

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 26 日現在

機関番号：82109

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26400471

研究課題名(和文) 1990年代半ばに生じた熱帯太平洋十年規模変動の位相反転メカニズムの解明

研究課題名(英文) Elucidation of the mechanism for the phase change in the tropical Pacific decadal variability during the mid 1990s

研究代表者

山中 吾郎 (Yamanaka, Goro)

気象庁気象研究所・海洋・地球化学研究部・室長

研究者番号：60442745

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：熱帯太平洋十年規模変動の位相反転プロセスを数値モデルデータや大気再解析データの解析に基づいて調べた。熱帯太平洋の十年規模変動は、海面水温や海面水位などの物理場のみならず人為起源炭素を含む物質循環場でも見られ、太平洋表層の子午面循環変動と関連していた。1985年前後の十年規模変動の正の位相の弱化には、海洋循環を通じた熱帯域と中緯度域との熱交換が重要である。一方、1990年代半ば以降の負の位相の強化には、北太平洋中緯度の気象変動に起因する、赤道貿易風の強化に伴う極向き熱輸送の増大が寄与している。

研究成果の概要(英文)：The processes of the phase change in the tropical Pacific decadal variability are examined using numerical models and atmospheric reanalysis data. The tropical Pacific decadal variability, which is associated with the shallow overturning circulation of the Pacific, is found not only in the physical fields, such as sea surface temperatures and sea surface height, but also in the bio-geochemical fields like anthropogenic carbon dioxide. It is found that heat exchange between the tropical and subtropical regions plays an important role in the weakening of the positive phase around 1985. It is also suggested that the increase in the poleward heat transport associated with the enhanced equatorial trade winds, which originate from the atmospheric variability in the mid-latitude North Pacific, mainly contributes to the enhancement of the negative phase after the mid-1990s.

研究分野：海洋物理学

キーワード：大気海洋相互作用 十年規模変動 海面水位 太平洋亜熱帯セル 熱帯太平洋 地球温暖化の停滞 海洋大循環モデル 海洋物質循環

## 1. 研究開始当初の背景

熱帯太平洋には十年規模変動 (Tropical Pacific Decadal Variability: TPDV) と呼ばれる十数年スケールの気候変動が存在し、気温・降水量や水産資源の長期変動と関連していることが知られている。地球温暖化に伴う今後 30 年程度の近未来予測をする際の不確実性低減の観点からも十年規模変動の動向が関心を集めている。TPDV は、亜熱帯セル (Subtropical Cells: STC) と呼ばれる海洋表層の子午面循環に顕著に現れており、1990 年代半ば以降、STC 弱モードから強化モードへ位相が反転したと報告されている (McPhaden and Zhang, 2004)。

TPDV の実態については未解明な点が多い。西部熱帯太平洋では、1990 年代以降、全球平均 (3.3mm/yr) を上回る水位上昇が報告されている (Bindoff et al., 2007)。この水位上昇は大規模な風の変動と関連していることが指摘されているが (Merrifield, 2011)、STC の長期変動との関連は十分明らかではない。また、熱帯太平洋は大気に対する二酸化炭素の最大の供給源であるが、物質循環場への影響についても不明な点が多い。さらに、1990 年代半ば以降の STC の強化に伴い、東部熱帯太平洋は冷却化している。これが 21 世紀以降の世界の年平均気温の上昇がほぼ横ばいである現象、いわゆる「地球温暖化の停滞 (hiatus)」の一因となっている可能性が指摘されており (Kosaka and Xie, 2013)、近年高い関心を集めている。しかしながら、十年規模変動の位相反転メカニズムについては、多くの仮説があるものの未だ確定的ではない。

## 2. 研究の目的

本研究では、1990 年代半ばの STC の強化に関連した TPDV の実態を明らかにする。さらに、熱帯太平洋とインド洋など他海域との相互作用のプロセスを調べ、1990 年代半ばの TPDV の位相反転メカニズムを解明することを目指す。主なテーマは以下の二つである。

### (1) 位相反転プロセスの実態解明

まず、海洋モデル結果における熱帯太平洋とインド洋の平均的な海洋構造と長期変動の再現性を検証する。次に、TPDV に伴う海面水位変動の南北構造や変動要因を明らかにするとともに、海洋内部の物質循環場への影響を明らかにする。

