

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25340131

研究課題名(和文) 日本沿岸・近海の波力エネルギー分布の再推定

研究課題名(英文) Assessments of wave energy resources around Japan

研究代表者

佐々木 亘 (SASAKI, Wataru)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球情報基盤センター・研究技術専任スタッフ

研究者番号：30462500

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：日本沿岸および近海の波力エネルギーの賦存量について、現場観測波浪データ、再解析データ、数値波浪モデルシミュレーションによって推定した。特に、数値波浪モデルシミュレーションによる推定では、異なる海上風を用いることに起因する波力エネルギーの不確実性を見積もった。また、1990年代半ば以降の太平洋の波候の変化を調べた。その結果、この太平洋の波候の変化は熱帯において貿易風が強化したラニーニャ状態に起因することが分かった。また、大気再解析データに衛星データを同化することで海上気候の推定に及ぼす影響を調査した。その結果、衛星データの同化が波力エネルギーの長期トレンドに有意な影響をもつことが分かった。

研究成果の概要(英文)：We estimated wave energy resources around Japan using in-situ wave data, wave and atmospheric reanalyses data, and numerical wave model. In the assessments of wave energy resources, we estimated the uncertainty of wave energy due to the difference in near-surface wind forcing. We also investigated the changes in the Pacific wave climate since the mid-1990s. We found that changes in the Pacific wave climate are attributable to recently strengthened trade winds and La Nina-like conditions in the tropical Pacific. Furthermore, we investigated the impact of assimilating satellite data into atmospheric reanalyses on trends in ocean surface winds and waves. We found that the satellite data assimilation impacts the long-term trend of wave energy significantly.

研究分野：海洋物理、気候システム

キーワード：波力エネルギー 再生可能エネルギー リソースアセスメント 不確実性 波候 風候

1. 研究開始当初の背景

波力エネルギーは再生・持続可能な海洋エネルギーとして知られている。我が国は四方を海に囲まれた海洋国家であるため、波力エネルギーは有望な海洋再生エネルギーの一つである。波力発電の実用化に当たってはエネルギー変換効率を上げるための技術的な研究だけでなく、安定して発電を行うことができる場所を選定し、気象・海象を精度良く予測し、効率的な運用を行うこと、さらには波力を利用することで生じる、環境への影響を適切に評価することが不可欠である。我が国における波力エネルギーの推算是 1970 年代後半に観測値を用いて行われたのが最初であるが、それらはおよそ数年程度の観測波浪データ、或いは、目視観測による波浪データである。推算に用いた期間も数年程度である。短期間のデータから作成された平均値は経年～十年スケールの気候変動現象に強く影響されるため、気候値とみなすには問題がある。また、波力発電には時間的に安定した波力エネルギーを確保することが重要であるが、気候変動に伴う波力エネルギー取得の脆弱性についての研究は皆無である(観測期間が短いために波力エネルギーの経年変動について調べることができなかったためであろう)。1980 年代に多くの波浪観測計が日本沿岸に設置されてから、長期間の波浪データが蓄積され、また、数値波浪モデルの改良によって、高精度かつ長期間の再解析波浪データが作成されてきた。このような長期の観測ベースの波浪データが蓄積された今、日本沿岸・近海の波力エネルギーマップの改訂版を作成することで、波力発電の適地選定のための基礎データとすることが期待できる。一方、波力エネルギーの推定には数値波浪モデルを駆動する外力として高精度な海上風データが不可欠である。しかしながら再解析データ等の海上風はモデルの物理に起因するばらつき(不確実性)が存在する。したがって、海上風の推定のばらつきに起因する波力エネルギーの推定のばらつき(不確実性)について定量的な評価が必要である。しかしながら、海上風の不確実性、さらには、波力エネルギーの不確実性を考慮した波力エネルギーマップの作製はこれまで行われていないのが現状である。

2. 研究の目的

波浪観測データ、再解析データ、数値シミュレーションによって、(1)日本近海の波力発電のポテンシャルを推算・マップ化する。また、(2)複数の海上風データで波浪モデルを駆動し、異なる海上風データ間のばらつき(不確実性)を調査する。さらに、(3)現在の気候下における波力エネルギーの気候変動に対する応答について調査する。

