

賢沼再生プロジェクト活動報告

Activity Report of Reclamation Project of Kashiko-numa Pond

内田修司・大波利彦[†]・鴻巣 拓[†]・北 広心[†]・佐藤智彦[†]・佐藤涼太[†]・

佐藤 潤*・林 真*

福島工業高等専門学校 物質工学科

[†]福島工業高等専門学校 物質工学科

*福島工業高等専門学校 モノづくり教育研究支援センター

Shuji Uchida, Toshihiko Onami[†], Taku Konosu[†], Koshin Kita[†], Tomohiko Satoh[†], Ryouta Satoh[†],
Jun Satoh* and Makoto Hayashi*

Fukushima National College of Technology, Department of Chemistry and Bio Chemistry

[†]Fukushima National College of Technology, Department of Chemistry and Bio Chemistry

*Fukushima National College of Technology, Manufacturing Support Center of Education and Research

(2010年9月17日受理)

The environmental reclamation project of Kashiko-numa pond in Iwaki city is reported. We continuously monitored the water quality of the pond for nearly thirty years and ran a project for reduction of nutrients to improve the inhabitable conditions for the legendarily huge eels. The results of preliminary experiments of drainage and circulation of the eutrophied silt and water are reported. We observed moderate symptoms of the desired reduction of the extent of the eutrophication. We are also running a joint work programs with the residents of Numanouchi district having a prospect of a long-term collaboration for reclaiming the quality of the pond water and protecting the value of Kashiko-numa pond natural treasure.

Key words: Kashiko-numa pond, huge eel, eutrophication, water reclamation, collaboration with residents

1. はじめに

賢沼(福島県いわき市平沼ノ内字代ノ下)は長径230m、短径70m、深さ4m程度の小さな沼でありながら、大人の腕ほどもあるニホンウナギ(以下オオウナギと表記)が多数生息する貴重な生態系をなしており、戦前の昭和14年(1939年)にははやくも国の天然記念物『賢沼ウナギ生息地』の指定を受けて現在へ至っている。賢沼のオオウナギの生息は完全な自生によるものではなく、そこには人為的な餌付けが古くから関与している。この人間の生態系への関与も含め、上記の天然記念物指定の対象となっている点が、全国的にみても貴重な類例である。「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游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」と当時の様子が紹介されている¹⁾。

1970年ごろまではこのオオウナギを観に多くの人が賢沼を訪れた。しかし、それ以降は水質の悪化とオオウナギの減少が目立つようになり、いわば景勝地だった賢沼は、現在では観光客が立ち寄る程度の場所となってしまった。このような経緯があり、かつての賢沼を憶え知る地域の人々にとっては賢沼の現在の状態は気になるところであった。そのような状況下、すでに現在をさかのぼること四半世紀前の1985年ごろ、福島高専の教員グループがその水質調査の実施の可能性について地域住民から相談を受けた。そこで我々は1986年にいわき市教育委員会と協力して賢沼の水質調査を実施した²⁾。さらに天然記念物『賢沼ウナギ生息地』の指定主体である文化庁からも福島高専が調査依頼を受け、水質その他の

賢沼の環境調査を行ったうえで調査報告書を提出している³⁾。これらのことが契機となり、我々は賢沼の水質調査をすでに20余年継続してきた。

我々はその水質の現状を鑑み、オオウナギの持続的な生息のためには現在の賢沼は水浄化が必要な段階にあると判断し、2005年に文化庁へ天然記念物『賢沼』の現状変更願を提出し、我々自身による自主的な水浄化活動に着手した。そしてその4年後の2009年には地域の人々の参加を想定した賢沼の水質調査活動を開始した。我々はそれらの運動のなかで、賢沼の現状の詳しい説明とその水質の再生の方法の紹介を行ってきた。

