

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24405032

研究課題名(和文)放射性炭素分析法を用いた熱帯雨林樹木の成長履歴解析法の開発とその利用研究

研究課題名(英文) Development and utilization of a method for growth history analyses by <sup>14</sup>C dating in aseasonal tropical rain forest trees

研究代表者

市榮 智明 (Ichie, Tomoaki)

高知大学・教育研究部自然科学系・准教授

研究者番号：80403872

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：気候に明瞭な季節性が無い熱帯地域では、樹木に年輪が形成されないため、これまで長期の成長解析が困難であるとされてきた。この研究は、熱帯雨林や熱帯二次林の樹木の材に含まれる放射性炭素<sup>14</sup>C(14C)を使い、樹木の肥大成長速度や二次林の形成年代を特定する新しい解析技術を確立することを目指した。貴重な長期生態データを用いて<sup>14</sup>C分析法の精度を検証した結果、この新しい手法を用いることで熱帯雨林樹木の過去50年の成長履歴や、二次林の形成年代を高精度に特定できることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：Growth analyses from tree-ring chronology have been difficult in trees of aseasonal tropical areas, because they do not form clear annual rings due to no climate seasonality. This study was designed to establish a new technique and check its accuracy to determine tree growth rates of tropical rain forest trees during the past 50 years and also estimate fallow duration in tropical secondary forests from radiocarbon (<sup>14</sup>C) concentration in xylem tissue under the conditions of a drastic decrease in <sup>14</sup>C content in atmospheric CO<sub>2</sub> after the Nuclear Test Ban Treaty of 1963. As a result, we found a significant positive relation between the two growth rates of tropical rain forest trees determined from <sup>14</sup>C dating and calculated from DBH data, which have been continuously recorded since 1969, in Pasoh Forest Reserve in Malaysia. We also clearly showed the estimation of fallow duration in tropical secondary forests with high accuracy by this method.

研究分野：樹木生理生態学

キーワード：放射性炭素 熱帯雨林 東南アジア 熱帯二次林 気候変動 人為的攪乱 成長履歴 植生回復

## 1. 研究開始当初の背景

人為的な生態系の攪乱や地球温暖化の影響により、熱帯雨林の面積はここ数十年で大きく減少し、森林を構成する樹木の成長速度や個体群密度も大きく変化した可能性が高い。生物多様性や炭素貯蔵機能など、様々な生態系サービスを提供する熱帯雨林の持続的な維持・保全対策を検討するためには、環境・気候変化に伴う樹木の成長量の変化を過去に遡って解析し、その特性を把握する必要がある。

しかし、気候に明瞭な季節性が無い熱帯雨林では、樹木の成長が通年で可能であり、温帯樹木のように1年周期の明瞭な年輪が形成されない。そのため、これまで熱帯雨林樹木の過去の成長履歴を知ることは困難であるとされてきた。毎木調査によって、樹木の幹の周囲長を定期的に計測し、成長量を継続的に調べる取組みは、東南アジアの熱帯雨林でもここ15年ほどのデータ蓄積がある。しかし、地球規模の気候変動や人為的攪乱の影響を明らかにするためには、さらに過去に遡っての長期間かつ広範囲の樹木の成長データが必要である。しかし、現状では未だ熱帯雨林樹木の長期的な成長履歴を知る手法は確立されていない。

## 2. 研究の目的

この研究は、米ソ冷戦時代の気候実験の影響による大気中の放射性炭素 $^{14}\text{C}$ 濃度の急激な変化を利用し、(1)熱帯雨林樹木の成長速度を高精度で特定する新しい技術の確立、及び(2)その技術を利用し、地球規模の気候変動や人為的な環境変化が熱帯樹木の成長に及ぼす影響の評価、(3)熱帯二次林の形成年代の推定と、二次林の植生回復に影響を及ぼす要因を特定すること、を目的として行った。

