

大東文化大学大東池における珪藻の 季節変化について

中井睦美, 佐藤友美

The Diatom seasonal variation in Daito pond, Daito-Bunka University, Saitama Prefecture, Japan.

Mutsumi Nakai and Tomomi Satoh

The diatom population in Daito pond has changed clearly. This increased from December to June, and decreased from August to November. In August, many plants of water chestnut covered over Daito pond, and the sunray did not reach on the water surface and in the pond water, therefore the diatom population decreased in August. The diatom population living around the water surface is sensitive against the sunshine. The physical and chemical properties of water of Daito pond showed the seasonal changes. The diatom population increased during increasing the quantity of inorganic phosphorus, and decreased during decreasing the quantity of inorganic nitrogen.

1. はじめに

珪藻は、水棲植物プランクトンであり、その種構成や個体数は、住む環境によって変化することが知られており、環境指標生物としても知られている。また、食物連鎖の生物ピラミッドの底辺となるプランクトンとしても知られており、その個体数の増減は他の生物と深く影響しあう。珪藻は、光合成が可能であれば、自然界のほとんどの水域に生存すると言っても過言ではない。そのため、現在の水域の環境指標生物として使用されるだけでなく、地質時代の示相化石としても使用されている。一方で、珪藻の個体数は、太陽光の量変化や水温によっても変化し、季節変化もする。

本研究では、大東文化大学東松山キャンパス中央部にある通称「大東池」の珪藻個体数の変化について、水質検査と同時にほぼ1ヶ月おきに1年間調査した結果を分析した。上述のように珪藻は環境指標生物として扱われているため、湖沼や海域での調査に使用される事が多く、狭い池での変化を追った研究はそれほど報告されていない。「大東池」のような分布域が狭く、水深が浅く、生

活と極めて密着した池での調査報告は少ない。そういった意味では、本研究は、珪藻を使用した環境分析をするにあたって考慮すべき、情報の一つになると考えられる。

2. 珪藻とその環境による変化について

珪藻は単細胞の光合成生物で、種類が多く、約2万種が記載されている(南雲他, 2000)。珪藻の個体は、100分の1mmから10分の1mmの大きさなので、比較的高倍率の光学顕微鏡でしか観察できない。弁当箱状の互いに入れ込まれる殻から形成されているが、その殻の形は様々で、表面には様々な模様があり、大きさや形が極めて多様である。その違いにより種類は分類することができる(野尻湖ケイソウグループ, 2000)。この殻はシリカ(SiO_2 の化合物)でできており、化学的に比較的安定でありかつ固いので、化石としても残りやすい。最古の珪藻殻といわれているのは、ジュラ紀初期のものであり、白亜紀以降に多くの種が増加した(Howard 他, 2007)。珪藻は、水温によって種構成が変化し、形態も変化する。従って、種が入れ替わる時期は、地球規模で起こった寒冷化の段階と同時期であるとも言われる(Howard 他, 2007)。水温による種構成の変化から、高緯度と低緯度の珪藻群集は始新世後期から漸新世にかけて分化しはじめ、中新世の末期には再び地域性が強まった(Howard 他, 2007)。一般に珪藻は水温が低い方が繁栄するが(個体数が増加する)、氷期の最盛期には、活発化した表層水の循環や湧昇流、栄養塩類の増加によって、個体数の著しい増加を見せたといわれている(Howard 他, 2007)。個体数が増加することによって、珪藻の殻はどんどん薄くなったが、その要因は、骨格中のシリカの需要を減らすことによって、表層水中の乏しい珪酸塩をめぐって、しだいに加速する競争に適応していったと思われる(Howard 他, 2007)。南極域でも珪藻の個体数は極めて多く、海棲動物の重要な食料となっているが、殻は極めて薄く化石分析のための処理に工夫がいる(中井・菊地, 2010)。

珪藻は、水域ならば、ほぼどのような所にも生息するが、淡水域と海水域・汽水域では、種構成が異なる。塩分の濃さによってすみ分けがされているが、淡水でも環境の違いですみ分ける。また、流水域と止水域とでも種類が異なり、一方で、どちらでも生きていける種類もある。固着している種類の珪藻は「付着性種」であり、浮いて生活している珪藻は「浮遊性種」、水底の表面などにいる珪藻は「底性種」と呼ばれている。

以上の様な事から、珪藻の種構成変化は、水温、水流、塩分濃度、栄養塩などの量変化で、敏感に変化する可能性がある。また、珪藻の個体数は、水温、光量、水質などにより敏感に変化する。個体数は、季節変化もすると言われている。一般の水質調査は、数物的に調べて判定する物性的な方法と、そこに生息する生物種の構成や個体数を調べて判定する生物学的方法があるが、物性的分析は、即効的な物質量的変化を環境変化として感知することができるが、季節だけでなく一日の時間帯によっても、大きく変動する。そのため、物性的観測の場合は、連続的あるいは複数測定を行い、平均的なデータを出すには、統計的処理をしなければ求められないが、生物学的判定は、水質変化とタイムラグはあるが、長期的な水質の変化の傾向を的確につかむことができる。何よりも、

水質変化環境変化の生物まで影響する変化というものについて、感知できるという特性がある。一方で、前述のように、珪藻では、同じ環境でも季節変化をするということが上げられているので、その限界も見極める事が、将来の珪藻種をもちいた環境判定には必要である。

珪藻の季節変化の要因は、単純に一元化する事はできないが、海域の沿岸部での珪藻の季節変化は、富栄養化による赤潮などの環境変化としてとらえる事が可能である。鎌谷他(2000)は、1993年5月から1994年9月にかけての春から夏にかけて、相模湾における栄養塩類の分布と季節変動と珪藻について調査を行った。この調査の結果、栄養塩類の季節変動の幅は深層では小さく、表層の有光層では大きく、有光層内での変動幅は、沖合よりも沿岸部において、より顕著であることが判明した。このように、沖合と沿岸部とでは変動幅が異なる原因は、沖合に比べ沿岸域で栄養塩類を豊富に含む河川水や東京湾水の流入の影響と珪藻などの生物活動によるものであると推定された。流入の多い沿岸部では珪藻類の増殖に必要なケイ酸が豊富であったため、有光層では珪藻の季節変化による生物活動の影響が出たと考えられる。長副他(2009)は、有明海奥部、塩田川河口海域の調査で、珪藻類が急速に増殖し、かつ高密度に達するためには、栄養塩類の供給後に3日間連続の晴天(日平均全天日射量:20Mj/m²以上)が必要であることを報告した。この例は、富栄養化だけでなく、気象条件が珪藻の増殖に大きく影響を与えていることを示すよい例である。沿岸部の富栄養化や赤潮の問題は、漁業と密接な関係があるが、本研究で行っている様な、閉じた水域での珪藻の季節変化は、これらとはまた異なる観点で観察されるべきである。

