

ENSO による夏季北西太平洋への気候影響: ENSO 持続性による違い

門大貴、小坂優 (東京大学先端科学技術研究センター)

1. はじめに

エルニーニョ・南方振動(ENSO)による夏季北西太平洋域の気候への影響メカニズムとして、熱帯インド洋海面水温偏差を介した「インド洋キャパシタ効果」が提唱されている(Xie et al. 2009)。つまり、エルニーニョ(ラニーニャ)はその極大にあたる北半球冬季から春にかけて熱帯インド洋海面水温を上昇(低下)させ、このインド洋における海盆規模海面水温偏差が翌夏(以下「JJA(1)」)まで持続し周辺地域の気候に影響するというものである。ここで、典型的には ENSO に伴う JJA(1)での赤道太平洋海面水温偏差が消失していることが鍵であった。しかし個々の ENSO 事例においては、JJA(1)に正負の海面水温偏差が存在することが多い。特にエルニーニョ(ラニーニャ)現象が1年で終息し翌年にはラニーニャ(エルニーニョ)に転じる「単年事例」と、同一極性の状態が複数年持続する「複数年事例」とでは、他地域への気候影響が異なることが示唆されているが、東アジア・北西太平洋域の気候にもたらす影響の違いは未だ議論されていない。

そこで本研究では、JJA(1)のアジア・北西太平洋域気候に ENSO 持続性の違いがもたらす影響の違いを議論し、その違いのメカニズムの説明を試みる。

2. データと解析手法

大気データとして Japanese 55-year Reanalysis Project (JRA-55) 再解析データ(Harada et al. 2016; Kobayashi et al. 2015)の月平均データを、海面水温データとして HadISST1(Rayner et al. 2003)の月平均データを使用した。また地域天候へのインパクトを調査するために、陸域降水・陸面気温デー

タとして、the Asian Precipitation-Highly Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of Water Resources (APHRODITE、Yatagai et al. 2012)の月平均データを月平均して用いた。これらに加えて、Deser et al. (2017)によるペースメーカー実験の結果を併せて解析した。このペースメーカー実験は米国大気研究センター大気海洋結合モデル CESM1 を使用し、熱帯東部太平洋域の海面水温変動を観測に緩和した大気海洋結合実験である。ペースメーカー実験を用いることで、観測データにおける事例数の少なさを補うことができる。またアンサンブル平均経年変動は ENSO に対する応答を捉えることが期待できる。

Tokinaga et al. (2019)に基づき、ENSO が複数年連続して正(負)のピークを持つ事例を複数年エルニーニョ(ラニーニャ)とし、そうでない事例を単年エルニーニョ(ラニーニャ)と定義した。また JJA(1)は各事例の最初の ENSO 極大の後の夏季とする。本研究の合成図解析ではラニーニャ時の偏差を符号反転して示し、また合成図は特に断らない限りエルニーニョ偏差と(符号反転した)ラニーニャ偏差の合成平均である。

3. ENSO 持続性に着目した合成図解析

単年 ENSO 合成図と複数年 ENSO 合成図はともに北西太平洋域で下層循環偏差の南北波状構造を取るが、その空間分布が顕著に異なる(図1)。これに伴い、海面気圧偏差の合成図を比較すると日本の南沖に見られる高気圧偏差の中心位置も違う(図2上段)。この違いはペースメーカー実験の合成図からも確認出来る(図2下段)。これに伴い、両事例間で東アジアの地域天候にも異なる

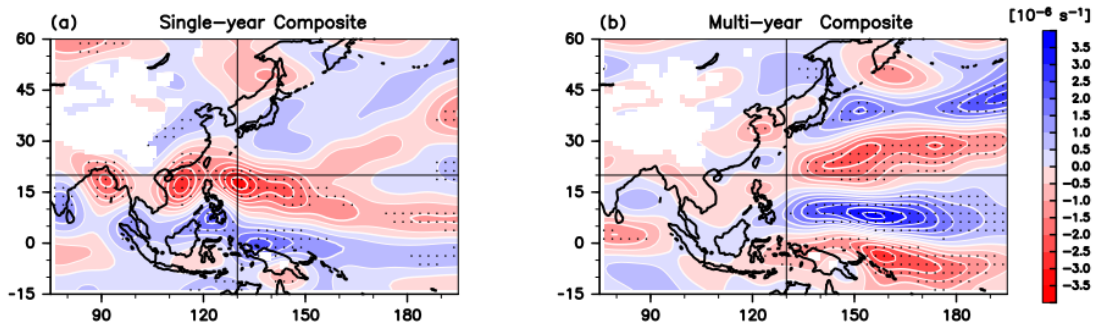


図 1: (a)単年 ENSO 事例、(b) 複数年 ENSO 事例の JJA(1)における 850hPa 渦度偏差の合成図 (単位: 10^{-6} s^{-1})。観測データに基づく。ドットは t 検定において 95%信頼水準を満たすことを表す。

