

# 海難事故解析技術の高度化 「海難事故解析センター」の活動

田村 兼吉\*、園田 敏彦\*、田口 晴邦\*

## Activity of the Marine Accident Analysis Center

by

Kenkichi TAMURA, Toshihiko SONODA and Harukuni TAGUCHI

### 1. はじめに

我が国の周辺海域では年間数千件もの数多くの海難事故が発生しているが、中でも漁船の遭難やフェリーの横転等の重大海難事故は大きく報道され、国民の関心も高いものがある。こうした重大海難事故の原因究明により事故の再発を未然に防ぎ、国民の安心・安全を確保することは優先度の高い社会的要請となっており、平成20年10月に運輸安全委員会が設置されるなど、政府においても組織的な体制整備が進められつつある。

当所では、これまでも重大海難事故発生時には種々の解析を実施し、質の高い情報提供を行ってきたが、このような社会的状況を踏まえ、平成20年9月1日海難事故解析センターを所内に開設し、海難事故に対する所内窓口を一本化した。

センター開設当初は、事故解析技術の信頼性を高めるとともに、社会的認知度を上げる努力が必要と考えていたが、実際には重大海難事故が多く発生し、その解析に追われるとともに認知度は自然に上昇している。ここでは海難事故解析センターの活動について、事故解析技術の高度化を中心に紹介することとする。

### 2. 海難事故解析センターの活動<sup>1)</sup>

海難事故解析センターでは、重大海難事故発生に際して、①国民への迅速で正確な情報提供、②関係行政機関への初動対応・対策立案に関する支援、③運輸安全委員会等の関係機関への原因究明に関する支援、④民間への安全・リスク情報等の提供、といった活動を積極的に行うこととしている。このため、これまで個別に行っていた海技研での事故対応を海難事故解析センターに一本化して海難事故に対する即応体制を整えた。体制としては、センター長1名、副センター長2名、センター員6名の9名に、上級海難分析研究員5名、顧問1名の計15名体制で、流体力学、船体運動、構造材料、舶用機関、海洋汚染等、所内の様々な分野の専門家から構成されている。もちろん、必要な場合はセンター員に留まらず、所内の必要な研究者を機動的に投入することとしている。

重大海難事故が生じた場合の作業フローを図1に示す。初期段階では、情報収集に努めるとともに、速やかに上級海難分析研究員らによる情報分析会議を開き、その時点で得られた情報をもとに海技研の見解をとりまとめ、マスコミ等の問い合わせに対して迅速な情報発信を行う。さらに時間をかけた詳しい事故原因解析を必要とする場合は、

\* 海難事故解析センター  
原稿受付 平成22年9月17日  
審査済 平成22年9月21日

解析ツールや研究施設を活用し、ソフト・ハードの両面から詳細な解析を実行し、その結果を提供していくこととなる。また、再発防止対策を立案に必要な支援については、流体、構造、機関といった様々な専門的観点から解析やシミュレーションを行い、正確で詳細な解析結果をまとめていくことになっている。

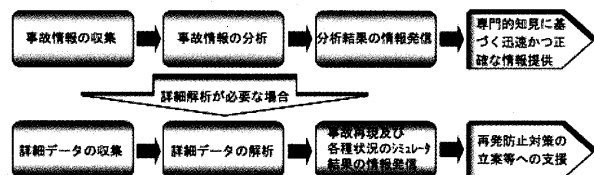


図1 海難事故解析センターの業務フロー

### 3. 基本的なツールの整備

#### 3.1 保有する解析プログラム

当所ではこれまでも主に研究上の必要性から復原性や運動性能に関する種々のプログラム開発を行ってきたが、その中で事故解析に有効と思われるものを整備し直し、即応体制を整えている。例を挙げれば、ストリップ法及び波浪中の船体運動プログラム（SRSLAM）、精密な静的状態での復原力計算プログラム、波浪中復原力曲線計算プログラム、浸水災害時の船舶状態経時変化解析プログラム、操縦性能統合評価システム等である。

一方、構造関係に関しては、汎用構造計算プログラムである NASTRAN、LS-DYNA を常時利用できる環境を整えるとともに、波浪加重、非損傷時復原性計算プログラム（NMRIW）、最終強度計算プログラム（HULLST）等を準備している。

また、油流出・漂流については、汎用の油漂流域予測プログラムである OILMAP の他、当所が開発した流出油防除支援ツール（DOG）（東京湾、大阪湾、伊勢湾）も準備している。