3. 研究の方法

(1)本研究では観測ベースの波浪データを

もとにして日本沿岸および近海の波力エネルギーのデータを整備・マップ化する。現在入手可能な日本沿岸の観測波浪データ(Nationwide Ocean Wave information network for Ports and Harbours; NOWPHAS)および European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)の再解析波浪データを用いて波力エネルギーを推算する。NOWPHAS による日本沿岸における波浪観測地点のうち、およそ 30 年の歴史がある観測地点が 25 存在する。この波浪データから日本沿岸の波力エネルギーの推算を行う。外洋の波力エネルギーの推算には ECMWF によって作成された 1979 年以降の ECMWF Interim の再解析波浪データも用いる。再解析波浪データは数値モデルを使用しているものの、衛星観測波浪データが同化されているために観測ベースの波浪データとみなす。さらに、数値波浪モデルを複数の海上風データで駆動して波力エネルギーの推定を行う。海上風として、海外の 10 の気象局で公開された数値予報データ(THORPEX Interactive Grand Global Ensemble, TIGGE)を用いる。これらは予報値であるが、時刻 0 では大気モデルに観測データを同化しているため、現実に近い大気場を再現しているため、波力エネルギーの再現に利用が可能である。また、複数の海上風を用いることで、海上風データ間の違いによって生ずる波力エネルギー推定のばらつき具合(不確実性)を見積もることも可能になる。

これらの異なる波浪データから推算した日本沿岸と近海の波力エネルギーの整合性を検証し、観測値ベースの総合的な日本近海の波力エネルギーマップを作成する。また、作成したデータを解析し、気候変動に対して波力エネルギーが安定もしくは不安定な地域を検証し、波力エネルギーの適地選定のための基礎的な情報を蓄積する。

(2)波力エネルギーの適地選定において、NOWPHAS の波浪データは有用ではあるが、観測地点は点であるため、観測地点から離れた地点の波浪情報は不明である。しかしながら、1970 年代に衛星気象観測が普及し始めてから、多くの衛星観測データが大気モデルに同化されることで高精度かつ高解像度の大気再解析データが作成され、洋上の風に関して時空間的に密で信頼性の高い格子データが得られるようになってきた。近年では、世界の主要な現業気象局による過去 10 年間分の気象予測データが THORPEX Interactive Grand Global Ensemble (TIGGE)のプロジェクトのもとで研究・教育用に公開されている。このような先端的な気象データ、および、数値モデルを有効に活用することで、現状の波力エネルギーの気候値の推定と、波力エネルギーの推定における不確実性を見積もることで、将来の波力発電による安定的な電力系統運用のための基礎データとすると同時に、今後の数値モデルによる波力エネルギー推

定のための課題を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 平成 25 年度は、気象庁の現業波浪予報モデルから推定された波浪データと港湾技研の沿岸波浪データを用いて日本沿岸および近海の波力エネルギーの気候値を作成した(図 1)。しかしながら、波浪モデルにはモデル特有のバイアスがあるため、モデルデータと観測値の比較を行い、バイアスの季節依存性等を定量的に把握することが必要になる。多くの先行研究では、波力エネルギーのバリデーションにおいて、波高と周期それぞれに関してモデルと観測値の比較が行われている。しかしながら、波力エネルギーは波高と周期の関数であるため、この方法では波力エネルギーのバイアスが波高のバイアスによるものなのか、周期のバイアスによるものか、または双方の寄与によるものなのか、さらに、それらはどの程度寄与しているのかについての詳細な解析は行われてこなかった。そこで、総合的な評価を行うのに見通しを良くするため、平成 25 年度は波高と周期のバイアスが波力エネルギーのバイアスにどの程度寄与するかを定量的に評価する解析手法を提案した。この手法によって、モデルバイアスの特性の把握が非常に簡便、かつ、定量的に行うことができた。この手法を用いて気象庁の波浪モデルのバイアスの季節性とその要因について調べた結果を国際学会等で発表した。

