

# 海洋の渦・前線とそれらが生み出す大気海洋現象の解明

課題責任者

野中 正見

海洋研究開発機構付加価値情報創生部門アプリケーションラボ

著者

尾形 友道\*<sup>1</sup>, 馬場 雄也\*<sup>1</sup>, 野中 正見\*<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup> 海洋研究開発機構付加価値情報創生部門アプリケーションラボ

本課題では、黒潮等の西岸境界流に伴う海面水温前線や中規模渦などの海洋局所構造の変動が、大規模な海洋循環や大気循環の形成・変動に果たす役割、海洋生態系に及ぼす影響等を明らかにすることを目的に、高解像度大気海洋シミュレーション研究を推進している。ここでは令和2年度の成果から、1) 西部北太平洋の海洋サブメソスケール現象が海水循環に及ぼす影響、2) 北西太平洋域の台風の活動度の経年変動、3) スペクトル型積雲対流スキームが熱帯低気圧の再現性に及ぼす影響について紹介する。1) では、西部北太平洋における高解像度観測結果と1/30度解像度北太平洋海洋シミュレーションの比較により、黒潮統流を横切って海水が移動しうることを明らかにした。2) では、本課題で開発を進めている大気大循環モデル AFES を用いて、観測された海面水温を海面での境界条件として与えることで北西太平洋域の台風活動度の経年変動が再現可能であることを示した。3) では、新たな積雲対流スキームを導入することで AFES に見られていた熱帯低気圧の頻度・強度のバイアスが改善可能であることを示した。これは西岸境界流が大気へ及ぼす影響の再現性の向上にも繋がるものと期待される。

キーワード：海洋微細現象, 海洋生態系, 経年変動, 十年規模変動, 台風, 北太平洋

## 1. 本課題の概要

本課題では、高解像度大気海洋シミュレーションにより、①黒潮等の西岸境界流に伴う海面水温前線や中規模渦などの海洋局所構造の変動が、海洋や大気の大規模な循環の形成・変動に果たす役割、②高解像度領域モデルにより台風や爆弾低気圧と海洋との相互作用によって生じる影響、等々を明らかにすることを目的とする。これにより、気候変動予測や地球温暖化予測では従来ほとんど考慮されていない、海洋局所構造の変動とそれらが引き起こす大気海洋現象に対する知見を深め、地球気候の理解と予測の発展に貢献することを目指している。令和2年度の成果から、海洋微細構造の影響と、特に台風に注目した解析とモデル高度化等の成果を紹介する。

## 2. 海洋微細構造によって黒潮統流を横切る水塊

日本南東、北緯30度東経145度付近の海域で実施された「海洋グライダー」を用いた海洋表層下の詳細な観測において、700m程度の深さに周囲に比べて低塩分や高酸素の特徴を持つ細かい水塊が多数検出された。その塩分や酸素濃度の特性から、東北地方の東方から比較的短い時間で輸送されたものと考えられたが、それは、北緯35度付近を東向きに流れる強い海流である黒潮統流を横切ってそれらの水塊が輸送されたことを意味する。観測データだけからでは、このような水塊の移動を追うことは困難であることから、観測的研究とモデリング研究の連携により、1/30度の超高解像度北太平洋海洋大循環モデル OFES を用いて、その循環の様子を解析した[1]。

