

島根県湖陵町蛇池の環境地質

石賀 裕明*・三原 章人**・三瓶 良和*

Environmental geology of Lake Jaike, Koryo-cho, Shimane Prefecture, Japan

Hiroaki Ishiga*, Akihito Mihara** and Yoshikazu Sampei*

Abstract

Geochemical analyses of bottom sediments and cored samples have been carried out to evaluate environmental changes of the non-marine Lake Jaike of San'in district. Soils of surrounding areas and sediments of the Lake Jinzai of brachish environment are also examined for comparative study. Cored samples with 70 cm length showed gradually increasing concentrations of arsenic (from 12 to 31 ppm), lead (from 24 to 31 ppm), zinc (from 95 to 144 ppm), phosphorous (P_2O_5 , from 0.09 to 0.28 wt%) and total iron (from 8.20 to 11.15 wt%) but with relatively consistent values in chromium (75–83 ppm) and thorium (11–12 ppm) suggesting that the variations were caused by environmental change related to the land modification. Abrupt projection of total sulfur (TS) contents in this profile is suggestive of an excess supply of common fertilizer such as sulfate ammonium, of which the event was coincident to an extinction of fishes in 1988. In contrast to the decline of TS, phosphorus increased steadily indicating switching of agrochemicals.

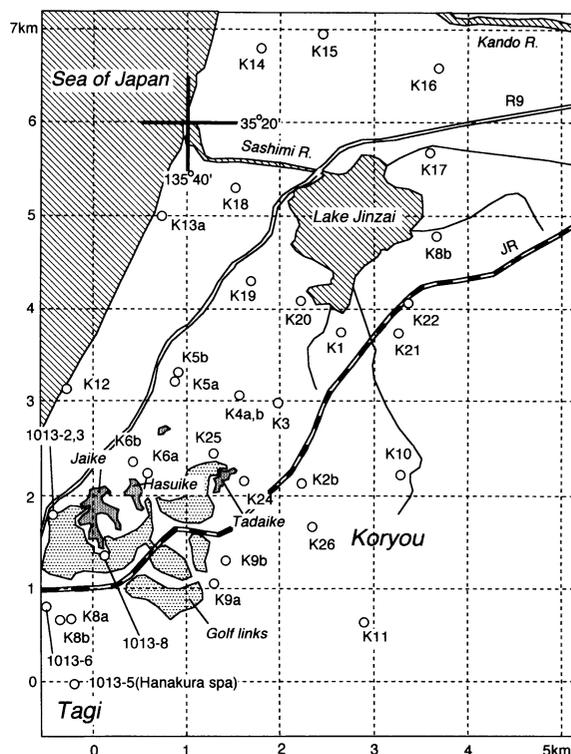
はじめに

山陰地域には中海・宍道湖、神西湖をはじめとするいくつかの汽水湖がある。これらは海跡湖であり縄文時代は入り江であったが、弥生海退および斐川デルタ、弓ヶ浜の発達によって日本海とは閉ざされた(徳岡ほか, 1990)。いっぽうこれらの湖とは別に、神西湖南方には標高 25 m 程度の所に小規模ながら蛇池、蓮池、只池などがあり、現在は淡水をたたえている(第 1 図)。近年人間活動によって、湖沼や河川の環境が変改されてきており、これら汽水湖の環境は大きく変貌してきた。蛇池も例外ではなく周辺地域の開発に伴い 1988 年 4 月に多量の水生生物が死滅する事件が発生した。しかし、蛇池の地形、地質は改変されていない。そのため底質(堆積物)は連続した環境変遷の記録が残されていると考えられる。そこで蛇池の現在の環境と柱状試料の地球化学的検討をもとに環境変遷を評価することは重要である。また、隣接する神西湖の表層堆積物や蛇池周辺の土壌などとの比較検討を行うことはこの地域の基礎的な試料となるといえる。

蛇池の位置と概要

蛇池は島根県簸川郡湖陵町大字大池に位置する(第 2 図)。海岸にそって神西湖の南西方向に海拔約 40 m の砂州が発達している。蛇池はこの砂州の南東部に位置する。その南方に

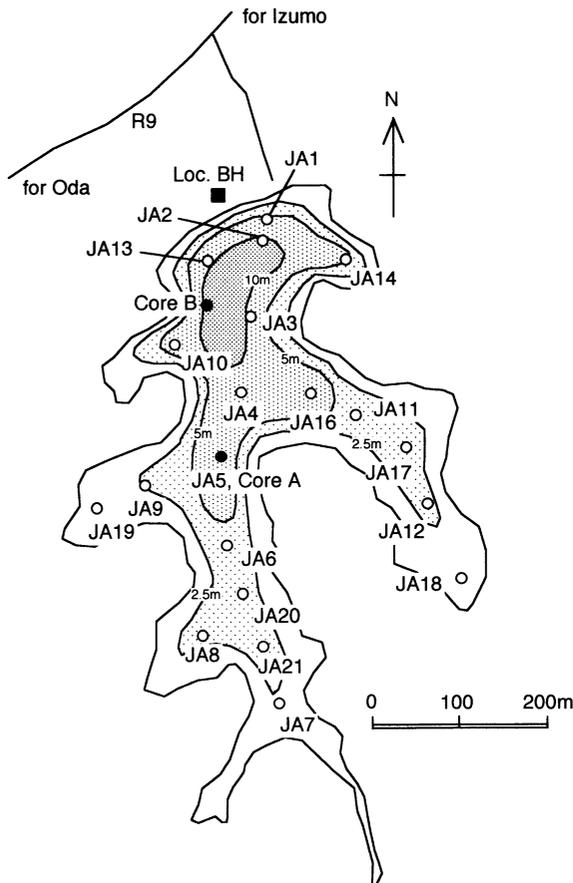
は第三紀層からなる約 50 m の山地が発達する。蛇池に流入する河川はなく、周辺の民家(16 軒)からの生活廃水が流入している。1640 年(寛永 17 年)森宗太らによって長さ 300 m、幅 1.5 m の流水路(長沢間府)が完成させられ、蛇池の水を



第 1 図 島根県湖陵町蛇池の位置図および試料採集位置を示す図。

* 島根大学総合理工学部地球資源環境学科
Department of Geoscience, Shimane University, 1060 Matue City, Japan,
690-8504

**株式会社大隆設計
Dairyuu Consultant Co. Ltd., 40-3 Izumo City, Japan, 693-0056



第2図 鳥根県湖陵町蛇池の等深線図。表層試料採集地点 (JA 1~21)、柱状試料採集地点 (A, B)、ボーリング位置 (BH) を示す。

活用して現在の多伎町、久村の水田 (17 a) を開拓した。現在、この流水路は地下水路を使って蛇池の水を農業用水として排水している。流入する河川が無く、年間を通して水位の変化があまり見られないことから、蛇池は砂州の中に発達する淡水レンズから地下水の供給がなされていると考えられる。

1998年4月11日に音響探査装置により地形の測量を行った。蛇池の地形は、北側から急激に10mまで深くなり、そして中央部から南側に向け次第に浅くなる。蛇池は南方に向かって大きく2分し、さらに細かく枝分かれする複雑な地形をなす。いずれの収束している部分に向かって水深は北から南に浅くなる。

また、同時に採泥器により湖底の表層堆積物のサンプリングを行い、各地点の水深の実測を行った (第2図)。

水 質

水質計 (WTW 社製) によって、溶存酸素量 (DO)・塩分濃度 (Sal)・水温 ($T^{\circ}C$) を第1回調査 (1998年4月11日) JA 1~13、第2回調査 (1998年7月20日) JA 14~21 地点において深度別に測定した。4月と7月における水質の変化が生

