

# AMS<sup>14</sup>C年代測定と土器編年との対比による 高精度編年の研究

今村 峯雄<sup>1) 2)</sup>・小林 謙一<sup>1)</sup>・坂本 稔<sup>2)</sup>・西本 豊弘<sup>1) 2)</sup>

## 1 序

近年、考古学研究において炭素14年代測定（または放射性炭素年代測定、以下、文中では炭素14を<sup>14</sup>Cと記す）が注目を集めるようになってきたが、この背景には1990年代後半以降における二つの要因を挙げることができる。第一に、AMS法（accelerator mass spectrometry：加速器質量分析法）による<sup>14</sup>C測定の進展とその感度、精度、測定効率の向上である。AMS装置は、1980、1990年代を通じて、技術的革新・改良が続けられ、0.5～1.5ミリグラムの炭素試料を、<sup>14</sup>C測定精度0.3～0.5%（年代換算で±24～±40年）で、年間2000個以上測定できるような比較的小型の装置が商業レベルで開発され、1990年代中ごろから日本を含む世界の多くの施設で相次いで導入されはじめた。その結果、感度と測定効率で圧倒的に優位にあるAMS法が、精度においても従来のβ線計数法（放射線計数法）と肩を並べるかそれを凌駕するレベルとなり、<sup>14</sup>C測定は技術的に1つの転換点を越えたとみられる。

第二に、<sup>14</sup>C年代値を暦年代（＝実年代）へ変換するための「暦年較正データベース」の国際レベルでの整備・標準化と、その精密化である。近年、<sup>14</sup>C濃度をもとに計算される<sup>14</sup>C年代値（モデル年代）を暦年代に変換して議論することが、研究の標準になっている。この暦年較正データベースの1998年版である「INTCAL98」（Stuiver et al. 1998）（註1）は、過去24,000年までの暦年較正值を与えるが、11,700年までは、古木の年輪試料の精密な<sup>14</sup>C測定を基礎にした、10年毎の較正值となっている。すなわち、新石器時代以降の年代研究については実年代を詳細に議論するための環境が整ってきているのである（今村1999、2000、辻・中村2001）。

このような背景から、国立歴史民俗博物館では高精度AMS<sup>14</sup>C年代測定法を考古研究・歴史研究へ積極的に活用する研究を推進してきた。試料の前処理を行うことができる炭素年代資料実験室を整備し、試料の観察等のための各種装置、化学的洗浄のための設備と装置、炭酸ガス化（二酸化炭素発生）と精製ならびにグラファイト化のための装置、AMS測定用試料充填プレス装置などを

---

<sup>1)</sup> 総合研究大学院大学：〒285-8502 佐倉市城内町117

<sup>2)</sup> 国立歴史民俗博物館：〒285-8502 佐倉市城内町117

キーワード：縄紋土器（Jomon pottery）、AMS加速器質量分析（accelerator mass spectrometry）、炭素年代（radiocarbon age）、暦年較正年代（calibrated age）、土器編年（pottery-type chronology）

置き、AMSの前段階の作業を一貫して行う体勢を整えてきた。また、これに併行して、日本の木材の<sup>14</sup>C測定を行って暦年較正データベースとの比較を行い、ヨーロッパや北米のデータに依拠するINTCAL98の適用性について基礎的検討を行ってきた。

最近の研究テーマとして、土器型式による日本の先史時代の編年体系を、世界史の年代体系と対比できる、暦年代スケールによる年代体系に転換することを目標に共同研究を進めている。実年代による編年は、歴史における社会と文化の時空構造、環境事象と歴史事象の相関、文化事象の伝播、大陸と日本列島との相互作用等の実証的研究に不可欠である。そこで、土器型式による詳細な編年を、<sup>14</sup>C濃度のデータによって実年代に転換し、それを列島地域ごとに明らかにすることを目指している。本論文では、これらの研究に関連し、絶対編年のための方法と考え方について、関東地域を中心とする縄紋中期土器の編年を例に報告したい。

<sup>14</sup>C年代を基準にした縄紋時代の編年は、これまで散発的ながら行われてきた。しかしながら、従来の関連研究を概観すると、その基礎となる年代データの精度もさることながら出土状況の把握や試料の選択などに問題のあるケースが、しばしば見受けられた(今村2001)。そこで、われわれは、測定をAMS法による高精度<sup>14</sup>C測定に限定するとともに、考古学研究者・自然科学研究者間で緊密な協業体制をとって資料を選定し、結果を出土状況や土器編年にフィードバックし、得られた測定結果や試料選択の妥当性について検証を重ね、信頼度の高い炭素年代データを取得することにつとめた。

試料選択については、出土土器と年代測定試料の同時性を重要視し、土器付着炭化物(煮炊きされた植物などのコゲ)や住居内の炉内部の炭化物や焼失家屋の柱材などを中心に測定を行った。単に同じ層位であることを根拠に同時性を仮定することは排除した。

また、集落遺跡の堅穴住居などの遺構自体を測定対象とみなし、同時存在遺構群や重複関係のある住居群の検討をおこなった。土器型式の年代比定についても、編年の位置付けの確かな土器に付着する炭化物(小田・山本2001)をおもな測定試料とし、1細別時期ごとに複数の年代測定を行うことで、細分型式ごとの年代を検討する材料とした。

本研究の大きな目標は、土器型式編年によってすすめられてきた縄紋・弥生時代の年代的枠組みを、列島規模で再構成することにあるが、研究資源・時間の有効利用を図る上から、まず、集落の事例と土器編年研究が最も進んでいる分野の一つである東日本縄紋時代中期を対象に高精度年代測定を行い、細別土器型式ごとの暦年代や、集落・住居の継続期間の復元にも焦点を当て研究を進めることとした。

本稿では、まず試料の処理・測定方法と、暦年較正についての方法と考え方を示し、さらに得られた結果の概略について検討する。具体的な土器型式ごとの年代的な位置付けや集落の年代的検討については、別稿において論じていくこととする。

## 2 試料と分析方法

測定を試料は、関東地方を中心とした本州島東側の地域の、主に縄紋時代前期～後期の遺跡を対象として収集した。

土器型式との関係が明確な対象を選んで、土器付着炭化物（漆を含む）・集落内出土炭化材（炭化種子・堅果類を含む）について、試料採取の上、顕微鏡観察や炭素含有量の測定を行いながら、前処理までは同一基準で処理した。炭素同位体比をAMS法で測定し、炭素年代を得た上で、国際標準であるINTCAL98較正曲線を用いて暦年代の推定を行った。これまでに、北陸・中部・関東・南東北において、多数の試料を直接土器・遺跡から採取している。神奈川県藤沢市SFC遺跡と、東京都大橋遺跡の44試料（小林・今村・坂本・大野2003）を含む260試料について測定結果が得られている。このうち、縄紋時代中期（前期末葉・後期初頭にかかるものを含む）に属する試料は、約150試料である。