3. 調査方法

珪藻の季節変化を観察する淡水の比較的閉じた水域(常に流水が流れていない)として選択した調査場所は、大東文化大学東松山校舎の貯水池(通称、大東池)である。貯水池は県道より北側の敷地内に降った雨水が溜められており、川や沼が増水、氾濫することを防ぐために設けられている。図1にあるように、上位の池(写真手前)と下位の池(写真向こう側)の2つの池に分かれているが、両者はつながっており、上部から下位へと水が流れている。水深は季節と部位によって異なるが、数10cmから250cm程度である。また、この池は一時期著しく水質が悪化したため、大東文化大学環境創造学部の白山教授の指導により上位の池に納豆菌が投入され、浄化作用に役立っている。



図1. 大東文化大学東松山校舎の貯水池(2012.1.26)

筆者らは、2011年10月から2012年8月までの期間に、珪藻と水質について、計10回の調査を実施した。

珪藻は肉眼では観察不能であるため採取方法と採取位置を定めるという方法で池から直接採取をおこなった(詳細は後述)。

また、本調査では珪藻の増殖と化学的要因の関係を推定するために、パックテストを用いて栄養塩類やpHなどの化学的項目を珪藻採取と同時に測定した。水質の調査項目は気温、水温と、COD(残留酸素濃度)、COD(D)(低濃度残留酸素濃度)、BCG(酸性雨水素イオン濃度)、pH(水素イオン濃度)、ClO⁻・DP(残留塩素遊離)、PO₄³⁻(リン酸塩)、PO₄³⁻-P(リン酸塩態リン)、NO₂⁻(亜硝酸)、NO₂⁻-N(亜硝酸態窒素)、NO₃⁻(硝酸)、NO₃⁻-N(硝酸態窒素)、NH₄⁺(アンモニア)、NH₄⁺-N(アンモニア態窒素)の12項目である。気温、水温以外の水質調査は、パックテストを用いて測定した。使用したパックテストは共立理化学研究所製である。

(a) パックテストの示す指標について

パックテストでの調査項目について、それぞれの作用や意義、水質評価の目安などを、パックテストの説明書をもとにまとめると以下ようになる(共立理化学研究所)。

COD(化学的酸素要求量): 水中にある物質、主に有機物が酸化剤によって酸化や分解される時に消費される酸素量。湖沼・海域などの停滞性水域や藻類の繁殖する水域の有機汚染の指標とされる。本調査池は、停滞性水域にあたるので、COD値が高いということは、水中に酸素と反応しやすい物質が多く入っていることを示す。河川や湖沼水の場合には、すぐ近くに生活排水や汚水が流れ込んでいる可能性がある。COD値が高いと水中の酸素が消費されやすいため、特に湖などの流れのない場所では、酸素不足になり魚がすめなくなる。また、自然の浄化作用も低下している。河川や湖沼水の水質評価の目安は、0ppmはとてもきれい、2~5ppmは比較的きれい、5~10ppmはやや汚れている、10ppm~は汚れている、となる。

BCG(酸性雨用pH): 一般的にpHが5.6より低い雨を酸性雨という。工業や車の排気などを原因とする硫酸や硝酸を含んだ雨が酸性雨として降ってくると、植物の葉を枯らす。さらに、土は酸性土壌となり、有害な金属が溶けだして植物の根を傷め、木を枯らす。水中の生物にも、多大な影響を与える。

pH(水素イオン濃度指数): 水の酸性、アルカリ性の程度を0~14の数値で示すものである。7が中性、7未満の数値が酸性、7より大きな数値がアルカリ性となる。水道水の場合は、ほとんどがpH6.5~7.5の中性付近である。河川や湖沼のpHも特殊な例を除いては中性付近であるが、自然界の水域の水は、空気中の二酸化炭素を取り込むので若干酸性となる。陽が当たる水面では、植物の炭酸同化作用(光合成)で植物が炭酸を吸収するためpHが高くなり、アルカリ性となる。夜は反対に、炭酸を放出するため、pHは低くなり酸性となる。したがって湖などの表層のpH測定時には気候の記録も必要である。つまり季節変化するものである。

ClO⁻・DP (残留塩素 (遊離)) : 水道水中に残っている消毒用の塩素のことである。残留塩素があると、特有のカルキ臭がある。残留塩素があるということは、飲料水が十分に消毒されていることを意味する。塩素が残っている水は、人には飲めても魚には有害である。本調査域は生活圏に密着しているので、水道水が混入する可能性はある。

PO₄³⁻ (リン酸イオン) : 水中の無機態リンの一つの代表的な形態である。リンは植物や食べ物のかす、肥料などから生じ、溶解や分解によって、無機態リンや有機態リンのように形を変えながら移動し、植物に吸収されたり、土壌に吸着されたりする。富栄養化の一つの指標である。

PO₄³⁻-P (リン酸態リン) : どの程度水が汚れているかがわかる指標である。PO₄³⁻-P の値が高いということは、生物の分解、生活排水の流れ込みなどが多いことを示す。PO₄³⁻-P は一般的に水中にはわずかしこ存在しないが、植物の育成には重要である。池や湖、内海などの閉鎖された水域では、生活排水、工場排水、農業肥料などから植物の栄養素である窒素やリンなどが流れ込み溜まる。さらに日光をあびると、藻類、植物プランクトンが爆発的に増加する。やがて、植物は枯死しその腐敗過程で窒素やリンが水中へ放出される。このようなサイクルにより、栄養塩類が急速に増加する状態を富栄養化という。富栄養化の結果、魚類の種の変化や大量死、悪臭の発生などが起こることもある。河川や湖沼水の評価の目安としては、～0.05ppm がきれいな水、0.05～0.2ppm が少し汚染のある水、0.2ppm ～が汚染がある水となる。

NO₃⁻ (硝酸イオン) : 窒素類の化学変化途中の状態にあるものを示す。

NO₃⁻-N (硝酸態窒素) : この値が高いということは、以前は生活排水などが多かったことを示している。里山地域などでは肥料などが混入していることもあるが、地質学的要因で値が変わることもあり、直接水質汚染とは関係ない場合もある。NO₃⁻-N の値が高いと、飲料水には不適となり、さらに富栄養化現象である藻類や植物プランクトンの異常繁殖の原因となる。河川や湖沼水の評価の目安としては、0.2ppm 以下がきれいな水、0.5～1ppm が少ない、1～2ppm が普通、5ppm ～が多い、となる。

NH₄⁺ (アンモニウムイオン) : 窒素類の化学変化途中の状態にあるものを示す。

NH₄⁺-N (アンモニウム態窒素) : この値が高いということは、生活排水からの汚染源が近いということを示す。工場排水や田畑からの肥料分の流入も考えられる。NH₄⁺ 自体は衛生上無害であるが、井戸水から検出される場合には、その水が病原生物に汚染されている可能性がある。水中のアンモニアは pH がアルカリ性になるほど、NH₄⁺ が NH₃ に変化していく割合が増え、魚への毒性が

強まる。河川の湖沼の pH は光合成の影響で日中、pH9 近くまで上昇することがあり、この場合はアンモニウム濃度が高くなって魚にとって非常に危険である。河川や湖沼水の評価の目安としては、0.2ppm 未満が比較的きれい、0.2～0.5ppm がやや汚れている、0.5～2ppm が汚れている、2ppm へがひどく汚れているとなる。

