

# MIROC4 によって再現された北極振動に対する、 エルニーニョ及び成層圏突然昇温の関わり(速報)

今田由紀子、木本昌秀  
東京大学大気海洋研究所

## 1. はじめに

2009~2010年の冬に発現した強い負の北極振動(AO)が北半球中緯度域に大寒波をもたらし、異常気象として発表されたことは記憶に新しいが、同時期に発達していた熱帯太平洋のエルニーニョ及び成層圏で発生した突然昇温がこの現象と相互に影響し合った可能性が指摘されている。この3つの現象の関連性について、Ineson and Scaife(2009)では、ハドレーセンターの高解像度大気モデルで再現された24のEl Ninoを解析から、エルニーニョからのテレコネクションに伴って形成された波数1のプラネタリー波が成層圏まで伝播して成層圏下部に極渦(西風)弱化をもたらし、そのシグナルが約ひと月掛けて下方伝搬して対流圏にAO負のパターンを形成するというプロセスを明らかにした。更に、エルニーニョ期に成層圏突然昇温が同時に発生した場合には、極渦の弱化が持続するようになり、対流圏の応答がより顕著に現れることを示した。このような、全球規模の対流圏・成層圏相互作用の存在は、本来、中長期予報が難しいとされる中高緯度の予測可能性の向上にも役立つと期待されることから、注目が集まっている。

本研究では、実際に中長期予報に用いられている高解像度の大気海洋結合モデルにおいてこのような現象が再現可能かどうかを検証し、その予測可能性を探った。

## 2. モデルと解析手法

用いたモデルはCCSR/NIES/FRCGC CGCM

MIROC4で、大気解像度T213L56、海洋解像度 $1/4 \times 1/6^\circ$ の高解像版である。CMIP5の近未来予測実験用に計算された20世紀再現実験と同化実験の結果(1950~2007年)を用いた。同化実験では、海表面~700mまでの海水温と塩分を、観測された偏差成分に3DVARで同化している。

成層圏突然昇温の定義は、WMOの定義に基づいて、 $\sigma = 0.0118$ 面(約10hPa)において北緯85度の帯状平均温度が1週間以内に25度以上上昇して北緯60度の帯状平均温度と逆転し、かつ東西風の反転(東風)を伴った年とし、今回はエルニーニョとの関係を議論するため、12・1・2月に発生したものを抽出した。エルニーニョについてはNINO3指標を基に、20世紀再現実験から12例、同化実験からは観測と同じタイミングで15例を抽出した。そのうち、成層圏突然昇温(Stratospheric Sudden Warming, SSW)を伴ったのは、20世紀再現実験では3例であったのに対し同化実験では9例あり( )、対象期間が同じであるにもかかわらず両実験間には大きな差が現れた。もともとMIROCの標準実験には、SSWが実際に観測される冬季の昇温現象よりも遅れて2月末から3月に集中して発生するという特徴があり、今回解析した20世紀再現実験においてもその特徴が強く、エルニーニョが成長するDJF期間に発生する頻度が極端に少なかった。MIROCにおいてSSWのタイミングが遅れる理由はまだ明らかになっていないが、驚くべきことは、同化実験においてこの問題が解消され、観測に近いタイミングでSSWが発生するようになった点である。この

ことは、海洋表層の内部変動が SSW の出現に影響を与え得ることを示唆しており、大変興味深い結果ではある。本研究の趣旨を外れるためこれ以上の言及は避けるが、考察の部分で再度触れることにする。以下では主に、同化実験のエルニーニョ 15 例について解析した結果を報告する。

