

5 湖沼等における国際的な新たな問題

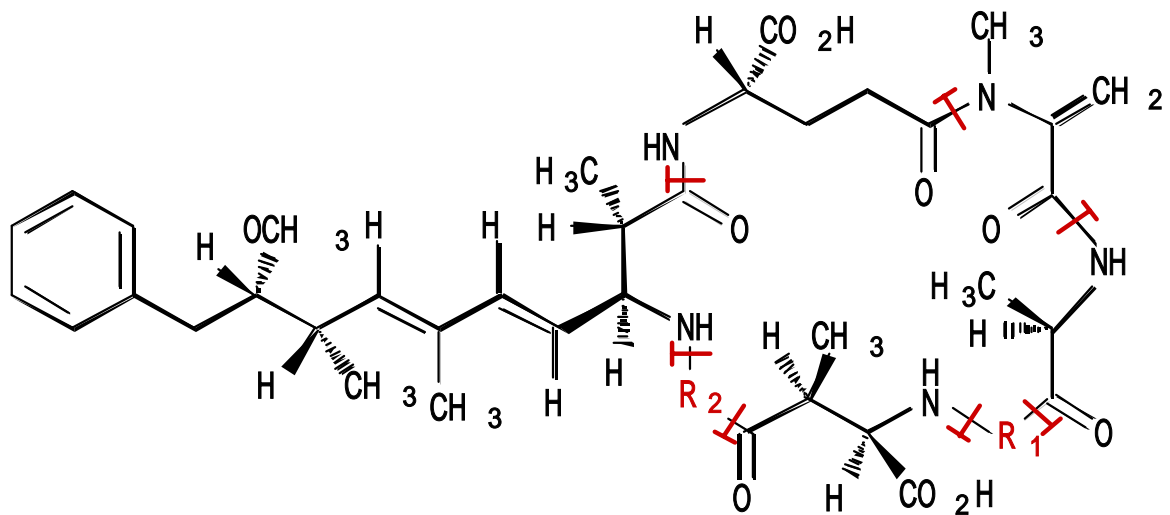
本章では、湖沼等における水環境において、国際的に共通する課題として発生している新たな問題点について述べる。

5 - 1 有毒物質ミクロシスチン産生アオコの発生による動物死

湖沼の富栄養化にともないブルームを形成する藍藻類の中には有毒性の種が存在することが確認されている。毒素を生産する藍藻類としては、*Anabaena* 属、*Aphanizomenon* 属、*Cylindrospermopsis* 属、*Microcystis* 属、*Nodularia* 属、*Nostoc* 属、*Oscillatoria* 属など代表的な種類である。なかでも microcystin は世界中の富栄養化した湖沼から頻りに検出されている。代表的な有毒藍藻類の種類とその有毒物質は表 5-1-1 に示すとおりである。世界各地の湖沼等でも有毒アオコが異常に増殖し、これに起因した家畜および人の死亡が顕在化しつつある。藍藻類の産生する毒による家畜の被害は、オーストラリアやアメリカ、フィンランド等の国において報告されており、被害に遭っている動物はウシ、ウマ、ブタ、ヒツジ、鳥等である。ブラジルのペルナンブッコ州カルアルー市の病院では自家水道に microcystin が混入し、50 人以上が死亡する事故が起こっている。このような背景から、WHO(世界保健機関)は、microcystin の飲料水水質ガイドラインとして暫定基準 microcystin-LR を $1 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 以下と定めている。microcystin は 7 個のアミノ酸からなる環状ペプチドである (図 5-1-1)。X および Z の位置のアミノ酸の違いにより microcystin-RR, microcystin-YR, microcystin-LR 等に分けることができる。microcystin の同族体は 60 種類近くあるとされている。microcystin の中で最も毒性が強いのは microcystin-LR とされており、マウスに対する LD_{50} (半数致死濃度)は $50 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ であることが報告されている²⁾。*Microcystis* 属の中には microcystin を含む有毒なタイプ、microcystin を含まない無毒なタイプが存在する。従って有毒なタイプが優占した場合と無毒なタイプが優占した場合で microcystin の含有量は大きく異なる。*Microcystis* 属をはじめとする藍藻類は浮上性が強く、風により吹き寄せられ集積しやすいため、microcystin 濃度は同一の水域内においても場所によって大きく異なる。また *Microcystis* 属は高温を適温とし、温帯では夏を中心に発生するため microcystin 濃度は時期によっても異なることになる。microcystin の含有量について様々な報告があるが、日本の湖沼において $0.2\text{-}0.4 \text{ mg MCYST} \cdot \text{g dry weight}^{-1}$ 、タイの貯水池において $0.7\text{-}0.8 \text{ mg MCYST} \cdot \text{g dry weight}^{-1}$ 、南アフリカの貯水池において $0.05\text{-}0.415 \text{ mg MCYST} \cdot \text{g dry weight}^{-1}$ といった含有量が報告されている。日本の湖沼における microcystin の現存量は図 5-1-2 に示すとおりであるが、日本では

