

# 船舶事故調査報告書

船種船名 旅客船 トッピー1

船舶番号 131269

総トン数 164トン

事故種類 衝突（鯨）

発生日時 平成24年4月22日 08時55分ごろ

発生場所 鹿児島県南大隅町佐多岬西方沖

南大隅町所在の佐多岬灯台から真方位267°3,600m付近

（概位 北緯30°59.4′ 東経130°37.3′）

平成25年9月19日

運輸安全委員会（海事部会）議決

委員長 後藤昇弘

委員 横山鐵男（部会長）

委員 庄司邦昭

委員 石川敏行

委員 根本美奈

## 要旨

### <概要>

旅客船トッピー1は、船長、一等航海士、機関長、一等機関士及び客室乗務員の5人が乗り組み、旅客184人を乗せ、水中翼の揚力によって船体を海面上に浮上させ、鹿児島県南大隅町佐多岬西方沖を鹿児島県屋久島町宮之浦港に向けて南進中、平成24年4月22日（日）08時55分ごろ海中の鯨と衝突した。

トッピー1は、旅客32人が軽傷を負うとともに、乗組員の2人が重傷及び2人が軽傷を負い、船首水中翼に脱落、船尾水中翼に破損、バルバスバウ外板、船底外板等に破口並びに第9区画及び第14区画へ浸水して分電盤等に濡損を生じた。

<原因>

本事故は、トッピー1が、佐多岬西方沖を宮之浦港に向けて翼走航行して南進中、鯨と衝突したため、発生したものと考えられる。

# 目 次

|       |                               |    |
|-------|-------------------------------|----|
| 1     | 船舶事故調査の経過.....                | 1  |
| 1.1   | 船舶事故の概要.....                  | 1  |
| 1.2   | 船舶事故調査の概要.....                | 1  |
| 1.2.1 | 調査組織.....                     | 1  |
| 1.2.2 | 調査の実施時期.....                  | 1  |
| 1.2.3 | 調査の委託.....                    | 1  |
| 1.2.4 | 原因関係者からの意見聴取.....             | 1  |
| 2     | 事実情報.....                     | 2  |
| 2.1   | 事故の経過.....                    | 2  |
| 2.1.1 | トッピー1のGPSプロッター情報による運航の経過..... | 2  |
| 2.1.2 | 乗組員の口述による本事故の経過.....          | 3  |
| 2.1.3 | 乗組員による旅客のシートベルト着用状況の点検等.....  | 4  |
| 2.1.4 | 鯨類等の目撃状況.....                 | 5  |
| 2.2   | 救助の状況.....                    | 6  |
| 2.3   | 人の負傷等に関する情報.....              | 6  |
| 2.3.1 | 本事故発生時のシートベルト着用状況.....        | 6  |
| 2.3.2 | 負傷状況等.....                    | 7  |
| 2.4   | 船舶の損傷に関する情報.....              | 8  |
| 2.5   | 乗組員に関する情報.....                | 8  |
| 2.6   | 船舶等に関する情報.....                | 9  |
| 2.6.1 | 船舶の主要目.....                   | 9  |
| 2.6.2 | 旅客の乗船状況と船体喫水.....             | 9  |
| 2.6.3 | 船舶に関するその他の情報.....             | 9  |
| 2.7   | 気象及び海象に関する情報.....             | 12 |
| 2.7.1 | 気象観測値及び潮汐.....                | 12 |
| 2.7.2 | 乗組員の観測.....                   | 12 |
| 2.8   | 航行海域における鯨類等の目撃に関する情報.....     | 12 |
| 2.9   | 類似事故例.....                    | 13 |
| 2.9.1 | 旧事故の概要.....                   | 13 |
| 2.9.2 | 旧事故後にA社及び旧運航者がとった対策.....      | 13 |
| 2.9.3 | 超高速船に関する安全対策検討委員会.....        | 13 |
| 2.10  | 本船の安全管理に関する情報.....            | 16 |

|              |                                   |    |
|--------------|-----------------------------------|----|
| 2. 1 1       | 海技研による解析調査.....                   | 19 |
| 2. 11. 1     | 水平方向の加速度に係るシミュレーション計算による解析結果..... | 20 |
| 2. 11. 2     | 垂直方向の加速度に係るシミュレーション計算による解析結果..... | 21 |
| 2. 11. 3     | 本事故発生時の旅客の挙動.....                 | 21 |
| 2. 11. 4     | 本事故の加速度評価.....                    | 22 |
| 2. 11. 5     | まとめ.....                          | 24 |
| 3            | 分 析.....                          | 25 |
| 3. 1         | 事故発生状況.....                       | 25 |
| 3. 1. 1      | 事故発生に至る経過.....                    | 25 |
| 3. 1. 2      | 衝突の状況.....                        | 25 |
| 3. 1. 3      | 事故発生日時及び場所.....                   | 26 |
| 3. 1. 4      | 人の負傷の状況等.....                     | 26 |
| 3. 1. 5      | 船舶の損傷の状況.....                     | 27 |
| 3. 2         | 事故要因の解析.....                      | 27 |
| 3. 2. 1      | 乗組員及び船舶の状況.....                   | 27 |
| 3. 2. 2      | 気象及び海象に関する解析.....                 | 27 |
| 3. 2. 3      | 操船及び見張りの状況に関する解析.....             | 28 |
| 3. 2. 4      | 鯨類の目撃等に関する状況.....                 | 28 |
| 3. 2. 5      | 乗組員による旅客のシートベルト着用に関する点検等の状況.....  | 29 |
| 3. 2. 6      | 本事故発生時の加速度と人の負傷に関する解析.....        | 29 |
| 3. 2. 7      | B社の安全管理状況に関する解析.....              | 31 |
| 3. 2. 8      | 事故発生に関する解析.....                   | 31 |
| 4            | 原 因.....                          | 32 |
| 5            | 再発防止策.....                        | 32 |
| 5. 1         | 事故後に講じられた事故等防止策.....              | 33 |
| 付図 1 - 1     | 推定航行経路図.....                      | 35 |
| 付図 1 - 2     | 推定航行経路図.....                      | 35 |
| 付図 2         | 一般配置図.....                        | 36 |
| 付図 3         | 座席配置図.....                        | 36 |
| 写真 1 ~ 1 0   | 損傷状況.....                         | 37 |
| 写真 1 1 ~ 1 3 | コックピット (全体)、コックピット (中央)、客室座席..... | 39 |
| 写真 1 4 ~ 1 6 | シートベルト着用 (表示灯、掲示板)、翼走中表示灯.....    | 39 |
| 写真 1 7 ~ 2 0 | 安全のしおり、緩衝材 (1階客室・最前列、2階客室).....   | 40 |
| 別添 1         | 「旅客船衝突事故に係る解析調査」(委託調査結果).....     | 41 |

# 1 船舶事故調査の経過

## 1.1 船舶事故の概要

旅客船トッピー1は、船長、一等航海士、機関長、一等機関士及び客室乗務員の5人が乗り組み、旅客184人を乗せ、水中翼の揚力によって船体を海面上に浮上させ、鹿児島県南大隅町佐多岬西方沖を鹿児島県屋久島町宮之浦港に向けて南進中、平成24年4月22日（日）08時55分ごろ海中の鯨と衝突した。

トッピー1は、旅客32人が軽傷を負うとともに、乗組員の2人が重傷及び2人が軽傷を負い、船首水中翼に脱落、船尾水中翼に破損、バルバスバウ外板、船底外板等に破口並びに第9区画及び第14区画へ浸水して分電盤等に濡損を生じた。

## 1.2 船舶事故調査の概要

### 1.2.1 調査組織

運輸安全委員会は、平成24年4月22日、本事故の調査を担当する主管調査官（門司事務所）ほか1人の地方事故調査官を指名した。

なお、後日、主管調査官として新たに船舶事故調査官を指名した。

### 1.2.2 調査の実施時期

平成24年4月23日～25日 現場調査、口述聴取及び回答書受領

平成24年5月14日～7月13日 旅客アンケート回答書受領

平成24年5月18日 現場調査及び回答書受領

平成24年6月13日 口述聴取

平成24年6月19日、7月9日 回答書受領

### 1.2.3 調査の委託

本事故に関し、独立行政法人海上技術安全研究所（以下「海技研」という。）に対し、本事故発生時の船体、旅客等に係る加速度等の解析及び当該加速度に対するシートベルト等の安全装具の効果の解析調査を委託した。

### 1.2.4 原因関係者からの意見聴取

原因関係者から意見聴取を行った。

## 2 事実情報

### 2.1 事故の経過

#### 2.1.1 トッピー1のGPSプロッター情報による運航の経過

トッピー1（以下「本船」という。）のGPSプロッター<sup>\*1</sup>に記録されていた位置情報によれば、本船の運航の経過は、次のとおりであった。

なお、本船のGPSプロッターには、時刻情報は記録されていなかった。

| 北緯<br>(° ′ ″) | 東経<br>(° ′ ″) | 北緯<br>(° ′ ″) | 東経<br>(° ′ ″) |
|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 31-04-49.6    | 130-37-50.2   | 31-01-45.0    | 130-37-36.0   |
| 31-04-43.0    | 130-37-49.4   | 31-01-39.0    | 130-37-35.8   |
| 31-04-36.4    | 130-37-48.8   | 31-01-33.0    | 130-37-35.5   |
| 31-04-29.8    | 130-37-48.1   | 31-01-26.3    | 130-37-35.2   |
| 31-04-23.2    | 130-37-47.3   | 31-01-20.3    | 130-37-34.8   |
| 31-04-16.6    | 130-37-46.6   | 31-01-14.3    | 130-37-34.4   |
| 31-04-10.0    | 130-37-46.1   | 31-01-08.2    | 130-37-33.9   |
| 31-04-03.4    | 130-37-45.5   | 31-01-02.2    | 130-37-33.4   |
| 31-03-56.7    | 130-37-45.0   | 31-00-56.2    | 130-37-32.9   |
| 31-03-50.0    | 130-37-44.5   | 31-00-50.2    | 130-37-32.2   |
| 31-03-43.4    | 130-37-44.1   | 31-00-44.2    | 130-37-31.5   |
| 31-03-36.6    | 130-37-43.6   | 31-00-37.6    | 130-37-30.4   |
| 31-03-29.9    | 130-37-43.2   | 31-00-30.9    | 130-37-29.3   |
| 31-03-23.2    | 130-37-42.7   | 31-00-24.2    | 130-37-28.0   |
| 31-03-16.5    | 130-37-42.2   | 31-00-18.3    | 130-37-27.0   |
| 31-03-09.8    | 130-37-41.7   | 31-00-11.7    | 130-37-25.7   |
| 31-03-03.1    | 130-37-41.1   | 31-00-05.7    | 130-37-24.6   |
| 31-02-56.4    | 130-37-40.5   | 30-59-59.7    | 130-37-23.5   |
| 31-02-49.7    | 130-37-40.0   | 30-59-53.8    | 130-37-22.5   |
| 31-02-43.1    | 130-37-39.6   | 30-59-47.4    | 130-37-21.6   |
| 31-02-36.4    | 130-37-39.2   | 30-59-41.7    | 130-37-20.9   |

<sup>\*1</sup> 「GPSプロッター」とは、全世界測位システム(GPS: Global Positioning System)により、人工衛星から得た自船の位置情報を画面の地図上に表示し、自船の航跡を描くことができる装置をいう。

|            |             |
|------------|-------------|
| 31-02-29.8 | 130-37-39.0 |
| 31-02-23.1 | 130-37-38.7 |
| 31-02-16.4 | 130-37-38.3 |
| 31-02-09.7 | 130-37-37.8 |
| 31-02-03.7 | 130-37-37.4 |
| 31-01-57.7 | 130-37-36.9 |
| 31-01-51.7 | 130-37-36.5 |

|            |             |
|------------|-------------|
| 30-59-35.7 | 130-37-20.3 |
| 30-59-29.7 | 130-37-19.9 |
| 30-59-23.7 | 130-37-19.6 |
| 30-59-11.5 | 130-37-19.7 |
| 30-59-06.1 | 130-37-23.3 |
| 30-59-01.6 | 130-37-27.8 |
| 30-59-00.4 | 130-37-29.1 |

※ 本船のGPSプロッターから抽出した位置情報の抜粋（立目埼西方沖～佐多岬西方沖）である。

### 2.1.2 乗組員の口述による本事故の経過

本事故が発生するまでの経過は、船長、一等航海士、機関長、一等機関士及び客室乗務員の口述によれば、次のとおりであった。

本船は、船長ほか4人が乗り組み、旅客44人を乗せ、平成24年4月22日07時45分ごろ鹿児島県鹿児島市鹿児島港を出港し、同県指宿市指宿港に寄港して更に旅客140人を乗船させ、08時30分ごろ旅客184人を乗せて指宿港を出港して宮之浦港に向かった。

本船は、コックピット（操舵室）内に4個のシートベルト付き座席が設けられ、船長が中央右側座席で操舵等に、機関長が中央左側座席で機関監視等に、一等航海士が右舷端座席で見張りに、一等機関士が左舷端座席で見張りにそれぞれ当たり、‘船首及び船尾に設けられている水中翼から得られる揚力で船体を海面上に浮上させて航行’（以下「翼走航行」という。）し、08時47分ごろ鹿児島県錦江湾湾口の鹿児島県南大隅町立目埼の西方沖を通過した。

本船は、‘客室乗務員を除く乗組員’（以下「運航要員」という。）3人以上で常に見張りを行うとともに、コックピットで操舵及び機関計器盤監視の役割を交替するのは運航要員4人が在橋しているときのみとする体制を採り、針路（真方位、以下同じ。）約185°、速力（対地速力、以下同じ。）約38ノット（kn）で航行していた。

船長は、コックピットの中央右舷側の座席にシートベルトを着用して腰を掛け、見張りを行いながら、操舵ハンドルを両手で持って操舵に当たり、機関長は、中央左舷側の座席にシートベルトを着用して腰を掛け、計器盤の監視及び見張りを行い、一等機関士は、前方の見通しを良くしようとし、シートベルトを着用せず、左舷端の座席の前に立って主に左舷側の見張りを行っていた。

また、一等航海士は、右舷端の座席から離れて船内巡視に赴き、客室乗務員は、

客室において、指宿港で乗船したばかりの旅客の質問等に対応し、左舷船首方に見える佐多岬の説明の船内放送を行ったのち、屋久島における注意事項を客室のモニターテレビに放映するためのビデオ再生装置の操作を行った。その後、客室乗務員は、1階客室を見回って旅客のシートベルト着用状況を点検していた。

船長は操舵ハンドルを持って操船を続け、一等航海士が、船内巡視を終えてコックピットに戻り、右舷端の座席に向かおうとしていたとき、機関長及び一等機関士が、役割を交替するため、それぞれの座席に移動したとき及び客室乗務員が1階客室の通路を歩いて旅客のシートベルト着用状況を点検していたとき、船長が時間間隔の短い2回の衝撃を感じ、本船は、船首部が前方に倒れて海面に着水し、主機及び発電機が停止して航行不能となった。

船長は、衝撃直後、コックピットの時計により、08時55分ごろの時刻及びGPSプロッターの記録により、北緯30度59.300分、東経130度37.000分の地点を確かめた。

機関長は、左舷船尾方に何かで切り裂かれた痕跡のある黒い物体及びその周囲に血が広がったような赤い海面を見て鯨と衝突したと思い、船長にその旨を報告したのち、船体等の損傷状況の点検を行った。

船長は、機関長の報告を聞き、左舷ウイングに出て左舷船尾方に広がった赤い海面を目撃したのち、コックピットで一等航海士及び一等機関士の負傷状況を、客室で旅客及び客室乗務員の負傷状況をそれぞれ確かめ、機関長から船体等の損傷状況の報告を受け、運航管理者及び海上保安庁に対し、本船が鯨と衝突したことなどの本事故の発生を通報した。

一等航海士は、左舷ウイングに出て左舷船尾方に広がった赤い海面を目撃し、本船が航行不能となる前、船内巡視を終えてコックピットに戻ったとき、左舷正横方に見えていた佐多岬が左舷船首方に見えるので、鯨との衝突によって船首が左方に向いたものと思った。

本事故の発生日時は、平成24年4月22日08時55分ごろで、発生場所は、佐多岬灯台から267°3,600m付近であった。

(付図1-1、1-2 推定航行経路図 参照)

### 2.1.3 乗組員による旅客のシートベルト着用状況の点検等

船長、一等航海士及び客室乗務員の口述によれば、次のとおりであった。

#### (1) 鹿児島港出港約5分前

船長は、シートベルト着用表示灯を表示した。

客室乗務員は、シートベルト着用を促す船内放送を行ったのち、客室を見

回って旅客のシートベルト着用状況を点検した。

(2) 鹿児島港出港後

客室乗務員は、シートベルト着用を促す船内放送を行ったのち、客室を見回って旅客のシートベルト着用状況を点検した。

一等航海士及び一等機関士は、出港の船首配置及び船尾配置を終えてコックピットに戻る際、それぞれ客室を巡視して旅客のシートベルト着用状況を点検した。

(3) 指宿港出港5分前

船長は、シートベルト着用表示灯を表示した。

客室乗務員は、シートベルト着用を促す船内放送を行ったのち、客室を見回って旅客のシートベルト着用状況を点検した。

(4) 指宿港出港後

客室乗務員は、シートベルト着用を促す船内放送を行ったのち、客室を見回って旅客のシートベルト着用状況を点検した。

一等航海士及び一等機関士は、出港の船首配置及び船尾配置を終えてコックピットに戻る際、それぞれ客室を巡視して旅客のシートベルト着用状況を点検した。

(5) 翼走航行開始後

船長は、シートベルト着用を促す船内放送を行った。

(6) 立目埼西方沖～本事故発生時

一等航海士は、船内巡視を行いながら、旅客のシートベルト着用状況を点検し、本事故発生前までに終了した。

客室乗務員は、1階客室を見回って旅客のシートベルト着用状況を点検していた。

#### 2.1.4 鯨類等の目撃状況

船長、一等航海士及び機関長の口述並びに旅客アンケート回答書によれば、次のとおりである。

(1) 本事故発生前

船首方に鯨類、鯨類の潮吹きなどを目撃した乗組員及び旅客はいなかった。

(2) 本事故発生後

機関長は、コックピットのドアを開けて左舷ウイングに出たところ、左舷船尾方に何かで切り裂かれた痕跡のある黒い物体及びその周囲に血が広がったような赤い海面を目撃した。

船長は、機関長の報告を聞き、左舷ウイングに出て左舷船尾方に広がった

赤い海面を目撃した。

一等航海士は、機関長が左舷ウイングから船長に報告するのを聞き、痛みをこらえながら、左舷ウイングに出て左舷船尾方に広がった赤い海面を目撃した。

旅客1人は、本事故発生直後に鯨が海面に浮かんで潮を吹き、その後、短時間のうちに赤くなる海面を、旅客1人は、本事故発生の約10～15分後に赤い海面の周囲に約2～3回の鯨の潮吹きのようなものを、旅客3人は、赤い海面及び鯨の潮吹きのようなものを、旅客10人は、赤い海面の中に白又は黒い物体を、旅客52人は、赤い海面をそれぞれ目撃した。

## 2.2 救助の状況

船長及び運航管理者の口述並びに海上保安庁の広報資料によれば、次のとおりであった。

本船は、風や海潮流によって東南東方に漂流して大隅海峡に至り、佐多岬と鹿児島県種子島北端との中間地点付近に達していたところ、10時11分ごろ海上保安庁のヘリコプター1機が、漂流中の本船に到着し、機動救難士3人が、本船に降下して乗組員及び旅客の負傷状況並びに船体の損傷状況を調査した上、乗組員3人をヘリコプターに吊り上げて救助し、鹿児島市に搬送して救急車に引き渡した。

海上保安庁の巡視艇が、漂流中の本船に到着し、11時15分ごろ本船のえい航を始め、その後、到着した海上保安庁の巡視船が15時00分ごろ巡視艇から引き継いで本船のえい航を続けた。

本船は、えい航されて指宿市山川港に着き、22時57分ごろ着岸して旅客及び乗組員の全員が下船し、船酔いによる体調不良者4人を含めた旅客9人が病院に搬送された。

## 2.3 人の負傷等に関する情報

一等航海士、機関長、一等機関士及び客室乗務員の口述並びに診断書及び旅客アンケート回答書によれば、次のとおりであった。

### 2.3.1 本事故発生時のシートベルト着用状況

#### (1) 旅客

アンケートに回答を得た旅客151人のうち、98%程度の148人がシートベルトを着用していた。また、シートベルト不着用は3人であり、そのうちの1人はトイレ内にいた。

#### (2) 乗組員

船長は、中央右舷側の座席に腰を掛け、操舵ハンドルを持って操船を続け

ており、シートベルトを着用していた。

一等航海士は、船内巡視を終えてコックピットに戻り、右舷端の座席に向かおうとしていたときであり、シートベルトを着用していなかった。

機関長及び一等機関士は、役割を交替するため、それぞれの座席に移動したときであり、シートベルトを着用していなかった。

客室乗務員は、1階客室の旅客のシートベルト着用状況を点検中であり、シートベルトを着用していなかった。

## 2.3.2 負傷状況等

### (1) 旅客

旅客1人は、シートベルト不着用で座席に腰を掛けていたときに負傷し、両膝打撲及び右膝皮膚欠損と診断された。

旅客1人は、トイレ内でシートベルト不着用の状態であり、水洗のボタンを押したとき、壁や便器に当たって負傷し、頸椎捻挫並びに両肩、左大腿部及び右大腿部の打撲傷と診断された。

旅客1人は、シートベルトを着用して座席に腰を掛けていたときに負傷し、頸椎及び腰椎の捻挫と診断された。

旅客2人は、シートベルトを着用して座席に腰を掛けていたときに負傷し、外傷性頸部症候群と診断された。

旅客1人は、シートベルト着用状況不明で負傷し、外傷性頸部症候群と診断された。

旅客25人は、シートベルトを着用して座席に腰を掛けていたとき及び旅客1人は、シートベルト不着用で座席に腰を掛けていたとき、前の壁、座席、テーブル、横の窓枠等に当たり、頭、胸、肩、腕、足等に軽い打撲傷、擦り傷等を負った。

なお、旅客多数が、本事故発生後、漂流中及びえい航中の船体動揺により、船酔いとなった。

### (2) 乗組員

一等航海士は、船内巡視を終えてコックピットに戻り、前方を目視で確認したのち、中央の2座席の間にあるレーダー及びGPSプロッターを長距離レンジに切り替え、右舷端の座席に向かおうとして立ち上がったとき、衝撃によってコックピット内の何かに当たって負傷し、右肩打撲傷と診断された。

機関長は、一等航海士がコックピットに戻り、運航要員が4人となったので、一等機関士と役割を交替するために左舷端の座席の横に移動して腰を掛けようとしたとき、衝撃によって頭が窓枠上部付近に、左右大腿部がテーブ

ルにそれぞれ当たって負傷し、頭部及び左右大腿部の打撲傷と診断された。

一等機関士は、機関長と役割を交替するために中央左舷側の座席に移動したとき、衝撃によって何かに当たって負傷し、右肋骨骨折と診断され、3日間入院した。

客室乗務員は、1階客室の右舷側通路を船尾方に向かって歩きながら、旅客のシートベルト着用状況を点検していたとき、衝撃によって後ろ向きの体勢で船首方に飛ばされて負傷し、外傷性頸部症候群と診断され、6日間入院した。

