

# 上越教育大学構内弁天池の水質季節変動と底質 —小規模な池を環境教育に活用するための基礎資料の一つとして—

下村 博志\*・鎌倉 正和\*\*・増田 秀行\*\*

(平成21年9月30日受付;平成21年11月6日受理)

## 要 旨

ひと生活圏内にある小規模な池で採取した水及び堆積物試料を環境教育に活用するための基礎資料を得るため、上越教育大学構内の弁天池を対象として、水温、pH、導電率、溶存酸素濃度、硬度、アルカリ度及び化学的酸素要求量を測定した。溶存酸素濃度、化学的酸素要求量、アルカリ度と水温は明確な季節変動を示した。これらの項目で弁天池の基本的な水質変動挙動を概ね理解することができた。弁天池においては外部からの有機物の流入の影響は大きくなく、化学的酸素要求量の季節変動は水中の生物活動と関連すると考えられた。また底質分析も行い、マンガン、鉄、鉛、銅、亜鉛について含有率を測定した。

## KEY WORDS

水質 Water quality 化学分析 Chemical analysis ため池 Reservoir 堆積物 Bottom sediment

## 1 はじめに

湖沼の多くが水質の季節変動を示し、この変動は湖沼の構造、地質、気象、生物の種類と量あるいは人間活動のような様々な要因の影響を受ける<sup>(1)</sup>。新潟県内に限っても小規模な湖沼での季節変動は明確に観察されることが多く、上述の様々な要因について理解を深めるために適した資料を与えている<sup>(2)-(6)</sup>。また都市公園内の池等、人工的なあるいは相当程度人為的影響を受けていると考えられる小規模閉鎖系水域においても、藻類等による水質の季節変動が観察されている<sup>(7)-(9)</sup>。ため池や都市公園の池、あるいは城址跡堀等はひとの生活圏内にある閉鎖系水域であり教育に活用しやすく、それらの水質の季節変動に着目した教材開発も行われてきている<sup>(10)-(12)</sup>。しかしその例は十分ではなく、調査事例の増加により変動挙動の多様性を示し、教材としての有効性を高める必要があると考えられる。また湖沼の水質変動を化学的に捉えようとする試みでは、イオンクロマトグラフ等の分析機器が用いられる場合が多い。しかし教育現場で水質の季節変動を捉えようとする際は、その手法は特に容易に実施可能な方法であることが望まれる。容量分析法は高価な機器を使用せず、比較的容易かつ短時間で実施できる分析手法である。この手法と基本的なセンサーを用いて小規模閉鎖系水域の水質季節変動の概略を観察することができれば、教育現場において身近な閉鎖系水域の水質季節変動を測定し、その結果を教育に活用することが可能になると考えられる。今回上越教育大学構内のため池である弁天池を調査対象とし<sup>1)</sup>、アルカリ度、硬度、化学的酸素要求量を容量分析の手法により求め、pH、伝導度や溶存酸素濃度などの基本的なセンサーを用いてモニターし、水質季節変動を明らかにするとともに、これらの測定項目の有効性について検討することとした。また、湖沼や河川の堆積物は、流入した物質の影響を蓄積しており、物質循環を考察するうえで重要な要素である。堆積物の環境教育教材としての可能性を検討するため、その金属含有量についても分析した。

## 2 調査及び分析方法

試料採取と分析：水質分析に用いる試料の採取は上越教育大学構内弁天池（新潟県上越市）の、メインアプローチ側岸中央付近で行った。2002年12月～2003年11月の期間中に毎月1回採水した。原則として2日以上降雨がない日を選んだが、冬季は降雪時にも採取した。ペッテンコーヘル採水器を用い、水深約1mの水を採取した。水温、pH、溶存酸素濃度、導電率の測定はW-23XD（堀場製作所）を用いた。試料は午後に採取し、採取当日分析操作を完了した。分析実験に用いる水は蒸留後、適宜イオン交換樹脂などで精製したものをを用い、試薬は特級以上のものをを用いた。