じているのかを比較するため調査地点の近接する JA 4 と JA 16 における DO・水温の分布を比較した (第3図)。

DO (%) は4月には最も深い JA 13 地点において変化に富み、水底では 2.2 mg/L (17%) であったが、各地点別の変化は $15.4 \text{ mg/L} \sim 5.8 \text{ mg/L}$ (150~50%) 前後であり顕著ではない。一方、7月ではいずれの地点でも水面付近の DO は 12 mg/L 前後であるが水深4~5m付近で急激に 1.0 mg/L 以下まで低下し、貧酸素状態が水底まで続く。4月の気候において蛇池は DO が水面付近で150%と過飽和状態にあり、湖底に向かって緩やかに減少していることから、湖水が水面付近から湖底まで循環していると考えられる。一方、7月においては、水深4~5m付近に顕著な躍層が見られることから、成層構造が発達して水面付近では湖水が循環しているが、水底付近においては停滞しているものと考えられる。

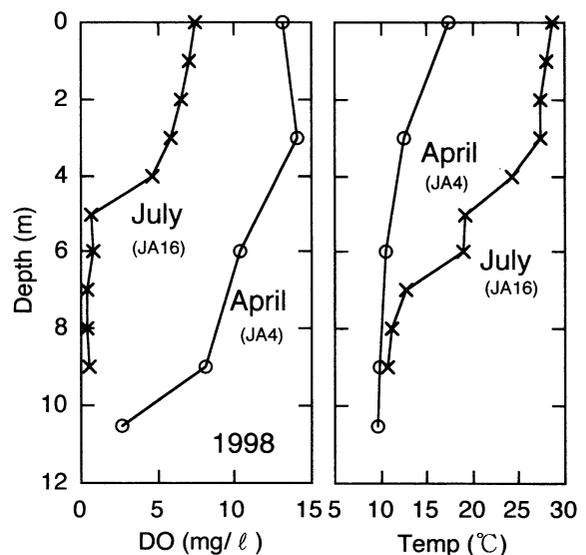
Sal (PSU, ‰) は4月にはどの地点においても検出されなかった。しかし、7月には JA 16, JA 17, JA 20 の水底付近において 0.1 PSU が検出された。電気伝導度は4月には表層付近のすべての地点において 13 mS/cm を示し、水底付近において急激に上昇する値を示した。7月には JA 17 で 39 mS/cm 、JA 20 で 41 mS/cm である。

水温は、4月には各地点において表層は $18^{\circ}C$ 、水底では $10^{\circ}C$ 前後である。温度躍層は見られずゆるやかに低下している。第2回調査ではいずれの地点でも水面から水深およそ3mまで $29 \sim 27^{\circ}C$ と変化がみられないが、それから水底に向かって水温は $10^{\circ}C$ 付近まで急激に低下する。従って水深3m付近において温度躍層があるものと考えられる (第3図)。

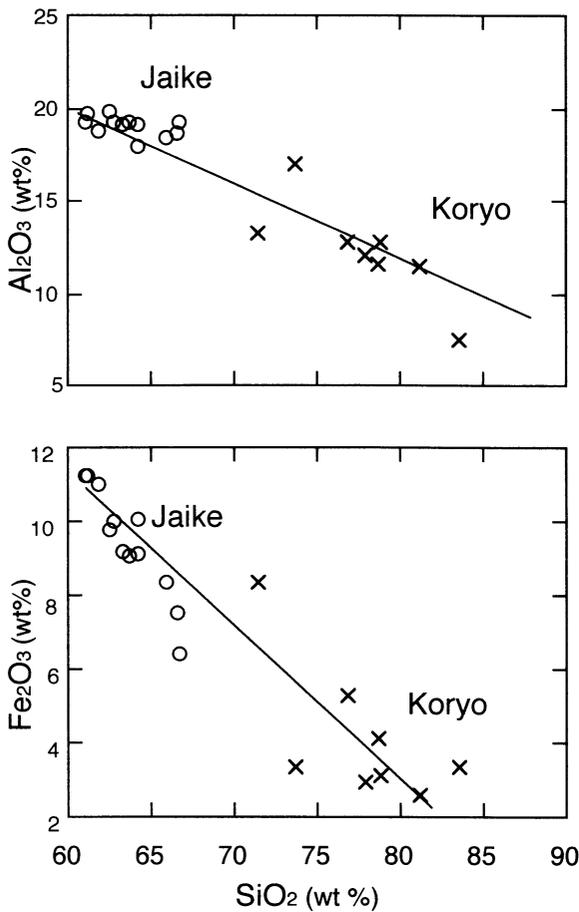
蛇池底質の元素組成

分析方法

JA 1~13 地点で表層採泥機により採集した表層1cmのサ



第3図 鳥根県湖陵町蛇池における1998年4月、7月のDOおよび水温を示すグラフ。7月には水深5m付近に躍層が形成されている。



第4図 島根県湖陵町蛇池の底質および湖陵町の土壌試料の主元素の比較。

第1表 島根県湖陵町蛇池の底質および周辺地域の土壌の主元素組成。

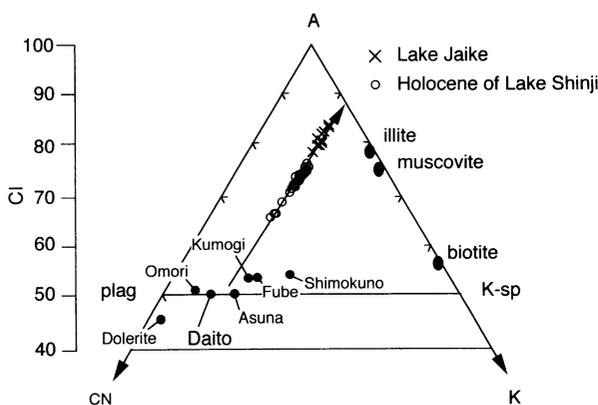
Oxides (wt. %)														Total	LOI	CIA
sample	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅						
<i>Jaike bottom sediments</i>																
JA2	62.82	0.78	19.20	10.03	0.10	1.49	0.70	0.87	2.34	0.39	98.72	14.73	82			
JA3	61.01	0.78	19.26	11.24	0.11	1.49	0.62	0.75	2.32	0.47	98.04	14.25	84			
JA4	61.15	0.78	19.69	11.21	0.12	1.56	0.64	0.69	2.33	0.45	98.62	14.33	84			
JA5	62.57	0.81	19.79	9.78	0.13	1.65	0.71	0.75	2.36	0.33	98.85	12.71	82			
JA6	63.66	0.81	19.26	9.09	0.13	1.70	0.74	0.92	2.43	0.28	99.01	11.46	80			
JA7	63.33	0.81	19.15	9.16	0.07	1.63	0.85	0.74	2.15	0.32	98.21	27.43	82			
JA8	66.74	0.80	19.28	6.45	0.05	1.72	0.80	0.96	2.43	0.19	99.41	16.46	79			
JA9	65.92	0.79	18.47	8.34	0.09	1.43	0.64	0.90	2.44	0.26	99.27	13.88	80			
JA10	66.63	0.77	18.65	7.53	0.07	1.48	0.76	0.90	2.38	0.30	99.46	16.48	80			
JA11	64.19	0.81	19.18	9.10	0.13	1.55	0.67	0.82	2.39	0.28	99.12	11.85	81			
JA12	64.26	0.79	17.93	10.05	0.09	1.37	0.80	0.93	2.37	0.34	98.72	13.18	80			
JA13	61.89	0.76	18.81	10.99	0.10	1.45	0.73	0.86	2.26	0.52	98.38	15.65	83			
<i>Koryo soils</i>																
K2b	78.68	0.65	11.65	4.12	0.06	0.48	0.97	1.38	2.06	0.07	100.11		66			
K3b	71.45	0.61	13.30	8.39	0.02	0.75	0.24	1.17	2.82	0.03	98.76		71			
K4a	81.24	0.60	11.53	2.57	0.05	0.61	0.72	1.06	2.41	0.14	100.93		69			
K4b	73.67	0.75	16.99	3.38	0.01	1.27	0.22	1.06	2.78	0.03	100.16		77			
K5a	83.61	0.95	7.46	3.36	0.10	0.42	0.89	1.24	1.93	0.03	100.00		57			
K6a	77.87	0.84	12.05	2.96	0.03	0.78	0.86	1.81	2.67	0.03	99.90		62			
K8b	78.86	0.72	12.74	3.14	0.07	0.44	0.72	1.15	2.17	0.15	100.17		71			
K9b	76.79	0.87	12.74	5.29	0.05	0.55	0.35	1.08	2.36	0.03	100.10		72			

