

鳥取県東郷池湖底堆積物の層序と年縞

加藤めぐみ¹・福澤仁之¹・安田喜憲²・藤原 治³

Stratigraphy of bottom sediments in Lake Tougou-ike, Tottori Prefecture and non-glacial varves

Megumi Kato¹, Hitoshi Fukusawa¹, Yoshinori Yasuda² and Osamu Fujiwara³

Abstract: Sequential cores of laminated lake sediments which consist of alternations of light and dark-lamina, were taken from Lake Tougou-ike, western Japan. The sedimentary micro-structures of these sediment cores, and the relationships between numbers of lamina and calendar dates calculated from ¹⁴C dates suggested the following; 1) The laminated sediments are non-glacial varved sediments, deposited from about 9,000 to 2,000 cal yr. BP. 2) High-resolution investigations of magnetic susceptibility, mineral compositions by powder x-ray diffraction method and physical properties of these sediments revealed environmental changes around Lake Tougou-ike during Holocene. 3) Flood events and volcanic eruptions of Mt. Sambe around 4,300 years ago were recorded in the sediments. Based on above-mentioned investigations for environmental changes, we indicated that centurial- and millennial-scale changes in accumulation rates are detected from the thickness of the varves, and suggest that these non-glacial sediments are very useful to determine accurate chronological dates of these environmental changes.

Key words: non-glacial varve, Tougou-ike, accumulation rate, tephra, flood

はじめに

1992年に鳥取県東郷池において掘削・採取された湖底堆積物に、バーコードのような縞状堆積物が連続的に発達することが明らかになった。そして、この縞状堆積物が「年縞 (non-glacial varve)」(福沢, 1995)である可能性が大きいと判断された。また、この縞状堆積物には火山灰層や泥流堆積物層が数多く挟在することが確認された。もし、この縞状堆積物が年縞であるとすれば、火山灰を降灰させた火山噴火や泥流を引き起こした自然災害イベントの年代

を1年単位で復元できかつ再来周期をも推定できることになる。過去の環境変動を季節~1年単位で記録して、それらの変動を高精度に編年できる試料としてサンゴ骨格、樹木年輪および氷床コアが存在する。これらの試料に比べて、「年縞」は人類の多くが住む低~中緯度での環境変動を、しかも長期間にわたって連続的かつ高精度に記録した堆積物である。また、地球上におけるグローバルな環境変動に対するローカルな変動の同時性、異時性および時間的ずれを1年単位で明らかでき、「年縞」を使うこ

¹ 東京都立大学大学院理学研究科地理科学専攻

Department of Geography, Graduate School of Science, Tokyo Metropolitan University, Hachioji 192-0397, JAPAN

² 国際日本文化研究センター

International Research Center for Japanese Studies, Kyoto 610-1102, JAPAN

³ 動力炉核燃料開発事業団東濃地科学センター

Tono Geoscience Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, Toki 509-5102, JAPAN

とによって地球表層の気候システムや地球規模の環境変動のトリガーをさぐる事が可能となろう。

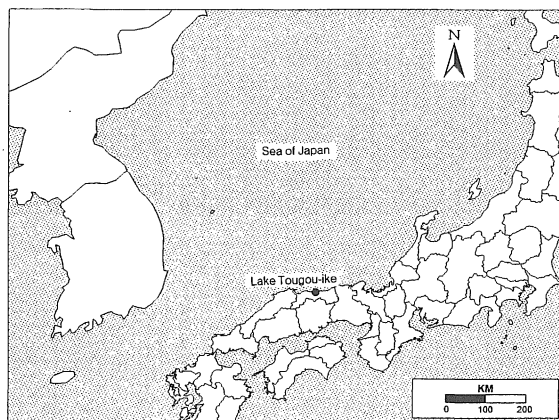
年縞 (non-glacial varve) とは一般に「1年に水中で堆積した層 (bed), 葉理 (lamina) あるいは葉層のシーケンス」と定義される (福沢, 1995)。1年単位の堆積層が認められる堆積物として、氷河・氷床の前面で碎屑物供給の季節的変動によって形成される規則的な互層からなる氷縞粘土 (glacial varve) が知られている。そのほかにも、化学的および有機的な作用で1年間に沈殿・堆積したさまざまな年縞堆積物 (non-glacial varved sediments) の存在が世界各地の湖沼において報告されている。年縞の形成条件としては、第1に湖沼への堆積物の供給量、湖沼内部の酸化還元状態などの化学的環境、生物活動などの季節的变化があることが挙げられる。第2に水温躍層もしくは密度躍層が存在し湖水の垂直循環がほとんど生じず、湖底が生物擾乱によって乱されないことが挙げられる。以上の2点をみればはじめて年縞堆積物が形成されて保存される。汽水湖沼では、湖への海水の流入によって密度躍層が形成されて湖沼の鉛直循環が生じにくいいため、湖底は酸素に乏しい還元的な状態になり、酸素を必要とする底棲生物の活動が制限され年縞が良好に保存されている。

本論文では、鳥取県中部の日本海側に位置する東郷池の湖底堆積物の層序について述べ、そして年縞と考えられるラミナの成因をまず明らかにして、次にこの縞状堆積物に挟まれる火山灰層や泥流堆積物について、その特徴を明らかにすることを目的とする。なお、この論文は著者の一人加藤めぐみによる1997年度東京都立大学理学部地理学科卒業論文 (加藤, 1998) の一部に新たな事実を加えたものである。

調査地域の概要

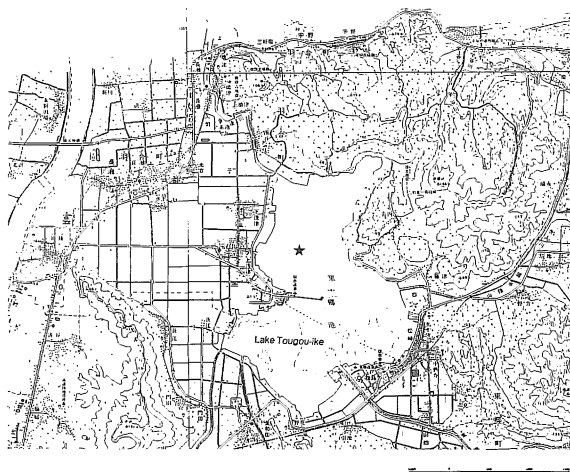
東郷池は鳥取県中央部、倉吉平野東縁の日本海沿岸に位置する湖で (第1図)、湖岸距離 11.5km、湖面積 4.1km²、最大水深 5.0m、平均水深 2.0m の浅い汽水湖である。東郷池には東郷川など4本の小河川が流入しているが、排出河川は湖の北西端にある橋津川のみである。日本海に注ぐ橋津川からの海水の遡上によって、現在の東郷池は汽水環境下にある。

日本列島の日本海側沿岸では、日本海に注ぐ大きな河川の河口付近に沖積平野、海岸砂丘、および潟湖といった地形がそろって存在することが一般的である。これらの地形は、後期更新世からの砂州の発達で海から遮断された潟湖や沼沢地が埋積されて平野が発達したものが多く、東郷池もこのような日本海沿岸の典型的な地形の1つであり、天神川の埋積



第1図 鳥取県東郷池の位置図

Fig.1 Index map of Lake Tougou-ike, Tottori Prefecture, western Japan.

