

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 5 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16114

研究課題名(和文) 熱帯樹を用いた季節スケールの古気候/古環境変動の復元

研究課題名(英文) Paleoclimate reconstruction on seasonal scale using tropical tree-ring

研究代表者

渡邊 裕美子 (Watanabe, Yumiko)

京都大学・理学研究科・助教

研究者番号：20509939

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：インドネシア・ジャワ島の広域において採取したチーク試料10個体からセルロースを抽出精製し、その δ^{180} を測定することにより、個体間相関や空間代表性について検証した。その結果、チーク δ^{180} には有意な相関があることが確認でき、ジャワ島広域においてチークの δ^{180} は共通の気候情報を保持している可能性が非常に高いことが明らかになった。さらに、気象要素との詳細な相関解析や、年輪セルロース酸素同位体比モデル(プロキシシステムモデル)による解析を行うことにより、チーク年輪のセルロース酸素同位体比を決める環境因子を特定することを試みた。

研究成果の概要(英文)：In this study, we measured cellulose δ^{180} of ten teak samples collected from four sites in Java Island, in order to evaluate the synchrony of Javanese teak δ^{180} and the potential as a climate proxy. As a result, teak δ^{180} time series had a significant correlation, suggesting that teak δ^{180} had a common climatic information in Java Island. Furthermore, we attempted to specify the environmental factors that determine the cellulose δ^{180} of teak tree-ring, based on correlation analyses with meteorological data and cellulose oxygen isotopic ratio model (proxy system model) analyses.

研究分野：地球化学

キーワード：樹木年輪 酸素同位体比 年輪幅 インドネシア チーク

1. 研究開始当初の背景

地球環境の現在を知り、近未来における変化に備えるためには、近い過去にどのような気候・環境の変動があったかを詳細に復元し、その変動要因を探ることが必要不可欠である。これまで、過去百年ほどに渡り蓄積された気象データを用いて、十年オーダーの気候変動の解析がなされているが、気候変動の未来予測をより正確に行うためには、さらに長期的な百年から千年オーダーでの解析が必要である。長期的な気候変動を把握するためには、気象観測記録と同等に扱える古気候指標を確立することが重要である。

古気候の情報を復元する記録媒体として、樹木年輪は正確な年代決定ができ、年/季節単位での気候復元が可能という優れた特長がある。樹木年輪気候学は中・高緯度で盛んに研究されてきたが、熱帯域では明瞭な年輪が確認できる樹種が少ないため、熱帯域での樹木年輪気候学に関する研究は発展途上にある。本研究対象地域であるインドネシアの樹木を用いた先行研究としては、“チークの年輪幅が、降水量やエルニーニョ/南方振動(ENSO)の間接指標として使える可能性がある”と言う報告があるに過ぎない(D'Arrigo et al., 1994)。

先行研究では分析の簡便性から年輪幅のみが利用されてきたが、その他の年輪構成要素(孔圏道管面積、炭素・酸素同位体比)はそれぞれ異なる時期(雨季、乾季など)の気象要素に敏感に反応すると考えられるので、複数の年輪構成要素を分析することにより、季節スケールの気候情報の抽出が期待できる。私達の研究グループでは、これまでに、インドネシア産の熱帯樹(スンカイ試料; 1 個体)において予備研究を行い、複数の年輪構成要素(年輪幅、孔圏道管面積、炭素・酸素同位体比)と季節ごとの気象データには有意な相関があることを明らかにした(例えば、年輪幅は乾季の相対湿度、孔圏道管面積は雨季の相対湿度、酸素同位体比は雨季の相対湿度と相関がある)(Watanabe et al., 2013)。本研究では、より長期間の気候情報を保持していることが期待できるチーク試料においても同様の比較を行い、古気候指標としての信頼度を評価することを目指した。

