

## 琵琶湖・瀬田川プランクトン等モニタリングと プランクトン予測手法の検討

藤原直樹・池田将平<sup>1)</sup>・岩本健也・萩原裕規<sup>2)</sup>・宮下康雄・一瀬 諭

### 要約

植物プランクトンは湖沼生態系のピラミッドの重要な要素の一つとなっており、湖沼生態系における栄養塩、植物プランクトン、動物プランクトン、魚類、高次生物への食物連鎖をつなぐ大切な役割を担っている。さらに、植物プランクトンの増殖による有機物負荷の増加や発生した植物プランクトンの沈降により湖底へ有機物供給することで酸素低下が進み、湖底からの栄養塩や重金属類の溶出によって水質に影響を与える。このように植物プランクトンは水質や湖沼生態系に大きな影響を与えることから、モニタリングの重要性が認識されている。また、大量発生することによってかび臭や生ぐさ臭といった水道の異臭味障害の原因にもなり、我々の生活にも大きな影響を与える。

本研究では、琵琶湖および瀬田川においてプランクトンのモニタリングを実施することで、プランクトンの異常発生や水質の変化を捉えるために監視を行うとともに、瀬田川における異臭味プランクトンの短期的な予測手法の検討を行った。琵琶湖におけるモニタリング調査のデータは滋賀県環境審議会への報告などの基礎データとして活用され、瀬田川における調査結果はプランクトン速報をセンターホームページに掲載することにより、多くの水道事業者で浄水工程の検討に活用されている。異臭味プランクトンの短期予測については、生ぐさ臭の原因となる *Uroglena americana* (ウログレナ・アメリカーナ) を対象として、瀬田川における週 1 回の連続データを用いた時系列分析によって調査日の 1 週間後の細胞数密度の予測について検討を行った。

### 1. はじめに

滋賀県では、1977 年に淡水赤潮が大規模に発生したころから、水質と合わせたプランクトンのモニタリングを継続して実施している。琵琶湖におけるプランクトン発生の歴史を見てみると、大きな出来事として 1977 年に発生した淡水赤潮が挙げられる (滋賀県 2018)。この原因プランクトンは黄色鞭毛藻類の *Uroglena americana* (ウログレナ・アメリカーナ) で、湖水を赤褐色に変色させるとともに水道水に生ぐさ臭を発生させる。さらに、1983 年には初めて大規模なアオコが発生した (滋賀県 2018)。この原因プランクトンは藍藻類 (シアノバクテリア) で、湖水を緑色に変色させるとともに、種類によっては水道水にかび臭を発生させる場合がある。このような異臭味や浄水場のろ過障害、景観の悪化など、様々なプランクトンが利水や生活環境に大きな影響を与えている。

また、植物プランクトンは湖沼生態系のピラミッドの重要な要素の一つとなっており、湖沼生態系において栄養塩を動物プランクトン、魚類、高次生物へつなぐ大切な役割を担っている。さらに、植物プランクトンは、増殖によ

る有機物負荷の増加、沈降によって湖底へ供給された有機物が分解されることで進む酸素低下、それに伴って起こる湖底からの栄養塩や重金属類の溶出等によって湖沼の水質に影響を及ぼす。植物プランクトンは水質や湖沼生態系に大きな影響を与えることから、そのモニタリングの重要性が認識され、滋賀県水質測定計画 (滋賀県 2022a) の一項目となっている。

本研究ではサブテーマ 1 としてプランクトンの発生状況を定期的に調査することでその動態を把握し、水質の異常の原因となっていないかなどを監視するとともに、異常を検知するための基礎となる長期データの蓄積を行った。

サブテーマ 2 では、異臭味障害の原因となる植物プランクトンの増減を予測して水道事業者の事前対策に役立つ情報を提供することを目的に、毎週継続的に調査を実施している瀬田川のプランクトンの調査データを用いて、水道水に生じる異臭味の原因となるプランクトンの短期的な予測手法の検討を行った。

1) 現・甲賀環境事務所 2) 現・琵琶湖環境部循環社会推進課

## 2. 方法

### 2.1. 琵琶湖・瀬田川プランクトン等のモニタリング

琵琶湖のプランクトン調査（図 2-1）は、北湖の今津沖中央（北緯 35° 23′ 41″，東経 135° 07′ 57″）および南湖の唐崎沖中央（北緯 35° 02′ 40″，東経 135° 53′ 36″）における水深 0.5m において月 2 回の頻度で採取した湖水を用いて行った。一瀬ら（1995, 2007）の方法により植物プランクトンの同定・計数および体積換算を行った。ピコ植物プランクトンの計数は一瀬ら（1992）の方法により行った。瀬田川のプランクトン調査（図 2-1）は、瀬田川（北緯 34° 58′ 27″，東経 135° 54′ 22″）において週 1 回の頻度で採取した河川水を用いて行った。植物プランクトンについては琵琶湖と同じ方法で同定等を行い、動物プランクトンについては、プランクトンネット（NXXX25, 目合 41 μm）に河川水を通して 1000 倍濃縮した試水を固定せずに光学顕微鏡を用いて同定・計数した。

植物プランクトンとの関係解析に用いた気象データは国土交通省気象庁公式ホームページの彦根地方気象台の値を使用した。



図 2-1 調査地点

### 2.2. 瀬田川におけるプランクトン予測手法の検討

1979 年 4 月から継続して週 1 回の頻度で実施している瀬田川プランクトンのモニタリングにより得られた植物プランクトンの長期の時系列データを用いて、異臭味原因プランクトンの短期予測手法の検討を行った。予測の対象種は黄色鞭毛藻類の *Uroglena americana*（ウログレナ・アメリカーナ）（以下、ウログレナ）とした。本種は、瀬田川プランクトン調査で変動パターンを追えるレベルで検出され、湖水中の細胞数密度と臭気強度との相関性が高い（小倉ら 2016）ことから対象種として選定した。

対象データの時系列変動データのみを用いて予測を行うことができる次の①～④の時系列予測手法を用い、対象種について調査日翌週の細胞数密度予測値を算出した結果について比較検討を行った。予測値の算出には上田ら（2016）を利用した。