## 2.4 船舶の損傷に関する情報

現場調査、本船の船舶所有会社であるいわさきコーポレーション株式会社（以下「A社」という。）担当者の口述及びDamage & Repair Planによれば、本船は、船首水中翼に脱落、船尾水中翼に破損、バルバスバウ外板、船底外板及び左舷船尾外板に破口並びに第9区画及び第14区画へ浸水して分電盤等に濡損を生じた。

（写真1 船首水中翼脱落及びバルバスバウ破口、写真2 船底外板に破口、写真3 第9区画浸水、写真4 船尾水中翼ウォーターインレット破損、写真5 船尾水中翼中央付け根破損、写真6 船尾水中翼左舷船首側コーン破損、写真7 船尾水中翼左舷船尾側コーン内側擦過傷、写真8 左舷船尾外板に破口、写真9 船尾水中翼左舷側付け根部破損、写真10 第14区画船尾水中翼左舷側付け根ピボットピン部から浸水 参照）

## 2.5 乗組員に関する情報

### (1) 性別、年齢、海技免状

船長 男性 53歳

三級海技士（航海）

免許年月日 昭和60年12月12日

免状交付年月日 平成21年3月4日

免状有効期間満了日 平成26年11月29日

### (2) 主な乗船履歴等

船長の口述によれば、昭和51年から内航船に甲板員として乗船し、平成4年1月に本船の当時の運航会社（以下「旧運航者」という。）へ入社して本船及び他の水中翼船に一等航海士として乗り組み、その後、一貫して水中翼船に乗船しており、平成10年ごろ船長職に就き、平成24年4月からは新たに設立された船員配乗会社に所属し、同月から本船の新たな運航会社となった種子屋久<sup>たねやく</sup>高速船株式会社（以下「B社」という。）が運航する本船及び他の

水中翼船に乗り組んでいた。

### (3) 健康状態

船長の口述及び船員手帳によれば、健康状態は普通であり、視力（裸眼）は、左右共に1.0で、聴力は正常であった。

## 2.6 船舶等に関する情報

### 2.6.1 船舶の主要目

|        |                    |
|--------|--------------------|
| 船舶番号   | 131269             |
| 船籍港    | 鹿児島県鹿児島市           |
| 船舶所有者  | A社                 |
| 運航者    | B社                 |
| 総トン数   | 164トン              |
| Lr×B×D | 22.26m×8.53m×2.59m |
| 船質     | 軽合金                |
| 機関     | ガスタービン機関2基         |
| 出力     | 5,589kW（合計）        |
| 推進器    | ウォータージェット推進装置2基    |
| 進水年月   | 平成元年4月             |
| 最大搭載人員 | 旅客263人、船員6人計269人   |

（付図2 一般配置図 参照）

### 2.6.2 旅客の乗船状況と船体喫水

船長の口述及び旅客名簿によれば、鹿児島港出港時は、旅客44人を乗せ、船首約1.2m、船尾約1.35～1.4mの喫水であり、指宿港出港時は、旅客184人を乗せ、船首約1.35m、船尾約1.45mの喫水であった。

なお、同喫水は降ろしていた水中翼の深さを加味しない喫水であった。

### 2.6.3 船舶に関するその他の情報

現場調査、一般配置図、座席配置図及びプリフライトチェックリスト並びに船長の口述によれば、次のとおりであった。

#### (1) コックピット

コックピットは、上部甲板（2階）の船首側に配置されており、化学繊維製の2点式シートベルトが装備された4座席が左右方向に配置されていた。

中央2座席は、座面の高さが両舷端の座席よりも約30cm高く、中央右舷側の座席が操船者用、中央左舷側の座席が機関士用となっており、中央2

座席に腰を掛ければ、前方に見張りの妨げとなるものはなかった。また、両舷端の座席は、見張り員用となっていた。

計器盤は、中央2座席を前側及び両舷側の三方から囲むように配置され、計器盤には操船者用座席の前に操舵ハンドルが、操船者用座席及び機関士用座席との間には主機のスロットルレバー、レーダー、GPSプロッター等がそれぞれ設置されていた。

右舷端及び左舷端の各座席の前側のテーブルには、レーダー、VHF無線電話、主機のモニター等が置かれていた。

(写真11 コックピット (全体)、写真12 コックピット (中央) 参照)

## (2) 客室の座席配置等

客室は、主甲板に1階客室が、上部甲板に2階客室がそれぞれ設けられ、両客室は船内の階段でつながっており、1階客室の船体中央船首寄りの両舷に乗下船用ドアが設けられていた。

1階客室の座席は、客室前部には左右の舷側に各2列、中央に5列、客室中央部には左右の舷側に各2～3列、客室後部には左右の舷側に各3列、中央に4～6列配置され、合計153席設置されていた。

2階客室の座席は、客室前部から後部にかけて左右の舷側に各2列、客室中央部から後部にかけて中央に4～5列配置され、合計107席設置されていた。また、左右の舷側の座席列と中央の座席列との間が通路となっていた。

1階及び2階の客室の全座席には、化学繊維製で幅約5cmの2点式シートベルトが装備されていた。

客室乗務員用の座席は、折り畳み式であり、1階客室中央部に壁を背に船尾方に向けて、2階客室の通路の後部両舷に壁を背に右舷方及び左舷方に向けてそれぞれ設置されており、2点式シートベルトが装備されていた。

屋久島での注意事項のビデオ等を放映するテレビモニターは、1階客室には、前部の棚に2台、両舷の乗下船用ドアの船尾側に各1台及び客室乗務員用折り畳み式座席の上部壁に1台、2階客室には、前部両舷の壁に各1台及び中央の座席列の前側に置かれた棚に1台設置されていた。

ビデオ再生装置は、1階客室の客室乗務員用折り畳み式座席の左舷寄りの壁に設置されていた。

船内電話は、コックピットと1階客室との間の連絡に使用されるほか、客室乗務員が船内放送する際のマイクを兼ねており、1階客室両舷の乗下船用ドアの船首側に各1台及びビデオ再生装置設置場所に1台設置されていた。

(付図3 座席配置図、写真13 客室座席 参照)

(3) シートベルト着用表示灯等

シートベルト着用表示灯は、赤色及び翼走中表示灯は、緑色で表示され、1階客室の4か所、2階客室の2か所に上下又は左右に並べられて設置されていた。

シートベルト着用表示灯は、航海中の常時、翼走中表示灯は翼走航行中、コックピットの船長のスイッチ操作により、表示され、客室のどの座席からでも見る事ができた。

「座席にお座りの際はシートベルトをお締め下さい」と書かれた掲示板は、1階客室の3か所及び2階客室の2か所、「事故防止のため、乗船中はシートベルトの着用をお願いします。安全な航海をお楽しみいただくため、また、不測の事故に備えるため、高速翼走中はもちろん乗船中はシートベルトをご着用下さい。超高速船のシートベルトの着用は、運送約款にも定められています。乗客の守るべき義務となっていますので、ご協力をお願い申し上げます。シートベルトの着用で、安全で快適な船旅を！国土交通省九州運輸局」と書かれた掲示板は、1階客室の5か所及び2階客室の1か所設置され、それらの他に「安全のしおり」中のシートベルト及び救命胴衣着用方法が図示されたページが数箇所に掲示されていた。

「安全のしおり」は、1階及び2階の客室の前側座席の背もたれ又は前側壁にあるネット内に旅客全員分が置かれ、避難経路、シートベルト及び救命胴衣の着用方法が図示されるとともに、運送約款抜粋の「旅客の禁止行為等」が掲載されていた。

(写真14 シートベルト着用表示灯、翼走中表示灯、写真15 シートベルト着用掲示板(1)、写真16 シートベルト着用掲示板(2)、写真17 安全のしおり 参照)

(4) 船内に設置された緩衝材

コックピットは、中央2座席を囲むように設置されている計器盤の上部角両舷端の座席の前側にあるテーブルの角には、乗組員の身体が当たった場合に備えた緩衝材が施されていなかった。

1階及び2階の客室は、旅客座席前側にある棚の上部角や壁面、客室内の全ての支柱及び客室乗務員用折り畳み式座席の後頭部が当たる部分の壁に旅客や客室乗務員の身体が当たった場合に備えて緩衝材が施されていた。

(写真18 緩衝材(1階客室)、写真19 緩衝材(1階客室最前列)、写真20 緩衝材(2階客室) 参照)

(5) アクティブソナー及びアンダーウォータースピーカー装備

アクティブソナー及びアンダーウォータースピーカーは、なかった。

(6) 翼走航行時の水中翼下端の深さ

翼走航行時の水中翼下端の深さは、船首約1.95m、船尾約2.8mであった。

(7) その他

本事故当時には、船体、機関及び航海計器に不具合又は故障はなかった。

本船は、本事故後、修理費用が高額になることから、保険会社が、全損処理し、その後、修理して水中翼船を運航している日本国内の他社に売却された。

## 2.7 気象及び海象に関する情報

### 2.7.1 気象観測値及び潮汐

(1) 気象観測値

本事故発生場所の北方約15海里(M)に位置する指宿地域気象観測所における本事故発生当時の観測値は、次のとおりであった。

08時50分 風向 西北西、風速 1.2m/s、気温 19.2℃

09時00分 風向 西北西、風速 1.8m/s、気温 19.3℃

(2) 潮汐及び潮流

海上保安庁刊行の潮汐表によれば、山川港における本事故当時の潮汐は、下げ潮の初期であり、鹿児島湾口での潮流は、南南西への流れがあった。

(3) 海流

十管区海洋速報によれば、鹿児島湾南方沖では0.3～0.9knの東流があった。

### 2.7.2 乗組員の観測

船長の口述によれば、天気は晴れ、風向は西北西、風速は約6～7m/s、視程は約12km以上あり、波高は約1.5mであった。

## 2.8 航行海域における鯨類等の目撃に関する情報

船長の口述及び鯨発見記録簿によれば、次のとおりであった。

鯨類は、春～夏に多く、この時季には月間2～3頭目撃され、目撃される海域は鹿児島県西之表市馬毛島北方沖が他の海域に比べて多く、平成24年においては、2月20日に西之表市所在の西之表港沖防波堤北灯台から230°約11Mの所及び鹿児島市喜入港沖約5Mの所で、2月22日に馬毛島北方沖約5Mの所で、3月19日に佐多岬南東方沖約8Mの所でそれぞれ目撃されていた。

## 2.9 類似事故例

旧海難審判庁の裁決（平成18年門審第91号）によれば、平成18年4月9日に発生した事故（以下「旧事故」という。）に関する情報は、次のとおりであった。

### 2.9.1 旧事故の概要

本船と外形寸法、基本性能等が同一である旅客船トッピー4は、A社が所有して旧運航者が運航し、乗組員6人が乗り組んで旅客106人を乗せ、翼走航行して鹿児島港に向けて北上中、平成18年4月9日18時03分佐多岬西方沖において、海中の障害物が船尾水中翼前縁に接触して船尾水中翼が船尾方向に回転し、揚力を失って船尾が海中に引き込まれ、船尾が海面及び障害物に当たった。

旅客は、座席から浮き上がって落下するとともに、前方に投げ出されるなどして座席等に当たり、シートベルト不着用であった26人全員を含む99人が負傷し、また、乗組員は、前方に投げ出されて航海計器等に当たり、シートベルト不着用であった6人全員が負傷した。

トッピー4は、船尾水中翼及び右舷船尾船底に凹損、右舷側ガスタービン据付けトラス曲損、発電機支持溶接部破断等を生じた。

### 2.9.2 旧事故後にA社及び旧運航者がとった対策

A社担当者、B社運航管理者及び船長の口述によれば、次のとおりであった。

- (1) 海洋生物目撃情報を記載したハザードマップを作成し、減速航行区域を設定して38knで航行することとした。また、海洋生物の目撃情報を入手した海域では、状況に応じて減速、迂回等の対応を採ることとした。
- (2) 運送約款を変更し、第4章旅客の義務（旅客の禁止行為）第18条1に「翼走航行中にシートベルトを装着しないこと。（真にやむを得ない場合を除く。）」を追加した。
- (3) 旅客にシートベルト着用を要請する掲示板を増設した。
- (4) 船内放送、シートベルト着用表示灯及び乗組員の船内巡視により、旅客のシートベルト着用の徹底を図った。
- (5) 客室の緩衝材を増設し、客室座席の座面部の厚さを厚くした。
- (6) 乗組員のシートベルト着用を励行した。

### 2.9.3 超高速船に関する安全対策検討委員会

国土交通省のホームページによれば、国土交通省に設置された「超高速船に関する安全対策検討委員会」が、平成21年4月24日に公表した「超高速船に関する安全対策について（最終とりまとめ）」は、次のとおりである。

平成18年前後に、我が国近海において水中翼型超高速船が航行中に流木や鯨類

と衝突する事故が相次いだことを受け、平成18年4月に「超高速船に関する安全対策検討委員会」を設置し、水中翼型超高速船の流木等の海面にある障害物や鯨類との衝突に関する安全対策の検討を進めてきた。

(中略)

本委員会では、水中翼型超高速船が流木等の海面にある障害物や鯨類と衝突する事案について、「衝突を回避するための対策」及び「衝突した場合の乗客・乗員の被害を低減するための対策」についてとりまとめた。今後は、本とりまとめに従って、行政機関、水中翼型超高速船の運航事業者、水中翼型超高速船の製造事業者において協力・連携を図りながら、安全対策を講じていくことが必要である。

#### 1. 衝突を回避するための対策

##### (1) 流木等の障害物情報や鯨類の目撃情報の把握

###### ① 海上保安庁からの情報提供

海上保安庁が入手した流木等の障害物情報や鯨類の目撃情報の適切な活用のため、海上保安庁から水中翼型超高速船の運航事業者等に対し、航行警報やFAX等により情報提供を行ってきた。

今後も引き続き、情報提供を継続していく。

###### ② 運航事業者による鯨ハザードマップの作成

運航事業者による鯨発見情報の適切な活用のため、各運航事業者において平成18年5月以降鯨類発見情報の収集を行い、鯨ハザードマップの作成が概ね完了した。今後も、情報収集を継続しハザードマップの更新を行う必要がある。

(中略)

また、鯨類の目撃情報を活用したより安全な運航の促進やアンダーウォータースピーカーの活用促進のため、鯨類の種別に関する情報を追加して収集することが望まれる。また、情報の有効活用の観点から、運航事業者、製造業者、鯨類専門家の間で情報交換を実施することが望ましい。

##### (2) 障害物、鯨類に係る情報を活用した安全運航

障害物、鯨類への危険性を低減させるため、平成18年5月以降、各運航事業者において障害物、鯨類等の監視強化や情報入手時の連絡網整備を図るとともに、(1)で蓄積した航路上の障害物、鯨類に係る情報等を活用しつつ、各航路の特性等を踏まえ、要注意海域の設定、減速航行の実施や基準航路の変更などの所要の措置を講じている。今後とも引き続き、運航時の障害物、鯨類等の監視を継続しこれらの衝突回避に務めるとともに、障害物、鯨類に係る情報を活用した減速航行や基準航路の変更等の安全運航のための取組みを継続する必要がある。

### (3) アクティブソナーの活用

海面付近の障害物を探知する手段が実用化されれば、障害物への衝突の危険を大幅に低減することが可能となると考えられる。このため、水中翼型超高速船の製造事業者において、進行方向の浅深度の水中に超音波を発射し、障害物からの反射波をもとに探知を行うアクティブソナーの改良研究が行われた。

今回実施したソナーカバーの形状改良によるノイズ発生量の低減及びノイズ除去フィルターの性能向上により、波高1～2m程度の海象下では、海面付近の水中にある障害物を400m程度離れた距離から探知可能であることが確認され、大幅な探知性能の向上が図られた。しかしながら、現在利用可能な技術では、これより高い波高となると、波面からのノイズにより、探知確度が低下する。従って、アクティブソナーは水中翼型超高速船の実際の運航時に遭遇する全ての海象で有効に機能する障害物の探知手段とはならない。

しかしながら、波高1～2m程度の海象下では、目視による監視の補助手段として活用することも可能であり、運航事業者の自主判断により、装置の性能特性を踏まえた利用が期待される。

### (4) アンダーウォータースピーカーの活用

鯨類の忌避する音声を水中に発射することで、鯨類の回避行動を促すことができれば、鯨類との衝突回避に有効である。このため、水中翼型超高速船の製造事業者において、鯨類専門家の協力を得て、各航路に出現する鯨類の種別の特定とそれぞれの種別の鯨類が聴取可能な音声の周波数帯の特定の作業が進められている。この後、当該種別の鯨類が回避行動をとる音声の特定の作業が進められることとされている。

これらの調査には、なおしばらくの期間を要することから、現在の作業を継続し、装置の有効性の確認を経て、運航事業者において活用することが望まれる。

## 2. 衝突した場合の被害を低減するための対策

### (1) シートベルトの技術基準の制定

(省略)

### (2) シートベルトの着用

船舶の運航時に適切にシートベルトが着用されていれば、衝突時の被害が低減される。このため、運航事業者において、運送約款に乗客のシートベルト着用の義務を規定するとともに、船内における掲示や乗客へのアナウンス等によりシートベルト着用の周知徹底が図られている。

### (3) 万が一に備えた船内への緩衝材の取付け

衝突時の衝撃により乗客が船内の構造物に打ち付けられる万一の事態においては、船内に緩衝材等が取り付けられていれば被害の軽減につながる。このため、平成18年5月以降、運航事業者において船内の所要の箇所に緩衝材の設置が進められ、我が国の全ての水中翼型高速船において措置がとられている。

### 3. その他 (後略)

## 2.10 本船の安全管理に関する情報

A社担当者、B社運航管理者及び船長の口述並びに安全管理規程、運航基準、作業基準、安全運航確保のためのマニュアル及び船内放送マニュアルによれば、次のとおりであった。

### (1) B社

B社は、A社が所有する本船を含む水中翼船3隻を裸用船し、船舶の保守管理はA社が行い、船員配乗会社に移籍した旧運航者の船員を配乗させ、他の船舶所有者から裸用船したほぼ同型の水中翼船3隻と共に合計6隻により、平成24年4月1日から「鹿児島（鹿児島港、指宿港）～種子島（西之表港）～屋久島（宮之浦港、屋久島町安房港）」の間で海上運送法に定める一般旅客定期航路事業（以下「種子屋久航路」という。）を営んでいた。

### (2) 安全管理体制

B社は、海上運送法に基づいて安全管理規程を定め、同管理規程に基づき、運航基準、作業基準及び船内巡視要領を定めたほか、旧運航者の安全運航確保のためのマニュアル、船内放送マニュアル等を引き継いで使用していた。

### (3) 安全管理規程等

#### ① 安全管理規程

第1章～第9章（省略）

第10章 運航に必要な情報の収集及び伝達

（中略）

（運航基準図）

第32条 運航管理者は、運航基準図を各航路及び各船舶ごとに作成しなければならない。

2（省略）

3 運航基準図に記載すべき事項は、運航基準に定めるところによる。

（後略）

## ② 運航基準

第1章～第2章 (省略)

第3章 船舶の航行

(中略)

(運航基準図等)

第6条 運航基準図に記載すべき事項は次のとおりとする。

なお、運航管理者は、当該事項のうち必要と認める事項について運航基準図の分図、別表等を作成して運航の参考に資するものとする。

(1)～(7) (省略)

(8) 鯨類が頻繁に出没する(目撃される)ため、減速、回避すべき海域

(9) その他航行の安全を確保するために必要な事項

(後略)

◎鹿兒島～種子・屋久航路 運航基準図(別表)

①～④ (省略)

⑤ 注意すべき事項

(中略)

### ・減速航行

佐多岬から立目埼並びに安房港から早埼の区間を38knotの速力にて減速航行を行うこと。また、馬毛島より南方海域の基準経路上については、水中生物等の目撃情報があることから、注意喚起して航行を行うこと。また、水中生物の目撃情報が入った海域においては海況、気象状況等に応じて減速や迂回等により安全な運航に努めること。

### ・水中物体等の目撃報告の励行と諸情報への留意による安全航行

水中物体を目撃した際は、速やかに運航管理者へ連絡するとともに、自社船並びに関係官庁・他社船からの情報に留意して安全運航に努めること。

## ③ 作業基準

第1章～第3章 (省略)

第4章 乗下船作業

(中略)

(船内巡視)

第11条 船内巡視は船内巡視要領により実施する。

2 (省略)

3 船内巡視員は、異常の有無(安全確保上改善を必要とする事項がある

場合は当該事項も含む。)を船長又は当直航海士に報告し、巡視結果を巡視記録簿に記録する。

(後略)

④ 船内巡視要領

- 1 巡視時間 出港直後・立目埼沖通過時  
巡視回数 2回
- 2 巡視者 一等航海士
- 3 (省略)
- 4 巡視事項 旅客等が遵守すべき事項の遵守状況  
船内設備の異常並びに不審物・不審者の有無
- 5 旅客等が遵守すべき事項の遵守状況(禁止事項)  
(1)～(5) (省略)  
(6) 翼走航行中にシートベルトを装着しないこと(真にやむを得ない場合を除く。)

⑤ 安全運航確保のためのマニュアル

全ての乗務員は安全運航の一層の確保を図るために下記のことを完全に実施すること。

□減速航行

- ・佐多岬から立目埼並びに安房港から早埼の区間を3.8knotにて減速航行を行うこと。
- ・馬毛島より南方海域の基準経路上については、水中生物等の目撃情報があることから注意喚起して航行を行うこと。  
また、水中生物の目撃情報が入った海域においては、海況、気象状況等に応じて減速や迂回等により安全な運航に努めること。

□水中物体等の目撃情報の励行と諸情報への留意による安全航行

- ・水中物体を目撃した際は、速やかに運航管理者へ連絡すること。
- ・自社船並びに関係官庁・他社船からの情報に留意して安全運航に努めること。

□シートベルト着用案内及び巡視

既に船内の18ヶ所に「シートベルト着用」の表示をしている。

- ・出港前  
事務部により船内放送並びに一航士による巡視船内放送  
シートベルト着用サインの点灯
- ・出港後  
S/B解除後、一航士並びに一機士による巡視

事務部による船内放送並びに巡視

・中間地点

一航士並びに事務部による巡視

・入港前

S/B開始前、一航士並びに一機士による巡視

#### ⑥ 船内放送マニュアル

(前略)

<5分前>

本船間もなく出港いたします。お客さまはご着席のうえ、必ずシートベルトの着用をお願いいたします。(2回)

(中略)

<出港>

(中略)

本船間もなく浮上開始致します。安全のため、必ずシートベルトの着用をお願い申し上げます。

<浮上完了>

(中略)

航海中は、漂流物などを避けるため、また、危険を回避するため、やむを得ず急旋回や、急停止する場合がございます。航海中は、できる限りご着席のうえ、必ずシートベルトをおしめくださいますようお願い申し上げます。

(後略)

#### (4) 乗組員に対する教育研修

旧運航者は、平成24年3月以前、安全管理規程に基づき、本船製造会社と協力して作成した詳細な取扱説明書等を用い、数年に1回、乗組員に対して約1週間の座学教育を行っており、最近では、平成23年10月及び平成24年2月に実施していた。また、全国の水中央船運航会社が集まる会議が年1回開催されており、そこで得た全ての情報を乗組員に周知していた。

