

C-2 酸性・汚染物質の環境-生命系に与える影響に関する研究

(2) アルミニウムの環境中動態に関する研究

② アルミニウムの生体内蓄積及び代謝阻害機構に関する研究

通商産業省工業技術院物質工学工業技術研究所

計測化学部 部長 高谷晴生

計測化学部 生体微量分析グループ 内海 昭、高津 章子

平成8～10年度合計予算額 9,000千円

[要旨]

環境の酸性化は土壌中のアルミニウムの溶出をもたらし、これらのアルミニウムの生態系に与える影響が問題とされている。本研究では環境の酸性化に伴って溶出するアルミニウムと生物との関係を明らかにするために、火山性酸性湖である宇曽利湖及び猪苗代湖のウグイ試料を用いて酸性環境に生息する生物体内アルミニウム含有量とその蓄積形態について検討を行った。その結果、酸性環境である宇曽利湖および猪苗代湖に生息しているウグイの各臓器のアルミニウム濃度はどちらも酸性ではない天竜川のウグイに比べて高濃度であり、特にエラ中のアルミニウム濃度が高いことが明らかになった。また、宇曽利湖と猪苗代湖では、湖水のpH、アルミニウムの濃度や化学種が異なるにもかかわらず、魚体内アルミニウム濃度はほぼ等しいという結果が得られた。

さらに、アルミニウムの蛍光プローブ剤であるルモガリオンを用いてウグイ各臓器、特にアルミニウムが高濃度であったエラ中アルミニウムの組織内での分布について検討を行った。その結果、宇曽利湖および猪苗代湖のウグイのエラでは、アルミニウム濃度でみると値はほぼ等しかったのに対し、蛍光像では猪苗代湖のウグイのエラでは局所的に強い蛍光が見られアルミニウムが局在していると考えられたのに対し、宇曽利湖のウグイのエラでは全体的に明るい蛍光像が得られ、局在のありようが異なると考えられた。

[キーワード]

酸性環境、湖、生態系、アルミニウム、ウグイ、

[本文]

1. 序 (研究背景等)

酸性降下物による環境の酸性化は土壌中の金属元素の溶出をもたらし、これらの金属元素による生体系汚染ならびに代謝阻害が懸念されている。特に、土壌の主成分であるアルミニウムはその生体に対する毒性から酸性雨による溶出の影響が問題とされているが¹⁾、生体への取り込み

等詳細については不明であり、酸性環境で溶出するアルミニウムの生体内への取り込みや蓄積経路等を明らかにしていくことが必要とされている。

2. 研究目的

本研究では特に動物種とアルミニウムの関係に注目し、酸性環境に生息する動物組織中でのアルミニウムの存在量や存在形態を明らかにすることを目的として実験を行った。動物としては日本の火山性酸性湖⁴⁾に生息しているウグイを試料とした。具体的には、青森県宇曾利湖および福島県猪苗代湖の2つの異なる酸性湖のウグイ各臓器中アルミニウムの濃度を測定すると共に、生育環境である湖水の分析を行い、魚体内アルミニウム濃度の環境の違いによる差異について考察することを目的に研究を行った。また、アルミニウムの蛍光プローブ剤であるルモガリオンを用いて、酸性環境で生育しているウグイ各臓器、特にアルミニウムが高濃度であったエラ中アルミニウムの組織内での局在部位の計測について検討を行った。

3. 研究方法

(1) 試料の採取

火山性酸性湖である青森県宇曾利湖および福島県猪苗代湖に生息しているウグイは、初夏に中性河川に産卵のためのぼってくるもの⁵⁾を捕獲した。比較のため、酸性ではない天竜川のウグイを入手し、同様に処理した。それぞれの湖および川の水についても数カ所で採取し、0.45 μ m のメンブレンフィルターで濾過して実験室へ持ち帰り、分析した。その際、pHおよび水温については現地で測定した。

(2) 器具、試薬類

実験に用いたガラス器具類やサンプリングに用いた容器類は少なくとも一昼夜以上希硝酸に浸し、超純水（オルガノ製 PURIC Model-S）で洗浄して用いた。また、試料分解にはすべて高純度の酸（関東化学製 Ultrapur）を用いた。

