

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 25 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26660124

研究課題名(和文) 熱帯高木の水利用深度の特定；一斉開花への参加頻度と開花順序の決定機構の解明

研究課題名(英文) Estimation of the depth of water uptake by tropical trees; the mechanisms for the flowering frequency and timing in general flowering

研究代表者

中川 弥智子 (NAKAGAWA, Michiko)

名古屋大学・生命農学研究科・准教授

研究者番号：70447837

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：開花頻度は9.64～0.86回/10年と樹種によって大きく異なり、各種の開花頻度は連続的に変化した。また、高頻度開花樹種は低頻度開花樹種に比べて群集中での開花が1ヶ月以上早いことも確認できた。表層の土壌水の酸素安定同位体比がより大きく経時変動し、開花頻度が高い樹種でも経時変動が大きくなる傾向が認められたことから、吸水深度と一斉開花への参加頻度や開花順序との関係に関する仮説が裏付けられる可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：We hypothesized that the interspecific differences in water uptake depth may influence the flowering frequency and timing in general flowering (GF) among tree species in lowland tropical rain forests in Southeast Asia. The flowering frequency differed significantly among species and the flowering peak of high-frequency flowering species preceded that of low-frequency species. The soil water sources of the dipterocarp trees were assessed using oxygen stable isotope composition ($\delta^{18}O$) with snap-shot and sequence-sampling methods. Although both an unclear vertical profile of soil water $\delta^{18}O$ and the short sampling term made it difficult to determine the water uptake depth using either method, $\delta^{18}O$ of shallower soil and high-frequency flowering dipterocarp trees seems to fluctuate more largely. However, an accurate estimation of vertical pattern of soil water use using long-term sequence-sampling method is required to fully test our hypothesis.

研究分野：森林生態学

キーワード：開花頻度 吸水深度 東南アジア熱帯雨林

1. 研究開始当初の背景

不規則な間隔で起こる群集レベルでの同調した開花・結実(以下、一斉開花)は、東南アジア熱帯雨林に特有な現象として広く知られており、生物多様性が極めて高い森林における樹木の更新や送粉・捕食といった生物間相互作用の解明の観点から多くの研究が進められてきた。また、これまで有力とされていた低温ではなく、短期間の乾燥が一斉開花の気象トリガーになっている可能性も報告されている。一方で、20年以上におよぶ長期観察より、1)一斉開花に参加する樹木には開花頻度が高い種と低い種があり、それによって一斉開花の規模(参加する樹種や個体数の割合)が変化すること、2)数ヶ月間にわたる開花では樹木群集の中での開花順序が分類群によって凡そ決まっていることが見えてきたものの、その要因は解明されていない。

乾燥した期間が長引くと、表層土壌だけでなく徐々に深い土壌の乾燥が進むと予測できる。熱帯樹木の根は一般に浅い場所に集中しているとされているが、事前の予備調査の結果では樹種によって根の深さに違い(数十センチ~数メートル)があるらしいことが確認できた。深い根をもつ樹種では深い土壌の水を利用することができるため、浅い根しか持たない樹種よりも乾燥ストレスを受けにくくなり、乾燥刺激を受け取るタイミングも遅れる可能性が高い。そのため、樹種による根のはり方の違いが利用できる水の深度の違いをもたらす、乾燥への感受性の種間差を生む結果、一斉開花への参加頻度や開花順序が種によって異なるのかもしれない。

2. 研究の目的

そこで樹木の根に注目し、一斉開花への参加頻度と群集中の開花順序を決定する上記の仮説を検証するため、野外調査(1と2)と安定同位体分析(3)を用いて以下の3点について明らかにすることを目的とした。

- (1) 各樹種の一斉開花への参加頻度と開花順序
- (2) 各樹種の根の張り方(根系形態)
- (3) 樹木が利用する土壌水の深さ

3. 研究の方法

調査はマレーシア・サラワク州・ランビルヒルズ国立公園内の低地熱帯雨林(以下、ランビル)で行った。各樹種の分布やサイズなどの情報は、ベースライン調査として実施した毎木調査のデータを利用した。

まず、1992年から継続的にモニタリングされている約20年の開花・結実フェノロジーデータを共同研究者から取得し、一斉開花に参加する頻度と群集中の開花順序を解析した。

次に、開花・結実フェノロジーデータの解

析結果に基づき、高頻度・中程度・低頻度に参加する樹種(優占種を多く含むフタバガキ科)をそれぞれ2~3種選び、各樹種1~6個体を調査対象個体として選定した。根の張り方は個体サイズや地形にも左右されると考えられるため、対象個体は林冠木とし、個体選定の際には地形にも配慮し、以下の野外調査と安定同位体分析を実施した。

(1) 野外調査; 根系形態の解明

選定個体の根であることを確実にするため、根元から先端方向へたどりながら掘りすすめた(1個体について2方向)。対象個体および周囲へのダメージや細根への影響を軽減するため、重機などは使わず手作業で丁寧に掘った。適宜、根の太さと長さ、分枝数と角度、および地表からの深さのデータをとり、調査後は土を埋め戻した。

