

未攪乱閉鎖性山頂池「夜叉ヶ池」の水質について

岩 本 多 實* ・ 西 田 常 夫**
木 村 満喜夫* ・ 安 藤 憲 治*

On the Properties of Water in the Undisturbed Isolated Pond "Yasha-ga-ike"

Kazumi Iwamoto, Tsuneo Nishida, Makio Kimura and Kenji Andoh

The "Yasha-ga-Ike" is a small non-volcanic pond located at an elevation of 1099m near the ridgeline of the mountain in Imajyo, Fukui Prefecture. The pond with an area of about 42 ares and the maximum depth of 7.5m has no rivers and it is supposed to have never dried up. Since the pond is regarded as undisturbed and isolated, the study on the behavior of the minor elements in the pond including the surrounding narrow watershed is interesting. In this study, such properties as pH, ORP and EC were measured for the pond water at the site, and the contents of some elements in the water were preliminary analyzed. The results were given and discussed.

1. はじめに

福井県南条郡今庄町の南東部にある「夜叉ヶ池」は、福井、岐阜、滋賀の県境近くの山地の稜線のすぐ西側のチャート地層に出来た標高 1099m、周囲約 230m、水深最大 7.5m、面積約 42a の非火山性の小湖である¹⁾。流域面積は湖面積の 10 倍程度と狭く、池はブナ原生林に囲まれ、出入りする川はなく、古くから水涸れの無いことで知られた未攪乱で閉鎖性の池である。池に対する外部からの物質移入は狭い流域からのもの以外には雨水、風、降下物によるものしかなく、かつ自然が未攪乱の状態に保存されていることから、池の環境動態の調査研究は閉鎖性水域内の微量成分物質の移行挙動等の解明に寄与するものと考えられる。このため、夜叉ヶ池を対象として水環境を中心に湖底堆積物、¹³⁷Cs 放射能挙動などに関する研究を開始した²⁾。

夜叉ヶ池の水に関しては、水深分布が測定されているほか¹⁾、湖面 3ヶ所の pH、導電率、アルカリ度、数種の元素、陰イオン濃度などについての報告が見られるが³⁾、さらに池全体についての水質は報告されていない。そこで、本報告では、より広いデータを入手することを目的に、

* 応用理化学科 ** 尚美学園短期大学

によって調べたが、いずれの元素も検出できないことが判明したので、低濃度の元素を分析できる ICP-MS（誘導結合プラズマ質量分析装置）によって分析することとした。水試料は 0.45 μ m ミリポアフィルターで濾過し、ICP-MS（横河 HP 4500）を用いて分析した。標準試料として SPEX Multi-Element Plasma Standard の XSTC-107（Th、Ag ほか計 30 元素）及び XSTC-1（Ce、Dy ほか計 16 元素）を用いた²⁾。

3. 測定・分析結果と考察

3.1 池について

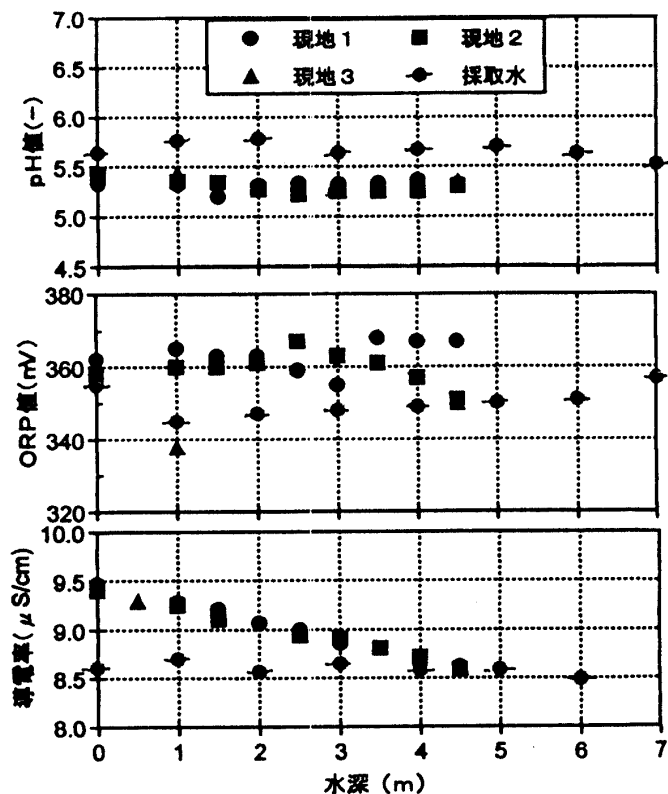
ビニールボートで湖面に出て、堆積物を採取した 10 年 7 月 25 日（B）の結果から、岸近くの池の中には水際にある粒子と同様の粒子堆積物があり、それより深い中央部には堆積泥があることが判った。図 1 にその模様も示されている。