B社は、自社の安全管理規程、運航基準等を運航する各船に配布したものの、種子屋久航路の運航を始めて日が浅く、乗組員に対する教育研修を実施しておらず、本船の乗組員は、B社の運航基準とほぼ同じである旧運航者の運航基準によって本船を運航していた。

#### 2.1.1 海技研による解析調査

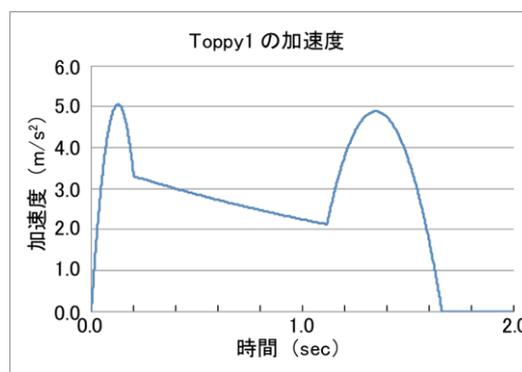
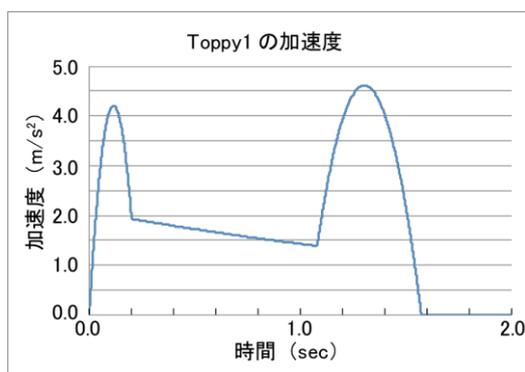
本事故発生時の船体、旅客等に係る加速度等の解析及び当該加速度に対するシート

ベルト等の安全装具の効果の解析結果は、次のとおりであった。

### 2.11.1 水平方向（前進方向）の加速度に係るシミュレーション計算による解析結果

解析結果は、以下のように総括できる。図2.11-1に衝突のシミュレーション結果及び図2.11-2に鯨の体重と付加質量が衝撃荷重及び衝撃加速度の最大値に及ぼす影響の計算例を示す。

- (1) 本船は、速力38knで翼走航行中、船首水中翼及び船尾水中翼（翼間距離19m）が体重30tを超える大型鯨類と連続して衝突したとすれば、0.4G～0.5G程度の水平方向（前進方向）の衝撃加速度が1.2秒程度の間隔で2度生じる。なお、体重30tは、本事故後に事故現場から60km程離れた場所で負傷した死体が確認されているザトウクジラの標準体重の最大値である。また、本船の航行海域でよく目撃されるマッコウクジラの標準体重は、45tである。
- (2) 鯨の体重が衝撃加速度に及ぼす影響はさほど顕著ではなく、30tから45tに増加しても、衝撃加速度の最大値の増加量は、船首水中翼への衝突では20%程度、船尾水中翼への衝突では6%程度である。
- (3) 鯨の遊泳速度が衝撃加速度に及ぼす影響もさほど顕著ではなく、静止状態の0knから本船に向かって5knまで増速しても、衝撃加速度の増加量は、船首水中翼との衝突、船尾水中翼との衝突のいずれも6%程度である。
- (4) 前記(1)～(3)の結果は、衝撃加速度の上限が水中翼のアブソーバ（前翼）やヒューズピン（後翼）の破断強度に依拠しているためであり、この値が衝撃加速度の上限を与える一番重要な要素である。



トッピー1の初速：38kt（19.55m/s） 鯨の初速：-5kt（-2.57m/s）  
鯨の体重：30,000kg（左図）、45,000kg（右図）  
鯨の付加質量：10,000kg（左図）、付加質量：15,000kg（右図）

図2.11-1 衝突のシミュレーション結果

| 鯨の体重  | 付加質量  | 最大値発生時刻1 | 前翼最大荷重     | 最大加速度1           | 最大値発生時刻2 | 後翼最大荷重     | 最大加速度2           | 擦過力係数      |
|-------|-------|----------|------------|------------------|----------|------------|------------------|------------|
| kg    | kg    | sec      | N          | m/s <sup>2</sup> | sec      | N          | m/s <sup>2</sup> | N/(m/s)    |
| 30000 | 10000 | 0.116    | 4.7970E+05 | 4.2079E+00       | 1.301    | 5.2831E+05 | 4.6343E+00       | 1.1130E+04 |
| 33000 | 11000 | 0.118    | 4.9924E+05 | 4.3793E+00       | 1.313    | 5.3452E+05 | 4.6888E+00       | 1.2770E+04 |
| 36000 | 12000 | 0.120    | 5.1866E+05 | 4.5496E+00       | 1.322    | 5.4066E+05 | 4.7426E+00       | 1.4360E+04 |
| 39000 | 13000 | 0.122    | 5.3800E+05 | 4.7193E+00       | 1.330    | 5.4661E+05 | 4.7948E+00       | 1.5910E+04 |
| 42000 | 14000 | 0.124    | 5.5736E+05 | 4.8891E+00       | 1.339    | 5.5237E+05 | 4.8453E+00       | 1.7430E+04 |
| 45000 | 15000 | 0.126    | 5.7629E+05 | 5.0552E+00       | 1.347    | 5.5786E+05 | 4.8935E+00       | 1.8890E+04 |

トッピー1の初速：38kt (19.55m/s) 鯨の初速：-5kt (-2.57m/s)

図2.11-2 鯨の体重と付加質量が衝撃荷重及び衝撃加速度の最大値に及ぼす影響

### 2.11.2 垂直方向の加速度に係るシミュレーション計算による解析結果

シミュレーションによって導かれる衝突後の船体挙動については、船首水中翼の脱落により、船首水中翼の揚力が失われて船首の落下運動が始まり、また、重力と船尾水中翼の揚力によって回転運動が発生する。衝突の0.8秒後の少し前で船首船底が最初に着水し、その後、約0.15秒で船底全面が着水する。この時、上向きに衝撃的な加速度が発生する。衝突の1.2秒後にはトリム0°となる。

図2.11-3に計算例とし、1階客室最前列の座席及び上部甲板コックピットの中央右舷側の座席（2階操縦席）における垂直方向加速度時系列を示す。垂直方向加速度の最大値は、1階客室最前列の座席で上向き加速度の3.3Gであった。また、下向き加速度の最大値は、0.5G程度で1G以下であり、座席から腰が浮くような状態は発生しないことが分かった。

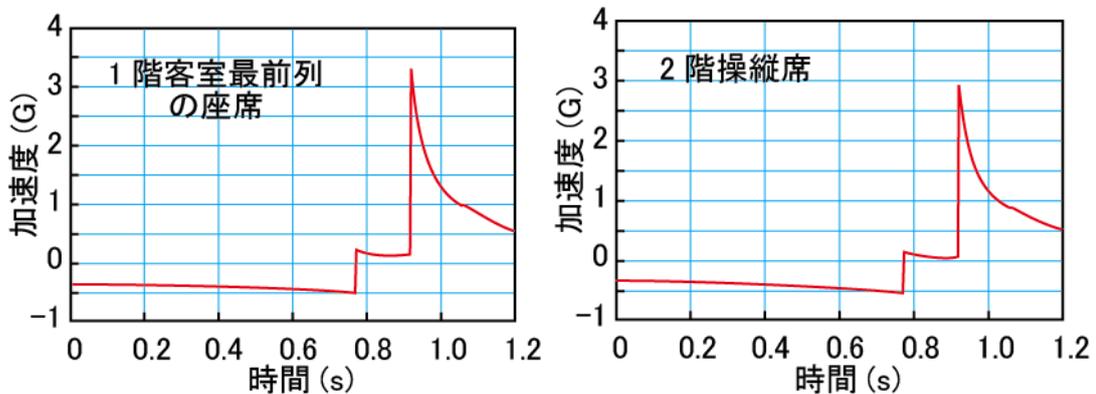


図2.11-3 1階客室最前列の座席及び2階操縦席における垂直方向加速度時系列

### 2.11.3 本事故発生時の旅客の挙動

本事故時に乗船していた旅客数は184人であり、本事故後のアンケート回答書を受領したのは151人であった。アンケート回答書によれば、本事故時にシート

ベルトを着用していなかった旅客は3人だけであり、アンケートの回答を得た旅客の98%程度の者がシートベルトを着用していた。

アンケート回答書等（アンケートに回答せずに運航会社に診断書を提出した旅客が1人いた。）によれば、旅客の負傷者は、32人であり、旅客の17%程度であった。

旅客の症状の大半は、前方の座席等に身体が当たったことによる打撲、捻挫、擦り傷等であった。なお、シートベルトの長さ調節と負傷との関係は明確でなかった。

#### 2.11.4 本事故の加速度評価

本船には、速力38knで翼走航行中に本船を浮上させている船首水中翼及び船尾水中翼が体重30tを超える大型鯨類と連続して衝突したとすれば、0.4G～0.5G程度の水平方向（前進方向）の衝撃加速度が1.2秒程度の間隔で2度生じたものと考えられる。この衝撃加速度の持続時間は、0.2秒程度である。一方、垂直方向の上向き加速度の最大値は、3.3Gであるが、持続時間は非常に短いと考えられる。また、下向き加速度の最大値は、0.5G程度であったものと考えられる。

文献<sup>\*2</sup>によれば、人間が水平方向の加速度及び垂直方向の加速度にどの程度まで耐えられるかは、まず、図2.11-4に基づき、加わる加速度の大きさ及び作用時間を決定し、その後、図2.11-5に基づき、無傷、中程度の受傷又は重傷を決定する。

図2.11-5によって判断すれば、水平方向の0.5G程度、垂直方向の3.3G程度の加速度はいずれも無傷域にあり、加速度だけで負傷することはないことが分かる。また、垂直方向の下向き加速度も0.5Gと1Gを超えないため、腰が浮いたのち、座席に落下することによる負傷も考慮する必要はない。

したがって、本事故では、シートベルト不着用の場合、前進方向の加速度で身体が船首方へ飛ぶ（持って行かれる）ことにより、座席等の様々な物体に当たることのみが負傷の原因であると言える。

シートベルト不着用の場合、0.5Gの前進方向の加速度が2回身体に掛かるという状況は非常に厳しい状況であり、自身の力で身体が船首方へ飛ぶことを抑えることはできない。特に、前後に遮るものがない通路を歩行中に後ろ向きの体勢で船首方に飛ばされた客室乗務員が、乗組員及び旅客中で最も重い負傷をしたことはこれを裏付けるものである。

---

<sup>\*2</sup> 文献：D. E. Goldman, H. E. Von Gierke、中村円生・松野正徳・長谷川武「衝撃・振動の人体への影響」医歯薬出版

シートベルト不着用の3人の旅客の場合、座席等がすぐ前にあったり、狭いトイレの中であったりしたため、身体が大きく飛ばされることがなく、軽傷で済んだものと考えられる。

一方、腰だけを固定するシートベルトを着用していた場合、身体が大きく飛ばされることは防げても、上半身は座席の中で前後に揺すられ、額や肩が前の座席等に当たることは防ぎきれないため、旅客の17%程度の者が軽傷を負うこととなった。

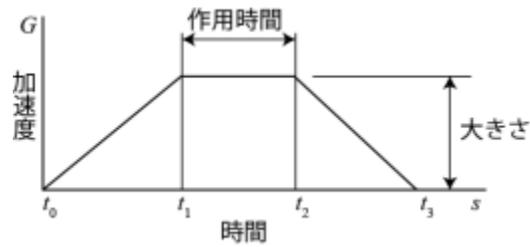


図2.11-4 人間に加わる加速度と作用時間

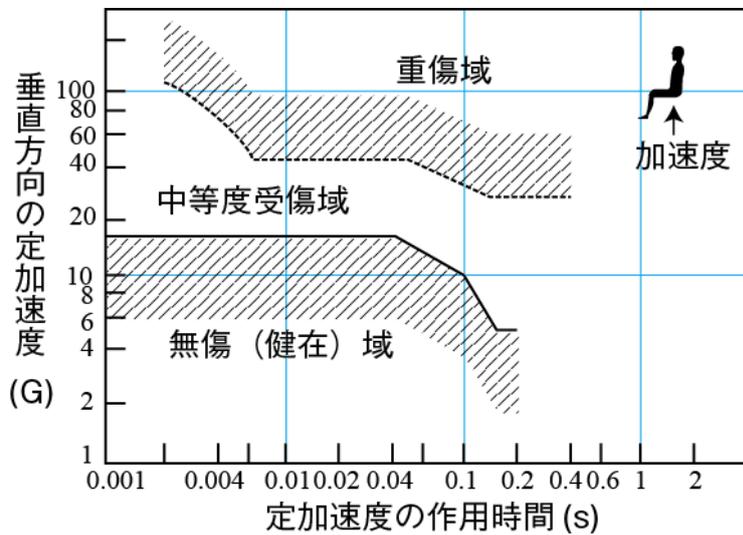
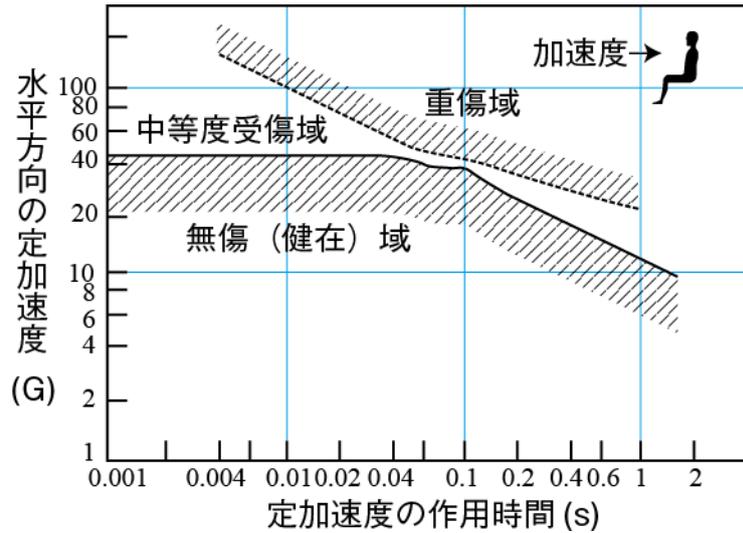


図 2. 1 1 - 5 人間が耐えられる加速度

2.11.5 まとめ

本船は、速力 38 kn で翼走航行中、本船を浮上させている船首水中翼及び船尾水中翼が体重 30 t を超える大型鯨と連続して衝突したとすれば、0.4 G ~ 0.5 G 程度の水平方向（前進方向）の加速度が 1.2 秒程度の間隔で 2 度生じることとなり、乗組員及び旅客が、シートベルト不着用で船首方へ飛ばされて座席等の様々な物体に当たり、また、シートベルトを着用していても上半身が前の座席等に当たって負傷したものと考えられる。

本事故では、旅客が軽傷者のみであったことは、アンケートの回答を得た旅客の 98% 程度の者がシートベルトを着用しており、旧事故後の事故対策が確実に実施され、有効に働いたことを示している。今後、旅客に対し、更にシートベルトの確実な着用を徹底することが、事故が起こった場合の負傷者発生の減少及び負傷の程

度の軽減に最も効果があると考えられる。また、巡回などでシートベルトを外すことの多い乗組員及びシートベルトの常時着用が困難な客室乗務員に対しては何らかの対策が必要であると考えられる。

## 3 分析

### 3.1 事故発生の状況

#### 3.1.1 事故発生に至る経過

2.1.1、2.1.2、2.1.4 及び 2.6.2 から、次のとおりであったものと考えられる。

- (1) 本船は、船長ほか4人が乗り組み、鹿児島港で旅客44人を乗せて出港後、指宿港に寄港して更に旅客140人を乗船させ、4月22日08時30分ごろ、旅客184人を乗せて指宿港を出港し、宮之浦港に向かった。
- (2) 本船は、佐多岬西方沖を針路約185°、速力約38knで翼走航行中、08時55分ごろ、船長が、操船をしていたところ、2回の衝撃を感じ、船首部が前方に倒れて海面に着水し、主機及び発電機が停止して航行不能となった。
- (3) 機関長は、左舷船尾方に何かで切り裂かれた痕跡のある黒い物体及びその周囲に血が広がったような赤い海面を目撃して鯨と衝突したものと思い、船長にその旨を報告した。
- (4) 船長は、機関長の報告を聞き、左舷ウイングに出て左舷船尾方に広がった赤い海面を目撃し、一等航海士は、左舷船尾方に広がった赤い海面を目撃するとともに、本船が航行不能となる前、コックピットに戻ったときに左舷正横方に見えていた佐多岬が左舷船首方に見えるので、鯨との衝突によって船首が左方に向いたものと思った。
- (5) 旅客1人は、本事故発生直後に鯨が海面に浮かんで潮を吹き、その後、赤くなる海面を目撃し、他の複数の旅客も、赤い海面及び鯨の潮吹きのようなものや赤い海面の中に白又は黒い物体などを目撃した。
- (6) 船長は、運航管理者及び海上保安庁に対し、本船が鯨と衝突したことなどを通報した。

#### 3.1.2 衝突の状況

2.1.2 及び 2.1.4 から、本船は翼走航行中、船長が2回の衝撃を感じ、その後、機関長が、左舷船尾方に何かで切り裂かれた痕跡のある黒い物体及びその周囲に血が広がったような赤い海面を目撃し、また、旅客が、本事故発生直後、鯨が海面に

浮かんで潮を吹き、その後、赤くなる海面を目撃したことなどから、本船は、鯨と船首水中翼及び船尾水中翼が衝突したものと考えられる。

### 3.1.3 事故発生日時及び場所

2.1.1 及び 2.1.2 から、本事故の発生日時は、平成24年4月22日08時55分ごろで、発生場所は、佐多岬灯台から267° 3,600m付近であったものと考えられる。

### 3.1.4 人の負傷の状況等

2.3 及び 2.11.5 から、次のとおりであったものと考えられる。

#### (1) 旅客

旅客1人は、シートベルト不着用で座席に腰を掛けていたとき、両膝打撲及び右膝皮膚欠損の負傷をした。

旅客1人は、シートベルトを着用できないトイレ内において、水洗のボタンを押したとき、壁や便器に当たり、頸椎捻挫並びに両肩、左大腿部及び右大腿部の打撲の負傷をした。

旅客1人は、シートベルトを着用して座席に腰を掛けていたとき、頸椎及び腰椎の捻挫の負傷をした。

旅客2人は、シートベルトを着用して座席に腰を掛けていたとき、外傷性頸部症候群の負傷をした。

旅客1人は、シートベルト着用状況不明であり、外傷性頸部症候群の負傷をした。

旅客25人は、シートベルトを着用して座席に腰を掛けていたとき、また、旅客1人は、シートベルト不着用で座席に腰を掛けていたとき、前の壁、座席、テーブル、横の窓枠等に当たり、頭、胸、肩、腕、足等に打撲傷や擦り傷等を負った。

#### (2) 乗組員

一等航海士は、船内巡視を終えてコックピットに戻り、前方を目視で確認したのち、中央の2座席の間にあるレーダー及びGPSプロッターを長距離レンジに切り替え、右舷端の座席に向かおうとして立ち上がったとき、衝撃によってコックピット内の何かに当たり、右肩打撲傷を負った。

機関長は、一等機関士と役割を交替するために左舷端の座席の横に移動して腰を掛けようとしたとき、衝撃によって頭が窓枠上部付近に、左右大腿部がテーブルにそれぞれ当たり、頭部及び左右大腿部の打撲傷を負った。

一等機関士は、機関長と役割を交替するために中央左舷側の座席に移動し

たとき、衝撃によって何かに当たり、右肋骨骨折の負傷をした。

客室乗務員は、1階客室の右舷側通路を船尾方に向かって歩きながら、旅客のシートベルト着用状況を点検していたとき、衝撃によって後ろ向きの体勢で船首方に飛ばされ、外傷性頸部症候群の負傷をした。

### (3) 負傷発生状況のまとめ

#### ① 旅客

座席に腰を掛けていた2人及びトイレ内にいた1人は、シートベルト不着用であり、また、1人は、シートベルト着用状況不明であったが、共に軽傷を負った。

シートベルトを着用して座席に腰を掛けていた28人は、軽傷を負った。

#### ② 乗組員

役割交替等によってシートベルト不着用の4人全員は負傷し、2人が重傷を、2人が軽傷をそれぞれ負った。

### 3.1.5 船舶の損傷の状況

2.4から、本船は、船首水中翼に脱落、船尾水中翼に破損、バルバスバウ外板、船底外板及び左舷船尾外板に破口並びに第9区画及び第14区画へ浸水して分電盤等に濡損を生じた。

## 3.2 事故要因の解析

### 3.2.1 乗組員及び船舶の状況

#### (1) 乗組員の状況

##### 船長

2.5(1)から、船長は、適法で有効な海技免状を有していた。

#### (2) 船舶

2.6.3(6)及び(7)から、本船は、翼走航行時、船首水中翼が約1.95m、船尾水中翼が約2.8m海面下にあり、本事故当時、船体、機関及び航海計器に不具合又は故障はなかったものと考えられる。

### 3.2.2 気象及び海象に関する解析

2.7から、本事故当時、天気は晴れ、風向は西北西、風速は約6～7m/s、視程は約12km以上あり、潮汐は下げ潮の初期に当たり、波高は約1.5mで、海流は0.3～0.9knの東流及び潮流は南南西流があったものと考えられる。

### 3.2.3 操船及び見張りの状況に関する解析

2.1.1、2.1.2、2.1.4及び3.1.1から、次のとおりであったものと考えられる。

- (1) 本船は立目埼の西方沖を通過したのち、船長が、中央右舷側の座席にシートベルトを着用して腰を掛け、見張りを行いながら、操舵ハンドルを両手で持って操船に当たり、機関長が、中央左舷側の座席にシートベルトを着用して腰を掛け、計器盤の監視及び見張りを、一等機関士が、シートベルトを着用せず、左舷端の座席の前に立って主に左舷側の見張りをそれぞれ行っていた。
- (2) 船長、機関長及び一等機関士は、船長が2回の衝撃を感じる前、船首方に鯨類、鯨類の潮吹きなどを視認していなかった。

### 3.2.4 鯨類の目撃等に関する状況

2.1.2、2.1.4、2.8及び3.1.1から、次のとおりであったものと考えられる。

#### (1) 本事故発生日前

鯨類は、春～夏に多く、この時季には月間2～3頭目撃され、目撃される海域は馬毛島北方沖が他の海域に比べて多く、平成24年においては、2月20日に西之表港沖防波堤北灯台から230°約11Mの所及び喜入港沖約5Mの所で、2月22日に馬毛島北方沖約5Mの所で、3月19日に佐多岬南東方沖約8Mの所でそれぞれ目撃されていた。

