

¹⁴C年代測定担当者から考古学者へ

日本アイソトープ協会 浜 田 知 子

¹⁴C年代測定によって一つの年代を出すまでには、試料採取にはじまって、選別、前処理、送付、本処理、放射線計数、年代算出といった多くの段階がある。かなりの労力と費用を要するこれらの仕事のそれぞれが十分な配慮のもとに行われて、はじめて真実に近い年代が得られることはいうまでもない。しかし、実際にはいろいろな原因で、測定された年代は真の年代を示さないのがふつうである。このような誤差の原因は

1) 測定依頼者側の責任に属するもの。

2) 測定担当者側の責任に属するもの。

3) 現在における知識の不足および実用性の問題も含めて、測定方法自身に本質的と考えられるもの。

に大別することができよう。ここでは、主として 1) に関して測定担当者側からの希望を述べ、ついでに 3) に関して、測定年代に付された誤差の意味を説明する。なお 2) については十分な注意を払っているつもりであるが、適当な機会に利用者の御意見を承りたいと思う。

1. 試料の選定

試料は、知りたい年代を最も良く代表するものでなければならないのは勿論である。考古試料の場合は、土器窯の木炭、食用に供した残りの貝殻、獣骨など、人間生活との関連が容易に判別できるものが多いので、地質試料の場合とくらべてあまり問題はないように思われる。しかし、このような試料がまとまって(測定に必要な量については後に述べる)得られないような場合、たとえば多量の土の中に木炭と貝殻の細片が分散した試料が説明なしに送られてくることがよくあり、事情を知らないわれわれを困惑させる。もし、遺跡の発掘現場にわれわれが居合わせたならば、試料の選定順序はつぎのようになるだろうと思う。

1) 木炭は化学的に安定なので、試料として最も望ましい。それゆえ、土器窯とか住居跡に木炭が見出されれば、それを優先的に集める。

2) このような木炭が十分に、あるいは全く、得られないときは、貝塚の貝殻を集める。風化の進んでいない、肉厚のものが望ましい。

3) 貝も見当たらないときは、止むを得ず土壌中の腐植質を使うことになるが、果たして代表性があるかどうか疑わしい。

しかし、実際にわれわれは現場を知らないで、上記のような混合した試料のうち何をえらんで測定するのか、それとも全体を処理してよいのか、依頼者の指示をうける必要が生ずる。出土状況と年代測定の目的がもし明記されていれば、われわれの側でも判断が可能である。あるいは、依頼者側の判断で、はじめから木炭なら木炭だけを集めて送って下されば、それに越したことはない。いずれにしても、試料の選定は依頼者の責任のうち最も大きなものであつて、ここを誤ると、あとの労力は一切無駄になってしまう。また、測定者のほうは、なかなかここまで立ち入らせて貰えないのがふつうなので、余計歯痒い思いをするわけである。

なお、試料の物理・化学的性質からみて、どのような種類のものが信頼性が高いかについては文献¹⁾を参照されたい。とくに骨はいろいろ問題が多いので炭化した骨以外は注意が必要である。²⁾³⁾

2. 試料の前処理と保存

試料が採取されてから測定のため発送されるまでに、取扱いの上で注意しなければならないのは、要するに、ほかの炭素による汚染を防ぐことだけである。ところが、試料の取扱については、いまなお「迷信」がいくつかあるらしいので、まずそれを紹介しよう。

1) 試料を採取したらば、大気中の炭酸ガスによる汚染を防ぐため、ただちに密封し、そのまま発送するまで保存しなければならない。

2) 「しろうと」が試料をいじることは汚染の原因となるので、選別、洗浄など一切の前処理を行わずに保存しなければならない。

3) 試料に宇宙線が当たると、あらたに¹⁴Cが生成するので、宇宙線がこないような場所に保存しなければならない。

1) と 3) とは、原理的に汚染はあり得ても、実際上は問題とならない。2) については、むしろ、あとで汚染の原因を作らぬよう最小限度の前処理をやっておいてほしいというのがわれわれの希望である。採取されたばかりの試料は多くの場合湿つて居り、そのままポリ袋などに入れておくと必らずと言って良いほどカビが発生する。微生物による炭酸ガスの取り込みは十分汚染の原因になりうるものと思われるので、試料の風乾は是非必要である。データを記した紙を同封したり、綿で包んで標本箱に入れておいたため、それらの繊維が湿った試料に固着して容易に分離できなくなった例も何度か経験している。

土の中に分散した木炭細片をピンセットで集めたり、木炭の中に侵入したヒゲ根を除いたりするのは非常に手間のかかる仕事なので、依頼者の側でやって戴きたい前処理作業の一つであるが、そ

