

アミノ酸組成ならびに ^{14}C 年代に関する同一古人骨の部位による比較
Comparison of amino acid compositions and ^{14}C ages of various skeletal sites
in ancient human individuals

坂田 健^{1*}・南 雅代²・中村俊夫²・長岡朋人³・平田和明³

Ken SAKATA^{1*}, Masayo MINAMI²,

Toshio NAKAMURA², Tomohito NAGAOKA³ and Kazuaki HIRATA³

¹ Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Nagoya 464-8601, Japan

² Center of Chronological Research, Nagoya University, Nagoya 464-8602, Japan

³ St. Marianna University School of Medicine, Kanagawa 216-8511, Japan

*Corresponding author. E-mail: Sakata.ken@d.mbox.nagoya-u.ac.jp

Abstract

In measuring radiocarbon ages, carbon and nitrogen stable isotope ratios of fossil bone samples, only one section in all skeletons is generally used as an individual. In order to investigate on whether we could really obtain the representative value by analyzing only one section of bone or not, we compared gelatins extracted several skeleton sections in the same individual of amino acid compositions and radiocarbon ages. The samples used were fossil human bones of three people excavated from the Yuigahama-minami archaeological site, Kamakura, Japan. The C/N ratios of these bones were 3.1-3.4 and their gelatin yields were more than 0.7 wt% in almost bone sections. A previous study showed that all bone sections have roughly the same $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values although vertebrae tend to have about 1‰ higher values than the others in both of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$. The amino acid compositions of the bone sections of the Kamakura individuals have been studied by gas chromatography to investigate the cause of 1‰ higher values in vertebrae. The experimental data show that bone gelatins have essentially the same amino acid composition as in modern bone gelatin. The important thing is that different bone sections showed almost the same amino acid compositions. This similarity suggests that the fractionation of stable isotope ratios between different bone sections in an individual could be caused not by extraneous contaminants and diagenetic alteration during burial but likely by metabolism before death. This study suggests the possibility that spines reflect any information accumulated in shorter period prior to death than other skeletal sections, as with skins and hairs. Furthermore several bone sections show the same radiocarbon ages within errors. In other words, any bone section can be used for ^{14}C dating. A measured result of one skeleton section could be adopted as a representative value of whole individual under current technical level.

Keywords: Fossil bone; Amino acid; $\delta^{13}\text{C}$; $\delta^{15}\text{N}$; ^{14}C age

キーワード: 化石骨; アミノ酸組成; $\delta^{13}\text{C}$; $\delta^{15}\text{N}$; 放射性炭素年代

1. はじめに

骨ゼラチンは化石骨の炭素・窒素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$) を用いた食性解析や、放射性炭素 (^{14}C) 年代測定に利用されている。その際、一般的には全身骨格の内の一部位のみが測定や解析に用いられるが、それぞれの骨部位は異なる構造 (サイズ、厚さ、密度等) を持つため、代謝体系、続成作用を受ける程度が異なり、骨部位によって異なる測定値を示す可能性が考えられる。

実際に、3体の古人骨に対し、同一個体の複数の骨部位の $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ が測定された [1]。その結果、大部分の骨部位はほぼ誤差範囲で一致したが、内2個体で椎骨の値が他部位よりも約1.0‰高い結果が得られた (Fig. 1)。この2個体はいずれも変形性脊椎症を患っていたことが骨形態学の見地から確認されており、病歴が原因で生前から $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ が異なっていた可能性が考えられる。しかし、埋没中に外界から受けた続成作用の程度が骨部位で異なり、骨ゼラチンの変質や汚染が原因で $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ が異なった可能性も否定できない。

本研究では、なぜ椎骨とその他の骨部位で $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ 値に相違が生じたのかを詳細に検討するため、骨部位間のアミノ酸組成を比較すると共に、限外ろ過法を用いて高分子骨ゼラチンのみを抽出し、未ろ過の骨ゼラチンと高分子ゼラチンに対して骨部位間の詳細な ^{14}C 年代測定を行った。

