

船舶事故調査報告書

船 種 船 名 ロールオン・ロールオフ貨物船 白虎
船 舶 番 号 1 4 3 7 8 4
総 ト ン 数 1 1, 4 5 4 トン

船 種 船 名 ケミカルタンカー ULSAN PIONEER
I M O 番 号 9 7 3 0 9 6 9
総 ト ン 数 2, 6 9 6 トン

事 故 種 類 衝突
発 生 日 時 令和3年5月27日 23時53分38秒頃
発 生 場 所 愛媛県今治市梶取ノ鼻^{かじとり の はな}北北東方沖（来島海峡航路西口付近）
^{いかだいそ}浮磯灯標から真方位285° 1.4海里付近
（概位 北緯34° 09.1′ 東経132° 54.4′）

令和7年9月17日

運輸安全委員会（海事部会）議決

委 員 長 李 家 賢 一
委 員 伊 藤 裕 康（部会長）
委 員 上 野 道 雄
委 員 早 田 久 子
委 員 高 橋 明 子

要 旨

<概要>

ロールオン・ロールオフ貨物船^{びやっ こ}白虎は、船長ほか11人が乗り組み、来島海峡航路西口を出て安芸灘南航路に向けて南西進中、また、ケミカルタンカー^{ウルサン}ULSAN PIONEERは、船長ほか12人が乗り組み、来島海峡航路西口に向けて北東進中、令和3年5月27日23時53分38秒頃、愛媛県今治市梶取ノ鼻北北東方沖において、両船が衝突した。

白虎は、左舷中央部に破口を生じて沈没し、船長及び乗組員 2 人が死亡したほか、乗組員 5 人が負傷した。また、ULSAN PIONEER は、船首部が圧壊し、球状船首に曲損等を生じたが、死傷者はいなかった。

<原因>

(1) 衝突の原因

本事故は、夜間、来島海峡航路で南流時の航法が指定されている時間帯に、同航路西口から南西進しようとしていた白虎と安芸灘南航路から来島海峡航路西口に向け北東進中の ULSAN PIONEER とが互いの進路を交差する状況で接近中、白虎が、同航路出航後に安芸灘南航路に針路をとっても ULSAN PIONEER との衝突のおそれはないものと判断し、来島海峡航路を出航後間もなく、両船が 1 海里 (M) 程度の距離まで接近した時期に、ULSAN PIONEER に対して操船意図を無線で伝えないまま左方に 30° 変針して針路を 230° (真方位、以下同じ。) としたため、白虎の船尾側を通過することを想定して同航路西口の北側を目指していた ULSAN PIONEER と短時間のうちに接近することとなり、また、ULSAN PIONEER の船橋内が予測していなかった突然の白虎の変針に混乱する中、ULSAN PIONEER の当直航海士が ULSAN PIONEER の船長に了承を得ないまま白虎に対して無線で「Port to Port」(お互いの左舷を対して通過する通航方法) で通過したい旨を伝え、これに同意した白虎が右転したものの、ULSAN PIONEER が、ULSAN PIONEER の船長の「Hard port」(左舵一杯) の指示により、白虎との合意どおりに「Port to Port」で避航しなかったため、両船が衝突したものと考えられる。

白虎が安芸灘南航路に向けて左方に 30° 変針する際に ULSAN PIONEER に操船意図を伝えなかったのは、変針前に白虎の当直航海士がレーダーの機能を用いて試行操船を行った結果、ULSAN PIONEER と左舷を対して CPA (2 船の最接近距離) 0.2M 程度で通過できると判断し、衝突の危険性を認識していなかったことによると考えられる。白虎の当直航海士が想定した白虎と ULSAN PIONEER の間の通過距離は不十分であるとともに、白虎の当直航海士は試行操船の結果が示す小さい CPA 値の意味を十分理解していなかった可能性があると考えられる。

ULSAN PIONEER の船長が「Hard port」を指示した意図は明らかにできなかったが、白虎が 230° に針路を定めた頃、両船間の距離は約 0.5M しかなく、 30 ノット (kn) を超える相対速力で急速に ULSAN PIONEER に迫ってきた白虎の船影を目の前にして、冷静な判断に基づく操船ができなかった可能性があると考えられる。

白虎においては、来島海峡航路西口付近を航行していたにもかかわらず白虎の船長が在橋していなかったことにより、周囲の見張り、状況判断及び ULSAN

PIONEER との無線交信を適切に実施できる体制ではなかったものと考えられ、このことも本事故の発生に関与したものと考えられる。

また、ULSAN PIONEER が、当初は北流時に来島海峡航路を通過する計画であったのに、速力調整等を行わず、南流時に同航路に近づいてから通航経路を変更したことは、白虎と同航路西口付近で接近する状況を招き、さらに、ULSAN PIONEER の当直航海士が必ずしも十分な乗船経験がない中、ULSAN PIONEER の船長が昇橋して操船指揮をとる時機が遅れたことも、周囲の見張り及び状況判断に影響を及ぼすこととなり、本事故の発生に関与したものと考えられる。

(2) 被害拡大の要因

白虎の乗組員が、白虎の損傷時の復原性能についてよく理解し、衝突による損傷部位によっては、早期に退船を判断すべきであることを理解していたならば、白虎の乗組員の人的被害を軽減できた可能性があると考えられる。

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	経過報告.....	2
1.2.5	原因関係者からの意見聴取.....	2
1.2.6	旗国への意見照会.....	2
2	事実情報.....	2
2.1	来島海峡及びその周辺の海域等に関する情報.....	2
2.1.1	海上交通安全法適用海域と来島海峡航路.....	3
2.1.2	来島海峡航路周辺の海域.....	7
2.2	白虎、ULSAN PIONEER 及び周囲の船舶の運航状況	8
2.3	本事故発生までの経過.....	10
2.3.1	船舶自動識別装置の情報記録による運航の経過.....	10
2.3.2	B船の航海情報記録装置の記録による情報.....	11
2.3.3	VHFの交信記録.....	11
2.3.4	事故発生に至る経過.....	12
2.3.5	その他運航の経過に関する乗組員の口述等.....	22
2.4	本事故発生後の経過.....	22
2.5	救助の経過.....	26
2.6	人の死亡、行方不明及び負傷に関する情報.....	29
2.7	船舶の損傷に関する情報.....	30
2.8	乗組員に関する情報.....	33
2.9	船舶に関する情報.....	35
2.9.1	船舶の主要目.....	35
2.9.2	A船の船体構造等に関する情報.....	36
2.9.3	船舶の設備等.....	41
2.9.4	操縦性能.....	44
2.9.5	船橋からの見通し.....	45
2.9.6	積載状態.....	46
2.10	気象及び海象に関する情報.....	47

2.10.1	気象観測値等.....	47
2.10.2	潮汐.....	47
2.10.3	乗組員等の観測.....	48
2.11	当直及び操船等に関する情報.....	48
2.11.1	VHF 交信に関する情報.....	48
2.11.2	TT が示す CPA 値に関する情報.....	49
2.12	運航に関する情報.....	50
2.13	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所海上技術安全研究所による事故発生要因に関する解析調査.....	52
2.13.1	A 船及び B 船の衝突危険度の評価等に関する調査.....	52
2.13.2	A 船の復原性及び転覆・沈没に関する解析調査.....	53
2.14	類似事故事例.....	53
3	分 析.....	54
3.1	事故発生の状況.....	54
3.1.1	事故発生に至る経過.....	54
3.1.2	衝突の状況.....	58
3.1.3	事故発生日時及び場所.....	58
3.1.4	衝突後の状況.....	58
3.1.5	A 船の落水者の救助等の状況.....	60
3.1.6	死傷者等の状況.....	60
3.1.7	船舶の損傷の状況.....	61
3.1.8	運航の状況.....	61
3.2	事故要因の解析.....	62
3.2.1	乗組員の状況.....	62
3.2.2	船舶の状況.....	62
3.2.3	見張り及び操船の状況.....	63
3.2.4	衝突危険度の評価を用いた見張り及び操船に関する解析.....	70
3.2.5	事故発生に関する解析.....	74
3.2.6	A 船の損傷時復原性に関する解析.....	77
3.3	被害の軽減に関する解析.....	80
4	結 論.....	80
4.1	衝突の原因.....	80
4.2	被害拡大の要因.....	81
5	再発防止策.....	82
5.1	必要と考えられる再発防止策及び被害の軽減策.....	82

5.1.1	事故等防止策.....	82
5.1.2	被害の軽減策.....	83
5.2	事故後に講じられた事故等防止対策.....	83
5.2.1	A ₁ 社及びA ₂ 社により講じられた措置	83
5.2.2	B船管理会社により講じられた措置.....	83
5.2.3	六管により講じられた施策.....	84
付図1	B船のE C D I S映像（抜粋）	85
付表1	各船のA I S記録（抜粋）	86
付表2	B船のレーダー映像による各船の情報.....	91
付表3	B船の音声記録（抜粋）	93
付表4	来島マーチスによるV H Fの交信記録（抜粋）	96
別添1	貨物船及びケミカルタンカーの衝突事故に係る解析請負報告書	
別添2	沈没に係る解析調査（貨物船A沈没事故）報告書	
別添3	六管周知用リーフレット	

1 船舶事故調査の経過

1.1 船舶事故の概要

ロールオン・ロールオフ貨物船^{びやっこ}白虎は、船長ほか11人が乗り組み、来島海峡航路西口を出て安芸灘南航路に向けて南西進中、また、ケミカルタンカー^{ウルサン}ULSAN PIONEER^{パイオニア}は、船長ほか12人が乗り組み、来島海峡航路西口に向けて北東進中、令和3年5月27日23時53分38秒頃、愛媛県今治市梶取ノ鼻北北東方沖において、両船が衝突した。

白虎は、左舷中央部に破口を生じて沈没し、船長及び乗組員2人が死亡したほか、乗組員5人が負傷した。また、ULSAN PIONEERは、船首部が圧壊し、球状船首に曲損等を生じたが、死傷者はいなかった。

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、令和3年5月28日、本事故の調査を担当する主管調査官ほか2人の船舶事故調査官を指名した。

1.2.2 調査の実施時期

令和3年5月28日、6月7日、14日、24日、7月24日、8月15日、9月30日、10月1日、4日、12月6日、令和4年2月2日、3日、7日、24日、4月15日、5月19日、6月22日、10月11日、24日、11月8日、10日、25日、12月1日、令和5年1月13日、16日、27日、30日、31日、3月23日、7月25日 回答書受領

令和3年5月29日、令和4年5月10日、10月31日、12月7日、令和5年1月10日、2月1日 口述聴取

令和3年5月30日 現場調査及び口述聴取

令和4年11月15日、12月5日 口述聴取及び回答書受領

令和5年11月1日 現場調査

1.2.3 調査の委託

本事故の調査に当たり、国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所海上技術安全研究所に対し、白虎及びULSAN PIONEERの衝突危険度の評価等並びに白虎の復原性及び転覆・沈没に至る状況の推定に関する調査を委託した。

1.2.4 経過報告

令和4年5月26日、その時点までの事実調査結果に基づき、国土交通大臣に対して経過報告を行い、公表した。

1.2.5 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。

1.2.6 旗国への意見照会

ULSAN PIONEER の旗国に対し、意見照会を行った。

2 事実情報

2.1 来島海峡及びその周辺の海域等に関する情報

来島海峡は、瀬戸内海の中部に位置し、^{ひうちなだ}燧灘と安芸灘をつなぐ海峡で、日々多くの客船、貨物船、フェリー、漁船等が行き交う海上交通の要衝となっている。この海峡は、大島、^{うましま}馬島、^{なかとしま}中渡島等によって、来島ノ瀬戸、西水道、中水道、東水道の四つの狭水道に分けられるが、いずれも可航幅が狭く、屈曲していて見通しが悪い。また、潮流は速く、複雑な流向、流速で、時には10ノット（kn）にも達することがあり、全国的にも有数の航海の難所として知られている。（図1参照）



図1 瀬戸内海と来島海峡（国土地理院 200万分の1淡色地図使用）

2.1.1 海上交通安全法適用海域と来島海峡航路

瀬戸内海は、船舶が輻輳^{ふくそう}する海域における船舶交通の安全を図ることを目的とする海上交通安全法（昭和47年法律第115号）が適用される海域である。

また、来島海峡には、海上交通安全法第20条により「来島海峡航路」が設定されており、船舶は同法に定められた交通方法に従って航行しなければならない。特に、来島海峡中水道（以下「中水道」という。）と来島海峡西水道（以下「西水道」という。）では、潮流の流向によって、1日にほぼ4回、通航方向が変わるという世界的にも類を見ない「順中逆西」という特殊な航法（後記(1)参照）が採られている。

(1) 来島海峡航路の航法

海上交通安全法第20条第1項には、来島海峡航路の航法として、順潮（船の進む方向と潮の流れが同じ）の場合は中水道を、逆潮（船の進む方向

と潮の流れが逆) の場合は西水道を航行することが規定され、来島海峡の潮流が北から南に流れる南流(来島海峡航路西口から同東口に向かう流れ)時の場合、西航船は西水道を、東航船は中水道を航行することとされている。

(本事故発生時における来島海峡の潮流は、南流であった。)

中水道を経由して航行する場合は、できる限り大島及び大下島側に近寄って航行すること、また、西水道を経由して航行する場合は、できる限り四国側に近寄って航行することとされている。

(図2 参照)

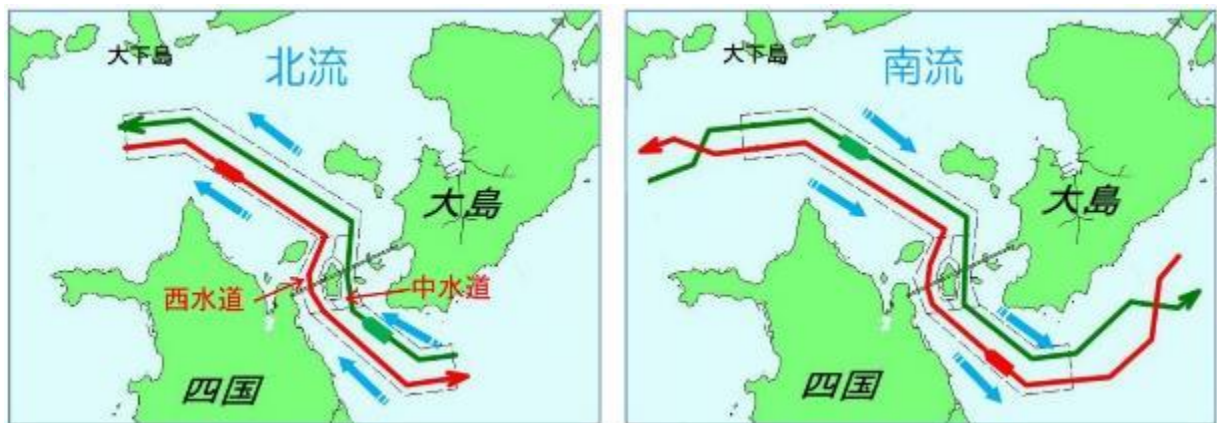


図2 来島海峡航路の概略(運輸安全委員会ダイジェスト第14号 から引用)

(2) 通報義務

海上交通安全法第20条第4項並びに同法施行規則(昭和48年運輸省令第9号)第9条第3項及び第4項には、航路をこれに沿って航行しようとする船舶であって、転流する時刻の1時間前から転流する時刻までの間に航路を航行する船舶の船長は、通報ラインを横切った後、直ちに船名等を海上保安庁長官(第六管区海上保安本部来島海峡海上交通センター(以下「来島マーチス」という。))に通報することが規定されている。(図3参照)

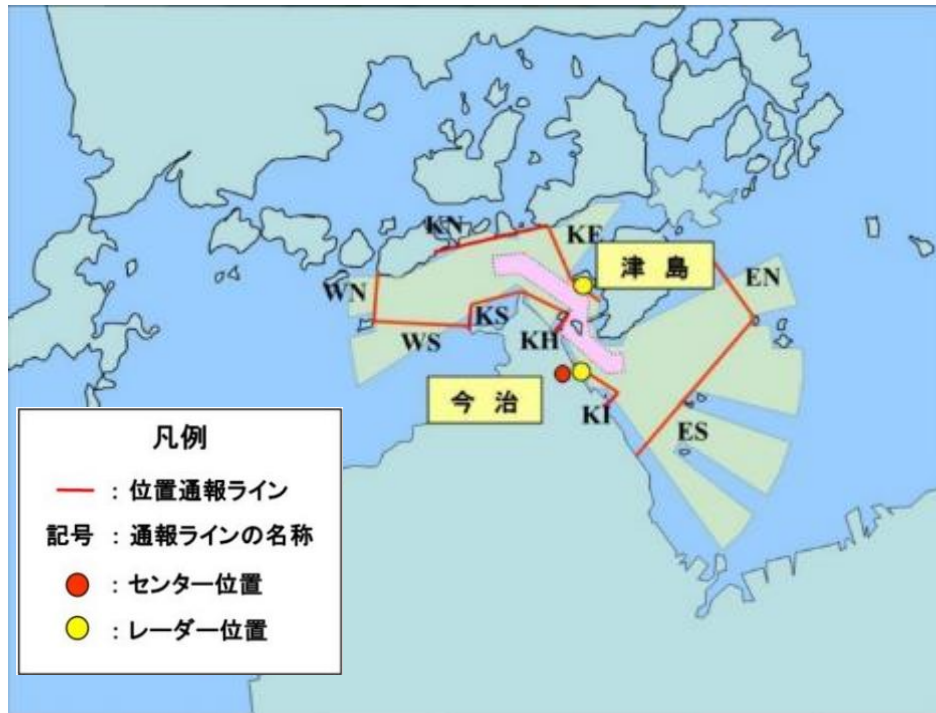


図3 位置通報ライン（来島海峡海上交通センター 利用の手引き から引用）

(3) 航路航行義務

海上交通安全法施行規則第3条によれば、長さ50m以上の船舶は、来島海峡航路の全区間について、航路に沿って航行することが義務付けられている。

(4) 第六管区海上保安本部の安全指導

第六管区海上保安本部（以下「六管」という。）は、来島海峡航路及び付近の海域における船舶交通の安全を図るため、様々な安全指導を行っている。海上保安庁交通部航行安全課発行の航行安全指導集録（改訂34版（平成30年1月））（海上保安庁刊行の瀬戸内海水路誌（平成30年3月刊行）（以下「瀬戸内海水路誌」という。））にもほぼ同様の記載）には、来島海峡航路及び付近の海域における六管の航行安全指導について、以下のように記載されている。

第六管区海上保安本部は、次の航行安全指導等を行っている。

1. ～5.（略）

6. 来島海峡航行時の留意事項（第7, 8図参照）

(1) 次のことに留意のうえ航海計画を立てること。

イ できる限り転流とならない時期に航路を航行すること。

ロ 強潮流の場合にはできる限り水道部を航行しないこと。

(2) 南流時に航路へ入航する場合には、航路内において右舷対右舷にな

ることから、航路入口から離れた広い水域において、十分に安全を確認のうえ、流向に応じた経路へ移行すること。

なお、航路を出航する場合は、四囲の状況を把握し安全運航に努めること。

(3)～(5) (略)

7. (略)

8. 来島海峡海上交通センターとの連絡保持

(1) 情報提供

VHF無線電話（CH16、156.8MHz）を備える船舶は、来島海峡海上交通センターから航行の安全に関する情報等が提供される場合があるため、航路及び航路に至る主要通航路並びにその周辺海域において来島海峡海上交通センターとの連絡を保持すること。

また、CH16 がふくそうしている際には、来島海峡海上交通センターから CH13 にて呼び出しを行う場合があるので、CH13 を備えている船舶は、CH16 の聴守に合わせて CH13 を聴守すること。

(2) (略)

9. (略)

10. 外国船の航行

外国船が瀬戸内海を航行するときは、特に次の事項を遵守、把握して航行すること。

(1) 適切な見張りの励行及び船位確認の励行、VHF 聴守の励行等基本的事項

(2) 瀬戸内海における気象・海象の特性等航行上の留意事項

(3) 来島海峡航路の航法（順中逆西）

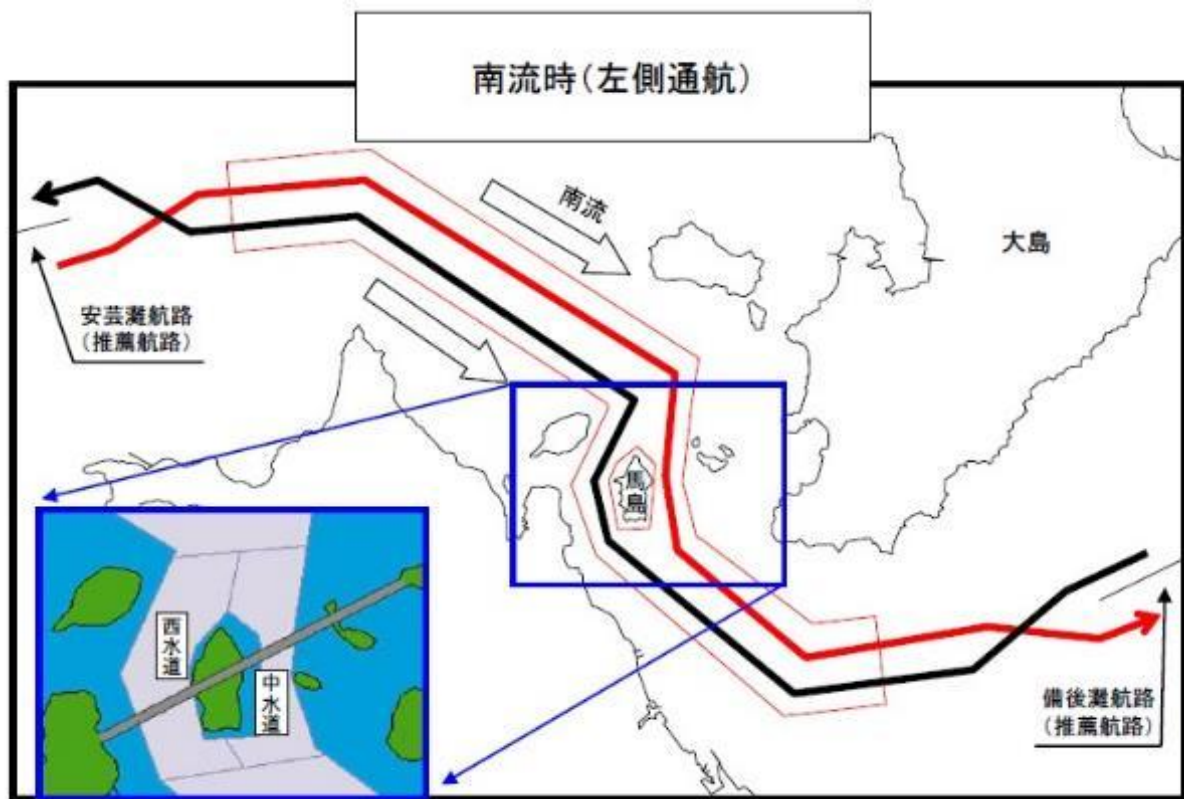
(4) 備讃瀬戸海域における「こませ網漁船」の操業

(5) 航路周辺海域における「さわら流し網漁」の操業

（航行安全指導集録（改訂 37 版（令和 5 年 8 月））により、「(5) 航路及び周辺海域における「さわら流し網漁」の操業」と更新された。）

第 7 図 (略)

第8図



2.1.2 来島海峡航路周辺の海域

瀬戸内海水路誌及び海図W 1 4 1（安芸灘及び付近）によれば、次のとおりである。

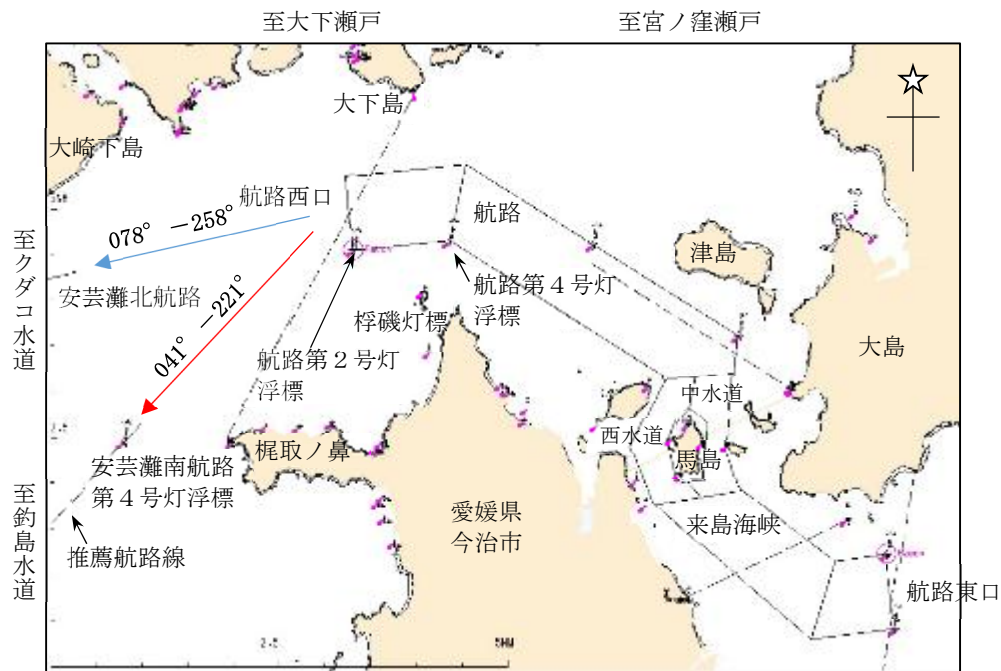
- (1) 瀬戸内海水路誌には、南流時の東西航路出入口付近について、次のとおり記載されている。

南流時の東西航路出入口付近は、航路への出入航船舶が交差することとなるので、他船の動静に十分な注意が必要である。さらに西口は、宮ノ窪瀬戸、大下瀬戸方面等の出入航船舶も加わるため、特に注意を要する。

- (2) 本事故発生場所は、来島海峡航路西口の西方である。同航路西口から釣島水道に至る間には、針路221°（真方位、以下同じ。）方向に安芸灘南航路（推薦航路^{*1}）があり、航路に沿って、同航路第1号灯浮標から同航路第4号灯浮標の四つの灯浮標（来島海峡航路西口に近い側が同航路第4号灯浮標）が設置され、航路の中央線を示している。また、来島海峡航路西口からクダコ水道に至る間には、針路258°方向に安芸灘北航路（推薦航路）が

^{*1} 「推薦航路」とは、法令で規定された航路又は海上人命安全条約（SOLAS条約）に基づき国際海事機関が指定する航路ではなく、従来から一般に常用されてきた標準的な航路をいう。

あり、中間点に同航路灯浮標が設置されている。(図4参照)



※ 図中、単に「航路」と記述している箇所は「来島海峡航路」のことをいう。

※ 安芸灘南航路第4号灯浮標は、新たな経路の指定に合わせて令和6年7月1日廃止 (5.2.3 参照)

図4 来島海峡付近海域の状況 (本事故当時)

2.2 白虎、ULSAN PIONEER 及び周囲の船舶の運航状況

(1) 白虎

白虎 (以下「A船」という。) は、独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構及び北星海運株式会社 (以下「A₁社」という。) が所有し、プリンス海運株式会社 (以下「A₂社」という。) が運航するロールオン・ロールオフ貨物船^{*2}であって、神奈川県横須賀港 (追浜地区) ～^{おっぱま}阪神港神戸区～福岡県^{かんた}荻田港間の車両運送に就いていた。(写真1参照)

^{*2} 「ロールオン・ロールオフ貨物船」とは、船内にトレーラー等が自走して乗り込むことが可能な構造の船舶をいう。



写真1 A船（本事故前）

(2) ULSAN PIONEER

ULSAN PIONEER（以下「B船」という。）は、本事故当時、HIDHC NO.2 S.A.（マーシャル諸島共和国）が所有し、PTS CO., LTD.（大韓民国）（以下「B社」という。）が船舶管理を行い、HEUNG-A SHIPPING CO., LTD.（大韓民国）が運航していたケミカルタンカーであって、本事故時には、酢酸2,996 tを積載し、中華人民共和国南京港から阪神港大阪区に向けて航行中であった。（写真2参照）



写真2 B船（本事故前）

(3) 周囲の船舶

本事故当時、A船の後方には川崎港から徳山下松港向けの貨物船（以下「D船」という。）が、B船の後方には新門司港から神戸港向けのフェリー（以下「C船」という。）が航行中であった。

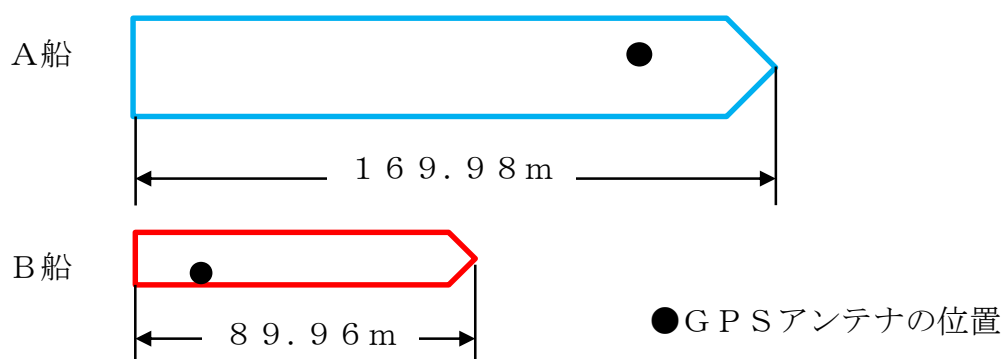
2.3 本事故発生までの経過

2.3.1 船舶自動識別装置の情報記録による運航の経過

‘民間情報会社が受信した船舶自動識別装置（A I S）^{*3}の情報記録’（以下「A I S記録」という。）によれば、令和3年5月27日23時30分頃～28日00時15分頃の間におけるA船、B船、A船の後方を航行していたD船及びB船の後方を航行していたC船の船位等は、付表1のとおりであった。（C船については、27日23時48分頃～54分頃の間、D船については、23時37分頃～54分頃の間記録である。）

なお、付表1における各船の船位は、各船のGPSアンテナの位置である。このうち、A船及びB船のGPSアンテナの位置は、次のとおりであった。

	船首からの距離	船尾からの距離	左舷からの距離	右舷からの距離
A船	約37.2m	約132.7m	約5.6m	約20.4m
B船	約72.1m	約17.8m	約11.9m	約2.5m



また、A船のA I S記録は28日00時10分08秒以降、受信されていなかった。

（付表1 各船のA I S記録（抜粋） 参照）

A船及びB船の船位の推移を図5に示す。

^{*3} 「船舶自動識別装置（A I S:Automatic Identification System）」とは、船舶の識別符号、種類、船名、船位、針路、速力、目的地及び航行状態に関する情報を各船が自動的に送受信し、船舶相互間、陸上局の航行援助施設等との間で情報を交換する装置をいう。

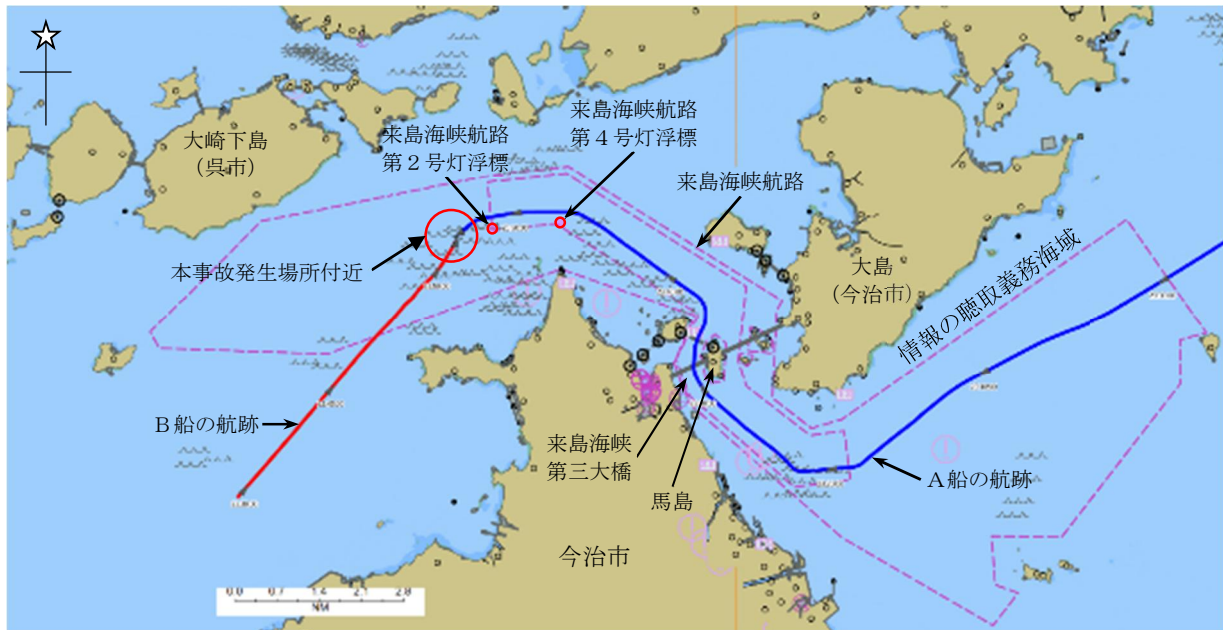


図5 A船及びB船のAIS記録による航行経路

2.3.2 B船の航海情報記録装置の記録による情報

B船の「航海情報記録装置（VDR）^{*4}の情報記録」（以下「VDR記録」という。）には、船橋に設置された2台のレーダー（1号及び2号）及び電子海図情報表示装置（ECDIS）^{*5}の画面表示の推移が映像として、また、船橋内の会話等が音声として記録されており、レーダー映像（抜粋）は図7～14、ECDIS映像（抜粋）は付図1、レーダー映像から得られたA船及びD船の情報は付表2並びに音声記録（抜粋）は付表3のとおりであった。（図7～14、付図1 B船のECDIS映像（抜粋）、付表2 B船のレーダー映像による各船の情報、付表3 B船の音声記録（抜粋） 参照）

2.3.3 VHFの交信記録

来島マーチスによるVHFの交信記録によれば、5月27日23時42分～28日01時33分の間における来島マーチスとA船及びB船との間の主な交信記録は、付表4のとおりであった。

VHFによる交信に当たっては、16チャンネル（CH）が呼出し及び応答用、そ

^{*4} 「航海情報記録装置（VDR：Voyage Data Recorder）」とは、船位、針路、速力、レーダー及びECDIS情報等の航海に関するデータのほか、VHF無線電話の交信や船橋内での音声等を記録することができる装置をいう。

^{*5} 「電子海図情報表示装置（ECDIS：Electronic Chart Display and Information System）」とは、IHO（国際水路機関）の基準を満たす公式電子海図（航海用電子海図又は航海用ラスター海図）上に自船の位置を表示するほか、レーダー、予定航路等その他の情報を重ねて表示することができ、また、浅瀬等への接近警報を発する機能を持つ装置をいう。

の他のCHが個別通信用として使用されている。

(付表4 来島マーチスによるVHFの交信記録(抜粋) 参照)

2.3.4 事故発生に至る経過

(1) A船の運航の経過

① 船員法(昭和22年法律第100号)第19条に基づき、A₁社から関東運輸局に提出された報告書及びA₁社から提出されたA船乗組員名簿によれば、A船は、船長(以下「船長A」という。)ほか11人(全員日本国籍)が乗り組み、5月27日16時40分頃に荻田港に向けて阪神港神戸区を出港した。

② A船の当直航海士(二等航海士)(以下「航海士A₁」という。)及び当直甲板員(以下「甲板員A₁」という。)の口述、航海士A₁の回答書、AIS記録、VDR記録並びにVHFの交信記録によれば、事故発生に至るまでのA船の運航の経過は、次のとおりであった。

A船は、23時19分頃に安芸灘方面に向けて来島海峡航路東口から同航路に入航し、23時30分頃～36分頃にかけて西水道を西航(当時は南流であり、西航船は西水道を航行)した。

船長Aは、西水道を過ぎて、来島海峡第三大橋を通過し右転した辺りから来島海峡航路第4号灯浮標を通過した辺りまでの間に降橋した。

A船は、来島海峡航路第4号灯浮標の手前で左舷前方を同行するD船の変針に合わせるように針路約270°に変針し、23時48分頃、同灯浮標を通過した辺りでD船の右舷側を追い越して、針路約259°で同航路を航行した。

航海士A₁は、D船を追い越した時点でB船及びC船の2隻をレーダーで確認した。

A船は、23時51分27秒頃、針路260.7°、速力(対地速力、以下同じ)18.2knで来島海峡航路西口から出航した。

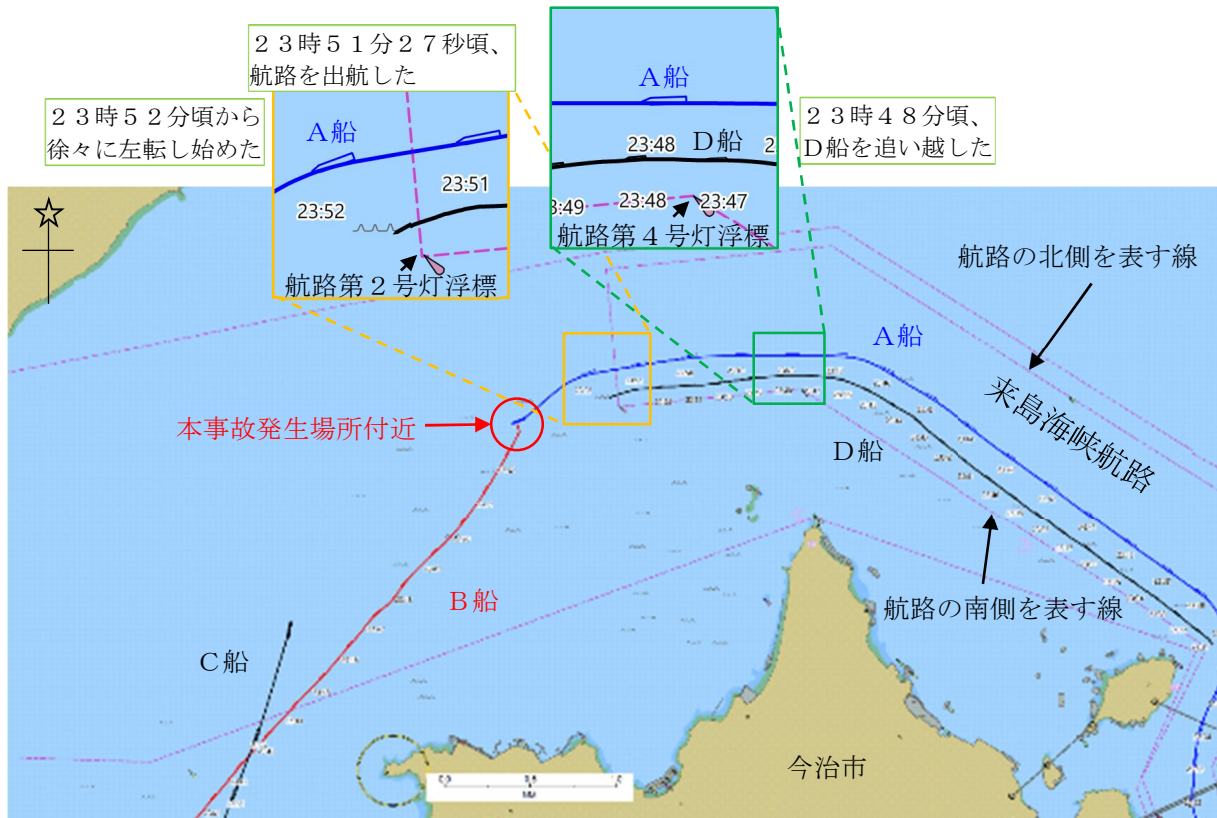
航海士A₁は、A船が来島海峡航路西口から出航する頃、来島海峡の潮流が南流時に来島海峡航路西口から同航路に入航する船の多くが大崎下島の方に向かって北上し、同航路西口の北側から入航するのに対して、B船が通常どおりではない針路で進んでいたもので、B船がどこに向かっているのか疑問に思ったが、その時点で衝突のおそれは感じなかった。また、同航路西口を出航したままの針路で進むと、B船の後ろから来ているC船とも近寄りそうになると思った。

航海士A₁は、安芸灘南航路には、B船及びC船の2隻しかいなかった

ので、この2隻の間を抜けて、同航路に向けようと思った。また、来島海峡航路を出航する辺りで、レーダーで試行操船^{*6}を行い、230°まで左転してもB船とCPA（Closest Point of Approach）^{*7}0.2海里（M）程度の距離を保って通過できるという結果が出たので、針路を230°に変針するため、甲板員A₁に「Port easy（左舵約7°）」を指示した。

A船は、23時52分頃から徐々に左転し始めた。

（図6 参照）



※ 図中、単に「航路」と記述している箇所は「来島海峡航路」のことをいう。

図6 各船のAIS記録による航行経路

甲板員A₁は、A船が左転している時、自身が立っている操舵装置の位置からは船橋前面の窓枠が邪魔して、また、B船が意外と小さく、見えにくかったが、航海士A₁からの「Midship（舵中央とせよ）」、「Steady（回頭をとめ、現在の針路を保持せよ）」の指示で針路を230°に向けた時、

^{*6} 「試行操船」とは、レーダーの持つ衝突回避のためのシミュレーション機能をいう。具体的には、自船の速度、針路、遅延時間（現在の時刻から自船が変針・変速を開始するまでの時間）を設定すると、他船と自船の予測位置が断続的に表示される。

^{*7} 「CPA」とは、2船の最接近距離をいう。なお、一般的に、CPA、TCPA等の計算にあたっては、本船側の空中線位置（レーダーアンテナ位置）又は操船位置のいずれか設定された基準位置を中心に計算される。

B船が（A船に）正面から向かってくるように感じた。

航海士A₁は、A船が針路230°に向いた時点でB船を視認し、衝突のおそれを感じた。B船の方位が変わらず、また、B船とのCPAが1ケーブル（0.1M）を切ったため、右転しなければB船を避けられないと思い、右転しようと思ったちょうどその時、B船からVHFで呼ばれ、「What's your intention?（あなたの意図はなんですか。）」と言われたが、（B船が）近過ぎて応答できずにいると、B船から「Port to Port, Port to Port（左舷対左舷、左舷対左舷）」と言われた。

航海士A₁は、B船に「OK」と回答した後、甲板員A₁に「Starboard（右舵15°）」を指示し、甲板員A₁は「Starboard」に舵を取った。

A船は、23時53分27秒頃から緩やかに右転し始めた。

航海士A₁は、回頭している最中、左舷側のウイングから外を確認したが、A船の左舷中央辺りにB船が衝突するのを見た。

甲板員A₁は、「Starboard」を取っている途中で、B船がA船に突っ込んで来ているように見え、B船と衝突すると思ってから数秒後に衝突した。

(2) B船の運航の経過

B船の船長（以下「船長B」という。）、当直航海士（三等航海士）（以下「航海士B₁」という。）及び航海士B₁の次直の航海士（二等航海士）（以下「航海士B₂」という。）の口述、船長B及び航海士B₁の回答書、AIS記録、VDR記録並びにVHFの交信記録によれば、事故発生に至るまでのB船の運航の経過は、次のとおりであった。

B船は、船長B（大韓民国籍）ほか12人（大韓民国籍7人、ミャンマー連邦共和国籍5人）が乗り組み、25日07時10分頃（現地時間）に阪神港大阪区に向けて中華人民共和国南京港を出港した。

南京港出港前に航海士B₂が作成したB船の航路計画では、西水道に進む計画であった。また、関門海峡通過時、航海士B₂が再確認した来島海峡の予想到着時間は28日00時30分頃であり、来島海峡を北流中に通過することが予想されたので、西水道を進む航路計画のままとした。

B船は、27日23時40分頃、航海士B₁及び当直操舵手（以下「操舵手B」という。）が船橋当直につき、針路041°、速力14.3knで安芸灘南航路に沿って来島海峡航路西口の南側に向けて北東進していた。

航海士B₁は、B船が梶取ノ鼻西方沖のWSライン（位置通報ライン）を通過後の23時43分頃、その旨来島マーチスへ通報した。その際、来島マーチスは、来島海峡の潮流は南流であり、左側を保持して中水道へ向かうようB船に伝え、23時46分頃、来島マーチスは、B船を呼び出し、再度、

中水道へ向かうよう伝えた。その頃（23時46分11秒頃）、B船は、針路043°、速力14.3knで航行していた。周囲に危険な見合い関係（2船間における相対的な視認位置関係）にある船はなかった。（図7参照）

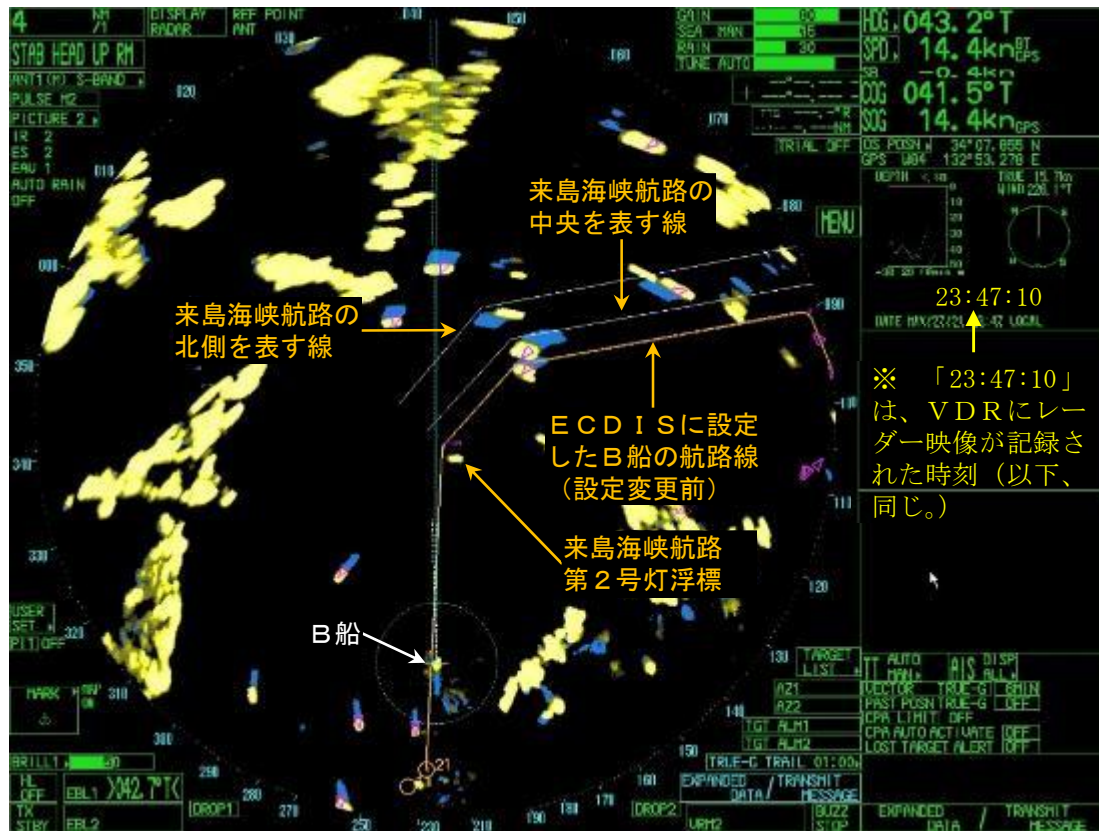


図7 B船の1号レーダー映像（23時47分10秒頃）

23時48分頃、航海士B₁は針路040°を指示し、操舵手Bは復唱した。その頃（23時48分頃）、船長Bが昇橋し、航海士B₁は来島マーチスから中水道へ向かうよう連絡を受けた旨報告した。船長Bは、ECDISに設定されていたコースを、来島海峡航路西口の南側から入航して西水道に進むコースから同航路西口の北側から入航して中水道に進むコースに変更するよう航海士B₁に指示し、航海士B₁は23時49分頃から変更作業を始めた。

23時49分25秒頃、船長Bは針路035°を指示し、操舵手Bは復唱した。

23時49分40秒頃、船長Bは、1号レーダーによりA船を捕捉し、B船とA船が現針路と速力を保持すれば衝突の可能性はほとんどないと判断して、A船の船尾側を通過する目的で現針路を保持した。航海士B₁も、A船の方が速かったので、A船がB船の船首方を先に通過すると思った。（図8参照）

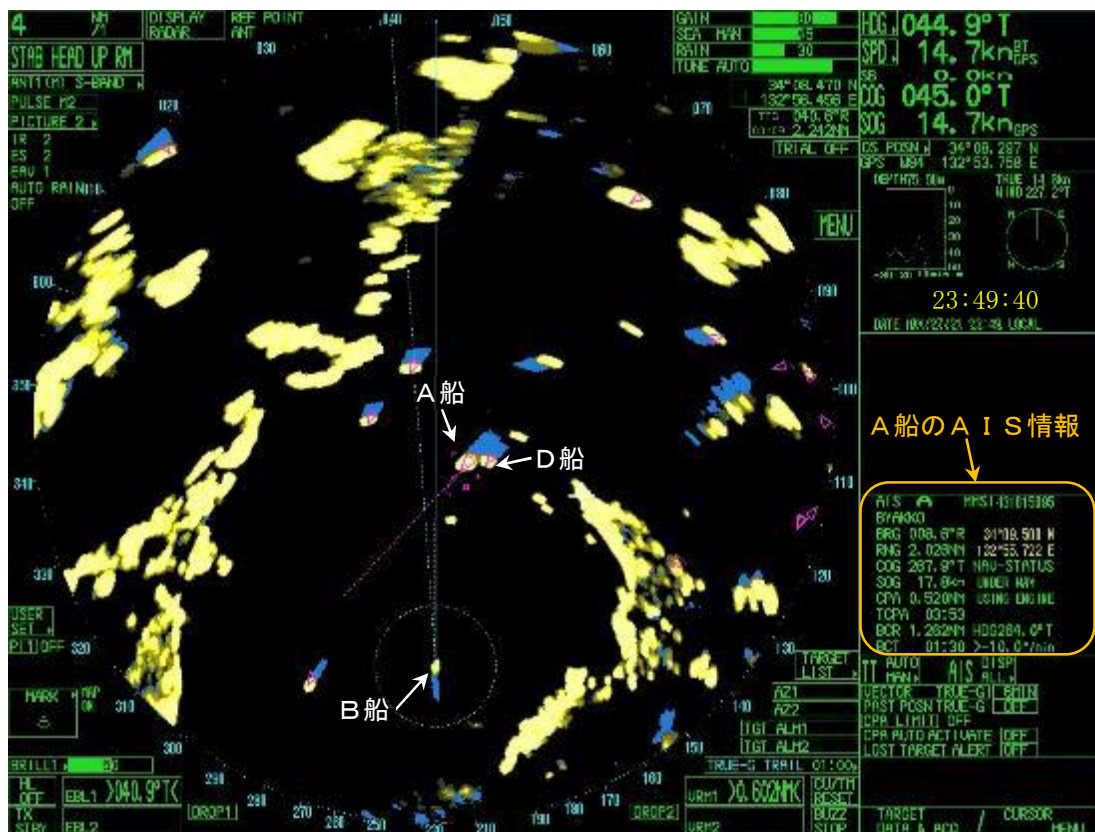


図8 B船の1号レーダー映像（23時49分40秒頃）

23時50分頃、B船は来島海峡航路西口の北側を目指して進んでいた。

23時50分38秒頃、船長Bは針路030°を指示し、操舵手Bは復唱した。（図9参照）

船長Bは、23時51分18秒頃2号レーダーによりA船を捕捉し、同33秒頃D船を捕捉した。その頃（23時51分33秒頃）、B船からA船までの距離は約1.1M、CPA約0.3Mであった。（図10参照）