(3) 試料の処理

ウグイは解剖し、各臓器及びエラ、肉、骨等の部位をとりだし、石英ビーカー中で硝酸で湿式分解した。周囲からの汚染を最小限にするため、石英製のクローズドのチャンバーを試作し、試料の分解はチャンバー内で行った。このシステムは、①比較的大きな試料を分解できるため、臓器をそのまま分解することができ、臓器内の分布等を考慮する必要がない。②周囲からの汚染を最小限におさえられる、③分解に用いる酸の量を少なくできる等の特徴があると考えられる。分解した試料は、定容後、各元素濃度を測定した。それぞれの場所について5から7匹のウグイについて処理した。

(4) 試料の分析

水試料については実験室に持ち帰った後、もう一度pHを測定して確認した後、陰イオンについてはイオンクロマトグラフィー（横川製 IC7000）を用いて測定した。また、水試料及び魚組織の分解試料については、ICP発光分析法（Thermo Jarrell Ash IRIS/AP）で主な元素について、

また、黒鉛炭素炉原子吸光法 (NJA UNICAM SOLAAR 989) でアルミニウム濃度について測定した。

(5) 蛍光プローブ剤を用いたアルミニウムの局在部位の計測

蛍光プローブ剤を用いたアルミニウムの局在部位の計測のために、それぞれの場所で数匹ずつのウグイは中性ホルマリンで固定し、各臓器をとりだし、パラフィンに包埋した後、薄切した。作製した切片は脱パラフィンした後、ルモガリオン染色⁶⁾を行った。染色条件を確立するため、種々の条件 (試薬濃度、反応温度、反応時間、マスク剤など) で染色を行い、得られた蛍光像を比較した。最終的な条件としてマスク剤処理としてアルコールビン酸で還元処理をした後、ルモガリオン濃度 $2 \times 10^{-5} \text{M}$ 、pH 4.0、液温 70°C 、反応時間 1 時間で染色することにした。観察にはアルゴンイオンレーザーを光源とする共焦点レーザー顕微鏡を用い、励起波長 488nm 、観察波長 580nm とし、蛍光像を CCD カメラで撮影した。

4. 結果・考察

(1) アルミニウムの濃度測定法

通常の ICP 発光分析法ではカルシウムの干渉が大きく、また感度もあまり高くないため魚臓器中アルミニウム濃度の測定は困難であったため、原子吸光法での測定を試みた⁷⁾。共存する塩の影響を調べたところ、湿式分解の際に過塩素酸を用いると分解後に残留する過塩素酸が負の干渉を与えたため、分解は硝酸のみで行うことにした。また、骨やエラの主成分であるカルシウムが正の干渉を与えることがわかったが、分解試料を希釈することで良好な回収率が得られた。また、アルミニウムの測定の際の最大の問題の一つである分解の際のブランクは、10ml 定容でほぼ 0.1ppm レベルで一定であった。

(2) 生育環境である各湖及び河川水の分析結果

表 1 に宇曽利湖、猪苗代湖、天竜川のそれぞれ代表地点でサンプリングした水の分析結果を示す。宇曽利湖、および猪苗代湖の各サンプリング地点での水の分析結果の表 2、3 に示した。今回コントロールとした天竜川は、pH 7.7 であり、アルミニウムの濃度は 17ppb であった。これに対して、宇曽利湖は pH 3.6 と酸性が強く、アルミニウムの濃度も 0.6ppm と非常に高い値を示した。この湖は硫酸及び塩酸酸性であることが陰イオンの分析結果からも示されている。また、福島県猪苗代湖は pH が約 5 であり、宇曽利湖ほど強い酸性ではないが、硫酸酸性であることが示された。アルミニウムの濃度も、酸性でない天竜川よりも一桁高いが、宇曽利湖ほど高くはなかった。

表 4 に、宇曽利湖および猪苗代湖の湖水中アルミニウムの化学形態を Tsunoda らの方法⁸⁾により分析した結果を示した。天竜川の水はアルミニウム濃度が低く、測定できなかった。その結果、酸性が強い宇曽利湖の水はイオン性のアルミニウム (Al^{3+}) がほとんどであるのに対し、猪苗代湖では結合した種 (AlL^+) が多いことが示された。