OFES においては観測データの同化は行っていないため、観測と全く同時期の状態を比較することは難しいが、

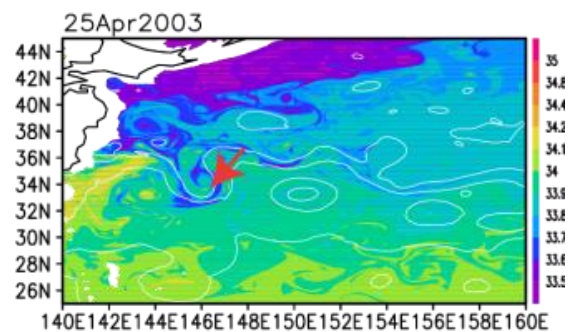


図1：OFES 1/30度解像度北太平洋モデルにおける26.700等密度面上の塩分分布。モデルにおける2003年4月25日の日平均。寒色が低塩分を示す。

注目する水塊が観測された4月下旬から5月上旬の季節に注目すると、観測と同様の低塩分や高酸素の特徴を持つ水塊がOFESでも再現されている(図1)。OFESにおいては図1のように空間的な分布を見ることが可能であり、低塩分の水塊が北海道・東北地方の東方沖から海洋の渦に伴い細い筋状に南に運ばれている様子が分かる。実際に5日毎の分布を追うと、低塩分や高酸素の水塊が海洋渦の周りを筋状に輸送され、一ヶ月程度の期間で北緯30度付近まで達して行くことが示された(図略)。黒潮統流の海域は北太平洋において最も渦の活動が活発な海域であり、その渦に伴う微細構造によって水塊が黒潮統流を横切って南方へ輸送されることが、モデルの中で明確に示された。

更に、このような低塩分や高酸素の水塊が、どこでの程度の頻度で見られるのかをOFES中で解析した(図2)。観測されたものと同様の26.7σの密度帯で東経145度付近で最も高頻度にこのような水塊が見られ、その頻度は1年に1、2ヶ月程度であることが示された。常に

生じるものではないが、稀な現象ではなく、黒潮主流南側の水塊の形成には無視できないものと考えられる。

以上のように本研究では「海洋グライダー」による現場観測と超高解像度海洋大循環モデルを用いた研究をそれぞれの特性を活かして組み合わせることにより、実際の海洋で観測された水塊について、その時空間的な特性がモデルの中で示された。数値モデルとの融合で詳細観測が大きなスケールの海洋循環の理解に繋がった、連携研究の好例となった。

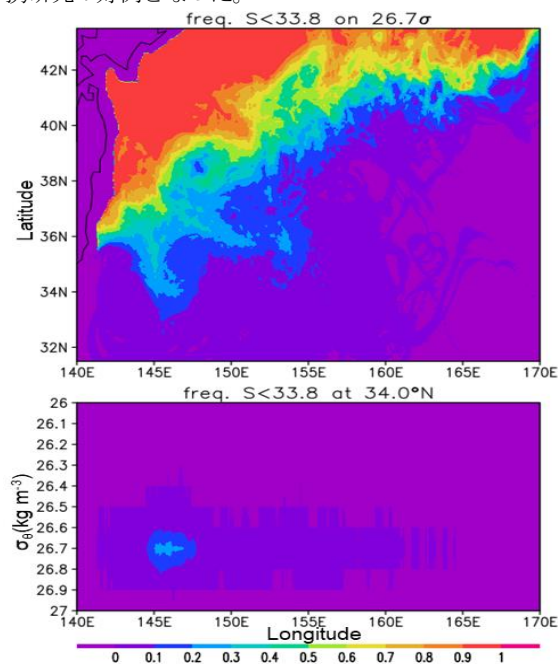


図2：OFES 1/30 度解像度北太平洋モデルにおける低塩分水 (33.8 PSU 未満) の発生頻度。上図：26.70 $\sigma_t$  等密度面上の分布、下図：北緯 34 度での東西-密度断面上の分布。

### 3. 北西太平洋域の台風活動度変動

北西太平洋域で発生・発達する台風は、東アジア域の社会活動に大きな影響を及ぼす極端現象の一つであり、これらの適切な気候力学的な理解・予測は重要である。北西太平洋域における台風活動度の年々変動について、エルニーニョ/南方振動 (ENSO) などの海面水温の年々変動に伴う対流活動や大気循環の変動が重要であると考えられている。先行研究ではエルニーニョ (ラニーニャ) 期には熱帯太平洋での対流活動域が東 (西) に移動し、台風発生域も東 (西) に移動する事が知られている。また、最近の研究で発見された「エルニーニョもどき」などと台風活動度との関係も調べられており、従来のエルニーニョとは異なる台風活動度の空間パターンを示していることが知られている。

