

自然公園内における湖沼の水質の向上に関する研究

山梨県衛生公害研究所¹・山梨県水産技術センター²・山梨県環境科学研究所³・山梨大学⁴・金沢星陵大学⁵
吉澤一家¹・高橋一孝²・池口仁³・芹澤(松山)和世³・御園生拓⁴・平田徹⁴
森一博⁴・宮崎淳一⁴・芹澤如比古⁴・永坂正夫⁵

Studies on the Managements of Water Quality of the Lake Located in Nature Reserves

Yamanashi Institute for Public Health¹, Fisheries Technology Center², Institute of Environmental Science³
University of Yamanashi, Kanazawa Seiryo University
Kazuya YOSHIZAWA¹, Kazutaka TAKAHASHI², Hitoshi IKEGUCHI³, Kazuyo MATSUYAMA-SERISAWA³
Taku MISONOU⁴, Tetsu HIRATA⁴, Kazuhiro MORI⁴, Jun-ichi MIYAZAKI⁴
Yukihiko SERISAWA⁴ and Masao NAGASAKA⁵

要 約

自然湖沼での水質管理に適した浄化システムを構築するための、水生植物及び貝類を用いた水質管理手法の検討を平成20年度から開始した。2年目になる本年度は、山中湖の通称平野ワンドにて現地植栽及び飼育実験などを行い、次の諸点が明らかとなった。

- 1) 水生植物調査では、沈水植物が11種(うち1種は交雑種)、浮遊植物が1種、浮葉植物が2種、抽水植物が1種、アオミドロ属の一種、大型藻類が9種の計24種を確認することができ、9月に現存量が最大となった。
- 2) コイを用いた食害実験からは、大型より小型のセキショウモの方が捕食されやすいことが示唆された。
- 3) 現地植栽・飼育実験からセキショウモ及びタテボシガイを利用できる可能性が高いことが明らかとなった。

Abstract

We investigated the appropriate methods of improving the water quality of Lake Yamanaka located in nature reserves. In 2009, the second year of this project, in addition to the accumulation of the fundamental data about the ecosystem of the lake, vegetation of water-plants and cultivation of bivalves were carried out in Lake Yamanaka from July to November. Several facts were revealed from these experiments; i.e.

- 1) Twenty-four taxa of hydrophytes were observed in this lake. Biomass of those hydrophytes showed the maximum value on September.
- 2) Both *Vallisneria natans* and *Unio douglasiae biwae* were seemed to be available for the improving the water quality.
- 3) There was a possibility that water-plants were damaged by the feeding of the carp.

1. 緒 言

特に生態系、景観の保全に配慮が必要な自然公園内の湖沼での水質管理に適した浄化システムを構築するために、水生植物及び貝類を用いた手法の検討を試みた。

平成20年度には、浄化システムを構成するために必要な基礎データの収集を行なった。その中で、浮遊植物のウキクサ、抽水性のヨシ、沈水性のクロモについて、バイオマス生産のシミュレーション結果は、野外池での植物の生育を十分に再現していた。また湖底泥を焼成した基物を用いることで、水生植物を簡単に植栽できるこ

とを室内実験で確認し、焼成条件を確立した。一方、貝類を用いた水質浄化能の室内実験では、二枚貝のろ過作用により濁度が低下することが確認された。

プロジェクト2年目となる本年度は、対象水域の特性をより明らかにするための生態系調査を継続して行なうとともに、現地での植栽、飼育実験を行なうなど、現地での応用を視野に入れた各実験を行なった。サブテーマのタイトルは次のとおりである。

・湖内調査

- 1) 山中湖の水草・大型藻類と湖内光量の周年変化
- 2) トラップ及びタモ網採取法による水生生物調査

- ・生物利用浄化法研究
 - 1) 植生モデルの構築
 - 2) 二枚貝による水質改善法の検討
 - 3) セキシウモの培養に及ぼすコイの影響
 - 4) 山中湖での植栽・飼育実験
- ・集水域調査
 - 1) 平野ワンド部の概況調査による特性把握
 - 2) 流入河川による負荷量調査
- ・バイオマスの有効利用方法の検討

2. 調査・研究方法

2-1 湖内調査

2-1-1 山中湖の水草・大型藻類と湖内光量の周年変化

山中湖に生育する水草・大型藻類の種組成と現存量の周年変化を明らかにすることと、山中湖の水深別の光量とその周年変化を明らかにすることを目的として調査を行なった。

1) 水草・大型藻類の種組成と現存量の周年変化

2009年3月～12月まで毎月1回、山中湖の平野ワンドに3定点、南岸に3定点、北岸に3定点の計9定点を設け、胴長を着用して水深70cm程度まで入り、ロープを付けた自作の採集器2種類を陸側を背に5回ずつ投げ、岸まで10m程度湖底を引き摺る方法で沈水植物と大型藻類を採集した。また、目視確認による徒手採集も随時行い、採集器では得られない抽水植物や沈水植物なども採集した。採集物は定点毎に種類別に分けて湿重量を測定した後、一部は押し葉標本とした。その後、種類毎にまとめて風乾させた後、80℃で48時間以上乾燥させ、乾重量を測定した。

2) 山中湖の水深別の光量とその周年変化

山中湖の水深別の光量とその周年変化光量の測定は昨年度後半の2008年7～12月までに引き続き、2009年3～10月まで毎月1回、手漕ぎまたは船外機付きの小型船舶を用いて行った。平野ワンドの奥部より5定点を設け、2008年11月からは湖心にも新たに1定点を加え、Li-Cor社製ライトメーターLi-250・水中光量子センサー2台を用いて、湖面上(空中)と水中で同時に光量子速度の測定を行った。また、湖面上の光量に対する水中光量の相対値を算出し、相対光量を求めた。なお、水中光量の測定は水深約10cmと、水深1m、それ以深では1m毎に湖底付近までとし、各定点での最深部での測定水深はワンド最奥部では水深2m、湾口部にかけて漸次、水深3m、4m、5m、5m、湖心では水深10mとした。また、測定は午前9時半から午後2時半までの日が高い間に行った。また、その他の環境要因として各定点で気温、水温、pH、透明度を測定した。

2-1-2 トラップ及びタモ網採取法による水生生物調査

平野ワンド部の水生生物の生息状況把握のため、トラップ採取法、タモ網採取法による魚類、エビ類、トンボ類ヤゴの生息調査を2009年6月から11月の6ヶ月にかけて毎月1回、各月の中旬に行なった。

調査地としてワンド部北西岸のヨシ密生地を主要な調査地とし、湖岸東から西のワンド奥部にかけて5調査区(調査区1から調査区5)を設定した。モンドリを用いたトラップ採取法では、ゴルフボール大の練り餌(容積比、サナギ粉：パン粉：小麦粉：イワシ魚粉：アミコマセ=10：8：2：1：1)をモンドリに入れ、調査区ごとに1トラップを水40cmの湖底に設置し、1時間経過後にトラップを回収した。トラップ設置と回収は午前10時から正午12時にかけて行ない、設置時には時刻、気温、水温を記録した。トラップ採取法による調査が終了した後、タモ網採取法による調査を、調査区3から調査区5の湖岸部を中心に行なうながら、1名で1時間実施した。

2-2 生物利用浄化法研究

2-2-1 植生モデルの構築

植物を用いた水質浄化は、植物による吸収と根圏微生物による分解の作用から無機と有機の広範な汚濁物質に対応する。エネルギーの投入が少なく高度な維持管理操作も必要ではない。さらに緑地空間の創造にも寄与できるなど、他の浄化技術にはない利点を有している。しかし、我が国のように年間の気象条件が大きく変化する地域では植物の生育と浄化効果の変動も大きく、浄化効果を推定しながらの合理的な植物選択や浄化系の計画や維持管理が難しいのが現状である。そこで本研究では、気象や水質条件を考慮した植物の生育と栄養塩吸収のモデルを検討した。本年度は、水生植物の長期に及ぶ野外生育に対する本モデルの有効性の評価を目的とした。

