

資料

ライフサイエンスのためのアイソトープ測定機器(第四シリーズ)

Ⅷ.  $^{14}\text{C}$  年代測定の新展開

—加速器質量分析(AMS)が開いた地平—

吉田邦夫

Reprinted from  
RADIOISOTOPES, Vol.54, No.7  
July 2005



Japan Radioisotope Association

<http://www.jrias.or.jp/>

## 資 料



## ライフサイエンスのためのアイソトープ測定機器 (第四シリーズ)

Ⅷ.  $^{14}\text{C}$  年代測定の新展開—加速器質量分析 (AMS) が開いた地平—†

吉田邦夫

東京大学総合研究博物館  
113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1

Key Words : dating, W.F.Libby, archaeology, accelerator mass spectrometry, calibrated age, pottery, art, carbon-14

## 1. はじめに

縄文土器の始まりや、弥生時代の始まりが早くなるなど、ここ2,3年、新聞、テレビなどマスコミで、考古学における年代が盛んに話題として取り上げられている。これは、AMS法を用いた $^{14}\text{C}$ 年代測定が、更に発展し洗練されて、これまで測定させてもらえなかった資料や、新しい形態の資料への適用が進んできた結果である。しかし、同時に「第3次年代戦争」とでもいうべき、考古学者と年代学者の対立が、一部に存在する。考古学は年代測定と切っても切れない関係にあるように思われているが、実は日本においては、これまでも両者の間で微妙な関係が続いてきた。日本考古学と $^{14}\text{C}$ 年代測定が、これまでどのような関係だったのかを、 $^{14}\text{C}$ 年代測定の歴史の中で、跡付けてみることにする。AMS法による測定値が大量に生産される状況で、何を今さら半世紀も前のことを取り上げるのか、という声もあるが、私たちは過去から何を学び、これから何をすればよいかを考えなく

てはならない。

更に、極微量の資料で測定できるということは、目的とするイベントについての時間情報を有する資料を正確に取り出す必要があり、常に測定値の質を検討して、確かに目的とした年代が得られているかどうかを確かめる必要がある。このような点を念頭に置いて、AMS法による $^{14}\text{C}$ 年代測定の先端的な応用事例を取り上げ、現在の状況を概観してみる。

ライフサイエンスなど新しい分野へ適用する際には、同じ轍を踏まないように、いわば他山の石とすべき点が、多々あるのではないかと考えている。

## 2. リビー博士の研究

2.1 自然界に存在する $^{14}\text{C}$ の検出

2次宇宙線である中性子が大気中の窒素原子と核反応を起こして生成する放射性炭素 $^{14}\text{C}$ が、天然に存在するであろうということは、すでにMontgomery (1939) によって推測されていた<sup>1)</sup>。それより前、Grosse (1934) は、91番元素プロトアクチニウム Pa の長寿命同位体を探索する中で、正体不明の微弱な $\alpha$ 放射能を見出し、その半減期は $1 \sim 10^6$ 年で、宇宙線によって生成した宇宙線生成核種である可能性を述べ、地上には他にも宇宙線生成核種が存在するかもしれないとしている<sup>2)</sup>。一方、Kamenら (1940)

† Instruments for Radiation Measurement in Life Sciences<sup>(4)</sup>. Ⅷ. New Development of  $^{14}\text{C}$  Dating—AMS Measurements Open New Horizon—. Kunio YOSHIDA: The University Museum, The University of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, Japan.

は、黒鉛に7～8 MeVの重陽子を照射し、 $^{13}\text{C}(\text{d,p})^{14}\text{C}$ 反応によって生成した $^{14}\text{C}$ の $\beta$ 線を検出し、その半減期は年オーダーだとし<sup>3)</sup>、その後3～4 MeVの重陽子による実験を続け、半減期を $10^3 \sim 10^5$ 年と推定した<sup>4),5)</sup>。

このような中で、Libbyは1946年に、大気中で生成する $^3\text{H}$ と $^{14}\text{C}$ の生成量を推測し、 $^{14}\text{C}$ の半減期を $\gg 10^3$ 年と仮定して、生命体の示す比放射能を0.2～2 dps/mol C(壊変/秒/炭素1モル)とした<sup>6)</sup>。これは、1～10 dpm/g Cに相当し、その後求められた約13.5 dpm/g C<sup>7),8)</sup>と大きく違うものではなかった。

Libbyらはすぐ翌年に、天然の $^{14}\text{C}$ を捉えた結果を報告している<sup>9),10)</sup>。アメリカ東部メリーランド州ボルチモア市の下水処理場で、照明用に生産しているメタンガスに含まれる $^{14}\text{CH}_4$ を、熱拡散法により10, 32, 260倍に濃縮したメタンガス試料を調製した。濃縮度は、 $^{13}\text{C}$ の濃縮度から算出している。濃縮したメタンガス6.5 cmHgを1900 ccの真鍮製円筒ガイガー・カウンターに導入し測定した。 $^{14}\text{C}$ を含まない試料としては、石油起源のメタンガスを25倍に濃縮したものをを用いて比較した。反同時計数法を使わず、厚さ1.5インチの鉛のみの遮蔽では、宇宙線や周囲の環境放射能の計数が大半であった。 $^{14}\text{C}$ の $\beta$ 線は0～156 keVの連続スペクトルを示すが、エネルギーが低いので測定は困難であった。それでも濃縮度に対する計数率のきれいな直線関係を得て、自然界の $^{14}\text{C}$ 濃度に対して $10.5 \pm 1$  cpm/g C(カウント/分/炭素1g)という値を報告している。これが初めて自然界に $^{14}\text{C}$ が存在していることを示した実験である。リビー博士は論文の最後で、宇宙線で生成する $^{14}\text{C}$ の検出は、様々な分野での1000～30000年前の年代決定に応用できることを表明している。

## 2・2 世界各地の $^{14}\text{C}$ 濃度

そして、この時期の共著論文では唯一、Libbyがトップオーサーになっている論文が発表され

る<sup>11)</sup>。濃縮せずにスクリーン・ウォールカウンタを用いた測定が行われた。固体の炭素6gを300 cm<sup>2</sup>に塗り広げ、無限厚さを持つ試料と見なし5.9%の計数効率を得ている。厚さ2インチの鉛遮蔽で150 cpmであったバックグラウンドを、4インチの鉄を内張りし、反同時計数法を採用することで、10 cpmまで低減させている。この装置を用いて、世界各地、島や高山、南北両半球に散らばる11地方の木材14点、海産の貝殻3点及び南極アザラシの油を測定している。 $^{14}\text{C}$ によって年代決定を行うための第1の仮定、地球規模で $^{14}\text{C}$ 濃度が一定であることを確認するためのものであった。木材資料では比較的まとまった値を示しているが、貝殻はやや高め、南極の海獣油はかなり低い値を示している。このばらつきは絶対測定に伴うキャリブレーションの誤差が約10%であることによるものとして、 $^{14}\text{C}$ 濃度は一様であるとしている。木材資料の平均 $12.5 \pm 0.2$  cpm/g Cを得た。この値を現代の $^{14}\text{C}$ 濃度として、エジプト王家の墓から出土した木片資料を測定し、年代測定を試みている。歴史的考察から、それぞれ $4575 \pm 75$ 年、 $4650 \pm 75$ 年前のものとする資料で、計算値 $7.15 \pm 0.15$  cpm/g Cに対して、二つの資料を加重平均した値 $7.04 \pm 0.20$  cpm/g Cを得ている。最後に、Libbyは、今後、年代既知のより新しい資料について試験をすることを表明し、熱拡散の大型濃縮装置の導入と精度向上によって、20000～25000年前の古い資料が測定できるであろうと述べている。この後しばらくの間、固体炭素での測定が続く。

Libbyらのグループは、この時期に半減期の測定を行い、 $5720 \pm 47$ 年という値を得ている。炭酸バリウム(The Isotope Division in Oak Ridge)から $^{14}\text{CO}_2$ を生成し、希釈率の異なる試料を、直径と長さが異なる真鍮製の円筒に導入し、絶対測定を行った<sup>13)</sup>。現在最も信頼できるとされている半減期 $5730 \pm 40$ 年<sup>14)</sup>にきわめて近い数値であった。

表1 年代がわかっている資料の比放射能 (文献11のTable 1を転載)

Sample	Specific activity (cpm/g of carbon)		Age (years)	
	Found	Ex- pected	Found	Expected
Tree Ring	11.10 ± 0.31	10.65	1100 ± 150	1372 ± 50
	11.52 ± 0.35			(577 ± 50 A.D.)
	11.34 ± 0.25			
	10.15 ± 0.44			
	11.08 ± 0.31			
	Average : 10.99 ± 0.15			
Ptolemy	9.5 ± 0.45	9.67	2300 ± 450	2149 ± 150 (200 ± 150 B.C.)
Tayinat	8.97 ± 0.31	9.10	2600 ± 150	2624 ± 50
	9.03 ± 0.30			(675 ± 50 B.C.)
	9.53 ± 0.32			
	Average : 9.18 ± 0.18			
Redwood	8.81 ± 0.26	8.78	3005 ± 165	2928 ± 52
	8.56 ± 0.22			(979 ± 52 B.C.)
	Average : 8.68 ± 0.17			
Sesostris	7.73 ± 0.36	7.90	3700 ± 400	3792 ± 50
	8.21 ± 0.50			(1843 ± 50 B.C.)
	Average : 7.97 ± 0.30			
Zoser : Sneferu		7.15	4750 ± 250	
Zoser	7.88 ± 0.74			4650 ± 75
	7.36 ± 0.53			(2700 ± 75 B.C.)
Sneferu	6.95 ± 0.40			4575 ± 75
	7.42 ± 0.38			(2625 ± 75 B.C.)
	6.26 ± 0.41			Average :
	Average : 7.04 ± 0.20			4600 ± 75 (2650 ± 75 B.C.)

