

JMA/MRI-CPS3 における冬季日本の気温変動度の予測

竹村 和人(気象庁大気海洋部 気候情報課)

1. はじめに

令和 5 年度異常気象分析検討会では、2023/2024 年冬の日本の気温変動度が大きかったことが議論のポイントの 1 つとなり、全体討論の場において気温変動度に関する予測情報の検討が課題となった。

日本付近を含む東アジアの気温変動度は、東部太平洋赤道域の海面水温との正の相関が確認されており(Jian et al. 2021, JMA 2010)、エルニーニョ・南方振動(ENSO)との関連が示されている。日本の気温変動度は、2010 年当時の 3 か月予報モデルでの予測精度に関する調査が実施されたが(JMA 2010)、最新の現業季節予報モデル(JMA-MRI/CPS3; 以下 CPS3; Hirahara et al. 2023)における予測精度は明らかでないことを踏まえ、ENSO の予測精度が改善した CPS3 における、気温変動度の予測精度を調査した。

2. 使用データと解析手法

大気循環場の解析値として、気象庁第3次長期再解析 JRA-3Q(Kosaka et al., 2024)を用いた。海面水温の評価には COBE-SST2(Hirahara et al. 2014)を用いた。予測値として、1991/92~2020/21 年の冬の CPS3 再予報データ(アンサンブルメンバー数: 10、初期値は各年 10/13 及び 10/28)、及び 2023/11/12 初期値の 2023/24 年冬の予測データ(アンサンブルメンバー数: 51)を用いた。平年値は 1991~2020 年の 30 年平均値に 60 日の低周波フィルター(Duchon 1979)を施した値、偏差は平年値からの差で定義した。

本調査では JMA (2010)に倣い、気温変動度 σ を式(1)のとおり定義した。ここで N は冬期間の日数、 T' は 850hPa 気温偏差であり、添え字 i は任意の日、 $i-1$ はその前日を表す。

$$\sigma = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |T'_i - T'_{i-1}| \quad (1)$$

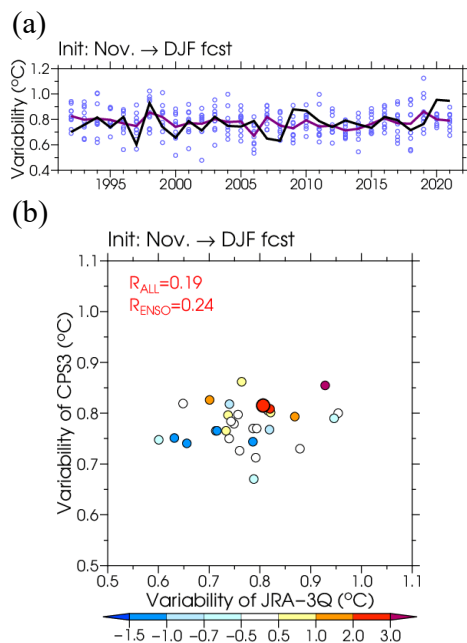
850hPa 気温偏差は、季節予報の地域区分に従い北・東・西日本、及び日本の計 4 地域を対象に評価したが、地域による結果の違いは小さかったため、ここでは北日本(140-145E、37.5-45N)及び日本(130-145E、30-45N)の解析結果を示す。また、気温変動度は、気温偏差を日平均及び 5 日平均したものから算出し(以下、日別気温変動度及び 5 日平均気温変動度と表記する)、それぞれ評価したが、気温変動度に関する統計解析結果は両者ともに同様であったため、ここでは 5 日平均気温変動度の結果を示す。

テレコネクション指数については、Wallace and Gutzler (1981)に基づき、太平洋・北米(PNA)、ユーラシア(EU)、西太平洋(WP)パターンの指数をそれぞれ算出して用いた。

3. 解析結果

はじめに、気温変動度の年々変動の再現性を確認するため、北日本での 5 日平均気温変動度の経年変化、及び解析値とアンサンブル平均予測値の散布図を第 1 図に示す。第 1 図(a)より気温変動度を解析値と予測値で比較すると、気温変動度の再現性は全体的には低いことが分かる。一方、散布図(第 1 図(b))でエルニーニョ年(暖色系)、ラニーニャ年(寒色系)に着目すると、エルニーニョ(ラニーニャ)では気温変動度が大きく(小さくなる)傾向が再現されていることが確認できる。

次に、北日本での 5 日平均気温変動度と ENSO との関連性に着目するため、1 月の 5 か月平均 NINO.3 と気温変動度の散布図を第 2 図に示す。この図より、NINO.3 が高(低)いほど、気温変動度が大きい(小さい)傾向が見て取れ、

