

# セキショウモとコイの関係について

高橋一孝

当所では昨年度から山中湖の水質浄化策の一環として、平野ワンドの主要生息種である沈水性植物セキショウモ *Vallisneria asiatica* に注目し、培養方法について検討を行っている<sup>1~5)</sup>。また、魚類と水草の関係についても明らかにするために、ワンド内の生息魚種や採捕魚の消化管内容物を調査した<sup>6)</sup>。この結果、他湖沼で水草減少の主因といわれる植物食性のソウギョ<sup>7)</sup>は山中湖では出現せず、減少要因でないことが明らかとなったが、底生性雑食魚のコイ *Cyprinus carpio* については、採捕数が少なく未検討であった。一方、最近、琵琶湖ではコイやワタカによる水草の駆除について検討し、有効性に関する知見が得られている<sup>8)</sup>。

そこで、実験1では昨年検討した直植えや小縄方式<sup>2)</sup>に代わる、セキショウモの簡便な増やし方について検討した。実験2, 3では水草の大小、コイ放養の有無、給餌の有無によるセキショウモへの影響について培養土を変えて検討するとともに、山中湖で野外調査も併せて実施したので、その結果を報告する。

なお、天然コイの消化管内容物として出現した植物については、山梨県衛生公害研究所吉澤一家博士に同定して頂いた。記して厚く御礼申し上げます。また、本研究は山梨県総合理工学研究機構の研究課題「自然公園内における湖沼の水質の向上に関する研究」の一環として実施したものである。

## 材料及び方法

### 実験1 空中田植え方式の検討

実験期間は2009年5月20日から7月17日までの58日間である。5月14日に山中湖平野ワンド奥の岸近くで採取したセキ

表1 試験区の設定 (実験1)

| 水槽 | 低水位保持日数 | 植え付け株数 | 総湿重量 (g) | 1株重量 (g) |
|----|---------|--------|----------|----------|
| 角1 | 7       | 100    | 14.9     | 0.15     |
| 角2 | 15      | 100    | 23.0     | 0.23     |

ショウモを実験材料とした(図1, 2)。セキショウモは、予め黒土(30kg, 厚さ7.5cm, アカギ園芸(株))を入れたFRP製の角型水槽(60×90×50cm, 270L容, 角水槽という)2基に、100株(平均葉長5.9cm)ずつ投入した(図3)。セキショウモの根は直植えと異なり黒土に埋没させず、黒土の上に均等に散らかるよう、空中の高い所から株を手で撒いた(図4, 一般に空中田植えと呼ばれる)。水槽は屋外に並べて設置した(図5)。その後地下水を微量注水し、角1水槽は7日間、角2水槽は15日間水深を低水位(5cm)に保持し、根の活着を図った後、さらに水深を40cmに上げて飼育を続けた(表1)。最終日に飼育水をホースで抜き、生存したセキショウモの活着率を調べた。また、途中の5月28日、6月30日に水質項目としてWT・DO(DOメーター, 飯島電子(株)), pH(比色法), NH<sub>4</sub>-N(HACH水質分析器)を測定した。6月12日には付着藻類の繁茂を抑制するために、ヒメタニシ親貝を2個体ずつ水槽に投入した。



図1 角1水槽のセキショウモ (左上)



図2 角2水槽のセキショウモ (右上)



図3 培養に用いた黒土

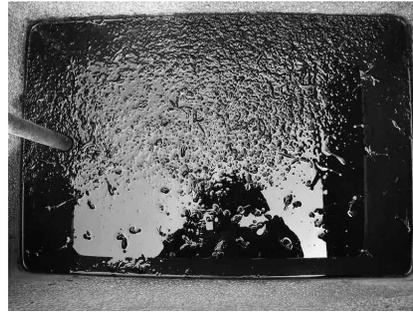


図4 空中田植えしたセキショウモ



図5 実験水槽の外観  
手前右が角1, 左が角2水槽

### 実験2 黒土培養土による検討

実験期間は2009年6月29日から8月28日までの60日間である。5月14日に山中湖で採取し予め培養しておいたセキショウモを実験材料とし、FRP製角型水槽(60×90×50cm, 270L容, G水槽という)4基に、30株(平均葉長7.6cm, 平均湿重量0.44g)ずつピンセットを用いて直植えした(図6, 7)。水槽には黒土4袋(40kg)と

腐葉土500gを入れ、翌30日に地下水を注水し、水深を30cmにしてエアリフトで水槽内に水流をつけた。セキショウモがよく活着するように、7月21日まで22日間培養した。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、同日、実験1で取り上げたセキショウモ(平均葉長22.7cm)も実験に加え、2区(角1, 角2)追加設定した(表2)。後者のコイの投入は4日後の7月26日に行った。37日間(角1, 2水槽は33日間)飼育後の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項目としてWT, DO, pH, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N・PO<sub>4</sub>-P(HACH水質分析器)、透視度(30cm透視度計)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。コイの飼料はマス育成用5P(G2水槽)とマス稚魚用2号(G3水槽)を適量使用した。

表2 試験区の設定(実験2)

| 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      | ○ 小型魚   | ○     |
| G4 | 小      | ×       | ×     |
| 角1 | 大      | ×       | ×     |
| 角2 | 大      | ○ 大型魚   | ×     |