本報告書中化学的酸素要求量（COD）は100℃における酸性過マンガン酸カリウムによる酸素消費量であり、測定

\*自然・生活教育学系 \*\*上越教育大学（初等教育教員養成課程）

は基本的にJIS K0102に従った<sup>(13)</sup>。試料の100mLに硫酸(1+2) 10mLを加え、硝酸銀溶液(20w/v%) 1mLを添加し攪拌した後、過マンガン酸カリウム溶液(5mmol/L) 10.0mLを加えて、十分に沸騰した湯浴中で30分間加熱した。加熱後、シュウ酸ナトリウム溶液(12.5mmol/L) 10.0mLを加え反応させた。これを溶液が暖かいうちに5mmol/Lの過マンガン酸カリウム溶液で滴定した。ブランクとしては純水を用いた。過マンガン酸カリウム溶液は使用する7日以上前に調製後ガラスフィルターでろ過し、シュウ酸ナトリウム標準溶液を用いて酸化還元滴定法により標定した。測定値はmgO/Lで表した。

アルカリ度としてJISK0101-13に規定するpH4.8酸消費量を測定した<sup>(13)</sup>。試料の100mLにメチルレッド-プロモクレゾールグリーン混合指示薬溶液を加え、これを10mmol/L硫酸溶液で滴定した。10mmol/L硫酸溶液は50mmol/L溶液を希釈して使用の都度調製した。50mmol/L硫酸溶液は炭酸ナトリウム標準溶液を用いて中和滴定により標定した。酸消費量の値はここではmgCaCO<sub>3</sub>/Lで表した。

全硬度は、文献記載のキレート滴定法により求めた<sup>(14)</sup>。ろ過した試料の50mLに緩衝液(pH10, 塩化アンモニウム/アンモニア) 2mL, 塩化ヒドロキシルアンモニウム溶液(10w/v%) 1mL, エリオクロムブラックT金属指示薬溶液を加え、エチレンジアミン四酢酸(EDTA)標準溶液(0.01mol/L)を用いて滴定した。測定値はmgCaCO<sub>3</sub>/Lで表した。全ての滴定操作は3回繰り返した。

底質分析は文献を参考に行った<sup>(15)</sup>。弁天池の底泥は2008年9月にエクスマンバージ採泥器を用いて採取した。これを2mmメッシュのナイロン製フルイに通し、遠心分離(3000rpm, 20分)後デカンテーションし湿試料を得た。これを自然乾燥した後、105℃の乾燥器中で約2時間乾燥させ、乾燥試料を得た。本報告書中金属含有率はこの乾燥試料に対する値である。乾燥試料の約1gを精密に秤量し、容量200mLのトルビーカー中で硝酸10mLと塩酸20mLを加え、時計皿で覆いホットプレート上で煮沸した。液量が約半分減少した時点で硝酸約50mLを加え加熱した。液量が約20mLになったところで放冷し、純水50mLを加え加熱し再び放冷した。これを5Bのろ紙でろ過し、不溶解物を硝酸で洗った洗液とともに、ビーカーで液量が約10mLになるまで濃縮した後、メスフラスコで100mLに定容し、これを試験溶液とした。溶液は適宜希釈し、溶液中金属含有量の測定を黒鉛炉原子吸光分析装置(日立製作所Z-8200)を用い、標準添加法により行った。試料分解から標準添加法による測定までを3回繰り返した。

### 3 結果と考察

#### 3.1 測定結果と項目間の相関係数

測定した水温(Temp), 導電率(Cond), pH, 硬度(TH), アルカリ度(Alk), 硬度-アルカリ度(TH-Alk), 溶存酸素濃度(DO), 溶存酸素飽和度(DoSat), 化学的酸素要求量(COD)を図1(a)~(i)に示す。また各項目間の相関係数を表1に示す。

