

令和元年6月21日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K14943

研究課題名（和文）熱帯樹木における酸素同位体クロノロジーの開発

研究課題名（英文）Development of oxygen isotope chronology of tropical trees

研究代表者

岡田 直紀（OKADA, NAOKI）

京都大学・地球環境学堂・准教授

研究者番号：40335302

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）：目に見える年輪を形成しない熱帯の樹木でも、材の構成成分である酸素の安定同位体比を半径方向に測定すると、年輪に相当する周期的な変化が見られることを確認した。この周期的な変化には、樹木が光合成に用いる水、つまり雨水の酸素同位体比が影響を及ぼしていることが確認された。同じ熱帯でも、雨季乾季のある季節熱帯では酸素同位体比の季節変化も明瞭だが、湿潤な熱帯では雨の酸素同位体比の季節変化が不明瞭で、材の酸素同位体比の変動幅も小さかった。

材の酸素同位体比の変動幅は個体内では同調しているが、個体間ではばらつきがあった。同じ場所の異なる樹種では周期的変動は認められるものの、そのパターンには違いがあった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

熱帯樹木の酸素同位体比（ $\delta^{18}O$ ）は温帯樹木と同様に季節変化を示すこと明らかとなり、この変化は年輪に相当するものと考えられた。したがって、木部の酸素同位体比の変化を解析することによって、熱帯では研究が進んでいない樹木年輪研究の発展につながるものと考えられる。この研究を発展させていけば、過去の気象観測データの少ない熱帯地域における古気候の解明や、熱帯樹木の成長動態の解析につながり、森林管理や将来予測に資するものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：Many tropical trees do not form visible annual rings, but even such trees show cyclic changes of stable oxygen isotope ratio in xylem along radius, which changes are considered to be formed annually. These cyclic variation is caused by seasonal variation of oxygen isotope ratio of rain water, which is absorbed via roots and incorporated into plant tissue through photosynthesis. Seasonal variation of oxygen isotope ratio in xylem is more conspicuous in the trees growing in seasonal tropics than those growing in wet tropics. Radial changes in oxygen isotope ratio in xylem are similar in a tree individual, but are variations among trees of a species. Radial changes in oxygen isotope ratio in xylem of different species growing in a site showed seasonal trends but their patterns were slightly different.

研究分野：樹木生理学

キーワード：酸素同位体 熱帯樹木 年輪 降水

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

明瞭な年輪を形成する温帯の樹木では、年輪を解析して古気候の復元や森林樹木の成長動態を解明する研究が行われてきた。これに対して熱帯では目に見える年輪を形成する樹木が少なく、年輪研究は遅れていた。最近になって、熱帯材の炭素・酸素同位体比が周期的な変動を示すという報告が相次いで出され、同位体の年輪の存在が示唆された。しかし、同位体比の周期的な変動がどのようにして形成されるのか、樹種や地域の違いはこの変動とどのように関係するのかが十分に分かっておらず、熱帯での年輪研究の発展を阻んでいた。さらに、周期的な変動を時系列において解析するためには、周期がいつ形成されるかを特定する必要があり、それを行うための手法の開発が必要であった。以上の問題が解決されれば、一つの地域において同位体の標準的な季節変動パターンを明らかにすることができる。

### 2. 研究の目的

多くの熱帯樹木は目に見える明瞭な年輪を形成しないため、年輪年代学において用いられる標準年輪曲線(年代決定のための「物差し」)が作成されていない。本研究の目的は、熱帯地域において年輪年代学の研究を推進するため、年輪解析を行う上での物差しに相当する標準年輪曲線を、同位体を用いて作成し、目に見える年輪を持たない樹木の年代決定を行ってその有効性を検証することである。

### 3. 研究の方法

#### (1) 調査地

環境条件を考慮し、調査地を東北タイ(熱帯季節林)、半島マレーシア(熱帯多雨林)、ボルネオ島キナバル山(熱帯山地林)に設置した。東北タイでは年3-4か月にわたる乾季があり、その間にはほぼ降雨がない。半島マレーシアでは降雨量に季節的な違いはあるものの、最も少ない月でも50mmを下回することはほぼない。キナバル山の調査地は標高1600mにあり、降雨が最も少ない月でも50mmを下回することはほぼない。

