

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 9 月 21 日現在

機関番号：62501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25282075

研究課題名(和文) 東アジア産樹木年輪による過去千年間の大気中炭素14濃度の復原

研究課題名(英文) Reconstruction of atmospheric radiocarbon concentration of last millennium from East Asian tree rings

研究代表者

坂本 稔 (Sakamoto, Minoru)

国立歴史民俗博物館・大学共同利用機関等の部局等・教授

研究者番号：60270401

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,700,000円

研究成果の概要(和文)：AD950から1950までの日本産樹木年輪を用い、年輪幅およびセルロース酸素同位体比による年輪年代を確定させて炭素14年代を測定し、較正曲線IntCal13との比較して大気中炭素14濃度の変動を検討した。基本的にはIntCal13に沿った結果が得られていて、特異な変動がみられる時期は限られていた。11世紀前半と15世紀前半は異なる樹木年輪を比較し、ほぼ同じ挙動を示したことから地域差は少ないと思われる。一方、17世紀以降はいずれの樹木年輪も変動が大きい。18世紀の挙動は近世建造物と合致するが、既報値とも合致しない例もある。産業革命以降はSuess効果の影響などを考慮する必要がある。

研究成果の概要(英文)：Sequential radiocarbon dating of Japanese tree ring which age was determined by dendrochronology and oxygen isotope ratio of cellulose was carried out identify the atmospheric ^{14}C anomalies of Japanese archipelago. Comparing to IntCal13, little anomalies were found during 10c to 12c and 15c. On the other hand, turbulence was observed after 17c. These behavior coincide with wood members of early-modern building which agree well with SHCal13 rather than when applying ^{14}C wiggle-matching method. However, anomaly observed in the latter of 17c does not coincide with previous study. Suess effect should be concerned after 18c.

研究分野：文化財科学

キーワード：炭素14年代法 酸素同位体 樹木年輪 較正曲線 東アジア セルロース

1. 研究開始当初の背景

炭素 14 年代法は先史・歴史時代の年代測定法として最も有力な方法の一つである。しかしながら炭素 14 の半減期に基づいた経過年代の推定は、初期濃度である大気中の炭素 14 濃度が宇宙線強度を反映して過去変動していたことから、十分な精度・確度を与えない。そのため「較正曲線」と呼ばれる、樹木年輪など年代が既知の試料の炭素 14 年代を修正したデータベースが整備されている。未知試料の炭素 14 年代を較正曲線と比較することでより確からしい年代が得られるようになり、炭素 14 年代法は時代の下った歴史資料にも適用できるようになった。

北半球で用いられる国際標準曲線 IntCal は、主に欧米の高緯度地域に産する樹木年輪の測定値が用いられている。ところが日本産樹木の中に、欧米産樹木に残された炭素 14 濃度と異なる挙動を示す試料が認められている。すなわち時期によっては、日本周辺における試料の炭素 14 年代を IntCal に基づいて修正しても精確な年代の得られないことが予想される。

日本列島周辺における大気中の炭素 14 濃度の時間的・空間的な微細構造を明らかにし、日本版較正曲線の整備を進めるには、さまざまな地域に生育する樹木年輪の炭素 14 年代測定を推進する必要がある。ところが日本列島において、年輪年代の定まった樹木年輪の確保は困難が伴う。従来の年輪年代法は適用できる樹種がスギ・ヒノキなどの針葉樹に限られ、測定自体も不調に終わることがあるなど、主に試料面からの制約が大きかった。

しかしながら、年輪中に含まれるセルロースの酸素同位体比 (^{18}O) が樹木の生育環境における降水量・相対湿度の関数となることを利用した、全く新しい年輪年代法が開発された(中塚ほか、日本文化財科学会第 29 回大会、2012)。この方法は樹種を選ばず、比較的広い地域において ^{18}O の変動パターンが同調することから、従来の年輪幅による年輪年代法で実年代の判明した樹木年輪をもとに、 ^{18}O の変動をつなぎ合わせたマスタークロノロジーが急速に整備されつつある。一方で ^{18}O の変動パターンは時期による違いが少ないため、おおよその時期を炭素 14 年代法で推定することで、より確実な年代決定が可能となる。

