

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 10 日現在

機関番号：64303

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26244049

研究課題名(和文)酸素同位体比を用いた新しい木材年輪年代法の高度化に関する研究

研究課題名(英文)Advancement of the new dendrochronological method using oxygen isotope ratios

研究代表者

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 30,600,000円

研究成果の概要(和文)：年輪に含まれるセルロースの酸素同位体比の変動パターンは、同一気候条件下の広い地域で夏の降水量を反映して、樹種の違いを越えて全ての樹木の間で高い相同性を示す。これを年輪幅に代わる新しい年輪年代決定の指標として利用する酸素同位体比年輪年代法の普及促進のために、(1)日本全国における過去数千年間に亘るセルロース酸素同位体比クロノロジーの時空間的拡張と高精度化、(2)小径木の年代決定を展望したセルロース酸素同位体比の年層内(季節)変動の解析、(3)劣化出土材に対応できる木材薄板からの新しいセルロース抽出方法の開発、(4)改良したクロノロジーと技術による多くの遺跡からの出土材の年輪年代決定を行った。

研究成果の概要(英文)：Oxygen isotope ratios of tree-ring cellulose show highly correlated inter-annual variations between all tree individuals within a wide area belonging to a common climate condition irrespective of tree species reflecting variations in summer precipitation. To promote archaeological applications of "oxygen isotope dendrochronology" utilizing the oxygen isotope ratio as the dendrochronological parameter instead of tree ring width, we have archived following subjects. (1) Spatial and temporal extension of chronologies of cellulose oxygen isotope ratio all over Japan during last three thousands years and improvement of their accuracy, (2) Analyses of intra-ring (seasonal) variations in cellulose oxygen isotope ratio toward applying to small ring number samples, (3) Development of new cellulose extraction methods applicable to highly degraded excavated woods, (4) Dating of many wood samples excavated from many archaeological remains using advanced chronologies and analytical methods.

研究分野：古気候学、同位体地球化学

キーワード：年輪年代法 酸素同位体比 樹木年輪 セルロース 日本列島 考古遺跡 水素同位体比

1. 研究開始当初の背景

(1) 酸素同位体比年輪年代法の誕生

同一の気候条件下に存在する同じ樹種の木材の年輪の幅が、気温や降水量などの変化を反映して個体間で同調して変動することを利用して、「木材の形成年代を年輪幅のパターンマッチングから決定すること」を原理とした、いわゆる年輪年代法は、世界中で使われている最も精度の高い木材の年代決定法の一つである。日本でも奈良文化財研究所の光谷氏による1980年代からの先駆的な取り組みの結果、年輪数の多い(概ね百年以上の)ヒノキやスギの木材の年代が過去3千年間に亘って、年輪幅から求められるようになってきた。しかし、第一に、特定の針葉樹を対象とした方法であったため、日本の遺跡から膨大に出土する広葉樹材には応用できず、第二に、年輪数の少ない竪穴住居の柱や水田・水路の杭・板などの小径木にも応用できないなどの限界もあった。

これに対して、研究代表者(中塚)は、2011~2013年度の科研費・基盤A「酸素同位体比を用いた新しい木材年輪年代法の開発とその考古学的応用」において、年輪に含まれるセルロースの酸素同位体比を年輪幅に代わるパターンマッチングの指標とする、新しい酸素同位体比年輪年代法を提案した。年輪の酸素同位体比は、夏の降水量の大小を反映して、同一気候条件下の全ての樹木個体の中で同調して変化することから、第一に、全ての樹種に適用可能であり、年輪数が多く年輪幅による研究によって既に過去3千年に亘り「年代決定済みの資料」が大量に存在するヒノキやスギの年輪に対して測定した酸素同位体比の変動パターンを、他の広葉樹材などの年代決定に応用可能である。第二に、変動パターンの個体間の相同性が非常に高いため、年輪数の少ない(30-50年程度の)樹皮付、即ち伐採年代が特定できる小径の柱や杭、板などでも年代決定が可能である。第三に、夏の降水量の変動という人間社会に重要な情報とセットになっているため、遺跡の暦年代決定に新たな目標が付与できる。こうした背景のもとで、酸素同位体比年輪年代法の応用促進のためのマスタークロノロジー(地域を代表する標準変動パターン)の作成が、2013年までに進められていた。