( ) 同化実験において発生する SSW は必ずしも観測されたタイミングとは一致していない。

### 3. 結果

エルニーニョの発生後およそ 1 ヶ月以内の北半球中高緯度の気圧分布がどのようになっているかを調べるため、図 1 (a) に、同化実験で再現された地表面気圧偏差 (1・2・3 月平均) のエルニーニョ 15 例の合成図を示した。また、比較のため図 1 (d) に同化実験によって再現された AO 負のパターン (海面気圧偏差の EOF 第一モード) を示しているが、エルニーニョ年すべてで合成した場合は、極側が中緯度より高気圧になる傾向は見られるものの、AO に相当するような気圧パターンは明瞭には現れていない。これを、SSW が発生したエルニーニョ年と SSW が発生しなかったエルニーニョ年に分けて合成したものが図 1 (b) と (c) である。両者の差は歴然で、SSW の発生を伴ったエルニーニョ年には AO 負に似た地表面気圧の偏差パターンが明瞭に現れているのに対し、SSW が発生しなかったエルニーニョ年にはむしろ極側で低気圧が発達するようなパターンになっている。以上の結果は、エルニーニョと SSW が同時に発生するという条件が整った場合に、冒頭で述べたような成層圏を介した熱帯太平洋と中高緯度対流圏の相互作用が存在することを示しており、Ineson and Scaife (2009) の結果とも一致している。

次に、SSW 後に東風偏差が下方伝搬する様子を示したのが図 2 である。ここでは、同化実験の 2004/5 年の冬の例を示した。1 月末に発生した

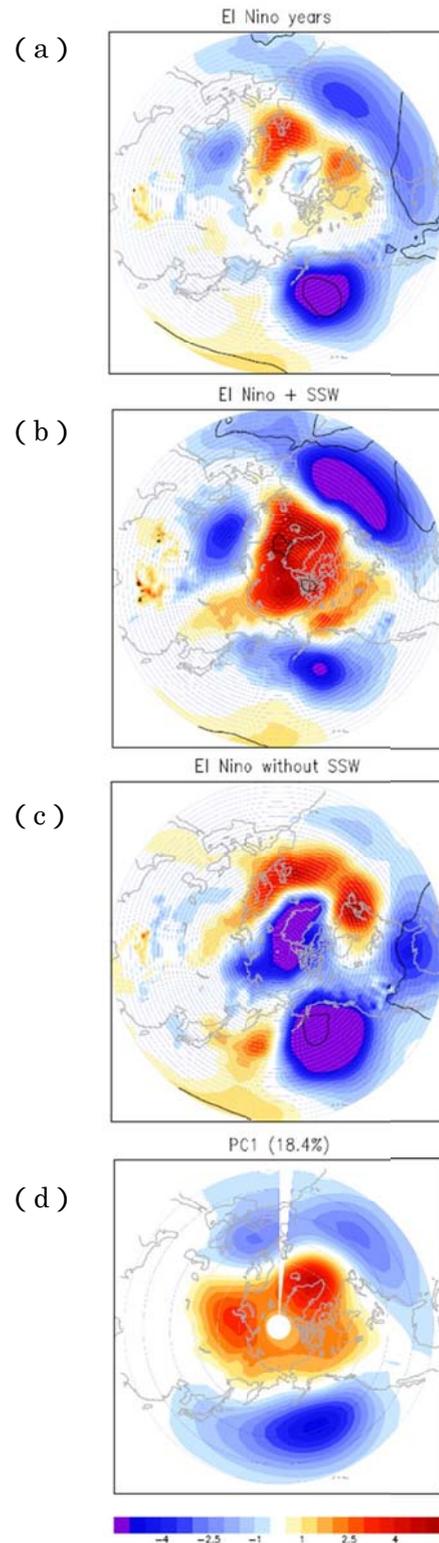


図 1 地表面気圧の偏差の合成図[hPa]。(a) エルニーニョ 15 例の合成、(b) SSW 発生を伴ったエルニーニョ 9 例の合成、(c) SSW が発生しなかったエルニーニョ 6 例の合成。(d) は、MIROC4 同化実験から計算された地表面気圧偏差の EOF 第一モード。

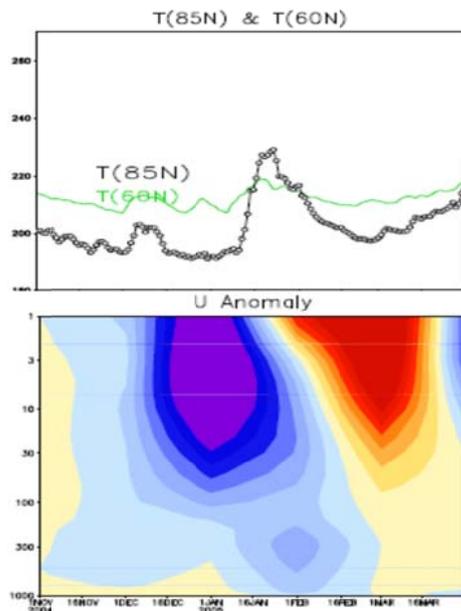


図2 (上) 北緯 85°と 60°の 10hPa 付近で帯状平均した気温の時間変化[K]。(下) 北緯 60°において帯状平均した東西風偏差の高度-時間断面[m/s]。