本研究では、熱帯の気候変動モードに対応する海面水温 (SST) により決まる北西太平洋域での台風活動度の潜在的予測可能性を、水平解像度 50km の大気大循環モデル (AGCM) を用いた 12 メンバーのアンサンブル実験を用いて調べた [2]。用いた AGCM は本課題で開発・運用

されている AFES (AGCM for Earth Simulator) を用いた。

このアンサンブル実験において、夏季 (6-8 月) は北西太平洋域の台風活動度の年々変動は SST により規定されており、観測結果の変動をよく再現していた。また、大気の内変動に伴う揺らぎは小さく、各メンバーの変動はアンサンブル平均の変動にほぼ一致していた。一方、秋季 (9-11 月) は観測された北西太平洋域での台風活動度とアンサンブル実験で再現された台風活動度の変動との間での相関が夏季に比べて低下しており、夏季と秋季において SST により決まる潜在的予測可能性の違いが見られる事が分かった (図 3)。

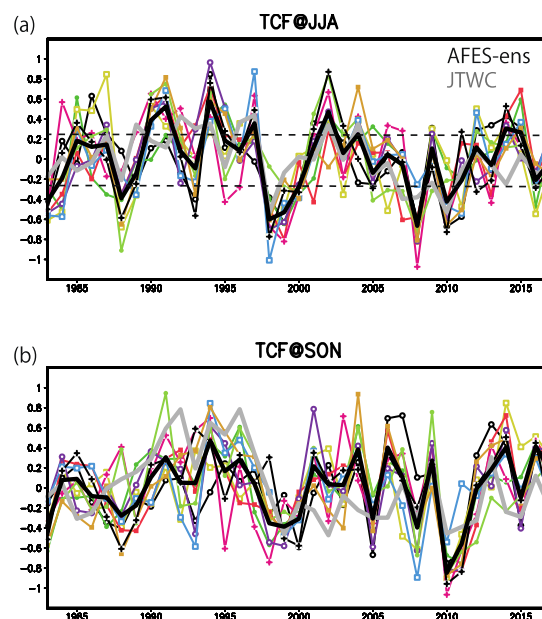


図3. 6-8 月 (上図 a) 9-11 月 (下図 b) における北西太平洋域 (北緯 5-35 度、東経 100-180 度) での台風活動度変動。黒太線が AGCM アンサンブル実験、灰太線が観測結果、細線が各 AGCM メンバーの結果を示す。

北西太平洋域での台風活動度と SST 変動との関連を調べるために、熱帯太平洋・インド洋で SST から定義される各気候変動モード (エルニーニョ、エルニーニョもどき、インド洋ダイポールモード) と台風活動度との関連について、相関解析により調べた。その結果、夏季 (6-8 月) の北西太平洋域の台風活動度変動は、主にエルニーニョもどきと良い相関を示しており、主要な予測子であることが分かった。

さらに、夏季 (6-8 月) と秋季 (9-11 月) で SST による台風活動度の潜在的予測性が異なる理由を調べるために、フィリピン東方沖のモンスーントラフ変動と台風活動度変動の相関からエルニーニョもどきの寄与を取り除く、偏相関解析を行なった。この結果から、夏季 (6-8 月) はエルニーニョもどきの寄与を取り除くと、北西太平洋域での台風活動度の偏相関分布は有意でなくなり、熱帯 SST 変動 (エルニーニョもどき) の重要性が示唆された。一方で、秋季 (9-11 月) はエルニーニョもどき

の寄与を取り除くと、SST 変動の偏相関分布で有意域がなくなる一方、台風活動度の偏相関分布は引き続き有意な分布が見られた。この結果から、秋季 (9-11 月) は熱帯 SST による大気応答よりも、モンスーントラフの内部変動が北西太平洋域での台風活動度の年々変動において重要であることが示唆される (図 4)。

