

令和 2 年 5 月 12 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K17800

研究課題名(和文) 中緯度太平洋における水温・塩分変動の伝播：形成過程と熱帯域への影響

研究課題名(英文) Propagation of temperature/salinity variability in the mid-latitude Pacific

研究代表者

佐々木 克徳 (SASAKI, YOSHINORI)

北海道大学・理学研究院・准教授

研究者番号：50604815

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：海洋の観測データを用いて解析を行い、南太平洋の亜表層の等ポテンシャル密度面上を中緯度域から熱帯域へと伝播する水温・塩分変動の経路として、北東部から赤道へ流れる経路と、中央部の高塩分領域から沈み込み西岸域へ向かう経路の2か所があることを明らかにした。またこの伝播経路が2か所存在する理由として、南緯10度付近を東向きに流れる海流である南赤道反流が、沈み込みこんだ海水を分岐させることを明らかにした。すなわち、南赤道反流が熱帯域へと伝播する水温・塩分偏差が、内部経路を通るか西岸境界域を経由するかを分ける重要な役割を果たしている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られた結果は、海洋内部の等密度面上の水温・塩分変動は、海洋内部の海流の構造を強く反映していることを示している。また南赤道反流は風応力により駆動され海洋上層のみに存在する比較的弱い海流であり、空間解像度の低い観測データや数値モデルでは、その東西方向の分布がうまく再現されない。したがって、数値モデルを用いて中緯度海洋の熱帯域への影響を正しく見積もるには、南赤道反流の再現が重要であることを示唆する。

研究成果の概要(英文)：Subduction and migration of density-compensated temperature and salinity water-mass anomalies on isopycnals are examined in the subtropical gyre of the South Pacific using an observational dataset. The present results demonstrate that density-compensated anomalies are found to follow two pathways from the subtropical region to the tropical region. It is revealed that the advection by the South Equatorial Countercurrent (SECC) divides these two pathways. Hence, SECC plays a key role in determining whether a density-compensated anomaly propagates through the interior region or the western boundary region.

研究分野：海洋物理学

キーワード：海洋物理・陸水学 十年スケール変動 中緯度海洋 サブダクション

様式 C - 19, F - 19 - 1, Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

海洋の中緯度域に存在する亜熱帯循環は、水平方向には高気圧性の循環であり、鉛直方向には表層の水が海洋内部へと沈みこむ領域である。この沈み込んだ水は海流によってゆっくりと等密度面上を流れ、北半球では時計回り、南半球では反時計回りに熱帯域へと進み、その後、この水の一部は赤道域へと流れる。この海水の流れは中緯度域の海洋変動を熱帯域へと伝えることから、通称"oceanic bridge"と呼ばれ、中緯度域で特に卓越する十年スケール変動のメカニズムを担う物理過程として注目されてきた。なお"oceanic bridge"のメカニズムは、高次モードの傾圧ロスビー波の伝播と、等密度面上の移流の2種類に分けられるが、本研究で扱うのは後者である。

その嚆矢となった研究の Gu and Philander (1997, Science)では、太平洋中緯度域で生じた温度・塩分変動が、上述したプロセスで海洋内部を赤道域へと伝播し水温場を変化させ、ENSO現象を十年スケールで変調させることを理想化した数値実験から示した。その後も、海洋大循環モデルや大気海洋結合モデルを用いた研究から、"oceanic bridge"の存在や、十年スケールの ENSO 変動への重要性等、このメカニズムを支持する結果が報告されている。しかし過去の研究ではこの海洋内部を伝播する水温・塩分変動のうち、どのような経路で熱帯に到達する変動が重要するか、あるいはその変動の ENSO 現象へ与える影響の軽重について、意見の一致は得られていない。これはモデルを用いた研究では、モデル間で結果がばらつく問題や、海洋モデルを駆動する外力(特に淡水フラックス)の信頼性が低い問題に起因する。しかし、より重大な問題は観測データからの報告が無く、どのモデルの結果が正しいかを示すことが難しかったことにある。