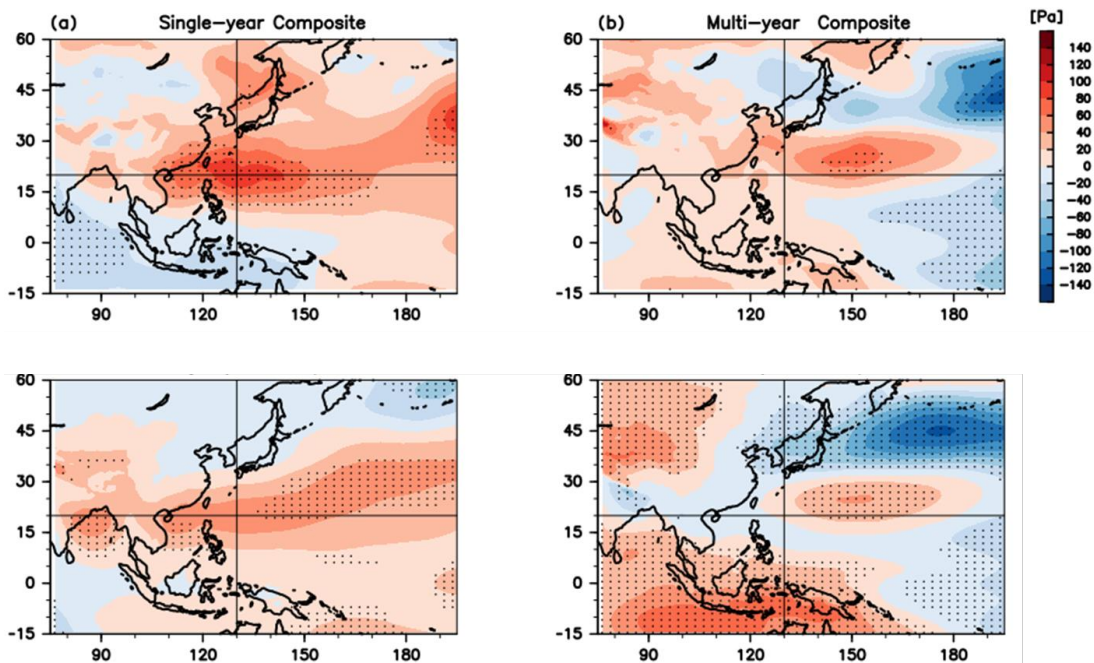


図 2: (a)単年 ENSO 事例、(b) 複数年 ENSO 事例の JJA(1)における海面気圧偏差の合成図 (単位: Pa)。(上段) 観測データ、(下段) ペースメーカー実験に基づく。ドットは t 検定において 95%信頼水準を満たすことを表す。

影響を及ぼすことが分かった (図 3)。これらは ENSO 極大後、その推移を予測することが東アジア域の季節予測を行う上で重要であることを示唆する。

4. 異なる循環偏差を作るメカニズム

JJA(1)における赤道太平洋海面水温偏差

は単年事例では負、複数年事例では正となっている。一方両事例に共通してインド洋には暖水偏差が見られる (図 4)。この赤道太平洋とインド洋における海面水温偏差の影響が異なる重みで重ね合わさった結果、北西太平洋域の循環偏差に違いが現れたと仮説を立てることが出来る。そこで、JJA における北

