

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04075

研究課題名（和文）黒潮続流に伴う冬季に活発な海洋微細循環の経年および十年規模変動とそのメカニズム

研究課題名（英文）Interannual to decadal variations of oceanic submesoscale motions in the Kuroshio Extension region

研究代表者

佐々木 英治（Sasaki, Hideharu）

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（シニア）

研究者番号：50359220

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：黒潮続流域などの海域で冬季に活発になる微細循環の経年変動を、高解像度の海洋大循環モデルの過去再現実験の出力を用いて明らかにすることを目指した。冬季の微細循環は混合層内の傾圧不安定で活発になるが、亜熱帯北東太平洋域ではエルニーの年に傾圧不安定が強くなり微細循環が活発になる経年変動を明らかにした。また、黒潮続流域の冬季の混合層の深さが周辺海域より浅いことは、その傾圧不安定による再成層化が要因であることを明らかにした。さらに、混合層内の傾圧不安定の強度が、混合層の深さと表層の水平密度勾配から推定できることから、アルゴフロートなどの解像度が荒い観測データでも、微細循環の変動を診断できることを示唆した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、黒潮続流域などで冬季に活発になる微細循環の経年変動を高解像度の海洋モデルの出力で示し、亜熱帯北東太平洋域ではエルニーニョ年に微細循環が活発になることを示した。さらに傾圧不安定の強度を推定することで、解像度が粗い観測データでも、微細循環の時空間変動を推定しうる手法を提案した。これらの結果は、温暖化を含む気候変動が海洋表層の傾圧不安定の強度に影響を及ぼすことで冬季の微細循環が時空間的に変動し、その変動が中規模渦や海流などの大循環や生態系を含む物質循環まで影響が及ぶことを示唆している。

研究成果の概要（英文）：We aim to reveal the interannual variations of oceanic submesoscale circulations by using the outputs from a hindcast simulation of a high-resolution ocean model. The submesoscale circulations are active in winter caused by baroclinic instability within the mixed layer. In the subtropical northeastern Pacific, the submesoscale circulations are more active in the El Nino winter than in other winters, due to the enhanced instability. The mixed layer depth in winter is relatively shallow in the Kuroshio Extension region compared to the surrounding areas, which is due to the restratification induced by submesoscale circulations. Based on the estimation of the instability intensity from mixed layer depth and surface density gradient, there is a possibility that the variations of submesoscale circulations are estimated from the observation data at a relatively coarse resolution.

研究分野：海洋物理

キーワード：海洋微細循環 経年変動 高解像度海洋モデル 混合層不安定

1. 研究開始当初の背景

海洋循環は黒潮や湾流など海流の大規模循環とそれらの海流の周辺で活発な数100 キロメートル規模の中規模渦、さらに小さな規模な数10 キロメートル規模のサブメソスケールの微細循環と、さまざまな規模の循環場から構成されている。本研究で注目する微細循環は、冬季に海洋が冷却されることで混合層が厚くなり、水平の密度勾配が大きな海域の混合層内で傾圧不安定が起き、活発になる季節変動が知られている。しかし、微細循環は、衛星観測による海色データで、サブメソスケールの渦や筋状循環が数多くの海域で観測されているが、その年々以上の長期の変動を捉えた観測データは存在せず、ほとんど明らかにされていない。一方、海洋循環の変動は、例えば日本南岸に沿う黒潮が離岸して東方に流れる黒潮続流の海域では、流路の変動と中規模渦が少ない安定期と、その反対の不安定期が数年毎に入れ替わり、その変動は太平洋海盆規模の海面水温の変動である太平洋十年規模と関係があると考えられており、気候変動と関連がある様々な海洋変動が存在している。海洋のサブメソスケールの微細循環にも年々以上の長期の変動が存在すると、微細循環が励起する鉛直循環を通じて海洋表層の物質や熱の鉛直輸送が変動して、海洋生態系や炭素循環などに影響を及ぼすと考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、黒潮続流域などの様々な海域で、海洋生態系や物質循環に影響を及ぼしうる冬季に活発になるサブメソスケールの微細循環に注目し、これまでほとんど明らかにされていない年々以上の時間スケールの変動を示し、その変動がどのように生じているかを明らかにすることを目的とする。また、その微細循環の変動が、海流などの大規模循環場の変動や気候変動と関係があるかについても明らかにする。

