

ため池の富栄養化に伴う水質変動現象の分析

村松 隆*・早坂智恵**・岩崎祐佳**・千葉雅子**・見上一幸*

Analysis of Water Quality Variation Phenomena with Eutrophication of Reservoirs

Takashi MURAMATSU, Chie HAYASAKA, Yuka IWASAKI, Masako CHIBA
and Kazuyuki MIKAMI

要旨：仙台市青葉山にあるため池と市内住宅地に囲まれた丸田沢ため池の水質の季節変化を調べた。いずれのため池からも、生物活動に起因する顕著な水質変動現象が観測された。この変化は、ため池によって様相が異なり8月から10月にかけて最も顕著である。ここでは、無機イオン、有機汚濁指標、富栄養化項目（窒素態、リン態、クロロフィル）の分析結果に基づき、ため池の水環境について検討した。

キーワード：ため池、富栄養化、クロロフィル、有機汚濁

1. はじめに

ため池は、一般的な河川や湖沼と異なって、周囲環境（地質、気象、植生、土地利用等）の影響を強く受けた「水塊」である。棲息する生物が多様で個体数も多いことから、学校教育の中では、生物採集や生態観察などに利用されている。一方、ため池の水質調査による環境学習の実践例は、生きもの調査に比べるとかなり少ない。これは、水温、pH、溶存酸素などの一般的な水質指標が種々の環境因子によって影響を受け、結果の解釈が難しくなるためである。しかし、水質項目の中で、有機汚濁指標と富栄養化に関する項目は、原因の特定が容易であり、ため池水中の動植物との関係も理解しやすい。ここでは、環境教材としてのため池の活用を目的として、仙台市青葉山の自然の中で利用管理されているため池と、市内住宅地に囲まれた丸田沢ため池について、富栄養化に着目した水質の季節変化を調べた。

2. 水質調査項目

調査対象としたため池は、仙台市青葉区郷六地区の青葉山にあるため池 a, b, c (図1) と仙台市泉区上谷川の住宅地区にある丸田沢ため池である。調査は平成

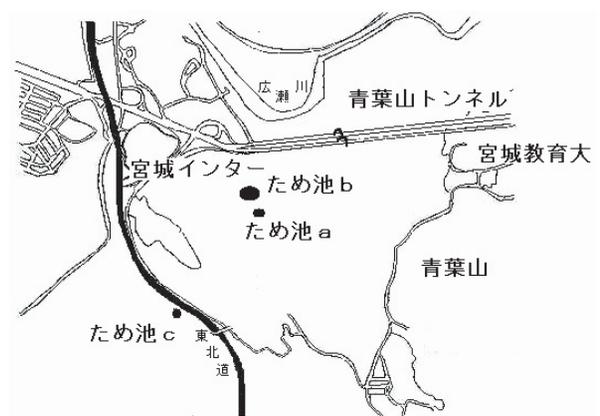


図1 調査ため池

15年6月から12月まで行った。測定項目は、無機イオン (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NO_3^- , NO_2^-)、化学的酸素要求量（酸性過マンガン酸カリウム法）、生物化学的酸素要求量、窒素態（アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素、全窒素）、リン態（全リン）、クロロフィルである。