池の水位は時期によって数十センチ程度変動しているので、この変動量を推定してみた。1 m 毎に示されている水深分布図¹⁾ からプランメーターによって各水深毎の面積を出し、等深線の周辺部の深度勾配のある所の深さを平均 0.5 m として、水量を求めた結果、全水量は 11,900m³ であった。表面積は 4030m² であり、水面変動が 30cm とすると水量にして 1200m³ となり、約 1 割の水が変動していることになる。

3.2 10 年 11 月 11 日(C)の水質測定結果

当日は曇りで霧が発生し、気温は 11℃と冷え込んだが、pH、ORP、導電率ともにボートで湖面に出て、場所を変えつつ 2 人が 3 回にわたって時間を変えて測定した。また実験室に持ち帰った水試料に対して、同じ計器を用いて測定した。全ての結果を表 1 に示す。水温は水深方向に変化は見られず 9.5℃と一定であった。

池中央部の最深部において測定した 3 回の結果と実験室での試料に対する結果とを図 2 に示す。湖面での測定はボートのせいで場所が若干変化しているが 3 者に大きな変動は見られない。pH と ORP は水深に対して余り変化が見られないが、導電率は深さとともに減少していることが判る。持ち帰り試料に対する値は pH は大きめに、ORP、導電率は小さめになり、食い違いが見られたが、目下の所、原因は不明である。湖面各所における pH、ORP、導電率の水深毎の測定結果



(水温: 9.5℃、試料の導電率値は現地温度9.5℃に補正)

