

エルニーニョ南方振動現象の振動中心の再考

中村天音 (指導教員：神山 翼)

1 はじめに

エルニーニョ・南方振動 (ENSO) とは、太平洋赤道域東部の海面水温の変動現象である。海水温が上昇するのが El Niño 現象、下降が La Niña 現象であり、La Niña 現象よりも El Niño 現象の方が平年と比べて大きくずれた値をとることがわかっている。先行研究では An and Jin(2004) が、大きな El Niño は平均に対し非線形的な現象であるとしている。

従来、気象の解析においては振動中心として平均値が基準とされていた。しかし、正負非対称の ENSO において、平均値は爆発的な El Niño 現象の影響を受け、後に示すように最頻値よりも大きな値をとる。また、爆発的な El Niño 現象を外れ値とみなし平均値を取ると、振動の中心をよく捉えるようになる。また、この値は全体の平均値よりも最頻値に近い値をとる。

振動の中心を平均値とする場合と最頻値とする場合について、結果の比較を行った。またその際、ENSO を El Niño 現象・La Niña 現象と、外れ値である Extreme El Niño 現象の 3 つのフェーズに分けた。

2 データ・計算方法

2.1 使用データ

海面水温には、アメリカ海洋大気庁の OISST V2 から 1982 年～2019 年分のデータを使用した。海面更正気圧にはヨーロッパ中期予報センターの 1982 年～2019 年のものを使用した。また、米国 NOAA 地球物理流体力学研究所が開発した全球気候モデル GFDL-ESM2M から、piControl と RCP シナリオが 6.0、8.5 のものの 2006 年～2100 年のデータを使用した。これはそれぞれ産業革命前の温室効果ガス濃度、産業革命以前と比較して 2100 年に放射強制力が 6.0、8.5 W/m⁻² 増加した状態で長期安定化されるシナリオを表す。

2.2 シミュレーション

シミュレーションには、Jin(1998) と Timmermann et al.(2003) によって理想化された非線形モデルを用いた。このモデルにおいて東部赤道の温度 T_1 と西部赤道の温度 T_2 はそれぞれ次のように表される。

$$\frac{dT_1}{dt} = -\alpha(T_1 - T_r) - \frac{u}{L/2}(T_2 - T_1)$$

$$\frac{dT_2}{dt} = -\alpha(T_2 - T_r) - \frac{w}{H_m}(T_2 - T_{sub})$$

ここで、 $1/\alpha$ は熱崩壊の典型的なタイムスケール、 T_{sub} は混合層の湧昇温度、 w と u はそれぞれ鉛直速度と帯状速度、 H_m と L は混合層の深さと層、 T_r は放射対流平衡時の温度を表す。また、東西の水温躍層の深さ h_1 、 h_2 は、以下の式で表される。

$$\frac{dh_1}{dt} = -rh_1 - \left(\frac{rbL}{2}\right)\tau$$

$$h_2 = h_1 + bL\tau$$

ここで、 τ は風応力、 $1/r$ はダンピングのタイムスケール、 b はスヴェルドラップ輸送による貿易風の変化に対する躍層の深さの感度を表す。また、それぞれの値は、 $T_1 = 27^\circ\text{C}$ 、 $T_2 = 20^\circ\text{C}$ 、 $T_r = 29.5^\circ\text{C}$ 、 $H=100\text{m}$ 、 $\alpha = 1/180\text{day}^{-1}$ 、 $r = 1/400\text{day}^{-1}$ 、としている。これを 4 次の Runge-Kutta 法で解く。

3 結果と考察

3.1 ヒストグラム

Niño3 領域の海面水温のヒストグラムを示す (Fig. 3.1)。外れ値抜ききの平均値が最頻値と近い値をとり、振動の中心を捉えていることがわかる。

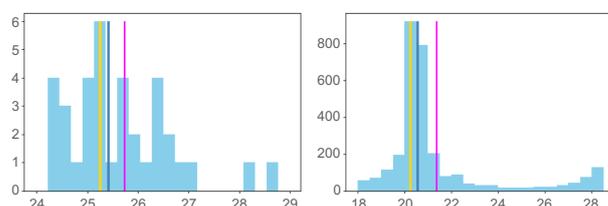


Fig. 3.1: ヒストグラム

左が観測データ、右がシミュレーションの結果である。また、青が海面水温、マゼンタの線が全体の平均値、緑の線が外れ値抜ききの平均値、黄色の線が最頻値を表す。

3.2 コンポジット図

次に、コンポジット解析を行なったものを示す (Fig. 3.2)。

El Niño は現象の領域が東西に縮み、西側に強く変化が現れていることがわかる。La Niña も同様に西側に強い変化が現れる。それに比べ、振幅の大きな Extreme El Niño は東側にも変化が伸び、全体的に強い変化を示している。このことから、暖水が東に寄ることが ENSO の本質であることが読み取れる。

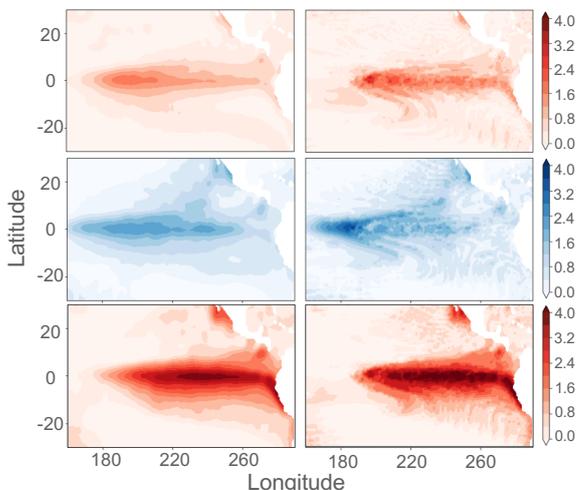


Fig. 3.2: コンポジット図

左が気候値を平均値で定義したもの、右が最頻値で定義したもの。また、上段から El Niño、La Niña、Extreme El Niño である。コンポジットの基準は振動中心との差が 1、Extreme El Niño の基準は振動中心との差が 2 とした。

