

宇曾利湖とその流域の陸水学的調査・研究

高松武次郎*¹、佐竹研一*¹、大八木昭*²

代表的な火山性酸性湖の一つである宇曾利湖で、湖と流入河川の水質、堆積物の元素組成、及び水生植物相の調査・研究を行った。湖水は酸性 (pH 約 3.8) で、硫酸イオン (約 40 ppm) と塩化物イオン (約 26 ppm) をほぼ等量含んでいた (合計で 1.557 meq/l)。一方、主な陽イオンは、ナトリウム、カリウム、マグネシウム、カルシウム、アルミニウム、及び鉄であった (合計で 1.560 meq/l)。湖の北西部にある窪地 (水深 約 16 m) では、夏期に温度躍層が形成され、躍層直下でコロイド状イオウの生成を伴ったイオウの酸化還元サイクルが観察された。流入河川水は、火山の影響の程度に応じて強酸性 (pH 1.9) から中性 (pH 7.4) まで変化し、これに伴って河川水中の Cl/SO₄ 比も変化した。堆積物の元素濃度は、チタンなどの風化され難い元素や重金属を除いて、一般的に低かった。しかし、ヒ素では特異的に高く (0.45~2.6%)、一部 (酸可容量の約 0.1%) はモノメチルアルソン酸やジメチルアルシン酸などの有機態として存在した。湖と流域に分布する多くの特徴的な水生植物の内、ウカミカマゴケ [*Drepanocladus fluitans* (Hedw.) Warnst.] はバイオマス量が大きく、湖内の物質循環に重要な役割を果たしていると考えられた。

1. 緒言

宇曾利湖は、酸性湖としての長い寿命を持っていること、その歴史の中で酸性環境に適応した多くの生物種を有すること、そして、化学的、物理的、並びに生物学的条件が安定して永く続いていることなどの理由から、湖沼水質の酸性化が生物相に与える影響を研究する上で、他に例のないフィールドである。宇曾利湖の湖水は、標準的淡水湖に比して5倍の硫酸イオン (約 40 ppm) を含んでいて、夏季成層期に湖の最深部でイオウの特徴的な酸化還元サイクルが観察される。これは、海洋で見られるイオウの酸化還元反応いわゆる青潮 (アオシオ) 現象と比較されるものである。

宇曾利湖の陸水学的研究は1930年代に開始され、この時期に一連の研究成果がまとまって発表されたが [1~5]、それ以後には1975年まで集中した研究は行われていない。本研究は、最近10年間に継続して行った宇曾利湖の水質の化学的研究と生物相に関する調査結果を併せて紹介するものである。

2. 宇曾利湖の地勢

宇曾利山湖または恐山湖とも呼ばれる宇曾利湖は、青森県下北半島中央部東経141度5分、北緯41度19分に位置する標高214m、面積2.17km²、周囲約6.5kmの湖で、東西1.6km、南北1.9kmの円形状の湖である。その周囲は、釜

*¹ 国立環境研究所 *² 青森県立田名部高等学校

臥山 (879m)、屏風山 (580m)、大尽山 (828m)、円山 (867m)、朝比奈岳 (874m) などの外輪山が取り囲み、典型的なカルデラ湖の景観を有している。周囲の外輪山から40以上の河川や沢が湖に流入するが、流出河川は湖の北東部に位置する正津川のみである。

湖盆は比較的平坦で、水深は約10mである。湖の西北部には深度15-16mのくぼ地があって、かつてその一部で23.5mの最高深度が記録された。図1の表面地質図 [6] を参照すると、湖は帯

状の平坦地で取り巻かれていて、過去には広い面積を占めていた湖が現在は縮小していることがわかる。実際、平坦地は安山岩質の熔岩を基岩とし、その上に湖成堆積物が厚い層を形成している。湖心部の堆積層の厚さは100m以上に達するとみられ、最近行われた湖北端部正津川沿いのボーリング調査で約40mの湖成堆積層の存在が確認されている。底泥の堆積速度が $1.8\text{mm}\cdot\text{y}^{-1}$ と計測されているので [7]、湖の寿命は数万年におよぶことになる。宇曾利