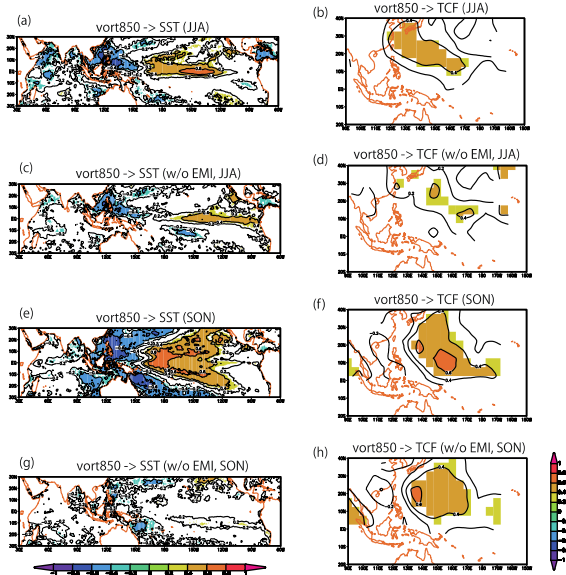


図 4. 観測/再解析から得られた、フィリピン沖の低気圧変動に対する SST (左) と台風活動度 (右) の偏相関分布。上から：夏季 (6-8 月) の相関分布 (エルニーニョもどきの寄与あり)、夏季の偏相関分布 (エルニーニョもどきの寄与なし)、秋季 (9-11 月) の相関分布 (エルニーニョもどきの寄与あり)、秋季の偏相関分布 (エルニーニョもどきの寄与なし)。

#### 4. スペクトル型積雲対流スキームが熱帯低気圧の再現性に及ぼす影響

##### 4. 1. 背景

熱帯低気圧 (Tropical cyclone, TC) はしばしば甚大な気象災害を引き起こすため、TC を対象とした予測研究が長年行われてきた。同手法の発達により数値モデルが持つ不確実性は低減され、予測精度は昔に比べると改善されているが、数値モデル本体、特に TC の再現性に大きな影響を持つ積雲対流スキームに起因する不確実性の影響は未だよく分かっていない。例えば、解像度によって TC の発生頻度と強度は影響を受けることは過去の研究から分かっているが、良い再現性を示す積雲対流スキームはモデルによってばらつきがあり、有効なチューニング方法にも普遍性がない。これまでに著者は積雲対流スキームが持つ不確実性が計算格子では解像できない雲の振る舞いに依存していることに着目し、この雲の振る舞いを巨視的・統計的にモデル化することで、既存のスキームよりも様々な変動 (季節内振動、陸上・海上の降水日周期など) をうまく再現できるスキームを開発した (スペクトル型積雲対流スキーム、以下スペクトルスキーム) [3]。加えて、この積雲対流スキームは従

来のスキームとは異なり、複数の異なる大気モデルで同様の性能向上を示すことが分かっている [4, 5]。従って TC の再現性においても、普遍的な性能向上を示すことが期待される。本研究では AFES を用いて、このスキームが熱帯低気圧の再現性を向上できるか、できるとすればどのような理由で再現性が向上するか、その影響を明らかにすることを目的とした。

##### 4. 2. 実験設定と熱帯低気圧の抽出方法

用いた大気モデルは AFES であり、先の研究では水平解像度は T42 (約 300km) としていたが、TC を捉えるには解像度が低すぎるため、本研究では T119 (約 100km) とした。鉛直解像度は同じ 48 層である。解像度を変えるとモデルの性能が変わることがあるため、事前に気候値エラーのチェックとチューニングを実施している。チューニング後、AMIP タイプの実験を実施した。積分時間は 1982 年から 10 年間、境界条件として OISST に基づき、海面水温と海氷率を与えた。モデルが持つ不確実性を低減するため、各条件でアンサンブルメンバー数を 3 とした。スペクトルスキームによる影響を相対的に調べるため、2つの条件で実験を実施した。基準としたのは AFES の元々の積雲対流スキームであるエマニエルスキームを用いた実験である。2つのスキームを使用することで、実験ケースを 2つとし、それぞれ RUN-EM と RUN-SP とした。発生した TC を統計的に解析し、比較するためには全ての TC を個別に抽出する必要がある。TC の抽出方法は複数存在するが、構造の特定方法はある程度似通っていて、いくつか共通点がある。本研究では Murakami et al. (2011) の方法 [6] に従って、TC を抽出した。熱帯低気圧の統計的な性質を観測データと比較するために IBTrACS を用いた。その他、NCEP/NCAR reanalysis や ERA5 などを用いて、TC 周辺の環境場などの解析と比較を行った。

