

近年の日本の天候に見られる特徴と十年規模変動の関連

ト部佑介・前田修平（気象庁気候情報課）

※Urabe and Maeda（2014）に基づく。

1. はじめに

1990年代後半以降、日本では気温が夏から秋にかけて高く、冬から春にかけて低くなる傾向があり、これはラニーニャ現象の影響に類似している。この期間においては、全球平均気温の上昇傾向が不明瞭となっており、地球温暖化の停滞として注目されている（Easterling and Wehner 2009）。最新の研究の中では、地球温暖化の停滞にはラニーニャ現象に近い状況が続いていることが寄与しており、これは太平洋十年規模振動（PDO：Mantua et al. 1997）や太平洋数十年規模振動（IPO：Zhang et al. 1997, Power et al. 1999）のような大規模な十年規模変動に伴って発生している可能性が高いと指摘されている（Meehl et al. 2013; Kosaka and Xie 2013）。

年々変動としてのエルニーニョ/ラニーニャ現象はテレコネクションを通して日本の天候と大きく関連していることから、十年程度の長い時間規模においても熱帯海洋の変動が日本の天候に影響を与えていることが考えられる。そこで、本研究では1990年代後半以降の期間に注目し、日本の天候や大規模な大気・海洋の場に見られる特徴を示し、両者の関連について考察する。

2. 使用データ

本研究では、いずれも気象庁による長期再解析（JRA-55, Kobayashi et al. 2015）、海面水温解析（COBE-SST, Ishii et al. 2005）、

海洋データ同化（MOVE-G, Usui et al. 2006）、及び日本国内15地点¹の地上観測気温を用いる。なお、MOVE-Gについては観測値の変化（衛星データの有無）等により、データの均質性が低下している場合があるため、Ishii and Kimoto（2009）による客観解析データも用いて両者の整合性を確認する。平年値は1981年～2010年の30年平均を用いる。

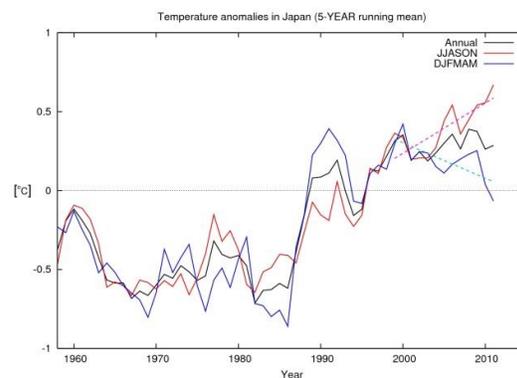


図1 日本の気温の時系列（5年移動平均）（°C）。黒線は年平均（前年12月～当年11月）、赤線は夏～秋平均（6月～11月）、青線は冬～春平均（12月～5月）。点線は1999年～2011年の期間について求めた線形トレンドで、紫が夏～秋平均、水色が冬～春平均。トレンドはそれぞれ+0.31°C、-0.22°Cで、Studentのt検定によるといずれも95%の水準で統計的に有意。

¹ 1898年以降観測を継続している気象観測所の中から、都市化による影響が少なく、特定の地域に偏らないように選定された以下の15地点の月平均気温。

網走、根室、寿都、山形、石巻、伏木（高岡市）、飯田、銚子、境、浜田、彦根、宮崎、多度津、名瀬、石垣島

3. 日本の気温

図1に地上気象観測に基づく日本の気温の時系列を示す。年平均値(黒線)は1990年代後半までの期間に明瞭な上昇を示した後、上昇傾向が不明瞭となっており、これは全球平均気温の挙動と整合的である。一方、夏-秋の平均(赤線)と冬-春の平均(青線)を比較すると、前者には上昇傾向、後者には下降傾向が見られており、明瞭な違いがある。

