

航路に対する安全性から見た評価方法の提案*

The proposal of the evaluation method seen from the safety to a route *

樋口直人**, 稲村肇***

By Naoto HIGUCHI**, Hajime INAMURA***

1. はじめに

1989 年 3 月, アメリカ船籍のタンカー「エクソン・ヴァルディーズ号」が, アラスカ沖で座礁した。このとき積載していた原油は約 20 万 kl。そのうちのおよそ 20%にあたる約 4 万 kl もの原油が流出したと言われている。対応の遅れと, 悪天候が重なり, 流出した原油はアラスカの海岸を数千 km にわたって汚染することとなった。このときの被害額は日本円で約 2,100 億円と言われている。他にもいくつかの事例はあるが, 大型タンカーによる海難の影響は周囲に与える影響が非常に高いといえる。

近年の船舶の大型化により, 船舶に対応した港湾整備が進められている。平成 13 年 2 月から開始された東京湾中ノ瀬航路の浚渫および, 第 3 海堡の撤去工事もその一例で, 大型船舶の航行可能領域を広げることで, 航行の安全性および海上交通の整流化を目的としたものである。東京湾や, 瀬戸内海, 関門海峡といったいわゆる輻輳海域においては, 衝突や乗揚といった海難が非常に多い。航行の安全性という面においては, 航路の整備は円滑な海上交通流を実現させるためにも非常に重要な計画といえる。

しかし, 港湾整備への公共投資に関しては, 近年風当たりが強く, 建設に要する費用に値する効用が得られるのかどうかがよく議論されている。確かに社会活動に対する便益の算出は必要であろうし, それに異を唱えはしないが, 先に述べた海難の例のように, 安全対策に対しては, 経済活動における効用とは別の尺度で評価すべきである。

そこで, 本研究においては安全性に主眼をおき, 航行シミュレーションを用いることで航路の安全性を客観的に評価する方法を提案する。

2. 海難の現状

図-1 は, 過去 20 年間における海難発生件数の推移を示したものである¹⁾。このグラフによれば海難発生件数は減少傾向にあるといえる。しかし, 船舶隻数も減少傾向にあるため, 比率的にみればそれほど減少しているわけではない。

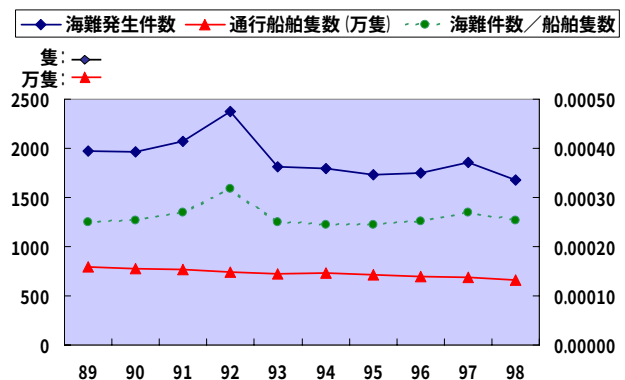


図-1 過去 20 年間の海難発生件数の推移

また, 図-2 は, 海難別の比率¹⁾である。海難とは,

- ・乗揚
- ・衝突
- ・機関故障
- ・転覆
- ・推進器故障
- ・火災
- ・親水
- ・舵故障
- ・行方不明
- ・爆発
- ・その他

といった種類に分類することができるが, これら海難のうち, 乗揚および衝突の海難で全体の約 6 割を占めている。本研究では, 航路整備に関する航行の安全性を評価するため, 乗揚および衝突を対象とする。以上のことをふまえ, 乗揚と衝突海難について, その要因を分類したものを図-3 に示す¹⁾。「見張り不十分」と「居眠り」で約 50%を占めているの

