礫間接触酸化槽と植生浮島を適用した 小規模閉鎖性湖沼の水質浄化事例

須 江 ま ゆ・中 原 正 大・村 瀬 邦 彦

閉鎖性水域は河川、湖沼、海域に大分され、水利的条件として水の滞留時間が長くなるため、富栄養化などの水質汚濁が発生しやすいといわれている。平成26年度の調査では閉鎖性水域全体の環境基準達成率77.3%と比較して、閉鎖性湖沼は55.1%と低いのが現状である¹。さらに、調査が実施されている指定湖沼から除外されている小規模な湖沼については対策が講じられていない場合も多く、水質改善に向けた取組みが必要である。静岡県護国神社にある神池は典型的な小規模閉鎖性湖沼と同様、富栄養化現象が進行している。また、景観上の課題も確認されたため、試験的に水質改善の対策を実施した。具体的な対策として①礫間接触酸化槽による流入水の水質改善対策、②湖沼内部に植生浮島を設置することで直接浄化を行った。その後、効果の確認のため、約3年間の(設備設置前の調査期間を含め)水質調査と生物調査を行った。本報告は、良好な結果が得られたので、これら水質改善対策の効果について紹介するものである。キーワード:水質浄化、閉鎖性水域

1. はじめに

閉鎖性水域とは、地理的条件により水の出入りが滞りやすい海域や湖沼を指す。特に閉鎖性湖沼は、水利的条件として水の滞留時間が長くなるため、富栄養化などの水質汚濁が発生しやすい。また、発生した汚濁物質は蓄積しやすく、一旦汚濁が進行するとその浄化が困難となる特徴がある。富栄養化が進行すると、アオコの大量発生による景観の阻害や悪臭等が発生するリスクが高くなる。このような水域の水質を浄化すべく湖沼水質保全特別措置法に基づき、水質保全が緊要な11の湖沼が指定されている。指定湖沼については、COD、窒素、りん削減のために工場からの排水規制、下水道、浄化槽等の生活排水処理施設の整備、浚渫事業等直接浄化等の施策の推進が図られ水質の改善が進められている²。

しかし、前記のように対策が講じられているのは大規模な閉鎖性湖沼が中心である。日本には人工的に作られた湖沼を含めて短径が100m以上のものは約11,600湖沼あるといわれている。かつての環境庁が1984年に行った全国的な調査によると、湛水面積が0.1 km²以上で、流域面積が1 km²以上の湖沼の総数は1,120湖沼である。逆に、それより小さな湖沼が9割以上を占めているとされ³)、全国には10,000個以上の小規模湖沼があるといえる。このような小規模な湖

沼については対策が講じられていない場合も多く, 水 質改善が進んでいないのが現状である。

そこで、静岡県護国神社にある神池を対象に水質調査を行い、水質の改善を目的に礫間接触酸化槽と植生浮島を設置した。本報では約3年間で実施した調査を中心に適用事例を報告する。

2. 設置前調查

(1) 調査地点及び測定分析項目

静岡県護国神社の境内にある神池は, 面積が約 3,000 m^2 , 最大水深が約 $1.5 \, m$, 水量約 2,000 m^3 の池である (写真一 1)。主な流入水は雨水だが, ヒアリング調査



写直-1 静岡県護国神社内の神池全暑

より、少量の生活排水が流れ込んでいる可能性が懸念された。この神池を対象に2012年5月から8月にかけ、月1回の頻度で4回、池の8地点(図—1)を調査地点として設定し、水質調査を行った。雨天時の状況も確認を行うことを目的に、降雨時においても調査を実施した。

池の形状は図―1に示す通りで、調査地点1と調査地点7の2か所が神池への流入部であり、調査地点8が流出部である。調査時の測定分析項目は全窒素、全りん、COD-Mn(以下、CODと記載)、透視度、SS、pH、EC、DOとした。試験法はJIS-K-0102に則って行った。



図-1 神池の形状と調査地点

(2) 設置前調査の結果と考察

神池への流入部(調査地点1)と池内部の滞留部(調査地点4)における全窒素と全りんの測定結果を図—2と図—3に示す。調査地点1は神池の主な流入部分であり、調査地点4は神池の形状(図—1)からもわかる通り淀んでいる部分である。このため、この2地点の水質データを中心に、水質浄化対策結果についてまとめることとする。

