

沿海区域を航行区域とする船舶のリスクレベルの評価

柚井 智洋*、森 有司*、伊藤 博子*、松井 裕*

Evaluation of risk levels of the ships navigating in Japanese coastal waters

by

Tomohiro YUZUI, Yuji MORI, Hiroko ITOH
and Hiroshi MATSUI

Abstract

Japanese coastal waters are defined by the Japanese government as waterways for domestic shipping safety. Most of the domestic ships are required to navigate inside the defined area, i.e. coastal waters within approximately 20 nautical miles from the shorelines. At around convoluted shorelines, border lines of coastal waters are also winding.

Domestic shipping companies have been claimed to expand the waters to remove some of localized narrow regions from the winding lines, because they cause inefficiency of the shipping route and localized traffic congestion. In order to consider expansion for adoption, there is a need to examine its influence on shipping safety.

This study examined safety of coastal waters after the expansion. To estimate the amount of individual risk change, we have defined risk analysis model for the ships navigating along coastal waters. Significant wave height and 10^{-2} exceedance probability of ocean waves, historical data of capsize and collision casualties, and traffic density are adopted to estimate the differences in frequency of casualty occurrence. Distances to the ports are surveyed to estimate probability of saving life. The result shows that the estimated risks are in the ALARP region. Therefore we conclude that the safety of ships navigating along coastal waters after the expansion is same level as before expansion.

* 海洋リスク評価系

原稿受付 平成26年 2月 3日

審査日 平成26年 3月 17日

目 次

1. まえがき	54
2. 沿海区域の拡大に伴う	
リスク変化推定の考え方	55
2.1 概要	55
2.2 定義等	55
2.3 評価方法	56
3. 検討海域の波浪の現状	56
3.1 データ解析の概要	56
3.2 検討海域の海象	56
4. 検討海域の事故の特徴	57
4.1 海難審判庁裁決録データの概要	57
4.2 検討海域の事故発生地点	58
4.2.1 尻矢埼沖	58
4.2.2 伊勢湾沖	58
4.2.3 鹿島灘沖	58
4.2.4 飛島沖	58
4.2.5 金沢沖	58
4.3 4章のまとめ	58
5. 航行区域の見直しに伴う	
リスク分析モデルの作成	59
5.1 リスク分析モデルの概要	59
5.2 リスク分析モデルの作成	59
5.2.1 死亡率	59
5.2.2 交通密度	60
5.2.3 避難港からの距離	60
5.2.3.1 死者数の増加率	60
5.2.3.2 事故数の増加率	61
5.2.4 海象	61
5.3 人命損失リスクの変化	62
6. まとめ	63
謝辞	63
参考文献	63

1. まえがき

船舶安全法では、航行区域として平水区域、沿海区域、近海区域及び遠洋区域を定めており、航行区域に応じた船舶の構造、設備要件を課している。このうち沿海区域とは、船舶安全法施行規則第一条第7項において、概ね本邦、樺太本島及び朝鮮半島の各海岸から20海里以内の水域と定められている¹⁾。図-1.1に沿海区域を示す。

内航海運事業者等より、輻輳海域における航行安全の向上等の観点から沿海区域の拡大に関する要望がなされ、平成23年4月に閣議決定された「規制・制度改革に係る方針」において、政府の規制・制度改革の一環として沿海区域の一部拡大について検討を進めることとされた。沿海区域

の一部拡大を検討する海域は、内航事業者等の要望を踏まえ、尻矢埼沖、伊勢湾沖、鹿島灘、飛島沖及び金沢沖の5海域（図-1.2）が設定された²⁾。

沿海区域の一部拡大は、図-1.3に示す通り、航路の短縮による燃費抑制効果、危険海域の回避等が期待されるが、一方で、拡大された海域を航行する船舶の安全性が維持されるかとの懸念がある。このため、海域の設定については慎重な検討が必要である。

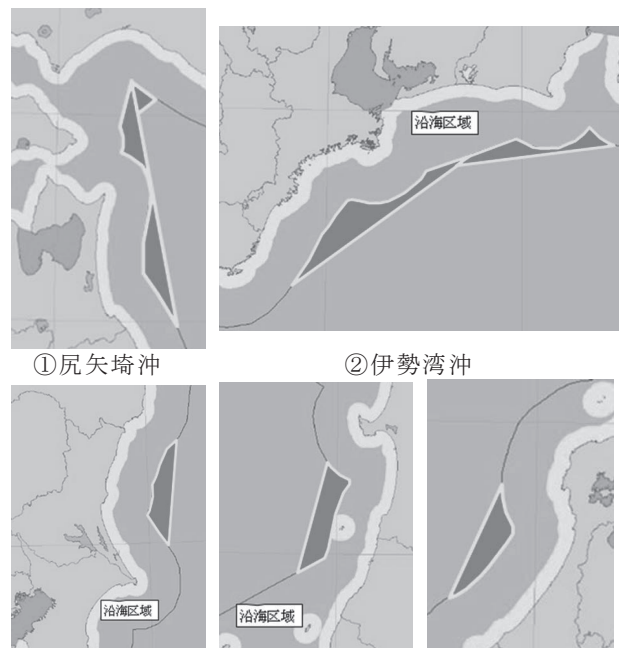
図-1.1 沿海区域¹⁾

図-1.2 検討海域

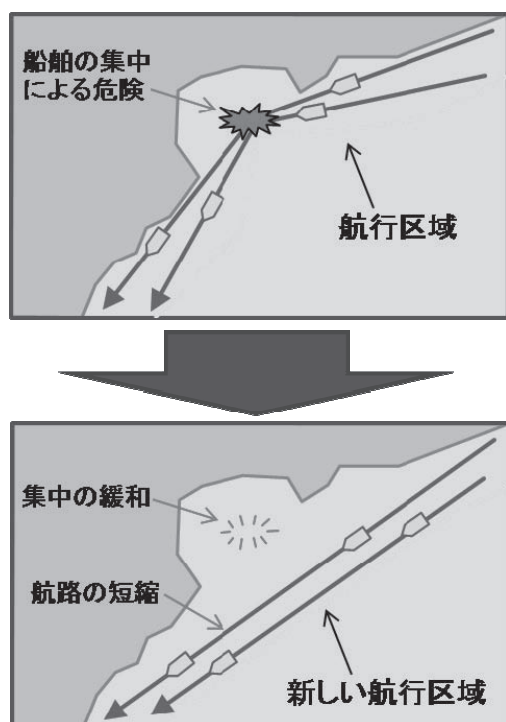


図-1.3 沿海区域拡大により期待される効果
(文献³⁾を参考に著者が作成)

