

II-408

貯水池における熱塩循環の観測

神戸大学大学院 学生員 中村 篤史 神戸大学工学部 正会員 神田 徹
 神戸大学工学部 正会員 道奥 康治 神戸大学大学院 学生員 木戸 崇博
 大分高専 正会員 東野 誠

1. はじめに

対象とするダム貯水池では4℃以上の水温にも関わらず底層に水温逆転層が形成されている。その水温勾配は底層に集積した栄養塩や溶存物質の濃度により力学的に補償されている。水質観測によって底層ではFe, Mnやその他の溶存物質が高濃度に含有されていることが明らかになった。これより、貧酸素層（嫌気層）と接する貯水池底から塩分が溶出し、その重力効果によって発生する傾斜ブルームが底層へ熱・物質を輸送する要因であることが推定される。本報では、水温・電気伝導度などの季節変化特性に基づいて、熱塩循環による物質集積現象を考察する。

2. 水温・電気伝導度の貯水池内空間分布

水温・電気伝導度の貯水池内の空間分布を知るために1997年11月と1998年3月に現地観測を行った。図-1は縦横断面の観測点を示す。横断面内では7.5m間隔に、流下方向（縦断方向）には同図の4点に観測点を設け、鉛直方向1m間隔に計測した。観測結果を図-2に示す。網掛け部分は貧酸素領域である。底層に逆転水温成層、高電気伝導度層が形成されていることが確認される。

3. 傾斜ブルームによる底層への物質輸送

貧酸素状態となる底層は還元状態にあり、地中から種々の塩分が溶出する。図-2の電気伝導度の分布からわかるように、貧酸素領域の上端境界面より下層では、貯水池の底面に沿って、電気伝導度の高い層が存在する。水温分布がほぼ水平であることから、高濃度水と周辺水との相対的な密度差によって貯水池底に沿う傾斜ブルームが発生し、浅水部から深水部へ熱・物質が輸送される。傾斜ブルームによる物質輸送量を概算する上で伝播速度を $u_f = \alpha(\sqrt{\Delta\rho g \delta I / \rho_r})$ と仮定する。ここで g : 重力加速度, δ : 高濃度層の厚さ, I : 底面の勾配, ρ_r : 基準密度, である。密度差 $\Delta\rho$ は、ある地点における底面直上の水と周囲水との密度差である。 $\Delta\rho$ は同じ標高にある貯水池底では同じ値をとるとする。貧酸素層内の複数地点で観測された貯水池底面上の電気伝導度より、各標高 Y 毎の電気伝導度 $EC_B(Y)$ を

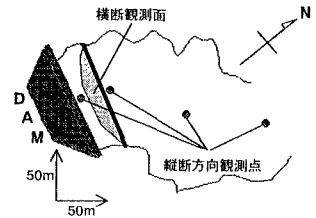
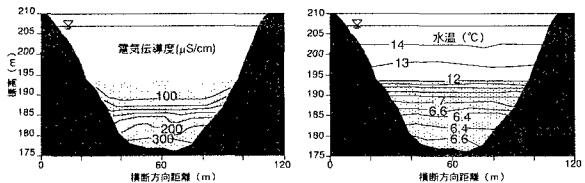
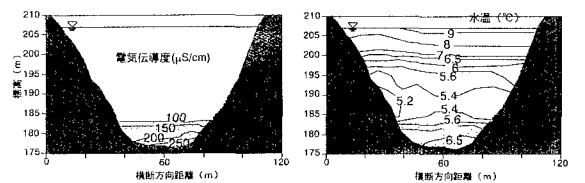


図-1 観測地点



(a) 横断面（上）、縦断面（下）の分布（1997年11月）



(b) 横断面（上）、縦断面（下）の分布（1998年3月）

図-2 貯水池内の電気伝導度と水温の空間分布

キーワード：貯水池水質、熱塩循環、逆転水温層、部分循環湖

連絡先（〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1, 神戸大学工学部建設学科, TEL (078)803-1044, FAX (078)803-1050）