上述の水中に流入した有機物に含まれる窒素やリンは、微生物により分解され、無機物になり形を変えるが、窒素やリンそのものは減少しない。無機物の窒素やリンは珪藻の様な植物プランクトン（一次生産者）に摂取され、プランクトン体内で有機物に変化する。プランクトンは二次生産者に捕食され、有機物となる。一方では、植物プランクトンのまま枯死し、有機物に回帰し、再び微生物により分解される、というサイクルを繰り返す（国土交通省 HP）。このサイクルのバランスが崩れると、有機物汚染と同様の現象がおこる。

(b) パックテスト調査法

パックテストは、まず試薬の入っているポリチューブ先端のラインを引き抜き、チューブ内の試薬が目などに入らないよう穴を人のいない方向に向け、指先でチューブ内の空気を追い出す。穴を紙コップにくんだ検水の中に入れ、半分くらい水を吸いこませる（図 10-c）。数回振り混ぜ、指定時間後に検水の変色を標準色上にのせ比色する。そこに示された数値を記録する。各種類の測定目盛、測定時間、変色の過程を表 1 に示す。色の濃淡で判定するので、判定に個人差があるので、で

表 1. パックテストの測定目盛と測定時間、変色の経過（パックテストの説明書から）

	測定目盛（単位）	測定時間	変色の経過
COD	0・5・10・13・20・50・100 (ppm)	5分	赤→紫→緑→黄
COD(D)	0・2・4・6・8以上 (ppm)	5分	赤→紫→緑
BCG	pH3.6～6.2 (0.2間隔で14段階)	20秒	黄→緑→青
pH	pH5.0～9.5 (0.5間隔で10段階)	20秒	橙→緑→青
ClO ⁻ ・DP	0.1・0.2・0.4・1・2・5 (ppm)	10秒	無→淡桃→桃
PO ₄ ³⁻	0.05・0.1・0.2・0.5・1・2 (ppm)	5分	無→淡紫→紫
PO ₄ ³⁻ -P	0.02・0.05・0.1・0.2・0.5・1 (ppm)	5分	無→淡紫→紫
NO ₂ ⁻	0.02・0.05・0.1・0.2・0.5・1 (ppm)	2分	無→淡桃→赤紫
NO ₂ ⁻ -N	0.005・0.01・0.02・0.1・0.2・0.5 (ppm)	2分	無→淡桃→赤紫
NO ₃ ⁻	1・2・5・10・20・45 (ppm)	3分	無→淡桃→赤紫
NO ₃ ⁻ -N	0.2・0.5・1・2・5・10 (ppm)	3分	無→淡桃→赤紫
NH ₄ ⁺	0.2・0.5・1・2・5・10 (ppm)	5分	無→青
NH ₄ ⁺ -N	0.2・0.5・1・2・5・10 (ppm)	5分	無→青

きれば同じ人間が判定した方が良い。この研究では、佐藤友美が測定を担当した。

(c) 珪藻分析法

珪藻分析方法は、野尻湖ケイソウグループ (2000)、南雲ほか (2000)、真山 HP (2012 確認) を参考にしておこなった。珪藻の個体数についても議論したいため、処理は基本的に定量処理でおこなった。

試料採取は、毎回 2 種類を採取した。一つは、貯水池の表面の水を取り、試料ビンに移し入れた。もう一方は、貯水池の底面や側面のヌルヌルとしたものをスプーンで削り取ったものを、試料ビンに採取した。ビン内で珪藻が増殖しないように、薄めたホルマリンを数滴滴下し珪藻を固定し、試料ビンには、採取日と試料の種類を明記した。

固定した試料は、クリーニング処理をし、ケイ酸質の殻だけを残す。クリーニング処理は、次の方法で行った。クリーニングに際して注意したのは、定量処理をする事である。ピペットで遠心管に 5mL の試料を入れ、1 日静置し珪藻を沈殿させる。上澄みを吸い取り、試料と同量のパイブ洗浄剤 (アルカリ洗浄剤) を加える。充分攪拌した後、15 分静置する。この間試料と洗浄剤が良く反応するように数回攪拌する。15 分たったら蒸留水を加えて、遠心分離機にかけて残留した個体を沈殿させ、上澄みをすてる。これを 3 回繰り返す。

濃集した試料から、プレパラートを作成する。プレパラートの作成には、ホットプレートを用いた。カバーガラス (18×18mm) を 100°C に温めておいたホットプレートに置き、0.5mL の試料を注射器でとり、カバーガラスに滴下する。加熱して充分乾燥させた後、プレパラートを封入する。爪楊枝を使い、スライドガラスに封入材マウントメディアを少量おとし、カバーガラスをかけて封入した。

珪藻の観察は、光学顕微鏡を用いて、プレパラートの左端から、視野全体にある珪藻の個体数を数えた。珪藻は円柱状、円型、長楕円型、その他の四つに分類し、円柱型、円型、長楕円型の 3 種類の合計が 500 になるまで数え、列の途中で 500 になった場合は、その列の最後まで数えた。珪藻の個体数と数えた列数から、プレパラート全体の珪藻個体数を計算した。

4. 調査結果

(a) 気温・水温

試料採取時、および水質調査日には同時に、水温気温も測定した (図 2)。

気温は 1 月が最も低く 8°C、7 月が最も高く 31°C であった。水温は気温の変化に少し遅れるように変化し、1 月が最も低く 4°C、7 月が最も高く 29°C であった。

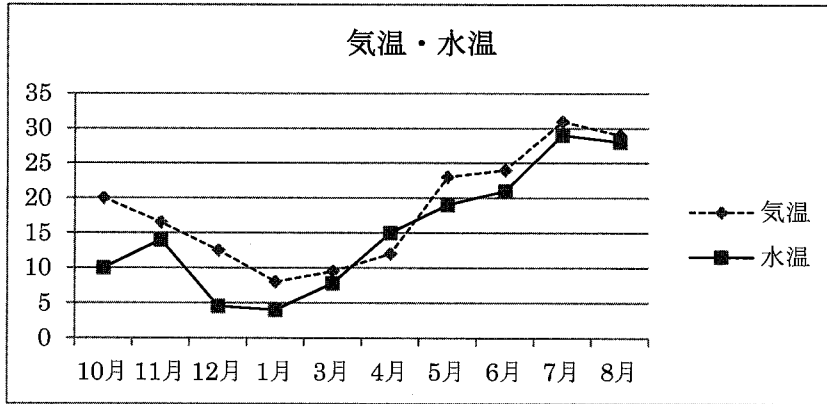


図2. 測定日の気温と水温 (縦軸は温度 °C)

