

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 15 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23740348

研究課題名(和文) 黒潮再循環変動特性の解明と大気大循環場への影響理解

研究課題名(英文) Temporal behavior of temperature-salinity fields in the Kuroshio recirculation gyre region and their influences on the atmospheric field

研究代表者

杉本 周作 (Sugimoto, Shusaku)

東北大学・国際高等研究教育機構・助教

研究者番号：50547320

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：観測資料(Argoフロートによる水温・塩分観測資料，人工衛星観測海面水温資料・海面高度計資料，大気再解析資料等)解析を行うことで，黒潮再循環域の海洋構造(水温・塩分)の時間変動特性を調べた．その結果，水温の決定には，黒潮蛇行期に現れる四国沖の再循環流(高気圧性循環流)による熱輸送が重要な役割を果たすことがわかった．そして，形成された水温偏差が，直上大気場への熱放出源になることを指摘した．また，再循環域の塩分は，暖候期の降水量を反映しており，この降水量は再循環域上を通過する温帯低気圧によると結論づけた．

研究成果の概要(英文)：We investigated temperature and salinity fields in the Kuroshio recirculation gyre region south of Japan, by using the Argo floats, satellite-derived altimetry data, sea surface temperature (SST) data, and atmospheric reanalysis data. The positive anomalies of temperature in the recirculation gyre region were mainly formed by the horizontal heat advection due to the westward flow associated with the recirculation, and then a vigorous heat was released to the overlying atmosphere in winter in the state of the positive SST anomaly. The salinity in the recirculation gyre region was caused by rainfall in the warm season, which was related to the number of low pressures passing over the recirculation gyre region associated with the location of summertime North Pacific subtropical high.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：気象・海洋物理・陸水学

キーワード：再循環 黒潮 亜熱帯モード水 気候変動 大気海洋相互作用 Argoフロート

1. 研究開始当初の背景

黒潮は、日本の南岸に沿って流れ、千葉県房総半島付近で離岸し、東向きのジェットとなります。この東向きのジェットが、黒潮主流です。そして、この黒潮および黒潮主流の南側には反対方向の流れ(西向きの流れ)が存在し、結果として「再循環」が形成されます。

この再循環域では、深い冬季混合層が形成され、結果、亜熱帯モード水(水温・塩分一様な厚い層)として数年にわたり亜表層に分布します。また、貴重な水産資源であるマイワシやカタクチイワシは、この再循環域近辺を産卵場としており、その稚魚の生育には再循環域水温が重要であると知られています。すなわち、再循環域の物理構造(水温・塩分・海流系分布等)の理解は、学術的興味に留まらず、漁場の把握・水産資源の確保の観点で日本人の暮らしにとっても非常に重要な研究課題といえます。

再循環域水温に関しては、直上を吹く冬季北西季節風により決定されると記述されていました。しかしながら、高解像度海洋モデル結果より、黒潮・黒潮主流による暖水輸送の影響も無視できないことがわかってきました。ただ、船舶による観測頻度が低いために、現在までに再循環域水温の物理機構の実態には迫っていません。また、再循環域塩分に関しては、海洋モデルの再現性が乏しく、観測・モデルの双方でその知見が得られてないのが現状です。

2. 研究の目的

本研究課題では、船舶観測頻度の不十分性を打破するために、近年、国際協力のもとに世界規模で展開されているArgoフロート(水温・塩分自動観測機器)を使用することで黒潮再循環域の水温・塩分構造の実態解明を目指しました。さらには、大気海洋間の熱交換関係を調べることで、黒潮再循環が直上大気場へ及ぼす影響を調べ、日本近海での大気海洋相互作用系の実態に迫ることを目的としました。

3. 研究の方法

黒潮再循環域の海洋構造(水温・塩分分布)を調べるために、世界中の研究機関が行った船舶による観測資料、およびArgoフロートデータを収集し、使用しました。これらの水温・塩分鉛直プロファイルデータは、本研究独自に品質管理を行いました。そして、これらデータは、秋間法により鉛直1m間隔に補間し、解析に使用しました。本研究では、十分な観測資料数が用意可能な2000年以降を主たる解析期間としました。

黒潮再循環分布、および黒潮/黒潮主流を抽出するために、フランスの研究所(AVISO)が整備・公開している人工衛星観測海面高度計資料(水平解像度は約25km)を使用しました。

