

多年性ラニーニャ現象の影響、メカニズム、予測可能性

*岩切友希¹, 渡部雅浩¹

1. 東京大学大気海洋研究所

1. はじめに

エルニーニョ・南方振動 (ENSO) は現在気候において最大の振幅を持つ経年スケールの内部変動であり、全球的に異常天候をもたらす (Trenberth 2020). 近年注目されている多年性 ENSO は ENSO が 1 年を超えて持続するイベントを指し、長期的に気候リスクを高める。特に多年性ラニーニャ現象は単年性ラニーニャ現象と同程度の割合で発生することが観測から明らかであり、その注目度はエルニーニョよりも高い (図 1)。本研究では多年性ラニーニャ現象発生時の日本への気温影響、持続メカニズム、予測可能性を調査した (Iwakiri and Watanabe 2020, 2021a,b, 2022)。本要旨では影響とメカニズムに焦点をあてて紹介する。

2. 多年性ラニーニャの夏季日本影響

赤道太平洋の海面水温 (SST) 偏差が負となるラニーニャ現象は、日本域の気温季節サイクルを強化 (暑夏寒冬) することが経験的に知られている (e.g., Miyazaki 1989; Maeda 2014)。一方で、ラニーニャ現象が持続した

際の影響は明らかではない。そこで本解析では多年性ラニーニャ時の日本影響を合成図解析を通して調べた。気象官署データの解析からラニーニャ成長期 (以下、Year 0) における晩夏期 (August-October) に高温となる残暑傾向がみられた一方で、ラニーニャ持続期 (以下、Year 1) では盛夏期 (June-August) に暑夏となることがわかった。さらに、Year 0, 1 における高温傾向には明瞭な空間分布の差があり、Year 0 の残暑では南西日本が高温となる一方で、Year 1 の暑夏では北日本が高温となる (図 2)。従ってラニーニャ現象が持続したときの 1 年目と 2 年目の気温影響には期間・空間依存性があることが明らかとなった。多年性ラニーニャ現象は強いエルニーニョ現象の後に発生しやすいことから (Wu et al. 2019; Iwakiri and Watanabe 2021a)、Year 0 における盛夏期ではインド洋キャパシター効果 (Xie et al. 2009) を通じて Pacific-Japan パターン (Nitta 1987) が励起されることで冷夏傾向となり、ラニーニャ現象時の暑夏傾向を打ち消していた。

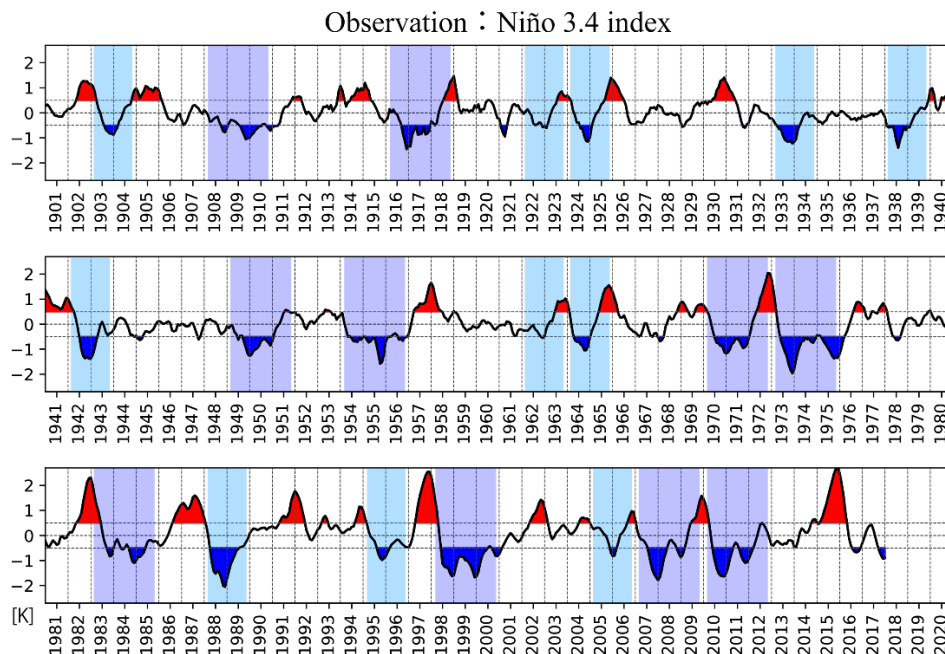


図 1 : Niño3.4 インデックスの時系列, 青色陰影 : 多年性ラニーニャ、水色陰影 : 単年性ラニーニャ。NDJ 平均の Niño3.4 インデックスが -0.5°C を下回った年をラニーニャと定義した。