図2 CMW最深部で測定した水質データの変動

表1 水質の現地測定及び試料に対する測定結果一覧表

10年11月11日(C)曇り、実施														11年9月19日(E)晴れ、実施					
水深 (m)	場所	水温 (℃)	pH(-)				ORP(mV)				導電率(μS/cm)				場所	温度 (℃)	pH (-)	ORP (mV)	導電率 (μS/cm)
			現地1	現地2	現地3	試料**	現地1	現地2	現地3	試料**	現地1	現地2	現地3	試料**					
0.0	C1W	9.5				5.67							8.35	E1W	21.1	5.74	238	11.24	
0.5		9.5														5.84	231	11.72	
1.0		9.5	5.30				293				9.23					5.51	252	11.43	
1.5		9.5	5.24				281				9.13					5.47	250	11.36	
2.0		9.5	5.23				253				9.00					5.54	255	11.28	
2.5		9.5	5.30				252				8.96					5.44	254	11.28	
3.0															21.0	5.42	258	11.26	
3.5																5.72	73	13.45	
4.0																5.90	86	14.20	
4.5																6.35	75	14.64	
0.0	C2W	9.5	5.38			5.64	337			352	9.37		8.07	E2W	21.0	5.83	147	11.42	
0.5		9.5													21.0	5.64	151	11.50	
1.0		9.5	5.33				339				9.22				21.0	5.61	158	11.34	
1.5		9.5	5.31				337				9.11				21.0	5.57	170	11.25	
2.0		9.5	5.26				336				9.04				20.9	5.67	170	11.26	
2.5		9.5	5.24				328				8.97				20.9	5.49	180	11.21	
3.0		9.5	5.30				318				8.86				20.9	5.50	190	11.18	
3.5		9.5	4.74			5.67	279			343	12.81		8.41		20.8	5.38	203	11.18	
4.0		9.5	5.07				244				10.21				20.8	5.31	210	11.12	
4.5		9.5	5.06				246				10.16				20.8	5.33	211	11.10	
5.0																5.38	217	11.10	
0.0	CMW	9.5	5.33	5.43		5.64	362	358	301	355	9.47	9.40	9.48	8.61	EMW	21.6	5.59	221	11.31
0.5													9.30			21.6	5.55	223	11.27
1.0		9.5	5.32	5.35	5.44	5.76	365	360	338	345	9.28	9.25		8.70		21.4	5.54	224	11.22
1.5		9.5	5.20	5.34			363	360			9.21	9.11				21.3	5.49	228	11.10
2.0		9.5	5.31	5.27		5.78	363	361		347	9.07			8.58		21.3	5.42	230	11.09
2.5		9.5	5.33	5.22			359	367			9.00	8.94				21.1	5.31	241	11.03
3.0		9.5	5.32	5.25		5.64	355	363		348	8.86	8.91		8.65		21.1	5.23	246	11.05
3.5		9.5	5.33	5.25			368	361			8.81	8.81				21.0	5.26	254	11.06
4.0		9.5	5.36	5.25		5.67	367	357		349	8.65	8.72		8.58		20.9	5.18	257	11.07
4.5		9.5	5.32	5.30	5.35		367	351	350		8.62	8.59	8.61			20.9	5.12	262	11.12
5.0						5.70				350				8.59		20.9	5.22	264	11.10
6.0						5.63				351				8.49					
7.0						5.52				357									
0.0	C5W	9.5	5.38		6.00		365		299		9.37		9.47		E5W	22.2	5.55	240	11.03
0.5		9.5			5.55				328				9.39				5.54	236	11.08
1.0		9.5	5.28		5.34		376		360		9.22		9.30			21.9	5.56	233	11.00
1.5		9.5	5.23		5.32		383		357		9.14		9.19				5.46	235	10.93
2.0		9.5	5.25		5.32		380		355		8.87		9.05			21.7	5.53	232	10.74
2.5		9.5	5.27		5.30		373		355		8.94		8.96			21.4	5.23	237	10.91
3.0		9.5	5.26		5.30		372		347		8.83		8.87				5.13	258	10.89
3.5		9.5	5.28		5.37		370		338		8.74		8.16			21.2	5.03	268	10.99
4.0		9.5	5.25		5.40		364		331		8.66		8.70				5.43	259	11.09
4.5		9.5	5.16		5.41		364		317		8.40		8.66				5.95	202	11.04
5.0						5.63				346				8.00					
7.0						5.63				346				8.65					
0.0	C6W	9.5	5.31				348				9.34				E6W	21.9	5.88	268	11.40
0.5		9.5														21.8	5.84	247	11.34
1.0		9.5	5.30				343				9.25					21.7	5.67	237	11.20
1.5		9.5	5.26				348				9.21					21.6	5.58	237	11.03
2.0		9.5	5.30				343				9.07					21.5	5.53	237	10.83
2.5		9.5	5.35				336				8.96						5.36	229	10.92
3.0		9.5	5.47				331				8.72						5.29	247	10.85
3.5		9.5	5.35				313				8.80						5.27	261	10.76
4.0		9.5	5.36				309				8.72						5.16	264	11.04
4.5		9.5	5.37				297				8.65					21.0	5.08	275	11.08
5.0																20.9	5.01	282	11.31
6.5										346				8.15					
0.0	C7W	9.5			5.96				288				9.41		E7W	22.2	5.55	240	11.03
0.5		9.5			5.48				318				9.36				5.54	236	11.08
1.0		9.5			5.43				317				9.26			21.9	5.56	233	11.00
1.5		9.5			5.44				311				9.16				5.46	235	10.93
2.0																21.7	5.53	232	10.74
2.5																21.4	5.23	237	10.91
3.0																	5.13	258	10.89
3.5																21.2	5.03	268	10.99
4.0																	5.43	259	11.09
4.5																	5.95	202	11.04

