

ダム再開発事業が大鶴湖の水質・底質環境へ もたらす影響の解明

鹿児島大学学術研究院・理工学研究域・工学系

安達 貴浩

鹿児島大学大学院・理工学研究科・海洋土木工学専攻

小橋 乃子

ダム再開発事業が大鶴湖の水質・底質環境へもたらす影響の解明

鹿児島大学学術研究院・理工学研究域・工学系 安達貴浩

鹿児島大学大学院・理工学研究科・海洋土木工学専攻 小橋乃子

1. 本研究の目的

川内川中流域に位置する鶴田ダムでは、2006年7月の豪雨災害を受けて、ダム貯水池の洪水調節容量を増化させる再開発事業が進められてきた。このダム再開発事業は概ね完了しており、2016年6～8月にかけて、初めてダム貯水池（大鶴湖）の水位がそれまでより約15m低い状態で管理・運用された（図-1）。申請者は2014年度より、大鶴湖の水質・底質について現地調査を実施しており、水深の低くなった2016年度とそれ以前の観測結果を比較したところ、①「水温成層の緩和」、②「底層の無酸素水塊発生の緩和」、③「底泥の還元物質濃度の大幅な変化」、④「嫌気性ガスと考えられる気泡発生の消滅」等の変化を見出すことができた。ただし、2016年度の4～6月の平均流入流量は、それ以前と比べて1.5倍程度と多く、このような変化が、ダム再開発事業後の水深の変化あるいは2016年の比較的大きな流入流量のいずれによってもたらされたのかを明確にできなかった。さらに、2016年秋季には数年ぶりにアオコの発生が観察され、2017年の夏季にもアオコが継続的に発生した。このため、本研究では、水質・底質の総合的な現地調査を実施することによって、ダム再開発事業がダム湖の水質・底質環境に及ぼす影響を適切に評価することを目的とした。

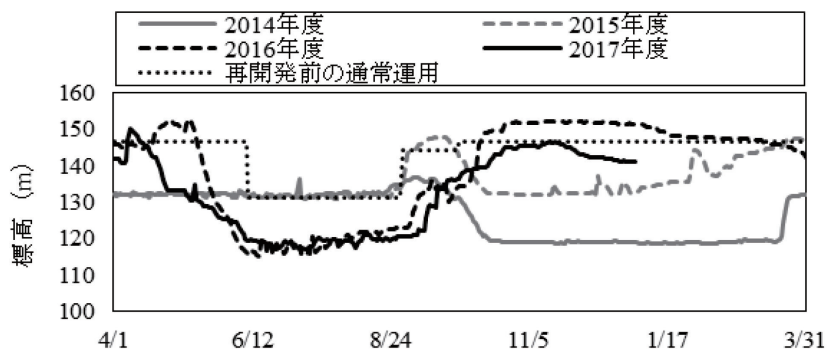


図-1 大鶴湖の水位変動

(2014,2015 年は工事のため冬季の水位を低下させている)

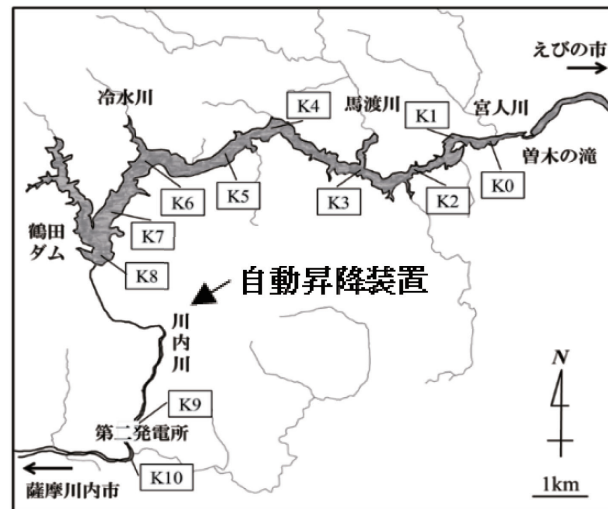


図-2 観測地点の概要

2. 現地調査の概要

2014年6月以降、月1~2回のペースで現地観測を実施しており、2017年度も同様の調査を行った。具体的には図-2に示すK1~K8の地点で、水温、DO、濁度の鉛直分布を計測し、更に有機物（溶存態、懸濁態）、栄養塩（三態窒素、リン酸、シリカ、TN、TP、DON、DOP）、Chl-*a*の分析を行った。また、2015年5月末からは連続データを取得するためにクロロフィル濁度計をK8近傍の水面下1m地点に設置した。さらに、K8近傍に設置されている自動昇降装置を用いた多項目水質計による高頻度観測データ（鶴田ダム管理所所有）のデータを活用した。