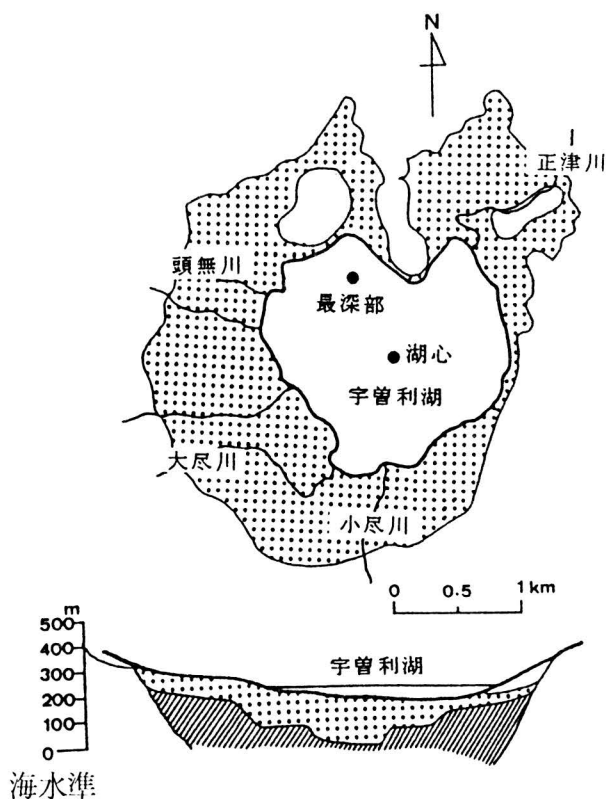


図1 宇曾利湖の概観と表面地質図 (青森県、1971)

.....: 湖成堆積物、////: 安山岩溶岩

湖が非常に古い湖の一つであることが分かる。この湖の最大の特徴は、北岸に分布する多数の硫気孔と温泉である。そこから噴出する硫気は亜硫酸ガスよりもむしろ硫化水素を多量に含み、湧出する温泉水は塩酸や硫酸を含む。この温泉水 (pH 1.9) は湖水を強い酸性 (pH 3.4~3.8) にし、この酸性度は湯釜 (pH 1.0)、潟沼 (pH 2.0)、裏磐梯酸性湖沼群 (pH 3~5)、屈斜路湖 (pH 4.1~4.9)、田沢湖 (pH 4.5) などの代表的な火山性酸性湖に並ぶものである。従って、湖沼型分類に従うと宇曾利湖は典型的な酸栄養湖に分類されるものである。湖水がこのように強酸性であるにも拘らず、湖には動物プランクトン、水生昆虫、魚類、貝類、藻類、維管束植物、せん苔類などが多様に棲息している。この湖の生物学的特徴がここにある。

3. 湖水の溶存化学成分

湖には、北岸部から強酸性 (pH 1.9~3.7) の温泉水 (約 42℃) が、また西岸部から頭無川などを通して常温の弱酸性水 (pH 4.6~5.3)、さらに西岸と南岸部から中性水 (pH 5.8~7.4) が流入する。湖水の化学成分はほぼこれらの流入水によって決まる。酸性や中性の湧水が湖底から供給されている可能性もあるが、この水量は目立ったものではない。

湖水表層全域における pH 値と硫酸イオン及び塩化物イオン濃度の分布を図2に描いた。pH は、強酸性水が流入する北部沿岸で低下する傾向を示し、中性水が流入する西部や南部の河口域

では高い。湖全体では、pH 3.5~3.8 の範囲でほぼ一定している。1930年代の調査では pH 3.2~3.6 [1、2、4]、1967年の調査で pH 3.4 [8] などが報告されており、現在の値と比べてこの50年間に pH は殆ど変化しなかったことがわかる。

硫酸イオンと塩化物イオンの濃度は、それぞれ 38~44 ppm と 26~29 ppm の範囲にあって、湖全域でほぼ一定している。しかし、北部沿岸地域の一部では、流入する温泉水の影響で、両イオンの濃度は目立って上昇する。一方、弱酸性の頭無川が流入する河口域では、硫酸イオンは 46 ppm まで上昇するのに対して、塩化物イオン濃度は逆に 8.9 ppm まで低下する。また、中性河川の河口域ではこれら両イオンの濃度は共に減少する。

湖水の流出水、すなわち、正津川の水は硫酸イオンと塩化物イオンをそれぞれ 40.1 ppm (0.835 meq/l) と 26 ppm (0.722 meq/l) 含んでいて、湖水全体の

表1は、湖心部の水に含まれる元素濃度と周辺の河川水や温泉水の元素濃度を比較したものである。正津川の値を見ると、酸性水が流域の造床地質から物質を溶かし込むために、ナトリウム、アルミニウム、マンガン、鉄の濃度は通常の中性湖沼に比べて高い。これに対して、カリウムやアルカリ土類金属は強酸性の温泉水に相当に高濃度で含まれるにも拘らず、その濃度は中性湖沼と大差がない。また、北岸から流入する温泉水は著しく高濃度のヒ素を含有している。宇曾利湖周辺の温泉の中には、わが国で知られる最高濃度