線分析装置を用い、溶剤を用いたガラスビード法により主元素組成を求めた(第1表)。微量元素はメノウ自動乳鉢で磨砕した試料を粉末プレス法により定量した。

結果

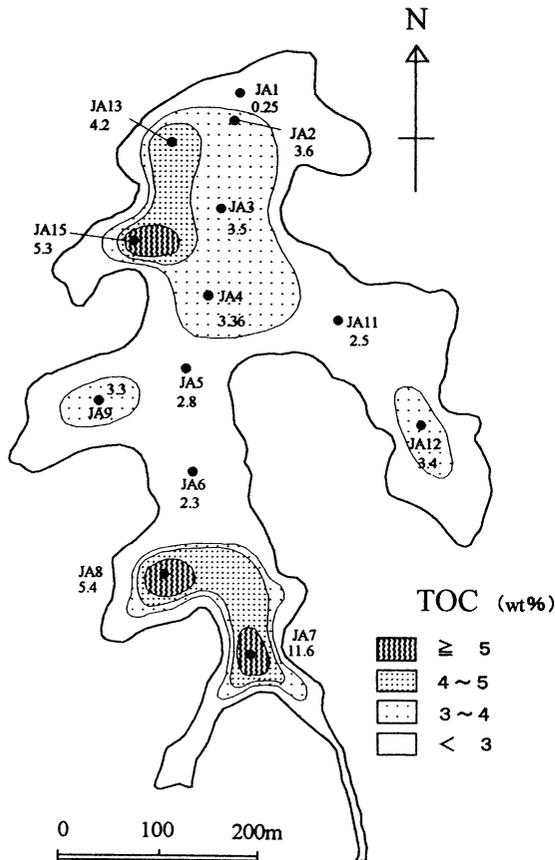
蛇池底質の主元素組成は Fe₂O₃ (6.45~11.24 wt%) および P₂O₅ (0.19~0.52 wt%) を除いて、比較的均一である (SiO₂ = 61.01~66.74 wt%, TiO₂ = 0.76~0.81 wt%, Al₂O₃ = 17.93~19.79 wt%) といえる。比較検討のために採集した蛇池周辺の湖陵町の土壌試料は SiO₂ に富み、Al₂O₃ (7.46~16.99 wt%) や Fe₂O₃ (2.57~8.39 wt%) は蛇池底質に比べ低い値を示す(第1表, 第4図)。両者を結ぶと SiO₂ と Al₂O₃ および Fe₂O₃ には負の相関があることが分かる。MgO, CaO, Na₂O, K₂O などやや変化するがほぼ均一である。これらは底質が細粒でよく混合した懸濁物として供給されたためであろう。従って、堆積物は化学的にもよく風化している可能性がある。そこで、風化の程度を見積もるため、Nesbitt and Young (1982) により CIA = mol Al / (Al + Ca* + Na + K) をもとめた。Ca* は珪酸塩鉱物の値である。CIA = 79~84 であり、後に述べる湖陵町の土壌 (57~77) や宍道湖堆積物 (65~77) に比べ高い値を示す。また、mol Al, Ca* + Na, K を3成分とするダイアグラムでは斜長石-カリ長石組成線上に源岩組成が示され、風化の進行にともなって変化する組成があるトレンドをなす (Nesbitt and Young, 1989; Fedo et al., 1995)。蛇池の底質はダイアグラム上部にまとまってプロットされ(第5図)、比較のために示した宍道湖の堆積物のなすトレンド上 (Ishiga et al., 2000) に位置する。このトレンドの示す源岩組成は大東花こう閃緑岩と阿須那花こう岩の中間に位置する。

全有機炭素 (TOC) は砂質試料の JA 1 において 0.25 wt% と最も低い値を示す(第2表にははしていない)。JA 7 では 11.6 wt% と他の地点が 2.5~5.3 wt% であるのに比べ特に高い値を示す(第2表, 第6図)。全窒素 (TN) も JA 7 において 0.5 wt% と最も低く、その他の試料は 0.04~0.18% の範囲にある。全イオン (TS) は JA 1 が最も低く (0.04 wt%), JA 7 が最も高い (0.72 wt%)。他の地点は 0.3~0.5 wt% である。TS / TOC = 0.06~0.14 である。TS / TOC 比は海成、非海成の堆積

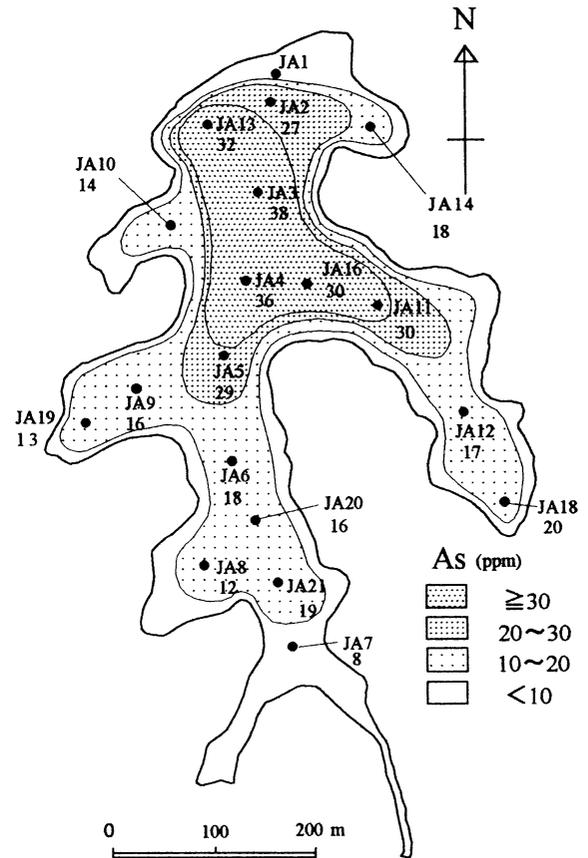


第5図 島根県湖陵町蛇池における表層堆積物の A-CN-K 図。比較のため宍道湖の完新統試料を示す。源岩組成の推定のため大森安山岩、大東花こう閃緑岩、花崗岩(阿須那、雲城、布部、下久野の各花こう岩)を示す。これらの試料は Ishiga et al. (2000) による。

ンプルは、60℃で1週間乾燥させた後、メノウ自動乳鉢で磨砕した。この粉末試料を用い、島根大学汽水域研究センターの CHN-S 元素分析を行った。また、粉末試料をセラミック製ルツポに入れ電気炉において (1050℃で1時間) 強熱し LOI (Loss on ignition) を測定した。この試料について蛍光 X



