

四次元変分法データ統合システムを用いた全球長期海洋環境の再現

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

著者

増田 周平^{*1}, 土居 知将^{*1}, 長船 哲史^{*1}, 杉浦 望実^{*1}

*1 海洋研究開発機構 地球環境観測研究開発センター

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生物化学変量まで含んだ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応用し海洋大循環モデルを介して統合するシステムを用い、全球全層の海洋環境再現データセットを作成した。ここでは水塊の特徴をより正確に再現できるような数値モデルスキームやデータ同化手法を応用した。得られたデータセットを観測データ等と比較することでその検証を行いつつ力学的整合性を最大限活かしたデータ解析を通して気候変動研究を実施した。

キーワード：海洋, 気候変動, 全球, データ同化

1. 背景と目的

本研究は、当研究グループがこれまでノウハウを蓄積してきた四次元変分データ同化手法を用いた海洋観測データの統合を実施するものである。海洋地球研究船みらいをはじめとする船舶、トライトンブイやArgo フロートをはじめとする係留、漂流ブイ等を用いた、海洋研究開発機構（以下 JAMSTEC）が有する高度な観測技術と四次元変分法アジョイント手法を応用した最適化計算等の先駆的な計算科学技術（例えば Masuda et al., 2003[1]）を最大限に活用することで海洋観測統合データセットを作成し、海洋の循環や環境変動及び海盆スケールでの熱や物質分布とそれらの中長期変動についての理解を進めることを目的とする。

生物化学変量まで含んだ全球全層の海洋観測データを統合したデータセットを用いた地球環境研究、特に力学解析などを通じた変動メカニズムに関する研究は世界的にはほとんど行われていない。海洋立国日本として期待されている、観測機器・大型計算機をはじめとする先進のファシリティーを利用したユニークな研究スキームといえる。

2. 手法

米 Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL; NOAA, USA) の Modular OceanModel (MOM3) (Pacanowski and Griffies, 2000[2]) をベースとした四次元変分法海洋データ統合システムを用い、1957年から2011年の長期ウィンドウを採用した全球・全層海洋環境再現実験を実施した (Osafune et al., 2015[3])。統合する海洋観測データは Hadley Centre of the UK Meteorological Office により編集された ENSEMBLES (EN3; Ingleby and Huddleston, 2007[4]) データセットを利用する。JAMSTEC で取得した船舶観測データ、Argo フロートデータをはじめとする国際的に利用可能な歴史的海洋観測データを含む。大気外力は初期推定値として NCEP 再解析データを使用するが、四

次元変分法データ同化手法における制御変数に設定し新たに評価する。物理場に関してはアジョイント法を応用し上記の55年の同化ウィンドウで数十回の反復計算を行い、生物化学変量に関してはグリーン関数法（例えば Menemenlis et al., 2005[5]）を応用し、最適なモデルパラメータの探索を通して、海洋観測データと整合的な長期海洋環境再現データセット “Estimated State of global Ocean for Climate Research (ESTOC)” を作成する。どちらの最適化計算にも地球シミュレータを利用した。観測データの品質管理に動的品質管理を採用し、極域、縁辺海での水温塩分場の再現に用いている IAU (incremental analysis updating) 手法を高度化するなど、先進的な手法を取り入れている。

3. 研究成果

得られた海洋環境の再現性を検証した。図1は太平洋における塩分の鉛直断面を示している。データ統合をする前の数値モデル結果 (b) に比べ ESTOC (c) では、特徴的な低塩分極小水の貫入が明らかに現実的な分布に近づいている。

図2は ESTOC から見積もった海面で交換される CO₂ の時間変化である。同様の見積もりはこれまでも示されているが、本研究課題のように海洋観測データをフルに活用して評価した例は稀有である。海盆ごとで異なる振る舞いを見ることが見てとれ、海洋の CO₂ 吸収の複雑な動態を表している。

生物化学変量のデータ統合に関しては、ESTOC が世界的にみても稀有なデータセットであることは確かだが、より確度の高い気候変動研究に資するためには不確実性をもつ数値モデルや少ない観測データの制約のもとでよりよい状態推定ができるよう研究開発を進めていくことが重要である。

