

焼骨の放射性炭素年代測定

山田 しょう・岡本 洋*

1. はじめに

骨の ^{14}C 年代測定は、一般に骨から抽出したコラーゲンを試料とするが、焼けた骨はコラーゲンが失われるため、かつては年代測定ができなかった。2000年代に入って、高温で焼けた骨の無機炭素を用いた ^{14}C 年代測定法が開発されたが、日本で測定が行われるようになったのは2010年代に入ってからで、いまだに測定例が少ない。本論文は、西目屋村川原平(1)遺跡における焼骨の ^{14}C 年代測定例を紹介し、他の事例と併せ、この年代測定法の有効性を論ずるものである。筆者の岡本は川原平(1)遺跡の調査で多数の ^{14}C 年代測定を行い、山田は(株)加速器分析研究所・鈴木雅(蔵王町教育委員会)・百瀬忠幸(元大桑村教育委員会)による焼骨 ^{14}C 年代測定の試みを進めた経験がある(山田ほか2015)。

2. 煨焼骨(かしょうこつ)の ^{14}C 年代測定

炭素には生物の体を構成する有機物の形で存在するものと、鉱物など、無機物の形で存在するものがある。後者では、石灰岩や貝殻の主成分である炭酸カルシウム(CaCO_3)が代表的である。

骨には生きた細胞質の部分と、骨の大部分を占める非細胞質の部分がある。さらに、非細胞質には有機質と無機質の部分があり、前者では繊維状のタンパク質であるコラーゲンが大部分を占める。無機質の部分はリン酸カルシウム(アパタイト)の結晶が主成分であるが、この他に炭酸塩も存在し、それは炭酸カルシウムと炭酸アパタイトの二つの相で存在している。後者はアパタイトの結晶格子にリンの代わりとして組み込まれて存在する(重量比で0.5~1%)。

アパタイト中の炭素は、骨の堆積後、土壌中の水を通して外来炭素の汚染を受けやすく、 ^{14}C 年代測定には不適であり、骨のコラーゲンを抽出し、その炭素を測定するのが最適とされる。ただし、コラーゲンが堆積中に分解・喪失すると、年代測定ができない。火を受けた骨もコラーゲンが失われるので、かつては年代測定の対象とならなかった。

しかし、Lanting et al. (2001)は、火葬骨のように高温(600℃以上)で焼け、白く石灰化した骨(calcined bone; 煨焼骨(かしょうこつ))では、骨の無機炭素から信頼できる年代が得られることを示した。高温で骨のアパタイトが再結晶化し、含まれる炭素を保護し、外来炭素による汚染を防ぐためと考えられる。燃焼温度が低く、石灰化していない骨では、再結晶化が十分ではなく、堆積中に外来炭素の影響が及び、正しい年代を示さない。なお、骨の有機質が炭化したり、燃料由来の有機物が炭化して吸着している場合は、それらの炭化物を試料とした、通常の ^{14}C 年代測定が可能である。

この煨焼骨の無機炭素による年代測定法は、その後世界の多くのラボで追試が行われ、基本的な有効性が確認されてきた。しかし、日本では測定例が少なく、考古学・文化財関係者の認知度も低い。

3. 川原平(1)遺跡における煨焼骨の年代測定

(1) 遺跡と試料

川原平(1)遺跡は、岩木川上流の青森県西目屋村に所在する縄文時代後期末から晩期の拠点集落であ

*青森県埋蔵文化財調査センター

る。縄文時代後期後葉から晩期後葉にかけて連続的に形成された包含層中で検出された焼土遺構(屋外炉、もしくは上屋の痕跡が発見できなかった建物に伴う炉)の年代を決定することは容易ではない。しかし、焼土遺構の年代決定は遺跡を理解する上では必須であり、その一つ的手段として煨焼骨9点を選択して年代測定を行った。これは日本の一つの遺跡における煨焼骨の測定数としてはこれまでで最も多い。また、本遺跡では、これに木片、木炭、土器付着炭化物、漆塗膜を加えた全220点の試料の ^{14}C 年代が測定され、煨焼骨の年代の妥当性の検討に利用できる。土器付着炭化物の年代については、岡本(2018)で検討が行われている。

(2) 分析方法

試料の分析は、分析を担当した(株)加速器分析研究所において、Lanting et al. (前掲)に基づき、以下の手順で行われた(青森県埋蔵文化財調査センター(以下「青森埋」)2017b: pp.273–274,311–312)。

- 1) ブラシ等を使い、試料から付着物を取り除く。さらに超純水に浸し、超音波洗浄を行った後、必要量の試料を採取、乾燥させ、秤量する。
 - 2) 1.5%の次亜塩素酸ナトリウム(NaClO)で2日間、1Mの酢酸(CH_3COOH)で1日間処理を行った後、試料を乾燥させ、秤量する。
 - 3) 必要量を採取、秤量した試料をリン酸と反応させ、二酸化炭素(CO_2)を発生させる。二酸化炭素をサルフィックスと共に加熱し脱硫する。
 - 4) 真空ラインで二酸化炭素を精製、定量。この二酸化炭素中の炭素相当量を算出。
 - 5) 精製した二酸化炭素を、鉄を触媒として水素で還元し、グラファイトを生成。
 - 6) グラファイトを内径1mmのカソードにハンドプレス機で詰め、それをホイールにはめ込み、測定装置に装着。
 - 7) 加速器をベースとした ^{14}C -AMS専用装置(NEC社製)を使用し、 ^{14}C の計数、 ^{13}C 濃度($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$)、 ^{14}C 濃度($^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$)を測定。測定では、米国国立標準局(NIST)から提供されたシュウ酸(HOx II)を標準試料とし、この標準試料とバックグラウンド試料の測定も同時に実施。
- 3)のサルフィックス処理はLanting et al. (前掲)に記載がないが行われており(Zazzo et al. 2013: p.1420)、加速器分析研究所の報告書にも記載はないが常に行っている(同社早瀬亮介氏の教示)。

