



平成 30 年 2 月 16 日

アオコ繁殖を抑えるバイオ燃料電池の開発研究

澄んだ水をたたえた湖水は、美しい景観やレジャーの場を提供してくれるだけでなく、飲料水や都市生活水を供給する豊かな水資源としても不可欠です。藻類の一種であるアオコは、夏から秋にかけてダムや貯水池で突発的に大繁殖して生態系を破壊し、魚の大量弊死や悪臭を発生させて近隣地域の生活に悪影響をもたらします。かつて、アオコは生物の問題とされてきましたが、現在は湖底に蓄積した還元電位によってリンが溶出する富栄養化メカニズムによる物理化学の問題とされています。大学院環境生命科学研究科の田村隆教授、金尾忠芳准教授、田嶋智之講師は、微生物酵素を用いて湖底に蓄積した還元電位を汲み出し、湖面の溶存酸素で解消するバイオ燃料電池の開発に取り組んでいます。自然界に蓄積した電気エネルギーを微生物の酵素を用いて解放するアイデアにより富栄養化を抜本的に防ぎ、持続可能な社会の構築に役立てたいと考えています。

<導入>

アオコは、夏から秋にかけてダムや貯水池、ため池などの貯水施設、水源地やキャンプ場などのレジャー施設の池などに突発的に大発生します。湖面の着色や油膜の形成などにより景観が著しく損なわれるだけでなく、腐卵臭の発生や弊死した魚からも激しい異臭が発生して近隣地域の生活に悪影響をもたらします。大規模なアオコ対策が取られている岡山県の事例として、高梁川上流の千屋ダムが挙げられます。千屋ダムは、洪水調節、河川環境の保全、発電などに使われる多目的ダムであり、高梁川に沿って新見市、高梁市、総社市、倉敷市に生活用水、都市用水を提供する重要な役割を担っています。大発生したアオコは生物毒^[1]を生産するので生活用水の安全確保のためにも、その発生を予見して予防することが重要な課題になっています。千屋ダムが堰き止めている千水湖には、水質保全のための曝気装置、アオコ拡散防止フェンス、水循環促進装置が稼働しています。しかし千屋ダムは 100 ha を越える湛水面積を持つので、広大な湖のどこでアオコ発生リスクが高まっているかを予見・予防できるシステムも求められています。

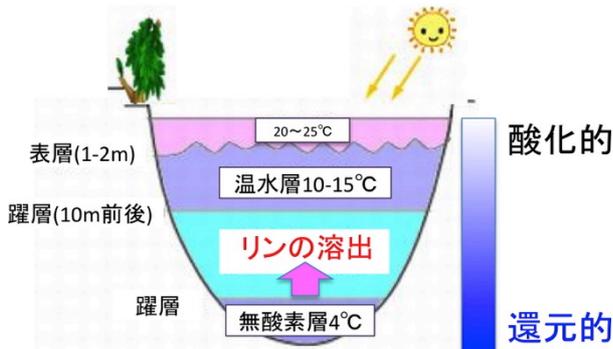
<背景>

夏から秋にかけて湖面の水は太陽光で温められますが、湖底の水は冷たく比重の重い水層が出来ます。この温度差により湖底には盤石な嫌氣的環境が形成され、蓄積した還元力によって汚泥からリンが溶出する富栄養化メカニズム^[2]が起こります。リンは自然界では絶対的に不足しているはずの養分なので、そのリンを得た水圏生物の中で最も生育が