本報告は、国土交通省からの依頼により、沿海区域を一部拡大する航行区域見直し検討のための基礎資料を提供するために行った調査の一部を報告するものである。

調査の後、上記5海域は、国土交通省内に設置された「沿海区域の一部拡大に関する検討会」での検討を経て、平成25年6月に沿海区域の一部拡大が行われた。

本報告の構成は以下の通りである。2章では、沿海区域の拡大に伴うリスク変化推定の考え方について簡単に述べる。3章では、検討海域の波浪の現状を調査した結果を述べ、4章では、検討海域の事故の現状を調査した結果を述べる。5章では、リスク分析モデルを作成し、そのモデルを用いて推定した各検討海域における沿海区域拡大後のリスクを示し、6章でまとめを述べる。

2. 沿海区域の拡大に伴う リスク変化推定の考え方

2.1 概要

それぞれの航行区域を航行する船舶の構造、設備要件は元来、各区域で一定水準の安全性を確保できるよう定められているものである。航行区域を一部拡大した場合、拡大された海域を航行する

船舶の安全性が維持されるかとの懸念があり、この懸念を払拭するためには、衝突、火災、機関故障、転覆、沈没等の船舶事故により結果として落命するという事態がどの程度起こるかを知必要がある。そのような結末に至る確率を左右する要素は大きく分けて、事故の発生頻度に寄与する環境的要素と事故に至った場合に救援船がすぐに到達できるかといった被害抑制の要素からなる。

本調査では、事故の発生頻度に寄与する環境的要素として、衝突の発生に影響を与える交通密度、主として転覆、沈没の発生に影響を与える海象条件を考え、被害抑制の要素として火災、機関故障等の発生時に救助の派遣される港湾等からの距離を考慮して、沿海区域の一部拡大前後のリスクの増減を推定した。

なお、沿海区域の一部拡大に伴い、船舶の交通量が多くなることも予想されるが、海上物流量の予測、モーダルシフトを含む輸送形態の変化の予測等の不確定要素が多いため、本調査では考慮しないこととした。従って、沿海区域の一部拡大に伴う経済効果については、考慮しない。

2.2 定義等

本節では、本調査で用いたリスクの定義等について簡単に説明する。定義の詳細については、リスク評価の専門書や文献4を参照されたい。

(1) リスク：安全の指標であり、事故の発生頻度と事故時の影響度との積により求められる。被害として考慮される主要なものは、人命損失、環境影響、財産の喪失であるが、本調査では人命損失を考慮した。

(2) 個人リスク：個人が交通機関を利用している等の危険に暴露されている期間中にその個人の死傷の頻度はどれぐらいかを示す指標である。

(3) 社会リスク：ある集団の人間が考慮対象の危険に暴露されている期間中にその死傷の頻度はどれぐらいかを示す指標である。人間の集団としては、ある種類の交通機関に乗っている人々等がある。ある集団の社会リスクはその集団に属する個人リスクに集団の大きさを掛けたものである。社会リスクの指標としてPLL (Potential Loss of Lives: 事故発生頻度と事故時の被害の大きさとの積)があり、船舶の場合は1隻1年当たりの死者数である。またPLLを船舶1隻当たりの乗船者数で除することにより個人リスクに変換することができる。

(4) ALARP (As Low As Reasonably Practicable) 領域：リスクがゼロになることは無い為、リスクは次の3つの領域に分類される。即ち「無視できる領域」、「許容できない領域」及び「ALARP 領

域」である。「ALARP 領域」とは合理的に達成可能な範囲内でリスクを低減すべき領域とされている。つまり、現状のリスクが ALARP 領域にある場合は、費用対効果が良ければ何らかの対策を講じる必要があるとされる。

IMO (International Maritime Organization) における FSA (Formal Safety Assessment)⁵⁾では、人命損失リスクの許容値として表-2.1 に示す閾値が使用されている。

表-2.1 リスク許容基準⁵⁾

	ALARP の下限 (無視可能リスク)	ALARP 領域の上限 (最大許容リスク)
個人リスク (乗組員)	10^{-6} [1/年]	10^{-3} [1/年]
社会リスク	経済性を考慮し、設定される。	

2.3 評価方法

本来、船舶の安全性の評価は、社会リスクを用いるのが一般的であるが、本調査では、個人リスクを用いて、安全性を評価するものとした。何故なら表-2.1 に示すように FSA では、社会リスクの許容基準は経済性を考慮し決定されるものとなっているが、本調査では経済性は考慮しないこととしたため社会リスクの許容基準が設定されないためである。従って、本調査では、沿海区域の一部拡大の前後における個人リスクを比較することにより、拡大された海域を航行する船舶の安全性が維持されるかどうかを判断することとした。

図-2.1 に本調査で行うリスク変化推定の全体像を簡単に図示したものを示す。

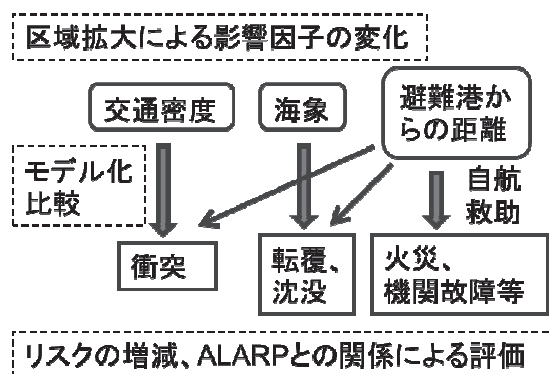


図-2.1 リスク変化推定の全体像

3. 検討海域の波浪の現状

沿海区域の一部拡大が可能かどうか判断するためには、まず検討海域の現状の波浪状況を知る必要がある。なぜなら、拡大される海域の波浪状況と、既存の沿海区域の波浪状況に大きな違いがあった場合、転覆等の事故リスクが高まるためである。

