

観測データに含まれる外部強制応答・内部変動の切り分け手法

宮地友麻 (北大院環境科学)・長谷川拓也(気象庁)・谷本陽一 (北大地球環境, JAMSTEC)

1. はじめに

数十年以上にわたる全球規模の観測データには、大気-海洋系における内部変動と、放射強制力の変化に伴う外部強制の影響が含まれる。内部変動を解析するために観測値から外部強制応答を取り除く際、多くの研究では時系列における線形トレンドを外部強制応答とみなす(図 1 上)。しかしながら、このような簡易な方法では適切に外部強制応答を表現できない可能性があり、その場合にデトレンドした値は、みかけの内部変動を含むことになる(図 1 下)。このようなみかけの内部変動は、インド-太平洋域における十年規模気候変動の海盆間関係の解釈に影響を与える事が知られている (Dong and McPhaden 2017)。

そこで本研究は、複数の手法によって観測値から抽出された、インド-太平洋海域の十年規模内部変動を比較する。その上で、最も適切と考えられる手法を提示する。

2. データ

観測データとして、3種類の大気再解析データ(1: JRA-55, 2: NCEP/NCAR 1, 3: ERA-40, ERA-interim)の海面更正気圧(SLP)データ、及び各再解析データの下部境界条件として利用された海面水温(SST)データを使用した。

加えて、マルチモデルシミュレーションデータとして、Coupled Model Inter-comparison Project 5(CMIP5)から、計 36 メンバーの historical シナリオ(1958-2005 年)、RCP4.5 シナリオ(2006-2017

年)を用いた。解析期間は、1958 年から 2017 年である。十年規模変動を調べるために、全てのデータに 8 年のローパスフィルターをかけた。

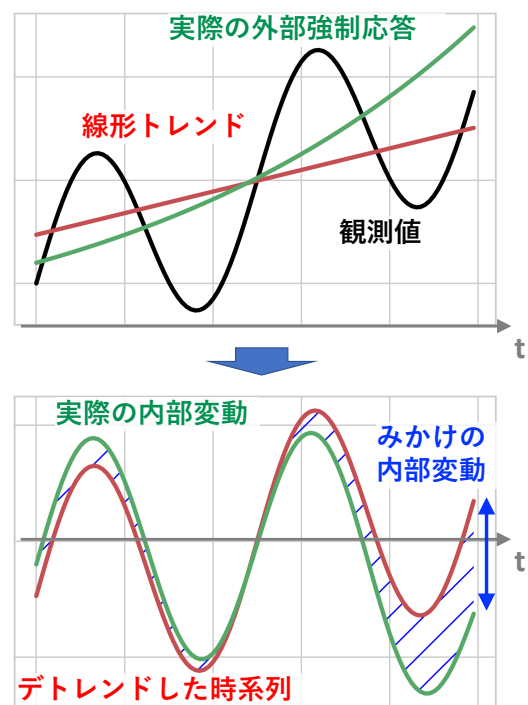


図 1 観測データから内部変動を抽出する際の模式図。上図:観測時系列(黒線)、線形トレンド(赤線)、実際の外部強制応答(緑破線)。下図:デトレンドした時系列(赤線)、実際の内部変動(緑破線)、2本の時系列の差はみかけの内部変動となる。

3. 手法

① 内部変動を抽出する手法

本研究では、観測値から外部強制応答を取り除き、内部変動を抽出する以下の3種類の手法を比較した(図2)。

MG法：全球平均気温のマルチモデルアンサンブル平均(MG)を外部強制応答の指標とする。各変数、各グリッドにおいて、観測値をMGに回帰させることで外部強制応答を求め、観測値から取り除いた残差成分を内部変動とする(Dai et al. 2015)。あるグリッド、ある変数の観測値 X の外部強制応答(X_{EFR})と内部変動(X_{ICV})は以下のように求められる。

$$X_{EFR} = \alpha \times MG + \beta$$

$$X_{ICV} = X - X_{EFR}$$

ここで、 α はMGに対する観測値 X の回帰係数、 β は定数。

LT法：従来の研究でよく利用される、簡易的な手法である。各変数、各グリッドにおいて、観測データの時系列の線形トレンド(LT)を外部強制応答とし、観測値から取り除いた残差成分を内部変動とする。

ML法：各変数、各グリッドのマルチモデルアンサンブル平均を外部強制応答とし、同変数、同グリッドの観測値から取り除いた残差成分を内部変動とする。

(ML: Multi-model ensemble mean at Local grid points)