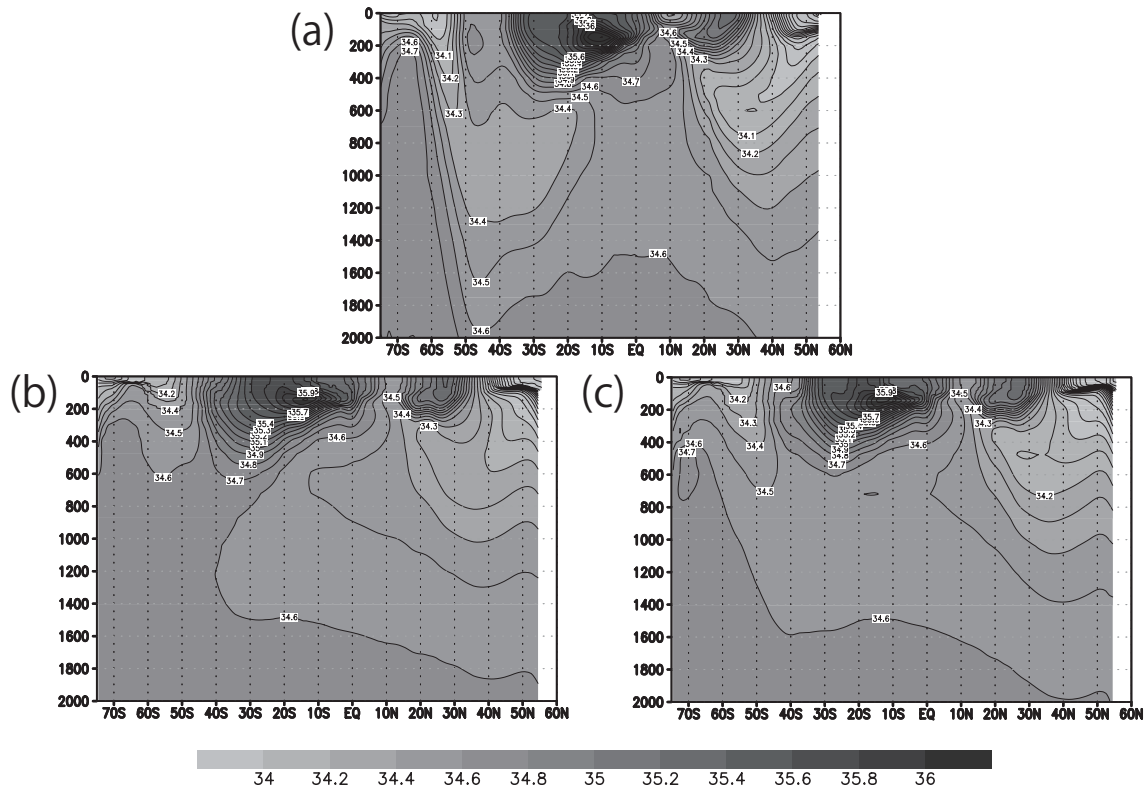


図1 西経160度における塩分の鉛直断面。(a) World Ocean Atlas2013の年平均気候値、(b) シミュレーションから得られた1980-2011年の期間の年平均気候値、および(c) 同期間のESTOCから評価した値。Osafune et al. (2015) [3]の図1より抜粋。

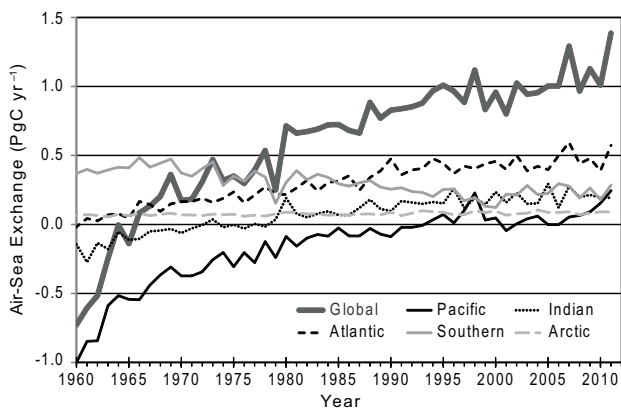


図2 ESTOCから見積もった大気海洋間で交換されるCO₂の時間変化。1960年から2011年までの期間で黒太線が世界の積分量、各線は各海盆ごとの値。Doi et al. (2015) [6]の図5より抜粋。

4. おわりに

作成したデータセットESTOCは国際的な相互比較プロジェクトに参加しており、多くの関連した学術論文が公表されている。データは<http://www.godac.jamstec.go.jp/estoc/j/>から一般に公開されている。今後、統合する期間の延長や、淡水収支に関する新しいスキームの導入などを計画しており、中長期の気候変動研究に資する貴重な統合データセットとして、新たな観測データの統合も含め、さらなる高精度化を進めていく予定である。

5. 謝辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金「新学術領域研究(研究領域提案型)」領域番号4702、KAKENHI 15H05817/H05819の支援を受けて行われました。

