

アジア・太平洋域を中心とした地球環境とその変動

課題責任者

野中 正見 海洋研究開発機構 アプリケーションラボ

著者

那須野 智江 海洋研究開発機構 シームレス環境予測研究分野

田口 文明 海洋研究開発機構 アプリケーションラボ

東京大学 先端科学技術研究センター

古恵 亮 海洋研究開発機構 アプリケーションラボ

南アジアから東アジアの社会・経済に大きく影響する気候の理解を深めるには、モンスーンや熱帯域の大気・海洋現象の理解が不可欠である。中緯度の東アジア域では、熱帯域からの影響に加え、中緯度域の大気・海洋循環の年々～十年規模の変動の影響も受ける。このような気候システムの統合的な理解を深めるため、本課題では、積雲対流を解像可能な大気モデルから数千年スケールの古気候を表現可能な大気海洋結合モデルまでを階層的に用いた研究を、ハワイ大学国際太平洋研究センターとの共同研究によって進めている。本報告では平成 28 年度の成果から、モンスーン気候場の形成過程、モンスーン等の大規模場が台風発生に及ぼす影響、これらの過程等を通じた降水が海洋表層下の経年変動や北太平洋に顕著に見られる十年規模変動に及ぼす影響に関する研究成果を簡潔に紹介する。

キーワード：アジア・太平洋域, 台風, モンスーン, 海洋塩分, 十年規模変動

1. 本課題の概要

南アジアから東アジアの社会・経済に大きく影響する気候の理解を深めるには、モンスーンや熱帯域の大気・海洋現象の理解が不可欠である。中緯度の東アジア域では、熱帯域からの影響に加え、中緯度域の大気・海洋循環の年々～十年規模の変動の影響も受ける。このため本課題では、熱帯域の積雲形成を伴う大気擾乱から季節内変動、モンスーン形成とその変動過程の繋がりを階層的なモデルにより理解する。更に中緯度域の大気海洋相互作用や、海洋循環の長期変動に関する研究を進め、統合的な気候システム理解を目指す。

2. 今年度の成果

2.1 モンスーン・シミュレーションの系統バイアス形成のメカニズム

夏季モンスーンに伴う降水分布は、気候モデルによるシミュレーションで最も再現が難しいものの1つである。例えば、CMIP5に参加した最新の気候モデルのマルチモデルアンサンブル平均（MME）を観測と比較すると、インド亜大陸では降水過小、インド洋西部赤道域では降水過多・高海面水温の系統バイアス（以下、バイアス）が見られる（図 1a-b）。本研究では CMIP5 MME の解析と大気海洋結合モデル CFES による感度実験を通じて、インドモンスーンシミュレーションのバイアス形成のメカニズムを解明した[1]。まず CMIP5 モデルのバイアス形成には、大気海洋結合フィードバックが重要な役割を果たしていることがわかった。すなわち、観測では、インド洋赤道域で春と秋に強化する西風が卓越し、西に浅く東で深い水温躍層の勾配が維持されているのに対し、CMIP5 では通年で東風バイアスとなっており、西に深く東に浅い躍

層深さのバイアスの原因となっている。これが西部赤道域インド洋で高水温・降水過多のバイアスを引き起こし、さらに東風バイアスを強める正のフィードバックが働く。一方、CFES では、インド亜大陸やインド洋西部赤道域での降水と海面水温のバイアスが CMIP5 と比較して顕著に小さいことが確認できた。（図 1c-d）。そこで、CMIP5 モデルに共通する東風バイアスを、時間一定で追加的に CFES に与えて大気海洋結合計算を行う感度実験を行ったところ、CMIP5 モデルと良く似た大気海洋結合系バイアスが再現された（図 1e-f）。このことから、インド洋赤道域西部での大気海洋相互作用による高海面水温・降水過多のバイアス⇒モンスーン循環の弱化⇒インド亜大陸への水蒸気輸送の過小評価⇒インド亜大陸の降水過小バイアスという一連のバイアス形成メカニズムが示唆された。

