

自然科学系農学部門の市栄智明教授らの研究成果が、
国際誌『Methods in Ecology and Evolution』に掲載されました

自然科学系農学部門の市栄智明教授らの研究グループの研究成果が、国際誌『Methods in Ecology and Evolution』に掲載され、令和4年2月15日に電子版が公開されました。

年輪がない熱帯樹木の過去50年間の成長量や生理的応答を高精度に特定

～気候変動の影響解析や熱帯雨林の保護・管理手法の開発に期待～

○ 概要

地球規模の気候変動は森林を構成する樹木の分布、成長速度、炭素固定量等に大きな影響を与えている可能性があり、長期的な樹木成長量のデータは過去の環境変動に対する樹木の応答を知る重要な手がかりになります。しかし、一年を通して高温多雨で季節性の無い熱帯雨林では樹木は年中成長を続けるため明瞭な年輪ができず、これまで長期的な成長量を特定することは困難とされてきました。

このたび、本研究グループは、冷戦時代の大気圏核実験による大気中の放射性炭素同位体 (^{14}C) 濃度の経年変化を利用し、マレーシアの熱帯雨林の樹木の材に含まれる ^{14}C 濃度から過去の成長量を高精度に特定する新しい技術の確立に成功しました。

また、樹木の材に含まれる炭素安定同位体比を調べた結果、マレーシアの熱帯雨林では過去50年間で大気の乾燥が進み、それに伴って樹木は気孔を閉じ気味 (※1) にして水利用効率 (※2) を著しく増加させていることを明らかにしました。今後、気候変動による乾燥化がさらに進行すると、熱帯雨林樹木はますます気孔を閉じるため成長量が減少し、大気中の二酸化炭素濃度の上昇をさらに加速させる危険性があります。

本研究成果により熱帯樹木の長期的な成長量を多地点、多樹種、多個体で評価することが可能となり、今後、過去の環境変動に対する熱帯樹木の変化や、気候変動状況下における新たな森林管理手法の開発への活用が期待されます。

1. 研究の背景

四季の明瞭な日本に生育する樹木は1年周期の年輪を形成します(図1-A)。しかし、一年を通して高温・多雨で気候に明瞭な季節性の無い熱帯地域では、多くの樹木が年間を通じて成長を続けるため、明瞭な年輪が形成されません(図1-B)。温帯樹木の場合、年輪を判読すれば100年以上過去にさかのぼって成長量の経年変化を正確に再現できます。こうした長期的な樹木の成長量データは、過去の環境変動に対する樹木の応答を知る上で重要な手がかりとなっています。しかし、年輪を形成しない熱帯の樹木では、人の手で繰り返し樹木の周囲長を測定し続けられない限り、長期的な成長量を求めることは困難とされてきました。



図1. 伐採した樹木の幹の断面写真

(A) 日本のスギの断面には年輪が見える (B) 熱帯雨林の樹木の多くが年輪を形成しない

2. 研究の目的

この研究では、年輪を形成しない熱帯雨林樹木の過去50年間の成長量を正確に読み取る方法を確立することを目的としました。1969年から樹木の幹の周囲長が継続的に計測されているマレーシアのパソ森林保護区(図2)において、我々が開発した手法と周囲長の記録との対応を見ることで、その精度検証を行いました。また、過去50年間の水利用効率の変化も合わせて調べ、気候変動に対する熱帯樹木の応答について調査を行いました。

