

湖底堆積物中の高分子脂肪酸の量的変化と古環境変動

—トルコ・アナトリア高原のKestel湖から得られた柱状堆積物を対象に—

西村 弥亜¹, 北川 浩之², 三田村 緒佐武³,
中村 俊夫⁴, Aphmet, Yaintusl⁵, 安田 喜憲²

¹東海大学海洋学部

²国際日本文化研究センター

³大阪教育大学

⁴名古屋大学年代測定試料研究センター

⁵Faculty of Science, Ege University, Bornova, Izmir, Turkey

1 はじめに—

湖底堆積物中に存在する有機分子から古環境変動の情報を得る際、対象とする有機分子が、少なくとも二つの条件を満たしている必要がある。一つは、その起源が、特定の生物種に限定されていること。この場合、種特異性が高ければ高いほど情報の明確性が優れる。もう一点は、情報を保持している有機分子の構造が、地質学的な時間にわたって分解されることなく、安定に存続しうること。このような二条件を比較的良好に満たしている有機分子のグループとして、構成炭素数が20以上の脂肪酸（以下、高分子脂肪酸）がある。自然環境における高分子脂肪酸の主要な供給源は陸上高等植物である。

先に行われた、三方湖柱状堆積物（100.3 m）の分析結果から、湖底堆積物中の高分子脂肪酸の存在量を支配している環境要因は、降雨・降雪量（以下、降水量）である可能性が示唆された。つまり、集水域から湖へ供給される（高分子脂肪酸含有）陸上高等植物の残存物質の量は、それを陸から湖へ運搬する力、すなわち降水量によって支配されていると結論づけられた。このことが、三方湖とは環境が全く異なった湖の堆積物に対しても適用可能か否かを知るため、地中海性気候帯にある、トルコ・アナトリア高原の湖から得られた柱状堆積物を対象として予備的な検討を行った。

2 試料と方法

2. 1 柱状堆積物

トルコは冬雨地帯であるが、年間を通した降水量は、少ない。特に内陸部のアナトリア高原一帯は、さらに年間降水量が少なく、乾燥地帯となっていて、植生は極めて乏しい。その西南端の近くに位置したケステル（Kestel）湖（図1）から、1992年9月、5 mの柱状堆積物を掘削した。ケステル湖は、かつてかなり広大な湖水域をもっていたが、現在では、そのほとんどが陸地化してしまっている。

2. 2 堆積物の処理

湖内のそれぞれ異なった地点で、堆積する物質の比重、粒度、サイズなどは、個々の場所に特有なものである。これは、主として、湖外からの流入水によって運ばれてきた様々な物質が、上記の特性に応じた淘汰作用を受けることによるものである。例えば、湖が、水を広く、安定にたたえた状態、つまり滞水状態であれば、サイズや比重の大きい物

質ほど、河口に近く、小さいものほど、湖心部に近いところに堆積する傾向を示す。もし、湖の誕生以後、滞水状態がほぼ変わることなく維持されているならば、湖のある一点から採集した柱状堆積物中のすべての層は、比重、粒度、サイズなどが、いずれも、ある範囲内ではほぼ一定の組成をもった物質からなっているはずである（例えば、竹村ら、1994）。従って、そのような柱状堆積物に含まれる様々な情報は、深さ（時間）に関係なく対等に相互比較することができる連続性をもっていることになる。このことは、情報を堆積物の乾燥重量あたりで表示・比較する場合は、特に重要である。高分子脂肪酸は、このケースである。

しかし、湖は、長い歴史の過程で、湖の遷移と

は別に、地質・地形学的及び気象学的要因によって、湖水域は滞水状態から氾濫原、あるいは湿原の状態へとしばしば大きく変化しうる（竹村ら、1994）。その変化の時点で、上で述べた情報の連続性は、失われることになる。従って、柱状堆積物のどの層に、そのような不連続面が存在するかを特定することは、情報解読の上で極めて重要である。その特定法としては、堆積物の粒度組成と共に、60 mesh以上のサイズをもつ陸上起源の植物性残存物の存在量を追跡することが有効である（西村・三田村、1995）。

上記のことから、10 cm間隔に切った柱状堆積物は、すべて湿式法で60 meshの篩にかけられた。篩上に残った植物性残存物は、比重の違いによって分別され、40℃で十分乾燥し秤量した。

