

粒度分析から推定される余呉湖の発達史

堀江 正治・三宅 秀男

THE DEVELOPMENTAL HISTORY OF LAKE YOGO-KO INFERRED FROM THE GRANULOMETRIC ANALYSES

By *Shoji HORIE* and *Hideo MIYAKE*

Synopsis

In order to investigate the developmental history from the viewpoint of paleohydrological environment, the writers have examined the granulometric analyses on the core sample obtained in Lake Yogo-ko.

Although the sediment is thoroughly Gytja, granulometric analyses show the existence of the alternation of two kinds of strata with 1~1.5 m interval.

One is coarser stratum composed by fine sand and silt, and the other is clay dominant stratum. In that alternation, the content of the former seems to be about 50% in amount and of the latter seems to be approximately 70-80% in amount.

The coarser stratum contains much organic carbon and therefore more humic material. Accordingly, the specific weight of that stratum is relatively light. The writers have discussed about the past limnetic environment under which the coarser, blackish and high organic material was deposited.

1. ま え が き

Ancient lake における湖底堆積物の層序学的分析は、第四紀中の後氷期にまで連なる気候変化、湖中堆積環境の変化を解明する有力な研究方法である。その基本になる考え方は、気温の高低、降水量の増減、湖盆形態の変遷が、湖周の植生や地形の変化をもたらし、湖沼の栄養度、生物生産力、循環型式などを変化させるという理論にある。

第四紀気候変化の歴史は、二次的変形をこうむり易い陸上の堆積物や地形と比べ、湖底堆積物では、微細にわたって年代順に保存される。従って湖底堆積物のコア・サンプルを採取し、多方面からの分析を試みることによって、湖沼の発達史や環境史はより正確に推定できると言えよう。

これまでの湖底堆積物研究の主流は、陸水学中で生物学者の占めてきた領域と関連して、生物遺骸か生物と関係する化学要素を調べ、湖をめぐる生物生態の変遷を明らかにすることにあった。他方、米国南西部の pluvial lake の研究には、湖成堆積物や湖岸段丘と水収支とを結びつけた古水文学的方法が用いられ、pluvial lake の水文環境史は、集大成されつつある¹⁾²⁾。米国南西部の乾燥地域とは異なる日本に於ては、古水文学的方法は適用が困難で、湖成堆積物や湖岸地形から、過去の水文環境を議論した研究例はみるべきものがない。

第四紀中における降水量の短周期、長周期変動は、地形発達の前動力として非常に重要である。例えば、河岸段丘・湖岸段丘の形成・破壊は、陸上の侵食や堆積の機構と密接に関係している。それにも拘らず、古降水量の忠実な指示者とみなされる湖水面変動、それを反映している湖底堆積物を、水文環境の観点から研究しようとする姿勢は不十分であった。その一因としては、湖成堆積物を垂直に採取するという技術的困難が大きかったことも事実である。

小論では、湖成堆積物から過去の水文環境を推定する手掛りを得る目的で、柱状堆積物の粒度変化について調べた。化学分析、花粉分析などと比較して、堆積物質の粒子の大きさは、因果関係が単純のようであり、湖水中への回帰などの二次作用も少ないと考えられる。

