

大阪工業大学大学院 学生員○松田如水
大 阪 府 正 員 畑 志野

水資源開発公団 正 員 柳生光彦
大阪工業大学工学部 正 員 綾 史郎

1.はじめに 本研究は、一般曲線座標系を用いた播磨灘海域における準3次元数値解析モデルの開発と数値解析結果について述べたものである。本研究では、地形に沿った数値格子網を扱うことが可能で、対象領域の複雑な地形を比較的正確に表現でき、また、従来のデカルト座標系に比べて計算機の容量や計算時間・境界条件の取り扱いに関して有利である一般曲線座標系を用いたモデルを提案する。また解法としては、計算時間の短縮のためにMode Splitting法を用いている。すなわち、水深平均流速 $\bar{\phi}$ を平面2次元モデルにより求め(外部モード計算)、3次元流速 ϕ をその偏差 $\phi' = \phi - \bar{\phi}$ により求めて(内部モード計算)、3次元解析を行う。

2.基礎方程式 本研究で用いた海域の3次元流動の基礎式(静水圧分布仮定とBoussinesq近似を適用)を以下に示す。なお、水平面内には一般曲線座標 ξ_1, ξ_2 を、鉛直方向には鉛直上向きのデカルト座標 z を用いた。

・連続式

$$\frac{\partial}{\partial \xi_1} \left(\frac{u^1}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi_2} \left(\frac{u^2}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi_3} \left(\frac{u^3}{J} \right) = 0 \quad (1)$$

・3次元流れの ξ_1 軸方向の運動方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial u^1}{\partial t} = & J^2 \frac{\partial x_1}{\partial \xi_2} \left[\frac{\partial}{\partial \xi_1} \left(\frac{1}{J} \frac{\partial x_2}{\partial \xi_1} u^1 u^1 + \frac{1}{J} \frac{\partial x_2}{\partial \xi_2} u^1 u^2 \right) + \frac{\partial}{\partial \xi_2} \left(\frac{1}{J} \frac{\partial x_2}{\partial \xi_1} u^1 u^2 + \frac{1}{J} \frac{\partial x_2}{\partial \xi_2} u^2 u^2 \right) \right] \\ & - J^2 \frac{\partial x_2}{\partial \xi_2} \left[\frac{\partial}{\partial \xi_1} \left(\frac{1}{J} \frac{\partial x_1}{\partial \xi_1} u^1 u^1 + \frac{1}{J} \frac{\partial x_1}{\partial \xi_2} u^1 u^2 \right) + \frac{\partial}{\partial \xi_2} \left(\frac{1}{J} \frac{\partial x_1}{\partial \xi_1} u^1 u^2 + \frac{1}{J} \frac{\partial x_1}{\partial \xi_2} u^2 u^2 \right) \right] \\ & - \frac{\partial w u^1}{\partial z} + J^2 \left[\frac{\partial x_2}{\partial \xi_2} \left(\frac{\partial}{\partial \xi_1} \frac{\tau^{11}}{J \rho_0} + \frac{\partial}{\partial \xi_2} \frac{\tau^{12}}{J \rho_0} \right) - \frac{\partial x_1}{\partial \xi_2} \left(\frac{\partial}{\partial \xi_1} \frac{\tau^{21}}{J \rho_0} + \frac{\partial}{\partial \xi_2} \frac{\tau^{22}}{J \rho_0} \right) \right] \\ & + \frac{\partial}{\partial z} A_v \frac{\partial u^1}{\partial z} - g J^2 \left(G_{22} \frac{\partial \zeta}{\partial \xi_1} - G_{12} \frac{\partial \zeta}{\partial \xi_2} \right) + J^2 \left(G_{22} \frac{\partial D_{en}}{\partial \xi_1} - G_{12} \frac{\partial D_{en}}{\partial \xi_2} \right) + f J (G_{12} u^1 + G_{22} u^2) \end{aligned} \quad (2)$$

$$Den \equiv \frac{1}{\rho_0} \int_z^{\zeta} \Delta \rho dx_3 \quad \Delta \rho = \rho_0 - \rho$$

$$G_{12} \equiv G_{21} \equiv \left(\frac{\partial x_1}{\partial \xi_1} \frac{\partial x_1}{\partial \xi_2} + \frac{\partial x_2}{\partial \xi_1} \frac{\partial x_2}{\partial \xi_2} \right) \quad G_{22} \equiv \left(\frac{\partial x_1}{\partial \xi_2} \right)^2 + \left(\frac{\partial x_2}{\partial \xi_2} \right)^2$$

ここに、 u^1, u^2 : それぞれ ξ_1 軸方向の計算面での3次元流速、 w : z 軸方向の3次元流速、 g : 重力加速度、 J : Transformation Jacobian、 ζ : 水位、 τ^{ij}/ρ_0 : ξ_i 軸に垂直な面に作用する ξ_j 軸方向の渦動粘性応力、 A_h, A_v : それぞれ水平、鉛直方向の渦動粘性係数、 f : コリオリ係数である。 ξ_2 軸方向の方程式と連続式は省略する。実際の計算にあたっては、(1)、(2)を水深積分し平面2次元モデルを得るとともに、(2)より平面2次元モデルの基礎式を差し引き、偏差流速の方程式を得、これらを解く。

