

## 渡島大沼の富栄養化そしてアオコの発生と環境に優しい対策

今井一郎\*

渡島大沼は、ワカサギ、コイ、ヘラブナといった水産有用生物が生息する、内水面漁業の盛んな湖沼群である。しかしながら周辺域の農業や畜産業の発展により、湖沼の水質は富栄養化が進み、藍藻類が大量増殖した結果であるアオコが頻繁に発生するようになっている。アオコは景観の悪化や悪臭の発生により観光業に悪影響を与えるだけでなく、水産有用種に対して水質の悪化や酸素欠乏、アオコの毒素による斃死などの被害を与える可能性がある。有毒なアオコの場合、藍藻毒によって水が毒化して飲料水が湖から得られなくなり、深刻な社会問題となることがある。米国エリー湖において2014年夏季に飲料水の供給が有毒アオコの大発生によって停止された事件は記憶に新しい。また水鳥の斃死を引き起こす可能性も示唆されている。その他に水の悪臭を起す有害藍藻が知られており、水道水の供給に大きな障害となる。このような背景から、有害有毒なアオコの発生に対する実効性のある防除策が必要であり、しかも環境保全の観点から環境に優しい方策が望まれる。アオコ発生の根本的な解決のためには、水域への栄養塩の流入を制限し、富栄養化を抑制することが基本である。しかし現時点では、富栄養物質である栄養塩の湖沼への流入を有効に規制することは困難である。アオコの防除対策技術として現在、粘土散布や硫酸銅などの化学薬品による防除が国外では実施され、コストや生態系への影響が懸念されている。そのため、経済的で生態学的リスクの小さいアオコ防除法の確立が望まれている。

湖沼生態系において、アオコの原因生物に対する殺藍藻細菌が水中から多く検出され、アオコの発生防除への応用が期待されている。そして様々な水生植物の表面のバイオフィルム中に、アオコ原因生物（特に *Microcystis aeruginosa*）に対する殺藍藻細菌が高密度に生息するという新事実を、我々は新たに発見した。水草に付着する殺藍藻細菌は、水中に放出されてアオコの発生抑制に貢献すると想定され、具体的なアオコの防除策として将来的に有望と考えられる。ここでは渡島大沼におけるアオコの発生抑制を視野に入れ、水生植物のバイオフィルムや湖水中に生息するアオコの殺藻細菌の生態を紹介し、水生植物の有効活用を通じたアオコの発生しない新たな湖沼管理を提案する。

まずヨシ帯の湖水を天然のアオコ (*M. aeruginosa*) に添加し、アオコへの効果を検討した。ヨシ帯（大沼キャンプ場と蓴菜沼）から得た湖水を希釈して天然のアオコに添加すると、1/100あるいは1/1000に希釈した試料でも2～3週間でこのアオコ原因種の約78～98%が殺滅された。

大沼湖沼群を主対象に、山水内湖と蓴菜沼で水草およびヨシの採集を行った。水草は2012年5～10月に毎月1回、ヒシとタヌキモ、フサモを採集した。またヨシは、2013年5～10月に月1回採集した。各水草試料より表面のバイオフィルムを剥離し、適宜希釈後、細菌用の寒天培地に塗抹してコロニーを形成させ細菌株を分離した。ヨシについても茎の表面に付着しているバイオフィルムを剥離し、滅菌蒸留水で懸濁したものを懸濁試料とした。培養した無菌の *M. aeruginosa* を約10万細胞/mLで滅菌したウェルプレートに分注し、分離培養した細菌のコロニーをごく少量各ウェル中の *M. aeruginosa* に接種した。アオコの生育に適した条件下で2週間培養した後、倒立顕微鏡を用いて殺藍藻と増殖阻害の現象を観察確認し、*M. aeruginosa* に対する殺藍藻細菌や増殖阻害細菌を検出・計数した。内湖で採集したヒシから殺藍藻細菌と増殖阻害細菌が確認され、その密度は $10^5 \sim 10^8$ /g（湿重）のオーダーの値で検出された。蓴菜沼のヒシの葉や水中葉でも同様に殺藍藻細菌と増殖阻害が認められ、密度は $10^6 \sim 10^7$ /g（湿重）で推移した。タヌキモからは増殖阻害細菌が検出され、フサモで殺藍藻細菌と増殖阻害細菌が検出され、ヒシと近い値であった。このようにヒシやタヌキモ等の水草表面には、殺藍藻細菌や増殖阻害細菌が多く付着生息するという新事実が発見された。また、内湖の湖水中には $10^4$ /mLを超える殺藍藻細菌と増殖阻害細菌が見出された。ヨシ茎表面のバイオフィルム中にも殺藍藻細菌と増殖阻害細菌が、 $10^6$ /g（湿重）のオーダーの密度で高頻度に検出された。そしてヨシ帯の湖水中からは $10^2 \sim 10^3$ /mLのオーダーの密度でこれらは検出・計数されており、ヨシ帯の細菌は水草帯と同様、アオコ (*M. aeruginosa*) の増殖に阻害的であるものが多い事が確認された。

以上のように、ヨシ茎やヒシ等の水草には殺藍藻細菌や増殖阻害細菌が表面のバイオフィルム中に多

く付着生息することが判明した。これらの細菌の放出を通じて湖水中の有害有毒なアオコが発生制御されると想定され、環境に優しいアオコの発生予防策として水草帯やヨシ帯の回復と創生が挙げられる。

