

令和元年6月27日現在

機関番号：82109

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H03726

研究課題名(和文) 機動的海洋気候変動研究に資する海洋モデル駆動用リアルタイムデータセットの構築

研究課題名(英文) Production of a real-time data set for driving ocean models in support of studies on ocean-climate variability

研究代表者

辻野 博之 (Tsujino, Hiroyuki)

気象庁気象研究所・海洋・地球化学研究部・室長

研究者番号：50343893

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：海洋-海水数値モデルによって海洋気候変動を可能な限り正確に再現するため、海面境界条件の算出に必要な気象変数・河川流入データセットを、気象庁大気再解析(JRA-55)に適切な修正を加えることにより作成した。本データセットを観測データや従来使用されてきたデータセットと詳細に比較検証を行った上で国際的に公開し、海洋モデル相互比較プロジェクト等、利用の促進を図った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海洋-海水数値モデルによる海洋・気候変動再現シミュレーションの成否は、数値モデルの性能だけでなく、海面境界条件の質にも大きく左右されるが、高い品質を保證する海面データセットの更新が10年ほど滞っていた。本研究によって作成されたデータセットにより、このような停滞状況が打破され、今後海洋気候変動の研究や、海洋-海水モデル相互比較を通じたモデルの改良が飛躍的に進歩することが期待される。

研究成果の概要(英文)：A new surface dataset for driving ocean-sea ice models is produced by adjusting the surface atmospheric parameters of the JRA-55 atmospheric reanalysis to help ocean-sea ice models reproducing the past ocean-climate variability as accurately as possible. After extensively evaluating the dataset by comparing with observational data and the currently working dataset, we published the dataset in an international framework to widely distribute it. We are also promoting its use, for example, in the ocean model intercomparison project (OMIP).

研究分野：気候・海洋数値モデリング

キーワード：海面フラックス 海洋気候変動シミュレーション 海洋-海水モデル相互比較 大気再解析の検証 全球海洋熱・淡水収支

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

海洋に生じる気候変動のメカニズムを理解するための手法として、海洋 - 海水モデルに実際に生じた現象を再現してその力学的、熱力学的バランス、時間変化を調査する手法が広く用いられる。海洋気候変動を精度良く再現するには、その主な駆動力である、海面境界条件を可能な限り正確に与える必要がある。海面境界条件の正確さは大気データの質に依存するため、可能な限り現実に近いものが求められるが、観測データを大気モデルに同化した大気再解析データであっても海面付近のデータには大きな誤差が含まれていることが知られている。気候変動に関する国際プロジェクトである、「気候と海洋：変動性、予測可能性と変化」(CLIVAR)は、海洋モデル開発者により構成される専門家委員会である海洋モデル開発パネル(OMDP)を設置し、海洋 - 海水モデルの開発や検証を推進する国際協力体制の構築を行っている。OMDPは海洋モデル検証体制の一環として、海洋モデル相互比較プロジェクトを推進しており、その最も重要な要素として、海洋モデル駆動用の標準的な海面境界条件計算用データセットの提供を行っている。現在使用されているデータセット(COREデータセット; Large and Yeager 2009)は、2009年以降技術的な理由により更新が行われていない。このため、COREデータセットに関する既知の欠点等を可能な限り修正し、直近に生じた海洋気候変動現象を海洋 - 海水モデルを用いて即座に研究することができるよう、準リアルタイムでデータが更新されるような新データセットの構築が望まれる状況となっていた。

気象庁長期大気再解析(JRA-55; Kobayashi et al. 2015)は、4次元変分法等、当時最新のデータ同化技術を採用し、かつ50年間を超える大気再解析データとしては当時世界最高の水平・時間分解能のデータを提供する高品質のデータであり、JRA-55に基づく海洋 - 海水モデル駆動用海面データセットに対する国際的期待は大変高い状況にあった。一方、海洋 - 海水モデル駆動用データセットとして国際的に広く使用されるためには、COREデータセットがそうであったように、JRA-55に対する品質評価を行い、必要な修正を可能な限り行った上で、複数の海洋 - 海水モデルを試験的に駆動し、良好な再現性が得られることを示す必要があった。

