

## 曝気循環施設によるダム貯水池カビ臭対策の効果評価

財団法人 ダム水源地環境整備センター 正会員 田中 靖 ○木村 文宣  
株式会社 建設環境研究所 正会員 本間 隆満  
国土交通省 東北地方整備局 釜房ダム管理所 松川 正彦 前田 充典

### 1. はじめに

全国の多くのダム貯水池では、藍藻類の増殖に伴うカビ臭物質（ジェオスミン、2-メチルイソボルネオール（以下、2-MIB）等）による異臭味現象が発生し、上水道取水等で大きな問題となっている。この異臭味現象への対策として各種の水質保全施設が導入され、抑制効果が認められている。しかし、藍藻類による異臭味発生メカニズムは未解明な部分が残っており、水質保全施設による抑制効果についても十分に把握できているとは言い切れない。

今回対象とした釜房ダム貯水池（国土交通省 東北地方整備局管轄、宮城県柴田郡川崎町）においても、管理開始より発生している異臭味問題に対して水質保全対策が実施されており、一定の異臭味抑制効果が認められている。しかし、依然として異臭味問題は根絶されていない。

本報は、水質保全施設（曝気循環施設）がカビ臭原因藻類に与えたと想定される影響について、気象・水象・水質データから検討した結果を報告するとともに、今後の異臭味問題に対する水質保全措置の課題について考察するものである。

### 2. 釜房ダムにおけるカビ臭発生状況と

#### 水質保全対策の経緯

釜房ダムでは、ダム管理開始翌年の昭和 46 年から藍藻類フオルミディウム・テヌエ（*Phormidium tenue*）が産生するカビ臭物質（2-MIB）による異臭味現象が発生し、上水道で深刻な問題となっていた。そのため、水質保全対策として昭和 59 年より「間欠式空気揚水筒（6 基）」が設置され、その後異臭味問題は収束した。しかし、平成 8 年から異臭味現象が再発したため、平成 16 年より循環能力のより高い「散気式

曝気循環施設（10 基）」を導入し、今日まで異臭味問題の改善を試みてきている<sup>1)</sup>。

### 3. 曝気循環施設の設置・運用に関する考え方

#### 及び植物プランクトンに及ぼす影響

植物プランクトンの増殖は、その大部分が光、気温、水温、風、滞留時間、栄養塩濃度等の生活環境要素によって制御されている。

曝気循環施設の設置・運用は、表水層の水温勾配を緩和し、鉛直混合深度を増加させることによってフオルミディウム・テヌエが光合成できる有光層に留まれる時間を短縮し、光制限によってその増殖を抑制することで異臭味濃度を増加させないことを目的としている。

したがって、曝気循環施設設置前後の水温勾配とフオルミディウム・テヌエの細胞数、及び 2-MIB 濃度の関係について検証することで、その抑制効果が証明できるとともに、より効果的な運用方法の確立に関する知見が得られることが期待される。

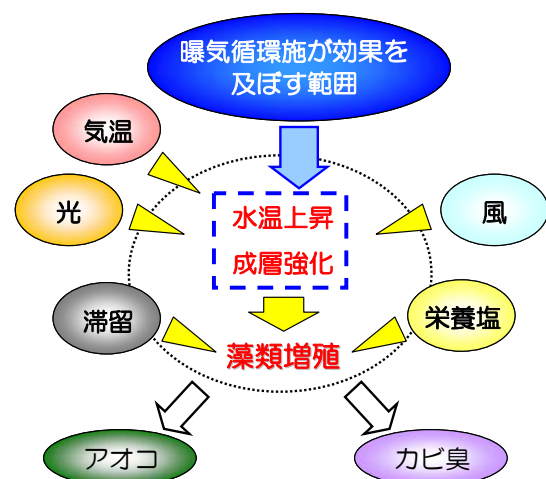


図1 富栄養化に伴う障害の発生フローと曝気循環施設の効果範囲

キーワード ダム貯水池、異臭味現象、2-MIB、フオルミディウム、曝気循環施設

連絡先 〒102-0083 東京都千代田区麹町 2-14-2 麹町 NK ビル

(財)ダム水源地環境整備センター TEL: 03-3263-9978 E-mail: [f-kimura@wec.or.jp](mailto:f-kimura@wec.or.jp)

