

平成 30 年 6 月 28 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12444

研究課題名（和文）モルタルの高精度14C年代測定に向けての基礎研究

研究課題名（英文）Study on radiocarbon dating of mortar samples

研究代表者

中村 俊夫（Nakamura, Toshio）

名古屋大学・宇宙地球環境研究所・招へい教員

研究者番号：10135387

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：モルタルは、大気中のCO₂を吸収してCaCO₃を形成して固化する。固化の際に吸収された炭素が14C年代測定に用いられる。本研究では、市販のモルタルを、使用前後で、炭素含有率と14C濃度を測定し、使用後に増えた炭素が大気中の炭素を固定したものであり、モルタルの炭素を用いて、モルタル使用年を推定できることを示した。建築材などのモルタル32個の試料について14C年代を測定し、関連する木片の14C年代と比較した結果、モルタルの炭素は木片に比べて系統的に古い年代を示した。モルタル使用時に、古い炭素が残留しており、モルタルの14C年代が実際より古く得られる事が明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：Mortar solidifies by absorbing atmospheric CO₂ and producing CaCO₃, and absorbed carbon in the mortar is used for 14C dating. Commercial source mortar powder was tested before and after its solidification for carbon contents and 14C ages. The increase of carbon content was consistent with the atmospheric source with modern 14C age, suggesting that carbon absorbed by mortar can be used for 14C dating of mortar usage. Mortar samples of 32 pieces used for construction of buildings, walls and garden stones were dated and the results were compared with the ages of wood fragments that were included in mortar materials. 14C ages of mortar samples were systematically older than those of wood fragments. Unused mortar materials still contain some amount of original carbon as carbonate when mortar prepared. To obtain realistic 14C ages of mortar samples, we should collect the secondary carbon material which was really absorbed during mortar solidification, from the available mortar samples.

研究分野：年代分析学

キーワード：モルタルの固定 炭酸カルシウムコンクリート 14C年代測定 古建築物文化財 加速器質量分析 混和剤 大気中二酸化炭素

1. 研究開始当初の背景

(1) 研究の背景

モルタルは、大気中の二酸化炭素を吸収して、炭酸カルシウムを形成して固化する。固化の際に吸収された二酸化炭素が時計として¹⁴C年代測定に用いられる。モルタルの固化に基づく年代測定法は、1960年代から有用性が認識されていたが、モルタルを用いた建築物から多量のモルタルを採取して線計測法を適用することは難しかった。むしろ、建築に使用された木材を用いた年輪年代法の適用や、木材試料についての¹⁴C年代測定が利用されてきた。しかし、建築物文化財の正確な建築・修復年代を求めるには、今日では、一つの方法による分析結果では不十分であり、独立な複数の方法による測定結果の比較検討と総合解析が不可欠である。モルタルの固化に基づく¹⁴C年代測定の基礎研究を推進することは建築・修復年代の高精度年代測定に不可欠である。

(2) モルタルを用いる¹⁴C年代測定の原理

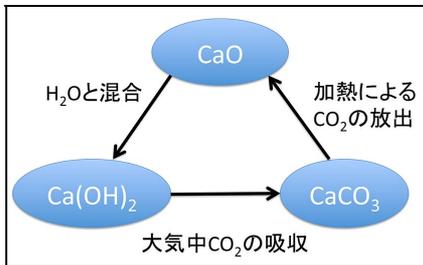


図1 石灰の化学反応のサイクル

モルタルは石材を組み立てて建造物を作る際に、石材を固定する目止めとして、また壁面の仕上げなどに使われる。モルタルは、分子の化学反応で示せば、酸化カルシウム(CaO)と水(H₂O)を混合して水酸化カルシウム(Ca(OH)₂)をペースト状のモルタルの元として壁面に塗布し、これが大気中の二酸化炭素(CO₂)を吸収して固形の炭酸カルシウム(CaCO₃)として固化することで形成される。図1に石灰の化学反応のサイクルを示す。

モルタルを用いる¹⁴C年代測定では、Ca(OH)₂による大気中のCO₂の吸収が速やかに行われ、モルタルに固定された炭素中の¹⁴Cの放射性崩壊による現象の割合から、モルタルが形成されてから現在までに経過した時間が推定できる。この原理を図2に示す。