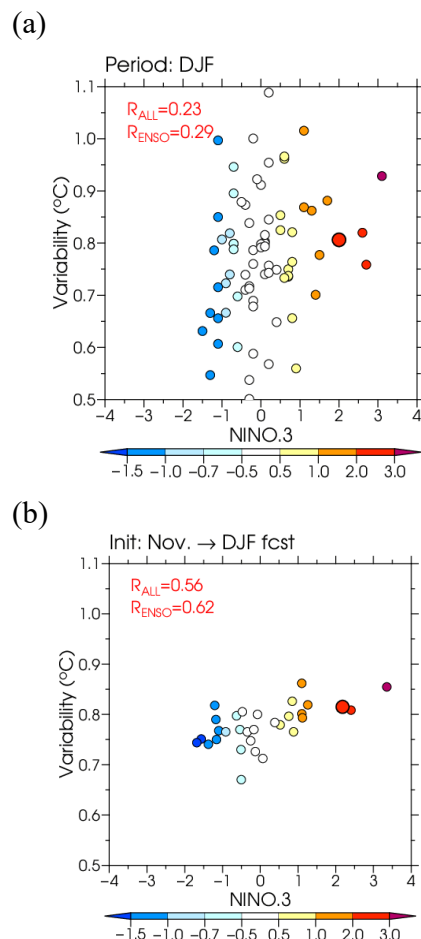


第1図 北日本での 5 日平均気温変動度(°C)の年々変動

(a)は 1991/92～2020/21 年の冬の経年変化を示す。横軸の 2020 は、2019/20 年冬を表す。黒線は解析値、紫線は CPS3 アンサンブル平均、○は各アンサンブルメンバーを示す。(b)は横軸を解析値、縦軸を CPS3 アンサンブル平均にとった散布図。マークの色は 1 月の 5 か月平均 NINO.3 の解析値を示し、暖色系はエルニーニョ、寒色系はラニーニャを示す。サイズが大きなマークは 2023/24 年冬を示す。

その傾向は CPS3 アンサンブル平均でもよく再現されていることが分かる。また、この ENSO との関連性については、北日本の 5 日平均気温変動度と全球の海面水温との相関係数分布(第 3 図)からも明瞭であり、太平洋赤道域では西部と中・東部の間での海面水温偏差の東西コントラストを見て取れる。

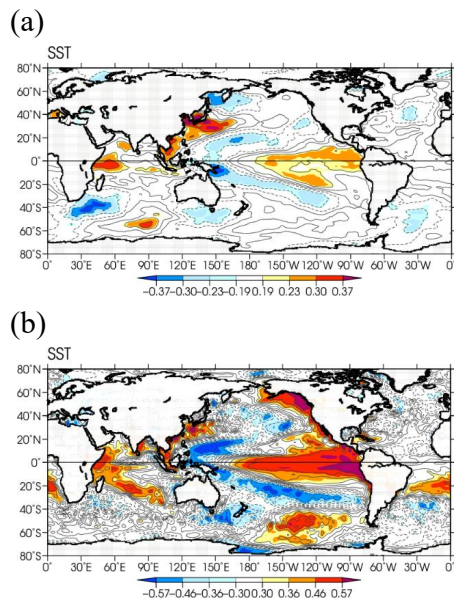
さらに、ENSO が日本付近の気温変動度に及ぼす影響を評価するため、北日本の 5 日平均気温変動度と降水量(第 4 図)、200hPa 高度(第 5 図)、850hPa 気温(第 6 図)との相関係数分布を示す。降水量は、海面水温の東西コント



第2図 1 月の 5 か月平均 NINO.3 と北日本での 5 日平均気温変動度(°C)の散布図

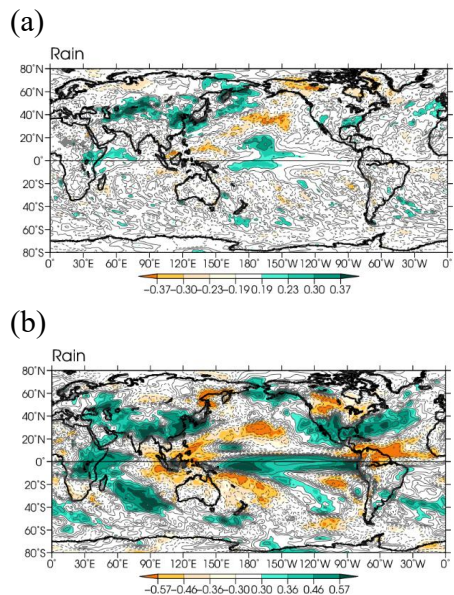
(a)は解析値、(b)は CPS3 アンサンブル平均。サイズが大きなマークは 2023/24 年冬を示す。