## 3. 研究の方法

### (1) 放射性炭素を用いた熱帯雨林樹木の成長量解析技術の開発

材に含まれる $^{14}\text{C}$ 濃度の変化を利用した熱帯雨林樹木の成長量解析法の精度検証は、マレーシアのパソ森林保護区内に生育する樹木を用いて行った。パソ森林保護区では、1969年から保護区内に設定された2haの永久調査区において、樹木の幹周囲長が連続して記録されている。この研究では、1969年時点で胸高直径が25cm以上の6科12種15個体を調査対象とした。成長錘を用いて各個体の胸高部から木部コアを採取し、過去の幹周囲長の記録をもとに、1970年から2000年に材が形成されたと考えられる2~5箇所を決め、各々厚さ2mmの切片を作成した。作成した木部切片は、リグニン及びヘミセルロース除去、

セルロース抽出を行った後、試料から炭素のみを分取し、黒鉛として固定するグラファイト化の処理を行って $^{14}\text{C}$ 分析用の試料とした。最終的な分析は外部機関に委託し、加速器質量分析装置を用いて、材を構成する炭素の $^{14}\text{C}$ 濃度及び炭素安定同位体比( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ )を測定し、植物体の同位体分別から $^{14}\text{C}$ 値の補正( $^{14}\text{C}$ 値)を行った。 $^{14}\text{C}$ 分析から特定した炭素年代と実際の木部コア間の距離から、2点間の肥大成長速度を求め、幹の周囲長データから得られた成長速度と比較した。

### (2) 放射性炭素を用いた熱帯雨林樹木過去50年の成長量解析

マレーシア半島部のパソ森林保護区及びボルネオ島のランピル国立公園に於いて、フタバガキ科を中心とした6科16種33個体の成木を調査対象とし、各個体の胸高位置から成長錘を用いて木部コア3本を採取した。調査地で継続的に調べられている調査個体の過去の幹周囲長のデータから、1960年代以降に形成された各個体の木部コアの範囲をおおよそ推定し、その中の4~12カ所について材に含まれる $^{14}\text{C}$ 濃度を測定した。また、材と大気中の炭素安定同位体比の関係から、各個体の水利用効率の経年変化も調べた。

### (3) 熱帯二次林の形成年代の推定と、二次林の植生回復に影響を及ぼす要因

マレーシア・サラワク州の土性が異なる3地域(サバル:砂質、ニア:粘土質、バカム:砂質)において、聞き取り調査や過去に撮影された航空写真を用いて、伐採後の経過年数が異なる二次林を探し出し、調査を行った。3地域合計28カ所の二次林に、20×20mの調査プロットを設置し、植生(種同定、胸高周囲測定)や土壌(含水率、pH、EC、全炭素、全窒素)林内の光環境等を調べた。また、プロット内で最大サイズに達した個体を各プロット2個体選び、成長錘を用いて木部コアを採取し、材中心部の $^{14}\text{C}$ 年代を求めた。その結果と衛星画像から求めた伐採後の経過年数との対応関係を調べ、本手法の精度検証を行った。

## 4. 研究成果

### (1) 放射性炭素を用いた熱帯雨林樹木の成長量解析技術の開発

材に含まれる $^{14}\text{C}$ 濃度から算出した熱帯雨林樹木の成長速度は、周囲長の増加量から求めた成長速度と高い正の相関係数があった( $P<0.001$ )。つまり、 $^{14}\text{C}$ 分析により熱帯雨林樹木の過去の成長量が高精度で特定できることが明らかになった(図1)。しかし、成長速度が早い個体に比べ、遅い個体では、 $^{14}\text{C}$ 濃度と周囲長それぞれから求めた成長速度

の間の相関がやや低かった。これは、分析に供した厚さ 2mm の材切片中に、複数年で形成された組織が含まれるためか、あるいは幹周囲長の計測誤差が原因だと考えられる。

