

アオコ発生簡易予測手法開発の試み*

橋本敏子**・井澤博文**・後田俊直**
冠地敏栄**・藤間裕二***

キーワード ①アオコ発生予測 ②アオコ ③ *Anabeana* ④異臭味問題 ⑤水温 ⑥藻類培養

要 旨

近年、異臭味問題が発生している魚切ダム貯水池において、夏期の連日水質調査を行った。また、藻類培養実験を行い、魚切ダム貯水池のアオコ原因種である *Anabeana* の水温に関する増殖因子について検討した。さらに、ダム管理のために実施している水温や放流量(ダム管理日報)などの自動測定データを用いて、アオコ発生簡易予測手法の開発を試みた。

開発した簡易予測手法に基づいて、過去7年間の簡易予測値を算出し、各年のアオコ発生状況と照合した結果、これらは良く一致した。

魚切ダム貯水池ではアオコ発生防止対策として散気装置を設置しており、簡易予測値は日常における運転管理に活用されている。

1. はじめに

広島県西部に位置する魚切ダム貯水池(以下、「魚切ダム」という)では、平成12年度に上水の異臭味問題が発生する等、アオコによる障害が顕著となった。そこで、翌年には「魚切ダム貯水池水質保全対策協議会」が設立され、県市町の関係部局が集まり水質改善計画などが策定された。これに関連して、当センターでは、平成13年度から3年間、アオコ発生に及ぼす水質等の影響について研究を行った。また、この研究結果から、実用可能なアオコ発生簡易予測手法(以下、「本予測手法」という)を開発した。この方法は、水質分析を必要としないため、日々のアオコ発生を迅速に予測できることを特徴としている。

今回は、これらの研究結果について述べるとともに、研究終了後も含め過去7年間、魚切ダムにおいて本予測手法の適用について検証したので、その結果を報告する。

2. アオコ発生予測に関するこれまでの知見

アオコに関するこれまでの研究は数多く見られる¹⁻¹³⁾。特に、霞ヶ浦、琵琶湖などで多くの研究者により精力的に研究が行われてきた。そのうち、アオコ発生予測に関する文献は少ないものの、住友ら⁵⁾はフィルター法を用いて琵琶湖における *Anabaena* や *Uroglena* の出現を再現し良好な結果を得ている。また、吉田ら⁷⁾は、諏訪湖においてアオコの発生と DIN(溶存態無機窒素)と

*A Simple Method for Forecasting Algal Bloom Occurrence

**Toshiko HASHIMOTO, Hirohumi IZAWA, Toshinao USHIRODA, Toshie KANCHI (広島県立総合技術研究所 保健環境センター) Hiroshima Prefectural Technology Research Institute-Health and Environment Center

***Yuji TOUMA (広島県呉地域事務所) Hiroshima Prefectural Kure Regional Office

表 1 魚切ダムの諸元

位 置	広島市佐伯区五日市町川内	
水系河川	八幡川	
利用状況	洪水調整・水道用水・発電	
竣工年月	昭和57年3月	
湛水面積	km ²	0.404
貯水容量	千 m ³	8,460
平均水深	m	20.9
最大水深	m	51.3
年間流入量	千 m ³	54,885
流域面積	km ²	38.4

DIP(溶存態無機燐)との関係を求め、*Anabaena flos-aquae* は DIN/DIP 比が低い時期に発生しやすいことを示した。しかしながら、アオコ発生には多くの要因が関与し、アオコの種類が湖沼により異なるため、汎用性の高い予測手法となっていない。また、水質分析を必要とする等、日々のアオコ発生を迅速に予測することは困難である。

3. 魚切ダムの概要

魚切ダムの諸元について表 1 に、採水地点と散気装置の設置場所について図 1 に示す。

魚切ダムでは、アオコ発生抑止のため湖内対策として、2基の散気装置を設置している。また、堰堤部に自動水質測定装置を設置し、表層から下層まで(9層)、水温、pH、DO(溶存酸素)、濁度などを自動測定している。

汚濁の原因は面源負荷(山林、耕地等の自然系汚濁負荷)が最も多く、ついで生活系、畜産系負荷である¹⁴⁾。流域内の人口は約5,000人で流域対策として、啓発活動や合併浄化槽の普及等を推進している。

