

加速器質量分析法による 放射性炭素年代と暦年代への校正

— 弥生後期から古墳中期を中心に —

中村 俊夫

●キーワード：放射性炭素年代 (radiocarbon age: ^{14}C age),
加速器質量分析 (accelerator mass spectrometry; AMS), 年輪年代 (dendrochronology),
 ^{14}C 年代校正 (^{14}C age calibration), 暦年代 (calendar age), 弥生後期 (Late Yayoi),
古墳中期 (Middle Kofun)

1. はじめに

加速器質量分析(AMS)法を用いたとしても ^{14}C 年代測定の誤差 (1 標準偏差: $\pm 1\sigma$) が $\pm 60 \sim \pm 80$ 年と大きかった 1980 年代～1990 年代前半は、 ^{14}C 年代測定を歴史資料に適用することは無謀に近かった。可能性の確率が 68.3% ($\pm 1\sigma$) として 120～160 年の幅での年代推定では、編年のための決定的な判断材料には使えない。歴史資料への適用については、資料の真贋判定材料の一部に利用するか、1つの資料を数多く繰り返し測定して推定誤差を小さくする等の可能性が探られた。1990 年代後半になって、AMS による ^{14}C 年代測定の精度が向上し、1回の測定で $\pm 20 \sim \pm 30$ 年の誤差 ($\pm 1\sigma$) に抑えることが可能になり、また測定の効率が向上してたくさんの資料を短時間に測定できるようになった。そこで、歴史資料の年代測定への利用が促進されるようになった。

一方で、詳細な土器編年に実年代 (暦年代) を対応させるために土器付着炭化物を対象試料とする年代測定が推進されている。AMS ^{14}C 年代測定は、1 mg 程度の炭素試料で実施可能であることから、このような分析が可能となった。土器に共伴する木片、炭化物試料と異なり、土器に付着する炭化物は土器が製作され使用された時に土器の表面で炭化した食物残滓あるいは薪のススと考え

られ、まさに土器の年代を代表する資料である。もちろん、土器付着炭化物がしばしば考古学的な予想よりも古い年代を示すことが多々報告されている (西田 2003; 2004)。実際、付着炭化物が海産物由来の場合には、海洋の炭素リザーバ効果が ^{14}C 年代を古くする傾向があることは周知のことであるが、新鮮な海産物が煮炊きされて土器表面に付着したことは間違いない。海洋の炭素リザーバ効果については、最近ではずいぶん研究が進んでおり近いうちに合理的な補正が可能となるであろう。このような流れで、土器付着炭化物を含めて様々な歴史資料や考古資料の ^{14}C 年代測定が進められている。

もう一つの問題点として ^{14}C 年代から暦年代への校正 (換算) がある。北半球中緯度に位置する日本の資料の ^{14}C 年代は、一般に世界標準の暦年代校正データ IntCal04 (Reimer et al. 2004) を用いて校正される。IntCal04 は、主として北米や欧州産樹木の年輪を用いて作成されたものである。一方で、国立歴史民俗博物館、名古屋大学、山形大学では、さまざまな日本産の樹木について年輪年代と ^{14}C 年代の関係を調査し、IntCal04 との一致度を比較してきた。これまでに日本の研究グループにより調べられた年輪試料の暦年代範囲は、現在から 3000 年前までのうち、飛び飛びで 2000 年間程度の範囲であるが、 ^{14}C 測定の誤差範囲内でほとんどの暦年代範

围で IntCal データと調和的である。しかし、一部の範囲（紀元 1 世紀から 3 世紀）では顕著なズレが生じていることが明らかになった（尾寄 2009）。この顕著なズレの時期は弥生後期から古墳中期に含まれている。すなわち、弥生後期から古墳中期にかけては、IntCal04 を較正に使うかぎり、 ^{14}C 年代測定法では日本産資料の暦年代を正しく推定することができないことになり、日本の考古学研究、歴史学研究に大きく支障をきたすことになる。

本稿では、 ^{14}C 年代測定の立場から、AMS による ^{14}C 年代測定の精度（測定の誤差、再現性）、正確度（真の値からのズレの程度）の検証について、また、弥生後期から古墳中期を中心にして日本産資料の ^{14}C 年代の暦年代較正について、特に、この暦年代較正を行うにあたって、発掘された考古資料の層序関係や土器編年による資料の新旧関係を取り入れる方法（OxCal 4.1 プログラム（Ramsey 1995; 2001）の sequential 機能）、および木材資料にかぎられるが、暦年代推定の正確度をあげるために最近よく利用されている ^{14}C 年代ウイグルマッチング法について議論する。

2. ^{14}C 年代測定プロセス

^{14}C 年代測定法を用いて資料の年代を推定する過程で、年代推定の正確度、信頼度をあげるために注意すべき事項を表 1 に示す。ここでは、 ^{14}C 年代ではなく暦年代軸

上の位置（考古学的事象（イベント）が成立した暦のうえでの年代）を求めることを最終目的とした。すなわち、与えられた資料について、まず ^{14}C 年代測定法の原理を顧みて、この方法に最適な炭素試料を選別する。場合によっては、資料から特定の炭素化合物を物理・化学的操作により抽出して用いる。資料が採取される前に存在した場所において、資料に吸着、混入した可能性のある外来の炭素物質を分取した年代測定試料から可能な限り除去し、 ^{14}C 年代測定に用いるための炭素物質を調製する。次に、その炭素物質について、 ^{14}C 濃度を精度よく、また高い正確度で測定する。このためには、分析計の保守・検定を定常的に行って、分析計を常に最良の状態に保つ。また、分析計の ^{14}C ブランクを検定し、 ^{14}C ブランクの低減をはかる。試料の ^{14}C 濃度の測定値から ^{14}C ブランク値を差し引いたのち、得られた ^{14}C 濃度から ^{14}C 年代を算出するが、この際には試料の初期 ^{14}C 濃度を検討のうえ必要に応じて補正し、さらに、試料の炭素安定同位体比（ $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ）を測定することにより試料炭素の同位体分別の補正を行う（中村 2003）。こうして得た conventional ^{14}C 年代（炭素同位体分別補正 ^{14}C 年代）を、樹木年輪データ（IntCal04）を用いて暦年代軸に投影し、可能性の高い暦年代範囲を推定する。文献資料などにより暦年代が推定可能な歴史時代の資料はもちろんのこと、先史時代の資料についてもそれらの資料の編年に際しては、 ^{14}C 年代を直接用いるのではなく、それを較正した

表 1 ^{14}C 年代測定法による文化財科学・考古学分野の資料の年代推定のプロセス

Table 1 A process of estimating calendar age of a sample for cultural property and archeological studies by ^{14}C dating method

年代推定の過程	検定・操作項目
測定試料の選定、採取および調製	○年代を代表する最適試料の選定・採取 ○試料に含まれる最適な炭素化合物の選別 ○試料に吸着された外来汚染炭素の除去と試料調製
^{14}C 濃度測定	○ ^{14}C 濃度測定の高精度化 ○ ^{14}C 濃度測定の正確度の向上 ○ ^{14}C バックグラウンドの低減
同位体分別補正 ^{14}C 年代値の算出	○初期 ^{14}C 濃度の検討と補正 ○炭素同位体分別の補正
暦年代軸への較正と年代解析	○樹木年輪データによる暦年代と ^{14}C 年代の比較 ○ ^{14}C 年代-暦年代標準較正データによる年代較正 ○試料の層序データを取り込んだ年代解析 ○ ^{14}C ウイグルマッチングによる年代解析

暦年代を用いることが不可欠となっている（中村 2001）。以下に、AMS による ^{14}C 年代測定の精度と正確度の検討の概要を述べる。試料の採取、保存、年代測定のための試料調製処理については別稿を参照されたい（中村（2006）など）。

3. AMS による ^{14}C 年代測定の精度と正確度

名古屋大学では、2 台目の加速器質量分析計として、1996 年にオランダ国の HVEE 社製のタンデトロン（Model 4130-AMS）が導入され、1999 年から ^{14}C 測定利用が開始された。1999 年から 2009 年末までに測定したターゲットの個数は 14,890 個に及んでいる（中村ほか 2010）。

最近実施した年代測定をまとめると、測定誤差（ $\pm 1\sigma$ ；信頼計数 0.68）は、数千年前までの比較的新しい試料については、定常的な年代測定では $\pm 20 \sim \pm 35$ 年程度である（図 1）。この測定誤差は主として分析計による ^{14}C 計数の統計誤差に基づくものであり、試料の年代が古くなると ^{14}C 計数が減るため統計誤差が大きくなり、