2. 研究の目的

私達の研究グループでは、正確な年代決定ができ、年/季節単位での気候復元が可能という優れた特長をもつ樹木年輪に着目し、これまでに、インドネシア産の熱帯樹(スンカイ試料)について古気候指標としての可能性を探る予備研究を行った。その結果、スンカイの複数の年輪構成要素(年輪幅、孔圏道管面積、炭素・酸素同位体比)と気象観測データには有意な相関があり、「複数の年輪構成要素を計測することは、季節ごとの気候

を復元するのに有用である」ことを示した(Watanabe et al., 2013)。そこで、本研究では、より長寿齢のチーク試料においても同様の比較を行い、古気候指標としての信頼度を評価することを目指した。

3. 研究の方法

私達の研究グループによるこれまでのインドネシア現地調査において、明瞭な年輪を確認できる良質な熱帯樹試料(チーク・スンカイ)を数多く入手している。本研究では、これら既に採取済みの熱帯樹試料について、複数の年輪構成要素(年輪幅、孔圏道管面積、炭素・酸素同位体比)を計測し、気象観測データと比較することにより、熱帯域における高時間解像度な気候/環境変動を復元するための基盤を確立する。このため、(1)熱帯樹のセルロース抽出方法の検討、(2)古気候指標の評価と復元 の順に研究を進める。

(1) 熱帯樹のセルロース抽出方法の検討：

インドネシア産チーク試料からセルロースを抽出する化学処理過程を検討し、その分析手法を確立する(スンカイ試料については既に確立済みである)。スンカイ試料と同様の手法(Harada et al., 2014)に基づいて、チーク試料からセルロースを抽出する化学処理過程について、最適な薬品濃度や反応時間などを評価する。さらに、本研究実施期間内に確立された“板ごと抽出法(Kagawa et al., 2015)”をインドネシア産チーク試料にも適用することを試み、従来法(Harada et al., 2014)との比較を行うことにより、熱帯樹のセルロース抽出方法を検討した。

(2) 古気候指標の評価と復元：

上記より確立したセルロース抽出方法に基づいて、複数のチーク試料の炭素・酸素同位体比を年々スケールで分析する。加えて、その他の年輪構成要素(年輪幅、孔圏道管面積)の計測も行い、得られた年輪構成要素と気象観測データとを比較対照し、現在の気候状態での対応関係を求める。月々の気象データとの相関解析も行うことにより、熱帯域において季節スケールの気候変遷を復元するための方法論を確立する。

また、スンカイ試料については、予備研究とは別個体の分析を行うことにより、個体間相関を検証し、重ねてプロキシとしての信頼度を評価する。

4. 研究成果

本研究の結果、以下のことが明らかになった。

(1) 熱帯樹のセルロース抽出方法の検討：

インドネシア産チーク試料からセルロース抽出するための化学処理過程を検討した。

スンカイ試料と同様の手法 (Harada et al., 2014) をチーク試料に適用し、有機溶媒抽出、漂白反応、アルカリ反応の順にセルロースの抽出精製を行った。各反応の進行に伴って、重量を計測し、さらに赤外分光法、炭素・酸素同位体比を測定することにより試料の組成を調べ、セルロースの抽出過程を検討した。その結果、有機溶媒抽出を 30 分、漂白反応を 6 時間、アルカリ反応 45 分を 3 回することで、チーク試料からセルロースの抽出精製が完了することを確認できた。

また、従来の“年輪ごとに切り出した後セルロース抽出をする方法 (Harada et al., 2014)”と“板ごと抽出法 (Kagawa et al., 2015)”の 2 手法を同一個体に適用し、セルロースの同位体比時系列を比較した結果、両者は有意な正相関を示した。さらに、“板ごと抽出法”による酸素同位体比の方が系統的にやや高い同位体比であったので、より純粋にセルロース抽出が行えていたと考えられる。セルロース抽出後の純度と分析の簡便性・迅速性という点から、“板ごと抽出法”の有用性を明示することができた。

