

考古資料

板橋 悠

1 はじめに

今日、考古遺跡出土資料や文化財の研究において自然科学的手法を用いたアプローチは一般的なものとなっており、新聞やニュースなどでその成果を目にする機会も多い。考古資料や文化財を対象とした機器分析の普及に伴い、分析化学の専門家だけでなく、考古学や民俗学、美術史などの人文科学研究者自身が化学分析を行う例も増えている。また、本来は別分野の試料を対象に分析を行っている化学研究者が、文化財の機器分析を依頼される機会もある¹⁾。しかし、考古資料や文化財の取り扱いには、生化学や地球科学の一般的な対象試料とは異なる独特な問題も多く、異なる分野間の共同研究において常識の違いからトラブルになることがある。そして分析を依頼する人文科学研究者が化学処理や測定機器の特性への理解が不十分であった場合や、分析化学者の文化財保護への意識が低かった場合には、誤った解釈の公表や資料の予期せぬ破壊などの問題が起こることとなる。

文化財や考古資料に用いられる機器分析自体は、有機・無機の分析化学分野において開発された技術に応用したものである。そのため、一般的なものだけでも分析の種類は対象に応じて多岐にわたり、その一つ一つの前処理方法や装置の特性を網羅的に紹介することは限りある誌面では難しい。したがって、本稿では普段は文化財を取り扱う機会のない理化学分野に所属する者を主な対象に、筆者が専門とする考古資料の放射性炭素 (^{14}C) 年代測定を例として、化学分析のために考古資料を取り扱う上で意識すべき注意点について述べる。「ぶんせき」誌では、進歩総説として数年おきに文化財の自然科学分析に関する論文を紹介し、対象別、分析手法別に解説がなされている^{2)~4)}。個々の分析手法については、これらの総説や関連書籍⁵⁾⁶⁾を参照されたい。

2 考古資料（埋蔵文化財）

本稿の対象である考古資料は、「文化財」と言われる物の一部である。文化財保護法の定義では「文化財」に

は「有形文化財」「無形文化財」「民俗文化財」「記念物」「文化的景観」「伝統的建造物群」が含まれているが、これらの文化財のうちで化学分析の対象となるのは主に「有形文化財」である。

「有形文化財」は文化財保護法 第二条において『建造物、絵画、彫刻、工芸品、書跡、典籍、古文書その他の有形の文化的所産で我が国にとつて歴史上又は芸術上価値の高いもの（これらのものと一体をなしてその価値を形成している土地その他の物件を含む。）並びに考古資料及びその他の学術上価値の高い歴史資料。』と定義されている。もちろん日本において文化財指定されている資料以外に、国外に由来する資料を取り扱うことも多いが、おおむねこの条文でイメージできる歴史的建造物や美術品、古文書や考古遺跡出土遺物が対象である。また人工物に加えて、人骨や動物骨、貝殻などの動物遺存体や植物種子などの植物遺存体、石筍^{せきじゆん}や土壌堆積物などの自然資料も対象となる。

また埋蔵文化財は文化財保護法 第九十二条において『土地に埋蔵されている文化財』と定義されており、考古学の発掘調査により出土した遺跡あるいは考古資料と捉えることができる。したがって、考古資料は有形文化財のうち、土中に埋まっていた物であると認識してよいだろう。

3 考古資料の化学分析の注意点

理念として、文化財は過去からの遺産であり、今後人類史が続く限り、もしくはそれ以降にも数百年、数千年間にわたり保存されるべきものである。また過去から長期間存在していた物であるからこそ、取り扱う上で特有の問題が発生する。そのため、他の分析化学分野で扱う試料と比べて、文化財や考古資料を扱う際には以下の点に格別の注意を払う必要がある。