##### 4. 3. 結果

再現された TC の統計値として、全球 (北・南半球) 及び各海域での TC 発生件数を算出した (図 5)。定性的にはそれぞれのケースでモデルは相対的な TC 発生件数の領域ごとの違いをうまく再現している。しかし、それぞれの領域で明らかなように RUN-EM は RUN-SP に比べて TC 発生件数を過剰に見積もっている。TC の軌道密度を調べたところ、RUN-EM は各海域で発生件数を過剰に見積もるだけでなく、定性的に本来軌道密度が低い海域でも高い軌道密度を再現していることが分かった (図 6)。同時に TC 強度を調べたところ、RUN-EM は TC 強度を観測に比べて過剰に見積もることが分かった。RUN-EM に比べて RUN-SP はどの比較でも観測データとより近い傾向を示しており、TC の再現性を向上させていることが

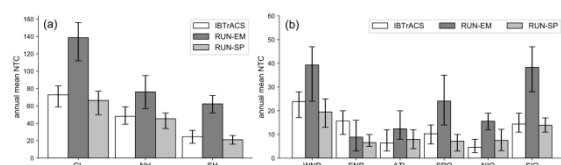


図 5. 各領域における年平均 TC 発生件数の比較。(a) 全球、南北半球、(b) 各海域における比較。

示唆された。

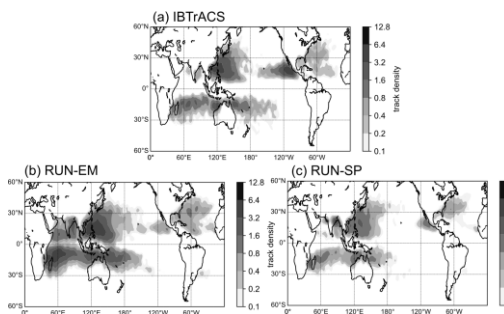


図6. 年平均 TC 軌道密度の比較。観測データに基づく軌道密度は(a) IBTrACS に相当。

TC の統計値が違うことは、スキームで計算される積雲対流の構造に違いがある、つまり TC を取り巻く環境場に違いが生じていることを示唆する。各海域における気温・湿度の違いを調べたところ、RUN-EM は RUN-SP に比べて年間を通して中層から高層で低い気温を計算し、中層で湿った大気状態を計算することが分かった (図は省略)。この傾向は、RUN-EM の方がより不安定な大気を再現する傾向があることを示している。実際、各海域における月平均値を用いて対流有効位置エネルギー (Convective Available Potential Energy, CAPE) を見積もったところ、RUN-EM は RUN-SP よりも大きな CAPE を計算することが分かった。従って、RUN-EM は RUN-SP よりも強い積雲対流を計算する傾向があり、このことが TC 発生件数の過剰な増加を招いたと考えられる。一方、RUN-SP はバイアスを低減し CAPE の過剰な増加を抑えることができていた。

TC の発生頻度や軌道は ENSO や MJO などの熱帯変動の影響を受けることが知られている。そこで TC の熱帯変動への応答を調べるため、モデル内部で ENSO と MJO に対して TC がどのように応答しているかを調べた。ENSO に対する軌道密度の変化を調べたところ、RUN-EM はインド洋に集中して過剰な応答がある一方、部分的応答が弱いものの RUN-SP は観測により近い TC の応答を計算できていることが分かった (図7)。この違いは CAPE が持つ ENSO に対する応答の強さに起因しており、RUN-EM