表1 水質項目間の相関係数

	Temp	Cond	pH	TH	Alk	TH-Alk	DO	DoSat
Cond	-0.558							
pH	0.539	0.261						
TH	0.497	0.081	0.521					
Alk	0.758**	-0.271	0.423	0.681*				
TH-Alk	-0.695*	0.401	-0.244	-0.298	-0.902**			
DO	-0.016	0.395	0.463	-0.081	-0.287	0.327		
DoSat	0.429	0.117	0.677*	0.109	0.089	-0.051	0.887**	
COD	0.927**	-0.533	0.588*	0.361	0.697*	-0.696*	0.072	0.495

\*\*は危険率1%の水準で有意な相関があることを示し、\*は危険率5%で有意な相関があることを示す。

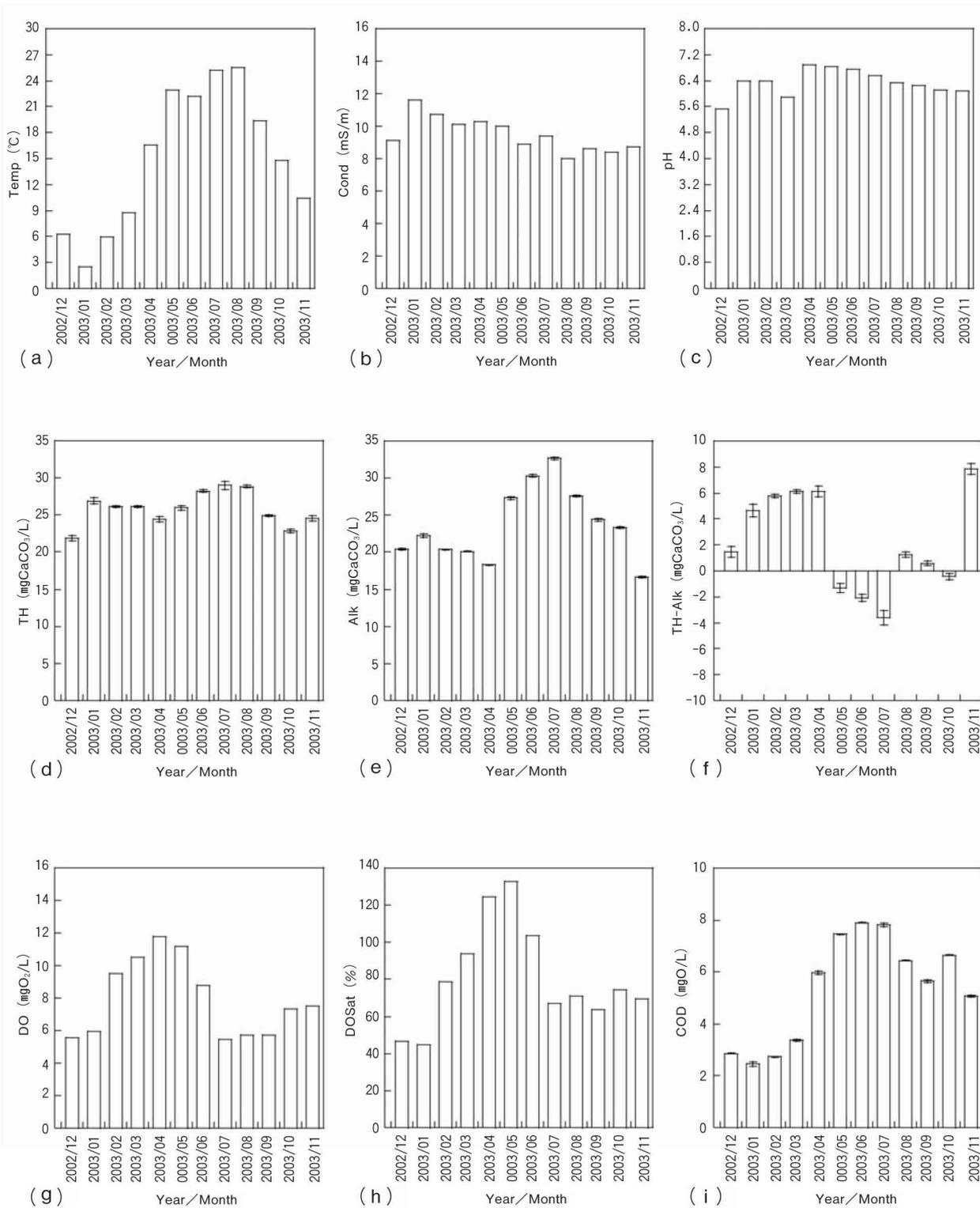


図1 水温(a), 導電率(b), pH(c), 硬度(d), アルカリ度(e), 硬度-アルカリ度(f), 溶存酸素濃度(g), 溶存酸素飽和度(h), 化学的酸素要求量(i)の季節変化

### 3.2 水温, 導電率及びpH

水温の変動を図1(a)に示す。調査期間内では1月ごろに約3℃の最低温度を示し、8月ごろに最高温度(約25℃)を記録した。水温の変動が気温の変動と連動していることから、弁天池の水温は基本的に気温によって支配され、外部からの影響は少ないと考えられた。

導電率の変動を図1(b)に示す。導電率は8~12mS/m程度を示した。この値は、海岸部にあって海水の影響を直接的に受けている湖沼を除いて、上越地方平野部の湖沼の値と大きな差はなかった<sup>(3)</sup>。1月に大きな値を示している。その後長期間にわたって導電率の低下傾向が見られた。導電率は今回取り上げたどの水質項目とも統計的に有意な相関は見られなかった。1月に導電率が突出しているのは、海水成分を含む降雪の影響のほか、多量の融雪用水の流入による突発的な現象であった可能性がある。

