

有峰湖で2019年7月に観察された淡水赤潮とその臭気成分について

著者	朴木 英治, 川村 祐史
雑誌名	富山市科学博物館研究報告
号	44
ページ	27-33
発行年	2020-07-01
URL	http://repo.tsm.toyama.toyama.jp/?action=repository_uri&item_id=1983

有峰湖で2019年7月に観察された淡水赤潮とその臭気成分について

朴木 英治¹⁾, 川村 祐史²⁾

¹⁾ 立山環境研究所 930-0952 富山市町村77-27

²⁾ 富山市上下水道局流杉浄水場 939-8032 富山市流杉3-2

A Fresh Water Red Tide and Odorous Components on the Surface of the Arimine Dam in July, 2019

Hideharu Honoki¹⁾, Yuji Kawamura²⁾

¹⁾ Tateyama Environment Research, 77-27 Machimura, Toyama 930-0952, Japan

²⁾ Nagaresugi water purification plant Waterworks & sewerage bureau City of Toyama, 3-2 Nagaresugi Toyama 939-8032, Japan

Fresh water red tide was observed at the Arimine Dam in July 4th, 2019. The cause was thought to be due to abnormal reproduction of *Uroglana americana*. It is considered that the lake environment of current Arimine dam is suitable for growth of *Uroglana americana*, and the outbreak of the red tide may continue.

Trans, trans-2, 4-heptadienal and trans, trans-2, 4-decadienal was determined as the organic compounds produced by *Uroglana americana*. These are known as odorous component with fish smell.

Key words : fresh water red tide, *Uroglana americana*, the Arimine Dam, water source of tap water, decadienal
キーワード : 淡水赤潮, ウログレナ アメリカーナ, 有峰ダム, 水道原水, デカジエナール

1. はじめに

常願寺川の上流域には真川, 湯川, 称名川, 和田川, 小口川の5つの主要な支流があり, その高低差を利用した水力発電が各所で行われている。これらの支流のうち, 称名川の上流には噴気活動が活発な立山地獄谷があり, 湯川流域の新湯などでも温泉活動が活発である。さらに, 和田川から小口川にかけての集水域内には旧亀谷鉾山の鉾床が広がっている。これらの場所はいずれも重金属類の発生源となっている。このほか, 和田川や小口川には有峰ダム貯水池(以下, 有峰湖とする)をはじめとするダム貯水池が建設され, 水力発電に利用されている。ダム貯水池にはその水利用の方法に対応した固有の生態系が形成されている。

常願寺川水系の水力発電に利用された2系統の水(有峰系, 称名・真川系)と立山町横江地内の横江頭首工で取水された常願寺川の水(横江系)は, それぞれ, 一定比率で分水され, 常願寺川扇状地に農業用水を供給する常西合口用水と常東合口用水の水源として利用されている。常西合口用水の水は富山市上下水道局流杉浄水場の水道原水としても使用されている。流杉浄水場では水道

水の安全性を確保するため, 2016年から水源調査を開始し, 常西合口用水の水源域となる常願寺川上流域の水質調査を行っている。この調査には著者も参加し, これまでに, 立山地獄谷起源の重金属類は称名滝に到達するまでに自然除去されていること(朴木・丹保, 2017), 旧亀谷鉾山起源の重金属類の影響についても問題ない状況であることを報告した(朴木, 2019)。さらに, ダム貯水池の水深・水温の季節変化の特徴から, 有峰湖は自然湖沼と同じ特性を持っていることを明らかにした(朴木, 2019)。

有峰湖は1960年に竣工した総貯水量2.22億トン, 満水時の水面標高1,088 mのダム貯水池で, 富山県内最大の貯水量がある。有峰湖の水は常西合口用水, 常東合口用水の3系統の水源の中で最も供給能力が高い有峰系の水として利用され, さらに, 称名・真川系の水の一部にも利用されている。

有峰湖の水質は富山県告示第278号により湖沼のA類型に指定されている。2016年から2018年に行った水源調査では, 有峰湖の表層水について19回調査を行い, そのCOD値は概ねA類型に該当する3.0 mg/L以下であった。しかし, この調査期間に有峰湖のCOD値が3.0 mg/L以上

になった事例が各年1回観察された(朴木, 2019)。

ここで報告する淡水赤潮は2019年7月4日の水源調査の際に発見した。赤潮部分をうまく採水できたため、プランクトンを顕微鏡で検査したところ、黄金色藻の *Uroglena americana* と推定される藻類が観察された。*U. americana* の特徴は、数個から数百個の細胞が規則正しく集まった集合体を形成し、その大きさは10~500 μm 程度になる(野村, 1991)。採取・観察した試料水中のプランクトンはその説明に合致していた。

