

## 生物利用型水質浄化システムの構築と応用に関する研究

吉澤一家<sup>1</sup>, 堀内雅人<sup>1</sup>, 佐々木裕也<sup>1</sup>, 高橋一孝<sup>2</sup>, 山崎修平<sup>3</sup>, 戸沢一宏<sup>4</sup>, 宮崎淳一<sup>5</sup>, 芹澤如比古<sup>5</sup>  
(<sup>1</sup>山梨県衛生環境研究所, <sup>2</sup>山梨県水産技術センター, <sup>3</sup>山梨県総合農業技術センター, <sup>4</sup>山梨県森林総合研究所, <sup>5</sup>山梨大学人間教育科学部)

**要約** 環境負荷が少なく、エネルギー消費量が少ない生態工学的方法が、水質改善方法として湖沼・河川に用いられている。本研究ではより多様な水域で応用可能にするための手法を確立するとともに、水生植物の供給から、再利用にいたる一連のプロセスを確立することを目的として、水槽内での植物栽培試験、都市公園内の池において沈水植物の植栽及びタテボシガイの飼育等の野外実験を行なった。その結果以下の諸点が明らかとなった。

- 1) 植物及び二枚貝に対する、魚類や鳥類などの既存の生物による食害の影響は予想以上に大きいことが判明した。
- 2) タテボシガイは水温が30℃を超える可能性がある池等でも水質浄化に利用可能であることも明らかとなった。
- 3) 水生植物についての栽培実験では、赤色LED光は水生植物の生育に効果的であり、光質により成長形態が異なることも確認された。
- 4) 水生植物の利用方法として、含有成分の分析結果から緑肥として用いることが可能と考えられた。
- 5) その一方で、植物体内の亜鉛含有率が高く、水生生物に影響があるとされている亜鉛の除去対策に用いることができる可能性が示唆された。

## Study on the Development of the Water Purification Method in Lakes and Ponds Using Ecological Techniques

Kazuya YOSHIZAWA<sup>1</sup>, Masato HORIUCHI<sup>1</sup>, Yuya SASAKI<sup>1</sup>, Kazutaka TAKAHASHI<sup>2</sup>, Shuhei YAMASAKI<sup>3</sup>, Kazuhiro TOZAWA<sup>4</sup>, Jun'ichi MIYAZAKI<sup>5</sup> and Yukihiko SERISAWA<sup>5</sup>

(<sup>1</sup>Yamanashi Prefectural Institute for Public Health and Environment, <sup>2</sup>Yamanashi Prefectural Fisheries Technology Center, <sup>3</sup>Yamanashi Prefectural Agritech Center, <sup>4</sup>Yamanashi Forest Research Institute, <sup>5</sup>University of Yamanashi)

**Abstract** In this study, we are intended to suggest not only a purification method of water quality with ecological method in various ponds and lakes, but also the supply method of the aquatic macrophyte used for purification, and also the usage of the macrophyte as product. In 2011, the first year of this study, cultivation experiments of water-plants with water tank at the various lights conditions and cultivation experiments of bivalves in a pond of the park were carried out. Several facts were revealed from these experiments; i.e.

- 1) Aquatic macrophytes and bivalves located in the experimental area were seriously damaged by attack of fishes and birds.
- 2) It was revealed that *Unio douglasiae biwae* was available for purification of water under the water temperature condition higher than 30 °C.
- 3) As a result of the cultivation experiment at 15 °C under 44 μE/m<sup>2</sup>/s light intensity of different light quality and a 14 h:10 h light: dark (LD) cycle, the growth (elongation, number of branches and fresh weight) of *Elodea nuttallii* was larger under the red light than in the white light and blue green light.
- 4) According to the analysis of components included in the aquatic macrophytes, it was considered that they were usable as manure directly.
- 5) Additionally, high concentration of zinc in *Vallisneria asiatica* suggested that macrophytes would be available to remove zinc from the water and the bottom.

### 1. 緒言

先行研究では生態工学的手法を用いて、山中湖において底泥を利用した植栽方法により植栽した水生植物と、二枚貝による水質浄化法を試みた。本法では水質の浄化だけではなく、植物マスの有効利用による循環型社会の形成、及び底生動物や付着藻等の生物相の多様化の観点から環境に好ましい効果を期待できる。

しかし実施するには、水生植物が安定して入手できること、成長して刈取られた植物をどのように処理するか、底泥が得られない場合にはどのように植栽するか、などの課題が残された。

これらの課題を解決する方法を見出すことを目的として本研

究を実施した。

研究は次の3サブテーマで構成した。

1. 小規模な池・沼など応用水域の拡大に関する研究  
公園内の池等の小規模な閉鎖性水域での適切な生物種の選定や植栽方法などの開発を行なう。
2. 発生バイオマスの有効利用に関する研究  
余剰発生した水生植物の土壌改良材などへの再資源化方法の開発を行なう。
3. 水生植物の安定供給に関する研究  
植栽に利用する水生植物を安定的に供給するための保存方法や、組織培養技術などを用いた栽培技術の開発を行なう。

