

II-259

部分循環貯水池における熱塩成層の季節変動

神戸大学大学院 学生員 木戸 崇博
神戸大学工学部 正会員 道奥 康治

神戸大学工学部 正会員 神田 徹
NKK（株） 正会員 中村 篤史

1. はじめに

富栄養化の進行した貯水池において数年にわたり水質観測を実施している。その結果、底層に様々な物質が高濃度に溶解し、その比重が大きいために冬季においても循環せずに密度成層が安定していること、何らかの要因によって底層が相対的に高温に保たれ、「逆転水温成層」が形成されていることが明らかになった。本報では、部分循環貯水池における熱塩輸送に着目し逆転水温成層の形成機構を考察する。

2. 水質構造の季節変化

図-1～3には、水温・電気伝導度(EC)、溶存酸素飽和度(DO)の季節変化を示す。その特徴は、1) 水温・水質は周年にわたって成層化しており、冬季にも大循環が生じない、2) 底層では、ECが高く水温も直上層より高い、すなわち底層水は高温・高塩分を呈する、3) 大規模渇水の平成6年を除けば、底層水の熱塩成層には規則的な季節変化が認められる、などである。

図-4は、逆転水温勾配が見られるEL.182mより下層の各水深における水温の季節変化を、図-5はそれらの層平均水温の季節変化をあらわす。冬季循環期に自然対流によって底層がやせて水温が急減した後、受熱期に入るとゆるやかに水温が上昇する変化を毎年繰り返している。

3. 底層への熱塩輸送のモデル

観測結果とこれまでの検討¹⁾²⁾から、著者らは図-6に示すような熱塩輸送が受熱期に発生していると考えている。すなわち、活発な内部生産と有機物の分解によって貧酸素水塊が成長する受熱期（図-3 参照）では、浅い領域の底質までが貧酸素水にさらされる。その結果、貯水池底から鉄・マンガンなどの金属イオンや栄養塩が溶出して湖盆面

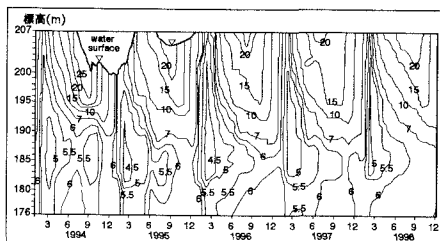


図-1 等水温線(1994～1998 年)

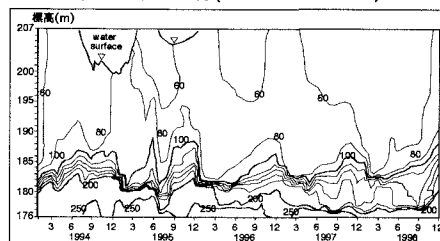


図-2 電気伝導度の季節変化

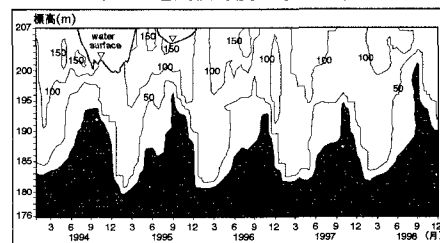


図-3 溶存酸素飽和度の季節変化

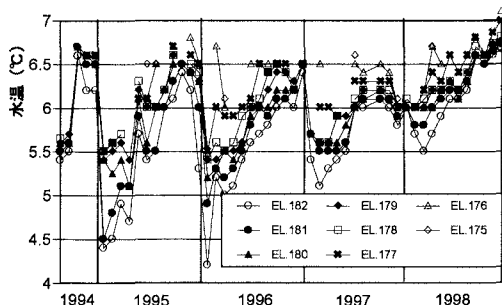


図-4 底層の各標高における水温の季節変化

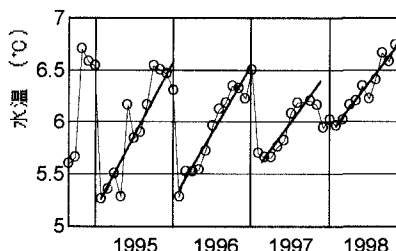


図-5 底層平均水温の季節変化

キーワード：富栄養化、嫌氣的溶出、熱塩成層、逆転水温成層、貧酸素化

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

に沿い比重の大きな高塩分層が形成される。浮力効果によって傾斜湖盆上にブルームが発生し底層へ熱・物質を輸送する。ブルームは浅い暖かい層から熱を底層へと輸送し逆転水温勾配と熱塩成層を形成する。