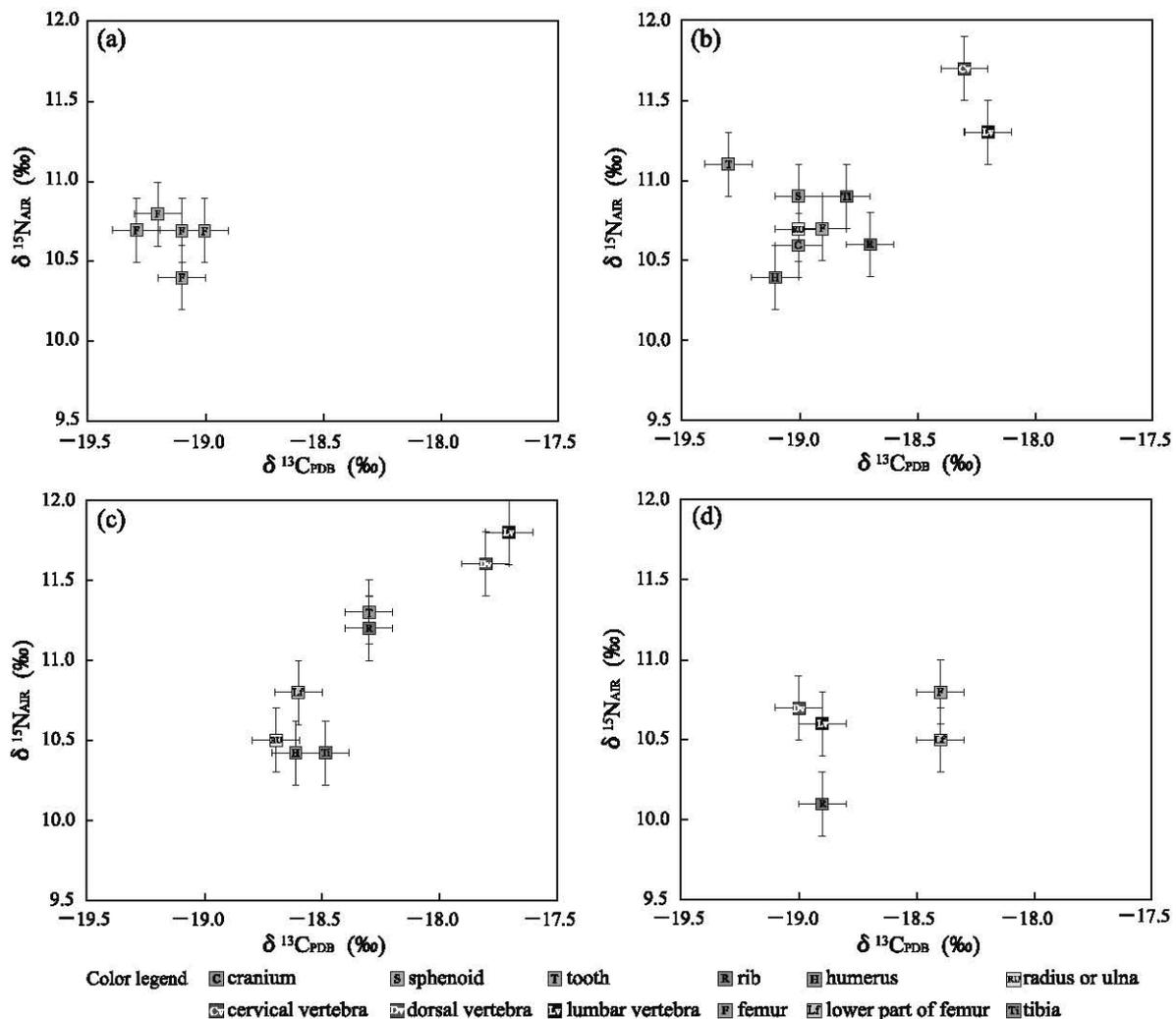


Figure 1. Stable carbon and nitrogen isotope compositions of gelatins extracted from each skeleton section: (a) central femur of YM121A. (b) 10 bone sections of YM121A. (c) 8 bone sections of YM5001, and (d) 5 bone sections of YM5654. This data was modified from Takigami et al. (2008) about $\delta^{15}\text{N}$ values.

図 1. 各骨部位から抽出したゼラチンの炭素・窒素安定同位体比
引用元は瀧上ほか (2008) だが $\delta^{15}\text{N}$ 値に関してはその後再測定が行われ修正してある。

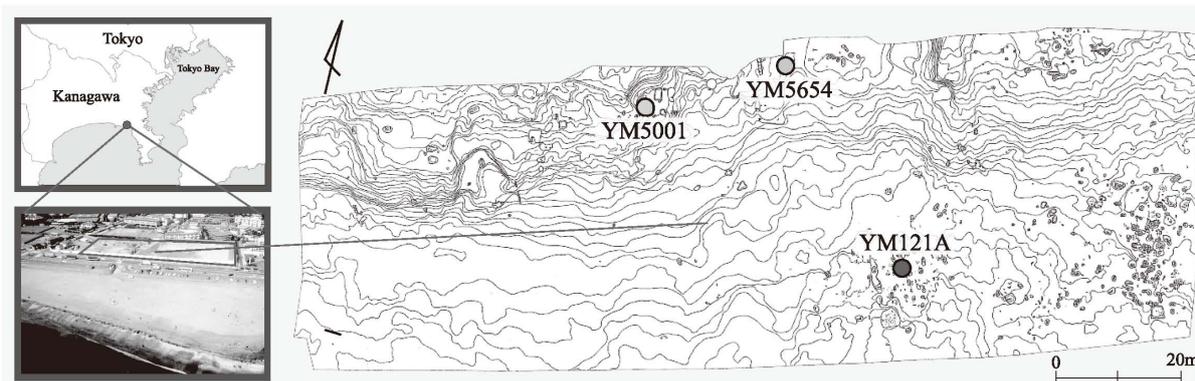


Figure 2. Location map of the Yuigahama-minami archaeological site, Kamakura, Japan. Excavated points of three individuals are also shown.

図2. 試料発掘地点 (由比ヶ浜南遺跡)

2. 試料と実験方法

2.1. 試料

試料は、瀧上ほか (2008) [1] で使用されたものと同じ、由比ヶ浜南遺跡から出土した単体埋葬の人骨3体を用いた (Fig. 2)。3体の試料番号はそれぞれYM121A (女性、45-54歳)、YM5001 (男性、30-40歳)、YM5654 (女性、40-50歳) である。骨形態学の見地からYM121AとYM5001では変形性脊椎症を患っていた痕跡が報告され、YM5654では報告されていない [2]。使用した部位は、頭蓋骨、蝶形骨、歯、肋骨、上腕骨、尺骨または橈骨、頸椎、胸椎、腰椎、大腿骨、大腿骨下部、脛骨である (詳細はFig. 3, Table 1を参照)。大部分が既にゼラチン抽出された状態で保存されていた。ゼラチン収率はほとんどの骨部位で0.7wt%を上回り、C/N比は3.1-3.4に収まると報告されている [1]。また、比較対象として用いた現生試料にはSigma®社製のウシアキレス腱コラーゲンを使用した。

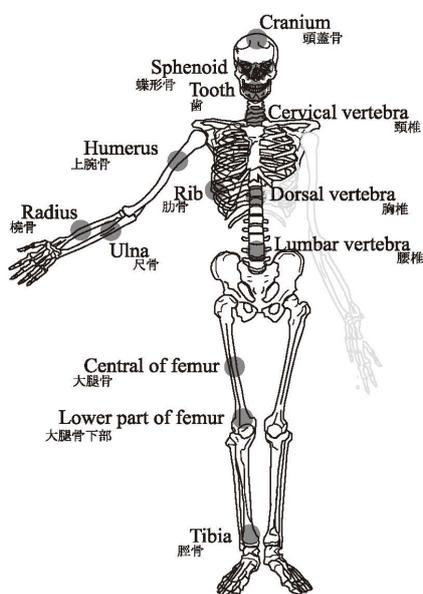


Figure 3. Skeletal sites used for analysis.

