

# 竹と土着珪藻を活用した物理工学技術と自然生態系機能の融合によるアオコ対策 ：人の Well-Being を導く水域生態環境修復技術

温州大 国際水域生態環境研究センター ○井芹 寧・郝愛民・刘 鑫・趙 敏

## 1. 背景および目的

近年、世界各地の閉鎖性水域において、表層水の高水温化や富栄養化の進行に伴い、シアノバクテリアに属する *Microcystis* の異常増殖、いわゆるアオコの発生が頻発している。アオコの発生は、発がんプロモーターとして知られる microcystin や、アルツハイマー病などの神経変性疾患との関連が指摘されている  $\beta$ -N-methylamino-L-alanine (BMAA) 等の有害物質の産生を伴うことがあり、人や動物の健康に深刻な影響を及ぼす可能性がある。また、アオコは住民や観光客の憩い・レクリエーションの場である湖沼沿岸域に集積し、景観の悪化、悪臭の発生、魚類等のへい死を引き起こすことで、水辺環境の親水性を低下させる。一方で、アオコを異なる視点から捉えると、その生態学的特性には注目すべき側面も存在する。*Microcystis* は細胞内のガス胞の膨張・収縮によって浮力を調整し十数メートルに及ぶ鉛直移動を行うことができる。加えて、水面付近へ浮上した際には吹送流によって水平移動するため、三次元的な移動能力を有している。この特性により、広大な水域全体から窒素、リン、鉄などの栄養塩類を効率的に吸収・蓄積することが可能となる。さらに、日中に水面への浮上時は、大気から溶解した二酸化炭素や炭酸イオンを取り込み、光合成によって糖類などの有機物へ変換しながら増殖する。これらの特徴を踏まえると、アオコは自然界における二酸化炭素および栄養塩類の吸収・回収・濃縮システムとして機能していると解釈することもできる。すなわち、増殖期においては大気中二酸化炭素の固定を通じて地球温暖化の抑制に寄与するとともに、リンなどの貴重な資源元素を広域から収集する生物学的回収装置として機能していると評価できる。しかしながら、*Microcystis* は Sheath によって保護された大型群体を形成するため、動物プランクトン捕食から逃れ、生態系の食物連鎖を介したエネルギー循環へ移行しにくい。その結果、上位栄養段階への物質移行が阻害され、水域生態系や漁業生産の貧素化を招く要因となる。また、衰退期に短期間で大量に枯死・分解し、それまで蓄積していた栄養塩類や有機炭素の大部分を再び水域や大気中へ放出し、結果的に富栄養化や温室効果ガス排出の再促進につながる。現在、アオコ対策としては、アオコを回収し、肥料などとして農業利用する資源化が実施されている。しかし、この方法は回収、運搬、脱水、および加工の各工程に多くの労力とエネルギーを要し、その過程で二酸化炭素排出を伴うなどの課題を抱えている。そこで本研究では、人為的な初期物理操作のみを提供し、その後は生態系が本来有する物質変換機能および循環機能に委ねる新たなアオコ制御及び資源化手法の構築を目指している。すなわち、人の技術と自然の生態系機能との共創によって、アオコの二酸化炭素固定および栄養塩回収能力を活用しながら、その負の影響を抑制し、最終的にアオコの持続的な制御と生態系サービスの向上を同時に実現するシステムの構築を目的としている。

## 2. 竹と *Microcystis* 攻撃型土着珪藻の活用

筆者らの既往研究にて滑走運動型 *Nitzschia* 属の珪藻が *Microcystis* コロニーに取り付き、物理的にコロニー構造の破壊を促進する作用を有すること<sup>1)</sup>、さらに、青色光が *Nitzschia* の優占的増殖を促進することを明らかにした<sup>2)</sup>。また、天然資材である竹が、珪藻の付着担体として機能し、竹抽出液が *Nitzschia* の増殖を促進する一方、*Microcystis* の増殖を抑制する効果があることを室内実験により確認した<sup>3)</sup>。*Nitzschia* は世界に広く分布する普遍的な珪藻である。筆者らの底質を含んだ培養実験においても、中国、タイ国など数十箇所の水域で出現を確認している。このことは本種を利用したアオコ制御 Bio-manipulation において土着種活用により外来遺伝子汚染を回避した形での対応を可能とする。

