

# 全球非静力学モデルを用いた高解像度計算による気象擾乱の発生・発達メカニズムとその予測可能性に関する研究

課題責任者

那須野 智江 海洋研究開発機構 地球環境部門 環境変動予測研究センター

著者

那須野 智江<sup>\*1</sup>、山田 洋平<sup>\*1</sup>、野田 暁<sup>\*1</sup>、中野 満寿男<sup>\*1</sup>、小玉 知央<sup>\*1</sup>、清木 達也<sup>\*1</sup>、大野 知紀<sup>\*1</sup>、渡辺 真吾<sup>\*1</sup>、高野 雄紀<sup>\*1</sup>、高須賀 大輔<sup>\*1</sup>、杉本 志織<sup>\*1</sup>、山上 遥航<sup>\*1</sup>、佐藤 正樹<sup>\*1,4</sup>、三浦 裕亮<sup>\*1,5</sup>、谷口 博<sup>\*1,6</sup>、藤田 実季子<sup>\*2</sup>、服部 美紀<sup>\*3</sup>、宮川 知己<sup>\*4</sup>、Roh Woosub<sup>\*4</sup>、澁谷 亮輔<sup>\*4</sup>、末松 環<sup>\*4</sup>、Ying-Wen Chen<sup>\*4</sup>、八代 尚<sup>\*7</sup>、池田 美紀子<sup>\*10</sup>、安永 数明<sup>\*8</sup>、菊地 一佳、江口 菜緒<sup>\*9</sup>、坂井 彩織<sup>\*5</sup>

<sup>\*1</sup>海洋研究開発機構 地球環境部門 環境変動予測研究センター, <sup>\*2</sup>海洋研究開発機構 地球環境部門 大気海洋相互作用研究プログラム, <sup>\*3</sup>海洋研究開発機構 地球環境部門 海洋観測研究センター, <sup>\*4</sup>東京大学 大気海洋研究所, <sup>\*5</sup>東京大学 大学院理学系研究科, <sup>\*6</sup>神戸市立工業高等専門学校, <sup>\*7</sup>国立環境研究所 地球環境研究センター, <sup>\*8</sup>富山大学 大学院理工学研究部, <sup>\*9</sup>九州大学 応用力学研究所, <sup>\*10</sup>海洋研究開発機構 研究推進部 研究推進第2課

本課題の目的は、JAMSTEC における集中観測を主な対象として、全球非静力学モデル NICAM を用いた高解像度数値実験を行うことにより、アジア域に災害をもたらす日域から季節程度の気象擾乱（台風、熱帯波動、季節内振動・マッデン・ジュリアン振動、モンスーンなど）のメカニズムや相互関係を明らかにし、予測改善への指針を得ることである。2021 年度は、海面水温が台風に及ぼす影響を理解するために、一連のアンサンブル感度実験を行った。本稿では、中緯度海面水温偏差の影響に注目した、2018 年夏季事例の実験結果を報告する。2018 年夏季は、熱帯～亜熱帯の中・東部太平洋および中緯度西太平洋に海面水温の正偏差があり、アジアモンスーンが強く、季節内振動や台風活動が活発だった。全球の海面水温偏差を与えた標準実験（CTL）および中緯度の海面水温正偏差を除去した実験（MNWPCLM）（各 36 メンバー）の比較から、2018 年の条件下では、中緯度海面水温の正偏差に対する大気循環の応答が亜熱帯に及び、西太平洋における台風の東西分布に有意な違いをもたらすこと、その違いが強い台風ほど、また季節内振動の活発期に、より顕著になることが示された。

**キーワード：** 全球非静力学モデル, 台風, 中緯度海面水温, 季節内振動, 北西太平洋

## 1. はじめに

近年、世界各地における気象災害の激甚化が指摘されている。気候変動の下でそれらが今後どのように、どの程度変わっていくのかを正確に予測することが社会的にも科学的にも強く求められている。

本課題では、アジア域に災害をもたらす日域から季節程度の気象擾乱・変動現象について、全球非静力学大気モデル Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model (NICAM; Satoh et al. 2014[1]; JAMSTEC および連携研究機関において共同開発) を用いた数値実験を行うことにより、発生・発達のメカニズムおよび現象間の相互関係を明らかにすることを目的とする。NICAM では、雲・降水に関する物理プロセスを詳細に計算する点に特色があり、これは、上記目的に適している。

NICAM は、地球シミュレータ等の先端的な計算機において運用され、台風や季節内振動、雲の温暖化変化などに関する多くの研究に用いられ (Satoh et al. 2014[1] 参照)、JAMSTEC が主導した国際集中観測における季節内振動等のメカニズム (Matsugishi et al. 2020[2]; Miura et al.