図-2, 3より調査地点1, 2とも全窒素, 全りんは富栄養化の下限の目安値40を超過する結果となった。さらに、調査地点1の流入部で分析値が高くなっていることから、流入負荷が高く、池内部にて植物プランクトン等の影響によりそれらが消費されている傾向がうかがえた。CODでも同様の傾向を示したことから、湖沼内である一定程度の自然浄化作用が働いているものの、流入負荷がその能力を超えていることが示唆された。

神池は環境省が定める湖沼の定義である. 「天然湖

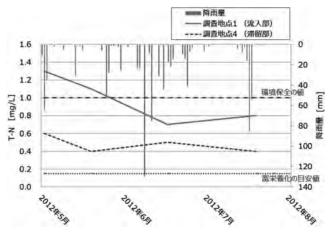


図-2 事前水質調査 全窒素の結果

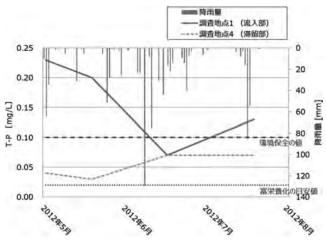
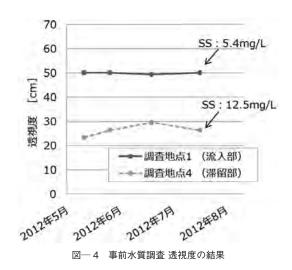


図-3 事前水質調査 全りんの結果

沼及び貯水量が1,000万 m³以上であり、かつ水の滞留時間が4日間以上である人工湖」という定義の中で貯水量の項目を満たしていないが、参考として最も水質が悪い湖沼V類型と比較した。湖沼V類型とは利用目的の適用性において「環境保全」の区分であり、これば国民の沿岸の遊歩等を含む日常生活において不快感を生じない限度とされている。この湖沼V類型では全窒素を1mg/L以下、全りんを0.1 mg/L以下と定めており、調査値と比較した結果、この基準値を超過した調査日もあった。ヒアリングの結果からも、臭気が気になることがあるといった声もあったため、池周辺の散策や憩いの場としての利用に対しても課題があることが確認された。

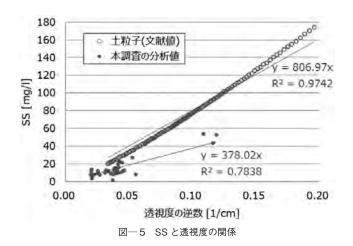
なお、調査日のうち後半の2日間は降雨中に調査を行った。特に2012年7月3日の調査日は時間最大14 mm,1日の合計が44 mmの降雨であったため、流入水が雨水で希釈され分析値が低下したものと考えられる。

次に,流入部 (調査地点1) と滞留部 (調査地点4) における透視度の調査結果を図—4に示す。



なお、透視度計は水深 50 cm のサイズを使用した ため、上限が50cmの調査日はそれ以上の透視度で あったことを示している。また、SS の分析を行った 1日分のデータも合わせて記載した。その結果、透視 度は,流入部より滞留部の方が低い値となっており, SSの値は滞留部で高く、滞留部の方が汚濁している 状況が確認された。この値は、環境省が定める湖沼の SS 基準値では、湖沼B類型 (SS値:5 mg/L~ 15 mg/L) に相当する。さらに、図-5 に SS と透視 度の関係を示した。一般的な土粒子による SS と透視 度の関係を文献値とし5),神池の池内部での水質調査 における分析値と比較した。その結果、同じ透視度で も、土粒子のケースの場合に比べ、本調査の方がSS 量が低い値であった。理由は神池の水には土粒子より も比重が軽い藍藻類由来のクロロフィル等の有機物が 多く含まれているためであると考えられる。

これらの設置前調査の結果を総合的に勘案すると, 流入水は透視度が高いが全窒素や全りんの値が高い特性があることが示唆された。これは溶解性の栄養塩類が多く流入しているためであると考えられる。そこで,流入水の流入負荷の低減をするために,全窒素,



