

平成 30 年 6 月 6 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2014～2017

課題番号：26304004

研究課題名(和文) 同位体年輪分析による落葉・常緑熱帯林の気象・生理的環境応答の長期変動履歴の解明

研究課題名(英文) Investigation of long-term record of meteorological condition and physiological response of deciduous and evergreen tropical forests trees based on the analysis of tree-ring stable isotope ratios

研究代表者

吉藤 奈津子 (Yoshifuji, Natsuko)

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員等

研究者番号：80514223

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円

研究成果の概要(和文)：東南アジアの2タイプの熱帯林(落葉熱帯季節林・常緑熱帯雨林)を対象に、同位体年輪が気象や樹木の生理的環境応答の履歴をどのように反映しているのかを明らかにすることを目的とし、樹幹木部の炭素・酸素安定同位体比の高解像度プロファイル(同位体年輪)を解明するとともに、その形成時期を特定し、降雨及び土壌水分やCO₂・H₂Oフラックスデータとそれらから推定される樹木の生理的環境応答の指標との関係を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We aimed to investigate how the profiles of tree-ring stable isotope ratios reflect the meteorological conditions and physiological response of trees to meteorological fluctuation in a deciduous tropical seasonal forest and a tropical rainforest. We measured the intra- and inter-annual variations in the stable carbon and oxygen isotope compositions of tree-rings and dated the tree-ring formation. The relationships and the time-lag of the profiles of tree-ring stable isotope ratios with rainfall, soil moisture, and index of physiological response of trees estimated from CO₂/H₂O exchanges data measured above the canopy were examined.

研究分野：森林水文学

キーワード：同位体年輪 熱帯雨林 熱帯季節林 生理的応答

1. 研究開始当初の背景

熱帯林 - 大気間の CO₂・水蒸気交換は、CO₂ の地球規模循環や気候システムと植生の相互作用に大きな影響を及ぼす重要なファクターであることが指摘されている。気候変動に伴う CO₂・水蒸気交換の変化を理解し予測するには、アウトプットとしての CO₂・水蒸気交換量を把握するだけでなく、森林の内部メカニズムが気象の変動に対してどのように応答したのかを明らかにすることが不可欠である。本研究の調査対象地である東南アジアの MaeMo 熱帯季節林 (チーク林) と Pasoh 熱帯雨林では、タワーフラックス観測による CO₂・水蒸気交換量の長期計測と同時に、気孔開度などの樹木の生理的環境応答や、葉量変化や個葉の光合成能力といった量的・質的フェノロジーの計測が行われてきた。それらの結果から、樹木の生理的環境応答の解明は熱帯林の CO₂・水蒸気交換変動を理解する鍵であることが見えてきた。

樹幹木部の安定同位体比プロファイル (同位体年輪) には、木部を形成する光合成産物が生成された時の気象や樹木の生理的環境応答が反映されるため、同位体年輪からそれらの履歴を過去に遡って抽出することができる。極端現象を含む気候変動に対する樹木の応答を知るうえで、より長期の過去に遡った履歴を得られることは強力な利点となる。しかし、葉内の光合成産物が木部を形成するまでの過程やメカニズムが十分解明されていないため、同位体年輪に気象環境と生理的環境応答の季節変化・年々変動がどのように反映されているのか、その反映する時期、時間分解能、感度なども未だ明確になっていない。

2. 研究の目的

本研究は、気象や樹木生長の季節性が異なる二つの東南アジア熱帯林 (落葉熱帯季節林・常緑熱帯雨林) を対象に、樹幹木部年輪の安定同位体比プロファイル (同位体年輪) を年内変動がわかるレベルの高解像度で明らかにするとともに、タワー観測から得られる気象・フラックスデータや生理的応答の指標と比較し、同位体年輪が気象変動や生理的環境応答の履歴をどの程度どのように反映しているのかを明らかにすることを目的とする。その結果を踏まえ、同位体年輪から気象と生理的環境応答の長期の履歴を過去に遡って抽出し、2タイプの熱帯林の CO₂・水蒸気交換に関わる生理的環境応答特性を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 調査地

調査地は、タイ・Lampang 県の MaeMo 熱帯季節林 (18° 25' N, 99° 43' E) と半島マレーシア・ネグリセンピラン州の Pasoh 熱帯雨

