

水質汚染

—湖沼の富栄養化と貧酸素化—

宮原 裕 一

1 小宇宙としての湖沼

1・1 湖沼の形成と消失

湖と沼、そして池、これら名称の区別は明確ではなく、いずれも、窪地が形成され水がたまっただけのものを指す。天然湖沼の成因は、①火山活動、②構造運動、③浸食作用、④せき止め作用によるものの四つに大別されるが、複数の作用がかかっているため、どれを主な成因とするか困難なこともある¹⁾。また、ため池やダムのように人工的に造られた湖沼もある。

湖沼は、集水域で生じた土砂や湖内で生産された生物遺骸が湖底に堆積するため、その水深は次第に浅くなり、湿原、草地を経て、やがて乾いた陸地へと遷移する運命にある。また、せき止め湖は、決壊により突然消失することもある。一方、地殻変動が続く場所に存在する湖（構造湖）の寿命は長く、10万年を超えて存在し続ける古代湖と呼ばれる湖が地球上には20ほどある。わが国の琵琶湖、バイカル湖（ロシア）やタンガニーカ湖（タンザニア・コンゴほか）がその例で、湖固有の生物（固有種）が生息している²⁾。湖は閉鎖性が強く、その水質環境や生態系は湖ごとに固有で独立している傾向が強い。小宇宙（microcosmos）と言われる所以でもある。

1・2 湖沼を特徴付ける環境

湖の環境は集水域と無関係ではない。湖沼の水は、湖面を含めた集水域への降水によって賄われているからである。水収支で収入にあたる湖への水の流入には、湖面への降水、河川からの流入、地下水の流入があり、一方、支出にあたる湖水の流出には、河川への流出、地下水としての流出、湖面からの蒸発がある。湖水の入れ替わりの速さの指標である「滞留時間」は、湖の容積を単位時間当たりの流出量で割ったものである。滞留時間は、降水量が多ければ短く、降水量が少なければ長くなる。わが国最大の琵琶湖の平均滞留時間は約2000日とされ、湖水の入れ替わりには何年も要する。滞留時間の長い湖沼で、一旦、水質が汚染されてしまうと、その回

復は容易ではない。水質汚濁が深刻化した手賀沼（千葉県）では、利根川から導水を行い、滞留時間の短縮を図り水質が改善した。湖の水質変化を理解するためには、季節変化だけでなく、水の入替わりも考慮する必要がある。

もうひとつ湖の環境を考えるうえで、重要な要素として水深が挙げられる。淡水湖沼では、夏季に日射により表層水が暖められ、底層水との温度差から水温成層（表層水の密度が底層水の密度よりも小さい）が形成される。湖の水深によって水温成層の強度や形成期間は異なる。浅い湖であれば、風によって容易に湖水が混合し、水温成層は短期間で崩壊するが、深い湖では、夏季に形成された水温成層は表層水の温度が底層水の温度と同じになるまで、時には冬季まで継続する。また、冬季に結氷する湖では、水の密度は4℃で最大となるため冬にも水温成層が生じる。このように、我が国には水深や気候に応じて、温暖一回循環湖（亜熱帯湖）と二回循環湖（温帯湖）がある。さらに、水温だけでなく、汽水湖のように、塩分濃度の違いによって成層が形成されることもある。成層が形成されると、表層と底層の水の鉛直混合が生じにくくなるため、湖水中での物質循環に大きな影響が及ぶ。

さらに、湖の水質を考えるうえで、光環境も重要である。日射の届く湖表層では植物プランクトンの光合成が呼吸を上回るが、底層では光が弱く呼吸が光合成を上回るようになる。この光合成と呼吸が釣り合う水深を「補償深度」と言い、それよりも上層を生産層、下層を分解層と言う。補償深度は、その時々によって変化するが、湖面に届いた光が吸収や散乱によっておよそ1%に減衰する深さであることが経験的に知られている。この補償深度は、光量子計で光の強度を測定することで推定できるが、「透明度」からも推定できる。透明度とは、直径20から30cmの白色円板（セッキ板）を湖水中に沈め、視認できる限界の深さである。透明度は光の強さが約15%に減衰する深さであることが経験的に知られている。光の強さは水深とともに指数関数的に減衰する（ランベルトの法則）ため、透明度の2から2.5倍の水深が補償深度となる³⁾。生産層では光合成により水中に

