

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 5 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2007～2011

課題番号：19106016

研究課題名（和文） 海洋における巨大波浪の予知と回避に関する研究

研究課題名（英文） Study on forecast and evading of Freak wave

研究代表者

木下 健 (KINOSHITA TAKESHI)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号：70107366

研究成果の概要（和文）：依然として多くの海難事故の原因である Freak Wave の発生機構と、Freak Wave が起きやすい波浪指標を水槽試験と理論から提案した。海難事故例時の波浪状況を推算した所、多くの例で提案指標と強い相関が得られた。その指標を含む海象環境予測から Freak Wave を避ける航路決定の船上でのアシストシステム例を示した。

研究成果の概要（英文）：Freak waves are still major accident reasons for various types of ships sailing on the sea. This research proposes the mechanism of the Freak Waves and its main index from tank tests and theoretical analyses. Back casted sea conditions where the accidents occurred are well correlated with the proposed index in many cases. Weather routing including the Freak Wave index is also proposed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	16,500,000	4,950,000	21,450,000
2008年度	18,400,000	5,520,000	23,920,000
2009年度	11,900,000	3,570,000	15,470,000
2010年度	15,200,000	4,560,000	19,760,000
2011年度	12,600,000	3,780,000	16,380,000
総計	74,600,000	22,380,000	96,980,000

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：フリーク波、三角波、ログウェイブ

## 1. 研究開始当初の背景

人工衛星を中心とした観測と気象予報技術の進歩にも関わらず、船舶の転覆、折損、海洋構造物の損傷等の人命に関わる海難事故は後を絶たない。その原因の一つに Freak Wave と称される突発的な巨大波浪の存在がある。既存の統計理論によれば有義波高の2倍を越えるような大波に遭遇する可能性は無視できる程小さいが、1990年代以降の定量的な観測データの蓄積と解析により、そのような巨大波がしばしば見られることが明らか

かになっていた。Freak Wave または Rogue Wave と呼ばれるこの巨大波浪は、先に欧米で関心を集め、Giant Waves (NATO, 1989)、MAXWAVE (EU, 2000)などのプロジェクトにおいて大規模な研究が行われていた。さらに2005年からは韓国でも韓国学術会議の賛助の下に Freak Wave のモデリングと解析などに関するプロジェクトが開始されるなど Freak Wave に対する関心は世界に広がりつつあった。これら従来の研究により、Freak Wave の発生機構についていくつかの仮説が示さ

れるなどの進歩がみられていたが、依然として海洋における巨大波浪の予測と危険回避には結びついておらず、引き続き精力的な研究が進められていた。国内においては、本研究課題の代表者と分担者らのグループが平成16年度から18年度までの科研基盤研究A「海洋における突発的の巨大波浪の発生機構の解明」(以下、基盤A)において、その物理的な機構の解明に取り組んだ。この研究の特色は、理論計算・水槽実験・海洋観測・数値シミュレーションの各要素技術の研究を行うとともに、それらを融合させて巨大波発生の素過程の解明を進めたことにある。我々の外では、平成19年度から21年度までの科研基盤研究B「Freak waveの予測方法の構築とその出現特性の解明(19360225)」において、港湾空港技術研究所の永井紀彦や京大防災研の森信人らが予測法と出現特性に着目して研究していた。

## 2. 研究の目的

我々の基盤Aの具体的な成果として、方向分散性が無視できる状況におけるFreak Waveの発生条件を理論モデルにより明らかにし(富田ら2004)、それを水槽実験で実証した(早稲田ら2005)ことが第一に挙げられる。マイクロ波による観測技術の研究においても、水槽で生成した擬似フリーク波水面におけるマイクロ波の散乱特性を明らかにし(Lamont-Smith, Waseda and Rheem 2006)、後方散乱マイクロ波のドップラー速度からフリーク波の波面を再現するアルゴリズムを開発(林ら2005)するなど大きな進歩が見られた。数値シミュレーションにおいても、波の発達過程における風と波の非線形な相互作用について詳細な解析を行うことが可能となった(川村ら2005)。このように基盤Aにおいては異なる専門性を持つ研究者の相互協力により、3カ年という限られた期間内に巨大波浪の発生の素過程の理解を大幅に進めることができ、実際の海洋における巨大波の予知と回避の実現への道筋が示された。本研究課題の骨子は、これらの成果を発展させ、実際の海洋における巨大波を予知し、回避するためのシステムを構築することにある。