本調査では、日本近海局所波浪データ⁶⁾の統計解析に基づき、検討海域周辺の波浪を調査した。船舶の安全性へ影響を与える波浪の要素としては、波高、波向き、波周期等が考えられるが、本調査では波高のみを調査した。波向き等の情報は、船体強度及び復原性に関する情報としては有用であると考えられるが、これらを評価するためには、船首方位、船型、船速、動揺周期等の個船情報の関係をみるが必要となり、簡略化の観点から、波高のみを考慮した。

データ解析の概要と当該海域の海象について以下に示す。

3.1 データ解析の概要

本調査では対象とする海域の波高データを季節毎に抽出し、平均有義波高及び 10^{-2} 超過確率の波高の等値線図を作成した。 10^{-2} 超過確率の波高とは、各地点における有義波高を大きいものから並べ、上位 1%に相当する波高で、これにより荒天時の海象状況を把握することが出来る。ここでの季節の区分は、春季（3~5月）、夏季（6~8月）、秋季（9~11月）、冬季（12~2月）である。

3.2 検討海域の海象

本調査では、前述の通り各検討海域について季節毎に等値線図を作成したが、ここでは紙面の都合上、尻矢埼沖の年平均の平均有義波高（図-3.2）と 10^{-2} 超過確率の波高（図-3.3）及び冬季の平均有義波高（図-3.4）と 10^{-2} 超過確率の波高（図-3.5）の4つのみを示す。尻矢埼沖においては、ここで示した冬季が最も厳しい海象である。

図-3.2 より、尻矢埼沖の年平均の平均有義波高を、0.25m 毎の領域で表すと、陸岸から離れるに従って高くなっている様子が分かる。しかしながら、仮に拡大前の区域の境界線に従って航行した場合、最大で 1.25~1.5m の領域を通航することとなり、この最大値は拡大後の境界線に従った場合も、同じ領域にあることが分かる。

また、図-3.3 より、尻矢埼沖の年平均の 10^{-2} 超過確率の波高を 0.5m 毎の領域で表すと、平均有義波高と同様の傾向を持つことが分かる。同じく拡大前の区域の境界線に従って航行した場合、最大で 3.0~3.5m の領域を通航することになり、拡大後の境界線に従った場合もこの領域に収まっ

ていることが分かる。

図-3.4、図-3.5を見ると、同緯度または同経度で既存の沿海線の波高と拡大後の波高を比較した場合、波高が高くなる地点は存在するものの、その高くなった波高は既存の沿海区域で存在する波高と同程度であるという傾向は、冬季においても同様である。この傾向は他の季節、他の検討海域においても同様であった。