最後に、上記3手法との比較として、何もしない **NE** (Non-Extraction)では、 $X_{EFR}=0$ と置く。

② 手法の評価方法

従来の研究では、SSTの観測データから外部強制応答及び内部変動を見積もる手法について議論されてきたが、SST変動の背景メカニズムを調査するためにはSST以外の変数についても、外部強制応答と内部変動の切り分けが必要になる。そのため本研究では、SSTに加えてSLPの観測データから外部強制応答を除去し、残差成分における熱帯の大規模大気-海洋相互作用の再現性を手法間で比較した。残差成分が現実的な大規模大気-海洋相互作用を表現する場合、内部変動として適切に抽出されていると評価した。

4. 結果

① 各海盆における内部気候変動

MG法、LT法、ML法、NEから得られた内部変動に対して、それぞれEOF解析を行い、手法間の比較を行った。本研究では、熱帯太平洋、熱帯インド洋、インド-太平洋全域の3海域においてEOF解析を行った。MG法から得られた内部変動は、どの海域においてもSST第1モード(PC1)とSLP PC1の高い正の相関関係を示した(表1の2段目)。また、第1モードの空間パターン(EOF1)は、いずれの海域でも太平洋数十年規模振動(IPO)との関連を示した(図3)。他の3手法から得られたSST及びSLPの内部変動におけるPC1、EOF1は、必ずしもこのような特徴を示さない(表1の3-5段目)。

MG法が示す、それぞれの海盆におけるSST PC1とSLP PC1の有意な相関関

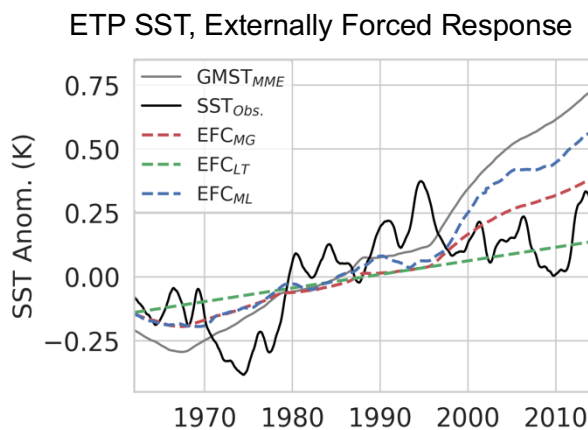


図2 東部熱帯太平洋のSST偏差に対するMG法(赤点線)、LT法(緑点線)、ML法(青点線)による外部強制応答の見積もり。黒実線は観測データ、グレーの実線はMG法で利用した全球平均気温のマルチモデルアンサンブル平均(MG)の時系列を示す。

係は、Bjerknes feedback に代表される、熱帯の大気–海洋間の結合変動として解釈される。

② 海盆間の相関関係

MG 法によって得られた、各海域における SST PC1 及び SLP PC1 は、海域間で有意な正相関を示した。これらの相関関係は、先行研究(e.g. Chikamoto et. al. 2015) で指摘されたようにインド–太平洋間の海盆間相互作用として解釈される。LT 法、ML 法から得られた SST 及び SLP の PC1 は、このような関係性を必ずしも示さない。

③ MG 法の優位性

CMIP6 から、Model for Interdisciplinary Research on Climate version 6 (MIROC6) 50 メンバーの大規模アンサンブルデータを活用し、さらなる手法の比較を行った結果、東部熱帯太平洋における SST の 50 メンバー平均は各メンバーの内部変動を十分に打ち消すことができず、外部強制応答としては不適切であることがわかった。一方 MG 法を利用した場合、少ないメンバー数で各メンバーの内部変動を抑制することで外部強制応答を適切に見積もることができ、このような MG 法の特徴が他の手法に比した優位点であることが示された。

5. まとめ

MG 法によって抽出された SST 及び SLP の内部変動は、インド–太平洋を跨いだ大気–海洋結合変動として解釈された。一方、LT 法、ML 法から得られた結果は、気候力学的な解釈ができない、もしくは外部強制の影響を残している事を示唆し、内部変動として取り扱うことは適切でない。それゆえ、インド–太平洋海域における観測データから十年規模の内部変動を抽出するには、MG 法が最も適切と判断した。

<謝辞>

本研究は、JSPS 科研費(JP18H03726, JP19H05702, JP20K04072)の支援により実施しました。また、一部の CMIP6 データ入手にあたり、統合的気候モデル高度化研究プログラム(JPMXD0717935715)からご支援いただきました。

<参考文献>

Bjerknes, J., 1969: Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific, *Mon. Weather Rev.*, **97**, 163-172.
Chikamoto, Y. et al., 2015: Skilful multi-year predictions of tropical trans-basin climate variability. *Nat. Commun.*, **6**, 6869

表 1 各手法、各海盆(熱帯太平洋: TP、熱帯インド洋: TIO、インド–太平洋全域: WIP)における SST PC1 と SLP PC1 の同時相関係数。student's t-分布をもとに、自由度 8、両側信頼区間 95%で有意な相関係数に*を記した。

