

牡蠣殻やトウモロコシ炭を担体として用いた有毒藍藻の簡易浄化手法の研究

長崎大学 工学部 学生会員 入部滉太郎、長崎大学 工学研究科 正会員 鈴木誠二 長崎大学 工学研究科

板山朋聡

1. 研究背景・目的

富栄養化した湖沼では有毒藍藻から構成されたアオコが世界中で発生し、特に藍藻毒ミクロシスティンは、実際に住民への健康リスクが懸念される。例えば、東アフリカの湖では、その湖畔で生活している住民の多くが、アオコが発生していても、その湖水で体を洗い、さらに飲料水としても利用することもある。アフリカ等の発展途上国では、このような状況が未だに多い。本研究では、これらの状況を改善し、健康被害を最小限にとどめるため、開発途上国で利用可能な低コストに有毒藍藻やその藍藻毒を除去可能な簡易浄化システムが必要となる。ミクロシスティンは、微生物分解が可能であるため、生物濾過法が有効であるが、生物担体として利用されるプラスチック担体はマイクロプラスチックの問題が同時に懸念される。また、木炭担体を生物担体として利用した有毒アオコの浄化法(バイオフェンス)が開発されてきたが、木炭は森林破壊に繋がってしまう。そこで、本研究では、環境にやさしい生物担体として、安価で世界中で穀物として栽培されるとうもろこしの芯(農業廃棄物)から作製した炭や、水路浄化などで使われる牡蠣殻の利用を検討する。また、雑排水処理で用いられてきた傾斜土層法¹⁾を元としたモデル傾斜型水路浄化リアクターによる藍藻ミクロシスティスを主に含むアオコ発生湖水の浄化能を検討する。

2. 実験方法

(1) 傾斜型水路リアクターとその運転方法

破碎した牡蠣殻(平均粒径 0.56mm, 空隙率は 52%) トウモロコシ(穂軸)炭(平均粒径 0.46mm, 空隙率は 72%) の 2 種類の担体を用いた。傾斜型水路リアクターは図 1 に示す。1 段の有効容積は 165 cm^3 。勾配は約 7% に設定した。これを踏まえ、格段の滞留時間を約 2 時間半合わせるため、水槽の模擬湖水を流入させるポンプ流量は 1.6 cm^3/min 、トウモロコシ炭は 2.1 cm^3/min に設定した。模擬湖水には島原の農業用水池から採取した主にミクロシスティス属から成るアオコを冷蔵保存しておき、クロロフィルが 150~200 $\mu g/L$ となるように水道水で希釈し、LED ランプ(光強度: 100(\pm 20) $\mu mol/m^2s^{-1}$ 明暗 12 時間周

期) を備えた水槽(40L)に入れ、さらに栄養塩として $FeSO_4 \cdot 7H_2O(1g/L)$, $KH_2PO_4(10g/L)$ $NaNO_3(100g/L)$ を 5mL 添加した。

傾斜型水路リアクターの各段の構造

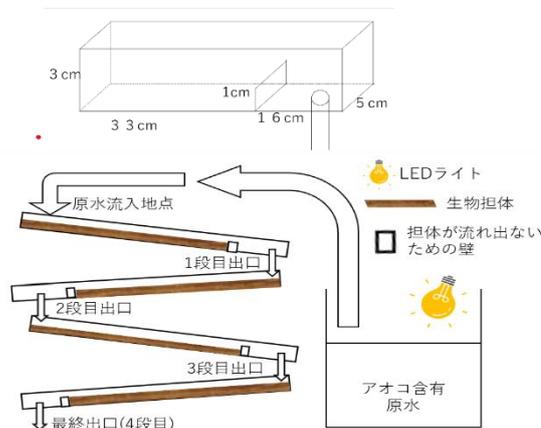


図 1 傾斜型水路リアクターによるモデルアオコ湖水の浄化実験装置

(2) 水質分析方法

クロロフィル a: サンプル水をガラス繊維フィルター-GA-55(pore size 0.7 μm)の上でろ過し。そのフィルターを試験管(15mL)にいれ、 $MgSO_4 2\%$ 溶液で希釈した 90%メタノールの 5mL を加え、ねじ蓋で密閉し温浴(60-65 $^{\circ}C$)、暗条件で抽出し吸光光度法でクロロフィル a 濃度を測定した。

ミクロシスティン(microcystin): 100%酢酸 5.0ml を 100ml のサンプル水に加え、30 分間振盪させ、各サンプルの超音波処理を 5 分間細胞が完全に破壊されるまで繰り返した。ガラス繊維フィルター-GA-55 で濾過した濾液を固相抽出(SPE)カラムで精製回収し、乾燥した試料を 1.0ml の 75%メタノールに溶解し各 HPLC の分析に用いた。HPLC(日本分光: JASCO LC-2000)を用い、C-18 カラム(Agilent, Zorbax, Eclipse, 粒子径 5 μm , 内径 3mm \times 長さ 150mm)によって microcystin の分離定量を行った。カラム温度 40 $^{\circ}C$ に設定され、PDA 検出器で 238nm。溶媒 A は 0.05% (v/v)トリフルオロ酢酸を含む超純水、溶媒 B はアセトニトリルで勾配法を用いて分析し、microcystin-RR, -YR, -LR の標準物質を用い、ピーク面積から濃度を定量した。

