

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289320

研究課題名(和文) 国際基準のためのFSAガイドラインを指向したリスクアセスメント法の開発

研究課題名(英文) Development of Methodology for Risk Assessment Based on FSA Guideline to Establish International Standardized Rule

研究代表者

篠田 岳思 (SHINODA, TAKESHI)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：80235548

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,200,000円

研究成果の概要(和文)：国際海事機関IMO(International Maritime Organization)において、今後の国際基準の策定の鍵になる2002年に制定されたFSA(Formal Safety Assessment)ガイドラインを補完し、船舶の設計、運航に関わる安全対策の検討のためのリスクアセスメント法の確立を目指し、操船時の人的過誤を人間の認知・情報処理理論によるモデルの構築を図り、海難事故のデータベースの構築・作成からリスク解析と安全対策の費用対効果の評価に至るまで、ベイジアンネットワークを基に構築した人的過誤モデルを基に一貫したリスク評価法の構築の検討と適用の検討を行った。

研究成果の概要(英文)：In this paper, we examine the application of the Bayesian network for accident occurrence modeling, which can reveal the causal relationships between human factors in maneuvering vessels and ship collisions. Then we create risk analysis models for the collision accidents using the Bayesian network. This model consists of three major components which are; (a) the model of ship maneuvering, (b) the model of collision factors and, (c) the model of effective factors for Risk Control Options (RCOs) as safety measures to reduce collision risks. Collision Risks are analyzed by using the conditional probability table calculated using the constructed collision database. Evaluation of RCOs for collision is calculated using the effective dominance index. Finally, a trial cost-benefit analysis for RCOs is considered through gross cost of averting fatality index in the guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) approved by IMO (International Maritime Organization) in 2002.

研究分野：工学・船舶海洋工学

キーワード：リスクアセスメント Formal Safety Assessment 海難事故 ヒューマンファクター リスク軽減対策

1. 研究開始当初の背景

船舶に関わる海難事故の多くは、安全に関わる機能システムにおける誤認や誤判断、誤操作などのヒューマンファクター（人的過誤）が関係していることが多く重大海難に繋がることも多い。これまで IMO での SOLAS(The International Convention for the Safety of Life at Sea)等の新たなルール改正や装置の義務化等に際しては、特に重大事故を契機として、事故抑制のための対策等に多大な成果があげられてきたものの、各国の思惑や意思決定にも政治的要素が働き、対策に対する科学的な合理的な評価から決定がなされているとは限らないという指摘があった。

このため、IMO では 1993 年の MSC(Marine safety conference)62 において英国より IMO での安全向上に資する装置の強制化等の制定のためのガイドラインとして FSA(Formal Safety Assessment)が提案された。FSA は総合安全評価と和訳されており、数々の審議の後に 2007 年には MSC83/INF.2 としてまとめられることとなった。FSA は汎化ルールであり特定の事柄を対象とした物では無く、透明性が高く合理的なリスクアセスメントにより IMO 基準を策定しようと考案されたツールである。これまで MSC ではバルクキャリアの安全性問題(Bulk carrier safety)や、非常時の曳航システム(ETS)搭載の強制化、電子海図表示システム(ECDIS)の設備の強制化、安全基準設定のための火災リスク評価等について、適用検討が進められ、FSA は今後の IMO ルール策定の鍵になるものと考えられている。

しかし、FSA は基準やルール策定に有効性はあるものの適用上の問題点としては、使い方による透明性や、確率的リスク解析法として示されている ET(Event Tree)法や FT(Fault Tree)法では、基本事象の確率値の設定が難しく他の事象の確率値を代替せざるを得ないこともあり、得られた確率値の信頼性に指摘がある。また、事故解析の際のシナリオの合理性、リスク分岐確率の設定、費用対効果の把握方法等について課題が指摘されており、船舶の安全規制に関わる設備要件等の評価には解決課題がある。

また、IMO の FSA の専門家グループである FSA-EG では、複雑な要因の解析に有利なベイジアンネットワークによる評価法等の検討が進められつつあり、この方法によるリスクアセスメントの確率的評価法の構築と有用性の検証が急がれている。

