

大気大循環モデルにもとづく 2018 年 7 月に日本で発生した極端現象への海洋からの影響評価

課題責任者

中村 尚 東京大学 先端科学技術研究センター

著者

西井 和晃^{*1}, 田口 文明^{*2}, 中村 尚^{*2}

^{*1} 三重大学 大学院生物資源学研究所, ^{*2} 東京大学 先端科学技術研究センター

2018 年 7 月に日本において 2 つの極端現象が発生した。本研究は大気大循環モデル (AGCM) のアンサンブル実験にもとづき、これらをもたらした大気大循環偏差に対する海面水温偏差の潜在的影響を評価した。一つ目は 7 月上旬での西日本を中心とする豪雨であり、日本の南西にあった低気圧性偏差と日本の東にあった高気圧性偏差による顕著な水蒸気輸送がこの豪雨の主要因である。全球で観測された海面水温を与えた AGCM 実験はアンサンブル平均として日本の東の高気圧性偏差を再現できず、このため水蒸気輸送と豪雨を再現できなかった。もう一つの極端現象は 7 月中下旬を中心に日本で全国的で観測された猛暑であり、これは日本を覆う高気圧性偏差によるものであった。この高気圧性偏差は AGCM 実験によって高温偏差とともによく再現された。この高気圧性偏差は、熱帯と中緯度のそれぞれの海面水温偏差によって強制されていたことを、熱帯と中緯度それぞれに観測された海面水温偏差を与えた 2 つの実験も行うことにより示唆した。

キーワード：豪雨，猛暑，潜在的予測可能性

1. はじめに

2018 年 (平成 30 年) の 6 月末から 7 月上旬にかけては西日本を中心に豪雨に見舞われ、230 名以上の死者が発生し^[1]、これは平成 30 年 7 月豪雨と命名された。この豪雨の主な要因として南からの大量の水蒸気輸送と、対流圏上層の気圧の谷がもたらす上昇流が指摘されている。前者は日本の南西の低気圧性偏差と日本の東の高気圧性偏差の間の南東風偏差に伴っていた。一方、後者はユーラシア大陸上の亜熱帯上ジェットをヨーロッパから東アジアへと伝播する波動に伴っていた。

一方、概して 2018 年の夏季の気温は高く、特に東日本では 7 月平均、および 6~8 月平均として史上 1 位の高温となった^[1]。大気大循環モデルのアンサンブル実験に基づき、Imada et al.^[2] はこの記録的な猛暑の要因として、人為起源の地球温暖化とともに、対流圏下層の小笠原高気圧と上層のチベット高気圧の日本上空での増幅を指摘している。さらに、これらの高気圧の増幅が海面水温偏差などによって強制されていた可能性を指摘している。また 2017 年の秋から北半球中緯度において対流圏東西平均気温の高温偏差が持続しており、これらが、2018 年夏の高温に寄与していた可能性も指摘されている^{[1], [3]}。

気象庁の定義によれば 2017 年秋から 2018 年春までにラニーニャが発生し、一方、2018 年秋から 2019 年春までにエルニーニョが発生したとされているが、その間にあたる 2018 年の夏は中立な状態であった。実際、7 月の海面水温は、熱帯太平洋においては弱い高温偏差が見られるのみである (図 1)。一方、北西太平洋では日本の東の黒潮統流上に高温偏差がある。この付近の海面水

温偏差は、大気循環場に影響を与えることが過去の研究で示されている^{[4], [5]}ため、この海面水温偏差が日本の猛暑に寄与していた可能性がある。

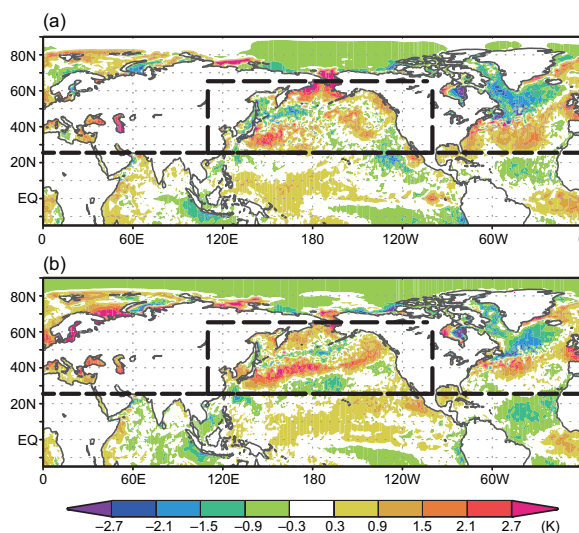


図 1 2018 年の (a) 豪雨期間中 (6 月 28 日から 7 月 8 日) と (b) 7 月の猛暑期間平均 (7 月 11 日から 30 日) の海面水温偏差 (度)。