	TP	TIO	WIP
MG Method	0.984*	0.701*	0.874*
LT Method	0.984*	-0.066	0.866*
ML Method	0.621	-0.608	-0.470
NE	0.745*	0.604	0.779*

Dai, A. et al., 2015: Decadal modulation of global surface temperature by internal climate variability. *Nat. Climate Change*, **5**, 555–559

Dong, L., and M. J. McPhaden, 2017: Why has the relationship between Indian and Pacific Ocean decadal variability changed in recent decades? *J. Climate*, **30**, 1971–1983

本研究は、Miyaji et al. (2022), *International Journal of Climatology*, **43**, 57-75 として出版された。

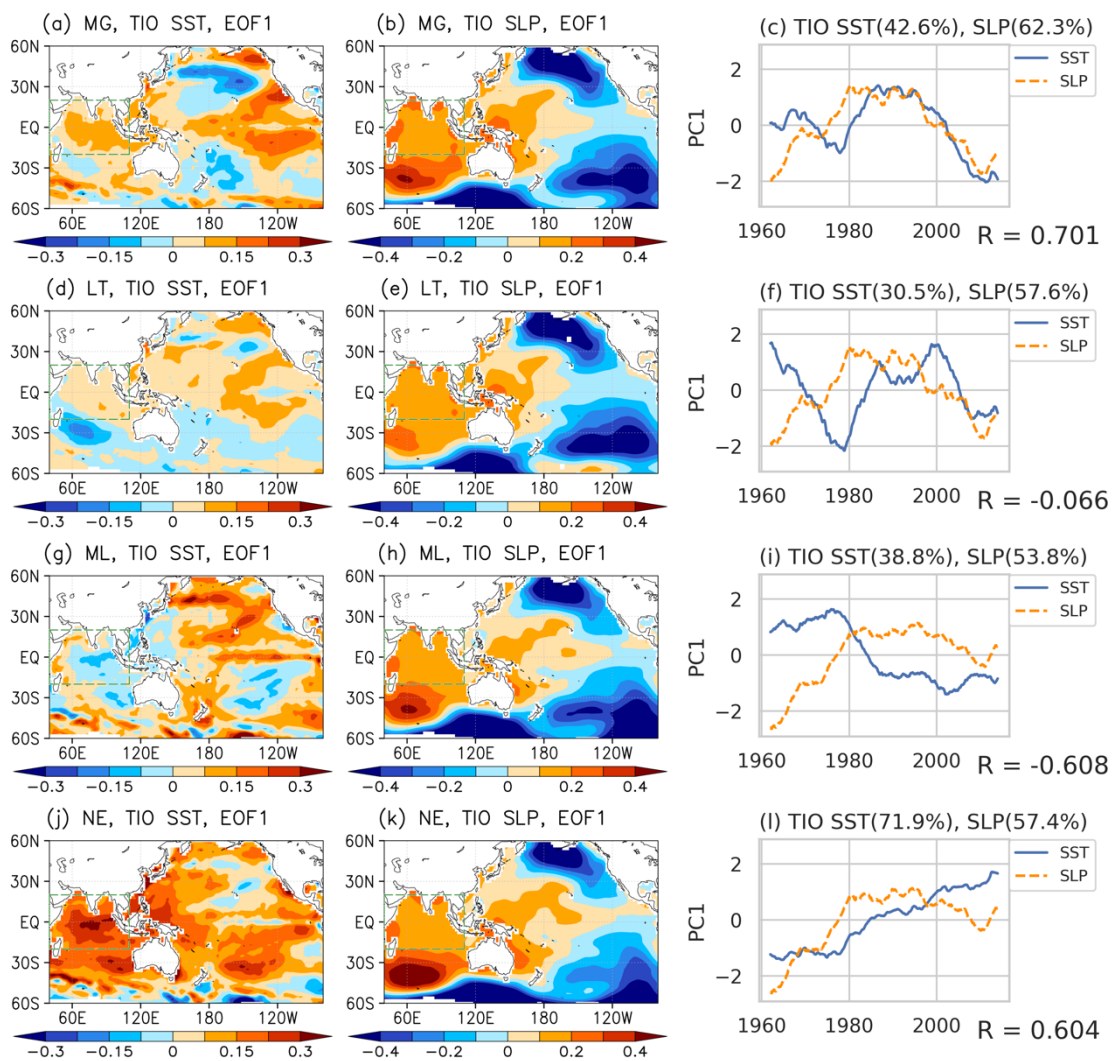


図3 熱帯インド洋海域における SST[K]、SLP[hPa]の内部変動に対する EOF 解析の結果。各段は、4 種類の手法(上から MG 法、LT 法、ML 法、NE)の結果を示す。左の列は SST 第 1 モードの空間パターン、中央の列は SLP 第 1 モードの空間パターン、右の列は SST と SLP の第 1 モードの時係数を示す。図中の緑色の点線の範囲は、EOF 解析の対象海域を示す。