

有峰湖の水質の変化と湖内の水循環の推定
— 山梨県の西湖との比較 —

朴木 英治¹⁾, 人見 信行²⁾, 竹島 寛文²⁾, 本郷 康之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

Changes of Water Qualities and Estimation of Water Circulation of the Lake Arimine.
— Compare with the Lake Sai in Yamanashi Prefecture —

Hideharu Honoki¹⁾, Nobuyuki Hitomi²⁾, Hirofumi Takeshima²⁾ and Yasuyuki Hongo²⁾

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

From the concentration of COD 75% and Total nitrogen of the Lake Arimine, the Lake Arimine maintains the environmental standard A type and is in the state of an oligotrophic lake. However, the water color of the Lake Arimine was green to yellowish green, and it seemed that phytoplankton was abundant. At the Lake Arimine, it was estimated that the inflowing rivers and conducted water passed from the surface to a depth of about 20 m of the Lake Arimine from spring to autumn. Since the water for power generation is taken from the surface of Lake Arimine during this period, it is considered that the water at lower layer rises to the water surface and supplies nutrients to phytoplankton to increase of amount. In order to maintain the water quality of Lake Arimine, it was considered necessary to conserve the forest in the catchment area and reduce the outflow of nutrients as much as possible.

Key words : environmental standard, dissolved oxygen, COD, transparency, water color

キーワード : 環境基準, 溶存酸素, COD, 透明度, 水色

1. はじめに

有峰湖は有峰ダムによって作られた人造湖である。北陸電力株式会社が常願寺川支流の和田川の上流部に建設し、1960年に完成した。満水時の水面標高は1,088 mで、総貯水量は2億2,300万m³、有効貯水量は2億500万m³である。有峰湖の特徴の一つとして、発電用に開発されているため、集水面積約220 km²に対し、外部から導水する間接集水域が約170 km²あり、直接の集水域よりも広い点にある（北陸電力ホームページ）。

富山市上下水道局流杉浄水場では2016年に水源調査を開始し、これまで6年間にわたって月に1回程度の頻度で有峰湖を含む常願寺川上流域の調査を行ってきた。この調査の過程で、有峰湖では中栄養湖に発生すると言われている淡水赤潮の形成を2019年に発見したことから（朴木・川村, 2020）、過去からの水質の経過を整理しておく

必要を感じ、公共用水域水質測定データを入手し、水源調査データと比較しながら検討した。その結果、有峰湖の水色の変化では富栄養化の進行が疑われるのに対し、少なくとも1989年以降の公共用水域水質測定データにはその傾向が見られないことが分かった。そこで、水源調査で行っている層別調査結果や1989年から行われている公共用水域水質測定結果を、著者が過去に調査に参加した山梨県の西湖での調査結果や山梨県が公表している西湖の公共用水域水質測定結果などを自然湖沼の例として比較した結果、有峰湖では流入水量が大きいために湖内に独特な水循環が発生し、これによって水質も制御されている可能性が考えられたので報告する。

2. 調査方法

有峰湖で行っている水源調査は2016年の開始当初から

有峰第一発電所取水施設への連絡橋の上から採水などを行った。連絡橋の調査位置での手摺上部から湖底までの深さは約44 mである。当初は表層水と湖底水の採取、溶存酸素計による水温、溶存酸素濃度、溶存酸素飽和率の計測、直径30 cmのセッキ板による透明度の計測、水色の計測（2016～2018年）を行った。また、2020年から水深2 m、水深5 m、水深10 m（2020年のみ）の層別調査を開始した。

採取した試料水は富山市上下水道局流杉浄水場の分析室で公定法に基づいて分析を行った。

また、有峰湖の環境基準が設定された1989年以降に富山県が行った公共用水域水質測定結果を環境数値データベース（国立環境研究所ホームページ）から入手した。市町村合併に伴って有峰湖の調査が富山市に移管された2005年以降の調査データは富山市環境部から提供していただいた。また、富山県環境白書（富山県ホームページ）から1989年以降の年間平均値に関するデータを入手した。さらに、山梨県（山梨県ホームページ）が公表している富士五湖の公共用水域水質測定結果を入手し、比較データとした。有峰湖は、積雪で道路が閉鎖されるため、6～11月までの6か月間しか調査できないが、西湖は冬季も調査が可能で、1か月ごとに年間12回の調査が行われている。

3. 結果

3.1. 水源調査結果による水質の経過

有峰湖の水源調査結果を時系列でグラフ化した。富山市が行っている調査項目にも含まれている項目については、えん堤前調査地点の表層の値をグラフ内に併記した。

3.1.1. 調査地点における水面の位置と湖底の水深

有峰湖の水環境の特徴の一つは流入河川や導水による流入量と発電による取水量のバランスによって水面標高が大きく変化する点にある。図1は採水時に計測した有峰第一発電所取水設備の連絡橋の手摺上部から水面まで

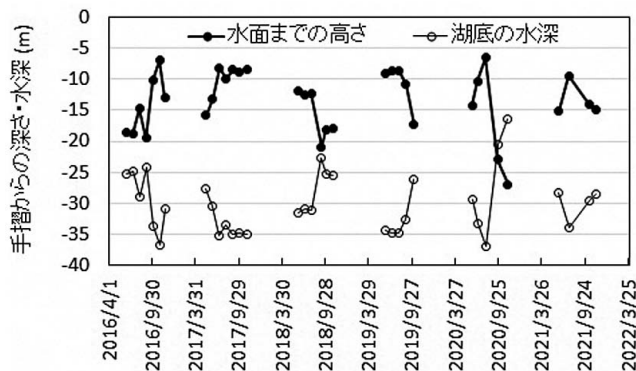


図1 調査地点における水面までの高さや湖底の水深。

の高さとその際の湖底の水深を示したものである。なお、調査位置は有峰ダムの左岸側の端に近く、この位置の湖底の標高は和田川第一電所・和田川第二発電所の冬季の取水口位置の標高1,004 mよりも45 m程高い位置である。

2020年は水面までの高さが大きく変化し、6.5 m（8月3日）から27 m（11月4日）まで、20.5 mも低下し、湖底の水深は37.0 mから16.5 mになった。2018年から2020年にかけては、秋から初冬に向けて水位が低下していた。

3.1.2. pH

図2は水源調査の調査地点での表層と湖底（水深は図1に示した）のpHの変化を示したものである。黒丸と太い実線が表層、白抜き丸と細い実線が最下層である。参考に富山市調査によるえん堤前のpHを併記する（白抜き四角と破線）。調査地点での表層のpHは7.2～7.6で、年によって月変化パターンが異なっていた。湖底のpHは表層よりも低い場合が多かった。

富山市の調査結果による表層のpHの値は全般に水源調査での値よりも低めで、6.5～7.4であった。

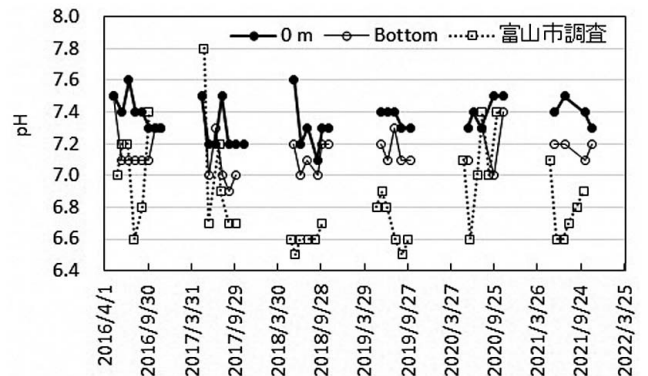


図2 有峰湖の表層と湖底位置のpH。

3.1.3. COD（化学的酸素要求量）

CODは水中の有機物を酸化分解する際に消費された酸素量を示したもので、数値が大きいほど有機物量が多く有機汚濁が進んでいることを示す。

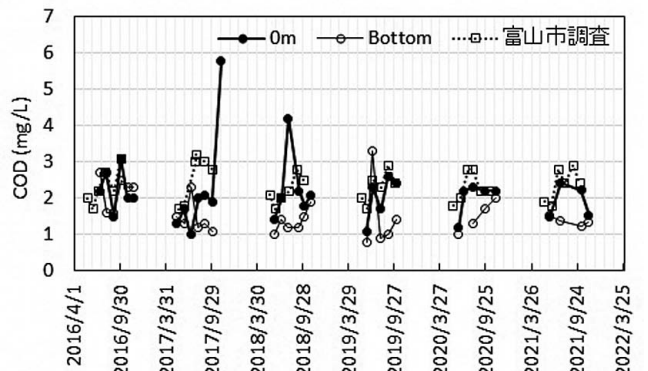


図3 有峰湖の表層と湖底のCOD。

図3は調査地点のCODの経過を図示したものである。表層のCOD値は、2017年11月6日調査で5.8 mg/L、2018年8月1日調査で4.2 mg/Lと高い値を示した。しかし、それら以外の年度での最大値は2.2~3.1 mg/L、最低値は1.0~1.6 mg/Lの範囲で推移した。

