

浅いため池の底質環境

Survey of Sediments in Shallow Ponds

笹田康子 岡井 隆* 小蓑幸代 田中さと子**
Yasuko SASADA Takashi OKAI Sachiyo KOMINO Satoko TANAKA

要旨

平成17～18年度、環境技術実証試験において、水質浄化機器の底質への影響や浄化効果を評価するために、富栄養化した小さな浅いため池の水質、底質の性状及び沈降性物質、底質からの回帰調査を調査した。調査から得た知見から、多様性に富む底質環境の実態を明らかにし、底質環境が水域に与える影響及び池内における物質の循環過程を明らかにしたので以下のとおり報告する。

- 1 ため池の底質は有機物、窒素、りんが高濃度に蓄積された性状を示した。
- 2 底質の含有成分の鉛直濃度分布は、表面部が最も高く、深くなるに従って低下していた。
- 3 間隙水の性状は $PO_4\text{-P}$ の溶出に大きな違いが見られ、底質の性状の違いを反映していた。
- 4 沈降性物質は動植物に由来する懸濁物質から成り、巻き上げと沈降を分解しながら繰り返し、堆積し底質となる。
- 5 底質の回帰調査の結果、 $NH_4\text{-N}$ と $PO_4\text{-P}$ が特異な挙動を示した。

キーワード：ため池 富栄養化 底質 沈降性物質 回帰

I はじめに

香川県は、平成17～18年度にかけて環境技術実証モデル事業における湖沼等水質浄化技術の技術実証試験を行った。実証対象技術はエジェクターにより空気を池水に溶解させ、ポンプで系内の水循環を促進することで水質を浄化する技術であり、実証試験結果については報告書等¹⁾²⁾で参照できる。従来から底質は栄養塩類の蓄積の場として捉えられ内部汚濁発生源とみなされているが、それぞれの湖沼等がもつ特性が極めて多様性に富む特性を有する³⁾ため、小さな浅いため池の底質の性状は明確には把握されていない。本報では、富栄養化が進みアオコの発生が毎年のように見られる、小さな浅いため池に蓄積された底質が水域に与える影響という観点から、環境技術実証試験の過程において実施した長池(実証対象機器を設置した実証池)と羽子池(対照池)の底質性状調査、沈降性物質調査、底質からの回帰調査等から得られた知見に基づき、ため池の底質環境について報告する。

II 調査方法

1 長池、羽子池の概要

表1に長池、羽子池の概要を示す。当該地域は下水道が整備されており、生活排水や工場排水がため池に流入することはないが、農業排水が上流の水田

や池から流入していた。防火用水としての用途があり、落水することはなく、年中ほぼ満水状態であった。平成17年の実験開始前は両池ともアオコの発生が見られたが、長池では水質浄化機器を稼動してからはアオコの発生は見られなかった。一方、羽子池は11月中旬までアオコ特有の緑色を呈した。平成18年も機器を稼動した長池ではアオコは発生せず、羽子池では前年同様の発生状況であった。

両池とも池の浚渫はしておらず、多量の泥が堆積していた。長池で平均34cmの底質の厚みがあり、羽子池では40cmの厚みがあった。

表1 長池、羽子池の概要

名称	長池	羽子池
面積	1,350 m ²	1,000m ²
貯水量	2,000 m ³ (満水時)	1,400 m ³ (満水時)
水深(最大)	1.6 m (満水時)	1.4 m (満水時)
集水域面積	約 23,000 m ²	約 20,000 m ²
用途	農業用水、防火用水	農業用水、防火用水
特記事項	平成17～18年度水質浄化機器を設置し実証試験実施	機器以外の作用による影響を除去するための対照用の池として実証試験実施

参考：水深は越流口に設置している板により任意に変えることが可能で調査時の実際的水深は長池で1.3m、羽子池で1.1mであった。

*環境森林部環境政策課 **香川県中央病院中央検査部



図1 長池、羽子池の位置及び調査地点

2 底質性状調査

(1) 調査時期

エクマンバージ型採泥器による採取は、平成17年5月18日、7月27日、平成18年4月24日、7月20日、11月22日の5回実施した。

柱状採泥器による採取は、平成18年1月と12月の2回実施した。

(2) 調査地点

調査地点を図1に示す。長池では平成17年は3地点(st1, st2, st3)、平成18年は2地点(st2, st3)で調査を実施し、羽子池では平成17, 18年とも湖心で調査を実施した。