2. 余呉湖の地理学的特性

余呉湖は、琵琶湖盆の北部にある小湖 (Fig. 1) で、Table 1 のような湖盆形態を示している。

湖岸段丘の分布からみると、かつて琵琶湖汴線の北限は余呉湖北方に存在し、余呉湖は地質学的に最近の

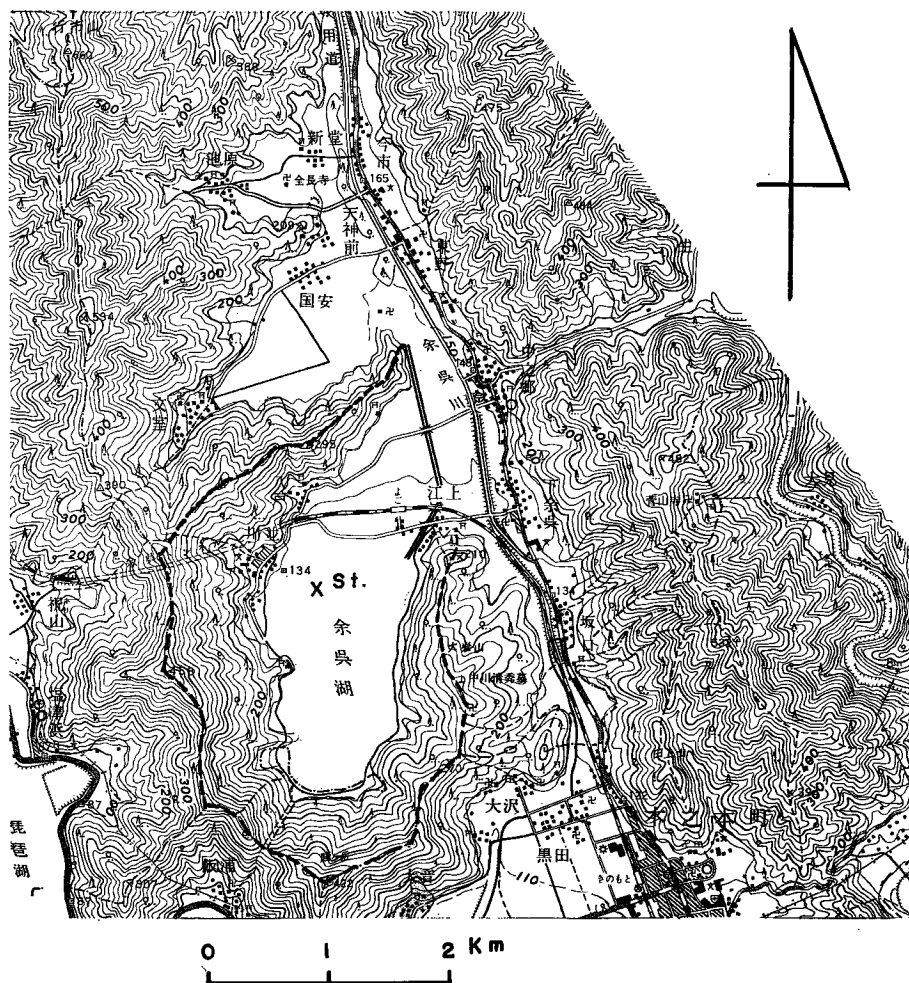


Fig. 1 Map showing Lake Yogo-ko and boring station.

Table 1 Morphometric features of Lake Yogo-ko.

Altitude	Lake area	Drainage area	Mean depth	Maximum depth	Length of shoreline	Volume
134 m	1.62 km ²	7.5 km ²	7.4 m	14.5 m	6.0 km	0.012km ³

時代まで琵琶湖の一部であったと考えられる³⁾。

余呉湖の湖岸段丘のうち、琵琶湖の湖岸段丘と連続するものと連続しないものとの分類及び段丘中の埋木の年代から、28,500年前から3,180年前の間のある時期に余呉湖は琵琶湖から分離独立し、以来独立の閉塞湖として独自の湖史を形成してきたとみなされる⁴⁾。

閉塞湖の場合には、湖周あるいは湖内で生じた諸変化の証拠は、総て湖底堆積物として保存されるという貴重な利点がある。又、余呉湖の流入河川として、山地斜面や水田からの極めて短小な川があるのみで、この点、湖底堆積物と湖への表面流入量とは、より直接的な関係の存在することが期待される。

一方、湖沼の水温標式(循環型式)上からは、成層期を年一回しか有しない熱帯湖型(この場合には、warm monomictic lake type)と成層期、循環期を年二回有する温帯湖型(この場合、dimictic lake type)との境界線上に、本湖が位置していることは看過できない点である⁵⁾。例えば、1961年から1962年にかけては熱帯湖型を示したが⁶⁾、1969年から1970年にかけての冬は結氷し、温帯湖型の循環型式であったと考えられる⁷⁾。

日本の気候区分上からみれば、本湖は裏日本・北陸型の区分中にあるが、裏日本型から瀬戸内型の気候に至る降水量の急な勾配が存在することも注意しなければならない⁸⁾。従って、一定期間以上の降水量の変動があった場合には、変動量も大きく現われるはずである。

