

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18360419
 研究課題名（和文） 船舶の遭遇荒天海象の統計的シミュレーション設定法に関する研究
 研究課題名（英文） Study on the Statistical Simulation Setting-up Method of the Encounter Stormy Weather Oceanographic Phenomena of an Ocean Going Ship
 研究代表者
 新開明二（SHINKAI AKIJI）
 研究者番号：10112301

研究成果の概要：本研究において、船舶が遭遇する荒天海象の発現頻度について、通常考えられないような大きさの波浪、いわゆる異常波（extreme waves）の発現の観点から、その統計的性質を推定する一技法を提示し、その技法に基づく船舶安全性評価の案を策定することを目的とした。技法開発の骨子は順序統計シミュレーション技法を応用して、異常波浪の統計学的シミュレーション技法の確立を図ることにあつた。その方法を利用して、遭遇荒天海象下の船舶安全性評価を行なうことについて、船体応答長期予測プロセスへの組み込みの検討ならびに大洋における異常波浪の海洋物理学的メカニズム解明のための海洋計測システム開発（海洋調査小型高速艇、海洋ロボット等）の両面から、調査研究を実施した。研究の重点成果は次の三点にまとめられる。

[I] 長期波浪統計データベースにおける異常波浪の調査により、長期波浪統計データの有効利用の目途が立った。[II] 順序統計シミュレーション技法の深化により船齢相当の長期の船体応答予測推定法を確立した。[III] 遭遇異常海象下における船舶安全性評価に関連して、異常波浪の海洋物理学的メカニズム解明のための海洋計測システム（海洋調査小型高速艇、海中ロボット等）の開発を行った。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
18年度	6,300,000	1,890,000	8,190,000
19年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
20年度	3,400,000	187,000	3,587,000
年度			
年度			
総計	13,600,000	3,247,000	16,847,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：遭遇荒天海象、長期波浪統計データベース、小型高速艇、海中ロボット

1. 研究開始当初の背景

船舶が大洋を航行する際に遭遇する荒天海象を統計学的にどのように捉えるかは、船舶設計において極めて重要な課題である。本研究において、船舶が遭遇する荒天海象の発

現頻度について、通常考えられないような大きさの波浪いわゆる異常波（extreme waves）の発現の観点からその統計的性質を推定する一技法を提示しその技法に基づく船舶安全性評価の案の策定を行うことを目標と

して研究を開始した。

2. 研究の目的

船舶が遭遇する荒天海象の発現頻度について計算機シミュレーションを実施し、船舶の船齢に相当する長期間の間に稀に遭遇する異常波の統計的性質を推定する技法を提案し、その技法の応用として、荒天海象下における船舶安全性評価の案を確立するを目標としている。

荒天海象における異常波は稀に起こる現象である。このような稀な現象の発現の問題は、統計学の分野で、確率分布関数の裾野に関する推定問題と称される。この推定問題を解決する統計的数値シミュレーション法の構築と荒天海象の物理的メカニズムを計測する観測システムの調査を研究の目的としている。

3. 研究の方法

本研究では、船舶が遭遇する荒天海象について、通常考えられないような大きさの波浪、いわゆる異常波 (extreme waves) の発現に焦点をあて、その統計的性質を計算機に基づくシミュレートにより、推定する案を提示することを具体的な目的としている。

平成 18 年度には、課題について研究指針を得ることを主眼とする予備的な研究を実施し、平成 19 年度および平成 20 年度において、実質的な研究を遂行した。

研究の重点は、次の三つの小研究テーマである。[I] 衛星情報長期波浪統計データに基づく異常波浪の調査 [II] 順序統計シミュレーション技法の応用研究の調査 [III] 遭遇異常海象下における船舶安全性評価に関する研究の調査 (海洋観測のための小型高速艇、海中ロボット等の利用可能性の調査研究)

4. 研究成果

研究成果を主要三点に絞り説明する。

(1) 衛星情報長期波浪統計データに基づく異常波浪の調査

概要

船舶設計において、波浪から船体を受ける種々の応答を統計的に予測する必要がある。人工衛星 (ERS-2) のリモートセンシングデータを利用して、全球規模の長期波浪統計データベースの構築を図った。この長期波浪統計データベースに基づいて、耐航性をはじめとする波浪中の諸性能の統計的予測ができるように、大洋の中で主要な北大西洋、南大西洋、北太平洋、南太平洋、インド洋の5つの大洋を対象として、各大洋を集成海域として捉え、船舶設計において利用し易い形にデータベースの構成の充実に努めた。