#### (2) 降水の採取と同位体比の分析

東北タイでは2015年4月以降約4年間、半島マレーシアでは2016年4月以降約2年、キナバル山では2017年8月から1年間、月2回ずつ降水を採取した。試料は逕過後、水同位体分析装置(Picarro L2120)を用いて水素・酸素同位体比を測定した。

#### (3) 形成層マーキングとインピーダンスの測定

3つの調査地の代表的な樹種に対して、直流高電圧パルスマーキングを施した。2本のステンレス釘を5cm間隔で幹に打ち込んで電極とし、500Vの直流電圧を約0.5秒加えた。マーキングは東北タイと半島マレーシアでは2016年から2018年にかけて年1、2回を、キナバル山では2016年から2017年にかけて年1回の処理を行った。

東北タイと半島マレーシアでは、形成層の活動時期を把握するため、調査地の樹木1個体に対してインピーダンスの測定を1時間ごとの連続測定を行った。

#### (4) 試料採取と材の酸素同位体測定

各調査地において、形成層マーキング位置の周辺から成長錐を用いて材コアを採取した。光学顕微鏡切片を作製して形成層マーキングの跡を観察し、東北タイと半島マレーシアの調査木からマーキングの良好な個体を選んで酸素同位体の測定を行った。一連の測定を行う前に、分析試料の調製法(セルロースの抽出が必要か無処理のままでよいか)について検討を行った。次に、熱帯において年輪を形成する数少ない樹種であるチークを対象に、酸素同位体比の周期的変動が年輪に相当するか、個体内の方位の違いはあるか、個体間で変動パターンの違いはあるかを検討した。その後、異なる樹種間の違い、熱帯季節林と熱帯多雨林の樹種で違いがあるかを検討した。

### 4. 研究成果

#### (1) 降水の酸素同位体比

雨季乾季が明瞭な東北タイでは、降水の酸素同位体比に明瞭な季節変化が見られた。雨季の始まる4月ごろから雨季后半にかけて酸素同位体比は徐々に低下し、9月頃に最低値をしめた(図1)。酸素同位体比の年間の変動幅はおよそ10パーミルであった。これに対して半島マレーシアとキナバル山では東北タイほどの明瞭な季節変化パターンが乏しく、同位体比の年間変動幅も小さかった。材の酸素同位体比は降水の酸素同位体比の影響を強く受けるので、3つの調査地の中で東北タイは、年輪検出に最も適していると考えられた。

#### (2) 形成層マーキング

直流高電圧パルスを加えた樹木には刺激による傷害組織が形成され、これに基づいて当該木部の形成時期を特定することができた。形成された傷害組織には、細胞壁の形成が停止したために潰れた木部繊維(図2)と道管、柔細胞の変形と肥大(図2)、有色の沈着物生成などがあり、同様の手法で温帯樹木にみられた変化(Imagawa & Ishida 1983)と同じであった。そのほか、半島マレーシアのフタバガキ科樹木では傷害樹脂道の形成がみられた。傷害の及ぶ範囲は小さく、その後の同位体分析に対する影響も小さいと考えられた。

傷害組織の形成には種間差がみられ、傷害組織が確認できない樹種があった。それとともに処理時期においても違いがあり、東北タイでは成長期にあたる雨季に処理した場合は明瞭な傷害組織が形成されたが、休止期にあたる乾季では形成が確認できない例があった。また、年間を通

じて樹木の成長に好適な条件の半島マレーシアでは傷害組織が形成されやすい傾向があった。したがって、直流高電圧パルスによるマーキングは形成層活動の活発な時期に行うのが適当であると考えられた。

### (3) 試料処理法の検討

酸素同位体比の測定において、ホロセルロース抽出を行った試料、セルロース抽出を行った試料、無処理の試料を3つの樹種で比較したところ、いずれも値の絶対値には差がみられたが、樹木半径方向の変化パターンには差がみられなかった(図3)。また、同位体比の変動幅も十分に大きく、季節的な変動を検出するに十分であると判断された。古気候の推定を目的とする場合、材の同位体分析では細胞壁の単一構成成分であるセルロースを用いることが多いが、セルロース抽出には多くの時間と労力がかかる。本研究のように年輪検出を目的とする場合には、セルロース抽出を省略し、無処理のまま分析に供しても問題ないと結論した。