図2 a に示した1999年から2012年の期間で平均した月平均気温では、気温の下位6か月が冬-春、上位6か月が夏-秋となっており、Wilcoxon (1945) の順位検定に基づけば冬-春と夏-秋の二集団の間には99%以上の水準で有意な差が存在する。これは図1で示した時系列の傾向とも整合的で、最近十年余りの期間は日本において気温の季節変動が強まっていることを示している。この傾向はラニーニャ現象時に見られる特徴と類似しており、実際に日本の月平均気温とNINO.3指数の相関係数(図2 b : 縦軸を上下逆にしてある)と比較すると、ほぼ同じ傾向となっていることが分かる。従って、近年の日本の気温に見られる傾向(季節変動の強化)には熱帯太平洋域の海面水温が影響を与えている可能性が考えられるため、次節では同じ期間における海面水温及びそれと関連する循環場の状況を確認する。

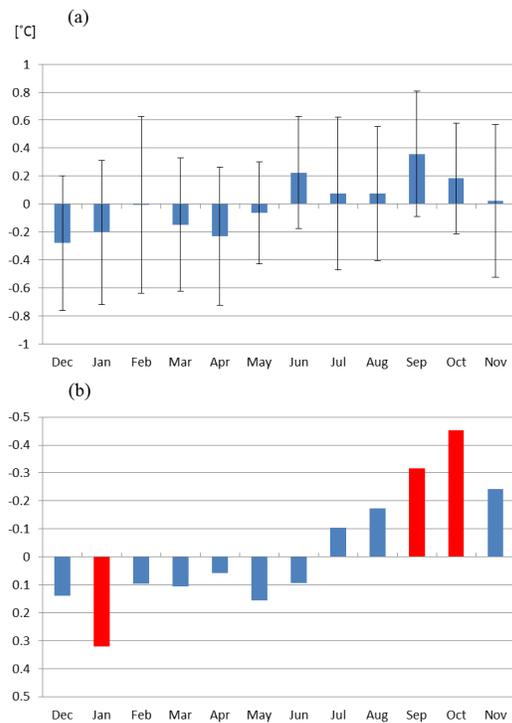


図2 (a) 日本の月平均気温偏差(1999年~2012年平均)($^{\circ}\text{C}$)。比較がしやすいよう、この期間の年平均値に対する差で示している。エラーバーは Student の t 検定に基づく 90%信頼区間を表す。(b) 日本の月平均気温偏差と、NINO.3 指数の相関係数。縦軸を上下逆にしてある。赤いグラフは相関係数が Student の t 検定で 95%有意であることを示す。

4. 海面水温と大気循環場

図3 a に 1999~2012 年で平均した海面水温偏差の分布を示す。太平洋熱帯域では西部で正偏差、中部及び東部で負偏差が分布し、この期間は海面水温の東西勾配が強まって平均的にラニーニャ現象側の状態となっていたことが分かる。また、北太平洋では負の PDO に相当する偏差分布が見られ、熱帯と合わせて負の IPO に相当する分布となっている。図3 b で示す上層 200hPa における速度ポテンシャル偏差は太平洋西部で負偏差

(上層発散)、東部で正偏差(上層収束)となっており、図は省略するが下層 850hPa の偏差分布はほぼ逆符号の分布となっている。これらはいずれも海面水温偏差の分布と整合的であり、ラニーニャ現象時に見られる海洋大陸付近での対流活動の強化傾向として理解できる。

図4の左側には、上層 200hPa における高度偏差 (a : 冬-春平均、b : 夏-秋平均) を示す。冬-春平均ではユーラシア東部から日本付近にかけて負偏差が分布している。これは Takaya and Nakamura (2013) で示唆されている Far Eastern Trough の強まりと考えられ、日本における冬の低温と整合的である。夏-秋平均では日本付近で東西方向に広がる正偏差が特徴的で、上空の西風ジェットが北偏し、気温が高くなることを示している。右側には、海洋大陸付近(図3bの赤四角で示した領域)で平均した 200hPa における速度ポテンシャル偏差に対する高度偏差の回帰係数の分布 (c : 冬-春平均、d : 夏-秋平均) を示している。左右の図は先述した日本の気温と関連している点を含めて多くの領域で同様の分布を示しており、3節で示した日本の気温における季節変動の強化は、十年規模変動に伴う熱帯域でのラニーニャ傾向と対流活動の変化に対する大規模な循環場の応答によって引き起こされている可能性が高いことが分かる。

