

海洋変動における微細現象と大規模循環の相互作用

課題責任者

升本 順夫 東京大学 大学院理学系研究科

著者

松岡 大祐 海洋研究開発機構 地球情報基盤センター

佐々木英治 海洋研究開発機構 アプリケーションラボ

升本 順夫 海洋研究開発機構 アプリケーションラボ

東京大学 大学院理学系研究科

本課題では、海洋の数 km から数十 km のサブメソスケール現象を再現する全球規模の高解像度海洋シミュレーションを行い、サブメソスケール現象およびメソスケール現象とそれらとは異なる時空間変動とのスケール間相互作用を明らかにすること、さらに従来とは質的に異なる海洋循環像を示すことを目的としている。平成 27 年度は、サブメソスケール/メソスケール渦の抽出および時間発展を追跡するための新しいアルゴリズムの開発を行い、渦の生成や消滅、渦同士の併合や分離、海流への捕捉や海流からの切離といったイベントを高精度で抽出し、効果的に可視化することに成功した。

キーワード：海洋大循環モデル, 渦抽出・追跡, 可視化

1. はじめに

本課題で実施する予定のサブメソスケール現象を解像する高解像度海洋シミュレーションでは、海流などの大規模循環、中規模渦に加えてサブメソスケールの小さな渦や筋状構造などの幅広い時空間スケールの現象が再現されることが期待される。そのデータセットは数十テラバイト規模で、含まれる情報が膨大であるため、新たな解析、可視化方法を開発する必要がある。そこで、本課題でのシミュレーションデータの構築に先駆け、我々が先に実施済みの水平解像度 1/30 度 (約 3km) の北太平洋海洋シミュレーション [1, 2] の 2001 年の 1 年間の日平均出力を用い、新たな渦の解析・可視化方法の試みを行った。

高解像海洋シミュレーションによって再現される数多くの渦の時間変化を把握するためには、渦度や渦の抽出によく使われる Okubo-Weiss parameter 等のような渦に関連した物理量を可視化する既存の手法だけでなく、渦そのものを抽出し、時間発展を追跡し、そこで起きる現象を可視化する新たな手法が必要である。既存の渦の抽出手法では、特に分離や併合といったイベント時にある渦の外側境界を精度よく抽出できないという問題があった。そこで本研究では、渦の時間変化に基づくイベントを精度よく抽出可能な新しい渦抽出、追跡および可視化手法を提案する [3]。

2. 提案手法

提案手法では、まず 9×9 グリッド (約 30km 四方) のフィルタを用いて抽出した海面高度が極大 (または極小) かつ Okubo-Weiss parameter が負の値をもつ点を渦中心として抽出する。次に、渦中心を含む海面高度の隆起 (または沈降) した領域を、渦の内側領域として抽出する (図 1(a) の赤色領域)。さらに、適当な流速の閾値を用い

て、渦の外側に位置する流れの速いストリーム領域を抽出する (図 1(b) の緑色領域)。抽出された渦 (内側領域) をストリーム領域 (外側領域) や海流との関係性によって、図 2 に示すように、(a) 外側に閾値以上のストリーム領域