2015[3]; Miyakawa et al. 2014[4]; Nasuno et al. 2019[5], 2021[6]) や、台風の発生予測 (Nakano et al. 2015[7])・温暖化変化 (Yamada et al. 2017[8]) 等に関する知見が示されてきた。

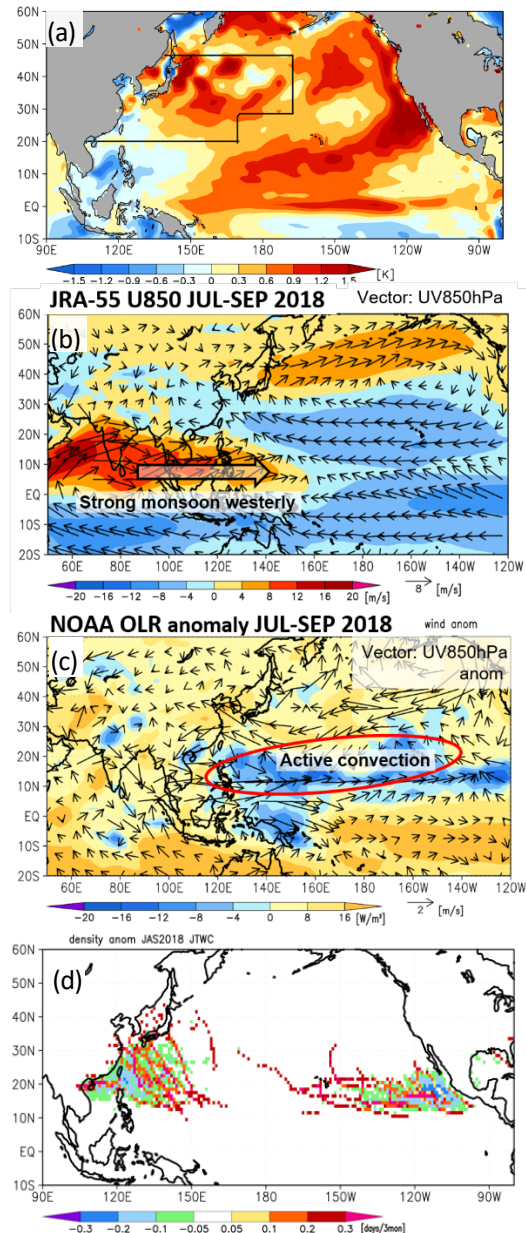
台風の発生・発達において、海面水温は最も主要な外的要因の 1 つである。特に El Nino Southern Oscillation (ENSO) や Pacific Meridional Mode (PMM) に代表される熱帯・亜熱帯の海面水温変動は、台風活動の季節予測可能性の源と考えられている (Takaya et al. 2021[9] 他多数)。近年、中緯度北西太平洋の海面水温の正偏差が継続している。その台風への影響について、個々の事例に関する短期的な影響は多数報告されているが、海盆規模・季節内スケールでの影響については、知見が不足している。以上の背景から、2021 年度は、海面水温分布に関する一連の数値実験を行い、西太平洋の台風活動の応答を調べた。以下に、中緯度の海面水温偏差に関する結果を報告する。

## 2. 実験設定・データ

対象期間として、太平洋の台風活動が活発だった 2018

年夏季（7-9月）を取り上げた。図1に実験で用いた海面水温分布偏差を示す。中緯度北西太平洋のほか、熱帯および亜熱帯の中部から東部太平洋に正偏差、南シナ海に負偏差が見られる（図1a）。これに伴い、西太平洋から中部太平洋にかけて対流活動が活発化し、下層の西風が東に伸長している（図1b, c）。すなわち、夏季アジアモンスーンが活発で、台風活動にとって好都合な環境場が形成され、特に西太平洋の東部および中部太平洋で平年値を上回る台風活動が見られた（図1d）。