2. 3 分析法

60 meshの篩を通過した堆積物からの、脂質化合物の抽出から、高分子脂肪酸の分離、同定及び定量にいたるまでの分析操作は、Nishimura and Baker (1987) による方法に従った。

2. 4 年代測定

^{14}C による年代測定は、60~70 cm及び320~330 cmの2層から得られた脂質分画を使って行った。メチレンクロライドで溶かした脂質分画を、バイコール管に移し、溶媒の蒸発・除去を十分に行った。蒸発乾燥試料は、適当量のCuOと共に同管に

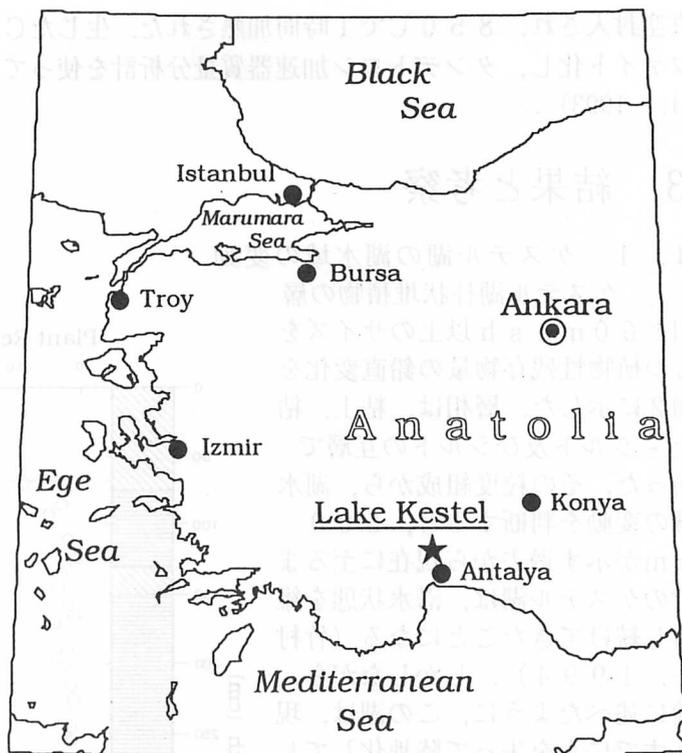


図1 トルコ・アナトリア高原南西部におけるケステル湖の位置を示す地図。

Fig.1 Map showing location of Lake Kestel in southwestern Anatolia, Turkey.

真空封入され、850℃で1時間加熱された。生じたCO₂を水素還元法によってグラフアイト化し、タンデム加速質量分析計を使って年代測定を行った (Kitagawa et al., 1993)。

3 結果と考察

3.1 ケステル湖の湖水域の変動

ケステル湖柱状堆積物の層相と60 mesh以上のサイズをもつ植物性残存物の鉛直変化を図2に示した。層相は、粘土、粘土-シルト及びシルトの互層であった。その粒度組成から、湖水域の変動を判断すると、500 cmが示す過去から現在に至るまでのケステル湖は、滞水状態を維持し続けてきたことになる (竹村ら, 1994)。しかしながら、前に述べたように、この湖は、現在すでに水を失って陸地化してしまっているのである。このことは、粒度組成からだけでは湖水域の変化を追うことは、不可能であることを示している。そこで、植物性残存物 (以後、植物片) の存在量をみてみよう。その量は、植物量の乏しさを反映して、多いところでも75 mg/dry sed. であった。この量は、日本の湖のそれと比較すると極めて低い値である。深さ500 cmの層から70 cmの層までの間では、植物片量は少なく、大きな変動はみられない。しかし、70 cm層から表層に向かって著しい増加が認められた。この植物片の存在量の変化から、500 cm層から70 cm層の間、ケステル湖は、ほとんど変わら

ず、ある滞水状態を維持していたが、約70 cm層の時期から、その湖水域は次第に縮小していき、現在みるような陸地化にいたったと考えられる (西村・三田村, 1995)。このことは、70 cm層より以浅の高分子脂肪酸の存在量からも支持される。例えば、約40 cm層において、70 cm層以深で見られた、約5倍近くもの高分子脂肪酸 (760 μg/100g dry sed.) が存在していた (図3)。これは明らかに、ケステル湖が滞水状態から湿原へと移行することによって、多くの維管束植物が進入してきたことによると解釈される。