PRESS RELEASE

温度差による富栄養化



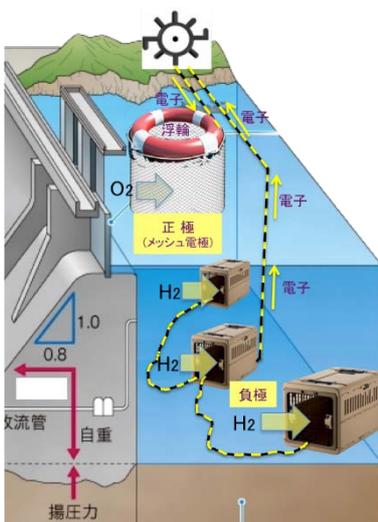
早いラン藻類が大発生します。つまりアオコの発生は、本質的には水面と湖底の温度差、湖底に蓄積する還元電位がもたらす物理化学の問題と言えます。そこで湖水の機械的攪拌、さらに圧縮空気を湖底に吹き込むマイクロバブルなどの対策が取られますが、効果の持続性は乏しく、富栄養化の進行を阻むのは容易ではありません。年間の日照量が豊富な岡山県では、湖水の環境保全はとくに大きな課題といえます。

しかし、湖底に蓄積する還元電位とは太陽エネルギーが形を変えて蓄積したものであり、別のエネルギーに変換して取り出すことができれば解決の糸口となる可能性もあります。

本研究チームでは、湖水の還元電位を解消して発電に利用しながら、水系環境の保全に役立つバイオ燃料電池^[3]の開発に取り組んでいます。水系保全用の浄化ダムを建設すれば数十億円の建設費用、そして年間数千万円の維持費がかかるので社会的負担は莫大です。その一方で、小規模ながらアオコ発生を抑制する水系保全サービスを提供する企業活動も活発化しています。湖水の電位差を解消する新しいアイデアとその実用化を目指したこの取り組みは、環境保全に関わる新産業の活性化や起業にも寄与できると考えています。

<研究内容、業績>

湖底に蓄積する還元電位の实体とは、そこに棲息する嫌気性の微生物が自らの呼吸に利用または排出する水素(H₂)や硫化水素(H₂S)です。対照的に、大気に触れている湖面付近では、溶存酸素濃度が高く、酸化環境にあります。本研究では、H₂やH₂Sから電子を奪取する酵素を、遺伝子工学の技術を用いて細菌から調製してバイオ電極を作製します。



バイオ燃料電池のしくみ

このバイオ電極(負極)を湖底に沈めて、盤石な嫌気層から電子を湖水面まで汲み出し、別の酵素電極(正極)で電子を酸素に与えます。水素と酸素の間で電位差を利用して発電するのは、まさに燃料電池の原理であり、ものを燃やさない発電が可能になります。湖底の電位差解消は富栄養化の進行を根本的に食い止めることができると考えられます。既存のアオコ対策である浄化ダムの建設やマイクロバブル注入法と比較すると、バイオ燃料電池は湖底と水面を置いた酵素電極を導線で結ぶだけなので、景観を損なうことなく、低いコストで澄んだ水を維持できると期待されます。このような装置は環境保全に関わる新たな産業シーズを提供すると期待しています。

**PRESS RELEASE****<展望>**

本研究が提案するバイオ燃料電池は、装置が軽量かつ安価で大量生産が可能なので、広大な湖面の多くのスポットにおいて湖底電位を監視できます。還元電位が大きく低下しているスポットを特定できれば、曝気装置をそこに曳航してピンポイントで曝気稼働させれば効果的な富栄養化を抑止することもできます。すでにアオコ対策を業務とする国内企業は、資本金1~3千万円規模の中小規模で存在しており、社会的ニーズは高まっています。これらの企業が提供する先行技術は、原理的には湖底に圧縮空気を送り込んで湖底の還元電位を解消するものが多く、微細気泡を湖底に注入する装置、超音波による水処理など多種多様なノウハウで水管理業務が行われています。本研究成果が目指す事業化の方向としては、アオコの発生を抑制する小型で軽量の装置の開発です。先行技術に対する長所として低コストで持続性の高い効果が期待できます。つまり制作費が数百万円程度、ランニングコストも数十万円と見積もっています。装置そのものも小型であり環境負荷が少なく景観保全に於いても目立たず、装置を設置しておくだけで、アオコ抑制効果が持続できる上に、繁茂期でない時期は湖底から引き上げておくことも可能です。また岡山県内外の環境計測、環境保全企業と提携してアオコ発生を抑制するサービス業務の実業化が展望されます。