(2) 同方法の応用促進に向けた課題

酸素同位体比年輪年代法は、2012年には縄文晩期の集落遺跡の形成年代を年単位で決定することに成功するなど、順調に成果を上げてきたが、その更なる普及促進のためには、いくつかの課題があった。第一に、年輪酸素同位体比の測定方法自体は、研究代表者(中塚)らの手で大きく効率化が進んだものの、土器の鑑定や年輪幅の計測と比べると特殊な技術と相当の費用がかかるため、マスタークロノロジーが自然発生的に全国各地の全時代に拡大していくことは期待できず、計画的なクロノロジー構築の取り組みが必要で

あること、第二に、酸素同位体比年輪年代法は、従来の年輪幅による年代法と比べればもちろん、放射性炭素計測と比べても貴重な木製品をより大きく破壊してしまう方法であり、自治体等の文化財担当者から分析許可が得られにくいこと、第三に、長時間の埋没過程で化学的に劣化し、セルロースが選択的に分解した木材資料には、本方法の適用が難しいこと、第四に、少ない年輪数の資料の年代が決定できるといっても、やはり30-50年程度は年代決定に必要なこと等である。

第二の課題は、竪穴住居の柱や水田・水路の杭、板などの木製品としての価値が相対的に低い(その一方で樹皮がついていて、伐採年がわかる可能性が高い)出土材に取り組みを集中することで、むしろ積極的に克服できる可能性があったが、そうした材ほど、第三、第四の課題が、より大きな問題として、存在していた。

2. 研究の目的

以上のような研究開始当初の背景の下で、本研究では、以下のような目標を設定した。(1)クロノロジーの時空間的拡張と高精度化

2013年当初に暫定的に構築されていたマスタークロノロジー(図1)の時空間分布を、東北や北海道の紀元後の時代に広げると共に、中部や屋久島のクロノロジーを構成する酸素同位体比の測定個体数を、時代毎に大幅に拡充し、その精度を向上させることとした。こうしたマスタークロノロジーの精度の向上は、年代決定の成功率を高めると共に、古気候復元の信頼度を高め、気候変動と人間社会の関係の解析という、年輪年代法のもう一つの重要な目的に資するものである。

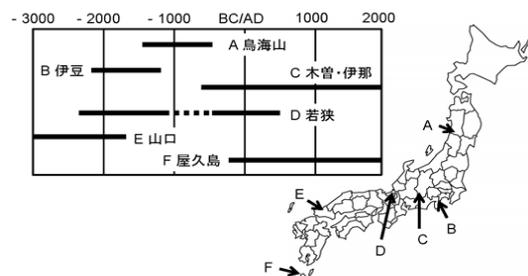


図1 .2013年当時のマスタークロノロジーの分布(試料確保のみの地域・時代を含む)

(2) 季節変動データベースの構築

1-(2)の第四の問題に対処するため、これまで「年単位」で測定してこなかったセルロース酸素同位体比を、年輪の年層内を細かく分割して測定する取り組みを開始することにした。実際、セルロースの酸素同位体比は、「年単位」で降水量との関係が確認できるだけでなく、「月・旬単位」でも、その変動パターンは、降水量や相対湿度の変動と一致している。それゆえ、樹木個体の違いを越えて、この年層内(季節)変動パターンは、対比できる可能性が高く、この季節変動の測定により、年代決定の際に重要なサンプルと

マスタークロノロジーとの間での比較対象データの数を、飛躍的に増大させることができる可能性があった。

(3)分析法の改良と応用対象の拡大

1-(2)の第三の問題、即ち「セルロースが選択的に分解してしまった遺跡出土材」については、セルロース抽出法の改良によって対処できる可能性があった。なぜなら、セルロースの分解が進んだ木材試料でも、木口面に平行な厚さ1mmの薄板から、セルロース以外の成分を化学処理によって除去したあとには、わずかな「ひも状の物体」が残ることが普通であり、これがセルロースなのであれば、何とか年輪を認定して、試料を年毎に切り分けることで、酸素同位体比年輪年代法の対象にすることができると思われたからである。具体的には化学処理時および乾燥時に薄板化した年輪の試料を収縮させない方法の開発を行い、全国の自治体の埋蔵文化財調査機関から提供される遺跡出土材などの酸素同位体比年輪年代決定の推進を目指した。

