
炭素 14 年代較正ソフトRHC 3.2 について

Research Notes

今村峯雄

はじめに

炭素 14 年代測定法では、過去の¹⁴C濃度の変動や¹⁴C半減期の不確定性の効果を相殺するために、「較正曲線」が作られており、これを用いて炭素 14 濃度または炭素 14 年代を実年代（暦年代）に変換する。この較正曲線の基準データはIntCal 04 などの名で知られ国際的に広く用いられているものである⁽¹⁾。

暦年較正の方法として、研究者がさまざまな形でプログラムソフトを組んだものが、学会誌などに紹介され一部はウェブ上で公開されている。国際的によく知られているものとしてCalibやOxcalがあり利用されてきた。最近ではベイズ統計を取り入れたOxcalが特によく用いられている⁽²⁾⁽³⁾。これらのプログラムソフトは世界の研究者に公開され標準化されている利点がある一方、プログラムの保護の観点から利用者の利用の仕方は限られている。そこで、国立歴史民俗博物館においては1999年から、ほぼOxcalの考え方に沿って、ベイズ統計を用いた解析法のソフトを独自に用意して暦年較正を行ってきた。その利点は、広く使われているMicrosoft社の表計算ソフトEXCELファイル上に組みこんだことで、利用者がさまざまにグラフ表現に工夫を加えたり出力データを利用したりできる点である。たとえば具体的な応用として三内丸山遺跡の土器年代編年⁽⁴⁾、出雲大社境内遺跡出土巨大柱根の年代測定⁽⁵⁾、縄文時代前期の土器に付着した漆の実年代の分析⁽⁶⁾、遺跡における新旧関係を利用した年代分析等⁽⁷⁾があり、歴博における縄文時代・弥生時代の研究においても、このソフトを利用してきた⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

2005年から基準データがINTCAL 98からIntCal 04に変更されたのを機に、従来用いていたRHcalおよびRHcal 2からRHcal 3シリーズとし、利用のしやすさの改善や若干の機能の追加を行った。これまで、このソフトの利用は国立歴史民俗博物館の中に限られていて、その内容を公開していなかった。本稿は、現在のバージョンであるRHcal 3.2シリーズ（以後RHC 3.2と略記）のRHC 3.2 s, RHC 3.2 m, RHC 3.2 w, について、その考え方、使用法、応用について解説するものである。

