

閉鎖性貯留池の有機汚濁の原因と特性を解明する分析法の開発

*三品佳子

Development of the Analysis to Clarify Cause and Characteristic of the Organic Contamination of Closed Reservoir.

MISHINA Yoshiko

要旨

本研究は、公園池などの身近にある閉鎖性のため池（貯留池）における懸濁態（植物由来）と溶存態（動植物由来）について分画を試み、各分画の性状を調べた。この分析は、有機汚濁の程度を知るだけでなく、汚濁の原因に関わる様態（懸濁と溶存）と汚濁物質の特性（状態と変化）を把握でき、有機汚濁の起源、および富栄養化の現状と将来予測に役立つ。

Key words : 水環境保全、有機汚濁、富栄養化、起源分析、状態分析

1. はじめに

ため池は、自然発生的な池のほかに、農業や治水を目的とした貯水池、公園池のように周辺の自然環境と一体化して良好な景観を構成し、憩いや探勝のための造成池など、人の暮らしに接して様々なものがある。¹⁾ ため池は、雨水集積、地下からの湧水、および河川の流入など、様々な集水方式でつくられるが、いずれも水の流れと入れ替わりは緩慢で閉鎖的な水塊をつくる。

通常、ため池ではそれぞれの環境に応じた生態系がつくられている。その内部では、動植物による物質生産と吸収（汚濁と浄化）がバランスよく進行し、極端な水質悪化は起こらない。しかし、夏場の異常な水温上昇や、水中の無機塩類の濃度が高まると、池内生態系食物連鎖の均衡が崩れ、汚濁化が急速に進む。公園池などでみられるアオコの発生は、一次生産者である植物プランクトンの大量発生によって引き起こされる現象である。この現象は、東北・宮城では夏から秋にかけて多く起こり、秋から冬にかけてすばやく消失

する。これは、池内生態系がもつ機能回復効果によるものである。

水の汚濁化と浄化（自浄）作用は、人の生活環境の保全にかかわる生態系がもつ優れた機能である。現在、そのような生態系機能が見直され、「健やかな水環境」の実現を目指して、景観保全の取組、自然浄化を活用した水質保全の取組、生態系保全の協働した取組の重要性が指摘されている。²⁾ しかし、取組方法の策定において、有機汚濁の将来予測に必要な物質の様態や特性について未だ不明な点が多く、関連する水中成分に着目した物質科学的な立場での検討が必要である。

本研究では、ため池の有機汚濁物質の分画実験を行い、内部生産に起因する有機汚濁の様態（懸濁と溶存）と特性（状態と変化）を検討した。^{3), 4)}

2. ため池の水環境

ため池の有機汚濁に関係する主要な成分の様態モデルを図1に示す。これは、光合成に始まる内部生産と生物の消費活動により池内に様々な種類の有機物

* 宮城教育大学教育学部理科教育講座

(汚濁物)が生成し変化しながら拡散していくというスキームである。一次生産者である植物プランクトンが懸濁態の主要な成分となり、それがより高次の捕食者に取り込まれ、懸濁態が次第に減少する。それに代わって動植物由来の溶存態有機物が増えていく。動物由来の溶存態有機物は糖類、核酸、分解タンパク質(タンパク質様物質)などで、いずれも微生物分解を受けやすく、易生物分解性有機物と呼ばれる。一方、植物由来の溶存態有機物は、植物プランクトンの微生物分解により生成するものが多く、フルボ酸、フミン酸、ヒューミンなどの腐植質で、水中の溶存態有機物の主要部分を占める。⁵⁾ 腐植質は、微生物分解を受けにくい難生物分解性有機物で、一部は池内低層に沈降・蓄積し嫌氣的雰囲気の中で分解していくが、溶存するのは、長期にわたって蓄積・拡散し、水の有機汚濁が長期化する原因となる。⁶⁾

このように、有機物の形態と動態を調べることは、水の有機汚濁の性格づけに役立つ。例えば、水質調査で、植物プランクトンの量が少なく、生物化学的酸素要求量が低値、化学的酸素要求量が高値を示す場合は、水中において微生物分解が進行していること、難生物分解性有機物の溶存が示唆され、有機汚濁が長期にわたり進行することを示唆する。