## 2.3 年代測定ができる

その年の内に、<sup>14</sup>C年代測定の有効性を示すために、年代がわかっている次のような資料についての測定結果を報告する。これがよく知られている *Science* の論文である<sup>12)</sup>。

■年輪資料 ベイマツ；年輪年代測定法により

心材 AD 530, 伐採年 AD 623。平均 AD 577。

■ミイラ棺 プトレマイオス朝；様式から 332 ~ 30 BC。

■宮殿床木 北西シリア, ヒッタイト期；725 ~ 625 BC。

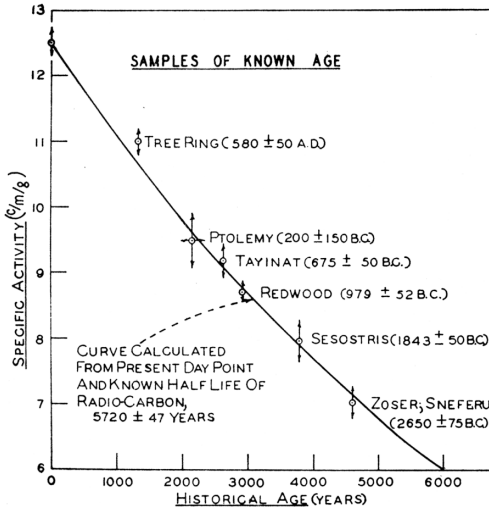


図1 年代がわかっている資料の比放射能

■年輪資料 セコイヤ；1031～928 BC を使用。  
AD 1874 に伐採。

■葬送用舟 レバノンスギ；エジプト・セソストリス 3 世；1843 ± 50 BC。

■墓出土木 前述の 2 資料について再測定。

これらの測定値（表 1）を期待値に対してプロットしたものが図 1 である。この結果を基に、 $^{14}\text{C}$  年代測定法の二つの仮定、1) 宇宙線強度はどこでも常に一定であり、2) 炭素の出入りがない閉鎖系資料が入手可能であるということが、木材については 4600 年前まではほぼ成り立っているとしている。また、古い資料が適合していることから、三つ目の仮定、 $^{14}\text{C}$  濃度の経年変化がない、という点に関しても、20000 年前までは宇宙線強度は 10% 以内で一定していたと見ている。更に、セコイヤの結果から、形成された後に年輪間で物質移動がないことを確認している。

#### 2.4 年代測定の基盤

Anderson の学位論文（1949）が整理されて、1951 年 1 月に Libby の著名な論文が発表される<sup>15)</sup>。この仕事の目的は、1) 現代における陸上生物圏の $^{14}\text{C}$  濃度を十分な精度で測定し、

年代決定のための基準を提供すること、2) 宇宙線のデータから予測される $^{14}\text{C}$  存在量と、地球化学的に推測される交換可能な炭素量を比較すること、3) 緯度の違いによる地理的な影響から生じる変動の大きさを決定することであった。得られた結果は、1) 地表の $^{14}\text{C}$  貯蔵庫の比放射能は、 $16.1 \pm 0.5 \text{ dpm/g C}$ 。2) 陸上生物圏と平衡にある海洋の炭酸塩を含めて地表単位面積あたりの炭素は、 $8.3 \text{ g/cm}^2$ 。同様に中性子密度、 $156 \pm 30 / (\text{cm}^2 \cdot \text{min})$  より、 $18.8 \pm 5 \text{ dpm/g C}$  が期待値として求まる。3) 北緯  $60^\circ$  から南緯  $65^\circ$  までの 18 点の木材資料を測定し、平均値  $15.3 \pm 0.1 \text{ dpm/g C}$  という値を得ている。この結果から、宇宙線強度は緯度に強く依存するが、陸上生物圏での炭素交換は、 $^{14}\text{C}$  の平均寿命に比べて非常に早いので、 $^{14}\text{C}$  濃度は緯度によらず一定であるとした。海産の貝資料は 3 点測定され、 $16.5 \pm 0.5 \text{ dpm/g C}$  が得られており、陸上生物圏の  $1.09 \pm 0.03$  倍の値となる。これは、炭酸塩の質量分別効果による影響としたが、貝資料では  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  の分別係数が 1.03 であることが知られているので、そこから推定される  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  の分別係数は 1.06 であり、放射能測定の精度よりこの推定の方が確度が高いと見て、炭酸塩の比放射能として、木材の値に 1.06 を乗じた  $16.2 \pm 0.5 \text{ dpm/g C}$  を採用している。陸上生物圏の炭素量  $1.0 \text{ g/cm}^2$ 、炭酸塩  $7.3 \text{ g/cm}^2$  から、1) の値を算出した。

ここでは、前述の半減期ではなく、その値に器壁補正を施したもの（5580 ± 45 年<sup>16)</sup>）と、他の文献値（5589 ± 75 年<sup>17)</sup>、5513 ± 165 年<sup>18)</sup>）を加重平均して、5568 ± 30 年という値を算出して用いている。これ以後、 $^{14}\text{C}$  年代測定法では、未来永劫にこの「Libby の半減期」が使われることになる。現在、最も信頼しうる $^{14}\text{C}$  の半減期は、前述したように 1961～1962 年に報告された三つの測定値の加重平均 5730 ± 40 年<sup>19)</sup>であるが、すでに報告された年代値との整合性を保つために、「Libby の半減期」を用いることが、国際会議で決められている（第 5 回

放射性炭素国際会議, 1962, Cambridge)。したがって、最も確からしい半減期を使った年代値は、<sup>14</sup>C年代より約3%古くなる。

また、それまでは、BPをBefore Presentとして用いていたが、<sup>14</sup>C年代は、AD 1950を基準年として、それより何年前かをBP値として報告することも決定された。つまり、これ以後BP=Before AD 1950ということになる。

## 2・5 年代測定の始まり

1951年2月、初めて未知資料についての年代値リスト“Radiocarbon Dates”が報告された<sup>19)</sup>。エジプト、西アジア、西ヨーロッパ、アメリカ合衆国、メキシコ、南米各地から集められた考古学、地質学などの資料、及び年輪資料、合計約150資料の年代値が提出された。これは、18か月間に測定した資料である。名誉ある資料番号1は、最初に年代既知の歴史資料として測定されたエジプト王家の墓の梁材(アカシア)である。古王国第3王朝の第2代ジョセル王(現在では、2630～2611 BC頃に在位したと推定されている)の墓である。彼は、サッカラにある階段ピラミッドとして知られるエジプト最初のピラミッドを建造した。資料はおそらく、ピラミッドを含む墳墓複合体から採取されたものであろう。3回の測定(3 699±770, 4 234±600, 3 991±500 BP)を平均して、3 979±350 BPという年代を算出している。見かけ上、想定年代よりだいぶ新しく見えるが、後述の暦年較正を行うと、ほぼ妥当な年代が得られる。

興味深いものとしては、フランス・ラスコー洞窟の文化層中で採取された木炭を測定し、15 516±900 BPの値を得ている。ラスコー洞窟の年代は、最近までこの値しかなかった。この年代値は、報告の中で最も古い値である。測定限界は15 000～20 000 BPとしている。

また、焼骨を含んでいるが、すでに獣骨の測定も行われている。測定した資料は、木材、木炭、貝殻だけでなく、ピート、泥、穀粒、果実、糞、骨、角などまで手がけている。

そして、同年9月に、「Radiocarbon Dates, II」が報告される<sup>20)</sup>。1950年9月～1951年8月までの測定結果、約60資料で、基本的に48時間測定を行っている。

## 3. 日本考古学と<sup>14</sup>C年代測定

### 3・1 日本の資料が初登場

この中に日本の資料が初めて登場する。巷では、後述する夏島貝塚の年代値が最初のものであると思っている人が多いが、その10年も前に、しかもLibbyの第2報に報告されているのである(図2)。千葉県市川市姥山貝塚の資料である。同遺跡は、大正15年(1926年)に東京帝国大学人類学教室によって発掘され、縄文時代の堅穴住居址が初めて完全な形で見つかったり、埋葬された人骨が発見されるなど、非常に大きな成果を上げた。その後、何回か発掘調査が行われたが、戦後、オランダ人ジェラード・グロートが市川市国府台に日本考古学研究所を設立したことも契機になり、1947年に発掘調査が行われ、二つの木炭資料が年代測定されている。発掘報告書は1952年に同研究所からグロートと篠藤喜彦の連名で英文と日本語が併記される形で発行されている<sup>21)</sup>。当時の状況を理解するのに好適なので、少し長い年代測定に関係した日本語部分を引用してみる。

シカゴ大学原子核研究所の同大学教授リビー博士とその研究員等は考古学的地質学的有機物の確実な年代を決定する方法を発展させた。すべての生物はその所有している炭素の容量によって一定の放射能をもっている。しかし生物が死んだ場合には放射炭素C<sup>14</sup>の吸収はとまり、かつ放射炭素の生存期間をわれわれは知っているから、リビー教授とその研究員は生物が死んでから経過した時間をはかるために、専門家だけにわかる非常に複雑な方法を考案したのである(1949年3月4日*Science* 109巻, 1951年2月2日111巻)。現在、炭がこの方法に対してもっとも適し、約

Reprinted from SCIENCE, September 21, 1951, Vol. 114, No. 2960, pages 291-296.

## Radiocarbon Dates, II<sup>1</sup>

W. F. Libby

*Institute for Nuclear Studies and Department of Chemistry  
University of Chicago, Chicago, Illinois*

### VII. Other Areas

- |     |   |  |
|-----|---|--|
| 548 | <i>Japanese:</i> Charcoal from Ubayama shell mound, about 10 miles west of Tokyo, Japan. Charcoal was part of structural remains in a house area in the bottom levels of the mound. Found in fall of 1948. Thought to be oldest house site in Japan. Submitted by Ralph D. Brown, 26 W. Rustie Lodge Ave., Minneapolis, Minn. Similar sample submitted by Lt. Col. H. G. Schenck. This sample was not measured. | 4850 ± 270<br>3938 ± 500<br>Av. 4546 ± 220 |
| 603 | <i>Late Jomon:</i> Charcoal collected by Father Groot from the early Late Jomon (Horinouchi Stage) horizon at the Ubayama shell mound (cf. 548) in Japan. Submitted via H. L. Movius.   | 4513 ± 300                                 |

### RADIOCARBON DATES—(Continued)

Our No.	Sample	Age (years)
629	<i>Seeds:</i> Ancient Manchurian lotus seeds, still fertile. Collected by Ichiro Ohga in the Pulantien Basin of South Manchuria in a peat layer presumably of Pleistocene age; uplift and erosion had exposed the layer on the walls of the Pulantien River valley. Ohga germinated several hundred seeds, either filing the thick outer shell or soaking seeds in concentrated sulfuric acid for 1-5 hr. Genus <i>Nelumbo</i> , similar to the Indian lotus <i>N. nucifera</i> . Submitted by R. W. Chaney, University of California, Berkeley.	1040 ± 210

図2 日本に関連する資料の初めての年代測定

65 gを必要とする。資料については、2,000年から25,000年の範囲において年代を測定することができる。しかし現在この方法では±200年の誤差より正確に測定することはできない。1947年9月日本考古学研究所では千葉県姥山貝塚を発掘した。そのさい縄文後期堀之内式の特徴ある土器を伴い、火災にあった住居跡から炭化した梁あるいは柱と思われるものを発見した。この資料をリビー博士の許に送付したのである。第1回目の二つの資料は1951年2月測定されたが、その平均年代は4,526 ± 220年前と結果がでて、次の資料は1951年4月測定されて、4,513 ± 300年前と測定された。以上の年代により堀之内式土器は2,500年B.C.より古くから使用されたと考えることができる。

比較層位学的研究方法によれば堀之内式は縄文後期の初頭に位置し、関東地方では他の縄文土器が十数型式先行していることが明瞭となっているので、縄文早期のはじめを約

4,000年B.C.としても不合理ではないであろうと考えられる。(原文のまま)

このように、日本考古学の資料がきわめて早い時期に測定に供されていたことは、特筆に値する。更に実用化されたばかりの測定法を簡潔に紹介し、測定値を基に縄文時代の編年を考察していることには、大きな驚きを感じる。ところで、記載されている前者の年代は、何故かLibbyの報告値と異なっている。

