

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 19 日現在

機関番号：82109

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2015

課題番号：24740324

研究課題名(和文) 準結合同化システムのブリーディング法による海洋観測システム評価研究

研究課題名(英文) Study on the ocean observing system evaluation using quasi-coupled data assimilation and breeding methods

研究代表者

藤井 陽介 (Fujii, Yosuke)

気象庁気象研究所・海洋地球化学研究部・主任研究官

研究者番号：60343894

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：(1) 熱帯太平洋の西部ではTAO/TRITONブイのデータの影響が大きいなど、同化シミュレーションに対する海域毎の観測データの影響を明らかにした。

(2) TAO/TRITONデータはNINO3海域の海面水温予測の精度を3-7%程度改善し、予報期間が長いほど効果大きいなど、海洋データ同化システムを用いたエルニーニョ予測における観測データの効果を明らかにした。

(3) 2012年以降のTAO/TRITONデータ数の減少がエルニーニョ予報影に影響していることを、現業機関等の解析結果の相互比較を通して示し、世界各国で行われたTAO/TRITONデータの重要性に関する研究成果のとりまとめを行った。

研究成果の概要(英文)：(1) This study clarified effects of observation data on ocean data assimilation results for some specific areas. For example, TAO/TRITON buoy data have large impacts in the western equatorial Pacific.

(2) This study clarified effects of observation data on El Nino forecasts using ocean data assimilation systems. For example, TAO/TRITON buoy data improves the accuracy by 3-7% and the effects increase with the lead time of the forecasts.

(3) This study clarified that the reduction of TAO/TRITON buoy data after 2012 affects El Nino forecasts by operational centers through intercomparison of operational analysis fields, and summarized results of researches on the importance of TAO/TRITON buoy data.

研究分野：海洋物理・データ同化

キーワード：データ同化 観測システム評価 アルゴフロート TAO/TRITON エルニーニョ

1. 研究開始当初の背景

係留ブイやアルゴフロートなどの海洋観測システムは、海洋学の進展に必要不可欠であるのみならず、海況（海流・海水温）予報や季節予報など、海洋・気候災害の低減や産業の効率化のための情報サービスを通して、一般社会に対しても利益を供するものである。しかしながら、観測システムの維持には大きな費用負担が必要であるため、それらのサービスに対する観測データのインパクトや、観測システムのさらなる効率化に関する情報は、観測実施機関にとって非常に有意義な情報である。

そのため、世界気象機関（WMO）・UNESCO 政府間海洋学委員会（IOC）合同海洋・海上気象学専門委員会（JCOMM）は、全球海洋データ同化実験・海洋概観プロジェクト（GOV）の一環として、観測システム評価タスクチーム（OSEval-TT）を設置し、海洋観測システムのインパクト評価に関する研究を推進する。研究代表者は本科研費の開始前から上記タスクチームのメンバーとして、その活動を推進していた。

特に、季節・エルニーニョ予報は社会へのインパクトが大きいため、その予報に対する太平洋熱帯域に展開されている TAO/TRITON 係留ブイアレイによる観測データ（以後、TAO/TRITON データ）やアルゴフロートによる観測データ（以後、アルゴデータ）のインパクトの情報は有用であり、ヨーロッパ中期予報センター（ECMWF）や本研究の研究代表者らによって、その評価が行われてきた。しかし、研究開始当初までの評価は、全球の TAO/TRITON データ、もしくは、アルゴデータを合わせたインパクトについてのみ評価が行われていて、どの海域のデータが特に重要なのかという点については、検討されていなかった。また、評価の力学的な理由付けにも乏しいものであった。

一方、研究代表者は、それまで、一般的な海洋データ同化システムの外に、大気海洋結合モデルに海洋観測データを同化して、エルニーニョなど気候の季節・年々変動を再現する大気海洋準結合同化システムの開発も行ってきた。そこで、準結合同化システムを用いたブリーディング法を適用することで、特にエルニーニョ予報を行う上で、観測の有効な海域の決定を行うことができると考えた。

2. 研究の目的

(1) 観測システム実験による観測データのインパクト評価やブリーディング法による成長擾乱の抽出などの客観的な手法を用いて、海洋観測が気候予測に重要な海域を同定し、効率的な海洋観測システムについての検討を行う。