3. 研究の方法

本研究では海洋の大規模循環、中規模渦、サブメソスケールの微細循環を同時に再現しうる水平解像度約3キロメートルに相当する1/30度の高解像度で実施した北太平洋海洋モデルの1990年からの過去再現実験の出力を用いる。冬季に活発になる微細循環の活動の年々変動を、海面流速の相対渦度やサブメソスケールの運動エネルギーで、黒潮続流域などの様々な海域で示す。また、その変動のメカニズムを調べるために、混合層の深さ、水平密度勾配とそれらから見積もることができる有効位置エネルギーの放出量の変動を調べる。更に、これらの変動がエルニーニョ等の気候変動と関連があるかも調べる。さらに、水平解像度1度のアルゴフロート観測データの2001年から2022年までの全球海洋のデータセットは、サブメソスケールの微細循環を直接的に捉えることができないが、微細循環を励起する混合層内の有効位置エネルギーの放出量を推定することで、全球海洋の冬季の微細循環の時空間分布とその年々変動を診断的に示すことができるかを検討する。

4. 研究成果

(1) サブメソスケールの海洋微細循環の変動を調べる前に、黒潮親潮続流域の冬季の混合層深が、その海域では海上風が強く、大気による冷却が強いにもかかわらず周辺海域よりも浅くなっているメカニズムについて調べた。水平解像度3キロメートルの海洋モデルは粗い解像度のモデルと比較すると、黒潮親潮続流域の冬季の混合層が周辺海域よりも浅い分布をよく再現しており(図1)、そこではサブメソスケールの微細循環が活発であった。そこで、モデル出力を用いて調べたところ、混合層内での傾圧不安定によって有効位置エネルギーから運動エネルギーへの遷移が起き、サブメソスケールの微細循環が活発になり、その非地衡流が混合層内の鉛直方向の等密度面を水平方向に傾けることで成層化を促進し、混合層深を浅化させることが、この領域の冬季の混合層が周辺海域よりも浅くなっている要因であることを解明した。この研究成果は、中国海洋大学の研究者との共著論文としてJournal of Geophysical Research: Oceansから出版(Ding et al. 2022)された。

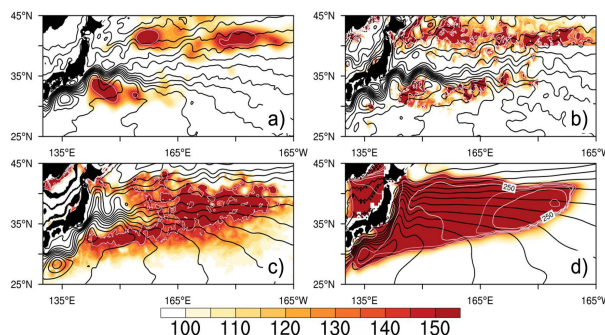


図1. 3月の混合層の深さ(m)。a アルゴフロート観測、b 1/30度モデル、c 1/10度モデル、d 1/2度モデル

(2) 水平解像度3キロメートルの海洋モデルの1991年から2018年までの出力を用いて、亜熱帯北東太平洋域で冬季に活発になるサブメソスケールの微細循環の経年変動を調べた。この海域は、顕著な海流は存在しないが、周辺海域よりも冬季の混合層が深く、海面の密度勾配が大きいために、蓄積された混合層内の大きな有効位置エネルギーが混合層不安定で放出されて運動エネルギーに遷移することで微細循環が活発になっていた。その冬季の微細循環の年々の変動を調べるために、混合層の深さと南北の密度勾配から診断的に有効位置エネルギーの放出量を見積もったところ、平年よりも大きな年の冬に、微細循環が平年よりも活発になっていることがわかった(図2)。また、他のスケールとの相互作用をエネルギーのスケール間の遷移で調べたところ、微細循環が活発な年はサブメソスケールの微細循環からより大きなスケールへのエネルギー遷移が平年よりも大きく、微細循環から中規模渦や海流などスケールの大きな循環場への寄与も年々変動していることがわかった。また、亜熱帯北東太平洋域の微細循環の経年変動は、エルニーニョ年に平年よりも活発で、気候変動との関係も明らかにした。この研究成果はGeophysical Research Lettersから出版(Sasaki et al. 2022)された。

