

## 熱帯太平洋 SST 東西勾配に対する大気応答の季節変化

## Seasonal Atmospheric Response to the Tropical Pacific Zonal SST Gradient

○野々垣 裕人・吉田 聰  
○Hiroto NONOGAKI, Akira KUWANO-YOSHIDA

This study investigates the seasonal dependence of the atmospheric response to the zonal Sea Surface Temperature (SST) gradient in the tropical Pacific using reanalysis data from 1980 to 2019. We defined a  $\Delta$ SST index to capture the zonal gradient between the eastern and western Pacific. We found that the atmospheric response has become weaker in recent years (2000 – 2019). The cause of this weakening depends on the season. In JFM, the main reason is the westward shift of SST anomalies (CP-type El Niño), which shifts the Walker circulation westward. In contrast, in OND and AMJ, the meridional structure of SST anomalies plays a key role; the restriction of warming to the equator without southward extension prevents moisture convergence in the eastern Pacific. These highlight the importance of seasonal background states and meridional SST structures in understanding the atmospheric response to ENSO.

## 1. はじめに

熱帯太平洋における海面水温 (SST) の変動は、エルニーニョ・南方振動 (ENSO) などを通じて地球規模の大気循環に支配的な影響を及ぼしている。近年、この海域では海面水温偏差 (SSTa) の極大域が東部から中央太平洋へと移動する CP 型（または Modoki 型）のイベントが増加しており、ENSO の特性そのものが変質しつつある [1]。こうした背景場の変化に伴い、SST 変動に対する大気応答も変化しているが [5]、季節ごとの基本場の違いが応答の変質にどのように寄与しているか、そのメカニズムについては未だ十分な理解が得られていない。そこで本研究では、1980 年以降の再解析データを用い、熱帯太平洋の SST 東西勾配に対する大気応答の経年変化とその物理的要因を、季節性および海洋混合層の熱収支の観点から明らかにすることを目的とした。

## 2. データと手法

大気再解析データとして ERA5[3]、海洋再解析データとして GODAS[2] を使用した。解析期間は 1980 年から 2019 年までの 40 年間とし、これを前半期間 (1980–1999 年) と後半期間 (2000–2019 年) に分割して比較を行った。ENSO に伴う東西方向の海面水温勾配を適切に評価するため、従来の単一領域の指標 (Niño3 など) ではなく、熱帯東部 (Niño3 領域) と西部の SSTa の差分で定義する「 $\Delta$ SST index」を導入した。このインデックスを用い、回帰分析および合成図解析によって大気循環場の応答特性を調べた。

## 3. 大気応答の季節依存性

前半期間においては  $\Delta$ SST index と南方振動指数 (SOI) の間に高い相関が見られたが、後半期間では相関が低下し、特に東部太平洋から南半球にかけての大気応答が顕著に弱まっていることが明らかになった。この応答弱化の要因を季節ごとに詳細に調べたところ、季節によって異なるメカニズムが作用していることが示された。

エルニーニョの最盛期にあたる JFM においては、SSTa の極大域および上昇流偏差の中心が日付変更線付近まで西偏する CP 型の特徴が支配的であった。これにより、ウォーカー循環の変動中心が全体として西へシフトし、結果として東部太平洋における上昇流偏差やテレコネクションが弱化したと考えられる (図 1a, c)。

一方で、OND および AMJ においては、西へのシフトに加え、SSTa の「南北構造の変化」が重要な役割を果たしていた。前半期間のイベントでは、正の SSTa が赤道上だけでなく南半球側 (0–10°S) まで広く分布しており、これが熱帯収束帯 (ITCZ) の南下を促し、下層での水蒸気収束を強化していた。しかし、後半期間では SSTa が赤道付近に集中し、南側への広がりを持たない構造へと変化したため、東部太平洋赤道以南での水蒸気収束が維持できず、対流活動が抑制される結果となった (図 1a, c)。なお、JAS に関しては、気候学的に赤道冷舌が発達する時期であるため、SST の絶対値が対流発生の目安である 27.5°C を下回ることが多く、期間や SST パターンに関わらず大気応答は限定的であった。

