

Microcystis 抑制のバイオマニピュレーションの概念検証

Proof of concept in biomanipulation development for suppression of cyanobacterium *Microcystis*

比留川 優美¹⁾, 山越 菜生²⁾

指導教員 岩見 徳雄¹⁾

1) 明星大学 理工学部 総合理工学科 環境科学系 生態工学研究室

2) 秩父市立 秩父第一中学校 教諭〔前所属 同上〕

キーワード: バイオマニピュレーション, *Daphnia*, *Microcystis*, 抑制

1. はじめに

山間部の天然湖やダム湖をはじめ都市公園の池沼に至るまで、閉鎖性の強い陸水域の多くで夏季を中心にシアノバクテリアの一属である *Microcystis* の繁殖が著しい。*Microcystis* の繁殖は水面を濃緑色に変色させるため水辺景観質を低下させる。水道水源の湖で繁殖すると浄水工程の妨害因子となる¹⁾。また、*Microcystis* の多くは microcystin と呼ばれる、青酸カリの 60~100 倍の強さの毒素を産生するので、水道事業だけでなく水産業でも脅威となっている^{2), 3)}。*Microcystis* の防除対策として栄養物供給の低減や、一部では殺藻剤や増殖抑制剤の投与などが行われているが目立った成果は得られていない。そこで、コンセプトの域は脱していないが、原理的に *Microcystis*

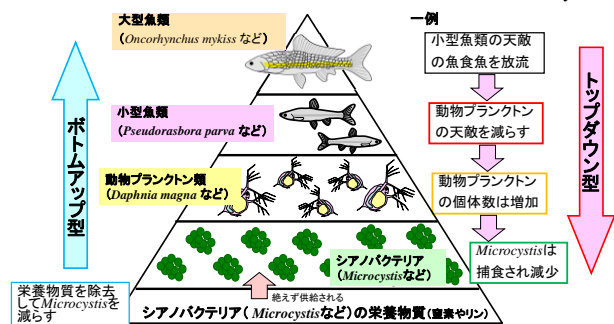


図 1 バイオマニピュレーションの概念図

抑制の可能性があるトップダウン型のバイオマニピュレーション(生態系操作による水質改善)⁴⁾に着目し、実用化に向けた研究を実施した。

トップダウン型とは、例えば、*Microcystis* を捕食する一次消費者の個体数を増やすために、その天敵となる二次消費者の個体数を減らす、あるいは二次消費者の一次消費者に対する干渉を断ち、*Microcystis* に対する一次消費者の捕食圧を上げて *Microcystis* を抑制することを狙いとした概念である(図 1)。

本研究では、一次消費者にオオミジンコを起用し、その天敵となる二次消費者の小型魚類からの回避ゾーンを設けたモデル実験で *Microcystis* 抑制のバイオマニピュレーションの可能性を確認し、且つ、抑制効果の数値解析も行ったので、その結果を報告する。

2. 材料と方法

供試シアノバクテリアには *Microcystis viridis*、一次消費者には *Daphnia magna*〔和名:オオミジンコ〕、二次消費者には *Pseudorasbora parva*〔和名:モツゴ〕を用いた(各生物の写真は発表時のポスターで示す)。

モデル水槽実験では、*M. viridis* を懸濁させた模擬湖水(M11 培地)を実験水槽(52cm×30cm×25cm)2系に 28L ずつ充填し、エアレーションを行い、水温約 24℃、水面照射度 4,000Lx、12 時間ごとの明暗周期を与えた。*D. magna* を放流する側の系内(実験系)は 1 mm 目のメッシュで半分仕切り、*D. magna* 生息域への *P. parva* の侵入を防いだ。最終個体数密度として、実験開始 6 日目に実験系に *P. parva* を 3 個体/系、11 日目には *D. magna* を 100 個体/L で放流した。なお、双方ともに放流しない対照系も設けた。

3. 結果および考察

3.1 バイオマニピュレーションの検証結果

実験期間中の *D. magna* の個体数密度および *M. viridis* のバイオマス指標としてのクロロフィル *a* の経日変化を図 2 に示す。1 日目から 11 日目までは、両系において *M. viridis* は活発に増殖した(期間①)。ただし、実験系の照度が僅かに低かったためか、実験系が対照系をわずかに下回った。しかし、11 日目に *D. magna* を放流してから実験系の *M. viridis* は 16 日目にかけて明らかに減少した(期間②)。16 日目の両系を比較すると、*M. viridis* の約 70% が抑制された。ところが、23 日目以 *Microcystis* を降から *M. viridis*

が急増した。そこで、25 日目に *D. magna* を追加放流した。しかしながら、*D. magna* は減少し、*M. viridis* は増加し続けた。*D. magna* の個体数減少の要因として