全体の誤差もこれより大きくなる。

一般に、 ^{14}C 年代測定の精度や正確度の検証は簡単ではなく、その検証方法が今なお検討されている。精度については、繰り返し測定の再現性が一つの目安になる。名古屋大学の AMS 装置の精度試験では、一例として、北海道千歳市生淵 2 遺跡（北海道埋蔵文化財センター 2005）から出土した、厚く堆積したクルミの殻を用いた。クルミの殻はかなり丈夫で汚染しにくいので、年代測定が実施しやすい試料である。北海道埋蔵文化財センターから提供された数十個のクルミ殻の破片の中から、独立した個体を 10 点選んで、独立して試料調製および年代測定を行ったところ、それぞれの ^{14}C 年代は 1 標準偏差の誤差（ ± 30 年）範囲でほぼ一致した（図 2）。10 個の平均をとると 2699 ± 11 BP となり、バラツキの誤差（ $\pm 1\sigma$ ）を ± 11 年程度に抑えることが可能であることが示された。

次に、正確度（真の値からのズレの程度）の検証は、厳密に行うことは難しい。 ^{14}C 濃度が正確にわかった試料を手に入れることが難しいからである。そこで、 ^{14}C 年代測定研究では、多数決の原理が採用されている。一

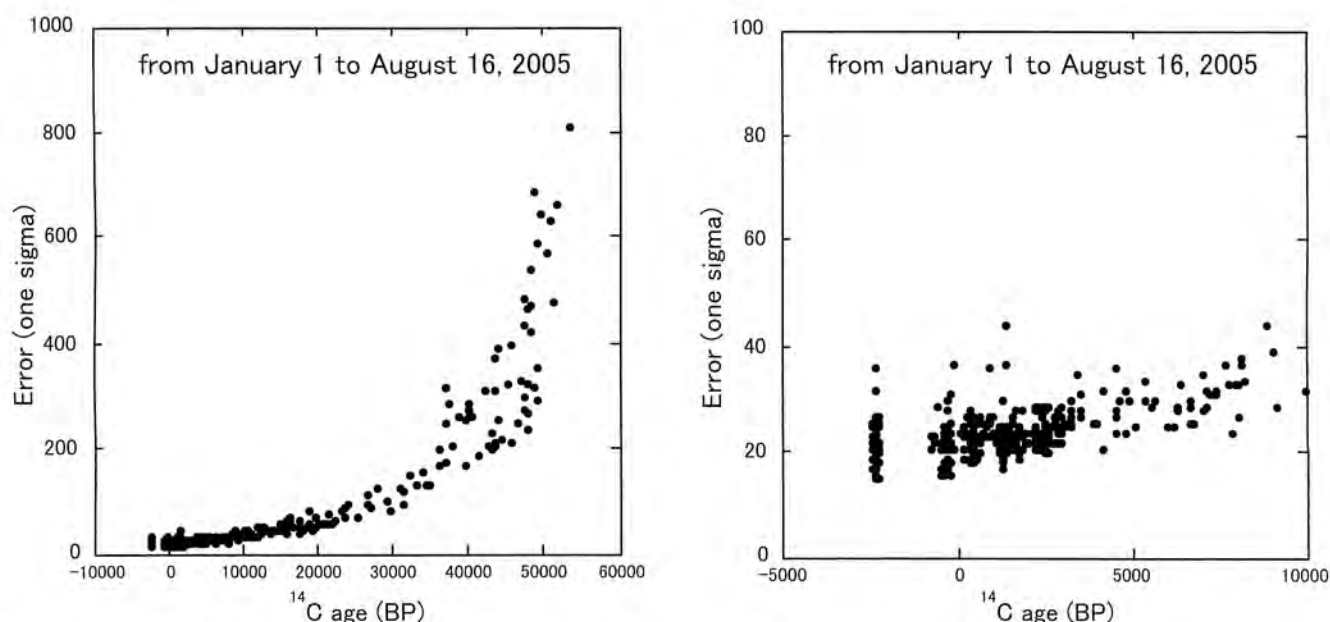


図 1 名古屋大学 HVEE タンデトロン加速器質量分析計による定常的な ^{14}C 年代測定の誤差（1 標準偏差）
1960 年代以降に生物活動で生成された炭素試料では、大気圏内の核実験より生成された人工起源 ^{14}C を含むため、 ^{14}C 濃度が標準のレベルよりも高く ^{14}C 年代が見かけ上負の値となる。

左図：modern～60 kBP の測定結果 右図：modern～10 kBP の拡大図

Fig. 1 One-sigma errors of ^{14}C ages measured routinely with a HVEE Tandetron AMS system at Nagoya University

^{14}C ages of samples formed after AD1960 show negative values, owing to the contribution from artificial ^{14}C produced by the atmospheric nuclear bomb tests.

Left: modern～60 kBP ^{14}C age range Right: modern～10 kBP ^{14}C age range

様に混合された同一試料を世界各国の ^{14}C 測定機関に配布して測定結果の報告を受け、測定結果の集中、ばらつきを調べる。もちろん ^{14}C 測定の標準体には、同じ物質を用いる。このような比較研究が既に何度も行われている。第 5 回目の比較研究 (Fifth International Radiocarbon Intercomparison; VIRI, Scott et al. 2007) の結果を、世界の平均値と名古屋大学の測定結果を比較して表 2 に示す。配布された試料は 4 点であり、近年に収穫され ^{14}C 濃度が高い barley mash (オオムギをつぶしたもの) が 2 点、各 2 g ずつ、また、考古学資料として、charred seed (炭化穀物) が 2 点、各 4 粒ずつであっ

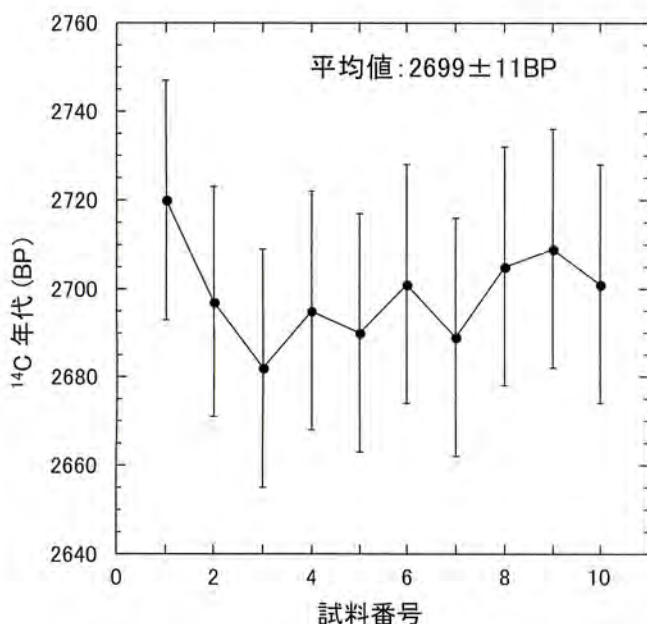


図 2 北海道生洩 2 遺跡出土のクルミ殻 10 個の ^{14}C 年代の比較
Fig. 2 Comparison of ^{14}C ages measured for ten individual walnut-shell samples collected from the Namabuchi-2 site in southern Hokkaido, Japan.

た。各資料について、グラフィットを独立に 2 個ずつ調製して測定した。

比較の結果をまとめると、国際機関で測定された結果と名古屋大学の結果はほぼ一致しているものの、国際機関の結果の中央値に比べて名古屋大学の結果は ^{14}C 濃度がやや高い方、また、同様な傾向であるが ^{14}C 年代が若い方向にずれていることがわかる。測定試料の ^{14}C 年代

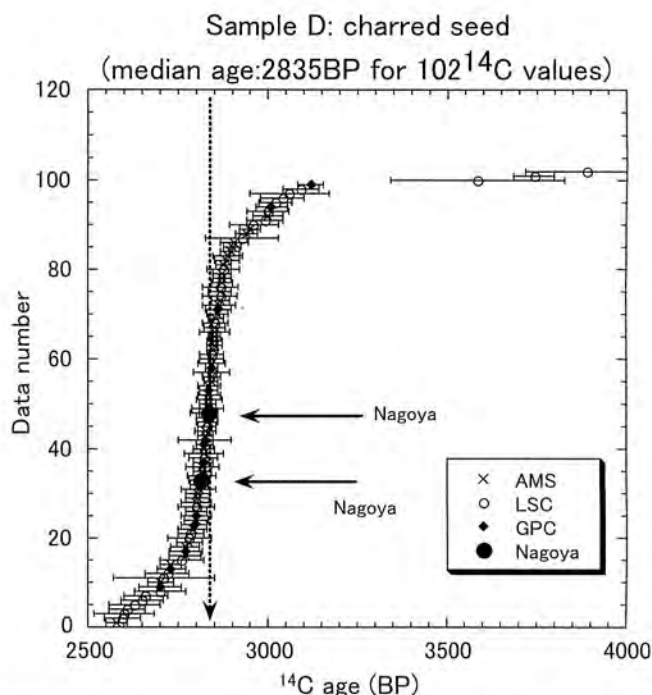


図 3 試料 D について、世界中の ^{14}C 測定機関で測定された結果の比較
名古屋大学の測定結果を矢印で示す。

Fig. 3 Distribution of ^{14}C ages measured by individual worldwide ^{14}C laboratories for the sample D in the VIRI program.
The results from Nagoya University is marked by arrows.