図6 植え付けたセキショウモ



図7 実験水槽(G水槽)の外観

### 実験3 山中湖砂礫培養土による検討

実験期間は2009年9月9日から10月8日までの29日間である。8月24日に山中湖で採取したセキショウモを大きさ別に分け、実験2で用いたG水槽4基に30株(平均葉長はG1, G2水槽:13cm, G3, G4水槽:27cm)ずつピンセットを用いて直植えした(図8~12)。水槽には実験2と異なりそれぞれ山中湖の砂礫

を50kgずつ入れた(図13)。翌10日に地下水を注水し、水深を30cmにしてエアリフトで水槽内に水流をつけた。また、9月18日に市販の液化肥料(ハイポネックス)を2,000分の1の濃度になるように81mLずつ入れた。セキショウモがよく活着するように、9月21日まで12日間培養した。9月22日に平均全長17cmのコイをそれぞれ

表3 試験区の設定(実験3)

| 水槽 | 水草の大きさ | コイ放養の有無 | 給餌の有無 |
|----|--------|---------|-------|
| G1 | 小      | ○       | ○     |
| G2 | 小      | ×       | ×     |
| G3 | 大      | ○       | ○     |
| G4 | 大      | ×       | ×     |

れ2尾ずつG1, G3水槽に投入した(表3)。16日間飼育後の10月8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項目としてWT, DO, pH,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ , 透視度, SS(懸濁物重量), 水色, 通気量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。コイの飼料はマス育成用5Pを適量使用した。

さらに, 6月11日(平野ワンド)と8月7日(旭が丘)には, 山中湖で併せて野外調査も行った。

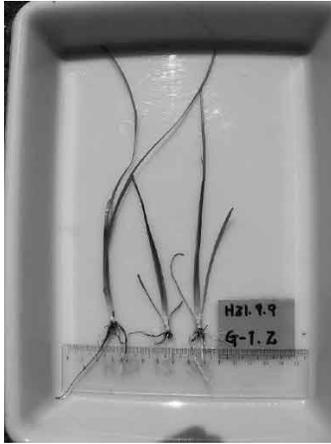


図8 植え付けたセキショウモ (G1,2水槽)



図9 植え付けたセキショウモ (G3,4水槽)



図10 G2水槽(水草小)



図11 G3水槽(水草大)



図12 実験水槽(G水槽)の外観

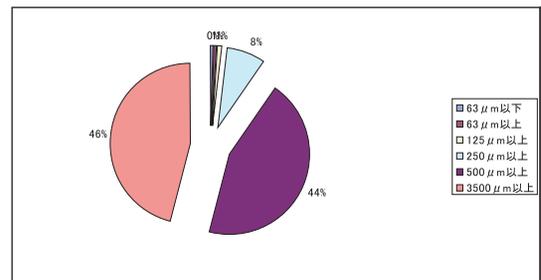


図13 山中湖の砂礫の重量組成

## 結果及び考察

### 実験1 空中田植え方式の検討

水温は開始から5月28日までは15℃を超えることがなかったが, 6月11日以降は20℃を超えるようになった(表4)。飼育当初高かった $\text{NH}_4\text{-N}$ の濃度も次第に低下していた。

表4 水質測定

| 測定日   | 水槽 | WT(°C) | DO(mg/L) | pH  | $\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/L) |
|-------|----|--------|----------|-----|-------------------------------|
| 5月28日 | 角1 | 12.8   | 7.2      | 7.1 | 0.90                          |
|       | 角2 | 13.8   | 5.9      | 7.0 | 1.49                          |
| 6月1日  | 角1 | 16.9   |          |     |                               |
|       | 角2 | 15.5   |          |     |                               |
| 6月4日  | 角1 | 15.8   |          |     |                               |
|       | 角2 | 15.7   |          |     |                               |
| 6月8日  | 角1 | 18.2   |          |     |                               |
|       | 角2 | 18.5   |          |     |                               |
| 6月11日 | 角1 | 21.0   |          |     |                               |
|       | 角2 | 21.4   |          |     |                               |
| 6月30日 | 角1 | 24.7   | 11.9     | 7.7 | 0.28                          |
|       | 角2 | 25.2   | 11.8     | 7.7 | 0.12                          |

セキショウモは順調に成長し、最終日の活着率はそれぞれ 83 及び 82% と高く、両区に差は見られなかった（表 5, 図 14, 15）。すなわち、低水位保持日数による差（8 日間）はなかったといえる。浮上数は飼育初期に多かったが、その株の大きさは平均的なサイズのものよりも小型の方が多かった。付着藻類の繁殖防止のため投入したヒメタニシは、よく自然繁殖し個体数が増した（図 16, 17）。本方式は田植えが機械化される以前の簡便な方式のひとつであるが、根を土中に直接埋め込まなくても良いという利点がある。今回、活着率が比較的高かったことから、さらにセキショウモのサイズや水深との関係を明確にすれば、有効な大量培養方法になりうると考えられた。