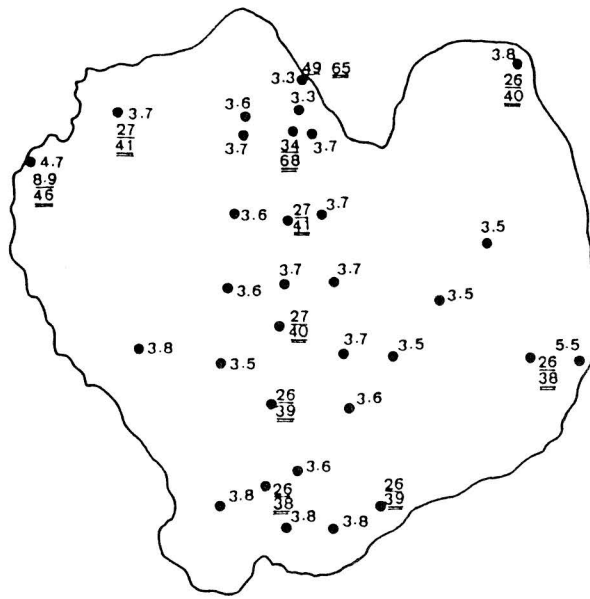


図2 宇曾利湖表面水のpH（無印）と塩化物イオン（一重下線）及び硫酸イオン（二重下線）の濃度（調査日：1986年8月18日）。

表1 宇曾利湖水と北岸部温泉水の水質

地点	元素	B	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Mn	Fe	Zn	As	Pb
		ppm											
林崎沖		1.11	16.6	1.58	0.55	6.50	2.87	7.36	0.09	0.49	<0.02	<0.15	-
正津川流出口		1.06	16.5	1.72	0.55	6.51	2.87	7.65	0.09	0.50	<0.02	<0.15	-
湖心		1.18	17.6	1.59	0.33	5.79	2.30	7.99	0.09	0.15	<0.02	<0.15	-
極楽浜		2.75	33.3	1.81	1.94	9.54	4.65	9.99	0.14	1.15	0.02	0.19	-
温泉水		39.2	350	4.36	6.31	39.1	37.9	77.2	0.37	7.70	0.05	0.59	-
温泉水#	平均	163	1920	11.9	5.0	77	209	275	2.7	3.2	-	15.0	0.03
	最低	21	307	0.7	0.1	46	24	54	0.4	0.02		0.03	0.01
	最高	389	3750	61.8	25.8	206	475	553	8.0	21.1		39.5	0.05

#：北岸部の15の温泉水の値を示す（野口ら、1970）、—：分析せず

酸性化にこれら両イオンがほぼ同等に寄与している様子が窺える。正津川流出水に含まれる主要な陽イオンの濃度はナトリウム (0.717 meq/l)、カリウム (0.073 meq/l)、マグネシウム (0.142 meq/l)、カルシウム (0.382 meq/l)、アルミニウム (0.061 meq/l)、鉄 (0.027 meq/l) 及

び水素イオン (0.158 meq/l) であって、これらの当量を合計すると1.560 meq/lとなる。この値は上述の硫酸イオンと塩化物イオンの当量の合計 1.557 meq/lと良く一致し、湖水全体のイオンバランスはこれらのイオンが支えていることがわかる。

のヒ素 (39.5 ppm) を含むものもあると言われており [9]、湖水中のヒ素濃度もその影響を受けていて、標準的湖沼で観察される濃度範囲 (0.16~1.9 ppb、[10]) より相当高い。北部沿岸部極楽浜周辺では、高濃度の亜ヒ酸が検出される。温泉水から流入する亜ヒ酸は、その後酸化的環境の下でより安定なヒ酸に徐々に酸化されて湖水中にとどまることになる。夏期に湖心部と最深部

で観察した水質の鉛直方向の変化を図3に示した。湖心部 (図3の下段) では、表層から下層にかけて水温が約5℃低下する。また、湖底直上で溶存酸素が1 ppm程度に低下し、代って電導度の上昇が見られる。湖心部の深層水では、湖底のすぐ上で硫酸イオン濃度が、例えば59 ppmという高値にまで増加する傾向が見られる。硫化水素は検出されないが、検出限界以下の硫化水素が常

