自己組織化マップを用いた西太平洋~インド洋の ENSO シグナルの抽出

酒井 久美(富山大院•理工学教育部)•川村 隆一(富山大院•理工学研究部)

1. はじめに

ENSO 現象と関連した熱帯強制による冬 季東アジアモンスーンの遠隔応答を調べ、西 太平洋~インド洋域の熱源分布の重要性を 指摘したが (Sakai and Kawamura, 2009)、 外向長波放射量(OLR)から推定される熱 帯対流活動がどのような分布形態をとる時 に効率的に遠隔強制がもたらされるのか依 然として不明な点が多い。そのため、ENSO がどのような時に、どの地域の中高緯度大気 に影響を与えるのか必ずしも明らかではな い。単純に西太平洋~インド洋の OLR 偏差 場に線形結合を前提とする EOF 解析(また は PCA) を適用すると、EOF 第1モードと して単純な東西非対称パターンが抽出され、 Dommenget and Latif (2002), Iseri et al. (2009) 等で指摘しているような EOF 解析 の短所が強調されてしまう危惧がある。

そこで、非線形解析手法の一種である自 己組織化マップ(Self-Organizing Maps; SOM)を用いて西太平洋~インド洋の ENSOシグナルを客観的に抽出することで、 同地域の大気海洋相互作用やアジアモンス ーン循環への遠隔強制を理解することを試 みた。

2. 使用データ及び解析手法

NOAA 提供の OLR (1979-2008 年) を用 いて、月平均偏差(20°S - 20°N, 40° - 160°E) に SOM を適用した。同様に、日平均値に基 づいて 31 日移動平均のローパスフィルター で高周波成分を取り除いた長周期(LF)成 分の OLR 偏差(1979-2008 年, 10-3 月のみ) にも適用した。

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。EOF 解析と同様に多次元 データのパターンを抽出する手法であるが、 二次元のマップ上にパターンを分類できる。 また、パターンの類似度によって分類できる。 こと(図1参照)や、非線形解析手法である ことが特徴として挙げられる。入力ベクトル と参照ベクトルの差を取り(通常はユークリ ッド距離を用いる)、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、マップを完成させる。

本研究では、トポロジーエラーを考慮し て 5×5 のマップを採用し、ENSO や IOD 等に関するノードを抽出した。各ノードに 360 ヵ月(寒候期は 5468 日)分の偏差図を 振り分けるため、コンポジット解析等で SST や大気循環との対応関係を調べることがで きる。大気循環の解析には JRA-25 長期再解 析データ及び JCDAS データを使用した。



図 1. 5×5 の SOM マップの模式図。 六角形の 一つ一つが各ノードを示す。



図 2. 20°S - 20°N, 40° - 160°E の OLR-LF に SOM を適用した SOM マップ(5×5)。 OLR 偏差の 等値線間隔は 2.0[W/m²]。



図 3. 20°S - 20°N, 40° - 160°E の OLR-LF に EOF を適用した第1モード。

3. SOM & EOF

30 年間の月平均 OLR 偏差データ (360 ヶ月)に SOM を適用した結果、ENSO と関 連するパターンは寒候期が中心であった。そ こで、寒候期 (10-3 月)の OLR-LF に SOM を適用し、5×5 のマップ (25 ノード)を作 成した。主にマップの右列に海洋大陸付近に 負偏差を持つパターンが分類された。また、 マップの左列は海洋大陸付近が正偏差のパ ターンであった (図 2 参照)。

SOM と同じデータを EOF に適用した。 EOF1 は寄与率が 23.3%であり、東西非対称 パターンが抽出された (図 3)。このパター

表 1. EOF1 と各ノードとの対応関係。ノード 別に EOF1 のスコアが±1.0 を超える日の日 数をカウントした。上が EOF1+時、下が EOF1-時。

EOF1 + [962]

116	0	0	0	0
5 1	0	0	0	0
289	1 5	0	0	0
1 0 1	1	0	0	0
286	92	11	0	0

EOF1-[932]

0	0	0	50	232
0	0	0	70	206
0	0	0	0	114
0	0	0	5	240
0	0	0	0	15



図 4. 各ノードの旬別頻度分布。上のグラフが
node21 と node20、下のグラフが node11 と
node5 を示す。赤がエルニーニョ時、青はラニーニャ時。

ンは、ENSO に伴う海洋大陸、インド洋の 対流活動の変化を説明するパターンである (図略)。

EOF1 のスコアが±1.0 を超える日を SOM のノード別にカウントした(表 1)。 EOF1+(エルニーニョ)では左列、EOF1-(ラニーニャ)は右列に分類される。これら のパターンには IOD の混在パターンやイン ド洋の赤道非対称構造が見られる。このよう に、西太平洋~インド洋の ENSO シグナル を EOF 解析で抽出すると、線形関係を前提 に単純化されるが、SOM だと ENSO に伴う 西太平洋~インド洋の熱源分布が多様性に 富むことがわかる。その中でも、EOF1+ は node11(左列3行目)と node21(左列5行目)、 EOF1- は node5(右列1行目)と node20(右 列4行目)が卓越しており、かつ、季節依存



図 5. 上から node21, node11, node20, node5 の OLR-LF (陰影) と 200hPa 速度ポテンシャ ル-LF (等値線)の合成偏差図。等値線間隔は 0.8×10⁶ [m²/s]。