3. 水質調査結果

3-1. 無機イオン

ため池水中の主要な無機イオンは、ナトリウムイオン、カルシウムイオン、塩化物イオン、および硫酸イ

*宮城教育大学環境教育実践研究センター，**宮城教育大学教育学部

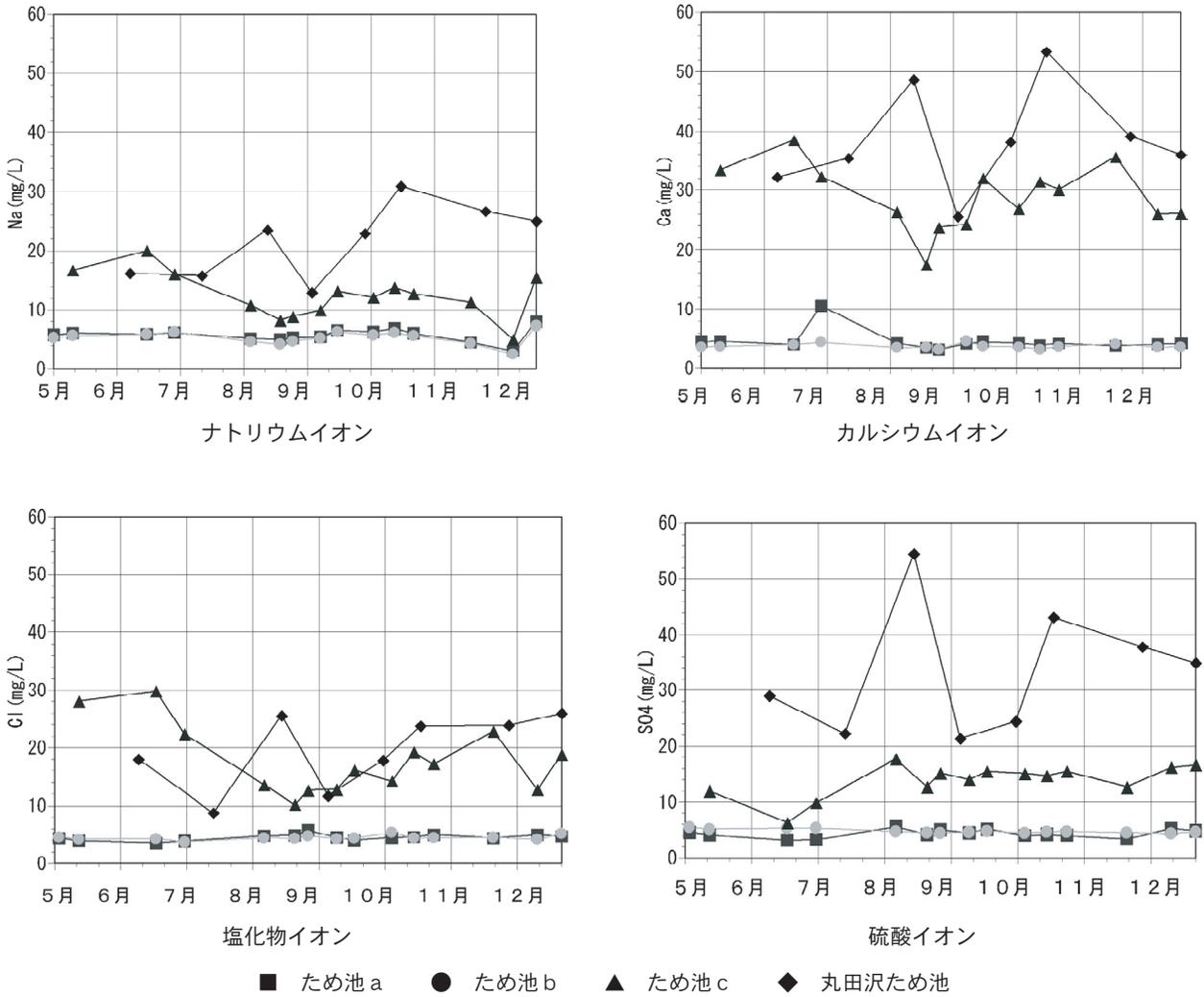


図2 ため池水中の主要イオン

オンの4種類である(図2)。特に、青葉山のため池a, bの水質はよく類似しており、ため池cと丸田沢ため池に比べるとイオン濃度は低値になっている。ため池a, bは、湧水源が同一で地下水が短時間の間に貯留した水塊であり、ため池cは、湧水が河川として流下し生じた水塊である。ため池cは、水塊を形成するまでの途中の流れの中で、表面土壌質の溶解によりイオン濃度が高くなっている。丸田沢ため池では、特に、カルシウムイオンと硫酸イオンの濃度が高く、ため池周辺に敷設されている水路(護岸コンクリート)による影響が現れている。

