

B-51 藻類群体の分散処理が 藍藻毒の紫外線分解処理に及ぼす影響

○酒井 宏治^{1*}・井芹 寧²・片山 浩之¹

¹東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

²西日本技術開発株式会社 環境部 (〒810-0004 福岡市中央区渡辺通1丁目1番1号)

* E-mail: h_sakai@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

ダム湖、貯水池における藍藻類の異常増殖現象は、アオコと呼ばれ、そこを水源とする浄水処理工程に多大な影響を及ぼす。特に藍藻類の一部は、細胞内に毒素を有し、健康被害を引き起こす。1996年にはブラジルで、藍藻類が発生するダム湖を水源とする水道水が、透析患者施設に供給されたことで、88人の死亡を引き起こした¹⁾。従って、ダム湖、貯水池に発生する藍藻類及びその毒素を低減することが必要である。

藍藻類及びその毒素への対策として、栄養塩の流入制限、曝気による湖水攪拌や、硫酸銅処理による殺藻処理などの対策が用いられている²⁾。しかし、栄養塩の流入制限等の抜本的な対策は、すぐには効果をあげにくい³⁾。また、硫酸銅処理は、残留する硫酸銅がダム湖水中の生態系へ与える影響や、殺藻処理された藍藻類からの急激な毒素の放出が起こることが問題となっている²⁾。

これらの既存の対策手法に対して、残留性の少ない処理手法として、我々は紫外線処理の適用を提案してきた⁴⁾。紫外線処理は、光を照射する処理のため、水中への薬剤の残留が問題になりにくい利点がある。藻類の増殖抑制及び毒素の分解に対する紫外線の効果は、我々のこれまでの検討によって、180mJ/cm²の紫外線照射量で1 log程度の増殖抑制が行えること、紫外線が細胞内部に透過するため、毒素を水中に放出することなく細胞内の毒素が分解される知見を得ている⁵⁾。これらは純粋培養株を用いた検討結果であったが、本研究では、実湖沼水中に存在する藍藻類を対象に、その細胞内毒素の分解に焦点を当てて検討した。

実湖沼中に存在する藍藻類と純粋培養株の違いの一つとして、群体形成の有無が挙げられる。我々がこれまでの純粋培養株の検討で用いてきたNIES-98株、PCC 7806株は、我々が培養を行った条件では、いずれも群体形成

が見られなかった。だが、群体が形成されると、藍藻細胞が他の藍藻細胞を紫外線から遮蔽する効果を生むため、紫外線処理の効率が低下すると考えられる。従って、本研究では、群体を分散させる前処理を行った上で紫外線処理に供し、群体の分散を行う効果を検討した。

本研究では、福岡県中部のため池から採取したアオコに対して実験を行った。アオコの分散処理として、圧力をかけて壁に試料を噴射して分散させる噴射衝撃処理を用いた。紫外線処理は、低圧紫外線ランプ及び中圧紫外線ランプを用いた。異なる処理条件において水中のミクロキスティン濃度を測定した。これによって、群体の分散効果が紫外線処理に及ぼす影響を検討した。

2. 実験方法

(1) 試料採取

本実験に用いた試料は、2008年10月に福岡県中部のため池より採取した。採取当時、ため池には、藍藻類の *Microcystis aeruginosa* が優占した藍藻類の異常増殖が観察されていた。採取した試料は、実験開始まで冷蔵で保存した。対照として、*Microcystis aeruginosa* の純粋培養株 PCC 7806株 (Pasteur Culture Collection, Paris France)を用いて紫外線処理に供した。

(2) 藍藻類群体の分散処理方法

藍藻類群体は、噴射衝撃装置⁷⁾を用いて、分散させた。処理条件として、処理の際の圧力を0.5MPaに設定し、処理装置内の通過回数を0回、1回、5回の3段階で調節することで、分散の度合いを変化させた。*Microcystis aeruginosa* PCC 7806株は、対照試料として分散処理には供しなかった。

(3) 紫外線処理

低圧紫外線ランプ(GL-15, 15W×2, GE-Hinchi)と中圧紫外線ランプ(B410MW, 330W×1, Ebara)の2種類のランプを用いた。低圧紫外線ランプは254nmの単波長を出力する一方、中圧紫外線ランプは200~600nmの波長を幅広く出力するため、異なる効果が期待される。紫外線線量率は、RNA Coliphage QB[®]で測定し、どちらも0.9 mW/cm²であった。分散処理を施した藍藻類を含む水試料を40mlずつシャーレに分注し、紫外線ランプを照射した。同一の分散処理条件について、紫外線処理を3連で行った。紫外線照射量は、0, 60, 180, 600, 1800 mJ/cm²の5段階とした。紫外線処理後、細胞内外のマイクロシスティン測定用にそれぞれ1mlずつ計2mlを試料採取した。

