

奥日光湯ノ湖の湖底堆積物の地球化学的研究

寺島 滋* 井内美郎** 谷口政碩***

TERASHIMA Shigeru, INOUCHI Yoshio and TANIGUCHI Masahiro (1996) Major and minor element geochemistry of bottom sediments from Lake Yunoko, Tochigi Prefecture, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, 47 (9), p. 457-469, 6 figs., 5 tables.

Abstract : Major and minor elements were analyzed on bottom sediments collected from Lake Yunoko. River sediments, soils and basement rocks from the catchment area of the lake were also analyzed in order to discuss the provenance of source material of the lake sediments. The sediments of Lake Yunoko are composed mainly of black muddy sediments. Flood sediments are distributed only in the marginal areas of the lake. Volcanic ash erupted from the Nikko-Shirane volcano in 1649 is widely distributed in the study area. An average sedimentation rate in Lake Yunoko is estimated to be 5.4 ± 2.7 mm/year, based on the depth of the volcanic ash layer.

Major and minor chemical compositions of both flood sediments in the lake and river sediments of the catchment area are similar to the volcanic ash. Very small quantities of clastic material derived from the basement rocks is assumed to be supplied to the lake. The black muddy sediments are rich in SiO_2 and H_2O , and depleted in TiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O and K_2O . It is considered that diatoms occurring in the lake water are the major significant source of the black muddy sediments. Some elements, such as Fe and S are likely to have originated from the hot spring waters.

要 旨

奥日光湯ノ湖における湖底堆積物の起源解明を主目的として、湖底から採取された柱状堆積物、集水域の河川堆積物、土壌、岩石等の主・微量成分の定量分析を行った。湖底堆積物としては、湖岸部では砂層、黄褐色シルト-粘土層が認められるが、全体的には黒色泥層が卓越し、火山灰層が挟在する。湖底堆積物中の 1649 年に噴出した日光白根火山灰層を基準として堆積速度を算出した結果、 5.4 ± 2.7 mm/年であった。湖底の砂質堆積物及び集水域の河川堆積物の化学組成は日光白根火山灰のそれに類似しており、基盤岩類から供給される碎屑物は極めて少ないと解釈された。黒色泥は、火山灰や集水域の岩石・堆積物に比べて TiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O 等に乏しい特徴があり、湖内で繁殖した珪藻類を主体とする生物起源堆積物で、温泉水等から供給された Fe, S 等を含有すると考えられた。

1. はじめに

湯ノ湖は、奥日光の山間部にある小さな湖であるが、付近に温泉街やスキー場があることから近年湖沼の富栄養化が問題になり、国立公害研究所（現国立環境研究所）を中心とするグループによって水収支、水質、底泥からの栄養塩の溶出、沈殿物、水中生物等に関する総合的な調査・研究が実施された（細見ほか, 1984）。しかし、この総合研究では湖沼の富栄養化対策に重点がおかれたため、堆積物及び堆積物中の元素の起源に関する充分な研究は行われていない。

筆者らは、日本の湖沼堆積物についての地質学・地球化学的研究を継続しており（井内ほか, 1983；井内, 1988；Inouchi and Terashima, 1988；寺島ほか, 1989；1991；1992）、その一環として湯ノ湖で採取した柱状試料を分析した結果、他湖沼の堆積物とは明らかに異なる組成を有する堆積物の存在が分かった。そこで、湯ノ湖堆積物の起源解明を主目的として集水域等から河川堆積物、土壌、基盤岩等を採取して化学組成・鉱物組成を解

* 地殻化学部 (Geochemistry Department, GSJ)

** 海洋地質部 (Marine Geology Department, GSJ)

*** 地殻熱部 (Geothermal research Department, GSJ)

Keywords : the Lake Yunoko, bottom sediment, major and minor element, Nikko-Shirane volcanic ash, sedimentation rate, biogenic sediment

明するとともに、既存データを検討した結果、堆積物の起源としては湖内で繁殖する珪藻類と火山灰が重要であり、一部の元素は温泉水を通じて供給されると考えられた。そして、鉱物学的検討結果は別に発表(谷口ほか, 1996)するので、ここでは主として地球化学的な研究結果を報告する。

謝辞 本研究を実施するにあたり、現地採泥作業は総合地質調査株式会社に依頼した。関係各位に厚く御礼申し上げます。

2. 湯ノ湖の概要と集水域

2.1 湯ノ湖の概要

湯ノ湖は、栃木県の北西部に位置する日光国立公園の奥まった山岳地帯にある小さな湖である(第1図)。細見ほか(1984)によれば、湯ノ湖の概要は以下の通りである。

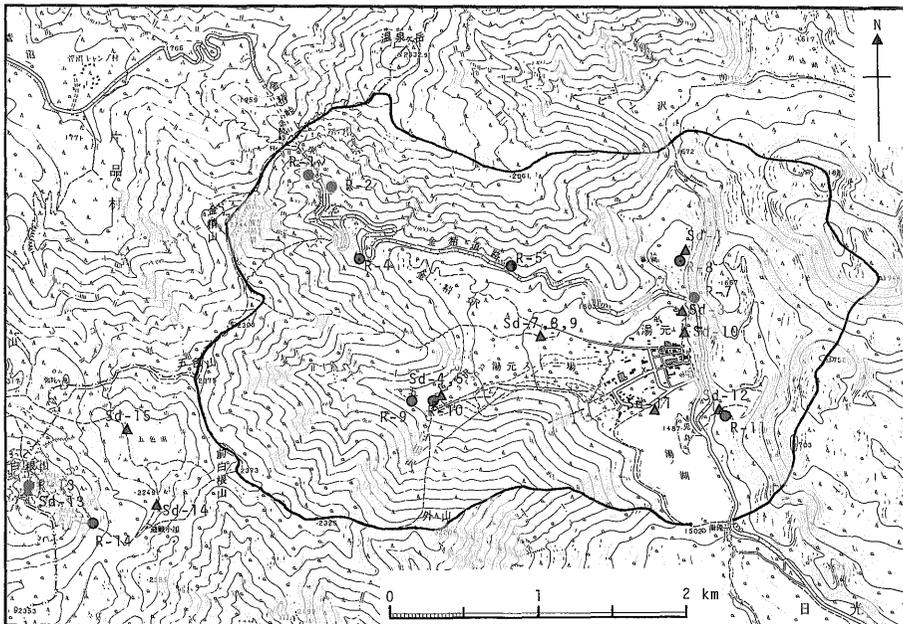
所在地：栃木県日光市湯本
 湖面標高：海拔 1,478 m
 湖面積：0.35 km²
 湖岸線長：3.8 km
 湖体積：2.62×10⁶ m³

最大水深：14.5 m
 平均水深：7.4 m
 利用形態：観光及び水産
 環境基準類型：湖沼 A-I
 流域面積：14 km²

湯ノ湖は、湖面の標高が高いために月平均気温が20℃を越えることはなく、12-3月は氷点下になり湖面は結氷する。例年5月中旬から水温成層が始まって深層水中の溶存酸素濃度が減少し、7月から9月の終わり頃までは深層水中の溶存酸素が消失する年が多い(細見ほか, 1984)。湯ノ湖への流入水は、表流水としては集水域の南西部を占める白根沢からの流水、温泉街を通過して温泉水の一部や自然湧水を集める大ドブとよばれている流水、温泉街の生活排水を処理している湯本下水処理排水がある。集水域の北西部を占める金精沢は、大雨時を除くと表流水は認められず、また湯本温泉の北東部からの流入河川もないため、これら地域への降水は伏流水になっていると判断される。そして湯ノ湖の湖水の起源としては、表流水よりも湖底・湖周からの湧水の方が多い(細見ほか, 1984)。

2.2 集水域の地質と岩石

5万分の1地質図幅「男体山」(河田, 1955)によれば、



第1図 湯ノ湖の周辺地域における試料採取地点

Fig. 1 Sample location in the Lake Yunoko catchment area. Solid circles: rhyolite, rhyolitic tuff or andesite; Solid triangles: river sediment, soil or hot spring deposit. Topographic map is a part of 1 : 25,000 map sheet "Nantaisan" of Geographical Survey Institute of Japan.