3. 観測結果

3-1 水温成層とDOの変化

結果の一例として、K8（大鶴湖最深部に相当）における7月の水温とDOの観測結果を示す（図-3）。2014、2015年の夏季には、標高90m~100m付近に急峻な水温躍層が存在し、いずれの観測結果においても水温躍層の下層に無酸素水塊が確認された。一方、2016、2017年の夏季に形成される水温躍層は比較的緩やかな勾配を示しており、図-3のDOの鉛直分布のように、夏季であっても時折、底層の貧酸素水塊が解消される様子が観測された。次に、このような水温成層の強さと貧酸素化の程度を定量的に評価するため、5mおきに計算した水温勾配の最大値（ $\Delta T/\Delta z$ ）maxならびにDOが2mg/L以下となる層厚の経時変化を調べた。その結果、2016、2017年の水温勾配は、観測期間にわたり小さいことが確認できた（図-4）。また2014、2015年の6~10月には、2mg/L以下の貧酸素水塊が常に存在しているのに対し、2016、2017年の8月までの期間で既に時折貧酸素水塊が解消され、さらに9月以降は貧酸素水塊が完全に解消されることが分かった（図-5）。

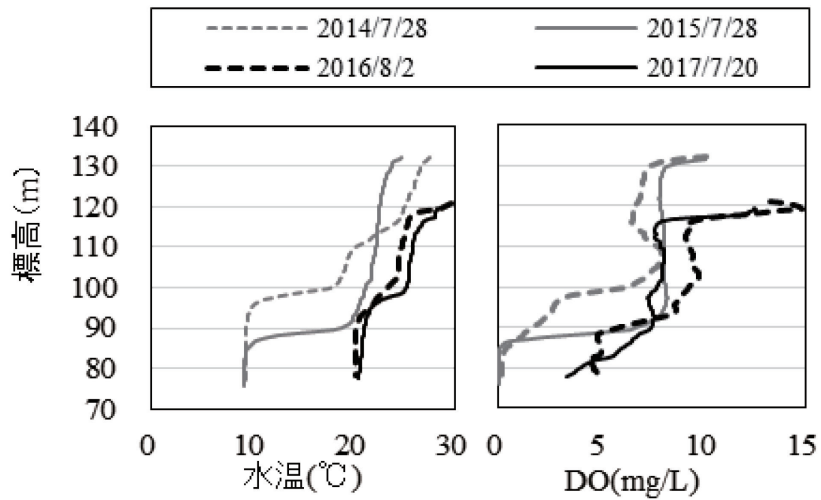


図-3 水温とDOの鉛直分布

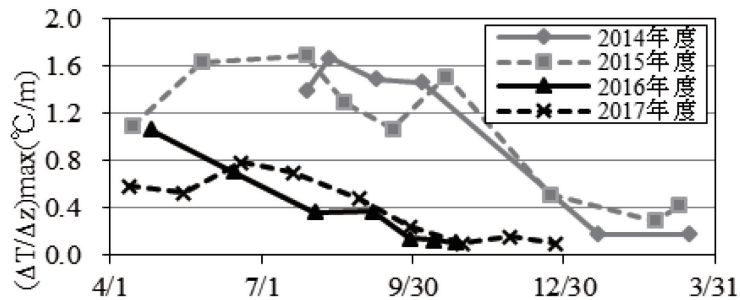


図-4 $(\Delta T/\Delta z)_{\max}$ の経時変化

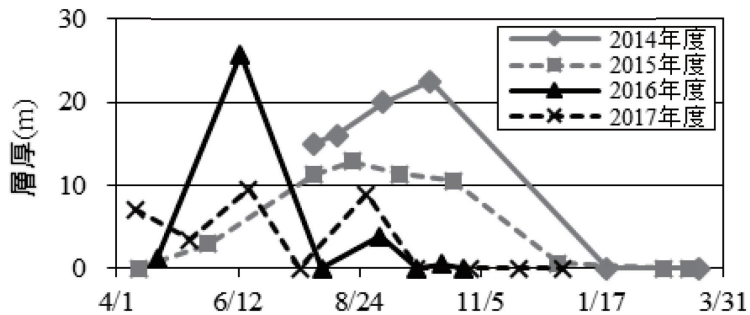


図-5 DOが2mg/L以下となる水塊の厚さ

3-2 高頻度観測データを用いた検討