### 2. 1. 試料の観察・採取

試料の採取においては、以下の点に注意を払った。

木材・炭化材試料では、材のなるべく外側から測定試料を採取するとともに、顕微鏡観察によって樹種同定を試み、クリ・コナラなどの環孔材を選んだ。また、枝材があるときはこれを優先し、根・樹皮の部分は避けた。

土器付着炭化物では、土器自体への付着状況を観察し、記録化するとともに、内面付着炭化物を優先し、外側の場合は口縁部近くの文様内にこびり付いている付着物を採取した。試料は、しばしば土器の接合や固定のための各種の合成有機物（バインダーや接着剤など）の汚染の影響を受けている可能性があり、試料採取ではそれらの使用の有無について確認を得るとともに、その混入を避けることに細心の注意を払った。また、脱脂綿などで包まれていた土器などについては、顕微鏡下で脱脂綿を除去した。

### 2. 2. 試料の処理

#### 2. 2. 1 前処理：有機溶媒による油脂成分等の除去およびAAA処理

試料の取り扱いの過程で起こりうる汚染として、素手による油脂成分、発掘の際の遺物の固定に時折用いられるバインダーなど有機溶剤、保管の際に用いた可能性がある紙類や脱脂綿等がある。また土器付着炭化物では、土器の破片を接合して復元する際に用いられるセメダイン・石膏・合成樹脂・粘着テープ等や注記作業でのニス・ラッカー等の使用による汚染が考えられる。

ここでは、おもに木炭、煮炊きによって生じたと考えられる土器付着炭化物、漆、種子などが対象となるが、扱ったもののほとんどは前二者の試料である。実際の処理ではすべて同じプロセスで

試料処理を行った。

まず、試料をアセトンに浸け振とうし、試料の取り扱いにおける油脂成分や、万一混入した場合に備え、バインダーや接着剤などの不純物を溶解・除去する操作を行った。次に、酸 (acid)・アルカリ (alkali)・酸による化学洗浄 (AAA 処理) として、それぞれ 80℃ で 1 時間ずつの処理を行う。まず希塩酸 (1N-HCl) で混入する可能性のある貝殻の破片や岩石に由来する炭酸塩を除去 (2 回) し、さらにアルカリで油脂やフミン酸などを除去する。炭化材・漆試料は 1N-NaOH で 3 回以上、土器付着炭化物の場合は 0.1N-NaOH により、2 回以上処理を行い、着色が概ねなくなったことを確認した。さらに酸処理により中和した後、洗浄水が中性となるまで、純水により数回洗浄した。

なお、回収された炭化物の量が少ない場合を除いて、回収された炭化物の半分程度を年代測定用試料とした。

## 2. 2. 2 炭酸ガス化と精製, グラファイト化

2. 2. 1 の操作については、すべての試料について国立歴史民俗博物館で操作を行なったが、以下の操作については、試料の状況に応じて (a) 地球科学研究所㈱を通じベータアナリティック社 (Beta Analytic Inc, USA) へ送付し、炭酸ガス化と精製, グラファイト化および AMS による  $^{14}\text{C}$  測定を依頼した場合、(b) 国立歴史民俗博物館において、炭酸ガス化と精製を行い、グラファイト化と AMS による  $^{14}\text{C}$  測定を、地球科学研究所㈱を通じベータアナリティック社へ依頼した場合、(c) 国立歴史民俗博物館において、炭酸ガス化と精製, グラファイト化を行い、加速器分析研究所㈱へ AMS による  $^{14}\text{C}$  測定を依頼した場合の 3 通りの方法をとった (註 2)。

(b)(c) の手順を採用した場合の処理は、以下の通りである。AAA 処理の済んだ乾燥試料数 mg を、約 500mg の酸化銅とともにバイコールガラス管に投じ、真空に引いてガスバーナーで封じ切った。このガラス管を電気炉で 950℃、2～3 時間加熱して試料を完全に燃焼させた。得られた燃焼ガス中には二酸化炭素のほか水などの不純物が混在しているので、ガラス真空ラインを用いてこれを分離・精製した。

炭化材や良好な土器付着炭化物では、平均して炭素換算量にして 60% 程度にあたる炭酸ガスが精製できた。漆塗膜の場合は、それ以上の炭素含有量が認められ、逆にやや不良な土器付着炭化物の場合には、低い炭素含有量の試料も認められた。

1～1.5mg のグラファイトに相当する二酸化炭素を分取し、グラファイト作成に用いた。(c) のケースでは、水素ガスを導入し、二酸化炭素と水素をバイコールガラス管に封じた ( $\text{CO}_2 : \text{H}_2 = 1 : 2.2$ )。これを電気炉で加熱してグラファイトを得た。管にはあらかじめ触媒となる鉄粉が投じてあり、グラファイトはこの鉄粉の周囲に析出する。グラファイトは鉄粉とよく混合した後、穴径 1mm のアルミニウム製カソードに 60kgf の圧力で充填した。

### 2. 2. 3 年代測定

$^{14}\text{C}$ 測定は加速器分析研究所（測定機関番号IAAA），または地球科学研究所を通じベータアナリティック社（測定機関番号Beta）へ委託した。

米国・ベータアナリティック社では、送られてきた試料を一定の条件のもとで集中的に処理しグラフィットを作成する。これをAMS測定用のカソードに充填し、 $^{14}\text{C}$ 標準試料（NIST, ANU, IAEA）とともに、契約した世界各地の加速器施設で $^{14}\text{C}$ 測定を行っている。試料の測定値の統計誤差と、標準試料の再現性やブランク（空試験）の値をもとに、独自にデータ評価を行って、年代値を報告する。2002年10月からは、同時に測定した複数の標準試料やブランク試料の測定データを添えて、データに対する品質保証書を添えるようになった。

加速器分析研究所に依頼した場合は、標準の $^{14}\text{C}$ 試料とブランク試料（ $^{14}\text{C}$ を含まない炭素を担体として試料精製して得られたもの）を、各数試料同時に測定した。これによって試料処理における汚染の評価、データの再現性評価を独自に行った。

AMSでは、グラフィット炭素試料の $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ （または $^{14}\text{C}/^{13}\text{C}$ 同位体比）を加速器により測定する。測定される $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比は、加速器の特性・加速に用いる高電圧で、実際の値とはわずかにずれが生ずるため、同時に測定する標準試料の $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比を再現するよう補正を行う。

また、測定試料の正確な年代を得るには、同位体効果の影響を測定し補正する必要がある（中村2001）。こうした同位体効果は $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比を同時に計ることによって補正する。 $^{13}\text{C}$ 測定用ガス試料を、質量分析計により測定して、 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比を調べ、補正することがこれまで多かったが、最近は、加速器で同時測定した $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比を用い補正するようになった。 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比は通常、標準体（古生物belemnite化石の炭酸カルシウムの $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比）偏差値に対する千分率 $\delta^{13}\text{C}$ （パーミル，‰）で示される。補正した $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比から、 $^{14}\text{C}$ 年代値（モデル年代）が得られる（英語表記ではconventional  $^{14}\text{C}$  ageと呼ばれる）。なお、 $^{14}\text{C}$ 年代値は $^{14}\text{C}$ 年代であることを明確にするため、ここでは $^{14}\text{C}$ BPと表記する（註3）。