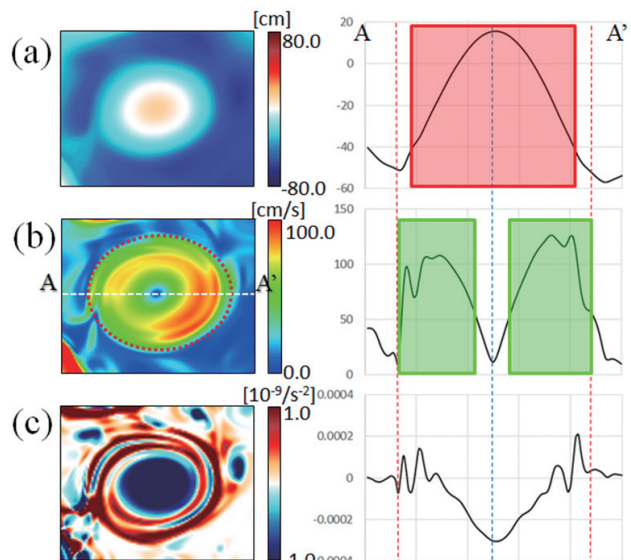


図 1 断水渦の物理的特徴。

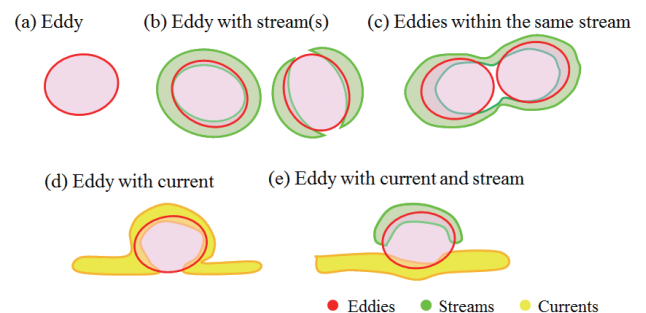


図 2 ストリームおよび海流との関係性にもとづく渦の分類。

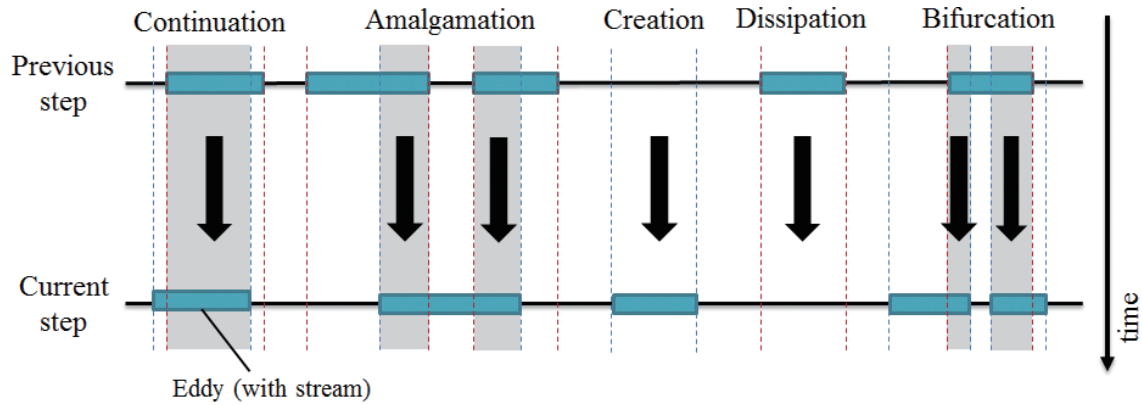


図3 overlapping 法による渦の時間発展の追跡。

を有さない渦、(b) ストリーム領域を有する渦、(c) 同一のストリーム領域を有する2つの渦、(d) 海流に捕捉された渦および(e) 周辺に海流およびストリーム領域を有する渦の5種類に分類する。

次に、overlapping 法を適用することにより、渦の時間発展を追跡し、渦に関連したイベントの抽出を行う。図3に示すように、連続する2つの時間ステップ間における渦の空間的な重なり合いから、渦の生成や消滅、渦同士の併合や分離、海流への捕捉や海流からの切離といったイベントも精度よく抽出することが可能となる。

3. 結果

渦のイベント抽出結果の可視化を行う。ここでは、通常の状態にある暖水渦、冷水渦、ストリーム領域（筋状構造）および海流をそれぞれ明度50%の赤、青、緑および黄色で表現する。また、生成、併合、分離または海流への併合、海流からの切離といったイベント発生時の渦（およびストリーム領域）を明度100%として強調して色付けする。図4は、東北沖に位置する2つの暖水渦の併