(2) 安定同位体分析; 吸水深度の推定

実際に樹木が利用している土壌水の深さを明らかにするため、降雨が比較的少ない期間を選んで、対象個体の近くで、ハンドオーガーを用いて深さ2mまでの土壌を深さ10~60cmごとに採集するとともに、対象個体の胸高付近から、成長錐を用いて深さ5~10cm程度の材を3方向から採集した(スナップショット的方法)。また、別の40日程度の期間において、ミズツールを用いて深さ1mまでの土壌水を深さ10~40cmごとに連続的に採集するとともに(固定した3地点)、10日程度で個体を変えながら成長錐を用いて材を3方向から採集した(連続サンプリング方法)。両方法で採集した土壌と材と、連続サンプリング期間中に降った降水は、水の蒸発を防ぐため速やかに容器に入れて密閉し、日本へ持ち帰った。サンプルから水を真空蒸留法で抽出後、水の酸素安定同位体比を安定同位体比質量分析装置で測定した。

4. 研究成果

(1) 各樹種の一斉開花への参加頻度と開花順序

2011年までの木本の開花・結実フェノロジーデータのうち、1種あたり調査期間中に少なくとも一度は開花した個体数が3個体以上である55種273個体を対象として解析を行ったところ、開花頻度の最大値は 9.64 ± 2.31 回/10年(平均 \pm SD; *Knema latifolia*, ニクズク科)、最小値は 0.86 ± 0.27 回/10年(*Shorea biawak*, フタバガキ科)となった。開花頻度は種によって有意に異なったが、連続的に変化していた。フタバガキ科の中では、*Dryobalanops lanceolata* と *Dryobalanops aromatica* が高頻度開花種に、*Dipterocarpus globosus* と *Shorea beccariana* が中頻度開花種に、そして *Shorea smithiana* と *S. biawak* が低頻度開花種に区分された。これは、普段の観察から得られている印象と合致するものであった。

開花頻度の結果から、開花順序に関する解

析対象種として、高頻度開花種 (N=37) にはリュウノウジュ属の 2 種にくわえて、*Shorea ovata* (フタバガキ科) と *Cleistanthus venosus*, *Mallotus leucodermis* (ともにトウダイグサ科) の 5 種を、低頻度開花種 (N=26) には *S. biawak* と *S. smithiana* にくわえて、*Allantospermum borneensis* (イクソナンテス科), *Callerya vasta* (マメ科) および *Scaphium borneensis* (アオギリ科) の 5 種を含めた。その結果、高頻度開花種の開花ピークは、低頻度開花種の開花ピークより有意に早く (図 1)、平均すると 43 日も早いことが分かった。

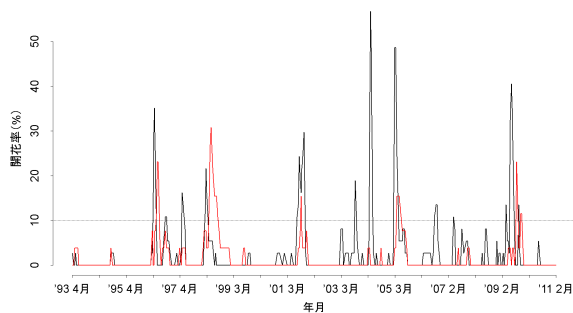


図 1. 高頻度開花種と低頻度開花種の開花フェノロジー

開花率 10% 以上で見ると、低頻度開花種 (赤線) の開花ピークが、高頻度開花種 (黒線) の開花ピークから常に遅れている。

(2) 各樹種の根の張り方

高頻度開花種の *Dryobalanops aromatica* と、中頻度開種の *D. globosus*, *S. beccariana*, *Shorea laxa* の 4 種の成木 (合計 22 個体) を対象に、その根系を手作業で掘り出したところ、各種の根の平均半径は 8.2 ~ 10.4m であった (図 2)。根の深さについては、全体的に *D. aromatica* や *S. laxa* が浅い所で横方向に伸長する傾向があったが、末端部分で地中深くに向かって垂直に潜る根がある場合や、同じ個体でも根によって形態が異なる場合が見られた (図 3)。そのため、外部形態による根