年輪セルロースの ^{18}O 変動による年輪年代法は、炭素 14 年代法における日本版較正曲線整備のブレークスルーとなる可能性がある。これまで年輪年代の得られなかった広葉樹などについても実年代を得ることができ、日本版較正曲線の整備が一層推進されると期待された。

2. 研究の目的

研究代表者は平成 21~24 年度科学研究費補助金を受け、日本産樹木年輪の収集と測定につとめてきた。ところが従来の年輪年代法

の適用が難しい試料が多く、おもに過去千年分の樹木年輪の測定が残されている。

日本列島周辺では弥生~古墳開始期以外にも、樹木年輪の炭素 14 濃度が IntCal から乖離していることが疑われる時期が存在する。年輪セルロースの ^{18}O 変動による年輪年代法と組み合わせ、実年代の得られた試料の炭素 14 年代測定を蓄積することで、より精度・確度の高い日本版較正曲線の整備を進める。また、年輪セルロースの ^{18}O 変動に基づく年輪年代法が、日本以外の東アジア地域でも適用できるかを検証し、東アジア版較正曲線の整備へと発展させることを目的とした。

3. 研究の方法

当初、確保していたのは次の試料である。

- A) 中国・白頭山埋没樹
- B) 長野県池口寺古材
- C) 甲州市棲雲寺古材
- D) 伊勢神宮神域倒木

A) は東北日本に広がる B-Tm 火山灰層の年代推定につながる 10 世紀頃の試料であるが、その炭素 14 年代の変動パターンが IntCal から乖離し、年代の特定に至っていなかった(坂本ほか、2012 年度日本地球化学会年会)。これが A) に特徴的なものか、または弥生~古墳期と同様に日本産(東アジア産)樹木の示す特徴なのかを明らかにするために、ほぼ同時期の試料である B) とともに、年輪セルロースの ^{18}O 変動による年輪年代を付した上で炭素 14 年代測定を実施し、その相関について検討する。

C) は 16 世紀台と推定される木材、D) は分担者が確保した、2009 年の台風で倒れた 400 年輪以上を有するスギである。近世は主に建築史の立場から精確な炭素 14 年代測定の要望の強い時期であるが、一方で得られた年代からやはり日本産樹木の IntCal からの乖離が疑われている。これらの樹木年輪の年輪年代を ^{18}O で確定し、炭素 14 年代測定を実施し、日本列島における過去千年間の較正曲線の整備に役立てる。

炭素 14 年代測定に必要な試料の処理は、当初国立歴史民俗博物館にて坂本が実施する計画であったが、実際にはセルロース化にとどまり、グラファイト化以降の操作は各測定機関に依頼した。セルロース化した木材年輪は、分担者が安定同位体質量分析計を用い 1 年輪ずつの酸素同位体連続測定を実施した。

本研究は、国立歴史民俗博物館共同研究「年代情報に基づく木材の利用・活用に関する横断的研究」(平成 25~27 年度、研究代表者：坂本稔)、および総合地球環境学研究所個別連携プロジェクト「高分解能古気候学と歴史・考古学の連携による気候変動に強い社会システムの探索」(平成 26~30 年度、研究代表者：中塚武)と連関するものであり、炭素 14 年代測定については両研究と成果を共有するものである。

4. 研究成果

上に挙げた試料に加え、研究期間内に次の試料を追加した。

- E) 平等院鳳凰堂遺構材 (2点)
- F) 姫路市円教寺部材
- G) 石巻市天雄寺山門材
- H) 新発田市白壁兵舎部材
- I) さいたま市青葉神社柱材

E)は平等院鳳凰堂の明治期の修理の際に取り外されたヒノキおよびコウヤマキの野地板である。創建当初の材とされたが、奈良文化財研究所の光谷拓実氏の年輪年代測定によりヒノキ材は鎌倉初期、コウヤマキ材は酸素同位体比により年輪年代が付され、平安後期の年代が得られた。

