

称号及び氏名 博士（工学）小嶋 貞二

学位授与の日付 平成 17 年 3 月 31 日

論文名 「海洋波浪計測におけるマリンレーダーの適用に関する研究」

論文要旨

船舶の安全・経済運航は荷主、海運会社、乗組員にとって重要である。海難の 7～8 割は運航中乗組員の **Human error** に因ると考えられている。その中でも荒天遭遇による海難は不可抗力とされているが、自船周りの海象の正しい把握が行われていれば避けられる場合が多い。ごく最近の航海練習船「海王丸」の台風通過時の走錨座礁事故もやはり **Human Error** によると言わざるを得ないが台風の規模、進路等に関する正確な情報の取得を基にした適切な判断が安全確保に極めて重要であることを認識させるものである。

また、最近では海洋汚染防止の観点からも安全運航が重視されるようになって来ている。1997 年正月に隠岐島北方海域で折損事故を起こし、日本海沿岸に甚大な被害を及ぼしたロシア船 **Nakhodka** 号の事故は記憶に新しいところである。

人間生活を根底から支える船舶や海洋構造物の安全で経済的な運航・運用にとって遭遇海象の把握は極めて重要である。しかし、海洋上において風は自動計測可能であるが、波浪情報の取得に関しては乗組員の目視観測ないしは時間と費用を要する波浪予測に頼らざるを得ないのが現状である。

海洋上の定点で波浪を計測する方法として、海洋上に波浪計測ブイを展開して直接計測する方法、沿岸浅海域や港湾近傍の海底に設置される

水中超音波式波高計，陸上設置型レーダーによる波向計があり，移動体にプラットフォームを設置して計測する方法として，船載型波高計，航空機を用いて撮影されるステレオ写真の解析等が存在する．最近では，GPS を用いた波高計も開発されている．

船舶用レーダー(マリンレーダー)を用いた船載型波浪計に関しては未だ汎用になっているとは言い難い．船舶に必ず搭載されているマリンレーダーを用いる方法は最も簡便且つ安価であることから，近年種々の解析手法が提案されつつある．

マリンレーダーのエコー信号情報から自船周辺の海象，即ち海洋波の波長，進行方向，成分波の方向分布等に関する空間的情報を実時間で得ることができれば，就航船舶にとっては荒天避航のみならず短期，長期の航路選定にも大きく寄与できると考えられる．また，石油掘削を初めとする海洋構造物の運用に関しても，安全な稼働の確保，支援船の配備計画等の面での意義は大きい．

しかし，マリンレーダーは，障害物や対航船との衝突の危険を回避するための重要な設備であり，目標物体以外からの反射を雑音として除去し航海に必要な情報だけを表示する工夫が施されている．中でも，海面からの反射は **Sea clutter** と呼ばれ，ノイズとして最初に除去される．また，既存のエコー解析法においては，海洋波波面における電磁波の散乱のメカニズム，レーダーシステムにおける電磁波の送受信および表示のメカニズムを十分に把握した上で解析や波浪特性の推定が行われているとは思えない場合がある．このため，解析結果からは必ずしも正確な波向特性と波長特性を得ることができるとは限らないと考えられる．

このような状況の下では，船舶や海洋構造物の安全で経済的な運航，運用を達成するために必要な波浪情報の取得には，航海計器として必ず搭載されているマリンレーダーを用いるのが最も適していると考えられる．従って，マリンレーダーシステムの本来の機能に影響を及ぼすことなく，実時間で海洋波浪特性の把握が可能なエコー信号の取得・解析手法の提案が望まれる．

本研究は，マリンレーダーシステムの本来の機能に影響を及ぼすことなく，実時間で海洋波浪特性の把握が可能なエコー信号の解析に関して，

既存の手法に見られる検討課題を解決した新しい解析手法の提案とその検証を目的として行われた。

この目的達成のために本研究においては、A-scope の多重スペクトル解析法を提案し、数値シミュレーションおよび実海域における実験を実施してレーダーエコーの取得・解析・評価を行い、提案手法の精度、妥当性および適用性を検証した。