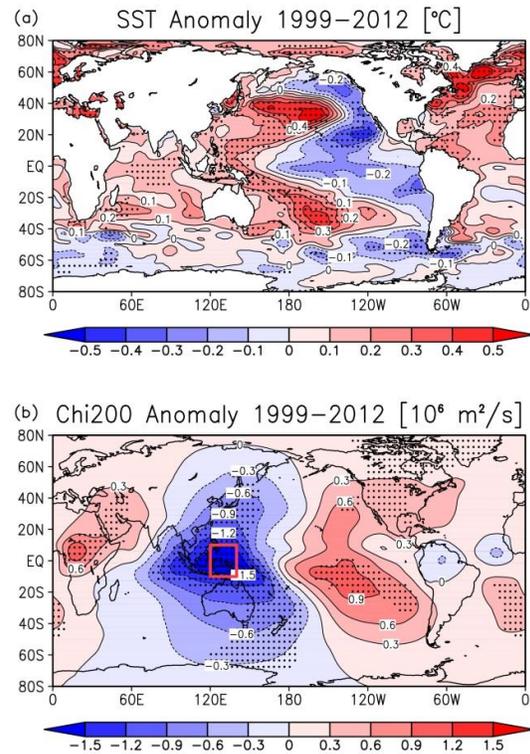


図3 (a) 1999~2012年で平均した海面水温偏差(°C)。(b)同じ期間で平均した200hPaにおける速度ポテンシャル偏差(10⁶ m²/s)。ドットはt検定(95%水準)で有意な領域。

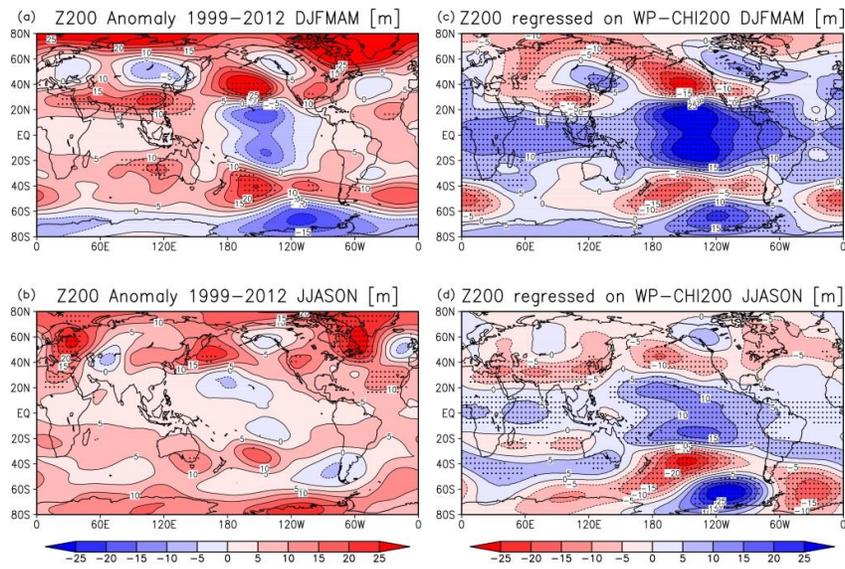


図4 (a) 1999~2012年で平均した200hPaにおけるジオポテンシャル高度偏差(冬-春平均)。(b) 同じく夏-秋平均。(c) 図3の赤四角領域で平均した200hPaにおける速度ポテンシャル偏差に対する、200hPaにおけるジオポテンシャル高度偏差の回帰係数(冬-春平均)。(d) 同じく夏-秋平均。統計期間は1959年~2013年。ドットはt検定(95%水準)で有意な領域。単位は全て[m]。