酸素が供給されるが、分解層では微生物による有機物の分解により酸素が消費されるため、時には無酸素状態となることがある。この還元的な環境は、溶存酸素濃度や酸化還元電位の測定から知ることができる。最近、溶存酸素濃度の測定は、ウインクラー法による滴定よりも、隔膜電極溶存酸素計もしくは光学式センサ溶存酸素計（蛍光式）が主流となってきている。

1.3 湖沼生態系

湖沼の主な一次生産者は植物プランクトンである。動物プランクトンも含め、プランクトンは、遊泳能力が乏しく、浮遊生活をしている。湖沼では、植物プランクトンの生産した有機物を魚類へと橋渡ししているのが、動物プランクトンである。このような、植物プランクトン→動物プランクトン→魚類といった食物連鎖を「生食連鎖」と言う。一方、大きな塊を形成し動物プランクトンに摂食されにくい植物プランクトンや生物の遺骸は、水中の細菌類の餌となる。この細菌類も動物プランクトンに摂食される。このような、細菌類を介した食物連鎖を「腐食連鎖」と言い、生食連鎖とともに湖沼生態系を構成している。動物プランクトンには植食性だけでなく動物プランクトン食性のもものも、魚類には動物プランクトン食性だけでなく魚食性のもものもいるので、魚食性の鳥類、底生生物も含め多様な生物から湖沼生態系は成り立っている。

2 湖沼の環境問題

2.1 富栄養化

2.1.1 富栄養化とは

湖沼における環境問題として「富栄養化」が挙げられる。陸水の事典には、「調和型湖沼は、窒素、リンといった植物の栄養成分の濃度が低い貧栄養湖、それらの濃度が高い富栄養湖と、両者の中間の中栄養湖に分けられている。一つの調和型湖沼の生成から現在までの変化を追うと、それぞれの湖沼は遅速の差はあっても、貧栄養から中栄養へ、そして富栄養へと遷移していくとされる。この湖沼での遷移過程を、湖水の栄養レベルが上がっていくことから富栄養化あるいは富栄養化現象と呼んでいる。湖沼は閉鎖性の強い水域で、流入する物質を貯留する性質を持っている。流入した栄養物質は、溶存態であれば植物プランクトンに吸収、利用され、湖内の生態系に組み込まれ、循環、蓄積されていく。植物の基礎生産力は栄養塩としての窒素、リンの濃度に依存するので、栄養塩濃度の増加は生物生産力を高め、湖内の生物量を増加させることになる。」とある⁴⁾。つまり、湖沼の水質が、長年にわたり非人為的に自然遷移していく過程が（陸水学における本来の意味での）富栄養化である。陸水の事典に続けて記述があるが、環境問題となっている富栄養化は、このような自然遷移による富栄養化

ではなく、人間活動にともなう急激な富栄養化である。人為的な富栄養化は、水質汚濁を引き起こし、ヒトや湖沼生態系に大きな影響を及ぼすため世界各国で問題となっている。ここでは、筆者が研究対象としている諏訪湖（長野県：富栄養湖）を例に、環境問題としての富栄養化のしくみ、問題点、その対策について解説する。

2.1.2 富栄養化のしくみと問題点（諏訪湖を例に）⁵⁾

諏訪湖は、糸魚川-静岡構造線にある構造湖である。現在の湖面積は約 13 km²、最大水深は約 6 m であるが、堆積物は 200 m 超と、湖の形成時は現在よりも深く大きな湖だったと考えられている。諏訪湖における学術調査の歴史は古く、1904 年から 1907 年にかけて、田中により様々な調査研究が行われた⁶⁾。当時、盛んであった製糸業の廃水によって諏訪湖の人為的な富栄養化は始まっていたようであるが、目に見えて諏訪湖の水質が変化したのは、1960 年代の高度経済成長期である。当時、諏訪地域に下水道は整備されておらず、諏訪湖に生活排水や工場廃水が垂れ流しになっていた。これら排水には植物プランクトンの栄養成分である窒素やリンが高濃度に含まれ、湖水中の栄養塩濃度が急激に上昇した。