*keywords: 港湾計画, 安全性評価

**学生員: 東北大学大学院情報科学研究科

***F 会員: 工博 東北大学大学院情報科学研究科教授
〒980-8597 仙台市青葉区荒巻字青葉 06
TEL 022-217-7497, FAX 022-217-7494

がわかる。そして、航法不遵守など、人的なものとみると、海難のほぼ9割は人的要因が原因であるといえる。

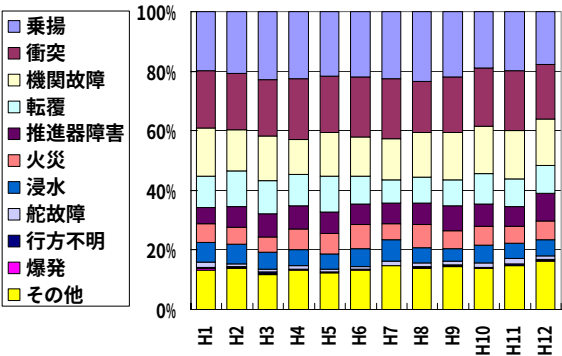


図-2 海難種別比率

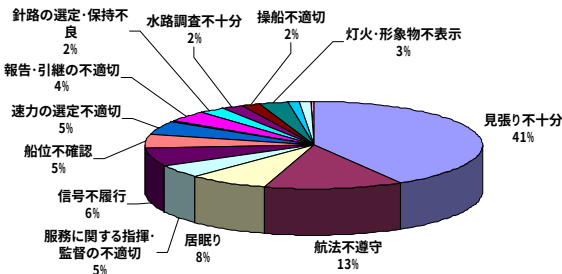


図-3 乗揚・衝突海難における要因

3. 安全性評価モデル

(1) 従来研究

港湾整備に対する評価としては、「港湾投資の評価に関するガイドライン 1999²⁾」にまとめられているように、費用対効果分析を用いるのが一般的である。このガイドライン中においては、航路整備についても述べられており、経済効果に加えて、安全便益という形で安全性も評価している。しかし、航行船舶の運航効率化に伴う輸送コスト削減便益も計上されており、輸送コスト削減便益が低いがために事業が否定されてしまう、という可能性もある。

航行の安全性評価に関しては、過去様々な研究が行われているが、そのほとんどが、アンケート調査によるもの³⁾である。近年では、井上ら⁴⁾が行っているように、操船シミュレーターを用いた研究もいくつかあるが、これも操船シミュレーターをパイロットに操船してもらい、そのときのアンケートを集計しているものである。パイロットによるシミュレー

ターの操船は、実際の航行状況を把握する上で重要であるが、海難という観点で見た場合、長時間就労等による疲労を再現するのが難しいという問題点がある。

(2) 研究フロー

本研究では、海難事故を定量的かつ客観的に評価するために、船舶の航行シミュレーションを用いて対象となる航路の安全性評価を行う。そのためのフローを図-4に示す。

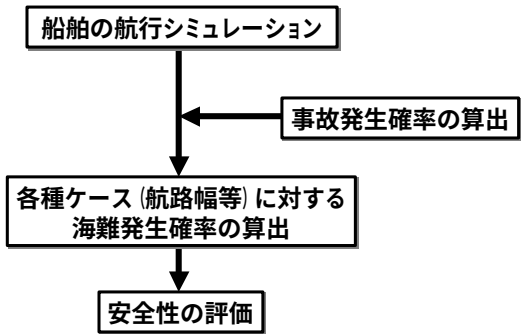


図-4 研究フロー

(3) 船舶航行シミュレーション

航路整備の評価方法として、船舶の航行シミュレーションを使用する。船舶は水上を移動するため、常に水からの抵抗力を考慮に入れなければならない。船舶の挙動をモデル化したものとしては、MMGモデル⁵⁾がよく知られている。このモデルは、船舶を、「船体」「プロペラ」「舵」の3つの部分に分け、それぞれにかかる流体力を運動方程式に組み込むことによって、船舶の挙動を表現している。このモデルはすでに実用化されており、近年の操船シミュレーターの多くはこのモデルをベースに作成されている。

図-5にMMGモデルの座標系を示す。船舶の重心から船首方向の速度成分を u 、 u に垂直な速度成分を v とし、 u および v 方向への力成分をそれぞれ X_s 、 Y_s とする。また、船舶の慣性モーメントを I （図中では N_s ）とする。実際の船舶の進行方向の速度は u と v を合成した U で表示することができる。

