

# 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

古恵 亮 海洋研究開発機構 アプリケーションラボ

高橋 邦生 海洋研究開発機構 統合的気候変動予測研究分野

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を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 27 年度の成果から、特に降水過程に注目し、その台風やインドモンスーンへの影響、更に、氷床や海水への影響も通じてそれが海洋循環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, 古気候

## 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 全球非静力学モデルを用いた台風発生過程に関する研究

夏季アジア太平洋域ではモンスーンを背景場として例年多くの台風が発生し、人間活動に大きな影響を及ぼす。台風の発生・発達メカニズムを理解し、その予測可能性を高めることは科学的に重要であるばかりでなく、社会的にも有益な課題である。本研究では全球非静力学モデル NICAM (Satoh et al. 2014[1]) において 3.5km メッシュを用い、雲降水過程を忠実に扱う数値実験を行うことによりこの課題に取り組む。

図 1 に 2008 年 6 月にフィリピン海で発生した台風事例 (Fengshen) の物理アンサンブル計算における、中心付近 (半径 1 度内) の非断熱加熱率の鉛直分布 (左) と海面気圧・風速・降水 (右) の時系列を示す。台風の発生がシミュレートされた計算 (上 2 例) では、渦中心付近で継続的に雲が発生し潜熱放出 (左) をもたらすことにより台風循環が駆動され気圧が深まるのに対し (右)、雲はできる

ものの渦中心に集中 (組織化) しなかった計算 (下 2 例) では、現実的な台風の発達シミュレートされなかった。以上の結果から、台風発生期の初期渦中心付近における雲の組織的な生成の重要性が確認される。

### 2.2 CFES で再現されたモンスーン季節内変動のライフサイクルに伴う熱力学過程

北半球の夏季において、Madden-Julian oscillation に伴い赤道域に捕捉される対流活動偏差は、背景場のモンスーン循環と相互作用することにより、北部インド洋や北西太平洋上を北進する対流活動偏差に分岐する。このモンスーン季節内変動の複雑な時空間変動を表現することは、気候モデルコミュニティの大きな挑戦課題の 1 つになっている。

ここでは、この変動を支配する物理過程を明らかにするために、大気海洋結合モデル CFES の 2 つのバージョンを用いて、モンスーン季節内変動の再現性に関する感度実験を行った。標準実験では、積雲対流の雲頂高度の計算の際に、より乾燥した環境大気の取り込み (エントレインメント) による対流気塊の水蒸気希釈の効果は考慮されないが、最新版 CFES では、その効果を考慮する。

標準実験と比較して最新版では、モンスーン季節内変動に伴う組織化された対流活動偏差の時間発展がより良く表現され、観測で知られる特徴の再現に成功した (図 2)。水蒸気及び湿潤静的エネルギー収支の診断解析から、南北風偏差による背景場の水蒸気分布の移流が、北部インド洋を北進する対流活動偏差の主要因であることが明らかになった。