(2) GOV OSEval-TT などの国際委員会を通して、(1)で得られた今後の海洋観測システム

の維持や効率的な配置に必要な知見を、観測実施機関や一般社会に提供する。

3. 研究の方法

(1) 海洋データ同化システムを用いて、2000-2011 年について、以下のようなシミュレーション実験を行う。

0%、20%、40%、60%、80%のアルゴデータとそれ以外の利用可能な全ての観測データを同化した実験（noArgo、Argo20、Argo40、Argo60、Argo80）

80%のアルゴデータとそれ以外の利用可能なデータのうち、全て、または、 2.5°S - 2.5°N の外の TAO/TRITON データを除いたものを同化する実験（noTTA80、TTeqA80）

さらに、2004-2011 年について、全ての実験で同化されていない独立なデータである 20%のアルゴデータと各実験との差から、海域毎にそれぞれの実験の根二乗平均誤差（RMSE）を求め、実験間で比較することにより、TAO/TRITON データ、及び、アルゴデータのインパクトを海域毎に評価する。

(2) 海洋同化システムにより、利用可能なデータを全て用いたシミュレーション実験（ALL）、及び、利用可能なデータから、アルゴデータだけ、TAO/TRITON データだけ、及び、 2S - 2N の外側の TAO/TRITON データだけを除いた実験（noArgo、noTT、及び、TTeq）を、2000-2011 年について行う。それらのシミュレーション結果を大気海洋結合モデルの海洋初期値として、2004-2011 年の 1 月、4 月、7 月、10 月から（全部で 32 事例）について、11 アンサンブルメンバーの 13 ヶ月予測実験を行い、予測精度に対するアルゴデータ、及び、TAO/TRITON データの影響を評価する。

(3) ブリーディング法を用いて、準結合同化システム内での成長擾乱を抽出し、同システムで初期値にどのような誤差があると、将来増幅するのかを評価する。その結果から、将来増幅する誤差が発現しやすく、観測による誤差の低減が有効と思われる海域を特定する。

(4) GOV OSEval-TT などの国際委員会での活動を通して、観測システムの同化シミュレーションや予報の精度への影響の評価方法について検討を行うと共に、世界の様々な現業機関や行われている観測システム評価実験の結果について統合的な解釈を試みる。それにより、現在の海洋観測システムについて特定の同化・予報システムに依存しない一般性の高い評価を行うと共に、多くの同化・予報システムに対して有効な観測システム改善の方策を提示する。

4. 研究成果

(1) 図1に同化シミュレーションの精度に対するアルゴデータ及び TAO/TRITON データの影響を NIN03 (5°S-5°N, 90-150°W), NIN04 (5°S-5°N, 150°W-160°E), TRITON (5°S-5°N, 120-160°E) の3海域で評価した例をしめす。

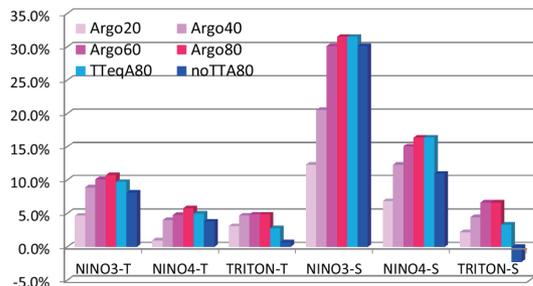


図1 : NIN03, NIN04, 及び, TRITON 海域における 0-300m 深で平均した水温(T), 及び, 塩分(S)の RMSE のアルゴデータを同化しないシミュレーション(noArgo)に対する減少率。

図1でまずわかるのが、アルゴデータを同化しない場合 (noArgo) と比べた、アルゴデータを同化した場合 (noArgo 以外) の塩分の RMSE の減少率が、水温に比べて大きく、アルゴデータの影響が水温より塩分に対して大きいことがわかる。次に、アルゴデータの影響は NIN03 海域で最大で TRITON 海域で最小である。また、NIN03, NIN04 の両海域では、水温、塩分の両方について、同化したアルゴデータの数の増加に対して比較的線形的に減少率が増加していて、アルゴデータの数を増やすことによる、更なる RMSE の減少が期待される。

さらに、TAO/TRITON データのインパクトをみると、特に TRITON 海域で、noTTA80 の減少率が水温で 0 近く、塩分で負の値になっていてこれは、この海域で TAO/TRITON データの影響が 80% のアルゴデータの影響とほぼ同じ、あるいは、それより大きいことを意味している。このように、太平洋熱帯域の西部では、TAO/TRITON データが同化シミュレーションの精度を上げるのに比較的重要であると言える。なお、赤道付近 2.5°S-2.5°N のブイだけを同化した場合 (TTeqA80)、解析精度はアルゴフロートを 20% だけ利用した場合 (Argo20) と同程度まで上がるが、まだ、全てのブイを使った場合 (Argo80) とは差があり、赤道から離れたブイのデータも一定の影響を持つことがわかる。

