

1 4. 多方面からの水質浄化

静岡県立浜松北高等学校地学部

2 年 金子真直人 他 5 名

1 研究の動機, 目的

- (1) 〈研究の動機, 目的〉 本校の近くには佐鳴湖という湖がある。2002 年～2007 年の 6 年間全国ワースト 1 位, 2008 年ワースト 3 位と評価された富栄養化の進んだ湖である。そこで私たちはかつてのようなきれいな湖に戻すため, 研究を進めることにした。
- (2) 〈今年度の研究〉 今年度はミニプラントの改良に加えこれらの浄化プロセスの過程を全自動で行うことに成功した。また PSI を使用した際のフロックの肥料化にも成果が見られた。さらに PSI の欠点である窒素に対する浄化能力の低さを補うために活性汚泥の利用を始めた。

2 佐鳴湖について

- (1) 〈佐鳴湖の概要〉 静岡県の西部に位置する湖である。佐鳴湖は満潮時に海水が流入するため, 汽水湖となっている。
- (2) 〈汚濁原因〉 汚濁原因の一つは, 工場排水, 農業排水, 家庭排水等を含む上流から流入してくる窒素やリン等を栄養源とし, 植物性プランクトンが異常繁殖することである。その結果, 佐鳴湖が赤潮の発生しているような環境になっていると考えられる。また, 佐鳴湖への流入水量が少なく, 上げ潮時に水が逆流し, 湖水の入れ替わりが悪いことも挙げられる。

3 PSI の浄化能力調査

- (1) 〈PSI について〉 凝集剤とは, 汚水中に懸濁している微粒子をまとめ, 大きな塊(フロック)にして沈降させるために使用される薬剤のことを言う。自然沈降の場合, 懸濁物の沈降速度は 1 時間 1～2 mm だが, 凝集剤を利用することで 10～20 mm の速度が得られる。今回使用するのは, 無機系のポリシリカ鉄(PSI-100)である。これは塩化鉄Ⅲ(FeCl_3)溶液とケイ酸ソーダ, 硫酸の混合物である。(Fe は 2.0% 以上, SiO_2 は 2.2% 以上含む) 懸濁物・プランクトンの表面は負に帯電しているため, Fe^{3+} と凝集しやすい。そしてそれが結合してフロックとなる。凝集沈殿物については農地などで還元作用が起こるため, Fe^{3+} が Fe^{2+} となり, このとき PO_4^{3-} を離し, 植物に利用されやすく肥料となると予想される。

(2) 〈実験〉 (2012 年度以前)

ア 〈目的〉 PSI の佐鳴湖水中の汚染物質に対する除去効果を検証する。

イ 〈分析項目〉 全 COD, クロロフィル a, 全リン, 溶存態全リン, 懸濁態全リン, リン酸態リン全窒素, 溶存態全窒素, 懸濁態全窒素, アンモニア態窒素, 亜硝酸態窒素, 硝酸態窒素

ウ 〈分析方法〉 原水 1 L あたり PSI を 1.6 ml 添加, 高速攪拌(1, 200 回/分) 1 分間, 低速攪拌(200 回/分) 10 分間行い, フロックを沈殿させる。この上澄み液を試水とする。試水をワットマン GF/C で濾過し, 直ちに分析まで冷凍保存した。分析直前に解凍し, 溶存性物質の分析に供した。今後, 実験を行う過程で出てくる窒素やリンなどの分析方法を以下にまとめて記載する。

(ア) COD(化学的酸素要求量): 過マンガン酸カリウム酸性法 JISK0102 (1998) 17 滴定法

(イ) クロロフィル a: アセトン抽出法

(ウ) 全リン(T-P): ペルオキソ二硫酸カリウムで分解後, モリブデン青吸光度法

(エ) 溶存態全リン(D・T-P): ペルオキソ二硫酸カリウムで分解後, モリブデン青吸光度法

(オ) 懸濁態全リン(P・T-P): 全リン現存量と溶存態全リン現存量の差を求める。

(カ) リン酸態リン($\text{PO}_4\text{-P}$): モリブデン青(アスコルビン酸)吸光度法

- (キ) 全窒素(T-N):ペルオキシ二硫酸カリウムで分解後,ナフチルエチレンジアミン吸光光度法
 (ク) 溶存態全窒素(D・T-N):ペルオキシ二硫酸カリウムで分解後,ナフチルエチレンジアミン吸光光度法
 (ケ) アンモニア態窒素(NH₄-N):インドフェノール吸光光度法
 (コ) 亜硝酸態窒素(NO₂-N):ナフチルエチレンジアミン吸光光度法
 (サ) 硝酸態窒素(NO₃-N):銅カドミウムカラム還元後,ナフチルエチレンジアミン吸光光度法

