

水生植物のある浅い閉鎖性水域の熱対流

Thermal convection in a shallow closed water body with aquatic plants

○濱上 邦彦* 森 健** 平井 康丸**

HAMAGAMI Kunihiko, MORI Ken, HIRAI Yasumaru

1. はじめに

閉鎖性が強い水域における水環境の保全・改善を図るには水域に付加される種々の擾乱に対する環境要素の応答特性を明確にすることが必要である。水中の溶存酸素を考えると、その濃度は移流・拡散などの物理的過程や生物的過程に基づく酸素の供給と消費のバランスにより決まる。また比較的水深が浅く流出入量が小さい閉鎖性水域では、季節変動による水温躍層は一般に存在しないが、日々の日射および放射に基づく水温成層化および水温混合層の形成を繰り返している。このような日サイクル過程は水質の悪化が問題となる夏期の DO 濃度変動に重要な影響を及ぼすと考えられる。

そこで本研究では、水深が比較的小さい閉鎖性水域を対象とし、熱的擾乱が卓越した場合における水生植物の水温・DO の日サイクル変動への影響について数値計算より検討した。現地観測結果との比較を通してモデルの妥当性を検証し、夏期の水温および DO の日サイクル変動に関する考察を行った。

2. 基礎方程式と計算方法

水平方向を x 軸、鉛直上向きを z 軸とし、非圧縮・ブシネスク近似・rigid-lid を仮定し、Fig.1 に示すような境界条件の下、力学過程および生化学過程を考え、その支配方程式を Table.1 にまとめる。拡散物質として、溶存酸素 C_{DO} 、有機物 C_O 、無機

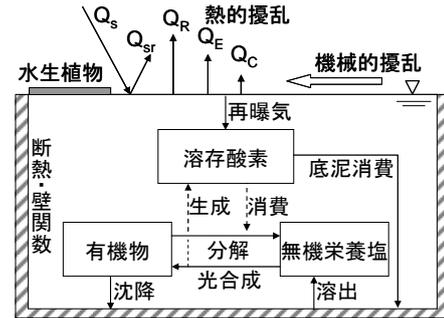


Fig.1 水質モデルの概念図
Basic concept of Water quality Model

Table.1 鉛直 2 次元モデルの支配方程式 Formulations of two-dimensional Model

連続の式

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

運動方程式

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u \cdot u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho w \cdot u)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_{eff} \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_{eff} \frac{\partial u}{\partial z} \right) + S_u \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u \cdot w)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v \cdot w)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_{eff} \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_{eff} \frac{\partial w}{\partial z} \right) - \rho g + S_v \quad (3)$$

温度拡散方程式

$$\frac{\partial(\rho c T)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho c u T)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho c w T)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(c \mu_T \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(c \mu_T \frac{\partial T}{\partial z} \right) - \frac{dQ_z}{dz} \quad (4)$$

物質拡散方程式

$$\frac{\partial(C)}{\partial t} + \frac{\partial(uC)}{\partial x} + \frac{\partial(wC)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + Rf(T, C_{DO}, C_O) - R \times (\beta_2 C_O \times G) \quad (5)$$

- u, w : 流速の x, z 方向成分
- ρ : 流体密度
- p : 圧力
- μ_{eff} : 実効粘性 ($\mu_{eff} = \mu + \mu_t$)
- g : 重力加速度
- S_u, S_v : 生成項
- T : 水温
- c : 定圧比熱
- μ_T : 温度の渦動拡散係数
- Q_z : 日射による水中の熱フラックス
- C : 拡散物質 (C_{DO}, C_O, C_P)
- K_x, K_z : 物質の拡散係数
- R : 有機物が合成(分解)されたときの C_{DO}, C_P の増加(減少)量比
- G : 植物プランクトンの成長速度

*九州大学大学院生物資源環境科学府 Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University

**九州大学大学院農学研究院 Faculty of Agriculture, Kyushu University

キーワード: 閉鎖性水域, 熱対流, 水生植物, 溶存酸素

栄養塩 C_p を考える。本モデルを福岡県篠栗池における観測結果に適用し、2分毎の気象データを与えることで、日サイクルでの水域内流動・水質変動の再現を試みた。計算条件としては水平方向12cm、鉛直方向6cmの格子とし、計算ステップを1秒とした。