表5-1-1 有毒藍藻類とその毒素

<i>Anabaena flos-aquae</i>	アナトキシン (神経毒) ミクロシスチン (肝臓毒)
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	アフアントキシン (神経毒)
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	シリンドロスペーモプシン (肝臓毒)
<i>Microcystis aeruginosa</i>	ミクロシスチン (肝臓毒)
<i>Nodularia spumigena</i>	ノヂュラリン (肝臓毒)
<i>Oscillatoria agardhii</i>	ミクロシスチン (肝臓毒)



	R 1	R 2
RR	arginine	arginine
YR	tyrosine	arginine
LR	leusine	arginine

図 5-1-1 ミクロキスチンの構造 Structure of microcystin

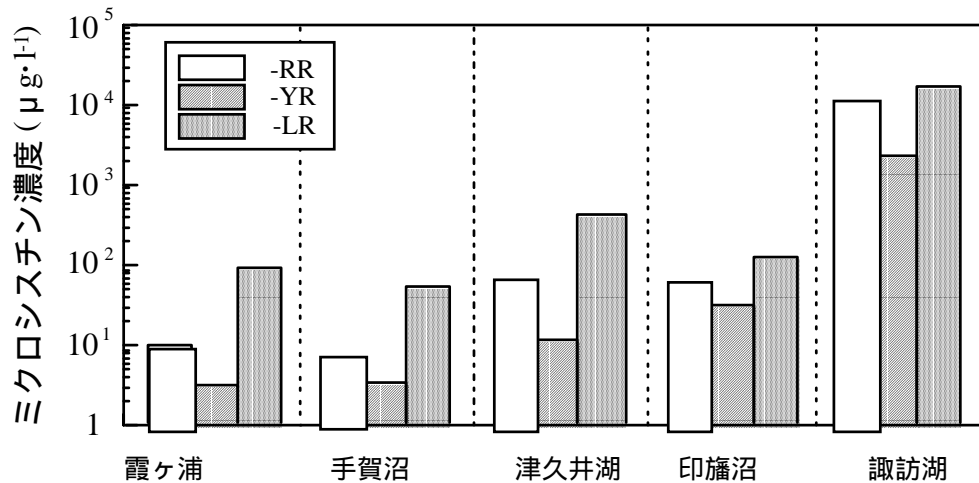


図 5-1-2 日本の湖沼や貯水池におけるミクロキスチン濃度 (夏季)

夏を中心に microcystin の発生が見られ、microcystin-RR および microcystin-LR が多い傾向がみられる。飲料水中の microcystin を取り除く手法として有効な方法は、オゾン処理、活性炭処理および生物処理である。生物処理においては原生動物や後生動物が藍藻類を捕食し、溶出した microcystin を細菌が摂取・分解することが報告されている (図 5-1-3)。microcystin は通常は細胞内に存在する

