

直井萌香（筑波大学大学院生命環境科学研究科）

釜江陽一（筑波大学生命環境系）

植田宏昭（筑波大学生命環境系）

## 1. はじめに

中高緯度では温帯低気圧に伴う Warm Conveyor Belt に集中した水蒸気輸送の過程において、Atmospheric Rivers (ARs) と呼ばれる組織化した水蒸気の帯が観測される (Ralph et al. 2004; Gimeno et al. 2016)。北米西岸 (Ralph et al. 2006; Guan et al. 2013) やヨーロッパ西部 (Lavers et al. 2011) では ARs 由来の極端降水が度々発生し、洪水や土砂災害を引き起こしている。東アジア域で発生する ARs も平成 28 年 8 月の広島豪雨 (Hirota et al. 2016) や平成 30 年 7 月豪雨のような極端降水をもたらすことがあり、特に暖候期に発生する豪雨の大きな割合を占めている (Kamae et al. 2017b)。

ARs 発生頻度の経年変動を規定する要素として NAO をはじめとする大気の内変動や、ENSO を含む広域の海面水温変動が挙げられる。東アジア域では、夏季 ARs の存在頻度が先行する冬季エルニーニョと引き続くインド洋全域昇温により変動していることが指摘されている (Kamae et al. 2017a)。一方で、夏季の赤道太平洋海面水温偏差の影響 (Mundhenk et al. 2016) も指摘されている。

ENSO は典型的には夏季に発現し、冬季に最盛期を迎えたのち春季にかけて衰退するが、事例によって発達時期や最盛期の季節は異なる (Horie and Hanawa 2004; Okumura and Deser 2010)。さらに、ENSO の遷移には明瞭な非対称性が存在し、先行する季節を

含めた ENSO の持続と遷移に応じた影響を系統的に検証する必要がある。

本研究では、東アジア域の夏季 ARs 発生頻度の年々変動の規定要因を ENSO の季節進行に着目して明らかにする。

## 2. 使用データ・手法

海洋からの強制と大気の内変動の影響の両者を考慮するために、アンサンブル気候予測データベース (d4PDF; Mizuta et al. 2017) の過去実験 10 メンバと気象庁 55 年長期再解析データ (JRA55) を併用した。ARs の抽出方法は Mundhenk et al. (2016) に基づき、解析期間は 1958 年から 2010 年までの夏季とした。

## 3. 結果

1958 年からの 52 年を、冬季、夏季の ENSO 位相 (エルニーニョ・中立・ラニーニャ) の組み合わせにより 9 種類に分類すると、夏季エルニーニョ年の事例のうち大半は冬季には中立であり、夏季ラニーニャ年は、冬季エルニーニョから遷移する事例が多い。

図 1 に冬季から夏季にかけての ENSO の季節進行ごとにコンポジットした ARs と循環場の偏差を示す。冬季、夏季に ENSO が発現すると、循環場の偏差に対応して ARs 頻度に変動している。冬季にエルニーニョが発現していた場合、夏季 ENSO の位相によらずフィリピン海に形成された高気圧偏差により東アジアで ARs が増加している。一