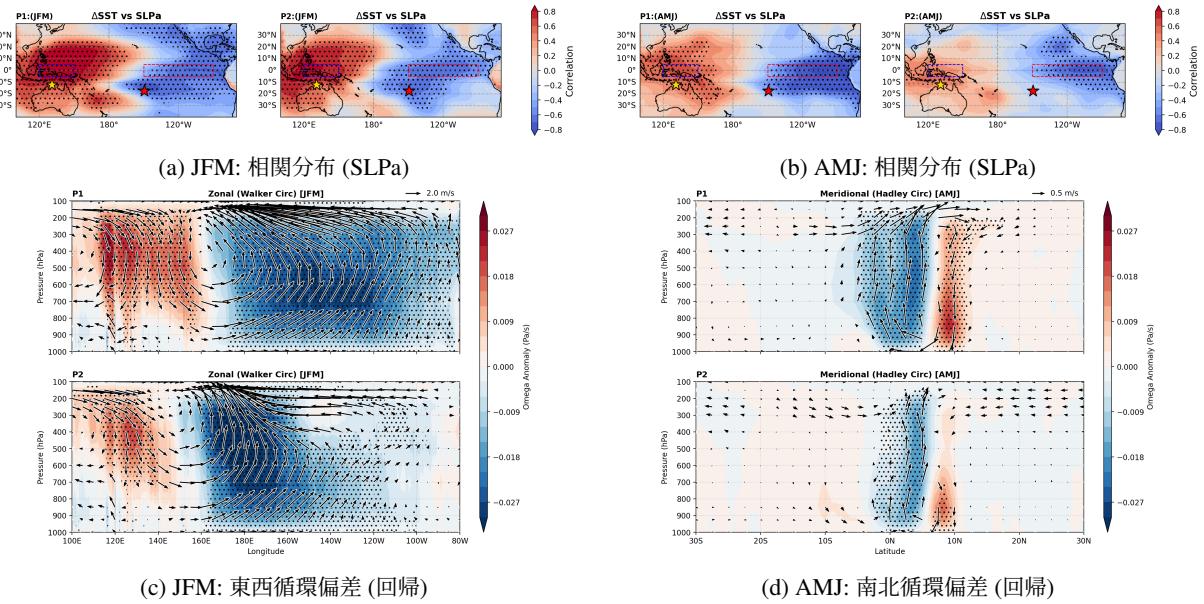


図 1: 期間別の相関分布および  $\Delta\text{SST}$  index に回帰した循環偏差場の比較. (a, b)  $\Delta\text{SST}$  index と海面気圧偏差 (SLPa) の相関分布図 (c) JFM における 5N–5S 平均の東西循環偏差, (d) AMJ における 160W–100W 平均の南北循環偏差の回帰図. 各図において、(a,c) の左、上は前半期間、(b,d) の右、下は後半期間の結果を示す. 陰影は相関係数または鉛直速度 ( $\omega$ ) 偏差を表し、ハッチ領域は 95% 信頼水準 ( $p < 0.05$ ) で有意な領域を示す.

#### 4. パターン変化の要因

東部太平洋 ( $0\text{--}5^\circ\text{S}$ ,  $100\text{--}140^\circ\text{W}$ ) における SST パターン変化の要因を海洋混合層熱収支解析から考察した [4]。前半期間では、風偏差に伴う鉛直移流項が SST 上昇の主因であった。一方、後半期間では、水平移流項および平均流による鉛直移流項が昇温を支配するレジームへと移行していた (図 2)。また、SST 時間変化率のピークが JAS から AMJ-JAS へと早期化する位相の変化も確認された。本解析の枠組みでは、後半期間における昇温抑制の直接的な物理要因を特定するまでには至らなかったものの、変動の位相は観測値と概ね整合しており、SST 変動を駆動する主役が変化し、昇温時期が背景場の温度勾配の季節進行に依存して早期化したと考えられる。こうした海洋側の変化が、東部太平洋南側での昇温抑制と大気応答の弱化をもたらしていると考えられる。