Nishii et al. [6] は、これら豪雨と猛暑をもたらした大気循環偏差場形成に対する海面水温偏差の寄与を調査するために、さまざまな海面水温を下部境界条件として与えた大気大循環モデル実験を行った。本節ではこの結果を紹介する。

2. 数値実験手法

この研究では海洋研究開発機構の大気大循環モデル AFES を用いた。水平解像度は約 100 km である。海面水温と海水密度データは日別の OISST v2 を用いた。全球に観測された海面水温を与えた Global Ocean, Global Atmosphere (GOGA) 実験, 熱帯 (緯度 25.5 度以下) のみに観測された海面水温を与え, 中高緯度に気候値を与えた Tropical Ocean, Global Atmosphere (TOGA) 実験, 中高緯度の北太平洋のみに観測された SST を与えた Midlatitude Ocean, Global Atmosphere (MOGA) 実験, 全球で気候平均の海面水温を与えた気候値 (CLM) 実験, の計 4 つの実験を行った。海水はすべての実験で気候値を与えた。初期日は 2019 年 3 月 16 日であり, それぞれで 50 メンバーのアンサンブル実験を行った。温室効果気体の濃度はすべての実験で一定である。また検証のため JRA-55 再解析データ^[7]を用いた。気候平均場として 1958 年から 2018 年の平均を用いた。なお, GOGA 実験と CLM 実験は, 水平解像度 50km の AGCM でも行っているが水平解像度 100km の AGCM と整合的な結果が得られている。

3. 7月上旬の豪雨

図 2 に, 豪雨期間 (6 月 28 日から 7 月 8 日) で平均した, 再解析データの循環偏差場と, GOGA 実験のアンサンブル平均応答を示す。応答は CLM 実験との差で定義した。第 1 節で述べたように, 再解析データでは日本の南西に低気圧性偏差, 東に高気圧性偏差が存在し, その間で南からの水蒸気フラックス偏差が西日本に向かっている (図 1 a)。一方 GOGA 実験の応答では低気圧性偏差は再現されているが, 高気圧性偏差は再現されていない。このため水蒸気フラックス偏差も西日本で西向きでありその絶対値も小さい。これは降水量の増加応答が見られないことと整合的である (図 1 d)。また, 再解析データの対流圏中層では正の南東風偏差を伴う暖気移流偏差が存在している。梅雨期にはこうした暖気移流が上昇流を強化し降水量を増加させることが知られている^{[8], [9]} ことから, この暖気移流偏差が降水量を増加させていたことが示唆される。一方, GOGA 実験はこの暖気移流偏差を再現できておらず, これも降水量増加の再現ができない一因と考えられる。暖気移流偏差の再現の差は上空の渦度偏差のわずかの違いに起因していると考えられる。実際, 再解析データでみられる北日本上空の高気圧性の渦度偏差は GOGA 実験でも再現されているものの, その日本上空での分布はわずかに異なっている。

降水量の増加は TOGA 実験と MOGA 実験の両者でも再現されなかった。TOGA 実験では日本の南西の低気圧性偏差は再現されており, この低気圧性偏差は熱帯の海面水温偏差に強制されたと考えられる。また北日本上空の高気圧性偏差も TOGA 実験で再現されており, これも熱帯の海面水温偏差に強制されたと考えられる。

