

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2022

課題番号：17K05661

研究課題名（和文）大洋間結合の視点から西太平洋気候と熱帯低気圧活動の十年変動プロセスに新知見を創出

研究課題名（英文）Potential contribution of interbasin interaction to the western Pacific climate variability and tropical cyclone activity on subdecadal to decadal timescales

研究代表者

望月 崇 (Mochizuki, Takashi)

九州大学・理学研究院・准教授

研究者番号：00450776

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：大洋間結合の視点から西太平洋の大規模気候や熱帯低気圧活動の十年規模変動プロセスについて研究を実施した。数年から十年規模の変動に注目したとき、観測データの詳細な解析から、2000年代の熱帯太平洋に他年代とは異なる変動を見つけた。十年規模気候変動予測の予測スキルや、日本域での潜在的な豪雨頻度にも似たような年代変動が見られることもわかった。気候モデルの一部に観測データを融合するシミュレーションであるペースメーカー実験によって大洋間結合プロセスを検討したところ、熱帯大西洋及び北大西洋からの遠隔影響は、赤道太平洋の大規模気候の変動に大きく寄与することがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

熱帯太平洋の気候、とりわけ西太平洋の大規模気候や熱帯低気圧活動は日本を含めて広く注目を集めてきた。一方、近年の気候モデル研究では、従来は個別の議論が盛んであった各大洋間の相互作用が注目を集めてきた。本研究は、数年から十年規模という独自の時間スケールに注目して2000年代に特異な変動を見つけるとともに、気候モデルに観測データを融合するペースメーカー実験により、大洋間結合のひとつとして熱帯大西洋および北大西洋からの影響を指摘した。この特異な変動は十年規模気候予測の予測スキルに年代差を生み出すことも示しており、気候変動物理そのものに加えて気候予測精度の観点からも意義深い。

研究成果の概要（英文）：We tried to enhance our knowledge of decadal variations in the western Pacific climate and tropical cyclone activity, focusing on interbasin interactions in the climate system. We have found a subdecadal variation that has been distinctively observed in the 2000s over the tropical Pacific, possibly related to the potential chance of heavy rainfall near Japan. By performing partial data assimilation of a global climate model, we have demonstrated that ocean temperature anomalies in the tropical and north Atlantic Oceans contribute to the distinctive fluctuations observed in the 2000s as above, while the direct contribution to modulation of the tropical cyclone activity is not significantly detected. In our decadal hindcasts with initialization, the climate model predominantly simulates a different type of fluctuations in any decade, and the resultant low predictability of the subdecadal variation in the 2000s can work to modulate the predictive skills at a lead time of several years.

研究分野：気候力学

キーワード：気候モデリング 十年規模変動 中長期変調 部分同化実験 データ同化 地球温暖化 気候予測 熱帯低気圧

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

地球温暖化予測はもとより十年規模気候変動予測(近未来予測)といった中長期気候予測研究において、グローバルな気候変動変化、およびそれに伴う台風や熱帯低気圧活動の統計的性質の変動変化はホットな話題のひとつである。近年では防災減災の観点からの応用研究が盛んであり、例えば、高解像度の気候モデル(大気海洋結合モデルではない)を用いた大規模アンサンブル計算によって、台風や熱帯低気圧活動といった極端事例の確率的な変化情報の把握技術は著しく向上している。

こうした変動変化情報把握の精緻化と相補的な発展を望まれるのが、物理メカニズム理解の深化である。近年、中長期(特に十年規模)気候変動の大気海洋結合プロセス研究において、気候モデルの「ペースメーカー実験」とよばれる新たなアプローチが世界的に注目を集めている。この手法は、特定地域の特定物理量の観測値をデータ同化によって気候モデルに入力しながら実施する数値シミュレーションである。その特定地域で観測される気候変動が大気や海洋を通じてそれ以外の地域の変動に強く影響するならば、それはまさに文字通り気候変動のペースメーカーとしてはたらく。観測データと気候モデルの融合によって、従来は困難であった大洋間結合という視点から大規模気候変動プロセスに新たな知見を加えることが期待される。

