

自己組織化マップから見る ENSO 遷移期の熱帯対流活動の非対称性

山本 一輝(富山大院・理工学教育部), 川村 隆一(富山大院・理工学研究部)

井芹 慶彦(東工大院・情報理工)

1. はじめに

インド洋～西太平洋における熱帯対流活動は ENSO 現象などに関連し、アジアモンスーン地域へ遠隔影響を及ぼすことが多くの研究で指摘されている。最近、Sakai et al. (2010)は同地域における寒候期の外向長波放射量(OLR)偏差場に非線形解析手法である自己組織化マップ(SOM)を適用し、ENSO の位相に関して同地域の熱帯対流活動は強い非対称性を持ち、冬季東アジアモンスーンの遠隔応答も非対称性の強い応答となっていることを見出した。

一方、暖候期は ENSO 発達期、衰退期が重なり、インド洋では大気海洋結合現象である風 - 蒸発 - SST(WES)フィードバックやインド洋ダイポール(IOD)が卓越する時期でもある。ENSO, IOD, WES の三者の関係や夏季アジアモンスーンへの影響も十分には理解されていない。そこで本研究は、SOMを用いて、ENSO 発達期、衰退期における、インド洋～西太平洋の熱帯対流活動の非対称性を明らかにすること、並びにアジアモンスーンへの遠隔影響を理解することを目的とする。

2. 使用データ及び解析手法

NOAA 提供の OLR(1979-2010 年 3-9 月)の日平均データに lowpass filter をかけ、長周期変動(LF)成分を作成し、これに SOM 解析(20° S-20° N, 40° -160° E)を適用した。本研究で扱う

3 - 9 月の期間は ENSO 発達期、衰退期が混在しているため、発達期(6-9 月)、衰退期(3-6 月)の二つに分けて SOM を適用し、各々の特徴をより詳細に捉えた。大気循環の解析には JRA-25 及び JCDAS の再解析データを使用した。

本研究では解析手法として SOM を使用した。SOM は Kohonen(1982, 2001)によって提案された教師なし学習のニューラルネットワークである。

SOM マップの各ノードは入力ベクトルと同次元の参照ベクトルと対応している(図1参照)。入力ベクトルと参照ベクトルの差をとり(通常はユークリッド距離を使用)、最も差の小さい出力ノードを勝者ノードとする。勝者ノードとその近傍のノードが、より入力ベクトルに近づくように反復学習を行い、2次元マップを完成させる。

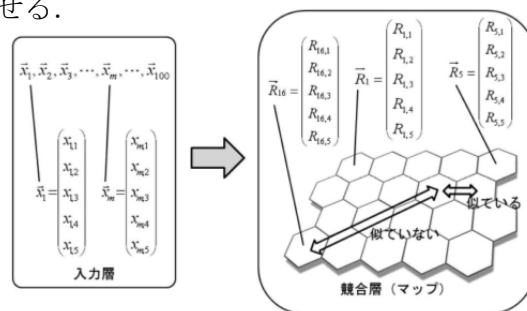


図1. 基本 SOM の概念図。R_i(i=1, 2, ..., 20)は参照ベクトル、x_j(j=1, 2, ..., 100)は入力ベクトルを表す。この例では、入力ベクトルの次元(要素数)は5であるが、本研究での次元は833であり、これは SOM 適用範囲の各グリッドの OLR-LF 成分を基に作成されている。(一部、川村、井芹(2011)参照)

