

平成21年 6月 30日現在

研究種目：基盤研究 (C)  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18540440  
 研究課題名 (和文) 西部熱帯太平洋における暖水輸送とエルニーニョ・ラニーニャサイクル  
 研究課題名 (英文) Warm Water Volume in the western equatorial Pacific and El Niño-La Niña cycle  
 研究代表者  
 石田 明生 (ISHIDA AKIO)  
 独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境観測研究センター・研究員  
 研究者番号：60359148

## 研究成果の概要：

2006年から2008年の2回の船舶観測により、エルニーニョ期にミンダナオ海流が強化されていることを捉えた。これはトライトンブイデータから求めた力学高度の結果とも調和的であり、フィリピン沖において暖水が放出されていることを示唆している。また、アルゴデータ等から、局所的な風よりも東方遠方で励起されたロスビー波の西方伝播による効果が大きいことが示唆された。さらに、数値モデルによる解析から、暖水輸送は南北非対称であり、南半球では西岸域での輸送が、中央から東部での輸送を相殺するのに対して、北半球では相殺せず、赤道域の暖水量変動に北半球側の暖水交換の寄与が大きいことが分かった。この非対称性は風に強制されたロスビー波の西方伝播と関連していることが分かった。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,700,000	0	1,700,000
2007年度	700,000	210,000	910,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,100,000	420,000	3,520,000

## 研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・気象・海洋物理・陸水学

キーワード：海洋物理、気候変動

## 1. 研究開始当初の背景

エルニーニョ/南方振動(ENSO)現象に伴う大気・海洋変動は、熱帯太平洋における暖水の蓄積・放出ステージの遷移と深くリンクしている。研究開始当初までに歴史的観測データ等を用いた、赤道域と赤道外(緯度 5～8度より高緯度域)の暖水の南北輸送が研究されていたが、データが少ない熱帯太平洋の西岸境界流域において、暖水輸送のプロセスは十分に把握されていなかった。特に西部熱帯太平洋には、ミンダナオ海流やニューギニア海流などの西岸境界流と、それらに隣接する

ミンダナオ渦、ハルマヘラ渦などがあり、その年々変動による暖水の輸送過程を調べる必要がある。また、西岸域と内部域での南北輸送が南半球では相殺する一方、北半球では相殺しないことが知られていたが、なぜそのような南北非対称性が生じるのかは分かっていなかった。

## 2. 研究の目的

西部熱帯域における暖水輸送のプロセス、そのエルニーニョ・ラニーニャサイクルとの関係を明らかにするため、近年蓄積されてき

た観測データと、海洋大循環モデルによる数値実験結果を相互補完的に解析することにより、以下のプロセスを明らかにすることを本研究の目的とする。

(1) フィリピン東方沖の暖水の蓄積と放出のプロセス

近年蓄積されてきたアルゴフロート、トライトンブイデータ等を用いて暖水変動を調べる。それら観測データにより検証された数値モデルで得られた流れ場を用いて輸送量を求め、ロスビー波伝播による暖水変動の理論等と比較することによりプロセスを明らかにする。

(2) 西岸境界流、ミンダナオ渦、ハルマヘラ渦が赤道外から赤道域への暖水輸送に果たす役割

西岸境界流や渦の存在により、ロスビー波の位相速度は線形理論と大きく異なることが予想される。境界流による移流や渦による輸送量を調べ、長周期変動への寄与を明らかにする。

(3) 暖水輸送における北半球と南半球の非対称性

フィリピン沖では顕著な暖水の蓄積・放出がみられるが、南半球(ニューギニア東方沖)では顕著ではないことが、近年の観測データから分かってきた。数値モデルを用いてこれを定量化するとともに、熱帯収束帯の北偏などの風系や海洋循環の南北非対称性との関係を明らかにする。

### 3. 研究の方法

本研究は、アルゴフロート、トライトンブイデータを中心としたデータ解析と、数値モデル実験結果の解析の2つを主たる手法とし、特に西部を中心に熱帯太平洋の ENSO に関連する暖水変動の定量化とそのメカニズムを調べる。

(1) 解析用観測データセットの作成、海洋大循環モデル結果との比較・解析

熱帯太平洋域におけるブイやアルゴフロートデータから、水温・塩分観測データ観測データに基づくデータセットを作成する。手法には、アルゴフロートデータ品質管理で開発してきた最適内挿法を適用し解析に用いる。

(2) 暖水輸送プロセスの解析

熱帯太平洋内部域における暖水または躍層深度の変動は、海面風応力に強制された傾圧ロスビー波の西方伝播により西岸域に運ばれる。ブイ・衛星観測データ及びモデルデータから、蓄熱量の変動が線形ロスビー波の理論でどの程度説明できるかを調べる。内部域で強制されたロスビー波は、西岸境界において反射、散逸されるとともに、一部のエネルギー