ラストに対応して、太平洋赤道域の中・東部で増加、海洋大陸～太平洋西部で減少する傾向が見られ(第 4 図)、その循環場応答として南アジア～日本付近～東シベリア付近の対流圏上層では波列状の高度のパターンが見られる(第 5 図)。また、この高度パターンに関連して、対流圏下層の気温は、日本付近では高く、その北では低い傾向が見られる(第 6 図)。この特徴は、気温変動度が大きい(小さい)ほど、エルニーニ

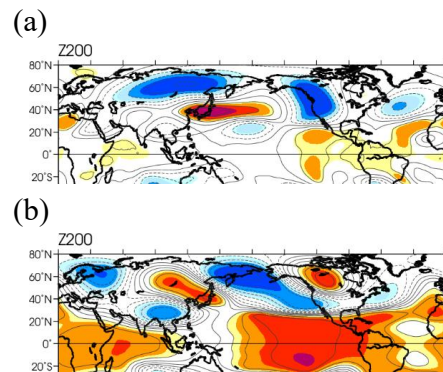


第3図 北日本の 5 日平均気温変動と海面水温との相関係数分布

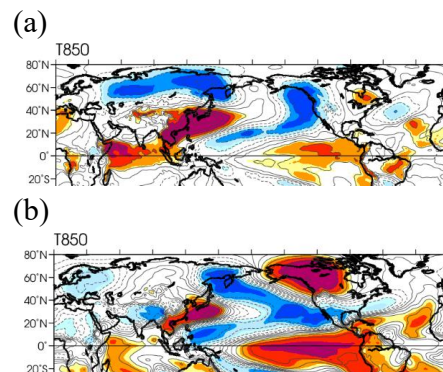
(a)は解析値、(b)は CPS3 アンサンブル平均を用いて算出したもの。コンター間隔は 0.1。カラーバーの閾値は、それぞれ 90, 95, 99 及び 99.9%信頼度水準に相当する相関係数の値。



第4図 第3図と同じだが降水量との相関係数



第5図 第3図と同じだが 200hPa 高度との相関係数

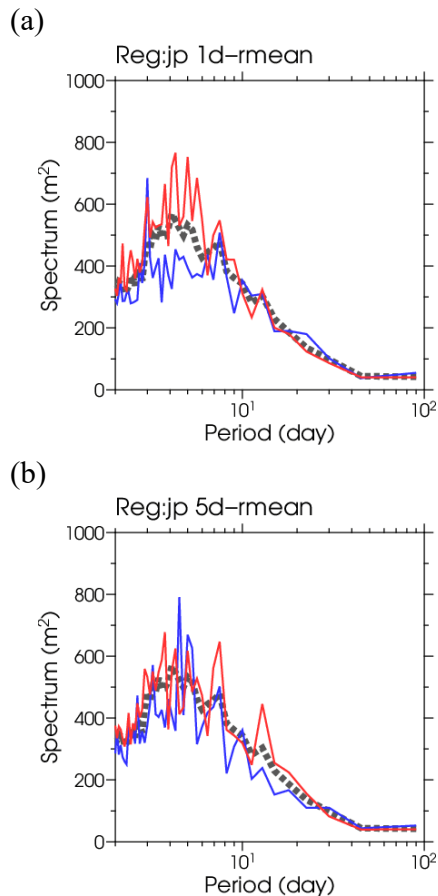


第6図 第3図と同じだが 850hPa 気温との相関係数

ヨ(ラニーニャ)時に関連して冬平均気温は高(低)い一方で、気温の南北勾配が大きい(小さい)ことを示している。これらの相関係数分布の特徴は、日別の気温変動度に関しても同様であった(図略)。

上記の結果より、エルニーニョ(ラニーニャ)時には、平均的な気温の南北勾配が日本付近で大きい(小さい)状況における移動性擾乱の活動によって、日本付近での日別気温変動度が大きく(小さく)なると考えられる。一方、5日平均気温の変動は、移動性擾乱の時間スケールよりも長いため、エルニーニョ(ラニーニャ)時に変動度が大きく(小さく)なるプロセスは、例えば

