

## 流体・生態系モデルによる東京湾の水質の数値解析

九州大学・総理工 ○学生員 長谷美広行 正員 経塚雄策

## 1 はじめに

以前から沿岸域は、多目的な利用が期待される場として注目されてきていた。現在、空港や、人口島等が建設され、その重要性の度合いは近年になって更に加速している様子がうかがえる。沿岸域開発の多用性、それによる海洋構造物の増加、巨大化等に比例して、周辺海域への影響が懸念されている。そこで、環境変化を事前に予測、評価する、いわゆる環境アセスメントが重要になってきている。

本講座では、昨年度より海洋構造物建設による内湾の環境変化を三次元的に予測、評価できるような多層モデルの開発に取り組んでいる。昨年度は、流速場・密度場等の物理過程の再現を試みた。本研究はそれに続き更に生物化学過程を考慮したエコシステムモデルを導入し物理・生化学場の三次元的な拡散の再現を試みた。今回は、このモデルを東京湾に適用し、その計算結果について検証する。

## 2 エコシステムモデル

## 2.1 コンパートメント

コンパートメントは、植物プランクトン、動物プランクトン、リン、懸濁態有機物(POC)、溶存態有機物(DOC)の5つに加え、これらの変化量から求まる溶存酸素(DO)、化学的酸素要求量(COD)の計7つを考えた。有機物に関しては炭素重量で換算し、リンは物質質量、DO、CODは質量で表現されている。図1は生物化学過程の模式図、表1は計算で使用している単位系である。

## 2.2 モデルの概要

支配方程式は以下に示すように、移流・拡散等の物理過程に生物化学過程を加える形で表現している。

$$\frac{\partial B}{\partial t} + u \frac{\partial B}{\partial x} + v \frac{\partial B}{\partial y} + w \frac{\partial B}{\partial z} = K_H \left( \frac{\partial^2 B}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 B}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial B}{\partial z} \right) + \left( \frac{\partial B}{\partial t} \right)^* \quad (1)$$

ここで  $\left( \frac{\partial B}{\partial t} \right)^*$  は生物化学過程を表す。

各コンパートメントの生物化学過程は、以下のようになっている。

$$\frac{dP}{dt} = B_1 - B_2 - B_3 - B_4 - B_6 - B_7 \quad (2)$$

$$\frac{dZ}{dt} = B_4 - B_8 - B_9 - B_{10} \quad (3)$$

$$\frac{dPOC}{dt} = B_6 + B_8 + B_{10} - B_{12} - B_{13} - B_{14} + q_{POC} \quad (4)$$

$$\frac{dDOC}{dt} = B_2 + B_{13} - B_{15} + q_{DOC} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{dDIP}{dt} = & [P_h : C_P](-B_1 + B_3) + [P_h : C_A]B_9 \\ & + [P_h : C_{POM}]B_{12} + [P_h : C_{DOM}]B_{13} \\ & + B_{16} + q_{DIP} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\frac{dDO}{dt} = D_1 - D_2 - D_3 - D_4 - D_5 - D_6 + D_7 \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{dCOD}{dt} = & [COD : C_P] \frac{dP}{dt} + [COD : C_Z] \frac{dZ}{dt} \\ & + [COD : C_{POC}] \frac{dPOC}{dt} \\ & + [COD : C_{DOC}] \frac{dDOC}{dt} \end{aligned} \quad (8)$$

$B_i$ 、 $D_i$ の各項について以下に示す。

|            |                       |
|------------|-----------------------|
| $B_1$      | : 光合成                 |
| $B_2$      | : 細胞外分泌               |
| $B_3$      | : 植物プランクトンの呼吸         |
| $B_4$      | : 動物プランクトンによる捕食       |
| $B_6$      | : 枯死                  |
| $B_7$      | : 植物プランクトンの沈降         |
| $B_8$      | : 排糞                  |
| $B_9$      | : 排泄                  |
| $B_{10}$   | : 自然死亡                |
| $B_{12}$   | : 細菌による無機化分解          |
| $B_{13}$   | : 分解余剰物の生成            |
| $B_{14}$   | : 懸濁態有機物の沈降           |
| $B_{15}$   | : 溶存態有機物の無機化          |
| $B_{16}$   | : 底泥からの溶出             |
| $D_1$      | : 光合成による酸素供給          |
| $D_2, D_3$ | : 動・植物プランクトンの酸素消費     |
| $D_4, D_5$ | : POCおよびDOCの分解による酸素消費 |
| $D_6$      | : 底泥による酸素消費           |
| $D_7$      | : 再ばっ気                |

ここで、 $[P_h : C_i]$ は炭素量からリンへの、 $[COD : C_i]$ は炭素量からCODへの換算係数である。

これらの式に、時間に関してはleap-frog法を、空間に関しては移流項以外中心差分、移流項には上流・中心の混合スキームを使用した。ただし、陽解法による数値誤差を減衰させるため、時間に関して十数ステップに1回、adams-bashforth法を用いている。

3 数値計算

3.1 計算条件

計算は、水平方向を  $1 \times 1 \text{ km}$  に、鉛直方向を5層 (0, 5, 10, 25, 50, bottom) に区切って行った。初期条件は、各層毎にそれぞれ一定値を与えた。開境界では、東京湾に卓越する  $M_2$  分潮の強制水位を与え、 $T, S$  及び各生物量は、流入時は開境界の観測値を与え、流出時は自由流出とした。初期条件及び開境界条件は、夏季の条件を与えた。