SSW 後に成層圏の東風偏差が対流圏下層まで下方伝搬している様子が明瞭に見られ、成層圏から対流圏へのシグナルの伝搬が MIROC4 においても再現できていることが確認された。

しかし、図 1 (b) と (c) の違いが、単に偶発的な SSW の有無に起因しているのか、それとも対流圏からのプラネタリー波の上方伝搬プロセスにそもそも違いがあるのかどうかは、この結果からだけでは判断できない。そこで、先ほどと同様に SSW を伴ったエルニーニョ年と SSW が発生しなかったエルニーニョ年で分けて合成した地表面気圧、500hPa 面及び 50hPa 面 (成層圏下部) のジオポテンシャルハイトの 12・1・2 月平均の偏差パターンを図 3 に示した。対流圏の偏差パターンは、いずれの場合もアリューシャン低気圧の強化と北米の高気圧偏差という、いわゆる PNA パターンの特徴が現れているが、ユーラシア大陸から北欧にかけての偏差パターンに大きな違いが見られる。SSW ありのエルニーニョ年にはユーラシアに低気圧偏差が見られ、波数 1 のプラネタリ

ー波が形成されている (図 3a, b) が、SSW なしのエルニーニョ年にはユーラシア上に高気圧偏差が現れ、これにより波数 2 の傾向が強まっていることが分かる (図 3d, e)。下部成層圏の気圧配置を比較すると (図 3c, f)、SSW 発生している場合に極渦が弱化しているのは当然だが、SSW なしの年の合成図では極渦はむしろ強化されることを示していた。Taguchi and Hartman(2006)では波数 1 のプラネタリー波は極向きの熱フラックスを伴うのに対し波数 2 では南向き熱フラックスが生じることを示しており、今回の結果もこれに矛盾しない。

以上の結果は、エルニーニョに伴って形成される北半球中高緯度のテレコネクションパターンの違いが SSW の発生そのものに影響を与える可能性を示唆している。この時の熱帯のエルニーニョの違いを調べたものが図 4 である。SSW が発生した年のエルニーニョに比べて、SSW がなかった年のエルニーニョはピークが西側に位置し、南北に広い構造を持っている。このようなエルニーニョの空間パターンの違いがテレコネクションパターンに影響を与えている可能性があり、今後は GCM を用いた感度実験を通して検証していく予定である。

#### 4. まとめ

Ineson らが提唱したエルニーニョ、SSW、負の AO の関係が、高解像度 MIROC の同化実験において再現されることが確認され、結合モデルを用いた中高緯度の季節予報の予測可能性につながるものと期待される。また、このようなプロセスが働くか否かは、SSW の有無だけでなく、そもそも熱帯からのテレコネクションパターンの現れ方に左右される可能性があることが新たに示唆された。このことは、同じモデルに海洋の内部変動成分を同化した場合としない場合とで SSW の出現の仕方が異なることから示唆される。

今回解析した事例ではサンプル数が十分とは言

えず、今後は感度実験等を通して仮説の検証を進めて行きたい。また、ラニーニャ時に SSW が起こった場合には逆のプロセスが起こり得るのか、といった疑問にも今後取り組んでいきたい。

### 5. References

Ineson, S., and A. A. Scaife, 2009: The role of the stratosphere in the European climate response to El Niño. *Nature Geosci.*, 2, 32-36.  
 Taguchi, M and D. Hartman, 2006: Increased occurrence of stratospheric sudden warming during El Niño as simulated by WACCM. *J. Clim.*, 19, 324-332.