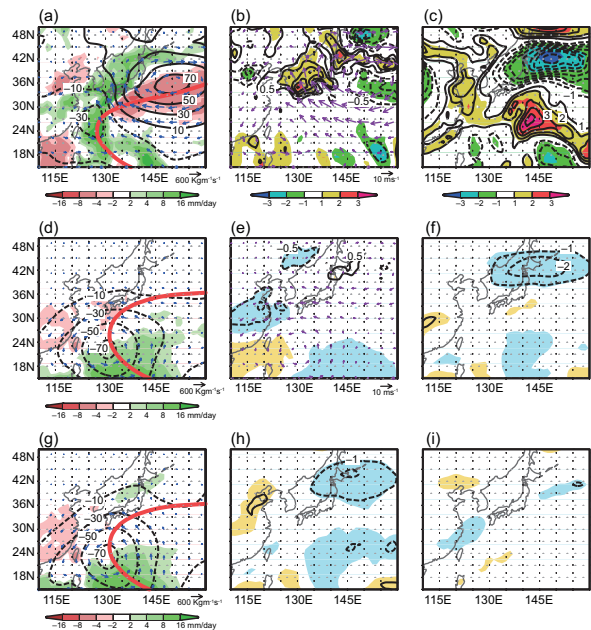


図 2 (a-c) 再解析データ中の豪雨期間平均した場。(a) 850hPa 高度場の偏差 (黒の等値線) と 1500m 気候平均値 (赤の等値線), 降水偏差 (色), 鉛直積算水蒸気輸送偏差 (矢印)。(b) 500hPa 水平暖気移流偏差 (等値線) とその規格化した値 (色)。矢印は水平風偏差。(c) 200hPa 渦度偏差。(d-f) (a-c) と同様, ただし, GOGA 実験の アンサンブル平均応答。黄色と青色は 5% で有意な応答を示す。(g) (d) と同様, ただし TOGA 実験。(h, i) (f) と同様, ただしそれぞれ TOGA 実験と MOGA 実験。

図 3 に再解析データでの対流圏上層の南北風偏差とその GOGA 実験の応答を示す。再解析データではユーラシア大陸上の亜熱帯ジェット上をヨーロッパから東アジアまで伝播する波列がみられるが, GOGA 実験応答ではほとんどみられず, かつ位相も異なっている。これも GOGA 実験で降水量増大が再現できなかった一因と考えられる。

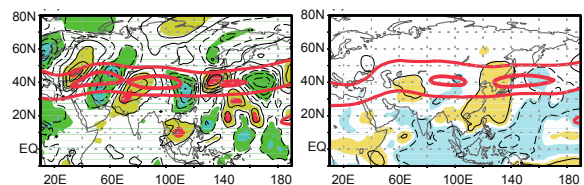


図 3 豪雨期間平均した 200hPa 南北風の再解析データの偏差 (左) と GOGA 実験アンサンブル平均応答 (右)。

4. 7月中下旬の猛暑

図4に、7月の猛暑期間（7月11日から30日）で平均した、再解析データの循環偏差場と、GOGA実験のアンサンブル平均応答を示す。

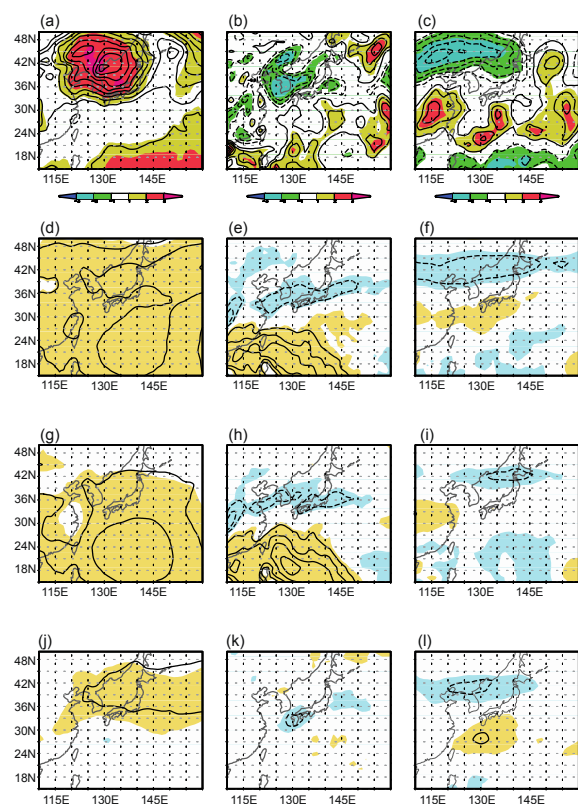


図4 (a-c) 再解析データ中の2018年猛暑期間平均した(a)850hPa気温偏差、(b)850hPa湿度偏差、(c)200hPa湿度偏差。(d-f) (a-c)と同様、ただし、GOGA実験のアンサンブル平均応答。(g-i) (d-f)と同様、ただし、TOGA実験。(j-l) (d-f)と同様、ただし、MOGA実験

