

## 湖沼年縞堆積物に記録された最終氷期以降の急激な気候・海水準変動

福沢仁之<sup>1)</sup>・加藤めぐみ<sup>1)</sup>・山田和芳<sup>1)</sup>・藤原 治<sup>2)</sup>・安田喜憲<sup>3)</sup>

- 1) 東京都立大学大学院理学研究科地理学専攻  
〒192-03 八王子市 南大沢 1-1  
Tel:0426-77-2605; Fax: 0426-77-2589
- 2) 動力炉核燃料開発事業団東濃地科学センター  
〒509-51 岐阜県土岐市泉町定林寺 959-31  
Tel:0572-53-0211; Fax:0572-55-4114
- 3) 国際日本文化研究センター  
〒610-11 京都市西京区御陵大枝山町3丁目2番地  
Tel:075-335-2150; Fax:075-335-2090

キーワード：年縞堆積物，湖底堆積物，東郷池，気候変動，海水準変動，人間活動

### 1. はじめに

160万年前に始まる第四紀には、人類が大きく進化して高度な人間社会を構築してきた。このように人類が進化した背景には、ヒマラヤ・チベット山塊の上昇などともなう氷期-間氷期サイクルの成立などの自然環境の変動が大きな影響を与えたと考えられている。しかし、人類の生活の場である自然環境には、約8万年前にはじまる最終氷期から現在にかけて、人類の生存を危うくする突然かつ急激な気候変動が繰り返し生じていることが最近明らかになった。これらの気候変動が人類の生存にいかなる影響を与え、これに対して人類が自然環境に対していかなる働きかけをしたかを解析することは、人類が人間社会を維持するパラダイムを構築しつつ、将来歩む道を考えるうえで重要である。

最終氷期以降にはどのような気候変動が生じているのであろうか？高緯度に位置するグリーンランドや南極の氷床には過去の気候変動が精緻かつ連続的に記録され、突然かつ急激な気候変動が約1,000年スケールで何回も生じていたことが最近明らかになった。一方、人類の大部分が生活する中・低緯度地域においても、人間がその人生にうちに容易に経験できる期間で気候変動や海面変動が突然かつ急激に生じていることが明らかになりつつある。これらの急激な環境変動を記録しているものは「堆積物」である。とくに、日本列島の汽水湖沼で発見された「年縞 (non-glacial varve)」は、過去数万年間にわたる気候・海水準変動を季節～1年単位で記録していることが明らかになった。また、この年縞堆積物を用いた年代測定、すなわち年縞編年学が日本でも行われるようになって、気候・環境変動のイベント以外にも火山噴火、地震、洪水などの自然災害イベントの年代測定にも応用され、それらの再来周期から災害予測が可能になりつつある。

先史時代の人類史あるいは歴史時代の人間活動の中には、自然環境の変動がトリガーとなって引き起こされた「文化(文明)の画期」というものがあることが、堆積物中に含まれる花粉やプラントオパールなどから復元されている。これに対して、自然環境変動を記

録している堆積物の年代は、人類学・考古学・歴史学の求める年代スケールより大まかなものであり、堆積物による年代論は人間活動イベントとの時間的前後関係あるいは因果関係を検討するには未熟であるとの反論がある。しかしながら、タンデトロン加速器質量分析による $^{14}\text{C}$ 年代は数万年前の有機質試料でも数10年の誤差で正確な年代が測定されており、前述した年縞堆積物による編年学も含めて、過去の遺物を含む堆積物の年代が人類学・考古学・歴史学の年代スケールで議論が可能となっている。

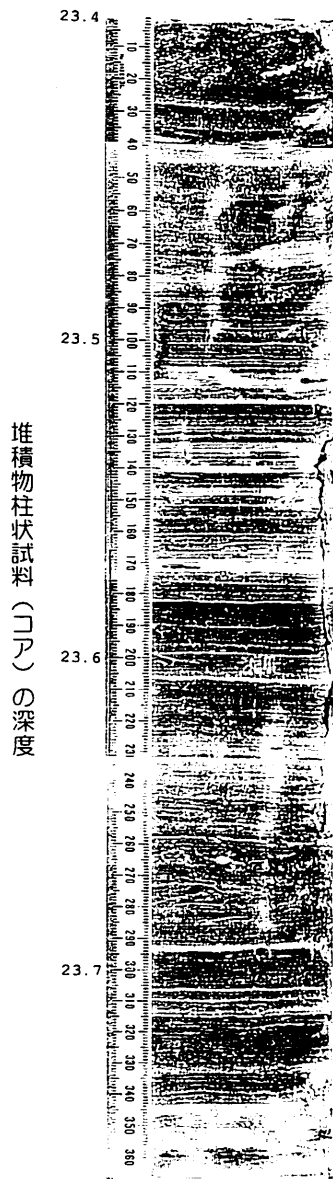
ここでは、過去数万年間の自然環境を季節～1年単位で記録した年縞堆積物について紹介する。つぎに、年縞堆積物を用いて、最終氷期以降のグローバルな気候・海水準変動がいかにか突然かつ急激であったかを明らかにする。最後に、このグローバルな変動が日本の縄文文化の発展に影響を与えた可能性について考察してみたいと思う。