4. 方 法

4.1 現場水質調査

平成14年度の夏期(5月～9月)に、魚切ダム堰堤中央部において、5回/週の連続調査を行った。測定項目は、水温、生物量(プランクトン量、螺旋状 *Anabaena*、直鎖状 *Anabaena* 個体数)、栄養塩類(窒素、リン)、クロロフィル a である。

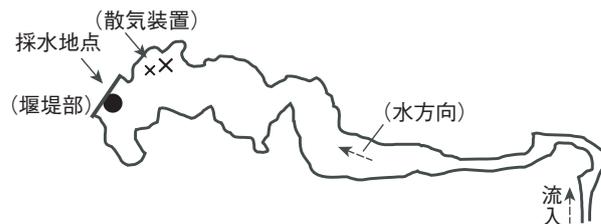


図 1 採水地点と散気装置の設置場所

4.2 藻類の室内培養実験

魚切ダムのダム水に CT 培地¹⁵⁾の組成である窒素、リン、微量金属類を添加し、別に同ダム水から単離した *Anabaena* を接種し、25℃、20℃、15℃の3段階の温度で、3,000lux、12時間明暗条件で培養した。

4.3 本予測手法の開発

アオコ発生因子を水温条件、栄養塩条件、滞留性等の物理的条件とした。水温条件は、魚切ダム調査結果¹⁶⁾から、栄養塩条件は過去の公共用水域測定結果¹⁷⁾から、滞留性等の物理的条件は、藻類培養実験結果および魚切ダムのダム管理日報データ(水温、放流量)からそれぞれ関連数値の根拠を得た。

なお、日射量、降水量などの気象要因については、水温条件、滞留性等の物理的条件に反映されるものとした。

5. 結果と考察

5.1 現場水質調査結果

平成14年7月1日～9月20日における表層の各水質の経日変化を図 2 に示す。

日平均水温は、7月27日に24℃を超え、9月9日まで24～26℃の間で推移し、その後低下した。生物分布については7月上旬は緑藻類と珪藻類が検出されたが、7月29日から螺旋状 *Anabaena* を主とする藍藻類プランクトンが優先し、9月4日まで検出された。8月10日頃から湖面にアオコとして確認され、8月13日に最大となった。螺旋状 *Anabaena* が最初に検出されたのは7月9日で、そのときの水温は23℃であった。8月13日を除くと全窒素(T-N)は期間中0.6～1.3mg/Lの範囲に、全燐(T-P)は0.01～0.08mg/Lの範囲にあった。クロロフィル a は2～84μg/Lと数値のばらつきが大きかった。8月13日は採水地点にアオコが堰