### (4) 酸素同位体比の個体内および個体間の変動と樹種特性

東北タイのチーク(*Tectona grandis*)において、個体内の異なる方位で半径方向の酸素同位体比は同調した変化を示した。チークの木部形成は雨季開始時の3月頃に始まり、乾季開始前の9月から10月まで継続すると考えられる。成長期初期では材の酸素同位体比は高く、その後徐々に低下していく。この変化は降水の酸素同位体比を反映している。

同じ調査地の個体間で比較すると、いずれも降水の同位体比を反映した季節変動を示したものの変化パターンの同調性は低くなった。同じ気象条件下に育成した樹木では、材の酸素同位体比は同様の季節変動を示すが、個体ごとの育成環境のわずかな違いにより、変動パターンには違いが生じるものと考えられた。

東北タイに育成するチーク以外の異なる樹種間で、半径方向の酸素同位体比の変動は、やはり降水の酸素同位体比を反映したものとなっていた。しかし、変化パターンには樹種間で違いがみられ、変動幅も異なっていた。

材の酸素同位体比に影響を及ぼす要因としては、降水の同位体組成のほか、相対湿度がある。降水の同位体比には同じ地域で違いがないので、樹冠周辺の大気の相対湿度の違いが光合成で作られる有機物の酸素同位体比に反映される可能性は高い。例えば林冠木で葉が外部自由大気にさらされているのか、あるいは林冠下の樹木で葉が林内の湿度の高い空気中にあるのかという違いがある。こうした違いは、酸素同位体の標準パターン作成のための樹種選択にあたって留意すべき点である。

### (5) 酸素同位体標準クロノロジーの検討

半島マレーシアの同樹種2個体について、酸素同位体比の季節変動を標準化し、年ごとに比較した(図4)。10年分の成長を比較すると、同調している年とそうでない年とがみられた。この標準化法では、1年の肥大成長が同じ速さで進行するものと仮定して、1年を10に分割して同位体比を計算しているが、実際には成長期を通じて肥大成長が旺盛な時期とそうでない時期がある。また、成長開始や停止は個体によって違いがあるため、1年間の変動パターンにも違いがみられたものと考えられる。また、各年の気象条件に対する個体ごとの成長応答の違いも考えられ、同所に育成する樹木であっても同調的に肥大成長をするとは限らない。以上のような要因によ

