

神戸大学大学院 学生員 ○酒谷 祐輔
 神戸大学大学院 正会員 道奥 康治
 神戸大学大学院 学生員 佐々木茂太
 神戸大学大学院 学生員 西口 祐輝
 さいたま市役所 正会員 香川 健一

1. はじめに

S ダムでは深層曝気の開始以前において、一年を通して非常に高濃度の水塊が底層に滞留し、放熱期においても全層循環することがない部分循環状態にあった。さらに、底層付近の水温はその直上の水温よりも高い逆転水温勾配が形成されていた。これは、受熱期に貧酸素層が拡大して広範囲の底泥から塩分が溶出し傾斜プルームによって塩分と熱が底層へ輸送されることに起因している¹⁾。本研究では熱塩循環が有機汚濁に果たす役割を明らかにするために、熱塩傾斜プルームと水質・生態系収支を考慮したシミュレーションを実施し、S ダムで観測された特異な水質挙動の再現を試みる。

2. 熱塩プルームのモデル

熱塩プルームによる底層への熱塩輸送現象を以下のようにモデル化した²⁾。図-1-2. のように、溶存酸素濃度 DO が 2.0mg/l 以下の嫌気状態をプルームの発生条件とみなし、底泥からの塩分溶出、周囲水からの水温・体積・各水質項目の連行を考慮して、プルームの熱塩輸送を再現し、底層への汚染物質の滞留、逆転水温成層の形成など諸現象との関連性を検討する。

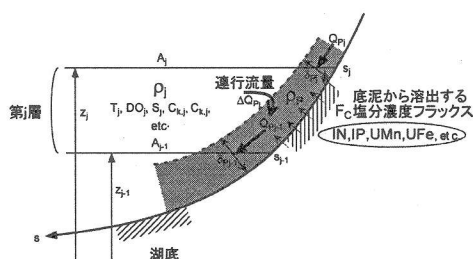


図-1. 熱塩プルームモデル

これまでの著者らの研究では実用塩分 EC(psu)で熱塩プルームの過剰密度を算定していたが、ここではプルームと水質収支を直接関連づけるために塩分をもたらす主成分として溶存態の窒素、リン、鉄、マンガンを想定し、それらの重量合計から塩分濃度 S_{Pj} (IP, IN, UMn, UFe)(mg/l)を以下のように算出し、プルームの駆動浮力とする。

$$S_{Pj} = K \{ C_{Pj}(IN) + C_{Pj}(IP) + C_{Pj}(UMn) + C_{Pj}(UFe) \} \quad (1)$$

ここで、 S_{Pj} : 第 j 層におけるプルームの塩分濃度(mg/l), $C_{Pi,j}$: 第 j 層におけるプルーム中の塩分 i の濃度(mg/l), K: 補正係数である。数値解析

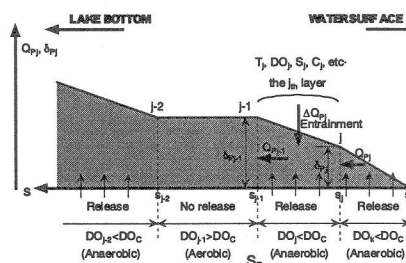


図-2. 塩分溶出

モデルは Lagrange 型の鉛直一次元モデル態・懸濁態栄養塩と有機物、金属、溶存酸素などの池内収支が水質生態系モデル²⁾によって記述される。

3. 熱塩輸送量の算定

(1) 過剰密度 ΔB_p

熱塩プルームの過剰密度 ΔB_p を以下のように定義する。

$$\Delta B_p = \Delta \rho_p / \rho_j = (\rho_p - \rho_j) / \rho_j \quad (2)$$

ここで、 ρ_p : プルームの密度, ρ_j : 周囲水の

密度である(図-1参照)。数値解析では過剰密度 ΔB_p が時間と標高の関数として得られる。1995 年における過剰密度 ΔB_p の季節変化を図-3.に示す。貧酸素層が縮小する放熱

である。植物プランクトン、溶存

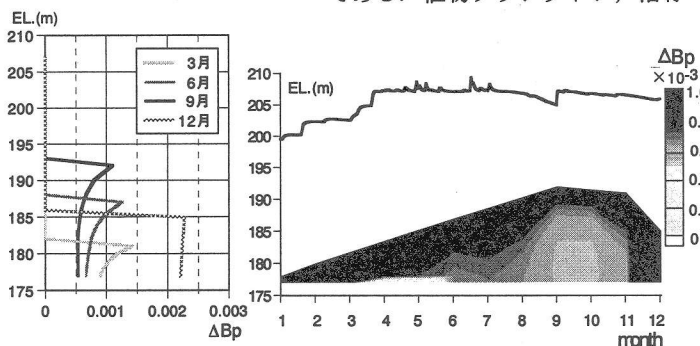


図-3. 過剰密度 ΔB_p の季節(1995 年)

期（秋期から初春）においては ΔB_p が分布する範囲は小さいが、内部生産が増加し貧酸素化が顕著となる受熱期においては高い標高に至るまで過剰密度 ΔB_p が顕著になる。

