

# 水月湖湖底・年縞堆積物のAMS-<sup>14</sup>C年代

北川浩之（国際日本文化研究センター）

中村俊夫（名古屋大学年代資料研究センター）

福沢仁之（東京都立大学・理学部）

## I. はじめに

1991年度から1993年度にかけて、文部省科学研究費重点領域「地球環境の変動と文明の盛衰・新たなる文明のパラダイスを求めて」（文明と環境）の計画研究『気候・植生の変遷と文明の盛衰』（代表：国際日本文化研究センター・安田喜憲）の一環として、三方五湖周辺の数地点でボーリング調査・試料採取が行われた。採取されたボーリング試料について各種の研究（火山灰分析・年代測定・古地磁気分析、花粉・珪藻などの微化石分析、地球化学分析など）が実施されている。これらの研究成果を総括的に解釈することで、最終間氷期以降の気候・環境変動史が明らかにされつつある。本稿では、水月湖の湖心北緯35度34分57秒、東経135度53分7.5秒、水深約33mの地点（図1のSG4の地点）で採取されたピストン・コア（SG4）の、加速器質量分析計を用いた炭素14年代測定の結果について報告する。

## II. 三方五湖周辺の掘削試料の概要

本プロジェクトで実施された三方五湖周辺のコア試料採取は、三方湖湖底（面積3.6km<sup>2</sup>，最大水深3.7mの淡水湖）と水月湖湖底（面積4.3km<sup>2</sup>，最大水深33.7mの汽水湖），および黒田低地である（図1）。これらはすべて堆積盆地中央部でのオール・コア試料採取である。三方湖・水月湖・黒田低地から採取されたコア試料の層序と火山灰対比について図2に示した。さらに、神戸大学グループ・高知大学グループの協力のもとに水月湖の湖心部において計4地点においてピストン・コアラーを使った連続試料の採取を実施した。

## III. 水月湖・年縞堆積物

水月湖湖底堆積物には、1mmスケールの明暗の層が繰り返す縞状ラミナが観察される（福沢・北川，1993）。1991年に採取されたピストンコア・SG2の年縞堆積物の最上部1mについての研究は、正確な年代編年にもつづいた歴史時代の地震，洪水，噴火のイベントについて明かにされている（福沢ほか，1994）。水月湖の湖心部で採取した75mのコア（SG）の大部分の層序で縞状ラミナ構造が認められる。このコアの最深部は、90kaの阿蘇4火山灰（Aso-4:48.5m），95kaの喜界葛原火山灰（K-Tz: 50.3）や90-100kaの阿多火山灰（Ata: 51.8）が発見され（竹村ほか，1994），また花粉分析学的な研究（安田・私信）から、最終間氷期以前であると推定されている。このコ

---

本報告は、15th International Radiocarbon Conference, Glasgow (Scotland): Kitagawa, H., Fukuzawa, H., Nakamura, T., Okamura, M., Takemura, K., Hayashida, A. and Yasuda, Y. AMS <sup>14</sup>C dating of the varved sediments from Lake Suigetsu, central Japan and atmospheric <sup>14</sup>C changes during the late Pleistocene で報告した内容に新たに測定したデータを加えまとめた。

連絡先：北川浩之（〒610-11京都市西京区御陵大枝山町3-2 TEL:075-335-2100/FAX:075-335-2090/E-mail: kitaga@nichibun.ac.jp）

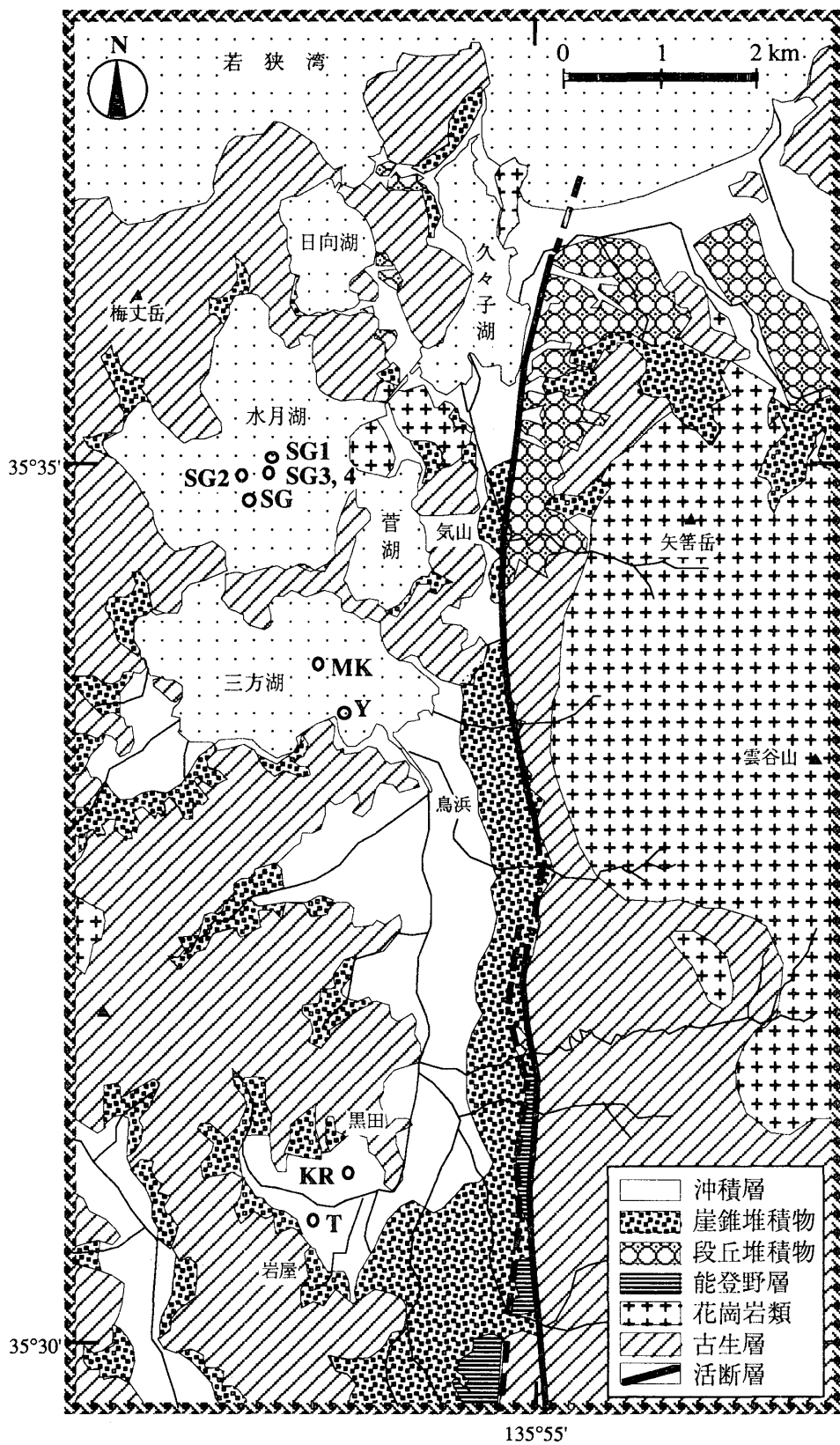


図1. 三方五湖周辺のボーリング調査地点. 水月湖湖心 (SG), 三方湖湖心 (MK), 黒田低地 (KR) 及び水月湖ピストンコア (SG1, SG2, SG3 & SG4) [竹村ほか, 1994より]