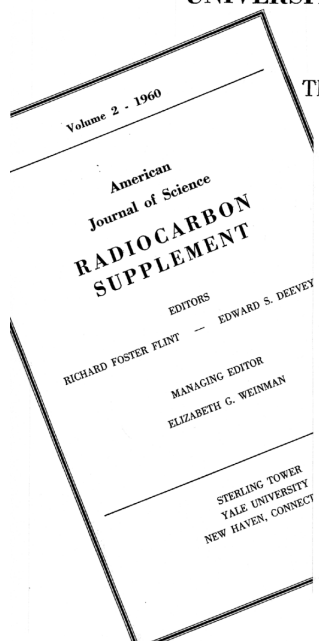
この報告には、もう一つ大賀一郎博士のハスの実が測定されている。実はこのハスは、南満州で採取されたもので、検見川のハスではなかった。これについて、最近興味深い事実が判明したが、詳細は別稿に譲る。これに関連して、検見川で出土した丸木舟も測定されている(4報; 3,075 ± 180 BP<sup>22</sup>)。夏島貝塚の測定が最初ではなかったのである。

[AMERICAN JOURNAL OF SCIENCE RADIOCARBON SUPPLEMENT, VOL. 2, 1960, P. 31-48]

## UNIVERSITY OF MICHIGAN RADIOCARBON DATES V

H. R. CRANE and JAMES B. GRIFFIN

The University of Michigan, Ann Arbor, Michigan

**Natsushima Shell Mound series, Japan**

Shell and charcoal from Natsushima site (35° 19' 7" N Lat, 139° 38' 37" E Long), Natsushima-machi, Yokosuka city, Kanagawa Pref., Japan. Samples are from the second cultural layer or the first shell layer from the bottom of the mound, and are designated Natsushima II. This assemblage is the earliest manifestation of Jomon, the earliest known ceramic culture in Japan. See Sugihara and Serizawa (1957). Coll. June 1955 and subm. by Prof. Sosuke Sugihara, Meiji University, Tokyo.

**M-769. Natsushima Shell Mound, shell** **9450 ± 400**  
Oyster shell.

**M-770. Natsushima Shell Mound, charcoal** **9240 ± 500**  
Charcoal. M-770 was a small sample, and M-771, also charcoal, was combined with it for the measurement.

**M-768. Tokyo Bay, Japan**  **$\delta C^{14} = 0 \pm 20\%$**   
Modern oyster shell from Tokyo Bay, the same species as M-769, subm. by Prof. Susuke Sugihara. The reference standard is modern wood as described in the preface to Michigan IV.

図3 夏島貝塚の年代

## 3・2 世界最古の土器

それから約十年、1960年に発表された神奈川県横須賀市夏島貝塚の年代値は世界中を驚かせた。夏島Ⅱ式土器が出土する第一貝層から採取したカキの貝殻と木炭、及び対照資料として、東京湾に棲んでいるカキの貝殻が測定された。貝殻と木炭からは9450±400, 9240±500 BPという非常に古い年代値が得られた。当時、世界で一番古いとされた西アジアの土器でさえ、4500 BC程度と考えられていたので、東洋の小島で見つかった土器がそれより3000年も古いということは、世界的には大変な衝撃だったようである。この資料は、発掘を主宰した明治大学の杉原莊介が、1957年秋、スペイン・マドリッドで開かれた第四紀研究国際会議に出席した際に、ミシガン大学のグリフィン教授に会い、測定してもらうことになったものである(図3)。

この結果を受けて、杉原は、夏島貝塚につい

ての著書の中で、つぎのように述べている<sup>23)</sup>。

「この数値は、われわれが予期していたものよりはるかに古く、この実験の世話をしてくれたグリフィン教授自身も意外の気持を文面にのせている。第一貝層(Ⅱ文化層)でこれだけだから、その下層の褐色土層(Ⅰ文化層)では、さらに古くなるわけである。夏島貝塚が九千年以前に残されたものだというこの数字は、それならばどういう意味をもつものかということを一応考えてみることにしよう。」杉原は、中国・仰韶文化、デンマーク貝塚、アフリカ・エルメンティタン文化、メソポタミアの状況を検討し、どれも5000 BCより古くないとした上で、「放射性炭素による測定を信ずるかぎり、世界最古の土器ということになる。」と述べている。

更に、縄文時代は、西方の文化と日本の文化をつなぐ東部シベリアの土器を有する文化の年代4000 BCより新しいという説を紹介し、「夏



島Ⅰ・Ⅱ式土器が世界最古の土器であり、夏島貝塚が漁撈文化の証拠としてのこされたものでは世界で一番古いものであるということは、世界の学説を覆す重要な問題である。……このような学説を確実なものとするためには、つぎには、放射性炭素による年代決定の外に、どの方面から検討しても矛盾がないという研究のための努力が、強く要求されねばならないと考える。」と書いている。

言ってみれば、半信半疑の気持ちが表れているように思える。おそらく、これが日本の考古学界を代表する受け取り方だったのであろう。

### 3.3 第1次年代戦争

このような中で、山内清男は1962年に、 $^{14}\text{C}$ による測定値に対して否定的な見解を発表する<sup>24)</sup>。山内は、縄文土器型式の細別と編年に多大な貢献をし、最終的に縄文土器の型式を6期区分(草創期, 早期, 前期, 中期, 後期, 晩期)とすることを提唱し、現在この区分は広く採用されている。 $^{14}\text{C}$ 年代は、証明されていない仮定の上に立つ測定法によって得られたもので信頼できないとし、日本と外国の同種の遺物の比較から、縄文時代の年代を推定しようとした。具体的には、例えば石器の一種である矢柄研磨器という、卵を二つ割りにしたような形をした、矢の幹を擦り磨く道具を取り上げる。この石器は世界に広く分布し、その古さはヨーロッパでもアジアでも、約2500 BC以降、1700 BC前後にわたって発見されているとし、日本の縄文時代は、最も古く考えて2500 BCに始まり、全期2400年間、各期400年間、各型式40～50年間と考えた。更に、この年代観に基づいて、縄文時代の海進・海退をヨーロッパでのイベントと対比して、矛盾がないことを主張している<sup>25)</sup>。

これに対して、 $^{14}\text{C}$ 年代を積極的に採用して編年作業を進め、長期編年を主張したのが、芹沢長介である。これは、一般的には短期編年、長期編年の対立と呼ばれており、考古学界内部

の論争であるが、まさに第1次年代戦争である。この論争は、1970年山内の死で下火になるが、現在でも尾を引いている。1994年に出版された「縄文文化の研究(全10巻)」第2版でも、短期編年に基づく海進・海退についての論文が残っているし<sup>26)</sup>、後の第3次年代戦争でも、その影がちらついている。

## 4. 日本における年代測定

この時期に日本では、理化学研究所、次いで学習院大学が年代測定の先鞭をつけた。学習院大学では、1955年にアメリカから、Libbyが使っていたものと同じ装置を輸入した。この測定装置は、固体の炭素を計数管に塗りつけて測定するものだった。

### 4.1 核実験の影響

折しも、世界では大気圏内核実験が続けざまに行われていた。第五福竜丸の惨事に見られるように放射能を持つ雨や塵が降っていた。これが測定する炭素粉末に付着し、 $^{14}\text{C}$ の放射能は微弱なため何を測っているかわからなくなってしまった。もちろん、核爆発でも $^{14}\text{C}$ はできるのだが、測定上の問題は小さい。二酸化炭素の形で漂っていれば、固体を測定する上で大きな影響はないのである。もっとも、大気中の $^{14}\text{C}$ 濃度は1964年には通常の約2倍となり、現在でもまだ、1.1倍前後という水準にある。つまり、後の世で年代測定しようとしても、1954年から二千数十年頃までの遺物の年代を決めることはできないのである。

ともあれ、核実験降下物の影響を逃れるために、測定試料を二酸化炭素やアセチレンなどの気体にする方法が採られた。学習院大学では、アセチレンによる気体比例計数管を用いて1959年から年代測定を開始することになる<sup>27)</sup>。

### 4.2 東京大学における $^{14}\text{C}$ 年代測定

東京大学における $^{14}\text{C}$ 年代測定は、1960年度から3年間続いた科学研究費機関研究交付金で

始まる。交付金は総額 850 万円ほどで、当時主流だった気体試料の  $\beta$  線計測法による年代測定装置を購入した (M.B.L.E 社, Belgium)。装置は、理学部アイソトープセンターに設置されるが、1967 年総合研究資料館 (現総合研究博物館) が新築されると、地下に年代測定室が設けられ、そこに移設された。

機関研究が終わった後も、研究班が運営に充たることにして、1962 年に「東京大学 C<sup>14</sup> 運営委員会」が発足した (C<sup>14</sup>; 当時はこのように表記していた)。研究班、委員会は 7 部局 4 研究所から構成されていた。その後、1966 年に「東京大学 C<sup>14</sup> 編年委員会」と名称を変え、翌 1967 年 2 月に評議会の議を経て正式に「東京大学放射性炭素年代測定装置委員会」が発足することになる。今も、この委員会のもと、博物館地下年代測定室で測定が行われている。

#### 4.3 こんなものを測ってきた

記念すべき第 1 号試料 (TK-1) は考古学資料だった<sup>28)</sup>。

■TK-1 4 970 ± 80 BP (1966 年 9 月 10 日)

横浜市南堀貝塚; 1955 年発掘, 代表和島誠一  
 竪穴住居の炭化材 諸磯 A 式土器を伴う

その後約 30 年の間に、1 000 件の年代値を決定したが、その中で、最も引用回数が多い年代値は、おそらく次の 2 件である。最近行われている、日本における更新世人類化石の見直しの中でも、最も古い人骨の一つとされている港川人骨に関係した資料である。

■TK-99 18 250 ± 650 BP (1970 年 12 月 18 日)

■TK-142 16 600 ± 300 BP (1974 年 12 月 11 日)

沖縄県港川 石灰岩採石場のフィッシャー

港川人骨が出土した粘土層に散在した木炭片  
 当博物館が所蔵する港川人骨については、後年筆者らが AMS 法によって人骨を直接に年代測定しようと試みたが、骨中にコラーゲンがほとんど残っていなかったために、まだ測定できていない。歯を使えば測定できる可能性がある。是非チャレンジしたいと思っている。

## 5. 加速器質量分析法 (AMS) の誕生

### 5.1 東京大学における AMS

1977 年に Muller が提案した加速器質量分析法<sup>29)</sup>については、1980 年、東京大学原子力研究総合センターのタンデム加速器を改造することに着手して、開発を始めた。当初、<sup>10</sup>Be の測定を精力的に続けていたが<sup>30)</sup>、1985 年に<sup>14</sup>C の検出に成功し、AMS 法による<sup>14</sup>C 年代測定がスタートした<sup>31)</sup>。タンデム加速器更新のために運転を停止した 1991 年 10 月まで 6 年間にわたって、主に考古学資料の測定を行ってきた。測定した資料は、くり返し測定したものも含めると、500 以上にのぼる。考古学年代を決定した資料は、木片・炭化物・泥炭・人骨・歯・貝殻・漆・布・ミイラ・鉄器などで、炭素を含んでいるものなら、ほとんどありとあらゆるものを測定してきた。また、火山ガス・中性子照射試料・隕石などについて、<sup>14</sup>C 濃度を測定した。