表 2 第 5 回国際 ^{14}C 測定比較研究 VIRI の平均値、中央値と名古屋大学の結果の比較
Table 2 Comparison of the VIRI results (average and median values) with those measured by a Nagoya AMS system
VIRI: 5th International Radiocarbon Intercomparison

試料番号	平均値	中央値	標準偏差	最小値	最大値	名古屋大 ($\pm 1\sigma$)
A (pMC)	108.6	109.1	2.78	92	113.0	109.6 $\pm$ 0.3 109.7 $\pm$ 0.3
B (BP)	2825	2821	198.7	2460	3979	2752 $\pm$ 25 2803 $\pm$ 28
C (pMC)	109.8	110.6	2.35	98.6	112.6	110.7 $\pm$ 0.3 110.9 $\pm$ 0.3
D (BP)	2859	2835	185.2	2580	3998	2811 $\pm$ 25 2832 $\pm$ 25

試料 B, D は ^{14}C 年代 (BP) を、試料 A, C は ^{14}C 濃度 (pMC) を示す。pMC は、現代炭素の標準 ^{14}C 濃度に対する試料の ^{14}C 濃度を百分率で表したものである。

(濃度)の評価において、分析計の ^{14}C ブランクをより正しく取り入れる検討を進めている。さらに一例として、試料 D について、国際機関で測定された全測定値を図 3 に示す。

4. ^{14}C 年代の暦年代較正

4.1 世界の現状

古文化財資料や考古学資料の編年を研究する場合、まず始めに明らかにしたいのはそれぞれの資料の暦年代である。文献史学などの古記録の情報から暦年代が明らかにできない場合には、理化学的な年代測定法、例えば年輪年代測定法や ^{14}C 年代測定法などが適用される。年輪年代法では、誤差なしで年輪年代(暦年代)が推定できるが、樹種、生育した地方、さらに樹木の年輪数などについて制限がある(光谷 2001)。他方、さまざまな資料について直接測定が可能な ^{14}C 年代は、資料の暦年代から明らかにずれることが知られている(中村 2007)。歴史に刻まれる 1 年は地球が太陽を 1 周するのに要する時間であるのに対し、 ^{14}C 年代の 1 年は閉鎖系にある炭素中の ^{14}C の個数が 0.012% 減少するのに要する時間である(^{14}C の半減期を 5730 年とした場合)。

そこで、 ^{14}C 年代から暦年代へ換算するために、国際的な ^{14}C 年代測定グループは、樹木年輪や海底堆積物の年縞の計数及びサンゴの U-Th(ウラントリウム)年代測定から得られる年代を暦年代に相当するとして、暦年代とそれらの試料の ^{14}C 年代の対応関係を調べてきた。両者の対応関係がわかれば、 ^{14}C 年代から暦年代への換算ができる。30 年近い研究の成果が、全世界的に ^{14}C 年代から暦年代への変換に使われている ^{14}C 年代較正曲線の最新版 IntCal09 あるいは古い版である IntCal04 や IntCal98 データセットである(Reimer et al. 2009)。IntCal98 から IntCal04(Reimer et al. 2004)への改訂に際しては、較正データのスムージングが取り入れられ、また、環境中の炭素リザーバを大別して、それぞれについて較正データが用意された。すなわち、IntCal04 は、北半球の陸上植物の ^{14}C 年代についての較正データであり、その他に、SHCal04(南半球の陸上植物用)、Marine04(海産物用)、UW-single-year-98(北半球の陸上植物用、ただし、単年毎の ^{14}C データ)がある。資料の ^{14}C 年代を暦年代へ較正する場合には、これらの 4 つのデータセットの一つを選ぶ。そのほか、陸産物と海産物を混合して食資源として生長した人類などの動物骨

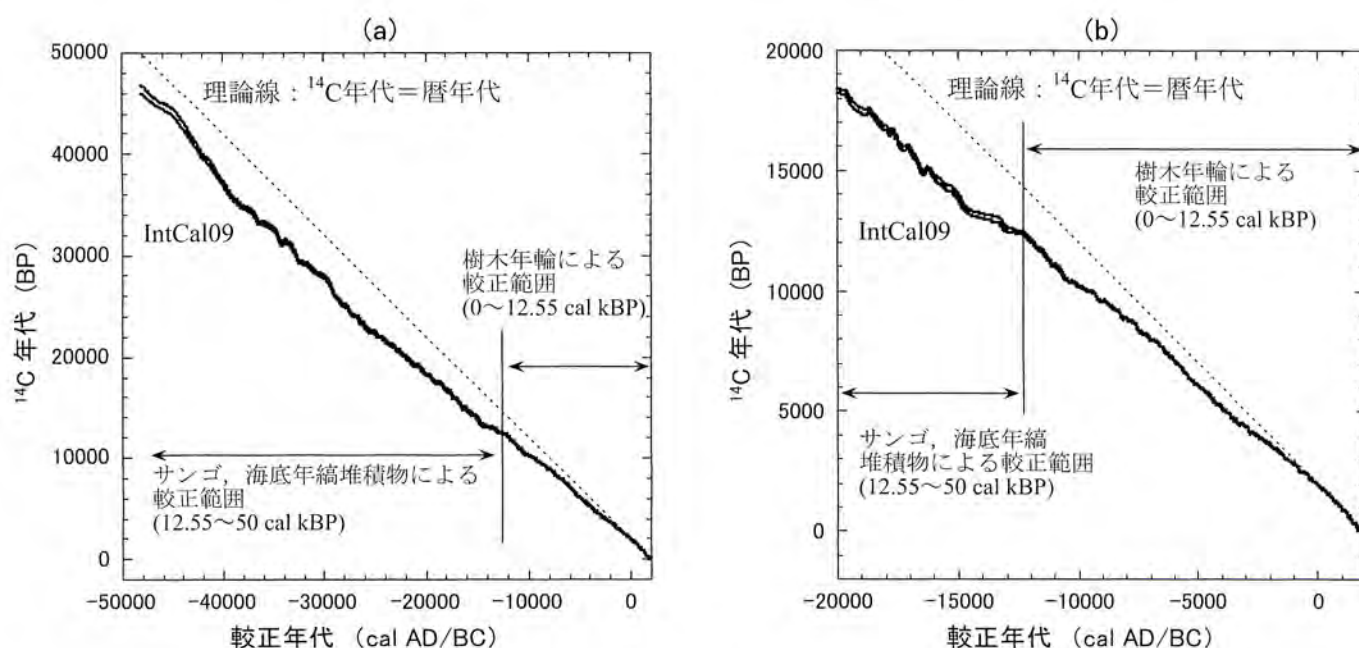


図4 ^{14}C 年代較正データ IntCal09 における ^{14}C 年代と較正年代の関係

図中の 2 つの曲線は ^{14}C 年代の 1 標準偏差の上限と下限を示す。

(a) 暦年代で 0 ~ 50 cal kBP の範囲、(b) 暦年代で 0 ~ 20 cal kBP の範囲の拡大図

Fig. 4 Comparison of ^{14}C ages vs. calibrated calendar dates for the IntCal09 dataset

Upper and lower curves in the figure are from one-sigma error limits.