湯ノ湖の集水域に露出する主要な基盤岩は流紋岩類と安山岩類である。湯ノ湖の東岸からその北方延長線の西側、すなわち湯本温泉の北方から温泉ヶ岳-金精峠-五色山-前白根山-外山-湯ノ湖西岸に至る線(第1図)の内側には主として新第三紀の流紋岩類とその崖錘堆積物が分布し、集水域全体の約7割を占める。金精峠から湯本温泉にかけて露出する流紋岩類は、温泉作用や風化作用によって変質し、白色-灰白色で脆弱なものが多い。

湯ノ湖の東岸からその北方延長線の東側には、主として第四紀の太郎火山の噴出物であるかんらん石含有紫蘇輝石普通輝石石英安山岩が分布している。なお、湯ノ湖の集水域には含まれないが、火山灰層との比較を行うため日光白根山の岩石と堆積物についても検討した。この火山の溶岩は、湯ノ湖の東側に露出する岩石と同様のかんらん石紫蘇輝石普通輝石石英安山岩が主体である。

3. 試料及び分析方法

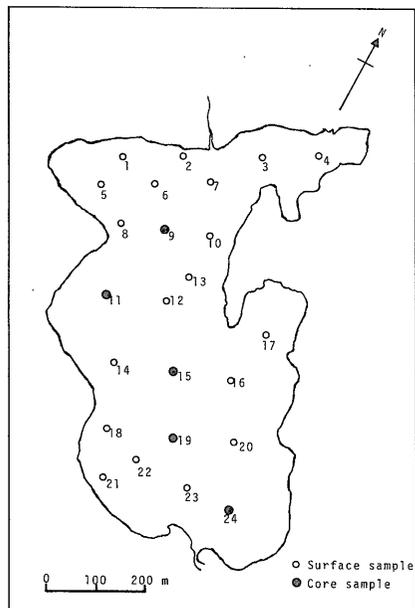
3.1 湖底堆積物

湯ノ湖の堆積物は、1988年11月にピストン式柱状採泥器(コア長3m;内径65mm)を使用し、湖内の24地点(第2図;以下採泥地点をSt-No.で表示)で採取した。試料のコア長は、堆積物中に砂質粒子が多い場合に短くなる傾向があり、水深8m以下のSt-1, 2, 3, 4, 7, 16, 17, 22で採取した試料は0.1-2m, それ以外は2-3mであった。採取した試料は深度方向に厚さ5cm毎に分割した後約80°Cで乾燥し、めのう粉碎器で100メッシュ以下に粉碎して分析試料とした。なお、St-9, 11, 15, 19, 24については原則として20cmごとに1試料以上を分析したが、その他は最表層部(0-5cm, 以下表層試料という)のみを分析した。

なお、湯ノ湖では富栄養化防止策の一環として底泥の浚渫が実施された。この浚渫は、1992-1995年度にかけて、湖の北から南へ、毎年湖底面のほぼ1/4を対象として行われ、第1-3年度は深度約50cmまで、第4年度は約1mまでの表層堆積物が除去されたとのことである。本研究で分析した堆積物は、1988年に採取したものであるため浚渫の影響は受けていない。

3.2 河川堆積物、土壌、岩石

湖底堆積物の起源解明を主目的として集水域とその周辺に分布する河川堆積物、土壌、岩石等を1990年11月に採取した。採取した試料の数は河川堆積物11、土壌3、温泉沈殿物1、岩石14であるが、このうち河川堆積物については9試料を、岩石は11試料を選定して分析することにし、分析試料の採取地点を第1図に示した。この図において、R-No.は岩石試料で、Sd-Noが河川堆積



第2図 湯ノ湖における試料採取地点

Fig.2 Sampling stations of sediments in Lake Yunoko.

物、土壌(Sd-9, 12, 13),及び温泉沈殿物(Sd-10)である。河川堆積物や土壌では、試料の粒度組成によって元素濃度が異なる場合が多いので、Sd-1, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 12については全岩分析のほかにメッシュ別に分画した試料も分析した。いずれの試料も湖底堆積物と同様の操作を行なって分析試料を調製した。

3.3 分析方法

試料0.2gを過塩素酸、硝酸、フッ化水素酸で加熱分解し、蒸発乾固した後希塩酸で溶解して試料溶液とし、V, Beは亜酸化窒素-アセチレン、その他の金属類は空気-アセチレンフレームを用いる原子吸光分析法で定量した。

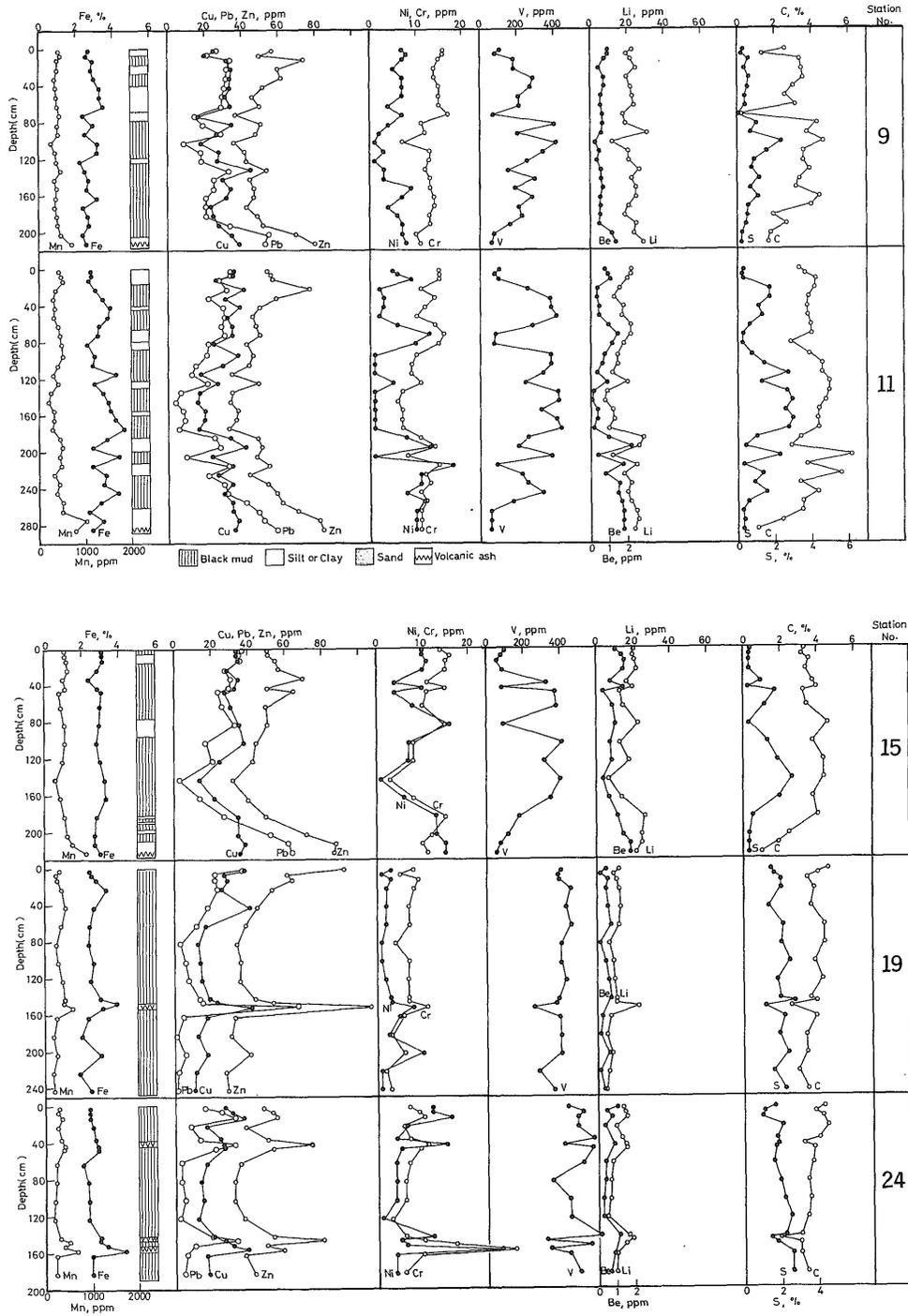
全炭素(以下Cと表示)、全硫黄(以下Sと表示)は、試料0.1gをセラミックるつぼにはかり取り、助燃剤として一定量のFe, W, Snを加えた後、堀場製作所製の炭素-硫黄同時分析装置(EMIA-520)に導入して定量した。

その他の主成分は、Terashima *et al.* (1995)と同じ方法で定量した。

4. 結果と考察

4.1 湯ノ湖堆積物の特徴

湯ノ湖の湖底堆積物125試料の分析結果を付表A-1



第3図 柱状試料における各種成分濃度の鉛直変化

Fig. 3 Vertical variation of selected element contents in the core samples.