なお、1981 ~ 2 年には、名古屋大学にタンデトロン AMS 装置が導入されている。

### 5.2 第 2 次年代戦争

この時期には、短期編年のような極端な議論はなくなる。しかし、その後も、縄文時代の大筋の年代は<sup>14</sup>C 年代値を使うものの、詳細な年代は土器型式の編年に頼る方が精密であるという風潮が続いてきた。東京大学考古学研究室の著名な先生が、公の場で、縄文時代研究で<sup>14</sup>C 年代測定はやらない、と明言されたこともある。

しかし、一方では奇妙な状況が見られた。人類学・考古学研究者の一部の中で、AMS 法では測定しない、測るなら  $\beta$  線計測法だという声が聞こえてきた。両者の測定値の間に、食い違いが生じている場合があったことが原因かとも思われるが、この状況がしばらく続く。第 2 次年代戦争である。

1991 ~ 3 年に東京大学のタンデム加速装置は更新され、名古屋大学では 1996 ~ 7 年にタンデトロン AMS 装置の 2 号機が設置される。

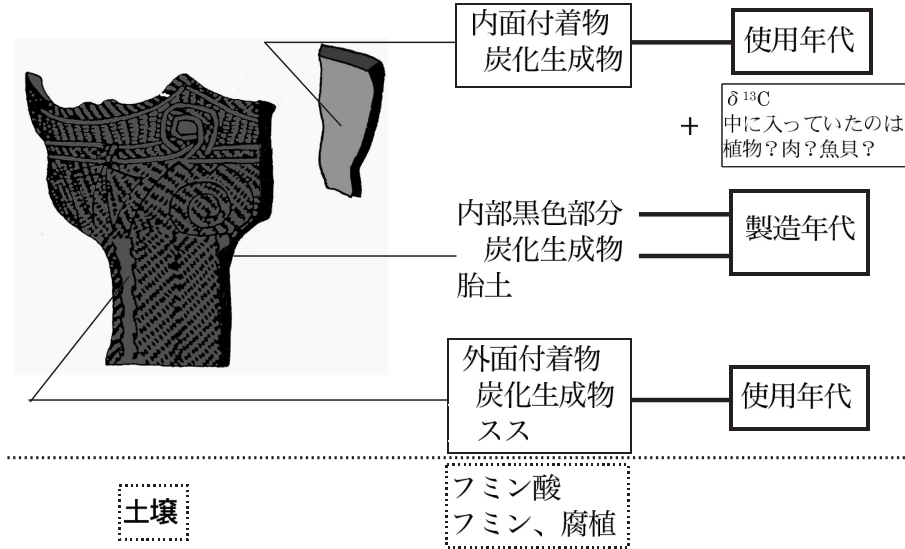


図4 土器が持つ時間情報

両者とも、定常的に<sup>14</sup>C年代測定ができるようになるまで、やや手間取るが、この頃になると、1) 少量で、2) 古い時代まで、3) 早く測れるという、AMS法の利便性が理解され、考古学・人類学・地球科学・環境科学などの各分野で、これらの特質を活かした研究が計画・実行されるようになる。

筆者が関係した、いくつかの先端的な研究を見てみることにする。

## 6. 土器に押された日付スタンプ

### 6.1 土器が持つ時間情報

微量の資料で、精度よく年代が決定できるAMS法を用いると、土器の年代への新たなアプローチが可能になる。AMS法が普及するまで、土器型式の年代は、主として土器とともに出土した木炭や貝の年代を測定してきた。土器型式の他地域への伝播、土器の流通の可能性を考えると、土器の年代を直接、しかも精度よく決定することが望ましいのは、しごく当然である。

筆者らは、十数年ほど前から、縄文土器自身に残された炭化物を使って、土器の製造・使用

年代を決定する研究を進めてきた<sup>32)~34)</sup>。1990年に土器表面に埋め込まれていた炭化した種子を取りだし、土器の年代が決定できることを見出し、その後、土器が持つ時間情報を取り出すための、基礎実験を重ねてきた。

たとえば、早期・前期の土器の中には、粘土に繊維を混ぜ込んだ「繊維土器」と呼ばれる一群の土器があり、完全に酸化されずに内部に黒々と炭化物が残っている例もたくさんある。また、土器製造時に偶然取り込まれた表面や内部の有機物、使用時に付いた貯蔵物の穀物片や油脂、煮炊きした食物などの有機物やその炭化物、吹きこぼれや加熱時のススなど、年代測定に使えるものがたくさんあることがわかってきた。古代からの便りに、言ってみれば日付の消印が押されているのだ。この消印を判読して詳しい年代を決めようというのである。

これらの資料は、次のような性格を持っているはずである(図4)。

- 1) 製造する際に意識的、あるいは、偶然に土器に取り込まれた有機物(藁など)とその炭化物
- 2) 使用時に付いたおこげや吹きこぼれに代表

される食物や穀物片、油脂などの有機物やその炭化物、あるいは、加熱燃料のすす前者が土器の製造年代を、後者はその使用年代を示すはずであるが、現在の測定精度では、この違いは測定し得ないであろう。

#### 6・2 その<sup>14</sup>C年代値は、何の年代か

AMS法では、ほんのけし粒ほどの資料、つまり約1mgの炭素試料があれば、測定することができる。土器に有機物の残骸が痕跡量残っていれば、その試料が持っている<sup>14</sup>C濃度が測定できることになり、<sup>14</sup>C年代を算出することができる。しかし、逆に言えば、埋蔵されてきた遺物には、目的とする時間情報を持つ炭素だけでなく、由来を異にする様々な有機物が多少少なかれ含まれているので、ほとんどのものは測定にかければ、「<sup>14</sup>C年代」が得られてしまうことになる。したがって、得られた年代値が、何を意味するかを十分に検討することが、これまで以上に重要となる。このような視点から、土器の年代決定について、基礎的なデータ収集を行い、十分に検討した上で測定した例を紹介する。

### 7. 繊維土器の年代

#### 7・1 繊維土器とは

繊維土器は、縄文時代早期後半から前期前半の土器群に特徴的に見られるもので、胎土中に植物などの繊維が混入している土器である。縄文土器の胎土には、普通、粘土質の素地土に混和剤と呼ばれる混入物が含まれている。無機質の各種岩石や鉱物類が多いが、この時期には、量の多少はあるが、ほぼ全国的に繊維の混入が見られる。この目的は明らかではないが、加えない場合に比べて、多孔性が増し、造形しやすく、軽量化ができたものと考えられている。

関東地方の場合には、早期の田戸上層式に始まり、子母口式、野島式、鶉が島台式、茅山下層・上層式、前期の花積下層式、関山式、黒浜式まで続いて、次の諸磯式では、繊維はほとんど

見られなくなる。

#### 7・2 土器を破壊して時間情報を取り出す

繊維土器には、内部の繊維が完全に酸化されずに黒々と残っていることがあるのは、周知の事実である。

内部の部分が見た目に黒い場合は、ほぼ炭素を含んでいて、0.5%（質量比）から、場合によっては2%以上の炭素を含んでいる場合もある。黒色部分は、厚さ0.5cm～1cmあり、1×1cm<sup>2</sup>の資料を採取すれば、0.5g以上の試料が得られるので、酸—アルカリ—酸(AAA)による不純物の除去処理をしたあとの回収率にもよるが、2, 3回測定できる試料調製が可能である。土器の表面部分だけでも残したいという場合は、断面から、マイクログラインダーで黒色部分を掘削することも可能である。

繊維土器資料は、埼玉県の7遺跡と神奈川県2遺跡から出土した土器片20点と貝殻3点を用いた(図5)。

土器片2～3cm<sup>2</sup>をダイヤモンドカッターで切断し、茶褐色を示す両側表層の厚さ約1mmの部分、カーバイド(超硬)バーを装着した超精密マイクログラインダーによって削り取る。残った黒色部分を砕き、分離した炭化生成物がある場合には、ハンドピッキングで集めて別試料とした。得られた試料は、AAA処理を行い、測定試料を調製した。

#### 7・3 土器製作の時間情報を持った炭素

土器の内部黒色部分を用いて時間情報を取り出す場合は、土器付着物を用いる場合と違い、いささかやっかいな妨害炭素が存在する。土器の胎土中にもとから含まれる有機物を起源とする炭素である。これは、粘土が形成された時の炭素を含むので、ねらっている炭素より古い、ほぼ同じ年代を示すはずである。埋蔵中に、周囲の土壌から浸透してくる成分は、付着物の場合と変わりなく、AAA処理によって溶解除去されるはずである。

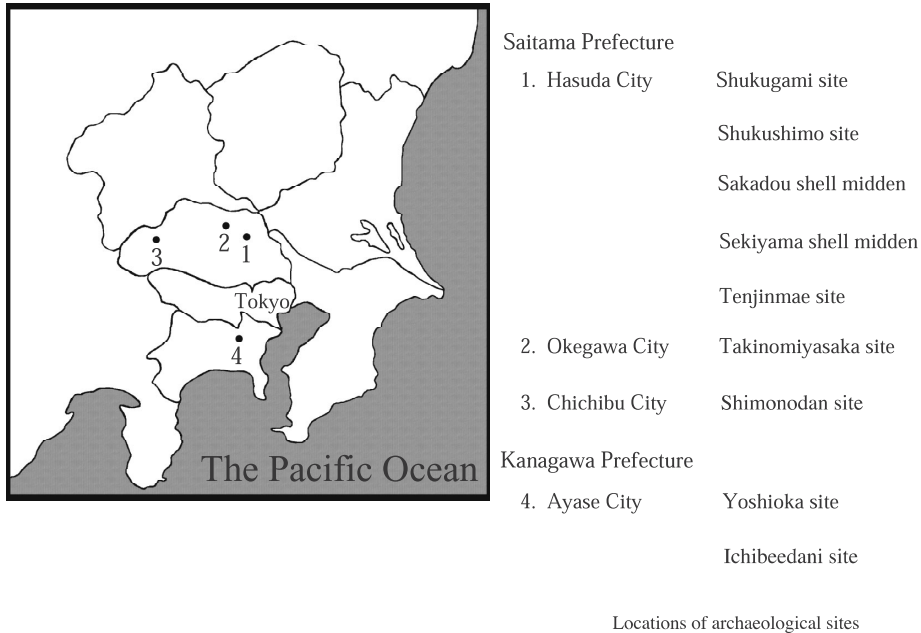


図5 遺跡の位置

このことから、表層部1～3mmの色が黒くない部分と、内部黒色部分に含まれる炭素の成分は次のようになると考えられる。

#### 表層部

[(繊維)] + [胎土中の有機物] + [浸透成分]