*19.5℃で測定した値を現地水温9.5℃に換算

**2回測定平均

を図3に示す。測定値が3回ともほぼ良く一致したことから、図では平均値で示している。pHは湖面の各所で水深方向にも大きな変化は無く5.3程度であった。導電率は $9\mu\text{S}/\text{cm}$ 程度でいずれの場所でも深さとともに若干減少した。ORPは250-400mVの範囲にあったが、場所による変動が大きく、かつ深さとともに減少する傾向にあることが判った。

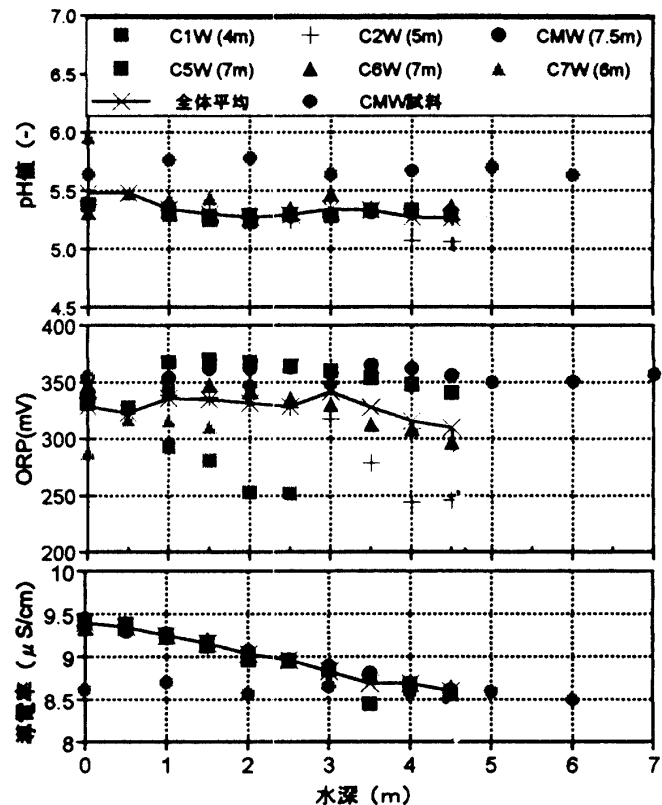
3.3 11年9月19日(E)の水質測定結果

当日は晴れで気温は 23°C と暖かくpH、ORP、導電率ともに湖面で場所を変えつつ1人が2回にわたってほぼ同じ場所で測定した。結果を表1に示す。水温は湖面と水深方向に若干の変動が見られたが、ほぼ 21°C であった。

湖面各所におけるpH、ORP、導電率の水深毎の測定結果を2回の測定値の平均値で図4に示す。pHは湖面の各所で水深とともに小さくなっており、湖面で5.6程度、水深5mで5.1程度である。導電率は場所による変動が大きく 11.75 から $10.75\mu\text{S}/\text{cm}$ の範囲にあり、多くの場合水深2~3m付近で最小を示したが、全体としては11.2程度であった。ORPは150-280mVの範囲にあったが、場所による変動が大きく、かつ深さとともに上昇する場合も見られた。