は沿岸ケルビン波を形成すると考えられている。そのプロセスは陸岸地形が複雑であることや、ケルビン波の時間スケールが短いことなどのため、観測データ解析から捉えることは難しいことから、数値モデルの解析を中心に行う。

フィリピン東方沖の暖水蓄積・放出プロセスには、熱帯域だけでなく中緯度域の現象も捉えておく必要がある。アルゴフロートデータを用いた客観解析は、西部北太平洋赤道外から中緯度にかけて水温・塩分共に十分な精度が得られており、観測面からのプロセスを追跡できる。人工衛星およびトライトンブイデータ等と合わせて、フィリピン沖の暖水蓄積と流量による収束発散から、熱帯域と中緯度域に流出する暖水および淡水量を見積もり、ENSO との関連について調べる。

(3) 西岸境界流、ミンダナオ渦、ハルマヘラ渦が赤道外から赤道域への暖水輸送に果たす役割

西部熱帯赤道域では、北半球には、北赤道海流、ミンダナオ海流、北赤道反流からなる反時計回りの循環、南半球には、ニューギニア沿岸流・沿岸潜流等の境界流があり、それらは様々な時間スケールで変動している。数値モデルや衛星海面高度データから、海流変動を調べるとともに、暖水輸送変動への影響を考察する。

(4) 暖水輸送における北半球と南半球の非対称性

熱帯太平洋の平均的な循環像は熱帯収束帯が北半球に存在するために南北非対称性をもっており、そのため、エルニーニョの発達に伴って極向きに放出された暖水が赤道に収束するする仕方も南北非対称性を持つと考えられる。観測データによる解析とともに、モデルの流速場の解析により、太平洋海盆スケールの平均循環構造と西部熱帯域での暖水の蓄積過程の関係や、輸送の南北非対称性を定量化する。海面水温や海上風と流速場との関係を調べ、海洋内部の非対称性を生じさせる海面条件を調べる。

(5) データ整備

モデル結果と観測データの比較は高い時間解像度で行う必要があるため、大量のデータを扱う取り扱うことの出来るコンピュータ及び外部記憶装置を導入し、モデルデータをアーカイブし、解析の効率化を図る。

### 4. 研究成果

(1) 暖水輸送プロセスの解析、西岸境界流の役割

フィリピン東方沖の暖水の蓄積・放出のプロセスに関して、トライトンブイ・アルゴフロートデータを用いて、表層から躍層の変動を調べた。北緯 8 度のブイデータは顕著な年変動を示しており、冬季にミンダナオドームが発達するという過去の研究を支持していること、また、東経 130 度では東経 137 度に比べ 1~2 ヶ月変動が遅れていることが明らかとなり、アルゴデータや風応力データから、局所的な風よりも東方遠方で励起されたロスビー波の西方伝播による効果が大きいことが示唆された。また、2002/03 年のエルニーニョ以降、北緯 8 度では暖水蓄積が見られるが、北緯 5 度では認められないことから、暖水蓄積に局所性があることが示唆された。

さらに、アルゴフロート等を用い、熱帯域を含めた表層水温・塩分変動の解析を行った。太平洋熱帯域の塩分には、西太平洋から南北熱帯収束帯にかけて気候値より低塩分が数年間持続的に検出されていた。このことから、ENSO とは別の比較的長周期の塩分変動が存在し、熱帯域での大規模な水循環の変動が起こっていることが示唆された。また、全球 Argo 観測網を用いてその 2003-2007 年平均の塩分分布と、歴史的データによる 1960-1989 年平均の塩分分布との比較を行った。その結果、亜寒帯・熱帯域ではより低塩分、亜熱帯域ではより高塩分となる傾向が見られた。つまり、約 30 年前と比較して元々低塩分（高塩分）の海域ではより低塩化（高塩化）しており、低・高塩分パターンが明確化したことを意味する。さらに、簡単なボックスモデルを用いて、蒸発・降水変化をいくつかの仮定のもとに概算したところ、約 30 年前と比較して全球平均で数%水循環が強化しているという示唆が得られた。

西岸境界流、ミンダナオ渦、ハルマヘラ渦と暖水変動に関して、北緯 5 度東経 137 度トライトンブイデータから、100m より深いところで春から夏にかけて躍層が深くなっており、2004 年・2005 年にはそれに加えて 20~25°C 間の層厚が厚くなっていた。北赤道逆流の北上に伴い、高温の南太平洋起源の海水がこの緯度に到達したことを捉えていた。