#### 黒色部

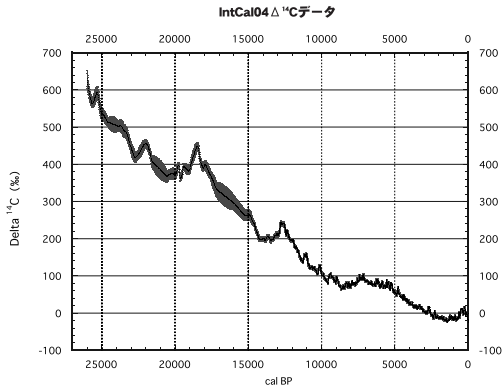
[繊維] + [胎土中の有機物] + [浸透成分]

表層部の繊維は、ほとんど酸化されて残っていないものとする、AAA処理をした表層部の測定をすれば、胎土中の有機物だけを測定することになり、その影響を見積もることができる。異なる遺跡から出土した異なる土器型式の四つの土器片を用いて、最適なアルカリ濃度を決定する実験を行い、測定した結果、胎土中の有機物（炭素）があったとしても、その量は少なく、影響は小さいことがわかった。また、アルカリ濃度は、0.05 M NaOHまでとし、緩やかに処理することにより、主たる浸透成分であるフミン酸を除去し、なおかつ繊維由来の炭素を残すことができる条件を得ることができた。測定は、東京大学原子力研究総合センターのタ

ンデム加速装置に設置されているAMS装置を用いて行った。

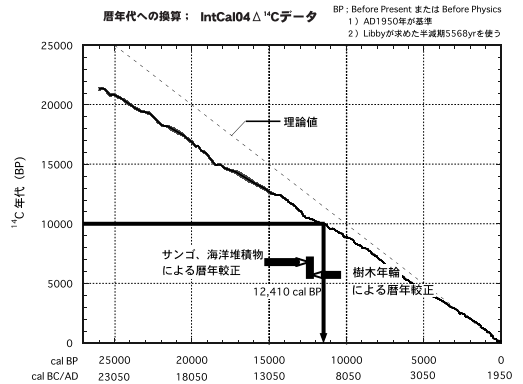
#### 7・4 暦年較正曲線

測定によって得られた<sup>14</sup>C年代値は、我々が使っている時計の尺度と必ずしも一致しない。<sup>14</sup>C年代6000BP=暦年代4050BC(=1950-6000)とはならないのである。まず、年代計算に使っている半減期に正しい値を用いると約3%古い年代になる。更に前述の核実験の影響だけでなく、主として地磁気と太陽活動の変動によって、そもそも過去の<sup>14</sup>C濃度は必ずしも一定でなかったことが知られている。したがって、そのための補正が必要になる。年輪年代測定法によって年代決定された年輪試料を、一般的には10年毎にまとめて、その中に含まれている<sup>14</sup>C濃度をβ線計測法(主として液体シンチレーションカウンタ)により精密に測定している。1万年も生き続ける木はないので、何本もの年輪試料を使って、ウィグルマッチングと呼ばれる方法でつなぎ合わせて12410年前ま

図6  $^{14}\text{C}$ 濃度の経年変化

での測定値が得られている。樹木は、ドイツ、アイルランド、アメリカ西部で発掘された German pine, German oak, Irish oak, Pacific Northwest Douglas firなどが使われている。それ以前は、U/Th法によって暦年代を決めたサンゴの年輪部分と海洋堆積物について、 $^{14}\text{C}$ 濃度を測定している(図6)。2005年3月に発表された IntCal 04<sup>35)</sup>では、26 000年前までのデータが提出されている。12 500年前までは5年毎、15 000年前までは10年毎、それ以前は20年毎の値が与えられている。この関係を使って、測定で得られた $^{14}\text{C}$ 年代値を暦年代に変換する曲線「暦年較正曲線」を作ることができる。このようにして、暦年較正した年代を cal BP で表す。12 410 cal BP までは、cal BP は年輪年代値を表していると考えてよい。最新のデータに基づき、縦軸には測定によって得られた $^{14}\text{C}$ 測定年代、横軸に較正年代(年輪年代)を目盛ったものが図7である。測定値が10 000 BP であれば、約11 500 cal BP に相当する。図6でわかるように、12 000年前頃は、 $^{14}\text{C}$ 濃度が現在より20%近く大きいため、見かけ上新しい年代を示すのである。

26 000 cal BP より古い年代についても、日本の水月湖(福井県三方町)の湖底堆積物をはじめ、ほぼ50 000 cal BP までつながる数セットの高精度 $^{14}\text{C}$ 濃度が報告されている。しかし、これらのデータセットの間には、数千年に及ぶ

図7 IntCal 04 の $^{14}\text{C}$ データ

不一致があるため、IntCal 04 では、較正曲線として提案されていない。

### 7.5 繊維土器の年代

これまでに得られた年代値を、すでに報告されている値とともに、INTCAL 98を用いて暦年較正をした上で、土器型式ごとにまとめて、図8に示した。較正年代算出プログラム OxCal 3.5<sup>36)</sup>により較正年代を求めた。暦年較正の実際は、次項で述べる。関東地方、縄文時代早期の野鳥式、前期の花積下層式、関山式、黒浜式の年代を決定している<sup>37)</sup>。伴出した木炭や貝殻ではなく、土器片自体の年代を決定できる意味は大きい。特に縄文時代早期では木炭が得られない場合もあるため、遺跡や遺構の年代決定に大きな寄与ができることになる。

なお、本研究は、以下の文部省科学研究費補助金による成果の一部である。

平成8～10年度、基盤研究(B)(課題番号08451086「土器の製造および使用、さらに伝搬についての暦年代」研究代表者：吉田邦夫)

平成11～13年度、基盤研究(A)(課題番号11301013「縄文海進と古代人の適応」、研究代表者：吉田邦夫)

平成14～16年度、基盤研究(A)(課題番号14201042「縄文海進と古代人の適応」、研究代表者：吉田邦夫)

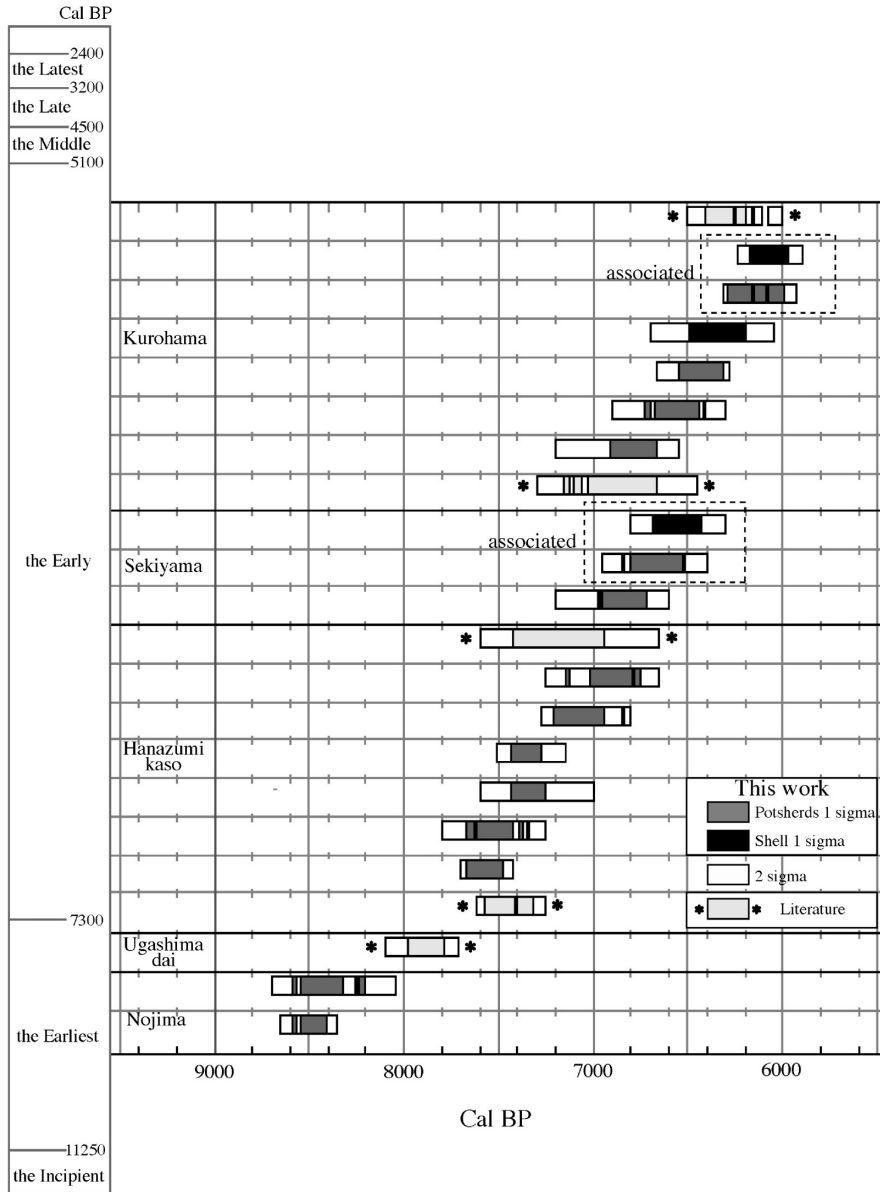


図8 縄文土器片の<sup>14</sup>C年代

【註】本項目以下の暦年較正では、最新バージョンの一つ前のINTCAL 98を用いているが、これらの年代領域では、大きな差異は生じない。

## 8. 火炎土器の年代

### 8.1 火炎土器

火炎土器とは、縄文時代中期中葉に新潟県信濃川流域を中心として、主として新潟県に分布する特徴的な土器である(図9)。土器の全面



U 1

図9 火炎土器（馬高式土器）

に施紋され、口縁からはみ出した豪華な把手は、まるで炎が燃えさかるかのような華麗な装飾を持った土器である。同じ仲間に、全体が王冠のように見える王冠型土器と呼ばれる一群がある。これらの分布は狭く、存続期間も短いと考えられてきた。また、土器捨て場に割られた上で一括して捨てられていることが多い。

火炎（王冠）型土器には、主として口縁部内面に炭化物が付着している例が見られる。祭祀用に使われた土器と推定されているが、煮炊きした食物などが炭化して残っているものと考えられる。できる限り完型土器を対象として、付着した炭化物を採取し、年代を測定する方針をとった。土器形式を明確に判断できるだけでなく、付着部位、付着状況がはっきりすることが肝要であると考えたからである。

## 8・2 資料

まず、新潟県長岡市内の三遺跡、山下、馬高、岩野原遺跡から出土した34個体を選び、31個体から32資料を採取した。また、湯沢町・原遺跡、津南町・道尻手遺跡の12個体から13資料を採取した。更に、茨城県久慈川流域の坪井上遺跡の1個体についても、土器の伝播・比較のために試料を採取した。ほとんどの付着物が加熱されたことを示す特徴を持っていた。織維土器資料と同様に測定し、次のように較正年代