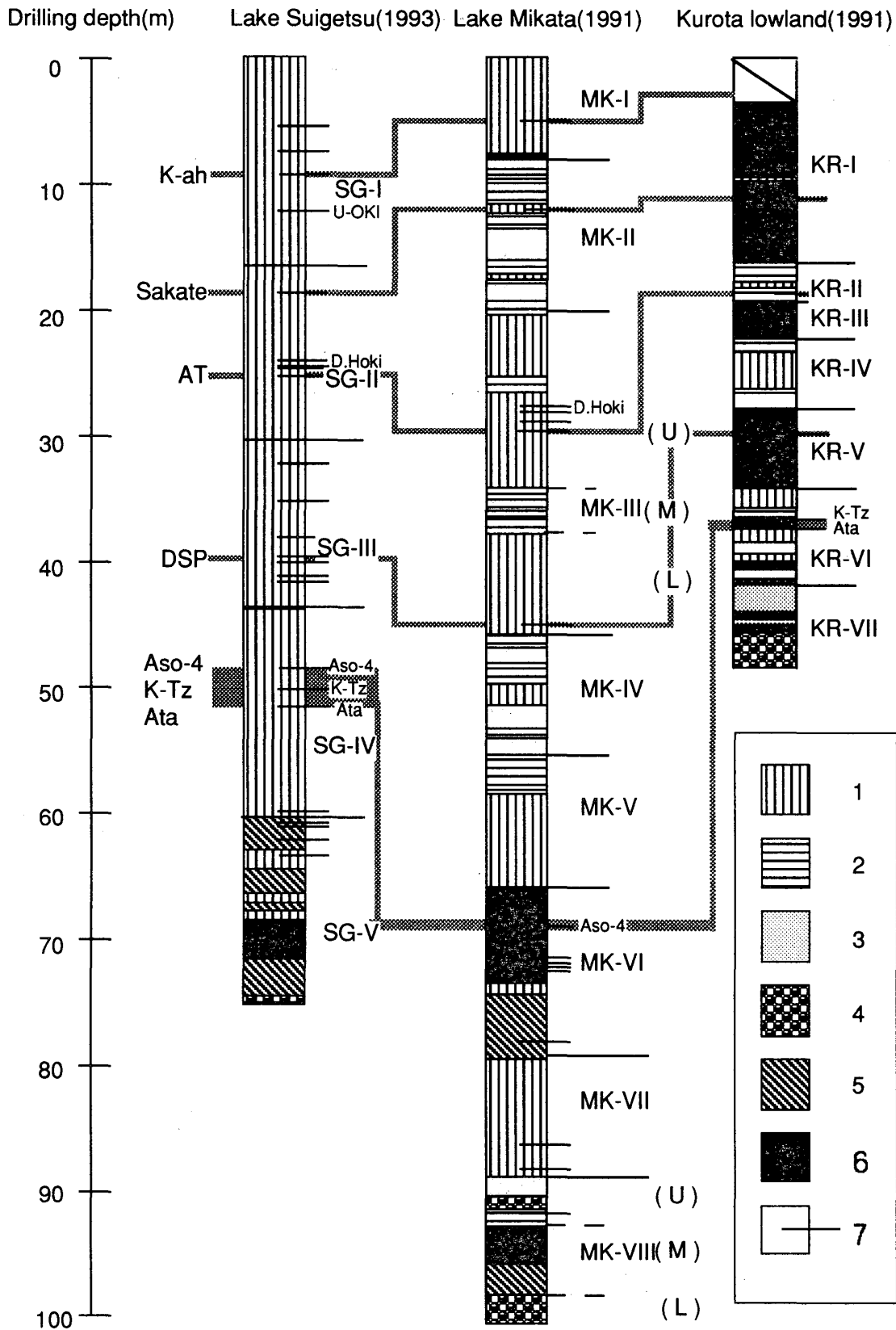


図2. 三方湖・水月湖・黒田低地のボーリング試料の層相と火山灰対比 [竹村ほか (1994) より] 1:粘土, 2:シルト, 3:砂, 4:泥岩質粘土, 5:泥炭, 6:火山灰.

アの解析は最終間氷期から現在に至る環境変動についての情報を得ることが可能である。現段階では縞状ラミナ数の計数による年縞編年が一部でしか完了していないが、今後の年縞水月湖の年縞堆積物の詳細な研究は正確な年代編年にもとづいた最終間氷期以降の高い時間分解能をもった気候・環境復元を可能にすると考えられる。

#### IV. AMS-<sup>14</sup>C測定方法

水月湖の湖心部において採取されたピストン・コア試料 (SG4) の炭素14年代測定は、加速器質量分析計を用い実施した。このコア試料の記載・年縞構造の観察後、生物遺体化石 (葉、枝および昆虫) および土壌試料を採集して炭素14年代測定を行なった。土壌試料は炭酸塩・可溶性物質を除くために塩酸処理 (1N) を施し (以後、この化学処理を行なった試料を土壌中有機態全炭素と記す)、生物遺体化石は超音波洗浄を十分に行い酸処理・アルカリ処理・酸処理を施した。このような処理を行った土壌中有機態全炭素および生物遺体化石試料は十分に蒸留水で洗浄、乾燥後、あらかじめ850℃で加熱処理を施したバイコールガラス燃焼管に酸化銅とともに真空封入、850℃で加熱・燃焼して二酸化炭素にした。試料の二酸化炭素は、北川ほか(1991) ; Kitagawa et al. (1993)の方法を用いグラファイトに還元して、加速器質量分析に用いた。炭素14年代測定は名古屋大学年代資料研究センターに設置されているタンデトロン加速器質量分析計を用いた。

#### V. AMS-<sup>14</sup>C測定の精度と測定限界

土壌中有機態全炭素と生物遺体化石試料あわせて約70試料について炭素14年代測定を実施した。図3には試料の炭素量と測定年代誤差 (1標準偏差) の関係について、また図4には試料の炭素14年代とその測定誤差の関係について示した。土壌中有機態全炭素試料の炭素14年代測定は、約20-50mg程度の十分な量の試料 (1から1.5mg炭素) からグラファイトターゲットを作成し、年代誤差±80年 (統計誤差1%) の測定を行なうことが可能であった。生物遺体化石試料について