①  $i$  個前まで、観測値 ( $x$ ) についてその 1 回前の観測値との差をとり、その平均値を直前の観測値 ( $x_t$ ) に足したデータを予測値 ( $y_{t+1}$ ) とする差分法。

$$y_{t+1} = x_t + \frac{x_t - x_{t-1}}{i}$$

② 移動平均区間が  $i$  の場合、該当する  $i$  個の観測値 ( $x$ ) の平均値を計算して予測値 ( $y_{t+1}$ ) を求める移動平均法。

$$y_{t+1} = \frac{x_t + x_{t-1} + \dots + x_{t-i+1}}{i}$$

③ 前回の実測値 ( $x_t$ ) が予測値 ( $y_t$ ) からどれくらい外れたかを算出し、それに一定の係数 ( $\alpha$ ) をかけた値を前回予測値に加えて次の予測値 ( $y_{t+1}$ ) を求める指数平滑法。

$$y_{t+1} = y_t + \alpha(x_t - y_t)$$

④ 予測しようとする値 ( $y_{t+1}$ ) と連続したその前の  $i$  個の観測値との関係に近い過去の観測値 ( $x_{m+1}$ ) を参照し、距離 ( $d_m$ ) に応じた重み ( $w_{m+1}$ ) を乗じた値を足し合わせて予測値を求める最近隣法。

$$d_m = \sqrt{(x_t - x_m)^2 + (x_{t-1} - x_{m-1})^2 + \dots + (x_{t-i+1} - x_{m-i+1})^2}$$

$$w_m = \frac{1/d_m}{\sum_{d_k \in S} 1/d_k}$$

( $k$ : 採用期数)

$$y_{t+1} = \sum_{d_m \in S} w_m x_{m+1}$$

## 3. 結果

### 3.1. 琵琶湖・瀬田川プランクトン等のモニタリング

#### 3.1.1. 植物プランクトンのモニタリング

図 3-1 に北湖今津沖中央における表層の植物プランクトンの細胞容積の変化を示した。2020 年度は 5 月～7 月にかけて、大型緑藻の *Staurastrum dorsidentiferum* var *ornatum*（スタウラストルム・ドルシデンティフェルム）（以下、スタウラストルム）が増加し、総細胞容積 11mm<sup>3</sup>/L に増加した。その後、植物プランクトンは少なく推移し、

