

令和 2 年 7 月 1 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：17K05660

研究課題名(和文) フィリピン東方海域の海洋構造と鉛直拡散の観測研究

研究課題名(英文) Observational study of ocean structure and vertical mixing in the region east of the Philippines

研究代表者

永野 憲 (NAGANO, Akira)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(海洋観測研究センター)・主任研究員

研究者番号：40421888

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)：気候変動に大きな役割を果たしていると考えられる黒潮続流域の表層水の経年から10年規模変動の起源がフィリピン東方沖にある。そこで、フィリピン東方海域における熱および物質の変動要因を明らかにするために、海洋の三次元構造とその時間変化を調べた。その結果、海洋の亜表層の変動を海面付近に伝えると考えられる鉛直流が常に上向きである海域を突き止めることができた。さらに、鉛直流の強さは、準10年規模変動を示し、ラニーニャ(エルニーニョ)に約1年遅れて強(弱)まることも分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

北太平洋中緯度域の大気と海洋は、約10年の時間スケールで変化している(準10年規模変動)。この変動のメカニズムの解明のためには、亜熱帯循環の内部領域の中層に潜り込んだ準10年規模の水温変動のシグナルがどこで海面に出現するのかを把握することが鍵となる。本研究の成果は、中層の水温の準10年規模変動がフィリピン東方海域で海面に出現していることを示唆する結果であり、準10年規模変動発生メカニズムの解明に導く発見である。

研究成果の概要(英文)：The interannual variations of sea surface water in the Kuroshio Extension region, which possibly play a critical role in the climate change, originate in the region east of the Philippines. In order to reveal factors of the variations of distribution in heat and materials, we examined the spatiotemporal variations of their three-dimensional structures in the subsurface ocean. As a result, we found the region where vertical velocity is always upward. Furthermore, we revealed that the upward current varies on the quasi-decadal timescale with a maximum (minimum) the approximately one year after La Nina (El Nino).

研究分野：海洋物理学

キーワード：西部熱帯太平洋 ENSO 準10年規模変動 黒潮 鉛直流

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

亜熱帯モード水等の北太平洋亜熱帯循環の上層を占める水塊は、黒潮続流域で形成される。黒潮続流域の表層水の塩分の経年変動は、エルニーニョに伴って発生するフィリピン東方海域の高塩分水に起源を持ち、それが約9カ月かけて黒潮続流域まで運ばれていることが研究代表者の過去の研究で明らかとなっていた (Nagano et al., 2014)。また、北太平洋亜熱帯循環の内部領域中層の準10年水温変動は、フィリピン東方海域で海面付近に現れることが予想されていた (Nagano et al. 2016)。研究開始当初、フィリピン東方海域における表層水塊の変質過程については、鉛直流および鉛直拡散に関する知見が乏しく、未解明であった。

一方、Nagano et al. (2016)は、北太平洋亜熱帯循環の内部領域で海面高度計データから、Altimetry-based Gravest Empirical Mode (AGEM)法を用いて海水密度の三次元構造を推定することに成功した。AGEM法を改良して、フィリピン東方海域に適用することで海洋の三次元構造を推定できると考えた。そこで、AGEM法で得た海水密度の三次元場に、P-vectorインパース法等の手法を用いて、鉛直流の時空間変動特性についての知見が得られると期待した。

また、乱流計データに比べ、観測数の多い Lowered Acoustic Doppler Current Profiler (LADCP) データと Conductivity-Temperature-Depth (CTD) データを用いて鉛直拡散係数を推定する手法が Thurnherr (2011)によって考案された。この手法を用いて、鉛直流を推定することができる。そこで、LADCP/CTD データから推定する短周期の時間変動を含む鉛直流にも注目した。

2. 研究の目的

黒潮続流域の表層海水特性の変動の起源であり、亜熱帯循環内部領域中層の準10年水温変動の湧昇域でもあるフィリピン東方海域における表層水塊の変質過程を明らかにするために、当該海域の亜表層の海水密度の三次元構造とその時間変動を衛星海面高度計データとアルゴデータから AGEM法を用いて推定する。さらに、P-vectorインパース法等の力学手法を用いて、鉛直流の時空間特性を調べることが本研究の主な目的である。

また、フィリピン東方海域の水塊変質に及ぼす鉛直拡散の影響を調べることも目的の一つである。

3. 研究の方法

フィリピン東方海域の表層水塊への海面からの影響を調べるために、期間2001年1月~2013年12月、 $10^{\circ}\text{S} \sim 40^{\circ}\text{N}$ 、 $120^{\circ}\text{E} \sim 160^{\circ}\text{E}$ の海域で月平均淡水フラックスと海面塩分の Canonical Correlation Analysis (CCA) 解析を行った。淡水フラックスには、NOAA National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) の月平均潜熱フラックス P と降水量 E から $E - P$ として計算し、海面塩分として、Monthly Objective Analysis using the Argo data (MOAA GPV) の深度10mの塩分を用いた。

