研究課題名：海洋混合層スキームの高度化と流動・水質・生態系シミュレーションへの応用

課題代表者：国立環境研究所地域環境研究センター　東 博紀
共同研究者：国立環境研究所地域環境研究センター　古市尚基

実施年度：平成 25 年度～平成 25 年度

1. 研究目的

海洋における乱流混合過程は、海洋流動場のみならず、大気-海洋間での酸素・二酸化炭素等のガス交換、海洋内部における有機物・無機栄養塩輸送、赤潮・貧酸素水塊の発生・消滅など様々な物質循環や海洋環境の形成にも大きく影響している。その一方で、既存の海洋混合層モデルではその効果を十分にパラメータ化できていないことが指摘されており、海面水温や流速、物質濃度・溶存酸素などの時空間変動の再現・予測精度低下の大きな要因となっている。

本課題は、海洋混合層モデルの改良を通じて、海洋流動・水質・生態系モデルを用いた水・物質循環および生態系機能の評価・予測能力を向上させることを目的とする。

2. 研究計画

LES (Large Eddy Simulation) モデルを用いて海洋表層および海底混合層の発達過程を直接に再現する数値実験を行うとともに、その結果に基づき既存の混合層モデルを検証・改良する。改良した混合層モデルを海洋流動・水質・生態系モデルに組み込み、その性能を確認する。このようにして海洋混合層変動の再現性を可能な限り改善した後、大陸の人為的負荷の増大が東シナ海・日本近海の広域海洋環境に及ぼす影響を数値シミュレーションで定量的に評価する。

3. 進捗状況

本年度は、水平・鉛直解像度が数十 cm、計算領域が水平数百 m、鉛直 100 m 程度の LES モデルを用いて、台風の通過、日中の加熱・夜間の冷却、潮汐流の変動等に対する海洋表層および海底混合層応答の数値実験を多数実施するとともに、その結果に基づき混合層モデル内の様々な乱流パラメータを流速、密度等の巨視的情報のみならず、乱流エネルギー、乱流長さスケール等の微視的観点まで踏み込んで検証・改良している。

LES 実験の一例として、潮汐流による海底混合層の発達に関する結果を示す（図 1a-d ; w' と θ' はそれぞれ流速擾乱および水温擾乱）。潮汐流変動に応答して海底乱流が発達し、その結果、混合層上端付近で暖かい（冷たい）水が下方（上方）に輸送され、水温場が次第に混合されていく様子がみてとれる。次に、LES と同一条件下での

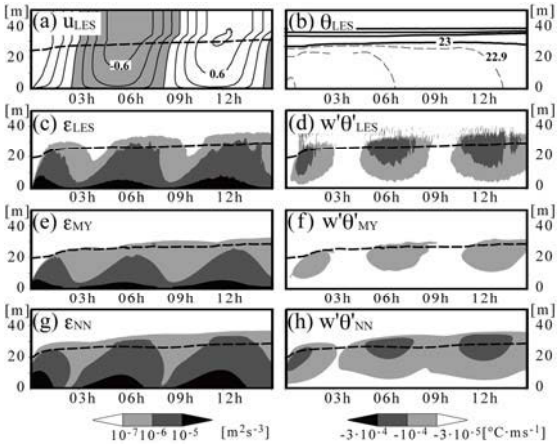

図 1. (a) (b) LES から得られた潮汐流の長軸方向流速（u_{LES},等値線間隔：0.2 ms^{-1}）と水温（θ_{LES},等値線間隔：実線−1 °C、破線−0.1 °C）の水平平均値。(c)-(h) LES, MY, NN の各々から得られた乱流エネルギー消散率 ε および乱流熱フラックス $w'\theta'$。ただし、LES の結果は水平平均値。(a), (c)-(h)内の破線は海底混合層の上端を示す（水温がその最深値より 0.1°C 高い深度で定義）。各パネルの縦軸は海底からの高さ。

海底混合層の消長を、従来広く使われてきた Mellor-Yamada （Mellor and Yamada, 1982, MY）や近年大気境界層における良好な性能が報告されている Nakanishi-Niino（Nakanishi and Niino 2009, NN）の手法を組み込んだ鉛直 1 次元モデルを用いて計算し、その結果を LES の実験結果と比較した。ただし、NN 内の乱流長さスケールに関しては、安定成層下でさらに制限されるように表式を少し修正した（Furuichi et al. 2012）。図 1e-h に示すように、この実験では、MY で計算された乱流の発達は LES と比べて抑制されてしまう一方で、NN で計算された乱流の発達は LES に匹敵する良好な結果となった。

4. 今後の計画

改良した海洋混合層モデルを海洋流動・水質・生態系モデルに組み込んで東シナ海や東京湾を対象とした海洋環境の再現実験を実施し、その効果を確認する。

5. 計算機資源の利用状況

実行ユーザ数: 2　CPU 時間 v_deb: 473.558 hours, v_cpu: 944.203 hours, v_8cpu: 23.75844722 hours, v_16cpu: 52,371.12 hours, 計: 53,812.634 hours