図3はイオン分析で求められたカルシウム濃度とマグネシウム濃度を用いて算出した硬度の変化を示したものである。ため池cの硬度はため池a, bの硬度に比べて高値で、丸田沢ため池の硬度に匹敵する値を有し

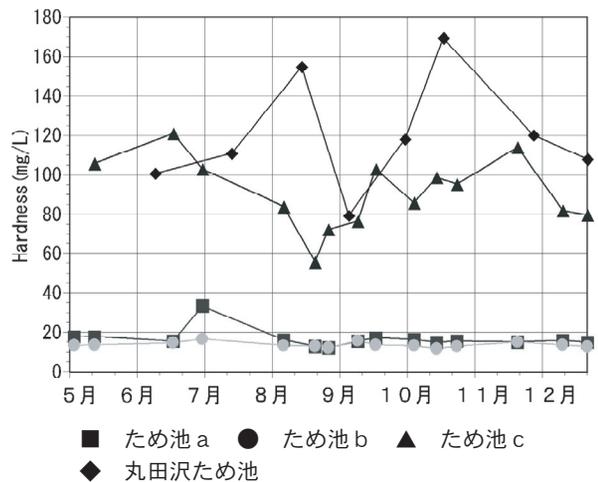


図3 ため池の硬度

ている。

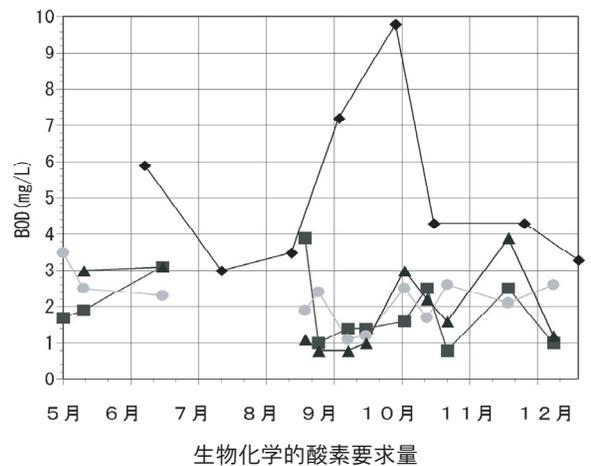
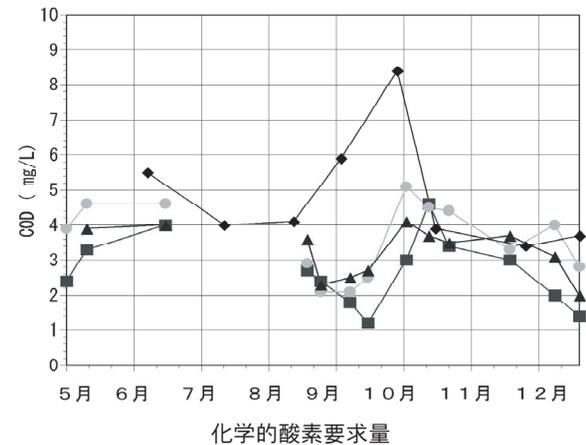
3-2. 化学的酸素要求量と生物化学的酸素要求量