に、集水域とその周辺で採取した河川堆積物、土壌、温泉堆積物、岩石の分析結果を付表 A-2 に示した。また、湖底堆積物柱状試料における元素の鉛直方向の濃度変化を、堆積物の層相変化と比較して第 3 図に示した。

第 3 図の例からわかるように、湯ノ湖の堆積物は概括的に黒色泥層、シルト-粘土層、砂層、火山灰層によって構成される。湖底の 24 地点から採取された柱状試料の層相を概観すると、最も多量に分布するのは黒色泥であり、水深 8m 以上の水域では全体の約 7 割で、特に湖の南半分に限定すれば 8 割以上を占めている。黒色泥層について多いのはシルト-粘土層で、通常黄褐色を呈している。この堆積物は、相対的に水深が浅い水域で採取された試料に多く、砂層や火山灰層の上位に堆積する傾向がある。砂層を最も多く挟在するのは St-4 で、次いで St-3, 6, 7, 10 等湖の北東部の試料で卓越するが、南部水域の試料では極めて少ない。湯ノ湖の堆積物中の火山灰の研究結果によれば、日光白根火山灰、浅間 B 火山灰、FA 火山灰等の存在が明らかになっている (井内、未発表)。

上記のような堆積物の分布特性と後述の化学組成を考慮すると、湯ノ湖においては平常時には水深の浅い一部水域を除いて黒色泥層が堆積する還元的な環境下にあり、大雨に伴う洪水等で砂質堆積物が供給されたり、火山噴火で火山灰が降下し、堆積するとその後の一定期間は酸化環境になって黄褐色のシルト-粘土層が堆積

すると考えられる。

4.2 湖底堆積物の化学組成

第 3 図からわかるように、柱状試料中元素濃度の鉛直変化と堆積物の種類の間には明らかな関係が認められる。Fe, Mn の濃度変化は比較的小さいが、火山灰の層準で高い場合が多い。Cu, Pb, Zn の濃度変化は大きく、火山灰で特に高いが、Ni, Cr もほぼ同様である。これに対して V, C, S の濃度は Cu, Pb 等に乏しい黒色泥が高い。

各種湖底堆積物の全化学組成を把握するため、火山灰層、砂層、黒色泥層のそれぞれについて典型的な層準の堆積物を選定して SiO₂ 等の主成分を分析し、微量成分の値と共に第 1 表に示した。なお、黄褐色シルト-粘土層は、堆積粒子が粗粒な部分は砂層、細粒部分では黒色泥層に類似した化学組成を示し、本質的には両者の混合物と判断されるので主成分分析は省略した。第 1 表の試料 No. は、付表 A-1, 2 と同じであり、No. 62, 82 は日光白根火山灰層 (1649 年噴出)、17, 42 は砂層、77, 103, 118 は黒色泥層である。まず火山灰層と砂層を比較すると、Cu, Pb, Zn の濃度が火山灰層で高い以外は顕著な相違は認められない。これに対して黒色泥層は Al₂O₃ が 3-5% で極めて低く、TiO₂, MgO, CaO, Na₂O, K₂O 等の濃度も火山灰層の 1/4-1/6 である。この結果は、黒色泥の起源が火山灰や砂質堆積物とは異なることを示唆している。

第 1 表 代表的 17 試料の分析結果

Table 1 Major and minor element contents of representative samples.

Sample No.	Lake			Yunoko			Sediment			River sediment				Soil		Igneous rock			
	62(V)	82(V)	17(S)	42(S)	77(B)	103(B)	118(B)	Sd-1	Sd-4	Sd-7	Sd-11	Sd-12	R-2(A)	R-4(R)	R-5(RT)	R-9(R)	R-11(A)		
Major elements(%)																			
SiO ₂	62.51	62.40	67.51	61.32	62.21	66.63	69.20	51.82	64.74	65.00	68.81	57.12	60.77	75.86	74.50	74.05	61.82		
TiO ₂	0.31	0.33	0.33	0.35	0.08	0.06	0.05	0.97	0.39	0.46	0.42	0.44	0.53	0.12	0.10	0.10	0.10		
Al ₂ O ₃	16.62	16.54	15.06	15.44	4.62	4.86	3.14	13.31	15.52	14.80	13.51	14.62	16.14	13.18	13.45	14.18	16.02		
T-Fe ₂ O ₃	4.19	4.32	3.38	3.64	4.59	3.21	3.19	14.71	4.64	5.06	4.31	5.26	6.86	1.10	1.84	1.86	6.45		
MnO	0.10	0.11	0.06	0.06	0.03	0.03	0.02	0.24	0.11	0.09	0.08	0.12	0.07	0.02	0.12	0.03	0.12		
MgO	1.20	1.23	1.31	1.10	0.24	0.22	0.17	5.18	2.30	2.09	1.81	2.75	3.32	0.23	0.36	0.15	3.20		
CaO	2.10	1.93	3.21	2.20	0.55	0.58	0.56	4.62	5.00	3.66	3.31	5.20	5.90	1.24	1.53	1.79	6.34		
Na ₂ O	1.79	1.85	2.26	1.80	0.28	0.29	0.24	1.82	2.88	2.20	2.07	2.59	2.71	2.70	3.52	3.25	3.00		
K ₂ O	3.17	3.33	2.28	2.07	0.51	0.50	0.40	1.00	2.12	2.06	2.22	1.72	1.72	3.70	3.73	3.49	1.83		
P ₂ O ₅	0.11	0.11	0.10	0.13	0.14	0.14	0.10	0.16	0.08	0.07	0.07	0.09	0.10	0.02	0.03	0.03	0.09		
T-H ₂ O	5.19	5.28	3.55	6.77	15.84	14.88	14.25	3.20	1.77	3.41	2.23	3.21	1.61	1.48	0.83	0.84	0.35		
H ₂ O+	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.02	1.24	0.66	0.81	0.30		
H ₂ O-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.59	0.24	0.17	0.03	0.05		
T-C	1.10	1.05	0.20	2.89	4.42	3.19	3.46	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		
T-S	0.33	0.36	0.11	0.27	2.69	2.00	2.52	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		
LOI	7.70	7.57	4.14	12.00	26.46	23.00	22.50	6.36	2.20	4.13	3.07	10.36	1.69	1.86	1.10	0.87	0.52		
Minor elements(ppm)																			
Cu	36	36	16	25	14	14	12	26	22	18	13	22	28	2	2	1	25		
Pb	59	64	15	22	3	4	2	24	15	18	11	12	14	13	19	13	19		
Zn	84	87	37	43	32	32	37	140	58	53	45	86	50	7	31	29	65		
Ni	10	15	7	10	1	3	1	26	12	9	6	9	19	5	3	7	27		
Cr	11	11	17	15	3	4	3	35	20	25	20	21	37	16	12	17	60		
V	58	60	75	80	406	356	452	340	83	96	82	90	139	9	7	16	140		
Be	1.8	1.9	0.7	1.2	0.4	0.8	0.3	0.7	1.1	0.9	0.9	0.4	0.8	1.1	1.8	1.9	1.0		
Li	24	22	18	18	7	7	5	15	18	18	16	13	6	13	27	23	13		

(V), volcanic ash; (S), sandy sediment; (B), black mud; (A), andesite; (R), rhyolite; (RT), rhyolitic tuff; T-, total; n.d., not determined; LOI, loss on ignition.