## 2. 天然の時計としての湖沼年縞堆積物—鳥取県東郷池—

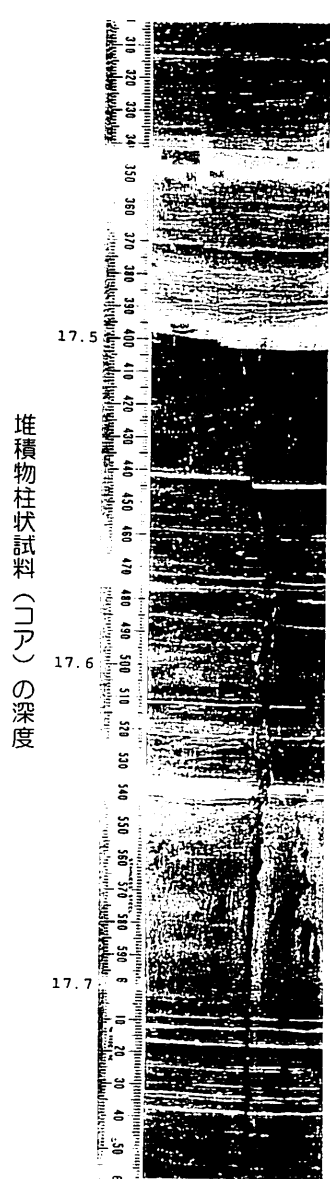
東郷池は鳥取県倉吉平野東縁の日本海沿岸に位置して、面積 $4.1\text{km}^2$ 、平均水深 $2.0\text{m}$ （最大水深 $5.0\text{m}$ ）の浅い汽水湖沼である。1992年に文部省科学研究費補助金による重点領域研究「地球環境の変遷と文明の盛衰」研究班（代表：安田喜憲国際日本文化研究センター教授）によって、ピストン式シンウォールサンプラーで全長 $40\text{m}$ の堆積物柱状試料（コア）が連続的に欠層なく採取された。採取位置は北緯 $35$ 度 $28$ 分 $58$ 秒、東経 $133$ 度 $55$ 分 $23$ 秒、水深 $2\text{m}$ の湖底である。この堆積物コアを垂直方向に半分割したところ、その断面の大部分にバーコードのような明暗の縞模様のリズミカルな繰り返しを観察された<sup>(1)</sup>（図1）。この縞模様の堆積物（深度 $6.2\text{m}$ ～ $24\text{m}$ の部分）は全体として粘土からシルトサイズの細粒なもので、一部に砂礫層、火山灰層および洪水イベント層を挟んでいた。とくに、深度 $19.74\text{m}$ ～ $19.76\text{m}$ の火山灰層は鬼界アカホヤ火山灰（K-Ah）に同定されている（京都大学の竹村恵二助教授からの私信）。この縞模様は厚さ約 $0.5\text{mm}$ から数 $\text{mm}$ 程度のラミナ（葉理）であり、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（図2）。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.の休眠胞子が濃集することがある。この休眠胞子は $\text{NO}_3^-$ の欠乏などの生育環境の悪化によって栄養細胞を作らず、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、休眠胞子の形成は冬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（ $\text{FeS}_2$ ）あるいは炭酸塩鉄鉱物である菱鉄鉱（ $\text{FeCO}_3$ ）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・沈澱したものである。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胞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鉄鉱濃集部分は夏季に、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」<sup>(2)</sup>と考えられる。

そして、明暗ラミナの1セットが1年間に堆積したものであるかどうかを裏付けるために、光学顕微鏡下での薄片観察に基づいたラミナ枚数計測による暦年代値（現在を0年として何年前として表現される）と $^{14}\text{C}$ 年代測定値から求められた暦年代値の比較を行ったところ



深度23.40m~23.76m



深度17.40m~17.76m

堆積物柱状試料（コア）の深度

堆積物柱状試料（コア）の深度

再堆積した  
火山灰層

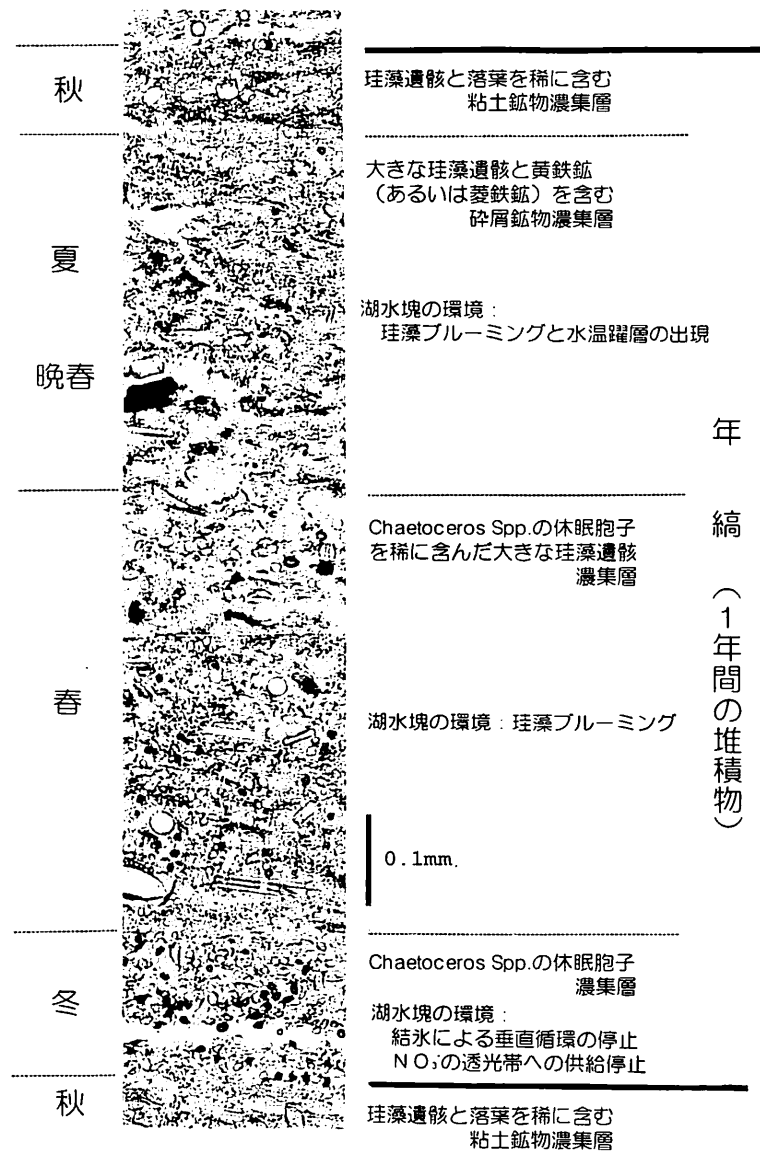
火山灰層

火山灰層

洪水  
イベント層

図1：東郷池で発見された年縞堆積物とそれに挟まれる火山灰層と洪水イベント層

東郷池の年縞堆積物（19・6200~19・6212メートル）



秋

珪藻遺骸と落葉を稀に含む  
粘土鉱物濃集層

夏

大きな珪藻遺骸と黄鉄鉱  
（あるいは菱鉄鉱）を含む  
碎屑鉱物濃集層

晩春

湖水塊の環境：  
珪藻ブルーミングと水温躍層の出現

春

Chaetoceros Spp.の休眠胞子  
を稀に含んだ大きな珪藻遺骸  
濃集層

湖水塊の環境：珪藻ブルーミング

冬

Chaetoceros Spp.の休眠胞子  
濃集層

湖水塊の環境：  
結水による垂直循環の停止  
NO<sub>3</sub>の透光帯への供給停止

秋

珪藻遺骸と落葉を稀に含む  
粘土鉱物濃集層

年  
縞  
（1年間の堆積物）

0.1mm.