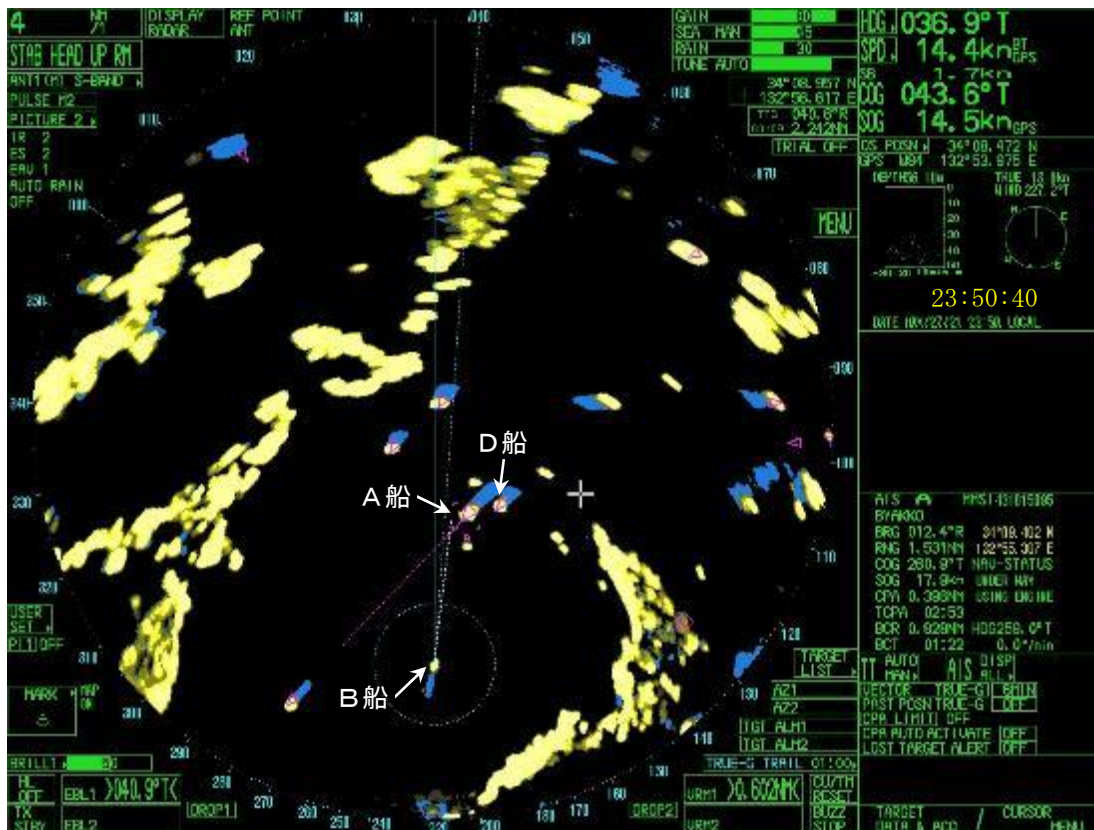


図9 B船の1号レーダー映像（23時50分40秒頃）

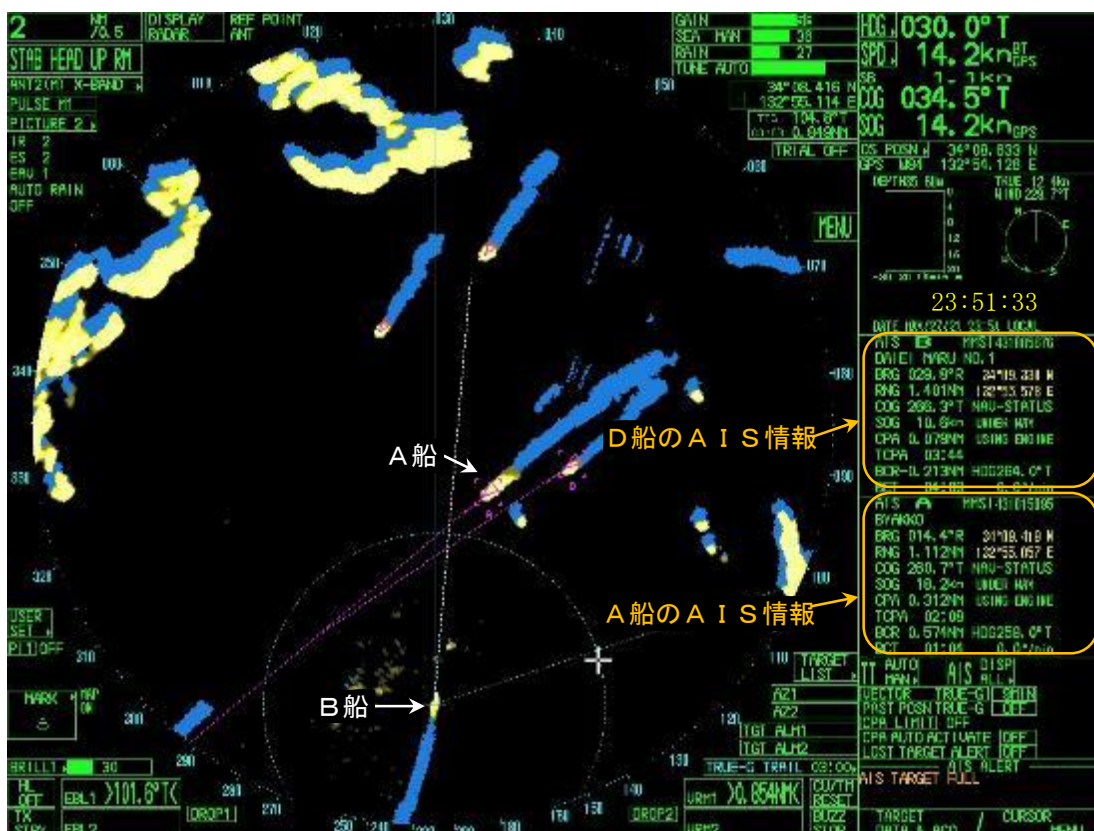


図10 B船の2号レーダー映像（23時51分33秒頃）

23時52分33秒頃、2号レーダーのレンジは2Mから1.5Mに切り替えられた。(図11参照)

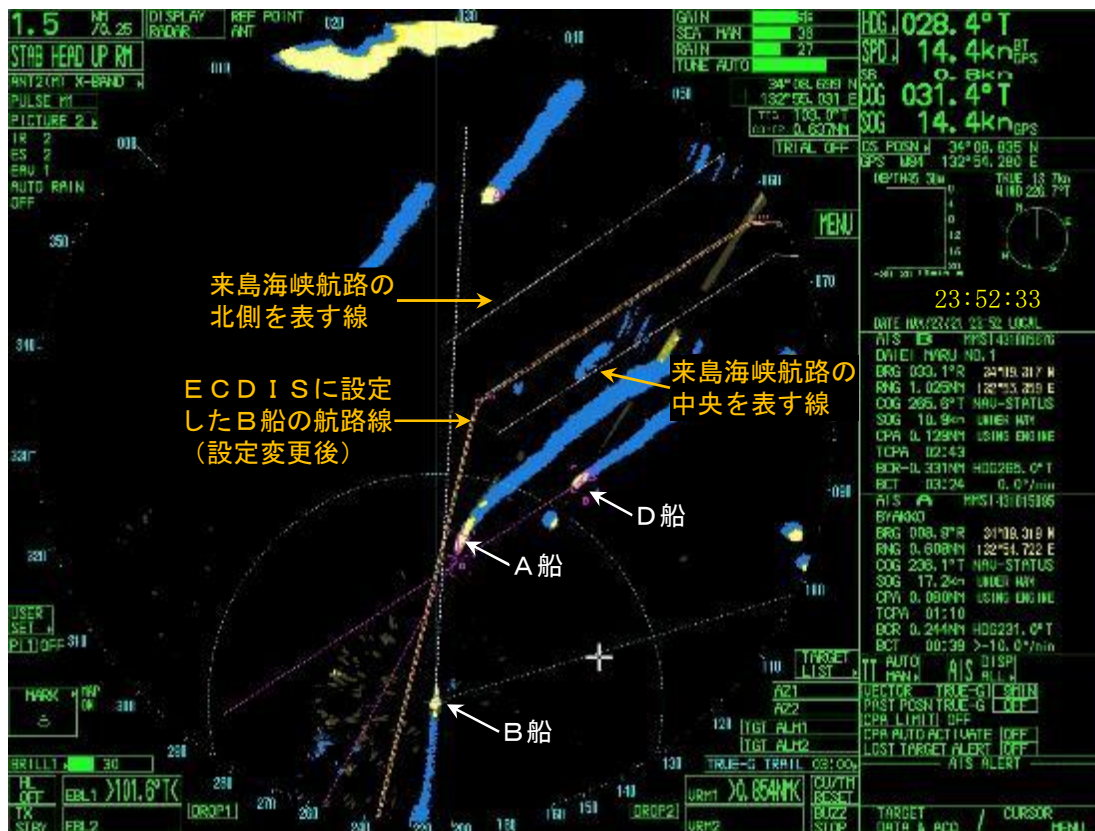


図11 B船の2号レーダー映像(23時52分33秒頃)

船長Bは、23時52分42秒頃に独り言のように「なぜあの船は私たちの方を向いているのか? (韓国語)」とつぶやき、続けて同45秒頃に針路020°を指示し、操舵手Bは復唱した。その直後の23時52分49秒頃、船長Bは「あれはどこに向かっていているの? (韓国語)」と言った。(図12参照)

23時52分50秒頃、航海士B₁はVHFで「A船, Motor vessel A船, This is B船. (A船、A船、こちらはB船。)」とA船を二度呼び出し、二度目の呼出しの後、A船は「Yes, This is A船. (はい、こちらはA船。)」と回答した。航海士B₁は、「What's your intention?」と尋ねたが、すぐにはA船からの回答がなかったので、23時53分03秒頃、続けて「Port to Port, Port to Port」と言ったところ、A船が「OK」と回答した。



図1 2 B船の2号レーダー映像（23時52分48秒頃）

23時53分頃、船長Bは、A船と衝突すると感じ、慌てていた。航海士B₁がA船に「Port to Port, Port to Port」と伝えた直後（23時53分07秒頃）、船長Bが「Hard port（左舵一杯）」と叫び、操舵手Bは「Hard port」と復唱した。その後、B船の船橋内では「Port to Port」及び「Hard port」がそれぞれ複数回叫ばれた。（図1 3 参照）

23時53分16秒過ぎ、船長Bは「Stop engine（機関停止）」と繰り返し、航海士B₁は、「Stop engine」と複数回復唱し、その後、「Stop engine, sir」と回答した。

B船は、23時53分27秒頃から左に急旋回し始め、船長Bは「Full astern（全速後進）」と連呼し、航海士B₁は「Full astern」と復唱し、その後、船長Bは「Hard starboard（右舵一杯）」と叫んだ。その直後、衝撃音が聞こえた。（図1 4 参照）

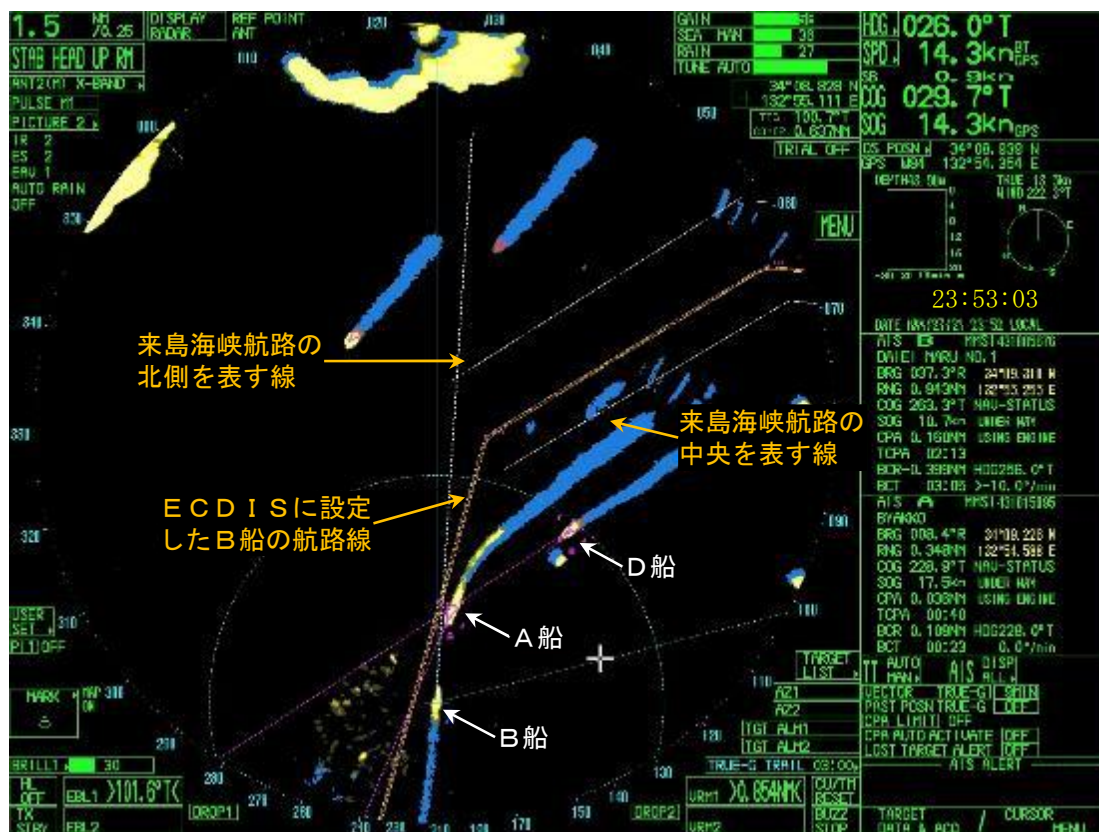


図1 3 B船の2号レーダー映像（23時53分03秒頃）

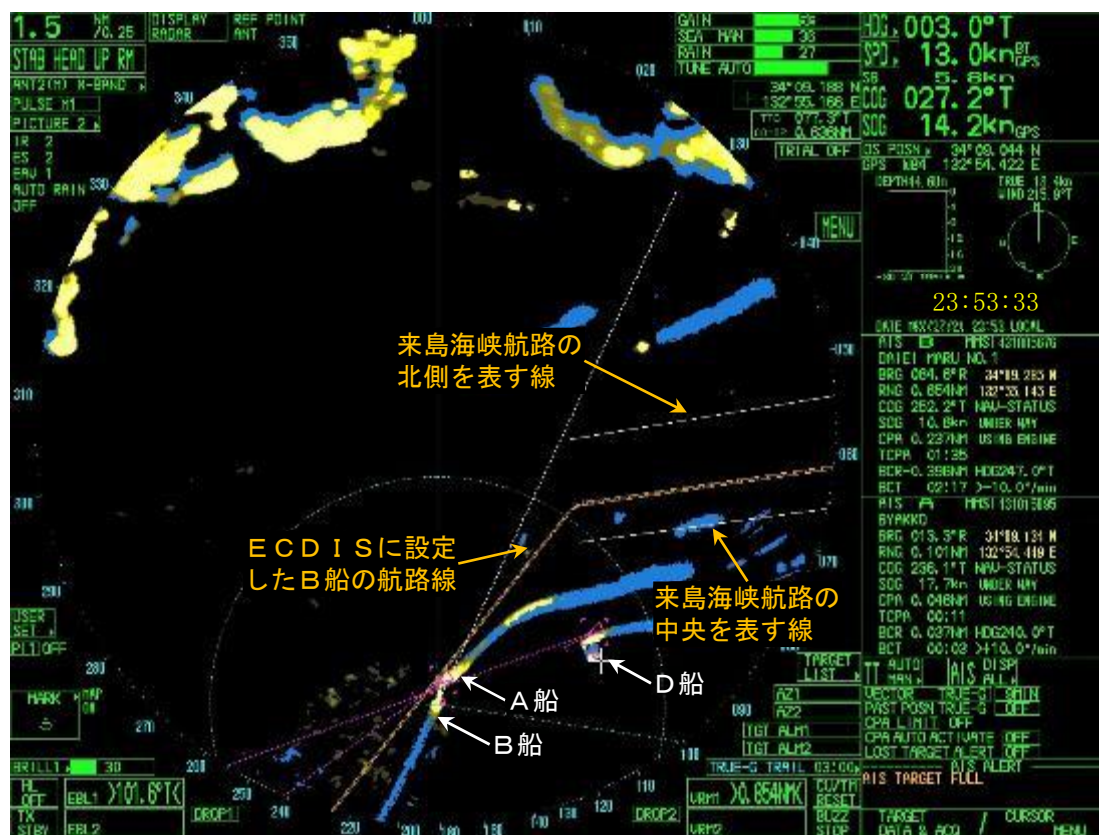
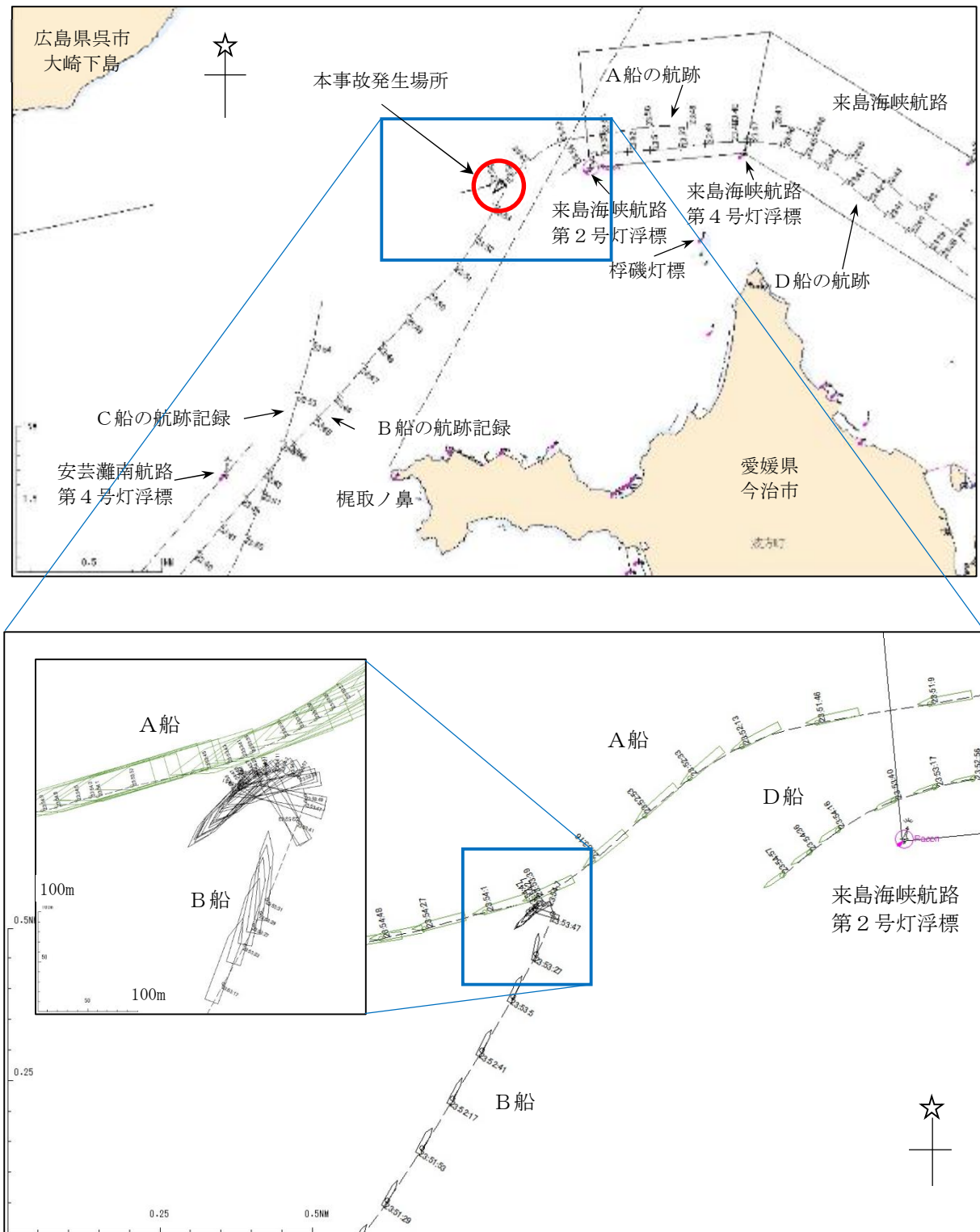


図1 4 B船の2号レーダー映像（23時53分33秒頃）

(3) 事故発生日時及び場所

本事故の発生日時は、令和3年5月27日23時53分38秒頃であり、
発生場所は、^{いかだいそ} 桴磯灯標から285° 1.4M付近であった。(図15参照)



2.3.5 その他運航の経過に関する乗組員の口述等

(1) 航海士A₁の口述等

① 来島海峡航路から出航し、推薦航路（安芸灘南航路）には船が2隻しかいなかったのもので、この2隻の間を抜けて、推薦航路に向けようと思い、230°方向に左転した。その時、230°まで向けてもB船とCPAが2ケーブル（0.2M）くらいとれると思っていた。B船の細かい動きは見えていないが、たぶんB船は、その後に左転したと思う。

② 230°に左転した頃、B船は緩やかに左転を続けていたようであるが、気付くことは困難であった。その後、B船とVHFで左舷対左舷での通過を合意したので、A船は右転した。B船も合意のとおり右転すれば衝突しないと判断したので、速力を減じる措置は採らなかった。

(2) 航海士B₁の口述

衝突の2分くらい前にVHFの16CHでA船を呼び出した。B船がA船の船尾側を通過できると思っていたが、A船が近づいてきたので交信した。A船は「This is A船.」と応答したので、「What's your intention?」と尋ねた。A船が「えー」と言ったので、「Port to Port」と自分（航海士B₁）が叫んだ。本能的にそう言うしかなかった。

(3) 航海士B₂の口述

5月27日23時53分頃、私（航海士B₂）が昇橋した時、船長Bが「Hard Port」、「Full Astern」と叫んでいるのが聞こえ、船橋内はパニック状態になっていたと思った。

2.4 本事故発生後の経過

(1) A船の乗組員の口述

① 航海士A₁

船体に衝撃があった後、船橋後部の船長室に船長Aを呼びに行き、船長Aの指示により、来島マーチスと呼び出して通報した。

通報した後、退船ということになったので、救命胴衣を取りに行き、右舷側の救命いかだを降ろした。その間に下の方が海水に浸かっているのが見えてきて、傾いた船側をよじ登っていった。

右舷の外板上にいたのは、私（航海士A₁）、三等航海士（以下「航海士A₃」という。）、甲板員A₁及び別の甲板員（以下「甲板員A₂」という。）の4人であった。外板上に立っていたが、浸水してきて、私（航海士A₁）と甲板員A₂、航海士A₃と甲板員A₁がそれぞれ肩を組んで流された。A船が沈没する際に引き込まれないよう必死に泳いだ。

② 一等航海士（以下「航海士A₂」という。）

自室で休んでいたところ「ドーン」という音がし、船長Aの悲鳴みたいな声も聞こえたので、乗り揚げたのかと思い、飛び起きて急いで船橋に向かった。

船橋に行くと、船長Aと航海士A₁がおり、船長Aと左舷側のウイングに行くと、ぶつかったような感じで、船尾側にB船の船尾灯が見えた。

船体が少しずつ傾いてきており、船長Aから傾きを調整するよう指示を受け、船橋後部のバラストコントロールパネル（バラストタンクゲージを備え、バラストポンプの発停、バラスト関係弁の開閉等を行うことができる制御パネル）に表示されているバラストタンクゲージに変化がないことを確認し、ヒールタンク^{*8}の水量調整で船体の傾きを調整しようとしたが、傾きがますますひどくなったように感じた。

まずは救命胴衣の用意よりも防水が必要と思った。日頃から、船長Aから、衝突した場合、相手船が左にいたら、舵を左に取って相手船から離れないようにし、船体を立て直すと教わっていた。本事故時も、衝突後、船長Aは舵をHard Port に取っていて、船長Aからとにかく傾きを止めてくれと言われ、日頃教わった手順でバラストを調整したが、傾きがどんどんひどくなった。バラストタンクゲージには変化がなく、バラストタンクはダメージを受けていないと思ったが傾きは戻らず、航海士A₃も船首の方が海面に浸かっているのを確認した。「バキバキ」とラッシング^{*9}ベルトが切れるような音も聞こえ、積荷が一気に左に移動し、更に傾きがひどくなった。船長Aも退船の判断をし、大きな声でもう退船しようと言い、各自救命胴衣を取りに行った。その頃、45°以上傾いていたと思う。

私（航海士A₂）も船長Aも救命胴衣を取りに行き、それぞれ船橋に戻ってきた。船長Aは戻ってきた後、船橋の右舷側にいたと思う。右舷側から逃げようと話していたが、私（航海士A₂）は船橋後部のバラストコントロールパネルの前から左舷側に滑り落ちてしまい、右舷側に登ることは不可能と判断して、左舷側から逃げようと考えた。その時、左舷側には私（航海士A₂）、機関長（以下「機関長A」という。）及び甲板員（以下「甲板員A₃」という。）の3人がいた。右舷側には救出された6人と船長Aもいたと思う。左舷側の（第4甲板にある）ホールドファン（車両積載区画の吸排気ファン）

^{*8} 「ヒールタンク」とは、船体の横傾斜を修正する目的で両舷に設けられた海水タンクのことをいう。

^{*9} 「ラッシング」とは、航海中の動揺による貨物（車両等を含む）の移動防止のため、貨物をチェーン、ワイヤ、ロープ、ベルト等で固定することをいう。

とハンドレール（手すり）が浸かり始めた頃、救命胴衣の紐などを再確認し、水位が船橋から第4甲板に降りる階段まで達し、ホールドファンが半分くらい水没した頃、3人で水に入った。A船が沈む際に巻き込まれないよう、A船から離れようということで、安全なところまで泳いだ。A船を見ると、傾いてはいるが完全に沈んではおらず、右舷側にいる乗組員の姿が見えた。

その後、海上保安庁の巡視艇に救助された。右舷側にいた乗組員はコンテナ船に救助された。

③ 機関長A

自室で休んでいた時「ドーン」という衝撃音で起き、衝突したと思って船橋に行くと混乱した状況であった。主機及び発電機の警報が発報していたので、一等機関士（以下「機関士A₁」という。）及び二等機関士（以下「機関士A₂」という。）は、おそらく警報を確認しに、機関室に向かった。船長Aと衝突した箇所などについて話し、船長Aが主機の状況を気にしていたので、機関室に行こうとした頃、急に傾きだした。曖昧であるが、衝突してから15分くらいたった5月28日00時00分を少し過ぎた頃であったと思う。

機関室に向かうために右舷側から車両甲板に降りたが、傾きがひどく床を滑って側壁に体を打った。この頃、第2甲板辺りまで海水が来ていたのを見て、機関室には行けないと思い、船橋に戻って機関室に電話しようと居住区まで戻ってきた時、乗組員が救命胴衣を着用して船外に出る準備をしていたのを見た。

甲板員A₃から救命胴衣を受け取り、二人で船橋へ上がって機関室直通の電話で連絡すると、機関士A₂が電話に出たので、「だめだ、退船してくれ、逃げてくれ」と言うと、「分かりました」と返答があった。

機関士A₁と機関士A₂が機関室へ向かうのを止めることはできたかもしれないが、衝突してその状況を把握するのに時間が掛かり、また、衝突しただけであれば沈むとまでは考えられず、その時はそこまで慌てていなかった。

④ 甲板員A₁

衝突後、航海士A₁は焦った様子で船長Aを呼びに行き、船長Aが船橋に来た後、他の乗組員も船橋に集まってきた。

私（甲板員A₁）は、操舵ハンドルを握っている状態で、勝手に変針することはできないので、そのまま指示を待っていた。船長Aが船橋に来て、航海士A₁と左舷側ウイングから衝突の様子を確認していた。その頃どんどん左舷側に傾いていた。船長Aから機関停止の指示があり、私（甲板員A₁）が操作した。

船橋に集まった乗組員は、どのように動くべきか、船長Aの指示を待っているような感じであった。航海士A₃が第2甲板の船首の係船設備まで水に浸かっているのを見付け、その後、船長Aから指示があり、各自、居室に救命胴衣を取りに行った。

その頃には傾きがすごく、私（甲板員A₁）、甲板員A₂、甲板員A₃及び司厨長の部屋は船橋の一つ下の階にあったが、救命胴衣を着て船橋に上がるのが難しく、甲板員A₂と共に手すりに^{つか}掴まって外に出た。A船は沈没すると思い、甲板員A₂と救命いかだを降ろそうと話し、船長Aの許可を得て救命いかだを降ろす作業を始めたところ、航海士A₁と航海士A₃が加わり、4人で降ろした。救命いかだは降ろしたが、暗くて見えなくなり、潮の流れも速く、流れて行った。

その頃にはA船は真横に傾いていたので、私たちは右舷外板上にいた。A船はどんどん船首から沈んでいき、船尾まで行くと沈むA船に吸い込まれると思ったので、船首方に行って早く着水しようとしたが、4人で船首に向かい、A船が沈んでいく流れで自分たちのところに波が来て、4人で肩を組んで沈む流れに耐えながらA船から離れた。

A船は、左舷船首を突っ込みながら左舷側に横転し、右舷船尾だけが浮いている状態となった。その状態になって2時間くらいで沈んだが、A船が浮いて止まっている状態の時に一時流れが落ち着いたので、A船からできるだけ遠くに逃げた。その時、航海士A₁と甲板員A₂、航海士A₃と自分（甲板員A₁）が別々に分かれて、その後、甲板長（以下「甲板長A」という。）と司厨長の声が聞こえて、自分たちが泳いで行って航海士A₃、自分（甲板員A₁）、甲板長A及び司厨長の4人が合流した。1時間半から2時間くらいした後、救助に駆けつけたコンテナ船に助けもらった。

傾いている状態で、ラッシングが切れる音も聞いたし、A船の真横から衝突されて浸水もしていると思ったが、本事故後、他の乗組員とも話したが、A船のような大きい船が沈むわけがないと考えていたので、最初のうちは大丈夫という気持ちがあった。しかし、A船が次第に傾いて船首の係船設備が浸水した時、絶対沈むと思って、乗組員皆が退船しようと動いたように感じた。

(2) B船の乗組員の口述等

① 船長Bの口述及び回答書

私（船長B）は、全ての照明をつけること、一等航海士（以下「航海士B₃」という。）に対して甲板長と共に船首に移動して損傷の有無を確認すること並びに航海士B₂及び航海士B₁に対してサーチライトを使用してA

船及びA船の乗組員を捜索することを指示した。また、捜索後、全船員を MUSTER STATION に招集し、航海士B₃、航海士B₂及び一人の機関士にA船の乗組員を捜索及び救助するように命じた。

航海士B₂は、B船のサーチライトでA船を捜索し、捜索及び救助作業を支援するために海上保安庁の許可を得て、航海士B₃及び機関長と共に救助艇に搭乗し、船外にいるA船の乗組員の捜索及び救助作業に参加したが、結果的に誰も救助できなかった。

航海士B₁は、衝突に関して来島マーチスと交信し、B社に連絡して事故報告書案を作成し、A船及びA船の乗組員をサーチライトにより捜索した。

② 航海士B₁の口述

正確ではないが、衝突後、感覚的に10～15秒の間、B船はA船に引きずられるように一緒に動いた。A船の方がB船より速かったので、引きずられるように動いて、その後離れた感じがした。

事故後直ちに来島マーチスに来島海峡航路の入口で衝突が起きたことを伝え、その後、B社に電話した。

航海士B₂がVHFで来島マーチスに連絡し、救助活動をしてよいとの許可を得たので、航海士B₃、航海士B₂及び一人の機関士が救助艇に乗り、1時間半ほど救助活動に参加した。

③ 航海士B₂の口述

本事故時は、船長B、私（航海士B₂）、航海士B₁及び操舵手Bの4名が船橋にいた。本事故発生後、衝撃を受けて、1～2分後に航海士B₃が昇橋し、そのまま船首部の確認へ行った。航海士B₁は来島マーチスに本事故発生の通報をした。船長BはB社に電話していた。

衝突後、二船は少しの間くっついて一緒に動いた。衝突から5～7分ぐらい後には、A船のライトは何もついていなかった。

衝突後、救助活動のため私（航海士B₂）、航海士B₃及び一人の機関士で救助艇を降ろし救助活動したが、救助した人はいなかった。

2.5 救助の経過

(1) 海上保安庁の対応

海上保安庁担当者の口述及び今治海上保安部の広報資料によれば、本事故発生後の海上保安庁の対応は、次のとおりであった。

5月27日23時56分頃、六管は、来島マーチスからの通報を受けて本事故の発生を認知し、六管に対策本部を設置するとともに、巡視船艇等に発動指示を出して捜索救助に向かわせ、また、今治海上保安部に現地対策本部を

設置した。今治海上保安部は、事故海域近隣の関係機関及び漁業協同組合に捜索救助の協力を要請した。

28日00時15分頃、巡視艇が事故海域に到着し、左舷側を下に横転し無灯火状態となったA船を確認した。そして、A船の周囲で、救命胴衣を着用して浮かんでいる人と明かりを発見し、救助活動を開始した。巡視艇に搭載されたゴムボートで、00時37分頃に2人、00時45分頃に2人、01時08分頃に1人の合計5人を揚収した。救助されたA船の乗組員5人は、当該巡視艇で今治港まで搬送され、04時00分頃に今治市の救急隊に引き継がれた。

巡視艇の乗組員は、その後、A船が船底を上に向けた状態で沈下していき、02時43分頃に沈没する様子を見た。

巡視船艇は、00時15分頃以降、順次、事故海域に到着し、最大で巡視艇10隻、巡視船3隻で航行船舶への注意喚起や捜索救助活動を行った。海上保安庁所属の回転翼機は、03時13分頃に事故海域の上空に到着し、以降、最大で回転翼機2機、固定翼機1機で捜索救助活動を行った。

六管は、03時30分頃に海上自衛隊呉地方総監部に災害派遣要請を出し、受理された。

六管所属の測量船は、06時40分頃に事故海域に到着してソナーによるA船の捜索を開始し、A船と思われる物体を確認した。その後、特殊救難隊、機動救難士、潜水土及び機動防除隊が派遣され、11時33分頃から特殊救難隊及び潜水土が1回目の潜水捜索を行い、船名を視認してA船であることを確認した。

30日08時44分頃、船内捜索を行っていた特殊救難隊が操舵機室の右舷船尾側で1人を発見し、その後機関士A₂であること及び死亡が確認された。

6月1日までに8回の潜水捜索又は船内捜索が行われた。

4日までに、巡視船艇及び測量船延べ43隻、航空機延べ9機で捜索が行われ、同日、日没をもって専従捜索から通常しょう戒に併せた捜索に移行し、現地対策本部は解散した。

今治海上保安部は、8月20日にサルベージ会社から、作業中のサルベージ会社の潜水土がA船機関室の工作室において1人の遺体を発見した旨の連絡を受け、21日に巡視艇に揚収し、その後機関士A₁であることが確認された。

今治海上保安部は、令和5年10月25日にA船引揚げ作業中のサルベージ会社から、A船の居住区浴室ロビーにおいて1人の遺体を発見した旨の連絡を受け、同日揚収し、その後DNA鑑定の結果、船長Aであることが判明した。

(2) 付近航行中のコンテナ船の対応

VHFの交信記録、本事故発生後に付近を航行していたコンテナ船の乗組員救助報告書及びコンテナ船の船長の口述によれば、同コンテナ船の対応は、次のとおりであった。

コンテナ船は、山口県防府市三田尻中関港に向けて来島海峡航路を航行中、5月28日00時00分頃、来島マーチスからのVHFの連絡で本事故の発生を知り、来島海峡航路第4号灯浮標付近から同航路を出て、00時10分頃に乗組員が左へ傾き半水没したA船を確認し、00時18分頃、来島マーチスにVHFで救助活動を申し出て、救助活動を開始した。

コンテナ船の乗組員は、A船の乗組員を発見し、救命浮環を海面に投げ入れるとともに、舷外にはしごを降ろし、A船の乗組員4人を救助して船内で入浴や着替え等の救護を行い、その後、今治市の消防救急艇に移乗させた。

(3) 事故海域近隣の消防の対応

海上保安庁及び消防担当者の口述並びに今治海上保安部の広報資料によれば、本事故発生後の事故海域近隣の消防の対応は、次のとおりであった。

今治市消防本部は、今治海上保安部からの通報を受け、01時12分に本事故の発生を覚知し、今治市北消防署（^{はかた}伯方島）の消防救急艇が02時18分に事故海域に到着した。

消防救急艇は、コンテナ船が救助したA船の乗組員4人を収容し、03時05分に今治港に到着した。今治港にて消防救急隊がA船の乗組員4人を引き継ぎ、救急車に収容した後、03時10分に今治港を出発し、03時17分に今治市内の病院に到着した。

別の消防救急隊は、海上保安庁の巡視艇に救助されたA船の乗組員5人を今治港で引き継ぎ、2台の救急車に分けて収容した後、今治港を出発し、04時20分までに今治市内の病院に到着した。

消防救急艇は、29日及び31日の搜索救助活動にも参加し、消防防災ヘリコプターは29日の搜索救助活動に参加した。

(4) 防衛省の対応

海上保安庁担当者の口述並びに防衛省及び今治海上保安部の広報資料によれば、本事故発生後の防衛省の対応は、次のとおりであった。

海上自衛隊呉地方総監部は、28日03時30分に六管からの災害派遣要請を受理し、掃海艇1隻が28日の搜索救助活動に参加した。29日から31日までの搜索救助活動には、掃海艇2隻、掃海母艦1隻、潜水艦救難艦1隻が参加し、また、航空機1機が30日及び31日の搜索救助活動に参加した。潜水艦救難艦は、海上保安庁の特殊救難隊による潜水搜索の支援を行った。

(5) 事故海域近隣の警察の対応

海上保安庁担当者の口述及び今治海上保安部の広報資料によれば、本事故発生後の事故海域近隣の警察の対応は、次のとおりであった。

今治海上保安部から要請を受けた愛媛県警察伯方警察署、同松山西警察署及び同八幡浜警察署に所属する警備艇3隻が28日の捜索救助活動に参加し、うち1隻は31日まで参加した。

(6) 事故海域近隣の漁業協同組合の対応

海上保安庁担当者の口述及び今治海上保安部の広報資料によれば、本事故発生後の事故海域近隣の漁業協同組合の対応は、次のとおりであった。

今治海上保安部から要請を受けた漁業協同組合（漁協）は、事故海域での捜索活動等に協力し、28日から6月2日までの期間で小部漁協、今治漁協、大浜漁協及び宮窪漁協に所属する、延べ187隻が捜索活動に参加した。

2.6 人の死亡、行方不明及び負傷に関する情報

(1) A船

機関士A₁及び機関士A₂の死体検案書、航海士A₁、航海士A₂、航海士A₃、機関長A及び甲板員A₁の診断書、A₁社の船員行方不明報告書並びに今治海上保安部の広報資料によれば、A船の乗組員の死傷等の状況は、表1記載のとおりであった。

表1 A船の乗組員の死傷等の状況等

職名	死傷等の状況等
船長A	死亡 本事故後行方不明となっていたが、令和5年10月25日にA船の居住区内浴室ロビーで発見され、DNA鑑定の結果、船長Aと判明
航海士A ₁	手指打撲傷、足背部擦過創
航海士A ₂	頸椎捻挫、左手打撲
航海士A ₃	膝関節打撲傷、肘関節部打撲傷
機関長A	左鎖骨遠位端骨折
機関士A ₁	溺死の疑い（死亡） 令和3年8月20日にA船内（機関工作室）で発見
機関士A ₂	溺水（死亡） 令和3年5月30日にA船内（操舵機室）で発見
甲板員A ₁	膝関節打撲傷

(2) B船

今治海上保安部の広報資料によれば、B船の乗組員に死傷者はいなかった。

2.7 船舶の損傷に関する情報

(1) A船

① 損傷等

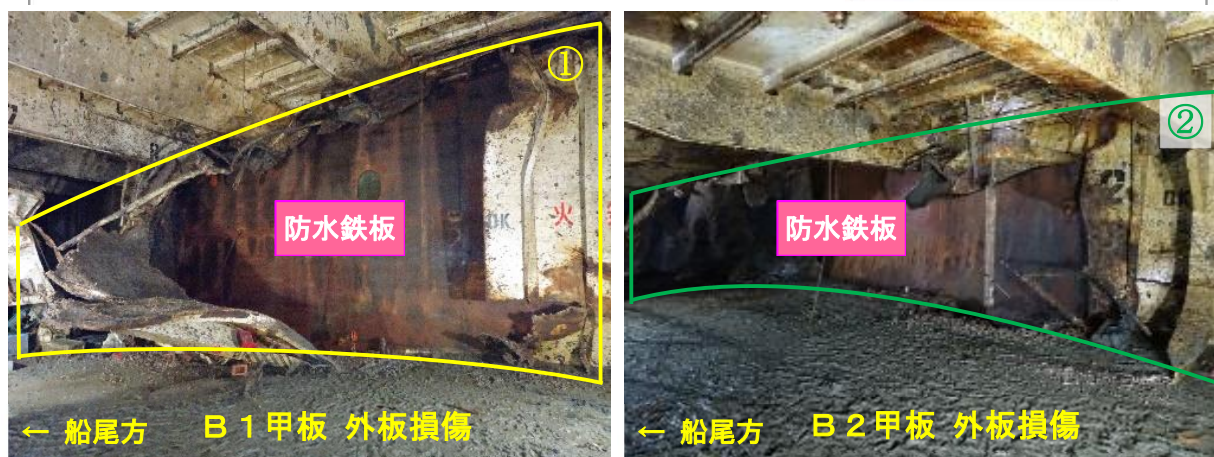
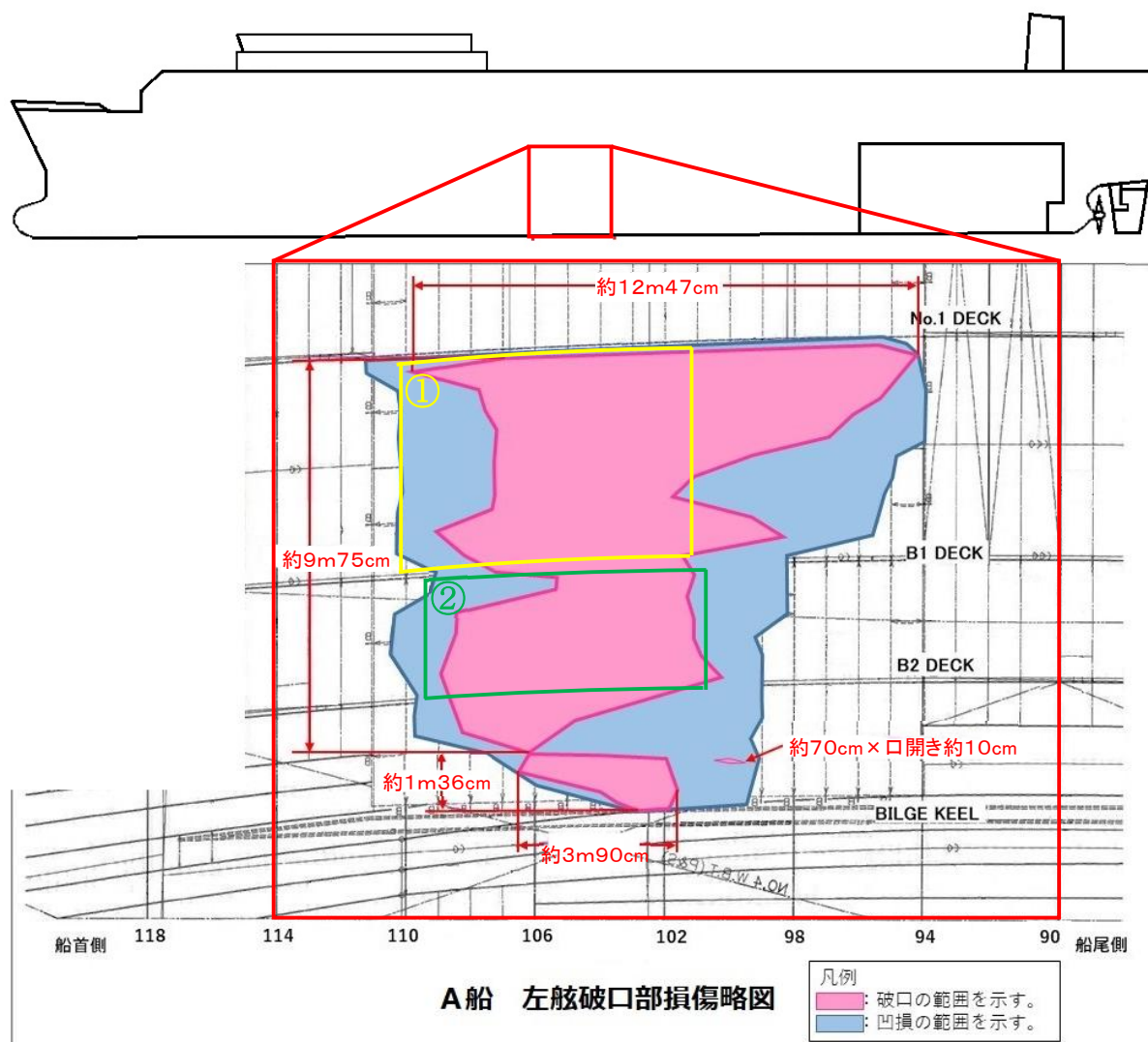
A船の乗組員の口述によれば、A船は左舷中央部に破口を生じて沈没した。今治海上保安部の広報資料によれば、沈没した位置は今治市波方町宮崎の来島梶取鼻灯台から北北東約4,500mであった。

A船が引き揚げられた後、令和5年11月、船体の損傷状況を確認したところ、破口は、左舷中央部のフレームナンバー94～110にかけて、第1甲板の下側約12.5mを底辺とし、ビルジキール付近を頂点とした高さ約9.8mの逆三角形型であった。(図16及び図17参照)

また、A船の船橋に設置された船内時計は00時11分26秒付近で止まっていた。

② 燃料油等の流出

A₁社の回答書によれば、阪神港神戸区出港時、A船の左舷側燃料油タンクには、約152.4klの燃料油が、右舷側燃料油タンクには、約190.4klの燃料油が搭載されていた。本事故後、残油の回収作業が行われ、左舷側及び右舷側燃料油タンクからは、それぞれ99%程度の油が回収され、また、他の小容量の油タンクからも残油が回収され、大規模な油の流出には至らなかった。



内側から左舷外板を撮影（防水鉄板は引揚時工事で設置）

図16 A船の外板の損傷状況

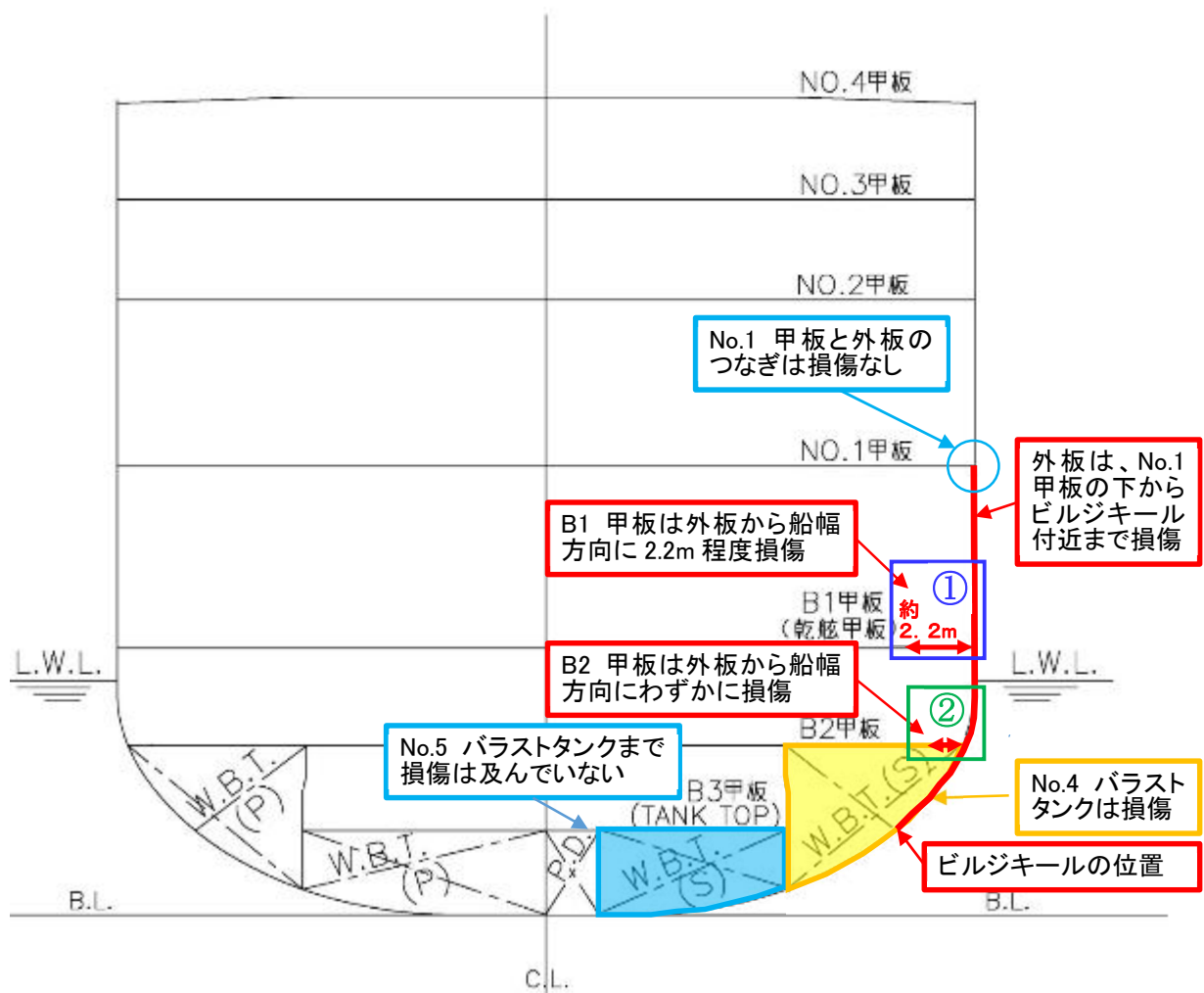


図 1 7 A船の甲板の損傷状況

(2) B船

B船は、船首部に圧壊（前部マスト灯倒壊等）及び球状船首に曲損等が生じた。（写真3参照）



写真3 B船の損傷状況

2.8 乗組員に関する情報

(1) 年齢、海技免状等

① 船長A 66歳

三級海技士（航海）

免許年月日 昭和50年6月6日

免状交付年月日 平成30年4月3日

免状有効期間満了日 令和5年8月24日

② 航海士A₁ 44歳

三級海技士（航海）

免許年月日 平成21年9月28日

免状交付年月日 令和元年8月9日

免状有効期間満了日 令和6年9月27日

③ 甲板員A₁ 19歳

④ 船長B 62歳 国籍 大韓民国

締約国資格受有者の承認 船長（マーシャル諸島共和国発給）

交付年月日 2019年4月26日

（2024年4月25日まで有効）

⑤ 航海士B₁ 19歳 国籍 大韓民国

締約国資格受有者の承認 三等航海士（マーシャル諸島共和国発給）

交付年月日 2020年6月17日

（2025年3月11日まで有効）

(2) 主な乗船履歴等

航海士A₁、甲板員A₁、船長B及び航海士B₁の口述並びにA₁社の回答書によれば、各人の主な乗船履歴等は、次のとおりであった。

① 船長A

水産会社の船舶に乗船した後、昭和56年2月にA₁社に入社した。約46年の海上経験があり、A₁社では平成4年11月頃から船長職をとり、令和2年7月にA船の竣工^{しゅん}引取り時から船長として乗船し、その後、他船での勤務を経て、令和3年4月28日から再びA船の船長として乗船していた。

