

汽水湖における熱塩成層の破壊過程

岡山大学環境理工学部 正会員 大久保 賢 治
岡山大学大学院 学生員 O 鈴木 淳 夫

1. 概要 夏の汽水湖では水温・塩分ともに安定な二重成層が形成され、鉛直混合が極度に抑制されるために上部淡水層で植物プランクトンの異常増殖、下部塩水層は貧酸素水塊の形成という問題が発生する可能性がある。本研究は熱塩成層の形成・破壊過程を明らかにするため、鳥取県東郷池で観測された高塩分弱混合の塩分成層について、とくに不安定熱対流の成層破壊の促進効果という観点から検討したものである。

2. 水温連続観測 1998年7月10～31日まで東郷池湖心温泉取水塔に鳥取大学と共同で20 cm 間隔16層のサーミスタチェーン（多層水温計：Onset 社 StowAway、16個）を設置し、10分間隔で水温鉛直分布を測定した。図1の記録より7月11日頃から約3週間、2.6 m 以深に約26°Cの水塊が停滞しているのがわかる。

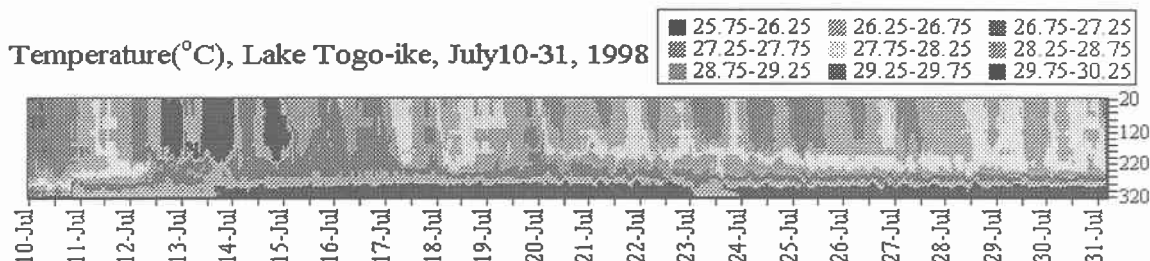


図1 東郷池湖心（泉源）の鉛直水温分布

この底層水塊の正体は7月14日の観測（図2）によれば18‰の塩水であり橋津川から塩水くさびとして侵入した海水が出水時のゲート操作で池内に逆流したものと確認された。上層水にも約3‰塩分が混入おり、濃度差15‰の塩分躍層が形成され、14日の時点で下層溶存酸素はすでに1 mg/lを下回っていた。15日以降は夏の安定水温成層が共存した過安定成層として停滞し、8月8日観測では躍層位が約20 cm低下したことがわかったが、大半は残留していた。さらに水温差のみに基づく積分浮力値 $g'h=0.02 \text{ m}^2/\text{s}^2$ に対して密度フルード数が1となる内部限界状態の流速を概算すると0.14 m/sとなり、これを吹送流とすれば4 m/s強の平均風に駆動されるものであるから、水温成層単独でもかなり安定な成層である。これに密度差で約10倍の塩分成層が重なっている実態を考慮すると平常風ではほとんど混合しない極めて強い成層であることがわかる。

連続記録より得た水温鉛直分布を水温逆転層、躍層位置に着目して4タイプに分類した。図2で

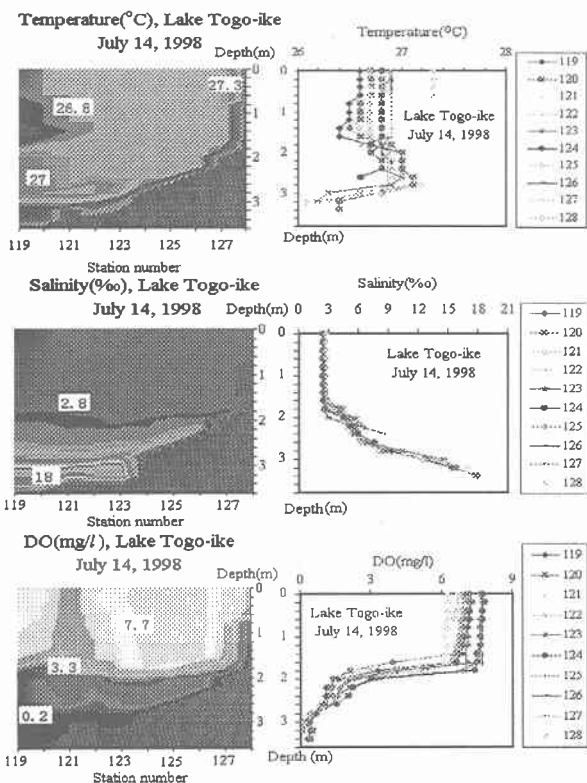


図2 水温・塩分・DO分布

深水部の水温分布には逆転層を含む分布がみられるが、これは 11～15 日の海水流入時にのみ存在し、中間密度の混合水塊が躍層付近に貫入した結果と考えられる。15 日以降は夏季の安定分布が卓越し、これらは a) 夜間や早朝に出現して躍層が深く上部水温が一樣の厚い混合層を含むもの、b) 昼間に出現して躍層がやや浅いもの及び c) 無風状態が続くときに出現し躍層が浅く場合によっては水温が直線分布を示すものに分類できる。c 型分布には沈降により水温ステップを伴うことがあり、b 型は貯熱量が表層に集中し、a 型が冷却された表層水が沈込む不安定熱対流に対応すると考えられる。