加速器分析研究所に依頼した試料では、 $^{14}\text{C}$ 標準試料（NIST シュウ酸）とブランク試料、おのおの数試料を同時に測定した。これによって試料処理における汚染の評価、再現性の評価を独自に行った。試料処理における現代炭素の汚染は、0.1%以下で無視できるレベルであった。地球科学研究所に送付した試料の年代値の評価でも汚染は同レベルと判断し、計算上無視しうるとして扱った。

### 2. 2. 4 暦年較正

得られた $^{14}\text{C}$ 年代値を実年代に変換するには、暦年較正データベースから得られる $^{14}\text{C}$ 年代と暦年のプロットを、移動平均などの方法で滑らかな曲線として加工するなどして、グラフから解を求める方法が用いられることも多いが、ここでは、ベイズ統計（Bayesian statistics）による確率

密度分布計算 (Buck 1991) を Excel 上のプログラムを用いて行った (今村 2001)。Oxford 大学で公開されている OxCal プログラム (Bronk-Ramsey 1994) も Buck らによるベイズ統計による考え方に準拠しており、近年暦年較正に採用されることが多い。

本稿で用いた計算では、暦年較正データベースとして INTCAL98 を用い、補間によって 5 年ごとのデータベースに拡大した上で解析を行った。<sup>14</sup>C 年代測定値と各暦年に対応するデータベース値の一致度を確率計算し、全確率の 95.4% に相当する範囲、すなわち統計誤差の 2 標準偏差に相当する年代の範囲で示した。年代は 10 年で丸めた値を計算した。なお、<sup>14</sup>C 年代を暦年代へ較正した値、較正年代は、cal BC (または cal AD) で表記する。cal は calibrated の意味である。

### 3 測定結果

本稿で検討する縄紋中期の年代研究は、関東地方を中心とした本州島東側の地域の、主に縄紋時代前期～後期の遺跡を対象として収集した試料のうち、前期末葉の十三菩提式期から後期初頭の称名寺式～堀之内式期の土器、または編年的にそれらに並行する土器型式に比定される土器に伴う付着炭化物、住居出土炭化材の約 150 試料の測定値を扱う。

個々のデータについては、遺跡の調査途中のため未報告資料が多く、現時点において個別の測定値を記すことができる試料は多くはない。個別のデータは逐次個別の発掘調査報告書などに提示しつつあるが、将来的には、上記の理由で今回省略したデータも含めて、全測定試料について提示する予定である。詳細は別の機会に委ね、以下では測定値と暦年較正年代および比定される土器型式によって個々の試料を提示することとする。

なお同一時期とされる 1 群の年代値の中で大きく年代値がかけ離れる値が得られた例がこれまでに測定結果を得ている 260 例中で約 30 例認められている。これらは、同一の編年的位置づけがされる試料群と比べて、単独でいずれも 300 年以上の開きがあり、測定の統計的な揺らぎでは説明できないデータで、以下の編年に関する議論には含めない。上記の 150 試料は、これらを除いた上での試料数である。この特異な数値を示した試料の過半は、炭化材や種子などで、明らかに新しく、廃棄時に時期の異なる炭が混ぜ込まれていたか、土器の埋没後に時間を経て混入したものと思われる。また土器付着物で、炭素含有率の割合が極端に低い試料の場合、古い年代を示した例があり、コゲの試料に含まれていた鉱物に内包された炭酸塩か、土器胎土に由来する古い炭素が影響した可能性、調理の煮炊きによる焦げ以外の炭化物であった可能性が考えられる。これらについては、次項で議論する。

図 1 に、関東甲信越北陸の炭素年代データの一部を示す。土器編年に対比した場合の資料の相対的位置づけが不明なもの (東北や東海以西の土器、粗製土器や漆容器に使用された無文土器など) は、図には省略した。なお同一試料から複数の測定を行った場合や、同一試料からの採取ではないが同一遺跡出土で編年上の相対的位置が同一かつ炭素年代が同一の場合、すなわち図において全く

