

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 アプリケーションラボ

著者

吉田 聡^{*1}, 野中 正見^{*1}, 佐々木英治^{*1}

*1 海洋研究開発機構 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。平成27年度の成果から、本報告では1)メキシコ湾流がヨーロッパの天候に及ぼす影響、2)海洋循環の年々の変動における一意には決まらない不確定性の存在の解明、3)海洋モデルへの潮汐による混合効果を導入した成果について紹介する。1)では、北アメリカ大陸の東岸を流れるメキシコ湾流に伴う海面水温前線が、ヨーロッパに寒気をもたらす冬季ブロッキング現象の出現に影響することを発見した。2)では、黒潮や黒潮統流といった強い海流域では、同一の風の下でも異なる状態が出現し得ることが示された。3)においては、潮汐による鉛直混合のパラメタリゼーションを海洋モデルに組み込むことで、例えば、インドネシア通過流の下流域の水塊の再現性が向上することが示された。

キーワード：海洋渦, 海洋前線, 大気海洋相互作用, 高解像度シミュレーション, 大気海洋予測

1. 本課題の概要

本課題では、地球シミュレータを用いた高解像度大気海洋シミュレーション研究により、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、大規模な大気循環の形成・変動に果たす役割、②より高解像度の海洋シミュレーションから、海洋の中規模渦よりも細かい数km程度の構造が、より大規模な海洋循環の形成や生態系の変動に与える影響、③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、従来の季節変動予測や地球温暖化予測ではほとんど考慮されてこなかった、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技術の発展に貢献することを目指している。

平成27年度は、平成28年度に予定している全球渦解像海洋過去再現データの作成へ向けた海洋モデルの高度化等、海洋、大気、大気海洋結合モデルの開発・整備を進めた他、上の目的へ向けた実験・解析を推進した。その成果から主要なものを以下に報告する。

2. 平成27年度の成果

2.1 ヨーロッパに寒気をもたらすブロッキングとメキシコ湾流

メキシコ湾流に伴う海面水温前線が大気に及ぼす影響を明らかにするため、全球大気モデルAFESを用いた感度実験を実施し、ヨーロッパに寒気をもたらす冬季ブロッキング現象の再現性が湾流の海面水温前線の有無に左右されることを発見した ([1])。

用いたモデルは水平解像度T239(約50km)のAFESである。海面水温データとして衛星観測を元にしたNOAA 0.25° daily OISSTを与えた。標準実験(CONTROL)には観測された海面水温、平滑化実験(SMOOTH)にはメキシコ湾流上で平滑化した海面水温を与え、それぞれ1981年9月から2001年8月まで20年間積分し、両者を比較した。

北大西洋域における冬季ブロッキングの発生頻度を比べた結果、CONTROLは再解析(NCEP-CFSR)に比べ全体的に発生頻度が少ないものの東西分布はよく再現していた。一方、SMOOTHでは経度0°付近のブロッキング発生数が大きく減少していた。この結果、SMOOTHではヨーロッパの寒気日数が実際よりも減少し、メキシコ湾流に伴う海面水温前線が下流のヨーロッパの気候に影響していることが明らかになった。

2.2 海洋経年変動の不確定性の分布解明

大気の循環においては、特に中緯度域では、観測された状態は1つの実現値に過ぎず、同じ条件の下で異なる状態が起きていても不思議ではないこと、即ち不確定性が存在することが既に良く認識されており、天気予報もそれを考慮した上で行われている。一方で、海洋においては、海洋渦は大気と同様の性質を持つことが予期されていたが、海洋の循環、特に海面から1000m程度の深さまでの海流の経年変動については、風の変動が非常に支配的に影響することが知られている。このため、これまでは、この「風の変動によって生じる変動」が殆どと考えられ、大気のような不確定性の存在は意識されていなかった。

このような海洋循環の不確定性の存在を調べるため、

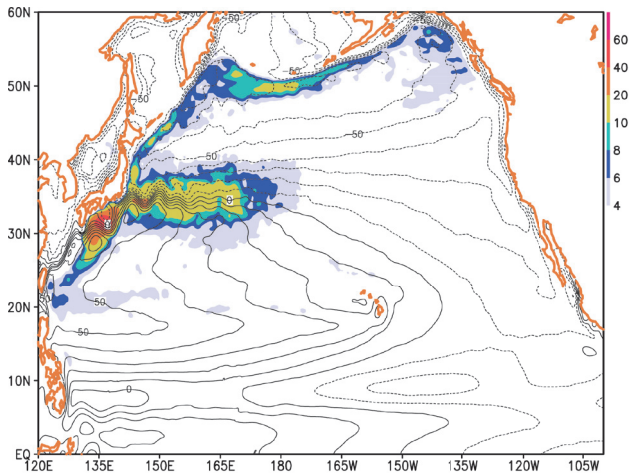


図1 北太平洋海洋シミュレーションのアンサンブルメンバー間の海面高度経年変動の root mean square difference の分布 (色)。等値線は長期平均の海面高度分布。単位は cm。

