

アオコの除去法とその肥料化の開発（その1）

Development of a method to remove blue algae and to make it fertilizer (part1)

*加納義彦 Yoshihiko KANOH・

山中智樹 Tomoki YAMANAKA・益田拓実 Takumi MASUDA・

中藤邦彦 Kunihiko NAKATOU・倉坪真木也 Makiya KURATUBO・

****徳田章 Akira TOKUDA・****竹森智大 Tomohiro TAKEMOTO・

*****水木満佐成 Masanari MIZUKI・*****高野良昭 Yoshiaki TAKANO

(大阪経済法科大学 教養部教授)・(北海道大学 水産学部)・

*** (早稲田大学 創造理工学部)・**** (関西大学 化学生命工学部)・

***** (立命館大学 生命科学部)・***** (清風学園 生物部顧問)

目 次

はじめに

I 八尾市高安地域のため池におけるアオコの発生状況

II アオコの除去実験

III 野外におけるアオコの除去実験

IV アオコの肥料化

キーワード：アオコの除去法、ミクロシスチンの生分解、アオコの肥料化

はじめに

我々は1984年から八尾市高安地域のため池において、環境省のレッドデータブックで絶滅危惧1A類に指定されているニッポンバラタナゴ（コイ科魚類）を含む生物多様性の保全活動を実施してきた。ニッポンバラタナゴ *Rhodeus ocellatus kulumeus* は淡水二枚貝のドブガイ *Anodonta woodiana* に産卵するので、ニッポンバラタナゴを保護するためにはドブガイが繁殖できる水環境が必要である。ドブガイは珪藻を食性とし、藍藻が発生する河川やため池では繁殖できないことが報告されている^{2,4,11)}。藍藻は富栄養化した水域に異常発生することが知られている。富栄養化によって多くの湖沼では緑藻や藍藻が増殖し、特に藍藻の中にはミクロキステス・エルギノーザ *Microcystis aeruginosa* といった哺乳類に対する肝臓毒を生成するものがあり¹⁰⁾、家畜ばかりでなく人間も死に至らせることがある^{13,15)}。

そこで7年前から藍藻の発生を抑制し、除去する方法について研究してきた。

ため池では池干しをすることによって、還元泥が酸化し、酸化土に変化すると、その後、アオコの発生が抑制され、珪藻がよく繁茂することが明らかになった³⁾。この方法でアオコの発生を抑制し、ドブガイの繁殖に成功した池もあるが、下水道がなく、家庭廃水が浄化槽から河川に流出している地域では、毎年池干しをしても、夏期になるとアオコが発生するため池が多くみられる。このような河川やため池では富栄養化が進行し、アオコの異常発生が生じるので、河川やため池内に排出・流入された栄養塩類を除去しなければならない。

アオコの異常発生の抑制や除去方法としては、これまでもいろいろな方法が開発されている¹⁾。①栄養塩類の流入を抑える。②硫酸銅などの薬剤を投入し分解する。③超音波でアオコのカス胞を破壊し沈殿・分解させる。④凝集・沈降させ分解する。⑤生態系の食物連鎖を利用して、アオコを動物プランクトンに捕食させ、動物プランクトンを食べる高次消費者である魚を除去するなどの方法が考えられる。

我々は、①の栄養塩類の流入を抑制できることが最も良い方法であると考え、下水道がいまだ完備されず、家庭廃水が流入するため池などではどうしてもアオコが発生してくる。そのアオコの除去方法として、②～④のように閉鎖水域でアオコを沈殿させ分解する方法では栄養塩類がそのまま残ってしまうので、栄養塩類を含むアオコを外部に除去することがもっとも重要だと考えた。⑤の方法に関しては、2010年にミジンコ *Daphnia pulex* やワムシなどによるアオコの捕食について研究した。その結果、アオコが発生する夏季にミジンコがうまく繁殖し、さらにそのミジンコを魚が捕食するという生態系のバランスを人為的にコントロールすることは非常に困難であると考えた。そこで、今回の研究では、アオコが大量発生する富栄養化したため池で生態系を壊さず、アオコを凝集・浮上・除去する方法を開発し、アオコを無毒化して、栄養塩類である窒素 (N)・リン (P) を肥料として再利用できる可能性を検討した。

I 八尾市高安地域のため池におけるアオコの発生状況

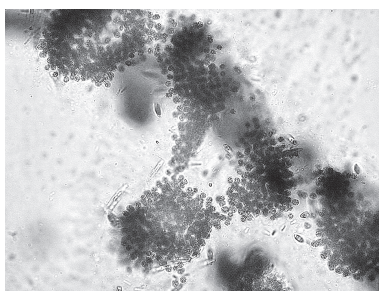
1 アオコの発生条件

① 水温について

シアノバクテリアが水面に集積している状態をアオコと呼んでいる。アオコの中でもミクロキスティスは高水温 (15℃ 以上で増殖可能で、最適温度は25℃ 以上) を好むため、熱帯から温帯まで広く分布している¹⁾。高安地域のため池の月平均温度は4月で15℃ を超え、11月には15℃ を下回るのも、富栄養化が進行する松井池では、2010年4月からアオコ (ミクロキステス・エルギノーザ *Microcystis aeruginosa*) が発生し、11月に観察できなくなった。今年度も4月22日にアオコが観察され現在 (2011年11月16日) まで観察されている (図1)。