### 2. 実験方法

## 2-1 最適二枚貝の選定試験

二枚貝による水質改善の研究は、2007～2010年までの3年間で、山中湖の水質浄化を目的として行われてきた。その結果、小型水槽を用いた室温実験ではイシガイ科のヨコハマシジラガイ(*Inversunio jokohamensis*)、ヌマガイ(*Andonta lauta*)、河口湖タテボシガイ(*Unio douglasiae biwae*)、山中湖タテボシガイ、カワシンジュガイ科のカワシンジュガイ(*Margaritifera laevis*)が有効である事、低温実験ではヨコハマシジラガイ、河口湖タテボシガイが有効である事が明らかとなった。また、タテボシガイを山中湖に移植したところ、1年間の生存率は高く、成長もみられた。生物をある環境に移植する際、その環境に適した生物を選択する事が重要である。本研究では、都市型の公園内の池や堀の水質の浄化を行う手法を確立することを目的とした。こうした池や堀の水温は山中湖と異なり夏に30℃近くになることが予想されたので、鉱物粒子であるカオリンを指標として水槽実験を行い、高水温に適した二枚貝の選定を検討した。

実験に用いた二枚貝は種名や産地が明確である貝のみを使用した。それぞれの個体は、殻長、殻高、殻幅、湿重量を測定し、識別できるようにマーキングした。

山中湖カラスガイは、2008年7月23日、8月24日、9月22日に山中湖平野ワンドにて採集した貝を用いて、2個体を1グループとし手実験に供した。一方、山中湖タテボシガイは2010年8月24日、2011年8月11日、2012年1月16日に山中湖平野ワンドにて採集した貝を用いて、10個体を1グループとして実験に供した。

水質改善の指標として濁度に注目し、人工的に濁度を上げ水槽内に二枚貝を入れた場合と、対照実験として二枚貝を入れなかった場合を比較した。45 L水槽に24 Lの水と貝を入れ、ヒーターとサーモスタットを用いて水温を30℃にした。24時間後、貝が環境に順応したところで、粒径4 μm, 2 μm, 0.2 μmの鉱物粒子カオリンをそれぞれ1.0 g, 0.9 g, 0.9 g加えて濁度をあげた。実験開始から1時間毎に36時間後まで精密な機器(OPTEX社の濁度チェッカーTC-3000)を使用して濁度を測定した。実験中はカオリンが沈殿しないよう空気量を調節出来るエアポンプを用い常に攪拌し続けた。実験は粒径毎に3回ず

つ行った。

二枚貝による浄化は次の式を用いて計算した。

$$\text{二枚貝の湿重量1 g当たりの浄化効率(\%/g)} = \{(A-B)/A-(C-D)/C\}/G \times 100 \quad \dots \text{式①}$$

ここで、

A=二枚貝を入れた際の開始時の濁度(FTU)

B=二枚貝を入れた際の36時間後の濁度(FTU)

C=対照実験開始時の濁度(FTU)

D=対照実験36時間後の濁度(FTU)

G=使用した二枚貝の合計質量(g)

とした。

## 2-2 遊亀公園池における野外実験

### (1) 実験池の概要

甲府市太田町10番に位置する遊亀公園は平日でも多くの親子連れや年配者の憩いの場として多くの市民に親しまれている都市公園であり、遊亀公園池は遊亀公園とその園内に併設された遊亀公園附属動物園やいくつかの神社の境内を非常に緩やかに流れる水路である(図1)。水深は深い場所でも1 m以下であり、浮泥の堆積により多くが50 cm程度である。

### (2) 実験池の生物調査

調査は遊亀公園の池(水深1～1.5 m)において、2011年6月20日の11時から14時30分まで行った。漁具は小型地曳網(目合10節:25×8 m, 袋18節:直径4 m)、お魚キラー(目合3 mm, 商品名)、ビンドウ(プラスチック製)を用いた。地曳網は3地点で実施し、船で入網し、2名で曳いた。また、岸周辺部6地点にお魚キラーとビンドウを設置し、2時間後に取り上げた。餌はコイ釣り用配合飼料(練り団子として使用)を用いた。

採捕魚は10%ホルマリンで固定し、後日一括して魚体測定に供した。コイとアカミミガメは生体で測定後放流した。

### (3) 実験池の光環境と水質調査

光環境と水質の調査は2011年7月～2012年2月まで毎月1回手漕ぎボートを用いて行った。7月には図1に示したSt.1のみで測定を行い、8月以降はSt.1～5までをボートで廻って測定を行った。

