

事業の名称

地域連携による千波湖のアオコ抑制プロジェクト

〔事業責任者〕

(自治体等側)

水戸市 公園緑地課 課長 市村 正一

(大学側)

工学部 都市システム工学科 准教授 藤田 昌史

事業テーマ：地域環境の形成
自治体との連携
その他

連携先

水戸市，水戸商工会議所，茨城県工業技術センター

プロジェクト参加者

市村 正一（水戸市公園緑地課 課長）

千波湖のアオコ集積防止対策

藤田 昌史（茨城大学工学部 准教授）

炭酸カルシウム系廃棄物を利用したリン除去技術の開発

和田祐之介（水戸商工会議所 会頭）

地域住民からの貝殻廃棄物の回収の方法

石渡 恭之（茨城県工業技術センター）

リン吸着反応の解析

プロジェクトの実施概要

①プロジェクトの目的

【背景】水戸市の貴重な水辺環境である千波湖（淡水湖，湖面積 332,131m²，平均水深 1.0m）は，

近年，アオコの問題が深刻化している。水面景観の悪化や悪臭が発生するなど親水性が損なわれており，地域住民から水環境の改善が強く望まれている。水戸市では，H26年度からアオコ集積防止業務委託を行い，民間から募集したアオコ集積防止装置を設置し，発生したアオコを消滅させる運転を行っている。

【目的】千波湖のアオコ対策は短期的と長期的の両面の視点が必要となる。流域対策（生活排水対策，農地対策）がなされることにより，アオコ発生の原因となるリンの流入を抑えることが根治的な解決となるが，これには年月を要する。現在，水戸市では地域住民からの水環境改善の強い要望もあり，発生したアオコの集積を防止する装置を導入している。対症療法的な手段であり即効性はあるが，長期的な視野に立つと根治的な解決には至らない（図-1）。

本事業では，対症療法と根治療法の中間に位置付けられる対策として，リン吸着能に優れた炭酸カルシウム系廃棄物（卵殻，貝殻）を地域住民

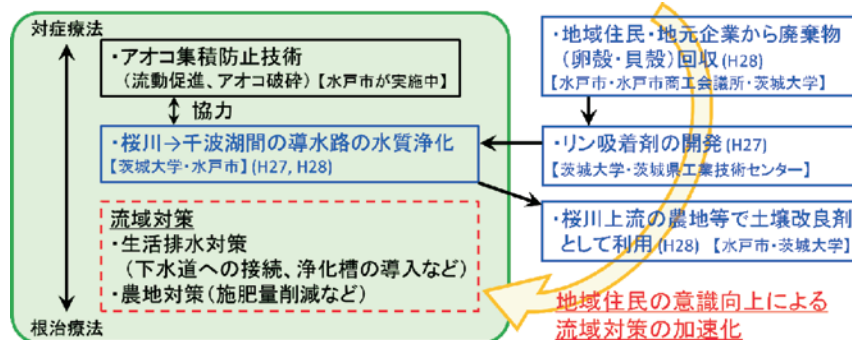


図-1 本事業の概念図

や企業から回収し、それをもとに安価なリン吸着剤を開発して（協力：茨城県工業技術センター）、桜川から千波湖に流入する唯一の導水路に設置して、リン吸着を図ることで千波湖のアオコ発生を抑制することを目指す。卵殻や貝殻はスーパーでのペットボトル、牛乳パック等の回収と同様に、回収コーナーを設けて地域住民の手で運んでいただく。茨城県は鶏卵生産量が日本一であり、大洗町では貝殻廃棄物の処理に困っていることから、地元企業からの廃棄物回収も視野に入れる（協力：水戸商工会議所、茨城県工業技術センター）。卵殻や貝殻は、土壌改良剤として利用できるが、リンが吸着することにより肥料の効果も期待される。そのため、桜川上流の農地を中心に農地還元する。桜川上流は下水道未接続、浄化槽未導入の地域が多いため、この地域の住民の流域対策の意識を向上してもらえようようなネットワークを組むことにより、根治的な解決の加速化を狙う。

