

海洋変動における微細現象と大規模循環の相互作用

升本 順夫（東京大学 大学院理学系研究科）

1. 研究目的

海洋の数 km～十 km 程度のサブメソスケール現象は、より時空間規模の大きな循環場の形成のみならず、物質循環、生態系変動にも大きな影響を及ぼすと指摘されている。しかしその空間規模の故、直接観測での研究は難しく、領域を限った高解像度シミュレーションがメカニズム解明に大きな役割を担ってきたが、大規模循環場や長期変動との関連や生態系への影響を調べるには不十分であった。そこで本課題では、サブメソスケール現象を再現できる全球規模の高解像度海洋シミュレーションを十年規模で行い、季節から経年の変動を考慮した時空間変動、大規模循環とのスケール間相互作用の研究を行うとともに、膨大なデータから従来とは質的に異なる海洋循環像を示すことを目指す。

2. 新たな渦の抽出、追跡手法の試み

本課題で実施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を含めた幅広い時空間スケールの現象が再現される。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、新たな解析手法や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(Sasaki et al., 2014)の出力を用い、新たな渦の解析・可視化方法の試みを行った(Matsuoka et al., submitted)。

高解像度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 Okubo-Weiss parameter 等のような渦に関連した物理量を可視化するだけでなく、渦そのものを抽出し、その時間発展を追跡し、そこで起きる現象を可視化する必要がある。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、海面高度および速度場の 2 次元データを用いた新しい渦の抽出、追跡手法を開発した。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閉じた等高線のうち最も外側に位置するものを検出し、その内側領域を渦領域とする（図 1(a)右側の赤色領域に示す海面の盛り上がった（または沈降した）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（図 1(b)右側の緑色領域）を抽出する。渦をストリーム領域の有無によって再定義し、その時間発展を追跡することで、渦の分離または併合といったイベントを精度よく抽出することが可能になる。また、海流にトラップされた渦を定義することで、海流への併合や切離といったイベントを抽出することも可能である。

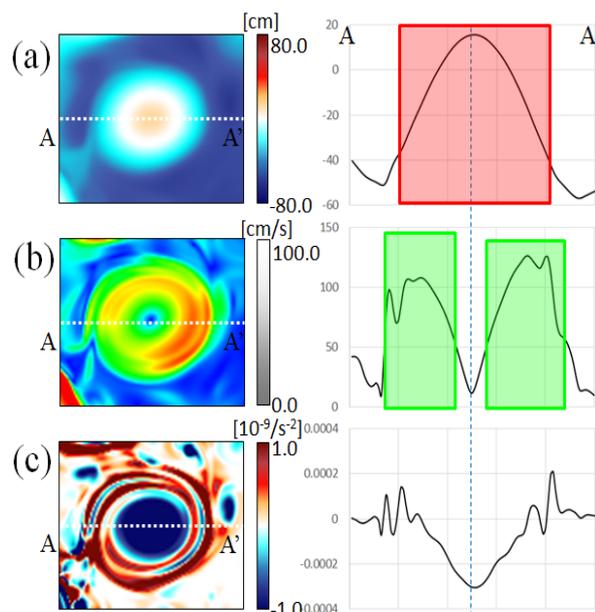


図 1 渦の物理的特徴(a)海面高度、(b)流速、(c)Okubo-Weiss parameter

次に、渦の時間発展を追跡した結果の可視化を行う。数多くの渦の中で、何らかのイベントが発生した渦のみを把握したい場合、そのような渦を注視領域として、強調して可視化する手法が有効である。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。イベント発生時の渦をハイライト表示することで、図 2 に示すような 2 つの渦の併合や、図 3 に示すような海流からの暖水渦の切離といったイベントをより認識しやすい形で可視化することに成功した。

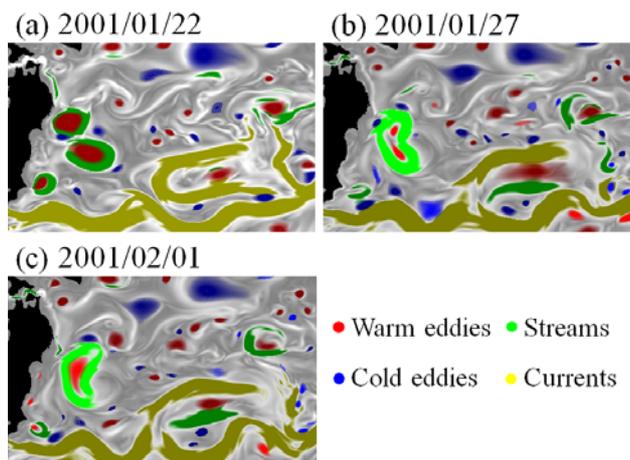


図 2 暖水渦同士の併合

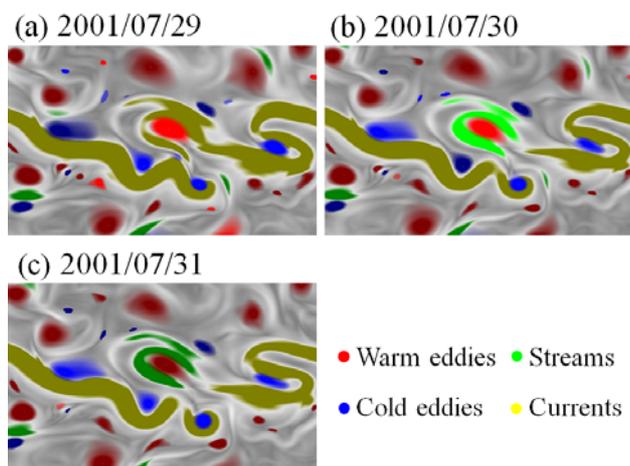


図 3 海流からの暖水渦の切離

3. シミュレーション進捗と今後の計画

本課題では、極域を除くほぼ全球の領域、水平解像度が 1/30 度(約 3km)の高解像度海洋シミュレーションを実施し、10 年規模のデータセットを構築する予定である。そのデータセットを用いると、様々な海域でサブメソスケール現象を含む幅広い時空間スケールの海洋循環場が再現される。今年度は、仮の初期値を使用したシミュレーションのテストを年度末までに実施できる予定である。

来年度は、上記の全球規模高解像度シミュレーションを 2 年間実施し、サブメソスケール現象を含む海洋循環の季節変動を再現する予定である。また、水平解像度が約 1km の超高解像度北太平洋シミュレーションの準備も開始する予定である。

文献

Sasaki, H., Klein, P., Qiu, B., and Sasai, Y., 2014: Impact of oceanic-scale interactions on the seasonal modulation of ocean dynamics by the atmosphere. *Nature communications*, 5.

Matsuoka, D., Fumiaki, A., Inoue, Y., and Sasaki, H., 2016: A new approach to ocean eddy detection, tracking, and event visualization --Application to the Northwest Pacific Ocean--, *International Conference on Computer Science 2016*, submitted.