#### (2) 本事故発生後

- ① 機関長は、左舷船尾方に何かで切り裂かれた痕跡のある黒い物体及びその周囲に血が広がったような赤い海面を目撃して鯨と衝突したものと思った。
- ② 船長は、機関長の報告を聞き、左舷ウイングに出て左舷船尾方に広がった赤い海面を目撃し、鯨と衝突したと思った。
- ③ 一等航海士は、左舷船尾方に広がった赤い海面を目撃するとともに、船首方位が変化していたので、鯨との衝突によって船首が左方に向いたものと思った。
- ④ 旅客1人は、本事故発生直後に鯨が海面に浮かんで潮を吹き、その後、赤くなる海面を、旅客1人は、本事故発生の約10～15分後に赤い海面の周囲に約2～3回の鯨の潮吹きのようなものを、旅客3人は、赤い海面及び鯨の潮吹きのようなものを、旅客10人は、赤い海面の中に白又は黒い物体を、旅客52人は、赤い海面をそれぞれ目撃した。

### 3.2.5 乗組員による旅客のシートベルト着用に関する点検等の状況

2.1.3 から、次のとおりであったものと考えられる。

#### (1) 鹿児島港出港約5分前

船長は、シートベルト着用表示灯を表示した。

客室乗務員は、シートベルト着用を促す船内放送を行ったのち、旅客のシートベルト着用状況の点検を行った。

#### (2) 鹿児島港出港後

客室乗務員は、シートベルト着用を促す船内放送を行ったのち、旅客のシートベルト着用状況の点検を行った。

一等航海士及び一等機関士は、出港配置を終えてコックピットに戻る際、旅客のシートベルト着用状況の点検を行った。

#### (3) 指宿港出港5分前

船長は、シートベルト着用表示灯を表示した。

客室乗務員は、シートベルト着用を促す船内放送を行ったのち、旅客のシートベルト着用状況の点検を行った。

#### (4) 指宿港出港後

客室乗務員は、シートベルト着用を促す船内放送を行ったのち、旅客のシートベルト着用状況の点検を行った。

一等航海士及び一等機関士は、出港配置を終えてコックピットに戻る際、旅客のシートベルト着用状況の点検を行った。

#### (5) 翼走航行開始後

船長は、シートベルト着用を促す船内放送を行った。

#### (6) 立目埼西方沖～本事故発生時

一等航海士は、船内巡視を行いながら、旅客のシートベルト着用状況の点検を行い、本事故発生前までに終了した。

客室乗務員は、1階客室を見回って旅客のシートベルト着用状況の点検を行っていた。

### 3.2.6 本事故発生時の加速度と人の負傷に関する解析

2.1.2、2.9.2 及び 2.1.1 から、次のとおりであった。

- (1) 本船は、速力 38 kn で翼走航行中、本船を浮上させている船首水中翼及び船尾水中翼が体重 30 t を超える大型鯨と連続して衝突したとすれば、0.4 G～0.5 G 程度の水平方向（前進方向）の加速度が 1.2 秒程度の間隔で 2 度生じたものと考えられる。

この衝撃加速度の持続時間は 0.2 秒程度であったものと考えられる。一

方、垂直方向の上向き加速度の最大値は3.3 Gであり、また、下向き加速度の最大値は0.5 G程度であったものと考えられる。

- (2) 人間は、水平方向の0.5 G程度、垂直方向の3.3 G程度の加速度だけで負傷することではなく、また、垂直方向の下向き加速度も0.5 Gと1 Gを超えないため、腰が浮いたのち、座席に落下することによる負傷も考慮する必要はないものと考えられる。
- (3) 本事故では、シートベルト不着用の場合、前進方向の加速度で身体が船首方へ飛ぶ（持って行かれる）ことにより、座席等の様々な物体に当たることのみが負傷の原因であったものと考えられる。
- (4) シートベルト不着用の場合、0.5 Gの前進方向の加速度が2回身体に掛かるといふ状況は、自身の力で身体が船首方へ飛ぶことを抑えることはできず、特に、前後に遮るものがない通路を歩行中に後ろ向きの体勢で船首方に飛ばされた客室乗務員が、乗組員及び旅客中で最も重い負傷をしたことはこれを裏付けるものであると考えられる。
- (5) シートベルト不着用の3人の旅客は、座席等がすぐ前にあったり、トイレの中であつたりしたので、他の場所に比べ、身体が大きく飛ばされることがなく、軽傷で済んだものと考えられる。一方、腰だけを固定するシートベルトを着用していた旅客は、身体が飛ばされることは防げても、上半身は座席の中で前後に揺すられ、額や肩が前の座席等に当たることは防ぎきれないため、旅客の17%程度の者が軽傷を負うこととなったものと考えられる。
- (6) 本事故においては、前記から、乗組員及び旅客が、シートベルト不着用で船首方へ飛ばされて座席等の様々な物体に当たり、また、シートベルトを着用していても上半身が前の座席等に当たって負傷したものと考えられる。
- (7) 本事故においては、旅客が軽傷者のみであったことは、アンケートの回答を得た旅客の98%程度の者がシートベルトを着用しており、旧事故後の事故対策が確実に実施され、前記(1)記載の加速度に対して有効に働いたことを示すとともに、乗組員による旅客へのシートベルト着用の促し及び点検が有効であったものと考えられる。

このため、旅客に対し、シートベルトの確実な着用を徹底することが、事故が発生した場合の負傷者発生数の減少及び負傷の程度の軽減に効果があるものと考えられる。

- (8) コックピット内の乗組員については、シートベルト不着用で船首方へ飛ばされてテーブル等に当たり、負傷したが、着席中のシートベルト着用を徹底させ、役割交替等によるシートベルト不着用となる時間を短縮させるとともに、コックピット内に緩衝材を施すことやヘルメット等の保護具を着用させ

ることにより、負傷の発生を減少させ、また、負傷の程度を軽減させることができる可能性があると考えられる。

- (9) 客室乗務員は、指宿港出港後、乗船したばかりの旅客への応対、船内放送による佐多岬の説明及びビデオ再生装置の操作を行ったのち、旅客のシートベルト着用状況の点検を行っている際、シートベルトを着用できない状況の中で負傷した。

このため、客室乗務員については、シートベルトを着用して座席に腰を掛けて作業を行うことができるよう、船内放送用マイク、ビデオ再生装置等の設置位置の変更等により、シートベルト不着用となる状況を減少させるとともに、立って作業を行う場合、ヘルメット等の保護具を着用させることにより、負傷の発生を減少させ、また、負傷の程度を軽減させることができる可能性があると考えられる。

### 3.2.7 B社の安全管理状況に関する解析

2.10から、次のとおりであったものと考えられる。

- (1) B社は、海上運送法に基づいて安全管理規程を定め、同管理規程に基づき、運航基準、作業基準及び船内巡視要領を定めたほか、旧運航者の安全運航確保のためのマニュアル、船内放送マニュアル等を引き継いで使用していた。
- (2) 乗組員に対する教育研修

旧運航者は、平成24年3月以前、安全管理規程に基づき、本船製造会社と協力して作成した詳細な取扱説明書等を用い、数年に1回、乗組員に対して約1週間の座学教育を行っており、最近では、平成23年10月及び平成24年2月に実施していた。また、全国の水中翼船運航会社が集まる会議が年1回開催されており、そこで得た全ての情報を乗組員に周知していた。

B社は、自社の安全管理規程、運航基準等を運航する各船に配布したものの、種子屋久航路の運航を4月1日から始めたので、乗組員に対する教育研修を実施しておらず、本船の乗組員は、B社の運航基準と同様である旧運航者の運航基準によって本船を運航していた。

### 3.2.8 事故発生に関する解析

2.1.1、2.1.2、2.1.4、3.1.1、3.2.3及び3.2.4から、次のとおりであったものと考えられる。

- (1) 本船は、船長ほか4人が乗り組み、鹿児島港で旅客44人を乗せて出港後、指宿港に寄港して更に旅客140人を乗船させ、4月22日08時30分ごろ、旅客184人を乗せて指宿港を出港し、宮之浦港に向かった。

- (2) 本船は立目埼の西方沖を通過したのち、船長が、中央右舷側の座席にシートベルトを着用して腰を掛け、見張りを行いながら、操舵ハンドルを両手で持って操船に当たり、機関長が、中央左舷側の座席にシートベルトを着用して腰を掛け、計器盤の監視及び見張りを、一等機関士が、シートベルトを着用せず、左舷端の座席の前に立って主に左舷側の見張りをそれぞれ行っていた。
- (3) 本船は、佐多岬西方沖を針路約185°、速力約38knで宮之浦港に向けて翼走航行中、鯨と衝突したことから、船長が2回の衝撃を感じ、旅客等が負傷するとともに、主機及び発電機が停止して航行不能となった。
- (4) 船長、機関長及び一等機関士は、船長が2回の衝撃を感じる前、船首方に鯨類、鯨類の潮吹きなどを視認していなかった。

## 4 原因

本事故は、本船が、佐多岬西方沖を宮之浦港に向けて翼走航行して南進中、鯨と衝突したため、発生したものと考えられる。

## 5 再発防止策

本事故は、本船が、佐多岬西方沖を宮之浦港に向けて翼走航行して南進中、鯨と衝突したため、発生したものと考えられる。

本事故においては、旅客は軽傷者のみであり、アンケートの回答を得た旅客の98%程度がシートベルトを着用していたこと、乗組員による旅客へのシートベルト着用の促し及び点検が有効に機能したものと考えられる。一方、乗組員は、シートベルトを着用していなかった4人全員が重傷等を負った。

このため、旅客に対しては、シートベルトの確実な着用を徹底することが、事故が発生した場合の負傷者発生数の減少及び負傷の程度の軽減に効果があるものと考えられる。

コックピット内の乗組員については、着席中のシートベルト着用を徹底させ、役割交替等によるシートベルト不着用となる時間を短縮させるとともに、コックピット内に緩衝材を施すことやヘルメット等の保護具を着用させることにより、負傷の発生を減少させ、また、負傷の程度を軽減させることができる可能性があると考えられる。

客室乗務員については、船内放送用マイク、ビデオ再生装置等の設置位置の変更等

により、シートベルト不着用となる状況を減少させるとともに、立って作業を行う場合、ヘルメット等の保護具を着用させることにより、負傷の発生を減少させ、また、負傷の程度を軽減させることができる可能性があると考えられる。

したがって、B社は、次の対策を講じることにより、同種事故の発生を防止することが必要なものと考えられる。

- (1) 旅客に対し、着席中はシートベルトを確実に着用するように周知すること。
- (2) コックピット内の乗組員に対し、着席中のシートベルト着用の徹底及び役割交替等によるシートベルト不着用となる時間の短縮を指導すること。
- (3) 客室乗務員がシートベルト不着用となる状況を減少させる措置を講じること。
- (4) コックピット内の乗組員及び客室乗務員については、業務内容により、シートベルトを着用できない場合があることから、この場合における負傷を防止できるよう、コックピット内に緩衝材を施すことやヘルメット等の保護具を着用させることを検討すること。

#### 5.1 事故後に講じられた事故等防止策

B社は、安全管理規程に基づき、事故調査委員会を設置し、水中翼旅客船の安全対策をまとめ、以下の再発防止策を講じ、国土交通省九州運輸局に報告した。

- (1) 鯨類が頻繁に発見される春季及び夏季においては、過去の鯨類目撃情報を参考として基準航路を変更した。

38kn 減速航行区域については、現行のとおりとし、鯨類の目撃情報があった海域においては、船長判断により、減速航行や迂回等によって衝突回避措置を採ることとした。

- (2) 乗組員がコックピットで座席に腰を掛ける際は、シートベルトの常時着用を徹底することとした。また、乗組員が航行中に役割を交替する際は、速やかに交替することとした。

客室乗務員は、旅客に対し、船内放送で「シートベルトは緩みのないように着用願います」との内容を周知することとした。

- (3) 客室乗務員が出港前、出港後、中間地点（立目埼沖通過後）で実施している旅客のシートベルト着用状況の確認に関する巡視は、現行のとおりとするが、大隅海峡航行中に波高2.0m以上の場合、船長判断により、専用座席に着座して乗務することとした。

- (4) 「鯨発見記録簿」を活用したハザードマップの作成を引き続き行うこととした。

平成21年6月30日に実施した国立大学法人東京海洋大学海洋科学部鯨類学研究室による鯨類目視講習会の資料及び最新の鯨類に関するデータ等を使

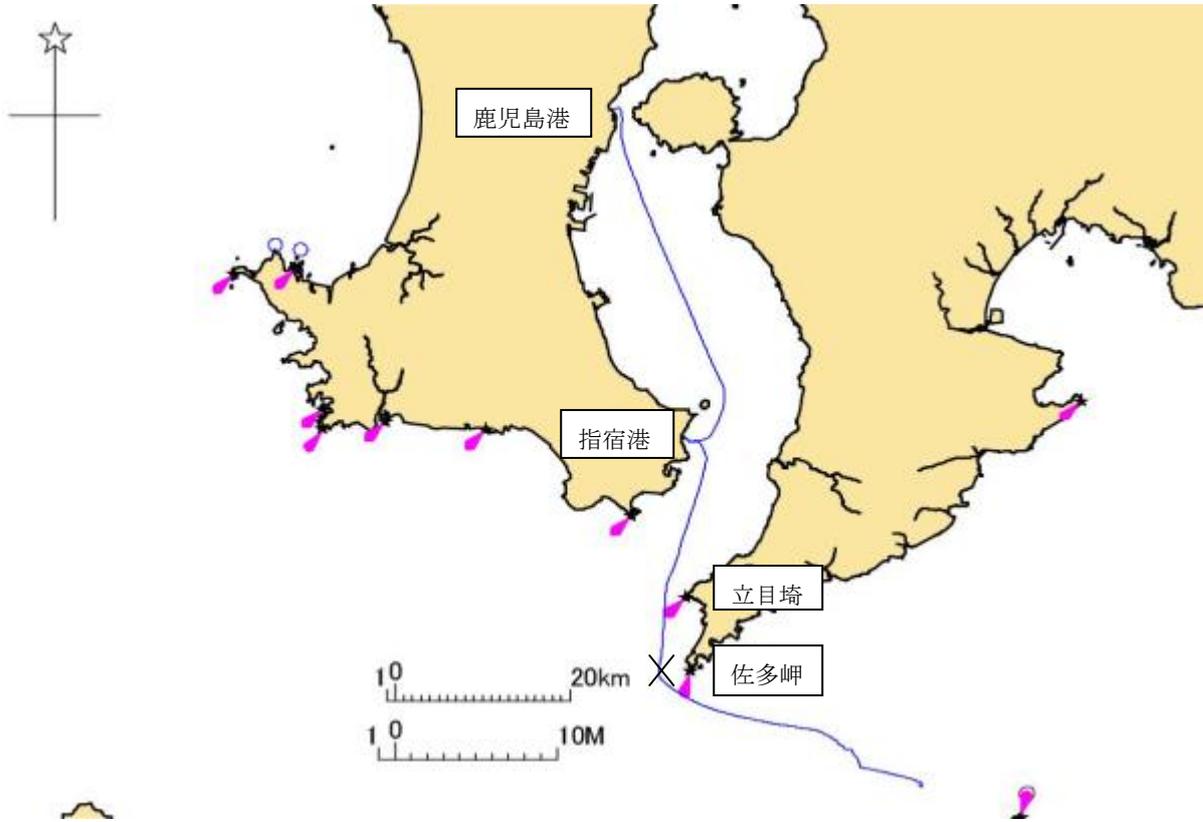
い、鯨類の種類ごとの姿や泳ぎ方の特徴等に関する教育を実施することとした。

- (5) 作成したハザードマップを船長に提供し、航行中における鯨類との衝突防止のための参考とすることとした。

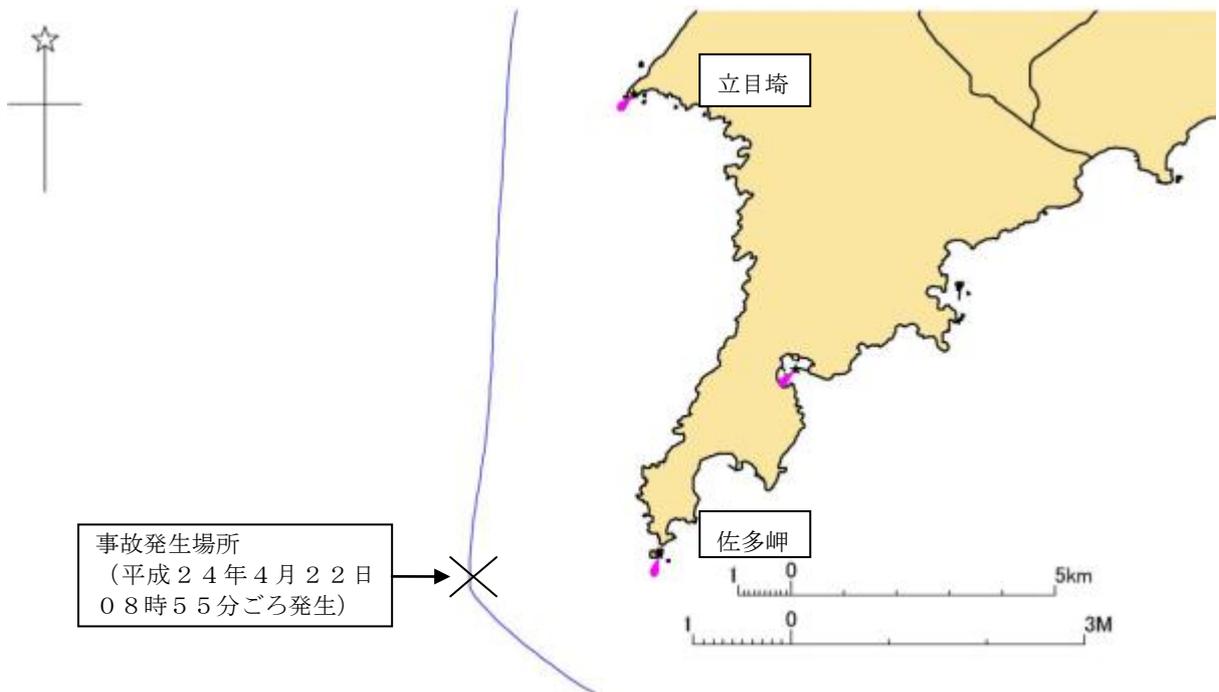
作成したハザードマップのデータ解析を国立大学法人東京海洋大学海洋科学部鯨類学研究室に依頼し、鯨対策に有効な情報の提供を受けることとした。

- (6) 安全管理規程に規定された「非常対策本部」について、更に詳細化を図り、事故発生後、直ちに連絡体制を確立し、迅速な情報伝達を実施することができるようにした。

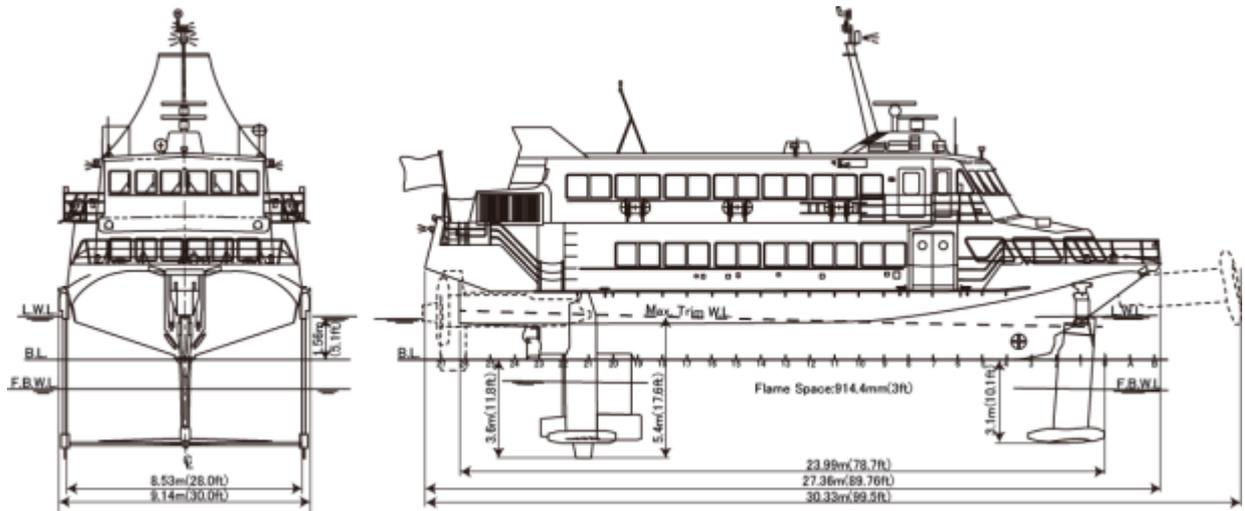
付図 1 - 1 推定航行経路図



付図 1 - 2 推定航行経路図



付図2 一般配置図



付図3 座席配置図

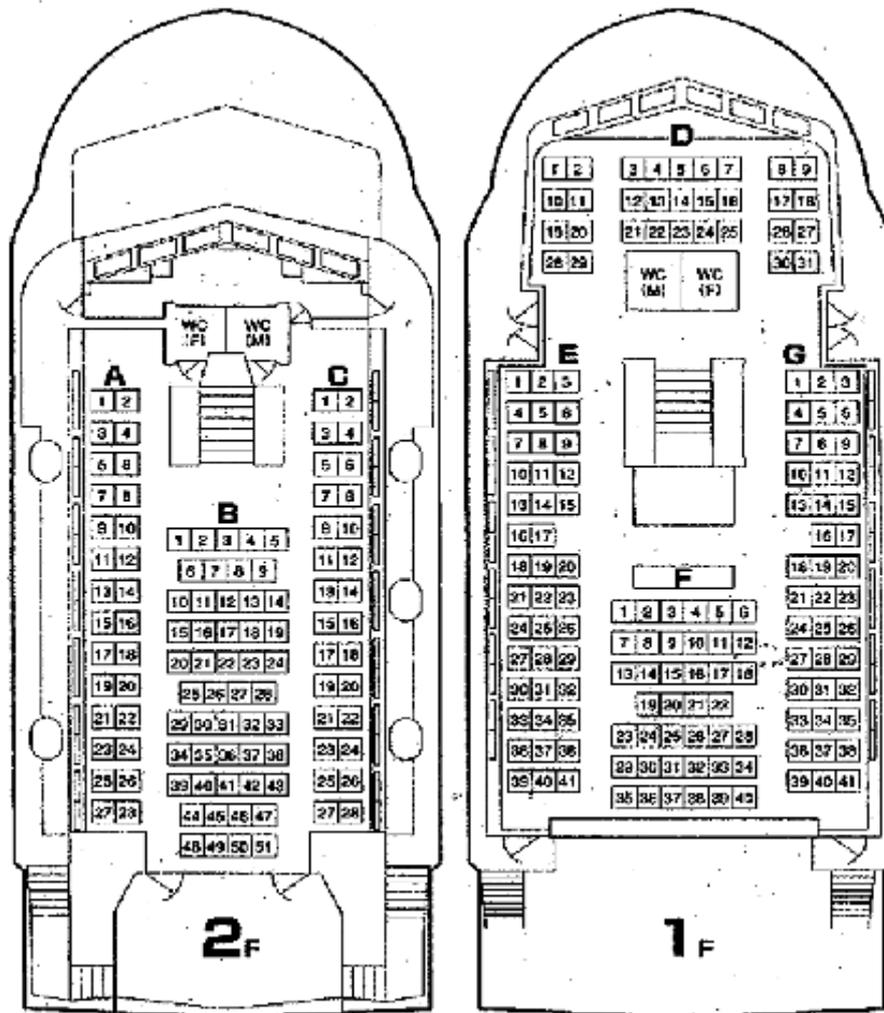




写真1 船首水中翼脱落及び  
バルバスバウ破口



写真2 船底外板に破口



写真3 第9区画浸水



写真4 船尾水中翼ウォーター  
インレット破損



写真5 船尾水中翼中央付け根破損



写真6 船尾水中翼左舷船首側コーン破損



写真7 船尾水中翼左舷船尾側コーン内側擦過傷



写真8 左舷船尾外板に破口



写真9 船尾水中翼左舷側付け根部破損



写真10 第14区画船尾水中翼左舷側付け根ピボットピン部から浸水



写真11 コックピット（全体）



写真12 コックピット（中央）



写真13 客室座席



写真14 シートベルト着用表示灯、  
翼走中表示灯



写真15 シートベルト着用掲示板(1)



