

鶴田ダム貯水池におけるリンの溶出特性に関する考察

鹿児島大学 学生会員 松下悠貴 正会員 安達貴浩 小橋乃子

1. はじめに ダム貯水池において、植物プランクトンの増殖は溶存無機態リン(以下、 $PO_4\text{-P}$)によって制限されていることが多く、ダム貯水池の水環境を考える上で $PO_4\text{-P}$ の動態を把握することは最も重要な要素の一つとなっている。 $PO_4\text{-P}$ は、生活雑排水や畜産・工場排水、山林や農地からの面源負荷として供給されるが、水域や季節によっては底泥からの溶出も無視できない。底層の貧酸素化に伴って底泥中の鉄やマンガンが懸濁態から溶存態のイオンとなり、結果的にこれらに結合していた $PO_4\text{-P}$ が溶出することになるが、鶴田ダム貯水池では、底層が無酸素状態になっても $PO_4\text{-P}$ の溶出を明確に確認できない。このような状況を考慮し、本研究では水文水質データベース¹⁾を活用し、まとまった水質・底質データが取得されている西日本の複数のダムの水質・底質特性を比較することにより、鶴田ダム貯水池における $PO_4\text{-P}$ の溶出特性についてマクロスコピックな検討を行った。

2. 使用データと対象ダム 使用したデータは主に水文水質データベース(国土交通省水管理・国土保全局)の水質・底質データであり、水質(採水層：表層、中層、底層)について月1回、底質について年1回(5月～8月)の頻度を基本とし測得データが公開されている。今回対象としたダムの諸データを表-1に示す。なお、平均回転率は各ダムの年間総流入量²⁾を有効貯水容量で割った値であり、データ使用期間の平均値を示している。また、以降では、各ダム貯水池のことを表-1に示す名称、例えば、「鶴田ダム」と表記する。

表-1 各ダム貯水池の諸量

名称 (所在地)	集水面積 (km ²)	有効貯水容量 (千m ³)	平均回転率 (回/年)	使用 データ期間
鶴田 (鹿児島)	805	98000	17.7	2000/1～ 2019/12
天ヶ瀬 (京都)	352	19145	160.7	2000/2～ 2020/8
石手川 (愛媛)	72.6	10600	2.5	2009/4～ 2020/3
島地川 (山口)	32	19600	3.0	2002/5～ 2010/3

3. 観測結果 3.1 DOと $PO_4\text{-P}$ の鉛直分布 結果の一例として、著者らが取得した鶴田ダム(基準点3: 堤体近傍の観測点)におけるDOと $PO_4\text{-P}$ の鉛直分布を示す(図-1)。これを見ると、各観測日とも標高88m以深ではほぼ無酸素状態になっているものの、その領域における $PO_4\text{-P}$ はむしろ深くなるほど低下しており、 $PO_4\text{-P}$ が底泥から溶出している様子は見て取れない。一方、他のダム貯水池を対象に、底層(湖底上1m)のDOと $PO_4\text{-P}$ の関係を調べると(図-2)、無酸素状態に近づくとも底層の $PO_4\text{-P}$ の値が急増するケースが見られ、このような結果は底泥からリンが溶出していることを示していると考えられる。 $PO_4\text{-P}$ の溶出を直接計測していないものの、 $PO_4\text{-P}$ の溶出があれば、少なくとも底層の $PO_4\text{-P}$ (以下 P_B)は、中層の $PO_4\text{-P}$ (以下 P_M)よりも大きな値を取ると考えられる。そこで次に、水文水質データベースを使用して、底層DOが1mg/L以下となる場合の $P_B/P_M = \alpha$ を算出し、 $PO_4\text{-P}$ が底に行くほど減少するType1($\alpha=0\sim 0.95$)、中層と底層の値がほぼ一致するType2($\alpha=0.95\sim 1.05$)、底に行くほど増加するType3($\alpha=1.05\sim$)に分類しそれぞれの出現割合を算出した(表-2)。この結果、鶴田ダムでは、底層DOが1mg/L以下であってもType1、つまり底層に行くほど $PO_4\text{-P}$ が低くなる図-1のような分布が高頻度に観測されており(73%)、 $PO_4\text{-P}$ が溶出しにくい環境にあると判断される。実際、2005年の鶴田ダム底泥を用いた溶出実験では $PO_4\text{-P}$ の溶出を確認できないことが報告されている。一方、他のダムでは中層より底層の値が大きくなるType3や、中層と底層がほぼ変わらないType2の出現がほとんどであるが、Type1のようなケースが20～30%の割

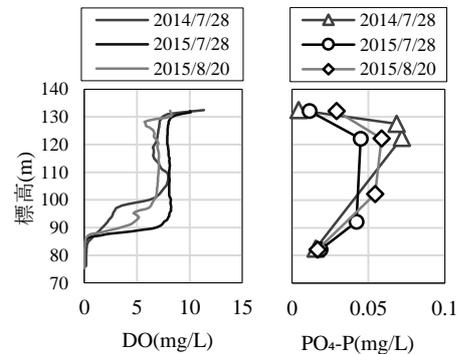


図-1 $PO_4\text{-P}$ とDOの鉛直分布
(鶴田ダム基準点3, 鹿大取得データ)