再解析データでの850hPa気圧面では日本海を中心に高温偏差があり、日本の大部分を覆っている(図4a)。GOGA実験でも同様な高温応答が存在している(図4d)。日本付近(北緯30度~45度、東経130度~145度)で領域平均した再解析データの850hPa気温偏差は2.1度、GOGA実験の気温応答は1.0度であった。このことは、日本付近の気温上昇の半分程度が海面水温偏差によって強制されたことを示唆している。TOGA実験とMOGA実験の両者においても日本付近でアンサンブル平均として高温応答が見られ(図4g, 4j)、領域平均気温応答は、それぞれ0.7度と0.5度である。このことは熱帯域と中高緯度北太平洋の海面水温偏差が日本付近の高温偏差にほぼ同等の寄与をしていた可能性を示す。

再解析データでの日本付近の高温偏差は850hPa気圧面での高気圧性渦度偏差を伴っており、さらにそのやや極側の200hPa気圧面でも高気圧性渦度偏差を伴っている。これらの高気圧性渦度偏差は鉛直方向に連続しており、その位相が高さとともに極側に傾く構造を持つ。こ

うした構造は、GOGA, TOGA, MOGAのすべての実験での応答で確認できる。この構造は太平洋・日本(PJ)パターンと呼ばれる遠隔影響パターンの典型的な特徴であり^[10]、この夏に見られた上層と下層の高気圧性偏差はPJパターンの励起に伴って現れたと考えられる。この循環偏差パターンは、再解析データでの日本上空の西風偏差の年々変動に経験直交関数(EOF)解析を適用した際に得られる第1モードと類似している(図5)。またAGCM実験のアンサンブルメンバー間のばらつきに対するEOF解析でも同様な構造が第1モードとして得られる。以上は、この偏差パターンが日本付近の気候変動の主要モードであり、それがAGCMによっても良く表現されていることを示している。なお、このPJパター的な偏差場は、TOGA実験とMOGA実験の両者でも見られたため、熱帯と中高緯度北太平洋の海面水温偏差がそれぞれ、PJパターンの出現率を高めたと考えられる。

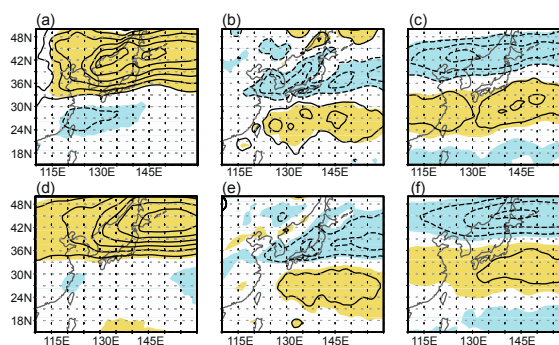


図5 (a-c) 再解析データ中の2018年猛暑期間のEOF第1モードの時系列に回帰した(a)850hPa気温、(b)850hPa湿度、(c)200hPa湿度。(d-f) (a-c)と同様。ただしAGCM実験のEOF第1モードに対する回帰。

PJパターンは熱帯の西太平洋の対流活動を伴うことが知られている。対流活動の指標となる対流圏上層150hPa気圧面での速度ポテンシャルの偏差と応答を図6に示す。負は発散偏差を示し、熱帯での対流活動の活発化を示唆する。