3. 荒天時の観測 冬季観測のため、1998 年 11 月 17 日から待機したが風が強く湖が荒れていたため、観測は、風がやや穏やかになった 19 日に行った。北から南に向かう縦断分布を図 3 に示す。水温分布には橋津川河口と最深部で 1℃ の水温逆転層がみられ、逆転層のある深水部の塩分差は 1‰ 未満であるが底部に 1.5‰ の塩水が残留していた。またところどころ斑状の塩水塊があり、また全体に数 10 mg/l の高い濁度を示し連日の強風で底泥が巻上がったと考えられる。以上から水温逆転層のある深水部以外はほぼ一樣に混合されたが水温逆転のある測点の塩分成層は形跡をとどめ、強風が 2, 3 日続いても塩分成層は完全には破壊されないことがわかった。

4. 二重拡散対流モデル結果の考察 東郷池における夏と

冬の観測結果を二重拡散対流モデルで解析した。ただし二重拡散対流の拡散領域の現象として水温逆転層を解析するため問題を単純化し、初期塩分差のみ異なる 3 ケースを考えた。水深 3 m の水柱を 50 層に分割し、 $\Delta z = 0.06$ m とし、塩水層は 2.2 m 以深に停滞、初期水温分布は塩分躍層で 2℃ 逆転、水面から $B_f = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}^3$ で冷却される設定は以下のケースで固定である。下層塩分濃度 12‰、1.2‰ 及び 0.12‰ の 3 ケースについて計算したが、前 2 者はそれぞれ 7 月及び 11 月観測の塩分濃度差に近い設定である。ケース 1, 2 とも熱対流は緩やかに進むが 80000 秒後に相当する解析結果はいずれも塩分成層が 1 日程度ではほとんど変化しないことを示した。また、ケース 2 に相当する 11 月観測では少なくとも 2 日程度は塩分成層が残ったという事実とも矛盾しない。実際に拡散領域として不安定領域に入るのはケース 3 のみでありこれは強混合状態にある汽水湖で通常みられる塩分濃度が東郷池で 3～4‰、湖山池で 0.1～0.3‰ であることから考えても、流れや波浪、熱対流によって混合が促進される初期塩分成層強度の目安を与えているといえる。

5. まとめ 東郷池と湖山池で 1997 年に各季の観測を行い¹⁾、1998 年も夏と冬に観測したが、東郷池は海水侵入を受けて平均風では破壊され難い強固な塩分成層が少なくとも 1 ヶ月は停滞していた。強風による混合の可能性は道上ら²⁾が検討しているが、ここでは熱対流による混合促進の可能性をモデル解析結果の考察も含めて検討した。気象条件次第で長期化する現象であるが数‰ の塩分成層であれば冷却によって破壊されることは判明したが、実際この条件を期待するのは無理がある。今後はより現実的なでかつ生物過程も扱えるより実用的な多重拡散対流モデルを作成し、他の汽水湖の予測に適用していきたい。

参考文献：1) 名合・大久保・長井：中国支部 50, 1998. 2) 道上・檜谷・矢島：水工学論文集 43, 1999.

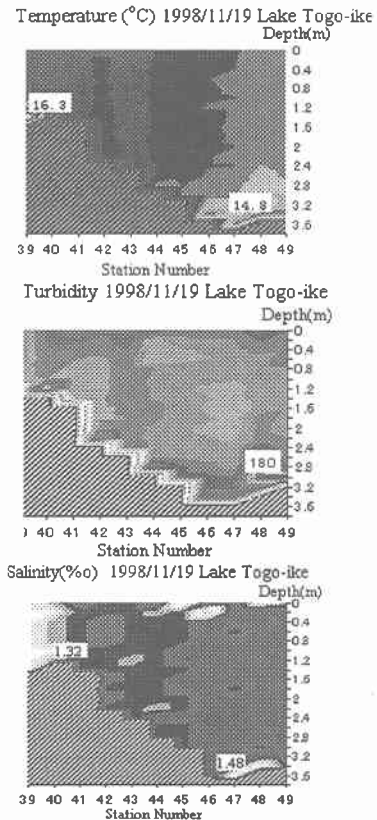


図 3 水温・濁度・塩分分布