写真16 シートベルト着用掲示板(2)



写真17 安全のしおり



写真18 緩衝材（1階客室）



写真19 緩衝材（1階客室最前列）



写真20 緩衝材（2階客室）

別添 1

「旅客船衝突事故に係る解析調査」

報 告 書

平成24年12月

独立行政法人 海上技術安全研究所

## 1. 解析調査概要

### 1.1 目的

本件は平成24年4月22日、佐多岬沖で発生したトッピー1とクジラの衝突事故の調査に資するため、事故発生時の船体、乗客等に係る加速度等を解析するとともに、当該衝撃加速度に対するシートベルト等の安全装具の効果を検証するものである。

### 1.2 調査内容

- (1) 事故発生時の再現シミュレーションモデルを構築し、映像化する。
- (2) 事故発生時の船体、乗客等に係る加速度等を解析する。
- (3) 事故発生時のシートベルト等の安全装置の効果を検証する。
  - ① (2)におけるシートベルト着用者（乗客等）の挙動及び影響評価
  - ② (2)におけるシートベルト非着用者（乗員等）の挙動及び影響評価
  - ③ トッピー4の衝突事故と本事故の加速度等を比較評価し、シートベルト着用等による効果を検証

## 2. トッピー1の主要目と一般配置図

トッピー1の主要目を表2.1に、一般配置図を図2.1に示す。

表2.1 トッピー1の主要目

| 項目     | 補足        | 数値     | 単位 |
|--------|-----------|--------|----|
| 全長     | 水中翼を上げた状態 | 30.33  | m  |
|        | 水中翼を下げた状態 | 27.36  | m  |
| 垂線間長   |           | 23.99  | m  |
| 幅      |           | 8.53   | m  |
| 型深さ    |           | 2.59   | m  |
| 満載喫水   | 水中翼を下げた状態 | 1.56   | m  |
| 最大喫水   | 水中翼を上げた状態 | 2.20   | m  |
|        | 水中翼を下げた状態 | 5.40   | m  |
| 満載排水量  |           | 118.87 | t  |
| 総トン数   |           | 166    | t  |
| 最大搭載人員 | 上部甲板旅客    | 109    | 名  |
|        | 下部主甲板旅客   | 154    | 名  |
|        | 乗組員       | 6      | 名  |

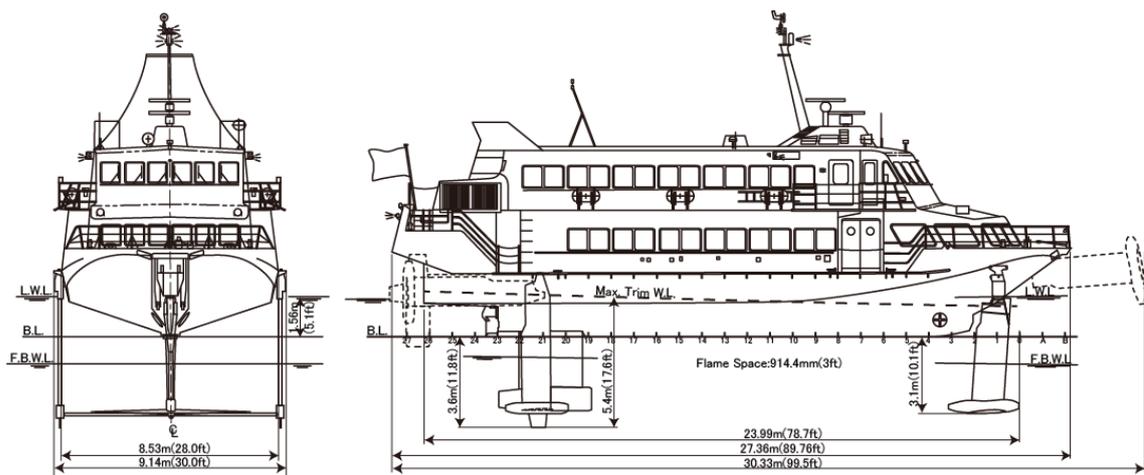


図 2.1 トッピー 1 の一般配置図

### 3. 事故時のデータ

#### 3.1 トッピー 1 の諸量

クジラとの衝突事故時のトッピー 1 の姿勢を図 3.1 に、事故分析に必要な諸量を、表 3.1 に示す。

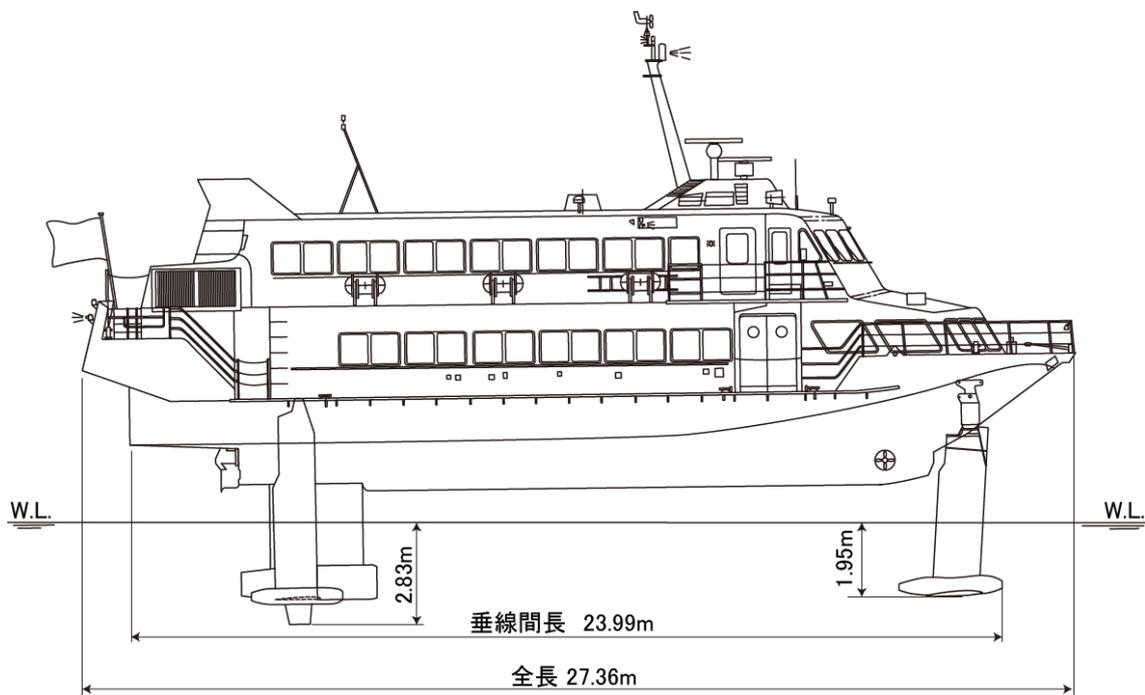


図 3.1 クジラとの衝突事故時のトッピー 1 の姿勢

表 3.1 トッピー 1 の衝突事故に関連する諸量

| 項目                 | 補足   | 数値    | 単位    |
|--------------------|------|-------|-------|
| 前翼先端から後翼先端までの距離    |      | 19.00 | m     |
| 事故時の翼の没水深度         | 前翼   | 1.95  | m     |
|                    | 後翼   | 2.83  | m     |
| 船底キール部の水面上高度       | 前翼位置 | 1.44  | m     |
|                    | 後翼位置 | 0.75  | m     |
|                    | 平均値  | 0.95  | m     |
| 翼の重量               | 前翼   | 6.06  | ton   |
|                    | 後翼   | 9.08  | ton   |
| 翼のPIVOT回りの慣性モーメント  | 前翼   | 17.30 | ton-m |
|                    | 後翼   | 91.40 | ton-m |
| PIVOTから翼端までの回転半径   | 前翼   | 4.45  | m     |
|                    | 後翼   | 6.98  | m     |
| PIVOTからアブソーバまでの距離  | 前翼   | 1.09  | m     |
| PIVOTからヒューズピンまでの距離 | 後翼   | 2.36  | m     |

### 3.2 乗員の口述

事故解析に必要と思われる乗員の口述を下記に整理しておく。

- ・ 手動操舵により、船速約 38kt で南下中だった。
- ・ 海象は、天候は晴れ、WNW の風、6～7 m/s、波高：1.5m～2.0m 程度、視程 12km か、それ以上であった。
- ・ 衝突は 08 時 55 分で、短時間の間隔で 2 つの衝撃音がほぼ同時にした。
- ・ 船首部から水面に突っ込むような感じで止まった。
- ・ 衝突後、左舷後方 7 時の方向、距離 100～200m に体長は 15 メートルほどのクジラが血を流して浮いており、50～60m の範囲の海面が赤く染まっていた。

### 3.3 航跡

事故日である 4 月 22 日の GPS プロッターのデータとして提供されたものにはタイムスタンプが無く、北緯、東経の位置情報だけが入っていた。航行時のデータの時間間隔は船速から考えて、10 秒毎と考えられるが、船速が極度に低下したり停止したりしている間は計測間隔が大幅に伸びていると考えられ、航跡図は正確に描画できるものの、船速の確定はできない。そこで、急激な針路変更等から衝突位置を推定した。図 3.2 はクジラとの衝突事故日のトッピー 1 の航跡である。鹿児島港を出港して鹿児島湾を南下、指宿に到着後出航再び鹿児島湾を南下、佐多岬の沖合約 2 マイル、北緯 30°59'24" 東経 130°37'20" の付近が衝突位置と考えられる。図 3.3 は衝突位置近辺での航跡を拡大したもので、衝突前 5 分と衝突・停止後漂流している航跡を示している。衝突直前は約 38kt で 180° 方向に南下中であり、衝突・停止後 135° 方向に漂流しており、左舷後方 7 時というクジラの見えた方向を含めて乗員の口述と一致している。

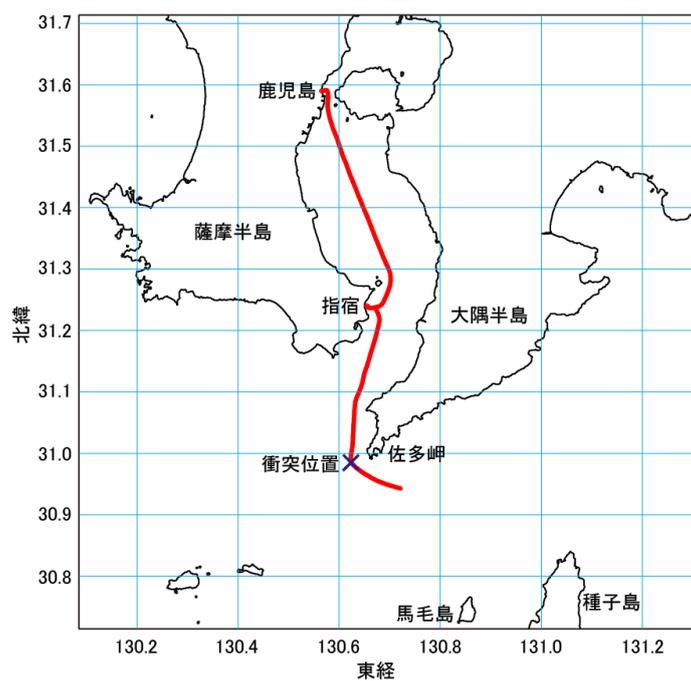


図 3. 2 4月22日のトッピー1の航跡

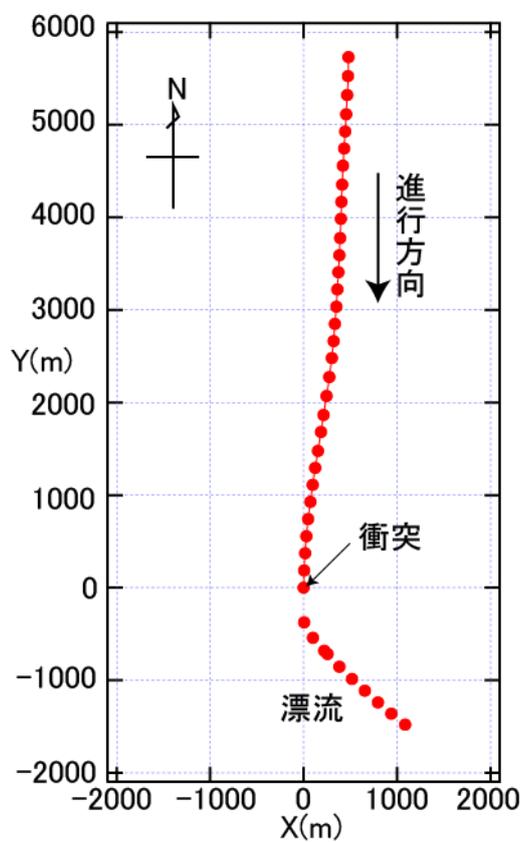


図 3. 3 衝突前後の航跡

### 3.4 損傷箇所

トッピー1は事故後、鹿児島ドック鉄工株式会社及び川崎重工業株式会社神戸造船所で上架して損傷状態を調査している。主な損傷箇所を図3.4に示す。

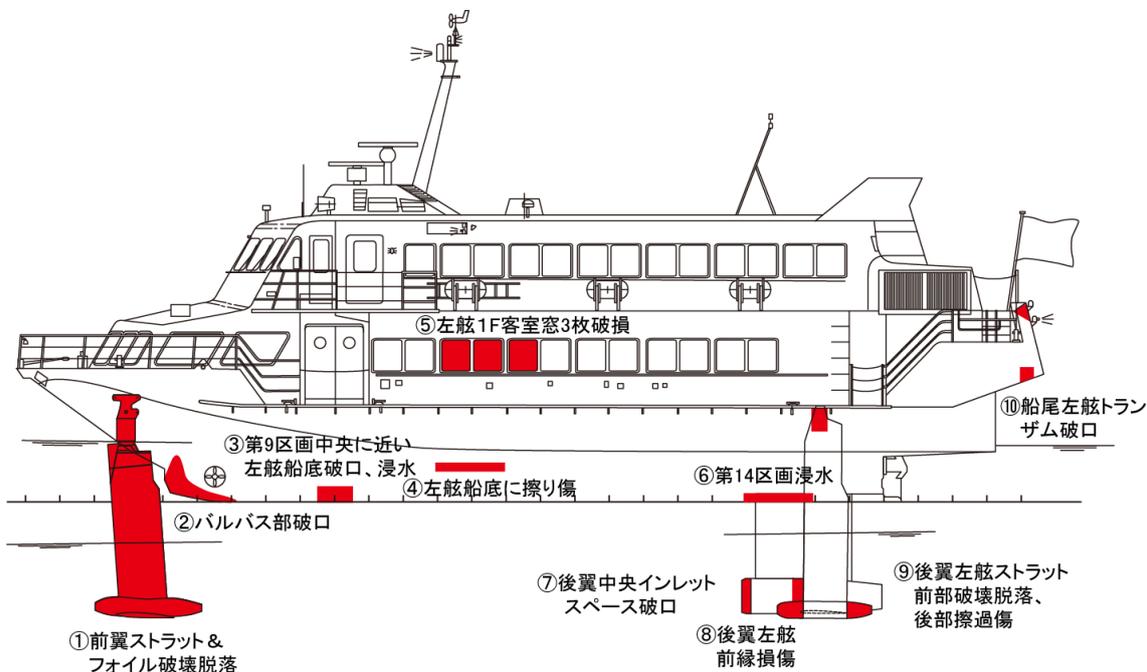


図3.4 主な損傷箇所（赤い部分）

損傷箇所は船体中央から左舷側に集中している。①前翼ストラット&フォイル破壊脱落はクジラとの直接的な衝突が原因と考えられ、ストラットが破壊脱落する前に、直後のバルバス部に当たり、②バルバス部破口を引き起こしたと考えられる。③第9区画中央に近い左舷船底破口、浸水は、ストラットの上部が船底に当たったことにより引き起こされたと考えられ、脱落したストラットが、前翼脱落により揚力を失って前のめりに落ちてくる船体とクジラの間に入ったものと考えられる。④左舷船底の擦過傷もこれと同様の原因と考えられる。⑤左舷1F客室窓3枚破損については、被曳航中、会社が手配した漁船が飲料水と食料を届けに来た際に本船に接触して生じたもので、直接事故が原因ではない。⑥後翼中央根元破損、第14区画浸水、⑦後翼中央ウォーターインレットスペース破口、⑧後翼左舷側前縁一部傷、⑨後翼左舷ストラット前部破壊脱落、後部内側擦過傷は、全て後翼がクジラと直接衝突したことが原因と考えられる。また、⑩船尾左舷トランザム破口は、跳ね上がった後翼がトランザムを破壊したと考えられる。

損傷部の写真を写真3.1～3.10に示す。



写真3.1 ①前翼ストラット&フォイル破壊脱落と②バルバス部破口



写真3.2 ③第9区画中央に近い左舷船底破口と④左舷船底の擦過傷



写真3.3 ③第9区画左舷船底破口



写真3.4 ④左舷船底の擦過傷



写真3.5 ⑥後翼中央根元破損、第14区画浸水



写真3.6 ⑦後翼中央ウォーターインレットスペース破口



写真3.7 ⑨後翼左舷ストラット  
前部破壊脱落



写真3.8 ⑨後翼左舷ストラット  
後部内側擦過傷



写真3.9&3.10 ⑩船尾左舷トランザム破口

## 4. 水平方向のシミュレーション計算

### 4.1 衝突シナリオ

前章までの情報に基づき衝突シナリオを以下に示すものとした。

- ① トッピー1が 38kt にて定常航走中、前翼の中央よりやや左舷側部分に前方のクジラが衝突した。
- ② 前翼の没水深度は 1.95m であり、その時の波高が 1.5m から 2m 程度であった事を考慮すると、クジラは波間に背中が見える程の浅い深度で遊泳していたと考える。
- ③ クジラ体との衝突により前翼のエネルギーアブソーバ（以下アブソーバ）が破断され、前翼は後方へと跳ね上がり、バウスラスター下部の船底バルバス部を破損した。
- ④ これにより前翼揚力を失った船体が前のめりにクジラの上に落下した。
- ⑤ 前翼は衝突からごく短い時間はクジラ体を切り裂きながら移動し、あるところで船体から離脱した。クジラ体と船体の間に挟まれた前翼のストラット上部が、前のめりに落ちてきた船底に当たり、第 9 区画船底に破口を開け、浸水を引きおこした。さらにその後部に擦過傷を生じさせた。
- ⑥ 次に後翼やや左舷側に、折れた前翼とクジラ体が衝突した。
- ⑦ 定常航走中の後翼没水深度は前翼より深い 2.83m であったが、前翼が浮力を失ったため、クジラ体が後翼位置に到達した時にはより深い深度になっており、後翼と前翼及びクジラ体はまともに衝突したと考えられる。後翼中央根元部分が損傷して浸水を引きおこした。
- ⑧ この衝撃により後翼のヒューズピンも剪断され、後翼が船尾へと跳ね上がった。
- ⑨ 後翼の揚力喪失により船尾部もクジラ体上に落下し、クジラ体と船体の間に挟まれた後翼ならびに後翼ストラットにより損傷し左舷船尾トランザムに破口を生じた。
- ⑩ ①から⑨の一連の衝突に要する時間は、翼間距離 19m を 38kt で通過するのに要する時間のオーダーであり、1 秒程度と考えられる。

### 4.2 計算上の仮定と計算パラメータ

#### (1) 事故時の推定排水量

本船の満載排水量は 118.87t であるが、これは満席時の排水量であり、事故当時は空席が 78 席あったため、一人の体重を 65kg として約 5ton を控除し、事故時の推定排水量を 114ton とした。

#### (2) クジラについて

事故後、事故現場から 60km 程離れた場所でザトウクジラの負傷死体が確認されて

いるが<sup>[1]</sup>、このザトウクジラがトッピー1と衝突したクジラと特定できていない。事故現場海域ではマッコウクジラがしばしば目撃されており、衝突したのはマッコウクジラだとする意見もある。クジラの種類による体長、体重等の違いを表4.1に示す。本報では、衝突したクジラを2種類想定して、体重を30tonから45tonまで変化させた計算を実施し、体重差が衝撃加速度に及ぼす影響を評価した。

表4.1 クジラ類の遊泳速度

| 鯨種  | 体長(m) | 体重(t) | 速度(km/h) |
|-----|-------|-------|----------|
| 座頭鯨 | 10~13 | 25~30 | 5~15     |
| 抹香鯨 | 15    | 45    | 5~15     |

クジラは通常遊泳していると想定され、ザトウクジラとマッコウクジラの遊泳速度は共に3~8kt程度であるが、シャチなどから逃避する際の実速度はもっと速く、マッコウクジラでは20kt以上に達する。事故時にクジラがどのような速度でどちらの方向へ遊泳していたかは不明であるため、本報ではクジラが静止していた状態から、トッピー1に向かって最大5ktで遊泳していた状態を想定し、遊泳速度が衝撃加速度に及ぼす影響についても評価した。

#### 4.3 衝突過程の計算モデル

##### (1) 座標系と運動方程式

この事故では水平方向の速度が鉛直方向と比べて突出しているため、本概算では水平方向の運動のみを考えることにする。また、トッピー1は定常航走していたため、推力と抵抗は釣り合っており、これらを衝突運動の計算からは除外する。

座標系を図4.1に示す。クジラと前翼との衝突点を原点0とし、水面に沿ってトッピー1の航行方向にX軸を取る。また、クジラと前翼との衝突時刻を $t = 0$ とする。