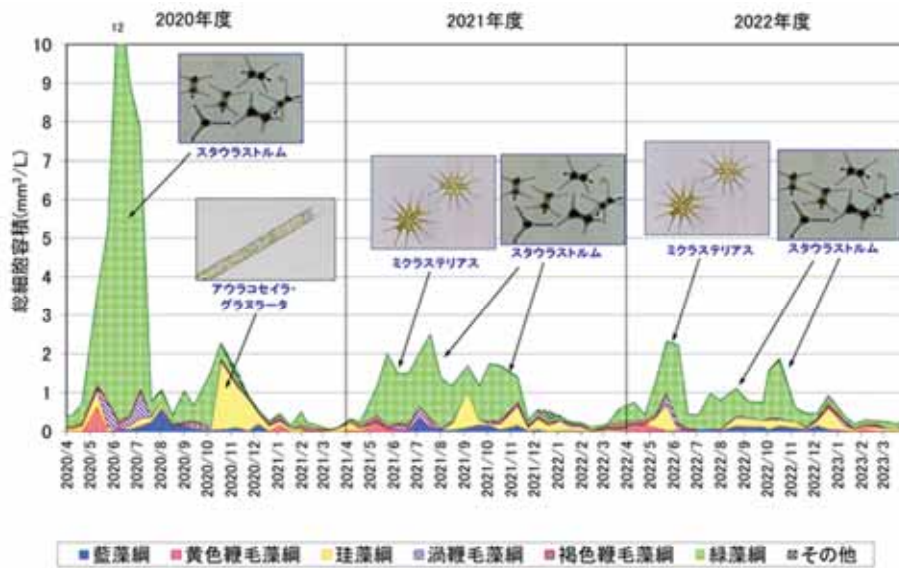


図 3-1 琵琶湖北湖今津沖中央における植物プランクトンの変動

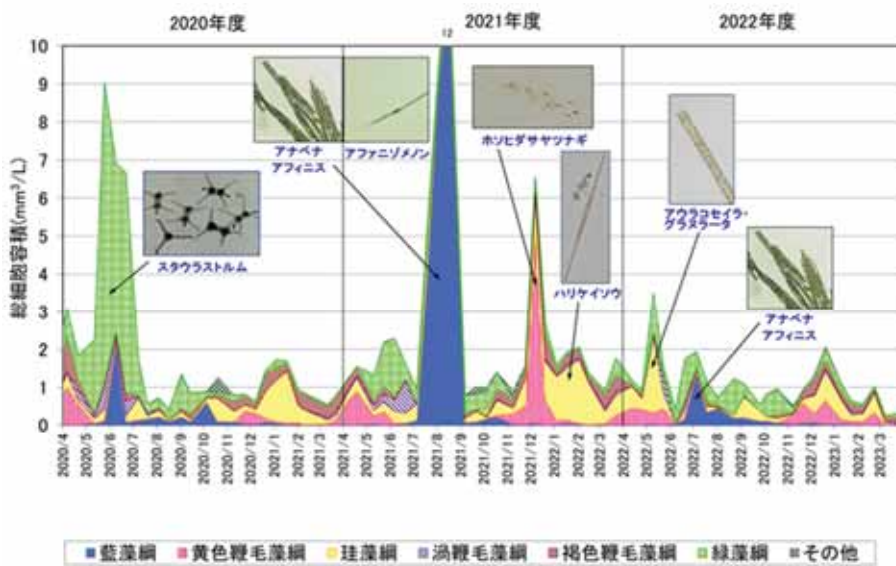


図 3-2 琵琶湖南湖唐崎沖中央における植物プランクトンの変動

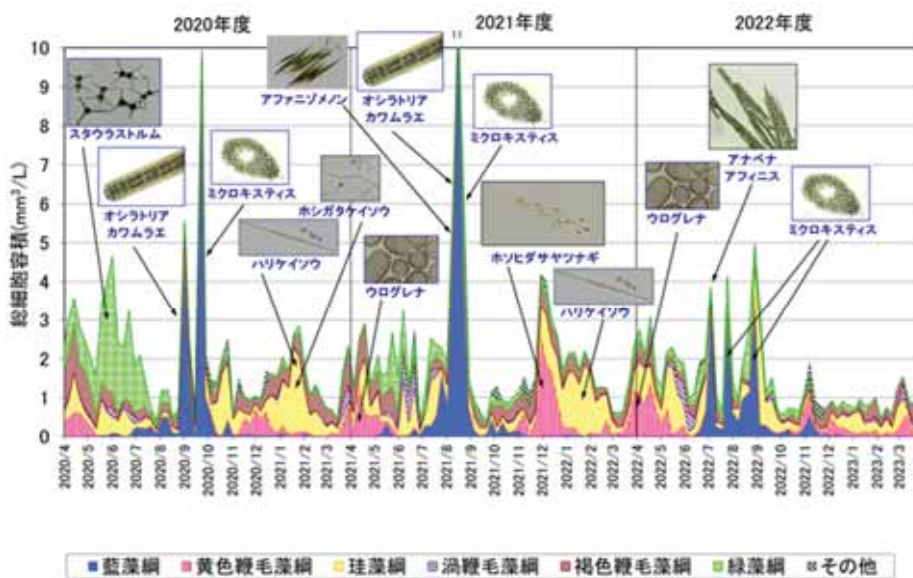


図 3-3 瀬田川における植物プランクトンの変動

11月には糸状群体性珪藻の *Aulacoseira granulata* (アウラコセイラ・グラヌラータ)が増加し、総細胞容積は2mm<sup>3</sup>/Lまで増加した。2021年度は年間を通じて植物プランクトンの大きな増加は見られず、最大で7月の総細胞容積2.5mm<sup>3</sup>/Lであった。5月～10月にかけて、主な優占種は大型緑藻のスタウラストルムと、より大型の緑藻 *Micrasterias hardyi* (ミクラステリアス・ハーディー) (以下、ミクラステリアス)であった。2022年度は前年度同様、年間を通じて大きな増加は見られなかった。優占種(細胞容積)を見ると、5月後半から6月前半はミクラステリアス、12月後半は珪藻の *Stephanodiscus suzukii* (スズキケイソウ)、夏から秋にかけてはスタウラストルムであった。

図3-2に南湖唐崎沖中央における表層の植物プランクトンの総細胞容積を示した。2020年度は5月～7月にかけて、大型緑藻のスタウラストルムが増加し、総細胞容積は9mm<sup>3</sup>/Lまで増加した。一方、夏季における藍藻類の大きな増加は2019年度(池田ら2020)に続き見られなかった。2021年度は8月に藍藻類の大きな増加が見られた。主要な構成種とともにアオコ原因種の *Anabaena affinis* (アナベナ・アフィニス)と *Aphanizomenon issatschenkoi* (アファニゾメノン・イサチェンコイ)で、総細胞容積12mm<sup>3</sup>/Lまで増加した。12月には黄色鞭毛藻類が増加して総細胞容積6.6mm<sup>3</sup>/Lとなった。主要な構成種は *Dinobryon bavaricum* (ホソヒダサヤツナギ)と生ぐさ臭の原因種ウログレナであった。1月～2月には浄水場におけるろ過障害の原因となる珪藻の *Synedra acus* (ハリケイソウ)が増加し、総細胞容積2mm<sup>3</sup>/L程度で推移した。2022年度は年間を通じて植物プランクトンの大きな増加は見られなかった。優占種(細胞容積)を見ると、5月前半は珪藻アウラコセイラ・グラヌラータ、7月前半にはアオコ原因種の藍藻アナベナ・アフィニス、8月・10月には大型緑藻のスタウラストルム、11月・12月には黄色鞭毛藻 *Dinobryon* 属(サヤツナギ)の3種であった。12月には小型の珪藻 *Cyclotella glomerata* (キクロテラ・グロメラータ)も多くを占めた。4月から5月および11月から12月のはじめに黄色鞭毛藻ウログレナの増加が少し見られたが、春・秋とも前年度に比べて小さな増加にとどまった。藍藻類のアナベナ・アフィニスは、2022年7月前半に優占種となったものの前年8月のような大きな増加は示さなかった。

図3-3に瀬田川における表層の植物プランクトンの総細胞容積を示した。2020年度は5月～6月にかけて、大型緑藻のスタウラストルムが増加し、9月にアオコ形成藍藻 *Microcystis aeruginosa* (マイクロキスティス・エルギノサ)等の短期的なピークが見られた。1月には *Asterionella gracillima* (ホンガタケイソウ)、ハリケイ

ソウ等の珪藻類が総細胞容積1～2mm<sup>3</sup>/Lで推移した。2021年度は南湖と同様に8月に藍藻類のアナベナ・アフィニスが大きく増加し、12月にはホソヒダサヤツナギ、1月～2月にはハリケイソウが増加した。2022年度は年間を通じて植物プランクトンの大きな増加は見られなかったが、4月のウログレナの増加は南湖よりも顕著に観測された。また、7月初めから8月末にかけて藍藻類の断続的な増加が見られた。

瀬田川における2020年度～2022年度における生ぐさ臭の原因種であるウログレナ(図3-4)とカビ臭(2-メチルイソボルネオール(2-MIB))の原因種である *Phormidium tenue* (フォルミディウム・テヌエ)(図3-5)の変動を示した。ウログレナは、毎年春季と秋季に増加を示すが、2020年度には大きな増加は見られず、2021年度には春季・秋季ともに前年度よりも大きな増加を示し、検出期間も長かった。2022年度には、春季の増加時期が少し早く大きな増加となり、秋季の増加は小規模であった。フォルミディウム・テヌエは、2021年の5月～2022年9月まで長期間検出された。また、検出される群体数は2020年度よりも多かった。異臭味やろ過障害の原因となる植物プランクトンの動向は水道事業者の水処理に影響を与えるため、瀬田川調査結果は速報として滋賀県琵琶湖環境科学研究センターのホームページに随時掲載しており、水道事業者のリスク管理や琵琶湖の水質・生態系の情報源として活用されている。

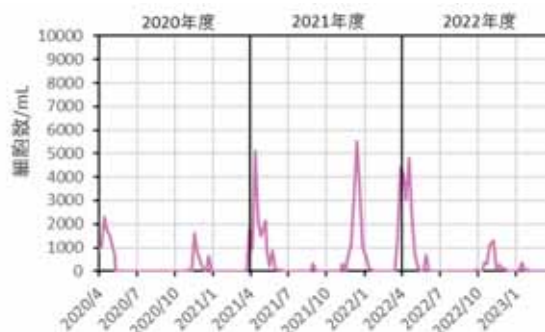


図3-4 瀬田川(唐橋流心)における *Uroglena americana* の変動

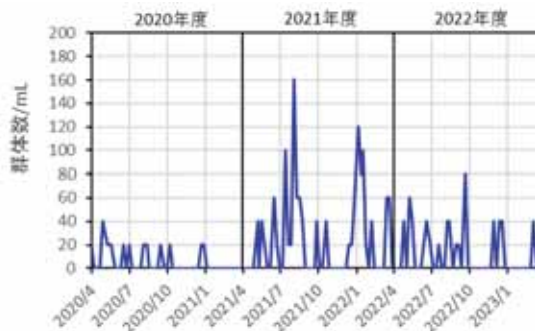


図3-5 瀬田川(唐橋流心)における *Phormidium tenue* の変動(糸状群体の長さ100μmを1群体として計数)