図3. 骨部位の名称と位置

Table 1. Bone samples used for experiments. ○ expresses used and - expresses not used.

Bone section	Performed experiments and individual numbers						
	Amino acid compositions			Radiocarbon ages		Ultra filtration	
	YM121A	YM5001	YM5654	YM5001	YM5654	YM5001	YM5654
Cranium	○	-	-	-	-	-	-
Sphenoid	○	-	-	-	○	-	-
Tooth	○	○	-	○	-	○	-
Rib	○	○	○	○	○	-	-
Humerus	○	○	-	○	-	○	-
Radius or Ulna	○	○	-	○	-	○	-
Cervical vertebra	-	-	-	-	-	-	-
Dorsal vertebra	-	○	○	○	○	○	○
Lumber vertebra	○	○	○	○	○	○	○
Central part of femur	○	○	○	○	-	○	○
Lower part of femur	-	○	○	○	○	○	○
Tibia	○	○	-	○	-	○	-

表1. 各測定、実験に使用された骨部位

○は測定された部位、-は試料の未入手またはゼラチンの残量が少ないため測定していない部位

2.2. 骨ゼラチン抽出

骨試料は表面の汚れを除去し超純水、NaOHによって繰り返し超音波洗浄した後、粉碎し、セルロースチューブを用いて0.6M HCl中で脱灰を行なった。セルロースチューブ内の脱灰成分をガラス管中の超純水に移した後80°Cで24時間加熱し、ゼラチンを抽出した。抽出されたゼラチン溶液は凍結乾燥し、各実験に使用された。

抽出したゼラチンの一部は、VivaspinTM6, 30kDMWCO (molecular weight cut off)を用いて限外ろ過を行った。約50mgのゼラチンを超純水5mlに溶解し、ビバスピンをを用いて上液が1ml程度まで減少するまで3000r.p.m.で遠心分離した(2.0–2.5 h)。ビバスピンの洗浄方法は主としてBronk Ramsey et al. (2004) [3] の方法に基づいて行った。

2.3. アミノ酸分析

約1mgのゼラチンをバイアルに取り、6MHClで80°C、12時間かけて加水分解し、得られた溶液を乾燥させる。残渣は5mlの超純水に溶解し、遊離アミノ酸分析キットEZ:faast (phenomenex®)を使用して誘導体化した後、GC-FIDに導入した。使用したGC解析条件は以下の通りである。機器：GC-17a var.2、解析ソフトウェア：Class GC10、キャリアーガス：ヘリウム、カラム：Zebron-AAA GC column (SEG; 10m × 0.25 mm id)、温度条件：初期温度60°Cから320°Cまで15°C/mで上昇後10分間320°Cを保持。

2.4. $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ 分析と ^{14}C 年代測定

約7mgのゼラチンを酸化銅、還元銅、銀線、と共に石英管に真空封管して850°Cに加熱し、生じた気体を真空ラインを用いてN₂とCO₂に精製した。N₂は液体窒素で冷却した線状モレキュラーシーブスにトラップさせた。炭素・窒素安定同位体比の測定は気体用質量分析計 (MAT-252) を用いて行った。

CO₂の一部は鉄触媒と水素と共に石英管に封管し650°Cに加熱してグラファイトを生成して放射性炭素年代測定に用いた。年代測定には名古屋大学年代測定総合研究センターのタンデム加速器質量分析計 (High Voltage Engineering Europe Model 4130-AMS) を使用した。