これまでに来島海峡の通航経験が多数あった。

船長Aの船員手帳の令和2年10月20日付け健康証明書には、「見張り業務適」と記載されており、本事故当日、船橋当直業務を行っていた。

② 航海士A₁

平成7年4月から商船に乗船し、令和元年8月にA₁社に入社した。約20年の海上経験があり、A₁社ではA船の同型船に令和2年4月から8月まで航海士として乗船し、A船には令和3年4月から乗船していた。

本事故当時、健康状態は良好であった。

③ 甲板員A₁

平成31年3月に高等学校を卒業し、同年4月にA₁社に入社した。令和元年5月頃からA船の同型船に乗船し、A船には令和3年4月頃から乗船して、操舵業務等に従事していた。

海技免許は有していなかったが、高等学校における四級海技士（航海）養成施設の課程修了により、四級海技士（航海）免許の筆記試験の免除を受けることができる状況であった。

本事故当時、健康状態は良好であった。

④ 船長B

遠洋漁船や商船の船員経験が41年（船長経験20年）あり、2021年1月頃からB船の船長として乗船していた。来島海峡の通航経験は多数あった。

本事故当時、健康状態は良好であった。

⑤ 航海士B₁

2019年に高等学校を卒業し、実習生期間を含めて船員経験が1年6か月あり、2020年6月からB船に乗船していた。本事故時と同様に来島海峡を西から通航した経験は昼夜合わせて10回程度であった。

本事故当時、健康状態は良好であった。

2.9 船舶に関する情報

2.9.1 船舶の主要目

(1) A船

船 舶 番 号	1 4 3 7 8 4
船 籍 港	東京都
船 舶 所 有 者	独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 A ₁ 社
運 航 者	A ₂ 社
船 級	一般財団法人日本海事協会（以下「NK」という。）
総 ト ン 数	11,454トン
L × B × D	169.98m × 26.00m × 18.65m
船 質	鋼
機 関	ディーゼル機関1基
出 力	14,160kW
推 進 器	5翼固定ピッチプロペラ1個
進 水 年 月	令和2年2月

(2) B船

I M O 番 号	9 7 3 0 9 6 9
船 籍 港	マーシャル諸島共和国 マジュロ
船 舶 所 有 者	HIDHC NO.2 S.A.（マーシャル諸島共和国）
船舶管理会社	PTS CO., LTD.（大韓民国）
運 航 者	HEUNG-A SHIPPING CO., LTD.（大韓民国）
船 級	KOREAN REGISTER OF SHIPPING
総 ト ン 数	2,696トン

L × B × D	8 9 . 9 6 m × 1 4 . 4 0 m × 7 . 5 0 m
船 質	鋼
機 関	ディーゼル機関 1 基
出 力	2 , 4 2 7 kW
推 進 器	4 翼固定ピッチプロペラ 1 個
進 水 年 月	2 0 1 6 年 1 月

2.9.2 A船の船体構造等に関する情報

(1) 船体構造

A₁社及びA₂社の回答書並びにA船の一般配置図によれば、A船の船体構造は、次のとおりであった。

A船は、船体の上層から順に、航海船橋甲板（船橋及び乗組員居住区）、第4甲板（乗組員居住区）、第3甲板、第2甲板（上甲板）、第1甲板、B1甲板（乾舷甲板）、B2甲板、B3甲板（第3甲板～B3甲板は車両積載区画）及び機関室が設けられていた。

（図18、写真4及び写真5 参照）

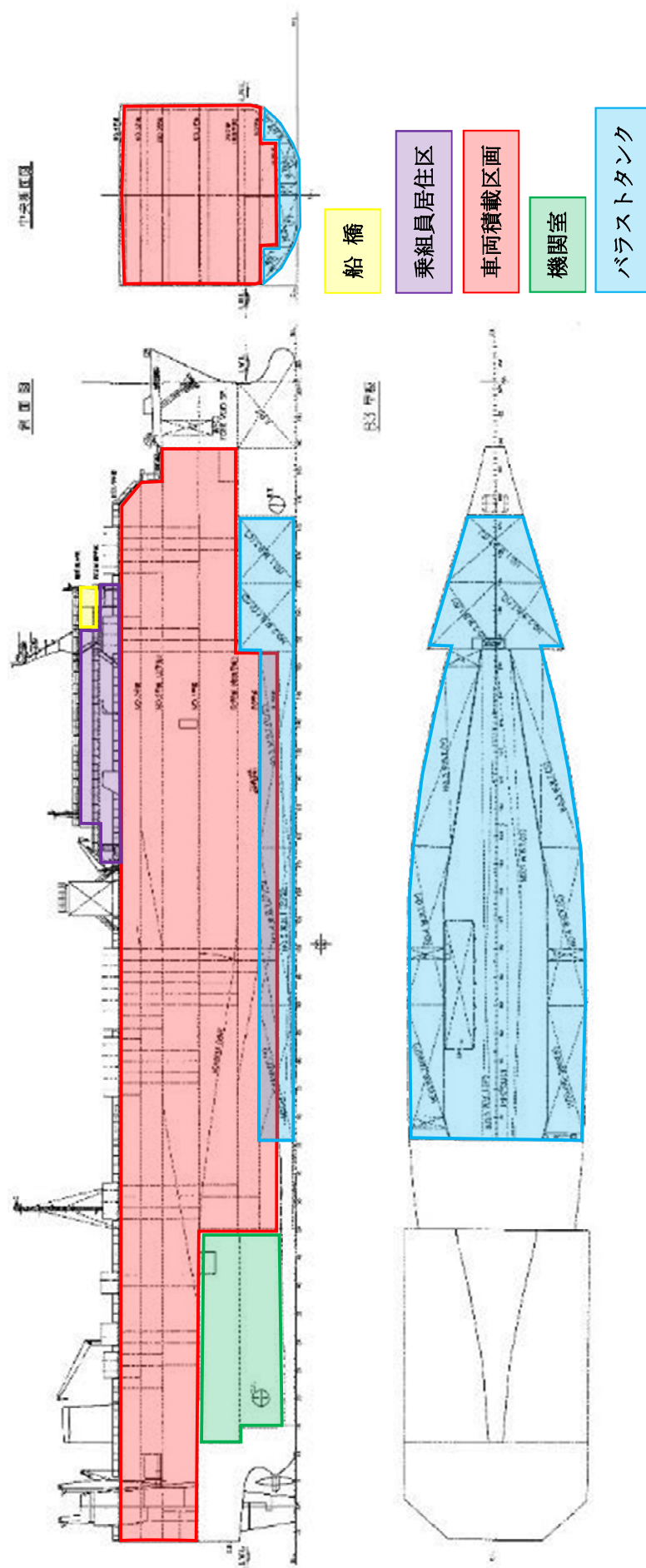


図 18 A 船の一般配置図 (抜粋)



写真4 A船の第1甲板の状況（本事故前）



写真5 A船のB2甲板の状況（本事故前）

また、船首や後方から船体中央や後方にかけての二重底には、船首方から1番バラストタンク（中央）、2～4番バラストタンク（各両舷）、5番バラストタンク（中央）及びヒールタンク（両舷）が設けられていた。

車両積載区画に隔壁はなく、上下の車両甲板の間はランプウェイで結ばれており、水密ではなかった。また、車両甲板の床には、ラッシングベルト（破断強度2,000kgf以上、6,000kgf以上及び16,000kgf以上の3種）で車両を固定するための留め金が施工されていた。

(2) 損傷時復原性に関する情報

A船は、2019年NK鋼船規則に基づき建造されている。

2019年NK鋼船規則C編（船体構造及び船体艤装）に基づき建造される船舶のうち、総トン数500トン以上であって、乾舷用長さ（ L_f ）が80m以上の船舶は、原則として、同編4章に規定する損傷時復原性基準（衝突や座礁により、船体外板に破口等を生じ、船内への浸水が起きたとしても、最終的に沈没・転覆せず、更にある程度の外力が働いても転覆に至らないための基準）を満たす必要がある。

しかしながら、限定近海船及び沿海区域又は平水区域を航行区域とする船

船（沿海区域を航行区域とする船舶にあっては、国際航海に従事しないものに限る。）には軽減措置（2019年NK鋼船規則検査要領CS編（小型鋼船の船体構造及び船体艤装）Cs1.1「適用及び同等効力」Cs1.1.1「適用」）が設けられており、次の要件を満たす船舶については、損傷時復原性基準を適用しなくてもよいとされている。

- ・要件に適合する浸水警報装置を備え付けていること
- ・要件を満たす内容（損傷時の復原性に関する計算結果、同計算結果による危険性判断の方法、損傷及び浸水制御に関する構造及び設備の配置図（ビルジポンプ等の配置）等）が記載された損傷制御資料を船橋に備え付けていること

A船は、この軽減措置を適用した船舶であった。

A船には、前記の損傷制御資料「船長のための損傷時の復原性に関する資料」が備えられており、その控えがA₁社に保管されていた。これによれば、同資料は、「衝突等により浸水が発生した場合に、①沈没のおそれがあるかどうかの判断及び②損傷制御の検討に必要な情報を提供すること」を目的として作成されたものであり、「①沈没のおそれがあるかどうかの判断」のための情報として、具体的には、載荷状態（満載、60%部分積載、軽荷）とトリムの状態との組合せによって初期状態を場合分けした上で、各場合について、船体のどの範囲の区画に破口が生じると沈没のおそれがどの程度になるかを計算した結果（S値）を3段階に色分けして図表に示したものを含まれていた。同資料を利用することにより、船長は、損傷が生じた際の船の状態に近い初期状態の図表を選択し、破口が生じた区画の範囲を特定して対応する「S値」の状態を読み取ることで、損傷による影響を容易に評価することができるようになっていた。

なお、S値が「0」の場合は、規則に従った計算の結果では沈没すると判断できるとされており、図19で示す例では、船首区画又は機関室等のみが損傷した場合以外、すなわち、車両積載区画等が損傷した場合には、「状態3（S=0）」となり、沈没すると判断できることになる。

（図19 参照）

また、損傷制御資料によれば、以下のいずれかの条件に該当する場合においても、計算結果に基づけば沈没すると判断できるとされている。

- ・ハッチ、風雨密戸、通風ダクト等浸水区画以外の区画への継続した浸水が発生する外部又は内部開口が沈没する場合。
- ・最終平衡角が30度以上となる場合。

計算状態 (60%部分積載喫水): (P)side (左舷側) 損傷

初期状態: dP (Partial draft (60%部分積載喫水)) = 6.380m,

$Trim$ (トリム (船尾喫水-船首喫水)) = 1.700m,

G_oM ((初期)メタセンタ高さ) = 1.20m

(損傷範囲: 垂直方向=NO.1甲板(まで)、幅方向=C.L.(船体中央線まで))

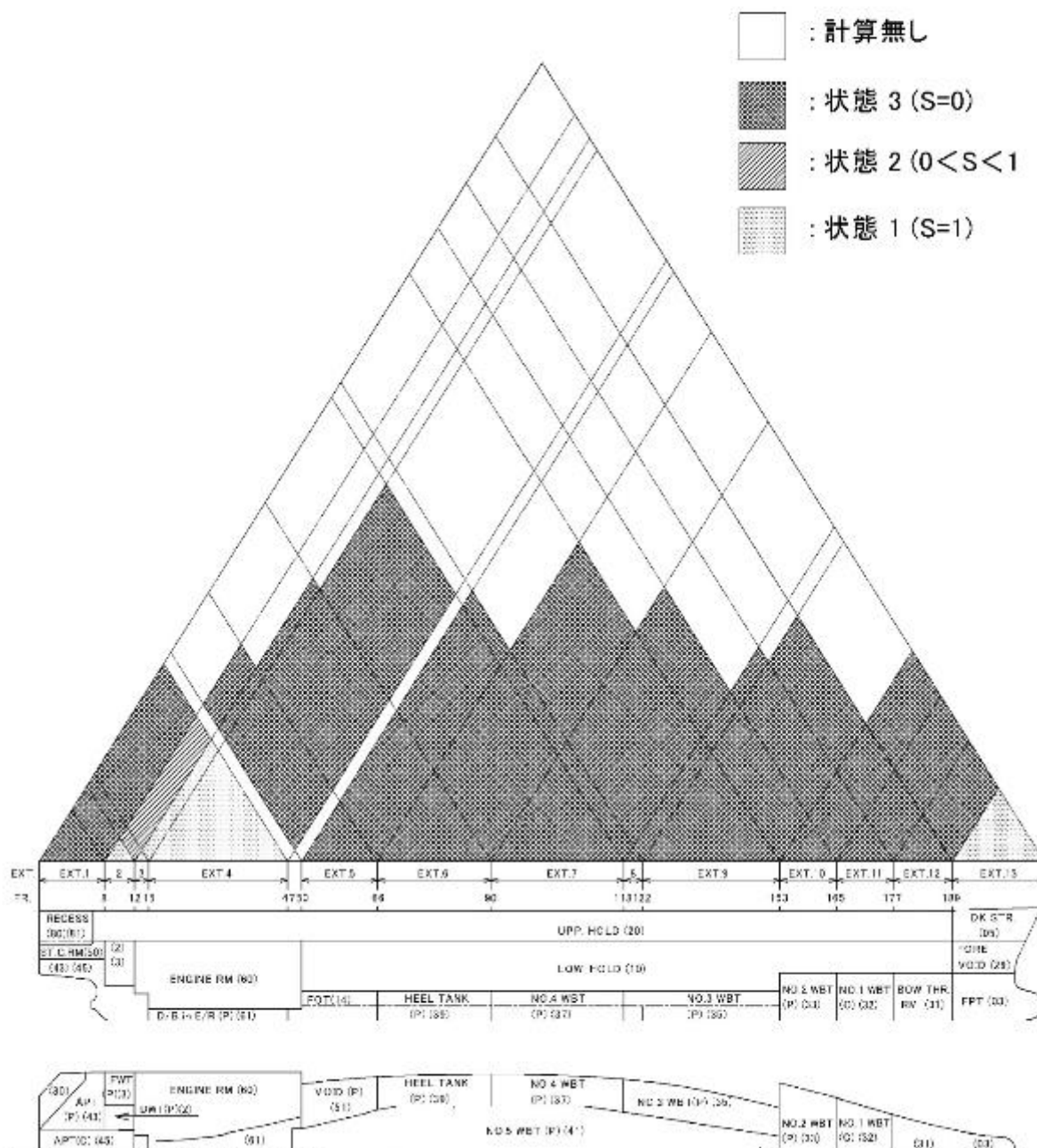


図 1.9 損傷時復原性の計算状態を表した図表 (例)

2.9.3 船舶の設備等

(1) A船

A₁社の回答書及びA船の船橋配置図によれば、A船の船橋内に設置された機器の機能等及び配置は、次のとおりであった。

船橋中央に操舵装置が、その右舷側に主機遠隔操縦装置等が、左舷側にレーダー2台及び電子海図を表示させる装置がそれぞれ設置されていた。

レーダーにはT T (Target Tracking: 自動衝突予防援助装置)の機能が装備され、選択した他船を捕捉して動静情報(C P A、T C P A (Time to the Closest Point of Approach) ^{*10}、B C R (Bow Crossing Range) ^{*11}、B C T (Bow Crossing Time) ^{*12})等をレーダー画面に表示することが可能であり、また、試行操船の機能も備わっていた。

本事故当時、船体、機関及び機器類に不具合又は故障はなかった。

(図20 参照)

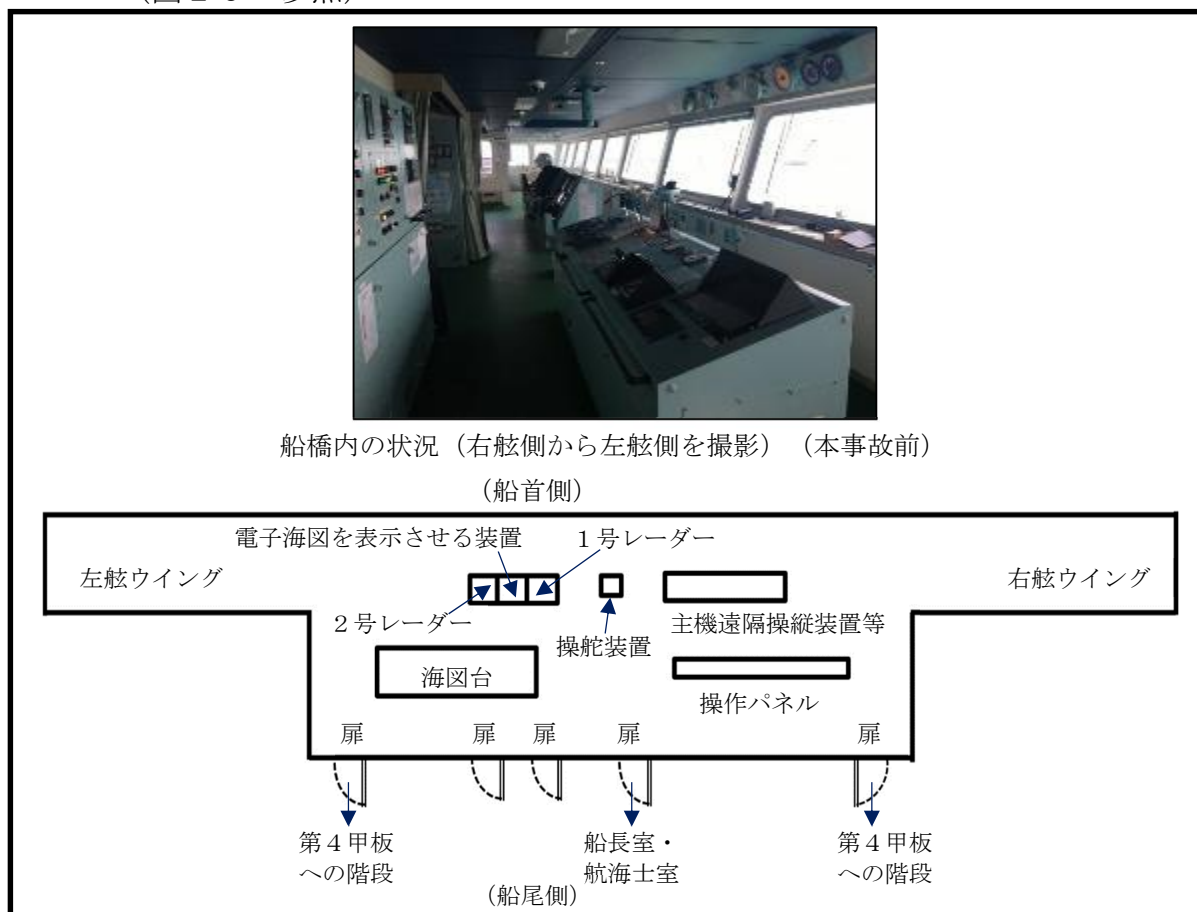


図20 A船の船橋内機器配置等概略図

^{*10} 「T C P A」とは、2船が最接近するまでの時間のことをいう。

^{*11} 「B C R」とは、他船が自船の船首を横切るときの距離のことをいう。

^{*12} 「B C T」とは、他船が自船の船首を横切るまでの時間のことをいう。

(2) B 船

B 船には、船橋中央に操舵装置が、その右舷側にレーダー 1 台、E C D I S 及び主機遠隔操縦装置等が、左舷側にレーダー 1 台及びVHF等がそれぞれ設置されていた。レーダーにはT Tの機能が装備され、選択した他船を捕捉して動静情報（C P A、T C P A、B C T、B C R）等をレーダー画面に表示することができた。

航海士 B₁の口述によれば、本事故当時、船体、機関及び機器類に不具合又は故障はなかった。

(図 2 1 参照)



船橋内の状況（左舷側から右舷側を撮影）



主機遠隔操縦装置等



2号レーダー



操舵装置

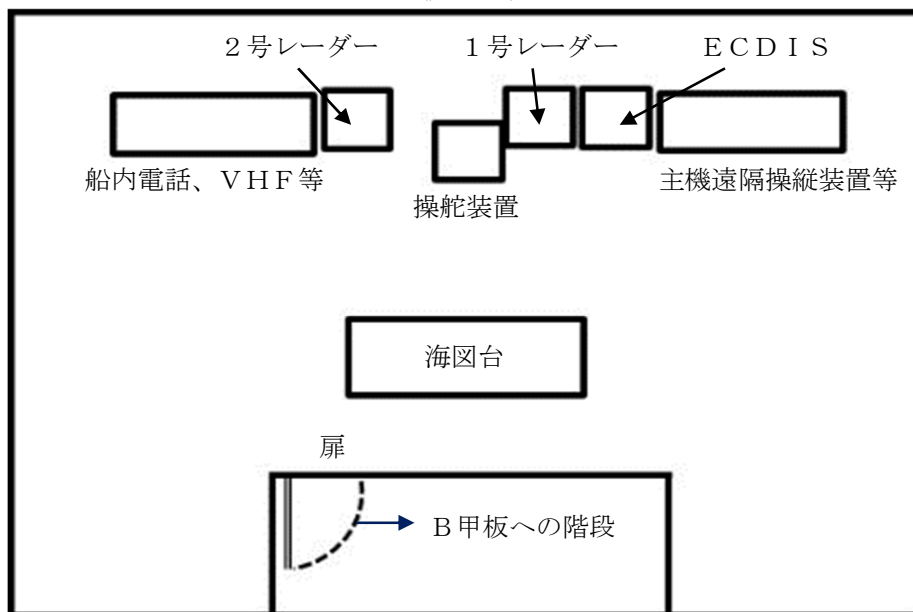


1号レーダー



ECDIS

（船首側）



（船尾側）

図 2 1 B 船の船橋内機器配置等概略図

2.9.4 操縦性能

(1) A船

A船の海上公試運転成績書によれば、約60%載貨状態（船首喫水6.01m、船尾喫水6.43m）における停止及び旋回性能は、次のとおりであった。

① 停止距離及び時間（全速後進発令から船体停止まで）

後進発令前の速力	距離	時間
23.73 kn	2,355 m	6分37秒

② 旋回性能（舵角35°）

旋回方向	速力	最大縦距 ^{*13}	最大横距 ^{*14}	時間
左	23.73 kn	542.3 m	601.0 m	4分44秒
右	23.73 kn	601.3 m	658.9 m	5分03秒

※「時間」は、360°旋回に要する時間である。

③ 左旋回試験結果（抜粋）

旋回角	経過時間	縦距	横距
0	0秒	0 m	0 m
5	11.1秒	134.4 m	0.7 m

※「経過時間」は、舵取発令からの旋回角に達するまでの時間である。

④ 右旋回試験結果（抜粋）

旋回角	経過時間	縦距	横距
0	0秒	0 m	0 m
5	14.1秒	171.5 m	-4.4 m
15	21.0秒	252.7 m	-3.4 m

※「経過時間」は、舵取発令からの旋回角に達するまでの時間である。

(2) B船

B船の海上試運転成績表によれば、停止及び旋回性能は、次のとおりであった。

① 停止距離及び時間（全速後進発令から船体停止まで）

後進発令前の速力	距離	時間
13.8 kn	676.2 m	2分33秒

（排水量5,278 t、船首喫水5.67m、船尾喫水5.75m）

^{*13} 「最大縦距」とは、転舵によって船の重心が描く軌跡（旋回圏）において、転舵時の船の重心位置から最大の縦移動距離をいう。

^{*14} 「最大横距」とは、旋回圏において、転舵時の船の重心位置から最大の横移動距離をいう。

② 旋回性能（舵角 35° ）

旋回方向	速力	最大縦距	最大横距	時間
左	13.4 kn	241.5 m	201.8 m	3分16秒
右	12.8 kn	290.3 m	221.0 m	3分30秒

（船首喫水 5.65 m、船尾喫水 5.73 m）

2.9.5 船橋からの見通し

A船の同型船及びB船共に、船首方に死角を生じさせる構造物はなかった。（写真6～写真9参照）



写真6 A船の同型船の船橋中央から前方の見通し



写真7 A船の同型船の船橋中央から左舷前方の見通し



写真8 A船の同型船の左舷ウイングから前方の見通し



写真9 B船の船橋中央から前方の見通し（本事故後）

2.9.6 積載状態

(1) A船

A₁社の回答書によれば、A船は、本事故当時、車両284台及びシャーシ44台を積載していた。また、喫水は、船首約5.50m、船尾約7.50mであった。

車両積載区画の各甲板の積載状況は表2のとおりであり、ラッシングは車両等の種類に応じて、ベルトの種類（破断強度）と車両1台当たりの使用本数が異なっていた。（表2参照）

表2 車両の積載状況

甲板	積載状況 (種類、台数、重量)	積載重量	ラッシング状況（1台当たり） (ベルトの破断強度×使用本数)
第3甲板	乗用車(1.5t) 75台	112.5t	2,000kgf以上×4本
第2甲板	乗用車(1.8t) 102台	183.6t	2,000kgf以上×4本
第1甲板	乗用車(1.5t) 35台 乗用車(1.8t) 3台 小型トラック(3t) 8台 大型トラック(10t) 3台 バス(3.6t) 7台 バックホー(17t) 3台 シャーシ(28t) 26台	916.1t	2,000kgf以上×4本 2,000kgf以上×4本 6,000kgf以上×4本 6,000kgf以上×4本 6,000kgf以上×4本 16,000kgf以上×6本(キャタピラー部分) 16,000kgf以上×2本(アーム部分) 16,000kgf以上×4本
B1甲板	乗用車(1.8t) 2台 シャーシ(28t) 18台	507.6t	2,000kgf以上×4本 16,000kgf以上×4本
B2甲板	乗用車(1.5t) 46台	69.0t	2,000kgf以上×4本
B3甲板	なし	—	—

(2) B船

B社の回答書によれば、B船は、本事故当時、Glacial Acetic Acid（氷酢酸）2,996 tを積載していた。また、喫水は、船首約4.70m、船尾約6.70mであった。

2.10 気象及び海象に関する情報

2.10.1 気象観測値等

- (1) 本事故発生場所の南南西約35kmに位置する松山地方気象台における観測値は、次のとおりであった。

月日	時刻	天気	視程 (km)
5月27日	23時00分	曇り	20.0
5月27日	24時00分	曇り	20.0

- (2) 本事故発生場所の南東約12.7kmに位置する今治地域気象観測所の観測値は、次のとおりであった。

月日	時刻	気温	風向	平均風速 (m/s)	降水量 (mm)
5月27日	23時50分	19.7℃	南西	3.1	0.0
5月27日	24時00分	19.7℃	西南西	3.4	0.0

- (3) 大学共同利用機関法人自然科学研究機構国立天文台によれば、本事故当時の愛媛県松山市における月の出入り等は、次のとおりであった。

月出時刻：5月27日 20時19分

南中時刻：5月28日 00時16分

南中高度：34.0°

月没時刻：5月28日 05時23分

月 齢：5月27日 15.3

- (4) 大阪管区気象台の沿岸域の海面水温情報によれば、本事故当日の安芸灘・伊予灘の海面水温は、約17℃であった。

2.10.2 潮汐

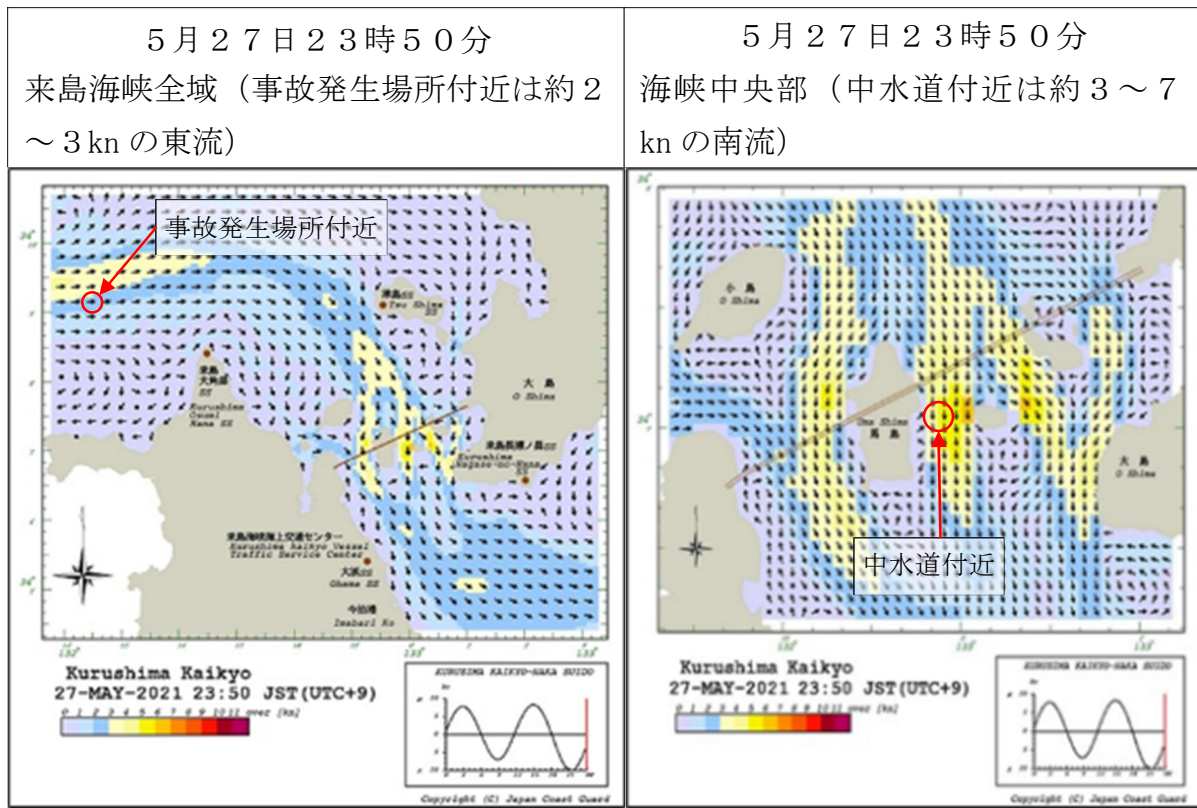
- (1) 気象庁の潮位表によれば、来島航路における潮汐は、本事故当時、ほぼ満潮を迎えており、満潮時刻23時56分の潮位は約379cmであった。

- (2) 令和3年潮汐表（海上保安庁刊行）によれば、来島海峡の転流時刻は、次のとおりであった。

中水道：5月28日 00時34分 南流→北流

西水道：5月28日 00時55分 南南東流→北北西流

(3) 海上保安庁の来島海峡潮流情報によれば、次のとおりであった。



2.10.3 乗組員等の観測

船員法第19条に基づき、A₁社から関東運輸局に提出された報告書によれば、本事故当時の天気は、晴れ、北北東の風、風力2、波高0.5mであった。

船長Bは、本事故当時の潮流について、非常に速かったと口述している。

航海士B₁は、本事故当時の気象、海象及び視程について、当直業務の支障になるような外部的要因はなかったと口述している。

2.11.1 当直及び操船等に関する情報

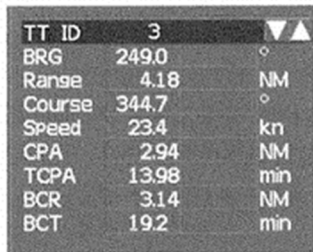
2.11.1 VHF 交信に関する情報

航海士A₁は、本事故当時のVHF使用に関する認識について、B船に呼び掛けなかった理由は分からないとした上で、一般的に、意思疎通が必要と思えば呼び掛けるが、問題なければ呼び掛けないと口述している。

2.11.2 TTが示すCPA値に関する情報

(1) CPAの目安

文献^{*15}では、CPAの目安について、次のとおり示されている。

	TT ID	ターゲットの番号
	BRG	Bearing (自船からの方位)
	Range	Range (自船からの距離)
	Course	COG = Course Over Ground (物標の真針路) 注) 自船の真針路がレーダーに入力されている場合
	Speed	SOG = Speed Over Ground (物標の対地速力) 注) 自船の対地速力が入力されている場合
	CPA	Closest Point of Approach (最接近距離 = DCPA)
	TCPA	Time to CPA (最接近までの時間) xx 分 xx 秒または yy.yy 分 [※]
	BCR	Bow Crossing Range (船首横切り距離)
	BCT	Bow Crossing Time (船首横切り時間) xx 分 xx 秒または yy.yy 分 [※]

※ TCPA および BCT の時間の表示方法には、xx : xx (分 : 秒で表示) と yy.yy (分単位で小数表示) などがある。

データが「-xx : xx」または「-yy.yy」等、マイナスの TCPA、BCT は、すでにそのターゲットの最接近または船首横切りが過ぎたことを意味する (xx 分 xx 秒前または yy.yy 分前が最接近点または船首横切りであった。現在は遠ざかっている)。マイナスの場合は表示しない機種もある。

(b) TT の数値データ表示

図 3-44 TT の表示例

(略)

TT による衝突危険性の判定には、物標のベクトルとともに図 3-44 (b) のような数値データも併せて利用する。

CPA (DCPA) が小さい → 衝突の危険： 大

自船の大きさや操縦性にもよるが、例えば、

0.2 NM 以下 …… 必要に応じて機を逸することなく避航の措置をとる

0.5 NM 以下 …… かなり危険

1.0 NM 以下 …… 注意を要す

TCPA が短い → 接近までの時間的余裕がない

CPA が小さい物標については、TCPA が長く、十分に余裕のあるうちに避航の措置をとるのが効果的である。

CPA (DCPA) の値が小さいのは最接近距離が短いことであり、2 船がそのまま進めば衝突の危険性が大きいとみなさなければならない。上に示した具体的な数値の一例は一般的な小型内航貨物船などにおける一つの目安

^{*15} 「詳説 航海計器 (改訂版)」(若林伸和、株式会社成山堂書店、令和 3 年発行)

であり、その船の操縦性などによっても異なるので、自分が操縦している船における判断の目安を予め意識しておく必要がある。大型船ではこれより値が大きくても危険と判断する必要があるかもしれないし、全長300mを超えるようなVLCC（超大型原油タンカー）やメガコンテナ船などでは、さらに大きな値でも注意する必要があるだろう。

(2) ARPA (Automatic Radar Plotting Aids) ^{*16}機能が示す小さいCPA値を操船者が過信する危険性

文献^{*17}では、CPA値について、次のとおり示されている。

Third（本文献が引用する文献「A rough guide to collision avoidance, NAVIGATION ACCIDENTS AND THEIR CAUSES」の著者（John Hamilton Third））は、衝突回避のためのARPA利用が、有効であることを認めつつも、ARPA機能が示す小さいCPA値を操船者が過信する危険性を訴えている。中でも、外洋上での、CPA0.5マイル以下とは、「衝突のおそれ」がない状態（航法をとるべき時期ではなく、衝突の危険が迫っているという意味）であるとして、例示している。

(3) 船の長さが状況認識に与える影響

文献^{*18}では、CPA及びTCPAの算出に当たって船舶の長さが考慮されていない点を取り上げ、次のように推測している。

二船の状態やGPSアンテナ位置に依存するが、TCPAおよびDCPAは計算基準点を船体中央もしくは衝突位置とした場合では、その差がL（船の長さ）に対して無視できないほど大きくなることもあり、Lが大きい場合にはこの傾向が顕著になると考えられる。結果として、航行状況によっては、ARPA情報は実際の余裕よりも過大評価され、危険を認識する時間が遅くなる可能性があると考えられる。

2.1.2 運航に関する情報

(1) A船

① 狭水道における船長の甲板上の指揮について、船員法には、次のとおり

^{*16} 「自動衝突予防援助装置（ARPA: Automatic Radar Plotting Aids）」とは、レーダーで探知した他船の映像の位置の変化をコンピュータで自動的に処理させ、他船の針路、速力、最接近時間、最接近距離、将来予測位置などを表示させるとともに、他船との接近により衝突の危険が予測される場合に警報を発する（TTと同じ）機能を有する装置をいう。

^{*17} 「「新たな衝突のおそれ」適用事例における「無難に航過する」の問題について」（藤原（森田）紗衣子、藤本 昌志、小西 宗、渕 真輝：日本航海学会論文集、第137巻、第136回講演会にて講演）

^{*18} 「コンテナ船衝突事故に係る状況認識の評価」（三宅 里奈、伊藤 博子、山本 聖子、牧野 真人：2019年、日本航海学会論文集、第140巻）

規定されている。

(甲板上の指揮)

第10条 船長は、(略) 船舶が狭い水路を通過するときその他船舶に危険の虞があるときは、甲板にあつて自ら船舶を指揮しなければならない。

- ② 安全管理規程（内航海運業法（昭和27年法律第151号）第11条に基づき、国土交通大臣に届出が必要な規程）に基づきA₂社が定めた運航基準によれば、狭水道当直配置について、次のとおり定められていた。

(航海当直配置等)

第6条 船長は、船舶所有者等と協議して次の配置を定め、運航管理者へ報告するものとする。変更する場合も同様とする。

(1)～(4) (略)

(5) 狭水道航行配置

- ③ A₂社担当者の口述及び回答書によれば、狭水道航行配置に関するA₂社の認識は、次のとおりであった。

私たち（A₂社）は、A船を運航管理する以前から、同様の船舶を同じ航路、同じ仕事で運航していたが、狭水道航行では、船長が必ず船橋におり、当直航海士及び甲板員と共に航海当直業務を遂行していると認識している。これは当然のことと思っており、訪船時に各船長からいろいろな話を聞くが、狭水道で船長がいないとの話は聞いたことがない。各船長からは眠いとの話も聞くが、神戸港を出港すると明石、備讃瀬戸、来島を通過して明け方には苅田港に入るので、眠いとは思うが、多くの船長から船橋にいと聞いている。

A₁社は、A₂社が運航管理する前、別の運航会社に同様の船（ロールオン・ロールオフ貨物船）を用船に出して同一航路を走っているのも、私からA₁社に対して、船長が船橋にいることなど確認したことはない。船長が船橋にいて当然であるから、船舶所有者と協議するレベルの話ではなく、狭水道の配置は船長、航海士、操舵手という認識であった。

- ④ 甲板員A₁は、船橋当直体制について、次のとおり口述している。

本事故当時、船長Aは来島海峡航路第4号灯浮標辺りで航海士A₁に操船指揮を引き継いで降橋した。また、来島海峡航路西口付近でのふだんの船長Aの降橋時機に決まったものではなく、周囲の船舶の交通量などによる。

- (2) B船

B船のMaster's Standing Order for Navigation（航海に関する船長の指示書）によれば、瀬戸内海航行時の航海士配置及び基本的な当直体制につい

て、次のとおり定められていた。

2. *Keeping a Good Watch* (良好な見張りの維持)

(略)

4) *In the following area where higher workload for navigation and collision avoidance is expected, two licensed officers (including Master) should be placed on the bridge.* (航行と衝突回避のためのより高い業務負荷が予想される以下のエリアでは、資格を有した2人の士官(船長を含む)を船橋に配置する必要がある。)

- (略)

- *Inland Sea of Japan* (瀬戸内海)

- (略)

- (略)

2.13 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所海上技術安全研究所による事故発生要因に関する解析調査

2.13.1 A船及びB船の衝突危険度の評価等に関する調査

本事故の原因究明に資することを目的に、A I S記録を基にした、衝突に至る両船の行動状況に関する認知支援の評価及び周辺海域における船舶の航行状況の分析による事故に至る要因の分析を国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所海上技術安全研究所(以下「海技研」という。)に委託した。

解析調査の結果は、別添1のとおりであった。

調査では、C J (Collision Judgement)、S J (Subject Judgement)、B C (Blocking Coefficient)、O Z T (Obstacle Zone by Target) の4つの衝突危険度評価指標を用いているが、それぞれの概要を以下に示す。

(1) C J

1対1の見合い関係にある二船の衝突危険度を示す指標のことをいい、相手船が近づくにつれて危険度は増加する。

過去の調査において、衝突の危険があると判定する閾値はC J 値が0.015以上、また、危険感との関係を分析した結果においては、相手船との衝突のおそれを感じる目安は0.007以上、衝突を避けられないと感じる目安は0.013以上とされている。

(2) S J

一般的な操船者からみた主観的な二船間の衝突危険度を評価する指標のことをいう。

S J 値が取りうる範囲は-3から+3であり、意味合いは次のとおり。

極めて危険	$SJ = -3$	やや安全	$SJ = +1$
危険	$SJ = -2$	安全	$SJ = +2$
やや危険	$SJ = -1$	極めて安全	$SJ = +3$
どちらともいえない	$SJ = 0$		

(3) BC

周囲に存在する船舶によって閉塞される度合い（避航操船空間閉塞度）を示す指標のことをいう。

BCが取りうる範囲は、0から1であり、BCが1のときの状況は余裕時間が極めて小さく、また、いかなる操船によっても回避できない状況である。

(4) OZT

他船によって近い将来自船の行動空間が妨害される領域のことをいう。また、衝突のおそれを感じるOZTを識別する設定として妥当であるとされる自船からの方位及び距離を評価エリアと定義し、同エリアに少なくとも一部が入るOZTを「衝突危険性が高いOZT」、それ以外を「衝突危険性が低いOZT」として識別している。

(別添1 貨物船及びケミカルタンカーの衝突事故に係る解析請負報告書 参照)

2.13.2 A船の復原性及び転覆・沈没に関する解析調査

本事故により沈没したA船の沈没原因調査に資することを目的に、復原性の推定及び転覆・沈没に至る状況の推定の解析調査を海技研に委託した。

本解析調査は、委託の際に当委員会が提供した令和3年11月頃の損傷状況等の調査情報に基づくものである。なお、令和5年11月、引き揚げられたA船の損傷状況を確認し、当初の委託時に想定されていた損傷状況と多少の差異が確認されたが、解析結果には影響ないことを確認した。

解析調査の結果は、別添2のとおりであった。

(別添2 沈没に係る解析調査（貨物船A沈没事故）報告書 参照)

2.1.4 類似事故事例

平成20年10月以降、来島海峡航路西口付近における貨物船又はタンカーの衝突事故（総トン数20トン未満の小型船舶が関係したものを除く）は3件発生しており、いずれも夜間で来島海峡の潮流は南流時であった。（図2.2参照）

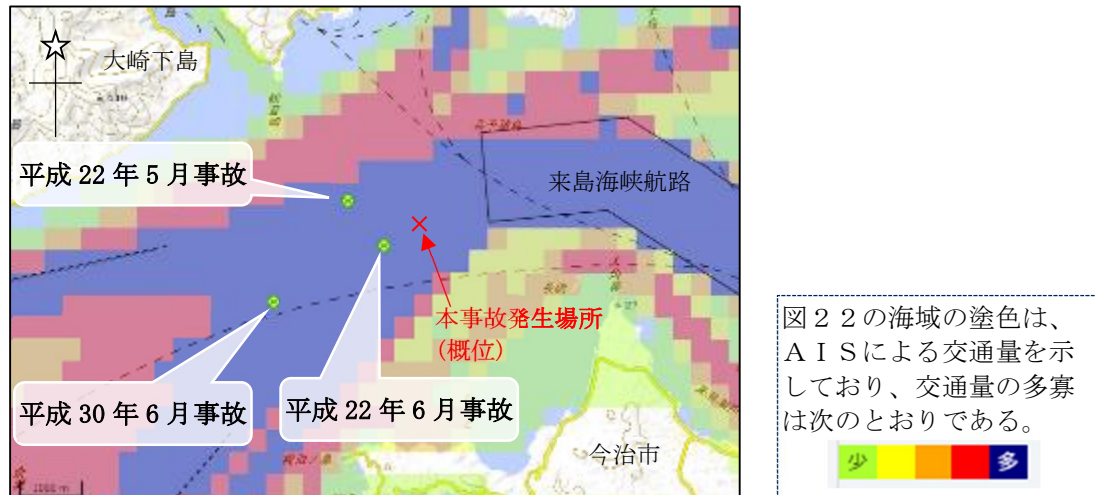


図 2 2 航路西口付近における貨物船又はタンカーの衝突事故の発生場所（3 件）

3 分 析

3. 1 事故発生状況

3. 1. 1 事故発生に至る経過

2. 3 から、A 船及び B 船の事故発生に至る経過は、次のとおりであったものと考えられる。（図 2 3 及び図 2 4 参照）

(1) A 船

- ① A 船は、令和 3 年 5 月 2 7 日 2 3 時 4 8 分頃、来島海峡航路第 4 号灯浮標を通過した辺りで左舷前方を同航していた D 船を右舷側から追い越した。
- ② 航海士 A₁ は、来島海峡航路を出航する辺りで、レーダーで試行操船を行い、2 3 0° まで左転しても B 船と C P A 0. 2 M 程度の距離を保って通過できるという結果が出たので、針路を 2 3 0° に変針するため、甲板員 A₁ に「Port easy」を指示した。
- ③ A 船は、2 3 時 5 1 分 2 7 秒頃に来島海峡航路を出航し、同 5 1 分 4 6 秒頃～5 2 分 5 3 秒頃にかけて針路約 2 6 0° から約 2 3 0° に変針して、速力約 1 7. 3 kn で航行を続けた。
- ④ 航海士 A₁ は、A 船が針路 2 3 0° に向いた時点で B 船を視認し、衝突のおそれを感じた。
- ⑤ A 船は、B 船から V H F で呼び出しを受け、2 3 時 5 3 分 0 3 秒頃、航海士 B₁ の「Port to Port」の連絡に対し、航海士 A₁ は、「OK」と応答した後、甲板員 A₁ に「Starboard」を指示し、甲板員 A₁ は「Starboard」に舵を取った。

- ⑥ A船は、23時53分27秒頃～39秒頃にかけて針路約233°から約241°に右転し、速力約17.8knから約17.6knで航行した。
- ⑦ A船は、23時53分38秒頃、約17.6knで右転中にB船と衝突した。

(2) B船

- ① B船は、23時43分頃、梶取ノ鼻西方沖のWSラインを通過し、航海士B₁が来島マーチスへ通報したところ、来島マーチスから来島海峡の潮流は南流であり中水道へ向かうよう連絡を受け、23時46分頃、再度、来島マーチスから中水道へ向かうよう連絡を受けた。
- ② B船は、23時48分頃、船長Bが昇橋し、航海士B₁から操船指揮を引き継いだ。
- ③ B船は、航海士B₁が23時48分頃に針路040°、船長Bが、同49分25秒頃に針路035°、同50分38秒頃に針路030°を指示し、来島海峡航路西口の北側に向けて、同49分頃～53分頃にかけて針路約038°から約030°に変針し、速力約14.7knから約14.2knで航行した。
- ④ 23時49分40秒頃、船長Bは、1号レーダーによりA船を捕捉し、B船とA船が現針路と速力を保持すれば衝突の可能性はほとんどないと判断して、A船の船尾側を通過する目的で現針路を保持した。航海士B₁も、A船の方が速かったので、A船がB船の船首方を先に通過すると思った。
- ⑤ 船長Bは、23時52分42秒頃に独り言のように「なぜあの船は私たちの方を向いているのか？（韓国語）」とつぶやき、続けて同45秒頃に針路020°を指示した。
- ⑥ 23時52分49秒頃、船長Bは「あれはどこに向かっているの？（韓国語）」と言った。
- ⑦ 航海士B₁は、23時52分50秒頃VHFでA船を呼び出してA船の操船意図を尋ねるものの回答が得られず、同53分03秒頃A船に対し「Port to Port」と伝え、その直後、船長Bは「Hard Port」を指示した。
- ⑧ B船は、23時53分17秒頃～41秒頃にかけて針路約029°から約022°（船首方位は、021°から335°）に左転し、速力約14.3knから約13.6knで航行した。
- ⑨ B船は、23時53分38秒頃、約13.6knで左転中にA船と衝突した。

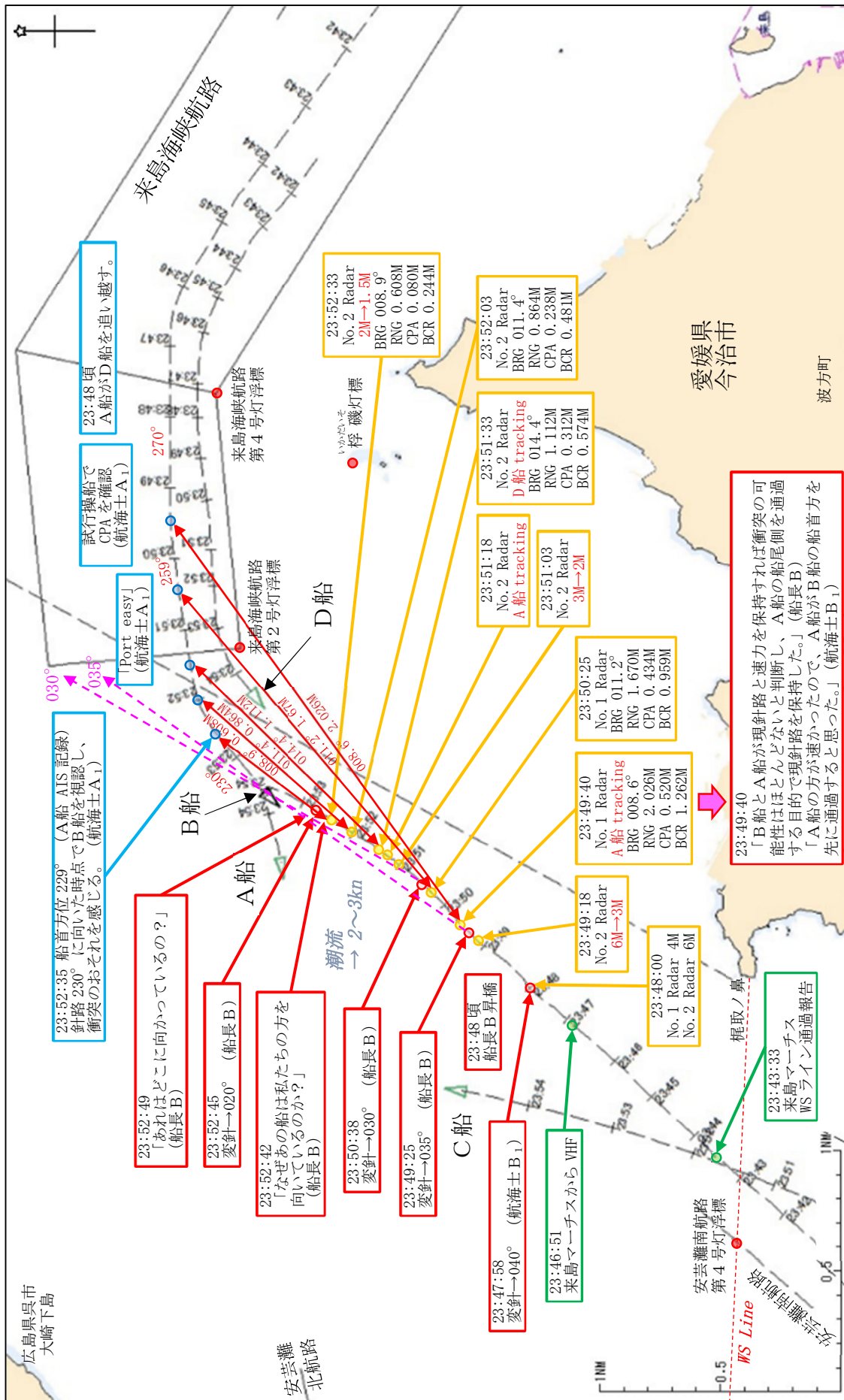


図 2 3 A 船及び B 船の事故発生に至る経過 (23 時 43 分頃～)