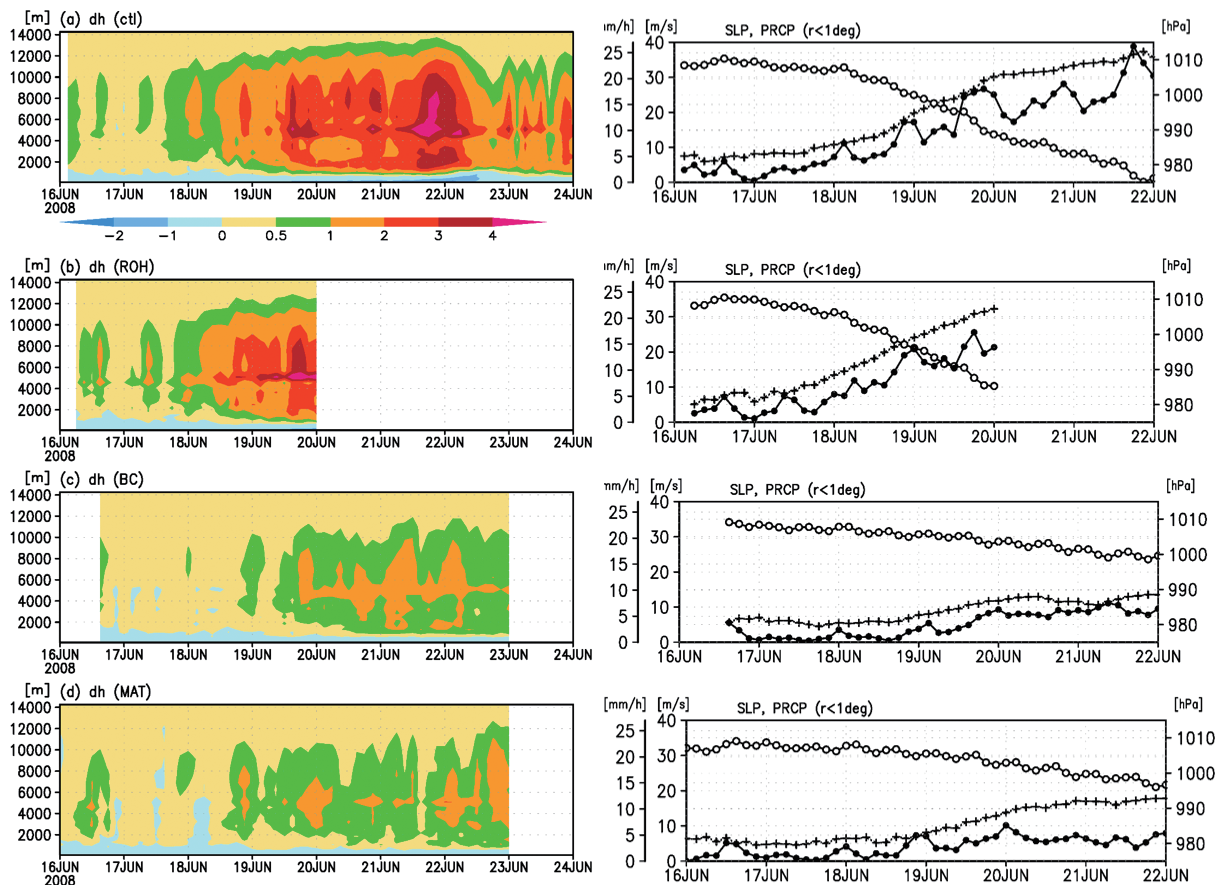


図1 全球3.5kmメッシュの全球非静力学モデルを用いた物理アンサンブル計算における台風初期渦中心付近(1度内)の(左)非断熱加熱率および(右)海面気圧(○)、10m風速(+)、降水率(●)。