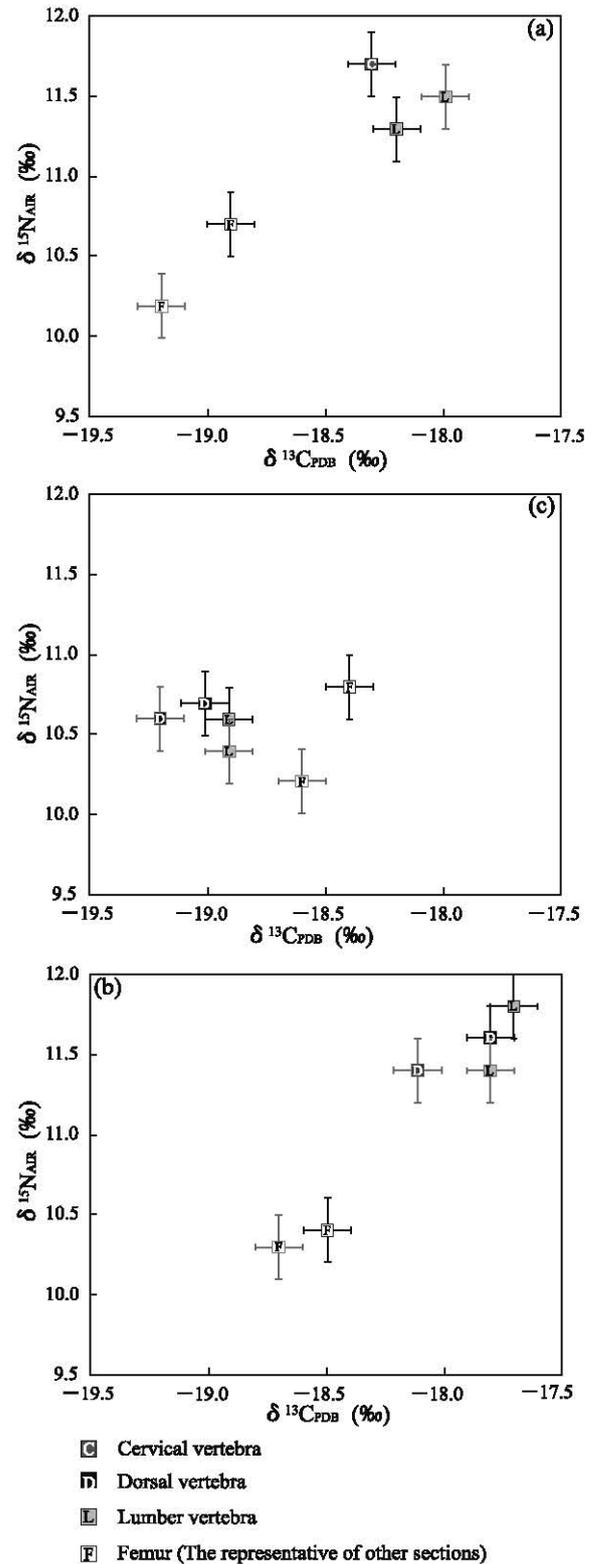


Figure 4. Repeatability of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values. Plots with black error bar are from Takigami et al. (2008) mod. Plots with gray error bar are data measured in this study. (a) YM121A. (b) YM5001. (c) YM5654.

図4. 炭素・窒素安定同位体比の再現性テスト
 黒色のエラーバーが付いた点は先行研究[2]の値。灰色のエラーバーが付いた点は本研究の値。
 (a) YM121A. (b) YM5001. (c) YM5654

3. 測定と結果

3.1. $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ 値の再測定

なぜYM121AとYM5001の椎骨で他部位と約1%の相違が $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ 値に存在したのかを考える上で、まずこの相違の原因が測定ミスや試料処理にはないことを確認するため、 $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ 値の再測定を行った。実験は椎骨以外の部位の代表として大腿骨を用い、ゼラチンの抽出から再度行われた。

本研究で得た $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ 値は先行研究の値と完全には一致しないものの、同部位内にみられるばらつきを考慮すれば、各部位の値に再現性が確認できる (Fig. 4)。YM121AとYM5001では椎骨の値が大腿骨よりも炭素窒素共に1%程度高く、YM5654にその現象は見られない。つまり、問題となった1%の相違は発掘後の測定過程で偶発的に生じたものではなく、生前か埋没後の時点に生じたと考えることができる。

3.2. アミノ酸組成分析

問題となった約1%の相違が埋没中に受けた外的影響に原因があるのかを確かめるために、各骨部位のアミノ酸組成を比較した。アミノ酸組成分析のねらいは、骨ゼラチンの保存性を評価し、汚染や分解の程度が骨部位（特に椎骨）によって異なるかを調べることにある。

人骨のゼラチンを構成するアミノ酸全22種類の内、本研究で検出できたのは15種類だった。15種類の内、リシン、チロシン、ヒスチジン、イソロイシン、バリンはスタンダードの測定結果から正確な定量値が算出できていないと判断しデータに加えていない。よって、本研究では10種類のアミノ酸をデータとしてまとめた。この10種類のアミノ酸が骨ゼラチンの主要構成成分であるType Iコラーゲンに占める割合は77.8%である。

Fig. 5に示したクロマトグラムは古人骨ゼラチンとウシのアキレス腱コラーゲンのアミノ酸を測定した結果である。両者のクロマトグラムの類似は、共にType Iコラーゲンが主構成物であることに起因するが、考古試料のゼラチン保存状態が良好であることもまた意味している。

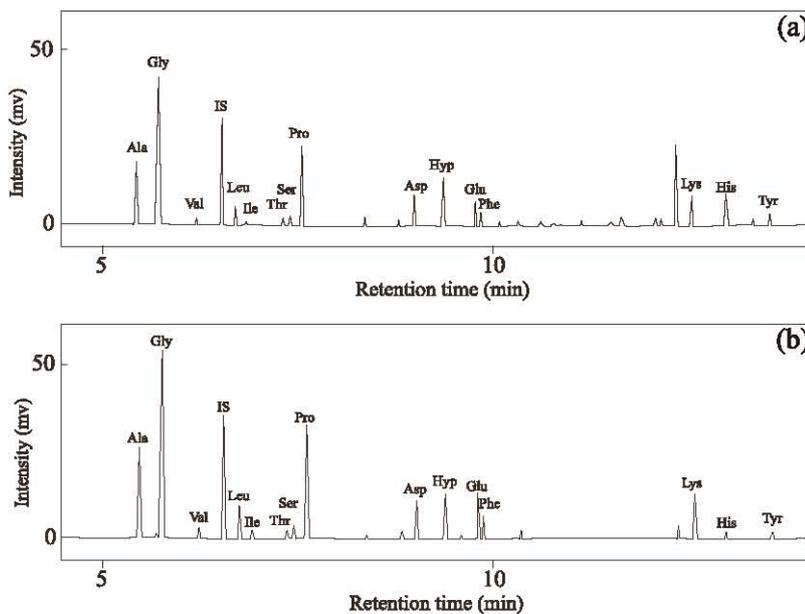


Figure 5. Gas chromatograms of amino acids of (a) archaeological bone, central part of femur in YM121A and (b) modern sample, bovine tendon.

