

富栄養状態における藻類の増殖に対する銅イオンの殺菌効果の実験的研究

Experimental Study on Bactericidal Effect of Copper Ion for Phytoplankton Growth under Eutrophic Condition

○川良みさき*・原田昌佳**・平松和昭**・田畑俊範**

Misaki Kawara*, Masayoshi Harada**, Kazuaki Hiramatsu** and Toshinori Tabata**

1. はじめに 有機汚濁水域における植物プランクトンの増殖要因の一つとして、有機態懸濁物質との錯体の形成に起因する銅イオン (Cu^{2+}) の消失が指摘されている (南条ら, 2000). Cu^{2+} は殺菌性を有する一方で、自然環境下の水域にも存在し、多くの生物にとっての必須な微量元素である。そこで本研究では、 Cu^{2+} の殺菌効果を用いた藻類抑制技術に注目した。ところで、植物プランクトンの増殖に対する環境要因の影響を踏まえて、 Cu^{2+} の添加濃度と藻類の増殖抑制効果の関係を経時的かつ定量的に評価した研究は少ない。川良ら (2018) は、 Cu^{2+} 添加による藻類抑制効果を水質実験により検討した。その結果、Chl.a が中～富栄養レベルにある場合、約 20 $\mu\text{g/L}$ の Cu^{2+} により高水温条件に対しても植物プランクトン増加の抑制が可能で、また約 500 $\mu\text{g/L}$ の濃度設定では、水温に関係なく Chl.a を 1 $\mu\text{g/L}$ 以下に抑えられることを示した。本研究では、植物プランクトンが高濃度である場合の藻類増殖の抑制効果を検討するために、過栄養レベルでの Chl.a の推移が想定される条件で、 Cu^{2+} が植物プランクトンの増殖速度に与える影響をピーカースケールの水質実験により経時的に検討した。

2. 実験方法 富栄養化が進行した農業用ため池で採水した護岸付近の表層水を用いて以下の室内実験を行った。まず、試料水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{PO}_4\text{-P}$ がそれぞれ 0.5 mg/L, 0.02 mg/L になるように栄養塩濃度を調整した。つぎに、後述の実験条件に応じて硫酸銅溶液により Cu^{2+} を調整した供試水約 500 mL をトールピーカーに移し、1

条件につき 9 個を恒温暗所室内の水槽に準備した。観賞植物育成用蛍光灯を用いて、水槽の直上から約 60 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$ の光を点灯・消灯を各 12 時間とする 24 時間周期で照射し、4 週間の水質モニタリングを実施した。具体的には、 Cu^{2+} 、Chl.a、藻類綱別 Chl.a、窒素・リン、有機炭素などの水質の定期測定を週 2 回の頻度で行い、また DO の連続測定によって植物プランクトンの増殖速度を経時的に把握した。 Cu^{2+} の初期濃度の設定条件として低濃度 (56 $\mu\text{g/L}$) と高濃度 (715 $\mu\text{g/L}$) の 2 条件と水温に関する環境条件として低水温 (15 $^{\circ}\text{C}$) と高水温 (30 $^{\circ}\text{C}$) の 2 条件との組み合わせにより計 4 ケースの実験条件を設定した。なお、各ケースに硫酸銅溶液が未添加のコントロール条件を加えた。ここで、水質汚濁に関わる環境基準の中で銅は項目に挙がっていないことから、農業 (水稻) 用水基準 (20 $\mu\text{g/L}$ 以下) と水道水質基準 (1000 $\mu\text{g/L}$ 以下) を参照して、上記の濃度を設定した。

3. 結果と考察 高水温条件での Chl.a と DO の測定結果を Fig.1 に、添加した Cu^{2+} の経時変化を Fig.2 に示す。 Cu^{2+} 無添加のコントロール条件では、Chl.a は富栄養レベルの約 40 $\mu\text{g/L}$ から過栄養レベルに相当する約 70 $\mu\text{g/L}$ まで単調に増加した。また、藻類綱別 Chl.a の測定結果より、アオコの原因となる藍藻類の継続的な出現が確認された。さらに、DO の振幅は実験開始から徐々に増大し、最終的に 5.2 mg/L の値をとるなど著しい増殖過程を示した。以上から、植物プランクトンが急激な増殖により高濃度を維持しうる環境下での Cu^{2+} 添加の効果を検討するこ

*九州大学大学院生物資源環境科学府 / Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University **九州大学大学院農学研究院 / Faculty of Agriculture, Kyushu University