観測から、等密度面上の温度・塩分変動を捉えるために必要な海洋内部での温度・塩分両方のデータを海盆スケールで得ることは、以前には困難であった。この状況を劇的に変えたのが、2000年より観測が開始された自動昇降型測器アルゴフロートである。このアルゴフロートによる観測から、世界で初めて北太平洋内部での等密度面上の温度・塩分変動の伝播が報告された(Sasaki et al. 2010; 図1)。その後の研究により、南太平洋や他の海盆の亜熱帯循環からも同様のシグナルが伝播していることが多数報告されている。

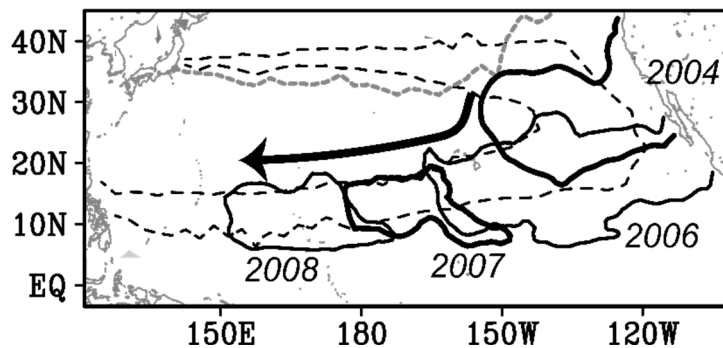


図1 アルゴフロートデータによる2004, 2006~2008年の25-25.5 σ_t 密度面上の塩分偏差-0.03 PSUの等値線(実線)。黒波線は流線であり、矢印の方向へ流れている。灰色線は冬季にこの密度面へ水が沈み込む位置を示す。(Sasaki et al. 2010の図を改変)

2. 研究の目的

観測データにより海洋内部を伝播する水温・塩分変動を知ることができるようになったが、過去の研究では、中緯度から伝播する温度・塩分変動の重要性に対する定量的な理解は未だ不十分である。それはアルゴフロートが海盆スケールの変動を知るのに十分な量に達したのが北太平洋・熱帯太平洋で2003年、南太平洋で2005年以降であり、絶対的にデータ長が短いことに起因する。そこで本申請では、温度・塩分変動の特徴とその重要性により定量的に解明するため、Sasaki et al. (2010)や他の既存研究よりも長期間のアルゴフロートデータ等の観測データ、領域海洋モデルROMSによる数値実験、CMIP5(IPCC第5次評価報告書の将来予測の基となった第5次結合モデル相互比較計画)の海洋モデルの出力結果を組み合わせ、温度・塩分変動の形成域の同定、その形成メカニズムの解明、温度・塩分変動の赤道域への伝播経路と減衰率の特定、温度・塩分変動の ENSO の十年スケール変動への影響評価、数値モデルによる伝播経路の再現性について明らかにする。

3. 研究の方法

観測データとしてJAMSTECのMOAA GPVの水温・塩分のグリッドデータを、等密度面に補間したものを使用する。期間は2005年~2018年である。等密度面上の海流を求めるために必要な平均海面高度はハワイ大で提供しているMDOTデータを使用する。CMIP5データについては、海洋の水温・塩分データが取得可能であった47モデルの現在気候シミュレーション結果を使用し、MOAA GPVと同様に等密度面に補間して解析を行う。期間は1971~2000年である。また領域海洋モデルROMSによる数値実験を空間解像度1度×1度で実行し解析を行う。