従って、いずれの検討海域においても、海象条件は既存の沿海区域と同程度であるとみなした。

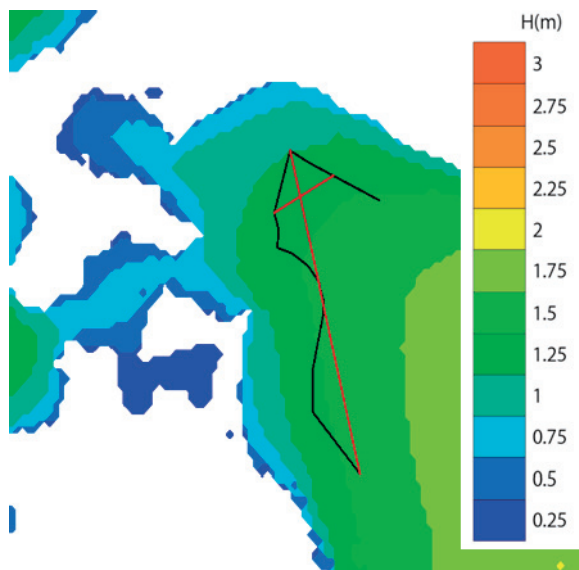


図-3.2 平均有義波高（尻矢埼沖、年平均）

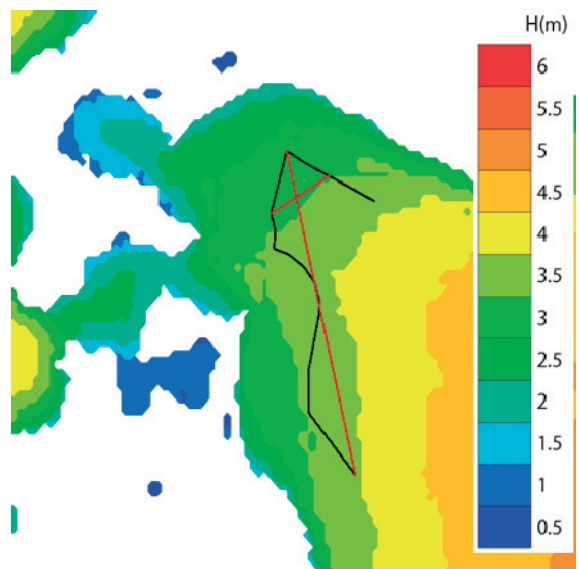


図-3.3 10^{-2} 超過確率の波高（尻矢埼沖、年平均）

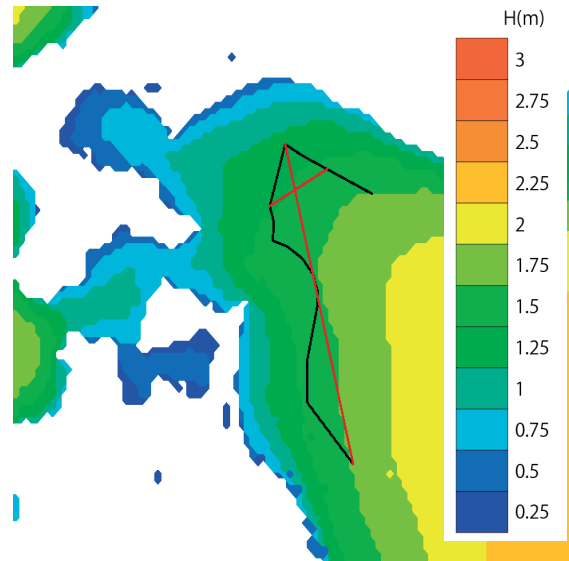


図-3.4 平均有義波高（尻矢埼沖、冬季）

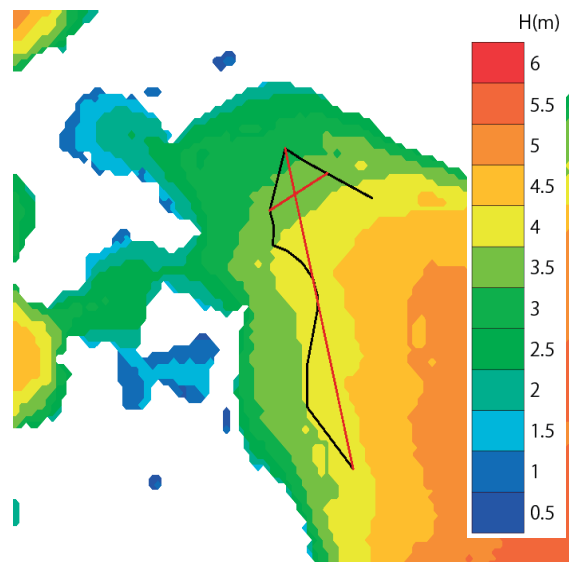


図-3.5 10^{-2} 超過確率の波高（尻矢埼沖、冬季）

4. 検討海域の事故の特徴

本章では、海難審判庁裁決録データの分析を行い、検討海域における事故地点を図示し、検討海域の海難事故の特徴を定性的に分析した。ここでは、死亡者数が多いと考えられる衝突、転覆、沈没の3海難の事故発生地点を図示することとした。

4.1 海難審判庁裁決録データ⁷⁾の概要

海難審判庁裁決録は、(財)海難審判協会が海難審判の裁決書3ヶ月分を一冊に編集して年4回刊行している書籍である。裁決書は、衝突、火災といった海難を事件として審判する際に作成される

文書で、事件毎に関係者の資格や関係船舶の要目、事実、原因等の情報と行政処分が記載される。

海難審判庁裁決録データは海難審判がなされた事故のみを扱っているため、実際にはそれより多くの事故が起きていることに留意する必要がある。

4.2 検討海域の事故発生地点

平成2年から平成21年までの海難審判庁裁決録データから尻矢埼沖における位置情報を特定したものを図-4.1～図-4.3に示す。ただし、ここで示す転覆事故地点と沈没事故地点には、結果として起きた転覆・沈没事故（衝突後の転覆等）は図示されていない。従って、実際には図示されている転覆・沈没事故より多くの転覆・沈没事故が起きていると推測されるので、そのことに留意する必要がある。また、ここで示す図中の赤丸は商船（船種に次の文字列を含んだ時に商船としている。「」貨物」、「油送」、「タンカ」、「運搬」、「旅客」）、緑丸は商船以外（殆どは漁船。そのため以下、「漁船」と言う）を表している。また衝突事故地点の図にある赤と緑の丸は商船と漁船の衝突を表している。紙面の都合上、図示するのは尻矢埼沖のみとするが、各検討海域の事故の特徴を以下に述べる。

4.2.1 尻矢埼沖

尻矢埼沖の衝突、転覆及び沈没事故地点を図-4.1～図-4.3にそれぞれ示す。図より、衝突事故は比較的陸地に近い場所で多く発生していることがわかる。特に苫小牧港や八戸港の付近で衝突事故が多い。検討海域周辺では、商船が絡む衝突事故は発生していない。

転覆、沈没については、殆どが沿岸付近で発生していることがわかる。転覆については、現状の沿海線の付近で3件発生していて、そのうちの1件は沿海区域が拡大された付近で発生している。沈没については、沿岸付近での発生のみで、検討海域周辺での発生は無い。

4.2.2 伊勢湾沖

衝突事故は主な変針場所である静岡県（石廊崎、御前崎）・三重県（大王崎）・和歌山県（潮岬）付近の海域及び伊勢湾からの合流により交通量が多くなる伊勢湾口の海域で特に多く発生している。それに比べると、検討海域内での商船が絡む衝突事故は少ないが、5件程度発生している。

転覆、沈没については、殆どが沿岸付近で発生していて、検討海域周辺での発生は無い。

4.2.3 鹿島灘

衝突事故は野島埼から犬吠埼にかけて多く発生している。検討海域周辺でも商船が絡む衝突事故が数件発生している。また、検討海域内では、1件発生している。

転覆、沈没については、殆どが沿岸付近で発生していて、検討海域周辺での発生は無い。

4.2.4 飛島沖

衝突事故は沿岸付近で多く発生していて、特に漁船の衝突事故が多い。検討海域周辺では、商船が絡む衝突事故が1件発生しているが、検討海域内での発生は無い。

転覆、沈没については、殆どが沿岸付近で発生していて、検討海域周辺での発生は無い。

4.2.5 金沢沖

衝突事故は比較的陸地に近い場所で多く発生している。検討海域周辺では、商船が絡む衝突事故が5件程度発生しているが、検討海域内での発生は無い。

転覆、沈没については、殆どが沿岸付近で発生していて、検討海域周辺での発生は無い。

4.3 4章のまとめ

本章では、死亡者数が多いと考えられる衝突、転覆、沈没の3海難の事故発生地点を図示することにより、検討海域の事故の特徴を調査した。その結果、どの検討海域においても、沿海区域が拡大される海域周辺では、事故が起きていないことが分かった。従って、沿海区域が拡大される海域周辺を船舶が通航したとしても、事故の危険性は低いと推測される。

