

7 PSI による佐鳴湖浄化とそれに伴って生じた フロックの肥料化

静岡県立浜松北高等学校地学部
2年 今井有紀 他6名

1 動機・目的

本校の近くには佐鳴湖という富栄養化の進んだ湖である。きれいな佐鳴湖に戻すため、研究を開始した。訪問した上水場で凝集剤を使用した水の処理方法を知り、PSI（ポリシリカ鉄）を利用した水質浄化装置（ミニプラント）を製作した。PSI でリン、COD、クロロフィル a の項目で値を減少させることができた。PSI（ポリシリカ鉄）という凝集剤を使って、その効果の実証を行った。

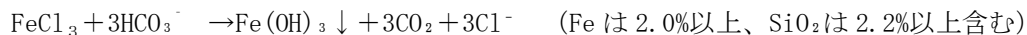
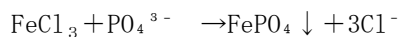
2 佐鳴湖について

静岡県西部に位置する湖で、満潮時に海水が流入するため、汽水湖となっている。面積約 120ha、全周約 5.5km、水深平均 2m(最大水深約 2.5m)、約 240 万 m³、流域面積約 5644ha である。COD は環境基準値である COD5mg/L の達成には程遠い年平均約 8.0mg/L である。

3 凝集剤について

(1) 使用する凝集剤と凝集の仕組み

凝集剤とは、汚水中の微粒子を大きな塊(フロック)にして沈降させるために使用される薬剤である。懸濁物の沈降速度が通常より速くなる。有機系と無機系とがあり、私たちは無機系のポリシリカ鉄 (PSI-100) を使用している。これは塩化第 2 鉄 (FeCl₃) 溶液とケイ酸ソーダ、硫酸の混合物である。仕組みは以下の通りである。



Fe³⁺と表面は負に帯電している懸濁物・プランクトンが結合してフロックとなる。

(2) PSI による佐鳴湖水の浄化の手順

ビーカーに湖水を入れてマグネットスターラーの上に載せる。ビーカーに PSI を滴下する (1.6ml/L)。攪拌子を入れ高速攪拌する。(1200 回/分で 1 分間) 高速攪拌が終わったら、低速攪拌する。(200 回/分で 10 分間) 低速攪拌後、0.5mol/L 水酸化ナトリウム水溶液を滴下する。(1.0ml/L) フロックの沈殿を待つ。回転数、PSI の滴下量は、最もフロックの生成量が多かった組み合わせである。水酸化ナトリウム水溶液は、PSI 処理水の pH が低いため中和剤として添加した。