(3) 採泥方法

エクマンバージ型採泥器(採泥面積15cm×15cm, 本体重量5kg)を用い、底質調査方法(平成13年3月環境省)の底質採取法に従った。底質はデータのバラツキが大きく、地点間の相違や水深の違いによっても異なる⁴⁾ので、サンプリング誤差を低減するため、同一地点において数回採取し、それらを混合したものを調査試料とした。

さらに採取した底質から遠心分離法により間隙水を抽出し、分析に供した。

また、内径50mmの亚克力パイプを用いた自家製の柱状採泥器を用い、ため池の底泥に鉛直方向にパイプを挿入し、柱状試料を採取した。(写真1)1地点あたり10回採取し、底質は5cm毎にカットして、性状調査用試料とした。



写真1 柱状採泥器

(4) 調査項目及び分析方法

底質の調査項目は、ORP, 含水率, 強熱減量, COD_{sed} , T-N, T-P, TOCであり、底質調査方法(平成13年3月環境省)に従い分析した。

間隙水の調査項目は、pH, COD_{Mn} , NH_4-N , NO_3-N , NO_2-N , PO_4-P であり、JIS K0102に従い分析した。

3 沈降性物質調査

ため池内の物質循環の状況を把握するため、沈降性物質の量的把握と性状調査を実施した。また、沈降性物質の分解性を調査するため、採取した沈降性物質を容器ごと室内の暗所に常温で7日間保存して、その重量差と強熱減量の変化を測定した。

(1) 調査期間

平成18年1月～7月、捕捉期間による沈降量の差を見るため、1日から最長29日間の捕捉期間の延11回調査した。

(2) 調査地点

長池 st2, 羽子池の湖心

(3) 捕捉方法

直径6cmのガラス瓶9個を固定したカゴを、池底に設置回収した。(写真2)



写真2 沈降性物質採取容器

(4) 調査項目及び分析方法

沈降性物質の調査項目は、沈降水量、乾燥減量、強熱減量、COD_{sed}、T-N、T-Pであり、沈降水量は湖沼環境調査指針(1982年(社)日本水質汚濁研究協会編)に従い測定し、他の項目は底質調査方法(平成13年3月環境省)に従い分析した。

4 底質からの回帰調査

底質からの栄養塩類の回帰の知見を得るため、長池及び羽子池の底質と底層水を採取し、室内での溶出実験を行った。水質浄化機器稼動前と稼動後の2回実施した。

(1) 調査時期及び採取方法

溶出試験に供する底質試料は、長池はst2,羽子池は湖心において、平成18年4月(稼動前)、12月(稼動後)の2回、エクマンバージ型採泥器で採取した。底層水は底質表面から20cm 上部で採取した。

(2) 溶出試験方法

採取した底質は、できるだけ現場に近い状態を保ちながら、図2に示す室内溶出実験装置を用いて、表2に示す実験条件にて溶出試験を実施した。

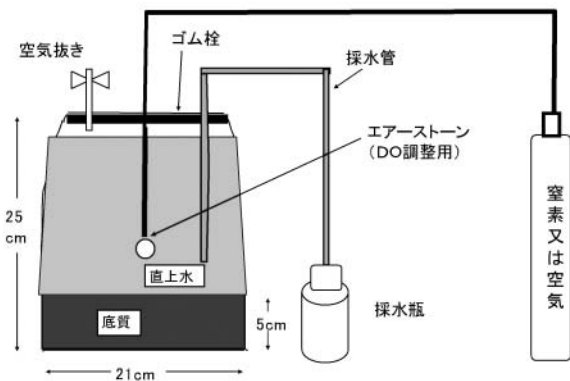


図2 室内溶出実験装置

(3) 調査項目

直上水を採取して、T-N、NH₄-N、NO₃-N、NO₂-N、T-P、PO₄-Pの濃度を測定し、溶出速度を算出した。

溶出速度(mg/m²/日)は試験開始時から各採水時間ごとに溶出量を測定し、X軸に時間、Y軸に溶出量(mg/m²)をプロットし、1次回帰式を求め、この傾きから溶出速度として1日あたりの溶出量を算出した。

