

閉鎖性成層水域の熱対流に及ぼす水面被覆の影響

Effect on Aquatic Plants on the Thermal Convection in a Closed Stratified Water Body

○濱上 邦彦* 森 健** 平井 康丸**

HAMAGAMI Kunihiko, MORI Ken, HIRAI Yasumaru

1. はじめに

閉鎖性水域では流入・流出が少なく、富栄養化等の水質問題が生じやすい。これを改善する手法として、水生植物を用いた水質浄化が提案されている。水域に生息する水生植物に栄養塩類を吸収・吸着させ、系外へ排除する方法であるが、その管理手法はいまだ確立されておらず、しばしばその効果を十分に発揮できていない。これは水生植物が水質浄化能を有する一方で、その存在は自浄作用に必要な不可欠な水域内流動の駆動力である風や熱の作用を妨げてしまう二律背反の特徴を持っているためである。すなわち、水生植物を用いた効率的な水質浄化が行われるためには、その適切な繁茂量を規定することが重要となる。そこで本研究では、水生植物の適切な管理手法を確立する上で重要となる、水生植物の存在が水域内流動および水質に及ぼす影響について検討するために流動-水質予測モデルを構築した。水質の指標となる DO に注目し、水生植物の繁茂による水域内 DO 分布への影響について考察した。

2. 計算概要

対流の基本的な発生・発達過程を見るために鉛直 2 次元の乱流モデルを用いて解析する。支配方程式を Table 1 にまとめる。流れに関する基礎式は連続の式、運動方程式、温度拡散方程式であり、離散化には有限体積法を用いた。考慮する拡散物質は、簡単のために溶存酸素 C_{DO} 、有機物 C_{OM} 、硝酸態窒素 C_N 、リン酸態リン C_P とし、各々の生物化学的な反応を関連付けてモデル化を行った。

このモデルに福岡県篠栗池での現地観測結果を適用し、水面被覆を伴う日サイクルでの水域内流動・水質変動を予測した。境界条件として流れについては壁関数を、温度については水底および側壁では断熱とし、水面では直達日射を除いた熱フラックスを与えた。日射は熱源関数により各水深に付加した。また被覆部においては水理実験(濱上ら, 2008)から得られた水生植物による日射および水面熱フラックスの遮蔽率 γ を乗じた (Table 2 参照)。

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

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

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

温度拡散方程式

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

物質拡散方程式

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

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 G : 植物プランクトンの成長速度 C : 拡散物質 (C_{DO}, C_o, C_P, C_N)
 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, C_N の増加(減少)量比

**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, 混合層

3. 結果と考察

Fig.1 にホテイアオイが水面被覆率 0.8, 密生度 0.9 で繁茂した場合の計算結果を示す。上が流線図および下が DO の分布である。被覆部における日射および熱フラックスの減衰は以下の式より算出している。

$$Q_{sc} = \{(1-\beta)(1-\gamma) + \lambda_H \gamma\} Q_s \quad (6)$$

$$Q_c = (1-\sigma_H \gamma) \cdot Q_T - Q_{sc} \quad (7)$$

ここで、 Q_{sc} : 水生植物に被覆された場合の照度, γ : 密生度, λ_H : ホテイアオイの照度減衰率, Q_c : 水生植物に被覆された場合の熱フラックス, σ_H : ホテイアオイの熱フラックス減衰率である。図より冷却初期段階 (Fig.1(a)) においては、水面部では小さな対流セルが密に発生しているが、被覆部ではアスペクト比の大きな対流セルが発達している。また、DO は植物プランクトンの光合成により上層の濃度が高くなっている。このとき被覆部および水面部ではその鉛直分布に差異が見られる。遷移段階 (Fig.1(b)) においては、鉛直輸送は水温成層の浮力効果により抑えられる一方、密度差による水平輸送が卓越して行われている。準定常段階 (Fig.1(c)) ではアスペクト比の大きな対流セルによる全層循環に達し、これにより DO の分布も水域内ではほぼ一様となることがわかる。