2.2 全球 3.5km 格子モデルによる台風発生事例のシミュレーション

台風は、夏季アジアモンスーン域における代表的な気象擾乱の1つである。アジア各国の防災・減災において、台風の発生や進路の予測精度の向上の重要性は高い。季節内振動など時間スケールが長く大規模な擾乱が、台風に及ぼす影響を理解することは、台風の延長予測の鍵となる。全球非静力学モデル NICAM ([7]) は、大規模な擾乱と台風中心付近の局所的な現象を統一的な枠組みでシミュレートできるモデルである。本研究では、昨年度に引き続き 2008 年 6 月のモンスーン開始期に季節内振動の活発化に伴い発生した台風 Fengshen を対象とし、全球 3.5km 格子の数値実験および解析を行った。今年度は、台風発生における大規模擾乱の役割に着目し、2つの異なる初期状態（客観解析データ）からの感度計算を行った。

図2に2つの実験における初期場の鉛直積算水蒸気量(上)および対流圏下層の渦度場(下)を示す。初期場において夏季季節内振動に伴う湿潤域と大規模な渦域が一致しているケース(左)では渦度が強化され台風が発生したが(図2c)、離れているケース(右)では台風が発達しなかった(図2d)。この結果から、大規模な循環場が水蒸

気の凝結(雲の組織化)を介して強化され、台風の発達に好都合な条件を整える役割を果たしたことが分かった。(Nasuno et al. 2016[5])

2.3 海面塩分経年変動の垂表層への影響

全球の降水を、十分な時空間間隔でかつ十分な精度で

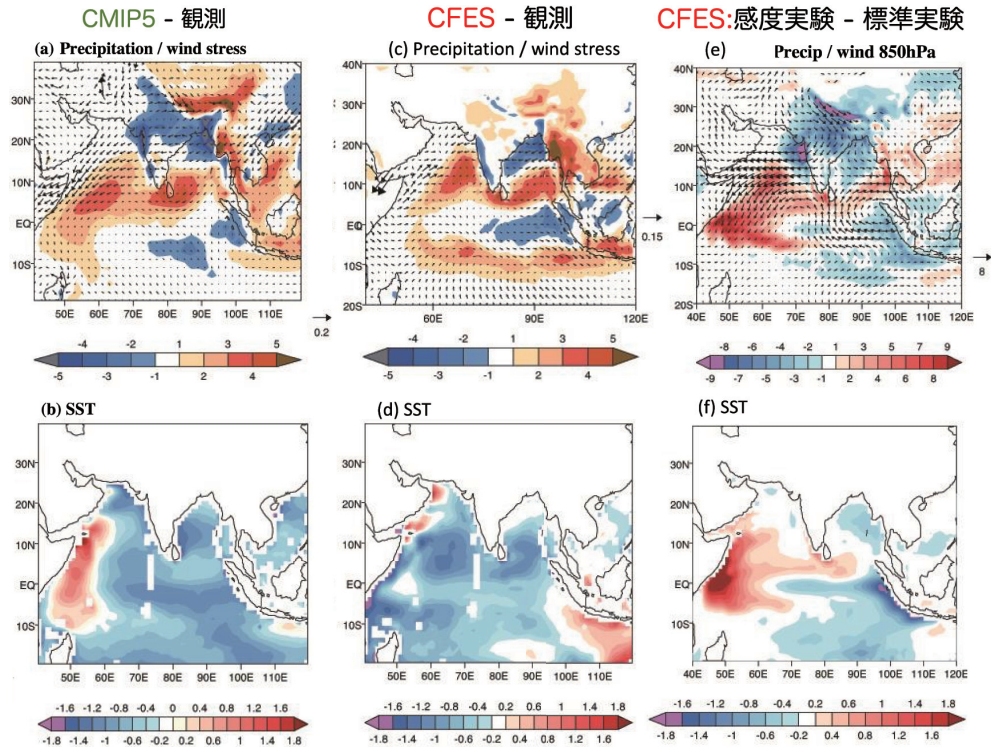


図1 (a)夏季(6-9月)におけるCMIP5気候モデルマルチモデル平均場に見られる系統バイアス(降水量と風応力)。(b)(a)に同じ。ただし海面水温。(c-d)(a-b)に同じ。ただし、大気海洋結合モデルCFESの系統バイアス。(e-f)(c-d)に同じ。ただし、CFES感度実験とCFES標準実験の差。