海面水温は、人工衛星による観測が時空間的に高頻度行われており、十分なデータ長が現在まで用意されています。そこで、本研究では、アメリカ海洋大気庁(NOAA)が作成・管理している高解像度海面水温資料(約25kmの水平解像度)を使用しました。

黒潮再循環域への大気強制場の影響を評価するために、気象庁等により作成された大気再解析資料を使用しました。これは、緯度・経度方向に約100km間隔で格子化された資料です。本研究に使用した変量は、正味海面熱フラックス(短波放射、長波放射、潜熱、顕熱の和)、海面気圧や海面風応力等です。

4. 研究成果

(1) 黒潮再循環域水温変動研究

黒潮再循環は、黒潮の流路(大蛇行流路・非大蛇行離岸流路・非大蛇行接岸流路)に伴い、その形状や位置が変わると予想されます。そこで、黒潮流路を黒潮蛇行期(大蛇行流路・非大蛇行離岸流路;2005,2007,2009年)と非蛇行期(非大蛇行接岸流路期;2006,2008,2010,2011年)の2種類にわけました。

まず、黒潮蛇行・非蛇行に伴う再循環分布の違いを調べました。ここでは、主水温躍層深度(水温が鉛直方向に大きく変わる深度;本研究では12等温線の深度で表現しました)を、再循環の特徴を示す指標として使用しました。図1は、黒潮蛇行期・非蛇行期の冬季主水温躍層深度分布を表しています。

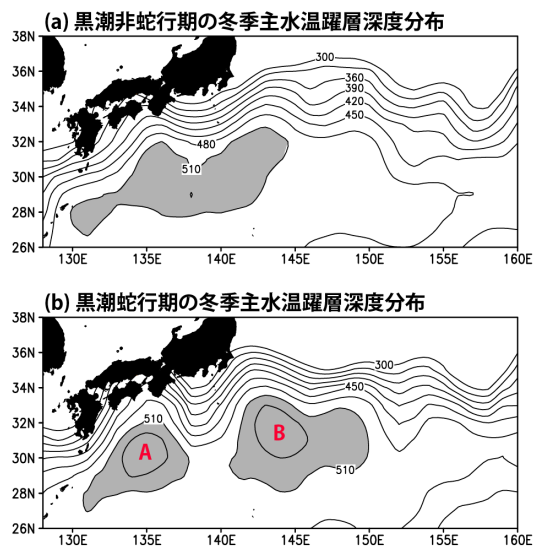


図1.(a)黒潮非蛇行期,(b)黒潮蛇行期の冬季(1月-3月)平均主水温躍層深度分布図(m)。この水平分布図は、船舶観測資料・Argoフロートデータをもとに作成。

図1aより、黒潮非蛇行期には、深い主水温躍層深度で特徴づけられる再循環が、日本南方で東西にわたり広く(東経135度から145度程度まで)分布していることがわかります。一方で、黒潮蛇行期(図1b)では、再循環が、東経140度を境に東西に分断されており、四

国沖（図 1b 中の A）と東経 145 度近辺（B）に分布しています。つまり、黒潮蛇行期には、四国沖に局地的な再循環が形成されることがわかりました。

そこで、この四国沖再循環の海洋構造（水温分布）、およびその時間発展を調べました。図 2 は、黒潮非蛇行期・蛇行期に、四国沖を漂流していた Argo フロートから得られた水温・渦位の時間・深度断面図を表しています。

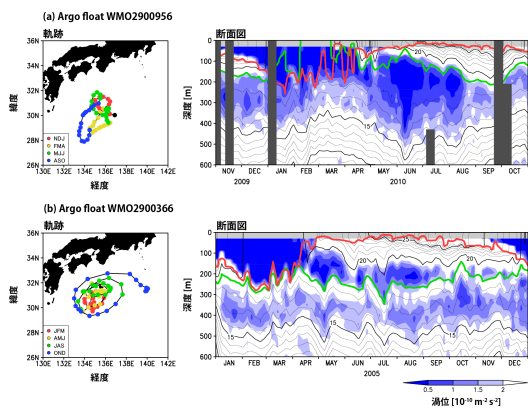


図 2. (a) 黒潮非蛇行期, (b) 蛇行期の Argo フロートの軌跡(左)と深度・時間断面図(右). 黒等値線は水温, 緑線は 19 等温線を表しています. 赤線は混合層深度を示しています.