## 3. 研究の方法

巨大波の予知及び回避を実現するために、本研究で取り組んだ課題と研究の方法は以下の通りである。

### (1) 巨大波発生指標の確立

方向分散性、砕波の影響、風の影響、流れの影響を考慮した巨大波浪の発生確率を求める高次モデルを構築し、巨大波発生指標を確立する。具体的な内容は以下の通りである。

①従来の1次元の弱非線形理論を多次元に拡張する。

②砕波、風、流れの影響をパラメタライズする。

③水槽実験及び海洋観測、数値シミュレーションにより指標を検証する。

巨大波発生指標の確立は本研究における最重要課題であり、理論計算、数値シミュレーション、実験を融合することによらずには達成できない目標である。

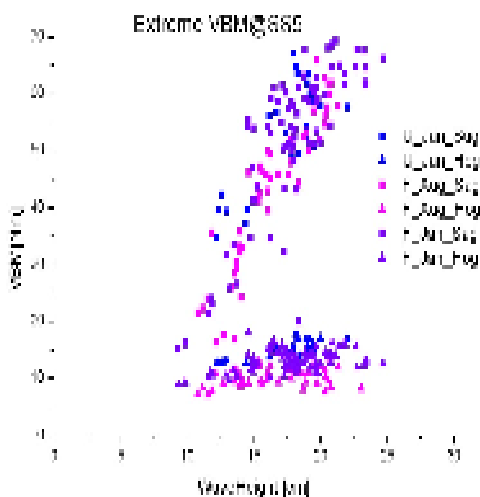
### (2) Freak Waveの広域での発見と実証

基盤Aを含む従来のFreak Waveに関する研究における大きな課題は、理論で予測され、水槽実験で観測される”Freak Wave”と現実の海洋において海難の原因となっている巨大波浪との間の繋がりの欠如にあった。これは、これまで海洋における観測データが非常に限られ、海難に遭遇した船員による目撃証言などに依存していたことが原因である。広大な海洋の同時多点計測を実現するためには、衛星リモートセンシングが有効であるが、本研究においては、数値シミュレーションとの融合を進め、数値的に再現された風の影響下の水面におけるマイクロ波の散乱シミュレーションを行い、空間的観測性能に優れた合成開口レーダ(SAR)画像を用いたフリーク波観測アルゴリズムの開発を行う。研究はレーダ画像の解析による波面生成アルゴリズムの開発に留まらず、レーダの生データ処理方法にも工夫を加え、より実用的なフリーク波観測アルゴリズムの開発を目指している。当初は、さらに波浪ブイなどのマイクロ波に依らない観測手法によってデータを収集し、開発したアルゴリズムの検証を行う予定であったが、別の観測に特化したプロジェクト、「外洋における異常波発生要因特定のための観測研究」(2008-2013 科研若手S代表:早稲田)が始まったため本研究では巨大波発生指標の定量化と回避システムに集中することにしたい。そのかわり事故時の波浪場の解析を行った。Freak波の発生頻度が卓越する海況に関する観測データは限られている。そこで、海難事故発生時をFreak波が発生しやすい状況と仮定し、事故時の波浪場の解析を、第三世代波浪モデルを用いて行った。

### (3) Freak Waveの予測・回避システムの提案

本研究で確立を目指す「巨大波発生指標」はフリーク波の物理的な発生機構に基づくものである。その指標を評価し、船舶などの安全に結びつけるためには、現在の波浪予報は不十分である。特に方向分散による多次元非線形相互作用、及び風や砕波によるスペクトルの変調が重要であることは既に分かっており、これらを十分な精度で予測すること