有峰湖における最初のプランクトン調査は植木・堀(1965)によって1962~1963年に行われており、その調査リストを見ると、*U. americana* は記録されていなかった。しかし、同じ黄金色藻の *Dinobryon divergens* と *Mallomonas fatigata* の記録があり、9月下旬に *Dinobryon* がケイソウ類に代わっておびたらしい群を成して出現したと報告されている(植木・堀, 1965)。なお、*D. divergens* は全国の湖沼に普通に見られる貧栄養性のプランクトンである(四日市大学生物学研究所ホームページ)。その後の有峰湖でのプランクトン調査については専門外であるため不明であるが、有峰湖での *U. americana* による淡水赤潮の観察は本報告が初めてのようである。

U. americana による淡水赤潮の報告として、琵琶湖では1977年5月にこの種の大発生による淡水赤潮の発生が報告されている(中西・関野, 1997)。これ以降、琵琶湖では、北湖を中心に1981年まで赤潮の大発生が続き、1982年以降は規模が縮小したが、毎年5月から6月上旬にかけて発生が見られている(吉田, 1997)。また、琵琶湖(水面標高 84 m)の他、中禅寺湖(水面標高 1269 m)、湯の湖(水面標高 1475 m)、河口湖(水面標高 833 m)、精進湖(水面標高 900 m)など、琵琶湖以外では水面標高が比較的高い湖で *U. americana* による淡水赤潮が報告されている(石田・門田, 1983)。中禅寺湖では *U. americana* が他の種に対して優占する時期は6月から7月で、10月から11月にも優占する場合がある(村上, 1991)。このほか、福井県の広野ダム貯水池では平成4年(1992年)5月に *Uroglena* を優占種とする淡水赤潮が観察されている(高島・高木, 1994)。

U. americana が赤潮を形成する水温環境として、琵琶湖や中禅寺湖では水温が10~12℃で始まり、14~18℃で最盛期となり、20℃を越えたところで終息すると報告されている(石田, 1991)。また、この赤潮が発生しやすい気象状況として、日平均風速が1.5 m/s前後かそれ以下で、日照時間が長く、雨量が少ない日が数日続くと赤潮が発生するケースが多く、風が強く降雨があるなど、天候が不順な日には消滅するとの報告もある(吉田他, 1983)。

琵琶湖では赤潮発生時にCODが通常時の2倍以上の4 mg/L程度にまで上昇し、pHも8.0以上に上昇することが報告されている(野村, 1991)。

Uroglena による赤潮の生活への影響として、浄水場のろ過システムに目詰まりを発生させ、上水の異臭(生魚臭)の原因となり、大規模に発生した場合、水域から直接生魚臭が感じられるようになることなどが報告されている(石田・門田, 1983)。

有峰湖で採取した淡水赤潮試料においても臭気検査で生魚臭が確認された。また、2019年の9月下旬から10月上旬にかけては、常西合口用水の原水から青草臭が確認され、10月7日の水源調査の際には、上滝発電所隣接地に導水されている有峰系水源で著者と調査員1名で生魚臭を確認した。この生魚臭成分としてtrans, trans-2, 4-heptadienal(トランス, トランス, 2, 4, ヘプタジエナール)とtrans, trans-2, 4-decadienal(トランス, トランス, 2, 4, デカジエナール)が報告されている(福田他, 2012)。

浄水場で水道法に基づいて行われている臭気成分の分析は、ごく低濃度でもカビ臭を発するジェオスミンと2-メチルイソボルネオールの2種類について行われ、これ以外の成分については規定されていない。

しかし、琵琶湖や中禅寺湖での報告(吉田, 1997, 村上, 1991)から考えて、淡水赤潮がいったん発生すると数年以上継続することが予想されるため、*U. americana* によって産生される臭気成分の種類を特定し、この成分の有峰湖や有峰系水源での濃度を追跡することで、有峰湖における該当プランクトンの活動状況を知ることができると共に、臭気除去のための活性炭の投入時期や投入量の判断にも役立つと思われる。

そこで、本報告では、有峰湖で2019年7月4日に発見した淡水赤潮を記録すると共に、採取した試料中に含まれていた有機化合物について分析した結果、臭気成分のtrans, trans-2,4-heptadienalと、trans, trans-2, 4-decadienalが確認できたので、報告する。

2. 調査方法

2.1 採水方法

有峰湖での採水は左岸側にある有峰第一発電所の取水塔に向かう連絡橋の上から行った(図1)。定点の採水位置は図1の奥側の取水塔近くである。調査定点では、橋の手摺上部から湖底までの深さは44 m、手摺上部から水面までの高さは、2019年の調査では、水位が高いときで9 m、低いときで17 m程であった。淡水赤潮の採水は、図1の橋の手前側で行った。