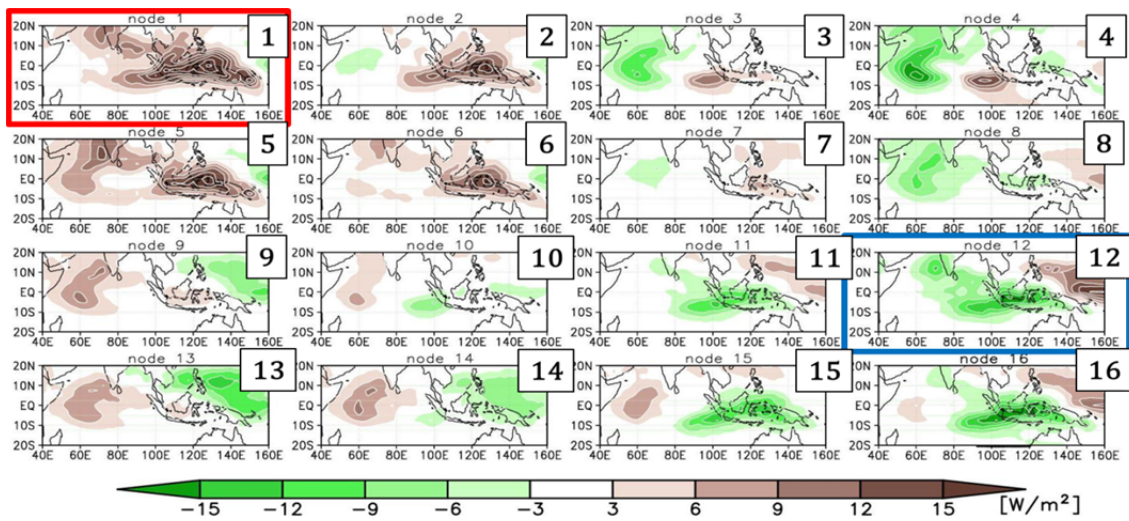


図2. 6-9月のOLR偏差データにSOM解析を適用し、完成した自己組織化マップの結果.

本研究では2つのError(QE, TE)を考慮し、4×4のマップを採用した.

3. ENSO発達期

図2は6-9月のOLR-LF成分にSOMを適用し、完成した自己組織化マップの結果である. パターンの類似度によって、分類できていることがわかる. ENSO発達期にどのノードが出現しているのかを調べるため、ENSO発達期における各ノードの出現頻度を調べた(図3). 期間の後半(8, 9月)において、エルニーニョ型(EN type)ではノード1, ラニーニャ型(LN type)ではノード12で出現頻度が高く、ENSO発達期と関連するノードであることが示唆される. また、EN typeでは期間の前半(6, 7月)に突出して出現頻度の高いノードはないが、LN typeでは期間を通してノード12の出現頻度が高く、発達期はEN typeとLN typeで出現頻度に関して明瞭な季節的な差異がみられた.

図4は出現頻度が明瞭であった8, 9月において、ノード1, 12について作成した合成偏差図である. EN typeとLN typeで熱帯太平洋の熱源分布や西太平洋の熱帯対流活動に違いがみられる. 一方で、インド洋

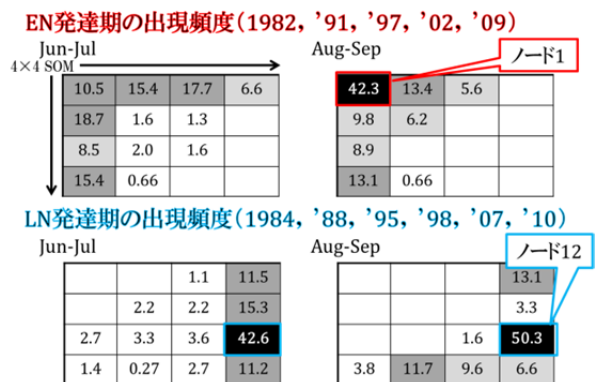


図3. SOMマップにおけるENSO発達期に基づいて求めたノード別出現頻度.

では、東部熱帯域とインド西岸に明瞭な偏差がみられ、対称的な分布を示す.

図5はインド洋、西太平洋付近に着目して、OLR, 850hPaの水平風, 水蒸気収束, 水蒸気フラックスのLF成分の合成偏差図を示したものである. EN type, LN type共にインド西岸(アラビア海周辺)で対流偏差域の分布が見られ、対流偏差域と対流圏下層の水蒸気収束・フラックスは大凡一致する. つまり、ENSO発達期である夏季後半(8, 9月)のインド西部ではモンスーンの強弱が良く対応していることがわかる.