アオコが発生している松井池（2011年8月2日）



ミクロキステス・エルギノーサ
(*Microcystis aeruginosa*)

② 栄養塩濃度とアオコの関係

(方法) 2010年～2011年にかけて高安地域のため池の水質と生態調査を毎月定期的を実施してきた。水質については共立理化学研究所水質分析機ラムダ9000を用いて、アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素、リン酸態リン、ケイ酸などの濃度を測定した。

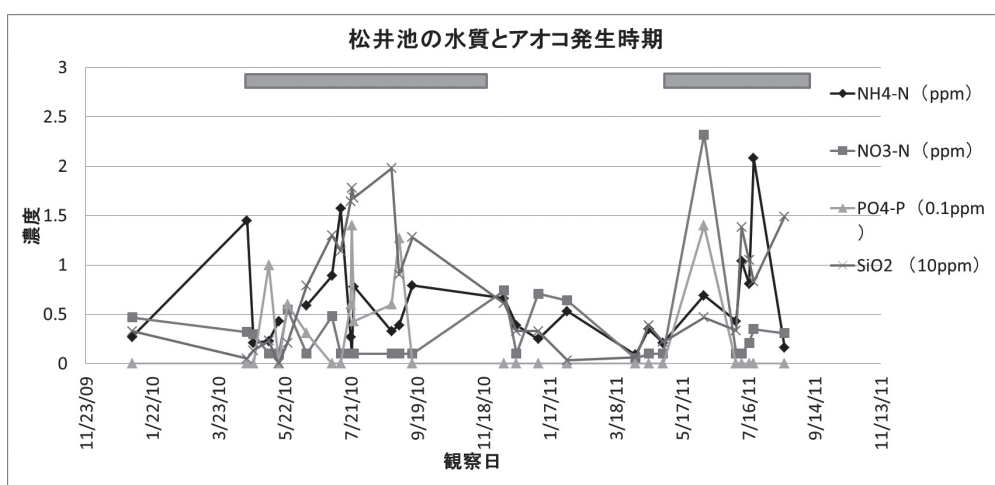


図1 松井池のアオコ発生時期と水質の変動

◆：アンモニア態窒素、■：硝酸態窒素、▲：リン酸態リン、×：ケイ酸、緑のバーはアオコ発生を表す。

(結果と考察) 同じため池においても、栄養塩類濃度は常に変動しているので、流入された栄養塩類濃度はアオコが異常発生することによって、アオコに吸収され水質が回復すると考えられる。家庭廃水が流入する松井池の水質は、2010年1月から2011年8月までに、隣接する用水路の水を取り込むとケイ酸濃度が上昇すると同時に栄養塩類も上昇するが、次第にアンモニア態窒素や硝酸態窒素が減少し、リンも減少することが分かった(図1)。

2 アオコの鉛直分布と時間的変動

アオコを形成するシアノバクテリアは、ガス胞をもつ。これはタンパク質の1重膜で囲まれた細い円筒状の袋が鉛筆を束ねたような構造をとり、内には空気と似た組成の気体が含まれている。この浮き袋は、細胞内の浸透圧が高いときはつぶれてしまう。光合成を盛んに行っているときには、その初期産物である低分子化合物が多く、細胞内の浸透圧は高

まるが、夜間あるいは深層で細胞構造や貯蔵物などの高分子合成に消費されると、浸透圧が減少し、再びガス胞が膨らんで浮力が増し、表層へ浮上する¹⁴⁾。2011年8月9日～12日に、アオコが発生している樋口養魚池（水深60cm）で、アオコの鉛直分布の時間的変動を測定した。

（方法） 池の表層（0cm）と水深25cm、50cmから採集ビンで水を採集する。それぞれの試料をビニールテープで10mm×10mm×0.2mmの溝を開けたプレパラートに採り、一定面積あたりのランソウが占める面積をカウントし、相対的な面積比で鉛直分布の割合を求めた。

（結果と考察） 早朝に観察すると常にアオコは表層に多く分布している。気温が上がり溶存酸素量が増加する時間には、表層よりも中層から底層に多く分布した（図2）。

一般に言われているように、夜間呼吸や生合成によって細胞内に浸透圧が減少し、ガス胞が膨らんでアオコは浮上し、光合成が活発になる日中には徐々に底層へ移動するように見える。しかし、日中は水温の上昇に伴って水の対流や風による水の攪拌があるために、均一な分布になっているようにも考えられる。

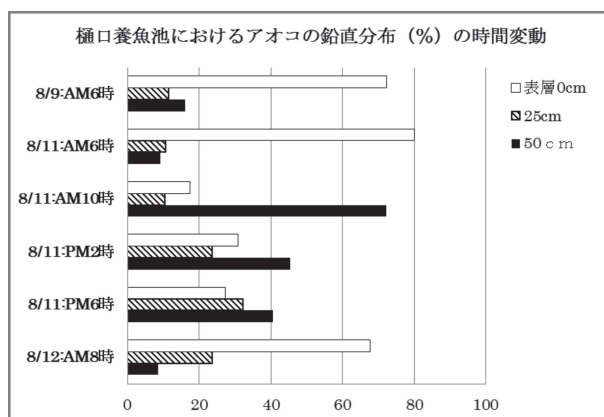


図2 樋口養魚池におけるアオコの鉛直分布（％）の時間変動
上段：表層、中段：水深25cm、下段：水深50cm

Ⅱ アオコの除去実験

1 凝集・浮上・除去方法の確立

我々は、ため池から栄養塩類を除去するためにアオコを凝集させ沈降・分解させるのではなく、浮上・除去する方法を考えた。我々は塩析を利用し、アオコを凝集させようと考え、凝集剤としてミョウバン（硫酸アルミニウムカリウム）を使い、実験を開始した。

