

海域環境シミュレーターの開発研究

水工学研究室 岸野 八洲雄

担当教官 細山田 得三

1. 研究の背景

海域環境を支配する要因には風、波、密度、塩分、水温などがあり、これらによって引き起こされる流動によって物質が輸送され、また、生態系もその影響を受けている。したがって、このことを理解するための総合的な数値モデルの作成が望まれる。海洋を成分分布という観点から見ると、流体は位置によって密度が変化している。このような密度成層流体においては、均質な流体とは異なり密度が異なる境界面において内部波が伝播するといわれている。この内部波は大きなエネルギーを有し、沿岸海域に生成・伝播することにより水質環境や漁業形成に影響するのみならず底面流速を変化させることにより底泥輸送を促進することが示唆されている。

2. 研究の目的

本研究では海水の混合に着目し、中でも鉛直混合を強めることが示唆されている内部波の発生機構を理解するための沿岸海域における3次元流動・物質拡散数値シミュレーターを作成した。このモデルにより、内部波の発生する条件を検証し、その発生による水平、鉛直の流速と密度成層の挙動を可視化した。駆動力の条件としては、入射派のみの場合と風力のみの場合、またはその両方を駆動させた場合、一方、流体の条件としては一様流体、成層流体を与えた。そして、地形に関しては海底に傾斜がある場合と傾斜のない場合を設定した。

表1 計算ケース

	地形傾斜
一様流体	なし
一様流体	あり
2成層流体	なし
2成層流体	あり
6成層流体	あり

3. 数値計算方法

数値的に取り扱いが容易な直交矩形格子(図1)による計算領域の分割、基礎方程式の離散化を行う。

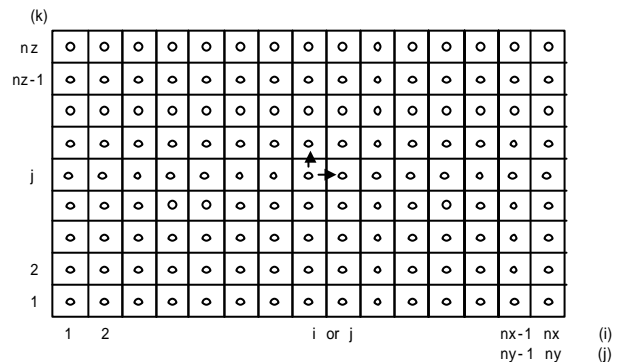


図1 直交矩形格子(スタガード格子)

4. 流動シミュレーターの構築

4.1 基礎方程式と乱流モデル

シミュレーター作成にあたって使用した基礎方程式を挙げる。まず、流体の水平流速を求めるためにナビエストークスの方程式(1)(2)、鉛直方向の流速は連続の方程式(3)を用いた。流体の移流拡散方程式(4)により塩素濃度、水温の分布の時間変化を考慮する。そしてLESモデルを使用し乱流粘性係数を与え、

流体の密度は kndsen の式 (5) を用い、塩素量と水温から算出した。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial x} + \eta \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial y} + \eta \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = c \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

$$r = r(S, T) \quad (5)$$

4.2 計算領域および境界条件

図2は計算領域の模式図を断面2次元で示したものである。

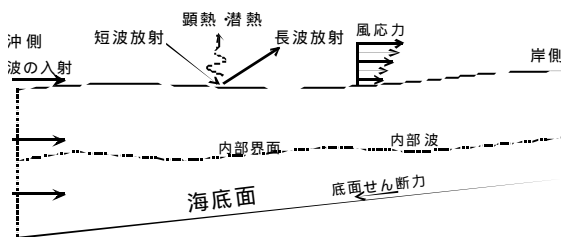


図2 計算領域の模式図(断面2次元)

図において沖側(左方向)から波が入射し、海面上から風力の影響を考慮できるモデルとした。また、海底面は傾斜の有無にかかわらず固体壁となっている。そして、今回の焦点である内部波は別名、

内部海面波といわれるように、図に示す内部の境界において発生する波動である。

5. 数値実験結果

5.1 流動シミュレーターの結果

3次元流動・拡散数値シミュレーターの構築により波高、流速(水平、鉛直)密度等の経時変化の可視化が可能となった。また、断面図、平面図、立体図どの方法においても表現可能となった。