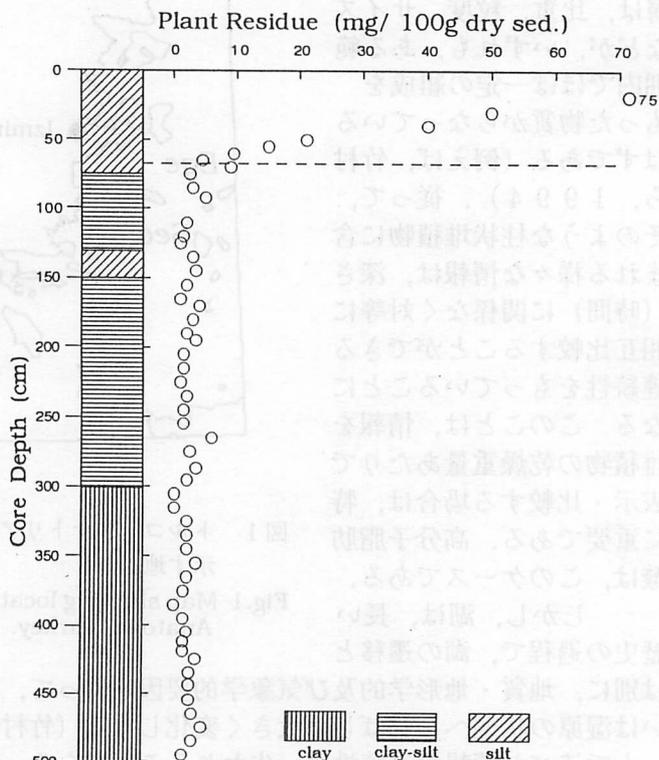


図2 ケステル湖から掘削した5m柱状堆積物試料の層相と、そこに含まれる60 mesh以上のサイズを持った植物性残存物の鉛直分布。点線は、湖水域が大きく縮小し始めた時期を示す。

Fig.2 Sedimental facies of a 5 m sediment core sample from Lake Kestel in Turkey and vertical profile of plant residues larger than 60 mesh in size in the core. The dashed line shows when water area of the lake started to shrink.

60—70 cm (65 cm) 層の年代測定の結果 4900 ± 80 yr B.P. の年代が得られた。つまり、約5,000年前以降から、ケステル湖の湖水域の縮退が始まったとみなされる。以後、65 cm層を湖水域縮退点と呼ぶことにする。

3. 2 高分子脂肪酸の変動とそれを支配する環境要因

図3に、5 m柱状堆積物における高分子脂肪酸の鉛直分布を示した。上に述べたように、湖水域縮退点を境界として、ケステル湖の堆積環境は大きく変化をしているので、65 cmから表層にいたるまでの堆積層における高分子脂肪酸の結果は、65 cmより深のそれらとは対等に比較することはできないと考えられる。従って、比較的安定した滞水状態にあった65 cmから500 cmの層間の結果に限定して考察を行う。

高分子脂肪酸の存在量は高くても約 $300 \mu\text{g}/100\text{g dry sed.}$ と、日本の湖底堆積物のそれに較べると極めて低い値であった。これは、アナトリア高原がおかれてきた乾燥気候と、それに起因した植物量の乏しさを反映しているにちがいない。しかしながら、その存在量は、 $0 \mu\text{g}$ から $300 \mu\text{g}$ の間で大きく変動していた(図3)。主な特徴を以下の4点にまとめることができる。

- ① 500 cm層に近い所では、 $100 \sim 300 \mu\text{g}$ の高分子脂肪酸が存在するが、その後、突如として全く検出されなくなる。そのような状態が350 cm層まで続く。
- ② 350 cm層を過ぎてから、途中大きく変動しながらも、存在量は次第に増加し、180 cm層付近で約 $180 \mu\text{g}$ にまで達していた。
- ③ 130 cm層から85 cm層に至る間で、 $140 \mu\text{g}$ から $220 \mu\text{g}$ へと大きな増加がみられる。
- ④ 85 cm層から湖水域縮退点の間で、 $220 \mu\text{g}$ から $100 \mu\text{g}$ へと急速な減少が起こっている。

