

# 賢沼の水環境について

## Study of the Water Environment of Kashikonuma Pond

内田修司・舟山義一

福島工業高等専門学校、物質工学科

Shuji Uchida and Yoshiichi Funayama

Fukushima National college of Technology, Department of Chemistry and Biochemistry

(平成20年9月26日受理)

Kashikonuma pond, habitat of giant eels as a national natural monument had been over-eutrophication. An internal circulation of the nutrient, algae production from the nutrients supplied from the suspended solids and bottom sediments of the pond caused the water quality deterioration. Then, it was tried to pull out the pond bottom water including the nutrient and to decrease the amount of diffusion by the circulation of it. At the result, the effect was able to be confirmed at the microorganism level like an increase in plankton's kind etc. the macro like the value etc. COD though it did not appear in the numerical value the effect of pulling out of the marsh bottom water. The effect of pulling out of the marsh bottom water was able to be confirmed at the microorganism level like an increase in plankton's kind and decrease the water bloom. A nutrient accumulative amount is too huge, and the effect of pulling out of the bottom water seem to be decreased COD of the pond. It is necessary to exhaust mud for the water quality improvement of the pond. In the future, regional cooperation work to restore the environment is important.

**Key worlds:** Kashikonuma pond, eels, COD, plankton, water environment

### 1. はじめに

いわき市平沼の内にある賢沼は、古くから大ウナギの生息地として知られ、昭和14年9月に国の天然記念物の指定を受けている。文化庁の資料<sup>1)</sup>には、「小丘ヲ繞ラセル小池ニシテ風致ニ富ミ巨大ナル鰻ノ産ヲ以テ知ラル鰻ハ古來愛護セラレソノ遊往シテ餌ニ着キ跳躍スル態ハ壯觀ヲ極ム鰻棲息地トシテ我國有數ノモノナリ」と記述されており、これに近い状況は、1970年代後半までは見られていたという。しかし、1980年代に入ると大ウナギの個体数の減少が報告され、いわき市教育委員会より発行された「賢沼ウナギ生息地調査報告書」<sup>2)</sup>には、ウナギの主な減少原因として、1) 賢沼の水質悪化、2) 弁天川の水質悪化、3) 沼と川をつなぐ水路のコンクリート化の3点を挙げている。これらの問題点について、平成12年に文化庁の委託を受け、橋本らが沼と周辺の水環境調査と報告を行っている<sup>3)</sup>。さらに、平成19年度には、いわき市

から助成を受け、賢沼の浄化と大ウナギの生息環境の復元に関する活動を展開し、賢沼の地域の住民も加わり、地域のシンボルとしての賢沼の復元に取組んでいる。ここでは、沼の現状と今後の活動について述べる。

### 2. 賢沼について

賢沼は豊間海岸に近い密蔵院内境内の丘陵高地に位置している。水面の標高はほぼ16mである。沼の周囲は広葉樹林の斜面が水際まで迫り、沼の東西にヨシなどの生えた平坦な湿地がある。賢沼の周辺地図をFig. 1に示した。賢沼は周辺よりも高い位置にあるため、河川水、農地や人家からの流入はない。賢沼の流入水は、沼への降雨と図1の太枠内の沼周辺部への降水となっている。一方、賢沼からの流出は溢水だけである。沼の水深は最深部で4.5mで、沼の縁はかなり急傾斜で落ち込み、水際から10mも離れていない位置でも水深は2mを越える。沼の直径は230m、短径70m、面

