

琵琶湖底堆積物の古陸水学的研究

堀江 正 治* • 三田村緒佐武** • 金 成 誠 一***
 三宅 秀 男**** • 山 本 淳 之***** • 藤 則 雄*****

PALEOLIMNOLOGICAL STUDY ON LACUSTRINE SEDIMENTS OF LAKE BIWA-KO

By *Shoji HORIE, Osamu MITAMURA, Seiichi KANARI, Hideo MIYAKE,*
Atsuyuki YAMAMOTO and Norio FUJI

Synopsis

In this paper, the writers dealt with the developmental history of Lake Biwa-ko during the lateglacial and the postglacial time. The purpose of the writers are to clarify paleohydrology, paleoclimate, and to establish the late-Pleistocene chronology which is comparable to European and American chronological time table. Discussion was done from chemical, mathematical, physical, and palynological points of view about the various features of core sample of nearly 12 m long.

On the basis of pollen analytical data, former temperature during the lateglacial time is regarded as several degrees in centigrade lower than present one. Although the correlation between calcium carbonate amount as an indicator of former temperature and the amount of nutrient salt and of organic matter is indistinct, temperature rise since the lateglacial time is clear. The reason might be complicated combination between water environments, organic production and decomposition, turn over rate, source of organic material, and turbidity current in such large lake as Biwa.

Because of the existence of thick lacustrine sediments in Lake Biwa-ko, they afford unique information on the fluctuation of the Pleistocene climate in Japan. The writers intend to analyse the feature of the combination composed by various elements and to accomplish the purpose mentioned above.

1. は じ め に

1967 年 10 月, 堀江は, 琵琶湖湖心部, 近江舞子と沖の島の間, 水深 70 m の地点でクレーン船を用い, 湖底柱状サンプルを採取した (Photo. 1)。これは I.H.D. 琵琶湖研究の一環として実施したもので, 湖底堆積物に保存されている過去の気候変化の証拠に基づき, 同湖の古水収支を研究することに目的の一があった。その 2 年前, 堀江は同地点に於て約 6 m のコアを採取していたが, 1967 年の計画では 20 m のコア採取を目標とした。しかし, ボーリングパイプは 20 m を越える深さまで打込まれたにもかかわらずパイプ引きの際, 下方サンプルを失い, 実際に得られたのは 12 m 弱である。とはいえ, 琵琶湖深部のコアとしては劃期的な長さであり, 日本の古陸水研究上, 大きな価値を有することは疑いない。

* 京都大学, 理学部大津臨湖実験所

** 名古屋大学, 理学部水質科学研究施設

*** 京都大学, 防災研究所

**** 北海道大学, 理学部地球物理学教室

***** 大阪電気通信大学, 工学部

***** 金沢大学, 教育学部地学教室

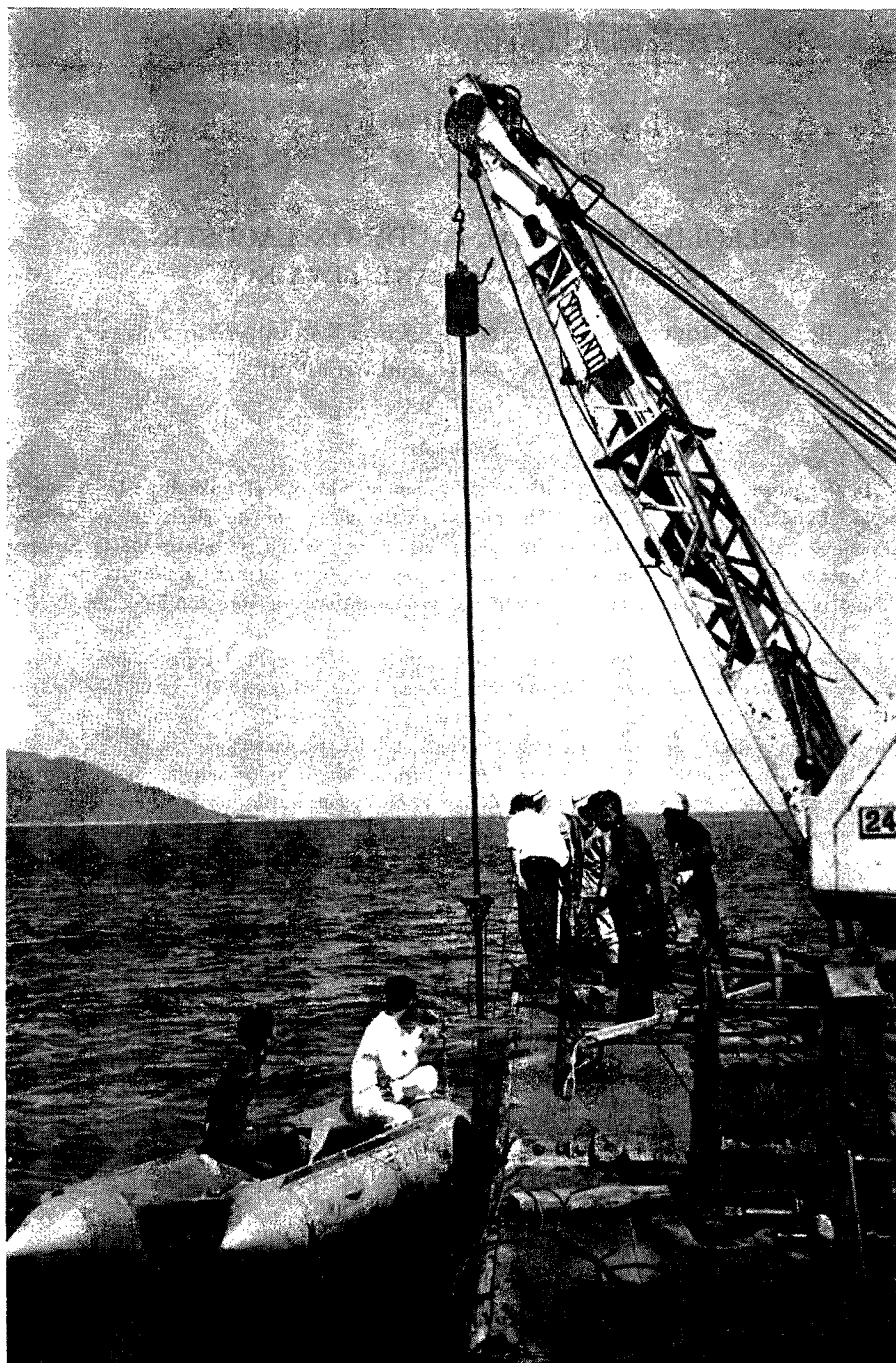


Photo. 1 Photo showing the coring operation in the center of Lake Biwa-ko. (Presented by Asahi Press)

同サンプルについて、その粒度組成、地球化学、花粉群集、珪藻群集、動物微化石群集の研究を進めることは、筆者等間で相談が進められており、研究結果の一部は既に報告した¹⁾。今回はその後の結果について述べるものである。本研究の実施に当っては、堀江が過去 10 年来携えてきた日本の古陸水研究計画に基づき本研究計画の立案、推進、まとめに当たった。化学成分については三田村、三宅が、分析結果の数値的な処理は金成が、分担した。粒度分析は山本が、花粉分析は藤が、それぞれ分担した。本研究は目下進行途上にあり、近く珪藻、動物微化石分析結果も加えてこれをまとめ、琵琶湖の古水文を明らかにすると共に欧米の第四紀気候変化に対応するアジアの偏年基準の確立を図る考えである。

本研究を進めるに当たり、計画立案当初から激励と援助を与えられた奥田節夫教授、国司秀明教授に御礼を申し上げる。又、結果の解釈に際して有益な批判、助言をいただいた三浦泰蔵助教授、京都大学大津臨湖実験所各位、クレーン船貸与の便を図られた建設省琵琶湖工事事務所、及び貴重な写真を提供された朝日新聞社の各位に厚く謝意を表する。

2. 試料の採取

サンプル採取に当っては、堀江が西条八束氏のすすめによって試作したサンプラーを用いた。これは長さ 5.5 m の 2 重鉄パイプを 4 本連続し、外側のパイプは、熔接して補強を行ない、内側パイプには堀江が従来、手動式ボーリング実施の際、慣用しているリビングストン・堀江改良型ボーラーと同様のピストンをはめこんだものである。このサンプラーをクレーンにより吊下げ、湖底直上でピストンを固定し、後、鉄パイプ上の 3.5 m のレール上を 200 kg の重錘をクレーンで吊り上げては落下させる作業を反復することによって、パイプを泥中に打込んだ。20 m 余、打込んだ後、このパイプを引上げたがその際、下方サンプルを失ったことは先述の通りである。

採取試料は数 cm 毎に切断し、各分析担当者に配分すると共に、最下部 11.5 m $\pm$ 0.2 m のコアの大部分は、年代測定のため米国 ISOTOPES A Teledyne Co. へ送付した。