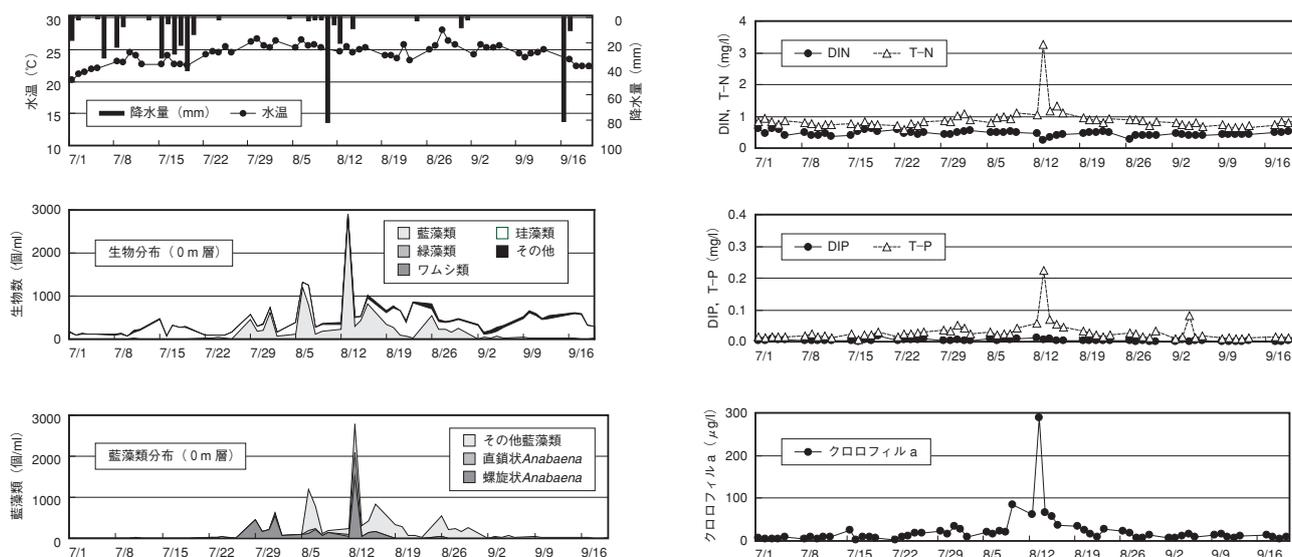
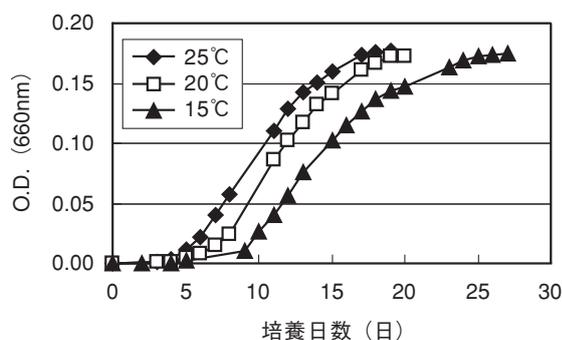
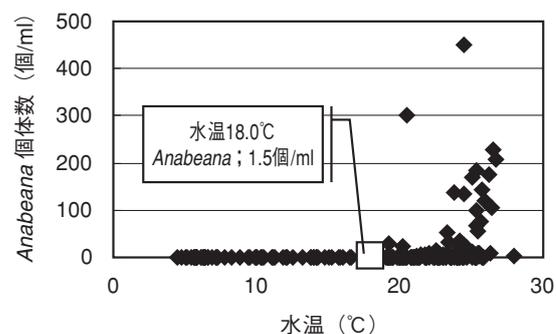


図2 魚切ダムにおける水質の経日変化

図3 *Anabaena* の増殖と水温の関係図4 *Anabaena* の増殖最低温度

堤に吹き溜まり，その影響で窒素や燐，クロロフィル a の測定値が上昇した。

5.2 藻類の室内培養実験結果

Anabaena の培養実験結果を図3に示す。

増殖開始日数は水温が15°Cでは約9日，20°Cでは約7日，25°Cでは約5日と温度が高くなるに従い短くなったが，最大増殖量は水温によらず，いずれもほぼ同じであった。

5.3 アオコ発生関連因子に基づく簡易予測

アオコ発生に及ぼす水温条件については，魚切ダムにおける過去の *Anabaena* 発生が水温18°Cでわずかではあるが(1.5個/mL)観測されているため，18°Cを発生最低温度とした(図4)¹⁶⁾。

栄養塩条件については，湖沼分類の指標にすることが多く，一般的には，富栄養湖沼を窒素0.6 mg/L以上，燐0.025mg/L以上とする場合が多い。従って，栄養塩条件の基準としてこの数値を用い

た。

滞留性等の物理的条件については，放流口の水深以上のダム水量を放流量で除すことにより滞留日数を算出し，それに，表層(魚切ダムでは，0.5m層を測定)と2m層の水温差を乗じた数値とした。この項では，培養実験から *Anabaena* が増殖を開始するのは最低5日間必要であることを考慮して，水温，放流量の数値は，いずれも5日間の平均値を用いることとした。

以上の関連因子から，式(1)の予測式を導いた。

以上式(1)を整理すると式2となる。

この式による予測は，水質測定の実用性がなく，過去に遡ることができることから，魚切ダムにおける過去7年間のアオコ発生状況について再現を試みた。その結果を図5に示す。

なお，魚切ダムでは，過去21年間の公共用水域

<式(1)>

アオコ発生予測値 = (水温条件) × (栄養塩条件) × (滞留性等の物理的条件)