## 4. 釜房ダムにおける異臭味抑制効果

### 4-1. 事業実施前後の比較から得られた効果証明

釜房ダムの曝気循環施設は、概ね成層期である4月から10月にかけて稼動している。曝気循環施設設置前後のダムサイトにおける日中(14時)の水温勾配の月別平均値を比較すると、事業実施後の水温勾配は7月から9月にかけて顕著に低下しており、これと同時期に2-MIB濃度の低下も確認された(図2)。なお、同時期の日射量、気温、風速、滞留時間、流入河川栄養塩濃度は、曝気循環施設設置前後で明確な違いは認められなかった。

このことから、曝気循環施設の稼動により水温勾配が解消されたことで、フォルミディウム・テヌエの増殖が光制限によって抑制され、それに伴い2-MIB濃度が低減したと想定された。

曝気循環施設導入前後の水温勾配と2-MIB濃度との関係を図3に示す。本図は、横軸を2-MIB測定前1週間の平均水温勾配、縦軸を2-MIB濃度とし、曝気循環施設導入前を黒丸、導入後を赤丸でそれぞれ表している。

曝気循環施設導入前は、水温勾配が $0.5^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 以上で2-MIB濃度が $20\text{ng}/\text{L}$ 以上にまで達している[エリア①]にも点が分散しているが、導入後は概ね水温勾配が $0.5^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 以下で、2-MIBも $10\text{ng}/\text{L}$ 以下に抑えられている[エリア②]に分散が集中している。前述のとおり、植物プランクトンの生活環境で変化しているのは水温勾配のみであることから、消去法的に考えてこれが曝気循環施設導入による水質改善効果であると評価できる。

一方、図2最下段に示した曝気循環施設導入前後のフォルミディウム・テヌエの細胞密度を比較すると、細胞密度の極大値の時期は変化しているものの、細胞密度は低減しておらず、当初想定された「曝気循環施設の導入による原因藻類の増殖抑制が2-MIB濃度の低減に繋がった」という仮説を支持しない結果となった。