(3) 分析結果

煨焼骨9点の年代値は表1の通りで、1点を除き、この遺跡の主体となる後期後葉から晩期後葉の年代幅に収まる。表2に各細分期のおおよその年代を最古と最新の測定値を用いて示す(青森埋2016c、同2017b)。表2には本遺跡に隣接する川原平(4)遺跡B区の測定値を含む(内訳は岡本2018 表3～5を参照)。また、本論中の ^{14}C 年代は、原則、一桁目を丸め込みしない、暦年較正用の値を用いる。

KAWA(1)-160(IAAA-153220)はブロック11(青森埋2016a第1分冊: p.102)とした遺物集中地点の土器(P-2268)の脇で出土した大型陸獣(以下獣骨同定は、本遺跡の動物遺体同定(青森埋2017b: pp.206-217)を担当した齊藤慶吏氏の教示による)の破碎した焼骨である。P-2268は報告書非掲載の破片で、型式は特定できなかった。ブロック11では後期後葉から晩期1b期の土器が出土しており、やや一括性は低い。本試料の測定値は $2897 \pm 19\text{yrBP}$ で、晩期前葉の年代であり、土器の時期より新しい。また、共伴する炭化材KAWA(1)-121(IAAA-152344)の測定値は $2944 \pm 21\text{yrBP}$ であり、後期末から晩期前葉の年代である。

KAWA(1)-161(IAAA-153221)はSN-07焼土遺構(青森埋2016a第1分冊: p.47)の焼土層出土の大型陸獣の中手または中足骨とみられる破碎した焼骨である。SN-07は共伴する土器がなく、報告書執

筆時点で帰属年代を絞り込めなかった。測定値は $2694 \pm 19\text{yrBP}$ であり、晩期4期の年代である。写真1に出土状況と測定に供した試料を示した。

KAWA(1)-162(IAAA-153222)は土層観察ベルトのSec 7(青県埋2016a第1分冊: p.118)Ⅲ-3層で出土した大型陸獣の大腿骨の可能性がある破砕した焼骨である。Sec7は晩期1b期までに大部分の土層が堆積したと考えられる。Ⅲ-3層では晩期1a期の土器が比較的多く出土している。本試料の測定値は $2906 \pm 19\text{yrBP}$ であり、後期末から晩期前葉の年代である。

KAWA(1)-163(IAAA-153223)は土層観察ベルトのSec7(青県埋2016a第1分冊: p.118)Ⅲ-2層出土のシカの基節骨の可能性がある焼骨である。測定値は $3052 \pm 19\text{yrBP}$ であり、後期後葉の年代である。KAWA(1)-162より上層で出土したが、測定値は本試料の方が古い。Ⅲ-2層では晩期1b期の土器が出土しており、そのうちの1点は漆塗りの壺で(青県埋2016a遺物図39-3)、KAWA(1)-148(IAAA-153167)として年代を測定しており、 $2916 \pm 19\text{yrBP}$ の測定値を得ていることから、KAWA(1)-163の焼骨自体は土層の堆積年代とは無関係といえる。ただし、これはSec7が後代に攪乱を受けたわけではなく、縄文時代晩期の時点で遺構構築などにより遺跡内の別地点で掘り返された土がSec7の地点に廃棄されたためと考えている。

KAWA(1)-164(IAAA-160510)はSN-58焼土遺構(青県埋2017a: p.25)の1層出土の破砕した獣骨である。測定値は $2848 \pm 21\text{yrBP}$ で、晩期2期あるいは3期の測定値に近い。SN-58には明確に伴う遺物はないが、周囲で晩期前葉の土器が出土している。遺構が構築されたKⅢ1d層の出土土器で最新のものは晩期3期で、焼骨の年代と矛盾はない。また、SN-58周辺で出土した炭化材をKAWA(1)-69(IAAA-150607)として測定し、 $2913 \pm 22\text{yrBP}$ の測定値を得た。これは晩期3期より古い。

KAWA(1)-165(IAAA-160511)はSN-27焼土遺構(青県埋2016a第1分冊: p.51)の1層出土の破砕した獣骨である。SN-27に伴う土器はない。本試料の測定値は $3032 \pm 20\text{yrBP}$ で、後期末の測定値である。本遺構の火床面レベルより下位で、SQ-11に伴う後期後葉の注口土器(青県埋2016a遺物図11-2)が出土しており、年代に矛盾はない。

KAWA(1)-166(IAAA-160512)はSN-61焼土遺構(青県埋2017a: p.26)の2層出土の破砕した獣骨である。本試料の測定値は $2626 \pm 20\text{yrBP}$ で、晩期4期の年代である。SN-61に明確に伴う遺物はなく、遺構が廃絶後に堆積した土器に晩期中葉の粗製深鉢の破片がある。報告書ではSN-61の時期を周辺で検出された他の焼土遺構の年代から推定して晩期前葉としたが、中葉に下る可能性がある。

KAWA(1)-167(IAAA-160513)は第101号建物跡に伴う炉であるSN-45焼土遺構(青県埋2016a第1分冊: p.44)の焼土直上出土の破砕した獣骨である。測定値は $2950 \pm 22\text{yrBP}$ で、後期末から晩期前葉に当たる。同じく焼土直上で出土した炭化材は、KAWA(1)-55(PLD-27276)が $2901 \pm 22\text{yrBP}$ 、KAWA(1)-56(PLD-27277)が $2930 \pm 20\text{yrBP}$ と、焼骨とそれほど変わらない値が示されている。