図5. アミノ酸のガスクロマトグラム

(a) 古人骨：YM121Aの大腿骨 (b) 現生試料：ウシアキレス腱コラーゲン

Fig. 6 に各骨部位のアミノ酸合計量 ($\mu\text{mol}/\text{mg}$) を、Fig. 7 に各部位の合計量に占める各アミノ酸の相対量 (mol%) を示した。合計量 (絶対量) は相対量に比べて、部位間で比較した際のばらつきが大きい。全体の傾向から読み取ると、本来の合計量は各部位で 6–7 $\mu\text{mol}/\text{mg}$ 程度と推測できる。部位内での比較においても、合計量のばらつきが生じているが、相対量で組成を表示すると一致がよくなるので、合計量のばらつきは不均質性が原因というよりも測定誤差による見かけ状のものだと考えられる。そこで、ここでは相対量 (mol%) に重点をおいてゼラチンの保存性を評価する。

現生骨試料のアミノ酸組成は、グリシンが 1/3 を占め、次いでプロリン、アラニンを多く含み、ヒドロキシプロリンという骨ゼラチンに特有のアミノ酸が存在するという特徴を示す。測定した古人骨 3 個体、全ての骨部位にこの特徴が共通して確認でき、本試料のゼラチンの保存状態が良好なことがわかった。考古試料と現生試料との組成を比較してもよく一致している。この結果は、コラーゲンの保存状態の指標として用いられる C/N 比とコラーゲン収率が、椎骨も含めた全骨部位において良好であった結果と一致する [1]。

骨部位間のアミノ酸組成は完全には一致しないものの、測定誤差や骨部位内の不均質性に起因する同部位内でのばらつきを考慮すれば、ほぼ同じ組成を持つと判断できる。他部位と異なる $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ を示した YM121A と YM5001 の椎骨にも、アミノ酸組成に特異な点は見られなかった。つまり $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ 値の相違はゼラチンのアミノ酸組成が原因ではない。この結果から、埋没中に生じたゼラチンの変質、すなわち続成作用が $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ に影響を与えたとは考えにくく、 $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ の相違は、代謝系の違いによる結果であり、生前から生じていた可能性が高いと考えられる。

ちなみに、仮に絶対量のばらつきがゼラチンの保存性を反映していたとしても、相対量の一致からアミノ酸の喪失はどの種類でも同じ比率で進行していることになり、個々のアミノ酸が持つ安定同位体比がバルクの安定同位体比に影響したとは考えられない。また、椎骨の合計量に他部位との顕著な違いが見られないことから保存性と安定同位体比の関連はみられない。誤差の中に椎骨に生じた絶対量の相違が隠れてしまった可能性も考えられるが、YM121A の頭蓋骨の合計量は特に低い値を示しているため (あるいは YM121A の上腕骨は特に高い値を示す)、合計量と $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ 値の議論とは関係がないことがわかる。

3.3. 限外ろ過と ^{14}C 年代、 $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ 値

YM121A の各部位に対する年代測定は、瀧上ほか 2008 で報告されており、誤差範囲内で年代が一致することがわかっている。本研究では残りの 2 体に対する年代測定を行うと共に、限外ろ過を行った場合の年代値を求めた。

骨部位間の比較では、未ろ過のゼラチンも限外ろ過によって得た高分子ゼラチンも、各骨部位の年代は誤差範囲で一致した (Fig. 8)。つまり ^{14}C 年代測定にどの部位を用いても同じ結果が得られることがわかる。ただし一般的に歯は死んだ時点ではなく幼少期の年代を示すといわれており、本試料の YM5001 の歯においても骨に比べてやや古い年代が示された。これは骨の代謝が一生行われるのに対し、歯は永久歯に生え変わった時点で代謝が止まったとみなすことができるためだと考えられている。

次に限外ろ過前後に着目すると、高分子ゼラチンは未ろ過の骨ゼラチンに比べて ^{14}C 年代が 10–30 年程度若くなる傾向が見られた (Fig. 8)。この結果は、限外ろ過によって外来炭素が骨ゼラチンから除去されたことを示唆している。アミノ酸組成、C/N 比、コラーゲン収率からはほとんどゼラチンの変質、外来炭素による汚染は読み取れなかったが、ここで骨ゼラチン中にはわずかに外来炭素が残存し、変質・分解が生じていた可能性が示された。一方で、限外ろ過後に極端に異なった年代を示す部位が無いことから、この結果は、外的影響が骨の各部位に同程度の強さで