pHの変動を図1(c)に示す。pHは全体として冬季に低下する傾向を示した。pHは溶存酸素飽和度やCODと弱い相関も認められ、pHはある程度生物活動の影響を受けていると考えられる。新潟県の他の池でも見られるように<sup>(3)</sup>、冬季におけるpH低下傾向は降雪や融雪の流入の影響も考えられる。新潟県の降雪は多量の高塩成分を含むうえに酸性を示すことがあり<sup>(4)</sup>、また後述するアルカリ度が冬季に低下することによる緩衝能の低下とあいまって、pH低下が顕著に観測されたものと考えられる<sup>(2)</sup>。

### 3.3 硬度、アルカリ度

硬度を図1(d)に示す。硬度の季節変動は明確ではないが、夏季にやや大きな値となる傾向を示している。これは土壌と水との相互作用が促進され、かつ水の滞留時間が長期化したためであると考えられる。図1(e)に示したアルカリ度は、夏季から秋季にかけて顕著な増加がみられた。また冬季から春季にかけてやや低下する傾向が見られた。冬季と春季でアルカリ度の変動は小さいが、弁天池のアルカリ度は、冬季においても新潟県の他の湖沼と比較して小さな値ではないように思われる<sup>(4)</sup>。硬度からアルカリ度を引いた値を図1(f)に示す。夏季には硬度よりアルカリ度の方が優越する時期が見られた。アルカリ度の成分を炭酸イオンあるいは炭酸水素イオンとする単純化したモデルでは、夏季と秋季には炭酸イオンが増加し、非炭酸塩硬度が著しく減少していると解釈される<sup>(13)</sup>。pHが中性付近の湖沼では弱酸イオンのほとんどが炭酸水素イオンで占められていることから<sup>(16)</sup>、アルカリ度は呼吸量とも関係する。今回の調査では、アルカリ度とCODとに弱いながらも統計的な相関もみられた。夏季のアルカリ度の顕著な増加は有機物の分解により生じた炭酸(水素)イオンによるものであると考えられる。総括指標でありその成分に注意は払われるべきであるが、アルカリ度は湖沼のpH緩衝能の面からだけでなく、炭酸(水素)イオンの増加を検知するものとして教育上も有用な指標であると考えられる。