表2 溶出試験の実験条件

溶出試験試水	各池の深層水をろ紙(1μm)でろ過し、水温とDO濃度を調整して用いた。(各試験4L使用)
底質試料	エクマンバージ採泥器で採取した底質の直上水を除き試験装置中に泥厚が5cmとなるように調整した。(直上水と接する底泥の面積は0.035m ² 、各試験約1kg使用)
試験期間	試験開始から72時間後まで
採水頻度	0, 2, 4, 6, 10, 24, 48, 72時間の8回採水
分析試料	1回あたり150ml採水した試料をろ紙(1μm)でろ過したものを使用
水温条件	嫌気条件:20℃, 好気条件:20℃
DO条件	嫌気状態:2mg/L以下, 好気状態:飽和
照度条件	暗条件

国土環境院からご教示いただいた実験条件を参考とした。

Ⅲ 結果及び考察

1 底質性状調査

エクマンバージ採泥器を用いて5回(長池st1は3回)調査した結果(最小値~最大値及び平均値)を表3,表4に示す。

長池st2,st3の底質は、各項目とも近似した値を示すが、st1は全ての項目についてst2,st3の測定値よりも3割程度低い値であった。このことは、st1の水深がst2,st3と比べ0.2m浅く、小石や礫が多く含まれた組成であることと関係していると思われる。

羽子池のT-Pは、長池st2と比べると2倍程度高い濃度を示したが、それ以外は大差ない性状であった。

山中氏の報告⁵⁾によれば、香川県内の40箇所のため池における底泥表層部の分析結果(平均値±標準偏差)は、COD_{sed}43.7±23.4(mgO/g)、T-N3.8±1.9(mgN/g)、T-P0.77±0.55(mgP/g)であり、これらのデータと比較すると、両池ともT-Nは範囲内であったが、両池のCOD_{sed}や羽子池のT-Pは突出して高い濃度であることが分かった。

T-P 濃度1.2mgP/g は地殻中のりん含有量に大体等しく、流域からの土粒子由来の成分を表しているとの報告⁶⁾を参考にして、長池の T-P は土粒子の由来と推測されるが、それ以外の両池の底質性状は、有機物や栄養塩類が非常に高い濃度で蓄積されていると評価できる。

図3に柱状採泥試料の深さ別の濃度分布を示す。両池とも底質の表面部で各項目とも最高濃度を示し、深くなるに従って濃度が低下することが確認された。強熱減量、COD_{sed}、TOC、T-N は、両池ともほぼ同じ濃度で推移していた。T-P については、長池では20cmの深さまで約1mgP/gの濃度で推移していたが、羽子池は底質表面で2.5mgP/gという高濃度を示し、段階的に低下して20cm以下では長池と同濃度を示した。

また、エクマンバージ型採泥器(採泥面積15cm×15cm、本体重量5kg)は深さ10~15cmの部位を採取していることが計算上確認された。

表3 長池の底質の性状(エクマンバージ採泥試料)

項目	単位	地点	底質濃度	
			最小値~最大値	平均値
含水率	%	st 1	48~59	53
		st 2	61~65	63
		st 3	59~66	63
強熱減量	%	st 1	6.7~11	8.7
		st 2	12~14	13
		st 3	12~14	13
COD _{sed}	mgO/g	st 1	45~64	54
		st 2	62~87	78
		st 3	63~91	79
TOC	mg/g	st 1	30~50	38
		st 2	44~52	48
		st 3	43~55	49
T-N	mgN/g	st 1	3.2~4.4	3.8
		st 2	5.1~6.5	5.9
		st 3	5.1~6.5	5.6
T-P	mgP/g	st 1	0.73~0.75	0.74
		st 2	0.95~1.9	1.2
		st 3	0.94~1.0	0.99

表4 羽子池の底質の性状(エクマンバージ採泥試料)

項目	単位	地点	底質濃度	
			最小値~最大値	平均値
含水率	%	湖心	58~62	60
強熱減量	%	湖心	12~14	14
COD _{sed}	mgO/g	湖心	67~88	78
TOC	mg/g	湖心	49~56	52
T-N	mgN/g	湖心	5.3~5.8	5.5
T-P	mgP/g	湖心	2.1~2.3	2.2

