

# 平成 26 年度 地球シミュレータ利用報告 研究成果概要

## 1. 課題名

四次元変分法データ同化システムを用いた長期海洋環境場の再現

Improved Ocean State Estimation by using a 4D-VAR Ocean Data Assimilation System

## 2. 課題責任者

増田 周平(海洋研究開発機構 地球環境観測研究開発センター)

Shuhei Masuda

## 3. 課題の目的

船舶観測データ、Argo フロートデータ、衛星観測データをはじめとする最新の多様な海洋観測データを四次元変分法データ同化手法を介して海洋大循環モデルに同化するシステムを用い、海洋環境統合データセットを作成する。得られたデータセットを用い、力学的整合性を最大限活かしたデータ解析と海洋同化システムを運用した解析実験を通して気候変動研究を推進する。

## 4. 今年度当初の研究計画

**a.長期海洋環境再現実験:** 海洋研究開発機構で研究開発された四次元変分法海洋データ同化システムを用い、品質管理済みの観測データが利用可能な 1956 年から 2011 年までの期間を対象とした長期海洋環境再現実験を行う。海洋観測データとして主に遅延品質管理済みデータを使用し、変分法のイテレーション回数を増やすことによる、データセットの最適化を進めるとともに、システムの改良として長周期潮汐変動や風応力の擾乱成分による拡散の効果を同化システムに組み込むことを計画している。この際、Argo フロートデータの鉛直高分解能プロファイルデータを用いて混合層付近の再現性を比較検証する予定である。機構が取得した船舶観測データや Argo フロートデータ、利用可能な高度計データなどを同化データとして使用する。これらのシステム改良、海洋環境再現実験により現実的な海洋環境場、特にこれまで定量的な再現性が相対的に難しかった淡水循環に関する精緻化を実施することで、精度の高い熱・物質循環の評価が可能になる。

**b.データ解析:** 四次元変分法システムを活かしたアジョイント感度解析に加えアンサンブル感度評価などを実施しながら(a)で得られた力学的整合性のとれた統合データセットを用い、気候変動研究を行う。今年度は太平洋海盆における水塊変動のメカニズム解明を目的とし、データ解析を進める。さらに(a)で密度場の再現性が向上したデータセットを用いることで水塊変動と海洋環境変動の関連を詳細に検証する予定である。

**c.高解像度海洋環境再現システムの開発と予備実験:** 海洋環境再現の精緻化を前進させ、より精度の高い熱・物質循環の見積もりや水塊変動の研究を行うため、高解像度データ同化システムの研究開発を実施する。今年度は全球的な子午面循環をつかさどる極域での水塊

形成や海盆規模での中層子午面循環に関係する海面過程などを検証できる海洋環境再現データのプロトタイプを作成する。高解像度でも長期間の修正情報を取り出せるようなアジョイントデータ同化手法を0.5度格子海洋モデルに実装する。

## 5. 研究計画に沿った利用状況

可能資源全てを使用し、計画していた主な計算を終了している。詳細は以下の通り。

**a.長期海洋環境再現実験**:四次元変分法海洋全層同化システムを用いた長期海洋環境再現実験を実験期間(同化ウィンドウ)1957-2011年で実施した。70回のイテレーション実験と、動的QC、スキーム実装のためのケース実験などを実施することで12月までに約11,000ノード時間を要した再現実験を完了した。