2. 研究の目的

本研究では、IMO において今後のルール策定の鍵になる FSA によるガイドラインの補完を目指し、船舶の設計、運航、基準の安全対策を検討するためのリスクアセスメントによる評価法の確立を目標とし、操船時の人的過誤を人間の認知・情報処理理論による人

的過誤モデルの構築を図り、このモデルを基にデータベースの作成からリスク解析と安全対策の費用対効果の評価に至るまで、一貫したリスク評価法の構築を図り、適用を通してリスク評価法の検証を図る。なお適用には毎年我が国近海において 2500 件程度の海難事故の内 30%を占める衝突海難を扱う。

FSA によるリスクアセスメントのガイドラインには手順として、潜在的危険の同定から、リスク解析、リスク対策・措置の策定、対策の費用対効果の評価、意思決定のための勧告、という大きく五つの過程からなり、各過程での手法は評価を行う側に委ねられている。

背景に述べた FSA の問題から解決法として、研究では適用研究を想定して衝突海難に関わるリスク解析のために三つの課題として、1)操船時の人間の認知・情報処理理論に基づく人的過誤モデルの構築、2)この人的過誤モデルに基づき IMO の FSA 専門グループでも検討が始められるベイジアンネットワークによる確率的リスク評価手法の構築、さらに、3)人的過誤モデルを基にしたリスクを軽減する改善対策の有効性評価と費用対効果の把握について課題設定を行い研究を推進する。

操船時の人間の認知・情報処理理論に基づく人的過誤モデルの構築では、事故の人的要因を考慮するために人間の知覚から状況の予期、行為判断および行為に至るまでの人間の認知・情報処理モデルの設定を行い、このモデルに操船時の相手船の初認、動静監視、回避判断、操船の一連の流れの対応付けを行い人的過誤モデル構築を図る。さらに人的過誤モデルを基にして船舶の衝突海難のデータベースの再構築を行う。

次に、人的過誤モデルに基づく確率的リスク評価手法の構築では、ベイジアンネットワークを用いてリスク解析モデルの構築を行う。またリスク確率値の恣意性を排除するために、これまで生じた過去の衝突海難事故データをできる限り活用を図り、確率計算に必要な条件付確率表をデータベースから得ることにより恣意性の排除を図る。

さらに、リスクを軽減する安全改善対策の有効性評価と費用対効果の把握について述べると、安全改善対策の有効性評価では、安全改善によるハザード要因の軽減の関連性を定義し、これに基づき対策後に効果のある要因が排除できたものと仮定して確率を再計算し、対策前後の確率値の変化から、対策の有効性の試算を行う。また、安全改善対策の費用対効果の把握については、強制化に伴う利用者の負担増を考慮するために、ヒアリング調査により支払い意思額推定を仮想的評価法(CVM)による確立を図る。

以上に述べた手法構築から、FSA の流れに基づき人的過誤モデルをベースに一貫したリスクアセスメント法の構築を図り、適用例を通して評価法の改良を図る。

3. 研究の方法

本研究では、FSA の評価の流れをベースとし、過去に公開されている海難審判所の衝突海難事故のデータを活用し、この事故要因の標準コード化を図り、事故データからリスク解析、安全対策の有効性までを一貫させたりリスク評価法の構築を図る。

FSA の評価の主な流れは、「Step 1 潜在的危険（ハザード）の同定」、「Step 2 リスク解析」、「Step 3 リスク対策・措置（RCO、リスクコントロールオプション）の策定」、「Step 4 RCO の費用対効果の評価」、「Step 5 意思決定のための勧告」、の各過程からなる。研究では FSA のガイドラインに沿い、大きく 1) 衝突海難に関わるリスク解析のための認知・情報処理理論を基にした人的過誤モデルの構築、2) 人的過誤モデルを基にしたリスク解析モデルの構築、3) リスクを軽減する改善対策の有効性評価と費用対効果の把握手法、について課題の設定を行う。なお、これまで当該研究室では FSA に基づく漁船と大型船の衝突海難に関する研究や、造船工場での労働災害に関連するリスクアセスメント手法の開発が行われ、リスク解析のための研究の整備を行ってきており、これらの研究成果を活用する。