②連携の方法及び具体的な活動計画

【自治体等の活動】

- ・桜川や湖内の水質データ、桜川からの導水量データ、H27年度も実施するアオコ集積防止装置の稼働データ等を提供していただく。特に、アオコ集積防止装置の稼働においては、本事業の提案技術と連携することにより相乗的なアオコ抑制効果を狙う。
- ・H27年度後半からH28年度にかけて、地域住民や関連企業からの廃棄物（卵殻、貝殻）の回収、桜川―千波湖の導水路で使用後のリン吸着廃棄物の農地還元のフロー開拓を茨城大学と連携して進める。

【大学の活動】

- ・H27年度は、地元企業から卵殻、貝殻を入手し安価なリン吸着剤を作成し、それらのリン吸着性能を明らかにする。そして、桜川―千波湖の導水路に、どの程度の粒径、体積の卵殻、貝殻をカラム化して設置すれば、どの程度のリン量の削減が図れるか、設計諸元を明らかにする。

- ・上述の検討結果を受けて、桜川―千波湖の導水路で実証実験を開始する。
- ・H27年度後半からH28年度にかけて、地域住民や関連企業からの廃棄物（卵殻、貝殻）の回収、桜川―千波湖の導水路で使用後のリン吸着廃棄物の農地還元のフロー開拓を水戸市と連携して進める。

〈参考：H28年度の計画〉

- ・桜川―千波湖の導水路で実証実験を継続する。
- ・農学部の教員の協力を得て、リンを吸着した卵殻、貝殻の土壌改良剤、肥料としての有効性を評価する。

③期待される成果

水戸市が実施しているアオコ集積防止技術と連携することにより、千波湖のアオコ抑制の相乗効果が期待される。

水戸市、水戸商工会議所、茨城県工業技術センター、茨城大学が連携することにより、地域住民を巻き込んで千波湖のアオコ対策に取り組むネットワークを創る。地域住民の意識向上を図り、流域対策を加速化させることにつながる。

プロジェクトの実施成果

①活動実績

【千波湖のアオコ集積防止】

水戸市が千波湖アオコ集積防止業務委託を実施した。湖南側にアオコ集積防止装置を設置し稼働させた。その結果、湖岸160m、面積2,100m²の範囲において、アオコ集積防止の効果が得られた。詳細については、水戸市の報告書を参照されたい。

【地域住民・地元企業からの廃棄物回収】

水戸商工会議所が中心となり、地域のネットワークを活用して、地域住民、関係団体、地元企業からリン吸着効果の高かったシジミ貝殻を回収する方法に目処がたった。

【リン吸着剤の開発】

茨城大学、茨城県工業技術センターが中心となり実施した。以下、詳細に報告する。

1. 材料と方法

1.1 千波湖周辺の炭酸カルシウム系廃棄物

茨城県は鶏卵生産量が日本一であり、また、沼沼ではヤマトシジミの生産が盛んであるが、貝殻廃棄物の処理は困難であるため、地元企業等からこれらの廃棄物を容易に回収できる。そのため、本研究では、地元廃棄物として主成分が炭酸カルシウムであるシジミ貝殻と鶏卵殻を使用した。これらを粉碎し、ふるいを用いて粒径を $32\mu\text{m}$ 以下、 $125\mu\text{m}$ 以下、 $425\mu\text{m}$ 以下、 $2,000\mu\text{m}$ 以下に分取した (図-2)。

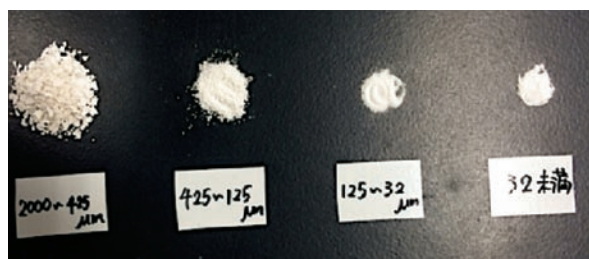


図-2 粉碎した鶏卵殻

1.2 バッチ試験

(1) シジミ貝殻からの Ca^{2+} 溶出実験

本研究では、初期 pH が一定の条件下で 250mL の超純水が入った三角フラスコに対象物を 0.1g 加え、攪拌し、試験溶液の Ca^{2+} 濃度の変化を測定した。また、0.1N の HCl を用いて溶液の初期 pH を実験ごとに調整し同じ実験を行った。サンプルの採取は攪拌開始から 15min ごとに行った。サンプルの採取後、孔径 $0.45\mu\text{m}$ の DISMIC 濾過器 (東洋濾紙 (株)) を用い濾過し、高速液体クロマトグラフ (Shimadzu 社) を用いて、 Ca^{2+} 濃度を測定した。

