

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 25 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05665

研究課題名(和文) 大気変動が駆動する海洋経年変動に含まれる不確定性の定量評価

研究課題名(英文) Quantitative investigation on uncertainty included in oceanic interannual variability forced by interannually varying atmosphere

研究代表者

野中 正見 (NONAKA, Masami)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・付加価値情報創生部門(アプリケーションラボ)・グループリーダー

研究者番号：90358771

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：高解像度(緯度経度0.1度)の海洋のコンピュータシミュレーションを1965年～2016年の期間で実施した。最初の状態が少しだけ異なる10通りの計算の比較から、大気の変動が起こす海洋変動と、海洋の中で勝手に(自発的に)起きる変動を調査した。日本東方を東向きに流れて行く強い海流、黒潮続流の年々から十年規模の変動について、このシミュレーション結果を解析した。その結果、黒潮続流の特に十年規模の変動は、主に大気変動が駆動することが示された。一方で年々変動は、海洋が大気の変動と無関係に自発的に変動する成分が大きいことが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

黒潮や親潮、黒潮続流といった強い海流は多くの熱や栄養塩等を運ぶことで気候や海洋生態系に強く影響する。このため、その年々の変動の原因の理解を深め、予測を実現することは社会的にも重要である。本研究の成果から、黒潮続流の年々変動には大気変動とは関係無くカオス的に生じる変動が多く含まれることが明らかにされた。この変動は本質的に予測が不可能であり、これは黒潮続流の年々変動の予測には限度があることを意味する。この結果は今後、黒潮続流の予測を実現して行く上で重要である。その予測ではカオス的な振る舞いを前提にすることが必要となる。

研究成果の概要(英文)：In the present study, we have conducted a high-resolution (0.1-degree longitude and latitude) ocean computational simulation for the period from 1965 to 2016. Ten similar ocean simulations were conducted with observation-based atmospheric fields (wind, temperature, humidity, etc.) from slightly different initial states. Comparison of the ten simulations can show ocean variations forced by atmospheric variability and also those driven by oceanic internal dynamics.

We investigated interannual-to-decadal variability in the Kuroshio Extension (KE) jet, a strong eastward current in the western North Pacific, based on the simulations. The results show that decadal variability in the KE jet is dominated by atmospheric forcing, but its interannual variability is dominated by the oceanic internal dynamics. This means the interannual variability is chaotic and its predictability is limited. The simulation data can be used further studies of potential predictability of global ocean variability.

研究分野：気候力学、海洋物理学

キーワード：海洋自励振動 潜在的予測可能性 海洋中規模渦 海洋前線 海洋大循環モデル アンサンブル実験

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

海洋、特に黒潮や親潮といった強い海流は多くの熱や栄養塩等運ぶことで気候に影響することが明らかにされてきている他、これらの海流に伴う水温の変化は食糧としても重要なマイワシ等を含む海洋生態系に強く影響する。このため、その年々の変動の原因の理解を深め、予測を実現することは社会的にも重要である。

これまでの多くの研究の蓄積から、海洋上層 1000m 程度までの流れは大気からの外力によって駆動され、その経年変動についても、大気の変動によって生じるものと理解されて来た。実際、風変動によって生じる海洋ロスビー波とその伝播によって、海流の変動やそれに伴う海水温の変動を理解することが進められて来た。また、このロスビー波が北太平洋を横切って伝播するのに要する数年間の時間を利用して、日本付近の海洋の経年変動の予測可能性がもたらされることも示されている。

ところが、経年変動しない大気外力で海洋モデルを駆動した場合にも、海洋の特に強い海流域には経年変動が外力に関係なく勝手に(自励的に)生じることが、理想化された実験によって古くから示され、強い海流や海洋渦による非線形的な効果がそれを生むものと考えられている。更に近年の計算機の発達により、現実即した海洋モデルでもこれらの効果を表現可能な高解像度での長期間積分が実現し、同様に自励的変動が生じることが示された。

では更に現実即して、経年変動する大気外力で海洋モデルを駆動した場合にも自励的変動が生じるのか?これが生じるなら、同一の大気外力の下で海洋は自励変動の分だけ異なる状態を持ち得て、外力では規定されない「不確定」な変動成分を持つ。即ち、観測される海洋の状態は力学的に生じうる中の一つの実現値と解釈され、この成分が大きければ、「風変動に駆動される海洋変動」というこれまでの常識が覆されることになる。大気ではこのような変動の不確定性の存在が広く認識され、その評価には僅かに異なる条件を与えた大気モデルを多数積分するアンサンブル実験が用いられる。同様の方法により、研究代表者らは、経年変動する大気外力の下で海洋経年変動に不確定性が存在しうることを初めて明らかにした。