(3) ウグイ各臓器中のアルミニウムおよびその他の元素濃度

ウグイの各部位の主成分 (Na, K, Ca, Mg, P) の分析結果を表 5 に、アルミニウム及び微量成分

(Fe,Cu,Zn)の分析結果を表6に示した。酸性ではない天竜川のウグイでは体内のアルミニウム濃度は $0.5 \sim 6 \mu\text{g g}^{-1}$ であるのに対し、2ヶ所の酸性湖に生息している魚では測定したすべての臓器において天竜川に生息している魚に比べてアルミニウムの濃度が高いことが示された。こうした傾向を示すのは、測定した金属元素の中ではアルミニウムのみである。臓器別では酸性湖に生息しているウグイではエラの部位のアルミニウムが、天竜川もウグイで $1 \mu\text{g g}^{-1}$ であるのに対して宇曽利湖のウグイで $42 \mu\text{g g}^{-1}$ 、猪苗代湖のウグイで $37 \mu\text{g g}^{-1}$ と、非常に高濃度であり、内蔵では肝臓の濃度が高かった。エラは薄い上皮で広い面積にわたって水と接しており、アルミニウムの毒性についても最初に影響を受ける器官として、これまでも多くの研究が行われており、アルミニウムの蓄積も報告されている¹⁴⁾。一方、酸性環境に生息している魚の臓器中のアルミニウム濃度の測定はあまり報告されていないが、Karlsson-Norrgrénらのブラウントラウトでの測定結果¹⁵⁾と比較すると、エラ中アルミニウム濃度が高いことや、各部位の濃度レベルはほぼ等しい。しかし、Karlsson-Norrgrénらの報告では内蔵の中では腎臓のアルミニウムレベルが高かったとしているのに対し、本結果では、宇曽利湖、猪苗代湖のみならず酸性ではない天竜川のウグイについても肝臓中のアルミニウム濃度が高かった。Karlsson-Norrgrénらの報告では高濃度のアルミニウムにさらされた魚のエラには異常がみつかったとされているのに対し、宇曽利湖のウグイは独自の耐酸性機構を持ち¹⁶⁾、健康に生息していると考えられる。

次に、宇曽利湖と猪苗代湖のウグイ中アルミニウム濃度を比較してみると、環境（水）中のアルミニウムの濃度は異なるにもかかわらず、魚体内のアルミニウムの濃度は骨以外はほぼ等しいという興味ある結果が得られた。宇曽利湖、猪苗代湖、天竜川のウグイの各臓器のアルミニウムの濃縮係数を臓器中濃度を水中濃度で割って求め、表7に示した。その結果、宇曽利湖のウグイの各臓器の濃縮係数は他の場所のウグイの濃縮係数よりも小さいことがわかった。これは、宇曽利湖では水中のアルミニウムはそれほど生体内に取り込まれていないことを意味している。アルミニウムはその化学種により生体に対する毒性が異なり、毒性の高いのはイオン性のものと言われている³⁾が、本結果は、イオン性のアルミニウムが多い宇曽利湖では体内蓄積が起りにくいことを示すとも考えることができ、毒性と体内蓄積性は異なることを示しているとも解釈できる。

(4) 蛍光プローブ剤を用いたアルミニウムの局在部位の計測法

魚組織中でのルモガリオンとアルミニウムの反応条件については試薬濃度、反応温度、反応時間、マスクングの効果等について検討を行った。反応温度は重要で 60°C では十分に反応しないと考えられ、 70°C まで加温する必要があることが明らかとなった。また、反応時のpHは低い方が染色性がよいこと、また、染色液の塩濃度も染色性に影響を与えることが明らかとなった。バッファの種類についても酢酸ナトリウムや酢酸アンモニウムについて検討したが顕著な差異は認められなかった。染色液のルモガリオン濃度は薄いとよく染色されず、バックグラウンドが明るい像が、濃いと全体的に暗い蛍光像が得られた。また、溶液中でのアルミニウム-ルモガリオン蛍光法では Fe^{3+} 、 Cu^{2+} などが妨害するため、これらの影響をのぞくためのマスクング処理について、アスコルビン酸やチオ硫酸ナトリウムによる還元、EDTAやメチルオキシシン等のキレート剤によるマスクングなどを検討した。その結果、マスクング処理をすると得られる蛍光像にかなり違いが生じたが、還元処理が効果としてはわかりやすかった。以上のような検討の結果、ルモガリオン染色条件としてマスクング処理としてアルコルビン酸で還元処理をした後、ルモガリ