### 3.4 溶存酸素濃度、溶存酸素飽和度及びCOD

溶存酸素濃度を図1(g)に示す。溶存酸素濃度は早春から春季にかけて(2~6月)大きく上昇した。4月ごろを中心とする春季の高濃度季と、8月頃を中心とする夏季の低濃度季が明瞭に観察された。図1(h)に示した溶存酸素飽和度は5月頃には約130%に達している。その後減少し7月ごろからは70%程度で推移した。弁天池での4~5月を中心とする春季の溶存酸素濃度の上昇は植物プランクトンの増殖によるものと考えられる。

図1(i)に示したCODも大きな変動を示した。CODは4月ごろから大きく増加し、8月ごろから減少してゆく傾向を示した。10月にも一時的に大きな値を示した。晩秋にはハスなどは枯れ、水面に油が浮いているの様子など、植物の腐敗・分解が目視でも観察された。CODと水温は強い相関関係がみられること(表1)、及び冬季の低いCOD値から、弁天池には外部からのCOD負荷の流入は顕著ではないと考えられる。また酸素濃度の変動とCODの変動は、主に光合成作用と有機物の分解によるものと考えられる。教育現場において閉鎖系水域の季節変動を扱うことにより、CODが自然状態で大きく変動するものであること、それが生物活動と関係することを示すことができる。

### 3.5 主成分分析

図1でとりあげた9つの項目を標準化し主成分分析を行った結果を表2に示す。第2主成分までで累積寄与率が70%を超えており、第1と第2の主成分について検討することとした。各主成分の固有ベクトルを表3に示す。第1主成分は温度、硬度、アルカリ度、CODの値が大きいことが特徴的である。今回の測定項目では、第1主成分は溶存炭素化合物濃度で特徴付けることができると考えられる。第2主成分は導電率、溶存酸素濃度、溶存酸素飽和度が特徴的な項目である。第2主成分は今回の場合、溶存酸素量で特徴付けられると考えられる。主成分得点の季節変動を図2に示す。第1主成分は夏季を中心とするピークを示し、第2主成分は春季を中心としたピークを示した。第2主成分は植物(プランクトンを含む)の発生と成長、第1主成分がその分解に関連していると考えられる。今回の結果からは、水質の季節変動を測定する際、COD、アルカリ度と溶存酸素濃度の測定が重要であることが確認された。

表2 主成分分析結果 (固有値)

主成分	固有値	寄与率 (%)	
		寄与率	累積寄与率
第1主成分	4.305	47.83	47.83
第2主成分	2.538	28.20	76.03

表3 主成分分析結果 (固有ベクトル)

項目	第1主成分	第2主成分
温度	0.458	-0.031
Cond	-0.191	0.359
pH	0.312	0.389
TH	0.291	0.026
Akl	0.425	-0.175
TH-Alk	-0.382	0.244
DO	0.003	0.595
DOSat	0.212	0.523
COD	0.448	0.019