(b) 水質検査結果

水質検査のバックテストの結果を図3～14に示す。

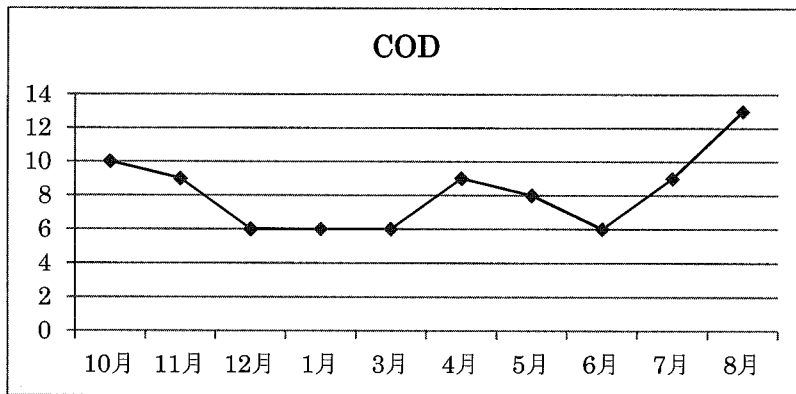


図3. COD (化学的酸素要求量) の変化

図3にあるように、CODはほぼ6～10ppmの間で変化しているが、2012年7月から高まり始め8月が最も高く13ppmになった。2012年8月以外の観測データでは、6～10ppmにおさまっているため、やや汚れた水であると評価できる。

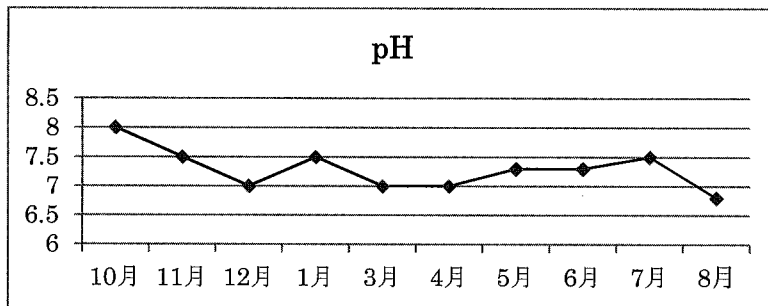


図4. pH (水素イオン濃度) の変化

pHは、2011年10月が最も高く8であった。2011年11月、2012年1月、5月、6月、7月もアルカリ性であった。2011年12月、2012年3月、4月はpH7の中性、8月だけがpH6.8の酸性であった(図4)。

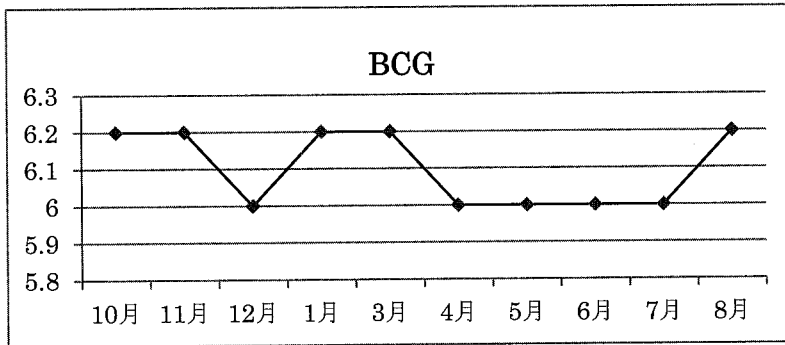


図5. BCG (酸性雨水素イオン濃度) の変化

BCGは2012年1月、3月以外の測定データは、6.0か6.2であった。1月と3月においては6.2以上であった(図5)。

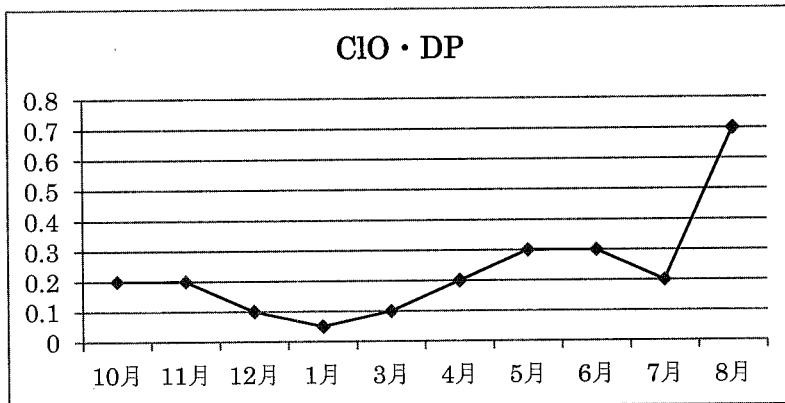


図6. ClO・DP (残留塩素遊離) の変化

ClO・DPは2011年10月から2012年1月にかけて下がり、1月が最も低く0.05ppmであった。1月から5月、6月にかけて0.3ppmまで上がった。7月に0.2ppmに下がるが、8月に急上昇し0.7ppmとなり、観測データ中の最も高い結果となった(図6)。

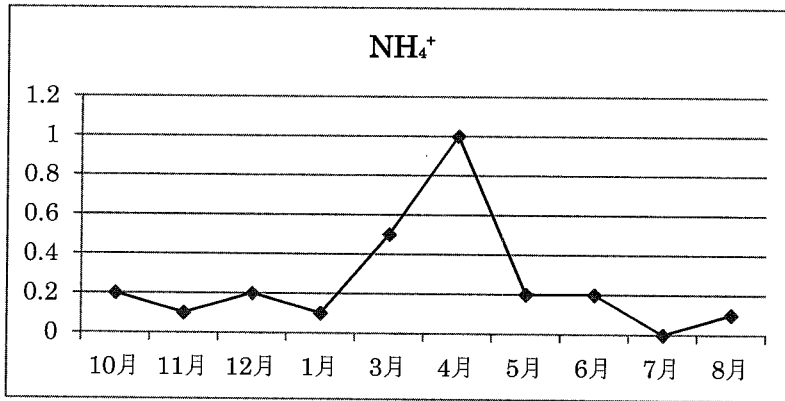


図7. NH₄⁺ (アンモニアイオン) の変化

NH₄⁺は2011年10月から2012年1月までは、0.1ppmと0.2ppmを前後していた。3月から上がりはじめ、4月が最も高く1ppmであった。5月から8月にかけても0.1ppmと0.2ppmを前後していた。7月については、パックテストの変色が見られなかった(図7)。

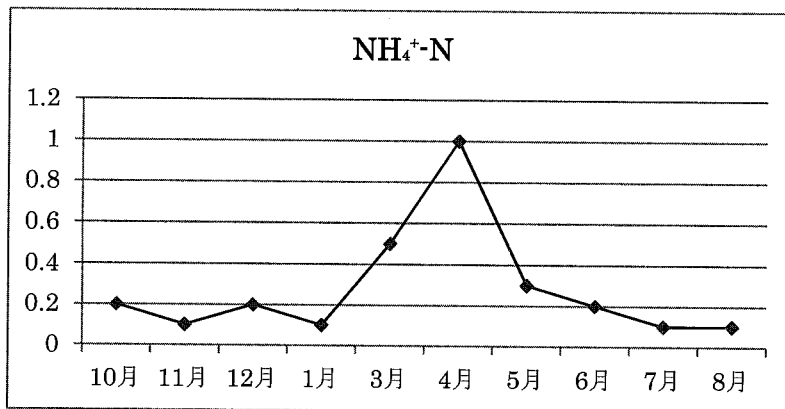


図8. NH₄⁺-N (アンモニア態窒素) の変化

NH₄⁺-Nは2011年10月から2012年1月までは、0.1ppmと0.2ppmを前後していた。3月から上がりはじめ、4月が最も高く1ppmであった。5月から下がり7月、8月には、0.1ppmであった(図8)。