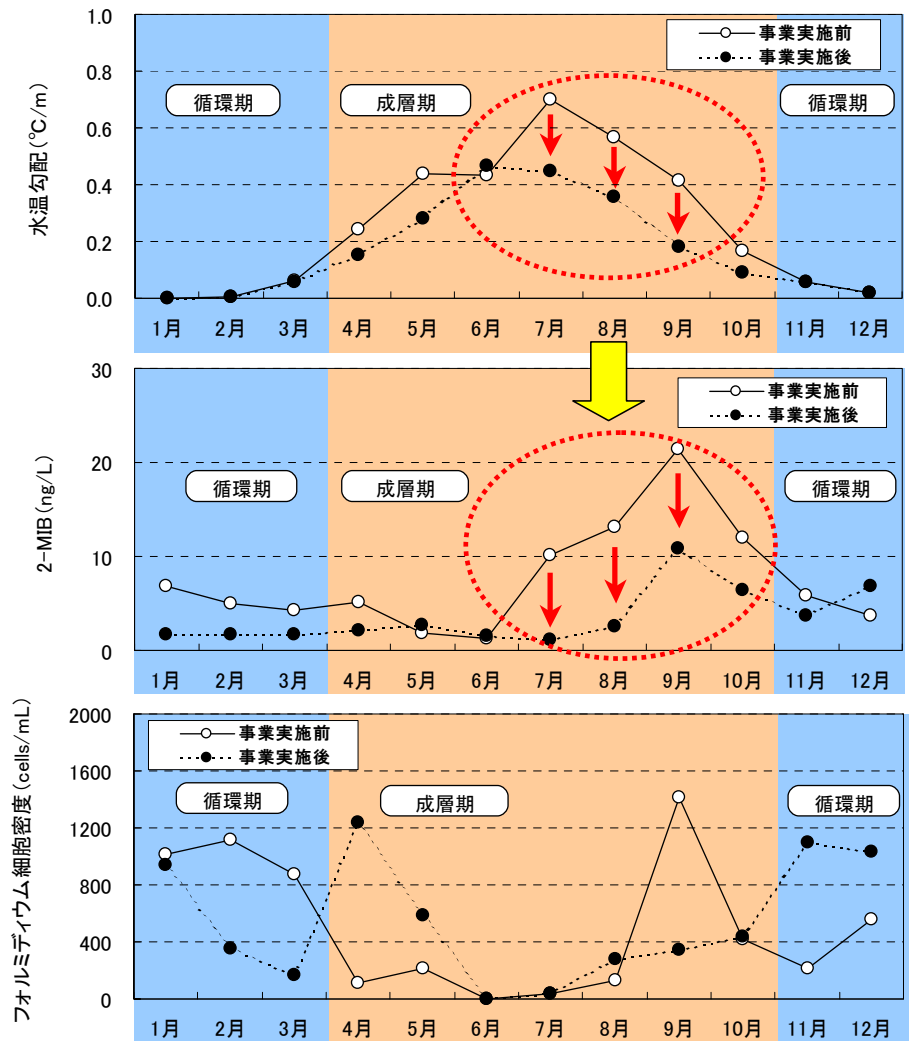


図2 曝気循環施設導入前後の水温勾配・2-MIB濃度・フォルミディウム細胞数の比較  
(水温勾配は、14時水温勾配の月平均値を記載)

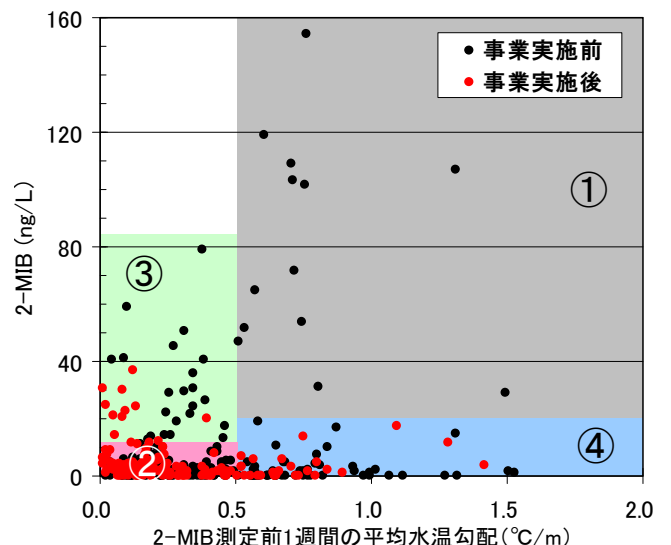


図3 水温勾配と2-MIB濃度との関係

## 4-2. 藍藻類の分類体系に関する最近の知見

ダム貯水池における 2-MIB による異臭味問題は、その大部分がフォルミディウム・テヌエに起因すると考えられている。しかし、本種の中には 2-MIB 産生株と非産生株が存在するため、細胞密度と 2-MIB 濃度の変動は必ずしも関連しないことが知られている。この問題を解決するため、過去の研究ではアンテナ色素組成の違いによる 2-MIB 産生株の識別<sup>2)</sup>が試されているが明確な分離はできていない。

近年、本間(2007)は、新しい藍藻類の分類体系(Komarek and Anagnostidis, 2005)<sup>3)</sup>に基づく霞ヶ浦の藻類調査により、年間を通じたフォルミディウム・テヌエの繁茂は形態的特徴の近似した複数の藻類種が季節的遷移を繰り返していた結果であったことを明らかにしている<sup>4)</sup>。

釜房ダムにおけるフォルミディウム・テヌエについても曝気循環施設導入に伴いその極大期が春季から秋季に変化したことから、その中に複数の藻類種が混在していることだけでなく、施設導入を境にその藻類種組成が変化した可能性が考えられる。