1 暦年代への変換とベイズ統計

炭素 14 年代として $T \pm \delta^{14}\text{C BP}$ という年代が得られた場合について考えてみよう。この δ は、

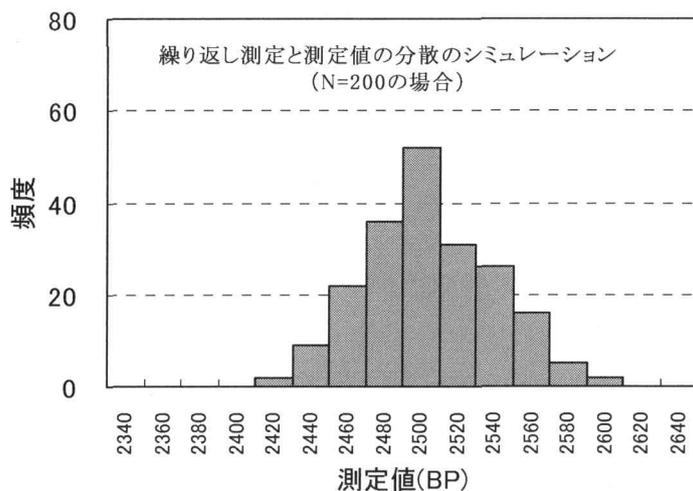


図1 中心値が2500炭素年で測定の統計誤差が±40年の場合の繰り返し再現性

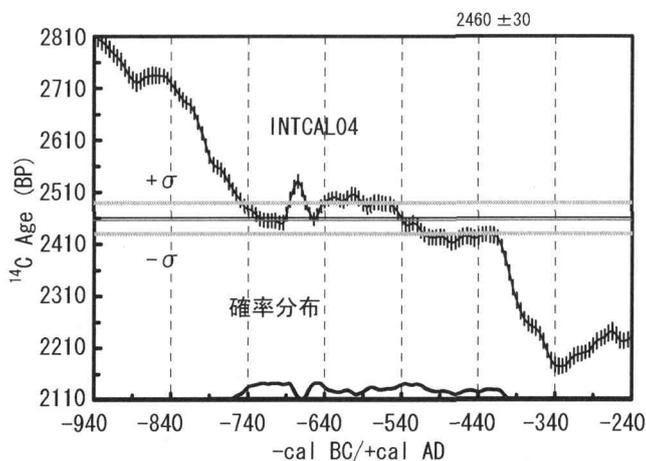


図2 較正曲線と較正年代値の評価

同じ条件でサンプルを繰り返し測定した場合に期待される標準偏差に相当し、その繰り返しによる分布は平均値 T 、分散が δ^2 の分布となる(図1)。

図2には較正曲線を、炭素14年代値を y 軸、暦年を x 軸に描いて示してある。 $y = T$ の直線が較正曲線と交わった点の x の値(暦年)を読み取ると、暦年の中心値が得られる。 T の値によっては、3点以上の交点を持つ。同様に $y = T + \delta$ および $y = T - \delta$ と曲線の交点から推定誤差の範囲を決めることができる。

しかし、この方法は確率論的には正しくない。なぜならば、図2の場合、較正曲線の特性で、較正曲線はわずかに $T - \delta$ の外側に来ているが、 $y = T - \delta$ とほぼ同じ炭素年代を示す期間が長く続いている。それぞれの確率は若干低い、可能性の数は多い。この場合、確率の期待値は(確率×可能性の数)で評価する必要がある。すなわち、年代の期待値の分布は、較正曲線の形状によって“ゆがめられる”ことを考慮しなければならない。図1のような正規分布とはならないのである。

この場合で明らかのように、較正曲線から年代値を推定するとき、単純に測定値の 1σ 、あるいは 2σ でくるやり方は正確でない。イギリスの統計学者のBuckらはベイズ統計による較正法を

提唱した。⁽¹⁰⁾ここではベイズ統計の考え方について説明する。⁽¹¹⁾

ベイズ統計では、事象 A_i ($i = 1, 2 \dots n$) に対して事象 B が観測される確率が $p(B|A_i)$ であるとき、事象 B の観測から事象 A_i の起こる事後確率 $P(A_i|B)$ を次の式で推定する。

$$P(A_i|B) = p(A_i) \cdot p(B|A_i) / \sum_i (p(A_i) \cdot p(B|A_i)) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $p(A_i)$ は事前確率で、観測 B の結果にかかわらず、 A_i が観測される確率である。

さて、年代値が $T \pm \delta$ ($^{14}\text{C BP}$) と得られたとき、それは年代の推定中心値が T 、分散が δ^2 の正規分布で推定できるということである。暦年 t_i に対する較正曲線上の炭素 14 年代の値を $f(t_i) \pm \sigma(t_i)$ とすると、 A_i : 暦年代 t_i という事象に対して、 B : 炭素年代が $T \pm \delta$ ($^{14}\text{C BP}$) と観測される事象が得られる確率は、

$$p(t_i) = \sqrt{2\pi\sigma_i^2} \cdot \exp\left(-\frac{(T-f(t_i))^2}{2\sigma_i^2}\right) \dots\dots\dots (2)$$

$$\sigma_i^2 = \delta^2 + \sigma^2(t_i) \dots\dots\dots (3)$$

である。確率は $T=f(t)$ のとき最大となり、 $f(t)$ から外れるに従い小さくなる。(1)において、一般に事前確率 A_i は全ての t に対して等しいので1とおくことができ、したがって、事後確率は、

$$p(t_i) = \frac{p(t_i)}{\sum_i p(t_i)} \dots\dots\dots (4)$$

で与えられる。すなわち、(2)、(3)で与えられる $p(t_i)$ を、全確率を1として規格化した確率密度分布曲線が、炭素 14 年代値が $T \pm \delta$ として得られたとき予想される暦年代の確率分布曲線となる。この分布の例が、以下の説明で示される図4などである。