図2 モルタルを用いる¹⁴C年代測定の原理

このようにして、モルタルを用いた建築物について、モルタルに含まれるCaCO₃の炭素を用いて、建築物の作成年代を推定することができる。しかし一方では、使用前のモルタルの原材料に、モルタルの原料である石灰岩起源の炭酸カルシウムが残存している(図1、2におけるCaCO₃の熱分解の不完全)こと、また、図2のCaOに水と砂を混ぜてモルタルのもとを作成する際に外部のCaCO₃が砂として混合されること、などが考えられ、それがモルタルによる年代測定を不正確なものにしている。本研究では、入手可能なモルタル試料について¹⁴C年代測定を実施して、その結果を文化財科学・考古学的考察による推定年代と比較して、モルタルを用いる¹⁴C年代測定がどの程度利用可能であるか、また、その問題点と可能な対策について検討する。

なお、モルタル試料に含まれる炭素および¹⁴C存在量を次式に示すように定義して用いる。

$$C_s = C_0 + C_1 \text{ -----(1)}$$

$$R_s \times C_s = R_0 \cdot (1/2)^{t/T_{1/2}} \times C_0 + R_1 \cdot (1/2)^{t/T_{1/2}} \times C_1 \text{ -----(2)}$$

ここで、

C_s:モルタル試料のCaCO₃含有率(以下、炭素量に換算して示す)

C₀:モルタル試料の元々のCaCO₃含有率

C₁:モルタルの使用後に新たな大気中CO₂を固定して合成されたCaCO₃の含有率

R_s:現在のモルタル中のCaCO₃の炭素の¹⁴C/¹²C比

R₀:モルタルが元々持っていたCaCO₃の炭素の¹⁴C/¹²C比

R₁:モルタルが使用された際に固定した大気中二酸化炭素の¹⁴C/¹²C比

t:モルタルが形成されたときから現在までの経過時間

T_{1/2}:¹⁴Cの半減期

であり、モルタルによる大気CO₂の吸収は短期間に修了すると仮定でき、さらに、C₀=0と仮定できれば、C₁=C_s、(2)式より、

$$R_s = R_1 \times (1/2)^{t/T_{1/2}}$$

と得られ、R_sを測定することにより、

$$t = -T_{1/2} / \ln(2) \times \ln(R_s/R_1)$$

よりtが求まる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、次のようにまとめられる。

(i) モルタルの原材料では炭素が完全に失われており、使用後のモルタルに含まれる炭素は、モルタルが固化するときに大気中二酸化炭素を取り込んだものに限定されるか否かを確認する。

(ii) モルタルが固化する際に大気中二酸化炭素を吸収して生成した炭酸カルシウム(CaCO₃)は、正確な時計として¹⁴C年代測定に用いることができるかを確認する。

(iii) モルタルに含まれる炭酸カルシウムの示す¹⁴C年代は、モルタルを使った建築物などに使用されている藁や木材などの混和剤の¹⁴C年代とどの程度調和するかを確認する。

(iv) モルタルを建材に使っている建築物の建造年代を、モルタルに含まれる炭素の¹⁴C年代測定から正確に得ることができるか否かを確認する。

3. 研究の方法

(1) 分析試料

日本の古い建築物は、文化財などに指定されていることが多く、そこに使用されているモルタルを分取することは、一般に困難である。このため、形成年代の明白なモルタル試料の入手は、困難であった。文化財科学研究の関係者に協力して頂いて、モルタル試料を集めた。

(i) 市販の3種類のモルタル(Mort-1:目地止め用、Mort-2:超速硬型、Mort-3:目地止め用)について、使用前、使用後の炭酸カルシウム含有率および、回収された炭素の¹⁴C濃度を分析する。

(ii) トルコのハギア・ソフィア大聖堂から採取されたモルタルにつき、炭酸カルシウムの炭素を回収して、その¹⁴C年代を測定し、1点の試料について、介在する木材の¹⁴C年代と比較する。