ここでは、平成19-22年度に我々が賢沼の水質の調査とその再生活動の一環として取り組んだことをとりまとめ報告する。

2. 浄化に対する取り組み

これまでの測定により、賢沼は典型的な富栄養化した水質環境となっていることがわかっている。この場合、高温期(夏季)には水中の有機物の酸化分解が活発化して溶存酸素の消費が一気に増大し、とりわけ水底部で酸素が欠乏する。一般にこのような環境では、オオウナギをはじめとした魚類の生息は著しく困難になる²⁾。沼底が酸素欠乏状態にあるときにオオウナギが避難して生息する場所を確保することをねらい、塩化ビニル製の管(魚床管)を沼内に設置する試みも行った。しかし、すでに全体的に進行した水質の悪化や水路部での水の蒸発など、より根本的な魚類の生息上の難点があり、満足のいく効果は顕れなかった。

2.1 底層水の排水と沼中の水の強制循環の効果

そもそも魚類の生存条件自体をおびやかす水底部での溶存酸素不足を緩和することが先決と考え、沼水への空気のバブリング(曝気)による溶存酸素の増加を考えた。しかし、賢沼の水の富栄養化はすでにかなり進行しており、我々が実施できる部分的な曝気程度では水底部での酸素不足領域を沼全体で有意に減少させることはまったく不可能であると予測された。そこで水底部の滞留水の排出により貧酸素水域を減らすことを試みた。沼底とそれよりも低い排水口にそれぞれ内直径15mmのホースの両端を固定し、サイフォン方式で沼底の水の自然排出を試みたが、圧力差によるホース自体の狭窄やホース内の送水からの気体発生により排水はしばしば停止し、当初の目的を達成するのに十分な量の排水を行うことはできなかった。

しかし、水底部の排水による潜在的な浄化効果、特に堆積泥から溶出するリンや窒素、鉄イオンなどの栄養塩類の削減効果が期待された。そこで、これらの技術的問題を克服するために、2008年には耐圧ホースを並列に設置するなどの改良を順次重ね、その年の6月から10月までの4ヶ月間の高温期に概ね7500m³の排水を成功させた。賢沼の大きさからその総水量の規模は40000m³と見積もられるため、この7500m³という排水量は有意な水質の変化をもたらす可能性があった。確かにFig.1をみると、2007年以前と比較して高温期に有意なCOD値の減少が実際に起こったことが明らかである。そこで2009年の高温期にはさらに10000m³超まで排水量を増大させることをねらったが、浮泥の吸引によるホースの閉塞などの技術的なトラブルが多発し、計画量の15%程度しか排水することができなかった⁴⁾。Fig.1に示さ

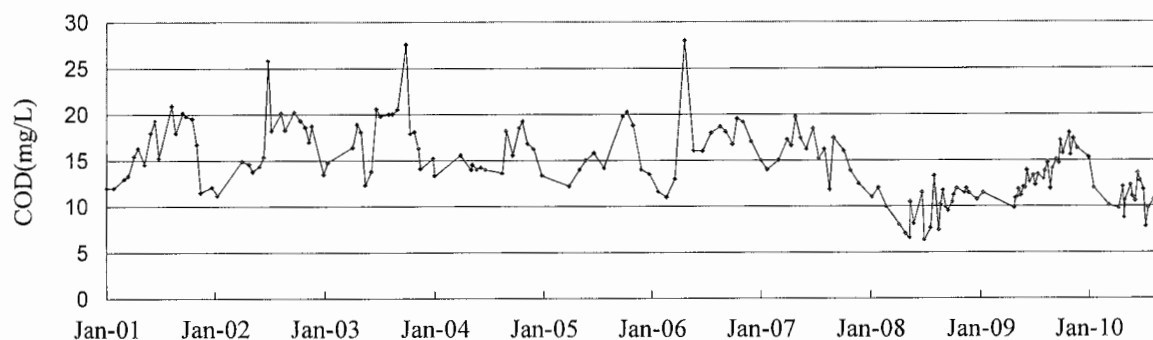


Fig.1 Monitored COD in surface water of Kashiko-numa pond (2001-2010).