①資料の非破壊と非接触が原則である。もしくは破壊が最小限である必要がある。

②資料の状態によっては汚染や変性をしており、信頼できる分析結果が得られない。

3・1 資料破壊の問題

有形文化財は毀損できない美術的・歴史的価値を有している。そのため、化学分析すること自体には学術的意義があったとしても資料の破壊を伴う手法は許されることが一般的である⁶⁾。さらに、将来的には現在よりも優れた分析手法が開発される可能性が高いことを考慮すると、破壊を伴う分析はより後の時代に先送りにすることが望ましい。一方で、有形文化財を化学分析することによって、学術的に価値ある発見が期待できる。また化学分析によって得られた知見を保存処理に活かすことで、従来の方法で保存するよりも安全に長期間にわたり文化財を残すことが可能になることも多い。そのため、「今、この分析することに破壊を上回る価値がある」との判断の元で、考古資料の破壊を伴う化学分析が実施される。

分析を行うことになった場合には、分析担当者は資料へのダメージがより少ない手法を選択する必要がある。質量分析など測定時に試料が消費される分析法に対し、測定試料を回収して再測定できるような分析法を「非破壊分析」と呼ぶ場合がある。しかし、繰り返し測定が可能な手法であっても、大本の文化財からの試料採取が必要であれば資料の破壊が起こることとなる。対して、光学的手法などで資料に触れずに測定できる「非接触分析」であれば、資料破壊のリスクを低くすることができる。同様の結果が得られるならば「非接触分析」を優先して選択するとよい。しかし「非接触分析」とされる分光分析などであっても、照射される電磁波により長期的な時間スケールでは劣化が早まっている⁶⁾。また分析過程で受けたわずかな衝撃や温度・湿度管理された環境からの持ち出しによって資料が劣化・破損する可能性もある。たとえば、遺跡から出土した木製品は含水することでかろうじて形状を保っており、持ち出しによる乾燥で急激に劣化が進んでしまう⁷⁾。「非接触分析」でも、分析にかかる時間を短くし、照射する電磁波の照度を最低限にするなどの努力が併せて必要である。

また思わぬ作業上の処理が「資料破壊」とされることもある。たとえば、先史時代の石器や土器、骨に対しては、資料番号などを資料表面に直接注記し、ラッカーなどで保護する処理が行われることがある。除光液などで注記やラッカーを見かけ上落とせることから、「可逆性がある処置」として紹介している例を見かけるが、後から顔料や樹脂を完全に取り除くことは難しく化学分析から見れば資料の汚染に他ならない。はじめて扱う種類の資料では資料管理者や対象物の専門家に取り扱いを入念に確認しておく⁸⁾。

そして文化財の特殊性として、マスコミや関係する自治体、地域の人々など社会からの監視や批判を受ける機会が他分野の対象試料よりも多い点が挙げられる。したがって、その分析によって得られた情報の価値が資料に

与えたダメージを上回っていると誰もが納得できる様に、学術誌だけでなく一般向の広報や博物館展示なども用いて成果を広く社会へ伝えるべきだろう。

3・2 資料の変性や汚染の問題

考古資料の化学分析では、たとえ正しく処理を行ったとしても、議論に使うことができるデータが得られるとは限らない。考古資料はその歴史的な価値が示すように古い物であり、長い時間の間に経年劣化や汚染、周囲の成分との置換が起こっている。そのため、機器分析の前に汚染を取り除く前処理を行い、外部から混入してくる可能性が低い安定した成分を精製して測定に供する必要がある。しかし、前処理を行ってもなお除去できない外来成分が沈着し、資料由来の成分が変性してしまっていることは珍しくない。そのため、外来成分の沈着や成分の変性がある資料を識別するための基準を設ける必要がある。たとえ測定データが得られても基準を満たさない試料は後の議論に用いないようにしなければならない。また精製処理の結果、目的成分がまったく回収されず、機器分析を行えない可能性もある。

ここでは¹⁴C年代測定によって遺跡出土人骨の年代測定を行う場合を例にする。対象が死亡した年代が知りたい場合、我々は人骨資料から対象個人の体組織に由来する炭素を獲得しなければならない。しかし遺跡出土人骨には土壤中の成分が染み込んでいるため、掘り出した人骨からそのまま全炭素を抽出した場合には、その中には植物由来の有機酸や石灰質に由来する炭素などが含まれてしまう。有機酸の起源である植物や石灰質の起源である岩石は対象個人の生前の活動とは無関係であり、これらの炭素を一緒に測定することによって、個人の本来の年代とは異なる誤った¹⁴C年代が値として得られることになる⁹⁾。そのため、人骨や動物骨の¹⁴C年代を測定する際には、骨から化学的に安定したタンパク質であるコラーゲンの純度が高い抽出成分（ゼラチン）を精製する。