図2：年縞の薄片写真とその形成時期

良い一致が認められた<sup>(1)</sup> (図3)。すなわち、東郷池湖底堆積物に認められる明暗ラミナ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たわけである。

このように、東郷池の年縞堆積物の解析によって、1年、数年あるいは数10年単位で古環境の復元が可能となる過去36,000年間の「ものさし」をわれわれは手にいれたわけである。このような年縞は福井県水月湖(45,000年間)、青森県小川原湖(3,000年間)などの汽水湖沼から発見されている。今後も多くの年縞堆積物が日本列島周辺の汽水湖沼には認められるに違いない。

### 3. 過去36,000年間の突然かつ急激な気候・海水準変動

過去36,000年間に連続して堆積して、しかも1年間の堆積物が認識できる年縞堆積物を使って、日本列島周辺における突然かつ急激な気候・海水準変動を復元してみる。日本人の起源およびその行動パターンを規定する風土はモンスーンであるといわれている。たとえば、東アジアの自然かつ人間的風土の中心をなすものの一つとして稲作農耕をあげることができる。稲作農耕には夏季の湿潤で高温な条件が必要である。これをもたらすものが小笠原高気圧から中国大陸内部へ流入する夏季の南東モンスーンである。一方、シベリア高気圧から東アジアの吹き出す冬季の北西モンスーンはより寒冷で乾燥的な気候条件を引き起こしている。この夏季と冬季のモンスーンの変動を例として過去36,000年間の気候変動を検出することを試みた。

ところで、モンスーン変動は堆積物の何をみることによって検出できるのであろうか？夏季モンスーンによって湿潤な空気が海洋から日本列島や中国大陸内部へ運搬されると、日本列島では土壤中の粘土鉱物の水和による分解が、大陸内部の乾燥地域では植生が生まれその有機物質の集積によって土壌化がそれぞれ進行する。土壤中の粘土鉱物の水和分解は粘土鉱物の一種であるイライトの結晶度<sup>(3)</sup>を、乾燥地域での土壌化は堆積断面における明度(L\*)<sup>(4)</sup>をそれぞれみることによって明らかにできる。イライトの結晶度はX線回折パターンのピークの半価幅値を使い、その値が大きければ不良であり小さければ良好であるという。一方、明度のL\*は黒を0として白を100とした数値であり、いわゆるグレースケールである。冬季モンスーンによって大陸から日本列島、日本海や太平洋などの運搬されてくるものに風成塵がある。日本海側で春先によくみられる「黄砂」も風成塵である。冬季モンスーンの強化と夏季モンスーンの弱化によって大陸内部は寒冷かつ乾燥化して、植生が生育できず裸地が広がる。そうすると、砂嵐によって碎屑粒子が容易の巻上げられて、冬季モンスーンや偏西風によって日本列島などに運搬されてくるわけである。とくに、日本上空における風成塵鉱物の主体はイライトと石英である。すなわち、イライトや石英の過去の降下量を調べれば、大陸内部が寒暖かつ乾湿変動を明らかにできるわけである。

現在、人間活動とくに先進国のCO<sub>2</sub>排出にともなう地球温暖化によって、海面が急激に上昇することが予想され、地形的起伏の小さいサンゴ礁の島々が水没する危険があることが国際的な問題となっている。東郷池の年縞堆積物を使って、過去36,000年間の海水準変動が復元できるのであろうか？東郷池は汽水湖沼であるため、もし海水準が低下すれば、日本海からの海水の流入は減少あるいは停止して淡水化することは容易に想像できる。もし復元できるならば、海水準変動の指標として何が使えるのだろうか？年縞の暗色ラミナを構成する鉄鉱物の組成とその量が指標となる。黄鉄鉱は淡水に比べて海水に膨大に含まれる硫酸イオン(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)を使う硫酸還元が生ずる場合に、菱鉄鉱は淡水に比べて海水に膨大に含まれるカルシウムイオンが存在しない場合に、それぞれが晶出・沈殿する。すなわち、海水が東郷池に流入しない淡水環境下では炭酸鉄鉱物である菱鉄鉱が、海水が流入する汽水環境下では硫化鉄鉱物である黄鉄鉱が晶出して沈殿する。黄鉄鉱と菱鉄