文献

- [1] S. Masuda, T. Awaji, N. Sugiura, Y. Ishikawa, K. Baba, K. Horiuchi, and N. Komori, "Improved estimates of the dynamical state of the North Pacific Ocean from a 4 dimensional variational data assimilation", *Geophys. Res. Letts.*, 30, 16, 2003.
- [2] R. Pacanowski, and S. Griffies, Mom 3.0 Manual, 680 pp, Geophys. Fluid Dyn. Lab., Princeton, NJ, 2003.
- [3] S. Osafune, S. Masuda, N. Sugiura, and T. Doi, "Evaluation of the applicability of the Estimated Ocean State for Climate Research (ESTOC) dataset", *Geophys. Res. Lett.*, 42, 12, pp4903-4911, 2015
- [4] B. Ingleby and M. Huddleston, "Quality control of ocean temperature and salinity profiles–Historical and real-time data", *Journal of Marine Systems*, 65, 1, pp158-175, 2007.
- [5] D. Menemenlis, I. Fukumori, and T. Lee, "Using Green's functions to calibrate an ocean general circulation model", *Monthly weather review*, 133, 5, pp1224-1240, 2005.
- [6] T. Doi, S. Osafune, N. Sugiura, S. Kouketsu, A. Murata, S. Masuda, and T. Toyoda, "Multi-decadal change in the dissolved inorganic carbon in a long-term ocean state estimation", *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 7, 4, pp1885-1990, 2015.

Global Ocean State Estimation for Climate Research by Using a 4D-VAR Approach

Project Representative

Shuhei Masuda Research and Development Center for Global Change, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Authors

Shuhei Masuda^{*1}, Toshimasa Doi^{*1}, Satoshi Osafune^{*1} and Nozomi Sugiura^{*1}

*1 Research and Development Center for Global Change, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

A long-term data synthesis experiment was newly conducted for the period 1957–2011 by using a 4-dimensional variational data assimilation approach. The assimilated data is ocean observations including biogeochemical parameters (by research vessels, Argo float, remote sensing techniques, and so on). The data synthesis system is improved in representation of water masses in conjunction with some new model and data synthesis schemes. The overall characteristics of the obtained global ocean state estimate, which is dynamically self-consistent without any artificial sources or sinks for heat and salt, are in basic agreement with previous studies.

Keywords: Ocean, Climate Change, Global, Data Assimilation

1. Introduction

An Ocean State Estimate is a new approach for the climate research. There were a few challenges for long-term global ocean estimations which are dynamically self-consistent (e.g., Masuda et al., 2003[1]).

Recently, state estimation for not only physical parameters but also biogeochemical ones gather attention of climate/biogeochemical researchers.

Here, we have constructed a new state estimation including biogeochemical parameters and validate the obtained dataset "Estimated State of global Ocean for Climate Research (ESTOC)".

2. Data Synthesis System

The used OGCM is version 3 of the Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL; NOAA, USA) Modular Ocean Model (MOM3) (Pacanowski and Griffies, 2000[2]). This is a quasi-global model covering the region between 75°S and 80°N. The horizontal resolution is 1° in both longitude and latitude and involves 45 levels.

The data synthesis method is based on 4D-Var. An adjoint approach is applied for physical parameters, a Green's function approach (Menemenlis et al., 2005[3]) biogeochemical ones.

The assimilated observations are basically from ENSEMBLES (EN3; Ingleby and Huddleston, 2007[4]).

3. Results

Figure 1 shows salinity distribution along 160W. The allover pattern of the ESTOC (c) is largely consistent with observations (a). The poor representation of the simulation (b) is partly corrected (Osafune et al., 2015[5]).

The temporal variation of biogeochemical parameter is examined (Figure 2; Doi et al., 2015[6]). The rate of CO₂ absorption by the ocean was increasing from 1960 reflecting the atmospheric CO₂ increases during the period. It should be noted that absorption occurred majorly in the Southern Ocean south of 50°S, after 1985 the region changes to the Atlantic Ocean.

4. Discussions

ESTOC is useful dataset for dynamical analysis of global changes not only for physical parameters but biogeochemical parameters. The dataset is available from a public website <http://www.godac.jamstec.go.jp/estoc/e/top/>.

Acknowledgement

This work was supported by a Grant-in-Aid for Scientific Research on Innovative Areas "Frontier of Deep Ocean Research: Turbulent Upwelling Circulation Experiment" [No. 4702, KAKENHI15H05817/H05819].