KAWA(1)-168(IAAA-160514)は第1号盛土遺構(M1)の土層観察ベルトEW-B2の6層(青県埋2016b: p.144)出土の破砕した焼獣骨である。6層は晩期4～5期(晩期中葉の新しい段階から後葉の古い段階)に相当している。測定値は $2355 \pm 22\text{yrBP}$ で、本遺跡の縄文時代に帰属する測定試料中最も新しく、晩期終末の年代を示し、堆積層の年代とは隔たりがある(本遺跡では晩期終末の遺物は出土していない)。同一遺構出土の焼骨と炭化材の測定値、または焼骨の年代値と出土土器から考えられる遺構の構築年代には多少のずれを伴うものもあるが、これほど大きな差が出たのは本試料のみである。

表1 川原平(1)遺跡放射性炭素年代測定結果(青森県埋蔵文化財調査センター 2017bより)

測定番号	試料名	採取場所	試料	炭素含有率(%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) (AMS測定)	$\delta^{13}\text{C}$ 補正あり	
						^{14}C 年代 (yrBP)	pMC (%)
IAAA-153220	KAWA(1)-160	ブロック11(P-2268脇)Ⅲ層	煨焼骨(大型陸獣・碎片)	0.1	-27.95 ± 0.18	2,897 ± 19	69.72 ± 0.17
IAAA-153221	KAWA(1)-161	SN-07 焼土層	煨焼骨(大型陸獣・中手/中足骨・碎片)	0.2	-23.67 ± 0.19	2,694 ± 19	71.50 ± 0.17
IAAA-153222	KAWA(1)-162	Sec7 Ⅲ-3層	煨焼骨(大型陸獣・大腿骨?・碎片)	0.4	-22.99 ± 0.17	2,906 ± 19	69.64 ± 0.17
IAAA-153223	KAWA(1)-163	Sec7 Ⅲ-2層	煨焼骨(シカ?・基節骨)	0.2	-22.47 ± 0.15	3,052 ± 19	68.38 ± 0.17
IAAA-160510	KAWA(1)-164	SN-58 1層	煨焼骨(獣骨・碎片)	0.3	-27.74 ± 0.20	2,848 ± 21	70.14 ± 0.19
IAAA-160511	KAWA(1)-165	SN-27 1層	煨焼骨(獣骨・碎片)	0.2	-27.66 ± 0.20	3,032 ± 20	68.55 ± 0.18
IAAA-160512	KAWA(1)-166	SN-61 2層	煨焼骨(獣骨・碎片)	0.2	-25.71 ± 0.21	2,626 ± 20	72.11 ± 0.18
IAAA-160513	KAWA(1)-167	SN-45 焼土直上	煨焼骨(獣骨・碎片)	0.1	-28.56 ± 0.18	2,950 ± 22	69.26 ± 0.20
IAAA-160514	KAWA(1)-168	M1 EW-B2 VH-35 6層	煨焼骨(獣骨・碎片)	0.1	-20.68 ± 0.20	2,355 ± 22	74.59 ± 0.21
IAAA-152344	KAWA(1)-121	ブロック11 (C-×)Ⅲ層	木炭	73	-28.90 ± 0.21	2,944 ± 21	69.32 ± 0.19
IAAA-153167	KAWA(1)-148	Ⅲ層(青森埋2016a 遺物図39-3)	土器外面付着 赤色漆	51	-27.30 ± 0.23	2,916 ± 19	69.56 ± 0.17
IAAA-150607	KAWA(1)-69	SN-58 周辺焼土	木炭	67	-23.76 ± 0.16	2,913 ± 22	69.58 ± 0.20
PLD-27276	KAWA(1)-55	SN-45 焼土直上	炭化材	62	-22.77 ± 0.18	2,901 ± 22	69.68 ± 0.19
PLD-27277	KAWA(1)-56	SN-45 焼土直上	炭化材	60	-20.96 ± 0.17	2,930 ± 20	69.43 ± 0.18

表2 川原平(1)遺跡における土器付着物(炭化物・漆)の年代

報告書記載の時期	測定試料数	最も古い ^{14}C 年代値(yrBP)	最も新しい ^{14}C 年代値(yrBP)	土器型式
後期7期4段階	10	3,075±23 (IAAA-160530)	2,970±20 (PLD-27295)	瘤付土器第Ⅲ段階
後期8期	7	3,080±19 (IAAA-130775)	2,908±20 (PLD-27299)	瘤付土器第Ⅳ段階
晩期1a期	10	2,981±18 (IAAA-130773)	2,911±20 (PLD-27303)	大洞B1式
晩期1b期	11	3,001±22 (IAAA-153146)	2,818±20 (IAAA-153149)	大洞B2式
晩期2期	10	3,085±21 (IAAA-153151)	2,875±30 (MTC-06393)	大洞BC式
晩期3期	7	2,901±21 (IAAA-153153)	2,771±19 (IAAA-153171)	大洞C1式
晩期4期	10	2,804±20 (IAAA-153172)	2,523±18 (IAAA-153173)	大洞C2式
晩期4～5期	7	2,728±22 (IAAA-152322)	2,470±20 (IAAA-153174)	大洞C2式(新)～同A式(古)
晩期5期	11	2,550±22 (IAAA-150876)	2,426±26 (IAAA-150864)	大洞A式



写真1 川原平(1)遺跡の煨焼骨測定試料 (KAWA(1)-161・左；出土状況、右；赤丸を測定に使用)

4. 他の縄文時代遺跡の分析例

(1) 谷地遺跡(宮城県蔵王町大字円田字谷地)[蔵王町教育委員会 2015: pp.51-54; 2021]

阿武隈川水系白石川支流の松川の段丘面上に立地する縄文時代中期前半の大木7b・8a式を主体とする遺跡で、竪穴住居・掘立建物・土坑等の遺構、遺物包含層から煨焼骨片の集中が検出された。同定可能なものはほとんどニホンジカとイノシシで、前者が特に多い。儀礼行為が想定されている。

