PJ パターンの卓越性の長期変調と ENSO の関係について

町村 輔・中村 尚・小坂 優・西井 和晃・宮坂 貴文 東京大学先端科学技術研究センター

1. はじめに

太平洋-日本 (PJ) パターン (Nitta 1987) は夏 季北西太平洋域で卓越する南北遠隔影響パター ンである。PJ パターンはフィリピン北部および東 方沖での対流活動と日本付近の海面気圧の正相 関で特徴付けられ、気候平均場から効率的にエネ ルギーを受け取る力学モードの性質を持つこと か知られている (Kosaka and Nakamura 2006, 2010; Hirota and Takahashi 2012)。このパターンはエル ニーニョ・南方振動(ENSO)衰退直後の夏季に 現れやすく(Huang et al. 2004)、エルニーニョ衰 退期の夏に日本の本州を中心に冷夏・多雨傾向を もたらす。Xie et al. (2009) は ENSO が強制し夏 まで持続する熱帯インド洋海面水温偏差が PJ パ ターンの遅延励起を媒介するというメカニズム (インド洋キャパシター効果)を提唱した。しか し、この ENSO による遅延励起は数十年規模で変 調し、1950-70 年代には相関が有意でなかったこ とが指摘されている(Kubota et al. 2015)。負位相 にあった太平洋数十年規模振動(IPO; Zhang et al. 1997, Power et al. 1999)の影響の可能性が考えら れているが、2000年頃に IPO は再び負位相に転じ たことから、ENSO の遅延影響もこれに伴って弱 化した可能性がある。一方で長期変調に関する先 行研究は ENSO と PJ パターンの関係だけに着目 してきたが、モード性が示唆するように PJ パタ ーンの励起源は ENSO だけではなく、PJ パターン 自体の変調については独立に評価が必要である。

加えて、エルニーニョ発達期には経験的に北・ 西日本で冷夏・多雨傾向にあることが知られてい るものの、その遠隔影響メカニズムとその十年規 模変調の研究は少ない。

本研究では、最新の長期再解析 Japanese 55-years Reanalysis (JRA-55; Kobayashi et al. 2015)を用い て、夏季北西太平洋域で卓越する2つの南北テレ コネクションパターンを同定する。一方は PJ パ ターンであるが、もう一方は発達期のENSOと相 関することが示される。さらに、これら2つの卓 越変動パターンの十年規模変調の実態を調査し、 そのメカニズムを探求する。

2. データ

JRA-55 の月平均大気データに加えて、Hadley Centre Sea Ice and Sea Surface Temperature (HadISST; Rayner et al. 2003)海面水温データを 用いる。水平解像度はそれぞれ 1.25°×1.25°、1°×1° である。解析期間は 1958-2015年の 58年間である。 海面水温はトレンドの除去を施している。また渦 度に対しては水平平滑化を施した上で用いる。

夏季北西太平洋域の卓越変動を抽出するため に、6~8月の月々の850hPa水平平滑化渦度に対 し経験直交関数(EOF)解析を行う。ただし、海 面水温偏差との相関分析には主成分(PC)の季節 平均に基づく。また統計検定の際の自由度は年数 に基づく。

3. 二つの南北テレコネクションパターン

半世紀以上に渡る JRA-55 再解析の全期間に対



図 1. 1958-2015 年 6-8 月の月々の 850 hPa 渦度偏差の PC1 に回帰した (a) 200 hPa 及び (b) 850 hPa にお ける渦度偏差、(c) 降水量偏差、(d) 地上気温偏差。等値線は (a, b) ±1, ±2, ±3, … × 10⁻⁶ s⁻¹、(c) ±5, ±10, ±15, … mm day⁻¹、(d) ±0.1, ±0.2, ±0.3, … K。薄影、濃影はそれぞれ 90 及び 95%信頼水準をみたすことを表す。



図 2. 図1と同様。ただし PC2 に対する回帰偏差。

196412012001 Strm&Wind CI:10e6m2ise12001 Strm&Wind1961-20e6o6200 PRASStrm&Wind1964-06130e600200 PRASTOR



SON

DJF

MAM

JJA

-0.6 -0.3

Ó

ー方でEOF第2モードとして抽出される変動パ ターン(図2)は、東西ご広がる降水及び下層循 環偏差の正負の作用中心をマリアナ諸島のグア ム及び小笠原諸島付近に持つ。この空間的特徴か ら、本研究はこのパターンをマリアナ・小笠原

(Mariana- Bonin; 以下 MB)パターンと名付ける。図2の位相の MB パターンに伴って、北日本で冷

図 3. 図 1・2 の EOF 解析における(左) PC1 及び (右) PC2 に対する Niño 3.4 海面水温のラグ相関。 黒破線は同夏で、それより上と下はそれぞれ先行す る・引き続く季節。赤破線は 95%信頼水準を表す。

95%

0.3 0.6

SON

DJF MAM

JJA

95%

-0.6 -0.3 0 0.3 0.6

表 1. 図 1・2 の EOF 解析における PC への回帰偏 差に基づくエネルギー変換・非断熱エネルギー生成 及びそれらの和によって、偏差場の有効位置エネル ギーと運動エネルギーの和を満たすのに要する時間。 北半球全体で積分した全エネルギーを北西太平洋域 [0°-70°N, 90°E-180°]で積分したエネルギー変換・生 成・それらの和で割った値で定義。水平積分の前に 地表面から 100 hPa まで鉛直積分。1 ヶ月未満の値 は月平均偏差場を効率的に維持できることを意味す る。