しかしながら、この実験は3アンサンブルメンバーという最低限のメンバー数での実験で、海洋経年変動の不確定性の定量的評価は出来ておらず、モデル海域も太平洋の熱帯以北に限られた。このため、この不確定性の大きさの空間分布や、経年的変動などの性質はまだ全く分かっていない。また、Taguchi et al. (2007) はこの不確定性の経年変動が大気変動に駆動される海洋変動に影響されるという仮説を提示し、研究コミュニティに大きな影響を与えたが、その真偽は10年近く経った現在も未解明であった。

2. 研究の目的

本研究では10メンバー・50年間のアンサンブル海洋モデル経年変動積分を実施し、その出力を解析する。これにより海洋経年変動を理解する上で基盤となるこの不確定性を定量的に評価し、その性質を明らかにすると共に、今後の海洋経年変動研究の基盤となるデータを作成する。

3. 研究の方法

経年変動する大気が駆動する海洋経年変動に含まれる「不確定性」を定量評価するために、僅かに異なる初期値から、同一の大気外力を与えて海洋モデルを駆動する「経年変動アンサンブル積分」を実施する。「不確定性」の出現に重要な海洋渦と強い海流を解像可能な、水平解像度 0.1° の準全球海洋大循環モデル OFES2 を、2日分ずつの相違を持つ10種類の初期値から、観測に基づく大気外力を与え52年間(1965年~2016年)積分する。この10メンバーアンサンブル海洋経年変動52年積分(OFES2_ensemble)の出力から、

海洋経年変動の不確定性の時空間分布、

不確定性の大きさと背景場(大気外力によって駆動されるアンサンブル平均場)の関係、

不確定性の発達機構、等を明らかにする。

4. 研究成果

【黒潮続流域の強い流れ及び海洋中規模渦活動度の不確定性】

OFES2_ensemble の30年平均場の各アンサンブルの比較から、黒潮やメキシコ湾流等の強い海流域において、30年の長期平均場にも不確定性が含まれることが示された。この不確定性の大きい海域の中で、日本東方の黒潮続流の強い流れとそれに伴う海洋中規模渦の活動度の経年から十年規模の変動について、大気変動によって駆動される成分と海洋内部の力学によって自励的に生じる成分に注目した解析を行った。黒潮続流の強い流れは、特に十年規模の変動に関しては、主に大気変動によって駆動されるが、年々変動では海洋の自励的な変動の影響が大きく、黒潮続流の強い流れの年々変動の予測は困難であることを示唆された。実際、シミュレーション結果と観測結果の比較を行うと、十年規模の変動は観測とシミュレーション結果は有為な相関を示すが、年々変動だけを取り出して比較すると両者には有為な相関は得られない。また、背景場の変動と不確定性の大きさの関係等を調査したが、そこには明確な関係性は見られず、現時点では、不確定性の大きさと背景場の関係は未解明である。

これらの成果は、査読付き論文として国際学術誌へ投稿中である。(Nonaka, Masami, Sasaki Hideharu, Taguchi Bunmei, and Schneider Niklas. Atmospheric-driven and intrinsic

interannual-to-decadal variability in the Kuroshio Extension jet and eddy activities, submitted to *Frontiers in Marine Science*)

また、黒潮続流域の海洋中規模渦の活動度は、その海域での水塊の混合にも強い影響を与える。日本南方で観測された塩分の長期的な変動の理解を進める際にも、水塊の生成域での変化、海洋大循環とともに、海洋中規模渦の影響の考慮が重要であることが示された (Ogata and Nonaka 2020)。

【海洋中深層の帯状流の不確定性】

世界中の海の至るところに存在する南北幅おおよそ 100km 程度、東西数千 km に亘る帯状流について、個々の帯状流の位置が外力や系の状態によって決まる機構と、位置が確率的にしか決まらない機構とが提示されていることから、帯状流の位置が決定論的に決まっているのかを調べた。経年変動をみると、緯度帯による傾向の違いが顕著であることが示された。赤道域のすぐ外側では、帯状流はゆっくりと極向きに移動する。移動するときもアンサンブル間のばらつきはそれほど大きくない。亜熱帯循環域になると、流軸の位置が標本間で一致する度合いは低い。亜寒帯での帯状流の動きはゆっくりで系統的でもなく標本間の一致も見られない。一方で、海面から海底に達する準順圧的な帯状流が、32N と 40N にある。それぞれ、崖のような海底斜面に固定されているようであり、時間変動も少なく標本間での一致がほぼ完全である。これらの成果は、査読付き論文として国際学術誌へ投稿中である。(Furue, Ryo, Nonaka, Masami, Sasaki, Hideharu. On the statistics of deep zonal jets in the eastern North Pacific in an ensemble of eddy-resolving ocean general circulation model runs, submitted to *Ocean Modelling*)