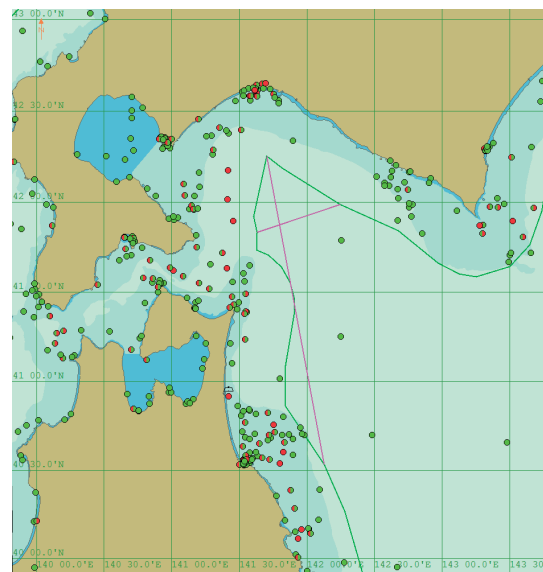


図-4.1 衝突事故地点（尻矢埼沖）

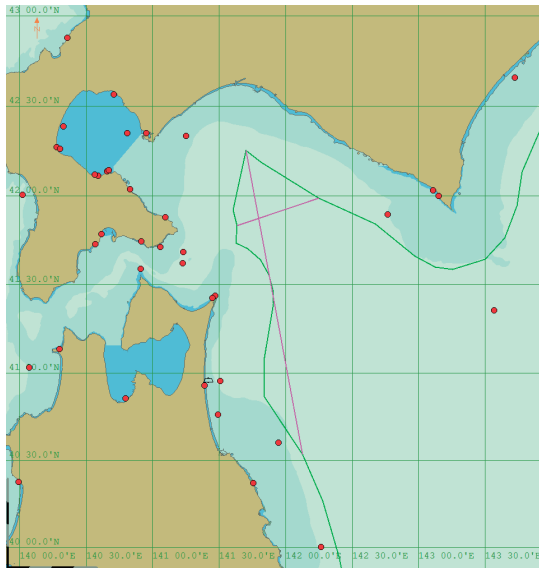


図-4.2 転覆事故地点 (尻矢埼沖)

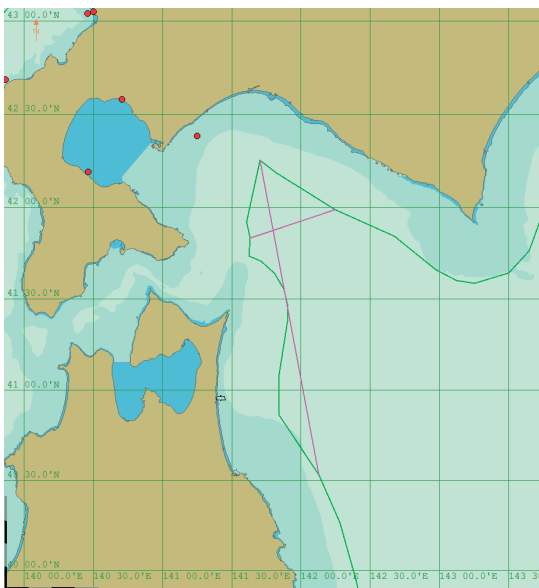


図-4.3 沈没事故地点 (尻矢埼沖)

5. 航行区域の見直しに伴う リスク分析モデルの作成

本章では、沿海区域を一部拡大する航行区域の見直しが船舶の安全性に及ぼす影響を定量化するための分析モデルを作成する。

まず5.1節において、航行区域を距岸 k_1 海里から距岸 k_2 海里に拡大した場合にそこを通る船舶のリスクがどのように変化するかについて分析する方法を示し、次に5.2節において、そのリスク分析モデルを用いて、沿海区域を一部拡大した場

合の人命損失リスクの変化を解析する。

5.1 リスク分析モデルの概要

沿海区域の一部拡大に伴う船舶の安全性に影響を及ぼす因子としては、「交通密度」、「避難港までの距離」、「海象」が考えられる。本調査では、これら3因子の変化に注目し、リスクモデルを作成した。

本調査では、図-5.1のような状況を想定した。即ち、事故が発生し、自力避難もしくは支援船による救助があり、避難・救助が間に合わなかった場合、死者が発生するという状況である。「事故の発生」としては交通密度と海象を要因として捉え、「死者の発生」としては避難・救助時間の増加の要因として、避難港からの距離と海象を考慮した。避難・救助時間の増加による死者の発生は、死亡率 P を用いることにより検討した。次節においてこれら要因の詳細について述べる。

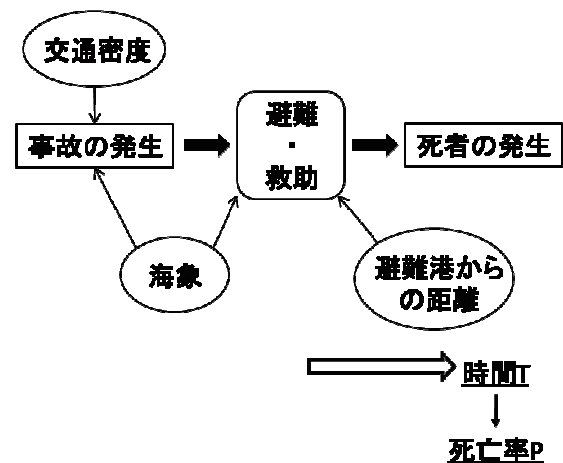


図-5.1 リスク分析モデル概略図

5.2 リスク分析モデルの作成

5.2.1 死亡率

事故船が避難するまでにかかる時間、または陸上からの支援船が到着するのにかかる時間等とその間に死亡する人間の死亡率との関係は、著者らが調べた限り不明である。しかし、文献8によると、震災で生き埋めになった人の生存率と救助時間の関係は、40時間までは1時間増加する毎に、1.6%生存率が下がり、それ以降は、1時間増える毎に0.8%下がる傾向にある。従って、ある時間 T における死亡率 $P[\%]$ は、(5.1)のようになる。

$$P = \begin{cases} 1.6T & (T \leq 40) \\ 0.8T & (T > 40) \end{cases} \quad (5.1)$$