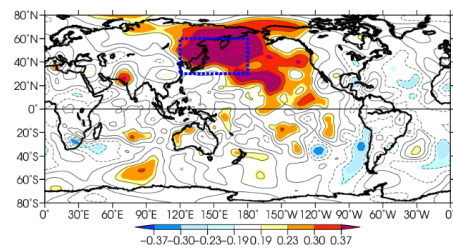
赤道季節内振動や中高緯度のテレコネクションの影響を受けていることが想像される。そこでまず、5 日平均気温変動度がどの周期帯の大気変動と主に関連するのかを確認するため、日本の気温変動度が ± 1 標準偏差以上の年で合成した、日本付近 (120E–180, 30–60N) での 500hPa 高度のパワースペクトルを第 7 図に示す。この図より、日別気温変動度が大きい年には 3~6 日周期、すなわち移動性擾乱の時間ス



第7図 日本の気温変動度が ± 1 標準偏差以上の年で合成した日本付近 (120E–180, 30–60N) での 500hPa 高度のパワースペクトル (a)は日別、(b)は 5 日平均気温変動度。赤線は $+1$ 標準偏差以上、青線は -1 標準偏差以下の年での合成図。破線は 1948/49~2023/24 年平均。

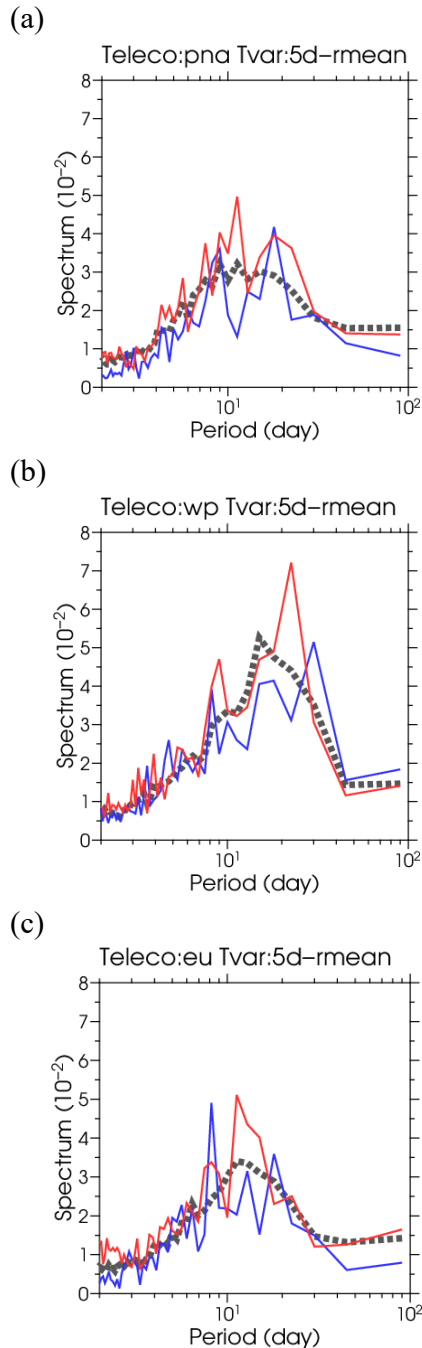
ケールの変動が卓越する一方、5 日平均気温変動度が大きい年には、6~30 日周期の変動が卓越する傾向が見られる。

そこで、日本付近の 6~30 日周期の変動と関連する領域を特定するため、日本付近 (120E–180, 30–60N) で領域平均した 500hPa 高度の 6~30 日周期のパワースペクトルと、200hPa 高度の同周期のパワースペクトルとの相関係数の分布を第 8 図に示す。統計的に有意な正の相関係数は日本周辺のみならず、北太平洋から太平洋赤道域にかけて広がっており、熱帯の大気変動と関連していることが分かる。6~30 日周期の変動で卓越する熱帯域の季節内振動として、赤道ケルビン波 (Wheeler and Kiladis 1999, Hendon and Wheeler 2008) が挙げられ、エルニーニョに伴って太平洋赤道域で強化する赤道ケルビン波によって励起される PNA パターンや WP パターンが、日本付近での 5 日平均気温変動度と関連することが示唆される。なお、エルニーニョ(ラニーニャ)時に赤道ケルビン波活動が強(弱)化する傾向については、先行研究 (Benestad et al. 2002, Das and Pan 2016) で示されている。



第8図 日本付近 (120E–180, 30–60N) で領域平均した 500hPa 高度の 6~30 日周期のパワースペクトルと 200hPa 高度の同周期のパワースペクトルとの相関係数

コンター間隔は 0.1。カラーバーの閾値は、それぞれ 90, 95, 99 及び 99.9%信頼度水準に相当する相関係数の値。統計期間は 1948/49~2023/24 年の冬。