また外来成分の混入以外に、資料成分自体の変性や減少も問題となる。コラーゲンやDNAなどの有機成分は、化学変化や微生物の分解により骨中の保存状態が大きく変化することが知られている¹⁰⁾。そのため、規定重量の骨試料で抽出処理を行っても、必要な量の分析成分が得られず機器分析を行えない可能性がある。そのため、遺跡出土骨の化学分析では、事前に極微量分析による予備調査を行って分析に適さない資料の判別や分析成分回収率の推定を行い、試料採取による不必要な破壊を避けることが提唱されている¹¹⁾。

測定できた場合にも、回収産物の状態を評価し機器測定による測定値が信頼できるか判断する基準を設けておくことが必要である。安定した成分であるコラーゲンでも、時代の古い資料や回収率の低い資料では抽出成分への外来成分の影響が大きくなり、測定値が変化すること

が知られている¹⁰⁾¹²⁾¹³⁾。このため、遺跡出土骨を扱った研究では、ゼラチン回収率、ゼラチンに含まれる炭素と窒素のモル数比 (C/N 比)、アミノ酸組成などから抽出ゼラチンが純粋なコラーゲンで構成されているかを評価している。これらの指標が現代の骨コラーゲンの示す範囲から外れる試料は、汚染・変性により得られた測定値が信頼できないとして議論には用いられない¹⁴⁾¹⁵⁾。信頼できない測定値による誤った解釈が流布する危険があるため、基準から外れた資料の測定結果については注意して報告する必要がある。一方で、「この資料は状態が悪く分析に適さなかった」という情報を公開することは、後に別の誰かが同じ資料に同様の処理を行ってしまうことを防ぐ意味でも公益性がある。

4 資料の取り扱い

4.1 資料の受け取り

ここでは遺跡出土骨の¹⁴C年代測定を例に、考古資料の取り扱いについて紹介する。まず文化財の権利関係は複雑であるため、分析依頼を引き受け、試料採取を行う前に書面で取り決めを交わしておくことで双方の誤解によるトラブルを防ぐことができる。分析依頼は大学や博物館の研究者や自治体の埋蔵文化財センターから来ることが多いが、文化財の所有者は別にいることがある。破壊のない形態観察を前提に研究機関に預けられた資料が、所有者の了解なく試料採取されてしまったトラブルも過去に起こっている。トラブルが起こった際に、分析担当者自身を守るためにも書面の作成は重要である。その際には、化学分析に伴う資料へのダメージや資料の状態によっては結果が得られない可能性を資料管理者に説明し、資料返却の有無（持ち込まれた資料が分析用に分取されたものか、それとも試料採取を行った後に返却するものか）や借用期間について取り交わしておく。さらに預かった時点での資料の状態や持ち込み重量をノートに残し、写真撮影して原状を記録しておくことよい。

文化財は保存のために樹脂が含浸され、接着剤が塗布されるなど保存処理を受けている可能性がある。また修復のため現代の部材によって補修されていることもあり、これらの部位から試料採取すると誤ったデータを得ることになる。見た目には処理の痕跡が分かりづらいことがあるため、あらかじめ資料にどんな保存・修復処理がされているか資料管理者に確認し、処理を施された資料や場所からの試料採取は避けるようにする。

4.2 試料採取

¹⁴C年代測定などの質量分析では、文化財本体から一部を試料として採取し、前処理を行って機器分析に適した状態に加工する必要がある。試料の採取は直接的な資料の破壊となるため、どこから試料が取られたか分かるように採取前後の採取箇所の写真を撮影しておく。試料