【沿岸水位の変動の不確定性】

海面水位に対する、海洋の自励的変動の影響即ち不確定性は、沿岸部では沖合海域に比較して非常に小さいことが示された。これは変動の不確定性の大きい強い海流域でも同様であるが、例外的にアフリカ沿岸の南東部と西日本の太平洋沿岸部では、沖合海域と同程度の大きさの不確定性が見られた。この原因を明らかにするため西日本の太平洋沿岸部に着目し、海流変動との関係を検証した結果、黒潮が大蛇行流路あるいは非大蛇行接岸流路の時に沿岸水位の内部変動が大きいことが示された。これは黒潮の流路変動に伴う沿岸捕捉波の影響を示唆する。これらの成果は、北海道大学大学院理学系研究科の中谷内太一氏の修士論文として発表された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ogata Tomomichi, Nonaka Masami	4. 巻 125
2. 論文標題 Mechanisms of Long Term Variability and Recent Trend of Salinity Along 137° E	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Oceans	6. 最初と最後の頁 e2019JC015290
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2019JC015290	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 4件／うち国際学会 12件）

1. 発表者名 中谷内 太一, 佐々木 克徳, 野中 正見, 佐々木 英治
2. 発表標題 高解像度海洋大循環モデルにおける沿岸水位変動の潜在的予測可能性について
3. 学会等名 日本海洋学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masami Nonaka, Hideharu Sasaki, Bunmei Taguchi, Niklas Schneider
2. 発表標題 Wind-driven and intrinsic interannual-to-decadal variability in eddy activity in the Kuroshio Extension
3. 学会等名 Ocean Sciences Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masami Nonaka, Hideharu Sasaki, Bunmei Taguchi, Niklas Schneider
2. 発表標題 Wind-driven and intrinsic interannual-to-decadal variability in eddy activity in the Kuroshio Extension
3. 学会等名 27th International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) General Assembly (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masami Nonaka, Hideharu Sasaki, Bunmei Taguchi, Niklas Schneider
2. 発表標題 Wind-driven and intrinsic interannual-to-decadal variability in eddy activity in the Kuroshio Extension
3. 学会等名 Symposium of Climate Variation, Prediction and Application 20-Year Anniversary of IOD Research (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nonaka, M., and T. Doi
2. 発表標題 Climate and ocean predictability studies in the western North Pacific
3. 学会等名 Workshop for PICES/CLIVAR Working Group 40 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nonaka, M., and H. Sasaki
2. 発表標題 OFES2 ensemble simulations in extratropical studies
3. 学会等名 Workshop on Southern Hemisphere Ocean and Climate Variability (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nonaka, M., H. Sasaki, B. Taguchi and N. Schneider
2. 発表標題 Wind-driven and intrinsic interannual-to-decadal variability in the Kuroshio Extension
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nonaka, M., H. Sasaki, B. Taguchi and N. Schneider
2. 発表標題 Wind-driven and intrinsic interannual-to-decadal variability in the Kuroshio Extension
3. 学会等名 NORPAN Closing Workshop: From Synoptic, Decadal, to Paleo timescales (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nonaka, M., H. Sasaki, B. Taguchi and N. Schneider
2. 発表標題 Wind-driven and intrinsic interannual-to-decadal variability in the Kuroshio Extension
3. 学会等名 4th International Joint Workshop on Computationally-Intensive Modeling of the Climate System and 9th OFES International Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野中正見, 佐々木英治, 田口文明
2. 発表標題 黒潮統流域の経年・十年規模変動における海洋の自励的変動
3. 学会等名 日本海洋学会2018年度秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nonaka, M., H. Sasaki, and N. Schneider
2. 発表標題 Potential predictability of mesoscale eddy activities in the western boundary current regions in an ensemble eddy-resolving OGCM
3. 学会等名 4th International Symposium on the Effects of Climate Change on the World's Oceans (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Furue R., M. Nonaka, and H. Sasaki
2. 発表標題 How deterministic are the deep zonal jets?
3. 学会等名 4th International Joint Workshop on Computationally-Intensive Modeling of the Climate System and 9th OFES International Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野中正見, 佐々木英治, N. Schneider
2. 発表標題 黒潮続流域における渦活動経年変動の潜在的予測可能性
3. 学会等名 日本海洋学会2017年度秋季大会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Nonaka, M., H. Sasaki, and N. Schneider
2. 発表標題 Wind-driven and intrinsic interannual variability in the Kuroshio Extension jet and its eddy activities
3. 学会等名 The North Pacific Marine Science Organization (PICES) 2019 Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Nonaka, M., H. Sasaki, and N. Schneider
2. 発表標題 Wind-driven and intrinsic interannual variability in the Kuroshio Extension jet and its eddy activities
3. 学会等名 2018 Ocean Sciences Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

APL virtualearth OFES
http://www.jamstec.go.jp/virtualearth/general/jp/index.html#OFES/201601/OFES_current/OFES_current/mean/all/orthographic=-221.21,34.27,888

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	高谷 康太郎 (TAKAYA Koutarou) (60392966)	京都産業大学・理学部・准教授 (34304)	
研究協力者	藤尾 秀洋 (FUJIO Hidehiro)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・付加価値情報創生部門 (アプリケーションラボ) (82706)	
連携研究者	佐々木 英治 (SASAKI Hideharu) (50359220)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・付加価値情報創生部門 (アプリケーションラボ)・主任研究員 (82706)	