

令和元年6月18日現在

機関番号：18001

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2014～2018

課題番号：26420504

研究課題名（和文）波浪スペクトルの海洋レーダによる推定とモデル推算に関する研究

研究課題名（英文）Study on estimation of wave spectra by HF radar and wave hindcast

研究代表者

久木 幸治（HISAKI, Yukiharu）

琉球大学・理学部・教授

研究者番号：60305183

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,900,000円

研究成果の概要（和文）：短波海洋レーダによって表層の海流や波浪などを観測するが可能である。しかし波浪推定手法については確立しているとは言い難い。そこでまず一基のレーダによる波浪スペクトルの推定を行った。その研究では、推定波浪パラメータを現場観測及びモデル推算結果と比較した。次にこの手法を改良することによって、直交座標格子点上における、波浪スペクトル推定手法の開発を行った。本手法は、レーダが一基或いは二基以上、いずれの場合についても適用することが可能である。さらに波浪推算の高精度化を目的として、海上風の時間補間の改良を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

沿岸海洋防災において波高などの観測が必要である。ところが沿岸の波浪観測は、波浪観測装置を設置する手法や陸上設置型マイクロ波レーダに限定される。前者は1点における観測であり、波高の面的な分布を得ることができない。後者では観測領域はレーダからの見通し距離範囲内に限定される。一方短波海洋レーダはマイクロ波レーダに比べて広い範囲で波浪を観測することが可能である。また最近、短波海洋レーダは津波監視レーダとしても注目されている。従って短波海洋レーダに、波浪観測及び津波監視レーダとしての機能を持たせることによって、総合的な沿岸海洋防災レーダとして活用することが可能となる。

研究成果の概要（英文）：It is possible to observe surface ocean currents and waves by high-frequency ocean radars. However, the wave estimation method has been established. The reporter estimated ocean wave spectra by the single radar. The estimated wave parameters were compared with in-situ observations and model predicted wave parameters. Next, the method was developed by estimating wave spectra on the orthogonal coordinate grid points. This method can be applied to both single and multiple radars. In addition, the time interpolation of the sea surface wind was improved in order to improve the accuracy of wave prediction.

研究分野：海洋物理学及び海洋リモートセンシング

キーワード：海洋レーダ 波浪スペクトル 波浪推算 ドップラースペクトル

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

海の波は不規則な海洋表面波であるが、様々な周波数及び方向の線形波(成分波)の重ね合わせによって表現される。従って周波数 f 及び方向 θ の関数である波浪スペクトル $F(f, \theta)$ によって記述される。例えば波高は、波浪スペクトル F を周波数 f 及び方向 θ で積分することによって得られる。

波浪スペクトルの観測・予測は学術面のみならず、防災など実用面でも大きな意義を持つ。報告者は、これまでリモートセンシング、特に短波海洋レーダによって、表層の海流や波浪スペクトルの観測・解析に関する研究を行ってきた。

短波海洋レーダとは、沿岸から、短波帯の電波を海面に照射し、海面で散乱されて戻ってきた電波をスペクトル解析(これをドップラースペクトルという)することによって、表層の海流や波浪などを観測する装置である。この装置の特徴は、海流や波浪などの面的分布を求められるということである。

ところが波浪の空間分布を現場観測で求めるには、複数の波浪計を投入する必要がある。しかしコスト面からそれは現実的ではない。そこで報告者は、その検証のため、波浪推算モデルの開発も行ってきた。

2. 研究の目的

研究の目的は以下のとおりであった。

- (1)一基或いは二基の海洋レーダによる波浪スペクトル推定手法の開発とその検証
- (2)島嶼沿岸域における海洋レーダデータの波浪推算モデルへの適用
- (3)海上風速及び風向推定手法の改良

(3)に関しては、エネルギー平衡方程式には、海上風速・風向も含まれているため、海上風ベクトルも求めることができる。海上風向はほぼ定常ならば容易に求められる(Hisaki 2002, JGR)。一方、海上風速については精度よく求めた例が世界にもない。報告者の開発した手法でもうまく求められない場合が多かった(Hisaki 2005, JGR)。そこで海上風速推定手法及び非定常な場合の海上風向を推定する手法を開発する。

3. 研究の方法

海洋レーダによる波浪スペクトル推定手法について、従来の手法を拡張する形でアルゴリズムを開発した。それを応募者が保有するドップラースペクトルデータに適用する。さらに現場観測のデータや波浪推算モデルなどと比較を行った。

次に海洋レーダデータから風向を求め、再解析風データからの海上風の補正を行った。海洋レーダから求めた風向と再解析風の風速では、風データの満たすべき制約条件を満たさない。そのため、これを満たすように風速を補正した。そのための簡単な手法を開発した。そしてそのデータを波浪推算モデルに適用した。さらに波浪推算の精度向上のため、海上風の時間補間の改良を行い、その有効性の検証を行った。