(2) 古気候指標の評価と復元：

まず、インドネシア・ジャワ島の広域において採取したチーク試料 10 個体について、過去約 70 年にわたり年輪構成要素 (同位体比・年輪幅) を測定することにより、個体間相関や空間代表性について検証した。次に、気象要素との詳細な相関解析や、年輪セルロース酸素同位体比モデル (プロキシシステムモデル) による解析を行うことにより、チーク年輪のセルロース酸素同位体比を決める環境因子を特定することを試みた。以下、これらの研究成果の詳細をまとめた。

成果：計測した年輪幅の時系列データについて、ARSTAN プログラム (Cook, 1985) を用いて、32 年スプライン曲線により標準化を行った。標準化した年輪データを、ジャワ島のチーク標準年輪曲線 (Cook et al., 2010 のなかのジャワ島 5 地点のデータから作成) とクロスデーティングをすることにより、樹木の生育期間を決定した。チーク試料 10 個体の生育期間は、1926 年から 2007 年までの間であった。さらに、年輪幅の時系列データと降水量データとを相関解析したところ、生長期直前乾季の降水量と有意な正相関を示した。これは、生長する直前の乾季の降水量に応じて、次の生長期の肥大生長量が決まることを示唆している。

成果：上述のジャワ産チーク試料 10 個体について、過去約 70 年にわたり年々スケールでセルロースを抽出精製し、 $\delta^{18}\text{O}$ を分析した。セルロース $\delta^{18}\text{O}$ は 23 から 28.5‰ までの値で変化し、10 個体の $\delta^{18}\text{O}$ 時系列データには、有意な個体間相関があった (EPS = 0.89; Rbar = 0.58; sample depth = 10)。さらに、ジャワ島のチークに関する先行研究 (Schollaen et al., 2013) とともに有意な相関があることから、

ジャワ島広域においてチークの $\delta^{18}\text{O}$ は共通の気候情報を保持している可能性が非常に高いことが明らかになった。

成果：ジャワ島産チーク試料 10 個体について、年輪セルロース酸素同位体比と気象要素との相関解析を行った結果、成長期直前乾季の降水量や相対湿度と正の相関を示し、成長期である雨季の降水量と負の相関を示した。これらの結果は Schollaen et al. (2013) と整合的であり、雨季の降水量や相対湿度との逆相関は、降水の“雨量効果”の影響、あるいは相対湿度に伴って変化する蒸散の効果を反映している可能性が高い。また、成長期直前乾季の降水量との正相関は、直前乾季に多雨 (少雨) である場合、肥大成長量が大きく (小さく)、乾季の降雨あるいは土壌水の高い酸素同位体比を取り込む (取り込みづらい) 効果を反映していると考えられる。上記 ~ の研究成果をとりまとめ、国際学術雑誌に投稿した。

成果：プロキシシステムモデルによる解析では、根から給水した水 (起原水) の酸素同位体比、相対湿度、大気水蒸気の酸素同位体比の 3 つの要因により、チークのセルロース酸素同位体比の絶対値を合理的に再現することができた。さらに、前述の要因のうち、起原水の酸素同位体比が主要因であり、その変動のみでセルロース酸素同位体比の経年変動をほぼ説明できることを明らかにした。

また、スンカイ試料についても 2 個体の分析を行うことにより個体間相関を検証し、重ねてプロキシとしての信頼度を評価した。その結果、2 個体の酸素同位体比時系列には有意な相関 ($r = 0.80$; $P < 0.001$) があり、スンカイの酸素同位体比は共通の気候情報を反映している可能性が高いことが明らかになった。この研究成果をとりまとめ、国際学術雑誌に公表した (Harada et al., 2017)。

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)

W. Hasegawa, Y. Watanabe, H. Matsuoka, S. Ohsawa, B. Brahmantyo, K.A. Maryunani, T. Tagami, 2018. Environmental parameters controlling stalagmite growth in tropical areas: New insights from cave monitoring at Petruk Cave, central Java, Indonesia. *Journal of Cave and Karst Studies*, in press.

