

湖山池における底泥の栄養塩溶出に関わる因子について

【水環境対策チーム】

岡本将揮、森 明寛、前田晃宏、増川正敏、盛山哲郎

1 はじめに

湖山池では様々な水質浄化施策が行われているが¹⁾、環境基準の類型指定されている水質項目（COD、TN、TP）は、いずれも定められた基準を達成していない。当所では湖山池の汚濁機構解明に向け内部負荷に着目した調査を継続しており、これまでに実施した底質平面分布調査において湖底の大部分が窒素、りん、有機物に富んだ底質であることを明らかにした²⁾。このことから底泥からの栄養塩（無機態窒素、無機態りん）の溶出が相当量あることが予想される。

過去に湖山池でも栄養塩溶出試験は実施されているが³⁾、複数の因子を同時に比較した報告はない。そのため湖山池の底泥において、どの因子が栄養塩溶出に最も強い影響を与えているかが明らかになっていないのが現状である。そこで本研究では溶出特性に関わると予想される因子（水温⁴⁾⁵⁾、DO⁵⁾⁶⁾、塩分⁷⁾）について比較し、栄養塩溶出に強い影響を与えている因子を把握することを目的とした。

2 方法

2.1 野外調査

2016年7月22日に調査を実施した。調査地点は三

津地点（図1）において離合社製の不攪乱柱状採泥器HR型を用いて内径11cm長さ50cmの亚克力管に底泥を泥厚15cm程度採取した。なるべく層構造を乱さぬように実験室に持ち帰り、実験開始まで冷暗所（4℃）で現地直上水を入れたまま保管した。

2.2 室内実験

実験装置は図2に示すとおりに設置した。本研究では直交実験⁸⁾と呼ばれる手法を用いた。この手法は少ない実験サンプルで複数の項目を同時に検討できる利点がある。水温と塩分は3水準、溶存酸素（DO）は2水準を設定し、実験に用いる直上水の条件をL₉の直交配列表に従い割り付けた（表1）。ただし、DOに関しては好気と嫌気の2水準のみであるため、擬水準法⁹⁾を用いて嫌気条件を擬水準として割り付けた。DO条件について、好気条件は空気を、嫌気条件は窒素ガスを100mL/minの流量で通気し、好気条件は飽和状態、嫌気条件は1mg/L以下に維持した（図2）。塩分条件は塩化ナトリウムを蒸留水に溶解させて各塩分濃度に調製した。

開始直前に各亚克力管の現地直上水をぬき、表1のとおり水温、塩分、DOを各条件に調製した試験水を底泥表層の構造を乱さないように静かに2000mL程度注水した。



図1 調査地点図

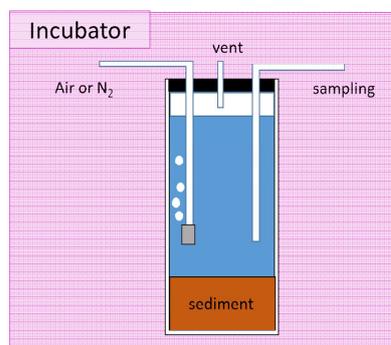


図2 実験装置の模式図

表1 各サンプルの条件

水温	塩分	DO
4	0	嫌気
4	9	好気
4	15	嫌気
20	0	好気
20	9	嫌気
20	15	嫌気
32	0	嫌気
32	9	嫌気
32	15	好気

表2 DIN 及び DIP の分散分析表 (**P<0.01, *P<0.05)

DIN	自由度	F 値	P 値		DIP	自由度	F 値	P 値
水温	2	35.14	0.008	**	水温	2	3.09	0.187
塩分	2	1.23	0.408		塩分	2	0.21	0.821
DO	1	8.80	0.059		DO	1	18.28	0.024
残差	3				残差	3		