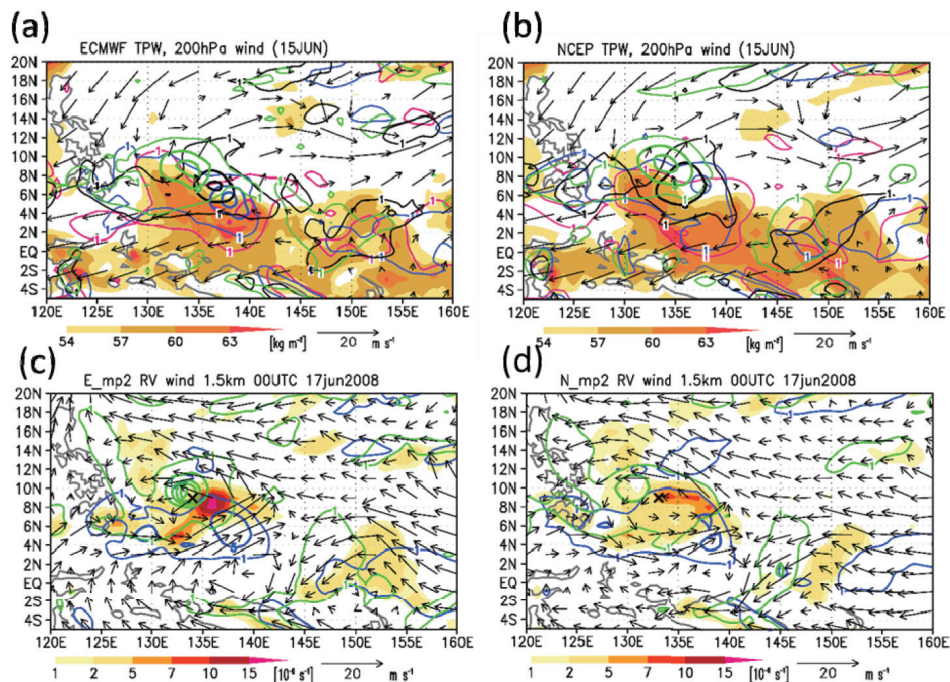


図2 2008年6月15日の(a)ECMWF YOTC (b)NCEP FNLにおける可降水量(色)と上層風ベクトル。(c)ECMWF YOTC、(d)NCEP FNLを初期値としたNICAM全球3.5km格子計算(2日半後)の下層の相対渦度(色)と風ベクトル。等値線は6月16日(青)、17日(黒)、18日(緑)の下層渦度。Nasuno et al. (2016)[5], Fig. 1a, b, Fig. S2c, dを引用。

測る手法は存在しないし、大気海洋結合モデルでも再解析モデルでも降雨の分布や精度は良くないことが知られている。この誤差が、気候モデル・海洋モデルでの海面塩分の誤差となることは容易に想像できるが、それが亜表層の塩分にどのような違いをもたらしているのかは不明である。そこで、本研究では、2005年から2014年までのArgo観測で得られた海面塩分変動を渦解像海洋大循環モデル(OGCM)に与え、気候値に緩和した場合と比較し、亜表層への影響を調べる。

OGCMは、MOM3に基づく地球シミュレータ用海洋大循環モデルOFES([4], [6])で、領域は75°Sから75°Nまで。水平解像度は一様に0.1°、鉛直解像度は、海面付近で5m、200m深付近で15m、海底付近で330m。まず、WOA98の温度塩分場を初期値とする。NCEPの1950-1999年の再解析から月平均気候値を作成し、それに基づく海面条件でモデルを50年間駆動する(スピニアップ)。この外力に加えて、海面塩分(SSS)をWOA98の月平均気候値に緩和する。実験は二種類:

- NCEP実験: 1950-2014年。上記スピニアップの最終状態を初期値とし、NCEP再解析の日平均で駆動。SSSはやはりWOA98の月平均気候値に緩和している。
 - Argo-SSS実験: 2005-2014年。上の実験と同じであるが、2005年から、緩和用SSSを差し替える。つまり、2005-2014年の期間は、緩和用SSSのみが違う。
- 緩和用SSSを作るために、まず、ハワイ大学のIPRCで

作成された格子化Argo月平均値(<http://apdrc.soest.hawaii.edu/projects/argo/>)の1°×1°版から2005-2013年の月平均値気候値を作成し、それからの偏差場を計算する。Argoデータの存在しない縁辺海や沿岸ではこの偏差場はゼロとする。そして、この偏差場をWOA98月平均気候値に足しこんだものを「Argo-SSS実験」の緩和用SSSとする。比較のための観測資料には、上記のIPRC格子化Argoデータの四次元温度・塩分場を使う。この観測資料、NCEP実験、Argo-SSS実験のそれぞれについて積分期間での月平均気候値からの経年偏差を計算し、モデルと観測の時間方向相関係数を計算する。