キーワード：藻類制御, 有機汚濁, Chl.a, DO, 水質実験

となる。まず、 Cu^{2+} 低濃度条件では、Chl.a が最大で $63 \mu\text{g/L}$ とコントロール条件と同程度まで増大したが、藍藻類 Chl.a は実験期間を通じて概ねゼロであった。また、直線近似から求めた日増加量に着目すると、コントロール条件の $0.8 \mu\text{g}/(\text{L d})$ に比べ、 $0.5 \mu\text{g}/(\text{L d})$ と僅かに小さい。DOの振幅は、実験開始からおよそ6日目で 5.1 mg/L の最大値をとるものの、それ以降は明らかに減少した。コントロール条件と比べて約 $1/2$ の 2.4 mg/L まで減少し、最大振幅は 3.7 mg/L に抑えられたことから、 Cu^{2+} 添加から約1週間後に増殖抑制効果が現れたといえる。先行研究(川良ら, 2018)より、 Cu^{2+} 無添加で Chl.a が $20\sim 40 \mu\text{g/L}$ で推移するような場合、約 $20 \mu\text{g/L}$ の Cu^{2+} で植物プランクトン量が明らかに減少するような抑制効果が得られた。しかし、本実験では、実験開始から1週間経過までの Cu^{2+} が $20 \mu\text{g/L}$ 程度であったものの Chl.a の減少は認められなかった。これは、初期の高濃度の栄養塩によって植物プランクトンの増殖速度が高められた結果、 $20 \mu\text{g/L}$ 程度では Cu^{2+} による殺菌能力は発揮できなかったと考えられる。また、植物プランクトンを含めた高濃度の懸濁物質との錯体形成により最終的に Cu^{2+} は、 $10 \mu\text{g/L}$ 程度まで減少した。したがって、実験開始から1週間経過以降に増殖抑制効果を確認できるものの、Chl.a が高濃度を維持した要因として、 Cu^{2+} が $10 \mu\text{g/L}$ 程度の低濃度へと減少したことが挙げられる。一方、 Cu^{2+} が高濃度条件の Chl.a は、実験開始直後に $8 \mu\text{g/L}$ まで大幅に減少し、4日目以降は $4 \mu\text{g/L}$ の極めて低濃度で推移したことより、藍藻類も含めて全藻類の出現が抑えられた。実験期間を通じて DO の振幅が 0.1 mg/L と非常に小さいことから、明確に増殖抑制効果が発揮された。初期 Chl.a の高濃度により、 Cu^{2+} は初期濃度の約 $1/2$ の $400\sim 500 \mu\text{g/L}$ で推移したが、上記の通り、高水温・高濃度栄養塩の条件下でも極めて高い抑制効果が認められる。低水温条件の場合においても高水温条件と同様な結果を得た。すなわち、 Cu^{2+} が低濃度の条件では、

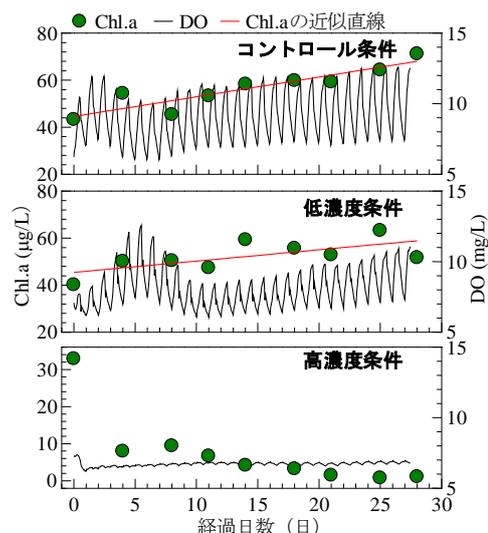


Fig.1 Changes with time in DO and Chl.a under the condition of high water temperature

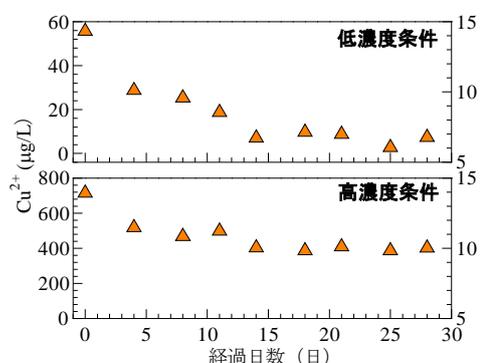


Fig.2 Change with time in copper ion under the condition of high water temperature

Chl.a はコントロール条件と同様に増大したものの、DOの振幅の経時変化により、藻類の増殖速度の抑制が認められた。高濃度の条件では、Chl.a は $4 \mu\text{g/L}$ の低濃度で推移し、植物プランクトンの高い抑制効果をもつことが示された。

4. おわりに Cu^{2+} 添加による藻類抑制効果を水質実験により検討した。その結果、抑制効果は Cu^{2+} 添加時の植物プランクトン濃度と栄養塩濃度の影響を強く受けることが示された。また、約 $400 \mu\text{g/L}$ の Cu^{2+} を維持することで、添加直後から藍藻類も含めた藻類量を Chl.a で $10 \mu\text{g/L}$ 以下に抑制することが可能であり、アオコ発生の対策としても効果が期待される。

引用文献 南条ら(2000)：湖山池のアオコ増殖における銅イオンとキレート物質の関係について、環境工学研究論文集, 37, pp.193-200, 川良ら(2018)：銅イオンの殺菌効果による植物プランクトンの増殖抑制に関する基礎的研究, 平成30年度農業農村工学会九州沖縄支部講演会要旨集, pp. 24 - 25.