合する様子を示している。また、図5は蛇行する黒潮からの切離によって渦が生成される様子を示している。どちらの結果においても、イベント発生時の渦をハイライト表示することで、数多くの渦の中から注目して見べき渦のみが、解析者にとって認識しやすい形で可視化されていることが分かる。

4. 考察および議論

本年度は、渦の抽出、時間発展の追跡およびイベントを抽出する新たな可視化方法を開発した。海洋大循環モデルの出力の海面高度および流速に新たな手法を適用すると、高精度に渦の時間発展の追跡およびイベントを抽出できた。また、イベント発生時の渦を強調表現することにより、注視領域を捕えやすくすることにも成功した。

シミュレーションと同じ時間ステップで、シミュレーションと同時に時間発展の追跡を行うことにより、さらに微細な構造の時間発展を追跡することも可能になると考えられる。

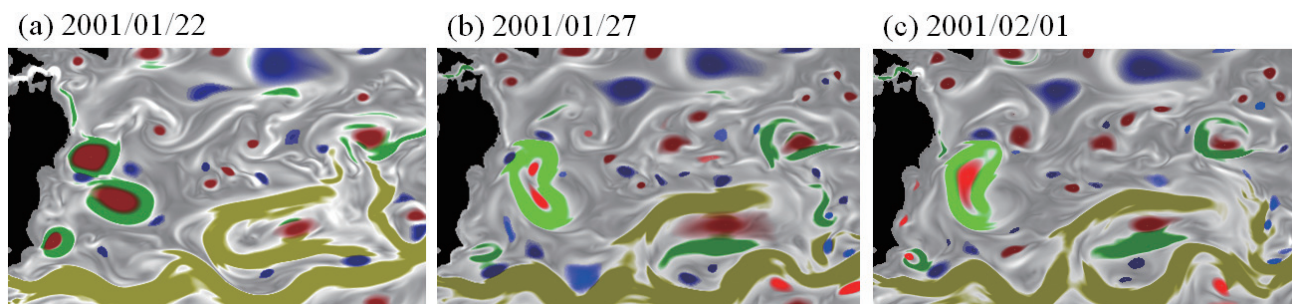


図4 2つの暖水渦の併合イベントの可視化結果。

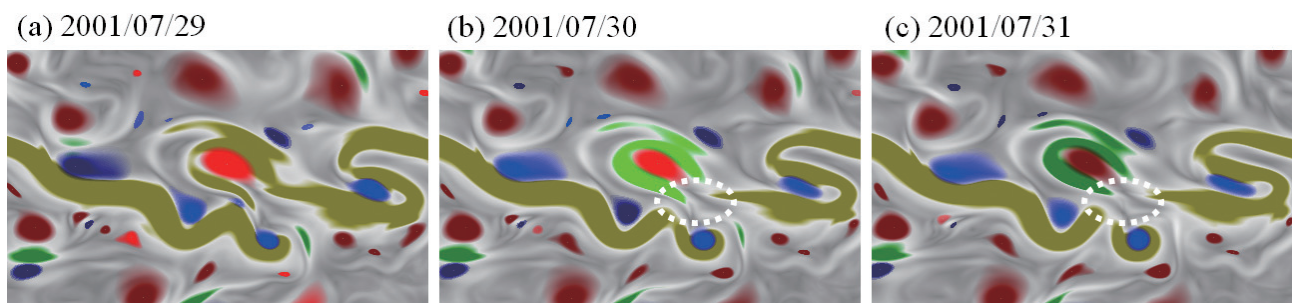


図5 黒潮からの切離による渦の生成イベントの可視化結果。

文献

- [1] H. Sasaki, M. Nonaka, Y. Masumoto, Y. Sasai, H. Uehara, and H. Sakuma, “An Eddy-Resolving Hindcast Simulation of the Quasi-Global Ocean from 1950 to 2003 on the Earth Simulator”, High Resolution Numerical Modeling of the Atmosphere and Ocean (K. Hamilton, W. Ohfuchi eds.), 157-185, 2008.
- [2] H. Sasaki, P. Klein, B. Qiu, and Y. Sasai, “Impact of oceanic scale-interactions on the seasonal modulation of ocean dynamics by the atmosphere”, Nature Communications, 5, 5636, 2014.
- [3] D. Matsuoka, F. Araki, Y. Inoue, and H. Sasaki, “A New Approach to Ocean Eddy Detection, Tracking, and Event Visualization –Application to the Northwest Pacific Ocean–”, Procedia Computer Science, 80, 1601-1611, 2016.

Oceanic Interactions between Fine-scale Structures and Large-scale Circulations

Project Representative

Yukio Masumoto Graduate School of Science, University of Tokyo

Authors

Daisuke Matsuoka Center for Earth Information Science and Technology, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Hideharu Sasaki Application Laboratory, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Yukio Masumoto Application Laboratory, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology
Graduate School of Science, The University of Tokyo

We try to investigate temporal and spatial variations of submesoscale structures and their interactions with larger scale circulations, by analyzing outputs from a high-resolution global ocean simulation. It is necessary, for this purpose, to utilize an efficient and effective visualization method to detect not only locations of