3. 研究の方法

(1)クロノロジー用木材の組織的収集と分析

クロノロジーの時空間的拡大、及び重複分析による高精度化のためには、とにかく年輪数が多いヒノキやスギ、ヒバなどの木材資料を多数集めて、その分析を行う必要がある。そのために、第一に、年輪幅によるマスタークロノロジーの構築のために、これまでに現生木や古建築材、遺跡出土材や埋没木などの多数の木材試料を取得してきた、光谷拓実氏ら年輪年代学の研究者に呼びかけて、試料の提供と酸素同位体比年輪年代法への参加を募り(特に北東北については研究協力者である箱崎真隆氏の参加を得た)、第二に、縄文時代まで遡れる古い木材資料を全国各地で組織的に収集するため、全国の道府県・市町村や大学の埋蔵文化財調査機関等との連携を進めると共に、第三に、全国の博物館や資料館に展示されている年輪数の多い年輪円盤資料の探索と貸出依頼などを進めた。

また大量のデータを短期間で出し切るために、分析担当の研究員・研究推進支援員を研究代表者と分担者の研究室で複数雇用し、代表者が保有する分析装置(ThermoFisher Scientific 社製 TCEA/Delta V)の分析能力の上限(1日200個の年輪セルロースの測定)までの分析が達成できる体制を、研究室の中で、研究協力者である佐野雅規氏、對馬あかね氏、許 晨曦氏らと共に確立した。

(2)年層内変動の理論的考察と実際の検討

セルロース酸素同位体比の年層内変動は、光合成速度の季節変化のパターンが樹種間で微妙に異なるため、樹種ごとに別々にデータベースを作る必要がある可能性が高い。第一に、そのことをまず検討するために、研究代表者の所属機関に隣接する京都大学の上賀茂研究林の中でスギ、ヒノキ、アカマツ、カシ、コナラなどの代表的な針葉樹と広葉樹

から、それぞれ数個体分の年輪コア試料を採取して、季節変動パターンの比較分析を行った(研究協力者である佐野雅規氏との共同作業)。第二に、データベースの作成の一環として、樹齢が300年を越え年輪幅が広いヒノキ2個体の年層内セルロース酸素同位体比の変動を20世紀後半と18世紀の両区間において大量に測定し、個体間相関や気象データとの相関の解析を開始した(研究協力者である庄健治朗氏との共同作業)。第三に、遺跡出土材として大量に出土する広葉樹の代表的樹種であるクヌギ節を対象に、弥生時代後期の同一の遺跡から出土したクヌギ節の木製品2つについて、セルロース酸素同位体比の年層内変化の比較から、年代未知の小径木(年輪数、10年)の年代を、(年単位の酸素同位体比年輪年代解析から年代が分かっている)大径木(年輪数、100年以上)の年代から推定する取り組みを行った。

(3)劣化出土材の分析方法の革新

劣化した出土材からわずかに残ったセルロース様物質を抽出する際の最大の課題は、化学処理と乾燥の過程で、セルロースがひも状に収縮してしまい、元の年輪の形状が分からなくなってしまうことであった。それ故、化学処理時および乾燥時の試料の収縮を防ぐ方法として、第一に、化学処理する際に収縮が一切起きないように、木材の薄板をテフロンパンチシートに挟んだ状態で、薄板の4辺をクリップで留める方法、第二に、化学処理後の乾燥の際に試料の収縮を少なくするために、凍結した反応後の試料が入った試験管の中に、よく冷やしたシリカゲルを一杯に充填する簡易な凍結乾燥を行う方法、の2つの方法を検討した。

(4)広報活動と重要遺跡出土材の系統的分析

1-(2)の第一の問題、すなわち破壊分析を伴う遺跡出土木材の年輪酸素同位体比の分析を、全国の埋蔵文化財の調査・管理担当者の許可を受けて進めていくためには、上述のようなクロノロジーの構築やデータ解析法の革新、分析法の改善を行うだけでなく、第一に、酸素同位体比年輪年代法の実際の工程をその意義と共に全国の関係者に広く周知していくこと、第二に、重要な遺跡の出土木材に対する年輪年代決定の成功事例を積み重ねて発表していくことが必要であった。