これに対して湖底のCOD値は夏の期間は表層よりも低くなる場合が多く、春と秋に表層と同程度になる場合も見られた。

富山市の調査結果は水源調査の表層のCODの調査結果と非常に近い値となっていた。

3.1.4. TOC（全有機体炭素）

TOCは水中の有機物を構成する物質の炭素量を計測するもので、有機汚濁の指標の一つである。CODと同様、数値が大きくなるほど汚濁が進んでいることを示す。

図4は調査地点のTOCの経過を示したものである。各年度の最大値は1.2~1.5 mg/Lで、最低値は0.6~1.0 mg/Lで推移した。表層のTOC値は2017年から2019年にかけては上昇傾向であったが、2020年は、再び、2017年と同レベルに低下した。

湖底のTOCは表層と比較して低くなる場合が多かったが、月によっては、同程度の場合もあった。

2020年8月から表層部のプランクトンの動向を知るため、水深2 m、水深5 mの採水を開始した。それらのTOC値も図4に併記したが、表層と同程度の値であった。

なお、堀ほか（1981）によれば、1979年6月~11月まで有峰湖の中央部付近で行われた調査での表層のTOC値は0.9~1.4 $\mu\text{gc/ml}$ (mg/L)（グラフからの読み取り）で、図4に示したTOC値と同程度の変化幅で、現在のTOC値は1979年当時とあまり変化していないと言える。

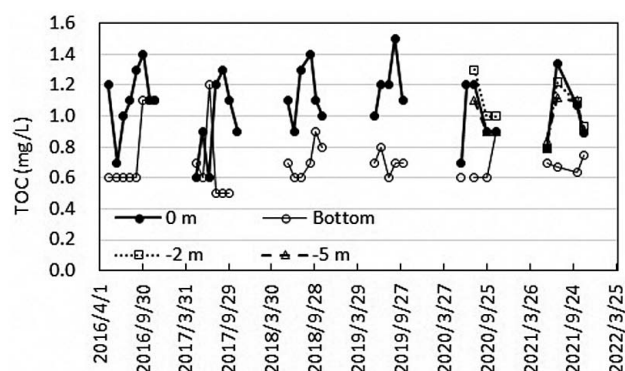


図4 有峰湖のTOCの変化。

3.1.5. TOCとCODとの関係性

TOC、COD どちらも有機汚濁の指標として利用される項目であるが、両者の数値の相関の有無について図5

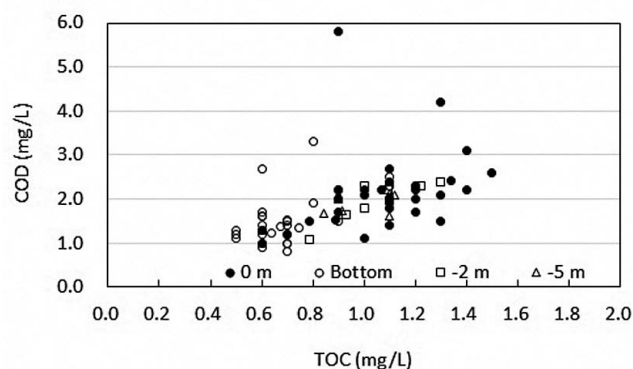


図5 TOCに対するCODの値。

で検討した。

表層は外れ点が多く、しかも、TOC値が1.1 mg/L以上の部分ではCOD値の増加がほとんどなく、一次式で回帰式を作成した場合は相関係数の値は小さかった。両者の相関が比較的良く取れていたのは水深2 mで、相関係数 $R = 0.87$ であった。これにはデータ数の少なさも関係しているように思われた。水深が2 m異なるだけで回帰式のグラフの傾きも異なり、これほどの違いがあるのは不思議であるが、表層の外れ点の意味やTOCの値が1.1 mg/L以上の場合のCODの変化の理由を考えれば、その違いの意味が見えそうである。しかし、まだデータ数が足りないと思われた。

3.1.6. ジェオスミン

ジェオスミンは微生物が産生する成分でカビ臭の原因成分の一つである。調査地点におけるジェオスミン濃度の経過を図6に示した。

調査地点の表層でのジェオスミン濃度は2017年に大きく増加し、その後、年数が経過するにつれて減少した。湖底でのジェオスミン濃度は、2017年は表層よりも低かったが、年数を経過してもあまり濃度が低下せず、2019年にはピークの月は異なるが、表層よりも高い濃度が検出された。さらに、2020年、2021年の調査ではピーク濃度

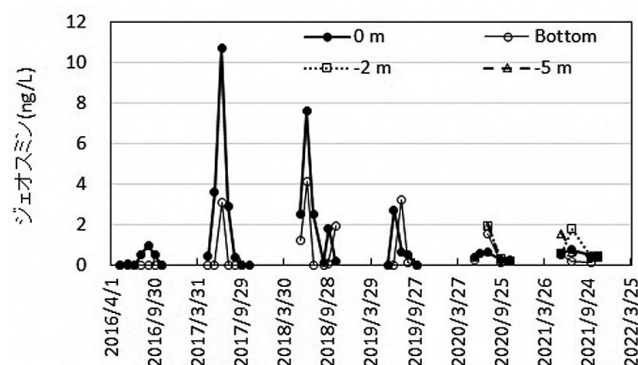


図6 ジェオスミン濃度の経過。

は2017年の1/5以下となり、しかも、表層での濃度よりも水深2 m, 5 mの濃度の方が高かった。

同じカビ臭成分である2-メチルイソボルネオールについては図示しなかったが、2018年7月4日に表層での濃度が高まり(2.9 ng/L)、その後はジェオスミンと似た経過をたどった。

なお、2019年7月に有峰湖で淡水赤潮が発生し、生ぐさ臭の原因であるトランス-トランス-2,4-ヘプタジエナールやトランス-トランス-2,4-デカジエナールを産生していた(朴木・川村, 2020)。しかし、2020年、2021年の調査では、それらの成分は確認されなかった。

3.1.7. 透明度

透明度は水面が日陰になる位置で直径30 cmの白色の円盤を水中に下していき、円盤が見えなくなる水深(見えなくなった円盤を引き上げて再び見え始める水深)を計測するもので、数値が大きいほど水が透明であることを示し、小さくなるほど水の濁りが増して不透明であることを示す。水の濁りの原因として、出水時の土濁りだけでなく、プランクトンも濁りの原因になる。

図7に水源調査による透明度の変化を示した。黒丸と実線は水源調査での結果で、参考にした富山市の調査結果を白抜き丸と破線で示してある。

水源調査結果では毎年7月から9月にかけて、透明

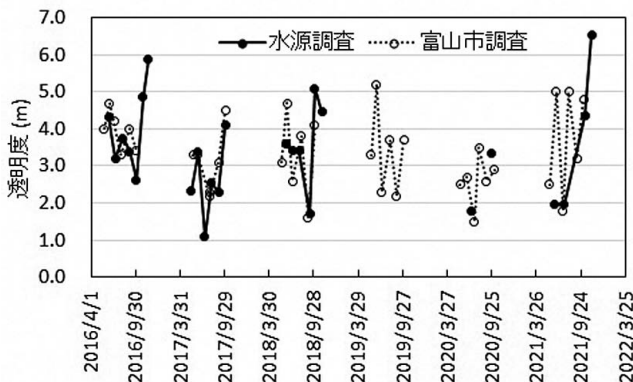


図7 透明度の経過。

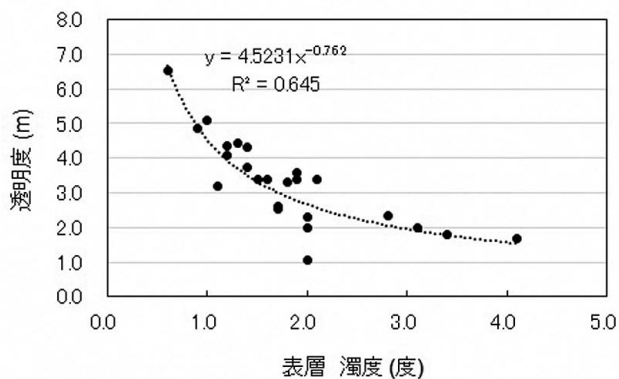


図8 表層の濁度と透明度との関係。

度が年間最低値の2 m以下になる場合が多かった。調査年数が短いため変動傾向はまだ不明である。

富山市の調査地点はえん堤中央部の少し沖の位置(最深部付近)で、水源調査の調査地点からは離れているが、数値的には似た値を示した。

図8は水源調査の結果から、表層の濁度とセッキ板透明度との関係を調べたもので、濁度の数値が大きくなるとセッキ板透明度が低下する様子が見える。

3.2. 公共用水域水質測定結果による有峰湖と西湖の水質の経過

有峰湖の水質には1989年に湖沼のA類型という環境基準が設定された。有峰湖の公共用水域水質測定は、1994年までは6月から11月、1995年以降は5月から10月まで、毎月1回のペースで年間6回行われている。調査水深は表層、水深20 m, 水深50 mである。

この章では、1989年から2021年までの測定結果から有峰湖の水質がどう変化したのかを、有峰湖の最深部付近と推定される、えん堤前調査データで検討する。なお、1989年以前の有峰湖の環境調査報告が少ないため、比較データとして高倉・藤森(1981)が1977~79年に有峰湖の最深部付近で調査した値を参考値としてグラフ中にプロットした。

また、有峰湖の比較湖沼として、著者が1994年に参加したフジマリモ生育調査の対象とした山梨県の西湖についても、公共用水域水質測定結果とその補助調査結果(梨県ホームページ)を引用して比較データとし、著者による既報のデータ(朴木, 1995)も一部引用した。