eddies but also evolutions of these eddies. In this fiscal year, we developed a new scheme for eddy detection, tracking and event visualization. Application of this new method to high-resolution ocean simulation dataset successfully demonstrate detailed eddy evolutions, such as generation, dissipation, amalgamation, bifurcation, and interaction with ocean currents.

Keywords: Ocean general circulation model, eddy detection and tracking, visualization

1. Introduction

Scientific data visualization is an indispensable technique to extract focusing phenomena among overwhelming amount of information in numerical simulation results. With recent data set generated by high-resolution ocean general circulation models, which reproduce a huge number of eddies, it is rather difficult to use traditional visualization methods to address questions on “when, where, and what kind of ocean phenomena appear”. In the present study, we propose a new technique for eddy detection, tracking, and event determination, by which scientists can intuitively understand behavior of eddies.

2. Method

Our proposed method consists of following three stages: eddy detection, eddy tracking, and event determination. In eddy detection stage, centers of eddies are identified as local maximum or minimum of sea surface height (SSH), with the negative Okubo-Weiss parameter. Region, i.e. the size, of an eddy is detected by a combination of information about SSH shape (e.g. the convex region of SSH (red area) in Fig. 1(a)) and regions of current speed maxima (e.g. green areas in Fig. 1(b)) around the center of the eddy.

For eddy tracking stage, we adopt the overlapping method, whose computational cost is low and implementation is easy. By automatically correlates eddies in two contiguous time steps using their spatial overlapping, events on eddy evolution, such as creation, dissipation, bifurcation, amalgamation, and interaction with ocean currents, are accurately detected.

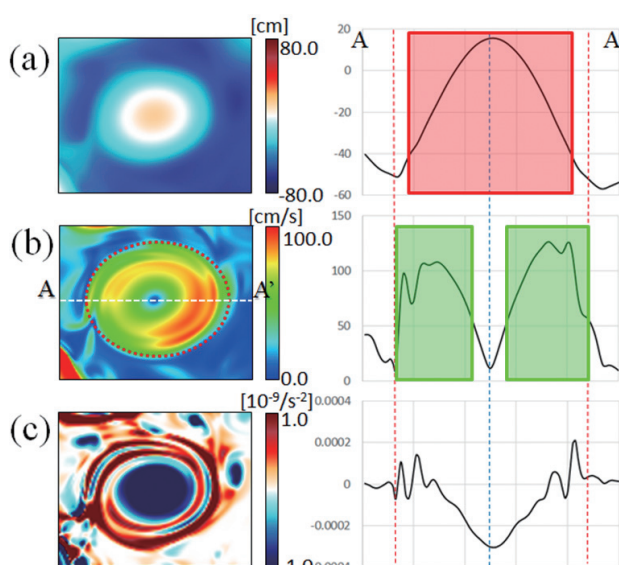


Fig. 1 Physical properties of warm eddy. (a) SSH, (b) current speed and (c) the Okubo-Weiss parameter.