トッピー1の質量を $M$ 、航走速度を $V$ 、クジラの質量と付加質量をそれぞれ $m$ 、 $m_a$ 、遊泳速度を $v$ とすると、船体とクジラ体の運動方程式は下記で表される。

$$M\dot{V} = -F \quad (1)$$

$$(m + m_a)\dot{v} = F \quad (2)$$

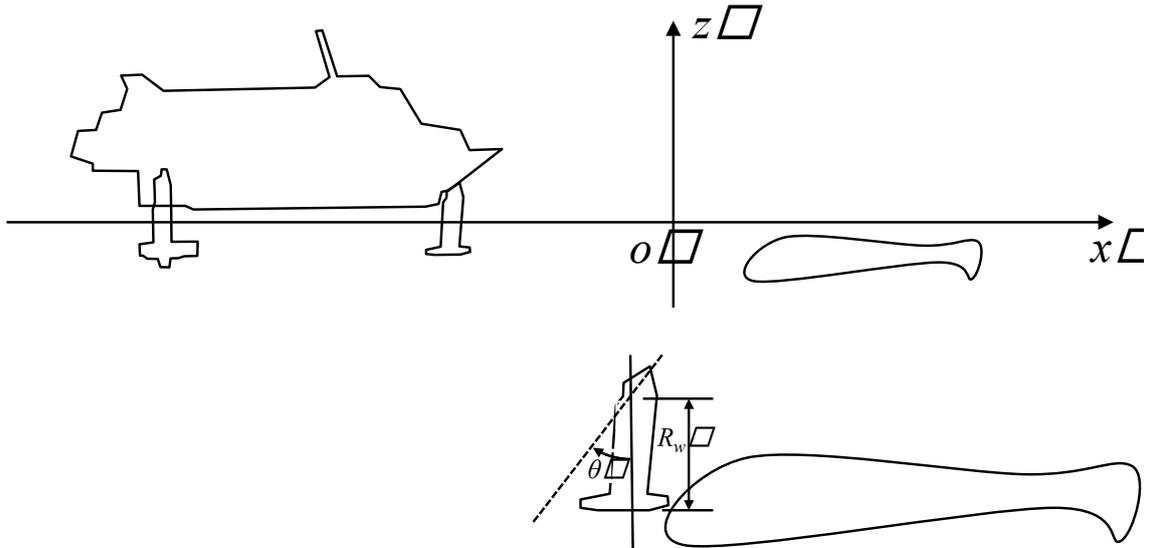


図 4.1 水平方向計算の座標系

ここで、 $F$  は衝突により船体ならびにクジラ体に作用する衝撃力ならびに擦過力の合力で、作用・反作用の法則に則って同じ大きさで逆向きである。擦過力は前翼支柱や前翼がクジラ体を切り裂く力及びクジラ体や脱落した翼が船体とすれて擦過していく力である。クジラにだけ付加質量を与えているのはクジラ体の殆どが水中にある為で、トッピー1は翼走しているため付加質量は無視できる。クジラと衝突した後は着水して停止するが、衝突は僅か1秒程度の過程であり、着水する前に衝突過程は終了していると考えても差し支え無いと思われる。そこで本報告書ではトッピー1の着水による付加質量は無視した。

クジラは船体ではなく水中翼に衝突した。その際の衝撃力により水中翼のアブソーバ（前翼）やヒューズピン（後翼）が破断して、水中翼はピボット（旋回軸）を回転中心として後方に跳ね上がっている。衝撃加速度の推定には水中翼の回転運動の影響も評価しておく必要があるので、その運動方程式を導く。水中翼に衝突したクジラ体は衝突後水中翼から離れないと仮定すると、翼の回転速度と回転角速度はクジラ体と船体との相対速度を用いて

$$R_w \dot{\theta} = v - V \quad (3)$$

$$R_w \ddot{\theta} = \dot{v} - \dot{V} \quad (4)$$

と書ける。ここで  $R_w$  と  $\theta$  は図 4.1 に示す翼の回転半径と回転角である。

一方、(1), (2)式より、

$$\dot{v} - \dot{V} = F \left( \frac{1}{M} + \frac{1}{m + m^a} \right) \quad (5)$$

であるので、破断の瞬間の翼の運動方程式は、下記の様になる。

$$R_w \ddot{\theta} = F \left( \frac{1}{M} + \frac{1}{m + m^a} \right) \quad (6)$$

## (2) 衝撃力のモデル

水中翼とクジラ体との衝突では、クジラ体は金属で出来た水中翼と比較して柔らかいため、衝撃力は図 4. 2 に示す放物線型時間波形で表現できると仮定し、前翼衝撃力の発生時刻  $t_1$ 、その最大値  $F_{S1max}$ 、その持続時間  $\Delta t_1$  と、後翼衝撃力の発生時刻  $t_2$ 、その最大値  $F_{S2max}$ 、その持続時間  $\Delta t_2$  を用いて

$$F_{S1}(t) = \begin{cases} 0 & : t \leq t_1 \\ -\frac{4F_{S1max}}{\Delta t_1^2}(t - t_1)(t - t_1 - \Delta t_1) & : t_1 < t < t_1 + \Delta t_1 \\ 0 & : t \geq t_1 + \Delta t_1 \end{cases} \quad (7)$$

$$F_{S2}(t) = \begin{cases} 0 & : t \leq t_2 \\ -\frac{4F_{S2max}}{\Delta t_2^2}(t - t_2)(t - t_2 - \Delta t_2) & : t_2 < t < t_2 + \Delta t_2 \\ 0 & : t \geq t_2 + \Delta t_2 \end{cases} \quad (8)$$

で表すことができる。ここで(7)式は係数が負であることから  $t$  に関し上に凸の 2 次式で、 $t = t_1$  と、 $t = t_1 + \Delta t_1$  で零となり、 $t = t_1 + \Delta t_1/2$  で最大値  $F_{S1max}$  をとる放物線になっていることが分かるであろう。(8)式についても同様である。

水中翼がクジラ等に衝突すると、衝撃力によりアブソーバやヒューズピンが破断してそれ以上の荷重が船体に作用しないように設計されている。水中翼に働く水平方向の衝撃力の最大値  $F_{Smax}$  は、破断荷重により決まる荷重  $F_B$  と翼の回転慣性力による反力  $F_I$  の和 ( $F_{Smax} = F_B + F_I$ ) で与えられる。

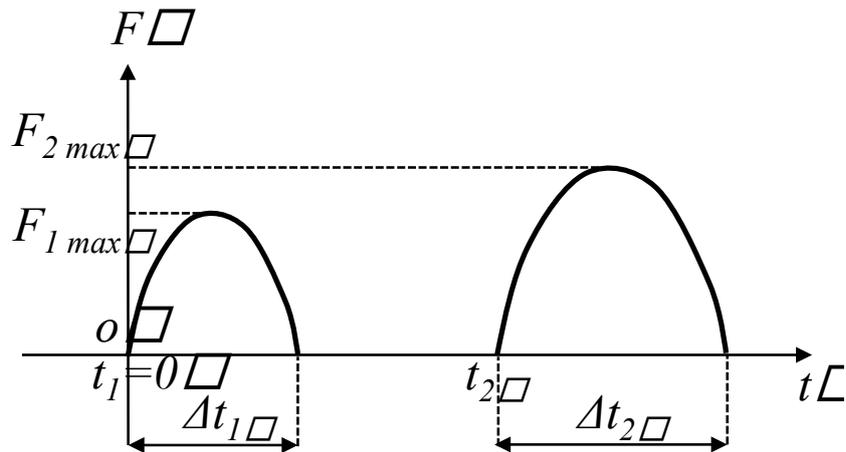


図 4. 2 衝撃力の時間波形

メーカーによると、前翼には 2 本のアブソーバが設置されており、その作動開始荷重は 1 本当たり 72ton-f である。前翼にクジラが衝突した場合、アブソーバへの荷重が破断荷重に達する前翼水平荷重の大きさを、翼走時の前翼の回転中心とアブソーバとの距離 1.085m、ならびに前翼の回転中心と翼との距離  $R_w = 4.445 \text{ m}$  から求めると、 $F_{B1} = 72 \times 2 \times 1.085 / 4.445 = 35.15 \text{ tonf}$ , (344,000N)となる。

一方、後翼のヒューズピンの破断強度はメーカーによると 127~137tonf であり、ここでは中間を取って 132tonf, (1,293,600N)とする。後翼にクジラが衝突した場合の水平方向の衝撃力の上限を、翼の回転中心とヒューズピンとの距離 2.36m、ならびに翼の回転中心と翼との距離  $R_w = 6.98 \text{ m}$  から求めると、 $F_{B2} = 132 \times 2.36 / 6.98 = 44.6 \text{ tonf}$ , (437,000N)となる。

次に、翼の回転慣性力による反力  $F_I$  の大きさを評価する。翼の慣性モーメントを  $I$  とすると、破断の瞬間の慣性力に起因する反力は、

$$F_I = \frac{I\ddot{\theta}}{R_w} \quad (9)$$

と書ける。これに(6)式を代入すると次式を得る。

$$F_I = \frac{I \cdot F}{R_w^2} \left( \frac{1}{M} + \frac{1}{m + m_a} \right) \quad (10)$$

ここで  $F$  は衝撃力  $F_s$  と後述する擦過力の和  $F = F_s + F_f = F_b + F_I + F_f$  であるが、衝撃力がピーク値をとる時の擦過力  $F_f$  は小さいため無視し、(10)式を  $F_I$  について解くと

$$F_I \approx \frac{P}{1-P} \cdot F_B \quad (11)$$

$$P = \frac{I}{R_w^2} \left( \frac{1}{M} + \frac{1}{m+m^a} \right) \quad (12)$$

となる。(12)式を用いて前翼と後翼について  $P$  の値を具体的に計算すると、クジラの体重を 30ton, 付加質量を 10ton, ( $I, R_w$  は表 4. 1 参照) とした場合、前翼では  $P_1=0.030$ , 後翼では  $P_2=0.063$  となり 1 よりずっと小さいため、

$$F_I \approx P \cdot F_B \quad (13)$$

で近似することができる。この式から  $P$  は翼の回転慣性力による反力と、破断荷重との比を表す係数であることが分かる。そこで、本推定では次式を用いて衝撃荷重のピーク値を計算した。

$$F_{Smax} = F_I + F_B \approx (1+P) \cdot F_B \quad (14)$$

次に衝撃荷重の持続時間は、アブソーバやヒューズピンが破断後、跳ね上がった翼がクジラ体を通り過ぎるまでの時間で近似できるであろう。そこで、翼の回転半径  $R_w$  を衝突時相対速度で割った値とした。前翼と後翼の回転半径  $R_w$  はそれぞれ 4.45m, 6.98m であり、衝突時の相対速度を仮に 38kt、約 20m/s とすると、持続時間はそれぞれ  $4.45 / 20 = 0.2225s$ ,  $6.98 / 20 = 0.349s$  となる。しかし、衝突により減速することから、計算プログラムの中では前翼、後翼共にクジラ体が衝突した時の相対速度の計算値を用いて持続時間を次式で与えた。

$$\Delta t = R_w / (V - v) \quad (15)$$

### (3) 擦過力のモデル

擦過力は前翼支柱や前翼がクジラ体を切り裂く力及びクジラ体や脱落した翼が船体とすれて擦過していく過程の抗力である。これには、クジラ体を切り裂きながら引きずる際の流体抗力も含まれており、ここではこれらすべてを合わせて擦過力として表す。擦過力のうち主な力であるクジラを切り裂く際の抗力を正確に見積もるには、クジラ体自体の損傷を解析する必要があるが、これは情報がないため無理である。しか

し、写真4.1に示すようにクジラは頑丈な骨格を有し、簡単には二つに切断されてしまうような事はないことから、クジラ体の損傷は主に骨格上の筋肉、脂肪、表皮等が切り裂かれたものと仮定し、その際の抗力を船体とクジラ体の相対速度に比例する力として次式でモデル化した。

$$F_F = w \cdot C_F \cdot (V - v) \quad (16)$$

$$w(t) = \begin{cases} 0 & : t \leq t_1 \\ (t - t_1)/\Delta t_1 & : t_1 < t < t_1 + \Delta t_1 \\ 1 & : t_1 + \Delta t_1 \leq t \leq t_2 \\ (t_2 + \Delta t_2 - t)/\Delta t_2 & : t_2 < t < t_2 + \Delta t_2 \\ 0 & : t \geq t_2 + \Delta t_2 \end{cases} \quad (17)$$

ここで  $C_F$  は擦過力係数、 $w$  は図4.3上段に示すように、前翼との衝撃力持続時間内は  $C_F$  を零から1まで直線的に増加させ、後翼との衝撃力持続時間内は  $C_F$  を1から零まで直線的に減少させる関数で、擦過力  $F_F$  は図4.3下段に示すような波形となる。

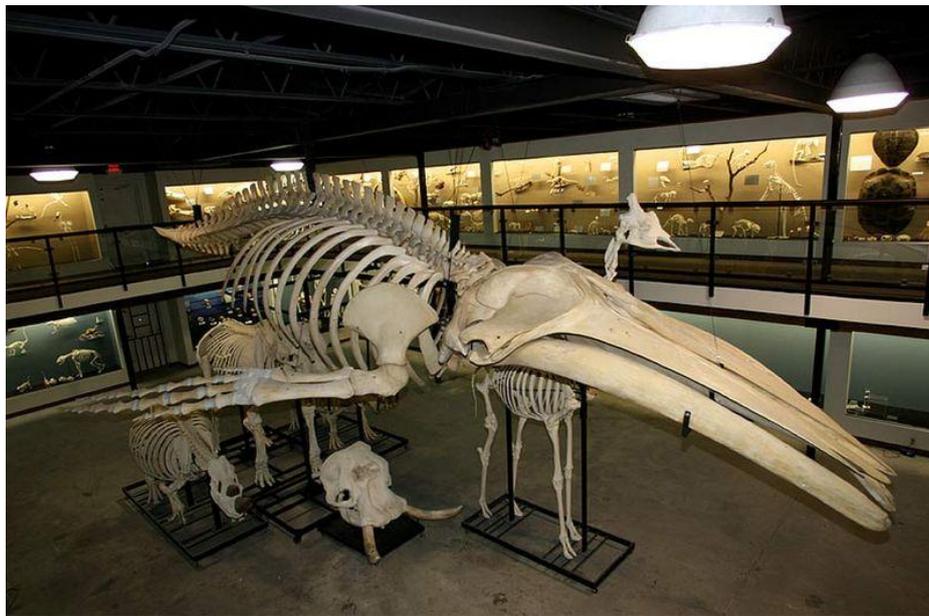


写真4.1 ザトウクジラの骨格

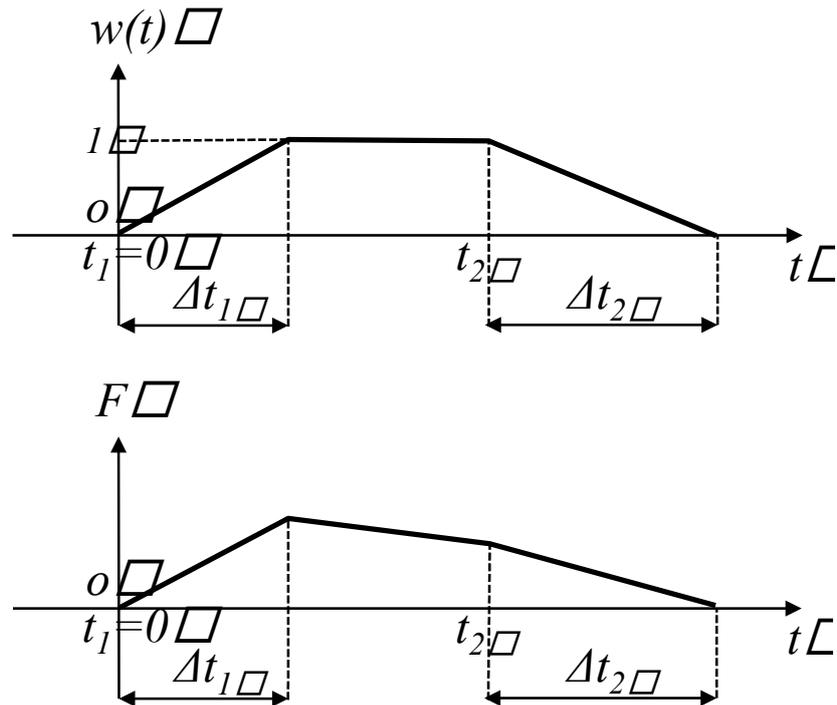


図 4. 3 擦過力の時間波形

擦過力係数  $C_F$  を推定する手段は乏しいが、船体とクジラ体との衝突で、クジラ体が前方に跳ね飛ばされる（衝突直後にクジラ体が船体の前方にあり、船体より速い速度で前方に進んでいる状態）ことは考え難い。また、クジラ体上を簡単に船体を通り越して行く（衝突直後にクジラ体が船体の後方にあり、高速で船体から遠ざかる状況）とも考え難い。よって、衝突直後にはクジラ体は船体に引きずられて相対速度は小さくなり、クジラ体は船体の後方に出てゆっくりと遠ざかる状況にあったと想定される（乗客の口述によれば、衝突のあった直後、左舷後方に赤く帯状に染まる海面とクジラ体が目撃されている）。すると、これに近い状況を与える擦過力係数を収束計算で求めることができる。一般にクジラが大型化すると擦過力係数も増大すると考えられるので、クジラの体重をパラメータにした計算においては、後翼衝突直後の船体とクジラ体との速度比を 50% として収束計算で体重に応じた擦過力係数を求めた。先に述べたように擦過力は種々の拘束力を含むものであり、50% に特に根拠はなく、0% から 100% の中間値を取ったということである。

#### (4) クジラ体の付加質量

クジラ体の付加質量  $m_a$  はクジラの姿勢に依って大きく変わる。真正面から衝突し、衝突後も角度を保った場合は、さほど大きな値にはならないが、トッピー 1 の進行方向に対して横になると最大で体重程度の付加質量になる。しかし、元々クジラの種類や大きさ自体が不明であるので、衝撃加速度のシミュレーション計算では付加質量は

体重の 1/3 とした。

#### 4.4 シミュレーション計算の流れ

前節で説明したモデル方程式を用いた衝突過程の計算フローを図 4.4 に示す。初期条件等の設定の後、次の①から③の過程を順に計算する。

##### ① 前翼とクジラ体との衝突過程の計算 (図 4.4 左列)

初期条件から船体とクジラ体との相対速度を求め、(14), (15) 式により衝撃荷重の最大値  $F_{S1max}$  ならびに持続時間  $\Delta t_1$  を計算する。

これらの値を用いて(7)式により衝撃力を、(16) (17) 式により擦過力を計算し、これらを船体とクジラ体の運動方程式(1), (2)式に入力することで加速度を計算する。また、加速度を時間積分することで速度と時刻を更新する。この計算を適切な時間刻み  $dt$  で、時刻が  $t_1 + \Delta t_1$  を超えるまで繰り返す。

##### ② 船体によるクジラ体の擦過過程の計算 (図 4.4 中央列)

前翼との衝突過程に続いて、擦過過程の計算を行う。計算は基本的に(1)とほぼ同じで、衝撃力が存在しないだけである。(16) (17) 式により擦過力を計算し、これらを船体とクジラ体の運動方程式(1), (2)式に入力することで加速度を計算し、加速度を時間積分することで速度と時刻を更新する。この計算を適切な時間刻み  $dt$  で、時刻が  $t_2$  を超えるまで繰り返す。

##### ③ 後翼とクジラ体との衝突過程の計算 (図 4.4 右列)

②の最終ステップの船体とクジラ体との相対速度を用い、(14), (15) 式により衝撃荷重の最大値  $F_{S2max}$  ならびに持続時間  $\Delta t_2$  を計算する。

これらの値を用いて(8)式により衝撃力を、(16) (17) 式により擦過力を計算し、これらを船体とクジラ体の運動方程式(1), (2)式に入力することで加速度を計算する。また、加速度を時間積分することで速度と時刻を更新する。この計算を適切な時間刻み  $dt$  で、時刻が  $t_2 + \Delta t_2$  を超えるまで繰り返す。

##### ④ 擦過力係数 $C_F$ の収束計算

以上がシミュレーション計算の流れであるが、前章で述べたように擦過力係数を求める手段が無い場合、クジラの体重をパラメータとする計算において、衝突過程①から③の直後の船体とクジラ体との速度比が 50%と仮定して収束計算で体重に応じた擦過力係数を決める。具体的には衝突過程①から③の結果、船体とクジラ体との速度比が 50%より大きい場合は、 $C_F$  を増加させ、小さい場合は  $C_F$  を減少させて①から③の計算を繰り返し、④として  $C_F$  の収束解を得る。

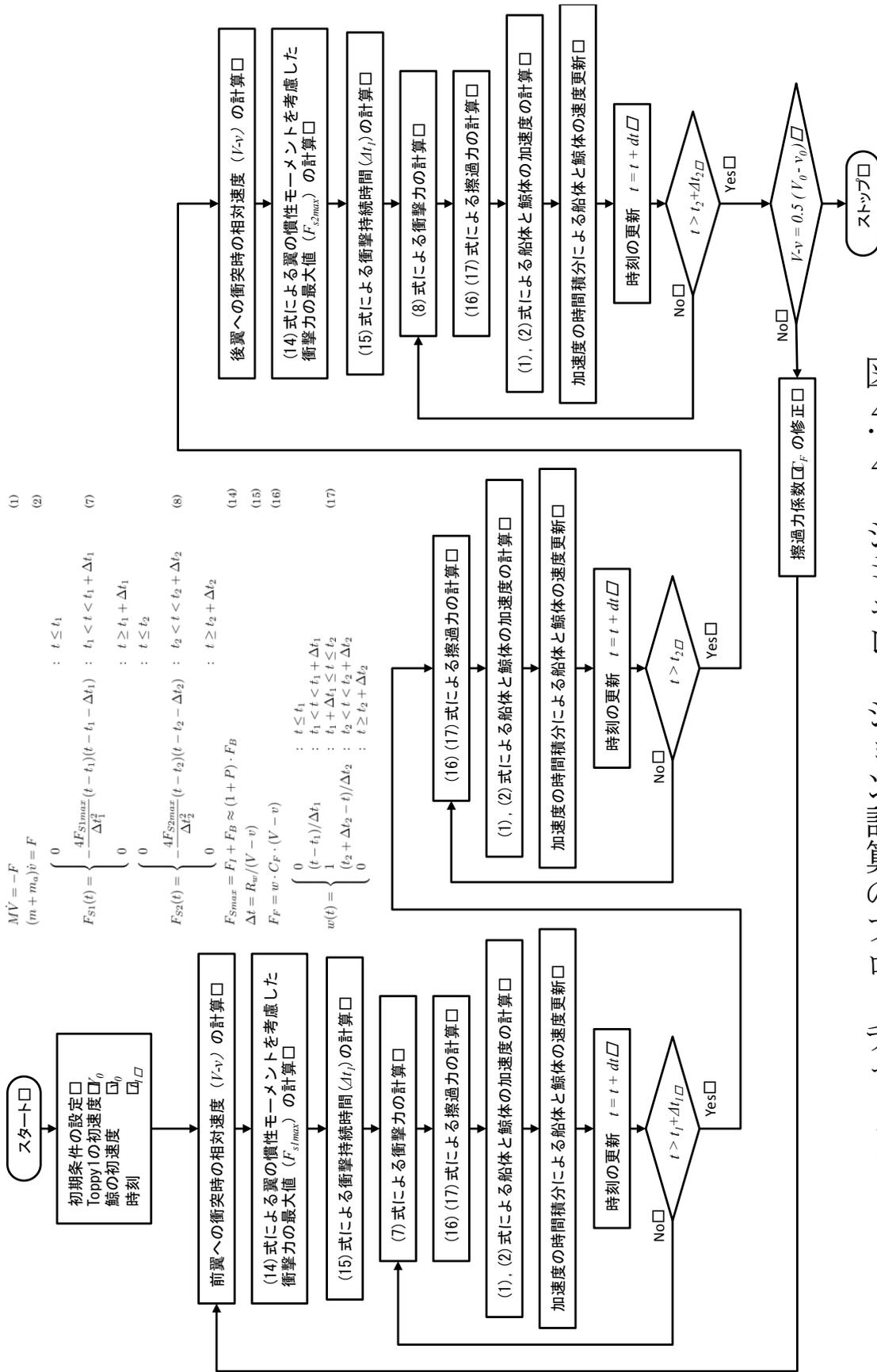
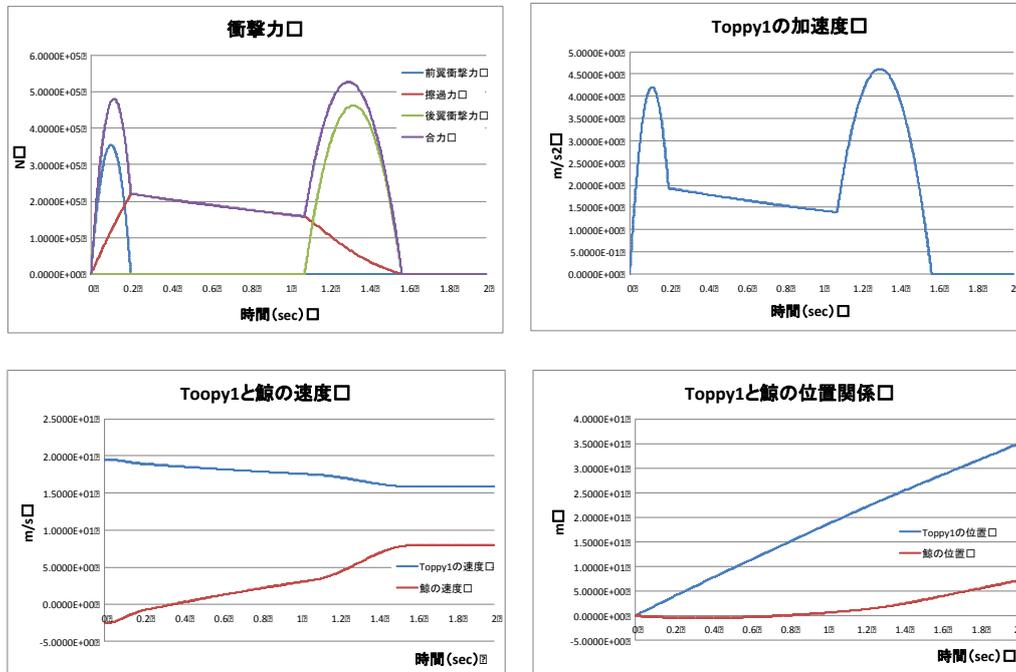