4. 研究成果

まず一基のレーダから、レーダを中心とする極座標格子点上における、波浪スペクトルの推定を引き続き行った。その研究では、推定波浪パラメータを現場観測及びモデル推算結果と比較した。

次に2014年度からは、この手法を改良することによって、直交座標格子点上における、波浪スペクトル推定手法の開発を行った。本手法は、レーダが一基或いは二基以上、いずれの場合についても適用することが可能である。

そのため直交座標格子点上における、波浪スペクトル推定手法の開発を行った。直交座標格子セル内における波の場は、同様であると仮定する。ところで波浪推定に使用するドップラースペクトルには、十分な信号対雑音比がなければならない。従って波浪推定に使用するドップラースペクトルは、これらのうちの極一部に限られる。そのドップラースペクトルを選択する手法を開発した。その選択手法に自己組織化マップ解析を取り入れた。

また得られた波浪スペクトルから、波高を求め、現場観測値と比較した。その比較の結果、現場観測値と良い一致を得ることを示した。

2015年度からは、一基及び二基の場合について求めた波浪データの比較を行った。まず現場観測データとの比較の結果、二基のレーダから求めた波浪データが最も精度が良いことを示した。そしてその次に精度が良いのは、単一のレーダのうち、現場観測付近のドップラースペクトルの数が多い方のレーダから求めた波浪データであった。次に一基及び二基のレーダから求めた波浪パラメータの相互比較を行った。その結果、波高については、二基のレーダから求めた波高と合うのは、ドップラースペクトルの数が多い方の一基のレーダによる波高ではなく、広い範囲に渡ってドップラースペクトルがサンプルされている方のレーダによる波高であった。一方、周期については、ドップラースペクトルの数が多い方のレーダによる周期の方が、二基のレーダから求めた周期と一致した。

さらにこれとは別に、自己組織化マップ解析を用いて海洋レーダによる海流データ及び風や水温などの分類を行った。これらのデータのカバーする領域は一致しない。そこでこれらのデータの分類パターンが、最も良く一致するような最適な領域を決める手法を開発した。

ところが、短波海洋レーダから波浪スペクトルを推算するには、二次散乱を用いるため、高い信号対雑音比が要求される。一方、一次散乱を活用して海上風ベクトルが推定できれば、波浪推算も可能である。また一次散乱のみならば、二次散乱を用いる場合に比べて、高い信号対雑音比は要求されない。海洋レーダから得られた一次散乱から、海上風向を求めることができる。そこで次に、それを活用した沿岸域の波浪推算を行った。これは再解析風ベクトルデータを、海洋レーダで求めた海上風向から簡単な方法で補正する。この補正された風データから波浪推算を行った。推算された波浪パラメータを現場観測の値と比較した。その結果、島嶼沿岸域など吹送距離が風向によって敏感に変化しやすい海域では、波浪推定精度が向上することを示した。

またそれに先立ち風データの時間補間の改良も行った。これは、高・低気圧の移動を考慮した補間方法である。この時間補間によって、従来手法に比べて、補間の精度が改良することを実証した。さらにこの時間補間による風データから、近慣性振動の計算を行った。その結果、近慣性振動の振幅の推定精度が向上することを示した。

波浪推算には海上風データが必要である。特に再解析風データを波浪推算などの海洋モデルに使用する場合、再解析風データセットの時間補間が必要である。そのために多くの場合、格子点ごとに時系列データの時間補間を行った。ところが台風や移動する低気圧などを格子点ごとに時間補間を行っても移動する低気圧を再現することはできない。時刻 t と時刻 $t+T$ の間の時刻の、移動する低気圧を補間を考える。この場合、時刻 t の低気圧の位置と、時刻 $t+T$ の低気圧の位置の2つの低気圧が出現する。これは明らかに不適切である。そこでこのような擾乱の動きも再現する時間補間法を報告者は開発した。そしてそれを波浪推算に適用した。

最終年度はこの研究をさらに進め、多くの係留ブイの波高・周期・波向きの観測データと波浪推算値との比較を行った。また漂流ブイの波高の観測データと波浪推算値との比較も行った。これらの比較の結果、従来手法に比べて、擾乱の動きも再現する時間補間法によって、格子点ごとに時系列データを時間補間に比較して、波浪推算の精度が改良することが示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計7件)

