

14. 釜房ダム浅瀬域の水理環境と藻類現存量変動

佐藤 洋人^{1*}・梅田 信¹

¹東北大学大学院工学研究科（〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06）

* E-mail: sato@kasen.civil.tohoku.ac.jp

釜房ダムは、仙台の水瓶として仙台の市民生活に大きな役割を果たしている。しかし、取水した湖水における異臭味がたびたび発生している。これは、ある種の藻類が原因物質を生成するためである。釜房ダムでは、植物プランクトンと付着藻類が異臭味の原因となっている。そこで、本研究では両方の藻類が影響しやすい湖内の浅瀬域で、水温・水質計を設置し観測を行った。観測の結果、観測期間の前半は、水温が藻類の増減に影響していたと考えられた。そこで、観測を行った浅瀬域を対象とした水温解析を行った。計算の結果、観測期間の前半は、曝気循環によって浅瀬側の水塊と本体貯水池側の水の入れ換わりが、大きいと考えられ、観測期間の前半のChl-aの変動は本体側の変化の影響が支配的だったと考えられた。

Key Words : Kamafusa Dam, shallow water, field observation, algae, water temperature analysis

1. はじめに

釜房ダムは、仙台市水道水の約 37%を占める仙台の水瓶であり、仙台市民の生活に欠かすことのできない重要な水源である。しかし、釜房ダムでは湛水を開始した 1971 年から異臭味問題に悩まされ続けてきた¹⁾。異臭味への対策として、釜房ダムの湖内に間欠式揚水筒を設置し、一時は異臭味の発生を抑制することに成功した。しかし、1996 年に再び異臭味が発生したため、間欠式揚水筒の改良や、より循環能力の高い多段式散気方式曝気施設を導入した。この対策によって、異臭味は低減されたが、完全に抑制するまでには至っておらず、今でも取水した湖水における異臭味がたびたび発生している。

異臭味問題は、ある種の藻類が異臭味の原因物質を生成するために発生する^{2),3)}。水域で発生する藻類には、水中を浮遊する植物プランクトンと底質上に繁殖する付着藻類の 2つに分類することができる。釜房ダムでは、植物プランクトンに加え、付着藻類も異臭味の原因となっている可能性があると考えられている。そのため、両方の藻類の増殖がありうる湖内の浅瀬域で観測および解析をすることが重要と考えられる。

そこで、本研究では、釜房ダム貯水池の北川が流入する浅瀬域において、水温・水質計と風速計を設

置し、2012 年 7 月 19 日から約 2 か月に渡る観測を行った。さらに、北川が流入する浅瀬域を対象とした鉛直 1 次元モデルを用いて、実測で得られたデータの解析を行った。

2. 研究対象領域

本研究では宮城県柴田郡川崎町の名取川水系碯石川上に位置する、釜房ダムを対象とした。図-1 に釜房ダム貯水池の平面図を示す。釜房ダムは、洪水調

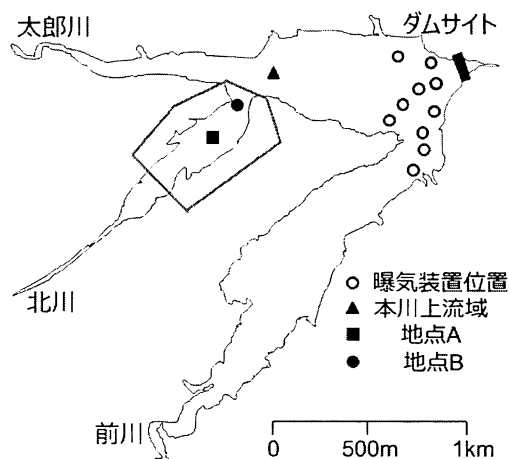


図-1 釜房ダム平面図

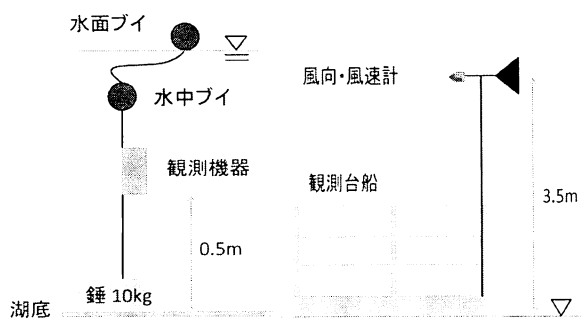


図-2 水質観測模式図（左）と風速計設置模式図（右）

節、灌漑、発電、水道用水、工業用水のために建設され、1970年に完成した多目的ダムである。釜房ダムに流入する河川は、太郎川、北川、前川の3河川である。総貯水量は $4.53 \times 10^7 \text{m}^3$ 、有効貯水量は $3.93 \times 10^7 \text{m}^3$ であり、貯水池湛水面積が 3.9km^2 、流域面積が 195.25km^2 である。