諏訪湖では、この栄養塩濃度の上昇により、植物プランクトンが増殖し、湖面に緑色のペンキを流したようなアオコ（水の華）が発生した。アオコは、シアノバクテリア（藍藻類）が群体を形成したもので、なかには有害な毒素を生産する種もある。幸い、諏訪湖の湖水は水道水源として使われていないが、諏訪湖の流出河川である天竜川を緑色にし、その影響は数十 km 下流の伊那市でも確認された。一般にアオコが発生すると、湖面近くでは光合成により溶存酸素濃度は過飽和になるが、透明度が著しく低下するため、浅い湖であっても底層では呼吸が光合成を上回り、アオコの分解にも酸素が使われ、溶存酸素濃度が低下する。水生生物にとって溶存酸素濃度の低下は致命的で、特に貝などの底生生物はその生存に大きな影響を受ける。また、アオコの分解時に生じるアンモニア臭やカビ臭なども、景観の悪化とともに問題となる。

急激な富栄養化の主たる原因は人為的に排出された窒素・リンであり、その主要な発生源は、生活排水や工場廃水といった発生地が特定できる点源と、農地や市街地といった発生地が広域にわたる面源に大別される。単位面積あたりの流出量は少ないものの自然の山林からも窒素・リンは供給されている。これらをまとめて「外部負荷」と呼ぶ。湖沼に流入した窒素・リンは生物に取り込まれ、その遺骸は底泥へと移行し、そこで分解され窒素・リンは無機化される。この底泥からの窒素・リンの回帰（溶出）も重要な湖水への窒素・リン供給源であり、「内部負荷」と呼ばれる。内部負荷は湖内での窒素・リンの循環によるものであり、集水域で外部負荷の対策が行われても、底泥にため込まれた窒素・リンが多けれ

ば、対策の効果が表れるまで、長い時間が必要となる。

湖に流入した窒素・リンは湖水中の植物プランクトンの増殖を促し、時にはアオコを発生させる。これは光合成によって水中の有機物が増えることを意味し、この有機物の分解にともなう酸素消費が水生生物に影響を及ぼす。そこで、湖沼水質の環境基準（生活環境項目）として、全窒素・全リンだけでなく、有機物の指標として、化学的酸素要求量（chemical oxygen demand, COD）が測定されている。

CODの測定法には何種類かあるが、我が国では酸性高温過マンガン酸法が公定法として採用されている⁷⁾。この方法は、有機物を酸化する力が弱いため、水中の有機物濃度を過小評価することがあると指摘されている。近年では、総有機炭素（total organic carbon, TOC）を分析機器で容易に測定できるようになったため、水中の有機物量をTOCとして把握する動きもある。湖水中の植物プランクトン量は、顕微鏡下での計数以外に、光合成色素（クロロフィル）の量から把握することができる。湖水をろ過し集めた浮遊物質からメタノール、エタノールあるいは10%含水アセトンでクロロフィルを抽出し、その特異的な吸光や蛍光を利用し定量することができる⁸⁾。

2・1・3 富栄養化の対策（諏訪湖を例に）⁹⁾

諏訪湖集水域では、点源汚染の対策として、諏訪湖流域下水道が敷設された。この流域下水道は、家庭排水と工場廃水を対象としており、雨水管が接続されていない分流式下水道であるため降雨時の越流による影響は少ない。一方、我が国で古くに敷設された下水道の多くは、生活排水と雨水を同じ下水道管に取り込むため（合流式下水道）、降雨のたびに下水が周辺河川・海域に流れ出し、水質汚染を引き起こす原因となっている。この越流時には、生活排水に含まれる化学物質だけでなく、ヒト由来の細菌も同時に水域に流れ込むため、公衆衛生的な問題も引き起こす可能性がある⁹⁾。

さて、諏訪地域の流域下水道の工事は1973年に始まり、1979年10月に湖周の3市町で下水道の供用が開始された。現在、この流域下水道では、湖周の7市町村から排出される下水を集め、豊田終末処理場で処理している。供用開始時の下水道の普及率は10%であったが、2000年には90%を超え、現在では、ほぼ100%の普及と接続率となっている。下水道への接続には住民の費用負担も発生するが、このように比較的短期間で諏訪地域に下水道が普及したのは、地域住民の危機感と諏訪湖への想いを表したものと見える。