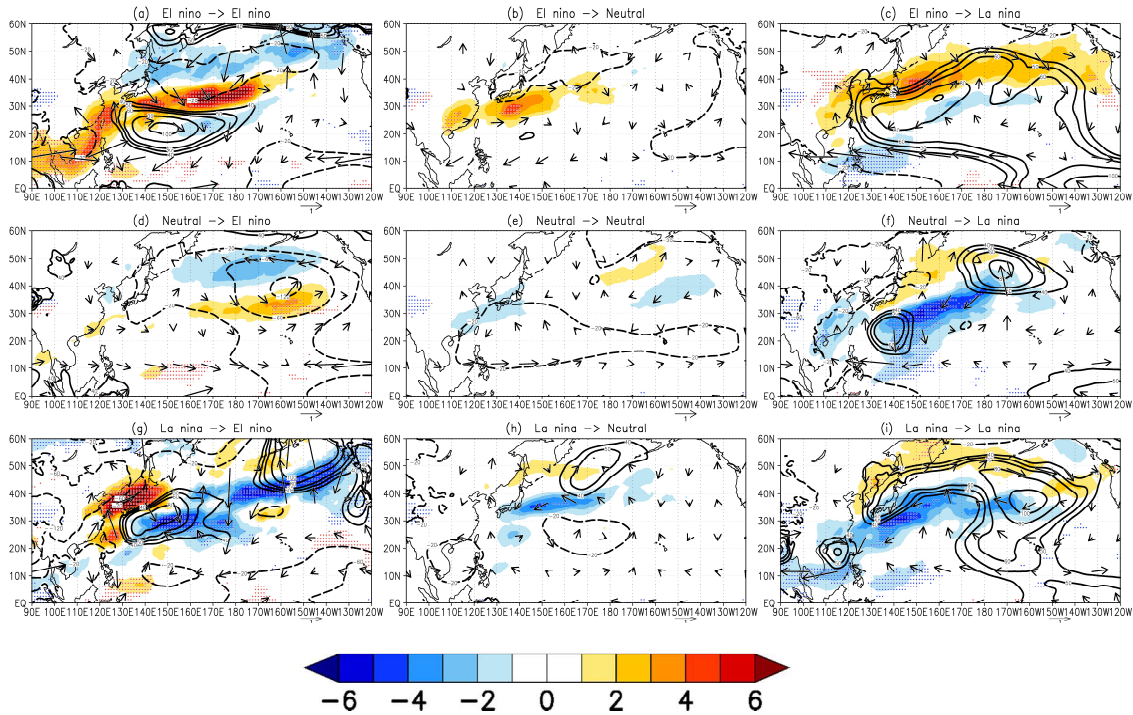


図1 冬季から夏季にかけての ENSO 季節進行ごとに分類した夏季 ARs 発生頻度偏差 (陰影; %) と SLP 偏差 (等値線; Pa)、850hPa 風 (ベクトル; m/s)。

方、夏季にラニーニャが発現している場合、冬季の位相によらず北太平洋高気圧が強化、ARs 分布が北偏しており、エルニーニョの場合は逆に南偏している。よって夏季に発現する ENSO は北太平洋高気圧を通して ARs 発生位置の南北シフトをもたらすことが示された。

冬季にエルニーニョが発現した後、夏季にかけてエルニーニョ、中立、ラニーニャに遷移した結果に着目する。図2は冬季にエルニーニョが発現した後の夏季の ENSO 位相で分類した夏季の SST 偏差、図3(4)は図2と同様に分類した降水偏差(陰影)、200(850)hPa 高度偏差(等値線)である。図4aを見ると冬季から夏季にかけてエルニーニョが

持続している場合、北西太平洋域ではインド洋キャパシタ効果 (Xie et al. 2009; 2016) によりフィリピン海下層に高気圧偏差が形成され、そこから励起した PJ パターン (Nitta 1987) で日本は低気圧偏差に覆われる。また、図2aに見られる熱帯東～中央太平洋の暖水偏差による熱源応答で正の PNA パターンが励起、伝播し、中緯度で低気圧偏差を形成している (図3a)。図1aの ARs 偏差を見ると、フィリピン海の高気圧偏差と日本の東に形成された低気圧偏差の両者を回り込むように水蒸気が輸送され、ARs が増加していることがわかる。