れ以外にどの程度まで前処理をお願いしたいかは測定者によって多少意見を異にする場合もあり、事前に打ち合わせたほうがよいと思われる。

3. 試料の必要量

一回の測定に必要な試料の量は測定装置によって異なるが、炭素量にして2～3 g（まれに10 g）ぐらいと考えてよい。しかし、実際の試料の重量となると、たとえば木炭ならば灰分の多少、木ならば含水量の多少、貝ならば風化の程度でかなりの幅を生じ、骨にいたっては見当もつかないのがふつうである。そこで多くの場合、余裕を見込んで、つぎのような値を目安にするとよい：

木炭 10 ～ 15 g

木および泥炭 30 ～ 50 g

貝殻 40 ～ 60 g

いずれも乾燥状態での値である。しかし、実際には、前処理などの化学操作で失われる量もあるのでこれらの3倍以上あることが望ましい。必要量に満たない試料は、量が不足するに従って測定誤差が増し、しまいには測定の意味を失ってしまう。試料採取にあたってはこれらのことに留意して、可能な限り多量の良質の試料を採取しておくことが望ましい。また試料の送付にあたって、各試料につき手持ちの余分の有無を記してあると、測定者としては便利である。

4. 試料の包装と発送

試料は前述のようにまず乾燥し、その適当量を小型のポリ袋に入れて封をし、それを、データまたは整理番号（依頼者側の）を記した厚手のカードと一緒に、一廻り寸法の大きいポリ袋に入れるのが最も適切な包装のやり方である。ポリ袋の表面に直接字を書いてもよいが、多少見難くなり、また黒色以外のマジックインクでは褪色するおそれがある。水性のサインペンでは、擦っただけで消えてしまう。

各測定機関にはそれぞれ申込用紙が準備されており、依頼者は所要の事項を記載した上、試料と同時に送ることとなっている。記載事項には事務連絡に必要なもののほか、試料の種類および出土状況、年代測定の目的、予想年代、関連文献などがあるが、一見、測定とは無関係なもの、あるいは測定者に予見を与えるものと考えられるためか、きわめて不十分にしか記して下さないことが多いのは残念である。このいわゆる“sample description”の目的には三つある。第一は、測定者が試料を処理するに当たって、出土状況などに関する知識が必要である。すなわち、たとえばdead carbon や modern carbon の侵入の可能性の大小を推定し、それによって処理方法を変えることがありうるからである。第二は、 ^{14}C 年代測定はかなりの実績をあげたとはいえ、その信頼性の向

上にはなお経験の集積が必要であり、そのため、もし他の方法で年代の推定が可能な場合（たとえば伴出土器の形式などから）には、それとの比較が重要な資料となる。第三は、たとえば“Radiocarbon”誌上に公表することによって、測定結果が広く世界中で利用される——もちろん依頼者の同意のもとに——のに必要だからである。このような事情をよく理解していただき、必要かつ十分な sample discription の記載を切望する次第である。

5. 年代の誤差

十分な代表性のある試料について完全な測定が行われたとしても、得られた年代（ ^{14}C 年代と呼ぶ）は真の年代（暦年代）とはひとしくしない。そのおもな原因としては、

- 1) ^{14}C の半減期が十分よくわかっていないこと。
- 2) 大気中の ^{14}C 濃度に長期および短期の変動があつたらしいこと。
- 3) 放射線計数には必ず誤差を伴うこと。

の三つがあげられる。1) については 1961～2 年にかけて得られた三つの測定データから、 5730 ± 40 年あたりが最も確からしいと考えられているが合意は得られて居らず、“Radiocarbon”誌では相変わらず、Libby が年代測定法を確立した当時までのデータから決めた、5568 年をベースに年代を計算することになっている。5730 年と 5568 年とでは実に 3% 近い食い違いがあるし、仮に 5730 ± 40 年が正しいとしても、それをベースにして計算された年代にはなお $\pm 0.7\%$ の不確定さが残ることになる。1000 年のオーダーの半減期を精密に測定することは至難のわざであり、この数字に近い将来もつと精密に決められるとは考え難い。

2) については現在これを直接検証することは不可能なので、もつぱら 7000 年におよぶ樹輪試料についての測定から、樹輪年代と ^{14}C 年代との比較が行われている。⁴⁾ 米国の三測定機関の測定結果は非常によく一致しているとは言えないが、 ^{14}C 年代は樹輪年代よりも、0～1000 BP ではやや若く、1000～2000 BP ではやや古く、2000～7000 BP ではかなり若く出る傾向がある。その差は、0～1000 BP では 200 年以下、1000～2000 BP では 100 年以下、2000 BP 以前においては 800 年におよんでいる。多数のバラついた測定点を適当に平均化して、樹輪年代と ^{14}C 年代の関係を一本の曲線で表わしたり、詳細な数表で表わしたりすることも行われている。⁵⁾ これらを利用して ^{14}C 年代から実年代を求めることは一応可能であるが、カリフォルニア高地に生育する樹木の示す樹輪年代と ^{14}C 年代との関係が他のすべての試料にそのままあてはまるかどうかについては確証がない。