次に、自動昇降装置に取り付けられた水質計の水温・DOの高頻度観測データ（日に1~2回の頻度）を活用し、水温成層とDOの動態やその形成要因について検討した。なお、昇降装置の設置場所はK8地点の近傍である。また昇降装置の移動距離は水表面から40mであるため、ここでの検討においては、水深が浅く、水温躍層よりも下層でのデータが取得できた6月~9月のデータの

みを対象とした。5mおきに計算した水温勾配の最大値($\Delta T/\Delta z$)_{max}と昇降装置最深部のDOの経時変化を見ると6月中旬から7月初旬にかけて($\Delta T/\Delta z$)_{max}が大きくなり、無酸素水塊が底層に形成されていることが確認された(図-6)。また、全天日射量、風速とDOの応答関係を調べたところ、明確な関係性は見られなかった。次に底層DOと流入流量の関係を調べると、流入流量の少ない6月中旬は底層がほぼ無酸素状態であったが、6月25日の流入流量の急増以後、水温成層が破壊され、底層DOもより高い状態になったことが確認された。

3-3 貯水位低下の影響について

3-1節の結果から、夏季の貯水位が低くなった2016年以降、大鶴湖の貧酸素化は緩和されたことが明らかとなったが、2016年夏季には、上述のように底層DOに対して支配的な要因となる流入流量が、2014、2015年よりも大きく(表-1)、貧酸素化の緩和が水位低下と流量の増加のいずれによってもたらされたのかを明確にすることができなかった。このため2014年と2017年との比較によって貯水位低下の影響を再評価した。2017年夏季の流入流量は2014年よりも小さく、全天

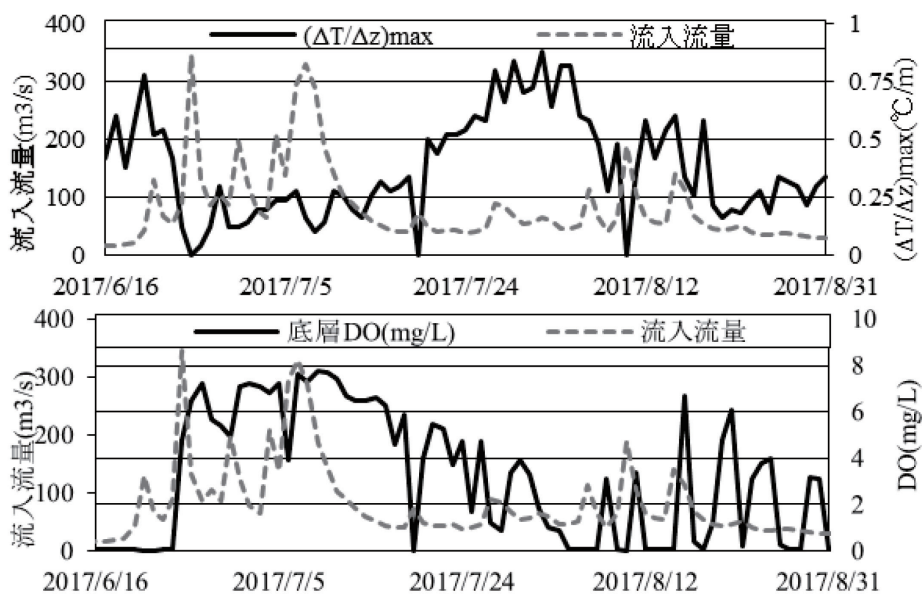


図-6 ($\Delta T/\Delta z$)_{max}, 底層 DO, 流入流量の経時変化

表-1 再開発事業前後の水理諸量の比較 (6/14~8/2のデータ使用)