図 4.4 シミュレーション計算のフローチャート

#### 4.5 計算結果

図4.5にシミュレーション計算の計算例を示す。この例では体重 30 ton のクジラがトッピー1に向かって 5kt で遊泳し、真正面からの衝突しており、付加質量を 10 ton として計算している。



トッピー1 初速：38kt (19.55m/s)

クジラ 初速：-5kt (-2.57m/s)、体重：30,000kg、付加質量：10,000kg

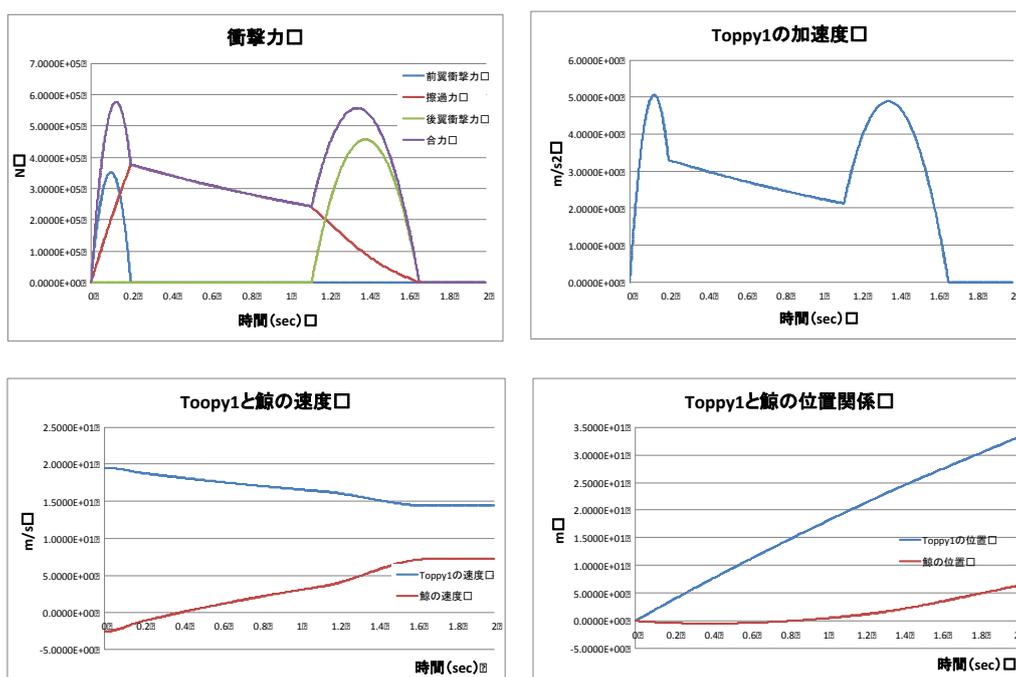
図4.5 衝突のシミュレーション結果 (例1)

左上の図は衝撃力で、最大値は4.3節(2)で示した 35.1ton-f, (344,000N) + 擦過力で押さえられていることが分かる。前翼との衝撃持続時間は大凡 0.2sec で、後翼に衝突するまでの間は4.3節(3)で示した擦過力が作用し、約 1.2sec 後に後翼との衝突で2度目の衝撃力が発生している。2度目の衝撃でも最大値はヒューズピンの破断荷重で抑えられているため、1度目と同程度であるが、衝突速度が遅くなっているため、衝撃持続時間は約 0.4sec と2倍程度になっている。右上にこの衝突でトッピー1に生じる水平方向の加速度を示す。最初の衝撃の最大加速度は  $4.2\text{m/s}^2$  (0.43G) で、2度目の衝撃の最大加速度も  $4.6\text{m/s}^2$  (0.47G) で、乗客はほぼ同じ大きさの衝撃加速度を約 1.2sec の間隔で2度経験したことになる。この衝撃による速度変化を左下の図に示す。4.3節(3)で述べたように、衝突後のクジラがトッピー1の速度の50%になるよう擦過力係数を繰り返し計算で求めており、この計算では  $C_F=11,130\text{N}/(\text{m/s})$  である。右下の図はトッピー1とクジラとの位置関係で、時刻0に前翼に衝突したクジラが相対的に船体後方に移動し約 1.2sec 後に 19m 後方の後

翼に衝突し、その後は船体後方に離れて行く結果が示されている。

ここで、水平方向加速度の程度を直感的に理解するため、簡単な解説を付けておく。衝撃加速度の上限はアブソーバやヒューズピンの破断強度で抑えられる。仮に最大加速度が1Gであるとすると、船体重量に相当する水平方向荷重が翼に働くまで破断しない強度があるということで、これは常識的には強すぎて安全装置として機能しない。また、余り弱すぎても簡単に破断してしまい危険である。今回のシミュレーションでは0.4Gから0.5G程度の衝撃加速度が生じており、安全装置としての観点からも極めて常識的な値であると考えられる。

図4.6に計算例をもうひとつ示す。より大型の体重45 tonのクジラが同じ相対速度で真正面から衝突する計算である。内容は図4.6とおおむね同じである。この計算例では前翼衝突時の最大加速度が $5.1\text{m/s}^2$  (0.52G)と大きくなっている一方、後翼衝突時の加速度は $4.9\text{m/s}^2$  (0.5G)で30tonのクジラとの衝突と同程度になっている。この差は擦過力係数の違いにより生じており、繰り返し計算で求めた値は $C_F=18,890\text{N}/(\text{m/s})$ である。



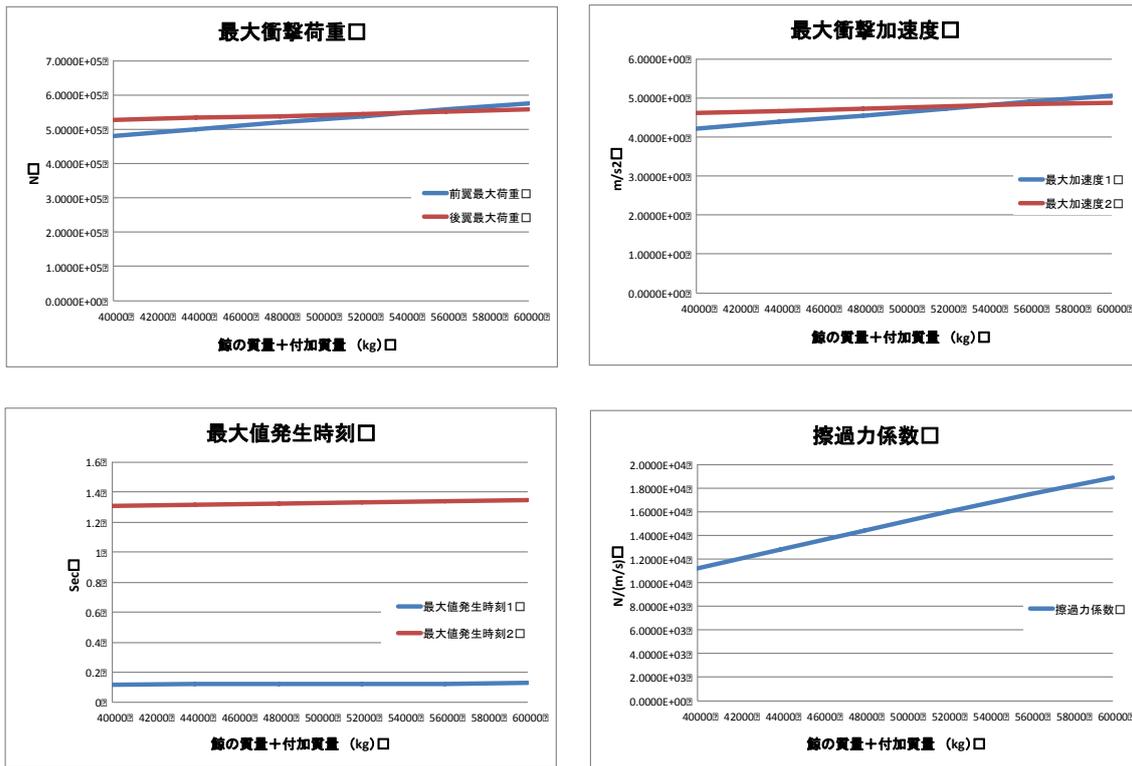
トッピー1 初速：38kt (19.55m/s)

クジラ 初速：-5kt (-2.57m/s)、体重：45,000kg、付加質量：15,000kg

図4.6 衝突のシミュレーション結果：例2

図4.5と図4.6の違いはクジラの体重である。そこで横軸にクジラの体重と付加質量(体重の1/3)の和を、縦軸に最大衝撃荷重、最大加速度、最大値発生時刻、擦過力係数を取り図4.7に示す。図からクジラの体重が増えるに連れて前翼衝突時の

衝撃荷重が増加傾向にあることが分かる。また、後翼衝突時の衝撃荷重も微増しているが前翼より増加の程度は小さい。衝撃の最大値発生時刻については、前翼ではクジラの体重の影響は殆ど無いが、後翼ではクジラの体重が増加に連れて僅かに遅れる傾向が読み取れる。擦過力はクジラの体重の増加に連れてかなり顕著に増加している。クジラ体を切り裂き、引きずるのに要する力が、クジラが大型化するに連れて増加することは理にかなっており、妥当な結果であると思われる。

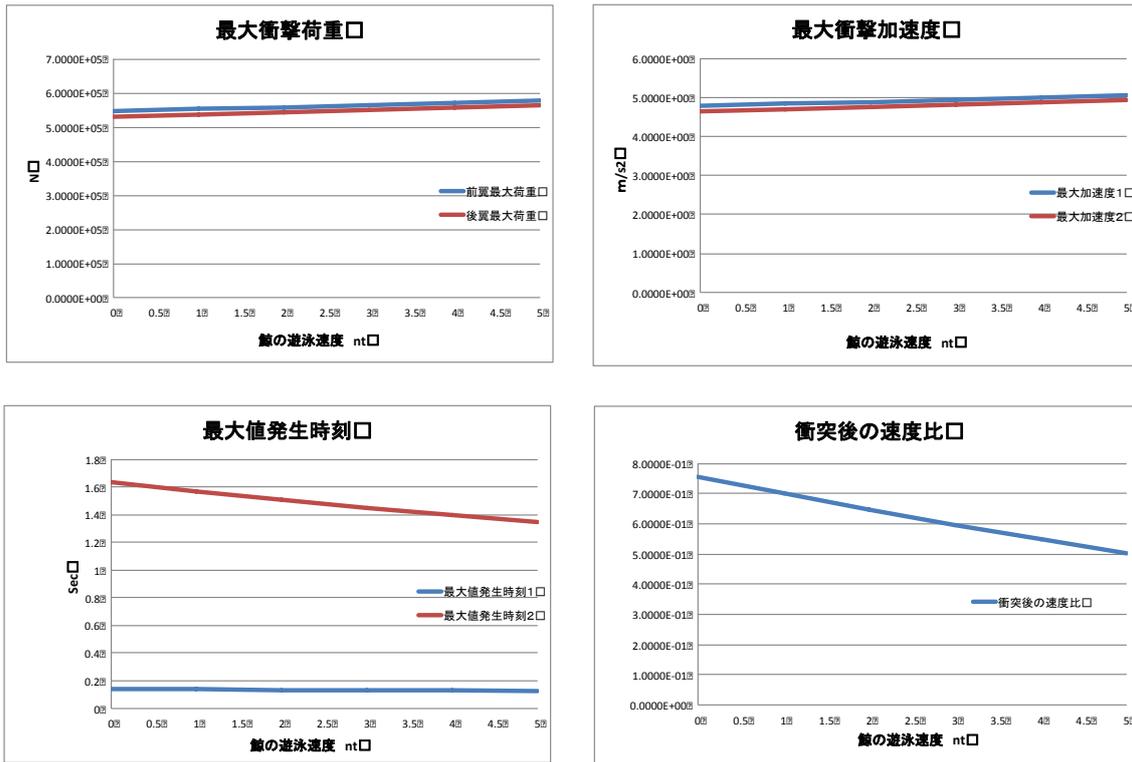


| 鯨の体重  | 付加質量  | 最大値発生時刻1 | 前翼最大荷重     | 最大加速度1     | 最大値発生時刻2 | 後翼最大荷重     | 最大加速度2     | 擦過力係数      |
|-------|-------|----------|------------|------------|----------|------------|------------|------------|
| kg    | kg    | sec      | N          | m/s²       | sec      | N          | m/s²       | N/(m/s)    |
| 30000 | 10000 | 0.116    | 4.7970E+05 | 4.2079E+00 | 1.301    | 5.2831E+05 | 4.6343E+00 | 1.1130E+04 |
| 33000 | 11000 | 0.118    | 4.9924E+05 | 4.3793E+00 | 1.313    | 5.3452E+05 | 4.6888E+00 | 1.2770E+04 |
| 36000 | 12000 | 0.120    | 5.1866E+05 | 4.5496E+00 | 1.322    | 5.4066E+05 | 4.7426E+00 | 1.4360E+04 |
| 39000 | 13000 | 0.122    | 5.3800E+05 | 4.7193E+00 | 1.330    | 5.4661E+05 | 4.7948E+00 | 1.5910E+04 |
| 42000 | 14000 | 0.124    | 5.5736E+05 | 4.8891E+00 | 1.339    | 5.5237E+05 | 4.8453E+00 | 1.7430E+04 |
| 45000 | 15000 | 0.126    | 5.7629E+05 | 5.0552E+00 | 1.347    | 5.5786E+05 | 4.8935E+00 | 1.8890E+04 |

トッピー1の初速：38kt (19.55m/s)      クジラの初速：-5kt (-2.57m/s)

図4.7 クジラの体重と付加質量が衝撃荷重ならびに  
衝撃加速度の最大値に及ぼす影響

次にクジラの遊泳速度が衝撃荷重ならびに衝撃加速度の最大値に及ぼす影響について図4.8に示す。



| 鯨の遊泳速度 | 最大値発生時刻1 | 前翼最大荷重     | 最大加速度1           | 最大値発生時刻2 | 後翼最大荷重     | 最大加速度2           | 衝突後の速度比    |
|--------|----------|------------|------------------|----------|------------|------------------|------------|
| kt     | sec      | N          | m/s <sup>2</sup> | sec      | N          | m/s <sup>2</sup> |            |
| 0.0    | 0.139    | 5.4503E+05 | 4.7809E+00       | 1.639    | 5.2404E+05 | 4.5969E+00       | 7.5241E-01 |
| 1.0    | 0.136    | 5.5123E+05 | 4.8353E+00       | 1.57     | 5.3097E+05 | 4.6576E+00       | 6.9937E-01 |
| 2.0    | 0.133    | 5.5745E+05 | 4.8899E+00       | 1.508    | 5.3779E+05 | 4.7175E+00       | 6.4700E-01 |
| 3.0    | 0.131    | 5.6371E+05 | 4.9448E+00       | 1.449    | 5.4457E+05 | 4.7769E+00       | 5.9635E-01 |
| 4.0    | 0.128    | 5.6998E+05 | 4.9998E+00       | 1.397    | 5.5122E+05 | 4.8352E+00       | 5.4780E-01 |
| 5.0    | 0.126    | 5.7629E+05 | 5.0552E+00       | 1.347    | 5.5786E+05 | 4.8935E+00       | 5.0033E-01 |

クジラ 体重：45,000kg 付加質量：15,000kg

擦過力係数 18,910 N/(m/s)

図 4.8 クジラの遊泳速度が衝撃荷重ならびに  
衝撃加速度の最大値に及ぼす影響

この計算ではクジラの体重は 45ton で、擦過力係数は  $C_f=18,890$  N/(m/s) に固定した。横軸はクジラの遊泳速度で、静止した状態からトッピー 1 に向かって 5kt で遊泳している状態までを計算し、前翼・後翼との衝突時の最大衝撃荷重と最大衝撃加速度を図 4.8 上段に示してある。遊泳速度が増加するに従い、最大衝撃荷重と最大衝撃加速度が僅かに増加する傾向にあるが、クジラの遊泳速度が衝撃加速度に及ぼす影響はあまり顕著ではない。図 4.8 左下は衝撃加速度のピーク値の発生時刻で、前翼への衝突ではピーク値発生時刻に殆ど変化は無いが、19m 後ろの後翼への衝突時刻は、クジラの遊泳速度が速まるに連れて早くなっていることが分かる。遊泳速度が 0 の場合は約 1.5 秒間隔で 2 度衝撃を体験するが、遊泳速度が 5kt になると約 1.2 秒間隔で 2 度衝撃を体験する結果となっている。図 4.8 右下は衝突前の衝突後のトッピー 1 とクジラとの速度比である。遊泳速度が 5kt の場合、50%になるよう擦過力係数を決

めており、遊泳速度が 0 であった場合、クジラはトッピー 1 の速度の約 75%にまで達していることが分かる。

#### 4.6 水平方向のシミュレーション計算解析結果

結果をまとめると以下のように総括できる。

- ① 航海速力 (38kt) で航走中のトッピー 1 が 30t を超える大型クジラ類と衝突すると、0.4G から 0.5G 程度の衝撃加速度が 1.2 秒程度の間隔で 2 度生じる。
- ② クジラの体重が衝撃加速度に及ぼす影響はさほど顕著ではなく、30t から 45t に増加しても衝撃加速度の最大値の増加量は前翼への衝突では 20%程度、後翼への衝突では 6%程度である。
- ③ クジラの遊泳速度が衝撃加速度に及ぼす影響もさほど顕著ではなく、静止状態の 0 kt からトッピー 1 に向かって 5 kt まで増速しても、衝撃加速度の増加量は前翼との衝突、後翼との衝突共に 6%程度である。
- ④ 上記①から③の結果は、衝撃加速度の上限がアブソーバやヒューズピンの破断強度で規定されているため、この値が衝撃加速度の上限を与える一番重要な要素である。

#### 5. 垂直方向のシミュレーション計算

今回のトッピー 1 のクジラ衝突事故では、水平方向の速度変化が鉛直方向と比べて突出しているため、前章では水平方向の運動のみを考えてシミュレーション計算を行った。実際には、前翼脱落とともに、船体は前のめりに落ちて、着水するわけで、垂直方向の加速度についても確認しておく必要がある。平成 18 年 4 月に同じ鹿児島県佐多岬沖で起きたトッピー 4 の事故では、後翼への物体（おそらくは木材）の衝突、それによる後翼跳ね上げにより船体後部が落下着水した時の衝撃加速度が直接的な事故原因であった。この解析の際、前翼が脱落して船首から着水した場合のシミュレーション計算も追加して行っている。そこで、このときの計算結果概要をここに再録することとする。なお、トッピー 1 とトッピー 4 の外形寸法、基本性能等は同一と考えて差し支えない。

##### 5.1 解析条件

剛体モデルを用い、21m/s (41kt) の速力で 1.5m の高さで巡航中に、何らかの物体が前翼に衝突、前翼が脱落し、船首から着水した場合を想定する。

##### 5.2 シナリオに沿った運動解析方法

後翼部は船体と一体として扱った。前翼部が脱落した時刻を 0 とし、その後の 1.2

秒間について水線面形状（付加質量）の変化から船体に作用する衝撃荷重及び衝撃加速度の計算を行った。図 5. 1 に垂直方向の計算に用いた座標系を図 5. 2 に計算フローチャートを示す。0-XZ は静止水面上に原点を置く空間固定座標系、 $G_H-X_HZ_H$  は船体の重心  $G_H$  に原点を置く船体固定座標系である。水平方向の計算と異なり、船体固定座標系を用いていることに注意されたい。 $\theta_H$  は船体のピッチ角で本計算では左回りを正にとる。付加質量の時間変化を計算するためトリム角と船首部の没入深度をパラメータにした付加質量等のテーブルを作成した。シミュレーション計算ではこれを内挿して時々刻々の付加質量を推定するとともに差分近似により時間変化を計算した。

