

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26800253

研究課題名(和文) 初期値化した気候予測データを活用して地球温暖化傾向の十年規模変動を解き明かす

研究課題名(英文) Toward understanding decadal modulation of global warming tendency by climate prediction and data assimilation

研究代表者

望月 崇 (MOCHIZUKI, Takashi)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・気候変動リスク情報創生プロジェクトチーム・主任研究員

研究者番号：00450776

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：温暖化傾向の十年規模変動について、数年規模の大気海洋変動に注目しながらプロセス理解を深めた。2000年代の温暖化傾向の変調(昇温トレンド弱化)にまつわる観測的特徴として、他の年代には見られないような、赤道太平洋における数年規模での暖水の東方伝播停滞があるが、その予測は一般に難しい。気候モデルの感度実験によれば、熱帯大西洋の大気海洋変動と深く関わるような貿易風変動の果たす役割は大きい。強い貿易風は西太平洋で暖水の東方伝播を妨げるよう働き、同時に、南北半球側のいずれにも生じる高気圧偏差が太平洋低緯度の赤道外に水温上昇を招いて、その西方伝播を通じて西太平洋での昇温を強めるように働くことがわかった。

研究成果の概要(英文)：Subdecadal modulation of rising trend in the upper ocean heat content is observed over the tropical Pacific in 2000s, in a different manner from other decades. Dynamical ocean response to the strong subdecadal modulation in the Pacific trade wind works to keep warm and cold tendencies in the western and eastern Pacific Oceans, respectively, and consequently it can contribute to slowdown of global warming. Our decadal hindcasts with initialization insufficiently reproduce the subdecadal modulation even a few years in advance, particularly due to low skill in hindcasting the strong trade wind observed in mid-2000s. Sensitivity experiments of a coupled climate model suggest that the strong trade wind can be largely contributed by high sea surface temperature over the tropical Atlantic Ocean in relation to the positive peak of the Atlantic Multidecadal Oscillation.

研究分野：気候力学 気候予測

キーワード：気候予測 気候モデリング データ同化 大気海洋相互作用 地球温暖化 大洋間相互作用 太平洋十年規模振動 大西洋数十年規模振動

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年に観測されてきた緩やかな地球温暖化傾向は、グローバルな気候変動や気候変化を語る上で最もホットな話題のひとつである。しかし、気候モデルによる温暖化予測において、こうした全球平均地上気温に見られる温暖化傾向の弱化をうまく再現することは、世界を見渡しても極めて困難である。また、支配的な物理プロセスについて、いくつかの候補があげられつつあるが、理解は進んでいない。

(2) 全球平均地上気温として緩やかな温暖化傾向が近年は観測されたが、空間的には全球一様ではなく昇温の大きい地域と小さい地域が混在する。太平洋十年規模振動(PDO)の負位相と似た水平パターン構造をもっていて、そのなかで熱帯太平洋域に広がる相対的な寒冷化傾向の全球への影響は特に大きい。PDO 予測(再現)という観点では、気候モデルの初期値化を施すことによって、個々の事例はさておき全般的には数年程度の予測可能性を実証している。熱帯太平洋域の寒冷化傾向に対して、物理プロセスの理解に向けた挑戦がされている。

2. 研究の目的

(1) 主目的は、緩やかな地球温暖化傾向を十年規模変動と捉え、その物理プロセスを明らかにすることである。とりわけ、地球温暖化傾向の変調と PDO は何らかの結びつきがあるものと想像されるので、長期的な地球温暖化傾向に加えて、PDO の動向について高い再現性をもつ気候予測データやそれを実現する予測システムを活用した気候シミュレーションによるアプローチは物理プロセス研究に有用である。全球的な地球温暖化傾向の十年規模変動プロセスとして PDO の関わりを含めた統合的な理解が進むことも期待される。

3. 研究の方法

(1) 初期値化を施した気候予測(事後予測、ハインドキャスト)データは PDO に対して高水準の再現性能をもつことは既に確認していた。このデータは、大気海洋系の力学熱力学的整合性を保証しながら全球を網羅する様々な物理量を含み、豊富なアンサンブル数をもつので、物理解析に極めて有用なデータである。温暖化予測データに加えて、初期値化を施した予測データについて、観測データとの詳細な比較検証をおこなった。