#### 3.2 海難データベース検索エンジン

海難データベースは、当所、海事局、海難審判庁との取り決めにより海難審判の裁決データの提供を受け当所で管理を行っているもので、平成2年～19年度（平成20年度）の海難審判庁裁決録・高等海難審判庁裁決録、全14,214件のデータを収録している。

これらは文章データであるため、センターでは、独自に検索エンジンを開発・付加することにより、このデータを18,540,022個の検索語により単語検索可能として、海難事故発生の初期段階で過去に発生した類似の事故を検索するのに役立てている（図

2参照）。また、平成20年以降の海難事故についてもデータを整備するとともに、「××灯台北東△マイル」といった位置情報の記述方式については、統計処理が容易となる緯度経度表示への変換を随時実行中である。

図2は、海難データベースの検索画面のスクリーンショットを示している。画面には「検索」ボタンと「絞り込み条件」の欄があり、検索結果のリストが表示されている。リストには「海難ID」、「事件番号」、「事件名」、「事件発生場所」、「事件発生日」、「事件発生時刻」、「船名」、「乗組員数」、「乗組員名」、「乗組員年齢」、「乗組員性別」、「乗組員職業」、「乗組員学歴」、「乗組員年収」、「乗組員年収（円）」などの項目が含まれている。

図2 海難データベース検索例

### 4. 衝突・乗揚事故の解析

海難事故の中でも当所が関係する頻度の高い船舶事故の原因を考えると、大きく次の3つに分けられる。①衝突・乗揚事故、②転覆・沈没・浸水事故、③その他の事故であり、実際に、この3つは解析手法も大きく異なる。まず①の衝突・乗揚事故について、解析手法を紹介することとする（図3参照）。

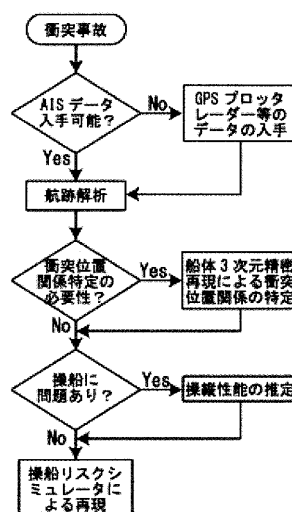


図3 衝突・乗揚事故の解析フロー

## 4.1 航跡解析

### 4.1.1 AIS データによる航跡の自動解析

AIS (Automatic Identification System : 船舶自動識別装置) は、識別符号等の船舶の固有情報や船位、針路、船速などの航海情報を VHF 無線によって自動的・周期的に他の船舶や陸上施設との間で交換するための装置である。従来のレーダや ARPA (衝突予防援助装置) 等では得られなかった他船の状況が随時把握でき、お互いの船名も分かるので、衝突予防や船舶間の情報交換に大きな貢献が期待されている。現在、下記の船舶は AIS の搭載が義務づけられており、衝突・乗揚事故の解析では AIS データの入手が基本となる。

- ・ 国際航海に従事する300GT以上の全ての船舶
- ・ 国際航海に従事する全ての旅客船
- ・ 国際航海に従事しない500GT以上の全ての船舶

AIS データは、GPS に基づいた正確な位置情報が時刻付きで得られるものの、情報更新レートは船速や進路により、2秒毎から3分毎まで動的に変化する。また、複数隻の解析では発信同期性がないため、データの比較には補間を行う必要があり、事故解析には専門性が必要となる。図4は、昨年起きたフェリー「ありあけ」の大傾斜が発生した時点の航跡図である。海技研ではさらに AIS の自動解析プログラムを開発し、初期段階での解析時間を飛躍的に短縮するとともに、ケアレスミスの防止に役立てている。

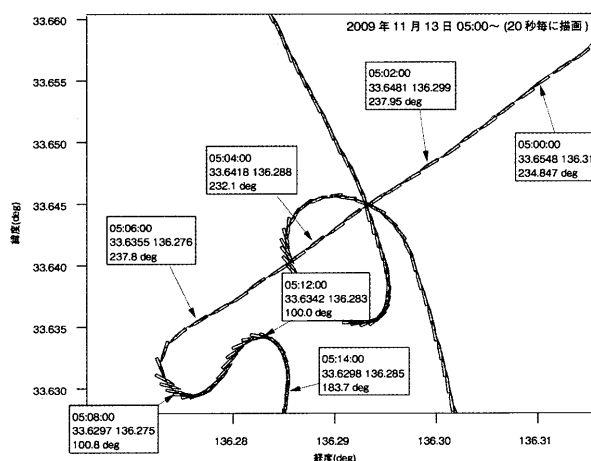


図4 フェリー「ありあけ」の航跡

また、AIS 搭載義務の無い 500 トン未満の小型内航船や漁船の絡む事故も多く、こうした場合は GPS プロッターやレーダー画像のメモリーから位置を推測する場合もある。さらに、運輸安全委員会等からの大型船での調査依頼の場合、VDR (Voyage Data Recorder : 航海情報記録装置) に記録されたデータを直接解析する場合もある。