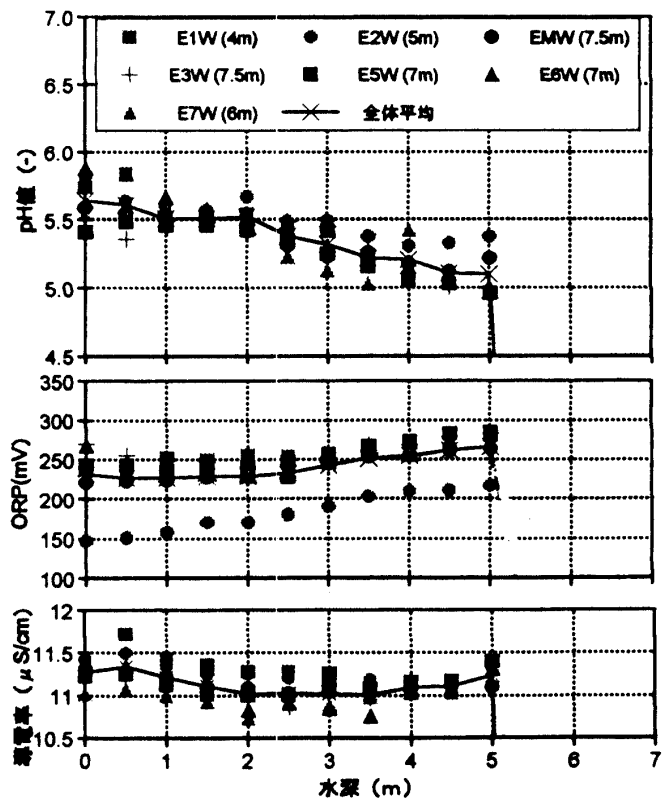
3.4 水中の元素濃度の分析

各所から採取した湖水に対してICP-MSで分析した水中元素の濃度の例として、最深部のM地点を取り上げ、B3Wについて図5に、CMWについて図6に、EMWについて図7に、それぞれ示す²⁾。図5からはAlを除いて各元素ともに濃度は水深とともに低くなっていることが判る。図6か



(各所の値は測定平均値、--X--は全体平均、MX試料測定値含む)

図3 湖面各所の水質の水深方向の変化(C:10年11月11日)



(各所の値は測定平均値、--X--は全体平均)

図4 湖面各所の水質の水深方向の変化(E:11年9月19日)

らは2～4 m付近の濃度が幾分大きいようにも見える。6m 地点の2つの内の一つの水試料には、採取時に堆積泥を巻き込んだため、濾過はしたもののめ泥が若干含まれていたことにより大き目に出ているようである。図7からは深さによる影響はあまり見られず、ほぼ一様であることが判る。

3.5 測定時期による水質の相違

C(10年11月11日)とE(11年9月19日)との2回行った水質測定から、以下の事柄が判明した。

水温について深度による変化を図8に示す。Cでは水深や場所による影響は見られず9.5℃であった。21℃付近のEでは、水深とともに低下し次第に同じ温度になること及び場所により若干変動することが判った。

池全体についての水質が水深に対して如何に変化するかを知るため、同じ水深のデータの平均値をとり、C、Eそれぞれについて水深に対してプロットした結果を図9に示す。pH値は5.10から5.64の範囲にあるが、Eの方がCより大きく、両者ともに水深が深くなるにつれて小さくなっていることが判る。表面水のpH値は4.72から5.82であり、春先に低く、夏から秋にかけて高いとの報告もある³⁾。さらに測定回数を増やして実体を調べる必要があると考えられる。ORPはCがEよりも大きく、水深に対する変化は一様ではないこと、また、導電率はEがCより大きく、水深とともに小さくなる傾向にあること、等が判る。