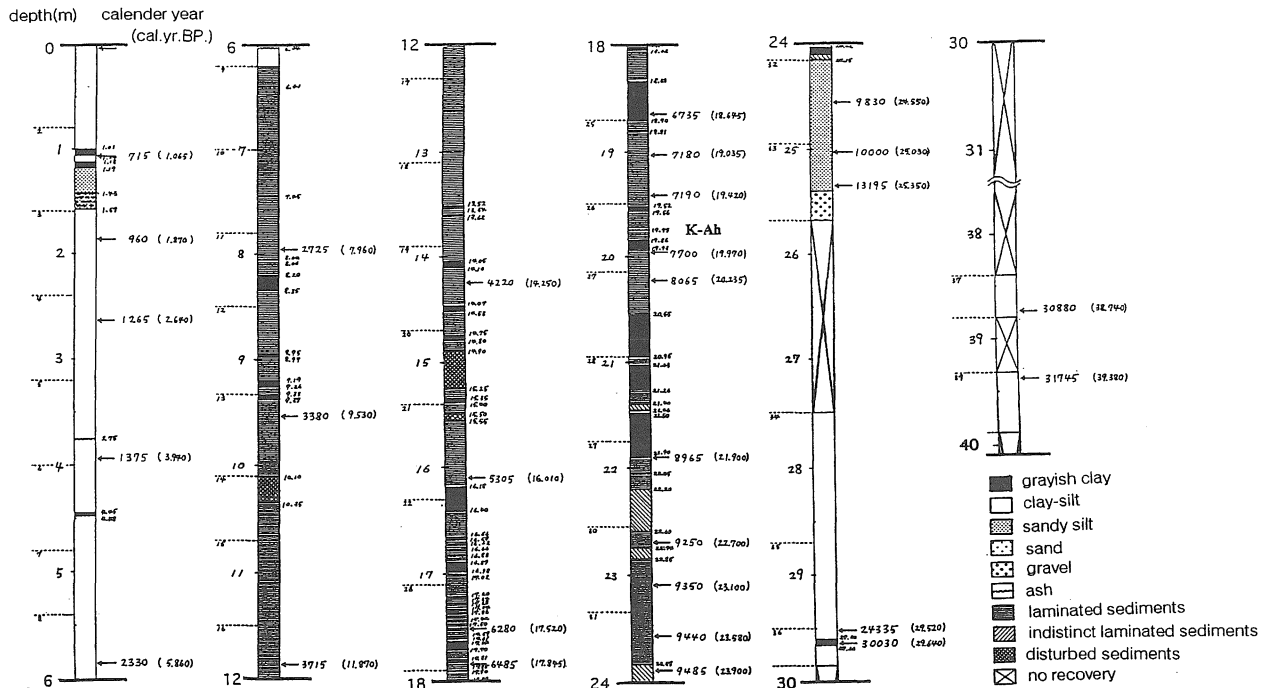


第2図 堆積物コアの採取地点 掘削位置は北緯 35 度 28 分 58 秒、東経 133 度 55 分 23 秒で水深 2m の湖底である。

Fig.2 Location of coring site of Lake Tougou-ike. Coring site is located at 35° 28' 58" N, 133° 55' 23" E and 2 meters in water depth.

前進と倉吉平野および北条砂丘の発達にともなって現在の姿になったと考えられている (大西・近藤, 1961)。

縞状堆積物が認められた試料は、1992年7月23日から8月20日にかけて文部省科学研究費補助金による重点領域研究「地球環境の変動と文明の盛衰」研究班 (代表: 安田喜憲) によって、鳥取県東伯郡羽合町東郷池内で機械ボーリングにて採取されたものである。コア採取地点は北緯 35 度 28 分 58 秒、東経 133 度 55 分 23 秒の水深 2m の湖底である (第2図)。湖上にボーリング足場を組んでピストン式シンウォールサンプラーを湖底に降下させ深度 50m までの堆積物が掘削された。堆積物採取の際には、オールコアボーリングを原則としボーリング孔底の



第3図 東郷池湖底堆積物の岩相層序。 ^{14}C 年代の暦年補正は Kitagawa and van der Plicht (1997) にもとづいた。

Fig. 3 Lithostratigraphy of the bottom sediments of Lake Tougo-ike with calendar dates These calendar dates are calibrated base on standard calibration curve by Kitagawa and van der Plicht (1997).

スライムの排除を十分に行うことで、欠層のない連続したコアが得られた。

試料の処理・分析方法

1) 堆積物コアの記載

コア試料を鉛直方向に半分割したものの写真を用いて、堆積物の層相の記載を行って柱状図を作成した(第3図)。また、35層準について有機質粘土を用いて ^{14}C 年代を測定して(福沢ほか, 1997), Kitagawa and Van der Plicht (1997)にもとづいて暦年に補正して示した(第3図)。また、コア試料の写真および薄片を用いて明暗のラミナの枚数計測を行った。

2) 堆積物薄片の顕微鏡観察

層厚約3cmに相当する薄片試料40枚を偏光顕微鏡下で観察した。薄片試料は堆積物自体を樹脂で固めたものから作成したため、下部から上部への層相の変化を観察することによって、堆積物の堆積プロセスを復元することができる。東郷池湖底堆積物中のラミナの成因を明らかにするため、明色ラミナと暗色ラミナそれぞれの層厚を測定し、珪藻殻、碎屑鉱物、有機物、自生の黄鉄鉱(pyrite)と思われる不透明鉱物について観察してスケッチを作成した(第4図)。