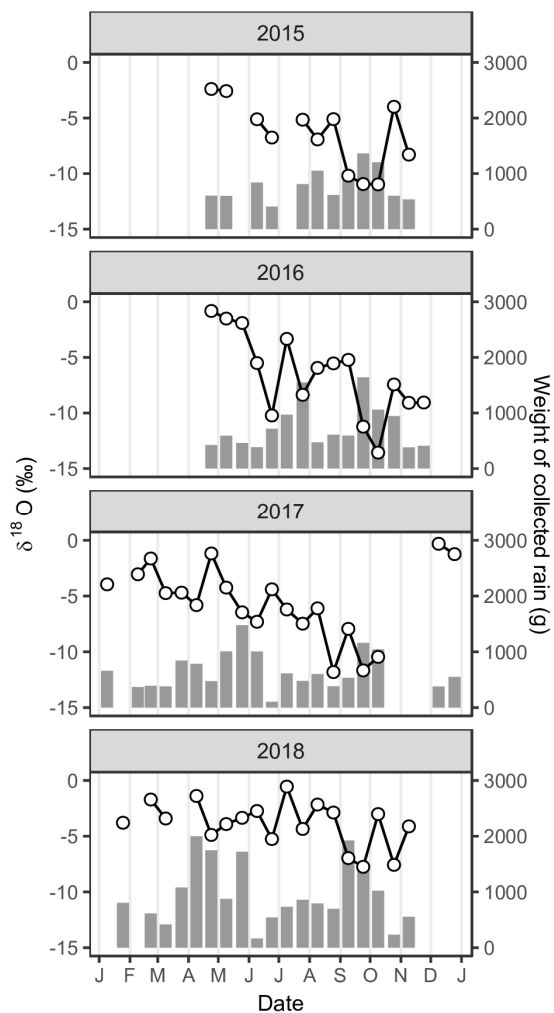


図1 東北タイ サケラートの降水量と酸素同位体比( $\delta^{18}\text{O}$ )の季節変化。試料は毎月1日と16

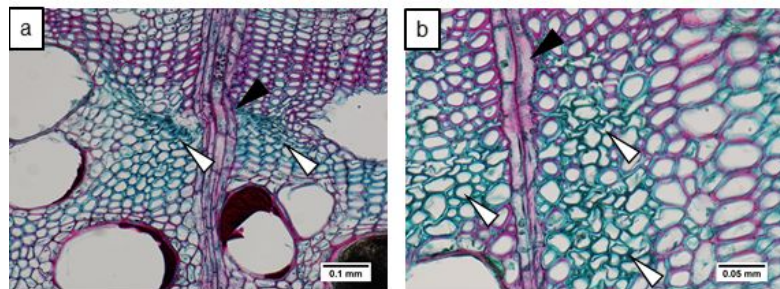


図2 直流高電圧パルスで形成層マーキングを施した *Celtis timorensis* の木部横断面。：電気刺激によって細胞壁形成が停止したために潰れた木部繊維。：変形した放射組織柔細胞。

って、同種個体であっても年によっては酸素同位体比の変動パターンに違いが生じたものと考えられる。

ここまでの検討から、熱帯樹木を用いて酸素同位体の標準クロノロジー作成には、樹種の選択が重要であり、肥大成長のフェノロジーのデータ、降水の同位体組成などのデータ整備が必要であると考えられた。また、測定データの標準化の方法についてもさらに検討が必要であると思われる。