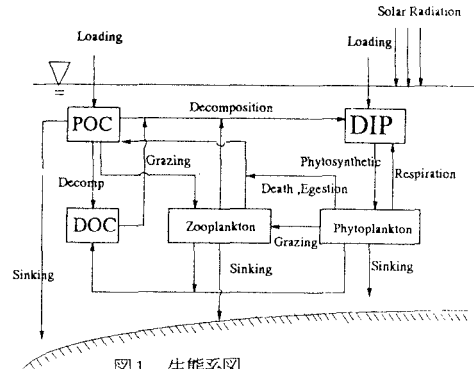


図1 生態系図  
表1 計算で使用する  
各コンパートメントの単位系

| 区分  | コンパートメント            | 記号    | 単位                       |
|-----|---------------------|-------|--------------------------|
| 有機物 | 植物プランクトン            | $P$   | $\text{mgC}/\text{m}^3$  |
|     | 動物プランクトン            | $Z$   | $\text{mgC}/\text{m}^3$  |
|     | 懸濁態有機物              | $POC$ | $\text{mgC}/\text{m}^3$  |
|     | 溶解態有機物              | $DOC$ | $\text{mgC}/\text{m}^3$  |
| 無機物 | リン酸塩 ( $PO_4 - P$ ) | $DIP$ | $\text{mmol}/\text{m}^3$ |
| 酸素  | 溶解酸素                | $DO$  | $\text{mg}/\text{l}$     |
| 水質  | 化学的酸素要求量            | $COD$ | $\text{mg}/\text{l}$     |

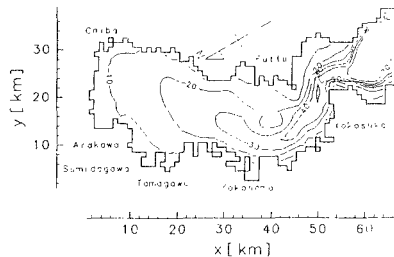


図2 東京湾の水深図

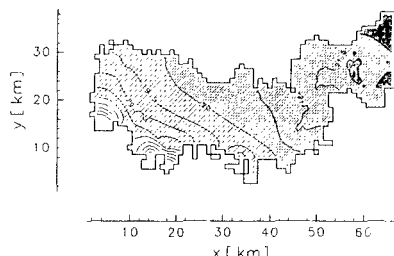


図3 密度の水平分布 (表層)

3.2 結果および考察

図3は、表層での密度の水平分布である。河口付近の高温低塩分水が、湾西岸に沿って伸びているのがみられる。東京湾の夏季の典型的な密度分布を表現していると考えられる。図4は、表層でのCODの水平分布である。湾奥から湾口に向かって緩やかに変化しているのがみられる。物理拡散のみを考えたCODは、河口付近が極端に高くなる傾向があるが、本計算の場合、内部生産がうまく表現された結果であると考えられる。図5は、計算値から表層の観測値の値を引いた分布図である。河口付近で若干高めに評価されているが、オーダー的にみても、全体としてかなり良い一致がみられる。ある程度は、東京湾における夏季の物理・生化学場を再現できたと考えられる。

4 おわりに

今回、夏季における東京湾の物理・生化学場の再現を試みたが、実際にアセスメントの対象となる構造物の規模は仮に大型な物であったとしても計算で使ったメッシュの3から4メッシュ程度であろう。現実的に今の計算精度では、構造物の影響がはっきりでてこない怖れもある。今後は、構造物周りの精度を上げるべく、ゾーニング、乱流モデル等を取り入れていく必要がある。

参考文献

- [1] 松梨順三郎:環境流体汚染, pp.165-231, 森北出版株式会社, 1993
- [2] 横山長之, 青木繁明, 中田喜三郎:海洋環境シミュレーション, pp.85-169, 白亜書房, 1993
- [3] 多部田茂, 藤野正隆:多層モデルによる東京湾の夏秋季の流動及び密度場の計算, 日本造船学会論文第176号, 1994
- [4] Nakata, K: Ecosystem Model: its formulation and estimation method for unknown rate parameters, pp.99-138, J. Adv. Mar. Tech. Conf. Vol. 8, 1993

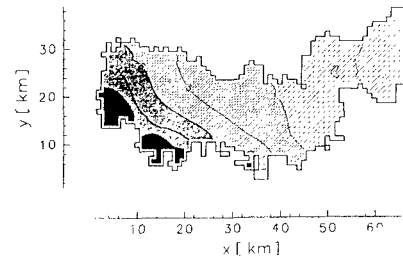


図4 CODの水平分布 (表層)

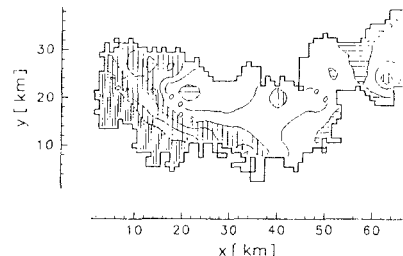


図5 水平分布におけるCODの観測値との差 (表層)