第9図 第7図と同じだがテレコネクション指数の
パワースペクトル
(a)は PNA 指数、(b)は WP 指数、(c)は EU 指数。

また、日本付近での 6~30 日周期の大気変動は、北太平洋やユーラシア大陸北部での同周期の変動とも有意な相関関係を示しているため(第 8 図)、これらの領域で卓越するテレコネクションパターンである PNA、WP 及び EU 指数について、日本の気温変動度が±1 標準偏差以上の年で合成したパワースペクトルを第 9 図に示す。この図より、日本付近で 5 日平均気温変動度が大きい(小さい)年には、PNA・WP・EU 指数の 10 日前後~数十日の周期で気候学的に卓越する変動が、より大きい(小さい)傾向があり、気温変動度にこれらのテレコネクションパターンが関連していることを示す。また、PNA パターンや WP パターンの卓越には、前述の赤道ケルビン波活動の影響が考えられる。

4. まとめ

CPS3 における、冬の気温変動度の季節予測精度について調査を行った。CPS3 再予報における気温変動度の年々変動の再現性は全体的に低い一方で、ENSO との関連性についてはよく再現されることが分かった。気温変動度と大気循環場との相関解析より、

- ・日別の大きな気温変動は、エルニーニョ(ラニーニャ)時に気温の南北傾度が大きい(小さい)状況における移動性擾乱の活動
- ・5 日平均の大きな気温変動は、赤道ケルビン波によって励起される PNA パターンや、中高緯度で卓越するテレコネクションパターン(EU, WP パターン)の月内変動

とそれぞれ関連することが分かった。これらの結果は、ENSO という条件付きでの気温変動度の季節予測が可能であることを示し、社会活動や健康に影響する気温の変動の大きさを、季節予報の情報として提供できる可能性を示唆している。

謝辞

本調査は、気象庁大気海洋部気候情報課における季節・週間予報関係の課内横断調査・開発 WG での活動として行ったものであり、WG メンバーや気象研究所関係官より多くの助言をいただいた。

参考文献

- Benestad, R. E., R. T. Sutton, and D. L. T. Anderson, 2002: The effect of El Niño on intraseasonal Kelvin waves. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 128, 1277–1291.
- Das, U., and C. Pan, 2016: Equatorial atmospheric Kelvin waves during El Niño episodes and their effect on stratospheric QBO. *Sci. Total Environ.* 544, 908–918.
- Duchon, C. E., 1979: Lanczos Filtering in One and Two Dimensions. *J. Appl. Meteor.*, 18, 1016–1022.
- Hendon, H. H., and M. C. Wheeler, 2008: Some space-time spectral analyses of tropical convection and planetary-scale waves. *J. Atmos. Sci.*, 65, 2936–2948.
- Hirahara, S., M. Ishii, and Y. Fukuda, 2014: Centennial-scale sea surface temperature analysis and its uncertainty. *J. Climate*, 27, 57–75.
- Hirahara S., Y. Kubo, T. Yoshida, T. Komori, J. Chiba, T. Takakura, T. Kanehama, R. Sekiguchi, K. Ochi, H. Sugimoto, Y. Adachi, I. Ishikawa and Y. Fujii, 2023: Japan Meteorological Agency/Meteorological Research Institute Coupled Prediction System version 3 (JMA/MRI-CPS3). *J. Meteor. Soc. Japan*, 101, 149–169.
- Japan Meteorological Agency (JMA), 2010: Definition and characteristics of temperature variability. Technical review document of seasonal forecasting, Section 4.1, in Japanese.
- Jian, Y., M. Y. T. Leung, W. Zhou, M. Jian, S. Yang, and X. Lin, 2021: Interdecadal shift of the relationship between ENSO and winter synoptic temperature variability over the Asian–Pacific–American region in the 1980s. *J. Climate*, 34, 5321–5335.
- Kosaka, Y., S. Kobayashi, Y. Harada, C. Kobayashi, H. Naoe, K. Yoshimoto, M. Harada, N. Goto, J. Chiba, K. Miyaoka, R. Sekiguchi, M. Deushi, H. Kamahori, T. Nakaegawa, T. Y. Tanaka, T. Tokuhito, Y. Sato, Y. Matsushita, and K. Onogi, 2024: The JRA-3Q reanalysis. *J. Meteor. Soc. Japan*, 102, doi:10.2151/jmsj.2024-004.
- Wallace, J. M., and D. S. Gutzler, 1981: Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere Winter. *Mon. Wea. Rev.*, 109, 784–812.
- Wheeler, M., G. N. Kiladis, 1999: Convectively Coupled Equatorial Waves: Analysis of Clouds and Temperature in the Wavenumber-Frequency Domain, *J. Atmos. Sci.*, 56, 374–399.