れるように2009年の高温期でのCOD値がその前年のそれよりも高いのはおそらくそのためであると考えられる。実は高温期4ヶ月間での100m³-500m³規模の試験的な排水はすでに2003年に開始していたのだが、Fig. 1からは、その程度の排水量では高温期における有意なCOD値の低下は起こらないことがわかる。COD値を有意に低下させるためには高温期4ヶ月間に沼の総水量の10%オーダーの排水が必要であると推測される。ただし、2009年の1500m³程度の排水であっても、2007年以前に散見される25mg/Lを超えるCOD値の増加を防ぐ効果はあるものと考えられる。

次に、上記の高温期の排水が沼水中のプランクトンの生息状況に及ぼす影響を概観する。Fig. 2に2000年1月期から2010年7月期にかけてモニターされた賢沼の水中に生息する各種プランクトンの数出現率の推移を示した。これらの出現率は、光学顕微鏡の一定の視野(観察倍率400倍)中に観察されたプランクトン種の個体数から求めた。2003年の高温期の試験的排水を開始した時点で、富栄養化が進行し水質が悪化した環境で優先的に繁殖しやすいボツリオコッカスの出現率が有意な低下を示し、さらに、2007年以降はボツリオコッカスが観察されていない。即断は控えるべきだが、これは賢沼の水質の改善の徴

候のひとつと考えてよいだろう。また、現在の賢沼の水生プランクトンの種類は2002-2003年ごろのボツリオコッカスの出現率が圧倒的に大きかったところと比較すると多く、少なくともプランクトンの生育環境としては種の多様性が回復基調にあることが示唆される。水質の改善を企図する側としては希望がもてる結果が得られつつある。

賢沼への水の流入は降雨だけであるため、夏季の降水が少ないと、沼の水位は明白な低下を示す。2010年8月期のいわき市小名浜の月間降水量は8mmだった。これはこの期間の平均値の僅かに1割ほどである。この期間に賢沼の水位は約0.3m低下した。沼の深度が概ね4mであるから、0.3mの水位低下は総水量の約10%が盛夏時の蒸発などにより失われたことを示す。前述のように賢沼の総水量が数万m³であることから、上記の10%の総水量の減少と、それと同規模の排水が時期的に重なると、異例の速さで沼の総水量の減少を誘発することが予測されたため、2010年は夏季の排水を停止した。

そこで、2010年夏季は排水の代わりに沼水の強制循環を行い、その効果を調査した。水中ポンプを沼の中心の水深3.5mに固定し、沼底部の水を毎分200Lで表層部へ噴射することで、沼水の循環操作を7月

