太平洋数十年規模振動(PDO)の影響を受ける日本の夏期について

谷貝 勇 (気象大学校)·福井裕佳 (気象庁情報通信課)

1 はじめに

明治時代に始まった気象庁の観測データを 解析すると、場合により、数十年スケールの変動 の現れることがある。ただし、数十年の間隔で異 なった原因により、似たような気温変化が起こっ た場合にも、見かけ上は数十年変動が見えるので、 解析には注意が必要である。

太平洋十年規模振動 Pacific Decadal Oscillation (PDO)あるいは同等のものであるが 太平洋数十年規模振動 Inter-decadal Pacific Oscillation (IPO)は北太平洋中央部で平年より も海面水温が低い(正の位相)ときに赤道域や北 太平洋東部で高くなるという現象で、約20年の 周期がある(Mantua et al., 1997)。冬のアリュー シャン低気圧が関係する大気-海洋相互作用の 結果として起こっているが、詳しいメカニズムは わかっていない。

本研究では、非常に大きな時間空間スケールで 起こる PDO と比較的狭い日本近辺の、しかも夏 期の気候変動を扱うために、つまづき易い問題が 起こる。

 (1) 数十年変動のシグナルは、年々変動など より大きくはなく、夏期の(PDO 指数) シグナルは小さい。

このため、長期間のデータを統計的に処理する必要がある。シグナルは小さいものの、異常気象に 関連するため、日本に及ぼす影響は小さくはない。

(2) 気象衛星ひまわり観測開始(1978年4月)
の影響で、熱帯のデータ品質にギャップ?

PDO の位相が 1976/77 年に変わったため、注意が 必要。

(3) PDO が正の位相では、北太平洋の SST は 低温だが、日付変更線より東の太平洋赤 道域では高温でエルニーニョ的な傾向に ある。

このため、熱帯の SST が原因に見えるが、日本近辺の数十年変動では、実は南北の温度傾度が重要になる。

2 PJパターンの解析結果

PDO はその成り立ちから冬季にはっきりと現 れる現象であり、北太平洋における北緯 20 度以 北の月平均海面水温偏差の主成分分析を行って 得られる PDO 指数は 1976/77 に位相が変わって いる (Mantua et al., 1997)。7, 8月の PDO 指 数の時間変動は、数十年変動が見られるものの、 年々変動も大きい。第1図は ECMWF による再解析 データ ERA40 で、10 年ごとの 8 月における海面水 温偏差分布を表している。平年値(1971-2000年 平均値)も一緒にプロットされている。これを見 ると、日本付近の海面水温は、フィリッピン付近 の高温とオホーツク海の低温な海水に挟まれた、 南北の温度傾度の大きな領域であることが分か る。8月における北太平洋での海面水温偏差は、 PDO の位相とよく対応していて、1960年代と70 年代では北太平洋の広い領域で高温偏差になっ ていることが分かる。それが、1980年代では、北 太平洋の広い領域で低温偏差に変わった。1990 年代では、8 月の PDO 指数の変動が大きく (94,96,98,99年に負値)、北太平洋の低温域は西 側と南側の地域に限定されている。

第2図はERA40の上層雲量について、第1図と同 様に平年値と10年ごとの8月における偏差を示し ている。ITCZの季節変化により日本の南部のフィ リッピン付近の緯度帯では大きな値となり、日本 付近は上層雲量の南北傾度が大きな領域になっ ている。10年ごとの偏差では、1960年代と70年代 では日本付近から太平洋にかけて上層雲量は大 きな値となっている。1980年代では分布が大きく 変化し、70年代に偏差の極大だった西部太平洋の 上層雲量は負偏差に変わった。1990年代では、太 平洋の広い領域で雲量は負偏差になった。以上の ことから、8月における海面水温と上層雲量につ いて、十年ごとの偏差は、1970年代までとその後 で、大きく変わったことが分かる。ERA40にある 2m地表気温やskin temperature についても海 面水温と同様の変動が見られた。また、7月のデ ータに関しても、以上のデータは、8月のデータ と類似した変動を示した。