水平解像度 0.1 度の北太平洋海洋シミュレーションを僅かに異なる条件の下で、全く同一の気象再解析データを用いて駆動したアンサンブル実験を行い、そこで生じるアンサンブルメンバー間の相違を調査した。その結果、風変動の強い影響が知られている黒潮続流の年平均流速や東西分布等にも、顕著な相違が見られることが示された。これは、大気場が全く同じでも黒潮続流が異なる状態を持ちうることを意味し、不確定性の存在を示す。更に、そのメンバー間の相違の分布を調べた結果 (図1)、中緯度域の西岸境界流域で相違が大きく、対照的に熱帯域では、風の場合が決まると海洋の経年変動はほぼ決定されることが明らかとなった ([2])。

2.3 海洋モデルへの潮汐混合効果の導入

海洋の海峡域で潮流が強く海底地形に起伏があると、強い鉛直乱流混合が励起され海水の鉛直構造に大きな影響を及ぼす。例えば、クリル海峡やインドネシア多島海域では、潮汐による鉛直混合で下流域の水質が大きく変質する。したがって、その効果を海洋モデルで考慮する必要がある。しかし、我々が実施してきた水平解像度 0.1 度の準全球渦解像海洋シミュレーションでは、その潮汐による混合効果が含まれないため、例えばインドネシア通過流の下流域の水塊を現実的に再現出来ていない ([3])。そこで、St. Laurent et al. (2002) [4] が開発した潮汐による鉛直混合のパラメタリゼーションを海洋モデルに組み込み、水平解像度 0.1 度の北太平洋海洋シミュレーションの感度実験を実施した。

インドネシア多島海域の 135m 深の塩分分布では、潮汐の効果を含まない場合は太平洋から流入した表層水が多島海域でほとんど変質せずインド洋に流出する。一方、潮汐の効果を含む場合は、通過流の下流域の Banda Sea で塩分が低くなり、その低塩分水がインド洋に広がっており (図2)、多島海域だけでなくインド洋での水塊分布の改善が期待できる。今後、全球規模の高解像度海洋シミュレーションに潮汐による混合効果のパラメタリゼーションを導入する予定である。

謝辞

本研究課題の一部は、IFREMER との国際共同研究として行っております。また、JSPS 科研費 (25400473, 26707025, 26800249) の助成を受けております。