本調査では、入手可能で、比較的状况が類似していると思われる、震災で生き埋めになった場合の死亡率と時間の関係（(5.1)式）を採用した。

5.2.2 交通密度

交通密度の変化により、衝突事故数が変化する。それに伴い死者数も変化する。

衝突事故発生頻度としては、そのまま直進すると他の船舶に衝突すると他の船舶に衝突するという危険な状況の発生頻度（遭遇頻度）とそのような危険な状況になった場合にそれを回避できない確率（衝突回避失敗確率）との積であるとの考え方がしばしば用いられ、本調査ではこれを用いた。ここでは、問題を単純化して考えるために、衝突回避後の他船との遭遇は無いとし、衝突回避失敗確率は γ （一定）であるとする。このとき、距岸 k_1 海里から距岸 k_2 海里に航行区域を拡大した場合の衝突事故数の増加率は、(5.2)式より距岸 k_1 海里及び距岸 k_2 海里での遭遇頻度を求めれば良いことがわかる。

$$\begin{aligned}
 & \text{(衝突事故数の増加率)} \\
 &= \frac{k_2 \text{海里での衝突頻度}}{k_1 \text{海里での衝突頻度}} \\
 &= \frac{k_2 \text{海里での遭遇頻度} \times \gamma}{k_1 \text{海里での遭遇頻度} \times \gamma} \\
 &= \frac{k_2 \text{海里での遭遇頻度}}{k_1 \text{海里での遭遇頻度}}
 \end{aligned} \quad (5.2)$$

遭遇頻度は金湖の方法⁹⁾により求めることが出来る。ここでは、その方法を簡単に述べるので、詳細については文献 9 を参照されたい。

本調査では、図-5.2 のような航行環境（即ち、同航と反航のみ）を想定した。図-5.2 に示す航行環境において他船と遭遇関係になる（他船の中心が自船の中心から衝突距離 r 以内に入る）平均回数（ Λ ）は、(5.3)式のようになる。

$$\begin{aligned}
 \lambda_0 &= 2r\rho_0 V_0 T_0 |1 - \eta_0| \\
 \lambda_1 &= 2r\rho_1 V_1 T_1 (1 + \eta_1) \\
 \Lambda &= \lambda_0 + \lambda_1
 \end{aligned} \quad (5.3)$$

ただし、

λ_n : Route n を航行する船舶との遭遇回数、
 V_n : Route n を航行する船舶の速度、
 T_n : 自船が Route n を通過する時間、
 ρ_n : Route n の船舶の密度、

V : 自船の速度、

$\eta_n = V / V_n$ 、

r : 自船と同航または反航関係にある他船との衝突距離

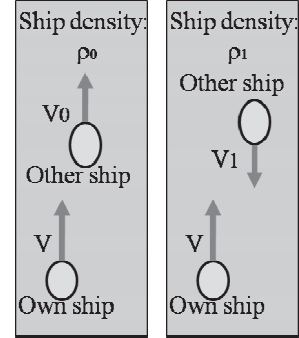


図-5.2 航行環境

従って、検討海域に存在する航路数を J とすると、航行区域が距岸 k 海里である場合（検討海域 k と呼ぶ）の遭遇頻度 M_k は、(5.4)式のようになる。

$$M_k = \sum_{j=1}^J k \Lambda_j \quad (5.4)$$

ここで、 $k \Lambda_j$ は検討海域 k の航路 j での遭遇頻度である。従って、距岸 k_1 海里から距岸 k_2 海里に航行区域を拡大した場合の衝突事故数の増加率は(5.5)式から求められる。死者数も同様に増加する。

$$\text{(衝突事故数の増加率)} = \frac{M_{k_2}}{M_{k_1}} = \frac{\sum_{j=1}^{J_{k_2}} k_2 \Lambda_j}{\sum_{j=1}^{J_{k_1}} k_1 \Lambda_j} \quad (5.5)$$

5.2.3 避難港からの距離

5.2.3.1 死者数の増加率

避難港からの距離の増加により、①事故船の自力避難時間の増加、②救助支援船の到着時間の増加が考えられ、このため死者数が増加すると考えられる。

まず、簡単のために、下記の仮定を用いる。

- ・事故地点は距岸 k 海里の線上とする。
- ・距岸 k_2 海里での事故現場は、距岸 k_1 海里での事故現場から扇形状に延長した点であるとする。

つまり、図-5.3 の黒丸で事故が起きると仮定する。

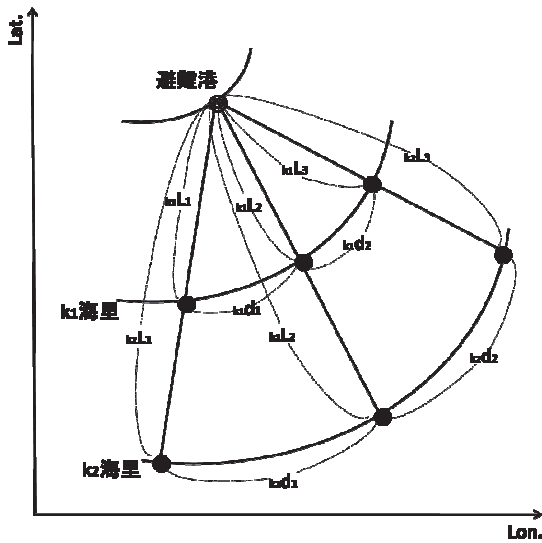


図-5.3 事故地点

避難港までの距離の増加による死亡者数の増加率は、距岸 k_1 海里と距岸 k_2 海里的事故地点 i での死亡率 ${}_kP_i$ と隣り合う事故地点間の距離 ${}_kd_i$ との加重平均を比較することにより求めることとする。各事故地点間の死亡率は、隣り合う2点の死亡率の平均とする。

すると、 k 海里での事故地点数を I_k とすると、避難港までの距離の増加による死亡者数の増加率は(5.6)式より求められる。

(死亡者数の増加率)

$$\begin{aligned} &= \frac{\sum_{i=1}^{I_{k_2}-1} \left(\frac{{}_kP_i + {}_kP_{i+1}}{2} \right) \times {}_kd_i / \sum_{i=1}^{I_{k_2}-1} {}_kd_i}{\sum_{i=1}^{I_{k_1}-1} \left(\frac{{}_kP_i + {}_kP_{i+1}}{2} \right) \times {}_kd_i / \sum_{i=1}^{I_{k_1}-1} {}_kd_i} \quad (5.6) \\ &= \frac{\sum_{i=1}^{I_{k_2}-1} ({}_kP_i + {}_kP_{i+1}) \times {}_kd_i / \sum_{i=1}^{I_{k_2}-1} {}_kd_i}{\sum_{i=1}^{I_{k_1}-1} ({}_kP_i + {}_kP_{i+1}) \times {}_kd_i / \sum_{i=1}^{I_{k_1}-1} {}_kd_i} \end{aligned}$$

