

## 太平洋十年規模振動 (PDO)

望 月 崇\*

太平洋十年規模振動 (Pacific Decadal Oscillation ; PDO) という言葉が初めて使われたのは、今から20年ほど前の Mantua *et al.* (1997) であり、必ずしも新用語というわけではない。PDO という言葉に対して、詳細はともあれ (基本的には大気海洋系に内在する変動として) 北太平洋域の代表的な10年スケール気候変動、という漠然とした認識は広まっている。近年では、数十年といった単位で質の高い観測データを解析できるようになり、計算機技術の発展で再現・予測の数値実験も実施できるようになってきた。さらに「PDO そのものの研究」に加えて、他の大気海洋現象や農業、漁業、生態系変動など「PDO との関連性を議論する研究」も進み、既に PDO に関する研究成果は世の中に数多く存在する。こうした研究成果の概略は、気象庁のウェブサイトなどでも非常にわかりやすく紹介されている (<http://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/db/climate/knowledge/>)。一方 PDO という言葉は、その広がりにあわせて、曖昧さも併せもつようになってきた。PDO という言葉から何を想像するのだろうか。一般的な PDO の研究紹介とはやや趣向を変えて、ここでは、研究現場における PDO という言葉の曖昧さに注目しながら紹介したい。

PDO の時空間構造の最も一般的な定義は、「北緯20度以北の太平洋の海面水温 (SST) 変動 (あらかじめ全球平均値の変動を抜いておく) を経験的直交関数 (EOF) 展開したときの第1モード (EOF1 ; Mantua *et al.* 1997)」である (第1図)。その時係数 (PC1) は PDO index と呼ばれ、時系列スペクトルは周期10-20年程度に幅広いピークをもつ。「PDO の時間構造」

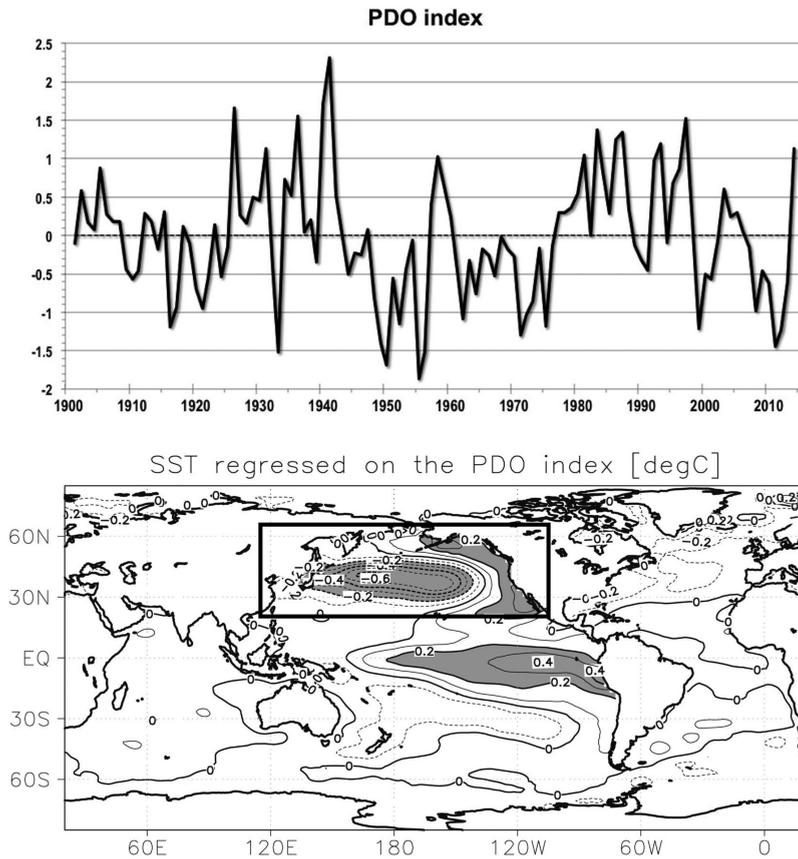
と言った場合には通常この PDO index を指す。馴染みのある方は特に気に留めることもないが、Oscillation と言いながら、sin カーブなどではないイレギュラーな位相変化を表現する。Decadal と言いながら、10-20年程度の時間スケールの変動だけでなく年々変動も目立つ。移動平均などのフィルター処理を施して年々変動成分を除去した時系列を議論することもあれば (年々変動をノイズとみなす)、データ期間が長くない場合などにはあえて年々変動成分も含めたまま議論することもある (年々変動を変調とみなす)。また、広大な海域をカバーするデータに EOF 解析を施してこそ抽出できる変動のような印象をもたれることもあるが、一地点のアメダス気温データなどでも似たような変動を見つけることができる。