4. 研究成果

MOAA GPV による海洋の水温・塩分の観測データを用いて、南北太平洋中緯度域での表層における振幅の大きい水温・塩分変動域の同定と、その亜表層へのサブダクション、またその形成過程に関する解析を行った。南太平洋での表層の変動域について、ポテンシャル密度 $25\text{-}25.5\sigma_\theta$ の等密度面上に着目した解析を行った。その結果、中緯度域でサブダクションし、熱帯域へと伝播する水温・塩分変動の経路として、先行研究で示されていた南太平洋北東部から赤道へ流れる北側経路と、南太平洋中央部の高塩分領域から沈み込む南側経路の 2 か所があることを明らかにした。この表層で形成された顕著な水温・塩分変動は、南側経路については平均流により移流され、約 1 年で赤道域へ到達し、赤道域の亜表層の水温・塩分場に影響することを統計解析から初めて示した。一方、北側経路ではサブダクション後、亜熱帯循環の平均流により約 5 cm/s の速度で西方へと伝播し、3~4 年をかけて南太平洋西岸域へと到達することが確認された。南側経路では 2016 年までは高温・高塩化のトレンドが顕著であった。しかし、2017 年から 2018 年にかけては反対に急激な低温・低塩化変動が見られた。この変動についての原因は不明であるが、この結果は南側流路でも北側流路と同様に単純なトレンド成分ではなく、十年スケールの変動が卓越することを示唆する。この塩分変動のメカニズムについても大気の詳細解析データを用いて解析を行い、海上風の変動に伴うエクマン輸送が重要な役割を果たしていることが示唆された。一方、高塩分領域の形成に重要である中緯度海洋上の降水についても解析を行い、高い海面水温の重要性を示した。

この南太平洋において伝播経路が 2 か所存在する理由について、観測データを用いた詳細な解析を行った。その結果、南緯 10 度付近を西岸から西経 160 度付近まで東向きに流れる海流である南赤道反流が、この流路の形成に重要な役割を果たしていることがわかった。すなわち、中緯度域で沈み込み、赤道へと伝播した水温・塩分偏差は、南赤道反流によりその伝播が分岐し、南赤道反流の北側の水温・塩分偏差は内部経路を通り赤道域へと到達する。一方、南赤道反流の南側の水温・塩分偏差は、オーストラリアの東岸域へと西方伝播し、西岸境界域を経由して、赤道域へと到達する。この南赤道反流の影響はトレーサーを用いた等密度面上の地衡流速による粒子追跡シミュレーションでも確認された(図 2)。したがって、南赤道反流が中緯度から熱帯へ伝播する水温・塩分偏差が、内部経路を通るか西岸境界域を経由するかを分ける役割を果たしている。この結果は、海洋内部の等密度面上の水温・塩分変動は、海洋内部の海流の構造を強く反映していることを示している。また南赤道反流は風応力により駆動され海洋上層のみに存在する比較的弱い海流であり、空間解像度の低い観測データや数値モデルでは、その東西方向の分布がうまく再現されない。したがって、数値モデルを用いて中緯度海洋の熱帯域への影響を正しく見積もるには、南赤道反流の再現が重要であることを示唆する。