林 (2° 58' N, 102° 18' E) である。MaeMo 熱帯季節林は 1968 年植栽のチークの人工一斉林で、東南アジアに広く造成されているチークプランテーションのひとつである。平均年雨量は 1360mm で月雨量 50mm 以下が 5 ヶ月も続く強い乾季があり、乾季后半には完全に落葉するため、目視で判別可能な年輪が形成される。Pasoh 熱帯雨林は低地フタバガキ林で、平均年雨量は 1800mm、MaeMo 熱帯季節林とは対照的に年間を通じて降雨があり、常緑で、目視で判別可能な年輪は形成されない。

(2) 気象・フラックス・フェノロジー観測

2 サイトそれぞれにおいて、気象観測タワーを用いて乱流変動法による樹冠上の CO₂・水蒸気フラックス観測を行った。また、各種気象要素や土壌水分を計測した。気象とフラックスの連続観測データから、群落コンダクタンスや水利用効率などの CO₂・水蒸気交換に関わる生理的環境応答指標を算出した。落葉林である MaeMo 熱帯季節林では、日射の樹冠透過率を計測し、葉面積指数 (LAI) の季節変化をモニタリングした。

(3) 安定同位体比分析

Pasoh 熱帯雨林ではフタバガキ科樹種 2 個体から、MaeMo 熱帯季節林ではチーク 2 個体から、それぞれ樹幹円盤を採取し、円盤から放射方向に厚さ 1mm 幅 1cm 程度の板状サンプルを切り出した。Pasoh 熱帯雨林のサンプルは、薬品処理により板状のままセルロースを抽出し、実態顕微鏡を用いて 300 μm 幅に細分した。MaeMo 熱帯季節林の板状サンプルはセルロース抽出を行わず、年輪界で分割し、さらに 1 年輪を 200 ~ 400 μm 幅に細分した。細分した各画分の酸素・炭素安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$) を、熱分解式元素分析計 安定同位体比質量分析計を用いて分析した。

MaeMo 熱帯季節林では、樹冠上部から葉を 2 週間間隔で採取し、乾燥後粉砕して、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ を分析した。また、篩液中のスクロースの $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ を測定するため、異なる季節に計 3 回、樹幹木部から内樹皮を採取し、超純水に浸して篩液を滲出させた後上澄み液を凍結乾燥させ、その $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ を分析した。また、2 サイトそれぞれにおいて、林外雨を定期採取し、 $\delta^{18}\text{O}$ と水素安定同位体比 (δD) を分析した。

(4) 年輪形成時期の同定

Pasoh 熱帯雨林は目視で判別可能な年輪が形成されないため、各板状サンプルにつき 2 画分について、¹⁴C 測定による年代決定を行った。さらに、 $\delta^{18}\text{O}$ と降水量の関係から、年輪形成年代を推定した。

MaeMo 熱帯季節林は目視で判別可能な年輪が形成されるが、樹幹木部の生長速度は一年を通して一定ではないため、季節変動レベルの高解像度安定同位体比プロファイルと気象・フラックスデータとの比較を行うには、

安定同位体比プロファイルのどの部分が一年のどの時期に形成されたのかを特定する必要がある。そこで、一年輪を早材と晩材に区分し、それぞれ一年のどの時期に形成されるのかを特定することとした。早材・晩材の形成時期の特定は、次のように、別途定期採取した樹幹木部サンプルの組織観察により行った。同一個体の樹幹から、形成層と当年の年輪を含む木部辺縁部をマイクロコアサンプラーを用いて定期サンプリングした。サンプリングは一成長年にわたって一週間間隔で行った。研究室において、サンプルを脱水・包埋し、ロータリーマイクロトームを用いて厚さ 3 μ m の切片を作成し、0.05% サフランインと 0.05% アルシアンブルーの混合溶液で染色したのち、光学顕微鏡で形成層帯の細胞数や道管直径、二次壁肥厚の有無などを観察し、早材と晩材の形成時期を特定した。

4. 研究成果

(1) Pasoh 熱帯雨林

樹幹木部年輪の $\delta^{18}\text{O}$ は、光合成産物を合成したときの葉内水の $\delta^{18}\text{O}$ と樹体内の水の $\delta^{18}\text{O}$ の影響を受ける。葉内水の $\delta^{18}\text{O}$ の変動には相対湿度や気孔コンダクタンスも影響するが、フラックス観測結果から得られた気孔コンダクタンスを用いて葉内水の $\delta^{18}\text{O}$ の変動を推定した結果から、葉内水の $\delta^{18}\text{O}$ に対する気孔コンダクタンスの影響は相対的に小さく、主に降水の $\delta^{18}\text{O}$ の変動を反映していると考えられた。