数値実験では、NICAMにおいて水平格子間隔14kmを用い、雲降水過程については、雲微物理スキームによって陽に計算した（積雲パラメタリゼーションは不使用）[モデルの設定の詳細はNasuno et al. 2022[10]に記載]。同事例を扱った先行研究（Qian et al. 2019[11]）の手法に倣い、全球の海面水温偏差（図1a）を与えた実験（CTL）と中緯度北西太平洋（図1a 囲み域）の海面水温偏差を除去した実験（MNWPCLM）を行った。



海面水温分布の軽微な違いに対する感度を確認するため、海面水温として、先行研究（Qian et al. 2019[11]）で用いた大気海洋結合モデル（Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Forecast-oriented Low Ocean Resolution, FOLR）の出力データ（12メンバーアンサンブル）を利用し、各々のケースについて、36メンバーのアンサンブル実験を行った。以下に、対象期間（2018/7/1-9/30）平均のアンサンブル平均の結果を示す。

現実場の解析には、気象庁再解析データ JRA-55 および米国海洋大気庁（NOAA）外向き長波放射データおよび台風ベストトラック（IBTrACS）を用いた。

### 3. 結果・考察

図2にCTL（左列）およびMNWPCLM（右列）における7-9月（積算値）の台風存在密度の分布を示す。CTLでは、西太平洋の東部に台風が存在する2018年の特徴が再現されている。MNWPCLMではこの特徴は不明瞭となり、台風は西太平洋の西部に集中している（気候的な分布と同様）。特に強い台風（最大風速  $>45 \text{ m s}^{-1}$ ）については（図2下段）、台風存在密度のピークは、CTLでは西太平洋東部に現れるが、MNWPCLMでは西部に存在する。このことから、中緯度の海面水温正偏差が、2018年の西太平洋東部の活発な台風活動に寄与していたことが示唆される。

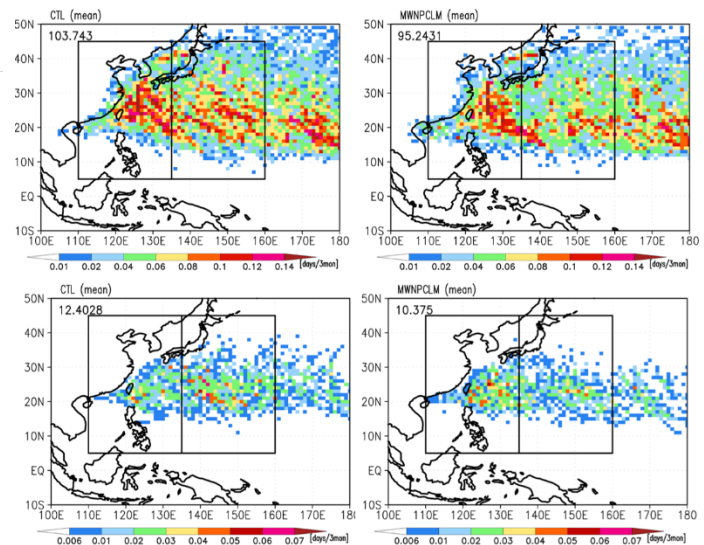


図2 数値実験によりシミュレートされた2018年夏季（7-9月）の台風の存在密度（36メンバーアンサンブル平均、期間積算値）。（左列）CTL、（右列）MNWPCLM、（上段）すべての強さの台風、（下段）強い台風（最大風速  $>45 \text{ m s}^{-1}$ ）。（Nasuno et al. 2022, SOLA, Fig. 2b, c を引用。）

図1 2018年夏季（7-9月）平均場。（a）数値実験（CTL）で与えた海面水温偏差。MNWPCLMで海面水温偏差を除去した領域（囲み域）。（Nasuno et al. 2022, SOLA, Fig. 1b を引用。）（b）JRA-55 850hPaの東西風速分布、風ベクトル。（c）NOAA 外向き長波放射、JRA-55 850hPa 風ベクトル（気候値からの偏差）。（d）IBTrACSによる台風存在密度（気候年値からの偏差）。