豊田終末処理場では、一般的な標準活性汚泥法（標準法）による処理に加え、窒素・リンを除去する高度処理が行われている。それでも、下水処理排水中の窒素・リン濃度は諏訪湖の湖水よりも高く、下水処理排水は諏訪湖の出口である釜口水門の直上で放流され、諏訪湖の窒

素・リン負荷とならないような配慮がなされている。

下水の処理方法によって処理排水の水質は異なる。下水道の終末処理場による「標準法」や「高度処理」の他に、家庭単位での「汲み取り式」、「単独処理浄化槽」、「合併処理浄化槽」がある。このうち、浄化槽によるし尿処理の能力は低く、水洗化することで「汲み取り式」よりも、窒素・リンの排出が増えてしまうこともあるので注意が必要である¹⁰⁾。

2・1・4 透明度から見える水質改善（諏訪湖を例に）⁹⁾

下水道普及による諏訪湖水質の改善は、その透明度の変化から知ることができる。透明度は、白色の円板（セッキ板）を水中に沈め、視認できるか否かで判読するアナログな方法であるが、水の濁りや光環境といった有用な情報を得ることができる。

1907年8月に田中によって、諏訪湖で観測された透明度は2.3から2.7mであった⁶⁾。また、1949年7月の宝月らの観測値は2.0mであった¹¹⁾。しかし、1964年の夏には笠原大洋によって0.35mとそれまでにない低い透明度が観測された。さらに、1968年8月には倉沢秀夫によって0~0.1mといった観測値が得られ、1960年代に入ってから諏訪湖の富栄養化による水質汚濁が急激に進行したことが分かる¹²⁾。筆者が所属する信州大学理学部附属諏訪臨湖実験所では、1977年から諏訪湖の定期観測を行っている。この観測から諏訪湖の水質改善の様子を知ることができる（図1）。1970年代後半の夏季（6月から8月）の平均透明度は0.5m程度であったが、1999年以降、夏季でも透明度が1.0m以上に保たれるようになった。併せて、湖水中の窒素・リン濃度も下水道の普及とともに低下傾向にある。諏訪湖は集水域が広く、湖水の滞留時間が短い（平均滞留時間：50日）ため、比較的短時間で湖の水質にも変化が現れたと考えられる。それでも、下水道の供用開始から諏訪湖の水質が改善するまで20年以上の歳月がかかった。

富栄養化が進行した1960年代後半以降、諏訪湖の透明度は夏（7月から8月）に最も低下するV字型の季節変動をしていた。1999年以降は、夏よりも春や秋の透明度が低いW字型の季節変動をするようになってい

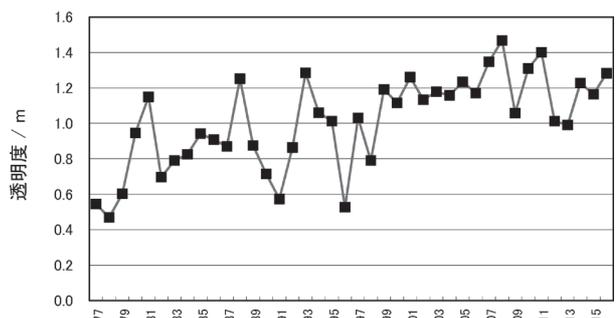


図1 夏季の諏訪湖における平均透明度の経年変化（6～8月）

る。このような季節変化は、かつての田中や宝月らの観測でも確認できる。これには、諏訪湖で夏季に弱い水温成層が形成されることが関係していると思われる。水温成層の形成により湖水の鉛直混合が抑制されると、湖底で無機化された窒素・リンは光合成が行われる表層に届かなくなり、日射は十分あっても栄養塩が不足し植物プランクトンが増えることができなくなったと考えられる。1960年代から1970年代は、窒素・リンの外部負荷が多く、このような内部循環が滞っても、湖水中に窒素・リンが十分含まれており、制限なく植物プランクトンが増えることができたと言えるのではないかと考えられる。

2000年代に入ると、諏訪湖では浮葉植物のヒシの繁茂が目立ってきた。これは、諏訪湖の透明度が改善し、今までよりも深い水深まで光が届くようになったことが原因と考えられる。ヒシは種子で増える一年草で、春に湖底に沈んだ種子が発芽し、茎を伸ばし湖面に浮葉を展開する。この際、強い光を受けられるようになったことと、底泥はヒシが好むとされる泥質で豊富な栄養塩を含むことが、ヒシの繁茂の要因となっていると思われる。