以下に述べる 4 項目の研究課題を設定してリスクアセスメント法の構築を推進する。

(1) 認知・情報処理理論を基にした人的過誤モデルの構築

衝突海難に関わるリスク解析には、a) 人間の認知・情報処理理論を基にした人的過誤モデルの構築を図り、b) このモデルに基づき衝突海難のデータベースの再構築と拡充を進める。潜在的危害のありうる人的過誤要因を、a) において構築した人的過誤モデルと照合して、人的過誤要因の標準コード化を行い、このコードを元にして b) のデータベースの再構築を進める。

(2) 海難事故の人的要因を考慮したリスク解析モデルの構築

海難事故の人的要因を考慮したリスク解析モデルの構築を図り、リスク解析に必要な確率的リスク解析モデルの構築および事象の生起確率値の整備を行う。

確率的リスク解析モデルにおいては、a) ベイジアンネットワークを用いた操船時の人的過誤のモデル化、の検討を行い、このモデルに必要な、b) 事象の生起確率値の整備を、先の人的過誤モデルに基づく衝突海難データベースを基にして実施する。

(3) リスクを軽減する改善対策の有効性評価と費用対効果の把握手法

FSA において費用対効果の指標として用いられている GCAF (Gross Cost of Averting Fatality) により RCO の費用対効果の検討を行う。GCAF は C (対策にかかるコスト増分) と R (対策による削減リスク) であり C および R の設定を必要とするため、これらの

検討を行う。

(4) バックグラウンドリスクの推定と背後要因の把握

現状のリスクを見積もるため、バックグラウンドリスクを推定する必要がある。推定にはこれまでの a) 全交通量調査データを活用した方法と b) 訪船計測による方法を実施する。

以上をまとめ人的過誤モデルをベースに一貫したリスクアセスメント法の構築を図り、適用例を通して評価法の改良を図る。また、実際の運用にできるだけ使い易いツールとして構築を進める。

4. 研究成果

国際海事機関 IMO (International Maritime Organization) において、今後の国際基準の策定の鍵になる FSA (Formal Safety Assessment) ガイドラインを補完し、船舶の設計、運航に関わる安全対策の検討のためのリスクアセスメント法の確立を目指し、操船時の人的過誤を人間の認知・情報処理理論によるモデルの構築を図り、海難事故のデータベースの構築・作成からリスク解析と安全対策の費用対効果の評価に至るまで、人的過誤モデルを基にした一貫したリスク評価法の構築の検討を行った。

研究では適用研究を想定して、以下の大きく四つの課題について研究を推進し研究成果を得た。

(1) 認知・情報処理理論を基にした人的過誤モデルの構築

衝突海難に関わるリスク解析には、人間の認知・情報処理理論を基にした人的過誤モデルの構築を図り、このモデルに基づき衝突海難のデータベースの拡充を進めた。

a) 認知・情報処理理論に基づく人的過誤モデルの構築

人間の認知・情報処理モデルに基づく確率的リスク評価の考え方を示した。この人間の認知・情報処理理論では、外界からの知覚情報や聴覚情報の刺激に対して、知覚、状況判断、行為判断、行為の状態推移にしたがい情報処理がなされ、その際の人間の有する余裕時間や過去の経験等からなる注意に関する情報は資源と呼ばれ、衝突事故のような緊急時の人間の情報処理への制約とされている。研究では、これらの人間の情報処理の過程に対して見合い関係の生じた際の標準操船との対比から、相手船の発見、動静監視、避航判断、避航操船の状態推移として対応付け、操船時の人的過誤モデルの構築を行った。

b) 情報処理モデルに基づく衝突海難データベースの再構築

これまで構築してきている海難審判所が公表している海難審判裁決録を基にした 200 件あまりの衝突海難のデータベースの拡充を図り、Variation tree analysis (VTA) と呼ばれる事故時にとられた通常の操船とは