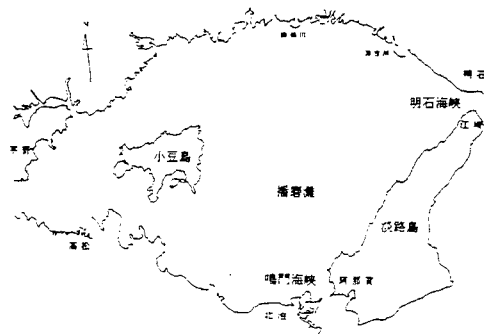


図-1 播磨灘の地形図

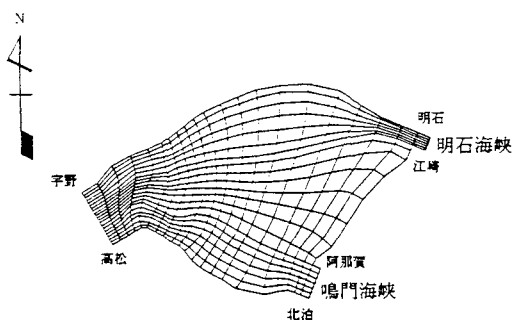


図-2 数値計算で用いた格子網

3. 解析方法 対象領域は図-1に示す播磨灘海域である。この海域を、図-2に示すように x 方向に20分割、 y 方向に20分割し、2-5kmの大きさの一般曲線格子を構成した。また、 z 方向には、10.0mごとに区切った上層・中層・下層の3層モデルを考え、上層の上面をT.P. ± 0.0 mとした。境界上においては、明石海峡で明石の潮位、鳴門海峡で北泊の潮位、備讃瀬戸で宇野の潮位を y 方向に一様に、1時間ごとに14日分与え、その間は1次関数で内挿補間した。なお、今回の計算ではコリオリ力を無視した。

4. 数値解析の結果と考察

図-3は明石の大潮のほぼ満潮時における流速ベクトル図を示したものである。全体的に西に向かう流れが見られる。また上層と比較すると下層での流れはほとんどなくなっている。

図-4は満潮時の前後3時間の上層流速ベクトル図を示したものである。3時間前では、ほぼ満潮時と同じ西に向かう流れが生じているのに対し、3時間後では、東向きの流れが見られ、宇野での流速は減少している。

図-5は図-3の時刻における等水位図を示しており、間隔は1cmである。明石海峡、鳴門海峡、備讃瀬戸付近では、流れ方向と垂直な等水位線が生じている。

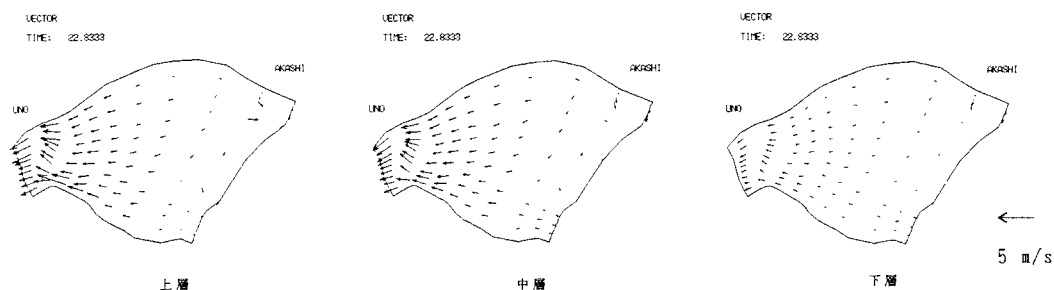


図-3 上層・中層・下層の流速ベクトル図(1990年1月9日19時)

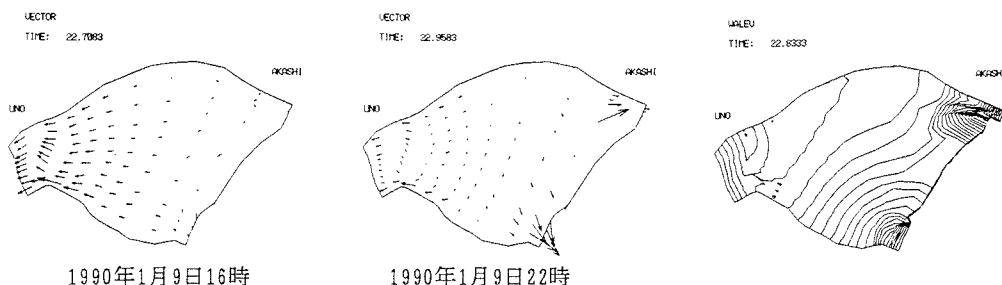


図-4 上層流速ベクトル図

図-5 等水位図(1990年1月9日19時)

5. おわりに 今後の課題としてコリオリ力の導入、小豆島や海底等の地形を考慮し、3次元解析の精度を高めていく必要がある。また、本研究で示した流れの基礎方程式に生態系の数値モデルを加えて一般曲線座標系による数学モデルを構成し、速度場とともに水質指標の濃度場を解析し、数値解析結果と実測値を比較検討することにより海域の富栄養化モデルの適用性を検討したいと考えている。

参考文献：

- ・ 綾士郎・吉田大・柳生光彦：“一般曲線座標系による淀川大堰上流水域の3次元数値モデル”
，土木学会第49回年次学術講演会講演概要集，pp. 116-117, 1994.