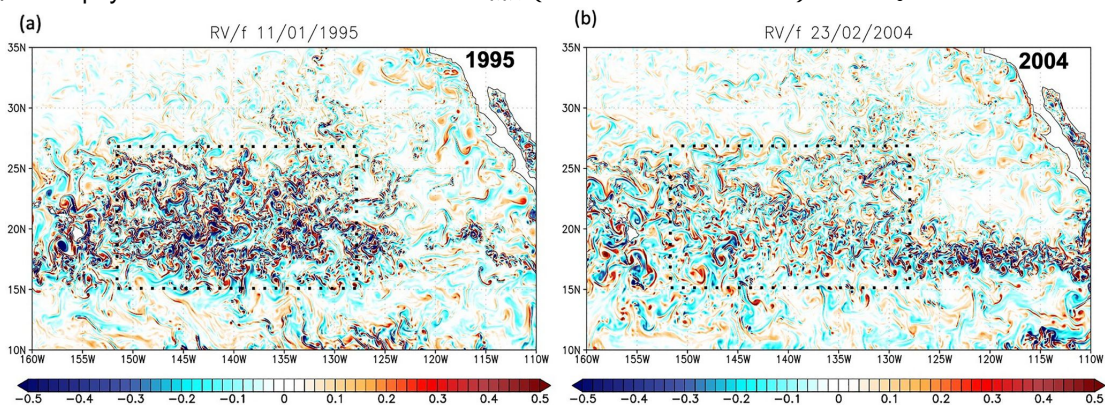


図2. 亜熱帯北東太平洋域の冬季の日平均ロスビー数(相対渦度/コリオリパラメータ)。1995年1月11日(a)は微細循環が活発であるが、2004年2月23日(b)は微細循環は穏やかである。

(3) 解像度が粗い1度のアルゴフロートの2001年から2022年の月平均観測データはサブメソスケールの微細循環を直接的に捉えることは困難であるが、そのデータセットを用いて全球海洋の微細循環の活動の分布と経年変動を診断できる可能性があるかを調べた。まず、微細循環を励起する混合層内の傾圧不安定の強度に対応する混合層内の有効位置エネルギーの放出量を、アルゴフロートの観測データの混合層深度と水平密度勾配から月毎に算出した。その結果、冬半球に有効位置エネルギーが大きくなる季節変動が見られ、冬季の黒潮続流域や北大西洋、南極周極流域および亜熱帯半流域で、微細循環が活発であることを診断することができた(図3)。この結果の検証は観測データでは困難であるが、高解像度の準全球過去再現実験のテスト計算結果と整合的であった。また、エルニーニョの変動の指標であるNINO3.4が冬季に正または負の年のそれぞれの有効位置エネルギーのコンポジット図と、有効位置エネルギーのNINO3.4に対する相関分布図を作成することで、エルニーニョが冬季の微細循環の活動にどの海域で影響を及ぼしうるかを診断できることを示唆した。これらの結果を取りまとめた成果を論文文化して、学術雑誌に投稿する予定である。

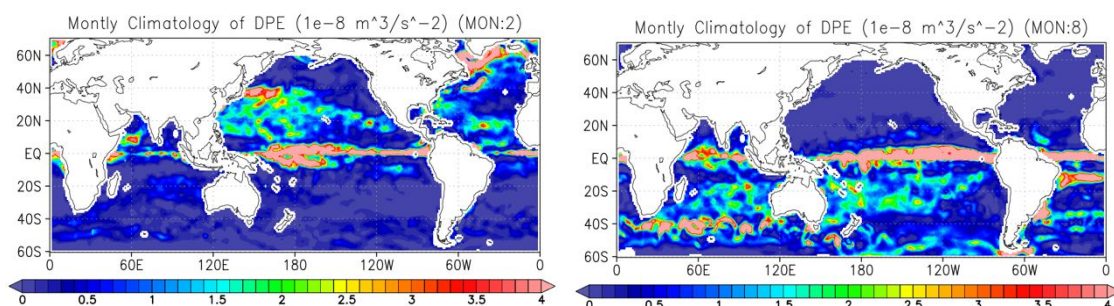


図3. アルゴフロート観測データから算出した混合層内の有効位置エネルギーの月平均気候値。左図の2月は北半球、右図の8月は南半球のそれぞれ冬半球で微細循環が活発であることを示唆している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Sasaki Hideharu, Qiu Bo, Klein Patrice, Nonaka Masami, Sasai Yoshikazu	4. 巻 49
2. 論文標題 Interannual Variations of Submesoscale Circulations in the Subtropical Northeastern Pacific	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2021GL097664	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 該当する

1. 著者名 Ding Yang, Xu Lixiao, Xie Shang Ping, Sasaki Hideharu, Zhang Zhengguang, Cao Haijin, Zhang Yang	4. 巻 127
2. 論文標題 Submesoscale Frontal Instabilities Modulate Large Scale Distribution of the Winter Deep Mixed Layer in the Kuroshio Oyashio Extension	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Oceans	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2022JC018915	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 該当する

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Hideharu Sasaki, Bo Qiu, Patrice Klein, Masami Nonaka, Yoshikazu Sasai
2. 発表標題 Interannual to Decadal Variations of Submesoscale Motions in the Subtropical North Pacific
3. 学会等名 Ocean Sciences Meeting 2022（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hideharu Sasaki
2. 発表標題 Interannual variations of submesoscale motions in the subtropical Eastern Pacific
3. 学会等名 International workshop for mid-latitude air-sea interaction（国際学会）
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	笹井 義一 (Sasai Yoshikazu) (40419130)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(地球表層システム研究センター)・主任研究員 (82706)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------