異なる変動要因を抽出することから、人的過誤の抽出を行った。ここでは、潜在的危害のありうる人的過誤要因を、a)において構築した人的過誤モデルと照合して、人的過誤要因の標準コード化を行い、構築しているデータベース項目へ改良を行った。この人的過誤要因の標準コード化から、事故の分類や、事故シナリオの把握と設定の検討が可能となり、また事故に繋がる過誤要因を遮断することが事故対策となりうるため事故対策の立案や対策の有効性について検討を進めることが可能となった。

(2) 海難事故の人的要因を考慮したリスク解析モデルの構築

海難事故の人的要因を考慮したリスク解析モデルの構築を図り、リスク解析に必要な確率的リスク解析モデルの構築および事象の生起確率値の整備を行った。

a) ベイジアンネットワークを用いた操船時の人的過誤のモデル化

ベイジアンネットワークを用いて確率事象を条件付き確率として状態推移を考慮できる確率的リスク解析モデルの構築について検討を行った。このモデルでは、先に検討した人的過誤モデルと操船時の状態推移をベイジアンネットワークを用いて要因間の因果関係をネットワークを用いて操船時の人的過誤のモデル化を行う。このモデルにより衝突事故に至る人的過誤要因の時間的な推移を二船間の距離(時間)の存在確率として扱い、各状態の存在確率の分布から事故の特徴化した。

b) 事象の生起確率値の整備

確率的リスク解析モデルを構築して行くためには、事象の生起確率値の整備を必要とするが、これには、これまで生起した事故データをできる限り活用することを考え、先の人的過誤モデルに基づく衝突海難データベースを基にした事象の生起確率値の整備を行った。

衝突海難データベースでは人的要因に標準コード化がなされるため、人的要因の推移は因果関係に相当し、事象推移と等価に扱えることになる。これにより、因果関係の推移を積算すれば条件付確率表(CPT: Conditional Probability Table)を得ることを試みた。さらに、因果関係の推移とその際の時刻あるいは船速を抽出することにより、時系列を軸とした状態推移モデルの構築を行い、実際の事故状況の推移を基にしたリスク確率値として計算を実施した。

(3) リスクを軽減する改善対策の有効性評価と費用対効果の把握手法

FSAにおいて費用対効果の指標として用いられているGCAF(Gross Cost of Averting Fatality)によりRCOの費用対効果の検討を行う。GCAFはC(対策にかかるコスト増分)とR(対策による削減リスク)でありCおよびRの設定について検討を行った。

a) RCOのリスク削減効果 Rの推定方法の確立

衝突リスク軽減対策を評価するために、確率的リスク解析モデルに基づく改善効果の推定として、RCO有効性評価モデルの構築を行い、衝突海難の残存リスクを確率的に推定する手法の構築の検討を行った。提案するベイジアンネットワークによる確率的リスク解析モデルでは、認知・情報処理に関わる状況の推移と時間遷移を基にした確率値の算出が可能となったため、RCOとして安全改善対策と事故要因への寄与度として、一般には寄与が有る(1)/無し(0)に応じてベイジアンネットワーク上での因果関係の付与/削除を行い、さらに確率値の再計算を行い、RCOの確率値として事故の削減量の推定を実施した。

以上より対策が取られていない場合の事故発生に至る確率値と対策が取られた場合の確率値とを比較することにより、安全改善対策のリスク削減値 Rの推定を試みた。

b) GCAF 限界値の推定手法の確立

GCAF 限界値の推定方法には、改善費用支出額の推定の検討を必要とするが、FSAにおいては対策の強制化等に伴う導入の負担の算出方法については研究が十分なされていないことや、自然環境の損失については自然環境の有する価値評価の調査が十分ではないため、自然環境を維持するための人々の費用負担から自然環境価値の算出と見なすことがある。ここでは、これらのように人々の支払い意思についての調査方法であるCVM(Contingent Valuation Method, 仮想的評価法)を用い安全改善への支払い意思や自然環境の価値から、検討を試みた。