西湖は富士五湖の一つで、水面標高は有峰湖よりも188 m低い900 m、水面面積は有峰湖の2.5分の1程度の2.1 km²の堰止湖で、環境基準は有峰湖と同じA類型に設定されている。

3.2.1. 有峰湖の水温変化

図9に有峰湖の水深別の水温を調査日に対してプロットした。表層(●のマーカ)の水温は夏期には日射を受けて20~25℃まで上昇するが、5月、10月、11月の水温は12℃以下になる場合が多かった。また、2006年以降は表層水温の最高値がそれ以前と比べてやや高くなる傾向が見られ、表計算ソフトで回帰式を作成すると、表層水温は過去から現在に向かって上昇傾向であることが分かった。これに対して、水深20 m(□のマーカ)の水温は表層と比べて変化幅が小さくなり、7~14℃で変化する年が多かった。2021年は他の年と比べて水温がやや高めであったが、表計算ソフトで回帰式を作成すると、水深20 mの水温は過去から現在に向けて若干の低下傾向

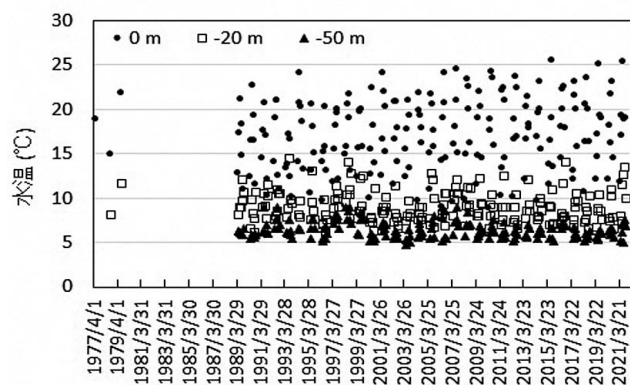


図9 有峰湖の各水深の水温変化。

であった。

これらに対して、水深50 m (▲のマーカ) の水温は水深20 mの水温と比べてさらに低く、変化幅もさらに小さくなり、5～9℃しかなく、表計算の回帰式では、水深20 mの場合と同様、水温は過去から現在に向けて若干の低下傾向であった。

3.2.2. 有峰湖の溶存酸素濃度

図10に有峰湖の水深別の溶存酸素濃度を調査日に対してプロットした。

表層 (●のマーカ) の溶存酸素濃度の一部は11 mg/Lまで濃度分布が広がっているが、多くのプロットは7.7～10 mg/Lの範囲に集まっていた。

これに対して水深20 m (□のマーカ) のプロットは10 mg/Lの濃度を中心に8.2～13 mg/Lまで広がり、表層よりも濃度が高い方に分布していた。

これらに対して、水深50 m (▲のマーカ) では8.9～10 mg/Lの狭い範囲にプロットが集中し、さらに11～13 mg/Lの範囲にもプロットが見られた。

図10から、有峰湖では水深50 mまでは溶存酸素が十分に存在していると言える。表層では、各年の最低濃度のプロットが、過去から現在に向けて、徐々に低濃度側に变化しているが、気体である酸素の溶解度は水温が高く

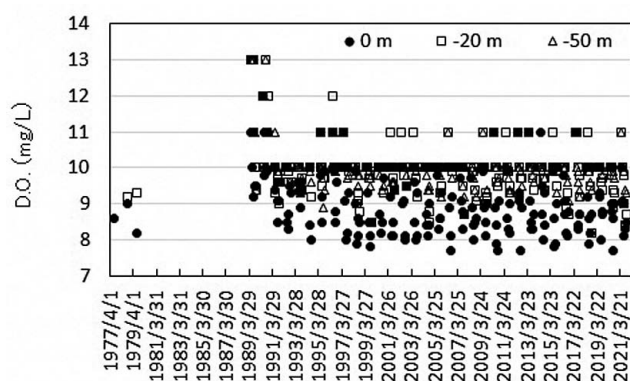


図10 有峰湖の各水深の溶存酸素濃度の変化。

なると小さくなるので、表層の水温が上昇傾向であることと (図9) 関係しているものと考えられた。

3.2.3. 有峰湖と西湖のpH

図11は水深別の pH 値を時間軸に対してプロットしたものである。破線は比較湖沼の西湖の表層の年度平均値である。

表層、水深20 m、水深50 mの各 pH の値を別々にプロットしたが、各水深の pH 値は似た値をとったため、ほとんど同じ領域にかたまってプロットされた。

有峰湖の pH は調査開始当初は pH 7以下の弱酸性であったが、1995年には pH 8.1～8.2の弱アルカリ性に上昇し、その後も、pH 7以下になったり、7以上になったりと変動していた。

これに対して、西湖では1989年以降の表層の pH の年度平均の最低値が7.8、最大値が8.5で、有峰湖の表層と比較して、明らかに pH は高めで推移していた。

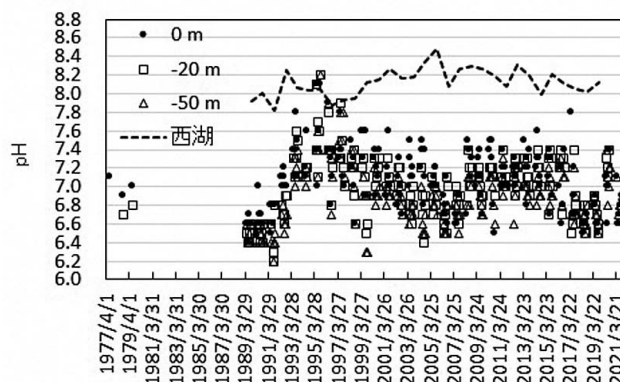


図11 有峰湖と西湖の各水深のpHの変化。

(西湖のデータは山梨県ホームページより)

3.2.4. 有峰湖と西湖のCOD

図12は有峰湖の水深別の COD の値を調査日に合わせてプロットしたもので、富山県環境白書で報告されている各年の COD 75 %値 (2020年、2021年は個別データからの計算値) を実線で示した。

表層の COD 値は高倉・藤森 (1981) では1977年7月19日に6.1 mg/Lという大きな値が出ているが1978年10月9日と1979年7月31日には、それぞれ、2.6 mg/L、1.7 mg/Lであった。

COD の各層のプロットは密集しているが、表層の値が最も高く、水深20 m、水深50 mの順に COD の値は低下していた。

表層の COD は、1989年以降、毎年の最低値は0.9 mg/L～1.9 mg/Lで変化し、毎年の最大値は1.8～3.9 mg/Lで推移し、最大値は1993年10月19日に記録された。各年の最大値のプロットは図12でも分かるように、1993～2009

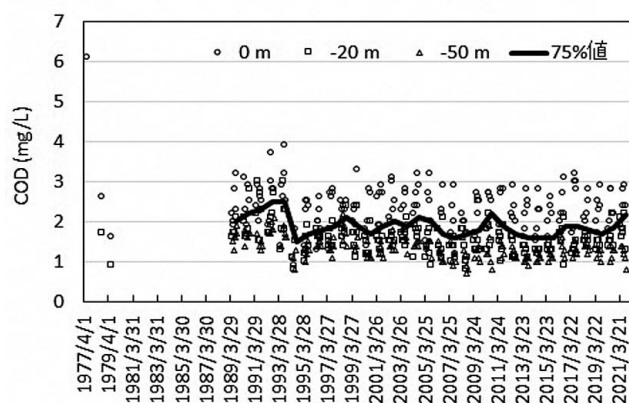


図12 有峰湖の各水深の COD の変化。

年にかけて低下傾向で、その後、2013年まで上昇し2014年以降は2.9 mg/L 程度で横ばい傾向である。これに対して各年の最低値は2014年以降、若干上昇している。このため、最近の最大値と最小値との変化幅は若干の縮小傾向となった。

水深20 mのCOD値は、各年の最大値が1.3～3.0 mg/Lの範囲で変動するのに対し、最低値は0.8～1.4 mg/Lの範囲で変動した。2013年以降はCOD値の上昇傾向が見られた。

水深50 mのCOD値は、各年の最大値が1.1～2.3 mg/Lで変動し、最小値は0.7～1.4 mg/Lの範囲で変動した。水深20 mと同様、2013年以降は若干の上昇傾向のようであった。

各年のCOD 75 %値の変化を図12に実線で示した。1989～1993年に2 mg/L以上の高い値を示したが、その後は2 mg/L以下の値で推移していた。しかし、2015年以降はやや上昇傾向に転じているようである。この原因は、各層のCOD値が2013～2014年以降に上昇傾向になったためと考えられる。

有峰湖の環境基準はA類型で、COD値(75 %値)は3 mg/L以下に規定されており、図12のグラフで分かるとおり、どの年も基準値に適合していた。

なお、COD 75 %値は各年に計測されたCOD値を数値の低いデータから順に並べ、これを数値の低い方から数えて全データ数×75/100番目の値を読み取ったもので、全データの75 %以上のデータが基準に適合していれば適合していると判断される。なお、報告されているCOD 75 %値は各年の表層、水深20 m、水深50 mの全てのデータを使用して計算されているようである。

図13は有峰湖と西湖の表層のCODの年度平均値を比較したものである。有峰湖は1989～1993年まではやや高めで推移し、1994年に大きく低下後2004年までは増加傾向となり、2005年以降は横ばいから微増傾向であった。これに対して西湖では1989年から2005年までは増加傾向