4 昨年度の研究

(1) PSI 浄化能力調査

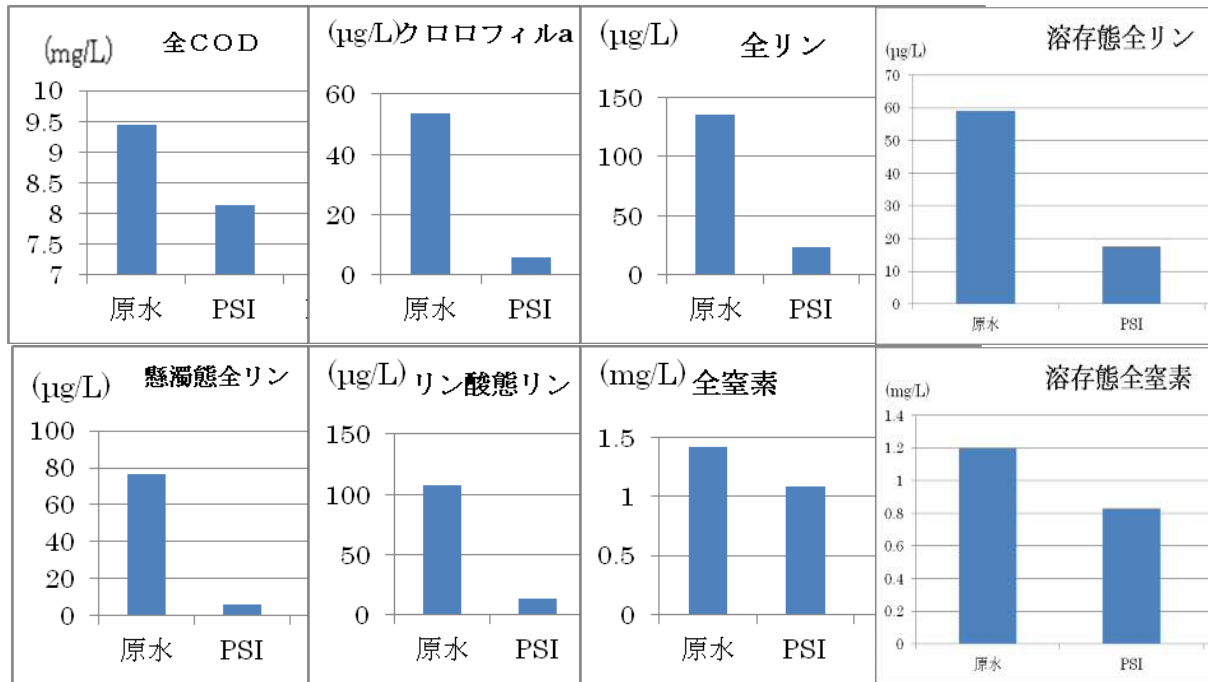
ア 実験目的 PSI の浄化能力を検証する

イ 分析対象 湖水 PSI 処理水

ウ 分析項目 全 COD, クロロフィル a, 全リン, 溶存態リン, リン酸態リン, 全窒素, 溶存態全窒素

エ 分析方法

以下は分析方法である。○COD：過マンガン酸カリウム酸性法 JISK0102 (1998) 17 滴定法○全リン：ペルオキシ二硫酸カリウムで分解後、モリブデン青吸光光度法○溶存態全リン：ペルオキシ二硫酸カリウムで分解後、モリブデン青吸光光度法○懸濁態全リン：全リン現存量と溶存態全リン現存量の差から求めた。○リン酸態リン：モリブデン青 (アスコルビン酸) 吸光光度法○クロロフィル a：アセトン抽出法○全窒素：ペルオキシ二硫酸カリウムで分解後、モリブデン青吸光光度法○溶存態全窒素：ペルオキシ二硫酸カリウムで分解後、モリブデン青吸光光度法



グラフ中の「原水」は実験に使用した佐鳴湖水、「PSI」は PSI で凝集沈殿させた佐鳴湖水の上澄み液を指す。3 価の陰イオンであるリン酸イオンと 3 価の陽イオンである鉄(III)イオンが強く引きつけ合い窒素に比べて大きな凝集効果が確認できた。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。佐鳴湖の汚染の原因が植物プランクトンであるため PSI は佐鳴湖の浄化に大きな作用をもたらすことができると考えられる。窒素に関しては大きな効果は得られなかった。

カ まとめ

PSI はリン、全 COD、クロロフィル a に対しては効果が期待されるが、窒素に対しては効果が期待できず、他の脱窒作用のある化学薬品の併用を考えるべきである。

5 今年度の研究

(1) フロックを使用した植物実験

ア 実験目的、フロックについて

湖水を PSI で処理した時に生じたものがフロックである。主成分がリンや窒素のため肥料として活用出来るか確かめる。そのために小松菜を種から栽培して成長させる実験を行った。

