高解像度領域海洋モデルを用いた沿岸海洋流動に及ぼす波浪の影響に関する研究

神戸大学大学院工学研究科　学生員　○西井　達也
神戸大学大学院工学研究科　正会員　　内山　雄介

1. はじめに

陸棚スケールの沿岸海洋流動は，海流などの外洋シグナル，潮汐，風波，局地気象，海底地形・海岸線地形などの影響を複合的に受けて形成されている．本研究では，ROMS，SWAN，WRF をコアとした最先端の海洋モデリング技術を用い，これらを全て考慮した精緻な数値実験を行った．本報では，これまでほとんど議論されることのなかった陸棚循環流に及ぼす風波の影響について，平均運動量収支や周波数-波数分解された成分ごとの乱流エネルギー（TKE）解析を通じて詳細に検討した結果について報告する．

2. 解析方法

解析対象海域は米国南カリフォルニア湾（SCB）であり，グローバル海洋再解析データの SODA を最外側境界条件とし，領域海洋循環モデル ROMS を用いて 4 段階のネスティングにより水平解像度 75 m（120 km × 45 km）までダウンスケーリングした（**図-1**）．潮汐は TPXO7，海面フラックスは WRF，波浪諸量は SWAN による結果を境界条件として与えた．運動量収支解析では，いわゆる vortex-force（VF）を用いて位相平均された Primitive 方程式（Uchiyama *et al.*, 2010）を時間平均した以下の式：

$$\mathbf{T} + \mathbf{A} - \mathbf{C} + \mathbf{P} - \mathbf{V} - \mathbf{S} = 0 \qquad (1)$$

を用いた．ただし，運動方程式の各項はベクトル表示されており，**T**：非定常項，**A**：移流項（非保存形），**C**：Coriolis 項，**P**：圧力勾配項，**V**：VF 項，**S**：Stokes-Coriolis（SC）項であり，相対渦度（$\nabla_H \times \mathbf{u}_H$，ただし下付き添字 H は水平成分を表す）と Stokes drift（$\mathbf{u}^{st}$）の外積項である VF 項と，惑星渦度（f: Coriolis パラメータ）と $\mathbf{u}^{st}$ の外積項 SC 項が波の影響を表している．また，成分毎の乱流統計量を抽出するために，周波数フィルタを用いて (a) 季節変動成分（周期 90 日以上），(b) 低周波成分（30 時間～90 日），(c) 日周期成分（18~30 時間），(d) 半日周成分（8~18 時間），(e) 高周波成分（8 時間未満）に分離し，さらに (b) に対して波数フィルタを適用し，地衡流的なメソスケール成分（波長 20 km 以上）と非地衡流的なサブメソスケール成分（20 km 以下）に分離した．

3. 結果と考察

約 5 ヶ月間（2007 年 12 月～2008 年 4 月）の表層平均流速ベクトル（**図-2**）から，波浪の有無により平均流が大きく変化していることが明示されている．次に，式 (1) の各項の水表面での値（沿岸成分）を，水深レンジ毎に平均し，岸沖分布を求めた（**図-3**）．全体的には Coriolis 項 C と圧力勾配項 P がバランスしており，SCB での平均循環流が地衡流平衡に近い状態にあることが分かる．一方，Stokes-Coriolis 項 S も C や P と同程度の大きさであり，波浪の影響が極

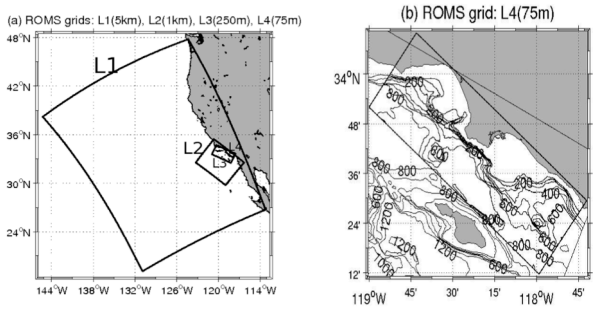

図-1：4 段階のネスティング（L1：解像度 5 km，L2：1 km，L3：250 m，L4：75 m）による ROMS 計算領域(左)と L4 領域の水深（右）．