3. 各分析の方法と結果の概要

3.1 化学分析結果とその解析

化学成分に関しては一部既に報告した¹⁾。用いた分析法は以下の通りである。

試料は 60°C で一昼夜乾燥し、メノウ乳鉢で細粉とした。

CaCO₃……酸により遊離した二酸化炭素を炭素分析法に準じて定量した。

灼熱減量……500°C で灼熱し、30 分間冷却後、秤量し、灼熱前の秤量値との差を灼熱減量とした。

P ……過塩素酸、濃硝酸、弗化水素酸で処理し、後、モリブデンブルー法で定量した。

C ……湿式酸化後、遊離した二酸化炭素を水酸化バリウムに吸収させ、後、塩酸で逆滴定した。

N ……ケルダール法により定量した。

上記のような方法によって分析した結果につき、特に各時代の生物生産・分解ならびに水中の物質循環途上における各栄養塩間の対応関係を客観的に考察すると次のようである。

先づ各成分を全体としてみると、各化学成分のいずれの曲線も大きな変動の上に短周期の変動がのった形になっているが、これが果して細分化された時代毎の変動を示すのか、あるいは試料処理における各種の誤差とみなされるのか問題となる。一方、現象を地質学的な Time scale でみるという観点に立つならば、Fig. 1 の変動曲線に含まれる短周期の変動はとり除いても差支えないと思われる。そこでこれらの data を移動平均によって分離してみた。その結果は Fig. 2, Fig. 3 に示される通りである。

Fig. 2 は、Lag. 5 で移動平均した際の残差 (Residue) であって、その二乗平均値は分析誤差程度の order であり、後述するように、成分間の相関もほとんどないことから、このような短周期の fluctuation はサンプリングおよび分析時の誤差等を含む Noise とみなしてもよいように考えられる。

Fig. 3 は、以上のような fluctuation を取り去ったあとの変動であるが、堆積物の層序の中のこのよう

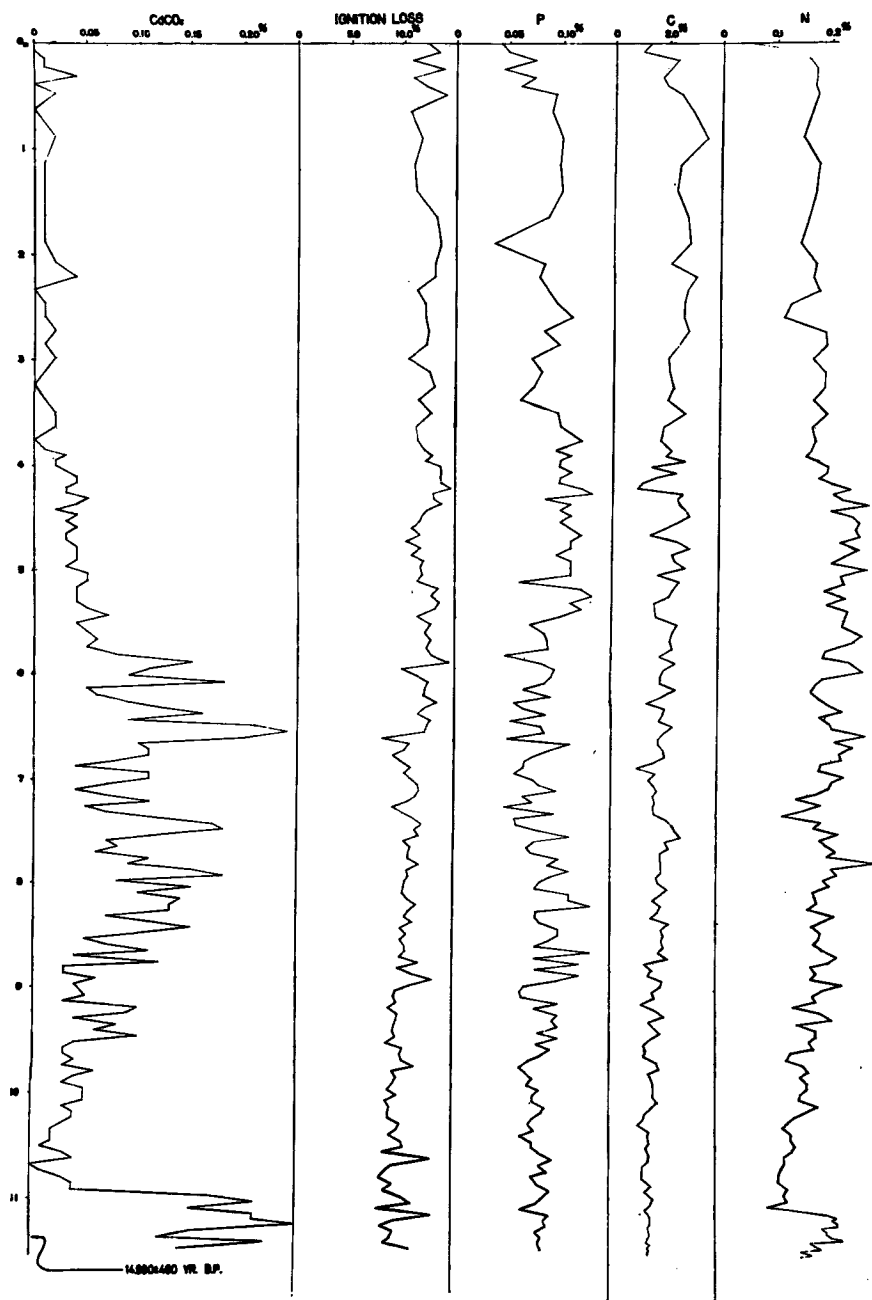


Fig. 1 Diagram showing the chemical variation on the core sample of Lake Biwa-ko. (Horie, Mitamura, and Miyake, unpublished)⁽¹⁾

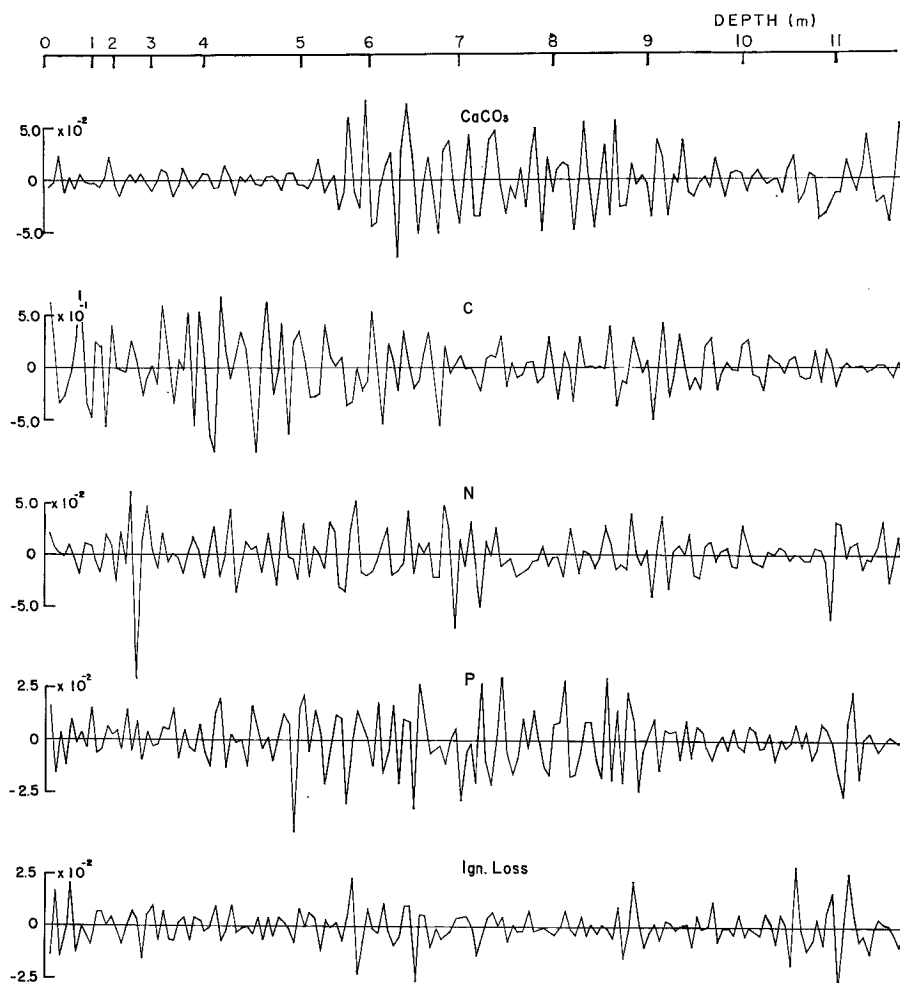


Fig. 2 Residue separated after the smoothing on the chemical variation of the core sample of Lake Biwa-ko.