(2) リン除去実験

顆粒状のリン酸二水素カリウム (KH_2PO_4) を超純水に溶かし、 1mgP/L のリン酸試験液を準備した。また、デシケーター内で乾燥した塩化カルシウム (CaCl_2) を超純水に溶かし、リン酸試験液に対して 10, 20, 100 倍の Ca^{2+} 試験液を準備した。 1mgP/L のリン酸試験液を三角フラスコに 250mL 注ぎ、実験ごとに異なる Ca^{2+} 試験液 1mL をリン酸試験液の入れた三角フラスコに入

れ、攪拌しリン酸溶液の濃度の変化を調べた。また、0.1N の NaOH を用いて実験ごとに溶液の初期 pH を調整した。サンプルの採取は攪拌開始から 30min ごとに行った。サンプルの採取後、モリブデン酸青分光光度法により、リン酸態リンの濃度を測定した。

1.3 藍藻培養実験

(1) 藍藻培養装置の作成

市販のスポンジを厚さ 1cm に切断し、水中に浮かせるためにガラスチューブを底面に設置し、藍藻培養装置を作成した。千波湖から採取した水を遠心分 (H-28F, KOKUSAN 社) を用いて、 $3,500\text{rpm}$ で 3 分間、遠心分離を行った。上澄み液を捨て、得られたアオコをスポンジの表面に付着させた後、有効容積 400mL 程度の容器に入れ、脱気した水道水 300mL を加えた。

(2) 培養工程

作成した藍藻装置に藻類培養液 KW21 0.5mL ($2,000$ 倍希釈) を添加し、水温 25°C 、照度 $8,000\text{lx}$ 、明暗周期 Light / Dark = 12 h / 12 h とした。常時曝気を行い、静置した状態で、30 日間培養した (図-3)。

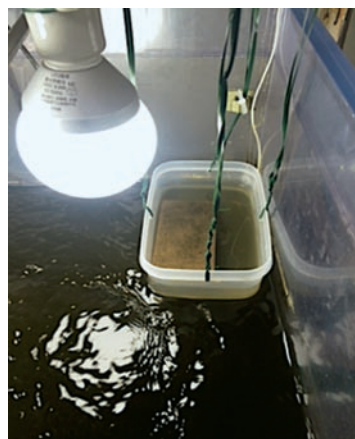


図-3 藍藻培養の様子

2. 結果・考察

2.1 Ca^{2+} 溶出実験における pH と粒径の最適化

二種類の廃棄物である鶏卵殻、シジミ貝殻に対し、同一条件 (リン濃度 100mgP/L と初期 pH5) のバッチ実験を行った結果、鶏卵殻よりシジミ貝

殻の方が高い溶出能力を示したため、シジミ貝殻を以降の考察対象とした。

粉碎したシジミ貝殻の Ca^{2+} 溶出濃度の経時変化を図-4に示した。同じ貝殻重量に対し、粒径の小さい方が、溶出量が多かった。これは、粒径が小さい方が比表面積が大きくなるためだと考えられる。また、時間が経過するにつれて溶出速度が低下していた。シジミ貝殻の主成分である炭酸カルシウムは溶解に伴い、式-1の化学反応が進むことが知られている（吾妻ら，2014）。



これを踏まえると、反応で生成した Ca(OH)_2 はアルカリ性、 H_2CO_3 は酸性であることから、中和反応により pH を 7～8 と中性付近にさせた結果、炭酸カルシウムの溶解度が小さくなり、溶出速度が低下したものと考えられる。