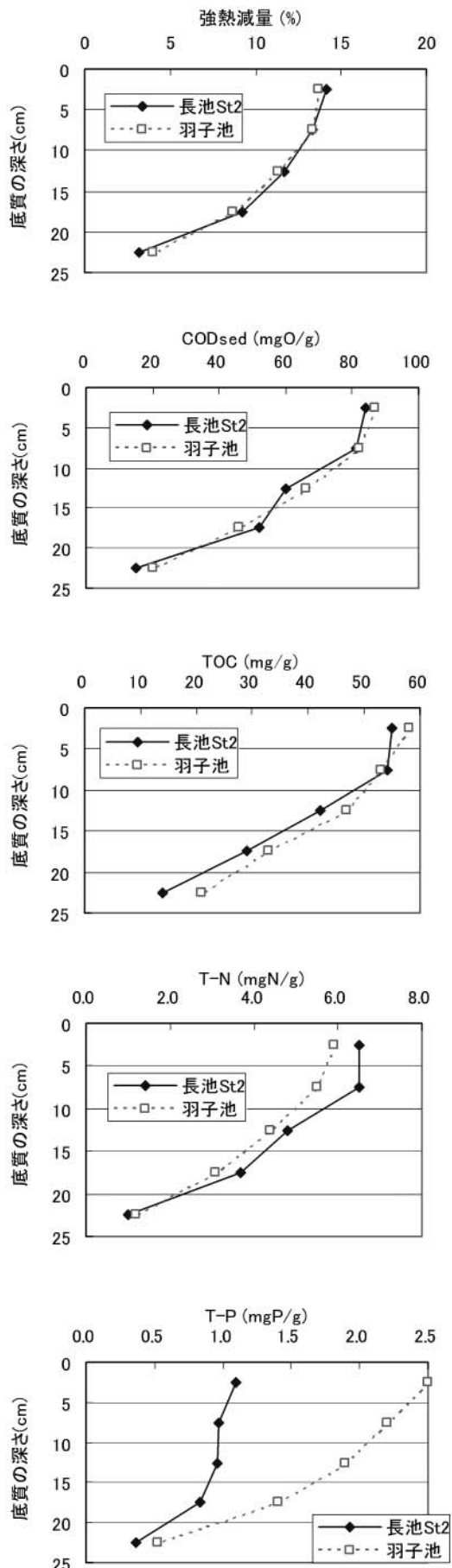


図3 柱状採泥試料の深さ別濃度 (H18.12)

表5 長池の間隙水の性状(エクマンバージ採泥試料)

項目	単位	地点	底質濃度	
			最小値~最大値	平均値
pH		st 1	7.5~7.8	7.6
		st 2	6.7~7.8	7.3
		st 3	6.7~7.8	7.3
COD _{Mn}	mgO/L	st 1	22~27	25
		st 2	18~23	20
		st 3	14~37	26
NH ₄ -N	mg/L	st 1	2.0~7.8	5.5
		st 2	5.8~21	15
		st 3	5.2~13	11
NO ₃ -N	mg/L	st 1	<0.01~1.7	0.82
		st 2	<0.01~0.15	0.05
		st 3	<0.01~0.17	0.04
NO ₂ -N	mg/L	st 1	0.01~0.10	0.06
		st 2	<0.01~0.03	0.01
		st 3	0.01~0.03	0.02
PO ₄ -P	mg/L	st 1	0.093~0.19	0.13
		st 2	0.049~0.23	0.13
		st 3	0.022~0.72	0.28

の項目については概ね大差ないといえる。このことは、先述の底質の性状の特徴と同じであり、底質の性状が間隙水の性状に反映していると考えられる。

表6 羽子池の間隙水の性状(エクマンバージ採泥試料)

項目	単位	地点	底質濃度	
			最小値~最大値	平均値
pH		湖心	6.6~7.7	7.1
COD _{Mn}	mgO/L	湖心	20~60	36
NH ₄ -N	mg/L	湖心	13~38	19
NO ₃ -N	mg/L	湖心	<0.01~0.06	0.02
NO ₂ -N	mg/L	湖心	0.01~0.04	0.03
PO ₄ -P	mg/L	湖心	1.5~2.6	2.0

底質中に含まれる物質は、間隙水に溶解することで池水中に拡散する⁷⁾ことから、間隙水の性状調査は、底質中に水中に溶出しやすい状態にある窒素、りんがどのくらい含まれているかを知る目安として用いられる⁸⁾。

表5,表6にエクマンバージ型採泥器で採取した底質の間隙水の性状を示す。また、図4に間隙水中のCOD_{Mn}, NH₄-N, PO₄-Pの各項目について経年変動を示す。