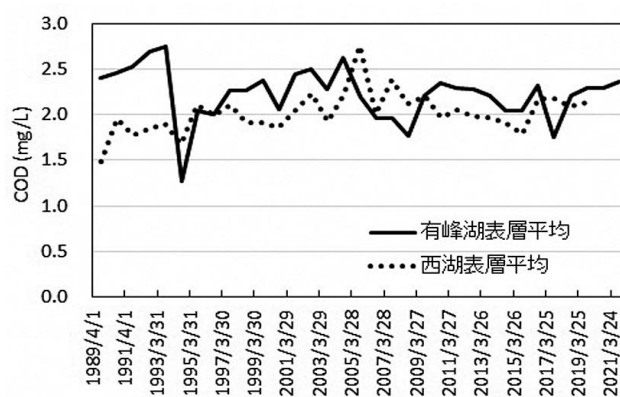


図13 有峰湖と西湖の表層のCODの年度平均値の推移。
(西湖のデータは山梨県ホームページより)

で、それ以降は低下傾向であった。CODの年度平均値は西湖の方が若干低めで推移していたが、その差は小さかった。

3.2.5. 全窒素

全窒素は無機態窒素と有機体窒素の合計量を示す。無機態窒素は水中の窒素化合物であるアンモニウムイオン、亜硝酸イオン、硝酸イオンにそれぞれ含まれているアンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素の合計値である。有機体窒素はたんぱく質などの有機物に含まれる窒素を示し、湖沼の場合は、プランクトンなどに含まれている窒素分も計測される。

図14に有峰湖の表層の全窒素の推移を示した。グラフには高倉・藤森(1981)で報告された値もプロットしてある。

1989年以降の有峰湖の全窒素の変化は大きく分けて3つの部分に分けられる。1989年から1998年7月までの部分で、プロットの多くが0.05～0.16 mg/Lに集まっている。次の部分が1998年8月～2008年までで、プロットの多くが最初の部分よりも濃度が高い0.12～0.32 mg/Lの位置に集まり、しかも、濃度は上昇傾向であった。3つ目の部分が2009年～2021年までで、プロットの多くは

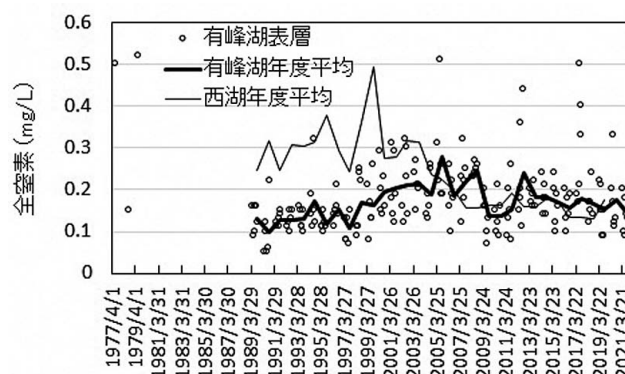


図14 有峰湖と西湖の表層の全窒素の推移。
(西湖のデータは山梨県ホームページより)

0.07~0.24 mg/L の部分に集まり、2 番目の部分よりも濃度は下がったが、最初の部分よりも濃度が高く、しかも同一年内での変化幅が大きかった。

これらのプロットを、高倉・藤森 (1981) のプロットと比較すると、大きな変化はなさそうであった。

図14の太い実線で示した有峰湖の全窒素の年度平均では、1989年から2005年にかけては増加傾向で、2000~2009年にかけてと2012年は0.2 mg/L 以上の値であった。しかし、2006年以降、現在まで、全窒素の年度平均濃度は低下傾向であった。

これに対して細い実線で示した西湖の年度平均では、1989年から1999年までは増加傾向で、その後、減少傾向に転じた。また、1989年から2004年までは西湖の方が有峰湖よりも、明らかに、全窒素濃度は高かったが、2005年以降は両者が同程度の濃度で推移した。

3.2.6. 有峰湖と西湖の全リン

図15に有峰湖の全リンの推移を示す。全リンも全窒素と同様、無機態であるリン酸態のリンとプランクトンなどの有機物中のリンの濃度の合計値を示している。

全リンの値の推移は全窒素とは異なり、1989年から1996年までは濃度が高めで推移し、濃度が0.010 mg/L 以上になるプロットも多く出ていたが、それ以降は、濃度が低くなり、濃度が0.01 mg/L 以上のプロットは1点のみであった。また、2013年以降は1年分のプロットの数それがそれ以前よりも少なくなったが、濃度が0.003 mg/L 以下の場合には0.003 mg/L 以下として数値が丸められていたため、このデータを省いてプロットしたため、その点では、各年の最低濃度も低下傾向と言える。なお、グラフのプロットの最低値が0.003 mg/L の位置でそろっているのも、上記の理由による。

図15には高倉・藤森 (1981) で報告された全リンの値もプロットしたが、最大値が0.01 mg/L で1点、最小値が0.000 mg/L で2点あるため、判断は難しかった。

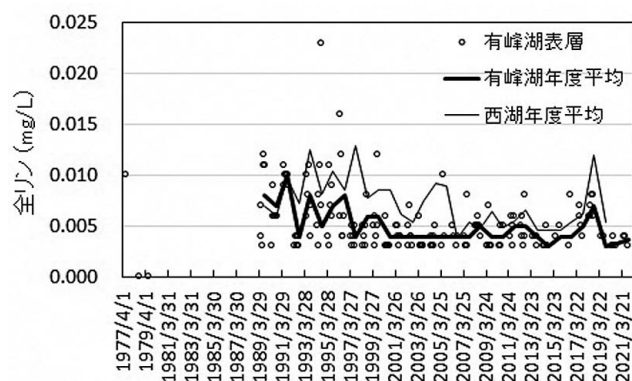


図15 有峰湖と西湖の表層の全リンの推移。
(西湖のデータは山梨県ホームページより)

図15中の太い実線は有峰湖の全リンの年度平均値を示したものである。2001年以降は横ばいであるが、最低値が丸められているためと考えられた。これに対して、細い実線で示した西湖の全リンの年度平均濃度は有峰湖と比べてやや高めであるが同程度の値で、2007年までは減少傾向、それ以降は若干の上昇傾向であった。

3.2.7. 有峰湖と西湖の透明度

図16に有峰湖の透明度の変化を示した。高倉・藤森 (1981) のデータも併記してある。透明度の値は、他の項目と同様、1年の中で見ても大きく変動している。1977~1979年の透明度は2~3 mで1989年以降のプロットと比較すると、決して大きな数字とは言えなかった。

1993年、2003年、2007年、2015年は透明度が6 m以上の位置にプロットがあり、1993年は11月2日、2003年は10月14日と8月26日、2007年は10月16日、2015年は7月2日と8月5日であった。さらに、透明度が5~6 mのプロットにも、7~9月の夏の時期のプロットが半数程度存在していた。

水源調査の調査地点では、透明度は水温が低下して植物プランクトンの活動が低下する11月を中心に10月も高くなり、夏の期間は透明度が低くなったが (図7)、図16では7月から9月の水温が比較的高く植物プランクトンの活動が活発になると考えられる時期にも透明度が高くなる年がある点で特徴的であった。

図中の□マーカと太い実線は各年度の透明度の年度平均値を示したもので、データが単年度だけ孤立している部分はマーカだけになっている。透明度の年度平均値が前後の年よりも高いピークを形成する年は2001年、2003年、2007年、2009年、2015年、2021年で、いずれの年も7月か8月の夏の透明度が最大値か2番目の位置にプロットされている点で共通していた。

有峰湖の透明度の年度平均値の変化パターンは COD 75 %値のグラフ (図12) とは明らかに異なり、全窒素の

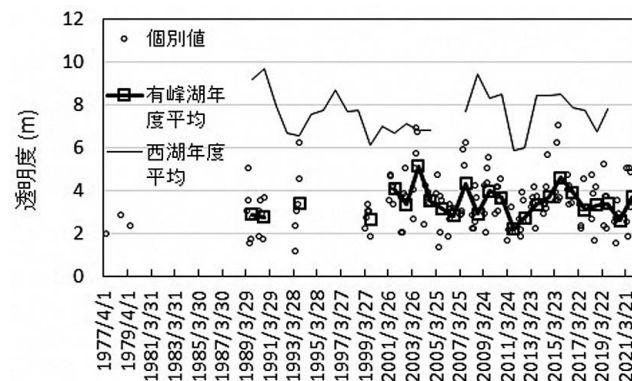


図16 有峰湖と西湖の透明度の推移。
(西湖のデータは山梨県ホームページより)

年間平均値のグラフ（図14）と形がやや似ているが、両者のグラフの山や谷の位置はほとんど一致しなかった。

図16に西湖の透明度の年度平均値を細い実線で示した。CODの年度平均値は有峰湖も西湖もそれほど大きな違いはなく（図13）、全窒素の年度平均濃度は2005年まで西湖の方が高く（図14）、全リンも西湖の方がやや高めの値をとっていた（図15）にもかかわらず、西湖の透明度の年度平均は、1989年以降、有峰湖の値（太い実線）の2倍程度ある点が特徴的であった。

3.2.8. 有峰湖の水質類型と化学成分による分類

有峰湖の水質は湖沼の環境基準のA類型であることが求められており、前述のpH、COD、および、溶存酸素などの結果から、有峰湖はA類型の基準に適合していることを示している。