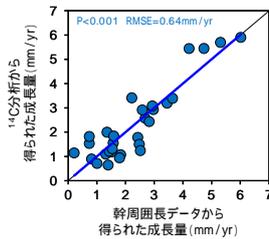


図 1. 幹周囲長データから得られた熱帯雨林樹木の成長量と、材に含まれる  $^{14}\text{C}$  濃度変化から推定した成長量との比較結果

(2) 放射性炭素を用いた熱帯雨林樹木過去 50 年の成長量解析

上記(1)で開発した  $^{14}\text{C}$  分析法を用い、マレーシアのパゾ森林保護区とランビル国立公園に生育するフタバガキ科を中心とした 6 科 16 種 33 個体の成木について、過去 50 年の成長量の変化を調べた。

その結果、各樹種の成長量には違いが見られたものの、いずれの樹種も過去 50 年で成長量に明瞭な変化は確認されなかった(図 2)。一方、水利用効率はパゾ、ランビルの個体とも増加傾向を示した。つまり、熱帯雨林の林冠構成種は、過去 50 年間で成長量に大きな変化は現れていないものの、乾燥ストレスは着実に増大傾向にあると言える。そのため、今後の更なる高温・乾燥化は樹木の成長にも影響を与える可能性があると考えられた。

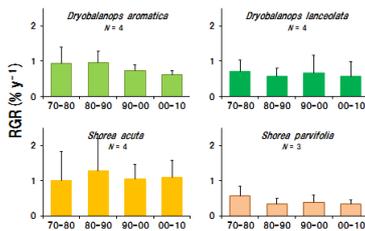


図 2. ランビル国立公園に生育するフタバガキ科 4 種の 1970 年代以降の相対成長率の変化

(3) 熱帯二次林の形成年代の推定と、二次林の植生回復に影響を及ぼす要因

熱帯二次林の形成年代について、 $^{14}\text{C}$  分析法から求めた各プロットの最大サイズ個体の推定樹齢と、衛星画像から推定した伐採後の経過年数の間には、高い正の相関関係がみられた(図 3)。ただし、衛星画像から推定した伐採時期との間には、6 年程度の差が見られた。これは、衛星画像が実際にその森林が伐採された時期を特定しているのに対し、材の  $^{14}\text{C}$  による推定法では伐採後にその個体が胸

高まで成長した時期を特定しているためであると考えられる。一般に、森林が伐採されてから焼畑として利用されるのが約 3 年程度、その後放棄されて草本が侵入し、木本種が侵入するのに約 3 年程度と言われている。つまり、本研究で得られた 6 年の誤差というのは、妥当な値であり、その結果今回新たに開発した  $^{14}\text{C}$  を用いた分析法により二次林の成立年代が高精度で特定できることが明らかとなった。

この結果を用いて、各プロットの経過年数とバイオマス量との関係性を見ると、明確な地域間差が見られ、粘土質の土壌を持つニアで最もバイオマス量が大きかった。また、主成分分析の結果から、攪乱後のバイオマスの回復には土壌環境(含水率や EC、全炭素・全窒素量)が大きく影響することが分かった。年数の経過とともに、二次林は原生林ほどのバイオマス量を回復させることはできないが、土壌条件の良い所ではより植生の回復が見込まれることが分かった。

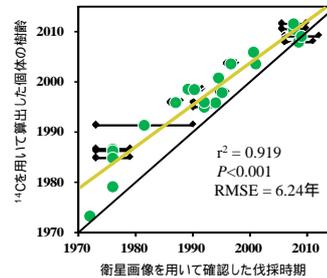


図 3. 衛星画像を用いて確認した熱帯二次林の伐採時期と、材に含まれる  $^{14}\text{C}$  濃度から推定した伐採時期の比較

(4) 結論

この研究の実施により、年輪を形成しない熱帯雨林樹木においても、材に含まれる  $^{14}\text{C}$  濃度を調べれば、過去 50 年間の成長量の変化が高精度に推定できることが明らかとなった。ただし、成長速度が 2mm/年を下回る個体では、幹周囲長データから求めた成長速度との誤差が大きかった。この原因としては、前述の通り分析した切片の中に複数年で形成された組織が含まれるためか、あるいは幹周囲長の計測誤差が原因だと推察される。今後はできるだけ薄い切片を分析に用いることで、測定精度の向上が可能になるかもしれない。