間隙水中のNO₃-N, NO₂-Nは、極めて低い濃度しか検出されず、ほとんどがNH₄-Nの形態で検出された。

長池 st 2 における PO₄-P 平均値が0.13mg/L であるのに対し、羽子池は2.0mg/L と約15倍も高い濃度であった。このことから、羽子池の底質に含有されるりんは、可溶態の溶出しやすい成分を多く含むと推測される。

羽子池の間隙水の経年変動は、長池よりも変動幅は大きいものの、季節的な規則性は見られなかった。

両池の間隙水の性状を比較すると、時期によっては羽子池が高い濃度を示す場合があるものの、PO₄-P以外

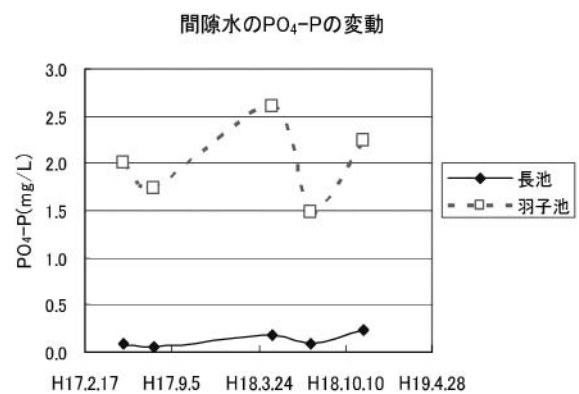
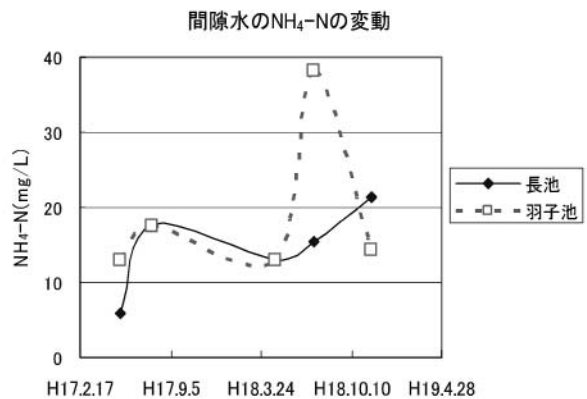
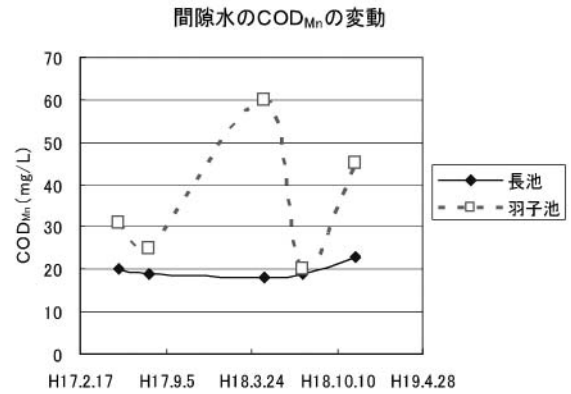


図4 間隙水の水質(COD_{Mn}, NH₄-N, PO₄-P)の経年変動

2 沈降性物質調査

表7に沈降性物質の性状を、図5に沈降量の経月変動を示す。沈降性物質の性状は、底質に比べ、COD_{sed}が1.5~2.0倍、T-Nで1.9~2.7倍、T-Pで1.3~1.5倍濃

度が高かった。

平成18年1月からアオコが発生する7月上旬までの沈降量の平均値は、長池で118(dry)g/m²/日、羽子池157(dry)g/m²/日であり、捕捉期間による沈降量の差は見られなかった。なお、長池では平成18年4月から水質浄化機器を稼働させ強制的に循環させているが、沈降量は羽子池が少し上回った。

沈降量から、1年間に堆積する厚さを示す堆積速度(cm/年)を算出した結果、長池で平均13cm/年、羽子池で15cm/年であったが、実際は1年間で両池共に底泥の厚みは殆んど増加していなかった。

浅いため池では、降雨や風といった気象の影響、さらに鯉やブルーギルなどの大型魚により、水域内の流動や底泥の攪乱が容易に起こり、底質表面部の巻き上げと沈降を繰り返している(流入—混合—沈降—再浮上—生産・分解—沈降モデル¹⁰⁾)と考えられる。捕捉した沈降性物質は、内部生産された新生の沈降物と巻き上げられた底泥が再び沈降したものであると推測される。