水温は、Argo-SSS実験でも特に改善はしない。一方、海面塩分は、当然ながら、NCEP実験では観測との相関は低くArgo-SSS実験では改善する。さらに、亜表層でも経年変動の相関が著しく改善している領域が、亜熱帯に広く見られる(150m深で0.4程度)。その大部分は冬季混合層より深く、SSSの直接の影響ではない。一方、亜寒帯や熱帯域では、亜表層の塩分変動はほとんど改善しない。亜表層の経年変動が改善したりしなかったりする原因を探るため、NCEP実験とArgo-SSS実験の差を取り、「力学成分」と「辛さ成分」に分ける([8], [2])。力学成分では、カオス性による差が卓越してしまう。辛さ成分には大規模な流れ場による偏差の移流が見える。

このことにより、SSSの経年変動は、主にサブダクションに伴う移流で亜表層に伝わるのが分り(図3a)、これ

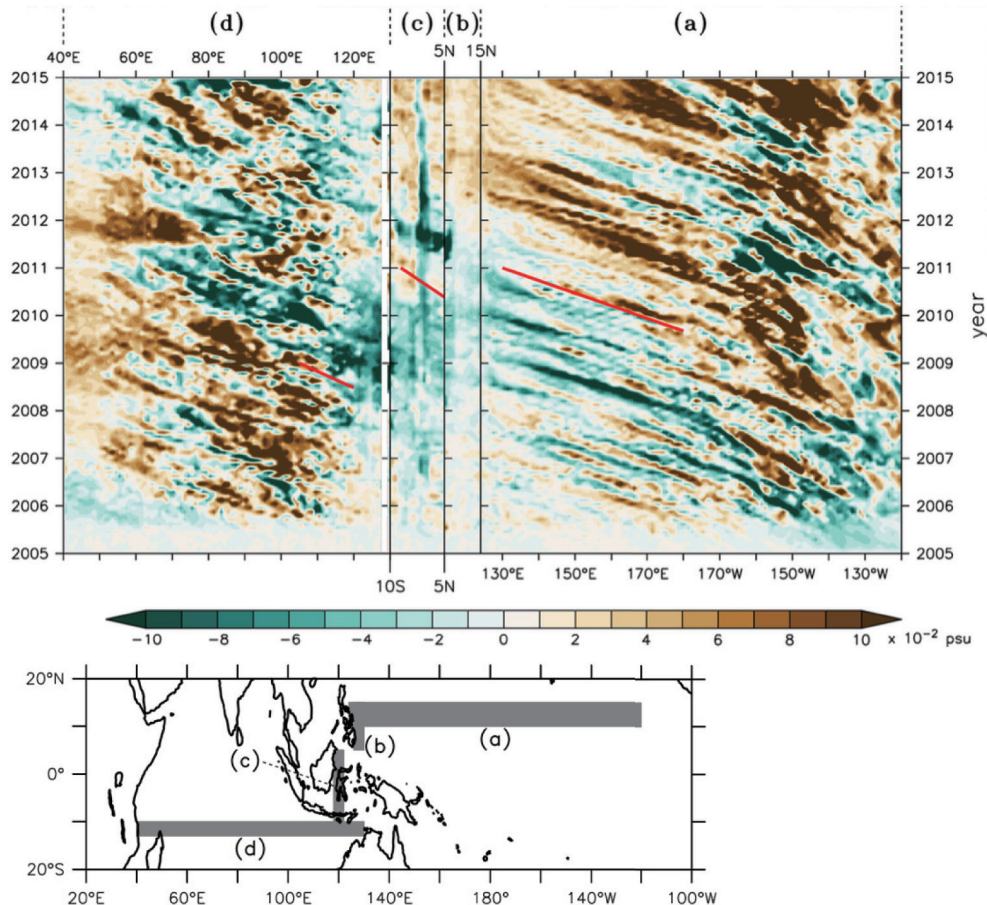


図3 24.5 σ_θ 面上での辛さ偏差 (psu) の Hovmöller 図。図は、下のパネルの灰色のバンドに沿って描いたもの。

が亜熱帯での改善の原因であろう。加えて、インド洋には、太平洋で沈み込んだ偏差がインドネシア多島海を通じて移流されるようにも見えるが、ノイズが大きくはっきりしない（もっとも長期の積分によって確かめる必要がある）（図3）。北太平洋亜寒帯域では、黒潮統流域からの高温高塩の水が経年変動に寄与しているが（[10]）、ここでの亜表層塩分変動がOFESで再現されないのは、磯口ジェットなどの亜寒帯流系の再現性が芳しくないからかも知れない。

