

## ENSO メトリック

### 1. はじめに

熱帯太平洋に卓越する大気-海洋系の変動であるエルニーニョ-南方振動 (ENSO) は、日本を含め世界中の天候に大きな影響を及ぼし、各地の異常気象の引き金となる最大級の自然変動である。ENSO の規模や頻度が将来の気候においてどのように変化するかを「予測」することは、地球温暖化の影響評価や適応策の観点から重要である。しかし、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第 4 次評価報告書 (AR4) では、温暖化した将来の気候下でも ENSO が継続的に存在することを全ての気候モデル (GCM) が示したものの、その特徴の変化についてはモデル間でばらつきが大きく、一貫した傾向を見出すことができていない。

現在、第 5 期結合モデル相互比較計画 (CMIP5) 及び IPCC 第 5 次評価報告書 (AR5) に向けて世界各国の最新の GCM を用いた計算が実施されており、そのデータは今後 1-2 年で利用可能になる。その新しい計算結果から、どのようにして将来の熱帯気候及び ENSO の変化を評価するかが、ENSO 研究者の間で活発に議論されている。その際に指標となるのが「ENSO メトリック」である。

### 2. ENSO メトリックとは

ENSO の発生には海洋中の成層や波動伝播、熱帯の対流活動など様々な気候要素が影響を与えている。それらの各要因が将来気候下において変化する傾向には GCM 間でばらつきがある。更に、それらの要因に対する ENSO の成長率自体の感度にもモデル依存性があるため、各モデルの結果を寄せ集めて ENSO の特徴の変化を比較するだけでは、統一した傾向を見出すのは困難である。

しかし、たとえ複数の GCM の予測実験結果から直接 ENSO の振幅や頻度が増えるのか減るのかを結論付けるのが困難であったとしても、ENSO の振幅や頻度に関連する共通の気候要素が存在すれば、ENSO

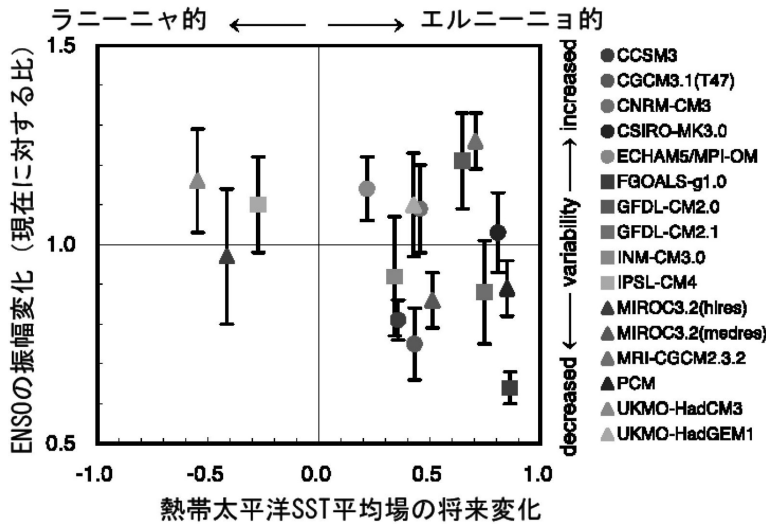
の将来変化をその指標の将来変化の議論に置き換えることができる。このような指標となる気候要素のことを、ENSO メトリックと呼ぶ。複数の物理プロセスが複雑に結合した現象である ENSO に対し、その中のあるプロセスに注目して ENSO メトリックを定義し指標として用いることで、現実的な将来変化の方向を絞り込むことができる可能性が出てくる。更に、そのような ENSO メトリックを複数見つけることができれば、結論を絞り込む効果も一段と高まると期待される。

### 3. ENSO メトリックの例

ENSO メトリックという言葉が広く用いられるようになったのは、CMIP3 で各国の GCM の計算結果を集積・提供する体制が整ってからである。ENSO メトリックの例として、IPCC AR4 に掲載された ENSO 振幅の将来変化と海面水温 (SST) のトレンドパターンとの関係性を評価した結果 ([http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/figure-10-16.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/figure-10-16.html)) を第 1 図に示した。ここでは、温暖化時の ENSO の振幅の変化を評価するメトリックとして、背景場の SST の昇温パターンを採用している。まず縦軸のみに注目してみると、温暖化後の ENSO の振幅が増加することを示すモデルもあれば、減少傾向を示すモデル、ほとんど変化しないと予測するモデルもあり、モデル間に共通の傾向がないことが分かる。しかし、横軸に背景場の SST の変化をメトリックとして導入すると、SST の分布は対流活動を通して表層風とのカップリングの強さや熱フラックスからのフィードバックに影響を与えるため、将来の ENSO の特徴に一貫した変化傾向を与える可能性がある。

しかし、残念ながらそう簡単に期待した結果は得られない。第 1 図を横軸も含めて眺めてみても、ENSO 振幅の変化は SST 平均場の変化とは無関係に決まっているようにしか見えない。このように、CMIP3 マ