調査では、溶存酸素計を使用して水温と溶存酸素濃度、



図1 有峰湖の調査定点の橋（2019年7月4日撮影）。水色は黄色を帯びた緑色，赤潮はこの橋の手前側のあたりから採取した。

溶存酸素飽和率を水深別に計測し，バケツで表層水を採取したのち，リゴ－B型透明採水器を使用して湖底水の採水を行った．淡水赤潮は湖水表面ではなく水面のやや下に分布していたため，リゴ－B型透明採水器を使用して水深1 m位置の水を採取し，淡水赤潮の試料水とした．

採取した試料水から臭気成分分析用と重金属分析用の試料をそれぞれ専用のバイアルに分取し，残りをポリ瓶に入れて流杉浄水場に持ち帰った．試料の分析は，流杉浄水場の分析室で公定法に基づいて行った．

2.2 臭気成分の分析

臭気成分の分析にはAgilent Technologies社製のガスクロマトグラフ質量分析計を使用した．ガスクロマトグ

表1 GC/MSの分析条件．

ページアンドトラップ	Teledyne Tekmar社製 Atomox
・サンプル加熱温度：	60℃
・ページ時間：	12分
・バルブオープン・トランスファー温度：	140℃
・トラップデソープ温度：	200℃
ガスクロマトグラフ	
・カラム：	VF-5ms，
	長さ25 m，膜厚0.33 μm，内径0.20 mm
・カラム昇温サイクル：	40℃（2 min保持）→7℃/min昇温（180℃まで）→40℃/min昇温（280℃まで）→280℃（3 min保持）
・注入口温度：	200℃
・キャリアガス：	He パルスドスプリット 1.0 ml/min
質量分析計	
・イオン源温度：	240℃
・イオン化エネルギー：	70 eV
・測定モード：	SIM/SCANモード

ラフは7890B，質量分析計は MSD 5977Bである．分析条件は表1のとおりである．

2.3 臭気成分の同定

臭気成分の同定については2019年7月4日に採取した有峰湖表層水試料と赤潮試料についてGC/MSのガスクロマトグラフのクロマトグラムを比較し，赤潮試料のみで見られるピークのほか，同一の保持時間を持つピークで，表層水試料よりも赤潮試料でピーク面積が大きくなったピークを中心に選別した．

次に，そのピークについて質量分析計で得たマスペクトルを，Agilent Technologies 社製異臭分析用スペクトルライブラリで候補となる物質を選択し，そのマスペクトルと比較し，また，国立研究開発法人産業技術総合研究所の有機化合物のスペクトルデータベース（SDBS）で検索した当該物質の標準試料のマスペクトルとも比較したりして両者が一致することを確認し，各ピークの物質名を確定した．

マスペクトル（図6参照）の一致の確認に際して，以下のa～dに留意した．

- m/z（質量/電荷）が最も大きな値を持つピーク（図6では最も右側にあるピーク）は標準試料と同じm/z値の位置にあり，そのピークの高さも同程度であること．
- 4～7グループ程度見られるフラグメントピーク群の中で最も大きなピークのm/zの値が一致し，その高さも同程度であること．
- bのピークの前後に存在するピーク群の各ピークのm/zが一致し，各ピークの高さのバランスも同程度であること．
- それ以外の所々に見られる比較的小さなピークのm/zの値が一致し，ピークの大きさも同程度であること．しかし，ごく小さなピークの若干の欠落は，許容した．

さらに，エステルでは低質量側に類似パターンが観測されるので，高質量側の類似性のチェックが必要と報告されている（安原他，1993）．

上記a．～d．を確認すると，試料中の未知物質と標準物質のマスペクトルはほぼ同じであった．

3. 結果

3.1 有峰湖の調査定点における過去4年間のCOD変化

図2は朴木（2019）で報告した有峰湖の調査定点におけるCOD値に，2019年の調査結果を付記したものである．

2019年の調査では有峰湖表層のCOD値は3.0 mg/Lを越えることはなく，2017年～2018年に観察されたCODの高い値を除けば，調査地点における有峰湖表層水のCOD値は2 mg/L前後で推移し，溶存酸素も十分にあり，pH