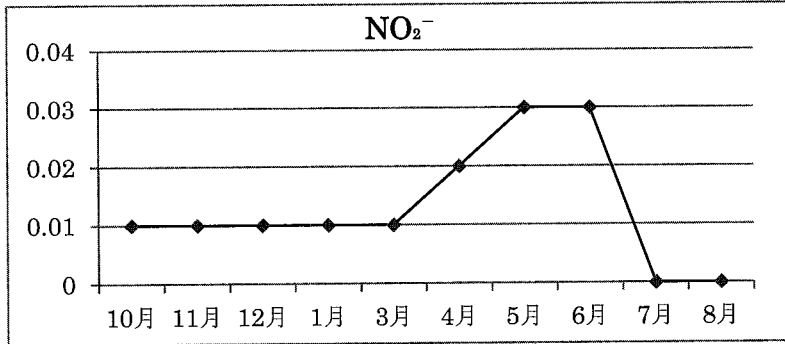


図9. NO₂⁻ (亜硝酸イオン) の変化

NO₂⁻は2011年10月から2012年3月まで0.01ppmと一定であった。4月に0.02ppmに増え、5月、6月が最も高く0.03ppmであった。7月、8月はバックテストの変色が見られなかった。

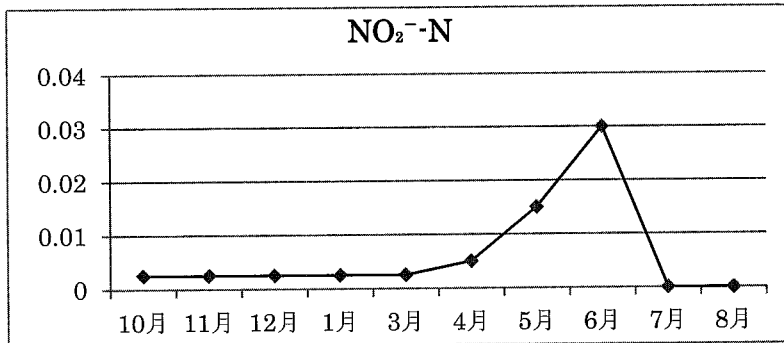


図10. NO₂⁻-N (亜硝酸態窒素) の変化

NO₂⁻-NはNO₂⁻と同様に、2011年10月から2012年3月まで0.0025ppmと一定であった。4月から上がりはじめ、6月が最も高く0.03ppmであった。7月、8月はバックテストの変色が確認できなかった。

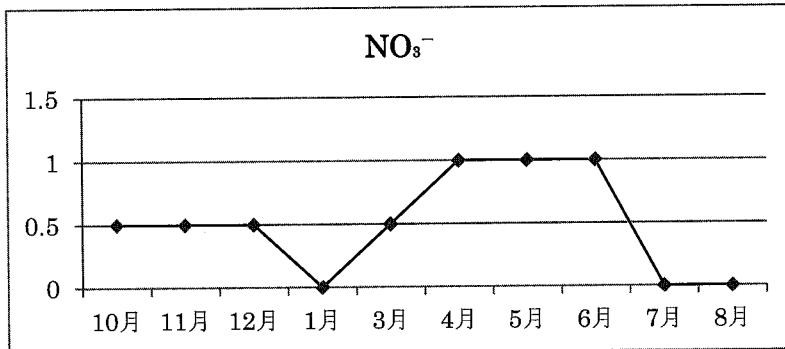


図11. NO₃⁻ (硝酸イオン) の変化

NO₃⁻は、2011年10月から12月まで0.5ppmであった。2012年1月は、調査地点Bでの調査で、

パックテストの変色が確認できなかった。4月, 5月, 6月が最も高く 1ppm であった。7月, 8月は, 1月と同様にパックテストの変色が見られなかった(図11)。

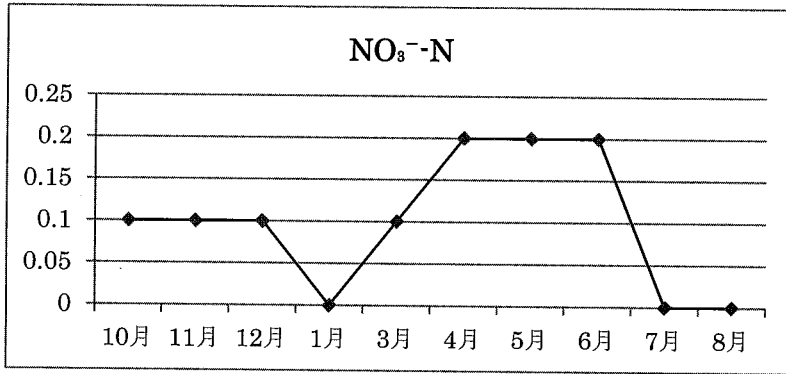


図12. NO₃⁻-N (硝酸態窒素) の変化

NO₃⁻-Nは2011年10月から12月まで0.1ppmであった。2012年1月は, 調査地点Bでの調査で, パックテストの変色が確認できなかった。4月, 5月, 6月が最も高く 0.2ppmであった。7月, 8月は, 1月と同様にパックテストの変色が見られなかった(図12)。

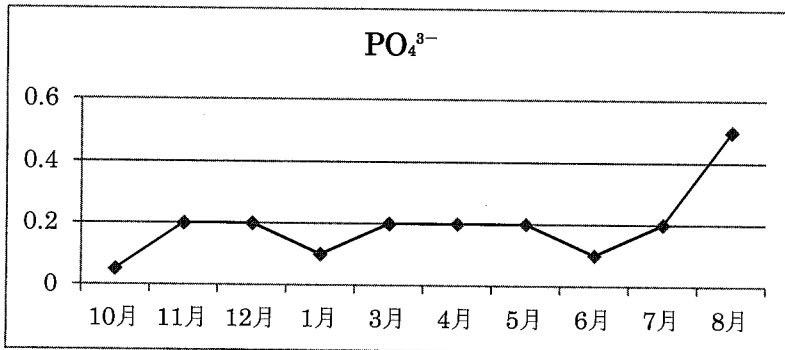


図13. PO₄³⁻ (リン酸塩イオン) の変化

PO₄³⁻は, 2011年10月が最も低く, 0.05ppmであった。11月から2012年7月にかけては, ほぼ0.2ppmであったが, 1月6月は0.1ppmに下がっていた。8月には, もっとも高い0.5ppmになった(図13)。