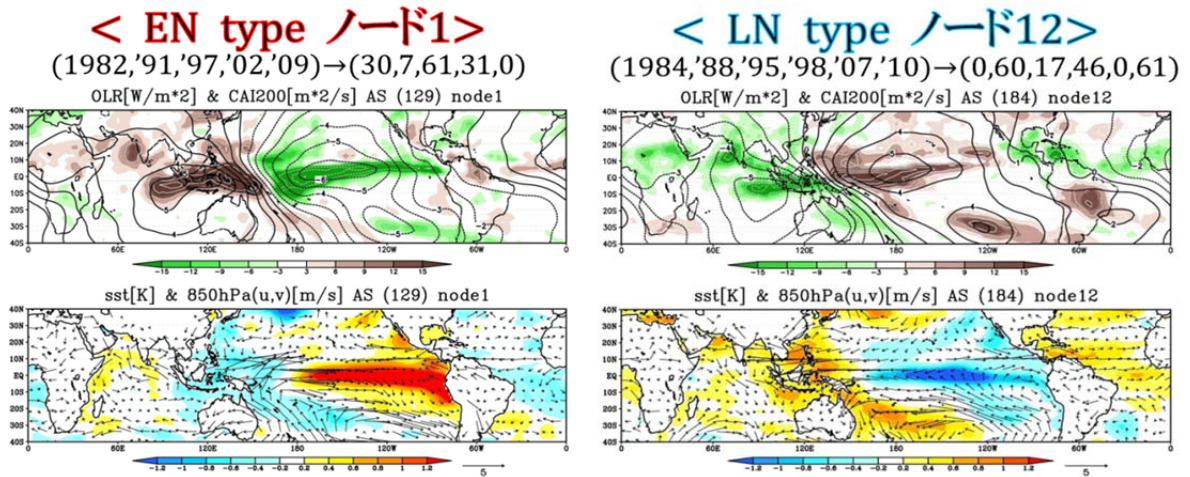
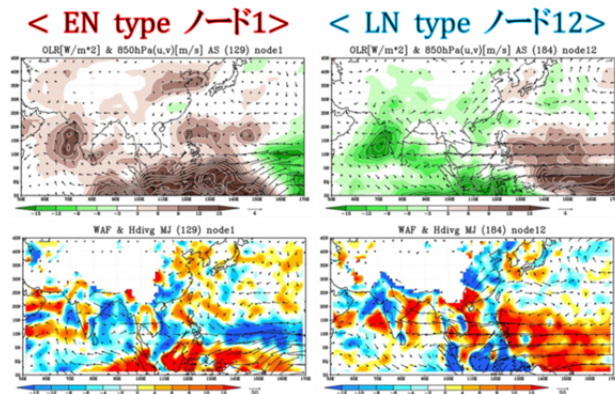


図4. ENSO発達期におけるノード1, ノード12の8, 9月の合成偏差図. (上図)OLR-LF成分(陰影), 200hPa速度ポテンシャル-LF成分(等値線), (下図)SST-LF成分(陰影), 850hPa水平風-LF成分(ベクトル).



← 図5. 図4と同様, ただし(上図)OLR-LF成分(陰影, 等値線), 850hPa水平風-LF成分(ベクトル), (下図)850水蒸気収束-LF成分(陰影), 850hPa水蒸気フラックス-LF成分(ベクトル).

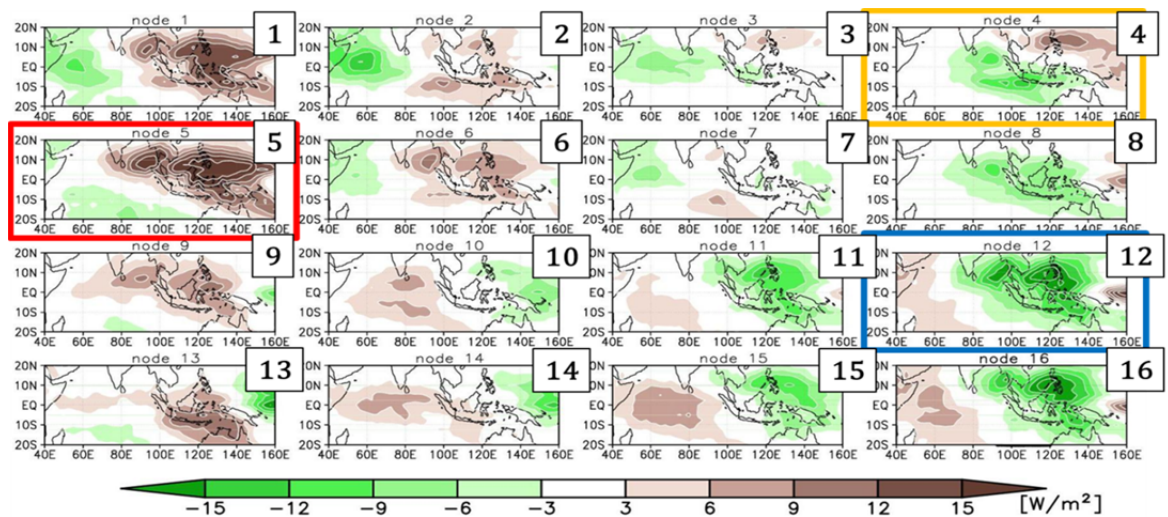


図6. 3-6月のOLR偏差データにSOM解析を適用し, 完成した自己組織化マップの結果.