ため池の化学的酸素要求量(COD)と生物化学的酸

素要求量 (BOD) の変化を図4に示す。COD の変化を見ると、5月から8月までの時期は、いずれのため池もおよそ 4mg/L 付近の値で推移するが、8月中旬から10月の時期は、青葉山のため池と丸田沢ため池では、異なった変化をみせる。青葉山ため池では、9月頃に COD 値と BOD 値が極小化するが、丸田沢ため池では逆に極大化している。一般に、COD が変化する原因として、ため池への湧水量が一時的に大きく変化する場合と、水中に棲息する動植物による有機物の固定化や水中生物の腐乱分解が急速に進行する場合が考えられる。調査したため池とその周囲の外形的観察からは、ため池水の蓄積量が概ね一定で、流入量と流出量もほぼ定常化していることから、一時的な希釈が原因とは考えにくい。むしろ、ため池水中生物による食物連鎖の過程の中で、微小生物の固体数の一時的増加 (有機汚濁指標値の増加) や上位捕食者による固定化 (有機汚濁指標値の減少) が、有機汚濁指標値の変化として現れたものと思われる。例えば、丸田沢ため池での図4にみられる有機汚濁の変化は、一次生産者である植物性プランクトンの増加に伴って動物性プランクトンが増殖し、秋頃に動物性プランクトンの腐乱分解により COD と BOD が高値化したものと推測できる。いずれのため池でも、生物活動の活盛期を過ぎた秋から冬にかけて有機汚濁は低下し、およそ一定の値に到達する。水質の汚濁・浄化は、ため池の自然環境の急激な変化が無い限り、毎年類似したパターンで観測されることになる。

3-3. 窒素態

硝酸性窒素、亜硝酸性窒素、アンモニア性窒素の測定結果を図5に示す。この3種類の窒素態は、ため池水中における生物分解・吸収と深く関係しており、ため池へ流入した有機窒素化合物が好氣的雰囲気の中で微生物分解され、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、次いで硝酸性窒素へと酸化分解されていく過程の中で検出されるものである。図5から分かるように、ため池cでは、硝酸性窒素濃度がため池a,bの値に比べて高くなっている。このことは、ため池cで微生物による酸化分解が活発に起こっていることを示している。硝酸性窒素濃度の追跡測定から、丸田沢ため池>ため池c>ため池a>ため池bの順に、ため池水質に及ぼ



■ ため池 a ● ため池 b ▲ ため池 c
◆ 丸田沢ため池

図4 ため池の有機汚濁指標

す生物的影響が低下していくことが分かる。

8月から9月の時期のため池cと丸田沢ため池の硝酸性窒素の変化を比較すると、ため池cでは、濃度が高くなり、丸田沢池では逆に低くなっている。このような硝酸性窒素の変化は、前節で述べた COD と BOD の変化とよく対応している。全窒素の測定値から硝酸性窒素とアンモニア性窒素を差し引いて有機窒素化合物の濃度を求め、その時期変化を調べてみると (図6)、ため池cでは、8月から9月にかけて硝酸性窒素濃度の増加に対応して有機窒素化合物の濃度が高くなっていることが分かる。ため池cでは、有機窒素化合物の供給量の増加 (主に水生植物に由来すると考えられる)