(a) 0 ~ 50 cal kBP range; (b) 0 ~ 20 cal kBP range

試料の場合には、陸産食資源と海産食資源の摂取の混合割合に応じて組み立てた校正データである Mixed-Marine-NH（海産物と北半球陸産物のある割合で混合して食した場合）あるいは Mixed-Marine-SH（海産物と南半球陸産物のある割合で混合して食した場合）を用いることができる。なお、2009 年末には、最新の校正データセット IntCal09, Marine09 が公開された。IntCal09 では、IntCal04 の 12 cal kBP から 26 cal kBP の年代区間の若干の修正と、26 cal kBP~50 cal kBP の追加である。12 cal kBP よりも新しい年代区間については何の変更もされてない。最新の校正データセット IntCal09 の詳細については、Radiocarbon 学会のホームページ（www.radiocarbon.org）を参照されたい。

歴代の IntCal データを詳細にみると、 ^{14}C 年代は暦年代からずれていることがわかる。IntCal09 データを図 4 a, 4 b に示す。おおよそ AD 1 年以前では、 ^{14}C 年代は暦年代よりも系統的に若い値を示し、そのずれは年代が古くなるほど大きくなる傾向を示す。数千年前では ^{14}C 年代は暦年代よりも 500~800 年若く、数万年前になると 3 千~5 千年若い。また、現代から 12,550 cal BP の間は、樹木年輪を用いて過去の ^{14}C 濃度が詳細に測定されており、 ^{14}C 濃度のデコボコ（ ^{14}C ウィグルと呼称される）の存在が知られている。これらのずれや ^{14}C ウィグルは、太陽活動や地球磁場の強弱の経年変動、また大気と海洋間の炭素交換に由来し、地球の気候変化と関連するとされる（中村 2003）。考古学的イベントの時間的周期性（例えば、一つの土器型式の使用期間や型式の移り変わりなど）を解析しようとする際には、歪んだ時間尺度である ^{14}C 年代軸で議論してはいけな。代わりに暦年代軸を用いる必要がある。そこで、図 4 a, 4 b に示されるデータを用いて ^{14}C 年代軸から暦年代軸への校正が行われる。しかし現状では、この校正法は多くの問題を抱えている。例えば、校正データは、限られた地域で生育した限られた数の樹木について、10 年間分をまとめた年輪を用いて作られている。樹木年輪が使われているのは現代から 12,550 cal BP までで、この区間では校正が比較的正確でできる。しかし、これを超えて古い区間ではデータの正確度は高くない。 ^{14}C 年代測定が可能とされる 5~6 万年前までの古い年代域で、 ^{14}C 年代校正

が正確に出来るように、さまざまな研究が継続されている（Reimer et al. 2009）。

4.2 歴博グループの取組

北半球の陸産植物に一般的に用いられている校正データである IntCal09, IntCal04 あるいは IntCal98 は、北米大陸のロッキー山脈あるいは欧州のドイツ南部産で生育した樹木を用いて作成されている（Reimer et al. 2009）。そこで、日本産の樹木に対して IntCal09 を始めとするこれらの校正データが適用できるか否か、すなわち、大気中の CO_2 の ^{14}C 濃度に、局所的な地域差が存在するの否かについて研究が進められている。この研究は、昨今話題になっている弥生時代の開始年代の議論と深く関係しており、暦博グループはこの問題に積極的に取り組んできた（尾寄 2009）。

日本産樹木の年輪の ^{14}C 年代と暦年代の関係と IntCal データとの本格的な比較研究は、Sakamoto et al. (2003) により着手された。箱根町や宮田村の堆積物、弘田柵遺跡から採取された 4 本のスギ材（年輪年代範囲 240BC~AD900）について 10 年分の年輪をまとめて分割して ^{14}C 年代を測定した結果を IntCal98 と比較してほぼよく一致していることを確認している。しかし、こ

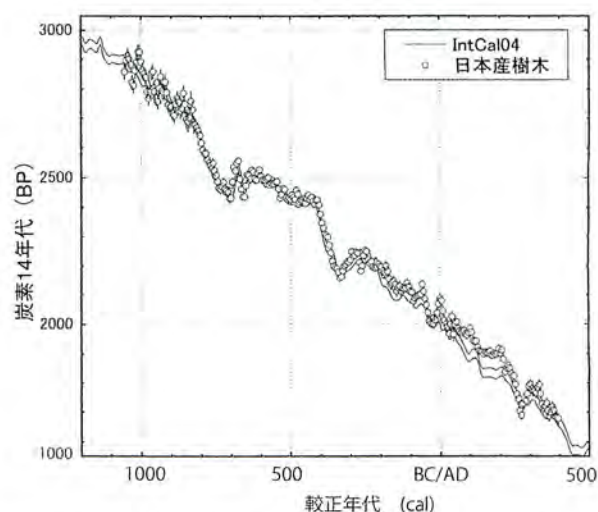


図 5 歴史民俗博物館でまとめられた日本産木材の年輪年代と ^{14}C 年代の関係

IntCal04 と比較して示す。（尾寄（2009）を引用）

Fig. 5 Relation of ^{14}C ages vs. dendro-dates for Japanese woods, in comparison with those of IntCal04 data, summarized by a chronology study group of National Museum of Japanese History (Rekihaku) (cited from Ozaki (2009))

の中で AD100～AD200 の間でスギ材の ^{14}C 年代の方が IntCal98 よりも系統的に古い方に 30～40 年ずれていることを確認している。中村ほか (2004) は、芦ノ湖湖底から採取されたヒノキ材 (AD61～AD180) について同様に ^{14}C 年代測定を行い、AD100～AD180 の間で同様な ^{14}C 年代のずれを確認している。この間に、国立歴史民俗博物館の今村 (2004) の科学研究費補助金による弥生土器の ^{14}C 年代測定の研究において弥生時代の始まりの実年代が予想外に古い可能性が指摘された。これを受けて、同博物館を主体とした“学術創成研究「弥生農耕の起源と東アジア」(2004～2008 年度)では、日本産樹木年輪についての ^{14}C 年代と暦年代 (年輪年代) との関係が、IntCal04 データと一致するか否かについての検討が本格的に実施された。尾寄ほか (2005) や Ozaki et al. (2006) は、長野県飯田市畑ノ沢地区で採取されたヒノキ材 (705BC～193BC) 及び広島県広島市黄番 1 号遺跡から採取されたスギ材 (840BC～200BC) を用いて、5 年分の年輪をまとめて ^{14}C 年代測定を行い IntCal04 とほぼ一致していることを確かめている。その後の研究成果は、尾寄 (2009) にまとめられている。国立奈良文化財研究所との共同研究として、年輪年代法によって年輪年代が確定された日本産樹木年輪試料について、歴史民俗博物館が中心となって加速器による ^{14}C 年代測定データを集積した (図 5)。尾寄 (2009) は、1060BC～AD500 の年代範囲の年輪を分析し、その結果を IntCal04 データと比較して、紀元前 10 世紀から紀元前 1 世紀にかけては、日本産樹木の ^{14}C 年代には多少大きな変動があるものの IntCal04 データとよく調和していることを確認した。しかし、紀元 1 世紀から 3 世紀にかけて IntCal04 データとの明らかな相違を確認している。しかも、この時期に成立したと推定される考古資料の ^{14}C 年代を尾寄 (2009) が得た ^{14}C 年代—暦年代データを用いて較正をやりなおすと、考古学的な推定年代とよく一致することをいくつかの例を挙げて指摘している。このように、北半球の陸産植物試料の ^{14}C 年代の較正に一般的に用いられている IntCal04 データが、日本の陸産植物試料にもおよそその年代区間で適用できるが、ある区間 (紀元 1 世紀から 3 世紀にかけて) では適用できないことを示した。

これまで日本産試料の ^{14}C 年代についての較正では IntCal04 が一般的に用いられているが、このままでは、正確な較正年代を得ることができない場合がある。そこで、尾寄 (2009) が指摘している紀元 1 世紀から 3 世紀にかけての期間以外で IntCal04 の適用ができない箇所を探し、日本独自の較正データ (本稿では、J-Cal と仮称する) を構築する必要がある。

4.3 名古屋大学の取組

宮原ほか (2005) は、奈良県室生寺から採取されたスギ材から AD1617～AD1739 の年輪を、また鹿児島県屋久島で伐採された 2 本の屋久杉からそれぞれ AD1413～AD1615 及び AD881～AD1072 の年輪を選別し、1 年輪ごとに分割して ^{14}C 濃度を測定した。Miyahara et al. (2006) はこれらの年輪データをもとに、過去の太陽活動の強弱変動の周期を解析している。Nakamura et al. (2006) は、これらのデータをもとに、日本産樹木の年輪の ^{14}C 年代を IntCal04 と比較した (図 6)。Nakamura et al. (2006) によると、日本産樹木の ^{14}C 年代は、IntCal04 が示す ^{14}C 年代に対して、AD881～AD1072 の年輪で $+26.2 \pm 27.2$ ^{14}C 年、AD1413～AD1615

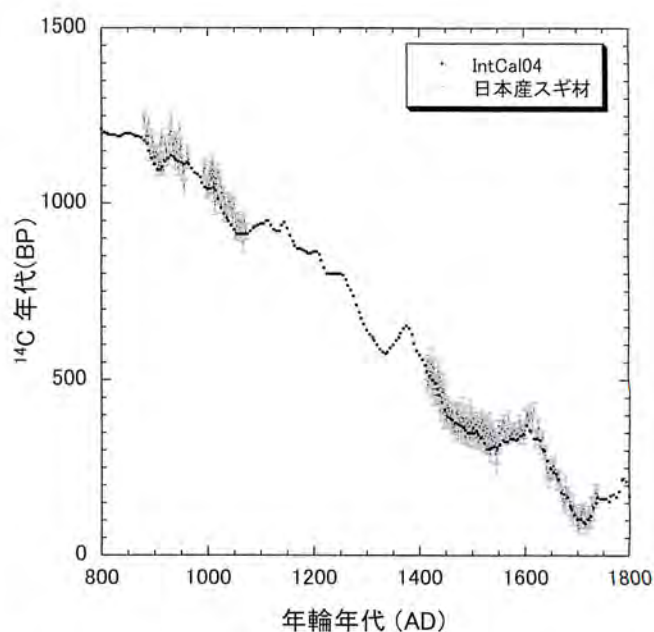


図 6 名古屋大学にて測定された日本産木材の年輪年代と ^{14}C 年代の関係
IntCal04 と比較して示す。

Fig. 6 Comparison of tree-ring ^{14}C ages for Japanese trees with those of the IntCal04 data, for calendar dates from AD881 to 1739