吉村（1934）は全窒素、全リン、CODなどの濃度から、調和型湖沼を貧栄養湖と富栄養湖に分類している。それによると、貧栄養湖の条件は全窒素が0.2 mg/L以下、全リンが0.02 mg/L以下、CODが4 mg/L以下（高倉・藤森、（1981）で原典のKMnO₄消費量をCODに換算した値）、pHは6.0～8.0、鉄は0.05 g/L以下、比導電率は10～300 mho/cm（20℃）としている。3.2.章のデータのうち、pHまでの条件を当てはめると、全窒素では2000～2009年と2012年は全窒素の年間平均が0.2 mg/L以上であったが、全リン、CODの年間平均値は1989年以降の全期間でこの基準以下で、pHの平均値は基準内に収まっていることから、有峰湖は貧栄養湖の条件を満たしていると言える。

3.2.9. 有峰湖と西湖の水色

水色は水の透明度に関係しており、透明な水は青系統の色に、不透明な水は緑～黄色に見える（吉村、1934）。水色が緑～黄色を帯びる原因として水中の植物性プランクトンの発生数が関係している。

図17は有峰湖の水色の変化を示したものである。1973～1979年のデータは高倉・藤森（1981）に報告されていたデータである。当時の水色は、高い値が1点あるが、フォーレル・ウーレ水色表（以下、水色表とする）の4～6番であった。この水色表の4番は薄い青色で、緑はほとんど混ざっていないが、水色6番では薄い青色の中に緑色が混ざったような色となる。

2016～2019年の水色は著者が水源調査の際に調べたもので、水色表の5.5（5と6の間）～11番まで観察され、2018年9月12日には17番が観測された。しかも、2016年は最低値が水色表の5.5番であったが2019年の最低値は水色表の7番に上昇した。これにはCOD 75 %値が2015

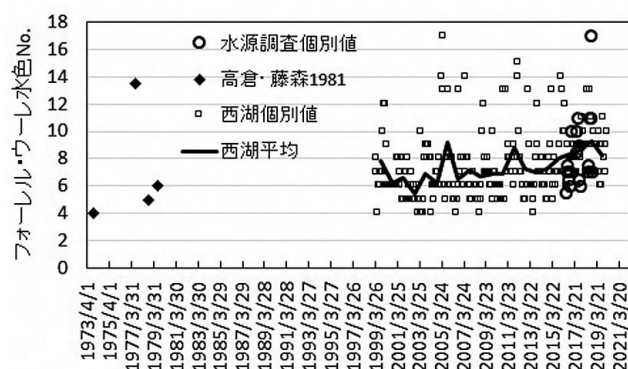


図17 有峰湖と西湖の水色の推移。

（西湖のデータは山梨県ホームページより）

年以降上昇している（図12）ことが関係しているのかもしれない。なお、水色7は6よりも緑色が強くなり、水色表の11番では青みがなく、黄緑色に見える。

図17には西湖の水色の個別値（□）と年度平均値を併記した。2016～2018年の値で比較すると、有峰湖と西湖では個別値の分布に大きな違いはないと考えられた。

西湖の水色のプロットの特徴として、多くは10以下の位置に集まっているが、12以上の位置にもプロットのいくつかが集まっていた。また、西湖の水色の年間平均値は1999年以降上昇傾向であった。

3.3. 有峰湖と西湖の湖水の垂直構造

水源調査で行っている層別調査と西湖での公共用水域水質測定結果の補助調査（山梨県ホームページ）との比較から有峰湖の水の層構造について検討する。

3.3.1. 有峰湖と西湖の水温と溶存酸素の垂直分布

図18は2020年の有峰湖の水深に対する水温の変化（図18A）と溶存酸素濃度の変化（図18B）を示したものである。水温は多くの月で表面から深くなるにつれてやや急に低下し、ある程度深くなると徐々に低下した。自然湖沼では表面から水深数mまでは水温がほぼ同じになる表水層が存在し、その下に水温が急に低下していく水温躍層が見られる（鈴木、1994）。図18（A）でそれらしい変化パターンを示したのは7月1日調査データのみで、多くの月で、表水層が無く、水温躍層と考えられる層が最上層に来ていた。これについては高倉・藤森（1981）にも言及があり、夏期は湖水表面から発電用の水を取水しているためと指摘した。11月4日は水面の水温が水深1 m以下よりも低く、水深1 m以下では水温がほぼ一定になっていた。これは、当日の有峰湖の天候が雪で、気温が水面の水温よりも低かったことから、水面の水温が低下して密度が増加し、下層に沈み込み、下層の温かい

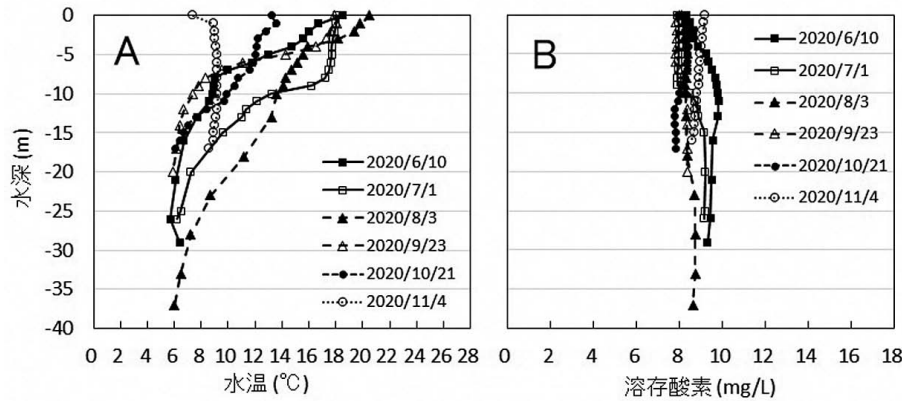


図18 有峰湖の水深に対する水温 (A) と溶存酸素濃度 (B)。

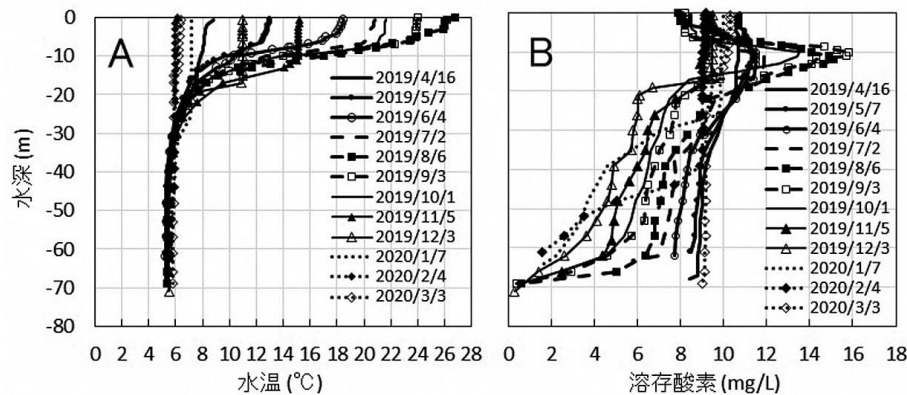


図19 西湖の水深に対する水温 (A) と溶存酸素濃度 (B)。

水が浮上することで水が循環する秋の循環期の現象を観察していたものと考えられた。

これに対して、2019年のデータであるが、西湖の水深に対する水温では (図19A)、水深30 m以深では水温はどの月もほとんど同じで、水温躍層は水深5～20 mに形成される月が多く、水面の水温は季節によって大きく変化していた。水温が水面から湖底までほぼ一定になったのは、2020年2月4日と3月3日であったが、2月4日は湖底付近の溶存酸素濃度が1.6 mg/L しかなく、表層水は湖底まで到達しておらず、3月3日は湖底付近の溶存酸素濃度が9 mg/L あることから、表層水が湖底に到達していた (循環期)。なお、西湖の水温は厳冬期でも4℃以上で、鈴木 (1994) によれば熱帯湖に分類され、循環期は年1回のみである。

有峰湖の水深に対する溶存酸素濃度は (図18B)、水面では、11月以外は、水温が13.2～20.5℃と幅があったにもかかわらず、8～8.3 mg/L と変化幅が少なく、飽和率は77～90 % しかなかった。また、6月と11月以外は水面から水深10 mまで溶存酸素濃度は同程度であった。6月は水面よりも水深10 m付近の溶存酸素濃度が高かった。

これに対して、西湖 (図19B) では水面の溶存酸素濃度が有峰湖よりも高い場合が多く、溶存酸素の飽和率は

12～3月までは76.5～89.0 %で、有峰湖の溶存酸素飽和率と同程度であったが、4～11月には94.2～105.9 %となり、しかも、溶存酸素の飽和率が高いほど pH 値も高くなる傾向が見られ、2019年6月4日は表層の溶存酸素飽和率が103.3 %で、pHは9.0であった。

さらに、8～10月までは、水深10 m付近の溶存酸素濃度が13.4～15.8 mg/L と異常に高くなり、この位置の pH は最大で9.9にもなっていた。この現象は、著者が調査に参加した1994年10月4日にも観察されていた。また、湖底付近の溶存酸素濃度は8月から翌年2月まで低濃度が続き、特に8～12月までは水深70 m付近で1 mg/L 以下のほぼ無酸素の状態になっていた。山梨県の調査地点の水深は72～75 mあり、1994年の調査時に著者が案内された最深部 (水深74 m) に近い位置と推定されるが、1994年10月の調査時は水深74 mで溶存酸素濃度が4.4 mg/L あったことから (図25)、この25年間で西湖の湖底環境が大きく変化した可能性がある。