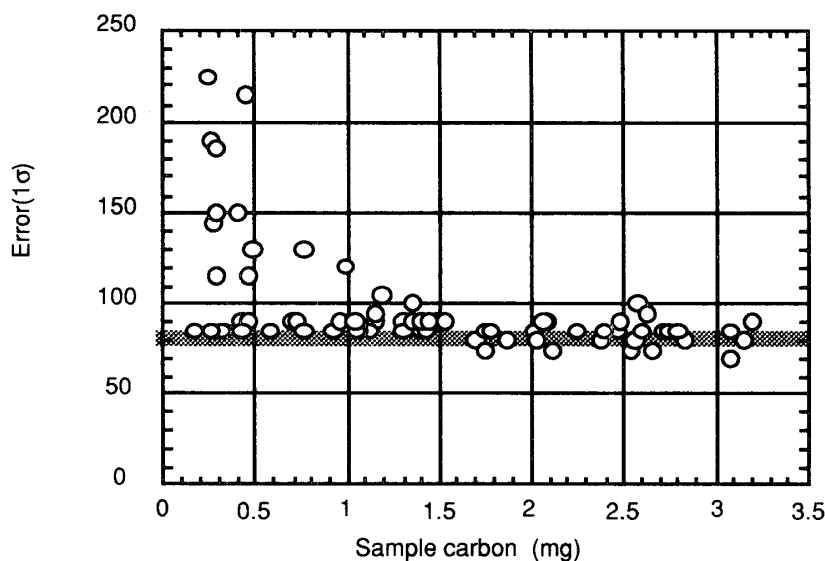


図3. 試料量の変化に伴うAMS-炭素14年代測定の誤差 (1σ)

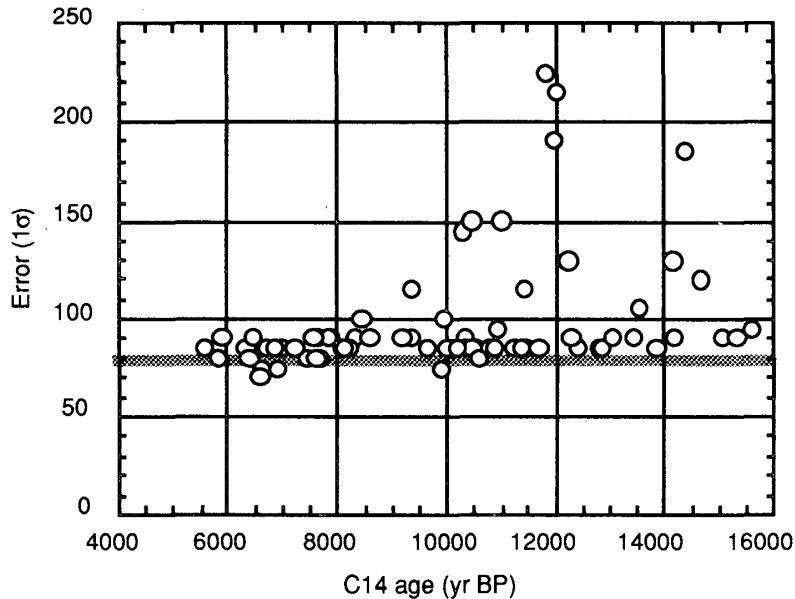


図4. 年代変化に伴うAMS-炭素14測定 of 誤差 (1σ)

は、炭素14年代測定に用いることができる試料の量が限られ年代測定の誤差が大きくなる傾向がある。特に試料の炭素量が1mg以下になると、統計誤差1%の精度で測定を行うことが困難で、2から3%の測定誤差を伴った。年代測定試料からのターゲット作成、またタンデトロン加速器質量分析計のイオン源の状態が良い場合には、炭素量が0.2mg程度の微量試料についても、統計誤差1%程度の測定が可能であった。今後、試料からターゲット作成方法の改善および、タンデトロン加速器質量分析計のイオン源の安定した調整が望まれる。

#### VI. 生物遺体と土壌中有機体炭素の<sup>14</sup>C濃度

図5には水月湖で採取されたピストンコア (SG4) の炭素14年代の深度変化を示した。生物遺体と土壌中有機態全炭素14年代には明確な年代差が認められる。土壌中有機態全炭素の年代が古い年代を示す。土壌に含まれる炭素の起源は、湖中で生産される生物の有機物や陸源から供給された有機物であると考えられる。生物遺体と土壌中有機態全炭素の炭素14年代の年代差は、堆積物中の起源物質の質的な変化や、その各々の成分の炭素14濃度の違いと解釈できる。

土壌中有機態全炭素の炭素14濃度 (A) は、次式を用いて表すことができる。

$$A = \sum_{i=1}^n F_i \times A_i \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n F_i = 1 \quad (2)$$

ここで $F_i$ は、 $A_i$  ( $i=1,2, \dots, n$ ) の炭素14濃度をもつ土壌中有機態炭素の割合を示す。この式で最も簡単な場合として $n=2$  (2成分) の場合は次式で現わすことができる。

$$A = F_1 \times A_1 + F_2 \times A_2 \quad (3)$$

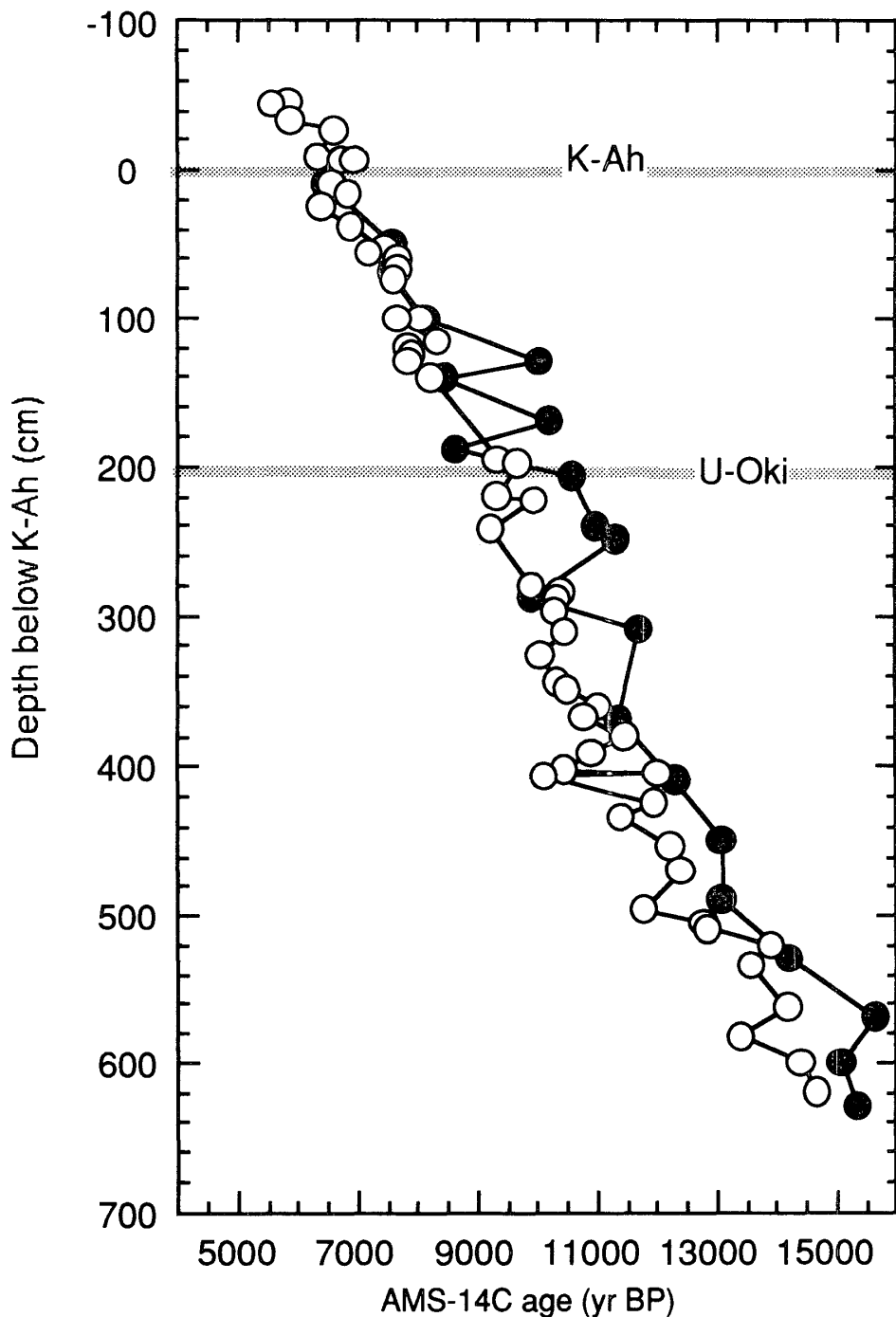


図5. 水月湖ピストンコアSG4のAMS<sup>14</sup>C測定

$$F_1 + F_2 = 1$$

(4)