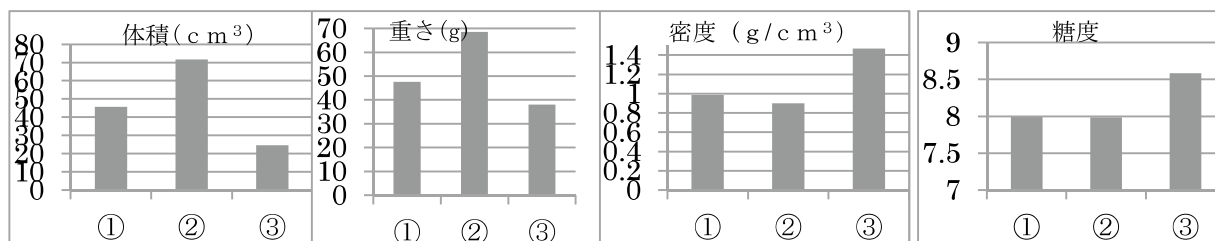
エ 〈結果〉 表中の表記について ◎…PSI が PAC よりも減少し, 原水より減少
 ○…PSI より PAC のほうが減少し, 原水より減少
 ×…PSI が原水に比べて変化なし, あるいは増加

	全COD	クロロフィルa				
効果	◎	◎				
減少率(%)	13.8	89.2				
	全リン	溶存態全リン	懸濁態全リン	リン酸態リン		
効果	◎	◎	◎	○		
減少率(%)	82.6	70.1	92.3	87.0		
	全窒素	溶存態全窒素	懸濁態全窒素	アンモニア態窒素	亜硝酸態窒素	硝酸態窒素
効果	◎	◎	×	×	◎	×
減少率(%)	23.6	30.7	-15.5	-1.7	43.2	-9.1

オ 〈まとめ〉 PSI はリンに関しては大きく値を減少させることができた。これは Fe³⁺と PO₄³⁻が強く引きつけ合うからである。また, クロロフィル a, 全 COD も大きく減少させることができた。しかし, 窒素に関しては大きな効果が見られなかった。減少したもののもあったが, ほとんど変わらないものや増加してしまったものもあった。これからの課題は一部の形態の窒素の増加原因を調べることである。窒素を大きく減少させるために脱窒作用のある化学薬品, 触媒や生物との併用も考えていきたい。

4 フロックの肥料化

- (1) 〈実験目的〉 作物の価値は大きさだけでは決定できず, 色や形, 味などを考慮する。そこで, フロックを肥料として実用化するためにはフロックがそれらの要素にどのような影響があるかを調べる必要がある。今回は, フロックの糖度への影響を調べる実験を行った。
- (2) 〈実験方法〉 水のみを与えるものを①, 肥料として市販の肥料を与えるものを②, 肥料としてフロックを与えるものを③とし, それぞれプランターを2個ずつ用意し, タマネギの苗を10株ずつ植えた。1月27日から6月4日まで128日間実験を行い, タマネギを収穫, 重さ, 体積, 密度及び糖度を測定した。市販の肥料及びフロックを与える頻度は4月30日までは週に1度, 5月1日以降は水のみを与えた。これは, 農家の方に後半は肥料を与えない方が良いとの助言を頂いたためである。
- (3) 〈実験結果〉 グラフ中の①, ②及び③はそれぞれの肥料で育てたタマネギを表している。体積はタマネギ可食部の直径を直角になるように2か所(RI, RII)と高さ(H)を測定し, RI/2×RII/2×H/2×4/3で概数を求めた。糖度のグラフはタマネギの可食部の表皮と中心部の糖度をそれぞれ測定し, 平均した値を表している。



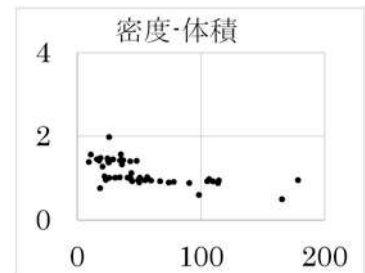
(4) 〈考察〉

ア 〈重さ〉 ②が最も値が大きくなり, ③が最も値が低くなった。②の値が最も大きくなった

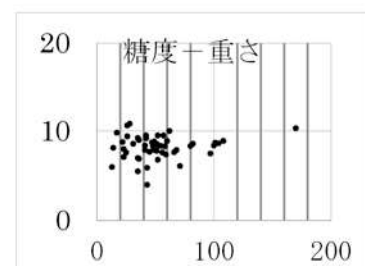
のは市販の肥料が野菜の栽培に適したものだからと考える。②は栄養を含むブロックを与えたにも関わらず水のみをあたえた①よりも値が低くなったのは、佐鳴湖は汽水湖であり含まれていた塩分が小規模の塩害を引き起こし、タマネギの成長に影響を及ぼしたためと考える。