得られた溶出濃度の経時変化より、算出した溶出速度を図-5に示す。pHが高いほど Ca^{2+} 溶出速度が低下することを再確認できた。溶出速度

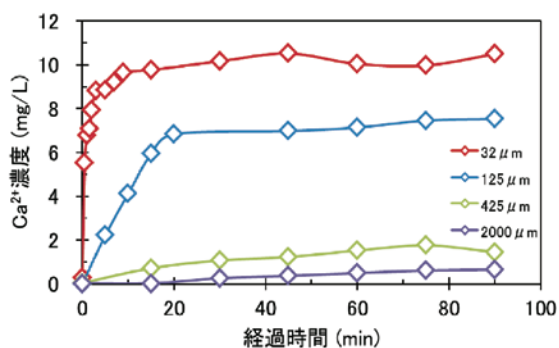


図-4 各粒径の Ca^{2+} 溶出量の経時変化の比較

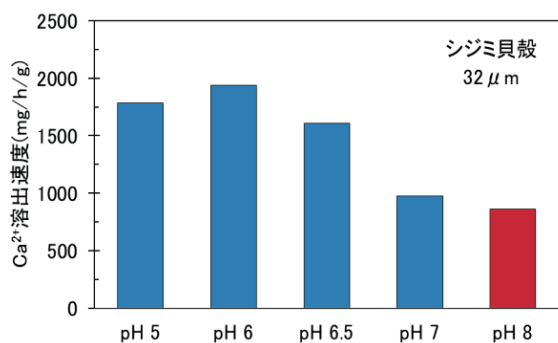


図-5 pH と Ca^{2+} 溶出速度の関係

が最も低かった pH=8 の場合でも、最大速度の約 1/2 の速度を示した。現地の条件を踏まえて、高い溶出速度を得るため、河川水の pH を低下させるよりもシジミ貝殻の粒径を $32 \mu\text{m}$ 以下にする方が実務的には実現可能性があると考えられた。

2.2 導水路におけるリン除去の最適 pH 条件の検討

どの程度の貝殻が必要であるか PO_4^{3-} を Ca^{2+} 塩として除去する際には、難溶性リン酸塩形成のため pH の高い方がより効果的であるが、現地の条件を踏まえて、pH が 10 のときの結果を図-6に示した。

リン除去速度は、 $\text{Ca:P}=10:1$ (10 倍系) が 0.00158 mg/min 、20 倍系が 0.00293 mg/min 、100 倍系が 0.159 mg/min であった。最も高い除去速度を示した 100 倍系の除去率はほぼ 100% に至った。したがって、現場では導水路のリン酸濃度に対し、100 倍程の Ca^{2+} 濃度を溶出させられる量のシジミ貝殻を上流側に投入すれば、導水路のリンを除去できることを示している。

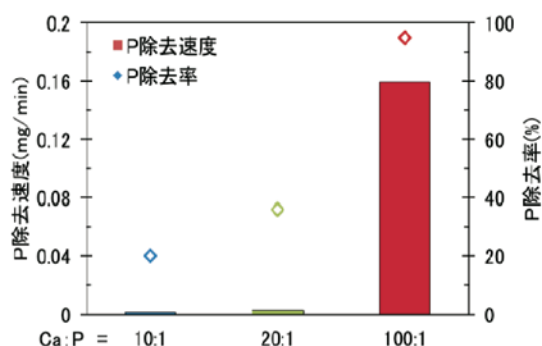


図-6 リン除去における $\text{Ca}^{2+}:\text{P}$ 比率の比較

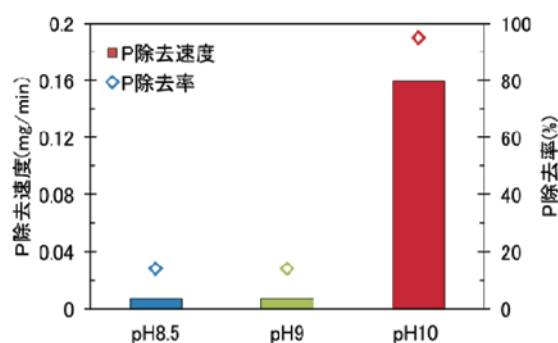


図-7 pH によるリン除去速度の変化

Ca²⁺濃度 100 倍系を用いて、pH による影響を調べた。その結果を図-7に示す。pH=10はpH=8.5とpH=9の除去速度を大きく上回ったため、現地のpHを10程度に上昇させる必要があると考えられた。