このような台風活動の応答をもたらした要因を明らかにするため、台風発生環境場について、2つの実験ケースの違い(CTL-MWNPCLM)を調べた(図3)。中緯度(30-40N)にピークをもつ正の海面水温偏差に対する応答として、対流圏下層で低気圧性循環が形成され、その南端は亜熱帯(20N付近)にまで及んでいる(図3a)。これに伴い、西太平洋の東部(140-170E)では、低緯度側からの湿潤な空気が、上昇しながら(図3d)高緯度に向きに輸送され(図3c)、亜熱帯の対流活動が活発化する(図3a)。対流活動は、下層収束の強化(およびロスビー波応答)を引き起こし、低気圧性循環の形成・維持に寄与する。この低気圧性循環は、西太平洋の西部(110-140E)では、高緯度側からの乾燥した下降流の低緯度側への流入および対流活動の抑制傾向をもたらす。これらの変化は、西太平洋の東部(西部)における台風の発生・発達に対して好都合(不都合)な環境を与える。また、西太平洋域において台風の発生の主な抑制要因である、水平風の鉛直シアについては、フィリピンの東の下層西風強化域では、さらに増大し(台風を抑制)、隣接する亜熱帯から中緯度にかけては、上層大気の力学応答による東風強化によって減少する(台風を促進)。

以上から、2018年夏季の中緯度北西太平洋の正の海面水温偏差は、大規模な大気場の遠隔応答を通して、西太平洋の東部(西部)における台風活動の活発化(抑制)に寄与していたことが分かる。

西太平洋の季節内スケールの台風活動は、モンスーン循環の変動、とりわけ夏季季節内振動に伴う大規模な大気場の変動に大きく影響される(Yoshida et al. 2014[12]; Nakano et al. 2015[7]; Kikuchi 2021[13])。2018年は、特に夏季前半に顕著な季節内振動が繰り返し発生して北進し、その活発期に台風の発生が集中的に見られた。

台風活動と季節内振動の関係に対する中緯度の海面水温偏差の影響を理解するため、CTLおよびMWNPCLMにおいて、季節内振動事例を検出し(対流活動の季節内スケールの成分について、熱帯から10日以上連続的に北進するイベントを抽出。詳細は、Nasuno et al. 2022[10]に記載)、季節内振動の活発期を基点とした合成解析(各64事例)を行った。

その結果、季節内振動の活発期には、赤道域での対流活動に伴い台風存在密度が全体的に増加するとともに、西太平洋の南西域に集中する傾向が共通して見られた(表1下段)。これらは観測事実と整合的である。2つのケースの違いを調べると、南西域への集中はMWNPCLMにおいてより顕著であり、特に強い台風については、CTLでは西太平洋の東部でも、期間平均に比べ増加傾向が現れるのに対し、MWNPCLMでは西太平洋の東部では殆ど見られず、むしろ期間平均に比べ減少する傾向があった。これは、季節内振動による赤道域での対流活発化により、その北東域(西太平洋東部)では対流活動が抑制されることによる。