### 2. 研究の目的

中長期気候変動(地球温暖化や十年変動など)とともに、西太平洋から日本に至る台風や熱帯低気圧活動の中長期変動が注目を集めているが、これら変動傾向の統計的把握が進む一方で、大規模変動を含めたプロセス理解は相対的に遅れを取っている。そこで、気候モデルに一部の観測データを同化する新研究手法のペースメーカー実験を活用して、特に大洋を跨ぐ大規模な気候インパクト評価をおこない物理プロセスの理解を深める。熱帯低気圧を検出する手法を実験データに適用して、熱帯低気圧活動の変調も包括的に理解する。これにより、西太平洋気候と熱帯低気圧活動の十年変動プロセスの統合的理解に加えて、観測データを端緒とする大洋間結合の視点から気候予測可能性の理解への貢献も期待される。

### 3. 研究の方法

観測データや再解析データを用いて、熱帯太平洋の気候変動について把握する。この時、十年規模気候変動予測を念頭において、数年から十年程度の時間スケールに注目する。より短い時間スケールではエルニーニョ現象の研究が盛んであり、より長い時間スケールでは熱帯の十年規模変動が議論されてきたが、この時間スケールはちょうどそれらのはざまにあたる。その上で、各種ペースメーカー実験を用いて、西太平洋の大規模気候とともに熱帯低気圧活動の十年変動について、大洋間結合の視点から変動プロセスを統合的に明らかにする。また、十年規模気候変動予測データも用いて、同定した大洋間結合プロセスが西太平洋気候と熱帯低気圧活動の中長期変動の予測可能性に果たす役割を再考する。

### 4. 研究成果

数年から十年規模変動(3年移動平均値)に注目したところ、熱帯太平洋では2000年代に特異な変動が観測されたことを見つけた。2000年頃には西太平洋の海洋上層に正の貯熱量偏差があり、赤道上をゆっくりと東へ進んだが、東端まで到達することなく2002-2005年頃には中央太平洋にとどまった。同時に、赤道太平洋の南北では海上に高気圧偏差が存在して、それに整合的な高水温偏差が西進した。これに対して、それ以前の年代の赤道太平洋水温には周期的な変動が観測された。赤道全域の海洋上層において子午面方向の熱の流出入に数年から十年の変動がみられ、赤道上では水温躍層に沿って東進する水温偏差が東端まで到達していた(図1)。

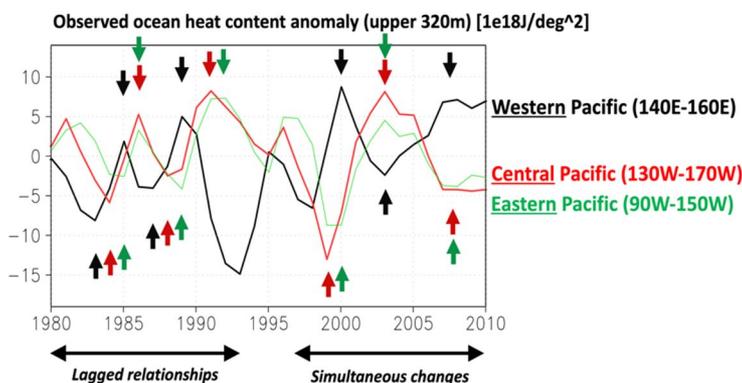


図1. 赤道太平洋の西部、中央部、東部で観測される海洋上層貯熱量偏差。3年移動平均値。(Mochizuki and Watanabe 2019 から)

これらの違いに伴って、赤道太平洋において観測される海洋貯熱量偏差の空間構造は、1980年代や1990年代には全般的な貿易風強化とともに明瞭な東西コントラストを示す一方、2000年代にはいわゆるCP ENSOに似た偏差構造をもち、亜熱帯にも局所的な海面風応力と整合するような水温偏差を伴っていた(図2)。(Mochizuki and Watanabe 2019)