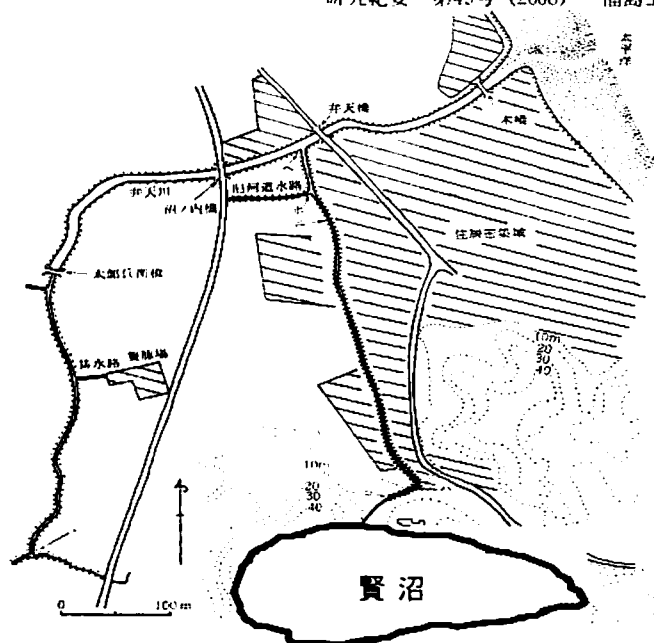


Fig.1 Map of around Kashikonuma Pond

積 130a、容積 40000 m<sup>3</sup>である。沼の流入水は降雨であり、閉鎖的な沼となっている。人為的な汚染源として、ウナギ及び鯉への投餌が考えられている<sup>3)</sup>。

### 3. 賢沼の水質<sup>4)</sup>

賢沼の水質に関して、1) 水位、透明度、水温、2) 汚染度の評価として、化学的酸素要求量(以下、COD)、溶存酸素量(以下、DO)、金属含有量、3) 生物指標としてプランクトンの観察、4) 沼底泥の分析 などを行ってきた。化学分析は、JIS K-0120 工業排水試験法<sup>5)</sup>に従った。

#### 3.1 水温

沼内の水は温度(深さ)によって挙動が異なるため、沼を水面から 0.6m までを上層、2m までを中層、2m から沼底までを下層と分けてそれぞれの水層について報告する。

上層水の温度は 1 日の気温変化に伴って終日変化するため、中下層と比較すると日較差、幅が大きくなる。一日のうちで表層水の温度が最も低くなるのは 6 時頃で、最も高くなるのは 15 時頃である。平成 8 年から 10 年間のデータで各層の最高水温は、上層で 30.6℃(平成 17 年 8 月 23 日)、中層 17.5℃(平成 16 年 9

月 10 日)、下層 20.5℃(平成 18 年 9 月 25 日)であった。上層と下層の温度差の最大値は 15.1℃(平成 16 年 8 月 19 日)であった。

一般に温帯地方の湖沼水は夏と冬に成層を形成する。夏は上層水が下層水より高温、冬は上層が下層より低温の状態成層となる。成層期であっても降雨により成層が破壊され、沼内水の攪拌が行われる。成層が形成される前、春と秋には沼内の水は循環により、上層と下層の水温が等しくなっている。賢沼では 4 月中旬と 9 月中旬に上層と下層の温度がほぼ等しくなる。

水位は、水面から沼底までの水の深さであるが、賢沼の水位は降水量に依存している。

平均的に水位の変動幅は 40cm である。賢沼の面積は約 130 a であるため、水位の 1 cm 変化は約 130 m<sup>3</sup>の水の出入りに等しいことになる。

#### 3.2 透明度の年間推移

湖沼の透明度は水質のバロメータとなっている。水質基準として、透明度が 4 m 以下の湖沼は富栄養湖とされている。賢沼の透明度は冬季で 1 m、循環期には 40cm 程度になることから、富栄養化が進行した状態であると言える。プランクトンの増殖が活発な夏の高水温期には透明度は低下する。逆に水温が低下する冬期には、プランクトンの活動が抑制されるために、透明度が大きくなる。秋と春を比べると、水温が高い秋に透明度が低下する。成層期となる夏は、上層水の温度は高いが、栄養塩が下層に停滞するため、上層ではプランクトンの増殖が抑制され、見かけの透明度が大きくなる。透明度が低下する時期は、春と秋、降水後である。これは水の循環期と一致している。沼水の循環期には鉄、マンガンなどの栄養塩を高濃度に含んだ下層水が上層に拡散しプランクトンの増殖を促進するため透明度が低下する。栄養塩の拡散はプランクトンの異常発生を誘発し、赤潮やアオコなどの発生原因となっている。