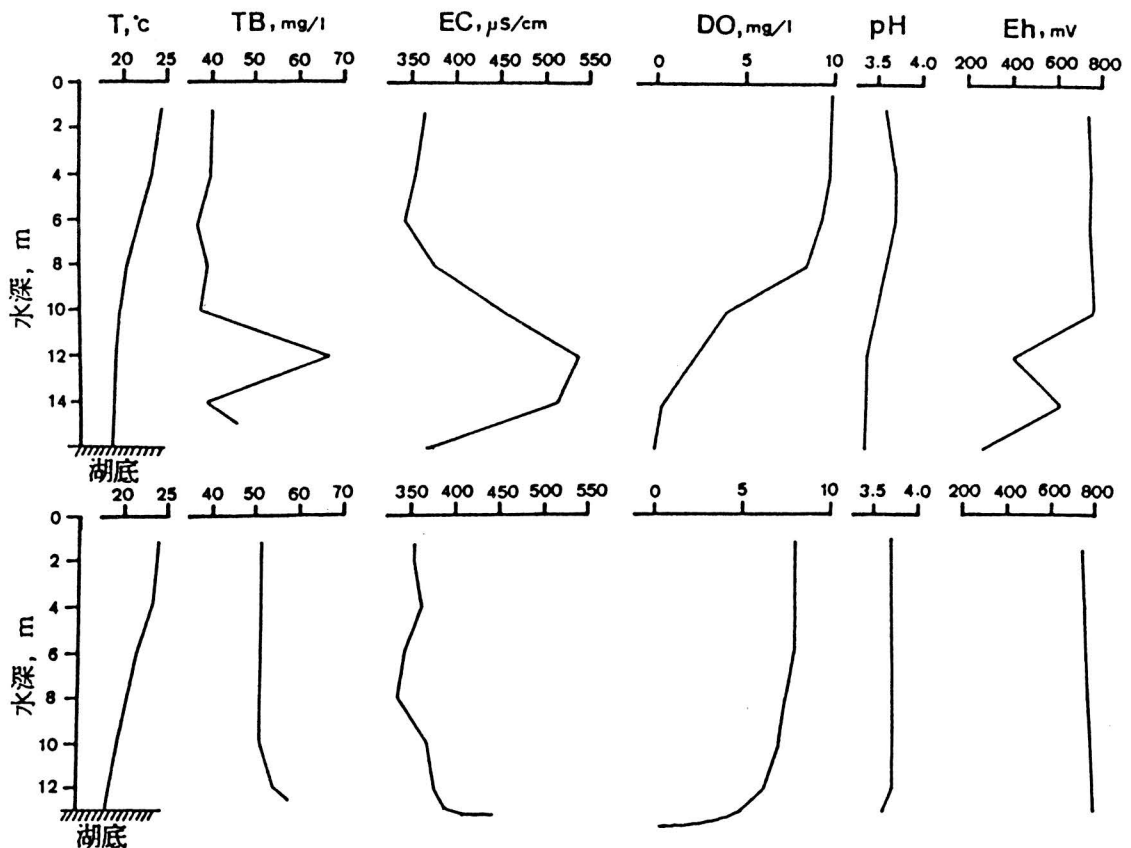


図3 宇曾利湖最深部 (上段) 及び湖心部 (下段) における水温 (T)、濁度 (TB)、電導度 (EC)、溶存酸素 (DO)、pH、及び酸化還元電位 (Eh) の鉛直分布 (調査日: 1986年8月19日)

時湖底堆積物から溶出している可能性は否定できない。

湖の南部の湖底面は水生せん苔類のウカミカマゴケ [Drepanocladus fluitans (Hedw.) Warnst.] で覆われ、その被覆面積は全湖底面の数十%に及ぶ。植物体の長さは水中で数十cmから1mにも達し、いわゆる植物体マットで密に覆われた湖底では、湖水の流動が妨げられ、マット下部で硫酸還元が起こる。それにともなって、マットの下部のpHは6以上にまで上昇することになる。

最深部(図3の上段参照)では夏季成層が見られる。水深約9mを境にして溶存酸素が急速に減少し、底層水は無酸素状態となる。湖底では、34.2 ppmの硫酸イオン(表面水に比べやや低い)と共に25.9 ppmの硫化物イオンが検出され、底層水の全イオウ濃度は著しく増加する。このことは、底層水中で硫酸還元が起こることだけではなく堆積物から相当量の硫化水素が底層水に供給されていることを意味している。水深12~13m近傍で、濁度と電導度が増大する。この濁度の上昇は、最深部の水色に青白色の色調を与える要因と考えられる。酸性湖にしばしば見られるこの特徴的な水色は、硫酸カルシウムなどのコロイド生成に由来すると言う説もある。しかし、宇曽利湖の場合、カルシウムイオンと硫酸イオンのイオン濃度の積(正津川流出水の値 7.98×10^{-8})と硫酸カルシウムの溶解度積($10^{-5.0}$ 、20℃での値)を比べると、前者は後者の1/100以下であって、硫酸カルシウムコロイドの生成は考えられない。温泉水の直接流入の影響や底層から供給され

る硫化水素の酸化で生成する過剰の硫酸イオンの効果を考慮しても、イオンの濃度の積が溶解度積に達するまで上昇するとは考えにくい。宇曽利湖の水色を定めているコロイドの本性は、濁度の増加とともに電導度が上昇することから、むしろ海洋で見られる青潮現象と同様に、底層から供給される硫化水素の酸化でイオウコロイドが生成することによると考えるのがよい。イオウコロイドによるRailey散乱の結果、水色は青味を帯びることになる。最深部の底層水には、硫酸還元で生成する硫化水素の他に、湖底から火山性の硫化水素が供給されている可能性がある。しかし、詳細はなお不明である。

