

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25287118

研究課題名(和文) 黒潮続流と中規模渦の変動に伴うモード水の十年規模変動

研究課題名(英文) Decadal variability of mode waters associated with that of the Kuroshio Extension and mesoscale eddies

研究代表者

岡 英太郎 (OKA, Eitarou)

東京大学・大気海洋研究所・准教授

研究者番号：60360749

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：黒潮続流周辺の冬季混合層からのモード水のサブダクションに中規模現象が与える影響、ならびにサブダクションの十年規模変動を、高解像度船舶観測の実施、および高解像度モデルの出力結果やアルゴフロートデータ等の観測データの解析により調べた。中央モード水の形成域西部にあたる黒潮親潮続流域において、形成直後の中央モード水のシノプティックな構造を詳細に捉えた。また、中規模渦やフロント構造に伴うモード水のサブダクションおよび栄養塩輸送の実態を明らかにした。さらに、黒潮続流の十年規模変動に伴い、亜熱帯モード水のサブダクションが大きく変動し、下流域の物理ならびに生物地球科学的構造を変化させていることを示した。

研究成果の概要(英文)：We have examined the influence of mesoscale phenomena on the subduction of mode waters from winter mixed layers in the Kuroshio Extension region as well as the decadal variability of subduction, by conducting high-resolution shipboard observations and analyzing output of high-resolution numerical models and observation data including Argo profiling float data. We obtained synoptic distributions of Central Mode Water just after formation in the Kuroshio-Oyashio Extension region corresponding to the western part of its formation region. We clarified the subduction of mode waters and nutrient transports associated with fronts and mesoscale eddies. We also demonstrated that the subduction of Subtropical Mode Water varies significantly in association with the decadal variability of Kuroshio Extension, affecting not only physical but also biogeochemical structure in the downstream region.

研究分野：海洋物理学

キーワード：北太平洋 モード水 サブダクション 中規模渦 黒潮続流 十年規模変動

1. 研究開始当初の背景

黒潮続流(以下、続流)の南北の海域ではモード水(MW)とよばれる鉛直一様な水塊が形成され、亜熱帯循環の広範囲に広がっており、その挙動を明らかにすることは気候変動や物質循環変動の理解のために大変重要である。我々は最近の一連の研究において、北太平洋のMW(亜熱帯モード水:STMW、中央モード水:CMW、移行領域モード水:TRMW)のラージスケールの形成・輸送過程を明らかにしてきた。また、続流周辺に多く分布する中規模渦がMWの諸過程に果たす役割を明らかにしつつある。

近年、続流の流路安定度と周辺の中規模渦の活動度が太平洋十年規模振動に伴い、約10年周期で変動していること、また続流流路が安定(不安定)で渦活動度が低い(高い)時期に厚い(薄い)STMWが形成されることが見いだされた。この続流と中規模渦の変動は、各MWの形成・輸送・散逸過程およびそれに伴う大気海洋相互作用や生物地球科学過程に大きな影響を与えていると予想される。

2. 研究の目的

(1) 最近の我々の研究により2種類のCMW(重い中央モード水:D-CMW、軽い中央モード水:L-CMW)およびTRMWの大洋規模の形成・サブダクション過程は示されたものの、これらの水塊の形成・輸送・変質・サブダクション過程に中規模現象が果たす役割についてはSTMWと比べて未解明の点が多いため、この点をまず明らかにする。

(2) その上で、STMWを含むすべてのMWについて、続流と中規模渦の十年規模変動に関連した形成・輸送・散逸過程の変動、およびそれが海面水温分布や表層栄養塩分布等に与える影響を解明する。

3. 研究の方法

(1) 高解像度船舶観測による研究: MWの中規模構造とそれに伴う乱流拡散強度分布や栄養塩・クロロフィル分布等を調べるための高解像度船舶観測を実施する。

(2) 高解像度モデルによる研究: 気象庁気象研究所の海洋モデリンググループの協力を得て、上記目的(1)に対して水平解像度2.5kmの日本近海モデル、目的(2)に対して水平解像度10kmの北西太平洋域モデルの計算結果を解析する。