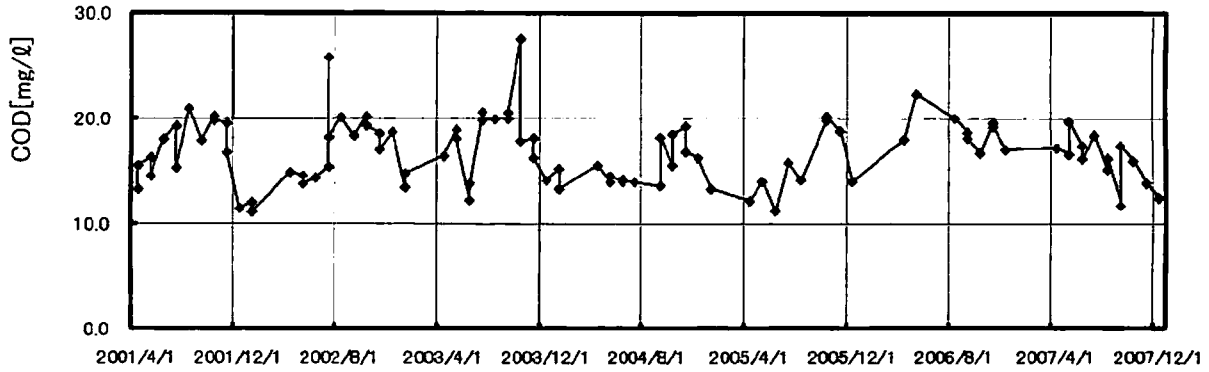


Fig.2 Changes of COD from 2001 to 2007

3.3 溶存酸素 (DO) の年間推移

沼水の溶存酸素量は、上層は年間を通してほぼ飽和か過飽和であることが確認できた。これは水面からの酸素の溶け込みに加えてプランクトンの光合成により、酸素が過剰に供給されていることを示している。それに対して下層の DO 値は5月から減少し6月から9月まではほぼ0となる。そして、成層の破壊後、約1ヶ月後の10月中旬から増加し、12月に飽和に近い状態になることがわかった。夏は上層の水温だけが高くなり、水の密度差から高温の上層と低温の下層に固定され、気温の低下に伴い上層の水温も下がり、下層水と上層水の混合と循環が起こる。さらに気温が下がる冬

には、上層の温度は下層よりも低くなるため、再び2層に固定される。このように湖沼水は、季節による温度変化によって成層と循環を繰り返している。酸素の供給源として、植物プランクトンによる光合成が考えられるが、夏の成層期に発生する嫌気性層の出現を考えると、水面からの酸素の取り込みが主要と考えられる。湖沼水の垂直方向の拡散係数は、水平方向の拡散係数よりも小さいため、上述した嫌気性層の出現となる。

3.4 COD の経年推移

水の汚れ具合の指標として COD が用いられる。賢沼の COD の経年変化を Fig.2 に示した。COD の平均

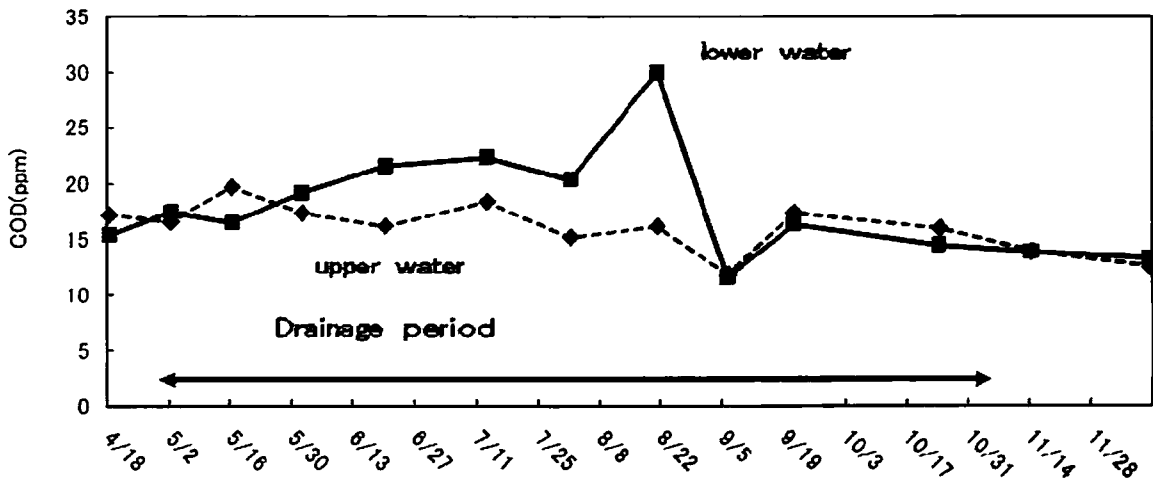


Fig.3 Annual change of COD in Kashikonuma Pond (2007)