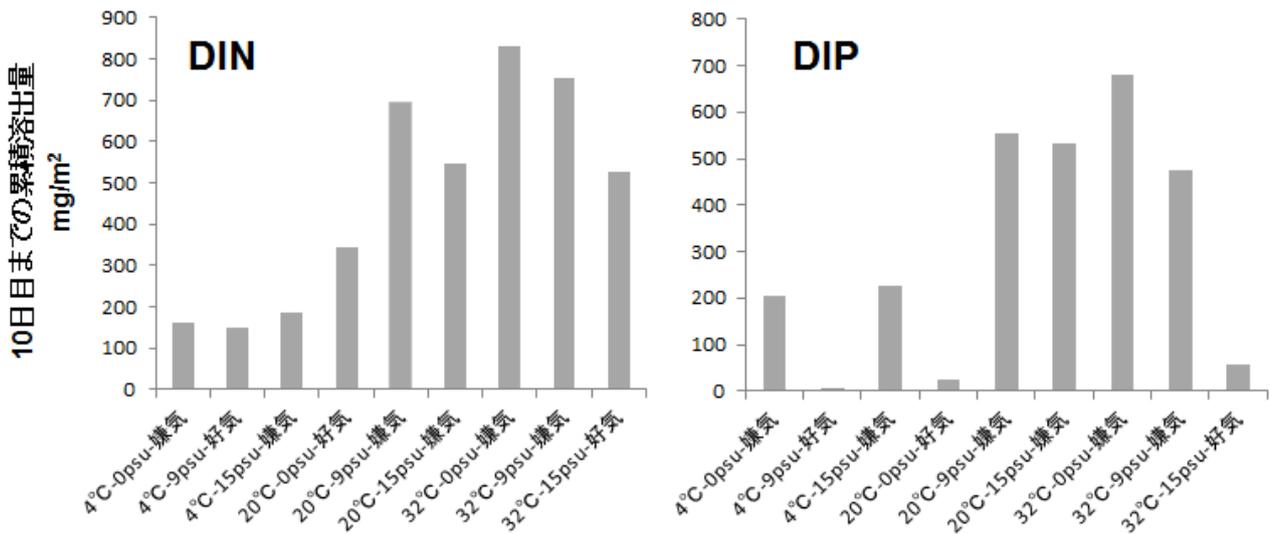


図3 DIN 及び DIP の累積溶出量

なお、装置を設置した時点をもととし、実験はすべて遮光条件で行った。

2.3 水質分析

0、1、3、5、7、10日目にガラス管から50mL採水した後、0.45µmのシリンジフィルターで濾過した試水を栄養塩自動分析装置 (SYNCA: ビーエルテック社製) にてアンモニア態窒素 (NH₄-N)、亜硝酸態窒素 (NO₂-N)、硝酸態窒素 (NO₃-N)、りん酸態りん (PO₄-P) を測定した。

2.4 データ解析

窒素については溶存態無機態窒素 (DIN (NH₄-N、NO₂-N、NO₃-Nの和))、りんは溶存態無機態りん (DIP (PO₄-P)) として評価した。水温、塩分、DOを固定要因、DINとDIPの10日目までの累積溶出量を従属変数とした分散分析を行った。本稿における統計解析には統計解析ソフトである R ver 3.4.0 を使用した。

3 結果と考察

DINとDIPの10日目までの累積溶出量を図3に示した。また、分散分析の結果を表2に示した。(各サンプルの測定日ごとのDIN及びDIP濃度について

は6付録を参照)

3.1 窒素

水温のみに有意差がみられ (表2、F=35.14、P=0.008)、高水温になるほど溶出量が增大する傾向が見られた (図3)。このことから窒素の溶出には水温が最も強い影響を及ぼしていることが明らかである。NH₄-Nは一般に底泥中の有機態窒素の分解によって溶出すると考えられ^{9) 10)}、その溶出量は高水温条件下で溶出速度が増すことも報告されている^{4) 5)}。このことは、今回の結果とよく一致する。

これに対して、DOと塩分については有意差が認められなかった。このことはDOと塩分は窒素溶出に対して水温ほど強い影響を及ぼさないことを示している。しかし、DOについては有意差がなかったがF値とP値の値から、条件間の差がある傾向が認められた (表2、F=8.80、P=0.059)。過去の先行研究では嫌気状態で溶出速度が増大するという報告^{4) 5)}、DO条件にあまり影響を受けないという報告¹¹⁾、好気状態で溶出速度が増大する報告¹²⁾があり、調査地の底泥や直上水の状態によって溶出特性に違いがある可能性がある。