表5 セキショウモの浮上数の変化

| 水槽 | 項目       | 植え付け | 浮上数   |       |       |       | 合計   | 活着率 (%) |
|----|----------|------|-------|-------|-------|-------|------|---------|
|    |          |      | 6月12日 | 6月19日 | 6月30日 | 7月17日 |      |         |
| 角1 | 株数       | 100  | 13    | 2     | 2     | 0     | 17   | 83      |
|    | 重量(g)    | 14.9 | 1.1   | 0.1   | 0.1   | 0     | 1.3  |         |
|    | 1株重量 (g) | 0.15 | 0.09  | 0.05  | 0.05  |       | 0.08 |         |
| 角2 | 株数       | 100  | 9     | 4     | 4     | 1     | 18   | 82      |
|    | 重量(g)    | 23.0 | 1.4   | 0.8   | 0.3   | 0.2   | 2.7  |         |
|    | 1株重量 (g) | 0.23 | 0.14  | 0.20  | 0.08  | 0.20  | 0.15 |         |

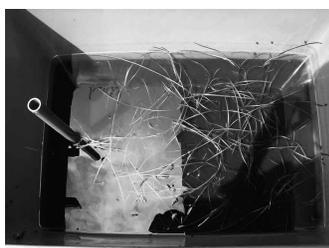


図14 最終日の角1水槽



図15 最終日の角2水槽



図16 角1水槽のヒメタニシ



図17 角2水槽のヒメタニシ

## 実験2 黒土培養土による検討

期間中自記水温計で水温を測定したが、記録の取り出しに失敗したため、水温の変化については不明であった。定期的な水質測定によると、水温は期間中 20℃ を超えており、セキショウモの成長は良好であった（表 6）。

7月22日（G1～G3水槽）と26日（角2水槽）にコイを収容したところ、粒子の細かい黒土の影響により水槽内が濁り、透視度は2～4cmと著しく低下した（図18, 19）。一方、収容しなかったG4, 角1水槽は30cm以上と高く透明であった（図20）。しかし、角1水槽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、かつNH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-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NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-Nとも高く、無給餌のG1水槽ではこれらは低かった。PO<sub>4</sub>-Pは両者に大きな差はなかった。最終取上時にはG2水槽で飼料の腐敗臭がし、水質的にはNH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-Nがかなり高く、DOは逆に低かった。このことは、餌の過剰投与によるものと考えられた。



図18 透視度計 (3.0cm)

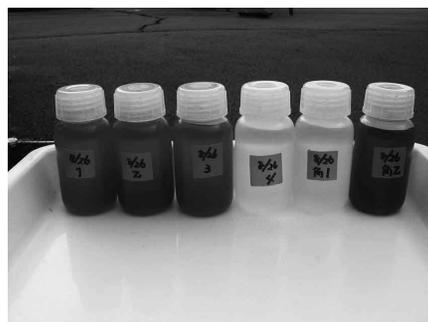


図19 水色の比較



図20 G4水槽のセキショウモ

コイの大型魚を共に収容した G1 水槽と角 2 水槽を比べると（いずれも無給餌）、セキショウモ株の大小の影響についてはセキショウモが初期に浮上したため不明であった。

表6 水質測定

| 測定日        | 項目                        | G1    | G2    | G3    | G4    | 角 1   | 角 2   |
|------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 6月30日      | WT (°C)                   | 25.6  | 25.7  | 25.8  | 25.9  | 24.7  | 25.2  |
|            | DO (mg/L)                 | 10.7  | 11.7  | 11.4  | 10.2  | 11.9  | 11.8  |
|            | pH                        | 7.2   |       |       |       | 7.7   | 7.7   |
|            | NH <sub>4</sub> -N(mg/L)  | 0.07  |       |       |       | 0.28  | 0.12  |
|            | 透視度 (cm)                  | 30<   | 30<   | 30<   | 30<   | 30<   | 30<   |
| 7月17日      | WT (°C)                   | 21.6  | 21.6  | 21.6  | 21.5  | 22.0  | 22.0  |
|            | DO (mg/L)                 | 10.2  | 10.3  | 10.2  | 10.3  | 10.5  | 10.9  |
|            | pH                        | 7.3   | 7.4   | 7.3   | 7.4   | 7.4   | 7.6   |
|            | NH <sub>4</sub> -N(mg/L)  | 0.07  | 0.05  | 0.11  | 0.03  | 0.20  | 0.06  |
|            | 透視度 (cm)                  | 30<   | 30<   | 30<   | 30<   | 30<   | 30<   |
| 7月23日      | 透視度 (cm)                  | 2.7   | 2.3   | 2.0   | 30<   | 30<   | 30<   |
| 7月26日      | 透視度 (cm)                  | 1.8   | 2.1   | 3.5   | 30<   | 30<   | 30<   |
| 7月27日      | 透視度 (cm)                  |       |       |       |       |       | 5.0   |
| 7月28日      | 透視度 (cm)                  |       |       |       |       |       | 5.5   |
| 7月30日      | 透視度 (cm)                  |       |       |       |       |       | 3.5   |
| 8月4日       | WT (°C)                   | 21.4  | 21.4  | 21.3  | 21.2  | 21.2  | 21.6  |
|            | DO (mg/L)                 | 8.7   | 4.9   | 7.8   | 9.3   | 9.4   | 7.5   |
|            | pH                        | 6.6   | 6.8   | 7.0   | 7.3   | 7.6   | 7.0   |
|            | NH <sub>4</sub> -N(mg/L)  | 0.30  | 3.50  | 7.85  | 0.06  | 0.11  | 0.31  |
|            | 透視度 (cm)                  | 2.0   | 2.1   | 4.0   | 30<   | 30<   | 2.1   |
| 8月16日      | WT (°C)                   | 20.9  | 20.9  | 20.8  | 20.8  | 21.0  | 20.9  |
|            | DO (mg/L)                 | 9.1   | 7.8   | 8.0   | 9.5   | 9.3   | 8.8   |
|            | pH                        | 6.5   | 6.6   | 6.6   | 7.3   | 7.4   | 6.9   |
|            | NH <sub>4</sub> -N(mg/L)  | 0.16  | 1.90  | 3.10  | 0.05  | 0.04  | 0.05  |
|            | 透視度 (cm)                  | 3.0   | 2.5   | 6.9   | 30<   | 29.6  | 2.2   |
| 8月25日      | WT (°C)                   | 21.5  | 21.4  | 21.4  | 21.3  | 21.6  | 21.0  |
|            | DO (mg/L)                 | 9.0   | 2.5   | 8.3   | 9.7   | 8.9   | 10.9  |
|            | pH                        | 6.6   | 6.9   | 6.8   | 7.4   | 8.0   | 6.9   |
|            | NH <sub>4</sub> -N(mg/L)  | 0.17  | 5.95  | 0.65  | 0.05  | 0.05  | 0.04  |
|            | NO <sub>2</sub> -N (mg/L) | 0.022 | 0.3<  | 0.3<  | 0.004 | 0.003 | 0.010 |
|            | PO <sub>4</sub> -P (mg/L) | 0.02  | 0.05  | 0.06  | 0.03  | 0.04  | 0.01  |
|            | 透視度 (cm)                  | 3.0   | 3.9   | 3.5   | 30<   | 15.6  | 3.0   |
|            | SS (mg/L)                 | 0.272 | 0.191 | 0.224 | 未検出   | 未測定   | 0.323 |
|            | 臭い                        | なし    | 腐敗臭   | なし    | なし    | なし    | なし    |
| 通気量 (ml/秒) | 21.4                      | 19.0  | 17.8  | 25.5  | 25.8  | 22.3  |       |

