1 はじめに

エル・ニーニョ/南方振動(El Niño/ Southern Oscillation,以下 ENSO)は、大気と海洋の相互作用 により引き起こされる東部太平洋赤道域の海面水温 (Sea Surface Temperature, SST)の変動で定義され る現象である。その変動は海面だけでなく太平洋の 水温分布を大きく変え、発生から収束まで1~2年程 度継続する。熱帯のSSTは熱帯大気の対流活動を通 して、全球の大気循環に大きな影響を及ぼしている。 そのため熱帯のSSTの変動の大気への影響は、熱帯 の大気だけにとどまらず中高緯度の大気にまで及ぶ。 このような遠隔影響をテレコネクションと呼ぶ。そ れゆえ、ENSOはテレコネクションを通して全球の 大気にも影響を及ぼし、世界的な異常気象の原因の 1つとなっている。

ENSO の大気循環場への影響は世界各地で現れる が、特に中高緯度域の北太平洋東部から北米大陸にか けて顕著な大気循環偏差(Pacific/North American, PNA)パターンを伴うことが知られている。また気 温場へ影響も熱帯だけでなく全球規模で現れることが 分かっている(Halpert and Ropelewski, 1992)。そ の中でENSO がピークを迎えることが多い冬(12~2 月)の気候は、極東域では El Niño 時は暖冬に、La Niña 時は寒冬になる傾向があると言われている。

極東域の冬季の天候と大循環パターンの関係がすで に指摘されており、極東域の天候が変化するときには 2つの大循環パターンがある(Takaya and Nakamura, 2013)。それらは極東域上層に南北双極子構造を持っ たWP-likeパターンが位置しているパターンと、ユー ラシア大陸上層に波列を持った EU-like パターンが 位置しているパターンである。しかしながら、それ らの2つの大循環パターンと ENSO との関係につい ては詳しく言及されていない。

また、ENSOでは東部太平洋の顕著なSST 偏差からの影響に特に注目しがちであるが、El Niño時に現れるフィリピン海の海面気圧(Sea Level Pressure, SLP)の偏差が極東域へ向かう南風成分を卓越させることで、極東域の天候に影響を及ぼすことも指摘されている(Wang et al., 2000)。

El Niño は 4~5 年の周期で発生しており(Guilyardi, 2006)、もっとも最近発生した El Niño は 2014/16 事例である。この事例は 2000 年以降でもっ とも強い El Niño であった。1948 年以降に発生した El Niño の中で特に強い 1982/83 事例と 1997/98 事 例と比較して、2014/16 事例では発生してからピー クを迎えるまでが遅く、東部太平洋の水深 100m 付 近の水温偏差が弱いことが報告されている(Hong-Li REN et al., 2017)。しかしながら、この先行研究で は太平洋の水温のみに注目しているため、インド洋な

塩崎 公大	(京都大学大学院 理学研究科)
榎本 剛	(京都大学防災研究所)
高谷 康太郎	(京都産業大学 理学部)

ど他の海域や大気への影響についてまでは言及されていない。そこで本研究では、2014/16事例の中でも ピークを迎えた 2015/16 冬を 1982/83 冬と 1997/98 冬と比較する。

2 解析手法

本研究で用いたデータセットは Table.1 の通りで ある。SST,水温,SLP,高度,循環等について、温 暖化トレンドを考慮してそれぞれの事例で解析し比 較する。本研究の解析に使用した極東域の領域は気 象庁定義の NINO.3 インデックスと 850hPa 面の気 温の相関係数 (Figure.1)と Takaya and Nakamura (2013)を参考に設定した。その領域は Takaya and Nakamura (2013)で使用された領域よりも東に5度 拡張した。Figure.1 を見ると、相関係数の高い領域 が日本の南側に位置しており、それをよりカバーす るためである。