(iii) 和歌山城跡第30次調査において紀州藩家老安藤家屋敷跡から採取されたモルタル試料と混在した木片の年代を比較する。

(iv) 現代建築物に使用されているコンクリート材の炭酸カルシウムの炭素を回収して、その¹⁴C濃度を測定し、近代の年代が示されるかを確かめる。

(2) 炭酸カルシウムからの炭素回収と¹⁴C測定

市販のモルタルは粉末状であったが、使用場所から採取されたモルタル試料は、固形物として供された。固形のモルタル試料については、ナイフなどを用いて表面から汚れを除去して、粉碎し、約70mgを分取して、ガラス製の二叉管の一方に入れ、他方に85%リン酸を入れて真空ラインに接続して充分に排気して高真空にしたあと、両者を反応させて生成した二酸化炭素を精製し回収した。これをグラファイトに変換して、名古屋大学の加速器質量分析装置を用いて¹⁴Cの定量を行った(Nakamura et al. 2015)。¹⁴C測定結果の表示は¹⁴C年代値(BP)、あるいは試料炭素の¹⁴C/¹²C存在比を示すF¹⁴C(=¹⁴C/¹²C)試料/(¹⁴C/¹²C)標準濃度)(Reimer et al. 2004)を用いて示した。F¹⁴C=1.0の場合が現代の大気中CO₂の¹⁴C濃度を表す。

4. 研究成果

(1) 市販のモルタルの炭素含有率とF¹⁴C

使用前のモルタルでも、重量比で最大2%近くの炭素を含んでいた(Mort-1)。この炭素は、モルタルをリン酸分解して得られたものであり、モルタルの原料である石灰岩起源の炭酸カルシウムからの炭素と考えられる。これらのモルタルを指定された量の水と練り合わせて、ステンレス製の板上に薄く延ばして21か月放置し(使用後: final)、使用前(original)のモルタルと共に、炭素を抽出してその¹⁴C濃度を分析した。Mort-3では、使用の前後で炭素含有率およびF¹⁴Cが得られ、それぞれ、使用前の1.06%(C_{original})、0.0615±0.0010(F¹⁴C_{original})から使用後には3.66%(C_{final})、0.7091±0.0025(F¹⁴C_{final})と増えた(図3)。この結果にマスバランスを適用して計算する。モルタルが固化する間に吸収した二酸化炭素の炭素量をC_{added}、吸収された炭素のF¹⁴CをF¹⁴C_{added}とすると、マスバランスから、

$$\begin{aligned} C_{\text{original}} + C_{\text{added}} &= C_{\text{final}} \\ C_{\text{original}} \times F_{\text{original}}^{14}\text{C} + C_{\text{added}} \times F_{\text{added}}^{14}\text{C} &= C_{\text{final}} \times F_{\text{final}}^{14}\text{C} \end{aligned}$$

となり、この式に実験結果の数値を代入すると、

$$\begin{aligned} 0.0106 + C_{\text{added}} &= 0.0366 \\ 0.0106 \times 0.0615 + C_{\text{added}} \times F_{\text{added}}^{14}\text{C} &= 0.0366 \times 0.7091, \text{ より、} \end{aligned}$$

C_{added} = 0.0260, F¹⁴C_{added} = 1.02769、と得られる。F¹⁴C_{added} = 1.0269は、最近の名古屋大学の周辺の大気中二酸化炭素のF¹⁴C値と良く一致していることから、Mort-3試料は、モルタルとして使用された際に、大気中から現在の周囲に存在する炭素を吸収して炭素含有率が3.66%増加したことが明らかである。この実験結果は、モルタル試料が、モルタルの使用年代を¹⁴C年代測定法から求めるための情報を保持していることを示している。