コイを収容した G1, G2, G3, 角 2 水槽ではセキショウモは全く取り上げできず、活着率は 0% であった（表 7, 図 21 ~ 24）。これらの水槽ではセキショウモは脱落し浮上していたが、大型のセキショウモを植えた角 2 水槽の浮上率が 93.0% であったのに対し、小型のセキショウモを植えた G1, G2, G3 水槽のそれは 13.3 ~ 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、コイに捕食された可能性が考えられる（表 8, 図 25）。このことは、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。

次に、ヒメタニシを 2 個体ずつ投入した水槽（角 1, 角 2）では、コイを入れない角 1 水槽ではよく繁殖し、多数の稚仔貝が得られたのに対し、角 2 水槽では親貝しか見られなかった（図 26, 27）。ヒメタニシは雌雄異体であるが<sup>9)</sup>、コイを収容する前の 7 月 26 日には両水槽で繁殖した仔貝を確認しているので、その後コイに捕食されたものと考えられた（図 16, 17）。また、角 1 水槽では取り上げ時に水生昆虫が確認され、種類はカゲロウ類、ユスリカ幼虫・蛹であった（図 28）。いずれも外部から侵入した個体であることから、角 2 水槽でもコイの餌料となっ

ていた可能性がある。G4水槽で水生昆虫が確認できなかったのは、水槽の設置期間の違い（角水槽は実験1でも使用）によるものと考えられた。なお、8月28日の取り上げ時には、角1水槽のセキショウモは最大葉長が60cmに達し、花茎や浮上した白い花粉が見られた（図29、30）。一方、G4水槽では最大葉長は33.6cmで、小型なためかこれらは見られなかった。



図21 終了時の角水槽  
手前左の角2水槽は濁っている



図22 角1水槽（右）  
水面まで伸びたセキショウモ



図23 取り上げたセキショウモ（G4水槽）



図24 最終日のセキショウモ  
（角1水槽）



図25 コイ収容3日目に  
浮上した水草（角2水槽）

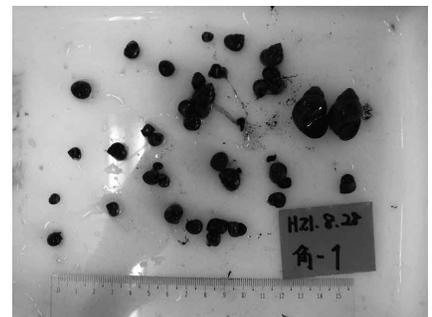


図26 ヒメタニシ（角1水槽）  
多数の稚仔貝が混じる



図27 ヒメタニシ親貝（角2水槽）



図28 水生昆虫（角1水槽）



図29 角1水槽の花茎

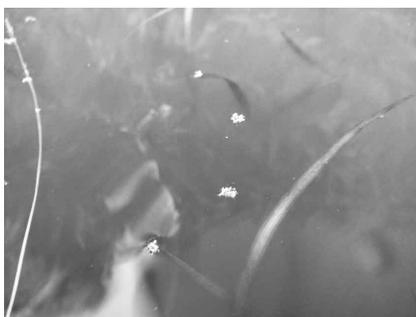


図30 浮上した花粉

表7 セキショウモ測定

| 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     |      |
| 湿重量増重倍率   |                |      |      | 4.10 |       | 11.4  |      |
| ヒメタニシ数    |                |      |      |      | 36    | 2     |      |
| 同重量 (g)   |                |      |      |      | 18.9  | 11.4  |      |
| 水生昆虫数     |                |      |      |      | 14    |       |      |
| 同重量 (g)   |                |      |      |      | 0.08  |       |      |