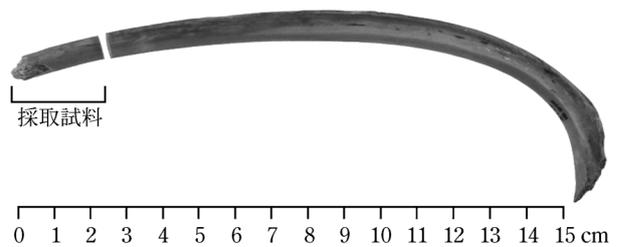


図1 ¹⁴C年代測定のためにブタの肋骨から採取した骨試料 (約0.5g, 左)

の採取箇所は目につく場所は避け、展示で表に出ない裏側や既に破損がある断面から優先的に採取する。また資料全体で保存状態は一様ではないため、前述の配慮をした上で保存状態が良さそうな場所を選ぶとよい。同一コンテキストから出土した資料が複数ある場合には、破損のない完形の資料や報告書に掲載されている資料は避け、破損のある資料を優先的に選択することが望ましい。

骨の場合、骨端部は形態観察による計測に用いるため採取を避け、外形を損なわないよう骨幹部からディスクカッターで骨片を切り取るとよい (図1)。肋骨など、形態観察にあまり用いられない部位を優先して選択する。既に割れ目があればその断面から採取することが望ましいが、刀傷や解体痕など学術的に意味のある損傷でないことを資料管理者に確認しておく。資料の保存状況に依存して分析に必要な最少量は異なるが、¹⁴C年代測定用には0.2~1g程度の骨試料を採取することが一般的である。採取した試料重量や資料の状態はノートに記録しておく。脆い資料では採取時に資料本体が崩れてしまう恐れがあり、分析必要量以上の資料破壊という悲劇が起こる。細心の注意をもって採取を行うことはもっともだが、資料の周囲をパラフィンフィルムなどで補強した状態でカットを行うなど、資料の状態に応じて崩壊を防ぐ処置を施してから採取を行う。念の為、事前にレジンで型取りしてレプリカを作っておくと、資料の意図しない崩壊に対する保険となるだけでなく、採取によって失われる形態情報を残す意味でもよい。

採取した試料の表面に付着した石灰質などのマトリックスはサンドブラスターで骨の表面を研磨して取り除く。カットした骨試料に残る泥やカビは歯ブラシなどで洗い、試験管を用いて試料を水に浸して超音波洗浄することで落としておく。考古遺跡出土骨では脂質が残存していることは少ないが、骨資料に脂質が残っているようであれば、採取した骨試料を脱脂用の溶媒 (クロロホルム:メタノール=2:1 v/v) に浸し、溶媒を交換しながら超音波洗浄を繰り返す¹⁶⁾。脱脂処理を行った後はドラフト内に骨試料を静置し、有機溶媒を揮発させてから次の作業に進める。

採取した骨が接着剤や塗料などで処理されている場合は、試験管を用いて試料をアセトンに浸して超音波洗浄

を行うと、ある程度は溶かし出して取り除くことができる。接着剤の成分が溶け出す様子が観察されなくなるまで、アセトンを交換しながら超音波洗浄を繰り返す。しかし、一度資料に浸潤した樹脂を完全に取り除くことは困難であるため、可能であれば他の部位を採取すべきである。

4.3 試料からの汚染の除去

4.3.1 試料の前処理

今日では、¹⁴C年代測定では加速器質量分析 (AMS) 法を用いることが一般的となっている。発掘により出土した骨資料には様々な炭素を含む成分が沈着しており、AMS測定の前にこれらの汚染を取り除く必要がある。そのため、ゼラチン抽出過程では化学的性質や分子量の違いを利用してコラーゲンから外来の有機質や無機質を取り除く。同様に、現代の動植物試料の機器分析で普及している手法を考古資料に応用する場合には、外来成分を取り除く精製処理の追加が必要であることがほとんどである。

