

水温躍層における溶存酸素動態を支配する要因

神戸大学大学院	学生員	小谷 英之
神戸大学工学部	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

1. 研究の目的

X 貯水池では深層水の貧酸素化を軽減する為に 1988 年から深層曝気を開始された。これにより溶存酸素は相当程度回復したが、ここ数年、躍層付近の貧酸素化が顕著になり始めている。本研究では、その要因を明らかにするために、貧酸素水塊の動態に影響する支配因子を検証する。

2. 相互相関解析に基づく水質挙動の考察

貯水池内の地点毎に観測される水質分布の類似パターンを相関解析に基づいて検索し、水質の移動特性を検討する。画像認識で使われるテンプレートマッチング¹⁾を応用して、A 点と B 点（図-1 参照）で観測された水質について時間軸、標高軸、水質濃度軸の三次元座標系における相関関係を求めた。水質の分布パターンが上流側の B 点から A 点にまで移動するのに要する時間を求めるために、B 点で観測された水質の時空間分布パターンをテンプレートに、A 点の水質分布を探索対象として相互相関係数を求める。標高座標軸、時間座標軸をずらしながらテンプレートと探索対象の相互相関係数（式(1)参照）を算定し、相関係数の極大値を求めることによって二地点間の類似パターンが出現する時空間差が求められる（図-2 参照）。

$$R(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (W(x+i, y+j) - \bar{W})(T(i, j) - \bar{T})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (W(x+i, y+j) - \bar{W})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (T(i, j) - \bar{T})^2}} \quad (1)$$

$$\bar{W} = \frac{1}{N} \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M W(x+i, y+j) \quad (2), \quad \bar{T} = \frac{1}{N} \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M T(i, j) \quad (3)$$

ここで、 W は探索対象の水質濃度（例えば溶存酸素濃度）、 T はテンプレートの水質濃度、 $\bar{W}$ 、 $\bar{T}$ はそれぞれの平均値である。

1996 年 5 月～2002 年 6 月における B 点の DO 分布をテンプレートに、1995 年 5 月～2003 年 6 月の A 点で観測された DO 分布を探索対象にして、両者の相互相関係数が図-3 のように得られる。図-3 から B 点より標高差 0～-2m 下方に、時間差+1 ヶ月ずれた DO パターンが、A 点と最も高い約 0.9 の相関係数を示すことがわかる。これより、1 ヶ月程度を要して水質パターンが B 点から A 点へと移動していることが推測さ

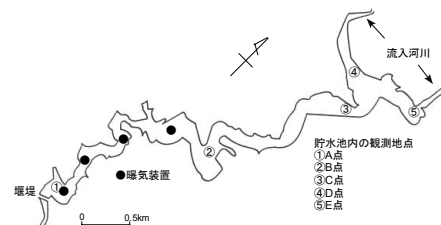


図-1 X 貯水池における観測地点

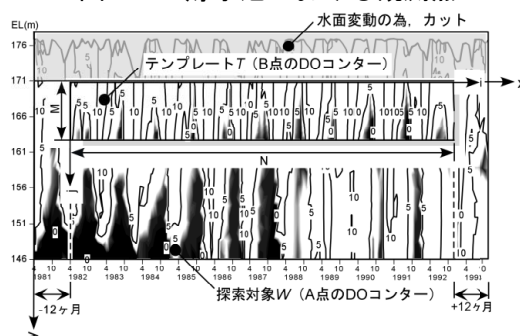


図-2 テンプレートマッチングの応用

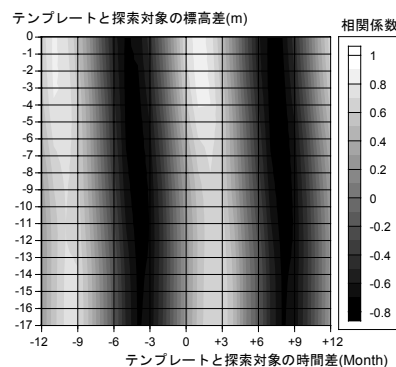


図-3 DOの相関係数

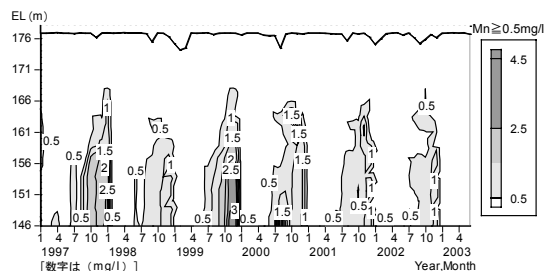


図-4 A点におけるマンガンのコンター図

キーワード：富栄養化、貧酸素水塊、貯水池水質、水温成層、深層曝気

連絡先：〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1 Phone : (078)803-6056, FAX : (078)803-6069

れる。仮に、河川の流出入が水質輸送の原因と想定すると、流入量を貯水池の断面積で除して概算した 1981～2003 年における平均移流速度は約 4.6km/Month である。A 点と B 点の距離は約 2.5km であり、平均移流速度による移動所要時間は約 0.54 ヶ月 $\approx$ o (1 ヶ月) である。これは水質分布パターンの時空間相関解析から概算される移動速度とほぼ対応しており、B 点で発生した貧酸素水塊は河川流入や取放水に伴って A 点にまで輸送されてきた可能性がある。図-4 からわかるように、底泥からの溶出に起因すると思われるマンガンが A 点の水温躍層近傍において検出されている。これより、水温躍層と貯水池底が交わる B 点周辺で水中の溶存酸素が底泥によって消費され、さらにマンガンや栄養塩などが溶出して A 点まで平均移流により輸送されたものと考えられる。

