

約10年/数十年(decadal-to-interdecadal)スケール変動

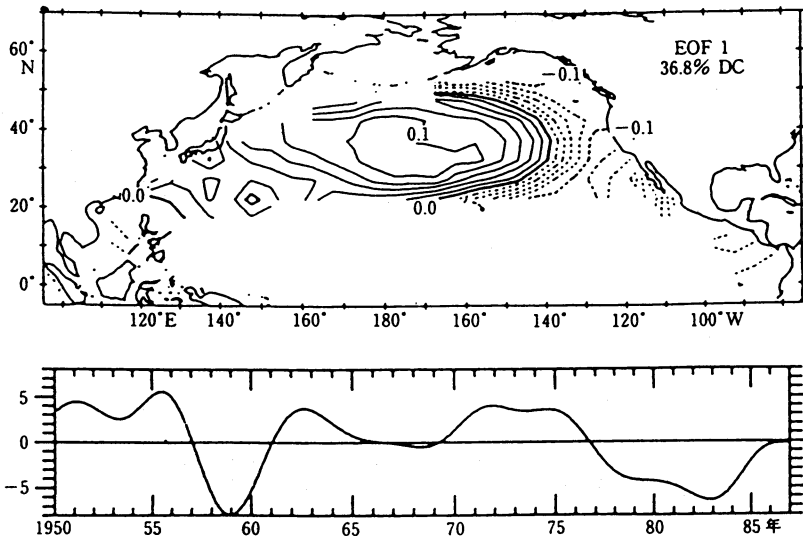
平均すれば3~4年の周期を持つ ENSO (エルニーニョ/南方振動)現象の次に長い時間スケールを持つ卓越した現象として、約10年/数十年スケール変動が現在注目を集めている。始めは冬季の北太平洋上の偏西風の強弱や軸のシフト、アリューシャン低気圧の消長に見出された。その後、この現象は熱帯域の海面水温場と連動している北太平洋全域の現象であることが分かった(第1図、第2図参照)。また、北大西洋でも海面水温場や海水面積の変動の中に見出されている(第3図参照)。現在、次第に様々な物理量に対して長期の時系列を取り扱えるようになってきつつあり、至るところでこの時間スケールの変動現象が見出されるようになってきた。しかし、変動を引き起こすメカニズムについては、まだまったく分かっていないのが現状である。

この約10年から数十年の時間スケールの問題は、TOGA の後継プログラムである CLIVAR (A study of climate variability and predictability: 気候変動特性とその予測可能性についての国際協同研究) の中の3つの主要課題の1つに挙げられている。課題のニックネームはこの時間スケールをとって、CLIVAR-DecCen (decadal to centennial) と呼ばれている。

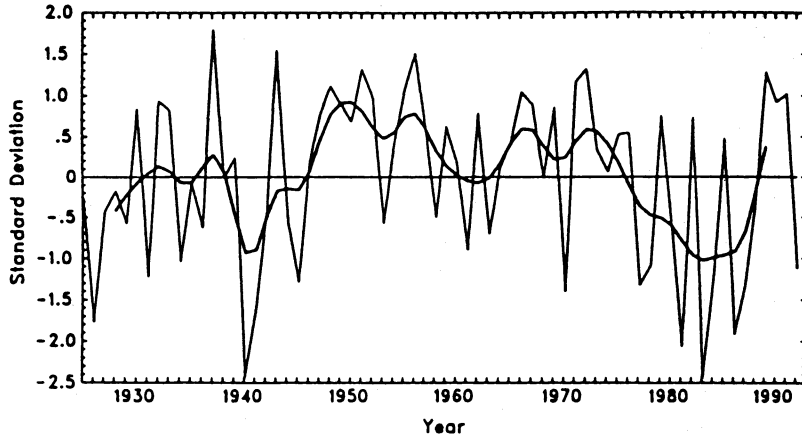
CLIVAR-DecCen では、この時間スケールの変動をもたらすメカニズムとして以下の5つの候補を挙げている(WCRP, 1995)。

(1) 確率的強制に対する大気約10年スケール変動

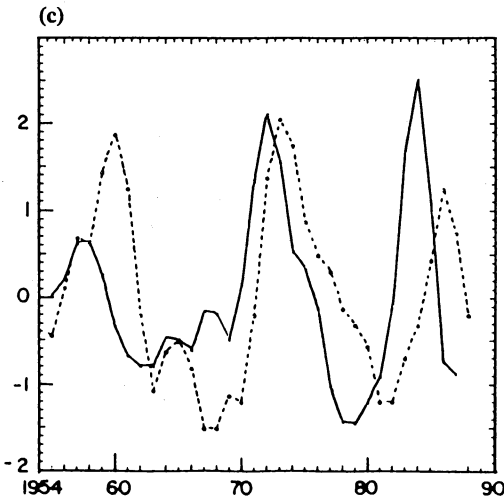
高・低気圧などの大気の高周波変動が、海洋に大きな低周波応答を作り出し、大気非線形過程とともに数十年スケールの変動をもたらす。



第1図 北太平洋の中・高緯度の冬季(12月~2月)海面水温偏差に対する EOF 解析結果で、60か月以上の周期を持つ変動に対する第1モードの空間パターンと時係数。太平洋中央部の楕円状の領域で正、示されていないが赤道域も含めてそれを取り囲む領域で負の分布をとる。1970年代半ばを境にして、時係数が正から負へ急激に変化していることが特徴である。Tanimoto *et al.* (1993) より引用。



第 2 図 Trenberth (1990) が提案している北太平洋指数 (NPI) の時系列. 縦軸は標準偏差で規格化している. この指数は北太平洋上の 30N~65N, 160E~140W の海域内の海面気圧の11月から3月までの平均値で, 近似的に PNA テレコネクションパターンの活動度を表す. 1970年代半ばに正から負に急激に遷移し, 1980年代にかけて著しい負の値をとっている. 1950年代以降の変化は第 1 図の時係数の変化とよく対応している. Trenberth and Hurrell (1995) より引用.