ヒシの繁茂は、諏訪湖だけでなく、達古武湖（北海道）、猪苗代湖（福島県）、印旛沼（千葉県）、三方湖（福井県）、湖山池（鳥取県）をはじめ各地の湖沼・ため池で問題となっている。主な問題点として、景観の悪化、船舶の航行障害、腐敗時の悪臭や貧酸素化が挙げられる。

2.1.5 貧栄養化

現在、富栄養化に対し、水域の「貧栄養化」が問題となっている。人為的な窒素・リンの排出が減ったことで、水産物の質の低下や漁獲量が減少している¹³⁾。諏訪湖でも、湖水中の窒素・リン濃度が低下し、主要な漁獲対象魚のワカサギの漁獲量が減少している。このワカサギの漁獲量の減少には、魚食魚のブラックバス類による捕食、冬季に飛来する魚食性鳥類による捕食も考えられる。今後、諏訪湖では、温暖化と栄養塩負荷の減少が、どのように漁獲量に影響するのか詳細に調べる必要がある。

2.2 貧酸素化

2.2.1 貧酸素化とは

近年、閉鎖性水域での底層の溶存酸素濃度の低下（貧酸素化）が問題となっている。富栄養化が進行すると多くの有機物が湖底に供給され、それを分解するための酸素消費量が増えることが主な要因である。加えて、水温成層など、湖水の混合が抑制されると、貧酸素状態が長期間継続することとなる。

貧酸素とは、その名の通り、水中の溶存酸素濃度が低いことを意味し、水生生物の生存に直接かかわる。一般に、溶存酸素濃度 3 mg L^{-1} 以下は、魚が住めないと考えられ、貧酸素の目安となる。2016年3月に、底層溶存酸

素濃度が環境基準の生活環境項目に追加された。環境基準では水生生物の生息や再生産を目安に3段階の基準 ($2, 3, 4 \text{ mg L}^{-1}$) が設けられ、水域ごとに類型指定することとなっている。この環境基準の評価には日間平均値を用いることとなっているので、溶存酸素濃度の監視にはロガー等を用いた連続的な観測が主流となるであろう。

貧酸素化は、直接的に水生生物の生息や再生産に影響を及ぼすだけでなく、その還元的な環境で生じる化学物質も水生生物やヒトに有害な影響を及ぼす。還元的な環境では、有機物の微生物分解により生じたアンモニアが水中に残存し、また、硫酸還元菌は硫酸イオンから硫化水素を生産する。これら化学物質は、いずれも水生生物に有害な作用をもたらす。さらに、還元的な環境では、オキシ水酸化鉄の還元が生じ、底泥中の鉄が吸着していたリン酸を湖水中に放出するため、さらなる富栄養化を引き起こす。同時に鉄やマンガンが大量に溶け出し水が着色すると、飲料水には適さなくなる¹⁴⁾。さらには、メタン発酵により、温室効果ガスも発生する。これら還元的な環境での化学反応の有無は、酸化還元電位から推測することができる。

2.2.2 諏訪湖の貧酸素化⁸⁾

諏訪湖では6月から8月にかけて底層の溶存酸素濃度が低下するが、秋には表層水温が下がり水温成層が崩壊することで、この貧酸素状態は解消される。諏訪湖より深い湖（例えば木崎湖（長野県：最大水深約30mの中栄養湖））では、表層の水温が底層と同じ水温に下がるまで時間がかかり、底層の貧酸素状態の解消は冬季となる。同じ深い湖であっても、貧栄養な湖沼では、底層での酸素消費量が少ないため、貧酸素状態にはならない。

諏訪湖では、富栄養化した1970年代から1980年代の夏季に、溶存酸素濃度の低い底層水が風上で湧昇し、網いけすで養殖されていた魚類が斃死することがあった。当時は、植物プランクトンによる生物生産が高かったため、底層に多量の有機物が供給され、その有機物の分解に酸素が多く使われ、底層水が貧酸素化しやすかったものと考えられる。しかし、下水道整備により水質浄