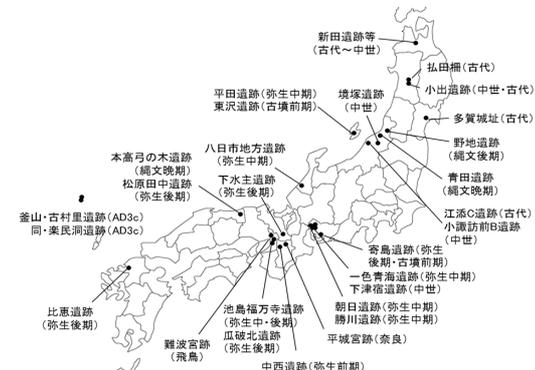


図2. 年代決定に成功した遺跡の分布

それゆえ、考古学、文化財科学に関係した学会で、酸素同位体比年輪年代法の発表を系統的に行くと共に、全国各地の埋蔵文化財調査機関において、さまざまな機会に講演やセミナーなどを実施した。そうした中で、現在発掘中、もしくはこれまでに発掘が終わり、出土材が集積している全国の多数の遺跡から（更には韓国南部の遺跡からも）たくさんの出土木材試料を集めて分析を行うことができ、酸素同位体比による年代決定の成功事例を蓄積していった（図2）。

4. 研究成果

(1) クロノロジーの拡張と高精度化の達成

3-(1)のように系統的に年輪試料の収集と分析を進めた結果、まず、図3に示すように、全国のさまざまな時代へのクロノロジーの時空間的拡張が進み、特に空白であった「紀元後」の東北地方の長期に亘るクロノロジーが作成でき、古代や中世の東北地方の出土材の年代が決定できるようになった。また、図1に示すように、2013年の時点から、連続的な時系列が何とか長期間つながっていた本州中部のクロノロジーに対して、弥生時代の前期から21世紀までの全ての区間で、大量に追加試料の分析を行い、全区間で十分な統計的な精度を獲得することに成功した。そのことにより、本州中部～西日本における酸素同位体比年輪年代法による年代決定の精度（成功率）が大幅に改善されると共に、酸素同位体比が明らかにする夏季降水量の変動が、より精度よく復元され、歴史と気候の関係の解釈が進んだ。

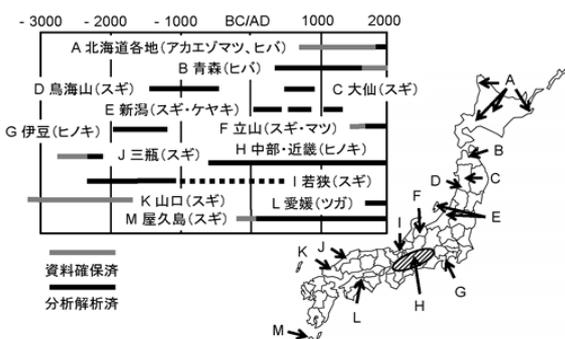


図3 .2016年末現在のマスタークロノロジー

また本州中部のクロノロジーの主体をなすヒノキの場合、樹齢と共に成長速度の低下に伴って、酸素同位体比が低下していく、いわゆる樹齢効果があり、年輪酸素同位体比から降水量の長期変動を復元していく際の最大の障害になっていたが、セルロースの酸素同位体比に（同時に測定できる）その水素同位体比を組み合わせることで、その長期変動の復元に成功した。具体的には、「酸素と水素の同位体比が、気候変動に対しては、同じ方向に変化するが、樹齢効果に際しては、反対方向に変化する」というメカニズムを利用して、夏季降水量の長期変動を復元する理論を構築し、年単位の変動から千年単位の変動

までが全て精度よく収録された年輪酸素同位体比のクロノロジーを構築できた。このクロノロジーは、日本の歴史学や考古学の研究において、これまでに明らかになってきた日本の景観の変遷（弥生中期から古墳時代への集落の高地化や、中世前期における干ばつから洪水への気象災害の変化、近世における低地の水田開発と災害との関係等）や、社会体制の転換の画期を説明できるものであり、現在、論文の執筆を進めている。