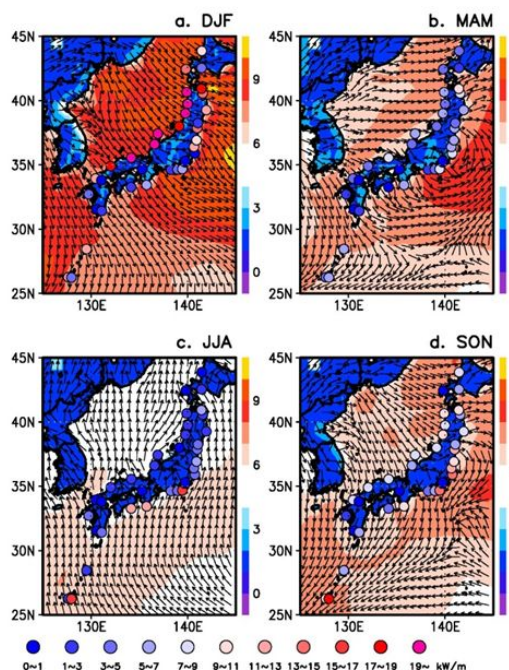


図 1 色付きの丸印はNOWPHASから推定した波力エネルギー(kW/m)。矢印と色はそれぞれ海上10mの風向と風速(m/s)を表す。

(2) 平成 26 年度は「数値モデルを用いた波力エネルギーのマップ化」と「近年の

地球温暖化の停滞傾向に関わる波浪の活動度の弱体化」についての研究を進めた。では、複数の海上風データを外力として波浪モデルを駆動し、推定された波力エネルギーをマップ化した。また、複数の海上風データを用いることで、海上風の違いによる波力エネルギーの不確実性を見積もった。さらに、異なる波浪モデルの物理スキームを用いて波力エネルギーを推定し、物理スキームの違いによる波力エネルギーの不確実性についても検討を行った。当初は計画していなかったが、洋上風力エネルギーの推定も行った。洋上風力エネルギーの推定には海上 100m 前後の風速を推定する必要があるため、海面の粗度の推定も必要とされる。本研究では、波浪モデルを用いて海面粗度を推定した。従来の洋上風力の推定では波浪による粗度は時空間的に一様であるという仮定を用いることが多いが、本研究では波浪の影響によって時空間的に変動する海面粗度を考慮した点で、海面の物理をこれまでよりも適切に表現した推定方法と言える。これらの波力エネルギーのマップ化等の結果は国内外の学会で発表を行った。「近年の地球温暖化の停滞傾向に関わる波浪の活動度の変化」は、最近十年間の波力エネルギーの気候値を推定し、長期的な変化と気候変動の関係についての理解を深めるために行った。再解析波浪データの解析、および、数値モデルを用いた実験の結果、北太平洋中緯度海域の波高と周期が 1990 年代半ば以降、減少傾向にあることが分かった。その要因として、熱帯の長期的な気候変動(ハイレイタス)が大気のテレコネクションを通して中緯度に影響を及ぼしていることが明らかになった。この結果は国内外の学会で発表し、また、学術論文として出版した。

(3) 平成 27 年度は、平成 26 年度に行った複数の海上風データを外力とした波力エネルギーの推定を引き続き行った。解析結果は国内外の学会で発表を行い、学術論文として投稿した(査読中)。さらに、波力エネルギーの時間的均質性についての検討を行った。波力エネルギーの推定は、現在のところ波浪モデルを海上風で駆動して推定する。したがって海上風の精度によって波力エネルギーの推定精度も依存する。海上風データは大気再解析データが用いられることが多い。大気再解析データは様々な現場観測値と衛星観測データを数値モデルに教えることで、力学的に整合性を持ちながら現実的な大気場を再現することができる。しかしながら、衛星観測が始まったのは 1970 年代始めであり、それ以前は衛星データの同化は行われていない。また、同化する衛星データは年代によって異なるため、再解析データに時間的な質の違いが生じる。