EOF1は、日本列島の東方沖 SST 偏差と、アラスカ湾からカリフォルニア沖の北米大陸西岸海域の SST 偏差とのシーソーをあらわす (第1図)。定義上は北緯20度以北のみの SST 変動から計算されているが、実は熱帯域や南太平洋域にもそれなりに同期した SST 変動が存在する。例えば、PDO index に対する回帰を描けば、上記の北米大陸西岸海域の SST 偏差は広く熱帯太平洋域にまで広がり、さらに赤道を軸にして北太平洋域の空間構造を反転させたような SST 偏差が南太平洋域にも見られる。そのため、「PDO の空間構造」と言った場合には、暗に (特に) 熱帯 SST 変動を含んでいることも多い。例えば、レジームシフトとも呼ばれる1970年代後半の大きな気候変化は、PDO という言葉が使われる以前から太平洋域全体の変化として議論されていたが (Nitta and Yamada 1989)、今では PDO の典型的な位相反転例として言及される。

なお、用語という点からは、太平洋全域の SST に対する PC1 には Interdecadal Pacific Oscillation

\* Takashi MOCHIZUKI, 国立研究開発法人海洋研究開発機構. motizuki@jamstec.go.jp

© 2015 日本気象学会



第1図 1901年以降のPDO index (年平均値) と、それに対するSSTの回帰係数 ( $\pm 0.2$ 度より大きな海域に影をつけた)。一般的には、太線矩形海域のSST変動にEOF解析を施してPDOを定義する。

(IPO) という名称があり、そのindexはPDOよりやや長い20-30年程度の卓越変動をあらわす (Power *et al.* 1999)。また、熱帯太平洋域だけに注目した場合には Quasi-Decadal variability (QD) と呼ばれるような10年程度の時間スケールの変動が卓越する (Tourre *et al.* 2001)。これらは、時空間構造の類似性からPDOと結びつけて (時には混同されて) 議論されることも多いが、PDOと同一視されている (PDOがIPOの一部であるとか、QDがPDOの一部であるとか) わけではない。最近のIPOやQDの議論では、北緯20度以北SST変動のEOF2 (注: PDOはEOF1) との類似性が強調されることもあり、メカニズムなどの深い議論をおこなう場合にはこのような曖昧さに注意が必要である。端的に言えば、PDO、IPO、QDは、(それが全てではないが) 熱帯SSTやアリューシャン低気圧にまつわる変動プロセスを部分

的に共有しているのだろう。

そもそも、PDOの変動メカニズムとは何だろうか。忠実に定義に立ち戻って、「北太平洋中緯度SSTの10年スケール変動」を引き起こすメカニズムとは何だろうか。「PDO index」の動向はどのような物理プロセスで説明されるのだろうか。ここでは深くは立ち入らないが、諸説あるなか、Newman *et al.* (2003) による説明は現時点でかなり受け入れられていると思う。彼らは、中緯度SSTの10年スケール変動における偏差形成を、アリューシャン低気圧変化を通じた (主に) 熱帯SSTからの寄与と、中緯度大気からのランダムな強制による影響で説明した。寄与する熱帯SST変動は、必ずしも10年程度のゆっくりとしたもの (PDOの時間スケールを決めるようなもの)

のである必要はなく、エルニーニョ現象のような短い時間スケールのものであってもかまわない。こうしてつくられた中緯度SST偏差は、SST偏差の季節的再帰 (Vimont *et al.* 2003) というプロセスを通じて、(海面だけでなく) 海洋亜表層に存在する水温偏差によって10年スケールで持続することができる (よって、メカニズムの議論では、SSTよりも海洋上層水温のほうが本質的な物理量とも言えるだろう)。