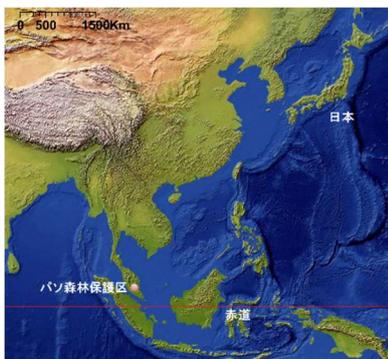


図2. マレーシア・パソ森林保護区の位置

3. 研究手法

熱帯樹木の成長量の解析には、第二次世界大戦後の冷戦時代に行われた大気圏核実験によって大量に放出され、その後減少を続ける大気中の ^{14}C 濃度(※3)の変化を利用しました(図3)。樹木は光合成のために取り込んだ炭素を成長に利用するため、木材中に含まれる ^{14}C 濃度を測定すれば、それがいつ取り込まれたものかを特定することができます。また、同時に木材に含まれる炭素安定同位体比($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$)(※4)を調べ、長期的な水利用効率の変化を検証しました。

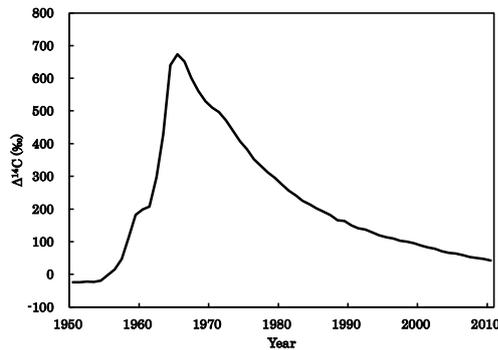


図3. 大気中の CO_2 に含まれる ^{14}C の増加・減少曲線

4. 結果と考察

木材に含まれる ^{14}C 濃度から推定した木部形成年は、過去の周囲長データから求めた木部形成年と高い正の相関関係がありました(図4)。木部の成長率も ^{14}C の濃度から求めた値と周囲長データから計算した値に有意な相関がありました。つまり、本研究によって木材に含まれる ^{14}C 濃度を用いて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りました。一方、木部に含まれる炭素安定同位体比は、樹種や個体に関係なく1969年以降ほとんど変化していませんでした。計算の結果、調査地の大気中の CO_2 濃度は明確に増加しているにもかかわらず、葉内の CO_2 濃度はほとんど変化しておらず、そのため調査個体の長期的な水利用効率は過去50年間に著しく増加していました(図5)。調査を行ったマレーシアの熱帯雨林では過去50年間で大気の乾燥が進んでおり、本研究の結果は乾燥化に伴って樹木は気孔を閉じ気味にして水利用効率を著しく増加させて対応していることを示しています。今後気候変動による乾燥化がさらに進行すると、熱帯雨林樹木はますます気孔を閉じるため成長量が減少し、大気中の二酸化炭素濃度の上昇をさらに加速させる危険性が示唆されました。