3) 機器分析用試料の採取

コア試料を半分割にしたものを2.5cm立方体の帯磁率測定用ポリカーボネイトキューブ(容積7cc)を用いて試料を採取した。ただし、試料量の少ない深度0mから4.80m, 19.50mから20.95mの層準の堆積物についてはカッターを用いて5mm間隔で切って分割した。帯磁率を測定した後、これらを110°Cで48時間乾燥させて粉末X線回折分析の試料とした。

4) 帯磁率の測定

キューブ試料(計930個)について、東京都立大学大学院理学研究科地理学専攻環境変遷学研究室の帯磁率計システム(Bartington MS2, Sensor typeB)を使用して、Low Frequency(引加交流磁場の周波数465Hz)の測定条件で帯磁率を測定した。キューブの大きさは2.5cmの立方体(容積7cc)なので2.2cm間隔の試料を測定したことになる。

5) 粉末X線回折分析

キュービック試料および5mm間隔で採取した試料をそれぞれメノウ乳鉢で200メッシュ以下に磨砕し、粉末X線回折分析の試料とした。分析には東京都立大学大学院理学研究科地理学専攻環境変遷学研究室の日本電子製JDX-3530型自動X線回折分析システムを使用した。測定条件を以下に示す。

測定条件

X線発生管球: 2kw 管電圧: 35kv
 発散スリット: 1° 管電流: 20mA
 感光スリット: 0.15mm

走査範囲： $2^{\circ} \sim 60^{\circ}$ (2θ)
 散乱スリット： 1° 計数時間：0.50sec
 ターゲット：Cu/K α ステップ角度：0.02 $^{\circ}$

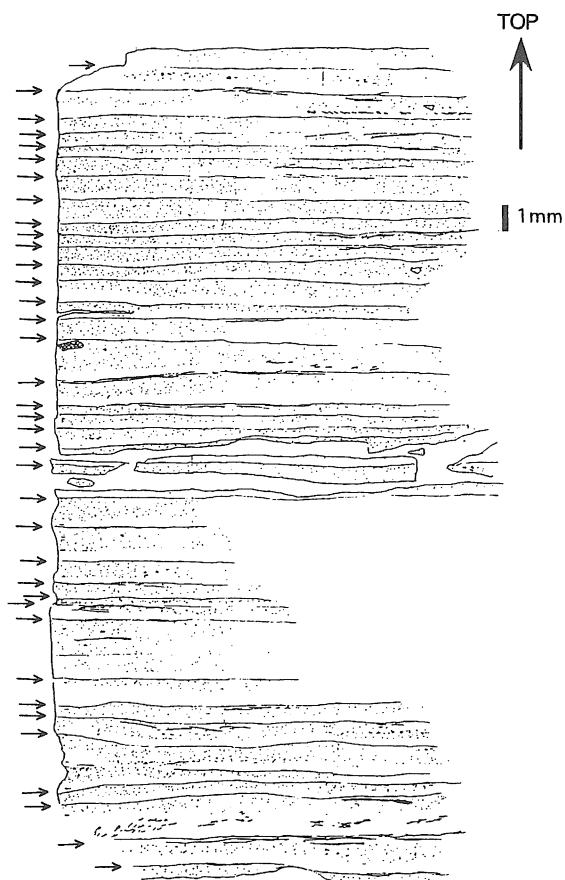
東郷池湖底堆積物に認められた年縞

堆積物コアの写真を用いて、堆積相および堆積構造を記載した(第3図)。これらのコアは全体として粒度が粘土からシルトの細粒な堆積物からなり、砂層、礫層および火山灰層を挟在していた。作成したスミアスライドを検鏡したところ、堆積物は粘土鉱物や石英などの碎屑粒子、有機物、珪藻の遺骸、自生の鉄鉱物と思われる不透明鉱物から構成されていた。

分析したコアの全長は約40mであるが、本研究で重点的に解析をした深度約25mまでの層準について詳細に述べる。深度0mから6.2mの層準は灰褐色の粘土・シルト層であり、灰色粘土層が3層と火山灰層が2層認められた。また、深度1.19mから1.57mの層準は一般に砂質になり有機物破片を多く含んでいた。深度約6.2mから24mの層準には、厚さ約0.5mmから数mm程度の明暗ラミナの規則的な繰り返しが発達しており、それらの中に無層理の灰色粘土層や火山灰と思われる薄層が頻りに挟在している(第5a図)。深度約10mから12.5mの層準ではやや砂質になるが、明暗ラミナの規則的な繰り返しが連続的に認められた。深度約24m以深の層準は主に砂質で、深度25.6mより下位の層準は礫層であった。また、深度19.74mから19.76mに認められた火山灰層は鬼界アカホヤ火山灰(K-Ah)に同定された(京都大学の竹村恵二助教授からの私信)。

東郷池湖底堆積物の深度約6.2mから24mの層準に連続的かつ明瞭に認められた明暗ラミナについて、その成因を明らかにして、明暗の1セットが1年に堆積した年縞であるかどうかをたずねて検討する。

堆積物薄片の光学顕微鏡観察の結果では、明色ラミナが珪藻遺骸の殻のみからなること、暗色ラミナが珪藻遺骸の他に粘土鉱物や石英などの碎屑鉱物や不透明粒子を多く含んで最上部に落葉などの植物破片を挟んでいることが確認された(第5b図)。明色ラミナを構成する珪藻遺骸は大きな個体でしかも1種の珪藻種から構成され、春季における底層水塊の湧昇にともなうブルーミング時の群集組成に似ている。また、暗色ラミナとその上位の明色ラミナのあいだに珪藻の一種である *Chaetoceras* spp. の休眠孢子が濃集することがある。この休眠孢子は NO_3^- の欠乏などの生育環境の悪化によって、珪藻が栄養細胞を作らず、将来に環境が改善するまでやり過ごすために形成される。すなわち、休眠孢子の形成は冬