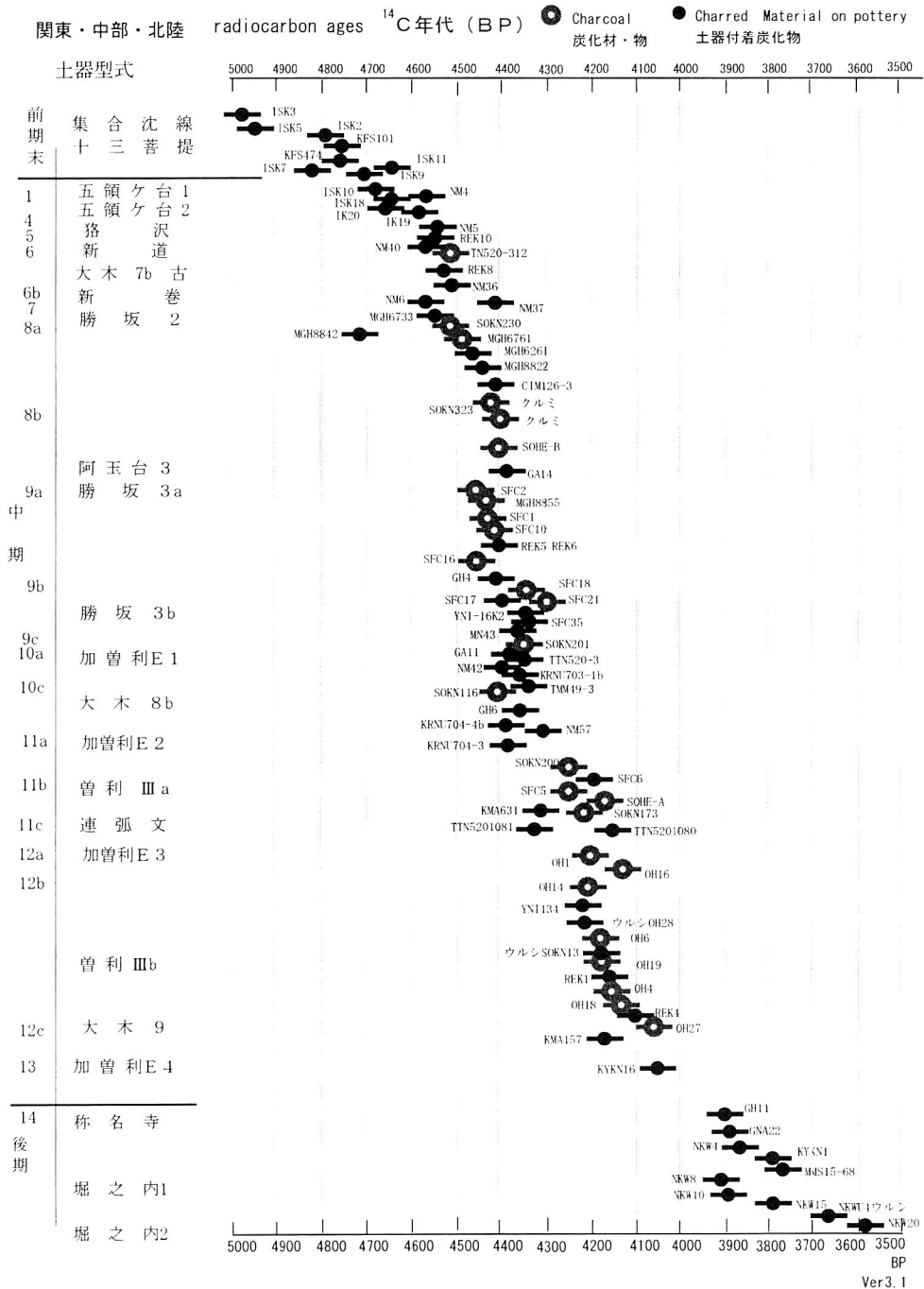


図1 縄紋時代中期土器の<sup>14</sup>C年代(関東・中部・北陸地方)と土器型式区分との比較  
 Fig.1 AMS radiocarbon ages of the Middle Jomon pottery on the Kanto and Thubu region Comparison of <sup>14</sup>C ages with pottery-type classification

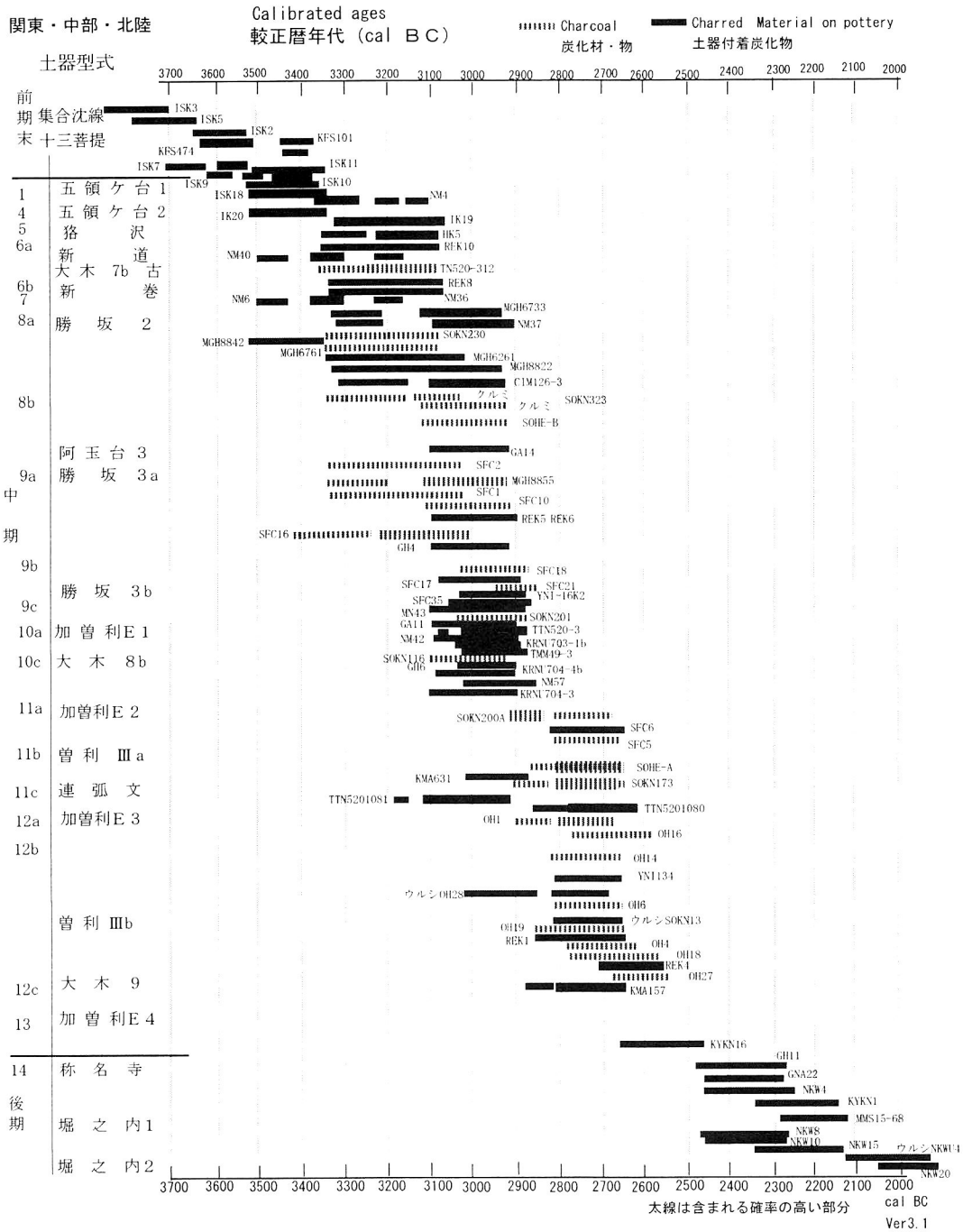


図2 縄文時代中期土器の暦年較正年代(関東・中部・北陸地方)と土器型式区分との比較  
Fig.2. Calibrated ages of the Middle Jomon pottery on the Kanto and Thubu region  
Comparison of calibrated ages with pottery-type classification