湖沼における水草と植物プランクトンの量の間には拮抗的關係が古くから知られており、一般的に「透明な状態」と「濁った状態」という2つの安定状態が存在する。このような拮抗關係の機構として、水生植物によるアレロパシー（化学物質を通じての他感作用）が提唱されている。しかしながら、アレロパシーによって植物プランクトンを制御する為には非現実的なレベルの量の水草が必要である。以上から、水生植物と植物プランクトンの量的な拮抗關係を起こしている機構として、水草の表面のバイオフィームから水中に供給される膨大な殺藍藻細菌や増殖阻害細菌の作用が新たに提唱出来る。今後、更なる事例研究を重ね、検証して行く事が必要である。

湖沼の生態系においてアオコの発生を抑制し、高い生物多様性と魚介類の生産性向上を目標として、人手を入れる「里湖」の考え方を導入する事を提案したい（図1）。ヨシ帯の保全や修復、水生植物の適正な管理は、有害有毒なアオコの発生を予防して生物多様性を良好に維持し、ワカサギ、フナ、モロコ、エビ類等の有用魚介類の生産性を上げるだけでなく、上述のように有毒アオコによる湖水の毒化の防止が期待出来ることから、飲料水や農業用水を含めた水資源の確保にも貢献するであろう。以上の利点を考慮するならば、湖沼管理に一定の予算措置が必要でも、それに見合う価値を湖沼は人に与えていると評価される。適切に人間が自然と関わり、手を加えて管理する事を通じて後世に健全な湖沼を残していく事は、現代を生きる我々の大切な務めと言えよう。

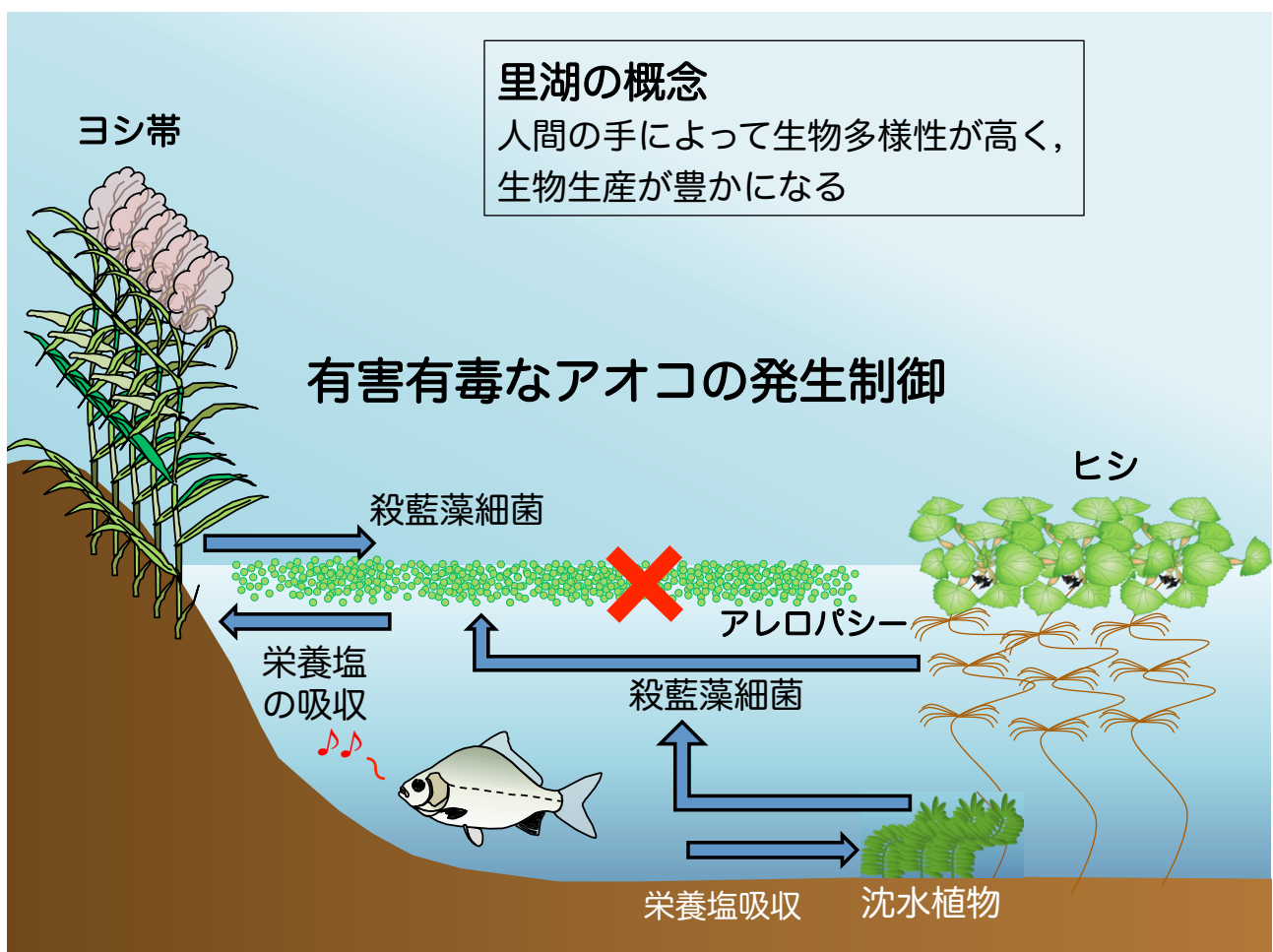


図1. 湖沼の“里湖”の概念。水草の活用と管理を里湖の中の重要なプロセスとして提案する。

\*現在滋賀県立琵琶湖博物館特別研究員・北海道大学名誉教授