3.1.2 衝突の状況

2.7、3.1.1及び図25から、A船は速力約17.6knで航行中、B船は速力約13.6knで航行中、A船の左舷中央部とB船の船首部とが衝突したものと考えられる。

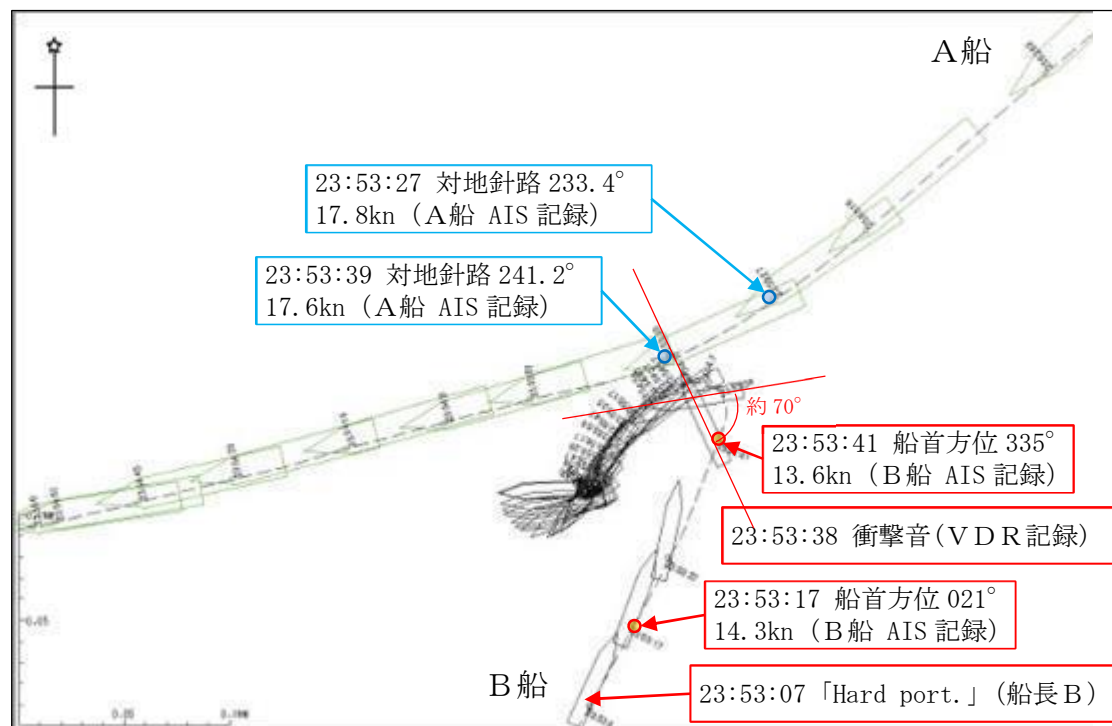


図25 A船及びB船の衝突の状況

なお、2.4に記述したとおり、航海士B₁は「正確ではないが、衝突後、感覚的に10～15秒の間、B船はA船に引きずられるように一緒に動いた。A船の方がB船より速かったので、引きずられるように動いて、その後離れた感じがした。」と口述しているが、AIS記録によれば、B船は、23時53分41秒～56秒の間に約70°左回転するような動きをしており、引きずられるというよりも速力の速いA船に弾かれるように動いた可能性が考えられる。(図25参照)

3.1.3 事故発生日時及び場所

2.3.4 から、本事故の発生日時は、B船のVDR記録（付表3）に衝撃音が記録されていた令和3年5月27日23時53分38秒頃であり、発生場所は、A船及びB船のAIS記録から、桴磯灯標から285° 1.4M付近であったものと推定される。

3.1.4 衝突後の状況

2.4、2.5及び2.13.2（別添2）から、衝突後の状況は、次のとおりであっ

たものと考えられる。

(1) A船

衝突後、航海士A₁は船長Aを呼びに行き、船長Aが船橋に来た後、他の乗組員も船橋に集まった。

船長A、航海士A₁等は、左舷ウイングから衝突の様子を確認した。船体は少しずつ傾き始めており、船長Aは航海士A₂に傾きを調整するよう指示し、航海士A₂はヒールタンクの水量調節で船体の傾きを調整しようとしたが、傾きはひどくなっていった。

船橋で主機等の警報が発報していたので、機関士A₁及び機関士A₂は機関室に向かった。

航海士A₂は傾き調整を続けていたが、傾きは戻らず、破口からの浸水やラッシングベルトが切れたことによる搭載車両の横移動により、船長Aが退船を判断した5月28日00時01分頃には、左舷側に約37°傾斜し、船首（第2甲板（上甲板））は海面に浸かる状況となった。

船長Aが主機の状況を気にしていたこともあり、機関長Aも機関室に向かったが、傾きがひどく、また、第2甲板まで浸水しているのを見て、船橋に引き返した。

船長Aが退船を判断した後、船橋に集まっていたA船の乗組員は、各自救命胴衣を取りに行き、また、機関長Aは、船橋へ戻る途中に甲板員A₃から救命胴衣を受け取り、そのまま船橋へ上がって機関室に連絡し、機関士A₂に退船するよう伝えた。

航海士A₂、機関長A及び甲板員A₃の3名が左舷側から、航海士A₁、航海士A₃、甲板長A、甲板員A₁、甲板員A₂及び司厨長の6名が右舷側からそれぞれ脱出した。

A船は、更に浸水が進むと傾斜が進行し、左舷側を下に横転した状態となって、その後、船底を上にする向きに回転するとともに船首側に傾いた状態で少しずつ沈下し、右舷船尾だけが海面上に見えている状態となり、02時43分頃に沈没した。

(2) B船

B船は、A船との衝突後、船長Bは、全ての灯火を点灯し、船首の損傷状況を確認するとともに、探照灯を使用してA船の乗組員を捜索するようB船の乗組員に対して指示した。その後、01時32分頃、来島マーチスにVHFで救助活動を申し出て、約1時間半、救助艇でA船の乗組員の捜索救助活動を実施したが、発見には至らなかった。

3.1.5 A船の落水者の救助等の状況

2.5から、A船の落水者の救助等の状況は、次のとおりであったものと考えられる。

A船から脱出した9名は、海面に浮いているところを、救助に駆けつけたコンテナ船に航海士A₃、甲板長A、甲板員A₁及び司厨長の4人が、海上保安庁の巡視艇に航海士A₁、航海士A₂、機関長A、甲板員A₂及び甲板員A₃の5人が、それぞれ救助された。その後、救助された乗組員は、今治港から救急車で病院に搬送され、航海士A₃、甲板長A、甲板員A₁及び司厨長の4人は03時17分に、航海士A₁、航海士A₂、機関長A、甲板員A₂及び甲板員A₃の5人は04時20分までに、それぞれ病院に到着した。

3.1.6 死傷者等の状況

2.4、2.5及び2.6から、死傷者等の状況は、次のとおりであった。

(1) 船長A

船長Aは、退船を指示して以降、航海士A₂と共にそれぞれの自室に救命胴衣を取りに行き、船橋に戻って右舷側にいたのを航海士A₂に目撃されたものの、その後、行方不明となり、令和5年10月25日、引き揚げられたA船の居住区内浴室ロビーで発見され、DNA鑑定の結果、船長Aと判明した。なお、航海士A₂に目撃された後の行動は、目撃した者がおらず、客観的な情報が得られなかったことから、明らかにできなかった。

(2) 機関士A₁

機関士A₁は、本事故発生後に警報が発報していた主機及び発電機を確認するため、機関士A₂と共に機関室に向かったものの、その後、行方不明となり、令和3年8月20日、沈没したA船の機関工作室で発見され、死因は溺死の疑いと検案された。

機関士A₁が機関士A₂とどの時点まで行動を共にしていたのかは、目撃した者がおらず、客観的な情報が得られなかったことから不明であるが、機関長Aが、5月28日00時過ぎ頃、機関室に向かった際、車両甲板に降りたところで、左への傾きで機関室には行けないと思っていることから、機関士A₁は、A船が左へ傾斜し船内に海水が流入した状況で船外への脱出が困難となり、溺死した可能性があると考えられる。

(3) 機関士A₂

機関士A₂は、本事故発生後に警報が発報していた主機及び発電機を確認するため、機関士A₁と共に機関室に向かい、00時01分頃以降に機関長Aが船橋から機関室に直通電話で退船するよう連絡し、機関士A₂は了解し

ていたが、その後、行方不明となり、30日、沈没したA船の操舵機室で発見され、死因は溺水と検案された。

機関士A₂が機関室で電話応答した後の行動は、目撃した者がおらず、客観的な情報が得られなかったことから不明であるが、前記(2)に記述したように、機関士A₂は、機関士A₁同様、A船が左へ傾斜し、船内に海水が流入した状況で船外への脱出が困難となり、溺水により死亡した可能性があると考えられる。

(4) 機関長A

機関長Aは、本事故発生後、主機の状況を確認するために機関室へ向かった際、船体の左への傾斜により車両甲板を滑って側壁に体を打ったことから、左鎖骨遠位端骨折を負ったものと推定される。

(5) 航海士A₁、航海士A₂、航海士A₃及び甲板員A₁

航海士A₁、航海士A₂、航海士A₃及び甲板員A₁は、捻挫、打撲等を負っていることから、船体の傾斜、A船からの脱出の際等に転倒、滑落するなどして負傷したものと考えられる。

3.1.7 船舶の損傷の状況

2.7から、A船とB船との衝突による損傷は、次のとおりであった。

(1) A船

A船は、左舷中央部のフレームナンバー94～111にかけて破口（第1甲板の下側を底辺約12.5m及びビルジキール付近を頂点とした高さ約9.8mの逆三角形型）を生じた。

(2) B船

B船は、船首部の圧壊（前部マスト灯倒壊等）及び球状船首の曲損等を生じた。

3.1.8 運航の状況

(1) 船橋当直体制

2.3及び2.12から、船橋当直体制は、次のとおりであった。

① A船

船長Aは、来島海峡第三大橋を通過し右転した辺りから来島海峡航路第4号灯浮標を通過した辺りまでの同航路内で降橋し、本事故当時はA船の操船を指揮していなかったものと考えられる。

船員法では、狭い水路の通過時における船長の甲板上の指揮を義務付けている。また、A₂社の運航基準には、狭水道当直配置を定める手順は決

まっていたが、手順どおりには行われておらず、一方、A₂社担当者は、狭水道では、船長、当直航海士及び操舵手が配置されていると認識していたことから、船長Aが在橋していると思っていたものと考えられる。

② B船

船長Bは、WSラインを通過後、航海士B₁から電話で昇橋の連絡を受け、23時48分頃に昇橋したものと認められる。

B船のMaster's Standing Order for Navigationによれば、瀬戸内海航行時には、船橋当直資格のある二人の士官（船長を含む）を船橋に配置する必要があるとされていた。

(2) B船の航路計画

2.3.4 から、B船は、23時49分23秒頃、船長Bの指示により、西水道から中水道を航行する計画へ変更するまで、来島海峡航路西口の南側から西水道を航行する予定としていたものと認められる。

3.2 事故要因の解析

3.2.1 乗組員の状況

2.8 から、船長A、航海士A₁、船長B及び航海士B₁は、それぞれ適法で有効な資格を有し、また、甲板員A₁は、四級海技士（航海）免許の筆記試験の免除を受けられる海技知識及び約2年間の船員経験を有していた。いずれも、本事故当時、健康状態は良好であったことから、船舶の運航に支障を生じさせるような点はなかったものと考えられる。

なお、船長Bは来島海峡通航経験が多数あり、航海士B₁は来島海峡を西から通航した経験が昼夜合わせて10回程度であった。

3.2.2 船舶の状況

(1) 船体、機関及び機器類の状況

2.9.3 から、本事故当時、A船及びB船の船体、機関及び機器類に不具合又は故障はなかったものと考えられる。

(2) A船及びB船の見通し状況

2.9.5 から、A船の同型船に、船首方に死角を生じさせる構造物はなかったことから、A船の船首方にも死角を生じさせる構造物はなかったものと推定される。また、B船の船首方に死角を生じさせる構造物はなかった。

3.2.3 見張り及び操船の状況

(1) A船

① 2.3.4及び2.11.1から、航海士A₁は、来島海峡航路西口から出航する頃、レーダーで見るとB船が通常どおりではない針路で進んでいたのも、B船がどこに向かっているのか疑問に思ったが、衝突のおそれは感じなかったことから、VHFでB船と意思疎通（自船の操船意図を伝える、B船の操船意図を確認する等）を図る必要性は感じず、航行を続けたものと考えられる。

② 次のことから、航海士A₁は、来島海峡航路西口を出て安芸灘南航路に向けて左転したものと考えられる。

a 来島海峡航路西口を出航したままの針路で進むと、B船の後ろから来ているC船とも近寄りそうになると思った。(2.3.4)

なお、A船は5月27日23時51分頃C船とのOZTに遭遇している。(2.13.1 (別添1 (3.2)))

b 安芸灘南航路には、B船及びC船の2隻しかいなかったのも、この2隻の間を抜けて、同航路に向けようと思った。また、来島海峡航路を出航する辺りで、レーダーで試行操船を行い、230°まで左転してもB船とCPA0.2M程度の距離を保って通過できるという結果が出たのも、針路を230°に変針するため、甲板員A₁に「Port easy」を指示した。(2.3.4、3.1.1)

③ 航海士A₁が試行操船を行った時刻は不明であるが、レーダーの操作時間を考慮し、来島海峡航路を出航する前の23時50分頃とした場合、その頃のB船の対地針路は約048°であった。しかし、23時50分頃の船長Bの指示値は針路035°であって、対地針路は指示値より大幅に右に振れていた。その後、船長Bは針路030°を指示し、B船の対地針路は徐々に船長Bの指示に近づき、23時51分29秒頃には対地針路は035.2°となった。試行操船の結果は、他船が現在の針路と速力を変えない（自船も変針開始までは現在の針路と速力を変えない）ことを前提とした結果であることから、実態（航海士A₁が進もうとした針路と船長Bが目指した針路）に基づくCPAの値は、航海士A₁が試行操船を行った時点のデータに基づくCPAの試算結果より更に小さな値になった可能性が考えられる。

④ 3.1.1から、A船は、23時51分27秒頃に来島海峡航路を出航し、同51分46秒頃～52分53秒頃にかけて針路約260°から約230°に変針して、速力約17.3knで航行を続けた。航海士A₁は、A

船が変針を完了した時にB船を視認した。その頃の両船間の距離は、約0.5Mであった。

- ⑤ 航海士A₁は、「B船の細かい動きは見えていないが、たぶんB船は、その後左に左転したと思う」(2.3.5)と述べている。このことについて、A船が来島海峡航路を出航する頃(23時51分30秒頃)の船長Bの指示は針路030°、実際の対地針路は約035°であるが、その後、B船の対地針路は徐々に指示値である030°に向かって収束しており、船長Bが独り言をつぶやく23時52分42秒頃のB船の対地針路は約031°であった。したがって、A船から見れば、B船は5°程度針路を左に変更したように見えるものと考えられる。また、航海士A₁は、「B船は緩やかに左転を続けていたようであるが、気付くことは困難であった」(2.3.5)と述べているが、視覚による変化率を感知する人間の能力は、「基準点があるときは1～2度/分」(別添1(4.1①))とされているのに対し、23時51分頃～53分頃におけるコンパス方位の変化率は2度/分以上であることから、左転に気付くことが困難であったとまでは言えないものと考えられる。
- ⑥ 航海士A₁は、「B船とVHFで左舷対左舷での通過を合意したので、A船は右転した。B船も合意のとおり右転すれば衝突しないと判断したので、速力を減じる措置は採らなかった。」(2.3.5)と回答している。この時、A船の右舷側には右転に支障となる船舶はなく、また、別添1(4.2③及び図4.4)から、A船のB船に対する23時50分頃～53分頃のBC値はほぼ「0」であり、操船困難度は極めて低かったと考えられる。したがって、航海士A₁には、減速の必要性が感じられなかった可能性が考えられる。
- ⑦ 付表2から、A船は、針路230°に向いた23時52分53秒頃、B船とは、距離約0.4M、CPA0.04Mの状況にあった。このことから、航海士A₁は、A船が針路230°に向いた時点でB船を視認した際、衝突のおそれを感じて、B船からのVHFの呼び掛けへの応答ができなかった可能性が考えられる。
- ⑧ 次のことから、B船からVHFで呼ばれた23時53分頃、乗船者には両船がほぼ正面を向き合っているように見えた可能性があると考えられる。
- a 甲板員A₁は、A船が左転している時、自身が立っている操舵装置の位置からは船橋前面の窓枠が邪魔して、また、B船が意外と小さく、見えにくかったが、航海士A₁からの「Midship」、「Steady」の指示で針路を230°に向けた時、B船が(A船に)正面から向かってくるよう

に感じた。(2.3.4)

- b A船及びB船のAIS記録並びにB船のVDR記録によれば、23時53分頃の両船の位置関係は、図26のとおりであった。A船の船首方位が 228° 及びB船の船首方位が 025° 、A船がB船の船首を左舷船首方約 13° に、B船がA船の船首を右舷船首方約 8° に見る位置関係であった。(図26参照)

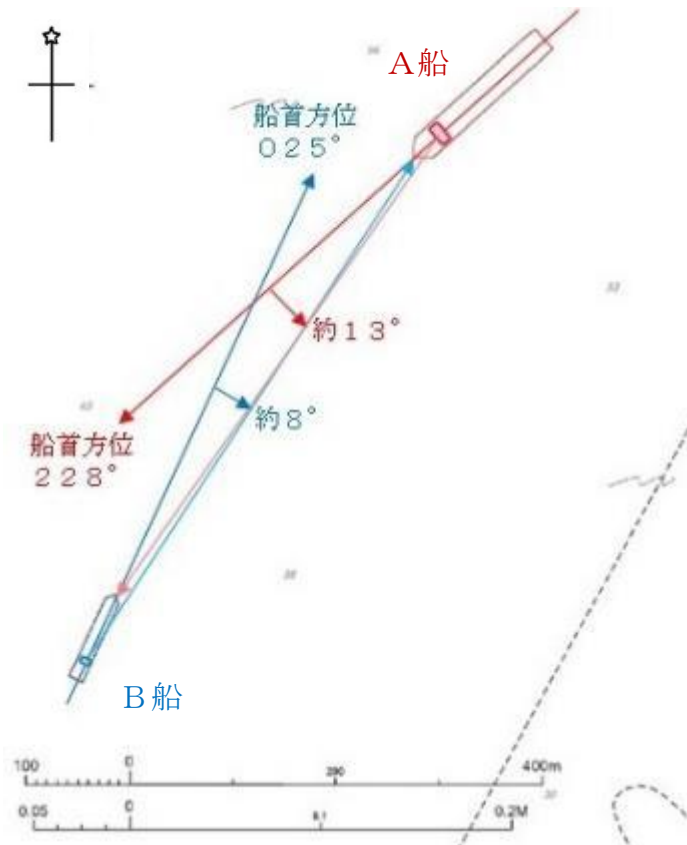


図26 衝突直前(23時53分頃)のA船及びB船の見合い関係

(2) B船

- ① 2.3.4及び3.1.1から、B船は、23時43分頃及び23時46分頃の2回、来島マーチスから中水道へ向かうよう連絡を受け、23時48分頃、船長Bが昇橋した後、西水道を航行する前提でECDISに設定していた航路計画を、中水道を航行する計画に変更した。
- ② 2.3.4及び3.1.1から、船長Bは、23時48分頃に昇橋して来島マーチスとの通信内容を航海士B₁から報告され、その後、49分25秒頃に針路 035° を指示していることから、B船では、この間に航海士B₁から船長Bに操船指揮が引き継がれたものと考えられる。
- ③ 3.1.1から、23時49分40秒頃、船長Bは、1号レーダーによりA

船を捕捉し、B船とA船が現針路と速力を保持すれば衝突の可能性はほとんどないと判断して、A船の船尾側を通過する目的で現針路を保持した。また、航海士B₁も、A船の方が速かったので、A船がB船の船首方を先に通過すると思った。

このことから、船長Bは、A船が現針路と速力を保持すると想定しており、VHFの交信によりA船の操船意図を把握するという考えには至らなかった可能性が考えられる。また、航海士B₁は、衝突の約50秒前（口述は「2分くらい前」）にVHFでA船を呼び出した理由について「B船がA船の船尾側を通過できると思っていたのに、A船が近づいてきたので交信した」と口述していることから、航海士B₁も当初はA船が現針路と速力を保持すると想定しておりVHFの交信によりA船の操船意図を把握するという考えには至らなかった可能性が考えられる。

なお、別添1（図4.3）に示すように、BCRは、A船、B船共に23時50分頃までは1.0M以上の距離で、A船の船尾側をB船が、B船の船首側をA船が通航する状況を示していた。また、別添1（3.3）に示すように、B船は、23時47分頃A船とのOZTに遭遇し、23時49～50分頃の間はB船の進路左舷側にA船とのOZTが存在しているが、23時52分10秒頃までは“衝突危険性が低いOZT”であった。

④ 船長Bは、次のことから、23時52分頃～52分40秒頃の間はA船の左転に気付いたものと考えられる。

- a A船は、23時52分頃から徐々に左転し始めたこと。（2.3.4）
- b B船の1号レーダーが示すA船の対地針路が23時51分55秒には257.2°、同2号レーダーが示すA船の対地針路が同52分03秒には254.9°に変化したこと。（付表2）
- c 23時52分33秒頃、B船の2号レーダーのレンジが2Mから1.5Mに切り替えられたこと。（2.3.4、3.1.1（図23、図24））
- d 船長Bが、23時52分42秒頃に独り言のように「なぜあの船は私たちの方を向いているのか？（韓国語）」とつぶやき、続けて同45秒頃に針路020°を指示したこと。（2.3.4、3.1.1（図23、図24））

⑤ 船長Bは、23時52分45秒頃に針路020°を指示したが、次のことから、A船と右舷対右舷で通過することを想定して、針路020°を指示した可能性が考えられる。

- a 針路020°を指示した頃（23時52分45秒頃）のB船の船位から針路020°を目指すとすると、来島海峡航路西口よりも北方を目指すことになること。（3.1.1（図24））

b A船の対地針路は、23時52分53秒頃まで左に変化（船首方位は52分35秒頃からほぼ一定）しており、その後も更に左転し続けると考えた可能性があること。

なお、この時点において船長BがA船と右舷対右舷で通過する可能性を考えたことが、衝突直前に「Hard port」の指示を発したことに影響を与えたかについては明らかにできなかった。

⑥ A船がB船のほぼ正面に近づいた23時53分頃、次のことから、A船を前にしたB船の船橋内は混乱した状態に陥っていたものと考えられ、船長Bは冷静に船橋内の意思疎通を図りながら衝突回避動作の判断をすることができ的状态ではなかった可能性があると考えられる。

a 23時53分頃、A船の速力は約17kn、B船の速力は約14knであり、両船は30knを超える相対速力で接近する状況にあったものと考えられること。

b 23時53分頃、乗船者には両船がほぼ正面を向き合っているように見えた可能性があると考えられること。(3.2.3(1)⑨)

c 船長Bが、針路020°に変針した直後の23時52分49秒頃、「あれはどこに向かっているの?（韓国語）」と言っていること。(2.3.4、3.1.1(図23、図24))

d 23時53分頃、船長Bは、A船と衝突すると感じ、慌てていたこと。(2.3.4、3.1.1(図24))

e 航海士B₁が航海士A₁に「Port to Port, Port to Port」と伝えた直後、船長Bが「Hard port」と叫び、その後、B船の船橋内では「Port to Port」及び「Hard port」がそれぞれ複数回叫ばれ、また、船長Bが、「Stop engine」、「Full Astern」と連呼し、その後「Hard Starboard」と叫んでから、衝撃音が聞こえていること。(2.3.4、3.1.1、付表3)

f 航海士B₂が昇橋した23時53分頃、船橋内では、船長Bの操舵号令等が叫び声のように聞こえ、パニック状態になっていると感じられたこと。(2.3.5)

⑦ 2.3、3.1.1及び3.1.2に記述したとおり、A船の想定外な接近に驚いた航海士B₁は23時53分03秒頃A船に「Port to Port」と伝え、航海士A₁がこれに応じて（A船が）右転したところ、船長Bがその直後の同07秒頃「Hard port」を指示し、航海士B₁がA船に伝えた通航方法に反する状況でB船が左転して、両船は衝突した。船長Bが「Hard port」を指示した理由は明らかにできなかった。また、航海士B₁は本能的に「Port to Port」と自ら伝えたと言及しており、想定外のA船の動きに動

揺し、船長Bに了承を得ないまま、咄嗟^{とっさ}に発したものと考えられる。

仮に、船長Bが「Hard port」を指示せず、23時52分45秒頃に船長Bが指示した針路020°に基づいてB船が進んだとした場合、A船及びB船の位置関係がどのように変化するかについてシミュレーションを行ったところ、その結果は図27のとおりであった。（A船については、航海士A₁がB船からVHFで呼ばれる前に「右転しなければB船を避けられないと思い、右転しようと思った」と口述しており、A船はいずれにしても右転したものと考えられることから本事故当時の航跡とし、B船については、B船の類似の動きとして、船長Bが（針路035°から）針路030°に変針した際の回頭角速度及び斜航角を参考に、23時53分05秒（船首方位025°）から船首方位020°に達するまで船位を進め、その後はそれを保持するよう同53分45秒頃までB船を進めた場合の航跡を求めたものである。）

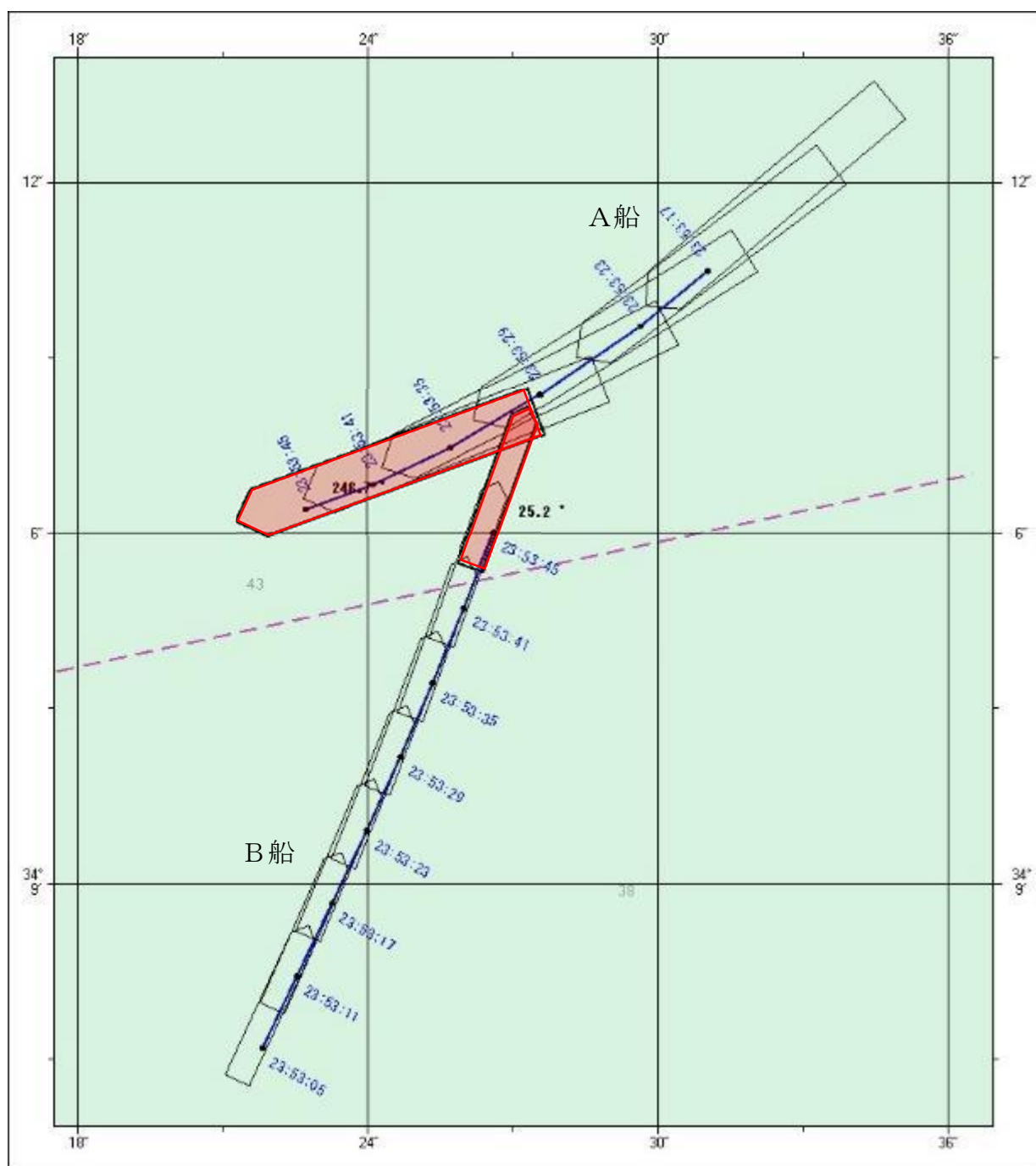


図 2 7 (仮定) 衝突直前に B 船が左転せず進んだ場合の両船の航跡

3.2.4 衝突危険度の評価を用いた見張り及び操船に関する解析

乗組員の衝突に対する危険感等と別添1の衝突危険度の評価等をA船とB船の別に時系列で比較検証して表3に示した。

表3 乗組員の衝突に対する危険感等と衝突危険度の評価等の比較検証

時刻	A 船	B 船
23時49分40秒頃		B 船：1号レーダーによりA船を捕捉した。(2.3.4) 船長B：B船とA船が現針路と速力を保持すれば衝突の可能性はほとんどないと判断し、A船の船尾側を通過する目的で現針路を保持した。(2.3.4) 航海士B₁：A船の方が速かったので、A船がB船の船首方を先に通過すると思った。(2.3.4) C P A：約0.5M（別添1（図4.3）） O Z T：23：52：10頃まではB船の船首の左舷側で（A船との）衝突危険性が低いO Z Tに遭遇している。（別添1（4.3②）） C J：マイナス（上昇気味）（別添1（図4.5）） S J：+2程度（別添1（図4.5）） B C：約0.1（A船が第4号灯浮標で変針する前の23：46頃から継続して値が上昇しており、操船困難度が高まっている状態にあった可能性が考えられる。）（別添1，（4.2③、図4.5））

2 3 時 5 1 分 2 7 秒頃 (A 船が来島海峡航路西口を出航する頃)	航海士 A₁ : 来島海峡航路西口から出航する頃、B 船が通常どおりではない針路で進んでいたの、B 船がどこに向かっているのか疑問に思ったが、その時点で衝突のおそれは感じなかった。また、同航路西口を出航したままの針路で進むと、B 船の後ろから来ている C 船とも近寄りそうになると思った。(2.3.4) 航海士 A₁ : 安芸灘南航路には、B 船及び C 船の 2 隻しかいなかったの、この 2 隻の間を抜けて、同航路に向けようと思った。また、来島海峡航路を出航する辺りで、レーダーで試行操船を行い、230°まで左転しても B 船と CPA 0.2M 程度の距離を保って通過できるという結果が出たので、針路を 230°に変針するため、甲板員 A₁ に「Port easy」を指示した。(2.3.4) O Z T : A 船は来島海峡航路の出口で B 船と C 船による O Z T と遭遇していたことがわかる。C 船による O Z T は、B 船との O Z T よりも遠方であり、また B 船による O Z T との間に A 船が可航できると考えられる距離があったと考えられるが、C 船による O Z T が A 船の航行に及ぼす影響はなかったとまでは言えないと考えられる。(別添 1 (3.2)) C J : 約 0.005 (別添 1 (図 4.4)) S J : 約 -1.3 (別添 1 (図 4.4)) B C : ほぼ 0 (別添 1 (図 4.4))	
--	---	--

2 3 時 5 2 分 4 2 秒頃	甲板員 A₁ : 左転している時、自身が立っている操舵装置の位置からは船のフレーム等があり、また、B 船が意外と小さく、見えにくかったが、航海士 A₁ から「Midship」、「Steady」の指示があり、針路 2 3 0° に向けた時、B 船が近いというか、正面に向いているように感じた。(2.3.4)	船長 B : 独り言のように「なぜあの船は私たちの方を向いているのか?」とつぶやき、続けて同 4 5 秒頃に針路 0 2 0° を指示し、操舵手 B が復唱した。(2.3.4)
2 3 時 5 2 分 4 9 〱 5 0 秒頃		船長 B : 「あれはどこに向かっているの?」と言った。(2.3.4) 航海士 B₁ : VHF で A 船を呼び出した。B 船が A 船の船尾側を通過できると思っていたのに、A 船が近づいてきたので交信した。(2.3.5)
2 3 時 5 2 分 5 3 秒頃	航海士 A₁ : A 船が針路 2 3 0° に向いた時点で B 船を視認し、衝突のおそれを感じた。B 船の方位が変わらず、また、B 船との CPA が 1 ケーブル (0.1 M) を切ったため、右転しなければ B 船を避けられないと思い、右転しようと思ったちょうどその時、B 船から VHF で呼ばれ、「What's your intention?」と言われたが、近過ぎて応答できずにいると・・・(2.3.4)	OZT : A 船の (来島海峡) 航路出口での約 3 0° の変針と B 船の少しずつの変針により、2 3 : 5 2 : 1 0 頃から 2 3 : 5 3 : 3 0 頃まで、B 船のほぼ正面で衝突危険性が高い OZT に遭遇している。(別添 1 (4.3②)) CJ : 約 0.015 を超えて急上昇 (A 船に対し 2 3 : 5 1 頃以降急激に値が正側に上昇していることから、衝突の危険性が高まっている状態にあった可能性が考えられる。)(別添 1 (4.2①、図 4.5)) SJ : 約 - 2.5 (2 3 : 5 3 頃には - 2 以下の数値を示していることから、衝突の危険性が極めて高い状態にあった可能性が考えられる。)(別添 1 (4.2②、図 4.5)) BC : 約 0.3 を超えて急上昇 (別添 1 (図 4.5))

23時53分頃	航海士A₁：B船とVHFで左舷対左舷での通過を合意したので、A船は右転した。B船も合意のとおり右転すれば衝突しないと判断したので、速力を減じる措置は採らなかった。(2.3.5) ○ZT：A船の(来島海峡)航路出口での変針により、23：53：30頃まで、A船のほぼ正面で衝突危険性が高い○ZTに遭遇している。(別添1(4.3①)) CJ：約0.01を超えて急上昇(23：52頃以降急激に増加していることから衝突の危険性が高まっている状態にあった可能性が考えられる。)(別添1(4.2①、図4.4)) SJ：約-2(23：50頃以降は負の状態にあり、23：53直前には-2以下の数値を示していることから、衝突の危険性が極めて高い状態にあった可能性が考えられる。)(別添1(4.2②、図4.4)) BC：23時53分頃までほぼ0(操船困難度は極めて低かった可能性が考えられる。)(別添1(4.2③、図4.4))	船長B：A船と衝突すると感じ、慌てていた。(2.3.4) 航海士B₂：昇橋した時、船長Bが「Hard Port」、「Full Astern」と叫んでいるのが聞こえ、船橋内はパニック状態になっていると思った。(2.3.5) ○ZT：B船のほぼ正面で衝突危険性が高い○ZTに遭遇している。(別添1(4.3②、図4.6)) CJ：約0.02を超えて急上昇(別添1(図4.5)) SJ：約-2.5(別添1(図4.5)) BC：約0.3を超えて急上昇(23：53直前から急激に値が上昇し、衝突直前には最大で約0.90であることから、いかなる操船によってもほとんど回避できない状況に陥っていた可能性が考えられる。)(別添1(4.2③、図4.5))
---------	--	--

表3に示すように、CJ値及びSJ値が示す危険性並びに○ZTによる衝突危険性評価の結果は、乗組員が感じた衝突のおそれ等とおおむね一致する。

(1) A船

○ZTについて、A船は、来島海峡航路を出た23時51分頃からC船との○ZTに遭遇している。航海士A₁は、「同(来島海峡)航路西口を出航したままの針路で進むと、B船の後ろから来ているC船とも近寄りそうになると思った」としてC船を気にする口述をしており、C船との○ZT(別添1(図3.2(e)))が示す危険性と一致している。一方、A船は、23時47分頃からB船との○ZTに遭遇(別添1(図3.2(c)))しており、A船が来島海峡航路を出航する頃、A船の左舷前方にA船から見たB船による

○ Z T 群が存在（別添 1（図 3. 2 (e)））しているが、航海士 A₁は、○ Z T 群に向かうよう左転している（別添 1（図 3. 2 (e)））ことから、○ Z T が示す危険性に反した行動をとっている。

B 船に対する B C 値については、衝突直前まではほぼ「0」であって、B 船に対しては操船困難度が低い状態が続いていた（別添 1（図 4. 4））。これは、A 船の右舷側には、B 船又は C 船によって A 船の避航操船が影響を受けない針路（B 船又は C 船に閉塞されない針路）が広がっていることから、結果として広い水域があることによるものと考えられる。

(2) B 船

○ Z T について、B 船は、2 3 時 4 7 分頃から A 船との ○ Z T に遭遇している（別添 1（図 3. 3 (c)））が、A 船が左転する頃までは、B 船から見た A 船による ○ Z T 群は B 船の針路左舷側にあり（別添 1（図 3. 3 (d)））、B 船及び A 船が現針路と速力を保持すれば、B 船が A 船の船尾方を通過するという船長 B 及び航海士 B₁が持ったイメージは、○ Z T が示す危険性と一致している。

A 船に対する B C 値については、A 船の左転により C P A が 0. 2 5 を下回る（別添 1（図 4. 3））2 3 時 5 2 分頃から上昇が急になり（別添 1（図 4. 5））、2 3 時 5 3 分頃以降、B 船の操船困難度は、いかなる操船によってもほとんど回避できない状況に陥っていたと評価されている。これは、2 3 時 5 3 分頃以降、A 船の周囲に形成された排他的な領域により、B 船の船首方位の針路が A 船によって閉塞されている（別添 1（図 3. 3 (f)））ことによるものと考えられる。これらは、乗組員が感じた衝突のおそれ等ともおおむね一致するものと考えられる。

3. 2. 5 事故発生に関する解析

2. 3. 4、2. 11. 2、3. 1. 1、3. 1. 8、3. 2. 3 及び 3. 2. 4 から、本事故発生の要因については、次のとおりであった。

(1) A 船

- ① A 船は、2 3 時 5 1 分 2 7 秒頃に来島海峡航路を出航し、同 5 1 分 4 6 秒頃～5 2 分 5 3 秒頃にかけて針路約 2 6 0° から約 2 3 0° に変針した。
- ② 航海士 A₁は、来島海峡航路を出航する辺りで、レーダーで試行操船を行い、2 3 0° まで左転しても B 船と左舷を対して C P A 0. 2 M 程度の距離を保って通過できるという結果が出たこと及び来島海峡航路西口を出航したままの針路で進むと、B 船の後ろから来ている C 船とも近寄りそうになると思ったことから、左転して安芸灘南航路に向ける針路とし、航行

を続けたものと考えられる。

- ③ 航海士A₁は、試行操船の結果を基にCPA0.2M程度の距離を確保し、B船と左舷を対して通過することができると思い、左転して航行を続けたものと考えられる。しかしながら、実態に基づくCPAの値は、航海士A₁が試行操船を行った時点のデータに基づくCPAの試算結果より更に小さな値になった可能性が考えられ、また、文献によれば、船舶の大きさや操縦性にもよるが、CPA値0.2Mは、かなり危険な距離であって、必要に応じて機を逸することなく、避航の措置を採るべき状況である。航海士A₁は、レーダー機能が示す小さいCPA値の持つ危険性の意味を十分理解していなかった可能性があると考えられる。

- ④ 航海士A₁は、来島海峡航路西口から出航する頃、B船が通常どおりではない針路で進んでいたため、B船がどこに向かっているのか疑問に思ったが、衝突のおそれは感じなかったことから、VHFでB船に対して事前に自船の操船意図を伝えることはせず、航行を続けたものと考えられる。

しかしながら、次のことから、左転を指示する以前に、VHFによってA船の操船意図をB船に伝える必要があったものと考えられる。

- a ③で記述したように、航海士A₁が想定したB船とのCPA0.2Mは危険な距離であること。
- b 航海士A₁は、B船に対して衝突のおそれを感じていなかったものの、B船と1M程度に接近した時期に、A船が左転することにより、両船が接近して衝突の危険性が高まる可能性が考えられること。
- ⑤ 衝突危険度指標BC値が示すように、B船に対するA船の操船困難度は低かったことから、B船に接近する前に左転を中断する又は早期に右転するなどの避航の措置が採ることができたものと考えられる。
- ⑥ 2.1に記述したとおり、来島海峡の潮流が南流時に同海峡航路を出航する場合は、四囲の状況を把握し安全運航に努める必要がある。また、船員法では、狭い水路の通過に際し、船長自らの操船指揮を求めており、A₂社担当者も、狭水道では必ず船長が船橋で当直航海士及び甲板員と共に航海当直業務を遂行していると認識していたが、船長Aは、来島海峡第三大橋を通過し右転した辺りから来島海峡航路第4号灯浮標を通過した辺りまでの同航路内で降橋し、本事故当時はA船の操船を指揮していなかったものと考えられる。本事故当時の状況が、南流時の来島海峡航路西口付近であったことを踏まえれば、船長Aが在橋していなかったことにより、A船は、周囲の見張り、状況判断及びB船との無線交信を適切に実施できる体制ではなかったものと考えられる。

(2) B船

- ① 船長Bは、23時49分40秒頃、レーダーでA船を確認した際、A船が現在の針路と速力を保持すると想定し、B船は、針路を左に変えつつ、A船の船尾側を通過して来島海峡航路西口の北側を目指そうとしたものと考えられる。
- ② 船長B及び航海士B₁は、A船が現在の針路と速力を保持すると想定していたことから、VHFの交信によりA船の操船意図を把握するという考えには至らなかった可能性が考えられる。
- ③ 船長Bは、23時52分頃～52分40秒頃の間、A船の左転に気付いたものと考えられるが、船長BがA船の左転に気付いてから、A船の針路が約230°に向き、B船の正面に接近するまでの時間は、長くても50秒ほどであったものと考えられる。この短時間のうちに両船の見合い関係が大きく変化し、A船がB船のほぼ正面に近づいた23時53分頃に予期せずA船を前にしたB船の船橋内は混乱した状態に陥っていたものと考えられる。衝突直前に船長Bが「Hard port」を指示した理由は明らかにできなかったが、船長Bは、冷静に船橋内の意思疎通を図りながら衝突回避動作の判断をすることができる状態ではなかった可能性があると考えられる。
- ④ 23時53分03秒頃、航海士B₁がA船に「Port to Port」と伝え、航海士A₁は合意してA船は右転したが、その直後の同07秒頃、船長Bは「Hard port」を指示し、B船は航海士B₁がA船に伝えた通航方法と異なる状況で左転を続け、両船は衝突した。
- ⑤ 3.2.3(2)⑦において仮定したようにB船が進んだ場合、図27に示すように、A船の船体中央部への衝突は避けられたが、A船の船尾部に衝突した可能性が考えられる。したがって、船長Bの「Hard port」の指示によりB船が左転しなくても、衝突自体は避けられなかった可能性が考えられる。
- ⑥ 図27の状況から更に仮定を進め、B船が左転しないだけでなく、航海士B₁がA船に「Port to Port」と伝えた頃又は船長が「Hard port」を指示した頃に、B船が「Port to Port」になるように右転していたならば、衝突を回避することができた可能性があると考えられる。

もっとも、3.2.3(2)⑥から、23時53分頃のB船の船橋内は混乱した状況に陥っており、船長Bは冷静に船橋内の意思疎通を図りながら衝突回避動作の判断をすることができる状態ではなかった可能性があると考えられる。

- ⑦ 2.1に記述したとおり、来島海峡の潮流が南流時に同海峡航路に入航する際は、特殊な航法となり、十分に安全を確認する必要があること及び船橋当直をしていた船舶職員が経験の浅い航海士B₁一人であったことを考慮すれば、船長Bが昇橋する時機が遅かったものと考えられる。B船が南流時の来島海峡航路西口付近を航行していたことを踏まえれば、船長Bが昇橋して操船指揮をとる時機が遅れたことは、周囲の見張り及び状況判断に影響を及ぼしたものと考えられる。
- ⑧ B船は、関門海峡通過時に、来島海峡航路通過予定日時を5月28日00時30分頃の北流中に通過することを再確認し、同航路西口の約2M前まで、同航路西口の南側から西水道を航行する計画のままとしていた。その後、来島マーチスから中水道を航行するよう連絡を受け、航路計画を西水道から中水道を航行する計画へ変更する操作を行っていた。B船が速力調整等を行わず、同航路に近づいてから通航経路を変更したことは、A船と同航路西口付近で接近する状況を招くことにつながったものと考えられる。同航路通過に当たり、B船は、自船の船位、速力等に鑑み、航路入航予定時刻を常に把握するとともに、来島海峡の転流時刻を確認し、自船が順潮又は逆潮のいずれの場合に入航するのかを常に意識して、針路、速力等を調整する必要があったものと考えられる。

3.2.6 A船の損傷時復原性に関する解析

2.9.2(2)に記述したとおり、A船は、軽減措置を適用し、損傷時復原性に関する要件を適用せずに建造された船舶であった。

2.9.6(1)から、本事故当時、A船の喫水は、船首約5.50m、船尾約7.50mであった。また、2.7(1)から、A船は、左舷中央部に破口（フレームナンバー94～110にかけて、第1甲板の下側約12.5mを底辺とし、ビルジキール付近を頂点とした高さ約9.8mの逆三角形型）を生じた。以上を踏まえ、損傷制御資料から計算条件（載荷状態、喫水及びトリム）が本事故発生時の状況に近い図表

計算状態（60%部分積載喫水）：(P)side 損傷 初期状態： $dP=6.38m$ 、 $Trim=1.7m$ 、 $G_0M=1.20m$ (損傷範囲：垂直方向=N0.1甲板、幅方向=C.L.)
--

のケースを選択し、当該図表に破口を当てはめてみると、「EXT.7」の一区画浸水の範囲に収まってはいるが、「EXT.7」の場合、一区画の浸水であっても、図表の色から「状態3（S=0）」であることから、A船は沈没すると判断できる状態であった。（図28参照）

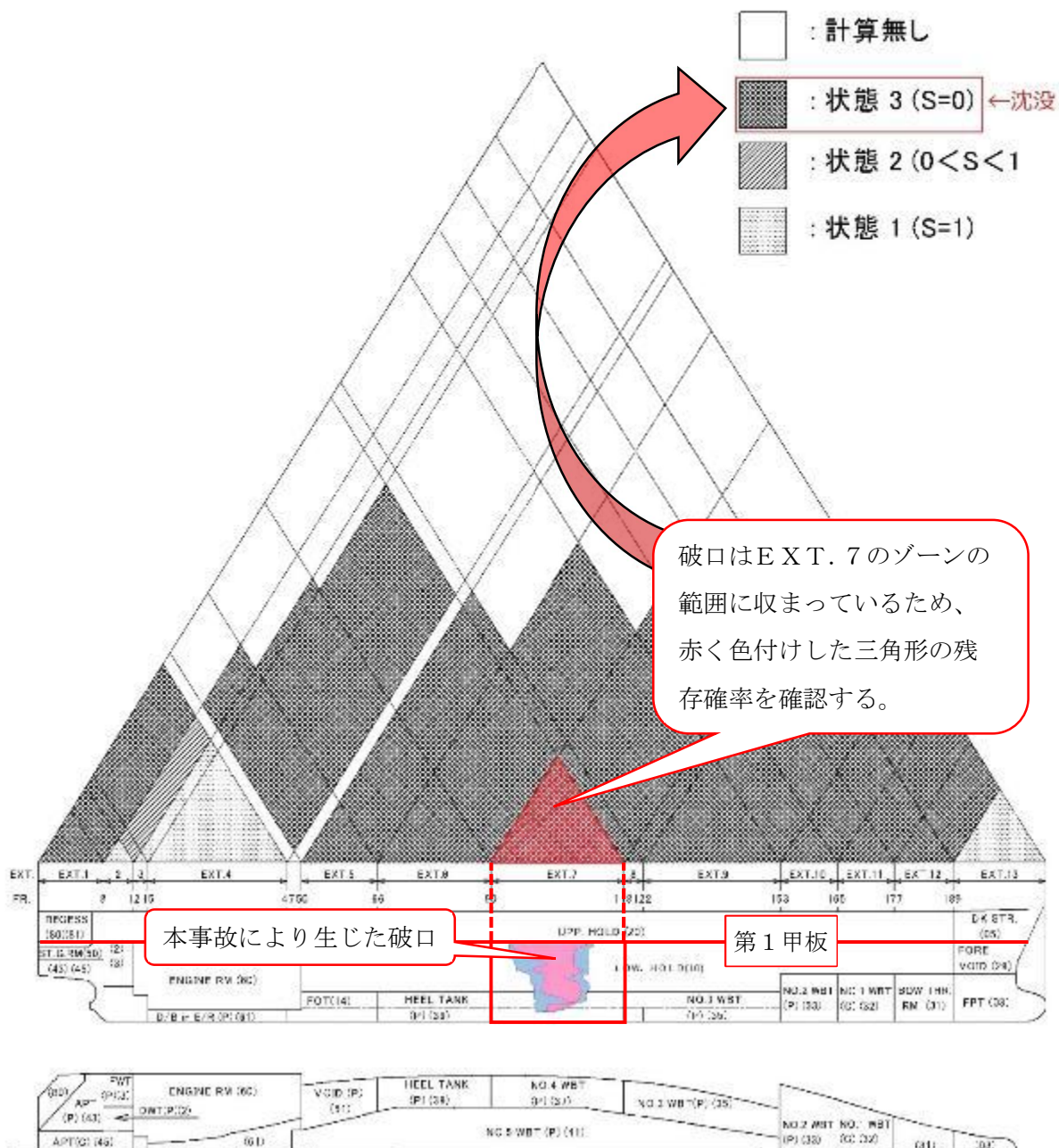
また、3.1.4 から、船長 A が退船を判断した 5 月 28 日 00 時 01 分頃には、バラストタンクの浸水やラッシングベルトが切れたことによる搭載車両の横移動によって、左舷側に約 37° の傾斜となったものと考えられる。損傷制御資料では「・最終平衡角が 30 度以上となる場合。」についても、沈没すると判断できるとされていることから、A 船は沈没すると判断できる状態であった。

したがって、本事故時の状況では、損傷制御する余地はなく、速やかに退船の判断をする必要があったものと考えられる。

計算状態 (60%部分積載喫水):(P)side損傷

初期状態 : dP=6.380m, Trim=1.700m, GoM=1.20m

(損傷範囲: 垂直方向=NO.1甲板, 幅方向=C.L.)