次に、PJパターンの長期変動を調べるために Nitta (1987) と同様の解析を行った(第3図)。図 中のpositive center (16°N-20°N, 142° E-150°E) とnegative center (32°N-38°N, 134°E-142°E)は、領域で平均した上層雲量を 示す。観測精度が心配になるフィリッピン沖の上 層雲量 (positive center) については、大きな 年々変動が見られるものの、期間全体で系統的な





図3 8月平均でのフィリッピン沖の positive center と日本付近の negative center における上層雲量の年々変動。両者の差で定義される PJ index もプロットされている。

長期変動あるいは長周期変動は見られない。一方、 日本付近の上層雲量 (negative center) につい ては、顕著なエルニーニョの起こった1983年より 後では、それまでより系統的に小さな値が見られ る。観測機器の精度変更で観測データに品質のギ ャップの起こることはあり得るが、その場合、観 05 |測精度の不十分だった低緯度域で、なんらかのデ ータのギャップの起こることが予想される。これ らから、ERA40の上層雲量データは、気象衛星ひ まわり観測開始(1978年4月)の影響で、見掛け の変動が起こったのではないことが分かる。 positive centerとnegative centerの雲量差で定 義されるPJインデックスは、1982年までは0.5以 下の値だったが、顕著なエルニーニョの起こった 1983年に0.58となり、その後はしばしば、0.5を 越える年が現れるようになった。1983年以降から 大きくなったPJインデックスは、日本付近の雲量 が小さくなってきたことが寄与している。さらに、 同時に、年々変動としてはフィリッピン沖の上層 雲量が大きくなっていることも影響している。こ の逆相関がPJパターンの重要なポイントである が、これが顕在化するのは、Nitta (1987) の解 析した1978年~1984年以降からであり、それ以前 では、PJパターンは、あまりはっきりとしていな いことが分かる。

第4図に8月のフィリッピン付近の対流活動に よる上層雲量と日本付近の雲量の相関(符号を変 えた)を過去8年間ごとに計算した値とMantua et al. (1997)による PDO 指数(過去8年の平均)を プロットした。Nitta (1986)の指摘した雲量の 負相関は、日本付近の海面水温が低い PDO 指数 が正のときに見られる特徴である。

Positive and Negative Center 上層雲量の過去8年ごとの相関係数(負)とPDO指数(8月)



図4 8月のフィリピン沖と日本付近の 月平均上層雲 量の過去8年ごとの相関係数(符号転換、黒線)と対 応する期間のPD0指数(白線)

1970 年代終わりから PJ パターンの力学的な影 響が顕著になったことは、既に Kawamura et al. (1998)で指摘されている。彼らは、当時の気象庁 ルーチンモデル JMA-GSM89 を用いて、海面水温 を与え(期間 1955 年~1994 年)、初期値をわず かに変えた 3 個のアンサンブル実験を行なった。 そして 850hPa 高度場で、日本付近の region A (30° N-40° N, 130° E- 150° E)と フィリッピン 付近の region B (5° N-15° N, 120° E- 140° E) を解析した。すると、1970 年代後半から region A での高度場の夏期平均(6月から8月)の振幅が 増大し、しかも 1979 年から 1993 年にかけて、 region A と region B が逆位相になっている。これ より前の期間では、region A での高度場の振幅は 小さく、逆位相の関係は見られなかった。図5で、 Kawamura et al. (1998)と同じ解析を ERA40 の 850hPa 高度場を用いて行った。その結果、モデル は、ERA40 で見られる主要な変動を、よく再現し ていたことが分かる。region A と region B の逆位 相は、PDO の位相が変わった 1978 年からはっき りと見られるようになった。それ以前は、似た変 動をしている。Kawamura et al. (1998) では、1979 年以降の日本付近の region A の振幅が大きくな ったことを指摘していて、熱帯の海面水温の変動 が影響しているとした。しかし、ERA40 では、 region A の振幅に系統的な変化は見られない。