が、Freak Wave 発生 の 予 知 に 繋 がる。そ こ で、本 研 究 で は、現 在 の スペ ク ト ル 予 報 モ デ ル 対 し、多 次 元 の 非 線 形 相 互 作 用 と 風 や 砕 波 に よ る スペ ク ト ル の 変 調 を 考 慮 し た 改 良 を 行 い、将 来 の 巨 大 波 発 生 指 標 の 予 報 に 道 を 開 く。基 盤 A で の 今 ひ と つ 成 果 と し て フ リ ー ク 波 に よ る 船 体 に 加 わ る 荷 重 が サ チ ュ レ ー ト せ ず 何 処 ま で も 波 高 に 従 っ て 増 加 す る こ と が 明 ら か に な っ た。2m の 模 型 船 の 船 体 中 央 部 で の 曲 げ モー メ ン ト の フ リ ー ク 波 の 波 高 に よ る 変 化 を、サ ギ ン グ (船 首 部 と 船 尾 部 が 船 体 中 央 部 対 し て 上 が っ て い る 状 態) と ホ ギ ン グ (サ ギ ン グ の 逆 の 状 態) に 分 け て 次 図 に 示 す。280m の 実 船 を 想 定 す る と 35m の 巨 大 波 対 し て も サ チ ュ レ ー ト し な い で 大 き な 荷 重 が 掛 か る こ と に な る。そ こ で、船 舶 に と っ て は フ リ ー ク 波 に 遭 遇 し て も 壊 れ ない 船 を 造 る よ り、フ リ ー ク 波 に 遭 遇 し ない こ と が 大 切 で あ る こ と が 理 解 さ れ る。フ リ ー ク 波 発 生 の 危 険 性 が 高 く な る と 予 測 さ れ る 海 域 に 近 づ か ない で 避 航 す る こ と の 情 報 支 援 が 必 要 と な る。



す な わ ち、予 測 さ れ た 指 標 と 数 値 予 測、衛 星 リ モ ー ト セ ン シ ン グ、船 舶 の 波 浪 レ ー ダ など 複 数 の ソ ー ス か ら 得 ら れ る デ ー タ を 統 合 管 理 し、航 路 計 画 に 反 映 す る こ と で 危 険 の 回 避 を 実 現 す る こ と が 最 終 的 な 目 標 と な る。

#### 4. 研究 成 果

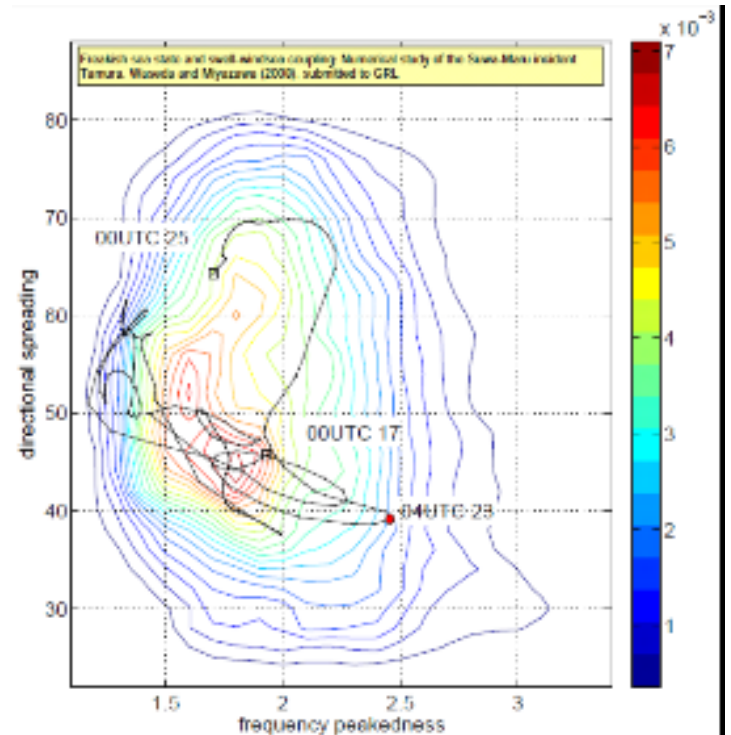
##### (1) 巨 大 波 発 生 指 標 の 確 立

① 従 来 の 1 次 元 の 弱 非 線 形 理 論 を 多 次 元 に 拡 張 す る 一 つ の 試 み と し て 量 子 力 学 で よ く 知 ら れ た WKB 法 を 流 体 方 程 式 に 応 用 し て 波 浪 の 進 行 を 定 め る 射 線 方 程 式 を 導 き 流 れ 場 に お け る 波 の 屈 折 に つ い て 計 算 し た。さ ら に こ れ ま で 実 際 に 行 わ れ た こ と の な い 流 れ の 3 次 元 構 造 に よ る 屈 折 へ の 影 響 に つ い て アル ゴ リ ズ ム を 導 出 し た。