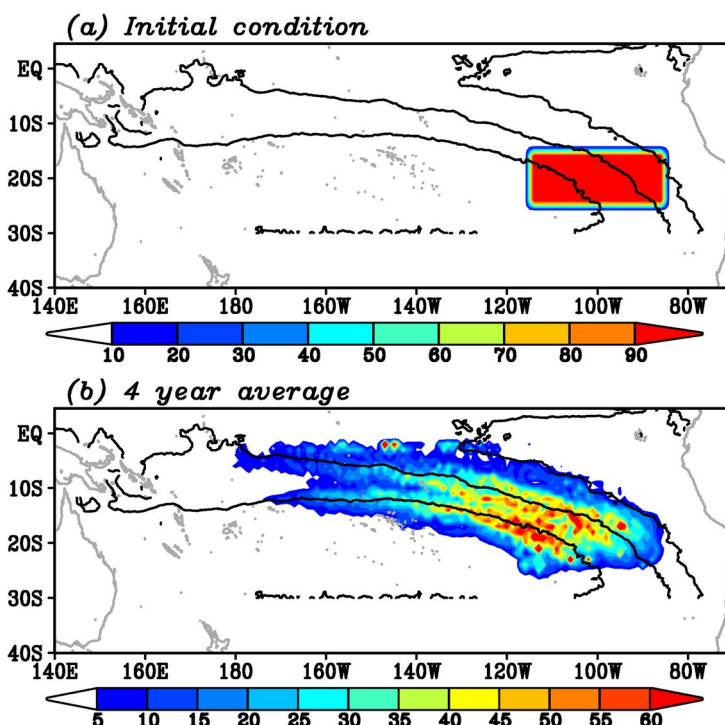


図 2 $25\text{-}25.5\sigma_\theta$ の等密度面上の地衡流速による粒子追跡シミュレーションによる粒子数。(a) 初期条件と(b)4年後の粒子の数である。等値線は平均場の流線を表している。

さらに大気海洋モデルの相互比較プロジェクトである CMIP5 データについて、海洋の水温・塩分データが取得可能であった 47 モデルの現在気候シミュレーション結果を用いて、南太平洋に

ついて等密度面上の塩分の平均場と変動振幅の解析を行った。その結果、モデルにより中緯度の沈み込み海域から熱帯への経路の再現性に大きな違いがあることがわかった。特に亜熱帯反流の詳細な構造の再現は難しく、南太平洋東部域から熱帯太平洋の中央部への伝播する経路については、多くのモデルの再現性が低い。対照的に、南太平洋中央部の表面塩分が高い海域から西岸域へと沈み込む経路については、比較的再現性が良いモデルが多いことがわかった。

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 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yoshi N. Sasaki and Yamada Yuko	4. 巻 51
2. 論文標題 Atmospheric response to interannual variability of sea surface temperature front in the East China Sea in early summer	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Climate Dynamics	6. 最初と最後の頁 2509-2522
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00382-017-4025-y	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 Hanna Na, K.-Y. Kim, Shoshiro Minobe, and Yoshi N. Sasaki	4. 巻 31
2. 論文標題 Interannual to decadal variability of the upper-ocean heat content in the western North Pacific and its relationship to oceanic and atmospheric variability	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Climate	6. 最初と最後の頁 5107-5125
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/JCLI-D-17-0506.1	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7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Sasaki Y. N. and Y. Iwai
2. 発表標題 Observations of spiciness anomaly propagation in the South Pacific
3. 学会等名 ISEE Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sasaki, Y. N., R. Kimura and S. P. Bishop
2. 発表標題 Decadal variability of the Kuroshio extension in a high-resolution ocean-atmosphere coupled model
3. 学会等名 JpGU Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sasaki, Y. N., and Y. Yamada
2. 発表標題 Atmospheric Response to Interannual Variability of Sea Surface Temperature Front in the East China Sea in Early Summer
3. 学会等名 2018 Ocean Sciences Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木村 亮介, 佐々木 克徳, S. P. Bishop
2. 発表標題 高解像度大気海洋結合モデルによる黒潮続流の10年変動の解析. 2017年度日本海洋学会秋季大会
3. 学会等名 2017年度日本海洋学会秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐々木 克徳, 岩井 悠馬
2. 発表標題 Argoデータによる南太平洋亜熱帯域から熱帯域へのspiciness偏差の伝播
3. 学会等名 2017年度日本海洋学会秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐々木 克徳, 森 信行, 見延 庄士郎, 中村 啓彦, 仁科 文子, 岩崎 慎介, 磯辺 篤彦
2. 発表標題 梅雨期の東シナ海黒潮における大気海洋相互作用の船舶観測(その2)
3. 学会等名 2016年度日本海洋学会秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Y. Iwai, and Y. N. Sasaki
2. 発表標題 Trend of surface to subsurface salinity in the South Pacific from Argo observation
3. 学会等名 The 19th Hokkaido University-Seoul National University Joint Symposium (国際学会)
4. 発表年 2016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