2.4 北太平洋における海洋貯熱量の十年規模変動メカニズム

東アジアモンスーンに伴う大気・海洋熱交換及び降水分布は、亜寒帯北太平洋に特徴的な海洋平均場を形成する。すなわち南（北）ほど高（低）水温・高（低）塩分となって海水密度の南北勾配を互いに相殺する水温と塩分の前線帯が形成される（図4a）。本研究では、この亜寒帯前線帯の特徴的な構造に起因する海洋変動のメカニズムを解明した[9]。歴史観測データと高解像度海洋循環モデルOFESの過去再現実験のデータを用いた。OFESデータは歴史観測データと大きなスケールで整合的な水温・塩分場を再現し、かつ歴史観測では解像し得ない南北スケールの小さな海洋前線構造を捉えるのに成功した（図4b）。季節～十年規模変動の予測にとって重要な海洋表層貯熱量変動に着目し、水温偏差について、密度偏差を伴い波として振る舞う力学成分と塩分と密度補償して受動的トレーサとして振る舞う spiciness 成分に分離し、それ

ぞれを表層400mで平均したものを、貯熱量偏差の力学成分 OHC'_ρ 、及び spiciness 成分 OHC'_χ と定義した。 OHC'_ρ の年々変動は、概ね北緯40度以南の黒潮統流域に沿って極大となる。一方、 OHC'_χ の変動は、北緯40度以北の亜寒帯前線帯に沿って大きい。後者は気候平均場における等密度面に沿った水温の南北勾配（図4b陰影、4d等値線）と良く対応し、spiciness 偏差の生成が前線帯の南北変位に起因していることを示唆する。伝播特性を調べたところ、 OHC'_ρ は、北太平洋東部から西方伝播し黒潮統流域で集中する様子を示し、jet-trapped ロスビー波と整合的である。対照的に、 OHC'_χ は亜寒帯前線帯に伴う東向き背景流により東方へ移流される。西岸境界流変動は大気循環に影響を与えることが知られており、南北に近接する2つの前線帯に捕捉され、逆方向に伝播する海洋偏差は、高解像度化する気候モデルとそれを用いた予測にとって重要であると考えられる。

謝辞

本研究課題は、海洋研究開発機構における「ハワイ大学 国際太平洋研究センター(IPRC)との「アジア・太平洋域を中心とした地球環境とその変動」に関する共同研究」を推進するための地球シミュレータ利用課題として採択された。また、米国 National Science Foundation grant OCE-1357015、JSPS科研費(24540476 15K05284 JP26400475)、Arctic Challenge for Sustainability(ArCS)及び Belmont Forum CRA “InterDec” の助成を受けております。