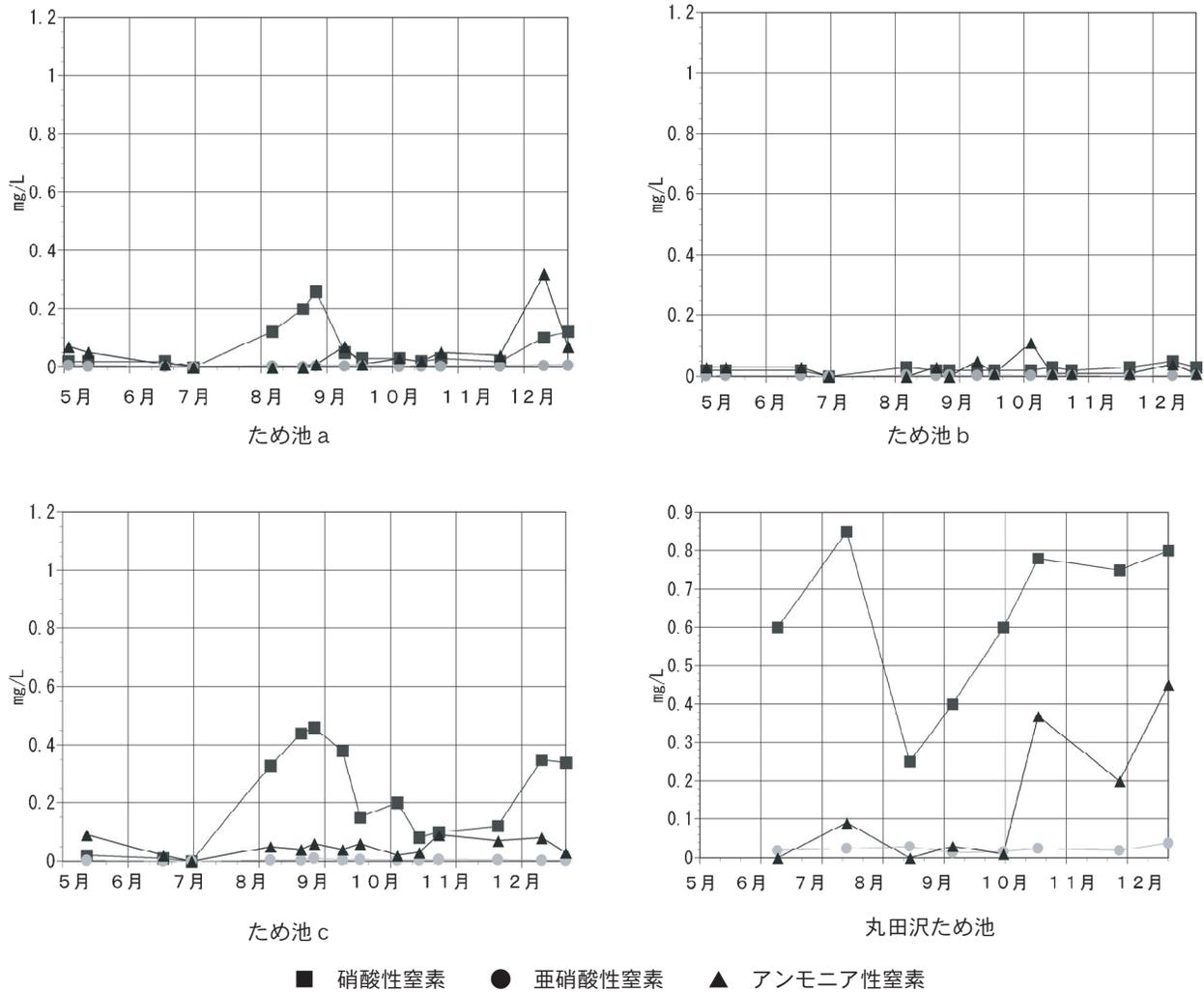


図5 ため池の窒素態

に伴って好気性の微生物分解が活発化し、最終産物である硝酸イオンが増加している。一方、丸田沢ため池では、硝酸性窒素濃度の増加に伴って有機窒素化合物濃度が減少しており（図6）、水中に有機窒素化合物が蓄積されない程度に好気性分解が活発に行われていることが分かる。

3-4. クロロフィル、全窒素、全リン

自然のため池水中のリンは、主に植物とため池を構成する鉱物質に由来したものである。青葉山と丸田沢のため池では、リン化合物の濃度は一年を通じて大きく変化せず、全リンは全窒素に比べておよそ1/5以下の濃度になっている。リン化合物が水生植物によって効率よく吸収されていることを示している。ため池におけるリン濃度がおよそ一定な低値を保つことは、ため池における植生がリン濃度に支配され、植物の吸収