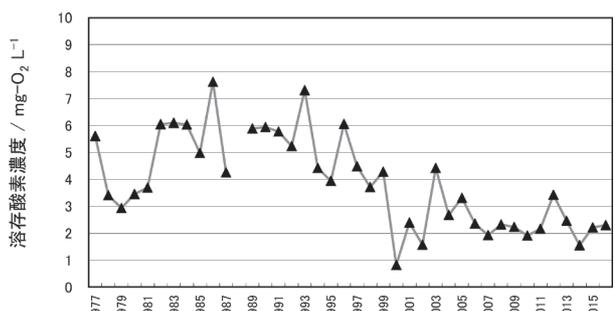


図2 夏季の諏訪湖における底層溶存酸素濃度の経年変化 (6~8月:水深5m)

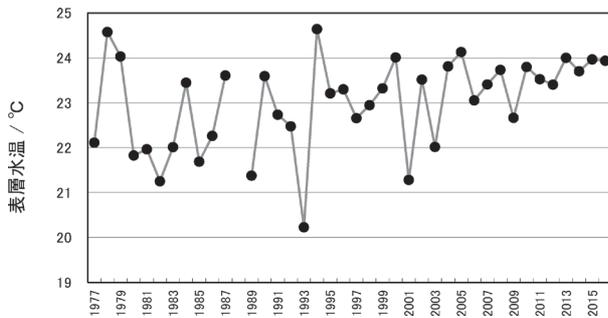


図3 夏季の諏訪湖における表層水温の経年変化(6~8月)

化が進んだ2000年以降も、夏季に諏訪湖で貧酸素は観測され、その頻度は増える傾向にある(図2)。私たち信州大学の定期観測から、諏訪湖の表層水温が上昇し(図3)、表層と底層の水温差が拡大傾向にあることが分かってきた。つまり、温暖化によって水温成層が強化されたことが、湖水の鉛直混合を抑制し、近年の貧酸素化の要因となっていると考えられる。今後、夏季の気温上昇が続けば、水温成層が強化され、底層の貧酸素化がさらに深刻化する可能性がある。

2.3 地球温暖化と諏訪湖

諏訪湖で冬の風物詩と言えば御神渡りが有名である。この御神渡りのしくみは次の通りである。湖が全面結氷した後、夜間の気温低下により氷は収縮し隙間が生じる。気温が低い場合、その隙間も氷結する。一方、昼間には気温が上昇し氷が膨張するため、結氷した氷が割れせりあがる。このように御神渡りは、昼間に氷の体積が熱膨張することが成因となっている。この現象は、諏訪湖だけでなく、北海道の屈斜路湖でも見ることができる¹⁵⁾。

一般的には「御神渡り」と呼ばれるが、地元の八剣神社の「御渡帳」に記録されていることから「御渡り」が、地元での正式な呼び名となる。この御渡りの記録は1443年から現在まで継続しており、我が国の気候変動を知る貴重な資料となっている。この記録から、1500年代初期に暖かい気候の年があったこと、1700年代から現在にかけて徐々に気温が上昇していることが分かる。最近、諏訪湖で御渡りの頻度が減少している(直近は2018年)。地球温暖化により、諏訪地域の冬季の気温も上昇しており、御渡りの前提となる全面結氷が生じにくくなっているのである。その諏訪湖に魚食性鳥類が多数飛来し、今まで結氷により守られていた魚類を捕食することが問題となっている。温暖化によって、食物連鎖をはじめとした湖沼生態系が大きく変わってきている。

結氷以外に、冬季の温暖化が湖に及ぼす影響として全層循環の遅れや消失が挙げられる。表層の水温が底層の水温よりも高ければ、季節的な鉛直循環が生じず、底層

の溶存酸素濃度は回復しない¹⁶⁾。琵琶湖(最大水深104m)では、観測史上初めて2018年の冬に全層循環が生じず、2021年2月に3年ぶりの「深呼吸」が確認された。

3 まとめ

諏訪湖では、温暖化により夏季の水温成層が強化され、湖水中の酸素や栄養塩の循環が抑制傾向にある。このうち栄養塩の循環抑制は水質浄化に相乗的に作用し透明度を向上させ、溶存酸素の循環抑制は底層溶存酸素濃度の低下を引き起こす。さらに、水質浄化にともなう透明度の改善は、ヒシの繁茂を引き起こしたが、ヒシは浮葉植物であるため、水面に葉を展開し日射を遮り、浅い沿岸部であっても、浮葉の下を貧酸素状態にする。本来、水生生物のゆりかごであった水草帯が、水生生物が住めない環境となっている。このように、環境要因どうしが互いに作用しあい湖沼環境が形成されている。