図5 6-8月平均での日本付近の region A とフィリッ ピン付近の region B における 850hPa 高度場平年偏差 の年々変動。



図 6 6-8 月平均での日本付近とフィリッピン付近の 850hPa 高度場平年偏差の過去7年ごとの相関係数(符 号転換、黒線)と対応する期間のPD0 指数(白線)。

図6は、図4と同様に、ただし、6-8月平均した850hPa高度場における region A と region B の 平年偏差の過去7年ごとの相関係数の符号を変えたものとPDO指数をプロットしている。図から、 高度場の相関係数の符号の変化とPDOの位相変 化がよく対応していることがわかる。

3 海面水温が影響する PJ パターンの伝播と 日本に及ぼす影響

フィリッピン沖で強制された定常ロスビー波 が、どのようにして伝わってくるかの力学的な解 析が Kosaka and Nakamura (2006) で行われている。 彼らは線型化された渦度方程式、

$$S - \overline{u_{\psi}} \frac{\partial \varsigma'}{\partial x} - \overline{v_{\psi}} \frac{\partial \varsigma'}{\partial y} - u_{\psi}' \frac{\partial \overline{\varsigma}}{\partial x} - v_{\psi}' \frac{\partial (f + \overline{\varsigma})}{\partial y} - (residuals) - (damping) = 0$$

$$S = -\nabla_{H} \bullet \left\{ \mathbf{u}_{\chi}'(f + \overline{\varsigma}) \right\} - \nabla_{H} \bullet (\overline{\mathbf{u}}_{\chi}\varsigma')$$
(2)

を用いた。ここで、

Sは Sardeshmukh and Hoskins (1988) による、線型 化されたRossby wave sourceである。 $\mathbf{u}_{\psi} = (u_{\psi}, v_{\psi})$

と $\mathbf{u}_{\gamma} = (u_{\gamma}, v_{\gamma})$ は風速の回転成分と発散成分

で、 ς は相対渦度の鉛直成分である。over bar と

primeは、基本場とそれからのズレを示す。 Kosaka and Nakamura (2006)による850 h Pa での渦度偏差と各項の収支を見ると、渦度偏差は フィリッピン沖の正偏差と日本の南東の負偏差 のあるダイポールパターンが見える。日本の南東 の高気圧性偏差には、 β 項と南北移流項がきいて いて、Rossby wave source を打ち消す方向に働 き、東西移流の項は寄与が少ないことが分かる。

Holton (2004)から、中緯度の場合、順地衡風 近似が適用できて、

$$\boldsymbol{\varsigma}_{g} = \mathbf{k} \bullet \nabla \times \mathbf{V}_{g} = \frac{1}{f} \nabla^{2} \boldsymbol{\Phi}$$
(3)

ここでΦはジオポテンシャルを表す。これより、 相対渦度ζが決まると、ジオポテンシャルが決ま る。さらに、静力学近似を用いると、等圧面の間 の平均温度が定まる。

$$\frac{\partial \varsigma_g}{\partial p} = \frac{1}{f} \nabla^2 \frac{\partial \Phi}{\partial p} = -\frac{R}{fp} div(gradT)$$
(4)

この関係をPJパターンが伝播してきたときの典 型的な場合に適用してみる。Nikaidou (1989)の Fig. 5 に1986年7月27日の高度場と気温のマッ プがある。海面気圧と850hPa高度場では日本列 島の南にリッジ状の高気圧場が見られ、(4)式の最 初の2項は負になる。そして、850hPa(と海面気 圧)において、日本付近で南北の大きな温度傾度 が現れて、当然ながら(4)式の最後の項も負になっ ている。Kosaka and Nakamura (2006)では渦度 で議論しているが、気温と渦度には常に(4)式が成 り立っているため、温度移流がconsistentに起こ っている。ここで注意が必要なことは、下層の温 度移流の場合、境界面としての海面水温の影響を 受けることである。上層で同じRossby wave sourceが日本近辺に伝播してきた場合に、渦度移 流としては(1)式のバランスで渦度移流が決まり sub highが生じるが、ここで生じた風(特に南北 風)による温度移流は、海面温度の南北温度傾度 が大きい場合のほうがより効率的に温度移流が 起こり、結果として日本付近の南北温度傾度をよ り大きくすることが期待される。これが、日本付 近における下層のリッジ(sub high)を強めるこ とになる。1970年代終わりからPDOの位相が正に なり、日本付近の海面水温の南北温度傾度が大き くなって、PJパターンの力学的な影響が顕著にな ったことは、このようなメカニズムが働いた結果 と解釈される。