$A_1$ が大気二酸化炭素と炭素14濃度と同位体的に平衡（堆積年代）と考えたと（例えば，湖表層で光合成を行う植物プランクトンなど）， $A_2$ は堆積物に二次的に加わったさまざまな有機物（例えば，陸上の土壌中の有機態炭素など）の炭素14濃度の平均値を表す．このモデルを用い土壌中有

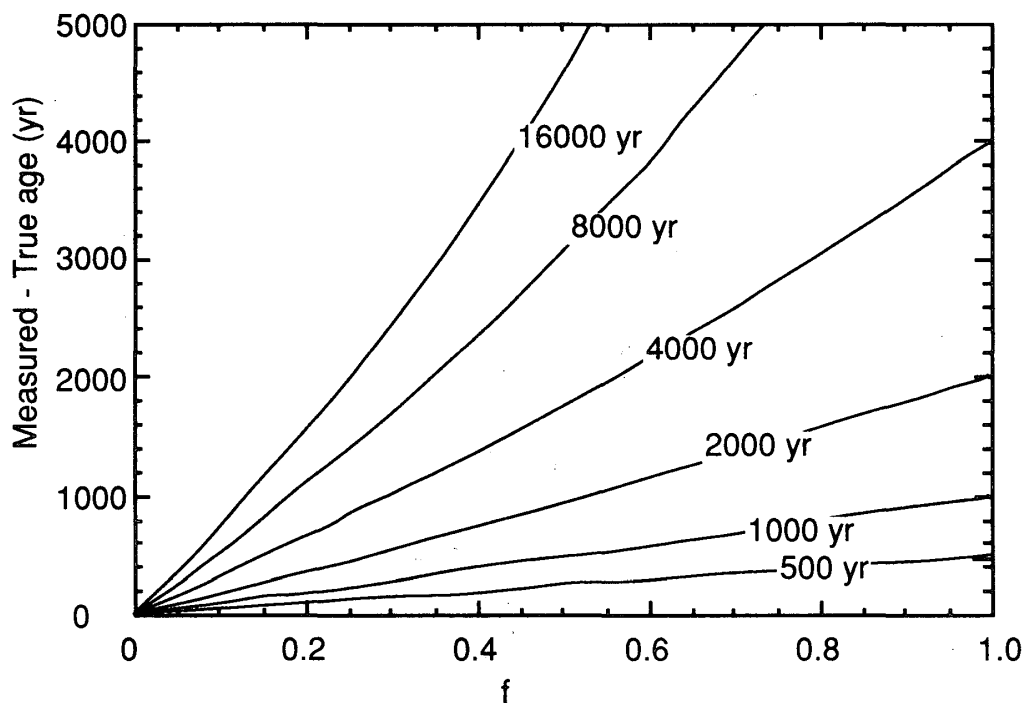


図6. 堆積物の炭素14年代に及ぼす二次的な炭素の混入の影響

機態全炭素の炭素14年代に及ぼす影響を推定した(図6)。堆積物に二次的に加わった炭素の割合( $f$ )が非常に小さいとき、また二次的に堆積物に加わった有機物の炭素14濃度が大気二酸化炭素の炭素14濃度と等しいときは、土壌中有機態全炭素の炭素14年代値は堆積年代と非常に近い値をとる。一方、陸からの有機物供給物の増加など $f$ が非常に大きい値をとるか、あるいは堆積物に加わった有機物の炭素14濃度が大気二酸化炭素と炭素14濃度と著しく異なる場合に年代差が拡大することを示している。

水月湖のSG4コアの炭素14年代測定の結果(図5)には、炭素14年代でおよそ9 kaから11 kaの期間に生物遺体化石と土壌中有機体全炭素の炭素14年代の差が大きくなる傾向がある。この期間に $f$ が非常に大きい値をとるか、あるいは堆積物に加わった有機物の炭素14濃度が大気二酸化炭素と炭素14濃度と大きく異なることを示している。つまり、非常に炭素14濃度の低い(年代の古い)炭素が堆積物に加わったか、あるいは、堆積物の炭素陸源の有機物などの(炭素14濃度の低い)供給量の増加があったことが推定される。この時期は年代的に最終氷期の最末期のヤンガードリアス期と時代がほぼ一致し、最終氷期—完新世の地球規模の環境変動期に、降水量の増加などによる陸上有機物の供給量の増加などが引き起こされた可能性がある。生物遺体化石と土壌中有機体炭素の炭素14年代の差が千年以上の場合も認められ、堆積物中の有機物に供給される有機物の平均年代は1000年以上古い年代を持っている。堆積年代の決定に土壌中有機態炭素の炭素14年代を採用する場合、これらの影響についても考慮する必要があると考えられる。

## VII. K-AhおよびU-Okiテフラの $^{14}\text{C}$ 年代と暦年代

水月湖からのピストンコアSG4には多数の火山灰層が発見されている。ここでは、完新世の環境変動を考えるうえで、また考古学的にも重要なアカホヤ火山灰 (K-Ah) と陵隠岐火山灰 (U-Oki : 町田ほか, 1981) の炭素14年代と暦年代について考えてみる。

生育年代が年輪年代学的手法を用いて決定された樹木年輪の炭素14濃度の高精度測定によって、現在から過去8000年の期間について炭素14年代と暦年代の関係 (炭素14キャリブレーションカーブ) が明かにされている (図7)。このカーブは過去にさかのぼると大気中の炭素14濃度が一定でなく時代とともに変化していることを示している。言い換えれば、暦年代と炭素14年代が一致していない。この変化は主に太陽活動や地球磁気強度の変化に伴う地球高層大気の宇宙線強度の変化に影響する炭素14の生成率に変化によると考えられている (例えばStuiveretal, 1991)。

本研究においては、この炭素14キャリブレーションカーブと年縞編年 (暦編年) と生物遺体化石の炭素14年代から得られた炭素14濃度の変化パターンを比較することで2層の火山灰の降下年代についての炭素14年代と暦年代を推定した。土壌中有機物態全炭素の炭素14年代は、すでに述べたように二次的な炭素の混入により影響され正確な堆積年代を示さない可能性がある。従って、生物遺体化石の炭素14年代測定の結果だけを用い火山灰の降下年代の推定を行った (図8, 図9)。