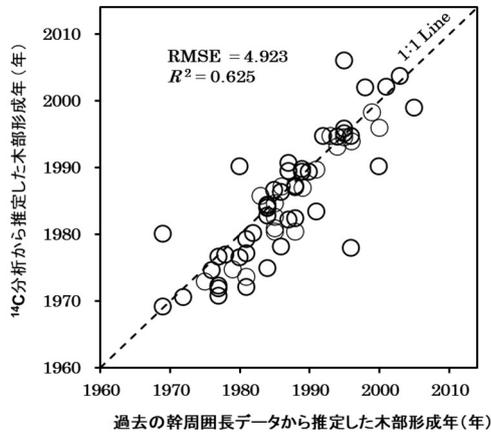


図4. 過去の幹周囲長データと¹⁴C分析から推定した木部形成年の関係

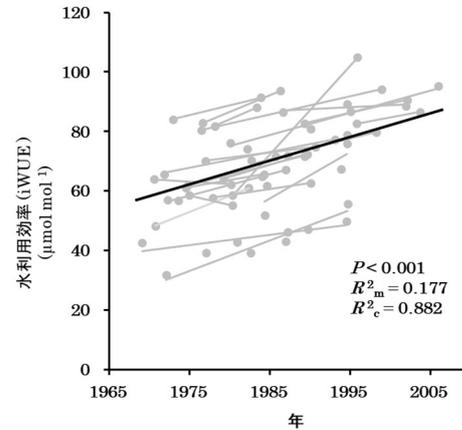


図5. 長期的な水利用効率の変化
灰色の丸と線はそれぞれ実測値と個体間相関を、黒線は線形混合モデルによる平均傾向を示す

5. 今後の展望

熱帯雨林は樹木が巨大で大量の炭素を貯蔵するため、地球の気候を維持する上で非常に重要な存在です。

現在、開発や温暖化によってその存在が失われる危険性が指摘されていますが、熱帯雨林を持続的に維持・管理していくためにも、本研究の成果を活用し熱帯雨林の樹木の過去の成長量や生理機能の変化を多地点、多樹種、多個体で評価することが求められます。本研究の成果は、熱帯雨林の保全（SDGs 目標 15「陸の豊かさを守ろう」）や気候変動状況下における新たな熱帯雨林管理手法の開発（SDGs 目標 13「気候変動に具体的な対策を」）への活用が期待されます。

6. 注釈

※1：気孔

樹木の葉の裏には気孔と呼ばれる開閉可能な小さな穴がある。気孔では、光合成の基質のひとつである二酸化炭素を取り込むとともに蒸散による水蒸気の放出も行われる。乾燥時に気孔を閉じ気味にすることで水消費量を抑える効果があるが、二酸化炭素の吸収も阻害されてしまうため光合成が制限され、炭水化物の生産量が減少することになる。

※2：水利用効率

植物がどれだけ少ない水で効率よく光合成を行えるかの指標。

※3：放射性炭素同位体 (¹⁴C)

大気中には安定同位体である¹²Cが約99パーセント、同じく安定同位体である¹³Cが約1パーセント、そして放射性同位体である¹⁴Cが極微量含まれている。

※4 : 炭素安定同位体比 ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$)

陸上植物である樹木や多くの草本は「C3植物」と呼ばれ、C3植物は光合成を行う際に「軽い」 ^{12}C が選択的に固定されるが、気孔を閉じ気味にすると葉内の「重い」 ^{13}C を固定する割合が増加する。

7. 論文情報

<論文名> Verification of the accuracy of the recent 50 years of tree growth and long-term change in intrinsic water-use efficiency using xylem $\Delta^{14}\text{C}$ and $\delta^{13}\text{C}$ in trees in an aseasonal tropical rainforest

<和訳> 非季節性熱帯雨林樹木における材の $\Delta^{14}\text{C}$ と $\delta^{13}\text{C}$ を用いた過去50年間の樹木の成長量の精度検証と水利用効率の長期的変化

<著者> Tomoaki Ichie¹, Shuichi Igarashi¹, Ryo Yoshihara², Kanae Takayama¹, Tanaka Kenzo³, Kaoru Niiyama⁴, Nur Hajar Zamah Shari⁵, Fujio Hyodo⁶, Ichiro Tayasu⁷

¹高知大学農林海洋科学部, ²高知大学大学院総合人間自然科学研究科, ³国際農林水産業研究センター, ⁴森林総合研究所, ⁵マレーシア森林研究所, ⁶岡山大学異分野融合先端研究コア, ⁷総合地球環境学研究所

論文掲載URL : <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/2041-210X.13823>

8. その他

本研究は、高知大学、国際農林水産業研究センター、森林総合研究所、マレーシア森林研究所、岡山大学及び総合地球環境学研究所による国際共同研究として行われました。また研究の一部は、科研費（科研費番号：23657022, 24405032）、及び科学技術振興機構（JST）と国際協力機構（JICA）の連携事業である地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）「サラワク州の保護区における熱帯雨林の生物多様性多目的利用のための活用システム開発」（研究代表者：市岡孝朗（京都大学大学院人間・環境学研究科教授）の支援を受けて行われました。

9. 問い合わせ先

高知大学 物部総務課 総務係

Mail : km03@kochi-u.ac.jp

Tel : 088-864-5114