ここでは諏訪湖の現状を紹介したが、湖沼は、湖沼型(生物生産の違い)、形状、立地の気候などによって、生じる環境問題が異なる。湖沼における環境問題の解決には、それぞれ異なる小宇宙のしくみを正確に理解することが必要である。

文献

- 1) 日本陸水学会編：“陸水の事典”，p.152 (2006)，(講談社)。
- 2) 日本陸水学会編：“陸水の事典”，p.162 (2006)，(講談社)。
- 3) 西條八束，三田村緒佐武：“新編湖沼調査法”，p.50, p.123 (2000)，(講談社サイエンティフィック)。
- 4) 日本陸水学会編：“陸水の事典”，p.411 (2006)，(講談社)。
- 5) 沖野外輝夫，花里孝幸編：“山岳科学叢書3 アオコが消えた諏訪湖”，(2005)，(信濃毎日新聞社)。
- 6) 田中阿歌麿：“湖沼学上より見たる諏訪湖の研究”，p.456 (1917)，(岩波書店)。
- 7) JIS K0102-1，工業用水・工場排水試験方法—第1部：一般理化学試験方法，(2021)。
- 8) 西條八束，三田村緒佐武：“新編湖沼調査法”，p.81, p.189 (2000)，(講談社サイエンティフィック)。
- 9) Y. Miyabara, M. Imoto, S. Arai, J. Suzuki, S. Suzuki : *Environ. Sci.*, 8, 171 (1995)。
- 10) 田淵俊雄：“湖の水質保全を考える 霞ヶ浦からの発信”，p.34 (2005)，(技報堂出版)。
- 11) 宝月欣二，北澤右三，倉沢秀夫，白石芳一，市村俊英：水産研究會報，4, 41 (1952)。
- 12) 小澤秀明，宮原裕一：水環境学会誌，38 (A), 244 (2015)。
- 13) 山本民次，花里孝幸：“海と湖の貧栄養化問題”，p.1 (2015)，(地人書館)。
- 14) 山室真澄，石飛 裕，中田喜三郎，中村由行：“貧酸素水塊 現状と対策”，p.1 (2013)，(生物研究社)。
- 15) 東海林明雄：雪氷，83, 403 (2021)。
- 16) 北澤大輔：“温暖化の湖沼学”，永田 俊，熊谷道夫，吉山浩平編，p.38 (2012)，(京都大学学術出版会)。



宮原裕一 (Yuichi MIYABARA)

信州大学理学部附属湖沼高地教育研究センター諏訪臨湖実験所 (〒392-0027 長野県諏訪市湖岸通り 5-2-4). 東京理科大学大学院薬学研究科薬学専攻博士課程. 博士 (薬学). 《現在の研究テーマ》長野県内の湖沼や河川における化学物質と生物の相互作用. 《主な著書》沖野外輝夫, 花里孝幸 編: “アオコが消えた諏訪湖”, (信濃毎日新聞社), (2005). 《趣味》山歩き.

『ぶんせき』再録集 vol. 1 出版のお知らせ

ぶんせき誌の過去記事の有効利用の一環として、『ぶんせき』再録集 vol. 1 が出版されました。2011 年から 2020 年まで、10 年間分の〈ミニファイル〉の記事が詰まっています。

下記 10 章からなり、それぞれ 12 から 14 の話題が集められています。

1. 実験器具に用いられる素材の特徴, 2. 分析がかかわる資格, 3. 顕微鏡と画像データ処理, 4. 最新の web 文献検索データベース, 5. ポータブル型分析装置, 6. 分析化学と材料物性, 7. 分析化学者のための多変量解析入門, 8. 土壌分析, 9. サンプルング, 10. 前処理に必要な器具や装置の正しい使用法。

本書はアマゾンオンデマンド出版サービスを利用して出版した書籍ですので、書店には並びません。アマゾンサイトからのネット注文のみとなりますので、ご注意ください。詳しくは「ぶんせき」誌ホームページをご確認ください。