<略歴>

田村 隆（たむら たかし）

1965年生まれ。京都大学大学院修士課程、同大学大学院博士課程修了。農学博士。岡山大学に助手として赴任。米国NIH留学に留学、帰国後は岡山大学にて大学院助手、助教授、准教授を経て現職に至る。この期間、理化学研究所播磨 Spring-8 連携研究員、JST さきがけ研究者等を兼任し、現在は東京大学・革新的シミュレーション研究センター研究員を兼務して、計算科学を取り入れた実験化学に取り組んでいる。専門分野は微生物遺伝子化学、特に微生物のユニークな酵素をエネルギー問題、環境問題に利用する研究に取り組んでいる。

金尾 忠芳（かなお ただよし）

1969年生まれ。岡山大学大学院修士課程、京都大学大学院博士課程修了。工学博士。岡山大学農学部助手として赴任。岡山大学自然生命科学研究支援センターにて助手、助教を兼任し、現職に至る。専門分野は生物工学・応用微生物学。鉄や硫黄を食べる特殊な微生物の代謝とそれに関係する酵素を研究し、そのような微生物を金属回収や環境浄化へ利用することを目指している。

田嶋 智之（たじま ともゆき）

1975年生まれ。信州大学大学院修士課程、京都大学大学院博士課程修了。博士（理学）埼玉大学で非常勤講師、名古屋大学物質科学国際研究センター研究員、京都大学次世代開

**PRESS RELEASE**

拓研究ユニット特任助教を経て、岡山大学に講師として赴任、現職に至る。専門分野は有機化学、とくにナノ炭素材料をエネルギー問題、環境問題に利用する研究に取り組んでいる。

<語句説明・用語解説>

[1] アオコの生物毒

富栄養化の進行した湖水・沼で発生する植物プランクトンやラン藻の大発生を一般的にアオコと総称されています。アオコはカビ臭発生、浄水器の目詰まり、魚の斃死など生態系を破壊するなど問題を引き起こします。アオコで発生する藻類のなかにマイクロシスチンなどの毒素を生産するものが混在すると飲料水が汚染され、外国ではアオコ毒素で汚染した水による健康被害が報告されています。

[2] リンの還元による富栄養化

リン酸は DNA や RNA などの核酸の成分として、生物の増殖や細胞分裂時に必要とされる養分です。しかし、リン酸は自然環境に豊富に存在するカルシウムと強く結合して不溶物になるので、生物はこれを利用することが出来ません。しかし湖底の嫌気的環境ではリン酸(5 価)から亜リン酸(3 価)への還元反応がゆっくりと進行します。溶解度が高い亜リン酸が湖底から供給されて、湖面近くでリン酸に再酸化されることで水圏生物の中でもとくに細胞分裂の早い植物プランクトンやラン藻の爆発的増殖を招くと考えられています。

[3] 酸化還元電位とバイオ燃料電池

酸化還元電位とは、電子を与える力、または電子を受け取る力を示す指標として使われます。電子を与える力が大きい物質は、低い値として表記され、電子を受け取る力が大きい物質には、高い値が表記されます。電池とは、電子を与える力が大きな物質から、電子を受け取る力が大きな物質へと電子が渡される組合せによって電流を得る仕組みであり、特に水素(0 V)から酸素(+0.8 V)への電子が渡される仕組みの電池を燃料電池と呼びます。バイオ燃料電池とは、生物が呼吸に用いる酵素を利用して、水素から酸素への電子授受を行う仕組みの電池です。

<お問い合わせ>

岡山大学 大学院環境生命科学研究科 (農)

教授 田村 隆

(電話番号) 086-251-8293

(FAX番号) 086-251-8388