† 現実的な予報 (prediction) ではなく、気候変化シナリオにおける予測 (projection) の意味で用いる。



第1図 各国のGCMによって計算された、背景場の熱帯太平洋 SST の将来変化パターン（横軸）と ENSO 振幅の将来変化（縦軸）の関係。IPCC AR4 の Figure 10.16 に加筆修正。横軸の正の値は、将来の熱帯の気候変化がエルニーニョ的である（熱帯太平洋東部の昇温が大きく、東西気圧傾度が減少する）ことを示す。ENSO 振幅の変化は、現在気候とシナリオ実験もしくは CO<sub>2</sub> 漸増実験の後半50年の ENSO 振幅の比。エラーバーは95%信頼区間を示す。

ルチモデルの結果から、すぐに思いつくようなメトリックを定義するだけでは、一貫した傾向を見出すことは難しいことがほとんどである。Zelle *et al.* (2005) は、背景場の変化に対する ENSO の感度は、ENSO が安定状態にあるか不安定状態にあるかに依存することを指摘している。つまり、予測開始時点での ENSO がより観測の状態に近いモデルに解析対象を絞ることで、ENSO の特徴とメトリックとの間により信頼度の高い関連性が見出される可能性が出てくる。

その例として、Guilyardi (2006) では、熱帯中央太平洋における平均貿易風の強さをメトリックに選び、ENSO の振幅との関係を調べている。現在気候の ENSO 振幅の再現が観測に近いモデルとそうでないモデルにグループを分けて見た場合に、各グループにおいて平均貿易風が強いモデルほど ENSO の振幅が弱くなる関係があることを示した。このような関係は理論的には Wang and An (2002) などで説明されている。しかし、温暖化時にもこの関係を保持するモデルが比較的多いものの、すべてのモデルが従う訳ではなく、将来の ENSO の振幅の変化を議論するメトリックとしてはやや不十分であると言わざるを得な

い。

#### 4. 今後の発展

前述の通り、気候値のような統計量から ENSO メトリックを定義し、モデル間の一貫した傾向を見出すことは、多くの研究が試みているがあまりうまくいっていない。第1図の場合で考えてみても、背景場の SST の変化は ENSO に対する様々なフィードバックプロセスに影響を与えるため、それらが混在して異なる役割を果たしているとすれば、背景場の SST の変化を ENSO メトリックとして定義するのは最適とは言えない。したがって、注目する ENSO の特徴に対してどのフィードバックプ

ロセスが最も影響を与えやすいのかを切り離して議論することが今後必要とされる。Guilyardi (2006) では、風と SST の間の相互作用に伴うプロセス (SST モード) と風と温度躍層間のフィードバックに伴うプロセス (温度躍層モード) を分類し、温暖化前の ENSO の状態が観測に近いモデルに絞って傾向を見ると、大気中 CO<sub>2</sub> 濃度増加時に温度躍層モードが相対的に強まる傾向があること、更に、温度躍層モードに近づくほど ENSO の振幅が大きくなることを示した。

このような ENSO の物理プロセスやフィードバックメカニズムをモデル間でより比較しやすい形で定義するため、Jin *et al.* (2006) では、SST 偏差の線形時間発展方程式に基づいてモデル出力から ENSO の各種フィードバックを評価することができる BJ インデックスを提唱し、ENSO 研究の最前線で有効なメトリックとして浸透しつつある。また、近年注目されているタイプの異なる二つのエルニーニョを、どのようなメトリックを使ってモデル間でどう評価するかも重要なテーマとなっている（詳しくは渡部・今田 (2011) を参照）。

一方、現在利用できる観測データの期間が短いこと

が、ENSO メトリックの有効性の検証を困難にしている。そこで、古気候データを積極的に導入することで長い時間スケールの ENSO 指標を復元する試みが近年進められている。IPCC AR5を見据えて、有効な ENSO メトリックを整備するとともに、モデル開発コミュニティにおけるコンセンサスを作ることが今後重要であろう。

#### 略語一覧

AR4/AR5 : Fourth/Fifth Assessment Report  
 CMIP3/CMIP5 : Coupled Model Intercomparison Project Phase 3/Phase 5  
 ENSO : El Niño-Southern Oscillation  
 GCM : Global Climate Model  
 IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change

#### 参 考 文 献

Guilyardi, E., 2006 : El Niño-mean state-seasonal cycle

interactions in a multi-model ensemble. *Clim. Dyn.*, **26**, 329-348.

Jin, F.-F., S. T. Kim and L. Bejarano, 2006 : A coupled-stability index for ENSO. *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L23708, doi : 10.1029/2006GL027221.

Wang, B. and S.-I. An, 2002 : A mechanism for decadal changes of ENSO behavior : roles of background wind changes. *Clim. Dyn.*, **18**, 475-486.

渡部雅浩, 今田由紀子, 2011 : CLIVAR ENSO ワークショップ参加報告. *天気*, **58**, 158-164.

Zelle, H., G. van Oldenborgh, G. Burgers and H. Dijkstra, 2005 : El Niño and greenhouse warming : Results from ensemble simulations with the NCAR CCSM. *J. Climate*, **18**, 4669-4683.

(東京工業大学大学院情報理工学研究科  
 今田由紀子)

(東京大学大気海洋研究所 渡部雅浩)