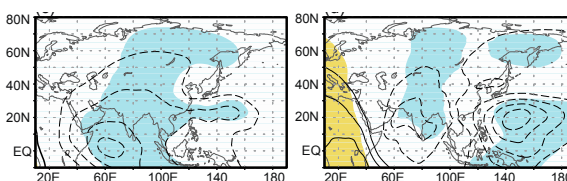


図6 速度ポテンシャル(等値線)。負は発散偏差を示唆する。(左)再解析データ中の偏差と(右)GOGA実験でのアンサンブル平均応答。

再解析データ中ではフィリピン東方で負の速度ポテンシャル偏差が存在し、発散風偏差を伴っている。これらの偏差はGOGA実験でのアンサンブル平均応答と整合的である。さらに、TOGA実験では同様な発散偏差が存在する一方でMOGA実験では存在しない(図略)ことか

ら熱帯の海面水温偏差によって強制されたと考えられる。

Shimpo et al.^[1]と Imada et al.^[2]は、ユーラシア大陸上の亜熱帯ジェットを伝わる波が日本上空の高気圧性偏差を形成したことを指摘している。しかし、本研究ではこうした波はアンサンブル平均応答としては再現されなかったため、この波は海面水温偏差による強制応答でなく、大気の内外部変動に伴って励起されたと考えられる。

4. まとめ

本研究では、観測された海面水温を境界条件として与えた大気大循環モデル AFES を用いて、2018 年 7 月に発生した 2 つの極端気象現象を引き起こした大気循環場の再現実験を行った。7 月上旬の平成 30 年 7 月豪雨の発生時の大気大循環偏差場を AGCM はアンサンブル平均として再現できなかった。このことはこの偏差場が、海面水温による強制でなく、大気の内外部変動によって形成されたことを示唆する。一方、7 月中下旬の猛暑は、大気の内外部変動と海面水温による強制が組み合わさることで引き起こされたこと、さらに海面水温による強制には、熱帯の海面水温偏差と中高緯度北太平洋の海面水温偏差の両者が同程度寄与していたことが示唆された。

謝辞

本研究は地球シミュレータ公募課題「中緯度大気海洋結合変動が季節予測可能性に与える影響」の一環として行われた。

文献

- [1] A. Shimpo, K. Takemura, S. Wakamatsu, H. Togawa, Y. Mochizuki, M. Takekawa, S. Tanaka, K. Yamashita, S. Maeda, R. Kurora, Hi. Murai, N. Kitabatake, H. Tsuguti, H. Mukougawa, T. Iwasaki, R. Kawamura, M. Kimoto, I. Takayabu, Y. N. Takayabu, Y. Tanimoto, T. Hirooka, Y. Masumoto, M. Watanabe, K. Tsuboki, H. Nakamura, “Primary factors behind the heavy rain event of July 2018 and the subsequent heat wave in Japan,” SOLA, 15A, 13–18, 2019.
- [2] Y. Imada, M. Watanabe, H. Kawase, H. Shiogama, and M. Arai, “The July 2018 high temperature event in Japan could not have happened without human-induced global warming,” SOLA, 15A, 8–12, 2019.
- [3] C. Kobayashi, and I. Ishikawa, “Prolonged Northern-mid-latitude Tropospheric Warming in 2018 Well Predicted by the JMA Operational Seasonal Prediction System,” SOLA, 15A, 31–36, 2019.
- [4] M. Nakamura, and T. Miyama, “Impacts of the Oyashio Temperature Front on the Regional

- Climate,” J. Climate, 27, 7861–7873, 2014.
- [5] S. Matsumura, T. Horinouchi, S. Sugimoto, and T. Sato, “Response of the Baiu Rainband to Northwest Pacific SST Anomalies and Its Impact on Atmospheric Circulation,” J. Climate, 29, 3075–3093, 2016.
- [6] K. Nishii, B. Taguchi, and H. Nakamura, “An AGCM assessment of oceanic impacts on extreme climatic events over Japan in July 2018,” J. Meteor. Soc. Japan, 2020, revised.
- [7] S. Kobayashi, Y. Ota, Y. Harada, A. Ebita, M. Moriya, H. Onoda, K. Onogi, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, K. Miyaoka, and K. Takahashi, “The JRA-55 reanalysis: General specifications and basic characteristics,” J. Meteor. Soc. Japan, 93, 5–48, 2015.
- [8] T. Sampe, and S. Xie, “Large-scale dynamics of the meiyu-baiu rainband: environmental forcing by the westerly jet,” J. Climate, 23, 113–134, 2010.
- [9] Y. Kosaka, S.-P. Xie, and H. Nakamura, “Dynamics of interannual variability in summer precipitation over East Asia,” J. Climate, 24, 5435–5453, 2011.
- [10] Y. Kosaka, and H. Nakamura, 2006: Structure and dynamics of the summertime Pacific-Japan teleconnection pattern. Quart. J. Roy. Meteor. Soc. 132, 2009–2030.

