

神戸大学工学部 学生員 ○上平 雄基

神戸大学大学院工学研究 正会員 内山 雄介

1. 研究背景および目的

琉球諸島西岸沖約 200km の東シナ海大陸棚に沿って北上する黒潮暖流は浮遊幼生、栄養塩等の輸送に大きな役割を果たしているため、この海域の生態系保全を考える上では黒潮の波及効果を正確に把握することが重要となる。

これに対して灘岡ら（2001）は、海表面温度の衛星画像解析と現地観測結果から黒潮系暖水塊の波及過程の把握することを試みている。さらに灘岡ら（2006）は、解像度 2km の数値解析を行い、黒潮と琉球諸島の間海域に発生する黒潮反流や中規模渦が、サンゴ浮遊幼生の輸送、熱輸送現象に大きな影響を与えている可能性を示唆している。しかし、本海域では雲量が多く、衛星データの欠損が生じやすいという問題が指摘されている。一方で、最近の研究結果（内山ら、2012）から、空間規模 10km オーダー程度以下のサブメソスケール現象が、海洋混合層における平均流、乱流、物質分散などに影響を与えることが理解されつつある。また、黒潮は琉球諸島という明確な幾何的境界条件の影響を受けて独特の乱流場が形成される可能性が予想される。よって、本海域を対象とした精緻な海洋モデリングを行い、観測データ等と相互補完しながら海域の流動環境に対する理解を深化させることが急務である。

本研究では、領域海洋循環モデル ROMS（Regional Ocean Modeling System）を用いた2段階のネスティングにより水平解像度約 10km→3km→1km としてダウンスケーリングを行い、黒潮の波及効果を解析し得るサブメソスケール解像海洋モデリングシステムを開発する。また、出力モデル結果と現地観測データや衛星データとの比較を行い、黒潮流路、メソスケール変動渦運動エネルギー、黒潮流路上の鉛直断内の密度構造などに関する再現性を確認する。さらに、琉球諸島の間海域におけるサブメソスケール乱流の構造を解析し、黒潮系水塊の波及効果を定量化することを目的とする。

2. 海洋モデル

データ同化を用いた日本近海の時況再解析・予報システム JCOPE2（Miyazawa *et al.*, 2009, 水平解像度約 10km）を境界条件とし、オフライン・ネスティングにより L1（水平解像度 3km）→L2（1km）へダウンスケーリングを行い、琉球諸島周辺海域の高解像度モデリングを実施した（図-1）。海底地形には SRTM30、海上風には QuikSCAT-ECMWF、JMA GPM-GSM/MSM を用いた。各種海面フラックスには COADS の月平均気候値、海表面温度・海表面塩分には JCOPE2 の 20 日平均値を用いた。領域内の長江など河川については、Dai and Trenberth（2010）の月平均気候値から与えた。さらに、L1 では黒潮の流路変動パターンを JCOPE2 のものと大局的に整合させるため、JCOPE2 の塩分と水温の 10 日平均値を用いて 3 次元的にナッジングを行う TS-nudging（nudging strength=1/20day⁻¹）を対象領域全水深に施した。

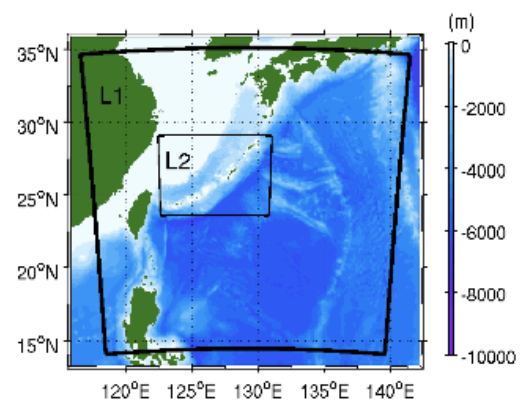


図-1：多段階ネスティングによる ROMS 計算領域
(L1：水平解像度約 3km, L2: 同 1km)

3. 解析結果

現地観測データや衛星データとの比較から本モデルの良好な再現性が確認された。また、表層での無次元渦度を比較すると、高解像度化によって低解像度モデルでは再現することができなかったサブメソスケールの渦が観測でき、渦度が強化されていることがわかった。黒潮流軸西側に出現する正の渦度よりも、琉球諸

島側である東側に出現する負の渦度がより強く、しかも広範囲で発達しているという現象が確認された。この傾向は L2 で最も顕著になり、東側の島の有無によっても変化している様子が観察された。この渦度の正負のバイアスを定量的に評価するため、2つの小領域(図-2)を設定し、計算期間全体にわたって黒潮流軸方向に表層無次元渦度をカウントし、流軸横断方向の確率密度関数(PDF)を求めて比較した。PDFの比較から黒潮流路と沖縄本島に挟まれた海域では地形性のシアによって発生したものであると考えられるサブメソスケールの負の相対渦度が維持されやすい機構が存在することが明らかになった。例として、各モデルにおける sub1 の表層無次元相対渦度の PDF の比較を示す(図-3)。