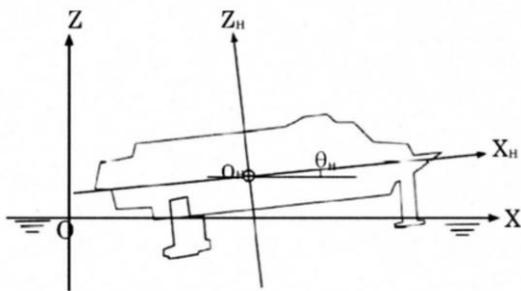


図 5. 1 垂直方向計算の座標系

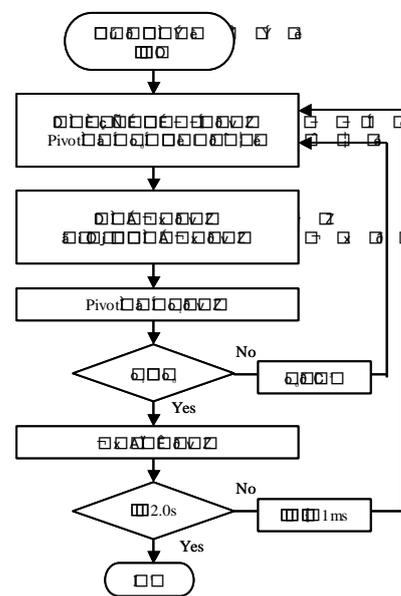


図 5. 2 計算のフローチャート

### 5. 3 垂直方向のシミュレーション計算解析結果

シミュレーションによる船体挙動は、前翼の脱落により、前翼の揚力が失われ船首の落下運動が始まる。また、重力と後翼の揚力により回転運動が発生する。0.8 秒後の少し前で前端下部の船底が最初に着水し、その後約 0.15 秒で船底全面が着水する。この時、上向きに衝撃的な加速度が発生する。そして 1.2 秒後にはトリム  $0^\circ$  度となる。

図 5. 3 に計算例として、1 階前方船室最前列及び 2 階操縦席における垂直方向加速度時系列例を示す。垂直方向加速度の最大値は 1 階前方客室最前列で +3.3G であった。また、マイナス方向の最大値は -0.5G 程度と大きさは 1G 以下であり、イスから腰が浮くような状態は発生しないことがわかった。

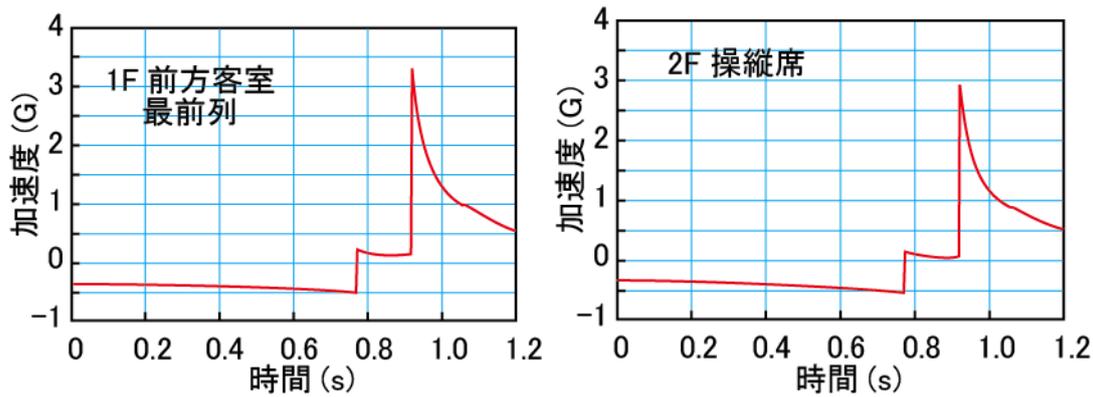


図 5.3 1階前方船室最前列及び2階操縦席における  
垂直方向加速度時系列

## 6. 安全装置の効果検証

### 6.1 事故時乗員の挙動

事故当時、5名の乗員が乗船していたが、シートベルトをしていたのは船長の1名のみで、残りの4名は交代等の関係でシートベルトをしていなかった。各人の事故時の状況は下記の通りである。

- ① 船長（53歳男性）はブリッジ内の中央右側の座席に座り、乗員の内、唯一シートベルトをしていた。無傷であった。
- ② 一等航海士（51歳男性）は、客室の巡回からブリッジに戻ってきて、船長の座席の後ろに立ち、表示縮尺を変えるためにGPSプロッターに手をかけたとき衝撃を受けた。右腕上部後側の皮膚にナットの跡が2つあるが、どのようにぶつめたか不明とのことで、ケガによりヘリコプターで搬送された。
- ③ 機関長（53歳男性）と④一等機関士（46歳男性）は、ブリッジ内で事故直前までシートベルトをして座っていた。一等航海士が戻ってきたところで、席を交代するためシートベルトを外し、中央左側の座席に一等機関士、一番左舷寄りの座席に機関長が着座しようとしたとき、衝撃を受けた。機関長は頭をぶつめたが軽傷。一等機関士は打撲による痛みがあり、ヘリコプターで搬送された。
- ④ 客室乗務員（25歳女性）は客室内自席の前の通路を船尾側に向けて歩いている最中に衝撃を受けて、後ろ向きに船首方向へ大きく飛ばされた。しばらくの間、気を失っていた。気づいて目を開けたとき、腰も足も痛く、特に頭を強く打って痛かった。最も重傷であり、最初にヘリコプターで搬送された。

### 6.2 事故時乗客の挙動

事故時に乗船していた乗客数は184名であり、事故後のアンケートが回収できたのは151名であった。アンケート結果から、座席位置が判明した乗客の性別、シートベ

ルト着用の有無、けがの有無等をまとめて、図6.1に図示する。アンケートには答えているものの、座席位置が判明しない乗客もかなり多く、図では着席した乗客が判明しないシートを灰色で表示している。アンケート結果によると、事故時にシートベルトをしていなかったと判明した乗客は表6.1に示した3名だけであり、シートベルト装着率は98%を越えていた。

アンケート結果等によると、ケガ人の数は32名（アンケートに回答せずに運航会社に診断書を提出した女性が1名別にいた。）で、全体の17%程度であった。船体の損傷が左舷より右舷で顕著であったことから推察されるように、右舷側に着席した乗客の方がけが人が多く発生している。ただし、表6.2に示した様に、症状の大半は前方のイス等に身体をぶつけた事による打撲、打ち身、ねんざ、むち打ち、軽度の擦り傷、軽度の切り傷、アザであり、船体の損傷の割には比較的軽度なものであった。シートベルトの長さ調節と受傷との関係ははっきりしない。

表6.1 シートベルト非装着乗客の状況

| 性別 | 年齢 | 位置    | ケガした部位                 | ケガの経緯              | シートベルトをしなかった理由                         |
|----|----|-------|------------------------|--------------------|--|
| 男  | 34 | D9    | 左側胸部の打撲                | 最前列で座席前にある段差にぶつかった | リラックスをするため、靴を脱ごうとしてシートベルトを外した時に事故にあった。 |
| 男  | 68 | D25   | 右足すね擦(過)傷。左足ひざ打撲、擦(過)傷 |                    | 何となく。まだトイレとか、外の景色等を見たかったから・・・。         |
| 女  | 38 | 1F WC | 左の後ろ太股と右足首辺りを打撲(頭、肩、首) | トイレの中の壁や便器などに当たった  | トイレの中にいたため                             |

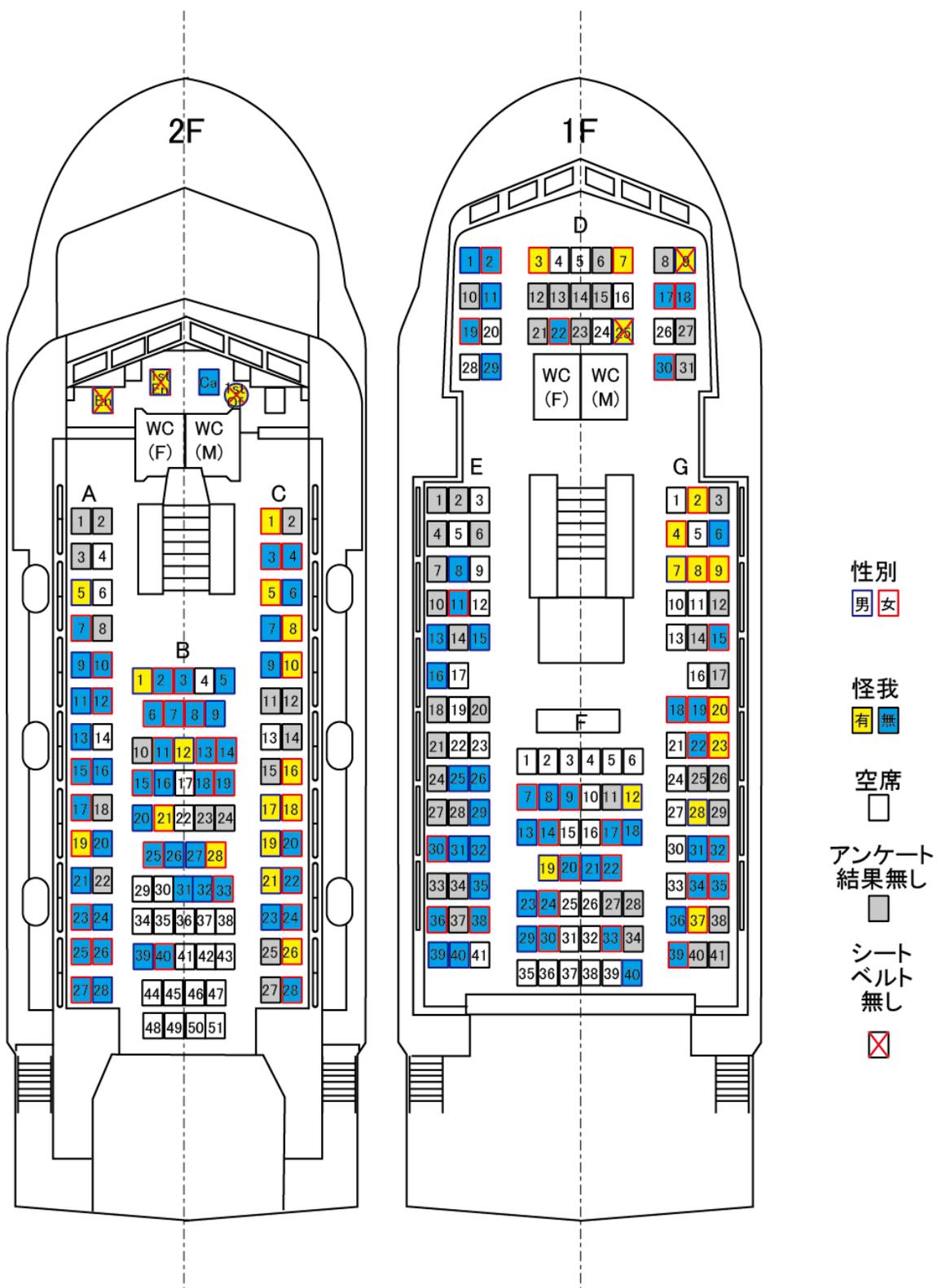


図 6.1 座席位置と怪我等の関係

表6.2 シートベルト装着してケガした乗客の状況

| 性別 | 年齢 | 座席  | ケガした部位                    | ケガの経緯                          | シートベルト長さ調整 |
|----|----|-----|---------------------------|--------------------------------|------------|
| 男  | 29 | A5  | 少し腰痛                      | 急な衝突と停止                        | ○          |
| 女  | 67 | A19 | 左肩を打ち身して青アザ               | 窓枠にぶつかった                       | ×          |
| 男  | 62 | B1  | 軽い鞭打ち                     |                                | ○          |
| 男  | 51 | B12 | 首、腰部のムチウチ(4/25から通院中)      | リラックス(無力)していて構えができていなかった       | ゆるめ        |
| 女  | 64 | B22 | 左手の肘の上、右足の膝の裏下、一週間頭がふらついた | 体が前に行った時、何かに当たった               | ×          |
| 女  | 66 | B28 | 右足のもとと右腕に青アザ              | 揺れて、ぶつかった                      | 覚えていない     |
| 女  | 68 | C1  | 額の右部を打撲して2、3日間痛み          | 座席の前の板に強打                      | ○          |
| 女  | 64 | C5  | むち打ち                      | 前の座席に顔と首を強打                    | ○          |
| 女  | 57 | C16 | 前頭部打撲、軽症                  | 衝突の衝撃で前のシートに顔が当たった             | ×          |
| 男  | 60 | C17 | 唇(口腔内)                    | 顔面を前席に強打                       | ×          |
| 女  | 56 | C18 | 右上唇擦り傷                    | 前の座席に強打                        | ×          |
| 男  | 51 | C19 | 眼鏡の金具で目と目の間に切り傷           | 前の座席に顔が当たった                    | ゆるめ        |
| 女  | 52 | C26 | 左膝の擦り傷、左腕の筋肉痛             | 前座席に左膝があった為、前座席に左腕をつけて身体を支えたため | ×          |
| 女  | 27 | D3  | 腕を肘掛けにぶつけてアザになった程度        | 腕を肘掛けに置いていた                    | ×          |
| 女  | 42 | D7  | 右頭頂部打撲、1、2日経つと左胸部痛、全身の痛み  | 前部の壁で頭部を打ち、シートベルト又は肘掛けで身体を打った  | ×          |
| 男  | 45 | F12 | 右足の膝付近に内出血(2カ所)           | 前席に打ち付けた                       | ○          |
| 男  | 68 | F19 | 右足の膝に打撲と擦り傷               | 眠っていて、咄嗟の行動                    | ○          |

|   |    |     |                                     |                           |   |
|---|----|-----|-------------------------------------|---------------------------|---|
|   |    |     |                                     | ができなかった                   |   |
| 女 | 44 | G1  | 唇の切り傷                               | 前方の台か座席に強打                | ○ |
| 女 | 69 | G2  | 首のむち打ち、足                            |                           | ○ |
| 男 | 64 | G7  | 頸椎捻挫性の肩こり、首筋痛の軽度後遺症                 | 衝撃の大きさによる                 | ○ |
| 女 | 51 | G8  | 胸部打撲、打撲跡が赤くなり痛み                     | 座席のテーブルで打撲                | × |
| 女 | 17 | G9  | 唇を少し噛み切った                           | 前のシートに顔を強打                | × |
| 女 | 63 | G20 | 左手の腫れ、首のムチウチ、現在通院中                  | 両手を膝の上ののせていて前席にぶつかった      | ○ |
| 女 | 65 | G23 | 2日目位から肩がだるく、両腕に痛み、1週間程度頭が重く、体も動きづらい | 軽いむち打ちと衝撃のため間のシートで体を支えたため | ○ |
| 男 | 72 | G28 | 2～3日間顔面痛(眼鏡は修理した)                   |                           | ○ |
| 女 | 68 | G37 | 左目の下のところから鼻に掛けて赤くなった                | 居眠りをしている前の座席に顔をぶつけた       | × |
| 男 | 30 | -   | 左胸部打撲、全身の痛み                         | 肘掛け、又シートベルトで打った           | × |
| 女 | 63 | -   | 首を痛めて治療中                            |                           | ○ |

### 6.3 本事故の加速度評価

4章で示したように、本事故での加速度は、前進方向には0.4Gから0.5G程度の衝撃加速度が1.2秒程度の間隔で2度生じたと考えられる。この衝撃加速度の持続時間は0.2秒程度のオーダーである。一方、5章で示したように、主著区方向加速度の上向き最大値は+3.3Gであるが、持続時間は非常に短いと考えられる。また、下向き最大値は-0.5G程度であったと考えられる。

文献によると<sup>[2]</sup>、人間が前からの加速度、下からの加速度にどの程度まで耐えられるかは、まず、図6.2に基づいて、加わる加速度の大きさと作用時間を決定し、しかる後に、図6.3に基づいて無傷か中程度の受傷か重傷かを決定する。

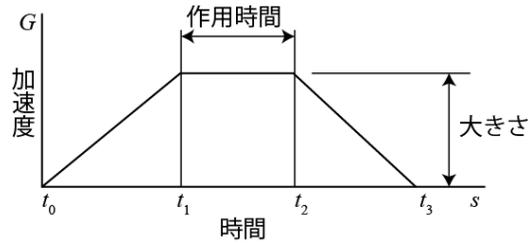


図 6.2 人間に加わる加速度と作用時間

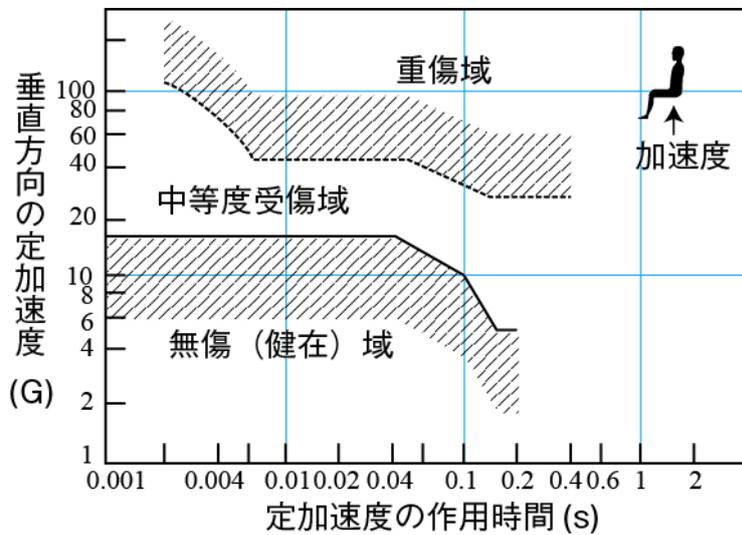
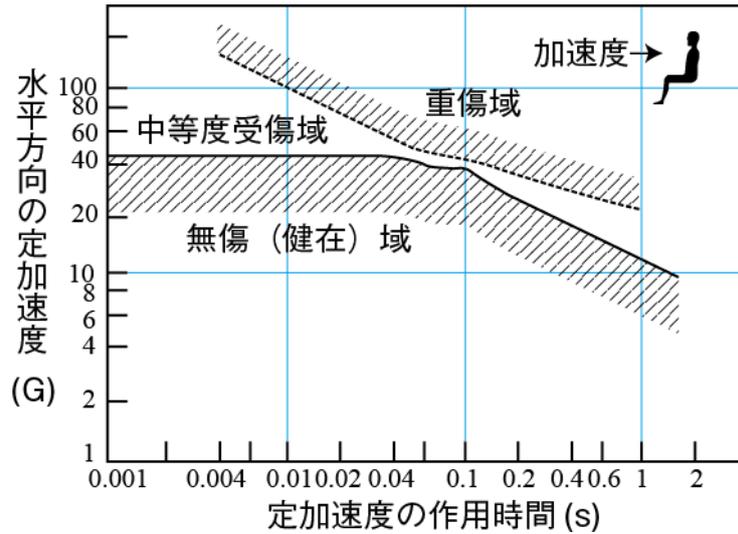


図 6.3 人間が耐えられる加速度

図 6.3 によって判断すると、水平方向の 0.5G 程度、垂直方向の 3.3G 程度はいずれも無傷域にあり、加速度だけで受傷することは無いことがわかる。また、垂直方向のマイナスの加速度も 0.5G と 1G を越えないため、腰が一旦浮いた後、座席に打ち付けられる事による受傷も考慮する必要はない。したがって、今回の事故では、前進方

向の加速度により身体が船首方向へと「持って行かれる」ことにより、様々な物体（その多くは前の座席）に当たることのみがその原因であると言える。シートベルトを非装着の場合、0.5G の前進加速度が 2 回身体にかかるという状況は非常に厳しい状況であり、自身の力で前へ身体が飛ぶことを抑えることはできない。特に前後に遮るものがない通路を歩行中に後ろ向きに飛ばされた客室乗務員が、全乗員乗客中最も重いケガをしたことはこれを裏付けるものである。シートベルトを非装着の 3 人の乗客の場合、前の座席がすぐにあたり、狭いトイレの中であたりしたため、身体が大きく飛ばされることがなく、比較的軽傷で済んだものと考えられる。逆に、腰だけを固定するシートベルトを装着していても、身体が大きく飛ばされることは防げても、上半身は座席の中で前後に揺すられ、額や肩を前の座席に打ち付けることは防ぎきれないため、全体では 17% 程度の軽傷者が出ることとなった。しかし、この受傷率は船体が大きく破壊された事故の大きさに比べると、比較的少なかったと評価される。

#### 6.4 トッピー 4 の衝突事故との比較評価

平成 18 年 4 月にやはり鹿児島県佐多岬沖でジェットフォイルトッピー 4 が高速航行中に何らかの水中浮遊物に衝突した事故では、100 名を超える乗船者が負傷（うち約 30 名が重傷）する大惨事となった。

着席しシートベルトを着用していたにも関わらず重傷を負った乗客も含まれていたことから、国土交通省に設置した「超高速船に関する安全対策検討委員会」における検討において、衝突時の被害軽減の観点から、座席及びシートベルトの望ましい技術基準及び試験基準について検討を進めることとなった<sup>[3]</sup>。検討によると、この事故は、前翼には当たらずに後翼のみに浮遊物が当たり、後翼が跳ね上がって船尾から船体が水面にたたきつけられたもので、客室位置の垂直方向加速度は最大で下向き約 6G と推測された。この場合、乗客は腰がシートからいったん浮き上がり、それからシートにたたきつけられることにより、腰椎圧迫骨折等の重篤な障害を引き起こすというメカニズムが指摘された。

この結果、以下の対策が実施されている。

シートベルトの要件として、通常の前後方向の衝突については、通常の自動車用のシートベルトが有効に機能するものと考えられる。後翼跳ね上げによる鉛直落下については、鉛直落下時に乗客が座席から浮いて大きく離れないことが、腰椎骨折等による乗客の負傷リスクを低減するために有効であり、水中翼型高速船には以下の要件を満たすシートベルトを速やかに導入することが適切と考えた。

- ・ 自動車用のシートベルト（強度、耐久性等の要件）
- ・ 緊急ロック式巻取装置の付与 又は 航空機用のシートベルトのように簡易な動作で迅速にベルト締め付けができるものであること

また今回の事故と同様の、前翼の脱落による鉛直落下については、後翼跳ね上げによる鉛直落下より衝撃が小さいため、上記の対策を講じれば必要な安全性は確保されることが考えられるとした。

また、座席については後翼跳ね上げによる鉛直落下については、上述のとおりシートベルトの緩みを防止することが優先度の最も高い対策といえるが、座席クッションを改善すれば一定以下の衝撃荷重と座席クッション間の空間距離の条件下では更なる改善が見込めることから、適切なシートベルトの装着を前提とした上で、更なる安全性向上策として座席クッションの改善も一定の効果があるものとしている。

## 7. まとめ

今回の事故は、クジラと船を浮上させている前翼・後翼とが衝突することにより、0.5G程度の前向きの加速度が2回かかることとなり、シートベルト非装着だった乗員・乗客が投げ出されて何かに当たったり、装着していても上半身が前の座席等に当たったりして受傷したものと考えられる。

今回の事故での受傷者が比較的少なく、かつ軽傷者が多かったことは、乗客のシートベルトの装着率98%以上と、トッピー4での事故対策が確実に実施されて、有効に働いたことを示している。今後、乗客に対してさらにシートベルトの確実な装着を徹底することが、万が一事故が起こった場合の受傷者減少に最も効果があると考えられる。また、巡回などでシートベルトをはずすことの多い乗員や、常時着用が困難な客室乗務員に対しては何らかの対策が必要であると考えられる。

## 参考文献

- [1] 南日本新聞、2012年5月25日記事、「ザトウクジラ衝突か」
- [2] D. E. Goldman, H. E. Von Gierke、中村円生・松野正徳・長谷川武訳、「衝撃・振動の人体への影響」医歯薬出版
- [3] (独) 海上技術安全研究所、「高速船の座席・シートベルトの安全性に関する調査」平成19年度調査報告書