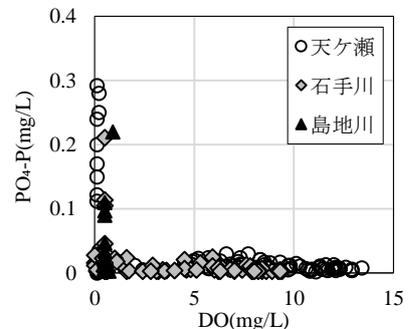


図-2 底層のDOと $PO_4\text{-P}$ の関係

合で出現するダムも存在している。いずれにしても鶴田ダムは溶出の影響が小さい Type1, 2 の出現頻度が他の 3 つのダムに比べて極めて高いことが分かった。

3.2 底層 NO₃-N と PO₄-P の関係 既往の研究により、硝酸態窒素(以下、NO₃-N)の値が 0.4~0.6mg/L あれば PO₄-P の溶出が生じないという知見が得られている³⁾。このため、表-2 のタイプ毎に底層の NO₃-N の平均値を算出した(図-3)。ただし、データ数が限られていることから、 P_B/P_M が 1.05 より大きい Type3 とそれ以外(Type1, Type2) とで比較を行った。この結果、底層の NO₃-N が特に低い島地川ダムを除くと、Type1, 2(PO₄-P の溶出の影響小)において Type3(PO₄-P の溶出の影響大)よりも底層 NO₃-N が大きくなる傾向が見られた。特に、鶴田ダム、石手川ダムにおいて Type1, 2 の平均底層 NO₃-N は 0.4mg/L 以上となっており、上記の知見に従うと比較的高濃度の NO₃-N が PO₄-P を抑制しているものと推察される。ちなみに、天ヶ瀬ダムと島地川ダムでは NO₃-N が低いにも関わらず PO₄-P の溶出の影響が小さい Type1, 2 の結果が存在しているが、この理由は今のところ明確ではない。

3.3 底泥中の鉄、マンガンと T-P の関係 次に、底泥中の鉄、マンガンと総リン(以下、T-P)との関係を調べた。図-4 を見ると、鶴田ダムの結果においてのみ、鉄、マンガンと T-P の間に正の相関が見て取れる。また、鶴田ダムでは他のダムと比べて T-P/鉄や T-P/マンガンが高く、また鉄やマンガンの濃度自体が大きくなる場合がある。鉄、マンガンと T-P の間に相関があることは、底泥中에서도リンは鉄やマンガンに吸着している、つまり鉄やマンガンが懸濁態として存在していることを意味していると考えられる。また高い T-P/鉄、T-P/マンガンの値は、このような懸濁態の鉄、マンガンの存在比の高さに加え、鉄、マンガン自体の吸着能の高さによって生じていると考えられる。3-2 節において、石手川ダムでも底層の NO₃-N は比較的高い値を示しているのにも関わらず、溶出の影響が小さい(Type1, 2)が出現する頻度は鶴田ダムの方が明らかに高いという結果が得られている(表-2)。石手川ダムの結果を見ると、鉄、マンガンと T-P の間に相関がなく、また、T-P/鉄、T-P/マンガンの値も小さいという鶴田ダムとの特性の違いから判断すると、同程度の底層 NO₃-N であっても、鉄やマンガンの存在形態や吸着能の違いによって、鶴田ダムと石手川ダムの特徴の違いが生じた可能性を指摘することができる。

4 結論 本研究では複数のダム貯水池を対象に PO₄-P の溶出に関連する水質・底質環境について比較・検討を行った。その結果、鶴田ダム貯水池では底層の NO₃-N が比較的高いことに加えて、底泥の懸濁態の鉄やマンガンの存在比や吸着能が高いことが要因となって、PO₄-P の溶出が抑制されている可能性が示唆された。

5 参考文献 1) 国土交通省:水文水質データベースホームページ (URL:http://www1.river.go.jp/) , 2) ダム諸量データベース (URL:ダム諸量データベース(nilim.go.jp)) 3) 鈴木穰, 阿部千雅, 中園孝裕(2007): 貯水池底泥からの栄養塩類溶出推定方法の開発 土木技術資料, 49-6.

表-2 各タイプの出現確率(単位%)
(底層 DO が 1mg/L 以下の場合)

名称	データ数	Type1	Type2	Type3
		$0 < \frac{P_B}{P_M} < 0.95$	$0.95 < \frac{P_B}{P_M} < 1.05$	$1.05 < \frac{P_B}{P_M}$
鶴田	112	73	18	9
天ヶ瀬	26	27	8	65
石手川	21	20	40	40
島地川	28	0	50	50

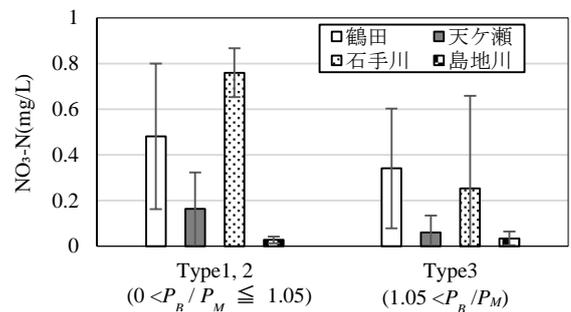


図-3 タイプ別 NO₃-N 平均
(底層 DO が 1mg/L 以下の場合)

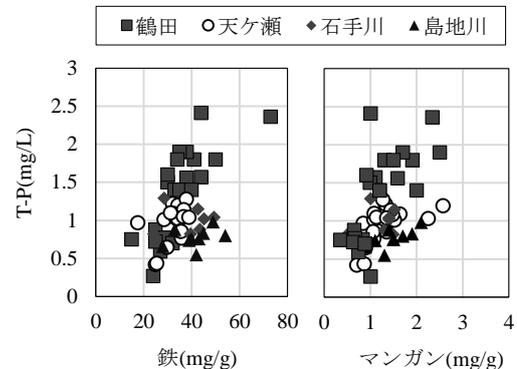


図-4 底泥中の鉄、マンガンと T-P の関係