**b.データ解析**:全層海洋同化システムをもちいて深海まで含んだ海洋貯熱量変化を対象としたアジョイント感度解析実験を実施した。複数のケーススタディーを、10月までに集中的に実施した。利用した計算資源は約1,000ノード時間。

**c.高解像度同化システムの開発と予備実験**:トライポラー座標系モデルとそのアジョイントコードを用いたデータ統合システムを構築し、3年間の同化ウィンドウで海洋環境再現実験を実施した。12月までに約12,000ノード時間を利用している。

## 6. 今年度得られた成果、および達成度

### <成果>

**a.長期海洋環境再現実験**:四次元変分法海洋全層同化システムを用いた長期海洋環境再現実験を実施し、1957-2011年の55年間で観測と矛盾しない、均一な品質のデータセットを作成した。実験にあたり、水塊形成域での境界条件の設定を刷新し、動的品質管理などを採用することで、長期環境再現実験の品質を向上させることができた。作成されたデータセットは国際的な現業機関が運用する海洋再解析データの相互比較プロジェクト(Global Synthesis and Observations Panel (GSOP)/CLIVAR)で継続的に解析され、熱容量の再現性などでは高い再現性を示す結果となっている。当該データセットの一部は気候変動研究のための海洋環境再現データセット(Estimated State of Global Ocean for Climate Research: ESTOC)のバージョン2として2014年10月にJAMSTECサイトから一般公開されており、累積で12,000件以上のダウンロードがあった。

**b.データ解析**:aで作成されたデータセットを気候変動研究に応用し複数の論文を国際誌に公表した。特に、18.6年周期の潮汐振動と太平洋域での長期変動との関連を示す論文では本課題で作られたデータセットならではの実験と解析で新しい科学的知見を獲得している。さらに、気候アノマリーに対するアジョイント感度解析実験を考案、実施し、全球の海洋貯熱量変化のモニタリングに対して、効率的な深海フロートの観測戦略を例証する研究などを実施し、成果を国際会議などで公表している。

**c.高解像度同化システムの開発と予備実験**:トライポラー座標系モデルを用いた高解像度データ統合システムを完成させた。当該システムでは気候変動に対する不安定成分を基本場に引き寄せてアトラクターを一致させることによる最適化を実装し、3年間の海洋環境変動データセットのプロトタイプを作成した。コストが効率よく降下するなど、多くの技術的成果が確認

された。成果の一部は国際学会で招待講演として発表されている。

### <達成度>

(年度当初の研究計画を全て達成した場合を 100% / 複数の目標があった場合は、それぞれについて達成度を数値で記載)

**a.長期海洋環境再現実験**: 1957-2011年を対象とした海洋環境再現ができた。関連する学術論文を複数本公表した。データセットの一部を web で公開した。(100%)

**b.データ解析**: 当初計画通りアジョイント感度解析実験を実施し、学術的成果をあげた。成果を投稿論文にまとめ発表した。(100%)

**c. 高解像度同化システムの開発と予備実験**: これまでの最適化、コーディングの成果を活かし、複数年の海洋環境再現データセットのプロトタイプを完成させた。(100%)

## 7. 計算機資源の利用状況

### <計算機資源の利用状況>

(計画的に計算機資源を利用できているか、状況を記載)

年度前半から大規模な実験をバランスよく実施し、2014年中には主な実験を終了することができた。当初計画よりもやや早い利用状況であり、計算結果の解析等を充実できた。

### <チューニングによる成果>

(ベクトル化、並列化チューニング等、計算機資源を有効利用するために行ったこととその効果を記載)

用いたシステムは昨年度までにベクトル化、並列化チューニングなどを実装し終えたもので、大規模なチューニングの必要はなかった。動的 QC を取り入れ、収束計算(データ同化のイテレーションプロセス)の効率を上げた。資源の有効利用に大きく資しているが、対照実験を実施していないので、定量的な検証は難しい。

### <計画的に利用できていない場合、その理由>

特になし

## 8. 新聞、雑誌での掲載記事

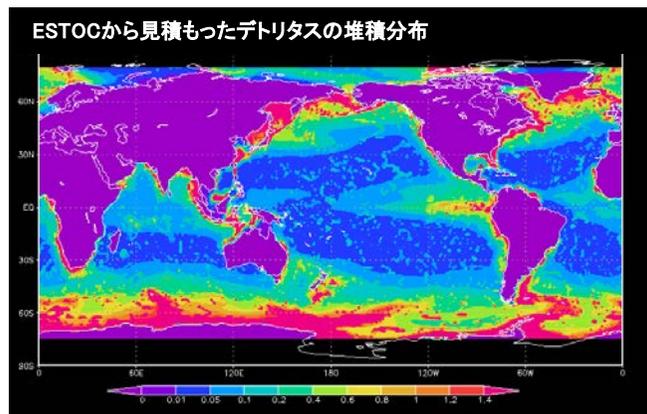
ClimateWire取材協力 取材年月日: 2014/11/09 (2015年4月現在 未掲載)