### 4.1.2 詳細解析による衝突位置と時刻の検討

従来の AIS や GPS データの海難事故解析は、対象船を点として表示して航跡を分析しているが、GPS データの精度は米国防省の公式発表で 36m、連続計測した相対位置な関係ならば数 m 程度ある。したがって、船上アンテナの位置、船の形状、船首方位等を考慮して慎重に解析すれば、衝突位置や時刻の同定が可能である。図5はその例であり、2秒ごとの位置を図示して正確な衝突位置と時刻を特定している。

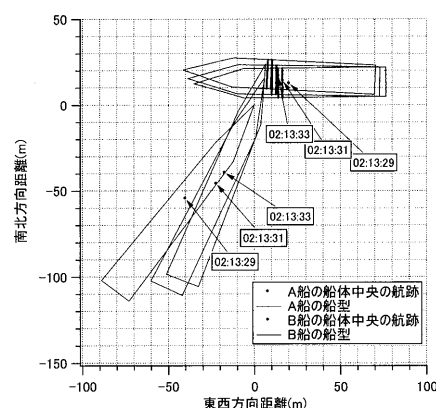


図5 衝突位置の詳細解析

## 4.2 船体3次元モデリング

事故の状況を操船リスクシミュレータで再現する場合、各船舶のモデリングには CREATOR® (PRESAGIS 社) というソフトウェアを利用している。シミュレータは見た目が全てのため、それほど精度は必要としないが、事故船の傷の位置から衝突のシナリオを推測する様な場合、船舶設計図からデータを起こし、詳細にモデリングを行っている。モデリングした船をコンピュータ上で3次元的に動かし、傷が一致する2船の位置関係を探す訳である。特に事故船が片方しか残存していない場合や、波が荒く、相対位置関係が上下方向に大きく移動していた場合等には有効な解析手段となる。

また、貨物船のクレーン等、上部構造物が大きかった場合の夜間衝突事故では、燈火の見え方が事故原因に影響を及ぼしたかどうかの推定が必要となる。この場合も、設計図や写真等から航海灯や上部構造物を含む3次元船体形状を正確に再現し、操船リスクシミュレータでその見え方を確認する、といった解析も行っている。

## 4.3 操縦性能推定計算

操船リスクシミュレータでは、事故の状況を再現するとともに、船員に同じ状況下で操船をして

もらい、どの時点から事故は避けられなくなったのか、新たな機器や情報を与えれば事故が避けられた可能性があるのか等の調査する場合がある。この時は事故船の操縦性能を推定する必要がある、この目的のため、同程度大きさの一般的な船舶の運動性能データをデータベース化し、推定支援を行う環境を整備している状況である。さらに、事故船の運動性能を推定するには、舵、プロペラ、船体形状、水深等の修正を行う必要があり、現在、これらの修正係数の決定方法等、ノウハウを蓄積中である。

また、船の運動モデルとしては、船が一定速度で航行すると仮定して、船の旋回運動を線型の方程式によって表す KT モデルを主に採用しているが、今年度中に汎用性の高い MMG モデルに変更する予定である。

#### 4.4 操船リスクシミュレータによる事故再現<sup>2)</sup>

操船リスクシミュレータによる事故再現は非常に手間のかかる作業であるが、事故原因にヒューマンファクターが大きく関わっている場合等には有効な解析手段となる。これには、航跡の精密な再現と操縦性能の推定が必須である。また、VDR の分析を行った場合は、航行状況とともに、リアルタイムで船橋内の音声状況を再現している。より臨場感のある事故再現により、ヒューマンファクター分析等の精度も上がるものと期待している。

### 5. 転覆・沈没・浸水事故の解析

海難データベースから、過去 60 件の沈没事故を解析して得られた沈没事故のシーケンスを類型化したものを図 6 に示す。もちろん、衝突・乗揚事故の結果として転覆・沈没・浸水に至る場合もあるが、操船ミスがその原因として最初に考えられる衝突・乗揚事故とは異なり、復原性が重要となる。