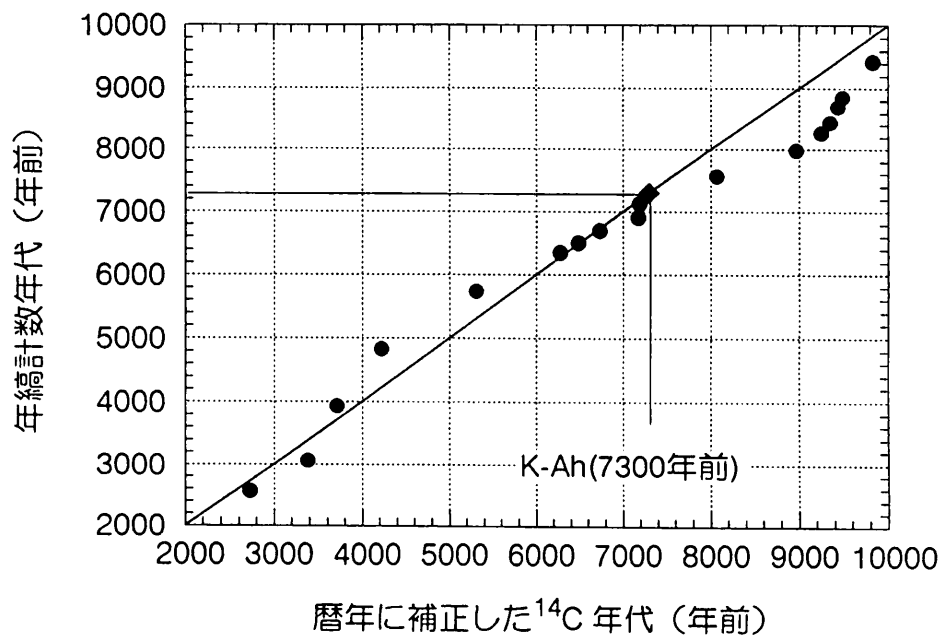


図3：年縞の枚数計測による年代と<sup>14</sup>C年代の比較

鉍の量の変動を過去36,000年間にわたる東郷池年縞堆積物で検出できれば、それは1年～数年単位での海水流入量の変化ひいては海水準変動を示している。

東郷池における過去36,000年間の年縞堆積物のイライト結晶度、黄鉄鉍（全硫黄量として表現）、菱鉄鉍量の変動と洪水イベント層の層準とその層厚を図4に示す。また、グローバルな変動の例としてグリーンランドの氷床コアにおける酸素同位体比変動曲線（GRIP）<sup>(5)</sup>を、中国大陸内部の夏季モンスーンの強さを示す土壌化の指標としてレスー古土壌堆積物の明度変化<sup>(6)</sup>を図3中に加えた。暦年代での1万年前以前に比べてそれ以降のイライト結晶度はより不良であり、黄鉄鉍量はより急激に増加して、洪水イベント層が出現している（図4）。これは最終氷期末から完新世にかけての夏季モンスーンの強化による降水量の増加と海水準の急激な上昇による東郷池への海水の顕著な流入を示している。一方、完新世以降に比べて最終氷期における菱鉄鉍量は多くなっており、最終氷期における東郷池は淡水環境下であったものと推定される。しかしながら、これら以上に驚くべきことは1万年前以前の最終氷期において、夏季モンスーンが突然活発化してイライト結晶度が急激に不良になる層準や海水が突然侵入して黄鉄鉍量が突然かつ急激に増加する層準が認められることである。東郷池の年縞堆積物に関する分析がまだすべて終了していないが、突然かつ急激な気候・海水準の変動が最終氷期に存在したことは驚異である。また、これらの変動傾向はグリーンランド氷床コアの酸素同位体比変動や蘭州のレスー古土壌の土壌化とは同一の変動形態でしかも同一時期に生じている。これらの東アジアでの過去のモンスーン変動記録に急激な寒の戻りであるヤングドリラス期や北大西洋の融氷イベントであるハインリッヒイベント1～4が認められたことは、これらのイベントを規定するダンスガード・オシュガーサイクル<sup>(5)</sup>とその変調であるボンドサイクル<sup>(7)</sup>が高緯度のみならず中・低緯度で認められることを示している。

冬季モンスーン変動の指標として石英量を選んで、最終氷期から完新世にかけての寒暖の繰り返しとモンスーン変動との関係について試みる。風成塵として上空から降下する石英フラックスを堆積物から正確に読み取ることはなかなか難しいと考えられていた。その理由は単位時間かつ単位面積当たり降下する石英量を見積もることは現代の気象観測では容易であるが、単位時間当たりの堆積物を認定することが困難であったためである。しかし、年縞堆積物の発見によって、季節～年単位の堆積物が認定できるので、単位時間当たりの石英フラックスが求めることが可能となった。東郷池の年縞堆積物に認められる石英フラックスの変動から、ヤングドリラス期およびその前後の最古ドリラス期から完新世にあたる変動も検出できた<sup>(8)</sup>（図5）。ヤングドリラス期の暦年代はグリーンランド氷床コア（GISP2）<sup>(9)</sup>で12,890年前から11,650年前<sup>(10)</sup>であるのに対して、東郷池年縞堆積物で認められるヤングドリラス期の暦年代は約13,200年前から約11,500年前である。また、最古ドリラス期からベーリング期の温暖化もGISP2では14,670年前であるのに対して、東郷池年縞堆積物では約14,800年前である。このように、高緯度の氷床コアに比べて中緯度の湖沼コアにおける最終氷期から完新世にかけての変動が時期的に先行していることは、大西洋中緯度域の表層水温や大気中のメタン濃度などの変動と同様に、ダンスガード・オシュガーサイクルなどの突然かつ急激な変動の原因が中～低緯度域における大気循環変動にある可能性<sup>(11)</sup>を支持する。

最後に、グリーンランド氷床コアの酸素同位体比をみる限りは極めて安定している完新世（過去10,000年間）に、最終氷期までのダンスガード・オシュガーサイクルとその変調であるボンドサイクルが認められるかどうかについて検討してみる（図6）。

東郷池年縞堆積物の菱鉄鉍量、全硫黄量の変動には約8,200～7,800年前、6,800～6,000年前、5,800～5,200年前、4,500～3,600年前、3,000～2,800年前、2,000～1,900年前、約1,300年前、および約500年前に海水準の下降が認められる<sup>(1)</sup>。とくに、東郷池には約8,800年前から海水が本格的に流入して内湾的環境となった後、約8,200～7,800年