(2) 季節変動解析の方向性の確認

セルロース酸素同位体比の年層内（季節）変動の解析からは、第一に、樹種が異なると、その変動パターンは大きく異なるが、同じ樹種の中では、十分に経年的な差異があり、かつ個体間で対比可能な変動パターンが認められることが分かり、第二に、本州では、先行研究が進んでいた北海道等とは異なり、夏季の水循環変動は比較的単純であって、年毎の特徴が出にくいのが、詳細に分析すれば、相対湿度の月・旬レベルでの変化と相同な変動パターンが得られ、ヒノキに限っては、過去300年間に及ぶ季節変動のデータベースが得られる展望が出てきた。第三に、弥生時代後期の同一遺跡から出土したクヌギ節の大小の2個体のセルロース酸素同位体比の季節変動パターンを対比することで、両者の年代を比較する取り組みからは、年代決定の成功には至らなかったものの、今後の実際の応用に向けて、さまざまな検討課題を把握することができた。

(3) 劣化出土材を確実に処理する方法の開発

3-(3)のように、劣化材の薄板から年輪の形状を保ったまま確実にセルロースを抽出する方法の検討を行った結果、まず、化学処理中の試料の収縮を完全に防止するためにクリップで試料の四辺を挟む方法は、確かに試料の収縮を防止することに成功したものの、セルロースの分解が進んだ試料の場合、残存セルロースの量が少なすぎて、フィルム状のセルロースしか残らず、年輪の認定が難しくなり、逆にセルロースの分解が進んでいない強固な試料の場合は、四辺を固定したことによって試料に無理な力がかかり多数の亀裂が入って、年輪の形状が破壊されてしまうことも分かった。一方で、シリカゲルを用いた簡易凍結乾燥による乾燥方法では、試料の収縮を最低限に抑えることができ、試料をクリップで留めていない場合は、確かにある程度の収縮は起きるものの、極度の劣化材でない限り、セルロース化した試料に対しても十分に年輪の認定が可能であることも分かった。結論として、試料をテフロンパンチシートに緩く挟んで化学処理を行い、簡易凍結乾燥によって乾燥させる方法が、劣化材をセルロース化する方法として、最も相応しいことが分かった。この方法で処理してセルロース化した劣化材の年輪からは、マスタークロノロジーと対比可能で年代決定可能な酸素同位体比のデータが、続々と得られてきてお

り、今後、劣化の進んだあらゆる遺跡出土材に適用できるセルロース抽出のプロトコルを開発することに成功したといえる。

(4)重要遺跡からの多様な研究成果の創出

上述の拡張されたクロノロジーと新しいセルロース抽出法を用いることで、図2に示したように、全国各地の遺跡出土材の分析と年輪年代の決定が次々と進んだ。その中には、従来の年輪年代法では全く分析対象にすらならなかった、年輪数が数十年の小径の広葉樹材が大量に含まれており、特に水田・水路の遺構からまとめて出土した木材を、遺跡単位で大量に分析することで、遺跡の構築・維持・廃絶過程を系統的に明らかにする取り組みも進んでいる(大阪・池島・福万寺遺跡、奈良・平城京遺跡、京都・下水主遺跡など)。

(5)更に大きな本質的目標の設定へ

本研究によって構築することに成功した長期かつ広域に亘る年輪セルロース酸素同位体比のクロノロジーは、さまざまな時代・地域の遺跡から得られる小径の広葉樹材を含むあらゆる木材の年代決定を可能にすると共に、水稻の豊凶を介して日本史の展開に少なからず影響を与えたと考えられる夏の降水量の変動(洪水や干ばつの発生の履歴)を精度の良く復元するものとして、日本の歴史学・考古学に新たな研究課題を提供するものである。特に、酸素同位体比年輪年代法によって明らかになる遺跡・遺物の暦年代情報を、酸素同位体比クロノロジー自体が明らかにする年単位~千年単位の気候変動の情報と対比することにより、日本史における気候変動の人間社会に対する影響の様相を、客観的に明らかにしていくことが可能になる。

一方で、しかし、木質遺物が取得できる遺跡は低湿地に限られており、日本の遺跡から得られる情報のほとんどは、木材を伴わない遺跡からのものである。今後、この研究をより本格的に展開していくためには、全国の低湿地遺跡から、土器との一括性が高い木材資料群を系統的に収集分析し、遺跡の年代決定の主力である「土器型式による編年」に酸素同位体比年輪年代法による新たな年代を与えていく取り組みが期待されている。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計19件)

