

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月 17日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011 ~ 2012

課題番号：23650569

研究課題名（和文） アミノ酸ラセミ化年代法は5万年より古い骨の年代決定に有効か？

研究課題名（英文） Amino acid racemization dating is effective for fossil bones of more than fifty thousand dates?

研究代表者

南 雅代 (MINAMI MASAYO)

名古屋大学・年代測定総合研究センター・准教授

研究者番号：90324392

研究成果の概要（和文）：

- ・ 限外ろ過法を用いた骨試料調製法の確立、微量炭素量による放射性炭素 ( $^{14}\text{C}$ ) 年代測定の実現、部位の異なる骨の化学組成解析等、本研究の基礎を固める成果を得た。
- ・ 5万年より古い年代をもつイラン・アルセンジャン洞窟遺跡の骨試料に対し、 $^{14}\text{C}$ 年代およびアミノ酸ラセミ化年代決定を試みたが、有機質がほとんど残存しておらず、測定まで至らなかった。この結果から、古い骨へのアミノ酸ラセミ化年代法の適用は厳しいと言わざるを得ない。

研究成果の概要（英文）：

- ・ Several basic studies investigating bone  $^{14}\text{C}$ -dating such as a bone preparation technique using ultrafiltration for effective removing foreign materials, AMS- $^{14}\text{C}$  analysis by small carbon of 0.1 mg, and chemical analysis for each part from an individual were performed to promote this study.
- ・ We attempted determining  $^{14}\text{C}$  and amino acid racemization dates for some bone samples of more than 50,000 BP, collected from a cave located in Arsanjan, southern Iran, but were not able to get data because of little organic remains in the bones. This result suggests that apply of the amino acid racemization dating is difficult for old, poorly-preserved bones like samples used in this study.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：地球化学

科研費の分科・細目：文化財科学・文化財科学

キーワード：アミノ酸ラセミ化年代，放射性炭素年代，人骨

## 1. 研究開始当初の背景

現在のヒト（ホモ・サピエンス）は約20万年前に東アフリカで誕生した後、13万～6万年前にアフリカから外へ移住し始め、アラビア半島南部海岸を経てイラン南部に達し、そこから3方向に枝分かれして、ヨーロッパ方面、北方のロシア・シベリア方面、東南アジア方面へ移動拡散し、それぞれの地域で独自の発展を遂げながら、新人へと進化したとする説が有力視されている。

したがって、ヒトの進化を議論する上で、数十万年から数万年前の人骨の年代測定は非常に重要である。

骨の信頼性の高い年代測定法としては、少ない試料炭素量で高精度・高確度な年代測定が可能であるAMS- $^{14}\text{C}$ 法（加速器質量分析計による $^{14}\text{C}$ 年代測定法）が挙げられる。近年、骨の化学前処理法として限外ろ過法が開発され、骨ゼラチンを限外ろ過膜（3万分子量で分画）によ

って高分子量ゼラチンだけ振り分けることにより、 $^{14}\text{C}$ 法における限界に近い古い年代の骨に対しても、信頼度の高い $^{14}\text{C}$ 年代測定がなされつつある。しかし、 $^{14}\text{C}$ の半減期が5730年と短いため、5万年より古い骨の $^{14}\text{C}$ 年代測定は不可能である。そこで、 $^{14}\text{C}$ 法以外の年代測定法を用いて、5万年より古い骨に対しても正確な年代を付与していくことが必要とされている。

5万年より古い骨の年代決定法の一つに、骨中のアミノ酸のラセミ化度を用いる方法がある。この方法は、生物体内ではアミノ酸はほとんどがL体であるが、死後はD体が形成されはじめ、数千年から数万年かけて最終的にはD体とL体の等量混合物であるラセミ体となることを利用するものである。アミノ酸ラセミ化年代法は1950年代に提唱された方法であるが、ラセミ化速度が温度や湿度によって変化するために、遺跡に埋没した古い骨のアミノ酸ラセミ化年代決定は困難であるとされてきた。しかし、骨が経てきた埋没環境が明らかである場合、あるいは、同じ埋没環境の骨試料を用いてキャリブレーションを行うことにより、ラセミ化速度を正確に推定することができた場合は、5万年より古い骨のアミノ酸ラセミ化年代測定が可能になると考えられる。