測定試料は、土器型式から大木8a式期と推定される20号住居跡床面の煨焼骨の集中から、骨角・炭

化材各3点の合計6点である。測定は加速器分析研究所で、以下、同社の煨焼骨の前処理法は上記の川原平(1)遺跡と同じで、炭化材は通常のAAA処理である。

測定された ^{14}C 年代は、煨焼骨・角、炭化材各々が、誤差($\pm 1\sigma$)の範囲で一致する狭い範囲に収まり、双方の間でも重なる範囲が見られる(表3)。6点の年代値は東北地方南半部では縄文時代中期中葉大木8a期の事例におおむね一致し、この住居の出土土器と合致する。ただし、大木7b式期の測定例が乏しいため、不確かな面もある(早瀬 2010)。高温で石灰化した鹿角の炭酸塩でも、信頼できる年代が得られることが確認された。

表3 谷地遺跡放射性炭素年代測定結果(蔵王町教育委員会 2015, 2021より)

測定番号	試料名	採取場所	試料	炭素含有率(%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) (AMS測定)	$\delta^{13}\text{C}$ 補正あり	
						^{14}C 年代 (yrBP)	pMC (%)
IAAA-131645	No.1	SI20 竪穴住居 堆3層	煨焼骨 (ニホンジカ角)	0.1	-29.54 $\pm$ 0.59	4,422 $\pm$ 27	57.66 $\pm$ 0.20
IAAA-131646	No.2	SI20 竪穴住居 堆3層	煨焼骨 (ニホンジカ角)	0.2	-27.11 $\pm$ 0.53	4,442 $\pm$ 28	57.52 $\pm$ 0.20
IAAA-131647	No.3	SI20 竪穴住居 堆3層	煨焼骨(ニホンジカ/ イノシシ 下顎骨下部部)	0.3	-18.96 $\pm$ 0.84	4,406 $\pm$ 28	57.78 $\pm$ 0.21
IAAA-131648	No.4	SI20 竪穴住居 堆3層	炭化材	>60	-24.92 $\pm$ 0.18	4,389 $\pm$ 25	57.90 $\pm$ 0.19
IAAA-131649	No.5	SI20 竪穴住居 堆3層	炭化材	>60	-22.57 $\pm$ 0.18	4,371 $\pm$ 25	58.04 $\pm$ 0.18
IAAA-131650	No.6	SI20 竪穴住居 堆3層	炭化材	>60	-24.47 $\pm$ 0.22	4,410 $\pm$ 25	57.75 $\pm$ 0.19

(2) 下条 I 遺跡(長野県木曽郡大桑村字長野・伊奈川)[大桑村教育委員会 2016: pp.359–364]

木曽川支流の伊奈川右岸の段丘面に立地し、縄文時代中期から後期(特に前半)を主体とする。分析は加速器分析研究所。骨片集中遺構出土の2試料の年代(No.12-1, 12-2; 表4)は暦年較正すると、中期中葉から後葉頃に相当する(小林編 前掲; 小林 前掲)。この遺構は、縄文時代中期唐草文系土器を包含する層で検出されたので、これと整合する年代である。

土坑・配石遺構出土の5試料(炭化材2点を含む)は土器との共伴が明確でなく、遺跡の中心である中期から後期前半と見られていたが、測定結果(表4)は、すべて縄文時代後期後葉から晩期前葉頃の範囲に収まる(小林編 前掲; 小林 前掲)。炭化材の年代がやや古いのは古木効果かもしれない。この遺跡では晩期前葉の土器の出土はわずかで、予想外に新しい年代となった。この時期は専ら墓地であったゆえに土器が少ないのかもしれない。時期不明の骨片を土器の多い時期に単純に比定することへの警鐘となろう。本遺跡でも焼けた鹿角の年代測定試料としての有効性が確認された。

表4 下条 I 遺跡放射性炭素年代測定結果(大桑村教育委員会 2016より)

測定番号	試料名	採取場所	試料形態	炭素含有率(%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) (AMS測定)	$\delta^{13}\text{C}$ 補正あり	
						^{14}C 年代 (yrBP)	pMC (%)
IAAA-132657	No.1	8号土坑 フク土	炭化材	>70	-23.37 $\pm$ 0.32	2,996 $\pm$ 25	68.86 $\pm$ 0.22
IAAA-132658	No.2	44号配石 配石礫間	炭化材	>70	-24.46 $\pm$ 0.25	3,071 $\pm$ 27	68.23 $\pm$ 0.23
IAAA-140485	No.9-1	8号土坑 フク土	煨焼骨 (ニホンジカ角)	0.2	-16.43 $\pm$ 0.48	2,898 $\pm$ 25	69.71 $\pm$ 0.22
IAAA-140486	No.10-1	18号土坑 フク土一括	煨焼骨 (ヒト右側頭骨)	0.2	-20.87 $\pm$ 0.65	2,896 $\pm$ 26	69.73 $\pm$ 0.23
IAAA-140487	No.11-1	40号配石内	煨焼骨 (哺乳綱 四肢骨)	0.1	-22.80 $\pm$ 0.56	2,994 $\pm$ 26	68.88 $\pm$ 0.22
IAAA-140488	No.12-1	骨片集中遺構 一括	煨焼骨 (ヒト肩甲骨)	0.3	-20.52 $\pm$ 0.40	4,155 $\pm$ 25	59.61 $\pm$ 0.19
IAAA-140489	No.12-2	骨片集中遺構 一括	煨焼骨 (ニホンジカ角)	0.7	-22.83 $\pm$ 0.61	4,096 $\pm$ 26	60.05 $\pm$ 0.20

(3) 布尻遺跡(富山県富山市布尻)[富山県文化振興財団 2019: pp.567–582]

神通川右岸の河岸段丘上に立地し、縄文時代中期前葉から後葉を主体とする竪穴建物等、その上層から後期～晩期の集石遺構や敷石遺構が発掘された。焼骨は土坑SK1348を中心に、その埋土および

遺構上部の周辺包含層(Ⅱ層)で発見された。大部分の骨は白色化し、細片が多い。総重量1837gのうち、同定可能資料は約34%(208点、624g)で、ほとんどが人骨である。