オン濃度 $2 \times 10^{-5} \text{M}$ 、pH 4.0、液温 70°C 、反応時間 1 時間で染色することにした。

(5) ウグイエラの蛍光像

宇曾利湖および猪苗代湖のウグイのエラの蛍光像を比較すると猪苗代湖のウグイのエラでは非常に明るい点がまばらに点在している像が得られ、アルミニウムが局在していると考えられたのに対し、宇曾利湖のウグイのエラでは全体的に明るい蛍光像が得られ、蓄積形態に違いがあると考えられた。これまでの実験結果から二つの湖のウグイのエラ中アルミニウムは、エラ中濃度で比較すると表 4 より宇曾利湖のウグイで $4.2 \pm 2.3 \mu\text{g g}^{-1}$ 、猪苗代湖のウグイで $3.7 \pm 2.2 \mu\text{g g}^{-1}$ と違いは明らかではなかった。しかし、宇曾利湖と猪苗代湖では表 1、4 に示すとおり、湖水の pH、アルミニウムの濃度や存在形態は全く異なっていることが明らかとなっている。また、アルミニウムの存在状態の違いは一般に生体への影響にも違いがあるとされている¹⁶⁾。すなわち、この蛍光像の違いは、こうした環境の差異によるウグイの組織中アルミニウムの存在形態の違いを示すものと考えられる。このことはただ単に臓器中の濃度をはかるだけではその差違は明らかにはならず、このような分布計測の有効性を示す興味深い結果といえる。

(6) まとめ

酸性環境で生育しているウグイについては、環境中のアルミニウムが生体内に取り込まれ蓄積していると考えられるが、酸性環境といっても一様ではなく、それぞれの生息場所によって蓄積形態は異なっていると考えられた。今後、さらに蓄積を決定している要因などについて検討を行っていく必要がある。

5. 本研究により得られた成果

以上のように酸性環境で生育しているウグイ生体内のアルミニウム濃度を計測したところ、環境中のアルミニウムが生体内に取り込まれ、蓄積していることが確認された。しかし、その蓄積は環境中の濃度をそのまま反映するのではなく、化学的あるいは生物学的要因により制御されていることが示唆された。アルミニウムの存在形態と蓄積性等についてはさらに検討を進める必要があると考えられる。

また、生体内でのアルミニウムの存在状態に関しては、単に臓器中の濃度をはかるだけでなく、分布計測法などを用いて詳細に検討をする必要があることが示された。

表1 湖水および河川水の分析結果

Sampling Point	pH	Al	Na	K	Ca (mg L ⁻¹)	Mg	Fe	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
宇曾利湖	3.6	0.6	18.1	2.0	9.2	1.8	0.65	39	49
猪苗代湖	5.2	0.18	5.0	0.9	8.9	2.0	0.01	11	34
天竜川	7.7	0.02	6.2	1.5	17.7	2.9	0.01	8.3	12

表2 宇曾利湖水の水質 (Sampling: June 7, 1997)

Sampling Point	Temp (° C)	pH	Na	K	Ca	Mg (mg L ⁻¹)	Fe	Al	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
湖水										
St. 1	13.9	3.6	18.1	2.0	9.2	1.8	0.65	0.6	39	49
St. 2	14.0	3.3	23.1	2.3	9.8	1.8	0.86	0.7	54	57
St. 3	14.4	3.0	21.9	2.4	9.9	1.9	0.98	1.4	46	62
St. 4	14.9	3.2	47.4	5.2	13.8	2.9	1.57	1.2	120	80
St. 5	14.5	3.0	24.6	2.7	10.9	2.0	2.83	3.9	48	130
温泉										
St. 6	60	2.0	1803	251	169	3.7	10.4	14.3	2800	620
St. 7	60	2.0	1714	230	161	4.1	11.6	13.9	2700	650
St. 8	60	2.0	1494	178	158	3.2	23.7	19.5	2300	1300
沢 (丸山沢)										
St. 9	9.9	7.1	5.5	0.33	4.4	1.2	0.01	0.01	12	2.8