ため池の水質調査項目⁷⁾は、水温、pH、溶存酸素、酸化還元電位、導電率、濁度など、センサーを池水の所定の位置の深さに置き、手元のポータブルメーターで直接測定する項目(現地測定項目)と、採水した水を実験室に持ち帰り分析する項目(実験室測定項目)がある。現地測定項目は、調査日時の池水の実態を示すもので、変化・変動しやすい指標である。一方、実験室測定項目は、水の定常的な特性を反映する指標群であり、有機汚濁に関する項目(化学的酸素要求量、生物化学的酸素要求量、全有機炭素、懸濁性有機炭素、溶解性有機炭素など)、富栄養化に関連する項目(クロロフィル、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素、全窒素、全りんなど)、有機汚濁の起源に関する項目(動植物由来成分の蛍光分析)、および生態系の維持・調節にかかわる項目(例えば無機塩類の同定(定量))などがある。このような実験室測定項目は、特に池内生態系の内部生産性を総合的に評価する上で有用である。

3. 懸濁態と溶存態

ため池水の濁りには、ため池環境について様々な情報が含まれる。一般に、濁りの原因となる物質の大きさ(孔径)が2mm以上のものを固形物(砂、木片、枯れ葉など)、孔径が1 μ m~2mmのものを粒子状浮遊性懸濁態もしくは単に懸濁態と呼び、主要なものに植物プランクトンがある。また、孔径が1 μ m(あるいは0.45 μ m)以下のものを溶存態と呼び、主要なものに腐植質がある。孔径の違いにより様態の異なる物質群が存在し、それぞれを適切な細孔フィルターで分別することができる。

本研究で分析対象とした試料は、ため池の水をろ布(粗目のフィルターバッグ)を用いて汲み取り(固形物を除き)、その後、硝子フィルター(ワットマン社製の硝子フィルターGF/F(孔径約0.7 μ m))を用いてろ別したものである。この操作で、試料水中の懸濁態と溶存態を分別した(図2)。

3-1. 懸濁態の分析

本研究では、朝日山公園池(岩沼市朝日山公園内の荒井堤(図1)の水を分析に用いた。荒井堤の懸濁態は主に植物プランクトンによるもので⁴⁾、その量的変化を追跡すると、夏から秋にかけて濁度が徐々に上昇し、秋(10月頃)に急激な増加が認められた。この時期の懸濁態を光学顕微鏡で調べてみると、主要な植物プランクトンとして、アナバナ(主)やマイクロキスティス(少)を確認できた。⁸⁾

図2に懸濁態の分析方法を示す。手順は、

- ①ため池水をろ布でろ過し、その溶液200mLを硝子フィルター(GF/F)を取り付けた100mLポリエチレン製注射器でろ過し、植物プランクトンを硝子フィルターに捕集する。
- ②硝子フィルターをアダプターから取りはずし、捕集した懸濁態を内側にフィルターを折りたたみ、紙ウエス(ふき取り用の柔らかな紙)でフィルターに付着した水分を除く。次に、この硝子フィルターを25mL共栓付試験管に入れ、これにN,N-ジメチルホルムアミド(DMF)10mLを加え、室温で約10分間、試験管を激しく振り抽出を行う(試験管を冷蔵庫に3時間静置してもよい)。この操作で、植物プランクトン細胞内のクロロフィルがDMF溶媒に溶

ある。⁹⁾ 2018年8月から12月にかけてのため池水の懸濁態の変化を河川水(広瀬川)の場合と比較して図2中に示した。

3-2. 溶存態の分析

ため池の有機汚濁の成因を解釈する上で、本研究が着目している溶存態は、ひとつは、動物由来の糖類、核酸、タンパク質様物質(タンパク質の分解物)などの易生物分解性有機物で、もうひとつは腐植質で、フ