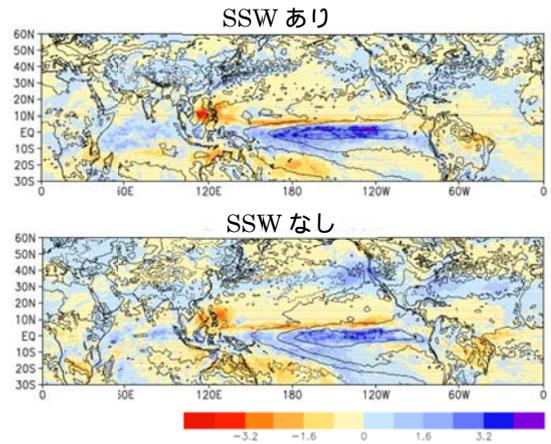


図4 SST 偏差（線）及び降水量偏差（色）の合成図。上：SSW ありのエルニーニョ年、下：SSW なしのエルニーニョ年。

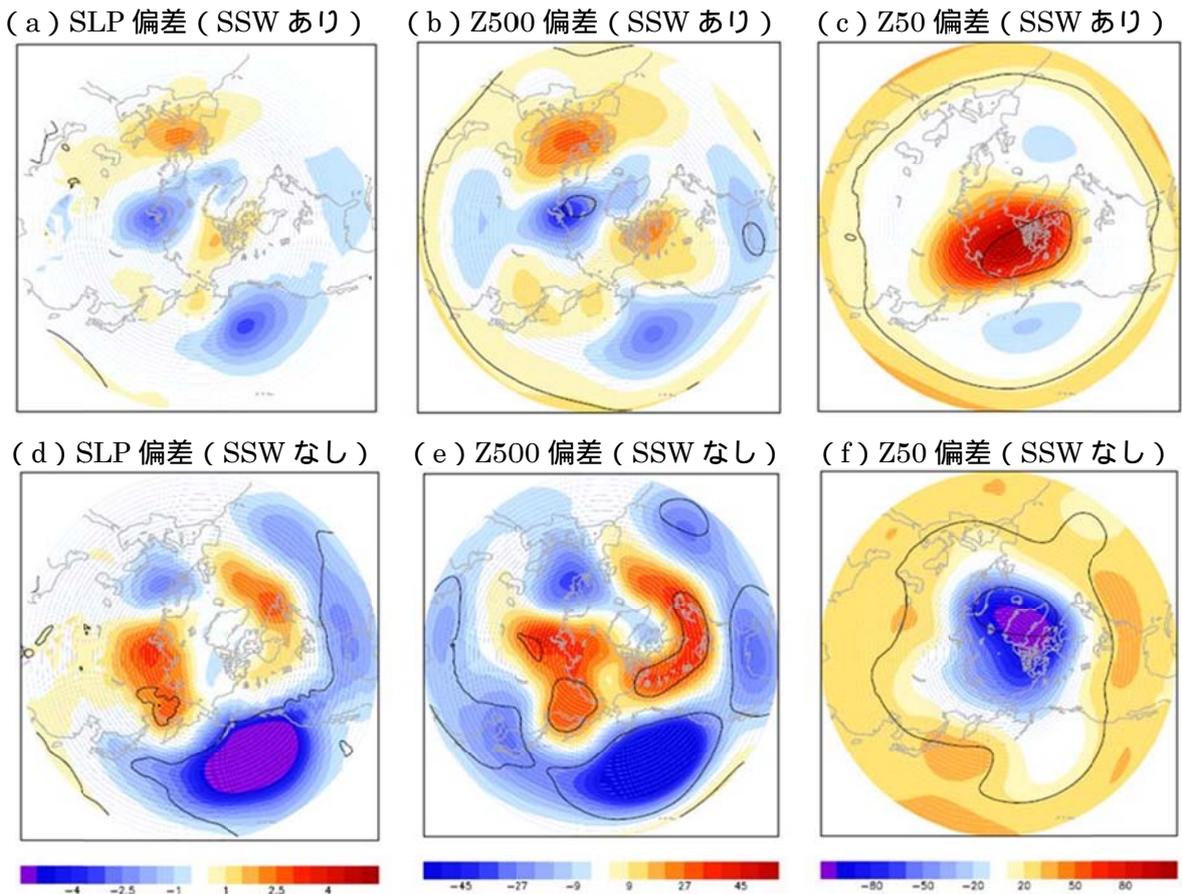


図3 それぞれ (a)(d) SLP 偏差[hPa]、(b)(e) Z500 偏差[m]、(c)(f) Z50 偏差[m]の合成図。(a) (b) (c) SSW ありのエルニーニョ年の合成、(d) (e) (f) SSW なしのエルニーニョ年の合成図。黒線は 95%有意水準。