第6図 鳥根県湖陵町蛇池における表層堆積物の TOC 濃度分布。



第7図 鳥根県湖陵町蛇池における表層堆積物のヒ素濃度分布図。

環境を推定するのに有効であり、結果をそのまま当てはめると底質堆積物は一般の海成海成層 (TS/TOC=0.36, Berner, 1984; Berner and Raiswell, 1984) よりも低い値を示す。TOC/TN=29.7~154.8である。TOC/TN比は表層堆積物中の有機物の起源を推定するのに有効である。TOC/TN=6~9はプランクトン起源、TOC/TN>15は陸上高等植物起源と推定される(三瓶ほか, 1992; Sampei et al., 1997)。したがって蛇池の底質の試料は陸上高等植物起源が優勢であると考えられる。

蛇池の底質の元素の分布については As, Fe₂O₃, P₂O₅ など水深にほぼ比例して濃縮率が高くなる場合と (As の例を第7図に示す), この傾向があまり明瞭でない場合 (Pb, Cu, Zn など) がある。Fe₂O₃ と相関をもつのは As ($r^2=0.62$), P₂O₅ ($r^2=0.80$) であり, Pb, Cu, Zn, TS などは相関をもたない。

柱状試料の地球化学的特徴

試料採取方法

蛇池の地質構造を検査するためボーリングを行い試料を採集した。ボーリングは PRC (パーカッションリバースサーキュレーション) 工法である。これはバングラデシュで行われているかざ掘りをもとに、現地での経験を参考とした。高さ 2.5 m のやぐらを組み、その中央で VP 40 (内径 40 mm) のロッドをてこの原理により上下させる。掘削には泥水を

ロッドの外側から注入することによりロッドと砂層との間に泥の壁を作る。バングラデシュでは手のひらを逆止弁としているが、ここではボール弁を設置して行った。試料はロッドの上部から吸引されて排出される。14.9 m までは黄褐色の細粒砂であり (JA'1~7), その下位には黒色粘土まじり砂層 (厚さ 18 cm, JA'8) がある。そして 15.8 m 以下は基盤の布志名層 (JA'9) である。

分析結果

第2表に分析結果を示した。JA'1~5 とこれより下位の試料で元素の濃度は大きく変化する。微量元素では As, Pb, Cu, V, Ni が, 主元素では Fe₂O₃ が JA'5 から上位で大きく増加する。しかし, Cr, Th, CaO などは有意な変化を示さない。TS も As, Pb, Cu 等と同様に変化する。従って JA'5 から上位において急速な環境変化があったことが示唆される。

蛇池柱状コアの地球化学的にみた環境変遷

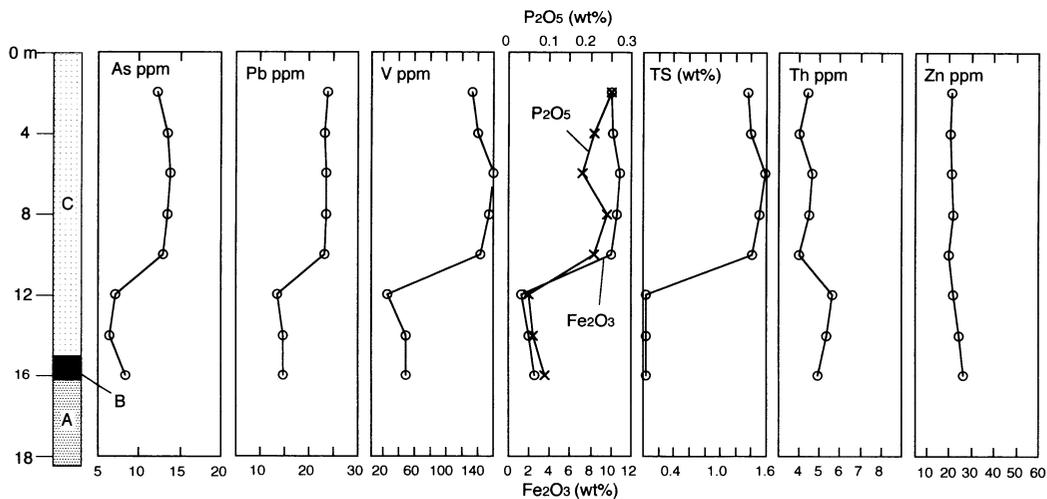
蛇池の2地点において採取したコア A (70 cm)・B (50 cm) において、それぞれ 1 cm 毎に深度別の主元素・微量元素を測定した (第3表)。コア A については最深度試料の元素組成で各層準の元素の濃縮率を規格化して垂直変化を示した (第9図)。コア A における As は深度 68 cm の 12 ppm から深度 35 cm までほとんど変化しないが、これより深度 10 cm

第2表 蛇池の底質，ボーリング試料，周辺地域の土壌の元素組成。

Jaika	ppm										wt%					
	As	Pb	Cu	Zn	V	Ni	Cr	Th	Fe ₂ O ₃	CaO	P ₂ O ₅	TS	TOC	TN		
bottom sediments																
JA2	27	16	25	65	229	99	12	10.03	0.70	0.39	0.45	3.64	0.10			
JA3	38	30	15	78	238	103	14	11.24	0.62	0.47	0.46	3.48	0.10			
JA4	36	19	19	68	234	96	13	11.21	0.64	0.45	0.42	3.36	0.09			
JA5	29	34	12	82	218	97	14	9.78	0.71	0.33	0.37	2.77	0.04			
JA6	18	20	16	66	205	92	14	9.09	0.74	0.28	0.30	2.25	0.05			
JA7	8	4	22	16	211	86	13	9.16	0.85	0.32	0.72	11.55	0.59			
JA8	12	8	23	44	192	87	13	6.45	0.80	0.19	0.49	5.38	0.17			
JA9	16	15	12	56	176	87	13	8.34	0.64	0.26	0.39	3.30	0.10			
JA10	14	9	20	57	171	89	12	7.53	0.76	0.30	0.53	5.32	0.18			
JA11	30	38	12	76	186	93	14	9.10	0.67	0.28	0.29	2.52	0.02			
JA12	17	9	17	71	186	89	12	10.05	0.60	0.34	0.37	3.35	0.10			
JA13	32	10	21	46	193	90	13	10.99	0.73	0.52	0.53	4.29	0.15			
JA14	18	29	21	127	133	27	69	9	7.25	0.70	0.19	0.60				
JA16	33	29	22	132	186	21	73	10	11.26	0.69	0.29	0.15				
JA17	19	24	16	99	130	18	67	9	7.38	0.67	0.20	0.11				
JA18	20	30	20	147	163	23	66	10	9.82	0.68	0.40	0.60				
JA19	13	28	17	97	106	25	57	9	4.85	0.67	0.18	0.46				
JA20	16	27	21	134	197	23	75	11	10.46	0.24	0.24	0.15				
JA21	19	46	27	197	190	31	71	10	9.99	0.74	0.25	0.77				
sediments etc.																
1013-2	9	21	14	61	138	14	111	8	5.10	0.79	0.33	0.10				
1013-3	12	20	11	78	90	21	62	7	7.49	0.67	0.22	0.55				
1013-5	24	45	25	158	132	-	22	5	7.06	0.78	0.08	0.53				
1013-6	15	21	19	85	151	11	96	7	4.58	0.83	0.49	0.12				
1013-8	16	6	9	220	383	56	17	2	73.21	0.81	0.14	0.07				
boring samples																
JA'1	12	24	25	21	133	10	46	4	9.97	0.88	0.25	1.35				
JA'2	13	23	25	21	141	9	40	4	10.17	0.83	0.21	1.40				
JA'3	14	24	26	21	160	12	41	5	10.81	0.82	0.18	1.58				
JA'4	13	24	25	22	155	10	43	5	10.53	0.85	0.24	1.50				
JA'5	13	23	25	20	144	13	42	4	9.99	0.86	0.21	1.42				
JA'6	7	14	4	22	25	-	48	6	1.32	0.81	0.05	0.03				
JA'7	6	15	5	25	50	4	45	5	1.96	0.78	0.06	0.05				
JA'8	8	15	6	27	49	2	41	5	2.59	0.69	0.09	0.04				
JA'9	16	19	10	52	138	3	52	9	6.29	0.49	0.04	0.05				
Koryo soils																
K1a	23	23	28	130	229	2	-	8	9.75	-	0.26	0.11				
K2b	13	18	3	25	140	-	36	6	4.12	0.97	0.07	-				
K3b	13	21	3	25	143	-	71	10	8.39	0.24	0.03	-				
K4a	11	23	-	33	129	-	72	6	2.57	0.72	0.14	-				
K4b	11	17	10	46	152	-	78	12	3.38	0.22	0.03	-				
K5a	7	15	-	22	121	-	49	7	3.36	0.89	0.03	-				
K6a	10	18	-	34	101	-	89	9	2.96	0.86	0.03	-				
K8b	13	21	-	35	163	-	72	7	3.14	0.72	0.15	-				
K9b	6	13	-	31	159	-	63	9	5.29	0.35	0.03	-				
K10a	3	15	12	56	154	-	5	4.57	-	0.08	0.03	-				
K11a	2	8	36	95	482	-	3	13.48	-	0.09	0.05	-				
K12a	13	16	4	27	6	-	6	1.09	-	0.06	0.16	-				
K13a	10	15	5	28	29	-	3	1.62	-	0.07	0.04	-				
K14	12	22	9	42	60	2	41	4	2.98	1.20	0.17	0.15				
K15	5	19	38	96	129	-	40	4	5.84	2.01	0.22	0.09				
K16	11	28	24	120	125	3	30	7	6.55	1.17	0.22	0.10				
K17	14	28	56	212	184	8	47	8	10.69	1.09	0.46	0.20				
K18	8	19	11	40	29	5	49	4	2.11	1.20	0.12	0.07				
K19	8	16	9	45	38	5	44	5	1.95	0.87	0.15	0.04				
K21	15	20	20	79	170	8	57	7	7.62	0.97	0.22	0.09				
K22	7	21	19	60	86	13	66	8	3.84	0.91	0.24	0.08				
K23	4	19	23	70	47	6	46	9	3.23	1.38	0.19	0.09				
K24	10	18	13	65	60	2	43	5	3.75	1.28	0.14	0.09				
K25	9	19	12	65	93	13	68	12	4.82	0.56	0.07	0.38				
K26	32	18	14	72	156	4	-	8	7.26	-	0.05	0.04				