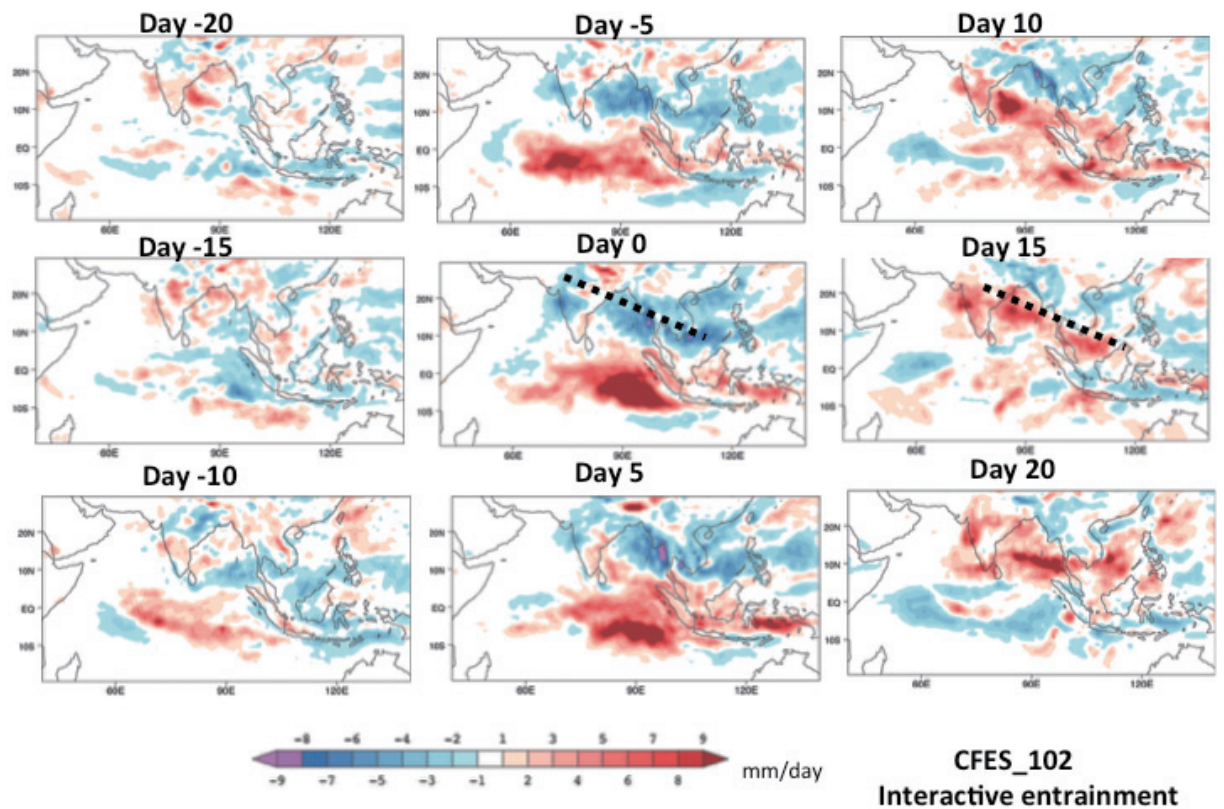


図2 モンスーン季節内変動に伴う降水偏差(mm/day)の時間発展。Day 0はインド洋赤道域東部における対流活動偏差が極大になる位相に、その他のパネルは5日毎にずらした位相に対応する。対流活動偏差のインド洋赤道域における東進と振幅増加、さらに北部インド洋への北進が再現されている。

### 2.3 海面塩分の海洋循環への影響

降雨の観測精度は十分でなく、大気海洋結合モデルでも再解析モデルでも降雨分布の精度は良くないことが知られている。この誤差が海面塩分の誤差となることは容易に想像できるが、それが海洋の力学や垂表層の塩分によ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準全球渦解像海洋大循環モデルOFESに与え、気候値に緩和した場合と比較し、混合層深度や垂表層への影響を調べた。

混合層深さの経年変動は概ね改善する。塩分が混合層に効く地域である赤道西太平洋・北大西洋亜寒帯・南極環海で特に改善が大きい。垂表層の塩分経年変動は、亜熱帯では概ね改善し、それ以外の地域では余り改善しない。その違いの原因を探るため、二つの実験の差を「力学成分」と「辛さ成分」に分ける。力学成分では、カオス性による差が卓越する。辛さ成分には大規模な流れ場による偏差の移流が見え、海面塩分の経年変動は、主に沈み込みに伴う移流で垂表層に伝わるのが分かる。これ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移流されるが、これが南インド洋亜熱帯での改善に寄与している可能性がある(図3)。

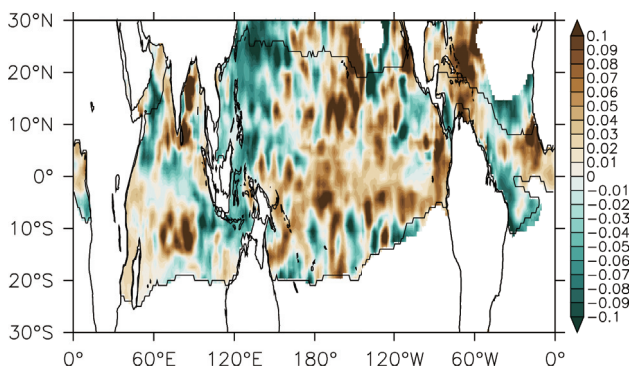


図3 24.2  $\sigma_\theta$  面上での塩分の、二つの実験での差(「辛さ偏差」)。2009年8月。北太平洋で沈み込んだ負の偏差が、インド洋亜熱帯に達した頃。黒線は、2009年の間で、もっとも赤道よりのこの層の露出線。