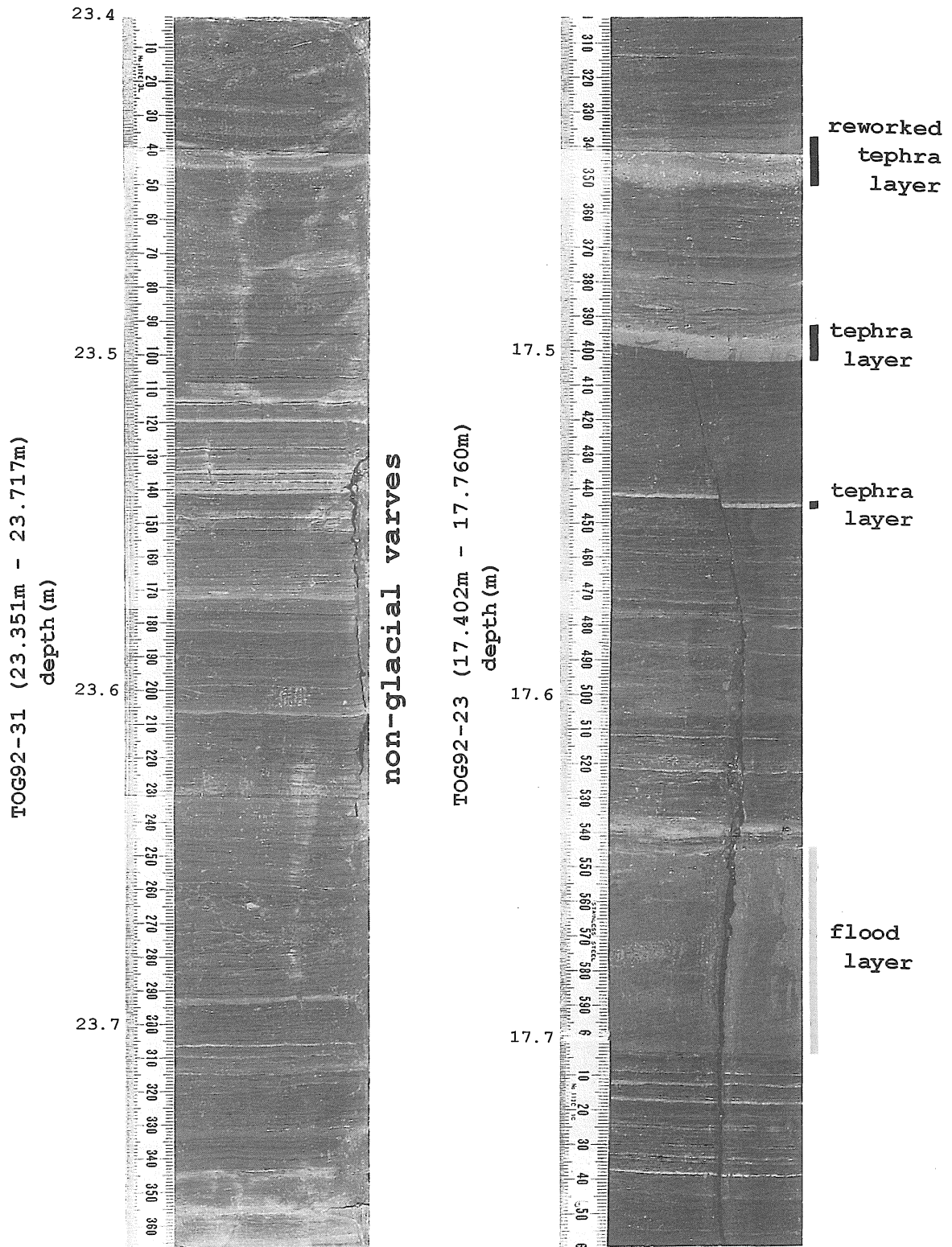


第4図 光学顕微鏡観察による堆積物薄片試料中に認められる初生堆積構造のスケッチ。図中の矢印は暗色層とその上位の明色層の境界を示す。矢印とその上位の矢印との間の堆積物が1年間の堆積物を示す。

Fig.4 Sketch showing the primary sedimentary structures within thin sections of varved sediments under optical microscope. Arrows in this figure show boundaries between dark layers and superposed light layers. Sediments between horizontal arrows and superposed them indicate annual layer formed.

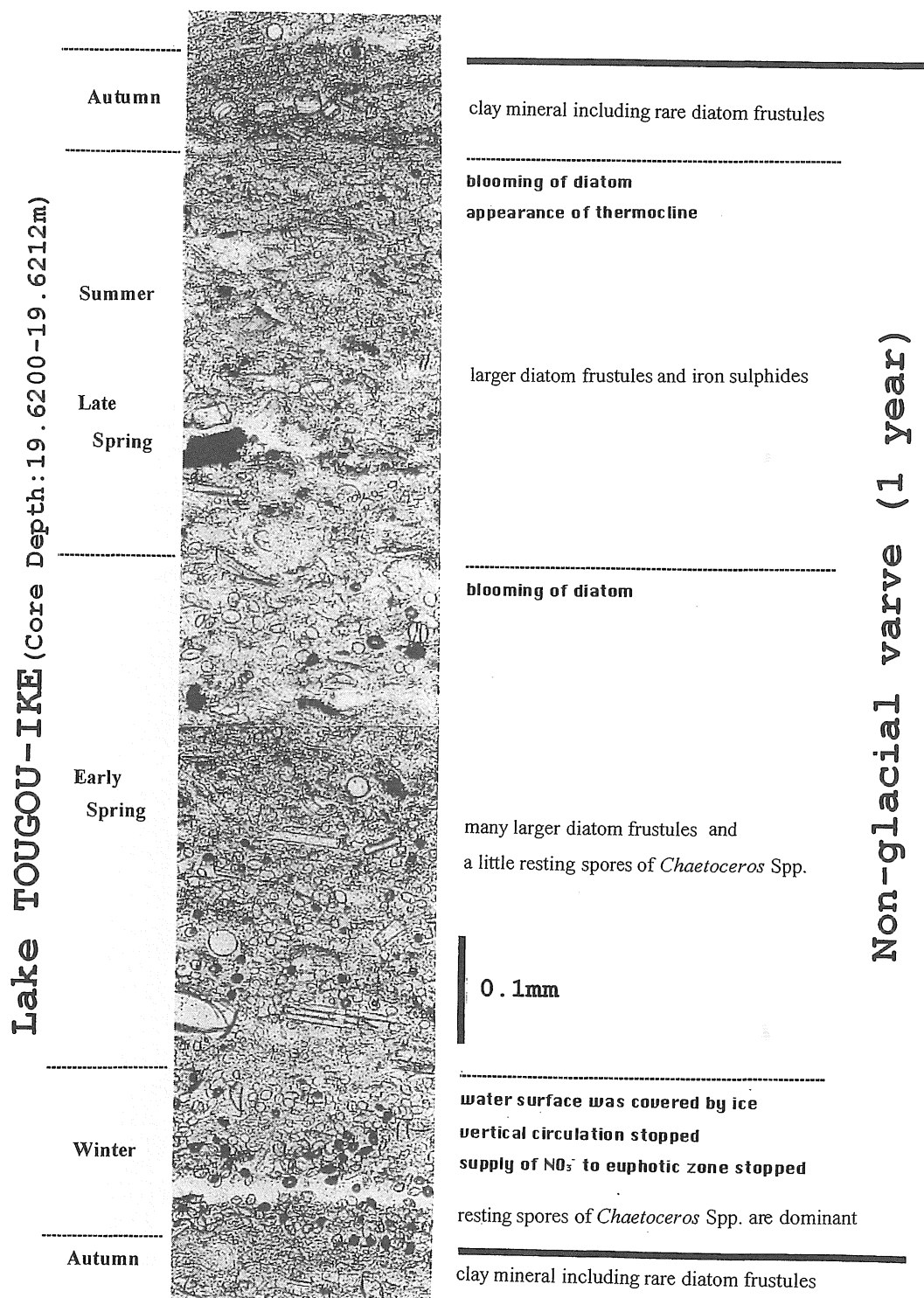
季の厳しい寒さや結氷によって湖の栄養循環が悪くなったことを暗示する。暗色ラミナのなかに認められる不透明粒子は、硫化鉄鉱物である黄鉄鉱 (FeS_2) あるいは炭酸塩鉄鉱物である菱鉄鉱 (FeCO_3) であり、黄鉄鉱は珪藻遺骸のなかにイチゴ状の小粒の濃集として認められた。これらの鉄鉱物はいずれも水中に溶けている酸素が欠乏する条件、すなわち湖水底層へ表層の酸素に富んだ水塊を運搬する垂直循環が停止したために晶出・沈殿したものである。湖沼水塊の季節的な循環のなかで、垂直循環が停止する時期は夏季の水温躍層形成時である。