付近まで次第に増加する。この層序から表層まで急激に増加(2.5倍)している。コアBにおいても深度5cmから表層にかけて急激に増加する。Pb, V, CrはコアA・Bにおいて有意な変化が見られない。コアAにおけるCuは基準値19ppmに対し、深度50cmと表層において約2倍に変化している。コアBでは25cmから上位で濃縮率が増加するがコアAとの対応は見られない。

コアAにおけるZnは、最深部の基準値95ppmから深度35cmまで大きな変化は見られないが、そこから表層に向かって増加している。表層においておよそ1.5倍の変化を示す。コアBにおいてもこれとほぼ対応した変化を示す。コアAにおいて、Niは基準値16ppmからいくつかの変動をくりかえし、表層において1.5倍に増加する。コアBにおいても基準値18ppmから変化に富む。そして表層において1.5倍となる。Crは、コアA・Bにおいて変化は見られない。コアAにおけるFe₂O₃は、基準値8.2wt%から深度35cmまであまり変化は見られず、そこから表層に向けて増加する。コアBにおいては基準値8.42wt%から表層に向けて増加する。深度5cmにおいて10.87wt%まで減少する。コアAにおけるP₂O₅は、基準値0.09wt%が最深部から深度15cmまで変化が見られず、そこから深度7cmまで急激な増加が起こる。そしてそこから緩やかに増加し、表層で約3倍になる。コアBでは、深度35cmからわずかな増加が起こり、深度5cmから表層にかけて急激に増加する。表層では基準値0.08wt%のおよそ4.5倍にもなる。コアAにおいてTSは深度30cmから増加が起こり、深度15cmにおいて最大となる。この時、基準値0.1wt%の3.5倍に達する。そして深度10cmでは変化量がおよそ2倍になり表層まで続く。As, Zn, Ni, Fe₂O₃, P₂O₅は、いずれも深度30~40cmの間で増加し始め、表層において最大値を示す。またTSにおいてもこれらの元素とほぼ同様の深度から増加し始め、深度15cmにおいて最大値を示すが、その上位では減少する特徴的な垂直変化を示す。TSの変化量の増減は蛇池における重要な環境の変化を示唆する。



第8図 鳥根県湖陵町蛇池の北岸におけるボーリング柱状図と元素組成の垂直変化を示す図。深度11m付近で多くの元素の濃縮率が変化する。

第3表 蛇池の底質，ボーリング試料，周辺地域の土壌の元素組成。

	ppm								wt%			
	As	Pb	Cu	Zn	V	Ni	Cr	Th	Fe ₂ O ₃	CaO	P ₂ O ₅	TS
Lake Jinzai bottom sediments												
JN1	12	24	25	212	133	10	46	4	9.97	0.88	0.25	1.35
JN2	13	23	25	208	141	9	40	4	10.17	0.83	0.21	1.40
JN3	14	24	26	212	160	12	41	5	10.81	0.82	0.18	1.58
JN4	13	24	25	219	155	10	43	5	10.53	0.85	0.24	1.50
JN5	13	23	25	202	144	13	42	4	9.99	0.86	0.21	1.42
JN6	13	24	25	215	151	11	41	5	10.76	0.84	0.28	1.23
JN7	13	24	27	225	162	12	41	4	11.11	0.82	0.29	1.31
JN8	13	26	26	225	177	10	42	5	11.40	0.82	0.25	1.47
JN9	14	23	26	222	164	13	43	4	11.25	0.82	0.32	1.36
JN10	14	24	26	228	173	10	41	5	11.58	0.83	0.32	1.42
JN11	14	25	26	219	179	11	45	6	11.87	0.79	0.36	1.41
JN12	16	23	24	198	176	11	44	5	11.29	0.87	0.31	1.25
Jaiké core samples												
A-1	31	31	41	144	187	26	83	11	11.15	0.70	0.28	0.17
A-3	29	31	22	140	190	23	79	11	11.07	0.69	0.27	0.19
A-5	25	31	22	141	179	26	80	11	10.87	0.69	0.26	0.20
A-7	28	30	22	144	182	24	79	11	11.02	0.69	0.25	0.18
A-9	27	31	26	140	185	27	80	11	10.94	0.69	0.20	0.21
A-11	22	31	21	140	182	26	82	11	10.51	0.68	0.15	0.18
A-13	23	30	20	139	200	25	81	11	10.21	0.66	0.12	0.25
A-15	21	29	22	132	170	25	78	11	9.71	0.64	0.11	0.35
A-17	22	28	21	128	198	26	79	12	10.04	0.63	0.11	0.30
A-19	19	28	26	132	168	28	81	11	9.77	0.62	0.10	0.20
A-23	19	27	20	122	179	22	79	12	9.77	0.61	0.10	0.15
A-27	17	24	21	112	171	21	80	12	9.18	0.59	0.09	0.13
A-31	16	23	20	103	150	19	79	12	8.56	0.58	0.08	0.10
A-33	17	23	20	100	181	19	79	12	8.37	0.57	0.08	0.09
A-35	16	21	18	94	139	18	80	12	7.93	0.57	0.08	0.10
A-37	18	23	20	106	195	19	80	12	8.93	0.57	0.08	0.09
A-39	17	22	23	105	175	21	81	12	8.64	0.57	0.08	0.11
A-43	18	22	20	105	183	18	81	12	9.06	0.57	0.08	0.12
A-49	16	22	20	109	196	26	79	12	9.16	0.57	0.08	0.13
A-55	16	22	21	102	182	19	80	12	9.27	0.57	0.08	0.10
A-61	14	23	18	99	163	17	78	12	8.46	0.58	0.09	0.10
A-65	14	23	20	97	159	19	78	12	8.43	0.59	0.09	0.10
A-67	12	24	19	95	157	16	75	11	8.20	0.59	0.09	0.10
B-1	33	30	23	148	172	27	78	10	11.95	0.69	0.36	0.39
B-3	35	30	27	146	171	28	77	10	11.43	0.68	0.26	0.36
B-5	24	26	18	129	175	27	86	11	9.45	0.69	0.13	0.14
B-9	28	30	21	135	171	26	83	11	10.93	0.63	0.13	0.19
B-13	26	30	21	127	176	21	81	11	10.92	0.62	0.12	0.19
B-17	24	26	27	123	173	26	77	11	10.53	0.60	0.12	0.17
B-22	25	26	19	125	177	23	80	10	10.65	0.59	0.12	0.20
B-25	22	26	23	118	169	21	77	11	10.11	0.58	0.10	0.16
B-29	21	24	20	114	172	21	83	12	9.72	0.57	0.09	0.10
B-33	20	24	18	107	170	19	74	12	8.95	0.57	0.08	0.09
B-37	20	23	19	107	163	19	73	11	8.68	0.57	0.08	0.09
B-41	19	23	17	103	162	15	76	11	8.33	0.57	0.08	0.08
B-45	18	21	15	88	141	16	71	10	7.20	0.59	0.07	0.09
B-47	21	23	16	100	161	18	77	11	8.42	0.57	0.08	0.09