ミン酸やフルボ酸類などの難生物分解性有機物である。これらの2種類の物質群は、水系の内部生産と分解という生態系機能に関するもので、いずれも長期的にみれば、好気性分解、嫌気性分解、および加水分解などの自然分解を経て池水有機汚濁のバックグラウンド⁸⁾を形成するが、難分解性有機物の蓄積が、そのバックグラウンドを上回り、池の有機汚濁を増加させる。

天然水中における動物由来物質の中で、タンパク質

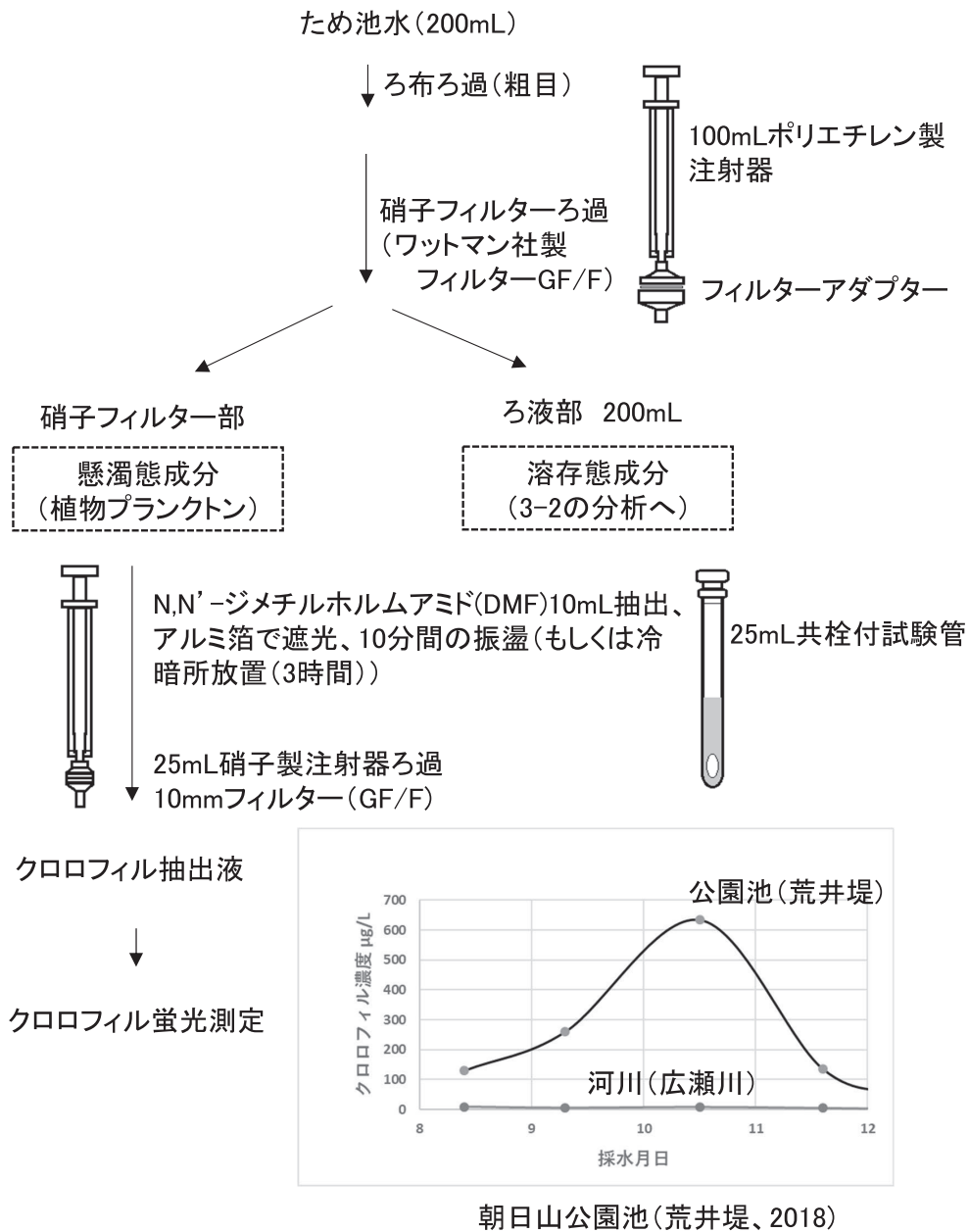


図2 懸濁態(植物プランクトン)の分析法

様物質は、種類や構造はあまり明確ではないが疎水性酸性型の化合物である。また、腐植質である、フミン酸やフルボ酸、およびヒューミンは化学的には疎水性塩基型の化合物としての性質を示す。¹⁰⁾