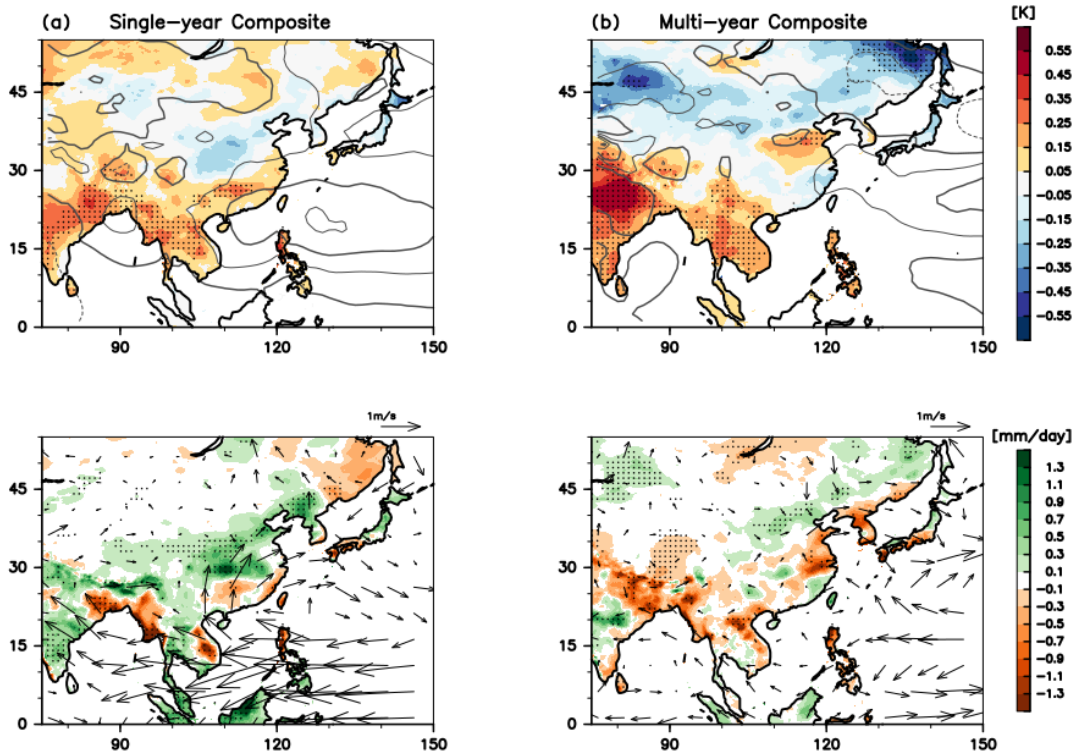


図3: (a)単年 ENSO 事例、(b)複数年 ENSO 事例の JJA(1)における (上段) 地表面気温偏差、(下段) 降水偏差合成図 (単位はそれぞれ K、mm/day)。矢印で 850hPa 風偏差、等値線で海面気圧偏差合成図を重ねている (等値線間隔:30Pa)。観測データに基づく。ドットは t 検定において 90%信頼水準を満たすことを表す。

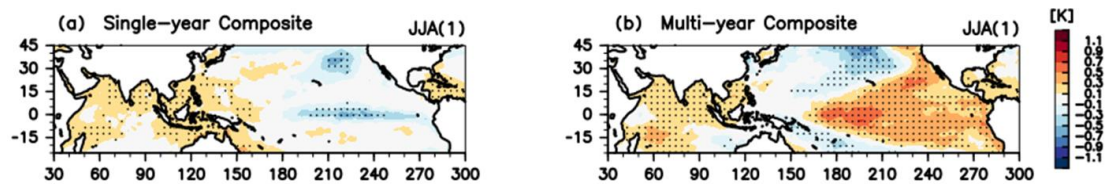


図4: (a)単年 ENSO 事例、(b)複数年 ENSO 事例の JJA(1)における海面水温偏差の合成図 (単位:K)。観測データに基づく。ドットは t 検定において 95%信頼水準を満たすことを表す。

インド洋海面水温偏差と Nino3.4 海面水温偏差を説明変数とした 2 次の重回帰モデルを立てた。

対流圏下層循環の北インド洋指数に対する偏回帰偏差は太平洋-日本 (PJ) パターンに対応する (図 5a)。PJ パターンは夏季北西太平洋域における下層循環の経験直交関数 (EOF) 第一モードとして抽出される。

Nino3.4 指数に対する偏回帰偏差は、同じ EOF の第二モードとして抽出されるマリアナ-小笠原 (MB; Machimura 2016) パターンと類似している (図 5b)。

