

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 4 月 30 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21760380

研究課題名（和文） ダム湖の藻類内部負荷による水質問題の要因解明と環境水理学的対策に関する研究

研究課題名（英文） Study on factors and countermeasures of the water quality problem caused by internal algal load in reservoirs

研究代表者

梅田 信（Makoto Umeda）

東北大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：10447138

研究成果の概要（和文）：

水道水の異臭味の原因となる藍藻類及びそれが放出する異臭味原因物質（MIB）の増減について、釜房ダムにおける長期的な水質データを活用し解析を行った。各種の環境条件を入力として藻類現存量あるいは異臭味原因物質の濃度を予測するためのモデルを構築した。その結果、比較的良い再現性が得られた。その際に、単に MIB 濃度の再現という観点ではなく、異臭味発生イベントの発生という視点からも再現性の確認を行った。

研究成果の概要（英文）：

By using long-term data measured and stored by the administration office of the Kamafusa Dam, we analyzed historical changes of the amount of the cyanobacteria and the compound that can cause taste-and-odor problems of drinking water. Numerical models were developed to analyze and predict those factors of cell density of the cyanobacteria or MIB, which is a causative compound of the odor. Temporal changes of MIB and potential period of musty odor events were successfully reproduced by using our model developed in this study.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2010 年度	600,000	180,000	780,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：環境水理学

1. 研究開始当初の背景

ダム湖は、我が国の水資源として重要な位置を占めるものであり、量的な確保のみならず、水質的にも十分に配慮した管理を行う必要性が高い。ダム湖の水質的な問題としては、富栄養化現象、すなわちアオコに代表される植物プランクトン)の増殖に関連して発生す

る問題が、注目されて久しい。しかし、未だ十分に解決しておらず、課題が多い。

富栄養化現象の対策は、種々のものが既に多くの現場で行われており、流域対策や湖内対策などがある。前者は、植物プランクトンの餌となる栄養塩を削減することが主目的であり、後者は、湖水中に生息している植物プ

ランクトンの増殖を抑制するためである。

従来の対策において、植物プランクトン自体の発生源（「種（たね）」と言えるもの）に関しては考慮されていない。しかし近年、富栄養化現象の原因となる植物プランクトン（特に藍藻）の供給源として、ダム湖底の付着藻もしくは越冬個体の寄与が大きいと考えられる現象がみられることが分かってきた。

従来、一部の浅い湖を除き、湖底の付着藻類について注目することは少ない。特にダム湖は、一般に湖底形状が急峻で比較的深いため、ほとんど考慮していなかった。これに対し本研究は、富栄養化現象のみられるダム湖を対象にして、湖底（底質）からの植物プランクトンの「種（たね）」の供給に着眼した検討を行う。これを本研究では、「藻類内部負荷」と呼ぶことにする。

2. 研究の目的

ダム湖では種々の水質問題が発生することがある。本研究で対象とするのは、主として富栄養化現象によりある種の藍藻類が増殖した際に発生することがある、飲料水に対する異臭味の問題である。原因となる藻類種については、従来藍藻類とされている。しかし、この藻類の増殖に関する支配要因や異臭味物質を生成あるいは放出する要因については、不明なことが依然多い。さらに、従来はプランクトン性の藍藻類が異臭味の原因であると考えられていたのに対し、近年発生する事象に対しては、プランクトンを原因とするだけでは説明がつかない場合が多いと考えられるようになった。すなわち、湖底に生息する付着性の藻類などの影響も考慮に入れる必要があるということである。

ダム湖の場合は、峡谷などに建設された人工湖であることから、特徴的な湖底地形を持っている。元々の河道であった濡筋は相対的に深く、段丘であったところが浅瀬になる。浅瀬は、光環境が良好である可能性が高く、付着性藻類の生息場所となりやすい。しかし一方で、ダム湖は水位変動が大きい。つまり、利水目的のために流水を貯留するため融雪時期などは水位が高く管理される。一方、利水が多い時期や渇水時には、貯留した水を流して水位が低下する。そのため、浅瀬は干上がったたり浸水したりを繰り返すことになる。これは、藻類の生息場としては必ずしも良好な環境とはいえない。