3.3.2. 有峰湖の硫酸イオンの垂直分布

図20に2020年と2021年の水深に対する硫酸イオン濃度の変化を示した。地下水、河川水の硫酸イオンの主な起源は降水と考えられ、温泉水の混入や火山性土壌からの供給によって濃度が増加する。逆に、土壌中などの還元環境では硫化物イオンに還元されて濃度が低下する。

有峰湖の硫酸イオン濃度は湖底付近よりも表層付近で濃度が低下した。また、2020年は8月が最も濃度が低く、次いで、9月、11月の順に濃度が高くなった。2021年は各月のグラフが交差しているが、2020年と同様、11月の

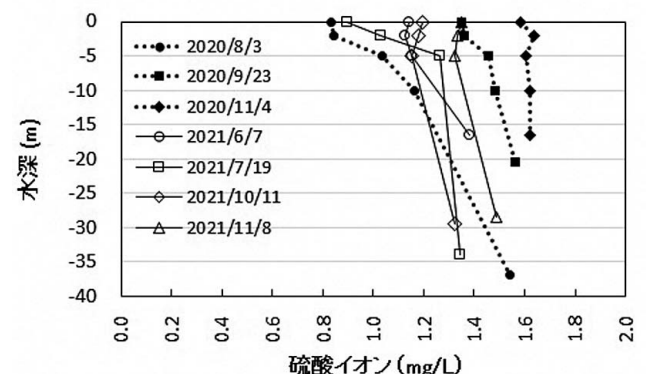


図20 有峰湖の水深に対する硫酸イオン濃度。

濃度は他の月と比べて高くなった。各月のグラフの一番下のプロットがこの調査地点の湖底位置で、水深は異なるが同じ位置での採水になる。このプロットを比較すると、2020年8月と9月、2021年の7月と11月は同程度の濃度であったが、その他の月とは異なる濃度であった。

3.3.3. 有峰湖の塩化物イオンの垂直分布

図21は有峰湖の水深に対する塩化物イオン濃度の変化を月ごとに示したものである。塩化物イオンの起源は降水で、温泉水が流入すると濃度が高まる。図21の濃度から考えて、有峰湖の水の塩化物イオンは降水起源と考えられる。

水深に対する塩化物イオン濃度の変化は硫酸イオン濃度の変化と同様、湖底で濃度が高く、水面付近で濃度が低くなる傾向が見られた。硫酸イオンと若干異なる点は、水面から水深5 mまでは同程度の濃度になる月が多かった。また、2021年は6月7日、7月19日、10月11日は湖底の濃度がほぼ同じとなった。さらに、11月8日は水面から湖底までほぼ同じ濃度となっていた。

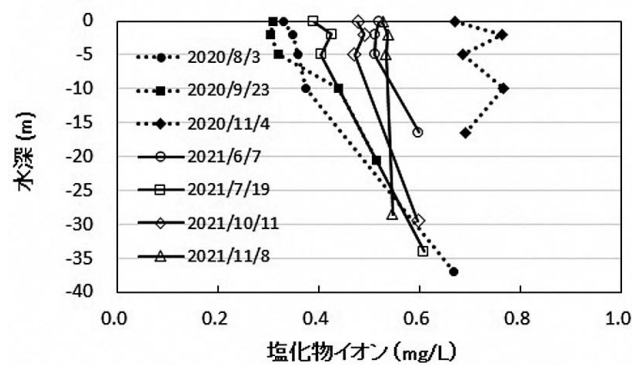


図21 有峰湖の水深に対する塩化物イオン濃度。

3.3.4. 有峰湖のジェオスミンの垂直分布

図22に2020年と2021年の有峰湖の水深に対するジェオスミン濃度を示した。ジェオスミン濃度は水面よりも水深2 m, 5 m, 2~10 mで濃度が高くなる場合が多く、

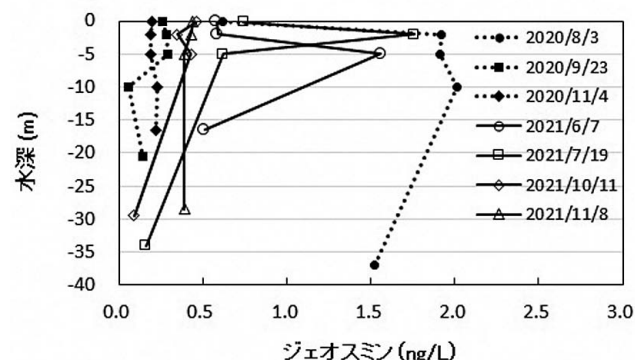


図22 有峰湖の水深に対するジェオスミン濃度。

湖底では表層と比べて濃度が低下した。また、水温が低く微生物の活動が低下する11月は、2020年、2021年ともに、水面から湖底部まで濃度に大きな違いは見られなかった。

同じカビ臭成分の2-メチルイソボルネオールも同様な傾向が見られた。しかし、2-メチルイソボルネオールは水面よりも水深2 mの方が低濃度になる場合が多く見られた。

3.3.5. 有峰湖のTOCの垂直分布

図23は有峰湖の水深に対するTOCの垂直分布を示したものである。TOCは水面で最も高くなる場合、水面よりも水深2 mで最も高くなる場合、水面から水深5 mまたは10 mまで高い場合などいくつかのパターンが見られた。これに対して、湖底層のTOC濃度は、多くの場合、水面付近と比べて濃度が低かった。TOCは有機物中の炭素量を示すことから、微生物が産生するジェオスミン濃度が高くなる水面付近（図22）でTOC濃度が高くなる点は、水面付近にプランクトンをはじめとする微生物量が多いことと関係しているものと考えられた。

また、図示しなかったがCOD、濁度や色度についても、表面層付近の方が湖底部よりも濃度が高くなった。

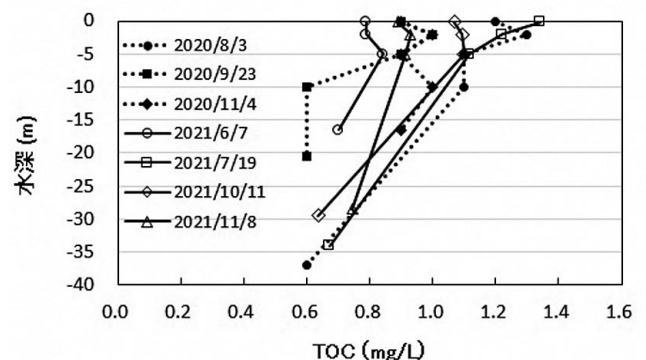


図23 有峰湖の水深に対するTOC濃度の変化。

3.3.6. 有峰湖の硝酸イオン濃度の垂直分布

硝酸イオンは湖水中の植物プランクトンの増殖に必要な栄養塩の一つである。図24は硝酸イオン濃度の垂直分布を示したものである。図23のTOCのグラフを鏡で反転したようなグラフとなった。

湖底部の硝酸イオン濃度は0.3~0.7 mg/L存在していた。水面から水深5 mまでの硝酸イオン濃度は、2020年11月4日、2021年6月7日、および、11月8日を除いて、湖底部の数分の1程度の濃度しかなかった。水面付近の硝酸イオン濃度が湖底部と比べて大きく低下した原因は、植物プランクトンなどによって消費されたものと考えられた。

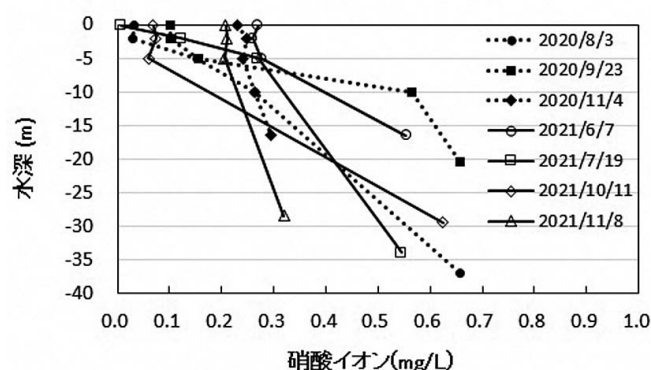


図24 有峰湖の水深に対する硝酸イオン濃度。

また、植物プランクトンが光合成によって生成するブドウ糖の量と呼吸によるブドウ糖の消費量が同じになる水深は透明度の2倍程度の水深までで（鈴木，1994），2020年，2021年の透明度が1.8～6 mであったので，水深4～12 mぐらいまでが光合成可能な水深と考えられた。