波力エネルギーの気候値の推定には海上風の時空間的な均質性が必要とされるため、1950 年以降の波力エネルギーの時空間的な

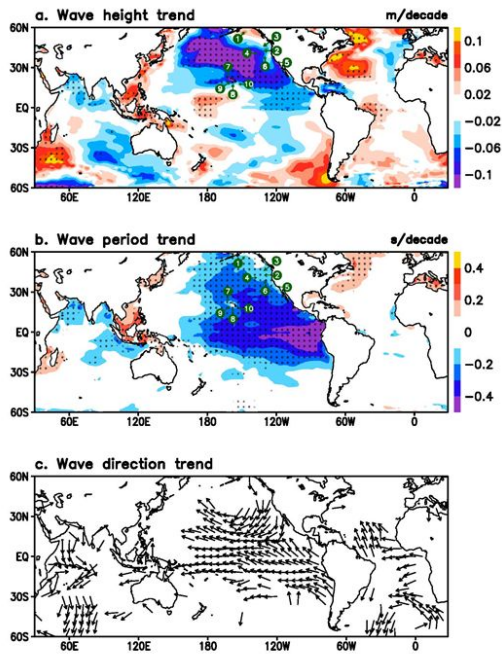


図2 (a)有義波高、(b)平均周期、(c)波向きの変化傾向(1996-2012年)。暖色は増加傾向、寒色は減少傾向を表す。Sasaki(2014)から抜粋。

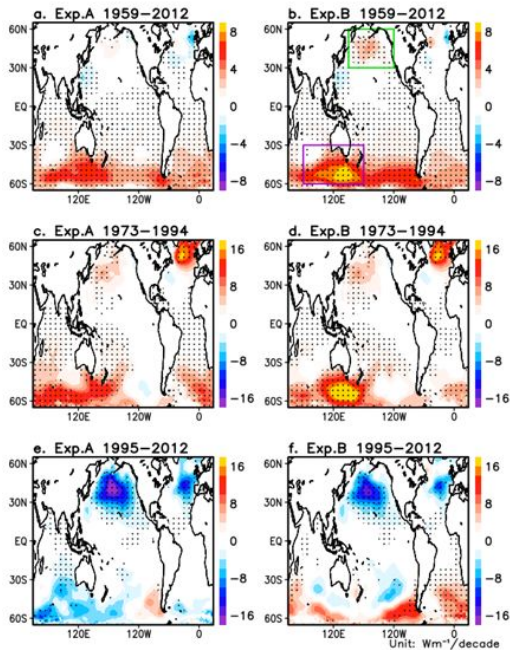


図3 波力エネルギーの変化傾向($Wm^{-1}/10$ 年)。Exp.A は大気再解析データに現場観測、衛星データを同化した場合(JRA-55)、Exp.B は現場観測のみ同化した場合(JRA-55C)。Sasaki(2016)から抜粋。

均質性(homogeneity)について、JRA-55とJRA-55Cの大気再解析データと波浪モデルを用いて調べた。その結果、衛星観測データを大気再解析データに同化することによって、波力エネルギーの長期トレンドに有意な影響が現れる海域と期間を同定した。この結

果は衛星データを同化することで、再解析データに人為的なトレンドが現れる可能性を示しており、再解析データから推定される波力エネルギーの長期傾向を鵜呑みにしてはいけないことを示唆している。結果は学術論文として出版した。

最後に、本研究で構築した波力エネルギー推定システムを拡張し、洋上風力・波力エネルギー短期予測システムを構築した。このシステムを用いて洋上風力・波力エネルギーの予測評価を行うことが可能となった。

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 2 件)

Sasaki, W., 2016: Impact of satellite data assimilation in atmospheric reanalysis on the wind and wave climate, *Journal of Climate*, 査読有, doi:10.1175/JCLI-D-16-0056.1, accepted for publication

Sasaki, W., 2014: Changes in the North Pacific wave climate since the mid-1990s, *Geophysical Research Letters*, 査読有, 41(22), 7854-7860, doi:10.1002/2014GL061590

[学会発表](計 8 件)

佐々木 亘, 全球洋上風力・波力エネルギーの予測可能性, 日本海洋学会 2015年度秋季大会, 2015/9/29, 愛媛大学(愛媛県松山市)

Sasaki, W., Predictability of global offshore wind-wave energy resources, AOGS 12th Annual Meeting, 2015/8/5, Suntec City, Singapore

Sasaki, W., Predictability of offshore wind energy and wave energy, 26th IUGG General Assembly, 2015/6/28, Prague, Czech

Sasaki, W., Changes in the North Pacific wave climate since the mid-1990s, AGU Fall Meeting 2014, 2014/12/17, San Francisco, USA

佐々木 亘, 2000年以降の北太平洋における波候の変化, 日本海洋学会 2014年度秋季学会, 2014/9/25, 長崎大学(長崎県長崎市)

Sasaki, W., On the climatology of wave energy resources around Japan, Grand Renewable Energy 2014, 2014/7/30, 東

京ビッグサイト，東京都江東区

Sasaki, W., On the climatology of wave energy resources around Japan, 9th WESTPAC International Scientific Symposium, 2014/4/23, Nha Trang, Vietnam

佐々木 亘，日本沿岸の波力エネルギーの気候値について，日本海洋学会2014年度春季大会，2014/3/28，東京海洋大学（東京都港区）

6．研究組織

(1)研究代表者

佐々木 亘（SASAKI, Wataru）

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球情報基盤センター・研究技術専任スタッフ
研究者番号：30462500