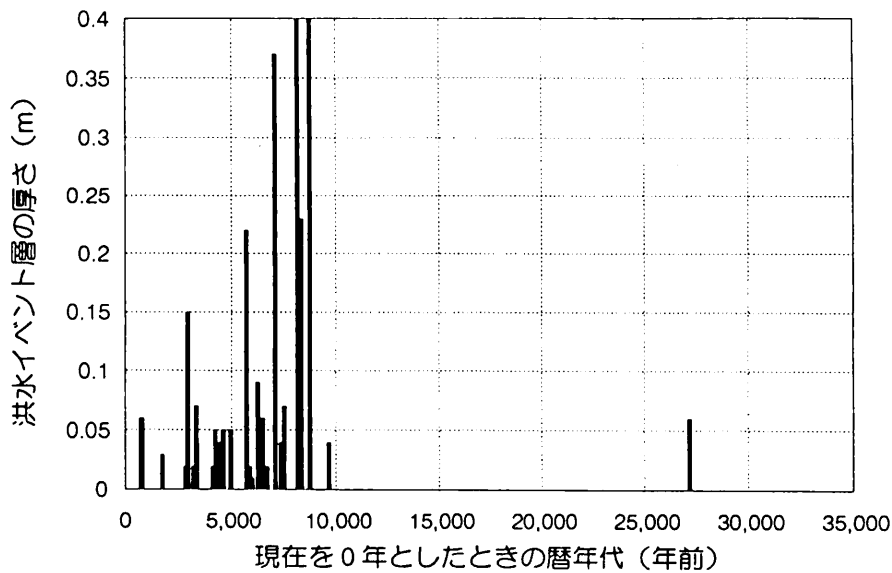
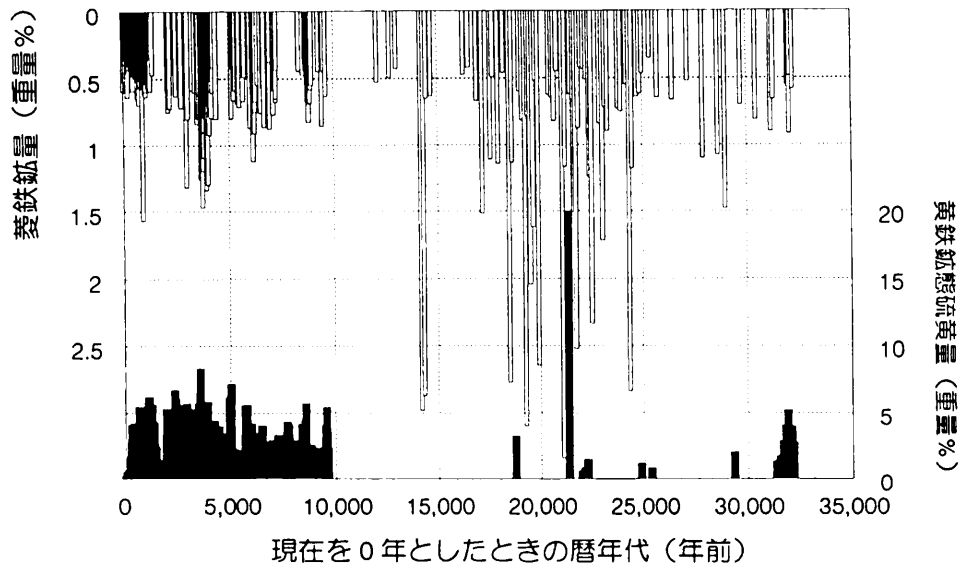
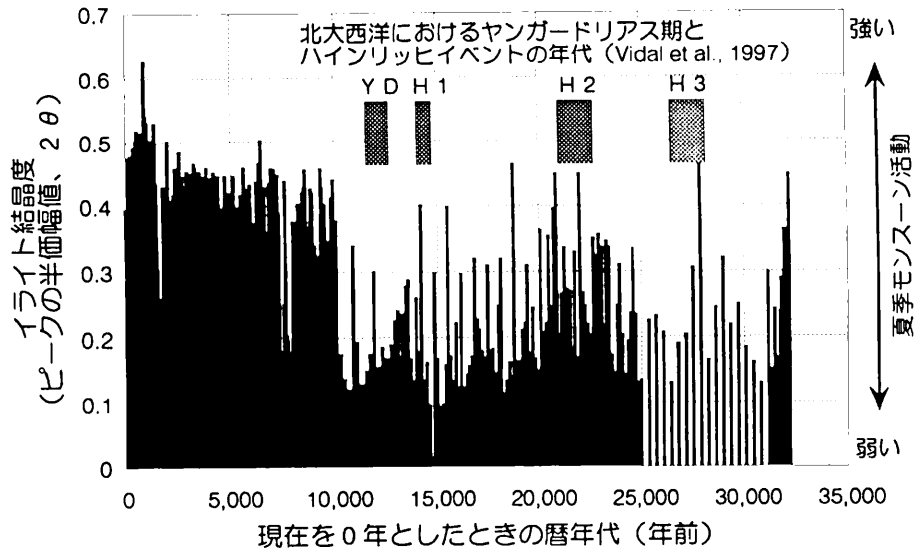


図4 図の説明は、次ページの説明を参照のこと

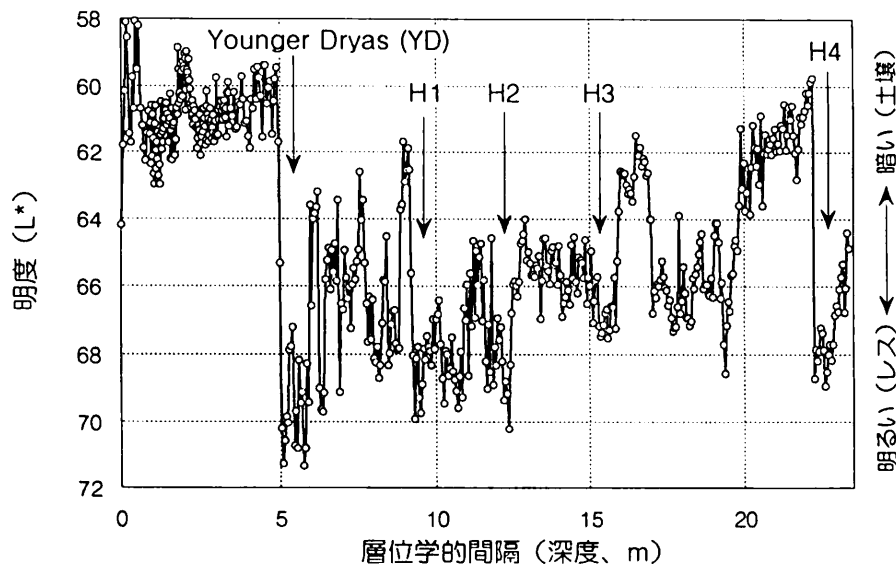
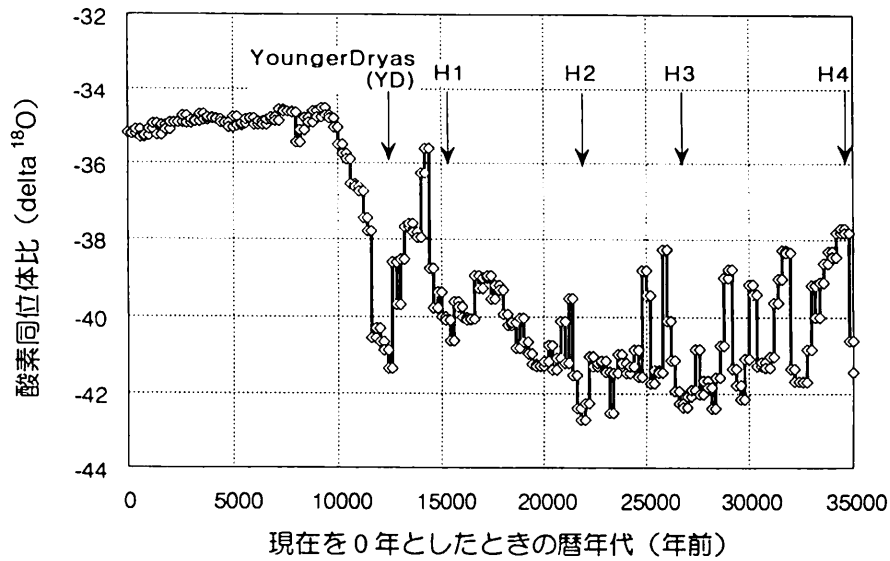