3.3 テレコネクション

続いてテレコネクションを確認する (Fig. 3.3)。

平均値定義と最頻値定義で大きな違いは見られない。また、海面水温と違い、El Niño、Extreme El Niño と La Niña は対称になっているように見える。大気の影響は海洋力学よりも線型であり、その影響は大気によって決まっているので、テレコネクションは平均値定義と最頻値定義で似た図になっていると考えられる。

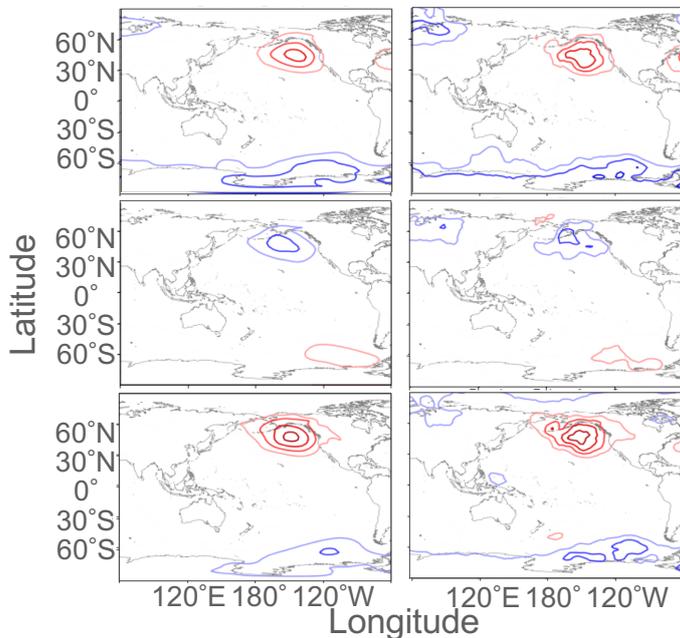


Fig. 3.3: テレコネクション図
左が平均値定義、右が最頻値定義であり、上から El Niño、La Niña、Extreme El Niño である。気候値を最頻値で定義したものは滑らかなプロットのためにフィルタリング処理を施している。

3.4 GFDL-ESM2M を用いた解析

最後に、GFDL-ESM2M を用いて、温暖化時のシミュレーションを行なった。温暖化の影響に関してはトレンドしたものを使用している。

preindustrial control (piControl)、RCP6.0 に関しては、今までの議論と変わらず、観測データやモデルと同様に平均値が最頻値よりも大きな値を示した。しかし、RCP8.5 では、平均値と最頻値に今までの議論と変わったところが見られた。

RCP8.5 の解析結果を示す (Fig. 3.4)。前半 50 年間と比べ、後半の 50 年間は平均値と最頻値の差が小さくなっていることがわかる。平均値と最頻値の差には Extreme El Niño の影響が大きくあることから、この結果は温暖化が進むと Extreme El Niño という現象がなくなることを示しており、Kohyama and Hartmann(2017)、Kohyama et al.(2018) と整合する。温暖化が進むと、海洋の上層部が温室効果ガスの増加により安定化するため、Extreme El Niño がなくなるとされている。

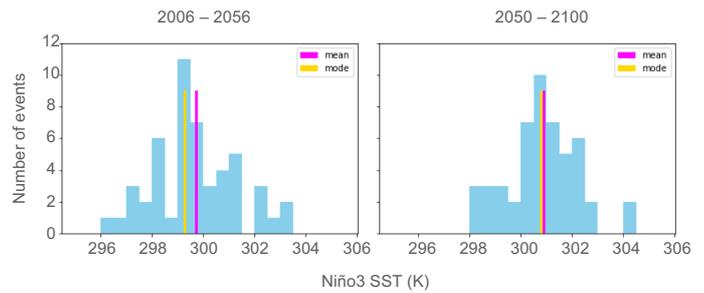


Fig. 3.4: RCP8.5
左が 2006 年から 2056 年、右が 2050 年から 2100 年の海面水温を表すヒストグラム。青が海面水温、マゼンタの線は平均値、黄色の線は最頻値を表している。

4 まとめ

ENSO が正負非対称な現象であることに着目して、大きな正の変化を外れ値として考慮する必要があると考えた。外れ値を除いた平均値は全体の平均値よりも最頻値に近い値をとるので、気候値としては充分客観的である最頻値を採用し ENSO の解析を行なった。また、外れ値として除いた値を Extreme El Niño 現象とし、ENSO を 3 つのフェーズに分類した。その結果、それぞれのフェーズに異なる特徴を見ることができた。

参考文献

- [1] Jin, F.-F., 1998: A simple model for the Pacific cold tongue and ENSO. *J. Atmos. Sci.*, **55**, 2458-2469
- [2] Timmermann et al., 2003: A Nonlinear Theory for El Niño Bursting. *J. Atmos.*, **60**, 152-165
- [3] An, S.-I, and F.-F Jin, 2004: Nonlinearity and asymmetry of ENSO. *J. climate.*, **17**, 2399-2412
- [4] Kohyama and Hartmann, 2017: Nonlinear ENSO warming suppression (NEWS). *J. climate.*, **30**, 4227-4251
- [5] Kohyama et al., 2018: Weakening of Nonlinear ENSO under global warming. *Geophys. Res. Lett.*, **45**, 8557-8567