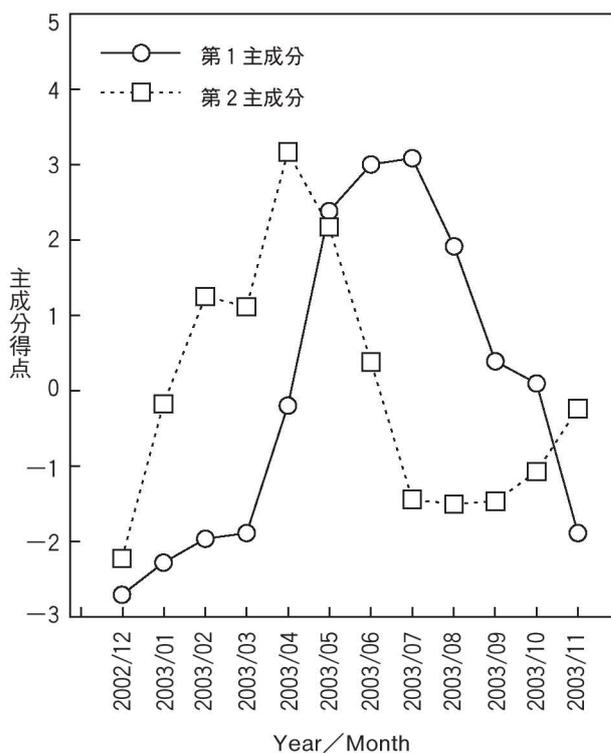


図2 主成分得点の季節変動

### 3.6 底質

底質分析の結果を表4に示す。弁天池堆積物の乾燥試料中にマンガン、銅、亜鉛、鉛などの金属が数十から数百ppm程度と、高濃度に含まれていることがわかった。新潟県小規模湖沼の底質分析結果（金属含有率）が入手できなかったため、今回の測定結果を野尻湖表層の結果と比較すると<sup>(17)</sup>、弁天池は鉄がやや高濃度（野尻湖表層で5%程度）であり、マンガンがやや少ない（野尻湖表層は1000~2000ppm程度）。鉛、亜鉛及び銅は野尻湖表層の数倍の高濃度となっていた<sup>3)</sup>。

表4 底泥乾燥試料中の金属元素濃度 (n=3)

元素	Cu	Zn	Pb	Mn	Fe
濃度	105 ± 3 <sup>a</sup>	442 ± 15 <sup>a</sup>	84 ± 6 <sup>a</sup>	692 ± 43 <sup>a</sup>	6.6 ± 0.4 <sup>b</sup>

a : ppm, b : %

### 3.7 化学及び環境科学実験試料としての弁天池試料について

アルカリ度は中和滴定、また硬度はキレート滴定で求められる。またCODは酸化還元滴定の応用として求められる。筆者の一人による学部2年生を対象とする化学実験授業における経験では、容量分析法の基礎を理解したうえであれば弁天池のCODを求めることも容易であった。ただしJISで規定する加熱方法は授業時間内での全員の実施は時間の制約から困難であったため、5分間の煮沸を行う方法を採用して実施した<sup>(18)</sup>。硬度及びアルカリ度の測定も、試料があまり希薄でない限り容易に実施できる。

底質は各種の金属を高濃度に含む身近な物質として環境理解のうえでも重要な試料であり、定性分析のための試料としての活用が考えられる。しかし今回の試料では鉄を除いて、定性分析により確認するのは困難な濃度であると考えられた。

### 3.8 まとめと今後の課題

今回弁天池を調査対象とし、水質の季節変動について明らかにした。弁天池のような小規模な系で、容量分析法と基本的なセンサーを用いて閉鎖系水域の水質季節変動を捉えることは可能である。特にCODとアルカリ度、溶存酸素濃度と温度はその水系の基本的な特徴を捉えるのに有効な指標であると考えられた。今後、人為的な影響を強く受けている池での変動など、調査例の増加が望まれる。

## 謝 辞

本研究の企画にあたり小林辰至本学教授から有益なご助言をいただきました。また奥原京一教諭（長野県宮田小学校）からご助言と実験器材整備にご協力をいただきました。この研究の一部は上越教育大学研究プロジェクト推進経費を用いて行われました。ここに記して感謝いたします。

## 注

- 1) 弁天池を含む上越教育大学構内の池において生態学的な調査が行われている。中村雅彦 2009 上越教育大学構内の池に生息するオオクチバス *Micropterus salmoides* の食性 上越教育大学研究紀要 28, 219-226
- 2) 上越地域においても降雪は海水成分や融雪剤などに由来すると考えられる電解質を含み、かつ酸性を示すとの調査結果がある。神谷直子 1995 降水中の無機成分の動態 上越教育大学自然系（理科）コース卒業論文
- 3) このような濃度の堆積物を含んでいる池で、水中のマンガン濃度はどの程度の値を示すかを調べた。2008年12月に弁天池表層水を樹脂製バケツで採取し、硝酸で加熱濃縮後ろ過定容し原子吸光分析により分析したところ（検量線法）、 $88 \pm 3$  ppb (n=3) となった。