3. 粒度変化と湖の発達史

Fig. 1 に示した、川並沖深度約6mの地点で採取した柱状堆積物のうち、これ迄に6.5m分を約5cm間隔でサンプリングし、分析試料にあてた。分析は、島津自動粒度分析装置SA-II型を用い、沈降時間は1時間とした。一方、粒度分析に使用した堆積物を、110°Cで乾燥し、比重を測定した。粒径は試案的に62.5ミクロンまでの微細砂、62.5ミクロンから7.8ミクロンまでのシルト、7.8ミクロン以下の粘土に分けて表示した。

Fig. 2 は、分析の結果を示してある。図から明らかなように、約1m~1.5m毎の顕著な波が、粒度にも比重にも現れている。すなわち表層から0.9mまでは砂・シルトが60%を越える砂・シルト層、0.9~2.5mの間は粘土層(約70%)、2.5~3.8mの間は堆積相の頻繁な変動をはさむが、大局的には砂・シルトが約60%の層であり、3.8~4.6mの間は粘土が80%に達し、4.6~6.0mの間は顕著な粘土層を挟しながらも、砂・シルトが40~50%の比較的粗い層となり、最下部6.0~6.5mの間は、粘土が70%から80%を越える粘土卓越層となる。

堆積物の色の変化をみると、粒径の大きい粗い部分では黒ないし黒褐色であるのに対し、細かい粘土分の多い層では褐色から灰色を示している。特に1.5~2.4mの間と6.0m以下は青灰色を呈している。これらは後に述べる様に、腐植物質と密接な関係があると思われる。

堆積物の採取には、リビングストン・堀江改良型のピストンサンプラーを用いたが、コアの上部はコアホール壁より崩落した異質堆積物を往々にして含むことがあり、特に深層に進むに従って乱れが多くなる。(しかしこの乱れは、フィールドにおける観察、コア取り出し後の層位学的検討に精通することにより、発見することが出来る。) Fig. 2 の約3m、約3.4m、4m直下、5.6m付近の値はこの事情に起因する疑いが濃い。

Fig. 3 には、各粒径成分を示した。この図から砂とシルトの変化は、ほぼ同じ型を示し、粘土の変化の型と逆になっていることがわかる。

次に代表的な粗い層と細かい層において、腐植物質を示す有機炭素を、シマコフの方法で定量し⁹⁾、さらに

$$(\text{腐植物質}) = \frac{1.03}{0.6} \times (\text{有機炭素})$$

なる式を用いて¹⁰⁾、腐植物質を概算してみた。(Table 2)