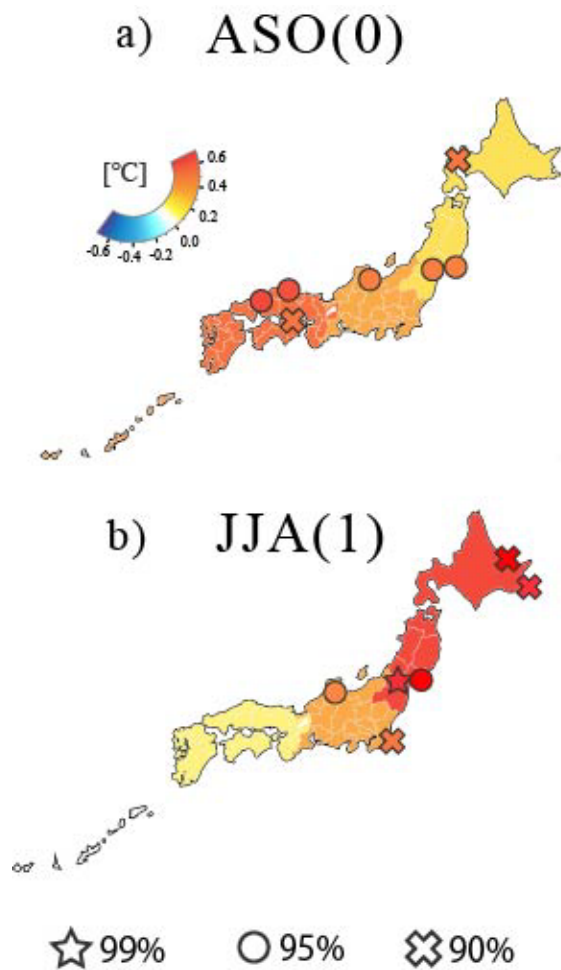


図2：多年性ラニーニャ現象発生時の日本気温。
(a) ASO(0), (b) JJA(1)

3. 多年性 ENSO 現象のメカニズム

多年性ラニーニャ現象は強いエルニーニョ現象により引き起こされた事例とそれ以外の事例に二分することができる (Iwakiri and Watanabe 2021a, 2022)。強いエルニーニョ現象の後に続いたラニーニャ現象をサンプルから取り除いた時、多年性ラニーニャ現象の発生割合は約3割であり、これは多年性エルニーニョ現象の発生割合と同等である。従って、本解析では多年性エルニーニョ現象とラニーニャ現象の間に対称性を仮定して合成図解析及び熱収支解析を行った。合成図解析はエルニーニョ現象に符号を合わせて解析した。

ENSO にとって重要な指標として赤道太平洋の海洋上層蓄熱量偏差 (以下、 OHC_{eq}) が挙げられる。 OHC_{eq} は充填-放出振動子理論 (Jin 1997) に従って ENSO SST に対して先行する (図3)。多年性 ENSO で SST 偏差が1年を超えて持続する要因として OHC_{eq} が正の偏差を維持することが挙げられ、これは水温躍層深度が深い状態で維持されていることを意味する。一方、単年性

ラニーニャ現象では蓄熱量偏差が ENSO の1年目のピーク時に符号変化することで ENSO が減衰する。そこで蓄熱量偏差の時間変化の要因を探るため熱収支解析を行った。その結果、充填-放出過程のうち地衡流成分 (図3：紫線) は負の傾向を示しており、蓄熱偏差を放出過程によって解消する。これは従来の位相遷移理論に従った応答である。エクマン流による寄与は多年性 ENSO で充填過程による正の傾向を示しており、これは放出過程を通して地衡流による充填過程を阻害する。これらの相反する効果によって位相遷移が発生したことが明らかとなった。従ってエクマン流による充填-放出過程の差が顕著である ENSO 減衰期 (December-April) に注目した。この期間は輸送の差が現れるものの、SST の振幅には差異が見られない。