4. 流入河川水の化学成分

宇曽利湖に流入する40以上の河川から代表的なものを選んで塩化物イオンと硫酸イオンの濃度を測定し、これらの重量濃度比(Cl/SO_4)とpHとの関係を図4に示した。pHは強酸性温泉水の1.9から中性河川水の7.4に及んでいて、このとき Cl/SO_4 比は0.2から4.0まで変化する。一般的に、pH 5.3以下の値を示す流入河川は何らかの火山活動の影響を受けているとよい。強酸性河川は、マグマ近くの高温度で生成された塩酸に富んだ凝縮水を、また、弱酸性河川は、マグマから離れた低温域で生成されたイオウ成分に富むが塩酸に乏しい凝縮水[11]を、それぞれ溶かし込んで流入する。その結果、 Cl/SO_4 比が前者では大きく、後者では硫酸イオンの付加により、0.2程度の小さい値となる。このような弱酸性河川の

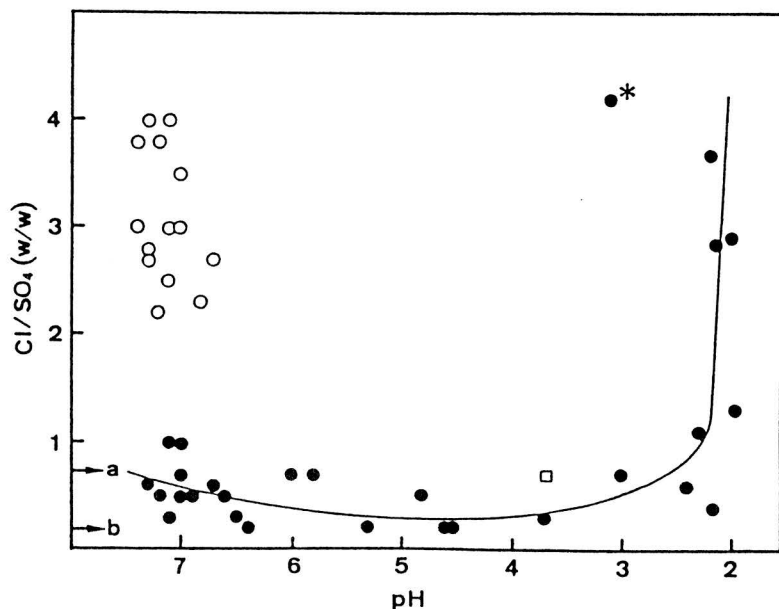


図4 東岸地域 (○) 及びそれ以外の地域 (●) から流入する河川に含まれる塩化物イオンと硫酸イオンの重量濃度比 (Cl/SO_4) と pH との関係
 * : 生活排水の影響あり、□ : 宇曾利湖湖心部の表層水の値、
 a : 我国の河川水の平均値、b : 地殻組成 (クラーク数) から計算した Cl/SO_4 比

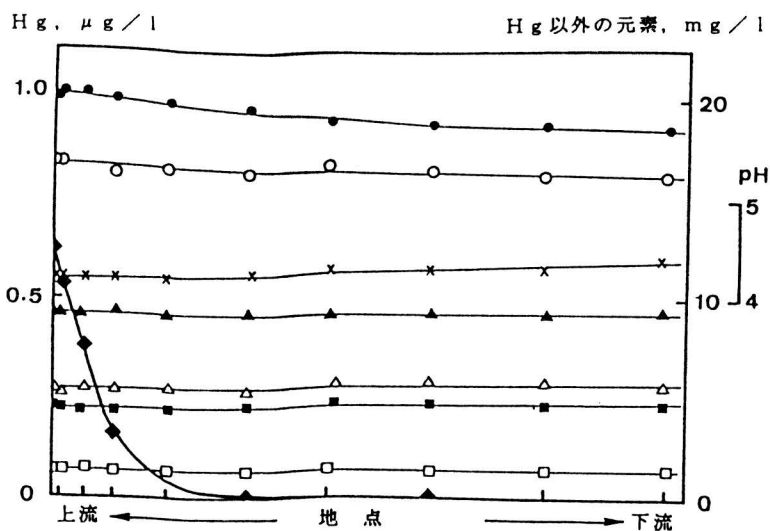


図5 頭無川の流路に沿った水質の変化
 調査区間：水源から河口より約 200m 上流の地点まで；(◆) Hg、
 (●) SO_4-S 、(○) Ca、(▲) Cl、(△) Na、(■) Si、(□) Mg、(x) pH、
 調査日：1982年11月14日

特質を最もよく現しているのが頭無川である [12]。この全長約 800 m の河川は、硫酸イオンに富んだ火山性の湧水を水源としているため、年間を通して水質は安定している。