加速器質量分析計やガスクロマトグラフなどの装置が高精度化され、試料調製法の技術も進歩した今、改めて、このような骨を用いて、アミノ酸ラセミ化年代法の有効性を検証し直す必要があると考えられる。古い骨の年代決定法としてウラン系列年代法やESR年代法などもあるが、骨の無機成分は続成作用を受けやすく、溶脱・付加の影響が年代に現れることが多く、正確な年代測定はかなり困難である。それに対して、本研究の方法は、続成作用に強い有機成分を対象にしており、5万年より古い骨の信頼度の高い年代測定実現の可能性があると考えられる。

## 2. 研究の目的

骨中のラセミ化速度は周囲の温度や湿度によって変化するため、今回は洞窟という温度等の環境変動が少なく、かつ、数十万年前から現在に至るまでの長いタイムシーケンスを有する遺跡から出土した骨に注目する。骨試料に対し、限外ろ過法ならびに微量炭素量用グラフィート化システムを用いて高精度・高精度な $^{14}\text{C}$ 年代値を付与

する方法を確立した後、実際に、洞窟遺跡の上層から出土する骨（年代が比較的若く $^{14}\text{C}$ 法で年代が決定できる骨）の $^{14}\text{C}$ 年代測定、アミノ酸ラセミ化率測定を行い、ラセミ化速度の正確な算出を目指す。このラセミ化速度を用いて、洞窟内の他の骨のアミノ酸ラセミ化年代測定を行う。求められたラセミ化年代が $^{14}\text{C}$ 年代と一致しているかを同層の炭化物等の年代とも比較しながら検討する。

以上の結果から、最終的に、5万年より古い骨の年代決定法として、アミノ酸ラセミ化年代法が有効かどうかを明らかにする。

## 3. 研究の方法

### (1) 骨試料の採取

ホモ・サピエンスの拡散枝点であるイラン南部のアルセンジャン地区の石灰岩洞窟遺跡に的を絞り、遺跡の各層からそれぞれ骨試料を採取する。本地区においては、2011年度から筑波大学の常木教授が中心となって、イラン-日本共同考古調査が行われており、常木教授の協力のもと、本研究遂行に適切な骨試料を入手する。骨試料と同層から炭化物の採取も行う。

### (2) 骨試料の $^{14}\text{C}$ 年代測定

#### ① 限外ろ過法を用いた骨の前処理法の確立

本研究で用いるような、年代が古く、保存状態が良好でない骨試料においては、抽出した骨ゼラチン成分に外来炭素が残存している場合が多く、汚染の影響を受けた年代が得られることが多い。このような骨試料に対しては限外ろ過法を用いて高分子量ゼラチンのみを分離分画することが有効とされているが、一方で、限外ろ過膜からの炭素の混入等、限外ろ過過程での汚染の可能性も考えられる。そこで、 $^{14}\text{C}$ 年代が既知の骨試料を用いて、限外ろ過法の検証を行い、限外ろ過法を用いた骨の前処理法を確立する。試料としては、 $^{14}\text{C}$ 測定のための国際標準比較試料（VIRI standards）、および、すでに $^{14}\text{C}$ 年代値が得られている骨試料（鎌倉由比ヶ浜地域の遺跡から出土した中世人骨、粟津湖底遺跡から出土した獣骨）を用いる。

#### ② 微量炭素量によるAMS- $^{14}\text{C}$ 測定の実現

現在、名古屋大学年代測定総合研究センターのAMS- $^{14}\text{C}$ 法が必要とされている炭素量は1~1.5 mgである。したがって、本研究で扱うような古い骨の場合は、往々にして1 g以上の骨試料を破壊分析する必要がある。しかし、古い骨は考古学的に貴重であり、破壊できる量が限られていることが多い。そこで、微量