が死滅すると水中に溶出してくるため、藍藻類が死滅する時期において浄水場の管理者は各工程における microcystin 濃度に注意を払うべきである。このような藍藻類の増殖は生活排水，事業場排水，畜舎排水等に含有される窒素およびリンが水域に流入し濃度が高まることにより引き起こされることから，窒素およびリン対策の強化が藍藻毒の発生を防止する上で極めて有効である。

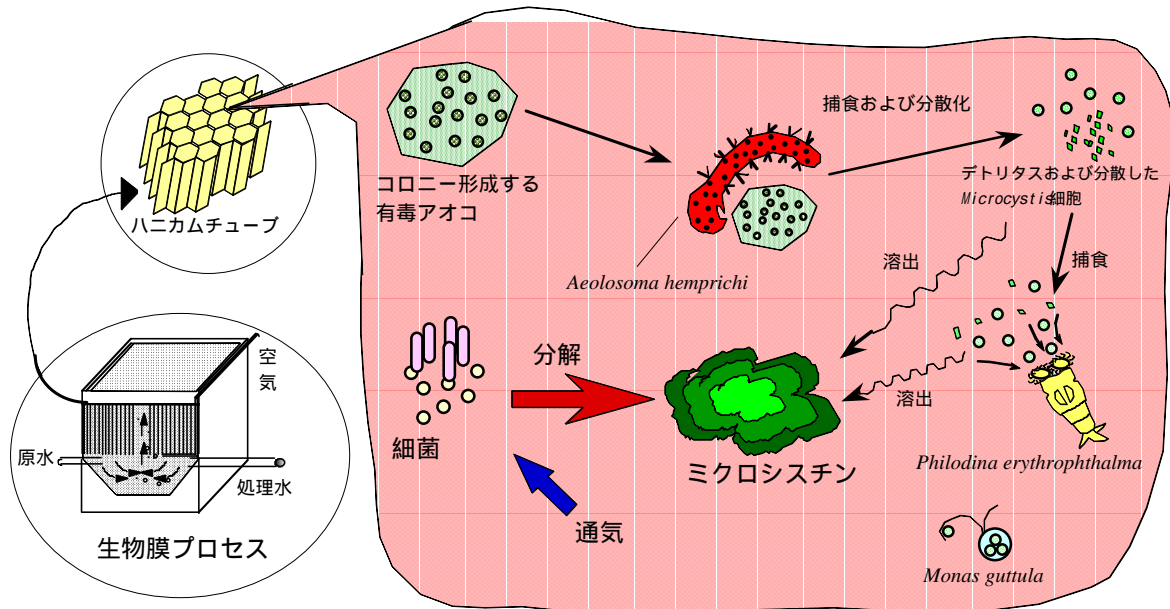


図5-1-3 原生動物、後生動物および細菌によるミクロシスチンの生分解プロセス

5 - 2 攻撃性渦鞭毛藻類フィエステリアによる魚類の斃死

渦鞭毛藻類の中には有毒物質を生産する種が存在し，魚や貝に対して悪影響を及ぼしたり，魚や貝に毒が蓄積し，それを食べた人が中毒症状を起こすことが知られている。渦鞭毛藻類が産生する毒素としてはシガテラ毒，サキシトキシン，オカダ酸等が存在する。渦鞭毛藻類の中でも近年問題視されてきたものは *Pfiesteria piscicida* であり世界で約 2000 種類も存在する赤潮藻類として知られる渦鞭毛藻類の 1 種である。*P. piscicida* はノースカロライナ州とメリーランド州の河口水域における魚の大量死に関与してきたとされている。本微生物を対象とした場合レベル 3 の研究室の必要なことが米国で定められている。*P. piscicida* が生成する毒素は魚の皮膚を破壊し，神経系と生命に関わる器官を損傷する。さらに本種は揮発性の毒素を生産し，とくに人間への健康被害を引き起こすこと，魚類に対して鋭敏に反応し，短時間で無毒から有毒へ変化するという大きな特徴を有する。さらに *P. piscicida* が存在すると魚の卵がふ化できないこと，稚貝の殻を閉じる能力が失われることが報告されている。*P. piscicida* の増殖ステージの写真からみると類似した形態の生物体が自然界でも確認されているにもかかわらず，問題の誘起されていないところが多いようである。すなわち外観のみで同定すると誤認する場合が考えられることから培養が必要である。船舶のバラスト水の持ち込みにより *P. piscicida* が他国に移動する可能性があるため，港があり，荷物の積み下ろしがあり，大量のバラスト水の移動がある場合は十分に留意する必要がある。さらに，ウニといった生ものが輸入されることにより *P. piscicida* が他国へ移動する可能性があるため，その生物が存在した地域に *P. piscicida* が生息していたかどうかを確認すべきである。*P. piscicida* が大発生する要因は窒素，リ

