

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 18 日現在

機関番号：12611

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2020

課題番号：19K23460

研究課題名（和文）黒潮とメキシコ湾流の海面水温同期メカニズムの解明および我が国の気象への影響調査

研究課題名（英文）Synchronization between Gulf Stream and Kuroshio and its implications for climate in Japan

研究代表者

神山 翼（Kohyama, Tsubasa）

お茶の水女子大学・基幹研究院・助教

研究者番号：40845715

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：黒潮とメキシコ湾流は、数年以内に海洋プロセスによって熱を交換することは不可能であるが、本研究では衛星観測と全球気候モデル（GCM）のデータ分析に基づき、大気ジェット気流の南北移動によって黒潮とメキシコ湾流の海面水温が10年単位で同期していることを示した。全球気候モデルのシミュレーションについて、解像度が高いGCMは、解像度が低いGCMよりも、低周波数において高いコヒーレンスを示した。ラグ相関分析では、2つの海流間の水温変動がほぼ同位相であることが示された。大気GCM実験では、西岸境界流の海面水温変動が西ジェット気流の位置を能動的に変調していることを示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本課題で調査した境界流同期現象は、偏西風ジェットの位置決定および猛暑や豪雨に重要な役割を果たすと考えられる。たとえば研究代表者の結果では、2018年7月の気温が境界流同期指標でよく説明された。また近年、西岸境界流は地球温暖化が速いことが指摘されているが、これを「偏西風ジェットの極側シフト」と関連づけることで、我が国の気象の支配要因を明らかにする一助となることが考えられる。学術的には、「中緯度海洋は大気に受動的に反応する」という従来の見方が、あるいは近年の研究報告に基づき「中緯度の大気海洋結合系をなす」と解釈すべきかについて、理論構築やモデル実験等を通して物理的解釈を確立する一助となる。

研究成果の概要（英文）：The Gulf Stream and the Kuroshio Current are separated by the North American continent, and thus, they cannot exchange heat by oceanic processes within a few years. Based on data analyses of satellite observations and global climate models (GCMs), we show that sea surface temperatures of the Gulf Stream and the Kuroshio are synchronized for the decadal time scale. This synchronization is associated with meridional migrations of the atmospheric jet stream. Output from four global climate models are analyzed: GFDL-CM4C192, MIROC6subhires, and their counterparts with lower resolutions. Cross-spectral analysis reveals that GCMs with higher resolutions exhibit higher low-frequency coherence than those with lower resolutions. Lag-correlation analysis shows that the temperature variations are almost simultaneous between the two currents. Atmospheric GCM experiments show that SST variability of the MIROC6subhires model actively modulates the position of the westerly jet stream.

研究分野：気象学

キーワード：西岸境界流 同期現象

1. 研究開始当初の背景

黒潮とメキシコ湾流は、それぞれ太平洋と大西洋の西岸に位置し、「西岸境界流」と呼ばれる。西岸境界流の蛇行および海面水温の変動は、気候系におけるエネルギーバランスの維持機能として働くと同時に、東京やニューヨークなど沿岸の大都市圏の天気・気候や水産資源等にも直結するゆえ、自然科学・社会科学の両側面において重要なテーマである。

特に近年、高解像度の衛星観測によって、西岸境界流から放出された熱が対流圏全体に大きな影響を与えることが明らかにされてきた(e.g., Minobe et al., 2008)。またこれらの海流は、大西洋数十年規模変動や太平洋十年規模振動などの「長周期気候変動モード」の一端をなすゆえ、西岸境界流を理解することは物理気候学・気候モデリング・古気候学・気候変動などの諸分野の発展にとっても不可欠である。

