

沿岸海域における流動に関する数値モデルの開発

建設工学課程 4年 岸野八洲雄

指導教官 細山田得三

1. はじめに

海域環境問題は高度成長期の公害問題に端を発し、古くから数多くの研究者が取り組んできた問題でもある。現在においても社会の工業化がさらに進み、様々な化学物質が広く一般に使用されるようになり、生体に対する攪乱を与える化学物質（通称環境ホルモン）が海域に放出され新たな海域環境問題として社会的関心が集まっている。

海域環境問題の実態を把握するためには現地観測と数値実験が不可欠である。数値実験についてはこれまで数多くの知見が蓄積されてきたが、3次元の海域数値計算では環境に作用するすべての因子について十分な検討がなされているとは言い難い状況にある。例えば、海水面での放射収支、密度流の内部構造などが挙げられる。

本研究では、海域環境問題への応用へ資する目的で沿岸海洋における流動・物質拡散数値モデルの作成を行った。そして潮流、海上風、密度場などの外力の流れへの影響や水表面での熱フラックスによる密度場の変化などを与えて計算を行い、基礎的なモデルのパフォーマンスを確認することを目的としている。本モデルをさらに発展させると窒素、リンなどの循環や底面からの湧出などを考慮したより現実的な数値モデルとなる。

2. 数値計算法

本研究では、数値的に取り扱いが容易な直交矩形格子による計算領域の分割、基礎方程式の離散化を行い、内湾での流動シミュレーションモデルを作成した。

2.1 流れの基礎方程式

流体を非圧縮性流体、圧力を静水圧近似と仮定した。この場合、2次元流動の基礎式は連続式(1)とナビエ-ストークス方程式(2)、静水圧の式(3)となる。なお、式(3)には明確には示されていないが、密度 ρ は淡水の密度と水温と塩分による密度変動の和となっている。この影響は重力項のみに限定するブシネスク近似を用いている。

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

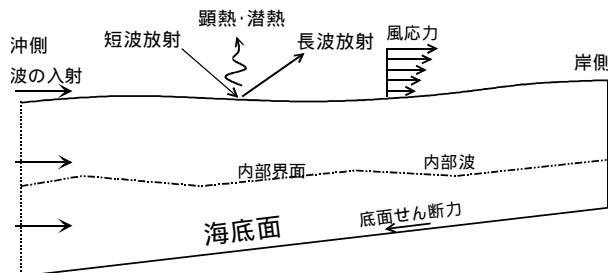


図1 計算領域の模式図(断面2次元)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

$$0 = g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (3)$$

その他、海水の塩素量拡散、温度の拡散、密度の変化、地形を条件として与え、乱流モデルを適用する。乱流モデルについてはLESや鉛直拡散係数についてリチャードソン数により評価する方法などを適宜採用した。海上からの熱フラックスの出入りや温度と塩分から密度を計算する方法などはクヌードセン式を用いて評価した。

2.2 計算領域および境界条件

図1には断面2次元での計算領域の模式図を示す。図の左方向が沖側で右方向が岸側となっている。本数値モデルに対する境界条件としては、

- 海上風
- 大気と海水面間の熱の流入出
- 波の入射条件
- 構造物や海底面での固体壁の条件

などがある。これらの条件については図1に模式的に示されている。今回の数値計算は時間の制約のため長時間の計算は行っていない。このため2番目の大気・海面上の熱の流入出は計算の結果にはほとんど影響しない。しかしながら長時間の計算については不可欠な条件であり、今後長時間の計算を行う際には重要になると思われる。

3. 数値計算結果

計算領域は水平方向 10 km、深さ方向約 100m であり、時間間隔 0.1 秒で 24800 ステップの計算を行った。これは本来の目的に照らしてかなり時間が短いですが、今回は基礎的な対象に適用してモデルとしての機能を確認するに止める。外力としては海上風および計算領域の端部から入射する長周期の波である。また、一様流体および温度と塩分を与えて安定な 2 成層の密度場に対して計算を行った。

図 1 には波が計算領域の左端から流入する一様流体中での水平流速（上段）および乱流粘性係数（下段）の分布を示す。流速分布は鉛直方向に一様に近いが海底部の近くでは流速に変動が生じており、また、水面近くでも流速の変動が見られる。このことは下段の乱流粘性係数の値が斜面上や水面上で高くなっていることにも現れている。