年代測定は、新しい時代の火葬骨の可能性を検証するために行われた。試料は人骨と見られる煨焼骨片5点で、加速器分析研究所による測定。測定の結果、5点の試料は、縄文時代後期末葉から晩期中葉頃の年代値を示した(表5；小林編 2008；小林 2017)。やや年代幅があり、試料の実際の年代幅を示しているのか、堆積後の外来炭素の影響か、慎重に検討する必要がある、としている(p.569)。

表5 布尻遺跡放射性炭素年代測定結果（富山県文化振興財団 2019より）

測定番号	試料名	採取場所	試料	炭素含有率 (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) (AMS測定)	$\delta^{13}\text{C}$ 補正あり	
						^{14}C 年代 (yrBP)	pMC (%)
IAAA-140250	試料 1	A地区 SK1348 (X112Y51)	煨焼骨(ヒト)	0.2	-22.69 $\pm$ 0.35	2,943 $\pm$ 25	69.32 $\pm$ 0.22
IAAA-140251	試料 2	A地区 Ⅱ層 (X113Y51)	煨焼骨(ヒト)	0.2	-19.98 $\pm$ 0.36	2,978 $\pm$ 23	69.02 $\pm$ 0.20
IAAA-140252	試料 3	A地区 Ⅱ層 (X116Y56)	煨焼骨(ヒト)	0.2	-21.05 $\pm$ 0.32	2,814 $\pm$ 23	70.44 $\pm$ 0.21
IAAA-140253	試料 4	A地区 Ⅱ層 (X112Y51)	煨焼骨(ヒト)	0.2	-21.07 $\pm$ 0.30	3,023 $\pm$ 23	68.64 $\pm$ 0.20
IAAA-140254	試料 5	A地区 Ⅱ層 (X112Y51)	煨焼骨(ヒト)	0.1	-21.64 $\pm$ 0.37	3,014 $\pm$ 25	68.71 $\pm$ 0.22

5. 中世の火葬骨

より新しい時代の火葬骨も、同様に測定できる。以下、報告書等で確認できた事例を取り上げる。暦年についてはIntCal20 (Reimer et al. 2020)で再較正し、元の文献での解釈に変更が生じないことを確認した。

(1) 東土橋遺跡(福島県伊達市梁川町字東土橋)[郡山市文化学び振興公社・伊達市教育委員会 2013]

分析は加速器分析研究所。遺構の形態から中世の火葬墓の可能性が考えられた4号焼土遺構と5号焼土遺構出土の煨焼骨各1試料が測定された。結果は、それぞれ、 $474 \pm 21\text{yrBP}$ (IAAA-113351)、 $498 \pm 22\text{yrBP}$ (IAAA-113352)で、15世紀前半となり、予想と整合する。

(2) 今市遺跡(富山県富山市八幡)[富山市教育委員会 2013: pp.64–66]

分析は(株)パレオ・ラボで、同社の前処理法は基本的に加速器分析研究所と同じく、Lanting et al. (前掲)の方法である。SD02出土の煨焼骨(哺乳類)1試料が測定され、 $464 \pm 18\text{yrBP}$ (PLD-22829)の値が得られた。これは15世紀前半にあたり、土坑出土の平安時代前期の土器と齧齧があり、SD02の年代の決定は慎重を要する、とされた。

(3) 今渡遺跡(岐阜県可児市今渡字大清水)[岐阜県文化財保護センター 2014: pp.70–72]

パレオ・ラボによる分析。ST8火葬遺構出土の煨焼骨(人骨)1試料が測定され、 $503 \pm 18\text{yrBP}$ (PLD-24666)の値が得られ、15世紀前半に当たる。これはST3火葬墓に伴う15世紀後半の白瓷系陶器(p.18)、およびST9火葬墓埋土1層出土の脇之島期の白瓷系陶器小皿と遺構底面出土の壺または甕が古瀬戸後Ⅲ～Ⅳ期なので15世紀中頃と推定されること(p.21)と整合する。

(4) 宇波ヨシノヤ中世墓群(富山県氷見市宇波)[氷見市教育委員会 2014: pp.16–17]

パレオ・ラボによる分析。3基の円形組石遺構(SZ1～3)が楕円形に広がる小円礫群の下から検出され、SZ1とSZ3出土の釘以外、遺構内からの出土遺物はない(pp.5, 8, 9)。SZ3出土の煨焼骨(人骨)が測定され、 $680 \pm 20\text{yrBP}$ (PLD-26069)の値を得た。これは13世紀後葉から14世紀初頭および14世紀後半に相当する。報告書のまとめでは、「円礫層中から14世紀後半～15世紀前半頃の土師皿と珠洲焼壺の破片が出土している。人骨の年代に比してやや後出する感があるが、これらを考え合わせて14

世紀後半頃の年代を想定しておきたい」(p.20)としている。

(5) 欠下城跡(愛知県新城市矢部字欠下)[愛知県埋蔵文化財センター 2015: pp. 57, 60–63]

パレオ・ラボによる分析。08SK出土の煨焼骨(人骨と推定)で $844 \pm 17\text{yrBP}$ (PLD-27157)の値が得られ、これは12世紀後半～13世紀前半に当たる。また同遺構出土の炭化材2点は、 $837 \pm 18\text{yrBP}$ (PLD-26902-1)と $881 \pm 21\text{yrBP}$ (PLD-26903)で、それぞれ、12世紀後半～13世紀中頃と、11世紀中頃～13世紀初頭の年代を示した。08SKの共伴人工遺物は、12世紀後半～13世紀初頭頃とされており、測定結果とほぼ一致する。

(6) 洞第2古墳群(岐阜市洞地内)[岐阜県文化財保護センター 2020: pp.231–235]