釜房ダムは、仙台市の水道水供給量の約 37 パーセントを占めており、仙台市民の生活に欠かすことのできない重要な水源となっている。しかし、釜房ダムでは湛水を開始した 1971 年から異臭味の問題に悩まされ続けてきた。仙台市水道局では浄水場に活性炭を投入することによって異臭味対策を行っていたが、限界があるため根本的な対策として釜房ダムの水質浄化を計画することとなった。1983年に水質保全パイロット実験を開始し、間欠式揚水筒を4基設置した。間欠式揚水筒とは、貯水池内部から空気を送り込み、その気泡の浮力によって周囲の水塊を連行させ、貯水池内に循環流を発生させる装置であり、湖水を循環させ植物プランクトンの増殖を抑制することを目的としている。また、1986年に間欠式揚水筒を1基、1989年に大型間欠式揚水筒を1基増設した。この対策によって、いったんは異臭味の発生が抑制された。しかし、1996年から再び異臭味が発生した。そのため、2004年により多くの水を連行し循環能力がより大きい多段型散気方式曝気施設を4基と、間欠式揚水筒を改良した夏季強循環施設を設置した。この対策によって、再び異臭味は低減されたが、完全に抑制するまでには至っておらず、異臭味がたびたび発生している。

3. 現地観測方法

本研究では、北川が流入する、釜房ダムの上流部浅瀬の浅瀬中心付近（地点A）と北川・太郎川合流点付近（地点B）の2地点で水温・水質の観測を行った。

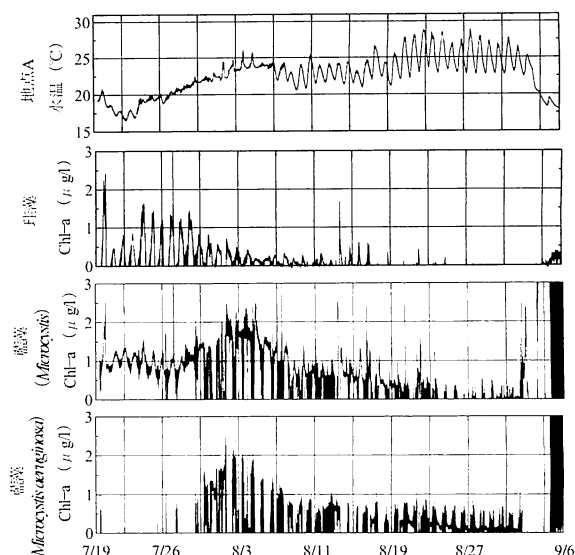


図-3 地点Aでの水温と種類別藻類データ

また、本川上流域に設置されている水質センサーのための観測台船に風速計を設置した。釜房ダムの平面図、および観測地点を図-1に示す。また、地点Aと地点Bでの水質観測模式図と風速計設置模式図を図-2に示す。

地点Aでは2012年7月19日から9月25日まで、地点Bでは9月20日までの間、湖底から0.5mの位置にワイパー式クロロフィル濁度計（JFEアドバンテック製INFINITY-CLW）を設置し、5分間隔で水温、濁度、Chl-aの連続計測を行った。また、地点Aでは湖底から0.5mの位置に多波長励起蛍光光度計（JFEアドバンテック製INFINITY-ME）を設置し、30分間隔で、珪藻、緑藻、藍藻（*Microcystis* と *Microcystis aeruginosa*）のChl-aの連続計測を行った。多波長励起蛍光光度計は、波長の異なる複数の励起光を植物プランクトン群集に照射し、波長ごとの蛍光強度を検出し、励起蛍光スペクトルを測定する測器である。このスペクトル特性は、色素組成に依存するため、この情報から藍藻類、緑藻類、珪藻類等のプランクトン群集の種組成推定を行うことができる。風速計（Onset Computer Corporation製）は地点Bと同じ期間、図-1の本川上流域地点に、湖水面から3.5mの位置に設置し、10分間隔で連続計測を行った。