値は 18ppm であるが、降雨後や自然循環によるプランクトンの異常発生時には 50ppm を越える場合がある。成層期には下層が嫌気性になり、泥中に存在していた窒素・リンなどの栄養塩類や鉄などの金属酸化物が金属イオンとして低層水中に溶け出している。この時期の降雨により急激な温度低下によって上層の水温が下がると、成層が破壊され、水の攪拌が発生し下層水の拡散によってプランクトンの異常発生が誘発される。Fig.3 には 2007 年に実施した低層水の引き抜きと COD の変化を示した。COD 値から下層水は 5 月末から 9 月上旬までは嫌気性になっていたと考えられる。昨年度は 5 月から 10 月まで引き抜きを行なった (Fig 3)。

### 3.5 マンガンイオン・鉄イオン・亜鉛イオンの年間推移

下層が嫌気性になっている夏場は、泥中に酸化物として存在する鉄やマンガンなどの金属がイオンとして底質泥から水中に溶出するため、鉄イオンとマンガンイオンの濃度が夏の下層水中でのみ非常に高くなっている。沼は成層期であるため、上層には金属イオンの拡散が起こりにくく、濃度変動は見られない。成層が破壊される春と秋には沼水の循環に伴って、プランクトンの活動に不可欠な栄養成分が供給されるため、プランクトンの急激な増殖が起こりやすくなる。Fig. 4

に下層水中の鉄イオンの濃度変化を示した。夏に濃度が上昇していることがわかる。

### 3.6 沼底泥の分析

泥中に含まれる有機物量の評価に強熱損失量の測定を行った。減少量は沼底泥の表面で約 23%、深さ 30cm のところで約 16% となった。湖沼の底質は表面にプランクトンの死骸などが体積するのが一般的であるため、沼底に近いところほど強熱損失の値が大きくなり、深くなるにつれ段々と小さくなっている。強熱損失量の値として、ヘドロ公害の象徴となった静岡県の子の浦の底泥で 24% という報告例がある<sup>6)</sup>。

### 3.7 プランクトンの出現頻度による水質の評価<sup>7, 8)</sup>

賢沼におけるプランクトンの出現頻度は、平成 12 年はボツリオコックスが 90% 以上を占めていたが、ここ数年、ボツリオコックスの発生はなくなり、5% 前後と割合は少ないものの、ミカヅキモなど生物種に多様性が確認できるようになっている。11 月上旬までは藍藻類のミクロキスティスが 6~8 割を占め、他にトラクロモナス、珪藻類のアステリオネラも確認できた。アステリオネラは冬季の優先種であるため 11 月以降は 90% の割合を占める。COD や沼泥の分析値が例年とほぼ同じ変化を示したのに対して、プランクトンの出現種には大きな変化が確認できている。一昨年度までは年間を通して黄緑藻類のボツリオコックスが確認