他の市販モルタル(Mort-1, Mort-2)では、グラファイトの合成が不良なため、¹⁴C測定ができていないため検算できない。

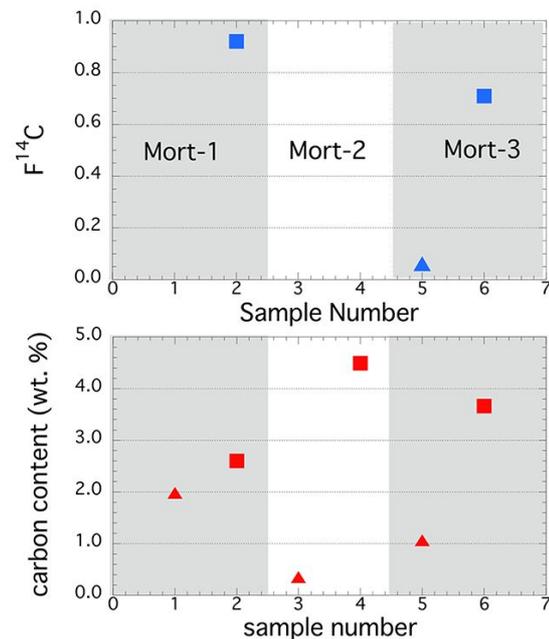


図3 3種類の市販モルタル粉末の使用前後の炭素含有率と¹⁴C濃度の変化
□: 使用前、□: 使用後

(2) トルコのハギア・ソフィア大聖堂から採取されたモルタル

今回17点のモルタル試料を分析したが、図4に示すように炭素含有率は1点を除いて3%から10%、¹⁴C年代は、1点がmodern、他の1点が3500BPを超えるものを除くと、160BPから1760BPを示した。このハギア・ソフィア大聖堂は、西暦537年に東ローマ帝国の総主教座聖堂として、皇帝ユスティニアヌス1世(Justinian I, 在位527-565)によって献堂されたものとされる(佐々木ほか2016)。このことから、3500BPの¹⁴C年代は大聖堂の建造・改装年代としては古すぎる。このモルタル試料については、原材料として古い炭素からなる石灰岩が残留して混入したものと考えられる。

また、1点につき、介在した木片の年代を測定することができたが、モルタルで310BP(F¹⁴C=0.9625±0.0026)、木片で160BP(F¹⁴C=0.9799±0.0028)を示し、モルタルの方が明らかに古い¹⁴C年代を示した。木片の¹⁴C年代がモルタルの形成年を正しく示すとすると、モルタルには石灰岩起源の

$F^{14}C=0.0$ の炭素が約1.8%混入したと算出される。また、火事に遭ったとされるモルタルのなかには、火事の熱により $CaCO_3$ が CaO に完全に分解されて炭素含有率がほぼゼロのものがあったが、一方、同じ場所で採集した試料には炭素含有率が8.6%前後のものもあった。試料の状態について、記録情報を元に判断することは難しい。

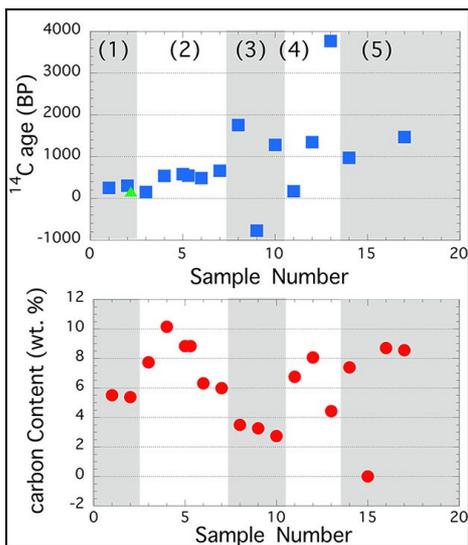


図4 ハギア・ソフィア聖堂のモルタル試料の炭素含有率と ^{14}C 年代
赤丸：炭素含有率、青四角：モルタルの ^{14}C 年代、緑三角：モルタル介在の木片の ^{14}C 年代
(1)モルタルに木片が介在。(3)修復跡のある箇所
のモルタルで新しいと予想される。(4)6~9世紀と
予想される。(5)火事に遭った箇所のモルタル。

(3)和歌山城跡第30次調査において紀州藩家老安藤屋敷跡から採取されたモルタル試料と混在した木片

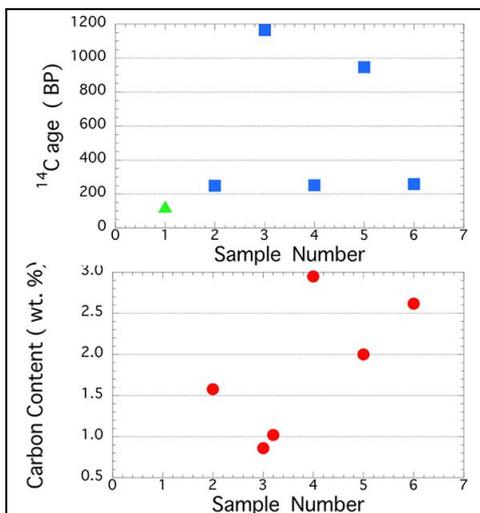


図5 和歌山の屋敷跡から採取されたモルタル試料の炭素含有率と ^{14}C 年代
赤丸：炭素含有率、青四角：モルタルの ^{14}C 年代、緑三角：モルタル介在の木片の ^{14}C 年代