全りんの値を低下させる以下の対策を施す必要がある と判断した。

- ①礫材(カキ殻)による水中からのりん除去
- ②水質浄化植物による窒素, りんの吸収
- ③微生物による有機物分解の促進

一方,池内部では、藍藻類等の植物プランクトンの 増殖により透明度が低下していることが示唆された。 また、全窒素、全りんは流入地点より減少する傾向が あるものの、富栄養化状態となっていることから、以 下の効果を期待して植生浮島を設置することとした。

- ①水質浄化植物による窒素, りんの吸収
- ②礫材(カキ殻)による水中からのりん除去
- ③動物性プランクトン、底生生物の生息場所の創出
- ④遮光による藍藻類等の発生抑制
- ⑤バイオモールによる SS の捕捉

3. 水質浄化設備の設置

(1) 対策の目的

2. で実施した調査結果に基づき、図—6に示す箇所にて表—1に示す対策を実施した。水質浄化設備の概要については後述する。

(2) 流入部の対策 (礫間接触酸化槽)

(a) 構造と設置場所

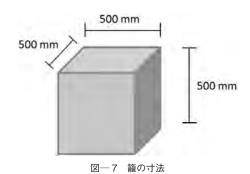
流入部は流入水から窒素,りん等を減らすことを目的に,礫間接触酸化と植生浄化を組合せた礫間接触酸化 化槽を設置した。設備の設置期間は2012年8月から2015年3月までの2年7ヶ月間であった。

礫間接触酸化槽は、図-7に示した寸法のステンレス製の籠に、洗浄し $20 \sim 30 \text{ mm}$ 程度に破砕したカキ



表一1 設備と設置の目的

対策部分	設備	目的
流入部	礫間接触酸化 ・植生槽	・礫材(カキ殻)による水中から
		のりんの除去
		・植物による窒素の吸収
		・微生物による有機物分解の促進
滞留部	植生浮島	・植物による窒素、りんの吸収
		・礫材(カキ殻)による水中から
		のりんの除去
		・バイオモールや浮島基盤構造に
		より、藻類等の植物プランクト
		ンを捕食する動物プランクト
		ン、底生生物の生育環境を創出
		・浮島で日光を遮蔽することによ
		る藻類等の植物プランクトンの
		発生抑制
		・バイオモールによる SS の捕捉





写真―2 カキ殻充填状況



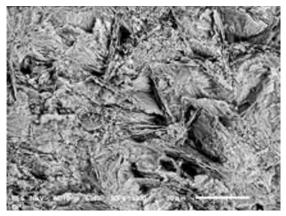
写真-3 礫間接触酸化槽の設置状況

殻を、流出防止用の網に入れて充填した(写真-2)。 この籠を 16 個、2 列で連結し $\mathbf{2}$ -6 に示す流入部に設置した。このうちの 6 個の籠には、Cyperus alternifolius L. (以下、シュロガヤツリと記す)を定植した(写真-3)。また、豪雨等で流入量が劇的に増加する場合を考慮し、流入量が多くなる際は槽上部を水が流れることが可能な高さにすると共に、魚道を設置した。

(b) カキ殻

本槽の接触材には、カキ殻を使用した。一般的にカキ殻は産業廃棄物として取り扱われるが、水質浄化資材として効果が高いと期待されている材料である。特にりんに対しての水質改善効果が高いと報告されている⁶。

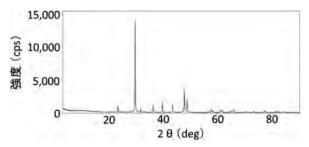
まず、使用したカキ殻の性質を確認するため SEM による表面観察、強熱減量による有機物含有量の把握、X線回折による鉱物の同定、蛍光 X線分析による元素分析を行った。走査型電子顕微鏡(以下、SEM と記載)「JSM-6010PLUS/LA」(日本電子製)によるカキ殻の表面観察の写真を写真—4に示す。カキ殻の外表面は SEM 写真から薄片状の隔壁がカードハウス構造になっており、毛管現象による吸水性が高いことが推察される。



写真―4 SEM によるカキ殻表面の観察写真

さらに、X線回折装置「MiniFlex」(リガク製)を使用しX線回折による鉱物同定を行った結果、そのピークのパターン($\mathbf{20-8}$)から方解石が主であることが確認された。方解石は炭酸カルシウムの結晶である。