な化学成分の変動が過去の湖の堆積環境、特に古気候をどの程度反映しているのか、また、各成分間の関連に客観性が存するかどうか、更に粒度組成との関連といった諸点が問題としてとり上げられよう。そこで先づ成分間の相関をとってみると、Table 1, Table 2 のような結果が得られた。Table 1 は移動平均値に対する相互相関係数であり、表中、Sr は相関係数を算出する際の誤差で、相関係数が Sr の 3 倍より大きければその相関は有意であると考えられる。

また、Table 2 は移動平均残差に対する相互相関係数を示す。

ここに見られるように、残差の相関は全体としてそのほとんどが 3 Sr より小さく、成分間の関係は全く認められないといってよい。この点から考えても、移動平均残差は Noise 的な性質を持つものと考えても差支えないとみなされる。

一方、移動平均値の相関は残差に比較するとはるかに良い相関を示している。

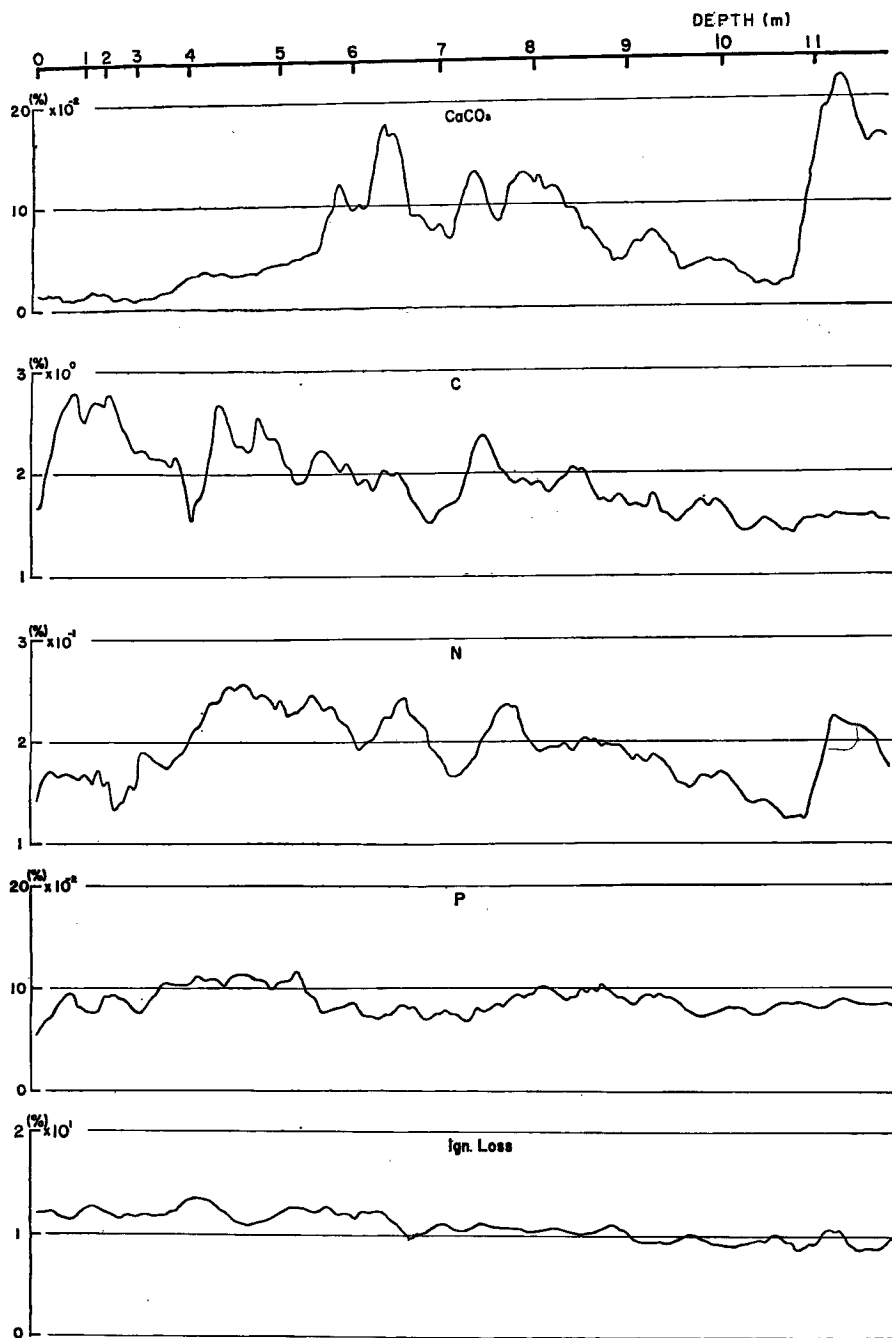


Fig. 3 Smoothed profile of chemical elements on the core sample of Lake Biwa-ko.

Table 1 Cross correlation coefficients between the smoothed serieses of chemical components.

	C	Sr.	N	Sr.	P	Sr.	Ign. loss	Sr.
CaCO ₃	-0.339	0.069	0.362	0.068	-0.183	0.075	-0.349	0.068
C			0.279	0.072	0.295	0.071	0.655	0.044
N					0.445	0.062	0.346	0.069
P							0.288	0.071

Table 2 Cross correlation coefficients between the residue of the smoothed serieses of chemical components.

	C	Sr.	N	Sr.	P	Sr.	Ign. loss	Sr.
CaCO ₃	0.121	0.077	0.149	0.076	0.065	0.078	0.131	0.077
C			0.084	0.077	-0.019	0.078	0.093	0.077
N					0.023	0.078	-0.024	0.078
P							0.147	0.076

3.2 粒 度 組 成

粒度組成の研究に於ては、今までのところ、化学成分の変化の大きい代表的層準から選んだ7試料についての結果を得ている。これ迄湖底堆積物柱状試料についての粒度分析は著しく閑却されてきた嫌いがあるが、水中における輸送や沈降等の力学過程の総和を反映するとみなされる粒度組成の決定は、他の諸分析と同じく湖沼発達史研究上、重要な意義をもつ。分析方法としては、堆積粒子の沈降速度に基づく沈降分析によるのが最も合理的であり、細粒堆積物には、ビベット法・沈降天秤・比重計法が広く用いられている。しかし、いずれも gr 単位の試料量と長い時間を必要とするため、ボーリングサンプルのようなごく限られた試料を、しかも数多く分析するには適当でない。そこで、ここでは光透過法による沈降分析を試みた。使用した器械は、日立・光走査迅速粒度分布測定装置 (PSA-2型) で、1試料当り数 10 mg 程度で測定を行なった。その方法の概略を以下に述べる。

試料を純水中で充分攪拌して放置の後、分散剤 Na-H.M.P. を加えて光透過法を適用した。なお、Coarse silt 部分を確認するため、glycerin 水溶液 (濃度 30% 前後) を媒質として再度測定した。これらの結果を、粒径には Wentworth の ϕ -scale を用いて重量頻度分布の形で Fig. 4 に、また確率紙上に累積曲線の形で Fig. 5 に示した。ただし、粒径は粒子の密度を 2.60 gr/cm^3 として求めたものを用いている。これらの粒度分布形を統計量を用いて表わしたものを一括して第3表に示す。これは Inmann の表示法によったものであるが、分布の両端で誤差の大きいことを考慮して2次歪度および尖鋭度は表記を省略した。

分析結果を見ると、7試料に共通する特徴としては、ほとんど9割以上を silt が占め、medium silt (6~7 ϕ) に中央径をもつ淘汰のよい歪の少ない分布を示すことが挙げられ、Fig. 5 がほぼ直線であることから明らかのように対数正規分布に近いといえる。

上掲の図および表の資料は光透過法によるものであるが、この場合ごく少量含まれる very fine sand (3~4 ϕ) については正確に定量されていない。そこで、これを補いその存否を確認するため、各試料の一部を遊動顕微鏡で観察した。その結果をも含めて次に試料別に粒度組成を比較する。

3.1m 深度 (No. 22):

顕微鏡によれば、20~40 μ 粒子がほぼ欠除し、40~70 μ 粒子がかなり含まれている。したがって、Fig. 4 で級間 3.5~4.0 ϕ に近い柱を追加したと考えればよく、Fig. 5 および表記の統計量には大きな変更は起らないとみてよい。この補正を行なわなかったとしても、また、沈降時間を変えた測定の再現性に関連した誤差 (たかだか $Md \phi$ が 0.3 ϕ 大きくなる程度) を考慮したとしても、この試料は中央径、平均径ともに7

Table 3 Descriptive measures of size distribution.