降水の $\delta^{18}\text{O}$ は降水量に対し負の相関を示した。そこで、降水量と樹幹木部年輪の $\delta^{18}\text{O}$ との対応から、降水量が少なかったエルニーニョ年である 1983 年及び 1998 年を同定した。また、 ^{14}C 測定による年代決定と組み合わせ、年輪形成年代を推定した。推定後の樹幹木部年輪の $\delta^{18}\text{O}$ と降水量の関係を調べた結果、一部を除き、弱い負の相関があることが確認できた。

樹幹木部年輪の $\delta^{13}\text{C}$ プロファイルは、それを構成する光合成産物が形成された時の葉の内的水利用効率を反映する。フラックス観測から、水利用効率と関係のある大気と葉内の二酸化炭素濃度比 (C_i/C_a) を推定し、土壌水分との関係を調べた結果、負の相関があることが分かった。一方、樹幹木部年輪の $\delta^{13}\text{C}$ は土壌水分と関係が見られないか正の相関を示し、 C_i/C_a とは異なる結果であった。光合成産物が樹幹木部として同化されるまでの過程やタイムラグ、フラックスデータとの時空間スケールの違いが影響しているためであると考えられる。

(2) MaeMo 熱帯季節林

樹幹木部年輪の $\delta^{18}\text{O}$ の年輪内変動は、初期に高く後半に向けて徐々に低下する傾向が見られ、 $\delta^{13}\text{C}$ は年輪界を挟んで増加し年輪内で徐々に低下する傾向がみられた。また、年によって、また、同じ年でも個体間ある

いは同一個体内の向きによって、異なるパターンを示す場合があることがわかった。

一年輪内の各画分が、一年のどの時期に形成されるのかを特定するため、木部組織の定期観察を行った結果、以下のことが分かった。形成層は開芽とはほぼ同時に活動を再開し、その直後から大径道管の形成が始まった。葉面積指数が最大になる時期に早材から晩材の形成に移行した。雨季終了より前に形成層活動の鈍化が観察され、乾期前半に休眠状態となった。

この結果を踏まえ、LAI の上昇開始から LAI が最大となる日までを早材形成期間、その後雨季終了までを晩材形成期間とし、各形成期間中は形成速度一定と仮定して、樹幹木部年輪の形成時期を推定した。そのうえで、 $\delta^{13}\text{C}$ と土壌の体積含水率との比較を行った結果、樹幹木部の $\delta^{13}\text{C}$ の変動は、その部位の推定形成日から 5 ~ 6 週間前までの平均的な内的水利用効率を反映していると考えられた。一方、葉の $\delta^{13}\text{C}$ の変動と土壌の体積含水率との比較の結果から、葉の $\delta^{13}\text{C}$ の変動は採取日から 10 ~ 20 日間前までの平均的な内的水利用効率を反映していると考えられた。樹幹木部は葉内の糖プール由来のスクロースと木部の貯蔵でんぷん由来のスクロースの混合により形成されるために、内的水利用効率を反映する期間が葉より長くなったと考えられる。

本研究では、樹幹木部年輪の高解像度 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ プロファイルが、気象変動や生理的環境応答の履歴をどのように反映しているのかを明らかにするため、まず年輪形成時期の詳細な同定を行い、そのうえで、樹幹木部年輪の $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ プロファイルと水分環境や内的水利用効率との関係を明らかにした。近年、分析技術の発展により樹幹木部年輪の $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ を高解像度で分析できるようになっているが、その高解像度プロファイルデータを十分活用するためには形成時期の特定は重要であり、本研究で提案した方法や結果は、今後の高解像度同位体年輪研究に有益な知見を示すことができた。また、落葉季節林サイトでは、当初予定していなかった追加項目として、篩液の $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ のデータも取得し、光合成産物が樹幹木部に同化されるまでの過程を解明するうえで必要な追加データを得た。木部形成時期が特定された高解像度安定同位体比プロファイルデータとともに、今後、本課題の成果を踏まえて同位体年輪の形成メカニズムを明らかにしていくうえで重要なデータセットを得ることができた。