3.3 被害の軽減に関する解析

本事故は、損傷時復原性基準の軽減措置により、同基準を適用せずに建造されたA船が、衝突により左舷中央部に破口を生じ、その後、短時間で浸水から横転に至り、転覆、沈没したものであるが、次のことから、A船の乗組員は、A船の損傷時復原性能をよく認識できていなかったものと考えられる。

- (1) 衝突直後、船橋に向かった航海士A₂は、船長Aから傾きを調整するよう指示を受け、ヒールタンクで調整を試みたこと。(2.4(1)②)
- (2) 航海士A₂が、まずは救命胴衣の用意よりも防水が必要と思ったと述べていること。(2.4(1)②)
- (3) 機関長Aは、機関士A₁と機関士A₂が機関室へ向かうのを止めることはできなかったかもしれないが、衝突してその状況を把握するのに時間が掛かり、また、衝突しただけであれば沈むとまでは考えられず、その時はそこまで慌てていなかったと述べていること。(2.4(1)③)
- (4) 甲板員A₁は、傾いている状態で、ラッシングが切れる音も聞いたし、A船の真横から衝突されて浸水もしていると思ったが、事故後、他の乗組員とも話したが、A船のような大きい船が沈むわけがないと考えていたので、最初のうちは大丈夫という気持ちがあった。しかし、A船が次第に傾いて船首の係船設備が浸水した時、絶対沈むと思って、乗組員皆が退船しようと動いたように感じたこと。(2.4(1)④)

したがって、A船の乗組員がA船の損傷時復原性能をよく認識し、衝突により損傷した場合、その衝突部位によっては、早期に退船を判断すべきであることを理解し、船長A及び航海士A₁が、衝突直後に左舷ウイングからB船との衝突状況を確認した時点で、損傷制御する余地がなく、沈没のおそれがあると判断して速やかに退船することを決断していれば、機関士A₁及び機関士A₂は、機関室に向かうことなく又は早期に機関室から退避し、他の乗組員と共に船外へ脱出でき、人的な被害を軽減できた可能性があると考えられる。

4 結 論

4.1 衝突の原因

本事故は、夜間、来島海峡航路で南流時の航法が指定されている時間帯に、同航路西口から南西進しようとしていたA船と安芸灘南航路から来島海峡航路西口に向け北東進中のB船とが互いの進路を交差する状況で接近中、A船が、同航路出航後に安芸灘南航路に針路をとってもB船との衝突のおそれはないものと判断し、来島海峡航路

を出航後間もなく、両船が1 M程度の距離まで接近した時期に、B 船に対して操船意図を無線で伝えないまま左方に30° 変針して針路を230° としたため、A 船の船尾側を通過することを想定して同航路西口の北側を目指していたB 船と短時間のうちに接近することとなり、また、B 船の船橋内が予測していなかった突然のA 船の変針に混乱する中、航海士B₁が船長Bに了承を得ないままA 船に対して無線で「Port to Port」（お互いの左舷を対して通過する通航方法）で通過したい旨を伝え、これに同意したA 船が右転したものの、B 船が、船長Bの「Hard port」（左舵一杯）の指示により、A 船との合意どおりに「Port to Port」で避航しなかったため、両船が衝突したものと考えられる。

A 船が安芸灘南航路に向けて左方に30° 変針する際にB 船に操船意図を伝えなかったのは、変針前に航海士A₁がレーダーの機能を用いて試行操船を行った結果、B 船と左舷を対してCPA 0.2 M程度で通過できると判断し、衝突の危険性を認識していなかったことによると考えられる。航海士A₁が想定したA 船とB 船の間の通過距離は不十分であるとともに、航海士A₁は試行操船の結果が示す小さいCPA値の意味を十分理解していなかった可能性があると考えられる。

船長Bが「Hard port」を指示した意図は明らかにできなかったが、A 船が230° に針路を定めた頃、両船間の距離は約0.5 Mしかなく、30 kn を超える相対速力で急速にB 船に迫ってきたA 船の船影を目の前にして、冷静な判断に基づく操船ができなかった可能性があると考えられる。

A 船においては、来島海峡航路西口付近を航行していたにもかかわらず船長Aが在橋していなかったことにより、周囲の見張り、状況判断及びB 船との無線交信を適切に実施できる体制ではなかったものと考えられ、このことも本事故の発生に関与したものと考えられる。

また、B 船が、当初は北流時に来島海峡航路を通過する計画であったのに、速力調整等を行わず、南流時に同航路に近づいてから通航経路を変更したことは、A 船と同航路西口付近で接近する状況を招き、さらに、航海士B₁が必ずしも十分な乗船経験がない中、船長Bが昇橋して操船指揮をとる時機が遅れたことも、周囲の見張り及び状況判断に影響を及ぼすこととなり、本事故の発生に関与したものと考えられる。

4.2 被害拡大の要因

A 船の乗組員が、A 船の損傷時の復原性能についてよく理解し、衝突による損傷部位によっては、早期に退船を判断すべきであることを理解していたならば、A 船の乗組員の人的被害を軽減できた可能性があると考えられる。

5 再発防止策

5.1 必要と考えられる再発防止策及び被害の軽減策

5.1.1 事故等防止策

4.1で述べたとおり、本事故は、A船が、B船と接近した時期にB船に対して操船意図を伝えないまま変針したため、両船が短時間のうちに接近する状況となり、また、B船がA船と合意した方法での避航操船を行わなかったため両船が衝突したものと考えられる。このうち、B船の避航方法に関しては、本事故当時、両船の見合い関係が、事故を引き起こしやすい状況であったことからすると、このような状況に至った後に生じた判断ミスについて有効な対策を直接講じることは困難であると考えられることから、同種事故の再発防止のためには、むしろこのような状況に至るまでの過程に目を向け、事故発生リスクを高めた要因を一つ一つ除去していく必要がある。

このような観点から本事故に至るまでの過程について検討すると、同種事故の再発防止のためには、次の措置を講じる必要があると考えられる。

- (1) 船橋当直者は、他船の動静を注意深く監視し、他船の接近を認めた場合又は他船の動静に疑問を感じた場合、他船の動静を思い込みで判断することなく、早めにVHFによる交信を積極的かつ適切に行うことにより、互いの操船意図を早期に確認すること。
- (2) 船橋当直者は、目視による十分な見張りとは航海計器を併用するとともに、CPA値など航海計器が示す情報の持つ意味を十分理解した上でそれら情報に基づいた操船判断ができる能力を養うこと。特にCPA値を用いる場合、船の長さが考慮されていないことに注意すること。
- (3) 船長は、船員法に定められた狭水道での操船義務及び運航基準に定められた航路操船義務等を遵守し、船舶の輻輳状況が解消されるなど、安全が確認されたと判断した後に、当直航海士へ操船を引き継ぐこと。
- (4) 船長及び当直航海士は、安全管理規程、安全管理マニュアル、Master's Standing Order for Navigation等に定められた当直体制を守ること。
- (5) 船長及び当直航海士は、船舶の輻輳が予想される狭水道等を航行するに当たって、その特別な航法や航行する針路及び海域の特性等について事前の準備を十分に行い、適切な運航に努めること。特に、来島海峡航路等特別な交通方法が定められた航路を航行しようとする船舶は、自船の船位、速力等を鑑み、航路入航予定時刻を常に把握し、航路入航に備える必要がある。来島海峡航路においては、転流時刻を確認し、自船が順潮若しくは逆潮のいずれの場合に入航するのかを常に意識して針路、速力等を調整すること。

5.1.2 被害の軽減策

本事故においては、軽減措置により、損傷時復原性基準を適用せずに建造されたA船が、衝突の後、短時間で浸水、横転から沈没に至っており、船長Aが退船できなかった理由は明らかにできなかったが、機関士2人については、機関室に向かった後に機関室から脱出することができなくなり、命を落とすに至った可能性があると考えられる。

乗組員の口述から、多くの乗組員は、A船のような大きな船が、衝突程度で沈没するとは思っていなかったものと考えられるが、乗組員がA船の損傷時復原性能を正しく認識し、衝突による損傷の部位によっては、早期に退船を判断すべきであることを理解していたならば、機関士2人が機関室に向かうことなく又は早期に機関室から退避し、逃げ遅れずに退船できた可能性があると考えられる。したがって、同種事故による被害の軽減のため、船舶所有者、船舶管理会社及び船長は、船舶の損傷時の復原性能をよく理解し、乗組員に周知するとともに、定期的に損傷時の復原性を踏まえた総員退船訓練を実施する必要がある。

5.2 事故後に講じられた事故等防止対策

5.2.1 A₁社及びA₂社により講じられた措置

A₁社は、管理船舶乗組員の衝突回避訓練（避航操船、エンジンテレグラフ操作、航海計器・通信機器等の使用方法説明、汽笛の使用等）を船舶ごとに一月当たり2回、継続的に実施している。

A₂社は、運航チームによる月次訪船、合同演習（他船との接触による船内への海水流入とその後の退船ほか）、陸上及び海上職員への教育、ヒヤリハット報告書の提出・分析等を安全管理規程に則って実施している。

5.2.2 B船管理会社により講じられた措置

B船管理会社は、衝突予防、輻輳海域等における速力管理について、管理船舶の乗組員へ安全教育研修を実施したほか、以下のような再発防止策（抜粋）を実施している。

- (1) 管理船舶の船長室にE C D I S／レーダーのモニター画面の設置
- (2) 内部／外部航海実務監査の実施
- (3) V D R遠隔監視の実施
- (4) 陸上における航路計画の点検（事務所にE C D I Sを設置）
- (5) 定期的な船上訓練の実施（S H S（Ship-Handling Simulator：操船シ

ミュレーター)／B R T M (Bridge Resource Team Management) ^{*19}／
E C D I S)

- (6) 外部専門家による船上研修 (COLREG (International Regulation for Preventing Collision at Sea (1972年の海上における衝突の予防のための国際規則に関する条約))／狭水道通過計画／B B S (Behavior Based Safety : 組織行動セーフティマネジメント)

5.2.3 六管により講じられた施策

近年、来島海峡航路西側海域において、死者・行方不明者を伴う衝突海難が発生したことを受け、六管は、同種事故の再発防止の徹底を図るため、学識経験者、海事関係者、漁業関係者、関係官公庁が参加する「来島海峡航路西側海域航行安全対策委員会」を開催し、同海域の安全対策について意見を取りまとめるとともに、検証・評価し、海域利用者の合意を得た。

取りまとめられた安全対策によれば、来島海峡航路西口に入出航に係る経路を指定することで、航路出入航船の交差点と航路出航船の変針ポイントの重複を解消できるとしている。なお、同対策は、海上交通安全法に基づく経路指定として、令和6年7月1日に施行された。

(別添3 六管周知用リーフレット 参照)

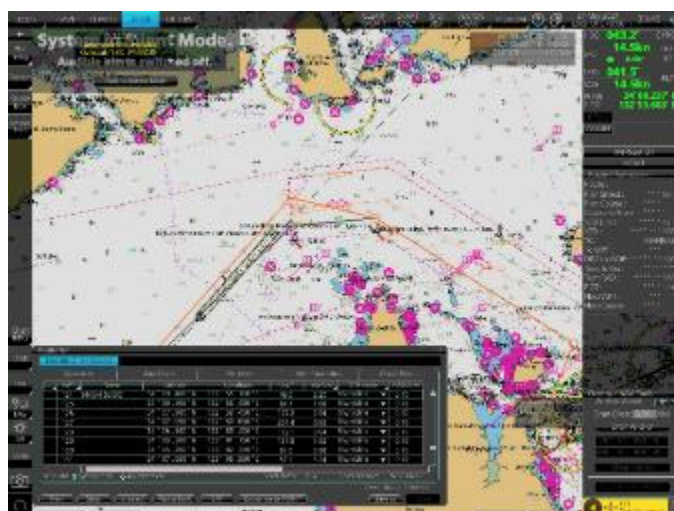
^{*19} 船長のリーダーシップのもと、船舶の安全運航のため、船橋のチームメンバーが乗組員、設備、情報などの利用可能なあらゆる資源（リソース）を有効に活用（マネジメント）し、組織的に安全運航を達成させるための手法をいう。

付図1 B船のECDIS映像（抜粋）

1. 23時47分53秒頃（航行計画の針路を西水道に設定していた状況）



2. 23時49分23秒頃（航行計画の針路を西水道から中水道へ変更を開始した状況）



3. 23時52分39秒頃（航行計画の針路を中水道へ変更を終了した状況）



付表 1 各船の A I S 記録 (抜粋)

1. A船の A I S 記録 (抜粋)

時 刻 (時:分:秒)	船 位		対地針路 (°)	船首方位 (°)	対地速力 (kn)
	北 緯 (° -' -")	東 経 (° -' -")			
23:30:03	34-06-35.2	132-59-20.4	326.9	330	15.4
23:35:07	34-07-35.2	132-59-20.9	025.9	020	12.6
23:40:03	34-08-26.2	132-58-40.8	306.4	305	16.1
23:45:03	34-09-17.3	132-57-16.1	301.5	297	17.7
23:46:08	34-09-27.0	132-56-56.3	298.3	292	17.6
23:47:05	34-09-30.2	132-56-37.4	271.7	268	16.5
23:48:03	34-09-30.3	132-56-17.5	269.9	268	17.3
23:49:03	34-09-30.2	132-55-56.2	269.7	267	17.7
23:50:03	34-09-29.3	132-55-34.8	262.6	259	17.6
23:51:03	34-09-26.5	132-55-13.4	260.4	259	18.1
23:51:27	34-09-25.3	132-55-04.8	260.7	259	18.2
23:51:46	34-09-24.3	132-54-57.9	259.8	257	18.2
23:51:54	34-09-23.8	132-54-55.4	257.2	253	18.1
23:52:05	34-09-22.8	132-54-51.3	252.4	247	17.8
23:52:15	34-09-21.6	132-54-48.0	246.5	241	17.5
23:52:25	34-09-20.3	132-54-45.3	240.0	235	17.3
23:52:35	34-09-18.5	132-54-42.2	234.5	229	17.2
23:52:43	34-09-17.2	132-54-40.4	231.3	229	17.2
23:52:53	34-09-15.1	132-54-37.4	230.0	228	17.3
23:53:02	34-09-13.6	132-54-35.3	228.9	228	17.5
23:53:16	34-09-10.7	132-54-31.3	229.4	230	17.7
23:53:27	34-09-08.7	132-54-28.2	233.4	236	17.8
23:53:32	34-09-08.1	132-54-26.9	236.1	240	17.7
23:53:35	34-09-07.5	132-54-25.7	237.9	243	17.7
23:53:39	34-09-06.9	132-54-24.4	241.2	246	17.6
23:53:57	34-09-05.9	132-54-19.8	254.2	253	13.8
23:54:05	34-09-05.4	132-54-17.6	255.4	253	13.9
23:54:27	34-09-04.0	132-54-11.3	254.5	255	14.3

23:54:45	34-09-03.0	132-54-06.4	255.8	257	13.8
23:55:07	34-09-02.0	132-54-01.0	260.8	263	11.3
23:55:23	34-09-01.9	132-53-58.1	268.8	269	9.1
23:55:43	34-09-02.4	132-53-55.1	283.9	282	7.4
23:56:05	34-09-03.5	132-53-52.7	304.0	299	6.0
23:57:05	34-09-07.6	132-53-50.0	350.9	342	4.1
23:58:09	34-09-11.3	132-53-50.7	021.4	016	3.3
23:59:09	34-09-13.9	132-53-52.7	040.4	042	2.8
00:00:09	34-09-15.6	132-53-55.1	053.6	061	2.5
00:01:06	34-09-16.7	132-53-57.4	062.4	075	2.2
00:02:06	34-09-17.6	132-53-59.6	068.4	086	1.9
00:03:10	34-09-18.2	132-54-01.8	073.2	096	1.7
00:03:59	34-09-18.5	132-54-03.3	075.2	104	1.6
00:05:00	34-09-18.9	132-54-05.2	077.8	113	1.4
00:06:02	34-09-19.2	132-54-06.9	079.1	122	1.3
00:07:03	34-09-19.5	132-54-08.4	077.9	133	1.2
00:08:03	34-09-19.8	132-54-09.8	075.4	147	1.2
00:09:05	34-09-20.1	132-54-11.2	070.1	164	1.1
00:10:08	34-09-20.6	132-54-12.6	066.6	177	1.2

※ 対地針路及び船首方位は真方位

2. B船のAIS記録（抜粋）

時 刻 (時:分:秒)	船 位		対地針路 (°)	船首方位 (°)	対地速力 (kn)
	北 緯 (° -′ -″)	東 経 (° -′ -″)			
23:30:05	34-04-45.8	132-50-01.5	040.7	040	14.3
23:35:05	34-05-39.8	132-50-58.5	041.4	040	14.4
23:40:05	34-06-35.3	132-51-55.7	041.0	039	14.3
23:45:11	34-07-30.1	132-52-53.3	043.1	043	14.2
23:46:11	34-07-40.2	132-53-05.1	042.7	040	14.3
23:47:11	34-07-51.3	132-53-16.7	041.6	042	14.4
23:48:05	34-08-00.8	132-53-26.7	047.8	049	14.3
23:49:05	34-08-11.8	132-53-38.7	037.8	040	14.4
23:50:05	34-08-21.9	132-53-50.8	048.3	042	14.7

23:51:05	34-08-32.9	132-54-03.2	039.2	032	14.4
23:51:29	34-08-37.2	132-54-06.9	035.2	030	14.2
23:51:41	34-08-39.9	132-54-09.2	034.0	029	14.2
23:51:53	34-08-42.3	132-54-11.0	033.2	029	14.3
23:52:05	34-08-44.5	132-54-12.8	032.9	028	14.3
23:52:17	34-08-47.2	132-54-14.7	031.8	028	14.3
23:52:23	34-08-48.5	132-54-15.6	031.1	028	14.3
23:52:41	34-08-52.0	132-54-18.1	030.8	027	14.4
23:52:53	34-08-54.2	132-54-19.8	030.4	027	14.4
23:53:05	34-08-57.2	132-54-21.8	029.9	025	14.3
23:53:17	34-08-59.5	132-54-23.3	029.2	021	14.3
23:53:27	34-09-01.4	132-54-24.5	027.7	012	14.2
23:53:31	34-09-02.2	132-54-25.1	027.5	005	14.2
23:53:41	34-09-04.7	132-54-26.3	022.0	335	13.6
23:53:56	34-09-06.2	132-54-26.3	356.8	261	6.4
23:54:07	34-09-06.4	132-54-25.5	299.7	241	3.5
23:54:21	34-09-06.3	132-54-24.8	267.4	229	2.6
23:54:47	34-09-05.9	132-54-24.0	244.1	224	1.8
23:55:17	34-09-05.3	132-54-23.3	223.0	221	1.6
23:55:35	34-09-05.0	132-54-22.9	226.9	218	1.5
23:55:59	34-09-04.5	132-54-22.5	218.3	215	1.2
23:56:17	34-09-04.3	132-54-22.3	210.6	214	1.1
23:57:30	34-09-03.3	132-54-21.9	196.4	235	0.5
23:58:01	34-09-03.2	132-54-21.8	209.3	248	0.3
23:59:17	34-09-03.3	132-54-21.5	304.6	265	0.2
00:00:17	34-09-03.6	132-54-21.3	348.8	267	0.4
00:05:07	34-09-05.8	132-54-22.8	058.2	223	0.5
00:09:48	34-09-05.9	132-54-23.8	260.7	254	1.2
00:15:26	34-09-00.0	132-54-09.0	235.6	247	1.4

※ 対地針路及び船首方位は真方位

3. C船のA I S記録

本表におけるC船の船位は、船橋上方に取り付けられたG P Sアンテナの位置であり、G P Sアンテナの位置は、船首から約153 m、船尾から約16 m、左舷から約14 m、右舷から約1 mであった。また、対地針路及び船首方位は真方位である。

時 刻 (時:分:秒)	船 位		対地針路 (°)	船首方位 (°)	対地速力 (kn)
	北 緯 (° -' -")	東 経 (° -' -")			
23:48:07	34-06-02.4	132-51-53.1	034.3	032	22.1
23:49:07	34-06-21.1	132-52-06.2	029.0	027	22.0
23:50:07	34-06-41.3	132-52-18.0	023.3	020	21.8
23:51:07	34-07-01.1	132-52-27.5	021.6	020	21.6
23:52:07	34-07-21.3	132-52-37.0	020.4	017	21.5
23:52:31	34-07-29.5	132-52-40.1	017.7	015	21.5
23:53:07	34-07-41.9	132-52-44.6	016.7	015	21.5
23:53:25	34-07-48.4	132-52-46.9	016.8	015	21.5
23:53:49	34-07-56.7	132-52-49.6	014.3	010	21.4
23:54:07	34-08-02.6	132-52-51.3	013.3	010	21.3

4. D船のA I S記録

本表におけるD船の船位は、船橋上方に取り付けられたG P Sアンテナの位置であり、G P Sアンテナの位置は、船首から約69 m、船尾から約10 m、左舷から約2 m、右舷から約11 mであった。また、対地針路及び船首方位は真方位である。

時 刻 (時:分:秒)	船 位		対地針路 (°)	船首方位 (°)	対地速力 (kn)
	北 緯 (° -' -")	東 経 (° -' -")			
23:37:07	34-08-28.2	132-58-15.7	304.4	307	10.3
23:38:36	34-08-37.3	132-58-00.9	306.1	307	10.6
23:39:07	34-08-40.7	132-57-55.4	306.2	307	10.5
23:40:07	34-08-47.1	132-57-45.2	306.4	306	10.6
23:41:07	34-08-53.5	132-57-34.9	307.5	305	10.6
23:42:07	34-09-00.0	132-57-24.7	308.5	306	10.7
23:43:07	34-09-07.0	132-57-14.7	313.5	307	10.9
23:44:16	34-09-13.8	132-57-02.2	301.6	301	10.8
23:45:07	34-09-18.2	132-56-53.0	296.0	290	10.5

23:46:07	34-09-22.1	132-56-41.4	284.9	275	10.2
23:47:16	34-09-23.2	132-56-27.4	269.9	269	10.0
23:48:07	34-09-23.3	132-56-17.3	267.9	265	10.1
23:49:07	34-09-22.5	132-56-05.0	262.4	263	10.4
23:50:07	34-09-21.1	132-55-52.4	262.0	263	10.5
23:51:17	34-09-19.9	132-55-37.6	267.8	265	10.7
23:52:07	34-09-19.4	132-55-26.8	265.5	264	10.8
23:52:26	34-09-19.1	132-55-22.5	265.6	265	10.8
23:52:46	34-09-18.8	132-55-18.6	267.1	262	10.7
23:53:07	34-09-18.4	132-55-13.9	257.6	254	10.7
23:53:26	34-09-17.4	132-55-09.8	252.2	247	10.6
23:53:46	34-09-16.3	132-55-06.2	247.5	241	10.6
23:53:51	34-09-15.9	132-55-05.0	243.7	240	10.5
23:54:16	34-09-13.7	132-55-00.4	236.1	235	10.5

付表２ B船のレーダー映像による各船の情報

1. B船の1号レーダー映像によるA船の情報及び表示レンジ

時 刻 (時:分:秒)	方位 (°)	距離 (M)	COG (°)	CPA (M)	TCPA (分:秒)	BCR (M)	BCT (分:秒)	表示 レンジ (M)
23:43:25 ～23:49:25	-	-	-	-	-	-	-	4
23:49:40	008.6	2.026	267.9	0.520	3:53	1.262	1:30	4
23:49:55	007.6	1.897	264.3	0.485	3:35	1.236	1:16	4
23:50:10	010.0	1.785	262.0	0.468	3:19	1.073	1:22	4
23:50:25	011.2	1.670	262.1	0.434	3:08	0.959	1:23	4
23:50:40	012.4	1.531	260.9	0.396	2:53	0.828	1:22	4
23:50:55	013.8	1.420	260.3	0.362	2:41	0.730	1:21	4
23:51:10	015.3	1.280	260.4	0.335	2:27	0.622	1:18	4
23:51:25	014.9	1.169	260.7	0.317	2:15	0.583	1:10	4
23:51:40	013.8	1.054	260.7	0.302	2:02	0.556	1:00	4
23:51:55	012.0	0.924	257.2	0.262	1:46	0.513	0:47	4
23:52:10	010.9	0.801	250.6	0.198	1:32	0.425	0:42	4
23:52:25	009.1	0.672	240.0	0.105	1:18	0.298	0:40	4
23:52:40	008.6	0.540	232.4	0.056	1:02	0.184	0:37	4
23:52:55	008.2	0.415	230.0	0.042	0:48	0.140	0:27	4
23:53:10	008.8	0.278	228.5	0.035	0:31	0.089	0:17	4
23:53:25	012.0	0.151	230.9	0.037	0:17	0.049	0:07	4
23:53:40	354.9	0.055	241.2	0.050	0:03	0.022	-0:01	4

2. B船の2号レーダー映像によるA船の情報及び表示レンジ

時 刻 (時:分:秒)	方位 (°)	距離 (M)	COG (°)	CPA (M)	TCPA (分:秒)	BCR (M)	BCT (分:秒)	表示 レンジ (M)
23:47:03		スタンバイ画面						6
23:47:18	-	-	-	-	-	-	-	6
23:49:18	-	-	-	-	-	-	-	3
23:51:03	-	-	-	-	-	-	-	2

23:51:18	015.1	1.232	260.6	0.331	2:21	0.614	1:14	2
23:51:33	014.4	1.112	260.7	0.312	2:08	0.574	1:04	2
23:51:48	012.2	0.985	259.8	0.288	1:54	0.550	0:51	2
23:52:03	011.4	0.864	254.9	0.238	1:39	0.481	0:43	2
23:52:18	009.8	0.736	245.3	0.150	1:25	0.368	0:40	2
23:52:33	008.9	0.608	236.1	0.080	1:10	0.244	0:38	1.5
23:52:48	008.4	0.491	230.9	0.048	0:57	0.164	0:33	1.5
23:53:03	008.4	0.348	228.9	0.036	0:40	0.108	0:23	1.5
23:53:18	009.3	0.213	229.6	0.037	0:24	0.077	0:11	1.5
23:53:33	013.3	0.101	236.1	0.046	0:11	0.037	0:03	1.5

3. B船の2号レーダー映像によるD船の情報及び表示レンジ

時 刻 (時:分:秒)	方位 (°)	距離 (M)	C P A (M)	T C P A (分:秒)	B C R (M)	B C T (分:秒)	表示 レンジ (M)
23:47:03		スタンバイ画面					6
23:47:18	-	-	-	-	-	-	6
23:49:18	-	-	-	-	-	-	3
23:51:03	-	-	-	-	-	-	2
23:51:18	-	-	-	-	-	-	2
23:51:33	029.8	1.401	0.078	3:44	-0.213	4:09	2
23:52:33	033.1	1.025	0.128	2:43	-0.331	3:24	1.5
23:53:03	037.3	0.843	0.160	2:13	-0.399	3:05	1.5
23:53:18	044.2	0.740	0.221	1:49	-0.542	2:59	1.5
23:53:33	064.6	0.654	0.237	1:35	-0.396	2:17	1.5

付表 3 B 船の音声記録（抜粋）

() : 英語を日本語仮訳

() : 韓国語を日本語仮訳

時 刻 (時:分:秒)	主な音声等
23:36:57 頃	不明 : [受話器を置くような音]
23:41:40 頃	航海士 A ₁ : D 船、D 船、こちらは貴船、後方、A 船。
23:42:03 頃	航海士 A ₁ : D 船、D 船、こちらは貴船、後方、A 船。06、お願いします。 D 船 : 了解。
23:42:58 頃	不明 : [受話器を置くような音]
23:42:05 ~ 23:42:30 頃	航海士 B ₁ : KURUSHIMA MARTIS, KURUSHIMA MARTIS. This is B 船 calling. Over. (来島マーチス、来島マーチス。こちらは B 船。) 来島マーチス : B 船, this is KURUSHIMA MARTIS. Change to channel 14, fourteen. Over. (B 船、こちらは来島マーチス。14CH に変更してください。) 航海士 B ₁ : 14. (14CH)
23:43:33 ~ 23:44:11 頃	航海士 B ₁ : KURUSHIMA MARTIS, this is B 船. (来島マーチス、こちらは B 船。) Call sign V70H9. (コールサインは V70H9。) Now I passed WS line. Over. (現在、本船は WS ラインを通過しました。) 来島マーチス : B 船, this is KURUSHIMA MARTIS. (B 船、こちらは来島マーチ ス。) You passing WS line, confirmed your position. (貴船 WS ライン通過、貴船 の位置を確認しました。) Information. Tidal current South going 3.9 knot decreasing. (情報。潮流 は南流 3.9 kn で、遅くなりつつあります。) Keep port side go to Naka suidou. (左寄りを保持し中水道へ行ってくださ い。) And tidal current change time 0034, North going. (また、潮流の変化時刻 は 00 時 34 分、北流です。) If you need change your course, we call you again. Over. (もし貴船の針 路変更の必要性があれば、再度連絡します。) 航海士 B ₁ : OK, copy that. Thank you, sir. (了解です。ありがとうございます。)
23:46:02 頃	不明 : [受話器を置くような音]
23:46:51 ~ 23:47:21 頃	来島マーチス : B 船、B 船、this is KURUSHIMA MARTIS. (B 船、B 船、こち らは来島マーチス。) 航海士 B ₁ : B 船。

	来島マーチス : Change to channel 66, double six. (6 6 CHに変更してください。) 航海士B₁ : Double six. (6 6 CH。) KURUSHIMA MARTIS, this is B船。(来島マーチス、こちらはB船。) 来島マーチス : B船, this is KURUSHIMA MARTIS. (B船、こちらは来島マーチス。) Information again. (再度、情報。) Now tidal current South going. (現在、潮流は南流です。) Keep to port side of the fairway, go to Naka suidou. (航路の左寄りを保持し中水道へ行ってください。) 航海士B₁ : Port side and go to Naka suidou, correct? (左寄りを中水道へ行くのが正しいのですね?) 来島マーチス : That's right. (そのとおりです。)
23:47:58 頃	航海士B₁ : Zero four zero. (針路040° とせよ。) 操舵手B : Zero four zero. (針路040°。)
23:48:06～ 23:48:44 頃	航海士B₁ : <u>(おつかれさまです。)</u> ※船長Bと航海士B₁の会話の音声不明瞭 航海士B₁ : <u>(私たちに対して、来島マーチスが中水道を通れと言っています。今は、中水道を通れと。)</u> 船長B : <u>(中水道に行けって? 何でだ、逆潮じゃないのか?)</u> 航海士B₁ : <u>(00時30分から逆潮になるのですが、今現在は中水道に行くように言われました。他のところは出てくる船が沢山あって。)</u> 船長B : <u>(まだ、全部出てきていないのかな?)</u> 航海士B₁ : <u>(はい、よく分かりませんが。)</u> ※船長Bと航海士B₁の会話の音声不明瞭
23:49:04 頃	※ピッピッという電子音
23:49:25～ 23:49:46 頃	船長B : Zero three five. (針路035° とせよ。) 操舵手B : Zero three five. (針路035°。) 操舵手B : Zero three five, sir. (針路035° としました。)
23:50:38～ 23:51:12 頃	船長B : Zero three zero. (針路030° とせよ。) 操舵手B : Zero three zero. (針路030°。) ※ピッピッという電子音 操舵手B : Zero three zero, sir. (針路030° としました。)
23:51:21～ 23:52:18 頃	※ピッピッという電子音 ※ドアの開閉音 ※ピッピッという電子音

23:52:42 頃	船長B： <u>(なぜあの船は私たちの方を向いているのか?)</u> 不明： <u>(※音声不明瞭)</u>
23:52:45 頃	船長B：Zero two zero. (針路020°とせよ。) 操舵手B：Zero two zero. (針路020°。) 不明：Yah. (やー。)
23:52:49～ 23:52:50 頃	船長B： <u>(あれはどこに向かっているの?)</u> 航海士B ₁ ：A船、Motor vessel A船、This is B船。(A船、A船、こちらはB船。)
23:52:53～ 23:53:01 頃	船長B： <u>(※音声不明瞭)</u> 航海士B ₁ ：A船、A船、B船。 航海士A ₁ ：Yes, This is A船。(はい、こちらはA船。) 航海士B ₁ ：What's your intention. (あなたの意図は何ですか。) 航海士A ₁ ：えー、えー、あう。
23:53:03～ 23:53:06 頃	航海士B ₁ ：Port to Port, Port to Port. (左舷対左舷、左舷対左舷。) 航海士A ₁ ：えー、OK。
23:53:07～ 23:53:13 頃	船長B：Hard port. (左舵一杯。) 操舵手B：Hard port. (左舵一杯。) 航海士B ₁ ：Port to Port. (左舷対左舷。) 航海士A ₁ ：OK。 不明：Port to Port. (左舷対左舷。) 操舵手B：Port to Port. Hard port. (左舷対左舷。左舵一杯。)
23:53:16～ 23:53:37 頃	船長B： <u>(※音声不明瞭)</u> 船長B：Stop engine, stop engine, stop engine. (機関停止、機関停止、機関停止。) 航海士B ₁ ：Stop engine, stop engine, stop engine. (機関停止、機関停止、機関停止。) 航海士B ₁ ：Stop engine, sir. (機関停止です。) ※ジリリリというベル音 船長B：Full astern, full astern, full astern. (全速後進、全速後進、全速後進。) 航海士B ₁ ：Full astern. (全速後進。) 船長B：Starboard, hard starboard, hard starboard. (右舵、右舵一杯、右舵一杯。)
23:53:38 頃	※衝撃音

付表４ 来島マーチスによるVHFの交信記録（抜粋）

※来島マーチスによれば、記載されている時刻は分単位であることから、１分程度の誤差が生じることがあるとされている。

１．A船と来島マーチス

時刻	発信者	受信者	CH	概要
23:54	来島マーチス	A船	16	A船、A船、こちらは来島マーチス。
23:55	来島マーチス	A船	16	A船、A船、こちらは来島マーチス。
23:57	来島マーチス	A船	16	A船、A船、こちらは来島マーチス。
00:00	A船	来島マーチス	16	こちらはA船、A船です。感度いかがでしょうか？どうぞ。 来島マーチス、A船、A船です。感度いかがでしょうか？どうぞ。
	来島マーチス	A船	16	A船、こちらは来島マーチス。１４どうぞ。
	A船	来島マーチス	16	１４。
00:01	A船	来島マーチス	14	来島マーチス、こちらはA船です。どうぞ。
	来島マーチス	A船	14	A船、こちらは来島マーチス。
	A船	来島マーチス	14	えー、先程、B船、そちらと衝突いたしました。
	来島マーチス	A船	14	B船と衝突。けが人、浸水等はございますか？
	A船	来島マーチス	14	けが人はおりませんが、船体が急速に傾いております。浸水、あるものと思われます。どうぞ。
	来島マーチス	A船	14	傾いている。浸水がある模様、了解しました。この後どうされますか？
	A船	来島マーチス	14	はい、今。 SOS情報言います。今、はい、船を離れます。どうぞ。
	来島マーチス	A船	14	了解しました。また、何かありましたらこちらに連絡ください。
	A船	来島マーチス	14	承知しました。
	来島マーチス	A船	14	なお、これから西口向かう船舶は２・４号ブイ間から航路アウトしていきます。接近ご注意ください。
	A船	来島マーチス	14	了解。
00:13	来島マーチス	A船	16	A船、A船、こちらは来島マーチス。 A船、A船、こちらは来島マーチス。

2. B船と来島マーチス

() は日本語仮訳

時間	発信者	受信者	CH	概要
23:42	B 船	来島マーチス	16	KURUSHIMA MARTIS, KURUSHIMA MARTIS. (来島マーチス、来島マーチス。) This is B 船 calling over. (こちらはB 船。)
	来島マーチス	B 船	16	B 船, this is KURUSHIMA MARTIS. (B 船、こちらは来島マーチス。) Change to channel 14, fourteen. Over. (14CHに変更してください。)
	B 船	来島マーチス	16	14.
23:43	B 船	来島マーチス	14	KURUSHIMA MARTIS, this is B 船. (来島マーチス、こちらはB 船。) Call sign V70H9. (コールサインはV70H9。) Now I passed WS line. Over. (現在、本船はWSラインを通過しました。)
	来島マーチス	B 船	14	B 船, this is KURUSHIMA MARTIS. (B 船、こちらは来島マーチス。) You passing WS line confirmed your position. (貴船がWSラインを通過し、位置を確認しました。) Information. Tidal current South going 3.9 knot decreasing. (情報。潮流は南流3.9knで、遅くなりつつあります。) Keep port side go to Naka suidou. (左側を保持し中水道へ行ってください。) And tidal current change time 0034, North going. (また、潮流の変化時刻は00時34分、北流です。) If you need change your course, we call you again. Over. (貴船の針路変更の必要性があれば、再度連絡します。)
	B 船	来島マーチス	14	OK, copy that. Thank you, sir. (了解です。ありがとうございます。)
23:44	来島マーチス	B 船	14	Thank you, stand by 16, out. (ありがとうございます。16CHで待機してください。)
23:46	来島マーチス	B 船	16	B 船、B 船、this is KURUSHIMA MARTIS. (B 船、B 船、こちらは来島マーチス。)
	B 船	来島マーチス	16	B 船。
	来島マーチス	B 船	16	Change to channel 66, double six. Over. (66CH

				に変更してください。)
	B 船	来島マーチス	16	Double six. (6 6 CH。)
	B 船	来島マーチス	66	KURUSHIMA MARTIS, this is B 船. (来島マーチス、こちらはB 船。)
	来島マーチス	B 船	66	B 船, this is KURUSHIMA MARTIS. (B 船、こちらは来島マーチス。) Information again. (再度、情報。) Now tidal current South going. (現在、潮流は南流です。) Keep to port side of the fairway, go to Naka suidou. Over. (航路の左側を保持し中水道へ行ってください。)
	B 船	来島マーチス	66	Port side and go to Naka suidou, correct? (左側を中水道へ行くのが正しいのですね?)
	来島マーチス	B 船	66	That's right. 16 out. (そのとおりです。)
23:47	B 船	来島マーチス	66	16.
23:53	B 船	来島マーチス	16	KURUSHIMA MARTIS, KURUSHIMA MARTIS. (来島マーチス、来島マーチス。) This is B 船, calling over. (こちらはB 船です。)
	来島マーチス	B 船	16	B 船, KURUSHIMA MARTIS, 14. (B 船、来島マーチス、1 4 CH。)
	B 船	来島マーチス	16	Yes, this is B 船. (はい、こちらはB 船です。)
	来島マーチス	B 船	16	B 船, 14, fourteen. (B 船、1 4 CH。)
	B 船	来島マーチス	16	14.
	B 船	来島マーチス	14	KURUSHIMA MARTIS, this is B 船. (来島マーチス、こちらはB 船。) Now Collision, now we collision. (現在、衝突、現在、我々衝突。) With a A 船, A 船 at KURUSHIMA enter. (A 船に来島入口で。)
	来島マーチス	B 船	14	Collide with A 船? (A 船に衝突ですか?) B 船, this is KURUSHIMA MARTIS. (B 船、こちら来島マーチス。)
	B 船	来島マーチス	14	This is B 船. (こちらはB 船です。)
	来島マーチス	B 船	14	Collide with A 船? (A 船に衝突ですか?)
	B 船	来島マーチス	14	I collide with A 船, I collide with A 船. (本船はA 船に衝突です、A 船に衝突です。)
	来島マーチス	B 船	14	Told him by Port to Port. (左舷対左舷と彼 (A 船) に言っていた。)

				Now why did you change your course to port? Over. (なぜ左に針路を変えたのですか?)
	B 船	来島マーチス	14	Umm. The KURUSHIMA MARTIS umm. (うーん、来島マーチス、うーん。) Because order to me umm. Go to Naka suidou. (本船に指示したから。中水道へ行くように。) So I go to port side, but A 船 is. (それで左側へ行ったが、A 船が。)
23:55	来島マーチス	B 船	14	OK, B 船. KURUSHIMA MARTIS. (OK、B 船。来島マーチス。) Please stand by out of the fairway safely. Over. (航路の外で安全に待機してください。)
00:00	来島マーチス	B 船	16	B 船, B 船, this is KURUSHIMA MARTIS. (B 船、B 船、来島マーチス。)
00:01	来島マーチス	B 船	16	B 船, B 船, this is KURUSHIMA MARTIS. (B 船、B 船、来島マーチス。)
00:07	来島マーチス	B 船	16	B 船, B 船, this is KURUSHIMA MARTIS. (B 船、B 船、来島マーチス。)
01:31	B 船	来島マーチス	16	KURUSHIMA MARTIS, KURUSHIMA MARTIS, this is motor tanker B 船. (来島マーチス、来島マーチス、こちらはタンカー B 船。)
	来島マーチス	B 船	16	B 船, change channel 14, fourteen. (B 船、14CH に変更してください。14。)
	B 船	来島マーチス		14.
01:32	B 船	来島マーチス	14	KURUSHIMA MARTIS, KURUSHIMA MARTIS, this is motor tanker B 船. (来島マーチス、来島マーチス、こちらは B 船。)
	来島マーチス	B 船	14	This is KURUSHIMA MARTIS. Go ahead. (こちらは来島マーチス。続けてください。)
	B 船	来島マーチス		※B 船側から日本語の話せる船員に代わる あの、すみません。本船から何か手伝うことがありますか?
	来島マーチス	B 船	14	はい。えーっと貴船は救助活動できますか?
	B 船	来島マーチス	14	あー、はい。あの一、できると思います。あの、本船のレスキューボート降ろして、えっと、えーっと進めばできると思います。
	来島マーチス	B 船	14	あ、分かりました。それでは、えーっと、そのようにお願いします。 えー、巡視船がおりますので、えー、指示、巡視船に指示受けてください。

	B 船	来島マチス	14	あ、はい、分かりました。
	来島マチス	B 船	14	はい、それと、えーっと、安全な所で、そしたら、あの一、えー、漂泊しておいてください。どうぞ。
	B 船	来島マチス	14	あー、はい、了解しました。漂泊します。
	来島マチス	B 船	14	はい、えっと、そのまま走れますか？
	B 船	来島マチス	14	あー、すみません、あの、本船投錨できません。あの一、いま投錨できない状況なんで、あの一、投錨もできないし、このままちょっと、エンジン使いながら、あの一、このまま、あの一、いると思いますけど。
01:33	来島マチス	B 船	14	了解しました。スローでは走れますか？
	B 船	来島マチス	14	はい、スロー・・・
	来島マチス	B 船	14	はい、スローで、そしたら走れますか？
	来島マチス	B 船	14	はい、ひとまず 16 CH 返しておきます。さようなら。
	B 船	来島マチス	14	はい・・・

貨物船及びケミカルタンカーの衝突事故に係る解析請負

報 告 書

令和5年2月

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所

目 次

1	はじめに	2
1.1	調査の目的	2
1.2	調査の概要	2
2	衝突危険度評価指標の概要	2
2.1	CJ (Collision Judgement) ^[1]	2
2.2	SJ (Subject Judgement : 主観的衝突危険度) ^[2]	2
2.3	BC (Blocking Coefficient : 避航操船空間閉塞度) ^[3]	3
2.4	OZT (Obstacle Zone by Target) ^[4, 5]	3
3	事前解析	4
3.1	航跡図	4
3.2	A 船への影響評価	5
3.3	B 船への影響評価	7
4	詳細解析	8
4.1	状態量の時間変化	8
4.2	衝突危険度指標による衝突危険性評価	10
4.3	OZT による衝突危険性評価	11
5	まとめ	13
	参考	15

1 はじめに

1.1 調査の目的

令和 3 年 5 月 27 日 23:53:36 頃、来島海峡西口付近で発生した貨物船およびケミカルタンカーの衝突事故の原因究明に資するため、本調査では、AIS データを基に衝突に至る両船の行動状況に関する認知支援の評価および周辺海域における船舶の航行状況の分析により事故に至る要因分析を行った。

1.2 調査の概要

2 船間の衝突の危険状態を定量評価する 4 つの評価指標 (CJ^[1], SJ^[2], BC^[3], OZT^[4, 5])を用いて、① 衝突した 2 船間 (貨物船白虎 (A 船) およびケミカルタンカー ULSAN PIONEER (B 船)) および② 衝突した 2 船を含む船舶群 (事故当時、B 船の後方を航行していたフェリーやまと (C 船) および A 船の後方を航行していた貨物船第一大栄丸 (D 船)) について本事故時の状況を評価した。なお、衝突した 2 船以外の船舶 (C 船および D 船) については、委託者からの指示に基づき、A 船および B 船の衝突事故時に周辺海域 (2~3 海里内) を航行していた船舶として解析対象とした。

本調査では、まず事前解析として、②を対象に周囲を航行していた船舶群が衝突した 2 船への航行に及ぼした影響を OZT により評価した。次に詳細解析として、事前解析の結果を考慮し、①もしくは②を対象に遭遇した船舶への衝突危険性を前述の衝突危険度評価指標により評価した。

なお、衝突危険度評価指標の計算においては、計算基準点は船体中央とした。入力データは 10 秒間隔で補間した AIS データを用いたため、本報告書の解析における「23:53:40」の時刻は衝突の時刻相当の意味合いを持つ。

2 衝突危険度評価指標の概要

本調査で用いた衝突危険度評価指標の概要を示す。計算方法の詳細は、それぞれの原著論文を参考されたい。

2.1 CJ (Collision Judgement) ^[1]

1 対 1 の見合い関係にある二船の衝突危険度を示す指標である。相手船との相対距離とその変化率、相手船との方位変化とその変化率から衝突危険度を算出する。CJ が取りうる範囲は、 $-\infty$ から ∞ である。船長 300m タンカーが沿岸で避航開始を行う際の CJ の目安は 0.00782 である。

また過去の調査^[6]において、衝突の危険があると判定する閾値は CJ 値が 0.015 以上、また危険感との関係を分析した結果^[7]においては、相手船との衝突のおそれを感じる目安は、0.007 以上、衝突を避けられないと感じる目安は 0.013 以上とされている。

2.2 SJ (Subject Judgement : 主観的衝突危険度) ^[2]

ある船舶から別の船舶までの距離および相対方位の変化率を変数として用いている。

それら変数は、見合い関係を考慮して 3 段階でファジー表現され、両者の組み合わせを重み付けすることにより船舶間の衝突危険度を評価する。SJ が取りうる範囲は -3 から 3 であり、意味合いは以下のとおりである。

きわめて危険	SJ=-3	きわめて安全	SJ=+3
危険	SJ=-2	安全	SJ=+2
やや危険	SJ=-1	やや安全	SJ=+1
どちらともいえない	SJ=0		

2.3 BC (Blocking Coefficient : 避航操船空間閉塞度) [3]

自船が変速と変針の避航手段を行った場合における周囲の船舶群との衝突危険度に変速と変針の避航手段の選好度（好ましさ）を表す重み付けされた係数を乗じたものを用いて、自船の周囲に存在する船舶によって閉塞される度合い（避航操船空間閉塞度）を求めるものである。BC が取りうる範囲は、0 から 1 であり、BC が 1 のときの状況は余裕時間が極めて小さく、またいかなる操船によっても回避できない状況である。

本調査では、事故発生場所は来島海峡航路の出入り口直前であり、潮流に対し十分な対水速力を得る必要があるため、減速しにくい状況であったと考え、避航手段を変針のみに限定して BC による評価を行った。なお、避航手段の範囲は、変針は現針路から左右 60 度までの 5 度刻みである。

2.4 OZT (Obstacle Zone by Target) [4, 5]

OZT は、他船の存在およびその運動により自船の行動空間が妨害されるゾーンを指す。図 2.1 に OZT の概念と評価方法を示す。自船と他船の距離が安全航過距離（safety passing distance: SD）になる自船の針路を衝突針路（図中の C₀₁ および C₀₂）といい、自他船の距離が SD になる針路を意味する。この衝突針路に挟まれる他船の進路の線分に対し、SD をのりしろとしたカプセル状のものを OZT と呼ぶ。なお、本調査では、計算簡略化のため、他船進路上のカプセルの長さ方向の線分を OZT（図 2.1 (a)中の赤色線分）とする。

本調査では OZT を用いて、事前解析として航行への影響評価および詳細解析として衝突危険性評価を行った。計算方法および評価方法を以下に示す。

OZT の計算方法

- ✓ 自船からの距離が 3NM 以内に接近した船舶を対象とする。
- ✓ 安全航過距離 SD は自船と他船の長さにより決定される L_g [m]とする。なお、 L_g は、衝突の危険をなくするため他船の侵入を認めない排他的な領域の大きさを決定づける長さとして示されている^[2]。

$$L_g = \left\{ \frac{L_o^2 + L_t^2}{2} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

ここで、 L_o : 自船長さ [m], L_t : 他船長さ [m]

OZT による航行への影響評価（3.2 節および 3.3 節）

- ✓ OZT が自船から見て前方に存在する場合には、自船の操船行動に圧力をかける要素となり、自船進路上に OZT が発生すれば自船の行動空間が妨害されるため、この領域を避け

る必要がある。

- ✓ 自船と OZT の位置関係等から、主に自船進路の閉塞の程度を考慮し、航行に及ぼす影響評価を行った。

OZT による衝突危険性評価（4.2 節および 4.3 節）

- ✓ 文献¹⁸より衝突のおそれを感じる OZT を識別する設定として妥当であるとされる自船からの方位（自船の針路から左右 10 度以内）および距離（OZT 地点に至るまでの時間が 5 分以内）を、評価エリアと定義する（図 2.1 (b)の扇型の範囲）。
- ✓ 評価エリアに少なくとも一部が入る OZT を「衝突危険性が高い OZT」とし、それ以外を「衝突危険性が低い OZT」として識別する。
- ✓ 自船と識別した OZT の位置関係および発生時間から、自船進路の閉塞の程度や余裕時間を考慮し、衝突危険性評価を行った。

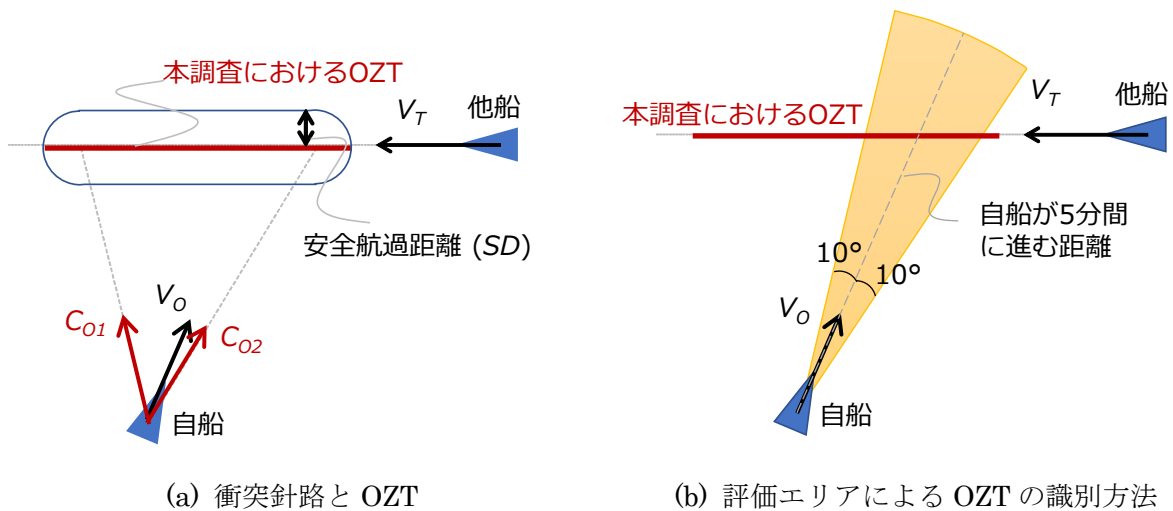


図 2.1 OZT の概念と評価方法

3 事前解析

3.1 航跡図

図 3.1 は、衝突した A 船および B 船の他、周囲を航行していた C 船および D 船の航跡図である。

本調査での解析対象船舶の諸元を表 3.1 に示す。なお、表中の船長 L および船幅 B は、本調査での各種解析に用いた AIS データ上での数値であることに留意されたい。

表 3.1 解析対象船舶の諸元

	$L \times B$
A 船	169 [m] $\times$ 26 [m]
B 船	90 [m] $\times$ 14 [m]
C 船	195 [m] $\times$ 30 [m]
D 船	79 [m] $\times$ 13 [m]