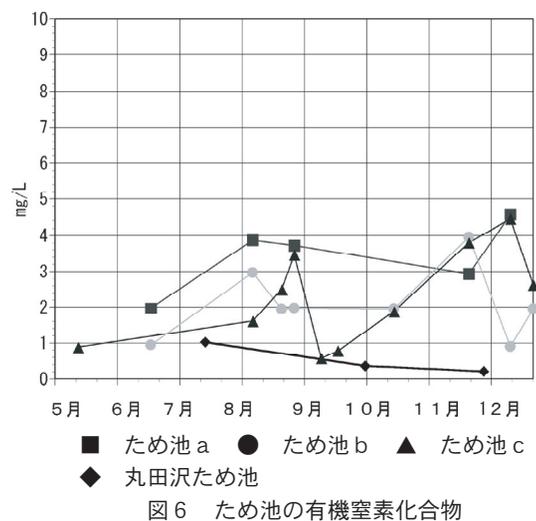


図6 ため池の有機窒素化合物

によるリンの減少分がため池低土質から定常的に供給されていることを意味している。

全窒素、全リンの変化に比べると、クロロフィルは

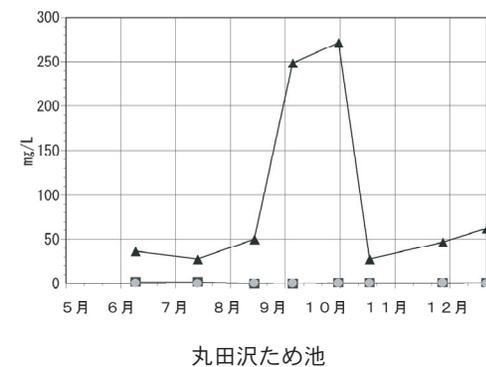
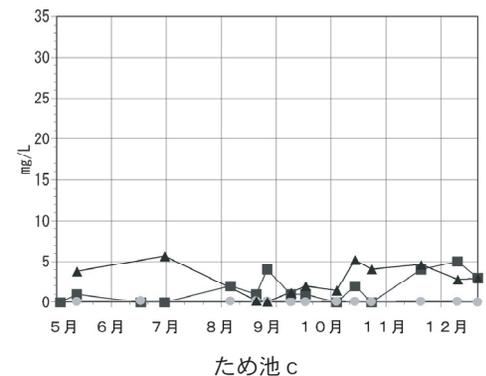
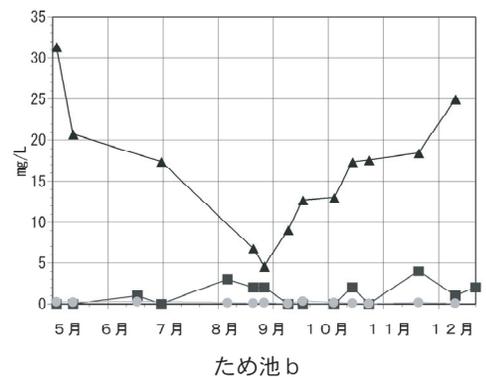
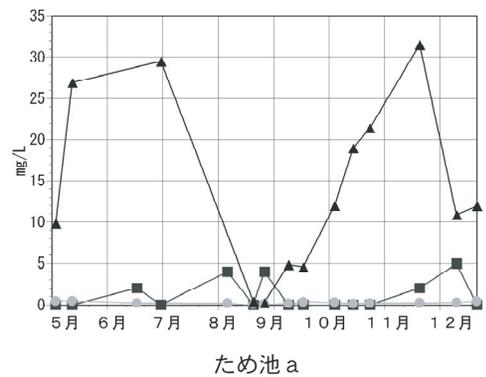
顕著な変化をみせる。クロロフィルは植物性プランクトンに含まれる光合成色素であり、濃度が高いほど水中に多くの植物性プランクトン（ため池の場合にはらん藻類と緑そう類）が存在することになる。ため池 a とため池 b では、8月から9月にかけてクロロフィル濃度の大幅な減少がみられる。ため池 c はクロロフィル濃度が低く顕著ではないが、8月から9月にかけてクロロフィル濃度の低下傾向も認められる。一方、丸田沢ため池では、青葉山ため池の場合と異なって、9月から10月頃にクロロフィル濃度の急激な増加が起こっている。