パレオ・ラボによる分析。古墳付近で発掘された火葬施設4基中3基からの煨焼骨を測定。ST4の人骨は $506 \pm 19\text{BP}$ (PLD-30591)で15世紀前半、ST2の人骨は $428 \pm 19\text{yrBP}$ (PLD-30592)で15世紀中頃、ST1の人骨は $490 \pm 18\text{yrBP}$ (PLD-30593)で15世紀前半と、全て15世紀を示す。ST3の炭化材は、 $707 \pm 19\text{yrBP}$ (PLD-30595)で13世紀後半となり、骨の年代より顕著に古く、古木効果と考えられた。ST2では被熱した古瀬戸後期様式IV期新の古い段階の天目茶碗片が出土した(p.128)。

(7) 米山(2)遺跡(青森県青森市米山)[青森県教育委員会2020: p.161, 167–177]

パレオ・ラボによる分析。SK 171の1層出土の煨焼骨(ヒト?四肢骨破片)を測定し、 $519 \pm 18\text{yrBP}$ (PLD-36492)の年代を得た。これは15世紀前半で、推定時期の中世と整合する。

(8) 僧・貞慶火葬骨(奈良県生駒郡三郷町勢野東持 持聖院)[椋本ほか2015; Minami et al. 2019]

名古屋大学年代測定総合研究センターによる分析で、前処理はBalter et al. (2002)の方法による(次章(4)参照)。五輪塔下から発見された蔵骨器内の人骨が試料である。椋本ほか(2015)では、測定値の数値・測定番号の記載がないが、試料6点がグラフで800yrBP前後にまとまり、校正年代はAD1200年前後の範囲で、貞慶(AD1155～1213)の没年と 2σ の誤差範囲で一致した。Minami et al. (2019)では、白色の骨3点、黒色の骨3点、灰色の骨2点の計8点が分析され、白色の骨が 877 ± 30 (NUTA2-23654)、 875 ± 30 (NUTA2-23651)、 $890 \pm 30\text{yrBP}$ (NUTA2-23655)と先の6点より古くまとまり、その校正年代が貞慶の生存年代と重なる一方、黒色・灰色の骨は1点を除き、800yrBP前後の新しい年代値を示し、外来炭素の汚染があるとされる。しかし、上述のように、この年代でも貞慶の生存年代と重なる。椋本ほかで測定された骨がなぜ新しい年代を示したかは不明である。

6. 煨焼骨による ^{14}C 年代測定の問題点

(1) 骨の炭酸塩の性質

生存中の骨の炭酸塩はコラーゲンの場合と同様、一定の割合で入れ替わり、完全な入れ替わりに最大10～20年を要する。しがたって、測定試料にはその生物が死滅する前の10～20年分の炭素が混在すると見積もられる(Lanting et al. 前掲)。しかしこれによって生じる年代差は、通常の前処理と加速器測定によって生じる年代の誤差、さらに暦年校正で生じる年代幅と比べて全く問題とならない規模である。木片や炭化材の方が、古木効果のため、より大きな年代のずれを生じる場合がある。

(2) 炭素安定同位体比

骨コラーゲン中の炭素安定同位体比 $\delta^{13}\text{C}$ は、食物のそれを反映するので、食性分析に用いられる。骨コラーゲンは食事のタンパク質のみに由来し、水産物の常習的摂食によりリザーバー効果の影響を

受け、年代が古くなり得るが、骨の炭酸塩は主に炭水化物、脂肪、過剰なタンパク質に由来するので、水産物の摂食が特に多くなければ、リザーバー効果の影響は限定的とされる(Lanting et al. 前掲)。

しかし、一般に煨焼骨の炭酸塩の $\delta^{13}\text{C}$ 値は燃焼によって変化し、かつ変異が大きい現象が観察され、食性の指標には使えない。表1~4に示した縄文時代の各試料の $\delta^{13}\text{C}$ 値は加速器による測定なので、質量分析計による値のように正確ではないが、 -29.54 から -16.43‰ という、 C_3 植物から海棲生物と同等までの大きな変異幅を示す。いずれも内陸の遺跡である。特に、 C_3 植物が主食のニホンジカで、 -16.43 ± 0.48 (表4: IAAA-140485) という高い値が見られるが、原因は不明である。

(3) 煨焼骨の炭素の由来

Lanting らと異なり、Hüls et al. (2010)、Van Strydonck et al. (2010)、Zazzo et al. (2012)、Snoeck et al. (2014, 2016) は、実験に基づき、煨焼骨から抽出される炭素において、アパタイトに元々含まれていた炭素はわずかと考える。燃焼によってアパタイト中の炭酸塩は減少し、かつアパタイトの炭酸塩と燃焼ガス中の CO_2 の間で炭素の交換が起き、その供給源は主に骨コラーゲンと燃料と考えられる。コラーゲン以外の遺体の各部(肉皮等)は燃焼によって早い段階で失われ、主な供給源とならない可能性があり、大気からの CO_2 の供給は、あってもごくわずかと考えられる(Soneck et al. 2014: pp.591,595,597-598)。燃料の木が古ければ、古木効果により年代が古くなる可能性がある。燃料の寄与は、煨焼骨の $\delta^{13}\text{C}$ が C_3 植物に近い低い値を示す場合が多いことを根拠とする。よって、 $\delta^{13}\text{C}$ 値の高い試料の方が、元の骨の年代をより反映するかもしれない、とされる(Soneck et al. 2014: p.599)。しかし、本稿で取り上げた縄文時代の測定例では、全体として試料数が少なく、かつ $\delta^{13}\text{C}$ 値が質量分析計による正確な値ではないものの、 $\delta^{13}\text{C}$ 値と年代の新旧が関係しているかは明確でない。コラーゲン由来の炭素が多い場合、骨の主な食性によっては、海洋リザーバー効果により、古い年代が出ることもあり得ることになる。その場合、炭素・窒素安定同位体比で海洋リザーバー効果の存在を検討できないので、注意を要する。ただし、木片・炭化材試料、骨コラーゲン試料に比べ、他の供給源の炭素と混合することにより、古木効果・海洋リザーバー効果は希釈されるかもしれない。