	No. 22	No. 73	No. 81	No. 100	No. 118	No. 145	No. 157
ϕ median diameter	6.30	6.52	6.82	7.03	6.96	6.50	6.92
$Md_{\phi} = \phi_{50}$	(12.7 μ)	(10.9 μ)	(8.9 μ)	(7.7 μ)	(8.0 μ)	(11.1 μ)	(8.3 μ)
ϕ mean diameter	6.14	6.58	6.89	7.04	6.93	6.61	6.93
$M_{\phi} = \frac{1}{2}(\phi_{84} + \phi_{16})$	(14.2 μ)	(10.5 μ)	(8.4 μ)	(7.6 μ)	(8.2 μ)	(10.2 μ)	(8.2 μ)
ϕ deviation	1.20	0.96	0.89	0.76	0.67	0.93	0.93
$\sigma_{\phi} = \frac{1}{2}(\phi_{84} - \phi_{16})$							
ϕ skewness	-0.13	0.06	0.08	0.01	-0.04	0.12	0.01
$\alpha_{\phi} = \frac{M_{\phi} - Md_{\phi}}{\sigma_{\phi}}$							

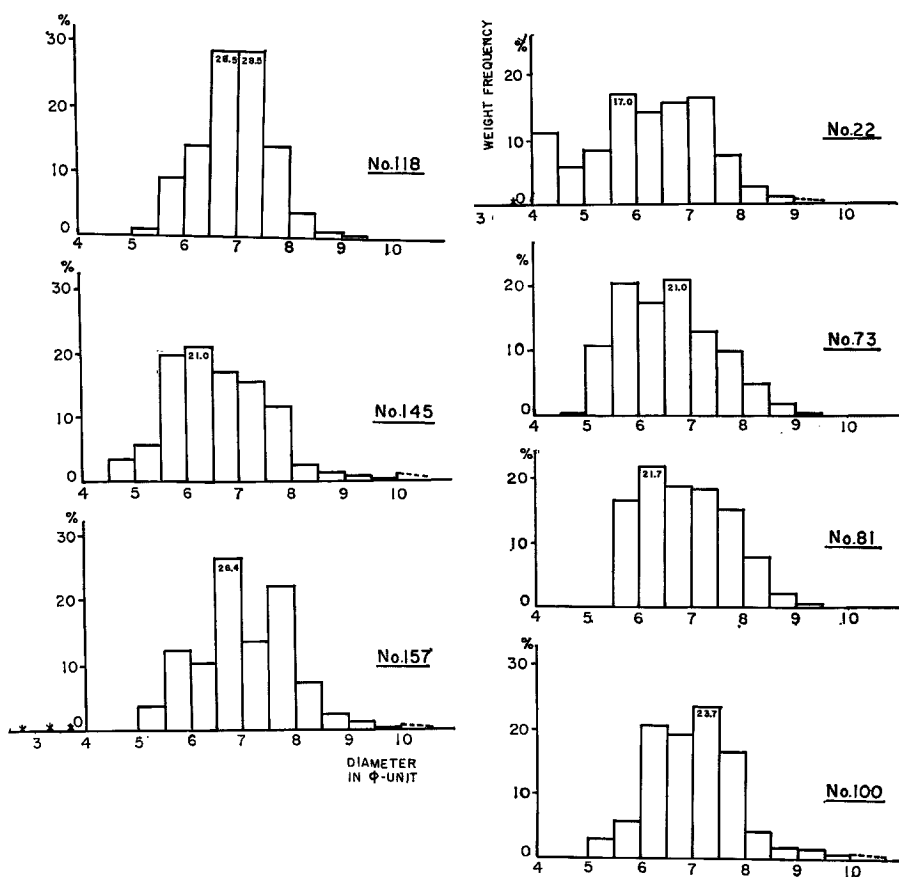


Fig. 4 Histograms of size-distribution. (On each histogram, figures over the rectangle represent the frequency of the model class in %. In the diagrams of No. 22 and No. 157, the asterisk shows that some quantity of sand may exist among the class)

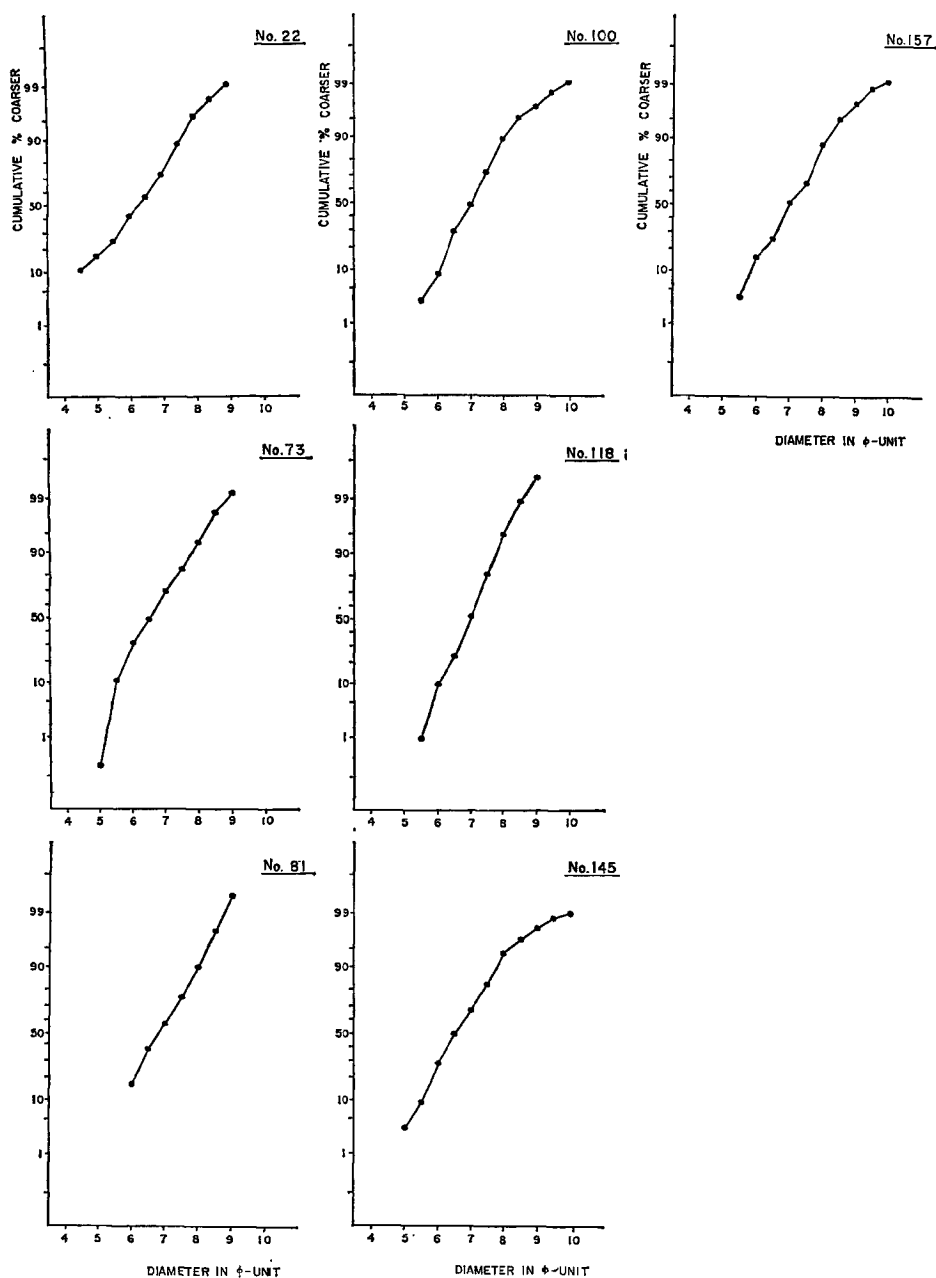


Fig. 5 Cumulative curves of size-distribution.