(水温条件) = $(T_{0m} - 18)$,

(栄養塩条件) = $(N \times P / (0.6 \times 0.025))^2$

(滞留性等の物理的条件) = (滞留日数 / 5) × 成層係数,

滞留日数: $(A \times 10^6 \times x) / (V \times 60 \times 60 \times 24)$

成層係数: $(T_{0m} - T_{2m} + 1)$

<式(2)>

水温条件 栄養塩条件 滞留性等の物理学的条件

簡易予測値 = $(T_{0m} - 18) \times (N \times P / 0.015)^2 \times (2.3 \times A \times x / V) \times (T_{0m} - T_{2m} + 1)$

ここで、

T_{0m} : 過去5日間の表層平均水温(°C), A : 貯水池湛水面積(km²)

T_{2m} : 過去5日間の水深2mにおける平均水温(°C), x : 放流口の水深(m)

N : 貯水池の年平均全窒素濃度(mg/l), V : 過去5日間の平均放流量(m³/sec)

P : 貯水池の年平均全磷濃度(mg/l)

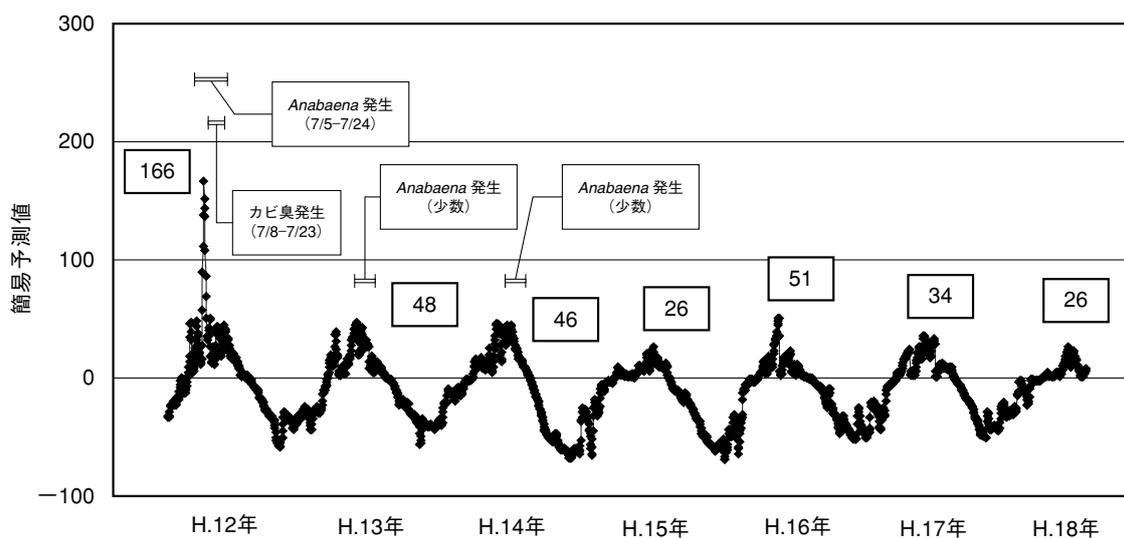


図5 アオコ発生予測式にあてはめた場合の簡易予測値の経年変化

(□内の数字は、各年の最大簡易予測値)

の水質測定結果¹⁷⁾の平均値が、窒素0.77mg/L、
 磷0.025mg/Lであり、これを年平均全窒素、全磷
 濃度に代入した。

最も顕著なアオコ発生がみられた平成12年度に
 は、7月8日～23日にカビ臭被害が報告され、*Ana-*
*abaena*の個体数増加が原因とされている。*Ana-*
*abaena*は7月5日頃から7月24日まで魚切ダム
 で確認されており、簡易予測値(以下、「予測値」
 という)は*Anabaena*発生直前の7月3日に57と
 なり、7月7日には166の最高値となった。平成
 13年度は約40になった後、約1週間遅れて発生

し、平成14年度には予測値約40で*Anabaena*が確
 認されている。平成15年度は、水質調査でほとん
 ど*Anabaena*が観測されず、予測値も30以下で推
 移していた。平成16年度は、予測値の最高は51で
 あったが、その後、降雨があり急速に予測値は低
 下した。なお、この年度にはアオコ発生は認めら
 れなかった。