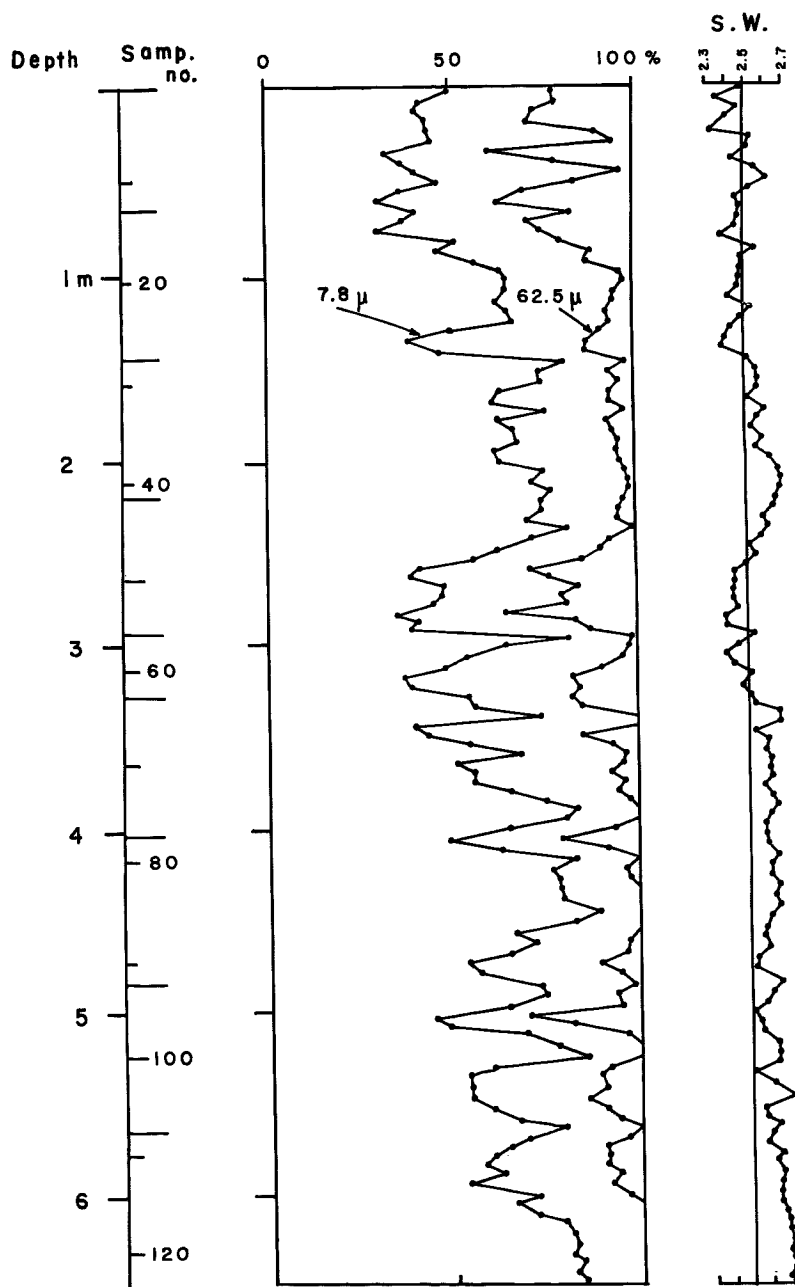


Fig. 2 Granulometric analyses and specific weight on the core sample obtained in Lake Yogo-ko.