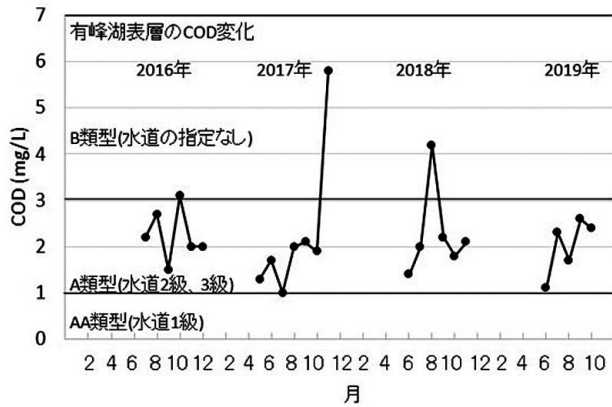


図2 調査定点における有峰湖表層水のCOD変化。

値にも異常値は見られず、A類型に該当していると考えられる。

なお、2019年7月4日の有峰湖表層水は、水温19.0℃、pH 7.4、COD 2.3 mg/L、溶存酸素濃度 8.23 mg/Lであった。これに対し、赤潮試料は、pH 7.1、COD 2.6 mg/Lであった。

3.2 有峰湖の2019年の水深-水温変化

図3は2019年の有峰湖の調査定点での水深に対する水温の変化を示したものである。縦軸は橋の手摺上部からの深さ、横軸は水温を示す。各月のグラフの一番上のプロットがその調査時の水面位置での水温である。有峰湖表層の水温は日射の影響を受けるため、月によって大きく変化し、6月10日は14.9℃、7月4日は19.0℃、8月5日は26.2℃、9月2日は18.8℃、10月7日は15.9℃であった。これに対して、湖底付近は月による温度変化が少なく、5.9～6.3℃であった。

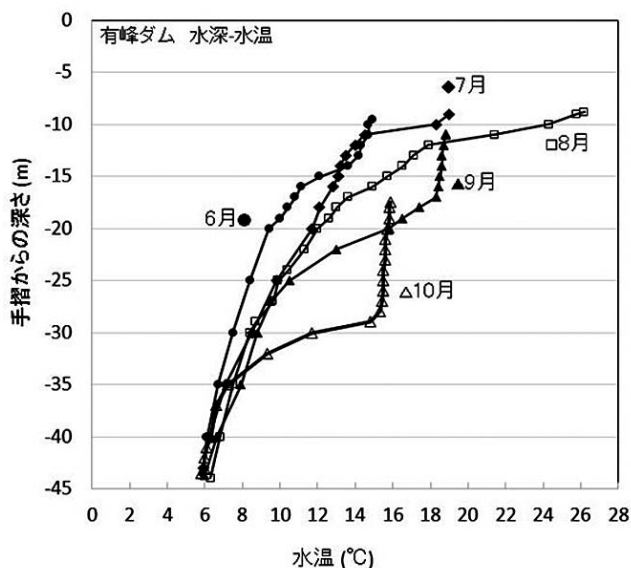


図3 有峰湖の調査定点における水深に対する水温変化。

6月から8月までは表面水温が最も高く、水深が深くなるにつれて水温がやや大きく低下しており、水温成層していた（図3）。自然湖沼で観察される水温躍層（深さに対して水温が急に変化する層）は水面付近に存在しているようであった。有峰湖では春から秋にかけて水温が高い表面付近の水が発電用に取水されているため、表層水と水温躍層との関係が分かりにくいようであった。

これに対して、9月は表層から手摺下-17 m位置までの水温変化が少なく、循環期に入っていたようであった。これは気温の低下に伴って表面水の水温が低下し、密度が高くなって下層に沈み（同じ水温の層まで）、下層の水温の高い水が入れ替わって上昇する現象である。気温がさらに低下した10月には湖水の循環がさらに深い位置まで進んでいた。

3.3 採取したプランクトンの種類

図4は有峰湖の赤潮部分から採取したプランクトンの顕微鏡写真である。数百個程度の細胞が集まって群体となっている。その形態が報告されている顕微鏡写真の形態と似ていることから、*U. americana*と判断した。