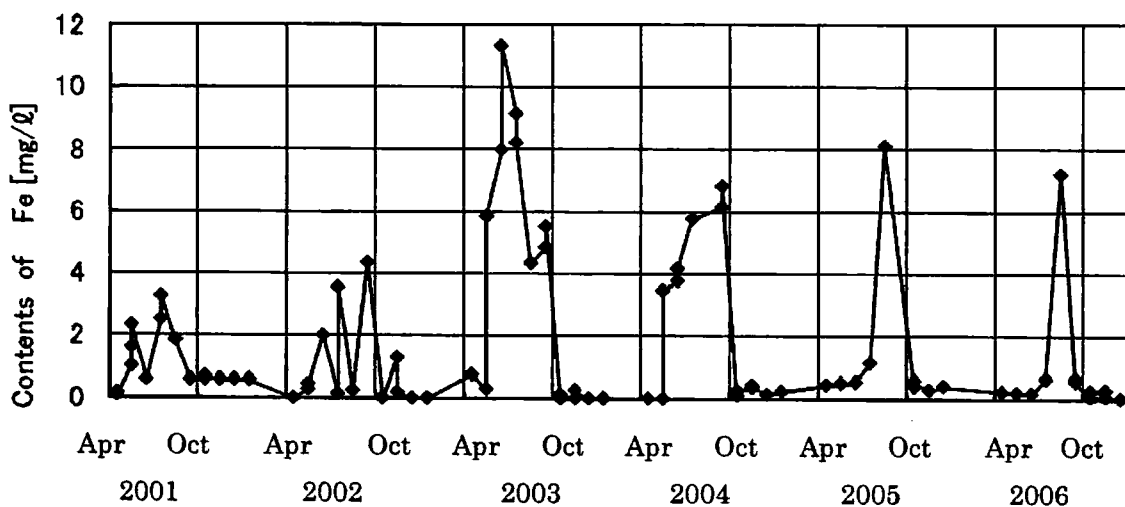


Fig. 4 Change of [Fe<sup>2+</sup>] in lower water

されていたが、今年度は観察期間中に出現しないときもあり、出現しても全体の1%以下であった。プランクトンの出現種には季節的な変化と種類の増加が確認できた。

マイクロステイスは富栄養化した湖沼に出現するプランクトンの優先種であることが知られている。COD値から考えると、賢沼は富栄養化がかなり進行しているため、汚染度が非常に高いところを好むボツリオコックスが優先種となる状況である。事実、平成14年度にはボツリオコックスが全プランクトンの8割以上を占め、マイクロステイスは5%程度しか見られなかった。しかし、成層期の下層水の引き抜きにより、平成17年度以降、ボツリオコックスの出現期がなくなり、マイクロステイスの出現と割合の増加、さらにプランクトン種の増加が観測されている。従って、CODなどのマクロレベルでは汚染度が進行しているも、プランクトンレベルでは賢沼が一般的な富栄養化のレベルまで水質が改善されていることを示唆しているものと考えている。

#### 4. 賢沼の水質改善への取組

成層期に高濃度の栄養塩を含む下層水を系外に排出することで水質の改善をする沼水の浄化を試験的に実施した。平成18年度と19年度には約5000m<sup>3</sup>の沼水を排水した。約11kgの鉄を排出したことになる。栄養塩類の引き抜きの効果は、現在のところCODや底泥などマクロな分析値には反映されていないが、プランクトンの優先種の変化と多様性の出現、アオコの発生数の減少という生物環境に効果が表れていると考えている。しかし、沼水の引き抜き実施期間が成層期に限定されていること、さらに環境を大きく変化させないこと、水位をある程度維持する必要があるため、引き水量にも制限が加わっている。従って、引き抜き法による沼の浄化（泥中に含まれる有機物の排出、栄養塩濃度を低下させること）だけでは十分な効果が得られない。さらに、栄養塩類とリンなどのイオン類は沼底の堆積物の栄養供給源となる自己循環による汚れも

出ているため、最終的には泥の浚渫などの実現に向けた可能性についても検討する必要がある。

#### 5. 今後の活動について

これまで、賢沼に関する取り組みは環境科学教育研究センターの活動として、水質測定と富栄養化の原因解明などに取組んできた。賢沼とその周辺の水質調査や浄化や復元のための市民活動が展開されてきたが、賢沼の汚れの進行を止め、大ウナギの生息環境の回復までには至っていない。そこで、これまで構築された汚染モデルを参考に賢沼の水質改善に向けた活動を開始した。この活動は平成19年度いわき市の助成事業「大学等の地域連携事業」に採択された。助成期間が半年であったため、文化庁への申請や他機関との連携に時間差などが発生したが、地域のシンボルとしての賢沼の復活を地域住民への説明し、実現するための具体的な手立てを高専やアクアマリンふくしまなどの機関、市や県の行政、漁業関係者など地域の産業関係者などが得意分野で活動することが重要であることを再認識することができた。

