

## カンボジア沿岸域の流動機構の把握

水工学研究室 前田 祥吾  
指導教官 細山田 得三

### 1. はじめに

現在、カンボジア国内では急速に開発が進められており、GDPの成長率は10%を超えるほどである。沿岸域もその例外ではなく、大規模な開発が計画されているが、図-1に示すようにカンボジア沿岸域はタイ湾に面しており、万が一カンボジア沿岸域で負荷源が発生した場合、カンボジア沿岸域での環境の変化はタイ湾全体へと影響を与えることが予想される。こういった事態を未然に防ぐために近年、開発前後での環境の変化を評価する環境アセスメントが行われるようになってきており、わが国でも1997年に環境影響評価法が成立し、大規模開発を行う際には開発事業の開始前にこれを行う事が義務付けられているが、カンボジアでは現在まで環境アセスメントは行われていなかった。しかし、上記の通りカンボジア沿岸域での環境の変化はタイ湾全体へと影響を与えると思われるので、カンボジア沿岸域で開発を行う際は、カンボジア沿岸域、及びタイ湾全域での環境アセスメントを行う必要があると考えられる。ところで、環境アセスメントを行う際にはその領域での流動機構を把握しておく必要があるが、地域の情勢などの問題があり、現地観測がなされておらず、数値解析を行うための潮汐データが入手できず、カンボジア沿岸域やタイ湾の流動機構は未だ解明されていないのが現状である。

よって本研究では、新しい試みとして、海洋潮汐モデル NAO.99b による潮汐調和定数の推算値を入力条件として用いた数値解析によりカンボジア沿岸域、及びタイ湾全体の流動機構を把握することを目的とした。

### 2. 数値解析

#### (1) 数値計算方法

数値計算は球面座標系で下のよう示される水の

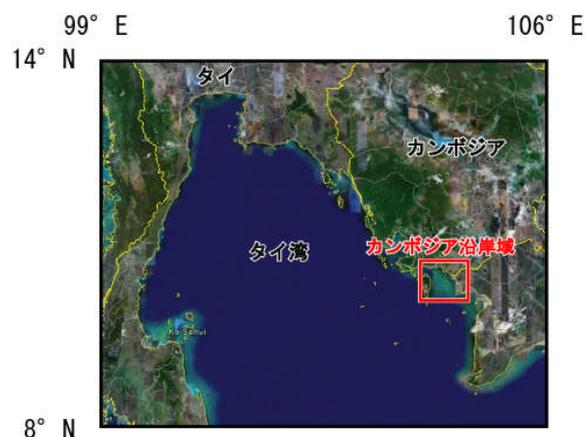


図-1 解析対象領域

長波流動を記述するナビエ・ストークスの運動方程式および連続式を陽的に中央差分する手法を利用して計算をおこなった。

#### 1) 運動方程式

##### (a) (経度方向)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + A_h \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \frac{gu\sqrt{u^2 + v^2}}{(\zeta + h)C_z^2}$$

##### (b) (緯度方向)

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + A_h \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - \frac{gv\sqrt{u^2 + v^2}}{(\zeta + h)C_z^2}$$

#### 2) 連続式

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \{ (\zeta + h)u \} + \frac{\partial}{\partial y} \{ (\zeta + h)v \} = 0$$

#### 3) 拡散方程式

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right)$$

ただし、

$u$ :  $x$  方向速度(m/s),  $v$ :  $y$  方向速度(m/s),  $h$ : 水深(m),

$\zeta$ :水位(m),  $f$ :コリオリ力,  $A_h$ :渦粘度( $m^2/s$ ),  $C$ :濃度  
 $a$ :地球の半径( $=6.37 \times 10^6 m$ ),  $C_z$ :海底摩擦係数

## (2) 対象地形

解析に用いた地形データには NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)が公開している全球を1分メッシュでカバーする海洋底地形データ ETOPO1 を使用した。

## 3. 考察

まず, NAO.99b の妥当性を検証するため, 佐渡, 小名浜, 油津の3箇所において, 気象庁が発表している潮汐調和定数と, NAO.99b で算出した潮汐調和定数の比較を行った。その結果 NAO は調和定数を高い精度で算定しており, 入力条件として使用できることが確認された。これにより, 潮汐調和定数の現地データが入手できない場所においても, 16分潮, もしくはそれ以上の成分による精密な潮流シミュレーションが可能であることを確認した。

また, 本研究では吹送流による流れの把握も行ったが, その影響は潮汐流と比較すると軽微であったため, 詳細は論文を参照とし, 本発表では省略する。

### (1) タイ湾

タイ湾では, NAO.99b 1日周潮が卓越しており, 最大で  $1.0 m/s$  程度の潮汐流が発生する。しかし, 潮汐残差流では  $0.05 m/s$  以上の比較的強い流れが島の付近で,  $0.05 m/s$  以下程度の弱い流れがその他の領域に現れる。そのため, カンボジア沿岸域は海水交換性の高い海域, 逆にタイ湾中央部は停滞性の強い海域となっていることがわかった。また, 潮汐残差流は, タイ湾中央部で大きな時計回りの循環流を, カンボジア沖でいくつかの小さな循環流を形成している他, Sihanoukville の西で最大値  $0.1 m/s$  となった。続いて, 海水交換の様子を可視化するために, カンボジア沿岸域及び Sihanoukville 付近の内湾に濃度  $1.0$  を与え拡散計算を行った。その結果 13日で半減

し, 半年でほぼ完全に海水交換が完了する結果となった。次に, 汚染の拡散状況を調べるために, 同じ領域に濃度  $1.0$  を与え続け拡散計算を行った。その結果, 濃度拡散は潮汐残差流の向きと同じ方向に広がっていることから, 潮汐残差流がタイ湾の海水交換に影響を与えていることを確認した。

### (2) カンボジア沿岸域

カンボジア沿岸域では, Kaeb など潮汐流による流速のピークが3つ現れるなど, 複雑な挙動を示すことがわかった。特に, 対象領域の左側は水深が非常に深くなっているため, 流速, ベクトル共に時間が経つにつれて大きく変動していて, 流速の最大値は  $50 cm/s$  程度にもなる。しかし, 水深の浅い右側では, 流速は大きくても  $6 cm/s$  程度となった。潮汐残差流に関しては, 流速が大きかった左側では潮汐残差流  $8 cm/s \sim 14 cm/s$  と大きな値となったが, 右側では  $0 \sim 4 cm/s$  となり, 同じ海域でも流況が著しく異なる結果となった。また, 全体的に南向きの残差流となり, タイ湾におけるカンボジア沿岸域の拡散計算の結果と一致するものと

## 4. まとめ

- ・ NAO.99b を用いることにより, 観測データを入力できない海域においても詳細な潮汐流シミュレーションを行うことが可能であることを確認した。
- ・ カンボジア沿岸域の潮汐流による海水交換の様子を解明した
- ・ タイ湾においては, 吹送流の影響は潮汐流と比較して小さく, 吹送流がタイ湾に与える影響は小さいことを確認した
- ・ カンボジア沿岸域内では, 潮汐流が複雑な挙動を示すことを解明した
- ・ カンボジア沿岸域内の左側は比較的海水交換性が高く, 右側は非常に停滞性の強い海域であることを解明した