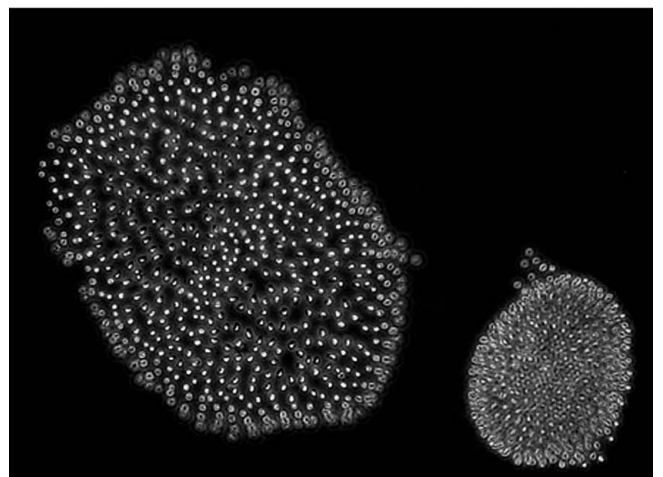
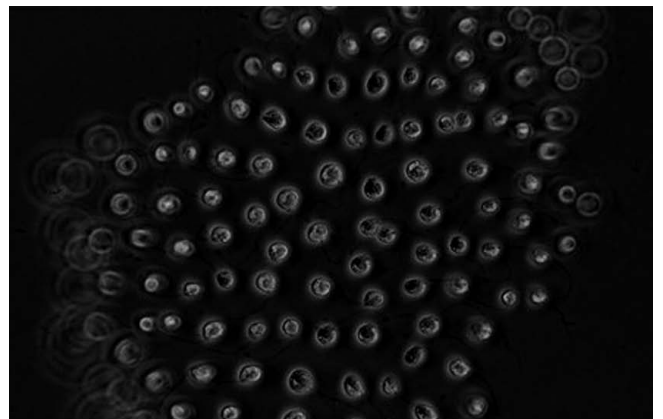


図4 有峰湖で発生した淡水赤潮中のプランクトン。*Uroglena americana*と推定した。上図はやや拡大したもの（2019年7月4日撮影）。

3.4 ガスクロマトグラフのクロマトグラムの検討

図5はGC/MSで得られた有峰湖の赤潮試料（図5上、水深1 m）と有峰湖表層試料（図5下）のガスクロマトグラフのクロマトグラムである。グラフの横軸は試料を機器に注入し、ピークが出てくるまでの時間（リテンションタイム, RT), 縦軸はピーク面積（無単位）で、物質濃度に比例する。各ピークに対応する物質が確認できたら、その物質を使って所定濃度の標準溶液を作成・分析し、そのピーク面積と比較することで試料中の該当物質の濃度を知ることができる。

図5上の赤潮試料には番号を付記した12のピークの他、小さなピークがいくつか見られた。これと表層水のクロマトグラムのピーク（図5下）とを比較すると、ピーク④, ⑦, ⑩, ⑪は赤潮試料だけで見られ、表層水では見られないことから、これらのピークに対応する物質は *Uroglena americana* が産生しているものと考えられた。また、ピーク①, ②, ③, ⑤, ⑨, ⑫は、有峰湖の表層水にも存在していたが、赤潮試料の方がピーク面積は大きかった。これらに対して、ピーク⑥, ⑧では、赤潮試料のピーク面積が表層水よりも小さくなった。

3.5 *Uroglena americana* が産生する物質の検索

有機化合物は同じ炭素数、分子量でも構造が異なる多数の物質が存在するため、現在のところ、物質名が判明したのは表2の5種類のみである。

表2 図5のクロマトグラム中で物質名が判明した物質のピーク番号, ガスクロマトグラフの保持時間 (RT), および, 物質名称。

No.	RT	物質名
①	10.1243	trans, trans-2,4-heptadienal +decane?
②	10.8473	2-ethyl-1-hexanol
⑨	16.6438	2-undecanone
⑩	16.7563	trans,trans-2,4-decadienal
⑪	18.2785	2,2,4-trimethyl-1,3-pentanediol-1- monoisobutyrate (デキサノール)

表2のうち、ピーク①の物質は、候補となる物質のマススペクトルとの比較から、trans,trans-2,4-heptadienal (トランス,トランス-2,4,ヘプタジエナル) とdecane (デカン) と考えられる物質とが混合しているようであった。異臭分析用スペクトルライブラリでのこれらの物質の推定RTは、それぞれ、10.5916, 10.2306で、この差があれば、両者が分離されてもよさそうであるが、実際には混合していた。これらの物質と標準物質とのマススペクトルの比較に際し、赤潮試料中のtrans,trans-2,4-heptadienalについては、m/zが44と45.1の非常に小さなピークが存在していなかったものの、他のピークは2.3章のa～dの条件を満たしていた。decaneについても同様であったが、標準物質には分子ピークに相当するm/z