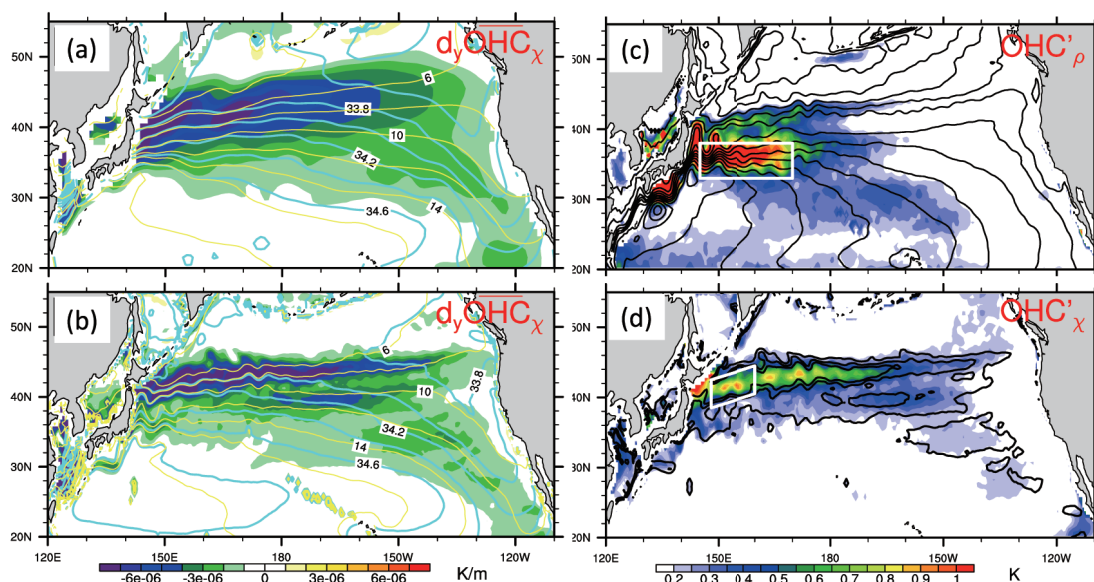


図4 (a) 海洋客観解析データ ([3]) に基づく気候平均 (1945-2012 年) の等密度面に沿った水温の南北勾配 (0-400m 深平均、カラー陰影) 及び水温 (黄等値線) と塩分 (青等値線)。(b)(a) に同じ。ただし海洋大循環モデル OFES 過去再現実験 (1950-2014 年) に基づく。(c) OFES に基づく年平均海洋表層貯熱量の力学成分 OHC'_ρ の標準偏差 (カラー陰影)。黒等値線は海面高度。(d)(c) に同じ。ただし貯熱量の密度補償成分 OHC'_χ の標準偏差。黒等値線は、等密度面に沿った水温の南北勾配 (b のカラー陰影と同じ)。

文献

- [1] H. Annamalai, B. Taguchi, J.P. McCreary, M. Nagura, and T. Miyama, “Systematic Errors in Monsoon Simulation: Importance of Equatorial Indian Ocean Processes”, *Journal of Climate*, in press, 2017.
- [2] R. Furue, Y. Jia, J.P. McCreary, N. Schneider, K. Richards, B. Cornuelle, N. Martinez Avellaneda, D. Stammer, C. Liu, and A. Köhl, “Impacts of regional mixing on the temperature structure of the equatorial Pacific Ocean. part 1: vertically uniform vertical diffusion,” *Ocean Modelling* 91, 91–111. doi:10.1016/j.ocemod.2014.10.002, 2015.
- [3] M. Ishii, and M. Kimoto, “Re-evaluation of historical ocean heat content variations with time-varying xbt and mbt depth bias correction,” *Journal of Oceanography*, 65, 287–299, doi:10.1007/s10872-009-0027-7, 2009.
- [4] Y. Masumoto, H. Sasaki, T. Kagimoto, N. Komori, A. Ishida, Y. Sasai, T. Miyama, T. Motoi, H. Mitsudera, K. Takahashi, H. Sakuma, and T. Yamagata, “A fifty-year eddy-resolving simulation of the world ocean: Preliminary outcomes of OFES (OGCM for the Earth Simulator),” *Journal of the Earth Simulator* 1, 35–56, 2004.
- [5] T. Nasuno, H. Yamada, M. Nakano, H. Kubota, and R. Yoshida, “Global cloud-permitting simulations of Typhoon Fengshen (2008),” *Geoscience Letters*, 3, 32, DOI: 10.1186/s40562-016-0064-1, 2016.
- [6] H. Sasaki, M. Nonaka, Y. Masumoto, Y. Sasai, H. Uehara, and H. Sakuma, “An eddy-resolving hindcast simulation of the quasiglobal ocean from 1950 to 2003 on the Earth Simulator,” in: Hamilton, K., Ohfuchi, W. (Eds.), *High Resolution Numerical Modelling of the Atmosphere and Ocean*. Springer, New York. chapter 10, pp. 157–185, 2008.
- [7] M. Satoh, H. Tomita, H. Yashiro, H. Miura, C. Kodama, T. Seiki, A.T. Noda, Y. Yamada, D. Goto, M. Sawada, T. Miyoshi, T. Niwa, M. Hara, Y. Ohno, S. Iga, T. Arakawa, T. Inoue, and H. Kubokawa, “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.
- [8] B. Taguchi and N. Schneider, “Origin of decadal-scale, eastward- propagating heat content anomalies in the North Pacific,” *Journal of Climate* 27, 7568–7586. doi:10.1175/JCLI-D-13-00102.1, 2014.
- [9] B. Taguchi, N. Schneider, M. Nonaka, and H. Sasaki, “Decadal variability of upper ocean heat content associated with meridional shifts of western boundary current extensions in the North Pacific,” *Journal of Climate*, 30, 6247–6264, doi:10.1175/JCLI-D-16-0779.1, 2017.
- [10] T. Wagawa, S.I. Ito, Y. Shimizu, S. Kakehi, and D. Ambe, “Currents associated with the quasi-stationary jet separated from the Kuroshio Extension,” *Journal of Physical Oceanography* 44, 1636–1653. doi:10.1175/JPO-D-12-0192.1, 2014.