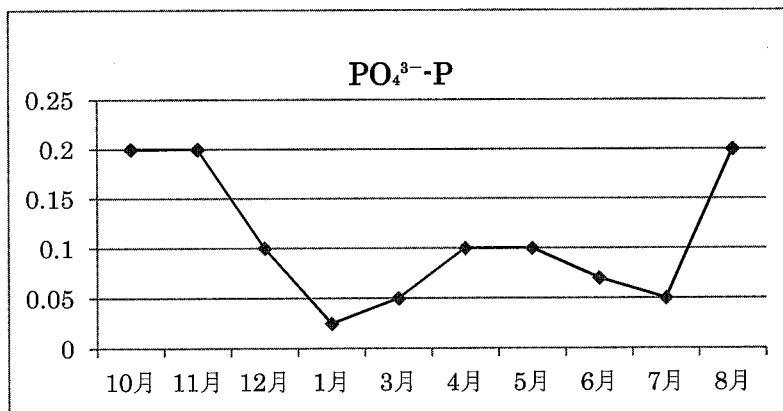


図 14. PO₄³⁻-P (リン酸塩態リン) の変化

PO₄³⁻-P は、2011 年 10 月、11 月は、0.2ppm であった。12 月から 2012 年 1 月にかけて下がり、1 月は最も低い 0.025ppm であった。3 月から 7 月にかけては、0.05～0.1ppm を前後し、8 月には 0.2ppm になった (図 14)。

(c) 珪藻個体数の変化

定量的手法でカウントした珪藻の相対的な個体数について、以下に示す。

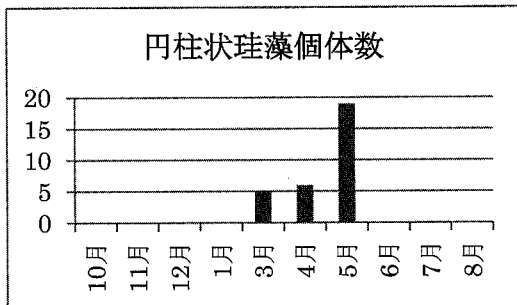


図 15. 池の表面の水の円柱状珪藻個体数

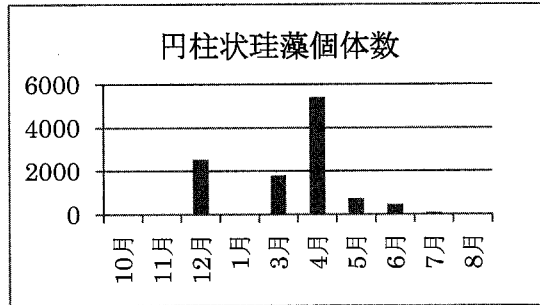


図 16. 池の側面と底面の水の円柱状珪藻個体数

円柱状珪藻は pH は不定性の浮遊種である。池の表面水の円柱状珪藻は 3 月に 5 個、4 月に 6 個、5 月に 19 個とごく少数のみ確認された (図 15)。池の側面と底面の円柱状珪藻は 4 月が最も多く 5400 個確認された (図 16)。円柱型の珪藻は、中汚濁体性種群に属する。

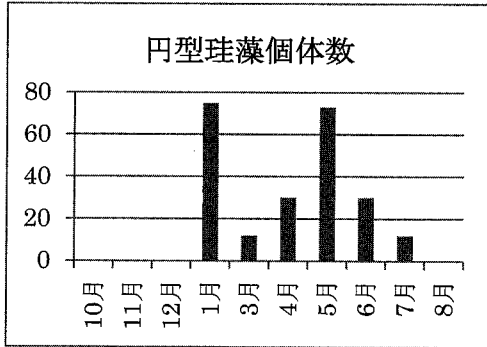


図 17. 池の表面の水の円型珪藻個体数

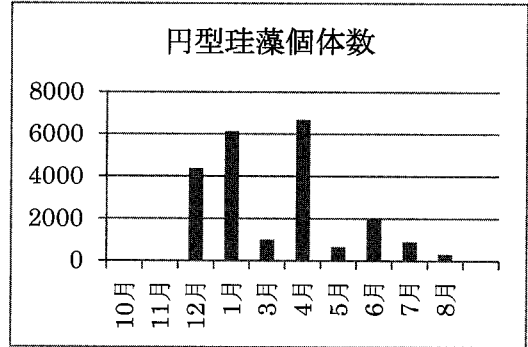


図 18. 池の側面と底面の水の円型珪藻個体数

円型の珪藻は中汚濁体性種群（識別珪藻群 B）に属する，好アルカリ性の浮遊種である。池の表面の水の円型珪藻は，1月の75個が最も多かった（図17）。池の側面と底面の水の円型珪藻は，4月が最も多く6696個，11月は全く確認されなかった（図18）。

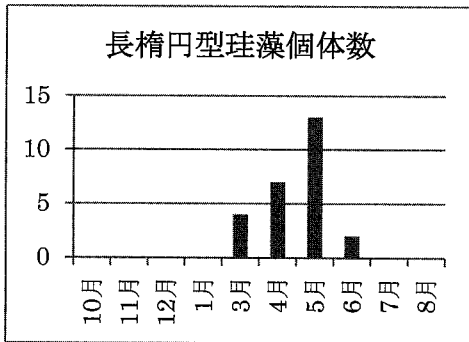


図 19. 池の表面の水の長楕円型珪藻個体数

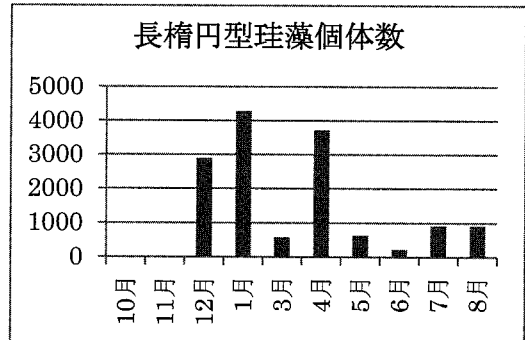


図 20. 池の側面と底面の水の長楕円型珪藻個体数

長楕円型の珪藻は，強汚濁体性種群と中汚濁体性種群にそれぞれ属している。本調査で多く確認できた種は，pHが不定性の底生種，付着種であった。池の表面の水の長楕円状珪藻は，3月に4個，4月に7個，5月に13個，6月に2個とわずかに確認された（図19）。池の側面と底面の水の長楕円状珪藻は1月が最も多く4284個確認された（図20）。

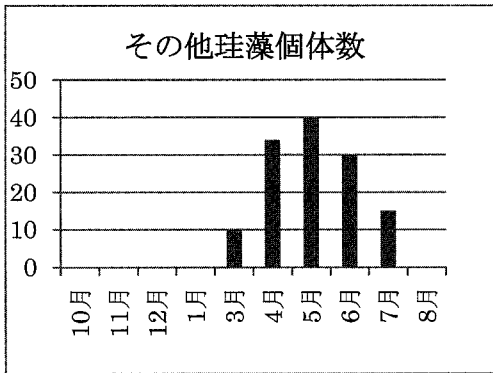


図 21. 池の表面の水のその他の珪藻個体数

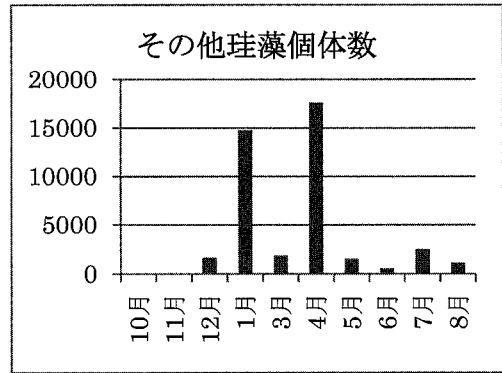


図 22. 池の側面と底面の水のその他の珪藻個体数

その他の形の珪藻も中汚濁体性種群に属するものであった。これらの珪藻の pH, 水流, 生態はそれぞれ異なっている。池の表面の水のその他の珪藻は, 3月に 10 個, 4月に 34 個, 5月に 40 個, 6月に 30 個, 7月に 15 個確認された (図 21)。池の側面と底面の水のその他の珪藻は, 11 月には確認されず, 4 月が最も多く 17586 個確認された (図 22)。