(2) また、そのような再現性能を実現した気候予測システムを活用することにより、多種多様な数値シミュレーションを追加実施することも可能である。特に最近では、気候モデルの部分同化実験というアプローチが注目を集めている。これは初期値化のために観測データと気候モデルを融合する気候予測システムを活用することで、ある特定海域の

海洋観測データのみを気候モデルに教え込む数値シミュレーション(データ同化)であり、注目した観測変動情報の全球気候への影響を調べることができる。これにより、例えば、熱帯太平洋域の水温変動に対する他海域からの遠隔影響プロセスを議論した。

(3) これまで議論が乏しかったやや短い数年程度の時間規模の変動を特に詳しく調べるというユニークな切り口から変調の把握や理解に挑んだ。一口に緩やかな地球温暖化傾向といっても、1990 年代初めのピナツボ火山噴火による寒冷イベント以降の 20 年程度の気温トレンドを議論する場合もあれば、全球平均地上気温の上昇停滞がより明瞭な 2000 年代に入ってから期間を議論する場合もあるが、ここでは 2000 年代を主ターゲットとした。

4. 研究成果

(1) 実際、熱帯太平洋域の海洋客観解析データをよく見ると、たとえエルニーニョ・ラニーニャ現象を除いても、2000 年代にずっと低温傾向が持続していたわけではない(図 1 上)。2000 年頃の赤道上では、確かに東太平洋で水温が低く、西太平洋では水温が高い。しかし、この西太平洋の暖水はゆっくりと東へ移動していき、数年後には中央太平洋にその中心が存在した。実はこの時、赤道外にも暖水が形成され、その後ゆっくりと西へ伝わった。これが西太平洋を再び広く暖めることにより、赤道上では初期の暖水が東太平洋まで到達することなく、再び東太平洋の水温は低下した。十年規模で平均的に見れば、結果として、熱帯太平洋域が低温傾向を示すことになり、この数年規模の変動プロセスは温暖化傾向の十年変動の理解を深めるための端緒になる。このような数年規模変動は 1980 年代や 1990 年代には見られないものである。

(2) 気候モデルを初期値化して 2000 年を初期時刻とする事後予測を、このような熱帯太平洋域の数年規模の揺らぎに注目しながら見てみると、観測されるような水温の時間変化をうまく予測(再現)できず、遅延振動子のような変動が卓越してしまう(図 1 下)。一方で、2004 年を初期時刻とする事後予測を見てみると、数年先まで予測(再現)に成功して、赤道太平洋域は低温傾向を示す。したがって、この数年規模の揺らぎのなかでも、2000 年代初めの西太平洋の暖水の東方伝播が中央太平洋でとまることと、その時に赤道外に暖水が形成されること、つまり 2000 年代半ばの状況が、特に予測が難しく、かつ、物理的な理解のポイントになる。このように予測(再現)がうまくいかないことは、ここで使用した気候予測システムに特別の問題があるということの意味するわけではない。他の年代では数年規模の揺らぎをうまく予測(再現)できる。また、当初は予定していなが

ったが、地球温暖化予測というよりも、熱帯太平洋域でのエルニーニョ現象などの再現性を特に重視するような別の気候予測システムによる事後予測データを物理解析する機会も得た。その場合でもやはり、ここで注目するような水温や貯熱量の数年規模の揺らぎに対する予測(再現)性能はそれほど高くない。