(3) アルゴデータをはじめとする歴史的海洋データ、および衛星海面高度データや海面フラックスデータの解析を行う。

4. 研究成果

(1) L-CMW、D-CMW、TRMWの形成・サ

ブダクション過程とフロント・中規模構造との関係を明らかにするために、2度の白鳳丸航海を実施した。

2013年4月2日~5月1日のKH-13-3次研究航海では、TRMWおよびD-CMW形成域の形成域における詳細な水塊構造を捉えるため、41Nに沿う日本東岸から170Eまでの東西測線上で経度1度ごとにCTD・FRRF・MSP等の観測を実施し、その間の経度10分ごとにXCTD観測を行う計画であったが、度重なる低気圧の襲来により計画を大幅に縮小せざるを得なかった(図1)。

2016年5月31日~6月29日のKH-16-3次研究航海では、L-CMW形成域における詳細な水塊構造を捉えるため、37.5Nに沿う東西測線上でKH-13-3航海と同様の観測を実施するとともに、KH-13-3航海で実施できなかった41N測線の残りを観測する計画を立てたが、天候に極めて恵まれ、計画を100%実施することができた(図2)。なお、本航海はもともと2015年6月に実施予定であったが、諸般の事情により実施が1年遅れ、そのためにデータの解析に遅滞が生じることとなった。

以上2航海により、両CMW形成域西部における詳細な水塊構造およびそれに伴う生物地球化学パラメタの分布を得た。今後、これらデータの解析を行い、形成域西部の深い混合層形成がCMW循環に与える影響を解明する。

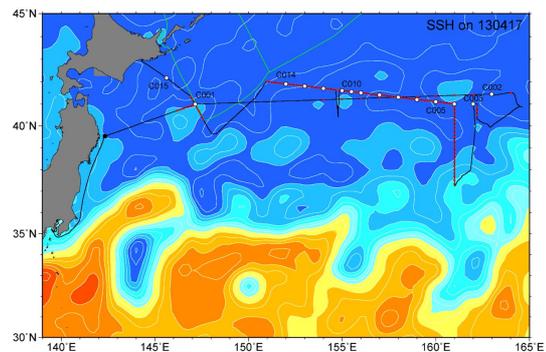


図1 KH-13-3航海レグ1の測点図

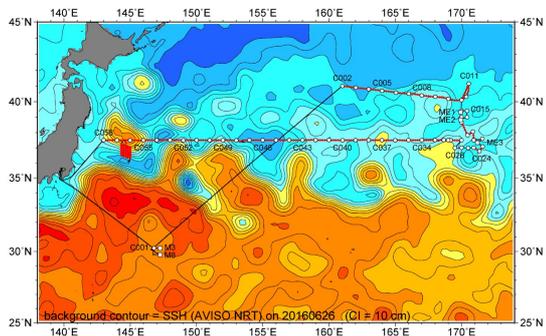


図2 KH-16-3航海の測点図

(2) STMW形成域における短周期の大気海洋

相互作用の実態を捉えるため、2014年2月21日～3月13日の白鳳丸KH-14-1次研究航海で、黒潮続流南方32N・144Eにおける定点時系列観測を行った。具体的には1日1回のCTD、4回のFRRF観測を行い、その間は連続でMSP観測を行った。その結果、気象擾乱の通過に伴い冬季混合層深度が350mに達し、数日後に再成層化するまでの水温・塩分構造や乱流強度、栄養塩分布などの時間変化を明らかにした(図3)。