本研究では、以上のように、藻類の生物学的な増殖現象とダム湖の水理学的特性とを考慮しながら、藻類が原因と考えられる水質問題を解決するための研究を実施する必要がある。これについては、現地調査データを用いながら、両者の関連性を定式化することを目的とする。また、水理学的な要因が水質現象に関与していると想定されること、および水

理学的な要素は、ダムの操作によってある程度制御しうる可能性がある（例えば、水位操作など）。そのような点を踏まえ、水理学的な貯水池環境のモデリングについても検討を行い、将来的な対策へと結びつけるための成果を出すことも本研究の目的とした。

3. 研究の方法

(1) 水理・水質解析モデルの検討

検討対象の三春ダムは、福島県三春町の阿武隈水系大滝根川上に位置する。総貯水量は $42.8 \times 10^6 \text{m}^3$ 、有効貯水量は $36 \times 10^6 \text{m}^3$ であり、貯水池の湛水面積 2.9km^2 、集水面積 226.4km^2 である。ヤツデ状のやや複雑な形状をしている特徴がある。上流に田村市（人口約4万人）の市街地や農地等を抱えているため、その負荷により、ダムが完成した平成9年度以降アオコの発生が見られる。三春ダムでは各種の水質保全施設が設置されている。そのうち、図-1に示すような配置で、深層曝気施設は2台、浅層曝気施設は5台設置されている。

湖水の流動解析は、準3次元解析モデルを用いた。基礎方程式は、静水圧近似及びブシネスク近似した運動方程式、連続式、全水深にわたって積分した連続式、水温の輸送方程式である。

水質の解析は、文献に基づいてモデル化を行った。解析対象項目は、植物プランクトン、デトリタス、溶存酸素、硝酸態窒素、溶存性リン酸態リンおよびSSの6つとした。湖沼生態系を詳細に解析するためには、動物プランクトンを含む高次栄養段階やより細分化した栄養塩分画を考慮する必要があると考えられる。しかし、本研究では生態系自体の解析というよりは、植物プランクトンを含む懸濁物質の挙動により注目しているため、モデル化はやや簡略な手法を取った。なお、湖沼における動物プランクトンの生産量は植物プランクトンの10分の1オーダーとする知見もあることから、単純化した解析方法を採用した。

(2) 異臭味原因物質の解析モデル検討

検討対象は宮城県柴田郡川崎に位置する釜房湖である。流域面積 195.25km^2 、総貯水容量 $4.53 \times 10^7 \text{m}^3$ で、洪水調節、灌漑、発電、水道用水、工業用水のために建設された多目的ダムである。仙台市の水道水供給量の約36パーセントを占め、仙台市の最大の水がめと呼ぶことができる。その一方、釜房湖では供用を開始した1971年からカビ臭の発生に悩まされ続けてきた。その対策として、曝気式循環施設を導入したが、完全に抑制するまでには至っていない。

異臭味原因物質である2-MIBはある種の藍藻（従来 *Phormidium* と分類されていたもの。本研究では、過去に蓄積されてきたデータを活用した解析を実施したため、現在では厳密

な分類方法ではないが、データ利用の便宜上、本稿でも *Phormidium* と称することに)が産出するため、*Phormidium* の現存量が多ければ、産出される 2-MIB が多くなることが考えられる。つまり 2-MIB 濃度の増加に対する要因の一つであると推測される。また、Chl-a は葉緑素であり生命活動をする藻類量を測る指標となる。*Phormidium* を含む藻類に含まれるため、*Phormidium* 細胞数と比べて相関が低くなるとも考えられるが、光合成を行う *Phormidium* 細胞数によって 2-MIB 濃度も推測できると考えられる。以上より本研究は *Phormidium* 細胞数と Chl-a 濃度から 2-MIB 濃度の推定に対する検討を行う。なお、本貯水池では、藍藻類として主に *Phormidium* として分類されるものが優占するため、この細胞数は藍藻類の増殖状況に対応するデータとみることができる。