炭素量 (0.1 mg) でのAMS-<sup>14</sup>C年代測定を可能にするべく、試料CO<sub>2</sub>ガスを効率よくグラフアイト (C) にする微量炭素量用グラフアイト化システムを構築する。

③ アルセンジャン洞窟遺跡から採取した骨試料、ならびに同層から採取した炭化物の<sup>14</sup>C年代測定

アルセンジャン洞窟遺跡から採取した各層の骨試料に対して、確立した限外ろ過法ならびに微量炭素量用グラフアイト化システムを用いて<sup>14</sup>C年代値を付与する。また、骨試料の<sup>14</sup>C年代値の信頼性をチェックするために、同層から採取した炭化物の<sup>14</sup>C年代測定を行う。

### (3) 骨試料のアミノ酸ラセミ化率測定

#### ① 部位毎のアミノ酸組成の比較

アミノ酸ラセミ化年代測定によく用いられるアミノ酸はアスパラギン酸であるが、アラニン、グルタミン酸などいくつかのアミノ酸に対してもラセミ化年代測定が可能であり、それぞれのアミノ酸で、続成作用による影響も異なると考えられる。また、骨の部位によってアミノ酸組成が異なる可能性も考えられる。そこで、古人骨のアミノ酸組成に関する基礎研究として、鎌倉由比ヶ浜から出土した3個体の中世人骨に対し、異なる骨部位のアミノ酸組成を測定し、違いが見られるかどうかを確認する。

#### ② アルセンジャン洞窟遺跡から採取した骨試料のアミノ酸ラセミ化率測定

<sup>14</sup>C年代値が得られた骨試料に対して、アスパラギン酸のラセミ化率を測定し、この遺跡における骨のラセミ化速度を推定する。このラセミ化速度を用いて、洞窟内の他の骨のアミノ酸ラセミ化年代測定を行う。

## 4. 研究成果

### (1) 骨試料の採取

平成24年3月に、筑波大の常木教授が中心となって行われているイラン-日本共同考古調査団によるA5-3洞窟遺跡の調査に加わることができ、本研究で用いる骨試料、炭化物試料の採取を行った。試料は、A5-3洞窟遺跡内に掘られた2つのトレンチ E5 (全6層)、B3 (全10層) から採取した。出土する石器の型式に基づくと、このA5-3洞窟遺跡は、中期旧石器時代~原新石器時代 (約30万~1万年前) の長いシークエンスを持っており、本研究における試料として最適と考えられた。

### (2) 骨試料の<sup>14</sup>C年代測定

#### ① 骨試料の限外ろ過法を用いた骨の前処理法の確立

### 発表論文等①②⑦

#### 学会発表②⑤

VIRIの骨試料を用い、限外ろ過前のゼラチン、限外ろ過後の高分子量ゼラチン、低分子量成分の<sup>14</sup>C年代を比較し、限外ろ過法がより高精度な<sup>14</sup>C年代を得るのに有効であるかどうかを調べた。図1にVIRI-E (a.マンモスの骨:年代推奨値 39,305±121 BP) とVIRI-F (b.ウマの骨:年代推奨値 2,513±5 BP) の結果を示す。その結果、ろ過前のゼラチンと高分子量ゼラチンの<sup>14</sup>C年代値にほとんど差は見られないが、低分子量成分の<sup>14</sup>C年代値は明らかに若く、ろ過前のゼラチン中には外来有機物が残存している可能性があることがわかった。また、長時間限外ろ過を行った高分子量ゼラチンはわずかに古い年代を示し (図1の黒三角プロット)、これは、限外ろ過膜 (5万年くらいの古い<sup>14</sup>C年代値をもつ) からの溶出炭素の影響と考えられた。したがって、限外ろ過を行う際は、限外ろ過膜の前洗浄を徹底し、ろ過の時間を短く抑えることが必要であることがわかった。

