

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23740362

研究課題名(和文) 初期値化による再現・予測データを活用した北太平洋フロント域の十年変動プロセス研究

研究課題名(英文) Process study on decadal variations of the North Pacific oceanic fronts using initialized hindcast data

研究代表者

望月 崇 (MOCHIZUKI, Takashi)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・特任主任研究員

研究者番号：00450776

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：初期値化を施した気候再現・予測データを活用して、北太平洋十年規模振動(PDO)のシグナルが最も強く観測される中緯度海洋フロント域の水温変動について、予測性能評価の観点から物理プロセスを明らかにした。亜熱帯フロント域では数値モデルの再現・予測性能は高く、海洋大循環による熱輸送やフロント域の構造の変化が支配的である。一方、亜寒帯フロント域では予測性能はあまり高くないが、誤差感度解析を施すことによって、アリューシャン低気圧の変動による海洋ロスビー波伝播のような海洋力学が果たす役割の重要性を指摘した。これは気候モデルや初期値化システムの高度化といった気候予測研究の観点からも興味深い。

研究成果の概要(英文)：By analyzing initialized hindcast data together with the observations, we have clarified the physical processes controlling decadal variations around the oceanic fronts of the North Pacific, where the signals of the Pacific Decadal Oscillation are observed strongest. Over the subtropical front, realistic representation of the front structure and the heat transport by the ocean gyre circulation contributes to our high skill in predicting the decadal changes of the ocean temperature. Over the subarctic front, on the other hand, our error sensitivity analyses have revealed that the delayed response of the ocean to the Aleutian Low fluctuations controls the quality of our decadal hindcasts primarily through the oceanic Rossby wave adjustment. For the climate modelling and the initialization, particularly toward reducing prediction uncertainty over the subarctic front, we should further focus on these processes in the extratropical atmosphere and the tropical atmosphere-ocean coupling.

研究分野：気候力学

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：地球温暖化 気候予測 データ同化 太平洋十年規模振動 大西洋数十年規模振動 海洋フロント アリューシャン低気圧 大気海洋相互作用

1. 研究開始当初の背景

(1) 日本を含む環太平洋域の十年スケール気候変動に最も影響を与えるものとして「太平洋十年規模振動(PDO)」と呼ばれる現象が知られている。しかし、その物理メカニズムはよく理解されているわけではない。PDO シグナルが最も明瞭に観測される海域として、亜寒帯フロント(主に日本の東方海域)や亜熱帯フロント(主にハワイ諸島の北西方)といった北太平洋中緯度の海洋フロント域付近があげられる。そこで水温変動に関わる物理プロセスをとりあげても、観測データもしくは数値モデルのみの研究からは不明な点が多い。観測データの量・質が必ずしも十分ではないことが詳細なプロセス研究を困難にする要因のひとつである。また、数値モデルを用いた場合には、長期積分にあらわれる「PDO」のバイアスが一般的に小さくなく、観測される PDO と必ずしも一致しない特徴をもっているといった要因もある。

(2) 十年スケール気候変動の予測は、地球温暖化の変調といった観点からも注目を集めている。特に、PDO 変動は基本的に気候システムに内在する変動であるから、再現・予測性能を高める有力な候補は大気海洋系の初期値化である。もっとも、このような予測計算は莫大な計算機資源を必要とするため、実際に大気海洋結合モデルに初期値化を施すことによって PDO の再現・予測に世界で初めて成功したのはかなり最近のことである(Mochizuki et al. 2010)。特に、ある特定の時刻よりも過去の情報のみを利用した再現(過去予測)実験をおこない、20世紀後半のPDOの動向について数年程度の予測可能性を実証した。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、再現・予測データを活用して、十年スケール気候変動の物理メカニズムを探求する。観測データと数値モデルデータのいずれかではなく、いわばその融合であると考えられる再現・予測データを用いることは新しいアプローチである。上記のように PDO の再現・予測に成功しており、解析に値するデータセットは既に存在する。この再現・予測データは全球を覆う様々な物理量を持ち、大気海洋系の物理的整合性を保ちながら、かつ、観測データとよく対応する PDO 変動を表現しているという利点がある。

(2) 特に、表層・亜表層の海水温に対して予測可能性が高く実証された海域は、PDO シグナルが最も明瞭に観測される海洋フロント域であった。よって、このデータを詳細に解析して PDO プロセス、なかでも海洋フロント域の十年スケール変動にまつわる物理プロセスを明らかにすることが本研究の主目的である。また同時に、数値モデルによって再現・予測可能な十年スケール気候変動の物理