3 結果

2015/16 事例は 1982/83 事例と 1997/98 事例と比較して、以下の点に相違が見られた。

3.1 高度·気温

NINO.3 インデックスと 850 hPa 面における極東域 の気温偏差との関係は、1982/83 事例は2番目の強さ で寒冬傾向、1997/98 事例はもっとも強く暖冬傾向、 2015/16 事例は3番目に強く中立である(Figure.2)。 北半球 500 hPa 面の高度場に注目すると、2015/13 事例は1982/83 事例と比較して、振幅は異なるがそ の高度偏差の分布はよく似ていることが分かる。極 東域に注目すると、3つの事例ともに日本の東側と 中国で逆符号の南北双極子状の高度偏差が見られる (Figure.3)。日本の東側の南北双極子状の高度偏差 により日本の天候には暖冬傾向が見られるが、中国 上の南北双極子の影響により中国では寒冬傾向がみ られる。したがって、極東域の天候はこれら2つの 南北双極子状の高度偏差の強さのバランスに依存す る。そのため、3つの事例で天候が異なっている。

3.2 SST と熱帯表層水温

まず SST に注目すると(Figure.4)、1982/83 事例 と 1997/98 事例では東部太平洋赤道域の SST 偏差の 中心が東よりの東部太平洋型の El Niño であり、フィ リピン海から伸びる馬蹄形(北東および南東方向に 見られる)の負偏差が明瞭である。一方で、2015/16 事例では中央太平洋型の El Niño であり、太平洋お よびインド洋の SST は全体的に高い状態で太平洋上 の馬蹄形の負偏差も見られない。

次に水温に注目すると(Figure.5)、1982/83事例 と1997/98事例では太平洋とインド洋に顕著な水温 の変化が見られる。太平洋では東部太平洋水深 60– 120mにかけて顕著な正偏差が見られ、日付変更線 の水深150m付近に顕著な負偏差が見られる。イン ド洋では水深 60–120mにおいて、東経75度を境界 にして西側に正偏差、東側に負偏差が見られる。一 方で、2015/16事例ではいずれの偏差も弱く、特にイ ンド洋の偏差はあまり見られず中立に近い値となっ ている。しかしながら、東部太平洋の正偏差の表層 への露出は2015/16事例がもっとも西側まで広がっ ている。

3.3 熱帯の循環

まず水平方向の循環に注目すると(Figure.4)、 1982/83 事例と1997/98 事例ではフィリピン海上の SST の負偏差が見られ、それによって高気圧性循環 が励起されるため、日本に向かう南風が卓越してい る。2015/16 事例ではフィリピン海上のSST の負偏 差が非常に弱く、フィリピン海上の高気圧性循環偏 差は見られない。しかしながら、日本の東側の強い 高気圧性循環偏差により日本へ向かう南風は卓越し ている。

次に鉛直経度方向の循環であるウォーカー循環に 注目すると(Figure.6)、1982/83 事例と1997/98 事 例では対流の中心は日付変更線より東側である。し かし、2015/16 事例では対流の中心は日付変更線上 であり、対流の強度は3つの事例の中でもっとも強 い。西太平洋の対流抑制およびインド洋の対流の変 化は1997/98 事例がもっとも強く、2015/16 事例は 1982/83 事例とよく似ている。

また、東部太平洋赤道域の顕著な SST 偏差に向 かって吹き込む西風偏差が 2015/16 事例では他の 2 事例と比較して弱い。このことは他の 2 事例と違い、 中央太平洋型の El Niño であったことに矛盾しない。

4 まとめ

2014/16 事例はもっとも最近発生した El Niño で あり、2000 年以降でもっとも強い El Niño であった。 ピークを迎えるまでには太平洋の SST の変動に違い が見られ、ピークを迎えた 2015/16 事例は熱帯の水 温や循環に大きな相違が見られるが、中高緯度大気 の応答は 1982/83 事例に似ていることが分かった。 特に極東域において、2 つの南北双極子構造を持つ 高度偏差により、極東域の天候が特徴付けられてい る点は 3 つの事例で共通している。これらの南北双 極子構造を持つ高度偏差が極東域の天候に関係して おり、日本では暖冬傾向が見られ、中国では寒冬傾 向が見られる。