昨年度に検討した水生植物の生長モデル(ロジスティックモデルに光(steel式)、温度(Yin and colleagues式)、栄養塩類濃度(Michaelis-Menten式)の各環境要因より構成)に、単位植物バイオマス中の栄養塩含有量を栽培液中の栄養塩濃度より予測するモデル(Michaelis-Menten式)を組み合わせて、栄養塩吸収モデルを作成した。供試植物(ウキクサ、ホテイアオイ)の野外池における2005～2007年の栽培試験結果をこれらの生育並びに栄養塩吸収モデルによる予測結果と比較し、本モデルの有効性を評価した。

2-2-2 二枚貝による水質改善法の検討

1) 二枚貝による水質改善実験

水質改善の基準として濁度に注目し、6種の二枚貝を用い、人工的に濁度を上げた水槽内に貝を入れた場合

と、貝を入れない場合を比較した。45cm水槽に24lの水と濁度が30FTU前後になるように粒径0.2 μ m, 2 μ m, 4 μ mの鉱物粒子であるカオリンを入れ、カオリンの沈澱を防ぐためにエアポンプで一定の空気を送った。濁度変化の測定は、OPTEX社の濁度チェッカーTC-100を使用して、実験開始から1時間ごとに計36回行った。開始時、24時間後にはデジタルカメラで水槽の撮影を行った。二枚貝による浄化効率を次のような式を用いて比較した。

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

(ここで、A=開始時の濁度 (FTU), B=36時間後の濁度 (FTU), G=使用した貝の合計湿重量 (g) である)。

湖水の懸濁粒子の粒径分布をベックマン・コールターに依頼して調べた。湖水は山中湖平野ワンドの水深1m, 2m, 3mの3地点で、2009年7月14日, 9月9日, 11月18日, 1月25日にバンドン採水器を用いて採集した。

2) 二枚貝の遺伝子解析

本研究では将来的に山中湖に実際に貝を導入することを目的としている。他の生息地から生物を移入する際には種、さらには種内に明確に分けられる集団が存在する場合にはその集団を明確に記録しておく必要がある。そのため本研究で使用した貝のDNAによる同定を行った。貝の足からDNAを調製した。酵素としてKOD-DashあるいはTaqを用いてPCRによってミトコンドリアの16SリボソームRNA遺伝子 (16SrRNA) とミトコンドリア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'-TGAGCGTGCTAAGGTAGG-3') とアンチセンスプライマー-16S4H (5'-AGCCAACATCGGGTCGC-3') を使用した。ND1用のプライマーとして、センスプライマー-Leu-uur (5'-TGGCAGAAAAGTGCATCAGATTAAAGC-3') とアンチセンスプライマー-NIJ-12073 (5'-TCGGAATTCTCCTTCTGCAAAGTC-3') を使用した。PCRは94 $^{\circ}$ C 2分, (94 $^{\circ}$ C 1分, 57 $^{\circ}$ C 30秒, 72 $^{\circ}$ C 1分) \times 35サイクル, 72 $^{\circ}$ C 8分の条件で行った。シークエンスリアクションを行った後、377 DNA Sequencer (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、DNASIS (Hitachi Software Engineering) を用いて編集を行い、遺伝的距離は木村の2パラメーター法により算出し、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。系統樹を作成する際、アウトグループとしてカワシンジュガイを用いた。

2-2-3 セキショウモの栽培に及ぼすコイの影響

昨年度は山中湖平野ワンド内の生息魚種や採捕魚の消化管内容物について調査した。この結果、11種類の魚種が採捕され、全国各地で水草減少の主因となった植物食性のソウギョは山中湖では出現せず、減少要因ではないことが明らかとなった。しかし、底生性雑食魚のコイについては、採捕数が少なく検討できなかった。

今年度は、ワンド内の主要沈水植物であるセキショウモを屋外水槽において培養し、葉体の大小、コイ放養の有無、給餌の有無による影響について、2種類の培養土 (市販の黒土, 山中湖の砂礫土) を用いて検討した。

実験期間は2009年6月29日から8月28日までの60日間で、270L容角型水槽 (G水槽) 4基に、セキショウモを30株 (平均葉長7.6cm) ずつ、直植えた (図1, 2, 表1)。水槽には黒土40kgと腐葉土500gを入れ、水深を30cmにしてエアリフトで水流をつけた。22日間培養した後、7月22日に平均全長22.0cm (大型魚) と11.0cm (小型魚) の2種類のコイをそれぞれ2尾、17尾水槽に投入した。また、別の実験で使用した大型のセキショウモ (平均葉長20数cm) も実験に加え、2区 (角1, 角2) 追加設定した。コイの投入は4日後の7月26日に行った。8月28日に取り上げし、コイの体重、尾数、消化管内容物、セキショウモの湿重量、株数について測定した。また、期間中定期的に水質を測定するとともに、浮上したセキショウモの測定も行った。コイの飼料はマス用を適量使用した。

さらに、野外 (平野ワンド) におけるセキショウモの成長等について、昨年度に引き続き観察した。

表1 試験区の設定

水槽	水草の大きさ	コイ放養の有無	給餌の有無
G1	小	○ 大型魚	×
G2	小	○ 大型魚	○
G3	小	○ 大型魚	○
G4	小	×	×
角1	大	×	×
角2	大	○ 大型魚	×



図1 植え付けたセキショウモ



図2 実験水槽の外観 (G水槽)

2-2-4 山中湖での植栽・飼育実験

これまでに沈水植物を植栽する手法の一つとして、該

当する水域の底泥を焼成した基物を用いる方法を報告した。本サブテーマではその応用実験として、現場水域での生育可能性を検討するために、山中湖において湖泥の焼成基物を用いて沈水植物の植栽を行うと共に、懸濁質のろ過効果が期待される二枚貝を飼育した。

1) 焼成基物の作成

湖泥は実験水域である山中湖の平野ワンドより、エックマンバージ採泥器により採取した。これを径5～6cmの饅頭型に成型し、電気炉で前報により最適温度と考えられた750℃で30分間焼成したものを基物として実験に用いた。

2) 沈水植物の栽培と二枚貝の飼育方法

水深1.2m～1.5mの実験水域に、ステンレスアングルで1.2m×1.2m×1.2mの立方枠を組立て、大型魚による食害防止のため2mm目のナイロンメッシュで四方を覆ったケージを3基設置した。この中に焼成基物で固定した植物を直接沈めた。さらに二枚貝を入れたプラスチック製かごを、アングル枠から約50cmの深さに懸架して飼育を行った(図3)。

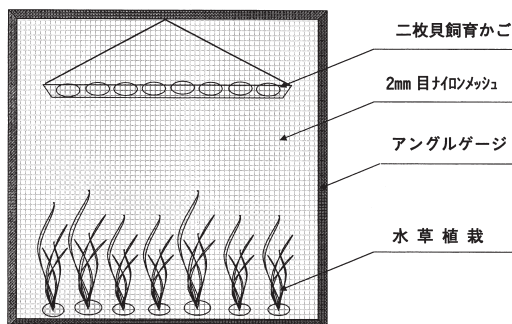


図3 栽培及び飼育施設

3) 供試生物と成長量測定

実験には現場水域で採取し、水槽内で栽培したセキショウモとクロモを各12株ずつ用いた。成長測定日ごとに3株ずつ採集し、最も長い葉または茎の長さ、湿重量を測定した。これと実験開始前のデータとの差を成長量とした。

二枚貝は、現場水域で生息が確認されている種であるシジミ520個体と、タテボシガイ(イシガイ)55個体を用いた。シジミは測定日ごとに生存個体数を計数し、タテボシガイについては、生存数に加えて各個体のサイズと湿重量を計測して成長量を算出した。

2-3 集水域調査

2-3-1 平野ワンド部の概況調査による特性把握

汚濁負荷の軽減ないし安定が期待できる事が前提とされる。そこで、このサブテーマにおいては、外部環境の資料および現場の概況調査をもとに、生物を用いた水質浄化を有効に実施するために必要な外部条件を整理する

ことを目的とした。

昨年度までに、空中写真記録の調査によって、対象区域(ワンド)の最奥部に1960年代までは水面下に掃流の痕跡を認められるが、1970年以降堆積が進行するようになったことを明らかにした。さらに、GIS上の地形分析により、1960年代から現在にいたるまでにワンド部分における表流水の流入量が最奥部を中心に約10%程度失われている事を明らかにした。流入する表流水の減少は汚濁負荷の相対的ボリュームを増す事になるため、本総合研究の成果を活用するためには少なくとも表流水の流入量を維持する必要がある事が示された。