さらに、カキ殻を強熱減量にエネルギー分散型蛍光 X線分析装置「EDX-8000」(島津製作所製)で分析した結果を表-2に示す。約98.3%がCaOであった。約0.8%含まれているSiO₂はカキ殻表面の凹凸に付着した土粒子に由来するものと判断した。強熱減量を測定し有機物量を算出した結果、有機物は約4.9%であっ



図─8 カキ殻の X 線回折ピークのパターン

表一 2 カキ殻の元素組成

(単位: mass%)

	(- -
物質名	分析值
CaO	98.296
SiO_2	0.781
SrO	0.249
Fe_2O_3	0.214
K_2O	0.084
SO_3	0.052
ZnO	0.017

た。礫間接触酸化槽にカキ殻を使用することは有機物を含まない礫剤を使用した場合と比較して、水質改善に寄与するバクテリアが生育しやすいと考えられる⁷¹。カキ殻を接触材として利用することは、水質浄化に寄与する微生物の活性化に寄与するものと考えられる。

(c) 礫間接触酸化槽の植生部

接触酸化槽にシュロガヤツリを植生する植生部を設けた。シュロガヤツリは窒素吸収能力が極めて高く、水質浄化用の植物として有用であることが報告されている®。図一7に示したステンレス製の籠6つにカキ殻を充填し、その上に籠1個につきシュロガヤツリの苗を30箇所定植した。平成26年に環境省から示された「自然浄化対策を行う場合、植生の刈り取りや植生の枯死体等の堆積物除去などを定期的に行い、底泥嫌気化の低減に配慮する必要があるとされている®。そのため、年一回の頻度で定植した植物の刈取り、枯死しため、年一回の頻度で定植した植物の刈取り、枯死しため、年一回の頻度で定植したをまた、窒素吸収量の把握のため、植物体の地上部(茎と葉)の窒素含有量を分析した。分析方法は硫酸分解法により分解し、比色定量した。

(3) 池内部の対策(植生浮島)

(a) 構造と設置場所

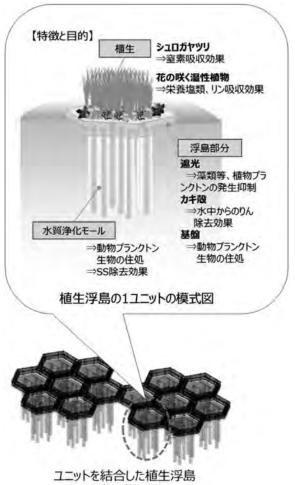
前記のとおり、池内部の滞留部は流入部より全窒素が低いが、富栄養化の目安よりも全窒素の値が高く、 濁りがある状況であった。そのため、窒素の除去を目



写真-5 浮島植生の設置状況

的として、浮島状の浮体にシュロガヤツリを主とする 植生を定植した植生浮島を設置した(**写真**—5)。

植生浮島の特徴と模式図は図―9に示す通りである。植生については、シュロガヤツリの他にりんの吸収のために花の咲く植物を定植した。また、浮島部分は遮光による藻類や植物プランクトンの発生抑制とともに、浮島基盤内に充填したカキ殻による水中からのりんの除去効果もねらった。さらに、基盤を多孔質構造にすることで藻類等の植物プランクトンや動物プラ



全体の模式図

図-9 植生浮島の特徴と模式図

ンクトンを捕食する生物の棲みかを創出した。浮島下部にはポリ塩化ビニリデン製の水質浄化モールを設置し、動物プランクトンの棲みかの創出やSS除去効果も持たせた。

構造は、小ユニットの一辺を 400 mm の正六角形とし、このユニットを 7 つ結合した大ユニットを 2 つ連結して浮かべた。浮島の基盤材は耐候性に優れ、透水性が高い立体状網目状のポリプロピレン製の材料を使用し、浮体には安全性が高い材料を選定した。