4.3 火山灰の化学組成の特徴

今回分析した柱状試料中には日光白根山と浅間山の火山灰が挟在しており、このうち1649年噴出の日光白根火山灰はすべての柱状試料に認められ、その層準は上位からみてSt-9では205-215 cm, 11では280-290 cm, 15では215-225 cm, 19では150-155 cm, 24では40-45 cmである。St-24中には噴出年代不詳の日光白根火山灰(145-150 cm)と浅間B火山灰(1108年噴出; 155-160 cm)も認められる。

第3図によれば、1649年噴出の日光白根火山灰中のCu, Pb, Zn濃度は他のいずれの堆積物よりも高く、他の堆積物のほとんどがCu>Pbであるのに対してCu<Pbの関係を有しており、この特徴はSt-24の年代不詳の日光白根火山灰でも認められる。一般に、火山における岩石と火山灰の化学組成は類似するとされている。日光白根火山灰の供給源である日光白根山の山頂付近で採取した岩石(R-13)及び土壌(Sd-13)の分析値は付表A-2に示してある。まず土壌の分析値を見ると、粒度によって若干の差はあるものの、湖底堆積物中火山灰のCu, Pb, Zn濃度に近い値を示している。しかし、岩石中のこれら三元素の値は火山灰よりも低く、しかもCu>Pbで火山灰とは異なっている。本火山では、溶岩と火山灰の化学組成に若干の差があることが考えられるが詳細は不明である。

St-24中の浅間B火山灰では、Ni, Crが明らかに高く、Cu, Znも高いがPbは高くない特徴がある。日本地質調査所の岩石標準試料JA-3 (Imai *et al.*, 1995)は、浅間山の安山岩を源岩として調製されたものであり、この試料中のPb濃度は7.7 ppmでCu (43.4 ppm)より低く、またNi (32.2 ppm)濃度も湯ノ湖の湖底で得られた浅間B火山灰のそれに類似している。

4.4 火山灰層を鍵層とする堆積速度

湖沼における物質収支や人為的影響の経年変化を正しく評価するためには堆積速度の解明が不可欠の課題である。本研究で分析した5本の柱状試料には、いずれも1649年に噴出した日光白根火山灰が含有されており、この火山灰の層準以降の堆積速度を一定と仮定して平均堆積速度を求めると第2表のようになる。最大はSt-11の8.4 mm/年、最小はSt-24の1.3 mm/年で、全体の平均は5.4±2.7 mm/年である。そして表流水起源の堆積物の供給が多いと考えられる北部水域の堆積速度が大きい傾向がある。細見ほか(1984)は、セジメントトラップを用いて湯ノ湖における沈殿物量調査を行ない、大雨に伴う碎屑物の流入を含めた場合の堆積速度は4.6-11 mm/年で、大雨がなければ1.7-3.3 mm/年であることを報告

第2表 湯の湖と他湖沼における堆積速度の比較

Table 2 Sedimentation rates in Lake Yunoko compared to other Japanese lakes.

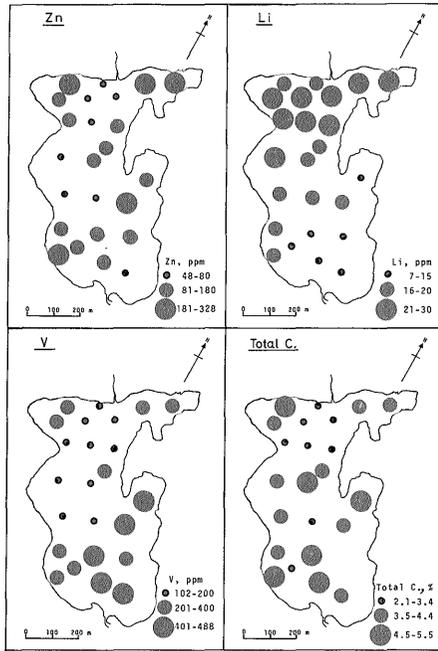
Lake	Station No.	Sedimentation rate(mm/yr)	Reference
Lake Yunoko	9	6.2	This study
	11	8.4	
	15	6.5	
	19	4.5	
	24	1.3	
	Avg.	5.4±2.7	
Lake Suwa		12.0±2.1	Terashima <i>et al.</i> (1992)
Lake Hamana		1.6-4.8	Ikeya <i>et al.</i> (1987)
Lake Biwa(Nanko)		0.8	Matsumoto(1975)
		2.4	
		1.1-1.9	
Lake Biwa(Hokko)		1.2-4	Kaniyama <i>et al.</i> (1982)
		0-4(avg.1.5)	
Lake Kasumigaura		0-4(avg.1.5)	Inouchi <i>et al.</i> (1983)
Lake Suigetsu		1.1	Matsuyama(1974)
		1.2	
Lake Nojiri		0.2	Kaniyama <i>et al.</i> (1982)
		0.2	

しており、火山灰による堆積速度と調和的である。湯ノ湖の堆積速度を日本の他湖沼のそれと比較すると、諏訪湖よりもやや小さいが、その他の湖沼よりは大きいと言える(第2表)。

4.5 人為的影響と続成作用

湖沼堆積物柱状試料における元素濃度の鉛直変化を支配する要因としては、4.3で述べた堆積物の特性のほかに、人為的影響や続成作用に伴う移動と濃集が考えられるため(寺島ほか, 1992)、以下これらについて考察する。

人為的影響: 一般に、人為的な影響は柱状試料の最表層部で高濃度を与え、また人口密集地に近い堆積物中のCu, Pb, Zn等の濃度が最も影響を受けやすい傾向がある。第3図によれば、St-19では明らかに最表層部で高濃度を示すが、その他の試料ではその傾向はない。湖内水平方向の濃度変化を検討するため表層試料の分析値をもとに濃度分布図を作成し、代表例を第4図に示した。Znについては、湖内の5地点で181 ppm以上の高濃度が得られたが、その分布は必ずしも人口密集地である湯本温泉に近い水域ではない。同様な傾向はCu, Pbの濃度分布にも認められた。この原因としては、湯ノ湖のように小さな湖では湖流や湖水中の硫化水素濃度等の関係で重金属が必ずしも供給源の近くで沈殿しない、あるいはピストン式柱状採泥器を使用したために最表層部の試料の一部が採取できなかった等が考えられるが、これについては今後の検討が必要である。なお、Li, Vに対する人為的影響は考えられないが、表層堆積物中のLiは湖の北部で、Vは南部で高濃度を示す傾向がある(第4図)。これはLiが主として集水域に分布する流紋岩類か



第4図 表層試料中4成分の濃度変化

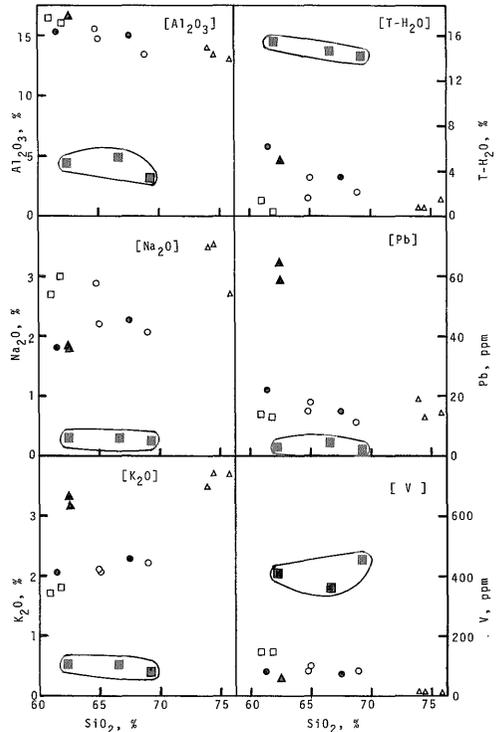
Fig. 4 Horizontal variation of Zn, Li, V and total C contents in the surface(0-5 cm) portion of the sediments.

ら供給されるのに対してVはほとんど供給されないためと考えられる。

続成作用に伴う移動と濃集：湖沼堆積物中のFe, Mn, Cu, Pb等は、堆積層が還元になると溶出し、堆積物表層の酸化層に濃集する場合がある。筆者らが野尻湖や琵琶湖で研究した結果によれば、重金属のうち最も移動・濃集しやすい元素はMnであり、野尻湖では最高1.96%、琵琶湖北湖では0.44%に達している(寺島ほか, 1989; 1991)。湯ノ湖の表層堆積物におけるMn濃度の最高は618ppm(付表A-1)であり、これは地殻存在量の950ppm(Levinson, 1980)より低いため続成作用による移動・濃集の影響は存在しないと考えられる。

4.6 砂質堆積物の起源

砂質堆積物の起源としては、基盤岩類の風化生成物と火山灰の粗粒部分が考えられる。集水域の基盤岩類としては流紋岩類と安山岩類が分布するが、安山岩類が分布する北東部から流入する大きな河川は存在しないため、砂質堆積物に対する安山岩類の影響はほとんどない。このことは、安山岩と砂質堆積物の化学組成が明らかに異なることに示されている(第1表)。流紋岩類の化学組成の特徴は、TiO₂, Fe₂O₃, MgO, Cu, Zn, V等の濃度が



第5図 各種試料中のSiO₂含有量と他成分含有量の関係

Fig. 5 Plots of SiO₂ vs. Al₂O₃, Na₂O, K₂O, total H₂O, Pb and V contents. Solid squares: black mud; Solid triangles: volcanic ash; Solid circles: sandy sediment; Open circles: river sediment; Open triangles: rhyolite; Open squares: andesite.