一方、現地概況調査からはワンド地域を含む山中湖岸の多くの表流水流入地点は、景観的に外来種オオブタクサの繁茂で特徴づけられた。景観上大きな影響力を持ち、自然公園の質の維持のため管理を要すると思われるこの外来種の動向を調査し、「水質維持のための表流水の確保」と「景観維持のための外来種オオブタクサの制御」の整合的な解のあり方を平成21年度の目的とした。

2-3-2 流入河川による負荷量調査

本サブテーマでは、山中湖に流入する自然負荷量を明らかにすることを目的として、主な河川からの非降水時負荷量を調査した。

1) 調査地点

図4に示した主な7河川(R.1～R.7)の湖への流入部で採水等を行なった。

2) 調査年月日

平成20年4月から平成21年3月の間、非降水時に原則として毎月1回、計10回各河川で採水を行った。

3) 調査項目

採水した河川水を冷蔵保存で搬入した後、一部を孔径0.45μmのメンブランフィルター(ミリポアHAWP0045)でろ過した後、ろ過前の試料とともに凍結保存し、用事解凍したものを分析試料とした。ろ過前試料については次の各項目を分析した。

全窒素濃度(TN)：ペルオキソ二硫酸カリウム分解—紫外線吸光度法

全りん濃度(TP)：ペルオキソ二硫酸カリウム分解—モリブデン青吸光度法

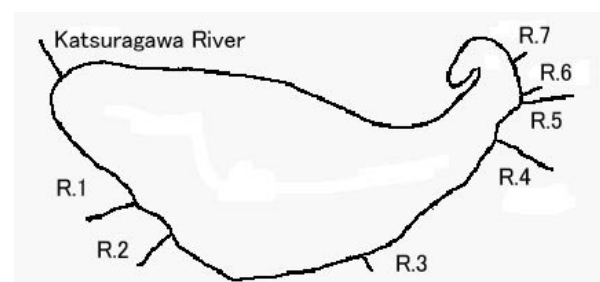


図4 水質測定地点

COD：酸性過マンガン酸カリウム分解法

また、ろ過試料についても窒素，りん，CODの各項目で分析を行い，溶存態濃度とした（溶存態窒素濃度：DTN，溶存態りん濃度：DTP，溶存態COD：DCODと表記）。さらにそれぞれの測定値から次式により懸濁態の濃度を求めた。

$$\text{懸濁態窒素 (PTN)} = \text{TN} - \text{DTN}$$

$$\text{懸濁態りん (PTP)} = \text{TP} - \text{DTP}$$

$$\text{懸濁態COD (PCOD)} = \text{COD} - \text{DCOD}$$

また採水時には流量を測定し，負荷量計算に用いた。

2-4 バイオマスの有効利用方法の検討

生物を用いた水質浄化過程で生産されるバイオマスの有効利用法について検討した。

今回は，生物資源による水質浄化を図った結果として得られる水草等のバイオマスの処理に焦点を当てた。生産されたバイオマスを図5に示したような各種発酵資材として利用するためには乾燥処理を施さなければならない。そのための未利用熱源として，山中湖村クリーンセンターに着目し，現地調査を行った。

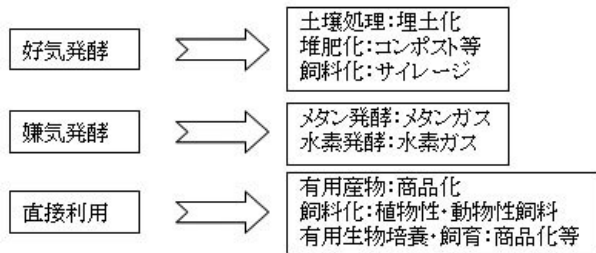


図5 生産バイオマス利用法

3. 結果

3-1 湖内調査

3-1-1 山中湖の水草・大型藻類と湖内光量の周年変化

1) 水草・大型藻類の種組成と現存量の周年変化

調査期間中にホザキノフサモ，セキショウモ，クロモ，ホソバミズヒキモなど沈水植物が11種（うち1種は交雑種），浮遊植物が1種（コウキクサ），浮葉植物が2種（ヒルムシロ，コオニビシ），抽水植物が1種（ヘラオモダカ），アオミドロ属の一種，オトメフラスコモ，シャジクモ，カタシャジクモ，アミミドロなど大型藻類が9種の計24種を確認することができた。また，水草・大型藻類の一投あたりの現存量は1.5mg（3月）～292.8mg（11月）で，出現種数は3種（3月）～20種（9月）で，いずれも3月から9月にかけて徐々に増加し，その後減少した（図6）。

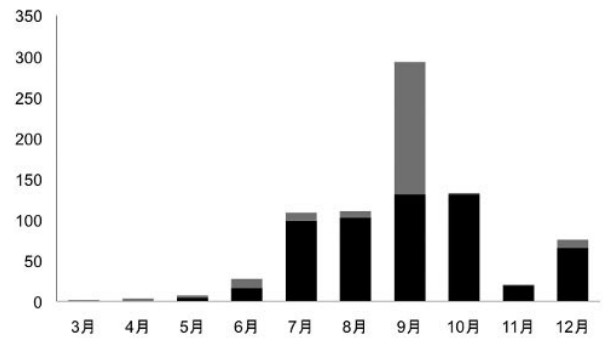


図6 山中湖で採集された水草・大型藻類の周年変化

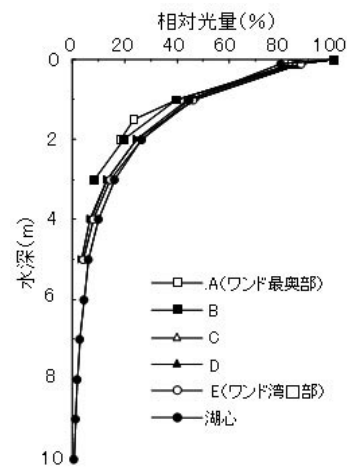


図7 調査期間中における山中湖の平均相対光量

2) 山中湖の水深別の光量とその周年変化

調査期間中の水深別の相対光量の全定点での平均値は1mが44.1%（±3.4），2mが23.8%（±3.9），3mが13.5%（±3.3），4mが8.4%（±1.9），5mが4.9%（±1.8）であり，湖心では6mが4.5%（±2.6），7mが2.9%（±1.8），8mが1.8%（±1.2），9mが1.1%（±0.8），10mが0.7%（±0.6）であった。平野ワンド内ではいずれの定点でも水深の増加に従って相対光量は大きく減少した。また，同一水深における相対光量は平野ワンド内では奥部ほど低く，湖心はワンド内より高い傾向が認められた。相対光量の季節変化は定点や水深によって異なっており，明確な傾向を把握することはできなかったが，3月に最大値を示した定点および水深が多かった。また，水深が深くなるに従い季節的な変動幅は小さくなっていった（図7）。

3-1-2 トラップ及びタモ網採取法による水生生物調査

1) トラップ採取法による調査結果

トラップ採取法では，魚類のみ，2科4種850個体を採取した。このうち採取個体数の多い魚種はタモロコで，採取個体数全体の88.6%を占め，モツゴ，オイカワ，

表2 山中湖で確認された水草・大型藻類

	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	本年度	2007-2009
ホザキノフサモ			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
セキショウモ			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ホソバミズヒキモ			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
センニンモ			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
エビモ×センニンモ				○	○	○	○	○	○	○	○	○
クロモ					○	○	○	○	○	○	○	○
コカナダモ					○	○	○	○	○	○	○	○
オオササエビモ					○	○	○	○		○	○	○
トリゲモsp					○	○	○	○			○	○
ヒロハノエビモ					○	○	○	○			○	○
エビモ				○	○	○	○				○	○
コウキクサ							○	○	○	○	○	○
ヒルムシロ						○	○	○			○	○
コオニビシ	○ (種子)	○ (種子)	○ (種子)	○	○	○	○	○		○ (種子)	○ (種子)	○
ヘラオモダカ							○				○	○
エゾヤナギモ												○
アオミドロsp.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
オトメフラスコモ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
シャジクモ		○		○	○	○	○	○	○	○	○	○
ヒメフラスコモ				○	○	○	○	○		○	○	○
カタシャジクモ						○	○	○	○		○	○
キヌフラスコモ										○	○	○
アミミドロ								○			○	○
サヤミドロの一種										○	○	○
フタマダシオグサ										○	○	○
フジマリモオ												○
ブルボケーテの一種												○
出現種数	3	4	7	11	16	18	20	19	13	17	24	27