平成17年度と平成18年度は予測値が低く、アオ
 コ発生はなかった。これらの予測結果を基に、予
 測値によるアオコ発生予測の目安を表2のよう
 に設定した。

表2 予測値に基づいたアオコ発生予測の目安

予測値	アオコ発生の可能性
< 0	アオコ発生なし
0 ~ < 40	数日以内にアオコ発生の可能性小
40 <	数日以内にアオコ発生の可能性大

5.4 アオコ発生防止対策としての本予測手法の有用性

魚切ダムでは湖内対策の一環として2基の散気装置を設置しており、水を鉛直循環させることで水温成層破壊によるアオコの発生防止対策を行っている。しかしながら、これまでは装置稼働とアオコ発生との関係については、知見が乏しく、明確な運転基準がなかった。

平成12年度のアオコ発生時期を中心に水温分布等のデータと予測値を比較することで予測値による効果的な装置稼働方法の検討を試みた(図6)。

図中、網掛けの部分(7月3日~14日)は予測値が40以上を示している。それ以前の散気装置稼働は6月20~22日の3日間で、その後7月9日まで

装置は稼働していない。装置が停止している期間に水温が急激に上昇し、*Anabeana*が増殖し始めた。表層(0.5m層)水温は7月9日まで26℃以上を示していたが、7月10日に装置を稼働させたところ、25.5℃の水温が、翌日には2.6℃急激に低下して22.9℃となった。このように、散気装置は表層水温の低下に非常に効果的であることがわかった。

*Anabeana*は7月5日から発生しているが、いったん発生すると、水温が低下した後も7月24日(19日間)まで継続している。7月2日は予測値が28で、7月3日には57となった。その2日後に*Anabeana*が発生したが、仮に予測値が57となった直後に、散気装置を稼働したとすれば、表層水温が低下し、アオコの発生を未然に防げた可能性がある。このように、予測値は運転管理の目安として非常に有効であると考えられる。