第1章では、本研究の背景、目的と構成について述べた。

第2章では、海洋波の性質について、不規則な変動現象である海洋波は周波数(あるいは波数)スペクトルで記述できることを示し、所与のスペクトル特性を持つ海洋波を作成できることを述べた。次いで、レーダーシステム固有の特性によるエコー信号への影響の多くは、数値シミュレーションによって把握・評価できることを明らかにした。更に、海洋波波面からの反射エコーに関して、海面からの後方散乱が複合共鳴散乱であるとの仮定を用いてレーダー方程式によって記述でき、レーダーエコーの強さは、海洋波表面の乱れと海洋波 波面傾斜によって決定されることを明らかにした。

第3章では、数値シミュレーションにより既知の波浪特性、スペクトル構造を持つ波浪場と波浪海面における電磁波の後方散乱特性を考慮に入れたレーダーエコーを数値的に作成し、放射される電磁波のビーム幅は解析精度に影響を及ぼすことを明らかにした。

次いで、既存の解析手法を用いて解析を行い、現在多くの手法で用いられている PPI 画像からの一部切り出し画像の解析は切り出し位置の選び方によっては誤った波浪特性を与えることのあることを明らかにした。また、エコー信号中の総ての A-scope 信号を用いる円筒座標系上の2次元フーリエ変換法を試み、波浪特性の推定精度は向上するものの、全周の A-scope 信号を必要とし、解析にも時間を要することを明らかにした。

本研究で提案する A-scope を用いた多重スペクトル解析法(MSA)による解析によれば、波向、波長特性、方向分布特性の総てに亘って解析精度が既存の方法に比べて優れ、解析に要する時間も短いことを明らかにした。

また、MSA 解析法によれば、用いる A-scope のレンジ方向、方位角方

向のデータ数および解析領域を適切に選ぶことが可能で、解析精度を維持して解析時間を短縮できることを明らかにした。

第4章では、数値シミュレーションにより波向・波長特性および方向分布特性の異なる2波系で構成される短波頂不規則波の波面および波面からのエコー信号を複数組作成し、MSA解析法およびPPI画像の2次元スペクトル解析法を用いて解析し、MSA解析法によって2波系の分離、波向・波長特性および方向分布特性の推定が可能であることを示した。

また、波向特性、波長特性に関して、MSA解析法はPPI画像の2次元スペクトル解析法よりも高い精度で推定できることを明らかにすると同時に、2波系で構成される短波頂不規則波に対するMSA解析法の波向推定精度は、波周期が近接しない場合には ± 10 度であり、2波系の分離に関しては10~15度が限界であることを明らかにした。また、レーダーエコーを解析して波浪特性を求める場合、対象とする波長に応じて計測レンジを適切に設定する必要があることが明らかとなった。

第5章では、LNG船および練習調査船に搭載・運用されている実機を用いた4回の計測実験において得られた実海面からの反射エコーの解析にMSA解析法を適用した結果を述べた。

LNG船における実験では正確なシートルースデータを得ることはできなかったため船長の目視観測結果をトルースデータとしてMSA解析法による解析を行った結果、実海面に存在する複数の波系を分離に適用可能であり、各波系の波向・波長特性および方向分布特性を求めることが可能であることを明らかにした。

練習調査船「深江丸」における実験においても、やはりシートルースデータを得ることはできなかったため、船長および当直乗組員の目視観測結果および実験時に同時計測された船体応答の解析結果をトルースデータとして用いた。

実験において取得されたレーダーエコーの解析の結果、深江丸の場合はアンテナ設置高さが低いため、船上諸構造物の影響、海面の特異な乱れ、多重反射などの影響が原因と考えられる特異な波形がA-scopeに出現する場合があるが、この影響を除去すれば大型LNG船の場合と同様に実海面に存在する複数の波系の分離に適用可能であることを明らかに