2006/07 年のエルニーニョ期、2007/08 年のラニーニャ期におけるフィリピン東方での船舶観測により、エルニーニョ期にミンダナオ海流が強化されていることを捉えた(図 1)。これらの海流変動に対応する力学高度の変化は北緯 8 度東経 130 度のトライトンブイによっても観測された。その力学高度の変動は、エルニーニョ期においてはフィリピン沖において力学高度が下がる、すなわち暖水が放出されていることを示唆している。この力学高度の低下に伴う地衡流バランスからミンダナオ海流が強化されている。さらに、風応力の時間変動やモデル結果などから、局所的

な風の変動よりもむしろ、太平洋中央から東部において風に強制された躍層変動が西方に伝搬することによって励起されていることが分かった。

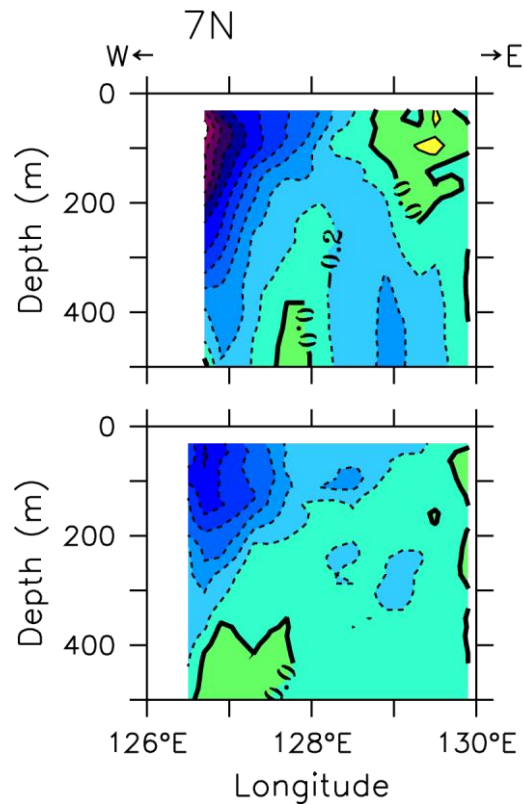


図 1 北緯 7 度において観測された南北流速の経度-深さ断面分布。(上)2006 年 12 月 (エルニーニョ期)、(下)2008 年 1 月 (ラニーニャ期)。等値線間隔は 0.2m/s。図は Kashino et al. (2009) より一部改変。

## (2) 暖水輸送における北半球と南半球の非対称性

モデルの流速場の解析を中心に、暖水変動の南北非対称性と風応力変動を調べた。エルニーニョに伴う内部域での暖水放出に対して、南半球側ではほぼ西岸域での暖水輸送により相殺されること、一方、北半球側では西岸域の変動は内部域に比べ約半年遅れており、赤道域の正味暖水量変動に北半球側の輸送が重要であることを定量化した。図 2 は北緯 8 度 (上図)、南緯 8 度 (下図) を横切る南北暖水輸送流量の時系列を示しており、南緯 8 度では内部域の輸送 (黒線) と西岸域の輸送 (青線) が相殺しているが、北緯 8 度では約半年内部域での輸送が先行しており、エルニーニョ期に赤道域からの放出が生じていることが分かる。また、暖水輸送の南北非対称性は、エルニーニョに伴う西風偏差の北から南への移動によるものであり、線形長波

ロスビー波の西方伝播と関連していることが分かった。

西岸域での南北輸送は、さらに高緯度側でのロスビー波の西岸域への入射と西岸に沿うケルビン波的応答によって決まる。南半球側では内部域での南北暖水輸送が、ほぼ西岸域での暖水輸送に相殺されるが、その要因として、高緯度域でのエクマンポンピングにより励起されたロスビー波が、西岸域に暖水を輸送し、内部域での暖水放出を西岸域での暖水充填にすることによっていることが分かった。

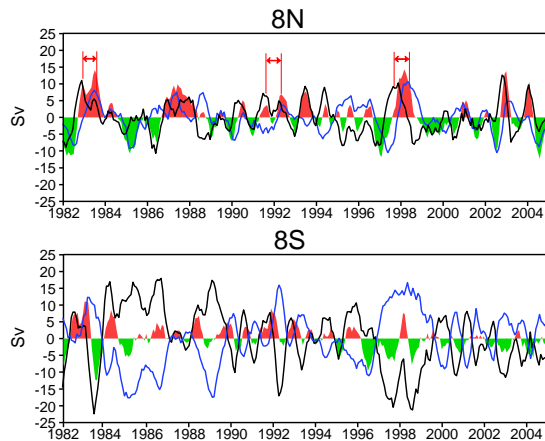


図2 数値モデルで計算された、暖水輸送流量(南北流速を海面から20℃水温面まで積分した流量)の月平均偏差。黒線は内部域(東経156度から東岸)、青線は西岸域(西岸から東経156度)、赤と緑のハッチは全赤道域での南北流量。上図中の赤両矢印は1982/83年、1991/92年、1997/98年のエルニーニョにおける内部域と西岸域の流量変動の時間的ずれを示す。単位はSv (1 Sv=10<sup>6</sup> cm<sup>3</sup>/s)。図はIshida et al. (2008)より一部改変。