樹木年輪から推定された炭素14キャリブレーションカーブと年縞編年 (暦年代スケール) と生物遺体化石の炭素14年代から得られた炭素14濃度の変化パターンを比較にはカイ二乗検定を行い、もっとも2つのカーブが一致する年代を求め、火山灰降下年代の推定を行った。

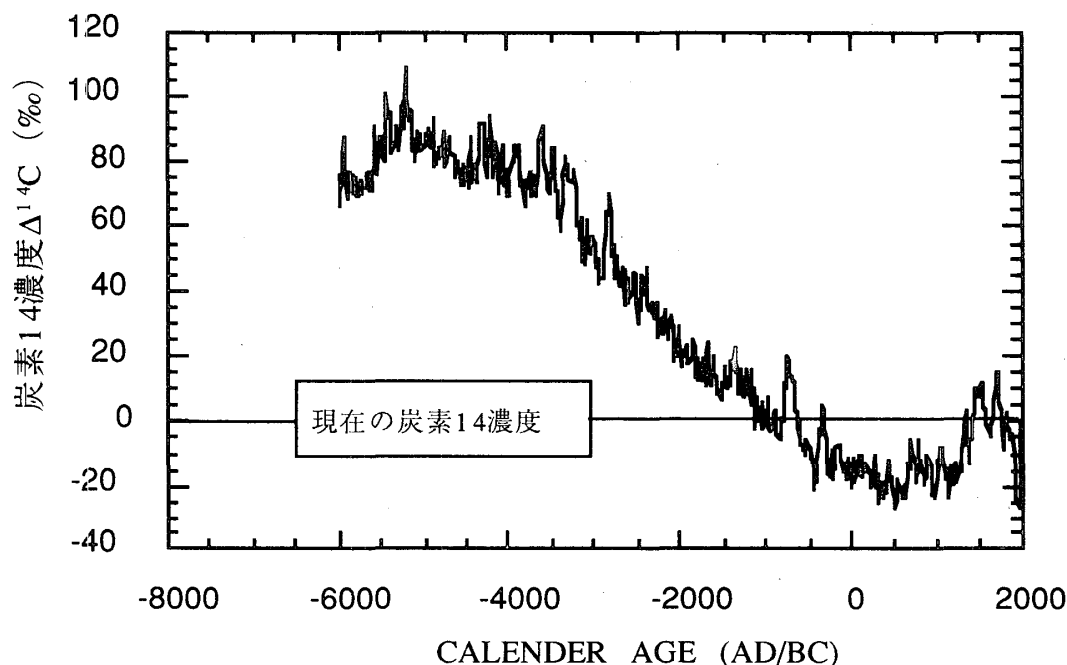


図7. 樹木年輪から推定された炭素14キャリブレーションカーブ  
(Stuiver and Reimer, 1993より)



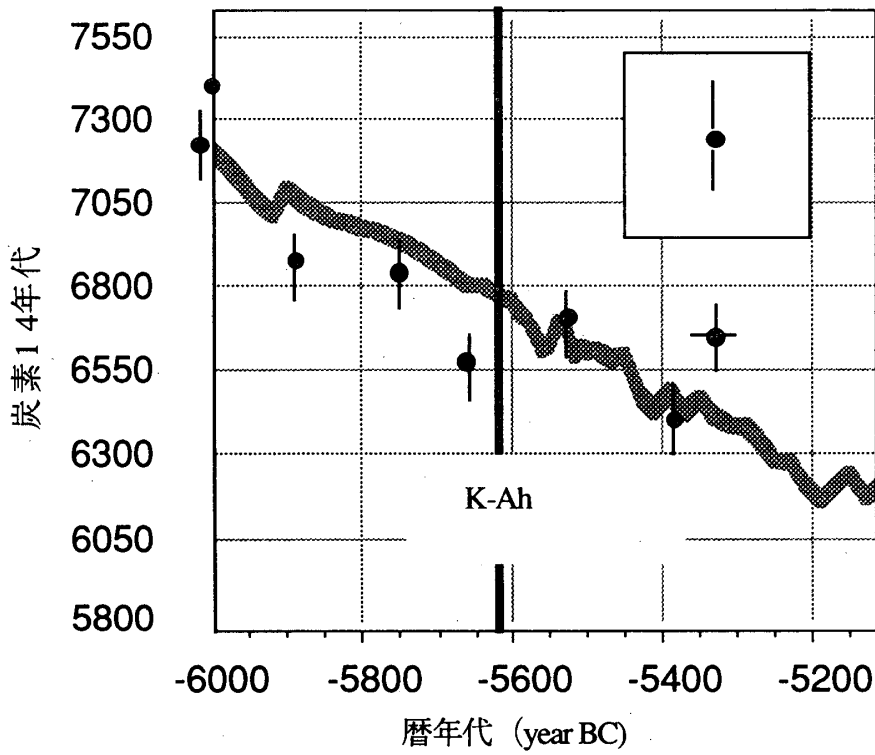


図 8 . K-Ahテフラの炭素14年代と暦年代

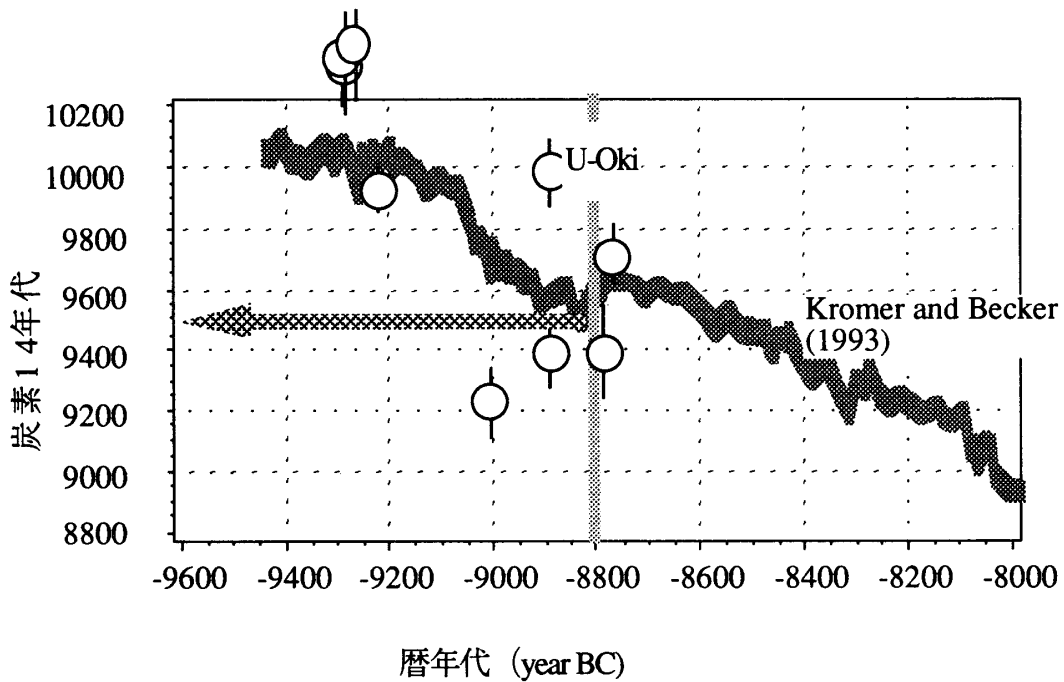


図 9 . U-Okiテフラの炭素14年代と暦年代

水月湖のピストンコアSG4の生物遺体化石の炭素14年代から推定されたK-Ah火山灰の降下の炭素14年代は、約6750yr BPで暦年代では約紀元前5600年である。この年代は従来言われてきたK-Ahの炭素14年代より300年ほど古い。