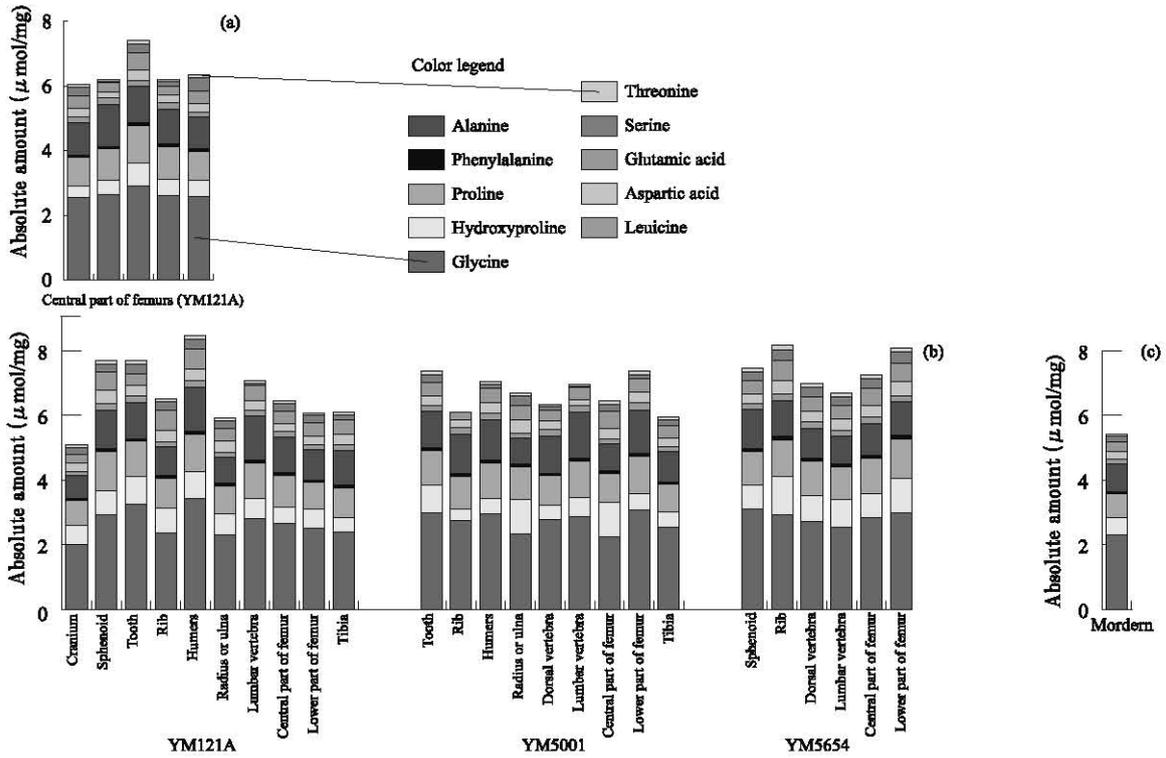


Figure 6. Amino acid compositions represented as micromoles of amino acids per milligram dry weight of gelatin (Absolute amount). (a) One section in central femur of YM121A. (b) Each section in archaeological sample, YM121A, YM5001 and YM5654. (c) Bovine tendon gelatin representing modern sample.

図6. 各骨部位のアミノ酸組成 ($\mu\text{mol}/\text{乾燥ゼラチンmg}$)

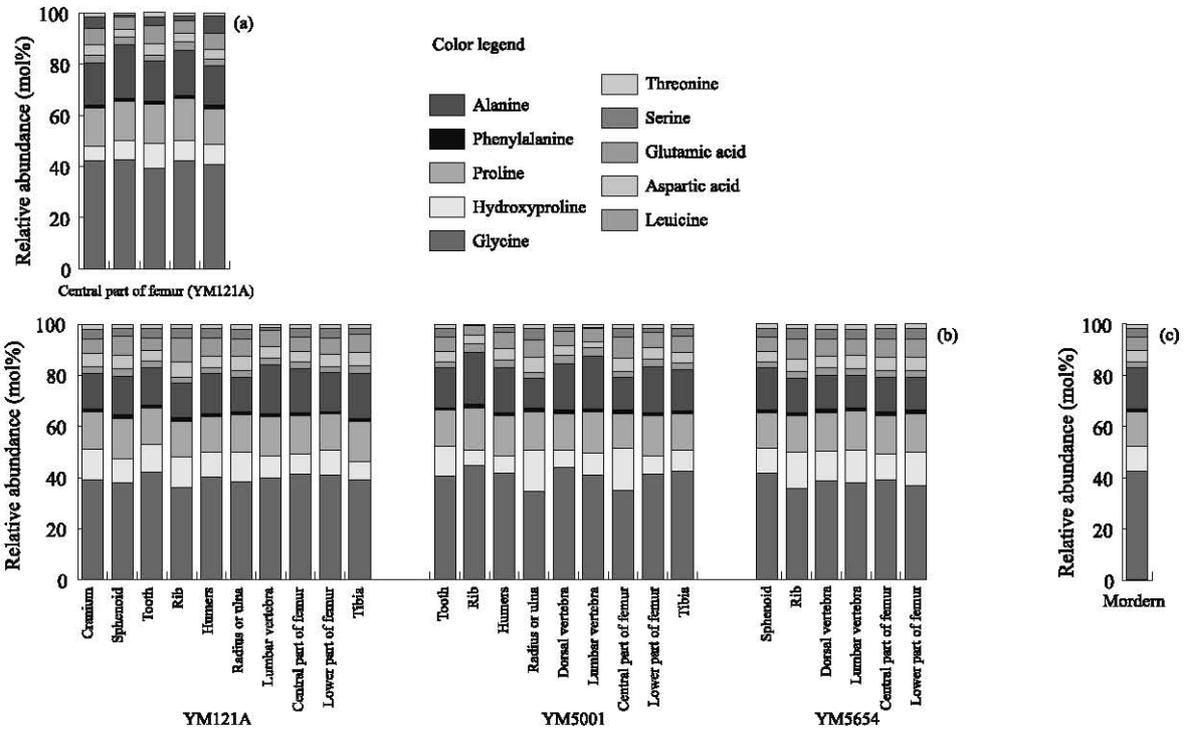


Figure 7. Amino acid compositions represented as mol% (Relative abundance). (a) One section in central femur of YM121A. (b) Each section in archaeological sample, YM121A, YM5001 and YM5654. (c) Bovine tendon gelatin representing modern sample.

図7. 各骨部位のアミノ酸組成 (mol%)

与えられているということを示唆している。このことは、 ^{14}C 年代測定にどの部位を用いても問題ないという結論を否定しない。

また、限外ろ過を経た高分子ゼラチンのみの $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ 値を測定しても、未ろ過のゼラチンが示した安定同位体比の値と相違がみられなかったことから、ゼラチンの分子量の違い、延いては純度の違いが安定同位体比の相違に関係している可能性は否定できる。

4. 考察

結果のまとめ

$\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ 値の再測定から、椎骨とその他の骨部位の間にみられた値の相違は、偶発的に生じたものではないことが確認された。よって、1‰の差がなぜ生じたのか、その原因を追究することで、骨ゼラチンの測定を行う際に、どのような状態、条件下で、どの部位を用いることが適切であるか、あるいは不適切であるかといった議論が可能になることが期待できる。

骨ゼラチンのアミノ酸組成を比較した結果からは、各骨部位間に顕著な相違はみられず、特に椎骨もその他の部位と同様の組成を示した。本試料はゼラチンの保存状態が良好であり、また埋没中の外的影響（続成作用）が特定の部位にのみに強く働くという現象は確認できない。