試料中最大である。また、淘汰も最も悪く、他と異なって粗粒側へ幾分歪んでいる。

($\alpha_s < 0$)

6.6 m 深度 (No. 73):

40 μ 以上の粒子はごく少ない。

7.1 m 深度 (No. 81):

50~60 μ 粒子少数。sand はほとんど含まれない。

8.1 m 深度 (No. 100), 9.1 m 深度 (No. 118):

両者ともほとんど 20 μ 以下の粒子で占められ、粗粒は稀であり、7 試料中で最も中央径の小さい集団であることが顕微鏡でも観察された。 σ_s も最小で淘汰が最良である。

10.6 m 深度 (No. 145):

40 μ 粒子は観察されるが、sand は存在しない。

11.2 m 深度 (No. 157):

顕微鏡によれば、10 μ 程度の粒子が大多数である中に 80~200 μ 粒子が存在し、とりわけ 100 μ 前後の粒子 (very fine sand) が多い。30~80 μ 粒子は欠除していると思われる。したがって、Fig. 4 で級間 3.0~3.5 ϕ に低い柱を、また級間 2.5~3.0 ϕ に極めて低い柱を追加することによって、頻度分布図は完成される。Fig. 5, Table 3 にはいずれも大きな変更はないと考えられる。この試料は、fine silt を中心とする細粒の集団と、量的には少ないが very fine sand を中心とする粗粒の集団が重なった分布をもつことがわかる。3.1 m 深度 (No. 22) も同様であるといつてよい。

以上から、顕微鏡観察を加味しても 6.6 m 深度 (No. 73)~10.6 m 深度 (No. 145) の 5 試料については Figs. 4, 5, Table 3 に変更の必要はないが、3.1 m 深度 (No. 22) と 11.2 m 深度 (No. 157) においては、特に Fig. 4 で、少量の sand の存在を付加して考える必要がある。両試料の sand の粒径と粒径の差および、粗粒、細粒 2 集団の分布の和と見られる点についての考察は後章に譲る。

3.3 花粉群集

花粉分析の試料として、配分された試料は約 250~300 mg でこれと同一層準試料が上述の化学分析・粒度分析のために使用された。

試料は、完全に消毒・洗滌された 20 cc 試験管内で、10% の NaOH 溶液 10 cc と共に、充分攪拌し、堆積時の粒度にまで、凡そもどった状態にして、15 分間加熱、常温まで冷却させる。500 cc のビーカーに移し、水洗によってアルカリ性から中性にもどす。遠心分離器にて試料を沈澱せしめてから、45% の HF 溶液にて、試料中の SiO_2 を除去。約 3 日間、ドラフト中にて傾斜法で水洗。水を除いた後、99~100% CH_3COOH 10 cc を加え、15 分間加熱、 CH_3COOH 除去後、 $(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O}$ 9 cc を加え、試料と充分混ぜあわせた後、65% H_2SO_4 1 cc を徐々に加え、15 分間放置する。混合液から試料だけを分離させた後、水を加えて、手動式遠心分離器にて、1 回転/秒の速度で、約 20 回転し、沈澱した試料のみを残して、上澄液を除去する。約 5~7 回繰り返した後、沈澱試料の約 5 倍のグリセリン・ゼリーを加え、充分に攪拌した後、この溶液をスボイドにて取り、デッキ・グラス上に 1~2 滴、滴下して、カバー・グラスをかけ、固結後、マニキュア溶液にて、カバー・グラスの周縁をぬる。2~3 日間放置した後、検鏡する。

同定・統計処理・解析は次のような方法で行なった。無作為的に作製された永久プレパラート* について、無作為的に選定されたカバー・グラス上のコースに沿って検鏡する。150 倍の視野中に入ってくるすべての花粉・孢子化石を同定する。統計処理の都合上、同一試料について 200 個の花粉や孢子の同定を行なう。200 個体について、各科・属・亜属 (これは属と種の間という意味ではない。花粉の形態・大きさの観点から、同一属をさらに幾つかに細分できる。しかし、それらの細分されたものの group が種であるとはいえない。全く便宜上、亜属という term を使用) ごとに、検出個体数をまとめ、頻度 (百分率) を算定した。但し、今回は、試料番号 1, 2, 12, 21, 31, 41, 59, 72, 79, 92, 100, 110, 120, 130, 144 の試料については、100 個まで同定し、145, 147, 161, 163, 165, 167, 169 の試料については、200 個まで同定した。したがって、100 個までしか同定していない試料については、更に同定を進める予定であり、この論文に図示した

* 本研究のために使用した試料は、その量が僅少であるために試料自体は花粉分析に使用して無くなった。花粉の永久プレパラートは金沢大学地学教室の保存資料 (Register abbreviation EKZJ Collection Catalogue no, 20000 台) として永久保存される予定である。

pollen diagram が、将来若干変ることもありうる。

検出した化石のうち、重要な化石については、同時に写真撮影を行なった。

古気候の解析にあたっては、各地の現生植物の樹木・草本の構成比と各試料の花粉の構成比とをただちに比較検討するのではなくて、各地の代表的な地点付近の池・潟・湖などの現生堆積物の中に含まれている花粉の構成比と比較検討した。産出花粉のうちから、殊に気候の判断に役立つ樹木の花粉 arboreal pollen grain について、寒冷系の植物・冷涼系の植物・温暖系の植物にわけ、更に場合によっては、各属・各種ごとの現在の分布（緯度・高度・頻度）についても検討した。

古微地形を扱う場合には、これまで樹木花粉と草本花粉 non-arboreal との割合、植物の種類、殊に、植物を mixed-slope element, upland element, riparian element の3つに区分して検討してきた^{2) 3)}。もちろん、本試料は、試料が堆積しつつあった時期にも湖である、ということが確定しているが、一応この見地からも検討を試みた。

花粉分析が予定されている試料 169 個のうち、すでに現在までに分析し終った試料は、次の 22 個である。
() 内にはサンプル No. を示す。

0 m (No. 1):

この horizon の花粉組成は、*Pinus-Cryptomeria-deciduous Quercus-Gramineae* (small type) によって表わされる。*Pinus* 21 %, *Cryptomeria* 15 %, *deciduous Quercus* 12 %, *Gramineae* (small type) 12 % である。NAP (non-arboreal pollen grain) は 27% で、このうち孢子類は 4 % である。

0.1 m 深度 (No. 2):

この horizon の花粉組成は、*Pinus-deciduous Quercus-Salix-Alnus-Cryptomeria* によって表わされる。*Pinus* が 25 %, *Quercus* (deciduous) が 10 %, *Salix* と *Alnus* とがそれぞれ 8 % となっている。NAP は 25 % で、これらのうちで、孢子は 6 % である。

1.6 m 深度 (No. 12):

この horizon の花粉組成は、*Cryptomeria-Pinus-Fagus-Tsuga* によって表わされる。*Cryptomeria* 18 %, *Pinus* 18 %, *Fagus* 7 %, *Tsuga* 5 %。他に、寒冷系の *Abies* 2 %, *Picea* 1 %, *Alnus* 5 %, *Zelkova* 5 %, *Betula* 2 % である。*Abies-Picea-Tsuga-Betula* のような寒冷系の植物が約 5 % で、この horizon になってはじめて寒冷系の要素が入ってくる。冷涼系の植物の総頻度が約 30 % となっている。NAP は 24 %。

3.0 m 深度 (No. 21):

この horizon からの花粉の構成は、*Cryptomeria-Pinus-Fagus-Abies-deciduous Quercus* である。*Pinus* が 15 %, *Cryptomeria* が 19 % で、*Cryptomeria* の方が、*Pinus* より高率である。冷涼系の *Fagus* が 7 %, *Zelkova* が 5 %, そして、寒冷系の要素に入る *Betula* 5 %, *Abies* 3 %, *Picea* 2 % で、試料 No. 12 (1.6 m 深度) の寒冷系の要素が 5 % であるのに対して、この試料 No. 21 (3.0 m 深度) では 10% に達している。冷涼系の要素の頻度も、この試料より上位の試料の方が低率である。NAP は 24 % で、このうち孢子は 7 % である。

4.0 m 深度 (No. 31):

この horizon では、*Pinus-Fagus-Abies-deciduous Quercus-Gramineae* によって代表される花粉組成を示している。*Pinus* が 17 %, *Abies* が 11 %, *Fagus* が 12 %, *deciduous Quercus* 6 %, *Betula* 5 %, *Gramineae* が 6 %; NAP が 19 % で、孢子が 7 % である。寒冷系の要素が 16 % で、試料 No. 21 (3.0 m 深度) よりも更に高率となっている。冷涼系の要素は、試料 No. 21 よりも低率である。

4.5 m 深度 (No. 41):

Pinus-Salix-Alnus-Fagus によって代表される花粉組成である。寒冷系の要素は僅かに 4 % にすぎない。*Pinus* が 19 %, *Fagus* と *Ilex* とが 8 %, *Alnus* が 7 %; NAP は 30 % で、このうちの 8 % が孢子の化石によって占められている。

この試料は、試料 No. 21 (3.0 m 深度)、No. 31 (4.0 m 深度) に比較すると、冷涼系と寒冷系の要素の頻度が低率である、という点に関して相違が認められる。