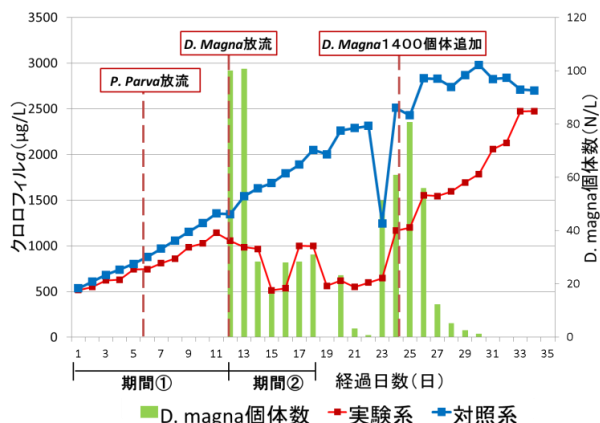


図 2 *D. magna* およびクロロフィル *a* の経日変化

pH の影響が挙げられた。高 pH 下では生命を維持する主要なタンパク質の分解が促進され、シアノバクテリアのように細胞が多糖類で覆われていない動物プランクトンはその影響を大きく受ける。実験開始時から 23 日目まで pH は 8.5 ± 0.3 を推移したが、23 日目以降から pH は上昇し 30 日目には pH9.2 を上回った (最高 pH は 10.3 に達した)。このことから、*M. viridis* の増殖に伴う pH の上昇が *D. magna* の個体数減少の要因と考えられた。つまり、*D. magna* の捕食機能を利用したバイオマニピュレーションでは pH モニタリングをしつつ *D. magna* の放流のタイミングを図る必要がある。

3.2 バイオマニピュレーションの数値解析

バイオマニピュレーションによる *M. viridis* の抑制が顕著であった期間②のデータから抑制効果を算定した。すなわち、式 (1) によって、期間②のクロロフィル *a* のそれぞれの変動の比 (η) から *M. viridis* の抑制効果 (抑制定数 k) を求めた。

$$\eta = \frac{A(t)}{B(t)} = \frac{A_0}{B_0} e^{(\Delta\mu - k)t} \dots (1)$$

A: 実験系のクロロフィル *a* の比増加速度, B: 対照系のクロロフィル *a* の比増加速度, t = 時間 (day), $\Delta\mu$: 期間①の変動比の変化, k : 抑制定数, e : ネイピア数

まず、*M. viridis* は指数関数的に増殖するので、期間①における対照系および実験系のクロロフィル *a* の変化を指数回帰して比増加速度を求めたところ、それぞれ $\mu = 0.0778 \text{ day}^{-1}$ および $\mu = 0.091 \text{ day}^{-1}$ が得られた。その変動の比の変化を示す $\Delta\mu$ は、 $\Delta\mu = -0.013$ となった。つづいて、期間①と同様に期間②におけるクロロフィル *a* の変化も指数回帰し比増加速度求めたところ、対照系および実験系はそれぞれ $\mu = 0.0498$

day^{-1} および $\mu = -0.133 \text{ day}^{-1}$ となり、その変動の比より求めた μ は -0.182 となった。この μ は抑制定数 k と置き換えられる。 $t = 1 (\text{day})$ とすると、式 (1) の指数部分の $\Delta\mu - k$ の解は -0.182 で、 $\Delta\mu = -0.013$ であるので、 $-0.182 = -0.013 - k$ より抑制定数 k は $k = 0.169$ と求められた。この k には $\Delta\mu$ が加味されているので、式 (1) は式 (2) のとおり整理できる。

$$\eta = \frac{A(t)}{B(t)} = \frac{A_0}{B_0} e^{-kt} \dots (2)$$

ここで、バイオマニピュレーション開始時点では $A_0 = B_0$ と双方は等しいので、式 (3) にまとめられる。

$$\log_e \frac{A(t)}{B(t)} = -kt \dots (3)$$

本実験と同様の条件下において増加するであろう *M. viridis* 量の 90% を抑制しようとした場合、抑制定数 $k = 0.169$ とした式 (3) で求めると、その効果が現れるのは 13.6 日後と推計された。

4. まとめ

- 1) *D. magna* を起用したバイオマニピュレーションのモデル検証において、*Microcystis* 抑制の可能性が示された。
- 2) バイオマニピュレーションの実施においては *D. magna* の阻害因子となる、*Microcystis* の光合成に起因する高 pH 化を解消する必要がある。そのためは、水域の pH をモニタリングしつつ、*D. magna* の放流のタイミングを図る必要がある。
- 3) *D. magna* の捕食機能を利用した *Microcystis* 抑制のバイオマニピュレーション検証の実験結果を数値解析し、抑制定数 (k) として $k = 0.169 (\text{day}^{-1})$ が算出された。

参考文献

- 1) 杉浦則夫: 霞ヶ浦におけるアオコ・その発生と対策, 水環境学会誌, 17, 540-544, 1994.
- 2) 渡辺真利代・原田健一・藤木博太: アオコ-その出現と毒素-, 東京出版会, 257p., 1994, 東京.
- 3) 浪越通男夫: 古くて新しいアオコ毒素マイクロシチン類, 化学と生物, 39(5), 313-321, 2001.
- 4) 花里 孝幸: 生態系操作による湖沼の水質浄化-白樺湖での試みとその成果-, 学会誌「EICA」, 16(2・3), p. 1, 2011.