① 中和剤としてのホタテチョークの粉

ミョウバン水は酸性なので、中和剤が必要であると考えた。試行錯誤の末、中和剤としてホタテチョークの粉（炭酸カルシウムを主成分とし、リサイクルとしてホタテ貝殻の粉が混ざれている）を使用すると、凝集力が良く、そして、光を当てることで、または、熱を加えることで浮上するという構造を持ったフロック（凝集したアオコの塊）ができることを発見した。

化学反応式の特定と凝集構造

凝集剤としてミョウバンとホタテ貝殻の粉を使うことは決まったが、化学反応や凝集の構造が未解明であった。それらを解明するため、以下の予備実験を純正の炭酸カルシウム（ CaCO_3 ）を用いて行った。

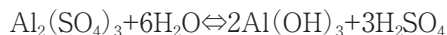
(1) 化学反応式の特定

ミョウバンと CaCO_3 の反応式は、

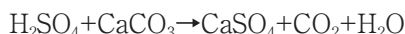
- ① ミョウバンが水に溶けることで、硫酸アルミニウムと硫酸カリウムに分解する。



- ② 硫酸アルミニウムが加水分解する。

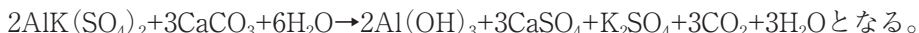


- ③ ②で生成する硫酸と CaCO_3 が反応する。



また、③の化学反応が進むことで、②の平衡も右に移動する

以上、①②③を1つにまとめると、



② 中和点と混合比の決定

ミョウバンと CaCO_3 の量とpHの関係

(方法) ミョウバン水 ($1.0 \times 10^{-2} \text{mol/L}$) 20mLに、 CaCO_3 の懸濁液 ($1.0 \times 10^{-2} \text{mol/L}$) を0 mL、10 mL、20 mL、30 mL、40 mL、50 mL、60 mL、70 mL、80 mL混ぜ、そのときのpHを調べる。

(結果と考察) CaCO_3 懸濁液を30ml (モル比1.5) 入れ完全に中和させた時のpHは5.8である。中和点が酸性になるのは、発生する CO_2 が溶けて H_2CO_3 になるためと考えられる。この点からも(1)で考えた化学

式は成立していると考えられた。さらに、グラフから $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2$ 水20mLに対し、 CaCO_3 水50ml加えたとき、モル比が2:5で、つまり質量比が1:1のとき、pHが20分後に7.05になることから、我々は、野外実験では $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2$ と CaCO_3 を1:1の割合で入れることに決定した(図3)。丹保らの研究^{6,7)}によって、水酸化アルミニウム $\text{Al}(\text{OH})_3$ はpHによって存在様態(Al^{3+} 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ など)を変化させ、それらの存在比がpHによって異なることが報告されていた。また、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ の溶解度はpHによって大きく変化する。pHが6~7の範囲で溶解度が最も低くなり、ゲル状の沈殿が多くでき、凝集剤として作用したと考えられた⁵⁾。以上の報告と実験の結果から、アオコを凝集させるとき、沈殿は残らないことから、pHが7付近で $\text{Al}(\text{OH})_3$ はゲル状の凝集剤として働いていると考えられる。

③ アオコの濃度と凝集剤の量を決定する予備実験

濁度を測定することで、常にアオコの量を比較測定できる方法を取り、凝集剤の量を決めることにした。

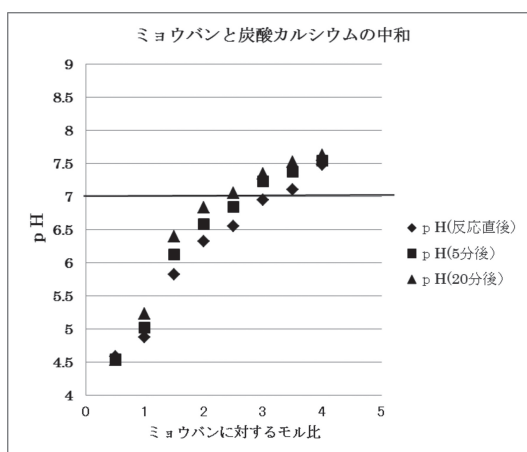


図3 ミョウバンと炭酸カルシウムの中和

(方法) 採集したアオコを含む水の濁度と透視度を測定し、濁度と透視度の関係をグラフ化する。濁度は共立理化学研究所製ラムダ9000で測定し、透視度は透視度計を自作し、目視によって確定した。

