

東京湾の流れのシミュレーション

大野 布美子 (指導教員：河村 哲也)

1 はじめに

東京湾周辺では人口が集中しており、経済活動も活発である。そのため東京湾内は、人間の活動に即影響を受ける場所となっている。戦後は埋立地が増加し、日本にとって重要な生産活動の場となってきたが、干潟の 90 % 以上は消失し生物浄化機能が低下してしまっている現実がある。その影響から東京湾内で赤潮・青潮のような環境問題が起こっている。

赤潮・青潮は相互に密接な関係がある。赤潮で発生したプランクトンの死骸は海底に沈み、バクテリアによって分解される。それにより周りの酸素が消費され、酸素が少ない層が形成される。これは貧酸素層と呼ばれる。

青潮は東京湾上空を吹く風により湾内で循環が起こり、貧酸素層が巻き上がることによって沿岸付近が青白く見える現象である。強い北東風が数日吹き続いた後起こると言われている。

今回は東京湾をキャビティと仮定し、上空に風を吹かせることにより貧酸素層の流れの実体を解明することを目的とする。

2 モデル化

本研究では、緯度 35.3 ~ 35.7 度、経度 139.6 ~ 140.15 度の範囲に注目した。この部分は東京湾の中でも内湾と呼ばれる比較的水深の浅い部分である。湾内の流れを観察するため、直方体の 3 次元空間領域を考えた。計算では上空に風が吹いているとする。

3 格子生成

今回は水深の浅い部分のみに着目したため、等間隔格子にした。格子数は経度方向 (X) に 50、緯度方向 (Y) に 50、水深方向 (Z) に 30 である。

着目している範囲の最高水深は 55m と大変浅く、($X - Y$) 平面のスケール (49.5km-44.4km) との差が大きい。そのため実水深に基づき計算すると、格子の解像度の極端な差から現象がはっきりと見えない。そこで今回は Y 方向と Z 方向の格子幅を等しく設定した。

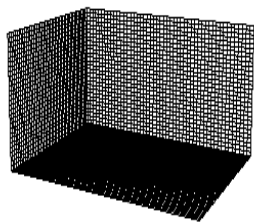


図 1 使用する計算格子

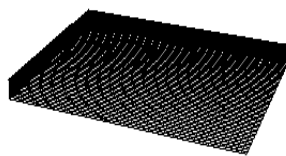


図 2 実水深を 300 倍した格子

4 計算方法

4.1 支配方程式

海水の流れは非圧縮性流体とみなせるので、ブジネスク近似のもと連続の式 (1)、Navier-Stokes 方程式 (2)、エネルギー方程式 (3) を支配方程式として用いる。

$$\nabla \cdot \mathbf{V} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + (\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} = -\nabla P + \frac{1}{Re} \Delta \mathbf{V} + \frac{Gr}{Re^2} \mathbf{T} \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + (\mathbf{V} \cdot \nabla) T = \frac{1}{RePr} \Delta T \quad (3)$$

$\mathbf{V} = (u, v, w)$: 無次元速度 . P : 無次元圧力 . T : 無次元温度 . Re : レイノルズ数 . Gr : グラスホフ数 . Pr : プラントル数

また、貧酸素層の流れを解くために汚染物質の移流拡散方程式を解いた。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + (\mathbf{V} \cdot \nabla) C = \frac{1}{ReSc} \Delta C \quad (4)$$

C : 汚染物質の無次元濃度 . Sc : シュミット数

本研究ではレイノルズ数は 10000、時間ステップを 0.1、プラントル数とシュミット数を 6.0、グラスホフ数を 1000 とした。これらの式を、フラクショナルステップ法を用いて解いた。

4.2 陸と海の境界

陸は複雑な形状をしているため、計算に組み込むのは容易ではない。そこで、陸の形状をあらかじめ 3 次元配列 $MASK(I, J, K)$ を用意する。水深データを取り込むとき、陸の部分=0、流体部分=1 として配列 $MASK(I, J, K)$ に入力しておく。

計算を進める際、最初は陸がないと仮定してすべての格子で流れを計算する。そうして得られた結果に先ほど作った 0、1 の配列、 $MASK(I, J, K)$ を掛け合わせる。その結果、流体部分はそのままの値、陸の部分の圧力、速度は 0 になるようにする。