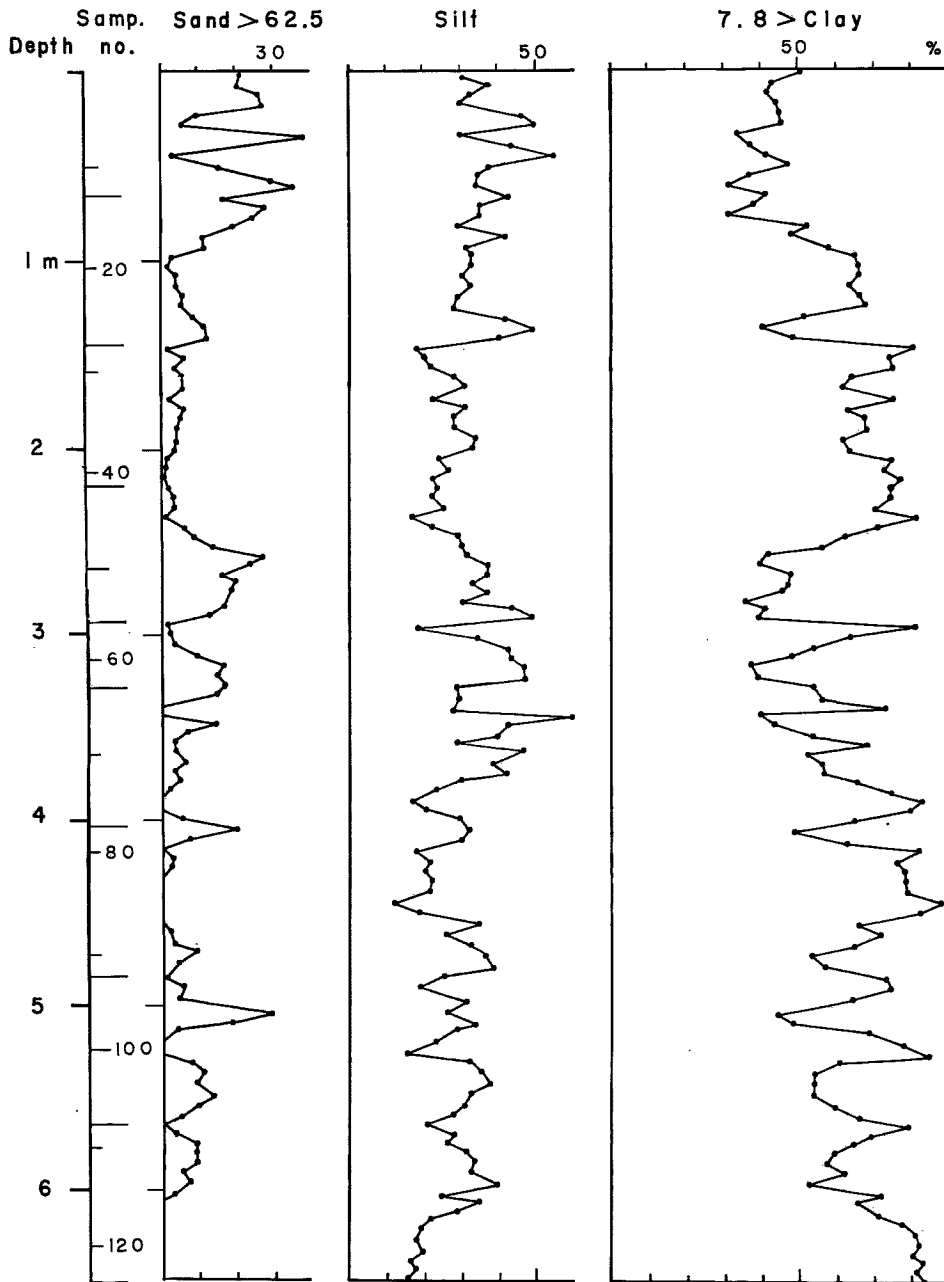


Fig. 3 Granulometric analyses on the core sample of Lake Yogo-ko.

Table 2 Physical and chemical elements on the core sample of Lake Yogo-ko.

Depth (m)	Sample no.	Specific weight	Classified size			Organic carbon (%)	Humus matter (%)	character
			Sand	Silt	Clay			
0.05	1	2.49	21.6	28.3	50.5	6.13	10.5	coarser black
0.6	12	2.46	36.3	33.0	30.8	5.63	9.66	
2.1	39	2.68	2.1	22.7	75.2	1.24	2.13	clay dominant blue gray
}	40	2.69	1.6	26.1	72.3	1.31	2.25	
2.2	41	2.68	1.6	21.0	77.4	1.33	2.28	
2.8	53	2.43	18.3	36.7	45.1	5.56	9.54	coarser blackish brown
}	54	2.45	35.8	29.6	34.6	5.48	9.41	
2.9	55	2.39	16.5	42.9	40.6	5.90	10.1	
4.3	82	2.62	2.3	19.2	78.6	1.89	3.24	clay dominant brown
}	83	2.66	0	21.3	78.7	1.74	2.99	
4.4	84	2.64	0	20.4	79.3	2.04	3.50	
6.4	120	2.71	0	16.0	84.0	1.03	1.77	clay dominant bluish gray
}	121	2.72	0	17.6	82.4	1.49	2.56	
6.5	122	2.70	0	15.4	84.6	1.44	2.47	

砂・シルトの多い層では有機炭素は 5.48~6.13%, 腐植物質に換算して 9.41~10.5% に達するのに対し, 粘土成分が 80% 前後の堆積物では, それぞれ 1.03~2.04%, 1.77~3.50% に過ぎない。このように堆積物の粒径の分布や色は, 有機物質や腐植物質とかなり密接な関連を有するらしいことがうかがわれる。

密度の小さい腐植物質が多量に含まれると, 堆積物の比重に影響を及ぼす。今回の分析結果全体を通覧して, 例えば Table 2 の sample no. 1 において, 腐植・有機物質の全含量を 15%, 比重を 1.0, 85% が無機物質でその比重を 2.70 とそれぞれ仮定して計算すると, 混合物の比重は 2.44 となり, 測定値 2.49 に近い値となる。従って比重の変化も腐植・有機物質の含有量に支配されているものと思われる。

今回の分析結果でみる限り, 粒度変化および比重変化が, 時代を経るに従って大きな波を繰り返しながらも徐々に粒径は大きく, 比重は小さくなる傾向があるが, 堆積した後に腐植物質や有機物質が徐々に分解されていく過程を示している。