結果は図4のように

$$y = 508.4x^{-0.989}$$

つまり、ほぼ反比例の関係が成立していた。次に濁度と凝集剤（ミョウバン）量の関係を実験値から推定した。

(方法) アオコの量を濁度計で測定し、そのアオコ水にミョウバンを徐々に加えることによって凝集がはじまるときのミョウバン濃度を測定した。

(結果) 実験の結果(図5)から、濁度とミョウバン濃度との関係は

$$y = 6x^{0.71}$$

で近似できるので、確実に凝集が生じるミョウバンの適量濃度を $6 \times (\text{濁度})^{0.71}$ ppm で求めることに決定した(図5)。透視度と濁度は反比例の関係があるので、現場

では透視度を調べ、濁度に変換し、濁度の0.71乗の値を6倍した量を凝集剤の濃度(ppm)として用いた。また、野外実験では、pHを中性にするために同量のホタテチョーク(主成分 CaCO_3)あるいはホタテ貝殻の粉を用いた。

2 生物化学的凝集・浮上・除去方法の開発

① 光合成の限定要因と凝集アオコ浮上の最適条件

(方法) アオコを含んだ水1.0mL、蒸留水20mLが入った試験管を用意し、ミョウバン：17mgとホタテチョークの粉10mgを用いて凝集させる。そして、光量の条件として0Lx、5000Lx、10000Lx、温度の条件として15℃、20℃、25℃、30℃、35℃を用いて対照実験を行う。試験管は実験を行う光量(Lx)ごとに3本用意する。光量の条件0Lxは暗箱を被せることで実施し、観察時にはその箱を取り除き、すばやくスケッチした。

〈凝集のさせ方〉10mLの蒸留水が入ったビーカーにホタテチョークの粉：10mgを入れ、溶かしきった後、アオコを含んだ水1.0mL、蒸留水10mLが入った試験管に入れる。その後、その試験管にミョウバン17mgを入れ、振とう培養機で200回振る。凝集を確認した後、試験管を一定の光量をあてた実験場所に設置する。

〈浮上移動距離の測定の仕方〉：水溶液の入った試験管の中央値を原点0として、凝集した

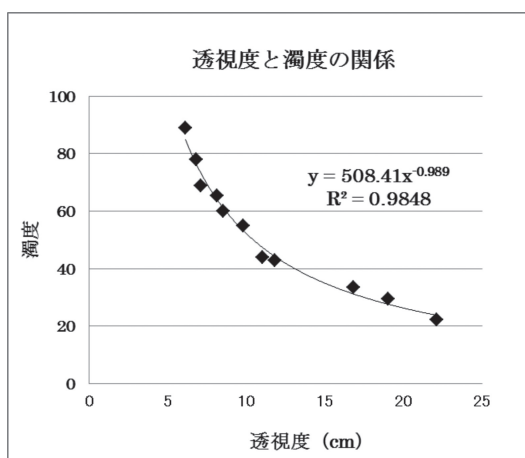


図4 透視度と濁度の関係

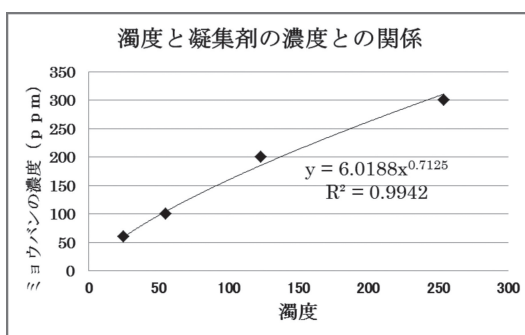


図5 濁度と凝集剤の濃度との関係

アオコの重心の移動距離を20分おきに開始から120分間測定する。数値としては20分おきの試験管3本の平均値を求め、120分までの6回分を一回の実験のデータとして出す。

(結果) 温度が上昇するにつれ、浮上速度が上がり、0 Lxの試験管も浮上した(図6)。ホタテチョークの粉をいれた試験管において、40分時点での光量の条件0 Lx、5000Lx、10000 Lxと温度の条件15℃、20℃、25℃、30℃、35℃の関係を見ると、20～25℃では光量の条件10000Lx、5000Lx、0 Lxの順に凝集したアオコが速く浮く。また、30℃以上になると光量の条件0 Lx、5000Lx、10000 Lxにおいて40分時点ですべて浮く(図6)。

(考察) 試験管のすべての実験で、十分な光量を当てたとき、凝集したアオコが浮いてきたことから、アオコが光合成し、生じた酸素が凝集したアオコ内で十分に集まったために浮いたことが考えられる。30℃以上の実験で0 Lxの試験管も浮上していることから、30℃以上ではミョウバンとCaCO₃との反応で生じた二酸化炭素が30℃以上での溶解度が低いために溶けず、凝集したアオコに付着し、浮かせたことが考えられる(図6)。