イ 〈体積〉 重さと同様に、②が最も値が大きくなり、③が最も値が低くなった。理由も同様に市販の肥料は野菜の栽培に適したものであり、ブロックに含まれる塩分が塩害を起こし成長に影響を及ぼし、もしくはPSIは窒素に対する浄化能力が低いいためブロックには窒素があまり含まれておらず、葉の成長をつかさどる窒素の量の差が②と③の体積の差を生じさせたと考えられる。

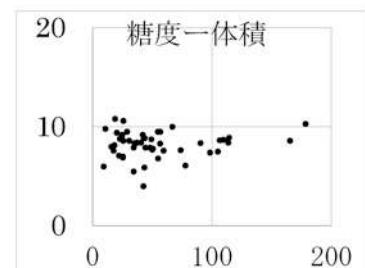
ウ 〈密度〉 ③の値が最も大きくなり、①と②はほぼ同じ値になった。タマネギは大きくなるにつれ、可食部の細胞の液胞に占める割合が大きくなり、結果密度が小さくなったと考えられる。したがって体積と密度には負の相関があると考えられる。実際に収穫したタマネギの体積と密度で散布図を作成すると右のようになる。(相関係数 -0.60959) によって体積と密度には大きな負の相関があると言える。



エ 〈糖度について〉 ③が最も値が大きくなり、①と②はほぼ同じ値となった。①や②よりも③の方が値が高くなったのは普通の肥料には含まない成分がブロックには含まれており、それが影響を及ぼしたと考えられる。ブロックには佐鳴湖に含まれる様々な微量元素が含まれるため、それらが作用したと考えられる。もしくはブロックが直接タマネギに影響を与えたのではなく、ブロックによって糖度が上がるような土壌が形成されたためと考えられる。



オ 〈重さ及び体積と糖度について〉 収穫したタマネギの体積と糖度、重さと糖度、密度と糖度それぞれで散布図を作成し相関係数を求め考察する。(相関係数 0.104829) 以上より糖度と重さ、糖度と体積にそれぞれで僅かに正の相関が見られたため、重さと体積が大きくなればなるほど糖度が高くなると考えられる。したがって、③の糖度が高くなったのはブロックの効果であると考えられる。



(5) 〈まとめ〉 タマネギの実験では市販の肥料には見られなかった糖度を上げる効果が確認された。しかし、ブロック単体で実験を行ったため大きさは市販の肥料より大きく劣っていた。

5 活性汚泥の性質調査 (2013 年度)

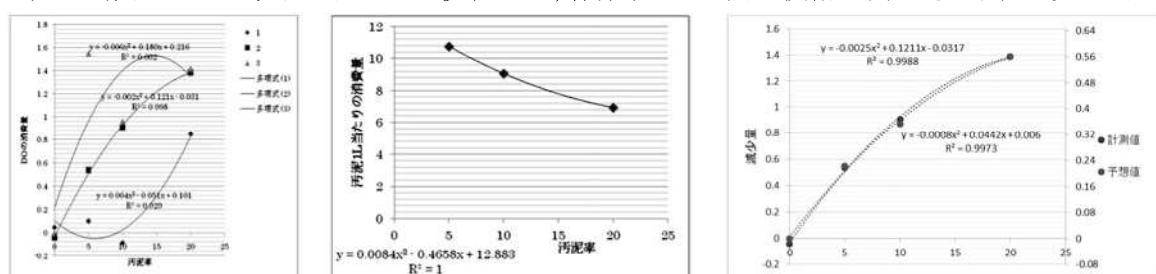
- (1) 〈活性汚泥の利用理由〉 PSI の浄化能力調査より PSI は窒素に対する凝集能力が低いことが明らかになり、ブロックに含まれる窒素は少量であると考えられる。またブロックの窒素不足は植物実験でも裏付けがされている。そこで水中の窒素を固定することができる原生生物を利用し、窒素を PSI によって凝集可能な濁態溶存窒素へと変換することを目標とする。
- (2) 〈実験目的〉 溶存酸素 (以下 DO) と、原生生物による窒素固定の関係を調べる。嫌気的環境下では、脱窒菌により窒素分子として空气中に放出され、さらに原生生物が活発でないため、固定される窒素も少ないと考えられる。一方、好気的環境下においては、原生生物は活発に活動し、より多くの窒素を固定すると考えられる。原生生物の活動の状態は、DO の消費量で測ることができると考え、今回、活性汚泥の量に対する DO の消費量、すなわち原生生物の活動量を調べた。
- (3) 〈実験方法〉 $5 \times 10^{-3} \text{mol/L}$ 硝酸カリウム溶液を 1 L ずつボトルにとり 12 本用意する。12 本のボトルの内 4 本ずつそれぞれに脱酸素剤を 0.008g, 0.002g, 0.000g ずつ加える。同じ量の脱酸

