

2021年8月の記録的大雨をもたらした寒冷渦と熱帯起源のテレコネクション

植田宏昭¹, 本田明治², 倉持将也¹, 井上知栄¹, 高谷康太郎³
(1: 筑波大学, 2: 新潟大学, 3: 京都産業大学)

1. はじめに

2021年8月の天候は関東以西において低温・多雨の傾向となり、とりわけ西日本や関東甲信地域では、同月の総降水量が1946年の統計開始以降、最多を記録した(気象庁2021a)。豪雨期間の中でも特に8/11から8/19にかけては前線性の大雨が発生したことが報告されており(気象庁2021b)、本稿ではその期間を含む多雨期間として、8/3から8/25までを解析対象とした。後述するように、2021年の8月の熱帯から亜熱帯のインド洋・太平洋の循環偏差は、令和2年7月豪雨(Ueda et al. 2021)時と似たような傾向を示している。その一方、中高緯度の上層寒気(以後、寒冷渦[Cold Vortex]、切離低気圧[Cut Off Low]、UCL [Upper Cold Low]を含む「寒冷低気圧」として議論を進める)の寄与も天気図スケールで確認できる。そこで、本研究では熱帯と中高緯度相互作用の視点から、豪雨が引き起こされた要因の特定と予測可能性を論じる。

2. データ

大気循環場の構造、非断熱加熱の算出には、気象庁の全球大気長期再解析データJRA-55(Kobayashi et al. 2015)を用いた。また、対流活動の指標としてNOAA提供の外向き長波放射量(OLR)、海面水温はNOAAのDaily OISST V2: High Resolution: NOAA Physical Sciences Laboratory)を合わせて利用した。

3 熱帯インド洋・太平洋からの影響

3a. 熱帯循環の特徴

図1に示すように、解析対象期間における日本の南海上では、太平洋高気圧(小笠原高気圧; ACと表記)が平年に比べて強化されており、その西縁を迂回するように、南からの湿った水蒸気が次々と日本付近(特に西日本)に流れ込んでいることが見て取れる。

次に熱帯海面水温(SST)を見ると(図2)、エルニーニョ監視領域の2021年7月の値は、基準値から0.2度ほど低温となっているが(エルニーニョ監視報告2021年9月)、ラニーニャ状態の基準値(平年比-0.5度)は満たしていない。しかしながら、より広域のSST偏差を見ると、赤道東太平洋での低温、西太平洋での高温偏差というラニーニャ的状况になっている。インド洋に目を転ずれば、スマトラ沖の東インド洋を中心に、暖水偏差が出現しており、インド洋ダイポール指数(西インド洋[10°S-10°N, 50°-70°E]-東インド洋[10°S-0°, 90°-110°E]; Black et al. 2003)は負のダイポールモードの発生を示している(NOAA 2021)。

なお、非断熱加熱(ほぼ降水活動に伴う大気潜熱加熱)の偏差を見ても(図2下段)、東インド洋から海洋大陸付近で平年に比べて対流加熱は強化されており、Kelvin WIEDメカニズム(Xie et al. 2009)による遠隔影響でフィリピン東方海上の高気圧性循環が強化されたと考えられる。また、熱帯中央太平