2018 年前半、黒潮とメキシコ湾流の続流域において、平年に比べて非常に高い海面水温が観測された(図 1a)。定量的には、2 標準偏差を超える海面水温が両海域の広範な領域に散発的に分布した。西岸境界流の特異性を考慮すると、これが偶然の一致である確率は極めて低い一方、両海流の変動の位相を互いに強く拘束する現象(本課題では「境界流同期」と呼ぶこととした)の存在を示す明確な観測的証拠は、過去に指摘されていなかった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、「境界流同期」のメカニズムと我が国の気象への影響を明らかにすることであり、具体的には「スケール間相互作用が極めて重要な大気海洋結合モード」の存在について仮説提唱を行うことである。

既知の大気海洋結合現象は、グローバルスケール同士(エルニーニョ南方振動等)、メソスケール同士(台風と海洋の相互作用等)のように、多様な空間スケールを顕に共有しないものが多く、大気と海洋に同程度の解像度のデータを用いることが甘受されて来た。しかし本研究は、地球の自転効果により「マクロが重要な東岸」と「ミクロが重要な西岸」がスケール間で相互作用する西岸境界流が本質的役割を果たすゆえ、海洋西岸に特に高い解像度が要求される。地球規模現象に高解像度の観測データやモデル実験が利用可能になったのは過去数年で、ブレイクスルーのタイミングとして最良であり、その「問い」自体に本質的な創造性が内包される。

研究課題の核心をなす学術的問いをまとめると、

- なぜ黒潮とメキシコ湾流の海面水温が同期するのか？
 - この同期現象は我が国の気象にどのような影響を与えうるか？
- の 2 点であり、これらに答えを与えることを本課題の主眼とした。

3. 研究の方法

<方法 1>

データ解析、理論、数値シミュレーションを 3 軸として、

- なぜ黒潮とメキシコ湾流の海面水温が同期するのか？
 - この同期現象は我が国の気象にどのような影響を与えうるか？
- の 2 点を調査した。→<結果 1>

<方法 2>

気候データの解析に頻繁に用いられる主成分分析では、緯度経度グリッドの面積比に基づいて共分散行列の重み付けを行うことで系の変動や自由度を評価する。しかし研究代表者は、地球流体力学の基礎に立ち戻って考えると、海盆の東岸ではマクロスケールが重要であるのに対し、西岸ではミクロスケールが重要であるゆえ、主成分分析を行う際には東岸の自由度が実際の物理よりも強調されすぎる傾向にあるはずであると考えた。そのため、卓越する物理現象の空間スケールの違いを考慮する主成分分析の方法を確立した。→<結果 2>

4. 研究成果

<結果 1>

黒潮とメキシコ湾流の続流域において海面水温の領域平均を取った時系列を計算したところ、両海流の同期が非常に顕著に検出された (図 1b)。本結果は、観測データのほか、GFDL-CM4C192 や MIROC6subhires などの全球気候モデルのシミュレーションでも再現されている。スペクトル解析によって、10 年規模振動のパワーにピークがあることを示した。また、ラグ相関解析によって、黒潮とメキシコ湾流の間にラグがないことを示した。

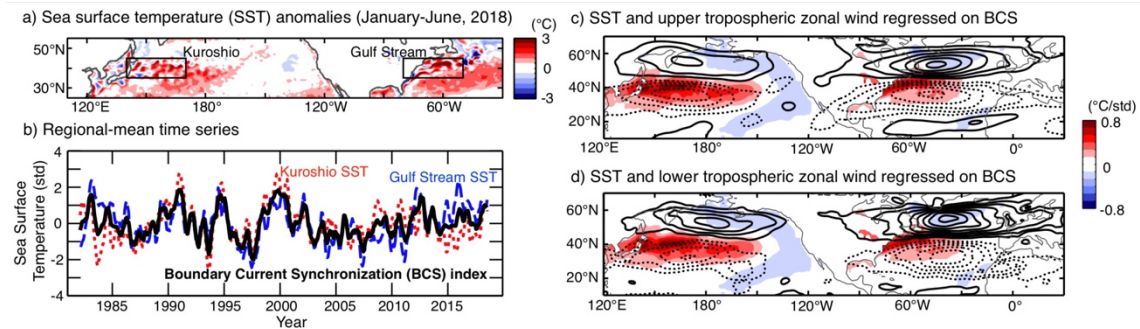


図 1: (a) 2018 年の海面水温偏差。(b)黒潮 (赤), メキシコ湾流 (青), 境界流同期指標 (黒) の時系列。(c) 上部対流圏における東西風と海面水温の境界流同期指標に対する回帰図。(d) (c)と同じ、ただし下部対流圏。