(4) ミクロシスティン測定

紫外線処理を施した試料から細胞内外のマイクロシスティン測定用にそれぞれ1mlずつ試料採取し、マイクロシスティンELISAキット(和光純薬)にて測定した。細胞外マイクロシスティン測定用試料は0.45 μmのPTFEフィルターでろ過したものを測定した。細胞内マイクロシスティン測定用試料は、凍結融解して細胞を破壊し、内部のマイクロシスティンを溶出させた後、0.45 μmのPTFEフィルターでろ過した。

3. 実験結果及び考察

(1) 分散処理が藍藻毒濃度に及ぼす影響

分散処理後の水中の藍藻毒濃度を図1に示した。分散処理を行わない試料では、水中の藍藻毒濃度は、1.01 μg/lであったのに対し、1回処理では6.36 μg/l、5回処理で

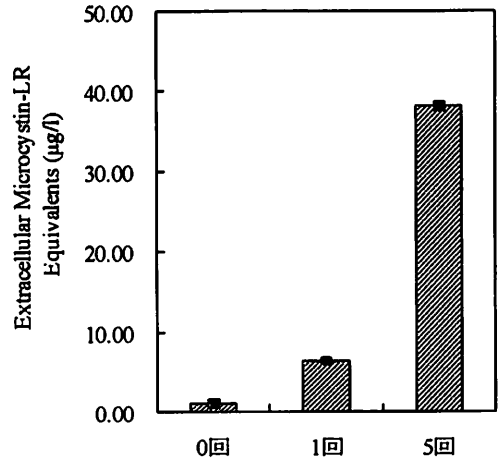


図1 分散処理後の水中のマイクロシスティン濃度

は38.2 μg/lに上昇した。

分散処理では、藍藻細胞を壁面に噴射し、群体を分散させる。この処理によって群体の分散だけでなく、藍藻細胞が破砕され、細胞内毒素の流出が起こったと考えられる。従って、毒性物質のリスクを高めないように、分散処理回数を調節する必要があることが分かった。

(2) 紫外線処理時のマイクロシスティン濃度の変化

紫外線による分散処理の結果を図2に示した。図2には、試料中の細胞内外の全マイクロシスティン測定の結果を用い、初期濃度に対する比として示した。

低圧ランプ、中圧ランプどちらで処理を行った場合でも、紫外線照射量が大きくなるにつれて、濃度が低下した。同じ紫外線照射量で比べたときの濃度減少率は、低

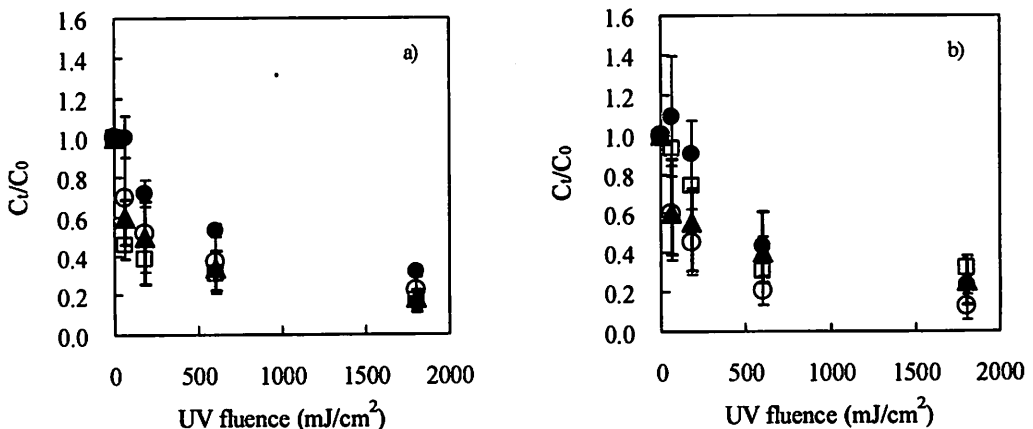


図2 紫外線による全マイクロシスティンの分解(a: 低圧ランプ、b: 中圧ランプ)
湖水試料は分散処理0回(●)、1回(○)、5回(▲)のものと PCC7806株(□)

圧ランプでは、0回処理、1回処理、5回処理、純粋培養株の順に大きくなった。一方、中圧ランプでは、0回処理、純粋培養株、5回処理、1回処理の順となった。また、60mJ/cm²の低照射量の方が、分散処理の有無による差が大きく、600、1800 mJ/cm²の高照射量の方が、その差が小さくなった。