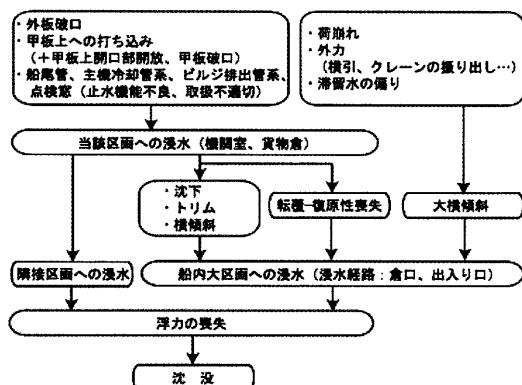


図 6 沈没事故シーケンスの類型化

転覆・沈没・浸水事故の解析フローを図 7 に示す。

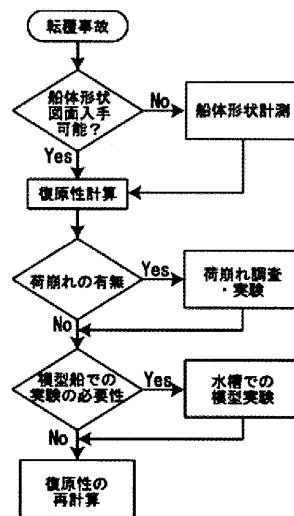


図 7 転覆・沈没・浸水事故の解析フロー

#### 5.1 船体形状計測<sup>3)</sup>

復原性の検討には船体形状データが必要不可欠であるが、事故船の場合、図面が存在しなかったり、図面には記述されていない改造が行われていたりする場合も多く、事故船自体や同型船を実際に計測する必要が生じる。こうした場合、センターでは主として 3 次元レーザースキャナー装置により船体形状を計測している。

3 次元レーザースキャナー装置は、レーザー距離測定器と 2 軸のビームスキャニング機構によって構成されており、機器内部に組み込まれたレーザーダイオードから発射された近赤外線波長 (0.9mm) のレーザー光が対象物に当たり、散乱光がフォトダイオードに受光されるまでの時間を精密測定して、観測対象物との距離を計測するものである。このような測距データは基本的には 1 次元的な情報であるが、本機の場合、回転するポリゴンミラーによってレーザービームの上下縦方向のスキャニングを実行し、同時にポリゴンミラーが格納された機器ヘッド部自体を回転させることによって、左右横方向のスキャニングを実行している。この結果、観測された対象点の位置情報は、計測器を原点とした 3 次元空間における位置座標として出力される。なお、スキャニング範囲は、上下角 $\pm 40^\circ$ 、回転角  $0^\circ \sim 333^\circ$  である。

ドック内に船が入れられると、残された部分は狭く、全体を一度に計測できるだけ船から離れて装置を設置できない場合も多い (図 8 参照)。こうした場合、装置を船体長さ方向の 1 本の直線上

に移動しながら計測し、後からデータを繋いでいる。

最近では、被計測船も計測機器を設置する船も海上にあり、波による動揺の影響を極小にしながら計測をすることが必要な事例もあった。この場合、計測機器を動揺を吸収する台座の上に設置し、複数回測定による平均化処理や、ライン方向での移動平均処理や横軸方向のスキャン結果も取り入れた平面補正等、精度向上のためのデータ処理を行った。3次元レーザースキャナー装置の導入により、転覆事故船舶の復原性能推定に要する時間を、2日から2時間程度へと飛躍的に短縮し、5mm程度の誤差と大幅精度向上も実現している(図9参照)。

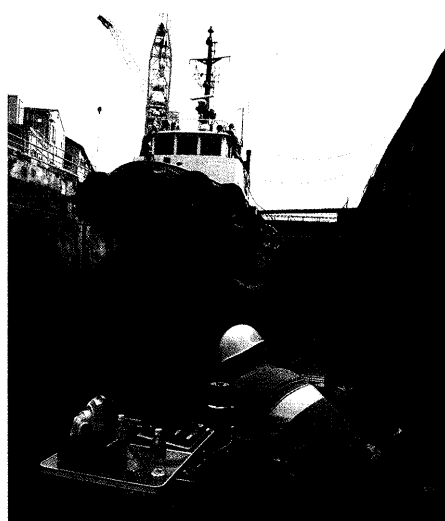


図8 ドック内での計測作業の状況



図9 計測結果の3次元データ表示画像

## 5.2 復原性計算

大傾斜事故では、波浪中による復原力減少等の要因が考えられる。こうした現象に対しても、従来の復原力計算では、斜めにした水面上での静的な復原

性計算や線形の波浪中船体運動計算(Strip法)を用いていたが、復原力変動が大きい場合、これらの適用は難しいことが考えられる。そこで、新たに時々刻々の水面下の船体形状に基づいて復原力とクリロフ力を評価できる船体運動計算プログラムを作成した。斜め追い波中の下り斜面での大傾斜やブローチング現象等、復原力が大きく変動する様々な状況下で利用できると期待している。