4. 観測結果

図-3に7月19日から9月6日までの地点Aでの水温のデータと珪藻、藍藻（*Microcystis* と *Microcystis aeruginosa*）のデータを示した。観測結果を見ると7月20日から23

日は、水温15℃に近づくほど珪藻の存在量が増加していき、24日から水温が上昇すると珪藻の存在量が減少していった。藍藻は水温が約21.5℃以上になった7月30日から増加をし、水温が25℃に近くなった8月5日まで上昇した。湖沼における一般的な藻類の増殖に対する最適水温は、珪藻で約15℃、藍藻で約25℃である⁴⁾。このことから、観測期間の前半にあたる7月24日から8月5日の間は、水温が珪藻と藍藻の増減に影響を与えていたと考えられる。

5. 貯水池の解析

観測結果から観測期間の前半は水温が藻類の増減に影響を与えていたと考えられる。そこで、本研究では、観測を行った北川が流入する釜房ダムの上流部浅瀬を対象とした水温解析を行った。

(1) 解析モデルの概要

本研究では鉛直一次元解析により水温分布を計算する解析モデルを用いた。水温分布は、水の流入・流出による貯水量変化と、気象条件による水面での熱収支、および鉛直方向の水温の拡散によって計算される。貯水量の収支式は以下の式で表される。

$$\frac{dV}{dt} = Q_{in} - Q_{out} \quad (1)$$

ここで、 V は貯水量 (m^3)、 Q_{in} は流入量 (m^3/s)、 Q_{out} は放流量 (m^3/s) である。

また、気象条件により生じる水面での熱収支 ϕ は以下の式で表される。

$$\phi = (1-r)b\phi_i - \phi_L - \phi_e - \phi_c \quad (2)$$

ここで、 r は水面の反射率、 b は水面吸収率、 ϕ_i は日射により受ける熱量、 ϕ_L は長波放射、 ϕ_e は潜熱、 ϕ_c は顕熱である。長波放射は以下のSwinbankの式から算出した。

$$\phi_L = 0.97k\{T_w^4 - 0.937 \times 10^{-5} \times T_a^6(1.0 + 0.17C_d)\} \quad (3)$$

ここで、 k はBoltzman定数、 T_w は表面水温、 T_a は気温、 C_d は雲量である。潜熱と顕熱は以下のRohwerの式から算出した。

$$\phi_e + \phi_c = (0.000308 + 0.000185W)\rho(e_s + \Psi e_a) \times \left\{ L_v + CT_s + \frac{269.1(T_s - T_a)}{(e_s - \Psi e_a)} \right\} \quad (4)$$

ここで、 W は風速、 e_s は表層水温に相当する飽和蒸気圧 (mmHg)、 e_a は気温に相当する飽和蒸気圧 (mmHg)、 Ψ は相対湿度、 L_v は蒸発の潜熱、 T_s は表層水温、 T_a は気温である。なお、 e_s 、 e_a 、 L_v は以下の式で

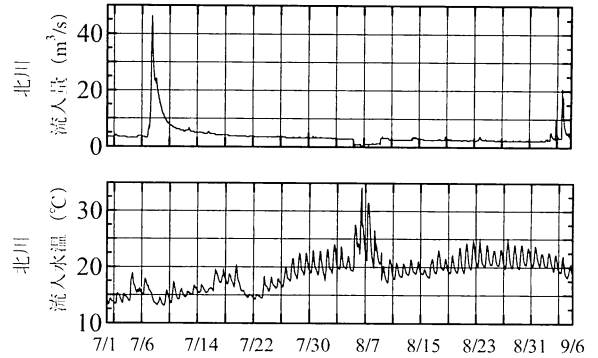


図-4 北川流入量および流入水温

算出した。

$$e_s (\text{hPa}) = 6.112 \exp \left\{ \frac{17.67T_s}{T_s + 243.5} \right\} \quad (5)$$

$$e_a (\text{hPa}) = 6.112 \exp \left\{ \frac{17.67T_a}{T_a + 243.5} \right\} \quad (6)$$

$$L_v = 595.9 - 0.54T_s \quad (7)$$

水面を透過した日射の水深方向での熱伝達は、以下のLambert-Beerの式で表される。

$$\phi_{Iz}(y) = (1-r)(1-b)\phi_i \exp(-\eta y) \quad (8)$$

ここで、 ϕ_{Iz} は水深 y における日射量、 η は減衰係数である。パラメータの値は一般的な値である $r = 0.06$ 、 $b = 0.5$ 、 $\eta = 0.5$ とした。