3. 有機物の躍層付近での滞留および好氣的分解

受熱期に表層で増殖した植物プランクトンが死滅・沈降する過程で分解され、周囲水の酸素を消費する。そこで、受熱期における水温分布や渦動拡散係数の分布を仮定し、平衡状態にある水質生態系の収支式に基づいてクロロフィル a や溶存酸素濃度の分布形を推定する。クロロフィル a 濃度 C_P (mg/l) の収支式を式(4)で表す。

$$\left(\frac{G_P}{\text{光合成}} - \frac{D_P}{\text{呼吸・死滅}} \right) C_P - \frac{\partial}{\partial z} (w_s C_P) + D \frac{\partial^2 C_P}{\partial z^2} = 0 \quad (4), \quad G_P = \mu_{\max} \beta_s f_{GP}(T) f(I) f(N) f(P) \quad (5), \quad D_P = k_{RP} f_{DP}(T) \quad (6)$$

$\frac{\partial}{\partial z} (w_s C_P)$: 沈降 $D \frac{\partial^2 C_P}{\partial z^2}$: 浮上・拡散

ここで、 $\mu_{\max}$ は 20°C を基準とした可能最大成長率(1/sec), β_s は混雑係数, k_{RP} は 20°C を基準とした死滅率係数(1/sec), $f_{GP}(T)$, $f_{DP}(T)$ は 20°C を基準とした指数型の温度制御関数, $f(I)$, $f(N)$, $f(P)$ は光, 無機態窒素, 無機態リンの制御関数, w_s は沈降速度(m/sec), D は拡散係数(m²/sec)である。溶存酸素濃度 DO (mg/l) の収支式は式(7)で表す。

$$\frac{G_P \cdot C_P \cdot IC \cdot Y_{O_2:C} \cdot (1 - K_P)}{\text{光合成}} - \frac{D_P \cdot C_P \cdot IC \cdot Y_{O_2:C}}{\text{呼吸・死滅}} - k_{DT} \frac{DO}{K_{DT} + DO} f_{DT}(T) \cdot D_T + D \frac{\partial^2 DO}{\partial z^2} = 0 \quad (7)$$

$k_{DT} \frac{DO}{K_{DT} + DO} f_{DT}(T) \cdot D_T$: 分解 $D \frac{\partial^2 DO}{\partial z^2}$: 拡散

ここで、 IC はクロロフィル a と炭素の重量換算比, $Y_{O_2:C}$ は酸素と炭素の重量換算比, K_P は光呼吸率, k_{DT} は 20°C を基準としたデトリタスの分解率(1/sec), K_{DT} はデトリタス分解に関する半飽和定数(mg/l), $f_{DT}(T)$ は 20°C を基準とした指数型の温度制御関数, D_T はデトリタス濃度(mg/l)である。図-5 に示すように Chl-a は有光層において増加し、無光層では減少している。特に躍層以深においては水温成層の浮力効果によって沈降速度が減少するため Chl-a が大きく減少する。図-6 に示すように曝気前における DO 分布は、表面付近において大気との酸素交換や光合成により飽和の状態にあり、表層からの供給が断たれ有機物分解によって消費されるために下層に行くほど減少する。深層曝気の効果で貯水池底で $DO=10$ mg/l という境界条件を与えることによって仮想的に表わすと、深水層で溶存酸素が回復し、躍層部で DO が極小値となる分布が得られた。X 貯水池においても同様な DO 分布が観測されていることから、ここで想定した水質収支も躍層部における貧酸素化の原因の一つと考えられる。

4. 結論

表層で生産された浮遊態有機物は水温成層の浮力効果によって躍層付近に滞留する。深層曝気による酸素供給が躍層にまで至らない場合には好氣的分解によって躍層付近の酸素が消費される。ダムサイト付近よりも上流側の方が藻類の生産量が大きく、水深が浅いため底泥の酸素消費の影響が大きい。このようにして、B 点で形成された高塩分の貧酸素水塊は、図-7 に示すように移流等によって下流側へ移動する。その際、マンガンや栄養塩などの溶解物質が輸送される。

(参考文献)

- 1) 末松良一, 山田宏尚 共著: 画像処理工学, コロナ社, 2000.

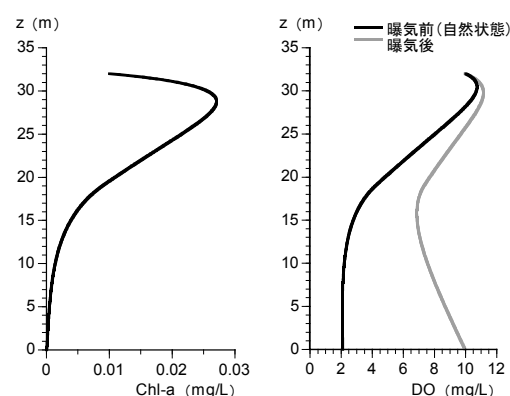


図-5 Chl-a の分布

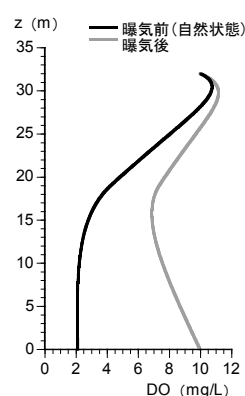


図-6 DO の分布

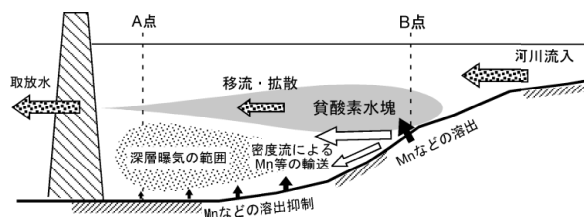


図-7 貧酸素水塊の移動モデル