表3 猪苗代湖水の水質 (Sampling: September, 1997)

Sampling Point	Temp (° C)	pH	Na	K	Ca	Mg	Fe	Al
					(mg L ⁻¹)			
湖水								
St. 1	18.5	6.7	4.2	0.9	7.7	1.7	0.01	0.02
St. 2	18.8	5.7	0.5	0.1	3.5	0.2	n.d.	0.02
St. 3	16.3	7.0	5.1	2.0	14.8	2.8	0.67	0.08
St. 4	19.3	5.2	5.8	1.6	9.4	2.2	0.01	0.31
St. 5	19.3	5.2	5.7	1.1	9.4	2.2	0.01	0.29
St. 6	19.3	5.3	5.7	1.1	9.6	2.2	0.01	0.24
St. 7	19.4	6.6	10.9	2.0	16.1	3.9	0.03	0.06
St. 8	19.4	5.1	5.8	1.1	9.6	2.2	0.01	0.30
St. 9	19.2	5.2	5.0	0.9	8.9	2.0	0.01	0.18
St. 10	19.3	5.2	5.9	1.1	9.6	2.3	0.01	0.24
温泉								
St. 11	44	1.6	27.2	23.3	133	25.6	17.5	84
流入河川(酸川およびその上流)								
St. 12	13.3	2.3	7.5	4.5	22.6	5.5	39.0	37
St. 13	12.4	7.3	6.2	0.4	5.2	0.7	0.02	0.05

表4 湖水および河川水中アルミニウムの化学形態別分析結果

場所	pH	アルミニウム濃度 (mg L ⁻¹)			total
		AlL ⁵⁺	AlL ³⁺	Al ³⁺	
宇曾利湖	3.6	0.0	0.04	0.47	0.51
		(0%)	(8%)	(92%)	
猪苗代湖	5.2	0.02	0.08	0.04	0.14
		(14%)	(57%)	(28%)	
天竜川	7.7	-	-	-	0.02

表5 魚臓器中主成分元素濃度 (mg g⁻¹; wet weight)

Organs/Elements	Na	K	Ca	Mg	P
Sampling Location: 宇曾利湖 (Jun. 1997; 7 fish samples)					
エラ	1.1 ± 0.2	1.3 ± 0.1	8.6 ± 1.9	0.39 ± 0.05	6.3 ± 0.9
筋肉	0.44 ± 0.07	4.52 ± 0.03	0.61 ± 0.18	0.30 ± 0.01	2.6 ± 0.1
骨	0.70 ± 0.18	0.73 ± 0.19	32.5 ± 5.2	0.62 ± 0.07	15.6 ± 2.3
肝臓	0.93 ± 0.14	4.2 ± 0.3	0.07 ± 0.07	0.18 ± 0.02	2.5 ± 0.3
腎臓	1.5 ± 0.2	3.4 ± 0.2	0.22 ± 0.22	0.16 ± 0.01	2.5 ± 0.1
腸	1.3 ± 0.2	3.8 ± 0.4	0.31 ± 0.24	0.19 ± 0.02	2.7 ± 0.2
Sampling Location: 猪苗代湖 (May 1997; 6 fish samples)					
エラ	1.0 ± 0.2	1.1 ± 0.1	10.0 ± 2.3	0.41 ± 0.03	7.2 ± 0.9
筋肉	0.30 ± 0.07	3.7 ± 0.3	0.70 ± 0.31	0.37 ± 0.02	3.3 ± 0.1
骨	0.97 ± 0.30	0.75 ± 0.28	31.7 ± 3.4	0.59 ± 0.04	15.6 ± 1.3
肝臓	0.85 ± 0.19	2.1 ± 0.3	0.09 ± 0.06	0.25 ± 0.03	3.8 ± 0.4
腎臓	1.2 ± 0.2	1.6 ± 0.2	0.12 ± 0.06	0.17 ± 0.02	2.7 ± 0.3
腸	0.85 ± 0.12	2.4 ± 0.6	0.13 ± 0.07	0.24 ± 0.02	3.2 ± 0.5
Sampling Location: 天竜川 (Dec. 1996; 5 fish samples)					
エラ	1.8 ± 0.4	1.6 ± 0.1	12.4 ± 2.4	0.45 ± 0.06	8.7 ± 1.7
筋肉	0.45 ± 0.13	3.6 ± 0.4	0.75 ± 0.20	0.40 ± 0.04	3.3 ± 0.2
骨	2.2 ± 0.6	0.70 ± 0.15	58.7 ± 9.6	0.95 ± 0.12	28.8 ± 4.5
肝臓	0.87 ± 0.02	2.9 ± 0.6	0.07 ± 0.01	0.20 ± 0.03	3.2 ± 0.1
腎臓	1.4 ± 0.1	3.1 ± 0.3	0.12 ± 0.04	0.21 ± 0.02	3.5 ± 0.3
腸	1.0 ± 0.2	2.3 ± 0.4	0.13 ± 0.05	0.25 ± 0.05	3.0 ± 0.5