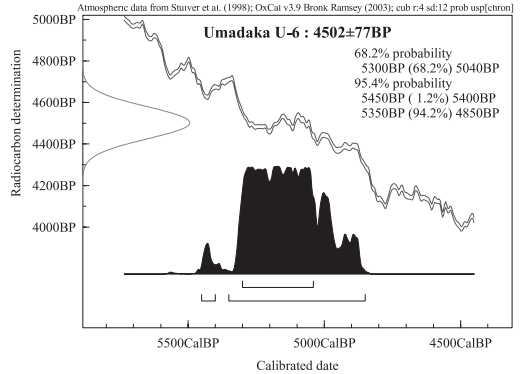


図10 暦年較正の方法

を求めた。

## 8・3 暦年較正の実際

馬高遺跡U-6資料(TKa-12240)を例にとって、OxCal 3.9<sup>6)</sup>を用いて probability distribution (確率分布)法による暦年較正を行ってみる。図10に出力を示してある。

左の縦軸に乗っている山が、測定した<sup>14</sup>C年代値とその前後の各年代値に対する確率分布を表している。年代測定値は1σの誤差を付けて報告するように取り決められているが、実は、4502±77 BPという書き方は、このような確率分布を数値の形で表す約束事である。すなわち、中央値4502 BPから±77 BPの部分で山全体の68%の面積を占め(1σ=信頼率68%)、また2σ、つまり2倍の誤差、±154 BPまでの部分で95%を占める。数値だけを見ると誤差の範囲が全て均等な意味を持っているように思いがちだが、信頼率は中央ほど高い。

図10の中央に左上から右下に走る二つの線が、誤差の範囲を示した較正曲線である。+1σと-1σの線で示す。<sup>14</sup>C年代の中心値4502 BPが確率分布の山の頂点にある。ここから右に水平に線を延ばして、較正曲線と交差した点から垂直に線を下ろして較正年代とすると、最も確率の高い点になる。このようにして、左側の山の高さに相当する確率の大小を較正曲線と交差した点で垂直に下ろして横軸上に転写し



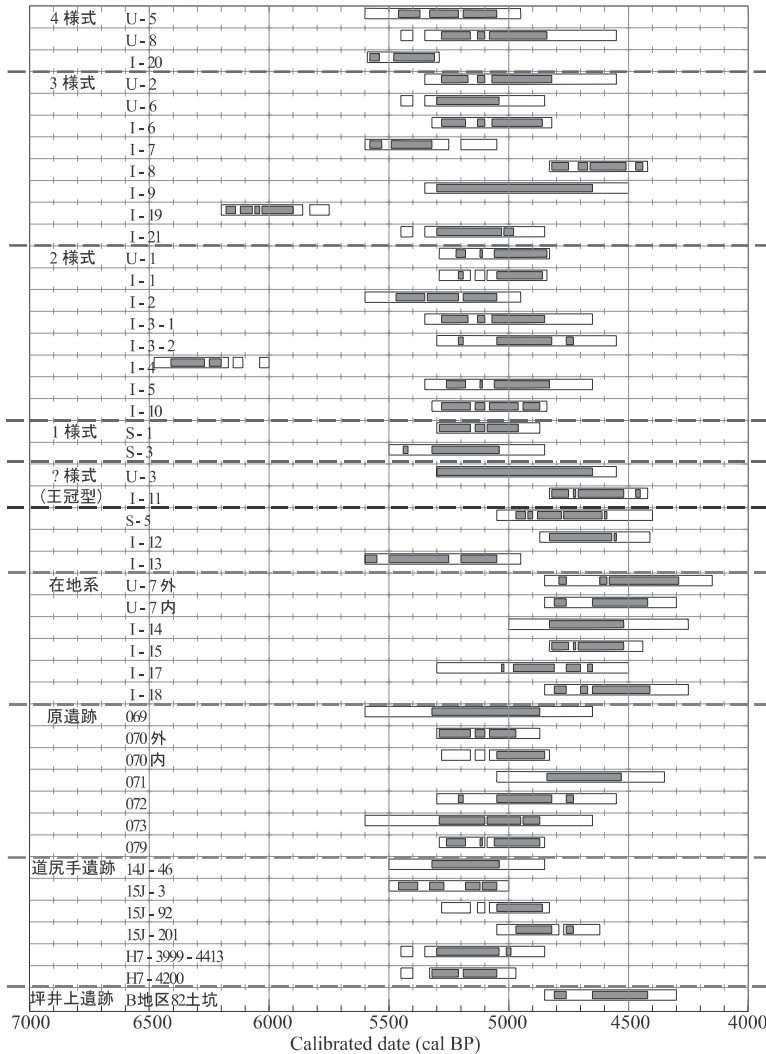


図 11 火炎土器様式の年代

ながら、順次、確率を足しあわせていくと、幅が広がった黒い山が得られる。もちろん、較正曲線にも分布の広がりがあるので、それらの確率の大小も加味されることになる。これが、較正年代値の確率分布曲線である。全体の山の面積（確率 1）に対して、山の高いところから順に集めて 68% の面積を占める範囲が  $1\sigma$ 、つまり信頼率 68% の較正年代範囲（黒山の下、上段のカッコ）となる。95% の部分をとれば、 $2\sigma$  の較正年代範囲（下段のカッコ）となる。較正年代値は全ての測定年代値、つまり縦軸の

山の裾まで全てを拾って転写しているので、徹底的に信頼率を上げるつもりならば、較正年代の黒山について、心ゆくまで広い範囲を取ればよい。しかし、どれほど頑張ってもそれほど較正年代値が広がらないことがわかるであろう。なお、ここでは、 $^{14}\text{C}$  年代値を報告する際の約束に準じて較正年代は 10 の位までに丸めるように設定してある。

#### 8.4 火炎土器の年代

較正暦年代を、図 11 に示す。バーの灰色部

表2 大平山元I遺跡から出土した土器付着物の<sup>14</sup>C年代値と較正暦年代(文献39のTable2を著者が改変)

試料出土層準	試料・付着部位	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ (‰)	<sup>14</sup> C年代* (BP±1σ)	較正暦年代 ±1σ範囲(信頼度)**	測定機関番号
Ⅲ層	土器付着物(内壁)	-	13,210 ± 160	16,220 - 15,540 (100%)	NUTA-6515
Ⅲ層下部	土器付着物(外壁)	-30.5	13,030 ± 170	16,080 - 15,260 (100%)	NUTA-6507
Ⅲ層最下部	土器付着物(内壁)	-	12,720 ± 160	15,620 - 15,150 (47.4%) 14,780 - 14,360 (52.6%)	NUTA-6509
Ⅳ層最上部	土器付着物(内外壁)	-29.6	12,680 ± 140	15,570 - 15,150 (40.1%) 14,790 - 14,350 (59.9%)	NUTA-6506
Ⅳ層	土器付着物(外壁)	-	13,780 ± 170	16,850 - 16,240 (100%)	NUTA-6510
平均			13,070 ± 440	16,330 - 15,160 (85.5%) 14,680 - 14,410 (14.5%)	
Ⅲ層	炭化樹木(針葉樹)	-26.1	13,480 ± 70	16,440 - 15,950 (100%)	Beta-125550
Ⅲ層	炭化樹木(カエデ属)	-27.0	7,710 ± 40	8,520 - 8,500 (32%) 8,480 - 8,420 (68%)	Beta-125551
Ⅲ層	炭化樹木(イヌガヤ)	-27.2	7,070 ± 40	7,940 - 7,840 (100%)	Beta-127791

\*)  $\delta^{13}\text{C}$ 補正放射性炭素年代(半減期; 5568年使用)

\*\*) INTCAL98を用いCalib3.0較正プログラムにより較正

分が1σの範囲で、白桦の部分が2σを表している<sup>38)</sup>。

まず、いくつかの特徴を列挙してみよう。数値は主に1σの範囲を考えている。

- 1) 岩野原遺跡の2資料, I-19, I-4の年代が他のものと比べて1000 cal BP程度古い年代を示している。石油を原料とした化学製品に含まれる炭素は、ほとんど<sup>14</sup>C原子を含まない死滅炭素なので、例えば、農薬や接着剤などが混入すると年代が古くなる。しかし、農薬などは水溶性なので化学処理の段階で除去されるはずである。また、接着剤やビチューメンなどの混入も認められない。
- 2) 長岡市内3遺跡の火炎型1~4様式については、おおそ5500~4800 cal BPにまとまっている。様式間の年代差は必ずしも明らかではないが、存続期間が短い土器形式であったことを示している。
- 3) 岩野原遺跡のI-8は、やや若い年代を示している。
- 4) 上記3遺跡の、東北系、在地系の資料は、火炎型1~4様式と重ならず、それより若い4800~4400 cal BPに分布する。
- 5) 原、道尻手両遺跡では、ややばらつきがあるものの、5300~4800 cal BPに収まっている。

以上のごとく、地域が異なる資料であるにもかかわらず、火炎型様式の年代は比較的まとまった年代幅に収まっている。土器様式としては最も古い1様式から4様式へと変遷すると考えられているが、年代値ではこの新旧関係は明らかではない。

この研究は、新潟県立歴史博物館の総合研究「火炎土器様式圏の研究」として行われ、上記のいくつかの点については、考古学研究者と検討を加えており、更に多くの測定を続けている。

### 9. 第3次年代戦争

AMS法によって初めて実現した<sup>14</sup>C年代測定の一つが、物議を醸し、第3次年代戦争の感を呈している。

#### 9.1 土器の始まり

1999年4月17日付け朝日新聞(夕刊)の一面のトップに「青森で1万6500年前の土器片」という見出しが躍っていた。青森県東津軽郡のおおだいやまもと大平山元I遺跡から出土した御子柴、長者久保系文化に属する無紋土器5点(一つの土器がバラバラになったとされている)に付着した微量の炭化物から0.7~3mgの炭素を回収して年代測定を行った。得られた結果から、土器

が使用された年代は、平均値  $13\,070 \pm 440$  BP から最古の年代値  $13\,780 \pm 170$  BP の期間であると推定している。後者の年代を暦年較正すると  $16\,850 \sim 16\,240$  cal BP (信頼度 100%) となり、これまで考えられてきた縄文時代開始年代 ( $^{14}\text{C}$  年代値) とは大きく異なっていたことからセンセーションを巻き起こした (表 2)<sup>39)</sup>。報道では、これまでの 12 000 年前から 4 500 年もさかのぼったとされたが、長崎県福井洞穴の爪形土器について  $12\,700 \pm 500$  BP という値が得られており<sup>40)</sup>、確かにやや古くなったが、暦年較正によるところが大きい。16 000 年前頃は、 $^{14}\text{C}$  濃度が現在より 30% ほど高い状態だったために (図 6)、測定すると新しい年代を示すことになる。世間ではこの点を誤解したわけである。

一方で、この年代値はいくつかの問題をはらんでいる。五つの土器片は一つの土器がバラバラになったはずなのに、どうして同じ年代を示さないのだろうか？ 中心値で 1 000 BP 以上も差があるのはどうしてだろうか？ 報告では、新しい年代値は汚染によるものとして、最も古い年代値と、加重平均の値の両者を用いて検討しているが、それは妥当なのであろうか？ 最下層に含まれていた土器片が最も古い年代を与えているのは示唆的である。更に、同層から取り上げられた木炭は、1 点のみ土器片に近い年代を示すが、他の 2 点は、かなり新しい縄文時代早期の年代を示している。堆積物の混合があったためと解釈しているが、問題はまだまだ残されているように思われる。