## 引用及び参考文献

- (1) Horne, A. J. and Goldman, C. R. 著, 手塚泰彦訳 1999 陸水学（原書第2版）京都大学学術出版会
- (2) 福原晴夫, 佐藤千春, 丸山剛生, 山岸弘子, 高橋裕子 2006 新潟県湖沼の陸水生態学的研究XII. 砂丘湖・御手洗沼（新潟市赤塚）の陸水生態学的研究 —特に水質・底質の水平分布について— 新潟大学教育人間科学部紀要 9, 1, 13-21
- (3) 佐藤芳徳 2004 上越地域の湖の水文環境 上越教育大学研究紀要 24, 1, 161-169
- (4) 大泉 毅 2003 新潟県の清浄湖沼における生物学的緩衝作用 新潟県保健環境科学研究所年報 18, 74-79
- (5) 福原晴夫, 宮下高志 1996 小松原湿原（新潟県中魚沼郡）池澗水質の季節変化とフサカ幼虫の動態 新潟大学教育学部紀要 38, 1, 13-23
- (6) 佐藤芳徳, 山縣耕太郎, 平田 洋 1992 新潟県高浪池における水質の評価と水収支について 上越教育大学研究紀要 12, 1, 87-95
- (7) 伊藤政博, 深谷 実, 矢部久志, 星野由典 2007 都市公園内における池の水質の経年月変化—中村公園瓢箪池を対象として— 名城大学理工学部研究報告 47, 128-136
- (8) 坂上寛一, 瀬戸義正, 久居宣夫 1984 自然教育園内水域における水質の季節変化 自然教育園（国立科学博物館自然教育園）報告 15, 3-11
- (9) ため池の自然談話会編 1994 身近な水辺 ため池の自然学入門 合同出版
- (10) 村松 隆, 早坂智恵, 岩崎祐佳, 千葉雅子, 見上一幸 2003 ため池の富栄養化に伴う水質変動現象の分析 宮城教育大学環境教育研究紀要 6, 15-20
- (11) 濁川明男 1998 珪藻群集と水質から推定される高田城跡堀の水汚濁 —環境教育の基礎的研究— 上越教育大学研究紀要 17, 2, 619-636
- (12) 長田芳和, 加藤憲一 1986 教材としての溜池の取り扱い —生物どうしのつながりの理解のために— 大阪教育大学紀要 第V部門 35, 2, 213-224
- (13) 日本規格協会 2003 JISハンドブック53 環境測定II 水質
- (14) H. H. Rump 1999 Laboratory manual for the examination of water, waste water and soil (3rd. ed.) Wiley-VCH
- (15) 環境庁水質保全局水質管理課編 1993 底質調査方法とその解説（改訂版）日本環境分析協会
- (16) 西条八東, 三田村緒佐武 1995 新編 湖沼調査法 講談社サイエンティフィック
- (17) 寺島 滋, 井内美郎, 中尾征三, 米谷 宏 1989 野尻湖底表層堆積物におけるマンガン, 銅, 鉛, 亜鉛の挙動 地質調査所月報 40, 3, 113-125
- (18) 日本分析化学会北海道支部編 1994 水の分析（第4版）化学同人

# Seasonal Variations of Water Quality and the Sediment Quality of Benten Pond in Joetsu University of Education

—As one of the basic data to utilize a small reservoir for an environmental education—

Hiroshi SHIMOMURA\* · Tadayasu KAMAKURA\*\* · Hideyuki MASUDA\*\*

## ABSTRACT

To utilize the reservoir in education, water and sediment samples of a reservoir were chemically analyzed. In Benten pond of Joetsu university of education yard, temperature, pH, conductivity, dissolved oxygen, hardness, alkalinity and chemical oxygen demand (COD), were measured. The seasonal variations of water have been clarified. DO, COD and alkalinity and the water temperature showed clear seasonal variation. The sediment analysis provided concentrations of manganese, iron, lead, copper and zinc.

---

\* Natural and Living Science      \*\*Joetsu University of Education(College of Education)