この同期現象は、Gallego and Cessi (2001)により理論的に予測されたメキシコ湾流と境界流の相互作用によって記述される現象と少なくとも一部整合することがわかった。すなわち、

- 太平洋と大西洋がそれぞれ異なる固有振動数を持ち、帯状平均の大気が 2 つの海流の情報を媒介することで同期させるのが境界流同期である (図 1c, d)

- 境界流同期は海洋の受動的応答ではなく、中緯度大気海洋結合モードである

の 2 点が発見される結果を得た。また、MIROC6 を用いた大気大循環モデル実験では、黒潮とメキシコ湾流の海面水温が高くなると、ジェット気流が北偏する結果が示唆され、これは中緯度大気海洋結合モードであるとする仮説をサポートする結果である。

本結果は、複数の国際会議で発表したほか、現在 *Science* 誌にて査読中 (in-depth review) である。

<結果 2>

卓越する物理現象の空間スケールの違いを考慮する主成分分析の方法として、示強変動抽出 (Intensive Variability Extraction; IVE) という手法を確立した。本手法では、空間的な自己相関が小さい領域に重みをつけて主成分分析を行うことで、より情報量を持っている (すなわち、細かなスケールが重要と考えられる) 領域を強調する。

主成分分析を太平洋に適用すると、エルニーニョ南方振動現象 (ENSO) が抽出される。これは、ENSO がより広い面積を占める変動現象であり、またそれゆえエネルギー変動の総和が大きな現象だからである。それに対し、IVE を太平洋に適用したところ、太平洋十年規模振動が抽出された。これは、黒潮領域と海盆のスケール間相互作用の重要性を示唆する結果であり、境界流同期現象が Gallego and Cessi (2001) の理論解によって記述されることをサポートする結果でもある。

また、北太平洋と北大西洋を合わせた領域に IVE を適用すると、境界流同期を抽出が抽出されることも示した。これは、境界流同期がただのサンプリングバイアスによるものではなく、物理的に意味のある変動であることを裏付ける結果である。

本結果は、現在 *Scientific Online Letters on the Atmosphere* 誌にて査読中である。

<引用文献>

Minobe, S., Kuwano-Yoshida, A., Komori, N., Xie, S. P., & Small, R. J. (2008). *Nature*, **452**, 206–209.

Gallego, B., & Cessi, P. (2001), *J. Climate*, **14**, 2815–2832.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0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 Kohyama Tsubasa, Miura Hiroaki, Kido Shoichiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Gulf Stream and Kuroshio Current are synchronized	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Earth arXiv	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.31223/osf.io/6c9bd	査読の有無 無
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3件（うち招待講演 2件／うち国際学会 2件）

1. 発表者名 神山 翼・三浦裕亮・木戸晶一郎
2. 発表標題 黒潮とメキシコ湾流の海面水温同期現象
3. 学会等名 日本気象学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsubasa Kohyama, Hiroaki Miura, Shoichiro Kido
2. 発表標題 Gulf Stream and Kuroshio are synchronized
3. 学会等名 Japan Geoscience Union（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsubasa Kohyama, Yoko Yamagami, Hiroaki Miura, Shoichiro Kido, Hiroaki Tatebe, Masahiro Watanabe
2. 発表標題 Could Gulf Stream and Kuroshio be synchronized?
3. 学会等名 Japan Geoscience Union（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2020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
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------