図4：東郷池における過去35,000年間のイライト結晶度、菱鉄鉱量、黄鉄鉱量および洪水イベント層の層厚の変動、グリーンランド氷床コア（GRIP）の酸素同位体比変動、および中国蘭州におけるレス古土壌堆積物の明度変動の関係。蘭州のレス—古土壌堆積物のみ横軸が深度であることに注意。



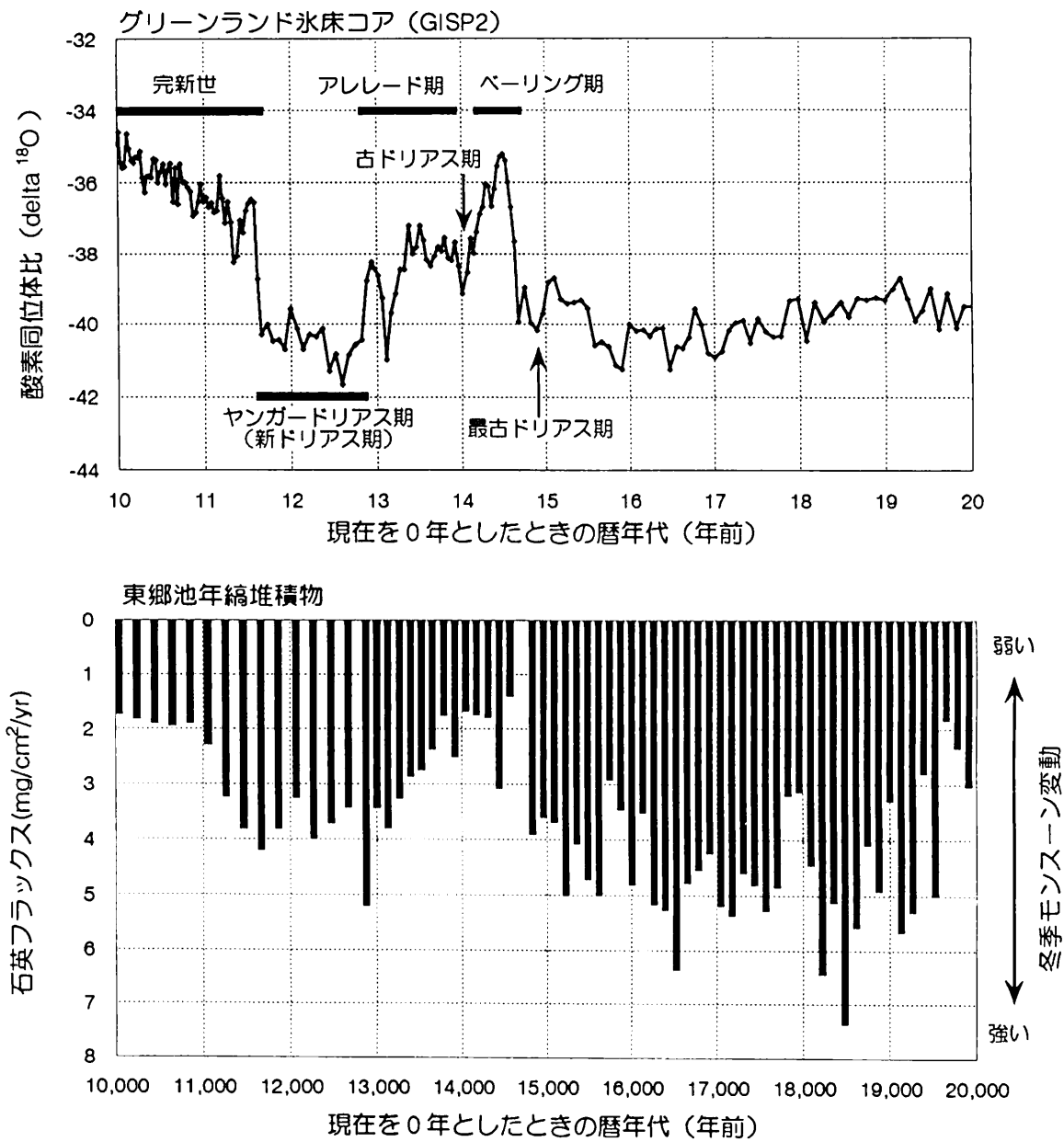


図 5 : 20,000年前から10,000年前までのグリーンランド氷床コア (GISP2) の酸素同位体比変動と東郷池に降下した石英フラックス (1年あたりに 1 cm<sup>2</sup>の面積に降下する重量として表現) 変動.