### 2. 研究の目的

前項で説明した通り、既存の標準的な海洋モデル駆動用データセットの国際的な提供体制の枠組みでは、北極域の海水激減、地球温暖化停滞、2014年のエル・ニーニョ発生予測の不調等、海洋 - 海水システムにごく近年に生じた重要事象に対する、海洋 - 海水モデルを用いた迅速かつ正確性の高い再現実験による機動的海洋気候変動研究の実施が不可能な状況にあった。本研究の目的は、気象庁長期大気再解析(JRA-55)の結果を基に、即時的でありながら系統的誤差が修正され、地球全体のバランスも考慮された海洋モデル駆動用データセットを新たに作成し、我が国の主要な2つの気候変動予測用海洋大循環モデルで実際に使用してその有効性を検証することとする。また、国際的な要請を踏まえて今後も機動的海洋気候変動研究が実施可能な体制を提供するため、本データセットをリアルタイムで作成し、国際的に提供する手順を確立する。

### 3. 研究の方法

- (1) **データセットの作成**：気象庁長期再解析(JRA-55)と河川流下モデル出力の評価を、観測データとの比較と、全球海面熱・淡水バランスの観点からを行い、準リアルタイムのデータ作成が可能となるようなバイアス修正方法を考案する。
- (2) **検証実験**：作成したデータセットにより、国内で気候変動研究に使用される2つの海洋 - 海水モデルシステムに基づく全球モデル、高解像度北西太平洋モデルの駆動実験を行う。現在使用されている標準的駆動用データセットによる実験結果も加えて、主要な気候変動再現性を指標として駆動用データセットの評価を行う。
- (3) **作成・検証の反復**：(2)を受けて駆動用データセットの再較正、海洋 - 海水モデルによる再実験を実施する。
- (4) **海洋気候変動問題への適用**：複数モデル・データセットによる実験結果を用いて気候変動指標について不確実性の評価を行う。直近の気候変動事象における海洋の役割を抽出する。

### 4. 研究成果

#### (1) 海面データセットの作成：

海洋 - 海水モデルの海面境界条件を算出するのに必要な気象変数は、気温、比湿、風速ベクトル、海面気圧、下向き短波・長波放射、降水である。気象庁長期大気再解析(JRA-55)における各変数の長期平均値の系統的誤差を他の大気再解析のアンサンブル平均や衛星観測データに基づく参照用データセットとの比較で調査したところ以下のことが分かった。

- 気温は複数の大気再解析データセットのアンサンブル平均と比較して海上で低い。現場観測に基づくデータと比較すると北極の海水域では高く、南極縁辺海で低い。
- 比湿は複数の大気再解析データセットのアンサンブル平均と比較して高い。
- 風速は衛星観測データと比較して、熱帯域で小さく、中高緯度域で大きい。
- 短波放射は熱帯域で少なく、高緯度域で多い。長波放射は短波放射と逆の傾向を持つ。
- 降水は、熱帯収束域で過多である。

これらの系統的誤差を、JRA-55における観測データ同化手法が異なる3つの期間(1958 - 1972、1973 - 1998、1999 - 現在)に対して別々に評価し、それらが低減されるよう、オフセットや定数を掛けることなどによる修正を行った。尚、1958 - 1972の期間の系統的誤差については、衛星観測データを同化しない、JRA-55Conventinal (Kobayashi et al. 2014)の1973 - 1998の期間のバイアスによって評価した。また、直近のデータの作成に当たっては、1999 - 現在用に作成した係数等による修正を行う。

系統的誤差修正後の気象変数を用いて海面フラックスを算出し、全球積算熱・淡水フラックス収支を計算したところ、わずかではあるが、熱フラックスには海洋加熱バイアス、淡水フラックスには海水減少バイアスが生じることがわかった。これらのバイアスを低減するため、大気モデルの雲スキーム等、不確実性の高いパラメタリゼーションに強く関連する、下向き短波・長波放射、及び降水に対して全球一様の修正をかけて調整した。