照射時間ごとに、分散処理回数が異なる試料同士を比較したところ、低圧ランプ照射の場合、0回処理と5回処理の比較において、60、600、1800 mJ/cm²の場合に有意な差が見られた(検定、 $p<0.05$)。中圧ランプ照射の場合には、0回処理と1回処理の比較において、600 mJ/cm²の場合に有意な差が見られた(検定、 $p<0.05$)。

なお、紫外線処理及び分散処理が同じ条件で、低圧ランプ照射と中圧ランプ照射を比較したところ、どの条件においても、有意な差は見られなかった。

(3) 分散処理が藍藻毒の紫外線処理に及ぼす影響

群体の分散処理の影響について考察する。低圧ランプ照射の場合には、0回処理と5回処理の試料を比較すると、180 mJ/cm² 以外では有意な差が見られた。なお、分解率が0回処理、1回処理、5回処理と処理回数に応じて大きくなっていることから、1回処理では、有意な差が生じなかったと考えられる。また、最も分散されている純粋培養株の結果において、分解率が最も大きかった。このことから、低圧ランプの場合には254nmの紫外線の透過性が、細胞内毒素の分解効率に大きく影響していると考えられる。

一方、中圧ランプを用いた場合には、分散処理の回数間で比較した場合に明確な傾向が観察されなかった。同じ紫外線照射量で比べたときの濃度減少率は、0回処理、純粋培養株、5回処理、1回処理の順となり、1回処理の場合が最も効率的である結果を得た。中圧ランプでは、254nmの紫外線以外の波長を幅広く出力することから、これらの波長が影響を及ぼした可能性がある。すなわち、分解機構が低圧ランプの場合と比較して複雑であり、紫外線の透過性以外の要素が分解効率に影響することが分かった。今後は、それらの要素が何であるかを検討し、分解機構についてより詳しく検討する必要がある。

4. まとめ

本研究では、群体を形成する藍藻類を対象に、群体を分散することで、細胞内部の毒素を紫外線分解する際の効率に変化が生ずるかを検討し、以下の知見を得た。

①分散処理に伴い、細胞内部の毒素が水中に流出することが分かった。

②低圧ランプ照射の場合には、分散処理に伴って毒素の紫外線分解効率が上昇した。

③中圧ランプの場合には、異なる傾向を示し、より複雑な分解機構が働いていると考えられ、その解明が今後の課題であると考えられた。

5. 参考文献

- 1) Pouria, S., A. Andrade, J. Barbosa, R. L. Cavalcanti, V. T. S. Barreto, C. J. Ward, W. Preiser, G. K. Poon, G. H. Neild, G. A. Codd. (1998) Fatal Microcystin Intoxication in Haemodialysis unit in Caruaru, Brazil, *The Lancet*, **352**, 21-26.
- 2) Kenefick, S. L., S. E. Hrudey, H. G. Peterson, and E. E. Prepas. (1993) Toxin Release from *Microcystis aeruginosa* After Chemical Treatment, *Water Science and Technology*, **27**, 433-440.
- 3) Horne A. J. and Goldman, C. R. (1994) Limnology, 2nd edition, McGraw-Hill, inc, New York, USA.
- 4) Sakai H., K. OGUMA, H. KATAYAMA, S. OHGAKI (2007) Effects of low- or medium-pressure ultraviolet lamp irradiation on *Microcystis aeruginosa* and *Anabaena variabilis*. *Wat. Res.* **41**, 11-18.
- 5) 酒井宏治、小熊久美子、蔵重直樹、森雅佳、井芹寧、金尾充浩、片山浩之、大垣眞一郎 (2006) 低圧・中圧紫外線ランプ照射によるダム湖水中の藻類の増殖抑制、水環境学会誌、**29**, 163-168.
- 6) Sakai H., K. OGUMA, H. KATAYAMA, S. OHGAKI (2007) Effects of Low- or Medium-Pressure UV Irradiation on the Release of Intracellular Microcystin. *Wat. Res.* **41**, 3458-3464.
- 7) 井芹寧、森雅佳、松岡陽子、木俣勲、藤本健二、池田暁子、井関基弘 (2002) 噴射衝撃による水質浄化システムの開発、第2回 環境技術研究協会年次大会、55-58.
- 8) Kamiko, N., S. Ohgaki. (1989) RNA Coliphage Q β As A Bioindicator of The Ultraviolet Disinfection Efficiency, *Water Science Technology*, **21**, 227-231.