このような明暗ラミナの堆積構造の特徴から判断すると、明色ラミナ下部の休眠孢子の濃集部分は冬季に、上部の単一種の珪藻遺骸の大きな個体の濃集部分は春季に、暗色ラミナ下部の黄鉄鉱あるいは菱



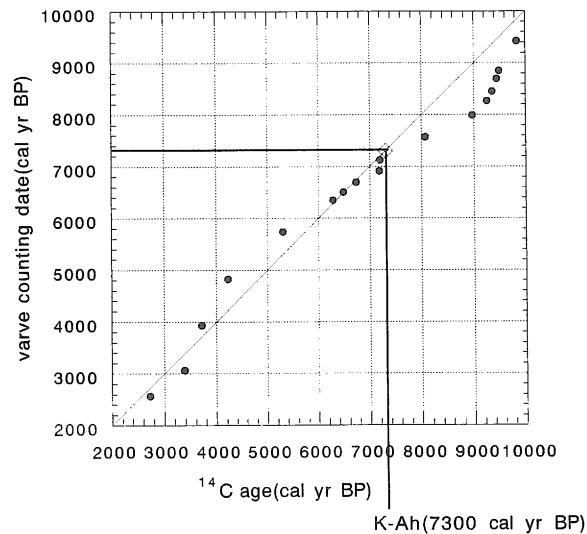
第 5a 図 東郷池の年縞堆積物

Fig. 5a Photographs showing macroscopic sedimentary structures of varved sediments in Lake Tougo-ike.



第 5b 図 東郷池年縞堆積物の薄片の光学顕微鏡写真

Fig.5b Photograph showing microstructures under optical microscope of varved sediments in Lake Tougo-ike.



第 6 図 年縞の枚数計測による年代値と暦年補正した ^{14}C 年代値の関係。鬼界アカホヤ火山灰 (K-Ah) を暦年で 7,300 年前として基準にとった。 ^{14}C 年代値は Kitagawa and van der Plicht(1997) にもとづいて暦年に補正した。

Fig.6 Diagram showing relationships between varve-counted dates and calibrated ^{14}C dating data. We used Kikai-Akahoya tephra (K-Ah) layer as control core depth in this figure, and think that varve counted dates of Kikai-Akahoya tephra (K-Ah) was deposited 7,300 years ago. Calendar dates were calculated from ^{14}C dating data by using calibration curve of Kitagawa and Van der Plicht(1997).

鉄鋳濃集部分は夏季に、上部の葉の遺体を挟む部分は秋季にそれぞれ堆積したと考えられる。すなわち、これらの明暗ラミナ 1 セットは「年縞」と考えられる。なお、東郷池と同様な成因で形成されたラミナは水月湖 (福沢, 1995), 三方湖 (福沢ほか, 1996), 小川原湖 (池田ほか, 1998) などの湖底堆積物からもすでに報告されている。