An AGCM Assessment of Oceanic Impacts on Extreme Climatic Events over Japan in July 2018

Project Representative

Hisashi Nakamura Research Center for Advanced Science and Technology, The University of Tokyo

Authors

Kazuaki Nishii *¹, Bunmei Taguchi *², Hisashi Nakamura *²

*¹Graduate School of Bioresources, Mie University, *²Research Center for Advanced Science and Technology, The University of Tokyo

Through a set of ensemble experiments with an atmospheric general circulation model (AGCM), potential influence of sea-surface temperature (SST) anomalies is assessed on large-scale atmospheric circulation anomalies that induced two extreme events observed over Japan in July 2018. One is a heavy rain event in early July mainly over western Japan, which was primarily due to extreme moisture inflow associated with a cyclonic anomaly to the southwest of Japan and an anticyclonic anomaly to the east of Japan. Our AGCM experiment with global SST anomalies prescribed cannot reproduce the anticyclonic anomaly, which leads to the failure to simulate the enhancement of the moisture inflow and thereby precipitation over western Japan. The other extreme event is a heat wave in mid- and late July almost over entire Japan, which was due to a strong anticyclonic anomaly around Japan. Our AGCM experiments with global SST anomalies can well reproduce the warm anticyclonic anomalies. The additional experiments have confirmed that SST anomalies in both the Tropics and midlatitude North Pacific have the potential predictability in forcing the leading mode of the atmospheric variability over the western North Pacific that brought the heat wave.

Keywords : heavy precipitation, heat wave, potential predictability

1. Introduction

From the end of June through early July of 2018, Japan, especially in its western portion, suffered from a profound heavy rainfall event, which caused more than 230 fatalities^[1]. The heavy rain occurred under the extreme moisture inflow from the south and an upper-tropospheric trough to the west of Japan that favored large-scale ascent over a stationary mei-yu /Baiu front. This rain event was immediately followed by the intensification of the low-level North Pacific Subtropical High (NPSH) and the upper-level Tibetan High, which brought extremely high temperature over Japan until August. Imada et al.^[2] pointed out that, in addition to the anomalous intensification of those two anticyclones, the anthropogenic global warming also contributed substantially to this heat event. They further pointed out that the former was likely to be forced not by the global warming but partly by other external forcing, including sea-surface temperature (SST) anomalies. This report introduces a work by Nishii et al.^[3] who investigated the role of SST anomalies in forcing the atmospheric circulation anomalies during those extreme events in summer 2018, based on ensemble experiments of an atmospheric general circulation model (AGCM).

2. Model configuration

We used an atmospheric general circulation model (AGCM) by the name of AFES (AGCM For Earth Simulator) configured at horizontal resolution T119 (about 100km). We

performed four kinds of AGCM experiments forced with different lower-boundary conditions as follows. In the Global Ocean-Global Atmosphere (GOGA) experiment, we prescribed observed daily SSTs over the global oceans. In the Tropical Ocean-Global Atmosphere (TOGA) experiment, we prescribed observed daily SSTs only over the tropical oceans between 25.5°S and 25.5°N, while the climatological daily SSTs are prescribed for the extratropical oceans. The experiment in which the observed daily SSTs were prescribed only over the extratropical North Pacific Ocean (between 25.5°N and 65.3°N) while the climatological daily SSTs were prescribed over the other oceans is called the Midlatitude Ocean-Global Atmosphere (MOGA) experiment. In the climatological (CLM) experiment, the climatological SSTs are prescribed entirely over the global oceans. Each of the four experiments has 50 ensemble members integrated from March 10 through July 31, 2018. The Japanese 55-year Reanalysis (JRA-55) dataset is used to verify the model results.