材に含まれる  $^{14}\text{C}$  濃度の変化から、東南アジア熱帯雨林に生育する樹木の過去 50 年の成長量変化を調べた。その結果、予想とは異なり、いずれの樹種も成長量は過去 50 年で目立った変化は見られなかった。しかし、炭素安定同位体比から算出した水利用効率は、調査した 2 地点とともに、過去 50 年で有意に増加していた。つまり、熱帯雨林の樹木が受ける乾燥ストレスはこの 50 年で確実に増加し

ており、今後の更なる高温・乾燥化は、熱帯雨林樹木の成長にも影響する可能性が示唆された。

熱帯二次林においても、材に含まれる<sup>14</sup>C濃度を用いて二次林の形成年代を高精度に推定することが可能であることが明らかとなった。また、二次林のバイオマス量には、土壌条件が最も影響することも分かった。今後はより多点で情報の収集を行っていくことで、熱帯二次林の有する炭素固定能や生物多様性といった生態系サービスの定量的な把握、あるいは熱帯二次林の将来的な植生回復可能性の診断等が可能になると思われる。

## 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 10 件)

Inoue, Y., Kenzo, T., Tanaka-Oda, A., Yoneyama, A., Ichie, T., Leaf water use in heterobaric and homobaric leafed canopy tree species in a Malaysian tropical rain forest, *Photosynthetica*, 査読有, 53, 2015, 177-186  
DOI: 10.1007/s11099-015-0105-6

Kenzo, T., Inoue, Y., Yoshimura, M., Yamashita, M., Tanaka-Oda, A., Ichie, T., Height-related changes in leaf photosynthetic traits in diverse Bornean tropical rain forest trees, *Oecologia*, 査読有, 177, 2015, 191-202  
DOI: 10.1007/s00442-014-3126-0

Nagai, S., Ishii, R., Suhaili, A. B., Kobayashi, H., Matsuoka, M., Ichie, T., Motohka, T., Kendawang, J. J., Suzuki, R., Usability of noise-free daily satellite-observed green-red vegetation index values for monitoring ecosystem changes in Borneo, *International Journal of Remote Sensing*, 査読有, 35, 2014, 7910-7926  
DOI: 10.1080/01431161.2014.978039

Kenzo, T., Ichie, T., Yoneda, R., Tanaka-Oda, A., Azani, M. A., Majid, N. M., Ontogenetic changes in carbohydrate storage and sprouting ability in pioneer tree species occurring in Peninsular Malaysia, *Biotropica*, 査読有, 45, 2013, 427-433  
DOI: 10.1111/btp.12036

Ichie, T., Igarashi, S., Yoshida, S., Kenzo, T., Masaki, T., Tayasu, I., Are stored carbohydrates necessary for seed production in temperate deciduous trees?, *Journal of Ecology*, 査読有, 101, 2013, 525-531  
DOI: 10.1111/1365-2745.12038

Ichie, T., Nakagawa, M., Dynamics of

mineral nutrient storage for mast reproduction in the tropical emergent tree *Dryobalanops aromatica*, *Ecological Research*, 査読有, 28, 2013, 151-158

DOI: 10.1007/s11284-011-0836-1

Haraguchi, T.F., Uchida, M., Shibata, Y., Tayasu, I., Contributions of detrital subsidies to aboveground spiders during secondary succession, revealed by radiocarbon and stable isotope signatures, *Oecologia*, 査読有, 171, 2013, 935-944