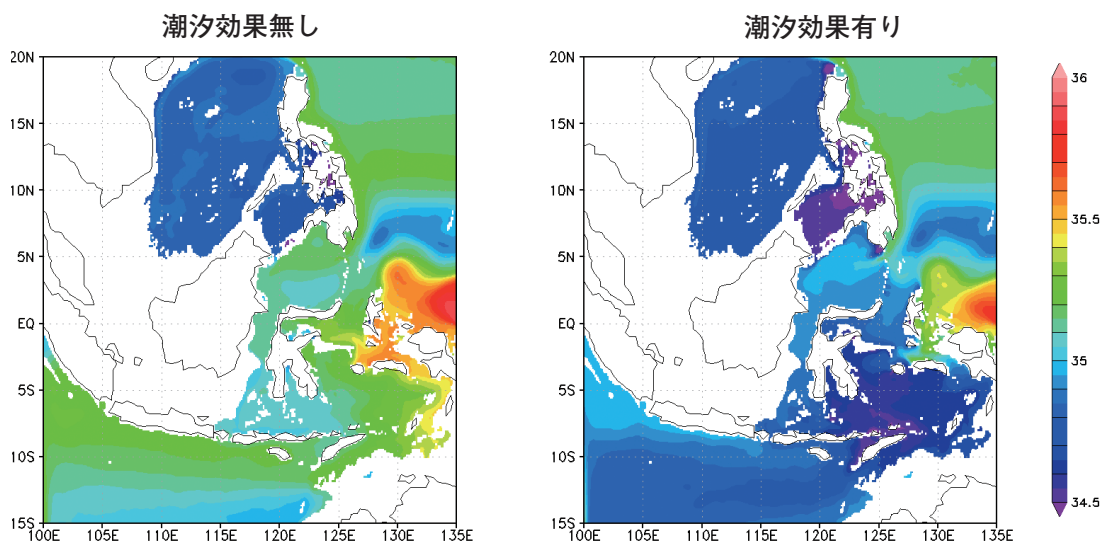


図2 潮汐の効果無し (左) と有り (右) の海洋モデルにおける 135m 深の塩分分布 (psu)。海洋モデルの 26 年目から 30 年積分の平均値。

文献

- [1] C. H. O'Reilly, S. Minobe, and A. Kuwano-Yoshida, "The influence of the Gulf Stream on wintertime European blocking," *Climate Dynamics*, DOI:10.1007/s00382-015-2919-0, 2015.
- [2] M. Nonaka, Y. Sasai, H. Sasaki, B. Taguchi, and H. Nakamura, "How potentially predictable are midlatitude ocean currents?" *Scientific Reports*, 6, 20153; doi: 10.1038/srep20153, 2016.
- [3] Y. Masumoto, Y. Morioka, and H. Sasaki, "High-resolution Indian Ocean simulations — Recent advances and issues from OFES —," In *Ocean Modeling in an Eddy Regime*, M. W. Hecht and H. Hasumi (eds.), Geophysical Monograph 177, pp. 199-212, AGU, Washington D.C., 2008.
- [4] L. St. Laurent, and C. Garrett, "The role of internal tides in mixing the deep ocean," *Journal of Physical Oceanography*, 32, 2882-2899, 2002.

Understanding Roles of Oceanic Fine Structures in Climate and Its Variability

Project Representative

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

Authors

Akira Kuwano-Yoshida^{*1}, Masami Nonaka^{*1} and Hideharu Sasaki^{*1}

^{*1} Application Laboratory, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

In this project, we investigate numerically impacts of oceanic fronts and eddies associated with strong western boundary currents on oceanic and/or atmospheric large-scale circulation and oceanic ecosystem. In this report, we briefly introduce 1) the influence sea surface temperature front associated with the Gulf Stream on frequency of atmospheric blocking that affect European climate, 2) uncertainty of interannual variability in the western boundary currents like the Kuroshio and Kuroshio Extension, 3) influence of parameterization of tidal mixing, for example, in the Indonesian archipelago region, from the results in FY2015.

Keywords: oceanic eddies, oceanic fronts, air-sea interactions, high-resolution ocean and atmosphere simulations, ocean and atmosphere prediction

1. Introduction

In this project, we investigate numerically impacts of oceanic fronts and eddies associated with strong western boundary currents on oceanic and/or atmospheric large-scale circulation and oceanic ecosystem. With the investigations, we will improve our understanding of roles of oceanic fine structures in climate and its variability and predictability. In this report, we briefly introduce several achievements from those in FY2015.

2. Results in FY2015

2.1 The influence of the Gulf Stream on wintertime European blocking

Recent studies suggest that SST front associated with the Gulf Stream affects precipitation and cyclone activity aloft. Remote impacts on Europe, however, have not been clear. The influence of the SST front on wintertime European blocking is investigated using a pair of AGCM for the Earth Simulator (AFES) ver. 3 simulations with 50-km horizontal resolution. The CONTROL run driven by the observed SST front and the SMOOTH run driven by the smoothed SST front are integrated for 20 years from September 1981 to August 2001. The CONTROL run well reproduces blocking frequency over Europe compared with reanalysis, whereas the frequency significantly decreases, and the peak shifts eastward in the SMOOTH run. In the result, the number of cold-spell days in the northern coast of central Europe decreases in the SMOOTH run, suggesting that the SST front is important to reproduce Europe winter climate and its variability ([1]).

2.2 Uncertainty of interannual variability in ocean circulations

Significant uncertainty of atmospheric variability is known, and observed atmospheric variability is regarded as just a single realization among different dynamical states that could occur. In contrast, subject to dominant forcing, the ocean circulation has been considered to be rather deterministic under the prescribed atmospheric forcing, and it still remains unknown how uncertain the upper-ocean circulation variability is. To investigate it, we conducted multiple simulations with an eddy-resolving ocean general circulation model driven by the observed interannually-varying atmospheric forcing under slightly different conditions. The results revealed substantial uncertainty due to intrinsic variability in the extratropical ocean circulation, especially