なお、現在の分類では、*Anabaena affinis* (アナベナ・アフィニス) と *Aphanizomenon issatschenkoi* (アファニゾメノン・イサチェンコイ) は、それぞれ *Dolichospermum affine*、*Cuspidothrix issatschenkoi* とされており (辻・新山 2012)、*Phormidium tenue* (フォルミディウム・テヌエ) は *Pseudanabaena foetida* var. *foetida* とされている (辻・新山 2018)。

### 3.1.2. ピコ植物プランクトンのモニタリング

2020～2022 年度における琵琶湖北湖今津沖中央のピコ植物プランクトンの変動を図 3-6 に示した。琵琶湖北湖では 1989 年に  $0.2\sim 2\mu\text{m}$  の微小なピコ植物プランクトンが最大  $4.6\times 10^6\text{cell/mL}$  発生し、通常 5m 前後である透明度が 2.5～3m まで低下した。通常の生物顕微鏡による分析では確認できず、蛍光顕微鏡を用いた分析によってピコ植物プランクトンの増加が明らかとなった (一瀬ら 1992)。

このことから、大量発生に備えるためにモニタリングを行っている。2020～2022 年度では年度間における増減は確認できるものの、1989 年のようにピコ植物プランクトンが大量に増殖するようなことは確認されなかった。



図 3-6 北湖今津沖中央におけるピコ植物プランクトンの変動

### 3.1.3. 気象 (気温、降水量、全天日射量、風速) の概要について

植物プランクトンの変動は気象の影響を受ける。気温や全天日射量は植物プランクトンの生長に関与すると考えられる。降水量は陸域からの栄養塩供給、あるいは流出量の増加によって、水域外に流出させると考えられる。風は水の乱れを生じさせ、湖底からの栄養塩類の回帰や、沈降した植物プランクトンの表水層への回帰を引き起こすと考えられる。これらのことから植物プランクトンの変動と気象の関係を把握すべく、2020～2022 年度の気象 (気温、降水量、全天日射量、風速) の概要をまとめた。月平均気

温の変動を図 3-7 に示した。2020 年度の気温は 4 月と 7 月には他の年度と比較して低く、8 月と 2 月には高かった。2021 年度には 8 月と 2 月には他の年度と比較して低かった。2022 年度の気温は全体的に高めで、3 月には特に高い特徴が確認された。月合計降水量の変動を図 3-8 に示した。2020 年度は他年度と比較して 6～7 月の降雨量が多く、8 月に少なかった。2021 年度には、5 月、8 月、12 月に多く、10 月に少なかった。2022 年度には春と冬に少ないことが確認された。また、図 3-9 に日合計降水量を示した。2021 年度には、7 月中旬～8 月上旬にかけて大きな降水が見られなかった。また、2021 年度には 9 月中旬から 11 月中旬にかけて、2022 年度には 10 月中旬から 3 月末までまとまった降水は観測されなかった。全天日射量の変動を図 3-10 に示した。2020 年度 7 月の全天日射量が他の年度と比較して少ないことが確認された。風速の変動を図 3-11 に示した。2021 年度 3 月、2022 年度 10 月、3 月の風速が他年度よりも小さいことが確認された。

