

かとなり (図10), 昨年度の調査から光量の減衰率も大きいことが分かっている。しかし平野ワンドは水深が浅いため湖底まで光量が到達していたのか, 水草の現存量は2008年, 2009年と3区域の中で最大であった。ところが2010年には南岸や北岸に比べ調査期間中の総現存量は大きく減少し, 3区域の中で最低となった。これは水位の上昇により光量が不足したために平野ワンドで卓越して生育していたホザキノフサモやアオミドロ属の一種の生育量が低下したためであろう。このように水生植物の生物量は水位に大きく影響されるので, もし水位のコントロールが可能となれば, 山中湖全体での水生植物の生物量管理も可能となり, そのバイオマスを有効利用する水質浄化の近道となり得るかもしれない。

4-1-2 トラップ及びタモ網採取法による水生生物調査

昨年度は湖面水位の下降のため湖岸にヨシの根周り部分がない状況があり, 本年度は一転し湖面水位の上昇のため湖岸にヨシの根周り部分が冠水した状況下でのサンプリングであったが, 昨年度までの調査結果と比較すると, 魚類では採取総種数は一昨年度の9種, 昨年度の7種から本年度の9種と推移し大きな変動はなく, 採取総個体数はトラップ採取法では一昨年度の108個体, 昨年度の850個体から本年度の147個体となり, 濁水状況の昨年度において5倍から8倍程度多く採取されたが, タモ網採取法では, 1名当たりの捕獲数として, 一昨年度の76個体, 昨年度の69個体から本年度の71個体に推移し, 大差はなかった。

エビ類では, 1名当たり捕獲数は, 一昨年度の37個体, 昨年度の45個体から本年度の30個体となり, 濁水状況の昨年度に若干多く採取された。ヤゴ類では, 採取総種数は一昨年度の5種, 昨年度の9種から本年度の7種となり, 1名当たりでの捕獲数は一昨年度の17個体, 昨年度の70個体から本年度の106個体に増加した。

トラップ採取法において, 調査区1では一昨年度に魚類をまったく採取できなかったが, 昨年度には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を行ったためか, 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) を採取したが, 本年度は昨年度と同様に8月以降に総計で23個体 (タモロコ22個体, ヌマチチブ1個体) を採取した。調査区1でのこのような採取は8月以降にのみであることから, これらの人工構造体の設置が魚類の生息を恒常的にもたらしめているとはいえないが, 魚類の生息を季節的に高める効果があることを示唆させた。

4-1-3 山中湖における貝類の生息分布調査

セタシジミは過去に琵琶湖から移植されたもので, 地元漁協が不定期に放流を繰り返した結果, その後自然繁殖していたものである。本種は, 高橋らは1998年の貝桁網による採集で優占種であった報告している。また, 黒住は2004~2005年の調査で, St.5のママの森でのみ本種

表20 貝類の生息密度

採集日	採集地点	種類	水深 (m)	生息密度 (g/m ²)	生息密度 (個体/m ²)
7月31日	St. 3	イシガイ	4.8	2.19	0.10
	St. 5	カワニナ類	3.8	0.14	0.05
10月28日	St. 1	イシガイ	3.7	0.02	0.02
	St. 1	カラスガイ	3.7	7.05	0.02
	St. 5	カワニナ類	2.0	0.21	0.10

表21 区域別採捕数

種名	沖側 (区域外)	中央 (区域内)	岸側 (区域外)	合計 (g)	割合 (%)
コイ	3	1	1	5	3.6
モツゴ			3	3	2.1
ヌマチチブ			1	1	0.7
タモロコ	26	56	41	123	87.9
ブルーギル		1		1	0.1
テナガエビ	4	2	1	7	5.0
合計 (g)	33	60	47.0	140	100
割合 (%)	23.6	42.9	33.6	100	

表22 区域別採捕重量

種名	沖側 (区域外)	中央 (区域内)	岸側 (区域外)	合計 (g)	割合 (%)
コイ	112.2	25.9	32.9	171	32.0
モツゴ			8	8	1.5
ヌマチチブ			0.15	0.15	0
タモロコ	86.4	146.2	96.1	328.7	61.6
ブルーギル		0.8		0.8	0.1
テナガエビ	20.1	2.2	2.8	25.1	4.7
合計 (g)	218.7	175.1	140.0	533.8	100
割合 (%)	41.0	32.8	26.2	100.0	

の生貝をわずかに採集している。しかし, 漁協関係者からの聞き取りによると, 2年前 (2008年頃) に主な生息場所であったSt.2, 3, 5で採集を行ったが, 生貝は確認できなかったという。そして, 今回の調査でも生貝は全く採集されなかったことから, セタシジミは消滅した可能性が考えられた。代わりに外来種のタイワンシジミが1個体確認されているが, 黒住の調査によると2004~2005年の調査時には既に確認されていることから, 今後定着するかを含めてその動向を注目する必要がある。

船の速度 (1m/秒), 採集時間 (3分), 貝桁網の開口 (33cm) から採集面積 (59.6m²) を求め, 大まかな貝類の生息密度を推定すると, 表20のようになった。タテボシガイの生息密度は0.02~0.10個体/m² (0.02~2.19 g/m²), カワニナ類は0.05~0.10個体/m² (0.14~0.21 g/m²), カラスガイは0.02個体/m² (7.05g/m²) であった。琵琶湖では平均的なセタシジミの漁場では1~3個体/m²と報告されている。ちなみに前報から1998年の山中湖の状況を計算すると1.75個体/m²であったので, 当時の山中湖は琵琶湖並の生息密度であったといえる。

一方, 琵琶湖のタテボシガイ (タテボシガイ) の生息密度は0.01~1.14 (平均0.42) 個体/m², 諏訪湖のそれは0.05個体/m²であるので, 現在の山中湖の状況は琵琶湖より少なく, 諏訪湖と同じくらいの密度であることが判明した。前述した1998年の山中湖の場合は0.02~0.10個体/m²と, 現在の状況と大差なかった。

4-1-4 水草造成帯内外における生息生物調査

区域別に9月・10月の採捕魚の合計を表21, 22に示した。採捕数は中央(区域内)が、魚種数は区域外の岸側が多い傾向にあった。優占種はいずれの区域でもタモロコであった。採捕重量ではコイ採捕の影響を受け沖側が最も多く、中央及び岸側はタモロコが、沖側はコイが優占した。水草帯の造成効果については不明瞭であった。

4-1-5 山中湖平野ワンド湖岸の漂着水草調査

季節変化をみると5月上旬までは水草の打ち上げがほとんどなかった。6月7日に小さなピークが見られたものの少なく推移したが、7月上旬以降徐々に増えていった。コイの産卵は、聞き取りによると5月下旬から6月上旬にかけて見られたが、昨年度報告したセキシウモの大量の打ち上げ現象は、今年度は見られなかった。このため、6月7日のピークとの関連については不明であった。9月6日に大量の打ち上げが見られたが、人為的な影響(船による攪拌)によるものと考えられた。ピークの最大は11月18日で、うちセキシウモが2/3近く占めた。ホザキノフサモは周年を通して打ち上げられたが、9月6日が最も多く、次いで11月18日が多かった。ホソバミズヒキモは10月26日、クロモは11月5日、オオササエビモ・センニンモは9月6日、コオニビシは9月16日と、水草の種類によって打ち上げ時期に若干違いが見られた。

打ち上げられたセキシウモのうち、根のある株の重量割合の変化をみると、7月16日までは概ね100%を示し、底床から何らかの理由で抜け出て浮上し、その後岸へ流れ着いたものと思われる。以降漸減し、8月26日以後は10%以下と、むしろ葉の方が多かった。

4-2 生物利用浄化法研究

4-2-1 山中湖での沈水植物の植栽実験

今回の植栽実験では、植栽による透明度や栄養塩類濃度への効果を実測することができなかった。これは図12にも示したとおり、2010年4月以降山中湖の水位が1m以上急上昇し、透明度もそれに伴って上昇したことが一因と考えられた。また目視によるホザキノフサモの自生範囲の観察結果(図29)から明らかなように、植栽水域外にも沈水植物が広範囲で自生したために、実験水域の内外で差が見られなかった可能性があった。

さらに中村によれば、沈水植物が湖沼の透明度向上に効果を表すのは、容積百分率がある閾値を超える必要がある。およそ15~30%に閾値が存在するとされている。本研究の実験水域の平野ワンドに対する容積百分率は1%未満であったため、実験による浄化効果を明確に検証できなかったと考えられた。しかし一方で、自生したホザキノフサモの容積を考慮すると、閾値に達していた可能性があり、そのため透明度が上昇した可能性も考えられた。

またこの閾値を超えるためには、植栽する植物を多量に準備する必要がある。水草を用いた水質浄化を試みる



図29 ホザキノフサモの自生範囲

ためには、植物の供給体制を整える必要があり、コストのかからない栽培等の技術開発が必要と考えられた。

4-2-2 二枚貝の飼育による水質浄化実験

湖内実験でタテボシガイの生存率が70%であったこと、貝類の生息調査ではシジミ(セタシジミ)がほとんど採捕されなかったことから、この水域での水質浄化にはタテボシガイが最適であることが判明した。今後は1個体当たりの懸濁質ろ過能力を精査し、懸濁質除去率を推定していく予定である。

また実験に用いた貝は全て琵琶尾産の天然種であったが、水質浄化に用いる事例が増えれば貝を安定的に供給する必要が生じると思われるので、今後は貝の飼育と増殖に係る技術を開発していく必要がある。

4-2-3 植栽水域での巻上げ抑制による水質浄化評価

本研究の主題である、沈水植物の物理的効果による透明度を指標とした水質浄化効果の定量化を試みた。しかし前述のとおり、透明度が全透の状態が多かったことに加え、透視度も表層から水深1.5mにかけて100を越え、明確な有意差を観測できなかった。

そのため測定値を記憶できるロガー型照度センサーを用いて、多地点同時に連続測定する方法を考えた。この方法は特に水草による巻上げ抑制効果が顕著になると思われる。強風時のデータを採取できるという利点がある。本研究では、ホザキノフサモが多数自生していたため、水草の繁茂期と衰退期での測定値を比較した。両者の間には光の透過率に多少の差が見られ、水草による巻上げ抑制効果が定量化できた可能性もあるが、成長した水草の影響を受けないよう測定システムを改良して、データの蓄積を行なう予定である。

4-2-4 沈水植物の刈取りによる水質浄化効果の検証

水草が重要な肥料原料であった頃は、「モク採り」と称して、個人で沈水植物を掻き取っていた。最近では専用の刈取り船を用いて行なわれており、根から抜き取られてしまうので、本研究の主旨にはそぐわない。本研究では簡易に水草の葉だけを切り取る方法として、大型バリカンを用いて、一定の成果を得た。今後は水草の繁茂期に刈取り作業を行い、方法を確立する予定である。

表23 追加実験結果

項目	収容株		浮上株	
	葉長 (cm)	湿重量 (g)	葉長 (cm)	湿重量 (g)
平均 (cm)	15.61	0.46	3.27	0.14
標準偏差	2.63		1.31	
測定数	9		6	

※ 60cmのガラス水槽にコイ2尾収容。通気・無給餌。



図30 収容したセキシウモ



図31 水槽のコイ

また水草の現存量の推定に定面積から抜き取る方法を用いた。これと並行して超音波ソナーによる調査及び水中カメラの画像による調査も行なったが、十分な時間をかけられなかったため、推定の精度を上げるためにも引き続き調査方法の確立を目指す予定である。

4-2-5 セキシウモの栽培に及ぼすコイの影響

付着基材を用いても捕食が見られたことから、野外でのコイ影響の軽減策を考え、次の水槽実験を追加して行った(表23)。すなわち、水草を付着基材から抜けにくくするために、株の太いものを、株数を増やして付着基材にきつく埋め込んで使うことを試みた(図30)。その結果、セキシウモはコイ収容2日目に2株、3日目に4株浮上し、その後浮上することなく付着基材からなくなった。浮上した株は収容時の大きさと比べ有意に小さかった。直接、捕食する様子は確認できなかったが、水槽内にはちぎれた葉片が多数水中を漂っていたことから、捕食された可能性が示唆された(図31)。しかしながら、今回の狭い水槽実験の結果が開放系の自然界(天然湖沼)でもそのまま生じているかどうかについては多少疑問があるので、今後野外調査でも確認する必要がある。場合によっては木崎湖のホシツリモの保護例にあるように、造成した水域を網で囲うことや、コイの駆除の検討も必要となつてこよう。

4-2-6 植生浄化モデルの構築

昨年度までにウキクサの様な浮遊性の水生植物で本手法の有効性が示されたが、新たに抽水性の植物にも応用が可能なことから、広く水生植物を用いた浄化手法の効果を環境条件を考慮して予め把握することが可能であるといえる。今後、水質浄化への応用が期待される他の植物種についても生育モデル並びに栄養塩含有量推定モデルの各種パラメータを明らかにすることや、ここでは考慮していない根圏部に生息する微生物に由来する硝化や脱窒の効果についても検討することで、植生浄化施設の計画を合理的に行えるものと期待される。

5. 結語

工作物の設置制限など規制が多い自然公園内でも利用可能な、景観や生態系にも負荷の少ない水質浄化方法を提言することを目的に、2009年度から3年間山中湖を実験地として研究を進めてきた。その中で主に次の事項が明らかになった。

- 1) 水生植物調査により2010年には新たに水草1種、大型藻2種が確認され、本プロジェクトによる調査期間(2007年7月～2011年1月)に確認された水生植物は30種(水草17種、大型藻13種)となった。2010年の水生植物の現存量や種数は9月に最大となる季節変化を示し、年間の現存量は2009年には水位低下により増大し、2010年にも水位が上昇したにもかかわらず増加した。
- 2) 底生動物調査では、2009年度から2010年度にかけての大幅な水位変動があつたにもかかわらず、魚類種数、エビ類種数、ヤゴ類種数に大きな変動は見られなかった。また植栽実験による底生動物群への影響については、夏季に抽水植物を植栽した浮島や、二枚貝の飼育網付近で魚類捕獲数が増加し、生息場所を創り出した可能性が認められた。
- 3) 植栽実験水域での沈水植物現存量を推定したところ、自生種であるホザキノフサモが、湿重量で見た場合、植物量の50%を超えていた。このため植栽種であるセキシウモ、クロモのみの水質浄化効果は推定できなかったが、草体の50%を刈取った場合、実験水域では窒素を1.0g/m³、りんは0.3g/m³を系外に取り出すことができるものと試算された。
- 4) 本研究の主題である、沈水植物の物理的効果による透明度を指標とした水質浄化効果の定量化の試みでは、透明度の上昇が観察されたため、ほとんど透明度が全透(底まで見える状態)となり、比較検討することができなかった。この透明度の上昇は
 - ①実験実施年度に水位が急激に上昇した
 - ②沈水植物であるホザキノフサモが平野ワンド内で予想外に広範囲で自生したことによると考えられた。そのためロガー型照度センサーを用いて、多地点同時に水中の光透過率を連続測定する方法を考案した。ホザキノフサモが広範囲に自生したため、植栽実験水域の内外での比較が難しく、沈水植物の繁茂期と衰退期での測定値を比較した。両者の間には光の透過率に多少の差が見られ、水草による巻き上げ抑制効果が定量化できた可能性もあった。
- 5) 琵琶湖産のタテボシガイを用いて、ワンド内での貝の飼育実験を10ヶ月行った結果、生存率は約70%であった。またほとんどの個体が重量増加が認められ、重量成長率は4～10%の個体が多かった。尚、移入したタテボシガイについては遺伝子解析を行い、山中湖に生

息しているものと同じ種であることを事前に確認した。

- 6) ロジスチックモデルを用いた植物成長予測式を用いたバイオマス発生量の推定に関しては、栄養塩類濃度と水温などの気象データを用いることにより、抽水植物については満足できる方法を確立することができた。しかし沈水植物については予測精度に問題が残った。

における湖の水質管理に関する総合研究～二枚貝による水質改善とDNA解析～. 第52回魚類自然史研究, 2011, 琵琶湖博物館.

- 4) 吉澤一家, 堀内雅人: 照度ロガーを用いた水草植栽浄化効果の測定, 日本水環境学会第45回大会, 2011, 誌上発表.

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, (株)富士急リゾートアメニティの皆様には感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 二村和視: 簡便かつ迅速なサガラメ藻体の窒素含有量の測定, 静岡水試研報, 42, 35～37, 2007
- 2) 日本規格協会: 工場排水試験方法 JIS K0102, 168～170, 2008
- 3) 日本薬学会: 衛生試験法・注解, 169-170, 2005
- 4) 日本規格協会: 工場排水試験方法 JIS K0102, 168～170, 2008
- 5) 田中仁志ら: 沈水植物管理のための実験水槽を用いた刈り取り方法の検討, 日本水処理生物学会誌, 別巻30, 90, 2010
- 6) 中村圭吾: 河川・湖沼の水質浄化, ベース設計資料, 139, 53～56, 2009

原著論文

- 1) 高橋一孝 (2011) : セキショウモとコイの関係について平成21年度山梨県水産技術センター事業報告書, 38, 60-72.
- 2) 高橋一孝 (2011) : セキショウモとコイの関係について. 日本陸水学会甲信越支部会報, 36, 49-50.
- 3) 吉澤一家 (2011) : 照度ロガーを用いた湖沼透視度の連続測定. 山梨県衛生環境研究所年報, 54.

学会発表

- 1) 佐藤裕一, 芹澤如比古, 芹澤 (松山) 和世: 富士北麓, 山中湖における水草・大型藻類の種組成と現存量-2008～2010-. 日本藻類学会第35回大会, 富山, 2011.
- 2) 渡邊広樹, 芹澤如比古, 芹澤 (松山) 和世: 富士北麓, 西湖における水生植物とその環境の既往資料解析. 日本藻類学会第35回大会, 富山, 2011.
- 3) 中沢公士, 三森勇太, 吉澤一家, 宮崎淳一: 自然公園