イ 方法

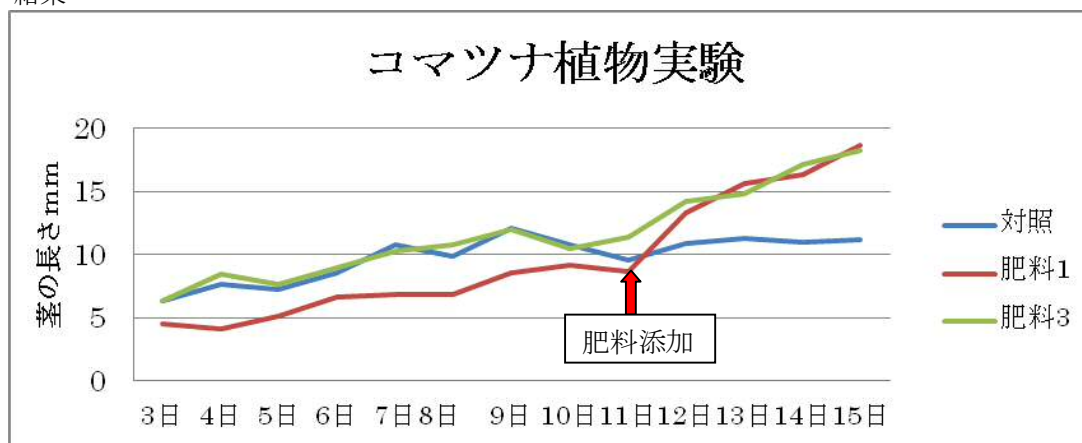
プランター6 つ用意し、それぞれにプランターの深さの 2 分の 1 まで砂を入れる。1 つのプランターに 5 か所コマツナの種を 3 粒ずつまき、8 月 8 日～8 月 21 日の 13 日間、茎の長さの観察を行った。小松菜の芽が出てから観察を行った。

プランター2 つずつ対照、肥料 1、肥料 3 (フロック+普通肥料 2) と呼ぶ。

肥料 3 の作り方…窒素：リン酸：カリが 1：2：1 (肥料 1) と 1：1：1 (肥料 2) の二種類肥料を購入した。リン酸の量が肥料 2 は肥料 1 の 1/2 になるため、湖水と PSI 処理水 10 当たりに含まれるフロックにあるリン酸の量を測定した。次のページのグラフよりフロックに残留するリン酸態リンの量は、湖水－処理水＝フロックとなりフロックに含まれるリン酸態リンの量がわかる。そこから計算して肥料 2 に肥料 1 と同量の補ったものを肥料 3 とする。よってリン酸の量が、肥料 1：肥料 3＝1：1 となる。実験に使用した土は、肥料の与える影響をなるべく反映させるために砂を使用した。

肥料	添加したリン酸の比
対照	0
肥料 1	1
肥料 3(肥料 2+フロック)	0.5+0.5

ウ 結果



肥料の添加は発芽 11 日目である。

エ まとめ

茎の長さが肥料 1 と肥料 3 でほぼ同じになっており、茎の長さに関してフロックに含まれるリン酸態リンは肥料として十分効果を発揮していると分かる。リン酸態リンの比は肥料 1 : 肥料 3 = 1 : 1 で成長幅が肥料 1 ≒ 肥料 3 となっている。よって、フロックに含まれるリン酸態リンを主にした栄養は通常の肥料と同様の効果をもたらすと言える。