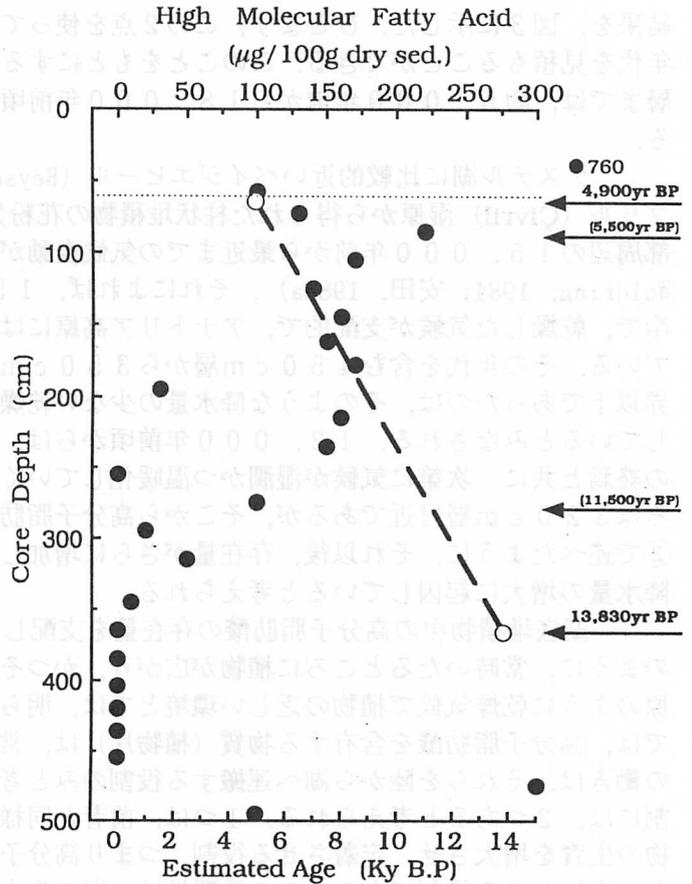


図3 ケステル湖柱状堆積物試料における高分子脂肪酸の鉛直分布と堆積速度。
○は ^{14}C -年代測定法で決定された。
細い点線は、湖水域が大きく縮小し始めたときを示す。

Fig.3 Vertical distribution of high molecular fatty acids in a 5 m sediment core sample from Lake Kestel in Turkey and sedimentation rate of the core.
Circles show the ages determined by ^{14}C -dating.
The dotted line shows when water area of the lake started to shrink.

このような湖底堆積物中の高分子脂肪酸の存在量を支配している環境要因として、高分子脂肪酸保持物質を、周辺の陸上から湖へ運搬する力、つまり降水量（降雨・降雪量）の変動の寄与がもっと大きいということが三方湖柱状堆積物の結果から示唆された。（西村・三田村，1995）．これによって、ケステル湖で見られた、上記の4つの特徴的变化を説明しうるか否かを検討した．

まず、60—70 cm層、及び320—330 cm層の2層についての年代測定の結果を、図3に示した．ひとまず、この2点を使って、5 m柱状堆積層の各地点における年代を見積もることができる．このことをもとにすると、5 m層から湖水域縮退点の堆積層までは、約5,000年前から18,000年前頃までの時代に対応していることになる．

ケステル湖に比較的近いベイジエヒール (Beyşehir) 湖、アジ (Aci) 湖、及びチブリル (Çivril) 湿原から得られた柱状堆積物の花粉分析をもとに、アナトリア高原南西部周辺の15,000年前から最近までの気候変動が論じられている (Bottema and Woldring, 1984; 安田, 1988a)．それによれば、15,000～12,000年前は寒冷で、乾燥した気候が支配的で、アナトリア高原にはステップが広がっていたと報告されている．その年代を含む450 cm層から350 cm層にかけて、高分子脂肪酸が検出限界以下であったのは、そのような降水量の少ない乾燥化とそれに伴う植生の乏しさを反映しているとみなされる．12,000年前頃からは、よく知られているように、最終氷期の終焉と共に、次第に気候が湿潤かつ温暖化していく．12,000年前に対応するところは320 cm層付近であるが、そこから高分子脂肪酸量が明らかに増加し始めている．②で述べたように、それ以後、存在量がさらに増加していくのは、温暖化と共に進行した降水量の増大に起因していると考えられる．

湖底堆積物中の高分子脂肪酸の存在量を支配している降水量の役割は、日本の自然のように、常時いたるところに植物が広がり、かつその量が豊かな環境と、アナトリア高原のように乾燥気候で植物の乏しい環境とでは、明らかな違いがあると考えられる．前者では、高分子脂肪酸を含有する物質（植物片）は、常に陸上に蓄積されているので、降水の働きは、それらを陸から湖へ運搬する役割のみと考えられる．一方、後者での降水の役割には、2つあると考えられる．1つは、前者と同様、運搬手段である．もう1つは、植物の生育を増大させ、定着させる役割、つまり高分子脂肪酸を保持している植物片量を陸上に増加させる役割である．この重要性は、湖の集水域に、植生ヤリター（落葉枝）が極めて乏しいアナトリア高原一帯の自然を、実地検分することによって実感させられる．