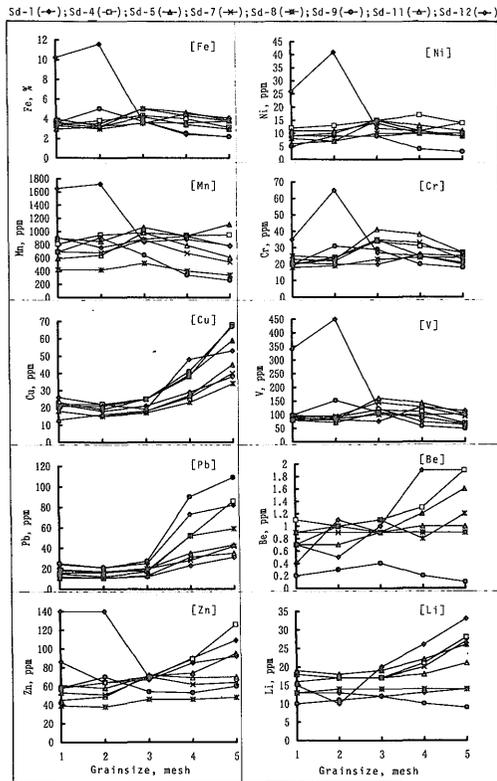
低いことであり、これも砂質堆積物とは一致しない。流紋岩類が分布する地域で採取した河川堆積物(Sd-4, 7)と湖内の砂質堆積物の化学組成は良く一致しており、この両者の組成はCu, Pb, Znを除いて日光白根火山灰のそれに類似している(第1表)。したがって湯ノ湖における砂質堆積物の起源は、主として集水域に堆積した日光白根火山灰の粗粒部分が洪水等に伴って流入したものと判断される。砂質堆積物でCu, Pb, Zn濃度が低い原因は、これら元素が粗粒な粒子よりも微細な粒子に濃集しやすい(4.7参照)ためと考えられる。

4.7 黒色泥の起源

湯ノ湖における平常時の堆積物と考えられる黒色泥の化学組成が火山灰や砂質堆積物と異なることは4.2で述べたが、この点をより明確にするため第1表の分析値をもとに第5図を作成した。黒色泥中のAl₂O₃, Na₂O, K₂O, Pbの濃度は、湖内の火山灰や砂質堆積物、集水域

の河川堆積物, 土壌, 基盤岩類のいずれよりも明らかに低く, 逆に全 H₂O, V 濃度は高い. このような特徴を有する黒色泥の起源としては, 火山灰や岩石の風化生成物のうち細粒部分が選択的に移動・堆積する, あるいは河川水, 湧水, 温泉水中の溶存成分からの生成物が考えられる.

まず, 火山灰, 岩石の風化生成物のうち細粒部分のみが湖内に流入する可能性を検討するため, 集水域内の河川堆積物 6 試料, 土壌 2 試料について粒度別の元素濃度を分析し, 結果を第 6 図に示した. 試料によって若干の差があるものの, Fe, Mn, Ni, Cr, V については粒度が変化しても元素濃度に大きな差がなく, Cu, Pb, Zn, Be, Li では細粒部分が高濃度を示し, 火山灰や岩石の風化生成物の細粒部分は黒色泥の起源とはなり得ないことが分かった.



第 6 図 粒度別試料の分析結果

Fig. 6 Concentration of selected elements in different size fractions of the same sample for eight selected samples collected in the Lake Yunoko catchment area. 1, bulk; 2, 40-80; 3, 80-200; 4, 200-400; 5, more than 400 (mesh).

細見ほか(1984)は, セジメントトラップを用いて湯ノ湖における沈殿物調査を行い, 大雨に伴って集水域から火山灰や岩石起源の砕屑物が流入しない時期における沈降粒子は主として植物プランクトンとプランクトン・ネクトンの遺骸であることを報告している. そして, 湯ノ湖における代表的な植物プランクトンは珪藻類であり, 走査型電子顕微鏡で黒色泥を観察した結果, *Synedra* や *Aulacoseira* などの珪藻化石が多量に含有されることが分かった(谷口ほか, 1996). このことは, SiO₂ と H₂O に富み, Al₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O に乏しい黒色泥は珪藻類を主体とする生物起源であることを示す. 金精峠から湯本温泉にかけて分布する流紋岩類が変質作用によって脆弱化していることは地下水等への珪酸の溶出量が多いことを示唆しており, また坂本ほか(1955)によれば湯本温泉の源泉中には 93.5-174 mg/l (平均 132 mg/l, n=8) のメタ珪酸が含有されており, これらが湖内における珪藻類の繁殖に寄与しているであろう.

それでは黒色泥中の元素がすべて珪藻で説明できるかとなると問題点がある. それは多くの重金属等が低濃度を示す中でその傾向を示さない Fe, V, S である. 湖内の St-22 で採取された堆積物には多量の Fe (15.20%), S (14.10%) が含有されており(付表 A-1), 付近に温泉水の湧出口が存在すると考えられるが, この源泉は湖内堆積物への Fe, S の供給源として重要と考えられる. 各種硫酸塩の溶解度は硫化物に比べて大きいので, 黒色泥中の硫黄はすべて硫化物として存在すると思っていたが, X 線回折による検討の結果石膏その他多様な硫酸塩鉱物が検出され, その生成には硫黄酸化バクテリアの関与が考えられた(谷口ほか, 1996). V についても St-22 付近の源泉から湧出している可能性もあるが, 堆積物中の濃度は 275 ppm で必ずしも高くない. V は原油中に多く含有される元素であり, 生物作用で濃集した可能性もあるが, これについては今後の研究が必要である.

4.8 湯ノ湖と他湖沼の堆積物の比較

第 3 表は, 湯ノ湖の黒色泥, 砂質堆積物, 日光白根火山灰の主成分の平均値と, バイカル湖, 野尻湖, 琵琶湖, 宍道湖, 中海, 三方湖, 水月湖, 菅湖, 久天子湖, 日向湖の湖底堆積物のそれを比較したものである. このうちバイカル湖の堆積物は鉄などの重金属濃度が低い, 珪藻起源堆積物が卓越する層準の試料を選定して分析した. 湯ノ湖の黒色泥中の SiO₂ 濃度は日本の他のいずれの湖よりも高く, 逆に TiO₂, Al₂O₃, MnO, MgO, Na₂O, K₂O 濃度は 1/3-1/10 で低い. 一方, バイカル湖の珪藻起源堆積物の SiO₂, Al₂O₃ など多くの成分は湯ノ湖の黒

第3表 湯ノ湖と他湖沼における堆積物中主成分の平均化学組成の比較
Table 3 Average concentrations of major elements in lake sediments (%).

	(n)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	T-Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI
Lake Yunoko												
Black mud	3	66.01	0.06	4.21	3.66	0.03	0.21	0.56	0.27	0.47	0.13	23.99
Sandy sediment	2	64.42	0.34	15.25	3.51	0.06	1.21	2.71	2.03	2.18	0.12	8.07
Volcanic ash	2	62.46	0.32	16.58	4.26	0.11	1.22	2.02	1.82	3.25	0.11	7.64
Lake Baikal												
Lake Nojiri	3*	73.65	0.28	7.13	3.34	0.05	1.14	1.08	0.70	1.16	n.d.	9.92
Lake Biwa	3	52.66	0.34	13.30	7.86	0.39	0.93	1.11	0.59	0.81	n.d.	19.64
Lake Shinji	19	58.22	0.58	18.93	6.27	0.13	1.34	0.69	1.18	2.67	0.14	10.93
Lake Nakaumi	9	51.36	0.65	20.04	5.68	0.12	1.67	0.63	1.57	1.84	0.13	16.24
Lake Mikata	9	44.55	0.53	19.28	4.96	0.29	2.44	1.95	3.29	1.77	0.11	20.65
Lake Suigetsu	4	47.40	0.97	17.45	9.62	0.13	2.60	0.88	0.89	1.83	0.22	18.22
Lake Suga	3	48.16	0.45	10.69	6.72	0.20	1.49	0.51	1.23	1.25	0.36	28.85
Lake Kugushi	3	51.57	0.52	13.09	5.74	0.09	1.52	0.86	1.32	1.86	0.14	23.46
Lake Hiruga	3	49.44	0.43	17.15	5.14	0.10	1.28	0.56	1.60*	2.04	0.12	22.11
	3	47.86	0.84	14.45	7.68	0.19	2.08	0.74	1.57	1.82	0.19	22.21

Data for Lake Baikal and Lake Nojiri are from Terashima and Inouchi(unpublished), and others from Omori(1968, 1969 and 1971); LOI, Loss on ignition; n.d., not determined; *selected siliceous sediments.