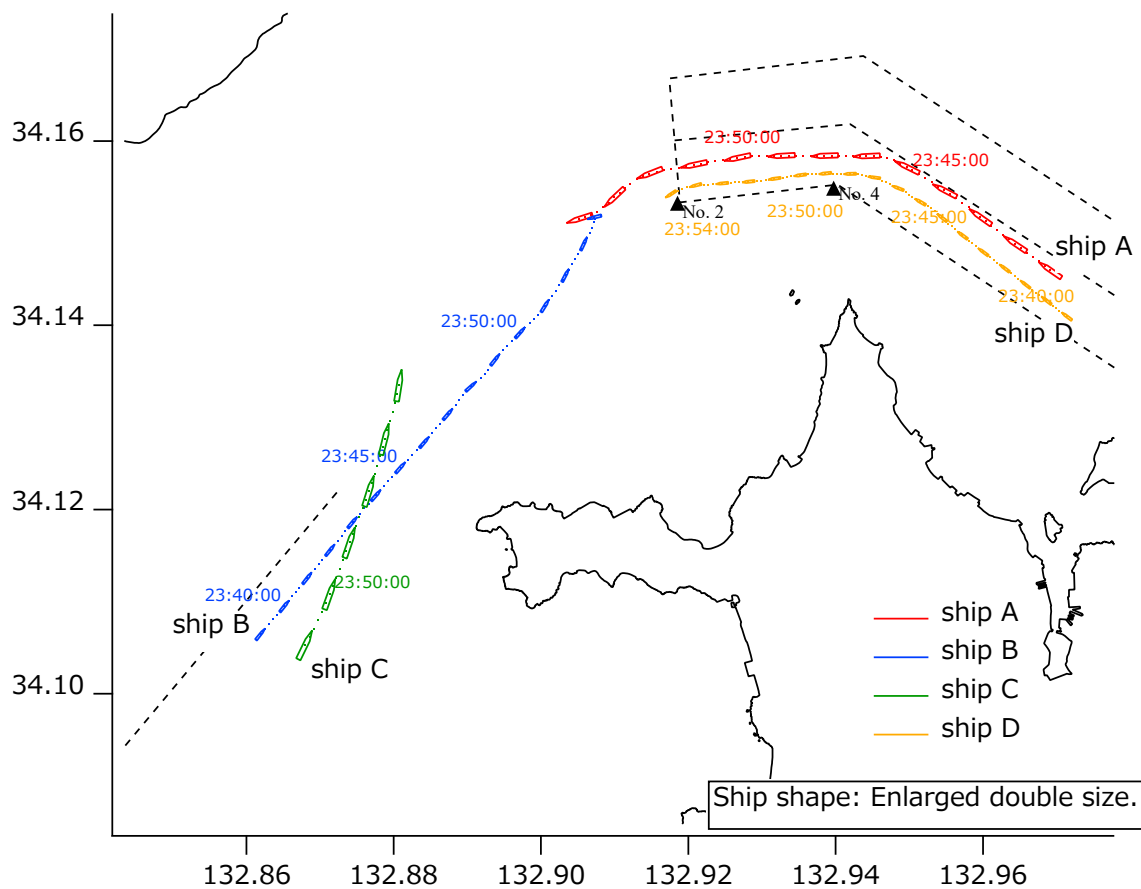


図 3.1 事故前後の航跡図

3.2 A 船への影響評価

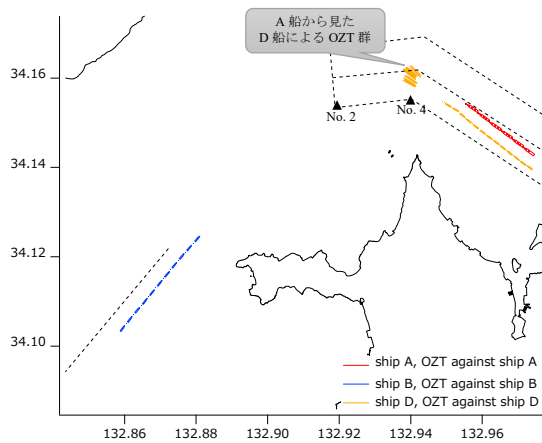
周囲の船舶による A 船の航行への影響を評価した。図 3.2 に各船の航跡と A 船が遭遇した各船に対する OZT の発生位置を示す。

各船の航跡とその船舶によって発生した OZT は、同色として描画している。例えば、図 3.2 (e)では、赤色の A 船は 2 隻の船舶に対して OZT が発生しており、青色線分は B 船による OZT、緑色線分は C 船による OZT を意味する。

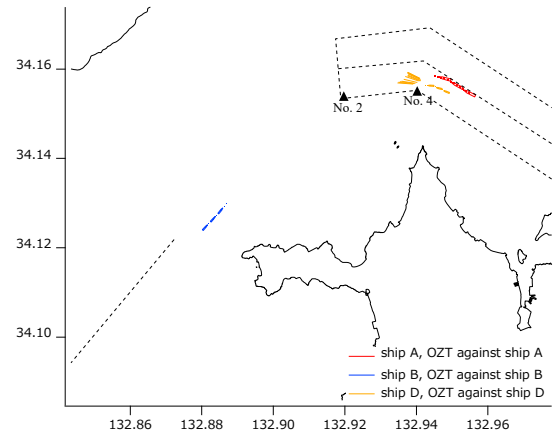
時間の経過に合わせて観察する。図 3.2 (a)(b)より、A 船が来島海峡航路第 4 号灯浮標（以下、第 4 号灯浮標）での変針前の 23:46 頃までは、A 船は D 船による OZT に遭遇していたが、航路屈曲に伴う A 船と D 船の変針を考慮すると、これらの OZT は A 船の航行への影響は極めて小さかったと考えられる。A 船が変針を終える頃（23:47 頃）、D 船の追い越しの完了により、その後の時間帯には D 船による OZT には遭遇していない。

図 3.2 (c)より、A 船は、23:47 頃、初めて B 船との OZT と遭遇し、衝突まで継続して B 船との OZT に遭遇していた。B 船の OZT に関する衝突危険性評価は 4.3 節を参照されたい。図 3.2 (e)より、A 船が来島海峡航路を出た 23:51 頃、A 船は初めて C 船との OZT に遭遇し、その後も継続して C 船との OZT に遭遇していた。図 3.2 (e)について観察すると、A 船は来島海峡航路の出口で B 船と C 船による OZT と遭遇していたことがわかる。C 船による OZT

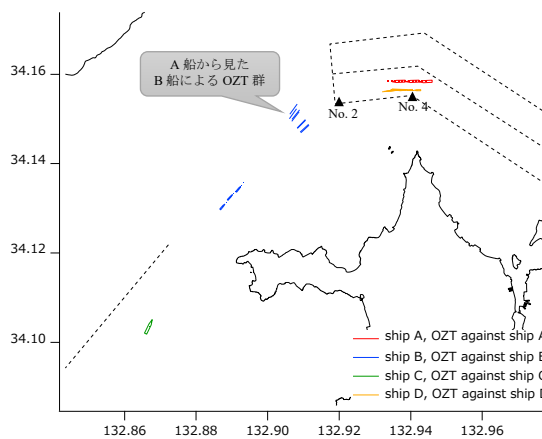
は、B 船との OZT よりも遠方であり、また B 船による OZT との間に A 船が可航できると考えられる距離があったと考えられるが、C 船による OZT が A 船の航行に及ぼす影響はなかったとまでは言えないと考えられる。



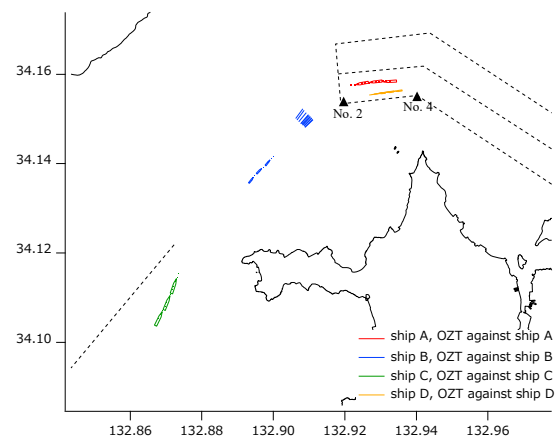
(a) (Timespan 1)23:44 頃まで



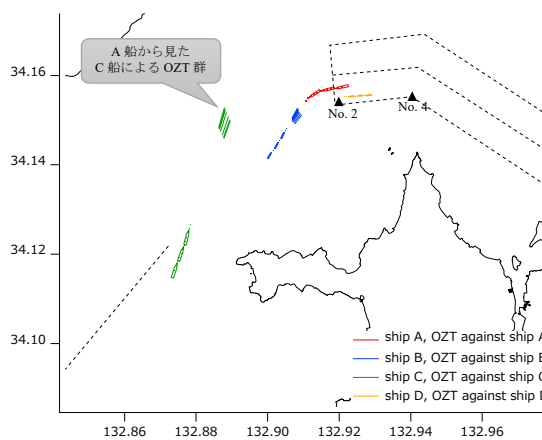
(b) (Timespan 2)23:45-23:46 頃



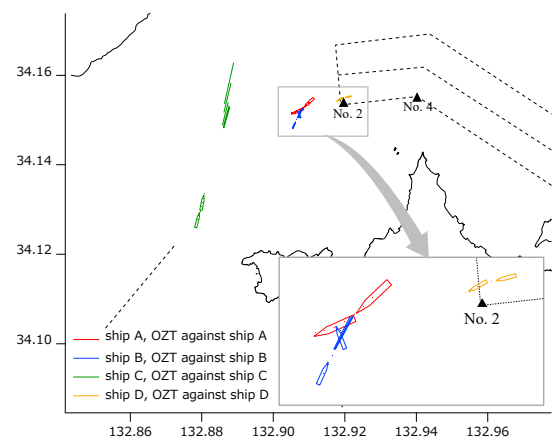
(c) (Timespan 3)23:47-23:48 頃



(d) (Timespan 4)23:49-23:50 頃



(e) (Timespan 5)23:51-23:52 頃



(f) (Timespan 6)23:53-23:54 頃

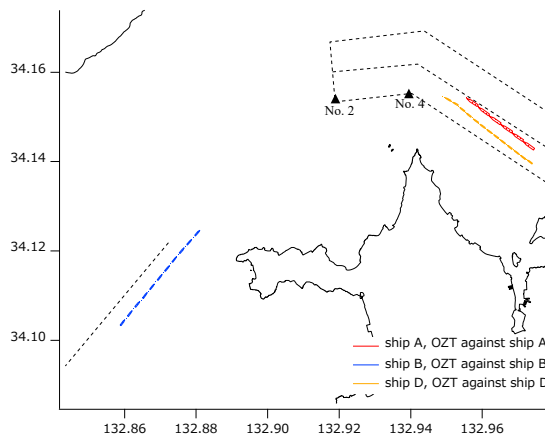
図 3.2 航跡および A 船が遭遇した OZT の変化

3.3 B 船への影響評価

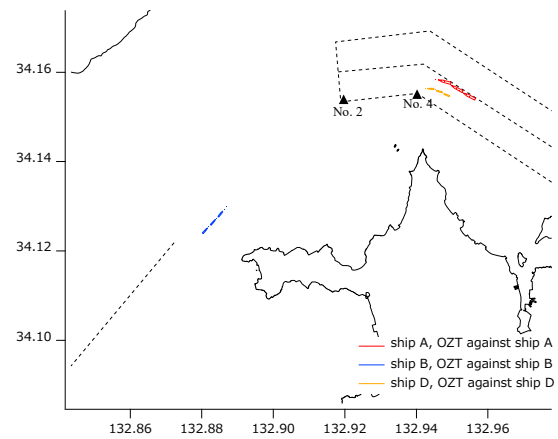
周囲の船舶による B 船の航行への影響を評価した．図 3.3 に各船の航跡と B 船が遭遇した各船に対する OZT の発生位置を示す．

図 3.3 (c)より, B 船は 23:47 頃に初めて D 船と A 船との OZT に遭遇した．図 3.3 (d)より, A 船が来島海峡航路内を航行していた 23:50 頃まで, B 船は A 船と D 船による OZT と遭遇していた．これらの時間帯についてみると, D 船による OZT は B 船の進路上に存在していたこと, B 船の進路左舷側には A 船による OZT が存在していたことから, B 船が来島海峡航路の北側から入航するために取りうる進路を考慮すると, D 船による OZT が B 船の航行に及ぼす影響はなかったとまでは言えないと考えられる．

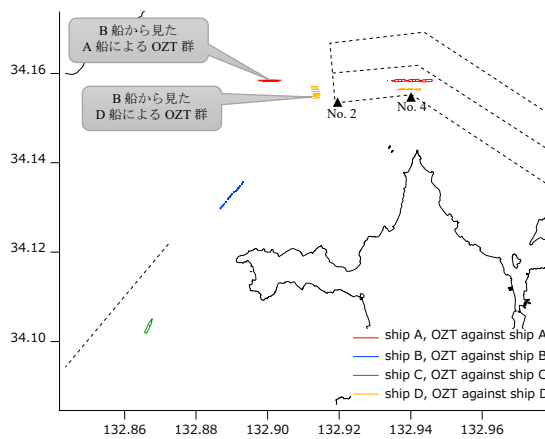
B 船が C 船による OZT に遭遇した時間は, 図 3.3 (f)より 23:53 頃であり, B 船の航行に影響はほとんどなかったと考えられる．



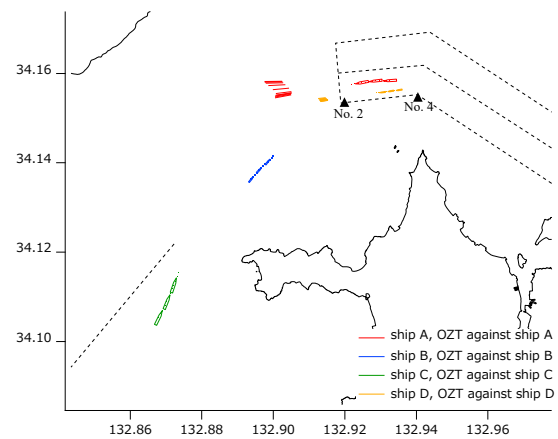
(a) (Timespan 1)23:44 頃まで



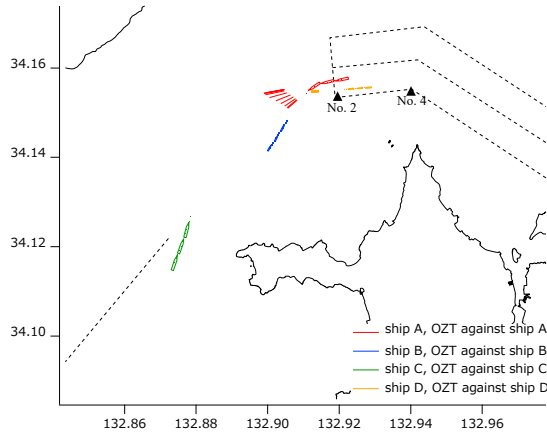
(b) (Timespan 2)23:45-23:46 頃



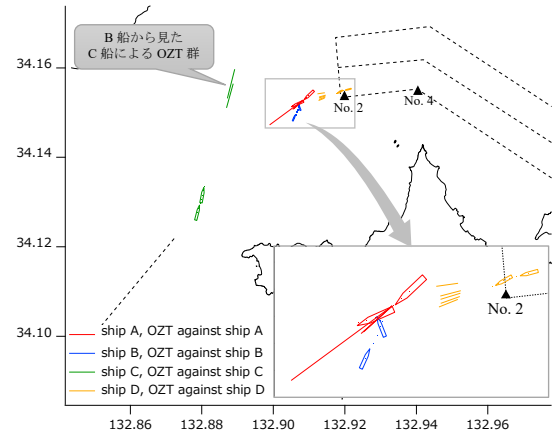
(c) (Timespan 3)23:47-23:48 頃



(d) (Timespan 4)23:49-23:50 頃



(e) (Timespan 5)23:51-23:52 頃



(f) (Timespan 6)23:53-23:54 頃

図 3.3 航跡および B 船が遭遇した OZT の変化

4 詳細解析

4.1 状態量の時間変化

AIS データを元に、衝突した 2 船（A 船および B 船）の状態量の時間変化を分析した．図 4.1 から図 4.3 に A 船と B 船の状態量および相対状態量の変化を示す．図 4.1 の上から船首方位，対地速力，対地針路である．図 4.2 は上からコンパス方位の変化率，二船間の距離，図 4.3 は，上から TCPA（Time to Closest Point of Approach：最接近時間），DCPA（Distance of Closest Point of Approach：最接近距離），BCR（Bow Crossing Range：船首横切り距離）である．図中の黒線は A 船と B 船で共通の値，赤線は A 船，青線は B 船の状態量である．

なお，図中の網掛け部分は，A 船が第 4 号灯浮標での変針前であることから，衝突危険度の評価対象外とする．

① コンパス方位の変化率

コンパス方位変化率は，23:46 から 23:47 頃に一時的に 2 度/分以下になる時間帯があったものの，それ以降は 2 度/分以上であった．文献^[9-10]によると，「視覚による変化率の感知する人間の能力は基準点があるときは 1～2 度/分」とされている．

② DCPA

DCPA は 23:46 頃から減少を始め，A 船が第 4 号灯浮標での変針を終えた 23:47 頃には DCPA は 0.5NM 未満と，一時的に上昇する時間帯はあるものの，継続して DCPA が減少している状況にあった．特に，23:52 頃には 0.2NM 未満となっており，DCPA が極めて小さい状況にあった．

③ BCR

A 船の BCR は負を示し，A 船の船尾側を B 船が通航する状況であった．A 船の BCR は 23:51 頃以降 1.0NM 以下に減少し，23:52 頃には 0.5NM 以下（船尾端から約 0.43NM）に減少，23:53 頃には 0.2NM 以下（船首端から約 0.15NM）に減少しており，継続して BCR が減

少している状況にあった。

一方、B 船の BCR は正であり、B 船の船首側を A 船が通航する状況であった。BCR は多少の変動はあるものの 23:50 頃以前はおおむね 1.0NM であり、23:50 頃に 1.0NM 以下に減少、23:52 頃に 0.5NM 以下（船首端から約 0.44NM）に減少、23:53 頃には 0.2NM 以下（船首端から約 0.13NM）に減少しており、BCR が継続して減少している状況であった。

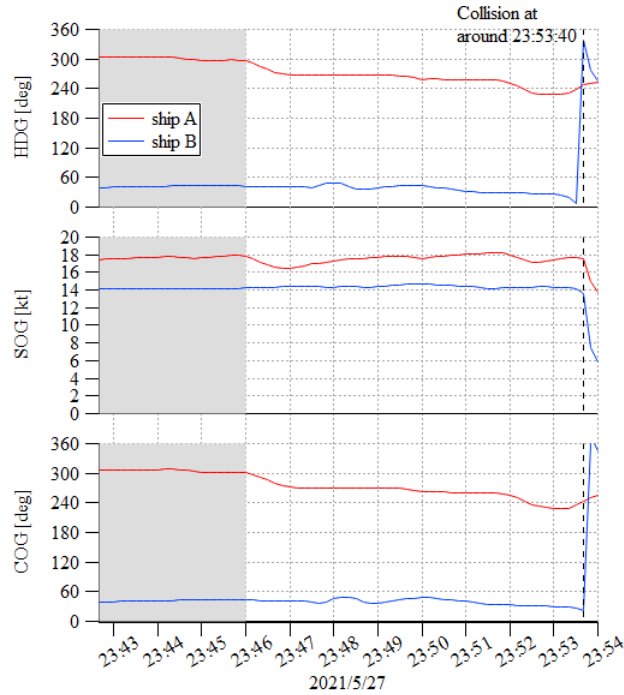


図 4.1 状態量の時間変化

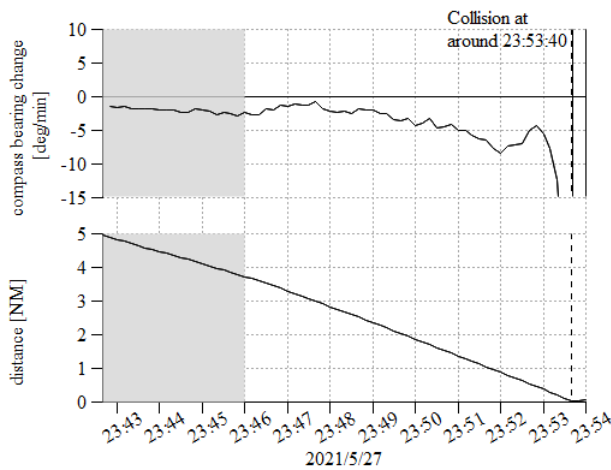


図 4.2 相対状態量の時間変化 (1)

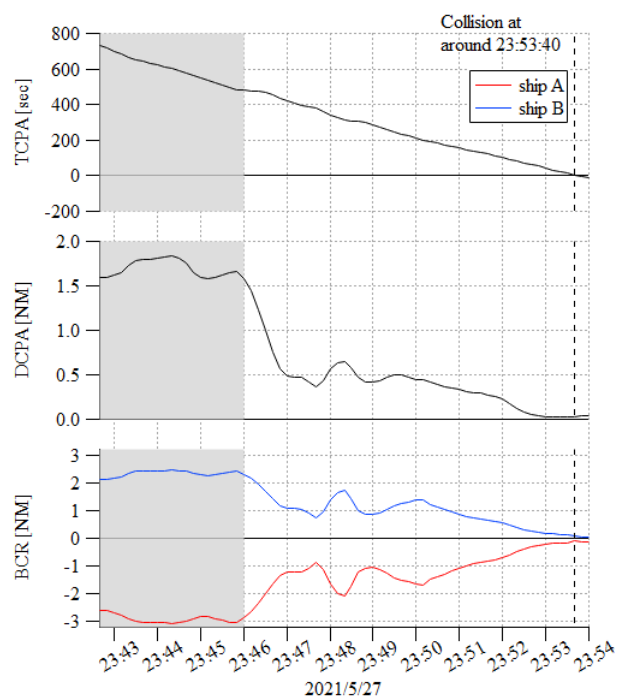


図 4.3 相対状態量の時間変化 (2)

4.2 衝突危険度指標による衝突危険性評価

3章の事前解析の結果から、A船はC船の影響を、B船はD船の影響を受けていた可能性があると考えられることから、それぞれの船舶を考慮して衝突危険性を評価した。

A船から見た場合の衝突危険性の時間変化を図4.4に、B船から見た場合の衝突危険性の時間変化を図4.5に示す。ともに上からCJ, SJ, BCである。なお、図4.4の赤線と図4.5の青線は、自船（A船もしくはB船）に対して、相手船（B船もしくはA船）1隻のみの衝突危険性を示す。また、図4.4の緑線と図4.5の黄線は、CJおよびSJについては自船（A船もしくはB船）に対して第三船（A船はC船、B船はD船）1隻のみを対象にした時の衝突危険性を、BCについては自船（A船もしくはB船）に対して相手船（B船もしくはA船）に加え第三船を考慮した衝突危険性を意味する。

① CJ

A船について観察する。図4.4よりA船は、B船に対し変動はあるものの23:52頃以降急激に増加していることから衝突の危険性が高まっている状態にあった可能性が考えられる。第三船（C船）に対しては、ほとんどの時間帯において負の値を示していることから、衝突の危険性は小さかった可能性が考えられる。

B船について見ると、A船に対し23:51頃以降急激に値が正側に上昇していることから、衝突の危険性が高まっている状態にあった可能性が考えられる。第三船（D船）に対しては、23:51から23:52頃に一時的にA船に対しての値とほぼ同値になる時間があったが、その後は負の値をとっていることから、衝突の危険性は小さかった可能性が考えられる。

② SJ

A船について、一時的に正（安全側を意味する）になる時間帯があるものの、23:50頃以降は負（危険側を意味する）の状態にあり、23:53直前には-2以下の数値を示していることから、衝突の危険性が極めて高い状態にあった可能性が考えられる。第三船（C船）に対しては、常に正側であることから衝突の危険性はほとんどなかった可能性が考えられる。

B船について見る。A船に対し、23:51頃から23:53頃まで値は負であり、23:53頃には-2以下の数値を示していることから、衝突の危険性が極めて高い状態にあった可能性が考えられる。第三船（D船）に対しては、23:51頃に負側になり、23:53頃まで継続して値が減少していることから、衝突の危険性が高まっている状態にあったが、A船に対する衝突危険性よりは低かったと考えられる。

③ BC

A船について観察する。B船のみに対しては、来島海峡航路を出る直前の23:50頃から衝突直前の23:53頃に値がほぼ0になる時間帯があり、操船困難度は極めて低かった可能性が考えられる。その他の時間帯については、最大でも値が0.22であり、操船困難度は低かった可能性が考えられる。第三船（C船）を考慮すると、23:49頃以降、B船のみに対する値よりも大きい値を示していることから、第三船（C船）の影響により操船困難度が多少上昇した可能性はあるものの、その最大値は衝突直前の約0.39であり、後述するB船のA船に対する操船

困難度よりも程度は低かったと考えられる。

B 船について見る．A 船のみの場合，A 船が第 4 号灯浮標で変針する前の 23:46 頃から継続して値が上昇しており，操船困難度が高まっている状態にあった可能性が考えられる．特に 23:53 直前から急激に値が上昇し，衝突直前には最大で約 0.90 であることから，いかなる操船によってもほとんど回避できない状況に陥っていた可能性が考えられる．第三船（D 船）を考慮した場合も，傾向は A 船のみの場合と同様であるが，23:53 頃以前の時間帯は第三船（D 船）が操船困難度に影響を及ぼした可能性が考えられる．

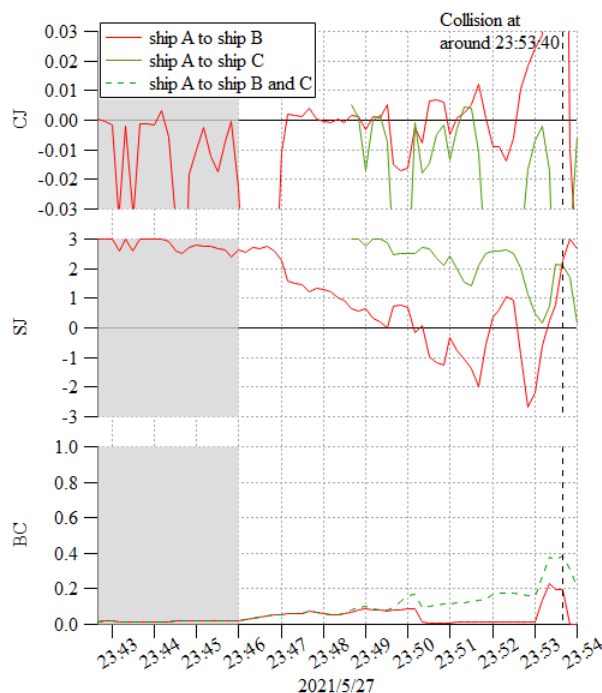


図 4.4 衝突危険度評価指標の時間変化（A 船）

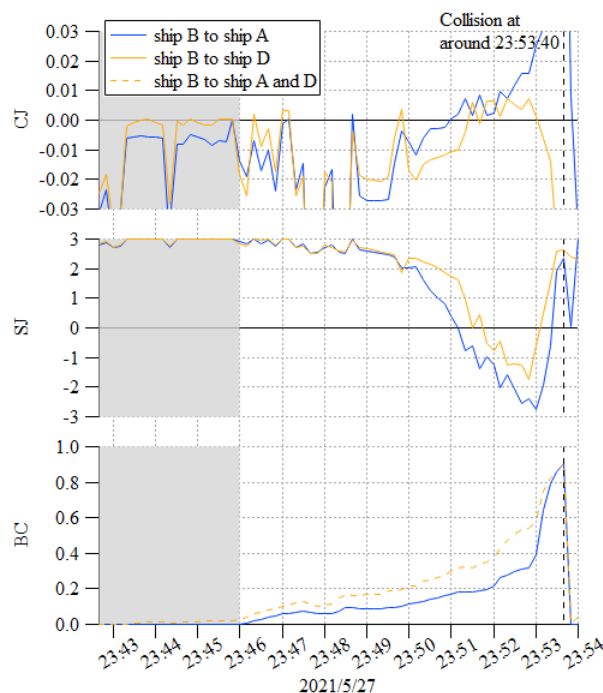


図 4.5 衝突危険度評価指標の時間変化（B 船）

4.3 OZT による衝突危険性評価

前節と同様に A 船は C 船を，B 船は D 船を考慮して，OZT により衝突危険性を評価した．図 4.6 は，A 船および B 船が遭遇した OZT (図 3.2 および図 3.3) について，評価エリアによりその危険性を識別し，遭遇時間をプロットしたタイムラインである．赤色矢印は衝突危険性が高い OZT（2.4 節を参照）に遭遇している時間，オレンジ色矢印は衝突危険性が低い OZT（2.4 節を参照）に遭遇している時間である．

① A 船

図 3.2 と合わせて A 船について観察する．A 船は，23:47:40 頃以降 B 船との OZT に遭遇しており，23:52:00 頃までは A 船の船首からの少し左舷側で衝突危険性が低い OZT に遭遇している．A 船の航路出口での変針（図 4.1）により，23:53:30 頃まで A 船のほぼ正面で衝突危険性が高い OZT に遭遇している．このことから，A 船は OZT に初めて遭遇した時間から船首正面に近い進路に OZT が存在しており，その余裕時間は徐々に短くなっている状況にあったと考えられる．特に 23:52:00 頃以降は，衝突の危険性が極めて高い状況にあった可能性が考えられる．なお，

B 船は 23:50 頃以降に少しずつ変針しており（図 4.1）、OZT の位置の変化に影響を及ぼした可能性が考えられる。

第三船（C 船）に対しては、23:51:50 頃に初めて OZT に遭遇しており、23:52:10 頃までは衝突危険性が高い OZT との遭遇であるが、図 3.2 から OZT の位置は B 船の OZT よりも遠方であることから、B 船に対する衝突もしくは異常接近までの余裕時間よりも比較的余裕はあった可能性が考えられる。それ以降 23:53:30 頃までは、A 船が来島海峡航路を出た後の変針により衝突危険性が低い OZT になっている。

② B 船

図 3.3 と合わせて B 船について見る。B 船は、23:47:40 頃以降 A 船との OZT に遭遇しており、23:52:10 頃までは B 船の船首の左舷側で衝突危険性が低い OZT に遭遇している。A 船の航路出口での約 30° の変針と B 船の少しずつの変針により、23:52:10 頃から 23:53:30 頃まで B 船のほぼ正面で衝突危険性が高い OZT に遭遇している。B 船は、OZT に初めて遭遇した時間から徐々に OZT の位置が B 船の進路に近づくとともに、余裕時間が徐々に短くなっている状況にあったと考えられる。特に 23:52:10 頃以降は、衝突の危険性が極めて高い状況にあった可能性が考えられる。

第三船（D 船）に対しては、23:47:20 頃に初めて OZT に遭遇しており、23:49:50 頃までは衝突危険性が低い OZT に、23:50:00 頃から 23:52:00 頃までは衝突危険性が高い OZT に、それ以降 23:53:40 頃までは再び衝突危険性が低い OZT に遭遇している。しかしながら、図 3.3 から 23:50 頃以降は、OZT の位置は A 船の OZT よりも遠方であることから、A 船に対する衝突もしくは異常接近までの余裕時間よりも比較的余裕はあった可能性が考えられる。

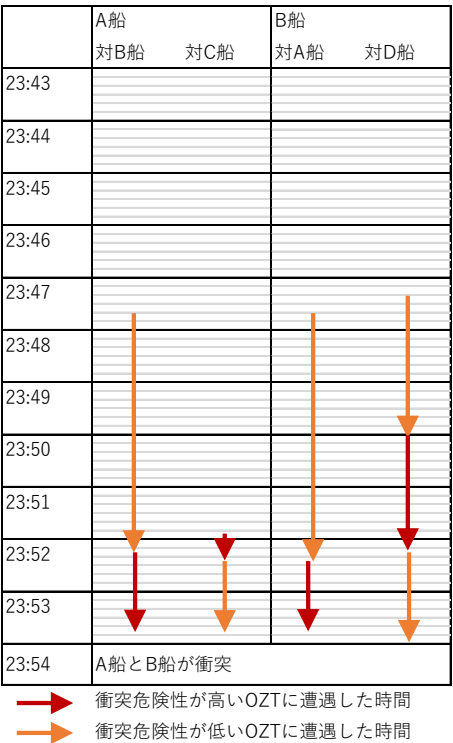


図 4.6 A 船および B 船が遭遇した OZT の危険性とタイムライン

5 まとめ

本調査の分析結果を示す。

航行影響評価

OZT を用いて、周囲を航行していた船舶群が衝突した 2 船への航行に及ぼした影響を評価した。その結果、A 船は C 船の、B 船は D 船の影響はなかったとまでは言えないと考えられる。

状態量の時間変化による状況結果

コンパス方位の変化率は、一時的に 2 度/分以下になる時間帯があったものの、それ以降は 2 度/分以上であった。DCPA は、一時的に上昇する時間帯はあるものの、継続して減少傾向にあり、23:52 頃には 0.2NM 未満と DCPA が極めて小さい状況にあった。BCR についてみると、A 船の船尾側を B 船が、B 船の船首側を A 船が通航する状況であった。両船ともに増減はあるものの、23:49 頃以降は継続して減少傾向にあり、特に 23:53 頃にはそれぞれ BCR は 0.20NM に満たない状態にあった。

衝突危険度指標による衝突危険性評価

CJ についてみると、A 船は 23:52 頃以降、B 船は 23:51 頃以降、それぞれ B 船、A 船に対して衝突の危険性が急増している状態にあった可能性が考えられる。両船ともに第三船（A 船は C 船、B 船は D 船）に対しては、衝突の危険性は小さかった可能性が考えられる。

SJ について、A 船は 23:50 頃以降、B 船は 23:51 頃以降、それぞれ B 船、A 船に対して衝突の危険性が急増している状態にあった可能性が考えられる。両船ともに 23:53 頃には SJ 値が -2 以下となり、衝突の危険性が極めて高かったと考えられる。両船ともに第三船（A 船は C 船、B 船は D 船）に対しては、衝突の危険性が高まっている状態にあったが、A 船対 B 船の関係における衝突危険性よりも低かったと考えられる。

BC について、A 船は、一時的にほぼゼロになる時間があり、B 船に対しては操船困難度が低い状態にあった可能性が考えられる。第三船（C 船）を考慮しても、B 船の A 船に対する操船困難度よりも低かったと考えられる。B 船は 23:46 頃から継続して操船困難度が上昇しはじめ、特に 23:53 頃から急激に BC 値が約 0.90 まで上昇していることから、いかなる操船によってもほとんど回避できない状況に陥っていた可能性が考えられる。第三船（D 船）を考慮した場合は、23:53 頃以前の時間帯は第三船（D 船）により操船困難度はより厳しくなった可能性が考えられる。

OZT による衝突危険性評価

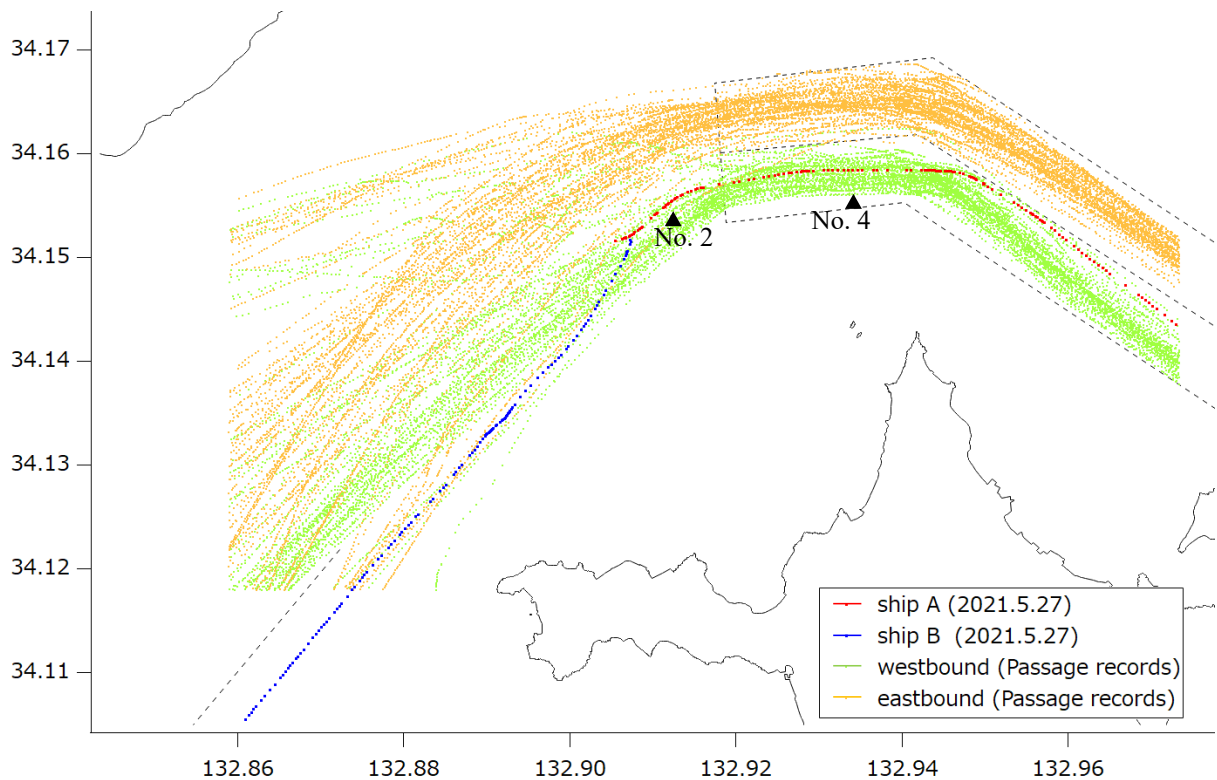
A 船は B 船の OZT に初めて遭遇した 23:47:40 頃以降から、船首正面に近い進路に OZT が存在しており、その余裕時間は徐々に短くなっている状況にあったと考えられる。特に 23:52:00 頃以降は、衝突の危険性が極めて高い状況にあった可能性が考えられる。第三船（C 船）に対しては、23:51:50 頃に初めて OZT に遭遇した後、一時的に衝突危険性の高い OZT に遭遇しているが、B 船の OZT よりも遠方であることから、B 船に対する衝突もしくは異常接

近までの余裕時間よりも比較的余裕はあった可能性が考えられる。

B 船は、23:47:40 頃に B 船の左舷前方にて A 船の OZT に初めて遭遇した後、23:52:10 頃から 23:53:30 頃まではほぼ正面で衝突危険性が高い OZT に遭遇している。徐々に OZT の位置が B 船の進路に近づくとともに、余裕時間が徐々に短くなっている状況にあったと考えられる。特に 23:52:10 頃以降は、衝突の危険性が極めて高い状況にあった可能性が考えられる。第三船（D 船）に対しては、23:47:20 頃に初めて OZT に遭遇した後、一時的に衝突危険性の高い OZT に遭遇しているが、B 船の OZT よりも遠方であることから、A 船に対する衝突もしくは異常接近までの余裕時間よりも比較的余裕はあった可能性が考えられる。

参考

事故発生当時の来島海峡の潮流（南流）における船舶がとりうる航跡の参考として、2021 年 4 月 30 日、2021 年 5 月 28 日、2021 年 6 月 28 日の AIS データから来島海峡を通航した船舶のみを抽出し、衝突した 2 船の航跡を重ねた。



参考図：南流時における通航実態と事故時の航跡

- 1 小林弘明:船舶避航操縦の解析 - 人間・機械系解析の観点より, 日本航海学会論文集, 第 56 号, pp. 101-109, 1976.
- 2 原潔:輻輳海域における避航操船基準の有効性, 日本航海学会論文集, 第 85 号, pp. 33-40, 1991.
- 3 長澤明:避航を考慮した海上交通シミュレーション, 航海, pp. 28-34, 1984.
- 4 今津 隼馬:衝突針路を使った OZT 算出方法, 日本航海学会誌 Navigation, 第 188 号, pp.78-81, 2014.
- 5 H. Imazu, Evaluation Method of Collision Risk by Using True Motion, J. TransNav, Vol.11, No.1 , pp. 65-70, 2017.
- 6 運輸安全委員会:船舶事故調査報告書, https://www.mlit.go.jp/jtsb/ship/rep-acci/2018/MA2018-2-2_2016tk0008.pdf (2022 年 2 月 7 日現在)
- 7 三宅里奈, 漆谷伸介:事故解析における衝突危険度指標を用いた状況認識評価 -定量的な衝突危険度指標-, 日本航海学会講演予稿集, 第 9 巻, 第 2 号, pp.63-66, 2021.
- 8 三宅里奈, 漆谷伸介:事故解析における衝突危険度指標を用いた状況認識評価 - OZT (Obstacle Zone by Target)-, 日本航海学会講演予稿集, 第 10 巻, 第 1 号, pp.70-73, 2022.
- 9 原潔:避航操船に関する研究, 大阪大学博士論文, 1983, <https://ir.library.osaka-u.ac.jp/repo/ouka/all/33738/> (2022 年 2 月 7 日現在)
- 10 辻啓介, 伊藤隆之:方位変化速度について, 日本航海学会論文集, 第 117 号, pp. 67-73, 2007.

沈没に係る解析調査（貨物船 A 沈没事故）

報 告 書

令和 4 年 3 月

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所

目 次

はしがき	1
1. 復原性の推定	2
1.1 事故発生前の復原性能の推定	2
1.1.1 重量・重心の設定	2
1.1.2 復原力の計算結果	2
1.2 復原性基準への適合状況の確認	3
2. 転覆・沈没に至る状況の推定	5
2.1 浸水の発生状況の想定	5
2.2 転覆に至る状況の検討	5
2.2.1 検討した状況	5
2.2.2 船長が退船を判断した時点までの状況の検討	6
2.2.3 船体が横倒しになった状況の検討	9
2.3 沈没に至る状況の検討	13
2.3.1 上甲板（No.2 甲板）以下の全浮力の計算	13
2.3.2 船側外板非損傷車両区画（No.1～No.3 甲板）の浸水容積及び浸水の可能性の確認	14
2.3.3 車両区画浸水時の排水量と全浮力の比較	15
3. まとめ	16
付録 1 船内浸水量の概算	17
付録 2 浸水の間段階の検討	19
A2.1 衝突による破口発生直後の状態	19
A2.1.1 浸水状態の想定と車両区画の取り扱い	19
A2.1.2 浸水の間段階の船体傾斜の推定	19
A2.2 B1 甲板舷端が没水した後の状態	23
A2.2.1 浸水状態の想定と車両区画の取り扱い	23
A2.2.2 浸水の間段階の船体傾斜の推定	23

はしがき

本解析調査では、令和3年5月27日、来島海峡西口付近で発生した貨物船 A 沈没事故調査に資するため、

(1) 復原性の推定

(2) 転覆・沈没に至る状況の推定

を行った。具体的な解析調査の内容は以下の通りである。

(1) 復原性の推定

貨物船 A（以下、「本船」と記す。）について、神戸港出港時の状態に基づき事故発生（衝突発生）前の復原性を推定するとともに、復原性基準への適合状況を確認した。

(2) 転覆・沈没に至る状況の推定

①衝突による破口が発生し、ラッシングが破断するまでの状況

衝突で外板が損傷し破口が生じた区画の浸水量を想定して横傾斜角を計算することで、本船が破口からの浸水により横傾斜しラッシングが破断するまでの浸水状況及び横傾斜の状況を推定した。

②ラッシングが破断した後の状況

ラッシングが破断した後の搭載車両の船幅方向の移動による傾斜モーメントを想定し、横傾斜の状況を推定した。

③転覆に至る状況

②の検討結果を基に、本船が船内浸水により復原性が低下した状態で、搭載車両が船幅方向に移動して生じた傾斜モーメントが加わり転覆に至る状況を推定した。

④沈没に至る状況

衝突により外板が損傷して浮力が減少するとともに、海水が損傷による破口以外の開口部からも船内に流入して、本船が沈没に至る状況を推定した。

1. 復原性の推定

神戸港出港時の状態に基づき、事故発生（衝突発生）前の本船の復原性を推定するとともに、復原性基準への適合状況を確認した。

1.1 事故発生前の復原性能の推定

1.1.1 重量・重心の設定

調査官から提示された本船の線図及び復原性資料、オペレーターの報告（甲板ごとの搭載車両の合計重量）、油回収業者の報告（燃料油他の回収量）、船主の報告（清水、バラスト水搭載量及び事故当日神戸港出港時の喫水）を基に重量・重心計算や喫水、排水量の推定計算を行ってデータ間の整合性を確認した。

その結果、事故発生前の本船の排水量及び重心位置（前後方向・上下方向）は、以下のように設定することとした。

- ① 排水量及び重心の前後位置は、神戸港出港時の喫水（船首喫水標: $dF = 5.50\text{m}$ 、船尾喫水標: $dA = 7.50\text{m}$ ）で排水量計算を行い設定した。その際、重心の前後位置は浮心の前後位置と一致しているとして取り扱った。
- ② 重心高さ（重心の上下位置）は、通常重量・重心計算と同様に復原性資料に示された軽荷重量や当日の車両等の搭載物の上下方向の重量モーメントの合計を排水量で除した値とした。

事故発生前の復原性能の推定に用いた排水量（ W ）、重心位置（前後位置: mid-G 、上下位置: KG ）を表 1.1.1 に示す。表中には、建造時に作成された復原性資料に記載されたうち、排水量がほぼ等しい標準積付状態 3-1 出港時（以下、「建造時標準積付状態」と記す。）の値も示している。なお、表 1.1.1 の GG' は各種タンクの自由表面を有する液体による見掛けの重心上昇量（自由水影響）である。

表 1.1.1 重量・重心（事故発生前及び建造時標準積付状態）

	W (tf)	mid-G (m)	KG (m)	GG' (m)
事故発生前	13,082	8.17	11.66	0.62
建造時標準積付状態	12,933	6.60	12.29	0.26

1.1.2 復原力の計算結果

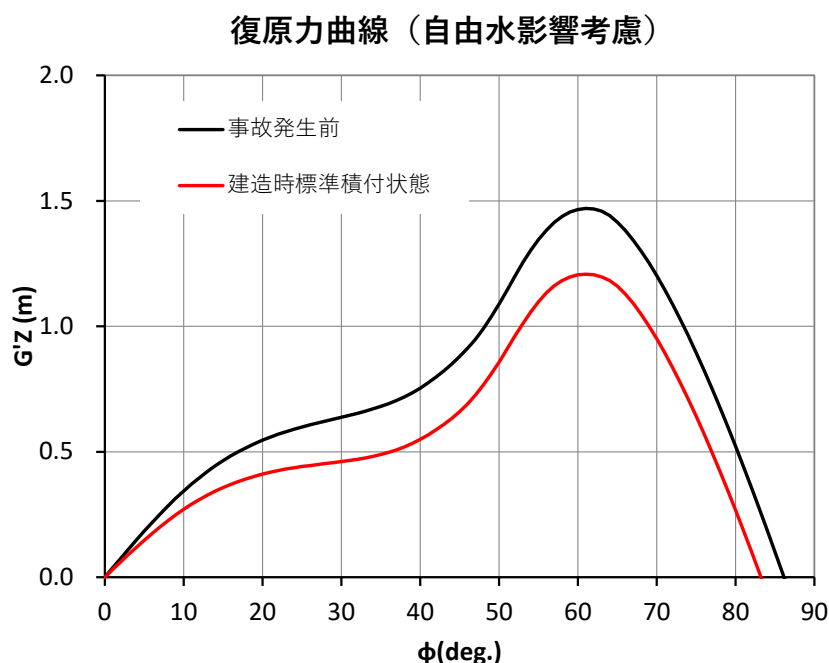


図 1.1.1 復原力曲線（事故発生前及び建造時標準積付状態）

表 1.1.1 に示した重量・重心で事故発生前の本船の各種タンクの自由水影響を考慮した復原力（復原てこ $G'Z$ ）を計算した結果を図 1.1.1 に示す。また、自由水影響を考慮したメタセンタ高さ（ $G'M$ ）、喫水（ df ：船首喫水， da ：船尾喫水， dm ：平均喫水）、海水流入角（ ϕ_{w2} ）、船体中央における No.2 甲板（上甲板）舷端没水角（ ϕ_{D2} ）の計算結果を表 1.1.2 にまとめて示す。海水流入位置は、No.2 甲板レベルの係船甲板に設置された通風装置である。

表 1.1.2 メタセンタ高さ，喫水，海水流入角及び上甲板舷端没水角の計算結果
（事故発生前及び建造時標準積付状態）

	$G'M$ (m)	df (m)	da (m)	dm (m)	ϕ_{w2} (deg.)	ϕ_{D2} (deg.)
事故発生前	2.15	5.47	7.65	6.56	71.14	51.47
建造時標準積付状態	1.76	5.88	7.24	6.56	69.51	51.59

図 1.1.1 及び表 1.1.2 には参考のため、復原性資料に記載された建造時標準積付状態の計算結果も示している。これらの図表から事故発生前の本船は、建造時に復原性能が確認された標準積付状態に比べて、初期復原力（ $G'M$ ）、大傾斜での復原力（ $G'Z$ ）とも良好であったと推測されることが分かる。

1.2 復原性基準への適合状況の確認

表 1.1.1 に示した報告された喫水標位置の喫水（ $dF = 5.50m$, $dA = 7.50m$ ）から算定した排水量（ $W = 13,082tf$ ）、重心の前後位置（ $mid-G = 8.17m$ ）と重量・重心計算で求められた重心の上下位置（ $KG = 11.66m$ ）を事故発生前の状態として復原性基準への適合状況を確認した（表 1.2.1、図 1.2.1）。表中には排水量がほぼ等しい建造時標準積付状態（図 1.2.2）の値も示している。

表 1.2.1 復原性基準適合状況

	A_{30} (m-rad)	A_{40} (m-rad)	A_{30-40} (m-rad)	$G'Z_{max}$ (m)	ϕ_{max} (deg.)	$G'M$ (m)	$G'Z(30)$ (m)	ϕ_0 (deg.)	$A(b)/A(a)$ (=c)
事故発生前	0.215	0.335	0.120	1.47	61	2.15	0.64	4.95	3.08
建造時標準積付状態	0.163	0.249	0.086	1.21	61	1.76	0.46	6.38	2.15
基準値	≥ 0.055	≥ 0.09	≥ 0.03	≥ 0.20	$\geq 25(30)$	≥ 0.15	≥ 0.20	≤ 16	≥ 1