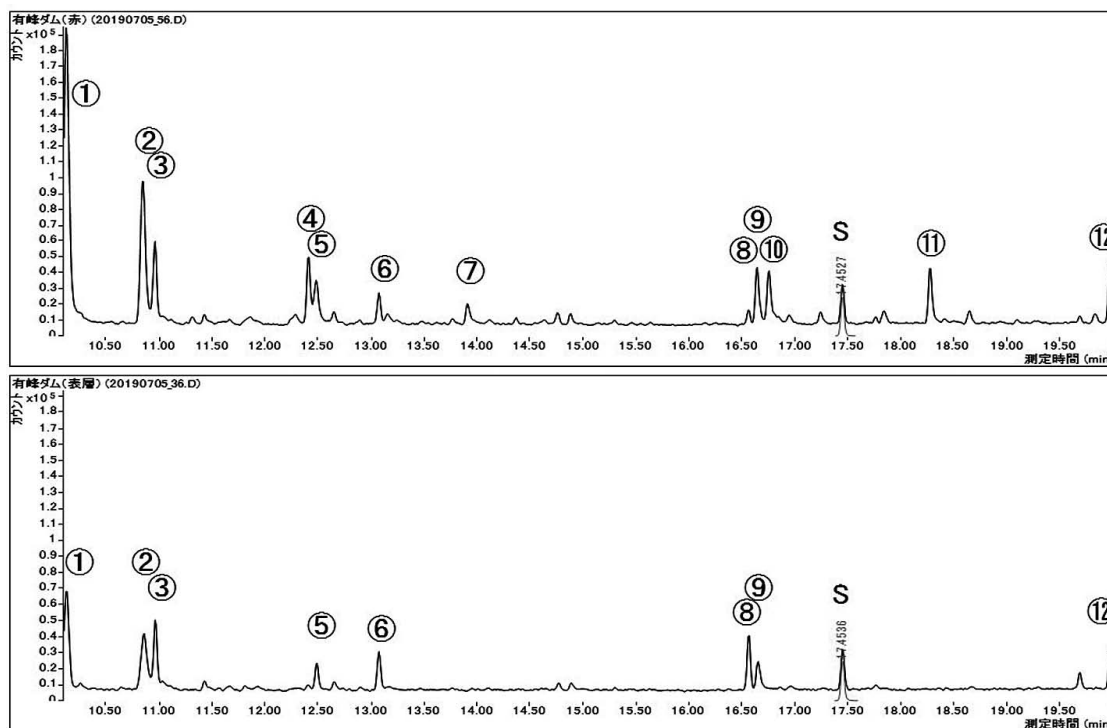


図5 有峰湖で発生した淡水赤潮（上図）とその近傍で採取した表層水（下図）のクロマトグラム。Sは機器の状態を知るために添加する内部標準物質。

142.1のピークが存在するのに対し、赤潮試料には存在しない点で、確度はやや低いと考えられた。

表2中のピーク⑩のtrans,trans-2, 4-decadienal (トランス,トランス-2, 4,デカジエナール)と⑪の2,2,4-trimethyl-1,3-pentanediol-1-monoisobutyrate (2,2,4トリメチル-1, 3-ペンタンジオール-1-モノイソブチレート (テキサノール))は赤潮試料のみに存在していた物質である。⑩は①のtrans,trans-2,4-heptadienalと同様、アルコールの水酸基から水素が酸化除去された形のアルデヒド類, ⑪はアルコールと有機酸が脱水縮合して生成するエステル類の物質である。②の2-ethyl-1-hexanol (2-メチル-1-ヘキサノール)はアルコール類の物質で、

赤潮試料中の濃度が表層試料中よりも高かった。⑨の2-undecanone (2-ウンデカノン)はケトン類(アルコール2分子が脱水縮合する)の物質で、②と同様、赤潮試料の方が表層水よりも濃度が高くなった成分である。

念のため、①以外で確定した4つの物質のマススペクトル(赤潮試料から得られたもの)を図6に示す。

4. 考察

2019年の有峰湖での*U. americana*による淡水赤潮の観察は7月4日の1回のみであった。しかし、この年は9月下旬から10月初旬にかけて流杉浄水場に導水した常西合口用水の原水で青草臭が記録され、10月7日の水源調査の際には(午前9時半頃)、著者と調査員1名が上滝発電所の隣接地に導水されている有峰系水源(最大流量は30トン/秒)から生魚臭(生ぐさ臭)が発生していることを確認した。しかし、その日の午後に到着した有峰湖では赤潮は確認できなかった。

水道水の生ぐさ臭の原因物質としてtrans, trans-2, 4-heptadienalとtrans,trans-2, 4-decadienalが知られており(福田他, 2012), どちらの物質も有峰湖で採取した赤潮試料中に含まれていた(表2の①, ⑩)。これらの物質の臭気を感じられるようになるにおい閾値はtrans, trans-2, 4-heptadienalが1000~5000 ng/L, trans, trans-2, 4-decadienalが40~80 ng/Lで(福田他, 2012), trans,trans-2,4-decadienalの方が低濃度でも臭気を感じるようである。