(4) バックグラウンドリスクの推定と背後要因の把握

現状のリスクを見積もるため、バックグラウンドリスクを推定する必要があるが、これまでの全交通量調査データを活用した方法と訪船計測による方法について検討した。

a) 全船航跡調査データによる操船状況の取得

これまで関門海峡付近等で実施されてきている膨大な全船交通量調査データがありこのデータは数日間に渡り全船の航跡データも取得されている。このデータを活用した航行量や航行する船舶の輻輳状況や船舶間の見合い状況の抽出方法から事故の確率的推定を検討した。

b) 訪船調査による操船状況の取得

ブリッジにおいて、搭載されているレーダー等の航海機器を用いて見合状況の頻度や回避時の相手船の行動の変化の様子や、操船時のブリッジ内での行動の変化の様子を記録することにより、現状の把握や背後要因について把握を行う。これらより、遭遇する船舶数や付近を操業する漁船等の記録から航行量の推定を行い、見合数や回避数、作成している海難事故データベースから海域での

事故発生数から、バックグラウンドリスクの推定について検討を行った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 15 件)

1) 田村由佳, 篠田岳思: 漁船と大型船の衝突海難に関わるデータベースの構築, 日本航海学会学会誌, 査読有り, 第 128 号, pp.81-88

2) 篠田岳思, 三笠亮: 運航トラブルに関わるデータベースの構築と要因分析に関する研究, 日本航海学会学会誌, 査読有り, 第 128 号, pp.141-147

3) Takeshi SHINODA, Katsuhisa YANO: Development of Evaluation Methodology for Outfitting Equipment by Application of Multi-criteria Analysis -Application to Ballast Water Management Systems-, No.12 Asian Navigation Conference, Busan, Proceeding of Asia Navigation Conference, 査読あり, Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, pp.224-232

4) Takeshi SHINODA, Sumanta BUANA, Putu HANGGA, Katsuhisa YANO: Establishing the Evaluation Analysis Model for Material Transportation System, Proceeding of SENTA (International seminar on theory and application for Marine Technology), 査読有り, 2013, pp.69-74

5) 篠田岳思, 松崎 健悟, 田村由佳, 山本真也: データベースを活用した衝突海難のリスク解析に関する研究, 日本船舶海洋工学会講演論文, 査読無し, No.16, 2013, pp.303-304

6) Yuka TAMURA, Takeshi SHINODA: Risk Assessment on Collisions between Fishing Vessels and Cargo Vessels, Proceeding of International Maritime Conference on Design for Safety

7) Takeshi Shinoda: Risk assessment approach for maritime safety -Application to Collisions between Fishing Vessels and Cargo Vessels-, International Conference of Safety, Intelligent Technology Marine Accident Protection and Salvage, 査読有り, vol.1, 2014

8) Sumanta Buana, Takeshi Shinoda: Establishment of Evaluation and Decision Making Model for Cargo Transportation System in Indonesia, The Journal of Japan Institute of Navigation, 査読有り, vol.131, 2014, pp.149-158

9) Sumanta Buana, Takeshi Shinoda: Establishment of Model Evaluation and Selection Model for Domestic Container Transportation, Multi-criteria Analysis Approach, The 9th International Conference on Marine Technology, 査読有り, vol.9, 2014

10) Takeshi SHINODA and Koji URU:

Establishment of Risk Assessment Model for Ship Collision using Applied Bayesian Network - Collision Accidents between Fishing Vessels and Cargo Vessels -, Transactions of The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 査読有り, vol.123, 2015, pp.101-112

11) 篠田岳思, 瓜生浩二: ベイジアンネットを適用した大型船の衝突海難リスク解析に関する研究. 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 査読無し, vol.20, 2015, pp.195-196

12) 篠田岳思: ヒューマン・エラーを考慮した衝突海難のリスク評価法, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 査読無し, vol.21, 2015, pp.195-196

13) 篠田岳思, 瓜生浩二, 渡川真規: 衛星画像を用いた海上交通量の推定と衝突海難のリスク評価に関する研究, 日本航海学会講演予稿集, 査読有り, Vol.3 No.1. 2015, pp.45

