

小規模な貯水池における水温成層の消長に関する研究

呉工業高等専門学校専攻科 ○学生会員 中野光隆
呉工業高等専門学校 正会員 黒川岳司

1. 序論

現在、全国的に富栄養化が進行した水域が多く、植物プランクトンの異常増殖などの問題が生じている。水質問題を解決するためには、水域ごとに持つ気象・水文の特性と水質形成の関係を把握することが重要である。本研究では、小規模な貯水池における水温成層の形成・維持・破壊と気象・水文特性との関係性を明らかにすることを目的とする。

2. 対象貯水池の地勢・地形と現地観測

図1に示すように広島県江田島市にある鹿川水源池は、湛水面積 2.6 ha、流域面積 0.9 km²、総貯水量は約 112000 m³を有する一般的なため池である。周囲を山で囲まれ、西南にある鹿川湾に向けて開けている。平均水深は約 6m、最深部は約 10m であり、図2に示すように取水塔を中心に放射状に浅くなっている。各測点 (K1 から K6) において鉛直方向 1m ごとに水温、DO、pH、濁度の測定が 1 週間毎に行われている。本研究では、2004 年 4 月から 11 月と 2005 年 4 月から 8 月の測定データを用いた。また、気象データは気象庁気象観測所呉気象台により観測されたデータを用いた。なお、取水塔の南東側に、水質浄化装置「みずきよ」(株式会社共立/MK-Ⅲ) が設置されているが、本研究ではその浄化装置の影響が小さいと考えられる測点 K6 のデータを中心に用いて検討を行うこととした。

3. 対象貯水池の成層形成を支配する因子

3-1 支配因子の分類

鹿川水源池における成層形成、破壊を引き起こす因子は、水温差や水質濃度差に基づく密度流、風による吹送流が挙げられる。これらの流れを決定するものとして 2 つの外的要因と内的要因がある。外的要因には、①風、②河川水流入がある。風は、海陸風、気温分布・気圧分布による風、季節風に分けられる。河川水流入は降雨・降雪によって支配される。このように、1 つの外力に対して様々な変化要因がある。内的要因には、①貯水池形状、②貯水池内流動がある。貯水池形状には、湖底形状や水面面積などである。貯水池内流動は外的要因と密接に関わっている。

3-2 成層の特徴

成層の特徴は次式で表される内部フルード数 F_b により分類できる。

$$F_b = \frac{L}{H} \cdot \frac{Q}{V_0} \sqrt{\frac{\rho_0}{g}} \left/ \left(-\frac{d\rho}{dz} \right) \right. \cdots (1)$$

ここに、 L : 貯水池長、 H : 平均水深、 Q : 平均流入流量、 V_0 : 総貯水容量、 ρ_0 : 基準密度、 g : 重力加速度、 $d\rho/dz$: 密度勾配である。 F_b を鹿川貯水池の条件で求めると 0.000465 となり、一季成層型 (成層 I 型) ¹⁾ に分類される。一季成層型 (成層 I 型) とは、夏季・冬季どちらかで成層が形成され、気象要因が成層形成に対して支配的で、一次躍層が強いという特徴を持っている。図3、図4に 2004 年 4~11 月と 2005 年 3~8 月の水温の鉛直分布と降水量の経時変化を示す。いずれも、受熱期においては水温成層を形成しており、水温躍層の位置が水深 3m 前後にある。05 年、04 年ともに気温の減少し始める 8 月下旬に循環が起こり始めている。これは季節的な要因によるものであるので、以下では全層循環期より以前の成層形成期 (受熱期) について考察する。

3-3 成層破壊への影響

図3と図4より水温成層の破壊が起こっている日についてその原因を検討する。05 年では、4 月 30 日と 6 月 29 日に成層の破壊が見られる。04 年では、全層循環期になるまで成層を維持している。