水中の元素濃度は、前述のようにBでは水深とともに低くなり、Cでは極大値があるように見え、Eでは変化せずほぼ一様であると言う結果が得られている。これらが如何

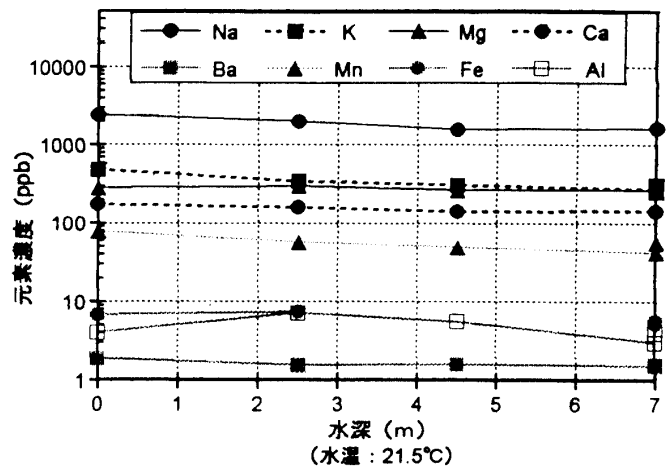


図5 B3W最深地点における水中元素濃度の水深による変化

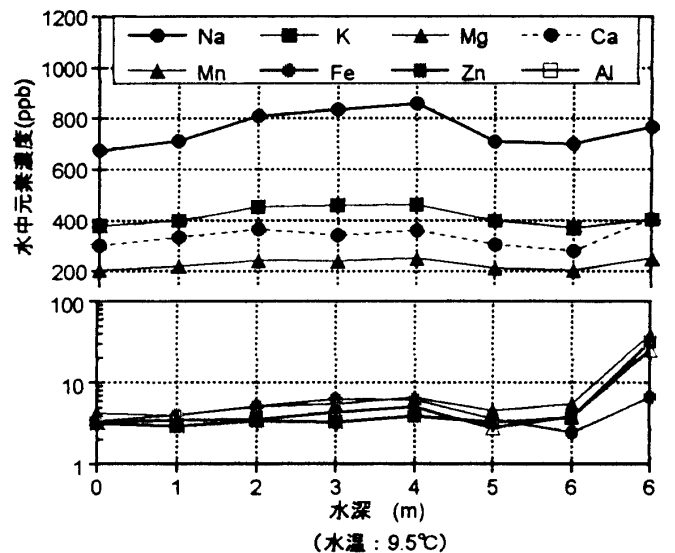


図6 CMW最深地点における水中元素濃度の水深による変化

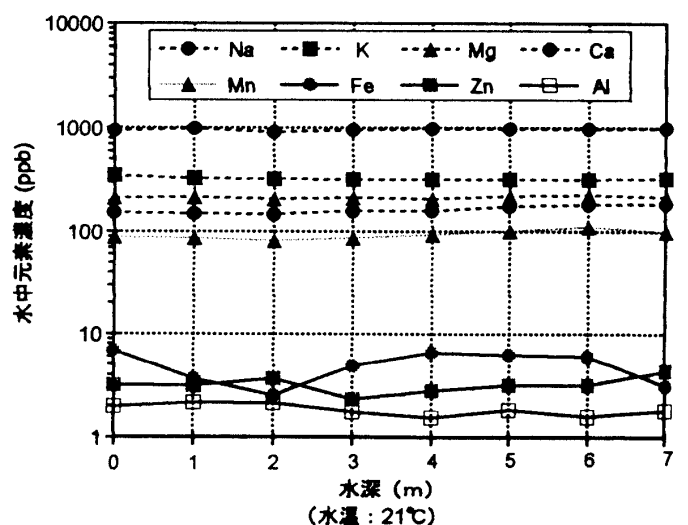


図7 EMW最深地点における水中元素濃度の水深による変化

なる原因でこのようになったか、またこれらが測定した水質とどんな関わりを持っていたか、等については今後の課題である。

3.6 夜叉ヶ池水系の水が含有する元素の分析

山頂部にある夜叉ヶ池の北西方向には古池があってその付近から谷間に川が次第に形成され、支流と合流しながら、栃の大木の所を通り、麓の駐車場に流れ、支流を合流しながら広野ダムを経て今庄町平坦部の日野川となる。そこで、この夜叉ヶ池の水系の水質がどのように変化するかを予備的に知るため、今庄町平坦部までの数カ所で水試料を採取して含有元素の分析を行った。試料採取ヶ所は栃の大木の所の本流と支流、駐車場での本流と支流、今庄町八飯の日野川で、このほかに参考用に今庄駅の水道、福井市の水道、福井工大の水道についても、それぞれ2個づつ試料を採り ICP-MS で分析した。