表8 浮上したセキショウモ数の変化

| 経過日数    | G1   | G2   | G3   | G4 | 角1 | 角2    |
|---------|------|------|------|----|----|-------|
| 1       |      |      |      |    |    |       |
| 2       |      |      | 1    |    |    | 4     |
| 3       |      |      |      |    |    | 38    |
| 4       |      | 6    |      |    |    |       |
| 5       | 1    | 5    | 1    |    |    | 51    |
| 6       | 1    | 2    | 2    |    |    |       |
| 7       | 1    |      | 4    |    |    |       |
| 8       |      |      |      |    |    |       |
| 9       | 1    |      | 1    |    |    |       |
| 合計株数    | 4    | 13   | 9    | 0  | 0  | 93    |
| 湿重量 (g) | 1.70 | 2.95 | 1.44 | 0  | 0  | 25.69 |
| 浮上率 (%) | 13.3 | 43.3 | 30.0 | 0  | 0  | 93.0  |

最終日のコイの生残率は各区とも100%であった(表9)。無給餌のG1水槽、角2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、コイの平均肥満度も給餌水槽のそれより劣り、明らかに痩せていた(図31～34)。一方、給餌したG2、G3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%と実験3の結果よりかなり劣った。実験3より高水温期であったことから、水槽の濁り(透視度低下)がコイの摂餌活動に強く影響したのと考えられた。最終日のコイの消化管内容物はG2、G3水槽では給餌した配合飼料が確認されたのに対し、無給餌のG1水槽では2尾とも外部から飛び込んだ陸生昆虫が1個体ずつ、角2水槽ではデトリタスだけが確認されただけであった。

表9 コイの収容と取り上げ

| 収容日           | 7月22日         |               |                         |    | 7月26日 |               |
|---------------|---------------|---------------|-------------------------|----|-------|---------------|
|               | G1            | G2            | G3                      | G4 | 角1    | 角2            |
| 水槽No.         | 無             | 有             | 有                       | 無  | 無     | 無             |
| 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<br>(2/2) | 配合飼料<br>(2/2) | 配合飼料<br>(6/7)<br>空(1/7) |    |       | テトリス<br>(2/2) |



図31 G1水槽



図32 G2水槽



図33 G3水槽



図34 G4水槽

### 実験3 山中湖砂礫培養土による検討

期間中の水温は12.1～24.4℃(平均16.7℃)で、10月5日以降は15℃を下回った(図35)。実験2より低水温であった。液肥の使用によりNH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、PO<sub>4</sub>-Pは開始当初かなり高かった。取り上げ時のNH<sub>4</sub>-Nはコイの収容されていないG2、G4水槽では大きく低下したが(表11)、NO<sub>2</sub>-NはNH<sub>4</sub>-Nが分解されて低下した分だけ逆に上昇していた。PO<sub>4</sub>-Pも開始当初よりかなり低下したが、依然として高く、特にG2水槽では20.5mg/Lと高かった理由については不明である。透視度は実験2と同様にコイの収容と密接に関係し、収容しない水槽の方が高く、水色は透明であった(図36)。また、実験2と異なり収容水槽でも濁り(SS)の発生量は少なく、透視度もG1水槽23.8cm、G3水槽15.0cmと比較的高かった。この違いは土壌として砂礫を入れたためと考えられる。G3水槽の水色は薄緑で、DOやpHが他水槽より高かったため、植物プランクトンが繁殖し光合成活動が盛んだったことが推察された(図37)。