性が見られたので、以上の4つのノードに注 目した。

4. 各ノードの特徴と関連する大気循環

エルニーニョ型の node11, node21、ラニ ーニャ型の node5, node20 について、各ノー ドの特徴とそれに伴う大気循環の違いを調 べた。



図 6. 上から node21, node11, node20, node5 の SST-LF (陰影・等値線)の合成偏差図。等値 線間隔は 0.2[K]。

各ノードの旬別頻度(図 4)を見ると、 node21 と node20 は ENSO 発達期、node11 と node5 は ENSO の完熟期~衰退期に出現 頻度が高い。そこで、node21 と node20 は 10~12 月、node11 と node5 は 1~3 月の各 気象要素を合成することで、各ノードに対応 する大気循環偏差の違いを調べた(図 5~8)。 エルニーニョ型に分類される node21 は、



図 7. 上から node21, node11, node20, node5 の 200hPa の高度-LF(陰影)の合成偏差図と波 活動度フラックス-LF(ベクトル)の合成図。

秋季から初冬にかけてエルニーニョと結合 した IOD が顕著に見られる。アジアジェッ ト付近の高度偏差は帯状に拡がり、下層では 日本の東方に正偏差が見られる。

node11 は、冬季から初春にかけてインド 洋で OLR, SST 偏差の赤道非対称構造が形 成されている。アジアジェット付近で帯状の 高度偏差が見られるが、中国南方で特に負偏



図 8. 上から node21, node11, node20, node5 の 850hPa 高度-LF(陰影・等値線)の合成偏差 図。

差が大きい。下層ではフィリピン海~日本付 近の偏差が顕著で、日本への影響が大きいこ とがわかる。

この両者を比較すると、エルニーニョ時 には IOD の結合パターンやインド洋の赤道 非対称構造が見られた。EOF1+に混在して いたインド洋の季節による大気海洋相互作 用の違いが node21 と node11 で明確に分類 できている。

次に、ラニーニャ型に分類される node20 は、node21 と同様に ENSO 発達期に出現し やすいが、負の IOD との結合は見られず、 フィリピン海付近に熱源が局在化している。 また、アジアジェット付近の正の高度偏差は 中国南部に局在化し、日本の北東に負偏差が 見られる。この負偏差は下層でも見られる。 波活動度フラックスが日本へ向かっており、 定在ロスビー波の伝播が見られる。

node5 は、node11の反転パターンに近い が、OLR, SST 偏差の振幅は node11 には及 ばない。フィリピン海~インド洋中部まで OLR 負偏差が拡がっている。アジアジェッ ト付近で帯状の正の高度偏差が見られるが、 中国南部での局在化は見られない。また、 node20 と違い、日本へ向かう波活動度フラ ックスは不明瞭である。下層ではフィリピン 海~日本付近にかけて負偏差が伸びている。

両者を比較すると、node20では、日本付 近でアジアジェットが蛇行しており、フィリ ピン海、南シナ海に局在化した熱源が影響を 与えていることが示唆される。node5では熱 源分布が東西に延びたことでアジアジェッ トも帯状の応答を示しており、下流方向(日 本)へのテレコネクションは不明瞭になって いる。これらの結果は、ENSO 最盛期にし ばしば出現する東西方向に延びた熱源分布 では、アジアジェットを導波管とする定在ロ スビー波束が励起されにくい、という Sakai and Kawamura(2009)の知見を支持してい る。

5.まとめ

EOF と **SOM** を用いて西太平洋~インド 洋の **ENSO** シグナルの抽出を試みた。その 結果、**EOF1** では **ENSO** に関連した東西非 対称パターンが抽出され、SOM では左列に エルニーニョ、右列にラニーニャと関連する パターンが抽出された。

ENSO シグナルが縮約された EOF1 に対 応する SOM は、主に 4 つのノードに分類で き、西太平洋~インド洋の特徴的な大気海洋 相互作用が、SOM の各ノードで抽出するこ とができた。ENSO と IOD との結合はエル ニーニョ卓越時に明瞭であること (node21)、 ラニーニャ卓越時の西太平洋~インド洋の 熱源分布の違いによって、アジアジェットの 応答も異なる (node20, node5) 様子等が見 出された。

今後は、個別の ENSO 現象について、 ENSO の lifecycle と SOM の各ノードがど のように遷移していくのか、中緯度大気にど のような影響を与えていくのかを詳細に調 査していきたい。

謝辞

この第7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お礼申し上げます。

参考文献

- Dommenget D., and Latif M., 2002: A Cautionary Note on the Interpretation of EOFs. *J. Clim.*, **15**, 216-225.
- 井芹慶彦, 松浦知徳, 飯塚聡, 西山浩司, 神 野健二, 2008: 自己組織化マップと主成 分分析のパターン抽出能力比較. 水文 水資源学会発表会概要.
- Iseri Y., and T. Matsuura, S. Iizuka, K. Nishiyama, 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.

- Kohonen T., 1982: Self-organized formation of topologically corret feature maps. *Biological cybernetics*, 43, No.1, 59-69.
- Kohonen T., 2007: Self-organizing maps. Springer-Verlag, Heidelberg.
- Leloup J. A., and Z. Lachkar, J. P. Boulanger, S. Thiria, 2007: Detecting decadal changes in ENSO using neural networks. *Clim. Dyn.*, 28, 147-162.
- Nishiyama K., Endo S., Jinno K., 2007: Identification of typical synoptic patterns causing heavy rainfall in the rainy season in Japan by a Self-Organizing Map. *Atmospheric Research*, 83, 185-200.
- 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.
- Tozuka T., and J. J. Luo, S. Masson, T. Yamagata, 2008: Tropical Indian Ocean variability revealed by self-organizing maps. *Clim. Dyn.*, **31**, 333-343.
- Wang B., and R. Wu, X. Fu, 2000: Pacific-East Asian Teleconnection: How Does ENSO Affect East Asian Climate? J. Clim., 13, 1517-1536.