限外ろ過を経て得た高分子ゼラチンの ^{14}C 年代測定では、外来有機物による汚染の可能性が示唆された。しかし、特定の部位のみ汚染が進行するとはいえず、仮にゼラチンの保持情報の変更が生じていた場合でも、各部位が持つ情報の信頼度は同程度であるということができる。つまりどの部位を測定に用いても、同様の結果が得られるということに他ならない。加えて、高分子ゼラチンの $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ 値が未濾過のゼラチンの値と同じであることから、ゼラチン分子の大きさが $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ 値に影響していないことが確定した。もちろんこれは、本ゼラチン試料の保存状態が良好であったという前提があるからこそその結果とも捉えられる。

病変説の可能性と反論

上記の結果を踏まえると、椎骨にみられた $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ 値の他部位との相違は、生前の代謝系が原因であり、反映する食性期間が異なるためである可能性が最も高い。では次に、骨部位によって代謝速度が異なることがありえるのかという点について考えてみる。

最初に着目したのが変形性脊椎症である。この病気は骨形態学の観点からYM121AとYM5001で確認され、YM5654では確認されなかった。変形性脊椎症とは、年齢と共に進行し、患部に骨増殖を伴う特徴を持つ。この病気の発生と進行メカニズムは近年になって解明され、例えば骨折をした際に骨が修復される機構と同じであることがわかった [4]。骨増殖が生じるということは患部

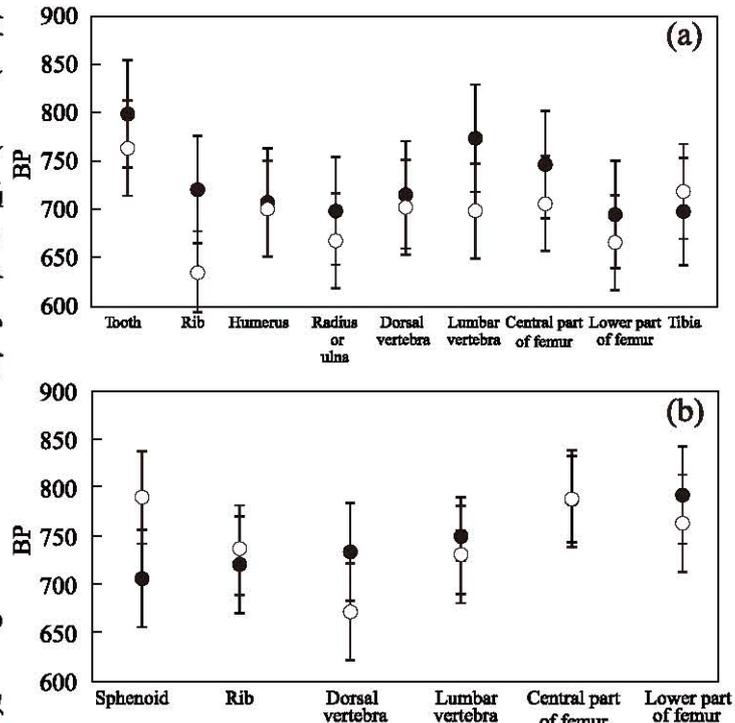


Figure 8. Radiocarbon ages of each bone sections. Error bars are 2σ . Black colored plots indicate unfiltered gelatins. White colored plots are high-molecular-weight gelatins. (a) YM5001. (b) YM5654.

図8. 各骨部位における ^{14}C 年代
エラーバーは 2σ 。黒色の点は未ろ過のゼラチン、白色の点は限外ろ過を経た高分子ゼラチンの年代値である。(a) YM5001. (b) YM5654。

の椎骨の代謝、特に骨形成が他の部位に比べてより多く進行したはずである。代謝速度の違いは、代謝が幼少期に停止する歯が幼少期の情報を、頻繁に代謝が行われる皮膚や毛髪が死亡時点の数週間から数ヶ月前の情報を保持しているように、食性を反映する期間の違いを意味する。つまり、この場合代謝が速まった椎骨はその他の骨部位よりも、より死期に近く短期間の食性情報を反映していると考えられる。通常骨は死亡時点から遡りおよそ十数年の分の期間の食性を反映するといわれるが、背骨は数年の情報を反映しているのではないだろうかと推測される。

しかし、この変形性脊椎症説には問題がある点もまた指摘しなくてはならない。骨形態学的にこの病変の有無を古人骨から判断する場合、決め手となるのは椎骨に見られる骨棘と呼ばれる突起の形状変化である。この変形部こそが骨増殖が生じた場所であり、上記の推測に基づけば、短期間の情報を蓄積した部位となる。しかし、この突起部分は椎骨の一部分にしか生じず、今回の測定にピンポイントで使用されたとは考えられない。また実際、 $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ 値の再測定の際に骨の粉碎から処理を行った場合でも、特に骨棘が生じる部位に粉碎時気を払わずとも、1%の相違が再現できている。よって骨増殖による代謝速度に原因を求める病変説は信憑性が低い。骨増殖部分と否増殖部分のミキシングによって 1%の差しか生じず、増殖部分だけを採取して測定を行えば、より大きな差が検出できるという可能性が考えられるが、もう一つ病変説を否定しかねない問題が存在する。それは今回の背骨試料が第何番目の椎骨を使用したのか不明である点である。報告書によれば、骨棘が確認された椎骨は YM121A で第 3-5 腰椎と第 1 仙椎、YM5001 では部位不詳腰椎である。本試料で上記の部位を用いていなければ、そもそも病変による骨増殖部位を測定していないことになり、変形性脊椎症説は成り立たないのである。さらに、骨棘の報告がない頸椎や胸椎の $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ 値も他部位と異なる値を示した。以上の点から、 $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ 値の相違が病変にある可能性は非常に低いと考えられる。