なお、G3水槽でコイ1尾の飛び出しがあり、実験への影響を考慮し逃亡魚を除外したが、飼育尾数を4尾から3尾へと減らしたことが水質に多少影響を及ぼした可能性もある。

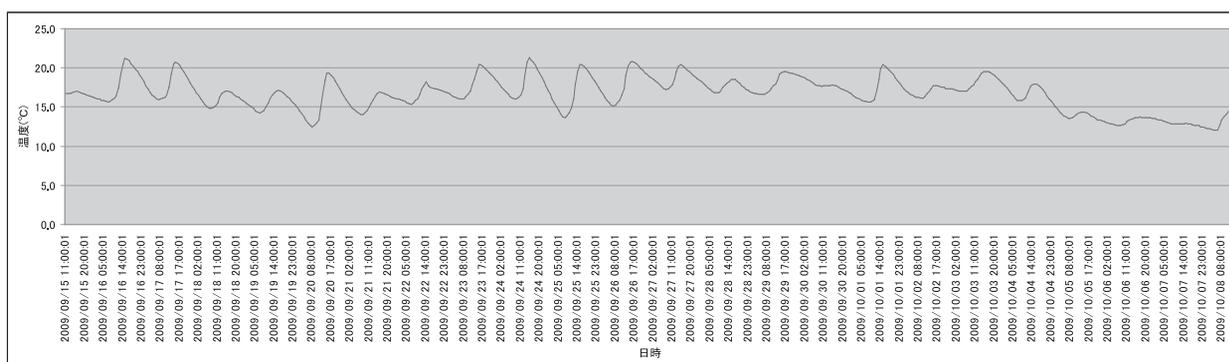


図35 G1水槽の水温変化（実験3）

表11 水質測定

| 測定日              | 項目                        | G1    | G2    | G3    | G4    |
|------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 9月22日<br>(コイ収容前) | WT (°C)                   | 16.5  | 16.3  | 16.5  | 16.5  |
|                  | DO (mg/L)                 | 11.6  | 11.5  | 11.6  | 11.7  |
|                  | pH                        | 7.6   | 7.7   | 7.7   | 7.7   |
|                  | NH <sub>4</sub> -N(mg/L)  | 9.65  | 9.60  | 8.80  | 7.00  |
|                  | NO <sub>2</sub> -N (mg/L) | 0.70  | 0.74  | 0.96  | 1.12  |
|                  | PO <sub>4</sub> -P (mg/L) | 62.5  | 64.0  | 58.0  | 48.0  |
|                  | 透視度 (cm)                  | 30<   | 30<   | 30<   | 30<   |
| 10月8日<br>(取り上げ)  | WT (°C)                   | 14.8  | 14.7  | 14.7  | 14.7  |
|                  | DO (mg/L)                 | 12.8  | 12.4  | 14.6  | 12.8  |
|                  | pH                        | 8.0   | 7.6   | 8.2   | 7.8   |
|                  | NH <sub>4</sub> -N(mg/L)  | 2.00  | 0.15  | 0.80  | 0.10  |
|                  | NO <sub>2</sub> -N (mg/L) | 1.76  | 2.64  | 2.30  | 2.34  |
|                  | PO <sub>4</sub> -P (mg/L) | 10.0  | 20.5  | 7.5   | 7.5   |
|                  | 透視度 (cm)                  | 23.8  | 30<   | 15.0  | 30<   |
|                  | SS (mg/L)                 | 0.031 | 0.009 | 0.065 | 0.008 |
|                  | 水色                        | 透明    | 透明    | 薄緑    | 透明    |
|                  | 通気量 (ml/秒)                | 21.8  | 19.2  | 20.5  | 19.8  |



図36 各水槽の水色



図37 各水槽のSS

10月8日にセキショウモを取り上げたところ、給餌水槽では殆ど残っておらず、G1水槽で1株、G3水槽で3株であった（表11，図38～41）。活着率は10%以下であった。対照水槽の活着率は両区とも90%以上であった。平均葉長は植え付け時より全ての水槽で減少しており、成長倍率は1以下であった。湿重量減少率はG2水槽41.9%、G4水槽68.7%であった。葉はやや枯れ始め、黄色化していた。走出枝は全ての水槽で見られず、成長が停滞していることを裏付けた。水質の項で述べたとおり低水温期に入ったためと考えられる。

表11 セキショウモ測定

|               |  | 9月9日 (植え付け)  |      |       |              |
|---------------|--|--------------|------|-------|--------------|
| 水槽No          |  | G1           | G2   | G3    | G4           |
| 試験概要          |  | コイ給餌         | 対照1  | コイ給餌  | 対照2          |
| 測定数           |  | 30           | 30   | 30    | 30           |
| 平均値 (cm)      |  | 13.4         | 13.0 | 29.0  | 26.9         |
| 最大値 (cm)      |  | 24.0         | 21.1 | 54.6  | 46.8         |
| 最小値 (cm)      |  | 6.1          | 7.2  | 15.6  | 12.0         |
| 標準偏差 (cm)     |  | 4.46         | 3.62 | 10.62 | 9.88         |
| 総湿重量 (g)      |  | 11.6         | 11.7 | 55.3  | 53.1         |
|               |  | 10月8日 (取り上げ) |      |       |              |
| 測定数           |  | 1            | 27   | 3     | 30           |
| 平均値 (cm)      |  | 6.9          | 11.1 | 5.1   | 16.1         |
| 最大値 (cm)      |  |              | 17.2 | 6.1   | 35.7         |
| 最小値 (cm)      |  |              | 7.1  | 4.2   | 4.4          |
| 標準偏差 (cm)     |  |              | 2.8  | 1.0   | 9.00         |
| 総湿重量 (g)      |  | 0.4          | 6.8  | 1.7   | 16.6         |
| 活着率 (%)       |  | 3.3          | 90.0 | 10.0  | 100.0        |
| 成長倍率 ※1       |  | 0.51         | 0.85 | 0.17  | 0.60         |
| 湿重量減少率 (%) ※2 |  | 96.6         | 41.9 | 96.9  | 68.7         |
| 水生昆虫          |  |              |      |       | ユスリカ<br>幼虫3尾 |

※ 期末平均値／期首平均値

※ (期首総湿重量－期末総湿重量)／期首総湿重量



図38 G1水槽

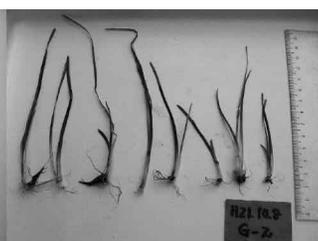


図39 G2水槽



図40 G3水槽



図41 G4水槽

セキショウモはコイ収容水槽でのみ浮上しており、コイの影響は明らかであった(表12)。セキショウモが小さい水槽(G1)程浮上率が高く、しかもコイ収容2日目までに殆どが浮上していることから、セキショウモの大きさも影響していることが示唆された。小さい個体は根の張り(活着力)が弱いことが考えられる。なお、実験2より浮上率が高かったのは、コイ収容までの期間が実験3の方が10日間ほど短く、水温も20℃以下に下がり活性が低下したことが理由として考えられる。