なお、炭素 14 年代値に同じ誤差がついていても較正曲線上の位置により、実年代が与える誤差範囲は大きく異なることに注意が必要である。

2 RHC 3.2 sについて

IntCal 04 からのデータ抽出

暦年較正データセットIntCal 04 は 26,000 cal BP までのcal BP, $^{14}\text{C BP}$, Error, $\Delta^{14}\text{C}$, Error ($\Delta^{14}\text{C}$) を 5 年ごと (12,000 cal BP まで) または 20 年ごと (12,000 cal BP 以前) に与えたデータベースとなっている。⁽¹¹⁾⁽¹²⁾計算の簡略化のため、このデータベースをもとに 3000 年分のデータを抽出し作製する。データは 5 年おき、または 20 年ごとのデータとなっているため、データの無い部分については内分法によって値を作製した。

計算法

この 3000 年分のcal BP, $^{14}\text{C BP}$, Error値について、式(2)によって、各年について確率を計算する。全確率のうち、確率の高い方から 95.4% を占める範囲を次のように計算する。

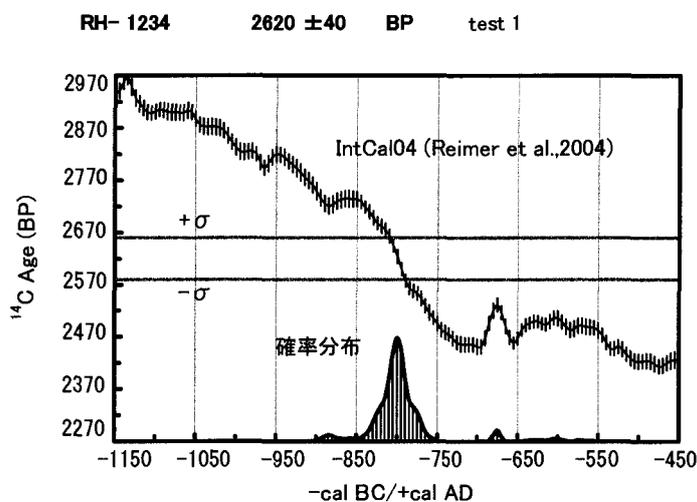
確率値に対して、レベル値 (threshold) 以上の確率を与える区間を計算し、この区間における確率の積分値が 95.4% となるようレベル値を決定する。この 95.4% は、2 標準偏差に相当する区間として設定してあるが、この値を任意に選ぶことで、任意の信頼限度値 (confidence limit) に対して、年代の推定区間を計算表示する。数字は 5 年単位で丸められた値で表示される。

データ入力画面を図3に示す。データは資料名 (Sample Name), 測定データ ($^{14}\text{C age}$), 測定

RHcal3.2s for IntCal04

Data Field		下線付き文字は入力項目	
Sample Name	<u>test 1</u>		
¹⁴ C Age	<u>2620</u> ±40		注)Max: 21200 ¹⁴ CBP, Min: 80 ¹⁴ CBP
Lab No.	<u>RH-</u> <u>1234</u>		
信頼限界	<u>0.954</u>	Threshold:	0.00071
確率表示スケール:	<u>1500</u>		
データ表示領域調整	<u>150</u>		
境界条件	For T1> <u>3000</u> <u>1</u>		T1>T2の条件で確率範囲を決めるときに使う(0,1,1,0)
	For T1< <u>3000</u> <u>1</u>		
	For T2> <u>2650</u> <u>1</u>		
	For T2< <u>2650</u> <u>1</u>		注)1は選択、0は除外

図3 RHC 3.2 sにおけるデータ入力画面



解析結果

t _{median}	=	800 cal BC			
95.4% range					
895	calBC	~	865	calBC	(3.2%)
865	calBC	~	850	calBC	(0.9%)
850	calBC	~	755	calBC	(88.7%)
680	calBC	~	670	calBC	(2.5%)
-			-		
-			-		