和歌山市文化スポーツ振興財団埋蔵文化センター（公益財団法人）によって、和歌

山城跡の第30次調査が行われた際、紀州藩家老安藤屋敷跡から、屋敷に関わる暗渠、溝、かまど、土坑などに使用されていた漆喰を ^{14}C 年代測定試料として提供して頂いた。屋敷は、江戸時代に建築・整備されたものである。6点の試料の1点には、小さな木片が包含されていた。小木片を包含していたモルタル試料は未分析であるが、図5に示すように小木片は 125 ± 18 BPを示した。モルタルの2個は900 BPよりも古い年代を示した。3個のモルタル試料は、248~259 BPと誤差範囲で互いに良く一致しているが、木片よりもいくぶん若く、江戸時代の初期を示した。

(4)現代建築物のコンクリート試料

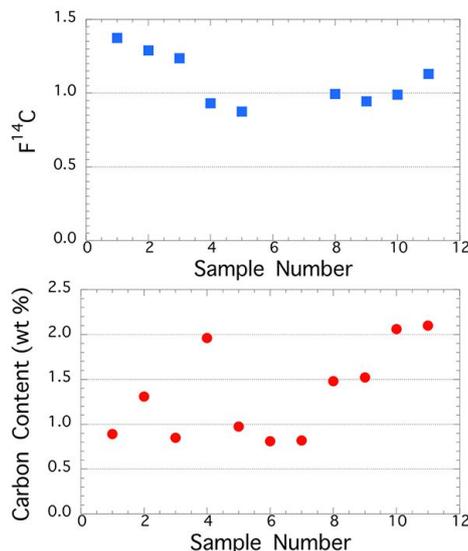


図6 現代建築物のコンクリート試料

現代のコンクリート製の建造物の犬走りや一般家庭の敷石の目地止めに使われていたコンクリートを採取して、合計11点の試料を分析した。11点につき炭素を回収したが、 $F^{14}C$ を得たのはそのうちの9点である。図6に示すように、炭素含有率は0.8%-2.1%の範囲で、 $F^{14}C$ 値は0.9~1.4とほぼ現代の大気二酸化炭素の値を示した。1960~現在において大気中の二酸化炭素を吸収して固化したコンクリートであれば、1950~60年代に行われた大気圏内核実験の影響を受けて $F^{14}C$ は1.0よりも大きい値を持つはずである。測定の結果は、実際に1.0よりも大きい値もあったが、 ^{14}C 濃度を測定した9点中の5点は1.0以下の $F^{14}C$ 値(0.9939~0.9313)を示した。これはコンクリートの原材料である石灰岩起源の古い炭素が、わずかではあるが残留して混入していると解釈される。

(5)分析試料の炭素含有率と ^{14}C 濃度の相関

今回分析したモルタル試料について、炭素含有率と $F^{14}C$ 値が求まったものについて、両者の相関を調べた。モルタルには、(1)もともと原材料である石灰岩起源の古い炭素が含まれている可能性があること、(2)原材料は加熱されて炭素が除去されていること、から、もともとモルタルに含まれる炭素は少量であり、後からモルタルに吸収された炭素は歴史時代以降の起源を持つ。従って、炭素含有率が高い試料は、比較的若い歴史時代以降の年代を示すはずである。

図7を見ると、1試料だけであるが、炭素含有率が4%と高いにもかかわらず、明らかに歴史時代より前の古い年代を示しており、大気から吸収した炭素以外の、別な起源の炭素の混入があることが判る。