Climate Change and Variability in the Asia-Pacific Region

Project Representative

Masami Nonaka

Application Laboratory, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Authors

Tomoe Nasuno

Department of Seamless Environmental Prediction Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Bunmei Taguchi

Application Laboratory, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology
Research Center for Advanced Science and Technology, the University of Tokyo

Ryo Furue

Application Laboratory, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

To improve our understandings of the Asia-Pacific regional climate that has crucial socio-economic impacts in the region, understandings of ocean and atmospheric phenomena are necessary. In this project, we have collaborated with the International Pacific Research Center, University of Hawaii, using hierarchical models from a cloud-resolving atmospheric model to thousand-year scale climate model to deepen our comprehensive understanding of the climate system in the region. In this report, focusing on precipitation processes such as Indian monsoon and typhoon, we briefly introduce the effects of rainfall on upper-ocean state and decadal variability from the results obtained in FY2016.

Keywords: Asia-Pacific climate, tropical cyclone, monsoon, ocean salinity, decadal variability

1. Systematic errors in monsoon simulation

The monsoon-Indian Ocean basic states are among the most difficult for state-of-the-art climate models to simulate and are unrealistically represented in most of the CMIP3/5 models. In particular, CMIP5 multi-model ensemble mean summer monsoon precipitation climatology exhibits dry bias over the Indian subcontinent and wet bias in association with high SST over the near-equatorial western Indian Ocean. These errors in SST and rainfall are associated with a surface easterly wind bias along the equator that forces oceanic waves capable of shoaling the thermocline in the eastern Indian Ocean, leading to elimination of the Wyrtki jets, eastward-flowing equatorial currents during the boreal spring and fall seasons. The bias structure suggests that they are maintained by Bjerknes feedback in the equatorial Indian Ocean (EIO). In CFES, on the other hand, the rainfall in South Asia and along the equatorial Indian Ocean is realistic with a local maximum over eastern EIO, overcoming the systematic errors noted in CMIP5 models. Encouraged by this success, we use CFES as a laboratory to understand the atmospheric, oceanic and coupled processes involved in shaping monsoon-Indian Ocean basic states [1]. In CFES sensitivity experiments in which easterly wind stress bias is artificially introduced, errors similar to those in the CMIP5 models are reproduced: excess (reduction) in precipitation in the western EIO (over South Asia). These results overall indicate that precipitation errors in South Asia in CMIP5 models are tied to errors of coupled processes in the western EIO. Thus,

correctly representing coupled processes along EIO is important for realistic monsoon simulation.

2. Global 3.5-km mesh simulation of tropical cyclogenesis

Tropical cyclones (TCs) are one of typical convective disturbances that cause meteorological disasters over the Asia-Pacific domain in summer season. Toward the extension of the prediction of TC genesis, to deepen our understanding of the large-scale low-frequency variations, such as the intraseasonal oscillation (ISO), and their roles in the TC genesis is important. NICAM ([3]) is a global model which is capable of simulating large-scale convective disturbances and the TC inner core structure in a uniform framework. In this study, we performed global 3.5-km mesh simulations of Typhoon Fengshen, which was formed in mid-June 2008 during the onset period of the western North Pacific summer monsoon under the influence of the active period of an ISO event. In the FY2016, we focused on the role of the large-scale fields, and conducted sensitivity simulations varying the reanalysis data to initialize the model. In the control case where the humid area associated with the ISO collocated with the large-scale lower tropospheric cyclonic gyre, the incipient vortex of Fengshen developed within the gyre. In contrast, in the case where the humid area was displaced from the lower tropospheric gyre, the incipient vortex did not develop. This result indicates that the large-scale flow fields associated with the ISO and their intensification through

the latent heat release by organization of convection provided favorable conditions for the TC genesis. ([2])

3. Impacts of sea-surface salinity on interannual variability of upper-ocean state

To explore the impacts of sea-surface salinity (SSS) on the interannual variability of upper-ocean state, we have compared two 10-year runs of an eddy-resolving ocean general circulation model: in one, SSS is restored toward a monthly climatology (WOA98) and in the other, it is restored toward the monthly SSS of a gridded Argo product. To avoid mean drift, monthly interannual anomaly is extracted from the Argo data and added to WOA98 to be used as the reference SSS.