図4 RHC 3.2 sにおける結果の表示画面

機関番号 (Lab No.), 信頼限度値である。そのほか, オプションとして, 確率表示スケール (画面における確率分布表示の高さ表示を調整する指数), 境界条件の入力項目 (年代値を一定の制約条件の下で計算する) がある。これは指定した特定の範囲の確率を求める場合を想定している。

3 RHC 3.2 mについて

Marine 04

IntCal 04 と同様に, 海洋表層に対する暦年データセットが公開されており, IntCal 04 と同様に

26,000 cal BP までの cal BP, ¹⁴C BP, Error, Δ¹⁴C, Error (Δ¹⁴C) を 5 年ごと (12,000 cal BP まで) または 20 年ごと (12,000 cal BP 以前) に与えられている⁽¹³⁾。海洋の炭素 14 濃度は、大気のように、年代ごとの観測値はほとんど無く、大気濃度のデータである IntCal 04 からモデル計算によって作製される。その値は大気に比べ 5% ほど炭素 14 濃度が低く、年代では約 400 年古い。これは海洋リザーバー効果 (Marine Reservoir Effect) とよばれる。リザーバー効果は海域で異なることが知られており、Marine 04 による値からの偏差を ΔR 値とよび、この ΔR 値が、報告が少ないながら得られている。ある特定の海域に対しては、Marine 04 に ΔR を加えた値、 $f_{\text{marine}}(t) + \Delta R$ 、を用いなければならない。海生の炭素に対する暦年較正は RHC 3.2 s のデータを IntCal 04 から海域補正をした Marine 04 に替えることで、貝や海生魚類の場合に用いることができる。

IntCal 04 と Marine 04 との合成

歴博版ソフトでは両者の任意の混合物を想定して利用できるようにした。

ある年代 (t) において、海生のものと陸生のものが x : 1 - x の割合 (炭素比率) で混合していたとすれば、その炭素年代は

$$f_{\text{mx}}(t) = (f_{\text{marine}}(t) + \Delta R \cdot x + f_{\text{terrestrial}}(t) \cdot (1 - x)) \dots\dots\dots (5)$$

となるので、この $f_{\text{mx}}(t)$ を用いて RHC 3.2 s と同様に計算する。

解析範囲のデータ抽出

(5) で得られる合成の暦年較正データセットは、IntCal 04 と同様に 26,000 cal BP までの cal BP, ¹⁴C BP, Error, Δ¹⁴C, Error (Δ¹⁴C) を 5 年ごと (12,000 cal BP まで) または 20 年ごと (12,000 cal BP 以前) で与えられている。計算の簡略化のため、このデータセットから 1 年ごとに、3000 年分のデータ表を作製する。データの補間については RHC 3.2 s と同様、内分法によって求めた。

計算法

この 3000 年分の cal BP, ¹⁴C BP, Error 値について、式 (2) によって、各年について測定値と $f_{\text{mx}}(t)$ が一致する確率を計算する。全ての年代に対する確率のうち、確率の高い方から 95.4% を占める範囲を、RHC 3.2 s 同様、一定のレベル値 (threshold) 以上の確率を与える区間で評価計算

RHC3.2m for IntCal04

Data Field	下線付き文字は入力項目	
Sample Name	<u>菜畑遺跡(夜臼 II a): 付着炭化物</u>	
¹⁴ C Age	<u>2810</u> ± <u>40</u>	注) Max: 19700 ¹⁴ CBP, Min: 80 ¹⁴ CBP
Lab No.	<u>Beta-</u> <u>188523</u>	
信頼限界	<u>0.954</u>	Threshold: 0.00066
Local reservoir effect	<u>-147</u> <u>± 50</u>	
Marine fraction	<u>0.8</u>	
Terrestrial	<u>0.2</u>	
確率表示スケール:	<u>1500</u>	
データ表示領域調整	<u>150</u>	
境界条件	For T1> <u>3000</u> 1	T1>T2の条件で確率範囲を決めるときに使う(0,1,1,0)
	For T1< 3000 1	
	For T2> <u>2650</u> 1	
	For T2< 2650 1	注) 1は選択、0は除外