この問題について、かなり感情的に揶揄した一文が、「縄文時代の起源を探る」特集をした 2003 年 5 月発行の『季刊考古学』冒頭に掲載されている。著者は、千葉大学岡本東三教授で、題して「多岐亡羊の縄紋文化起源論」<sup>41)</sup>。 $^{14}\text{C}$  年代測定法の三つの前提、 $^{14}\text{C}$  濃度の空間的一定性、時系的一定性、試料的閉鎖性のうち、 $^{14}\text{C}$  濃度の経年変動があることがわかったので、年代測定法の前提は破綻したのだと主張する。驚

くことに、山内清男の言説を引いて、夏島貝塚についての議論を蒸し返している。

## 9・2 弥生時代の始まり

そして、2003 年 5 月には、同様に土器付着物を測定して、弥生時代の始まりが 500 年程度早まるという報告が歴博チームによって行われた。これについては、報道直後の日本考古学協会第 69 回総会でも激しい議論を呼び、その後も各所で論議が続いている。たとえば、石川日出志は、大陸側との比較で歴博チームの値はやや古すぎるとした上で、日本 AMS 研究協会会長小林絃一が「我が国の考古学では自然科学的手法は必ずしも重要視されてこなかった」(6 月 16 日朝日新聞夕刊) と述べたのは、事実無根であると警告している<sup>42)</sup>。確かに、前述したように第 1 次年代戦争は、まさに  $^{14}\text{C}$  年代に基づくものであったし、弥生時代の  $^{14}\text{C}$  年代も 20 年以上も前に佐原によってコンパイル、検討されており<sup>43)</sup>、これまでの弥生開始年代でも  $^{14}\text{C}$  年代が参照されていたことを忘れてはならない。

更に一方では、2004 年 7 月には、獣骨と人骨から抽出したコラーゲンを試料として年代測定を行い、弥生開始の年代は、これまでの定説通り紀元前 5 世紀であるとの研究報告が提出され、議論となっている<sup>44)</sup>。

## 9・3 土器付着物の年代

また、土器付着物が正しい年代を示さないことがあるという点に関して、「考古学研究」誌で応酬が続いている<sup>45)~47)</sup>。土器付着物は、土器そのものが持つ時間情報であり、土器と一緒に出土する木炭や貝に比べて、土器との同時代性が強いのは事実であるが、最大の問題は付着した炭化物の正体がつかめていないことにある。火炎土器の場合でも、グループから大きくはなされて、古い年代や逆に新しい年代を示す資料が存在する。貯蔵物や煮炊きに由来しない炭素を測っている可能性を必ずしも否定できない。難しい点もあるが、今後、この点を科学的に解明

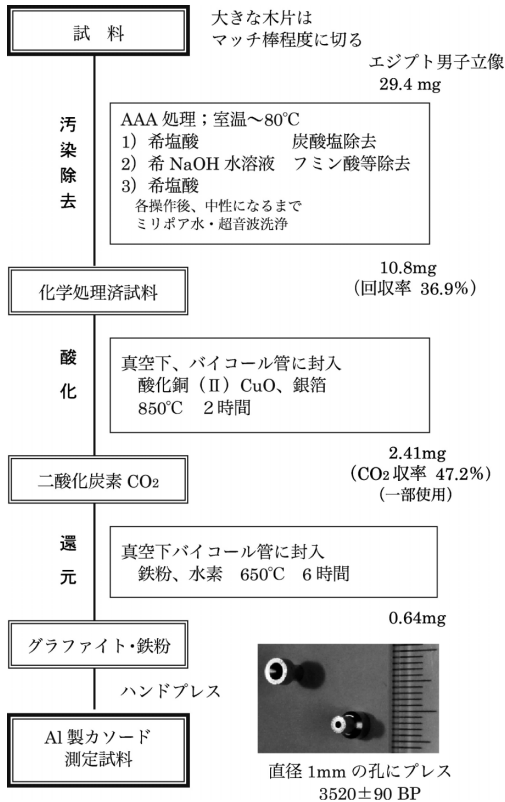


図 12 測定試料の調製法

することがきわめて重要である。

更に、土器付着物だけでなく、伴出する木炭や貝殻も積極的に測定する必要がある。依然として解明されていないことが多いので、土器を包含していた土壌の年代を測定するなど、総合的な検討が必要とされている。

## 10. 美術工芸品の年代測定

AMS法の登場によって考古遺物だけでなく、これまでとても手をつけられなかったような貴重な美術工芸品についても、測定が可能になり、思わぬ結果が得られることもある。美術品鑑定者を欺くことができても、科学分析はその虚を暴くことになるかもしれない。逆に、鑑定眼の脆さを、白日の下にさらすこともある。奇々怪々の世界である。美術工芸品の<sup>14</sup>C年代測定は、金銭や私利私欲が絡むので、一層きな臭くなり

そうであるが、年代測定の結果に関して、これまで怖い目に遭うことはあっても否定や反論を受けたことはない。

すでに1989年、東京大学では、更新前の旧タンデム加速器による測定で、鎌倉時代の仏教資料(AD 1295～1304の記載あり)の一つについて、AD 1310 ± 270の年代を得て、誤差は大きい歴史資料に対する<sup>14</sup>C年代測定の有効性を示している<sup>48)</sup>。

### 10.1 金のなる木を切り倒す

1995年9月21日、学内の中国古代史の重鎮M教授から、中国の戦国時代「楚」の竹簡を大至急、測定してほしいという依頼を受けた。「1週間前に800本購入した人があるのだが、昨日更に3900本も持ち込まれた。本物なら紀元前300年くらいだと思うが、さすがに数が多すぎるので調べてもらえないか？ほんのちょっとだけ、測定用に取り上げてきた」。その頃は、日本では美術工芸品に類するものは、ほとんど測定されていなかったもので、喜んで引き受けた。

中国で竹簡・木簡は、蔡倫が紙を発明(AD 105)するまで、またそれ以降も文字の記録に用いられた。竹や木を薄く削って細い短冊を作り墨または漆で書きつけ、長文の場合は横に紐で編む。2002年には、秦代の竹簡が2万本も見つかっている。「楚」の時代のものは、土地が湿潤なためか、出土する竹簡は多いのだが、それでもその時までには知られていたのは、有名な包山竹簡を含めて、9件約1400本であった。さすがに多すぎる。

よく誤解されるのだが、年代測定は資料をそのまま測ることはできない。埋蔵中の汚染物質を取り除いた上で、測定試料となる炭素粉末(グラファイト)を調製する必要がある(図12)。実際に測定に使うグラファイトは1mgで事足りるが、汚染除去の化学処理でかなりの部分が失われる。したがって、確実な化学処理を行うには、数十mgの試料が必要である。ところで、



図13 中国・戦国時代「楚」の竹簡

中国やイギリスの贗物は手が込んでいて、その時代の素材を使い加工・細工をする場合がある。この竹簡も古代の竹に書いた贗物かも知れない。ひょっとすると文字部分の墨（または漆）をはぎ取って測定することになるかも知れない、と思いながら測定試料を調製した。字のない部分、44 mg を切り取り、化学処理をして約 3 mg の炭素を得た。

当時は、タンデム加速器が更新されたばかりで、まだ十分な性能が得られていなかったが、「とにかく早く」ということで、測定することにした。固唾を呑んで見守る中で9月29日最初の試料の測定が始まった。結果は一目でわかった。「現代の竹だ」あっけなかった。墨を測る必要はなかった。 $^{14}\text{C}$ 年代測定の前提は、 $^{14}\text{C}$ がいつも一定の割合で存在することであるが、必ずしもそうではない。前述したように1954年以降の大気圏内核実験で大量の $^{14}\text{C}$ が放出され、1964年には通常の2倍にまで増加している。その後減少しているが、まだ通常のレベル

まで戻っていない。この時代の試料は $^{14}\text{C}$ を多量に含んでいるので、未来の年代を示すことになる。だから、現代の竹は一目瞭然なのである。

実は、この時に出てきた竹簡は、1種類ではなかった。持ち込まれたものは、7月頃に大阪の即売展で、8本1セット50～60万円で売られたもので、同時期に東京でも流通し、更に9月に入ると香港ルートからのものが大量に出回ることになった。大阪のものは、長さ35 cm、幅5 mmで、18～9文字が記されている。ルートによって形状その他が異なるので、新たに流入経路が異なる3資料について測定を行ったが、東京ルートのものが他のグループとやや異なるものの、いずれも現代の竹で、1980～90年、又は1960年前後の竹であることがわかった（図13）。

この結果が出た後で、竹簡の記載内容についても検討したところ、奇妙な点が判明し、類似点や写し間違いなどから、「包山竹簡」の図版（1987年出土、1991年以後出版）を手本にして書かれたものらしいと推定されている<sup>49), 50), 51)</sup>。

#### 10・2 フェイクとされたエジプト木像

竹簡の時にいささか怖い思いをしたので、その後、チベットの曼陀羅「タンカ」などを測定したが、美術工芸品についての年代測定は、やや逃げ腰になっていた。

ブリヂストン美術館は所蔵しているポール・ゴーガンの「若い女の顔」について、美術館自ら透過X線解析を行い、それまでの画法と違うタッチや、なぞり、意味不明の白点などを見つけ、偽物であることを明らかにした。このようなことが契機になって、当博物館の2001年「真贋のはざま—デュシャンから遺伝子まで—」展に際して、同美術館の所蔵品のいくつかについて、年代測定を含む科学解析を行うことができた<sup>50), 51)</sup>。「エジプト男子立像」もその一つである。美術館のカードの記載では「12王朝 BC 18世紀」という記載がある、高さ84 cmの木像である。大英博物館のキュレーターが見

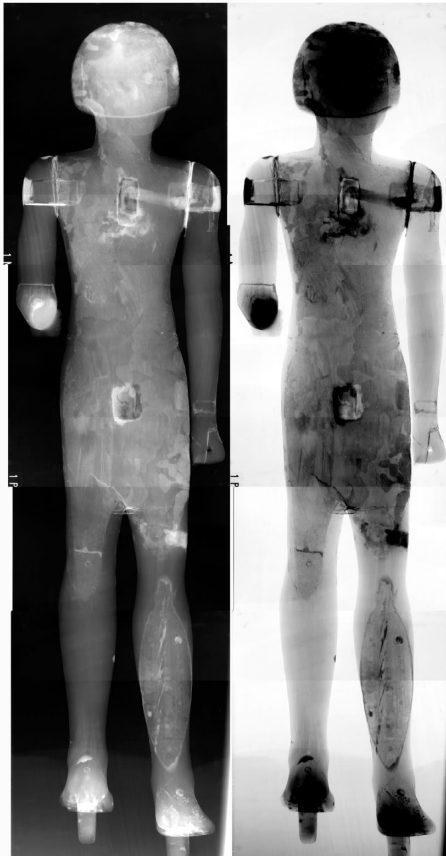


図14 エジプト男子立像（ブリヂストン美術館蔵）

X線写真

左はX線の透過度が高い部分が黒く見える通常のX線透過像、右は判別しやすいようにネガポジ反転させたもの

て、「よく見かける典型的なフェイク」と評した。

全身の彫像で、当初は一木作りと考えたため、測定試料を採取する部分は限定され、のみを使って右足の裏の突出部から約50mgを採取した。所定の化学処理を行い、年代を測定した結果、次のような年代が得られた。