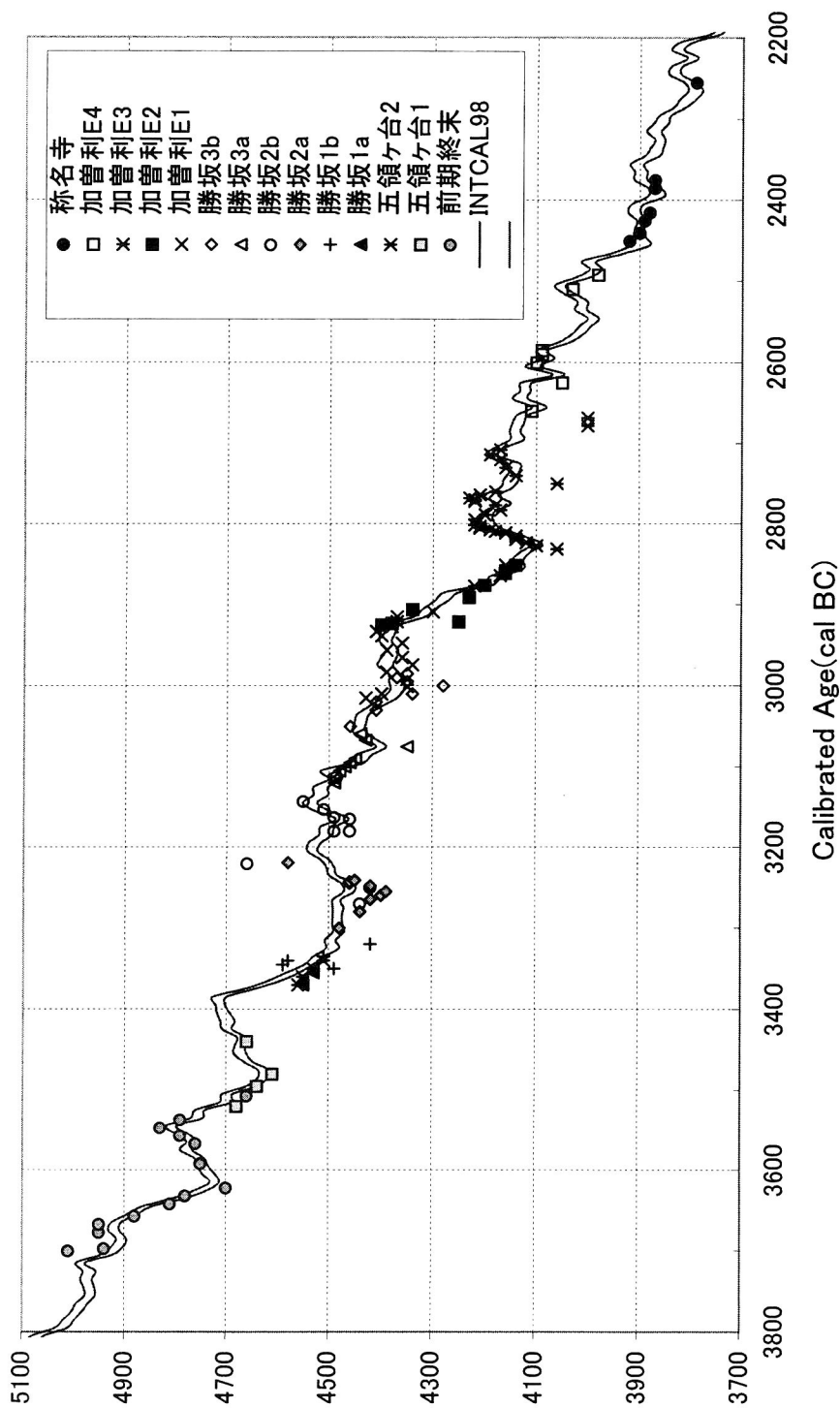


図3 炭素年代測定値と較正年代、土器型式区分との相関  
 Fig3. Relationship among radiocarbon ages, calibrated ages and pottery-type classification

同じ位置に同じ数値が並ぶ場合には、1つにまとめてある。例えば勝坂3式期のSFC遺跡や加曾利E3式期の大橋遺跡では、多数の同一細別時期の試料を測定しているが、同一年代の測定値がいくつも得られており、すべてをプロットすることはできない。結果的に図示されたデータは約90試料である。図2は、図1の炭素年代に基づいて計算した校正年代を、95%信頼限界を含む範囲で計算して示したものである。

図3は、これらのデータを土器編年から想定される順番で、適度に間隔を空けて配列したものと、INTCAL98の校正曲線とを並べ比較したものである。同一の土器型式中でも、SFC遺跡や大橋遺跡など集落遺跡出土の試料については、重複住居などにもとづく遺跡内での相対順序に従う。また、その他の資料については、可能な限り、小林による型式学的な変遷観に従い序列を定めたが、多くの試料については同一型式内における順序は、任意の配置であり、校正曲線にあうように配置した。データは、図1・2において、同一時期・同一年代のためにプロットしなかったもの、およびその後新たに測定値を得たデータを含む133試料である。炭素年代と実年代の錯綜による変動するグラフの波の形が、校正曲線と実際のデータの配列とでよく類似し、この縄紋中期を中心とした試料群が、整合的な配列をなしていることが肯定されよう。ただし、中期初頭や中期末葉などは、他の時期に比べデータの間隔をやや広げた場合が多いが、集成したデータの粗密が一定でないため（中期初頭や中期末葉がやや少ないため）である可能性がある。

## 4 試料に関する考察

### 4.1 土器編年における年代測定試料の検討

冒頭で述べたように、 $^{14}\text{C}$ 年代を基準にしたこれまでの縄紋時代の編年は、その基礎となる年代データの精度もさることながら出土状況の把握や試料の選択などに問題がある場合が、しばしば見受けられた。そこで、本項では、まず、用いた年代測定試料について検討する。

年代測定では、いわゆる異常値 (outlier) の取り扱いが難しく、一定の根拠の下にこれらの値を除外して議論する必要がある。多くの年代データを系統的に扱う場合は、ある程度データに対する異常の有無を議論することができる。

現在得ている約300のデータ（同一試料を複数回測定した場合も含めてカウント）のうち、同一の年代に帰属と思われる試料群や、これまでの知見により予想される年代から大きく外れるデータが33例観測されている。図4に示すように、土器付着物の場合は10%弱、炭化材の場合は10%強程度、細かい炭化種子や水洗選別で得た炭化物では約50%の確率で、整合的なデータと比べ300年以上の開きを示す測定値が得られている。

炭化種子等の独立した微細な試料では、極端に新しい近世以降の年代を示すことが多く、遺構出土であっても、その遺構に確実に伴うかどうかの認定が非常に難しいことを反映している。また、遺跡によって、かなり整合的な結果が多い場合と、かなりの試料が整合的ではない場合とが分かれ

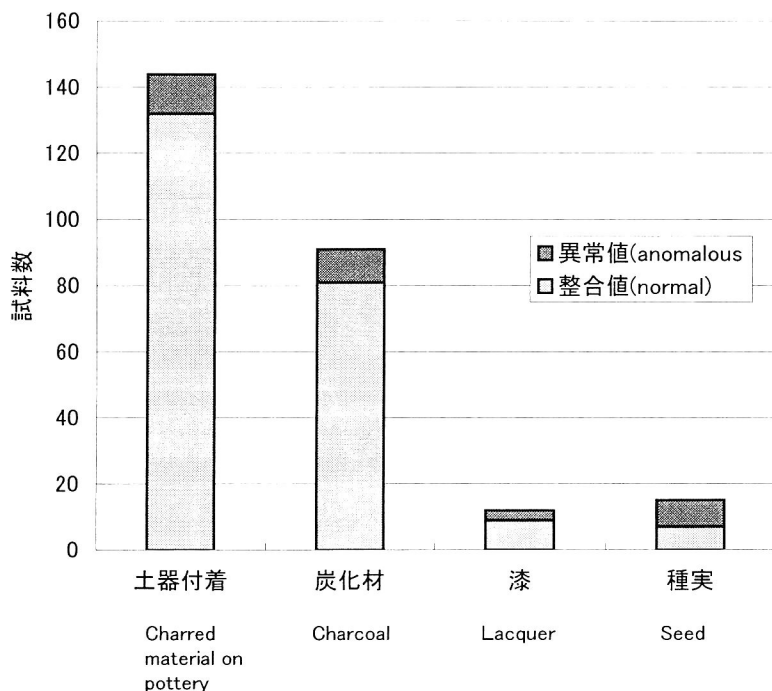


図4 種類別の測定数と異常値の割合

Fig4. Distribution of anomalous radiocarbon ages in various types of carbon sample

る傾向がある。

漆試料についても、若干例、整合的でない試料が認められているが、木胎漆器の場合は木質部を分離しきれずとともに測定している場合、生漆と判断した試料の場合は漆と異なる有機物である場合などの理由が考えられる。種子・漆については、測定数が少なく、今後の検討を要する。