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 4 件)

小西雄登、早寄浩、松尾奈緒子、吉藤奈津

子、高梨聡、藤原健、田中延亮、五十嵐康記、Chatchai Tantasirin、2017、タイ北部落葉性チークの年輪成長及び年輪同位体比に年降水量が与える影響の解明、中部森林研究、65:43-46、査読有
松尾奈緒子、落合拓朗、梅村匠、鎌倉真依、吉藤奈津子、チャチャイ・タンタシリン、田中延亮、田中克典、2017、タイ北部の落葉性チークの個葉ガス交換特性に土壤水分が及ぼす影響、中部森林研究、65:51-54、査読有

〔学会発表〕(計 20 件)

上田和世、松尾奈緒子、吉藤奈津子、高梨聡、五十嵐康記、田中延亮、チャチャイ・タンタシリン、タイ北部に生育する落葉広葉樹チークの年輪炭素同位体形成メカニズムの解明、第 65 回日本生態学会大会、2018 年

太田浩斗、松尾奈緒子、吉藤奈津子、高梨聡、藤原健、田中延亮、チャチャイ・タンタシリン、マイクロコアリング法によるタイ北部の落葉性チークにおける形成層活動の決定要因の解明、第 65 回日本生態学会大会、2018 年

小西雄登、松尾奈緒子、吉藤奈津子、高梨聡、藤原健、田中延亮、五十嵐康記、Chatchai Tantasirin、タイ北部の落葉性チークにおける形成層活動に土壤水分が及ぼす影響、第 64 回日本生態学会大会、2017 年

落合拓朗、松尾奈緒子、吉藤奈津子、田中延亮、鎌倉真依、山本心平、チャチャイ・タンタシリン、田中克典、タイ北部落葉性チークの葉の安定同位体比の降水変動への応答、第 63 回日本生態学会大会、2016 年

早寄浩、松尾奈緒子、高梨聡、吉藤奈津子、藤原健、五十嵐康記、田中延亮、Chatchai Tantasirin、タイ北部の落葉性チークの年輪同位体比に降水変動が及ぼす影響、第 63 回日本生態学会大会、2016 年

吉藤奈津子、五十嵐康記、田中延亮、タンタシリン、チャチャイ、ヒートパルス法による樹液流計測を用いた落葉性熱帯林の生物季節の研究、第 127 回日本森林学会大会、2016 年

小西雄登、早寄浩、松尾奈緒子、吉藤奈津子、高梨聡、藤原健、五十嵐康記、田中延亮、Chatchai Tantasirin、タイ北部落葉性チークの年輪成長及び年輪同位体比に年降水量が与える影響の解明、第 6 回中部森林学会大会、2016 年

松尾奈緒子、落合拓朗、梅村匠、鎌倉真依、吉藤奈津子、チャチャイ・タンタシリン、田中延亮、田中克典、タイ北部の落葉性チークの個葉ガス交換特性に土壤水分が及ぼす影響、第 6 回中部森林学会大会、2016 年

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 回日本生態学会大会、2015 年

吉藤奈津子、五十嵐康記、鎌倉真依、松尾奈緒子、佐藤貴紀、田中延亮、田中克典、タンタシリン、チャチャイ、鈴木雅一、タイ北部熱帯季節林の乾季初期におけるガス交換低下を引き起こす要因は何か?、第 126 回日本森林学会大会、2015 年

齋木拓郎、松尾奈緒子、高梨聡、吉藤奈津子、小杉緑子、市英智明、中塚武、木部セルロースの酸素安定同位体比に基づく年輪のない熱帯樹木の木部形成年代の推定、第 4 回同位体環境学シンポジウム、2014 年

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉藤 奈津子 (YOSHIFUJI, Natsuko)
国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員等
研究者番号：80514223

(2) 研究分担者

松尾 奈緒子 (MATSUO, Naoko)
三重大学・生物資源学研究所・講師
研究者番号：00423012

高梨 聡 (TAKANASHI, Satoru)
国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員等
研究者番号：90423011

田中 延亮 (TANAKA, Nobuaki)
東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・助教
研究者番号：10323479

(3) 連携研究者

小杉 緑子 (KOSUGI, Yoshiko)
京都大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授
研究者番号：90293919

鎌倉 真依 (KAMAKURA, Mai)
京都大学・農学研究科・研究員
研究者番号：40523840