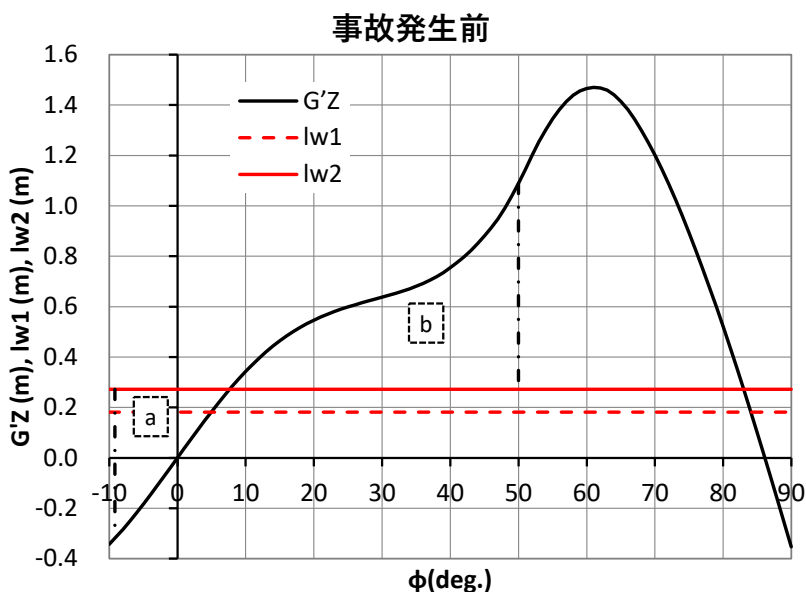


図 1.2.1 復原性基準（C 係数基準）への適合状況の検証計算^{注1）}（事故発生前）

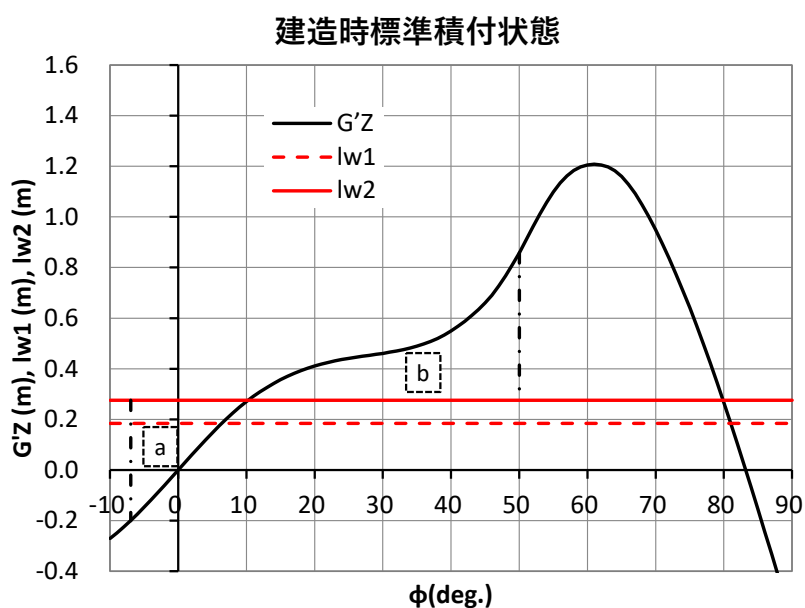


図 1.2.2 復原性基準（C 係数基準）への適合状況の検証計算^{注1)}（建造時標準積付状態）

表 1.2.1 で A_{30} , A_{40} , A_{30-40} は、それぞれ傾斜角 30 度まで、40 度まで、30~40 度の横軸と復原力曲線に囲まれた部分の面積、 $G'Z_{max}$, ϕ_{max} は復原てこ（ $G'Z$ ）の最大値と最大値が生じる傾斜角、 $G'Z(30)$ は傾斜角 30 度における復原てこ、 ϕ_0 は風速 26m/s の定常横風による傾斜角、 $A(b)/A(a)$ ^{注2)} は所謂 C 係数を示す。

表 1.2.1, 図 1.2.1 及び図 1.2.2 から、本船は事故発生前の状態で、①復原性基準に適合していたこと、②建造時に検討された標準積付状態の出港時に比較して復原性能が良好であったと考えられることが分かる。

注 1) 図 1.2.1 及び図 1.2.2 において、 $lw1$ は風速 26m/s の定常横風による傾斜偶力てこ、 $lw2$ は突風を想定した $lw1$ の 1.5 倍の傾斜偶力てこを表す。また、“a”は C 係数基準の想定状況で傾斜側に作用するエネルギー範囲、“b”は復原側に作用するエネルギー範囲を示す。

注 2) 表 1.2.1 において $A(b)/A(a)$ は、船舶復原性規則第十一条第二項第五号に規定された面積 ABC/面積 BDE に対応する。

2. 転覆・沈没に至る状況の推定

本船は衝突により左舷側船体中央付近の船側外板に破口が生じ、破口から船内への浸水が発生し左舷側に傾斜して、転覆・沈没したとのことである。調査官から説明された衝突後の状況は以下の通りである。

- ① 23 時 54 分頃：衝突発生
- ② 23 時 55 分頃：船体が傾斜（救助船が確認）
- ③ 0 時 01 分頃：船長が退船判断（来島マーチスに連絡），半分水没して左に傾斜（救助船が確認）
- ④ 0 時 10 分頃：船体は横倒し（他船の連絡），来島マーチスからの呼び出しに応答なし
- ⑤ 2 時 45 分頃：沈没

なお、調査官からは、①～③の間でラッシングが切れる音を聞いた、③の時点で船体は 45 度以上傾斜していた、No.2 甲板（上甲板）まで海水に浸かっていた、③～④の間で No.4 甲板（居住区域）のハンドレールが水に浸かっていたとの船員の話があると説明があった。

ここでは、衝突により発生した船側外板の破口から船内区画への浸水により、復原力が低下するとともに予備浮力が減少する状況で、船体が傾斜し、ラッシングが破断して搭載車両が船幅方向に移動（横移動）した後、転覆し、沈没に至った状況を船内浸水の影響を考慮した復原力と想定される傾斜モーメントの準静的な釣り合い状態を求めることなどを行って検討する。

2.1 浸水の発生状況の想定

調査官から示された沈没した船体に対する ROV を用いた船側外板の破口の調査結果では、垂直（深さ/高さ）方向と縦（船長）方向の損傷範囲は、左舷側船体中央付近でほぼ B3 甲板（舷側における基線上高さ 2.55m，以下、煩雑なため単に「高さ」と記る。）レベルから No.1 甲板（高さ 13.61m）レベルの間の高さ約 11m，下底（B3 甲板レベル）約 1m，上底（No.1 甲板レベル）約 16m の台形形状となっていた。なお、破口の調査結果には、横（船幅）方向の損傷範囲については示されていないが、船側外板の破口周辺の B2 甲板，B1 甲板，No.1 甲板の一部も損傷したことが想定される。一方、表 1.1.2 に示したように事故発生前の船体中央の喫水（平均喫水）は 6.56m と推定され、衝突により船側外板に破口が発生した際には B2 甲板は水面下にあったと考えられる。

そこで、本船の一般配置図や中央断面図を踏まえて、今回の解析では浸水経路を以下のように想定した。

- ①衝突により破口が発生した直後に、B3 甲板レベルの No.4W.B.T.(P)と B2 甲板車両区画に浸水した。
- ②B2 甲板車両区画への浸水の一部は、同区画のランプウェイ開口部から B3 甲板車両区画へ流下した。
- ③船内浸水による重量増加に伴う喫水の増加と No.4W.B.T.(P)への非対称浸水による横傾斜により、B1 甲板舷端が没水した後は、船側外板の破口から B2 甲板車両区画に加えて B1 甲板車両区画にも浸水した。

また、B1 甲板車両区画へ浸入した海水が、船側外板の破口周辺の No.1 甲板に想定される損傷箇所から No.1 甲板車両区画へ浸水することも考えられる。なお、各車両区画には No.4 甲板上に設置された通風装置に通じる通風筒の開口が複数箇所設けられていた。そのため、浸水の進展に伴い車両区画の空気は外部に逃れ、浸水を妨げるようなことはなかったと考えた。

2.2 転覆に至る状況の検討

2.2.1 検討した状況

付録 1 に、調査官から示された破口の調査結果に基づき、事故時の状態で船内への浸水量を概算した結果を示す。平行沈下を仮定した場合、2.1 節で説明した衝突により発生した破口から、船長が退船を判断した時点（衝突発生約 7 分後）までに、事故発生前の排水量（13,082tf）を超える規模の船内浸水が発生して、船体中央の喫水が 11.80m（No.1 甲板下 1.81m）に増加し、浸水した船内区画の水位と船外の水位が一致する平衡状態に達した可能性があることが確認された。

そこで、船長が退船を判断した時点までの状況に関しては、浸水範囲を No.4W.B.T.(P)と B3 甲板～B1 甲板車両区画と考え、その後、船体が横倒しとなり転覆に至った状況に関しては、No.1 甲板車両区画にも浸水を想定して検討することとした。

2.2.2 船長が退船を判断した時点までの状況の検討

救助船や船員の説明によると、衝突発生約7分後に船長が退船を判断した時点までに、衝突直後から始まった傾斜が増大してラッシングが破断し、船体傾斜が45度以上となり、No.2甲板（上甲板）まで海水に浸かった状態となったとのことである。ここでは、浸水範囲をNo.4 W.B.T.(P)とB3甲板~B1甲板車両区画として、ラッシングが破断する前と破断した後について船内浸水の影響を考慮した復原力と想定される傾斜モーメントの準静的な釣り合い状態を求めることで、救助船や船員が説明した状況について検討した。その際、船長が退船を判断した時点までに、本船は平衡状態に達した可能性があると考えられたこと（付録1）から、上述の範囲の浸水の最終状態（平衡状態）で検討することとした。なお、最終状態より危険な状況となる可能性がある浸水の中間段階¹⁾についても、若干の検討を行った（付録2）。

(1)ラッシングが破断する前の状況

ラッシングが破断する前の状況の検討に用いた船内浸水の影響を考慮した復原力は、浮力消失法²⁾で推定した。その際、バラスト水を部分搭載していたNo.4 W.B.T.(P)は満水になるとし、車両区画の浸水率は90%とした。但し、使用した復原力計算プログラムの制限によりNo.4 W.B.T.(P)とB3甲板車両区画の浸水については、重量付加法²⁾での取り扱い（重量・重心計算で算入）を行った。

また、ラッシングが破断する前の状況における傾斜モーメントとしては、事故発生前にバラスト水を部分搭載していたNo.4 W.B.T.(P)が満水になったことによる船幅方向（横方向）の重量モーメントの増加分を想定した。

(a)重量・重心

復原力の推定に用いた排水量（W）、重心位置（前後位置: mid-G、上下位置: KG）を表2.2.1に示す。想定した範囲の浸水の最終状態（平衡状態）における排水量、重心には、バラスト水を部分搭載（搭載重量179tf）していたNo.4 W.B.T.(P)が浸水し満水状態になったこと、浸水率90%でB3甲板車両区画に浸水したことによる重量や重量モーメントの変化を考慮している。その際、No.4 W.B.T.(P)の満載容積は復原性資料に示された272m³とし、B3甲板車両区画の容積は復原性資料に示された車両区画の面積にB3甲板とB2甲板の甲板間の鉛直距離（甲板間高さ）を乗じた2,119 m³とした。

表2.2.1には、参考のため、事故発生前（神戸港出港時）の値、衝突によりNo.4 W.B.T.(P)だけが浸水し満水になったと仮定した状態の値も示している。バラスト水を部分搭載していたNo.4 W.B.T.(P)への浸水重量は100tfであり、浸水率90%としたB3甲板車両区画へ浸水重量は1,960tfである。なお、B2甲板とB1甲板の車両区画への浸水は浮力消失法で取り扱っているため、重量・重心計算には反映されない。また、表2.2.1に示したGG'は各種タンクの自由表面を有する液体による見掛けの重心上昇量（自由水影響）であり、No.4 W.B.T.(P)の自由水影響は事故発生前の状態だけ考慮している。

表 2.2.1 重量・重心（船長が退船を判断した時点までの状況の検討）

	W (tf)	mid-G (m)	KG (m)	GG' (m)
浸水平衡状態	15,142	6.78	10.61	0.52
事故発生前	13,082	8.17	11.66	0.63
No.4 W.B.T. (P) のみ満水(仮定)	13,182	8.08	11.62	0.60

(b)復原力

表2.2.1に示した重量・重心でB2甲板とB1甲板の車両区画への浸水を浮力消失法で計算した復原力を図2.2.1に示す。図2.2.1に示した復原力（復原てこG'Z）は、各種タンクの自由水影響も考慮している。また、自由水影響を考慮したメタセンタ高さ（G'M）、喫水（df：船首喫水、da：船尾喫水、dm：平均喫水）、海水流入角（ ϕ_{w2} ）、No.2甲板（上甲板）舷端没水角（ ϕ_{D2} ）、No.1甲板舷端没水角（ ϕ_{D1} ）の計算結果を表2.2.2にまとめて示す。 ϕ_{D2} 、 ϕ_{D1} はいずれも船体中央位置で計算した値である。また、図2.2.1及び表2.2.2

には、参考のために事故発生前と No.4 W.B.T.(P)だけが浸水し満水になったと仮定した状態の計算結果も示している。

浸水範囲を No.4 W.B.T.(P)と B3 甲板~B1 甲板車両区画とした平衡状態では、メタセンタ高さが負 ($G'M = -1.64\text{m}$: 表 2.2.2) で直立状態が不安定となり、約 33 度傾斜した状態 (図 2.2.1 に示した復原力曲線と横軸との原点以外の交点) で安定する。また、表 2.2.2 に示した No.1 甲板舷端没水角 ϕ_{D1} は約 10 度であることから、傾斜した安定状態では No.1 甲板舷端は没水しており、甲板の一部に想定される損傷箇所から No.1 甲板車両区画へ浸水することも考えられる。

なお、表 2.2.2 に示した浮力消失法で計算した浸水平衡状態の喫水 ($df = 14.60\text{m}$, $da = 8.68\text{m}$) で船側外板に破口がない非損傷状態の排水量を計算すると 29,640tf となる。表 2.2.1 に示した No.4 W.B.T.(P)と B3 甲板車両区画の浸水を重量付加法で取り扱った排水量が 15,142tf であること、浮力消失法の計算では車両甲板への浸水率を 90%としたことを考慮すると、浸水平衡状態における B2 甲板と B1 甲板の車両区画への浸水重量として約 13,000tf を想定したことになる。

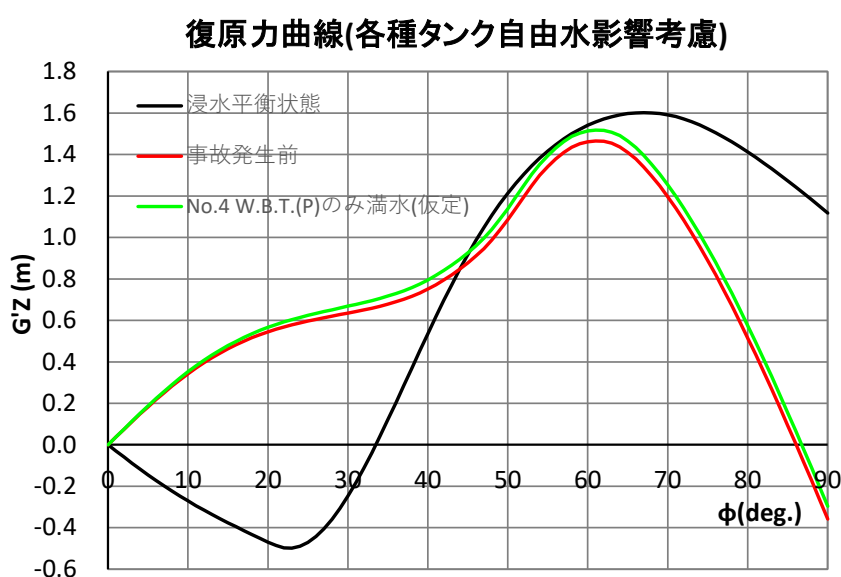


図 2.2.1 復原力曲線 (船長が退船を判断した時点までの状況の検討)

表 2.2.2 メタセンタ高さ、喫水、海水流入角及び舷端没水角の計算結果
(船長が退船を判断した時点までの状況の検討)

	$G'M$ (m)	df (m)	da (m)	dm (m)	ϕ_{W2} (deg.)	ϕ_{D2} (deg.)	ϕ_{D1} (deg.)
浸水平衡状態	-1.64	14.60	8.68	11.64	48.35	36.98	10.14
事故発生前	2.14	5.47	7.65	6.56	71.14	51.47	32.58
No.4 W.B.T. (P) のみ満水(仮定)	2.20	5.53	7.66	6.59	70.86	51.32	32.40

(c)傾斜モーメント

ラッシングが破断する前の状況における傾斜モーメントとしては、No.4 W.B.T.(P)が浸水により満水状態になったことによる横方向の重量モーメントの増加分を想定した。No.4 W.B.T.(P)が満水状態になったことによる重量の増加 (δw) は 100tf であり、それに対応する横方向の重心位置の変化を復原性資料に掲載された図から読み取った結果、横方向の重量モーメントの増加分 ($\delta w \cdot l$) は 956tf-m となった。なお、傾斜モーメントとしては、傾斜角を ϕ とした場合に、横方向の重量モーメントの増加分に $\cos \phi$ を乗じた値 ($\delta w \cdot l \cos \phi$) が作用するとした。

(d)船体状態

浸水平衡状態の船体傾斜は、船内浸水の影響を考慮した復原力と想定される傾斜モーメントの準静的な釣り合い状態の傾斜角 ϕ_E として (2.2.1) 式で求めた。

$$W \cdot G'Z(\phi_E) = \delta w \cdot l \cos \phi_E \quad (2.2.1)$$

表 2.2.3 に浸水平衡状態の船体傾斜を示す。表中には参考のため、No.4 W.B.T.(P)だけが浸水し満水になったと仮定した状態の計算結果も示している。また、比較のため船体中央における No.2 甲板（上甲板）舷端没水角（ ϕ_{D_2} ）も再掲した。表 2.2.3 に示したように、浸水範囲を No.4 W.B.T.(P)と B3 甲板~B1 甲板車両区画とした平衡状態では、No.4 W.B.T.(P)の非対称浸水により約 34 度横傾斜すると推定され、No.2 甲板舷端没水角約 37 度に近い大傾斜が発生する状況となると考えられる。

表 2.2.3 船体傾斜（ラッシングが破断する前）

	ϕ_E (deg.)	ϕ_{D_2} (deg.)
浸水平衡状態	34.15	36.98
No.4 W.B.T. (P) のみ満水(仮定)	1.91	51.32

(2)ラッシングが破断した後の状況

ラッシングが破断して搭載車両が横移動した後の状況では、船内浸水の影響を考慮した復原力はラッシングが破断する前の状況と同一とし、想定する傾斜モーメントとして、事故発生前にバラスト水を部分搭載していた No.4 W.B.T.(P)が浸水により満水状態になったことによる横方向の重量モーメントの増加分に加えて、搭載車両の横移動により発生した横方向の重量モーメントを考慮することとした。

(a)傾斜モーメント

調査官から提示された本船の事故当時の車両の積載状況に関するオペレーターの情報は、各甲板（B2 甲板~No.3 甲板）の搭載車両の種類ごとの、台数、重量及び凡その搭載場所であり、実際の車両の個別搭載位置は不明とのことであった。なお、オペレーターからは、車両搭載前に積載プランを基に打合せを行って本船担当者がバラスト調整を行うことや、シャーシの計画積載位置や積荷明細書の情報が提供されたとのことであった。

今回の解析では、上記の他、調査官から提示された復原性資料の車両積付台数表（計画値）に記載されたシャーシ、乗用車の積付間隔、船内写真を踏まえて、事故当時の車両の積付間隔、側壁との隙間を想定した。そして、ラッシングが破断して搭載車両が船幅方向に横移動した後は、側壁との隙間や車両の積付間隔がなくなるとして、横方向の重量モーメントを推定した。

その結果、オペレーターから提供された情報から算定した事故当時の搭載車両の合計重量（ w_{car} ）は 1788.8tf、ラッシングが破断後、全ての搭載車両が想定した側壁との隙間や車両の積付間隔がなくなるまで横移動したとした場合に発生する横方向の重量モーメント（ $w_{car} \cdot l_s$ ）は 4,525tf-m となった。

なお、搭載車両の横移動による傾斜モーメントとしては、傾斜角を ϕ とした場合に、横方向の重量モーメントに $\cos \phi$ を乗じた値（ $w_{car} \cdot l_s \cos \phi$ ）が作用するとした。

(b)船体傾斜

浸水平衡状態でラッシングが破断した後の船体傾斜は、船内浸水の影響を考慮した復原力と No.4 W.B.T.(P)が満水状態になったことと搭載車両が横移動したことで想定される傾斜モーメントの準静的な釣り合い状態の傾斜角 $\phi_{E_car\ shift}$ として (2.2.2) 式で求めた。

$$W \cdot G'Z(\phi_{E_car\ shift}) = (\delta w \cdot l + w_{car} \cdot l_s) \cos \phi_{E_car\ shift} \quad (2.2.2)$$

表 2.2.4 に浸水平衡状態でラッシングが破断した後の船体傾斜を示す。表中には、比較のため船体中央における No.2 甲板（上甲板）舷端没水角（ ϕ_{D_2} ）も再掲するとともに、No.4 甲板（居住区域）の居住区域中央におけるハンドレールの没水角（ ϕ_{HR_4} ）も示した。表 2.2.4 に示したように、浸水範囲を No.4 W.B.T.(P)と B3 甲板~B1 甲板車両区画とした浸水平衡状態では、搭載車両が横移動した場合約 37 度横傾斜すると推定される。これは、No.2 甲板舷端没水角 ϕ_{D_2} に対応する大傾斜状態であり、No.1 甲板車両区画の左舷側は水面下となる状況と考えられる。ただし、船員が説明した、船長が退船を判断した時点までの状況として船体傾斜が 45 度以上となっていたことについては、浸水範囲を No.4 W.B.T.(P)と B3 甲板~B1 甲板車両区画とした浸水平衡状態を想定した計算結果からは説明できない。そのため、事故発生時には付録 2 に示した浸水の間段階であったか、あるいは 2.2.3 節で説明するように、No.1 甲板車両区画にも浸水があったことが想定される。

表 2.2.4 船体傾斜（ラッシングが破断した後）

	$\phi_{E_Car\ shift}$ (deg.)	ϕ_{D_2} (deg.)	ϕ_{HR_4} (deg.)
浸水平衡状態	37.04	36.98	52.98

2.2.3 船体が横倒しになった状況の検討

2.2.2 節では、船長が退船を判断した時点までの状況について、浸水範囲を No.4 W.B.T.(P)と B3 甲板~B1 甲板車両区画とした浸水の最終状態（平衡状態）で検討した。その結果、傾斜モーメントとして No.4 W.B.T.(P)が浸水により満水状態になったことと搭載車両が横移動したことを想定した場合、準静的な釣り合い状態で、船員の説明に対応する No.2 甲板舷端没水角に対応する約 37 度の横傾斜が発生することが推定された。一方、船体傾斜が 45 度以上となっていたと船員の説明については、上述の浸水範囲の最終状態（平衡状態）では説明できない。

ここでは、船長が退船を判断した時点以降に船体が横倒しとなり転覆に至った状況について、衝突により左舷側船体中央付近の船側外板の破口周辺の No.1 甲板も損傷したと想定されることから、No.4 W.B.T.(P)と B3 甲板~B1 甲板車両区画に加えて No.1 甲板車両区画にも浸水を想定して検討する。

(1)No.1 甲板車両区画の浸水の最終状態（平衡状態）

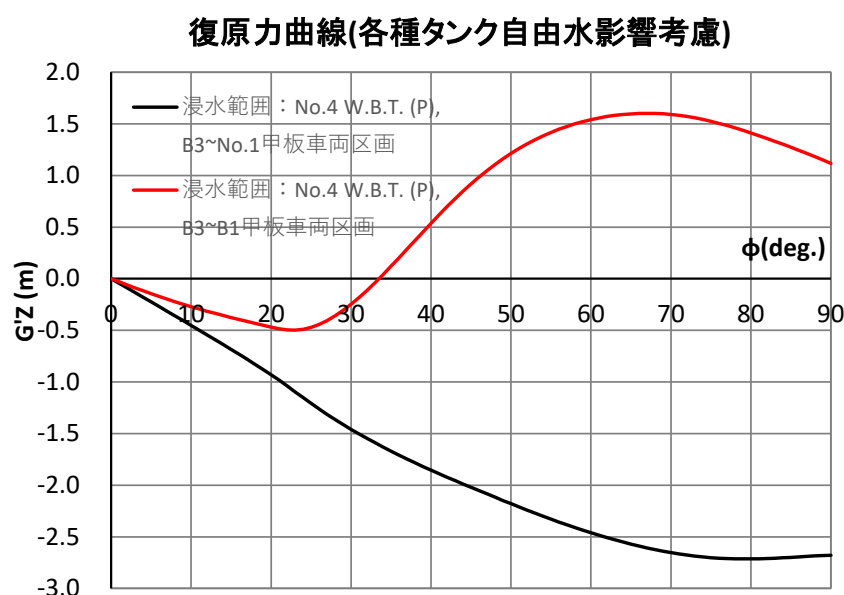


図 2.2.2 復原力曲線（船体が横倒しになった状況の検討：最終状態（平衡状態））

まず、B2 甲板と B1 甲板に加え No.1 甲板の車両区画の浸水を浸水率 90%として浮力消失法で取り扱い、最終状態（平衡状態）を検討した。その際、船内浸水の影響を考慮した復原力計算に用いる排水量、重心として、バラスト水を部分搭載（搭載重量 179tf）していた No.4 W.B.T.(P)が満水状態になったことと浸水率 90%で B3 甲板車両区画に浸水したことによる重量や重量モーメントの変化を考慮した表 2.2.1 の“浸水平衡状態”の値を用いた。

図 2.2.2 に B2 甲板~No.1 甲板の車両区画の浸水を浮力消失法で取り扱った復原力を示す。図 2.2.2 に示した復原力（復原てこ $G'Z$ ）は、各種タンクの自由水影響も考慮している。また、自由水影響を考慮したメタセンタ高さ（ $G'M$ ）、喫水（ df ：船首喫水、 da ：船尾喫水、 dm ：平均喫水）、海水流入角（ ϕ_{w_2} ）、船体中央における No.2 甲板（上甲板）舷端没水角（ ϕ_{D_2} ）、No.4 甲板（居住区域）の居住区域中央におけるハンドレール没水角（ ϕ_{HR_4} ）の計算結果を表 2.2.5 にまとめて示す。図 2.2.2 及び表 2.2.5 には、参考のため、2.2.2 節で説明した浸水範囲を No.4 W.B.T.(P)と B3 甲板~B1 甲板車両区画とした状態（2.2.2 節における浸水平衡状態）の計算結果も再掲している。

表 2.2.5 メタセンタ高さ、喫水、海水流入角及び舷端、ハンドレール没水角の計算結果
（船体が横倒しになった状況の検討：最終状態（平衡状態））

想定浸水範囲	$G'M$ (m)	df (m)	da (m)	dm (m)	ϕ_{w_2} (deg.)	ϕ_{D_2} (deg.)	ϕ_{HR_4} (deg.)
No.4 W.B.T. (P), B3~No.1 甲板車両区画	-2.56	15.09	8.59	11.84	29.21	29.30	42.60
No.4 W.B.T. (P), B3~B1 甲板車両区画	-1.64	14.60	8.68	11.64	48.35	36.98	52.98

No.4 W.B.T.(P)と B3 甲板~B1 甲板車両区画に加え No.1 甲板車両区画も浸水範囲とした平衡状態では、メタセンタ高さが負（ $G'M = -2.56m$ ：表 2.2.5）で直立状態が不安定となり、90 度までの傾斜範囲で安定する状態（図 2.2.2 に示した復原力曲線と横軸との原点以外の交点）は存在しない。そのため、船長が退船を判断した時点以降に船体が横倒しとなった状態では、No.1 甲板車両区画の浸水は平衡状態には達していなかったと想定される。

なお、表 2.2.5 に示した No.1 甲板車両区画の浸水も浮力消失法で計算した浸水平衡状態の喫水（ $df=15.09m$ 、 $da=8.59m$ ）で船側外板に破口がない非損傷状態の排水量を計算すると 30,389tf となる。表 2.2.1 に示した No.4 W.B.T.(P)と B3 甲板車両区画の浸水を重量付加法で取り扱った排水量が 15,142tf であること、浮力消失法の計算では車両甲板への浸水率を 90%としたことを考慮すると、浸水平衡状態における B2 甲板~No.1 甲板の車両区画への浸水重量として約 13,700tf を想定したことになる。

(2)No.1 甲板車両区画の浸水の間段階

No.1 甲板車両区画の浸水が平衡状態に達する前の中間段階については、B2 甲板と B1 甲板の車両区画の浸水に関しては 2.2.2 節と同様に浮力消失法²⁾で取り扱い、No.1 甲板車両区画の浸水に関しては想定した浸水量を重量付加法²⁾で取り扱って検討した。なお、使用した復原力計算プログラムの制限により No.4 W.B.T.(P)と B3 甲板車両区画の浸水については、2.2.2 節と同様に重量付加法での取り扱い（重量・重心計算で算入）を行った。

(a)重量・重心

No.1 甲板車両区画を復原力計算プログラムの船内タンクとして取り扱い、当該区画への浸水量として 500 $m^3 \sim 3,000m^3$ を想定した場合の重量・重心計算結果を表 2.2.6 に示す。GG'は各種タンクの自由表面を有する液体による見掛けの重心上昇量（自由水影響）であり、No.4 W.B.T.(P)の自由水影響は算入されていない。

表 2.2.6 に示した重量・重心は、2.2.2 節で示した浸水範囲を No.4 W.B.T.(P)と B3 甲板~B1 甲板車両区画とした浸水平衡状態の計算に用いた重量・重心（No.4 W.B.T.(P)は満水状態、B3 甲板車両区画は浸水率 90%で満水状態）を No.1 甲板車両区画の浸水の初期状態（浸水量 0 m^3 ）として、No.1 甲板車両区画に想定した浸水

量（500 m³~3,000m³）を船内タンクへの液体（海水）の搭載量として入力して計算を行った結果である。なお、復原力計算プログラムにおいて、船内タンクの液体は体積を一定に保ったまま船体姿勢に応じて液面が水平になるようように調整されるため、実際の状況と同様に液体の搭載量（浸水量）が少ない場合には、船内タンクとして取り扱った No.1 甲板車両区画の一部にのみ海水が存在する状態で計算が行われる。そのため、表 2.2.6 に示した重心の前後位置 mid-G は浸水量によって大きく変化している。

表 2.2.6 重量・重心（船体が横倒しになった状況の検討：No. 1 甲板車両区画への浸水の間段階）

※ 表中の浸水量：No.1 甲板車両区画への浸水量

浸水量 (m ³)	W (tf)	mid-G (m)	KG (m)	GG' (m)
0	15,142	6.78	10.61	0.52
500	15,654	-4.71	10.72	0.51
1,000	16,167	-2.94	10.84	0.49
1,500	16,679	-1.37	10.97	0.48
2,000	17,192	-0.02	11.09	0.46
2,500	17,704	1.25	11.21	0.45
3,000	18,217	2.33	11.33	0.44

(b)復原力

表 2.2.6 に示した重量・重心で No.1 甲板の車両区画への浸水も考慮して計算した復原力（各種タンクタンクの自由水影響も考慮した復原でこ G'Z）を図 2.2.3 に示す。

図 2.2.3 に示した No.1 甲板の車両区画への浸水も考慮した復原力は、使用した復原力計算プログラムにおいて、No.1 甲板の車両区画への浸水を対応する船内タンク内で体積を一定に保ったまま船体姿勢に応じて液面が水平になるようように調整し、その体積中心を用いて評価した浸水の重量モーメントを船体の復原力（復原モーメント）に算入することで求めている。

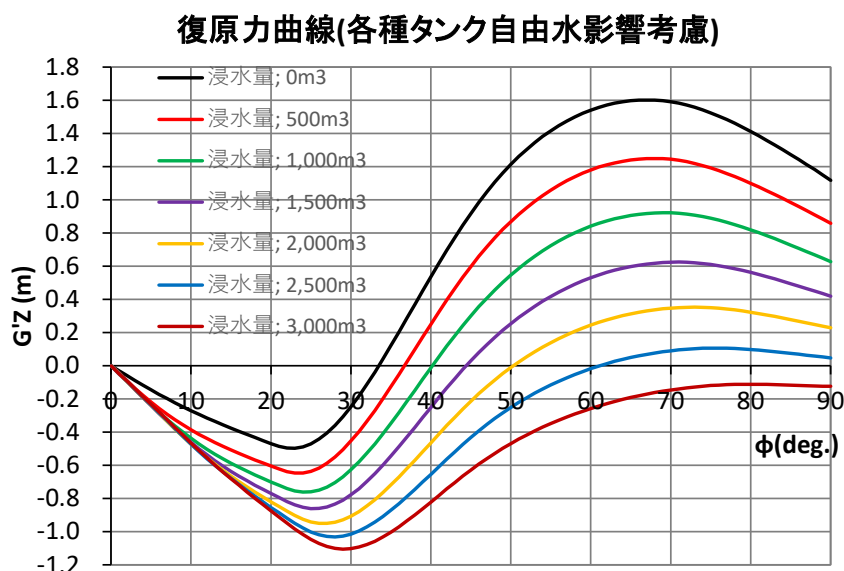


図 2.2.3 復原力曲線（船体が横倒しになった状況の検討：No. 1 甲板車両区画への浸水の間段階）

※ No.4W.B.T(P)と B3 甲板～B1 甲板車両区画は浮力を喪失した状態

※ 凡例の浸水量：No.1 甲板車両区画への浸水量

また、自由水影響を考慮したメタセンタ高さ（G'M），喫水（df：船首喫水，da：船尾喫水，dm：平均喫水），海水流入角（ ϕ_{w2} ），船体中央における No.2 甲板（上甲板）舷端没水角（ ϕ_{D2} ），No.4 甲板（居住

区域)の居住区域中央におけるハンドレール没水角 ($\phi_{HR,4}$) の計算結果を表 2.2.7 にまとめて示す。図 2.2.3 及び表 2.2.7 には、No.1 甲板の車両区画への浸水の初期状態として、2.2.2 節で説明した浸水範囲を No.4 W.B.T.(P)と B3 甲板~B1 甲板車両区画とした浸水平衡状態 (No.1 甲板車両区画の浸水量 0m^3) の計算結果も再掲している。

図 2.2.3 から No.1 甲板車両区画への浸水量が増加するに伴い、復原力曲線と横軸との原点以外の交点に対応する安定した傾斜状態の傾斜角が増大し、浸水量 $2,500\text{m}^3$ では約 60 度傾斜して安定状態となり、浸水量 $3,000\text{m}^3$ では 90 度までの傾斜範囲で安定する状態は存在しないことが分かる。また、表 2.2.7 から、No.1 甲板車両区画への浸水量が増加するに伴い、船首トリムが増大するとともに、海水流入位置を No.2 甲板レベルの係船甲板に設置された通風装置にとった海水流入角 $\phi_{W,2}$ が減少することが分かる。なお、浸水量にかかわらずメタセンタ高さ $G'M$ は負 (直立状態は不安定) であり、浸水量 $1,500\text{m}^3$ で $G'M = -3.45\text{m}$ と最も小さくなる。この $G'M$ は、No.1 甲板車両区画への浸水 (復原力計算プログラム上は船内タンクへ搭載した海水) を所謂自由水影響 (見掛けの重心上昇) として取り扱った場合のメタセンタ高さに対応する。一方、図 2.2.3 で示した No.1 甲板車両区画への浸水の影響を傾斜に伴う重量モーメントの変化として正しく取り扱った復原てこは、浸水量が増加するに伴い小さくなる。

表 2.2.7 メタセンタ高さ、喫水、海水流入角及び舷端、ハンドレール没水角の計算結果
(船体が横倒しになった状況の検討 : No.1 甲板車両区画への浸水の間段階)

※ 表中の浸水量 : No.1 甲板車両区画への浸水量

浸水量 (m^3)	$G'M$ (m)	df (m)	da (m)	dm (m)	$\phi_{W,2}$ (deg.)	$\phi_{D,2}$ (deg.)	$\phi_{HR,4}$ (deg.)
0	-1.64	14.60	8.68	11.64	48.35	36.98	52.98
500	-2.13	15.37	8.55	11.96	46.00	35.90	51.96
1,000	-2.45	15.91	8.48	12.19	43.73	34.80	51.03
1,500	-3.45	16.37	8.43	12.40	41.42	33.69	50.13
2,000	-2.64	16.77	8.40	12.59	39.02	32.56	49.27
2,500	-2.89	17.16	8.37	12.76	36.33	31.41	48.43
3,000	-2.77	17.50	8.35	12.93	32.92	30.17	47.61

(c)傾斜モーメント

No.1 甲板車両区画の浸水の間段階における傾斜モーメントとしては、2.2.2 節(2)で説明したラッシングが破断した後の状況と同様に、事故発生前にバラスト水を部分搭載していた No.4 W.B.T.(P)が満水状態になったことによる横方向の重量モーメントの増加分と搭載車両の横移動により発生した横方向の重量モーメントを想定した。なお、傾斜モーメントとしては、傾斜角を ϕ とした場合に、想定した横方向の重量モーメントに $\cos \phi$ を乗じた値が作用するとした。

(d)船体状態

No.1 甲板車両区画の浸水の間段階における船体傾斜は、船内浸水の影響を考慮した復原力と想定される傾斜モーメントの準静的な釣り合い状態の傾斜角 $\phi_{E_car\ shift}$ として (2.2.3) 式 ((2.2.2) 式再掲) で求めた。

$$W \cdot G'Z \left(\phi_{E_car\ shift} \right) = (\delta w \cdot l + w_{car} \cdot l_s) \cos \phi_{E_car\ shift} \quad (2.2.3)$$

表 2.2.8 に No.1 甲板車両区画の浸水の間段階におけるラッシングが破断した後の船体傾斜を示す。表中には、比較のため海水流入角 $\phi_{W,2}$ 、船体中央における No.2 甲板 (上甲板) 舷端没水角 $\phi_{D,2}$ 及び No.4 甲板 (居住区域) の居住区域中央におけるハンドレール没水角 $\phi_{HR,4}$ を再掲した。

表 2.2.8 から

- ①No.1 甲板車両区画の浸水量が 1,000m³ の場合、釣り合い状態の傾斜角は約 44 度となり、No.2 甲板レベルの係船甲板に設置された通風装置からの海水流入角を超え、船長が退船を判断した時点までの状況として船員が説明した、傾斜角 45 度に近い状況となること
- ②浸水量が 1,500m³ では傾斜角は約 49 度に達し、ほぼ No.4 甲板（居住区域）のハンドレールが没水するような状況（ハンドレール没水角は約 50 度）となること
- ③浸水量が 2,500m³ になると傾斜角は約 72 度となり、ほぼ船体が横倒しの状態になること
- ④浸水量が 2,500m³ を超え 3,000m³ に達するまでに、90 度までの傾斜範囲で釣り合い状態になることはなく転覆状態に至ることが推測される。

表 2.2.8 船体傾斜（No.1 甲板車両区画の浸水の間段階）

※ 表中の浸水量：No.1 甲板車両区画への浸水量

浸水量 (m ³)	$\phi_{E_Car\ shift}$ (deg.)	ϕ_{W_2} (deg.)	ϕ_{D_2} (deg.)	ϕ_{HR_4} (deg.)
0	37.04	48.35	36.98	52.98
500	40.24	46.00	35.90	51.96
1,000	44.03	43.73	34.80	51.03
1,500	49.03	41.42	33.69	50.13
2,000	56.52	39.02	32.56	49.27
2,500	71.54	36.33	31.41	48.43
3,000	—	32.92	30.17	47.61

2.3 沈没に至る状況の検討

2.2 節で転覆に至る状況の検討を行った結果、衝突により発生した船側外板の破口により、No.4 W.B.T.(P)が満水状態になるまで浸水するとともに、B3 甲板~B1 甲板の車両区画が浮力を喪失した状態で、No.1 甲板車両区画に浸水し、No.1 甲板車両区画の浸水量が 2,500m³ に達すると船体傾斜は約 72 度となりほぼ船体が横倒しの状態になり、浸水量が 2,500m³ を超え 3,000m³ に達するまでに転覆状態に至ると推定された。

ここでは、沈没に至る状況について、以下の手順で検討する。

- ①上甲板（No.2 甲板）以下の全浮力の計算
- ②船側外板非損傷車両区画（No.1~No.3 甲板）の浸水容積及び浸水の可能性の確認
- ③車両区画浸水時の排水量と全浮力の比較

2.3.1 上甲板（No.2 甲板）以下の全浮力の計算

復原性資料で浮力算入範囲とされた上甲板（No.2 甲板）以下の全浮力を、①事故発生（衝突）前の船側外板に破口がない状態（非損傷状態）、衝突による船側外板の破口により、②B3 甲板~B1 甲板の車両区画の浮力を喪失した状態、③②に加えて No.1 甲板の車両区画も浮力を喪失した状態の 3 状態に対して計算した。

表 2.3.1 上甲板以下の浮力

	全浮力 (tf)	予備浮力 (tf)
衝突損傷前	60,336	47,254
B2 甲板~B1 甲板浮力喪失	41,957	26,815
B2 甲板~No.1 甲板浮力喪失	24,314	9,172

上甲板以下の全浮力の計算結果を対応する排水量を減じて求めた予備浮力も含めて表 2.3.1 に示す。計算プログラムの制限で、B3 甲板車両区画の浮力喪失については重量付加法の考え方で排水量の増加として取り扱っ

た。そのため、予備浮力を求めるために使用した排水量としては、衝突損傷前（事故発生前）は13,082tf、衝突による船側外板破口発生後は、No.4 W.B.T.(P)が満水状態になるまでの浸水も含めて15,142tfとした（表2.2.1）。

2.3.2 船側外板非損傷車両区画（No.1～No.3 甲板）の浸水容積及び浸水の可能性の確認

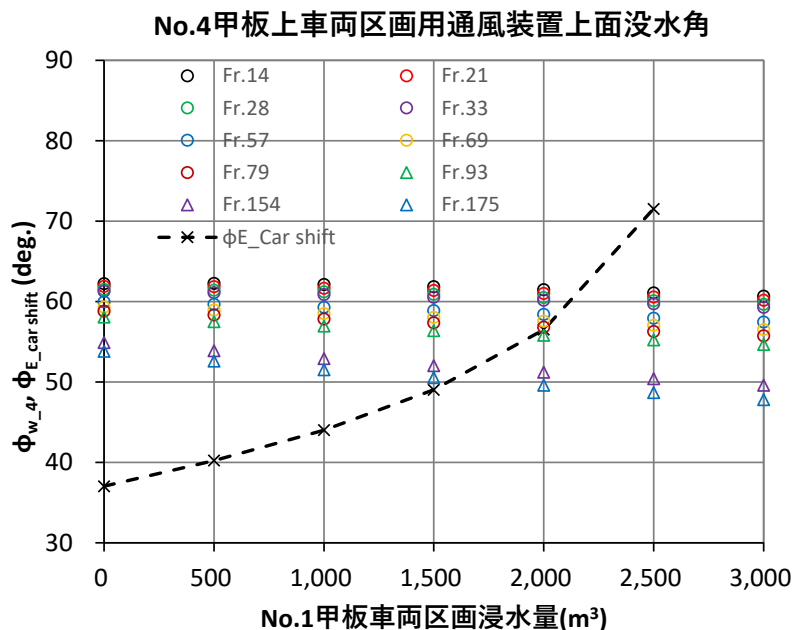
2.1 節で説明した、沈没した船体に対する ROV を用いた調査では、左舷側船体中央付近ではほぼ B3 甲板レベルから No.1 甲板レベルの間の船側外板に破口が確認されたとのことであった。ここでは、船側外板の損傷が確認されなかった No.1～No.3 甲板の車両区画の浸水可能容積を概算するとともに、当該車両区画への浸水の可能性について確認した。

表 2.3.2 に各甲板の車両区画について、その面積と甲板間高さから、浸水率を 90%として浸水可能容積と満水状態となった場合の浸水重量（上限値）を概算した結果を示す。表中には参考のために事故時には浮力を喪失したと考えられた B3～B1 甲板の車両区画に関する概算結果も示す。

表 2.3.2 車両区画の浸水可能容積と浸水重量（上限値）

	面積 (m ²)	甲板間高さ (m)	浸水容積 (m ³)	浸水重量 (tf)
B3甲板	827	2.569	1,912	1,960
B2甲板	1,564	2.975	4,187	4,292
B1甲板	2,165	5.510	10,734	11,002
No.1甲板	3,345	5.040	15,175	15,554
No.2甲板	3,416	3.040	9,347	9,580
No.3甲板	3,263	2.910	8,547	8,761

次に、各甲板の車両区画への浸水経路を検討したところ、No.4 甲板上の両舷に多数の通風装置が設置されており、そこから各車両区画へ複数の通風筒が配置されていることが一般配置図で確認された。そのため、船体が大傾斜し通風装置上面が没水すると、通風筒を通じて船側外板に損傷が確認されなかった車両区画へも浸水することが想定された。



2.2.3 節(2)において、衝突により左舷側船体中央付近の船側外板の破口周辺の No.1 甲板も損傷したと想定し、その損傷から No.1 甲板車両区画への浸水量をパラメータとした浸水の間段階における検討を行った状態について、No.4 甲板上に設置された通風装置上面の没水角 (ϕ_{w_4}) を計算した結果を図 2.3.1 に示す。通風装置は No.4 甲板上の両舷側付近の広い範囲に分散して設置されているので、図 2.3.1 にはフレーム番号 Fr.14~Fr.175 (Fr.14 が船尾側、Fr.175 が船首側) までの代表的な 10 個の位置の通風装置について、その上面の没水角を示した。また、比較のため、図中には各浸水状態の復原力と傾斜モーメントが準静的に釣り合う船体傾斜角 ($\phi_{E_car shift}$) も示した。

図 2.3.1 から、

- ①No.1 甲板車両区画の浸水量が $1,500\text{m}^3$ を超えると船首側 (Fr.175) の通風装置から順に、その上面が没水し、各甲板車両区画への浸水が始まる
- ②浸水量が $2,000\text{m}^3$ では、Fr.79~Fr.175 まで通風装置の上面が没水する
- ③浸水量が $2,500\text{m}^3$ に達すると、No.4 甲板上の左舷側に設置されている全ての通風装置の上面が没水し、船側外板に損傷が確認されなかった No.1~No.3 甲板の車両区画も全面的に浸水するようになると推測される。

2.3.3 車両区画浸水時の排水量と全浮力の比較

車両区画浸水時の排水量が 2.3.1 節で示した上甲板以下の浮力を超過すると船は沈没する。ここでは、車両区画の浸水重量と予備浮力を比較することで沈没に至る状況について検討する。

表 2.3.3 に衝突による船側外板の破口の発生で浮力を喪失した状態の予備浮力と車両区画への浸水可能重量 (上限値) を比較して示す。参考のため、表中には事故発生 (衝突) 前の船側外板に破口がない状態 (非損傷状態) についても示している。

表 2.3.3 予備浮力と車両区画への浸水可能重量 (上限値) の比較

	予備浮力 (tf)		車両区画浸水 上限重量(tf)	浸水想定(船側外板 非損傷)車両区画
衝突損傷前	47,254	<	49,897	B3~No.3甲板
B2甲板~B1甲板浮力喪失	26,815	<	33,068	No.1~No.3甲板
B2甲板~No.1甲板浮力喪失	9,172	<	17,894	No.2, No.3甲板

表 2.3.3 から、何れの状態でも予備浮力は、浮力喪失を想定していない車両区画の浸水上限重量より小さいので、該当する車両区画が満水状態になる (浸水重量が上限に達する) 前に、船は沈没すると想定される。例えば、船側外板の破口が確認された B1 甲板以下の車両区画が浮力を喪失した場合、予備浮力は 26,815tf であり、No.1~No.3 甲板の車両区画への浸水上限重量 (33,068tf) の約 8 割の浸水が何れかの車両区画に発生すれば、船内への浸水重量が予備浮力を超過し、船は沈没する。

なお、2.1 節で説明したように、衝突により左舷側船体中央付近の船側外板の破口周辺の No.1 甲板の一部も損傷したことが想定されるため、B1 甲板以下の車両区画への浸水により No.1 甲板舷端が没水した後は No.1 甲板車両区画へも浸水することも考えられる。また、2.3.2 節に示したように、No.1 甲板車両区画への浸水量が $2,500\text{m}^3$ (浸水重量: 2,562tf) に達すると、No.4 甲板上に設置された通風装置の上面が没水し、通風筒を通じて船側外板に損傷が確認されなかった No.1~No.3 甲板の車両区画へ浸水が始まるため、事故時に予備浮力(26,815tf)を超過する重量の船内浸水が発生して沈没に至ったと想定することは現実的であると考えられる。

参考文献

- 1) 森田知治：船舶復原論 - 基礎と応用 - , pp.197-199, 海文堂, 昭和 60 年 4 月.
- 2) 大串雅信：理論船舶工学 (上巻) 新訂版, pp.21-25, 海文堂, 昭和 59 年 10 月.