F)は当初丸柱として用いられ、後に桔木枕に転用されたケヤキ材、15世紀~16世紀前半の試料である。H)はすでに個人から提供を受けていたケヤキ材で、事前の測定から17世紀のものだと判明している。

H)とI)は、研究協力者である武蔵大学の中尾七重氏を通じて入手した。H)は防衛省の白壁兵舎に用いられていたマツの梁材で、新発田城との関連が指摘されていたが、年代は不明であった。またI)は国立歴史民俗博物館の箱崎真隆氏の年輪測定により年代が確定し、木曽産のヒノキと判明した。

A) 中国・白頭山埋没樹

本試料は炭素 14-ウィグルマッチ法により、最外層の較正年代が AD935~943 と判明している。150年ほどの年輪を有し、8世紀から9世紀にかけての年輪セルロースの酸素同位体比の日本産樹木年輪との比較を試みた。しかしながら埋没時に劣化が進み、前処理の結果十分なセルロースが得られず、測定に至らなかった。

B) 長野県池口寺古材

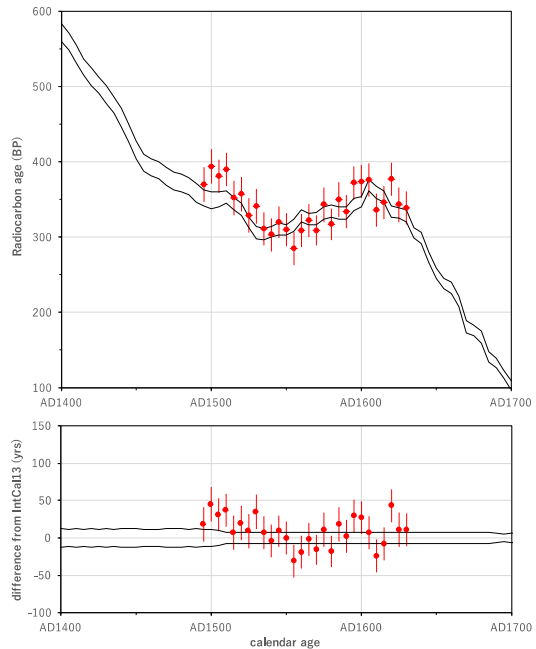
本試料群は年輪年代 (AD750~1141) の付された#2, 事前の炭素 14年代測定から10世紀~14世紀とされる#3, 15世紀とされる#4の3試料からなる。しかしながら#2は年輪幅が極めて狭くセルロースの切り出しが困難で、#3と#4はセルロース化まで行ったものの研究期間内に炭素 14年代測定に至らなかった。

C) 甲州市棲雲寺古材

本試料はツガ材で、従来の年輪幅による年輪年代法を適用できないが、酸素同位体比を用いた年輪年代法により AD1495~1630の年代を確定した。セルロース化した年輪を5層ずつ採取し、(株)加速器分析研究所に炭素 14年代測定を依頼した。

上のグラフは北半球の大気中炭素 14濃度を代表する較正曲線 IntCal13 上に結果を配したもので、下のグラフは

IntCal13 との偏差を示すものである。測定結果が較正曲線の上方にあれば樹木生育地周辺の大気中の炭素 14濃度が代表的な値よりも低く、下方にあれば高いことを示す。C)の結果はほぼ IntCal13 に沿