(2) **河川流入データセットの作成：**

河川や氷河、氷床からの流入も、海洋 - 海氷モデルの側面境界条件として必要不可欠な要素である。JRA-55には河川流下、氷河・氷床流動モデルは導入されていないため、河川については、JRA-55の陸面コンポーネントから計算される流出を元に河川流下モデルCaMaFloodを運用して海洋への流出を計算し、グリーンランドや南極大陸からの氷河・氷床の流出については外部データセット(Bamber et al. 2018, Depoorter et al. 2013)を導入することとした。

河川からの流入量は、現在使用されている河川データセット(Dai et al. 2009)と比較して初めの15年間で過大となる傾向がみられたため、現在使用されているデータセットの長周期変動成分を新データセットで再現できるように陸面コンポーネントから河川への流入量を調節することとした。直近のデータ作成にあたっては、2010年のデータに使用した調整因子を使用し続けることとした。

(3) **海洋 - 海氷モデルによる検証実験：**

本研究で作成した、JRA-55に基づく海氷 - 海氷モデル駆動用海面データセット(JRA55-do)のモデル駆動用データセットとしての性能を確認するため、第6次気候モデル相互比較プロジェクト(CMIP6)用に開発された全球海洋 - 海氷モデルを駆動し、現在使用されているデータセットにより駆動された実験との比較を行った。気象研究所及び海洋研究開発機構における実験では、北大西洋子午面循環量、南極周極流、全球平均水温等、海洋気候変動を評価するための指標に関して、現在使用されているデータセットにより駆動された実験結果とほぼ同様の平均値や変動傾向が再現された。JRA55-doにより駆動された実験では、海面水温の平均場と経年変動、特に大陸西岸の沿岸湧昇域における海面水温の誤差の低減と、2000年代に入ってから地球温暖化停滞と最近の急激な海面水温上昇の再現性向上が顕著であった。

北太平洋高解像度モデルを駆動する実験では、黒潮・親潮などを含む、北太平洋の風成亜熱帯・亜寒帯循環の平均状態が良く再現された。日本沿岸の平均水位の経年変動は、再現の困難な日本南岸における黒潮の流路変動の影響を受けるため完全な再現には至らなかったが、初期値を変更した複数の実験の中には黒潮流路変動を含めて再現に成功するものもあり、今後の研究に十分資するものであることが示された。

(4) **まとめと今後の展望：**

海洋 - 海氷モデルの開発と相互比較を推進する国際的な枠組みへの貢献を目的として、気象庁長期大気再解析(JRA-55)に基づく海洋 - 海氷モデル駆動用海面データセット(JRA55-do)を開発し、その品質評価と、国内で海洋気候研究に使用される海洋 - 海氷モデルによる再現実験に実際に適用してその再現性を評価し、今後の利用に資することを示した。このデータセットは国際的にも広く受け入れられ、現在、気候モデル相互比較プロジェクトの一部として進行中の海洋 - 海氷モデル相互比較プロジェクト用のモデル入力データセットとして使用されている。本データセットを用いた研究成果は今後数年で多数発表されることが期待されるが、同時にデータセットが解決すべき問題点も多数指摘されることが想定される。これらに適切に対処することにより、大気再解析データの品質やJRA55-doデータセットの作成手法の問題点についての知見を得て、大気 - 海洋境界過程のより深い理解に結びつけることが可能となるため、本研究の関連研究活動をさらに推進していくこととしたい。

<引用文献>

- Bamber, J. L., Tedstone, A. J., King, M., Howat, I., Enderlin, E., van den Broeke, M., 2018: Land ice fresh water budget of the Arctic and North Atlantic Oceans. Part I: Data, methods and results. *J. Geophys. Res. Oceans* 123, 1827-1837, doi:10.1002/2017JC013605.
- Dai, A., Qian, T., Trenberth, K.E., Milliman, J.D., 2009: Changes in continental freshwater discharge from 1948-2004. *J. Clim.* 22, 2773-2791, doi:10.1175/2008JCLI2592.1.
- Depoorter, M. A., Bamber, J. L., Griggs, J. A., Lenaerts, J. T. M., Ligtenberg, S. R. M., van den Broeke, M. R., Moholdt, G., 2013: Calving fluxes and basal melt rates