解析には 2-MIB 濃度と *Phormidium* 細胞数、Chl-a 濃度を 1997 年 1 月から 2008 年 12 月まで利用した。本データは不定期に採取されている。本研究では 2-MIB 濃度に対する *Phormidium* 細胞数と Chl-a 濃度における増減の傾向を検討するために採取データから各月ごとの最大値を抽出し、月 1 つのデータにした。これらの *Phormidium* 細胞数、Chl-a 濃度のデータを入力とする 3 層のニューラルネットワークを用いて、2-MIB 濃度を推定するモデルを構築した。なおデータは、それぞれ測定日および測定頻度に差があるため、全てのデータを一律に扱いやすくするため、同じ月に複数の測定がある場合には、各月の最大値を抽出するという処理を施したうえで、解析に用いた。

4. 研究成果

(1) 水理・水質モデルによる検討

本研究で実施期間(2009 年 7 月 16 日から 8 月 13 日)で行った観測データを対象に、計算モデルの再現性を確認した。貯水池の地形は、別途実施されていた深淺測量結果を基に作成した。計算期間中の流入及び放流量は、実績値に基づいて与えた。気象条件(気温、日射、湿度、風向風速)は、ダム管理所の記録を用いた。流入水温は、大滝根川筋にある光大寺地点での毎時の測定値を用いた。貯水池への流入水質は、ダム管理所で実施した既往の水質調査結果から、比流量と比負荷量の相関式(べき関数)を設定して与えた。

貯水池の初期水位は管理所のデータより標高 317.7m とし、水温の湖内初期分布は 7 月 16 日に測定したダムサイト地点における鉛直分布を、同一水深では一様として与えた。曝気循環施設の稼働するダム湖における水温の鉛直分布は、曝気のごく近傍を除いて、水平的には概ね一様に分布していることから、このような仮定は妥当である。Chl-a の初期

条件は 7 月 16 日に測定した管理所による自動測定の結果を与えた。

水質変動の検証に用いることができる実測データは多くないが、湖心付近において連続的に計測された Chl-a 濃度を、水深 0.5m について実測値と計算値と比較した。その結果、7 月 28 日以前は連続測定の数値と比較して、変動傾向が概ね再現される計算値が得られた。しかし、7 月 28 日以降は連続測定の数値に対して、計算値が多少過大評価している傾向が見られた。しかしながら、8 月 4 日と 13 日に行った採水分析の結果と比較すると、概ね一致している。以上をまとめると、植物プランクトンの時空間的なバラツキの範囲内で、概ね現象を再現していると評価しうると判断できる。

この解析モデルを用いて、貯水池内の物質循環を推定した。結果では、平常時(出水を含まない期間)を設定したということもあり、流入出の収支は概ね釣り合いが取れた。また、湖内での存在量構成も、大きな変化は見られなかった。しかし、植物プランクトンの増殖や枯死・分解の過程に伴って循環している量は、20 日ほどの短期間であるが、非常に大きかった。本貯水池はリン制限の水質環境であるため、特にリンに関しては、湖水に溶存している全量を上回る延べ量が植物プランクトンに摂取されている。なおこれらの湖内での変換過程に伴う移動量は、湖内全体で計算期間を通して、各要素の時間積分を行って算出したものであるが、数値積分の誤差のため、全体の収支にやや誤差が生じた。

(2) 異臭味原因物質解析

測定結果と解析結果について *Phormidium* 細胞数と 2-MIB 濃度を比較すると、2003 年、2008 年において増減する時期の傾向は一致するが、他の時期には大きなバラツキがみられた。2-MIB は藍藻類により産出されるため、*Phormidium* 細胞数と 2-MIB 濃度における高い相関が存在すると考えられるが、実測値の時空間的なバラツキの影響などから *Phormidium* 細胞数と 2-MIB 濃度の変動傾向はあまり一致しない。一方、Chl-a 濃度と 2-MIB 濃度を比較すると、増減の時期に関して一致する点が多く見られる。これは、2-MIB の産出が、*Phormidium* の活性化などと何らかの関連があるためだと想像される。そこで本研究では、2-MIB 濃度の予測に *Phormidium* 細胞数と Chl-a 濃度を入力として用いた。