次に、海洋の亜表層からの影響を調べた。2001年1月~2017年5月に、アルゴフロートで $10^{\circ}\text{S} \sim 25^{\circ}\text{N}$ 、 $120^{\circ}\text{E} \sim 180^{\circ}$ の海域で取得された水温と塩分の鉛直プロファイルからポテンシャル密度とスパイシーネスのプロファイルを計算した。AGEM(力学高度と水温・塩分プロファイルの対応関係)を作成するために、月ごとに等ポテンシャル面でのスパイシーネスの分布の類似性を基にクラスター解析を行い、AGEMを作成する海域を最大で6つに分割した(プロファイル間のノルムには Ward法を用いた)。さらに、各月各海域毎に、力学高度と衛星海面高度の間に線形の相関があることを確認した上で、各月各海域毎に回帰式を作成した。得られた AGEM と回帰式を用いて、衛星海面高度データから深度1000dbarまでの水温と塩分の三次元場の時系列を作成した。P-vectorインパース法(Chu 2006)を用いて、100dbar以深の鉛直流を推定した。

さらに、フィリピン東方、 13°N 、 137°E に設置した係留ブイデータの解析を通じて、短周期変動も含めた海洋の亜表層変動の表層水塊の変質に与える影響を調べた。

加えて、海洋地球観測船「みらい」等による航海で取得した LADCP データと CTD データを解析した。Thurnherr (2011)の手法を適用して、鉛直流を推定した。この推定手法は、CTDの取り付けられているフレームの速度を LADCP/CTD から推定し、LADCP で計測された鉛直流から差し引くことで真の鉛直流を算出するものである。実際の計算は、A. M. Thurnherr 博士が作成したプログラムを用いて鉛直流の計算を行った。

4. 研究成果

フィリピン東方海域の表層塩分は、エルニーニョの時に高くラニーニャの時に低い。海面塩分と $E - P$ フラックスが共変動するモードを示す CCA モードの空間パターンおよび時間変動を詳しく調べたことで、フィリピン東方の塩分の El Nino and Southern Oscillation (ENSO) スケール変動への大気の影響を明らかにすることができた。また、エルニーニョに伴う高塩分の偏差は、黒潮によって移流され、黒潮続流域まで到達するのに対し、ラニーニャに伴う低塩分偏差は、亜熱帯域の蒸発の過多によって低塩分偏差は消失することもわかった。また、亜表層にも ENSO スケール変動が存在し、海面からの降水による影響だけでなく、海洋の中層からの影響も存在することも指摘した。

次に、フィリピン東方海域の表層の熱および物質の分布に影響を及ぼすと考えられる混合層よりも下層の深度100dbar以深の鉛直流の分布の推定を試みた。鉛直流は、 10^{-6} m/s のオーダー

であり、観測によって直接計測することはできないが、AGEM 法と P-vector インバーズ法を組み合わせることで、平均的に鉛直流が上向である海域は、 $10^{\circ}\text{N} \sim 18^{\circ}\text{N}$, $140^{\circ}\text{E} \sim 180^{\circ}$ にあることを突き止めた(図1)。また、この海域での鉛直流の時間変化についても明らかになり、準10年規模変動が見られた。特に、ラニーニャに約1年遅れて強まり、その流量は約 1Sv ($10^6\text{m}^3/\text{s}$)であった。亜熱帯循環内部領域の中層を南下する水温の準10年変動は、この鉛直流の変動によって海面近くに出現するものと考えられる。これは、準10年変動のメカニズムの解明に導く結果であると考えられる。また、鉛直流の変化は、熱と物質の空間分布に影響を与えるため、モード水等の特性の変動に影響を及ぼしうるフィリピン東方海域の表層水塊の変化について重要な情報を提供するものと考えられる。

