

# ラニーニャ現象時の冬季大気大循環場 ：1年目と2年目の比較

西平 楽<sup>1</sup>, 杉本周作<sup>1</sup>

1. 東北大学大学院理学研究科

## 1. 研究背景・目的

熱帯域における大気海洋変動である El Niño-Southern Oscillation (ENSO) は、大気テレコネクションを通じて全球気候に影響を及ぼすことが知られている。近年の研究によると、エルニーニョとラニーニャには時間的な非対称性があることが報告されている<sup>[1][2]</sup>。すなわち、エルニーニョにくらべてラニーニャの方が複数年にわたって持続する傾向にある。それゆえ、ラニーニャ現象の発生年とその翌年以降では異なる大気場が形成される可能性が示唆される<sup>[3][4]</sup>。そこで本研究では、1950年以降の大気再解析データを用いて統計解析を行い、線形傾圧モデル (LBM) <sup>[5]</sup>による数値実験を実施することで、ラニーニャ現象発生時の冬季大気大循環場の特徴を明らかにすることを目指した。

## 2. 研究方法

本研究では ERA5 大気再解析データ<sup>[6]</sup>を用いて、1950年以降のラニーニャ現象時の冬季 (11月-1月) 平均海面水温、降水量、ジオポテンシャル高度 (Z200, Z500, Z850)、地上気温偏差について合成図解析を実施した。ラニーニャ発生年の定義は Ocean Niño Index が5か月連続して $-0.5^{\circ}\text{C}$ を下回った年とした。この定義に従い、1950年以降で単年ラニーニャを5イベント、多年ラニーニャを8イベント検出した。本研究ではこのうち、単年ラニーニャと多年ラニーニャの1年目をラニーニャ1年目とし、多年ラニーニャの2年目をラニーニャ2年目と定義した。

## 3. ラニーニャ現象時の大気テレコネクション

ERA5 大気再解析データを用いた合成図解析の結果、ラニーニャ1年目では太平洋赤道域中部から東部にかけての海面水温の負偏差に加え、西部における海面水温の正偏差と、その上

空の活発な対流活動が見出された。一方、ラニーニャ2年目における西部赤道太平洋の海面水温は1年目ほど高温ではなく、上空の対流活動も1年目と比較して活発ではなかった (図1)。

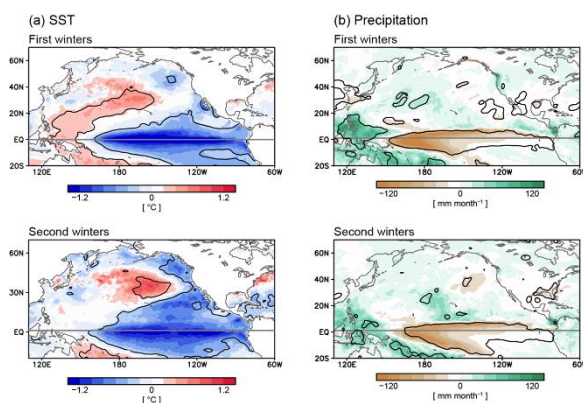


図1.(a) (上) ラニーニャ1年目と(下)2年目の冬季海面水温偏差。黒線は有意水準90%を表す。(b) (a)と同様、ただし降水量偏差を示す。

気圧分布に着目すると、ラニーニャ1年目と2年目では異なる等価傾圧的な気圧パターンが形成されていることが分かった。1年目では中国大陸南西部からベーリング海を介して北米へ続く波列が見出された。この気圧パターンは既存のテレコネクションパターンとは一致しておらず、ラニーニャ1年目に出現する固有のパターンであることを指摘した(図2a)。一方、2年目では北太平洋中央部から北米大陸への大気テレコネクションが見出された。この波列は従来 ENSO に関連して出現するとされていた負の PNA パターンに類似している (図2b)。

次に、1年目と2年目の気圧パターンの違いと熱帯の加熱分布との関係を調べるために、LBM を用いた数値実験を実施した。基本場は ERA5 の 1981 年-2010 年の冬季平均とし、外

部強制は JRA55 再解析データ<sup>7)</sup>より得られた非断熱加熱偏差を設定した. 今回の実験では熱帯域の加熱位置や強度の違いによる大気循環への影響を評価するために、熱帯太平洋の北西部 (TNWP)、中部 (TCP)、東部 (TEP) の 3 領域に注目した.