光量については、光量子計2組を用いて、空中光量と同時に水深10 cm, 50 cmで水中光量を約20秒間の平均値として求め、相対光量(水中光量/空中光量×100)を求めた。なお、8月以降の光量の測定は8～9月にはSt.1, 2で、10月にはSt.1, 2, 4, 5で、11～2月にはSt.1, 2, 4で行った。

その他の測定項目は透明度、透視度、濁度、電気伝導率、DO(溶存酸素濃度)、pH、水温、TN(全窒素濃度)、TP(全リン濃度)、COD、気温であり、8月以降St.1～5の各定点について測定した。なお、透明度はセッキー透明度板を、透視度はアクリル円筒型の透視度計を、濁度は非対称投下散乱光方式の濁度計を、電気伝導率は電気伝導率計を、pHはpH計を、DOは隔膜形ガルバニ電池式DOメーターを、水温はペッテンコーヘル水温計を、気温は水銀棒状温度計を用いて測定した。

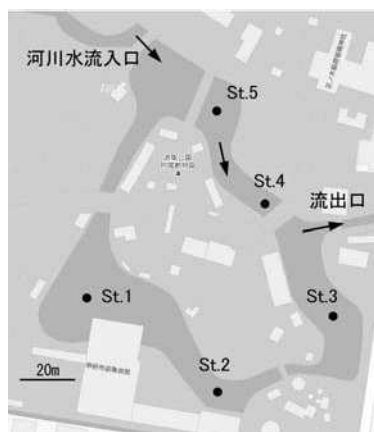


図1 遊亀公園池の環境調査地点



図2 植栽及び保護ネットの敷設

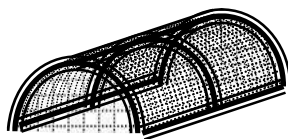


図3 二枚貝を移植する際に用いた設置物

#### (4) 実験池での沈水植物植栽実験

水質浄化に用いる沈水植物が現場水域で生育可能か確認するため、実験池に試験的にセキショウモ及びクロモの植栽を行なった。実験池に生息する魚類や両生類による食害を防ぐために、植栽後に自作のプラスチック製保護ネット(1 cmメッシュ 180 cm×90 cm)を植栽株の上部に敷設した(図2)。

#### (5) 実験池での二枚貝飼育実験

本研究では試験的に二枚貝を遊亀公園の堀に移植した。実験には比較的容易に手に入れやすい琵琶湖産のタテボシガイを使用した。二枚貝は殻長、殻高、殻幅、湿重量をあらかじめ測定し、識別できるようにマーキングした。二枚貝を移植する際、90 cm×45 cmのステンレス製の柵1つに対して18のポケットができるようにポリエチレン製のネットを張り、これを3つ用意し、ポケット1つ当たり2~3個体ずつ計140個体の二枚貝を入れた。二枚貝を装着した3つのステンレスの柵を三角形になるように組立て、ブイを取り付けた(図3)。これを実験池のSt.1(水深約70 cm)に設置した(図1)。設置後、3ヶ月毎に殻長、殻高、殻幅、湿重量を測定し、成長率を算出した。

なお、移植した際、形態学的にタテボシガイとそれ以外の貝を区別したが、タテボシガイであるかの確認と、混在する貝の種類を明らかにするためにそれぞれのDNA解析を行った。移入したタテボシガイの中からランダムに選んだ5個体と、混在していた形態的にタテボシガイと異なる二枚貝を同定する為にDNAの塩基配列を決定した。

まず、二枚貝の足からDNAを調製し、テンプレートとした。酵素としてKOD-Dashを用いてPCR法によって核の16SrRNAとミトコンドリアのNADHデヒドロゲナーゼ・サブユニット1遺伝子(ND1)の領域を増幅した。16SrRNA用のプライマーとして、センスプライマー16S3L(5'-TGAGCGTGCTAAGGTAG

C-3')とアンチセンスプライマー16S4H(5'-AGCCAACATC GAGGTCGC-3')を使用した。ND1用プライマーとして、センスプライマーLeu-uur(5'-TGGCAGAAAAGTGCATCAGAT

TAAAGC-3')とアンチセンスプライマーNIJ-12073(5'-TCGGAATTCTCCTTCTGCAAAGTC-3')を使用した。サーマルサイクラーの設定は、16SrRNAでは94°C2分、(94°C1分、57°C30秒、72°C1分)×35サイクル、72°C8分に、ND1では94°C4分、(94°C40秒、50°C1分、68°C1分30秒)×35サイクル、68°C5分に設定した。増幅したDNA断片をエタノール沈殿で精製した。シーケンスリアクションを行った後、377DNASequencer