観測値の線型補間によって求める、 $\Delta\rho$ は基準点である標高 Y における電気伝導度を $EC_s(Y)$ と $EC_b(Y)$ との差より $\Delta\rho = \beta(EC_b(Y) - EC_s(Y))$ として評価される。 $\Delta\rho(Y)$ を底面積あたりで積分して得られる貯水池底面に分布する過剰密度差の総量 $\int_A \Delta\rho(Y) dA$ の季節変化を図-3 に示す。貧酸素領域の拡大・縮小と密度差の増減には明らかな相関関係があり、貧酸素層の拡大が底層への物質集積の要因となっていることが推察される。ここで、 u_f の式に諸量を代入して算定された傾斜ブルームによる熱フラックス $F = u_f \cdot [T(Y) - T_b]$ のベクトルを図-4 に示す。ここで、 $T(Y)$ は標高 Y での水温、 T_b は最深部の水温とする。図-4 は貧酸素層の最も拡大する 11 月において底層への熱の輸送が行われることを示している。熱フラックスベクトルの季節変化より、このような熱輸送は主に 10, 11 月の放熱期に生じていることがわかった。この季節には、貧酸素層が最も拡大して水温が高い表層近くでも高濃度水が貯水池の底面から溶出し、周辺の暖かい水を最深部へ対流輸送している。

4. 熱塩成層の維持機構

このようにして底層付近に形成された熱塩成層においては、図-5 の 2 月の観測値に見られるようなステップ状の濃度

分布・温度分布が時折検出される。境界面の上下層では、温度・塩分のはば一様な混合層が形成されている。ここで熱塩境界面の安定度を示す密度比 $R_\rho = (\partial\rho_s/\partial Y)/(\partial\rho_t/\partial Y)$ を算出した。 R_ρ が大きい界面においては、熱および物質の輸送が抑制される。図-6 において放熱期から受熱期にかけて大きな R_ρ の層が確認される。安定な熱塩境界面では底層からの放熱が抑制されており、高温の底層水を維持する一因になっていると考えられる。以上のように底層内で生ずる「過剰安定型」の熱塩対流は、ステップ状の密度構造の形成や底層水の滞留と密接に関連している。

5. まとめ

水塊の貧酸素化によって溶出する塩分は傾斜ブルームを生起させ、その移流効果によって底層へ物質を集積させる。秋季には浅水域の高温水を最深部へと連行し、逆転水温層を形成する。底層の逆転水温層は濃度分布により安定化され、放熱期においても底層水塊が滞留する。

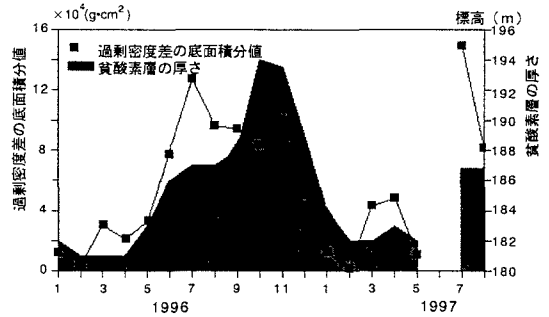


図-3 過剰密度差の底面積分値の季節変化

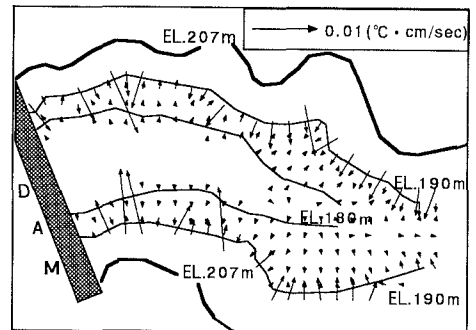


図-4 1997年11月の傾斜ブルームによる熱フラックスのベクトル

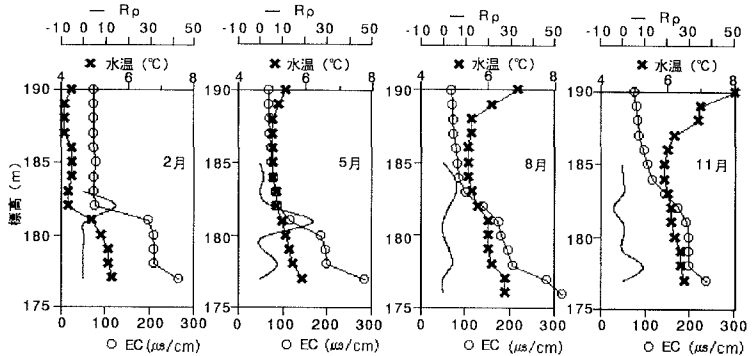


図-5 底層付近の水温、電気伝導度 EC、密度比 R_ρ の鉛直分布（1996 年）

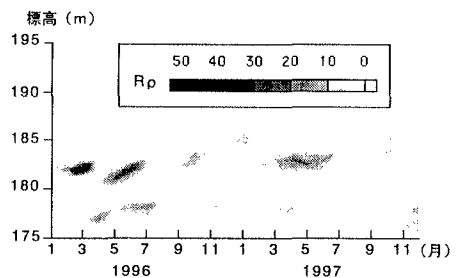


図-6 底層における密度比 R_ρ の季節変化