(2) 乾燥フロックの分析

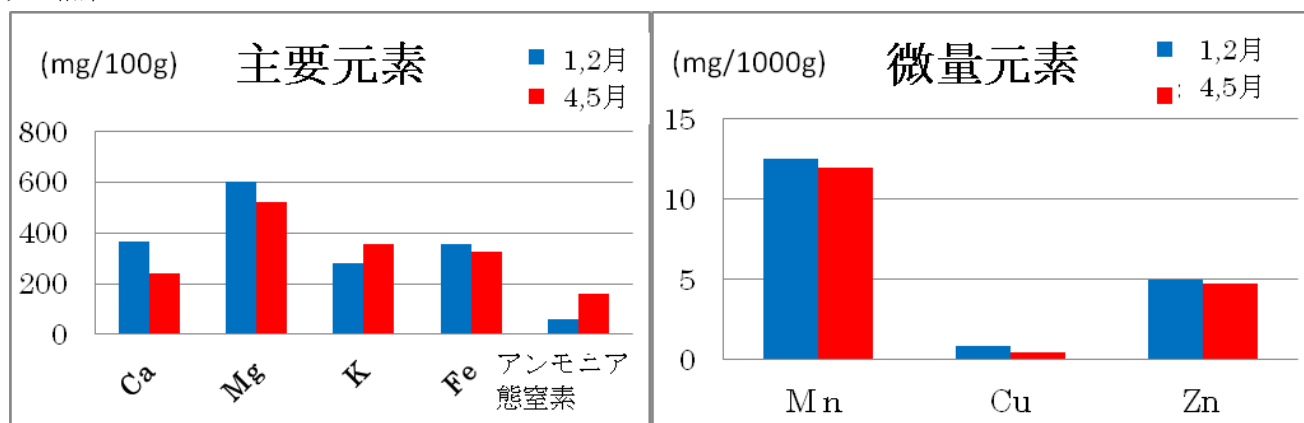
ア 目的

乾燥させた場合どのような成分比かを調べ、乾燥フロックがどのような特性をもつ肥料となるかを調べる。

イ 分析試料

1, 2 月の湖水 (冬季) 530.3 L、4, 5 月の湖水 (春季~初夏) 1036.2L から回収した乾燥フロック

ウ 結果



エ まとめ

生物にとって重要な Mg、K、Fe、Mn、Cu、Zn などの元素が検出され植物に対してよい影響が見られる。また、植物の肥料となるアンモニア態窒素が凝集され、窒素系肥料としての効果もある。

また、石灰や苦土の量が多いため、静岡県西部にある三方原台地などの酸性の土壌にまくことで中和することが出来る。日本は火山地帯が多いため同じく酸性の土壌が多くあり、乾燥フロックはそうした土地に有効だと言える。さらに、鉄分やシリカなどが乾燥フロックには多量に含まれているため、それらの不足した土壌に加えて、土壌改良することが出来る。

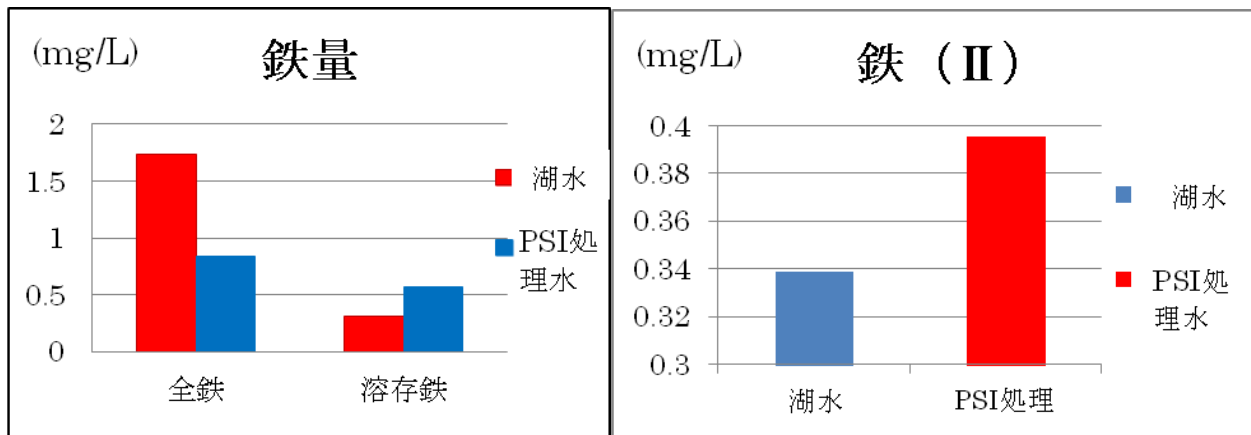
以上のことから、今回の分析より我々が当初予測していたリン肥料に加えて、土壌改良剤としての効果が見込まれることがわかった。