図4には多年性と単年性 ENSO における減衰期の SST と大気強制の空間パターンを示した (図4)。

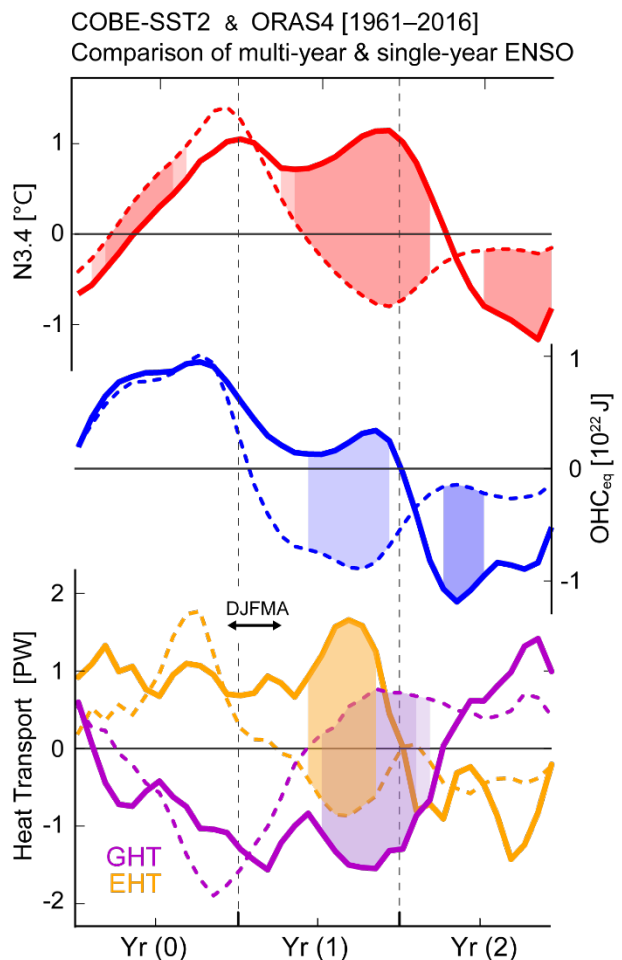


図3：多年性 (実線) と単年性 (破線) ラニーニャ現象の時間発展。赤線：Niño3.4 index、青線：赤道太平洋海洋上層の蓄熱量、紫線：地衡流による充填率、橙線：エクマン流による充填率

composite of DJFMA (1)