これらに対して，2020年11月4日（湖底からの取水に切り替わっていると思われる）は水面の硝酸イオン濃度は0.23 mg/Lあり，リン酸イオン濃度も0.11 mg/L存在していた。この日は3.3.1.で記述したように日中にも湖水の上下循環が起きていたと考えられ，下層の栄養塩濃度の高い水が湧き上がってきていたと考えられた。これに対して，2021年11月8日（湖底からの取水に切り替わっていると思われる）は気温が15.5℃，水面の水温は12.2℃で，水面の水温が最も高く，水深が深まると水温が低下していることから，まだ水温成層が残っている状態で，調査時には下層水の上昇は考えられなかった。水面の硝酸イオン濃度は0.21 mg/Lあるのに対し，リン酸イオン濃度は0.00 mg/Lで，植物プランクトンはリン酸が無いために硝酸イオンを吸収できない状態にあると推定された。なお，透明度は6.5 mであった。これらに対して，2021年6月7日（表層からの取水時期）は気温が26.5℃，水温が15.6℃で，水面には硝酸イオン濃度が0.27 mg/L存在していたが，リン酸濃度が0.00 mg/Lであった。当日は，水深が深くなると水温が大きく低下し，湖水は十分に水温成層していると考えられ，2021年11月8日と同様な状況と考えられるが，4.2.2.の論議により，下層から水が上昇して植物プランクトンが大量に発生していた可能性もある。なお，この日の透明度は，濁りがあり，2.0 mであった。

3.3.7 西湖の水温，溶存酸素濃度，塩化物イオン，硫酸イオン，硝酸イオンの濃度の垂直分布

図25は1994年10月4日に行った西湖の湖心の水深に対する水温と溶存酸素濃度（A），および，硫酸イオン，塩

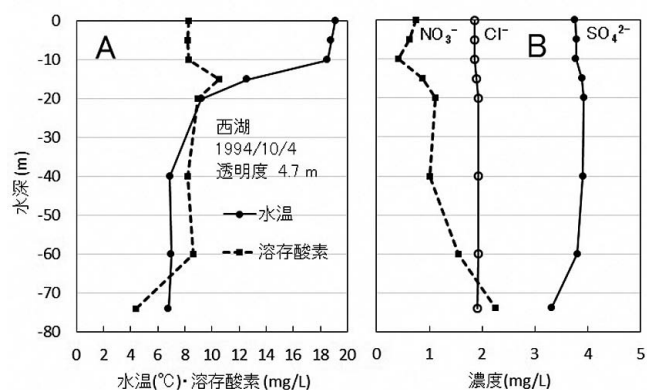


図25 西湖の水深に対する水温・溶存酸素濃度の変化（A）と硝酸イオン・塩化物イオン・硫酸イオンの濃度変化（B）（1994年10月4日調査）。

化物イオン，硝酸イオンの濃度（B）を一つの図にまとめたものである。調査ではバンドーン採水器を使用して水深20 mまでは5 m毎に，水深20～60 mは20 m毎に採水し，さらに，湖底の水深74 mを採水した。水温と溶存酸素濃度は採取した試料を使用して計測した。

水深に対する水温の変化から（図25A），表水層は水面から水深10 mまで，水温躍層は水深10～20 m，底水層は水深20 m以下と考えられた。西湖の水深に対する溶存成分濃度の変化（図25B）は，有峰湖（図20，図21，図24）とは大きく異なり，生物に利用される硝酸イオンを除いて，塩化物イオン，硫酸イオン，さらに，溶存酸素濃度も，大まかに言えば水面から湖底付近まで，塩化物イオンは湖底まで濃度変化がほとんどない点の特徴であった（厳密に言えば，塩化物イオンと硫酸イオンの濃度は水深15 mから水面に向かって濃度が若干低下していた）。また，湖底で見られる特徴として，溶存酸素濃度が低下している点（しかし，無酸素状態ではなかった），湖底堆積物から硝酸イオンが供給されていると考えられる点，硫酸イオンは湖底堆積物の還元環境のために濃度が低下していると考えられる点などであった。

また，図示しなかったが，水深に対する電気伝導度の変化は比較的小さく，水面で78.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，水深20 mまで増加して水深20 mで83.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，ここから水深60 mまでは低下して水深60 mで81.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ，湖底の水深74 mで85.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ であった。

4. 考察

4.1. 有峰湖と西湖の水質の類似点と相違点

有峰湖と西湖の水質は共に環境基準のA型に指定されている。両者の水質項目の類似点として以下のような点がある。表層のCOD値の年度平均は西湖の方が若干低いと同程度の値で推移し（図13），全窒素濃度の年度平均は，1989年から2004年までは西湖の方が有峰湖よりも

高かったが、2005年以降は両者が同程度の濃度で推移した（図14）。これらに対し、有峰湖と西湖の全リン濃度の年度平均は西湖の方がやや高めであったが、同程度であった（図15）。さらに、水色も2016～2018年のデータを比較する限り、同レベルであった（図17）。

これらに対して、相違点では、西湖の溶存酸素飽和率が有峰湖と比べて高い点（3.3.1.）、表層の pH 値は西湖の方が有峰湖よりもかなり高い点（図11）、透明度に関しても、西湖の年度平均値は有峰湖のその2倍程度も大きい点がある（図16）。

このほか、有峰湖は鈴木（1994）によれば温帯湖の分布域に属し循環期が年2回あると考えられるのに対し、西湖は熱帯湖で循環期は年1回しかなく、2019年のデータによれば循環期は3月初めごろに起きていた（図19）。

4.1.1 西湖の水深に対する溶存酸素濃度の変化

西湖では水深10 mほどの位置に溶存酸素濃度が異常に高い層があり（図19B）、8～10月は特に高く、2019年9月3日の水深10 mの水温は14℃に対し、溶存酸素濃度は15.8 mg/L にもなり、飽和率は160 %ほどにもなっていた。また、pH は9.9にもなっていた。この現象は1994年に参加した調査の際にも起きていたが（図25）、調査の主目的が湖底湧水であったため、この現象については言及しなかった。

水深10 m付近に形成された溶存酸素濃度・飽和率が非常に高くなる層は pH も高くなっている点から、植物性プランクトンが多く生育し、光合成が行われているものと考えられた。また、この年の8～10月の透明度は8～9 mあることから、透明度の2倍程度の水深まで光合成が可能という点を考えれば（鈴木，1994）、この水深で光合成は十分に可能と考えられた。また、この層の上面は水深8 m程の所にあることから、この層の中にセッキ板が入ることでセッキ板が見えなくなっている可能性が考えられた。さらに、この層の水色が湖水の水色に何らかの影響を与えている可能性も考えられた。

水深10 m付近の層で溶存酸素濃度が高くなる原因として、この層に流入河川や湖底湧水が流入し、栄養塩が供給されている可能性が考えられた。

これを1994年の調査データ（朴木，1995）から検討すると以下のように考えられた。調査時に西湖の北側の湖岸に流入する5つの主要河川について河川の断面形状を測量し、その場所の水深と流速を計測して流入量を計算した結果、5つの河川の流入量合計は1,060 m³/h（0.29 m/s）であった（未公表）。

西湖の水深15 mの水温は12.6℃で、同時に調査した5本の流入河川の水温は12.3～16.5℃であった。流入河川

の硝酸イオン濃度は1.0～4.1 mg/L、リン酸イオン濃度は0.000～0.027 mg/L で、調査当日の透明度は4.7 m であった。しかし、山梨県の公共用水域水質測定結果による平成6年度の西湖の透明度（山梨県ホームページより）は6.5～9 mで、10月12日調査分では7.5 mとなっており、水深15 mでも光合成が行われていたと考えられる。

ちなみに、西湖の北側の湖岸近くの水深12～16 mの所に湖底湧水が湧出しており、ここにマリモ（*Cladophora aegagropila*）が群落を形成していた（佐野 ほか，1995）。調査した湧水帯の水深はちょうど湖水の溶存酸素濃度が高まった水深付近であることから、西湖の湖底湧水の湧出量が流入河川の流入量よりも多い場合は、湖底湧水も水深15 m付近の溶存酸素濃度の増加に寄与していた可能性がある。

ただ、上記のような状況が少なくとも8～10月の3か月間も続くのかどうかは確認する必要がある。

4.2. 有峰湖の流入河川・導水の流入水深の推定

有峰湖と西湖の水の大きな違いとして、水色はどちらも同程度であるのに対し、透明度は西湖の方が2倍程度高い。このため、調査時に観察する有峰湖の水は、透明感があまりなく、抹茶を溶かしたかのように見える場合もある。有峰湖の表層付近の TOC 濃度は下層と比べて高く（図23）、硝酸イオン濃度は表層の方が下層と比べて低くなり（図24）、植物プランクトンなどに利用されている可能性が高い。また、有峰湖と西湖の水深に対する無機イオン成分濃度の変化を比較すると（図20，21，25）、西湖では循環期に形成された濃度分布が10月まで大きく変化せずに保持されている可能性が高いのに対し、有峰湖では、水源調査地点での調査水深の場合、水深が深くなるほど溶存成分濃度が高まる点や同一水深の場所でも1か月で濃度が変わってしまう点などから、各成分濃度の変化に対する流入河川・導水の影響がかなり大きいものと考えられた。

4.2.1. 有峰湖の流入河川・導水の流入水深の推定

有峰湖の公共用水域水質測定結果の1993～1995年の水面、水深20 m、水深50 mの水温データを利用し、水深20 m以浅と20 m以深について水深1 mあたりの水温変化を計算し、これに朴木（1996）で報告されている有峰湖の流入河川の1993～1995年の水温データを比較し、比例配分によって流入河川が有峰湖に流入する水深を計算した。この前提条件として、流入河川・導水の水は、有峰湖の水温と一致する水深に流入するものとした（図26）。