図 5 RHC 3.2 m におけるデータ入力画面

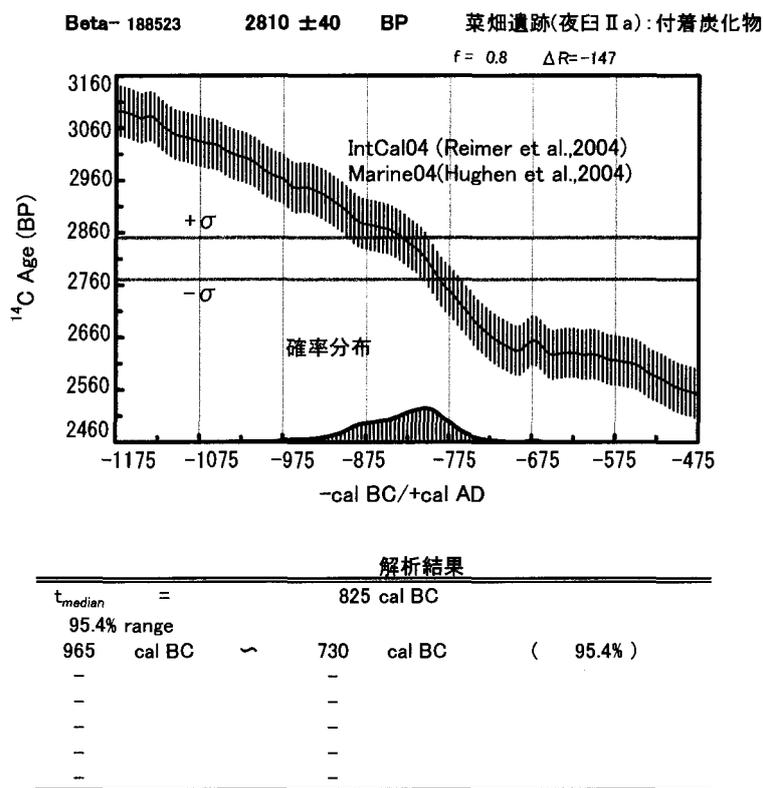


図6 RHC 3.2 mにおける結果の表示画面

した。数字は5年単位で丸められた値で表示する。

データ入力画面を図5に示す。データは資料名 (Sample Name), 測定データ (^{14}C age), 測定機関番号 (Lab No.), 信頼限界値, それに海生試料の寄与の割合, ΔR とその誤差である。そのほか, オプションとして, 確率表示スケール(画面における確率分布表示の高さ表示を調整する指数), 境界条件の入力項目(年代値を一定の制約条件の下で計算する)は前回同様である。

4 RHC 3.2 wについて

ウィグルマッチ法 (Wiggle-matching)

一般に, 暦年較正曲線には凸凹があり単一の測定値からは高精度の年代を決定することは難しい。そこで, その凸凹の特性を逆用し, 多数の年輪の炭素 14 測定して得られたパターンと較正曲線パターンとを比較照合して高精度の年代を得る方法をウィグルマッチ法 (wiggle matching) と呼ぶ。条件がよければ ± 10 年あるいはそれ以下で年代を決定することが可能である。

ウィグルマッチ法を適用するとき, 目視的には, 較正曲線のグラフと測定データで得られたグラフを重ね, 最もよく合致する年代であると考えて間違いない。しかし, 前の2例と同じように数理統計的に計算するプログラムソフトがあれば便利である。

ウィグルマッチ法を統計的に処理する方法としてこれまでおもに二つの方法が用いられている。一つは χ^2 乗検定を使う方法で, もう一つはベイズ統計を用いる方法である。

χ二乗検定によるwiggle-matching

今、木材の伐採年 (τ) を決めることを考えると、表層からx_k年輪目の年代はτ-x_kである。そこで、年代が正しければ、測定値T_k±δ_kは較正曲線上の値f(τ-x_k)に近い値となっているはずである。測定値と較正曲線上の値の差、T_k-f(τ-x_k)を、分散の平方根√(δ_k²+σ²(τ-x_k))で規格化した

$$\chi = (T_k - f(\tau - x_k)) / \sqrt{(\delta_k^2 + \sigma^2(\tau - x_k))}$$

は平均値0の正規分布を母集団から抽出した標本とみなせる。この複数個の標本(k=1, 2, 3, …, n)について、それがχ二乗分布にしたがっているかを検定する。