(3) 鉄イオンの分析

ア 実験目的 PSI 処理水中と湖水に含まれる鉄量を比べる。

イ 分析方法 フェナントロリン法

ウ 結果



溶鉄で湖水に比べて増加がみられました。それは PSI に含まれる鉄イオンが残留したためである。プランクトンに吸収されやすい溶鉄が PSI 処理水で増加していたため、佐鳴湖のプランクトンに吸収され増加してしまう可能性がある。

(4) 鉄イオンの影響調査

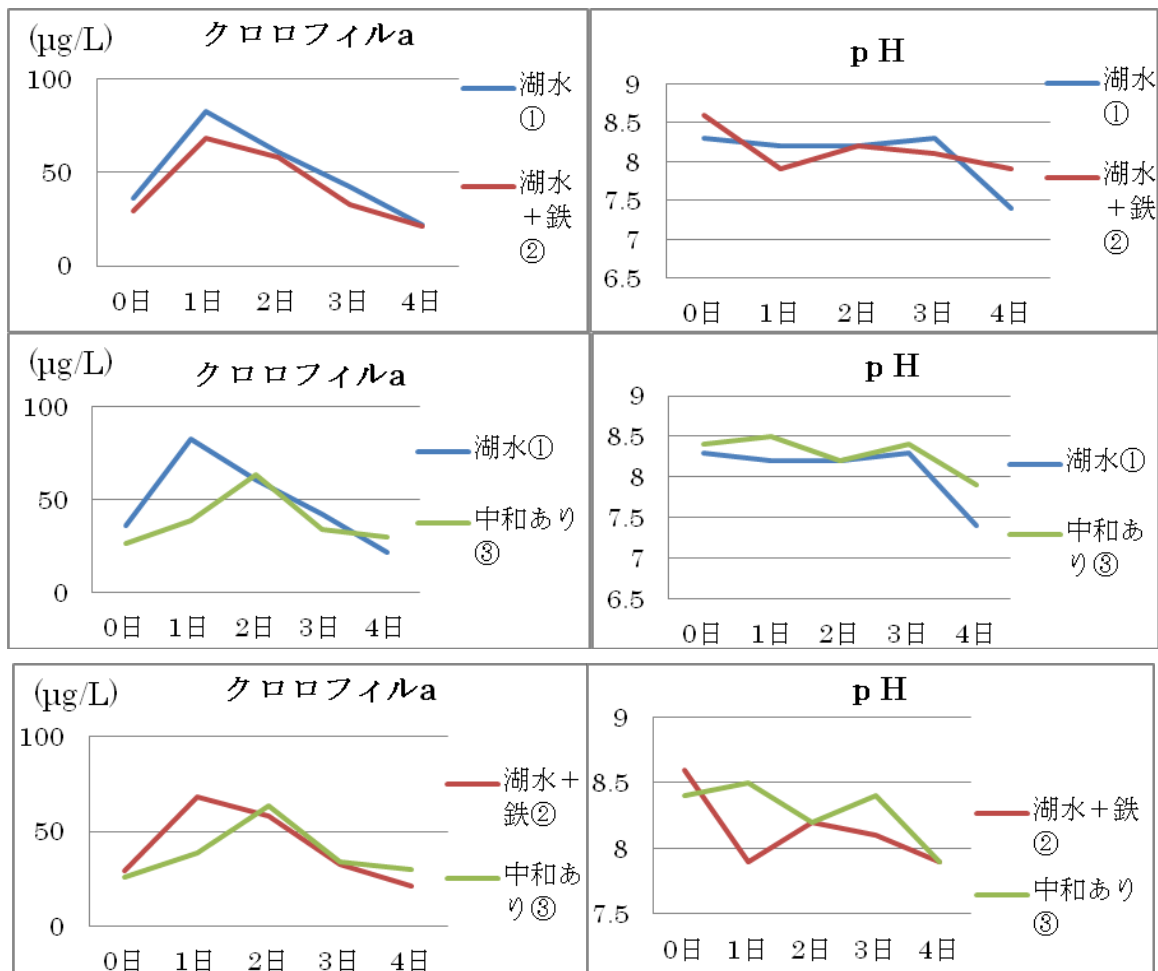
ア 実験目的 PSI で処理された水に含まれる鉄イオンが植物プランクトンに対して及ぼす影響を調べるため実際に佐鳴湖で培養実験する