蛇池周辺の土壌の元素組成

蛇池と神西湖周辺の地域（東西5 km 南北7 km）を一辺が1000 mのブロック（計26ブロック）に分けて試料の採取を行った（第1図）。蛇池周辺の13地点において26個の試料，神西湖周辺の12地点，蛇池の南側，多岐町の5地点の土壌試料を採取した。また，神西湖の底質を12地点において採取した。

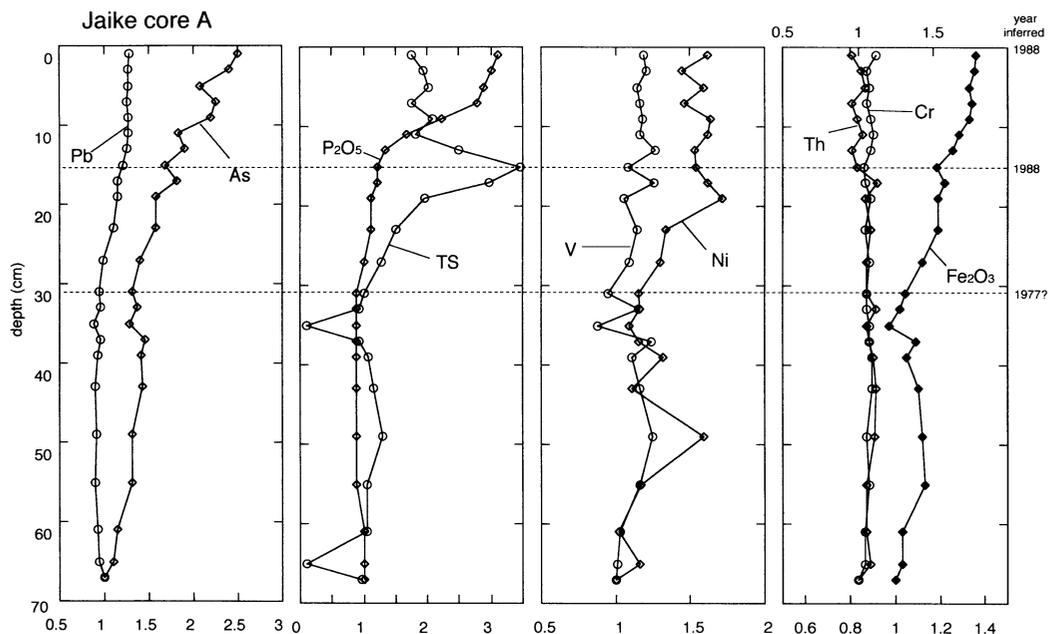
分析結果を第2，3表に示す。これをもとに蛇池から神戸川にかけての地化学図を作成した（第10，11図）。

Asは只池東方のK-26で最も高く（32 ppm），20 ppm以上を示すのは華蔵温泉（1013-5，24 ppm），神西湖南部のK 1（23 ppm）である（第10図）。10 ppm以上である地点は12地点ある。Pbは対象地域の多くの地点で15~20 ppmである。華蔵温泉においては最大の45 ppmを示す。いちじく温泉やその周辺の田園地域においても20 ppm以上の値を示し温泉作用による濃縮を示す。また，第三系が存在する地点や神戸川流域の平野および河口周辺の砂州においても高い値を示す。

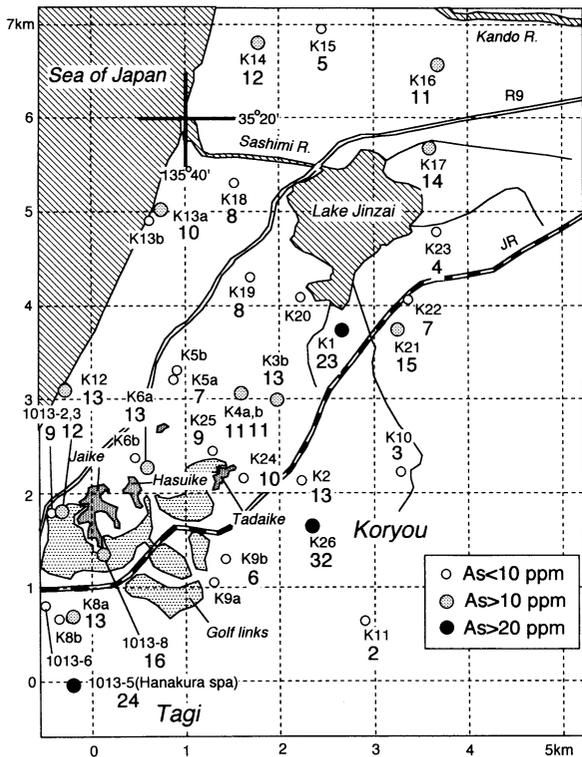
Fe₂O₃は神西湖北側の十間川周辺，神戸川流域，蛇池南東部の田園地域で高い値を示す。蛇池から湖水を排水している農業用水路で採取したバイオマットは73.2 wt%と極めて高い値を示す。P₂O₅は神西湖東部の田園地域から神戸川にかけて高く，K 17の0.46 wt%である。蛇池周辺では0.08 wt%以下の低い値を示している。調整池やいちじく温泉では0.5 wt%である。

TSは対象地域の多くの地点で0.01 wt%である。K 25において0.38 wt%と高い値を示す。華蔵温泉，調整池周辺の田園において最大の0.53 wt%および0.55 wt%を示す。