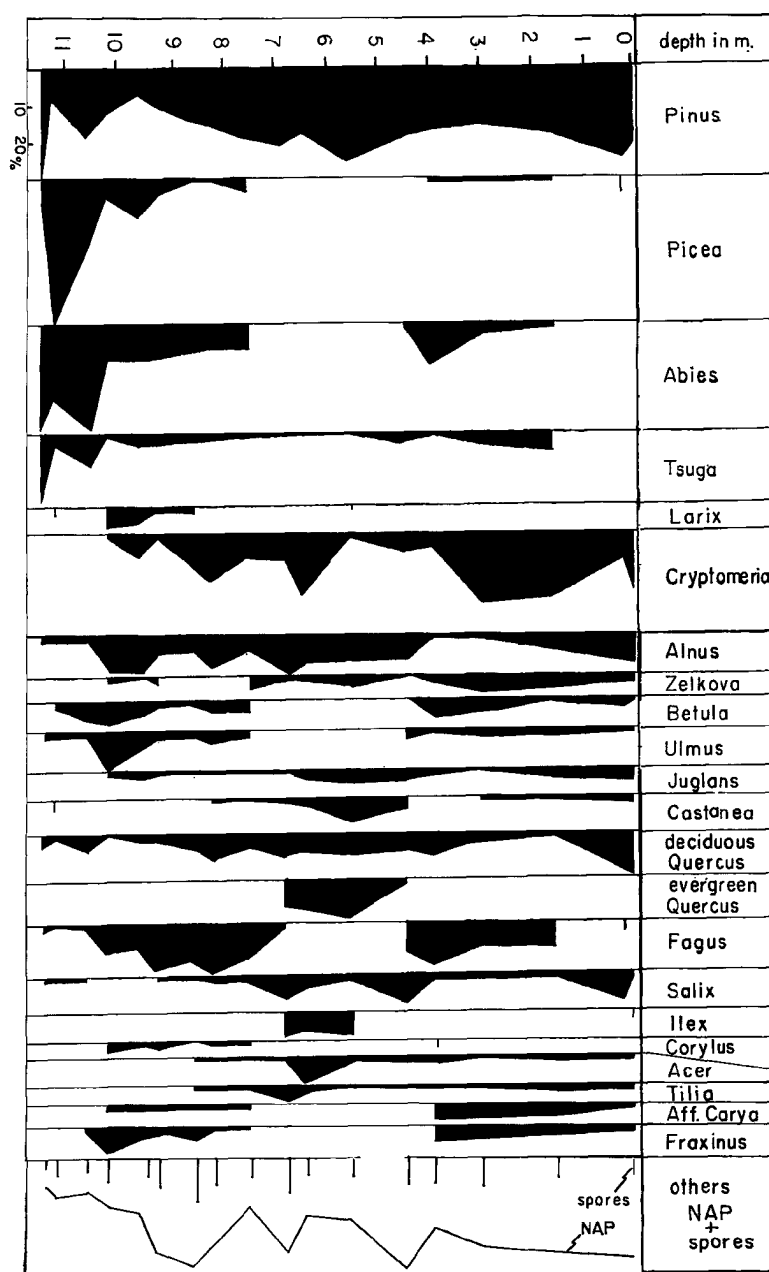


Fig. 6 Pollen diagram from the core sample in Lake Biwa-ko.

5.8 m 深度 (No. 59):

この horizon では, *Pinus* 25 %, evergreen *Quercus* 10 %, *Alnus* 7 %, *Castanea* 7 %, deciduous *Quercus* 6 %, そして *Ilex* が 6 %; NAP は 16 % で, その中の 5 % が spore となっている。したがって, この horizon の花粉組成は, *Pinus*-evergreen *Quercus*-*Alnus*-*Castanea* 群集である, といえよう。寒冷系の要素である植物は,

Larix の1%が含まれるのみである。冷涼系の要素の *Cryptomeria* が1%; 温暖系の要素としては evergreen *Quercus* が前述のように10%, *Ilex* 6% で、計16% を占めている。

6.6 m 深度 (No. 72):

この horizon は、*Pinus-Cryptomeria-Alnus-evergreen Quercus-Acer* によって表わされる群集である。*Pinus* が16%, *Cryptomeria* も16% で、*Alnus* 8% がこれに次いで多い。温暖系の要素は evergreen *Quercus* と *Ilex* とで計12%。

7.0 m 深度 (No. 79):

Pinus 21%, *Alnus* 11%, *Cryptomeria* 7%, そして、evergreen *Quercus* も7%である。他に、deciduous *Quercus*, *Salix* および *Ilex*, 孢子が9%である。NAP は25%である。温暖系の要素が13%を占めている。

7.7 m 深度 (No. 92):

この試料では、*Pinus* (19%)-*Fagus* (10%)-*Cryptomeria* (6%)-*Abies* (6%) が代表的な多産種である。温暖系の要素はほとんど含まれていない。冷涼系の要素は *Cryptomeria-Fagus-Ulmus-Fraxinus* などで、計19%を占めている。寒冷系の要素の合計頻度は13%である。NAP は13%で、この中の5%が孢子である。

8.1 m 深度 (No. 100):

この horizon の花粉組成は、*Pinus* (15%)-*Fagus* (14%)-*Cryptomeria* (13%)-*Alnus* (9%)-deciduous *Quercus* (7%)-*Abies* (6%) によって代表される。NAP は24%で、このうち8%が孢子である。寒冷系の要素は合計で11%, 冷涼系は約31%である。温暖系の要素は皆無である。

8.7 m 深度 (No. 110):

Fagus-Pinus-Cryptomeria-Abies によって代表される群集である。*Pinus* 14%, *Fagus* 11%, *Cryptomeria* 9%, *Abies* 8%; NAP が29%で、この中で、孢子は12%である。

9.2 m 深度 (No. 120):

この horizon は、*Fagus* (12%)-*Pinus* (10%)-*Abies* (19%)-spores (8%) で代表され、この他に、*Picea* が4%, *Alnus* 5% となっている。NAP は26%である。寒冷系の要素が18%, 冷涼系が18%, そして温暖系の要素は皆無である。

試料 No. 92 (7.7 m 深度) より以深においては、次第に寒冷系の要素の占める頻度が高くなっている。

9.8 m 深度 (No. 130):

この horizon は、*Picea-Alnus-Abies-Fagus-Pinus* によって代表される花粉構成である。*Picea* は11%, *Alnus* 10%; NAP は15%である。寒冷系の占める頻度は31%, 冷涼系が19%である。

10.5 m 深度 (No. 144):

この試料の中に含まれる花粉は、*Pinus* 13%, *Alnus* 10%, *Ulmus* 10%, *Abies* 10%, *Fagus* 7% で、要するに、*Pinus-Alnus-Ulmus-Abies* 花粉群集である。寒冷系の要素は27%, 冷涼系は31%というように、試料 No. 92 (7.7 m 深度)~No. 130 (9.8 m 深度) のそれらに比較すると、寒冷系の占める割合が若干低率となってきた。

10.7 m 深度 (No. 147):

この horizon の花粉構成は、*Abies* 28%, *Picea* 20%, *Pinus* 19%, *Tsuga* 8%; NAP 10% である。花粉組成からみる限りでは、寒冷系の要素が高率 (61%) であるのに、*Larix* や *Betula* の頻度が皆無~低率 (5%) である、ということは、*Pinus* の頻度が19%にも達していることと充分併せ考えねばならぬことである。

11.3 m 深度 (No. 161):

この horizon の試料には、*Picea* 40%, *Abies* 21%, *Pinus* 8%; NAP が10%となっている。寒冷系の要素が圧倒的に高率 (67%) である。これに対して冷涼系は僅かに3%に過ぎない。

11.6 m 深度 (No. 169):

この試料の花粉組成は、*Pinus* 30%, *Abies* 28%, *Tsuga* 19%, *Picea* 7% で、NAP は7%。寒冷系の要素が54%, 冷涼系が3%である。

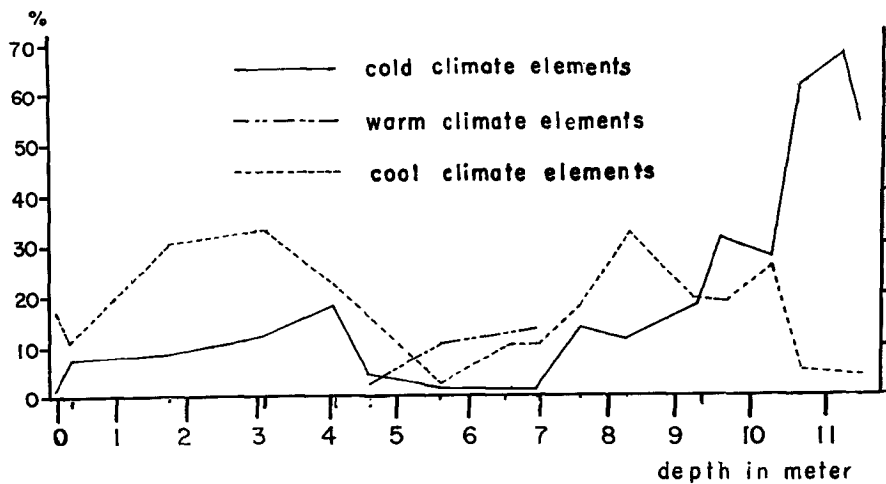
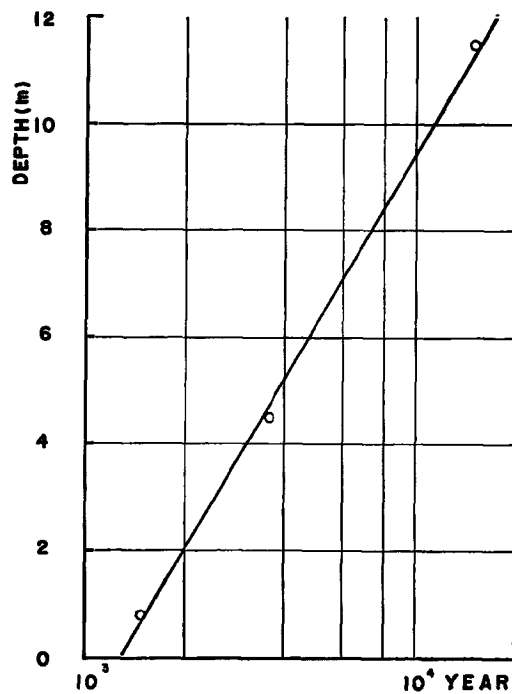


Fig. 7 Pollen composition in the core sample and past climate.