3. Results

Examples of extracting eddies, streams, currents and their events from outputs of a high-resolution ocean simulation [1, 2] using the present new method are shown in Fig. 2. Here, warm eddies, cold eddies, streamer-like structures, and currents are colored by blurry red, blue, green, and yellow (brightness = 50%), respectively. Furthermore, eddies (and the streamer-like regions around them) during their evolving events are emphasized by bright color (brightness = 100%). Two

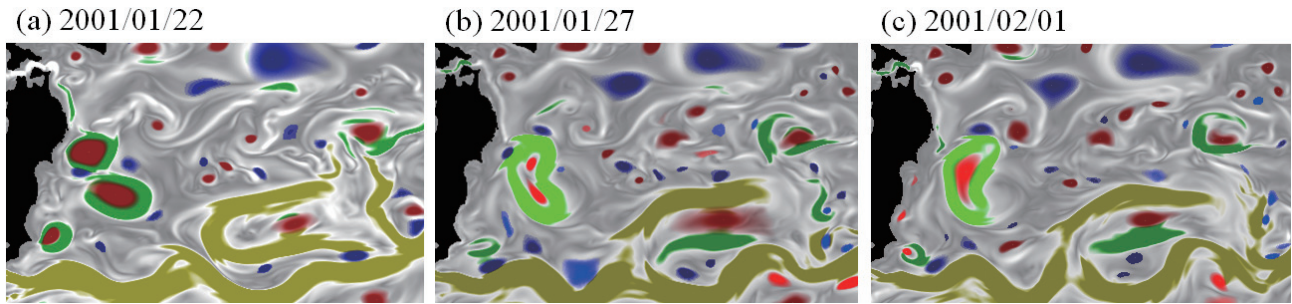


Fig. 2 A visualization example of amalgamation event of two eddies off Tohoku.

independent eddies surrounded by streamer-like structures off east coast of Tohoku area on Jan. 22, 2001 (Fig. 2(a)) merge into one large eddy on Feb. 1, 2001 (Fig. 2(c)) [3].

4. Discussion and conclusions

In this study, we proposed a new concept for detection, tracking, event determination of submesoscale and mesoscale eddies and a visualization method based on a hybrid definition of eddies using SSH and velocity field. As a result of application to high-resolution ocean simulation data, we succeeded in extracting events associated with eddy evolutions, such as amalgamation and bifurcation as well as creation, continuation, and dissipation. These events are effectively visualized as a region of interest. In the future, in-situ processing of the method, where eddy detection, tracking and visualization are carried out on a supercomputer during the numerical simulation, will become a key technology for better understanding of the submesoscale ocean structures.

References

- [1] H. Sasaki, M. Nonaka, Y. Masumoto, Y. Sasai, H. Uehara, and H. Sakuma, “An Eddy-Resolving Hindcast Simulation of the Quasi-Global Ocean from 1950 to 2003 on the Earth Simulator”, *High Resolution Numerical Modeling of the Atmosphere and Ocean* (K. Hamilton, W. Ohfuchi eds.), 157-185, 2008.
- [2] H. Sasaki, P. Klein, B. Qiu, and Y. Sasai, “Impact of oceanic scale-interactions on the seasonal modulation of ocean dynamics by the atmosphere”, *Nature Communications*, 5, 5636, 2014.
- [3] D. Matsuoka, F. Araki, Y. Inoue, and H. Sasaki, “A New Approach to Ocean Eddy Detection, Tracking, and Event Visualization –Application to the Northwest Pacific Ocean–”, *Procedia Computer Science*, 80, 1601-1611, 2016.