クロロフィルと全窒素の関係を見ると、青葉山ため池では、8月から9月にかけて、全窒素の増加に対応して、クロロフィル量が少なくなっている。全窒素の中で硝酸性窒素の占める割合が大きいので、植物栄養塩類が多く存在するにもかかわらず植物性プランクトンが少ないことになる。つまり、青葉山ため池では、食物連鎖によって植物性プランクトンが上位の生物種（たとえば動物性プランクトン）によって捕食されていることを意味している。ため池 c ではこの効果が最も顕著に現れている。一方、丸田沢ため池の場合は、青葉山ため池とは全く異なった変化をみせる。丸田沢ため池でも青葉山ため池の場合と同様の食物連鎖が成立していると考えられるが、むしろ植物性プランクトンは増えている。丸田沢ため池では、図4から分かるように8月から10月にかけて有機汚濁物質濃度が高くなっており、食物連鎖のバランスがくずれた、いわゆる短期的な富栄養化が急激に進行したものと考えられる。

4. 環境教材としてのため池の水環境

青葉山ため池も丸田沢ため池も完全な停滞水系では無く、基本的には停滞性のある流水系である。水の入れ替わりは起こっていると考えられるが、ゆっくりとしている。本研究では、青葉山の自然の中にあるため池と人為的影響の大きい丸田沢ため池の水質の比較検討し、水の富栄養化に及ぼす要因について検討した。ため池の水質調査から、以下のことがまとめられる。

(1) いずれのため池からも、明瞭な水質変動現象が観測された。この水質変化は8月から10月にかけて最も顕著で、化学的酸素要求量、硝酸性窒素濃度、



■ 全窒素 ● 全リン ▲ クロロフィル

図7 ため池の富栄養化項目

クロロフィル濃度の測定で明瞭に確かめることができる。

(2) ため池の水質変動現象は、ため池に流入した有機物や植物栄養無機塩類の食物連鎖過程における生物の吸収と分解放出の季節変化がもたらしたものである。ため池水質に及ぼす人為的影響は、水中生物の食物連鎖のくずれによる自然の現象変動に対して正の効果(汚濁化)や負の効果(固定化)として現れる。自然の中に放置されている青葉山のため池の富栄養化は、水中に溶解している少量の生分解性物質を利用して緩やかに進行するが、丸田沢ため池では、青葉山ため池と対照的に、人為起源の有機汚濁物質の流入により、急速な富栄養化が進行している。両者のため池の富栄養化現象を対比することで、自然に対する人的負荷の影響を学びとることができる。

(3) ため池の富栄養化現象が環境教育実にて役立つ素材となることが確かめられたので、学校の生徒による分析手法の確立が必要となる。化学的酸素要求量は市販の簡易測定を併用すればよいが、富栄養化現象を明瞭にとらえるクロロフィル測定は、必ずしも学校現場で利用できる状況にはない。現在、著者の研究室では、発光ダイオードを用いてクロロフィル蛍光光度計を自作し、高等学校の環境教育実習や小学校の総合学習の時間における環境学習活動の場で活用している。自作蛍光光度計は、安価に製作でき、操作も簡単で短時間に定量結果を得ることができるので、学校現場での環境学習や実習での有効利用が可能である。

「クロロフィル蛍光光度計の試作と学校環境学習への活用法」については、あらためて報告する予定である。

この研究報告は、環境教育実践研究センタープロジェクト研究(平成14年・15年度)「湖沼の環境教材への有効利用に関する基礎研究」の一環として行われたものである。丸田沢ため池の水質調査は、仙台市環境局公園課の協力を頂いた。

参考資料

- (1) 中村道徳, 生物窒素固定, 1980, 学会出版センター
- (2) 日本分析化学会北海道支部編, 水の分析, 1990, 化学同人.
- (3) 巖佐耕三, 藻類の生物学, 1976, 東京大学出版会.
- (4) ため池の自然談話会編, 身近な水辺 ため池の自然学入門, 1994, 信山社サイテック.
- (5) 浜島繁隆・土山ふみ・近藤繁生・益田芳樹・ため池の自然, 生きものたちと風景, 2002, 信山サイテック.
- (6) 日本薬学編 衛生試験法・注解, 1990, 金原出版.
- (7) 林孝三 植物色素 実験・研究の手引, 1980, 養賢堂.