タンパク質様物質と腐植質に関する近年の分光学的研究によれば、タンパク質様物質と腐植質では、蛍光特性が異なることが報告されている。¹¹⁾ 励起光の波長を λ_{Ex} 、蛍光の波長を λ_{Em} とすると、その蛍光特性 ($\lambda_{Ex} / \lambda_{Em}$) は物質に固有である。タンパク質様物質

の蛍光特性は、およそ (275/345) で、腐植質の蛍光特性はおよそ (250/435、335/435) である。動物由来物質と植物由来物質の存在比は時期によって異なることから、精度の高い分析を行うためには、それぞれの物質群を分画することが必要である。本研究では溶存態の分画法について検討を重ね、図3に示すような分離性のよい分画法を開発した。

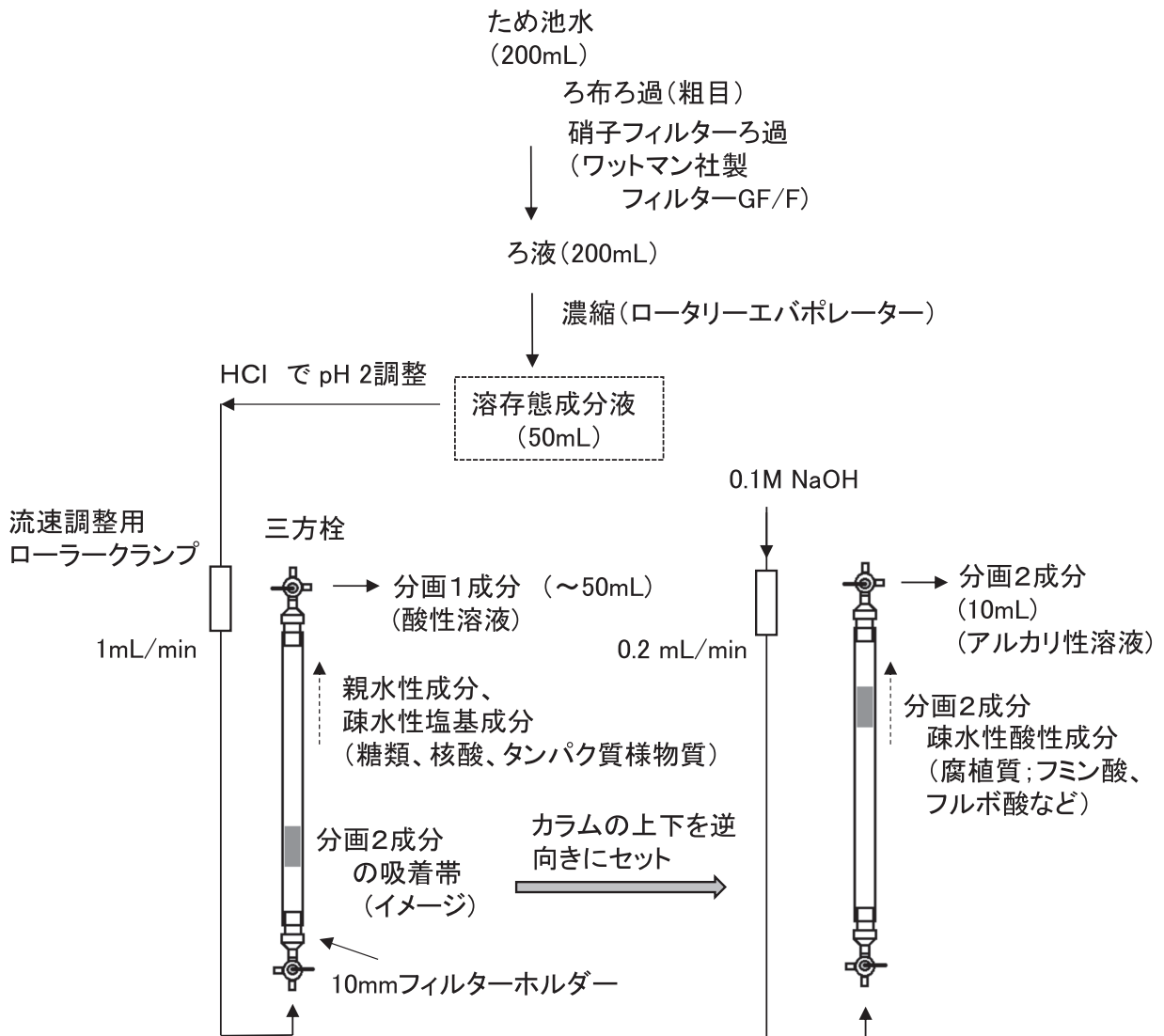


図3 溶存態の分析法(分画法)

カラム管: 内径10mm 長さ150mm ガラス管

充填剤: 非イオン性交換樹脂(アクリル樹脂: σ -Aldrich社製アクリル樹脂DAX-8交換樹脂、平均表面積450m²/g、平均孔径250Å)