このようなメカニズムが、PIパターンの伝播に 重要であることを示す数値実験が、すでに Nikaidou (1989) によって行われた。当時の気象 庁のルーチンモデルを基にしたT42の粗い水平 解像度で、1984年5月1日を初期値として西部熱 帯太平洋上に1.5℃の海面水温偏差を与えたも のと、与えない海面水温で二種類の4カ月数値積 分実験を行い、それらを調べた。偏差は赤道から 20°N、125°Eから 165°E で与えている。 両方の数値積分共に、バロトロピックな構造をし た亜熱帯高気圧が真夏には日本付近に形成され たが、海面水温偏差を与えた場合の方が、亜熱帯 高気圧の海面気圧と西部熱帯太平洋の降水量の 間に明瞭な正相関が認められたり、日本列島の南 部から北アメリカの西海岸を結ぶ大円に沿って ロスビー波の伝播が認められたり、よりNitta

(1987)の解析に近い結果となった。海面水温偏 差は、与えた場所での対流活動を強める効果より も、南北の温度傾度を強める影響が効いていると 考えられる。海面水温偏差を与えない場合は、水 平解像度が粗いため、南北の温度傾度が実際より も小さくなり、ロスビー波の伝播が起こらなかっ たものと考えられる。結果として、Nikaidou (1989)による数値実験は、PDOによって北太平 洋で低温となるために起こる日本付近の大きな 南北温度傾度を、かわりに西部熱帯太平洋での高 温で作り出したものと解釈できる。それゆえ、結 果は、PDOの位相が正の場合と負の場合に起こる PJパターンの変動と、良く対応している。

3 PDOが北日本に与える影響

これまでの解析から、PDOが南北の温度傾度を 変えることによって、PJパターンに影響すること がわかった。次に、このテレコネクションの結果 として、日本にどのような影響が起こり得るのか を解析する。図7は、北日本(網走、根室、寿都、

山形、石巻)の7、8月の月平均気温偏差をもと に、空間変動を調べる目的で標準偏差を計算し、 その11年移動平均をプロットしている。 Wakabayashi and Kawamura (2004)によると、PJパ ターンは北日本に影響を与える。これに対応して、 北日本では、PDOの位相が正のとき(1976/77年 以降、および1930-1945年頃)、気温の空間変動 が大きくなっている。逆に、PDOの位相が負のと き(1960-1975年頃、および1916-1925年頃)に は、気温の空間変動は小さかった。類似した長期 変動は既に気象庁(現大阪管区気象台)の諸岡浩 子氏が解析している。この結果は、北日本におけ る気温の空間変動という定常ロスビー波の伝播 と密接に関連した気象要素を解析すると、PDOに 影響されたPJパターンの長期変動の影響を検出 できることを示している。

同時にプロットした北日本の平均気温を見る と、PDOの位相と北日本の気温偏差に対応のある ことが分かる。1900年以降の7,8月で気温偏差が -1.3℃以下の顕著な低温の年は14回あり (1902,1913,1941,1980,2003,1956,1993,1954,1905, 1945,1934,1931,1983,1988年)その内1956年以外 の年のPDO指数はすべて正になっていた。また、 偏差が1.1℃以上の顕著な高温な年は19例あり、 そのPDO指数はすべて負で、顕著な暑夏には近 辺の海面水温の温度が高いほうが都合のよいこ とが分かる。暑夏年の上位には、1978,1950,1943, 1994,1924,1933,1955,2000,1999,1946年がある。