τの値を、一定の範囲で変化させてχ二乗分布の検定に適合する範囲を調べることができる。しかし、χ二乗検定は次に述べるベイズ統計解析と密接に関連しているので、本プログラムでは、ベイズ解析で得た結果についてχ二乗検定でチェックを行う形にしている。平均値も検定材料となり、プログラムソフトのチェック項目としている。検定法として較正曲線の凸凹をより反映するχ二乗検定がより適した検定法といえる。

ベイズ統計に基づく方法

上記の議論で表層からx_k年輪目の試料標本(k=1, 2, 3, …, n)に対して、測定値T_k±δ_kが得られる場合のχ二乗検定に触れた。ここでは、ベイズ統計の考え方からこの問題を扱うこととする。

伐採年に対して、τ_i(i=1, 2, …, n)の候補を考えたとき、表層からx_k年輪目の試料の年代はτ_i-x_kである。なおここでは伐採年を0年輪目として扱う。表層からx_k年輪目の試料の測定値T_k±δ_kは較正曲線上の値f(τ_i-x_k)に近い値となっている。暦年tに対する較正曲線上の炭素14年代の値をf(t)±σ(t)としたとき、(2)、(3)より暦年代τ_i-x_kに対して、炭素年代がT_k±δ_k(¹⁴C BP)と観測される事象が得られる事前確率は、

$$p(\tau_i - x_k) = \sqrt{2\pi\sigma_k^2} \cdot \exp\left(-\frac{(T_k - f(\tau_i - x_k))^2}{2\sigma_k^2}\right) \dots\dots\dots (7)$$

$$\sigma_k^2 = \delta_k^2 + \sigma^2(\tau_i - x_k) \dots\dots\dots (8)$$

である。ベイズ確率により得られる確率は、

$$p(\tau_i - x_k) = \frac{p(\tau_i - x_k)}{\sum_i p(\tau_i - x_k)} \dots\dots\dots (9)$$

で与えられる。

それぞれの年輪試料(k=1, 2, 3, …, n)に対して、n個の(7)に対応する式

$$p_i(\tau_i - x_1), p_i(\tau_i - x_2), \dots\dots p_i(\tau_i - x_k) \dots\dots, p_i(\tau_i - x_n)$$

が得られる。それぞれの測定が独立のとき、式(1)を使って、k=1, 2の二つの測定による推定確率P_{i(1-2)}は、

$$P_{i(1-2)} = P_i(\tau_i - x_1) \cdot P_i(\tau_i - x_2) / \sum_j p_j(\tau_i - x_1) \cdot P_i(\tau_i - x_2)$$

となる。同様な議論を行うと、n個のデータに対する推定が可能である。

$$P_{i(1-n)} = P_i(\tau_i - x_1) \cdot P_i(\tau_i - x_2) \dots\dots P_i(\tau_i - x_n) / \sum_j P_j(\tau_i - x_1) \cdot P_i(\tau_i - x_2) \dots\dots P_i(\tau_i - x_n)$$

$$\propto \prod_{k=1}^n P_i(\tau_i - x_k) \dots\dots\dots (10)$$

すなわち、それぞれの年輪に対する確率の積となる。

解析範囲のデータ抽出

RHC 3.2 wでは、RHC 3.2 sと同様、IntCal 04 を基準とし 26,000 cal BPまでのcal BP, ¹⁴C BP, Error, Δ¹⁴C, Error (Δ¹⁴C) を5年ごと (12,000 cal BPまで) または20年ごと (12,000 cal BP以前) から成る暦年較正データセットを用いる。このデータセットから1年ごとに、1000年分のデータ表を作製する。データ表を小さくしたのはグラフ表示の範囲がかなり狭くてすむからである。データ表の範囲は、入力データ表の中の、第1行における炭素14データから判断する。ここにデータが入力されないとエラーとなる。データの補間についてはRHC 3.2 sと同様、内分法によって求めた。

