

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

1. はじめに

調査対象とするダム貯水池は底層において 4℃以上の逆転水温成層が形成されていることが確認されている。逆転水温成層は底層に集積している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。底層の高温高塩分水の形成要因の一つとして、周辺地盤からの湧水の影響が考えられる。しかし、本貯水池では地下湧水に含有されるはずの Na が水深方向に成層化していないため、湧水の可能性は否定される。本貯水池の底層においては Fe, Mn が高濃度に含有されることから、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と推定される。本報では、水温・電気伝導度などの分布の季節変化から熱塩成層の形成要因を考察する。

2. 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-1 左段の電気伝導度の空間分布からわかるように、DO=0 に相当する溶存酸素の境界面より下層の底面に沿って、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ために傾斜ブルームの伝播速度を $u_f = \alpha(\sqrt{\Delta\rho g \delta I / \rho_r})$ 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 $EC_B(Y)$ を観測値の線型補間によって求める、 $\Delta\rho$ は基準点でのある標高 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貯水池底面に分布する過剰密度差の総量を求めたものが図-2である。貧酸素領域の拡大縮小と密度差の増減には相関関係があることがわかり、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うかがわれる。ここで、 u_f の式に諸量を代入し、傾斜ブルームによる熱輸送量 $F = u_f \cdot [T(Y) - T_B]$ のベクトルを算定し、図-1 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-1 は貧酸素

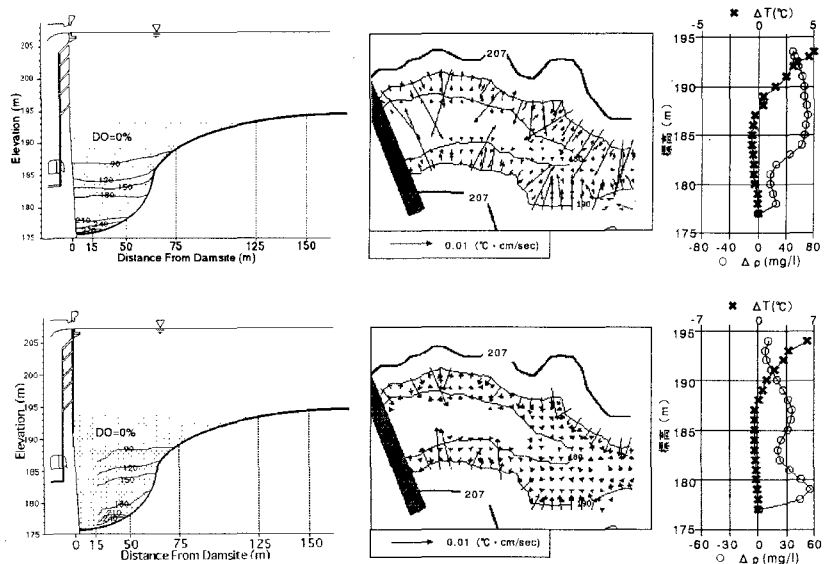


図-1 11月の電気伝導度空間分布、熱フラックスのベクトル、 $\Delta\rho$ と ΔT の鉛直分布
 上段-1996.11 下段-1997.11

T.KANDA, K.MICHIOKU, A.NAKAMURA, T.KIDO, and, M.HIGASINO

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。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。この季節においては、貧酸素層が最も拡大して比較的水温が高い層でも高濃度水が溶出し、周辺の暖かい水を最深部へ対流輸送している。このような熱輸送機構に関する推測は、図-3の放熱期において底層の高温層（6.0℃等値線）が最も拡大していることから裏付けられる。

3. 熱塩成層の維持機構

通年的な貧酸素層の存在により溶出した塩分が底層に輸送されて集積し、秋季に高温水を底層に連行することを示した。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・塩分のほぼ一様な混合層が形成されている。このような熱塩成層は主に放熱期から受熱期にかけて特に顕著にみられた。ここで熱塩境界面の安定度を示す $R_p = \Delta\rho_s / \Delta\rho_T$ を算出した。物質密度差 $\Delta\rho_s$ 、温度密度差 $\Delta\rho_T$ は鉛直方向1mの温度・濃度勾配より算出した。高い R_p を示す界面においては、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高い R_p が確認され、底層からの放熱が抑制され、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。1996年の受熱期には2段階の安定な熱塩界面が形成されていた。以上のように底層では「過剰安定型」の熱塩対流により微細なステップ構造が形成され、底層水の滞留と関連していることが示唆される。

4. 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とともに、秋季に浅水域の高温水を最深部へと連行し熱を供給する。底層の逆転水温層は濃度分布により安定化され、全層循環が抑制される。このような要因により高温・高濃度層が形成・維持され、放熱期においても底層水塊が滞留する。

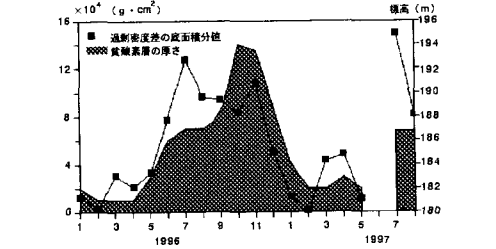


図-2 過剰密度差の底面積分値の季節変化

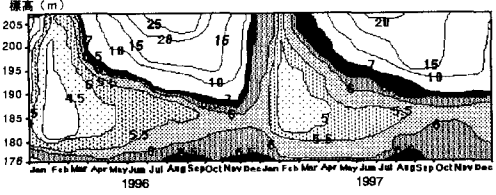


図-3 基準点における水温分布の季節変化

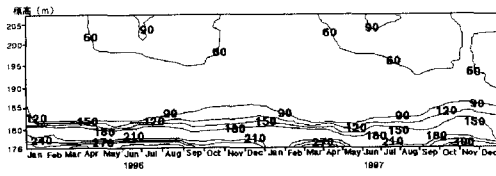


図-4 基準点における電気伝導度の季節変化

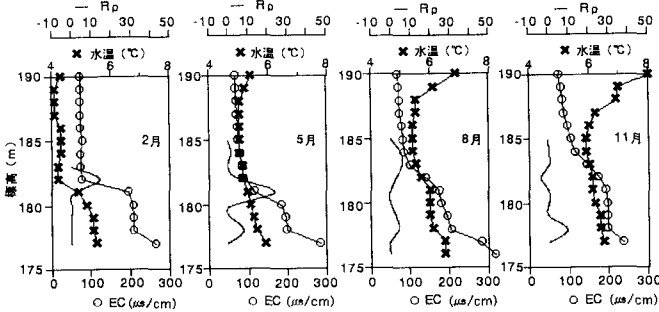


図-5 1996年底層における水温・EC・ R_p の鉛直分布

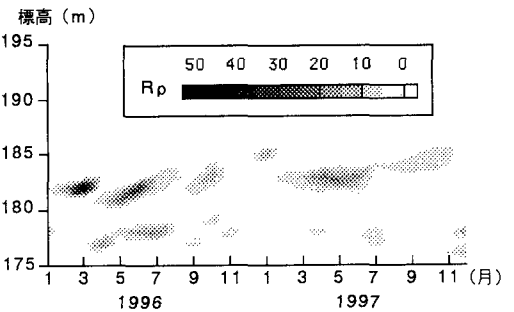


図-6 底層における R_p の季節変化