5.2.3.2 事故数の増加率

危険（天候の変化等）の事前回避のための避難港までの到着時間が増加するため、転覆及び沈没事故数が増加すると考えられる。

危険の事前回避を開始する地点（回避開始地点と呼ぶ）を図-5.3の黒点であると仮定する。避難港までの距離の増加による事故数の増加率は、距岸 k_1 海里と距岸 k_2 海里的各回避開始地点から避難港まで避難するためにかかる時間 ${}_kT_i$ （回避時間と呼ぶ）と事故地点間の距離 ${}_kd_i$ との加重平

均を比較することにより求めることとする。各回避開始地点間の回避時間は、隣り合う2点の回避時間の平均とする。

避難港までの距離の増加による事故数の増加率は、避難港までの距離の増加率と同じであると仮定すると、事故数の増加率は(5.7)式ようになる。これは、(5.6)式における死亡率 P を回避時間 T と置き換えたものである。

(事故数の増加率)

$$\begin{aligned} &= \frac{\sum_{i=1}^{I_{k_2}-1} (({}_kT_i + {}_kT_{i+1}) \times {}_kd_i) / \sum_{i=1}^{I_{k_2}-1} {}_kd_i}{\sum_{i=1}^{I_{k_1}-1} (({}_kT_i + {}_kT_{i+1}) \times {}_kd_i) / \sum_{i=1}^{I_{k_1}-1} {}_kd_i} \quad (5.7) \end{aligned}$$

また、事故数の増加に伴い、死亡者数も増加すると考えられる。この場合の死亡者数の増加率は(5.6)式より推定する。

5.2.4 海象

(1) 自力避難時間及び回避時間の増加による死亡者数及び事故数の増加率

海象条件の変化がある場合、船速が変化すると考えられるので、避難時間等が変化し、死亡率も変化する。簡単のため、海象条件の変化がある場合、図-5.3に示す距岸 k_1 海里的の線を境に海象条件が変化すると仮定すると、 k_1 海里を境に船速が異なると考えられる。従って、 k_1 海里での船速を V_{k_1} 、 k_2 海里での船速を V_{k_2} とすると、海象条件の変化が有る場合の事故船の避難港までの避難時間 ${}_kT_i$ 、 ${}_kT_{i+1}$ は、(5.8)式より求められる。

$$\begin{aligned} {}_{k_1}T_i &= {}_{k_1}L_i / V_{k_1} \\ {}_{k_2}T_i &= {}_{k_1}L_i / V_{k_1} + ({}_kL_i - {}_{k_1}L_i) / V_{k_2} \end{aligned} \quad (5.8)$$

海象条件の変化が無い場合は、(5.9)式より求められる。

$$\begin{aligned} {}_{k_1}T_i &= {}_{k_1}L_i / V_{k_1} \\ {}_{k_2}T_i &= {}_{k_2}L_i / V_{k_2} = {}_{k_2}L_i / V_{k_1} \end{aligned} \quad (5.9)$$

自力避難時間の増加による死亡者数の増加率は、これらを(5.1)式に代入し求められる死亡率 P を(5.6)式に代入することにより求められる。また、危険の事前回避時間の増加による事故数の増加率は、これらを(5.7)式に代入することにより求められる。

(2) 支援船の到着時間の増加による死亡者数の増加率

(1)と同様の状態を想定する（図－5.3 における避難港を海上保安庁とし、この海上保安庁から救助支援船が来るとする）。(1)の場合と異なる点は、死亡率を求める際の時間 T である。船内残留者と海中転落者のそれぞれの場合に分けて、以下に述べる。

(i)船内残留者

この場合の時間 T は、支援船の海上保安庁から事故地点 i までの航行時間 $T_{S,i}$ ((5.8)式、(5.9)式と同様)の他に、海難発生から海上保安庁が情報を入手するまでの所要時間（事故関知時間 t_d ）と実際に出動するまでの時間 t_a を考慮する必要がある。海象条件の変化が有る場合の支援船の到着時間 ${}_{k1}T_i$ 、 ${}_{k2}T_i$ は、(5.10)式より求められる。ここで、 ${}_sV_k$ は支援船の船速である。

$$\begin{aligned} {}_{k1}T_i &= t_d + t_a + {}_{k1}L_i / {}_sV_{k1} \\ {}_{k2}T_i &= t_d + t_a + {}_{k1}L_i / {}_sV_{k1} + ({}_{k2}L_i - {}_{k1}L_i) / {}_sV_{k2} \end{aligned} \quad (5.10)$$

海象条件の変化が無い場合は、(5.11)式より求められる。

$$\begin{aligned} {}_{k1}T_i &= t_d + t_a + {}_{k1}L_i / {}_sV_{k1} \\ {}_{k2}T_i &= t_d + t_a + {}_{k2}L_i / {}_sV_{k2} = t_d + t_a + {}_{k2}L_i / {}_sV_{k1} \end{aligned} \quad (5.11)$$

支援船の到着時間の増加による船内残留者の死亡者数の増加率は、これらを(5.1)式に代入し求められる死亡率 P を(5.6)式に代入することにより求められる。

(ii)海中転落者

(i)で示した時間の他に搜索時間 t_s 、救助作業等に必要時間を t_R 、海水温度による地点 i での生存可能時間を T_{Li} とすると、海中転落者は、(5.12)式を満たすときに死亡していると考えられる。

$$t_d + t_s + T_{S,i} + t_a + t_R > T_{Li} \quad (5.12)$$

生存可能時間 T_L は、文献 10 によると海水温度により異なり、例えば 15°C から 20°C での生存可能時間は最低 6 時間、 20°C 以上の場合には最低 12 時間である。

各事故地点 i の海水温度を調査し、そこから各事故地点 i での生存可能時間 T_{Li} を推定できる。各事故地点 i において、(5.12)式を満たすかを調査し、満たしている場合はその事故地点の死亡率を