図 2 には二成層している以外は図 1 と同じ条件での水平流速（上段）乱流粘性係数（中段）密度場（下段）の分布を示している。流速の空間的なゆらぎが大きく、このことは波の伝播による内部界面の動揺の発達と強く関連していると思われる。乱流粘性係数の分布を見れば自由表面（図中上端部）と斜面（図中下部斜面上）以外に密度躍層周辺で乱流粘性係数が高い値をとっている。密度界面の動揺が内部波を誘起し、領域全体の流れ場に大きな影響を与えることがわかる。左端部からは大振幅の内部波が形成されて右端に向かって伝播している。

以上の結果から本数値計算は、沿岸域での様々な流動現象を定性的に正しく表現できる可能性が示せたと思われる。

4. 結論

本研究により以下の知見を得るに至った。

基礎的な境界形状を持つ領域に対するシミュレーションモデルの作成により、時間経過に対する密度、流速、乱流粘性係数の分布状態を知ることができた。

海上風、入射波、密度分布による条件を適宜変化させて計算を行い、密度分布が一様な場合と二成層の場合で界面の変動による流速変動を示すことができた。

今後の検討課題としては、長時間に渡って計算を行い、熱フラックスによる密度場の変化を取り込んだ計算を行うこと、計算結果の検証を何らかの方法で行う必要があることが挙げられる。

参考文献

- 1) 横山長之編：海洋環境シミュレーション - 水の流れと生物 -、第三章内湾環境のシミュレーション、

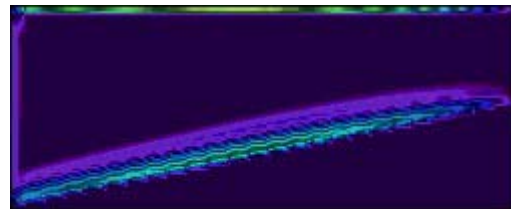
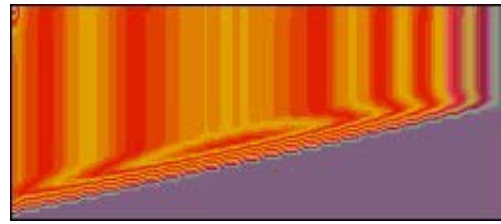


図 1 左端から入射する波（成層なし）
上段：水平流速 u 、下段：乱流粘性係数

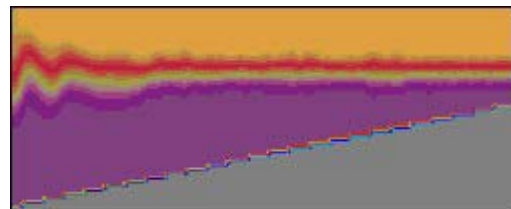
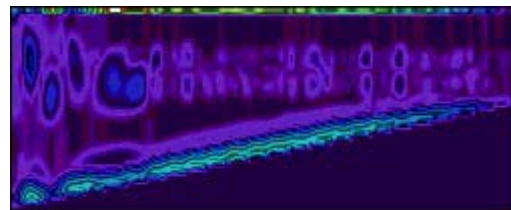
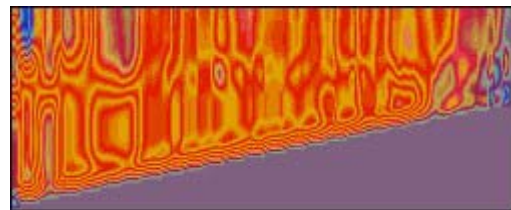


図 2 二成層流体への左端からの波の伝播
上段：水平流速場 中段：乱流粘性係数
下段：密度分布(内部波が誘起されている)

白亜書房, p.p.201, 1993.

- 2) A. E. Gill: Atmosphere and Ocean Dynamics, Academic press, p.p.662, 1982.
- 3) 柳哲雄: 沿岸海洋学 - 海の中でのものはどう動くか - ,恒星社厚生閣, p.p.154, 1989.
- 4) 友田好文、高野健三: 海洋、共立共立出版, p.p261, 1983.