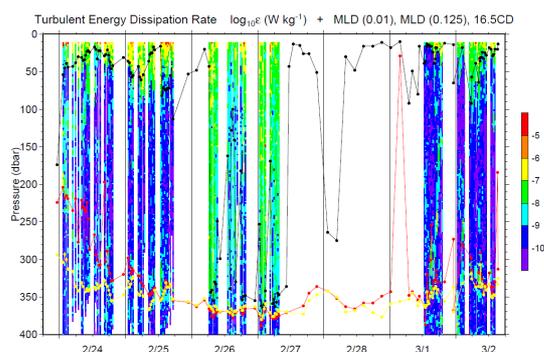


図3 MSP観測により得られた上層400mの乱流強度の時間深度分布

(3) 北太平洋海盆全域に領域を拡張した高解像度数値モデルを、衛星観測等に基づいて較正した気象庁大気再解析データにより約60年間駆動して、北西太平洋域の海洋長期変動の再現実験を行った。観測との比較に基づき、中規模渦や続流などの再現性を向上させるためのパラメータ調整を行った。パッシブトレーサー法、粒子追跡法を用い、数値モデルにおけるモード水の分布過程の詳細を観測との比較により調査するための実験を実施した。

(4) 高解像度海洋大循環モデルに再現された、続流から切離し、その低緯度側にあたる黒潮再循環域(STMWの存在領域)を移動する冷水渦(低気圧性渦)によるトレーサーの輸送を調べた。冷水渦は温度躍層の上部のみならず下部の水塊を数百メートルの厚さにわたり同時に運んでいることがわかった。このことは冷水渦中にみられる高栄養塩が黒潮再循環域の亜表層由来ではなく、続流の北側を起源とすることを意味する。

(5) 白鳳丸による2008年10-11月のSTMW分布域における高解像度観測結果から、低気圧性渦の通過に伴い、栄養塩構造が有光層に供給され、生物生産が増加する様子を捉えた(Sukigara et al., 2014)。

(6) 2003年春に複数船舶により本州東方海域で実施された観測のデータを調べ、TRMW/D-CMWが亜寒帯フロントの南側で渦とは比較的無関係に連続的に形成されていた様子、またL-CMWの形成域西側部分に

おける形成が、恐らく形成の10年規模変動を反映する形でほとんど起きていなかったことなどを明らかにした(Oka et al., 2014)。

(7) 過去10年強の衛星海面高度・アルゴデータと気象庁の定線観測データの解析により、北太平洋のMWのサブダクション率に10年規模の変動があることを示し(Toyama et al., 2015)、特にL-CMWに関しては形成域が東西方向にシフトすること(Kawakami et al., 2016)、STMWに関しては続流の10年規模変動に伴いサブダクションが変化し、下流域における生物地球化学的パラメータの変動を生んでいることを明らかにした(Oka et al., 2015, 図4)。

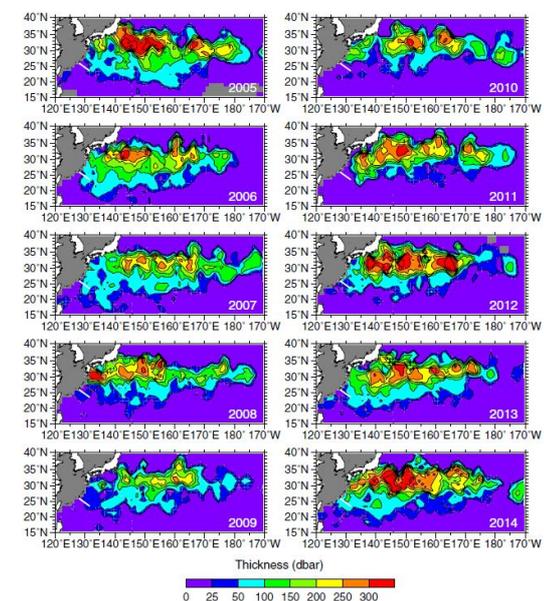


図4 2005-2014年の3月のSTMWの厚さの分布

(8) 1967-2016年の気象庁137E定線と1984-2013年の海上保安庁144E定線の解析により、過去20年間北太平洋亜熱帯循環北西部で主密度躍層上部が顕著に低塩化するとともに塩分の顕著な10年規模変動が見られ、それらの変化・変動に続流域からのSTMWやL-CMWのサブダクションが本質的な役割を果たしていることを示した(Oka et al., 2017)。