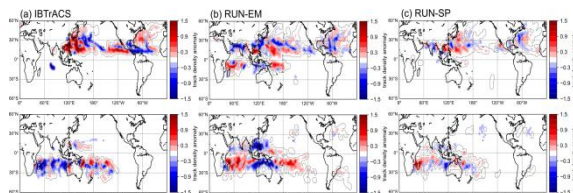


図7. ENSO 発生時の TC 軌道密度差異 (エルニーニョ時・ラニーニャ時の差) の比較。上図: 8~10月、下図: 1~3月。

では CAPE が ENSO に過剰に強く応答するのに対して、RUN-SP では適切に計算されていた。MJO に対する TC の応答を調べたところ、RUN-EM は MJO を再現することができないために TC の応答もほとんどなかったが、

RUN-SP は MJO を再現することができるため、TC の応答もよく再現されていることが分かった (図は省略)。

#### 4. 4. まとめ

AFES を用いてスペクトルスキームが熱帯低気圧の再現性に及ぼす影響を調べた。AFES の積雲対流スキームには低温バイアスがあるため、CAPE が大きくなり TC の発生頻度・強度を過剰に見積もる傾向があるが、スペクトルスキームはバイアスを低減することで、より観測に近い TC の特性を再現することができる。熱帯変動への TC 応答も、スキームが持つバイアス低減効果および MJO に対する高い再現性により、うまく再現することが分かった [7]。

#### 謝辞

4章で用いた各種熱帯低気圧の解析方法に関しては尾形友道氏から情報提供を得た。また、スペクトルスキームを用いた高解像度版 AFES の構築は、山崎哲氏の協力を得て実現することができた。ここに両氏へ謝意を示す。

#### 文献

- [1] Hosoda, S., et al.: Rapid water parcel transport across the Kuroshio Extension in the lower thermocline from dissolved oxygen measurements by Seaglider. *Progress in Earth and Planetary Science*, 8 (2021), 16.
- [2] Ogata, T, et al.: Potential predictability of the tropical cyclone frequency over the western North Pacific with 50 - km AGCM ensemble experiments. *J. Geophys. Res.: Atmospheres*, 126 (2021), e2020JD034206.
- [3] Baba, Y., "Spectral cumulus parameterization based on cloud-resolving model", *Clim. Dyn.*, 52 (2019), 309-334.
- [4] Baba, Y., "Shallow convective closure in a spectral cumulus parameterization", *Atmos. Res.*, 233 (2020), 104707.
- [5] Baba, Y. & M. A. Giorgetta, "Tropical variability in ICON-A with a spectral cumulus parameterization", *J. Adv. Model Earth Syst.*, 12 (2020), 2019MS001732.
- [6] Murakami, H. et al., "Future change of Western North Pacific typhoons: projections by a 20 km-mesh global atmosphere model", *J. Clim.*, 24 (2011), 1154-1169.
- [7] Baba, Y., "Influence of a spectral cumulus parameterization on simulating global tropical cyclone activity in an AGCM", *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 147 (2021), 1170-1188.

# Understanding Roles of Oceanic Fine Structures in Climate and Its Variability

## Project Representative

Masami Nonaka Application Laboratory, Research Institute for Value-Added-Information Generation, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

## Authors

Tomomichi Ogata <sup>\*1</sup>, Yuya Baba <sup>\*1</sup>, Masami Nonaka <sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup>Application Laboratory, Research Institute for Value-Added-Information Generation, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

In this project, we have conducted numerical investigations of impacts of oceanic fronts, mesoscale eddies, and submesoscale motions associated with strong western boundary currents on oceanic and/or atmospheric large-scale circulation and oceanic ecosystem. In this report, we briefly introduce 1) influence of oceanic fine structures on advection of water mass across the Kuroshio Extension, 2) potential predictability of interannual variability of typhoon activity in the western North Pacific, and 3) impacts of a new convection scheme on representation of tropical cyclones, from the results in FY2020.