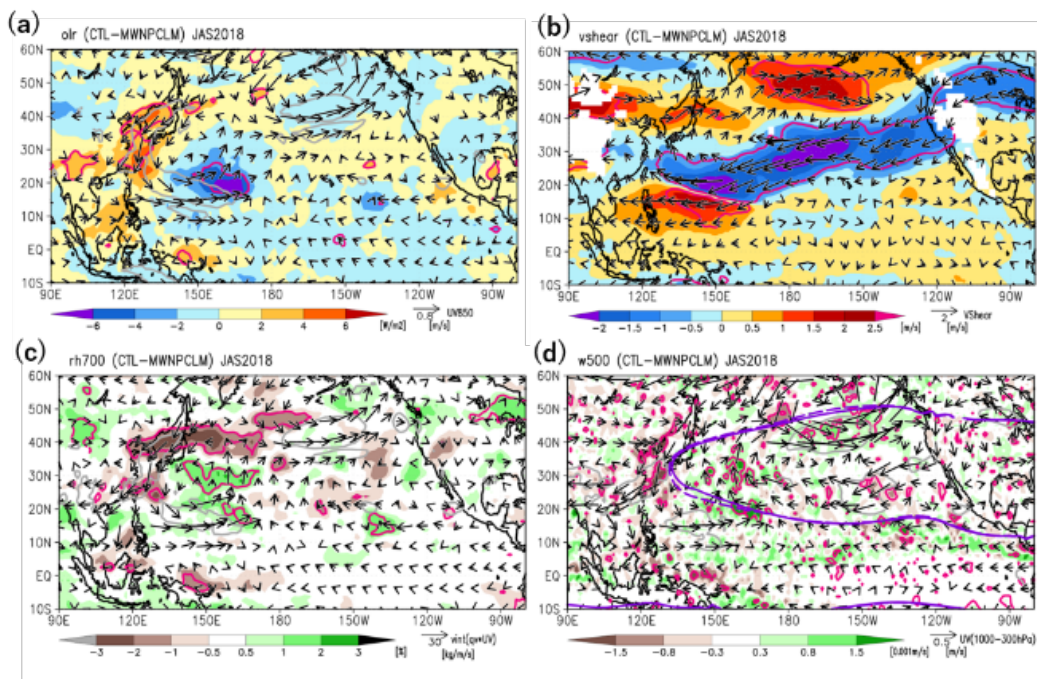


図3 台風発生環境場の中緯度海面水温正偏差に対する応答(CTL-MWNPCLM)。(a)外向き長波放射、850hPa風ベクトル(b)水平風の鉛直シア(200hPa-850hPa)、シアベクトル(c)700hPa相対湿度、鉛直積算水蒸気フラックスベクトル(d)500hPa鉛直流、質量重み付き鉛直積算風ベクトル(300-1000hPa)、850hPa高度場(紫等値線、CTL:実線、MWNPCLM:破線)。有意水準90%等値線(赤紫)(Nasuno et al. 2022, SOLA, Fig. 3を引用)。

以上の結果を定量的にまとめると(表1:西太平洋の西部・東部・全域において平均した台風存在密度の変化率)、中緯度海面水温の影響として、期間平均・季節内振動活発期に共通して、西太平洋の東部で有意な台風密度の増加(>15%)が現れ、東西の応答の違いは特に強い台風においてより顕著にみられる(>30%)。

表1 西太平洋における中緯度海面水温および季節内振動の台風活動に対する影響 [(CTL-MWNPCLM)/CTL; 季節内振動活発期—期間平均] /期間平均] west: 5-45N, 110-135E, east: 5-45N, 135-160E, all: 0-49N, 100-180E. (Nasuno et al. 2022, SOLA, Table 1を引用。)

	TC_all			TC (Vmax>45m/s)		
	west	east	all	west	east	all
MWNP SSTA impact						
mean	1.82	<b>15.77</b>	8.19	-37.62	34.42	16.34
ISO active	-7.67	<b>23.82</b>	7.73	<b>-31.34</b>	<b>70.93</b>	<b>32.96</b>
ISO impact						
CTL	<b>53.15</b>	13.2	14.07	<b>120.97</b>	<b>65.32</b>	<b>64.64</b>
MWNPCLM	<b>67.95</b>	2.38	<b>14.64</b>	<b>110.89</b>	-26.71	31.94

#### 4. まとめ・今後の課題

NICAM を用いた高解像度アンサンブル数値実験により、台風活動が活発だった2018年夏季の中緯度北西太平洋の正の海面水温偏差が、西太平洋域の循環場や水蒸気の東西分布の変化などの遠隔応答を介して、亜熱帯まで波及し、季節内スケールの台風活動に有意な影響を及ぼしていた可能性が示された。これには、2018年の特徴である強いモンスーン循環や太平洋中部の活発な対流活動との相乗効果が寄与していたことが推察される。

今後の課題として、ここで見られたような遠隔影響が発現する条件の特定や、大気海洋結合モデルによる数値実験による海洋応答の影響の理解を進める必要がある。これらの課題の実施に向け、大気海洋結合モデルの基盤実験や多数メンバーのアンサンブル実験を進めている。

#### 謝辞

数値実験に用いた海面水温データは、米国地球物理流体力学研究所の村上裕之博士から提供を受けた。また、京コンピュータ課題(課題番号:hp180182)において実施された実験データ(ポスト処理にDAシステムを利用)も解析に用いた。JRA-55は気象庁から、OLRはNOAA Physical Science Laboratory、IBTrACSはNOAA National Climatic Data Centerから提供された。ここに謝意を表す。

#### 文献

[1] Satoh, M., and 17 co-authors, “The Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model: Description and Development”, *Progress in Earth and Planetary Science*, 1, 18. doi:10.1186/s40645-014-0018-1, (2014).  
 [2] Matsugishi, S., H. Miura, T. Nasuno, and M. Satoh, “Impact of latent heat flux modifications on the

reproduction of a Madden-Julian oscillation event during the 2015 Pre-YMC campaign using a global cloud-system-resolving model” *SOLA*, 16A, 12-18, (2020).