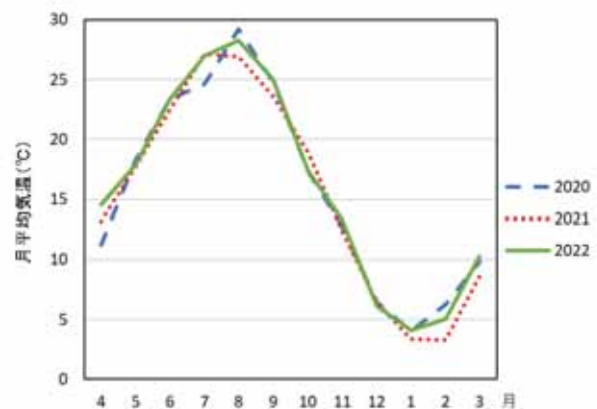


図 3-7 月平均気温の季節変動

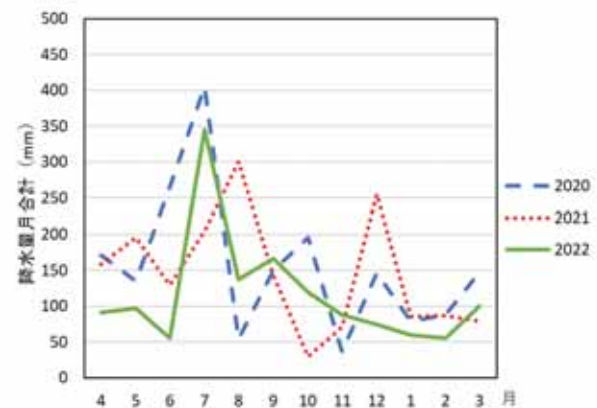


図 3-8 月合計降水量の季節変動

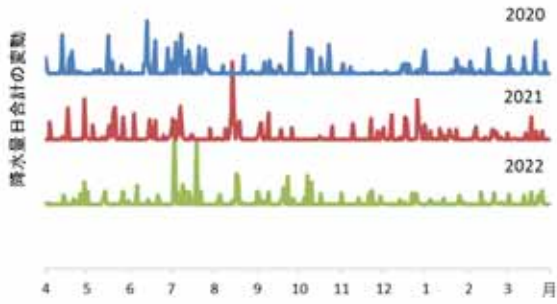


図 3-9 日合計降水量の変動

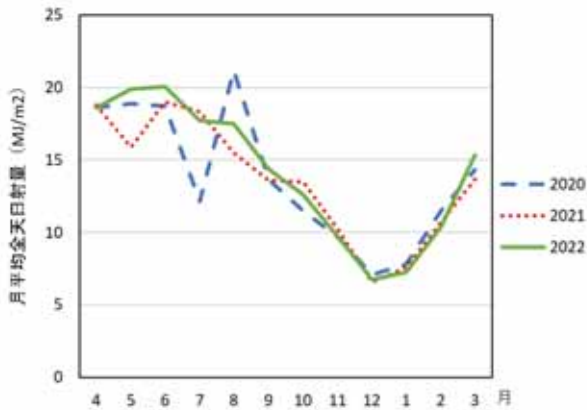


図 3-10 月平均全天日射量の季節変動

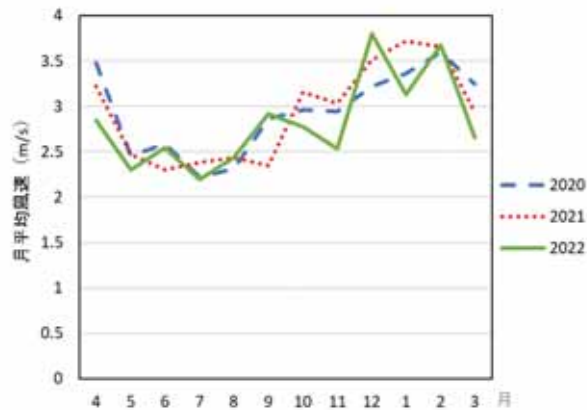


図 3-11 月平均風速の季節変動

### 3.2. 瀬田川におけるプランクトン予測手法の検討

瀬田川におけるウログレナの過去からの連続データを用いた差分法、移動平均法、指数平滑法、最近隣法によるウログレナの予測値と実測値の一部を図 3-12 に示した。

予測値と実測値との相関係数の大きさでは、大きい方から差分法、指数平滑法、移動平均法、最近隣法の順であった (図 3-13)。しかし、差分法、指数平滑法、移動平均法の 3 手法は直前のデータに大きく依存するため、遅れてピークを示す傾向があった。一方、最近隣法は予測の良さは低いものの、上がり下がりの変動が大きいデータに適応で

き、他の 3 法に比べて遅れが少なかった (図 3-12)。



図 3-12 各手法における予測値と実測値の比較

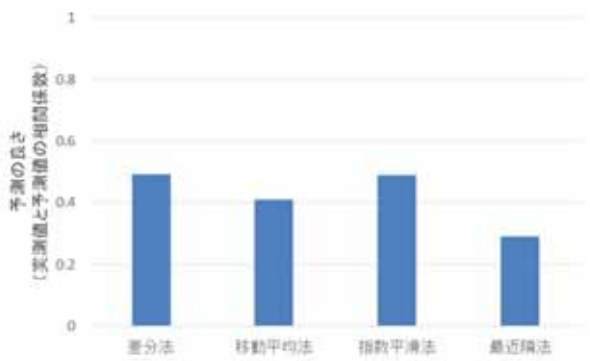


図 3-13 各手法における予測の良さの比較

## 4. 考察

### 4.1. 琵琶湖・瀬田川プランクトン等のモニタリング

#### 4.1.1. 植物プランクトンのモニタリング

2020～2022 年度の北湖における植物プランクトンの季節遷移と気象との関係を整理した。

スタウラストルムの 5 月～7 月の動態と月平均気温との関係を見ると、スタウラストルムが増加した 2020 年度は、2021 年度および 2022 年度と比較して気温の上昇が大きかった。2017 年度、2018 年度にも気温の大きな上昇とスタウラストルムの増加が見られている (池田ら 2020)。全天日射量を見ると、2020 年度は 7 月に大きく低下し、スタウラストルムも大きく減少している。2017 年度、2018 年度にも一旦増えたスタウラストルムが 7 月に減少しているが、2020 年度に比べると減少幅は小さく、日射量の大きな低下も見られなかった。

続いて、2020～2022 年度の南湖における植物プランクトンの季節遷移と気象等との関係を整理した。

2021 年度には、7 月中旬から 8 月上旬にかけてまとまった降雨がなく、琵琶湖からの放流量は少なく推移し (滋賀県 2022)、その間、南湖の湖水が滞留した。夏季に瀬田川洗堰の放流量が毎秒 100 トン以下になると藍藻類が大量発生しやすいことが過去の調査からわかっており (一瀬ら

2015)、放流量が低く抑えられたことが藍藻類の増加につながったと考えられる。しかし、8月中旬に大規模な降雨があり、8月末まで毎秒700トンを超える放流が続いたために藍藻類の増加は解消したと考えられる。一方、2020年には、8月から9月に放流量の少ない期間が続いた(滋賀県 2021)が藍藻類の増加は見られなかった。この現象は、この年には6月および7月に降水量が多く、7月末まで放流量の多い期間が続いたために藍藻類の増加が見られず、8月には透明度が高く、日射量が増加したことで水草の繁茂が卓越した(マザーレイクゴールズ(MLGs)推進委員会 2023)ためと考えられる。2022年には、7月、8月ともに毎秒700トンを超える放流があった(滋賀県 2023)ため、藍藻類の増加が見られなかったと考えられる。

瀬田川における植物プランクトンの変動は調査回数異なるものの、大きな増加は概ね南湖唐崎沖中央の変動と類似していた。しかし、2020年の9月および2022年の7月、8月には、南湖では見られなかった藍藻類の増加が検出された。南湖では放流量が少なく湖水の滞留が長期化していたことから、一部の水域で藍藻類が増加していたためと考えられる。

カビ臭(2-MIB)の原因種である *Phormidium tenue* (フォルミディウム・テヌエ) について、2021年~2022年にかけて、琵琶湖から取水する水道原水から長期間検出され、また、冬期にカビ臭が発生するのは初めてであった(淀川水質汚濁防止連絡協議会 琵琶湖・淀川生物障害等調査小委員会 2022)。カビ臭発生の長期化に伴い、異臭味対策のための活性炭使用量の増大が問題となった。そこで、瀬田川プランクトン調査データを用いて瀬田川におけるフォルミディウム・テヌエの検出状況の変化について考察した。図4-1にフォルミディウム・テヌエの長期変動を示した。1993年度までは6月頃を中心に数100群体/mL、時に1000

群体/mL以上検出されていたが、1994~2012年度には出現頻度や出現濃度が減少した。しかし、2013年度以降検出頻度が上昇し、2017年8月~9月にかけて高濃度(500群体/mL)で検出された。そして、2021~2022年度にかけて長期間、高頻度で検出された。図4-2にフォルミディウム・テヌエの年度平均値、図4-3に検出値の年度平均値、図4-4に年度別検出頻度を示した。年度平均値(図4-2)で見ると、2021年度は25群体/mLで、全体の平均値(8.7群体/mL)より大きく、44年間で6番目に多い年度であった。しかし、検出時のみの平均値(図4-3)で見ると、2021年度は54群体/mLで、平均的な値であった(平均51群体/mL)。検出頻度(図4-4)で見ると、2021年度は52回の調査のうち24回で、44年間で最も多い年度であった(平均6回)。臭気物質は低濃度でも知覚されることから、フォルミディウム・テヌエの湖水中の群体数増加よりも出現頻度(検出頻度)の上昇がカビ臭対応の長期化の原因になったと考えられる。