#### 4. 2 土器付着炭化物の検討

土器付着炭化物はこれまでも年代測定に利用されてきたが、今回対象としたような、煮炊きに伴う炭化物の応用例は少ない。

われわれのこれまでの土器付着炭化物の測定例では、10例ほどについて、明らかに古い年代が測定された。この場合には試料からの炭素の回収率が極端に低く（註4）、土器に付着している炭化物が少なかったために、一部土器胎土を含んで試料採取をした可能性がある。おそらく胎土中の鉱物に含まれる古い炭素が測定結果に影響していると推測される。このほか、胴部外側付着の炭化物の場合、他の類例と比べて500年以上古い数値が測定された場合が2例と、内面付着のコゲ状の炭化物で、極端な場合では2万年前を越える年代値が示された例が1例あった。これらは、ススやコゲと認定した中に、埋没時に土壤中のより古い時代の炭化物を付着させた可能性、食料残渣の炭化物以外の物質の可能性（アスファルトなど）が考えられる。これらの例は、研究の比較的初期の段階で収集したものが多く。

一方、海洋性の食物がコゲとして残ることがあれば、海洋のリザーバー効果による古い年代を与える可能性がある（今村1999）。しかし、これまでに測定した中では、海洋の古い炭素に由来するデータと判断されるケースは、本稿で扱った範囲では明確には認められなかった。おそらく調査対象遺跡が内陸部に圧倒的に多く、食料源が陸上の植物・動物が殆どだったためと考えられる。

なお、バインダーやセメダインなどの合成有機物による、発掘や整理作業に伴う土器の汚染の可能性は、常に厳しくチェックされねばならないし、またこれらの確実な除去法の確立についても、様々なケースで確認していく必要がある。

土器付着炭化物は、以上のようないくつかの注意すべき課題を有しているものの、土器の使用時の年代情報を与える点で非常に注目すべき試料である。直接土器自体の年代（正確には付着炭化物の年代）を測ることで、土器の製作時の情報である土器型式と、使用時の情報である年代値の間の乖離を最小とすることができる点が重要である。そこで、土器付着炭化物の年代を評価するため、すでに方法的に確立されている、木炭との比較を行ってみる。

まず、今回行った測定の中に、土器付着炭化物の土器使用時とほぼ同時期と想定される木炭の測定データが得られている（小林ほか2002, 2003）ので、比較のため表1に記した。

この4例では、木炭が土器付着炭化物に比較してやや古く出ているものの、ほぼ誤差の範囲として解釈できる値となっている。木炭はいずれも広葉樹の環孔材であるが、古木効果（old wood effect）のため、数十年程度古めに出る可能性があることも考慮する必要がある（註5）。また、

表1 土器付着炭化物とほぼ同時期と想定される木炭の測定データの比較  
Tab 1. Comparison of radiocarbon ages of charred material on pottery with those of charcoal that are contemporary with each other

| 遺跡                 | 種類                       | 出土区      | 機関番号<br>Beta- | 考古年代  | $\delta^{13}\text{C}$ (‰) | 炭素年代<br>BP |
|--------------------|--------------------------|----------|---------------|-------|---------------------------|------------|
| 神奈川県<br>藤沢市SFC I区  | 炭化材クリ<br>付着炭化物           | 6住炉土     | 157913        | 加曾利E2 | -25.3                     | 4230 ± 40  |
|                    |                          | 6住炉壁     | 158191        | 加曾利E2 | -26.1                     | 4170 ± 40  |
| 神奈川県<br>藤沢市SFC II区 | 炭化材クリ?<br>付着炭化物          | 4住炉址     | 157922        | 勝坂3b  | -25.3                     | 4460 ± 40  |
|                    |                          | 4住床面     | 163299        | 勝坂3b  | -24.5                     | 4370 ± 40  |
| 東京都<br>TN遺跡        | 炭化材クリ<br>付着炭化物           | 27住炉内    | 171636        | 加曾利E1 | -26.4                     | 4430 ± 40  |
|                    |                          | 27住      | 168190        | 加曾利E1 | -24.9                     | 4350 ± 40  |
| 東京都立川市<br>向郷20次    | 炭化材コナラ<br>付着炭化物<br>付着炭化物 | 1号土壙中層   | 159258        | 勝坂2b  | -24.3                     | 4490 ± 40  |
|                    |                          | 1号土壙K1胴内 | 162291        | 勝坂2b  | -25.5                     | 4440 ± 40  |
|                    |                          | 1号土壙K1底内 | 163298        | 勝坂2b  | -25.3                     | 4440 ± 40  |

図1には、土器炭化物のデータとともに、多くの木炭のデータが記されているが、同じ土器型式の中での比較を見ると、とくに一方に偏った年代を示す傾向は無い。

年代測定の対象としての土器付着炭化物の有用性を考えると、その試料としての性格を詳しく検討していく必要がある。われわれの経験では、土器付着炭化物の半数以上は、前処理の際のアルカリ処理によって殆ど溶解した。今後、土器付着物の年代測定への適応性を拡げるため、アルカリ溶

液中のフミン酸等，炭化物以外の成分についても，年代測定への妥当性を検討するなどの課題を有している。

## 5 暦年代に関する考察

図1は炭素年代値を上器型式の編年順に並べて図にしたものである。これをみると，おおむね上器型式の順序にそって年代的に測定値が並ぶ部分と，わずかに変動する部分とがあることが分かる。図1は，あくまで炭素年代の測定値であって実年代ではなく，これによって，たとえば五領ケ台2式と勝坂1式土器とが年代的に逆転するとか，並存することを示しているのではない。図2の暦年較正した年代でみると，あきらかに他の測定値とはずれる試料がいくつかみとめられるものの，むしろそれらは例外的な測定値であって，全体としては，土器型式の組列と暦年代とが逆転する事例は認められない。むしろ，五領ケ台2式から勝坂2a式，加曾利E2式から4式にかけて，幅広く同じような暦年代の確率分布が示される時期があることが認められる。

この理由には，並べ方の基準である土器型式編年の問題か，この期間における暦年較正曲線の特性による結果の2つの可能性がある。前者では，土器型式の相対的な序列が細かな点で間違っているか，または土器型式の変化でなく，土器型式変換期に新旧の土器が長く共存している可能性が考えられる。前者について，資料とした土器の帰属土器型式の認定や，前提となる土器型式編年の議論に，まったく誤りがないとはいえないが，考古学的な土器論としての議論は別に譲ることにして，むしろ後者の可能性について検討する。

後者の可能性は，暦年較正曲線の特性に基づくもので，過去において大気中の<sup>14</sup>C濃度が一定ではなかったことを反映しているとするものである。

図3をみると，その年代値の振幅と想定される暦年代の順序がよく合致することが示されている。若干の例外とすべき，較正曲線からややはずれた試料が，各時期に存在するが，これらは全体としては5%程度であり，測定誤差によるゆらぎの範囲と考えられる。よって，それらを除いて考えれば，土器型式から相対的な順番が決められている測定値を，同一土器型式期の範囲内で並べなおし，また土器型式の時間的間隔を調整しつつ測定値を配列していくと，おおむね較正曲線と一致するように配置できる。これは，土器型式の並び方と，較正曲線とがよく一致していることを示唆している。