G3水槽では取り上げ株数と浮上株数の合計が19株で、11株が不明であった。同様にG1水槽の不明数は3株であったことから、浮上の確認は毎日行っているため、不明株はコイに捕食された可能性が高い。

表12 浮上したセキショウモ数の変化

| 経過日数    | G1    | G2 | G3    | G4 |
|---------|-------|----|-------|----|
| 1       |       |    |       |    |
| 2       | 23    |    | 4     |    |
| 3       | 2     |    | 2     |    |
| 4       |       |    |       |    |
| 5       |       |    |       |    |
| 6       | 1     |    | 5     |    |
| 7       |       |    | 2     |    |
| 8       |       |    |       |    |
| 9       |       |    |       |    |
| 10      |       |    |       |    |
| 11      |       |    |       |    |
| 12      |       |    |       |    |
| 13      |       |    | 2     |    |
| 14      |       |    |       |    |
| 15      |       |    | 1     |    |
| 合計株数    | 26    | 0  | 16    | 0  |
| 湿重量 (g) | 10.00 |    | 12.80 | 0  |
| 浮上率 (%) | 86.7  | 0  | 53.3  | 0  |

コイの生残率はG1水槽では100%であったのに対し、G3水槽では飛び出しによる減耗があり75%であった(表

13)。両水槽とも給餌によりコイは明らかに成長していた。平均肥満度は実験2の無給餌コイよりも高く、給餌コイとほぼ同じであった（図42、43）。日間成長率は実験2よりやや低水温期にあったため少し劣ったが、飼料効率はG1水槽177.3%、G2水槽137.1%とかなり高く、配合飼料以外の摂餌も考えられる結果となった。すなわち、G4水槽では取り上げ時にユスリカ幼虫が底床に確認されたことから（表11）、G1、G3水槽でもセキシウモ以外に、こうした餌を捕食したことにより、高い飼料効率に繋がった可能性も考えられる。ただし、コイの消化管内容物としては、両水槽とも配合飼料のみが確認されただけであった。なお、G4水槽ではホソバミズヒキモが1株確認され、投入した砂礫に種子があったものと考えられた。

表13 コイの収容と取り上げ

| 収容日           | 9月9日    |    |         |    |
|---------------|---------|----|---------|----|
| 水槽            | G1      | G2 | G3      | G4 |
| 給餌の有無         | 有       | 無  | 有       | 無  |
| 放養尾数          | 4       | 0  | 4       | 0  |
| 総重量 (g)       | 240.6   |    | 249.3   |    |
| 平均体重 (g)      | 60.2    |    | 62.3    |    |
| 平均全長 (cm)     | 17.1    |    | 17.1    |    |
| 平均肥満度         | 25.6    |    | 26.6    |    |
| 取り上げ日         | 10月8日   |    |         |    |
| 取り上げ尾数        | 4       | 0  | 3       | 0  |
| 総重量 (g)       | 307.1   |    | 231.5   | 0  |
| 平均体重 (g)      | 76.8    |    | 77.2    |    |
| 平均全長 (cm)     | 18.1    |    | 17.8    |    |
| 給餌量 (g)       | 37.5    |    | 37.9    |    |
| 増重量 (g)       | 66.5    |    | -17.8   |    |
| 飼料効率 (%)      | 177.3   |    | 137.1   |    |
| 成長倍率 (%)      | 127.6   |    | 123.8   |    |
| 日間成長率 (%/day) | 0.84    |    | 0.74    |    |
| 日間給餌率 (%/day) | 0.47    |    | 0.48    |    |
| 平均肥満度         | 26.8    |    | 27.8    |    |
| 消化管内容物        | 飼料(4/4) |    | 飼料(3/3) |    |



図42 G1水槽のコイ



図43 G3水槽のコイ

以上の結果をまとめると、実験1ではセキシウモは直植え方式以外にも、空中田植え方式で底床に活着することが明らかとなった。今後天然湖沼での応用について検討していきたい。実験2、実験3ではセキシウモはコイ収容による影響を受け、底床から脱落して浮上することが明らかとなった。しかも大きい株の方の浮上率が高かった。また、コイの収容初期に浮上する割合が高かった。取り上げ時のコイ消化管内容物からは、セキシウモは直接確認できなかったが、水槽内での多数の不明な株数の存在はコイの捕食によるものと考えられた。

さて、6月上旬に山中湖平野ワンドでセキシウモの葉体が、多量に岸に打ち上げられたことを確認した（図44）。6月11日に打ち上げられたセキシウモの大きさは2.6～22.8（平均8.4）cm、湿重量0.63gで、湖に生育しているそれとほぼ同じ大きさであった（3.2～14.5cm、平均8.3cm、0.52g）。この時期はコイの産卵期であり、同様に打ち上げられたホザキノフサモの葉体には、コイの卵が多数付着していた（図45）。コイが産卵基質として水草を利用していることは既に明らかにされており<sup>10)</sup>、本調査でもこのことが裏付けられた。実験2では、培養土が