常西合口用水の原水で9月下旬から10月初旬にかけて確認された青草臭や生魚臭などの臭気が*U. americana*に起因したものかどうかはプランクトン調査をしていないため不明である。しかし、10月上旬の原水のGC/MSによる管理分析データを定性解析するとtrans,trans-2, 4-heptadienalやtrans,trans-2, 4-decadienalが検出されること、成分によっては、濃度が異なると、臭気検査では、異なる臭いとして感じられる場合もあること(川元, 2001), さらに、有峰湖の表層水温は9月2日が18.8℃で、10月7日には15.9℃に低下し、7月調査時の19.0℃よりも低い水温となり、しかも、*U. americana*の生育に適した水温範囲の14~18℃(石田, 1991)と同程度の水温であったことから考えると、有峰湖では中禅寺湖(村上, 1991)と同様、秋にも*U. americana*が優占種になっていた可能性が考えられる。

*U. americana*による淡水赤潮は、貧栄養から中栄養程度の湖沼に発生すると報告されている(石田・門田, 1983)。その理由として、*U. americana*のシストと呼ばれる休眠体の耐久性や成熟には、溶存酸素が少なく硫化物などが形成されるような環境(富栄養湖の環境)より

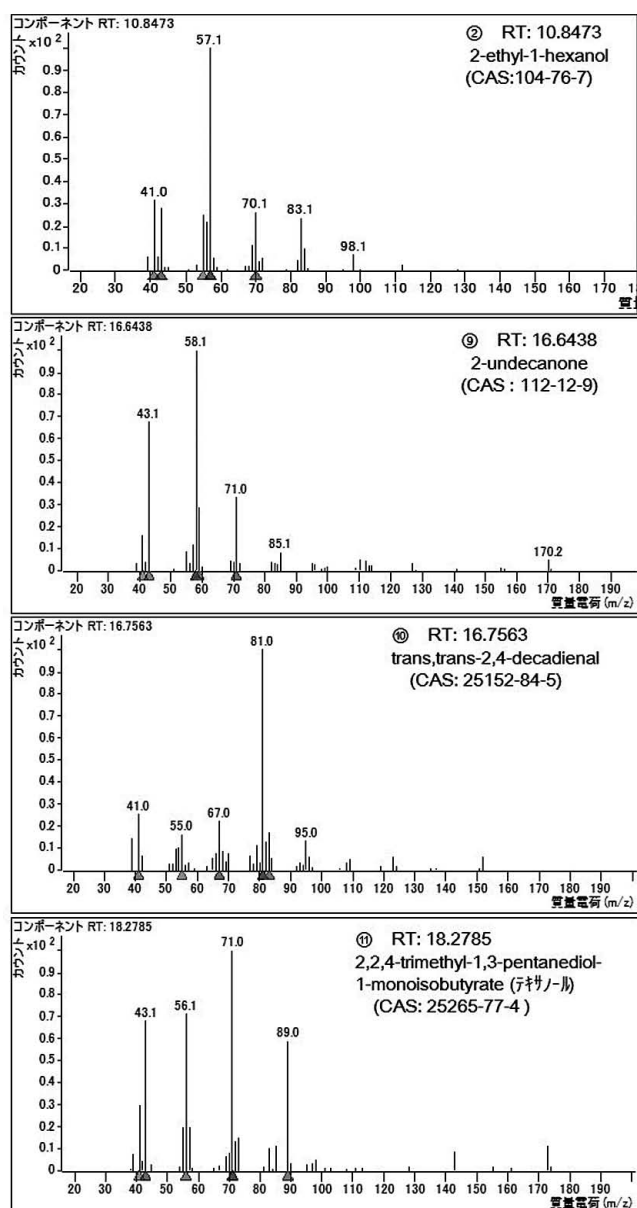


図6 図5中のピーク②, ⑨, ⑩, ⑪の物質のマススペクトルと該当した物質名称。横軸は質量を電荷で割った値(m/z)。縦軸は信号強度(カウント数)。

も、溶存酸素が多く（貧栄養湖から中栄養湖の環境）、冷暗な環境の方が良く、この点で標高が高い場所の水深が深い湖沼に発生しやすいと考えられている（吉田, 1997）。さらに、ウログレナは5℃程度の低温でも増殖可能で、ウログレナが周年で生存することにより、越冬後に大増殖する可能性があることも報告されている（石田・門田, 1983）。また、*U. americana* は増殖のために細菌を摂食し、リン脂質を得ているという報告もある（石田, 1985, 石田, 1991）。

現在の有峰湖の水質は増殖のために上記の条件が必要な *U. americana* の生育に適している可能性があり、琵琶湖や中禅寺湖での発生事例（吉田他, 1983, 村上, 1991）から考えると、有峰湖でもこの先数年以上はこの状態が継続する可能性がある。