(Applied Biosystems)を使用して塩基配列を決定した。得られた塩基配列のアライメントは、MEGA4.0.2(Kumar *et al.*,2004)を用いて行い、近隣結合法(NJ)法により系統樹を構築した。樹形の信頼性を調べるために1000回の反復によりブートストラップ検定を行った。遺伝的距離は木村の2パラメーター法(Kimura,1980)により算出した。系統樹を作成する際、16SrRNAではタイワンシジミ(*Corbicula fluminea*)を、ND1ではカワシジミガイ(*Margaritifera laevis*)をアウトグループとして用いた。

#### (6) 懸濁物質組成の調査

水中の懸濁物質のサイズは二枚貝の濾過効率に影響を与えるとともに、食餌として有効な成分であるかも飼育に影響を与える。そこで水中の懸濁物を観察するため、2011年7月11日に遊亀公園の貝設置場所から水を採集し、8枚のプレパラートを作成した。生物顕微鏡とデジタルカメラを使用し、プレパラート上でランダムに選んだ26箇所の写真撮影を行った。懸濁物質の大きさの測定には、対物マイクロメータを用いた。

### 2-3 水生植物の栽培実験

水質浄化植物の栽培実験は、3波長LED照明付き培養庫を用いて、温度15°C、長日(14時間明期10時間暗期)、光量44  $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ で、光質を赤色LEDランプのみを点灯させた赤色光、青・緑色LEDランプを点灯させた青緑光、赤・青・緑LEDランプを点灯させた白色光下の3種の光質環境下で行った。材料として沈水植物のクロモを使用する予定であったが、実験を開始したのが低水温期であったため、西湖産のコカナダモで代用した。実験に先立ち、コカナダモの先端部を5 cmに切り出し、1/2C培地を入れた2 Lの培養バックで通気させて予備栽培を1週間行った。また、実験では500 mLの柄付きフラスコに約6 cmに生長したコカナダモを5本ずつ入れ、栽培1日目(スタート時)と、13、19、28、36日目に全長、湿重量を測定し、植物体の様子を観察した。

### 2-4 水生植物及びその堆肥の有効性の検討

水生植物による水質浄化法において、供給から浄化利用、回収、バイオマス資源の再利用にいたる循環のプロセスを確立することを目的に、浄化に利用された水草および水草に副資材を配合して作成した堆肥の成分分析を行った。

水草および堆肥の含水率は加熱乾燥法で、全窒素分析はケルダール法で、全炭素はチューリン法で、全リン分析および金属元素分析は乾式灰化法により灰化および試料液調整を

行い、リンは吸光光度法で、金属元素は原子吸光光度法でそれぞれ行った。

### 2-5 沈水植物植栽基物の作成

山中湖のような自然湖沼では、湖底堆積物を用いて植栽基物を作成できるが、公園内の池など人工湖沼では原材料を得ることができない。そのような場合でも植栽が行なえるように、環境負荷の少ない素材からなる基物の作成を外部発注(株式会社 SCI)により試みた。

基本素材として木炭あるいは竹炭の端切れ(クズ炭)を用い、数種の材料を固化材として用いて製作を試みた。

## 3. 結果

### 3-1 最適二枚貝の選定試験

実験開始時の濁度にばらつきがあったため、実験開始時の濁度を100%として標準化を行った。標準化した値は、粒径4  $\mu\text{m}$ のカオリンを用いた場合には図3、粒径2  $\mu\text{m}$ のカオリンを用いた場合には図4、粒径0.2  $\mu\text{m}$ のカオリンを用いた場合には

表1 山中湖産二枚貝の浄化効率(%/g)

	4 $\mu\text{m}$	2 $\mu\text{m}$	0.2 $\mu\text{m}$	平均	合計湿重量(g)
カラスガイ	0.0051	0.0077	0.0255	0.0128	1556.83
タテボシガイ	0.0131	0.0031	0.1181	0.0448	298.6

図5に示す。浄化効率を式①を利用して計算し、結果を表1に示した。

粒径4  $\mu\text{m}$ のカオリンを用いた場合には、山中湖タテボシガイによる濁度の低下がより大きく(図3)、浄化効率もより高かった(表1)。粒径2  $\mu\text{m}$ のカオリンを用いた場合には、山中湖カラスガイによる濁度の低下がより大きく(図4)、浄化効率(表1)もより高かった。粒径0.2  $\mu\text{m}$ のカオリンを用いた場合には、山中湖カラスガイと山中湖タテボシガイによる濁度低下は共に大きかった(図5)。しかし、浄化効率(表1)は山中湖タテボシガイを用いた場合の方がより高く、総合的に考えると山中湖タテボシガイが適していると考えられ、水温30°Cにおいて浄化に用いることができることが確認された。

### 3-2 遊亀公園池における野外実験

#### (1) 実験池の生物調査

調査当日の天候は曇りであった。採捕種の測定結果を表2～4に示した。採捕種はオイカワ、モツゴ、オオクチバス、ブルーギル、コイ、アカミガメの6種類であった。優占種は、尾数ではブルーギル(75.4%)、重量ではアカミガメ(40.7%)であった。この他に草食性の大型のソウギョも20尾程度目視で確認されたが、採捕はできなかった。今後、水生植物を移植した際は捕食防止対策が必要と考えられた。ビンドウではモツゴとブルーギルが合計3尾採捕されただけで、お魚キラーでは採捕できなかった。採捕数が少なかったのは、設置時間が短かったためと考えられた。