素剤を加えた4本のボトルの内、活性汚泥が体積で0%, 5%, 10%, 20%を占めるように加え、開始直後と1時間後にそれぞれ酸素瓶にとり、DOを測定する。以下は今回の実験のサンプル表である。

系列1(脱酸素剤, 汚泥率)	0.000g, 0%	0.000g, 5%	0.000g, 10%	0.000g, 20%
系列2(脱酸素剤, 汚泥率)	0.002g, 0%	0.002g, 5%	0.002g, 10%	0.002g, 20%
系列3(脱酸素剤, 汚泥率)	0.008g, 0%	0.008g, 5%	0.008g, 10%	0.008g, 20%

(4) 〈結果 データの処理と扱いについて〉 活性汚泥の入っていないサンプル(各系列”0%”)

の場合、変化した溶存酸素量は、活性汚泥の影響でないと考えられるため、自然に変化した影響を補正した。1番, 3番の系列の一部には、おそらくDOの測定時に問題があったものと推定される。3番-0%, 10%, 20%及び1番-0%が2番の系列とほぼ一致していることから、2番の系列が最も信頼できると考えられる。これ以降、3番-5%, 1番-5%, 10%, 20%は外れ値とみなす。DO測定時の問題点としては、容器に移す際に酸素が溶け込んだ、サンプル温度の上昇による飽和溶存酸素量の減少などが挙げられている。他には、作業者のDO滴定技術の向上も必要と考えられる。



(5) 〈考察〉 活性汚泥に含まれる生物は塊を形成している。そのため、塊の内部及び一部の塊の周囲は、局所的に貧酸素状態となっており、内部の個体は好氣的呼吸を行わず、主に表面の個体のみが好氣的呼吸を行っていることが予想される。汚泥中の生物の乾燥重量の上昇に伴う塊の密度の上昇は、塊の衝突、合体をもたらす、塊の表面積に対する体積を増加させる。その結果、汚泥1L当たりの酸素消費量が減少したのだと考えられる。右のグラフ、「計測値」が実際に計測された値(左目盛り)、右のグラフ「予想値」は計算で求められた、表面積の変化の予想(右目盛り)である。なお、破線は、それぞれの近似曲線である。グラフ上方の式が実際の計測値、中ほどの式が予想値の近似曲線の式である。汚泥が常に同数の球形の塊に分かれて存在していると仮定して計算した。これは、塊の密度の上昇は、前述の通り、塊の衝突、合体をもたらすと予想したためである。塊は実際には扁平な形状で、球形ではないが、突出した周辺部では豊富にDOが存在する一方、中央付近では、塊の表面の汚泥であっても貧酸素水塊中に位置し、好氣的呼吸を行っていないと予想される。このことから、実際に塊の表面に位置する汚泥量よりも、好氣的呼吸を行っている汚泥は少なく、球で代用することが可能だと判断した。前出のグラフより、予想値と計測値がきわめて近似していることがわかる。よって、この仮説は正しいと考えられる。

(6) 〈まとめ〉 今回の実験では本来の目的であるDOと原生生物による窒素吸固定の関係を調べることはできなかったが、その副産物として表面積と体積の比を計算でほぼ正確な値を求める事ができた。これにより実際に実験を行わずに様々な活性汚泥の量の場合を考えることが可能となり、実験室では不可能な規模の場合を考えることが可能となった。

6 ミニプラントについて

(1) 概要と目的

佐鳴湖の浄化を実際に行うにあたっては、大型の浄化設備(プラント)の建設が必要になる。そこで、実験室規模でできる小型のプラント(ミニプラント)を製作した。ミニプラントは凝集剤を使用して佐鳴湖を浄化するプロセスを具現化し、佐鳴湖で運用することを目的としているので、低コストで多くの水を効率よく処理できる装置の製作を課題としてきた。ミニプラントでの薬品の添加量、各攪拌速度は、3-(2)-ウで述べた最適滴下量、最適攪拌速度に準じている。