プロセスの知見は、中長期気候変動予測の技術発展にも寄与することが期待される。

3. 研究の方法

(1) 当初予定していたのは、中解像度モデル MIROC3m を用いて既に作成していた再現データであったが、その後、数値モデル内の種々の計算手法に改善を加えた MIROC5 による再現データを利用できるようになった。また、当初は再現計算をおこなうにあたり、気候モデル相互比較プロジェクト CMIP5 の実験設定に沿って、初期時刻が5年おきに設定されていたが、1年おきに設定された(実験例数が豊富な)再現データの利用が可能になった。よって、初期値化を施した MIROC5 再現データや観測データ(及び初期値化として実施した同化実験データ)を用いて、再現性能を再評価するとともに、海洋フロント域の十年スケール気候変動にまつわるプロセスを調べる。再現データの解析であるから、再現性能の善し悪しに関わるプロセスの議論が特色ある視点のひとつである。

(2) なお、MIROC5 を用いた再現データの作成においては、まず初期値化した場を得るために、客観解析データを用いて3000m以浅の海水温・塩分の偏差を大気海洋結合モデルに同化する実験をおこなった(3 アンサンブル)。このスナップショットを初期値として、1960年以降の各1月1日からそれぞれ10年先まで再現実験をおこなった(6 アンサンブル)。当初利用予定していたデータに比べて、例数やアンサンブル数が異なるが、基本的なデータ作成の手続きに大きな変更点はない。

4. 研究成果

(1) プロセスそのものの前に、基本的な再現性能をあらかじめ再評価しておく必要がある。海面水温(SST)と海洋上層100-400m平均水温(VAT)について、それぞれの再現計算10年分の2-5年目を抜き出してきて、対応する観測データと比較した(図1)。北太平洋中緯度のフロント域のうち、亜熱帯フロントにおいてはVATもSSTも高い再現性能を示した。一方、亜寒帯フロントではVATがあまり高い予測性能を示さず、SSTはフロントに沿った40Nあたりで特に予測性能が低い。

(2) 亜熱帯フロント域ではどのようなプロセスを通して予測可能性が実証されたのだろうか。フロント域付近での熱収支を調べると、海洋大循環によって流入してくる熱量変化の再現が重要であることがわかった(図2)。海洋大循環における上流域での水温変化だけではなく、流量変化についても、数値モデルと観測データ(ここではそれに相当するものとして同化データ)がよく対応する。言い換えれば、海洋大循環が亜熱帯フロント域の十年スケール変動に対して決定的な役割を果たし、上流域の平均的な水温偏差だけでな

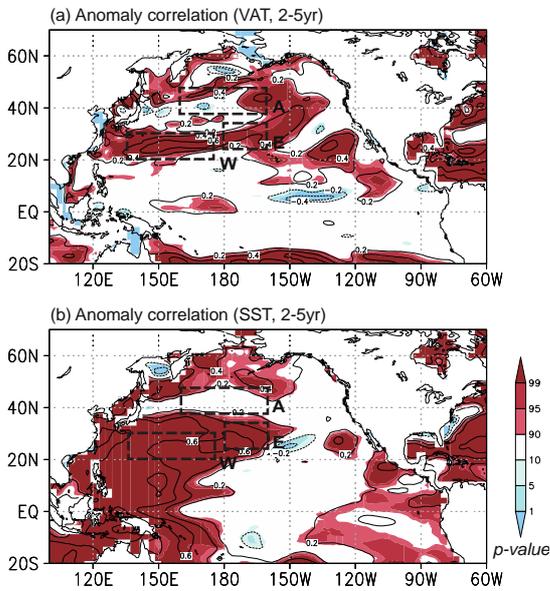


図1. (a)VATと(b)SSTについて、再現・予測結果(2-5年目平均)と観測値とのアノマリ相関。90%有意な海域に色づけしている。主に海域Aが亜寒帯フロント域であり、海域E-Wが亜熱帯フロント域と定義できる。Mochizuki et al. (2014)より引用。

く、水温プロファイルのような亜熱帯フロント域の構造も数値モデルによって現実的に表現することが再現・予測には重要である。フロント域の構造はそれ自体が重要な研究課題であるが、ここでの結果は十年スケール変動においてもそれが本質的な議論になるだろうということを示している。