5. 底層への熱輸送量の概算

上記の熱塩モデルに基づいて、浅水域から底層への熱輸送量を概算し、逆転水温層が形成される可能性を検討する。層厚 δ で流速 u の二次元熱塩ブルームに対し、図-7のように熱収支を考えると、 $-u(T_0-T_Y)\delta-F_s\Delta x=0$ 、となり、 $x \rightarrow \infty$ において、 $-u(\partial T/\partial x)\delta-F_s=0$ である。 F_s は周囲水との熱交換量である。流れは微弱であり連行を無視して熱拡散のみを考えれば、 $F_s=\kappa_T(\partial T/\partial z)\delta=-\kappa_T(T_Y-T_0)/\delta$ となる。ここで、 κ_T は熱拡散係数である。微分方程式、 $(\partial T/\partial x)=\kappa_T(T_Y-T_0)/(u\delta^2)$ を計算区間の上流端での境界条件： $T=T_0$ at $x=0$ のもとで解けば、 $T(x)=T_Y(T_Y-T_0)\exp[-\kappa_T x/(u\delta^2)]$ なる解を得る。底泥の堆積は勾配の緩やかな旧河道に沿って顕著であり、熱塩ブルームは主にここで発生すると考える。層厚が $\delta=0.1\sim 10\text{cm}$ の範囲にあると想定し、河床勾配・底面での電気伝導度から推定されるブルーム水塊の有効重力よりブルームの速度 $u\sim(eg\delta I)^{1/2}$ が概算される。これより、上式から表層水温 T_0 の水が貯水池上流端($x=0$)から周囲水との熱交換を経ながら最深部にまで達した段階での水温が算定される。各標高における周囲水温 T_Y としては季節毎の観測値を用いる。その際、ブルームが上流端から最深部に達するまでの時間遅れを考慮した上で対応する時期の水温分布 T_Y を採用する。上流端の水が最深部底層内の各標高(EL.=178 180 182m)に達した時のブルーム水温の季節変化が図-8のように算定される。層厚を $\delta=0.1\text{cm}$ とした場合には熱塩ブルームの熱輸送力が十分ではなく、伝播の過程で周囲水に熱が拡散されるために最深部に熱を供給するには至っていない。 $\delta=1\sim 10\text{cm}$ とすれば、底層を加熱し逆転水温層を形成させるだけ十分な熱輸送が発生している。

6. むすび

熱塩ブルームが逆転水温成層の形成に関与している可能性が示唆された。より定量的に検証するためには層厚を推算するためのブルーム解析が必要である。また、塩分輸送量や部分循環の生起条件なども明らかになるであろう。環境水理学的には熱塩ブルームによる栄養塩集積量の評価が必要である。

参考文献

- 1) 伊藤他：貯水池底層における物質集積と逆転水温層の形成機構，第52回年講
- 2) 中村他：貯水池における熱塩循環の観測，第53回年講

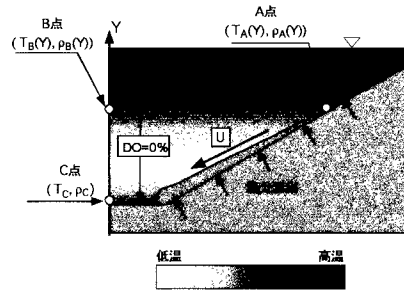


図-6 熱塩ブルームの概念

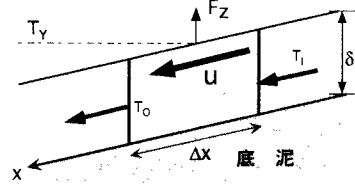


図-7 ブルームの熱保存

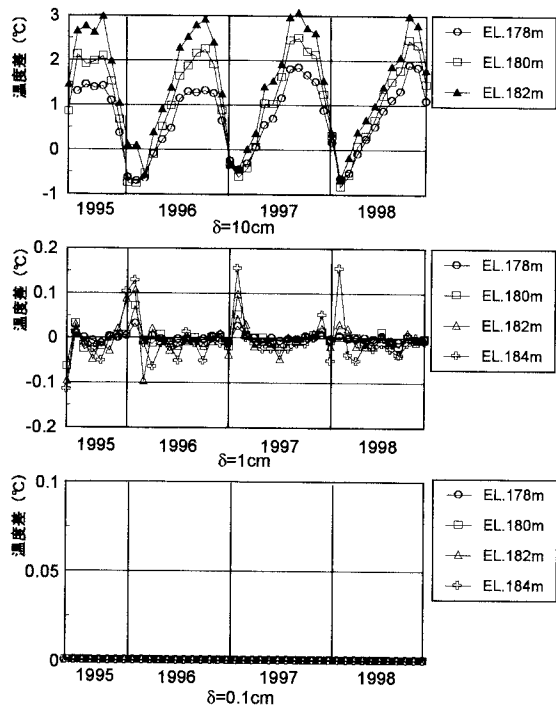


図-8 ブルーム水塊と底層内各標高の水温差