### 2.4 氷期の海洋深層循環と気候形成メカニズムに関する研究

大気海洋結合モデルMIROCを用いて最終氷期最盛期(LGM)の実験設定でモデルパラメタや境界条件依存の感度実験を実施した。海洋堆積物等の古気候データから氷期中頃には強い海洋循環の時期もあり変動が大きかったが、最終最大氷期の2万年前頃は、海洋循環(AMOC)は弱かったことが分かっている。しかし、これまでモデル研究ではLGMのAMOCをうまく再現できていなかった。

だが、ESの更新により、大気海洋結合モデルで数千年以上の時間積分が容易となり、長期積分を行った結果、弱いAMOCが実現する条件として北米氷床の存在や北大西洋の風応力と海水の役割、南大洋の深層水が重要であることがわかった。また、AMOC自身が数千年のスケールで自励的な振動を示すこともわかった。氷床の融解水などの外部要因がなくてもAMOCが振動的な振る舞いを示すことは、氷期に1500~3000年のスケールで起こった急激な気候変動であるダンスガード・オシュガー振動の理解に役立つと期待される。

### 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ている。

# 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

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

Kunio Takahashi Department of Integrated Climate Change Projection Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

To improve our understandings of the Asia-Pacific region 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, we briefly introduce the effects of rainfall on tropical cyclones and Indian monsoon, ocean circulation and paleo climate cycle from the results obtained in FY2015.

**Keywords:** Asia-Pacific climate, tropical cyclone, monsoon, ocean salinity, paleo climate

## 1. Tropical cyclone study using a global nonhydrostatic atmospheric model NICAM

Tropical cyclones (TCs) are a major weather disaster in the Asia-Pacific domain during the boreal summer season. To deepen our understanding of the mechanisms of TCs is a demanding task. Here we aim to deal with this task by global cloud-permitting simulations using Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model, NICAM (Sato et al. 2014[1]). A series of global 3.5-km mesh simulations of a case study of Typhoon Fengshen (2008) are presented in Fig. 1. Four simulation cases with different physical settings are displayed. In the

cases with strong TC develops (Fig. 1a, b), a large amount of diabatic heating were released by successive formation of deep convection near the storm center, which led to intensification of the TC circulation and pressure deepening. In contrast, increase in diabatic heating and precipitation are much slower in the weak TC cases (Fig. 1c, d). These results confirmed the critical role of deep convection in the inner core formation of TC and subsequent intensification. Detailed analysis of the reasons that cause such different behaviors are underway.