同様にU-Oki火山灰の降下の炭素年代を求めると、約9600yr BPで暦年代は紀元前8800年である。現段階では測定可能な（炭素量で0.2mg以上）の生物遺体化石試料の数が限られ、不確かさが残されているが、すでに報告されているU-Oki火山灰の降下年代と誤差内で一致している（町田・新井, 1992）。U-Oki火山灰降下年代は、最終氷期から完新世への変化期と時代がほぼ一致していることから、氷期・間氷期のダイナミックな環境変動を理解するうえで重要な年代マーカーになると考えられる。

本研究で行なった火山灰降下年代の決定法は、遺跡などの高精度年代測定で行なわれているウイグル・マッチング法の応用である。この方法を用い高精度年代決定を行なうためには、炭素14年代と暦年代の二つの年代軸が必要である。通常、樹木年輪から暦年代を推定するが、本研究では堆積物に記録された年縞から暦年代を推定している。したがって、年縞編年が暦年代と完全に一致している前提に基づいている。今後の年縞堆積物の詳細な研究の進展は、より正確なK-AhおよびU-Oki火山灰の降下年代の炭素14年代および暦年代の推定のためにも必要不可欠である。

#### IX. 最終氷期への炭素14キャリブレーション年代域の拡大

炭素14キャリブレーション（Radiocarbon calibration）は、年輪年代学手法を用いて、各年輪の形成された年代（暦年代）が調べられている樹木年輪の高精度炭素14年代測定（±20年）を行うことで、過去9200年間までは詳細に調べられている（Stuiver et al., 1986）。したがって、この時代については、炭素14年代から暦年代に変換することが正確にでき、自然・人間の歴史を同じ年代編年にもとに論じることが可能となっている。炭素14キャリブレーション年代域は、若干の不確かさが残されているが、11,450 cal y BP（暦年代を示すときcal y BPと記した）まで拡大されつつある（Kromer and Becker, 1993）。しかし、その年代域をさらに拡大するには、年輪年代学手法が利用できる樹木試料の欠如から困難であるとされている（Becker et al., 1991）。

現在、最終氷期への炭素14キャリブレーション年代域の拡大は、ウラン・トリウム年代が暦年代と等しいものであると仮定し、サンゴ化石（Bard et al., 1990; Fairbanks, 1990; Edwards et al., 1993）、蒸発岩（Peng et al., 1978）、およびスペレオゼム（例えば、Vogel, 1983; Holmgren, 1994）などの炭素14年代と、ウラン・トリウム年代を比較することで推定されてきた。さらに、特定の環境の湖沼の堆積物に認められる年縞堆積物（varved sediment）に含まれる陸上植物遺体の炭素14年代測定と、その年縞編年（暦年代）を比較することで明かにされつつある（Zbinden et al., 1989; Hadjas, 1993; Hadjas et al., 1993; Bjorck et al., 1994; Wohlfarth et al., 1994; a;b投稿中; Kitagawa et al, 投稿中）

図10には、水月湖ピストンコアSG4の年縞編年と植物遺体化石の炭素14年代測定から得られた炭素14キャリブレーションを示す。また、今までに報告されてきた各種の方法・地域から研究された8000 cal y BPから15000 cal y BPの炭素14キャリブレーションを比較のために示した。

現時点では、U-Oki火山灰の降下年代まで完全な年縞編年が作成されていないため、U-Oki火山灰の降下年代を、樹木年輪の炭素14年代から推定された炭素14キャリブレーション（Kromer and

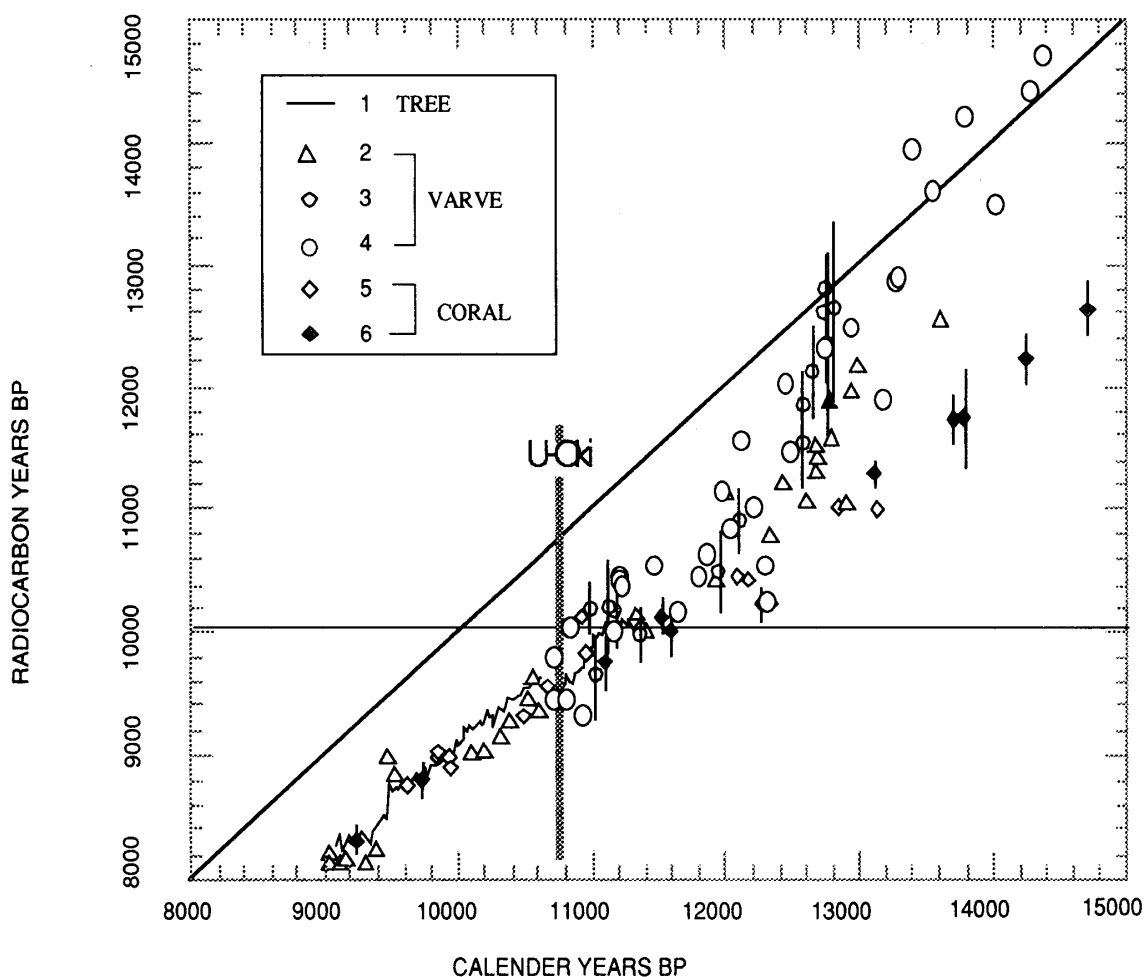


図10. 最終氷期-退氷期の炭素14キャリブレーションの比較.