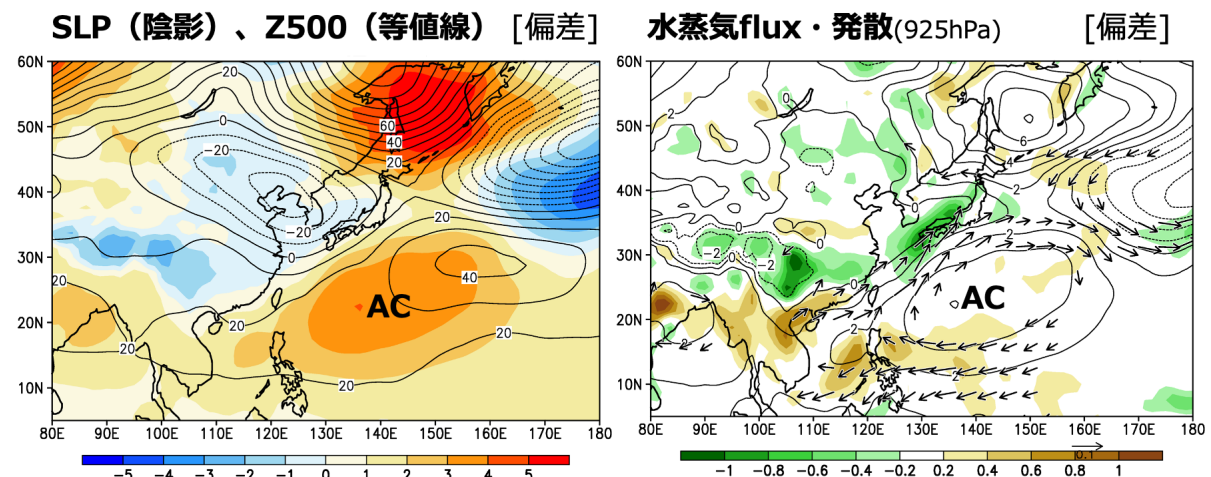


図1: 2021年8月3~25日平均における、(左)海面気圧(陰影、単位hPa)と500hPaジオポテンシャル高度(等値線、単位m)の気候値からの偏差。(右)925hPa面の水蒸気フラックス(矢印、右下の単位ベクトルの大きさは $0.1 \text{ kg kg}^{-1} \text{ m s}^{-1}$)とその発散(陰影、単位 $\text{kg kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$)の気候値からの偏差。

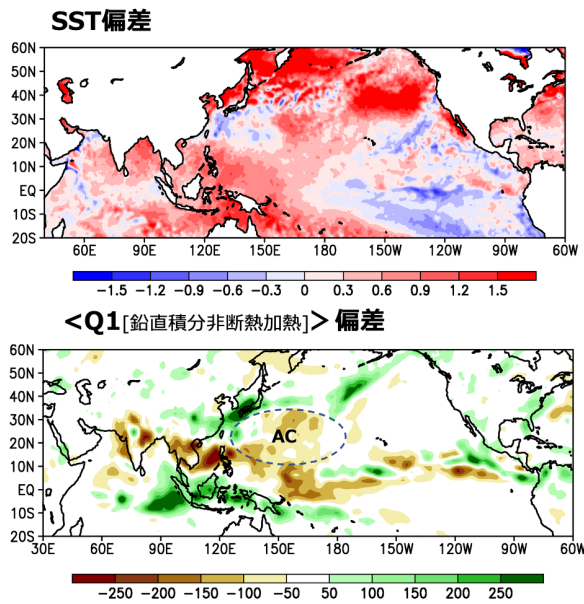


図2：2021年8月3～25日平均における、(上)海面水温(単位 $^{\circ}\text{C}$)および(下)鉛直積分した非断熱加熱量 Q_1 (単位 W m^{-2})の気候値からの偏差。

洋では、エルニーニョモドキ領域での対流活動が抑制されており、これに伴う大気の冷源応答(Wang et al. 2000)によっても前述の日本の南のサブハイ(AC)が強化された可能性がある(e.g., Ueda et al. 2021)。

3b. ENSO 影響の季節性

エルニーニョは冬に極大になり、夏に向けて急速

にラニーニャに遷移することは、近年の研究で統計的・力学的に解明されつつある(e.g., Ohba and Ueda 2009)。一方、ラニーニャの状態は複数年に渡って継続することも知られている(e.g., Ueda and Kawamura 2004; Iwakiri and Watanabe 2020)。

過去の典型的なエルニーニョ、ラニーニャ年を抽出した上で、その時の対流活動の偏差を描画すると(図3)、エルニーニョ年では日付変更線より西側に偏差の中心が確認され、冬から夏にかけて、対流活動指数(OLR)は1/3程度まで減衰するのに対し、ラニーニャ年では、対流不活領域が日付変更線の西側にシフトするとともに、冬の状態が比較的維持されたまま夏になっていることが確認できる。このことは、ラニーニャ年の夏に、日本の南海上の高気圧性循環が強化される傾向は、冷源偏差が西太平洋に出現し、その強度も冬に近い状態で維持されていることと関係していることを示唆している。つまり、日本の夏の天候を考える上において、エルニーニョ/ラニーニャ、冬/夏の非対称性を正確に考慮する必要がある。

3c. インド洋と太平洋の相乗効果

Naoi et al. (2020)では、線形傾圧モデル(LBM; Watanabe and Kimoto 2000)を用いて、赤道中央太平洋上の冷却のみを強制すると、西太平洋上のサブハイ(AC)の強化がフィリピン東方海上に出現することを確認している(図4左)。また、海洋大陸上の加熱を与えると、ケルビン波に伴うエクマン発散応答により、日本の南岸までACが北に拡