ンの流入にともなう富栄養化であり、大量に発生した藻類を食物源として *P. piscicida* が増殖するとされている。従ってこのような有毒渦鞭毛藻類の異常な増殖を防止する上でも窒素・リン対策が極めて重要な位置づけにある。

5 - 3 ボツリヌス毒素産生菌による鳥類の斃死

ボツリヌス菌 (*Clostridium botulinum*) はグラム陽性菌で偏性嫌気性菌である。芽胞は土壤中、水環境中、動物の腸管内など様々な環境中に存在し、高温に対する耐性を有するため食品などに繁殖し、食中毒を引き起こす。ボツリヌス菌はソーセージ、缶詰といった嫌気的な条件におかれた食品の腐敗に起因する中毒の原因菌である。ボツリヌス菌はボツリヌス毒素と呼ばれるタンパク質からなる神経毒を産生し、これを摂取することによりボツリヌス症を引き起こす。ボツリヌス毒素は A~G 型が存在し、菌の分類もこの毒素の型に準じて行われる。ボツリヌス中毒は世界各地において起こっている。人の他にニワトリやウシといった家畜、ミンク、海鳥といった野生動物などが感染し、その感染源は、ヒトの場合は食品、家畜の場合は飼料、野生動物の場合は魚類、腐敗した死体などである。自然界における鳥類のボツリヌス中毒は、おもに死亡した動物にボツリヌス菌が増殖し毒素を産生し、死亡した動物を鳥類が食べることにより引き起こされる。鳥類のボツリヌス中毒は C 型ボツリヌス菌および D 型ボツリヌス菌によって引き起こされる。ボツリヌス毒素の半数致死量 (LD50) はきわめて小さく実験動物をマウス、腹腔内注射とした場合体重 1kg あたり 1 ng に満たない。

5 - 4 浮遊植物の異常繁茂による障害

5 - 4 - 1 浮遊植物の異常繁茂の現状

窒素、リン濃度が高く水が停滞した水域ではホテイアオイやボタンウキクサのように浮遊して水中から直接窒素・リン等の栄養塩を吸収し、増殖する植物が水辺で優占するようになる。浮遊植物の葉は水上にあり、透明度の低下の影響を受けず、波浪に対しても波とともに動くので影響を受けにくい。群落内部では遮光によって植物プランクトンの増殖を抑制する。日本では九州、四国、中国地方においてホテイアオイの発生がみられ、児島湖をはじめとする閉鎖性水域と付属するクリークを占拠し、従来から生息していた動植物の生存を脅かすと同時に、用水取水口を塞いだり、秋に腐敗して水質を極端に悪化させるなどの問題を起こしている。中国では *Alternanthera philoxeroides* 中国名「喜旱蓮子草」がクリークの岸辺から成長し、抽水生活を経て節間に空気をため込み、水面に茎を浮かべて絡み合った群落をつくり、水底や岸辺とつながった古い節が腐ると浮遊生活に移行し、水辺を埋め尽くすほど発生している。家畜が好まず、付加価値が低いのが、同じ環境にあるホテイアオイと比べて根茎に大量の生物膜を付着させ、アカムシ等の水生昆虫に生息場所を提供していることから、水生動物の繁殖には貢献しているものと考えられる。中国ではホテイアオイも多く、昆明の南側に広がるデンチでは、昆明の町中に続く内湖、草海の半分以上を覆って繁茂していた。タイ王国では喜旱蓮子草は「アリゲーターウイード」とよばれ、水上では浮遊生活する他の植物が優占するため、水辺や陸上で見かけるだけである。タイ王国で浮遊植物の主体をなすのはホテイアオイとクウシンサイ、ミズオジギソウで、クウシンサイとミズオジギソウは食用の品種が選抜され野菜として水上で栽培されている。汚濁が進み放置されている水域ではホテイアオイが優占し、農村地帯で水上栽培が行われていないところはクウシンサイの野生種が水面に広がっていることが多い。