### (2) 位相反転プロセスの要因解明

海洋モデルで再現された TPDV の変動要因を調べる。また、熱帯太平洋とインド洋など他海域の相互作用を解析し、大気のテレコネクションやインドネシア通過流の変動によって、インド洋や太平洋の十年規模変動がどのように変調されるかを明らかにする。

## 3. 研究の方法

### (1) 海洋モデルおよび海洋物質循環モデルデータの解析

海洋内部の循環場や物質循環場の変動を明らかにするために、海洋モデルや海洋物質循環モデルデータの解析を行う。海洋モデルについては、従来の全球渦無しモデル (水平解像度: 東西 1 度、南北 0.5 度) に加えて、インドネシア通過流を現実的に表現するために、熱帯域のみを高解像度化 (水平解像度: 東西 0.2 度、南北 0.1 度) した熱帯ネストモデルを開発する。

### (2) 大気海洋結合モデルおよび大気再解析データの解析

熱帯太平洋とインド洋など他海域との相互作用を明らかにするために、気象研究所地球システムモデルである大気海洋結合モデル (大気: TL159L80、海洋: 東西 1 度、南北 0.5 度) と海洋ネストモデルを結合したモデルの長期積分結果を解析する。また、大気再解析データ等を用いた解析も並行して実施する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 海洋モデルの水平解像度の影響

海洋モデルの水平解像度が熱帯太平洋の海洋構造の再現性に及ぼす影響を調べた。高解像度モデルでは熱帯不安定波動が南北方向の熱輸送を促進するため、海面水温の基本場の南北非対称性を強めるようにはたらくことがわかった。一方、TPDVの再現性については高解像度モデルでは振幅が増大するものの、定性的には同様の結果が得られた。大気と結合した場合には、海面水温場や降水量場の南北非対称性が強化されるなど、基本場の再現性向上を確認した。

##### (2) 海洋循環場の十年規模変動

長期平均場における海洋モデルの再現性を検証した。風成循環理論より期待される熱帯太平洋の循環と比較するために、海洋上層の流量をエクマン、地衡流、西岸境界流の各輸送量に分けて算出した。観測結果と比較して良好な再現性を確認した。次に、STCの強度を50m深、南北10度の流線関数の差で定義し、その変動を調べたところ、東部太平洋赤道域の海面水温変動(NINO3)と逆位相の十年規模変動を示すことがわかった(図1)。本研究では、STCの強度が強く、NINO3が正の期間(1977-1987年)を正の位相、逆の期間(1996-2006年)を負の位相と定義した。

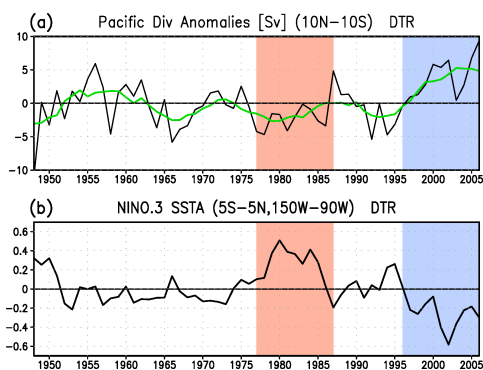


図1: STC強度(上)とNINO3時系列(下)

##### (3) 海面高度の十年規模変動

STCの長期変動に関連した海面水位(SSH)変動の特徴を抽出した。その結果、SSHは正と負の位相で異なる空間パターンを示すことがわかった。正の位相時は北太平洋で弱い正偏差、南太平洋で強い負偏差が見られ、南北非対称の構造を示すのに対し、負の位相時は両半球で正偏差が見られ、南北太平洋の構造を示していた(図2)。このようなSSH変動分布の特徴は、経験的直交関数展開を用いた解析(EOF解析)によっても確認された。SSH変動に対応して、海洋内部の地衡流の変動も正と負の位相時で異なる特徴を示していた(Yamanaka et al., 2015)。