表3 トラップ採取法による調査結果

		6月	7月	8月	9月	10月	11月	計	
タモロコ	調査区 1			93	5	17	20	135	
	調査区 2			69		111	1	181	
	調査区 3			66	41	51	2	160	
	調査区 4		14	54	6	59		133	
	調査区 5			66		73	5	144	
	計	0	14	348	52	311	28	753	
モツゴ	調査区 1				3	2	1	6	
	調査区 2			14	5			19	
	調査区 3			21	2			23	
	調査区 4	1	3	5		3		12	
	調査区 5			5		4	1	10	
	計	1	3	45	10	9	2	70	
オイカワ	調査区 1					5	2	7	
	調査区 2			1			7	8	
	調査区 4			4				4	
	調査区 5			1		3	2	6	
	計	0	0	6	0	8	11	25	
ヨシノボリ	調査区 3			1				1	
	調査区 4			1				1	
	計	0	1	1	0	0	0	2	
種数			1	3	4	2	3	3	4
個体数合計			1	18	400	62	328	41	850

表4 タモ網法による調査結果

	6月	7月	8月	9月	10月	11月	計
魚類							
モツゴ	1	12	16	1			30
ヌマチチブ	3	1	5	6			15
タモロコ			1	8			9
ギンブナ		8		1			9
ヨシノボリ	1	2		1			4
ドジョウ		1			1	0	2
個数合計	3	5	3	5	1	0	6
個体数合計	5	24	22	17	1		69
ヤゴ類							
クロイトトンボ	7	12	7				26
シオカラトンボ	2		1	2	4	8	17
オオキトンボ	3	4		10			17
ギンヤンマ				1	2		3
ウチワヤンマ				2			2
ホンサナエ		1					1
ヤマサナエ				1			1
コヤマトンボ				1			1
オオヤマトンボ		1		1			1
個数合計	3	3	2	7	2	1	9
個体数合計	12	18	8	18	6	8	70
エビ類							
テナガエビ	5	10	24	5	0	1	45

ヌマチチブはそれぞれ8.2%、2.9%、0.2%を占めた。調査区ごとにデータをプール化して比較した場合、調査区1、調査区2、調査区3、調査区4、調査区5では、それぞれ種数は、3種、3種、3種、4種、3種、個体数は148個体、208個体、184個体、150個体、160個体を示し、種数の多い地点は調査区4、個体数の多い地点は調査区2となった。毎月のサンプリングでは、8月と10月に多くの個体を採取できたが、サンプリングごとにデータをプール化して比較した場合、6月から11月では、それぞれ種数は、1種、3種、4種、2種、3種、3種、個体数は1個体、18個体、400個体、62個体、328個体、41個体を示し、8月に最も多くの種数、個体数を示した。

2) タモ網採取法による調査結果

タモ網採取法では、魚類、エビ類、トンボ類ヤゴを採取した。うち魚類では4科6種69個体を採取した。すべてのデータをプール化したとき、採取個体数の多い魚種はモツゴ、ヌマチチブで、それぞれ採取個体数全体の43.5%、21.7%を占め、タモロコ、ギンブナがともに13.0%と続き、他の3種のヨシノボリ、ドジョウはそれぞれ4個体、1個体であった。毎月のデータを比較した場合、採取個体のない11月を除く6月から10月では、それぞれ種数は、3種、5種、3種、5種、1種、個体数は5個体、24個体、22個体、17個体、1個体を示し、採取種数は7月と9月に高く、採取個体数は7月から9月に多かった。エビ類については、テナガエビのみ

1種、計45個体を採取し、採取個体数は7月と8月に多かった。トンボ類ヤゴについては、5科9種70個体を採取した。すべてのデータをプール化したとき、月毎の種数は1種から7種、9月に多くの種類を採取し、月毎の採取個体数は6個体から18個体であり、7月と9月に多くの個体を採取した。このうち採取個体数が多い種はクロイトトンボの26個体で全体の37%を占めた。

3-2 生物利用浄化法研究

3-2-1 植生モデルの構築

水耕栽培条件における水生植物の生育量並びに栄養塩吸収固定量の予測モデルを構築した。本生育モデルでは、温度、照度、栄養濃度の日平均値、並びに栽培時間を入力することで、1日平均バイオマス生産量を予測しこれを積算する。植物種に固有の各パラメータは、栽培試験より得られた値を用いた。これより5月～9月にかけて野外池にて長期間栽培している水生植物の生育をシミュレーションし、実測データと比較した。図8にウキクサ(2007年)とホテイアオイ(2005年)の野外栽培とそのシミュレーション結果を示した。いずれの植物でも野外池での生育を予測することが可能であった。ウキクサでは期間収量はほぼ一致し、ホテイアオイでは栽培後期にやや実測値との差が見られた。ホテイアオイにおいては開花後の生育抑制を、栽培時間より算出する項に修正の課題が残された。次に2008年の札幌、甲府、那覇の気象データと高度、中度、低度の仮定の富栄養化