色泥よりも濃度が高く、強熱減量は低い。日本の湖沼堆積物のうち、湯ノ湖の黒色泥のみで珪藻起源堆積物が卓越する原因としては、湖内へ流入する水の半分以上が伏流水起源の湧水であり、基盤岩起源の碎屑物の流入が少ないこと、年間平均気温が低いこと珪藻等生物起源物質の湖内における分解が抑制されること、集水域に珪酸に富む変質流紋岩が分布しており、湧水や温泉水からの珪酸の供給が多いことなどが考えられる。

5. ま と め

奥日光湯ノ湖における湖底堆積物の起源解明を主目的として湖底から採取された堆積物、集水域の河川堆積物、土壌、岩石等の主・微量成分の定量分析を行なって以下の結果を得た。

1) 湯ノ湖の堆積物は、概括的に黒色泥、黄褐色シルト-粘土、砂、火山灰から構成されており、湖北部の水深の浅い水域では砂層や黄褐色シルト-粘土層が、水深の大きな水域では黒色泥層が卓越する。黒色泥は、大雨に伴う堆積物の流入や火山灰降下の影響がない場合の堆積物である。

2) 火山灰層としては、日光白根や浅間起源のものが確認されたが、このうち1649年噴出の日光白根火山灰は他のいずれの堆積物よりもCu, Pb, Znに富む特徴がある。この火山灰層を基準として湖底堆積物の平均堆積速度を求めた結果5.4±2.7mm/年となり、この値は他の方法による堆積速度と調和的であった。

3) 湖底表層堆積物中のZnなどについては人為的影響とみられる高濃度が得られたが、必ずしも供給源に近い水域で高濃度を示す傾向は認められなかった。続成作用に伴う重金属の移動・濃集はほとんど存在しないと考

えられた。

4) 湖底の砂質堆積物の化学組成と、火山灰、河川堆積物、土壌、基盤岩類のそれを比較した結果、砂質堆積物中に占める基盤岩類碎屑物の割合は極めて低く、ほとんどは日光白根火山灰の粗粒部分と解釈された。

5) 黒色泥は、集水域の岩石や火山灰に比べてTiO₂, Al₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O濃度が極めて低く、Fe, H₂O, S, Vに富む特徴を有している。湯ノ湖における平常時の堆積粒子が主として植物プランクトンとプランクトン・ネクトンの遺骸であること、植物プランクトンの優占種が珪藻であり、堆積物中に多量の珪藻化石が存在することから黒色泥の起源は主として珪藻であり、Fe, Sはこれらに富む温泉水からの供給と考えられた。

文 献

- 細見正明・岡田光正・矢木修身・山根敦子・須藤隆一 (1984) 陸水域の富栄養化防止に関する総合研究 (VII)-湯ノ湖における富栄養化とその防止対策-。国公研報告, 55, 1-129.
- 池谷仙之・和田秀樹・大森真秀 (1987) 浜名湖のボーリング柱状試料について。静岡大学地球科学研究報告, 13, 67-111.
- Imai, N., Terashima, S., Itoh, S. and Ando, A. (1995) 1994 compilation of analytical data for minor and trace elements in seventeen GSJ geochemical reference samples, "Igneous rock series". *Geostandards Newsletter*, 19, 135-213.
- 井内美郎 (1988) 琵琶湖の堆積モデル。Clastic Sediments, 5, 49-72.

- 井内美郎・斎藤文紀・横田節哉(1983) 霞ヶ浦湖底泥の堆積速度-火山灰層を用いた堆積速度算定法-. 地質雑, 89, 125-128.
- Inouchi, Y. and Terashima, S. (1988) Sedimentation mechanism of fine materials in Lake Biwa. Verh. Internat. Verein. Limnol., 23, 567-572.
- Kamiyama, K., Okuda, S. and Koyama, M. (1982) Vertical distribution of ^{137}Cs and its accumulation rate in lake sediments. Jap. J. Limnol., 43, 35-38.
- 河田清雄(1955) 5万分の1地質図幅「男体山」, 地質調査所.
- Levinson, A. A. (1980) *Introduction to Exploration Geochemistry. 2nd ed.*, Applied Publishing, Wilmette, Illinois, 924 p.
- 松本英二(1975) ^{210}Pb 法による琵琶湖湖底泥の堆積速度. 地質雑, 81, 301-305.
- Matsuyama, K. (1974) Vertical distribution of some chemical substance in surface sediments of a meromictic Lake Suigetsu. Jour. Ocean. Soc. Japan, 30, 209-215.
- 大森江い(1968) 琵琶湖底質の化学組成について. 地調月報, 19, 103-114.
- 大森江い(1969) 穴道湖・中海底質の化学組成について. 地調月報, 20, 463-479.
- 大森江い(1971) 三方五湖底質の化学組成について. 地調月報, 22, 71-83.
- 坂本峻雄・益子 安・佐藤幸二(1955) 温泉の地球化学的研究-第1報-日光湯本温泉. 温泉科学, 7, 62-66.
- 谷口政碩・寺島 滋(1996) 奥日光湯ノ湖の湖底堆積物の鉱物学的研究. 地調月報, 投稿中.
- 寺島 滋・井内美郎・中尾征三・米谷 宏(1989) 野尻湖表層堆積物におけるマンガン, 銅, 鉛, 亜鉛の挙動. 地調月報, 40, 113-125.
- 寺島 滋・井内美郎・斎藤文紀・宮田雄一郎・片山肇・寺島美南子(1991) 湖沼浚渫域の底質における元素の鉛直分布と化学的性質. 地調月報, 42, 387-407.
- 寺島 滋・井内美郎・宮田雄一郎・片山 肇・斎藤文紀・安田 聡・渡邊和明・吉川秀樹・稲崎富士(1992) 諏訪湖底質中の重金属等11元素の地球化学的研究. 地調月報, 43, 549-564.
- Terashima, S., Usui, A. and Imai, N. (1995) Two new GSJ geochemical reference samples : syenite JSy-1 and manganese nodule JMn-1. Geostandards Newsletter, 19, 221-229.
- 塚田松雄(1967) 野尻湖における化石枝角類と生態的秩序. 第四紀研究, 6, 101-110.

(受付: 1996年8月5日; 受理: 1996年9月13日)

奥日光湯ノ湖の湖底堆積物の地球化学的研究 (寺島 ほか)

付表 A-1 湯の湖堆積物の分析結果

Table A-1 Analytical results of the sediments from Lake Yunoko.