本研究では2つのError(QE, TE)を考慮し, 4x4のマップを採用した.

4. ENSO衰退期

図6は3-6月のOLR-LF成分にSOMを適用し, 完成した自己組織化マップの結果である. ENSO衰退期にどのノードが出現し

ているのかを調べるため, ENSO衰退期における各ノードの出現頻度を調べた(図7). EN type では3, 4月において, ノード5の出現頻度が非常に高く, その後, 5, 6月で

はノード4の出現頻度が高くなっている。EN typeでは衰退期間はノード5を経て、ノード4へ遷移する強い傾向をもつ。一方、LN typeは3, 4月にノード12の出現頻度は高いが、その後の5, 6月に突出して出現頻度の高いノードはない。つまり衰退期に関しては、EN typeではノード遷移が明瞭であるが、LN typeではノード遷移は不明瞭である。

図8はノード5, 12について、出現頻度が明瞭であった3, 4月においてコンポジット解析した結果である。EN typeのノード5はインド洋で赤道非対称構造が明瞭である。また、対流圏下層ではフィリピン海付近に高気圧偏差が形成されている。この高気圧

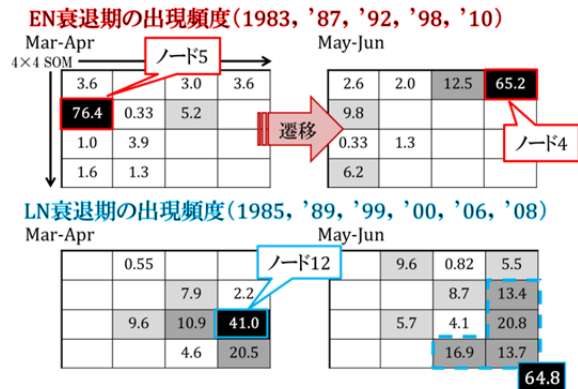


図7. SOMマップにおけるENSO衰退期に基づいて求めたノード別出現頻度。

偏差の西縁に沿う暖気移流の影響により、西日本を中心に昇温傾向となっている。一方、LN typeのノード12では日本付近に低温偏差はみられず、EN typeとLN typeで日本付近への影響は異なることがわかる。