測定番号【TKa-12151】 3250±90BP

この彫像について暦年較正すると次のようになる。

信頼度68% 1950～1730BC (64.6%)

1710～1690BC (3.6%)

エジプト中王国の第12王朝は、1990BC頃から1785BC頃とされ、その後1640BC頃にヒクソスがエジプトを占領して異民族王朝を樹立したと言われている。較正暦年代は記載されている時期に相当する。つまり、使っている材料はまさにその時代のものだったのである。

更に、X線透過像による観察、蛍光X線によって、一木の丸彫り彫刻ではなく、四肢、胴体などが複数の木材にほぞを掘って、漆喰を含む媒材で固着する組み立て法がとられていることが明らかになった。特に、胴部は厚さ10cm程度の板材2枚を、2箇所ほぞで固定する興味深い構造をしている(図14)。類例について研究する必要があるが、おそらく本物だろう。このほかにも、美術品の専門家が贋物と評したいくつかの作品について、年代測定を含む科学分析を行い、評価を覆した例は少なくない。

### 10・3 美術工芸品の理化学分析

2003年から、科学研究費補助金「美術品・文化財等の科学的解析による美術史学の精確化と包括的帰一に関する研究」がスタートした。南仏プロヴァンス地方の中世絵画をはじめ多様な美術工芸品について、年代や制作技法を解析するものである。研究が進んだ暁には、真の贋作を作る裏技が世に出ることになるかも知れない。楽しみにしている。

### 文 献

- 1) Montgomery, C. G. and D. D., The intensity of neutrons of thermal energy in the atmosphere at sea level, *Phys. Rev.*, **56**, 10-12(1939)
- 2) Grosse, A. V., An unknown radioactivity, *J. Am. Chem. Soc.*, **56**, 1922-1924(1934)
- 3) Ruben, S. and Kamen, M. D., Radioactive carbon of long half-life, *Phys. Rev.*, **57**, 549(1940)
- 4) Kamen, M. D. and Ruben, S., Production and properties of carbon 14, *Phys. Rev.*, **58**, 194(1940)
- 5) Ruben, S. and Kamen, M. D., Long-lived radioac-

- tive carbon :  $C^{14}$ , *Phys. Rev.*, **59**, 349-354 (1941)
- 6) Libby, W. F., Atmospheric helium three and radiocarbon from cosmic radiation, *Phys. Rev.*, **69**, 671-672 (1946)
  - 7) Karlén, I., Olsson, I. U., Källberg, P. and Kilicci, S., Absolute determination of the activity of two  $C^{14}$  dating standards, *Arkiv Geofysik*, **22**, 465-471 (1964)
  - 8) Mook, W. G. and van der Plicht, J., Reporting  $^{14}C$  activities and concentrations, *Radiocarbon*, **41**, 227-239 (1999)
  - 9) Anderson, E. C., Libby, W. F., Weinhouse, S., Reid, A. F., Kirshenbaum, A. D. and Grosse, A. V., Radiocarbon from cosmic radiation, *Science*, **105**, 576 (1947)
  - 10) Anderson, E. C., Libby, W. F., Weinhouse, S., Reid, A. F., Kirshenbaum, A. D. and Grosse, A. V., Natural radiocarbon from cosmic radiation, *Phys. Rev.*, **72**, 931-936 (1947)
  - 11) Libby, W. F., Anderson, E. C. and Arnold, J. R., Age determination by radiocarbon content: world-wide assay of natural radiocarbon, *Science*, **109**, 227-228 (1949)
  - 12) Arnold, J. R. and Libby, W. F., Age determination by radiocarbon content: checks with samples of known age, *Science*, **110**, 678-680 (1949)
  - 13) Engelkemeir, A. G., Hamill, W. H., Ingram, M. G. and Libby, W. F., The Half-life of radiocarbon ( $C^{14}$ ), *Phys. Rev.*, **75**, 1825-1833 (1949)
  - 14) Godwin, H., Half-life of radio carbon, *Nature*, **195**, 984 (1962)
  - 15) Anderson, E. C. and Libby, W. F., World-wide distribution of natural radiocarbon, *Phys. Rev.*, **81**, 64-69 (1951)
  - 16) Engelkemeir, A. G. and Libby, W. F., *Rev. Sci. Instr.*, **21**, 550 (1950)
  - 17) Jones, W. M., A determination of the half-life of carbon 14, *Phys. Rev.*, **76**, 885-889 (1949)
  - 18) Miller, W. W., Ballentine, R., Bernstein, W., Friedman, L., Nier, A. O. and Evans, R. D., The half-life of carbon fourteen and a comparison of gas phase counter methods, *Phys. Rev.*, **77**, 714-715 (1950)
  - 19) Arnold, J. R. and Libby, W. F., Radiocarbon dates, *Science*, **113**, 111-120 (1951)
  - 20) Libby, W. F., Radiocarbon dates, II, *Science*, **114**, 291-296 (1951)
  - 21) ジェラードグロート, 篠遠喜彦, 姥山貝塚 The Shell Mound of Ubayama, 英文 67 頁, 邦文 147 頁(別に図版/地図あり), 日本考古学研究所 (1952)
  - 22) Libby, W. F., Radiocarbon dates, IV, *Science*, **119**, 135-140 (1954)
  - 23) 杉原莊介, 6. 世界最古の貝塚? 夏島貝塚, pp.36-40, 中央公論美術出版, 東京 (1964)
  - 24) 山内清男, 佐藤達夫, 縄紋土器の古さ, 科学読売, **12**(13), 21-26, 84-88 (1962)
  - 25) 山内清男, 洞穴遺跡の年代, 日本の洞穴遺跡, pp.374-381, 平凡社, 東京 (1967)
  - 26) 小野田正樹, 海進・海退(II), 縄文文化の研究, 第1巻 縄文人とその環境, pp.143-162, 雄山閣, 東京 (1994)
  - 27) Kigoshi, K., Tomikura, Y. and Endo, K., Gakushuin natural radiocarbon measurements I, *Radiocarbon*, **4**, 84-94 (1962)
  - 28) Sato, J., Sato, T. and Suzuki, H., University of Tokyo radiocarbon measurements I, *Radiocarbon*, **10**, 144-148 (1968)
  - 29) Muller, R. A., Radioisotope dating with a cyclotron, *Science*, **196**, 489-494 (1977)
  - 30) Imamura, M., Hashimoto, Y., Yoshida, K., Yamane, I., Yamashita, H., Inoue, T., Tanaka, S., Nagai, H., Honda, M., Kobayashi, K., Takaoka, N. and Ohba, Y., Tandem accelerator mass spectrometry of  $^{10}Be$ / $^{9}Be$  with internal beam monitor method, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.*, **B5**, 211-216 (1984)
  - 31) Kobayashi, K., Yoshida, K., Imamura, M., Nagai, H., Yoshikawa, H., Yamashita, H., Okizaki, S. and Honda, M.,  $^{14}C$  Dating of archaeological samples by AMS of Tokyo University, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.*, **B29**, 173-178 (1987)
  - 32) 吉田邦夫, 本田亜紀子, 縄文土器の C-14 年代(1), 日本文化財科学会第 14 回大会要旨集, 24-25 (1997)
  - 33) 吉田邦夫, 縄文土器の C-14 年代, 加速器質量分析シンポジウムプロシーディングス, 144-147 (1997)
  - 34) 吉田邦夫, 最新の年代測定法ではかる縄文土器, 化学, **54**, 20-23 (1999)

- 35) IntCal 04: Calibration Issue, *Radiocarbon*, **46**, nr.3 (2004)
- 36) Ramsey, C. B., OxCal ver.3.5(2000), ver 3.9(2003)
- 37) Yoshida, K., Ohmichi, J., Kinose, M., Iijima, H., Oono, A., Abe, N., Miyazaki, Y. and Matsuzaki, H., The application of <sup>14</sup>C dating to potsherds of the Jomon period, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., B* **223-224**, 716-722(2004)
- 38) 吉田邦夫, 火炎土器に付着した炭化物の放射性炭素年代, 火炎土器の研究, 新潟県立歴史博物館編, pp.17-36, 同成社, 東京(2004)
- 39) Nakamura, T., Taniguchi, Y., Tsuji, S. and Oda, H., Radiocarbon dating of charred residues on the earliest pottery in Japan, *Radiocarbon*, **43**, 1129-1138(2001)
- 40) 渡辺直径, 縄文および弥生時代の C<sup>14</sup> 年代, 第四紀研究, **5**, 157-168(1966)
- 41) 岡本東三, 多岐亡羊の縄紋文化起源論, 季刊考古学, **83**, 14-17(2003)
- 42) 石川日出志, 弥生時代暦年代論と AMS 法年代, 考古学ジャーナル, **510**, 21-24(2003)
- 43) 佐原 真, 考古学者からみた自然科学者, 考古学のための化学 10 章, 馬淵久夫, 富永 健, 編, pp.2-24, 東京大学出版, 東京(1981)
- 44) 田中良之, 溝口幸司, 岩永省三, Tom Higham, 弥生人骨を用いた AMS 年代測定 (予察), 九州考古学会・嶺南考古学会第 6 回合同学会日・韓交流の考古学, pp.245-251, 嶺南考古学会・九州考古学会(2004)
- 45) 西田 茂, 年代測定値への疑問, 考古学研究, **199**, 18-20(2003)
- 46) 藤尾慎一郎, 今村峯雄, 炭素 14 年代とリザーバー効果—西田茂氏の批判に就いて—, 考古学研究, **200**, 3-8(2004)
- 47) 西田 茂, ふたたび年代測定値への疑問, 考古学研究, **201**, 14-17 (2004)
- 48) 大橋英雄, 小林絃一, 吉田邦夫, 佐藤菜穂子, 今村峯雄, 永井尚生, 吉川英樹, 齋藤 努, 川添良幸, 三友量順, 東方, **5**, 23-28(1989)
- 49) 書道美術新聞, 平成 8 年(1996 年)2 月 11 日, 539 号, 美術新聞社, 東京
- 50) 吉田邦夫, 真贋を科学する年代物—ほんとうはいつ頃のもの?—, 真贋のはざま—デュシャンから遺伝子まで—(西野嘉章 編), 東京大学総合研究博物館, 77-98(2001)
- 51) 吉田邦夫, 講座: 鑑定 of 化学(1) 炭素 14 による年代測定—完璧な贋作を作る裏技, 化学と教育, **51**, 624-627(2003)