Sakashita, W., H. Miyahara, Y. Yokoyama, T. Aze, T. Nakatsuka, Y. Hoshino, M. Ohyama, H. Yonenobu, K. Takemura (2017): Hydroclimate reconstruction in central Japan over the past four centuries from tree-ring cellulose ¹⁸O. *Quaternary International* (印刷中)(査読有)

Liu, Y., K. M. Cobb, H. Song, Q. Li, C-Y Li, T. Nakatsuka, Z. An, W. Zhou, Q. Cai, J. Li, S. W. Leavitt, C. Sun, R. Mei, C-C Shen, M-H Chan, J. Sun, L. Yan, Y. Lei, Y. Ma, X. Li, D. Chen, H. W. Linderholm

(2017): Recent enhancement of central Pacific El Niño variability relative to last eight centuries. *Nature Communications* 8, 15386, doi:10.1038/ncomms15386 (査読有)

Xu, C., H. Zhu, T. Nakatsuka, M. Sano, Z. Li, F. Shi, E. Liang, Z. Guo (2017): Sampling strategy and climatic implication of tree-ring cellulose oxygen isotopes of *Hippophae tibetana* and *Abies georgei* on the southeastern Tibetan Plateau. *International Journal of Biometeorology*, DOI 10.1007/s00484-017-1365-6 (査読有)

中塚 武 (2017): 気候変動が古代日本人に与えたインパクト. 「科学」, 87, 140-148. (査読なし)

Kurita, N., T. Nakatsuka, K. Ohnishi, T. Mitsutani and T. Kumagai (2016): Analysis of the interdecadal variability of summer precipitation in central Japan using a reconstructed 106-year-long oxygen isotope record from tree-ring cellulose. *Journal of Geophysical Research-Atmosphere*, 121 (20), 12,089 - 12,107. doi: 10.1002/2016JD025463 (査読有)

Xu, C., J. Ge, T. Nakatsuka, L. Yi, H. Zheng, and M. Sano (2016): Potential utility of tree ring ¹⁸O series for reconstructing precipitation records from the lower reaches of the Yangtze River, southeast China. *Journal of Geophysical Research-Atmosphere*, 121, 3954 - 3968, doi:10.1002/2015JD023610 (査読有)

Xu, C., H. Zheng, T. Nakatsuka, M. Sano, Z. Li, J. Ge (2016): Inter- and intra-annual tree-ring cellulose oxygen isotope variability in response to precipitation in Southeast China. *Trees - Structure and Function* 30, 785-794, doi: 10.1007/s00468-015-1320-2(査読有)

中塚 武 (2016): 高分解能古気候データから始まる新しい災害史研究の方向性. 国立歴史民俗博物館研究報告, 203, 9-26 (査読有)

中塚 武 (2016): 高分解能古気候データを用いた新しい歴史学研究の可能性. 「日本史研究」, 646, 3-18. (査読有)

鎌谷かおる・佐野雅規・中塚 武 (2016): 日本近世における年貢上納と気候変動 - 近世史研究における古気候データ活用の可能性をさぐる -. 「日本史研究」, 646, 36 - 56. (査読有)

Li, Q., Y. Liu, T. Nakatsuka, H. Song, D. McCarroll, Y. Yang, J. Qi (2015): The 225-year precipitation variability inferred from tree-ring records in Shanxi Province, the North China, and

its teleconnection with Indian summer monsoon. *Global and Planetary Change* 132, 11-19. (査読有)

Xu, C., N. Pumijumong, T. Nakatsuka, M. Sano, Z. Li (2015): A tree-ring cellulose ^{18}O -based July - October precipitation reconstruction since AD 1828, northwest Thailand. *Journal of Hydrology*, 529, 433 - 441 doi:10.1016/j.jhydrol.2015.02.037 (査読有)

Kagawa, A., M. Sano, T. Nakatsuka, T. Ikeda and S. Kubo (2015): An optimized method for stable isotope analysis of tree rings by extracting cellulose directly from cross-sectional laths, *Chemical Geology*, 393-394, 16-25 (査読有)