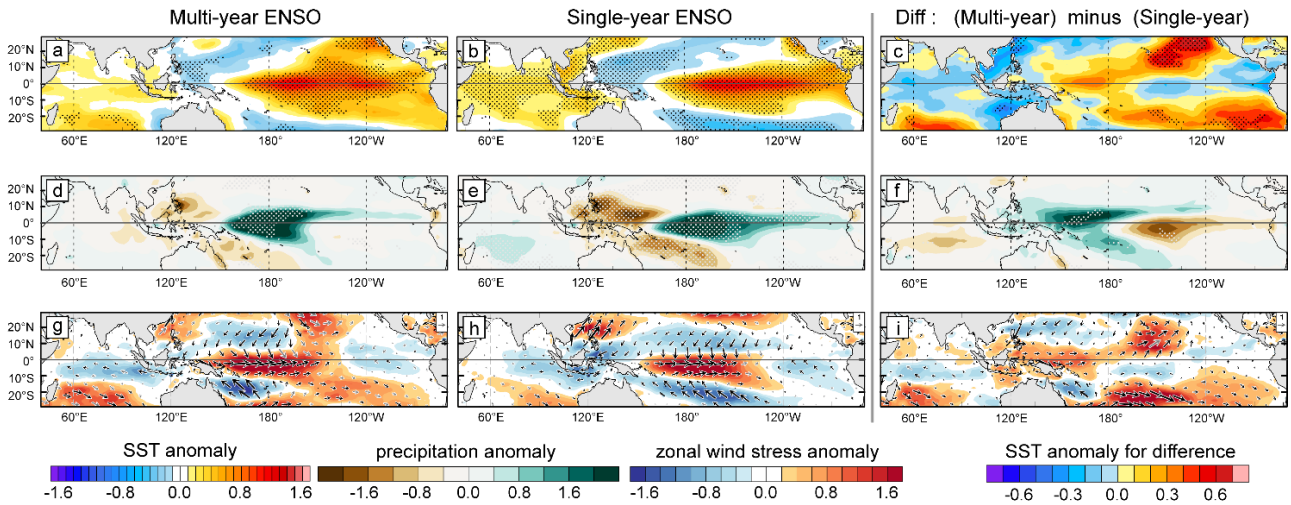


図4：(上段) SST 偏差、(中段) 降水偏差、(下段) 東西風応力偏差。(左列) 多年性 ENSO、(中列) 単年性 ENSO、(右列) 多年性 ENSO minus 単年性 ENSO。

多年性 ENSO の特徴として、1 年目の ENSO の減衰期における SST 偏差の空間構造が広い (図 4 c)。このような SST 空間パターンの差は、多年性 ENSO 現象において、降水応答と東西風応力応答を赤道対称に保つ役割を持つ (図 4 d, g)。赤道対称な西風応答は赤道帯に内向きのエクマン流を駆動することで充填過程を通して ENSO の位相遷移を阻害していた。一方で単年性 ENSO ではエルニーニョに伴う西風応答が南偏している。先行研究により、東西風の南方シフトは ENSO の減衰に寄与することが指摘されてきた (Harrison 1987; Lengaigne et al. 2006; Gong and Li 2021)。励起された赤道非対称な東西風応答 (南半球で西風、北半球で東風) はエクマン流を駆動するものの、赤道帯を北向きに通過する形で流れることで正味の充填-放出過程には寄与しない。解析では SST 偏差の空間分布の差が大気場の差を作り出すことを湿潤線形傾圧モデルを用いて実証した。

これらの結果は第 6 期結合モデル相互比較計画 (CMIP6) に参画する 23 の気候モデルに基づく解析からも支持される一方、多年性 ENSO の発生割合はマルチモデル間でばらつきがあった。そこで解析により ENSO の持続に対して重要性を示唆された ENSO の南北スケールを指標化し比較した (図 5)。その結果、長期平均の ENSO 南北幅と多年性 ENSO の発生割合には線形関係があることがわかった。ENSO の南北幅が広いモデルほど多年性 ENSO を頻繁に発生させる傾向

にあり、この結果は合成図解析による結果を支持する。ほとんどのモデルが観測の多年性 ENSO の発生割合に対して過小評価傾向であるものの、ENSO の南北スケールに関わるプロセスを改善することでバイアスを取り除くことができる可能性がある。