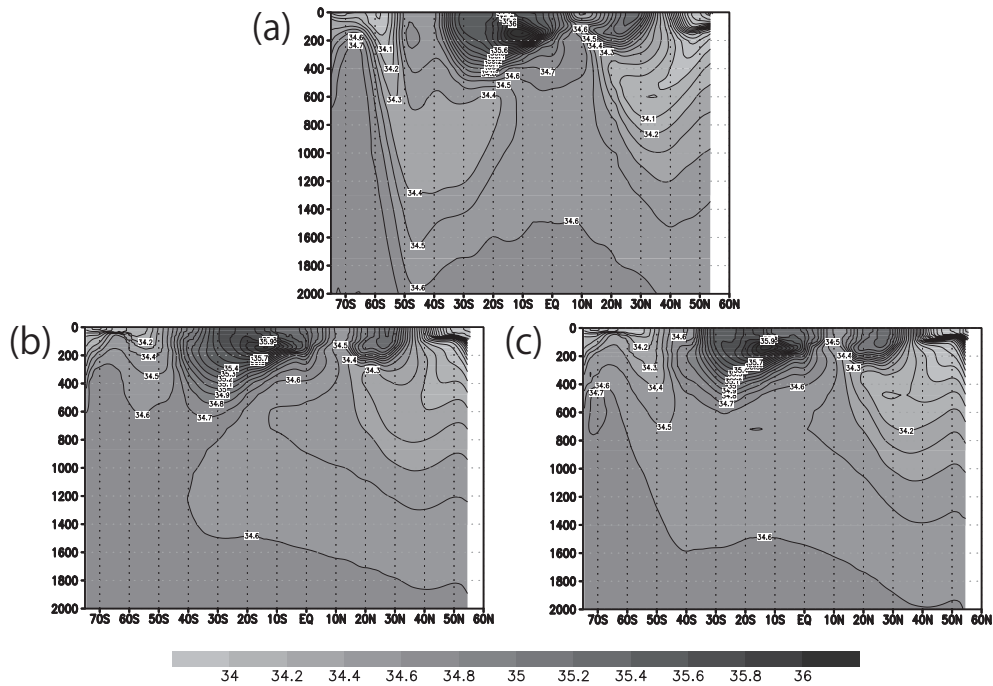


Fig. 1 Vertical cross section of salinity along 160W.

(a) Climatology from World Ocean Atlas 2013, (b) long-term mean values from MOM3 simulation for the period of 1980-2011, and (c) the same as (b) but for "ESTOC". Refer to Osafune et al. (2015)[5].

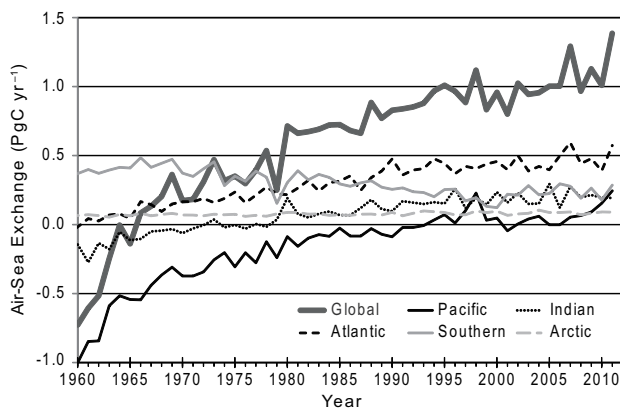


Fig. 2 Time series of air-sea exchange of CO₂ for the global ocean and each basins from 1960 to 2011. Positive values denote CO₂ absorption by the ocean. Refer to Doi et al., 2015[6].

References

- [1] S. Masuda, T. Awaji, N. Sugiura, Y. Ishikawa, K. Baba, K. Horiuchi, and N. Komori, "Improved estimates of the dynamical state of the North Pacific Ocean from a 4 dimensional variational data assimilation", *Geophys. Res. Letts.*, 30, 16, 2003.
- [2] R. Pacanowski, and S. Griffies, *Mom 3.0 Manual*, 680 pp, Geophys. Fluid Dyn. Lab., Princeton, NJ, 2003.
- [3] D. Menemenlis, I. Fukumori, and T. Lee, "Using Green's functions to calibrate an ocean general circulation model", *Monthly weather review*, 133, 5, pp1224-1240, 2005.
- [4] B. Ingleby and M. Huddleston, "Quality control of ocean temperature and salinity profiles—Historical and real-time data", *Journal of Marine Systems*, 65, 1, pp158-175, 2007.
- [5] S. Osafune, S. Masuda, N. Sugiura, and T. Doi, "Evaluation of the applicability of the Estimated Ocean State for Climate Research (ESTOC) dataset", *Geophys. Res. Lett.*, 42, 12, pp4903-4911, 2015
- [6] T. Doi, S. Osafune, N. Sugiura, S. Kouketsu, A. Murata, S. Masuda, and T. Toyoda, "Multi-decadal change in the dissolved inorganic carbon in a long-term ocean state estimation", *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 7, 4, pp1885-1990, 2015.