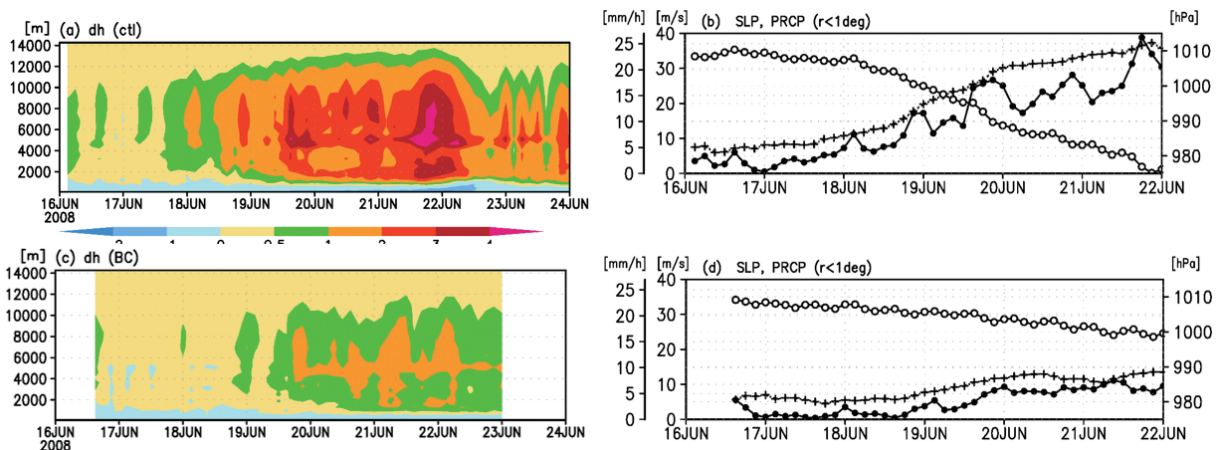


Fig. 1 (left) Time-height sections of diabatic heating rate and (right) time series of surface precipitation (+), 10-m wind speed (●), and sea level pressure (○), averaged within the 1-degree distance from the storm center in the global 3.5-km mesh simulations. Top and bottom panels display ensemble cases with different physical parameters.

## 2. Thermodynamical processes with monsoon intraseasonal variability in CFES

During boreal summer, the equatorially trapped convective anomalies associated with the Madden-Julian oscillation (MJO) interact with the mean monsoon resulting in northward migration of convective anomalies over the northern Indian Ocean and tropical west Pacific. It is a grand challenge for climate models to realistically simulate the complex space-time evolution of the monsoon intraseasonal variability. Here we diagnose two versions of the coupled general circulation model (GCM) CFES integrations for their ability to simulate the monsoon intraseasonal variability. In the latest version the convective parameterization scheme takes into account of the nonlinear interaction between the entrainment and the buoyancy profile, whereas in the previous version air parcel is assumed to be isolated from environment when the buoyancy profile is estimated. A key result is that in the latest version, organization of convective anomalies associated with the space-time evolution of monsoon intraseasonal variability is better than the earlier version, and bears close resemblance to observed features. Budget diagnostics indicate that horizontal advection of climatological moisture by anomalous meridional wind as the principal mechanism for the poleward migration of convective anomalies over the northern Indian Ocean.

## 3. Impacts of sea-surface salinity on ocean state

To explore the impacts of sea-surface salinity (SSS) on ocean circulation and subsurface water masses, we replaced the reference, climatological SSS of our eddy-resolving ocean model OFES with one based on Argo observation from 2005 to 2014. It was found that the inclusion of the observed SSS improves the interannual variability of the mixed layer depth over the western tropical Pacific, subpolar North Atlantic, and Southern Ocean, where salinity (or precipitation) is influential in sea-surface density variability. The interannual variability in thermocline salinity tends to be improved in subtropics, where SSS signal is brought to the thermocline by subduction and advected by the wind-driven, general circulation. It is interesting that this advective path brings the SSS signal from the north Pacific to the eastern South Indian Ocean via the Indonesian Throughflow.

## 4. Mechanisms of ocean circulation and climate changes in the glacial periods

To investigate dependencies of climate and ocean states on the model parameters and the boundary conditions during the last glacial maximum (LGM, 20,000 years ago), we have conducted several sensitivity experiments using a coupled atmosphere-ocean GCM MIROC. Observational studies with paleo-climate proxies like marine sediments have shown that the Atlantic meridional overturning circulation (AMOC) was strong and variable during mid glacial periods while it was weaker around the LGM. Numerical studies, however, could not have reproduced such weaker AMOC during the LGM. Thanks to the update of the Earth Simulator, now it is practical to perform coupled GCM experiments to integrate longer than a few thousand years. The results show that the existence of ice-sheet on north America, wind-stress and sea-ice over the northern Atlantic Ocean, and deep water formation over the Southern Ocean are important factors for the weaker AMOC. Moreover, self-induced oscillation with thousand-year scales are shown in AMOC. The simulated oscillation without external driving mechanisms such as melt-water input from the ice-sheet is expected to help to understand the mechanism of Dansgaard-Oeschger cycles, which is an abrupt climate change of 1500 to 3000 year scales during glacial periods.

## 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.

## References

- [1] Satoh, M., Tomita, H., Yashiro, H., Miura, H., Kodama, C., Seiki, T., Noda, A. T., Yamada, Y., Goto, D., Sawada, M., Miyoshi, T., Niwa, Y., Hara, M., Ohno, Y., Iga, S., Arakawa, T., Inoue, T., and Kubokawa, H., “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.