試料 No. 161 (11.3 m 深度) ~ No. 169 (11.6 m 深度) に含まれている花粉群集は完全に寒冷系の古気候を示している, と考えられる (Fig. 7)。

4. 年代測定

Fig. 8 Sedimentation rate in the center of Lake Biwa-ko inferred from the C^{14} data on the core sample.

今回測定したコアサンプル最下部の時代と 1967 年より以前に同地点で 2 回にわたって採取した同様の底泥サンプル測定結果 2 資料

0.8 m $\pm$ 0.05 m 深度, 1,430 $\pm$ 95 year

4.5 m $\pm$ 0.15 m 深度, 3,650 $\pm$ 105 year

11.5 m $\pm$ 0.2 m 深度, 14,980 $\pm$ 460 year

とを片対数紙上にプロットすると、Fig. 8 のようになり、Interpolation によって、9.8 m 深度 (No. 130) (Fig. 6) のあたりが約 1 万年前の堆積物であることが推定される。これは後述の欧米の湖成堆積物の個所でふれるように、ウルム氷期の終末から沖積世の初期、すなわち、新ドリラス期と先ボレアル期の境目付近に相当する。

また、4.5 m 深度から 7.0 m 深度までは、沖積世のアトランティック期、Hypsithermal にほぼ相当し、後氷期の温暖気候の証拠が世界各地で認められている。また、Extrapolation によると、今回のコア最下部の年代は、17,500 年前位と思われ、若し、この推定が正しいとすれば、本コア最下端はウルム氷期盛期に当たるといえる。

5. 考 察

以上のべたような分析結果に基づいて、考察を進めてみよう。化学分析結果についての考察は、既に述べたが今回のような数値的な処理の結果からみると次のようなことが指摘される。

特に、C-Ign., N-Ign., N-P, P-Ign., 等の相関が高い。また、CaCO₃-C, CaCO₃-Ign, CaCO₃-P 等は、それ程良い値とは言えないが、逆の相関を示している。このような関係が現在の水質と生物生産との間において、あるいは水質と現堆積物との間においてあり得ることかどうかという点に関して、もっと研究を進めなければならない。更に本コアについては、古気候に対応する水環境の sensitiveness, また古気候と生物生産及び分解との間のバランス, turn over rate など複雑な諸要因が作用し合っていると考えられるから、この解明は、今後の課題としたい。しかし、当面 CaCO₃ と Ign. あるいは CaCO₃ と C の相関が低かった点について少し考察を進めてみよう。云うまでもなく、N や P は湖中の生物生産と無関係ではなく C や Ign. loss は湖周辺からの物質供給のひとつの目安となるであろう。したがって、CaCO₃ が古湖水温と高い相関関係にあるならば、当然 CaCO₃ と C あるいは CaCO₃ と Ign. との間にも高い相関があって良い筈である。しかしながら、結果的には無関係とは言えないまでも、それ程高い相関は示さなかった。

一般に、湖底堆積物中の CaCO₃ は、古水温と正の相関があると云われており、欧米各国では古湖水温指示者として広く用いられている。

Fig. 9 は、アメリカとイギリスの湖におけるボーリング・サンプルの分析結果であり、右側の黒点はイギリスのウィンダーミア湖群、実線はアメリカ、ニューイングランドのリンズレーポンドの例である⁴⁾。Clay Junction とされているのは、ウルム (ウイスコンシン) 氷期の終末で、およそ 1 万年前の時代とみなされる。すなわち、後氷期の気候温暖化に伴って、大西洋の両側とも、有機物生産の増加 (この場合は、多分に周辺植生の影響) したことが明白である。この気温上昇の証拠が、湖成堆積物中の花粉層序に於ても、また CaCO₃ 含量に於ても認められることは、アメリカ、インディアナ州のティプカヌー湖の湖底堆積物の分析結果にも見られる (Fig. 10)^{5) 6) 7)}。右側の実線が Organic matter と Carbonates の各深度における分布で、左側の横線は、花粉層序であり、C₁ 期中の気温急昇の事実は明白である。

このように外国の湖の例では氷河の進退、花粉層序などから推定される気候変化と Carbonates の増減とは、筆者等の試みたような数値処理資料を欠くとしても、比較的良好な対応を示しているようにみえる。しかし、琵琶湖では上記のような数値処理の結果、堆積物中の CaCO₃ と有機物とは特に密接な対応関係にあるとはいえない。その一因は日本の湖では、一般に石灰岩の影響を蒙ることが少ないことにもあろう。事実、ここに上上げた CaCO₃ 含量にしても 0.2% 以内の変動である。他の一因としては、琵琶湖のような大湖、しかも貧栄養的水域で、気温がただちに水温に反映され、また水温がただちに生物生産機構を支配するかと

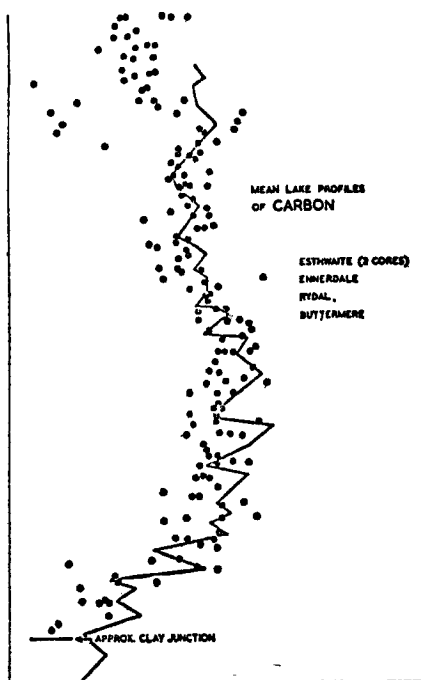


Fig. 9 Postglacial carbon content variation on the lacustrine sediments in both sides of the Atlantic Ocean. (Mackereth, 1966)⁽⁴⁾

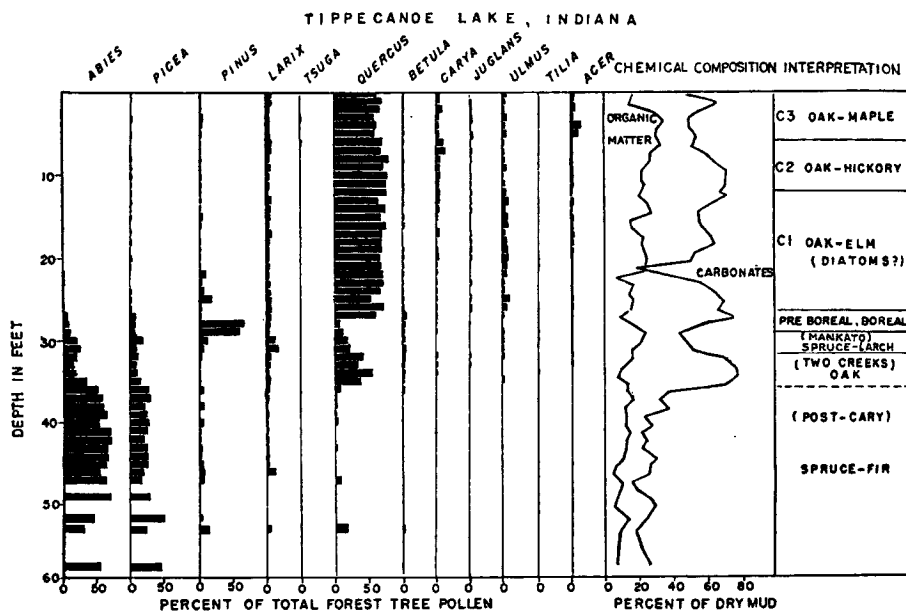


Fig. 10 Diagram showing the fluctuation of climate in Indiana, U.S.A.. (Patzger and Wilson, 1941, Wilson, and Opdyke, 1941, Deevey, 1953)^{(5) (6) (7)}