## 4-3. 釜房ダムにおける曝気循環施設導入

### に伴う藻類種遷移に関する仮説

以上に示したフォルミディウム・テヌエと同定されてきた藻類種(以下、フォルミディウム様藻類種)の多様性を加味した上で、釜房ダムにおけるこれまでの異臭味発生状況を今一度整理し、新たな仮説を提唱する。

散気式曝気循環施設は、水温勾配を低下させることでフォルミディウム・テヌエの増殖を抑制し、2-MIB 濃度の削減を果たすと想定されていた(図4: 上段)。しかし、施設導入前後の水質データを比較すると、水温勾配の低下と 2-MIB 濃度の削減は認められたにも関わらず、フォルミディウム・テヌエの細胞密度に違いは認められなかった。これらの一連の現象は、当初想定していたメカニズムでは説明することができない。

そこで、散気式曝気循環施設によって創出された物理環境がフォルミディウム・テヌエの質的変化を引き起こしたと想定して新たな仮説を構築した(図4: 下段)。すなわち、フォルミディウム・テヌエと同定されている藻類種には、形態的特徴が酷似する 2-MIB 産生型と非産生型が存在し、各々の光制限に対

する増殖応答は異なる。散気式曝気循環施設はそのうち 2-MIB 産生型の優占度を抑制することで 2-MIB 濃度の削減を果たすと考えた。

この新たな仮説は、施設導入前後の水温勾配、フォルミディウム・テヌエの細胞密度、及び 2-MIB 濃度の変化だけでなく、施設導入後に水温勾配が上昇しても 2-MIB 濃度が増加しなかったことに対しても説明ができる。

この事象は図3に示した[エリア④]に該当すると考えられるが、実際に上記のメカニズムが働いているかについてはさらなる調査・検証が必要である。

また、昭和60年以降に間欠式空気揚水筒の設置によって形成された環境は、設置以前に優占していた 2-MIB 産生型フォルミディウムの抑制には十分な効果があったものの、異なる産生型フォルミディウム(光制限に対する増殖応答が異なるタイプ)には効果が認められず、平成8年以降の異臭味再発生へと繋がったとも考えられる。この間に12年と長い期間が開いた理由としては、富栄養化による栄養塩レベルの増加、透明度の変化による有光層の変化、フォルミディウム様藻類種の増殖応答によるタイムラグ等が挙げられる。

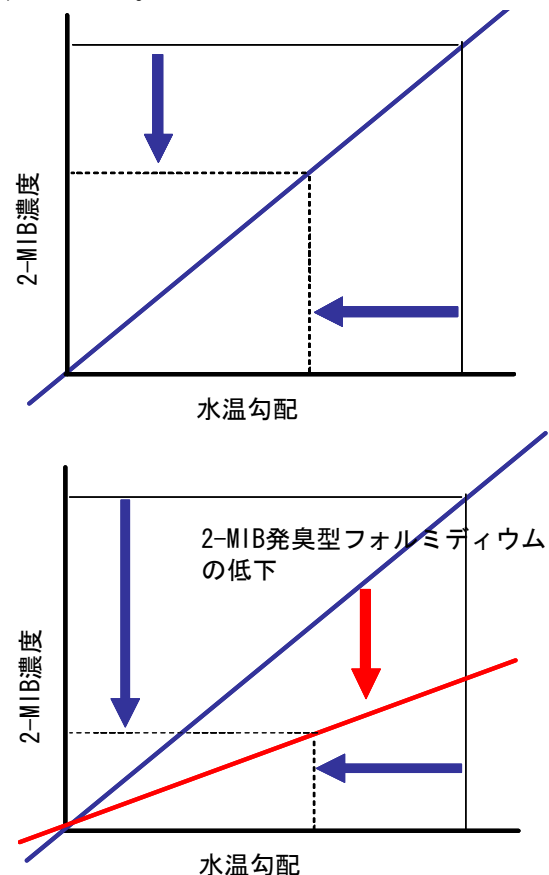


図4 曝気循環施設導入による 2-MIB 低減メカニズム  
(上段: 従来想定されたメカニズム)  
(下段: 今回想定されるメカニズム)