操作手順とその内容を以下に述べる。

- ①図2の溶存態試料(硝子フィルター (GF/F) ろ過のろ液部) 50mL を3N 塩酸で pH 2 に調整した後、

試料溶液をポリエチレンチューブ(内径2mm)を通してカラムの下部から樹脂に流す。流速は1 mL/min となるようチューブ途中に取り付けたローラー

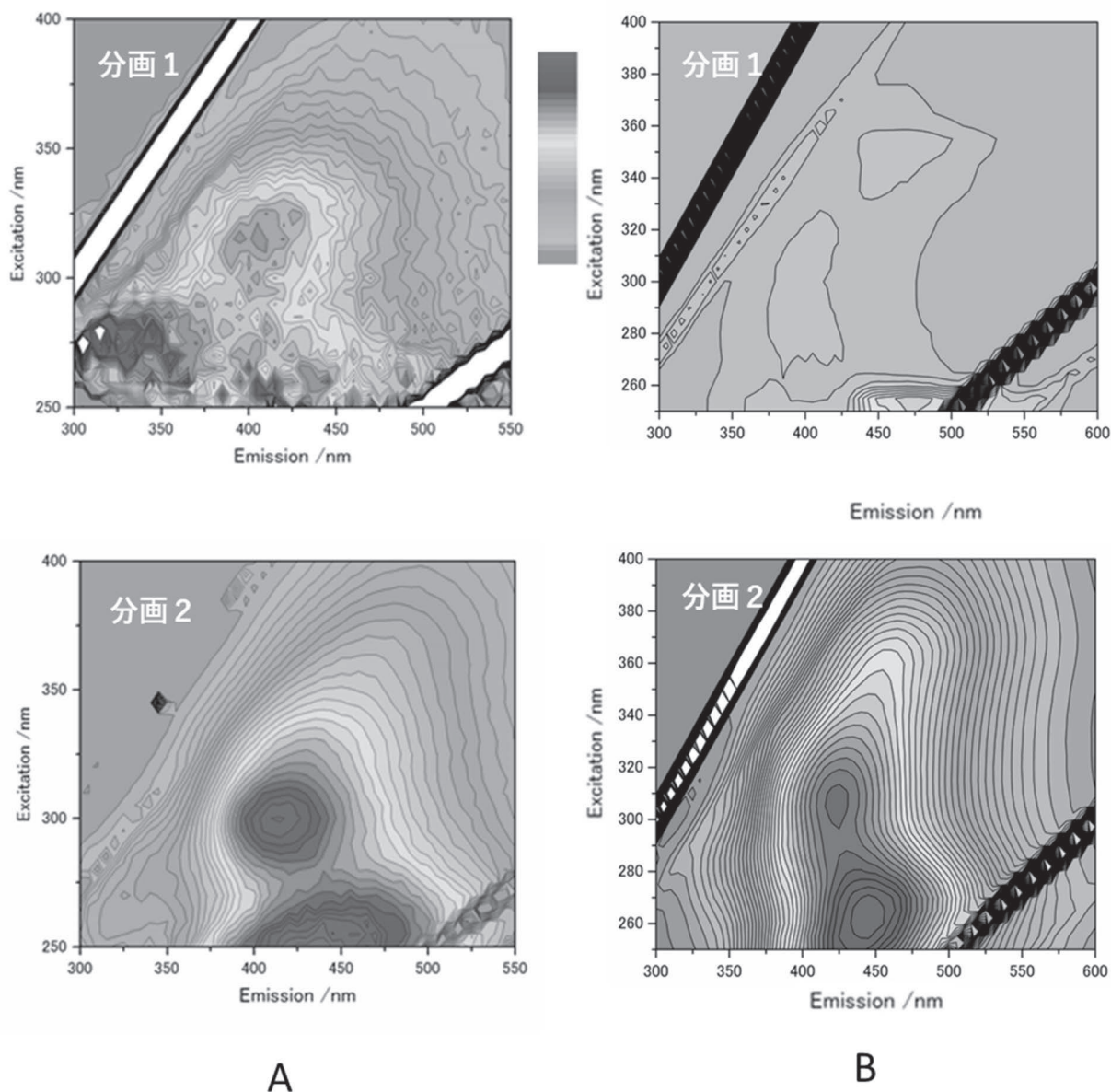


図4 溶存態有機物の分画成分の三次元蛍光スペクトル(等高線マップ)

分画1: タンパク質様物質(矢印部分ピーク $\lambda_{Ex}/\lambda_{Em}$ (275/330))
 分画2: 腐植質(フルボ酸と予想)(矢印部分ピーク $\lambda_{Ex}/\lambda_{Em}$ (300/420))
 Ex: 励起光波長(Excitation λ /nm). Em: 発光波長(Emission λ /nm)
 等高線マップ: 黒く見える部分が最大ピーク強度を示す
 (蛍光分光光度計 FluoroMax-4 (HORIBA) 使用)

A: 岩沼市朝日山公園池(2012.9.22採水)

引用データ: 三好直哉・三品佳子他、環境教育研究紀要、第15巻、pp49-55(2013)
 夏から秋にかけて昼夜高温が続き、水温が上昇し大規模なアオコ発生が観測された。
 ため池原水の COD=29mg/L、溶存態試料水の COD=15mg/L

B: 岩沼市朝日山公園池(2018.10.12採水)本研究結果