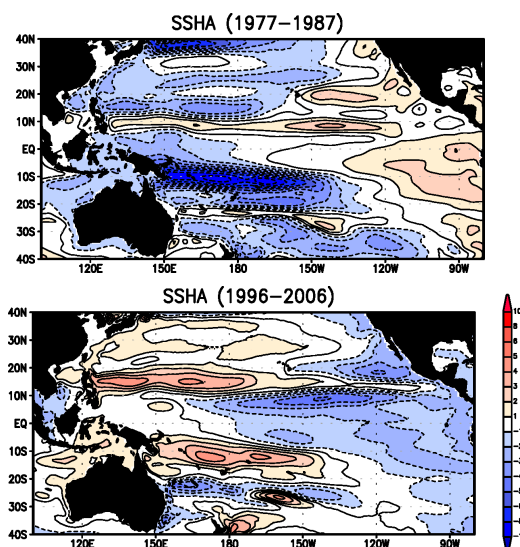


図2: 海面水位の十年規模変動。(上)正の位相(1977-1987年)、(下)負の位相(1996-2006年)

##### (4) 海洋物質循環場の十年規模変動

TPDVに関連した海洋物質循環場の実態解明を行った。全球海洋を11の海域、鉛直方向には3つの層に分割し、それぞれの領域における人事起源二酸化炭素の収支を計算した。その結果、海洋内部に取り込まれた後の人為起源二酸化炭素の輸送と分布には、STCsが主要な役割を担っていることがわかった。このことは、人為起源二酸化炭素の海洋内部の輸送についても、TPDVに関連した変動が存在することを示唆している(Nakano et al., 2015)。

### ( 5 ) 1985 年前後の位相変化

熱帯太平洋上層を対象とした熱収支解析を行い、1985 年頃の正の位相の弱化に関連した位相反転プロセスを調べた。その結果、赤道から離れた海域の風応力回転偏差によって励起された傾圧ロスビー波の伝搬が、水温躍層の変動を通じて海洋内部に南北流を生じさせ、その南北流に伴う極向き熱輸送の増大が正の位相の弱化に寄与していることがわかった。つまり、1985 年前後の TPDV の減衰機構として海洋循環を通じた熱帯域と中緯度域との熱交換が重要であることが明らかになった ( Yamanaka et al., 2015 )。

### ( 6 ) 1990 年代半ば以降の位相変化

1990 年代半ば以降の負の位相の強化には、赤道貿易風の強化に伴う極向き熱輸送の増大が寄与している。この貿易風強化に関連した熱帯太平洋とインド洋のシグナルの伝搬経路を調べるために、(a)大気のテレコネクションと(b)インドネシア通過流の変動を調べた。(a)については熱帯太平洋とインド洋の風の場のラグ相関、(b)については東部インド洋熱帯域の混合層の変動とインド洋の風の場との位相関係を解析した。その結果、熱帯太平洋からインド洋へのシグナルの伝搬は見られたものの、逆方向の伝搬は認められず、当初想定していたインド洋との相互作用は確認できなかった。しかしながら、長周期変動のみを抽出した場の解析により、貿易風強化は北太平洋中緯度からのシグナルの伝搬と関連していることが明らかになった ( 図 3 )。このシグナルの伝搬は、北太平洋中緯度の大気の内変動とそれに伴う東部太平洋亜熱帯域における海面水温偏差の形成および熱帯域の大気海洋相互作用の強化、という一連のプロセスと関連していた。したがって、中緯度大気の内変動に起因する stochastic な変動が、1990 年代半ばの TPDV の位相反転プロセスに寄与していたことが強く示唆される。