Y. Miyajima, Y. Watanabe, R.G. Jenkins, A.S. Goto, T. Hasegawa, 2018. Diffusive methane seepage in ancient deposits: examples from the Neogene Shin'etsu sedimentary basin, central Japan. *Journal of Sedimentary Research*, 88, 449-466, <http://dx.doi.org/10.2110/jsr.2018.23>.

T. Shindoh, T. Mishima, Y. Watanabe, S. Ohsawa, T. Tagami, 2017. Seasonal cave air ventilation controlling variation in cave air Pco2 and drip water geochemistry at Inazumi Cave, Oita, northeastern Kyushu, Japan. *Journal of Cave and Karst Studies*, 79, 100-112, doi : 10.4311/2016ES0108.

Y. Watanabe, T. Tagami, 2017. Analytical validation on carbon and oxygen isotopic measurement of small carbonate samples by using IsoPrime100 mass spectrometer. *Carbonates and Evaporites*, 32, 117-122, DOI 10.1007/s13146-015-0279-9.

M. Harada, Y. Watanabe, T. Nakatsuka, S. Tazuru-Mizuno, Y. Horikawa, B. Subiyanto, J. Sugiyama, T. Tsuda, T. Tagami, 2017. Assessment of sungkai tree-ring $\delta^{18}\text{O}$ proxy for paleoclimate reconstruction in western Java, Indonesia. *Quaternary International* 432, 33-38, <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2015.03.038>.

Y. Miyajima, Y. Watanabe, Y. Yanagisawa, K. Amano, T. Hasegawa, N. Shimobayashi, 2016. A late Miocene methane-seep deposit bearing methane-trapping silica minerals at Joetsu, central Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 455, 1-15, <http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.05.002>.

〔学会発表〕(計 16 件)

新井貴之, 渡邊裕美子, 久持亮, 杉山淳司, 松尾美幸, 山本浩之, 津田敏隆, 田上高広, 2018. インドネシア産チークを用いた年輪気候学における年輪幅測定法の検証. 地球惑星科学関連学会 2018 年連合大会, 幕張メッセ国際会議場(千葉), 5月 20-24 日.

大室渉, 渡邊裕美子, 田上高広, 竹田晋也, 2018. ミャンマー・バゴー山地産チーク年輪幅と気象データとの比較. 地球惑星科学関連学会 2018 年連合大会, 幕張メッセ国際会議場(千葉), 5月 20-24 日.

新井貴之, 渡邊裕美子, 久持亮, 杉山淳司, 松尾美幸, 山本浩之, 津田敏隆, 田上高広, 2017. インドネシア産チークを用いた年輪気候学における年輪幅測定法の比較. 地球惑星科学関連学会 2017 年連合大会, 幕張メッセ国際会議場(千葉), 5月 20-25 日. 日本地球惑星科学連合 2017 年大会学生優秀発表賞を受賞.

久持亮, 渡邊裕美子, 栗田直幸, 佐野雅規, 中塚武, 松尾美幸, 山本浩之, 杉山淳司, 津田敏隆, 田上高広, 2017. インドネシア・ジャワ島の年輪セルロース酸素同位体比の気候応答 -プロキシシステムモデルを使った解析結果-. 地球惑星科学関連学会 2017 年連合大会, 幕張メッセ国際会議場(千葉), 5月 20-25 日.

進藤辰郎, 大沢信二, 三島壮智, 渡邊裕美子, 田上高広, 2017. 洪水情報が石筍中に記録される過程の解明 -大分県稲積水中鍾乳洞の場合-. 地球惑星科学関連学会 2017 年連合大会, 幕張メッセ国際会議場(千葉), 5月 20-25 日.