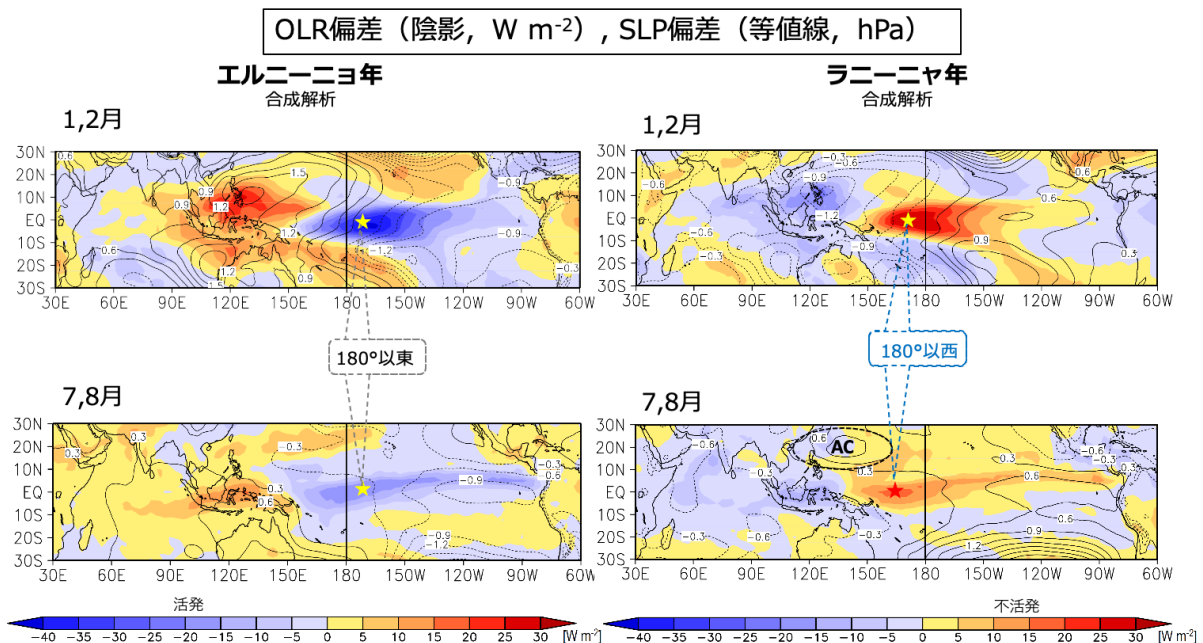


図3：エルニーニョ年(左)とラニーニャ年(右)の1～2月(上段)および7～8月(下段)における、外向き長波放射量(陰影、単位 W m^{-2})と海面気圧(等値線、単位 hPa)の気候値からの偏差の合成図。

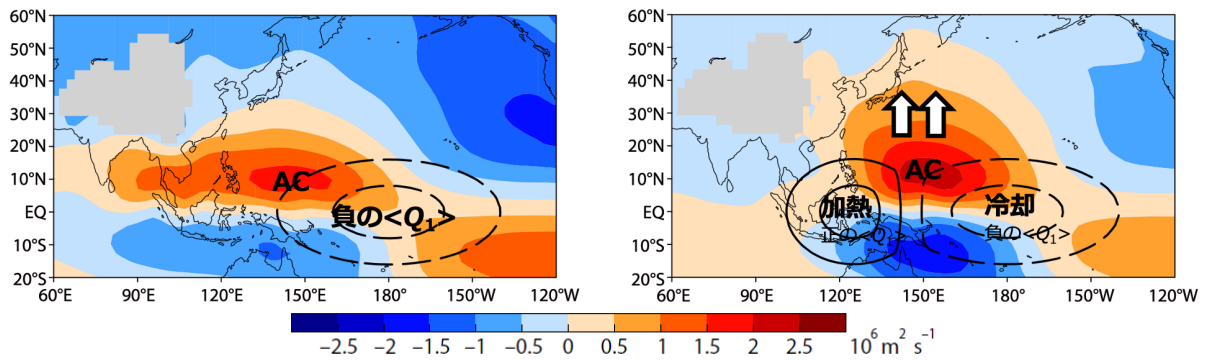


図4：線形傾圧モデル（LBM）による、（左）赤道中央太平洋に冷源を与えた時、および（右）赤道中央太平洋の冷源と海洋大陸付近の熱源を与えた時の大気応答（陰影：850 hPa 流線関数）。Naoi et al. (2020) に加筆。