(2) 無次元流量 Q'_p

熱塩ブルームの流量 Q'_p 、層厚 δ'_p 、流速 u'_p （いずれも無次元表示）は著者らの理論³⁾に基づいて以下のように与えられる。

$$Q'_p = \tan\beta \cdot \delta_p'^2 \cdot u'_p \quad (3)$$

ここで、 β はブルームの三角形断面を考えた場合の最深部角度である。さらに層厚 δ'_p 、流速 u'_p は $\delta_p' = 3.2s'^{1/5}$ 、 $u'_p = 0.39s'^{3/5}$ で表され、 s' は無次元流程距離である。

(3) 総熱輸送量 Θ_T

ブルームが有する熱エネルギーの指標としてブルームの水温 T_p と貯水池第1層（底層）の水温 T_1 との差（ $T_p - T_1$ ）をとり、 Q'_p を乗じてブルームの熱輸送量を計る指標とする。総熱輸送量 Θ_T を以下のように定義する。

$$\Theta_T = Q'_p (T_p - T_1) \quad (4)$$

とする。図-4.に 1995 年の水温の観測値における季節変化を示す。図-5に 1995年の計算値における総熱輸送量 Θ_T と水温の季節変化を示す。受熱期において大量の熱量が輸送されているが、放熱期には逆に底層の逆転水温成層を解消する方向の熱輸送が生じている。

(4) 塩分輸送量 ϕ_s

熱塩ブルームによる塩分輸送量はブルーム底層（第1層）との塩分濃度差（ $S_p - S_1$ ）と Q'_p との積 ϕ_s によって次式のように定義する。

$$\phi_s = Q'_p (S_p - S_1) \quad (5)$$

図-6.に 1995 年の観測値における塩分の季節変化を示す。図-7に 1995 年の計算値における塩分輸送量 ϕ_s と塩分の季節変化を示す。底層に近づくほどブルームが発達し流量・塩分濃度、共に増大するため、塩分輸送量は増加する。

4. 考察

逆転水温成層とこれを重力的に補償する底層の高塩分水が生成されることが本解析によって再現された。また、熱塩循環を駆動する過剰浮力、熱塩輸送量の季節変化などが明らかになった。

<参考文献>

- 1) 道奥・神田・石川：土木学会論文集 No.740/II-64,2003 年
- 2) 道奥・松尾・香川・斉藤：水工学論文集，第 47 巻，2003 年
- 3) 道奥・藤田・高橋・藪本：水工学論文集，第 45 巻，2001 年

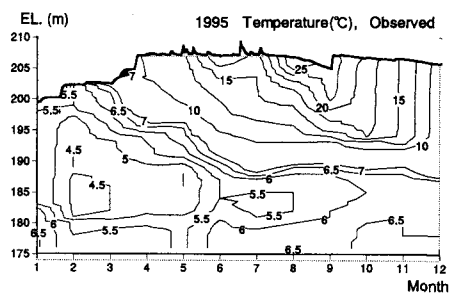


図-4. 水温の季節変化(1995 年)

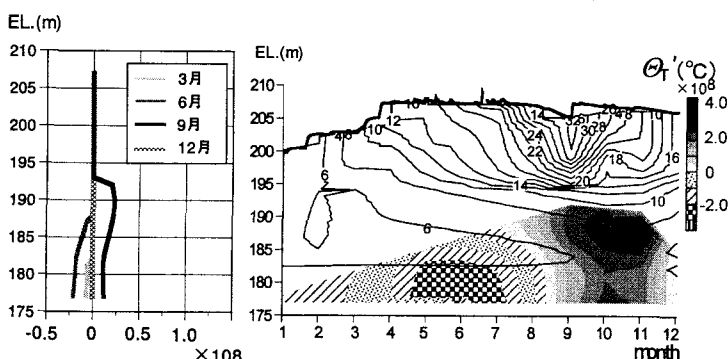


図-5. 総熱輸送量 Θ_T (1995 年)

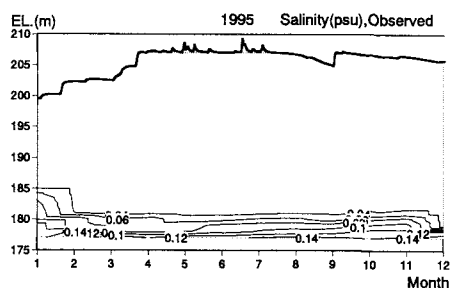


図-6. 塩分の季節変化(1995 年)

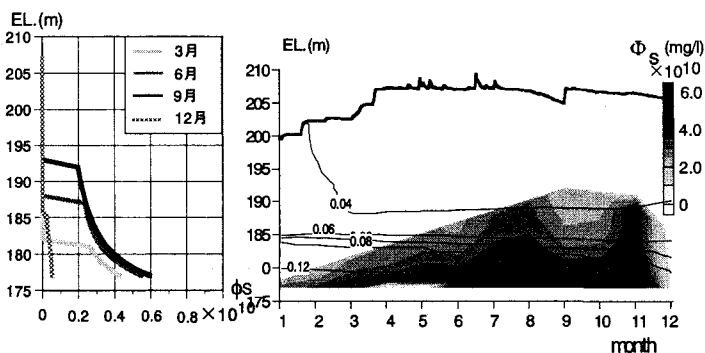


図-7. 塩分輸送量 ϕ_s (1995 年)