	日射量比 Q_{after}/Q_{before}	流量比 Q_{after}/Q_{before}	水深比 h_{after}/h_{before}	Q^2_{after}/Q^2_{before}	$1/(h^3_{before}/h^3_{after})$	$Fr^2_{after}/Fr^2_{before}$
2014年と2017年の比較	1.17	0.71	1.55	0.5	< 3.74	1.88

日射量は2014年夏季よりも大きいことから、これらの条件のみを考慮すると、2017年は2014年よりも水温躍層が発達し、貧酸素水塊が形成されやすい条件下にあったと言える。しかしながら、上述したように、実際は2017年において貧酸素化は緩和されていることから、全天日射量や流入流量よりも貯水位の低下による「貧酸素化緩和効果」がより強く現れたと判断することができる。なお、(内部)フルード数 Fr が水位(水深)と流入流量の相対的な影響を定量評価する指標であると考えられるが(Fr が大きいと水温躍層や貧酸素水塊が形成されにくくなることを意味する)、両年の Fr^2 の値を比較すると、2017年において値が大きくなっており、この結果からも、「貯水位の低下によって貧酸素水塊が緩和された」と判断することができる。

3-4 底泥の変化

底質環境は、水質環境の長期的な変化を反映していることが知られている。このため、次に、K6地点で得られた底泥のPOC、AVS、間隙水中のアンモニア濃度、酸化還元電位(Eh)を比較した(図-7)。この結果、間隙水中のアンモニア濃度、酸化還元電位については、再開発前(2014年、2015年)と再開発後(2016、2017年)で大きな変化を示していることが分かった。一方、POCとAVSについては変動が大きく、明確な違いが見られなかったことから、各観測結果を再開発前(2014年、2015年)と再開発後(2016、2017年)の結果を平均して比較を行った(図-8)。この結果、平均的に見ると、底泥表面から10cmまでのPOCは再開発後の方が再開発前よりもや