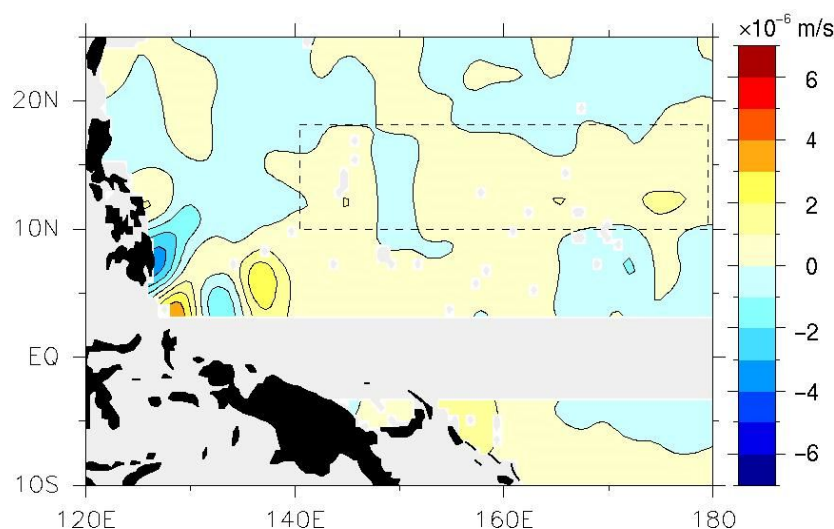


図1. P-vector 法で推定した深度100dbarにおける鉛直流の平均分布。破線の四角で囲った海域で平均的に上向きの流れが存在する。

LADCP/CTD データから鉛直流を算出することができた。この手法で求めた鉛直流は、内部重力波の影響を含んでおり、P-vector 法で推定した鉛直流と単純に比較することはできないが、今後、鉛直スペクトル等の鉛直流の特性を詳しく調べることで、鉛直拡散についての知見が得られるものと期待できる。また、LADCP データのエコー強度と溶存酸素の間に関係があることがわかった。この結果は、溶存酸素に加え LADCP のエコー強度を用いて Lower Circumpolar Deep Water (LCDW) をモニターすることができることを意味する。また、LADCP の音波の周波数と散乱粒子の大きさの考察から、高溶存酸素の LCDW の酸化環境の中で水中のマンガン粒子が海底に速やかに沈殿し、溶存酸素の高い LCDW 中でエコー強度が低いとの仮説を提唱した。この仮定は、マンガン団塊が LCDW の存在する海域に多く産出する事実を説明する。

フィリピン東方の係留ブイデータの解析から、バリアレイヤーの消失に水平移流が重要な役割をしていることを示した。また、この水平移流によって、中層の溶存酸素も増加していることも分かった。これは、表層で形成された直後の水塊の貫入を示すものである。加えて、フィリピン東方海域における海面水温の歴史データや大気再解析データを解析した結果、強いエルニーニョ時には、フィリピン海に着目したエルニーニョ仮説である Western Pacific Oscillator モデルと一致する特徴が大気海洋偏差場に見られたが、弱いエルニーニョ時には見られないことが分かった。AGEM 法による解析と合わせて、今後のフィリピン東方海域での大気海洋相互作用についての知見が深まるものと思われる。

これらの研究を通して、将来の国際黒潮観測プロジェクトを策定するための基礎情報を得ることができた。

< 引用文献 >

Chu, P. C. (2006) P-vector inverse method, Springer-Verlag

Nagano, A., et al. (2014) Origin of near-surface high-salinity water observed in the Kuroshio Extension region, *Journal of Oceanography*, 70, 389–403

Nagano, A., et al. (2016) east transport variation due to change of North Pacific subtropical gyre interior flow during 1993–2012, *Ocean Dynamics*, 66, 1637–1649

Thurnherr, A. M. (2011) Vertical velocity from LADCP data, *Proceedings of the IEEE/OES/CWTM Tenth Working Conference on Current Measurement Technology*, 198–204

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Akira Nagano, Iwao Ueki, Takuya Hasegawa, Kentaro Ando	4. 巻 なし
2. 論文標題 Ocean-Atmosphere Observations in Philippine Sea by Moored Buoy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 2018 OCEANS - MTS/IEEE Kobe Techno-Oceans (OTO)	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/OCEANSKOB.2018.8558886	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 -

1. 著者名 Kanae Komaki, Akira Nagano	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Monitoring the deep western boundary current in the western North Pacific by echo intensity measured with lowered acoustic Doppler current profiler	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Marine Geophysical Research	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11001-018-9354-7	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 -

1. 著者名 Nagano Akira, Hasegawa Takuya, Ueki Iwao, Ando Kentaro	4. 巻 44
2. 論文標題 El Nino-Southern Oscillation-time scale covariation of sea surface salinity and freshwater flux in the western tropical and northern subtropical Pacific	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 6895 ~ 6903
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/2017GL073573	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 2件/うち国際学会 6件）

1. 発表者名 小牧加奈絵, 永野憲
2. 発表標題 LADCPで計測した散乱強度による西部北太平洋の深層西岸境界流のモニタリング
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kanae Komaki, Akira Nagano
2. 発表標題 Monitoring the deep western boundary current in the western North Pacific by lowered acoustic Doppler current profiler echo intensity
3. 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society 15th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川拓也, 永野憲, 植木巖, 安藤健太郎
2. 発表標題 西部熱帯太平洋における大気海洋変動とエルニーニョ変調の関係
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 永野憲, 植木巖, 安藤健太郎, 勝俣昌己, 脇田昌英, 長谷川拓也
2. 発表標題 係留ブイによる西部北太平洋暖水プール北縁の大気海洋観測(II)
3. 学会等名 ブルーアースサイエンス・テク2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Nagano, Hasegawa Takuya, Ueki Iwao, Ando Kentaro
2. 発表標題 Barrier Layer at the Northern Edge of the Western North Pacific Warm Pool
3. 学会等名 Ocean Sciences Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akira Nagano、Takuya Hasegawa、Masahide Wakita
2. 発表標題 Spatiotemporal Characteristics of Vertical Velocity in the Western Tropical Pacific Revealed by P-vector Method Applying to GEM-based Potential Density
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

〔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	長谷川 拓也 (HASEGAWA Takuya) (40466256)	東北大学・理学研究科・客員研究者 (11301)	
連携研究者	脇田 昌英 (WAKITA Masahide) (30415989)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(むつ研究所)・技術研究員 (82706)	