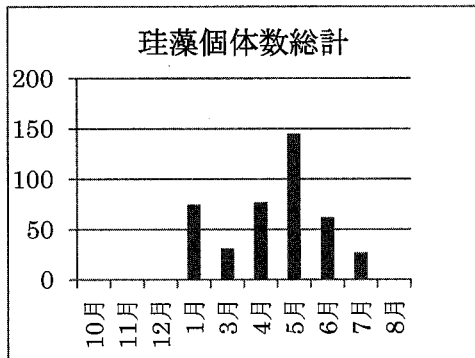


図 23. 池の表面の水の珪藻個体数総計

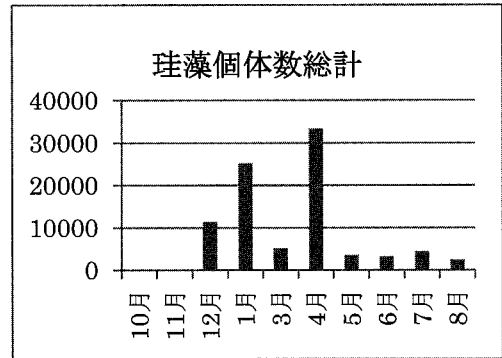


図 24. 池の側面と底面の水の珪藻個体数総計

池の表面の水の珪藻は 4 月が最も多く 145 個であった (図 23)。池の側面と底面の珪藻は 4 月が最も多く 33408 個であった (図 24)。その他を除き, 本調査で最も多く確認された珪藻殻の形は, 円型であった。次に多く確認された珪藻殻の形は, 長楕円型であった。

5. 考察

池の水の pH は, 2012 年 8 月以外どの観測データも, 中性からアルカリ性であった。藻類が増殖すると, 光合成が盛んに行われ, 酸性である炭酸が吸収されるために, ふつうはアルカリ性になる傾向がみられるといわれている。8 月も藻類が繁殖し, アルカリ性になると予想していたが, pH6.8 と弱酸性を示した。その要因としては, 池の表面を覆う様に繁殖していたヒシの影響を受けたものだと考えられる。ヒシにより, 池の表面が覆われてしまったために, 水中に日光が届かなく

な行動に関する教職員の研修を行うこと、問題を起こす生徒を監視し支援する計画を立てること、停学処分を受けたり代替教育プログラムに送致された生徒が学校に復学する時に復帰計画を立て生徒の支援を強化すること、学校での適切な行動を奨励していく際に親をパートナーとして関与させること、を提言している。⁽⁵⁷⁾また、カリフォルニア州公民権プロジェクトレポート『教育機会の停止—退学処分の様々な影響』は、生徒の不品行に対しては大人による監督がない校外停学処分以外に、放課後の居残り、土曜学校、親のカンファレンス、校内停学処分、代替プログラム等の多くの対応措置があると提言している。⁽⁵⁸⁾これらの選択肢としての代替策には、生徒が学校に留まる時間を増やし、生徒の適切な振る舞い方を教え、大人の注意と監視を減少させることなく増大させることが含まれている。効果的な代替策では、学校が安全で生産的な場であること、生徒が自分の不適切な振る舞いに責任を負うことを保障する必要があることを示すことである。しかし、校外退学処分への代替策は多くの学区で十分に採用されていない。その理由は、教育政策立案者と親が何人の生徒が停学処分を受ける危険性があり、その結果学習日数が何日失われているかを十分知っていないからである。

(4) 修復的司法の実践

カリフォルニア州公民権プロジェクトレポート『教育機会の停止—退学処分の様々な影響』は代替策として修復的司法の実践の意義を評価している。

修復的司法として知られている修復的実践は校外停学処分の代替策として関心を集めている。この実践の主要な目標は、生徒を含む学校コミュニティの中で生徒一人ひとりが尊重され、生徒がコミュニティ全体により責任を果たすことができるように不適切に振る舞う生徒の態度を改めることである。そして、生徒の責任の中心的内容は被害者に与えた被害を修復し将来再び被害を与えない方法でコミュニティを創造することにある。⁽⁵⁹⁾

修復的司法は懲罰的な懲戒方法に代えて校則に違反した生徒を含むコミュニティのすべての構成員を包摂する建設的で人間的方法を用意しようとしている。修復的司法はまた、教師がいかに学校懲戒の役割について考え、いかに懲戒的処分を止めるかについて組織的な改革を含んでいる。レポートでは、修復的司法の研究者のアバー・ポーター氏の「修復的司法は、適切な振る舞いを奨励するために生徒に高度の管理と支援の方法を提供し、問題行動に集団で対応し生徒自身に責任を課している」とする指摘と、「全米で、修復的司法によって停学処分と退学処分が減少し、懲戒処分の対象となる行為が減少し、学習成績が向上する等の改善がみられ、学習環境に建設的な結果をもたらしている点では今日かなりの証拠が出ている」と述べる最近の研究が紹介されている。⁽⁶⁰⁾こうした方法を実践する教師は、学校の環境を管理する上で紛争を解決し生徒が参加するためにカンファレンス会議等の核心的な戦略を用いている。

またレポートは、学校懲戒の改革は可能であるだけでなく、少なくとも2つの州で改革が始まり、コネチカット州では最後の手段としてのみ校外停学処分の措置を認める州法が2010-2011年度に施行したことに言及している。また、メリーランド州では生徒を校内に留めることをめざすが、

学校機関に対しては建設的な振る舞い方に焦点を当てる修復的哲学を取り入れ最後の手段としての学校からの生徒の排除を控えるようにすることを指示する措置を含んでいる。同州の新しい規程では、生徒懲戒において人種の不均衡が大きい学区を監視し、格差が認められる学区には3年以内に格差をなくす計画を実施するよう義務づけている。⁽⁶¹⁾

同様に、オハイオ州児童基金のレポート『オハイオ州のゼロ・トレランスと学校排除懲戒処分は生徒を傷つけ刑務所へのパイプラインに貢献している』では、以下のように指摘している。⁽⁶²⁾すなわち、他の州では学区によってはゼロ・トレランスと懲戒方針の不適切さの問題に対して、荒れた学校文化を改善し生徒と教職員にとって安全な学校環境を創造する建設的で予防的な懲戒実践を実施することで対応している。これらの予防的なアプローチは、生徒の振る舞いがエスカレートする前に教室の生徒を支援し発達上適切な懲戒方法を有効に活用し、生徒に対して荒れた行動に代わる振る舞い方を教育し生徒を校内にとどめ学習を継続させている。