塩分については、汽水化前の湖山池底泥で塩化ナトリウムで調製した高塩分水を使用した溶出実験に

において、塩分の増加に伴い $\text{NH}_4\text{-N}$ の溶出量が顕著に増大したと報告されており⁷⁾、今回の結果と異なるものであった。一般に底泥中の $\text{NH}_4\text{-N}$ の多くは底泥粒子に吸着された状態で存在する。直上水中の陽イオン (Na^+ 等) が $\text{NH}_4\text{-N}$ よりも多く存在する場合、濃度の高い陽イオンが優先的に泥粒子に吸着し $\text{NH}_4\text{-N}$ は水中へ遊離される。中村ら(2001)は汽水化前の湖山池の湖水は淡水～低塩分のため泥粒子に多量の $\text{NH}_4\text{-N}$ が吸着されており、高塩分の水と接触することにより吸着態 $\text{NH}_4\text{-N}$ が一度に脱離したため $\text{NH}_4\text{-N}$ の溶出量が顕著に増大したと結論づけている⁷⁾。今回の実験で塩分による DIN 溶出の差が認められなかったのは汽水化後の湖山池底泥は汽水化前より高塩分の湖水に常時接触しているため、汽水化前よりも底泥中の吸着態 $\text{NH}_4\text{-N}$ が減少していたことが原因と考えられる。

3.2 リン

DO のみに有意差がみられ (表 2、 $F=18.28$, $P=0.024$)、嫌気で溶出量が増大していた (図 3)。このことから、リンの溶出には DO が最も強い影響を及ぼしていることが明らかになった。小林らは低い DO 濃度状態では底泥中の鉄イオンが Fe^{3+} から Fe^{2+} に還元され、 Fe^{3+} に吸着していた $\text{PO}_4\text{-P}$ が遊離するため溶出速度が増大すると述べている⁶⁾。このことは今回の結果ともよく一致する。

一方、水温と塩分は有意差が見られなかった (表 2)。しかし、水温については 0psu・嫌気条件のみで比べると低水温 (4°C) よりも高水温 (32°C) でおおむね 2 倍以上の溶出量であった (図 3)。リンの溶出は水温に高水温時に増大する報告もあることから^{4) 5)}、リンの溶出は水温の影響も受けていることが疑われるが、本実験では影響が大きい因子の効果が支配的であったため、影響が比較的小さい因子の効果判別が困難であったと考えられる。

4 まとめ

本研究により、湖山池底泥の栄養塩溶出には窒素 (DIN) は水温が、りん (DIP) は DO が最も強い溶出に関わる因子であることが示された。しかしながら、直交実験のみでは影響の程度が低い因子の効果判定は困難であったため、実験手法を改良してより詳細な検討を行う予定である。

5 引用文献

- 1) 鳥取県, 鳥取市: 湖山池将来ビジョン推進計画, (2013).
- 2) 岡本将揮, 森 明寛, 前田晃宏, 増川正敏, 奥田益算, 木下博登: 鳥取県衛生環境研究所報, 56, 26-32, (2015).
- 3) 鳥取県: 湖山池環境改善事業観測調査業務委託報告書 (2012).
- 4) 白柳康夫, 大矢正代: 横浜市公害研究所報, 15, 57-66, (1991).
- 5) 細川恭史, 三好英一, 堀江 毅: 港湾技研資料, (1981).
- 6) 小林節子, 西村肇: 水質汚濁研究, 14, 253-260, (1991).
- 7) 中村仁志, 道上隆文, 藤田紀子, 南條吉之: 鳥取県衛生環境研究所報, 41, 60-64, (2001).
- 8) 中村義作: よくわかる実験計画法, 東京, 近代科学社, 1997. (ISBN4-7649-1042-X)
- 9) 神谷 宏, 石飛 裕, 井上徹教, 中村由行, 山室真澄: 陸水学雑誌, 57, 313-326, (1996).
- 10) 河合 章: 沿岸海洋研究ノート, 18, 106-11, (1981)
- 11) 浮田正夫, 中西 弘: 用水と廃水, 16, 691-698, (1974) .
- 12) 後田俊直, 山本哲也, 寺内正裕: 広島県立総合技術研究所保健環境センター研究報告, 24, 43-50, (2016)

6 付録

各サンプルDIN及びDIP濃度の推移