1 : 年輪年代学的に年代決定された樹木の炭素14年代測定 (Kromer and Beckers, 1993) , 2 : スイス・スペンジー湖 (Lake Soppensee) の湖底年縞堆積物の生物遺体化石の炭素14年代測定 (Hajadas, 1993; Hajadas et al., 1993; 未公表データ) , 3 : スエーデン・氷縞粘土の陸上生物遺体の炭素14年代測定 (Wohlfarth et al., 1993; a; b (投稿中)) , 4 : 水月湖湖底の年縞堆積物の陸上生物遺体化石の炭素14年代測定, 5. バルバドス, ムルロア, ガラパゴスのサンゴ化石のウラン・トリウム年代と炭素14年代の比較 (Bard et al., 1993) , 6 : パプアニューギニア・ヒューオン半島のサンゴ化石のウラン・トリウム年代と炭素14年代の比較 (Edwards et al., 1993)

Becker, 1993) を用い推定し, その年代, 10750 yr cal BP (= BC 8800 yr) を基準に炭素14キャリブレーションの拡大を行なった.

本研究で得られた炭素14キャリブレーションはスイス・スペンジー湖の年縞堆積物やスエーデンの氷縞粘土の年縞編年の植物遺体化石の炭素14年代測定から推定された炭素14キャリブレーション

ションと良く一致している。約12.5kyrcal BPに急激に炭素14年代と暦年代が一致（炭素14濃度の低下）する傾向が認められる。しかし、サンゴ化石ウラン・トリウム年代と炭素14年代の比較から推定された炭素14キャリブレーションは、炭素14年代と暦年代の年代差が時代をさかのぼるにつれて拡大する傾向が認められる。堆積物の年縞編年とその堆積物に含まれる陸上生物遺体化石の炭素14年代の比較による方法とサンゴ化石のウラン・トリウム年代と炭素14年代の比較による方法から推定された炭素14キャリブレーションは一致していない。現段階ではこの違いについて明確な説明を与えることができない。今後、明らかにしていかなければならない重要な問題である。この問題を解決することができれば、炭素14キャリブレーション年代域は、樹木年輪による炭素14キャリブレーションが作成がされていない最終氷期に拡大できると考えられる。水月湖からは最終間氷期以降の堆積物がすでに採取されている。この堆積物の年縞編年の作成は、炭素14キャリブレーションカーブの年代域を過去5万年程度まで拡大できるものと考えられる。

## 謝辞

本研究は文部省科学研究費重点領域「地球環境の変動と文明の盛衰・新たなる文明のパラダイスを求めて」（文明と環境）の計画研究『気候・植生の変遷と文明の盛衰』（代表：国際日本文化研究センター・安田喜憲）の研究グループの多くの方々の協力のもとに行われた。特に、国際日本文化研究センター・安田喜憲教授、京都大学・竹村恵二助教授、同志社大学・林田明助教授、名古屋大学年代資料研究センター・池田晃子氏には多大なるご協力をいただいた。高知大学・岡村真教授研究室のメンバーの高い水準の不攪乱ピストンコアの採取によってこの研究を行なうことが可能となった。また、スエーデン・ルンド大学の Dr.B. Wohlfarth, スイスETH研究所のDr. I.Hajdasには多くの有益な助言していただき、また未公表の貴重なデータをいただいた。この記して深い感謝の意を示します。

## 引用文献

- Bard, E., Hamelin, B., Fairbanks, R.G. and Zindler, A. (1990) Calibration of the  $^{14}\text{C}$  timescale over the past 30,000 years using mass spectrometric U-Th ages from Barbados corals. *Nature*, 345, 405-410.
- Bard, E., Fairbanks, R.G., Arnold, M. and Hamelin, B. (1991)  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  and  $^{14}\text{C}$  aged obtained mass spectrometry on corals from Barbados (West Indies), Isabela (Galapagos) and Mururoa (French Polynesia). In: E. Bard and W. S. Broecker (eds) *The last deglaciation: absolute and radiocarbon chronologies*. NATO ASI Series. Series I, Global environmental change, 2, Springer, Berlin, 103-110.
- Bard, E., Arnold, M., Fairbanks, R.G. and Hamelin, B. (1993)  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  and  $^{14}\text{C}$  ages obtained by mass spectrometry on corals. *Radiocarbon*, 35, 191-199.
- Becker, B., Kromer, B. and Trumborn, P. (1991) Absolute minimum age of the Late Glacial-Holocene transition by radiocarbon calibration and stable isotope analyses of a 1477-yr German pine dendrochronology. *Radiocarbon*, 33, 174-175.
- Bjorck, S., Cato, I., Brunnberg, L. and Stomberg, B. (1992) The clay-varve based Swedish Time Scale and

- its relation to the Late Weichselian radiocarbon chronology. In: Bard, E. and Broecker, W.S. (eds), *The last deglaciation: absolute and radiocarbon Chronologies*, NATO ASI Series. Series I, Global environmental change, 2, 25-44. Springer Verlag, Berlin, 25-44..
- Bjorck, S. (1994) A review of the history of the Baltic Sea 13.0 to 8.0 ka BP. *Quaternary International*, in press.
- Burr, G.S., Edwards, R.L., Donahue, D.J., Druffel, E.R.M. and Taylor, F.W. (1992) Mass spectrometric  $^{14}\text{C}$  and U-Th measurements in coral. *Radiocarbon*, 34, 611-618.
- Edwards, R.L., Chen, J.H. and Wasserburg, G.J. (1987)  $^{238}\text{U}$ - $^{234}\text{U}$ - $^{230}\text{Th}$ - $^{232}\text{Th}$  systematic and the precise measurement of time over the past 500,000 years. *Earth Planet Sci. Lett.*, 81, 175-192.
- Edwards, R.L., Beck, J.W., Berr, G.S., Donahue, D.J., Chappell, J.M.A., Bloom, A.L., Druffel, E.R.M. and Taylor, F.W. (1993) A large drop in atmospheric  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  and reduced melting in the Younger Dryas, documented with  $^{230}\text{Th}$  ages of corals. *Science*, 260, 962-967.
- Fairbanks, R. G. (1990) The age and origin of the 'Younger Dryas Climate Event' in Greenland ice cores. *Paleoceanography*, 5, 937-948.
- 福沢仁之・北川浩之 (1993) 水月湖の縞状堆積部に記録された完新世海水準・乾湿変動とその周期性. 日本第四紀学会1993年大会講演要旨集, 144-145.
- 福沢仁之・小泉格・岡村真・安田喜憲 (1994) 福井県水月湖完新世堆積物に記録された歴史時代の地震・洪水・人間活動イベント. 地学雑誌, 103, 127-139..
- Hajdas, I. (1993) Extension of the radiocarbon calibration curve by AMS dating of laminated sediments of Lake Soppensee and Lake Holzmaar. Diss. ETH Nr., 10157, 147pp.
- Hajdas, I., Ivy, S.D., Beer, J., Bonani, G., Imboden, D., Lotter, A.F., Sturm, M. and Suter, M. (1993) AMS radiocarbon dating and varve chronology of Lake Soppensee: 6000 to 12000  $^{14}\text{C}$  years BP. *Climate Dynamics*, 9, 107-116.
- Holmgren, K., Lauritzen, S. and Possnert, G. (1994)  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  and  $^{14}\text{C}$  dating of a late Pleistocene stalagmite in Lonatse II Cave, Botswana. *Quaternary Geochronology*, 13, 111-119.
- 北川浩之・増澤敏行・松本英二・山口和典・中村俊夫 (1991) 水素還元法によるAMS法炭素14測定のためのグラフィットターゲット作成法. 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書 (II), 113-121.
- Kitagawa, H., Masuzawa, T., Nakamura, T. and Matsumoto, E. (1993) A batch preparation method of graphite targets with low background for AMS  $^{14}\text{C}$  measurements. *Radiocarbon*, 35 (2), 295-300.
- Kitagawa, H., Fukuzawa, H., Nakamura, T., Okamura, M., Takemura, K., Hayashida, A. and Yasuda, Y. AMS  $^{14}\text{C}$  dating of the varved sediments from Lake Suigetsu, central Japan and atmospheric  $^{14}\text{C}$  change during the late Pleistocene. *Radiocarbon*, 37 (投稿中)
- Kromer, B. and Berger, B. (1993) German oak and pine  $^{14}\text{C}$  calibration, 7200 BC to 9400 BC. *Radiocarbon*, 35, 125-135.
- Lotter, A.F., Eicher, U., Siegenthaler, U. and Birks, H.J.B. (1992) Late-glacial climatic oscillations as recorded in Swiss lake sediments. *Quaternary Science*, 7(3), 187-204.