大する、という結果も得ている（図4右）。つまり、両者が合わさることによってACが強まるとともに、その範囲が北に広がっていると解釈され、このことが日本列島への水蒸気流入の強化と梅雨前線活動の活発化を引き起こすと考えられる。このような状況は令和2年7月豪雨においても実験的に確認されている（Ueda et al. 2021）。

4. 寒冷低気圧の検出と前線活動への影響

図1に示す SLP 偏差を見ると、朝鮮半島から中国大陸にかけて低圧偏差が確認できる。この時期は、寒気が日本付近に流入しており、その影響で前線性の雨が増加したとも考えられる。本研究では寒冷低気圧を、Kasuga et al. (2021) に基づき、高度場の歪みの分布（形状）から特定した。図5に8/1から8/18にかけての日別の寒冷低気圧の変化を示す。バイカル湖の西方で形成された寒冷低気圧が徐々に南東に進んでいる様子が捉えられている。またアリューシャン列島付近にも顕著な寒冷低気圧が確認され、それらは8/10頃に併合し、日本海の北部を中心に帯状に広がっている。8/13以降はこの寒冷低気圧の西側部分が朝鮮半島を経て九州の北西部に達しており、豪雨期間とも一致している。

5. まとめと課題

2021年8月の大雨は、熱帯からの豊富な水蒸気輸送、および高緯度からの寒気の流入による対流活発化によって引き起こされていた。日本の南海上では、亜熱帯高気圧の強化が顕著であり、この高気圧の西縁を北上するように水蒸気が日本列島に流入していたことが、持続的な大雨を引き起こした主要因と考えられる。なお、亜熱帯高気圧の強化は、ラニーニャに伴う日付変更線の西側での熱帯対流活動の抑制に起因した大気冷源応答、および負のインド洋ダイポールモードに関係した東インド洋での対流活発化に伴うケルビン波を介したフィリピン東方海上での

発散応答の相乗効果で引き起こされていた。高緯度からはバイカル湖の西側を起源とする寒冷低気圧の日本付近への流入が、前線活動を活発化させていたことが示唆された。

亜熱帯高気圧は、令和2年7月豪雨時も強まっていたが、この時はインド洋は全域に渡って昇温しており、2021年の8月とは様相が異なっている。インド洋のどの海域が効率的に亜熱帯高気圧を強化するのかについては、線形傾圧モデルを用いた理想化実験が必要である。また、寒気の流入と前線活動の強化の関係については、準地衡方程式の時間変化項を消去した ω 方程式を診断（Qベクトル解析）する予定である。

参考文献

- Black, E., J. Slingo and K. R. Sperber, 2003: An observational study of the relationship between excessively strong short rains in coastal East Africa and Indian Ocean SST. *Mon. Wea. Rev.*, **131**, 74-94.
- Iwakiri, T. and M. Watanabe, 2020: Multiyear La Niña impact on summer temperature over Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, **98**, 1245-1260.
- Kasuga, S., M. Honda, J. Ukita, S. Yamane, H. Kawase and A. Yamazaki, 2021: Seamless detection of cutoff lows and preexisting troughs. *Mon. Wea. Rev.*, **149**, 3119-3134.
- 気象庁, 2021a: 8月の天候. <https://www.jma.go.jp/jma/press/2109/01a/tenko2108.html> (2021.12.13 閲覧).
- 気象庁, 2021b: 8月11日から19日の前線による大雨の状況について～『災害をもたらした気象事例』に資料を掲載しました～. https://www.jma.go.jp/jma/press/2108/31a/20210831_saimota.html (2021.12.13 閲覧).