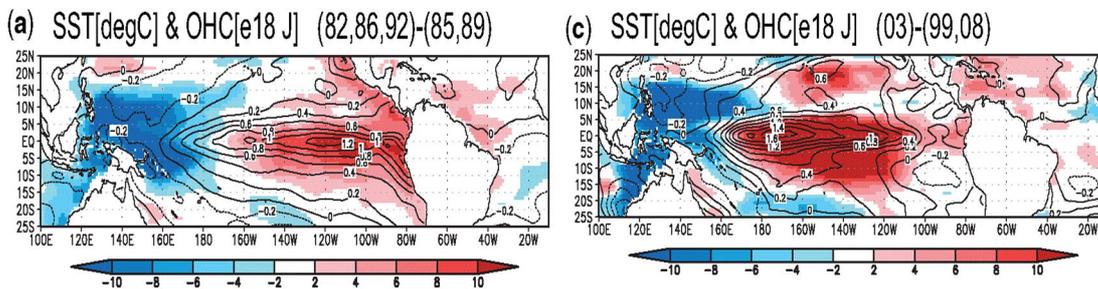


図 2. 観測される海洋上層貯熱量（色）と海面水温（等値線）の合成図。左図は 1980 年代と 1990 年代、右図は 2000 年代をそれぞれあらわす。（Mochizuki and Watanabe 2019 から）

このように 2000 年代に観測される数年から十年規模変動はそれ以前とは大きく異なっているが、初期値化を施した十年規模気候変動予測での気候モデルのふるまいはそれをうまく表現していないこともわかった。気候モデルによる予測は、2000 年代であってもそれ以前の年代と同じように周期的な変動を卓越変動としてシミュレートしている。これにより、2000 年代に対する予測誤差はそれ以前の年代に比べて大きくなり、結果として特定のリードタイム（例えば、2-4 年先）に対する予測誤差の大きさは年代変調を示す。（Mochizuki and Watanabe 2019）

大洋間結合の視点からそのプロセス解明を目指して、赤道大西洋の海洋観測データのみに基づくベースメーカー実験をおこなったところ、2000 年代前半に観測される赤道太平洋の高水温偏差に対して赤道大西洋の寄与がみられた。赤道大西洋の低い海面水温が太平洋・大西洋間のウォーカー循環を変化させ、それに伴う太平洋上での貿易風の弱体化が赤道太平洋の水温上昇を引き起こす（図 3）。このとき、赤道太平洋の南北では海上の高気圧偏差による水温上昇も再現された。ここでは数年から十年規模変動に注目しているが、エルニーニョ現象に伴って北大西洋の亜熱帯域に高水温偏差が形成されやすいことを念頭に、北大西洋の海洋観測データに基づいたベースメーカー実験も実施した。赤道太平洋の水温偏差形成時期の遅れや、形成される水温偏差が水温躍層よりも海面に偏在していることなど、現実とは整合しない面もあるものの、この場合も遠隔影響による太平洋水温偏差形成の潜在的メカニズムは存在する。なお、ウェーブレット解析によれば、ここで観測された数年から十年規模の変動は、特定の独立した変動モードというよりは ENSO の中期的変動変調としてとらえることができる。また、ベースメーカー実験結果から得られた数年から十年規模変動における大西洋から太平洋に対する遠隔影響は、2000 年代に限定的なものではなくそれ以前の年代にも潜在的にみられる。（Mochizuki and Watanabe 2022）

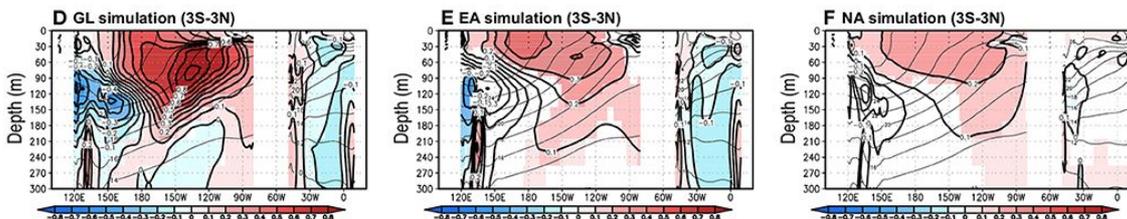


図 3. ベースメーカー実験における 2002-2004 年平均の赤道に沿った海水温偏差（ $^{\circ}\text{C}$ ）を用いた海洋観測データの領域は、左から順に、全球、赤道大西洋、北大西洋である。（Mochizuki and Watanabe 2022 から）