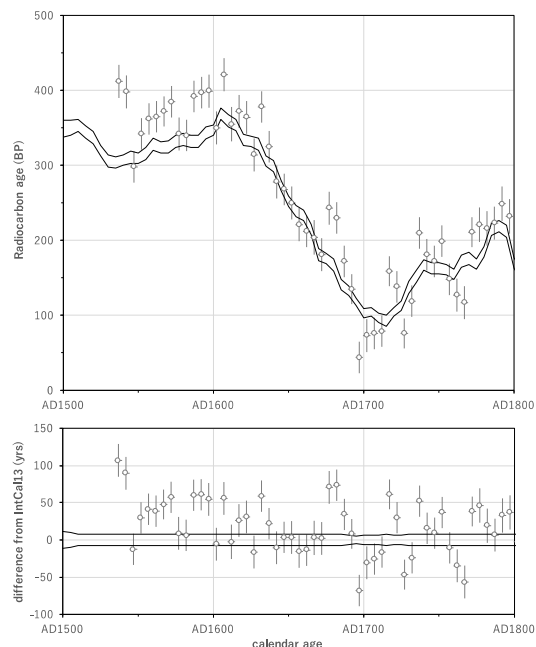


っていて、系統的なずれは認められない。

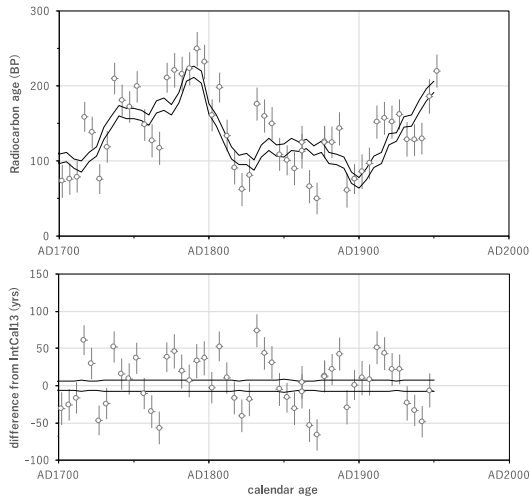
D) 伊勢神宮神域倒木

本試料はスギ材であるが、年輪幅による年輪年代法は適用できなかった。また2009年の台風で倒れたものの、1959年の伊勢湾台風の際にも成長が止まり、数本の年輪が欠損していることが箱崎氏により指摘された。そこで、酸素同位体比により年輪年代を確定した。炭素 14年代は、まず5年輪ずつに対して(株)加速器分析研究所に測定を依頼した。

測定結果にばらつきが多く、16世紀は IntCal13 の上方、17世紀後半からはほぼ30年の周期で上下方向に振れている。18



世紀の挙動は近世の文化財建造物の部材に見られる傾向と合致するが、16世紀はC)と若干異なり、また17世紀後半の挙動はこれまでに報告されている宇陀市室生

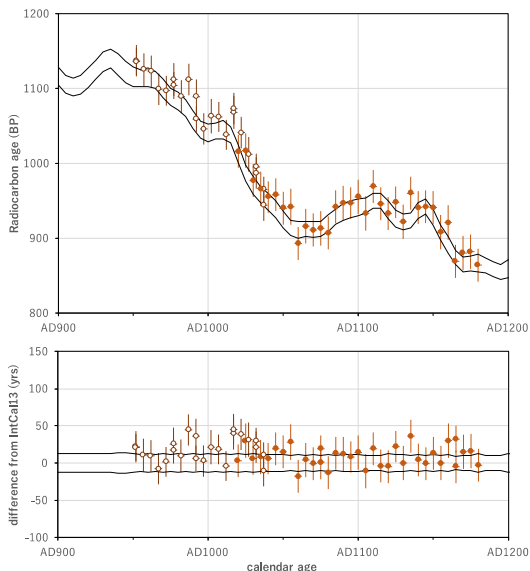


寺部材の結果と整合的でなかった。

E) 平等院鳳凰堂遺構材

本試料は京都大学の横山操氏を代表とする遺構材調査の一環として実施され、総檜造とされていた鳳凰堂にコウヤマキが使われていたことを明らかにするなどの成果を得た。その過程で遺構材の年代調査と、当該時期の大気中炭素14濃度の変動を検討するために測定 の機会を得た。ヒノキ材は年輪幅により AD1020~1180の年輪年代を得、コウヤマキ材は酸素同位体比により AD952~1037の年輪年代を得た。それぞれ5年輪ずつセルローズ試料について、(株)加速器分析研究所および一部を(株)パレオ・ラボに炭素14年代の測定を依頼した。