全球規模で作成される衛星情報に基づく

波浪統計データベースの最終利用形態は、海域ごとに、長期波浪発現確率が有義波高と平均波周期の組み合わせの発現頻度の確率の数表(Table)の形で提供されている。長期波浪発現確率の確率特性に着目し、膨大な数値情報の塊である数表データを図解(diagram)の発想から、その表現法について提案を行った。

全球長期波浪統計データベースと長期波浪発現頻度確率の表示

全球規模の長期波浪統計データベースの構築について、簡単に説明する。即ち、ERS-2が地球環境を観測したデータの中から 1996年~2000年の有義波高データを取り出し、取り出た波高データに対し、Quality Controlを行い、全て通過したものを有効な有義波高データとし、長期波浪統計データベースの作成に使用する。海域区分については、GWSによる海洋の小海域区分と同様のエリアに分けたものを採用し、各大洋については、小海域を集成海域として捉えそれぞれのデータを合成する。

長期波浪発現確率が、有義波高と波周期の同時確率分布の形(数表形式)で求められる。各数表の確率の数値は、1000分率で小数点以下3桁まで表示している。表示法によってデータが過小評価されたり逆に誇張されたりしているわけではなく正確な結果を示しているが、各種船体応答の長期予測計算の結果について、長期波浪発現確率の統計的特性を勘案する際に困難を感じることもある。その主たる原因は、有義波高が大きいいわゆる確率の値が小さい波浪(異常波)の確率特性が視覚的に捉え難いことに存する。同時確率分布(結合確率密度関数)の自然対数をとると $\ln p_{H,T} \approx -\ln H_s - (\ln H_s - \mu_{H_s})^2 / c + (\alpha)$ であり、 $\ln(x) = \ln(10) \log(x) = (2.302585 \dots) \log(x)$ であることを考慮すれば、有義波高と波周期の組合せ(j,i)に対応する長期波浪発現確率の数値の常用対数をとった値は、有義波高の自然対数とその二乗の和で負数が増大することになる。常用対数をとった値について適当な2次元あるいは3次元の図表示を採用すれば、確率の値が小さい波浪の特性を視覚化できる。

北太平洋についての表示例を Fig. 2 に示す。確率のグレースケールは 10^0 より 10^{-9} で示しているが、 10^{-7} より小さな場合は実際問題として確率零となっている。確率の値が小さい波浪の特性を把握できることが確認できる。

全球波浪統計データベースは、人工衛星の地球環境観測技術に基づいており、そのリモートセンシングによる波高データの収集は、高精度・等質性のみならず、観測地域・観測頻度について大きなメリットがある。波高が高いいわゆる長期波浪発現確率の値が小さい場合の確率(荒天海象の発生確率に相当)の特性を容易に推断する表示法を提案した。

この表示法を採用すれば、全球波浪統計データベースの利用は、非常に有意義な結果をもたらすものと考えられる。

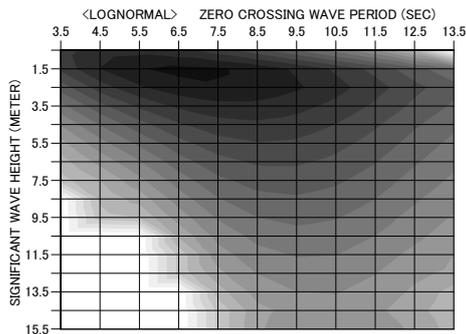


Fig. 2 Example of two dimensional representation contours for common logarithm of long-term wave frequency probability on the North Pacific Ocean

(2) 順序統計シミュレーション技法の応用研究の調査 (稀な海象の統計学的数値実験) 概要

船が遭遇する通常考えられないような異常波が発現する稀な海象の統計学的数値実験(モンテ・カルロシミュレーション)の技法について検討した。波の特性を決定する物理量として波高と波周期がある。船舶が遭遇する異常波浪の波高に関する順序統計量のコンピュータシミュレーション技法により 10^6 程度の試行により波高16mを越す極めて高い異常波を推算できることを確認した。さらに、この技法を拡張して、波高と波周期の組み合わせで決まる稀な海象のモンテ・カルロシミュレーション技法について考察した。海象を決定するパラメータの1つである波高については、これまでに確立した順序統計量を用いる手法を適用し、波周期については、長期波浪発現確率のデータベースに基づく新たな技法の開発を行ない、両技法を組み合わせ、稀な海象の統計学的数値実験を可能にした。

異常波の波高および波周期の推算 (順序統計量シミュレーション技法)