図6に羽子池のSSの経月変動を示すが、SSの変動は図5の沈降量と同じ傾向を示し、冬季から夏季にかけて増加を示した。

クロロフィルaは、植物プランクトンの現存量の測定に使われるが、SSとクロロフィルaの相関係数(R²)は、長池の表層水が0.58、底層水が0.45、羽子池の表層水が0.69、底層水で0.21であった。

両池とも表層水でSSとクロロフィルaが高い相関を示すことから、SSの主成分は、植物プランクトンにより構成されると考えられる。また、沈降性物質の構成成分は、池内で内部生産された植物プランクトンやそれに由来するデトリタスと報告されている⁹⁾ことから、沈降性物質は、植物プランクトンを主成分とするSSが、底質表面部まで沈降・堆積することにより形成され、沈降量は内部生産量の増減に応じて変動すると考えられる。しかし、羽子池の底層水では、SSとクロロフィルaの相関係数が0.21とそれほど高くないので、底層水のSSには、植物プランクトン以外の成分を含んでいると思われる。

図3より両池の底質表面部の強熱減量及びCOD_{sed}は同濃度であるが、沈降性物質では羽子池の方が1～3割高い値を示しており、羽子池の沈降性物質が長池よりも有機物を多く含有していることを示している。羽子池の沈降性物質は、強い腐敗臭の所見や、ブルーギルが多く生息していることから、

表7 沈降性物質の性状

		長池 (平均値±標準偏差)	羽子池 (平均値±標準偏差)
強熱減量	(%)	20±1.5	23±2.6
COD _{sed}	(mgO/g)	117±17	157±22
T-N	(mgN/g)	11±2.2	15±2.6
T-P	(mgP/g)	1.5±0.18	3.3±0.49

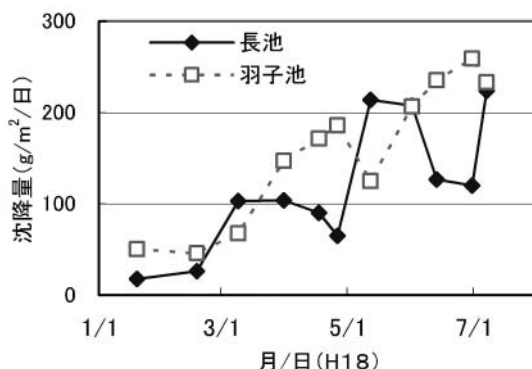


図5 沈降量の経月変動

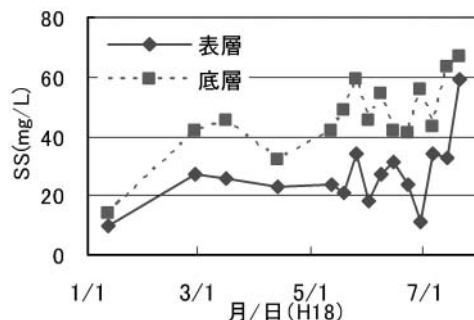


図6 羽子池の水質(SS)の経月変動

魚の排泄物や遺骸等の動物由来の有機物を多量に含んでいると推察される。

また、沈降性物質を7日間保存した後の重量変化を調べた結果、保存前後の重量差は殆んど無かったが、強熱減量については、保存後に大きく減少しており、羽子池では半減していた。強熱減量の減少傾向は、捕捉期間を短くした場合に顕著であった。この結果から、動植物由来の有機物は、比較的短期間で分解されるものと推定される。

池内で生産された新生沈降量と底泥巻き上げによる量の分離⁹⁾が困難であったため、水域における物質循環の量的収支の把握は断念しなければならないが、浅いため池では、植物プランクトンや動物由来の懸濁物質と巻き上げられた底泥が沈降性物質を形成し、巻き上げと沈降を繰り返す過程におい

て徐々に分解され、生物による捕獲や分解を受けずに残った部分が、最終的な池底堆積物⁸⁾となり、底質を形成すると推察される。

3 底質からの回帰調査

長池底質からのNH₄-Nの溶出濃度を測定し、X軸に時間を、Y軸に溶出量(mg/m²)をプロットした結果と1次回帰式を、図7に示す。また、図8に羽子池底質からのPO₄-Pの溶出濃度と1次回帰式を示す。