計算結果から、水生植物の繁茂状況が DO 分布に及ぼす影響について考察する。Fig.2 は水生植物の密生度と DO 濃度の関係を示している。密生度の増加により DO 量比が減少する傾向がある。また、各植物による熱輸送の遮蔽率が異なるため (Table 2 参照)、植物の種類によりその減少率に差異があることがわかる。さらに、水生植物の被覆率と DO 濃度の関係を Fig.3 に示す。被覆率の増加により DO 量比が減少する傾向があり、密生度の場合と同様に植物の種類によりその減少率に差異があることがわかる。また被覆率 0.5 を境に傾向が異なっており、これは DO 濃度を算出している測点が被覆が覆われる点である。すなわち被覆部と水面部で大きく DO の分布に差異が生じることが示されている。

4. おわりに

水生植物による水面の被覆は水域内流動および DO の分布に大きく影響し、またその大きさは水生植物の繁茂状態に大きく依存することを示した。

参考文献

濱上 邦彦 (2008) : 水生植物の繁茂する閉鎖性水域の水面熱境界に関する考察, 九大農芸誌, 第 63 巻, 第 2 号, pp.187-194

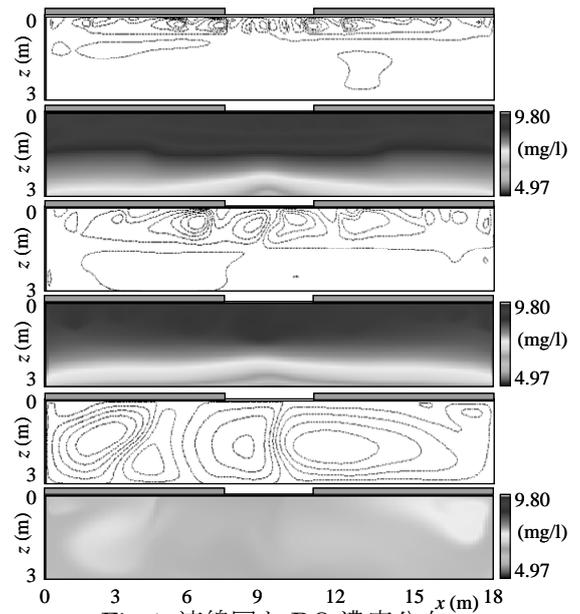


Fig.1 流線図と DO 濃度分布
The stream function and the DO

Table 2 各植物による熱輸送の遮蔽率
The intercept rate of thermal transportation

	アオウキクサ	オオサンショウモ	アマゾンフロッグピット	ホテイアオイ
λ	0.63	0.4	0.49	0.17
σ	0.22	0.37	0.39	0.62

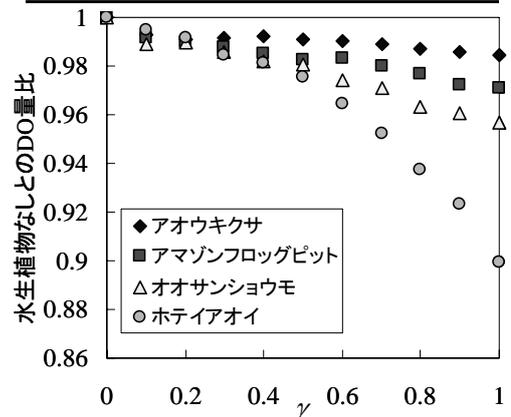


Fig.2 水生植物の密生度と DO 濃度の関係
The relation between the luxuriant density and DO distribution

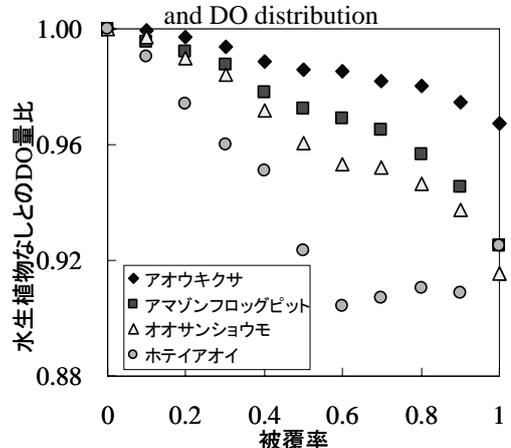


Fig.3 水生植物の被覆率と DO 濃度の関係
The relation between the degree of cover and DO distribution