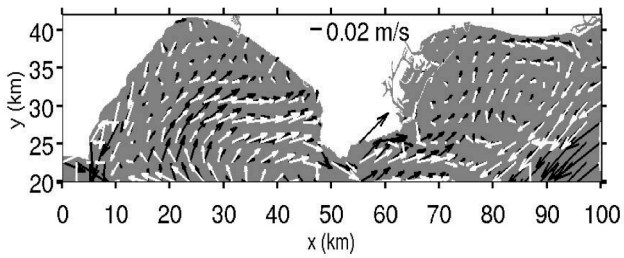

図-2：表層における平均流速ベクトル（黒：波浪なし，白色：波浪あり）

Tatsuya NISHII (tatsuya0874242@gmail.com) and Yusuke UCHIYAMA

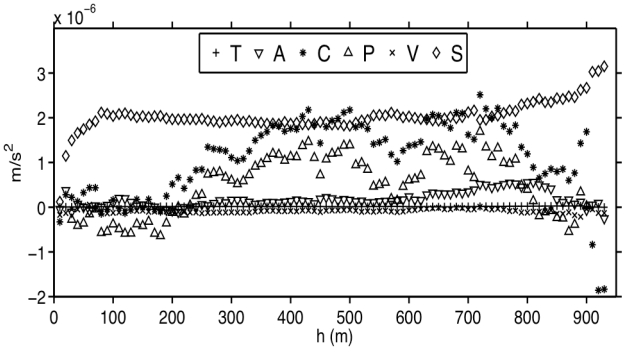

図-3：表層における時間平均された運動量各項の水深(h)レンジ毎の分布．平均的な岸沖分布に相当する．

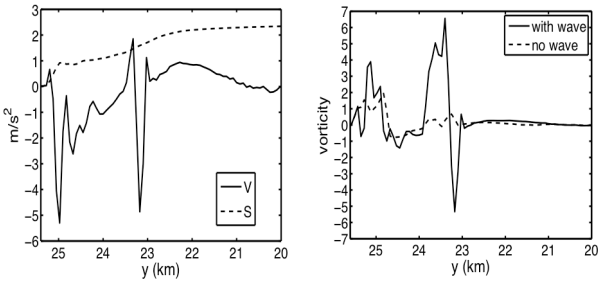

図-4：沿岸距離 x = 55 km（領域中央の Paros Verdes 岬付近）における（左）VF 項（実線）と SC 項（点線）の岸沖分布（表層）($\times 10^6$)，（右）波浪の有（実線）無（点線）による表層相対渦度の岸沖分布．

めて強いことが分かる．測線 x = 55 km における距岸 5 km までの VF 項および SC 項の岸沖分布から（**図-4** 左），SC 項は岸に向かって徐々に弱まるが，VF 項は逆に沿岸で強化され，大きな負値を取っている．Coriolis 項 C の平均分布（**図-3**）から Rossby の内部変形半径は約 20 km（h < 350 m）と推算されるが，それよりも岸側では Coriolis 力の作用が相対的に弱くなるため，SC 項が発達しにくくなったものと考えられる．同じ岸沖測線における表層無次元相対渦度（$\nabla_H \times \mathbf{u}_H / f$）の時間平均値を見ると（**図-4** 右），距岸 3 km 程度以浅の沿岸域において，波浪を考慮した場合に渦度が明確に発達しており，これが沿岸域における負の VF の発達に寄与していることが明らかとなった．そこで，渦度の発達に影響を及ぼす流動の変動特性を精査するため，水平流速を周波数・波数分解し，各成分（季節変動，メソスケール，サブメソスケール，日周期）の乱流運動エネルギー（TKE）を求め，水深レンジ毎に空間平均した岸沖分布を求めた（**図-5**）．季節成分と日周成分（潮汐等）は波浪の有無による違いはほとんどないが，メソスケール成分とサブメススケール成分では波浪の影響を受け

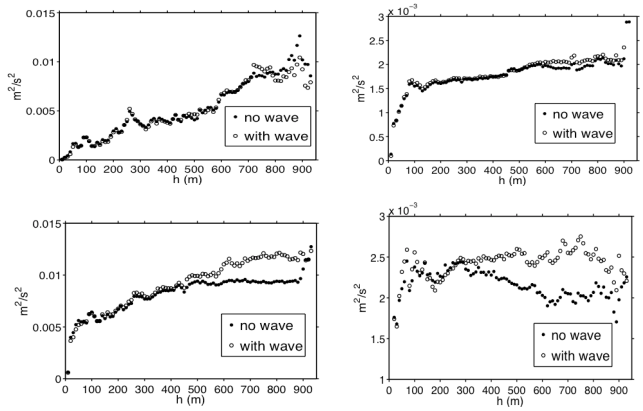

図-5：季節変動成分（左上），日周成分（右上），メソスケール成分（左下），サブメソスケール成分（右下）から求まる波浪の有（○）無（●）による TKE の岸沖分布（h：水深）

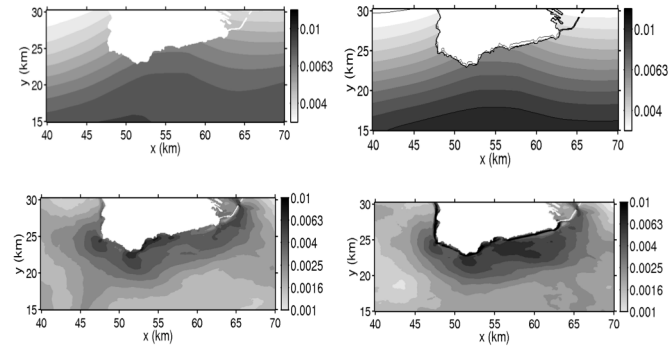

図-6：波浪を考慮しない場合（左）と考慮した場合（右）のメソスケール成分（上）とサブメソスケール成分（下）から求まる TKE の空間分布．

て値が大きく変化している．両成分の TKE の空間分布構造（**図-6**）から，波浪の影響はメソスケール成分では沖合海域，サブメソスケール成分では沿岸域においてより強く出現することが分かる．すなわち，沿岸域ではサブメソスケール成分の TKE および渦度が発達し，VF が強化され，運動量収支を改変するという構造になっていることが示された．

4. 結論

波浪に起因する Stokes-Coriolis 効果は，準地衡流的な陸棚沖合海域の循環流構造を変化させる．沿岸域では波浪の影響は TKE のサブメソスケール成分に表れ，渦度の発達を通じて vortex force を強化する．これらの効果により，波浪によって沿岸海洋流動パターンに大きな差が生じることが明らかとなった．

参考文献

Uchiyama, Y., McWilliams, J.C. and Shchepetkin, A. F. (2010): Wave-current interaction in an oceanic circulation model with a vortex force formalism: Application to the surf zone, *Ocean Modelling*, Vol. 34:1-2, pp.16-35.