以上のことから、②の高分子脂肪酸量の増加傾向は、主として、降水量の増加による、その2つの効果を反映した結果であると考えられる．③と④の変化が見られた、130 cm層から湖水域縮退点までは、6,700年前頃から4,900年前頃に当たり、ほぼヒプシサーマル（6,500～5,000年前）の期間に対応している．この時代のアナトリア高原は、かなり暑く、かつ乾燥化した気候になっていたと報告されている（安田, 1988a）．しかし、③の変化、つまり130 cm層から85 cm層（6,700年前から5,500年前）にかけての高分子脂肪酸の大きい増加傾向を引き起こした要因を、アナトリア高原のあの暑く、乾燥した環境条件で説明することは極めて難しい．少なくとも、乾燥的な条件であったとは考え難い．むしろ、上記した降水の2つの働きが効果的に現れる降水量の増加（湿潤化）があったと判断せざるを得ない．これに対し、④の変化、すなわち、85 cm層から湖水域縮退点（5,500年前から4,900年前）までの間の高分子脂肪酸の急減傾向は、③の場合とは反対に、降水量がかなり減少（乾燥化）することによって引き起こされたと考えられる．このような比較的急速に進行したと思われる気候の乾燥化は、それ以後、ケステル湖の湖水域が縮退していったということとよく調

和する。以上の③と④についての考察は、しかしながら、約5,000年前、北緯35度を境として、気候の乾湿が逆転したという説(安田, 1988b)とは相入れない。その説では、アナトリア高原を含む、北緯35度以北において、ヒプシサーマルの高温期は、乾燥気候であったが、約5,000年前を境として気候は冷涼・湿潤化したとされる。この不一致は、そのような気候変動が起きた領域についての予備的な線引きから来る問題と考えられる。

4 まとめ

トルコのアナトリア高原西南端に位置したケステル湖から得た、5mの柱状堆積物を対象として、降水量の変動についての情報をもたらしうると考えられる高分子脂肪酸の分析を行った。その結果と、アナトリア高原一帯の花粉分析をもとに、既に報告されている、15,000年前から5,000年前の間の湿潤・乾燥度の変動とを対比し、両者に相関があるか否かについて検討を行った。その結果、次のことがわかった。

- (1) 最終氷期末期の、まだ寒冷・乾燥化が強かった15,000年前から13,000年前の堆積層における高分子脂肪酸は、いずれも検出限界以下であった。
- (2) 最終氷期の終焉をむかえ、温暖湿潤化が始まる約13,000年前以降から、高分子脂肪酸が検出できるレベルとなった。
- (3) 約12,000年前頃からの温暖・湿潤化傾向の増大と共に、高分子脂肪酸量は全体として増加の一途を辿り、約8,000年前頃には1つの最高値に達した。
- (4) ヒプシサーマル期(6,500~5,000年前)のアナトリア高原一帯は、一般的に高温で乾燥していたといわれている。しかし、6,500年前から5,500年前頃までに対応する堆積層において、高分子脂肪酸の著しい増加傾向が認められたことから、当時のケステル湖周辺は、湿潤な気候であったと考えられた。
- (5) ヒプシサーマル期の後半、5,500年前から以降、反転して高分子脂肪酸の急激な減少が認められた。これは、この時期から、ケステル湖周辺の急速な乾燥化が進行したことを示唆した。5,000年前頃からケステル湖の湖水域が大きく後退していったのは、この乾燥化が原因となった、と考えられた。

上記の(1)、(2)及び(3)から高分子脂肪酸の存在量の変動と、気候の湿潤・乾燥度の変動とがよく相関していることが解った。一方、ヒプシサーマル期及びそれ以降において、これまで言われてきた北緯35度を境としたアナトリア高原一帯の湿潤・乾燥度の変動と、高分子脂肪酸から考えられるそれとは、相入れないことが解った。しかし、気候変動の境界線としておかれた北緯35度線は、議論のための1つの目安であって、ケステル湖周辺のようにそこから外れるケースがでてきてもおかしくはない。