5 - 4 - 2 浮遊植物対策

浮遊植物が引き起こす問題としては、船の運航障害、取水口閉塞、浮遊群落下の無酸素水塊形成、

枯死株による水質悪化が代表的なものである。ホテイアオイは植物体同士の連結が強力ではないが、極めて高い繁殖力で大きな群落をつくり船の運航を阻害しており、バラバラになって漂泊するので取水口に集中し、障害となる。また遮光により群落下の水中の光合成を阻害し、付加価値が低いため放置されて枯死し、水質を悪化させることから障害となる。中国では養豚業者がホテイアオイを回収してブタの飼料として再利用していることから、このような浮遊植物の回収・再利用システムの普及が有効であると考えられる。クウシンサイは食用として用いることができるため付加価値が高く、実際、タイ王国などでは流通している。茎でつながった群落を造るので、2ヶ所を竹の杭などで固定したり、2本の杭の間に竹を浮かべてこれにクウシンサイを縛り付けるなどすれば水流に乗って流れ出すことがない、水中に酸素を供給する能力がホテイアオイよりも強く、茎や葉が収穫されて市場に出回り大量に消費される。ただ、ホテイアオイや喜旱蓮子草に比べて波浪に弱いので、湖沼では波静かな入り江にしか栽培できず、流入河川や湖沼に付属したクリークが主な栽培地となる。タイ王国では一続きのクリークで、よく管理されクウシンサイとミズオジギソウが栽培され漁業も行われている部分と、ホテイアオイによって閉塞し、全く利用されていない部分が見られる。クリークを区切った利用権と管理義務の設定制度を整備すれば、生産性の向上と水の浄化が両立すると考えられ、資源循環型の浄化システムが確立されることとなる。

<引用文献>

- 1) Carmichael W. W. (1996). Analysis for microcystins involved in an outbreak of liver failure and death of humans at a hemodialysis center in Caruaru, Pernambuco, Brazil, Proceedings of the 4rd Simposio da sociedade Brasileira de Toxinologia, Pernambuco, Brazil, October, 85-86.
- 2) Rinehart K. L., Namikoshi M. and Choi B. W. (1994). Structural and biosynthesis of toxins from blue-green algae (cyanobacteria), J. Appl. Phycol., 6, 159-176.
- 3) Kaya K. and Watanabe M. M. (1990). Microcystin composition of an axenic clonal strain of *Microcystis viridis* and *Microcystis viridis*-containing waterblooms in Japanese freshwaters, J. Appl. Phycol., 2, 173-178.
- 4) Mahakhant A., Sano T., Ratanachot P., Tong-a-ram T., Srivastava V. C., Watanabe M. M. and Kaya K. (1998). Detection of microcystins from cyanobacterial water blooms in Thailand fresh water, Phycological Research, 46(suppl.), 25-29.
- 5) WHO (1998). Guideline for drinking water quality, Geneva.
- 6) Burkholder J. M. (1999). The lurking perils of *Pfiesteria*, Scientific American, 281(2), 42-49.

(東京農業大学：藤本尚志)