3 一般細菌の除去率

アオコの凝集・浮上・除去できるのであれば、一般細菌も除去できるのではないかと考え、反応前後の一般細菌数をカウントした。

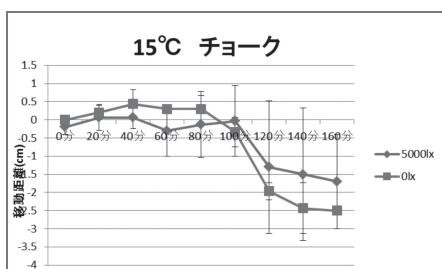
(方法) 2011年8月11日と28日に、松井池で採水したアオコ水を用いて、凝集前と凝集後の水を用意し、原液・10倍希釈・100倍希釈の計6種類の水を用いる。無菌状態であるシャーレの中に一般細菌用寒天培養培地の液を流し込み、固まった後に各液を0.1mLずつ流し、それをそれぞれ3枚ずつ用意した。そして、翌日に観察し細菌のコロニーの数を調べた。

(結果) 2011年8月11日に松井池から採水した原水には1 mL中に一般細菌が $7.07 \times 10^4 \pm 7790$ (sd) 個体含まれていた。また原水の10倍希釈液には一般細菌が $6.23 \times 10^3 \pm 180$ (sd) 個体、原水の100倍希釈液には一般細菌が $9.4 \times 10^2 \pm 100$ (sd) 個体含まれていたが、凝集反応後は水にはまったく一般細菌は含まれていなかった。再度確認のために、2011年8月28日に松井池から採水した水で追試実験を行った。2011年8月28日に松井池から採水した原水には1 mL中に一般細菌が $2.42 \times 10^4 \pm 2868$ (sd) 個体含まれていたが、凝集反応後の水にはわずかに $7.3 \times 10 \pm 92$ (sd) 個体が含まれていた(図7)。

(考察) ミョウバンのみを加えるよりも中和剤としてホタテの粉やホタテチョークの粉を加えた方が細菌数は明らかに減少していた。除菌率は99.7%以上であった。凝集剤のミョウバンには除菌作用があるといわれるが、中和剤であるホタテの粉やホタテチョークの粉を加えた方が、さらに除菌作用を示した。最近の研究では、高温で処理したホタテ貝殻のセラミックスには抗菌機能があると報告されている¹²⁾。

ミョウバンとホタテチョークの粉の反応

(0Lxと5000Lx)



(0Lxと10000Lx)

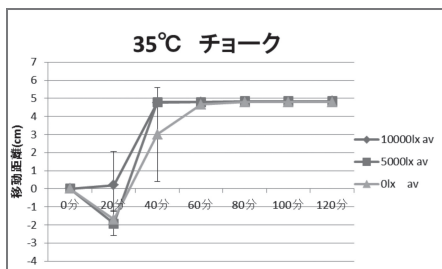
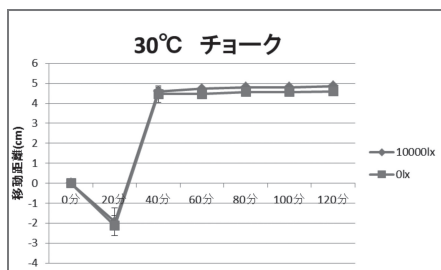
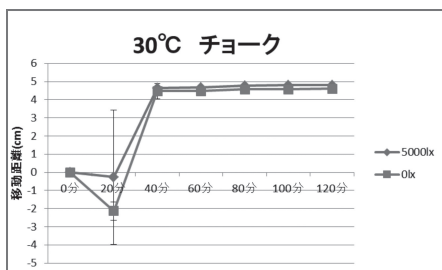
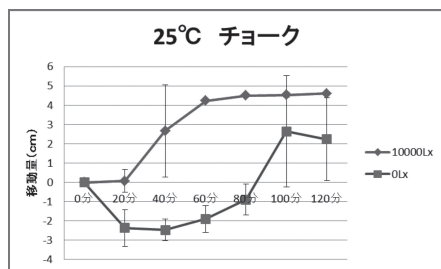
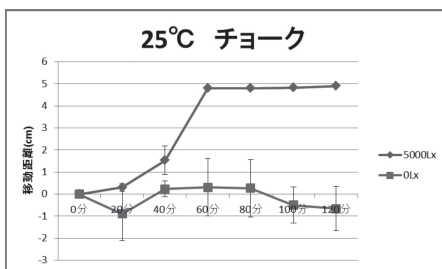
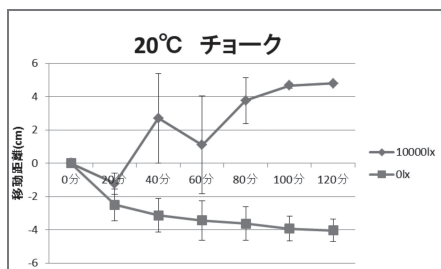
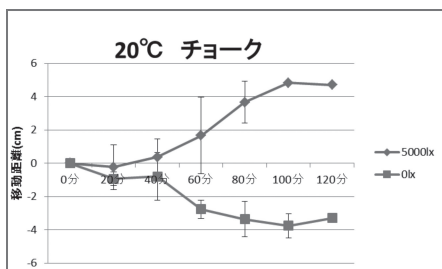
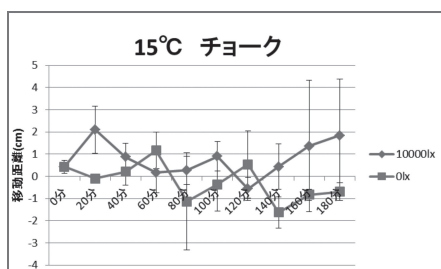