設置期間は2012年8月から2014年3月までの2年7か月とした。また、参拝客の方々が数多く訪れる境内にある池のため、景観を考慮しミソハギ等の湿性植物も導入した。ミソハギは、夏から秋にかけて桃色の花が咲き、開花期も長いため景観の向上に寄与できると考えた。また、花が咲く植物は咲かない植物と比較してりんが多く吸収されることも考慮した。このように、空隙が適度に空いた材料や、花が咲く植物を定植することにより、生物の採餌場や生息場所としての役割も目論んだ。

なお、礫間接触酸化槽の植生部に定植したシュロガヤツリ同様、年1回10月から11月にかけて刈取りを行うと共に、枯死した植物の撤去や植替えを実施した。

4. 設置後の水質調査結果と考察

(1) 水質

礫間接触酸化槽の通過前(調査地点1),同通過後(調査地点2)の水質分析結果を示す。図—10は全窒素,図—11は全りん,図—12はCODである。それぞれの値について、通過前と通過後の値を比較すると、通過後で値が低下している時期が多く、設備設置が水質改善に寄与していることが示唆される結果となった。ただ、富栄養化の目安値を満足することはできなかった。流入水については、前記した設置前調査の結果と比較すると全窒素、全りん、CODすべての項目で分析値が高い傾向がみられた。全窒素とCODの値については特に秋季の値が高かった。

池内部の滞留部の全窒素の値を分析した結果、浮島の有無による明確な水質改善効果は確認できなかった。全りん、CODの結果についても同様の傾向であった。これは、池の面積に対し植生浮島の面積が小さかったためと考えられる。しかし、シュロガヤツリやミソハギなどが旺盛に繁茂し、植生浮島は窒素の吸収に寄与していたことが示唆される。このことから、シュロガヤツリがどの程度窒素を吸収していたかを調べた。

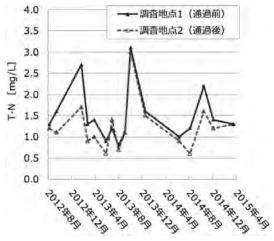
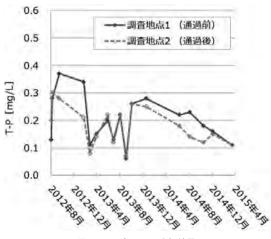
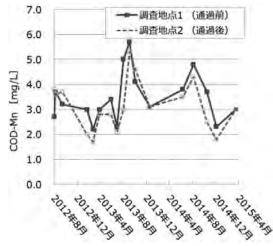


図-10 全窒素の分析結果



図―11 全りんの分析結果



図— 12 COD の分析結果

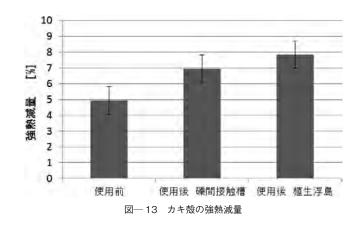
(2) シュロガヤツリ

前記した通り、池内部の滞留部における水質調査の結果では、明確な水質改善効果は確認できなかった。 しかし、シュロガヤツリの植物体は旺盛に繁殖確認されたため、2013年に生育したシュロガヤツリの植物 体について窒素含有量を分析した。採取した植物体は秤量後粉砕して含有窒素成分を測定した。植物体の分解は硫酸分解法により行い、比色定量した。その結果、1 m² 当りの平均収量(新鮮重量)は約27.1 kg、水分量は82.3%であったため、乾燥重量は約4.8 kgであった。乾物当りの窒素濃度は1.39%であったため、1 m² 当りの窒素含有量は66.7 gであった。この結果より、流入部の礫間接触酸化槽のシュロガヤツリの定植では1作当り約100.0 gの窒素吸収がなされたと推察される。また、池内部の植生浮島では約186.8 gの窒素吸収がされたと推察される。

この分析値から、池内部の水質の改善に寄与するため必要なシュロガヤツリの定植面積を算出した。池全体の全窒素量を富栄養化の目安値である 0.15 mg/L 程度に低下させるために必要な浮島植生は、本取組みで設置した設備の約 6 倍である。この設置面積は、一般的な植生浮島による水質浄化と比較して浮島の設置面積が小さく優位性があると考えられる。