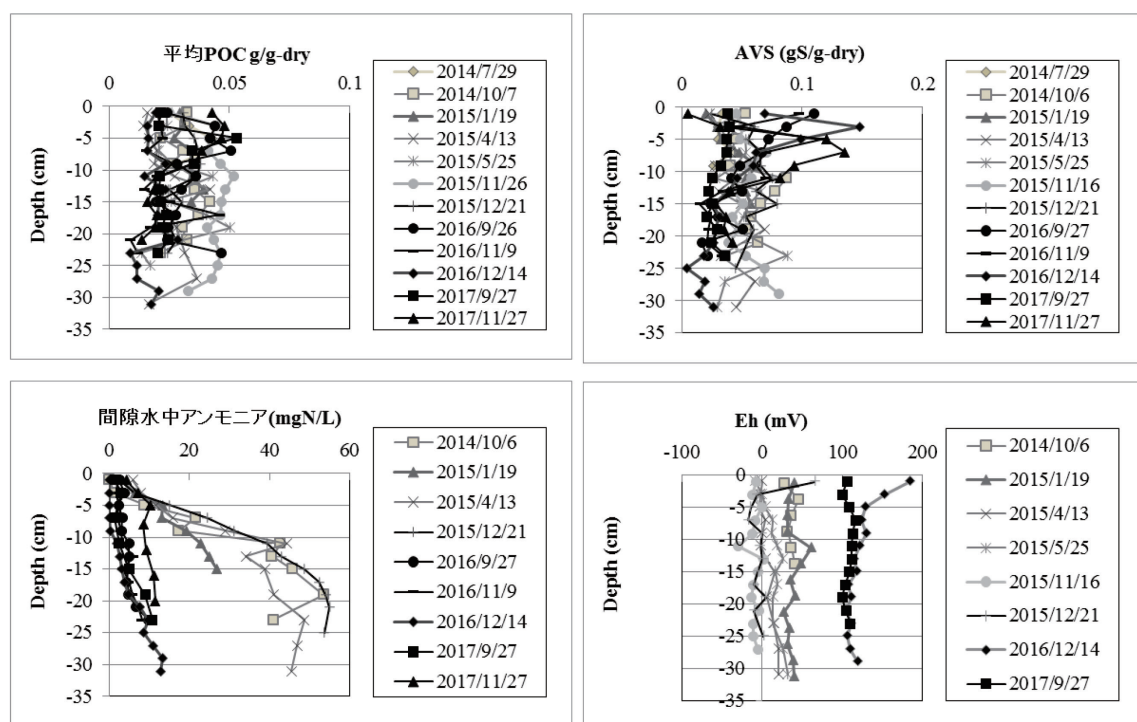


図-7 底質の変化

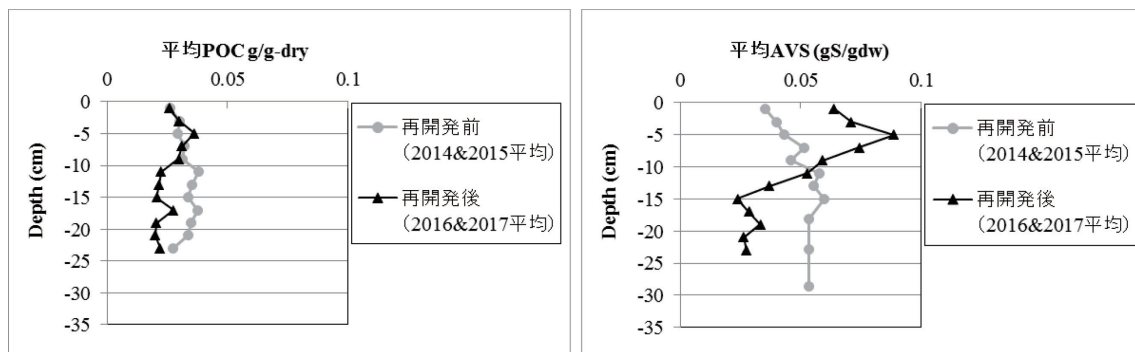


図-8 再開発前後での平均的な POC と AVS の比較

や大きく、AVSも高かったが、10cm以深についてはPOC、AVSともに再開発前よりも低くなっていたことが分かった。底層近傍の有機物は上流からの物質輸送や上層の生産で短期的に変動すると考えられるため、底泥近傍のPOCやAVSには影響が見られにくい、それよりも下層のPOCやAVSは低い値に抑えられていること、間隙水中のアンモニア濃度は大幅に低下し、Ehは大幅に増加していることを総合的に考えると、底層近傍の貧酸素化が緩和されたことによって、底質の環境も好气的に変化しているものと考えられる。

4. 結論

本研究の結果、夏季の水位が高かった再開発前（2014年，2015年）よりも、水位の低い再開発後（2016年，2017年）の方が底層の貧酸素化が緩和されていたことが確認された。さらに、底層の貧酸素化が水温成層の形成状況に左右されていること、水温成層の形成は主に流量の増減によって説明できることが示された。このように、底層の貧酸素水塊の破壊には夏季の流量が重要な役割を果たしているが、再開発後の2017年は再開発前に比べて流量が少なかったにも拘らず、底層の貧酸素化が緩和されていた。以上のことから、「鶴田ダム再開発事業により従来よりも夏季の貯水位が低く管理されるため、湖水が鉛直方向に混合されやすくなり、少ない流量であっても貧酸素化は緩和される可能性が高い」ことが明らかとなった。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、研究助成をしていただいた一般社団法人九州地方計画協会に深甚なる謝辞を表します。また、本研究の現地調査を遂行するにあたり、国土交通省九州地方整備局・鶴田ダム管理所の皆様、および鹿児島大学工学部の学生諸氏に、多大なるご協力をいただきました。また、分析に際しては、技能補佐員の仮屋崎潮氏、鹿児島大学技術部の二神裕子氏に多大なるご尽力をいただきました。ここに深甚なる謝辞を表します。最後に、本研究成果の一部は矢上稔樹君の卒業論文としてまとめられていることを付記します。