報告書<sup>2)</sup>で指摘されていた沼と川の汚れ、水路のコンクリート化の問題点は、一部に改善が見られた程度で、基本的な問題点は未解決のままである。コンクリート化された水路にウナギの稚魚が遡上しやすいように段差が設置されたが、家庭からの排水が氾濫し、夏には悪臭を発生させるなどしたため、既に撤去されている。遡上水路は現在も生活排水が流れているが、住民による定期的な清掃が行われているため、淀みや異臭などの発生はなく、水枯れさえしなければ遡上が可能にも見える。しかし、生活排水が流れ込む水路を遡上路として選ぶウナギの稚魚の姿を想像することは難しい。さらに、工場排水による遡上経路水の汚染問題も未解決であることがわかった。弁天川の水量減少による河口の閉塞、海水の逆流を防止するための水門の閉鎖、汚染水の滞留による2次汚染など、大ウナギの生息環境の回復のためには、インフラ整備、排水規制、流域の整備など多くの問題を解決することが必要であり、

個人や住民レベルの取組による問題の解決や改善には限界があるが、それらの取り組みを継続しても弁天沼(賢沼)をきれいな昔の沼の状態にすることはできない。周辺に住む人々がそれを望んで水路のゴミを拾い、排水のCODに気をつけても、富栄養化が進行した沼を浄化することはできない。住民の代表者によれば、現在も沼は地域のシンボルであり、多くの住民は沼の浄化に協力的であること、加えて賢沼は観光客の立ち寄りスポットとして定着していることなどを合わせれば、沼の浄化の実現は地域のシンボルの再生、いわきの自然、大ウナギが見える沼というユニークな観光地としてのアピールなど多くのメリットがあり、沼とその周辺の環境回復を地域住民参加型の継続的な環境活動として再スタートさせる意味は大きい。

一方、今後の活動で問題として、ウナギの稚魚の遡上を妨害する要因となるものを、以下に列挙する。

- ・水門と水路の段差 弁天川の水面と水門には30から50cmの段差が生じている。さらに傾斜が70°以上もあるコンクリート壁面をウナギの稚魚に登らせる構造になっている。

- ・弁天川の水量の減少は、河口の開そくの原因とも考えられるが、沿岸流の変化による砂の堆積も考慮する必要がある。(稚魚が河口にたどり着きにくくなっている。)

- ・ウナギが争うように餌を食べていたところの写真や記録はほとんど残されていないため、水質改善による沼の具体的なイメージが世代により異なってしまう。(きれいな賢沼に群れをなして泳ぐ大ウナギを見た体験は50代以上に限定されてしまう)

- ・観光客による投げ餌、少量であると見込んでいたが、夏にはかなりの投げ込みが行われている。鯉用の投げ餌が社務所で売られているが、それ以外にも、食パンや菓子類の投げ込みが行われている。(投げ込まれた餌の食いつきの良し悪しとは無関係に、餌の投げ込みが行われている。)

- ・聞き取り調査により、沼の東西の浅瀬には湧き水があり、常に逸流水が沼から弁天川に流れ込んでいたと

いう証言が得られた。

- ・ウナギの餌として、昭和30年代まで魚の加工工場の廃棄物(魚の頭や尻尾、内臓)が常に投げ込まれていた。(現在、魚の加工残渣の投げ込みは行われていない)

- ・ウナギがたくさん見えた頃には真鯉と緋鯉だけだった。錦鯉はいなかった、当時は、今よりも多くの鯉がいたという。)

- ・昭和30年代に沼の底引き作業を行ったが、ヘドロは全くなかった。沼の泥上げなどはこれまで一度も行ったことがない。

- ・沼底を泳ぐウナギの姿が見えた。

- ・沼底までは見えなかったが水面に向かって上がってくるウナギの姿が見えた。

- ・沼の色は緑色ではなく青かった。

これらの情報を文献や写真で確認することはできないが、賢沼がきれいだった頃は、湧水があったという証言から沼の浄化のモデル(反対に富栄養化の進行をモデル化の検討)を扱うことができるかもしれない。