3 結果・考察

(1) クロロフィル a 濃度で評価した藍藻除去能

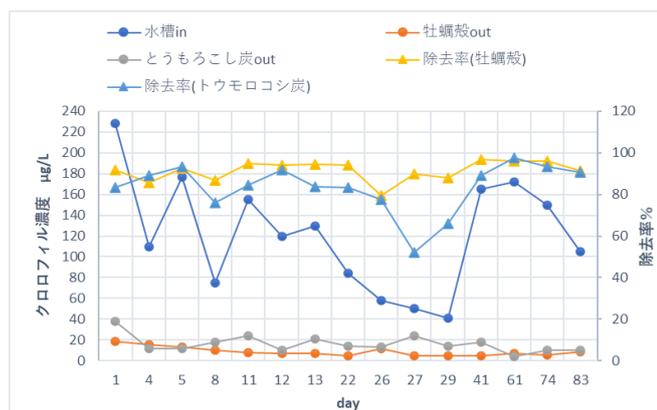


図 3 傾斜型水路処理水と原水のクロロフィル a 濃度と除去率の経日変化

図 2 から 40 日目までは、トウモロコシ炭担体より牡蠣殻担体処理水のクロロフィル a 濃度が低く（除去率が高くなる）傾向にあったが 60 日目には、ほぼ同等となった。それぞれの充填担体の空隙率を踏まえ滞留時間が同じになるように流量を調整したが、牡蠣殻に比べると炭には空隙に寄与する細孔が多いが、細孔中には浸透流があまり入らず、流れに寄与しないため、トウモロコシ炭担体の空隙の流速は実質的に早くなると考えられた。そのため、トウモロコシ炭担体では間隙中のアオコが押し出され易く、処理効率が低下したと考えられた。その後、トウモロコシ炭担体では微生物が定着し生物処理能が発達するにつれ、両者の除去率が同程度となった。

水路リアクターの流れが多孔質媒質中の押し出し流れ（ダルシー流速 u ）とし、1 次反応（速度定数 k ）によるクロロフィル除去を仮定すれば、傾斜水路中のクロロフィル a 濃度 C は、 $C(L)=C_0 \cdot \exp(-kL/u)$ となる（ L : 流下距離 L ）。各段の水路長を l とした場合は次式が成り立つ。 C_n は n 段目からの流出水のクロロフィル濃度で C_0 は流入濃度。

$$-\log \frac{C_n}{C_0} = \left(\frac{kl}{u} \right) n$$

上式の左辺を段数 n に対してプロットし（図 3）、線形回帰を行った結果、速度定数 k (h^{-1}) は、牡蠣殻担体で、0.1383(5day), 0.1809(21day), 0.2116(61day)。

トウモロコシ炭の担体では、0.1814(5day), 0.1571(21day), 0.2956(61day) となり、経過日数とともに、除去速度は向上し、トウモロコシ炭を担体の場合の除去速度が牡蠣殻担体より高い結果となった。

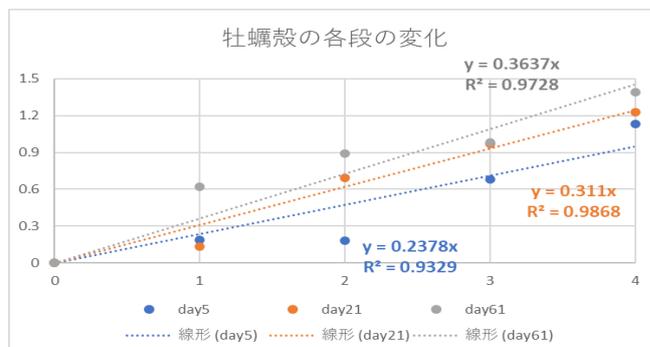
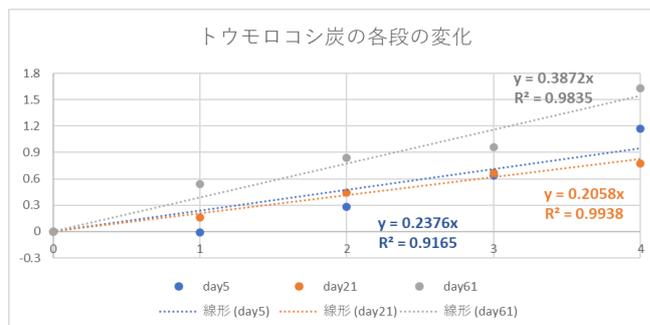


図 4 トウモロコシ炭担体と牡蠣殻担体における各段のクロロフィル a 濃度変化

(2) ミクロシスティン濃度の変化

使用したモデル湖水の原水のクロロフィル ($1\mu\text{g}$) あたりのミクロシスティン含有量は $0.3\mu\text{g}$ となった。40 日目の水槽内は約 $48.5\mu\text{L}$ となった。牡蠣殻担体処理水では $1.9\mu\text{g/L}$ 、トウモロコシ炭担体では $0.75\mu\text{g/L}$ となった。WHO が飲料水として出した基準値 ($1\mu\text{L}$) をトウモロコシ炭は満たしていたが、牡蠣殻担体の水路浄化では、十分なミクロシスティン除去能が得られなかった。

4. まとめ

牡蠣殻担体とトウモロコシ炭担体を充填した傾斜型水路リアクターの藍藻除去能をクロロフィル a 濃度で評価し、両担体のリアクターともに約 60 日で安定した除去能を示し、約 90-95% を達成した。また、牡蠣殻担体よりトウモロコシ炭担体がミクロシスティン除去能の点では優れていた。

5. 参考文献

- (1) 傾斜土槽法による生活排水処理, 生地 正人 他 水環境学会誌, Vol. 31 No12 (2002) P47-52
- (2) Khine Lwin Aye, et al., Seasonal Variation of Water Quality and Microcystin Concentration in Kandawgyi Lake, Yangon City, Myanmar, Engineering Journal Chiang Mai University 27, 2 (May-Sep 2020), 16-27