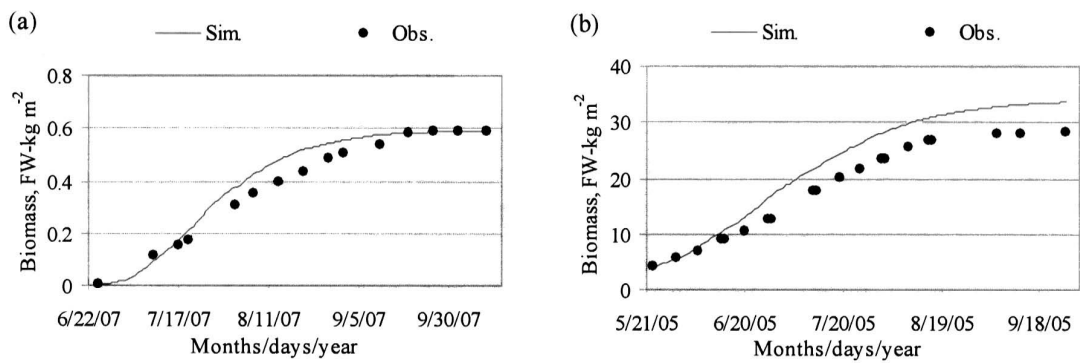


図8 ウキクサ (a) とホテイアオイ (b) の野外栽培結果とシミュレーション結果の比較

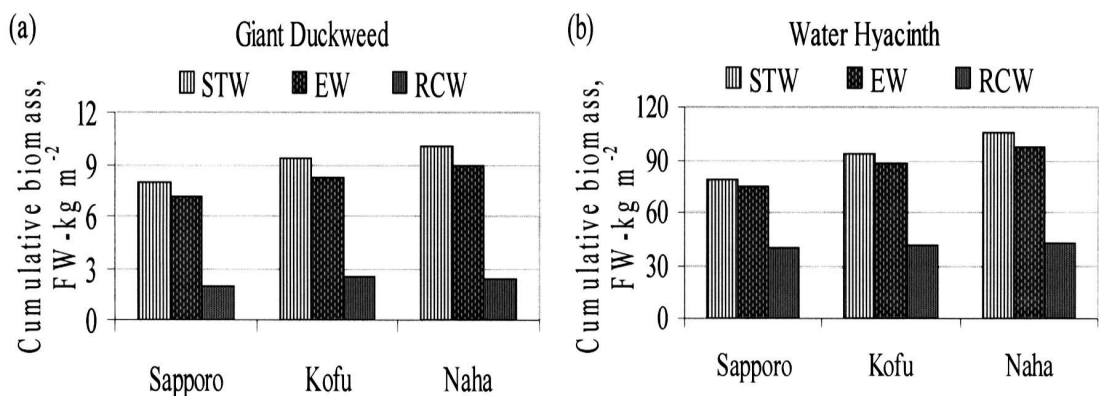


図9 異なる環境条件下でのウキクサ (a) とホテイアオイ (b) のバイオマス量のシミュレーション結果

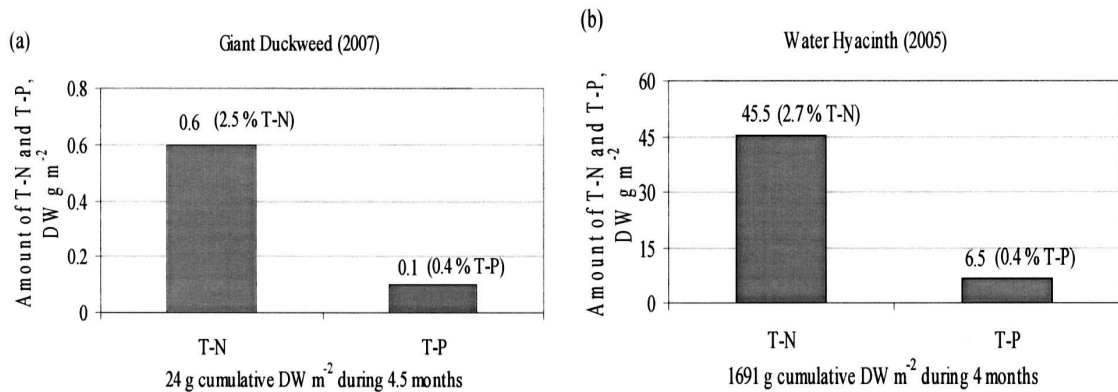


図10 ウキクサ (a) とホテイアオイ (b) での栄養塩取込量シミュレーション結果

条件で栽培シミュレーションを行った結果を図9に示した。これより、汚濁の低度と気象条件により植物の生育が大きく異なることが分かる。このようなシミュレーション手法は、植物選択と維持管理条件の選定に役立つことから植生浄化法の合理化において有効なツールといえる。続いて、図8と同じ栽培期間における両植物による栄養塩固定のシミュレーション結果を図10に示した。この栽培期間に収穫された全植物体に固定された窒素並びにリンの実測値に対するシミュレーション結果との誤差は0.5～3.8%となり、高い再現性が確認された。

3-2-2 二枚貝による水質改善法の検討

1) 二枚貝による水質改善実験

二枚貝を入れた水槽では、対照の水槽よりも濁度の低下率が高かった。これは二枚貝の捕食の濾過作用によるものと考えられる。粒径0.2 μ m, 2 μ m, 4 μ mのカオリンを用いた実験の平均から、ヨコハマシジラガイ、カワシンジュガイ、河口湖タテボシガイの順に浄化効率が高かった(表5)。これは昨年度の結果を追証しており、再現性を得ることができた。また、殻長が50mm前後のタテボシガイ、ヨコハマシジラガイ、ヌマガイ、カワシンジュガイの方が、殻長が大きいイケチ

ヨウガイやカラスガイより高い浄化効率を示した。浄化率が高かったものの中では、ヨコハマシジラガイは広く分布するため移入に適していると考えられる。

山中湖水の懸濁粒子の粒度分布は、月や深度によって総粒子数の相違はあったが、粒径 $4 \mu\text{m}$ 以下の懸濁粒子数が大多数を占めた。本研究で使用したカオリンの粒径は $4 \mu\text{m}$ 、 $2 \mu\text{m}$ 、 $0.2 \mu\text{m}$ であり、湖水の懸濁粒子の粒径を反映していることが明らかとなった。

表5 湿重量当たりの浄化効率 (%/g)

グループ/名前	合計湿重量	$4\mu\text{m}$	$2\mu\text{m}$	$0.2\mu\text{m}$	平均
①イケチョウガイ	575.3	0.17	0.14	0.08	0.13
②ヨコハマシジラガイ	104.5	0.88	0.80	0.74	0.81
③カワシンジュガイ	184.0	0.54	0.47	0.31	0.44
④ヌマガイ2	247.2	0.40	0.35	0.32	0.36
⑤ヌマガイ10	208.0	0.48	0.40	0.34	0.41
⑥山中湖カラスガイ	645.8	0.15	0.11	0.09	0.12
⑦山中湖タテボシガイ	247.7	0.40	0.39	0.32	0.37
⑧河口湖カラスガイ	422.2	0.22	0.20	0.14	0.19
⑨河口湖タテボシガイ	209.1	0.47	0.44	0.39	0.43

2) 二枚貝の遺伝子解析

16SrRNAとND1の塩基配列の解析の結果、本研究で使用した山中湖産のイシガイ科の小型二枚貝はタテボシガイであることが明らかとなった。山中湖にタテボシガイを移入したという記録はないが、形態学的にもタテボシガイと同定された。16SrRNAとND1を用いた解析が有効であることが示された (図11)。

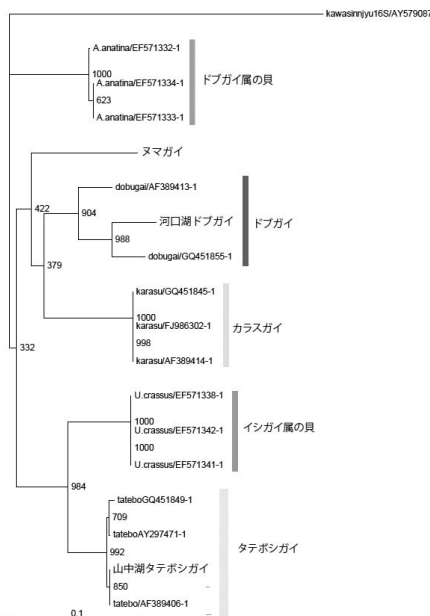


図11 16SrRNAによる二枚貝の遺伝子解析結果

3-2-3 セキシウモの栽培に及ぼすコイの影響

1) セキシウモの栽培による水質の変化

水温は期間中 20°C を超えており、セキシウモの成長は良好であった。コイの収容により水槽内が濁り、透視度は $2\sim 4\text{cm}$ と著しく低下した。収容しなかった水槽は 30cm 以上と高く透明であったが、角2水槽だけは植物プランクトンの繁殖により、最終日の透視度は 15.6cm と低下していた。G4水槽では、DO、pHは高く、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ は低く、光合成が活発に行われたと見られる。また、コイに給餌したG2、G3水槽では $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ とも高く、無給餌のG1水槽ではこれらの値は低かった。 $\text{PO}_4\text{-P}$ は両者に大きな差はなかった。

2) セキシウモの成長と生残

コイを収容した4つの水槽ではセキシウモは取り上げできず、生残率は 0% であった (表6)。これらの水槽ではセキシウモは早期に底床から脱着し浮上していたが、大型のセキシウモを植えた角2水槽の浮上率は 93.0% であったのに対し、小型のセキシウモを植えたG1、G2、G3水槽のそれは $13.3\sim 43.3\%$ と低く、この差については直接葉体を確認できなかったのが断定できないが、コイによる捕食の可能性が考えられる。すなわち、大型より小型のセキシウモの方が捕食されやすいことを示唆している。また、給餌の有無の違いでは給餌したG2水槽の方がG1水槽より浮上率が 30% 高いため、無給餌の方がより多く捕食された可能性が高い。コイの大きさの違いでは、G2、G3水槽の浮上率に 13% 程度の違いがあるので、小型コイの方がより多く捕食したものと考えられる。

この他に、コイ収容区では、繁殖したヒメタニシの仔貝、外部から侵入した水生昆虫の捕食現象も見られた。

角1水槽のセキシウモの最大葉長は 60cm に達し、花茎や浮上した白い花粉が見られた。G4水槽では 33.6cm に達したが、これらは見られなかった。

3) コイの成長と生残

最終日のコイの生残率は各区とも 100% であった (表7)。無給餌の水槽ではコイの増重は見られず、日間成長率もマイナスであった。また、平均肥満度も給餌水槽のそれより劣り、魚体は痩せていた。一方、給餌した水槽ではコイの成長は日間成長率がそれぞれ 1.17% 、 0.95% と良好であったが、飼料効率は 69.4% 、 48.5% と低かった。水槽の濁りや餌による汚れがコイの摂餌活動に影響を与えた可能性がある。

3-2-4 山中湖での植栽・飼育実験

実験は平成21年6月30日から11月24日までの147日間行った。この間の現場水域の平均水質は全窒素： 0.25mg/L 、全リン： 0.019mg/L 、COD： 2.7mg/L であった ($n=3$)。