また、従来の静的な復原力計算でも小型ボートの転覆等では、船体内部の形状を考慮した自由水影響の計算といった特殊な状況での復原性計算が必要となる。こうした要求にも対応できるようにしている。

## 5.3 荷崩れ調査と固縛計算プログラム

船体大傾斜の原因の一つに荷崩れがあり、特にRoRo船等では重大海難を発生させる可能性を有している。熊野灘でのフェリー大傾斜事故に際してオブザーバーとして実地調査に参加し、貨物固縛方法の調査をするとともに、実船での摩擦計測等、計算に必要な諸定数の計測も独自に行っている。

この結果、従来、主として転倒による荷崩れを考慮して固縛している場合が多かったが、横滑りによる荷崩れへの配慮も非常に重要であることが明確となってきた。こうした知見を基に、固縛のばね乗数等を推定し、RoRo船でのコンテナや車両・シャーシー等の安全な固縛方法を簡単に計算できる固縛計算プログラムを作成している。

## 5.4 水槽での転覆実験

これまでの模型実験では転覆までを再現することは希であったが、事故解析では転覆可能な模型船を製作して転覆実験を実施することも行っている。模型は、重心の移動や甲板上の排水状況等を模擬可能にしており、水槽では非線形大波を発生させる等、想定し得る様々な状況についての実験を実施し、生存者証言に沿った転覆状況を再現、事故原因を明確化している。

平成22年6月には実海域再現水槽も完成したことから、より高精度かつ効率的に模型実験による事故原因究明ができるものと期待されている。

## 6. 安全啓蒙活動

センターでは、単に事故原因の解析をするだけでなく、安全対策の立案や再発防止への協力にも力を入れている。その一環として、ほたて漁船「日光丸」沈没事故のときには、事故の過程が解るCG

を製作して、これを DVD 保存にして海上保安庁各管区を通じて漁協等での指導に役立てていただいている。この事故は、作業用のクレーンを振り出したまま帰港しようとして、同調横揺れを起こし、一瞬にして転覆沈没事故となったもので、CG を使って解説することにより同調横揺れの危険性を漁業者に分かり易く示すことができた。今後もこうした活動に力を入れていきたいと考えている。

## 7. おわりに

海難事故解析センター開設以来 2 年が経過したが、この間、ほたて漁船「日光丸」沈没、漁船「第一幸福丸」転覆、貨物船「ORCHID PIA」貨物船「CYGNUS ACE」衝突、フェリー「ありあけ」船体傾斜等、多数の重大海難事故が発生し、これらの原因究明に携わってきている。現在では、海難事故が発生するとマスコミからのセンターへの問い合わせが必ずあるようになり、運輸安全委員会や国土交通省海事局等からも解析依頼も数多く頂くようになってきた。今後も専門的知見に基づく迅速な情報の提供と、事故原因解析技術の更なる向上、再発防止策の立案への支援や安全啓蒙活動への貢献を通じて、こうした信頼に応えていきたいと考えている。

海難事故解析センター問い合わせ先  
Tel: 0422-41-3277 Fax: 0422-41-3258  
E-mail: jikokaiseki@nmri.go.jp

## 謝 辞

本論文で示した事故解析手法の多くは、国土交通省海事局、運輸安全委員会、海上保安庁等からの受託研究等に関係して開発されたものである。関係各位に改めて謝意を示す。

## 参考文献

- 1) 田村兼吉：海上技術安全研究所「海難事故解析センター」の紹介、日本船舶海洋工学会誌 KANRIN、第 24 号 (2009)、pp.55-58
- 2) 田村兼吉、福戸淳司、原口富博、南真紀子：AIS データと操船リスクシュミレータによる海難事故解析、電子情報通信学会技報、SSS2008-22 (2008)、pp.23-26
- 3) 桐谷伸夫、山之内博、今里元信：狭隘環境条件における 3 次元船型形状の計測技術、日本マリンエンジニアリング学会誌、Vol.45 No.6 (2010) (掲載予定)