燃焼中の炭素の交換は、燃料、環境条件(風など)、遺体の火の中での位置によって変化し、 $\delta^{13}\text{C}$ 値の大きなバラツキの原因と考えられている。実際に同じ遺体の骨でも、火葬後に部分により異なる $\delta^{13}\text{C}$ 値を示す場合がある(Snoeck et al. 2014: p.599; 2016: p.38)。

(4) 前処理法

前述のLanting et al. (前掲)の方法が、多くのラボで採用されているが、その改訂版として、次亜塩素酸ナトリウムの代わりに塩酸で処理を行う方法、あるいは酢酸処理後に塩酸で処理する方法もある(Agerskov Rose et al. 2019)。椋本ほか(前掲)とMinami et al. (前掲)が採用したBalter et al. (2002)の方法は、試料と0.1Mの酢酸を真空中で反応させることにより、1時間程度の酢酸処理で2次的な炭酸塩を除去している。また、煨焼骨から抽出した二酸化炭素は、硫黄による汚染がグラファイト化を妨げる場合があり、多くのラボで、サルフィックス処理等により、その除去を行う(Zasso et al. 2013)。必要な煨焼骨の量は、Lanting らの方法で1.5~2g、Balterらの方法で約1gである。これは通常の有機質の炭化物試料が、状態が良ければ炭化米1粒の量(7~8mg)で足りるのに対し、1円玉(重量1g)1~2枚分と多い。炭素含有率が表1・3~5に示されるように0.1~0.3%程度で、通常の炭化物(多くが60%以上)より、ずっと少ないためである。

(5) 信頼性

Lanting et al.(前掲)は、年代が既知の火葬骨(非校正で約1.1万年BPまで。多くは2000~4000年BP)を多数測定し、測定結果がよく一致することを確認した。前処理法が異なるラボを含む複数のラボ間での比較測定でも、結果が概ね一致することが確認されている(Naysmith et al. 2007; Agerskov Rose et al.前掲)。Abri Pataud岩陰(フランス)では、上部旧石器時代初頭のオーリネシアン期の燐焼骨が、期待年代もしくはそれに非常に近い年代(非校正で3.2~3.35万年BP)を示した(Zazzo et al. 2013)。縄文時代中期の谷地遺跡では、共伴土器型式との年代の一致が確認されたが、布疋遺跡のように測定値に小規模なバラツキが見られる場合、これが実際の年代差なのか、燃焼中に交換された炭素の供給源の違いなのか、堆積後の続成作用(外来炭素の侵入)の影響かは判断が難しい。川原平(1)遺跡では、実際より新しいと思われる例(IAAA-160514)があり、続成作用か何らかの汚染の影響が疑われる。

肉眼観察で白く石灰化した骨を年代測定試料として選択するのは判断が主観的なもので、同時にX線回折、赤外線分光分析等でアパタイトの結晶化の程度、高温による有機質の喪失度等を確認している場合がある(Olsen et al. 2008, 2011; Quarta et al. 2013; Minami et al. 前掲)。しかし、こうした分析は、年代測定試料を選ぶための予備検査として位置づけられた場合でも、実際には肉眼で燐焼骨と認定した試料について、それらの結晶化の度合い等を確認する形で行われており、その数値によって、年代測定試料を選んでいるわけではない。最終的に得られた年代は期待される年代と合い、また肉眼同定した燐焼骨の間の結晶化指数等の差は、年代測定値の差に表れているとは言えない。

Minami et al.(前掲)は、堆積後の土壌による汚染の指標として、燐焼骨中のバリウム(Ba)の濃度を測定した。貞慶火葬骨の分析ではBa濃度の高い灰色・黒色の骨の年代が、白色の骨より若くなる傾向が認められたものの、顕著な差ではなかった。ここでも、まず色調で分類した骨のBa濃度の高低を測定しているのであって、Ba濃度で測定可能な骨を選別しているわけではない。したがって、燐焼骨の肉眼による経験的同定は基本的に有効と言える。外観で燐焼骨か判断に迷う試料については、分析を避けるか、上記のような分析で結晶化の程度を確認するのが良いだろう。

7. まとめ

火葬骨など、600℃以上の高温で焼かれ、白く石灰化した骨(燐焼骨)においても、信頼できる¹⁴C年代が得られることが、国内外の分析事例の検討から確認された。特に川原平(1)遺跡においては、同一遺構出土の炭化物の測定例や共伴土器、前後の層の測定例・土器などとの細かい突き合わせが可能で、それにより、燐焼骨の¹⁴C年代測定の基本的有効性が確認されると共に、何らかの原因で新しい年代を示す試料1点の存在も明らかになった。このように、得られた燐焼骨の年代の信頼性は、同じ遺体、一括出土、あるいは一連の層・遺構出土の複数の骨試料を測定すること、測定試料の出土した考古学的脈絡(地層・遺構・共伴遺物)との整合性を検討することによって確認できる。これは、通常の有機質試料の年代測定の場合と同様である。

¹⁴C年代測定法は、青森県など、古代以降においても文字資料の少ない地域において、重要な年代決定手段となる。焼骨は、一般に骨が保存されにくい内陸の遺跡でも遺存しやすく、特に火葬骨や竪穴住居跡のカマド堆積土中の焼骨は、良い測定対象となる。一般に火葬墓に年代が既知の副葬品がある場合でも、副葬以前の伝世期間による時間差があり得るし、まして遺構埋土中に混入した人工遺物は、同時代のものである保証はない。燐焼骨の¹⁴C年代測定は、考古学の研究において有用な年代情報を十分な解像度で提供でき、その活用が期待される。