もっとも、遠隔影響として大西洋からの変調プロセスは存在する一方で、必ずしも熱帯太平洋の変動を支配するほど振幅が大きいわけではない。特に、西太平洋の局所的な影響をより強く反映すると思われる熱帯低気圧のふるまいは、上記のベースメーカー実験において必ずしも明瞭とは言えず、インド洋の海洋観測に基づくベースメーカー実験を追加実施、解析すると主たる変動要因はインド洋と西太平洋の卓越変動にある。大西洋からの遠隔影響に基づく熱帯低気圧変調を否定するものではないが、シグナル検出には現時点よりも詳細な解析が求められる。ひとつの可能性として、近年利用可能になった大気モデル大規模アンサンブルデータの活用が考えられ、実際に関連する解析を実施した。日本付近において熱帯低気圧も含む潜在的豪雨頻度には熱帯太平洋の水温偏差との深い関わりが見られ、さらに、2000 年代とそれ以前の年代においては水温偏差構造に違いがみられた。このような潜在的豪雨頻度と熱帯水温構造の関係性における中長期変調は、上記の観測や大西洋ベースメーカー実験結果とも対応しており、上記の大洋間結合による変調が熱帯低気圧活動などの局所的現象の統計量と何らかの関連性をもつことが示唆される。ただし、原理的に大西洋変動のみを駆動源とするベースメーカー実験結果とは異なり、大規模アンサンブルデータではインド洋の大気場にも特徴的な偏差がみられることから、海盆間の相対的重要度にはより慎重な議論も求められる。（招待講演ほか）

本研究は、これまで注目のはざまにあった数年から十年規模という独自の時間スケールに注目するなかで 2000 年代に特異な変動、いわば中長期変調を見つけ、西太平洋気候と熱帯低気圧の全般的な中長期変動というよりは、むしろ、気候場を中心に大洋間結合の視点からその詳細なプロセス解析を実施した。この特異な変動は、大洋間結合のひとつとして熱帯大西洋および北大西洋から影響を受けたものであるが、十年規模気候予測の予測スキルにも年代差を生み出す要因ともなるため気候変動物理に加えて気候予測の観点からも意義深い。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Chikamoto, Y., Z. F. Johnson, S.-Y. Wang, M. J. McPhaden, T. Mochizuki	4. 巻 80
2. 論文標題 El Nino-Southern Oscillation Evolution Modulated by Atlantic Forcing	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 CLIVAR Exchanges	6. 最初と最後の頁 12-15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.36071/clivar.80.2021	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 該当する
1. 著者名 Chikamoto Y., Johnson Z. F., Wang S. Y., Simon, McPhaden M. J., Mochizuki T.	4. 巻 125
2. 論文標題 El Nino Southern Oscillation Evolution Modulated by Atlantic Forcing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Oceans	6. 最初と最後の頁 16318
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2020JC016318	査読の有無 有
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 該当する
1. 著者名 Johnson Zachary F., Chikamoto Yoshimitsu, Wang S.-Y. Simon, McPhaden Michael J., Mochizuki Takashi	4. 巻 55
2. 論文標題 Pacific decadal oscillation remotely forced by the equatorial Pacific and the Atlantic Oceans	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Climate Dynamics	6. 最初と最後の頁 789-811
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00382-020-05295-2	査読の有無 有
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 該当する
1. 著者名 Mochizuki Takashi, Watanabe Masahiro	4. 巻 76
2. 論文標題 Observed and hindcasted subdecadal variability of the tropical Pacific climate	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ICES Journal of Marine Science	6. 最初と最後の頁 1271-1279
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/icesjms/fsz026	査読の有無 有
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 -