はじめに、成層破壊の要因として、降雨の影響を考える。図3、図4からわかるように降水量は 05 年より 04 年の方が全体

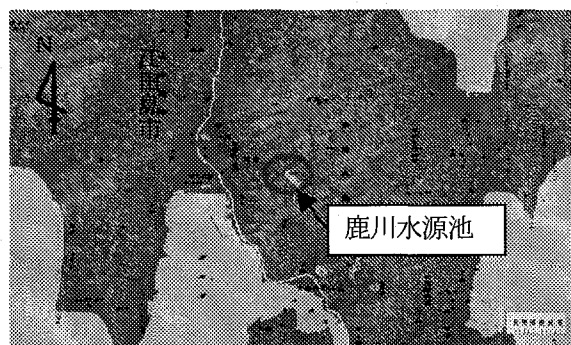


図1 対象貯水池

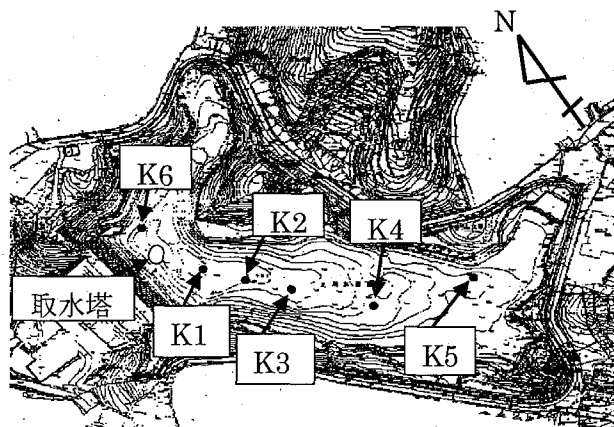


図2 測定および試料採水場所

的に多い。05 年は 7 月 1 日における多量の降雨以外まとまった降雨はない。それに比べ 04 年は何度かまとまった降雨が観測されている。このことから成層破壊の要因としては 04 年の方が強いと言える。しかし、04 年においては、5 月中旬に水温勾配が緩やかになっているだけであるのに対し、同じ降水量でも 05 年では成層破壊が確認されている。そこで、図 5 に示すように 05 年と 04 年の密度差の比較を行う。04 年は 05 年の密度差の最大約 2 倍の値となっている。したがって、成層強度（成層の壊れにくさ）も約 2 倍と考えられ、成層強度の違いが降雨による成層破壊に差異を生じさせたと考えられる。また、密度差の減少が確認できる日の前には必ず降雨があることから、密度差の変動の要因の主なものに降雨が考えられる。

次に、風による成層破壊について考える。指標として以下に示すリチャードソン数 Ri を用いる。

$$Ri = \frac{\Delta \rho}{\rho} \frac{gh}{u^2} \cdots (2)$$

ここに、 $\Delta \rho$ ：上下層の密度差、 ρ ：基準密度、 h ：上層厚さ、 g ：重力加速度である。リチャードソン数とは二成層流の安定を比較するときに用いられる。限界リチャードソン数 Ri_* は $Ri_* = 0.25$ であり、この値を超えると成層は不安定となる²⁾。 Ri_* を式(2)へ代入し限界の上下層の流速差 u_* を求めると次式となる。

$$u_* = 2 \sqrt{\Delta \rho \cdot gh / \rho} \cdots (3)$$

さらに、風速の 3.5% の流速を持つ吹送流が発生することが知られている³⁾、そこで u_* を用いて、限界風速 W は次式で表される。

$$W = u_* / 0.035 \cdots (4)$$

図 6 にこの限界風速と 1 日平均風速観測値の経時変化を示す。限界風速を超えたとき、成層は破壊されると推測されるが、観測値が限界風速を超えることはなく、風による影響は小さかったものと考えられる。

4. 結論

本研究で得られた知見を列挙する。

1. 対象貯水池は一季成層型（成層 I 型）に分類され、受熱期において水温成層を形成し、放熱期に入ると全層循環が始まる。
2. 水温成層破壊の主な要因としては、降雨が大きな要因である。100 mm/day 以上の降水量で破壊が起こりやすいが、密度勾配が大きい場合は破壊されにくい。
3. 今回の観測期間では成層破壊に至るほどの風は観測されなかったが、限界風速は 6~8 m/s 程度と推測される。