の年輪で $+14.9 \pm 22.1$ ^{14}C 年, AD1617~AD1739 の年輪で $+7.8 \pm 24.0$ ^{14}C 年のずれが見られた。これらのずれは, ^{14}C 年代のばらつきの範囲内ではあるが, 日本産の樹木の方が IntCal04 に比べて古い ^{14}C 年代を示す傾向にあることが明らかである。これらのずれは, ^{14}C 年代校正の正確度にかかわる大問題であり, 今後, 高精度のデータを蓄積し詳細な検討が必要である。なお, これらの比較検証には, 年輪年代法により暦年代が確定された木材試料を用いている。

4.4 IntCal と J-Cal

一般に, 北半球と南半球とで大気中の二酸化炭素の ^{14}C 濃度を比較すると, 南半球の方が低い。これは, 陸地と海洋の面積比による。大気中に炭素が二酸化炭素として存在するように, 海水中にも多量の二酸化炭素が溶け込んでいる。 ^{14}C の生産の場である大気に比べ海洋水は循環による混合が遅い。海洋の深層水は 約 1500 年かけて海洋底を循環しているとされる。この循環する時間に応じて放射性崩壊のため ^{14}C の個数が減少する。そこで, 海洋水中に溶存する二酸化炭素の ^{14}C 濃度は, 大気中の二酸化炭素の ^{14}C 濃度よりも低い。大気と海洋の炭素交換の大きさは海洋面積にほぼ比例するとすれば, 北半球より南半球の方が海洋水中の ^{14}C 濃度の低い二酸化炭素の影響をより大きく受けることにより, 大気中の二酸化炭素の ^{14}C 濃度は北半球より南半球の方が低いことになる。実際, 南半球産の陸上植物は, 北半球産のそれに比べて, ^{14}C 年代にして 23~41 年古いという測定結果が得られている (Hogg et al. 2009)。

さて, 大気の循環により局所的な大気中二酸化炭素の ^{14}C 濃度変動が起こることが Hua and Barbetti (2007)により指摘されている (図7)。東アジア周辺は, 夏季には太平洋高気圧が発達するため海洋気団の影響を受け, 逆に冬季にはシベリア高気圧の発達で大陸気団の影響を受ける。南半球の低緯度からもたらされる海洋気団に影響を受けると, その影響を受けて育つ陸上植物の ^{14}C 濃度は相対的に低くなる。こうして, 夏季に太平洋高気圧が異常に発達する気候が数年~数十年間継続することがあれば, 東アジア地域で生育した陸上植物に, ^{14}C 濃度が相対的に低い (すなわち, これらの植物の ^{14}C 年代が

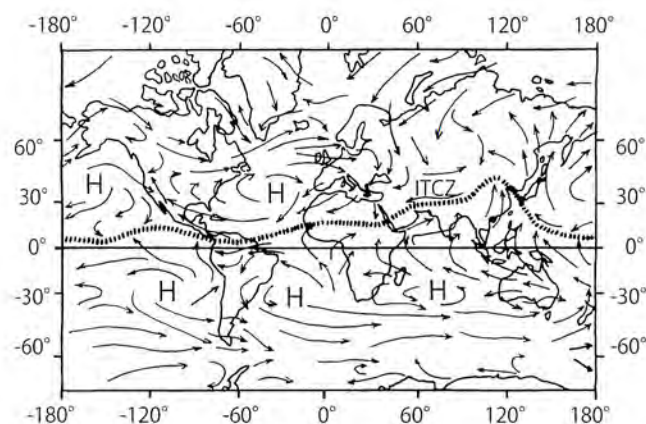


図7 夏季(7月)における平均的な風向と熱帯収束帯(ITCZ)の北への偏り

ITCZ(図中の破線)は北緯30度を超えて北偏することもあり, 南方の ^{14}C 濃度の低い大気を北半球にもたらす。Hua and Barbetti (2007)を改変して示す。

Fig.7 Mean positions of the ITCZ (dotted line) in July and global atmospheric circulation.

ITCZ: intertropical convergence zone, H: high atmospheric pressure zone

(cited and modified from Hua and Barbetti (2007))

通常の北半球陸産植物の ^{14}C 年代よりも古く得られる) 期間が発生しうることになる。日本は北緯30度以北にあるが, 夏季には熱帯収束帯(inter tropical convergence zone; ITCZ)の北端境界付近に位置する(図7)ことになり, 上記のような影響を受ける可能性がある。南半球低緯度の海洋気団の影響を受けて育つ陸上植物の ^{14}C 濃度は低くなる。そうすると, 北半球で育った陸上植物でも, 気候変動に応じて, IntCal04 校正データが使えない期間が発生しうる。通常, 北半球中緯度に位置する日本に産する ^{14}C 年代測定試料は, IntCal04 を用いて暦年代へ校正可能であるとしているが, 国立歴史民俗博物館(Sakamoto et al. 2003, 尾寄ほか 2009)や名古屋大学(中村ほか 2004)の指摘にもあるように, 日本の樹木が IntCal04 からずれる期間(例えば, 紀元1世紀から3世紀)があることがわかってきた。 ^{14}C 年代の暦年校正を正確に行うためには, 国立歴史民俗博物館を主として行われてきた日本版の校正データ(J-Cal)の作成を急ぐ必要がある。

5. 高精度・高確度な年代校正にむけて

^{14}C 年代測定法により, 例え ± 20 年の誤差で ^{14}C 年代値が得られても, ^{14}C 年代一暦年代の校正の過程により, 校正年代の幅が大きく広がる。例えば, 2500BP の ^{14}C

年代は、測定誤差が±10年でも、IntCal04あるいはIntCal98による較正を行うと暦年代で700 cal BC～400 cal BCと幅広い年代範囲に対応することになり、この範囲内では年代を特定することは不可能であることはよく知られている。同様な問題は他の年代区間でも発生し、縄文晩期から弥生早期にかけての高精度編年の大きな妨げとなっている。そこで、較正データ IntCal04をもっと有効に使うて推定される暦年代範囲を狭く絞る方法として、考古資料の発掘における層序に基づく新旧関係のデータを用いる方法と、木材年輪などに適用されるウイグルマッチング法があげられる。以下に、両方法の概要を述べる。

5.1 層序に基づく新旧関係のデータの利用

考古学的発掘においては、通常、遺物の取り上げの際には、遺物の層序が記録される。一般的に、後世における遺跡の攪乱が無かったとすれば、下層から採取された遺物は、それよりも上層で採取された遺物よりも古い。これは、遺物の編年にとって貴重なデータである。最近、年代較正プログラムとして OxCal 4.1 (Ramsey 1995; 2001) がよく利用されており、OxCal 4.1 には、年代較正の際に、層序に基づく試料の新旧関係を取り入れる機能がある。この機能はベイズ統計に基づくものであり、新旧関係のある一連の試料の ^{14}C 年代を較正して得られる確率分布について、新旧関係を用いて確率分布を再計算する方法である。異なった特徴を持ついくつかの層について、それらの層の境界の可能性のある暦年代範囲を絞る方法として有効である。具体的な利用方法については Ramsey (1995; 2001), Omori and Nakamura (2006; 2007), 渥美ほか (2008) などを参照されたい。

5.2 ^{14}C ウイグルマッチングの利用

木材年輪の年代を高精度で推定する方法として ^{14}C ウイグルマッチング法が用いられる。年輪幅を比較して年代測定をおこなう年輪年代法では、木材の樹種、産地、解析に使える年輪数などによる制限を受ける。一方、一般に年輪の ^{14}C 濃度は樹種や局所的な産地の違いには依存しないはずであり、 ^{14}C ウイグルマッチングはさまざまな木材に適用可能である。