The inclusion of the Argo SSS improves the subsurface salinity variability not only where the mixed layer is deep enough to reach the depth but also below the mixed layer in the tropics and subtropics. The interannual variability of the mixed layer is also improved in the subpolar North Atlantic and near the northern bound of the Antarctic Circumpolar Current, where the influence of SSS to the mixed layer is probably significant. On the other hand, the influence of precipitation is significant in the western tropical Pacific, where the so-called "barrier layer" is reproduced when the Argo SSS is included, and in the Bay of Bengal, where precipitation is large, the mixed-layer depth is improved.

To understand the reason for the improvements in subsurface salinity, we next examine the difference field between the two runs. The difference at fixed depths is dominated by small-scale features due to the chaotic nature of eddies and nonlinear jets. The spiciness difference, however, reveals the advection of salinity signals. As found in past studies, SSS variability in the mixed layer is subducted into the pycnocline in subtropical regions, where the Ekman pumping is downward. This signal is advected downward, equatorward, and westward in the North or South Equatorial Current (NEC or SEC of the Pacific, Indian, or Atlantic Oceans). Although weak and uncertain, the SSS signal subducted in the subtropical North Pacific seems to enter the Indian Ocean through the Indonesian Throughflow.

4. Decadal variability of upper ocean heat content in the North Pacific

It is known that upper ocean heat content (OHC) variability provides a source of skills for seasonal to decadal predictions, yet regional expressions of OHC variability remains to be fully understood. By analyzing historical observations and a high-resolution OGCM hindcast, we have investigated interannual-to-decadal variability of the OHC anomalies in the extratropical North Pacific [4]. The study finds that the OHC variability is constrained by two separated WBCs in different ways for their dynamical (associated with density change) and spiciness (density-compensating) components, $OHC'\rho$ and $OHC'\chi$ respectively. $OHC'\rho$ variability represents heaving of

thermocline, propagates westward and intensifies along the Kuroshio Extension (KE), a feature consistent with the jet-trapped Rossby waves. $OHC'\chi$ variability propagates eastward along the subarctic frontal zone (SAFZ) with a phase speed comparable to the speed of the background mean current, suggestive of advection of spiciness by the mean current. Dominance of westward-propagating, $OHC'\rho$ along the KE and eastward-propagating $OHC'\chi$ along SAFZ is distinct from the situation in coarse-resolution climate models which tend to only detect the latter signal because of insufficient representation of WBCs and the associated background mean spiciness gradients. The present study thus provides insights into dynamics of OHC that current generation climate models fail to represent but next generation climate models begun to capture with their increasing horizontal resolution.

Acknowledgement

This project has been conducted as a part of JAMSTEC-IPRC Joint Investigations under the Cooperative Agreement between JAMSTEC and UH regarding the Joint Research Activity on Climate Change and Variability in the Asia-Pacific Region. Also, the project is partly supported by US National Science Foundation grant OCE-1357015, JSPS KAKENHI Grant Numbers 24540476 15K05284 JP26400475, the Arctic Challenge for Sustainability (ArCS) Program, and by the Japan Science and Technology Agency through Belmont Forum CRA "InterDec".

References

- [1] H. Annamalai, B. Taguchi, J.P. McCreary, M. Nagura, and T. Miyama, "Systematic Errors in Monsoon Simulation: Importance of Equatorial Indian Ocean Processes", *Journal of Climate*, in press, 2017.
- [2] T. Nasuno, H. Yamada, M. Nakano, H. Kubota, and R. Yoshida, "Global cloud-permitting simulations of Typhoon Fengshen (2008)", *Geoscience Letters*, 3, 32, DOI: 10.1186/s40562-016-0064-1, 2016.
- [3] M. Satoh, H. Tomita, H. Yashiro, H. Miura, C. Kodama, T. Seiki, A.T. Noda, Y. Yamada, D. Goto, M. Sawada, T. Miyoshi, T. Niwa, M. Hara, Y. Ohno, S. Iga, T. Arakawa, T. Inoue, and H. Kubokawa, "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.
- [4] B. Taguchi and N. Schneider, M. Nonaka, and H. Sasaki, "Decadal variability of upper ocean heat content associated with meridional shifts of western boundary current extensions in the North Pacific," *Journal of Climate*, 30, 6247-6264, doi:10.1175/JCLI-D-16-0779.1, 2017.