計算結果では、2-MIB の増加イベントがある程度再現することができた。なお、本研究ではデータ数(2-MIB の増加イベントの回数)が十分に無いため、全期間のデータを学習に用いたものである。そのため、いわゆる検証の過程を踏むことが難しかった。また、検討期間の前半と後半では、2-MIB の増加傾向が異なるように見える。これは、他の環境要因

の影響も大きいためだと推測される。また、仙台市水道局で浄水場において活性炭を用いた処理を行う際の目安に、2-MIB濃度が3mg/lといった値が設定されている。そこで、この値を超える値になった時を異臭味発生イベントと定義して、実測と計算のそれぞれについてイベント発生状況を比較した。その結果、本研究の解析結果では、概ね異臭味発生イベントを評価することができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

1. Duong Hai Thuan, Makoto Umeda, Mahiko Matsukawa, Hitoshi Tanaka, Prediction model of taste-and-odor events in Kamafusa Reservoir, Journal of Japan Society of Civil Engineers B1, 査読有, 68巻, 2012年, I289-I294.
2. 鈴木淳士, 梅田信, 松川正彦, 釜房湖における2-MIBの増加要因の検討, 東北地域災害科学研究, 査読無, 47巻, 2011年, 123-128.
3. Duong Hai Thuan, Makoto Umeda, Water Quality Modeling in Miharu Reservoir, 東北地域災害科学研究, 査読無, 47巻, 2011年, 129-134.

[学会発表] (計11件)

1. Duong Hai Thuan, Makoto Umeda, Mahiko Matsukawa, Hitoshi Tanaka, Prediction model of taste-and-odor events in Kamafusa Reservoir, 土木学会水工学講演会, 2012年3月8日, 松山.
2. Duong Hai Thuan, Makoto Umeda, Hitoshi Tanaka, Improvement of ANN model of Taste-and-Odor Events in Kamafusa Reservoir, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2012年3月3日, 秋田.
3. Makoto Umeda, Analysis on Time Variation of Off-Flavor Compound in Kamafusa Reservoir, TJASSST11 (Tunisian-Japanese Symposium on Science, Society and Technology, 2011), 2011年11月12日, ハマメット, チュニジア.
4. M. Umeda, A. Suzuki, M. Matsukawa, F. Kimura, Numerical Prediction for Off-flavor Compounds in Kamafusa Reservoir, IWA-ASPIRE 2011, 2011年10月4日, 東京.
5. 梅田信, 鈴木敦士, 釜房湖における異臭味原因物質濃度の変動解析, 土木学会年次学術講演会, 2011年9月7日, 松山.
6. 鈴木淳士, 梅田信, 松川正彦, 釜房湖における Phormidium tenue の消長と2-MIB

の変動について, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2011年3月5日, 仙台.

7. Duong Hai Thuan, Makoto Umeda, Hitoshi Tanaka, Water Quality Modeling in Miharu Reservoir, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2011年3月5日, 仙台市.
8. 鈴木淳士, 梅田信, 松川正彦, 釜房湖における2-MIBの増加要因の検討, 東北地域災害研究集会, 2011年1月8日, 郡山.
9. Duong Hai Thuan, Makoto Umeda, Water Quality Modeling in Miharu Reservoir, 東北地域災害研究集会, 2011年1月8日, 郡山.
10. 柴田光彦, 梅田信, 準三次元モデルを用いた三春ダム貯水池の流動解析, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2010年3月6日, 郡山.
11. Duong Hai Thuan, Makoto Umeda, Hitoshi Tanaka, Simulate sediment scour in reservoir using smoothed particle hydrodynamics (SPH) method, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2010年3月6日, 郡山.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梅田 信 (MAKOTO UMEDA)

東北大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 10447138

(2)研究分担者 ()

研究者番号：

(3)連携研究者 ()

研究者番号：