(2) ミニプラント A(アドバンス)の製作

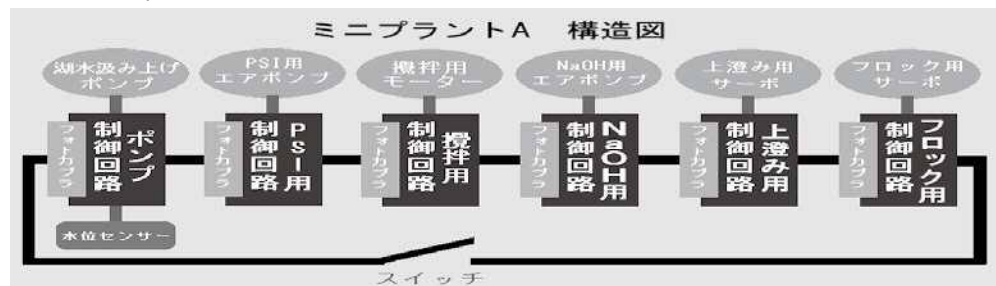
ア <概要> 昨年度よりミニプラントの製作にPIC マイコンを使用してきたが、昨年度のモデルはプログラムや回路に改善の余地があり、動作の正確性に欠けるものであった。そこで今年度は構造の全体的な見直しを行い、静岡大学工学部戎俊男先生の指導のもと、ミニプラントを新作しこれをミニプラント A(アドバンス)と命名した。

イ <2012 年度のミニプラントとの主な相違点>

- (ア) モーター一個あたりマイコンが一個になるようにした。
- (イ) サーボモーターを導入し、動作が確実にになった。
- (ウ) 電源やモーターにノイズを吸収する回路を導入し、動作の確実性を増した。
- (エ) フロックが沈殿しやすい構造の容器を利用するため全体を見直し、ほぼすべて新作した。

ウ <全体の構造> ミニプラント A では、以下のような改善を行った。

- (ア) モーター一つに一つの制御回路を使用することで、マイコンへの負担を軽減した。
- (イ) 各制御回路を独立させ、それぞれフォトカプラを使用して連結した。これにより、制御回路同士は電氣的に独立しており、となりの回路のノイズが入ってくることはなく、全体の動作に影響を及ぼすことがなくなった。また下図のスイッチを入れておけば、再び最初の制御回路に信号が送られ、作業が開始される。また、制御回路とモーター、センサーとの間の距離も短くすることが出来るので、ノイズが減った。また、故障が発生した場合、故障した制御回路と他は独立しているので、動かして見れば正常な動作をしない制御回路が簡単にわかる。故障した制御回路だけ取り替えればよく、修理が簡単で修繕費も抑えることができる。以上の改善から、一日連続運転しても全く誤作動が発生しなくなり、安定した動作を実現した。



エ <今後の課題> 今後の課題としては以下の3点が挙げられる。

- (ア) 自然エネルギーを利用するためにソーラーパネルを使用した電源装置を使用する。
- (イ) PSI は気温が高いと固まる性質を持つが、固まっても適量投入出来るようにする。
- (ウ) 本来の目的である、佐鳴湖に大型の浄化施設を建設するため行政に働きかけること。

7 今年度の研究のまとめと今後の課題

- (1) <まとめ> フロックの肥料化の実験ではフロックに糖度を上げる効果が確認できた。また、フロック単体では窒素が不足しており、作物はあまり大きくならないことも確認できた。窒素不足を他の肥料で補う必要があるが、糖度が上がる効果は他の肥料には見られない大きな有用性である。また今年度から、PSI の欠点である窒素の凝集能力を補うため、活性汚泥の研究を始めた。始めて間もないため、研究成果は出せていないが、うまく使えば PSI と組み合わせ、さらに大きな能力を発揮できると考える。ミニプラントは改良により正確性の向上に成功した。
- (2) <課題> フロックの肥料化の最終目標である農地での実験のために実験データの蓄積とともにフロックの肥料化の際の安全性の調査も行っていきたい。窒素に対して大きな浄化能力を発揮する、PSI と活性汚泥を併用した浄化方法を確認するため、活性汚泥の調査を進めていきたい。

8 参考文献

- ・ 静岡県戦略課題研究報告書「快適空間『佐鳴湖』の創造」平成 20 年 3 月 静岡県産業部
- ・ 家庭で楽しむ太陽電池工作[増補改訂版] パワー社