図6 ホタテチョークの粉を用いた凝集アオコの浮上実験
上から15℃、20℃、25℃、30℃、35℃
左: 0Lxと5000Lxの比較
右: 0Lxと10000Lxの比較
(35℃のみ0Lxと5000Lxと10000Lxの比較)

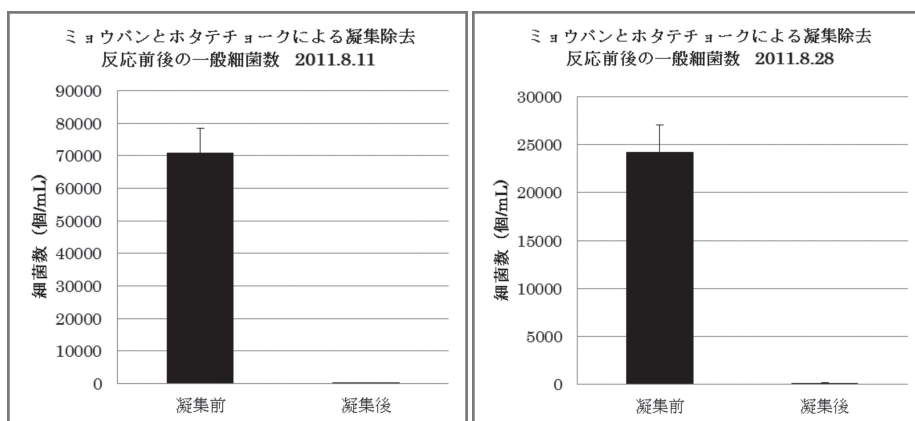


図7 ミョウバンとホタテチョークの粉による凝集除菌作用
 * 1回目の実験では除菌率100%、2回目の追試実験では99.7%であった。

Ⅲ 野外におけるアオコの除去実験

(方法) 2011年8月3日、10日、16日に八尾市のため池（樋口養魚池:15m×30m×水深0.6m）の一角にブルーシートを用いて囲いを作り、その中にため池の水（3m×4m×水深0.6m：7t）を入れ、その中で実験を行った。実験日は3日間ともに真夏日で、晴れ、水温30℃～36℃、日中の光の強さは10000Lx以上。予備実験として、バケツ（10L）と水槽（50L）で凝集・浮上・除去できることを確かめ、本実験を実施した。また、凝集剤として、ミョウバン $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2$ を、中和剤として、ホタテチョークの粉あるいはホタテ貝の殻の粉末を用いた。凝集剤と中和剤の量は、池の水の濁度を調べ決定した。凝集させた後は、市販のカーテンを縫いペットボトルをつめて作った自作のアオコ除去ネットを使いアオコの除去を試みた。

ため池（水量7t）の本実験

1日目予備実験2011年8月3日晴れ水温30℃から35℃

5tのため池の水にホタテの粉500gと凝集剤のミョウバンを500gを加え、凝集反応を調べた。結果は、底のヘドロ（汚泥）が混入したため、汚泥とアオコの混合物が凝集してしまい、浮上した凝集物を除去したが、アオコは大量に残ってしまった。

2日目予備実験2011年8月10日晴れ水温30℃から36℃

前回の結果を考慮して、水中ポンプを使って、ブルーシートで囲んだプールにヘドロを含まないように組み上げたため池の水5tを給水し、ホタテの粉1kgと凝集剤のミョウバンを1kgと過剰に加え、凝集反応を調べた。アオコは凝集・浮上したので、捕集ネットで除去したが、一部沈殿が残ったため、さらにミョウバンを500g加えてみた。その結果、水が白く濁り、白い凝集物が浮上してしまった。この結果は、ミョウバンが多すぎて水酸化アルミニウム $\text{Al}(\text{OH})_3$ が凝集・浮上したものと考えられた。

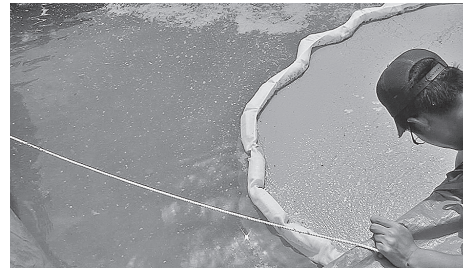
3日目本実験 2011年8月16日晴れ水温30℃から36℃



ホタテチョークの粉とミョウバン水を素早く混合する



攪拌20分後



自作捕集ネットで凝集・浮上アオコを集める

(方法と結果) ため池の水の透視度から濁度を求め凝集剤の量を決めた。

樋口池の透視度97mm 濁度 $50 \times 50^{0.71} = 96.5\text{ppm}$ であったので、完全に凝集する量として凝集剤と中和剤を100ppmずつ加えることにした。

7tのため池の水にホタテチョークの粉700gと凝集剤のミョウバン700gを加え、5分間急速に攪拌し、その後フロックを大きくするためにゆっくりブルーシート内の水を回転させた。5分後には凝集しはじめ、10分後にはフロックが浮上しはじめた。20分後にはほぼアオコは浮上し終わったので、自家製の捕集ネットを用いて凝集アオコを集め、水中ポンプで回収することに成功した。