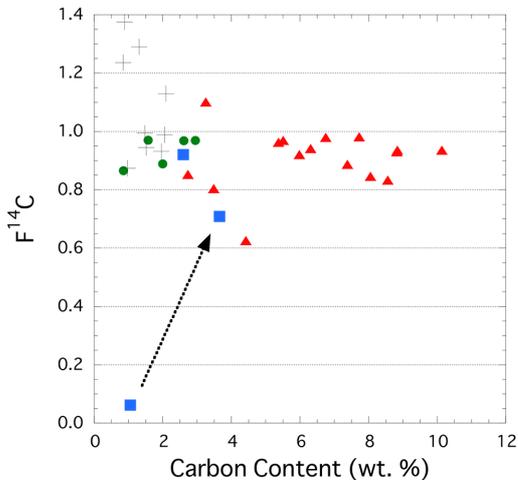


図7 モルタル試料の炭素含有率と¹⁴C濃度の相関関係

青四角：市販のモルタル粉末、赤三角：ハギア・ソフィア聖堂、緑丸：和歌山城跡、+：現代建築物 矢印は、市販のモルタル試料の1つにつき、使用前から使用後の変化を示す。すなわち、モルタルに現代の大気中炭素が固定されて、炭素含有率、¹⁴C濃度が増加している。この増加についての定量的解析は、4.(1)項を参照されたい。

(6) 結果のまとめと今後の課題

市販のモルタル試料3点の分析の結果、いずれも使用前に既にCaCO₃が含まれており(炭素含有率1.98%, 1.06%, 0.35%)、モルタル使用後(それぞれの炭素含有率2.60%, 3.66%, 4.49%)に新たに付加されたCaCO₃と混在している。使用前の炭素含有率とその炭素のF¹⁴Cがわかれば、使用後の炭素含有率とその炭素のF¹⁴Cから、モルタル試料の年代が算出できることがこの研究(4.(1)項)からも示されたが、実際に使用されたモルタル試料では使用前のデータを得ることは不可能である。

ヨーロッパでは、モルタルを用いた歴史建造物が多く、モルタルの¹⁴C年代測定の研究が精力的に行われている。介在する木材の¹⁴C年代を指標にして、モルタル試料から、使用前に含まれていた炭酸カルシウムと大気中二酸化炭素を固定してできた炭酸カルシウムとに分離するために、モルタルを粉砕した後の粒度区分、やリン酸分解における段階抽出などが試みられており、それらの成果を取り入れた研究が、今後必要になってくる(Hajdas et al. 2017)。

参考文献：

佐々木淑美ほか(2016)ハギア・ソフィア大聖堂内壁画修復に伴う北西エクセドラと北ティンパヌムの壁材および修復履歴の調査。東北芸術工科大学紀要、8-18。

Irka, Hajdas, et al. (2017) Preparation and dating of mortar samples – Mortar dating inter-comparison study (MODIS). Radiocarbon, 59 (6), p1845-1858.

Reimer, J. P., T. A. Brown and R. W. Reimer (2004) Discussion: reporting and calibration of

post-bomb ¹⁴C data. Radiocarbon, 46(3), p1299-1304.

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 6件)

中村俊夫・南 雅代・増田公明・小田寛貴・池田晃子・山根雅子・栗田直幸・窪田薫・西田真砂美・藤沢純平・方 雨婷・徳丸 誠・木田梨沙子・酢屋徳啓・北川浩之(2018)名古屋大学タンデロン AMS¹⁴Cシステムの現状と利用(2017).名古屋大学年代測定研究, 2, 79-87. (無査読)

中村俊夫・北川浩之・南 雅代・小田寛貴・池田晃子・栗田直幸・窪田 薫・奈良郁子・吉田澗代・西田真砂美・棕本ひかり・藤沢純平・酢屋徳啓(2017)名古屋大学タンデロン AMS システムの現状(2016年度).第19回AMS シンポジウム・2016年度「樹木年輪」研究会報告集、34-37. (査読無)

中村俊夫・南 雅代・増田公明・小田寛貴・池田晃子・栗田直幸・窪田 薫・西田真砂美・棕本ひかり・藤沢純平・方 雨婷・徳丸 誠・酢屋徳啓・北川浩之(2017)名古屋大学タンデロン AMS¹⁴Cシステムの現状と利用(2016).名古屋大学年代測定研究, 1, 141-148. (無査読)

中村俊夫・北川浩之・南 雅代・小田寛貴・池田晃子・栗田直幸・窪田 薫・奈良郁子・吉田澗代・西田真砂美・棕本ひかり・藤沢純平(2016)名古屋大学 AMS¹⁴C測定の現状と応用研究(2016).第29回タンデロン加速器及びその周辺技術の研究会報告集、40-45. (査読無)