これら空間直交する偏回帰パターンの重ね合わせにより、単年・複数年合成図の下層循環偏差の空間分布の違いが生じていたと説明できる。実際、各海面水温指数が合成偏

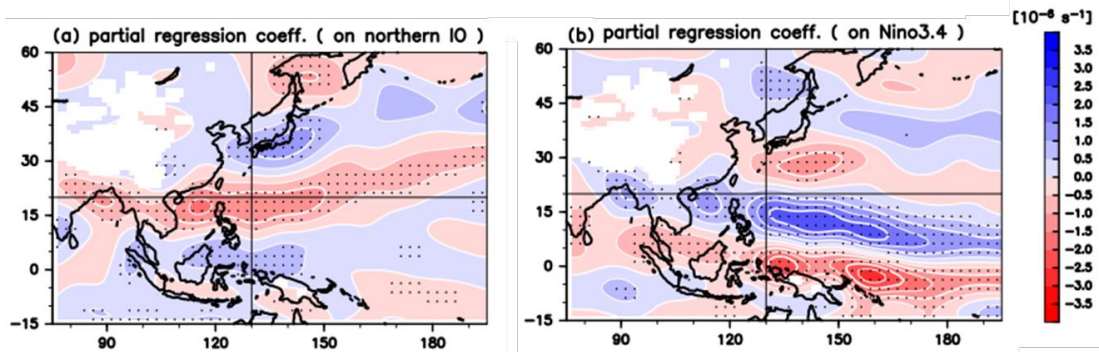


図 5: (a) 北インド洋指数、(b) Nino3.4 指数に対する JJA 平均 850hPa 渦度偏差の偏回帰係数 (単位: $10^{-6} \text{ s}^{-1} / \text{std dev}$)。図中の補助線は北緯 20 度、東経 130 度を示している。

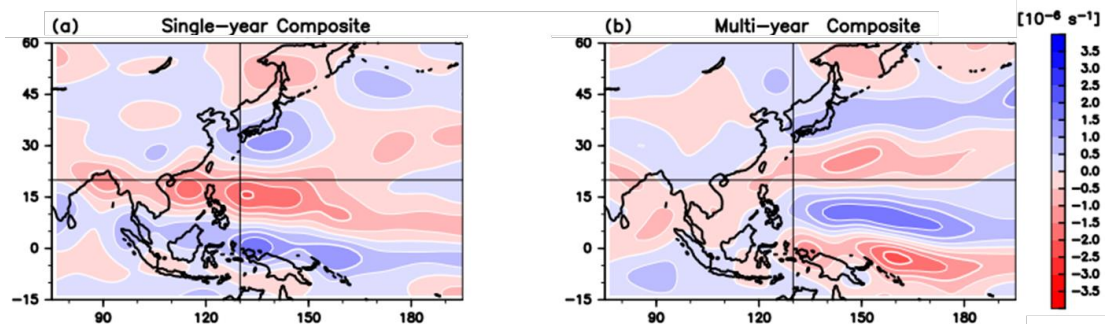


図 6: (a) 単年事例、(b) 複数年事例の JJA(1)における 850hPa 渦度偏差の再構築 (単位: 10^{-6} s^{-1})。観測データに基づく。図中の補助線は北緯 20 度、東経 130 度を示している。

差と合うように、北インド洋指数に対する偏回帰を+0.69 (+0.81) 倍、Nino3.4 指数に対する偏回帰を-0.54 (+0.78) 倍して足し合わせることで単年 (複数年) 事例合成図を概ね再現できた (図 6)。

5. まとめと議論

本研究では ENSO を単年事例と複数年事例とに分けて合成図解析を行い、両合成図間で JJA(1)における北西太平洋域の循環偏差やそれに伴う降水偏差の分布が異なることを示した。またこの違いは、赤道太平洋海面水温偏差が作り出す大気循環偏差が、インド洋キャパシタ効果が形成する循環偏差に干渉することで引き起こされることを示した。その背景には、赤道太平洋海面水温偏差が作り出す下層循環偏差とインド洋キャパシタ

効果が作り出す循環偏差とが夏季北西太平洋において空間的にほぼ直交するという特徴も重要であった。以上の結果は、夏季北西太平洋域の季節予測において、ENSO とインド洋海面水温の予測のみでなく、ENSO が極大を迎えた後にどのように推移するかの予測も重要であるという示唆を与える。

本研究はエルニーニョとラニーニャの気候影響の非対称性の説明にも応用できる。エルニーニョは単年で終息しやすく、ラニーニャは複数年続きやすい。これを反映し、JJA(1)においてエルニーニョ合成図は単年合成図と、ラニーニャ合成図は複数年合成図と似た空間分布を示す。単年事例・複数年事例をさらにエルニーニョ・ラニーニャに分けた合成図では、エルニーニョ・ラニーニャ間の非対称よりも単年事例と複数年事例の違