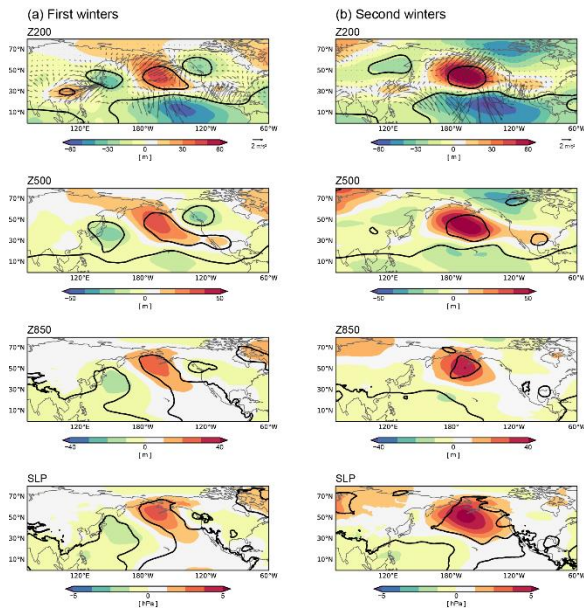


図 2. (a) ラニーニャ 1 年目におけるジオポテンシャル高度 (Z200, Z500, Z850) と海面更正気圧偏差. 黒線は有意水準 90% を表す. Z200 偏差の図における矢印は波活動度フラックス<sup>8)9)</sup>を表す. (b) (a) と同様、ただしラニーニャ 2 年目を示す.

まず、1 年目の非断熱加熱偏差分布を熱帯の 3 領域に与えた結果、西太平洋から北米への波列が見出された. すなわち、熱帯太平洋の強制によってラニーニャ 1 年目の大気場を再現することに成功している (図 3a). 一方、TNWP の加熱を 50% 減少させて同様の実験を行った結果、太平洋中央部から北米にかけての波列、すなわちラニーニャ 2 年目の大気場が再現された (図 3b). 以上より、ラニーニャ 1 年目と 2 年目における気圧パターンの違いは、西太平洋赤道域の対流活動の差に起因することが明らかになった.

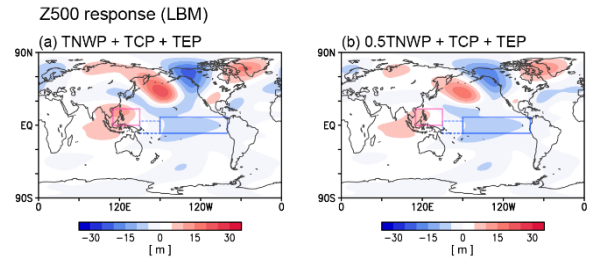


図 3. 熱帯強制に対する Z500 の応答. (a) TNWP, TCP, TEP の各領域にラニーニャ 1 年目の非断熱加熱偏差を与えた場合. (b) TNWP において加熱偏差の振幅を 50% とした場合.

#### 4. 大気パターンの違いによる気候への影響

合成図解析の結果より、1 年目では日本付近に低気圧偏差が分布していることが分かった (図 2a). 地上気温を解析したところ、日本付近は有意な低温偏差が得られ、平均で 0.4K の気温低下が見られた. そこで寒気質量分布<sup>10)</sup>を調べた結果、大陸から大量の寒気流入が同定された. 以上の結果から、ラニーニャ 1 年目には西高東低の冬型の気圧配置が強化され、大陸から寒気が流れ込むことによって日本は寒冬になることを指摘した (図 4a).

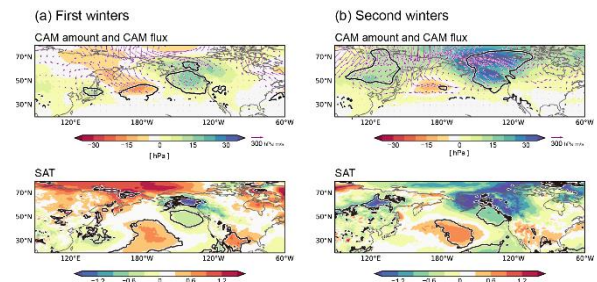


図 4. (a) ラニーニャ 1 年目における寒気質量偏差と地上気温. 黒線は有意水準 90% を表す. 矢印は寒気質量フラックス偏差. (b) (a) と同様、ただしラニーニャ 2 年目を示す.

つづいてラニーニャ 2 年目についても同様の解析を行った. その結果、北太平洋中央部の高

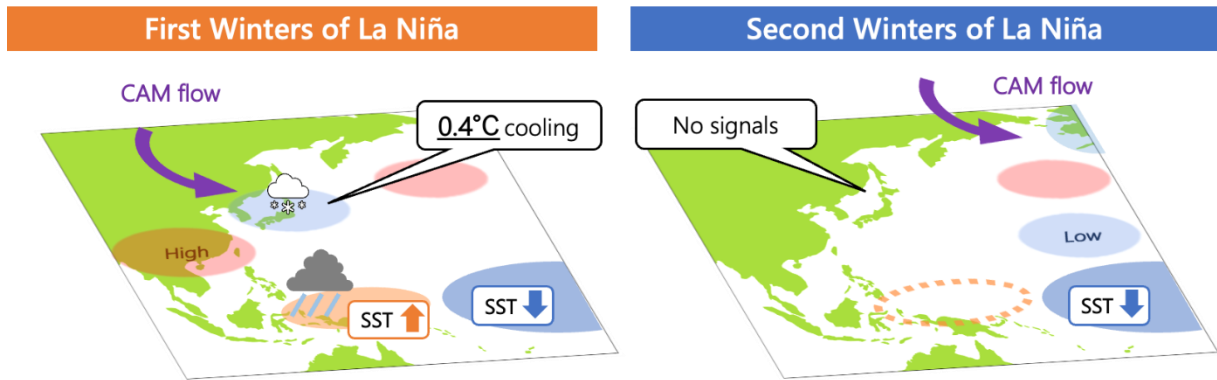


図5. (左) ラニーニャ1年目と(右)2年目における冬季海面水温分布と大気場の模式図.