**Keywords :** oceanic fine structures, marine ecosystem, interannual to decadal variations, predictability, typhoon

## 1. Introduction

In this project, we numerically investigate impacts of oceanic fine-scale motions associated with strong western boundary currents on oceanic and/or atmospheric large-scale circulation and oceanic ecosystem. Through the project, we will further our understanding of ocean's roles in climate variability and predictability. Here, we briefly introduce several achievements from those in FY2020.

## 2. Rapid water parcel transport across the Kuroshio Extension

A Seaglider observations of subsurface ocean detailed temperature, salinity, and oxygen structures were conducted in spring 2014 in the Kuroshio Extension (KE) recirculation region around 30N, 145E, to the south of KE. The analysis of the Seaglider data showed that small water parcels with low salinity and/or high dissolved oxygen were observed in the lower thermocline (26.0-26.8 $\sigma\theta$ ) in the middle April to the early May. While the properties suggest that the water mass is rapidly transported across KE, it cannot be shown by observed data. Then, we analyzed advection of low salinity and/or high dissolved oxygen water in the 1/30 degree horizontal resolution North Pacific ocean general circulation model (OGCM), OFES (OGCM for the Earth Simulator).

In OFES, we found low salinity water and high dissolved oxygen water are transported southward on isopycnal surfaces from the region to the east of the northeastern part of Honshu Island to the south of KE within a month associated with fine structures around oceanic meso-scale eddies in the KE region. Further, spatial distribution of frequency of existence of such low salinity water is examined in the model. The frequency

shows its peak around 145E to the south of KE in the lower thermocline (around 26.7 $\sigma\theta$ ). The maximum of the frequency is about 20%, indicating that such low salinity water can be observed about two months in a year.

In this collaboration between observational and modeling studies, we succeeded to show possible path and distribution of the small water parcels found by the Seaglider detailed observation [1].

## 3. Interannual variations of tropical cyclone frequency over the Western North Pacific

Tropical cyclones (TCs) constitute an important category of extreme weather events that have substantial socioeconomic impacts on populated areas in the form of strong winds and heavy precipitation. Particularly over East Asia and North America, TCs commonly lead to socioeconomic damage in the regions where they make landfall. Therefore, there is a considerable need for an accurate understanding of the regional features of TC activity to improve their prediction.

Considering them, the potential predictability determined by sea surface temperature (SST) of the frequency distribution of tropical cyclones (TCs) is studied using 12-member ensemble simulations with a 50-km resolution atmospheric general circulation model (AGCM). In this study we used AFES (AGCM for Earth Simulator).

In this experiment, the interannual variability of the TC frequency over the western North Pacific (WNP) is primarily determined by SST, as the simulated ensemble mean signal is dominant over the ensemble spread and effectively follows the observed TC frequency in June-July-August (JJA; Fig1a). In contrast, the correlation between the observed and simulated TC frequency variability is less significant in

September-October-November (SON: Fig1b) [2].

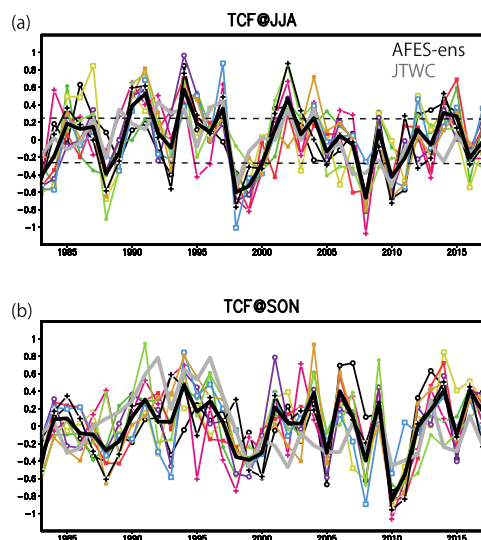


Figure 1. Interannual variability of TCs frequency over the WNP (over 5-35N, 100-180E) during JJA (a) and SON (b). Thick black (grey) line shows AGCM ensemble mean (observation). Thin lines show individual AGCM members.