(9) 海面高度計データを用いて、MWの形成およびその経年変動と関係の深い続流、続流北分岐、亜寒帯境界、亜寒帯前線の同定を行い、それぞれの発生頻度と十年スケールの変動を調査した。特に、続流と北分岐はシャツキー海台の東側で0.2 cm/sの速度で南向きにシフトしていることが明らかとなった。これらの解析結果は、船舶による定線観測結果とも一致していた。

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 16 件)

Nakano, H., H. Tsujino, and K. Sakamoto, Tracer transport in cold-core rings pinched off from the Kuroshio Extension in an eddy-resolving ocean general circulation model, *Journal of Geophysical Research*, 査読有, 118, 2013, 5461-5488.

Oka, E., K. Uehara, T. Nakano, T. Suga, D. Yanagimoto, S. Kouketsu, S. Itoh, S. Katsura, and L. D. Talley, Synoptic observation of Central Mode Water in its formation region in spring 2003, *Journal of Oceanography*, 査読有, 70, 2014, 521-534.

Sukigara, C., T. Suga, K. Toyama, and E. Oka, Biogeochemical responses associated with the passage of a cyclonic eddy based on shipboard observations in the western North Pacific, *Journal of Oceanography*, 査読有, 70, 2014, 435-445.

Oka, E., B. Qiu, Y. Takatani, K. Enyo, D. Sasano, N. Kosugi, M. Ishii, T. Nakano, and T. Suga, Decadal variability of Subtropical Mode Water subduction and its impact on biogeochemistry, *Journal of Oceanography*, 査読有, 71, 2015, 389-400.

Toyama, K., A. Iwasaki, and T. Suga, Interannual variation of annual subduction rate in the North Pacific estimated from a gridded Argo product, *Journal of Physical Oceanography*, 査読有, 45, 2015, 2276-2293.

Kawakami, Y., S. Sumimoto, and T. Suga, Inter-annual zonal shift of the formation region of the lighter variety of the North Pacific Central Mode Water, *Journal of Oceanography*, 査読有, 72, 2016, 225-234.

Aoyama, M., Y. Hamajima, M. Hult, M. Uematsu, E. Oka, D. Tsumune, and Y. Kumamoto, 134Cs and 137Cs in the North Pacific Ocean derived from the TEPCO Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, Japan in March 2011: Part One – Surface pathway and vertical distributions, *Journal of Oceanography*, 査読有, 72, 2016, 53-65.

Oka, E., S. Katsura, H. Inoue, A. Kojima, M. Kitamoto, T. Nakano, and T. Suga, Long-term change and variation of salinity in the western North Pacific subtropical gyre revealed by 50-year long observations along 137E, *Journal*

of *Oceanography*, 査読有, 73, 2017, 印刷中.

〔学会発表〕(計 57 件)

岡英太郎・石井雅男・植原量行・大森裕子・川合義美・齋藤慎也・小杉如央・須賀利雄・鋤柄千穂・角皆潤・野中正見・藤田実季子・Vincent Faure・細田滋毅・村山利幸・安田一郎・柳本大吾・山崎誠, 初春の中央モード水形成域観測 KH-13-3 航海速報, 2013 年度日本海洋学会秋季大会, 2013 年 9 月 18 日, 北海道大学(北海道札幌市)

轡田邦夫・岩坂直人・須賀利雄・岡英太郎・小松幸生・柳本大吾・植原量行・鋤柄千穂・川合義美・永野憲・井上龍一郎・久保田雅久・塚本修・根田昌典・鈴木直弥・近藤文義・立花義裕・谷本陽一・村山利幸・小橋史明・富田裕之・石井雅男・藤田実季子, 厳冬期黒潮続流南方域における大気海洋双方向作用の高分解能観測 KH-14-1 航海速報, 2014 年度日本海洋学会春季大会, 2014 年 3 月 28 日, 東京海洋大学(東京都品川区)