イ 実験方法

2 リットルペットボトルを 4 本用意する。培養液の調整は下記通りである。

①は湖水をそのまま、②は湖水に上澄み 2 リットルあたりに含まれる、鉄イオンの量を人為的に入れた (FeCl₃を加えた)。③水酸化ナトリウム水溶液で中和した PSI 処理水 0.3L と湖水 1.7L を入れた。佐鳴湖にペットボトルを沈め、毎日ペットボトルから水を取り出し測定を行った。

ウ 測定項目 クロロフィル a、PH



エ 結果と考察

クロロフィル a を湖水と他のサンプルで比べてみると②と③のクロロフィルの値が湖水の値を下回っているが、どの培養液においても湖水の値と同様の推移がみられ、大幅な増加も低下も確認されなかった。これより P S I 処理水に含まれている塩化第二鉄の量では佐鳴湖の植物プランクトンに悪い影響は出ないと考えられる。

オ まとめ

PSI 処理水に含まれる塩化第二鉄は佐鳴湖の植物プランクトンの増殖に悪い影響を与えない。

(5) 自動水質浄化装置(ミニプラント)の製作

ア ミニプラント

ミニプラントとは、水質浄化を目的とした機械である。湖水の汲み上げから、フロックの排出までの一連の動作を（手動ではなく）人の手を借りず、完全自動で行う。

イ 動作行程

- ①ポンプで湖水を汲み上げ、一定水量に達したらポンプを停止する。
- ②エアポンプで PSI を押し出し、センサーで一定量だけ湖水に添加する。
- ③1 分間の高速攪拌（1200rpm）の後 10 分間の低速攪拌（200rpm）を自動調節で行う。
- ④PSI と同様にして NaOHaq(0.5mol/L 1.0mL)を添加し、10 分間フロックを沈殿させる。
- ⑤上部コックを開いて上澄みを排出し、その後下部コックからフロックを排出する。

ウ 改善点

工程を正確に完全自動で行うために、PIC マイコンというデバイスを使用した制御回路を設計、自作した。またこの回路に合わせ、機構面でも改良を加えた。センサーを各部分に取り付け、モーターに対応させた。これにより状況に合った動作ができるようになった。さらに各部分の簡素化を図り、可動部分を削減することで、動作をより正確にし全体を小型化することに成功した。今後の課題は、現地での稼働実験と太陽電池で充電できるようにすることである。



(6) 総括

今年度の研究の中心はフロックの肥料化であった。植物実験によってフロックに含まれる栄養は市販の肥料と同様に植物に効果をあたえる事が実証された。また分析結果より酸性の土壌を中和する土壌改良剤としての効果も期待される。ここで注目すべきは佐鳴湖の富栄養化の原因の1つが農業排水の流入であることと、近くに酸性の土壌である三方原台地が広がっていることだ。これにより佐鳴湖に流入した栄養分を浄化するとともに取出し、再び農地に還元する、といった循環型農業を作り上げることができる。無駄を少なくできるこの循環型農業は資源の消費を防ぐとともに、地域の農業に貢献することができ、地域社会の発展につながる上、何より今まで私たち人間が介入し断ち切ってしまった自然の流れを再びつなげる一歩となるはずだ。

これからは効果の面だけでなく、安全面の実証や改良、また果実ができる植物を対象に果実への効果を調べていきたい。

6 謝辞

研究を行うにあたり多くの方々にご指導をいただきました。ここでお礼を申し上げます。

浜松市大原浄水場 浜松市保健環境研究所 鈴木まさひろ

静岡県立浜松北高等学校地学部顧問 辻野兼範 敬称略、順不同