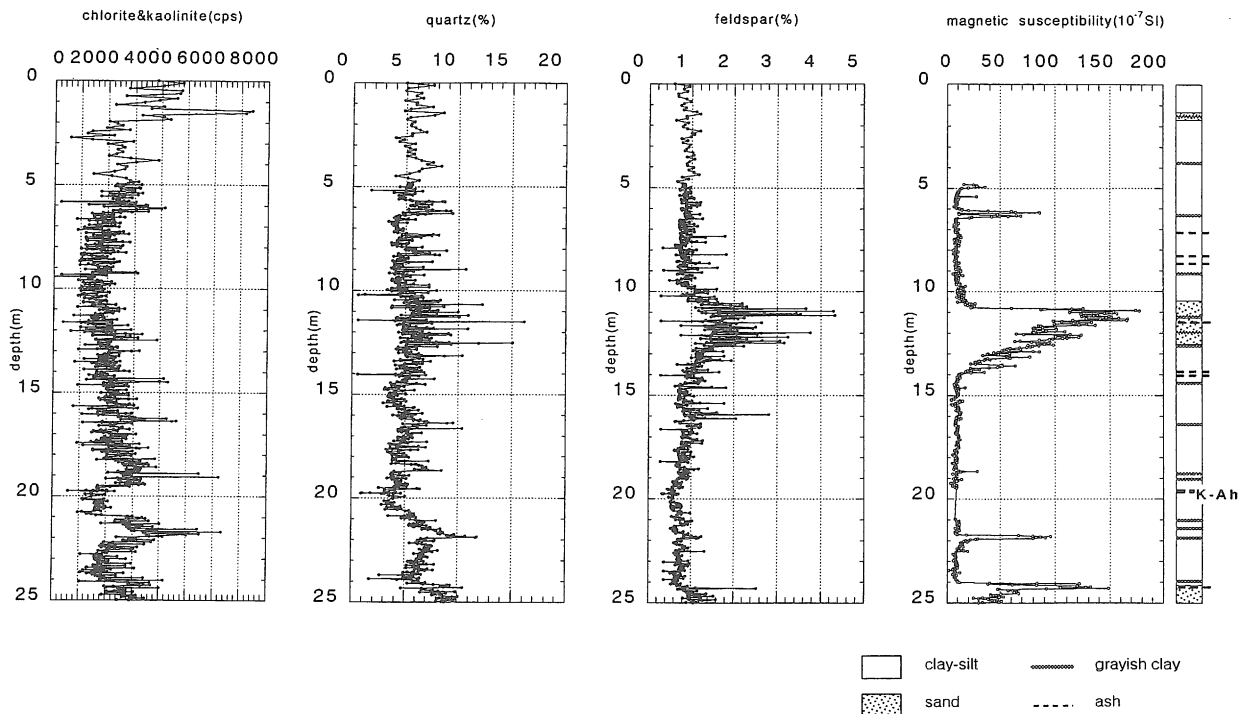
これらの明暗ラミナの 1 セットが 1 年間に堆積したことを裏付けるために、ラミナの枚数計測による年代値と ^{14}C 年代測定値から求められた暦年代値との比較を行った (第 6 図)。鬼界アカホヤ火山灰 (K-Ah) を現在から 7,300 年前という基準年代として、その上下のラミナの枚数を光学顕微鏡下で計測して年代値を求めた。これらの年代値とその層準の ^{14}C 年代値の暦年補正值を比較した結果 (第 6 図)、枚数計測年代と ^{14}C 年代の両者がよく一致することが明らかになった。これによって、東郷池湖底堆積物に認められる明暗ラミナの互層 1 セットは 1 年間に堆積した層が積み重なった年縞堆積物であると断定される。そして、この年縞の枚数計測を行った結果、鬼界アカホヤ火山灰 (暦年で 7,300 年前) より上位に 5,134 枚、下位に 1,616 枚の年縞が認められた。すなわち、東郷池の年縞発達層準は暦年で 8,916 年前から 2,166 年前までの、6,750 年間に堆積したことが明らかになった。この年縞堆積物を解析することで 1 年単位、数年から数 10 年単位で古環境の

復元が可能となった。

東郷池年縞堆積物に認められた火山灰層と洪水性泥流堆積物

年縞堆積物層に比べて火山灰層と灰色粘土層の帯磁率は一般的に高い値を示している (第 7 図)。これは、火山灰降灰時の磁性鋳物が保存されていることと、灰色粘土層には洪水や土石流による密度流によって、大きな比重をもつ碎屑鋳物や重鋳物が多量に含まれていることが原因と考えられる。

年縞堆積物層に含まれる長石や石英の量に比べて灰色粘土層中のそれらの量は比較的多く、粘土鋳物である緑泥石・カオリナイトの含有量も非常に多い。堆積物薄片の光学顕微鏡観察によれば、灰色粘土層には碎屑鋳物以外に大きな有機物破片が多量に含まれており、洪水や土石流によって東郷池へ碎屑物や有機物破片が多量かつ急速に流入する条件下で形成されたことを示している。灰色粘土層の年代と緑泥石・カオリナイト量の変動を時系列で検討してみると、年縞堆積物中に層厚数 cm から数 10cm の灰色粘土層として記録される洪水や土石流は約 1,000 年に 1 回程度生じていたものと考えられる (第 8 図)。一方、これらの鋳物量の変動の急激なスパイク状のピークを除いてみると、9,000 年前、8,000



第 7 図 東郷池年縞堆積物の層序とその鉱物組成および帯磁率の変化. 鉱物組成は緑泥石とカオリナイト量 (cps) (左), 石英量 (質量%) (中左), 長石量 (質量%) (中右) を検討した. 帯磁率 (SI) (右) は試料重量で規格化した.

Fig.7 Stratigraphy of non-glacial varved sediments in Lake Tougo-ike, sequential changes of mineral components and magnetic susceptibility. Contents (wt.%) of Chlorite-Kaolinite (left), quartz (middle left) and feldspar (middle right) were investigated. Magnetic susceptibility (SI) were normalized by using weight values of samples.

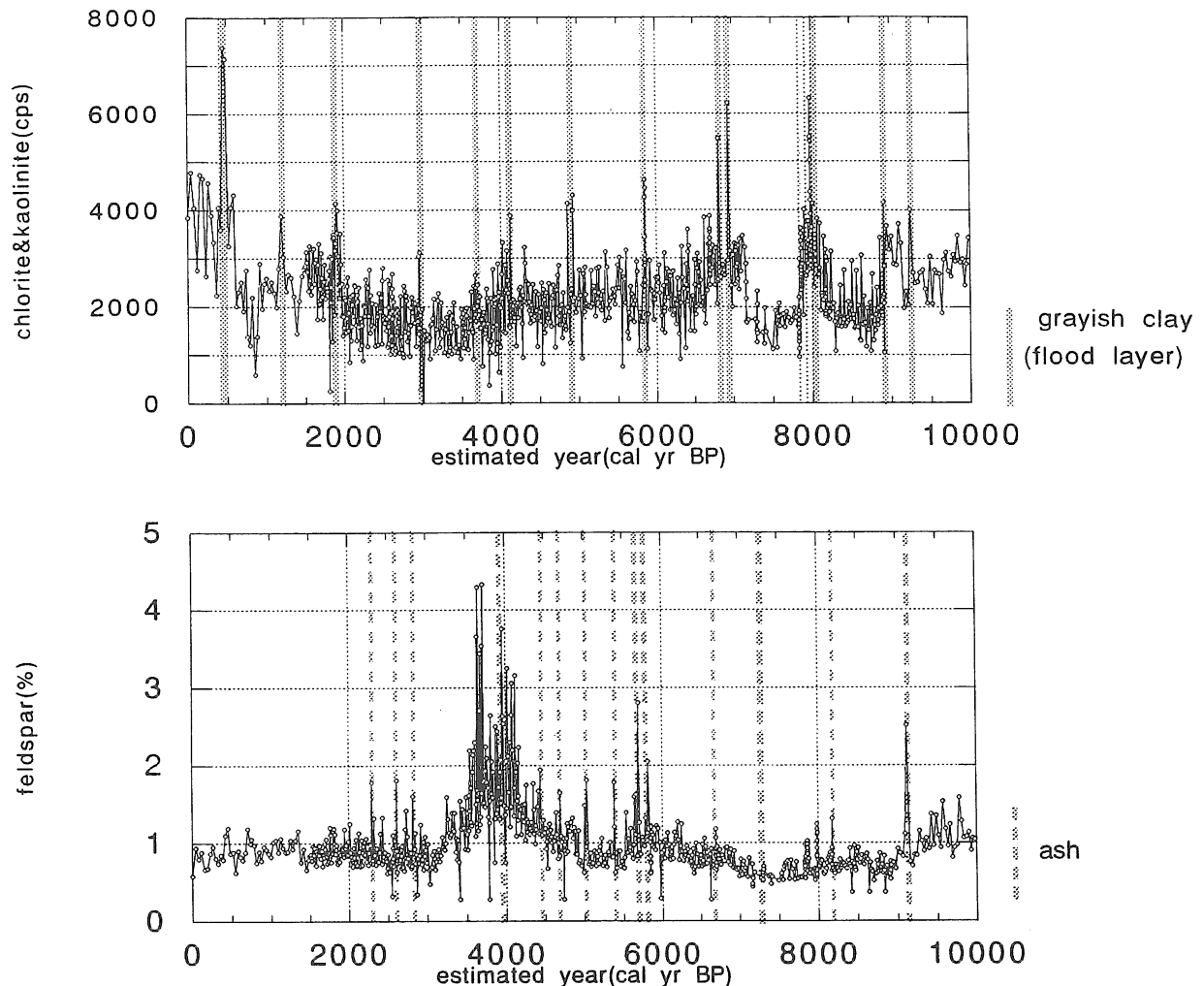
年前, 7,000 年前, 5,800 年前, 1,800 年前前後の緑泥石・カオリナイト量がその前後に比べて増加している. これは, これらの時代に降水量が多かったことを示しているのかもしれない.