また、生徒の振る舞いへの建設的な介入と支援は、学校の雰囲気改善し安全でより効果的な学校を創造する研究を基礎にした学校全体で取り組むアプローチである。その過程は、すべての生徒に対する期待を伝え建設的な振る舞いを支援する学校の能力を向上させることに焦点を当てている。

(5) 差別的処遇とテスト政策の廃止

アドバンスメントプロジェクト『テスト、処罰、そして学校からの追放—いかにゼロ・トレランスと一か八かのテスト政策は若者を学校から刑務所へのパイプラインに送っているか』(2010年1月)は、レポートの末尾において2点結論づけている。⁽⁶³⁾

まず、生徒をますます刑罰的に処分し学校から排除する「学校から刑務所へのパイプライン」は廃止されるべきである。若者には教育の機会が保障されるべきであり、問題行動を改めるためのスキルが与えられなければならない。生徒はゼロ・トレランスによりコミュニティに包摂されるのではなく、コミュニティから疎外されているのである。学校は、厳格な責任追及制度によって生徒に対する寛容な姿勢を低減させているか、あるいは学校懲戒における人種の不均衡によって差別的取り扱いと人種の偏見という結果を生じさせているかを検証しなければならない。全体として、学校とコミュニティはすべての生徒が安全と感じ支援されかつ尊重される教育環境が提供されることを保証するために協働しなければならないのである。

次に、多数の生徒の教育経験を貧困にしている一か八かのテスト政策は廃止されなければならない。子どもの教育には、標準テストで学ぶ以上のことが含まれなければならないし、質の高い教育は際限ないドリル学習とテスト準備教育を超越するものでなければならない。生徒の評価は、「学校から刑務所へのパイプライン」に貢献するのではなく、「テストと処罰の政策」はすべての生徒にとってより高度の教育とすべての学校にとってより有意義な説明責任を用意する制度と取って代わらなければならない。そのことに失敗すれば、本当に一か八かになるであろうし、米国の民主主義を維持するのに必要な市民性を発達させるこの国の能力に疑問が呈されることになろう。

る水質評価とも一致する。7月、8月には長楕円型珪藻の出現率が高まった。長楕円型珪藻には、強汚濁体性種も存在するため、ヒシ1の増殖にともない水質が悪化した結果、強汚濁体性種である長楕円型珪藻の出現率が上がったとも推定できる。

円型珪藻は本調査で最も多く確認できた。本調査で確認された円型珪藻は、好アルカリ性であり、水質検査結果もpH7～7.5の範囲で変化しているため、pHが珪藻の出現種にも反映している。円型珪藻が最も多い割合を占めたのは、2012年6月であった。6月に特徴的に変化をした項目は、 NO_2^- 、 NO_2^- -N、 NO_3^- 、 NO_3^- -Nの4項目である。これらの項目から、水質は少し汚れがあると評価できる。円型珪藻も、中汚濁体性種であるため、これらの結果は一致する。

2011年11月に確認できた珪藻個体数はごくわずかであったため、除いて考えると、円柱状珪藻が最も多い割合を占めたのは、2012年3月に採取した試料である。5月に採取した試料からも円柱状珪藻の割合が多いとわかる。確認できた円柱状珪藻はpH不定性種であるため、pHとの関係性はわからないが、中汚濁耐性種であるため、ヒシの増殖にともない水質汚濁が進み、出現率の減少がみられたと推定できる。1月に円柱型珪藻が確認できなかった要因は不明である。

筆者らは、気象状況と貯水池の環境からも珪藻個体数の変化について考察するために、観測地に近い気象庁鳩山観測所のデータと比較検討した(気象庁HP, 2012)。というのも降雨後3日以上晴天が続くことで珪藻は急速に増殖するという報告があるからである(長副他, 2009)。そのことから、調査日から前の3日間に降雨があると、珪藻個体数は少ないと考えられるので、観測日との照合が必要であると推定されるからである。冬(1月)から春(6月)にかけて珪藻の個体数がピークを迎える中で3月のみ珪藻の個体数が減少しているが、気象現象との関連は見られなかった。池の表面の珪藻個体数が側面底面より少ないのは、分散しているためであるが、池表面の個体数は日光量をもっとも減少した冬至(12月22日)から日照量が増加するに従って5月まで増加し、池表面がヒシで覆われる8月まで増えるが、8月から冬にかけては明らかに減少する。一方、個体数は多いものの、より富栄養化の影響を受け、日照の影響が少ない池の低層では、季節変化がより顕著であり、12月から4月頃にピークを迎える。10-11月の珪藻量は極めて少量であった。

6. まとめ

1. 大東池の珪藻は、冬至近くの日照量が最小になる12月から日照量が増加する夏にかけて増加し、秋に減少する。
2. 表層の珪藻の方が低層の珪藻より、変化も少なく、かつ日照に対して敏感である。急に個体数が減少する8月には、池表面に増殖したヒシが覆っていた。
3. 水質の物理化学的調査項目についても、季節による変化が見られた。値の変化の範囲はCODが6～13ppm、pHが6.8～8、BCGが6～6.2、 $\text{ClO} \cdot \text{DP}$ が0.05～0.7ppm、 NH_4^+ が0～1ppm、 NH_4^+ -Nが0.1～1ppm、 NO_2^- が0～0.03ppm、 NO_2^- -Nが0～0.03ppm、 NO_3^- が0～1ppm、 NO_3^- -Nが0～1ppm、 PO_4^{3-} が0.05～0.5ppm、 PO_4^{3-} -Pが0.25～0.2ppmであった。

4. 水質検査の結果と珪藻の個体の変化を比較すると、無機態リンの値が上がると珪藻も増加し、珪藻が減少すると無機態窒素の値も下がった。

文献

- Howard A. Armstrong・Martin D. Brasier (2007) 微化石の科学. 池谷仙之・鎮西清高訳. 朝倉書店. 179-188. 61-71
- 鎌谷明善・奥修・辻久恵他 (2000) 相模湾における栄養塩類の分布と消長. 日本水産学会誌. NO66-1. 70-79.
- 共立理化学研究所 (2012 購入) 水質調査パックテスト説明書
- 長副聡・島崎洋平・松原賢他 (2009) 有明海奥部, 塩田川河口海域における物理・化学的要因と植物プランクトンの増殖との関係. 沿岸研究会. NO46-2. 141-151.
- 南雲保・出井雅彦・長田敬五 (2000) 珪藻の世界 ミクロの宝石. 国立科学博物館. 58p.
- 中井睦美・菊地奈緒美 (2010) 南極海洋堆積物のケイソウ化石分析に関わる処理及び環境解析手法について. 大東文化大学紀要. NO48.
- 野尻湖ケイソウグループ (2000) ケイソウのしらべかた—小さな生き物・身近なはたらき—. 地学団体研究会. 105p.

Web 資料:

- 気象庁 HP (2012) <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 国土交通省四国地方整備局 HP (2012 確認) <http://www.skr.mlit.go.jp/>
- 真山茂樹 (2012 確認) 珪藻の世界 HP <http://www.u-gakugei.ac.jp/~mayama/diatoms/Diatom.htm>

(2013 年 9 月 26 日受理)