¹⁴C年代測定のための骨試料の前処理として、塩酸による炭酸カルシウムをはじめとした無機質の脱灰と加熱によって水溶化したコラーゲンを回収するゼラチン化を利用した精製が行われている¹⁷⁾¹⁸⁾。また植物の分解産物であるフミン質がアルカリに可溶である性質を利用し、試料を水酸化ナトリウム溶液に浸すことで骨に沈着したフミン質を取り除く処理が行われているが、すべての年代測定機関で採用されている方法ではない。脱灰に使用する塩酸の濃度や反応時間、アルカリ処理の有無や脱灰処理との順番など、コラーゲンを回収する処理手順については統一的な手法が定まっていないのが現状である。そして、これらの処理を加えてもすべての外来炭素が取り除けるとは限らないため、現在でも汚染の評価と手法の改良が試みられている¹⁶⁾¹⁹⁾。

4.3.2 汚染の指標

¹⁴C年代測定の分野では、ゼラチン回収率とC/N比を指標とした骨資料の汚染の評価がもっとも一般的である¹¹⁾¹³⁾。しかしゼラチン回収率は抽出手法に左右されるため、異なる研究機関間で統一的に採用できる指標ではない。C/N比は、土壌から混入する無機質や有機質には炭素が豊富である一方で、窒素はほとんど含まれていないことを利用している。現代の動物骨コラーゲンのC/N比は約3.2であるが、遺跡出土骨の中でC/N比が2.9~3.6の範囲から外れるゼラチン試料では¹⁴C年代や炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) の測定値が想定される値から逸脱し、外来炭素の影響が顕在化するとされている¹³⁾。コラーゲンの理論的なC/N比の範囲よりも炭素の比率が高いゼラチン試料は、炭酸カルシウムやフミン質などの外来の炭素含有成分が残存していると判断されるため、遺跡出土骨の¹⁴C年代測定においては有用な指

標である。

4.3.3 前処理方法による汚染除去の違い

ここでは弥生時代中期に帰属する1体の骨資料から、異なる四つの手法 (図2) を用いて回収したゼラチンをAMS測定した例を紹介する。前処理と元素分析-同位体比質量分析計 (EA-IRMS) による抽出ゼラチンの炭素・窒素含有率と安定同位体比測定、グラファイト精製ならびにAMS測定は東京大学総合研究博物館 放射性炭素年代測定室で行った²⁰⁾。¹⁴C年代の暦年較正は較正曲線データ IntCal13²¹⁾を使用し OxCal4.3で行った。

手法①では、採取後に超純水で洗浄した骨試料を0.2 Mの水酸化ナトリウム溶液に8時間浸した後に中性化し、脱灰前にフミン質を除去した。次に試料を乾燥させた上で粉碎し、骨粉末をセルロース膜に封入の上、4℃1.2 Mの塩酸に1日間浸して脱灰し、骨中の無機成分や分子量の少ない有機物 (12000~14000 Da以下) を透析により除去した。次に中性化した試料をpH 4塩酸中において90℃で12時間加熱してコラーゲンを水溶ゼラチン化し、ガラスフィルターで濾過することで不溶性有機物と分離した後、回収したゼラチンを凍結乾燥した。

手法②では、超純水で洗浄した骨試料を粉碎せずに4℃0.4 Mの塩酸で2日間脱灰し、続いてpH 4塩酸中において90℃で48時間加熱してゼラチン化し、濾過した溶液を凍結乾燥した。アルカリ処理は行わなかった。

手法③では、超純水で洗浄した試料を0.1 Mの水酸化ナトリウム溶液に浸しては遠心分離で上清の除去する作業を3回繰り返し、フミン質の除去を行った。アルカリ処理の後に②同様に脱灰とゼラチン化を行い、濾過したゼラチンを凍結乾燥した

手法④では、まず②同様に脱灰により無機質を除去してから0.1 Mの水酸化ナトリウム溶液でアルカリ処理を行った。ゼラチン化以降は②③と同様に行った。

処理の結果、手法①と手法②③④の間でゼラチン回収率には大きな違いが見られた。手法①では、骨試料を粉末にしてから濃度の濃い塩酸で脱灰を行ったためにコラーゲンの分解が進んだこと、ゼラチン化時の加熱時間が短かったためにコラーゲンの水溶ゼラチン化が完