好気と嫌気の条件下について、1次回帰式の傾きから1日あたりの溶出速度を推算した値を、表8、表9に示す。

この結果、NH₄-Nは、好気や嫌気を問わず高濃度(長池44~96mg/m²/日、羽子池50~85mg/m²/日)に回帰することが判明した。

NH₄-Nが、50mg/m²/日の溶出速度で回帰すると仮定した場合、池水の濃度は、1日あたり0.04mg/L上昇する計算となる。間隙水中に長池st2で15mg/L、羽子池で19mg/Lと、高濃度に溶解していることは先述のとおりであるが、図9に示す底層水のNH₄-Nの経月変動を見ると、常に高い濃度を示しているものではない。

小さなため池では滞留日数が短く、降雨により池水が系外に流出しやすい状況にあることに加え、植物プランクトンが好んでNH₄-Nを窒素源として消費することも濃度変動と関係していると考えられる。

NO₃-Nについては、長池底質は好気条件下では回帰するが、嫌気条件下では回帰しなかった。羽子池底質は条件を問わず回帰しない実験結果であった。

PO₄-Pについては、湖沼の底泥表層付近の溶存酸素が欠乏すると、底泥からりんが溶出してくること¹¹⁾はよく知られているが、両池とも好気条件よりも嫌気条件下の溶出速度が大きく、嫌気条件における溶出速度は長池で5.7mg/m²/日(平均値)、羽子池で23mg/m²/日(平均値)であった。

羽子池の底層水が貧酸素状態と仮定した場合、池水のPO₄-P濃度は、1日あたり0.016mg/L上昇する計算になる。図10に底層水のPO₄-Pの経月変動を示すが、明らかに長池に比べ、羽子池では高い濃度で推移していた。表6に示す羽子池の間隙水の性状は、PO₄-P2.0mg/Lと高濃度に溶解していることから、条件を整えば高濃度に回帰されることが分かる。

長池では、水質浄化機器の稼動後、底層水のPO₄-P濃度が1/10以下に急激に低下し、低い濃度を維

持したことから、機器は底質環境を好気状態に保つことにより、PO₄-Pの回帰を抑制する効果を有するといえる。

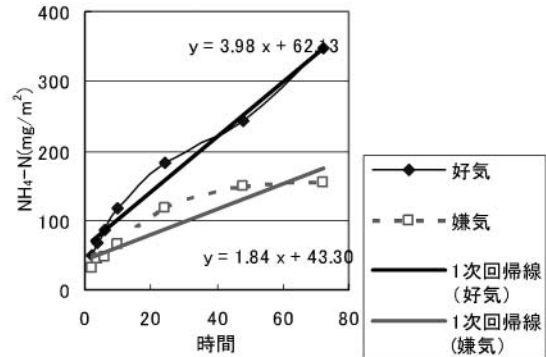


図7 長池底質の溶出濃度 (NH₄-N) H18.12

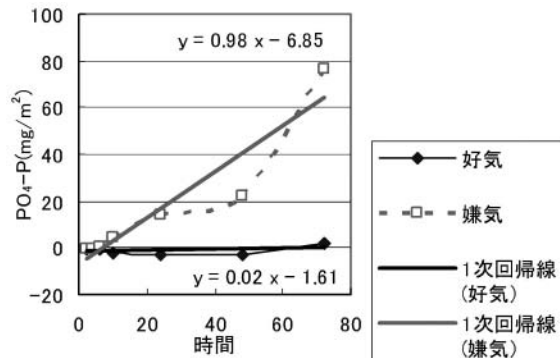


図8 羽子池底質の溶出濃度 (PO₄-P) H18.12

表8 長池底質の溶出速度 (単位: mg/m²/日)

	好気条件		嫌気条件	
	H18.4	H18.12	H18.4	H18.12
NO ₃ -N	1.8	2.0	-2.0	-8.2
NH ₄ -N	48	96	44	44
PO ₄ -P	0.00	0.14	5.6	5.8

表9 羽子池底質の溶出速度 (単位: mg/m²/日)

	好気条件		嫌気条件	
	H18.4	H18.12	H18.4	H18.12
NO ₃ -N	-34	-13	-46	-22
NH ₄ -N	55	78	50	85
PO ₄ -P	0.58	0.51	21	24