	EOF1: PJ	EOF2: MB
非断熱加熱に伴うエネルギー生成	11.0 日	24.7 日
気候平均場からのエネルギー変換	19.5 日	23.0 日
エネルギー変換 +エネルギー生成	7.0 日	11.9 日

4. 二つのパターンの長期変調

PJパターンの振幅は十年規模で変調する。1970 年代に PJパターンは強まり始め、1980年代に最 も強くなり、1990年代以降は弱化傾向にある(図 4 左)。この変調は季節平均成分の振幅の変化に起 因しており、海洋変動の影響が示唆される。実際、 この長期変調は、PJパターンと先行する冬季の ENSO との相関や、ENSO に伴う翌夏の熱帯イン ド洋海面水温偏差の長期変調と概ね一致してお り(図 5,6)、その影響が示唆される。つまり、ENSO が熱帯インド洋に形成する海盆スケールの海面 水温偏差が翌夏まで持続しない時期には、PJパタ ーンに対する強制がその分だけ弱まるために振 幅が低下すると考えられる。加えて、近年は気候 平均場から効率的にエネルギーを獲得できなく なっている傾向も明らかになった(図 7)。特に 15 年移動 EOF 解析において、PJ パターンは 1990 年代後半以降に EOF 第2モードに後退し、変わっ て MB パターンが第1モードになった。

MB パターンの変調は PJ パターンとは異なり、 その構造や振幅は比較的安定している(図4右)。 第1モードになった 1990 年代以降は、背景場か らのエネルギー変換と非断熱加熱によるエネル ギー生成の効率が上昇傾向にある。一方、1990 年 代以降、その振幅に対する季節平均分散の寄与は 大きくなっており、海洋変動の影響が示唆される が、その関係性については更なる検証が必要であ る。

5. まとめと今後の課題

本研究は夏季北西太平洋で卓越する二つの南 北パターンを同定し、それぞれ ENSO 衰退期と発 達期の夏に現れやすいことが示された。加えて、 それらの卓越性が十年規模で変調することを明 らかにした。本研究で示した PJ パターンと直前 の冬の ENSO との相関の近年の低下は、日本にお ける夏季季節予測可能性の低下を示唆しており、 更なる研究が必要である。



図 4. 図 1・図 2 の EOF 解析における(左)PC1 及び(右)PC2 の 15 年移動分散(黒線)及びそのうち季 節平均の 15 年移動分散(陰影)。



図 5. 15 年移動 <u>EOFC QRPBC 2010</u>3 45 14 した PC 時系列 との相関。1987-2001年の 15 年間頃を 這に PUパタ ーンは OFT から EOF2 に後退したため、1993 年ま では PF6 に 新し 5 1980 年 路 降 病 PG な に 対 あ 1980 年 日 関 。-0.8

1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005



Ĭ965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005

図 6. 冬季(12-2 月)Niño 3.4 海面水温に対する翌 夏(6-8 月)の熱帯インド洋 [20°S-20°N, 40°E-100°E] 海面水温の 15 年移動回帰偏差。



図 7.15 年移動 EOF で(上) PJ および(下) MB パ ターンを抽出した PC に対する回帰偏差から求めた エネルギー変換・非断熱エネルギー生成・それらの 和の効率。表 1 の定義の逆数で表している。横破線 は(30 days)⁻¹ (1 ヶ月の時間スケール)。図 5 と同様 に 1994 年以降 PC1 と PC2 を入れ替えている

参考文献

- Hirota, N., and M. Takahashi, 2012: A tripolar pattern as an internal mode of the East Asian summer monsoon. *Climate Dyn.*, **39**, 2219–2238.
- Huang, R. H., W. Chen, B. L. Yang, and R. H. Zhang, 2004: Recent advances in studies of the interaction between the East Asian winter and summer monsoons and ENSO cycle. *Adv. Atmos. Sci.*, 21, 407–424.
- 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, doi: 10.2151/jmsj.2015-001.
- Kosaka, Y., and H. Nakamura, 2006: Structure and dynamics of the summertime Pacific-Japan teleconnection pattern. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **132**, 2009–2030.
- Kosaka, Y., and H. Nakamura, 2010: Mechanisms of meridional teleconnection observed between a summer monsoon system and a subtropical anticyclone. Part I: The Pacific-Japan pat- tern. J. Climate, 23, 5085–5108.
- Kubota, H., Y. Kosaka, and S.-P. Xie, 2015: A 117-year long index of the Pacific-Japan pattern with application to interdecadal variability. *Int. J. Climatol.*, in press, doi: 10.1002/joc.4441.
- 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.
- Rayner, N. A.; Parker, D. E.; Horton, E. B.; Folland, C. K.; Alexander, L. V.; Rowell, D. P.; Kent, E.
 C.; Kaplan, A. (2003) Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. J. Geophys. Res.Vol. 108, No. D14, 4407 10.1029/2002JD002670
- Xie, S.-P., K. M. 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.