一方で、この説明をもって「PDO」の変動メカニズムであると言えば不満を持たれる方も多いだろう。Oscillationと言うからには、つくられた中緯度SST偏差はどうやって符号 (位相) を変えるのだろうか。例えば、中緯度SSTの10年スケール変動に大きく寄与するアリューシャン低気圧の変動について、それを引き起こすような熱帯SST変動には (中緯度SST変動とは関係なく) エルニーニョ現象やQDが本質的

なのだろうか。それとも中緯度 SST 変動が何らかのプロセスを介して再び熱帯 SST を変化させることが (可能か, を含めて) 本質的なのだろうか。熱帯太平洋まで舞台を広げて, Oscillation として物理プロセスのループを閉じる可能性を感じさせる有力な説はいくつかあるが, 未だ決定的なメカニズムは同定できていないように思う。

さて, メカニズムの議論に決着がついたわけではないものの, PDO の動向をとにかく予測しようという挑戦が世界的に広がっている (例えば, 気候モデル相互比較プロジェクト CMIP5)。予測性能や予測可能性の議論でも, PDO の捉え方のギャップはあらぬ誤解を生みかねない。定義に忠実に従えば PDO の動向とは PDO index であり, それは予測ノイズの大きな SST 変動で定義されるので, CMIP5 時点での PDO 予測はそれほどうまくいっていないというのが一般的な見方だろう (Kim *et al.* 2012)。一方で, メカニズムの議論を勘案しながら, PDO を中緯度海洋上層水温の10年スケール変動として捉えるならば, PDO 予測はある程度可能だとも結論づけられる (Mochizuki *et al.* 2010)。

広範囲での卓越変動をバシッと定義して, それに PDO という名称をつけて…という研究発展の経緯を踏まえると, PDO とはすなわち PDO index であるという前提での議論は自然である。実際に, 冒頭にある「PDO との関連性を議論する研究」では PDO index との関連性を議論することが殆どだと思う。一方, 経緯とは異なり, 現象として PDO なるものが存在するという立場からもし議論を始めるならば, PDO index は指標であり, PDO なるものの一側面であってもよい。index の位置づけはプロセス理解度と関係しているのだろう。例えば, 熱帯海洋でのプロセス理解が進んでいるエルニーニョ現象では, index は常に指標としての意味合いが強い。Oscillation としての本質的な部分が未だ不明瞭である PDO では, index の説明

が変動メカニズムの説明とすり替わる場合もある。冒頭にある「PDO そのものの研究」とは, 現象として PDO なるものの研究であることも多い。研究現場で何気なく受け入れられているこうした言葉の曖昧さは, PDO の本質に対する理解とともに少しずつ解消されていくのではないだろうか。

#### 参 考 文 献

- Kim, H.-M., P. J. Webster and J. A. Curry, 2012: Evaluation of short-term climate change prediction in multi-model CMIP5 decadal hindcasts. *Geophys. Res. Lett.*, **39**, L10701, doi:10.1029/2012GL051644.
- Mantua, N. J., S. R. Hare, Y. Zhang, J. M. Wallace and R. C. Francis, 1997: A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**, 1069-1079.
- Mochizuki, T. *et al.*, 2010: Pacific decadal oscillation hindcasts relevant to near-term climate prediction. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **107**, 1833-1837.
- Newman, M., G. P. Compo and M. A. Alexander, 2003: ENSO-forced variability of the Pacific decadal oscillation. *J. Climate*, **16**, 3853-3857.
- Nitta, T. and S. Yamada, 1989: Recent warming of tropical sea surface temperature and its relationship to the Northern Hemisphere circulation. *J. Meteor. Soc. Japan*, **67**, 375-383.
- Power, S., T. Casey, C. Folland, A. Colman and V. Mehta, 1999: Inter-decadal modulation of the impact of ENSO on Australia. *Clim. Dyn.*, **15**, 319-324.
- Tourre, Y. M., B. Rajagopalan, Y. Kushnir, M. Barlow and W. B. White, 2001: Patterns of coherent decadal and interdecadal climate signals in the Pacific Basin during the 20<sup>th</sup> century. *Geophys. Res. Lett.*, **28**, 2069-2072.
- Vimont, D. J., J. M. Wallace and D. S. Battisti, 2003: The seasonal footprinting mechanism in the Pacific: Implications for ENSO. *J. Climate*, **16**, 2668-2675.