[3] Miura, H., T. Suematsu, and T. Nasuno, “An ensemble hindcast of the Madden-Julian Oscillation during the CINDY2011/DYNAMO field campaign and influence of seasonal variation of sea surface temperature”, *J. Meteor. Soc. Japan*, 93A, 115-137, (2015).

[4] Miyakawa, T., and 9 co-authors, “Madden-Julian Oscillation prediction skill of a new-generation global model”, *Nature Commun.*, 5, 3769, (2014).

[5] Nasuno, T., “Moisture transport over the western Maritime Continent during the 2015 and 2017 YMC Sumatra campaigns in global cloud-system-resolving simulations”, *SOLA*, 15, 99-106, (2019).

[6] Nasuno, T., “Impacts of cloud microphysics modifications on diurnal convection and the ISO over the Maritime Continent: A case study of YMC-Sumatra 2017”, *SOLA*, 17, 16-23, (2021).

[7] Nakano, M., M. Sawada, T. Nasuno, and M. Satoh, “Intraseasonal variability and tropical cyclogenesis in the western North Pacific simulated by a global nonhydrostatic atmospheric model”, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 565-571, (2015).

[8] Yamada, Y., M. Satoh, M. Sugi, C. Kodama, A.T. Noda, M. Nakano, and T. Nasuno, “Response of Tropical Cyclone Activity and Structure to Global Warming in a High-Resolution Global Nonhydrostatic Model”, *J. Climate*, 30, 9703-9724, (2017).

[9] Takaya, Y., Y. Kosaka, M. Watanabe, S. Maeda, “Skilful predictions of the Asian summer monsoon one year ahead”, *Nature Communications*, 12, 2094, (2021).

[10] Nasuno, T., M. Nakano, H. Murakami, K. Kikuchi, and Y. Yamada, “Impacts of midlatitude western North Pacific sea surface temperature anomaly on the subseasonal to seasonal tropical cyclone activity: case study of the 2018 boreal summer”, *SOLA*, 18, 88-95, (2022).

[11] Qian, Y., and 12 co-authors, “On the Mechanisms of the Active 2018 Tropical Cyclone Season in the North Pacific”, *Geophys. Res. Lett.*, 46, 12293-12302, (2019).

[12] Yoshida, R., Y. Kajikawa and H. Ishikawa, “Impact of Boreal Summer Intraseasonal Oscillation on Environment of Tropical Cyclone Genesis over the Western North Pacific”, *SOLA*, 10, 15-18, (2014).

[13] Kikuchi, K., “The boreal summer intraseasonal oscillation (BSISO): A review.”, *J. Meteor. Soc. Japan*, doi:10.2151/jmsj.2021-045, (2021).

# Study of Cloud and Precipitation Processes Using a Global Cloud Resolving Model

## Project Representative

Tomoe Nasuno Research Center for Environmental Modeling and Application, Research Institute for Global Change, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

## Authors

Tomoe Nasuno<sup>\*1</sup>, Yohei Yamada<sup>\*1</sup>, Akira T. Noda<sup>\*1</sup>, Masuo Nakano<sup>\*1</sup>, Chihiro Kodama<sup>\*1</sup>, Tatsuya Seiki<sup>\*1</sup>, Tomoki Ohno<sup>\*1</sup>, Yuki Takano<sup>\*1</sup>, Daisuke Takasuka<sup>\*1</sup>, Shiori Sugimoto<sup>\*1</sup>, Shingo Watanabe<sup>\*1</sup>, Yoko Yamagami<sup>\*1</sup>, Masaki Satoh<sup>\*1,4</sup>, Hiroaki Miura<sup>\*1,5</sup>, Hiroshi Taniguchi<sup>\*1,6</sup>, Mikiko Fujita<sup>\*2</sup>, Miki Hattori<sup>\*3</sup>, Tomoki Miyakawa<sup>\*4</sup>, Roh Woosub<sup>\*4</sup>, Ryosuke Shibuya<sup>\*4</sup>, Tamaki Suematsu<sup>\*4</sup>, Ying-Wen Chen<sup>\*4</sup>, Hisashi Yashiro<sup>\*7</sup>, Mikiko Ikeda<sup>\*10</sup>, Kazuaki Yasunaga<sup>\*8</sup>, Kazuyoshi Kikuchi, Nawo Eguchi<sup>\*9</sup>, Saori Sakai<sup>\*5</sup>