## 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 4 件)

- (1) Hosoda, S., T. Suga, N. Shikama, and K. Mizuno: Global surface layer salinity change and its implication based on Argo float array Surface salinity change detected by Argo floats, *J. Oceanogr.*, 2009. (in press). (査読有)
- (2) Kashino, Y., N. España, F. Syamsudin, K. Richards, T. Jensen, P. Dutrieux, and A. Ishida: Observations of the North Equatorial Current, Mindanao Current, and Kuroshio Current System during the 2006/07 El Niño and 2007/08 La Niña, *J. Oceanogr.*, **65**, 325-333, 2009. (査読有)

- (3) Ishida, A., Y. Kashino, S. Hosoda, and K. Ando: North-south asymmetry of warm water volume transport related with El Niño variability, *Geophys. Res. Lett.*, **35**, L18612, doi:10.1029/2008GL034858, 2008. (査読有)
- (4) Qu, T., J. Gan, A. Ishida, Y. Kashino, and T. Tozuka: Semiannual variation in the western tropical Pacific Ocean, *Geophys. Res. Lett.*, **35**, L16602, doi:10.1029/2008GL035058, 2008. (査読有)

[学会発表] (計 11 件)

- (1) 柏野祐二: 北赤道海流・ミンダナオ海流・黒潮システムの観測 - MR06-05 Leg3, MR07-07 Leg1 航海観測結果より -, Blue Earth '09 シンポジウム, 2009年3月13日, 立教大学.
- (2) Hosoda, S.: Surface and subsurface layer salinity change in the global ocean using Argo float data, AGU Fall Meeting, San Francisco, December 18, 2008.
- (3) 石田明生: エルニーニョに関連した暖水輸送経年変動の南北非対称性 (II) ロスビー波伝播と南北流量変動, 2008年度日本海洋学会秋季大会, 広島国際大学, 2008年9月25日.
- (4) 柏野祐二: 北赤道海流・ミンダナオ海流・黒潮システムの観測: 2008年度日本海洋学会秋季大会, 2008年9月25日.
- (5) 石田明生: エルニーニョに関連した暖水輸送経年変動の南北非対称性について, 2008年度日本海洋学会春季大会, 2008年3月27日, 東京海洋大学.
- (6) 柏野祐二: フィリピン海における海洋変動 - トライトンブイによる観測結果 - Blue Earth'08 第11回みらいシンポジウム, 2008年3月13日, 横浜市立大学.
- (7) Ishida, A.: Different discharge mechanisms of warm water between northern and southern Pacific Oceans during El Niño. 2008 Ocean Sciences Meeting, March 5, 2008, Orlando, Florida, U.S.A.
- (8) Kashino, Y.: Annual and interannual ocean variations in the Mindanao Dome region: Observational study, 2008 Ocean Sciences Meeting, March 5, 2008, Orlando, Florida, U.S.A.
- (9) Hosoda, S.: Surface salinity change detected by Argo floats, 2008 Ocean Sciences Meeting, March 5, 2008, Orlando, Florida, U.S.A.
- (10) 柏野祐二: ミンダナオドーム海域における海洋の季節・経年変動, 日本海洋学会秋季大会, 2007年9月28日, 琉球大学工学部.
- (11) Hosoda, S.: Sea surface salinity variation

detected by the Argo float array in the World Ocean: Evidence of an enhanced hydrological cycle? 2007 International Union of Geodesy and Geophysics, July 7, 2007, University of Perugia, Perugia, Italy.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石田 明生 (ISHIDA AKIO)  
独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境  
観測研究センター・研究員  
研究者番号：60359148

(2) 研究分担者

柏野 祐二 (KASHINO YUJI) (平成 18, 19  
年度)  
独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境  
観測研究センター・技術研究副主幹  
研究者番号：00421876

細田 滋毅 (HOSODA SHIGEKI) (平成 18, 19  
年度)  
独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境  
観測研究センター・研究員  
研究者番号：60399582

(3) 連携研究者

柏野 祐二 (KASHINO YUJI) (平成 20 年度)  
独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境  
観測研究センター・技術研究副主幹  
研究者番号：00421876

細田 滋毅 (HOSODA SHIGEKI) (平成 20  
年度)  
独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境  
観測研究センター・研究員  
研究者番号：60399582