東京湾の地図 3 の囲ってある部分を、計算格子、水深データ、 $MASK(I, J, K)$ を使って書き出したものが図 4 である。

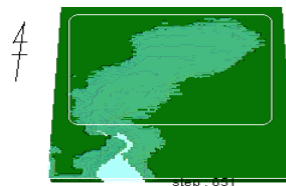


図 3 東京湾地図

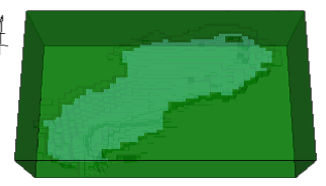


図 4 海と陸の判別

5 計算パターン

以下のケースについて、貧酸素層の動きを比較する。

- 上空に北東風を吹かせた場合
- 上空に北西風を吹かせた場合
- 上空に南東風を吹かせた場合
- 上空に南西風を吹かせた場合

初期条件として下の図のように貧酸素層を仮定した。

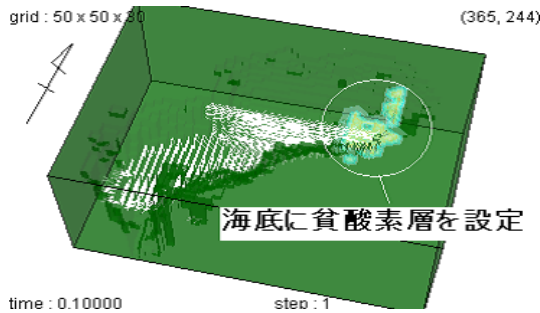


図5 貧酸素層 初期条件

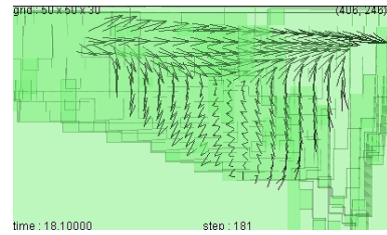


図6 風による海水の循環

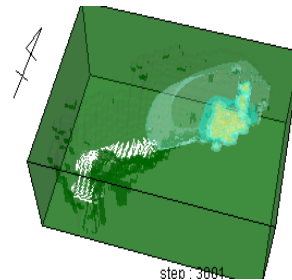


図7 北東風を吹かせた場合

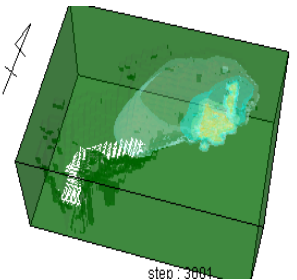


図8 北西風を吹かせた場合

6 計算結果

図7～図10より、風向の違いにより貧酸素層の巻き上がり方に明白な差があることが分かった。一番広がらなかったのは北東風であった。初期に北東風の風上に貧酸素層を仮定しているため、循環が起こっても岸に寄せられるのみであった。どの風向に対しても湾内で循環が起こり、海底付近で逆向きの流れが発生する。その流れが当たる陸の形状によって広がりやすさに差が出ると思われる。

また、図11と図12は、北東風と南西風を吹かせた場合、同じ時間が経過した時の海面付近の貧酸素層の分布を表したものである。北東風を吹かせた方が、初期に図5の位置にあった貧酸素層が海面付近に密集して巻き上がっていることが分かる。

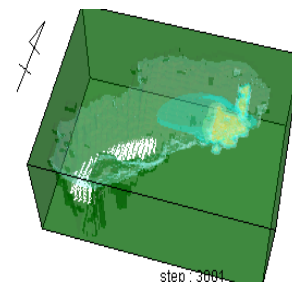


図9 南東風を吹かせた場合

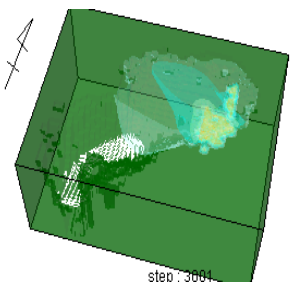


図10 南西風を吹かせた場合

7 まとめと今後の課題

上空に風を吹かせることにより循環が起こり、海底に沈む貧酸素層が巻き上がるという湾のモデルを作ることができた。風向による流れの差があることは分かったが、青潮の条件といわれている「北東風が吹いた後に起こる」というところまでは表現できなかった。

今後はより現実的な条件で計算し、貧酸素層の流れを解明していきたいと思う。また埋立地を増加した設定をし、その影響を解明するなど、環境の方面からアプローチした研究をしていきたいと思っている。

8 謝辞

本研究を行うにあたり、ご尽力くださいました指導教官の河村先生、研究室の先輩方に深く、感謝いたします。

参考文献

- [1] 河村哲也他『流体解析II』(朝倉書店 1997)
- [2] 500m水深データ 日本海洋データセンター HP より

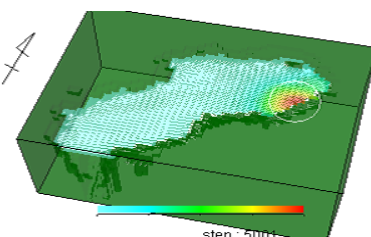


図11 北東風 海面付近の貧酸素層の広がり

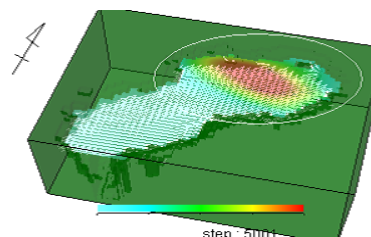


図12 南西風 海面付近の貧酸素層の広がり