2.3 藍藻装置を用いたpH上昇効果の評価

藍藻培養開始から装置内のpHが日々上昇していることが確認できた。しかし、約20日後、pHの変動が見られなくなった。これは、装置中の藍藻の増殖が抑えられたと考えられる。藍藻が増殖しやすい環境には、水温、日射、栄養塩などの環境因子が挙げられる(藤本ら, 1995)。本研究では水温を一定に設定しているため、藍藻を増殖させるためにランプを装置の水面により接近した。その結果、藍藻装置のpHは10前後となった。装置改良後の照度数は初期培養期間より約4倍になった。したがって、本実験における藍藻の増殖には照度が大きな制御因子だと考えられる。

藍藻装置のpHが安定した後、5日間にわたり藍藻装置のpHと照度を測定した。図-8に示したように、昼のpHが9.8~10.1に達した。つまり、薬品を用いなくても藍藻を利用すればpHを上昇できることを示せた。また、照度条件によりpHが変化するが、本装置では照度が34,000~40,000lxの間でpHは10に至った。夏季の晴天時には、屋外の照度は100,000lxを越えるため(鳳, 1963)、現地では十分に目的とするpHが得られると考えられる。したがって、本pH上昇手法は現地でのリン除去において十分に適用が可能である。

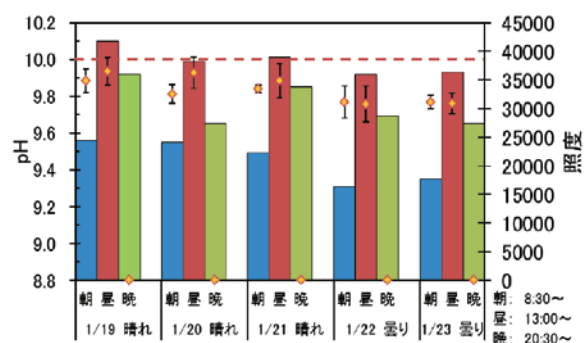


図-8 藍藻装置の照度とpHの関係

3. まとめ

廃棄物卵殻とシジミ貝殻において、シジミ貝殻の方が高い溶出能力を示した。シジミ貝殻の粒径を32μm以下にすることにより、導水路のpHを変えずに高い溶出速度でCa²⁺を得られることが明らかとなった。また、溶液のpHが10の場合、リン酸濃度に対し、100倍程度のCa²⁺濃度を溶出させられる量のシジミ貝殻を投入すれば、効率的なリン除去効果が得られた。更に、藍藻を利用すれば、目的とするpHまでに上昇させることができ、導水路に導入することでリン除去における十分に対応が可能であることが分かった。

図-9に示すように、桜川から千波湖の導水路の上流側に32μm以下に調整したシジミ貝殻を現地の流量を想定して投入し、下流側に藍藻装置を設置すれば、上流側で溶出されたCa²⁺がpHの高い下流側に流され、PO₄³⁻と反応し、リン除去を達成することが十分に可能であると考えられる。

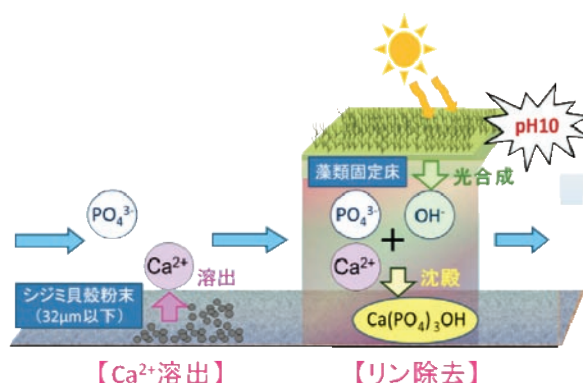


図-9 千波湖導水路におけるリン除去手法

②プロジェクトの達成状況

今年度は千波湖導水路の流量制限があったため、現地でのリン除去の実証試験はできなかったが、地域住民・地元企業からの貝殻廃棄物回収、リン吸着剤の開発は十分な成果を挙げることができた。

③今後の計画と課題

導水路でリン除去実証試験を実施し、回収したリンの利用方法を確立することで、地域連携による千波湖のアオコ対策が実現する。