図26で見ると、1993年10月2日の場合、不動谷の水は水深20.0 mに、西谷の水は水深21.6 mに、金木戸谷から

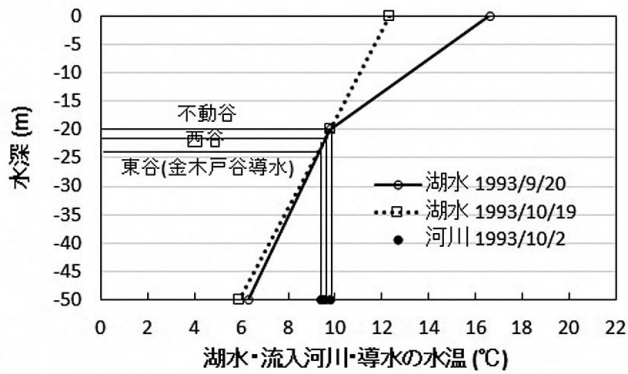


図26 流入河川および導水が流入する水深の推定。

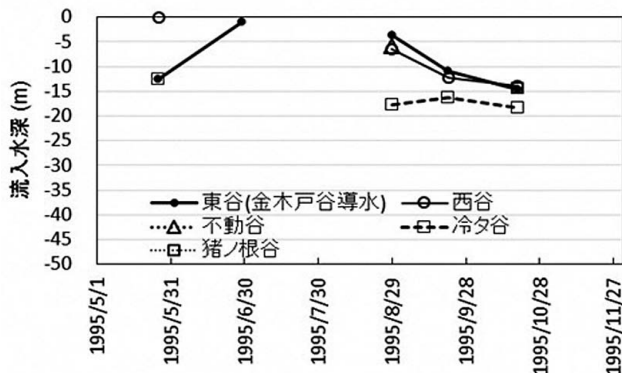


図27 流入河川と導水の推定流入水深。

の導水が流れる東谷の水は水深23.2 mの位置に流入していたと推定された。また、1994年は夏以降の水深20 m、50 mのデータが欠測になっていたため、5月18日分しか計算できなかったが、東谷が水深29.4 m、西谷が水深15.0 m、不動谷が水深53.8 m、真川（折立からの真川導水の取水口の少し上流）が水深48.1 mであった。さらに、図27は、1995年の場合について推定した流入河川と導水が有峰湖に流入する水深である。

図27や1993年10月2日、1994年5月18日の推定結果を総合すると、5月末ぐらいまでは流入河川の水温が低いため、有峰湖の水深15～30 mぐらい、河川によっては50 mぐらいの深い位置に流入し、6月下旬以降には流入する水深が上昇して水面近くに流入する場合もある。気温が少し低下する8月末では流入する水深が4～6 m程度になり、秋が深まるにつれて流入する水深は再び深くなり、10月中旬には水深15～20 m程度になるものと推定された。

4.2.2. 有峰湖の湖内の水循環の推定

4.2.1.の論議から、有峰湖では春先の循環期で水質が均一化した後、5月上旬頃までは流入河川や導水された水が水深30～50 mの比較的深い位置に流入する。5月上旬頃から有峰湖では発電用の水を表層から取水しているため、有峰湖に流入した水は上層に向かってひろがり、

流入位置の上層の湖水を押し上げ、水面の水は発電のために湖内から流出している。このような状況下では、見かけ上の水温成層が形成されていても、湖水は、流入河川が流入する水深から水面に向かって、非常に小さな流れであると思われるが流動していると考えられる。

夏になって流入河川・導水の水温が上がると、これらの水が有峰湖の水面近くに流入し、取水口に直接向かう事になり、流入河川・導水が流入する水深よりも下層では、成層が起きて水の上下移動が停止していると考えられる。ただ、有峰湖の流入河川は多数あり、水温もそれぞれ異なるため、流入する水深にはかなりの幅があるものと考えられる。秋になって流入河川・導水の水温が低下すると、流入する水深が、再び、深くなり、5月頃と同様な状況になるものと考えられる。

また、雨量が多かったり、雪解けが急に進んだりして流入量が急に多くなる場合は、水深に対する水温変化の小さい層が湖水のある層に厚く広がる可能性が考えられる。図18Aの6月10日のグラフの水深8～11 mの区間、10月21日の水深4～7 mの区間、もしかしたら、7月1日の水深0～8 mの区間（表水層）がそのような状況にあった可能性がある。

上記の状況から考えると、発電用の水が表層から取水される5月初めから10月末ぐらいまでは、有峰湖の水面から水深20 m程度の表層水部分には導水や流入河川の水が通過していると考えられる。このため、これらの水の水質が有峰湖の表層部の水質に大きく影響していると考えられる。さらに、見かけ上水温成層していると考えられる状況下でも、植物プランクトンが活動する水面から水深5 m程度の層に向かってそれよりも下層の水が上昇して栄養塩を供給することにより、水質データと比べてプランクトンの発生量が多くなっている可能性が考えられる。これによって水面付近の植物プランクトン量が増加し、透明度が低下している可能性が考えられた。

これから考えると、有峰湖の水質を今後も良好な状態で維持していくためには、流入河川や導水の水質を良好に維持する必要がある。幸いにも、有峰湖の集水域内には人が住む集落は無く、全て自然林や山岳域などに覆われていることから、集水域の森林を保全することで、流入水に含まれる栄養塩濃度を低い状態で維持できることが期待できる。また、酸性雨現象のさらなる改善により、降水中の硝酸イオンやアンモニウムイオンなどの栄養塩の濃度が低下すれば、これも有峰湖の水質維持に寄与する可能性がある。

一方で、有峰湖の湖底堆積物から供給されているはずの栄養塩については、今回の調査結果からは見えてこなかった。しかし、何らかの影響は出ていると推定される

ことから、底層水中の栄養塩の動向を知る必要がある。水源調査では新中地山発電所の放流水を調査しているが、この発電所は有峰湖から取水している和田川第二発電所の放流水を受けて和田川の水を混合する新中地山ダムから取水している。11月から翌年5月上旬までは、和田川第二発電所は有峰湖の標高1,004 mの位置（満水時では水深84 mの位置）にある取水口から取水するため、和田川の水の寄与分を推定して除去することで底層水中の栄養塩の動向が見える可能性がある。

さらに、上記の状況が主要な導水や流入河川の水温・水質との関係からも確認できるようになると有峰湖の湖内の水の動きがさらに正確に見えてくるものと考えられた。

5. 結論

有峰湖の COD 75 %値や全窒素濃度の数値などから、有峰湖は環境基準のA類型を維持しており、貧栄養湖の状態と言える。しかし、過去6年間の調査では、有峰湖の表層の水色は緑から黄緑色を呈している場合が多く、透明度も比較湖沼の西湖と比べて1/2程度しかなく、特に表層付近の植物プランクトンの発生が多いように思われた。

有峰ダムでは、春から秋まで、流入河川や導水の水が水面から水深20 m程度の層を通過していると推定された。発電用の水は、この時期は、有峰湖の水面付近から取水されているため、水面付近に下部の水が上昇して栄養塩を供給し、プランクトン量が多くなっている可能性が考えられた。

有峰湖の水質を維持するためには集水域の森林を保全し、栄養塩の流出をなるべく低くする必要があると考えられた。

6. 謝辞

水源調査に際し、北陸電力株式会社の承諾を得ました。また、公共用水域水質測定結果を富山市環境部より提供していただきました。ここに厚くお礼申し上げます。

7. 参考文献

- 北陸電力, 2021. 有峰ダム. <https://www.rikuden.co.jp/pr/arimine.html> (閲覧日: 2022年2月5日).
- 朴木英治, 1995. 第5節 湖水・湧水および流入河川の水質. 西湖のフジマリモ-生育状況と環境-, pp. 58-67. 山梨県足和田村.
- 朴木英治, 1996. 有峰湖流入河川の水質. 常願寺川(有峰地域)自然環境報告, pp. 317-328. 富山市科学文化センター.
- 朴木英治・川村祐史, 2020. 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. 富山市科学博物館研究報告, (44): 27-33.

堀令司・竹林秀明・寺田龍郎・道端斉, 1981. 有峰湖の湖水中の炭素量と堆積物について. 富山県自然保護協会編「有峰の自然」, pp. 123-129. 北陸電力株式会社.

国立環境研究所, 2021. 数値環境データベース.

<https://www.nies.go.jp/igreen/> (閲覧日: 2022年2月5日)

佐野修・新井章吾・綿貫 啓・若菜勇, 1995. 第2節 分布様式と生育環境の概要. 西湖のフジマリモ-生育状況と環境-, pp. 34-42. 山梨県足和田村.

鈴木静夫, 1994. 湖沼の環境. 水辺の科学, pp. 3-34. 内田老鶴圃.

高倉盛安・藤森一郎, 1981. 常願寺川水系の水質. 富山県自然保護協会編「有峰の自然」, pp. 93-122. 北陸電力株式会社.

富山県, 2021. 湖沼の主要測定地点(環境基準点)における水質測定結果. 富山県環境白書 平成2年版~令和2年版. <https://www.pref.toyama.jp/1705/kurashi/kankyoushizen/kankyou/kj00009135/index.html> (閲覧日: 2022年2月5日).

山梨県, 2021. 平成6年度公共用水域水質測定結果, 富士五湖. <https://www.pref.yamanashi.jp/taiki-sui/sokutei.html> (閲覧日: 2022年2月20日).

吉村信吉, 1934, 31水色. 湖沼学, pp. 107-110. 三省堂.