- of Antarctic ice shelves. *Nature* 502, 89-92, doi:10.1038/nature12567.
- Kobayashi, C., Endo, H., Ota, Y., Kobayashi, S., Onoda, H., Harada, Y., Onogi, K., Kamahori, H., 2014: Preliminary results of the JRA-55C, an atmospheric reanalysis assimilating conventional observations only. *SOLA* 10, 78-82, doi:10.2151/sola.2014-016.
- Kobayashi, S., Ota, Y., Harada, Y., Ebita, A., Moriya, M., Onoda, H., Onogi, K., Kamahori, H., Kobayashi, C., Endo, H., Miyaoka, K., Takahashi, K., 2015: The JRA-55 reanalysis: General specifications and basic characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan* 93, 5-48, doi:10.2151/jmsj.2015-001.
- Large, W.G., Yeager, S., 2009: The global climatology of an interannually varying air-sea flux data set. *Clim. Dyn.* 33, 341-364, doi:10.1007/s00382-008-0441-3.

## 5 . 主な発表論文等

### [雑誌論文](計7件)

- Bonino, G., Masina, S., Iovino, D., Storto, A., Tsujino, H., 2019: Eastern boundary upwelling systems response to difference atmospheric forcing in a global eddy-permitting ocean model, *Journal of Marine Systems*, 査読有, 197, 130178  
doi:10.1016/j.jmarsys.2019.05.004, 査読有
- Taboada, F. G., Stock, C. A., Griffies, S. M., Dunne, J., John, J. G., Small, R. J., Tsujino, H., 2019: Surface winds from atmospheric reanalysis lead to contrasting oceanic forcing and coastal upwelling patterns, *Ocean Modelling*, 査読有, 133, 79-111  
doi:10.1016/j.ocemod.2018.11.003
- Fox-Kemper, B., Komuro, Y., Tsujino, H. (他 25 名), 2019: Challenges and Prospects in Ocean Circulation Models, *Frontiers in Marine Science*, 査読有, 6, 65  
doi:10.3389/fmars.2019.00065
- Tsujino, H., Urakawa, S., Nakano H., Small, R. J., Kim, W. M., Yeager, S. G., Danabasoglu, G., Suzuki, T., Harada, Y., Kobayashi, C., Kobayashi, S., Komuro, Y., Tomita, H., Yamazaki, D., (他 18 名), 2018: JRA-55 based surface dataset for driving ocean-sea-ice models (JRA55-do), *Ocean Modelling*, 査読有, 130, 79-139  
doi:10.1016/j.ocemod.2018.07.002
- Suzuki, T., Yamazaki, D., Tsujino, H., Komuro, Y., Nakano, H., Urakawa, S., 2018: A dataset of continental river discharge based on JRA-55 for use in a global ocean circulation model, *Journal of Oceanography*, 査読有, 74, 421-429  
doi:10.1007/s10872-017-0458-5
- Komuro, Y., Danabasoglu, G., Marsland, S., Lin, X., Minobe, S., Pirani, A., Suzuki, T., Yasuda, I., 2016: CLIVAR/JAMSTEC Workshop on the Kuroshio Current and Extension System: Theory, Observations, and Ocean Climate Modelling - The Workshop Overview and Outcomes, *CLIVAR Exchanges*, 査読無, 69, 1-6
- Griffies, S. M., Danabasoglu, G., Durack, P. J., Komuro, Y., Tsujino, H., (他 34 名), 2016: OMIP contribution to CMIP6: experimental and diagnostic protocol for the physical component of the Ocean Model Intercomparison Project, *Geoscientific Model Development*, 査読有, 9, 3231-3296  
doi:10.5194/gmd-9-3231-2016