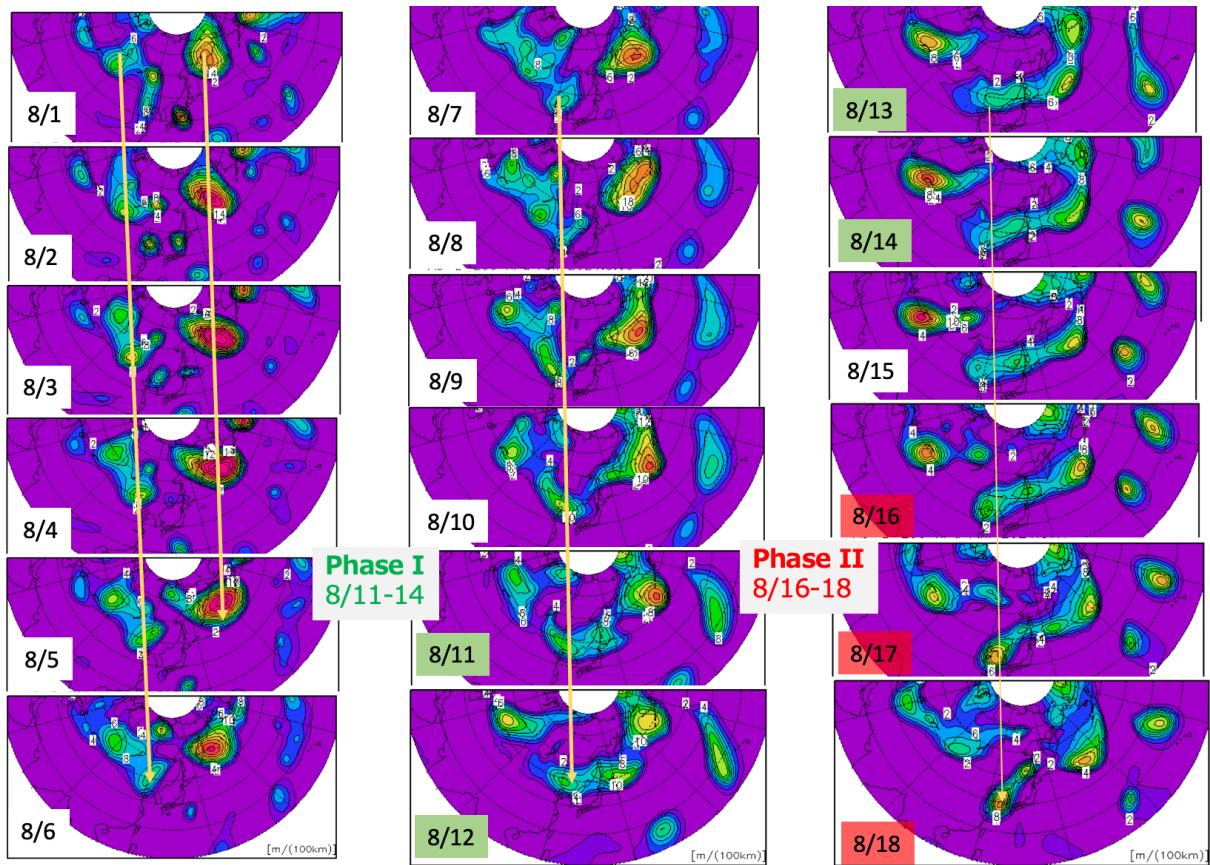


図5：2021年8月1～18日の各日における、200 hPa 高度で特定した寒冷低気圧の時間発展。指標についての詳細は Kasuga et al. (2021) を参照。

- Kobayashi, S., Y. Ota, Y. Harada, A. Ebita, M. Moriya, H. Onoda, K. Onogi, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, K. Miyaoka and K. Takahashi, 2015: The JRA-55 reanalysis: General specifications and basic characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan*, **93**, 5-48.
- Naoi, M., Y. Kamae, H. Ueda and W. Mei, 2020: Impacts of seasonal transitions of ENSO on atmospheric river activity over East Asia. *J. Meteor. Soc. Japan*, **98**, 655-668.
- NOAA, 2021: Dipole Mode Index (DMI). <https://stateoftheocean.osmc.noaa.gov/sur/ind/dmi.php> (2021.12.13 閲覧) .
- Ohba, M. and H. Ueda, 2009: Role of nonlinear atmospheric response to SST on the asymmetric transition process of ENSO. *J. Climate*, **22**, 177-192.
- Ueda, H. and R. Kawamura, 2004: Summertime anomalous warming over the midlatitude western North Pacific and its relationships to the modulation of the Asian monsoon. *Int. J. Climatol.*, **24**, 1109-1120.
- Ueda, H., M. Yokoi and M. Kuramochi, 2021: Enhanced subtropical anticyclone over the Indo-Pacific Ocean associated with stagnation of the Meiyu-Baiu rainband during summer, 2020. *SOLA*, **17B**, 14-18.
- Wang, B., R. Wu and X. Fu, 2000: Pacific-East Asian teleconnection: How does ENSO affect East Asian climate? *J. Climate*, **13**, 1517-1536.
- Watanabe, M. and M. Kimoto, 2000: Atmosphere-ocean thermal coupling in the North Atlantic: A positive feedback. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **126**, 3343-3369.
- 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. *J. Climate*, **22**, 730-747.