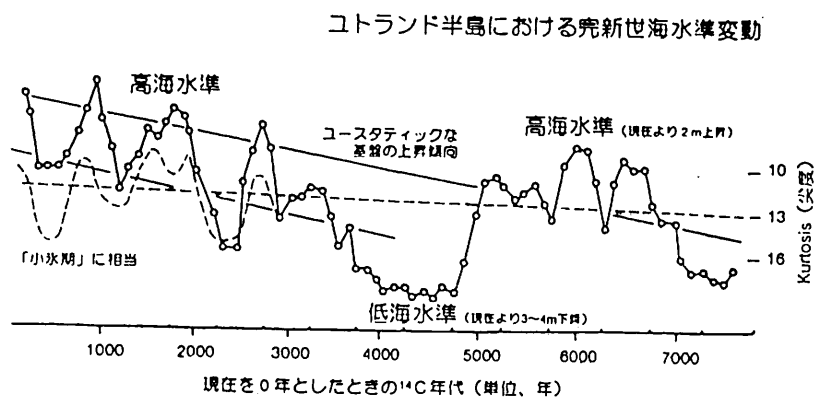
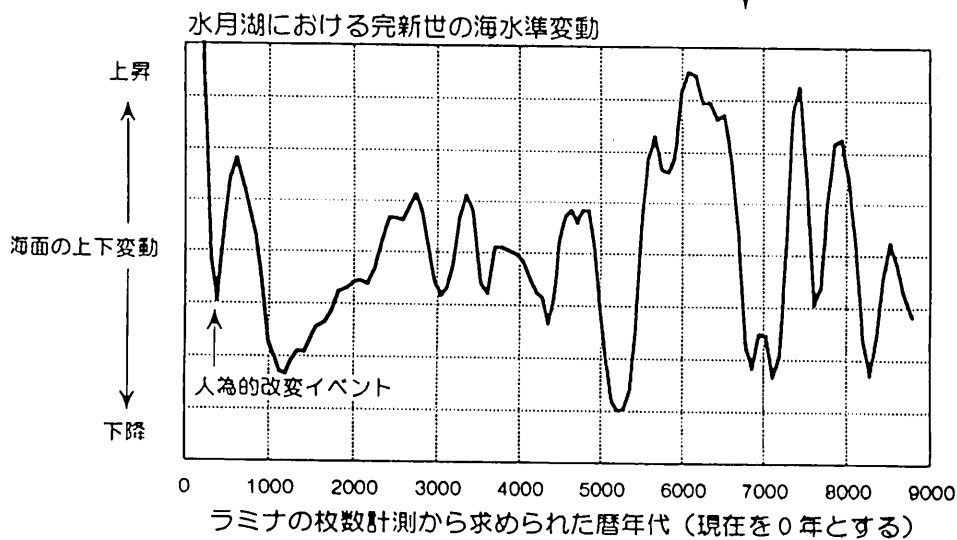
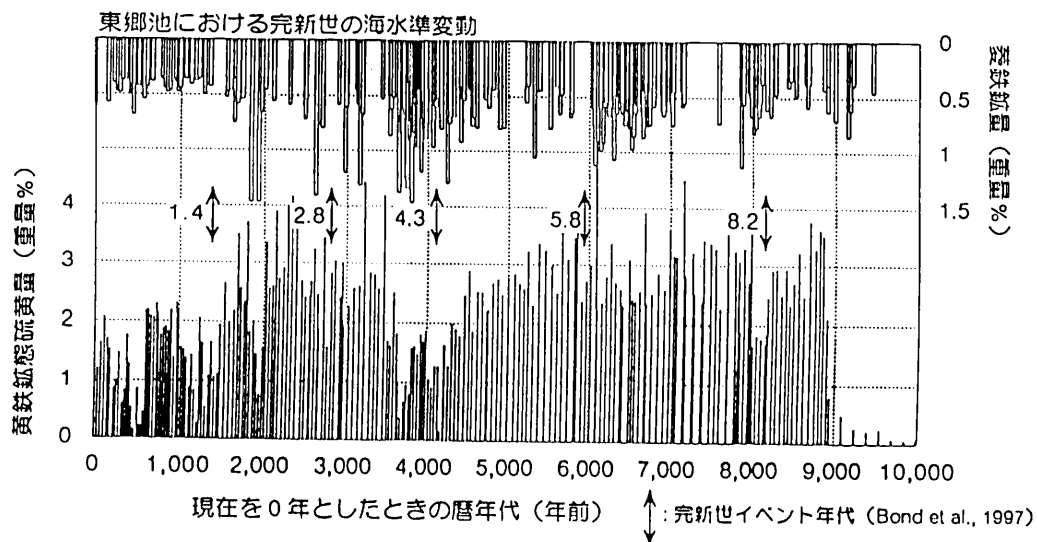


図6：完新世における東郷池年縞堆積物中の菱鉄鉱量と黄鉄鉱態硫黄量の変動と水月湖年縞堆積物とユトランド半島の砂州堆積物の粒径組成 (Tanner, 1993) から検出された完新世海水準変動との対応関係。ユトランド半島の年代は<sup>14</sup>C年代であるため、ほかのグラフの横軸とはキャリブレーション補正を行ってあわせてあることに注意。

前、4,500～3,600年前、2,000～1,900年前、約1,300年前、および約500年前の海水準の下降は顕著なものである。グローバルの海水準・気候変動、日本において考古学に関連して報告されてきた海進・海退と対比すると、顕著な寒冷・海退イベントは古いほうから8.2kaイベント<sup>(12)</sup>、縄文中期の海退、弥生の小海退、古墳寒冷期（古墳の小海退）および小氷期にそれぞれ相当する。これらの年代対比によって、これまで大まかな年代が与えられていた海進・海退イベントに対して暦年代を与えることが可能となった。日本における「縄文海進」と呼ばれる高海水準期にも急激な海水準下降が存在したことが明らかになり、氷床周辺の特異なものとされた北西ヨーロッパにおける細かな海水準変動との同時かつ同質性が裏付けられた（図6）。また、縄文中期の寒冷化は2段階で進行したという説<sup>(13)</sup>も東郷池から得られた2回の海水準の低下を示す結果によってはじめて裏付けられた。

東郷池における完新世の海水準変動を詳細にみると、菱鉄鉱量・全硫黄量ともに鋸歯状の変動パターンを示している。このことは海水準が急激に上昇した後に徐々に海水準が下降したことを示唆する。海水準が気候の寒暖変動による大陸氷床やその周辺の棚氷の消長によって引き起こされるとすれば、気候の温暖化が急激に起こり徐々に寒冷化するという最終氷期後半のハインリッヒイベント、ヤンガードリアス期と類似した変動パターンを示している。すなわち、最終氷期に認められたような1,000年スケールのダンスガード・オシュガーサイクルの変調であるボンドサイクルが完新世においても存在した可能性を示唆する。完新世のボンドサイクルを示すとされる北大西洋への氷山融氷イベントの年代<sup>(14)</sup>と東郷池における海水準下降年代を比較すると、漂出イベントが8,200年前、5,900年前、4,300年前、2,800年前に生じており、その時期には東郷池でも海水準が下降している<sup>(1)</sup>。北大西洋への氷山漂出後、約200年以内に東郷池の年縞堆積物中の黄鉄鉱量は急激に増加し菱鉄鉱量は減少する。これはボンドサイクルの最終段階で寒冷化がピークに達したときに氷山が漂出して、その直後約200年以内に急激な気候の回復と海水準の上昇が起こったことを示している。東郷池年縞堆積物から検出された完新世における海水準の数100年スケール変動は、グローバルな変動と明らかに連動している。