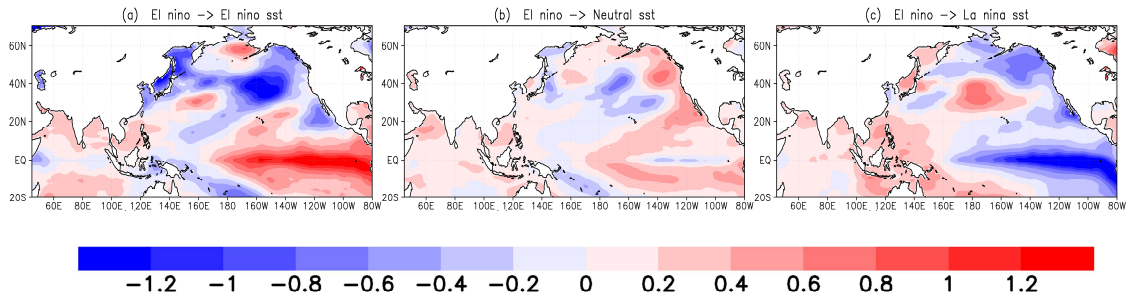


図2 図1と同様。ただし SST 偏差 (°C)

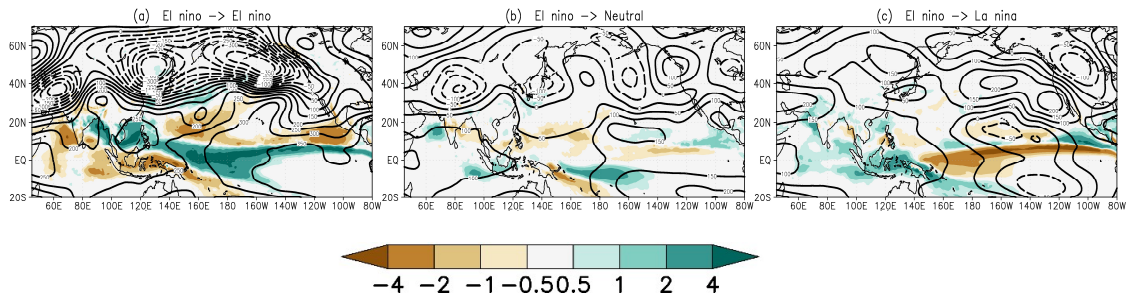


図3 図1と同様。ただし降水偏差 (陰影;  $10^5 \text{ kg/m}^2/\text{s}$ )、200hPa 高度偏差 (等値線; m)

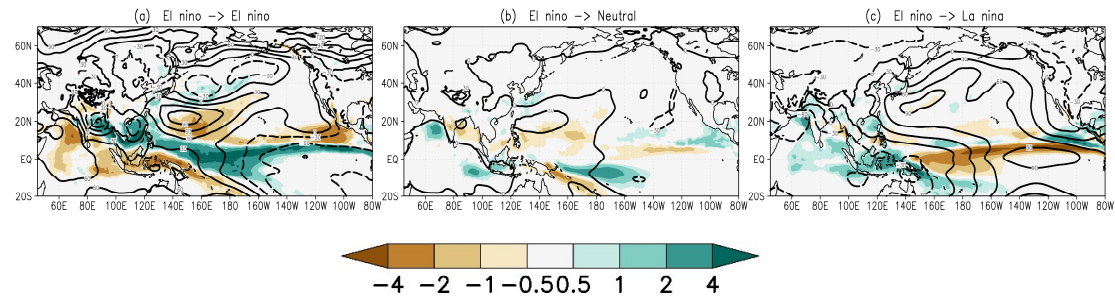


図4 図1と同様。ただし降水偏差 (陰影;  $10^5 \text{ kg/m}^2/\text{s}$ )、SLP 偏差 (等値線; Pa)

夏季にかけて中立に遷移した場合、エルニーニョ時と同じく PJ パターンが現れているが、SST 偏差が小さいため東太平洋に循環場偏差は見られず、ARs 偏差は日本付近のみに現れている。夏季にかけてラニーニャに遷移した場合、北西太平洋域ではエルニーニョ時と同様に高気圧偏差が現れている。しかし東太平洋域では熱帯域の冷水偏差による冷源応答で負の PNA パターンが見られ、中緯度で高気圧偏差を形成している。この2つの高気圧偏差が合わさることで、北太平洋全体が