第 3 図 北大西洋の海面水温の EOF 第 2 モードの空間パターンの正負逆転させた時係数 (点線) とラブラドル海のダイビス海峡における海面積偏差の時系列 (実線) の関係. 時系列は 3 変動周期分であるが, 海面積がやや先行する対応関係を示している. この図と第 1 図や第 2 図を比較すると, その変動のタイミングや変化傾向が異なっており, 北太平洋と北大西洋のこの時間スケールの変動は, 独立に振る舞っているように見える. Deser and Blackmon (1993) より引用.

(2) 海洋内部の振動

海洋内部の不安定過程によって生ずる熱塩循環の約 10 年かそれ以上の長周期変動が, 海面水温と海水の変化を通して大気の数十年スケール変動を強制する.

(3) 大気海洋結合モード

大気のみや海洋のみではこの時間スケールの変動は存在せず, 力学の詳細はまだわかっていないものの, 大気-海洋結合系で生ずる.

(4) ENSO 現象のモジュレーション

ENSO 現象は本質的には年々変動であるが, ENSO 現象の非線形力学やほかの要素によるモジュレーションが, より長期の数十年スケールの変動を作り出す.

(5) 外力の変動

気候システムに対する外力, 例えば太陽活動, 放射活性ガスやエアロゾルの放出, 火山からのエアロゾルなどの数十年スケールの変動が, この時間スケールの気候変動を作り出す.

また, これまでの気候変動の歴史を見ると, ある気候状態から別の気候状態へと, 急激な遷移 (「気候のジャンプ」あるいは「レジームシフト」) を伴っていることが多いので (第 1 図, 第 2 図参照), このことも解明されるべき対象であるとしている.

北太平洋のこの時間スケールの変動に対して, 筆者自身は上記 (3) の立場で今後研究を進めたいと考えている. そのストーリー (作業仮説) は以下のようなも

のである。熱帯域全域の海面水温が何らかの原因で高温の偏差となったとする。この結果、冬季のPNAテレコネクションパターンが活発化し、偏西風が強化される(第2図で1970年代半ば以降の状態)。この偏西風の強化が亜熱帯循環系内でエクマン流の収束の強化、したがって海洋表層水の沈み込み速度の増大をもたらす。同時に、海面熱放出を増大させ、また南向きエクマン流による北方の冷水の南下を促進させる。その結果、沈み込む水塊はより低温となる(第1図の1970年代半ば以降の状態)。亜熱帯・亜寒帯循環系境界付近で沈み込んだ水塊は、渦位を保存しながら亜熱帯循環系を循環し、一部は表層熱帯循環系下部へと侵入する。この移流時間は、約10年からそれ以上であろう。熱帯表層循環系下部に侵入した低温の水は、表層の成層や海面水温場に影響を与え、熱帯域の海面水温場は低温の偏差へとスイッチする。この状態が即座に大気循環場に影響を与え、今度はアンチPNAテレコネクションパターンを励起し、偏西風の弱化をもたらす。以後の海洋の応答は、沈み込む水塊がより高温であること以外は上述と同じとなる。すなわち、約10年かそれ以上の時間スケールは、海洋内での水塊の移流時間スケールであるとする見方である。このメカニズムが実際の大気海洋結合系で機能しうのかどうかは分からないが、今後観測的研究も加えて調べていく必要があるだろう。

この時間スケールの変動に関し、本学会「大気-海洋相互作用研究会」は、1992年5月と1994年5月に研究会を開催している。その概要はそれぞれ「天気」39巻8号と41巻10号に掲載された。また、1993年の気象庁月例会においても関連する研究発表があり、その概

要は「グロースベッター」32巻2号に掲載された。また、1992年にSCOR-IOCの中に海洋の数十年スケールの変動に関するAd Hoc Study Groupが作られ、それまでの研究のレビューが行われた(UNESCO, 1992)。興味を持たれた方は、それらを参考にされたい。

参考文献

- Deser, C. and M. L. Blackmon, 1993: Surface climate variations over the North Atlantic Ocean during winter: 1900-1989, *J. Climate*, **6**, 1743-1753.
- 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.
- Tanimoto, Y., N. Iwasaka, K. Hanawa and Y. Toba, 1993: Characteristic variations of sea surface temperature with multiple time scales in the North Pacific, *J. Climate*, **6**, 1153-1160.
- Trenberth, K. E., 1990: Recent observed interdecadal climate changes in the Northern Hemisphere, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **71**, 988-993.
- Trenberth, K. E. and J. W. Hurrell, 1995: Decadal coupled atmosphere-ocean variations in the North Pacific Ocean. In: *Climate change and fish populations*, ed. by R. J. Beamish, *Can. Spec. Fish. Aquat. Soc.*, **121**, 15-24.
- UNESCO, 1992: Oceanic interdecadal variability, *IOC Tech. Ser.*, **40**, 40pp.
- WCRP, 1995: CLIVAR-A study of climate variability and predictability-Science plan, *WCRP-89*, 157pp.

(東北大学大学院理学研究科 花輪公雄)