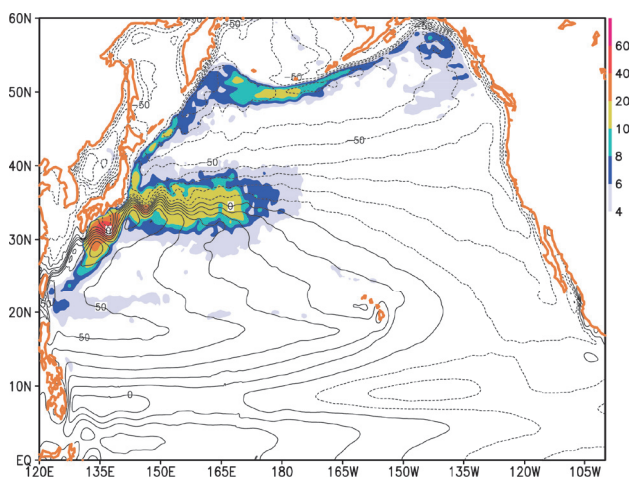


Fig. 1 Root mean square difference among the ensemble members (shade) and mean (contours) of sea surface height in the ocean general circulation model.

along the Kuroshio and its eastward extension (Fig. 1). These suggest that multi-member ensemble simulations are essential for understanding and predicting variability in the currents, which are important for weather and climate variability and marine ecosystems ([2]).

2.3 Implement of tidal mixing effect into ocean model

Oceanic tidal mixing over rough topography at straits makes large impacts on the water property in vertical. The effect should therefore be implemented into ocean model, but our ocean simulations have not included it ([3]). Then we conducted sensitivity simulations of the North Pacific at 0.1° horizontal resolution model with and without tidal mixing parameterization ([4]). Low salinity in the subsurface in the Banda Sea is improved by the parameterization (Fig. 2). In addition, improvement of water property in the Indian Ocean is expected through the water spreading from the Indonesian archipelago. We are going to implement the tidal mixing parameterization into the eddy-resolving global ocean simulation.

Acknowledgement

A part of this project is conducted as an international collaboration with IFREMER, and supported by JSPS KAKENHI Grant Numbers JP25400473, JP26707025, JP26800249.

References

- [1] C. H. O'Reilly, S. Minobe, and A. Kuwano-Yoshida, "The influence of the Gulf Stream on wintertime European blocking," *Climate Dynamics*, DOI:10.1007/s00382-015-2919-0, 2015.
- [2] M. Nonaka, Y. Sasai, H. Sasaki, B. Taguchi, and H. Nakamura, "How potentially predictable are midlatitude ocean currents?" *Scientific Reports*, 6, 20153; doi: 10.1038/srep20153, 2016.
- [3] Y. Masumoto, Y. Morioka, and H. Sasaki, "High-resolution Indian Ocean simulations — Recent advances and issues from OFES —," In *Ocean Modeling in an Eddy Regime*, M. W. Hecht and H. Hasumi (eds.), Geophysical Monograph 177, pp. 199-212, AGU, Washington D.C., 2008.
- [4] L. St. Laurent, and C. Garrett, "The role of internal tides in mixing the deep ocean," *Journal of Physical Oceanography*, 32, 2882-2899, 2002.

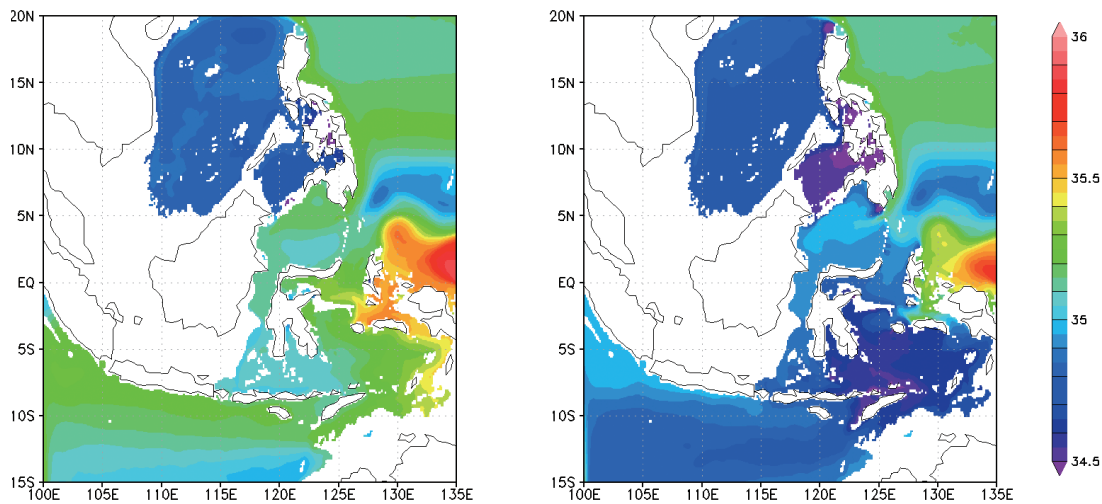


Fig. 2 Salinity fields (psu) at 135-m depth in the ocean model without (left) and with (right) tidal mixing parameterization averaged from 26th to 30th year.