Y. Watanabe, R. Hisamochi, M. Sano, T. Nakatsuka, S. Tazuru, J. Sugiyama, T. Tsuda, T. Tagami, 2016. Comparison of tree-ring $\delta^{18}\text{O}$ and meteorological data from Java island, Indonesia. American Geophysical Union Fall Meeting 2016, San Francisco (USA), 12 December 2016.

R. Hisamochi, Y. Watanabe, N. Kurita, M. Sano, T. Nakatsuka, M. Matsuo, H. Yamamoto, J. Sugiyama, T. Tsuda, T. Tagami, 2016. Estimation of oxygen isotope in source water of tree-ring cellulose in Indonesia using tree-ring oxygen isotope model. American Geophysical Union Fall Meeting 2016, San Francisco (USA), 14 December 2016.

渡邊裕美子, 久持亮, 佐野雅規, 中塚武, 田鶴寿弥子, 杉山淳司, 津田敏隆, 田上高広, 2016. ジャワ島産チーク年輪における過去 70 年間の酸素同位体比変動の同調性. 日本第四紀学会 2016 年大会, 千葉大学, 9月 17-20 日.

新井貴之, 渡邊裕美子, 久持亮, 津田敏隆, 田上高広, 2016. インドネシア・ジャワ島のチーク年輪幅を用いた古気候復元の基礎研究. 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 幕張メッセ国際会議場(千葉), 5月 22-26 日.

久持亮, 渡邊裕美子, 栗田直幸, 佐野雅規, 中塚武, 松尾美幸, 山本浩之, 杉山淳司, 津田敏隆, 田上高広, 2016. 年輪 $\delta^{18}\text{O}$ によるインドネシア・ジャワ島の古気候復元の可能性. 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 幕張メッセ国際会議場(千葉), 5月 22-26 日.

進藤辰郎, 三島壮智, 渡邊裕美子, 大沢信二, 田上高広, 2016. 大分県稲積洞における洞内モニタリングと滴下水の

$\delta^{18}\text{O}$ の変動. 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 幕張メッセ国際会議場(千葉), 5 月 22-26 日.

Y. Watanabe, Y. Nishida, M. Sano, T. Nakatsuka, S. Tazuru, J. Sugiyama, T. Tsuda, T. Tagami, 2015. Oxygen isotopic variations over the last 70 years of javanese teak trees. INQUA2015, Nagoya (Japan), 31 July 2015.

R. Hisamochi, Y. Watanabe, Y. Abe, S. Nakai, T. Tagami, 2015. The observation of stalagmite fluorescent laminae structure for lamina count dating. INQUA2015, Nagoya (Japan), 31 July 2015.

T. Shindoh, Y. Watanabe, T. Mishima, W. Hasegawa, S. Ohsawa, T. Tagami, 2015. Relationship between cave environment and geochemistry of drip water at Inazumi cave, Oita, Japan. INQUA2015, Nagoya (Japan), 31 July 2015.

久持亮, 渡邊裕美子, 阿部勇治, 中井俊一, 田上高広, 2015. 鍾乳石の年代決定のための蛍光縞の観察と U-T h 年代結果の考察. 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 幕張メッセ国際会議場(千葉), 5 月 24-28 日.

進藤辰郎, 渡邊裕美子, 三島壮智, 大沢信二, 田上高広, 2015. 大分県稲積洞における大気モニタリングと滴下水の化学分析結果. 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 幕張メッセ国際会議場(千葉), 5 月 24-28 日.

〔図書〕(計 1 件)

渡邊裕美子, 田上高広, 2017. 鍾乳石からさぐる環境変遷. 気候変動の事典, pp. 376-377, 朝倉書店.

〔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

渡邊 裕美子 (WATANABE, Yumiko)
京都大学大学院理学研究科・助教
研究者番号 : 2 0 5 0 9 9 3 9

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

(4) 研究協力者