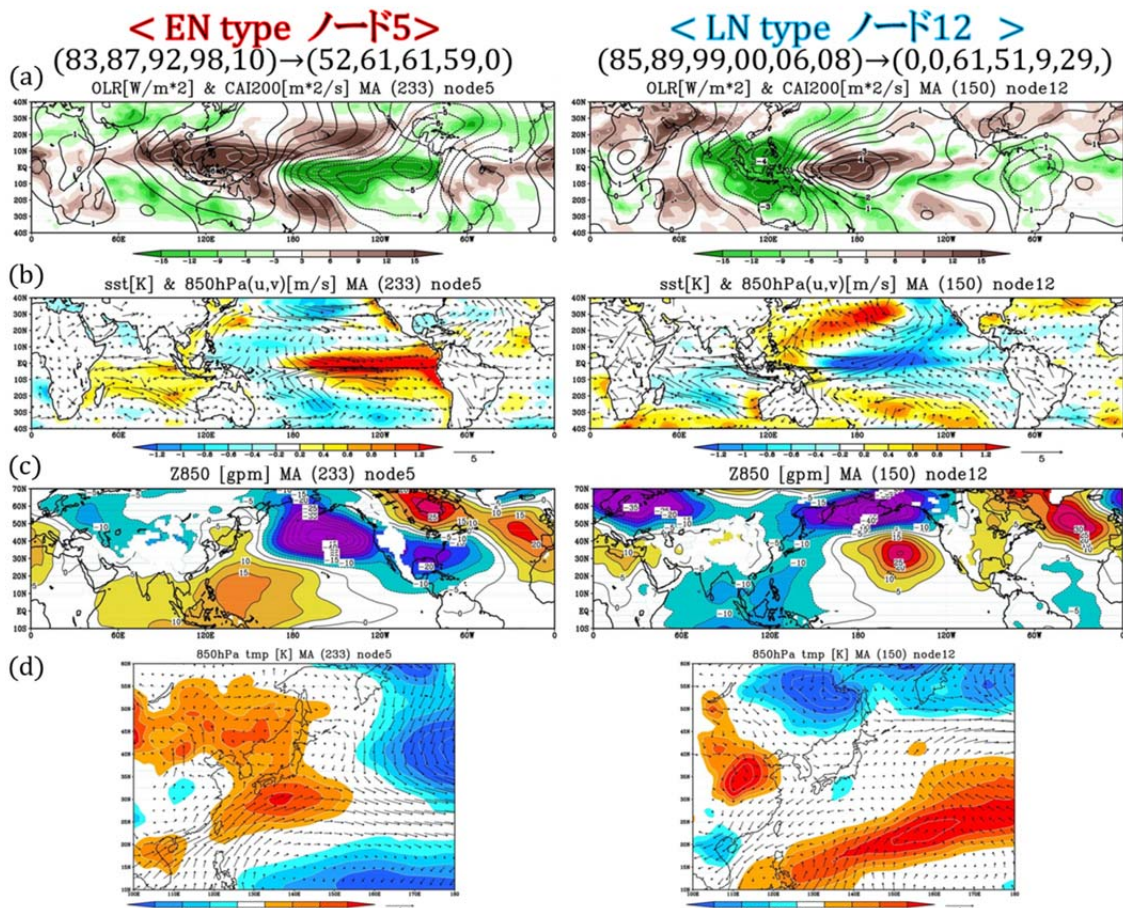


図8. ENSO 衰退期におけるノード5, ノード12の3, 4月の合成偏差図。(a) OLR-LF成分(陰影), 200hPa速度ポテンシャル-LF成分(等値線), (b) SST-LF成分(陰影), 850hPa水平風-LF成分(ベクトル), (c)850hPaジオポテンシャル高度-LF成分(陰影, 等値線), (d)850hPa気温-LF成分(陰影, 等値線), 850hPa水平風-LF成分(ベクトル)。

< EN type ノード4 >

(1983,'87,'92,'98,'10)→(57,0,32,61,49)

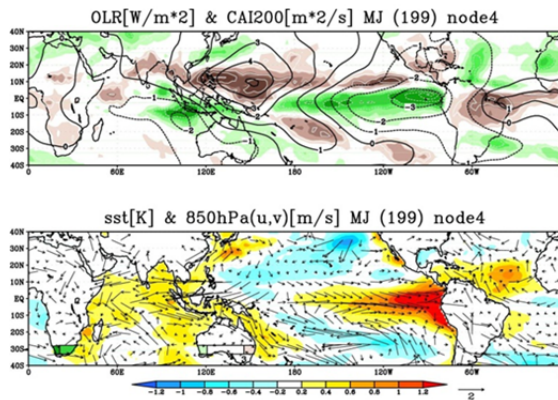


図 9. ENSO 衰退期におけるノード 4 の 5, 6 月の合成偏差図。(上図)OLR-LF 成分(陰影), 200hPa 速度ポテンシャル-LF 成分(等値線), (下図)SST-LF 成分(陰影), 850hPa 水平風-LF 成分(ベクトル)。

< EN type ノード4 >

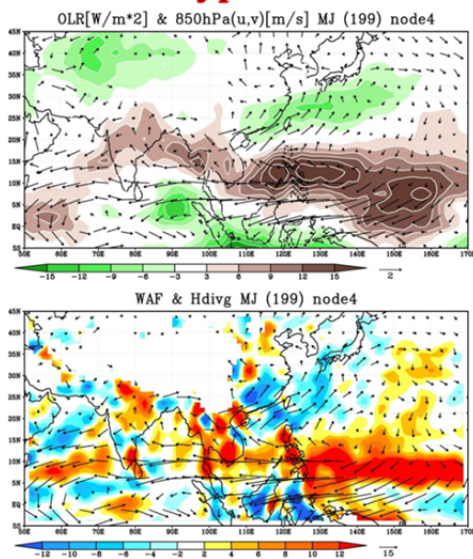


図 10. 図 9 と同様, ただし(上図)OLR-LF 成分(陰影, 等値線), 850hPa 水平風-LF 成分(ベクトル), (下図)850 水蒸気収束-LF 成分(陰影), 850hPa 水蒸気フラックス-LF 成分(ベクトル)。

図 9 は EN type において, 衰退期に遷移するノード 4 の合成偏差図である. 熱帯太平洋ではエルニーニョが弱化し, 海

洋大陸付近の南北で OLR 偏差が異なるパターンを示す. SST 偏差はインド洋と西太平洋で異なる分布を示す. 図 10 は図 9 のインド洋, 西太平洋付近に着目した図であるが, 夏季前半(5, 6 月)において, インド東岸(ベンガル湾周辺)のインドモンスーンへの EN type(ノード 4)の影響がみられる. また, 南西諸島付近では対流活発域がみられ, 南西諸島の梅雨へ与える影響が大きいことがわかる. 一方, LN type ではそのような特徴が不明瞭である(図略).