Sample No.	Station No.	Location (cm)	Fe (%)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Ni (ppm)	Cr (ppm)	V (ppm)	Be (ppm)	Li (ppm)	Total C (%)	Total S (%)
1	1	0-5	2.06	457	69	44	217	2	11	375	0.9	21	5.35	0.89
2	2	0-5	2.70	490	28	23	76	5	14	156	1.0	16	3.50	0.35
3	3	0-5	2.69	498	46	33	183	4	11	315	0.8	24	4.23	1.19
4	4	0-5	2.85	502	87	70	328	5	20	205	1.2	30	4.10	1.38
5	5	0-5	2.18	400	47	47	126	4	15	288	1.2	26	4.26	0.78
6	6	0-5	3.05	522	32	26	63	6	16	126	1.2	23	2.08	0.31
7	7	0-5	2.75	523	34	30	72	4	15	123	0.9	22	2.92	0.41
8	8	0-5	2.42	404	37	39	81	4	13	132	0.9	28	3.10	0.63
9	9	0-5	2.76	435	26	27	57	7	16	108	1.0	23	2.56	0.34
10		5-10	2.60	477	20	22	50	8	16	86	1.0	20	1.37	0.25
11		10-15	2.93	398	32	34	74	7	15	183	0.8	22	3.36	0.63
12		20-25	2.85	395	33	32	60	5	14	188	0.5	25	3.48	0.42
13		30-35	3.00	341	34	32	62	7	14	293	0.8	20	3.57	0.67
14		40-45	3.27	374	34	31	52	7	15	275	0.8	22	3.05	0.56
15		50-55	3.28	383	31	30	46	7	15	212	0.6	23	2.54	0.44
16		60-65	3.48	398	34	29	50	4	15	214	0.6	24	3.13	0.46
17		70-75	2.40	450	16	15	37	7	17	75	0.7	18	0.20	0.11
18		80-85	2.92	390	35	19	51	4	11	404	0.7	19	4.33	1.07
19		90-95	2.51	408	27	29	48	2	12	205	0.6	31	3.76	0.72
20		100-105	3.18	257	18	9	36	1	7	415	0.3	12	4.66	2.38
21		110-115	3.18	348	28	18	42	3	13	344	0.5	21	3.60	1.63
22		120-125	2.24	380	27	18	43	1	13	260	0.4	21	3.56	0.94
23		130-135	2.51	470	45	33	54	3	12	158	0.6	27	3.92	0.80
24		140-145	2.71	337	30	25	45	3	13	303	0.6	23	3.36	1.22
25		150-155	2.60	387	34	25	47	9	13	194	0.7	25	3.20	0.73
26		160-165	3.15	368	32	21	47	7	14	285	0.6	25	4.44	1.13
27		170-175	2.42	360	24	21	43	4	14	216	0.6	21	4.00	0.60
28		180-185	2.65	385	25	21	49	6	13	232	0.6	19	1.95	0.59
29		190-195	2.72	405	28	34	52	7	13	167	0.5	25	2.66	0.49
30		200-205	2.42	570	35	55	70	7	10	80	1.2	24	1.80	0.27
31		210-215	2.60	717	39	53	80	8	11	68	1.4	29	1.70	0.26
32	10	0-5	2.87	480	45	39	110	4	12	178	0.8	22	3.50	0.89
33	11	0-5	2.81	429	36	34	54	5	15	104	0.8	22	3.35	0.34
34		5-10	2.83	470	35	34	56	6	15	80	1.0	22	3.64	0.28
35		10-15	2.70	510	27	28	57	9	15	103	1.1	20	4.24	0.32
36		20-25	3.02	348	41	32	77	2	11	262	0.4	16	4.17	1.73
37		30-35	3.46	308	31	22	59	3	14	384	0.4	13	3.85	1.75
38		40-45	3.87	336	39	30	50	3	12	388	0.5	18	3.78	1.14
39		50-55	3.72	312	32	31	46	2	10	416	0.5	17	3.80	1.30
40		60-65	3.24	410	35	29	48	6	14	285	1.0	22	3.97	0.68
41		70-75	3.18	452	35	31	50	13	16	88	1.5	22	4.02	0.31
42		80-87	2.63	467	25	22	43	10	15	80	1.2	18	2.89	0.27
43		92-97	3.03	500	38	21	46	1	10	386	0.8	15	3.88	0.79
44		102-107	2.92	402	30	15	44	1	9	388	0.7	15	4.61	1.46
45		112-117	4.20	315	18	13	35	1	9	345	0.4	12	4.57	2.76
46		122-127	3.02	426	27	21	49	5	11	245	0.9	20	4.96	1.30
47		132-137	3.50	276	17	7	35	1	7	426	0.2	9	4.93	2.68
48		142-147	3.79	256	16	4	34	1	6	428	0.1	8	4.78	2.98
49		152-157	3.88	330	20	8	38	1	7	333	0.4	12	4.40	2.59
50		162-167	4.16	322	20	9	37	1	7	418	0.4	13	4.35	2.97
51		172-177	4.62	277	17	6	33	1	7	441	0.2	10	4.39	2.76
52		182-187	3.69	456	34	25	49	8	11	265	1.0	29	3.42	1.07
53		192-197	2.90	498	42	28	51	13	14	208	2.2	26	2.92	0.42
54		202-207	4.32	452	24	10	48	1	8	390	0.4	12	6.18	2.30
55		212-217	2.92	480	35	33	55	18	15	95	1.8	25	3.78	0.34
56		222-227	3.60	342	27	22	44	11	12	228	0.8	18	5.56	1.36
57		232-237	3.52	450	35	30	54	11	13	260	1.6	22	3.38	0.93
58		242-247	4.28	381	31	32	59	8	11	345	1.5	20	4.35	1.56
59		252-257	3.35	501	35	42	62	12	12	180	1.7	22	3.52	0.58
60		262-267	2.67	503	35	49	70	10	11	60	1.8	25	3.50	0.28
61		272-277	3.48	1020	38	52	82	10	11	62	1.8	26	2.42	0.39
62		282-287	2.92	785	36	59	84	10	11	58	1.8	24	1.10	0.33
63	12	0-5	2.94	438	54	30	137	3	10	202	0.6	18	4.90	1.50

地質調査所月報(第47巻 第9号)

付表 A-1 つづき (Continued)

Sample No.	Station No.	Location (cm)	Fe (%)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Ni (ppm)	Cr (ppm)	V (ppm)	Be (ppm)	Li (%)	Total C (%)	Total S (%)
64	13	0-5	1.98	301	40	32	84	2	9	321	0.6	17	3.71	1.08
65	14	0-5	3.06	464	39	45	78	4	13	160	0.8	20	4.04	0.80
66	15	0-5	3.10	439	34	37	51	10	14	102	1.1	21	3.32	0.40
67		5-10	3.12	452	34	36	51	10	16	83	1.4	20	3.20	0.36
68		10-15	3.15	480	35	36	55	11	15	62	1.6	21	3.60	0.33
69		20-25	2.84	498	29	28	57	10	15	90	1.5	22	3.42	0.33
70		35-40	2.39	401	35	31	70	2	11	331	0.8	17	3.79	1.01
71		40-45	2.87	448	33	30	51	10	15	91	1.5	20	3.99	0.30
72		45-50	3.12	322	28	24	65	2	11	378	0.4	13	3.44	1.78
73		60-65	3.01	361	31	26	50	8	10	385	0.9	15	3.44	1.22
74		80-85	2.96	444	36	33	51	16	15	96	1.1	23	4.63	0.35
75		100-105	2.83	432	38	17	45	7	8	412	0.8	13	3.74	1.36
76		120-125	3.03	392	25	21	43	7	8	321	0.9	18	4.35	1.90
77		140-145	3.26	226	14	3	32	1	3	406	0.4	7	4.42	2.69
78		160-165	3.32	336	22	14	40	6	8	352	0.7	14	3.80	2.00
79		180-185	2.82	448	35	27	50	13	15	182	1.2	27	4.09	0.56
80		200-205	2.72	492	35	52	72	13	12	120	1.5	25	2.53	0.36
81		210-215	2.71	600	39	62	88	15	10	80	1.9	25	1.96	0.34
82		220-225	3.01	902	36	64	87	15	11	60	1.9	22	1.50	0.36
83	16	0-5	2.11	306	37	47	220	2	7	488	0.5	16	4.10	1.88
84	17	0-5	2.25	320	35	34	146	2	6	450	0.6	11	4.76	2.06
85	18	0-5	2.86	378	39	38	119	3	14	350	0.8	18	4.39	1.31
86	19	0-5	2.42	331	38	37	92	3	8	405	0.5	12	4.58	1.49
87		5-10	2.50	228	27	22	61	1	5	388	0.2	9	4.06	1.66
88		10-15	2.80	260	29	22	64	3	9	394	0.6	11	3.46	2.02
89		20-25	3.33	356	26	23	53	2	8	457	0.5	12	3.83	2.00
90		40-45	2.66	448	41	18	45	2	7	434	0.6	13	3.67	1.35
91		60-65	2.41	341	17	12	39	2	7	460	0.8	12	4.36	2.13
92		80-85	2.40	245	13	3	34	1	4	408	0.2	7	4.41	2.04
93		100-105	2.64	288	14	6	36	1	7	403	0.5	9	3.86	2.52
94		120-125	2.48	392	15	8	36	2	7	434	0.7	10	4.27	1.85
95		140-145	3.00	452	19	14	44	3	7	394	0.8	11	3.64	2.00
96		145-150	3.91	400	23	15	54	3	7	380	0.3	11	4.01	2.80
97		150-155	3.13	610	42	67	107	8	11	260	1.8	23	2.60	1.18
98		160-165	2.35	260	18	5	33	5	6	395	0.3	8	3.96	2.23
99		180-185	2.00	206	13	1	31	3	3	405	0.2	6	3.45	1.97
100		200-205	3.01	272	18	6	41	10	6	405	0.7	8	3.44	2.45
101		220-225	1.92	175	12	2	28	1	2	286	0.2	7	3.00	1.64
102		240-245	2.48	198	11	1	29	1	3	364	0.4	5	3.50	2.27
103		250-255	2.31	226	14	4	32	3	4	356	0.8	7	3.19	2.00
104	20	0-5	2.48	214	38	21	108	1	4	346	0.3	7	n.d.	n.d.
105	21	0-5	3.91	490	54	43	181	3	10	341	0.7	21	5.30	2.44
106	22	0-5	15.20	618	30	13	127	5	13	275	0.4	7	2.10	14.10
107	23	5-10	2.79	260	32	36	100	2	9	405	0.5	10	4.92	1.41
108	24	0-5	2.40	294	27	16	48	12	7	438	1.1	14	4.40	1.69
109		5-10	2.38	278	31	25	53	12	9	520	0.5	15	3.89	1.12
110		10-15	2.38	352	37	22	55	16	10	495	0.8	16	4.26	1.00
111		20-25	2.55	271	17	8	38	6	6	493	0.4	10	4.54	2.10
112		35-40	2.66	330	24	13	50	4	7	580	0.3	13	4.12	1.78
113		40-45	2.83	411	26	32	74	15	11	416	0.9	15	3.24	1.84
114		45-50	2.82	380	27	21	53	5	9	570	0.5	16	3.81	1.67
115		60-65	2.01	236	17	3	35	4	7	521	0.4	8	3.72	1.61
116		80-85	2.28	221	14	3	32	4	6	353	0.4	7	3.43	1.95
117		100-105	2.35	200	15	5	32	4	6	450	0.3	7	3.56	2.18
118		120-125	2.30	181	12	2	37	1	3	452	0.3	5	3.46	2.52
119		140-145	2.94	312	21	20	53	12	6	618	1.2	17	3.08	2.24
120		145-150	2.88	530	27	33	80	5	10	320	1.2	19	1.95	1.46
121		150-155	3.29	400	31	10	49	6	17	560	0.9	15	3.00	1.75
122		155-160	4.28	660	39	11	58	27	30	340	0.9	9	n.d.	n.d.
123		160-165	2.52	235	17	6	38	4	10	446	0.9	10	3.06	2.61
124		180-185	2.52	228	18	5	43	4	6	503	0.7	10	3.40	2.60
125		200-205	2.29	183	14	3	66	3	6	435	0.7	6	3.20	2.70