14) 金湖富士夫, 篠田岳思: 船舶のリスク評価の進展に関する一考察, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 査読無し, vol.21, 2015, pp.1-2

15) 渡川真規, 篠田岳思, 長谷川和彦: リモートセンシング技術による船舶解撤モニタリング, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 査読無し, vol.20, 2015, pp.203-206

[学会発表](計 15 件)

1) 田村由佳: 漁船と大型船の衝突海難に関わるデータベースの構築, 日本航海学会, 2013年05月30日~2013年05月31日, 東京海洋大学

2) 三笠亮, 運航トラブルに関わるデータベースの構築と要因分析に関する研究, 日本航海学会, 2013年05月30日~2013年05月31日, 東京海洋大学

3) Takeshi SHINODA: Development of Evaluation Methodology for Outfitting Equipment by Application of Multi-criteria Analysis -Application to Ballast Water Management Systems-, Asia Navigation Conference, 2013年10月23日~2013年10月25日, Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology

4) Takeshi SHINODA: Establishing the Evaluation Analysis Model for Material Transportation System, SENTA(International seminar on theory and application for Marine Technology), 2013年12月03日~2013年12月03日, University of ITS, Indonesia

5) 篠田岳思: データベースを活用した衝突海難のリスク解析に関する研究, 日本船舶海洋工学会, 2013年05月27日~2013年05月28日, 東京大学柏キャンパス

6) Yuka TAMURA: Risk Assessment on Collisions between Fishing Vessels and Cargo Vessels, International Maritime Conference on Design for Safety, 2013年

11月25日～2013年11月27日, Shanghai Jiao Tong University, China

7) Takeshi SHINODA: Risk assessment approach for maritime safety -Application to Collisions between Fishing Vessels and Cargo Vessels-, International Conference of Safety, Intelligent Technology Marine Accident Protection and Salvage (招待講演), 2014年05月15日～2014年05月17日, 韓国・木浦海洋大学

8) Sumanta Buana: Establishment of Evaluation and Decision Making Model for Cargo Transportation System in Indonesia, Japan Institute of Navigation, 2014年05月22日～2014年05月23日, 東京海洋大学 越中島キャンパス

9) Sumanta Buana: Establishment of Model Evaluation and Selection Model for Domestic Container Transportation: Multi-criteria Analysis Approach, International Conference on Marine Technology, 2014年10月24日～2014年10月26日, インドネシア・スラバヤ工科大学

10) Takeshi SHINODA: Establishment of Risk Assessment Model for Ship Collision using Applied Bayesian Network - Collision Accidents between Fishing Vessels and Cargo Vessels -, World Maritime Conference 2015 (国際学会), 2015年11月03日～2015年11月07日, Rhode Island Convention Center, US

11) 篠田岳思: ベイジアンネットを適用した大型船の衝突海難リスク解析に関する研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 2015年05月25日～2015年05月26日, 神戸国際会議場

12) 篠田岳思: ヒューマン・エラーを考慮した衝突海難のリスク評価法, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 2015年11月16日～2015年11月17日, 東京大学生産技術研究所

13) 瓜生浩二: 衛星画像を用いた海上交通量の推定と衝突海難のリスク評価に関する研究, 日本航海学会講演予稿集, 2015年05月28日～2015年05月29日, 横浜ワールドポーターズ

14) 金湖富士夫: 船舶のリスク評価の進展に関する一考察, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 2015年11月16日～2015年11月17日, 東京大学生産技術研究所

15) 渡川真規: リモートセンシング技術による船舶解撤モニタリング, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 2015年05月28日～2015年05月29日, 神戸国際会議場

〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

名称: 水上交通状況解析システム水上交通状況解析方法及びプログラム

発明者: 篠田岳思、渡川真規

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願 2015-226884

出願年月日: 2015年11月19日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者: 篠田岳思 (SHINODA, Takeshi)
九州大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号: 80235548

(2) 研究分担者: 田中太氏 (TANAKA, Takashi)
九州大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号: 70432854