植物プランクトン現存量と種組成の変動は、種ごとの生理特性と気象や栄養塩濃度との関係によって説明できることもあるが、変動要因が判然としないケースも存在する。これは、植物プランクトンの季節遷移が複数の要因に複合的な影響を受けていることによると考えられる。このことから、調査を継続し、そのときどきの傾向や異常を捉えることで季節遷移の要因を検討することが重要である。

また長期的な視点から見ると、北湖では1980年代から2000年代までは減少傾向にあったものの、2010年代以降は大型緑藻の増加や南湖での藍藻類の増加が度々見られる。2000年代までの減少傾向については栄養塩類の低下により一次生産量が減少していると示されている(早川ら 2012)。また、気温上昇によって植物プランクトン生物量が減少するという報告もある(Hsieh et al. 2010)。しか

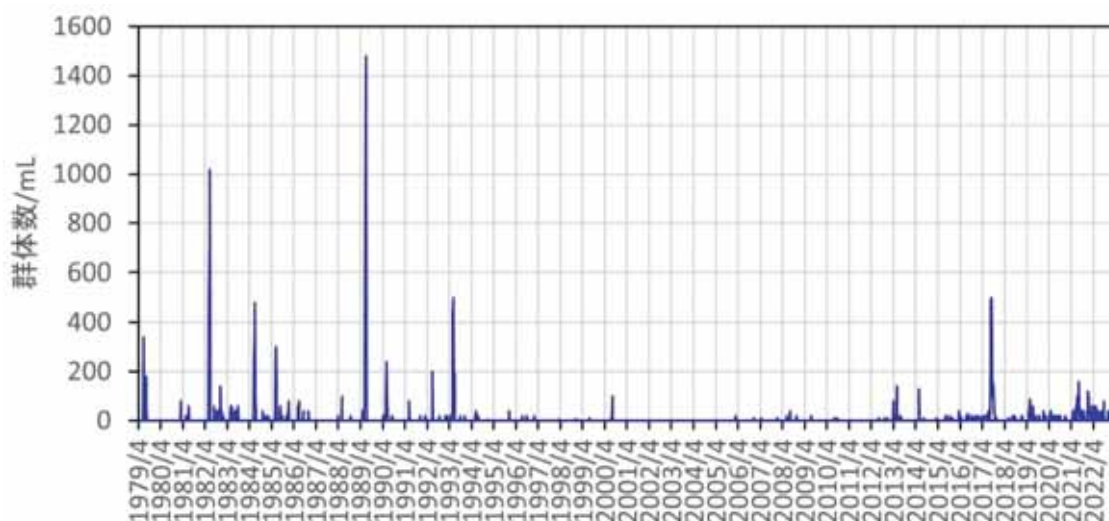


図4-1 瀬田川における *Phormidium tenue* (フォルミディウム・テヌエ) の長期変動

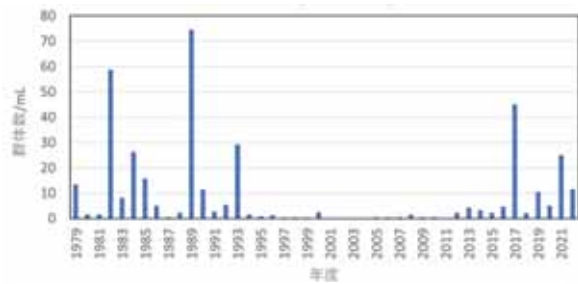


図 4-2 *Phormidium tenue* の年度平均値

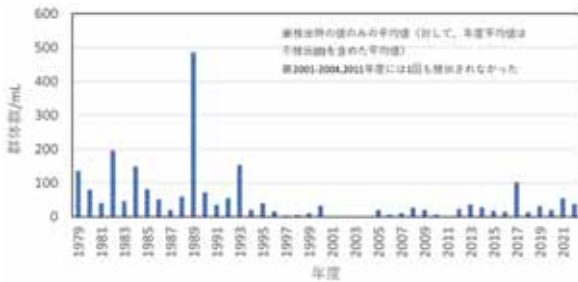


図 4-3 *Phormidium tenue* 検出値の年度平均

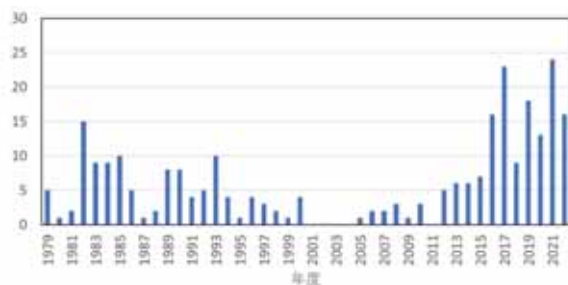


図 4-4 *Phormidium tenue* の年度別検出頻度

し、近年の気候変動による温度上昇や、ゲリラ豪雨や渇水といった極端な気象現象がプランクトンの遷移に影響を与える可能性があることから、引き続き注意深くモニタリングを行ってデータを蓄積し、気候変動とプランクトン遷移との関係性について解析を進める必要がある。

#### 4.1.2. ピコ植物プランクトンのモニタリング

2020～2022 年度においてピコ植物プランクトンの大きな増加は確認されなかった。しかし、1989 年の大量発生時には透明度の低下や水色の変色を起こすなど、水質に影響を与えた。さらに水源においてピコ植物プランクトンが大量発生すると凝集沈殿による除去率が低下し、濁度の上昇を招き、浄水処理に影響を与える（中村ら 1997）など、水道という我々のライフラインに大きな影響を与えることも考えられる。このことから、モニタリングにおいて状況を監視し、大量発生に備える必要がある。

## 4.2. 瀬田川におけるプランクトン予測手法の検討

瀬田川におけるプランクトン予測を 4 つの方法で行った結果、予測値と実測値との相関係数の大きさでは、大きい方から差分法、指数平滑法、移動平均法、最近隣法の順であったが、最近隣法は予測の良さは低いものの、上がり下がりの変動が大きいデータに適応でき、他の 3 法に比べて遅れが少なく予測できた。