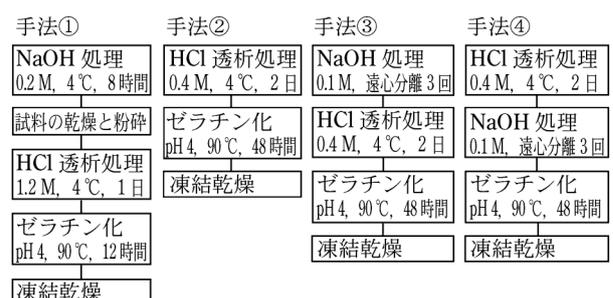


図2 四つの異なるゼラチン抽出処理法のフローチャート

全に進んでいなかったことが回収率の低下につながった可能性がある。手法②③④ではアルカリ処理の有無とそのタイミングが異なるが、回収率に大きな違いは見られなかった。

また手法により抽出ゼラチンのC/N比に違いが見られた。手法②③④の間では、アルカリ処理を行わない②のC/N比がアルカリ処理を行った③④より高いため、酸性溶媒には不溶だがアルカリ性溶媒には容易に溶けるフミン質がC/N比上昇の主因であると思われる。また脱灰前にアルカリ処理を行った③よりも脱灰後にアルカリ処理を行った④の方がコラーゲン本来のC/N比(3.2)に近い値を持つことから、アルカリ処理によるフミン質除去は脱灰によって骨のヒドロキシアパタイト構造を取り除いた上で行うとより有効であると考えられる。

異なる処理を行った結果、同一の骨資料から抽出されたゼラチンであっても機器測定で得られた ^{14}C 年代と $\delta^{13}\text{C}$ が異なった。この資料は共伴遺物から325~300 BC頃の資料と想定されている。 ^{14}C 年代を暦年代(cal BC/AD)に較正した場合に、C/N比が基準から外れる①②は数百年異なる年代が示されており、C/N比が基準から外れるゼラチン試料の年代は大きく変化してしまっていることを示している(表1)。C/N比が基準内(2.9~3.6)に収まっている③④では、C/N比が高い③は想定される年代よりも150~200年ほど新しい年代を示した一方で、C/N比が3.2である④は共伴遺物から想定される年代と一致した年代を示した。 ^{14}C 年代とC/N比が相関しており、コラーゲン本来の値よりもC/N比が高い試料ほど新しい年代を示したことから(図3)、C/N比が高い試料ほど対象人骨よりも新しい時代の炭素の影響が強く表れていると考えられる。植物の多くを占める C_3 植物の $\delta^{13}\text{C}$ は人骨コラーゲンよりも低い値を持っている。C/N比が高い試料ほど $\delta^{13}\text{C}$ が低いことも、C/N比が高いゼラチンほど植物由来のフミン質が多く残存していることを示唆している。

したがって、手法④が抽出ゼラチンからもっとも効果的に外来炭素を除去できており、手法①に比べて資料破壊も少ない手法であると判断できる。C/N比が基準から外れた試料では ^{14}C 年代が変化していたため、やはりC/N比が基準から外れる試料の値は議論に用いるべきではないことが再確認された。しかし、基準内の試料であってもC/N比が高い試料では ^{14}C 年代が変化しており、C/N比は抽出ゼラチンの汚染を評価できる絶対的な基準ではないことも示された。したがって、より信頼性の高い年代推定のためには異なる基準の策定や新しい手法開発が必要であると思われる。

本稿で例に出した資料では沈着していた外来炭素の量が多かったため、ゼラチン抽出処理法によって汚染の残存率や測定値が大きく変化したと考えられる。しかし一

表1 同一の骨から抽出した前処理の異なるゼラチン試料の測定結果

手法	ゼラチン回収率	C/N比	$\delta^{13}\text{C}$	^{14}C 年代(BP)	cal BC/AD (1 σ)
①	0.7%	4.5	-21.9	1545 \pm 20	433-552 cal AD
②	5.4%	4.2	-21.3	1750 \pm 20	250-327 cal AD
③	5.1%	3.5	-20.5	2120 \pm 20	183-111 cal BC
④	5.7%	3.2	-20.2	2235 \pm 20	366-231 cal BC