Li, Z., T. Nakatsuka and M. Sano (2015) Tree-ring cellulose ^{18}O variability in pine and oak and its potential to reconstruct precipitation and relative humidity in central Japan, *Geochemical Journal*, 49, 125-137 (査読有)

中塚 武 (2015): 酸素同位体比がもたらす新しい考古学研究の可能性. 「考古学研究」, 62, 17 - 30. (査読なし)

樋上 昇・中塚 武・大石恭平 (2015): 稲沢市下津宿遺跡出土井戸枠の酸素同位体比年輪年代測定結果について. 愛知県埋蔵文化財センター研究紀要 16, 49-68. (査読なし)

Xu, C., M. Sano, K. Yoshimura and T. Nakatsuka (2014): Oxygen isotopes as a valuable tool for measuring annual growth in tropical trees that lack distinct annual rings, *Geochemical Journal*, 48, 371-378 (査読有)

Harada, M., Y. Watanabe, T. Nakatsuka, S. Tazuru-Mizuno, Y. Horikawa, J. Sugiyama, T. Tsuda and T. Tagami (2014): Alpha-cellulose extraction procedure for the tropical tree sungkai (*Peronema canescens* Jack) by using an improved vessel for reliable paleoclimate reconstruction. *Geochemical Journal*, 48, 299-307 (査読有)

中塚 武・佐野雅規 (2014): 酸素同位体比を用いた新しい木材年輪年代法. 月刊地球号外 63「第四紀研究における年代測定法の新展開: 最近 10 年間の進展 - (III) 相対年代と古環境の高精度復元」(山田和芳・下岡順直・奥野 充編) 海洋出版, p.106-113 (査読なし)

[図書](計7件)

木村勝彦・尾本雄道・法井光輝・中塚 武 (2017): 第4章 自然科学分析 第6節 中西遺跡第15次調査区埋没林の年輪年代学的分析. 「中西遺跡 I - 京奈和自動車道」御

所区間」建設に伴う調査報告書(8)」(奈良県立橿原考古学研究所調査報告 第123冊) p.405-414.

箱崎真隆・木村勝彦・佐野雅規・李 貞・對馬あかね・小林謙一・設楽政健・木村淳一・中塚 武 (2017): 中道遺跡・川原館遺跡出土木材の酸素同位体比年輪年代測定(第3節). 「川原館遺跡・中道遺跡・東早稲田遺跡 発掘調査報告書(第二分冊)」(青森市教育委員会) p.256-259.

中塚 武・佐野雅規・村上由美子・許 晨曦 (2016): 八日市地方遺跡から発掘された木材の年輪セルロース酸素同位体比による年代決定. 八日市地方遺跡発掘調査報告書・第6部, 255-262

中塚 武 (2015): 酸素同位体比を使った新しい年輪年代法の登場. 「築何年? - 炭素で調べる古建築の年代研究」(坂本 稔・中尾七重編) 吉川弘文館, p.176-180.

中塚 武 (2014): 年輪セルロースの酸素同位体比を用いた伐採木 W116 の年輪年代決定の試み. 「蒲生スマートインターチェンジ設置工事(県事業区域)に伴う発掘調査報告書 蛭子田遺跡 2 東近江市木村町」滋賀県教育委員会, p.209-215.

中塚 武・許 晨曦・佐野雅規 (2014): 年輪セルロース酸素同位体比を用いた出土木材の年代決定. 「愛知県埋蔵文化財センター調査報告書 第186集 一色青海遺跡(第2分冊)」, p.128-137.

中塚 武 (2014): 樹木年輪セルロースの酸素同位体比による気候変動の復元. 「現代の生態学 地球環境変動の生態学」(原登志彦編) 共立出版, p.193-215

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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: 6 0 2 4 2 8 8 0

(2) 研究分担者

木村勝彦 (KIMURA, Katsuhiko)
福島大学・共生システム理工学類・教授
研究者番号: 7 0 2 9 2 4 4 8

(3) 研究協力者

光谷拓実 (MITSUTANI, Takumi)
佐野雅規 (SANO, Masaki)
對馬あかね (TSUSHIMA, Akane)
許 晨曦 (XU, Chenxi)
箱崎真隆 (HAKOZAKI, Masataka)
庄健治朗 (SHO, Kenjiro)