- (1) Hisaki Y., 2018: Wave hindcast in the North Pacific area considering the propagation of surface disturbances. *Progress in Oceanography* 165, 332-347. doi: 10.1016/j.pocean.2018.06.003. 査読有.
- (2) Hisaki Y. 2017: Sea-surface wind correction using HF ocean radar and its impact on coastal wave prediction. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 34(9), 2001-2020. doi: 10.1175/JTECH-D-16-0249.1. 査読有.
- (3) Hisaki Y. 2016: Time interpolation of stationary and propagating surface disturbances for ocean modeling. *Earth and Space Science*. 9(3), 346-361. doi: 10.1002/2016EA000175. 査読有.
- (4) Hisaki Y. 2016: Ocean wave parameters and spectrum estimated from single and dual high-frequency radar systems. *Ocean Dynamics*, 66(9), 1065-1085, doi: 10.1007/s10236-016-0978-3. 査読有.
- (5) Hisaki Y., M. Kashima and S. Kojima 2016: Surface current patterns observed by HF radar: Methodology and analysis of currents to the north of the Yaeyama Islands, East China Sea. *Ocean Dynamics*, 66(3), 329-352, doi: 10.1007/s10236-016-0924-4. 査読有.
- (6) Hisaki Y. 2015: Development of HF radar inversion algorithm for spectrum estimation (HIAS). *Journal of Geophysical Research*, 120, 1725-1740, doi: 10.1002/2014JC010548. 査読有.
- (7) Hisaki Y. 2014: Intercomparison of wave data obtained from single high-frequency radar, in-situ observation and model prediction. *International Journal of Remote Sensing*. 35(10), 3459-3481, doi: 10.1080/01431161.2014.904971. 査読有.

〔学会発表〕(計23件)

- (1) 久木幸治, 2018: 漂流ブイによる波浪データ・推算の検証. 平成29年度 名古屋大学 宇宙地球環境研究所 共同利用集会「海洋波および大気海洋相互作用に関するワークショップ」.
- (2) 久木幸治, 2018: 波浪再解析データの漂流ブイによる検証. 日本地球惑星科学連合大会.
- (3) 久木幸治, 2018: 北太平洋域における波浪推算. 日本海洋学会 2018 年度秋季大会.
- (4) 久木幸治, 片岡智哉, 2018: 海洋レーダによる波浪研究の現状と和歌山県沖観測の初期解析. 九州大学応用力学研究所 共同研究集会「海洋レーダを用いた海況監視システムの開発と応用」.
- (5) 久木幸治, 2018: 日本周辺海域の漂流波浪ブイデータによる再解析データの検証. 九州大学応用力学研究所 共同研究集会「日本周辺海域における海況のモニタリングと波浪計測に関する研究集会」.
- (6) 久木幸治, 2017: 擾乱の伝播を考慮した海上風時間補間の波浪推算への効果. 日本地球惑星科学連合大会.
- (7) Hisaki Y., 2017: Sea surface wind vector correction using HF radar. *Asia Oceania Geosciences Society 14th Annual Meeting*.

- (8)Hisaki Y., 2017: Coastal wind correction from the first-order scattering of HF radar. International Radiowave Oceanography Workshop 2017.
- (9)久木幸治, 2017: 海洋レーダによる海上風補正と沿岸波浪推算. 日本海洋学会 2017 年度秋季大会.
- (10)久木幸治, 2017: 海洋レーダによる沿岸海上風補正. 九州大学応用力学研究所 共同研究集会「海洋レーダを用いた海況監視システムの開発と応用」, 九州大学, 福岡県春日市(12月6日).
- (11)久木幸治, 2017: 日本周辺海域を含む北太平洋の波浪推算とブイデータ比較. 九州大学応用力学研究所 共同研究集会「日本海及び日本周辺海域の海況モニタリングと波浪計測に関する研究集会」.
- (12)久木幸治, 2016: 複数の停滞及び伝搬する擾乱における時間補間とモデルへの影響, 日本海洋学会 2016 年度秋季大会.
- (13)Hisaki Y., 2016: Time interpolation of surface winds and its impact on the modelling of inertial currents in the North Pacific. The North Pacific Marine Science Organization 2016 Annual Meeting.
- (14)久木幸治, 2016: 島嶼沿岸域の波浪推算への海洋レーダ利用, 九州大学応用力学研究所 共同研究集会.
- (15)Hisaki Y., 2015: Inversion to estimate ocean wave directional spectrum from high-frequency radar. European Geosciences Union General Assembly 2015.
- (16)Hisaki Y., 2015: Ocean wave directional spectra estimated from high-frequency radar. The 26th General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics.
- (17)久木幸治, 2015: 海洋レーダーによる波浪スペクトルの推定について, 第8回沖縄海洋調査・研究連絡会.
- (18)久木幸治, 2015: 単一及び複数の海洋レーダによる推定波浪スペクトルの比較, 日本海洋学会 2015 年度秋季大会.
- (19)Hisaki Y., 2015: Ocean wave directional spectra estimated from single and dual HF radar. Radiowave Oceanography Workshop 2015.
- (20)久木幸治, 2015: 複数及び単一の海洋レーダによる波浪スペクトルの比較, 九州大学応用力学研究所 共同研究集会.
- (21)久木幸治, 2014: 複数の海洋レーダによる波浪スペクトル推定手法の開発, 日本海洋学会 2014 年度秋季大会.
- (22)Hisaki Y., 2014: Development of ocean wave spectrum estimation from HF radar. 12th Biennial Conference of Pan Ocean Remote Sensing Conference.
- (23)久木幸治, 2014: 海洋レーダによる波浪方向スペクトル推定手法の拡張, 九州大学応用力学研究所 共同研究集会.

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。