病変説棄却と代謝説採用の両立

本研究結果を総じて考えるに、生前の代謝速度の違いが $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ 値の相違の原因である可能性が高いことは明らかである。そこで、病変に頼らずとも、そもそも骨部位によって代謝速度が異なるのではないかという可能性を考えてみた。調査の結果、医学系の分野で、骨部位によって代謝速度は異なるという研究結果が既に報告されていることが確認できた [5]。さらに興味深いことに、背骨は他の骨部位よりも代謝速度が速いという報告例がある [6]。つまり病変に頼らなくとも、代謝速度の違いにより背骨の安定同位体比が異なったことが説明できる。さらに、背骨の代謝は速いということであるから、上述のとおり、より短期間で死期に近い食性を反映するという点も変わらず主張できる。さらに、この考え方であれば、椎骨のうち第何番目を使用したのか、どの箇所を粉末化したのか、といった問題も考慮しなくてすむのである。

食性推測例

さて、それでは 3 体の本試料に対して、椎骨がより短期間で死期に近い食性を反映した安定同位体比を示すという仮定の下に、食性の解釈を与えてみたい。まず、YM121A と YM 5001 は椎骨の $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ 値が他骨部位よりも高い。 $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ 値は陸上食物よりも海産物を多く摂取していたり、穀物よりも肉類を多く摂取していたりした場合に高くなる [7, 8]。つまり、この 2 体に関しては、晩年に海産物や肉類の摂取量が増加し、比較的栄養価の高い食事をしていたことが推測される。一方で、椎骨に $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ 値の上昇がみられなかった YM5654 は、晩年に肉類や海

産物を他の2体ほど摂取することなく、穀物中心のやや栄養価の低い食事をしていただけと考えられる。YM5654には眼窩篩（クリブラ・オルビタリア）が確認されたという報告がある [2]。これは栄養不良や鉄分不足あるいは感染症が原因で発症する病変であり、YM5654が海産物などを十分に摂取できていなかったという解釈を骨形態学の観点から支持している。

以上から YM121A と YM 5001 にみられた $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ 値の背骨と他骨部位間の1%の相違は、代謝速度の違いによる食性反映期間の相違が原因であると本研究は結論づけた。

5. おわりに

本研究の元々の命題であった、一部位の測定値がその他の部位の測定値と同じであるのかという疑問は、今回の安定同位体比や年代測定など考古学の分野だけではなく、骨の損傷リスクを見積もる際の骨密度測定などの医学の分野でもまた提示されていた。その結果、骨部位によってその代謝速度には相違があり、一部位の測定結果のみで個体の情報を判断することには、幾分制約がかかるという見解が既に論じられている。これはまさに、本研究分野の食性解析に利用される安定同位体比に関しても同じことが言える。ただし、注意すべきことは、食性解析並びに年代測定において、現在の測定精度や解析技術下では、誤差や前提条件の不確定要素が大きく、本来存在するはずの部位間の相違を考慮するほど高精度の測定ができないという点である。今回のように、集団ではなく、個人の一生における食性変化の再現や、個体間の食性の相違を議論することは、身分の違いなど、同地域内での人々の生活をより詳細に復元する可能性を持つ。骨部位が保持する情報に、部位によって相違が存在するという事実を認識しておくことは、この先、測定および解析技術が向上した時のために重要である。

6. 謝辞

本研究を進めるにあたり、アミノ酸の誘導体化と GC 分析に関して、名古屋大学大学院環境学研究科地球化学研究室の三村耕一准教授と菅原春菜氏にご協力をいただきました。また、名古屋大学年代総合研究センターの皆様にはご助言をいただきました。以上の方々には心より感謝致します。

7. 引用文献

- [1] 瀧上 舞, 南 雅代, 中村 俊夫 (2008) 古人骨の同一個体における部位の違いによるC/N比、 $\delta^{13}\text{C}$ 値、 $\delta^{15}\text{N}$ 値、 ^{14}C 年代の相違, 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書 (XIX), 117-126.
- [2] 由比ヶ浜南遺跡発掘調査団編 (2003) 神奈川県・鎌倉市由比ヶ浜南遺跡〈第2分冊・分析編I〉, 49, 177-178, 191-192, 194-195, 197.
- [3] Bronk Ramsey C., Higham T. F. G., Bowles A. and Hedges R. E. M. (2004) Improvements to the pretreatment of bone at Oxford. *Radiocarbon* 46(1), 155-163.
- [4] Saito T., Fukai A., Mabuchi A., Ikeda T., Yano F., Ohba S., Nishida N., Akune T., Yoshimura N., Nakagawa T., Nakamura K., Tokunaga K., Chung U. and Kawaguchi H. (2010) Transcriptional regulation of endochondral ossification by HIF-2 α during skeletal growth and osteoarthritis

- development. *Nature Medicine* **16**, 678-686.
- [5] Frost M. L., Blake G. M., Cook G. J., Marsden P. K., Fogelman I. (2009) Differences in regional bone perfusion and turnover between lumbar spine and distal humerus: ^{18}F -fluorid PET study of treatment-naïve and treated postmenopausal women. *Bone* **45**, 942-948.
- [6] Priest N. D., Humphreys JAH., Kathren R. L. (1992) Abstracts from the bone and tooth society meeting, April 1991. The pattern of bone-turnover at different skeletal sites in man, as indicated by the redistribution of a bone-seeking radionuclide Am 241. *Bone* **13**, 111.
- [7] Deniro M. J. (1987) Stable isotopy and archaeology. *American Scientist* **75**, 182-191.
- [8] Schoeninger M. J., Deniro M. J. and TAUBER H. (1983) $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ratios of bone collagen reflect marine and terrestrial components of prehistoric human diet. *Science* **220**, 1381-1383.