細かく見ると，土器型式の五領ケ台2式から勝坂2a式の時期にあたる範囲は，較正曲線との一致の悪い時期である。五領ケ台2式については3400cal BCころの較正曲線の谷間に当たる年代が測定値には認められず，逆に勝坂1式から勝坂2a式にかけて3300cal BCころに，実際の測定値において，較正曲線上で炭素年代が40～50年新しくなる部分が認められる。3400cal BCころの谷間については，ちょうどその期間にあたる土器を測定していない可能性がある。実際に，試料の制約から，五領ケ台2式前半段階の土器については，ほとんど測定できていない。今後，中期前葉について，測定を増やして検討することが課題である。

しかしながら、その他の時期については、土器型式編年による順序と、較正曲線上での<sup>14</sup>C年代値の動向がきわめてよく一致していると考ええる。特に、測定が多くなされている勝坂3式以降は、較正曲線の波行と、実際の試料の測定値が、よく一致していることは、興味深い。勝坂3式以降については、土器型式としての順番も細かく検討されており、かつ時期によっては、住居の重複順序など、相対的な順序がよく定まっている。すなわち、間隔については、一定の時間幅とはいえないが、順序が定められているという点では、年輪年代のウイグルマッチングに相当するアプローチが実験されていると捉える。

さて、図3によって、縄紋時代中期の土器型式の暦年代を、かなり絞り込んで議論することが可能である。ただし、縄紋時代中期の編年については、別稿で個々の土器試料の型式論も含めて詳細に議論する計画であるので、ここでは一部概略を述べるにとどめる。

縄紋時代前期と中期の境の年代については、十三菩提式・朝日下層式土器群と、五領ケ台1式・新保1式土器群の測定値をならべると、較正曲線が少し波行した谷間にあたる3500-3550cal BCころにあたると思われる（小林ほか2003ab）。五領ケ台1式および並行期の土器付着物は、測定例が少なく、なおデータの蓄積を図ることが望まれる。

縄紋時代中期と後期の境に相当する年代については、2500～2450cal BCころには加曾利E4式から称名寺式に変化していると読みとることができる。

勝坂1a式が属する年代については、暦年代とともに、<sup>14</sup>C濃度が大きく変化する時期に相当するので、年代を非常に正確に推定できる一方、前述したように五領ケ台2式から勝坂2a式についてはやや合致しない部分がある。これは日本における較正曲線の地域差を若干反映した結果である可能性もある。今後、測定例を増やすことと、年輪年代資料などを用いてこの時期の較正曲線を検討する必要がある、今後の課題としたい。

## 6 まとめと課題

測定結果と較正曲線を比較検討することにより、縄紋時代中期の年代幅が、3500-3550cal BCころをはじめとし、2500～2450cal BCころには後期の土器群が出現していることを示した。また、中期土器型式の年代幅についても絞り込める可能性を示した。

特定の時期の編年的位置づけの明確な土器に伴う炭化物を、集中的に年代測定を行うことで、確率的に暦年較正の幅も絞ることができ、50年より短い時間幅を検討することが可能と考える。特に、考古学的位置づけが明確で検証可能である遺跡・資料に対して、数多く測定を行うことが有効である。土器の型式変化の時間幅について、及び、集落の継続期間や住居の耐用期間についての検討も重ねつつあるので、改めて論じたい。

本研究は、日本学術振興会科学研究費 平成13・14年度基盤研究（A・1）（一般）「縄文時代・

弥生時代の高精度年代体系の構築」(課題番号 13308009)による研究成果を用いている。

本稿をまとめるにあたり、下記の方々及び諸機関にはたいへんお世話になりました。

岡本孝之、植月学、大野尚子、建石徹、南和久、山本直人、望月芳、青森県埋蔵文化財センター、岩手県埋蔵文化財センター、印旛郡市埋蔵文化財センター、金沢市埋蔵文化財センター、神奈川県埋蔵文化財センター、かながわ考古学財団、黒川村教育委員会、北上市埋蔵文化財センター、立川市教育委員会、東京都埋蔵文化財センター、栃木県埋蔵文化財センター、長野県埋蔵文化財センター、明野村埋蔵文化財センター、韮崎市教育委員会、赤城村教育委員会、富士見村教育委員会、福島県文化振興事業団、藤沢市教育委員会、町田市教育委員会、日黒区教育委員会、横浜市ふるさと財団

以上、特に記して謝意を表します。

(2003.3.17 受理)

## 註

註 1)  $^{14}\text{C}$  年代を暦年代に修正するためのデータベース、1998 年版。

Stuiver, M., et.al. 1998 INTCAL98 Radiocarbon age calibration, 24,000-0 cal BP. Radiocarbon 40 1041-1083.

註 2) 試料の収集、採取はおもに小林・今村が行い土器型式の判別は小林が行った。試料処理における AAA 処理はおもに小林が担当した。国立歴史民俗博物館において、炭酸ガス化と精製、グラファイト化を行った場合は、坂本が担当した。

註 3) BP は before present の略で、1950 年を基点に過去にさかのぼった数値で示す。通常、炭素の同位体効果の補正として試料の  $\delta^{13}\text{C}$  値を  $-25\%$  に規格化して得られる年代値を用いる(中村 1999)。測定誤差は 1 標準偏差で表す。

註 4) 試料の炭素含有率については、AAA 処理による試料の重量の増減比率(炭素含有率 1 とする)と、AAA 処理後の精製作業による炭素換算量での二酸化炭素の増減比率(炭素含有率 2 とする)の 2 つについて検討している。前者については、山本直人も検討を試みているが、含有率の違う付着物について、山本は土器使用時の調理方法等による付着物の性格による差異を仮定している(山本 2000)。

註 5) 木材は、住居の構築時に古木を用いるか以前に伐採済みのものを用いる場合、構築時に伐採する場合の違いによっても、木材の年代が異なるが、この場合は試料自体(この場合は木材)の歴史的な位置づけの問題である。木材では、中心部に近い年輪部分を試料としてしまった場合は、その樹齢の年数のみ、歴史的な年代(この場合住居の構築年代)より古くなる可能性が考えられる。もしも木材が均質につぶされて試料となっていた場合(例えば細かなスズ状の炭化物となって採取された場合)は、平均値すなわち樹齢の半分の年数分、古い年代を得ることになる。これを、歴史

年代に対する古木効果と呼ぶ。

ただし、ここで検討している堅穴住居の構築材と、用いられた土器付着物の場合には、土器に炭化物が付着するのは、その土器で最後に煮炊き、または煤けさせた段階に付着したと考えられ、堅穴住居構築後、その住居が使用されている一定期間（日本の高湿度の環境下では数年から最大でも20～30年程度）を経てからであるので、この間にも歴史的な時間でのズレが見込まれる。よって、本稿で示した場合は、同一住居出土の土器付着物と、火災住居などでの住居構築材（或出土の燃料材の場合は別）との間には、古木効果の見込まれる分と、住居構築後の生活が続いた時間の合計分が、差となる可能性が考えられる。