黒土のためコイの活動により水槽内が常に濁り、透視度は3～4cmであったが、摂餌活動に大きな支障はなかったもようで、良く成長していたのは予想外であった。天然湖沼ではこうした濁りはあまりない（続かない）ものと思われる。一方、山中湖産の砂礫土を用いた実験3では、透視度も比較的高く、実験2よりやや低水温にあったが、高い日間成長率と飼料効率が得られた。

2009年8月7日に、山中湖旭が丘で実施した地曳網により採捕されたコイのうちNo.1個体からは、ホソバミズヒキモが消化管から大量に出現し、他にクロモとオオササエビモが少し混じっていた（図46, 47）。また、別の1尾（個体Noは不明）からはシャジクモ類が少し確認された（表14）。コイはソウギョのような専食性はないまでも水草を捕食していることが確認されたため、山中湖の水草減少に及ぼすコイの影響は軽視すべきではないものと判断された。

今後、ワンド内での本種の影響の程度を探るため、室内での実験により詳細について解明していきたい。



図44 打ち上げられたセキショウモ



図45 ホソバキノフサモに付着したコイ卵



図46 8月7日に採捕されたコイの消化管内容物



図47 消化管中のホソバミズヒキモ

表14 旭が丘で採捕したコイの消化管内容物

| No. | TL<br>(cm) | BL<br>(cm) | BW<br>(g) | 肥満度  | 消化管内容物 ※                           |
|-----|------------|------------|-----------|------|------------------------------------|
| 1   | 80.7       | 67.8       | 5,700     | 18.3 | 水草(2/7)：ホソバミズヒキモ、シャジクモ、クロモ、オオササエビモ |
| 2   | 50.9       | 40.8       | 1,700     | 25.0 | ユスリカ(5/7)                          |
| 3   | 45.1       | 36.6       | 1,450     | 29.6 | デトリタス(5/7)                         |
| 4   | 51.7       | 40.7       | 1,950     | 28.9 | 植物プランクトン(5/7)                      |
| 5   | 64.7       | 52.1       | 2,400     | 17.0 | トビケラ(1/7)                          |
| 6   | 50.5       | 40.2       | 1,600     | 24.6 | コケムシ体芽(1/7)                        |
| 7   | 66.4       | 52.7       | 3,050     | 20.8 | 砂粒(1/7)、空胃(1/7)                    |

※(出現尾数/調査尾数)を示す

## まとめ

1. 山中湖平野ワンドの水質浄化策の一環として、昨年度からセキショウモの培養方法について検討を行っている。
2. 実験1ではセキショウモの簡便な増やし方として空中田植え方式について検討したところ、82～83%の株が活着した。
3. 実験2, 3ではセキショウモの大小、コイ放養の有無、給餌の有無による影響について培養土を変えて検討したところ、セキショウモはコイの収容により大きな影響を受け、底床から脱落して浮上することが明らかとなった。しかも大きい株の方の浮上率が高かった。また、コイの収容初期に浮上する割合が高かった。取り上げ時のコイ消化管内容物からはセキショウモは直接確認できなかったが、水槽内での多数の不明な株数の存在は

コイの捕食による減耗と考えられた。

4. 山中湖平野ワンドで6月上旬にコイの産卵行動に起因すると考えられる沈水植物の打ち上げと付着卵が見られた。
5. 山中湖旭が丘で採捕したコイの消化管内容物からホソバミズヒキモ、シャジクモ類、クロモ、オオササエビモの水生植物が出現した。
6. 以上の結果より、山中湖の水草減少に及ぼすコイの影響は軽視すべきではないものと判断された。今後、ワンド内での本種の影響の程度を探るため、室内での実験を行う予定である。

## 文 献

- 1) 高橋一孝 (2010) : セキショウモ培養試験 - I ~培養土の比較~ . 山梨県水産技術センター事業報告書, 37, 59-64.
- 2) 高橋一孝 (2010) : セキショウモ培養試験 - II ~培養方法の検討~ . 山梨県水産技術センター事業報告書, 37, 65-68.
- 3) 高橋一孝 (2010) : 山中湖で採取した水草の培養について . 山梨県水産技術センター事業報告書, 37, 52-55.
- 4) 高橋一孝 (2010) : 湖泥からの水草の発芽について . 山梨県水産技術センター事業報告書, 37, 45-48.
- 5) 高橋一孝 (2010) : 山中湖のセキショウモの成長調査 . 山梨県水産技術センター事業報告書, 37, 56-58.
- 6) 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 - II . 山梨県水産技術センター事業報告書, 37, 22-27.
- 7) 長野県環境保全研究所 (2007) : 野尻湖の水草の復元をめざして . エコ・へるす, 第19号, 1-2.
- 8) 森田尚・根本守仁・岡村貴司 (2008) : コイ, ワタカの放流による沈水植物の繁茂抑制と底質改善効果 . 平成19年度滋賀県水産試験場事業報告書, 170-171.
- 9) 上野益三編集 (1973) : 17 軟体動物, 腹足類, 日本淡水生物学 . 北隆館, 東京, 311-313.
- 10) 川那部浩哉・水野信彦・細谷和海 (1989) : 日本の淡水魚 . 山と溪谷社, 東京, 334-338.