夏期のPDO指数は、冬季に比べると年々変動が 大きいが、図7から見られる1960年代と70年代前 半には、PDO指数はほとんど負になっており

(1968,1974年が小さな正の値)顕著な暑夏や冷夏 が起こらなかった。また、同様に、1920-1930年 頃には、PDO指数は負の値が卓越して、暑夏は起 こっていたものの、顕著な冷夏は起こらなかった。 北日本の冷夏に長期変動のあることは、これまで 謎であり、気象庁の長期予報業務に影響していた が、起こりにくい期間を見るとPDOの位相と対応 することが分かる。

PDOと冷夏をもたらすオホーツク海高気圧の 発達との関係は今後の課題であるが、近年の地球 温暖化ではユーラシア大陸の昇温が顕著になっ ている。また、PDOにより海面温度が低下し、海 陸のヒートコントラストが増大したことでオホ ーツク海高気圧の発達に都合のよい状況を生ん でいる。地球温暖化の予測実験では類似したヒー トコントラストでオホーツク海高気圧が発達し た (Kimoto, 2005)。1976年以降の冷夏には地球温 暖化の影響が見られるが、PDOも影響して、結果 として北日本の天候に数十年変動が起こった。



図2 7,8月で平均した北日本平均気温偏差(棒グラフ)と11年移動平均した標準偏差(赤線) および PDO 指数(青線)。棒グラフの目盛は右、折れ線グラフは左。

参考文献

- Holton, J.R., 2004: An Introduction to Dynamic Meteorology. Academic Press.
- Kawamura, R., M. Sugi, T. Kayahara, and N. Sato, 1998: Recent extraordinary cool and hot summers in East Asia simulated by an ensemble climate experiment. J. Meteor. Soc. Japan, 76, 597-617.
- Kimoto, M., 2005: Simulated change of the east Asian circulation under global warming scenario. Geophys. Res. Lett., 32, L16701, doi: 10.1029/2005GL023383.
- Kosaka, Y. and H. Nakamura, "Structure and Dynamics of the Summertime Pacific-Japan Teleconnection Pattern", Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 132 (2006), 2009-2030
- Mantua, N.J., et al., 1997: A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. Bull. Am. Meteorol. Soc., 78, 1069–1079.
- Nikaidou, Y., 1989: The PJ-like north-south oscillations found in 4-month integrations of the global spectral model T42. J. Meteor. Soc. Japan, 67, 587-604.
- Nitta, Ts., 1987: Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer circulation. J. Meteor. Soc. Japan, 65, 373-390.
- Sardeshmukh, P.D., and B.J. Hoskins, 1988: The generation of global rotational flow by steady idealized tropical divergence. J. Atmos.

Sci.45, 1228-1251.

Wakabayashi, S., and R. Kawamura, 2004: Extraction of major teleconnection patterns possibly associated with anomalous summer climate in Japan. J. Meteor. Soc. Japan, 82, 1577-1588.

Appendix 平年値の 2011 年問題について

統計期間については、1935年の国際気象機関 (世界気象機関の前身)の会議で、30年間を平 年値の統計期間とし、10年ごとに再更新すると 勧告された。日本では、気象庁が1921年~1950 年の期間以降、西暦の末尾が1となる年に10年 ごとに更新されている。

例として 2001 年から 2010 年まで(2000 年 代)は、2000 年統計(1971 年から 2000 年まで の平年値)が用いられる。

近年の急激な地球温暖化により、解析や近未来 予測で対象とする変動幅が、平年値の期間変更に 敏感に影響されるようになった。特に、南北の温 度傾度は、JRA-25 1979~2004 年(26 年間)の 平年偏差分布と ERA40 とで異なる。

気象庁で公開している、各種、平年値と平年偏 差について、2011年以降も旧平年偏差(1971~ 2000年)が使えるように、データを整備してい ただきたい。そして、偏差図が急に変わるので、 旧平年値による偏差図が、これまで通り見れるよ うに整備していただきたい。