池は荒川の水を導水しているが、採捕魚は荒川由来の在来魚に加え、外来種のオオクチバス、ブルーギル、アカミガメといった密放流由来のものも多かった。魚類の2種は小型魚が多かったことから、自然繁殖していることが示唆された。

なお、オイカワ、モツゴには明らかな二次性徴が見られ、産卵期と推定された。

#### (2) 実験池の光環境と水質調査

調査期間中の遊亀公園池の光環境と水質を定点別に表6、7に示した。測定地点の相対光量は月により変化し、水深10 cmと水深50 cmでは概ね同様の変化を示した。調査期間中の相対光量は水深10 cmで47.2～84.1%、水深50 cmで4.9～34.9%の範囲にあり、水深50 cmの相対光量は水深10 cmの約3～6割に減衰していた。調査地点の相対光量を比較すると、水深10 cm、50 cmともに概ねSt. 1からSt.5にかけて値が上昇していた。また、9月に低い値を示した。透明度は全ての定点で水深が浅いためほとんど50 cm程度であったが、11月以降は全透で池底が見える地点が多くなり、調査期間中に全地点で40～80 cmの範囲にあった。透視度はSt.1からSt.5にかけて概ね上昇する傾向が見られ、12～1月に急上昇し、調査期間中に全地点で16.5～100 cmの範囲にあった。濁度はSt.1からSt.5にかけて概ね低下する傾向が見られ、9月に上昇してその後下降し、1月から再び上昇傾向を示し、調査期間中に全地点で1.3～21.3NTUの範囲にあった。電気伝導率は全地点で概ね2月にかけて減少する傾向が見られたが、地点間の傾向ははっきりしなかった。また、電気伝導率(25°C換算値)は月によりばらつきが大きく、地点間の傾向もはっきりせず、調査期間中に全地点で95.3～165  $\mu\text{S}/\text{cm}$ の範囲にあった。DOは9月にSt.1～4で2.9～4.5にまで激減し、その後緩やかに増加する傾向が見られ、調査期間中に全地点で2.9～13.7 mg/Lの範囲にあった。pHは調査期間中St.5でやや低い値を、全地点で1～2月に高い値を示し、調査期間中に全地点で6.8～9.7の範囲にあった。また、調査期間中に全地点で水温は4.5～28.8°C、気温は4.6～35.8°Cの範囲にあった。

窒素、リンの栄養塩濃度の経月変化を図7、8に示した。両項目ともSt. 1, 2 > St. 3, 4, 5という傾向が見られたが、経月変化に大きな特徴は見られなかった。またどちらも高濃度で存在し、OECDが示した基準によれば、富栄養水域に分類された。さらに全窒素と全リンの比(N/P比)は全地点とも7.5～14の間にあり、植物プランクトンの増殖に適した状況であった。

しかし池に隣接する動物園から不規則に排水が流入することに加えて、取水している河川(荒川)の水位や天候により流入水量が変動することにより、池への栄養塩類の負荷量を正確に把握することはできなかった。