② 砕 波、風、流 れ の 影 響 を 水 槽 実 験 と 理 論 計 算 か ら パ ラ メ タ ラ イ ズ し た。

③ 水 槽 実 験 及 び 海 洋 観 測、数 値 シ ミ ュ レ ー シ ョ ン に よ り 指 標 を 検 証 し た。

(2) Freak Wave の 広 域 で の 発 見 と 実 証  
事 故 時 の 波 浪 場 の 解 析 を、第 三 世 代 波 浪 モ デ ル を 用 い て 行 い、方 向 スペ ク ト ル の 推 定 を 行 っ た。モ デ ル か ら 計 算 さ れ た 波 形 勾 配、周 波 数 バ ン ド 幅、方 向 分 散 性 な ど の パ ラ メ ター は 水 槽 実 験、理 論 計 算 か ら 提 案 し た 指 標 と、幾 つ か の 事 故 例 に つ い て は 極 め て 良 い 相 関 を 示 し た。



##### (3) Freak Wave の 予 測 ・ 回 避 シ ス テ ム の 提 案

本 研 究 で は、GIS (地 図 上 に 様 々 な 情 報 を 重 ね 合 わ せ て 表 示 し 分 析 す る シ ス テ ム) や RDF (情 報 に つ い て の 情 報 = メ タ デ ー タ の 表 現 方 法 に つ い て の 枠 組 み) と 言 っ た メ タ デ ー タ を 扱 う 情 報 技 術 を 導 入 し、膨 大 な デ ー タ か ら 必 要 な 情 報 の み を 取 り 出 し て 船 上 に お い て 効 率 的 に 航 路 計 画 を 行 う こ と が 出 来 る 手 法 を 提 案 し 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 18 件 )

① T. Waseda, H. Tamura and T. Kinoshita, Freakish sea index and sea states during ship accidents, J. Marine Sci. Tech., 査 読 有, 2012, 掲 載 確 定

②陳俊佑、林昌奎、パルスドップラーレーダによる相模湾平塚沖の波浪観測と波浪の伝搬に関する研究、査読有、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、第 67 号、No.2、2011、pp.1376-1380

③T. Waseda, M. Hallerstig, K. Ozaki and H. Tomita, Enhanced freak wave occurrence with narrow directional spectrum in the North Sea, *Geophys. Res. Letters*, Vol. 38, 査読有, doi:10.1029/2011GL047779, 2011

④A. V. Babanin, T. Waseda, T. Kinoshita and A. Toffoli, Wave breaking in directional fields, *Journal of Physical Oceanography*, 査読有, Vol. 41, 2011, pp. 145-156

⑤ T. Lamont-Smith, T. Mitomi, M. Kawamura and T. Waseda, Electromagnetic scattering from wind blown waves and ripples modulated by longer waves under laboratory conditions, *IET Radar, Sonar and Navigation*, 査読有, Vol. 4, 2010, pp. 265-279

⑥A. Toffoli, A. Babanin, M. Onorato and T. Waseda, Maximum steepness of oceanic waves: Field and laboratory, *Geophysical Research Letters*, 査読有, Vol. 37, doi : 10.1029/2009GL041771, 2010

⑦ H. Tamura, T. Waseda and Y. Miyazawa, Impact of nonlinear energy transfer on the wave field in Pacific hindcast experiments, *Journal of Geophysical Research*, 査読有, Vol. 115, doi : 10.1029/2009JC006014, 2010

⑧吉田毅郎、林昌奎、阿野公洋、海面からのマイクロ波後方散乱数値シミュレーション、日本船舶海洋工学会論文集、査読有、第 12 号、2010、pp.115-123

⑨T. Waseda, T. Kinoshita and H. Tamura, Interplay of resonant and quasi-resonant interaction of the directional ocean waves, *J. Phys. Oceanogr.*, 査読有, Vol. 39, 2009, pp. 2351-2362

⑩早稲田卓爾、外洋に突発的に現れる異常波の発生と気象条件、海と空、査読有、第 85 号 (2)、2009、pp.49-56

⑪ T. Waseda, T. Kinoshita and H. Tamura, Evolution of a random directional wave and freak wave occurrence, *J. Phys. Oceanogr.*, 査読有, Vol. 38(3), 2009, pp. 621-639