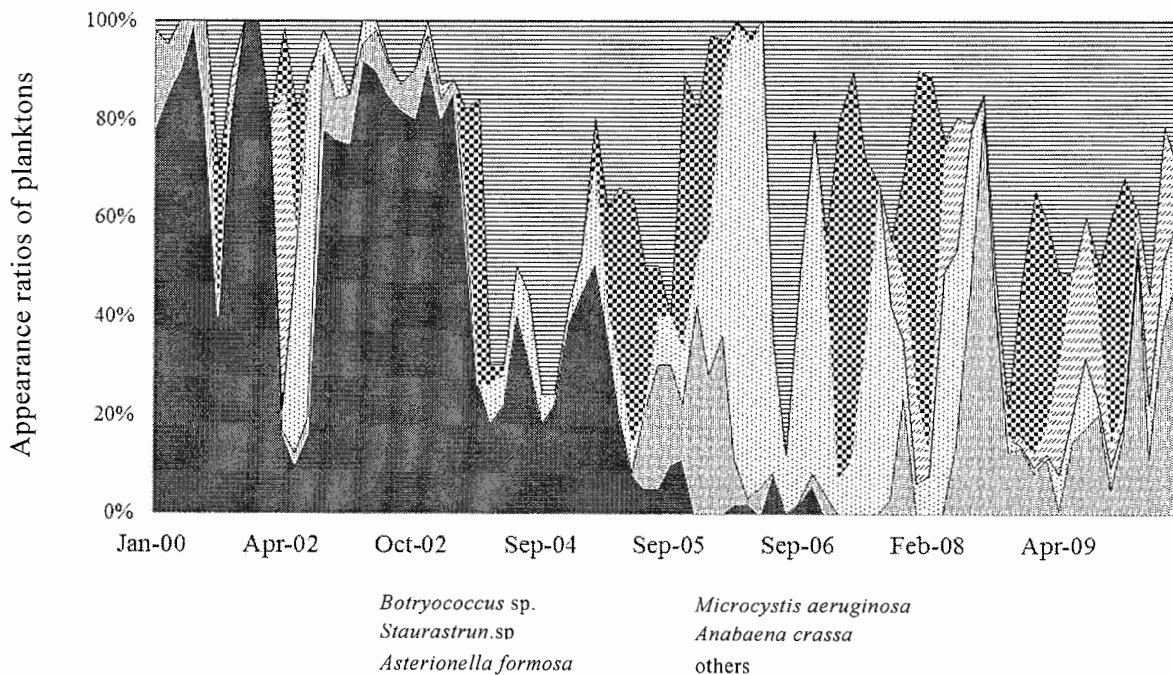


Fig.2 Monitored appearance ratios of planktons in Kashiko-numa Pond (2000-2010).

28日から10月6日までの70日間行った。この期間の総循環水量は約2万 m^3 であり、これは賢沼の総水量の約45%に相当する。循環された底部の水が再び底部へ戻り滞留することが全くないと仮定すれば、水面より2m以深の滞留水を表層へ循環させたことになる。この約45%という規模から考えても、今回の連続循環操作には有意な効果が期待された。実際に、例年は夏季にはほぼ完全に消失する溶存酸素は2010年8月期には濃度0.8 mg/L から1.7 mg/L と推移して消失の徴候は示さなかったことから、循環操作の効果はあったと考えてよいだろう。当然、強制的な水循環操作には沼底に滞留した有機物を表層へまきあげる作用があり、循環操作開始前には水底部のCOD値は14 mg/L だったところが、8月には9 mg/L 、9月には6 mg/L へ低下した。

これらの値は循環操作を行っていない場合の同時期のその概ね半分である。また、水底部から強制的に窒素、リンをはじめとする栄養塩類が表層部へまきあげられる。このため、夏季の強い太陽光の照射条件下では表層部でミクロキスティスなどの植物性プランクトンの繁殖が活発化し、アオコが発生しやすくなる。2010年は9月初めにアオコが発生しており、これは例年の発生時期である9月中旬よりも早い。これは上述の栄養塩類の表層への強制的な移動と関係があると考えられる。

また、表層部の水のCOD値を測定したところ、循

環操作を開始する前には10 mg/L だった値が12 mg/L へと増加している。これらのことから、水の強制循環によって表層の水は富栄養化する傾向があると考えられる。

2. プランクトンの捕集の試み

低水層の溶存酸素濃度の低下は泥中の有機物の生分解を妨げる。この結果、水底に堆積した泥中のリン分や窒素分といった栄養塩類も生分解されず、それらは沼水中へ分散や溶出をするようになり、沼全体の富栄養化が進行する。Fig. 3に示した単位体積あたりの沼水中の浮遊物の量の系時変化から、とりわけ気温が下がり微生物の生分解活動が低下する秋から冬へかけて上記の現象が顕著になることがわかる。しかし、いったん分散や溶出化した栄養塩類を除去の効果が顕れるほどに大量に分離回収するのは至難である。そこで代替策として、水生プランクトンの大量捕集と沼外除去を考えた。一般に水生プランクトンはその体内に栄養塩類を高濃度で保持していることから、それらの除去は沼全体での栄養塩類の除去に有効と考えたのである。さらにプランクトンは濾別が可能であり、さらにその操作は年間を通じて継続できる。プランクトンを濾別・回収しない場合、それらの大部分は死後沼底へ沈降して堆積層を形成する。これは再び栄養塩類の発生源となる可能性がある。そのことを考えても、生きて水中を浮