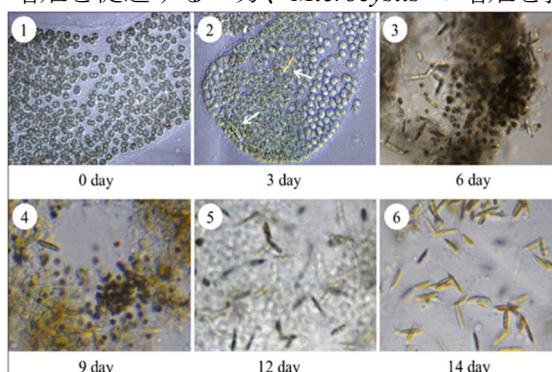


図-1 *Nitzschia* によるアオコ colony 分解

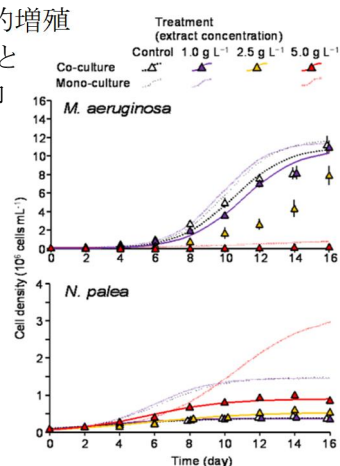


図-2 竹抽出液添加効果

## 3. アオコ調理システムによる食物連鎖活性化

太湖の南部沿岸域に 25,000 m<sup>2</sup> 及び 250 m<sup>2</sup> のメソコズム (MC) を造成し、アオコ群体分散加工による水質、

Key Word : 竹, *Microcystis*, *Nitzschia*, 土着生態系, 噴射衝撃 連絡先 E-mail : iseri@wzu.edu.cn

1) <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857420304158?via%3Dihub>

2) <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/15/2310>

3) <https://www.nature.com/articles/s41598-022-05506-2>

生物相に対する影響評価を実施した。処理条件は大 MC では第 1 世代調理船 (処理水量約 400 m<sup>3</sup>/h)、日中延べ 23 日稼働, 小 MC では可搬型調理施設 (処理水量約 50 m<sup>3</sup>/h)、日中延べ 12 日稼働である。いずれも Sheath-shield を無力化、細胞を分散化した調理水は、元のアオコ発生水域に還元放流される。薬品添加反応や濾過工程を取らないことで、大量処理を可能としている。効果検証実験の結果、大 MC では処理区で未処理区と比較して半規模以下にアオコ発生が抑制され、栄養塩や藍藻毒の濃度低下が認められた。小 MC では 10 日程度で表層のアオコ消失が観察され、同様に水質浄化効果が認められた。また、植物プランクトン優占種が、藍藻類から珪藻類、緑藻類へ変換し、エビ、貝類の生産量の増加の可能性が示された。さらに、翌年の大 MC においては、アオコ大量発生前の底質コアサンプル培養実験より、調理により栄養細胞発生量が 1/4 程度となるアオコ初期発生抑制効果が確認された。

#### 4. 水域生態系と人の Well-Being を導く自然共生システムを目指して

前研究プロジェクトの成果として、2026 年に中国においてアオコ噴射分散処理船が商用船として完成した。現在は最終目標である自動制御システムの実現に向けて、リアルタイムでアオコ分布域データを取得するドローンおよびアオコ発生予測モデルと連携した自動航行型システムへの高度化を進めている。また、日中両国の企業との連携のもと、竹材、青色 LED、およびアオコ調理システムを統合した「青光供給竹生態礁」による生態系修復の実証試験が、日本と中国において並行してスタートした。今後は、これら二つのプロジェクトの研究成果を基盤として、水域生態系修復がもたらす生態系サービスの定量的評価を実施する。具体的には、漁業資源の質的向上による漁業産業の再生や、淡水真珠生産をはじめとする水産生物利用産業の復興への貢献を評価するとともに、人の健康維持・増進に対する疫学的効果についても検討する。さらに、人と水域生態系との共生を実現する観点から、両者の Well-Being 向上に寄与する統合的システムへの発展を目指す。特に、本研究で対象とする 3 つの技術適用実験においては、従来の生態系を構成していた珪藻類や原生動物類の大量再増殖が確認されている。これらの生物群には、高次消費者や人の健康維持に不可欠な ω3 脂肪酸の生成・蓄積能力を有する種が多数含まれることを確認している。一方、アオコ Sheath は多糖類を主成分としており、鉄イオンを吸着する特性を有することが知られている。鉄は脂肪酸の不飽和化反応を担う酵素群の活性維持に不可欠な微量元素であり、多糖類は脂肪酸合成の炭素源となる糖類の供給源となり得る。したがって、アオコは単なる富栄養化の原因生物ではなく、食物連鎖に乗せることさえできれば、生態系内において ω3 脂肪酸生成を支える物質循環の基盤として機能する可能性が考えられる。本仮説の検証を目的として、水環境学、生態学、微生物学、水産学、疫学、情報科学など多分野にわたる国際的な若手研究者ネットワークを構築し、学際的研究を推進していきたい。