中村俊夫・南 雅代・小田寛貴・池田晃子・箱崎真隆・太田友子・西田真砂美・吉田澗代・池盛文数・棕本ひかり・藤沢純平(2016)名古屋大学タンデロン AMS システムの現状(2015年度)第18回AMS シンポジウム報告集、71-75. (査読無)

中村俊夫(2016)加速器質量分析技術の発展と応用研究の拡大。名古屋大学加速器質量分析計業績報告書、27, 11-18. (査読無)

〔学会発表〕(計 9件)

中村俊夫・山田哲也・佐々木淑美(2018)モルタルを用いた¹⁴C年代測定の検討。平成29(2017)年度第29回名古屋大学宇宙地球環境研究所シンポジウム、2018/02/01-02, 名古屋大学宇宙地球環境研究所

中村俊夫・南 雅代・増田公明・小田寛貴・池田晃子・栗田直幸・窪田 薫・西田真砂美・棕本ひかり・藤沢純平・方 雨婷・徳丸 誠・酢屋徳啓・北川浩之(2018)名古屋大学タンデロン AMS¹⁴Cシステムの現状と利用(2017).平成29(2017)年度第29回宇宙地球環境研究所シンポジウム、2018/02/01-02, 名古屋大学宇宙地球環境研究所

Nakamura Toshio, Masuda Kimiaki, Miyake Fusa, Hakozaki Masataka (2017)

Radiocarbon age offset observed in Japanese tree rings: Comparison of ¹⁴C ages from Japanese tree rings with IntCal13 datasets.

14th International Conference on Accelerator Mass Spectrometry, 2017/08/14-18, Univ. of Ottawa, Canada

中村俊夫・増田公明・三宅茉紗・箱崎真隆
(2017)日韓産樹木年輪¹⁴C年代データの
IntCal13との比較. 日本文化財科学会第
34回大会, 2017/07/06-07, 東北芸術工科大学。

中村俊夫・南 雅代・増田公明・小田寛
貴・池田晃子・栗田直幸・窪田 薫・西田
真砂美・棕本ひかり・藤沢純平・方 雨婷・
徳丸 誠・酢屋徳啓・北川浩之 (2017) 名
古屋大学タンデトロン AMS14C システム
の現状と利用 (2016). 平成 28 (2016) 年
度第 29 回宇宙地球環境研究所シンポジウ
ム, 2017/01/30-31, 名古屋大学宇宙地球環
境研究所

中村俊夫 (2017) 加速器質量分析法による
¹⁴C年代測定: 最近の技術的進歩と利用の
発展. 第 1 回 QST 高崎研シンポジウム,
2017/01/27, 高崎量子応用研究所

中村俊夫・北川浩之・南 雅代・小田寛
貴・池田晃子・栗田直幸・窪田 薫・奈良
郁子・吉田澗代・西田真砂美・棕本ひかり・
藤沢純平・酢屋徳啓 (2016) 名古屋大学タ
ンデトロン AMS システムの現状 (2016 年
度). 第 19 回 AMS シンポジウム (J-AMS19),
2016/12/17-19, 国立歴史民俗博物館

中村俊夫・北川浩之・南 雅代・小田寛
貴・池田晃子・栗田直幸・窪田 薫・奈良
郁子・吉田澗代・西田真砂美・棕本ひかり・
藤沢純平 (2016) 名古屋大学 AMS 14C 測
定の現状と応用研究 (2016). 第 29 回タ
ンデム加速器及びその周辺技術の研究会,
2016/06/30-07/01, 筑波大学

中村俊夫・太田友子・山田哲也 (2016)
モルタルの高精度¹⁴C年代測定に向けて
の検討. 平成 27 (2015) 年度第 27 回名古
屋大学宇宙地球環境研究所シンポジウム,
2016/01/28-29, 名古屋大学野依祈念学術
交流会館。

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :

取得状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
取得年月日 :
国内外の別 :

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村俊夫 (NAKAMURA Toshio)
名古屋大学・宇宙地球環境研究所・招へい
教員
研究者番号 : 10135387

(2) 研究分担者

山田哲也 (YAMADA Tetsuya)
公益財団法人元興寺文化財研究所・保存科
学センター・研究員
研究者番号 : 80261212

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :

(4) 研究協力者

佐々木淑美 (SASAKI Juni)