なお、試料選択においては、樹木については、樹幹の外側に近い方を選択することを優先した。また、実体顕微鏡観察による樹種同定を行った結果では、対象試料はほとんどがクリで、まれにコナラなどが認められる。数例の柱材と思われる大形の炭化材で観察した結果で、最大35年程度の年輪（中心部は腐っている場合が多く、また最外部も欠損している場合がほとんどのため、樹齢としてどの程度の年数が足されるべきか不明）を数える材であった。よって、最大限に見積もっても50年の古木効果を見込む必要性は乏しいと考える。

## 参考文献

- 今村峯雄 1999 「高精度 14C 年代測定と考古学－方法と課題－」『高精度年代決定法とその応用－第 4 紀を中心として』月刊地球号外 No.26, 海洋出版, 23-31.
- 今村峯雄 2000 「考古学における 14C 年代測定－高精度化と信頼性に関する諸問題」『考古学と化学をむすぶ』東京大学出版会, 55-82.
- 今村峯雄 2001 「縄文～弥生時代移行期の年代を考える－問題と展望」『第四紀研究』40, 509-516.
- 小田寛貴・山本直人 2001 「縄文土器の AMS14C 年代と校正年代」『考古学と自然科学』第 42 号 日本文化財科学会, 1-13
- 小林謙一・今村峯雄・西本豊弘・坂本稔 2002 「AMS14C 年代による縄紋中期土器・集落研究」『日本考古学協会第 68 回総会研究発表要旨』49-52
- 小林謙一・今村峯雄 2002 「3 章 分析 1 向郷遺跡出土試料の炭素年代測定」『立川市埋蔵文化財調査報告 12 向郷遺跡 VI』88-92
- 小林謙一・今村峯雄 2003a 「土安原遺跡出土土器の炭素年代測定」『金沢市土安原遺跡』金沢市埋蔵文化財センター, 137-144
- 小林謙一・今村峯雄 2003b 「南鍛冶山遺跡下の根地区出土土器の炭素年代測定」『南鍛冶山遺跡発掘調査報告書－藤沢市都市計画事業北部第二（二地区）土地区画整理事業に伴う調査－第 10 巻 古代 6・附編』169-171
- 小林謙一・今村峯雄・坂本稔・大野尚子 2003 「関東地方縄紋集落の暦年校正年代－SFC・大橋・



- 向郷遺跡出土試料の炭素年代測定』『セツルメント研究』4, 29-64
- 辻誠一郎・中村俊夫2001「縄文時代の高精度編年：三内丸山遺跡の年代測定」『第四紀研究』40, 471-484
- 山本直人2000「付着炭化物の化学処理からみた縄文土器の煮沸形態」『名古屋大学文学部研究論集』137, 1-10
- 中村俊夫1999「放射性炭素法」『考古学のための年代測定学入門』, 古今書院, 2-36.
- Bronk Ramsey, C. 1994: Analysis of chronological information and radiocarbon calibration: *The program OxCal. Archaeological and Computing Newsletter* 41: 11-16.
- Buck, C.E., Kenworthy J. B., Litton, C.D., and Smith, A.F.M. 1991, Combining archaeological and radiocarbon information: a Bayesian approach to calibration. *Antiquity* 65: 808-821.
- Stuiver, M., Reimer, P. J., Bard, E., Back, J. W., Burr, G/S., Hughen, K. A., Kromer, B., McCormac, G., Van der Plicht, J. and Spurk, M. 1998 INTCAL98 Radiocarbon age calibration, 24,000-0 cal BP. *Radiocarbon* 40 (3), 1041-1083.
- Kigoshi, K. and Hasegawa, H. 1966: Secular variation of atmospheric radiocarbon concentration and its dependence on geomagnetism. *J. Geophys. Res.* 71: 1065-1071.
- Nara National Cultural Research Institute 1990: Dendrochronology in Japan, Rept. of the Nara National Cultural Research Institute, No.48.
- Imamura, M., Sakamoto, M., Shiraishi, T., Sahara, M., Nakamura, T., Mitsutani, T., and van der Plicht, J. 1998: Radiocarbon age calibration for Japanese wood samples: wiggle-matching analysis for a test specimen, *Actes du colloque 《C14 Archeologie》* (Proc. 3 rd Int. Symp. on <sup>14</sup>C and Archaeology (Lyon, April 1998)), pp.79-82.
- Sakamoto, M., Imamura, M., van der Plicht, J. T., Mitsutani, T., and Sahara, M.2003: Radiocarbon calibration for Japanese wood samples, *Radiocarbon*, in press.

## Study on Jomon chronology by comparison of multiple AMS radiocarbon dates with pottery-type series: a case study of Kanto region, Japan

Mineo IMAMURA<sup>1,2</sup>, Kenichi KOBAYASHI<sup>1</sup>, Minoru SAKAMOTO<sup>2</sup> and Toyohiro NISHIMOTO<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Department of Japanese History, Graduate University for Advanced Studies, Sakura, Chiba, 285-8502 Japan

<sup>2</sup> National Museum of Japanese History, Sakura, Chiba, 285-8502 Japan

More than 260 carbonaceous samples associated with potteries and settlements in the Jomon periods were dated using AMS radiocarbon measurement. Among these samples, about 150 samples, which were collected from the Middle Jomon period of Kanto, Thubu, Tohoku and Hokuriku regions, in Japan, were used to construct a pottery chronology in calendar-year scale using the international radiocarbon calibration database, INTCAL98.

The samples consist mainly of charred carbonaceous materials (estimated to be charred food remains) remained on the surface of deep bowls and charcoal fragments, excavated from the pit-dwellings. A small number of seeds and lacquer were also collected. We selected the samples whose relation to pottery type could be clearly identified. Charred materials from pottery are particularly important, because they represent the date closely related to the production of the bowls.

The samples were examined under a microscope and treated by rising with acetone and standard acid-alkali-acid (AAA) procedure. The treated samples were further oxidized into carbon dioxide, which was then graphitized with hydrogen and Fe catalizer. The graphite samples were pressed into cathodes for AMS measurement. Part of samples, which were AAA-treated, and carbon dioxide were commissioned for AMS<sup>14</sup>C dating to Beta-analytic, Inc., USA. The graphite samples, together with standard samples and blanks, were commissioned to Institute of Accelerator Analysis, Shirakawa, Japan.

We examined the results by comparing the measured dates in the chronological order of pottery type at Jomon period. About 10 % of the samples were regarded as outliers and those were possibly either misidentified or transferred from overlying layers. The calibrated ages were concordant with the chronological order estimated from pottery-type. By locating a group of multiple dates in the INTCAL98 calibration curve, we can estimate the calibrated ages of samples much more clearly. It is shown that the Middle Jomon period started around 3500-3450 cal BC and ended around 2450-2500 cal BC.