(考察) 基本的には、ミョウバンとホタテチョークの粉を用いてアオコを凝集・浮上させ、捕集ネットで回収・除去することは可能である。しかし、アオコの浮上条件を満たすことが必要である。その条件は、1) 天候が良好で太陽が出ており十分な光量(10000Lx以上)が得られること。2) 水温が高い(30℃以上)ことがあげられる。また、ミョウバンを使う量を最小限に抑える必要がある。

次に、除去後のアオコの再利用方法について、検討してみる。アオコの発生条件としては、家庭の生活廃水等に含まれる過剰の栄養塩類(窒素・リン)であり、富栄養化したため池ではアオコが異常発生し、そのアオコが栄養塩類の窒素・リンを多量に吸収する。したがって、除去されたアオコには栄養塩類の窒素・リンが多量に含まれているので、除去した後のアオコを天日干しすることによって乾燥肥料として使えるのではないかと考えた。ただし、問題点としては、アオコ(ミクロキスティス)は有毒物質(ミクロシスチン:MC)をもつことである。また、凝集剤として用いたミョウバン $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2$ の成分であるアルミニウムイオンが含まれており、植物の根の成長にどのような影響が出るかが解明できていないことである。

Ⅳ アオコの肥料化

凝集・浮上・除去したアオコを肥料として利用できるかを検討した。まずは、肥料としての栄養塩類を含んでいるか、そして、藍藻のミクロシスティスが生成する毒素ミクロシスチン（MC）を無毒化できるかを調べた。

（実験１）除去したアオコに栄養塩類と毒素ミクロシスチン（MC）がどれほど含まれているかを調べた。

（方法） ①ブランクとして滅菌した蒸留水、試料として②アオコのスカム（浮いたアオコの塊）10mLを蒸留水200mL中に加え1日冷凍し、その後解凍して濾過した溶液、③松井池の水、および、④松井池から凝集・浮上・除去したアオコを天日干しによって乾燥したアオコの粉末200mgを加熱し、その炭化した粉末を200mL中に加えろ過した溶液、それぞれの溶液に含まれているリン酸態リンとアンモニア態窒素とMC毒素の相対濃度を測定した。また、ミクロシスチンの相対量の測定方法はELISA法¹¹⁾を用いた。ミクロシスチンELISA法とは、毒素ミクロシスチンに対する抗原抗体反応を利用して発色させ、その吸光度でMCの量を測定する方法である。毒性が強いほど吸光度は低くなる。

（結果） 生のアオコスカムや炭化した凝集アオコにはリン酸態リンが多く含まれ、凝集アオコにはアルミニウムイオンが多く含まれていた。毒性物質のミクロシスチン（MC）については、吸光度阻害率（蒸留水の吸光度に対する比）が低いほど毒性が強いことを示す（図8）。冷解凍したアオコ水やアオコが大量発生している松井池の水からはMCが検出されたが、炭化したアオコ（燃焼させた乾燥アオコ）は毒性はほぼ消えていた。

（実験２）アオコから流出したミクロシスチン（MC）は水溶液中で生分解されるか。

アオコのスカム10mLを蒸留水200mLに加え、4つの容器に20mLずつに分注したものを、

表１ 炭化によるリン（P）・窒素（N）の減少量

	蒸留水	生スカム	松井池水	炭化アオコ
PO ₄ - P(mg/L)	under	1.54	0.126	0.303
K(mg/L)	under	under	4.75	under
NO ₃ - N(mg/L)	under	under	under	under
NH ₃ - N(mg/L)	under	1.67	0.11	0.27
Al(mg/L)	under	under	under	3.7

それぞれ冷解凍し、ろ過したのち0日、1日、2日、3日間、25℃の恒温室内に放置し、毒素MCがどれほど含まれているかを調べた。

（結果） 毒素MCの濃度は3日間放置によって有意に減少した（図9）。

（考察） アオコにはリンが多く含まれ肥料として利用できるが、MCが生成されているので、MCの無毒化が必要である。アオコの冷解凍によって、MCは細胞から溶出し、25℃で3日間放置すると、MCは生分解されることが明らかになった。冷解凍させたときに出てきたMCが、池の水の中に含まれていたMC

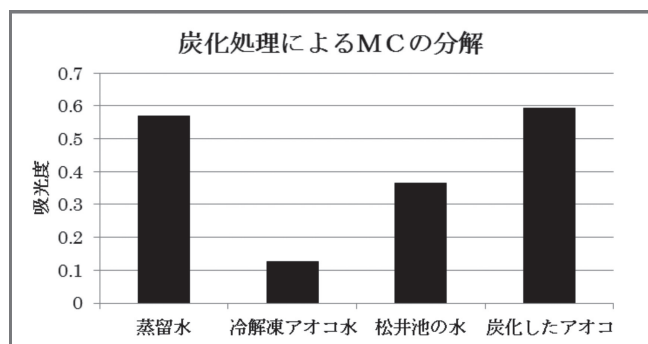


図8 各水溶液に含まれるミクロシスチンの相対量
吸光度の阻害率が低いほど毒性が高い

分解菌によって分解されたために、相対量が減ったと考えられる¹⁰⁾。さらに、アオコを燃焼して炭化するとMCはほとんど分解されるようである。よって、アオコを肥料化しようとする際にMCを除去するのに最も有効な方法は、現時点では天日干しさせたアオコを燃やす方法だと思われる。一般に、MCはオゾン処理や塩素処理あるいは紫外線処理によって毒性がなくなるといわれている¹⁾。アオコの肥料化は今後の研究課題である。