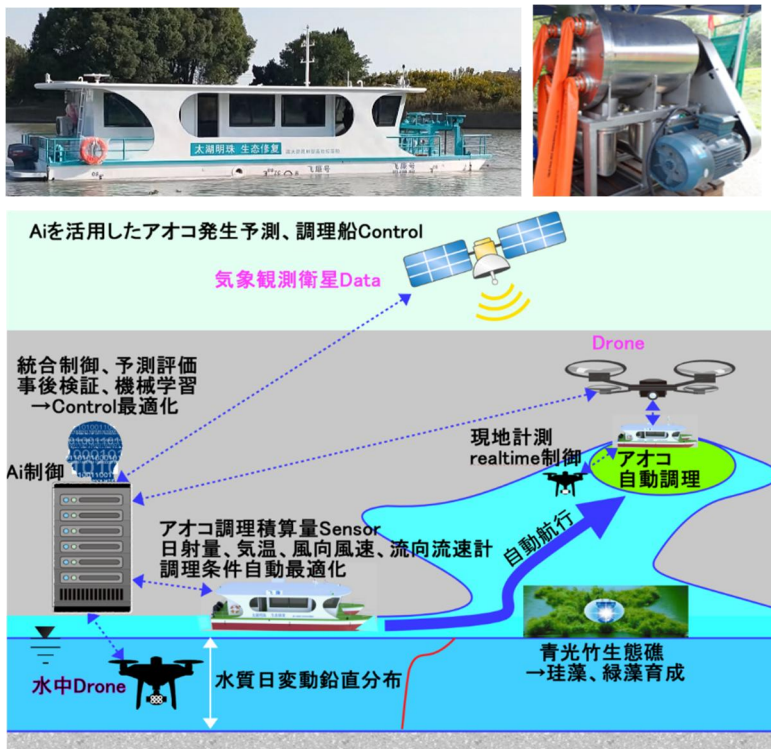


図-3 調理船, アオコ発生水域予測自動操船イメージ図

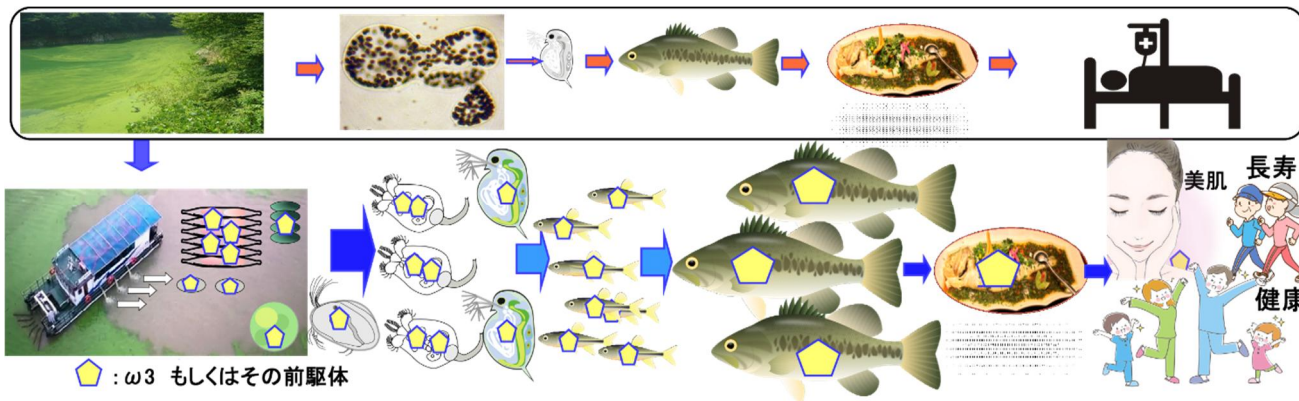


図-4 アオコ調理による有益物質生産促進生態系への修復例