いう点である。また、 CaCO_3 では、堆積後の質的变化については余り考慮しなくてもよいと思われる反面、P.C.N. などでは堆積後、上部水層の環境とも対応して、泥中より失われることも考慮すべき点である。一方、花粉分析結果から古気候をまとめてみると次のようになる。

0~0.1 m 深度の示す古気候は、だいたい現在位である。

1.6 m 深度では現在位か、若干冷涼であったと思われる。

3.0 m~4.0 m 深度では、*Cryptomeria*, *Fagua*, *Ulmus*, *Fraxinus* が高い率になることから推して、現在よりも冷涼であったであろう。

4.5~7.0 m 深度の horizon では、No. 41 (4.5 m 深度) の horizon 位で、現在位の古気候となり、それ以深で、evergreen *Quercus* や *Ilex* をはじめとして温暖系の要素が高率となり、反対に、*Picea*, *Abies*, *Tsuga* が低率となるか、または皆無であることを併せ考えると、現在よりも温暖であったといえよう。

7.7~8.7 m 深度の horizon では、現在位~若干冷涼な古気候であったと思われる。

9.2~9.8 m 深度では、*Fagus* が高率であり、*Picea*, *Abies* を含むことから、現在よりも冷涼~やや寒冷な古気候であったことが推定される。

10.5 m 深度の horizon では、前述のように、*Abies*, *Picea*, *Tsuga* のような寒冷系の要素が高率を占めるが、他方、*Pinus* の頻度が高いことを考慮すると、現在よりも若干冷涼であって、寒冷系の要素が、季節風の影響で飛翔してきたとも考えられる。殊に、この試料よりも以深（古い）では、後述のように、かなり長期間にわたって寒冷期であったことを併せ考えると、10.5 m 深度の horizon の時期には、前の時期の寒冷系の植物が relic として、琵琶湖周辺の高山に残っていた、ということも考えられる。詳細は、この horizon の直上・直下の試料の分析によって、さらに吟味する必要がある。

10.7~11.6 m 深度では、完全に寒冷な気候条件下にあった。

これからみると、4.5~7.0 m 深度付近には温暖上昇の証拠があり、これは世界各地の傾向と軌を一にしており、本コアの CaCO_3 の多い層とも一致していることは CaCO_3 含量の絶対値が外国の湖に比べて少ないとはいえ、高温期の一証として用い得る可能性を示しているのではなかろうか。しかしながら他の一問題は、コア最下部に CaCO_3 が富むのにもかかわらず花粉分析結果では寒冷気候という逆の証拠が示されていることである。上述したところと比べてこの矛盾は、目下のところ説明困難である。

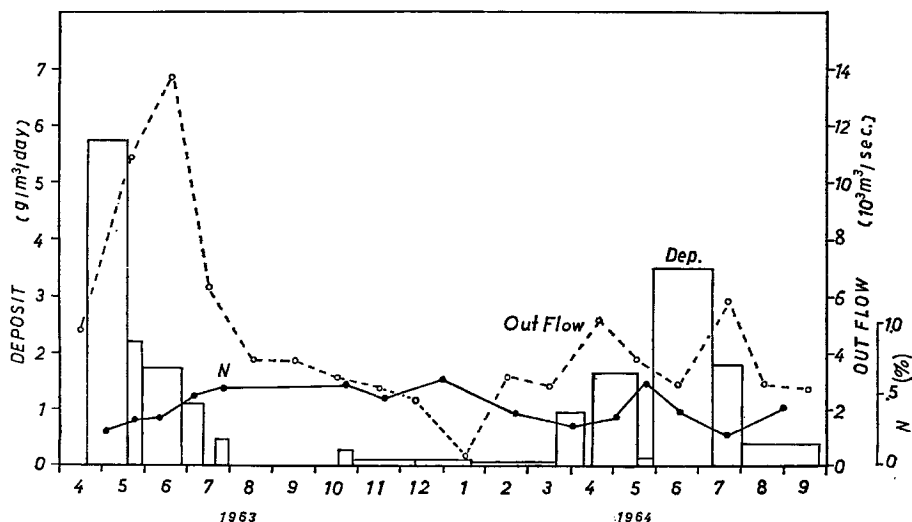


Fig. 11 Seasonal changes in depositing rate, nitrogen content in deposit and average amount of the monthly outflow. (Toyoda, Horie and Saijo, 1968)⁽⁸⁾

これについては、化学的にも、生態学的にも多くの未知の領域のあること故、更に研究を進めていく考えである。

そこで、再び先述の化学要素間の相関の問題に戻ってみよう。

湖周辺の温度が上昇すれば、湖周陸上における有機物の生産が多くなるであろうから、当然 CaCO_3 と Ign. との相関が高くなるものと思われる。それにもかかわらず相関がそれ程高くないということは、特に温暖期に周辺で生産された有機物が琵琶湖のような大湖では直ぐに湖心部まで搬入されなかった結果を反映しているのかも知れないとの疑いを起こさせる。この点の裏づけとなる資料を Fig. 11 に示した。

これは、豊田、堀江、西条によって行なわれた測定結果であるが、ボーリング地点における堆積量の季節変化を示したものである。一見して明らかなように、春の融雪期と初夏の雨期とに比較的多量の堆積量がみられる。これは、湖岸部から乱泥流の形で数 km 沖合まで detritus 等を運搬する機構を示すものと考えられ、このような乱泥流は寡雨期には出来にくいことを暗示している。すなわち陸上よりの物質搬入上、乱泥流の存否が大きい。先に述べた粒度分析結果からみると 3.1 m, 11.2 m の深度の時代では淘汰が悪く、乱泥流の影響の強さ、降水量の増加期の存在を暗示するのに対し、8.1 m, 9.1 m の深度の時代では淘汰が極めて良く、安定した環境下に堆積したことが考えられる。粒度分析結果は、まだ一部しか得られていないが、琵琶湖底有機物の堆積機構に及ぼす物理的制約が大きいと考えられる限り、 CaCO_3 と有機物質との相関の程度は前述の要因以外に堆積機構の物理的要素を十分に考慮しなくてはならない。また、湖成堆積物中の有機物のうちのどれ丈が外来性起源であり、どれ丈が湖中生産物に由来するかについても今後研究を進める必要性が痛感される。

6. お わ り に

世界第三位の古さとみなされる琵琶湖堆積物の研究は、ようやくその緒についたに過ぎない。筆者等は、琵琶湖堆積物という貴重な資料によって同湖をめぐる古気候、paleohydrology を解き明かすと共に、長らく世界の学界を支配してきた欧米の編年に匹敵するアジア独自の第四紀編年の確立に全力を傾注している。ここには本研究の一端を述べるにとどめ、編年の試案の提示はより多くのデータの揃うまで保留したが、前世紀末の資料が蓄積され、又、大陸氷河進退の記録の明瞭な欧米と比較する時、琵琶湖堆積物研究以外に方途の無いアジアの編年の確立は、前途に極めて大きな困難を包蔵しているといえよう。多くの方々の御批判を願うものである。

参 考 文 献

- 1) Horie, S., Mitamura O. and H. Miyake: Paleolimnology and Late-Würmian, Postwürmian Climatic Sequence in Japan., VIIIth Internat. Quaternary Congr. (Paris, 1969) Rept., Unpublished.
- 2) 藤 則雄: 日本における後氷期の気候変遷, 第四紀研究 5, 昭 41, pp. 149-156.
- 3) Fuji, N. and S. Fujii: Postglacial Sealevel in the Japanese Islands, The 11th Pacific Science Congr., Symp. No. 19. Sealevel Changes and Crustal Movements of the Pacific during the Pliocene and Post-Pliocene Time, Jour. Geosci., Osaka City Univ., 10, Art 1, 1967, pp. 43-52.
- 4) Mackereth, F.J.H.: Some Chemical Observations on Post-Glacial Lake Sediments, Phil. Trans. Royal Soc. London, Ser. B, 250, 1966, pp. 165-213.
- 5) Potzger, J.E. and I. T. Wilson: Post-Pleistocene Forest Migration as Indicated by Sediments from Three Deep Inland Lakes, Amer. Midland Naturalist, 25, 1941, pp. 270-289.
- 6) Wilson, I. T. and D. F. Opdyke: The Distribution of the Chemical Constituents in the Accumulated Sediment of Tippecanoe Lake, Invest. Indiana Lakes and Streams, 3, 1941, pp. 16-42.
- 7) Deevey, E. S.: Paleolimnology and Climate, Climatic Change, 1953, pp. 273-318.
- 8) Toyoda, Y., S. Horie and Y. Saijo: Studies on the Sedimentation in Lake Biwa from the Viewpoint of Lake Metabolism, Mitt. Internat. Verein. Limnol., 14, 1968, pp. 243-255.