(3) 亜寒帯フロント域で予測性能が低いことにはどのようなプロセスが寄与しているのだろうか。再現計算を開始した後に、種々雑多な大気海洋変動に関する誤差が、亜寒帯フロント域の水温に予測誤差をもたらすことは間違いないだろう。例えば、亜寒帯フロント域を含む中緯度域に大きな影響を与えるエルニーニョ現象は、そもそも数年規模の予測可能性をもたず、亜寒帯フロント域に予測誤差をもたらす原因となる。とは言っても、再現計算開始後のプロセスが亜寒帯フロント域の予測誤差を支配するわけではなく、それのみを取り上げて亜寒帯フロント域の水温には元々予測可能性がないと決めつけるのはやや早計である。再現計算開始前の状態(同化実験結果; 初期値)にも注目すると、その時点での誤差がある特定のプロセスを通じてゆっくりと亜寒帯フロント域の再現性能を低下させていることがわかった。例えば、同化実験でのモデル誤差に対する亜寒帯フロント域 SST の予測誤差の感度を調べると、初期のアリューシャン低気圧の状態が非常に重要である。ここでは海水温・塩分を直接同化しているが、それでも冬季北太平洋指数(NPI)で表現されるようなアリューシャン低気圧の状態は数値モデルに大きく依存してしまい、その誤差が北太平洋中央部の海面高

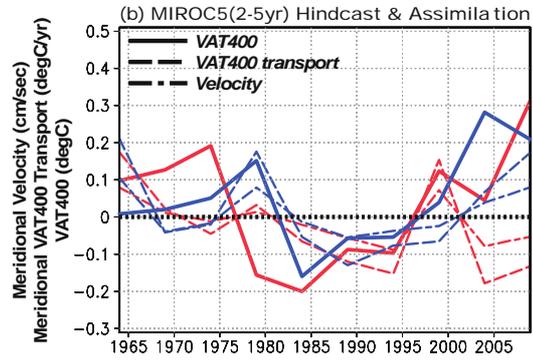


図2. (実線) 亜熱帯フロントの特に北東部(30-35N, 150-170W)で平均した VAT 偏差。(破線) 亜熱帯循環に沿って 160W-180 で 35N を南北に横切る VAT 輸送量偏差。(鎖線) 上流にあたる(32-37N, 160W-180)で平均した 100-400m 深の南北流速偏差。いずれも青線/赤線は再現・予測結果(2-5年目平均)/対応するデータ同化結果をあらわす。Mochizuki et al. (2012)より引用。

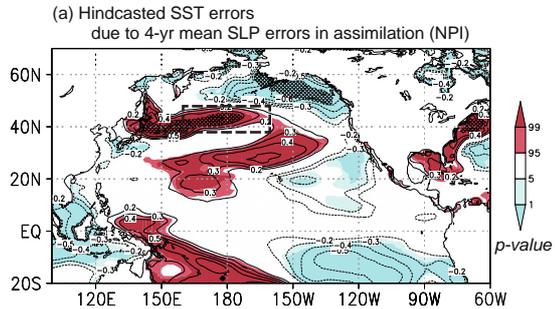


図3. 再現計算開始直前の4年平均の冬季北太平洋指数(NPI)誤差に対するSSTの再現誤差(2-5年目平均)の相関マップ。95%有意な海域に色づけしている。網はNPI誤差1に対するSST誤差の線形回帰が0.2degC以上の海域をあらわす。Mochizuki et al. (2014)より引用。

度等に誤差を生む。それがロスビー波伝播のような海洋力学を通じて数年スケールでゆっくりと亜寒帯フロント域に影響する(図3)。他海域にも感度が高いところはあるが、予測誤差の大きさはアラスカ湾沿岸域とともに亜寒帯フロント域で特に大きい。

(4) PDOに関連して、(亜寒帯フロント域を含む)北太平洋中緯度のSST変動は、主に中緯度海洋プロセスによる十年規模のメモリー、中緯度大気からの確率的な強制、熱帯SSTからの大気テレコネクション(大気ロスビー波伝播等)を通じた影響、の3つの組み合わせで構成されるという有力な説がある。そのような海洋単体プロセスに対する数値モデルの再現性能がかなり高いが、そのようなプロセスはランダム性が強く予測可能性がほぼ期待できないことは、いずれも容易に想像がつく。一方、ここでの誤差感度解析は、が予測性能を左右するような大きな存在であることを示している。いわゆる理想化もしくは簡略化した数値モデル実験により、熱帯SSTやアリューシャン低気圧からのインパクトは指摘されてきたが、それが実際の再