計算法

この1000年分のcal BP, ¹⁴C BP, Error値について、式(7)~(10)にしたがって、各年について測定値とf_{max}(t) が一致する確率を計算する。全ての年代に対する確率のうち、確率の高い方から95.4%を占める範囲を、RHC 3.2 s同様、一定のレベル値 (threshold) 以上の確率を与える区間で評価計算した。数字は丸めずに1桁を最小単位として表示する。

RHC3.2w for IntCal04

Data field (下線付き文字は入力項目)

注) Max: 21200 ¹⁴CBP Min: 80 ¹⁴CBP
 Threshold: 0.0100

信頼限界: 0.954 0.954 for 2σ
 Y-scale shift: 80 表示を上下する
 Data position x-shift: 0 Dataだけ左右にシフト
 確率表示スケール: 500 確率分布のスケール調整
 データ表示領域調整: 75 50-80を入力
 X二乗検定: OK (0.940)
 平均値検定: OK

Sample Name 出雲大社境内遺跡・宇豆柱

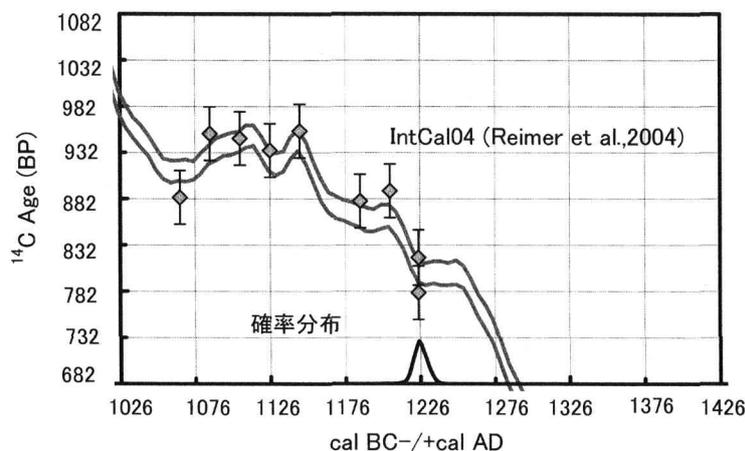
下線付き文字は入力項目

Lab No.	¹⁴ C Age	Ring No
Nuta-2 1485	780 ±29	1
Nuta-2 1486	818 ±30	1
Nuta-2 1692	890 ±29	20
Nuta-2 1487	879 ±29	40
Nuta-2 1696	0 ±30	60 (解析から除外)
Nuta-2 1493	955 ±29	80
Nuta-2 1698	934 ±29	100
Nuta-2 1495	947 ±29	120
Nuta-2 1700	952 ±29	140
Nuta-2 1496	883 ±29	160

No of data 9 max 160

図7 RHC 3.2 wのデータ入力画面

出雲大社境内遺跡・宇豆柱



解析結果				
t_{median}	=	1226	cal AD	
95.4% range				
1217	cal AD	~	1235	(95.4%)
-				
-				
-				
-				

図 8 RHC 3.2 wの結果の表示画面

データ入力画面を図 7 に示す。データはサンプルデータ表として資料名 (Sample Name), 測定データとその誤差 (^{14}C age), 測定機関番号 (Lab No.), その他, 確率範囲を決めるための信頼限界値の入力項目がある。そのほか, χ 二乗検定, 平均値検定の項目が設けてあり, 測定あるいは判定が適切かどうかの判断情報とした。オプションとして, 確率表示スケール (画面における確率分布表示の高さ表示を調整する指数) やグラフ枠内における位置調整の機能を付加した。