100%とする。死亡率が 100%で無い場合は、(5.13)式を(5.1)式に代入することにより死亡率が求められる。こうして求められた死亡率 P を(5.6)式に代入することにより支援船の到着時間の増加による海中転落者の死亡者数の増加率が求められる。

$${}_kT_i = t_d + t_s + 2{}_kT_{S,i} + t_a + t_R \quad (5.13)$$

ここで、

海象条件の変化が有る場合：

$$\begin{aligned} {}_{k1}T_{S,i} &= L_i / {}_sV_{k1} \\ {}_{k2}T_{S,i} &= L_i / {}_sV_{k1} + ({}_{k2}L_i - {}_{k1}L_i) / {}_sV_{k2} \end{aligned}$$

海象条件の変化が無い場合：

$$\begin{aligned} {}_{k1}T_i &= L_i / {}_sV_{k1} \\ {}_{k2}T_i &= {}_{k2}L_i / {}_sV_{k1} \end{aligned}$$

5.3 人命損失リスクの変化

海上保安統計年報等の事故データから各検討海域における現状の個人リスクを推定した結果と、前節で示したリスク分析モデルを用いて各検討海域における沿海区域拡大後の個人リスクを推定した結果を図－5.4 に示す。リスク分析モデルを用いた計算に際し、パラメータ等としては下記を用いた。

(1) 衝突事故数の増加率の推定の際には、仮想航路を設定し、その航路を通る船舶の 1 時間毎の船舶数、平均船速、平均船長等を AIS データから求めた数値を用いた。

(2) 避難港からの距離の増加による死亡者数や事故数の増加率の推定の際には、まず下記から、避難港の距離と各事故地点間の距離を求めた。

①各検討海域における避難港の緯度と経度

②任意の事故地点を数カ所設定し、その各事故地点の緯度と経度

次に、支援船や危険の事前回避を行う船舶の船速は 12.2 knot、事故船の船速は 6.1 knot（事故船の減速率を 50%と仮定）とし、これら船速と上記で求めた避難港までの距離から事故船の自力避難時間や救助支援船の到着時間等を求めた。

(3) 支援船の到着時間の増加による死亡者数の増加率の推定の際には、事故関知時間 t_d と実際に出動するまでの時間 t_a はそれぞれ 1 時間、搜索時間 t_s と救助作業等に必要時間 t_R は合わせて 1 時間とした。

なお、3 章で示したように、どの検討海域においても海象条件の変化は無いとし、計算を行った。

図－5.4 より、沿海区域拡大前後における個人リスクを比較すると、各検討海域ともに微増もし

くは同程度との推定結果となった。また、そのリスクは表-2.1 に示す ALARP 領域の上限値より低く、ALARP 領域内にあると推定された。従って、沿海区域拡大前のリスクも ALARP 領域内にあると推定されているので、沿海区域拡大後の安全性に大きな変化は無いと考えられる。

ただし、これらの値は、用いている仮定や使用可能なデータの限界等のため不確実性があると考えられる。

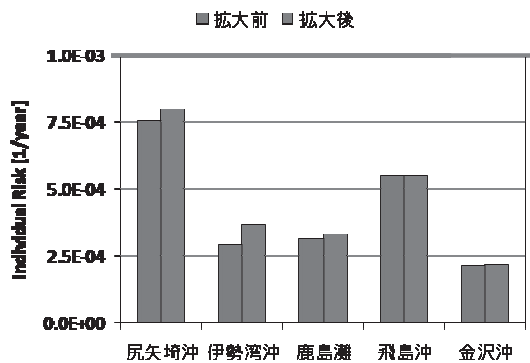


図-5.4 沿海区域拡大前後の個人リスク (推定)

6. まとめ

海象データを用いた検討海域における有義波高の分析、海難審判庁裁決録データを用いた検討海域の事故の特徴の分析について述べた。また、沿海区域を一部拡大する航行区域の見直しが船舶の安全性に及ぼす影響を定量化するための分析モデルを作成し、そのモデルを用いて各検討海域における沿海区域拡大後の個人リスクを推定した。その結果、沿海区域拡大後における個人リスクは、各検討海域ともに沿海区域拡大前に比べ微増もしくは同程度との推定結果となった。また、そのリスクは ALARP 領域内にあると推定された。従って、沿海区域拡大前のリスクも ALARP 領域内にあると推定されているので、沿海区域拡大後の安全性に大きな変化は無いと考えられる。ただし、これらの値は、用いている仮定や使用可能なデータの限界等のため不確実性があると考えられる。

謝 辞

本研究は、国土交通省請負研究「沿海区域の見直し検討に係るリスクレベルの変化等に関する調査」として実施した。国土交通省海事局安全基準課 (当時) 及び関係各位に感謝申し上げる。

参考文献

- 1) 中国運輸局：船舶安全法に基づく航行区域
<http://www.tb.mlit.go.jp/chugoku/kaian/kuiki.html>
- 2) 沿海区域の一部拡大に関する検討会：沿海区域の一部拡大に関する検討結果について (取りまとめ)、平成 25 年 3 月
- 3) 海事局：平成 23 年度海事局関係予算決定概要、p.4
- 4) 金湖富士夫、有馬俊朗：船舶海洋分野におけるリスク評価の事例としての FSA、海上技術安全研究所報告、第 8 巻第 4 号 (2008)、pp.19-58
- 5) IMO : REVISED GUIDELINES FOR FORMAL SAFETY ASSESSMENT (FSA) FOR USE IN THE IMO RULE-MAKING PROCESS, MSC-MEPC.2/Circ.12
- 6) 日本近海の波と風データベース
http://www.nmri.go.jp/wwwjapan/namikaze_main.html
- 7) 伊藤博子：海難審判庁裁決録のウェブデータベース化、海上技術安全研究所第 4 回研究発表会講演集 (2003)
- 8) 太田裕ら：震後余命特性曲線の試算-1995 年兵庫南部地震の場合
- 9) 金湖富士夫：浦賀水道航路における分離航行の効果の推定、日本航海学会論文集、第 108 号 (2003)、pp.247-257
- 10) IMO/ICAO : "IAMSAR Manual INTERNATIONAL AERONAUTICAL AND MARITIME SEARCH AND RESCUE MANUAL", section3、p.40