3) 放射線計数には統計誤差が必ずついてまわる。通常、測定値には標準偏差をつけて表わすことになっており、たとえば毎分のカウント数の測定値は

$N \pm \sigma$

というような形で記される。 σ が標準偏差であって、計数時間とそのあいだに得られた全カウント数などの値から近似的に容易に計算される。 σ の意味は、おなじ試料についておなじ条件で多数回の測定を反覆したとき、毎回得られる値のうちおよそ70%が $\bar{N} \pm \sigma$ の間に入り、残りの約30%が $\bar{N} \pm \sigma$ の範囲から外れるような幅と理解することができる。 σ の代りに 2σ をとると、これらの値はそれぞれ95%と5%になる。ここで $\bar{N}$ は多数回測定された N の平均値である。

σ の値は計数時間を延ばすほど小さくなり、測定精度は上がることになるが、たとえば計数時間を4倍に延ばして $1/2$ になるというように、測定時間の平方根に逆比例するので、時間の延長は大して効果がないばかりか、計数装置の長期間の安定性にも問題があるため、この面での測定精度の改善にはおのずから限度がある。また、計数に用いる試料量を増加することによっても σ は小さくなるが、これにも試料および計数装置からの制約がある。

^{14}C 年代は、計数値 $N \pm \sigma$ から計算によって得られるが、年代の標準偏差は、計数値の相対標準偏差 σ/N 1%につきおよそ80年として概算することができる。しかし計数値の誤差の要因の中には統計の誤差ばかりでなく、温度や圧力の読み取りの誤差なども当然含まれているはずなので、それらを適当に評価して加え合わせることも、機関によっては行われている。

6. 年代測定の精度の限界

さて、考古学関係の文献を読むと、 ^{14}C 年代の正確さを不当に過大評価しているかのような印象を受けることがしばしばあるが、誤解を解くためにつぎの点をはっきりさせておきたい。

1) 前節 1) に述べたように ^{14}C の半減期の誤差(相対標準偏差)は、おそらく0.7%ぐらいと見積られる。一方、前節 3) に記した計数の統計誤差は試料の古さと測定条件によって変るが、木越⁶⁾によると非常な労力を払っても modern carbon に対して相対標準偏差0.2%、実際には、数1000 B P の試料をかなり念を入れて測定して0.5%(約40年)内外というところである。(“Radiocarbon”誌にはふつうこの誤差だけを年数に換算して付記することになっている)。上に述べた二つの誤差を合計すると $(0.7^2 + 0.5^2)^{1/2} = 0.86\%$ すなわち ± 70 年になる。また、前節 2) に述べた ^{14}C 年代から樹輪年代への換算についてRalphの表⁵⁾を全面的に信用したとしても、データの平均化のさいの不確定さとして10年が見込まれるので、誤差の合計は ± 80 年である。実際にはこのほか、容易に推定できない誤差の原因がいくつも存在するから、上の値は最低限と考えてよい。

2) たとえば 3520 ± 80 B P というような測定結果を示されたとき、多くの人は、中心値の3520 B P が最も確からしい値であって、それから外れるほど信頼度は下がるものとお考えになる

らしいが、これは全くの誤りである。 3520 ± 80 の意味は、3440 B Pと3600 B Pとの間に本当の値が含まれる確率が約70%であるということで、それ以上のことは何も言っていない。もし30%の外れが気になる人が居られるならば、80を2倍にして 3520 ± 160 とすれば確率は95%となるから多少の気が休まるであろうし、3倍をとって 3520 ± 240 と書けば99.7%となって全く御満足下さるものと思う。しかし、前にも述べたように、 ± 80 年の中味は放射線計数の統計誤差（あるいはそれに若干の測定上の誤差を加えた）だけであるから、実際上の誤差はこれよりもっと大きいはずであることに御注意戴かなくてはならない。

この文章を書くにあたって、学習院大学の木越教授ならびに東京大学の小林裕美氏から御意見ならびに資料を頂戴いたしました。付記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 浜田達二, 考古学と自然科学, 3, 1 (1970)。
- 2) 木越邦彦, 化石, 昭44増刊号, p. 67 (1969)。
- 3) 浜田達二, 化石, No 21, p. 28, (1971)。
- 4) Radiocarbon Variations and Absolute Chronology, Nobel Symposium 12, ed. by Ingrid U. Olsson, Almqvist & Wiksell, Stockholm (1970).
これについては
浜田知子, 考古学ジャーナル No 69, p. 2 (1972)
木越邦彦, 考古学と自然科学, No 5, p. 1 (1972)
に紹介されている。
- 5) E. K. Ralph, H. N. Michael, and M. C. Han, MASCA News-letter, 9, 1 (1973)
- 6) 木越邦彦, 年代測定法, p. 78, 紀国屋書店 (1965)。