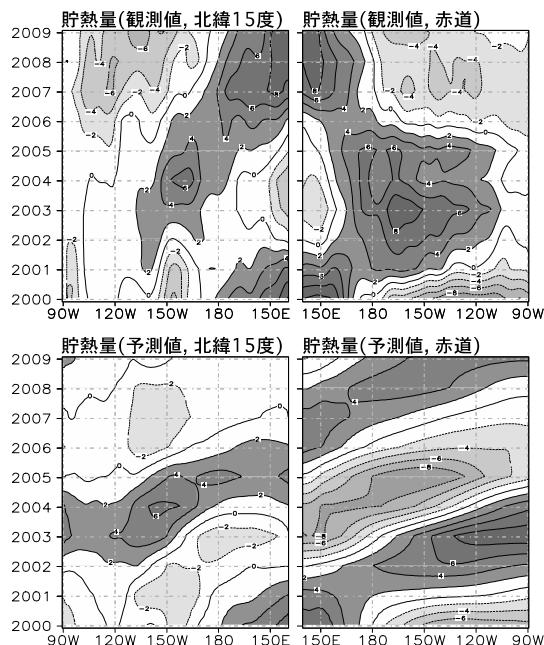


図 1. 北緯 15 度と赤道に沿った海洋上層(海面から 300m 深)貯熱量偏差の時間断面図。(上)観測値と(下)2000 年 1 月 1 日初期値からの予測値。3 年移動平均を施して、線形トレンドは除去した。日本海洋学会 2016 年度秋季大会予稿より引用。

(3) 観測的な特徴をより幅広く把握するため、大気の再解析データをよく見ると、2000 年代半ばに赤道太平洋で暖水の東方伝播が止まることに対して、強い貿易風が貢献していることがわかる。また、それに伴って赤道外では高気圧偏差傾向があり、定性的には直下の暖水形成に貢献する。このような海上風の揺らぎは、初期値化として全球の海洋観測データを結合モデルに教え込む(同化する)数値シミュレーションでも再現されている。よって、完全に大気中に内在する変動というわけではなく、どこの海域が重要なのかはまずはさておき、海面水温変動によって駆動されていると考えられる。

(4) このような海上風変動をどこの海域の水温変動が引き起こしているのかを調べるためには、初期値化を施した気候予測を実施する予測システムを活用しておこなう気候モデルの部分同化実験が有効なアプローチである。気候モデルに教え込む海域を限定した一連の数値シミュレーションによって、遠く離れた大西洋からの寄与が特に強調され

る結果を得た。遠隔の影響を与える大西洋の変動は北大西洋全域にシグナルを持つ大西洋数十年規模振動(AMO)としておよそ解釈されるが、とりわけ熱帯大西洋域の重要性が際立っていて、それが予測可能性(再現性能)にやや問題があることの一因とも想像される。熱帯大西洋域の海面水温が赤道上的大気循環(ウォーカー循環)に変化を与え、赤道中央太平洋ではこれに伴う貿易風強化傾向が暖水の東方伝播を妨げるように働く。同時に、太平洋の赤道外では南北両半球いずれも高気圧偏差傾向が見られ、それらに伴う赤道外での暖水は西方伝播して、西太平洋域全般における昇温傾向を強化する。大西洋からの影響は、赤道上的変動はもとより特に北半球側の高気圧偏差傾向や海水温上昇傾向に対して顕著であり、大気循環の変化を通じて地球温暖化傾向の変調に貢献する重要な物理プロセスである。また、太平洋の赤道外での海上風変動という観点からは、他大洋ではなく赤道太平洋の海洋変動からの影響も容易に想像されるので、その可能性も探った。南半球側では確かにその影響があるようだが、そのような太平洋内での赤道と赤道外との結合による影響はここで注目する海上風変動に対しては必ずしも支配的とは言えない。さらに、インド洋の強い昇温傾向が相対的に太平洋の昇温を抑えたのではないかとという可能性も探った。手の込んだ数値シミュレーションによって、インド洋からも太平洋に対して十年規模の影響は確かに存在するというシグナルを取り出すことには成功した。一方、その時に議論したインド洋の昇温傾向の揺らぎは気候システムの内部変動というよりも主に外力応答として解釈され、その時系列などに注目するとその影響は熱帯太平洋域の数年規模の揺らぎを直接的に説明するものではない。そのため大西洋の変動のほうが他大洋からの影響としての重要度は高い。

(5) 最近では、熱帯太平洋域の気候変動に対する大西洋からの影響は、様々な変動に対して世界的に盛んに議論されている話題である。地球温暖化傾向の十年規模変調を題材にして大西洋からのインパクトを明瞭に示すことは、国際的な舞台でのプレゼンス向上に貢献する。また、エルニーニョ現象よりも長く、かつ、一般的に議論される十年から数十年規模の昇温傾向よりも短い、数年規模の変動に注目したことはユニークな着眼点であり、地球温暖化傾向の変調を理解するための取組みに対して新しい視点を与えた。