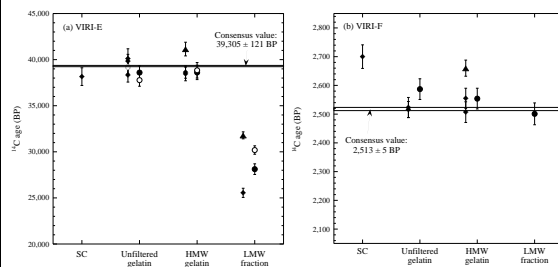


図1. 限外ろ過の有無による<sup>14</sup>C年代値の違い  
SC: 可溶性コラーゲン, Unfiltered gelatin: ろ過前のゼラチン,  
HMW gelatin: 高分子量ゼラチン, LMW: 低分子量成分

VIRIの試料は保存状態の良い骨試料 (ゼラチン収率~20%) であるため、限外ろ過の有無による差がほとんど見られなかったが、次に、琵琶湖南湖の粟津湖底遺跡から出土した獣骨試料 (ゼラチン収率<4%) に対する結果を図2に示す。

限外ろ過後の高分子量ゼラチンが、5抽出成分の中で一番古い年代が古く、同層の木片の年代と一致する傾向が見られた。アルカリ処理を行った骨コラーゲンから抽出したろ過前のゼラチン、XAD-2樹脂処理を行ったアミノ酸集合体も、限外ろ過後の高分子量ゼラチンと誤差範囲内で等しい年代を示したが、アルカリ処理を行っていない骨コラーゲンから抽出したゼラチンは、明らかに若い年代を示した。アルカリ処理は、高精度な<sup>14</sup>C年代を得るのに有効であるが、試料の損失の可能性があ

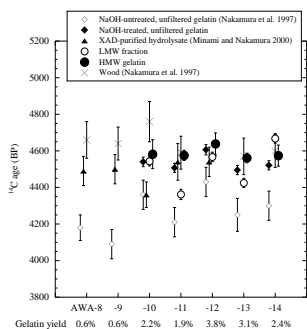


図2. アルカリ処理, XAD-2 樹脂処理, 限外ろ過の有無による <sup>14</sup>C 年代値の違い

ることを考えると, 限外ろ過法は今回のような保存状態の骨試料に対して, 有効であると考えられる. 以上の結果を論文にまとめ, 公表した.

## ② 微量炭素量用グラファイト化システムの構築

発表論文等③⑤

学会発表④⑥

微量炭素量での AMS-<sup>14</sup>C 年代測定を可能にするためには, グラファイト化 ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{C} + \text{H}_2\text{O}$ ) の反応効率を上げて良好なグラファイト (C) を作成し, 測定時の <sup>14</sup>C ビームを持続的に安定発生させることが重要である. そこで, 少ない試料  $\text{CO}_2$  ガスを効率よくグラファイト (C) にする微量炭素量用グラファイト化システムを構築した (図3). 反応容器の容積を可能な限り小さくし, グラファイト化反応で生じる  $\text{H}_2\text{O}$  を  $-90^\circ\text{C}$  のコールドトラップで氷として除去することにより, グラファイト化効率をほぼ 100% にすることが可能であった. 生成したグラファイトを 1.5 mm の穴径 (通常は 2.0 mm 径) のターゲットに詰め, いくつかの <sup>14</sup>C 標準試料による測定チェックを行った結果, 0.1 mg の炭素量でも, 十分に高精度・高精度の <sup>14</sup>C 年代測定が可能であることが確認できた. 以上の結果を論文にまとめ, 公表した.