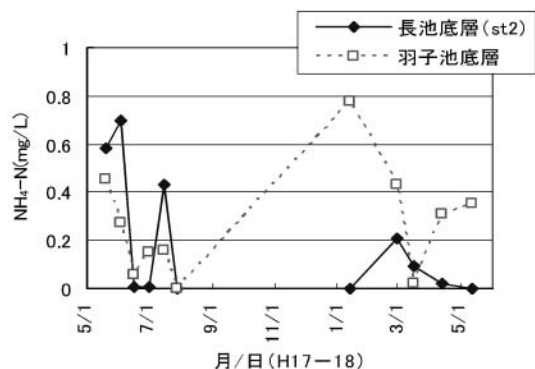


図9 長池, 羽子池の底層水の NH₄-N の経月変動

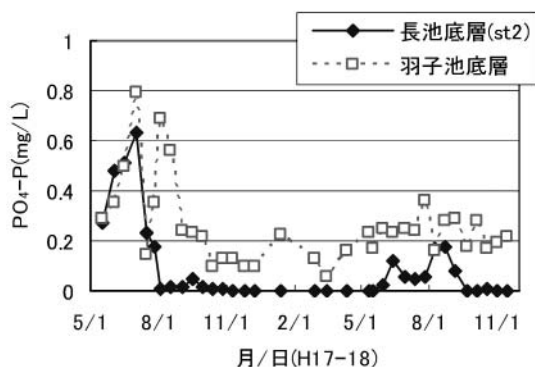


図10 長池, 羽子池の底層の PO₄-P の経月変動

IV まとめ

小さな浅いため池である長池と羽子池の底質環境調査で得られた知見を以下にまとめる。

1 両池の底質は有機物, 窒素, リンが高濃度に蓄積された性状を示した。有機物, 窒素の含有量は両池とも同程度だが, リンは羽子池が長池の2倍も蓄積されていた。

2 底質の鉛直方向の有機物, 窒素, リン等の含有量は, 表面部が最も高い濃度を示し, 深くなるに従って段階的に低下する傾向が見られた。

3 間隙水の性状の特徴として, 両池とも窒素成分は, ほとんどが NH₄-N の形態で検出された。底質のりん含有量が多い羽子池では, 長池の約15倍も高い濃度の PO₄-P が検出されたことから, 底質の性状が, 間隙水の性状に反映していると考えられた。

4 沈降性物質は, 動植物に由来する懸濁物質と巻き上げられた底泥から成り, 巻き上げと沈降を繰り返す過程において徐々に分解されながら, 生物による捕獲や分解を受けずに残った部分が堆積して, 底質を形成すると考えられた。

5 室内溶出実験装置を用いた回帰調査の結果, NH₄-N は, 底質環境を問わず高濃度で回帰し, PO₄-P は嫌気条件において著しく回帰した。羽子池の PO₄-P 溶出速度は, 長池の4倍も高く, 回帰による影響は無視できないと思われた。

文献

- 1) 香川県：平成17・18年度環境技術実証モデル事業湖沼等水質浄化技術分野実証試験結果報告書
- 2) http://www.env.go.jp/policy/etv/02_list_b.html
- 3) 社団法人日本水質汚濁研究協会：湖沼環境調査指針, 5-10, 公害対策技術同友会, (1982)
- 4) 鈴木祥広, 原村優子, 中村孝洋, 丸山俊朗：沿岸環境調査における底質 COD の測定, 用水と廃水, 47 (12), 65-69, (2005)
- 5) 山中稔：ため池底泥の堆積と物性, 生活と環境, 50 (8), 18-21, (2005)
- 6) 福島武彦：アオコ発生湖沼の底質環境, 霞ヶ浦臨湖実験施設研究発表会講演報告集-5-, 1-6, (1991)
- 7) 寒川喜三郎, 日色和夫：最新の底質分析と化学動態, 技報堂出版, 27-39, (1996)
- 8) 西條八東, 三田村緒佐武：新編湖沼調査法, 94-116, 講談社, (2004)
- 9) 福島武彦, 相崎守弘, 村岡浩爾：浅い湖における沈殿量の測定方法とその起源, 国立公害研究所研究報告, 51, 73-87, (1984)
- 10) 社団法人日本水質汚濁研究協会：湖沼環境調査指針, 159-160, 公害対策技術同友会, (1982)
- 11) 細見正明, 須藤隆一：霞ヶ浦底泥からの窒素及びリンの溶出について-高浜入を中心として-, 国立公害研究所研究報告, 51, 191-217, (1984)