^{14}C ウイグルマッチング法は、 ^{14}C 年代から暦年代への較正の必要性に関する最近の一般的な理解に支えられて、さらに一歩先に進む試みである。すなわち、年輪試料の ^{14}C 年代を年代とは見なさず、むしろ、年輪幅のような物理特性と考える。年輪年代法では、年輪幅の標準パターンができておれば、それに試料樹木の年輪幅変動をマッチングさせ、既定値以上の有意な一致度を示す対応から、試料樹木の年輪年代が決定される。 ^{14}C 年代と暦年代の関係を示す標準パターン (IntCal09, IntCal04 あるいは IntCal98) は、精度こそ完璧とはいえないが一応作られている。1つの木材試料について、構成年輪の ^{14}C 年代を数多く測定して、暦年代に対する ^{14}C 年代の変動（これをウイグルと称する）をパターン合わせする。一致度の良いところで試料樹木の年輪年代が決まる。ベイズ統計に基づく ^{14}C ウイグルマッチングの原理・方法を Nakamura et al. (2007) に示す。また、今村 (2007) は独自に ^{14}C ウイグルマッチングを行うためのプログラムを開発している。 ^{14}C ウイグルマッチング法は OxCal4.1 プログラムにも組み込まれており、これは容易に利用できる。

このように原理は簡単であるが、隣り合う（数年飛ばしでも構わないが）複数個の年輪の ^{14}C 年代を高精度で測定する必要があるため実用化が遅れていた。1990年代の半ば以降、 ^{14}C 年代が誤差±40年以下で測定できるようになって ^{14}C ウイグルマッチングの応用研究が進んだ。

最近では、 ^{14}C ウイグルマッチング法を用いた応用研究が増えてきている。過去3回の日本文化財科学学会大会（第24～26回大会）においても、総計17件の研究発表において ^{14}C ウイグルマッチングにより文化財の編年の解析が行われている。少量の分析試料ですみ、かつ測定効率が高い AMS ^{14}C 年代測定の特徴を生かして、今後、 ^{14}C ウイグルマッチングの応用研究が益々促進されると期待される。

5.3 1年の精度での ^{14}C ウイグルマッチングの可能性

^{14}C ウイグルマッチングは、樹木年輪の年代を高精度で推定する有力な方法であるが、樹木内のすべての年輪の ^{14}C 年代を測定することは大変な手間であり、それは

表3 スギ材年輪の高密度 ^{14}C 年代測定結果を用いた ^{14}C ウィグルマッチング

Table 3 ^{14}C wiggle-matching results of ^{14}C ages measured densely on many tree-ring samples separated from Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*).

木材試料	^{14}C 年代測定を行った年輪年代の範囲	^{14}C 年代測定を行った年輪数	マッチングから推定される最も内側の年輪の年代	マッチングの誤差 ($\pm 2\sigma$)	ベストフィット年代の真の年輪年代からのずれ
室生寺スギ材	AD1631~AD1739	55 (隔年)	AD1631	± 2 年	一致
屋久杉材	AD1413~AD1554	142 (毎年)	AD1409	± 2 年	4年のズレ (年代の古い側へ)

一般には困難である。しかし一例として、中村ほか (2005) は、既に述べた、年輪年代が既知の室生寺スギ材および屋久杉材の年輪の多数の ^{14}C 測定データを用いてウィグルマッチングを試みた。室生寺スギ材では、AD1631~AD1739 の年輪を隔年で総数 55 個の年輪の ^{14}C 年代測定を行い、IntCal04 に対してウィグルマッチングを試みた。マッチングの結果、最も確からしいと推定された暦年代は、最も内側の年輪について AD1631 $\pm$ 2 (95%の信頼度) と得られ、年輪年代と完全に一致した。屋久杉では、AD1413~AD1554 の 142 個のすべて年輪を ^{14}C 年代測定し、同様なマッチングを行った結果、最も内側の年輪について暦年代は AD1409 $\pm$ 2 (95%の信頼度) と得られ、これは実際の年輪年代よりも 4 年古い暦年代となった (表 3)。図 6 に示されるように、室生寺スギ材年輪がカバーする暦年代範囲では、 ^{14}C 年代が U-字型にへこんでおりマッチングが決まりやすい。一方、屋久杉材年輪がカバーする暦年代範囲では、暦年代が若くなるにつれて ^{14}C 年代も単調に若くなるため、 ^{14}C 年代が系統誤差で若い方にずれると若い暦年代を示し、古い方にずれると古い暦年代を示すことになり、 ^{14}C 年代測定の正確度が極めて重要となる。

また、比較対象となる IntCal98 及び IntCal04 データセットはすべての年輪を測定して作成されたものではない。これらは、主として隣り合う 10 年分の年輪をまとめて分割し ^{14}C 年代測定した結果を基礎データとして用いている。従って、日本産のスギ材について得た毎年あるいは隔年の年輪の ^{14}C 年代データを完璧に比較することはできない。ウィグルマッチングで 1 年輪の精度で暦年代決定を行うには、年輪年代法と同様に、1 年輪の

分解能で高精度に ^{14}C 年代を測定して標準校正データを作成し、それを比較対象にする必要がある。

6. 名古屋大学における弥生後期から古墳中期関連資料の ^{14}C 年代測定例

愛知県埋文センターの赤塚次郎氏や名古屋大学文学研究科の山本直人教授から、愛知県・石川県内の弥生時代から古墳時代にかけての土器資料の提供を受け、土器片

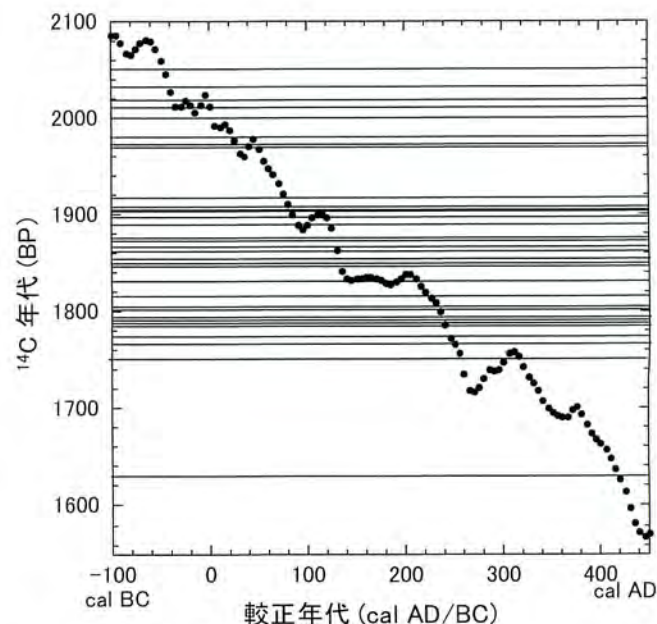


図 8 名古屋大学にて測定された弥生後期から古墳中期にかけての土器資料の付着炭化物の ^{14}C 年代と IntCal04 との比較
 ^{14}C 年代は、図中の横棒で示される。(^{14}C 年代は、木野瀬ほか (2005) による)

Fig. 8 Comparison of ^{14}C ages with IntCal04 data for carbonaceous adhesives on the fragments of pottery typologically dated as Late Yayoi to Middle Kofun periods, measured by an AMS system at Nagoya University
 ^{14}C ages are shown by horizontal lines in the figure. (^{14}C dates are from Kinose et al. (2005))

