

大阪大学大学院 学生員 ○末吉 寿明
大阪大学工学部 正 員 中辻 啓二
大阪大学工学部 正 員 村岡 浩爾

1. はじめに 淡路島東岸の沖合い約8 km に位置する水深 30m程の浅瀬（通称、沖ノ瀬）を中心として還流が形成されていることはよく知られている。この沖ノ瀬還流は潮流の非線形性に起因した潮汐残差流系の流動と考えられている。潮汐残差流とは流動の非線形方程式を1 潮汐平均したときに派生する残差成分のことを意味している。物理的には定常流成分としての取扱いが成されている。しかし、その生成過程は風、海底摩擦、地球自転、圧力傾倒力、密度流等の影響を受けて、各海域で全く異なった機構を呈している。

大阪湾の沖ノ瀬還流の生成機構は明石海峡東流時の淡路島東岸沖に形成される渦の流動と密接に関連しており、藤原¹⁾は現地実測を通じてこの渦の移動形態と時間平均操作を施した潮汐残差流の分布を捉えた。本研究ではこの沖ノ瀬還流の生成機構を解明するために3 次元数値実験を実施し、地形性渦の形成・発達と潮汐残差流の流動特性について検討を行った。

2. 数値実験の内容 3 次元数値シミュレーションでは大阪湾とその沿岸海域の100km 四方の海域を対象に密度流を考慮した潮流計算をあらかじめ行っておき、その結果を調和分析した流速と水位変動量を明石海峡モデルの開境界において正弦関数で与えた。数値モデルについては文献²⁾と同じものを採用した。明石海峡の狭域モデルでは明石海峡を中心に東西に約 40km、南北に約 35kmを対象海域とし、差分格子網を水平方向に 500m、鉛直方向に 4, 6, 10, 20, 20m の5 層に設定して地形形状を詳細に再現した。また、海峡部近傍の流れの局所的な乱流運動を表現するため Smagorinskyの仮説に基づくSGS渦動粘性係数の概念を導入し、モデル上で格子スケールから欠落する乱れ成分を時空間的な変数として評価した。その結果、水平および鉛直方向の渦動粘性係数はそれぞれ $10^{-1} \sim 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$ 、 $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ のオーダーの値が得られた。海峡部では鉛直混合が激しく成層化しないことから、流動の駆動力に潮流のみを取り扱った。潮流は平均大潮を対象とした。