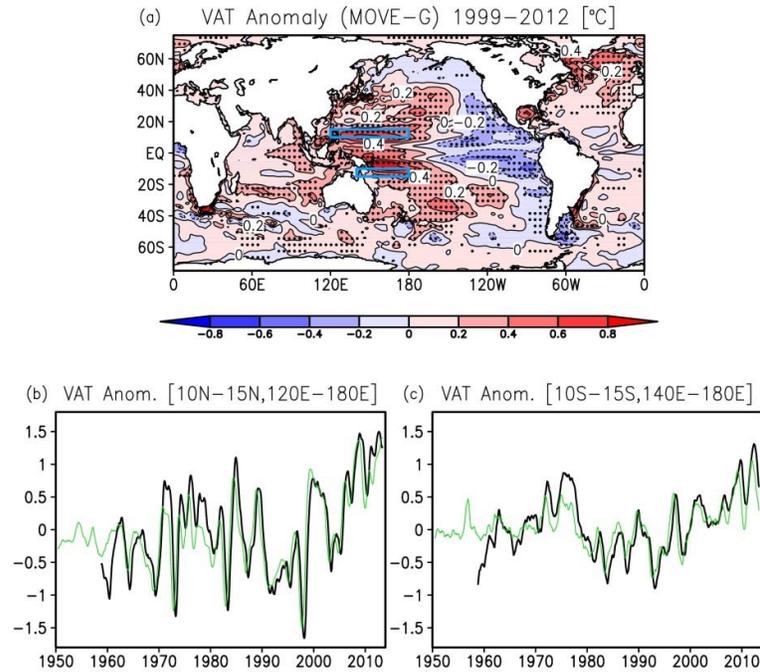


図5 (a) 1999~2012年で平均した海面~300m深の鉛直平均水温(VAT)偏差(°C)。ドットはt検定(95%水準)で有意な領域。(b) (a)において青四角(北半球側)で示した領域で平均したVAT偏差の時系列。黒線はMOVE-G、緑線はIshii and Kimoto (2009)の客観解析データに基づいて算出したもの。(c) 同じく南半球側の時系列。

5. 表層水温偏差とその時系列

十年を超えるような長い時間規模においては、海面のみではなく海洋内部の変動も重要となることから、海洋の表層水温についても状況を確認する。図5 aに、MOVE-Gより求めた1999年～2012年で平均した海面から300m深までの鉛直平均水温（Vertical Averaged Temperature: VAT）偏差を示す。海面水温と同様に太平洋熱帯域の西部で正偏差、東部で負偏差が明瞭となっているが、海面水温と比べると赤道からやや離れた領域に正偏差の強いピークがある点が異なっている。なお、Ishii and Kimoto (2009)による客観解析データと比較したところ、基本的な傾向に違いは見られなかった（図略）。また、後述の時系列（図5 b、c）においても、1980年代以降については両者の間に不整合はほぼ見られていない。

西部太平洋熱帯域における正偏差の極大域付近（図5 aの青四角）で平均したVAT偏差の時系列（図5 b、c）では、1980～90年代に若干の低下傾向が見られた後、今回注目している期間においては急激な上昇が起きており、2003年～2012年の直近十年間の平均偏差は北（南）半球側で0.65K（0.53K）となっている。一方、ENSOに相当する年々変動が支配的であった1971年～2000年の期間における標準偏差は北（南）半球側で0.63K（0.43K）であり、これは近年の十年規模での上昇によって、年々変動の振幅と同程度かそれを上回る規模の正偏差が数年に渡って持続していることを意味する。従って、4節で期間平均として見てきた状況（十年規模でのラニーニャ傾向）は継続的に強まる傾向を示しており、その規模や影響は年々変動と同程度にまで拡大している可能性が高い。

6. まとめ

PDOの位相変化や地球温暖化の停滞期への移行等、長期的な時間スケールの気候変化が発生した可能性がある1999年以降の状況について、観測・再解析データを用いて調べた。