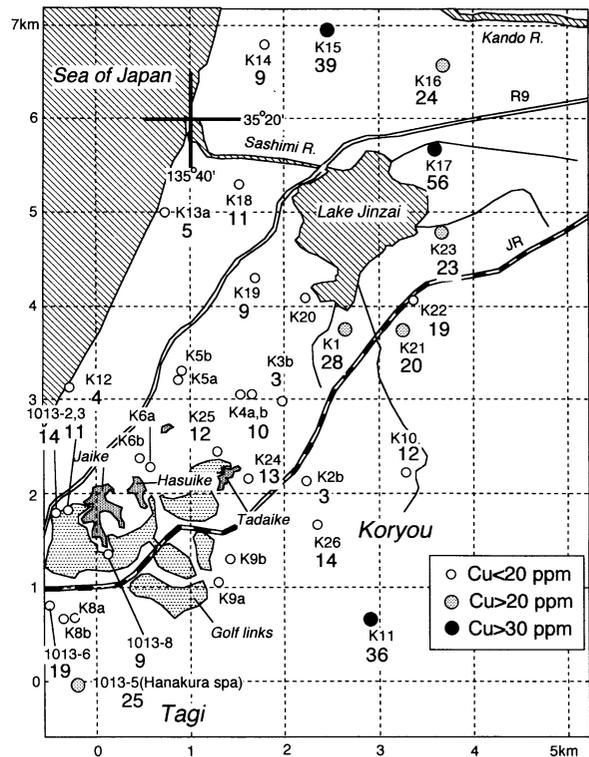
Cuは湖陵町周辺土壌平均値（16.5 ppm）である。神西湖周辺が高く（K 17，56 ppm），20 ppmを越える地点がある（K 1，



第9図 鳥根県湖陵町蛇池における柱状試料（A）の元素濃縮率の変化。最深部試料の濃縮率で各層準の試料のそれを規格化している。



第 10 図 島根県湖陵町神西湖から蛇池にかけての地域の土壌試料のヒ素濃度の分布図。



第 11 図 島根県湖陵町神西湖から蛇池にかけての地域の土壌試料の銅濃度の分布図。神西湖や神戸川周辺で濃縮率が高くなっている。

K 21, K 23). また, 神戸川流域 (K 15, K 16), 蛇池南東部の田園地域 (K 11, 36 ppm) において高い値を示す (第 11 図). 華蔵温泉は 25 ppm と局地的に高い値を示している。

Zn は神西湖北東部から神戸川流域の田園地域にかけて高い。この地域には農業用水路として利用されている九景川, 常楽寺川が存在する。このことから Zn は人間活動の影響によって濃集している可能性が考えられる。

蛇池底質と周辺土壌の元素組成の比較

As は湖陵町周辺土壌平均値 10.9 ppm に対し, 蛇池底質の平均値 (22 ppm) は約 2 倍の値を示す。神西湖底質平均値 13 ppm と比べても, 蛇池底質は As を濃集している (第 12 図)。中央部から深部にかけて As 濃度が高く, JA 3 地点において 38 ppm と最も高い。蛇池の地下 15 m の砂質試料 (JA*8) の As 濃度は 8 ppm である。

Fe_2O_3 は湖陵町周辺土壌平均値 4.8 wt% に対し, 蛇池底質平均値は 9.2 wt% と約 2 倍の値を示す。池の中央部から最深部にかけてと南東に枝分かれしている地点 (JA 17, JA 12, JA 18) と南側に枝分かれしている地点 (JA 20, JA 21) において高い値を示す。堆積物の特徴からは, JA 17, JA 12, JA 18 では, 茶褐色を呈しており, この地域は酸化的な環境を示唆する。しかし, JA 7 では表層堆積物が黒色であり, 底層水は還元的环境にあり, 底層水は鉄を溶存している。 Fe_2O_3 は神西湖の底質 (第 13 図) に比較しほぼ同じ濃度である。

P_2O_5 は湖陵町周辺土壌平均値 0.14 wt% に対し, 蛇池底質

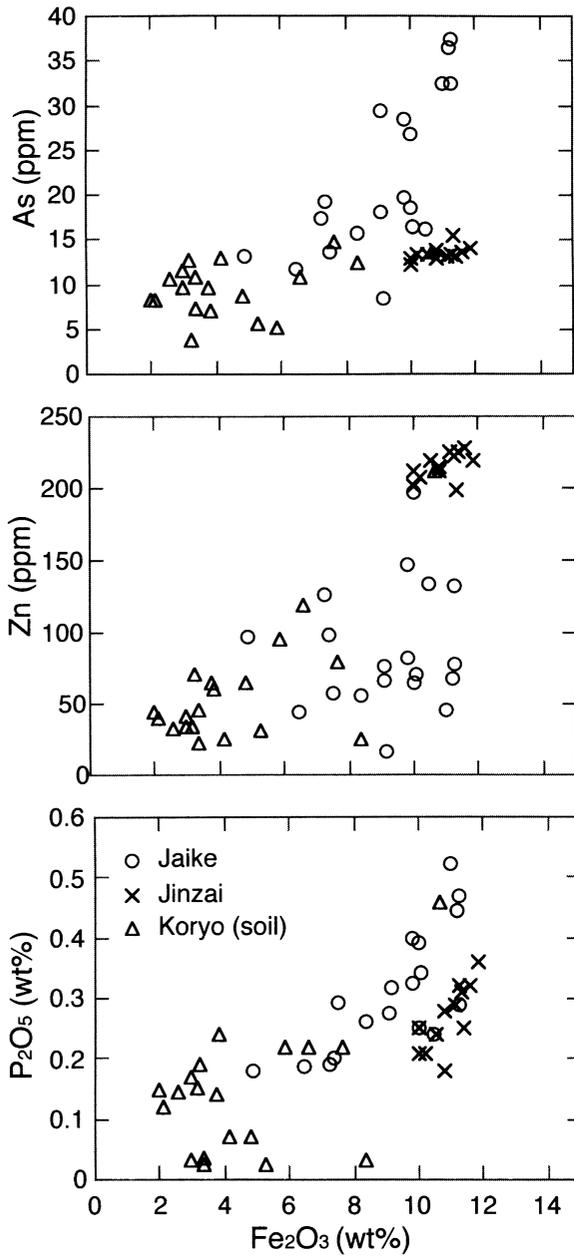
平均値は 0.34 wt% と高い値を示す。神西湖底質 (第 14 図) の平均値は 0.27 wt% である。

Pb は, 湖陵町周辺土壌平均値 20 ppm に対して, 蛇池底質平均値 22 ppm と比較的近い値を示している。JA 21 において 46 ppm と高い。湖陵町周辺地域における Pb の一般値 (15~20 ppm) であり, 蛇池, 神西湖において他の元素で見られるような濃集は起こっていない。Cu は, 湖陵町周辺土壌平均値 16.5 ppm に比べ, 蛇池底質平均値は 19 ppm とやや高くなっている。神西湖底質平均値 25 ppm と高い値を示している。中央部から深部, 南部において濃集している。JA 21 において最大値の 27 ppm を示す。

Zn は, 湖陵町周辺土壌平均値 73 ppm に対し, 蛇池底質平均値 83 ppm と約 10 ppm ほど低い値を示している (第 11 図)。神西湖底質平均値は 215 ppm であり蛇池底質の約 2 倍の値を示す。