DOI: 10.1007/s00442-012-2446-1

Hiroki, T., Ichie, T., Kenzo, T., Ninomiya, I., Interspecific variation in leaf water use associated with drought tolerance in four emergent dipterocarp species of a tropical rain forest in Borneo, *Journal of Forest Research*, 査読有, 17, 2012, 369-377  
DOI: 10.1007/s10310-011-0303-4

### [学会発表](計 15 件)

市栄智明, 吉原良, 五十嵐秀一, 田中憲蔵, 新山馨, Abd Rahman Kassim, Christine Dawn Fletcher, 陀安一郎, 放射性炭素を用いた熱帯雨林樹木の過去50年の成長量解析, 第62回日本生態学会, 2015年3月21日, 鹿児島

齋木拓郎, 松尾奈緒子, 吉藤奈津子, 小杉緑子, 市栄智明, 高梨聡, 同位体分析による年輪の無い熱帯樹木の環境応答履歴の解明, 第62回日本生態学会, 2015年3月19日, 鹿児島

市栄智明, 熱帯樹木の生理生態 - 競争を生き抜く知恵とそのメカニズム -, 公開シンポジウム 熱帯・亜熱帯の森のはたらきに迫る - 炭素循環研究の最前線 -, 2014年12月6日, 沖縄

Tanaka-Oda, A., Kenzo, T., Ichie, T., Variation of leaf <sup>15</sup>N in diverse tree species in lowland dipterocarp rainforest, Malaysia, 6th International Symposium on Physiological Processes in Roots of Woody Plants, 2014年9月9日, 名古屋

濱田稔史, 名波哲, 山倉拓夫, 伊東明, 上谷浩一, 市栄智明, 田中憲蔵, Lucy Chong, 東南アジア熱帯雨林における巨大高木リュウノウジュとホソバリュウノウジュの雑種形成, 第24回日本熱帯生態学会, 2014年6月14日, 宇都宮

市栄智明, 吉田昌平, 吉原良, 五十嵐秀一, 永益英敏, 兵藤不二夫, 陀安一郎, フタバガキ科樹種の種子生産に対する貯蔵炭水化物の貢献度, 第24回日本熱帯生態学会, 2014年6月14日, 宇都宮

市栄智明, 吉原良, 高山佳苗, 五十嵐秀一, 田中憲蔵, 新山馨, Abd Rahman

Kassim, Christine Dawn Fletcher, 陀安  
一郎, 放射性炭素を用いた熱帯雨林樹木  
の成長量解析技術の開発, 第 61 回日本  
生態学会, 2014 年 3 月 16 日, 広島  
市栄智明, 則近由貴, 田中憲蔵, 上谷浩  
一, Shawn Lum, シンガポール断片化林に  
生育するフタバガキ科雑種稚樹の乾燥耐  
性能力, 第 23 回日本熱帯生態学会, 2013  
年 6 月 15 日, 福岡

〔図書〕(計 1 件)

市栄智明, 文英堂出版, 教養としての森  
林学, 2014, 222-224

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

市栄智明 (ICHIE, Tomoaki)  
高知大学・教育研究部自然科学系・准教授  
研究者番号: 80403872

(2) 研究分担者

陀安一郎 (TAYASU, Ichiro)  
総合地球環境学研究所・教授  
研究者番号: 80353449

松岡真如 (MATSUOKA, Masayuki)  
高知大学・教育研究部自然科学系・准教授  
研究者番号: 50399325

名波 哲 (NANAMI, Satoshi)  
大阪市立大学・大学院理学研究科・准教授  
研究者番号: 70326247

(3) 連携研究者

新山 馨 (NIIYAMA, Kaoru)  
独立行政法人森林総合研究所・国際連携推  
進拠点・拠点長  
研究者番号: 70353795

田中憲蔵 (TANAKA, Kenzo)  
独立行政法人森林総合研究所・植物生態研  
究領域・主任研究員  
研究者番号: 30414486

(4) 研究協力者

井上裕太 (INOUE, Yuta)  
五十嵐秀一 (IGARASHI, Shuichi)  
米山仰 (YONEYAMA, Aogu)