#### (3) 実験池での沈水植物植栽実験

平成23年7月11日に、長さ15 cmから20 cmのセキショウモとクロモを合わせて30株を植栽した。植栽には底泥を焼成した基物を用いた。

植栽後は目視にて生育状況を観察したが、植物の伸長は見られなかった。植栽直後に保護ネットを敷設した水域で、実

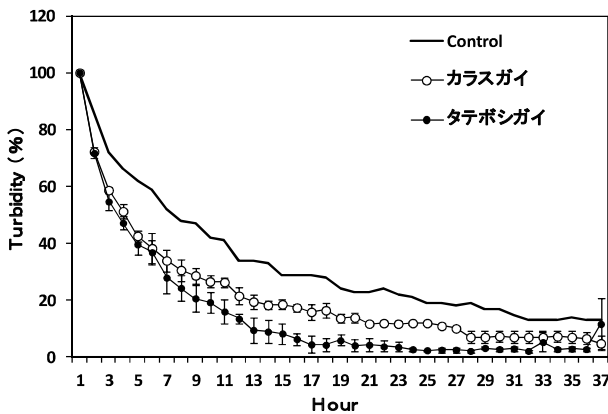


図4 粒径4 μmのカオリンを用いた実験結果 (エラーバーは標準誤差)  
 マーカーなし:コントロール ●:山中湖カラスガイ ○:山中湖タテボシガイ

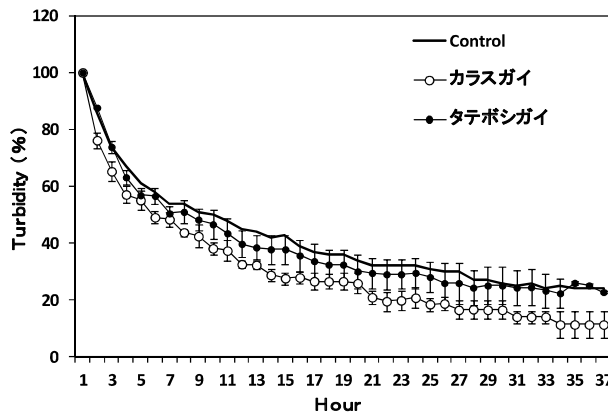


図5 粒径2 μmのカオリンを用いた実験結果 (エラーバーは標準誤差)  
 マーカーなし:コントロール ●:山中湖カラスガイ ○:山中湖タテボシガイ

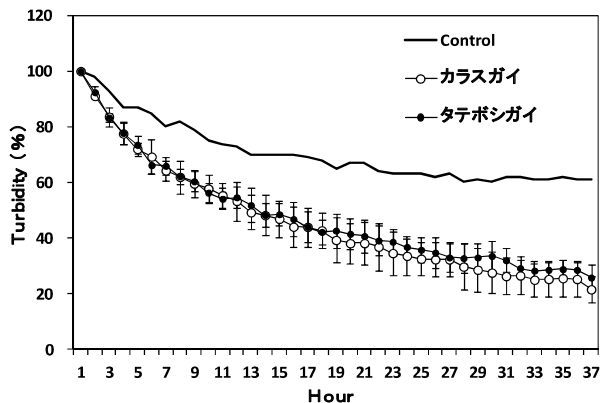


図6 粒径0.2 μmのカオリンを用いた実験結果 (エラーバーは標準誤差)  
 マーカーなし:コントロール ●:山中湖カラスガイ ○:山中湖タテボシガイ

験池で飼育されている2羽の白鳥の食餌行為が目撃されており、生物調査ではコイ、ソウギョも確認されていることから、これらの生物の被害により消滅したものと思われる。

表2 採捕種

種名	採捕数(尾)	総重量(g)	尾数割合(%)	重量割合(%)
オイカワ	44	131.5	18.3	3.7
モツゴ	1	13.4	0.4	0.4
オオクチバス	12	2.74	5.0	0.1
ブルーギル	181	667.17	75.4	18.7
コイ	1	1,300	0.4	36.5
アカミミガメ	1	1,450	0.4	40.7
合計	240	3,565	100.0	100.0

表3 全長(cm)

種名	測定数	平均値	最大値	最小値	標準偏差
オイカワ	44	5.7	12.7	3.5	2.3
モツゴ	1	10.4	-	-	-
オオクチバス	12	2.5	3.2	1.8	0.4
ブルーギル	181	5.8	14.4	4.1	1.4

表4 体重(g)

種名	測定数	平均値	最大値	最小値	標準偏差
オイカワ	44	3.0	25.5	0.3	5.7
モツゴ	1	13.4	-	-	-
オオクチバス	12	0.2	0.5	0.1	0.1
ブルーギル	181	3.7	62.3	0.9	5.3
コイ	1	1,300	-	-	-
アカミミガメ	1	1,450	-	-	-