{ ^{14}C 年代(BP)は未較正の放射性炭素年代(西暦紀元1950年からさかのぼった年数), cal BC/AD (1 σ)は ^{14}C 年代から計算された68.2%信頼区間に相当する西暦紀元前/西暦紀元の範囲を示す}

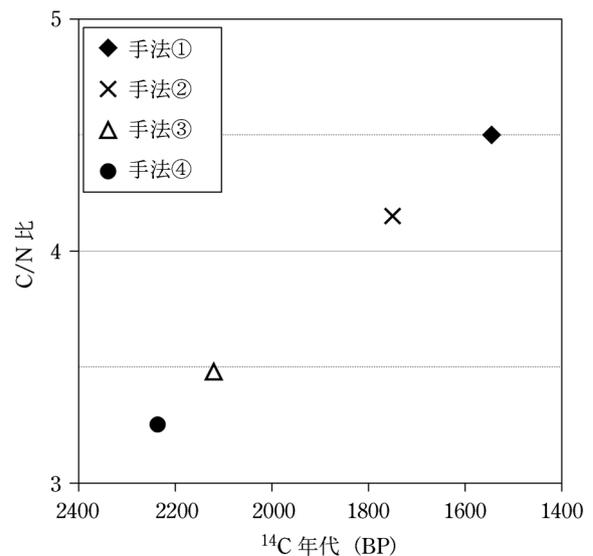


図3 同一の骨から抽出した前処理の異なるゼラチン試料の未較正の ^{14}C 年代とC/N比

方で、保存の良い資料では処理方法による違いが見られないことも多い。そのため、考古資料の分析では保存や汚染状態の異なる複数の試料を用いて、試料のロスが少なくかつ汚染を効果的に除去できる方法を検討しておくなければならない。そのため、現代資料を意図的に汚染させた上で精製処理の効果を検討することも行われている²²⁾。いずれにせよ、考古資料の状態は資料によって千差万別であることを念頭に置いておく必要がある。

5 おわりに

考古資料は法的、概念的にはひとまとめにされるものであるが、化学分析の対象となる物質としては多様な性質、履歴を持っており、それぞれで異なる取り扱いが必要である。しかし、本稿で取り上げた「資料破壊」と「資料汚染」の問題は、考古資料の化学分析を行う際にはほぼ例外なく関係してくる。これらの問題に注意を払うことで、限りある資料を未来に託し、今現在だけでなく将来の歴史研究の発展に寄与することになるだろう。末尾ながら、本稿執筆にあたりご指導・ご協力いただいた