湖底堆積物の分類上から, 腐植物質を多く含むものを腐植泥 (Dy), 湖内で生産された生物, 特に珪藻などの遺骸を主成分とするものを骸泥 (Gyttja) と呼ぶが¹¹⁾, 余呉湖の湖底堆積物は, 大局的に Gyttja であっても上記の分析結果からみれば, 有機的傾向を含む粗粒性堆積物 (腐植泥とまでは言えない) を, 約 1m から 1.5m 毎にはさみつつ徐々に粒径は大きくなる傾向を示していると言えよう。これは又, 堀江の指摘した, 余呉湖の栄養度が上下の波を反復しつつも全体として富栄養化してきている事実との関連において次の問題となろう¹²⁾。堆積物の有機的傾向の層は,

(i) 降水量増加の結果, 湖周からの流入が増加し, 陸成有機物質が多量に湖内に流れ込み, そのまま湖底堆積物となる。

(ii) 湖盆が縮小し, 湖周に水生植物が繁茂し, 栄養生成層と栄養分解層のバランスが変わったために, 未分解の有機物質が相対的に増加し, そのまま堆積物となる。

(iii) 湖中の生物生産が, 以上の栄養度増加に伴って増え, その死骸が更に栄養度を増すという相互作用を生じて有機物堆積量が高まる。

などの mechanism により生成されることが考えられる。余呉湖の水文・地形条件を考えると, いずれの場

合も可能性があり、又、その組合せも考えられるので、目下の資料だけでは断定できない。しかし有機物増減を支配する一主因は、水文環境であり、湖底堆積物の分析から古水文史を推定することは、上記の研究結果からみても可能であるように思われる。

4. あとがき

以上述べてきたように、堆積物の粒度分布の変化、有機炭素の含有量、色の差異などから、余呉湖の堆積環境は、ある期間や振幅をもって反復変化していることがわかった。これらの変化がいかなる自然環境、特に気候環境の変動に対応しているかは、未だ研究が緒についた現在では、今後の課題として残されている。

粒度分析の精度の向上とも関連して、有機物質の影響をいかに除去するか、現在の水文環境下での堆積物の性状や表面流出量と湖底堆積物の粒度分布との関係の把握なども、引き続き調べてみなければならない。

余呉湖の堆積物について、目下花粉分析も進行中であり、今後年代測定の結果とともに、総合的に考察を進めるならば、より詳細な湖をめぐる自然史が明らかになり、第四紀編年にとっても多大の貢献をすることが期待される。

最後に、本研究を進めるに当って、終始便宜をお取り計いいただき、御教示下さった、地形土壤部門の奥田教授、部門各位に厚く感謝します。

参 考 文 献

- 1) Schumm, S.A.: Quaternary Paleohydrology, in Wright H.E. and D.G. Frey [ed], The Quaternary of the United States, Princeton, Princeton Univ. Press, 1965, pp. 783-794.
- 2) Morrison, R.B.: Quaternary Geology of the Great Basin, in Wright H.E. and D.G. Frey [ed], The Quaternary of the United States, Princeton, Princeton Univ. Press, 1965, pp. 265-284.
- 3) Horie, S.: Paleolimnological Problems of Lake Biwa-ko, Mem. Coll. Sci., Univ. Kyoto, Ser. B., Vol. 28, 1961, pp. 53-71.
- 4) Horie, S.: Limnological Studies of Lake Yogo-ko (I), Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Vol. 17, Part 1, No. 117, pp. 1-8.
- 5) 吉村信吉：湖沼学。東京，三省堂，昭12，p. 429.
- 6) Horie, S.: Limnological Studies of Lake Yogo-ko (II), Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Vol. 17, Part 1, No. 122, 1967, pp. 31-46.
- 7) 湖沼物理学研究グループ：湖沼物理学の研究，科研費「湖沼，貯水池における物質と熱の移動拡散の研究」成果報告，昭45，pp. 1-80.
- 8) 和達清夫編：日本の気候，東京，東京堂，昭33，p. 492.
- 9) 水野篤行：水質底質調査入門，東京，ラテイス，昭43，p. 214.
- 10) 西条八束：湖沼調査法，東京，古今書院，昭32，p. 306.
- 11) Hansen, K.: Lake Types and Lake Sediments, Verh. Internat., Verein. Limnol., XIV, 1961, pp. 285-290.
- 12) Horie, S.: Asian Lakes. Eutrophication; Causes, Consequences, Correctives, Washington D.C., National Academy of Sciences and National Research Council, 1969, pp. 98-123.