5 おわりに

国立歴史民俗博物館では, 1999 年来, ベイズ統計学を用いる暦年較正法をMicrosoft社の表計算ソフトEXCELファイル上で機能するプログラムソフトとして整備し, 研究で得られた炭素 14 年代の実年代への変換を行ってきた。その後, いくつかの改良を経て, 現在, IntCal 04 を基準データとするRHcal 3 シリーズ (RHC 3 と略称) を用いている。本研究ノートでは, 最も新しいバージョンであるRHC 3.2 s, RHC 3.2 m, RHC 3.2 wについて考え方, 使用方法とその例について記した。これらは, 暦年較正の際に使用頻度の高い, 単一測定値に対する暦年較正 (RHC 3.2 s), 海洋性試料に対する較正 (RHC 3.2 m), そして, 木材年輪に対するウィグルマッチ法の場合 (RHC 3.2 w) である。本稿の出版に合わせて, 歴博外の研究者に対しても公開する予定である。

註

- (1)——Reimer PJ, MGL Baillie, E Bard, A Bayliss, JW Beck, C Bertrand, PG Blackwell, CE Buck, G Burr, KB Cutler, PE Damon, RL Edwards, RG Fairbanks, M Friedrich, TP Guilderson, KA Hughen, B Kromer, FG McCormac, S Manning, C Bronk Ramsey, RW Reimer, S Remmele, JR Southon, M Stuiver, S Talamo, FW Taylor, J van der Plicht, and CE Weyhenmeyer. (2004) IntCal 04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0-26 cal kyr BP. *Radiocarbon* 46, 1029-1058.
- (2)——Bronk Ramsey C. (1995) Radiocarbon Calibration and Analysis of Stratigraphy: The OxCal Program. *Radiocarbon*, 37 (2), 425-430.
- (3)——Bronk Ramsey C. (2001) Development of the Radiocarbon Program OxCal. *Radiocarbon*, 43 (2A), 355-363.
- (4)——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)No26, 海洋出版, 23-31
- (5)——今村峯雄・坂本稔・中村俊夫・丹生越子(2004) 「出雲大社境内遺跡より出土した本殿柱材の年代測定結果について」『出雲大社境内遺跡』大社町教育委員会, 341-348.
- (6)——今村峯雄・坂本稔・永嶋正春(2000) 「松江市・夫手遺跡出土縄文時代前期土器(漆液容器)の実年代」『手角地区ふるさと農道整備事業にともなう夫手遺跡発掘調査報告書』松江市文化財調査報告書第81集, 103-106.
- (7)——今村峯雄・小林謙一・坂本稔・西本豊弘(2003) 「AMS¹⁴C年代測定と土器編年との対比による高精度編年の研究」『考古学と自然科学』第45号, 1-17.
- (8)——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. INTCAL 98に対応したRHcal 1.3についてふれている。
- (9)——今村峯雄編(2003) 『縄文時代・弥生時代の高精度年代体系の構築』平成13年度～平成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。
- (10)——Buck, CE, CD Litton and AFM Smith (1992) Calibration of radiocarbon results pertaining to related archaeological events, *Journal of Archaeological Science* 19, 497-512.
- (11)——たとえば, 鈴木雪夫・国友直人編(1989) 『ベイズ統計学とその応用』東京大学出版会。
- (12)——較正曲線では炭素14濃度のデータも示されている。地球科学など炭素14をトレーサーとして捉える立場からは, 炭素14年代ではなく, 炭素14濃度を偏差($\Delta^{14}\text{C}$)で表示した値が用いられる。炭素14が完全に消滅したdead carbonの場合は, $\Delta^{14}\text{C}$ が1000%となる。
- (13)——Hughen KA, MGL Baillie, E Bard, A Bayliss, JW Beck, C Bertrand, PG Blackwell, CE Buck, G Burr, KB Cutler, PE Damon, RL Edwards, RG Fairbanks, M Friedrich, TP Guilderson, B Kromer, FG McCormac, S Manning, C Bronk Ramsey, PJ Reimer, R.W. Reimer, S Remmele, JR Southon, M Stuiver, S Talamo, FW Taylor, J van der Plicht, and CE Weyhenmeyer. (2004) Marine 04 marine radiocarbon age calibration, 0-26 cal kyr BP. *Radiocarbon* 46, 1059-1086.

(国立歴史民俗博物館研究部情報資料研究系)
(2006年6月1日受理, 2007年1月31日審査終了)