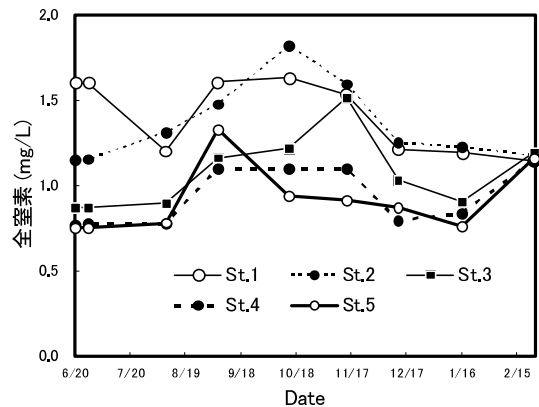


図7 遊亀公園池の全窒素濃度の経月変化

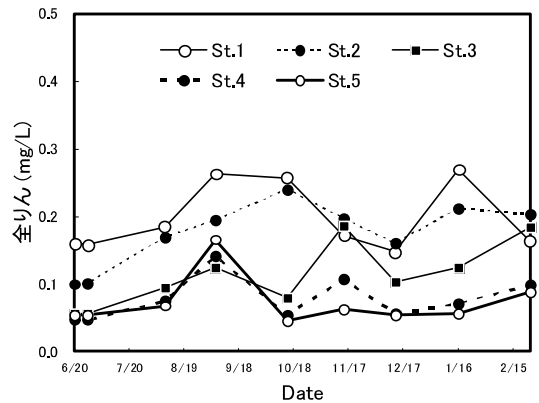


図8 遊亀公園池の全りん濃度の経月変化

(4) 実験池での二枚貝飼育実験

二枚貝は2011年7月4日に大きさを測定し、以後2011年10

表5 遊亀公園池の水中光量

	水深	St.. 1			St.. 2			St.. 4			St.. 5		
		空中光量 ( $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ )	水中光量 ( $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ )	相対光量 (%)	空中光量 ( $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ )	水中光量 ( $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ )	相対光量 (%)	空中光量 ( $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ )	水中光量 ( $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ )	相対光量 (%)	空中光量 ( $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ )	水中光量 ( $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ )	相対光量 (%)
2011/7/11	10cm	1798.6	1212.8	67.4									
	50cm	1795.2	169.0	9.4									
2011/8/8	10cm	1599.1	1182.9	74.0	1564.6	1011.4	64.6						
	50cm	1544.3	509.3	33.0	1583.5	387.5	24.5						
2011/9/5	10cm	343.3	162.1	47.2	371.3	176.1	47.4						
	50cm	394.1	19.3	4.9	392.5	47.3	12.0						
2011/10/11	10cm	516.8	290.4	56.2	1039.3	562.3	54.1	764.9	458.7	60.0	635.5	402.1	63.3
	50cm	512.7	37.2	7.3	1167.7	123.2	10.6	635.8	118.2	18.6	621.5	217.0	34.9
2011/11/14	10cm	936.2	686.9	73.4	953.2	600.7	63.0	1065.3	759.8	71.3			
	50cm	953.8	204.2	21.4	995.8	117.0	11.7	1096.6	273.2	24.9			
2011/12/12	10cm	768.0	629.2	81.9	735.5	618.6	84.1	560.4	315.6	56.3			
	50cm	669.4	208.2	31.1	375.2	119.0	31.7	655.9	183.6	28.0			
2012/1/16	10cm	212.0	134.1	63.3	243.3	150.6	61.9	202.5	127.4	62.9			
	50cm	216.6	49.5	22.8	229.8	50.2	21.8	194.8	47.8	24.5			
2012/2/20	10cm	1035.2	731.9	70.7	1106.0	712.1	64.4	1168.7	890.9	76.2			
	50cm	1108.2	248.1	22.4	1031.2	147.1	14.3	1191.6	313.2	26.3			