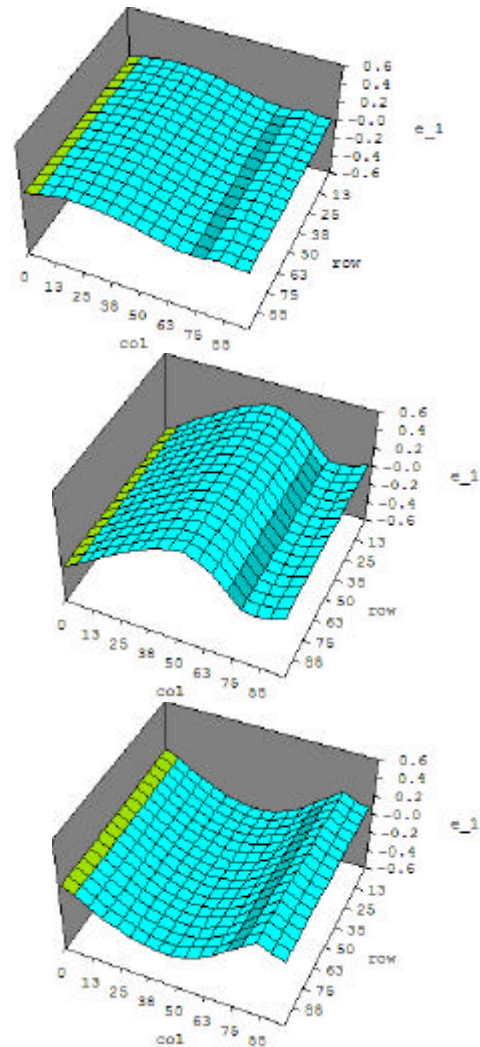


図3 波高の経時変化

5.2 内部波発生条件の検証

前述の表1で示した通り、条件を変え
ることで内部波の発生する条件を検証し
た。以下に各ケースにて得られた水平流
速の数値実験結果を図4から図6に示す。

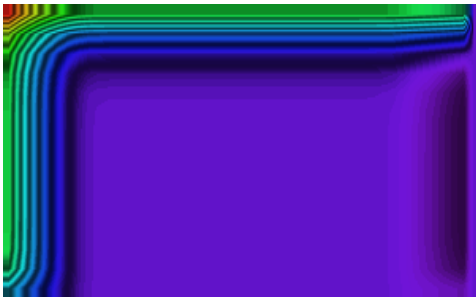


図4 一様流体、海底勾配なし

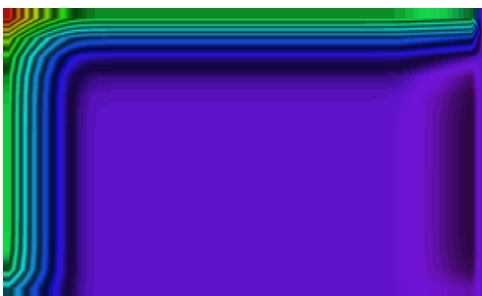


図5 一様流体、海底勾配あり

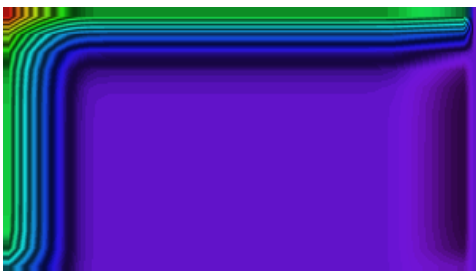


図6 2成層流体、海底勾配なし

これらのケースでは同じ経過時間におい
て内部波と見られる流速の増大は見られ
なかった。次に、内部波の発生を確認で
きたケースを示す。

5.3 内部波発生の状況

図7は内部波の発生とそれに伴う密度
成層の変化を示しており、内部波と思わ
れる内部の波動を拡大したものを図8に
示す。また、図9はその時の密度成層の
経時変化、つまり成層の混合の瞬間を捉
えたものである。