蛇池周辺の環境変化

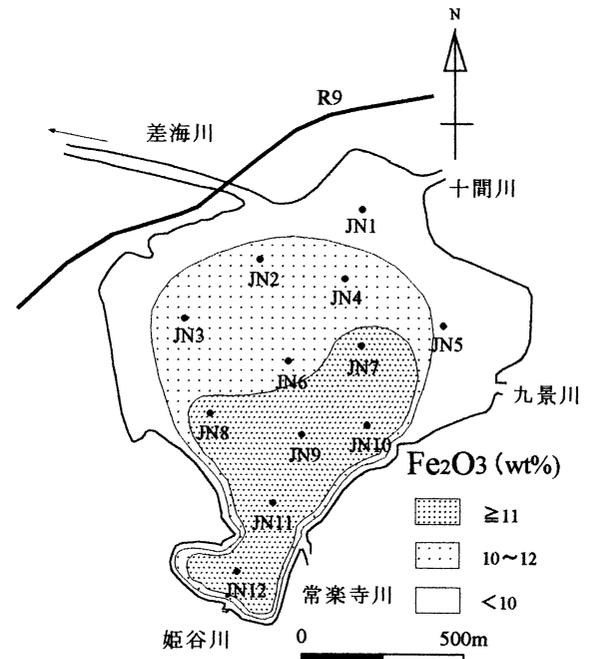
近年各地で土壌や地下水汚染が深刻化してきた (日本土壌肥科学会編, 1991)。この一つに土壌のもつ浄化能力を超える肥料や農薬の過剰散布は上げられる。土壌の地力は自然の物質循環の要になっている。しかし, 汚染された土壌は, そこに生育する植物のみならず, 食物連鎖によって動物や人間にも影響を及ぼすことになる。さらに, 微生物の活性を低下させ, 土壌のさまざまな機能を低下させることになる (日



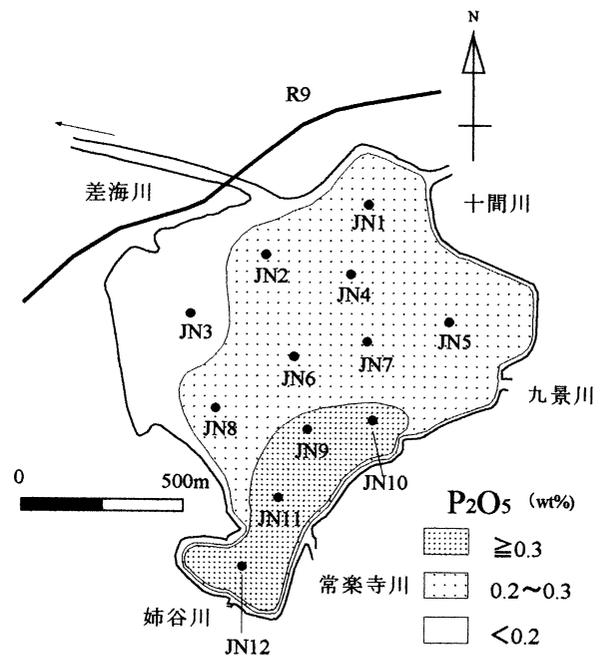
第12図 鳥根県湖陵町蛇池、神西湖の底質および周辺の土壌試料の鉄とヒ素、亜鉛、リン濃度の比較。

本土壌肥料学会, 1991). 蛇池表層堆積物の地球化学的評価のため、周辺土壌の化学組成と比較した分析を行った(第2, 3表). 蛇池底質にはAs, Zn, Ni, Fe₂O₃, P₂O₅, TSの濃縮が認められる。

コアA(68 cm)の各元素の変化量からはAs, Zn, Ni, Fe₂O₃, P₂O₅, TSは深度30~40 cm付近から表層に向けて増加することが示された。また、同様の元素組成の変化が蛇池北岸のボーリング試料においても認められた。蛇池の堆積速度は今のところ直接的年代が得られていないので不明である。深度30~40 cmから現在までの間に、これらの元素が増加してきた。ここでTSの変化は深度15 cm付近で基準値TS=0.1 wt



第13図 鳥根県湖陵町神西湖の底質の鉄濃度の分布図。



第14図 鳥根県湖陵町神西湖の底質のリン濃度の分布図。

%の約3.5倍となっている。この原因の一つに石灰硫黄合剤(多硫化カルシウム)のような殺菌剤や、硫酸(硫酸アンモニウム等の肥料)が予想される(河野, 1990)。石灰硫黄合剤は雑草の発生を低減するため、芝生や樹木に農薬を使用している(石井, 1975)。ゴルフ場では、芝の発育を良くするため、地下にパイプを通し、水はけを良くしている。雨水などはこのパイプを通して調整池へと流れ、泥や砂などが沈殿

され、そしてその懸濁物質を含む表層水が排水される。TSの濃度分布において、調整池からの排水が行われている付近(JA 7)の濃度が最も高く、このことを裏付けている。過去に蛇池やその周辺にある蓮池、只池において1988年4月に魚類(コイ、マブナ、ヘラブナなど)の大量死滅が起きた。また、その後奇形をおこした魚類も確認されている。魚の大量死滅はゴルフ場に隣接する湖に起きた。仮に、柱状試料Aの深度15 cmが魚の大量死滅が起きた1988年に相当するとすれば、堆積速度は(1.5 cm/year)となる。この値は宍道湖や神西湖のそれと比べはるかに大きい。しかし、これよりAs, Zn, Ni, Fe₂O₃, P₂O₅はゴルフ場工事着手時(1974年)から、TSはゴルフ場営業開始した年(1977年)から増加しているように見える。現在は、魚類の個体数が以前よりは少しずつ増えているが、底質における各元素は濃縮しつつ増え、排水やグリーン管理についての対策が必要である。

謝 辞

本研究テーマは鳥根県にある蛇池、菰沢池(浅利)といった淡水湖の現状の研究について、鳥根大学徳岡隆夫教授に示唆いただいたことによる。徳岡先生は中海・宍道湖といった汽水湖の環境変遷の研究を進めてこられ、未来へ向けたあるべき姿について提言をされてきた。本研究がお役に立てれば幸いである。また、研究遂行にあたりご援助・ご助言いただいたことを記して感謝します。

文 献

- Berner, R. A. and Raiswell, R., 1984. C/S method for distinguishing freshwater from marine sedimentary rocks. *Geology*, **12**, 365-368.
- Berner, R. A., 1984. Sedimentary pyrite formation. *Geochemica et Cosmochemica Acta*, **48**, 605-615.
- Fedo, C. M., Nesbitt, H. W. and Young, G. N., 1995. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology*, **23**, 921-924.
- 石井義男, 1975. 農業のライフサイエンス, 115-121. 大日本図書.
- Ishiga, H., Nakamura T., Sampei, Y., Tokuoka T. and Takayasu K., 2000. Geochemical record of the Holocene Jomon transgression and human activity in coastal lagoon sediments of the San'in district, SW Japan. *Global and Planetary Change*, **25**, 223-237.
- 河野修一郎, 1990. 日本農業事情, 52-53, 岩波新書.
- Nesbitt, H. W. and Young, G. M., 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, **299**, 715-717.
- Nesbitt, H. W. and Young, G. M., 1989. Formation and diagenesis of weathering profiles. *Jour. Geol.*, **97**, 129-147.
- 日本土壤肥料学会編, 1991. 土壌の有害金属汚染—現状・対策と展望—, 23-24, 博友社.
- 三瓶良和・吉田憲司・平坂 健・鈴木徳行・坂本栄治, 1992. 粘土鉱物組成および全有機炭素, 全窒素濃度から見た宍道湖湖底堆積物の特徴. *Res, Org. Geochem.*, **8**, 11-16.
- Sampei, Y., Matsumoto, E., Kamei, T. and Tokuoka, T., 1997. Sulfur and organic carbon relationship in sediments from coastal brackish lakes in the Shimane peninsula district, southwest Japan. *Geochemical Journal*, **31**, 245-262.
- 徳岡隆夫・大西郁夫・高安克己・三梨 昂, 1990. 中海・宍道湖の地史と環境変化. 地質学論集, **36**, 15-34.

(受付: 2000年11月15日, 受理: 2000年12月1日)