<sup>\*1</sup>Research Center for Environmental Modeling and Application, Research Institute for Global Change, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>\*2</sup>Dynamic Coupling of Ocean-Atmosphere-Land Research Program, Research Institute for Global Change, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>\*3</sup>Global Ocean Observation Research Center, Research Institute for Global Change, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>\*4</sup>Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, <sup>\*5</sup>School of Science, The University of Tokyo, <sup>\*6</sup>Department of Science, Kobe City College of Technology, <sup>\*7</sup>Center for Global Environmental Research, Environmental Research Institute, <sup>\*8</sup>Department of Civil Design and Engineering, University of Toyama, <sup>\*9</sup>Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, <sup>\*10</sup>Research promotion office II, Research Support Department, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

The goal of this project is to deepen our understanding of diurnal to seasonal atmospheric variabilities [e.g., tropical cyclones, tropical waves, Intraseasonal Oscillation (ISO)/Madden-Julian Oscillation (MJO), monsoons] and to gain insight into the better prediction of these phenomena by high-resolution global numerical simulations using Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model (NICAM). In the FY2021, we performed a series of sensitivity simulations to clarify impacts of sea surface temperature anomaly (SSTA) on the tropical cyclone (TC) activity over the western North Pacific (WNP) at intraseasonal time scale. A case study of the boreal summer in 2018 indicated that the impacts of positive SSTA in the midlatitude WNP can intrude lower latitudes and affect the TC activity, especially its zonal distribution, through remote atmospheric response to the SSTA, and the impacts were more significant for the intense TCs and during the active phase of the ISO.

**Keywords** : global nonhydrostatic model, tropical cyclone, midlatitude sea surface temperature, intraseasonal oscillation, western North Pacific

## 1. Introduction

Accurate prediction of disastrous meteorological disturbances, which is becoming severer under the global warming, is highly demanded. Understanding the mechanisms that drives the disturbances and interactions among the factors with different temporal and spatial scales provides basis for the improvement of their prediction. We have been developing Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model (NICAM; Satoh et al. 2014[1]), which is capable of explicitly representing detailed processes associated with cloud and precipitation with a high-resolution framework covering the whole globe.

Sea surface temperature anomaly (SSTA) is a primary factor that controls the meteorological disturbances. Namely, the SSTA associated with the tropical and subtropical variability, such as the El Nino Southern Oscillation and Pacific Meridional Mode, is regarded as a major source of their predictability. On the other

hand, impacts of the midlatitude SSTA beyond weekly scale is not well understood, while a positive SSTA continues over the midlatitude western North Pacific (WNP) in recent years. In FY2021, we explored its possible impacts on the WNP tropical cyclone (TC) activity by case study of boreal summer 2018 (Nasuno et al. 2022[2]).

## 2. Experimental design

A suite of sensitivity simulations was conducted using NICAM with horizontal mesh size of 14 km, which marginally resolve TC structure with explicit moist processes. The target period is July–September, 2018, which is characterized by pronounced positive SSTA over the midlatitude WNP and over the tropical and subtropical central Pacific (Fig.1a), as well as above-normal TC activity over the WNP (Fig.1b). Following the Qian et al.'s (2019)[3] approach, we performed simulations with

global SSTA (CTL) and those with removing the SSTA in the midlatitude WNP (MWNPCLM) (36-members for each).

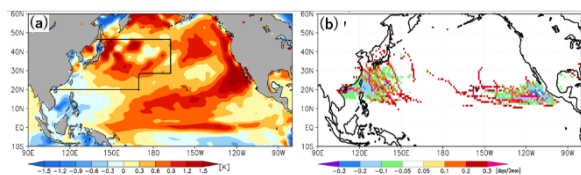


Fig. 1 (a) Sea surface temperature anomaly (SSTA) used for CTL (July–September 2018 average). The box indicates a domain removing the SSTA for MWNPCLM. (b) tropical cyclone (TC) track density in IBTrACS for July–September 2018 (deviation from climatology). [Reproduced from Fig. 1b, e of Nasuno et al. 2022.]

### 3. Results and Discussion

Figure 2 shows the simulated impacts of the midlatitude SSTA on the TC track density over the WNP. CTL reproduced the observed enhanced TC activity in the eastern part of the WNP, which was absent in MWNPCLM. The zonal contrast is more evident for the strong TCs (maximum 10-m wind  $>45 \text{ m s}^{-1}$ ) with peak density in the eastern (western) WNP for CTL (MWNPCLM). The area averaged impact of the SSTA on TC track density amounts to  $>15\%$  in the eastern WNP ( $>30\%$  for the intense TCs).