図 5 は、水源から下流（河口から約 200 m 上流の地点）までの水質を示したものである。水銀含量以外の水質変化は非常に小さいが、川下に向うと pH は約 0.2 単位低下し、硫酸イオンは約 10% 減少する。水源の湧水は約 0.6 ppb の水銀を含んでいるが、その多くが原子状であるため容易に揮散し、約 100 m 流下する間にそのほとんどが失われる。

東岸部から流入する中性河川には、とりわけ Cl/SO_4 比の高い河川群が見られる。これは、後背地が乾性褐色森林土に属する土壌型であること、並びに表面地質が主として火山噴出物から形成されていることに因っているためである。

5. 堆積物の化学的特性

宇曾利湖の堆積物は、ここ数百年間、火山灰の混入なども無く安定した堆積速度 $18.1 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$ （表層 10 cm では、 $1.8 \text{ mm} \cdot \text{y}^{-1}$ ）を保っている [7]。堆積物の元素組成は深さ約 25 cm まではほぼ一様で、続成作用などによる元素の局在化は見られない。湖心部と最深部堆積物の元素濃度を表 2 にまとめて示した。この値を琵琶湖の堆積物組成 [13] 並びに地殻組成（クラーク数）に対比すると、最も風化されにくい元素であるチタンは 0.37% と良く一致するが、カリウム、ルビジウム、カルシウム、マ

ンガン及び鉄については、酸による溶脱の結果が著しく現れていて、宇曾利湖の堆積物では 1/3~1/5 の濃度にまで低下している。しかし、反対にヒ素やその他の重金属は温泉から多量に供給されたり、難溶性硫化物を生成したりするので宇曾利湖の堆積物に比較的多量に含まれ、特に底層水に多量の硫化物が含まれる最深部の堆積物中では、琵琶湖より明らかに高い濃度を示す。著しく高濃度のヒ素は宇曾利湖堆積物の最大の特徴であって、その濃度は湖心部で 0.55%、最深部で 1.75% である。表 3 は、堆積物中のヒ素の化学形態を宇曾利湖湖心部、同最深部、琵琶湖 [14]、三四郎池 [15]、各地の水田 [16] の間で相互に比較したものである。宇曾利湖のヒ素は大部分が温泉水から溶存態として供給されるにも拘らず、堆積物から酸で溶出できるヒ素の割合は極端に低い。これは、ヒ素の大部分が堆積物中で難溶性の硫化物として存在するためである [17]。また、モノメチルヒ素やジメチルヒ素など、共存する有機物の量や質に依存して生成される [14, 16] 有機ヒ素は、中性湖沼の堆積物の場合と同様に、酸可溶性無機ヒ素量（生物可給態無機ヒ素量と考えられる）の 0.1% 程度存在する。有機ヒ素は、還元条件下で微生物によって生合成されると考えてよいので、実際に宇曾利湖の場合でも、還元が最も進行する最深部の堆積物は湖心部のものに比べ明らかに多量の有機ヒ素を含むことになる。堆積物の下層（5~6 cm 以深）では硫酸還元によって pH が 5~6 まで上昇し、この pH 条件が活発にヒ素のメチ

表2 宇曽利湖堆積物の元素濃度

地点	K	Ca	Ti	Fe	As	Mn	Cu	Zn	Rb	Sr	Pb
	%					ppm					
湖心	0.43 (0.33-0.60)	0.27 (0.17-0.35)	0.32 (0.26-0.40)	1.42 (0.85-2.40)	0.55 (0.45-0.81)	158 (150-171)	22 (14-27)	32 (26-48)	36 (31-41)	72 (60-86)	48 (31-66)
最深部	0.51 (0.39-0.63)	0.12 (0.08-0.16)	0.48 (0.33-0.60)	0.96 (0.76-1.28)	1.75 (1.31-2.60)	148 (136-165)	57 (42-92)	177 (127-307)	36 (30-40)	149 (110-212)	126 (79-183)

値は試料の凍結乾燥重当たりで、深さ0-25cmでの平均値（最低値—最高値）を表す。

表3 宇曽利湖堆積物中のヒ素の化学形態

ヒ素化合物	宇曽利湖心	宇曽利最深	琵琶湖	三四郎池	水田
ジメチルヒ素 [*] (ppb)	84	310	4.2	5.8	19
モノメチルヒ素 ^{**} (ppb)	300	610	34	54	25
酸可溶無機ヒ素 [§] (ppm)	950	1200	28	6.4	44
全ヒ素(ppm)	5500	17500	31	12	150
メチル化ヒ素/酸可溶無機ヒ素 ^{**§}	0.4	0.8	1.4	9.3	1.0
メチル化ヒ素/全ヒ素 ^{**§}	0.07	0.06	1.2	5.0	0.3