つぎに, 東郷池の湖底堆積物に記録された火山の噴火活動について考察する. 中国地方において第四紀末期に活動した火山は三瓶火山と大山火山であり (三浦・林, 1991), 両者ともに東郷池の西方 100km 以内にありしかも偏西風の風上に位置している. そのため堆積物コアに認められた火山灰層の大部分は, これら 2 つの火山起源であると考えられる. X 線回折分析と顕微鏡観察の結果は, 堆積物コア中の火山灰層には粗粒な斜長石の自形結晶が多く含まれることを示し, 従来記載されている大山あるいは三瓶火山起源の火山灰の特徴と一致する. 大山の最も新しい活動は最終氷期後半の大山鏡ヶ平テフラ (Dkg) の噴出であり (町田・新井, 1979), 完新世における活動は報告されていない. これに対して, 三瓶火山は広域テフラとして知られる三瓶木次軽石 (SKP), 三瓶雲南軽石 (SUn), 三瓶池田軽石 (SIP), 三瓶浮布軽石 (SUP) を更新世に噴出した後も, 完新世にはいつて約 4,000 年前に三瓶大平山火山灰 (SOh) を噴出している (三浦・林, 1991). また, 三瓶火山周辺には鬼界アカホヤ火山灰 (K-Ah) 降

灰後に 3 枚以上の火山灰層が堆積しており, それらは三瓶火山起源である可能性が大きいとされている (松井・井上, 1971). 東郷池の湖底堆積物中に認められた自形結晶の長石含有量が多い火山灰層は, 三瓶火山において約 6,000 年前に開始された志学・角井降下火山灰を降灰させた噴火活動と約 4,000 年前に開始される大平山の噴火活動に対比することが可能である. とくに, 約 4,000 年前に噴出したとされる大平山火山灰 (SOh) の分布範囲は広く, 大規模な噴火であったと考えられている (松井・井上, 1971). 今回, 東郷池の湖底堆積物で認められた 4,000 年前の長石の自形結晶を含む火山灰は大平山火山灰 (SOh) に対比できるものと考えられる.

堆積速度の変動と東郷池周辺の降水量

東郷池で発見された年縞の枚数計測に基づいて, その堆積物の層厚 (堆積物コアの採取深度) との関係から, 堆積速度を求めることが可能となる. とくに, 完新世における堆積速度の変動について検討してみると, イベント的で突然かつ急激なスパイク的なものと長期的で緩やかな変動の 2 者が認められる (第 9 図). 堆積物の岩相についてみると, スパイク



第 8 図 東郷池湖底堆積物に記録された洪水と火山活動。上：緑泥石とカオリナイト量の変化と洪水堆積層の年代，下：長石量の変化と火山噴火活動の年代

Fig.8 Events of floods and volcanic activities recorded in the bottom sediments of Lake Tougou-ike. upper: ages of floods detected by changes in chlorite & kaolinite contents, lower: ages of volcanic eruptions detected by changes in feldspar contents

と示される大きな堆積速度は火山灰の急激な降灰や碎屑物の急激な堆積に対応していることが明らかになる。一方、数 100 年から 2,000~3,000 年オーダーのゆるやかな堆積速度の変動も認められたため、この変動の意味についてつぎに考察する。

薄片の光学顕微鏡観察の結果によれば、年縞が厚くなるにしたがって珪藻のブルーミングを示すの明色層と碎屑鉱物を多く含む暗色層の両者の層厚ともに厚くなる（第 10 図）。すなわち、年縞が厚く堆積速度が大きい時期には、珪藻生産量が多くかつ碎屑鉱物の堆積量も多かったと考えられる。