謝辞：本研究を行うにあたり株式会社共立には水質データの提供など多大なご協力を頂いた。ここに記して謝意を表する。

- 参考文献：1) 小林正典・岩佐義朗・松尾直規：わが国多目的貯水池の水理、水文的特徴とその評価、第 24 回水理講演会論文集、pp.245-250、1980
 2) 有田正光編、池田裕一、中井正則、中村由行、道奥康治、村上和男著：水圏の環境、東京電機大学出版局、2003
 3) 柳哲雄：沿岸海洋学一海の中でもものはどう動くか 改訂版、恒星社厚生閣、1994

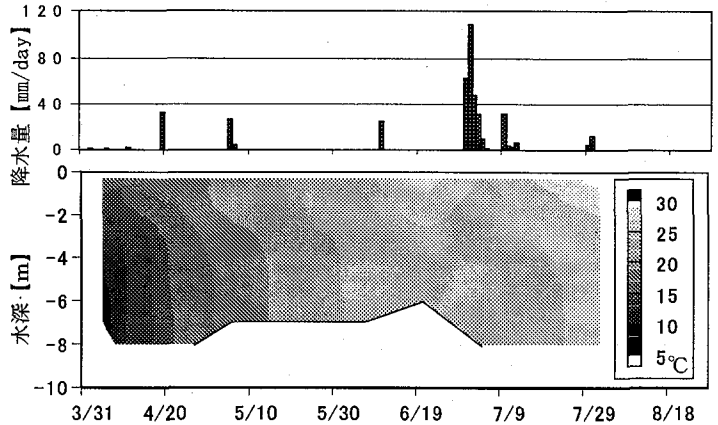


図 3 K6 の水温鉛直分布と降水量の経時変化 (2005 年度)

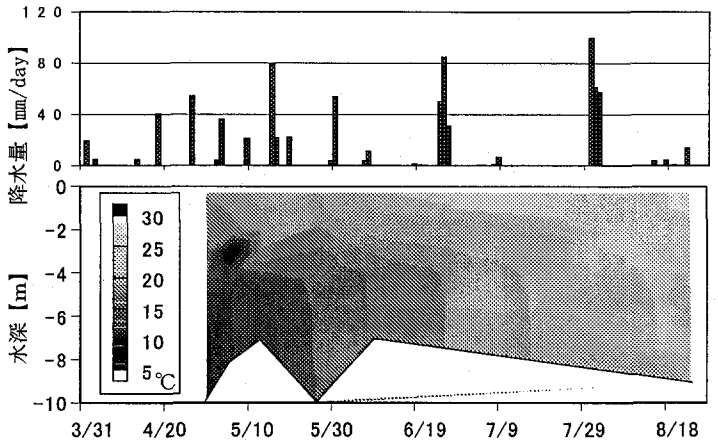


図 4 K6 の水温鉛直分布と降水量の経時変化 (2004 年度)

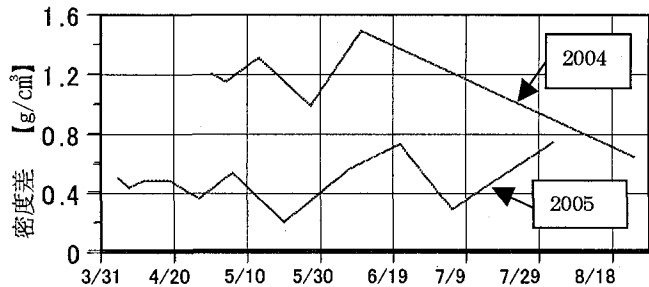


図 5 密度差比較 (成層強度比較)

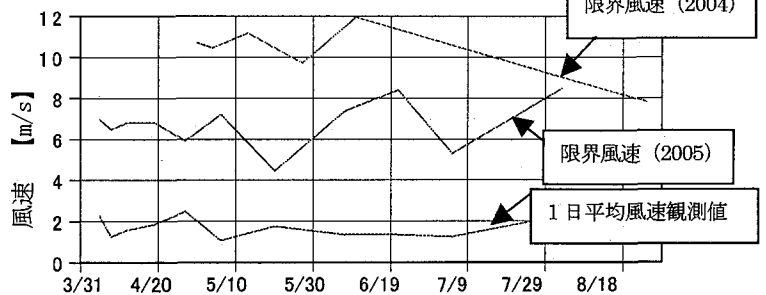


図 6 限界風速と観測値の比較