奥日光湯ノ湖の湖底堆積物の地球化学的研究 (寺島 ほか)

付表 A-2 湯の湖の集水域の河川堆積物, 土壌, 岩石等の分析結果

Table A-2 Analytical results of samples from the catchment area of Lake Yunoko.

Sample No.	Description	Fraction (mesh)	Fe (%)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Ni (ppm)	Cr (ppm)	V (ppm)	Be (ppm)	Li (ppm)
Sd-1	River sediment	40-80	11.60	1720	22	21	140	41	65	450	0.5	10
		80-200	3.71	840	19	25	69	12	27	122	1.0	20
		200-400	2.40	880	48	73	90	11	25	73	1.9	26
		400<	2.19	790	53	82	109	14	21	63	1.9	33
		Bulk	10.22	1650	26	24	140	26	35	340	0.7	15
Sd-3	River sediment*	Bulk	5.96	1090	30	25	123	14	47	178	0.8	55
Sd-4	River sediment	40-80	3.81	950	22	12	64	13	24	91	1.0	17
		80-200	4.30	980	25	17	70	15	34	118	1.1	17
		200-400	4.00	940	38	52	89	17	31	110	1.3	21
		400<	3.13	950	68	86	126	14	27	68	1.9	28
		Bulk	3.36	810	22	15	58	12	20	83	1.1	18
Sd-5	River sediment	40-80	3.17	850	21	16	58	11	22	71	0.7	18
		80-200	4.19	1060	25	20	71	14	35	108	0.9	19
		200-400	3.40	930	39	35	74	10	25	91	1.2	22
		400<	2.98	1110	59	43	95	9	20	65	1.6	26
		Bulk	3.48	900	21	16	61	11	23	80	0.7	19
Sd-7	River sediment	40-80	3.50	680	15	17	51	10	24	94	0.9	17
		80-200	4.98	870	18	20	70	15	35	145	0.9	17
		200-400	4.30	670	26	28	62	11	33	127	0.9	20
		400<	3.79	540	40	42	64	9	23	94	0.9	27
		Bulk	3.56	690	18	18	53	9	25	96	0.9	18
Sd-8	River sediment	40-80	2.97	420	15	17	38	7	19	86	1.0	14
		80-200	3.56	520	17	18	46	10	23	100	1.1	14
		200-400	3.58	400	23	52	46	10	24	98	0.8	14
		400<	3.77	340	34	59	48	10	24	102	1.2	14
		Bulk	3.32	420	18	19	39	8	18	96	0.7	13
Sd-9	Soil	40-80	5.01	910	19	21	70	9	31	152	0.3	11
		80-200	3.72	640	25	27	54	9	29	109	0.4	12
		200-400	2.52	340	41	90	53	4	20	57	0.2	10
		400<	2.17	260	67	109	60	3	18	48	0.1	9
		Bulk	3.60	690	23	25	58	5	20	98	0.2	10
Sd-10	Hot spring deposit	Bulk	0.09	35000	10	21	8	<2	10	9	1.0	3
Sd-11	River sediment	40-80	3.18	640	16	11	49	7	23	82	1.0	17
		80-200	5.02	980	18	13	72	15	41	160	0.9	17
		200-400	4.64	790	27	31	69	13	38	142	1.0	18
		400<	3.88	610	45	35	70	11	27	102	1.0	21
		Bulk	2.95	590	13	11	45	6	20	82	0.9	16
Sd-12	Soil	40-80	3.28	760	18	11	64	9	20	82	1.1	13
		80-200	3.50	880	21	12	67	9	20	75	0.9	12
		200-400	4.48	930	29	23	85	10	26	128	0.9	13
		400<	4.10	780	38	31	92	9	25	114	0.9	14
		Bulk	3.95	910	22	12	86	9	21	90	0.4	13
Sd-13	Soil	40-150	4.01	810	46	34	75	14	23	98	0.9	13
		150<	3.30	590	43	60	76	8	23	74	0.9	13
		Bulk	3.61	840	20	24	67	10	22	100	0.8	14
Sd-14	River sediment	40-150	2.63	660	114	72	89	14	22	70	0.8	14
		150<	3.32	790	25	19	58	14	28	96	0.9	13
		Bulk	3.57	810	41	32	80	15	32	98	0.8	14
R-1	Rhyolite**	Bulk	0.07	15	1	2	11	<1	3	<5	<0.2	<1
R-2	Andesite	Bulk	4.90	590	28	14	50	19	37	139	0.8	6
R-4	Rhyolite	Bulk	0.73	170	2	14	7	5	16	9	1.1	13
R-5	Rhyolitic tuff	Bulk	1.08	870	2	13	31	3	12	7	1.8	27
R-7	Andesite	Bulk	4.42	920	30	14	63	28	63	120	1.1	14
R-8	Andesite	Bulk	5.76	1090	57	13	76	36	80	188	1.1	10
R-9	Rhyolite	Bulk	1.34	270	1	19	29	7	17	16	1.9	23
R-10	Rhyolitic tuff	Bulk	1.29	460	2	17	38	10	23	14	1.4	34
R-11	Andesite	Bulk	4.63	900	25	13	65	27	60	140	1.0	13
R-13	Andesite	Bulk	3.41	840	26	12	55	20	41	100	1.2	13
R-14	Andesite	Bulk	5.03	1000	33	12	75	26	58	150	1.2	10

*containing a small amount of hot spring deposit. **strongly altered.