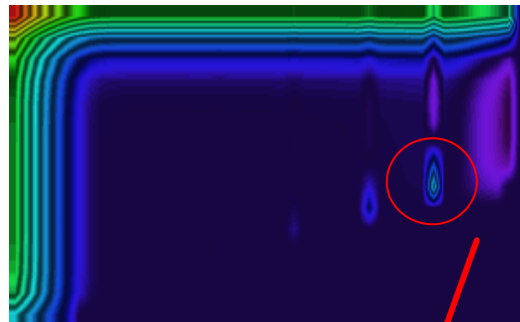


図7 2成層流体、海底傾斜



図8 内部波の拡大図

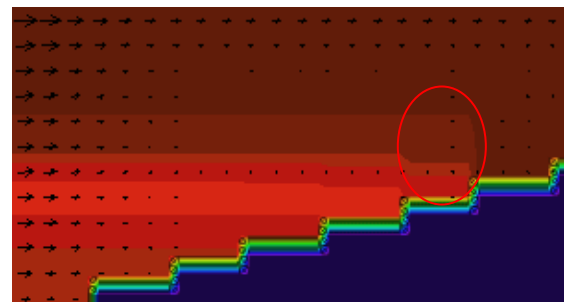


図9 内部波に伴う密度成層の混合

図9において成層の形状が鉛直方向へゆ
がみ内部波発生箇所においてその混合が

促進されていることが理解できるが、そのことを明確にするために密度成層の経時変化を内部波が発生した場合と発生していないケースを図化したものを以下の図10、図11に示す。

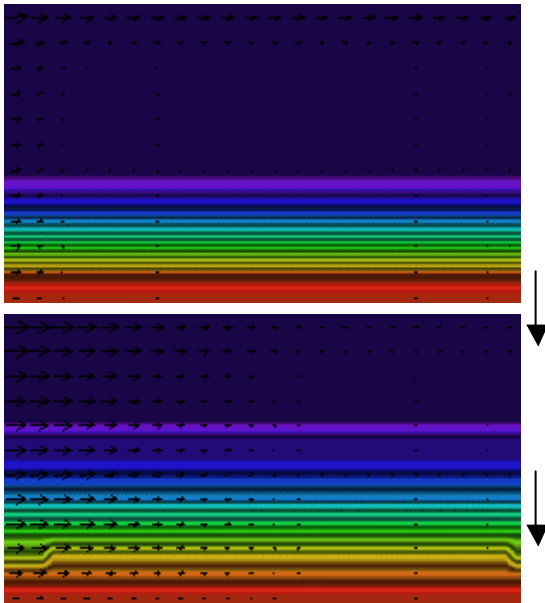


図10 内部波が発生していないケースにおける密度成層の経時変化

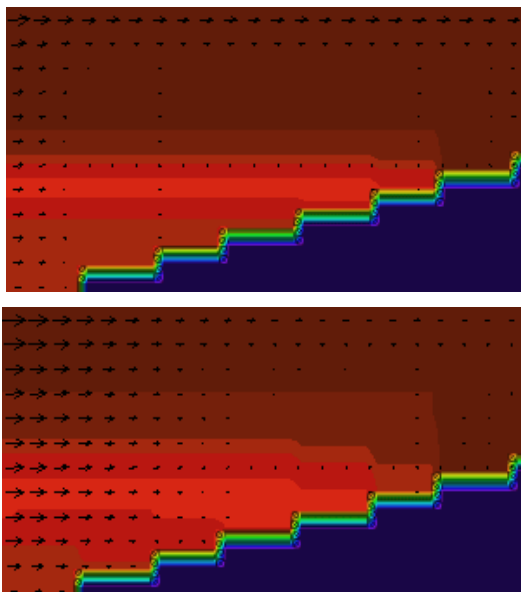


図11 内部波が発生したケースにおける密度成層の経時変化

6. 結論

__海底地形の形状、成層の有無、若しくはその数、風力による効果が内部波の発生メカニズムに影響を与えていることが明確になった。そして、内部波の発生に伴って水平流速、鉛直流速が増大することで渦を発生させ、内部の波動に乱れを生じさせている様子を捉えることができた。また、鉛直流速の増大は密度成層の鉛直混合を促進していることが理解できた。

7. 今後の課題

駆動力として河川からの流入、外洋との海水の交換を導入することでより現実的なシミュレーターの構築を行う必要がある。そしてそれらの駆動力に伴う内部の波動として内部波にとどまらず海底における摩擦などの現象を捉える必要がある。また、今回のモデルに要素として取り込んだ海水面と大気における熱交換による流れへの影響を長期の計算によって考察することも課題である。