現・予測計算での性能において大きな影響を与えることがわかったという点で、PDOのプロセス理解を一步前進させた。

(5) 予測技術の発展の観点からは、特に亜寒帯フロント域に関する結果は、大気物理量の同化(初期値化)の重要性を示している。数値モデルの高度化により、最近ではエルニーニョ現象(年々変動)に対応するアリューシャン低気圧変動は数値モデルでもかなり現実的に表現されるようになってきたが、それでおおよそ十年スケール変動に注目すると(相対的に)誤差が大きい。大気単体では中長期のメモリーをもたないが、数年規模の時間スケールの変動についてやはり注意深く初期値化すべきであるとのメッセージをもっている。

(6) 本研究で解析に活用した再現データは、CMIP5 標準データに比べて豊富な例数をもつ。それでも、シグナルノイズ比を勘案すると、今後の解析ではさらに多くのアンサンブル数(や例数)が期待される。また、気候予測の観点から誤差の大きな原因であったアリューシャン低気圧等を(データ同化等によって)適切に表現した上で再び再現データを作成できれば、その解析によってプロセス理解に向けてもう一步前進できると期待される。さらに、本研究では使用しなかった高解像度の数値モデルによる再現データも、例数等が増えれば、数値モデルに内在する誤差の軽減とともに、海洋フロント域の変動をより詳細に調べるのに役立つと期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

Mochizuki, T., M. Kimoto, Y. Chikamoto, M. Mori, M. Watanabe, and M. Ishii, Error sensitivity to initial climate states in Pacific decadal hindcasts, *Sci. Online Lett. Atmos.*, 査読有, vol.10, 2014, pp.39-44, doi:10.2151/sola.2014-009.

Mochizuki, T., Y. Chikamoto, M. Kimoto, M. Ishii, H. Tatebe, Y. Komuro, T. T. Sakamoto, M. Watanabe, and M. Mori, Decadal prediction using recent series of MIROC global climate models, *J. Meteor. Soc. Japan*, 査読有, vol.90A, 2012, pp.373-383, doi:10.2151/jmsj.2012-A22.

〔学会発表〕(計15件)

Mochizuki, T., Decadal prediction in the Pacific, *International workshop on climate system modeling*, 10 March 2014, Hawaii Convention Center, Honolulu, USA.

Mochizuki, T., Possible remote influence on pacific decadal

variability and predictability, *Japan Geoscience Union Meeting 2013*, 24 May 2013, Makuhari Messe, Makuhari.

Mochizuki, T., Possible remote influence on pacific decadal *International workshop on seasonal to decadal prediction*, 13 May 2013, The Meteo-France Conferences International Centre, Toulouse, France.

Mochizuki, T., Toward quantifying and reducing uncertainty in climate prediction, *15th Information-based induction science workshop*, 9 November 2012, Tokyo Bunkyo school building, University of Tsukuba, Tokyo.

望月崇, 大気海洋結合モデルMIROC5を用いた十年規模気候変動予測, *日本気象学会2012年度春季大会*, 2012年5月29日, つくば国際会議場, つくば.

望月崇, CMIP5に向けた近未来気候変動予測データの検証解析, *第8回「異常気象と長期変動」研究集会*, 2011年11月9日, 京都大学防災研究所, 宇治.

Mochizuki, T., Decadal prediction using recent series of MIROC global climate model, *WCRP open science conference*, 26 October 2011, Sheraton Denver Downtown Hotel, Denver, USA.

Mochizuki, T., Decadal prediction using recent series of MIROC global climate model, *PICES2011 annual meeting*, 20 October 2011, Khabarovsk's Official Reception House, Khabarovsk, Russia.

〔図書〕(計1件)

望月崇, 日本気象学会, 気象研究ノート「エルニーニョ・南方振動(ENSO)研究の現在」第10章, 2013, pp.139-149.

〔その他〕

ホームページ等

ラニーニャ多発なぜ 熱帯の海異変 猛暑・厳冬に. 日本経済新聞 2013年6月9日朝刊.

地球温暖化予測における不確実性の定量化・低減化, 独立行政法人海洋研究開発機構「地球環境シリーズ」講演会, 2012年11月13日.

地球温暖化予測の不確実性を小さくしよう, 独立行政法人海洋研究開発機構 横浜研究所一般公開, 2012年9月29日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

望月 崇 (MOCHIZUKI, Takashi)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・特任主任研究員

研究者番号: 00450776