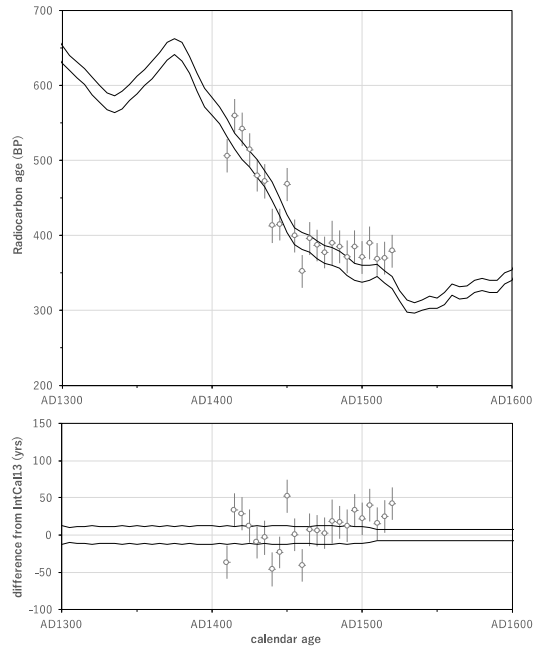
白丸がコウヤマキ材、塗丸がヒノキ材で、いずれも IntCal13 に沿った結果が得られている。なお、測定機関による結果の相違は認められず、ほぼ一致している。



F) 姫路市円教寺部材

本試料はケヤキ材で、従来の年輪幅による年輪年代法を適用できないが、酸素同位体比を用いた年輪年代法により AD1495~1630の年代を確定した。セルローズ化した年輪を5層ずつ採取し、日本原子力研究開発機構の施設共用制度により炭素14年代測定を実施した。

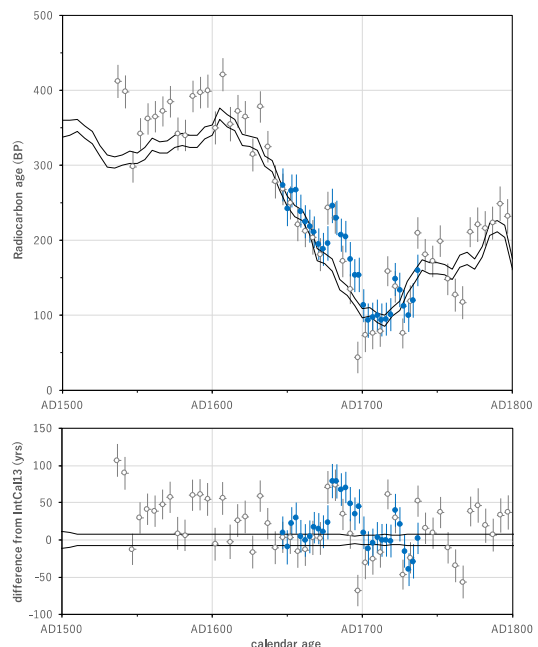
測定結果は基本的に IntCal13 に沿っている。一時期に上下動が認められるが、より分解能を上げた検討が必要である。なお AD1500 前後は棲雲寺古材と接続す



る。

G) 石巻市天雄寺山門材

本試料はケヤキ材で、従来の年輪幅による年輪年代法を適用できないが、酸素同位体比を用いた年輪年代法により AD1647~1737の年代を確定した。D)に見られた17世紀後半の変動を検証する目



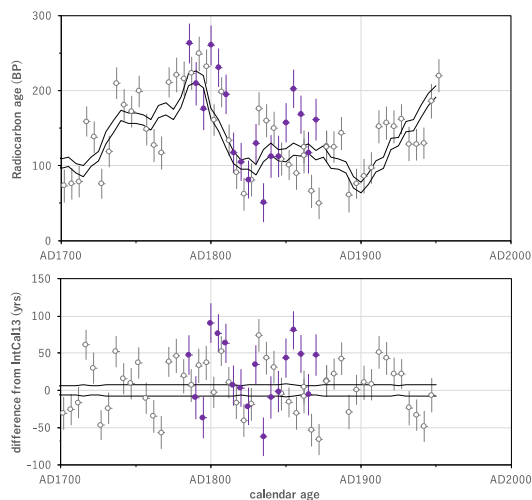
的で、セルローズ化した年輪を3層ずつ採取し、(株)加速器分析研究所に炭素14年代測定を依頼した。