船舶設計で関心が集中する波周期の範囲は事前に判っているから、波周期の波高に関する条件付確率に基づいて、直接正攻法のモンテ・カルロシミュレーションを実施すればよいと考える。問題点の一つは、極端に波高が高い波浪に関する統計的データが少なく条件的確率分布の信頼度が低下していることと、二点目は、波高の順序統計量シミュレーションの際に発生させた乱数と波周期の場合のシミュレーションの際の乱数と同期させるべきか否かである。後者の問題は面倒ではあるが技術的に可能である。前者の問題は本質的な課題ではあるがデータ不足を手

当てする方法がないので、逆説的に異常波の波周期の推算を条件付確率のモード(mode)、メジアン(median)[m 番目($m/n \approx 1/2$)の順序統計量に近い値]などを直接採用すればよいと考える。

以上の検討から、稀な海象の統計学的数値実験では、波高については順序統計量を用いる手法を適用し、波周期については、長期波浪発現確率のデータベースに基づく条件付確率などを参照してそのモードなどの統計的特性値などを直接採用することになる。

稀な海象の統計学的数値実験の例

稀な海象の統計的数値実験の例について説明する。Fig. 3に、順序統計シミュレーション技法を適用して、 $0.5 \cdot 10^6$ の試行より推算された順序統計量を、Waldenのデータの北大西洋の長期波浪発現確率分布の図に矢印で表記し比較して示している。

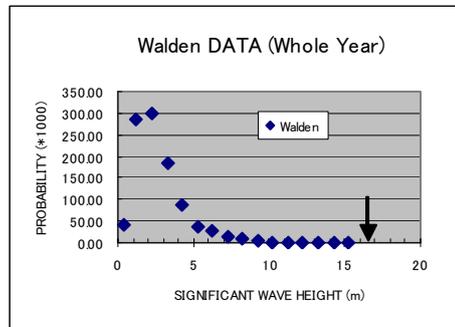


Fig. 3 Comparison between numerical simulation result and Walden's wave frequency data

船舶が遭遇する異常波が出現する稀な海象の統計学的数値実験技法を提案し、シミュレーションの結果例と長期波浪発現確率に関するデータと比較して提案した技法の有効性を確認した。

(3) 遭遇異常海象下における船舶安全性評価に関する調査研究 (海洋観測のための小型高速艇、海中ロボット等の利用可能性の調査研究) 概要

船体運動計測システム開発の供試船として採用してきた小型高速艇の艇体の形状を厳密に表示する必要に迫られた。航走中の小型高速艇の船首部に発生するスプレーが操船者の視界不良を引起し、海上計測実験等を妨げるため、スプレーを抑える工夫等の検討を進めた。これら一連の検討の中で、スプレー現象の非線形性の故にその解析や評価が非常に複雑で困難であることを再認識し、観点を変えて、スプレーの射出方向等を制御することを可能とする艇体を模索することと

した。その際、艇体の検討促進のために3次元CADの導入を図ったが、導入にあたって、CADに基づく艇体表示について考察した。

3次元CADによる艇体創成の指針

艇体の作成には、NURBS 曲線(曲面)を利用する。NURBS とは、自由曲線や自由曲面を表現するための数学体系の1つである Non-Uniform Rational B-Spline(非一様有理Bスプライン)の略称である。

新艇体表示の例

スプレー押さえ込みを目的とするスプレー射出方向制御等の装置装着に対する艇体表示、ウォータージェット推進への改造に対する艇体表示等を検討した。

曳航水槽試験結果により、高速域では Bow Plate 装着によるスプレーを抑え込みのため浸水面積が減少し抵抗が減少することを確認している。Bow Plate によりスプレー飛散の方向が変わり、操船者の視界不良の問題も解決できる見込が立ったので、従来、水面に平行に設計されてある Chine に角度(Counter Angle)を持たせる艇体を検討した。その検討の一例を Fig. 4 に示す。

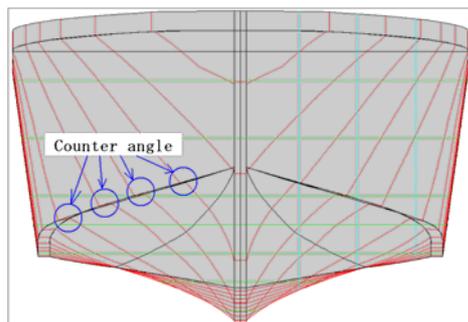


Fig. 4 New ship with counter angle chine

3次元 CAD を活用してタイプシップの形状を一部変化させ、スプレー制御装置の装着等を施した艇体表示が容易に可能であることを確認した。海洋観測小型高速艇の新艇体開発の目処がたった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 15 件)