表6 魚臓器中微量元素濃度 ($\mu\text{g g}^{-1}$; wet weight)

Organs /Elements	Al	Fe	Cu	Zn
Sampling Location: 宇曾利湖 (Jun. 1997 ; 7 fish samples)				
エラ	42 ± 23	42 ± 16	1.2 ± 0.2	25.3 ± 2.9
筋肉	4.2 ± 2.6	5.5 ± 1.6	0.67 ± 0.07	5.0 ± 0.6
骨	6.9 ± 2.7	7.0 ± 3.6	0.49 ± 0.03	31.9 ± 5.6
肝臓	12.7 ± 5.8	412 ± 180	35 ± 30	27.9 ± 7.0
腎臓	6.0 ± 1.5	110 ± 28	2.8 ± 0.4	33.5 ± 5.2
腸	6.0 ± 1.2	128 ± 69	2.5 ± 0.5	26.1 ± 3.9
Sampling Location: 猪苗代湖 (May 1997 ; 6 fish samples)				
エラ	37 ± 22	46 ± 20	0.73 ± 0.27	26.6 ± 3.3
筋肉	5.0 ± 3.0	5.2 ± 0.9	0.52 ± 0.30	7.0 ± 1.8
骨	19.5 ± 2.2	4.6 ± 1.4	0.20 ± 0.02	37.4 ± 0.7
肝臓	18.3 ± 8.7	277 ± 65	22 ± 14	32.1 ± 2.7
腎臓	7.2 ± 4.0	102 ± 30	2.3 ± 0.6	64.1 ± 20.7
腸	6.3 ± 3.3	77 ± 41	1.8 ± 0.7	30.7 ± 4.6
Sampling Location :天竜川 (Dec. 1996 ; 5 fish samples)				
エラ	1.6 ± 0.7	29.6 ± 4.5	0.66 ± 0.12	22.8 ± 2.3
筋肉	1.1 ± 0.2	8.7 ± 6.2	0.70 ± 0.37	9.0 ± 1.8
骨	2.5 ± 1.1	2.9 ± 0.6	0.34 ± 0.09	42.1 ± 3.5
肝臓	5.8 ± 3.1	167 ± 28	14 ± 13	22.9 ± 3.4
腎臓	3.0 ± 1.2	118 ± 33	1.6 ± 0.3	30.6 ± 4.6
腸	0.5 ± 1.0	23 ± 8	1.9 ± 0.5	23.5 ± 3.4

表7 各臓器におけるアルミニウムの生物濃縮係数 (mL g⁻¹).

Organs/Locations	宇曽利湖	猪苗代湖	天竜川
エラ	70	210	94
筋肉	7	28	65
骨	12	110	150
肝臓	21	100	340
腎臓	10	40	180
腸	10	35	29