た方々に感謝の意を表する。

文 献

- 1) 文化庁文化財部記念物課：“定本 発掘調査のてびき—整理・報告書編—”，p. 74 (2016)，(同成社)。
- 2) 鈴木 稔：ぶんせき (*Bunseki*)，**2000**，88。
- 3) 早川泰弘：ぶんせき (*Bunseki*)，**2000**，652。
- 4) 鈴木 稔，谷口陽子：ぶんせき (*Bunseki*)，**2011**，94。
- 5) 齋藤 努：“必携 考古資料の自然科学調査法”，(2010)，(ニューサイエンス社)。
- 6) 早川泰弘，高妻洋成：“文化財分析”，(2018)，(共立出版)。
- 7) 沢田正昭：“文化財科学ノート”，(1997)，(近未来社)。
- 8) 文化庁文化財部記念物課：“定本 発掘調査のてびき—集落遺跡発掘編—”，p. 264 (2016)，(同成社)。
- 9) 兼岡一郎：“年代測定概論”，(2008)，(東京大学出版会)。
- 10) M. J. Collins, C. M. Nielsen-Marsh, J. Hiller, C. I. Smith, J. P. Roberts, R. V. Progodich, T. J. Wess, J. Csapò, A. R. Millard, G. Turner-Walker: *Archaeometry*, **44**, 383 (2002)。
- 11) J. J. Hublin, S. Pääbo, A. P. Derevianko, V. B. Doronichev, L. V. Golovanova, M. Friess, A. Froment, A. Hoffmann, N. E. Jillani Kachache, O. Kullmer, D. Lordkipanidze, M. H. Moncel, R. Potts, J. Radovic, Y. Z. Rak, M. Richards, J. R. Méndez, A. Rosas, M. Schmauder, R. W. Schmitz, P. Semal, T. Smith, M. A. Tafuri, I. Tattersall, J. F. Tournepeiche, M. Toussaint, S. Vassiliev, A. Vialet, T. White, R. Ziegler: *J. Hum. Evol.*, **55**, 756 (2008)。
- 12) G. J. van Klinken: *J. Archaeol. Sci.*, **26**, 687 (1999)。
- 13) S. H. Ambrose: *J. Archaeol. Sci.*, **17**, 431 (1990)。
- 14) M. J. DeNiro: *Nature*, **317**, 806 (1985)。
- 15) R. E. M. Hedges: *Archaeometry*, **44**, 319 (2002)。
- 16) T. Tsutaya, T. Takahashi, R. J. Schulting, T. Sato, M. Yoneda, H. Kato, A. W. Weber: *J. Archaeol. Sci. Reports*, **20**, 626 (2018)。
- 17) R. Longin: *Nature*, **230**, 241 (1971)。
- 18) M. Yoneda, A. Tanaka, Y. Shibata, M. Morita, K. Uzawa, M. Hirota, M. Uchida: *J. Archaeol. Sci.*, **29**, 529 (2002)。
- 19) P. Szpak, J. Z. Metcalfe, R. A. Macdonald: *J. Archaeol. Sci. Reports*, **13**, 609 (2017)。
- 20) T. Omori, K. Yamazaki, Y. Itahashi, H. Ozaki, M. Yoneda: *14th International Conference on Accelerator Mass Spectrometry*, (2017), (Ottawa)。
- 21) P. J. Reimer, E. Bard, A. Bayliss, J. W. Beck, P. G. Blackwell, C. B. Ramsey, C. E. Buck, H. Cheng, R. L. Edwards, M. Friedrich, P. M. Grootes, T. P. Guilderson, H. Haflidason, I. Hajdas, C. Hatte, T. J. Heaton, D. L. Hoffmann, A. G. Hogg, K. A. Hughen, K. F. Kaiser, B. Kromer, S. W. Manning, M. Niu, R. W. Reimer, D. A. Richards, E. M. Scott, J. R. Southon, R. A. Staff, C. S. M. Turney, J. van der Plicht: *Radiocarbon*, **55**, 1869 (2013)。
- 22) A. Heier, J. A. Evans, J. Montgomery: *Archaeometry*, **51**, 277 (2009)。



板橋 悠 (Yu ITAHASHI)

筑波大学人文社会系 (〒305-8571 茨城県つくば市天王台1-1-1)。東京大学新領域創成科学研究科博士課程修了。博士 (生命科学)。《現在の研究テーマ》考古資料の同位体比分析による先史社会の食性や移住の解明。《主な著書と出版社名》“世界と日本の考古学”(分担執筆)(六一書房)。《趣味》キャンプ。
E-mail: itahashi.yu.ga@u.tsukuba.ac.jp

原 稿 募 集

創案と開発欄の原稿を募集しています

内容：新しい分析方法・技術を創案したときの着想，新しい発見のきっかけ，新装置開発上の苦心と問題点解決の経緯などを述べたもの。但し，他誌に未発表のものに限ります。

執筆上の注意：1) 会員の研究活動，技術の展開に参考になるよう，体験をなるべく具体的に述べる。物語風でもよい。2) 従来の分析方法や装置の問題点に触れ，記事中の創案や開発の意義，すなわち主題の背景を分かりやすく説明する。3) 図や表，当時のスケッチなどを用いて理解しやす

くすることが望ましい。4) 原稿は図表を含めて4000~8000字(図・表は1枚500字に換算)とする。

◇採用の可否は編集委員会にご一任ください。原稿の送付および問い合わせは下記へお願いします。

〒141-0031 東京都品川区五反田1-26-2

五反田サンハイツ304号

(公社)日本分析化学会「ぶんせき」編集委員会
(bunseki@jsac.or.jp)