(6) 大気や海洋を介した大西洋からの遠隔影響の重要性を指摘したが、熱帯太平洋域の気候変動において貿易風の強弱が重要な要素であること自体は、他の時間スケールでも指摘されることが多い。確かに熱帯太平洋域の動向は PDO に特徴的な海水温変化パターンを全球に形成しやすいが、この貿易風の変化

をPDOプロセスの一部としてとらえることもできるだろうか。こうした視点からの議論を深めることにより、温暖化傾向の変調とPDOのかかわりはよりクリアなものになると期待される。また、一方で、温暖化傾向の変調に対しては、これまで海洋の熱吸収や海洋の三次元的な熱分配という観点からも議論もされてきた。熱帯太平洋での水温や貯熱量の変動に対して、これらは必ずしも独立して存在するような別々のプロセスというわけではなく、貿易風の変化に付随するプロセスを様々な方向から見ているということも考えられるのではないだろうか。より幅広い視点に立ってそれぞれのプロセスの整合性を議論することは、温暖化傾向の十年規模変調について統合的な理解を促進させると期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

Mochizuki, T., M. Kimoto, M. Watanabe, Y. Chikamoto, M. Ishii, Interbasin effects of the Indian Ocean on Pacific decadal climate change, *Geophysical Research Letters*, 査読有, vol.43, 2016, pp.7168-7175.

doi:10.1002/2016GL069940.

Mochizuki, T., S. Masuda, Y. Ishikawa, T. Awaji, Multiyear climate prediction with initialization based on 4D-Var data assimilation, *Geophysical Research Letters*, 査読有, vol.43, 2016, pp.3903-3910.

doi:10.1002/2016GL067895.

望月 崇, 気候モデルの部分同化実験による大洋間相互作用研究. *月刊海洋*, 査読無, vol.48, 2016, pp.220-226.

〔学会発表〕(計16件)

Mochizuki, T., M. Watanabe, M. Kimoto, Interbasin connection of multiyear climate changes relevant to global warming hiatus, *8th OFES international workshop*, 13 March 2017, Nagoya University, Nagoya, Aichi.

Mochizuki, T., M. Kimoto, M. Watanabe, Y. Chikamoto, M. Ishii, Inter-basin influence of the Indian Ocean on the Pacific decadal climate change, *CLIVAR open science conference 2016*, 21 September 2016, Hyatt Regency Qingdao, Qingdao, China.

望月 崇, 木本昌秀, 渡部雅浩, 今世紀初めの10年規模気候変動とその予測の再考, *日本海洋学会2016年度秋季大会*, 2016年9月14日, 鹿児島大学, 鹿児島県鹿児島市.

望月 崇, 近本喜光, 木本昌秀, 渡部雅浩, 10年規模の熱帯気候変動における大洋間

結合プロセス, 研究集会「続・地球温暖化ハイエイタスと潜在的ブーストに対する海洋熱循環の役割」, 2016年8月5日, 北海道大学, 北海道札幌市.

Mochizuki, T., inter-basin climate variation studies by employing partial data assimilation approach, *Joint US-Japan workshop on climate change and variability*, 21 March 2016, Scripps institution of oceanography, San Diego, USA.

Mochizuki, T., Inter-basin connection between the tropical Indian and Pacific Oceans, *Tropical precipitation system workshop 2015*, 4 September 2015, JAMSTEC Miyoshi memorial hall, Yokohama, Kanagawa.

Mochizuki, T., Decadal climate prediction project for CMIP6 and IPCC-AR6, *Strategic initiative on climate change effects on marine ecosystems international workshop*, 11 August 2015, Talaris conference center, Seattle, USA.

Mochizuki, T., M. Watanabe, M. Kimoto, Regional information in decadal climate prediction, *2014 FUTURE open science meeting*, 15 April 2014, Hapuna Beach Prince Hotel, Big Island, Hawaii, USA.

〔その他〕

ホームページ等

気候変動予測システムを活用した新アプローチで変動メカニズム解明に挑む. 研究報告会 JAMSTEC2017. 2017年3月1日. 中長期の気候変動予測で観測データを有効活用する新手法を開発. プレスリリース. 2016年4月14日.

http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20160414/

6. 研究組織

(1) 研究代表者

望月 崇 (MOCHIZUKI, Takashi)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・気候変動リスク情報創生プロジェクトチーム・主任研究員

研究者番号: 00450776