(2) 計算条件

計算期間は、現地観測データの得られた期間に助走計算の期間を合わせ、2012年7月1日から2012年9月6日までの約2か月間とした。本研究では、釜房ダム上流部浅瀬に範囲を絞って計算を行うため、計算対象領域を図-1に示した枠内の範囲としている。流入量および流入水温は、釜房ダム管理所で測定している北川の時間単位のデータを用いた。流入量および流入水温を図-4に示す。一方、この計算では、対象領域を貯水池の一部のみとしたことから、この部分からの流出量は何らかの方法で推定して与える必要がある。本研究では、流出量を貯水位の実測値と計算値が合うように試行錯誤的に求めて、設定を行った。

気象条件のうち、気温、日射量、湿度は、釜房ダム管理所における計測値を用いた。風速も釜房ダム管理所で計測を行っているが、本研究で実施した風速の測定地点の方が、計算対象領域により近い。そこで、本計算では、現地観測を行った2012年7月19日から9月6日は本研究の風速データを用い、それより前の期間(7月1日から7月18日)は、釜房ダム管理所のデータを用いた。雲量については、仙台気象台のデ

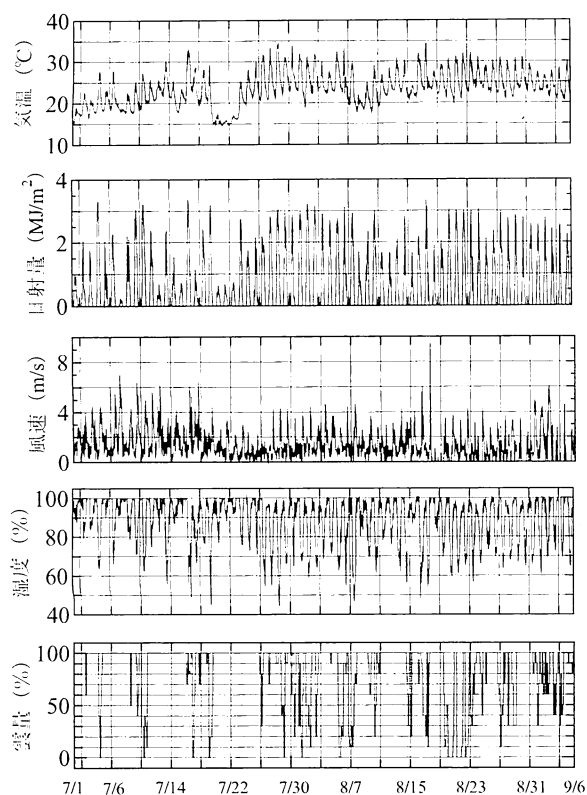


図-5 気象条件

ータを用いた。今回の計算で用いた気象条件を図-5に示す。

本研究の計算対象領域は、対象期間中は、特に水深が浅く最大でも5m程度である。そのため、鉛直方向の解像度は、貯水池の全体を計算する場合と比較して細かくとる必要があると考えられる。本計算では、鉛直方向の層の間隔を0.1mとして計算を行った。

(3) 解析結果

図-6にダムサイト付近の鉛直水温の時間変化と地点Aと地点Bでの水温の実測値と計算値（湖底から0.5m）、本川上流域で釜房ダム管理所が測定した水温のデータを示す。本川上流域は、図-1に示した場所である。また、曝気位置も図-1に示した。浅瀬域はダムサイト付近の曝気装置からかなり距離があり、地形的にもやや隔離されているように見えるが、図-6の結果を見ると、曝気による循環の影響が判別できる。曝気装置は7月初めから稼働しており、7月中旬ごろには夏季強循環の曝気も稼働している。この曝気によって、水温成層破壊が顕著に生じている8月上旬までは、曝気の影響で下層から上がってきた冷たい水である本体貯水池側の水と、浅瀬側の水塊の入れ替わりが、かなり大きいと考えられる。そのため、北川からの流入水と気象条件しか考慮していない計算値の水温は、実測値と合わなかったと考えられる。また、実