黒潮非蛇行期（図 2a: 2010 年）には、混合層（赤線）が冬季（1-3 月）に 200 m 以深にまで発達していることがわかります。そして、この冬季混合層内で形成された低渦位水（青色）が、春に海面から隔離され亜表層に分布し、翌冬まで保存されていることがわかります。この低渦位水の温度は年間を通じ約 18 で、これは典型的な亜熱帯モード水に分類されます。また、蛇行期（図 2b: 2005 年）にも、非蛇行期と同様に、冬季混合層内で低渦位水が形成され、春以降亜表層に分布していることがわかります。しかしながら、この低渦位水の温度は 19 よりも高く、これは、従来の亜熱帯モード水よりも 1 以上高い温度でした。つまり、黒潮蛇行期の四国沖再循環内では、従来よりも高温の亜熱帯モード水が形成され、分布することがわかりました。また、この Argo フロート（図 1b）により、高温の亜熱帯モード水の下に、別の低渦位水（約 400 m 付近）が分布していることがわかります。この低渦位水の温度は約 16-17 で、これは従来の亜熱帯モード水の定義を満たします。すなわち、黒潮蛇行期の四国沖再循環域は、低渦位水の 2 層構造により構成されることが本研究で初めて明らかになりました。これは、黒潮流路（蛇行・非蛇行）形態が、日本周辺の海洋構造（水温分布）決定に非常に重要な役割を果たしていることを示した結果です。

次に、黒潮蛇行期の四国沖再循環内に分布する高温の亜熱帯モード水の形成要因を調べました。上述のように亜熱帯モード水は冬

季混合層内で形成されるので、冬季に焦点をあて解析を行いました。まず、先行研究で指摘されている冬季季節風の影響を調べました。相関解析を行い、冬季混合層水温との位相関係を調べた結果、統計的に有意な結果は得られませんでした。そこで、黒潮流路変動（図 3a）の影響を調べることにしました。図 3b は、黒潮流路と冬季海面水温偏差との相関係数の分布図を表しています。

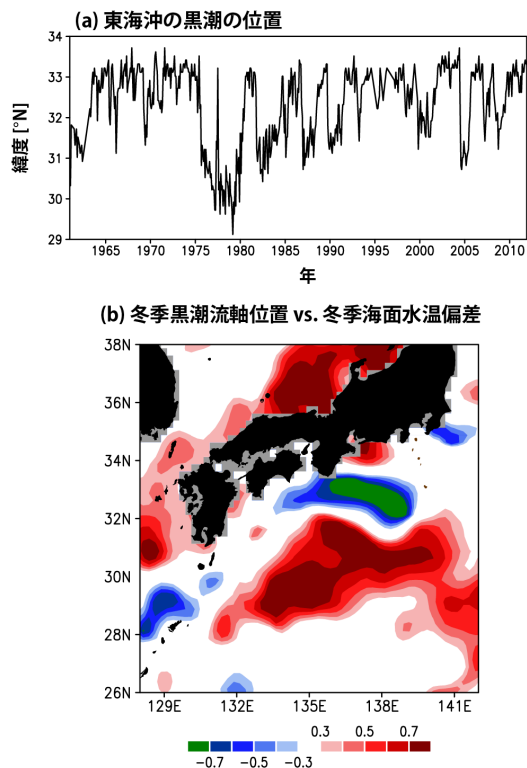


図 3. (a) 東海沖における黒潮流路位置の時系列。これは、気象庁作成の時系列です。(b) 黒潮流路位置と冬季海面水温偏差の相関係数分布図。暖色は、黒潮蛇行期に海面水温が高く、非蛇行期に低いことを表しています。

上記結果より、黒潮蛇行期ほど、四国沖再循環の水温が高くなる関係にあることがわかりました。そこで、四国沖再循環水温変動をもたらす物理機構に迫るために、船舶観測資料を用い四国沖再循環の出現に伴う水平熱輸送の影響を調べました。その結果、四国沖再循環は、黒潮系の暖水を再分配する役割を果たしており、この熱輸送の結果として四国再循環の水温が上昇していたことがわかりました。