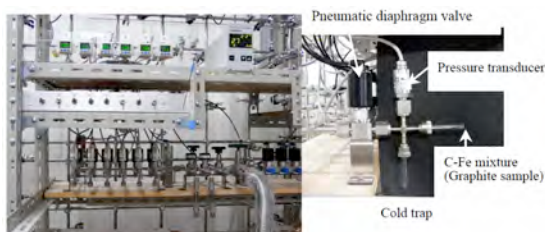


図3. 新たに構築した微量炭素量用グラファイト化システム

## ③ アルセンジャン洞窟遺跡から採取した骨試料, ならびに同層から採取した炭化物の <sup>14</sup>C 年代測定

学会発表①②③

A5-3 洞窟遺跡内のトレンチ E5 (全 6 層) の 1~5 層の骨試料に対し, ゼラチン抽出を行った結果, 得られたゼラチンは褐色に着色しており, ゼラチン収率も 0.3% 以下と悪く, 高い炭素/窒素比からも良好なゼラチンとは言えず, <sup>14</sup>C 年代測定ならびにアミノ酸を抽出するのは断念した. 現在, トレンチ E5 より奥に位置するトレンチ B3 から採取された骨試料のゼラチン抽出を行っているが, やはり同様に質の悪いゼラチンがわずかししか得られない状況である. XRD による結晶構造解析の結果, A5-3 洞窟遺跡内の骨試料は上層から採取された若い試料「ものでもかなり化石化が進んでいることがわかった. この A5-3 洞窟遺跡内の土壌を分析した結果,  $\text{P}_2\text{O}_5$  含有量が 5% と高いことが明らかとなり, 骨が土壌中に埋没している間に骨の有機質の分解が進み, ゼラチン成分が残存していないと言える.

骨試料から高精度な <sup>14</sup>C 測定は困難であると判断し, A5-3 洞窟遺跡から採取された炭化物の <sup>14</sup>C 測定を行った. 用いた試料は, トレンチ E5 (全 6 層) の表層から 5 層, トレンチ B3 (全 10 層) の 2 層と 3 層から採取された炭化物計 29 試料である. その結果, トレンチ E5 の 1 層の炭化物は 300-115 BP (n=4) という非常に若い年代を, 2 層の炭化物は 26,640-26,440 BP (n=3) という後期旧石器時代 (約 3 万~1 万年前) を, 3 層の炭化物は, 1 試料は 24,380 ± 80 BP という 2 層に比べ若い年代, もう 1 試料はほぼ <sup>14</sup>C 測定限界の古い年代を示した. さらに, 4 層の炭化物もほぼ <sup>14</sup>C 測定限界の古い年代を示した. 一方, トレンチ B3 の 2 層の炭化物は 36,530-35,340 BP (n=5), 3 層の炭化物は 36,890 ± 190 BP の <sup>14</sup>C 年代を示した. 以上の結果から, この遺跡は後期~中期旧石器時代の長いシークをもっていることが明らかとなった.

以上の結果を, イラン-日本共同考古調査報告書にまとめた.

## (3) 骨試料のアミノ酸ラセミ化率測定

### ① 部位毎のアミノ酸組成の比較

発表論文等④⑥

学会発表⑦⑧

古人骨の化学分析に関する基本的な検討として, 鎌倉由比ヶ浜地域から出土した 3 個体 (YM121A, YM5001, YM5654) の中世人骨に対し, 部位毎の <sup>14</sup>C 年代値, 炭素・窒素同位体比, アミノ酸組成の違いについて調べた. アミノ酸は, 遊離アミノ酸分析キット (EZ: faast) を使用して誘導体化した後, GC-FID で測定を行った. 炭素・窒素同位体比は, 年代測

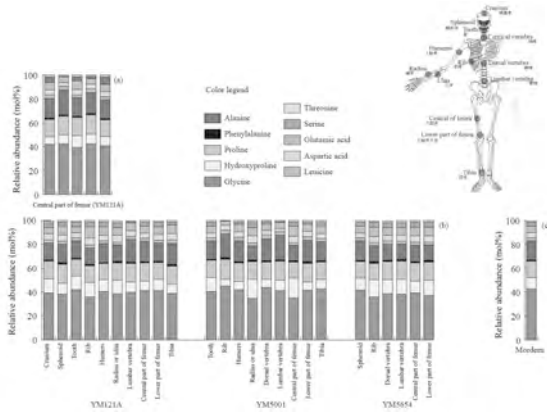


図 4. 鎌倉由比ヶ浜地域から出土した 3 個体における各骨部位のアミノ酸組成 (mol%)