測定結果を塗丸で示し、比較のためD)を白丸で示した。AD1680前後の挙動はD)と類似しているが、AD1700にかけての挙動は必ずしも追従していない。

H) 新発田市白壁兵舎部材

本試料はマツ材で、従来の年輪幅による年輪年代法を適用できないが、酸素同位体比を用いた年輪年代法によりAD1786~1870の年代を確定した。セルローズ化した年輪を5層ずつ採取し、日本原子力研究開発機構の施設供用制度により炭素14年代測定を実施した。

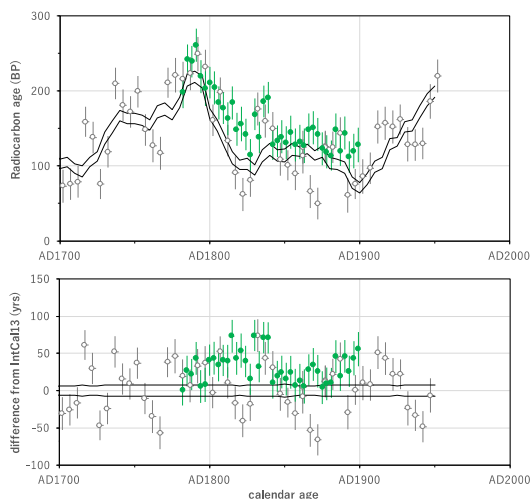
測定結果を塗丸で示し、比較のためD)を白丸で示した。変動が大きく照合が難しいが、19世紀初頭の変動は類似しているように見える。



I) さいたま市青葉神社柱材

本試料は木曽産のヒノキ材で、年輪幅による年輪年代法によりAD1782~1899の年代を確定した。セルローズ化した年輪を3層ずつ採取し、(株)加速器分析研究所に炭素14年代測定を依頼した。

測定結果を塗丸で示し、比較のためD)を白丸で示した。基本的にIntCal13の上



方にあり、下方にも分布するD)とは類似していないように見える。ただし、全体としての上下動は比較的類似している。19世紀以降は産業革命にともなう化石燃料の利用による大気中炭素14濃度の低下(Suess効果)の影響も考慮しなければならず、慎重な検討を要する。

本研究では、C)~I)の7試料を用いて、AD950~1950の千年間の日本産樹木年輪の炭素14年代の測定結果を得た。酸素同位体比による年輪年代法を適用することで、広葉樹を含む多くの樹種が測定の対象となり、効率的な測定値の蓄積を図ることができた。13・14世紀が未了であるが、B)の測定を継続することで達成可能である。

測定結果から、過去千年間の日本列島の大气中炭素14濃度の変動は、次のように集約できる。

- 基本的にはIntCal13に沿った結果が得られていて、特異な変動が見られる時期は限られる。
- 10世紀後半から12世紀にかけて、系統的なずれは認められない。11世紀前半は、2つの試料がほぼ同じ挙動を示している。
- 15世紀は中頃にパルス状の変動が起きている可能性があり、測定の分解能を上げて検証する必要がある。
- 16世紀前半はC)とF)が接続している。一方、16世紀のD)はC)よりも系統的に若干古い炭素14年代を示しているが、上下動は類似している。
- D)とG)の測定結果から、17世紀後半に炭素14年代がIntCal13から大きく上方に外れる時期が存在する。ただしこの傾向は既報の測定値とは合致せず、試料汚染や測定を含めた再検討が必要である。
- 18世紀はほぼ30年周期で炭素14年代が上下動を繰り返している。この挙動は近世の建造物古材の炭素14-ウィグルマッチ法の適用において、時にIntCal13よりも南半球用の較正曲線であるSHCal13と照合した方が良好な結果が得られることと整合的である。
- 19世紀以降、D)、H)、I)の炭素14年代は類似した挙動を見せるものの基本的には合致していない。Suess効果の影響などを考慮しながら検討が必要である。