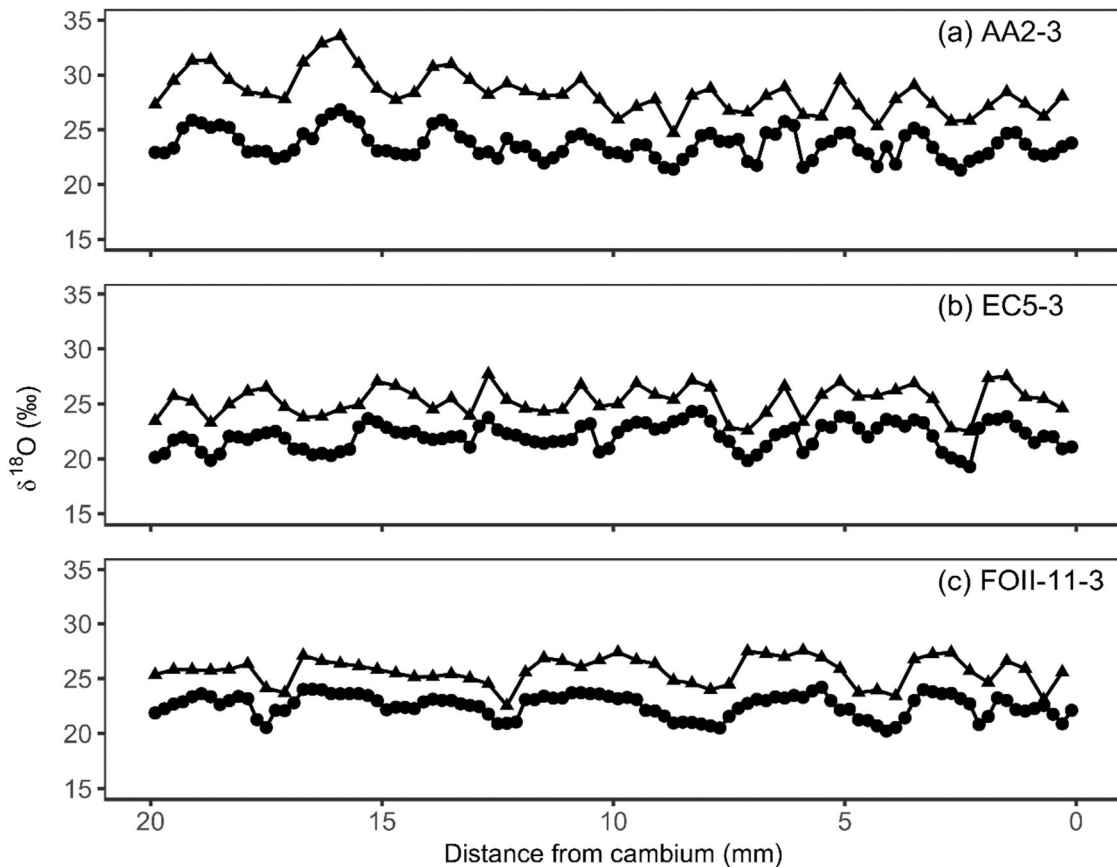


図3 セルロース試料(○)と無処理試料(●)との酸素同位体比の比較。(a)：アカシア人工林個体、(b)：ユーカリ人工林個体、(c)天然林樹木。

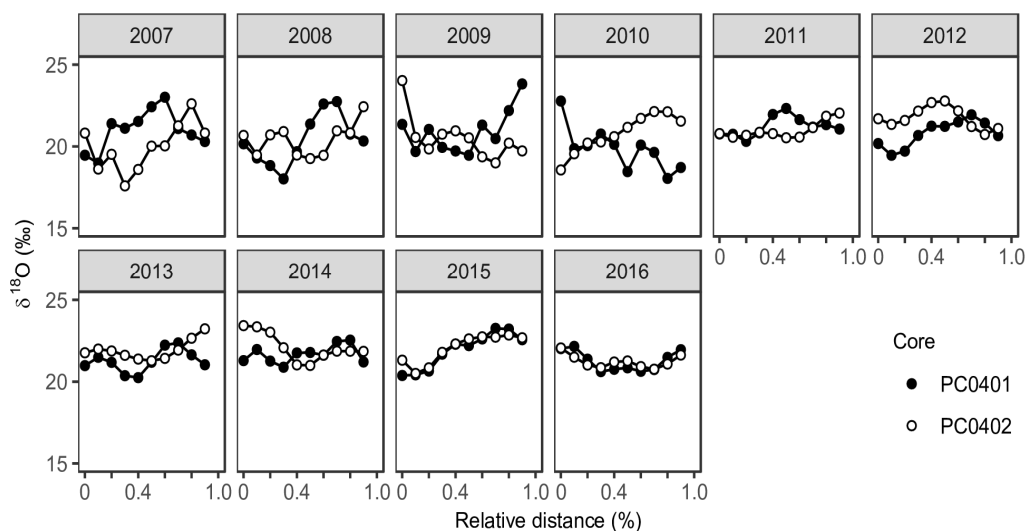


図4 *Peronema canescens* 2 個体 (PC0401 および PC0402) の酸素同位体比の比較。横軸は各年の半径成長量を 10 に分割した相対距離に標準化した。

<引用文献>

Imagawa H, Ishida S. New Marking Method by Electrical Stimulation for Studying

## 5 . 主な発表論文等

[ 雑誌論文 ] (計 1 件)

Nakai W, Okada N, Sano M, Nakatsuka T : Sample preparation of ring-less tropical trees for  $\delta^{18}\text{O}$  measurement in isotope dendrochronology. Tropics, 査読有, 27(2) 49-58, 2018 年, <https://doi.org/10.3759/tropics.MS17-09>

[ 学会発表 ] (計 5 件)

Nakai W, Okada N: Seasonal variation of  $\delta^{18}\text{O}$  in precipitation and its influence on tree ring in northeastern Thailand and Peninsular Malaysia. 第 8 回同位体環境学シンポジウム、2018 年 12 月、総合地球環境学研究所

中井 渉, 岡田直紀, Amir Affan Abdul Azim 熱帯材における酸素安定同位体比の季節変動、第 129 回日本森林学会大会、2018 年 3 月、日本森林学会

中井 渉, 岡田直紀, Amir Affan Abdul Azim 直流高電圧を用いた熱帯樹木への形成層マーキング、第 128 回日本森林学会大会、2017 年 3 月、日本森林学会

中井 渉, 岡田直紀, Amir Affan Abdul Azim タイ・マレーシアにおける降水中の酸素安定同位体比の季節変動 -安定同位体比を利用した熱帯材の標準年輪曲線構築に向けて-、第 6 回同位体環境学シンポジウム、2016 年 12 月、総合地球環境学研究所

中井 渉, 岡田直紀 熱帯材の酸素安定同位体比測定における試料調製法について、第 26 回日本熱帯生態学会大会、2016 年 6 月、日本熱帯生態学会

## 6 . 研究組織

### (1) 研究協力者

研究協力者氏名：大橋 伸太

ローマ字氏名：(OHASHI, Shinta)

研究協力者氏名：中井 渉

ローマ字氏名：(NAKAI, Wataru)

研究協力者氏名：アミル アッフアン アブドゥル アジム

ローマ字氏名：(Amir Affan Abdul Azim)

研究協力者氏名：ティラ ベニン

ローマ字氏名：(Teera Venin)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。