従来の知見では、黒潮再循環等の中緯度帯海面水温は、大気強制（海上風等）の結果として決定されるとされてきました。しかしながら、本研究の結果では、四国沖再循環の水温は海洋変動（再循環流）により形成されることが示され、これは従来の概念とは異なる（逆の）考えです。それゆえに、この四国沖では、大気海洋間熱交換の観点で、海洋が大気を強制する可能性が示唆されました。そこ

で、簡単な数値実験を行った結果、四国沖再循環域の大気海洋間熱交換は、海洋主導で決定されていることを見出しました。すなわち、四国沖再循環の水温が高い時期ほど、多くの熱が海洋から大気に供給されていたのです。これは、日本近海の大気海洋相互作用系の実態解明に資する研究成果であると判断しています。今後は、黒潮の流路形態変化が、上空大気温度場の鉛直構造決定に及ぼす影響を定量的に評価することが必要です。そして、これを達成することで、黒潮上を通過する温帯低気圧の強度や経路決定に果たす海洋の役割が明らかになり、気候変動機構の理解が進展すると期待されます。

(2) 黒潮再循環域塩分変動研究

黒潮再循環域海洋構造の実態に迫るためには、上述の水温研究だけではなく、塩分の理解も必要不可欠です。そこで、本研究課題では、黒潮再循環域内に分布する亜熱帯モード水に焦点をあて、その塩分変動特性を調べました。

本研究では、渦位 ($2.0 \times 10^{-10} \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 以下) と層厚 (100 m 以上) の閾値を満たすものを亜熱帯モード水と定義し、その渦位の鉛直極小値をコアと呼ぶことにしました。

亜熱帯モード水コア特性

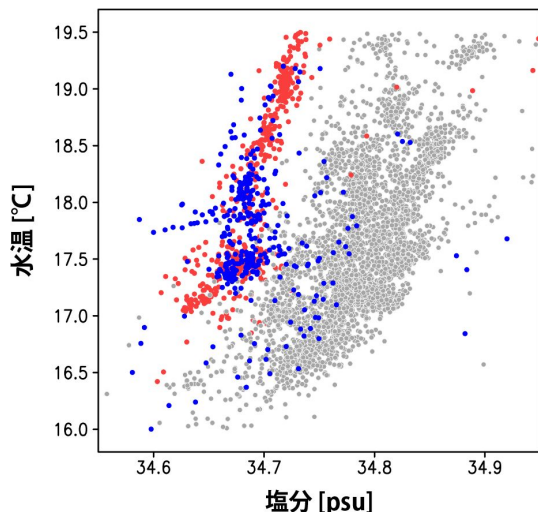


図4. 春季亜熱帯循環北西部 (東経 125 度から 180 度, 北緯 20 度から 36 度) で同定された亜熱帯モード水のコア水温・塩分図: 2009 年 (青丸), 2010 年 (赤丸), その他の年 (灰丸)。

図4は、2003年から2011年の春季(4-6月)に黒潮再循環を含む亜熱帯循環北西部で同定された亜熱帯モード水のコアの特性分布図です。驚くべきことに、2009年・2010年の亜熱帯モード水の塩分は極めて低く(34.7 psu 以下)、他の年と比べ0.1 psu 以上も低塩化していることがわかりました。

そこで、この低塩化の要因を理解するために、亜熱帯モード水形成期(冬季: 2-3月)の混合層特性(水深 10 m での塩分)を調べ

ました。その結果、冬季混合層もまた顕著に低塩化していることがわかりました。この混合層低塩化の要因を同定するために、黒潮再循環域(東経 141 度から 155 度, 北緯 30 度から 35 度)の月平均混合層塩分時系列を本研究独自に作成しました(図5a)。

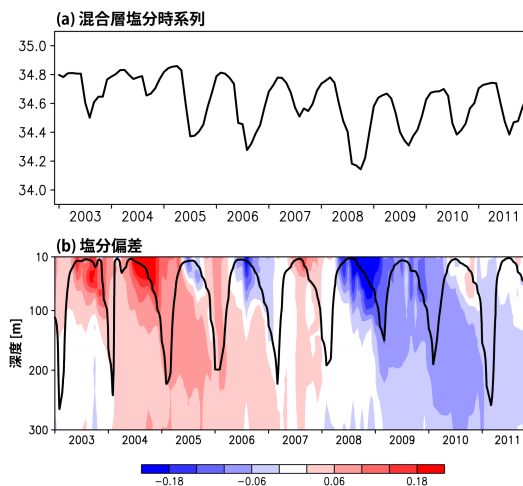


図5.(a)黒潮再循環域(東経 141 度から 155 度, 北緯 30 度から 35 度)での月平均混合層塩分(水深 10 m での塩分)時系列。(b)黒潮再循環域での塩分偏差の時間・深度断面図(陰影)。黒線は混合層深度を表しています。