池の一部微小域に小規模のアオコが認められたが、気象が安定していた時期の採水。
 ため池原水の COD=16mg/L、溶存態試料水の COD=12mg/L

クランプで調節する。カラムから留出した溶液(50mL)を集め分画1とした。分画1に含まれるものは、酸性水溶液との親和性をもつ親水性成分(糖や核酸)やタンパク質様物質(疎水性塩基型成分)などの動物由来の易生物分解性有機物である。

②酸性試料を全て流し終えた後、カラム管を上下を逆向きに固定し、カラムの下部から、0.1M水酸化ナトリウム水溶液を流す(流速は0.2mL/min程度)。溶出液が10mLになるまで行う。この溶出液を分画2とする。分画2には、フミン酸やフルボ酸などの腐植質(植物由来の難生物分解性有機物)が含まれる。

分画1と分画2の3次元蛍光スペクトル(等高線マップ)を図4に示す。Aは、富栄養化が顕著に現れた時期の溶存溶存態のスペクトルである。

Bは比較的安定期(年間を通して富栄養化による影響が大きく現れていない時期)の溶存態のスペクトルである。AとBを比べて分かるように、Aの分画1には、動物由来物質による特徴的な蛍光(275/340)が認められる。池水が腐乱性の高い水質となっていることが分かる。一方、Bの分画1にはAの分画1のような動物由来物質の蛍光は観測されなかった。Bの溶存態の中に蛍光性の動物由来物質が残存していないことが分かる。また、AとBの分画2の腐植質成分の蛍光スペクトルは、蛍光ピーク波長とピーク部の形状が多少異なっている。詳しくは不明であるが、腐植成分の種類と混合比が時期により異なるためと思われる。