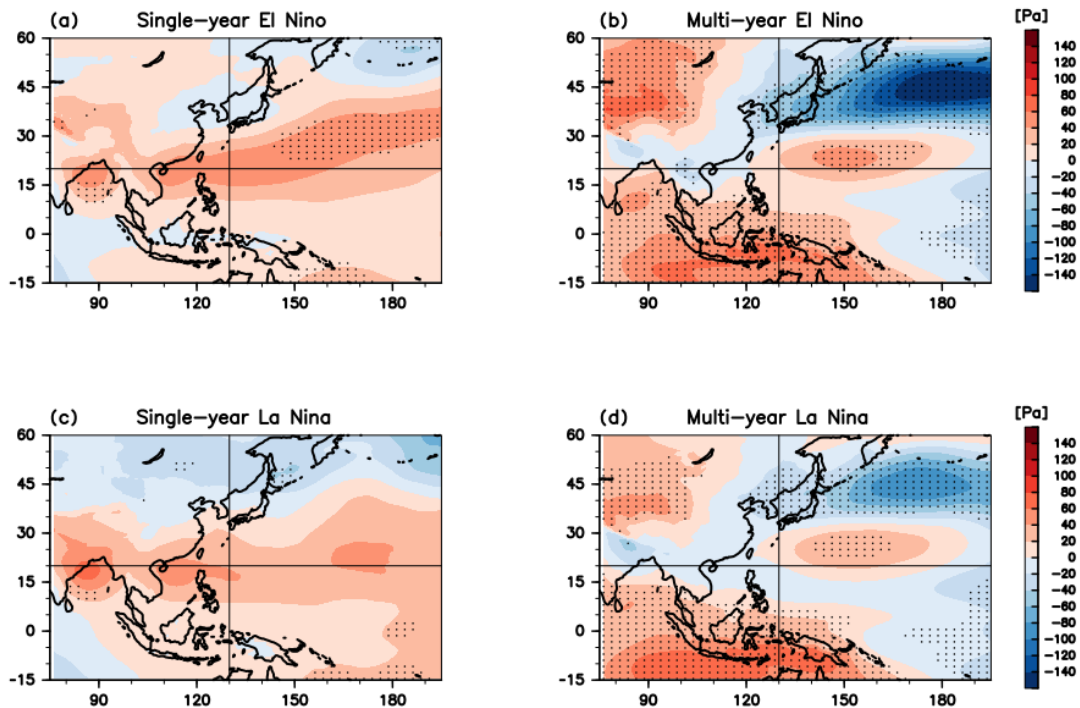


図 7: (a) 単年エルニーニョ、(b) 複数年エルニーニョ、(c) 単年ラニーニャ、(d) 複数年ラニーニャ事例の海面気圧偏差合成図 (単位: Pa)。ペースメーカー実験に基づく。

いの方が顕著である (図 7)。この結果は、北西太平洋域における JJA(1) 気候偏差のエルニーニョ・ラニーニャ非対称の主因が持続性の非対称であることを意味する。

参考文献

Deser, Clara, Ruixia Guo, and Flavio Lehner. 2017. "The Relative Contributions of Tropical Pacific Sea Surface Temperatures and Atmospheric Internal Variability to the Recent Global Warming Hiatus." *Geophysical Research Letters* 44(15): 7945–54.

Harada, Yayoi et al. 2016. "The JRA-55 Reanalysis: Representation of Atmospheric Circulation and Climate Variability." *Journal of the Meteorological Society of*

Japan 94(3): 269–302.

Kobayashi, Shinya et al. 2015. "The JRA-55 Reanalysis: General Specifications and Basic Characteristics." *Journal of the Meteorological Society of Japan* 93(1): 5–48.

Machimura, Tasuku. 2016. "The two dominant meridional teleconnection patterns over the summertime western North Pacific and their inter-decadal modulations." Master thesis, Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo, 77pp

Rayner, N. A. et al. 2003. "Global Analyses of Sea Surface Temperature, Sea Ice, and Night Marine Air Temperature since the Late Nineteenth Century." *Journal of*

- Geophysical Research D: Atmospheres*
108(14).
- Tokinaga, Hiroki, Ingo Richter, and Yu Kosaka. 2019. "ENSO Influence on the Atlantic Niño, Revisited: Multi-Year versus Single-Year ENSO Events." *Journal of Climate* 32(14): 4585–4600.
- Xie, Shang Ping et al. 2009. "Indian Ocean Capacitor Effect on Indo-Western Pacific Climate during the Summer Following El Niño." *Journal of Climate* 22(3): 730–47.
- Yatagai, Akiyo et al. 2012. "Aphrodite Constructing a Long-Term Daily Gridded Precipitation Dataset for Asia Based on a Dense Network of Rain Gauges." *Bulletin of the American Meteorological Society* 93(9): 1401–15.