し、船体応答解析結果との比較により各波系の波向・波長特性および方向分布特性を求めることも可能であることを明らかにした。

第6章では、本研究で得られた主な成果を要約して記した。

本研究における以上の成果から、新しく提案する多重スペクトル解析法は実際の海洋波波面からの反射エコーの解析に適していると結論づけることができる。

本論文の基礎となる発表論文

No.	論文題目	著者名	発表誌等	本論文との対応
1	Application of marine radar to sea-state monitoring.	Hosoda, R., Kojima, T., Ikeda, K.	Proc. of 24th Meeting of UJNR Marine Facilities Panel, J5.1-5.9 (2001)	第2章 第3章
2	マリンレーダーを用いた波浪モニターシステムの開発(第一報)ー数値シミュレーションによるレーダー信号の作成と解析ー	小嶋貞二, 山田智貴, 細田龍介	関西造船協会論文集, 第240号, pp.89-92 (2003)	第2章 第3章
3	マリンレーダーを用いた波浪モニターシステムの開発(第二報)ー数値シミュレーションによる方向分布特性と解析精度ー	小嶋貞二, 山田智貴, 細田龍介	関西造船協会論文集, 第241号, pp.227-233 (2004)	第3章 第4章
4	マリンレーダーを用いた波浪モニターシステムの開発(第三報)ー実船搭載レーダーエコーの解析ー	小嶋貞二, 須崎寛則, 平岡 康, 岩崎泰典, 山田智貴, 細田龍介	関西造船協会論文集, 第242号, pp.139-146 (2004)	第5章
5	Application of marine radar for ocean wave monitoring.	Kojima, T., Hosoda, R., Suzaki, H., Hiraoka, Y., Iwasaki, Y., Yamada, T.	Proc. of Oceans'04 (MTS/IEEE) / TECHNO-OCEAN'04 Conference, pp.542-549 (Kobe, Japan, 2004)	第2章 第3章 第4章 第5章

審査結果の要旨

本論文は海洋波浪計測におけるマリンレーダーの適用に関する研究の結果をまとめたもので、その成果は以下のように要約される。

- (1) 実際のマリンレーダーエコーの特性を考慮に入れたした数値シミュレーションを行い、レーダーエコーの解析において考慮すべき点を明らかにした。
- (2) マリンレーダーエコーの解析に関する既存手法の特性に関して、数値シミュレーションを用いて検討を行い、複数波系の分離、波向・波長特性および海洋波の2次元分布特性の解析精度が必ずしも良くないことを明らかにした。
- (3) 既存手法の有する利点を損なわず、欠点を補うことできる新しい解析手法として、レーダーのオリジナル信号であるAスコープ信号を用いた多重スペクトル解析法を提案した。数値シミュレーションによって作成された不規則海洋波の解析を行い、提案手法が既存手法に比べて複数波系の分離、波向・波長特性および海洋波の2次元分布特性の解析精度の総てに亘って優れていることを確認した。
- (4) 提案手法の適用性、妥当性を検証するために2隻の実船において海時に運用されているマリンレーダーを用いられているマリンレーダーを用いたエコーの計測実験を実施し、取得されたエコー信号の解析を行った。その結果、提案の多重スペクトル解析法を用いた解析結果は複数波系の分離、波向・波長特性および海洋波の2次元分布特性の解析精度の総てに亘って既存手法による解析結果より優れていることを確認した。

以上の諸成果は、本研究において提案されたレーダーエコーの多重スペクトル解析が実際の海洋波波面からの反射エコーの解析手法として適した方法であることを示したものである。

また、本論文は申請者が自立して研究活動を行うに必要な能力と学識することを証したものである。

最終試験結果の要旨

審査委員会は、平成 17 年 3 月 2 日、委員会出席のもとに申請者に論文内容の説明を行わせ、関連する諸問題について試問を行った結果、合格と判定した。

公聴会の日時

平成 17 年 3 月 2 日 2 : 30 ~ 4 : 00

審査委員会の所見

本委員会は、本論文の審査および最終試験の結果から、申請者に博士（工学）学位を授与することを適当と認める。