- ① Akiji Shinkai, Satoru Yamaguchi, Shinichiro Kashiwa, Daiki Kawashima, The Long-term Wave Statistics Database on the Pacific, Atlantic and Indian Oceans, Proceedings of 3rd PAAMES and AMEC2008, pp.473~480 (2008), 査読無し
- ② Satoru Yamaguchi, Tetsuya Toda, Seung-Jin Shin, Akiji Shinkai, On a Hull-Body displaying Method of Small High-Speed Boat in consideration of the Analysis of

Spray around Bow, Proceedings of 3rd PAAMES and AMEC2008, pp.507~514 (2008), 査読無し

- ③ Takashi Naito, Satoru Yamaguchi, Yuki Kawashita, Yoshikazu Fuchigami, Development of an Underwater Gliding Vehicle, Proceedings of 3rd PAAMES and AMEC2008, pp.473~480 (2008), 査読無し
- ④ 新開明二, 山口 悟, 柏慎一郎, 川島大輝, 最大船体応答と長期予測に関する一考察日本船舶海洋工学会講演会論文集第 7W号, pp. 15-16, (2008)、査読無し
- ⑤ 山口 悟, 戸田哲哉, 熊本直人, 瀧口拓樹, 新開明二, 高速艇性能データベースについての一考察、日本船舶海洋工学会講演会論文集第 7W号 pp. 21-22, (2008)、査読無し
- ⑥ 稀な海象の統計学的数値実験に関する考察、新開明二, 山口 悟, 柏 慎一郎, 戸田哲哉, 日本船舶海洋工学会講演論文集、第 5W号, pp. 47-48 (2007)、査読無し
- ⑦ 新開明二, 山口 悟, 川島大輝, 戸田哲哉, 大洋の長期波浪発現確率の表現法に関する一考察、日本船舶海洋工学会講演論文集、第 5W号, pp. 49-52 (2007)、査読無し
- ⑧ Satoru Yamaguchi, Takashi Naito, Takeshi Kugimiya, Kengo Akahosi, Masataka Fujimoto, Development of a Motion Control System for Underwater Gliding Vehicle, Proceedings of the Seventeenth International Offshore and Polar Engineering Conference, pp.1115-1120 (2007), 査読有り
- ⑨ 山口 悟, 内藤 誉, 釘宮武志, 赤星顕悟, 藤本尚孝, グライダー型海洋観測ビークルの運動制御機構の開発に関する研究、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 4号, pp. 517-520 (2007)、査読無し
- ⑩ 人工筋肉を利用した魚類型ロボットの運動性能に関する研究、寺田昌史, 山口 悟, 日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 4号 pp.511-512 (2007)、査読無し
- ⑪ 新開明二, 山口 悟, 柏 慎一郎, 内藤 誉, 衛星情報に基づく全球波浪統計データベースの利用指針、日本船舶海洋工学会講演論文集、第 3号, pp. 479-480 (2006)、査読無し
- ⑫ 新開明二, 山口 悟, 慎 勝進, 内藤 誉, 柏 慎一郎, 船舶が遭遇する異常波浪の統計学的裾野分布の推定、日本船舶海洋工学会講演論文集、第 3号, pp. 481-482 (2006)、査読無し
- ⑬ 新開明二, 山口 悟, 慎 勝進, 柏 慎一郎, 川島大輝, 太平洋、大西洋およびインド洋における長期波浪統計データベースについて、日本船舶海洋工学会講演論文集、第 2W号, pp. 37-38, (2006)、査読無し

- ⑭ Seung-Jin Shin, Satoru Yamaguchi, Akiji Shinkai, An Analysis of Spray for a Small High-Speed Craft by Jet of Water, Proceedings of ISOPE2006 (2006)、査読有り
- ⑮ Satoru Yamaguchi and Masashi Terada, A Study on Control Method for a Fish Type Robot by Artificial Muscle, The Proc. of the 16th Int. Offshore and Polar Engineering Conf., pp.254-259 (2006)、査読有り

[学会発表] (計 15 件)

同上講演論文①-⑮を学会発表

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

新開明二 (SHINKAI AKIJI)

九州大学大学院工学研究院・教授

研究者番号：10112301

(2) 研究分担者

山口 悟 (YAMAGUCHI SATORU)

九州大学大学院工学研究院・准教授

研究者番号：00253542

(3) 連携研究者

なし ()

研究者番号：