一方、韓国・中国などの東アジアからの試料の入手は未だに終わった。A)の炭素14年代は一通りの測定が終了しているが、比較すべきB)が測定されていない。また日本列島内においても、地域間の比較は十分ではない。E)の2試料、およびC)とF)が接続することから時期によってはその影響は小さいことが予想されるが、17世紀以降は多くの試料がそれぞれの変動を示している。測定上の制約から5年輪を1試料とした炭素14年代測定を継続せざるを得なかったが、単年輪、少な

くとも3年輪といった分解能を上げた測定を実施する必要があるだろう。

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1件)

坂本稔「日本産樹木年輪の炭素14年代測定」『号外地球』63, pp.114-120, 海洋出版, 2014年2月(査読無)

[学会発表](計9件)

Minoru Sakamoto, Takumi Mitsutani, Mineo Imamura 「¹⁴C wiggle-matching of buried wood of Baekdu Mountain by B-Tm eruption - possible offsets compared to IntCal」『7th International Symposium “¹⁴C & archaeology”』 Sint-Pietersabdij, Belgium, 2013年4月8~12日

坂本稔・光谷拓実・中塚武「実年代の定まった日本産樹木の高精度炭素14年代測定-紀元前2世紀から6世紀まで」『日本文化財科学会第30回大会』, 弘前大学, 日本, 2013年7月6・7日

Minoru Sakamoto 「Precise AMS radiocarbon dating of Japanese tree rings from 4th to 7th century AD」『EA-AMS5』 Korean Institute of Geoscience and Mineral Resources, Korea, 2013年10月15~18日

Minoru Sakamoto, Takumi Mitsutani, Takeshi Nakatsuka, Hiromasa Ozaki 「Radiocarbon dating of Japanese tree rings from 4c to 7c AD in comparison to archaeological chronology」『9th International Conference on Dendrochronology』 Melbourne Convention and Exhibition Centre, Australia, 2014年1月13~17日

Minoru Sakamoto 「Application of radiocarbon dating for archaeology」『Modern Human Diversity on Genes and Culture - with special reference to Asia and Oceania』 The Graduate University for Advanced Studies, Japan, 2014年2月3日

坂本稔・尾寄大真・今村峯雄「日本産樹木年輪のAMS-炭素14年代測定による較正曲線の作成」日本地球惑星科学連合2014年大会, 2014年4月28日~5月2日, パシフィコ横浜

坂本稔・中尾七重・中塚武「近世日本産樹木年輪の炭素14年代-較正曲線からの特徴的な乖離」日本文化財科学会第32回大会, 東京学芸大学, 2015年7月11・12日

Minoru SAKAMOTO, Nanae NAKAO. 「AMS Radiocarbon dating of Main Hall of Hojobo Hinata Yakushi by ¹⁴C-wiggle matching in relation to calibration curves.」『EA-AMS6』, 国立台湾大学, 台湾, 2015年10月4日~10月9日

Minoru Sakamoto, Nanae Nakao, Takeshi Nakatsuka. 「Radiocarbon measurement of middle to early-modern Japanese tree rings associated with ¹⁴C wiggle-matching of members of wooden buildings.」『22nd International Radiocarbon Conference』, King Fahd Palace Hotel, セネガル, 2015年11月16日~11月20日

[図書](計1件)

国立歴史民俗博物館・坂本稔・中尾七重編『築何年? 炭素で調べる古建築の年代研究』188頁, 吉川弘文館, 2015年3月

[産業財産権]

出願状況(0件)

取得状況(計0件)

[その他]

6. 研究組織

(1)研究代表者

坂本 稔 (SAKAMOTO Minoru)

国立歴史民俗博物館・研究部・教授

研究者番号: 60270401

(2)研究分担者

中塚 武 (NAKATSUKA Takeshi)

総合地球環境学研究所・研究部・教授

研究者番号: 60242880

(3)連携研究者

()

研究者番号: