

るために1月の測定時に生存していた33個体を用いて算出した。

7月, 10月, 1月の測定時において全ての測定項目で成長が見られた。一定の大きさで成長をした殻長と湿重量に対し, 殻幅は7月から10月にかけて大きく成長し, 殻高は10月から1月にかけて大きく成長した。

成長率においても7月から10月にかけては殻幅が大きく増加し, 10月から1月にかけては殻高が大きく増加していた(表7)。7月に二枚貝を設置した後, 亀にネットを破られ貝を食べられてしまった。その為, 7月に移植した140個のうち10月の測定時には35個体しか生存していなかった。そこで, 10月の再移植時には貝を入れたネットを覆うようにステンレス製の柵を装着した(図9)。尚, 10月に貝の測定を行ってから再移植をするまでの間に1個体が死んでしまったので, 34個体の二枚貝を再移植した。1月の測定の際, 死んだ個体は1個体のみだったので, 柵は効果的であったと考えられる。

二枚貝をDNAによって種の同定を行なった。16SrRNAによる結果は図10に, ND1による結果は図11に示す。河口湖タテボシガイ1, 移植の際混在する可能性のある種E~J, Mにおいては, 16SrRNAの結果のみを示した。

移植に用いた琵琶湖タテボシガイ1~5は16SrRNAとND1どちらにおいても, 異なる産地のタテボシガイと単系統群を形成した。移植の際の混在種E~Hは, 擬主歯と後側歯をもたなかったためドブガイの仲間であると思われた。16SrRNAにおいて,

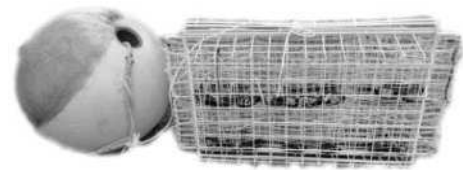


図9 食害防止柵を装着した設置物

表7 タテボシガイの成長率

	殻長(%)	殻高(%)	殻幅(%)	湿重量(%)
第1期	+0.239	+1.234	+3.412	+1.791
第2期	+0.246	+2.455	+0.484	+1.952

第1期:2011年7月11日~10月14日
第2期:10月14日~2012年1月11日

これらはヌマガイと近縁な単系統群を形成した。移植の際の混在種I~Lは高い信頼性をもってイクテオウガイ属に近縁な単系統群を形成した。これらの混在種はタテボシガイを移植する際により分けて移植には用いなかった。

(5) 懸濁物質組成の調査

26枚の写真より懸濁物質が301個観察された。そのうち270(89.7%)が直径約3 μm, 長さ約330 μmと40 μmのアウラコセイラ属の珪藻であった(図12)。アウラコセイラ属以外には, ボル

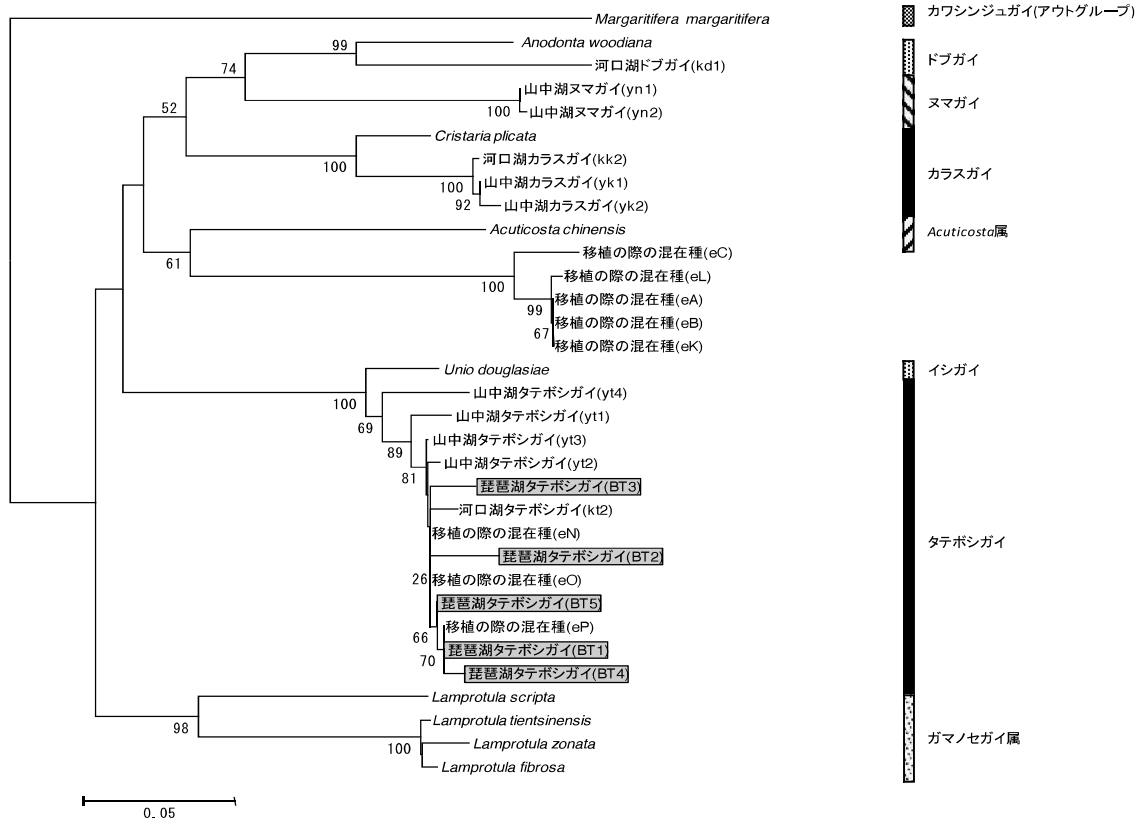


図10 16SrRNAに基づき構築した系統樹 枠囲い:今回配列を決定した貝

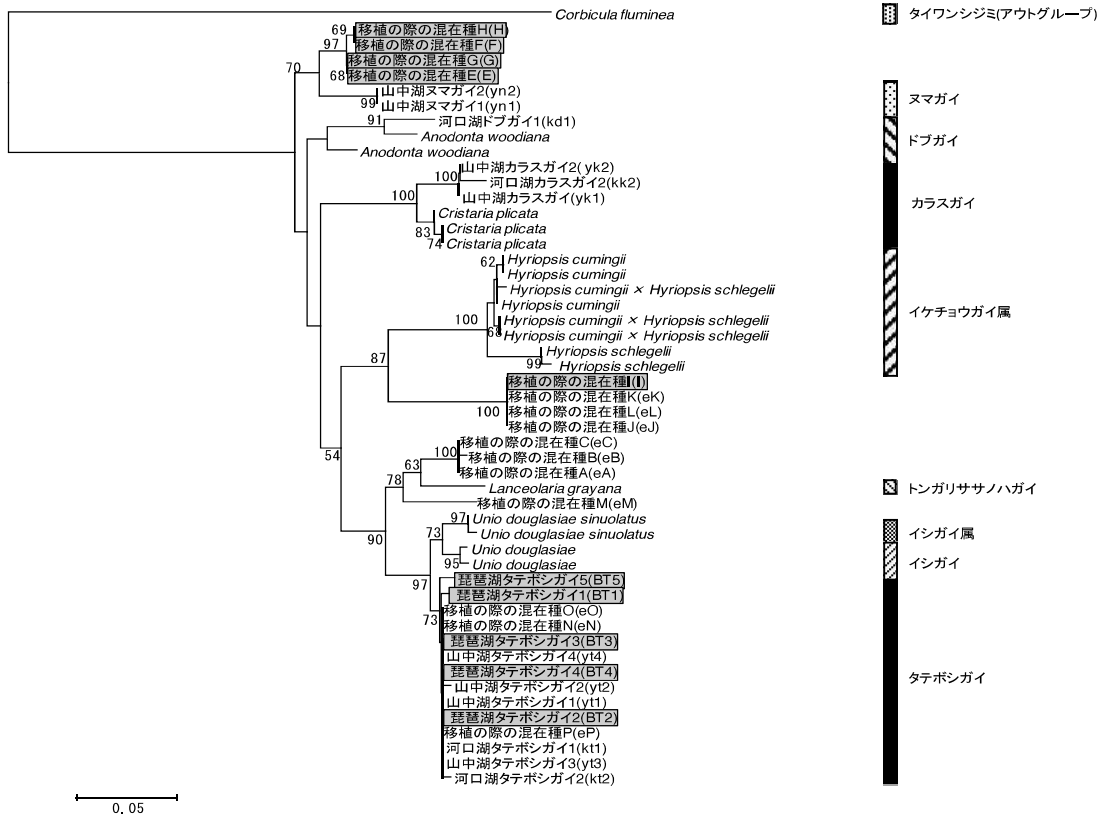


図11 ND1に基づき構築した系統樹 枠囲い:今回配列を決定した



図12 実験池の懸濁物質の位相差顕微鏡写真

ボックス、クンショウモ、オビケイソウ、スタウロネイス等が観察された。

3-3 水生植物の栽培実験

コカナダモの伸長生長に対する光質の影響を図13に示した。赤色光下で栽培したコカナダモは青緑色光や白色光下で栽培したものとは大きく伸長生長した。また、赤色光下で栽培したものは分枝数が顕著に多くなり、湿重量についても最終的に最大となった。

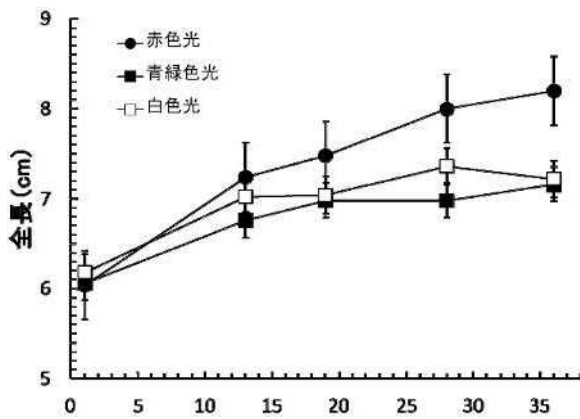


図13 コカナダモの生長に対する光質の影響 (エラーバーは標準誤差)

3-4 沈水植物及びその堆肥の有効性の検討

山梨県総合農業技術センター内で栽培したセキショウモ植物体およびセキショウモ、ホザキノフサモ、クロモと副資材を用いて作成した堆肥の成分値を表に示す。

セキショウモ植物体は含水率が約93%でありキャベツやホウレン草などの葉菜類と同程度の値であった。また、その他の成分値も同様の傾向が認められたが、銅および亜鉛の濃度については非常に高い値を示した(表8)。

水草堆肥の含有成分は原料の種類および配合割合により大きな違いが認められ、腐熟度の目安に利用するC/N比はバークおよびウッドチップを副資材として用いた堆肥が30から60程度、廃菌床を副資材として用いた堆肥が20程度であった。

水草堆肥の含有成分は原料の種類および配合割合により大きな違いが認められ、腐熟度の目安に利用するC/N比は



図14 セキシウモとパーク材の混合試料

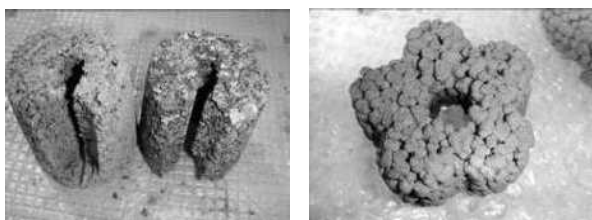


図15 竹炭素材の植栽基物

パークおよびウッドチップを副資材として用いた堆肥が30から60程度、廃菌床を副資材として用いた堆肥が20程度であった。

3-5 沈水植物植栽基物の作成

竹炭に種々の固化材を添加して数種の基物を製作した。基物を、①水中で形状を維持できる強度、②植物が根張りをしやすい適度な空隙を有すること、③製作の容易さ、④製作コストの各項目で評価したところ、図に示した黒土、竹炭粉末を用い

た基物が量産には適していると判断した。

4. 考察

4-1 最適二枚貝の選定試験

二枚貝の種別にみる浄化効率を検討したところ、粒径4 μmと0.2 μmの懸濁粒子の除去には山中湖タテボシガイが、粒径2 μmの懸濁粒子の除去には山中湖カラスガイが有効であると考えられた。これは口の構造の違いにより種によって摂食されやすい粒径があることが原因だと思われる。実際に二枚貝を設置する際は、数種の貝を移入するべきである。また、これまでの実験で浄化効率が高いことが示されているヨコハマシジラガイでも実験を行い、より浄化効率の高い種を検討していく必要がある。

4-2 遊亀公園池の光環境と水質調査

(1) 実験池の光環境と水質調査

実験池である遊亀公園池は付属動物園を取り囲むように位置し、St.5の近くに入水口が、St.4の近くには水路の分流があるため、非常に遅いながらもSt. 5から4にかけては水の動きがあるが、St.1~3までは水の動きがほとんどない。この水路では特にSt.1付近で年によっては夏季にアオコが発生し、問題となっており、水質浄化が望まれている。

アオコの発生には付属動物園からの雑排水の混入による栄養塩の付加も看過できない影響を与えていると考えられるが、今回の調査では概ねSt.1~5にかけて水中光量、透明度、透

表8 試作堆肥および植物体セキシウモの成分含有率と原料配合比

堆肥原料	水分	炭素	窒素	C/N	リン酸	CaO	MgO	K2O	Cu	Zn
水草	木材廃棄物	添加土壌	加水	(%)	(%)	(%)	比	(%)	(%)	(%)
生セキシウモ 1.5L(689g)	パーク 2L(200g)	—	—	12.9	53.2	1	54	0.29	1.5	0.3
生セキシウモ 1.5L(804g)	木材チップ 4L(135g)	—	—	68.3	56.9	1	57.4	0.33	1	0.4
生ホザキノフサモ 2L(612g)	パーク 2L(190g)	—	—	47	61.7	1	61.8	0.29	1.7	0.3
生ホザキノフサモ 2L(784g)	木材チップ 4L(110g)	—	—	74.7	55.6	0.9	60.3	0.34	1.1	0.4
生ホザキノフサモ 2L(653g)	パーク 2L(237g)	黒土 2L(1590g)	—	21	19.3	0.6	33.8	0.38	0.5	0.4
生ホザキノフサモ 2L(568g)	木材チップ 4L(143g)	黒土 2L(1560g)	—	11.7	15	0.5	28	0.37	0.4	0.4
生クロモ 1.3L(532g)	乾燥パーク 2L(127g)	黒土 2L(1500g)	—	48.7	13.3	0.4	29.9	0.45	0.5	0.4
乾燥セキシウモ 1.5L(80.3g)	パーク 2L(211g)	黒土 2L(1500g)	水道水 200mL	41.2	14.6	0.5	30.8	0.43	0.5	0.4
乾燥ホザキノフサモ 2L(80.3g)	パーク 2L(220g)	黒土 2L(1500g)	水道水 200mL	12.9	18.1	0.6	29.6	0.38	0.5	0.4
生セキシウモ 0.2% (容積比)	キノコ廃菌床 99.8% (容積比)	—	—	74.6	45.3	2.2	21	7.44	4.5	2.1
—	キノコ廃菌床 100%	—	—	63.1	44.5	2	21.9	6.29	3.9	1.9
植物体セキシウモ	92.5	55.5	3.5	16.1	0.91	1.2	0.5	4.7	155.7	5428

視度は上昇し、濁度は低下していたので(表5, 6), 水塊の動きの無さが主に光環境を悪化させる主要因であることが推察された。

pHがSt.5で他の地点よりやや低い値を示したことから, St.5では植物プランクトンが少ない, または動物の糞が採水地点に面していないため雑排水の混入が少ないものと考えられる。DOは9月にSt.1~4で2.9~4.5と極めて低い値を示したことから, 9月にはSt.1~4でプランクトンが異常発生していた可能性がある。

(2) 実験池での沈水植物植栽実験

水質調査結果から, 池の南側にあたるSt.1~3では動物園からの栄養塩類流入と水の滞留が主因となり, 植物プランクトンが増殖しやすい環境にあると考えられた。この水域では泥質の底であることも考慮すると, 植物による水質浄化の対象として適した水域と考えられたので, 沈水植物の植栽を試みた。

しかし植栽した植物の活着は確認できず, 鳥類や魚類により食害があったものと考えられた。特に本実験池では生物調査で, 大型のコイやソウギョ, アカミガメなどが生息することが確認されており, 植物に対する捕食圧がかなり高いことが推察された。

今回はその対策として自作したトンネル状の保護ネットを用いたが, 食害防止効果が不十分であったと思われる。しかし都市公園の場合, 観賞魚としてコイが放流されている例は多く, 白鳥などの水鳥が飼育されている場合もしばしば見られるので, 水質浄化のために水生植物を用いることが適切であるかを含めた検討が必要である。この点については対象水域の生態系状況, 景観への影響, 浄化効果が顕在化するまでの時間と継続性, 投入可能な経費とエネルギー量といった観点を考慮して今後検討する予定である。

(3) 実験池での二枚貝飼育実験

最初に移植した二枚貝の多くがカメによって捕食されたと思われたが, 二枚貝を移植する際, 既存の環境を攪乱させないことは重要なことなので, 慎重に前もって既存の生物等の環境調査を行い, それに応じて二枚貝の設置方法も考えることが必要であった。2011年7月4日から2012年1月11日の期間に, 測定項目である殻長, 殻高, 殻幅, 湿重量の全てが増加した。これは, 二枚貝が堀の懸濁物質を摂食していることを示している。また, 堀内の懸濁物質は約90%が二枚貝の栄養源となる珪藻であった。よって, 二枚貝による浄化が効果的であることが示唆される。また, 7月から10月の期間と10月から1月の期間では二枚貝の成長する部位が異なったので, 二枚貝の成長には何らかの周期があるのではないかと考えられる。従って, 引き続き定期的に貝の成長量の測定を行い, その周期を解明することが必要と考えられた。

実験に用いた二枚貝のDNA解析により, 琵琶湖タテボシガイ1~5は河口湖産, 山中湖産のタテボシガイと共に単系統群を形成した。よって, 形態学的同定によってタテボシガイと判断したこれらの二枚貝は遺伝学的にもタテボシガイであることが分かった。タテボシガイは琵琶湖の固有種であるが, 琵琶湖

産のタテボシガイの塩基配列が決定されたのは本研究が初めてであり, データベースに琵琶湖産タテボシガイのデータは存在しない。それゆえ, タテボシガイであると最終的に判断するのは現時点ではひかえるべきだと考える。16SrRNAの結果において, 移植の際の混在種E~Hはヌマガイに近縁である事が分かった。ドブガイの仲間には, ドブガイ, ヌマガイ, タガイの3型があり, 琵琶湖にはこの3型全てが生息している。系統樹からドブガイの可能性はなく, ヌマガイまたはタガイの可能性が示唆された。今後, ND1において混在種E~Hの塩基配列を決定すると共に16SrRNAとND1においてタガイの塩基配列も決定することで明確に同定できると思われる。移植の際の混在種I~Lはイケチョウガイ属に近縁である事が分かった。今後は, イケチョウガイ属の他の種を含めた系統解析を行い, 種あるいは集団を同定する必要がある。今回塩基配列を決定した二枚貝以外にも移植する際に混在する可能性があるものがみられたので, 今後これらを正確に同定していくことが必要である。

4-3 水質浄化植物の栽培実験

Van et al. (1977) は, 25℃の長日(16時間明期, 8時間暗期), 光量30 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ でセルハンフィルムを用いて光質を変えた実験から, クロモは赤色光下で栽培すると分枝数が多くなり, 緑色光下では伸長生長が大きく, 生物量は赤色光と青色光下で大きいことが報告している。今回の光質にLED電球を用いた実験から, クロモと外部形態的に共通点の多いコカナダモでも同様に赤色光下で分枝数が顕著であり, 生物量も最大となることが分かった。

一方, これまでの知見でクロモの伸長生長が緑色光下で高かったことは, 比較的深い水深帯にクロモやコカナダモが生育しており, そこに届く光質が緑色である点からも興味深い。

今回の実験では15℃で, LED照明装置の光量を赤色光単独での最大値であった44 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ に設定したので, 緑色光単独ではその光量に達せず, 青色光との混合で青緑光として実験を行った。今後, 光質を変えたさらなる実験を行い, 効率的に水質浄化植物を増産するための基盤研究を行う必要がある。また, 一般にクロモは冬季には消失するが, コカナダモは生残するものがあることが知られており, 両者には温度特性に差異があるものと考えられる。水草を使って水質浄化を効率的に行うためには, 使用する水草の温度特性についても把握し, どの時期に何を植栽すべきか検討する必要がある。

4-4 沈水植物及びその堆肥の有効性の検討

(1) セキショウモ植物体

農業技術センター産セキショウモ植物体の銅および亜鉛濃度が非常に高かったが, これは栽培プールを寒冷紗で遮光した際, 支柱として亜鉛コーティングした鉄パイプを用いたことが原因であると考えられた。しかしながら, 栽培に使用した井水中の亜鉛濃度は0.18 mg/kgであり, 特別高い濃度ではなかった。また, 比較を行うため山中湖産セキショウモ植物体の亜鉛

濃度を測定したところ約370 mg/kgであり、農業技術センター産の10分の1以下であった。一方、海草類の昆布やわかめの素干し品の濃度は約10 mg/kgであり、山中湖産よりはるかに低い値である。これらのことから、セキショウモは水中の亜鉛を積極的に吸収していると考えられるため、次年度以降、亜鉛またはその他の金属元素の吸収能について調査を行いたい。

水中の亜鉛については水生生物への影響が懸念されることから、平成15年に水質環境基準が設定され、河川や湖沼での水質監視や、工場などからの排水対策が強化されつつある。本研究により沈水植物の亜鉛吸収活性が明らかになれば、今後の水質改善の一方策となる可能性がある。

(2) 水草堆肥

試作堆肥の各成分含有量については配合原料や割合で大きく異なること、副資材の選択により堆肥としての特性も大きく変わることから、最終的な目標を定めて資材の選択と割合の設定を行う必要があると思われた。また、セキショウモの含水率は92.5%であり、陸上の草本植物と大きな違いは無かった。このため、堆肥化を行う上では表面に付着した水分を取り除くことができれば、数多くの知見がある陸上植物残渣の堆肥化を参考にすることができると考えられた。

一方、セキショウモについては乾燥物の成分含有率がエンバク茎葉やキャベツ結球部と同等であったことから、堆肥化せずに緑肥として直接ほ場に施用することも有効であると思われた。

今後は、試作堆肥および水草単体について、土壌への施用と植物の栽培について検討を行いたい。

4-5 沈水植物植栽基物の作成

公園内の池などはコンクリート張りの場合もあり、このような場所では底質を用いた植栽基物を作成することができない。そのために通常だと廃棄されるクズ炭を用いて器物を作成した。既存の研究成果や製品化技術の特許権の関係もあり、炭を成型するときの固化剤の選定に難しさがあったが、黒土を用いて固める方法が簡便でエネルギー消費も少ないことから、最も適した方法と考えられた。

図16は山中湖の底泥を焼成した基物を用いて、三面コンクリート張りの実験池に植栽した例を示した。この実験池の栄養塩濃度は遊亀公園の1/2程度であり、底面に土がなくても水中の栄養塩を用いて水生植物は生育が可能であることが確認された。今後は炭を用いた基物を用いて植栽を行い、その有用性を明らかにしていく予定である。

5. 結 言

水生植物を利用した生態工学的な手法を用いて、様々な水域での水質浄化を行なうことを目的として、植栽方法、植物の栽培方法、利用方法及び併用を試みている二枚貝の最適種の検討などを行った。

実験水域を都市公園(遊亀公園)内の池に設定し、植栽実

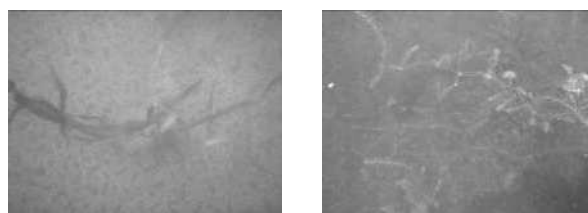


図16 コンクリート底への植栽

験と二枚貝の飼育実験を行なった結果、魚類や鳥類などの既存の生物による食害の影響が予想以上に大きいことがわかった。都市公園においては鯉や白鳥などの動物を鑑賞のために飼育している場合がしばしば見られるため、本法の適用の可否も含めて対応方法を検討していきたい。

しかしながら室内実験及び実験池での飼育実験から、水温が30℃を越す場合も想定される、公園内の池での水質浄化用の二枚貝として、タテボシガイが有用であることが判明し、一定の成果を得ることができた。

水生植物の栽培については、LED光を用いた実験から、赤色光で栽培が順調に行なえることが明らかとなった。波長などの光質により分枝などの生育状況も異なる可能性が見られた。クロモは分枝する節には不定根が生じるため、分枝が多くなると根を持つ植栽株を多く作ることができる。そのため光質を調整することにより、まず分枝数を増やしその後伸長させるなど、より効率的に栽培できる条件を引続き明らかにしていきたい。

また水生植物の利用方法として堆肥化を試みたが、陸上植物との大きな差がないことから、堆肥原料として使用できる可能性が高かった。しかし緑肥での施用可能性も認められ、加工せずに用いた場合の有効性を検討する予定である。その一方でセキショウモの亜鉛含有率が高いことが判明し、水中からの亜鉛吸収能が高い可能性が伺えたことから、亜鉛の除去という新しい有効利用法も考えられた。

参考文献

- 1) Van TK, Haller WT, Bowes G, Garrard LA: Effects of Light Quality on Growth and Chlorophyll Composition in *Hydrilla*. Journal of Aquatic Plant Management Vol, 15, 29-31, 1977
- 2) 日本土壌協会: 堆肥等有機物分析法(2010年版), 2010
- 3) 川那部浩哉, 水野信彦, 細谷和海: 日本の淡水魚. 山と溪谷社, 東京, 302-305, 1989
- 4) 科学技術庁資源調査会: 五訂 食品成分表, 科学技術庁, 2002

成果発表状況

学会発表

- 1) 中沢公士, 三森勇太, 森本絢加, 吉澤一家, 宮崎淳一: 自然公園における水質, 日本動物学会第82回大会, 旭川市, 2011

- 2) 吉澤一家, 江頭恭子, 肥田宏美: 沈水植物による底泥巻上げ抑制効果に関する基礎実験, 水草研究会第33回全国集会, 群馬県, 2011
- 3) 吉澤一家, 江頭恭子, 肥田宏美: 自作標識板を用いた透視度の広範囲測定法, 第46回日本水環境学会年会, 東京都, 2012