Examination of the TC genesis environment (CTL–MWNPCLM) revealed that a cyclonic circulation response appeared over the WNP, extending to the subtropics, as a response to the midlatitude SSTA, leading to favorable condition for convection and TC activity through anomalous poleward (equatorward) moist ascending (dry descending) motion and reduced (enhanced) vertical wind shear in the eastern (western) part of the WNP.

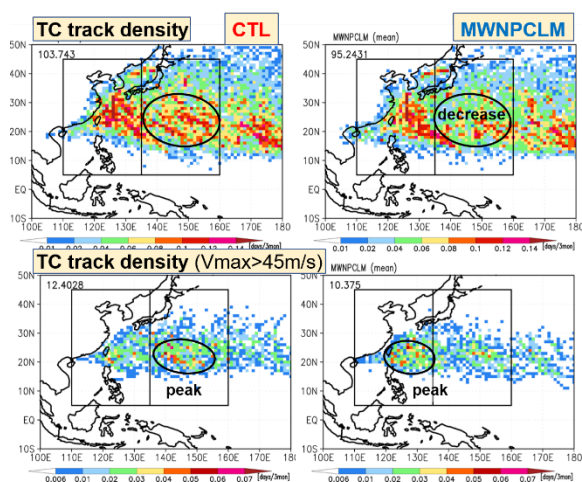


Fig. 2 Simulated TC track density (3-month accumulated, 36-member ensemble mean) in CTL (left) and MWNPCLM (right) for all TCs (upper) and intense (maximum wind  $>45 \text{ m s}^{-1}$ ) TCs (bottom). [Reproduced from Fig. 2b, c of Nasuno et al. 2022.]

Further analysis targeted for the impacts of the Intraseasonal Oscillation (ISO), which is a major modulator of the TC activity in the WNP, revealed that the SSTA impacts were more distinct in the active phase of the ISO over the eastern part of the WNP. TC track density increased by  $>50\%$  ( $>100\%$  for intense TCs) of the period mean in the western WNP in both cases, while the response diverged in the eastern WNP. In MWNPCLM, TC track density was comparable to or even decreased for the intense TCs compared with the period-mean in the eastern WNP, where the condition was less favorable than in western part, due to remote response to the equatorial ISO convection. In CTL, in contrast, TC track density was greater than the period-mean.

### 4. Concluding remarks and Future study

The ensemble simulations using the high-resolution global nonhydrostatic model demonstrated that the midlatitude WNP SSTA can significantly affect the subtropical atmospheric disturbances, such as TCs and their interactions with variability with different temporal and spatial scales (e.g., ISO). In the 2018 summer state, the positive SSTA in the subtropics drove enhanced convection and anomalous ascending motion in the subtropical central Pacific, which is linked with strong monsoon westerlies over the WNP. This may facilitate the remote impacts of the midlatitude SSTA intruding into the lower latitudes.

To obtain more comprehensive understanding, multi-year simulations with various SSTA distributions, as well as introducing the ocean-atmosphere interactions (i.e., using a fully-coupled version of the global nonhydrostatic model) will be executed in the forthcoming studies.

### Acknowledgement

We thank Dr. Hiroyuki Murakami at Geophysical Fluid Dynamics Laboratory for providing the SST data for the simulations. Simulation data using K-computer (proposal number: hp180182) was used for the analysis. IBTrACS is provided by National Climatic Data Center, National Ocean Atmosphere Administration.

### References

- [1] Satoh, M., and 17 co-authors, “The Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model: Description and Development”, *Progress in Earth and Planetary Science*, 1, 18. doi:10.1186/s40645-014-0018-1, (2014).
- [2] Nasuno, T., M. Nakano, H. Murakami, K. Kikuchi, and Y. Yamada, “Impacts of midlatitude western North Pacific sea surface temperature anomaly on the subseasonal to seasonal tropical cyclone activity: case study of the 2018 boreal summer”, *SOLA*, 18, 88-95, (2022).
- [3] Qian, Y., and 12 co-authors, “On the Mechanisms of the Active 2018 Tropical Cyclone Season in the North Pacific”, *Geophys. Res. Lett.*, 46, 12293-12302, (2019).