賢沼の湧水量の減少か停止、餌の投げ込みと自己循環による沼水の汚染が進行した。同時期に水路のコンクリート化、弁天川の改修などが重なって遡上するウナギの稚魚を減少させたと考えられる。

これまで、我々は賢沼に遡上するウナギが減少していることを局所的な問題と捉えていたが、ウナギの稚魚の減少は世界的な問題となっている。特にジャポニカ種のウナギに関しては、漁業資源としてほぼ枯渇状態にあり、その減少量と速度から絶滅危惧種に指定される可能性もあることが報道されている。ウナギの完全養殖はまだ完成していないため、稚魚の捕獲による過度な養殖と消費の結果、ウナギの著しい減少となり、ジャポニカ種のウナギは生物種としての存続まで危ぶまれる状態になっている。その典型的な例が、現在の賢沼であるとも言える。ウナギの資源的な回復を待つ間に、賢沼の浄化と水路の改善に地域と行政が取組むことで、活動の継続性と目に見える成果を共有することができるものと考えている。

## 6. 結論

成層期に沼底水の引抜を行ったが、賢沼の COD と透明度の値は、富栄養化状態であることを示している。

プランクトン観察の結果によれば数年前まで大半を占めていたボツリオコックスがほとんど見られなくなり、ミクロスティスの割合の増加と出現プランクトン種の増加などが観察されることから、底層水の引き抜きによって確実に水質が改善傾向に向かっていると考えられる。

泥の強熱損失量は、昨年度と比較してもほとんど変化していない。栄養塩を含む低層水を引き抜いても新たな平衡状態を保とうと溶出が起きているものと考えられる。沼の抜本的な浄化には汚染源となっている有機物の除去が必要となるが、環境を大きく変えない低層水の引き抜きには一定の効果があると判断している。

平均降水量を引き抜き量の上限とし、沼の蒸散量を考慮しないモデルによれば、最大引き抜き水量はこれまでの2倍の約 10000 m<sup>3</sup> (賢沼水量の4分の1) と計算できる。引き抜きと並行して循環式浄化法にも着手して、年間を通じた浄化への取り組みを展開する計画を進めている。

## 7. 課題

以下、今後の活動において具体化あるいは改善すべきことを列挙する。

- ・復元する賢沼のモデルの構築
- ・循環式ろ過装置の連続運転による余剰有機物などの除去方法の検討
- ・抜本的な浄化法として沼の浚渫
- ・下水道化、合併処理槽の導入による水路の水質改善と魚道の確保ならびに水路流水量の確保
- ・付近の工場の排水の浄化、装置の導入の検討
- ・水門の開閉と遡上期の水量の確保

謝辞 平成 19 年度は、いわき市より助成を受け活動を進めることができました。御礼を申し上げます。

また、卒業研究のテーマとして取り組み活動した物質工学科の卒業生 赤津理恵さん、馬目洋子さん、門馬亜有美さん、鈴木さや香さん、久保田葉月さん、鈴木有紀さん、山下和香奈さん、高橋和泉さんに感謝します。

## 参考文献

1) 文化庁文化財データベース：

<http://www.bunka.go.jp/bssystem/index.asp>.

福島県の文化財―国指定文化財要録―福島県教育委員会 1989

2) 国指定天然記念物賢沼うなぎ生息地水質調査報告書(1985) 国指定天然記念物賢沼うなぎ生息地水質調査団

3) 国立天然記念物 賢沼ウナギ生息地調査報告書(平成 13 年) いわき市教育委員会、福島工業高等専門学校環境科学教育研究センター

4) 福島工業高等専門学校卒業研究報告書(物質工学科) 赤津理恵(2000)、馬目洋子(2001)、門馬亜有美(2002)、鈴木さや香(2003)、久保田葉月(2004)、鈴木有紀(2005)、山下和香奈(2006)、高橋和泉(2007)

5) JIS ハンドブック公害関係(1989) 日本規格協会、

6) 公害白書(昭和 46 年度) 総理府

7) 湖沼環境調査指針 日本水質汚濁研究協会(1982)、公害対策技術同友会

8) 淡水藻類写真集(1984) 山岸高旺、秋山優編 内田老鶴圃