#### 4. Influence of spectral cumulus parameterization on simulating tropical cyclone

Although prediction skill for tropical cyclone (TC) by numerical models is becoming higher than the past, uncertainty of the models still has large impact on the skill, especially the convection scheme has the largest impact and its influence remains unknown. Recently, the author developed a new convection scheme (spectral cumulus parameterization, spectral scheme hereafter) which can simulate various convection-related variability better than the past schemes in different AGCMs [3, 4, 5]. Therefore, the scheme is expected to improve the fidelity of TC. Based on the background, this study focused on the influence of the convection scheme on simulating global TC activity. To analyze the influence, we used AFES as an AGCM and the original convection scheme, i.e., Emanuel scheme.

AMIP-type experiments were performed for 10 years using 3 ensemble members for each case. Comparison of TC genesis indicated that RUN-EM (Emanuel scheme) tended to overestimate the genesis in many regions compared to the observation, while RUN-SP (spectral scheme) suppressed such overestimation (not shown here). In addition to the excessive TC genesis, RUN-EM was found to simulate much stronger TC intensity than RUN-SP. Further investigation revealed that RUN-EM tends to simulate larger atmospheric instability owing to the model bias, while RUN-SP could suppress the spurious instability increase by reducing the bias. These influences also have impact on response of simulated TC to tropical variability such as ENSO and MJO. The

spectral scheme improved TC track density when ENSO occurred as RUN-SP suppressed excessive TC response over the Indian Ocean (Fig. 2). Furthermore, RUN-SP succeeded in simulating TC response to MJO, due to the scheme's original capability of simulating MJO.

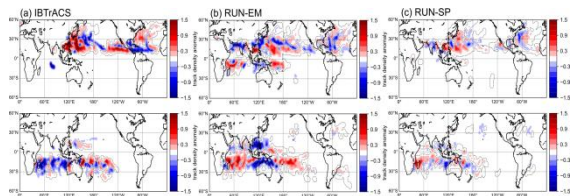


Figure 2. Comparison of TC track density difference during ENSO years (El Niño minus La Niña). Top: Aug-Oct, and bottom: Jan-Mar. (a) IBTrACS represents observation.

The influence of the spectral scheme on simulating global TC activity was investigated using AFES and its original convection scheme. The results showed that the spectral scheme suppressed excessive atmospheric instability by reducing model bias, and so the statistics of simulated TC became closer to the observation than the original scheme. This effect also contributed to better TC response to tropical variability [6].

#### Acknowledgement

The author of section 4 is grateful to Tomomichi Ogata of APL/JAMSTEC for providing useful information regarding TC analysis, and also thanks to Akira Yamazaki for his technical help in constructing higher resolution AFES.

#### References

- [1] Hosoda, S., et al.: Rapid water parcel transport across the Kuroshio Extension in the lower thermocline from dissolved oxygen measurements by Seaglider. *Progress in Earth and Planetary Science*, 8 (2021), 16.
- [2] Ogata, T, et al.: Potential predictability of the tropical cyclone frequency over the western North Pacific with 50 - km AGCM ensemble experiments. *J. Geophys. Res.: Atmospheres*, 126 (2021), e2020JD034206.
- [3] Baba, Y., "Spectral cumulus parameterization based on cloud-resolving model", *Clim. Dyn.*, 52 (2019), 309-334.
- [4] Baba, Y., "Shallow convective closure in a spectral cumulus parameterization", *Atmos. Res.*, 233 (2020), 104707.
- [5] Baba, Y. & M. A. Giorgetta, "Tropical variability in ICON-A with a spectral cumulus parameterization", *J. Adv. Model Earth Syst.*, 12 (2020), 2019MS001732.
- [6] Baba, Y., "Influence of a spectral cumulus parameterization on simulating global tropical cyclone activity in an AGCM", *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 147 (2021), 1170-1188.