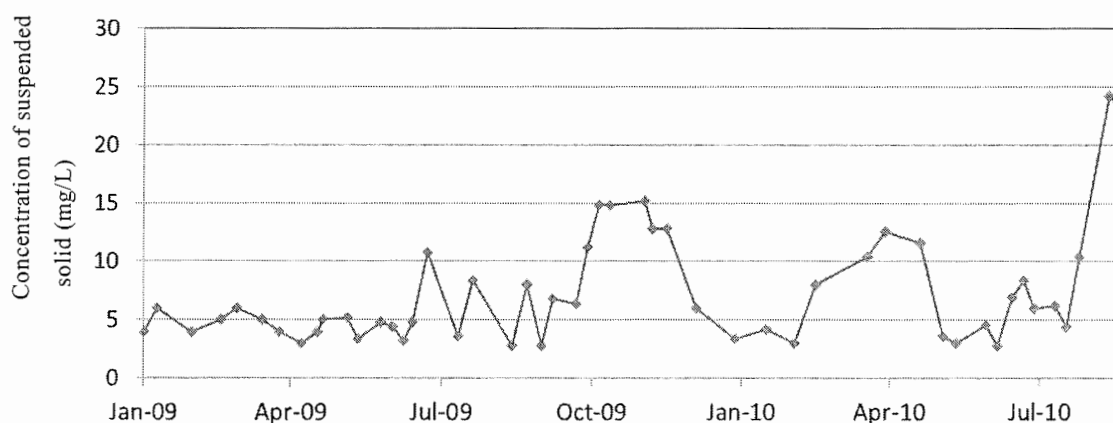


Fig.3 Monitored concentration of suspended solid in Kashiko-numa pond.
(January, 2009 – August, 2010)

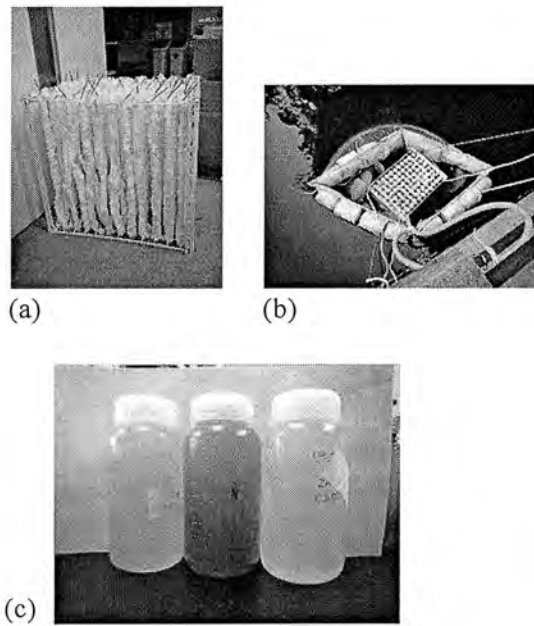


Fig. 4 (a) Prototype of equipment for collecting planktons, (b) Central mesh part(c) Appearance of pond water (left), collected plankton (middle) and filtrated pond water (right).

遊しているプランクトン自体を捕集し沼外へ排出することには沼水の富栄養化を遅らせる効果も期待できる。

そこで、Fig. 4に示すようなプランクトン捕集装置を作製し沼内に設置した。その内部の捕集用メッシュ部へ40L/minで沼水を送り込んだ。水中のプランクトン量の目安としては沼水1L中に含まれる1 μ m以上の不溶性浮遊物質量を用いている。沼の表層水の浮遊物質量は20mg/Lであったが、捕集装置出口では10mg/L、捕集装置内で200mg/Lであった。よっ