3. Results

Precipitation anomalies based on the reanalysis after averaged over the heavy rain period (28th June ~ 8th July 2018) were positive almost entirely over Japan. The heavy rainfall was associated with a profound anomalous moisture flux from the south. The anomalous moist southerlies were likely due to slight eastward retreat and northward expansion

of the NPSH and a cyclonic anomaly over the southern East China Sea. The GOGA experiment cannot reproduce the positive precipitation anomaly as the ensemble-mean response, which is defined locally as the deviation from the CLM experiment. The period-mean precipitation is even less than that of the CLM experiment over the western Japan. Compared with the CLM experiment, the surface NPSH in the GOGA experiment is retreated too far eastward in association with the overestimated cyclonic anomaly to the south of Japan relative to its observational counterpart. The northward expansion of the NPSH is not well simulated, either, which may be one of the factors for the failure in reproducing the heavy rain. The anomalous moisture flux simulated over western Japan is westward, rather than poleward in the reanalysis. As in the GOGA experiment, the ensemble-mean responses in the TOGA experiment cannot reproduce the enhanced precipitation. Meanwhile, as in the GOGA experiment, the cyclonic anomaly to the south of Japan is also simulated in the TOGA experiment, suggestive of the potential forcing of tropical SST anomalies on the cyclonic anomaly. The MOGA experiment cannot reproduce the heavy precipitation, neither.

In mid- and late July 2018 (11th ~ 30th), 850-hPa temperature based on the reanalysis averaged over the main islands of Japan (30-45°N, 130-145°E) was the highest in the same period over the last 61 years and higher than its climatology by as much as 2.1°C. Associated with a low-level anticyclonic vorticity anomaly, the warm anomaly over the Far East centered at the western portion of the Sea of Japan was so strong that exceeded two standard deviations. The GOGA experiment reproduces both the anomalous warmth and anticyclonic vorticity anomaly as the ensemble-mean response. The ensemble-mean temperature response averaged over Japan is 1.0°C, accounting for nearly half of the observed anomaly. The anomalous warmth and anticyclonic anomaly around Japan are also simulated in both the TOGA and MOGA experiments. The warm anomaly averaged over Japan is slightly higher in the TOGA experiment (0.7°C) than in the MOGA experiment (0.5°C), while the temperature anomaly distribution in the MOGA experiment is more similar to that in the reanalysis than that in the TOGA experiment. The upper-tropospheric anticyclonic anomaly over Japan in the reanalysis is also reproduced by the GOGA, TOGA, and MOGA experiments.

4. Conclusions

Our AGCM experiments with observed SSTs prescribed cannot simulate the anomalous northward moisture flux and enhanced precipitation over western Japan in early July 2018 as the ensemble-mean response, arising in part from the failure in reproducing the anticyclonic anomaly. This failure is attributable to underestimation of Rossby wave trains over

Eurasia in the model, which should be rather manifestations of internal atmospheric variability.

Our AGCM experiments with observed SSTs prescribed is able to simulate the anomalous warmth over Japan during the heat wave event in mid- and late July, which suggests that the observed heat wave was, at least in part, forced by SST anomalies.

Acknowledgement

This work was conducted as a part of Earth Simulator Proposed Research Project, entitled “Impacts of extratropical coupled ocean-atmosphere variability on seasonal predictability”

References

- [1] A. Shimpo, K. Takemura, S. Wakamatsu, H. Togawa, Y. Mochizuki, M. Takekawa, S. Tanaka, K. Yamashita, S. Maeda, R. Kurora, Hi. Murai, N. Kitabatake, H. Tsuguti, H. Mukougawa, T. Iwasaki, R. Kawamura, M. Kimoto, I. Takayabu, Y. N. Takayabu, Y. Tanimoto, T. Hirooka, Y. Masumoto, M. Watanabe, K. Tsuboki, H. Nakamura, “Primary factors behind the heavy rain event of July 2018 and the subsequent heat wave in Japan,” SOLA, 15A,13-18, 2019.
- [2] Y. Imada, M. Watanabe, H. Kawase, H. Shiogama, and M. Arai, “The July 2018 high temperature event in Japan could not have happened without human-induced global warming,” SOLA, 15A, 8-12, 2019.
- [3] K. Nishii, B. Taguchi, and H. Nakamura, “An AGCM assessment of oceanic impacts on extreme climatic events over Japan in July 2018,” J. Meteor. Soc. Japan, 2020, revised.