なお、図1で示した Argo フロートの数を変化させた時の同化シミュレーションに与える影響や、海域毎のインパクトの違いは、以前にはほとんど検証されておらず、本研究の主要な成果と言える。

(2) 図2にエルニーニョ発生の指標となる NIN03, 及び, NIN04 海域の平均海面水温の予測に対するアルゴフロート及び熱帯係留ブイの影響評価した例をしめす。

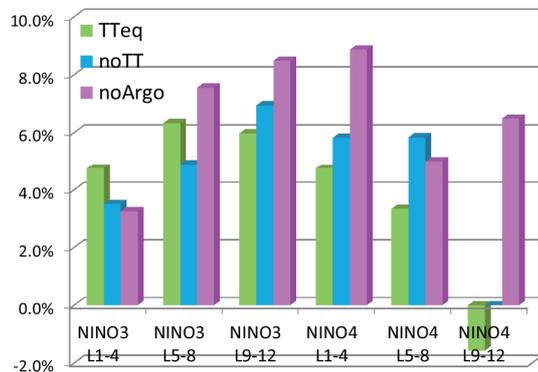


図2 : TTeq, noTT, 及び, noArgo の各実験を海洋初期値として予測した場合の NIN03, NIN04 海域の平均海面水温予測値の RMSE の ALL から予測した場合に対する増加率。L1-4, L5-8, L9-12 は、それぞれ 1-4 ヶ月予報、5-8 ヶ月予報、9-12 ヶ月予報に対する評価である。

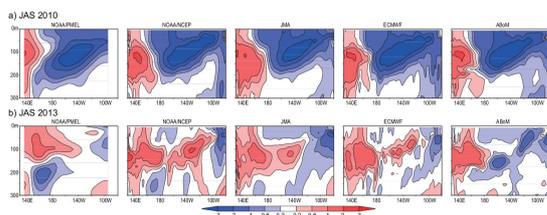
結果を見ると、TAO/TRITON データは、NIN03 及び NIN04 の平均海面水温予測の RMSE をそれぞれ 3.5% および 5.8% 減らしている。また、NIN03 へのインパクトは、5-8 ヶ月予報、9-12 ヶ月予報と予報期間が増えるにつれて大きくなっていくが、NIN04 に対しては、5-8 ヶ月予報では変化がなく、9-1 ヶ月予報には無くなってしまふ。赤道付近の TAO/TRITON データを同化した場合 (TTeq) は、NIN04 の 9-12 ヶ月予報を除き、3-6% のインパクトが見られている。ただし、NIN03 の 1-4 ヶ月、5-8 ヶ月予報で、TTeq の増加率の方が、noTT の増加率より大きくなっていくことには注意が必要で、これは赤道付近の TAO/TRITON データを同化したことにより、予報が悪化していることを意味している。このことは、赤道だけでなく、その外側のデータも同時に同化することで力学的バランスを保つことに必要性を示しているかもしれない。

アルゴデータのインパクトは、TAO/TRITON データのインパクトに比べ概ね大きいと言える。なお、NIN03 海域でのインパクトは TAO/TRITON データと同様に予報期間が長くなるほど大きくなっていくが、NIN04 海域については、1-4 ヶ月予報に比べ、5-8 ヶ月予報のインパクトが下がっていて、9-12 ヶ月予報になるとまた、インパクトが大きくなっていく。

本研究では、上記の通り、社会的にもインパクトの大きい気候予測に対する TAO/TRITON データとアルゴフロートデータの影響を定量的に評価した貴重な成果である。しかしながら、気候予測に使われる、今、最先端の大気海洋結合モデルには、まだ、大きな予測バイアスがあり、結果に対するモデルの依存性が大きいと思われる。そのため、今後も継続的に上記のような評価を行うと同時に、(4)で触れるように、異なるモデルを用いた観測システム評価の結果を比較することにより、評価に対するモデルバイアスの影響を検証することが必要である。

(3)本研究では当初ブリーディング法を用いた成長擾乱の抽出により観測の有効な海域の特定を計画していたが、(4)で触れるTAO/TRITONデータの急激な減少への対応、及び、後継課題が最終年前年度応募で採択され研究期間が一年短縮した影響により、本研究期間では実施できなかった。しかしながら、成長擾乱の抽出については、後継課題において、手法を一部見直して実施する予定である。