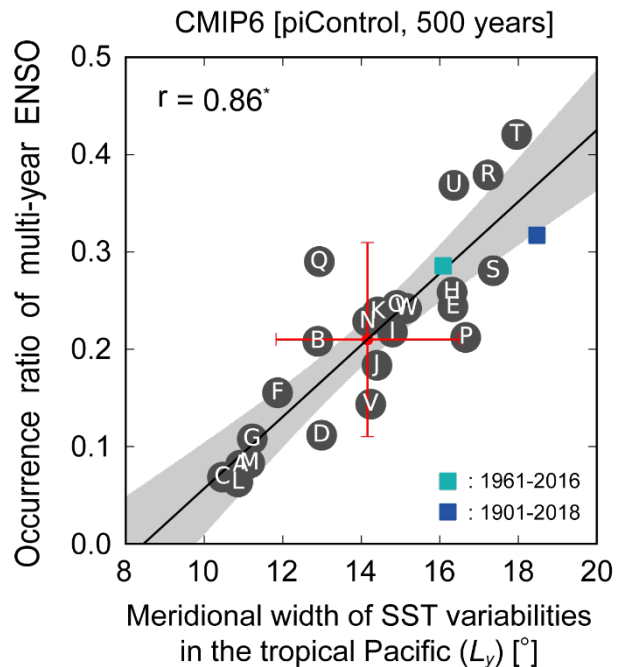


図5：CMIP6 モデル間の ENSO の南北幅 (横軸) と多年性 ENSO の発生割合 (縦軸) の関係。

4. まとめ

ラニーニャ現象発生時の日本影響はよく知られているものの、多年性ラニーニャ現象では異なる応答が見られた。発達期では晩夏期に南西日本が高温傾向になる一方で、持続期では盛夏期に北日本が高温傾向になる。これらの期間・地域依存性は前年の強いエルニーニョ現象の影響や季節依存性などに起因する。この解析を通して、既によく知られているラニーニャ現象による暑夏は2種類の異なるメカニズムによって発生したことが明らかとなった。従って、多年性という新たな視点で解析を行うことは ENSO の影響をより深く理解するうえで重要である。

メカニズムに関する解析では多年性エルニーニョ現象とラニーニャ現象に対称性を仮定した。その結果、多年性イベントは SST の南北構造が広いという特徴が見つかった。南北幅の広い構造は ENSO の減衰に重要な東西風の南方シフトを妨げることで ENSO を長期化させる。従って ENSO の南北構造に注目することは、ENSO が翌年まで持続するかを推測するひとつの指標となりうる。多年性 ENSO の発生率は多くの気候モデルで過小評価傾向であるものの、南北幅を改善することが発生割合のバイアスを改善させる可能性がある。

References

- Gong, Y., and T. Li, 2021: Mechanism for southward shift of zonal wind anomalies during the mature phase of ENSO. *Journal of Climate*, 1–45, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-21-0078.1>.
- Harrison, D. E., 1987: Monthly mean island surface winds in the central tropical Pacific and El Niño events. *Monthly Weather Review*, **115**, 3133–3145.
- Iwakiri, T., and M. Watanabe, 2020: Multiyear La Niña impact on summer temperature over Japan. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **98**, 1245–1260, <https://doi.org/10.2151/jmsj.2020-064>.
- , and ——, 2021a: Mechanisms linking multi-year La Niña with preceding strong El Niño. *Scientific Reports*, **11**, 11.
- , and ——, 2021b: Contribution of Ekman transport to the ENSO periodicity estimated with an extended Wyrski index. *Geophysical Research Letters*, **48**, e2021GL095193, <https://doi.org/10.1029/2021GL095193>.
- , and ——, 2022: Multiyear ENSO Dynamics as Revealed in Observations, Climate Model Simulations, and the Linear Recharge Oscillator. *Journal of Climate*, **35**, 4025–4042, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-22-0108.1>.
- Jin, F.-F., 1997: An equatorial ocean recharge paradigm for ENSO. Part I: Conceptual model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, **54**, 19.
- Lengaigne, M., J.-P. Boulanger, C. Menkes, and H. Spencer, 2006: Influence of the seasonal cycle on the termination of El Niño events in a coupled general circulation model. *Journal of Climate*, **19**, 1850–1868, <https://doi.org/10.1175/JCLI3706.1>.
- Maeda, S., 2014: ENSO and Japan's climate. *Meteor. Res. Note*, 167–179.
- Miyazaki, Y., 1989: Japan weather characteristics on El Niño year. *Tenki*, **36**, 489–498.
- Nitta, T., 1987: Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer circulation. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **65**, 373–390, https://doi.org/10.2151/jmsj1965.65.3_373.
- Trenberth, K. E., 2020: ENSO in the Global Climate System. *Geophysical Monograph Series*, M.J. McPhaden, A. Santoso, and W. Cai, Eds., Wiley, 21–37.
- Wu, X., Y. M. Okumura, and P. N. DiNezio, 2019: What controls the duration of El Niño and La Niña events? *Journal of Climate*, **32**, 5941–5965, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0681.1>.
- Xie, S.-P., K. Hu, J. Hafner, H. Tokinaga, Y. Du, G. Huang, and T. Sampe, 2009: Indian Ocean capacitor effect on Indo-western Pacific climate during the summer following El Niño. *Journal of Climate*, **22**, 730–747, <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2544.1>.