上記の座標系を用いて、下記の運動方程式に適用する。

$$m(\dot{u} - vr) = X_s + X_E \quad (式1)$$

$$m(\dot{v} + ur) = Y_s + Y_E \quad (式2)$$

$$I\dot{r} = N_s + N_E \quad (式3)$$

ここで、 X_s 、 Y_s 、 N_s は船体に働く力成分、

X_E, Y_E, N_E は風や潮流といった外力による影響である。 X, Y, N は旋回運動試験等の各種試験結果によって得られた船型別の係数と、設定速度等の初期条件、そして u, v, r の変数からなる関数である。未知数が3個であるため、式1～式3の常微分方程式をルンゲ・クッタ法を用いて解くことにより時間毎の結果を得ることができる。

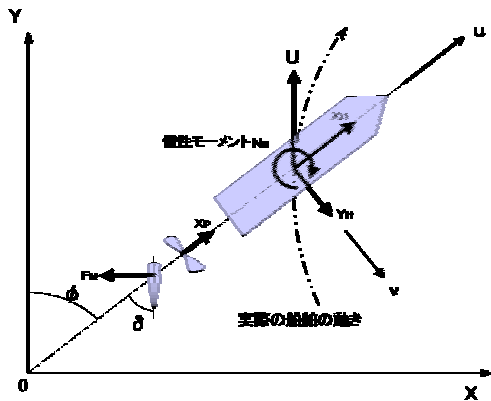


図-5 MMGモデルの座標系

しかし、MMGモデルを構築する際、当然のことながら船舶の形状に関するデータが必要となる。このデータに関しては、水槽模型実験による各種試験結果から得るよりほかはなく、様々な船型に対する実験が必要となるが、数多くある船型の種類毎にデータを入手するのは困難である。そこで今回は入手できた27万トンタンカーであるEsso Osakaのデータを用いてシミュレートを行う。

(4) 海難発生確率と海難要因発生確率

海難の発生確率を算出する方法としては、大きく2つの方法に大別することができる。一つは「港湾投資の評価に関するガイドライン」や、藤井⁶⁾が行っている、海難発生件数を通行船舶数で除する、という方法である。明確なデータがあるため、発生確率を算出しやすい方法ではあるが、将来的な確率の変化、という点では劣る。一方、的場⁷⁾らは、事故が発生する要因を詳細に分析し、各要因毎に確率変数を用意し、それらを相乗することで海難の事故発生確率を算出している。

ただし、本研究においては、後述するように海難発生確率によって海難が発生するという計算ではなく、居眠りや見張り不十分といった、人為的事故が発生することによって最終的に海難が発生するかの

うかを判断している。そこで、本シミュレーションでは、海難要因発生確率という確率を定義する。これは海難を数年に一度起こる災害と捉えると、ガンベル分布を適用して海難確率を算出することができることから、数年に一度発生するかもしれない海難確率を海難要因発生確率、すなわち居眠りや見張り不十分といった海難に繋がる可能性のある事象の発生確率とするものである。表-1に過去13年間の海難発生件数および通行船舶席数から算出した発生確率を示す。

表-1 海難発生確率

確率年	海難発生確率
1/2	0.024%
1/5	0.028%
1/10	0.030%
1/20	0.032%
1/30	0.034%
1/40	0.034%
1/50	0.035%

(5) 安全性評価

上記で得られるモデルおよび海難要因発生確率を用いて、航路に対する安全性評価を行う。図-6は本研究で用いるシミュレーションフローである。時々刻々と船舶が発生させ、各時間毎に事故（海難要因）が発生するかを算出し、その結果海難が発生するかどうかを船舶の航跡から判断を行うものとする。