- 町田洋・新井房夫・百瀬貢 (1981) 日本海を渡ってきたテフラ. 科学51, 562-569.
- 町田洋・新井房夫 (1992) 火山灰アトラス—日本列島とその周辺. 東京大学出版会, 276p.
- Peng, T-H., Goddard, J. G. and Broecker, W. S. (1978) A direct comparison of  $^{14}\text{C}$  and  $^{230}\text{Th}$  at Searles Lake, California. *Quaternary Research*, 9, 319-329.
- Stuiver, M., Kromer, B., Becker, B. and Ferguson C.W. (1986) Radiocarbon age calibration back to 13,000 years B.P. and the  $^{14}\text{C}$  age matching of the German oak and US Bristlecone pine chronologies. *Radiocarbon*, 28, 969-979.
- Stuiver, M., Braziunas, T.F., Becker, B. and Kromer, B. (1991) Climatic, solar, oceanic and geomagnetic influence on Late-Glacial and Holocene atmospheric  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  change. *Quaternary Research*, 35, 1-24.
- Stuiver, M. and Reimer, P.J. (1993) Radiocarbon Calibration Programm 1993. *Radiocarbon*, 35, 215-230.
- 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—三方低地の最終間氷期以降の堆積環境. 地学雑誌, 103, 233-242.
- Vogel, J. S. (1983)  $^{14}\text{C}$  variations during the upper Pleistocene. *Radiocarbon*, 25, 213-218.
- Vogel, J.S. Briskin, M., Nelson, D.E. and Southon, J.R. (1989) Ultra-small carbon samples and the dating of sediments. *Radiocarbon*, 31, 601-609.
- Wohlfarth, B., Bjorck, S., Possnert, G., Lerndahl, G., Brunnberg, L., Ising, J., Olsson, S. and Svensson, N.-O. (1993) Problems of AMS dating the Swedish varved clays of the last glacial - interglacial transition and the potential and difficulties of calibrating Lake Weichselian 'absolute' chronologies. *Boreas*, 22, 113-128.
- Wohlfarth, B., Bjorck, S., Possnert, G. The Swedish time scale—A potential calibration tool for the radiocarbon time scale during the late Weichselian. *Radiocarbon*, 37 (投稿中)
- Wohlfarth, B., Bjorck, S., Possnert, G. and Brunnberg, L. (1995b) A comparison between radiocarbon dated Late Weichselian calendar-year chronologies. *J. of Coastal Res.* (投稿中)
- Zbinden, H., Andree, M., Oeschger, H., Ammann, B., Lotter, A., Bonani, G. and Wolfli, W. (1989) Atmospheric radiocarbon at the end of the Last Glacial: an estimate based on AMS radiocarbon dates on terrestrial macrofossils from lake sediment. *Radiocarbon*, 31, 794-804.

**High resolution AMS radiocarbon measurements  
of the laminated sediments from Lake Suigetsu, central Japan**

Hiroyuki Kitagawa

International Reserach Center for Japanese Studies

Toshio Nakamura

Dating and Materials Research Center, Nagoya University

Hitoshi Fukuzawa

Department of Geography, Fuculty of Science, Tokyo Metropolitan University

AMS radiocarbon measurements of the laminated sediments from Lake Suigetsu, central Japan (35° 35'N, 135° 53'E, maximum water depth of 34 m) is ideally suited for addressing three important problems: the organic supply to lake sediments, the absolute age determinations of important Tephra layers (K-Ah and U-Oki) and the extension of radiocarbon calibration to the last glacial period.

The 16 m-long piston core were taken from the center of Lake Suigetsu in 1993 (core No. SG4). The lithologies of nearly all the core are dominated by gray and dark-gray clay with white lamina which consists of diatom assemblage. We have carried out the AMS radiocarbon measurements of more than 70 samples of the bulk sediments and the terrestrial macrofossils in the interval of the latest Pleistocene / Holocene (6 -15 k yr. BP)

From the high resolution AMS radiocarbon measurements, we can conclude the followings;

1. Radiocarbon age of the deepest part of the SG 4 Core is ca., 15 kyr BP(<sup>14</sup>C), encompassing the late glacial period as well as the Holocene. The radiocarbon age vs. depth profile exhibited an approximately continuous feature that represents the absence of long-term sedimentary breaks.
2. The large differences of radiocarbon age between the bulk sediment and terrestrial macro fossil in the interval of 10 - 11 Ky. BP, seems to coincide with high dynamic phase of environmental changes during the last deglaciation.
3. The absolute ages of layers of the K-Ah Tephra and the U-Oki Tephra were dated by the AMS radiocarbon measurements of the macrofossils and the varve chronology of the Lake Suigetsu. The K-Ah Tephra and the U-Oki Tephra were dated at the ca. BC 5,600 yr., and at

the ca. BC 8800 yr., respectively.

4. The radiocarbon measurements of terrestrial macro fossils obtained from the laminated sediments of Lake Suigetsu support the dendrochronological and the coral's U-Th radiocarbon calibration until 12.5 ka. The difference between calendar and radiocarbon time scales estimated by comparing the AMS radiocarbon dates of terrestrial macro fossils with varved chronology, gradually diminish before 12.5 ka., while the difference between U-Th and radiocarbon of coral increase steadily. The discrepancies of the radiocarbon calibration can not yet explain. More detailed chronological studies of varve counting and high resolution radiocarbon measurements of the laminated sediments from the Lake Suigetsu, which are at present in progress, are need to resolve the radiocarbon calibration problems during the latest Pleistocene.