表6 セキショウモの測定

調査日	6月29日 (植え付け)				7月24日		
水槽No	G1	G2	G3	G4	角1	角2	G4
	コイ無給餌	コイ給餌	コイ給餌	対照1	対照2	コイ無給餌	対照1
測定数	30	30	30	30	30	30	26
平均値 (cm)	7.60	7.63	7.69	7.64	24.61	20.86	9.80
最大値 (cm)	13.0	15.0	15.0	14.5	44.8	32.0	16.5
最小値 (cm)	2.5	3.6	3.6	4.0	5.6	10.3	4.8
標準偏差 (cm)	2.68	2.79	2.99	3.04	9.94	5.45	3.13
総湿重量 (g)	12.6	13.1	13.8	13.1			
	8月28日 (最終取り上げ)						
測定数	0	0	0	44	77	0	
平均値 (cm)				18.6	33.6		
最大値 (cm)				33.6	60		
最小値 (cm)				8.7	10		
標準偏差 (cm)				4.96	13.13		
総湿重量 (g)	0	0.05	0.05	53.7	204.4	0.7	
葉長成長倍率				2.43	1.37	2	
ヒメタニシ数				4.1		11.4	
同重量 (g)					36	2	
水成昆虫数					18.9	11.4	
同重量 (g)					14		
					0.08		

表7 コイの収容と取り上げ

収容日	7月22日				7月26日	
水槽No	G1	G2	G3	G4	角1	角2
給餌の有無	無	有	有	無	無	無
放養尾数	2	2	17	0	0	2
総重量 (g)	269.4	284.1	275.1	0	0	276.6
平均体重 (g)	134.7	142.1	16.2			138.3
平均全長 (cm)	21.8	22.3	11.1			20.0
取上日	8月25日					
取上尾数	2	2	17	0	0	2
総重量 (g)	249.2	423.6	380.8	0	0	246.9
平均体重 (g)	124.6	211.8	22.4			123.5
平均全長 (cm)	22.3	25.5	12.1			21.4
給餌量 (g)	0	201	218	0	0	0
増重量 (g)	-20.2	139.5	105.7			-29.7
飼料効率 (%)		69.4	48.5			
成長倍率 (%)	92.5	149	138.3			89.3
日間成長率 (%/day)	-0.23	1.17	0.95			-0.33
日間給餌率 (%/day)		1.69	1.97			
平均肥満度	23.4	25.9	28.2			24.1
消化管内容物	陸上昆虫 (2/2)	配合飼料 (2/2)	配合飼料 (6/7) 空 (1/7)			デトリタス (2/2)

1) 沈水植物の成長量

どちらの植物も28日後では成長がほとんど見られなかったが、63日後には長さや重量がともに大きく成長していた (図14)。特にセキショウモは長さが65cm、重量が15gと良好な成長が認められた。この傾向は91日後まで続いたが、147日後には衰退が確認された。特にク

ロモは実験終了時の現存量が少なかった。

これは図16に示したように、現場水域の水温が低下したことや、二枚貝飼育用のかごに懸濁質が堆積し、光量が少なくなったことによるものと考えられた。

これらの結果から、現場水域ではセキショウモは植栽実験に用いることができる可能性が高いと考えられた。



図12 打ち上げられたセキショウモ



図13 コイの消化管内容物

2) 二枚貝の生存率と成長量

二枚貝の生存率を図15に示した。シジミは91日後には約半数となったが、その後は生存率が維持された。タテボシガイは実験終了時までほとんどが生存しており、この水域で飼育に用いることができる可能性が高いと考えられた。ただし平均重量が微増したが、各個体のサイズに有意な差は認められなかった。

3-3 集水域調査

3-3-1 平野ワンド部の概況調査による特性把握

今年度は平成20年度に引き続き、山中湖岸全周のオオブタクサ稔実個体の分布状況を調査し、オオブタクサがほぼ湖岸全体に広がりつつある事を明らかにし、さらに、その現存量には濃淡がある事をあきらかにした。また、稔実個体が湖水によって運搬されていることが観察された(図17)。このことは、前年までにオオブタクサが見られなかった領域に一塊のオオブタクサ群落が発生するプロセスが存在する事を示唆している。

ワンド区域については幹線道路との近接性から、表流水の直接流入がある限り、外来種の種子の侵入頻度は高くなるを得ないと考えられ、湖岸、湖水における制御を考える場合は、侵入、定着した個体からの二次的な種子供給を断つ方策を講じる必要があり、その探索のための継続調査と対策の考案を次年度の課題としていきたい。

3-3-2 流入河川による負荷量調査

1) 流量調査結果

非降水時に流入が認められたのは、R.5(一砂川)とR.6の側溝の2河川のみであった(図18)。R.5は5~7月と9~10月の降水が多い期間に流入が認められたため、河川水は降水により供給されている可能性が高かった。毎回流入があったのはR.6のみであることから、常時表流水が供給されているのはR.6の側溝のみであると考えられた。

R.6の平均流量は21.1 (m³/h)で、降水による増加分を除けば、年間約18.5×10⁴ (m³)が流入していると推定された。この水量は山中湖の湖容積を64.8×10³ (km³)とすると、湖水の0.3%程度であった。

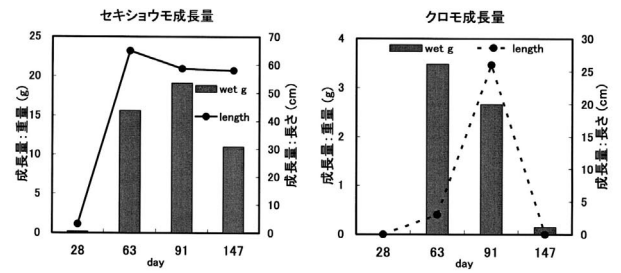


図14 沈水植物の成長量

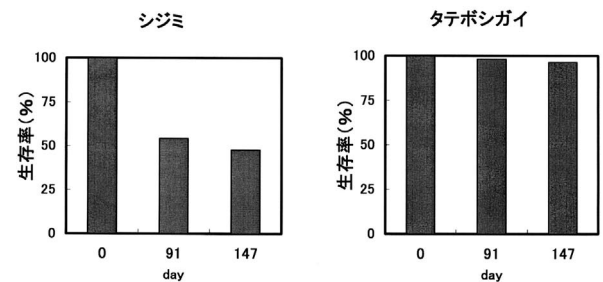


図15 二枚貝の生存率

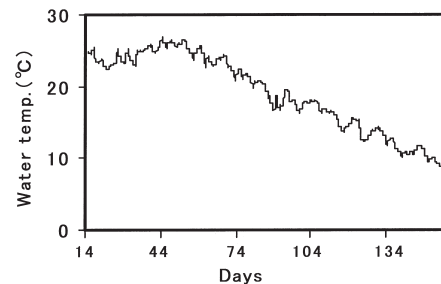


図16 実験水域の水温変化



図17 漂着したオオブタクサ

2) 窒素・りん負荷量調査結果

R.5とR.6から非降水時に流入する窒素、りんの負荷量を図19, 20に示した。両河川とも窒素、りんとともに溶

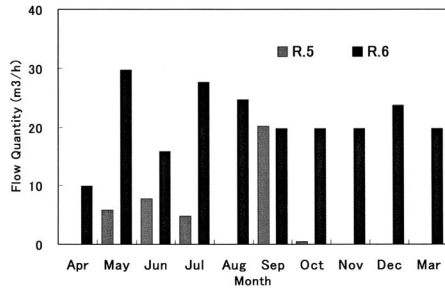


図18 R.5, R.6河川の流量 (2008.4~2009.3)

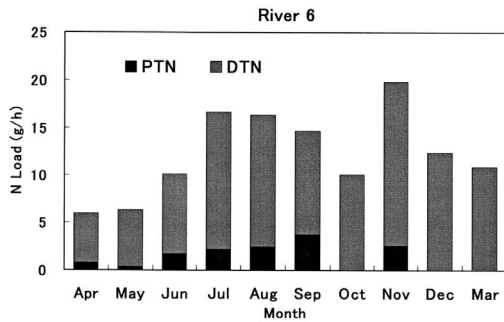
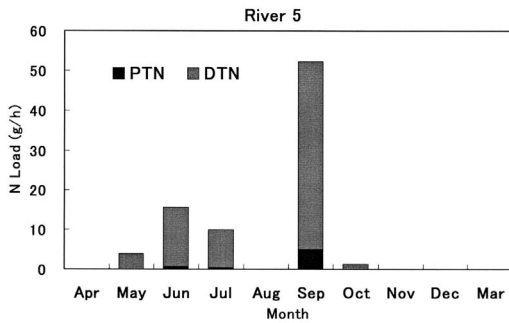