表6 遊亀公園池の水質

	測定日	2011/7/11	2011/8/8	2011/9/5	2011/10/11	2011/11/14	2011/12/12	2012/1/16	2012/2/20	調査期間中		
St.1	測定開始時間	10:30	11:03	9:50	10:15	10:36	12:50	12:41	10:08	最大	最小	平均
	透明度(cm)	40.0	50.0	40.0	40.0	50.0	全透	全透	50.0	50.0	40.0	45.0
	透視度(cm)	16.5	21.0	18.0	24.0	26.0	57.5	41.5	20.5	57.5	16.5	28.1
	濁度(NTU)	19.1	16.4	21.3	15.3	10.0	4.0	5.9	9.1	21.3	4.0	12.6
	電気伝導率 $\mu\text{S cm}$	153.7	148.2	103.8	115.2	104.9	91.6	83.8	79.3	153.7	79.3	110.1
	電気伝導率 $\mu\text{S cm}(25^\circ\text{C換算値})$	145.1	141.6	105.9	131.6	128.5	137.8	135.7	117.5	145.1	105.9	130.5
	DO	7.8	8.8	4.5	11.6	9.8	10.1	12.2	12.2	12.2	4.5	9.6
	PH	8.0	8.4	6.9	7.3	7.4	7.4	9.4	8.8	9.4	6.9	7.9
	水温( $^\circ\text{C}$ )	28.8	28.8	24.1	18.9	16.2	8.1	5.3	10.0	28.8	5.3	17.5
	気温( $^\circ\text{C}$ )	32.0	33.5	23.1	21.8	17.0	8.5	5.5	9.3	33.5	5.5	18.8
St.2	測定開始時間		11:16	10:20	10:40	11:02	13:15	13:23	10:40	最大	最小	平均
	透明度(cm)		60.0	50.0	50.0	50.0	全透	全透	50.0	60.0	50.0	52.0
	透視度(cm)		22.5	21.0	21.0	19.0	64.0	38.0	20.5	64.0	19.0	29.4
	濁度(NTU)		9.7	19.3	16.9	14.7	5.2	6.0	13.6	19.3	5.2	12.2
	電気伝導率 $\mu\text{S cm}$		148.5	93.5	107.4	108.8	92.2	89.4	97.8	148.5	89.4	105.4
	電気伝導率 $\mu\text{S cm}(25^\circ\text{C換算値})$		139.8	95.4	122.9	133.5	138.6	144.3	144.5	144.5	95.4	131.3
	DO		7.9	2.9	9.5	9.0	10.4	13.4	13.7	13.7	2.9	9.5
	PH		8.4	6.9	9.2	7.9	7.5	9.7	9.4	9.7	6.9	8.4
	水温( $^\circ\text{C}$ )		28.5	24.1	18.8	16.3	8.2	5.2	8.6	28.5	5.2	15.7
	気温( $^\circ\text{C}$ )		35.4	24.1	21.0	18.8	8.0	5.1	10.7	35.4	5.1	17.6
St.3	測定開始時間		11:36	10:55	11:10	11:14	13:30	13:31	11:05	最大	最小	平均
	透明度(cm)		65.0	50.0	50.0	50.0	全透	全透	50.0	65.0	50.0	53.0
	透視度(cm)		27.6	22.0	21.5	19.0	41.0	37.5	23.0	41.0	19.0	27.4
	濁度(NTU)		7.3	17.6	13.0	13.6	4.1	5.5	10.3	17.6	4.1	10.2
	電気伝導率 $\mu\text{S cm}$		150.5	93.8	112.9	109.5	90.6	87.8	99.5	150.5	87.8	106.4
	電気伝導率 $\mu\text{S cm}(25^\circ\text{C換算値})$		142.4	95.3	128.0	134.1	135.9	143.0	145.7	145.7	95.3	132.1
	DO		7.2	3.0	9.8	8.3	10.7	13.4	13.4	13.4	3.0	9.4
	PH		7.6	6.9	7.5	7.6	7.5	9.7	9.4	9.7	6.9	8.0
	水温( $^\circ\text{C}$ )		28.5	24.3	19.1	16.0	7.9	4.8	9.2	28.5	4.8	15.7
	気温( $^\circ\text{C}$ )		32.9	24.4	21.1	19.7	13.5	4.6	12.2	32.9	4.6	18.3
St.4	測定開始時間		12:11	11:05	11:21	11:25	13:45	13:46	11:20	最大	最小	平均
	透明度(cm)		60.0	50.0	50.0	50.0	全透	全透	50.0	60.0	50.0	52.0
	透視度(cm)		23.5	22.0	>30	24.0	65.0	45.0	26.5	65.0	22.0	34.3
	濁度(NTU)		8.8	14.6	6.8	9.4	3.7	6.1	11.6	14.6	3.7	8.7
	電気伝導率 $\mu\text{S cm}$		151.9	100.0	125.8	107.2	87.6	86.9	93.5	151.9	86.9	107.6
	電気伝導率 $\mu\text{S cm}(25^\circ\text{C換算値})$		144.3	101.7	142.0	132.8	132.3	142.4	138.1	144.3	101.7	133.4
	DO		6.9	2.9	8.3	8.2	11.9	12.5	10.0	12.5	2.9	8.7
	PH		7.5	6.8	8.4	7.4	7.5	9.7	9.3	9.7	6.8	8.1
	水温( $^\circ\text{C}$ )		28.2	24.1	18.9	15.8	7.4	4.7	9.0	28.2	4.7	15.4
	気温( $^\circ\text{C}$ )		35.6	23.9	20.9	19.8	13.2	5.1	13.8	35.6	5.1	18.9
St.5	測定開始時間		11:55	11:20	11:37	11:43	14:06	14:07	11:40	最大	最小	平均
	透明度(cm)		60.0	50.0	全透	全透(80)	全透	全透	50.0	80.0	50.0	53.3
	透視度(cm)		24.5	20.0	>30	>30	100.0	45.0	39.0	100.0	20.0	45.7
	濁度(NTU)		6.3	17.1	4.0	3.3	1.3	5.1	12.8	17.1	1.3	7.1
	電気伝導率 $\mu\text{S cm}$		151.8	116.1	144.2	102.0	88.9	85.7	90.2	151.8	85.7	111.3
	電気伝導率 $\mu\text{S cm}(25^\circ\text{C換算値})$		144.8	118.0	165.0	127.9	134.4	140.8	134.1	165.0	118.0	137.9
	DO		7.0	7.0	7.4	8.3	12.5	9.5	9.0	12.5	7.0	8.7
	PH		7.7	7.0	8.1	7.5	7.6	8.7	8.4	8.7	7.0	7.8
	水温( $^\circ\text{C}$ )		27.7	24.3	18.5	15.3	7.3	4.5	9.2	27.7	4.5	15.3
	気温( $^\circ\text{C}$ )		35.8	24.6	22.1	19.2	9.9	5.1	15.6	35.8	5.1	18.9

月14日, 2012年1月11日に貝の成長量を測定した. なお, 飼育のための移植は2011年7月11日に行い, 貝の測定後の再移

植はそれぞれ2011年10月19日, 2012年1月11日に行った. 各期での成長率を表7にそれぞれ示す. これらは, 正確な値を得