気圧偏差の東縁に沿って北米上空に寒気の流入が同定された. 寒気の流入により、アラスカ上空では平均で 1.7K の気温低下が見られた. 一方、日本付近の低温偏差は1年目と比べて振幅は小さく、有意な値ではなかった(図4b).

## 5. おわりに

多年ラニーニャが気候に及ぼす影響が近年注目されている. そこで本研究では、ラニーニャ現象時の冬季の大気場を解析した. 統計解析と数値実験の結果、ラニーニャ現象時は1年目と2年目の冬とで熱帯域の海面水温分布に違いが生じ、それによって異なる大規模大気構造が形成されることがわかった(図5). そして、大気循環の変化により、日本付近は1年目で寒冬となる一方、2年目には気温低下は見られなかった. この結果は、従来言われていた「ラニーニャ現象時に日本は寒冬になる」との描像とは異なる発見であり、今後の気候予測の新たな指針を示したといえよう. なお、本研究の詳細については原著論文<sup>[1]</sup>を参照されたい.

多年ラニーニャの発生メカニズムについては議論が進められており、強いエルニーニョが先行することにより多年ラニーニャを引き起こす可能性<sup>[2]</sup>のほか、中緯度大気海洋変動の影響<sup>[2]</sup>も指摘されている. このように、多年ラニーニャの発生メカニズムやその気候への影響については未だ研究途上の段階である. 直近で

は、2020年夏に発生したラニーニャ現象が2023年2月現在でも継続中である. このラニーニャ現象の1年目にあたる2020年11月から2021年1月には西日本の日本海側を中心に多くの積雪が記録された. そして、2年目にあたる2021年11月から2022年1月では前年より寒さが和らいだところが多く、本研究の成果と整合しているといえよう. さらに特筆すべき事項として、今回のラニーニャ現象は気象庁定義では観測史上初めて3年目に突入している. 気候予測における多年ラニーニャの重要性が認識されはじめた中、このような未知の状態を研究することで、より多くの知見が得られることを期待する.

## 謝辞

本研究は、JSPS 科研費(19H05704)の支援により実施された.

## 参考文献

- [1] Okumura, Y., M., and Deser, C., 2010: Asymmetry in the duration of El Niño and La Niña. *J.Clim.*, **23**, 5826–5843.
- [2] Wu, X., Okumura, Y. M., and DiNezio, P. N., 2019: What controls the duration of El Niño and La Niña events? *J.Clim.*, **32**, 5941–5965.
- [3] Okumura, Y. M., DiNezio, P., and Deser, C., 2017: Evolving impacts of multiyear La Niña events on

- atmospheric circulation and U.S. drought. *Geophys. Res. Lett.*, **44**, 11614–11623.
- [4] Iwakiri, T., and Watanabe, M., 2020: Multiyear La Niña impact on summer temperature over Japan. *J. Meteorol. Soc. Japan*, **98**, 1245–1260.
- [5] Watanabe, M., and Kimoto, M., 2000: Atmosphere-ocean thermal coupling in the North Atlantic: A positive feedback. *Quart. J. Royal. Meteorol. Soc.*, **126**, 3343–3369.
- [6] Hersbach, H., et al., 2020: The ERA5 global reanalysis. *Quart. J. Royal. Meteorol. Soc.*, **146**, 1999–2049.
- [7] Kobayashi, S., et al., 2015: The JRA-55 Reanalysis: General specifications and basic characteristics. *J. Meteorol. Soc. Japan*, **93**, 5–48.
- [8] Takaya, K., and Nakamura, H., 1997: A formulation of a wave activity flux for stationary Rossby waves on a zonally varying basic flow. *Geophys. Res. Lett.*, **24**, 2985–2988.
- [9] Takaya, K., and Nakamura, H., 2001: A formulation of a phase-independent wave-activity flux for stationary and migratory quasigeostrophic eddies on a zonally varying basic flow. *J. Atmos. Sci.*, **58**, 608–627.
- [10] Iwasaki, T., Shoji, T., Kanno, Y., Sawada, M., Ujiie, M., and Takaya, K., 2014. Isentropic analysis of polar cold air mass streams in the Northern Hemispheric winter. *J. Atmos. Sci.*, **71**, 2230–2243.
- [11] Nishihira, G., and Sugimoto, S., 2022: Severe cold winter in East Asia linked to first winter of La Niña events and in North America linked to second winter. *Geophys. Res. Lett.*, **49**, e2021GL095334.
- [12] Park, J.-H., An, S.-I., Kug, J.-S., Yang, Y.-M., Li, T., and Jo, H.-S., 2021: Mid-latitude leading double-dip La Niña. *Int. J. Climatol.*, **41**, E1353–E1370.