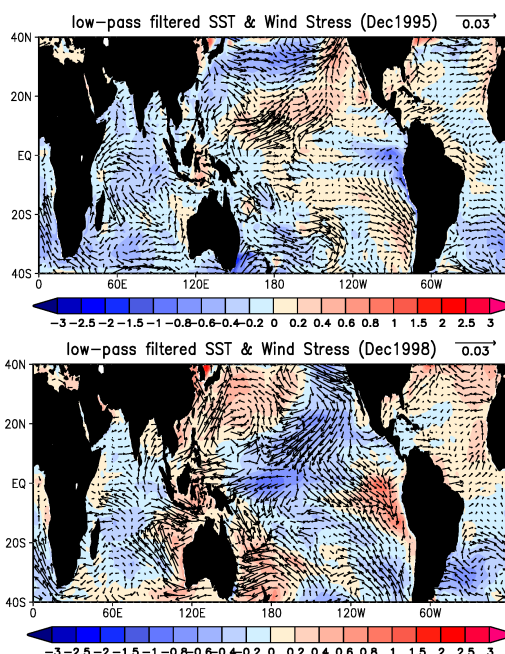


図 3 : 1990 年代半ば以降の貿易風の強化ローパスフィルタを施している。

## 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 2 件 )

Yamanaka, G., H. Tsujino, H. Nakano, and M. Hirabara, 2015: Decadal variability of the Pacific Subtropical Cells and its relevance to the sea surface height in the western tropical Pacific during recent decades. *Journal of Geophysical Research Oceans*, 120, 201-224.

Nakano, H., M. Ishii, K. B. Rodgers, H. Tsujino, and G. Yamanaka, 2015: Anthropogenic CO<sub>2</sub> uptake, transport, storage, and dynamical controls in the ocean imposed by the meridional overturning circulation: A modeling study. *Global Biogeochemical Cycles*, 29, 1706-1724.

[ 学会発表 ] ( 計 10 件 )

Yamanaka, G., H. Tsujino, H. Nakano, S. Urakawa, and K. Sakamoto, Decadal variations in the tropical Indo-Pacific sea surface height based on a historical OGCM simulation, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 2017 年 5 月, 千葉県幕張市

Yamanaka, G., H. Tsujino, H. Nakano, S. Urakawa, and K. Sakamoto, Indo-Pacific sea level variability during recent decades, 2016 AGU Fall Meeting, 2016 年 12 月, アメリカ, サンフランシスコ

Yamanaka, G., Application of MRI.COM: climate research and coastal disasters, 韓国気象局気象科学研究所セミナー, 2016 年

7月, 韓国, 濟州島

Yamanaka, G., H. Tsujino, H. Nakano, S. Urakawa, and K. Sakamoto, Interannual simulation of tropical oceans during 1958-2014 using a high resolution OGCM, EGU General Assembly 2016, 2016年4月, オーストリア, ウイーン

Yamanaka, G., H. Tsujino, H. Nakano, S. Urakawa, and K. Sakamoto, Influence of horizontal resolution on mean state of tropical Indo-Pacific Oceans, Workshop on "High-resolution ocean modelling for coupled seamless predictions", 2016年4月, イギリス, エクセター

Yamanaka, G., H. Nakano, H. Tsujino, S. Urakawa, and K. Sakamoto, The connection between decadal variability in the Pacific Subtropical Cells and sea surface height in the western tropical Pacific, 第26回国際測地学地球物理学連合総会 (IUGG2015), 2015年6月, チェコ, プラハ

石崎廣, 山中吾郎, 中野俊也, 東経137度線の垂表層における東西流の経年変動, 日本海洋学会2016年度秋季大会, 2016年9月, 鹿児島県鹿児島市

石崎廣, 中野俊也, 山中吾郎, 東経137度線における北赤道潜流(NEUC)の十年規模変動, 日本海洋学会2016年度春季大会, 2016年3月, 東京都文京区

山中吾郎, 中野英之, 辻野博之, 浦川昇吾, 坂本圭, 十年規模の位相変化に対する西部太平洋海面水位と水平循環の役割, 日本地球惑星科学連合2015年大会, 2015年5月, 千葉県千葉市

山中吾郎, 辻野博之, 中野英之, 平原幹俊, 熱帯太平洋十年規模変動に見られる暖候期終息時の位相反転について, 日本海洋学会2014年度秋季大会, 2014年9月, 長崎県長崎市

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:

番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕  
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

山中 吾郎 (YAMANAKA Goro)  
気象庁・気象研究所・海洋地球化学研究部・室長  
研究者番号: 60442745

(2)研究分担者

( )

研究者番号:

(3)連携研究者

中野 英之 (NAKANO Hideyuki)  
気象庁・気象研究所・海洋地球化学研究部・主任研究官  
研究者番号: 60370334

(4)研究協力者

石崎 廣 (ISHIZAKI Hiroshi)  
気象庁・気象研究所・海洋地球化学研究部・客員研究員  
(平成27年度より研究協力者)