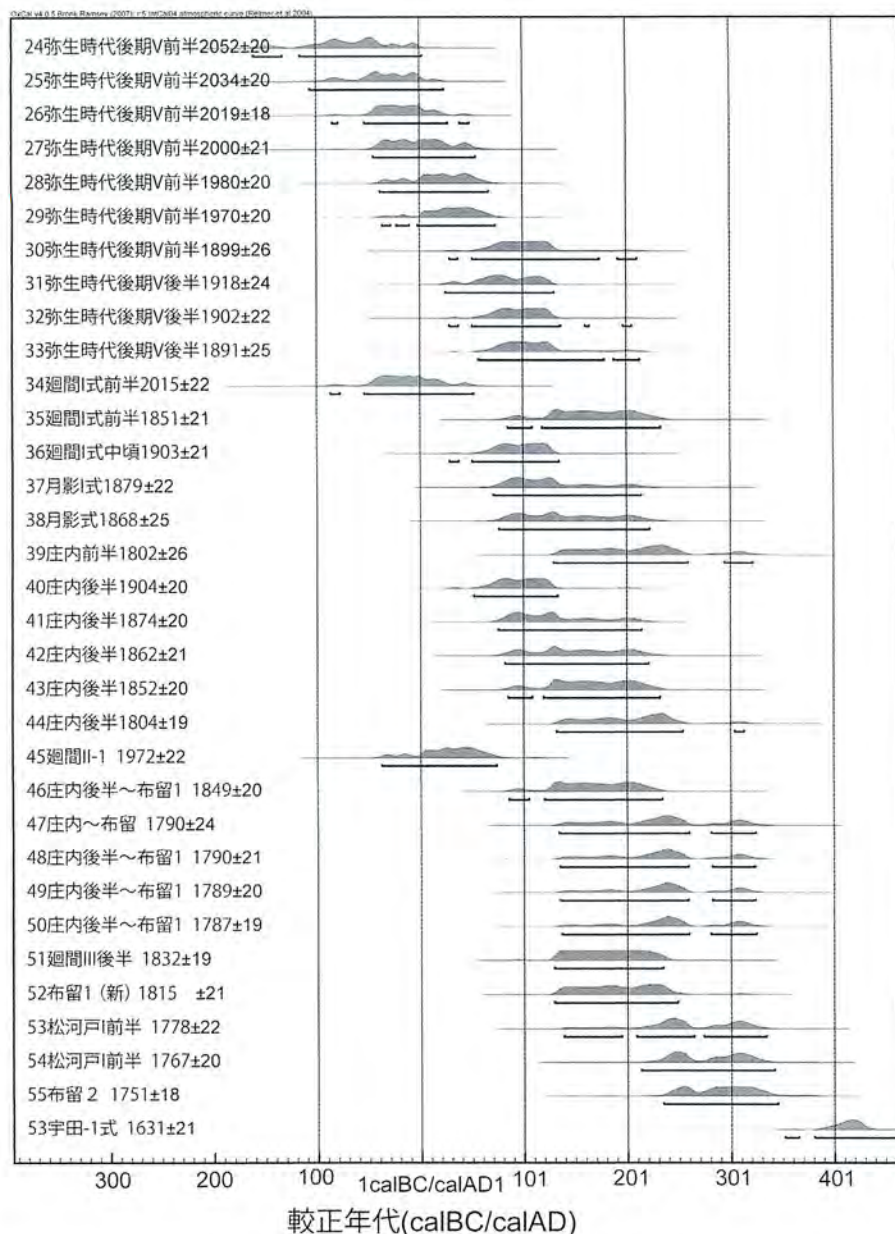


図9 名古屋大学にて測定された弥生後期から古墳中期にかけての土器資料の付着炭化物の¹⁴C年代のIntCal04による較正結果。(木野瀬ほか(2005), およびOxCal 4.1較正プログラムによる)

較正結果として、それぞれの¹⁴C年代が較正年代軸で示す可能性の確率が示されている。較正データとしてJ-Calを用いると、紀元1世紀から3世紀の期間では、可能性の確率分布が変わることが予想される。

Fig. 9 Probability distribution calculated by the OxCal 4.1 program with the IntCal04 data, for ¹⁴C ages of carbonaceous adhesives on the fragments of pottery typologically dated as Late Yayoi to Middle Kofun periods, measured by an AMS system at Nagoya University (¹⁴C dates are from Kinose et al. (2005))

Probability is given on the calibrated age axis for each ¹⁴C age, as the result of calibration. If the J-Cal is used instead of IntCal04, the resulting probability distribution will change in the period from around cal AD1 to cal AD 250.

に付着した炭化物を中心にして、名古屋大学加速器質量分析計を用いて¹⁴C年代測定が行われてきた。その一部が木野瀬ほか(2005)、小田ほか(2007)、山本(2007)にまとめられている。木野瀬ほか(2005)による56試料の測定結果のうち、弥生時代から古墳時代中期にかけての土器片についての¹⁴C年代をIntCal04データと比較して図8に示す。また、弥生時代後期～古墳時代中期

にかけての試料について得られた¹⁴C年代を、IntCal04データを用いて較正した結果を図9に示す。同一時期と判断される土器の¹⁴C年代は互いに良く一致している。一方、¹⁴C年代から暦年代へと換算するうえで、較正データが非常に重要な役割をすることはいうまでもない。本稿でも指摘したように、紀元1世紀から3世紀にかけては、IntCal04が示す¹⁴C年代と暦年代の関係と日本の樹

本年輪が示すそれらの関係とが一致せず、日本の ^{14}C 年代の方が相対的にやや古く得られる傾向が認められる。そうすると、これらの ^{14}C 年代を IntCal04 を用いて校正すると、実際よりも古い暦年代（最大で 100 年程度）が校正結果として得られることになる。従って、日本産の資料について、弥生時代後期から古墳時代中期にかけての ^{14}C 年代の校正は、日本の資料に適用できる校正データ（J-Cal）の使用が不可欠である。現在、国立歴史民俗博物館を中心に日本版校正データ（J-Cal）の一部がまとめられつつある。これらのデータの検証、そして一般利用が待たれるところである。また、J-Cal のカバーする年代範囲を広げるための研究をさらに継続する必要がある。

7. まとめ

本稿で示したように、 ^{14}C 年代測定法は、試料調製方法、炭素同位体比の測定法についてはかなり発展してきた。そこで考古学的イベントの暦年代を正確に推定するためには、目的とするイベントの年代を的確に示す試料、あるいはその試料を構成する化合物、化学成分をきちんと選別することである。この測定対象の選定がきわめて重要であることは間違いない。その次のプロセスでは、 ^{14}C 測定された年代から試料の暦年代を推定する作業である。 ^{14}C 年代から暦年代へ換算するためのデータとして、ここ 10 年間に、IntCal98, IntCal04 そして IntCal09 と進化してきた。この 3 代の IntCal データは北半球の標準的な陸産試料について普遍的に適用可能としてきた。しかし、本稿で述べたように、日本産樹木試料の年輪年代と ^{14}C 年代の関係が IntCal04 から系統的

にずれる暦年代区間（例えば、2～3 世紀間）があることが示されている。 ^{14}C 年代測定から試料の正確な暦年代を求める研究において、今後の発展の一つの方向として、このような地域差を詳しく調べることに向かうものと考えられる。測定精度が向上するにつれて、細かな事象が鮮明に見えてくるものである。

^{14}C 年代測定法（ ^{14}C 測定技術と ^{14}C 年代利用に関するソフトウェア（ ^{14}C 年代—暦年代校正データなど））は常に進化を続けているが、歴史編年の研究は、 ^{14}C 年代測定だけで結論が出るものでは決してない。理系分野の年輪解析、文系の考古学や文献史学などのあらゆる情報・データを総合して、最も確からしい判断を行う必要がある。 ^{14}C 年代では、暦年代が 1 年の精度で正確に求まるものではなく、確からしい年代範囲が有限な確率をもって求まることから、過大評価はするべきでない。しかし、決して無視することは出来ないと確信する。

謝 辞

本稿は、科学研究費補助金基盤研究（B）（課題番号：13480020, 16320108, 19300300）、学術創成研究（課題番号：16GS0118）の補助を得て行った研究成果のまとめである。国立歴史民俗博物館における日本産樹木試料を用いた日本版校正データ開発の状況や南半球大気の北半球への影響については、同博物館の今村峯雄名誉教授並びに尾寄大真博士、またオーストラリアの ANSTO 研究所の Quan Minh Hua 博士との議論に基づいてまとめた。ここに、深く感謝の意を表する。

参考文献

- 渥美 晋・米田 穰・柴田康行・中井 泉 2008「中央アナトリア、カマン・カレホユック遺跡における青銅器時代の放射性炭素年代による編年」『考古学と自然科学』57 pp.37-53
- 北海道埋蔵文化財センター 2005「北檜山町生淵 2 遺跡—太櫓川広域基幹改修工事用地内埋蔵文化財発掘調査報告書—」『北理調報』214 p.128
- 今村峯雄 2004「縄文時代・弥生時代の高精度年代体系の構築」『平成 13 年度～15 年度文部科学省科学研究費補助金基盤研究（A）（1）研究成果報告書』p.330
- 今村峯雄 2007「炭素 14 年代校正ソフト RHC 3.2 について」『高精度年代測定法の活用による歴史資料の