分析した元素のうち Na、K、Mg、Ca、Mn、Fe、Al、Cs についての結果を図 10 に示す。図では夜叉ヶ池から栃の木、麓の駐車場、八飯まで流れに沿った元素濃度の変化が示され、水道水3ヶ所のデータも示されている。夜叉ヶ池の元素濃度は非常に低く、Mnを除いて下流に行くに従って濃度が増加していること及びどの水道の場合よりも低いことが判る。Mn の特異な挙動については今後検討を進める。

4. 終わりに

未攪乱閉鎖性の山頂池である「夜叉ヶ池」を対象に pH、ORP、導電率などの水質調査を行うとともに水中の元素濃度の分析を予備的に行った。その結果、水質は水深とともに変化し、pH 値の場合、約 5.5 から 5.1 程度に減少すること、pH、ORP、導電率は測定時期によって値に差

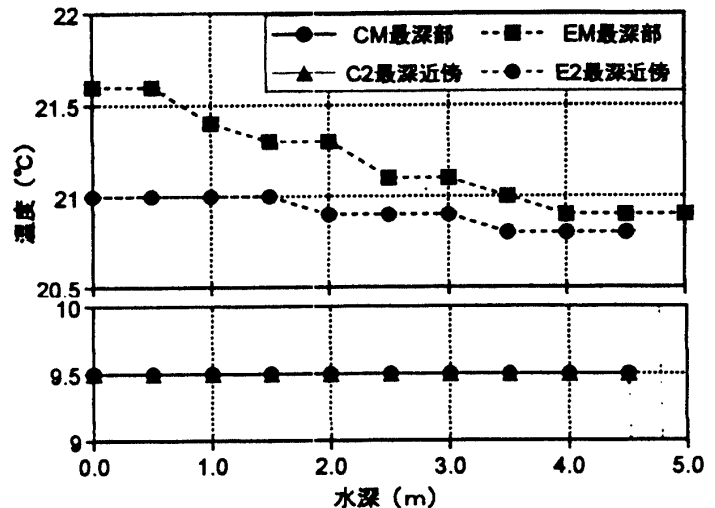


図8 最深部付近の水温の深度による変化

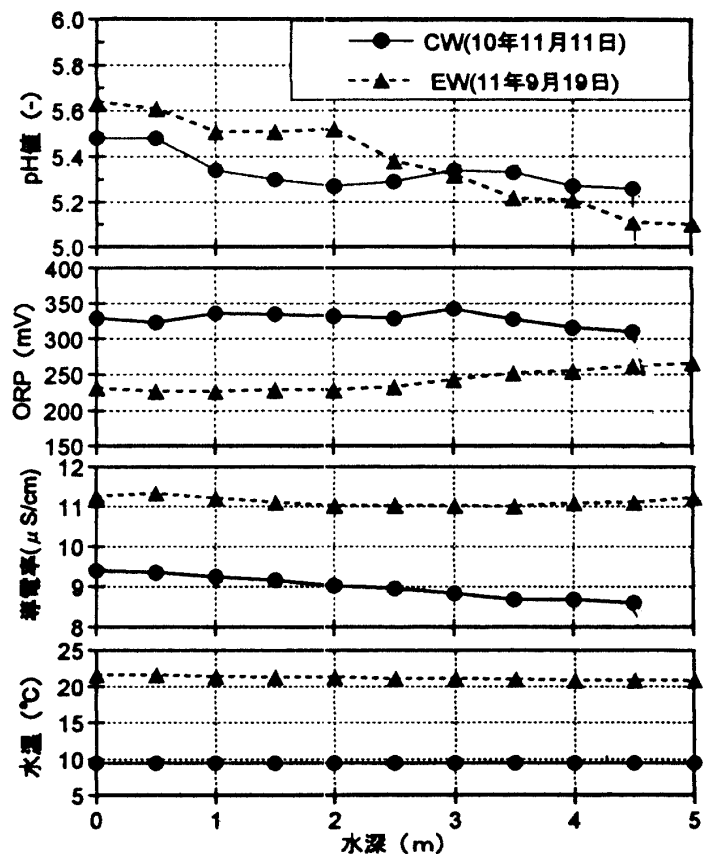
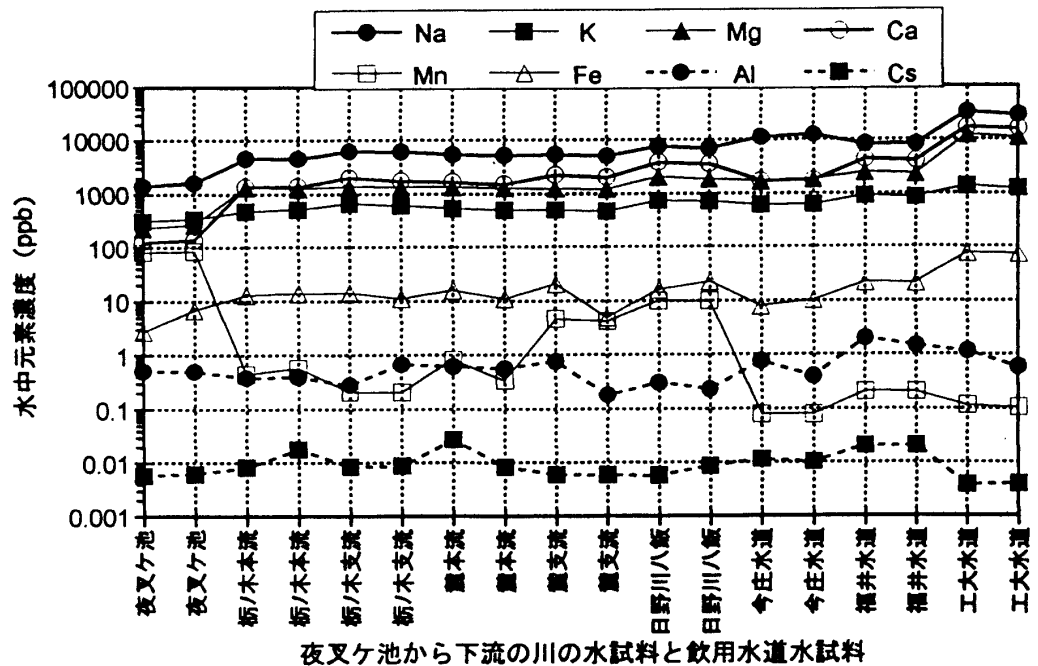


図9 測定時期による水質の違い



(300mlは標高；夜叉ヶ池の水は今庄町、福井市、福井工大の水道水より元素濃度が低い)

図 10 夜叉ヶ池から下流の川及び水道の水中元素濃度

が見られ、水深による変化も一様でないこと、池の水に含まれる元素の濃度は非常に小さいこと、等が明らかになった。今後、さらに現地での測定や試料についての実験を行い、自然の実験室とも見なせる特異な池に関わる微量元素の水中での動態を解明していきたい。

謝辞 この研究における水中の元素濃度の分析は京都大学原子炉実験所の共同利用によって行った分析の一部であり、森山裕丈、高田實彌、川本圭造の各先生方の協力を得た。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 福井県今庄町： 福井県今庄町誌 p. 3-30 (昭和 54 年)
- 2) 岩本多實、西田常夫、木村満喜夫、安藤憲治、森山裕丈、高田實彌、川本圭造、天野 光：「未攪乱閉鎖性山頂池の水環境に関する研究 (1) 湖水について」 環境科学会 1999 年会要旨集 p.22-23 (1999 年 11 月、豊橋)
- 3) 坊 英二ほか：福井県環境科学センター年報 24 巻 112-116(1994)

(平成11年12月6日受理)