## 5. まとめ

### 5-1. 曝気循環施設による異臭味抑制効果

曝気循環施設の導入前後の気象・水象・水質データを整理した結果、曝気循環施設の稼動による水環境の変化、特に水温勾配の低下が 2-MIB 濃度の削減に効果を発現したことが示された。しかし、2-MIB 発生の原因種とされていたフォルミディウム・テヌエについては、曝気循環施設導入前後で単純な量的変化は認められず、従来考えられていた「対策に伴う水環境の変化が原因藻類の増殖抑制を促し、対策効果が発現する」というメカニズムでは説明することができなかった。この原因の一つとして、現状分類されているフォルミディウム・テヌエの中には発臭種・非発臭種が混在しているが、両者を識別できないことが考えられる。

これらフォルミディウムの識別が正確にできれば、釜房ダムにおける異臭味問題の現象メカニズムの理解がより深まり、対策が大きく前進すると考えられる。また、その成果の適用は釜房ダムに限定されず、フォルミディウムによる異臭味問題を抱える全国のダムでの活用も想定されることから、本研究成果の今後の波及効果は非常に大きいものとする。

### 5-2. 今後の課題

#### (1) フォルミディウムの質的变化の検証

本報で示された曝気循環施設導入による 2-MIB 抑制効果の検証から、水環境の変化がフォルミディウムの質的变化を引き起こしたことが推察されたが、これを証明するには 2-MIB 産生種／非産生種の分類同定が必要であり、筆者らはこの点に着目した検証を現在進めているところである。

#### (2) 浅場からの供給可能性の検証

釜房ダム沿岸帯の浅場は、従来は砂質であったが、上流部に貯砂ダムが建設されたことによる粗粒砂の本貯水池への供給量減少、内部生産に伴う有機物の堆積等に伴い、泥質化が進行しつつある。泥質化した底泥では、運動性を有し、堆積物上に留まることができる糸状藍藻類が有利に増殖することが知られている。

実際に釜房ダムの浅場においても、近年、フォルミディウム(*Phormidium tergestinum*)による藍藻マットの発達が確認されている。本種は 2-MIB 産生種であることが報告されており、藍藻マットの剥離、ま

たは衰退によって水中に 2-MIB が供給されている可能性が高い。特に、図 3 の[エリア③]に該当する部分(水温勾配は小さいが高濃度の 2-MIB が検出されているエリア)は、曝気循環施設稼動前後で水温勾配に大きな変化が見られないことから、曝気循環施設の効果が及ばない別の現象メカニズム、例えば上述のような浅場の藍藻マットに起因した異臭味発生現象である可能性が考えられる。

今後は、貯水池水塊におけるフォルミディウムの再分類に基づく現象メカニズムの解明と同時に、上述のような貯水池水塊以外の異臭味発生源についても調査を進める必要があると考える。

## 6. おわりに

本報は、「釜房ダムにおける水質保全対策勉強会(主催：釜房ダム管理所)」(東京工業大学大学院 石川忠晴教授(座長)・中村恭志准教授・吉村千洋准教授、東北大学大学院 大村達夫教授・西村修教授・梅田信准教授、東北学院大学大学院 石橋良信教授、北海道大学大学院 牛島健特任助教、埼玉大学大学院 古里栄一助教、仙台市水道局、釜房ダム管理所)において活発な議論を行い、その結果を取りまとめたものであります。ここに記して関係者に謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 国土交通省東北地方整備局：平成 20 年度ダム管理等フォローアップ委員会 釜房ダム定期報告書，2008
- 2) 例えば、中村寿子(1987) *Phormidium tenue* の分類学, 生理学的検討 日本水処理生物学会誌，別巻 7, 69
- 3) Komárek, J. and Anagnostidis, K. (2005) *Cyanoprokaryota 2. Teil/2<sup>nd</sup> Part: Oscillatoriales*. In: B. Büdel, L. Krienitz, G. Gärtner and M. Schagerl (ed.) *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 19/2, Elsevier/Spektrum, Heidelberg.
- 4) 本間隆満(2007) 霞ヶ浦における藍藻綱ユレモ目のフロラ，茨城県霞ヶ浦環境科学センター年報 第 3 号 124-128