現在では、散気装置1台のみの稼働で、本予測手法により算出された予測値を低値に保てることが判明し、運転コストの削減を実現している。

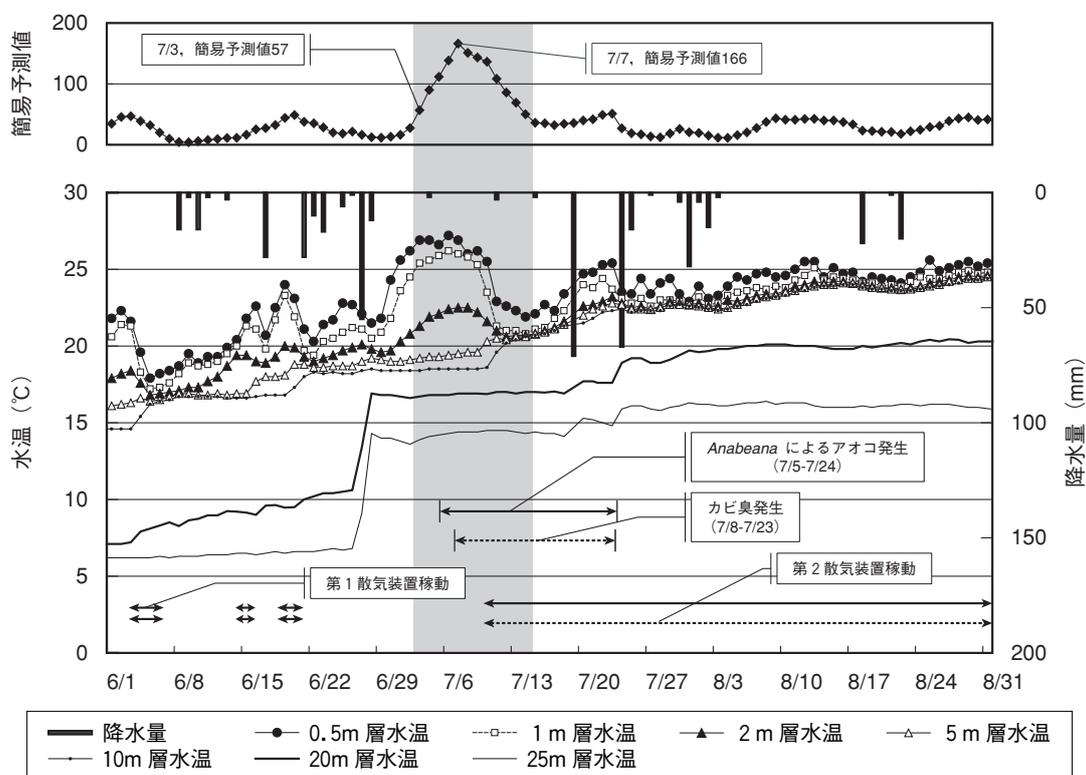


図6 アオコ発生時の水温分布、降水量、散気装置稼働状況と予測値適用結果(平成12年度)

(図中、網掛けの部分は予測値40以上)

6. おわりに

今回、魚切ダムのアオコ発生予測手法として、水質管理のために自動測定しているダム管理日報のデータを用いた本予測手法による方法を開発した。この方法は、水質分析を必要としないため、日々のアオコ発生を迅速に予測できることを特徴としている。過去7年間のアオコ発生状況について、データから算出した予測値と照合した結果、これらは良く一致した。魚切ダムでは、予測値を湖沼水質管理に活用することにより、コストの削減を実現している。今後は、魚切ダム以外にも適用可能な方法となるように改善を目指していきたい。

謝 辞

本報告をまとめるに当たり、貴重な資料のご提供をいただいた広島県土木部ダム室、広島地域事務所建設局魚切ダム管理事務所、公営企業部水質管理センターの皆様へ感謝致します。

— 参考文献 —

- 1) 相崎守弘, 津野洋, 須藤隆一, 合田健: 霞ヶ浦水質, 生物及び底質調査. 国立公害研究所特別研究成果報告, **1**, 67-94, 1977
- 2) 今村典子, 安野正之: 霞ヶ浦高浜入の植物プランクトンの種類組成および現存量の季節変化. 国立公害研究所研究報告, **22**, 123-148, 1977
- 3) 岡田光正, 須藤隆一, 合葉修一: 水の華の組成と消滅のシミュレーション. 国立公害研究所研究報告, **25**, 83-123, 1981
- 4) 大槻晃: 栄養塩類濃度の季節変動から見た霞ヶ浦の植物プランクトンの増殖と制御機構. 国立公害研究所調査報告, **22**, 175-181, 1982
- 5) 住友恒, 原沢英雄, 富田宗明: 水象・気象条件と臭気発生の相関分析と予測—富栄養化による上水臭気の発生に関する研究(1)—. 水道協会雑誌, **616**, 18-28, 1986
- 6) 住友恒, 原沢英雄, 河村正純, 川村佳則: 栄養塩濃度と藻類増殖に関する現地調査結果—富栄養化による上水臭気の発生に関する研究(2)—. 水道協会雑誌, **618**, 11-18, 1986
- 7) 吉田陽一, 沖野外輝夫: 諏訪湖におけるアオコ発生とDON: DIN 比との関係. Nippon Suisan Gakkaishi, **62**(4), 631-637, 1996
- 8) 藤本尚志, 福島武彦, 稲森悠平, 須藤隆一: 全国湖沼データ解析による藍藻類の優占化と環境因子の関係. 水環境学会誌, **18**(11), 901-908, 1995
- 9) 杉浦則夫: アオコ・その発生と浄化対策. 水環境学会誌, **17**(9), 1994
- 10) 渡辺眞之: アオコの分類. 海洋と生物, **20**(2), 83-87, 1998
- 11) 渡辺真利代: 有毒藍藻の発生と毒素. 海洋と生物, **20**(2), 88-93, 1998
- 12) 沖野外輝夫: アオコの発生機構. 海洋と生物, **20**(2), 88-99, 1998
- 13) 大久保紀男: *Mycrocystis* の遷移とその要因. 海洋と生物, **20**(2), 100-105, 1998
- 14) 魚切ダム貯水池水質対策協議会: 魚切ダム貯水池水質改善計画, 2003
- 15) 日本水道協会: 上水試験方法解説編, p1005, 日本水道協会, 東京, 2001
- 16) 広島県水質管理センター: 水質年報. 1994-2002
- 17) 広島県: 公共用水域の水質測定結果. 1979-1999