5. まとめ

1979-2010 年の OLR-LF 成分に非線形解析手法である SOM を適用し, ENSO 発達期, 衰退期の熱帯対流活動の非対称性, 並びにアジアモンスーンに対する非対称な遠隔影響を理解することを試みた.

その結果, ENSO 年における各ノードの出現頻度では, ENSO 発達期において, EN type と LN type の出現頻度に関して季節的な差異がみられた. これは ENSO の遷移プロセスの非対称性が関与していることが示唆される. また, ENSO 衰退期において, EN type では春季から初夏にかけて, ノード遷移が明瞭であるのに対し, LN type では同期間においてノード遷移は不明瞭であった. これは ENSO の位相に伴う大気循環場の非対称性が関与していることが示唆されるため, 今後引き続き調査していきたい.

ENSO の位相に伴う熱帯対流活動, 及び周辺地域への影響を比較すると, ENSO 発達期において, インド洋では両者ともに赤道対称構造が形成されている. また, 夏季後半(8, 9 月)にインド西岸(ア

ラビア海周辺)のインドモンスーンへの対称的な影響が SOM で見出された。ENSO 衰退期において、EN type ではインド洋で明瞭な赤道非対称構造がみられた。また、対流圏下層では EN type でフィリピン海付近において、高気圧偏差が卓越し、春季の日本付近の高温傾向をもたらしていることがわかった。衰退期後の夏季前半(5, 6月)にインド東岸(ベンガル湾周辺)のインドモンスーンに EN type(ノード 4)の影響がみられる。また、南西諸島の梅雨への影響も EN type で対流活発域がみられ、南西諸島の梅雨の活発化に寄与していることがわかった。

今後は遷移プロセスや大気循環場、周辺地域へ与える影響の非対称性を明らかにするために、個別の ENSO に注目して、解析を行うことにより、その一端を解明していきたい。

謝辞

この第 8 回「異常気象と長期変動」研究集会において、発表する機会をいただけたことを感謝します。また、発表の際に貴重な意見をいただけたことを重ねて御礼申し上げます。

参考文献

Iseri Y., T. Matsuura, S. Iizuka, K. Nishiyama, and K. Jinno, (2009): Comparison of pattern extraction capability between self-organizing maps and principal component analysis. *Memoirs of Faculty Engineering, Kyushu Univ.*, **69**, No.2, 37-47.

伊藤久徳, 見延庄士郎, (2010), 気象学と海洋物理学で用いられるデータ解析

法. 気象研究ノート 221 号, pp155-175, pp184-191.

川村隆一, 井芹慶彦, (2011), 新用語説明「自己組織化マップ」. *天気*, **58**, 9, 37-38.

川村隆一, (2005), 熱帯対流圏準二年振動とエルニーニョ南方振動の数十年スケール変調に関する研究. 平成 14 年度-平成 16 年度科学研究費補助金(基盤研究(C)(2)) 研究成果報告書, 89-126.

Kawamura, R., (2008): Climatic variations in relation to large-scale air-sea interaction. *地学雑誌*, **117**, No.6, 1063-1076.

Kessler, W. S., (2002): Is ENSO a cycle or a series of events, *Geophys. Res. Lett.*, **29**(23), 2125, doi: 10.1029/2002GL015924, 20

Kohonen T., (1982): Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biological cybernetics*, **43**, No.1, 59-69.

Kohonen T., (2007): *Self-organizing maps*. Springer-Verlag, Heidelberg.

Sakai K., and R. Kawamura, (2009): Remote response of the East Asian winter monsoon to tropical forcing related to El Niño-Southern Oscillation, *J. Geophys. Res.*, **114**, D06105, doi: 10.1029/2008JD010824.

Sakai K., R. Kawamura, and Y. Iseri, (2010): ENSO-induced tropical convection variability over the Indian and the Western Pacific Oceans during the northern winter as revealed by a self-organizing map. *J. Geophys. Res.*, **115**, D19125, doi:10.