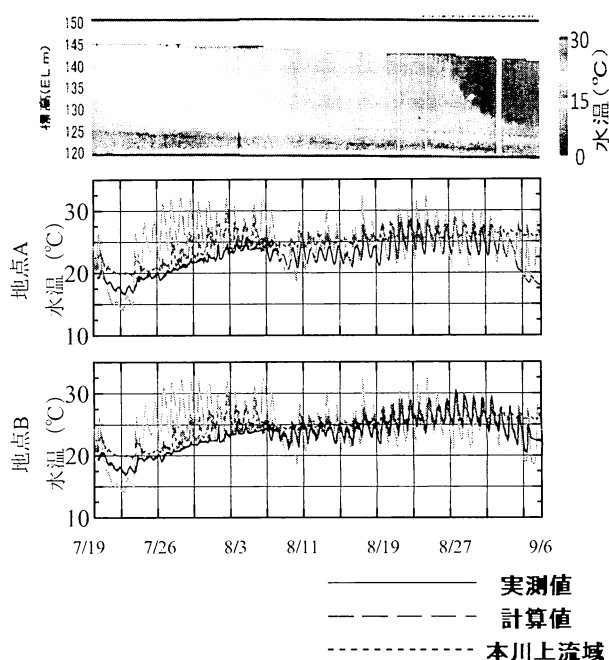
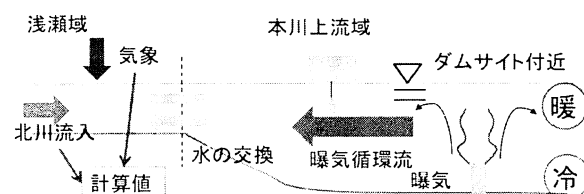


図-6 ダムサイト鉛直水温と地点Aと地点Bでの水温の実測値と計算値と本川上流域の水温

8月上旬まで



8月中旬以降

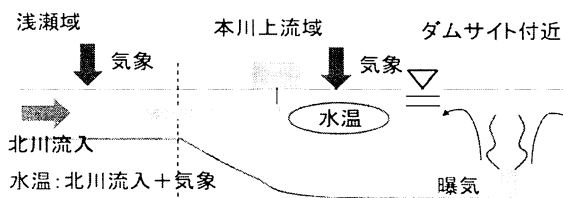


図-7 8月上旬まで（上）と8月中旬以降（下）の湖水状況

測水温は貯水池本体側の本川上流域での水温に近かったことから、浅瀬側の水塊と本体貯水池側の水の入れ替わりが、かなり大きいと考えられる。一方で、曝気による混合が一段落して、水温の鉛直分布の変化が小さくなった8月中旬以降は、本体側との水の交換を考慮しなくても、水温の再現性がよかった。このことは、必ずしも水の交換がないことを意味するのではないが、湖水流動の環境は変化があったと想像される。8月上旬までと8月中旬以降の湖水状況を図-7に示した。

これらの結果から、8月上旬までは浅瀬側の水塊と本体貯水池側の水の入れ換わりが、かなり大きいと考えられる。そのため、8月10日ごろまでのChl-aの変動は、本体側の変化の影響が支配的だったと考えられる。

6. おわりに

本研究では、北川が流入する釜房ダムの浅瀬域を対象として水温・水質の観測を行った。観測の結果、水温と珪藻、藍藻の増減が対応していた。また、モデルを用いた計算値と実測値、本川上流域の水温の値から、8月上旬までの期間は、曝気による循環によって浅瀬側の水塊と本体貯水池側の水の入れ換わりが、かなり大きいと考えられ、8月10日ごろまでのChl-aの変動は本体側の変化の影響が支配的だったと考えられる。

謝辞：現地観測に際して、国土交通省東北地方整備局釜房ダム管理所の方々にご協力頂いた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省東北地方整備局釜房ダム管理所：釜房ダム管理の三十年
- 2) 横山 洋，山下 彰司：ダム貯水池におけるカビ臭発生要因の検討，河川技術論文集，第13巻，pp23-28，2007.
- 3) 河上 智行，佐藤 直良，工藤 勝弘，山田 正：ダム貯水池におけるフォルミディウムとカビ臭に関する研究：土木学会年次学術講演会講演概要集，58 巻，pp433-434，2003.
- 4) 天野邦彦，安田佳哉，鈴木宏幸：多目的ダム貯水池の水質と流入河川・貯水池特性との関連について，ダム工学，vol.10，pp.128-137，2000.