3. まとめ

本解析調査では、令和3年5月27日、来島海峡西口付近で発生した貨物船A沈没事故調査に資するため、事故当時の本船の復原性を推定するとともに、転覆・沈没に至る状況について検討を行った。本解析調査で得られた主な知見を以下に示す。

（事故当時の復原性）

- ・神戸港出港時の状態に基づき、事故発生（衝突発生）前の本船の復原性を推定するとともに、復原性基準への適合状況を確認した結果、本船は事故発生前の状態で、①復原性基準に適合していたこと、②建造時に検討された標準積付状態の出港時に比較して復原性能が良好であったと考えられた（図1.1.1、表1.2.1）。

（転覆に至る状況）

- ・船長が退船を判断した時点までの状況として、浸水範囲をNo.4 W.B.T.(P)とB3甲板~B1甲板車両区画とした浸水の最終状態（平衡状態）について検討した結果、傾斜モーメントとしてNo.4 W.B.T.(P)が浸水により満水状態になったことと搭載車両が横移動したことを想定した場合、準静的な釣り合い状態で、船員の説明に対応するNo.2甲板舷端没水角に対応する約37度の大幅傾斜が発生すると推定された（図2.2.1、表2.2.4）。

- ・船長が退船を判断した時点以降に船体が横倒しとなり転覆に至った状況について、B3甲板~B1甲板の車両区画が浮力を喪失した状態で、No.1甲板車両区画の浸水を想定して浸水の間段階について検討した結果、No.1甲板車両区画の浸水量が2,500m³に達すると船体傾斜は約72度となりほぼ船体が横倒しの状態になり、浸水量が2,500m³を超え3,000m³に達するまでに転覆状態に至ると推定された（図2.2.3、表2.2.8）。

（沈没に至る状況）

- ・船側外板非損傷車両区画（No.1~No.3甲板）の浸水可能容積及び浸水経路を確認し、車両区画浸水時の排水量と全浮力との比較を行った結果、B1甲板以下の車両区画が浮力を喪失した状態で、No.1甲板車両区画への浸水量が2,500m³（浸水重量: 2,562tf）に達すると、No.4甲板上に設置された通風装置の上面が没水し、通風筒を通じてNo.1~No.3甲板の車両区画（合計浸水上限重量: 33,068tf）へ浸水が始まるため、事故時に予備浮力(26,815tf)を超過する重量の船内浸水が発生して沈没に至ったと想定することは現実的であると考えられる（表2.3.3）。

付録 1 船内浸水量の概算

解析の見通しを付けるため、調査官から示された船側外板の破口の調査結果（2.1 節）に基づき、船内への浸水量を概算した。計算は重量付加式算法¹⁾で行い、船内区画への浸水量と船体沈下に伴う排水量の増加量（事故発生前の喫水状態の水線面積に喫水の増加量を乗じて概算）が等しいとして、浸水した船内区画の水位と船外の水位が一致する平衡状態（釣り合い状態）になるまでの浸水量とその所要時間を準静的に求めた¹⁾。その際、以下の仮定を行った。

- ① 破口の発生場所と本船の一般配置図、中央断面図を比較し、船外の海水は B2 甲板（高さ 5.125m）から No.1 甲板（高さ 13.610m）までの船側破口から船内へ浸水し、B3 甲板（高さ 2.550m）レベルの損傷は No.4W.B.T.(P)にとどまり、車両区画への直接の浸水はない。
- ② 船内の浸水範囲は各甲板の車両区画のみで、B3 甲板車両区画へは B2 甲板車両区画を経由して浸水する。
- ③ 船内浸水に伴う船体姿勢（トリム、ヒール）の変化はなく、船体は一樣に沈下する（平行沈下）。
- ④ 船内への浸水は一番下方の B3 甲板車両区画から順に滞留し、各甲板の車両区画が満水となった後にその一つ上の甲板の車両区画への滞留が始まる。その際、各車両区画の天井にあたる甲板の存在は無視することができるとする。
- ⑤ 車両区画の浸水容積は、復原性資料に示された各車両区画の面積と甲板間高さを乗じた値に等しい。

船内区画への浸水量を v_i 、破口発生からの経過時間を t として船内への浸水速度 (dv_i/dt) は、流量係数 (C) を 0.6 として、一樣沈下した喫水線より下方の破口面積 ($A_{Do}(d)$) と破口の面積中心位置での実質水深 ($h_{Do}(d)$)（以下、単に「実質水深」と記す。）を用いて (A1.1) 式で評価した。また、実質水深 $h_{Do}(d)$ （破口の面積中心位置における船内外の水圧差に対応）は、船内浸水の水位が一樣沈下した喫水線より下方の破口面積中心高さ ($H(d)$) に達するまでは (A1.2) 式で、船内浸水の水位が破口面積中心より高くなった状態では (A1.3) 式で評価した。

$$\frac{dv_i}{dt} = C A_{Do}(d) \times \sqrt{2gh_{Do}(d)} \quad (A1.1)$$

ここで、 g は重力加速度である。

$$h_{Do}(d) = d - H(d) \quad (A1.2)$$

$$h_{Do}(d) = d - d_w \quad (A1.3)$$

ここで、 d は (A1.1) 式を評価する際の喫水、 d_w は船内浸水の水位である。

破口発生後の船内浸水量 v_i の計算結果と計算に用いた浸水速度 dv_i/dt 等の評価結果を図 A1.1 及び図 A1.2 に示す。「'」を付けた A'_{Do} は喫水線より下方の破口面積の内 B2 甲板より上方部分の値であり、喫水 d' 等は B2 甲板高さ (5.125m) を基準に取った値を示している。

図 A1.1 及び図 A1.2 から

- ① 準静的な一樣沈下を仮定した場合、破口発生後約 330 秒（5 分 30 秒）で船内浸水量 v_i が約 15,600m³、B2 甲板高さを基準とした喫水 d' が約 6.68m（基線基準の喫水約 11.80m）に達して釣り合い状態となること
- ② 釣り合い状態の船内浸水の水位 d'_w も B2 甲板上約 6.68m となり、B1 甲板上 3.70m に達すること
- ③ 浸水開始後約 180 秒（3 分）で船内浸水の水位 d'_w が喫水線より下方の破口面積中心高さ H' に達し、それ以降、実質水深 h_{Do} が減少すること
- ④ 喫水線より下方の破口面積 A_{Do} の関数でもある浸水速度 dv_i/dt は、実質水深 h_{Do} が減少する時点より遅れて、破口発生後約 250 秒（4 分 10 秒）から減少するようになること

が分かる。なお、事故発生前の排水量は 13,082tf と推定されており（表 1.1.1），釣り合い状態の船内浸水量はその約 1.2 倍に相当する。

本船は衝突直後から傾斜し始めたとのことで、船内への浸水状況は、船内浸水に伴うトリム、ヒールの変化はなく、船体は一様に沈下すると仮定した図 A1.1 及び図 A1.2 に示した状況と異なることが想定される。しかしながら、衝突により発生した船側外板の破口による船内浸水は、船長が退船を判断した時点（衝突発生約 7 分後）までに平衡状態となり、浸水量は事故発生前の排水量を超える大規模な浸水であった可能性はあると考えられる。

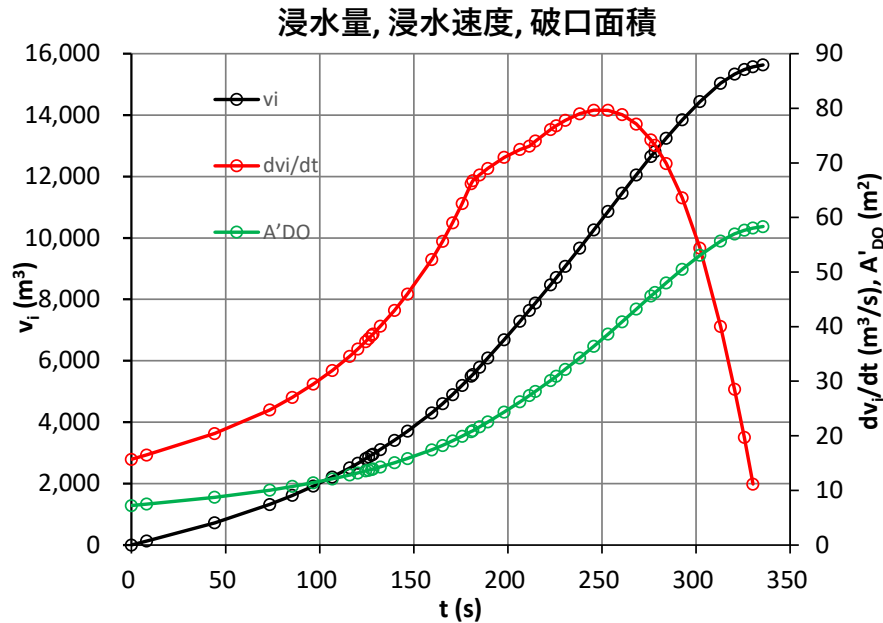


図 A1.1 船内浸水量 v_i ，浸水速度 dv_i/dt ，喫水線より下方の破口面積の内 B2 甲板より上方の部分の値 A'_{DO}

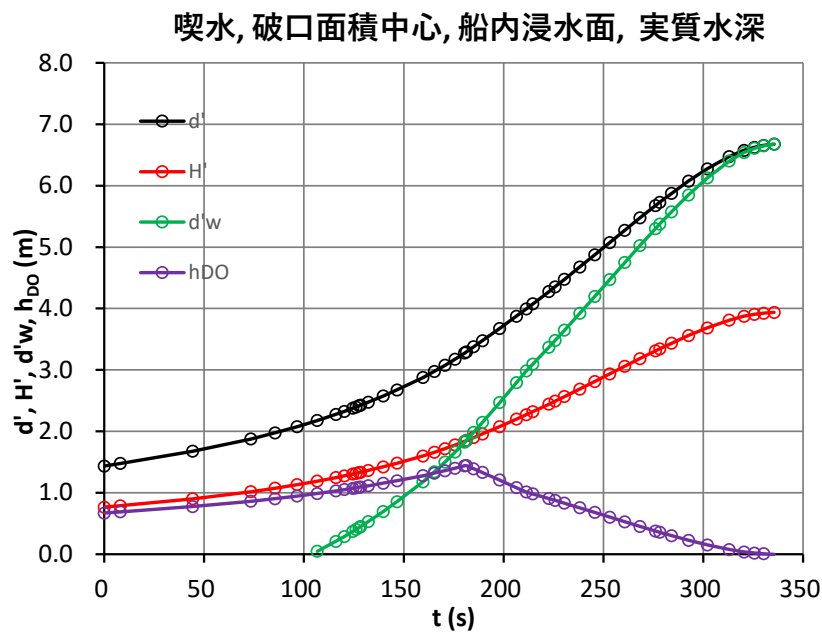


図 A1.2 B2 甲板高さを基準に取った，喫水 d' ，喫水線より下方の破口面積中心高さ H' 及び船内浸水の水位 d'_w 並びに実質水深 h_{DO}

参考文献

- 1) 大串雅信：理論船舶工学（上巻）新訂版，pp.21-25，海文堂，昭和 59 年 10 月。

付録2 浸水の間段階の検討

事故発生前の喫水の推定結果（表 1.1.2）と調査官から示された船側外板の破口の調査結果（2.1 節），一般配置図，中央断面図から，本船は衝突による破口の発生直後に，まず，喫水下に位置していた，①No.4W.B.T.(P)と B2 甲板車両区画に浸水（同区画のランプウェイ開口經由で B3 甲板車両区画にも浸水）したと想定される。その後，浸水に伴う喫水の増加や No.4W.B.T.(P)の浸水（非対称浸水）による傾斜によって B1 甲板舷端が没水し，②B2 甲板車両区画に加えて，B1 甲板車両区画にも同時に浸水するようになったと想定される。

本文（2.2.2 節）では，上述した浸水が十分進展し，浸水した船内区画の水位と船体外部の水位が一致した平衡状態（最終状態）になった段階における船体傾斜の計算結果を示した。一方，浸水が始まって最終状態に至るまでの間（中間段階）に，より危険な状態が存在することが想定されることから，損傷時復原性基準では浸水の中間段階においても十分な復原性を有することを求めている¹⁾。

ここでは，上述した衝突による破口発生直後に，①No.4W.B.T.(P)と B2 甲板・B3 甲板の車両区画に浸水した状態と，その後，B1 甲板舷端が没水し，②B2 甲板・B3 甲板の車両区画に加えて，B1 甲板車両区画にも同時に浸水するようになった状態について，浸水量を想定して船体傾斜を推定することで浸水の中間段階の検討を行った。

A2.1 衝突による破口発生直後の状態

衝突による破口発生直後の浸水の中間段階として，船側外板の破口から B2 甲板に流入した海水が同甲板の車両区画に滞留するとともに，一部がランプウェイ開口から B3 甲板車両区画へ流下して滞留する状況を想定した。その際，事故発生前に容積 272m³ の No.4W.B.T.(P)には，その容量の約 64%にあたる 174m³（重量 179tf）のバラスト水が搭載されていたことから，同タンクは短時間に満水状態になると考えた。そこで，No.4W.B.T.(P)が満水になる状態（浸水重量：100tf）を初期状態とし，B2 甲板へ流入する海水量をパラメータとして，船内浸水の影響を考慮した復原力と No.4W.B.T.(P)が満水状態になったことによる傾斜モーメントが準静的に釣り合う傾斜角を計算した。

A2.1.1 浸水状態の想定と車両区画の取り扱い

B2 甲板に流入した海水の内，ランプウェイ開口部から B3 甲板車両区画に流下する海水の割合は，B2 甲板車両区画の面積に対するランプウェイ開口部の面積の割合に対応すると仮定した。その結果，B2 甲板に流入した海水の内，B3 甲板車両区画に流下・滞留する海水の割合は，1/24 として浸水量を設定した。

また，車両区画は，床面と天井面の平均面積と区画長さに基づき相当矩形平面直方体タンクとして近似した。その際，タンクの高さ（深さ）は，甲板間高さと同じとした。表 A2.1.1 に B2 甲板と B3 甲板の車両区画を近似した相当矩形平面直方体タンクの長さ（L_T），底面積（A_T）及び容積（V_T）を示す。

表 A2.1.1 車両区画を近似した相当矩形平面直方体タンクの要目

	L _T (m)	A _T (m ²)	V _T (m ³)
B3甲板	69.60	827	2,125
B2甲板	82.40	1,889	5,630

A2.1.2 浸水の中間段階の船体傾斜の推定

浸水の中間段階の船体傾斜の推定は，以下の手順で行った。

- ①船内浸水を重量物として取り扱って復原力を計算する。
- ②船体傾斜に伴う船内浸水の移動による傾斜モーメントを計算し，それを①に加算して船内浸水の影響を考慮した復原力を求める。
- ③No.4W.B.T.(P)が満水状態になったことによる傾斜モーメントと②の船内浸水の影響を考慮した復原力が準静的に釣り合う傾斜角を求める。

(a)重量・重心

表 A2.1.2 に浸水初期状態（No.4W.B.T.(P)満水状態，B2 甲板への海水流入量：0m³）と B2 甲板への海水流入量（B2 甲板と B3 甲板の車両区画の浸水量の合計）を 90 m³~450m³と想定した場合の重量・重心計算結果を示す。流入を想定した海水は，A2.1.1 節で説明した割合でそれぞれの車両区画を近似した相当矩形平面直方体タンクに浸水率を 90%として搭載したとし，タンク内の水位は一定として計算した。また，表中には参考のために，事故発生前（神戸港出港時）の値も示している。なお，表 A2.1.2 に示した GG'は，車両区画を近似した相当矩形平面直方体タンクを除く各種タンクの自由表面を有する液体による見掛けの重心上昇量（自由水影響）であり，No.4 W.B.T.(P)の自由水影響は事故発生前の状態だけ考慮している。

表 A2. 1. 2 重量・重心（浸水の間段階：衝突による破口発生直後）

※ 表中の浸水量：B2 甲板と B3 甲板の車両区画の浸水量の合計

浸水量 (m ³)	W (t)	mid-G (m)	KG (m)	GG' (m)
0	13,182	8.08	11.62	0.60
90	13,274	8.04	11.57	0.60
180	13,366	8.00	11.53	0.59
270	13,459	7.95	11.48	0.59
360	13,551	7.91	11.44	0.59
450	13,643	7.87	11.40	0.58
事故発生前	13,082	8.17	11.66	0.63

(b) 船内浸水を重量物として取り扱った復原力

表 A2.1.2 に示した重量・重心で復原力を計算した結果を図 A2.1.1 に示す。図 A2.1.1 に示した復原力（復原てこ G'Z）は，各種タンクの自由水影響を考慮している。また，自由水影響を考慮したメタセンタ高さ（G'M），喫水（df：船首喫水，da：船尾喫水，dm：平均喫水），海水流入角（ ϕ_{w_2} ），船体中央における No.2 甲板（上甲板）舷端没水角（ ϕ_{D_2} ），船体中央における B1 甲板舷端没水角（ $\phi_{D_{B1}}$ ）の計算結果を表 A2.1.3 にまとめて示す。図 A2.1.1 及び表 A2.1.3 には，参考のために事故発生前の状態の計算結果も示している。

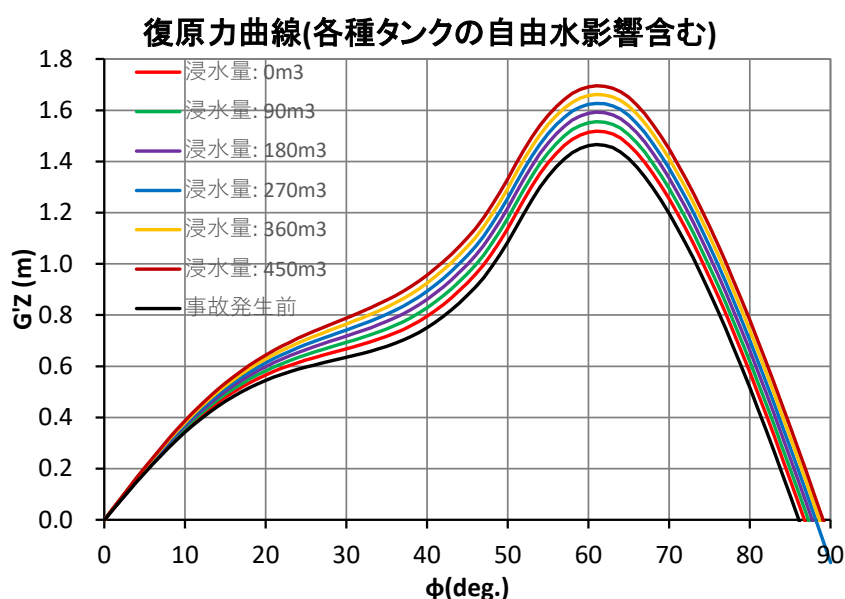


図 A2. 1. 1 復原力曲線（船内浸水を重量物として取り扱った場合）
（浸水の間段階：衝突による破口発生直後）

※ 凡例の浸水量：B2 甲板と B3 甲板の車両区画の浸水量の合計

B2 甲板と B3 甲板の車両区画は事故発生前の重心高さ（KG = 11.66m）より下方にあるため、表 A2.1.2 に示したように、船内浸水を重量物として取り扱った場合、浸水量が増大するとともに、重心高さは低くなり、初期復原力（メタセンタ高さ G'M：表 A2.1.3），大傾斜の復原てこ（G'Z：図 A2.1.1）ともに大きくなる。なお、表 A2.1.3 に示した B1 甲板舷端没水角 ϕ_{D_B1} は 6~7 度程度であり、本来は ϕ_{D_B1} より大きな傾斜角では、B1 甲板車両区画にも浸水を想定する必要があるが、ここでは、浸水範囲を No.4W.B.T.(P)と B2 甲板・B3 甲板の車両区画として計算を行っている。

表 A2.1.3 メタセンタ高さ、喫水、海水流入角及び舷端没水角の計算結果
(浸水の間段階：衝突による破口発生直後)

※ 表中の浸水量：B2 甲板と B3 甲板の車両区画の浸水量の合計

浸水量 (m ³)	G'M (m)	df (m)	da (m)	dm (m)	ϕ_{W2} (deg.)	ϕ_{D2} (deg.)	ϕ_{D_B1} (deg.)
0	2.20	5.53	7.66	6.59	70.86	51.32	6.80
90	2.24	5.57	7.68	6.62	70.63	51.20	6.66
180	2.27	5.62	7.69	6.65	70.46	51.06	6.51
270	2.30	5.67	7.71	6.69	70.18	50.93	6.37
360	2.34	5.72	7.72	6.72	69.94	50.80	6.22
450	2.37	5.77	7.74	6.75	69.77	50.68	6.06
事故発生前	2.14	5.47	7.65	6.56	71.14	51.47	6.96

(c) 船内浸水の影響を考慮した復原力

船内浸水を重量物として取り扱った復原力に、車両区画を近似した相当矩形平面直方体タンクに搭載した海水（船内浸水に対応）の船体傾斜に伴う移動による横方向重量モーメント（傾斜モーメントとして作用）を算入することで、船内浸水の影響を考慮した復原力を計算した。車両区画を近似した相当矩形平面直方体タンクに搭載した海水の移動による傾斜モーメントは、参考文献 2）に示された計算式を用いて評価した。

相当矩形平面直方体タンクに搭載した海水の移動による傾斜モーメント（ $w \cdot g z$ ）の計算結果を船の排水量 W で除して図 A2.1.2 に示す。図中には、浸水量（タンクへの搭載量）を 90m³ として所謂自由水影響として取り扱った場合の傾斜偶力てこを破線で示す。想定した浸水量（タンクへの搭載量）が少ないため、自由水影響としての取り扱いは傾斜角が 1 度程度の極微小な範囲にしか適用できないことが分かる。

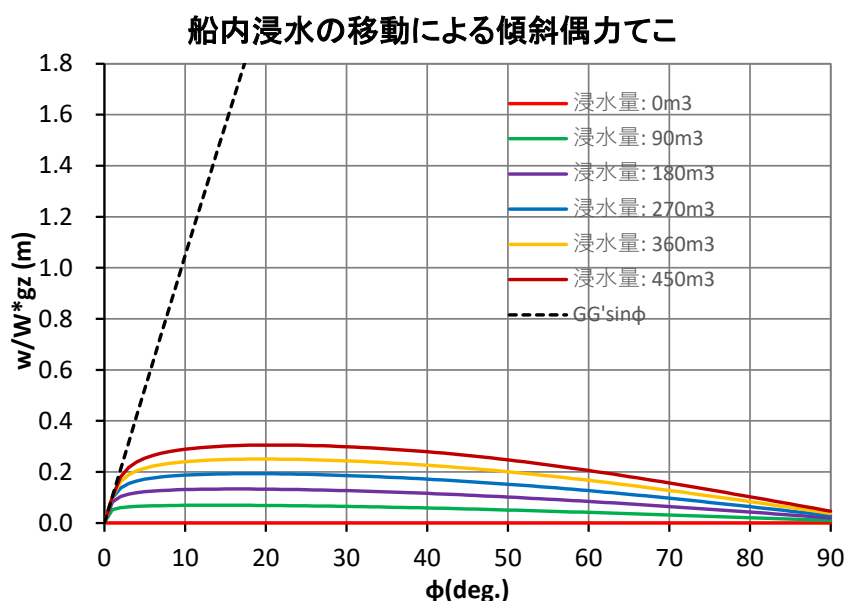


図 A2.1.2 船内浸水の移動による傾斜偶力てこ（浸水の間段階：衝突による破口発生直後）

※ 凡例の浸水量：B2 甲板と B3 甲板の車両区画の浸水量の合計

また、図 A2.1.3 に船内浸水の影響を考慮した復原力（ $G'Z - w/W \cdot gz$ ）を示す。図 A2.1.3 から、船内浸水の影響で、直立状態は不安定になり、傾斜した状態（図 A2.1.3 に示した復原力曲線と横軸との原点以外の交点）で安定することが分かる。

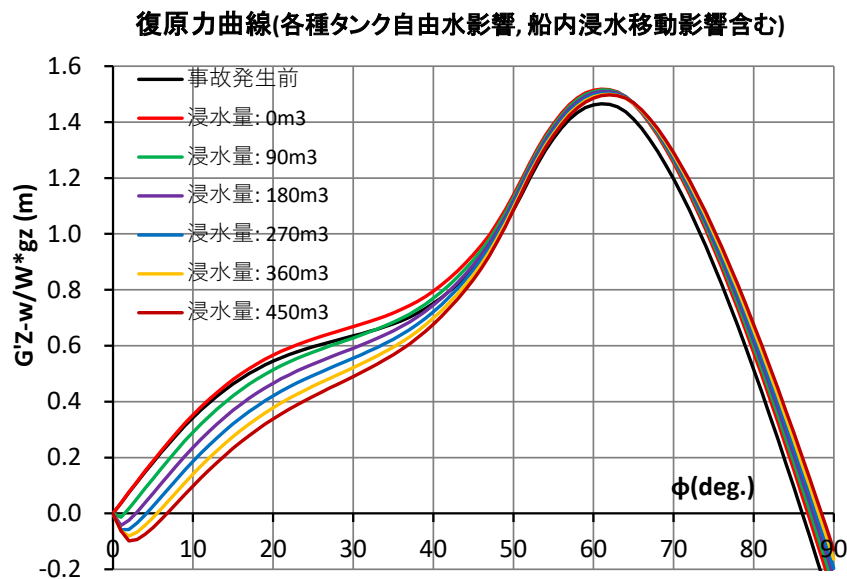


図 A2.1.3 復原力曲線（船内浸水の移動による傾斜偶力てこを算入）
（浸水の間段階：衝突による破口発生直後）

※ 凡例の浸水量：B2 甲板と B3 甲板の車両区画の浸水量の合計

(d) 傾斜モーメント

衝突による破口発生直後の浸水の間段階における傾斜モーメントとしては、No.4 W.B.T.(P)が浸水により満水状態になったことによる横方向の重量モーメントの増加分を想定した。No.4 W.B.T.(P)が満水状態になったことによる重量の増加（ δw ）は 100tf であり、それに対応する横方向の重心位置の変化を復原性資料に掲載された図から読み取った結果、横方向の重量モーメントの増加分（ $\delta w \cdot l$ ）は 956tf-m となった。なお、傾斜モーメントとしては、傾斜角を ϕ とした場合に、横方向の重量モーメントの増加分に $\cos \phi$ を乗じた値（ $\delta w \cdot l \cos \phi$ ）が作用するとした。

(e) 船体状態

衝突による破口発生直後の状況として想定した、No.4 W.B.T.(P)と B2 甲板・B3 甲板の車両区画への浸水の間段階の船体傾斜は、船内浸水の影響を考慮した復原力と想定される傾斜モーメントの準静的な釣り合い状態の傾斜角 ϕ_E として（A2.1.1）式で求めた。

$$W \cdot G'Z(\phi_E) - w \cdot gz(\phi_E) = \delta w \cdot l \cos \phi_E \quad (\text{A2.1.1})$$

表 A2.1.4 に破口発生直後の浸水の間段階の船体傾斜を示す。表中には、比較のため船体中央における B1 甲板の舷端没水角 ϕ_{D_B1} も再掲した。表 A2.1.4 に示したように、B2 甲板への海水流入量（B2 甲板と B3 甲板の車両区画の合計浸水量）が 270m³ を超えると、 ϕ_E が ϕ_{D_B1} より大きくなり、船内浸水の影響を考慮した復原力と想定される傾斜モーメントの準静的な釣り合い状態で B1 甲板舷端が没水すると推定される。そのため、付録 1 に示した船内浸水量の概算結果（図 A1.1）を考慮すると、B1 甲板車両区画への浸水は破口発生直後の浸水の初期段階に始まっていたと想定される。

表 A2.1.4 船体傾斜（浸水の間段階：衝突による破口発生直後）

※ 表中の浸水量：B2 甲板と B3 甲板の車両区画の浸水量の合計

浸水量 (m ³)	ϕ_F (deg.)	$\phi_{D_{B1}}$ (deg.)
0	1.91	6.80
90	3.53	6.66
180	4.99	6.51
270	6.38	6.37
360	7.72	6.22
450	9.04	6.06

A2.2 B1 甲板舷端が没水した後の状態

B1 甲板舷端が没水した後の浸水の間段階として、B2 甲板・B3 甲板の車両区画に加えて、B1 甲板車両区画にも同時に浸水する状況を想定し、船内へ流入する海水量をパラメータとして、船内浸水の影響を考慮した復原力と No.4W.B.T.(P)が満水状態になったことに加えて、ラッシングが破断して搭載車両が横移動したことによる傾斜モーメントが準静的に釣り合う傾斜角を計算した。その際、A2.1 節で検討した破口発生直後の浸水の間段階に引き続く状況を想定することとし、No.4W.B.T.(P)が浸水により満水となった状態（浸水重量：100tf）で B2 甲板へ流入する海水が 270m³（B2 甲板と B3 甲板の車両区画の合計浸水重量 277tf）となり B1 舷端が没水する状態を初期状態とした。

A2.2.1 浸水状態の想定と車両区画の取り扱い

船側外板の破口から流入する海水は、想定する喫水より下方の破口の面積の割合（B2 甲板～B1 甲板間の破口面積と B1 甲板～想定喫水間の破口面積の割合）に対応して B2 甲板と B1 甲板に流入するとして、各車両区画の浸水量を設定した。破口から B2 甲板と B1 甲板に流入する海水の割合を設定する際に用いる想定喫水としては、本文 2.2.2 節で浸水範囲を No.4 W.B.T.(P)と B3 甲板～B1 甲板車両区画として浸水の最終状態（平衡状態）を検討した際の直立時の平均喫水（ $dm = 11.64m$ ）を参考に、B1 甲板と No.1 甲板の甲板間高さの 1/2 に対応する喫水（ $dm = 10.86m$ ）を用いることとした。その結果、船側外板の破口から流入する海水の内、B2 甲板に流入する海水と B1 甲板に流入する海水の割合は 1:1.54 として、それぞれの甲板への浸水量を設定した。なお、A2.1 節で検討した破口発生直後の浸水の間段階と同様に、B2 甲板に流入した海水の内、B3 甲板車両区画に流下・滞留する海水の割合は 1/24 とした。

また、B1 甲板車両区画も、B2 甲板・B3 甲板の車両区画と同様に床面と天井面の平均面積と区画長さに基づき相当矩形平面直方体タンクとして近似した。その際、タンクの高さ（深さ）は、甲板間高さと同じとした。表 A2.2.1 に B1 甲板車両区画を近似した相当矩形平面直方体タンクの長さ（ L_T ）、底面積（ A_T ）及び容積（ V_T ）を B2 甲板と B3 甲板の車両区画を近似したタンクの値とあわせて示す。

表 A2.2.1 車両区画を近似した相当矩形平面直方体タンクの要目

	L_T (m)	A_T (m ²)	V_T (m ³)
B1 甲板	106.40	2,530	13,939
B2 甲板	82.40	1,889	5,630
B3 甲板	69.60	827	2,125

A2.2.2 浸水の間段階の船体傾斜の推定

B1 甲板舷端が没水した後の浸水の間段階の船体傾斜の推定は、A2.1 節で検討した破口発生直後の浸水の間段階と同様の手順で行った。

(a)重量・重心

表 A2.2.2 に初期状態（No.4W.B.T.(P)満水状態、B2 甲板への流入水量：270m³）とその後の船内への海水流入量（B2 甲板と B1 甲板への海水流入量の合計）を 900 m³～4,500m³と想定した場合の重量・重心計算結果を

示す。流入を想定した海水は、A2.2.1 節で説明した割合でそれぞれの車両区画を近似した相当矩形平面直方体タンクに浸水率を 90%として搭載したとし、タンク内の水位は一定として計算した。表 A2.2.2 に示した浸水量は、初期状態の B2 甲板への流入水量（270m³）を加えた値であり、破口発生後に各甲板の車両区画に流入・滞留したと想定した海水の合計である。また、表中には参考のために、No.4W.B.T.(P)だけが満水になった状態（車両区画への流入水量：0m³）と事故発生前（神戸港出港時）の値も示している。なお、表 A2.2.2 に示した GG'は、車両区画を近似した相当矩形平面直方体タンクを除く各種タンクの自由表面を有する液体による見掛けの重心上昇量（自由水影響）であり、No.4W.B.T.(P)の自由水影響は事故発生前の状態だけ考慮している。

表 A2. 2. 2 重量・重心（浸水の間段階：B1 甲板舷端が没水した後の状態）

※ 表中の浸水量：B1 甲板，B2 甲板及び B3 甲板の車両区画の浸水量の合計

浸水量(m ³)	W (t)	mid-G (m)	KG (m)	GG' (m)
0	13,182	8.08	11.62	0.60
270	13,459	7.95	11.48	0.59
1,170	14,381	7.25	11.20	0.55
2,070	15,304	6.64	10.96	0.52
2,970	16,226	6.10	10.77	0.49
3,870	17,149	5.61	10.61	0.46
4,770	18,071	5.17	10.48	0.44
事故発生前	13,082	8.17	11.66	0.63

(b) 船内浸水を重量物として取り扱った復原力

表 A2.2.2 に示した重量・重心で復原力を計算した結果を図 A2.2.1 に示す。図 A2.2.1 に示した復原力（復原てこ G'Z）は、各種タンクの自由水影響も考慮している。また、自由水影響を考慮したメタセンタ高さ（G'M），喫水（df：船首喫水，da：船尾喫水，dm：平均喫水），海水流入角（ ϕ_{w2} ），船体中央における No.2 甲板（上甲板）舷端没水角（ ϕ_{D2} ），船体中央における No.1 甲板舷端没水角（ ϕ_{D1} ）の計算結果を表 A2.2.3 にまとめて示す。

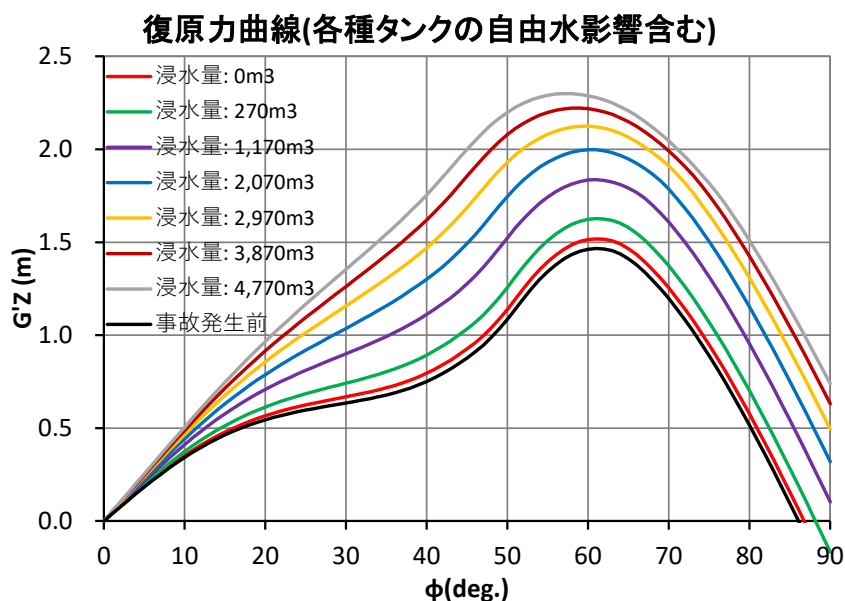


図 A2. 2. 1 復原力曲線（船内浸水を重量物として取り扱った場合）
（浸水の間段階：B1 甲板舷端が没水した後の状態）

※ 凡例の浸水量：B1 甲板，B2 甲板及び B3 甲板の車両区画の浸水量の合計

B3 甲板～B1 甲板の車両区画は，全て事故発生前の重心高さ（KG＝11.66m）より下方にあるため，表 A2.2.2 に示したように，船内浸水を重量物として取り扱った場合，浸水量が増大するとともに，重心高さは低くなり，初期復原力（メタセンタ高さ G'M：表 A2.2.3），大傾斜の復原力（G'Z：図 A2.2.1）ともに大きくなる。

表 A2. 2. 3 メタセンタ高さ，喫水，海水流入角及び舷端没水角の計算結果

（浸水の間段階：B1 甲板舷端が没水した後の状態）

※ 表中の浸水量：B1 甲板，B2 甲板及び B3 甲板の車両区画の浸水量の合計

浸水量 (m ³)	G'M (m)	df (m)	da (m)	dm (m)	ϕ_{w2} (deg.)	ϕ_{D2} (deg.)	ϕ_{D1} (deg.)
0	2.20	5.53	7.66	6.59	70.86	51.32	32.40
270	2.30	5.67	7.71	6.69	70.18	50.93	31.93
1,170	2.47	6.26	7.78	7.02	67.73	49.60	30.29
2,070	2.61	6.82	7.86	7.34	65.82	48.30	28.71
2,970	2.73	7.37	7.95	7.66	64.12	47.02	27.17
3,870	2.84	7.89	8.04	7.97	62.46	45.77	25.67
4,770	2.91	8.40	8.14	8.27	60.80	44.55	24.25
事故発生前	2.14	5.47	7.65	6.56	71.14	51.47	32.58

(c) 船内浸水の影響を考慮した復原力

船内浸水の影響を考慮した復原力の計算は，A2.1 節で検討した破口発生直後の浸水の間段階と同様に，船内浸水を重量物として取り扱った復原力に，車両区画を近似した相当矩形平面直方体タンクに搭載した海水（船内浸水に対応）の船体傾斜に伴う移動による傾斜モーメントを算入して行った。

相当矩形平面直方体タンクに搭載した海水の移動による傾斜モーメント（ $w \cdot gz$ ）の計算結果を船の排水量 W で除して図 A2.2.2 に示す。図中には，車両区画への合計浸水量（タンクへの搭載量）を 1,170m³ として B3 甲板～B1 甲板の全ての車両区画へ浸水を想定した状態において，浸水を所謂自由水影響として取り扱った場合の傾斜偶力てこを破線で示す。想定した浸水量（タンクへの搭載量）が少ないため，自由水影響としての取り扱いには 2 度程度の極微小な傾斜角範囲しか適用できないことが分かる。

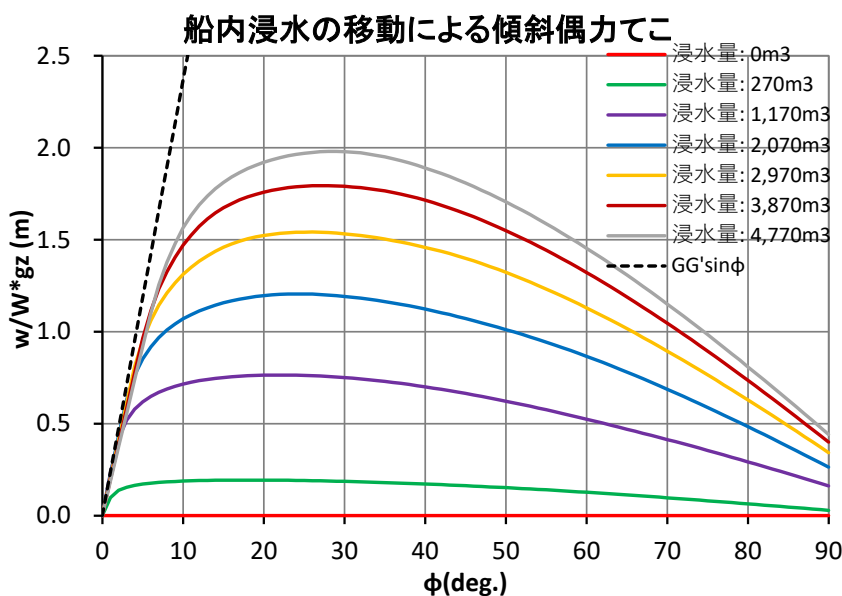


図 A2. 2. 2 船内浸水の移動による傾斜偶力てこ

（浸水の間段階：B1 甲板舷端が没水した後の状態）

※ 凡例の浸水量：B1 甲板，B2 甲板及び B3 甲板の車両区画の浸水量の合計

また、図 A2.2.3 に船内浸水の影響を考慮した復原力（ $G'Z - w/W \cdot gz$ ）を示す。図 A2.2.3 から、船内浸水の影響で、直立状態は不安定で、傾斜した状態（図 A2.2.3 に示した復原力曲線と横軸との原点以外の交点）で安定することが分かる。特に、B1 甲板車両区画にも浸水を想定した合計浸水量（タンクへの搭載量）2,970m³以上では、安定状態の傾斜角が 35 度以上となり、傾斜モーメントが作用しない状態であっても表 A2.2.3 に示した No.1 甲板の舷端没水角 $\phi_{D.1}$ より大きな傾斜角が生じると推測される。

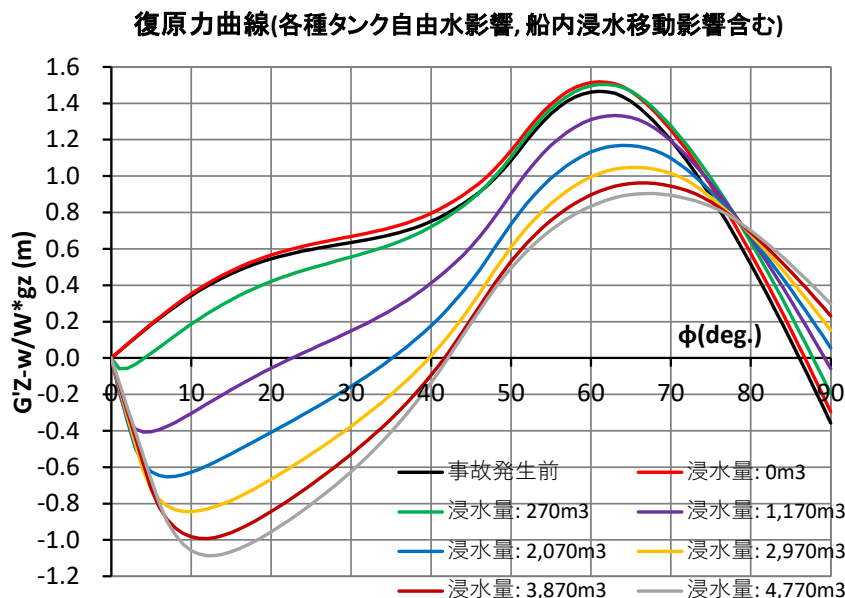


図 A2. 2. 3 復原力曲線（船内浸水の移動による傾斜偶力をこを算入）
（浸水の間段階：B1 甲板舷端が没水した後の状態）

※ 凡例の浸水量：B1 甲板、B2 甲板及び B3 甲板の車両区画の浸水量の合計

(d) 傾斜モーメント

B1 甲板舷端が没水した後の浸水の間段階における傾斜モーメントとしては、No.4 W.B.T.(P)が浸水により満水状態になったことによる横方向の重量モーメントの増加分に加え、大傾斜でラッシングが破断して搭載車両が横移動したことにより発生した横方向の重量モーメントを想定した。A2.1.2 節(d)で説明したように、No.4 W.B.T.(P)が満水状態になったことによる横方向の重量モーメントの増加分（ $\delta w \cdot l$ ）は 956tf-m である。一方、オペレーターから提供された情報から算定した事故当時の搭載車両の合計重量（ w_{car} ）は 1788.8tf、ラッシングが破断後、全ての搭載車両が想定した側壁との隙間や車両の積付間隔がなくなるまで横移動したとした場合に発生する横方向の重量モーメント（ $w_{car} \cdot l_s$ ）は 4,525tf-m となった。

なお、傾斜モーメントとしては、傾斜角を ϕ とした場合に、上述した 2 種類の横方向の重量モーメントの合計に $\cos \phi$ を乗じた（ $\delta w \cdot l + w_{car} \cdot l_s$ ） $\cos \phi$ が作用するとした。

(e) 船体状態

B1 甲板舷端が没水した後の状況として想定した、No.4 W.B.T.(P)と B3 甲板～B1 甲板の車両区画への浸水の間段階の船体傾斜は、船内浸水の影響を考慮した復原力と想定される傾斜モーメントの準静的な釣り合い状態の傾斜角 $\phi_{E_car\ shift}$ として（A2.2.1）式で求めた。

$$W \cdot G'Z(\phi_{E_car\ shift}) - w \cdot gz(\phi_{E_car\ shift}) = (\delta w \cdot l + w_{car} \cdot l_s) \cos \phi_{E_car\ shift} \quad (A2.2.1)$$

表 A2.2.4 に B1 甲板舷端が没水した後の浸水の間段階の船体傾斜を示す。表中には、参考のため、傾斜モーメントとして No.4 W.B.T.(P)が浸水により満水状態になったことによる横方向の重量モーメントの増加分 ($\delta w \cdot l$) のみ想定した場合の準静的な釣り合い状態の傾斜角 ϕ_E も示すとともに、比較のため船体中央における No.2 甲板（上甲板）舷端没水角 ϕ_{D_2} も再掲した。表 A2.2.4 に示したように、各車両区画への合計浸水量（タンクへの搭載量）が 3,870m³ を超えると、船内浸水の影響を考慮した復原力と想定される傾斜モーメントの準静的な釣り合い状態の傾斜角 $\phi_{E_car\ shift}$ が 45 度以上となるとともに、No.2 甲板舷端が没水すると推定され、船員が説明した、船長が退船を判断した時点までの状態（衝突直後から始まった傾斜が増大してラッシングが破断し、船体傾斜が 45 度以上となり、No.2 甲板（上甲板）まで海水に浸かった状態）に対応すると考えられる。

表 A2. 2. 4 船体傾斜（浸水の間段階：B1 甲板舷端が没水した後の状態）

※ 表中の浸水量：B1 甲板，B2 甲板及び B3 甲板の車両区画の浸水量の合計

浸水量 (m ³)	$\phi_{E_car\ shift}$ (deg.)	ϕ_E (deg.)	ϕ_{D_2} (deg.)
0	—	1.91	51.32
270	—	6.38	50.93
1,170	36.61	25.60	49.60
2,070	42.02	36.63	48.30
2,970	44.28	40.68	47.02
3,870	45.17	42.35	45.77
4,770	45.34	42.72	44.55

参考文献

- 1) 森田知治：船舶復原論 - 基礎と応用 - ，pp.197-199，海文堂，昭和 60 年 4 月。
- 2) 森田知治：船舶復原論 - 基礎と応用 - ，pp.223-224，海文堂，昭和 60 年 4 月。



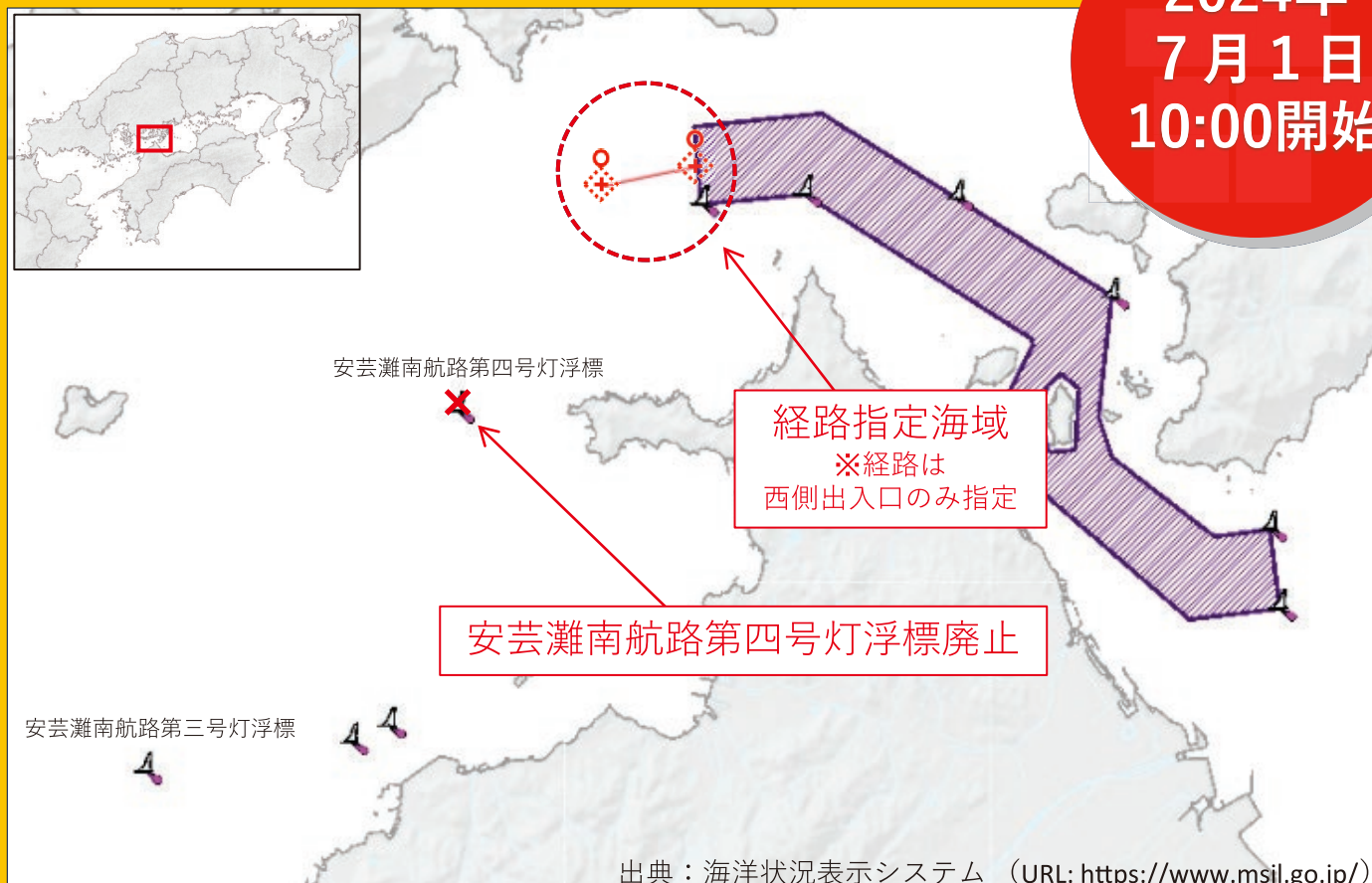
来島海峡航路に出入りする際の“経路”を新たに指定します

来島海峡航路を航行する船舶は、海上交通安全法第25条第2項に基づく告示により指定される経路によって航行する必要があります。

（経路の概要は裏面をご参照ください。）

経路の指定に合わせて安芸灘南航路第四号灯浮標を廃止し、付近の推薦航路を短縮します。

2024年
7月1日
10:00開始



経路の指定、バーチャルAIS航路標識の表示及び灯浮標の廃止等に係る詳細は、第六管区海上保安本部ホームページにてご確認ください。

<https://www.kaiho.mlit.go.jp/06kanku/safety/kurushima-keiroshitei.html>

問い合わせ

第六管区海上保安本部交通部航行安全課
広島県広島市南区宇品海岸3丁目10-17
082-251-5111(代)



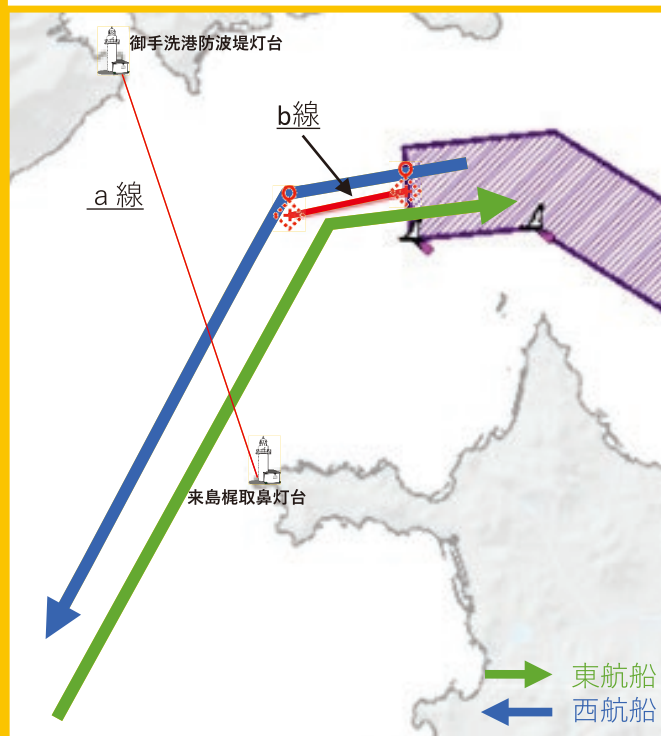
第六管区海上保安本部
ホームページ

2024年
7月1日
10:00開始

<経路の概要>

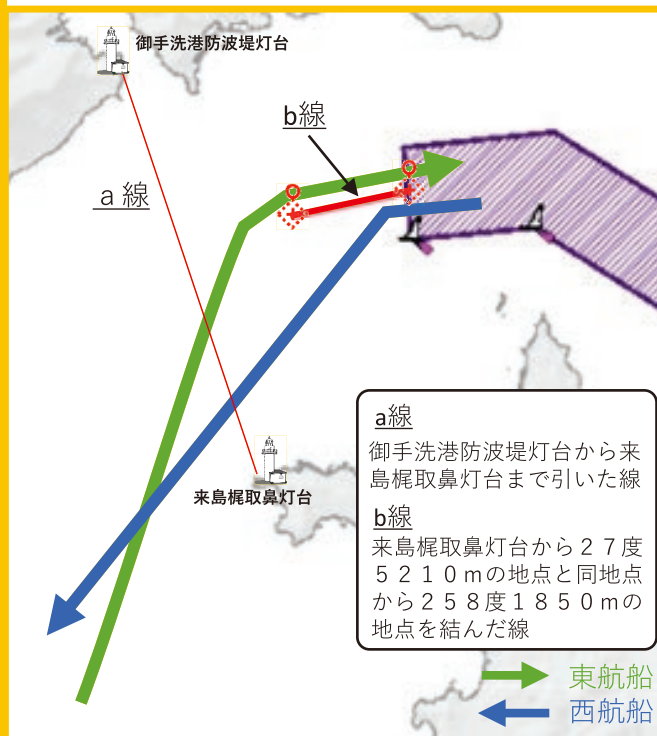
1. 来島海峡航路を西航し、a線を横切って航行しようとする船舶は、b線を横切ってはならない。
2. a線を横切り、来島海峡航路を東航しようとする船舶は、b線を横切ってはならない。

<北流時>



出典：海洋状況表示システム

<南流時>



a線
御手洗港防波堤灯台から来島梶取鼻灯台まで引いた線
b線
来島梶取鼻灯台から27度52'10mの地点と同地点から25'8度18'50mの地点を結んだ線

※安芸灘南航路を通航する船舶の航行経路イメージ

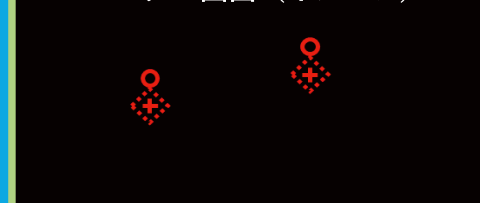
経路両端の表示

経路は、バーチャルAIS航路標識により東端と西端を表示します。実際に灯浮標が設置されるものではありません。

来島海峡航路西口AバーチャルAIS航路標識
V/KURUSHIMA-WEST-A
北緯34-09-24 東経132-53-55

来島海峡航路西口BバーチャルAIS航路標識
V/KURUSHIMA-WEST-B
北緯34-09-37 東経132-55-05

<レーダー画面(イメージ)>



<海図表記(イメージ)>



AIS非搭載船舶へのお願い

バーチャルAIS航路標識とは、実在しない航路標識をAISの信号により航海用レーダーや電子海図上にシンボルマークにして表示するものです。バーチャルAIS航路標識は、AIS非搭載船舶には表示されません。これら船舶は、最新の海図により経路を確認するとともに、GPSプロッター等への位置入力をお願いいたします。



令和6年3月作成