### [学会発表](計19件)

- Tsujino, H., Urakawa, S., Nakano, H., Evaluation of a mesoscale eddy resolving North Pacific Ocean model forced by JRA55-do, CLIVAR workshop on sources and sinks of ocean mesoscale eddy energy, 2019年3月
- Komuro, Y., Kurogi, M., Kawasaki, T., Saiki, T., Hasumi, H., High-resolution modeling of the Arctic Ocean with a nested-grid ice-ocean model forced by JRA55-do, CLIVAR workshop on sources and sinks of ocean mesoscale eddy energy, 2019年3月
- Tsujino, H., Urakawa, S., Nakano, H., Suzuki, T., Komuro, Y., Yamazaki, D., Tomita, H., (他 10 名), JRA-55 based surface data set for driving ocean-sea ice models (JRA55-do). Part I: Development and evaluation of surface atmospheric field and air-sea flux, JpGU-AGU joint meeting 2017年5月
- Tsujino, H., Urakawa, S., Nakano, H., Suzuki, T., Komuro, Y., Yamazaki, D., Tomita, H., (他 10 名), JRA-55 based surface data set for driving ocean-sea ice models (JRA55-do). Part II: Assessment on the results of global ocean-sea ice models forced by the data set, JpGU-AGU joint meeting 2017年5月
- Nakano, H., Tsujino, H., Sakamoto, K., Urakawa, S., and Yamanaka, G., Tuning a North Pacific OGCM with regard to the Kuroshio Current System, JpGU-AGU joint meeting 2017年5月

Urakawa, S., Tsujino, H., Nakano, H., Sakamoto, K., Yamanaka, G., Global ocean model development for CMIP6 in Meteorological Research Institute and its performance in reproducing ocean general circulation, JpGU-AGU joint meeting 2017年5月  
Suzuki, T., Yamazaki, D., Komuro, Y., Tsujino, H., Nakano, H., Urakawa, S., Continental river discharge for additional dataset of JRA55-do to drive a global ocean circulation model, JpGU-AGU joint meeting 2017年5月  
Komuro, Y., Tatebe, H., Suzuki, T., Kurogi, M., Watanabe, M., A preliminary hindcast experiment for CMIP6/OMIP using COCO4.9: comparison with a case forced by a new dataset JRA55-do, JpGU-AGU joint meeting 2017年5月  
Tsujino, H., Urakawa, S., Nakano, H., Komuro, Y., Suzuki, T., Yamazaki, D., Small, R. J., Yeager, S. G., Kim, W. M., Danabasoglu, G., Large, W. G., Griffies, S. M., Josey, S. A., Valdivieso, M., Tomita, H., Coordinated Ocean-ice Reference Experiments (CORE-II): Development of a new forcing data set based on JRA-55, CLIVAR Open Science Conference, 2016年9月

〔その他〕

ホームページ等

<https://www.climate.mri-jma.go.jp/~htsujino/jra55do.html>

## 6. 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：小室 芳樹

ローマ字氏名：(KOMURO, yoshiki)

所属研究機関名：国立研究開発法人海洋研究開発機構

部局名：北極環境変動総合研究センター

職名：ユニットリーダー

研究者番号(8桁)：90396945

研究分担者氏名：鈴木 立郎

ローマ字氏名：(SUZUKI, tatsuo)

所属研究機関名：国立研究開発法人海洋研究開発機構

部局名：統合的気候変動予測研究分野

職名：技術研究員

研究者番号(8桁)：10415995

研究分担者氏名：富田 裕之

ローマ字氏名：(TOMITA, hiroyuki)

所属研究機関名：名古屋大学

部局名：宇宙地球環境研究所

職名：特任助教

研究者番号(8桁)：10435844

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：山崎 大

ローマ字氏名：(YAMAZAKI, dai)

研究協力者氏名：浦川 昇吾

ローマ字氏名：(URAKAWA, shogo)

研究協力者氏名：中野 英之

ローマ字氏名：(NAKANO, hideyuki)

研究協力者氏名：古林 慎哉

ローマ字氏名：(KOBAYASHI, shinya)

研究協力者氏名：原田 やよい

ローマ字氏名：(HARADA, yayoi)

研究協力者氏名：大野木 和敏

ローマ字氏名：(ONOGI, kazutoshi)

研究協力者氏名：吉本 浩一

ローマ字氏名：(YOSHIMOTO, koichi)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。