以上、ケステル湖の柱状堆積物中の高分子脂肪酸の存在量の変動も、基本的に降水量の変化と対応させて説明することが可能であることがわかった。この柱状堆積物に記録されている情報の解読について、今後、さらに化学分析及び年代測定が進められ、より詳細な議論がなされよう。

引用文献

- Bottema S. and Woldring H. (1984) Late Quaternary vegetation and climate of southwestern Turkey. *Palaeohistoria* 26, 567-580.
- Kitagawa H., Masuzawa T., Nakamura T., and Matsumoto E. (1993) A batch preparation method for graphite targets with low background for AMS ^{14}C measurements. *Radiocarbon* 35, 295-300.
- Nishimura M. and Baker E. W. (1987) Compositional similarities of non-solvent extractable fatty acid from recent marine sediments deposited in differing environments. *Geochim. Cosmochim. Acta* 51, 1365-1378.
- 西村弥亜・三田村緒佐武 (1995) 有機分子が記録する環境変動を読む. 講座「文明と環境」第1巻 (監修: 梅原猛, 伊東俊太郎, 安田喜憲) 朝倉書店 東京 (印刷中).
- 竹村恵二・北川浩之・林田明・安田喜憲 (1994) 三方湖・水月湖・黒田低地の堆積物の層相と年代. *地学雑誌* 103, 233-242.
- 安田喜憲 (1988a) 森林の荒廃と文明の盛衰. 131-175. 思索社 東京.
- 安田喜憲 (1988b) 5000年前の気候変動と古代文明. *科学* 58, 468-476.

Fluctuations of the Concentrations of High Molecular Fatty Acids in Core Sediments from a Lake and Paleoenvironmental Changes

– A case study of a sediment core from Lake Kestel in Anatolia, Turkey –

Mitsugu NISHIMURA¹, Hiroyuki KITAGAWA², Osamu MITAMURA³,
Toshiho NAKAMURA⁴, Aphmet YAINUS⁵, Yoshinori YASUDA²

¹Marine and Science Technology, Tokai University

²International Research Center for Japanese Studies

³Division of Natural Science, Osaka Kyoiku University

⁴Dating and Materials Research Center, Nagoya University

⁵Faculty of Science, Ege University, Bornova, Izmir, Turkey

From a previous study of a 100m sediment core from Lake Mikata in Japan, it was strongly suggested that the concentrations of high molecular fatty acids (HMFAs) in core sediments can provide information of precipitation for paleoclimatic reconstructions. In order to investigate the possibility that this is also true for core sediments deposited under quite different lacustrine environments from those of Lake Mikata, we obtained a 5m sediment core from Lake Kestel in southwestern Anatolia, Turkey with very low precipitation and poor vegetation, and analyzed for HMFA in the ¹⁴C-dated sediment samples.

In the present report, we discussed the correlation between the fluctuations of HMFA concentrations and the paleoclimatic changes, particularly precipitation, in Anatolia from 15,000yr B.P to 5,000yr B.P, based on pollen record (Bottema and Woldring, 1984; Yasuda, 1988a). The following findings are remarked:

- (1) No HMFA was found in the sediments with the estimated ages of 15,000yr B.P to 13,000yr B.P, corresponding to the end of the last glacial event, in which the climatic conditions were still strongly cold and dry.
- (2) HMFAs had been getting detectable after ca. 13,000yr B.P, from which precipitation and temperature started to increase.
- (3) As the climatic conditions got warmer and wetter since ca. 12,000yr B.P, the concentrations of HMFAs increased with age and reached a maximum level around 8,000yr B.P.
- (4) During the hypsithermal event (6,500yr B.P ~ 5,000yr B.P), it is thought that the paleoenvironment of Anatolia was considerably dry under a high temperature (Yasuda, 1988a). This consideration was discrepant from our HMFA result in the core sediments from 6,500yr B.P to 5,500yr B.P. In the sediment interval, the amounts of HMFAs increased substantially, indicating that a relatively high precipitation occurred in the district around Lake Kestel at that time.
- (5) On the contrary, the HMFA concentration showed a striking decrease between ca. 5,500 and 5,000yr B.P. The fact should reflect a rapid climatic change from wet to dry conditions during such a short period of time. This interpretation reasonably agrees with our finding that the water area of Lake Kestel continued to shrink toward drying-up since ca. 5,000yr B.P.

Based on the findings, we concluded that there is a strong correlation between the fluctuations of HMFA concentrations in the core sediments from Lake Kestel and changes of precipitation from 15,000yr B.P to 5,000yr B.P.