- 総合的研究（今村、小林、編）、国立歴史民俗博物館研究報告』137 pp.79-88
- 木野瀬正典・小田寛貴・赤塚次郎・山本直人・中村俊夫 2005「弥生・古墳時代の土器に付着した炭化物の AMS ^{14}C 年代測定—愛知・石川県の遺跡から出土した土器について—」『名古屋大学加速器質量分析計業績報告書』XVI pp.95-104
- 光谷拓実 2001「年輪年代法と文化財」『日本の美術』6（No.421）p.100
- 宮原ひろ子・毛受弘彰・桑名宏輔・増田公明・村木 綏・中村俊夫 2005「樹木年輪中 ^{14}C で探るマウンダー極小期の太陽活動変動」『名古屋大学加速器質量分析計業績報告書』XVI pp.57-64
- 中村俊夫 2001「放射性炭素年代測定とその高精度化」『第四紀研究』40（6）pp.445-4
- 中村俊夫 2003「加速器質量分析（AMS）による環境中およびトレーサー放射性同位体の高感度測定」『Radioisotopes』52（3）, pp.51-54
- 中村俊夫・福本浩士・光谷拓実・丹生越子・小田寛貴・池田晃子・太田友子・藤根 久 2004「年輪年代と ^{14}C 年代の比較」『名古屋大学加速器質量分析計業績報告書』XV pp.206-214
- 中村俊夫・奥野 充・今村峯雄・坂本 稔・小田寛貴・光谷拓実・木村勝彦 2005「 ^{14}C ウィグルマッチングによる樹木年輪年代の決定」『日本文化財科学会第 22 回大会研究発表要旨集』pp.10-11
- 中村俊夫 2006「AMS による ^{14}C 年代測定結果の留意点（2）—AMS による ^{14}C 年代測定のための試料採取・保存・調製—」『考古学ジャーナル』No.548 pp.43-46
- 中村俊夫 2007「 ^{14}C ウィグルマッチングによる考古学・文化財科学関連資料の暦年代の高精度推定—AMS による ^{14}C 年代測定結果の留意点 第 3 回」『考古学ジャーナル』556 pp.25-30
- 中村俊夫・南 雅代・小田寛貴・池田晃子・宮田佳樹・太田友子・西田真砂美・本田印南・大森貴之・西本 寛・林 和樹・本庄浩司・松本佳納・城森由佳・山崎香奈 2010「名古屋大学タンデトロロン AMS ^{14}C システムの現状と利用（2009）」『名古屋大学加速器質量分析計業績報告書』XXI pp.18-24
- 西田 茂 2003「年代測定値への疑問」『考古学研究』50（3）pp.18-20
- 西田 茂 2004「ふたたび年代測定値への疑問」『考古学研究』52（5）pp.14-17
- 小田寛貴・山本直人・赤塚次郎・加納俊介・木野瀬正典・中村俊夫 2007「弥生終末期から古墳前期の土器に付着した炭化物の ^{14}C 年代—愛知県安城市釈迦山遺跡・中狭間遺跡の例を中心に—」『日本文化財科学会第 24 回大会研究発表要旨集』pp.136-137
- 尾寄大真・坂本 稔・今村峯雄・中村俊夫・光谷拓実 2005「日本産樹木による縄文・弥生境界期の炭素 14 年代校正曲線の作成」『日本文化財科学会第 22 回大会研究発表要旨集』pp.130-131
- 尾寄大真 2009「日本版校正曲線の作成と新たな課題」『弥生農耕の始まりとその年代、新弥生時代の始まりシリーズ』第 4 巻、西本豊弘編、雄山閣、pp.4-8
- 山本直人 2007「文理融合の考古学」高志書院 p.202
- Hogg, A., Palmer, J., Boswijk, G., Reimer, P., Brown, D. 2009 Investigating the interhemispheric ^{14}C offset in the 1st millennium AD and assessment of laboratory bias and calibration errors. *Radiocarbon*, 51（4）pp.1177-1186
- Hua, Q and Barbetti, M. 2007 Influence of atmospheric circulation on regional $^{14}\text{CO}_2$ differences. *J. Geophys. Res.*, 112, D19102
- Miyahara, H. Masuda, K., Muraki, Y., Kitagawa, H., Nakamura, T. 2006 Variation of solar cyclicity during the Spoerer minimum. *J. Geophys. Res.*, 111, A03103.
- Nakamura, T., Okuno, M., Kimura, K., Mitsutani, T., Moriwaki, H., Ishizuka, Y., Kim K. H., Jing, B. L.,

- Oda, H., Minami, M., Takada, H. 2007 Application of ^{14}C wiggle-matching to support dendrochronological analysis in Japan. *Tree-Ring Research*, 63 (1) pp.37-46
- Omori, T., Nakamura, T. 2006 Radiocarbon dating of archeological materials excavated at Kaman-Kalehoyuk: initial report. *Anatolian Archeological Studies*, XV pp.263-268
- Omori, T., Nakamura, T. 2007 Radiocarbon dating of archeological materials excavated at Kaman-Kalehoyuk: second report. *Anatolian Archeological Studies*, XVI pp.111-123
- Ozaki, H., Sakamoto, M., Imamura, M., Matsuzaki, H., Nakamura, T., van der Plicht, J., Mitsutani, T. 2006 An investigation of atmospheric radiocarbon concentration variations using tree-ring-dated wood samples from Japan. *Abstract book of the 7th Int. Conf. on Dendrochronology*, June 11-17, Beijing, China, pp.70-71
- Ramsey, C.R. 1995 Radiocarbon calibration and analysis of stratigraphy: The OxCal program. *Radiocarbon*, 37 (2) pp. 425-430
- Ramsey, C.B. 2001 Development of the radiocarbon calibration program OxCal. *Radiocarbon*, 43 (2A) pp.355-363.
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Bertrand, C., Blackwell, P.G., Buck, C.E., Burr, G., Cutler, K.B., Damon, P.E., Edwards, R.L., Fairbanks, R.G., Friedrich, M., Guilderson, T.P., Hughen, K.A., Kromer, B., McCormac, F.G., Manning, S., Bronk Ramsey, C., Reimer, R.W., Remmele, S., Southon, J.R., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, F.W., van der Plicht, J. and Weyhenmeyer, C.E. 2004 IntCal04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0-26 cal kyr BP. *Radiocarbon*, 46 (3) pp.1029-1058
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Burr, G.S., Edwards, R.L., Fairbanks, R.G., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaise, K.F., Kromer, B., McCormac, F.G., Manning, S.W., Reimer, R.W., Richards, D.A., Southon, J.R., Stuiver, M., Talamo, S., Turney, C.S.M., van der Plicht, J., Weyhenmeyer, C.E. 2009 IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 51 (4) pp.1111-1150
- Sakamoto, M., Imamura, M., Plicht, J. van der, Mitsutani, T., Sahara, M. 2003 Radiocarbon calibration for Japanese wood samples. *Radiocarbon*, 45 (1) pp. 81-89
- Scott, E.M., Cook, G.T., Naysmith, P., Bryant, C., O'Donnell, D. 2007 A report on phase 1 of the 5th international radiocarbon intercomparison (VIRI). *Radiocarbon*, 49 (2) pp.409-426
- Stuiver, M., Reimer, P.J., Bard, E., Beck, J.W., Burr, G.S., Hughen, K.A., Kromer, B., McCormac, F.G., v.d. Plicht, J., and Spurk, M. 1998 INTCAL98 radiocarbon age calibration, 24,000-0cal BP. *Radiocarbon*, 40 (3) pp.1041-1083

Radiocarbon Age by Accelerator Mass Spectrometry and Its Calibration to Calendar Date: Focusing on Late Yayoi to Middle Kofun Periods

Toshio NAKAMURA

Center for Chronological Research, Nagoya University, Chikusa, Nagoya 464-8602 Japan

The recent developments of radiocarbon (^{14}C) dating with accelerator mass spectrometry (AMS) have broadened as well as deepened the applications of ^{14}C dating in archeology, cultural property science, geology, environmental science, etc. The AMS system normally requires only 1mg of carbon in precise determination of sample $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotope ratios. A Tandem AMS system at Nagoya University (model 4130-AMS), built by High Voltage Engineering Europe (HVEE), B.V., The Netherlands, has been in use for ^{14}C measurements since 1999. By 30-minute measurements of sample carbon isotopes repeated for consecutive three days archive one-sigma uncertainty of ± 17 to ± 30 years for samples younger than 5000BP. A reproducibility test of AMS ^{14}C dating for ten individual walnut samples collected from the Namabuchi-2 site in southern Hokkaido, Japan, yielded the average ^{14}C age of 2699 BP with one-sigma fluctuation error as small as ± 11 years. In addition, we have conducted also accuracy tests by participating in the Fourth and Fifth International Radiocarbon Intercomparison projects (FIRI and VIRI) with fairly consistent results of our ^{14}C measurements in comparison with the mean and median values reported from all the participants.

Another important issue in establishing the accurate chronology of any archeological events in Holocene, in particular, Yayoi, Kofun and younger periods in Japan by ^{14}C dating, is a proper calibration method of ^{14}C ages to calendar dates. The calibration data, IntCal04, that are normally applied to ^{14}C ages of terrestrial plant materials produced in the northern hemisphere, were tested for their consistency with the relevant relations between ^{14}C age and dendro-age for tree-ring samples formed in the Japanese Archipelago. Some parts of dendro-dated tree-rings, formed from the 10th century BC to the AD 18th century, have been analyzed for ^{14}C ages, and the resulting relations were almost consistent with those of IntCal04, except for a clear discrepancy at around AD50 to AD250; ^{14}C ages for the tree ring samples formed in Japan were older than those of IntCal04 by about 50-80 years.

The present status in the studies of the ^{14}C -age-calibration issues for Japanese samples are discussed in this article, along with other frameworks of getting more accurate and reliable calendar ages of the samples: the calibration option to take into account the sample stratigraphic sequences in the calibration program OxCal ver. 4.1; and the ^{14}C wiggle-matching method.