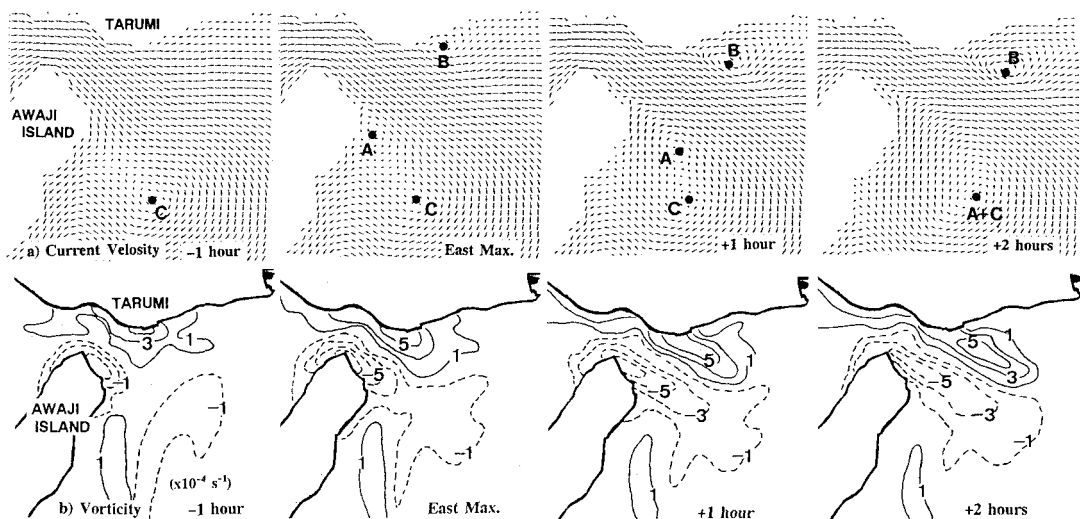


図-1 明石海峡東流時に形成される渦の相互干渉と合体
(a) 潮流流動のベクトル図、(b) 渦度分布

Toshiaki SUEYOSHI, Keiji NAKATSUJI and Kohji MURAOKA

3. 計算結果と考察 図-1は明石海峡での潮流が東流最強になる1時間前から1時間毎の水表面(水深2m層)における潮流流速ベクトルと渦度分布を示したものである。ここでは地形性渦の移動形態を捉える指標として渦度を用い、時計方向周りの渦度を負号として図中では点線で表している。東流最強1時間前には1潮汐前に形成された渦Cが沖ノ瀬を中心とした循環流を形成しているのが明瞭に認められる。その渦度の値は $-1 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ であった。明石海峡での潮流が強化されるとともに淡路島東岸と垂水沖合いには地形性に起因した渦Aと渦Bが形成され、大阪湾の湾内部へと輸送されていく。この時、渦度の絶対値は $3 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 程度の値を持ち、渦の移動とともに渦度輸送が生じているのがよく分かる。ここで特筆すべきことは、東流最強1時間後に淡路島東岸沖の渦Aと1潮汐前の渦Cとが相互に干渉し、さらに2時間後には合体して一つの渦として発達していることである。このとき渦度の小さい渦Cは渦度の大きい渦Aの影響により強化されている。この後、淡路島東岸沖の渦(A+C)は1潮汐後にも残留するのに対して、垂水沖の渦Bは明石海峡の潮流が西流となると同時に逸散する。同じ符号で同程度の強度を持つ渦が接近することにより相互干渉を引き起こし、互いの周りを回転しながら合併することは混合層で生起される組織渦の合体現象としてよく観察されている³⁾。この渦の合体現象が沖ノ瀬還流の規模が垂水沖の循環流に比べて大きくなる原因と考えられる。

地形性渦の1潮汐間の移動形態を海底地形の変化と合わせて示したものが図-2である。図中のEMは明石海峡の潮流が東流最強時、WMは西流最強時、S1は憩流時における渦の中心位置を表している。また図-3に各格子における流速ベクトルを1潮汐周期にわたって時間平均した潮汐残差流の流速ベクトルと残差渦度の分布を示す。渦度の成長・発散にはポテンシャル渦度の法則から水深の変化が大きな要因となり得るが、淡路島東岸沖の渦は沖ノ瀬を中心として常に水深30m域に常駐していることから、渦度の生成と発達には水深変化による影響はほとんどもなわれないものと考えられる。また定常流場としての潮汐残差流は垂水沖と淡路島東岸沖とに循環流が形成されているが、この時の残差渦度の絶対値の最大は $5 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ の値を有しており、地球自転の効果を表すコリオリ・パラメーター $8.21 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ と比較すると1オーダー近く大きくなっている。このことから沖ノ瀬の潮汐残差流の形成には地球自転の効果はあまり寄与しないことが考えられる。

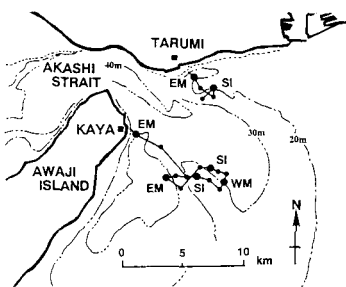


図-2 渦の中心の移動形態

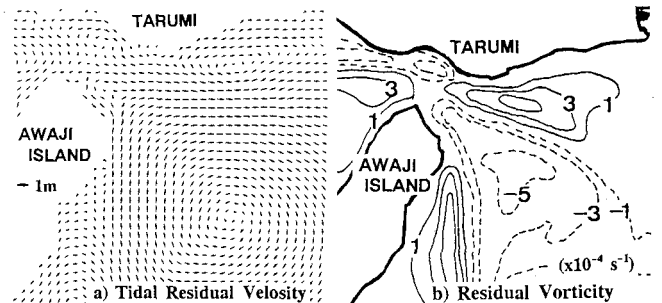


図-3 潮汐残差流の流速ベクトルと残差渦度の分布

4. おわりに 大阪湾で観測される沖ノ瀬還流の生成機構を3次元数値実験から検討した。この結果、淡路島東岸から発生する渦に合体現象が現れ、沖ノ瀬の渦の渦度が強化されることが分かった。この合体現象を考えることにより沖ノ瀬還流が垂水沖の循環と比べて規模が大きくなり、また明石海峡での潮流が西向きになった時でも、何故沖ノ瀬の渦は存在し続けるかを合理的に説明する手がかりとなる。今後さらに力学的な検討が必要である。また残差渦度の大きさは地球自転の強度を表すコリオリ・パラメーターと比較して1オーダー近く大きな値を有し、沖ノ瀬の潮汐残差流の形成を決定づける要因とはなり得ないことが分かった。

参考文献 1) T. Fujiwara et al, ASCE Seattle, 1991 2) 中辻啓二 他, 海岸工学論文集, 第38巻, 1991
3) 室田 明 他, 土木学会論文集, 第339号, 1983