図19 R.5, R.6河川の窒素流入負荷量

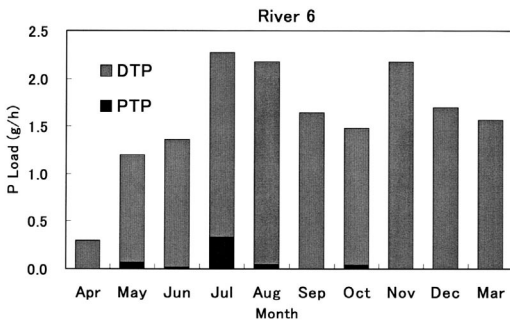
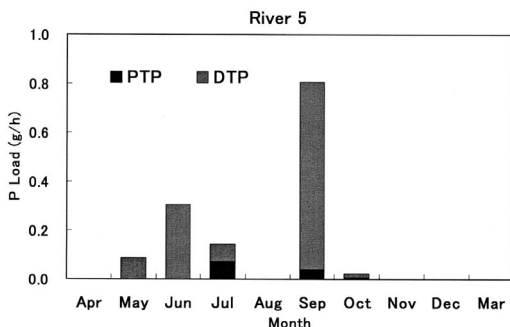


図20 R.5, R.6河川のりん流入負荷量

表8 R.6河川の流入負荷量

栄養塩	負荷量	
DTN	11.0 (g/h)	96.3 (kg/y)
PTN	1.4 (g/h)	12.1 (kg/y)
DTP	1.5 (g/h)	13.4 (kg/y)
PTP	0.05 (g/h)	0.44 (kg/y)

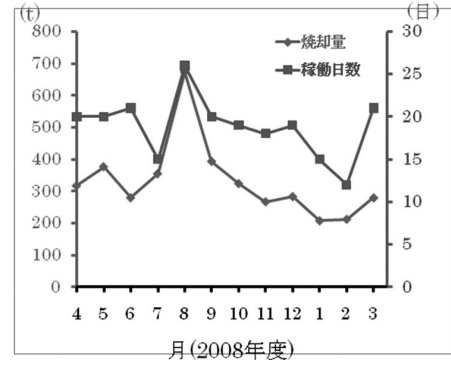


図21 山中湖クリーンセンター年間稼働状況

存態がほとんどで、懸濁態の割合は少なかった。表8には常時負荷があると考えられたR.6の負荷量平均値 (n = 10, DTN: 11.0 (g/h), PTN: 1.4 (g/h), DTP: 1.5 (g/h), PTP: 0.05 (g/h)) から算出した年間の負荷量を示した。平成19年度のTN平均濃度0.1 (mg/L) 及びTP平均濃度12 (μg/L) と湖容積から算出した、山中湖の窒素及びりん存在量に対するR.6の負荷寄与率はそれぞれ1.6%, 1.7%と、極めて小さかった。

3) COD負荷量の推定

CODは12月にR.6で1回測定できたのみであった。その測定値はCOD: 1.6 (mg/L) で、DCOD: 1.6 (mg/L) と全て溶存態であった。12月のTN・TPの測定値 (TN: 12.3 (g/h), TP: 1.6 (g/h)) は、年間平均値 (TN: 12.4 (g/h), TP: 1.7 (g/h)) とほぼ等しいため、COD値も年間平均値に近似していると仮定した。この値を用いてCOD年間負荷量330 (kg/y) を算出した。前項と同様に平成19年度のCOD平均濃度2.6 (mg/L) から算出した、山中湖のCOD存在量に対するR.6の負荷寄与率は0.2%と、窒素・りんと同様に小さかった。

以上から、山中湖では非降水時の河川による栄養塩などの流入負荷量寄与率は低いものと考えられた。本湖の集水域はほとんどが山林であるため、降水時には流入負荷量が急激に増加すると考えられ、今後は降水時調査を実施する必要がある。また湖水の大部分を涵養していると推定されている地下水からの負荷についても、精査する必要がある。

3-4 バイオマスの有効利用方法の検討

山中湖村クリーンセンターは、山中湖村の廃棄物処理を行っている施設で、可燃物を焼却していることから、

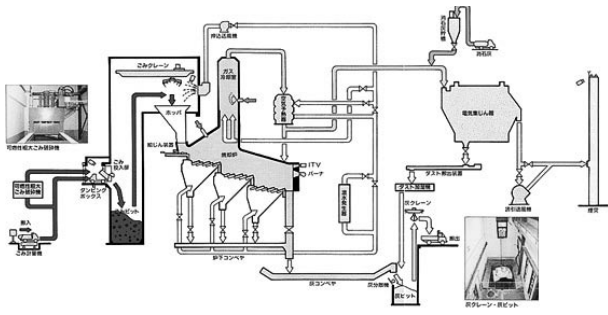


図22 焼却フローチャート
(矢印部の煙突基部の空間が利用可能)



図23 煙突室 (煙突基部空間)

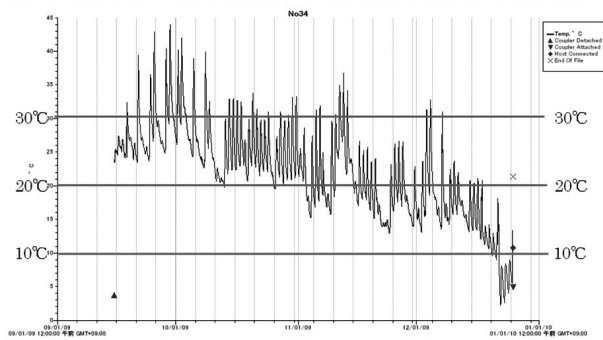


図24 煙突室温度 (2009.9.15~12.17)

バイオマス乾燥のための熱源として利用できるかどうかを検討した。この施設は2台の焼却炉によって、年平均4千tの可燃物を焼却している。焼却量および稼働日数は月ごとに変動するが、ほぼ年間を通して熱量を得ることができると思われる(図21)。

実際に乾燥空間として利用しうるのは煙突の基部にある煙突室(図22, 23)であるが、あるいはバイオマス量などによっては、この空間の暖まった空気をダクトで適当な場所に誘引することになるかもしれない。そこで、この部分の室温を測定した(図24)。期間は、水草バイオマス等の現存量が最大値を示す9月から12月までである。10月初頭まで40°Cを超える日が多く見られ

たが、気温が低下するとともに焼却量が減少する10月からは温度は低下傾向を示した。しかし、12月半ばまでは日最高温度が20°Cを超えており、熱源として十分に利用できるレベルであることが示された。今後は水草等バイオマスを乾燥させるための試験を行い、適切な量と時間を調べることによってバイオマスの高度処理に向けた資材作りを進める予定である。また、同時に乾燥バイオマスの直接的な有効利用法としての家畜飼料化も図りたいと考えている。

4. 考察

4-1 山中湖の水草・大型藻類と湖内光量の周年変化

1) 本年度の調査では、1994年以降確認されていなかったカタシヤジクモ、1986年以降確認されていなかったヒルムシロ、これまで未確認であったコウキクサ、ヘラオモダカ、アミミドロを確認することができた。また、本湖で調査を開始した2007年8月から2009年12月までに確認された水草・大型藻類は、沈水植物が12種(うち1種は交雑種)、浮遊植物が1種(コウキクサ)、浮葉植物が2種(ヒルムシロ、コオニビシ)、抽水植物が1種(ヘラオモダカ)、大型藻類が11種の計27種となった。

2) 山中湖の沈水植物・大型藻における分布限界水深は約5mであることが昨年度の調査で明らかにされており、これまでの光量の測定結果から本湖における沈水植物・大型藻の相対補償光量は5%程度であると推定することができた。今後、平野ワンド内の浄化を行うことにより、水中光量が上昇し、分布限界水深が深くなることが予想される。