この時系列(図5a)より、低塩化亜熱帯モード水が形成された2009年の半年前、すなわち、2008年暖候期の混合層が顕著に低塩化していることがわかりました。その値は、解析期間を通して最も低くなっていました。この結果より、冬季混合層塩分は、前年暖候期の混合層塩分を反映することが示唆されます。そこで、冬季混合層塩分と前年暖候期混合層塩分の位相関係を、相関解析を行うことで調べました。その結果、統計的に有意な関係にあることが確認されました。

この暖候期(5-10月)混合層塩分の変動要因を同定するために鉛直1次元塩分収支解析を行いました。その結果、再循環域の混合層塩分は、大気海洋間淡水フラックスによりその大部分が説明されることがわかりました。図6は、暖候期淡水フラックス偏差を表しています。

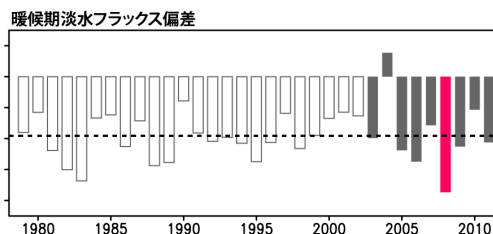


図6.暖候期淡水フラックス偏差の時系列(mm day^{-1})。負の値は、蒸発よりも降水が卓越していることを意味します。赤棒は2008年暖候期で、点線は平均値を表しています。

この時系列より，2008年暖候期の降水は非常に大きく，データが入手可能な1979年まで遡ってもその値が最大であることがわかりました．そこで，このような2008年暖候期の過剰降水の要因を理解するために，黒潮再循環域上を通過する低気圧に着目しました．その結果，2008年暖候期には，解析期間中最多の低気圧が再循環域上を通過していることがわかりました．この低気圧数の増大は，夏季亜熱帯高気圧の南方縮退に伴う低気圧経路変化によることがわかりました．一方で，2009年暖候期の降水偏差は平年並でした（図6）．それゆえに，2010年に観察された低塩化亜熱帯モード水は，前年の低塩化構造を反映したものであると結論づけました（図5b参照）

図5bに示されているように，2008年暖候期に形成された低塩偏差は，その後数年にわたり亜表層で持続していることがわかります．今後，この黒潮再循環域における塩分偏差の持続機構を解明することが，大気海洋系長期気候変動メカニズムの理解に資すると考えています．

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6件)

1. Sugimoto, Shusaku, and Kimio Hanawa, 2014: Influence of Kuroshio path variation south of Japan on formation of subtropical mode water. Journal of Physical Oceanography 誌, 44巻, 1065-1077. 査読有.
DOI:10.1175/JPO-D-13-0114.1
2. Sugimoto, Shusaku, Nobuto Takahashi, and Kimio Hanawa, 2013: Marked freshening of North Pacific subtropical mode water in 2009 and 2010: Influence of freshwater supply in the 2008 warm season. Geophysical Research Letters 誌, 40巻, 3102-3105.
DOI:10.1002/grl.50600

〔学会発表〕(計15件)

1. 杉本周作, 高橋信人, 花輪公雄: 2009年・2010年に観察された北太平洋亜熱帯モード水の低塩化について. 2013年度日本海洋学会春季大会, 2013年3月24日, 東京海洋大学.
2. Sugimoto, Shusaku, and Kimio Hanawa: Interannual variation of North Pacific Subtropical Mode Water: Changes in the formation and distribution regions. 4th Argo Science Workshop, September 28, 2012, Venice Convention Centre Palazzo del Casino.

〔その他〕

ホームページ等

http://www.pol.gp.tohoku.ac.jp/~sugimoto/main/kaken/2011-2013_wakate/index.html

6．研究組織

(1)研究代表者

杉本 周作 (SUGIMOTO SHUSAKU)

東北大学・国際高等研究教育機構・助教

研究者番号：50547320

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：