琵琶湖：最深部のコア試料(0-35cm)についての値，三四郎池：国立環境研究所標準試料(NIES SRM No. 2)，水田：ヒ素汚染田(宮崎県高千穂，大分県山香，及び大分県緒方のそれぞれから1試料，島根県津和野及び宮城県本吉のそれぞれから2試料)での平均値，^{*}：ジメチルアルシン酸，^{**}：モノメチルアルソン酸，[§]：塩酸(10M)で抽出できる無機ヒ素，^{**§}： $\times 10^{-3}$ 。

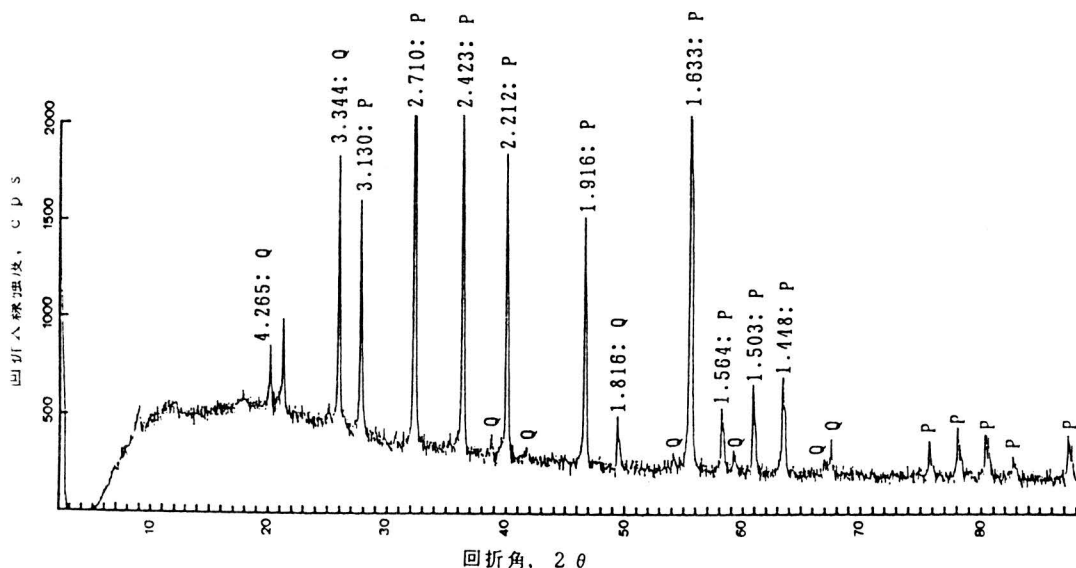


図6 宇曽利湖北岸湖底から採取したパイライトのX線回折スペクトル
図中の数値は面間隔(d/Å)値、P：パイライト、Q：石英

ル化を促進するのは一般の中性湖沼に見られる現象と同様である。

堆積物の一部には、単体のイオウ [7] や分解されにくいウカミカマゴケ (次節参照) の遺骸を多量に含むものがあり、これも宇曽利湖堆積物の特徴である。湖の北部沿岸では、湖底表面や堆積物中から不定形のパイライト (径が十数 cm の岩石状のものや板状に広がったものなど様々である) が見いだされる。図 6 は宇曽利湖底から採取した不定形パイライトの X 線回折図である。パイライト (P) と石英 (Q) を主体とする鉱物であることがわかる。パイライトは古い湖成堆積層の中に殆ど例外なく見い出されるが、ヒ素を比較的多量に、例えば 1300 ppm 含むのが特徴である。しかし、パイライトの成因やそのヒ素との関係は現在でも不明である。

6. 水生植物相の特性

宇曽利湖には、湖水の強酸性にも拘らず多くの水生植物が分布する [18]。主な植物種は、南部湖底を覆うせん苔類のウカミカマゴケ [*Drepanocladus fluitans* (Hedw.) Warnst.]、南部及び東部湖岸に分布する維管束植物のチシマミクリ (*Sparganium hyperboreum* Laest.)、コウホネ (*Nuphar japonicum* DC.)、フトヒルムシロ (*Potamogeton fryeri* A. Benn.)、イトモ (*Potamogeton pusillus* L.) などである。湖周の汀線に沿って、維管束植物のアシ (*Phragmites communis* Trim.) やフトイ (*Scirpus*

tabernaemontani Gmel.) が分布する。この他、量的には少ないが、水生苔類のチャツボミゴケ (*Jungermannia vulcanicola* Steph.) やムラサキヒシヤクゴケ [*Scapania undulata* (L.) Dum.] の分布も見られる。これらの植物の内、ウカミカマゴケは湖内で非常に大きなバイオマス量を持ち、堆積物に含まれる有機物の主な供給源である。また、ウカミカマゴケの茎葉体や難分解性の植物遺骸は水相内の鉄化合物を始め各種溶存無機化合物の沈着部位として作用することが多く、この植物が湖内の物質循環に果たす役割は重要であると考えられる。弱酸性河川である頭無川には、チャツボミゴケ、ムラサキヒシヤクゴケ及びウカミカマゴケの三種類の水生せん苔類が生育している。この中、前二者は微量の水銀を含む源流部にも分布し、その細胞壁中に黑色硫化水銀の微粒子を蓄積している [12]。