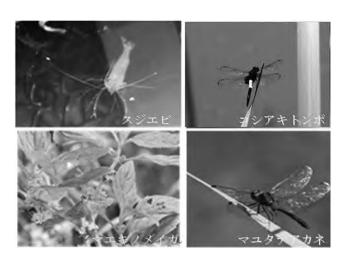
(3) カキ殻とバイオモール

使用前のカキ殻と2年7ヶ月後のカキ殻の強熱減量法により有機物量を算出し、その比較を行った(図―13)。その結果、使用前の状態と比較して約3年が経過した後のカキ殻の有機物の量の方が多く、カキ殻の表面に有機物が付着していることが確認できた。これにより、カキ殻表面にバイオフィルムが形成され水質改善に寄与していたことが示唆される。また、礫間接触酸化槽と植生浮島、それぞれから採取したカキ殻の有機物量を比較したところ、植生浮島のカキ殻の方が有機物量が多い傾向がみられた。



5. 生物調査

年間4回の定期的な生物調査の結果,写真-6に 示す通り,植生浮島には水中の基盤材の隙間や底部に



写真一6 確認された生物

設置したバイオモールに多くのスジエビを確認した。 また、植生部にコシアキトンボの羽化殻と成虫を確認 した。浮島植生上に定植した植物の開花時期にはクロ アゲハやマエキノメイガが吸蜜する様子を観察した。

さらに、鳥類の飛来が確認され、植生浮島のミソハギにカワセミが羽を休める様子や、カルガモが浮島の基盤部分の淵で羽を乾かす様子を観察することができた。この結果より、水生生物や昆虫の生息場所や、鳥類の休息場を創出する役割を果たしていたと考えられる。

6. おわりに

礫間接触酸化槽の設置により、栄養塩の流入負荷を 低減させる効果を確認した。植生浮島については、窒 素やりんの低減に対し定量的な効果が確認され、池の 面積に対して設置面積を6倍程度に増加させることで 水質浄化に直接寄与するものと推測できる。これは、 一般的な植生浮島による水質浄化設備と比較して省ス ペース化が期待でき優位性を確認した。

また、生物調査の結果から植生浮島は水生生物の生息場として機能していることが確認された。富栄養化の一因は藍藻類等の植物プランクトンである。これらを捕食する動物プランクトンをエサとするスジエビなどの生物の生息場を創出していることは、水質浄化の観点からも効果的であると考えられる。

これらの直接的な水質浄化効果と共に、神池周辺の 遊歩道を利用する方への癒しや、地域の子どもたちを 対象としたエコ教育の一旦を担うなどの効果も確認さ れた。このことから、地域活性化に寄与できることも 考えられる。植生による水質浄化設備の導入は、景観 創造、植生基盤や植生部に依存する生物の多様化、環 境教育等の側面からも意義が期待される。

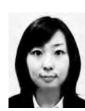
謝辞

最後に、本論文を執筆するにあたりご協力いただい た静岡県護国神社の芦原久雄氏、静岡市公園整備課の 諸氏に深く感謝申し上げる。

J C M A

《参考文献》

- 1) 平成 26 年度公共用水域水質測定結果 環境省
- 2) 逐条解説 湖沼水質保全特別措置法平成 19年9月 環境省
- 3) 環境庁水質保全局監修, 水質法令研究会編(1986)湖沼の水質保全,
- 4) 田淵俊雄編(1986): 水質入門,農業土木学会,pp.139-152.
- 5) 沖縄県保健医療部衛生環境研究所 HP: 透視度と SS の関係「透視度 から SS の換算」
- 6) 佐々木長市ら(1999): 農業土木学会, NO.200, pp.69-77.
- 7) 相澤 カキ殻を利用しての河川水質浄化効果 _ 岩手大学
- 8) 宮崎彰ら (1999): 日本作物学会, NO.68 (4), pp.570-57. 9) 自然浄化対策について 生態系機能を活用した "健やかな湖沼水環境" の実現を目指して環境省 水・大気環境



[筆者紹介] 須江 まゆ (すえ まゆ) 前田建設工業(株) 技術研究所 主任研究員



中原 正大(なかはら まさひろ) 前田建設工業(株) 中部支店 管理部 事務グループ グループ長



村瀬 邦彦(むらせ くにひこ) 前田建設工業㈱ 東北支店 新鍬台トンネル作業所 作業所長