⑫ M. Onorato, T. Waseda, A. Toffoli, L. Cavaleri, Fouques, O. Gramstad, P. A. E. M. Janssen, T. Kinoshita, J. Monbaliu, N. Mori, A. Osborne, Pakodzi, Serio, K. Stansberg, H. Tamura and K. Trulsen, Statistical properties of directional ocean waves: the role of the modulational instability in the formation of extreme events, *Phys. Rev. Lett.*, 査読有, Vol. 36, 2009,

doi:10.1103/PhysRevLett.102.114502

⑬ H. Tamura, T. Waseda and Y. Miyazawa, Freakish sea state and swell-windsea coupling -numerical study of the Suwa-Marui incident-, *Geophys. Res. Letters*, 査読有, Vol. 36, L01607, doi:10.1029/2008GL036280, 2009

⑭林昌奎、連続波ドップラーレーダによる海洋波浪観測と波浪観測に及ぼすレーダ照射幅の影響、日本船舶海洋工学会論文集、査読有、第 8 号、2008、pp.61-69

⑮H. Tamura, T. Waseda, Y. Miyazawa and K. Komatsu, Current-induced modulation of the ocean wave spectrum and the role of nonlinear energy transfer, *J. Phys. Oceanogr.*, 査読有, Vol. 38, 2008, pp. 2662-2684

⑯T. Lamont-Smith and T. Waseda, Wind wave growth at short fetch, *J. Phys. Oceanogr.*, 査読有, Vol. 38(7), 2008, pp.1597-1606

⑰林昌奎、マイクロ波ドップラーレーダによる実験水槽波浪観測、日本船舶海洋工学会論文集、査読有、第 6 号、2007、pp.65-73

⑱ T. Lamont-Smith, T. Waseda and C.-K. Rheem, Measurements of the Doppler spectra of breaking waves, *IET Proceedings, Radar, Sonar and Navigation*, 査読有, Vol.1(2), 2007, pp. 149-157

[学会発表] (計 44 件)

①宝谷英貴、早稲田卓爾、波と流れの相互作用における ray と非線形性の役割、日本海洋学会春季大会、2012 年 3 月 29 日、筑波大学

② Chang-Kyu Rheem, Measurement of directional spectrum of sea surface waves by using a microwave pulse doppler radar with two fixed antennas, *Oceans 2011*, 2011 年 9 月 22 日、コナ、アメリカ

③ Takero Yoshida and Chang-Kyu Rheem, Time domain numerical simulation of microwave backscattering for ocean sar image, *Oceans 2011*, 2011 年 9 月 22 日、コナ、アメリカ

④ T. Waseda, K. Kinoshita, A. Toffoli and L. Cavaleri, Four-wave interaction under the influence of random current field, *Waves in shallow water environment workshop*, 2011 年 5 月 26 日、青島、中国

⑤広部智之、木下健、川村隆文、海洋波の共鳴相互作用における風の影響に関する数値的研究、第 24 回数値流体力学シンポジウム、2010 年 12 月 22 日、慶応義塾大学

[図書] (計 1 件)

木下 健 (監修)、サイエンス&テクノロジー、海洋再生エネルギーの市場展望と開発動向、2011、450

[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

無し

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

木下 健 (KINOSHITA TAKESHI)  
東京大学・生産技術研究所・教授  
研究者番号：70107366

### (2) 研究分担者

水谷 由宏 (MIZUGAI YOSHIHIRO)  
上智大学・理工学部・講師  
研究者番号：70157486

### (3) 連携研究者

富田 宏 (TOMITA HIROSHI)  
上智大学・理工学部・共同研究員  
研究者番号：60373411

林 昌奎 (RHEEM CHANG-KYU)  
東京大学・生産技術研究所・教授  
研究者番号：70272515

早稲田 卓爾 (WASEDA TAKUJI)  
東京大学・大学院新領域創成科学研究科・  
准教授

研究者番号：30376488

川村 隆文 (KAWAMURA TAKAFUMI)  
東京大学・大学院工学系研究科・准教授  
研究者番号：80334324

(H19→H22)

稗方 和夫 (HIEKATA KAZUO)  
東京大学・大学院新領域創成科学研究科・  
准教授

研究者番号：80396770

影本 浩 (KAGEMOTO HIROSHI)  
東京大学・大学院新領域創成科学研究科・  
教授

研究者番号：40214275

鈴木 克幸 (SUZUKI KATSUYUKI)  
東京大学・人工物工学研究センター・教授  
研究者番号：10235939

田村 仁 (TAMURA HITOSHI)  
独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境  
変動領域・研究員

研究者番号：80419895