3) 本年度は昨年度に比べ水草・大型藻類の現存量や種数が増加していたが、その原因としては湖面の水位が本年度は約30cm昨年度より低かったことが影響したものと推察される。30cmの水位低下は、本研究の光量調査により得られた水深にしたがった相対光量の減衰曲線からの計算上、湖内の各水深で約20%の光量増大を引き起こすと推定できる。また、琵琶湖などでも湖面の水位低下による水草類の現存量増大が報告されており、湖面の水位をコントロールして水草類の現存量を増大させ、それを有効利用することができれば、本湖における湖水浄化の一方策として検討に値するかもしれない。

4-2 植生モデルの構築

本モデルでは、単位バイオマス中の栄養塩含有量を栽培水中の栄養塩濃度より予測しており、本手法の有効性が示された。今後、抽水並びに沈水植物においても同様の有効性評価を検討予定である。

4-3 平野ワンドの水生物

昨年度の調査と比較すると、本年度は湖の水位が大きく下がっていたため湖岸にヨシの根周り部分がない状況下でのサンプリングであったが、全体的にはエビ類では採取総個体数は111個体から45個体と減少し、魚類では採取総種数は9種から7種に減少したものの、採取総個体数はトラップ採取法では108個体から850個体に増加し、タモ網採取法では228個体から69個体に減少した。ヤゴ類では採取総個体数、総種数ともそれぞれ5種から9種、50個体から70個体に増加した。調査区1のトラップ採取法においては、昨年度まったく魚類の採取はなかったが、本年度は7月に近辺の水表面に植栽構造体、水中に貝類飼育構造体の設置のためか、8月以降に総計で148個体（タモロコ135個体、モツゴ6個体、オイカワ2個体）を採取した。

4-5 二枚貝による水質改善法の検討

今回の実験では、二枚貝の浄化効果を確認することができたが、山中湖は特に冬期に水温が低下することから、温度条件を変えて濁度変化の測定による浄化効率を検討する予定である。また、実際に餌として利用されると予想される、クロレラなどの藻類を用いて、追試を行う必要がある。さらに、実際に二枚貝類を導入する前に、大型水槽等を用い、規模を拡大して浄化効率の検討を行う必要があると思われる。DNAの解析についても、他の種類でも解析を進め、データを蓄積することが必要である。

5. 結 言

自然公園内の湖沼での水質管理に適した浄化システムを構築するために、水生植物及び貝類を用いた手法の検討を試みた。平成21年度は、対象水域の特性をより明らかにするための生態系調査を継続して行なうとともに、現地での植栽、飼育実験等、現地での応用を視野に入れた各実験を行なった。

水生植物調査では、沈水植物が11種（うち1種は交雑種）、浮遊植物が1種、浮葉植物が2種、抽水植物が1種、アオミドロ属の一種、大型藻類が9種の計24種を確認することができた。また、水草・大型藻類の1投あたりの現存量は1.5mg（3月）～292.8mg（11月）で、出現種数は3種（3月）～20種（9月）で、いずれも3月から9月にかけて徐々に増加し、その後減少した。

植物の成長に関係が深い、水中の光量測定の結果、平野ワンド内ではいずれの定点でも水深の増加に従って相対光量は大きく減少した。また、同一水深における相対光量は平野ワンド内では奥部ほど低く、湖心はワンド内より高い傾向が認められた。

一方で、水耕栽培での、光量や水質条件と水生植物の

生育量並びに栄養塩吸収固定量の予測モデルの構築を継続して行い、汚濁の低度と気象条件により植物の生育が大きく異なることがシミュレートされた。今後はこのモデルに現地での光量などの測定値を組み入れ、山中湖でのバイオマス発生量を予測可能なものとしていく予定である。

トラップ採取法による水棲動物調査では、魚類のみ、2科4種850個体を採取した。このうち採取個体数の多い魚種はタモロコで、採取個体数全体の88.6%を占め、モツゴ、オイカワ、ヌマチチブはそれぞれ8.2%、2.9%、0.2%を占めた。

水質浄化が期待される二枚貝による水質改善実験では、対照の水槽よりも濁度の低下率が高かった。特に殻長が50mm前後のタテボシガイ、ヨコハマシジラガイ、ヌマガイ、カワシンジユガイの方が、殻長が大きなイケチョウガイやカラスガイより高い浄化効率を示した。

また貝の遺伝子解析では、16SrRNAとND1の塩基配列の解析の結果、本研究で使用した山中湖産のイシガイ科の小型二枚貝はタテボシガイであることが明らかとなった。

実際にセキシウモを植栽した場合に、想定されるコイの影響を水槽で実験したところ、コイを収容した4つの水槽ではセキシウモは取り上げできず、生残率は0%であった。大型より小型のセキシウモの方が捕食されやすいことが示唆された。このことから、特に植栽直後の小型のセキシウモに対する食害を防ぐ措置が必要となる可能性がある。

こうしたことをふまえて、ネットで植栽株を保護しながら現場水域での植栽実験を行ったが、セキシウモの生育には問題なく、水質浄化用の植物として用いることができる可能性が高いと考えられた。一方、二枚貝のシジミは91日後には約半数となったが、タテボシガイは実験終了時までほとんどが生存しており、この水域で飼育に用いることができる可能性が高いと考えられた。

謝 辞

調査にあたりご協力を頂いた、山中湖漁協及びわかさぎ屋、保田エンジニアリングの皆様にご感謝の意を表します。

原著論文

- 1) 芹澤（松山）和世，吉澤一家，高橋一孝，中野隆志，安田泰輔，芹澤如比古．山中湖における水草・大型藻類－2007年－．水草研究会誌92：1-9．2009年12月．
- 2) 高橋一孝（2010）：セキシウモ培養試験－I，～培養土の比較～．平成20年度山梨県水産技術セン

- ター事業報告書, 37, 59-64.
- 3) 高橋一孝 (2010) : セキショウモ培養試験ーⅡ, ～培養方法の検討～. 平成20年度山梨県水産技術センター事業報告書, 37, 65-68.
 - 4) 高橋一孝 (2010) : 山中湖で採取した水草の培養について. 平成20年度山梨県水産技術センター事業報告書, 37, 52-55.
 - 5) 高橋一孝 (2010) : 湖泥からの水草の発芽について. 平成20年度山梨県水産技術センター事業報告書, 37, 45-48.
 - 6) 高橋一孝 (2010) : 山中湖のセキショウモの成長調査. 平成20年度山梨県水産技術センター事業報告書, 37, 56-58.
 - 7) 高橋一孝・加地弘一 (2010) : 山中湖平野ワンドにおける魚類調査ーⅡ. 平成20年度山梨県水産技術センター事業報告書, 37, 22-27.
 - 8) 高橋一孝 (2010) : (2010) : コオニビシ種子の発芽について. 平成20年度山梨県水産技術センター事業報告書, 37, 49-51.

学会発表

- 1) 芹澤 (松山) 和世, 安田泰輔, 中野隆志, 芹澤如比古. 富士北麓, 山中湖における水中の光環境と水草類・フジマリモの分布下限水深. 日本藻類学会第34回大会, 茨城, 2010年3月.
- 2) 芹澤如比古, 芹澤 (松山) 和世. 富士北麓, 山中湖における光量の季節変化. 日本陸水学会甲信越支部会第35回研究発表会, 山梨, 2009年11月.
- 3) 深代牧子, 渡邊友美, 芹澤如比古, 芹澤 (松山) 和世. 富士北麓, 山中湖に生育する水生植物の種組成と現存量ー2009ー. 日本陸水学会甲信越支部会第35回研究発表会, 山梨, 2009年11月.
- 4) 佐藤裕一, 深代牧子, 芹澤如比古, 芹澤 (松山) 和世. 公共用水域水質測定データの解析による山中湖の湖水環境の長期的変動. 日本陸水学会甲信越支部会第35回研究発表会, 山梨, 2009年11月.
- 5) 芹澤 (松山) 和世, 深代牧子, 渡邊友美, 土屋佳菜, 夏目雄貴, 松野安純, 芹澤如比古. 富士北麓, 山中湖に生育する水草類の季節変化. 水草研究会第31回全国集会, 山形, 2009年8月.
- 6) 吉澤一家 : 山中湖流入河川の, 日本陸水学会甲信越支部会第36回研究発表会, 山梨, 2009
- 7) 吉澤一家, 大石衛 : 焼成湖泥を用いた植栽実験～山中湖での栽培事例～, 第44回日本水環境学会年会, 福岡, 2010