(4)研究期間中の2012年6月以降、TAO/TRITONアレイの構成要素であるTAOブイが、管理する米国海洋大気庁(NOAA)の予算上の問題で十分に管理されず、観測データの数が急激に減少するという問題が発生した。研究代表者は、本研究開始当初よりGOV OSEval-TTのメンバーとして活動し、議長のPeter Oke(研究協力者)と協力し、各国の海洋観測システム評価研究のとりまとめへの貢献や、季節予報を対象とした観測システム評価実験の方法の共通化の提案などを行っていた。しかし、2013年9月にWMO海洋観測パネル(OOPC)からの上記の問題について検討するワークショップの科学準備委員会委員の就任要請を受けて、世界各国のデータ同化システムに対するTAO/TRITONデータのインパクトに関するこれまでの研究成果をとりまとめると共に、海洋データ同化システムに対する上記の観測データ減少の影響につ



いて調査を行った。

図3：太平洋赤道断面での6 - 8月平均水温偏差場()の解析データ間での比較。a)2010年、b)2013年。解析データは、左から順に、NOAA/PMEL、NOAA/NCEP、JMA、ECMWF、ABoMである。

図3に、TAO/TRITONデータから海洋モデルを利用しない客観解析で作成されたNOAA/PMELの解析データと世界の4つの現業機関(NOAA/NCEP、JMA、ECMWF、ABoM)が作成した同化解析データとの間で太平洋赤道域の水温偏差場を比較して、TAO/TRITONデータ減少の影響を検討した結果を示す。まず、データが減少する前の2010年の分布を見ると、どの解析データもよく似たラニーニャのパターン(中央から東にかけて温度躍層付近を中心とした負の偏差が存在)を示している、解析データ間のばらつきがないことがわかる。しかしながら、2013年の分布を見ると、どの分布も西側に正の偏差を持つものの、解析データ間でのばらつきが大きく、特に正偏差の東端の経度に違いがあることがわかる。エルニーニョ現象発生の可能性などを考え

るためには、この正偏差の東端の位置が重要な判断材料であり、そのばらつきは予報の作成に大きな影響を与える。このように、TAO/TRITONデータの減少は、同化シミュレーション結果やエルニーニョの予報に影響を与えていたと言える。

2014年1月に開かれたワークショップでは、海洋学・気候学の専門家からの様々な提言を受け、NOAAがTAOブイの維持管理を暫定的に再開することを表明し、実際に同年の夏までには観測データの数が2012年以前と同程度まで回復した。しかし、NOAAの上記の処置はあくまで暫定的なものであり、2020年までにより効率的な熱帯太平洋観測システムの設計を行い、移行することが求められている。また、研究代表者は、米国のYan Xue、英国のMagdalena Balmaseda(共に研究協力者)らと共同で、本ワークショップにおいて今後のデータ同化シミュレーションに対する観測データ数の変化の影響を継続的に監視するため、図3で行ったような解析データのルーチン的な相互比較を提案した。この提案は認められ、現在、9機関の解析結果の解析が現業的に行われているが、本研究では、上記の枠組み構築や比較方法の提案、データ収集の準備などに貢献した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6件)

- Fujii, Y., Xue, Y., Balmaseda, M.A., Oke, P., et al., Evaluation of the tropical Pacific observing system from the ocean data assimilation perspective. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 141, 査読有り, 2481-2496, DOI:10.1002/qj.2579
- Fujii, Y., Ogawa, K., et al., Evaluating the impacts of the tropical Pacific observing system on the ocean analysis fields in the global ocean data assimilation system for operational seasonal forecasts in JMA. *J. Oper. Oceanogr.*, 8, 査読有り, 2015, 25-39. DOI:10.1080/1755876X.2015.1014640
- Oke, P. R., Fujii, Y., Balmaseda, M. A., et al., Assessing the impact of observations on ocean forecasts and reanalyses: Part 1, Global studies. *J. Oper. Oceanogr.*, 8, 査読有り, s49-s62, DOI:10.1080/1755876X.2015.1022067
- Fujii, Y., Xue, Y., Balmaseda, M.A., Oke, P., et al., White Paper #5 - evaluation of the tropical Pacific observing system from the data assimilation perspective. Report of the Tropical Pacific Observing System 2020 Workshop (TPOS2020): Volume II -White Papers, 査読なし, pp. 102-129, <http://tpos2020.org/project-reports/project-workshop-jan-2014/>