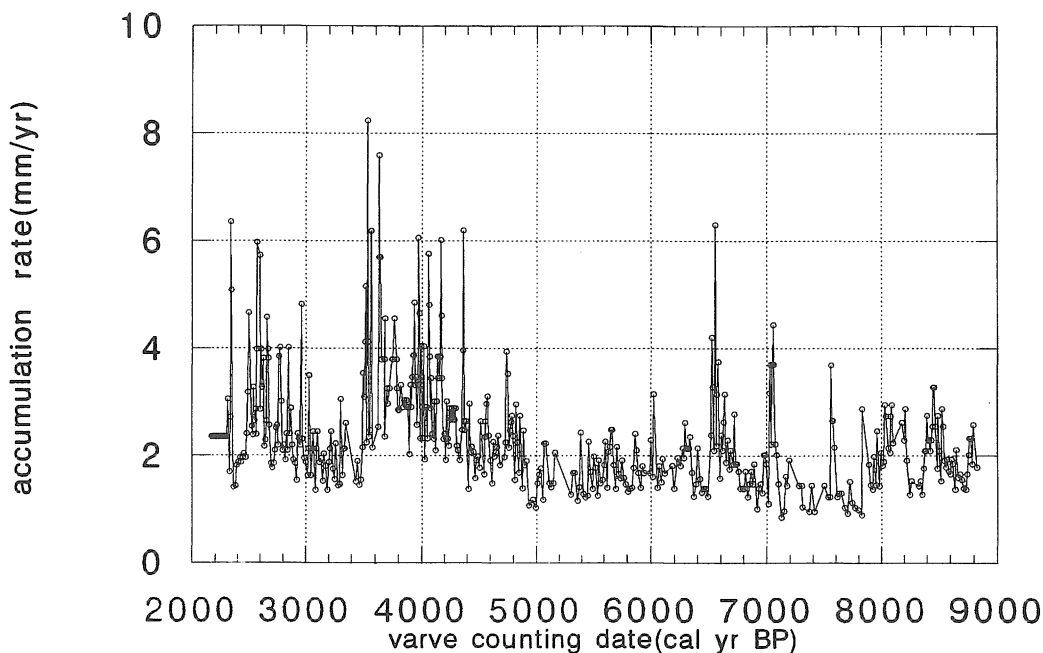
堆積速度が 8,500 年前から 7,800 年前、6,800 年前から 6,500 年前、5,000 年前から 3,500 年前、3,000 年前から 2,500 年前にかけて高いという結果と海水準変動、イライト結晶度で表現される乾湿変動を比べてみても、その関連性は明確ではない。堆積速度の変動を引き起こす環境変動については、さらに

検討が必要である。

5,000 年前から 3,500 年前の堆積速度の増加は、この時代が三瓶火山の活動期に相当し火山灰が大量に降下してそれが湖底に堆積し、みかけ上の堆積速度が増加したためであると思われる。その理由として、X 線回折分析による鉱物組成の変化と薄片試料の顕微鏡観察結果から、堆積物中に長石が非常に多く、しかもそれらの大部分が粗粒な自形結晶であることが挙げられる。湖に直接降下して堆積した火山灰に加えて、湖沼周辺の集水域に降下した火山灰が頻繁に流入したことも原因の一つだと考えられる。

おわりに

鳥取県東郷池で発見された縞状堆積物が発見され、それが年縞堆積物であることを明らかにした。



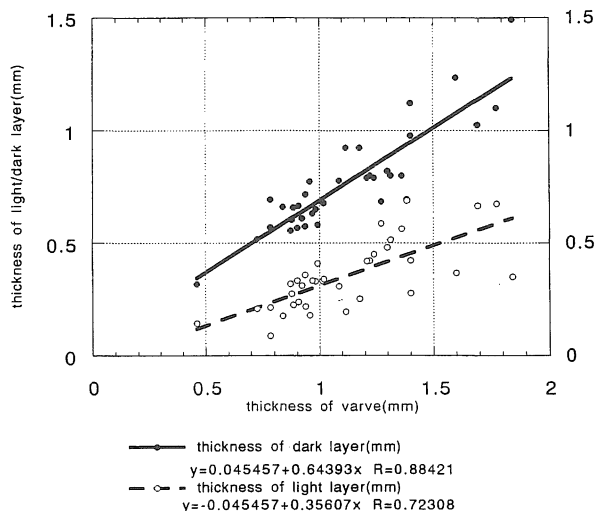
第9図 東郷池における9000年前から2000年前までの堆積速度の変動
Fig.9 Changes in accumulation rates of bottom sediments in Lake Tougou-ike from 9,000 to 2,000 cal. yr. BP.

これによって、堆積物に記録された環境変動が時系列で表現できることとなり、過去の環境変遷が年単位で明らかにする展望がひらけた。現在、人類活動が地球環境全体に大きなストレスを与え続けているが、それによって地球全体の気候モードが近い将来突然かつ急激に変動することが指摘されている。そういう変動がどれぐらいの規模で生じて人間にどれぐらいの影響をあたえるかを、年縞堆積物のような高精度記録から定量的に復元することが、現在の人類学、考古学、地理学および地質学に問われているように考えるのは筆者らだけではないだろう。

謝辞：本研究を進めるにあたり、ご指導・ご助言をいただいた東京都立大学の岩田修二教授、塚本すみ子博士に心からお礼を申し上げます。なお、本研究の経費の一部として、文部省科学研究費補助金の基盤研究A（課題番号：07309009、代表者：高安克己）、一般研究C（課題番号：07804031、代表者：福沢仁之）と日産科学振興財団による第21回研究助成金（一般研究）（代表者：福沢仁之）を使用した。記して感謝申し上げます。

引用文献

福沢仁之（1995）天然の「時計」・「環境変動検出計」としての湖沼の年縞堆積物。第四紀研究，34：135-149.



第10図 明色・暗色ラミナの層厚と年縞の層厚との関係

Fig.10 Diagram showing relationships among the thickness of the light lamina, dark lamina and varve including both lamina.

福沢仁之・竹村恵二・林田 明・北川浩之・安田喜憲（1996）年縞湖沼堆積物から復元された三方湖とその周辺の最終氷期最寒冷期の古環境変動。地形，17：323-341.

池田まゆみ・福沢仁之・岡村 真・松岡裕美（1998）湖沼年縞堆積物によるグローバルな気候・海水準

- 変動の検出－青森県小川原湖と十三湖における過去 2,300 年間の環境変遷を例として－. 気象研究ノート, 39:印刷中
- 加藤めぐみ (1998 MS) 鳥取県東郷池の年縞堆積物と完新世の環境変動, 72p., 1997 年度東京都立大学理学部地理学科卒業論文
- Kitagawa, H. and van der Plicht, J. (1997) A 40000 years varved chronology from Lake Suigetsu, Japan. *Radiocarbon*, 39: in press
- 町田 洋・新井房夫 (1979) 大山倉吉軽石層－分布の広域性と第四紀編年上の意義. 地学雑誌, 88:33-50.
- 松井整司・井上多津男 (1971) 三瓶火山の噴出物と層序. 地球科学, 24:112-114.
- 三浦 清・林 正久 (1991) 中国・四国地方の第四紀テフラ研究－広域テフラを中心として－. 第四紀研究, 30:339-351.
- 大西正巳・近藤正史 (1961) 砂丘の生いたち－山陰の海岸砂丘－. 大明堂, 268p.