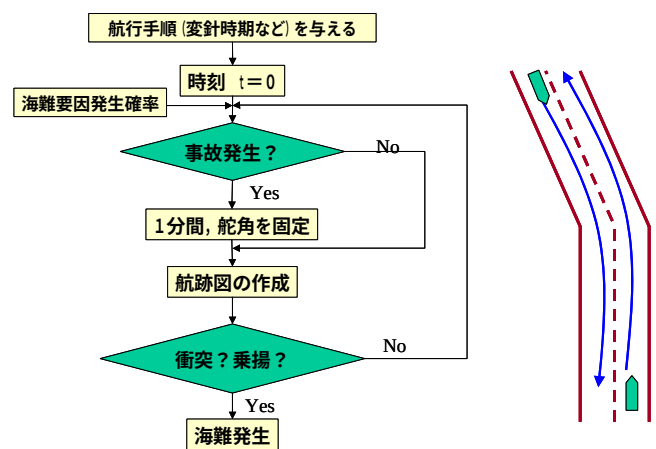


図-6 シミュレーション

なお、実際の航路における航行管制については、航路によって様々な規制が存在する。例えば伊勢湾

の伊良湖水道においては、巨大船舶が水道を渡りきるのに要する時間が平均でおよそ 10 分から 15 分であることから、同航船に関しては 10 分間隔、反航船に関しては 25 分の時差を用いることで同航船同士の追突および、航路出入口付近での交差が発生しないように考慮されている。また、速力も最大速力が規制されている。よって、シミュレーションを行う際には航行管制を考慮した形で船舶を発生させる必要がある。

4. 浦賀水道航路に対する安全性評価

評価例としてここでは東京湾の浦賀水道に対して航路幅の安全性に対する評価を行う。条件は以下の通り。

- 航行速度は 12 ノット (6m/s)
- 航路への進入は同航船に関しては 60 分間隔、反抗船に関しては相手側の船舶が入航してから 30 分後
- 海難要因発生確率は 1 / 50 年のものを使用
- 1 回の試行回数は 1 万回。これを 10 セット行う
- 航路幅を+16M、+32M (片航路) 拡幅したケースを追加して計算する

以上の条件で計算した結果を表-2 (左) に示す。まず、現状の 1 万回の試行における平均海難発生件数は 2.5 件。参考までに、表-2 (右) に示してあるのが、1989 年～1998 年までの全国における通行船舶隻数 1 万隻あたりの海難発生比率であるが、2.6 件と、近い値となっている。これを踏まえ、拡幅した結果をみると、32m 拡幅した場合で 0.4 回/万隻の海難を押さえることが出来ることがわかる。よって浦賀水道の通行船舶隻数は、98 年でおおよそ 2 万隻であることから、32m の拡幅においては約 0.8 件の海難を回避できるという結果を得ることが出来る。

表-2 シミュレーション結果 (左) と海難実績 (右)

試行回数	現状	+16M	+32M	西暦	海難発生比率 (件数/通行船舶隻)
1回目	3	3	2	'89	2.49
2回目	2	1	3	'90	2.54
3回目	2	3	2	'91	2.69
4回目	3	2	1	'92	3.19
5回目	1	3	2	'93	2.50
6回目	3	3	1	'94	2.45
7回目	4	3	3	'95	2.44
8回目	3	1	2	'96	2.52
9回目	2	3	2	'97	2.70
10回目	2	2	3	'98	2.53
平均	2.5	2.4	2.1	平均	2.60

5. おわりに

今回行ったモデルを東京湾に適用した結果、実際の海難発生比率に近い再現性を得ることができ、さらに航路を拡幅した場合に対する海難発生件数の変化を捉えることができた。ただし、航路の拡幅幅が 16m、32m の 2 種類だけであることから、今後この幅を増やすことで拡幅幅に対する海難発生件数の関数を導き出す必要がある。

また、今回評価したモデルでは、計算簡略化のため、潮流や風向といった自然条件が加味されていない。今後はより実際の評価に耐えられるよう、自然条件や、船型情報等を加味し、さらに防波堤な橋脚といった海上構造物に対しても同様の評価を行う予定である。

<参考文献>

- 1)海上保安庁：海上保安統計年報第 49 巻,1999 年
- 2)港湾投資の社会経済効果に関する調査委員会：港湾投資の評価に関するガイドライン 1999, 1999 年
- 3)例えば、今津隼人、浦環：船舶航行時におけるニアミス事例について,日本航海学会論文集 No.100, 1999 年 3 月,pp.67-73
- 4)例えば、井上欣三、増田憲司、世良亘、白井英夫：海上交通安全評価のための技術的街路ダイナミクスに関する研究 -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 No.100,1999 年 3 月,pp.203-209
- 5)日本造船学会：第 3 回操縦性シンポジウムテキスト, 1981 年
- 6)藤井弥平：海上交通事故の研究-V～損害の程度,日本航海学会論文集 No.54, 1975 年, pp.47-54
- 7)的場正明：座礁・衝突における人間信頼性に関する研究,日本造船学会論文集 No.184, 1999 年, pp.591-597