Balmaseda, M.A., Fujii, Y., et al., White Paper #4 - Operational forecasting systems. Report of the Tropical Pacific Observing System 2020 Workshop (TPOS2020): Volume II - White Papers, 査読なし, pp. 64-101, <http://tpos2020.org/project-reports/project-workshop-jan-2014/>
Kuragano, T., Fujii, Y., Ogawa, K., et al., Seasonal barotropic sea surface height fluctuation in relation to regional ocean mass variation, J. Oceanogr., 70, 査読有り, 45-62. DOI:10.1007/s10872-013-0211-7

〔学会発表〕(計 17 件)

Fujii, Y., Recent ocean observation system evaluation studies in JMA/MRI, GODAE Ocean View OSEval-TT workshop 2014, 2014 年 12 月 10-14 日, ツールーズ (フランス)

Fujii, Y., Evaluation of the tropical Pacific observing system from the ocean data assimilation perspective in the TPOS2020 Workshop, GODAE Ocean View OSEval-TT workshop 2014, 2014 年 12 月 10 日, ツールーズ (フランス)

藤井陽介, ENSO 予測のための海洋データ同化システムの現状と今後の課題, 研究会「長期予報と大気大循環」, 2014 年 12 月 3 日, 気象庁 (東京都)

Kuragano, T., Evaluation of Argo network for monitoring eddies using space-time correlation scale statistically estimated from 20-year SLA data, 2014 OSTST meeting, 2014 年 10 月 20 日, レイクコンスタンス (ドイツ)

Kuragano, T., Japan report on National Forecasting System (MOVE/MRI.COM) and Japan Working Team: Progress in 2012-2014, GODAE Ocean View 科学運営委員会, 2014 年 10 月 15 日, 北京 (中国)

藤井陽介, 熱帯太平洋における観測データの同化解析結果の精度に対するインパクト評価, 日本海洋学会秋季大会, 2014 年 9 月 16 日, 長崎大学 (長崎県長崎市)

Fujii Y., Evaluating the impacts of the tropical Pacific observing system in the JMA seasonal forecasting system, AOGS 11th Annual Meeting, 2014 年 7 月 30 日, ロイトン札幌ホテル (北海道札幌市)

Fujii Y., Evaluation of the tropical Pacific observing system from the ocean data assimilation perspective, A future Sustained Tropical Pacific Ocean Observing System for Research and Forecasting, 2014 年 1 月 27 日, ラホヤ (米国)

Fujii, Y., Activities of Observation

System Evaluation and Design in JMA/MRI, GODAE Ocean View Symposium 2013, GODAE Ocean View Symposium 2013, 2013 年 11 月 4-6 日, ボルチモア (米国)

藤井陽介, エルニーニョと同化研究, 2013 年度日本海洋学会秋季大会シンポジウム「太平洋・インド洋の熱帯気候変動研究: 過去から未来へ」, 2013 年 9 月 17 日, 北海道大学札幌キャンパス (北海道札幌市)

Fujii, Y., Insight on Steric Height (and Heat Content) behavior in MRI-JMA products, CLIVAR GSOP/GODAE Ocean Reanalyses Intercomparison Workshop, 2013 年 7 月 2 日, レディン (英国)

小川浩司, アルゴフロート観測による海洋内部状態の再現性の向上, 第 10 回環境研究シンポジウム, 2012 年 11 月 14 日, 一橋大学 (東京都)

Fujii, Y., Intercomparison of data-free and data-assimilated ocean simulations with a common ocean model forced by CORE II data, CLIVAR-GSOP Workshop Ocean Synthesis and Air-Sea Flux Evaluation, 2012 年 11 月 30 日, ウッズホール (米国)

Fujii, Y., Evaluation of Argo float impacts on the ocean data assimilation system in JMA/MRI, 4th Argo Science Workshop, 2012 年 9 月 28 日, ペネチア (イタリア)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

無し。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤井 陽介 (FUJII, Yosuke)

気象庁気象研究所・海洋・地球化学研究部・主任研究官

研究者番号: 60343894

(2) 連携研究者

小川 浩司 (OGAWA, Koji)

気象庁気象研究所・海洋・地球化学研究部・研究官

研究者番号: 30586706

(平成 24・25 年連携研究者)

(3) 研究協力者

BALMASEDA, Magdalena

OKE, Peter

Xue, Yan