6. 引用文献

- 1) J. P. Baker, and C. L. Schofield, *Water, Air, and Soil Pollut.* **18**, 289 (1982).
- 2) C. S. Cronan, and C. L. Schofield, *Science* **204**, 304 (1979).
- 3) C. T. Driscoll, Jr., J. P. Baker, J. J. Bisogni, Jr., and C. L. Schofield, *Nature* **284**, 161 (1980).
- 4) K. Satake, *Ikiru*, **11**, 54 (1994).
- 5) K. Satake, A. Oyagi and Y. Iwao, *Water, Air and Soil Pollution* **85**, 511 (1995).
- 6) A. Uchiumi, A. Takatsu and Y. Teraki, *Analyst*, **123**, 759 (1998).
- 7) S. Tang, P. J. Parsons and W. Slavin, *Analyst* **121**, 195 (1996).
- 8) K. Tsunoda, T. Yagasaki, S. Aizawa, H. Akaiwa, and K. Satake, *Anal. Sci.* **13**, 757 (1997).
- 9) L. Karlsson-Norrgrén, W. Dickson, O. Ljungberg, and P. Runn, *J. Fish Diseases.* **9**, 1 (1986).
- 10) L. Karlsson-Norrgrén, I. Bjorklund, O. Ljungberg, and P. Runn, *J. Fish Diseases.*, **9**, 11 (1986).
- 11) C. P. McCahon, A. F. Brown, M. J. Poulton, and D. Pascoe, *Water, Air, and Soil Pollut.* **45**, 345 (1989).
- 12) P. J. Vuorinen, M. Vuorinen, and S. Peuranen, Kauppi et al Eds. *Acidification in Finland*, Springer-Verlag, p.941 (1990).
- 13) S. Eeckhaoudt, R. E. Van Grieken, M. Cholewa and G. J. F. Legge, *Mikrochim. Acta*, **122**, 17 (1996).
- 14) J. H. Youson, and C. M. Neville, *Can. J. Zool.* **65**, 647 (1987).
- 15) K. Mashiko, K., Jozuka., and K. Asakura., *Ann. Rep. Noto Mar. Lab.*, **13**, 33 (1973).
- 16) M. F. Van Ginkel, G. B. Van der Voet, P. C. D'Haese, M. E. De Broe, and F. A. De Wolff, *J. Lab. Clin. Med.*, **121**, 453 (1993).

[国際共同研究等の状況]

なし

[研究成果の発表状況]

(1) 誌上発表

- ①高津章子、江副優香、恵山 栄、内海 昭；*Biomed. Res. Trace Elements*, Vol.8, 299 (1997).
「酸性環境に生息する魚組織中アルミニウムの分布計測」
- ② A. Takatsu, Y. Ezoe, A. Uchiumi, K. Tsunoda, and K. Satake, 陸水学会誌、投稿中
"Aluminum in lake water and organs of a fish, *Tribolodon hakonensis* in strongly acidic lakes with a high aluminum concentration"
- ③高津章子、角田欣一、吉村悦郎、ぶんせき、10、772 (1998).
「アルミニウムの環境への影響とその分析化学」
- ④ A. Takatsu and A. Uchiumi, *Analyst*, 123, 73 (1998).
"Abnormal Arsenic Accumulation by Fish Living in a Naturally Acidified Lake"
- ⑤ A. Takatsu, T. Kuroiwa, A. Uchiumi, *J. Trace Elem. Med. Biol.*, in press.
"Arsenic Accumulation in Organs of Fresh Water Fish, *Tribolodon hakonensis*"
- (2) 口頭発表
- ① 高津章子、江副優香、恵山 栄、内海 昭；第8回微量元素学会 (1997.7)
「酸性環境に生息する魚組織中アルミニウムの分布計測」
- ② A. Takatsu and A. Uchiumi, 第8回生物無機化学国際会議 (1997.7)
"Direct Observation of Trace Aluminum for Studies of Aluminum Accumulation in Fish Living in Naturally Acidified Lake"
- ③ 高津章子、江副優香、恵山 栄、黒岩貴芳、寺島罔子、内海 昭；日本化学会第73秋季年会 (1997.9)
「酸性環境下に生息する魚中の微量元素濃度」
- ④ 高津章子、内海 昭；平成9年度物質工学工業技術研究所研究発表会 (1997.10)
「酸性環境に生息する魚組織中アルミニウムの分布計測」
- ⑤高津章子、環境科学会 1998 年会 (1998.10)
「酸性環境に生息する魚組織中アルミニウムの計測」
- (3) 出願特許、
なし
- (4) 受賞等
なし
- (5) 一般への公表・報道等
なし