#### 4. 堆積物から読み取れた気候・海水準変動と縄文文化の関係－試論

縄文文化は約1万年間つづいた高度な文化（文明）であり、とくに気候変動に強い影響を受けていたことが環境考古学的視点から明らかにされている<sup>(13)</sup>。もし、そうであるならば、前述した海水準変動も縄文の人々に強い影響を与えているはずである。なぜならば、縄文の人々は高度な狩猟採集生活を行っており、丸木船を作って、湖沼・内湾で漁労を行っていたことが遺跡や遺物から明らかになっているからである。約1万年間続いた縄文時代は、縄文土器の紋様の違いから、5つの時期（草創期、早期、前期、中期、後期、晩期）に分けて編年されている。それらの境界の年代は、暦年代で12,000年前、9,500年前、7,000年前、5,500年～5,000年前、4,500年前、3,000年前である<sup>(15)</sup>。これらの年代は東郷池や水月湖の湖沼年縞堆積物から検出された海水準下降時期に見事なまでに一致する（図6）。これは何を意味しているのだろうか？海水準が下降した時期はグローバルな寒冷時期であり、気候の寒冷化が縄文人に土器の紋様を変化させるという意識改革を引き起こしたとって言い過ぎであろうか？最近、青森県の三内丸山遺跡が前期から中期にかけて約1,500年間続いた大規模集落であるといわれて、その主食は遺跡に隣接した陸奥湾での漁労から得られていたと考えられている。もし、そうであれば、海水準が下降した時期には海域は三内丸山遺跡のはるか北方まで後退して、遺跡の位置は漁労に適した場所ではなかった可能性がある。三内丸山遺跡の北部に位置する谷には、魚の骨などの遺物が多く破棄されているが、それら遺物の<sup>14</sup>C年代値には5,500年～5,000年前の値が欠如している<sup>(16)</sup>。これは、東郷池の堆積物には顕著に現われないが、水月湖の年縞堆積物における

顕著な海水準下降時期に相当して、縄文前期から中期への移行時期にもあたっている。これは、海水準下降によって、現在の三内丸山遺跡の位置における漁労条件が悪化したため、縄文人は三内丸山をある期間放棄したことを意味しているのではないだろうか。そういう環境の変動が縄文人をして、それまで作ってきた縄文の紋様をすてさせて、新しい紋様を土器にえがいたのではないだろうか。これらの事象の見事なまでの一致はわれわれに文明の盛衰に影響を与えた気候変動の重要性を強く印象づける。

## 5. おわりに

われわれは気候・海水準変動を季節～年単位で明らかにできる数万年にわたる連続記録を湖沼の年縞堆積物から手にいれることができた。最終氷期から現在までには、ダンスーガド・オシュガーサイクルやその変調であるボンドサイクルに対比される突然かつ急激な気候・海水準変動イベントが高緯度よりはむしろ中～低緯度を発信地として1000年スケールで起こっており、縄文文化のような中～低緯度の人類の文化（文明）活動に強い影響を与えている可能性が指摘できた。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<sup>(1)</sup>。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過去の高精度記録から定量的に復元することが、現在の人類学、考古学および地理学に問われているように考えるのは筆者だけではないだろう。

## 文 献：

- (1) M. Kato and H. Fukusawa: Geogr. Rep. Tokyo Metropolitan Univ., 33, (投稿中)
- (2) 福沢仁之：第四紀研究、34、135 (1995)
- (3) H. Chamley: Clay Sedimentology, 623p.(1989)
- (4) 大井圭一ほか：地学雑誌、106、249 (1997)
- (5) S.J. Johnson et al.: Nature, 359, 311 (1992)
- (6) 福沢仁之ほか：月刊地球、19、463 (1997)
- (7) G. Bond et al.: Nature, 365, 143 (1993)
- (8) 福沢仁之ほか：第四紀研究、37、(投稿中)
- (9) C. Taylor et al.: Nature, 361, 423 (1993)
- (10) M. Stuiver et al.: Quat, Res., 44, 341 (1995)
- (11) 多田隆治：科学、67、597、(1997)
- (12) R.B. Alley et al.: Geology, 25, 483 (1997)
- (13) 安田喜憲：気候と文明の盛衰、366p、朝倉書店 (1990)
- (14) G. Bond et al.: Science, 278, 1257 (1997)
- (15) 北川浩之：科学朝日、11、33 (1994)
- (16) 北川浩之：縄文文明の発見、110-117、PHP出版 (1995)

# Abrupt Climatic and Environmental Changes Since the Last Glacial Recorded in Non-glacial Varved Lake Sediments

Hitoshi FUKUSAWA<sup>1)</sup>, Megumi KATO<sup>1)</sup>, Kazuyoshi YAMADA<sup>1)</sup>,  
Osamu FUJIWARA<sup>2)</sup> and Yoshinori YASUDA<sup>3)</sup>

- 1) Research Group of Global Changes and Paleoenvironment,  
Division of Geography, Graduate School of Science,  
Tokyo Metropolitan University  
Minami-Ohsawa 1-1, Hachioji 192-03, Japan  
Tel.+81-426-77-2605, Fax +81-426-77-2589  
e-mail: fukusawa@comp.metro-u.ac.jp
- 2) Tono Geoscience Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development  
Corporation  
959-31, Sonodo, Jorinji, Izumi, Toki-shi 509-51 Japan  
Tel:0572-53-0211; Fax:0572-55-4114
- 3) International Research Center for Japanese Studies  
3-2 Oeyama-cho, Goryo, Nishikyo-ku, Kyoto 610-1192 Japan  
Tel:075-335-2150; Fax:075-335-2090

Key words: varved sediment, lake sediment, Lake Tougou-ike, climate change,  
sea level change, human activity

Our research group has collected sediment cores for the last 35 thousand years at Lake Tougou-ike of western Japan. Non-glacial varves of the brackish lake sediments could have recorded seasonal to annual changes of climate and sea-level. In addition, these sediments as timekeepers showed that climatic and sea-level changes of natural environments have influenced human activities.