これらの結果から最近隣法による予測を採用し、精度を高めるために以下の 3 点について検討した。1 つ目に、検索対象となる過去のデータの長さによる予測の良さ（相関係数の大きさ）の違いを検討した結果、調査開始当初からの長期間のデータを対象とした場合と、直近約 10 年間のデータを対象とした場合において、ともに、20 年間、30 年間のデータを用いた場合よりも高い相関が得られた（図 4-5）。より多くのデータを使用することで予測の精度が高まるといふ面と、直近のデータを用いた方が今の遷移パターンに近いことで精度が上がるという面が見られた。2 つ目に、予測しようとする値の直前の変動パターンについて、使用するパターンの長さを検討した結果、4 回前（約 1 か月前）までのパターンを使用した場合に最も高い相関が得られた（図 4-6）。3 つ目に、予測値の算出に使用する変動パターンについて、直前の変動パターンに対して何番目に近いパターンまで採用するか（採用期数）を検討した結果、予測しようとする値の直前の変動パターンとの差の絶対値の和が最も小さい（最も類似度の高い）変動パターンから、その 2 倍程度の差までのパターンを採用したときに最も良い予測値が得られた（図 4-7）。

図 4-8 に瀬田川におけるウログレナ細胞数密度の最近隣法による予測値と実測値を示した。概ね実測値に近いウログレナの予測値の推移を示すことができたが、実測値の立ち上がりに予測値が遅れて追従する傾向が見られた。これは、ウログレナの消長に季節性があり、長期間不検出の状態が続いたのちに増加を開始するためであり、最近隣法では増減のない状態が続いたときにいつ変化が起こるか予測できないことに起因する。そこで、ウログレナ増加の立ち上がりを素早く捉えるため、動物プランクトン調査に用いる試料を活用した。動物プランクトン調査用の試料は河川水を 1000 倍濃縮しているので、植物プランクトン調査用の試料で検出されない低濃度のウログレナを観測できると考えたからである。2023 年 3 月 27 日の調査において、植物プランクトン調査ではウログレナは検出されなかったが、動物プランクトン調査用の試料では河川水 1L 当たり中群体換算で 85 群体検出された（中群体：300 細胞）。そして、翌週の 4 月 3 日には植物プランクトン調査で 1 mL 当たり 300 細胞のウログレナが検出された。この



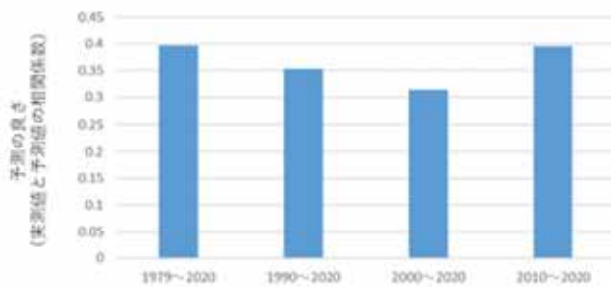


図 4-5 使用データ長と予測の良さの比較

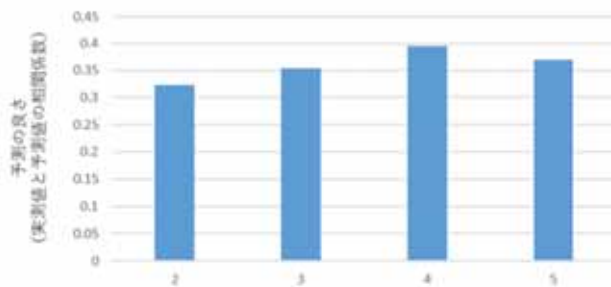


図 4-6 使用パターン長と予測の良さの比較

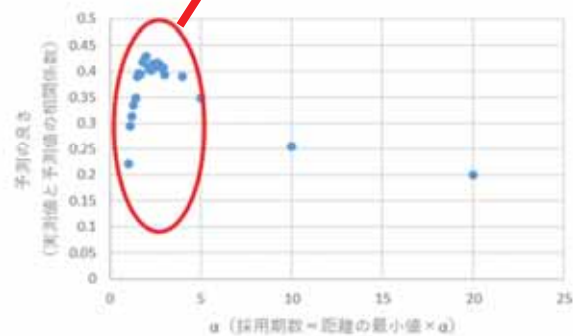
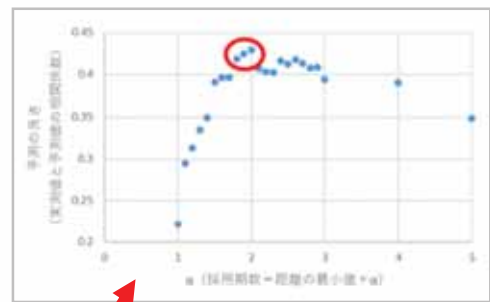


図 4-7 採用期数による予測の良さの変化  
(上段グラフは x 軸 :  $\alpha=1\sim 5$  の範囲を拡大)

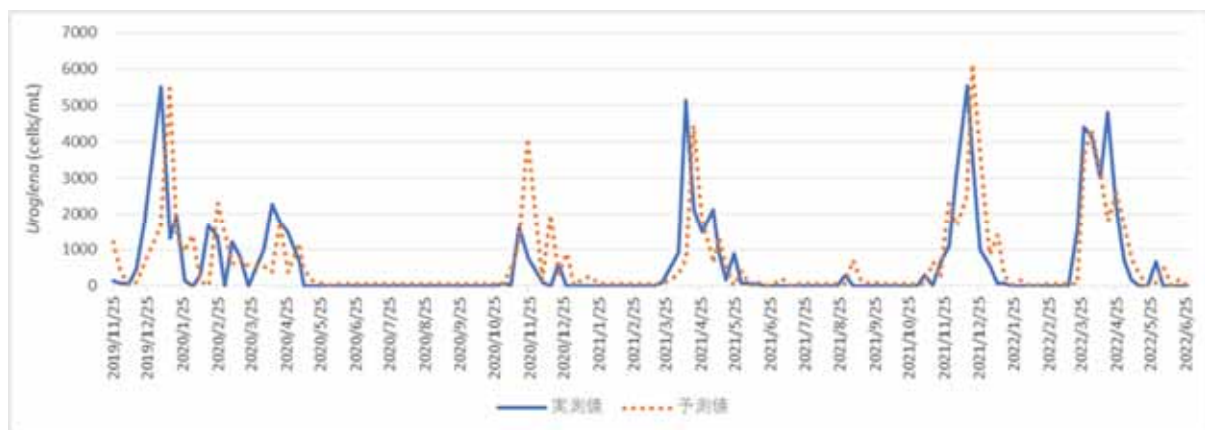


図 4-8 瀬田川におけるウログレナ細胞数の最近隣法による予測値と実測値

ように、滋賀県琵琶湖環境科学研究センターのホームページで公開している瀬田川プランクトン速報において、動物プランクトン調査試料におけるウログレナ検出情報を記載することでウログレナ細胞数密度の立ち上がりを従来の植物プランクトンよりも早く知らせることができた。また、最近隣法を用いた予測手法を水道事業体に提供し、事業体が日々観測している異臭味原因プランクトンや異臭味原因物質の変動予測に活用された（前田ら 2024）。