Suga, T., Annual subduction rate of the North Pacific and its interannual variation, WCRP/CLIVAR Second International Symposium on Boundary Current Dynamics (招待講演), 2013 年 7 月 9 日, 麗江(中国)

辻野博之・浦川昇吾・豊田隆寛・坂本圭・中野英之・安田珠幾・山中吾郎, 海洋モデル駆動のための気象庁 55 年長期再解析(JRA-55)の較正(1)JRA-55 の誤差評価, 2014 年度日本海洋学会秋季大会, 2014 年 9 月 14 日, 長崎大学(長崎県長崎市)
植原量行・岡英太郎・鋤柄千穂, KH-14-1 冬季混合層の乱流エネルギー散逸率の変動, 東京大学大気海洋研究所国際沿岸海洋研究センター全国共同利用研究集会「海洋変動と熱・物質循環」(招待講演), 2015 年 9 月 8 日, 大槌町中央公民館(岩手県大槌町)

岡英太郎・根田昌典・植原量行・川合義美・轡田邦夫, 黒潮続流周辺海域における分野横断的船舶観測, 2016 年度日本海洋学会秋季大会, 2016 年 9 月 14 日, 鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市)

鋤柄千穂・三野義尚・岡英太郎・植原量行・根田昌典, 黒潮続流周辺海域における水塊構造の変化と生物応答, 2016 年度日本海洋学会秋季大会(招待講演), 2016 年 9 月 14 日, 鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市)

Oka, E., S. Katsura, H. Inoue, A. Kojima, M. Kitamoto, T. Nakano, and T. Suga, Long-term change and variation of salinity in the western North Pacific subtropical gyre revealed by 50-year long observations along 137E, *Journal*

JpGU-AGU Joint Meeting 2017(招待講演), 2017年5月22日, 幕張メッセ(千葉県千葉市)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

・白鳳丸 KH-13-3 次研究航海

<http://ocg.aori.u-tokyo.ac.jp/member/eoka/cruises/kh-13-3/index-jp.html>

・白鳳丸 KH-14-1 次研究航海

<http://ocg.aori.u-tokyo.ac.jp/member/eoka/cruises/kh-14-1/index-jp.html>

・白鳳丸 KH-16-3 次研究航海

<http://ocg.aori.u-tokyo.ac.jp/member/eoka/cruises/kh-16-3/index-jp.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

岡 英太郎 (OKA, Eitarou)

東京大学・大気海洋研究所・准教授

研究者番号: 60360749

(2)研究分担者

須賀 利雄 (SUGA, Toshio)

東北大学・理学研究科・教授

研究者番号: 70211977

植原 量行 (UEHARA, Kazuyuki)

東海大学・海洋学部・教授

研究者番号: 90371939

辻野 博之 (TSUJINO, Hiroyuki)

気象庁気象研究所・地球化学研究部・

主任研究官

研究者番号: 50343893

鋤柄 千穂 (SUKIGARA, Chiho)

名古屋大学・環境学研究科・助教

研究者番号: 90447128

(3)連携研究者

細田 滋毅 (HOSODA, Shigeki)

独立行政法人海洋研究開発機構・

地球環境観測研究開発センター・

グループリーダー代理

研究者番号: 60399582

瀧瀬 慎也 (KOUKETSU, Shinya)

独立行政法人海洋研究開発機構・

地球環境観測研究開発センター・

主任研究員

研究者番号: 30421887

(4)研究協力者

饒田 邦夫 (Kutsuwada, Kunio)

川合 義美 (KAWAI, Yoshimi)

山中 吾郎 (YAMANAKA, Goro)

中野 英之 (NAKANO, Hideyuki)

笹井 義一 (SASAI, Yoshikazu)

Bo Qiu

小橋 史明 (KOBASHI, Fumiaki)

遠山 勝也 (TOYAMA, Katsuya)