

海流の西岸強化のシミュレーション

小川公子 (指導教員: 河村哲也)

1 はじめに

地球の海面上には無数の海流が発生しているが、中でも特に流れが強く世界二大海流といわれているのが、日本近海に流れる黒潮とアメリカの東を流れるメキシコ湾流である。これらは海洋における西岸で発生する強い海流であるため西岸境界流とも呼ばれており、地球の回転によるコリオリ力によって発生していると考えられている。

コリオリ力とは地表に固定した座標系で地球の回転を表現するときに現れる見かけの力であり、反時計回りに自転している地球の北半球では進行方向右向きに、南半球では進行方向左向きに働く。コリオリ力は地表の回転速度 ω にも依存し、 ω は緯度 ϕ と $\omega \propto \sin \phi$ の関係があるため、高緯度ほどコリオリ力も大きくなる。

本研究では、簡単な平面と球面のモデルを用いてコリオリ力を考慮しながら海流の西岸強化を再現し、北半球のモデルと南半球のモデルを比較することでコリオリ力や大陸の形が西岸強化にもたらす影響を数値シミュレーションによって検証する。

2 計算領域と格子

2.1 計算領域

平面モデルと球面モデルを用いて海洋を表現する。北半球の平面モデルの領域として上辺を北緯 60 度、下辺を赤道の台形の領域を考え、球面モデルの領域は北緯 0 度~60 度、東経 130 度~西経 100 度で考えた。また南半球の平面モデルでは上辺を赤道、下辺を南緯 60 度の台形の領域とし、左右の辺は実際の地球の大陸分布を想定しており、北半球モデルでは時計回りの流れが西岸で狭まる形とし、反対に南半球モデルでは反時計回りの流れが西岸で広がる形とした。

2.2 格子

平面モデルの格子数は 70×40 (Fig.2.1.1)、球面モデルの格子数は 100×100 (Fig.2.1.2) とした。

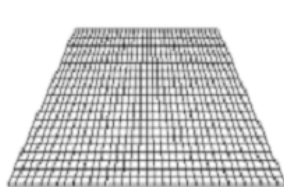


Fig. 2.1: 平面モデル

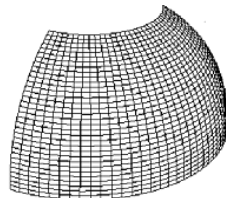


Fig2.2. 球面モデル

3 計算方法

3.1 基礎方程式

非圧縮性 Navier-Stokes 方程式を使用する。

連続の式

$$\nabla \cdot V = 0$$

Navier-Stokes 方程式

$$\frac{\partial V}{\partial t} + (V \cdot \nabla)V = -\nabla P + \frac{1}{Re} \cdot \Delta V - 2 \Omega \times V$$

t : 時刻, V : 流速, P : 圧力,
 Re : レイノルズ数, Ω : 回転ベクトル

球面モデルでは上記の方程式を球座標で表現した上で半径方向速度を取り除いた方程式を基礎方程式とした。

3.2 解法

上記の方程式をフラクショナル・ステップ法を用いて解く。

時間間隔は平面モデルでは $\Delta t = 0.0005$, 球面モデルでは $\Delta t = 0.0001$ ととり、レイノルズ数 $Re = 40$, 計算ステップは 6,000 回とした。

3.3 境界条件と初期条件

北半球モデルの場合、北緯 60 度を想定した上辺に偏西風による東向きの流れ、赤道を想定した下辺には貿易風による西向きの流れを境界条件として同じ速度で加えた。南半球モデルの場合、上辺を赤道、下辺を南緯 60 度とし、それぞれ北半球とは反対向きの流れを境界条件とした。なお、初期に海は静止しているとした。

4 結果と考察

4.1 平面上の回転速度の変化

回転速度を変化させた結果は以下のようになった。以下の図の左列は北半球、右列は南半球の平面モデルを回転速度の変化により比較している。矢印は海流の流速ベクトルを示し、シェーディングは南北方向の速度成分の大きさ（赤：暖流、青：寒流）を表す。回転速度によって西岸強化の強さが変化していることがわかる。また、 Ω の絶対値が等しい時北半球モデルの方が流れが強く、逆回転にすると「東岸境界流」が現れている。