以上に述べた宇曽利湖の陸水学的特質は、夏期の調査研究に基づいたものである。冬は積雪で調査が困難となるので、冬季結氷下の湖の状況は殆ど知られていない。また、宇曽利湖は気候の影響を受け易い湖であって、最深部で見られる夏季成層の状況が年毎に変動するとも言われている。実際、1931年と1932年には成層は確認されず、逆に、1934年から1938年には本報で紹介した以上に顕著な成層構造が観察されたと報じられている [5]。宇曽利湖に関する知識は現在でも非常に限られたものであって、今後も継続した調査研究が必要である。

引用文献

- [1] 小久保清治：帝水，10, 10-15 (1931) .
- [2] (a) 田村正：陸水学雑誌，2, 76-7 (1933) ;
(b) 6, 63-73 (1936) .
- [3] S. Yoshimura : Jap. Proc. Imp. Acad., 10, 475-478 (1934) .
- [4] 益子帰来也：陸水学雑誌，8, 45-52 (1938) .
- [5] K. Mashiko : Sci. Rept. Tohoku Imp. Univ., 4 Ser., Biol., XV, 331-356 (1940) .
- [6] 青森県 土地分類基本調査，大湊 1971.
- [7] 田中敦，佐竹研一，高松武次郎，第54回日本陸水学会講演要旨集，p. 70, 1989.
- [8] 三井嘉都夫，"下北地方における陸水 -- 下北自然，文化，社会" 1967 平凡社.
- [9] 野口喜三雄，中川良三：日本化学雑誌，91, 127-131 (1970) .
- [10] H. Onishi, "Arsenic" in K. H. Wedepohl, ed. Handbook of Geochemistry, Springer-Verlag, 1969 Berlin.
- [11] I. Iwasaki, T. Ozawa, M. Yoshida, T. Katsura, B. Iwasaki, M. Kamada, and M. Hirayama : Bull. Tokyo Inst. Tech., 47, 1-55 (1962) .
- [12] K. Satake, K. Shibata, and Y. Bando : Dum. Aquat. Bot., 36, 325-341 (1990) .
- [13] T. Takamatsu, M. Kawashima, R. Matsusita, and M. Koyama, Jap. J. Limnol., 46, 115-127 (1985) .
- [14] T. Takamatsu, R. Nakata, T. Yoshida, and M. Kawashima : Jap. J. Limnol., 46, 93-99 (1985) .
- [15] 高松武次郎，中田鍊平，吉田富雄：分析化学，31, 540-542 (1982) .
- [16] T. Takamatsu, H. Aoki, and T. Yoshida : Soil Sci., 133, 239-246 (1982) .
- [17] M. Soma, A. Tanaka, H. Seyama, and K. Satake : Geochim. Cosmochim. Acta, 58, 2743-2745 (1994) .
- [18] 佐竹研一，大八木昭，高松武次郎，巖靖子，西川雅高，柴田康行：第54回日本陸水学会講演要旨集，p.68, 1989.

【英文要旨】

Limnological Study of Lake Usori-ko and Its Basin

T. Takamatsu & K. Satake

National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

A. Oyagi

Aomori Prefectural Tanabu High School, Aomori, Japan

The quality of water and sediment as well as the aquatic flora were studied in Lake Usori, which is a typical volcanic acid lake located in the Shimokita Peninsula, Japan, and its basin. The lake water was acidic (pH: ca. 3.8), and contained sulfate (ca. 40 ppm) and chloride (ca. 26 ppm) as the major anions (Total: 1.557 meq/l), being approximately equivalent to the total concentration (1.560 meq/l) of Na, K, Mg, Ca, Al and Fe. At the lake's deepest point (Depth: about 16 m) located in the northwestern part of the lake, water stratified in summer and the redox cycle of sulfur was observed just below the thermocline with the production of colloidal sulfur. The water pH and Cl/SO₄ ratios (weight basis) of influent rivers varied from 1.9 to 7.4 and from 4.0 to 0.2, respectively, depending on the inflow volume of hot spring water. Concentrations of elements, other than heavy metals and some non-easily weathered elements such as Ti, were generally low in the lake sediment. However, it was extremely rich in arsenic (0.45-2.6 %), a part of which occurred as organic forms including monomethylarsonate and dimethylarsinate (ca. 0.1% of acid-extractable As). Among the aquatic flora, [*Drepanocladus fluitans* (Hedw.) Warnst.] , because of its characteristic distribution as a thick mat on the lake sediment surface and extremely large biomass, may have a significant role in the cycling of elements within the lake.