1. 著者名 Mochizuki Takashi、Watanabe Masahiro	4. 巻 4
2. 論文標題 Atlantic impacts on subdecadal warming over the tropical Pacific in the 2000s	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Climate	6. 最初と最後の頁 1040352
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fclim.2022.1040352	査読の有無 有
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21件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 Mochizuki, T., Y. Kosaka, M. Mori, Y. Imada, T. Miyakawa
2. 発表標題 Towards understanding climate extremes, variability and predictability under changing climate over East Asia
3. 学会等名 JpGU Meeting 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mochizuki, T., Y. Imada, Y. Kosaka, T. Miyakawa, M. Mori
2. 発表標題 Decadal modulation of the Pacific climate extremes and variability
3. 学会等名 International workshop for mid-latitude air-sea interaction (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mochizuki, T.
2. 発表標題 Decadal modulation of the Pacific climate extremes and variability
3. 学会等名 2020 Northeast Asian Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mochizuki, T., M. Watanabe, M. Kimoto
2. 発表標題 Atlantic impacts on subdecadal warming over the tropical Pacific in the 2000s
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mochizuki, T., M. Watanabe, M. Kimoto
2. 発表標題 The Atlantic SST influences on the Pacific subdecadal variability
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 望月崇
2. 発表標題 近未来の気候変動や異常気象の理解と予測に向けた取り組み
3. 学会等名 第42回日本気象学会九州支部発表会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 望月崇, 小坂優, 森正人, 今田由紀子, 宮川知己
2. 発表標題 中緯度気候現象の中長期変動や変化の理解に向けた取り組み
3. 学会等名 日本海洋学会2020年度秋季大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takashi Mochizuki, Masahiro Watanabe, Masahide Kimoto
2. 発表標題 Atlantic impacts on the tropical Pacific climate in the 2000s
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Mochizuki, Masahiro Watanabe
2. 発表標題 Observed and hindcasted subdecadal variability of the tropical Pacific climate
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 望月崇
2. 発表標題 気候変動の予測可能性に関わる大洋間結合
3. 学会等名 第6回MJ0研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Mochizuki, Masahiro Watanabe, Masahide Kimoto
2. 発表標題 Atlantic impacts on the tropical Pacific climate in the 2000s
3. 学会等名 American Geoscience Union Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Mochizuki, Masahiro Watanabe, Masahide Kimoto
2. 発表標題 Tropical Atlantic warming impacts on subdecadal variability in the Pacific
3. 学会等名 JpGU 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Mochizuki, Masahiro Watanabe, Masahide Kimoto
2. 発表標題 Subdecadal modulation in the Pacific in 2000s
3. 学会等名 4th ECCWO International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Mochizuki, Masahiro Watanabe, Masahide Kimoto
2. 発表標題 Tropical Atlantic impacts on subdecadal variability in the Pacific
3. 学会等名 International Conferences on Subseasonal to Decadal Prediction (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Mochizuki
2. 発表標題 Tropical Atlantic impacts on subdecadal variability in the Pacific
3. 学会等名 Joint US-Japan workshop on climate change and variability (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mochizuki T., M. Watanabe, M. Kimoto
2. 発表標題 Subdecadal modulation in the Pacific relevant to global warming hiatus
3. 学会等名 International Symposium on Advances in Seasonal to Decadal Prediction (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 望月崇
2. 発表標題 気候トレンド変調に関わる熱帯の大洋間結合
3. 学会等名 第4回マッデン・ジュリアン振動研究会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mochizuki, T., M. Watanabe, M. Kimoto, Y. Chikamoto
2. 発表標題 Interbasin effects on subdecadal climate changes relevant to global warming hiatus
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2017 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mochizuki, T., M. Watanabe, M. Kimoto
2. 発表標題 Interbasin effects on subdecadal climate modulation relevant to global warming hiatus
3. 学会等名 4th International Conference on Earth System Modelling (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mochizuki, T.
2. 発表標題 Recent subdecadal variability and predictability of the tropical Pacific climate
3. 学会等名 2nd IAMES annual conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山口修平, 望月崇, 川村隆一, 川野哲也
2. 発表標題 高解像度の大規模アンサンブルデータセットを用いた熱帯低気圧を要因とする降水分布の将来変化の解析
3. 学会等名 第44回日本気象学会九州支部発表会
4. 発表年 2023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
研究 分担者	森 正人  (Mori Masato)  (00749179)	九州大学・応用力学研究所・助教   (17102)	

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		
米国	ユタ州立大学		