#### 5. まとめ

近年のエルニーニョに伴う東部太平洋での大気応答の弱化は、SST 極大域の西偏 (CP 型化) のみならず、季節ごとの基本場と SST の南北構造の変化が関与していることが示された。ENSO の長期変化が気候に及ぼす影響を理解する上で、SST の東西分布の変化に加え、季節性に依存した南北構造の変化を考慮することが重要である。

#### 参考文献：

- [1] K. Ashok, S. K. Behera, S. A. Rao, H. Weng, and T. Yamagata. El niño modoki and its possible teleconnection. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 112(C11), 2007.
- [2] D. Behringer and Y. Xue. Evaluation of the global ocean data assimilation system at ncep: The pacific ocean. In *Eighth symp. on integrated observing and assimilation systems for atmosphere, oceans, and land surface*, 2004.
- [3] H. Hersbach, B. Belf, P. Berrisford, S. Hirahara, A. Horányi, J. Muñoz-Sabater,

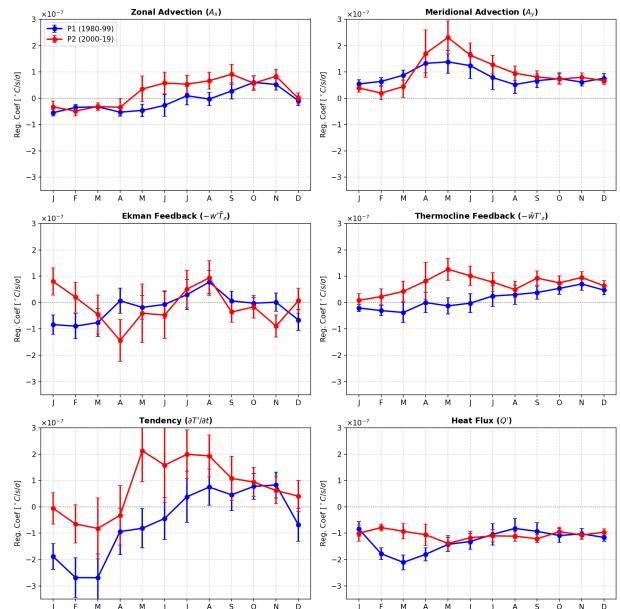


図 2: 热収支解析の各項の季節変化. 各パネルは東西移流項 ( $A_x$ ), 南北移流項 ( $A_y$ ), エクマン・フィードバック項 ( $-w'\bar{T}_z$ ), 水温躍層フィードバック項 ( $-\bar{w}T_z'$ ), SST 時間変化率 (Tendency:  $\partial T'/\partial t$ ), および海面熱フラックス項 ( $Q'$ ) を示す. 青線は前半期間、赤線は後半期間を表し、正の値は昇温を示す. 各項は偏差時系列の回帰係数であり、エラーバーは標準誤差を示す.

- [4] J. Nicolas, C. Peubey, R. Radu, D. Schepers, et al. The era5 global reanalysis. *Quarterly journal of the royal meteorological society*, 146(730):1999–2049, 2020.
- [5] Q. Peng, S.-P. Xie, D. Wang, Y. Kamae, H. Zhang, S. Hu, X.-T. Zheng, and W. Wang. Eastern pacific wind effect on the evolution of el niño: Implications for enso diversity. *Journal of Climate*, 33(8):3197–3212, 2020.
- [6] M. Watanabe, S. M. Kang, M. Collins, Y.-T. Hwang, S. McGregor, and M. F. Steecker. Possible shift in controls of the tropical pacific surface warming pattern. *Nature*, 630(8016):315–324, 2024.