高気圧に覆われ、それを回り込むように ARs は日本を含む北緯 40 度帯で増加する。

#### 4. まとめ

北太平洋域の ARs は ENSO による循環場変動に対応している。冬季に現れた ENSO 位相はインド洋キャパシタ効果を通して東アジア域で ARs を増加させる。一方、夏季に現れた ENSO 位相は北太平洋高気圧の年々変動を通して ARs 発生域の南北シフトをもたらしていることが明らかになった。そ

して ENSO 季節進行を考慮することで、冬季から夏季にかけての ENSO 位相の変化の違いにより循環場には大きな差が生まれ、それに対応して ARs 分布も変化することが示された。ここから冬季 ENSO と夏季 ENSO の影響が独立に現れているのではなく、ENSO の発達、遷移過程が重要である。よって、夏季に発生する ARs による豪雨リスクを予測するには、ENSO の季節進行に注目する必要がある。

#### 謝辞

本研究で使用した地球温暖化に資するアンサンブル気候予測データベース (d4PDF) は、文部科学省気候変動リスク情報創生プログラムから提供された。本研究は、文部科学省統合的気候モデル高度研究プログラム、JSPS 科研費 17K14388 の支援を受けた。

#### 参考文献

Gimeno, L., F. Dominguez, R. Nieto, R. Trigo, A. Drumond, C. J.C. Reason, A. S. Taschetto, A. M. Ramos, R. Kumar, and J. Marengo, 2016: Major mechanisms of Atmospheric Moisture transport and their role in extreme precipitation events. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, **41**, 3.1-3.25.

Guan, B., N. P. Molotch, D. E. Waliser, E. J. Fetzer, and P. J. Neiman, 2013: The 2010/2011 snow season in California's Sierra Nevada: Role of atmospheric rivers and modes of large-scale variability. *Water Resources Research*, **49**, 6731-6743, doi:10.1002/wrcr.20537.

Hirota, N., Y. N. Takayabu, and M. Ketos. Arakane, 2016: Roles of Atmospheric River and a cutoff low in the extreme precipitation event in Hiroshima on 19 August 2014. *Mon. Wea. Rev.*, **144**, 1145-1160.

Horii T. and K. Hanawa, 2004: A relationship between timing of El Niño onset and subsequent evolution. *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L06304.

Kamae, Y., W. Mei, S.-P. Xie, M. Naoi, and H. Ueda, 2017: Atmospheric rivers over the Northwestern Pacific: Climatology

and interannual variability. *J. Climate*, **30**, 5605-5619.

Kamae, Y., W. Mei, and S. -P. Xie, 2017: Climatological relationship between warm season atmospheric rivers and heavy rainfall over East Asia. *J. Meteor. Soc. Japan*, **95**, 411-431.

Lavers, D. A. and G. Villarini, 2013: The nexus between atmospheric rivers and extreme precipitation across Europe. *Geophys. Res. Lett.*, **40**, 3259-3264.

Mizuta, R., A. Murata, M. Ishii, et al., 2017: Over 5000 years of ensemble future climate simulations by 60km global and 20km regional atmospheric models. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **98**, 1383-1398.

Mundhenk, B., E. Barnes, and E. Maloney, 2016: All-season climatology and variability of atmospheric river frequencies over the North Pacific. *J. Climate*, **29**, 4885-4903.

Nitta, T., 1987: Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer circulation. *J. Meteor. Soc. Japan*, **65**, 373-390.

Okumura Y. M. and C. Deser, 2010: Asymmetry in the duration of El Niño and La Niña. *J. Climate*, **23**, 5826-5843.

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.

Xie, S. -P., Y. Kosaka, Y. Du, K. Hu., J. S. Chowdary, and G. Huang, 2016: Indo-Western Pacific Ocean Capacitor and Coherent Climate Anomalies in Post-ENSO Summer: Review. *Advances in Atmospheric Science*. **33**, 411-432.