3. 結果と考察

Fig.2に、水温およびDO濃度の鉛直分布の実測値と計算値を示す。水温につ

いては、水温成層時の表層の最大水温などに若干の差があるが、冷却期における混合層の発達深度などその傾向を良好に再現できている。DO濃度に関しては、最大値を示す水深に差異があるものの、池内の水温およびDO濃度の時間的推移は概ね再現されており、本モデルはDOの移流分散現象を十分に表現できると考えられる。

そこで本モデルを用いて、水面に水生植物が繁茂する場合の熱対流についての考察を行う。Fig.3に水面繁茂率30%での計算結果を示す。冷却期では水草のない水面において密度不安定による冷水塊の沈降がおこり対流セルが形成され、これが水草側へと水平方向に広がりながら発達していく。対流セルの発達速度は水草のない場合よりも大きくなる傾向を示し、全層循環への移行に要する時間も短くなっている。DO濃度は流れに大きく依存する分布を示し、植生部での変動量は小さくなる傾向を示した。

4. おわりに

鉛直2次元モデルによる閉鎖性水域の熱対流について検討を行った。その結果水生植物の存在により対流セルの発達構造に大きな差異が見られ、その速度が大きくなった。

参考文献

佐々木 淳ら (1997) : 内湾における溶存酸素濃度予測モデル, 海岸工学論文集, 第44巻, pp.1091-1095

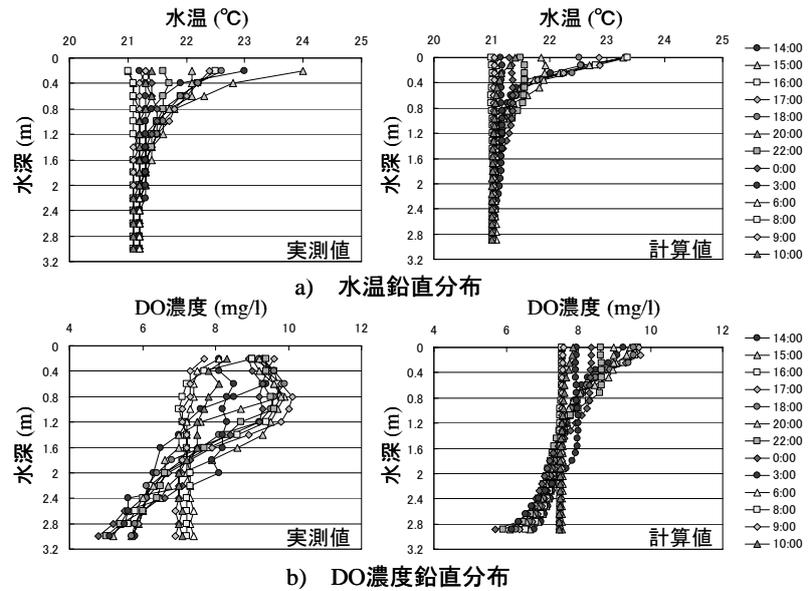


Fig.2 水温とDO濃度の実測値と計算値の比較
Comparing with actual measurement and calculated results

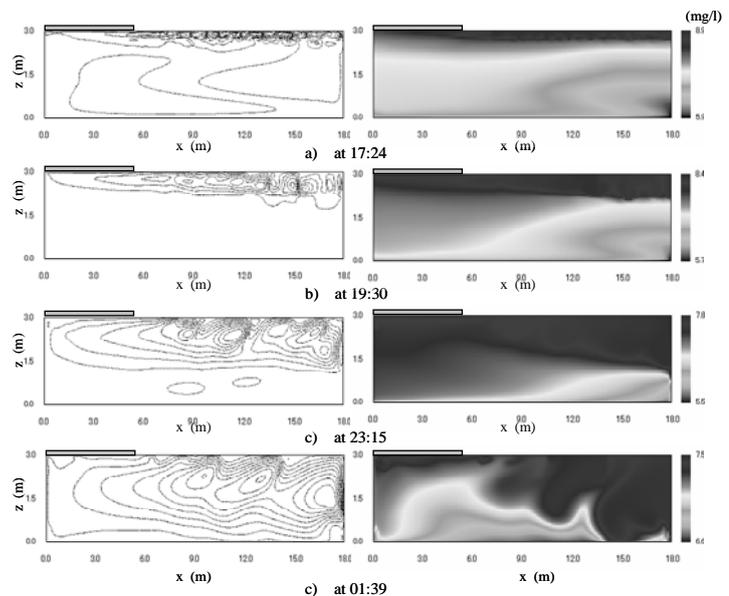


Fig.3 流線図とDO濃度分布の経時変化
Time variation of the stream function and the DO distribution