4. 熱輸送量の評価

本研究では、季節変動成分を除去した高周波成分を渦成分と定義し、各変量を Reynolds 分解して流速と水温の相関項を求め、次式で定義し、これを渦による熱輸送量(eddy heat flux)として評価した。

$$F = (F_x, F_y) = (\overline{u'T'}, \overline{v'T'}) \quad (1)$$

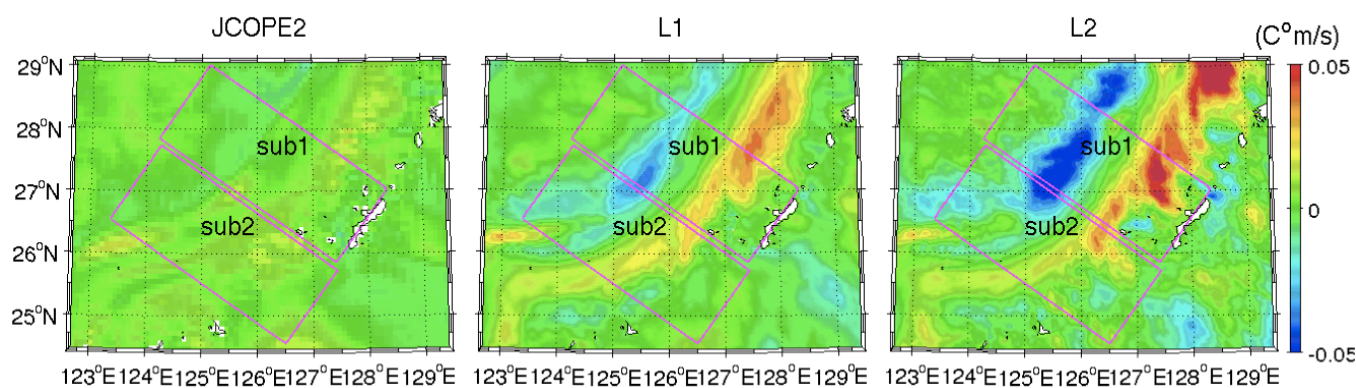


図-2 : PDF 計算領域および JCOPE2, L1, L2 の Eddy heat flux の x 成分

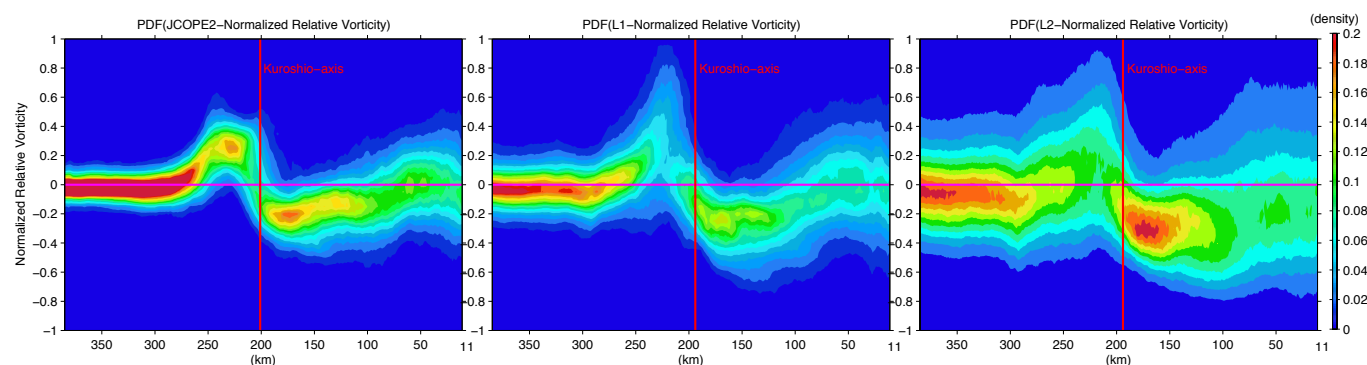


図-3 : JCOPE2, L1, L2 の sub1 の表層無次元相対渦度の PDF

各ベクトル量は黒潮の平均的な流路に沿って回転させ、 y を黒潮流軸方向、 x を黒潮流軸直交方向とした。 F_x は、解像度が高いほど大きく、また、地形近傍でも大きくなる傾向が見て取れる(図-2)。以上の結果から、黒潮流路と琉球諸島西海岸の間の海域では、地形性のシアの影響によって発達する負のサブメソスケール渦によって活発な熱交換が行われており、黒潮の波及を強力に促進していることが明らかとなった。なお、ここではトレーサーとして熱を用いたが、栄養塩や浮遊幼生などについても熱と同様の強い水平乱流拡散を受けて、黒潮系暖水塊の波及効果を受けることが予見される。したがって本 eddy heat flux 解析は琉球諸島周辺海域の海洋環境や、広域生態系ネットワークの形成などに対して極めて重要な知見を与えるものであると考えられる。

参考文献

- 灘岡ら (2001) 土木学会論文集 B2 Vol.48, 1276-1280
 灘岡ら (2006) 土木学会論文集 B2 Vol.53, 1151-1155
 石井ら (2012) 土木学会論文集 B2 Vol.68, 436-440
 Miyazawa *et al.* (2009) *J. Oceanogr.* Vol. 65, 737-756