また、中央太平洋型の El Niño ということだけで なく、水深 200 m 以内の水温偏差にも違いが見られ た。2015/16 事例では 2 つの事例と比較し、東太平 洋赤道域水深 60-120 m 及び 150 m の水温偏差が弱 いが、表層への正偏差の広がりははもっとも西側へ 広がっていた。この水温偏差の振幅の違いは先行研 究でも述べられているが、インド洋の水温偏差の違 いについては指摘されていない。このインド洋の偏 差は 1982/83 事例と 1997/98 事例では夏から秋にか けて発達するが、2015/16 事例では発達しなかった (図略)。今回の解析ではこのインド洋の水温偏差の 違いを発見したものの、発達しなかった原因につい ては明らかに出来なかったため、これは今後の課題 として残されている。

参考文献

- Gill, A. E., 1980: Some simple solutions for heatinduced tropical circulation, Q. J. Roy. Met. Soc., 106, 447–462.
- Guilyardi, E., 2006: El Niño-mean state-seasonal cycle interactions in a multi-model ensemble, *Clim Dyn.*, 26, 329–348.
- Halpert, M. S., and C. F. Ropelewski, 1992: Surface temperature patterns associated with the Southern Oscillation. J. Climate, 5, 577–593.
- Hong-Li REN, Run WANG, Panmao ZHAI, Yihui DING, and Bo LU, 2017: Upper-Ocean Dynamical Features and Prediction of the Super El Niño in 2015/16:A Comparison with the Cases in 1982/83 and 1997/98. J. Meteor. Res, 31, 278–294.
- Takaya, K. and H. Nakamura, 2013: Interannual variability of the East Asian winter monsoon and related modulations of the planetary waves. J. Climate, 26, 9445–9461.
- Wallace, J. M. and Gutzler, D. S. 1981 : Teleconnection in the Geopotential Height Field during the Northern Hemisphere Winter. *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 784–812
- Wang et al., 2000 : Pacific-East Asian teleconnection: How does ENSO affect East Asian climate? J. Climate, 13, 1517–1536

	データ (monthly)	格子間隔	期間
気温 · 高度	NCEP Reanalysis-1	$2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$	$1948 \sim 2016/17$
·SLP·風			
気温 · 高度 · 風 NCEP Reanalysis-2		$2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$	$1980 \sim 2016/17$
SST	Extended Reconstructed Sea Surface	$2.0^{\circ} \times 2.0^{\circ}$	$1918 \sim 2016/17$
	Temperature (ERSST) v5		
水温 · 塩分 Global Ocean Data Assimilation System		$0.333^\circ \times 1.0^\circ$	$1980 \sim 2016/17$
	(GODAS)		

Table 1: データセット

Correlations between NINO.3 index and temperature



Figure 1: 1948 年以降の NINO.3 のインデックスと極東域の気温偏差(K)との相関関係を示す。四角で 囲った領域は西側から、Takaya and Nakamura (2013)で定義された領域、それより東側に 5 度大きい領 域は本研究で使用した領域、NINO.3 の領域である。気温は Reanalysis-1、NINO.3 index は ERSST v5 を 用いた。



Figure 2: NINO.3 のインデックスと 850 hPa 面の極東域の気温偏差(K)との関係を示す。1948 年以降の冬 をプロットし、赤色が El Niño、青色が La Niña、白色が通常の事例を示す。気温は Reanalysis-1、NINO.3 index は ERSST v5 を用いた。



Figure 3: 500 hPa 面の高度偏差 (m) を示す。上段左が 1982/83 事例、上段右が 1997/98 事例、下が 2015/16 事例である。Renalysis-2 を用いた。



Figure 4: SST (K)、SLP (hPa)、風 (m/s) の偏差を示す。カラー、コンター、ベクトルがそれぞれ SST、SLP、風を表す。SLP,風は Renalysis-1、SST は ERSST v5 を用いた。



Figure 5: 水温 (K) と塩分 (× 10^{-5} kg/kg) の偏差を示す。カラー、コンター、ベクトルがそれぞれ SST、SLP、風を表す。GODAS を用いた。



Figure 6: 左がウォーカー循環、右がその偏差を示す。上段から 1982/83 事例、1997/98 事例、2015/16 事例を示す。ベクトル、カラーは北緯 5 度から南緯 5 度で平均した風、鉛直流 w の大きさを示す。ただし、鉛 直流 w はスケールハイト H = RT/gを用いて、 $w = -(H/p)\omega$ として導出(T = 300 K), ω は Renalysis-2 を用いた。