定総合研究センターの IR-MS (Finnigan MAT-252)を用いて測定した。その結果、歯の部位を除き、骨の部位間においてはアミノ酸組成に違いはほとんど見られなかった (図4)。このことから、骨部位の生前の代謝速度の違いによる違い、ならびに死後、土壤中に埋没している間の外的影響 (続成作用) の受け方の違いによるアミノ酸組成の変化は確認できなかった。 $^{14}\text{C}$ 年代に関しては、歯は骨より数十年古い年代を示し、骨の部位の違いによってもわずかに年代差が見られた (図5)。炭素・窒素同位体比も骨の部位によって異なる傾向が見られ、生前の骨の代謝速度の違いによる可能性が示唆された。これらの骨部位による $^{14}\text{C}$ 年代、炭素・窒素同位体比の違いは僅かではあるものの、今後、測定精度が向上すると、無視できなくなってくると考えられる。一部の結果を、論文にまとめ、公表した。

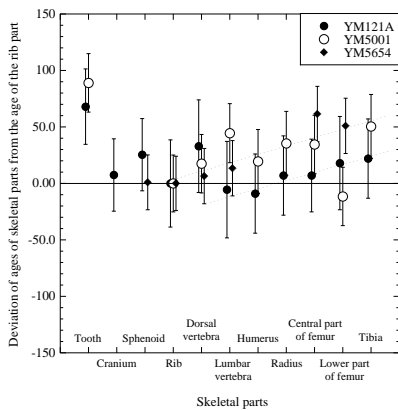


図 5. 鎌倉由比ヶ浜地域から出土した 3 個体における各骨部位の肋骨の $^{14}\text{C}$ 年代からの年代差

② アルセンジャン洞窟遺跡から採取した骨試料のアミノ酸ラセミ化率測定

上述したように、骨試料の保存状態が悪く、骨ゼラチンがほとんど得られないため、アミ

ノ酸ラセミ化分析を断念した。ホモ・サピエンスの拡散枝点であるイラン南部地域の場合、気候・風土を考えると、保存状態が良好な骨試料を入手することが難しいと予想され、今回と同じように、有機質の残存が少ない可能性が大きい。アミノ酸ラセミ化年代法により、原理的には5万年より古い骨の年代決定が可能であるが、最低限の有機質が残存していないと分析は不可能である。したがって、保存状態が比較的良好であり、ゼラチン抽出可能な骨試料を手に入れることが、本研究遂行のための最重要課題であると言える。一方で、有機質ではなく、無機質に注目してウラン系列年代法などの年代測定法の適用も考えられる。この場合、開放系における骨中のウランの拡散過程をモデル化し、数値計算することになるため、得られる年代に大きい誤差が付与される可能性が大きい。試みる価値は十分あると考える。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

- ① Minami, M., Sakata, K., Takigami, M., Nakamura, T.: Ultrafiltration pretreatment for  $^{14}\text{C}$  dating of fossil bones from archaeological sites in Japan. *Radiocarbon* (in press) 査読有
- ② Minami, M., Yamazaki, K., Omori, T., Nakamura, T. (2013): Radiocarbon dating of VIRI bone samples using ultrafiltration. *Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res.*, B294, 240-245. 査読有
- ③ Minami, M., Kato, T., Miyata, Y., Nakamura, T., Hua, Q. (2013): Small-mass AMS radiocarbon analysis at Nagoya University: *Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res.*, B294, 91-96. 査読有
- ④ Minami, M., Nakamura, T., Nagaoka, T., Hirata, K. (2012): Radiocarbon dating of human skeletons of medieval archaeological sites in Kamakura, Japan: were they killed by Nitta Yoshisada's attack on Kamakura in AD 1333? *Radiocarbon*, 54, 599-613. 査読有
- ⑤ 加藤ともみ・南 雅代・中村俊夫 (2012): 微量グラファイト化ラインの検討. 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, XXIII, 76-85. 査読無
- ⑥ 坂田 健・瀧上 舞・南 雅代・中村俊夫・長岡朋人・平田和明 (2012): アミノ酸組成ならびに $^{14}\text{C}$ 年代に関する同一古人骨の部位による比較. 名古屋大学加速器質



