号, 1998年.
- (7) 山崎裕介ら：未然事故調査試行結果と事故との比較, 日本航海学会論文集, 第100号, 1999年.
- (8) 今津隼馬ら：船舶運航時におけるニアミス事例について, 日本航海学会論文集, 第100号, 1999年.
- (9) 鈴木三郎ら：危険運航実態調査, 日本航海学会論文集, 第100号, 1999年.
- (10) 井上欣三ら：危険の切迫に対して操船者が感じる危険感の定量化モデル, 日本航海学会論文集, 第98号, 1998年.

質 疑 応 答

斎藤勝彦(神戸商船大学)：衝突や乗り揚げの結果、損害の程度をどのように考慮に入れていけばいいのでしょうか。

井上欣三：ここでのテーマは事故が発生する前に潜在するポテンシャルリスクの定量化ですので、事故が実際に発生した後の損害をこの段階で直接扱うわけではありません。次のステップで《ニアミス危険発生率×失敗率＝事故率》のような関係を明らかにする予定であり、この時点で期待事故費用といった観点から事故による損害を考慮することができると考えています。