謝辞

株式会社パレオ・ラボの中村賢太郎氏及び株式会社加速器分析研究所の早瀬亮介氏からは、それぞれのラボの測定事例について、株式会社アルカの角張憲子氏から同社が考古資料の分析を担当した下条 I 遺跡、蔵王町教育委員会鈴木雅氏からは谷地遺跡についてご教示をいただいた。記して感謝の意を表する。

文献

- 愛知県埋蔵文化財センター 2015『欠下城跡』愛知県埋蔵文化財センター調査報告書192
 青森県教育委員会 2016a『川原平(1)遺跡Ⅱ』青森県埋蔵文化財調査報告書564
 青森県教育委員会 2016b『川原平(1)遺跡Ⅲ』青森県埋蔵文化財調査報告書565
 青森県教育委員会 2016c『川原平(4)遺跡Ⅳ』青森県埋蔵文化財調査報告書566
 青森県教育委員会 2017a『川原平(1)遺跡Ⅴ』青森県埋蔵文化財調査報告書577
 青森県教育委員会 2017b『川原平(1)遺跡Ⅷ』青森県埋蔵文化財調査報告書580
 青森県教育委員会 2020『米山(2)遺跡Ⅷ』青森県埋蔵文化財調査報告書613
 大桑村教育委員会 2016『下条 I 遺跡』
 岡本洋 2018「縄文時代後期末から晩期の放射性炭素年代測定結果—川原平(1)遺跡の土器付着物を中心に—」『青森県埋蔵文化財調査センター研究紀要』23: 13–24
 小林謙一 2017『縄文時代の実年代—土器型式編年と炭素14年代—』同成社
 小林達雄編 2008『総覧縄文土器』総覧縄文土器刊行委員会, アム・プロモーション
 岐阜県文化財保護センター 2014『今渡遺跡』岐阜県文化財保護センター調査報告書130
 岐阜県文化財保護センター 2020『洞第2古墳群』岐阜県文化財保護センター調査報告書143
 郡山市文化学び振興公社文化財調査研究センター・伊達市教育委員会 2013『東土橋遺跡：第2次・第3次発掘調査報告書』伊達市埋蔵文化財調査報告書16
 蔵王町教育委員会 2015『蔵王町内遺跡発掘調査報告書 2』蔵王町文化財調査報告書20
 蔵王町教育委員会 2021『谷地遺跡』蔵王町文化財調査報告書26
 富山県文化振興財団 2019『布尻遺跡発掘調査報告』富山県文化振興財団埋蔵文化財発掘調査報告76
 富山県教育委員会 2013『富山県今市遺跡発掘調査報告書』富山県埋蔵文化財調査報告54
 早瀬亮介 2010「東北地方縄文時代の¹⁴C年代—南半部の事例集成を中心に—」平成22年度日本学術振興会科学研費補助金・基盤研究(B)公開シンポジウム予稿集『河川流域の縄紋景観』：79–90
 氷見市教育委員会 2014『宇波ヨシノヤ中世墓群』氷見市埋蔵文化財調査報告64
 棕本ひかり・南雅代・中村俊夫 2015「火葬骨の炭酸ヒドロキシアパタイトを用いた¹⁴C年代測定の試み」『名古屋大学加速器質量分析計業績報告書』5 XXVI：596–101
 山田しょう・早瀬亮介・小原圭一・鈴木雅・百瀬忠幸 2015「焼骨の放射性炭素年代測定の精度—縄文時代の煨焼した獣骨・人骨の分析—」『日本文化財科学会第32回大会研究発表要旨』：130–131
 Agerskov Rose, H. et al. 2019 Radiocarbon dating cremated bone: a case study comparing laboratory methods. *Radiocarbon* 61(5): 1581–1591.
 Balter, V. et al. 2002 Evidence of physico-chemical and isotopic modifications in archaeological bones during controlled acid etching. *Archaeometry* 44(3): 329–336.
 Hüls, C. M. et al. 2010 Experimental study on the origin of cremated bone apatite carbon. *Radiocarbon* 52(2-3): 587–599.
 Lanting, J. N. et al. 2001 Dating of cremated bones. *Radiocarbon* 43(2A): 249–254.
 Minami, M. et al. 2019 Effect of crystallinity of apatite in cremated bone on carbon exchanges during burial and reliability of radiocarbon dating. *Radiocarbon* 61(6): 1823–1834.
 Naysmith, P. et al. 2007 A cremated bone intercomparison study. *Radiocarbon* 49(2): 403–408.
 Olsen, J. et al. 2008 Characterisation and blind testing of radiocarbon dating of cremated bone. *Journal of Archaeological Science* 35(3): 791–800.
 Olsen, J. et al. 2011 Chronology of the Danish Bronze Age based on ¹⁴C dating of cremated bone remains. *Radiocarbon* 53(2): 261–275.
 Quarta, G. et al. 2013 A combined PIXE-PIGE approach for the assessment of the diagenetic state of cremated bones submitted to AMS radiocarbon dating. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 294: 221–225.
 Reimer, P. J. et al. 2020 The IntCal20 Northern Hemisphere atmospheric radiocarbon calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon* 62(4): 725–757.
 Snoeck, C. et al. 2014 Carbon exchanges between bone apatite and fuels during cremation: impact on radiocarbon dates. *Radiocarbon* 56(2): 591–602.
 Snoeck, C. et al. 2016 Impact of heating conditions on the carbon and oxygen isotope composition of calcined bone. *Journal of Archaeological Science* 65: 32–43.
 Van Strydonck, M. et al. 2010 The carbon origin of structural carbonate in bone apatite of cremated bones. *Radiocarbon* 52(2-3): 578–586.
 Zazzo, A. et al. 2012 Radiocarbon dating of calcined bones: insights from combustion experiments under natural conditions. *Radiocarbon* 54(3-4): 855–866.
 Zazzo, A. et al. 2013 Can we use calcined bones for ¹⁴C dating the Paleolithic? *Radiocarbon* 55(2-3): 1409–1421.