S. Osafune, S. Masuda and N. Sugiura, Role of the oceanic bridge in linking the 18.6-year modulation of tidal mixing and long-term SST change in the North Pacific, Geophysical Research Letters (2014)の成果について。

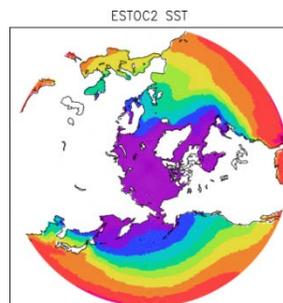
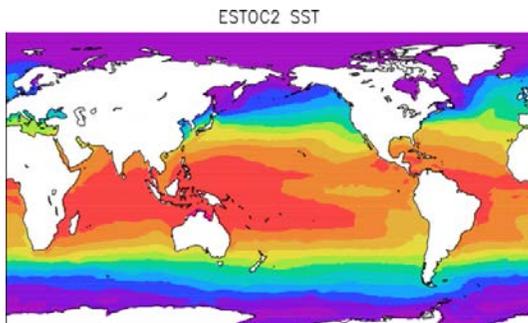
# ●四次元変分法データ同化システムを用いた長期海洋環境場の再現。

増田 周平, 海洋研究開発機構・地球環境観測研究開発センター・海洋循環研究グループ

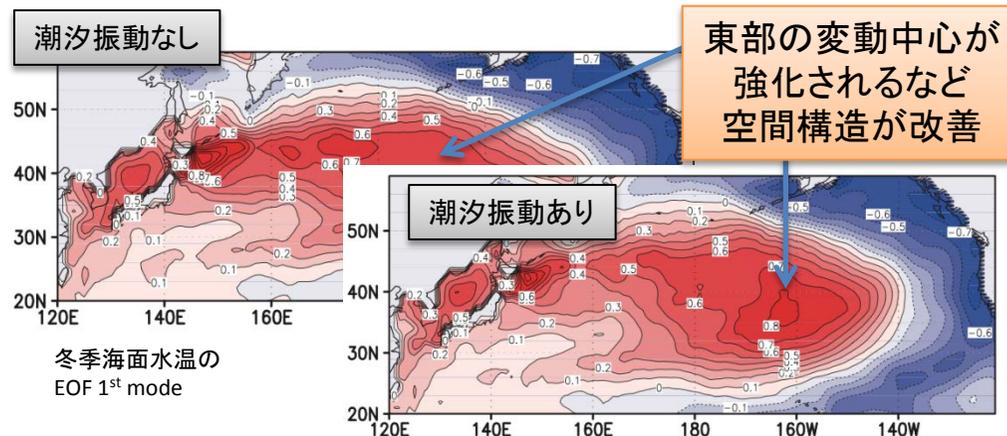
## 海洋環境再現



55年間の観測データをデータ統合したESTOC ver2を作成。  
CEIST/GODACから公開中。このデータを用いた主著論文を投稿、  
投稿準備中。  
(Osafune et al., GRL in preparation, Doi et al., JAMES submitted)



## 気候変動研究



ESTOCを用いて潮汐18.6年振動に対する海洋応答が、十年スケール変動の空間構造を制御している可能性を示唆する論文を公表。十～数十年スケールの気候変動のメカニズム解明および予測精度向上に貢献しうる成果。  
(Osafune et al. GRL, 2014)

## 新データ統合システム

3年間の気候指標を観測データとして取り込んだプロトタイプデータセットを作成。新規の最適化スキームを取り入れており、次世代海洋環境再現への礎となる。