量分析計業績報告書, XXIII, 86-96. 査読無

- ⑦南 雅代 (2012):  $^{14}\text{C}$ 年代測定のための骨試料調製法. 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書, XXIII, 185-189. 査読無

[学会発表] (計 8 件)

- ①富山慎二・南 雅代・常木 晃・中村俊夫: イラン・アルセンジャン A5-3 洞窟遺跡から採取された炭化物の年代測定. 第 15 回 AMS シンポジウム, 2013 年 3 月 9 日~10 日, 名古屋大学, 名古屋.
- ②南 雅代: 骨試料の年代測定. 第 37 回フィッション・トラック研究会, 2013 年 2 月 23 日~24 日, 筑波大学, 筑波. (招待)
- ③富山慎二・南 雅代・常木 晃: イラン・アルセンジャン洞窟遺構から採取された炭化物の年代測定. 第 25 回名古屋大学年代測定総合研究センターシンポジウム, 2013 年 1 月 16 日~17 日, 名古屋大学, 名古屋.
- ④加藤ともみ・南 雅代・中村俊夫: 微量炭素試料の  $^{14}\text{C}$  測定法の検討. 日本地球化学会第 59 回年会, 2012 年 9 月 11 日~13 日, 九州大学, 福岡.
- ⑤Minami, M., Nakamura, T.: Is ultrafiltration effective for accurate  $^{14}\text{C}$ -dating of fossil bone excavated in Japan? The 21<sup>st</sup> International Radiocarbon Conference, 9-13 July 2012, Unesco HQ, Paris.
- ⑥加藤ともみ・南 雅代・中村俊夫: 微量グラファイト化ラインの検討. 第 24 回名古屋大学年代測定総合研究センターシンポジウム, 2012 年 1 月 12 日~13 日, 名古屋大学, 名古屋.
- ⑦坂田 健・瀧上 舞・南 雅代・中村俊夫・長岡朋人・平田和明: 同一古人骨の部位によるアミノ酸組成ならびに  $^{14}\text{C}$  年代の比較. 第 24 回名古屋大学年代測定総合研究センターシンポジウム, 2012 年 1 月 12 日~13 日, 名古屋大学, 名古屋.
- ⑧南 雅代: 中世鎌倉古人骨研究の総括. 第 24 回名古屋大学年代測定総合研究センターシンポジウム, 2012 年 1 月 12 日~13 日, 名古屋大学, 名古屋.

[図書] (計 2 件)

- ①南 雅代:  $^{14}\text{C}$  年代測定『放射化学の事典』VIII 章 (宇宙・地球化学), 項目 136. 海老原 充・日高 洋 編, 朝倉書店. 査読有
- ②南 雅代・中村俊夫: 鎌倉中世人骨・獣類骨の  $^{14}\text{C}$  年代測定, 「考古学を科学する」中條利一郎・酒井英男・石田 肇 (編), 臨川書店, p.233-244. (2011)

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

南 雅代 (MINAMI MASAYO)  
名古屋大学・年代測定総合研究センター・准教授  
研究者番号: 90324392

### (2)研究分担者

三村 耕一 (MIMURA KOICHI)  
名古屋大学・大学院環境学研究科・准教授  
研究者番号: 80262848

### (3)研究協力者

常木 晃 (TSUNEKI AKIRA)  
筑波大学・大学院人文社会科学研究所・教授  
研究者番号: 70192648

坂田 健 (SAKATA KEN)  
名古屋大学・大学院環境学研究科・博士課程 (前期課程) 学生

加藤 ともみ (KATO TOMOMI)  
名古屋大学・大学院環境学研究科・博士課程 (前期課程) 学生

富山 慎二 (TOMIYAMA SHINJI)  
名古屋大学・理学部地球惑星科学科・4 年