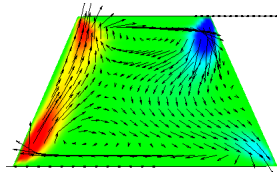


Fig.4.1.1: $\Omega = 2$ 北半球

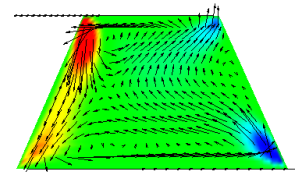


Fig.4.1.2: $\Omega = -2$ 南半球

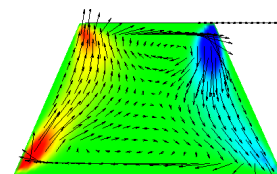


Fig.4.1.3: $\Omega = 0$ 北半球

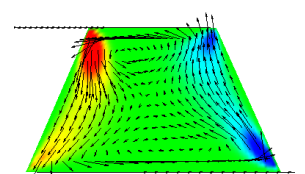


Fig.4.1.4: $\Omega = 0$ 南半球

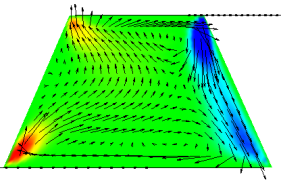


Fig.4.1.1.5: $\Omega = -2$ 北半球

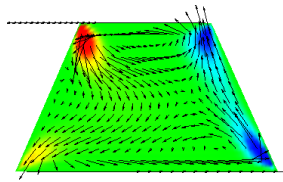


Fig.4.1.1.6: $\Omega = 2$ 南半球

以下の図は流れの速度の絶対値をシェーディングで表している。北半球モデルと南半球モデルを比較すると南半球モデルの方が流れが分散している。これは北半球モデルでは時計回りの流れが西岸で狭まる形である一方で南半球モデルでは反時計回りの流れが西岸で広がる形であることが影響していると考えられる。

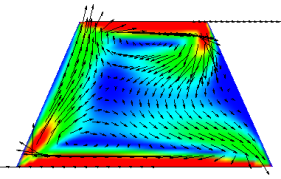


Fig.4.1.1.1: $\Omega = 2$ 北半球

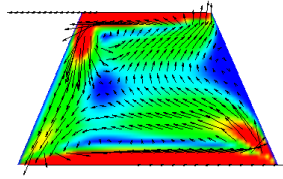


Fig.4.1.1.2: $\Omega = -2$ 南半球

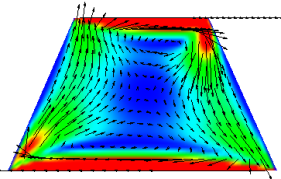


Fig.4.1.1.3: $\Omega = 0$ 北半球

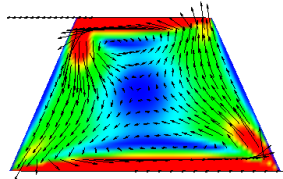


Fig.4.1.1.4: $\Omega = 0$ 南半球

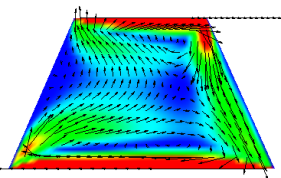


Fig.4.1.1.5: $\Omega = -2$ 北半球

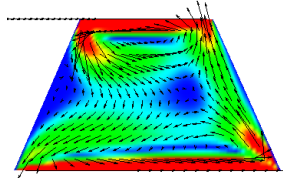


Fig.4.1.1.6: $\Omega = 2$ 南半球

4.2 球面上の回転速度の変化

北半球の球面モデルを回転速度を変化させ比較した。矢印は海流の流速ベクトルを示し、シェーディングは南北方向の速度成分の大きさ（赤：暖流、青：寒流）を表す。平面モデルの結果と同様に回転速度によって西岸強化の強さが変化していることがわかる。

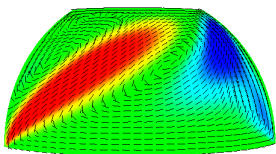


Fig.4.2.1: $\Omega = 4$ 北半球

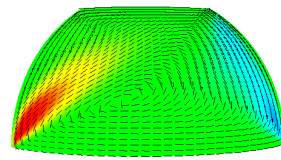


Fig.4.2.3: $\Omega = 0$ 北半球

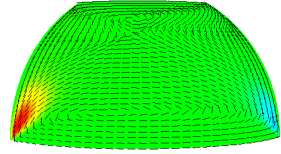


Fig.4.2.5: $\Omega = -4$ 北半球

4.3 平面モデルの変化形

形の異なる2つの北半球の平面モデルを回転速度 $\Omega = 2$ で比較した。西岸強化が発生する部分が鋭角であり、左辺に強い西岸強化が起きている Fig.4.3.1 と比較して、西岸強化が発生する部分が鈍角である Fig.4.3.2 は左辺の流れが少し弱くなっている。

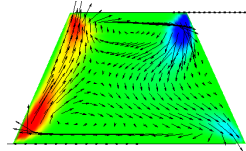


Fig.4.3.1

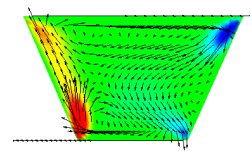


Fig.4.3.2

5 まとめと今後の課題

海流の西岸強化を回転速度を変化させてシミュレーションした結果、平面モデル、球面モデルいずれも北半球では回転速度が正に大きいほど、また南半球では回転速度の値が負に大きいほど西岸強化が強く出た。また速度の絶対値の分布を比べると北半球と南半球で大きく異なり、さらに海洋モデルの領域形状を変化させた結果、曲がる角度が鈍角であるほど西岸強化が小さく、鋭角であるほど西岸強化が強く出た事より、西岸境界流の強さには大陸の形も影響していると考えられる。

今後は風の応力を領域全体で与え、2次元モデルを3次元化することでより現実に近いモデルでの西岸強化のシミュレーションを作成したい。

参考文献

- [1] 河村哲也. 数値シミュレーション入門. サイエンス社, 2006.