この期間において、日本の気温には夏一秋にかけて高く、春一冬にかけて低くなる傾向、すなわち季節変動の強化傾向が見られた。同時に、太平洋熱帯域では海面水温が西部で高く、中部から東部にかけて低くなるラニーニャ寄りの状況となり、太平洋熱帯域の対流活動もこれに対応して西部で対流活発、東部で不活発となった。全球的な循環場の分布は熱帯域の対流活動に対する応答と考えられる特徴が多く見られ、日本の気温における季節変動の強化とも整合的であった。従って、近年の日本の天候に見られる特徴には、熱帯域の海洋、大気循環場に見られる十年規模の気候変動と、全球規模のテレコネクションが大きく寄与している可能性が高い。

加えて、海洋の表層水温では西部太平洋熱帯域において顕著な暖水偏差の増大が見られ、十年規模での増加幅は年々変動の振幅と同程度になっている。

これらの結果から、十年規模変動は日本の天候に大きな影響を与えており、ENSOに代表される年々変動だけでは説明しきれない部分も多くあることが分かる。もちろん、Cohen et al. (2014)などで指摘されている北極海の海水の減少など、日本の天候の長期的な変動に影響を与えるメカニズムは他にも数多くあると考えられる。日本の天候の適切な監視・予測のために、十年規模変動とその影響について更なる調査研究が必要である。

参考文献

- Cohen, J., J. A. Screen, J. C. Furtado, M. Barlow, D. Whittleston, D. Coumou, J. Francis, K. Dethloff, D. Entekhabi, J. Overland and J. Jones, 2014: Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather, *Nature. Geoscience.*, **7**, 627-637.
- Easterling, D. R. and M. F. Wehner, 2009: Is the climate warming or cooling?, *Geophys. Res. Lett.*, **36**, L08706.
- Ishii, M., A. Shouji, S. Sugimoto, and T. Matsumoto, 2005: Objective analyses of sea-surface temperature and marine meteorological variables for the 20th century using ICOADS and the Kobe Collection. *Intl. J. Climatol.*, **25**, 865–879.
- Ishii, M., and M. Kimoto, 2009: Reevaluation of historical ocean heat content variations with time-varying XBT and MBT depth bias corrections, *J. Oceanography*, **65**, 287–299.
- Kobayashi, S., Y. Ota, Y. Harada, A. Ebata, M. Moriya, H. Onoda, K. Onogi, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, K. Miyaoka, and K. Takahashi, 2015: The JRA-55 Reanalysis: General Specifications and Basic Characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan*, **93**, doi:10.2151/jmsj.2015-001.
- Kosaka, Y., and S.P Xie, 2013: Recent global-warming hiatus tied to equatorial Pacific surface cooling, *Nature*, **501**, 403–407.
- 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.
- Meehl, G. A., A. Hu, J. M. Arblaster, J. Fasullo and K. E. Trenberth, 2013: Externally Forced and Internally Generated Decadal Climate Variability Associated with the Interdecadal Pacific Oscillation, *J. Climate*, **26**, 7298–7310.
- 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.
- Takaya, K. and H. Nakamura, 2013: Interannual Variability of the East Asian Winter Monsoon and Related Modulations of the Planetary Waves, *J. Climate*, **26**, 9445–9461.
- Urabe, Y. and S. Maeda, 2014: The relationship between Japan's recent temperature and decadal variability, *SOLA*, 10, doi:10.2151/sola.2014-037
- Usui, N., S. Ishizaki, Y. Fujii, H. Tsujino, T. Yasuda, and M. Kamachi, 2006: Meteorological Research Institute multivariate ocean variational estimation (MOVE) system: Some early results, *Adv. Space Research*, **37**, 806–822.
- Wilcoxon, F., 1945: Individual Comparisons by Ranking Methods, *Biometrics Bulletin*, **1**, 80–83.
- Zhang, Y., J. M. Wallace, and D. S. Battisti, 1997: ENSO-like Interdecadal Variability: 1900–93, *J. Climate*, **10**, 1004-1020.