て、この装置によってプランクトンを分離捕集できることが確認された。浮遊物質の濃度から見積もと沼全体では約800kgのプランクトンが水中に浮遊していることになる。浮遊物質量の水質基準(目標値)は、1.4mg/Lであるので、現在の浮遊物質量を1/15に減らすことが求められる。今後、沼水の循環による溶存酸素量の確保、プランクトンの捕集などを組み合わせて富栄養化の改善に取り組むことが重要である。

2.3 地域との連携

賢沼と弁天川をつなぐ水路は賢沼のオオウナギにとって唯一の外洋への通路である。それゆえ、この水路が魚道として良好な状態を保っていることは、賢沼のオオウナギの持続的生息のための重要な因子のひとつである。現在でも弁天川でオオウナギが捕獲されていることから、この水路をウナギの稚魚や成魚が往来する可能性がある。しかしこの水路は両側および底面がコンクリート化されているうえに水質は魚類の生息にふさわしいとは到底考えられないほど悪いため、この水路を現状のままにしておくことが望ましいとは考えられない。現在計画中の近辺の下水道が整備されると水路の水質状況は改善される可能性もあるが、下水道の着工時期は未定である。いずれにせよ、この水路の構造の段階的改良とそこを流れる水の量と質の確保は賢沼のオオウナギの生息条件の再生・改善のためには、長期的にみて看過できない課題である。

今後の賢沼の環境再生を進めていくにあたっては、沼ノ内地区の人々との連携が不可欠であることを強く認識している。当地区の人々の賢沼のオオウナギ

Table 1 Titles of the joint work with the community residents of Taira-Numanouchi district.

No	Title	Date
1	Present conditions of Kashiko-numa pond	30-May-2009
2	Action for future of Kashiko-numa pond	27-Jun-2009
3	(Action 1) Circulate the water in Kashiko-numa pond.	25-Jul-2009
4	(Action 2) Survey the planktons in Kashiko-numa pond.	22-Aug-2009
5	(Action 3) Capture the planktons in Kashiko-numa pond.	26-Sep-2009
6	Prospects for the environmental reclamation of Kashiko-numa pond	25-Oct-2009
7	Have a gaze at the "undiscovered winter" of kashiko-numa pond.	14-Nov-2009



Fig.5 Scene of the joint work for assembling aeration tube placed in the pond water of Kashiko-numa Pond at Taira-Numanouchi community center. (27-Jun-2009)

に対する意識には現在でも並々ならぬものがあり、例えば弁天川で捕獲されたオオウナギが、その大きさゆえに食用にされずに捕獲した人の手により賢沼へ戻されるといふ風習も残っている。

元来富栄養化しやすい物理的条件にある賢沼の水質改善はもとより非常に息の長い継続的なプロジェクトであり、その実現のためには沼ノ内地区の人々と代々にわたるような協力関係を築き維持する必要がある。そのひとつとして、我々は2009年度に沼ノ内地区の住民を対象にした『賢沼の現状と水質改善方法を知る・水質を測る』という企画を実施した(6月～12月の毎月第二土曜日)。Table 1に各回のテーマを示す。福島工専ホームページ・沼ノ内地区の回覧板・公民館・小中学校の掲示板などで開催情報を公開し、毎回の参加者を募った。Fig. 5に散気管を参加者と協力して作製している様子の写真を示す。各回平均して15名ほどの参加者が集まり、水質測定、プランクトン観察、各種用具・装置の作製などの作業を協同で行った。今後ともより実りある協力の形態を模索して地域連携の強化を図っていく。

3. 賢沼の富栄養化源について

賢沼の富栄養化の主要因が何であるかは実のところ明らかではなく、それが正式に報告されたこともない。賢沼に流入する河川は以前よりない。よって、富栄養化の要因たる各種有機物の流入源として可能