今後、気象、水質等の環境要因や他のプランクトンとの関係性を取り入れたより精度の高い予測の検討を進めるとともに、水処理障害や水質異常の原因となるプランクトンに関する注意喚起情報の提供を進めていきたい。

## 5. まとめ

- ・モニタリング調査により、2020 年度は 5 月～7 月に北湖および南湖で緑藻類のスタウラストルムが、2021 年度は南湖で 8 月にアオコ原因種の藍藻類が大きく増加したことを観測した。一方で、2021 年度の北湖および 2022 年度の北湖と南湖では、植物プランクトンの大きな増加は見られなかった。
- ・瀬田川プランクトン調査において、カビ臭（2-MIB）の原因となるフォルミディウム・テヌエが、2021 年度に過去最多の頻度で検出された。
- ・最近隣法を用いた予測手法により、瀬田川におけるウログレナの短期予測を行うことができた。しかし、ウログレナは不検出の期間が続いた後に出現して大きく増加する

特性があることから、最近隣法では増加開始のタイミングを予測できないことがわかった。そこで、濃縮した試料を用いれば増加のタイミングを早く捉えられると考え、その結果を元に検出情報を提供することで早期の注意喚起を行うことができた。

・琵琶湖において2010年代以降、大型緑藻の増加や南湖での藍藻類の増加が度々見られ、近年の気候変動が植物プランクトンの遷移に影響を与えている可能性も考えられる。

・プランクトンのモニタリングは植物プランクトンの増加や種組成の変化によって起こるリスクに備えるために必要である。また、植物プランクトンの消長が水質に影響を与える(滋賀県2021, 2022b, 2023)ことから、水質の変動をとらえるためにはプランクトンのモニタリングを併せて行う必要がある。

## 6. 謝辞

本研究を進めるにあたり東北大学の占部城太郎教授、京都大学生態学研究センターの中野伸一教授から多くのご指導、ご助言を賜りましたことを心より感謝申し上げます。また、調査に関わっていただいた方々に感謝申し上げます。

## 7. 参考文献・引用文献

早川和秀, 辻本茂男, 石川俊之, 芳賀裕樹, 岡本高弘, 焦春萌, 石川可奈子, 熊谷道夫 (2012) 複数の定期調査データを用いた統合的な解析による琵琶湖における全リン, 硝酸態窒素濃度およびいくつかの水質項目の長期変化. 水環境学会誌 35 (6) : 89-100.

Hsieh, C.H., Ishikawa, K., Ichise, S., Yamamoto, Y., Kuo, T.C., Park, H.D., Yamamura, N., Kumagai, M. (2010) Phytoplankton community reorganization driven by eutrophication and warming in Lake Biwa. *Aquatic Sciences* 72 : 467-483.

池田将平・萩原裕規・一瀬諭・大柳まどか・島田桃衣・古田世子 (2020) 琵琶湖・瀬田川プランクトン等のモニタリングと遷移の評価. 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター試験研究報告書, 16: 175-188.

一瀬諭・若林徹哉・山中直・園正・内藤幹滋・川部浩市・前畑佳代・田中勝美・野村潔 (1992) 琵琶湖におけるピコプランクトンの異常増殖—1989~1990— (1) ピコプランクトンおよび他のプランクトン相. 滋賀県立衛生環境センター所報, 26 : 138-147.

一瀬諭・若林徹哉・松岡泰倫・山中直・藤原直樹・田中勝美 (1995) 琵琶湖の植物プランクトンの形態に基づく生物量の簡易推定について. 滋賀県立衛生環境センター所報, 30: 27-35.

一瀬諭・若林徹哉・古田世子・吉田美紀・岡本高弘・原良平・青木茂 (2007) 琵琶湖北湖における植物プランクトン総細胞容積量の長期変遷と近年の特徴について—2001年度から2005年度を中心に—. 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター試験研究報告書, 2: 97-108.

一瀬諭・藤原直樹・廣瀬佳則・古田世子・山中直 (2015) 瀬田川流心における植物プランクトンと放流量の関係解析. 琵琶湖環境科学研究センター 研究報告書別冊 (H23~H25年度)

気象庁: <https://www.jma.go.jp/jma/index.html>

前田航佑・荻野賢治・山本桂詩・岩谷健斗 (2024) 最近隣法を用いた原水臭気物質濃度とプランクトンの予測シミュレーションの検討. 日本水道協会関西支部第67回研究発表会講演要旨

マザーレイクゴールズ (MLGs) 推進委員会 (2023) MLGs 評価報告書『シン・びわこなう2022』.

中村寿子・曾根田研一・宮田雅典・武安一志 (1997) ピコ植物プランクトンに起因する浄水処理過程、ろ過水への濁度漏出とその対策について. 日本水処理生物学会誌, 33 (4) : 233-243

小倉朋生・山中信行・勢川利治 (2016) 京都市の異臭味障害事例—原因生物の変遷とその対応—. 用水と廃水, 58 (7) : 61-67

滋賀県 (2018) 琵琶湖ハンドブック三訂版

滋賀県 (2021) 滋賀県環境審議会. 資料5 令和2年度琵琶湖水質変動の特徴

滋賀県 (2022a) 令和4年度公共用水域・地下水水質測地計画

滋賀県 (2022b) 滋賀県環境審議会. 資料5 令和3年度琵琶湖水質変動の特徴

滋賀県 (2023) 滋賀県環境審議会. 資料5 令和4年度琵琶湖水質変動の特徴

滋賀県琵琶湖環境科学研究センター 瀬田川プランクトン調査結果:[https://www.lberi.jp/setagawa\\_plankton](https://www.lberi.jp/setagawa_plankton)

辻彰洋・新山優子 (2012) 日本産アオコ形成藍藻種のチェックリストおよび分類学的コメント (短報). *Bull. Plankton Soc. Japan* 59 (1) : 30-34

辻彰洋・新山優子 (2018) *Pseudanabaena* 属 (シアノバクテリア) の分類とカビ臭産生の判別形質. 日本水処理生物学会誌, 54 (4) : 115-120

上田太郎, 近藤宏, 高橋玲子, 村田真樹, 淵上美喜, 藤川貴司, 上田和明 (2016) Excel で学ぶ時系列分析—理論と事例による予測—. 株式会社オーム社, 東京

淀川水質汚濁防止連絡協議会 琵琶湖・淀川生物障害等調査小委員会 (2022) 令和3年度 琵琶湖・淀川の生物障害等について (旧 琵琶湖の悪臭について) 第48報