以上に述べたように、溶存態の蛍光分析から公園池の性格として次のようなことが分かる。溶存態をつくる主要なものは植物由来の腐植質で、池水の有機汚濁の原因となっている。腐植質は難生物分解性であり、有機汚濁の長期化が予想される。動物由来物質も一時的には有機汚濁の原因となるが、微生物などによる分解を通して溶存態から消えていく。

A、Bそれぞれの溶存態試料水の化学的酸素要求量(COD)値は、いずれも池の状態の一時期を示しており、図4の脚注に示すように、2018年秋において、CODの高値化に寄与しているものは、懸濁態が25%、溶存態が75%である。池水の透明化に微生物分解が寄与しているものの、懸濁態の腐植化による難生物分

解性有機物の蓄積(滞留)が進行しており、有機汚濁が長期化していることが分かる。これは、蛍光分析から推測される動的挙動を裏付けている。¹²⁾

4. さいごに

水の有機汚濁化と自浄作用は、安定した水環境を保持させる生態系の機能で、人の生活環境保全に深く関わっている。本研究では、ため池の内部生産と浄化に関わる懸濁態(植物プランクトン)と溶存態(動物由来と植物由来)に着目し、成分群の分画を試み、各分画の特性を調べた。この方法は、有機汚濁の程度を把握するだけでなく、有機汚濁の特性としての原因(起源)を明らかにする上で有用である。本研究は、身近な水環境、特に人の生活や暮らしに近接した閉鎖性の貯留池(公園池)の景観保全、自然浄化を利用した水環境保全に向けた取組に貢献するものである。

参考文献

- 1) 閉鎖系水域に関する特性とガイドライン：国土交通省水管理国土保全資料、国土交通省ホームページ(http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/)
- 2) 環境省水・待機環境局水環境課編、2014、資料「自然浄化対策について生態系機能を活用した“健やかな湖沼水環境”の実現を目指して」
- 3) 三好直哉・三品佳子・村松隆、2013、ため池水中の溶存態有機物の分画と同定に関する実験法の開発、宮城教育大学環境教育研究紀要、15、pp49-55.
- 4) 三品佳子・三好直哉・村松隆、2014、ため池水中の溶存態有機物の分画と同定に関する実験法の開発(Ⅱ)-腐植物質の物性評価に関する簡易実験法、2014、宮城教育大学環境教育研究紀要、16、pp1-6.
- 5) 仲川直子・金澤良昭・上村育代・宮原一隆・梅本諭、2011、珪藻類を対象とした植物プランクトン由来の難分解性溶存有機物に関する特性評価、兵庫県環境センター紀要、2、pp1-7.
- 6) 日本腐植物質学会、2008、環境中の腐植物質その特徴と研究法(三共出版)。
- 7) 工場排水試験法(JIS K012:2013)。
- 8) 三品佳子・三好直哉・村松隆、2015、閉鎖性ため池の有機汚濁バックグラウンド評価に関する実験法、宮城教育大学環境教育研究紀要、17、pp63-71.
- 9) 三品佳子・村松隆・加藤慎也、2017、視認性を重視した環境科学実験教材の開発と利用、宮城教育大学紀要、52、pp149-153.
- 10) 日本腐植物質学会、2008、環境中の腐植物質の特徴と研究法(三共出版)。
- 11) 福島武彦・中島俊之・今井章雄・松重一夫・尾崎則篤、

- 2001、EEMS による水中溶存有機物の特性解析、水環境学会誌、24 (10)、pp686-692.
- 12) 山田悦・青木眞一・布施泰朗、2010、湖沼など閉鎖性水域における難分解性有機物増加の原因解明に関する研究Ⅱ、植物プランクトン *Microcystis aeruginosa* 由来の溶存有機物の特性評価、京都工芸 繊維大学環境科学センター報「環境」、2010-04、pp 43-54.

(令和元年 9 月27日受理)