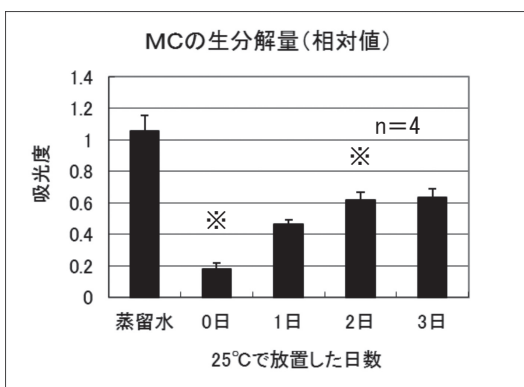


図9 生アオコに含まれる毒素MCの生分解相対量
吸光度が小さいほど毒性が強い (*有意差あり)

《研究の成果と展望》

アオコの河川・湖沼における異常発生は世界的な問題である。アオコは、湖水中のアオコ原因植物プランクトンが大量に増殖して起こり、世界各地の富栄養化が進行した湖沼に普遍的に見られる。アオコが発生すると水質や景観を悪化させ、腐敗したアオコが悪臭を放ち、さらにはアオコ（ミクロキスティス）が作る強い毒（MC）によって海外では人間や家畜等の死亡の被害が報告されている¹⁾。東南アジア諸国やアフリカではアオコの発生が深刻化しており、アフリカでも多くの人が良質な水を利用できない状態が続いている。日本でも飲料水源である湖沼やダム湖において有毒藍藻類が発生している例もあり、飲料水を介しての人体への影響が心配されている⁹⁾。このように、アオコの防除は世界中の富栄養化した湖沼で緊急課題となっているが、未だに解決されていない問題である。

今回開発したアオコの凝集・浮上・除去方法で、ミョウバンとホタテチョークの粉を用いたことで、アオコ（シアノバクテリア）除去と同時に、一般細菌がかなりの率で除菌されることが明らかになった。我々は、この方法で汚泥水やアオコ水から飲料水や生活用水を簡単に安価で確保できるのではないかと考えている。現在、地震や津波などの震災時に簡単な方法で汚水から飲料水や生活用水を確保することは非常に重要な課題の1つである。我々は、今回開発したアオコの凝集・浮上・除去方法で、部分的だが、アオコを凝集・浮上・除去することができた。今後、日々の生活の中で、アオコや一般細菌を除去した水を無毒化し生活用水として利用できるようにし、また、凝集したアオコの無毒化方法を確立することによって、肥料として再利用できるように開発していきたい。

引用文献

- 1) 彼谷邦光 (2001) 有毒シアノバクテリア 裳華房
- 2) 木村信一郎・河野丈斗志 (2003) 第5回日本水大賞受賞活動集 79-91
- 3) 木村諭史・松葉成生・辻井悠希 (2007) キンタイを救う“池干し”の謎 —ニッポンバラタナゴの産卵床となるドブガイの繁殖に影響を及ぼす伝統的な“池干し”の効果—第9回日本水大賞受賞活動集 100-108
- 4) 河野丈斗志 (2002) 第45回日本学生科学賞作品集 62-63
- 5) 後藤克己 (1960) 水酸化アルミニウムの溶解度について、日本化学雑誌81: 349-350
- 6) 丹保憲仁・穂積準 (1968) フロック形成におよぼす凝集条件について 北海道大学紀要 衛生工学16: 37-47
- 7) 丹保憲仁・伊藤英司 (1977) 天然有機着色水の凝集に関する電気泳動的研究、水道協会雑誌 508: 38-50
- 8) Nagata S., Soutome H., Hasegawa A., Sekijima M., Harada K., Suganuma M. and Ueno Y. (1995) Novel Monoclonal Antibodies Against Microcystin and Their Protective Activity for Hepatotoxicity. Natural Toxins 3: 78-86
- 9) 朴虎東・林秀剛 (1996) アオコ—その出現と毒素、渡辺真利代・原田健一・藤木博大 (編) 東京大学出版会 75-99
- 10) 朴虎東 (2005) 環境水中のミクロシスチンの動態と生体蓄積、海洋. 37: (5) 325-334
- 11) 柳田洋一・外岡健夫 (1991) 茨城県内水面水試調査研究報告 27 98-123
- 12) 吉田朋央・小山信次・奥田慎一・笹谷広治・福原長寿・小比類巻孝幸 (2003) ホタテ貝殻セラミックスの抗菌機能について、八戸工業大学異分野科学研究所紀要 1: 117-120
- 13) Watanabe M., Oishi F., Watanabe S., and M. Watanabe (1986) J. Phycol. 22: 552-556.
- 14) 渡辺泰徳 (1999) アオコの生物学と生態学、アオコ—その出現と毒素、渡辺真利代・原田健一・藤木博大 (編) 東京大学出版会 1-24
- 15) 渡辺真利代 (2002) 有毒藍藻の出現、アオコ—その出現と毒素、渡辺真利代・原田健一・藤木博大 (編) 東京大学出版会 55-73