なお、今回判明した物質の中で、有峰湖の表層水では存在せず、赤潮試料中にだけに存在していた表2の①は水性塗料にも使用されている化学物質として知られ、刺激性の報告もある（小林他, 2010）。同様に、②は湖水表層水中濃度よりも赤潮中で濃度が高かったが、この物質も化成品の製造原料として使用される化学物質として知られている。これらの物質が本当に *U. americana* が産生したものなのか、別の要因で試料水中に入り込んだものかについては、今後さらに検討する必要がある。

現状ではGC/MSのクロマトグラムにカビ臭物質の他、今回明らかにした物質以外の未知物質のピークも存在し、この中から目的とする成分を迅速・正確に検出する方法を確立する必要がある。しかし、GC/MSの分析データを臭気検査と合わせて利用することで、ダム湖で異常に増殖したプランクトンが産生する物質の存在を臭気として感じられる前に察知でき、浄水工程で臭気の除去に必要な活性炭の投入時期や量の加減、除去が完了したかどうかの確認に利用できる可能性がある。さらに、将来、有峰湖の湖沼遷移がさらに進んで *U. americana* とは別の種のプランクトンが優占するようになった場合でも、これらが産生する物質をGC/MSの分析データからいち早く検出することで、おいしい水道水の供給を維持できると考えられる。

5. 謝辞

毎月の水源調査に必要なダム施設などへの立ち入りに対し、北陸電力株式会社の承諾を得ました。ここに厚くお礼申し上げます。

6. 引用文献

福田正幸・宮本柴織・香河典子・吉田紀美・大倉敏裕・四宮博人, 2012. Trap-HS/GC/MSを用いた水中生

臭物質の分析法の検討. 平成24年度愛媛衛環研年報, (15) : 12-16.

朴木英治, 2019. 常願寺川水系の支流・ダム湖の水質調査結果 (2016 - 2018). 富山市科学文化センター研究報告, (43) : 35-46.

朴木英治・丹保俊哉, 2017. 立山地獄谷の酸性温泉を起源とする化学成分の称名川での動態. 富山市科学博物館研究報告, (41) : 31-40.

石田祐三郎, 1985. 赤潮藻類のファゴサイトシス. 化学と生物, 24 (7) : 475-477.

石田祐三郎, 1991. 淡水赤潮の現状と問題点. 水質汚濁研究, 14 (5) : 270-275.

石田祐三郎・門田 元, 1983. 琵琶湖のウログレナ赤潮をめぐって. 生活衛生, 27 (5) : 236-248.

川元しのぶ, 2001. 「におい」評価技術, SCAS NEWS, 2001-I : 7-10 (<https://www.scas.co.jp/scas-news/sn-back-issues/pdf/13/2001-1.pdf>). (2020年3月21日確認).

小林 智・武内伸治・小島弘幸・高橋哲夫・神 和夫・秋津裕志・伊佐治信一, 2010. 水性塗料成分1-メチル-2-ピロリドン及びテキサノールによる新築小学校の教室内空気汚染. *Indoor Environment*, 13 (1) : 39-54.

村上敬吾, 1991. 中禅寺湖の淡水赤潮. 水質汚濁研究, 14 (5) : 276-280.

中西正己・関野樹, 1997. 琵琶湖水質の生物学的特徴. 環境技術, 26 (8) : 485-489.

野村 潔, 1991. 琵琶湖における淡水赤潮について. 水質汚濁研究, 14 (5) : 286-292.

高島正信・高木弘康, 1994. 石灰添加によるダム湖の富栄養化制御. 環境技術, 23 (6) : 351-355.

植木忠夫・堀 令司, 1965. 有峰湖の陸水学的調査. 北アルプスの自然, 富山大学学術調査団編, pp. 165-171. 古今書院.

安原昭夫・伊藤裕康・剣持堅志・小田淳子, 1993. GC/MSを用いた未知物質の検索に関する研究 (その2). 環境化学, 3 (1) : 101-104.

四日市大学生物学研究所ホームページ (<https://web.yokkaichi-u.ac.jp/bio/zukan/dinobryon-divergens/>) (2020年3月21日確認).

吉田陽一, 1997. 琵琶湖北湖におけるウログレナの優占的発生と水質, 気象要因等との関係. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 63 (4) : 594-599.

吉田陽一・松本孝・門田元, 1983. 琵琶湖の”淡水赤潮”に関する研究-II. 赤潮の発生と環境諸要因との関係 *Jap. J. Limnol.* 44 (1) : 28-35.