性があるものは、沼の周囲の地表を洗い流してから沼へ流れ込む降水と、人為的に沼中の魚類群へ与えられる餌に限られる。これらのうちいずれが支配的要因になっているのかは現段階ではわからない。両者の量的な見積もりや調査を行ったうえで対策を取るべき対象を見定める必要がある。賢沼およびその周囲の自然環境の総体的な系時変化を詳細に把握することは困難だが、水質保全上留意すべき過去の出来事はいくつかある。沼ノ内地区の住民の中には、かつて1960年代までは沼の東西に湧水があり、かつ、沼から弁天川へ通じる水路には常時流水があったことを記憶している人がいる。湧水による清澄な水の沼への供給が水路の流れを常に確保し、さらに沼内の水質の維持に一定の効果があつたことは充分にありえることで、今後の水質の改善方法にヒントを与える。また1950年代の賢沼寺本堂の建て替えの際の伐採と1960年から1980年にかけての大規模なマツクイムシ被害により沼の周囲の山林中のマツの比率は一気に減少し、それに代わって広葉樹が繁茂するようになった。現在この経年変化を航空写真の追跡解析により解明する作業を進めている。ちなみに、沼の周辺部の樹木群は1997年に福島県により保安林に指定され、伐採などは制限されている。また、沼の流入水域は以前から人の居住、田畑などの耕作も行われていないため施肥の影響もないので、降水の沼への流入時に沼内へ運び込まれる有機物は、この保安林を形成する植物バイオマスが主起源であると考えられる。それゆえ、この保安林の広葉樹林化は流入バイオマスの増加につながっている可能性は否定できない。実際、沼の周囲の地面を掘ると落ち葉と腐葉土がそれぞれ厚さ30cm、20cm程度の堆積層を形成している。沼周辺に大量に蓄積されたこれらのバイオマスが沼水の富栄養化を促している可能性はある。針葉樹林帯が広葉樹林帯へ植性の変化は植生遷移として一般的に起こる変化である。賢沼の場合は、松の伐採とマツクイムシによる松枯れによって、この遷移が加速されたことが考えられる。いずれにせよ、今後、土壌の分析を行うなどして、賢沼の富栄養化要因を見出していくことは水質改善のための施策の立案上不可欠である。

4. まとめ

我々は長年にわたり国指定天然記念物『賢沼ウナギ生息地』の水質の継続的な調査と改善の試みに取り組んできた。本報では平成19年度以降の我々の活動の一端を報告した。賢沼の水は典型的な富栄養状態にあり、1960年代以前と比較してその魚類の生息条件は悪化したと考えられる。富栄養化の対策として、沼底に滞留した水の排出や強制循環を行ったところ、富栄養化の指標であるCOD値の有意な低下がみられた。さらに現在、栄養塩類を高濃度でかかえる水生プランクトンの濾別除去を試みている。2009年には沼ノ内地区の住民との連携プロジェクトを開始した。沼の現在の状態を説明する会や設置する装置の協同作製を行っており、今後ともこのような地域との連携を強化していきたい。

賢沼には都市廃水が流れ込むことはないにもかかわらず富栄養化が進行した理由は現段階では確定できていない。富栄養化の進行の要因を突き止めることも今後の活動の成功のためには必須である。今後、賢沼とそれをめぐる区域における有機物の主要フローをつきとめながら、富栄養化の進行阻止に効果的な施策の模索と実行が重要である。

謝 辞

この取り組みに対して日本科学振興財団地域活動支援事業の助成を頂きました。賢沼、沼ノ内地区における活動では、賢沼寺村上正明住職と奥様、沼ノ内区長遠藤欽也様はじめ役員の皆様、地域の皆様からご協力を頂きました。いわき市立豊間小学校、豊間中学校、中央台北中学校、いわき市教育委員会、いわき市総合教育センターからご支援を頂きました。御礼を申し上げます。

文 献

- 1) 国指定文化財データベース
<http://www.bunka.go.jp/bsys/>
- 2) いわき市教育委員会：賢沼ウナギ生息地調査報告書（1986）
- 3) いわき市教育委員会：国指定天然記念物賢沼ウナギ生息地調査報告書 平成10-12年度
- 4) 大波利彦・菅波宏平：福島工業高等専門学校 平成21年度卒業論文