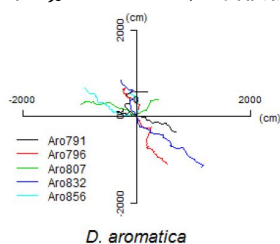


図 2. *D. aromatica* の根系水平分布

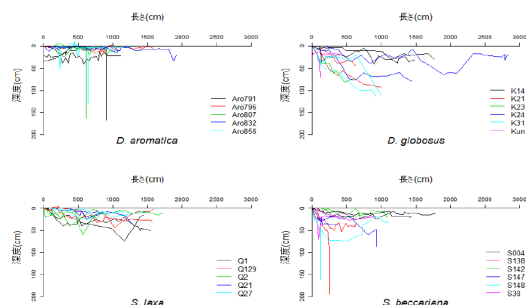


図 3. フタバガキ科 4 種の根系垂直分布

の深さと開花頻度 (もしくは開花順序) との関連性を結論づけることはできなかった。

(3) 樹木が利用する土壤水の深さ

スナップショット的方法

前述(2)の根系形態と同じフタバガキ科 4 種を対象に、スナップショット的方法で吸水深度の推定を試みた。土壤水の酸素安定同位体比は全体的に表層部分の値が高く、深くなるにつれて一度低下し、再び値が上昇したあと、約 100cm より深い層で再び低下したため、概ね S 字型を描くようなプロファイルとなった (図 4)。また、材から抽出した水の酸素安定同位体比は、一部で土壤水の酸素安定同位体比プロファイルと重ならず、逆に一部では 2 点以上で重なる結果となったため、各種が利用している土壤水の深さに関する結果は得られなかった。やはり、比較的乾燥した期間にサンプリングを行ったとはいえ、湿潤熱帯林ではスナップショット的方法を用いた吸水深度推定は難しいことが判明した。

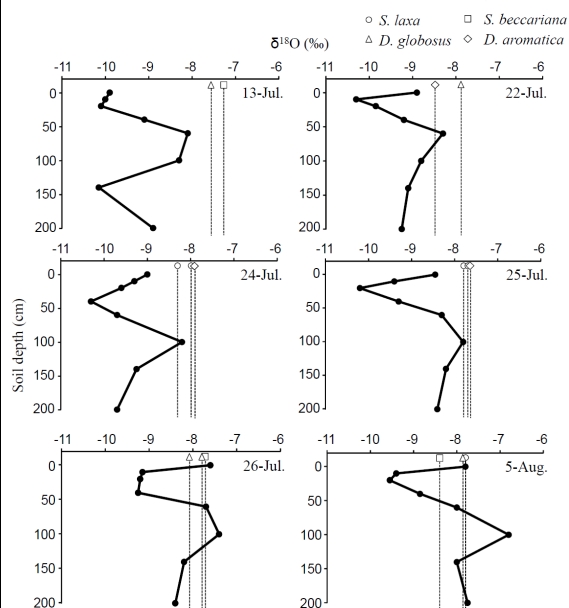


図 4. 土壤水と材からの抽出水における酸素の安定同位体比

連続サンプリング方法

2014 年 6 ~ 7 月にかけての約 40 日間、連続的に土壤水をサンプリングし、その酸素の安定同位体比を分析したところ、3 地点のうち 2 地点において、表層の土壤水ほど大きく変動し、深い土壤水は変動が小さかった (図 5)。

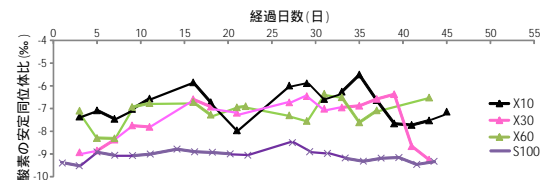


図 5. ある地点における深度別土壤水の経時変化

同様に、低・中・高頻度開花種のフタバガキ科 6 種の材から連続的に抽出した水の酸素

の安定同位体比を分析したところ、種によっていろいろな経時変化のパターンを示したが(図6)、そのパターンから吸水深度を特定することは難しかった。一方で、開花頻度が高い種ほど経時変動が大きい傾向は認められたため、浅い層の土壤水により依存している可能性が考えられた。この成果は、当初想定していた作業仮説を裏付けるものであるが、明確に結論づけるにはより精度の高い吸水深度の推定が欠かせない。連続サンプリング方法の有効性は認められたものの、変動パターンや変動の大きさから吸水深度の推定を行うには、2ヶ月間以上の複数回にわたる連続サンプリングが望ましいことが分かった。

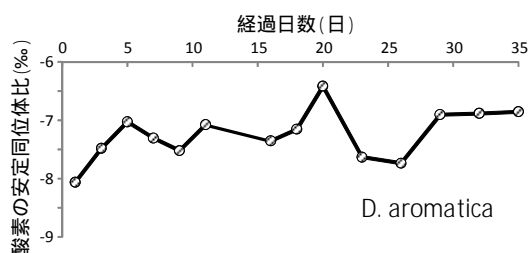


図6 *D. aromatica* の材から抽出した水の酸素安定同位体比における経時変化

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5件)

M. Nakagawa, M. Hori, H. Umemura, T. Ishida (2016) Relationships of wood density and wood chemical traits between stems and coarse roots across 53 Bornean tropical tree species. *Journal of Tropical Ecology* 32: 175-178.

M. Ohashi, T. Kume, N. Yoshifuji, L. K. Kho, M. Nakagawa, T. Nakashizuka (2015) The effects of an induced short-term drought period on the spatial variations in soil respiration measured around emergent trees in a typical Bornean tropical forest, Malaysia. *Plant and Soil* 387: 337-349.

[学会発表](計11件)

T. Nakai, T. Kumagai, T. Saito, K. Matsumoto, T. Kume, M. Nakagawa, H. Sato. Calculation of individual tree water use in a Bornean tropical rain forest using individual-based dynamic vegetation model SEIB-DGVM. 2015 AGU Fall Meeting, Moscone Center, San Francisco, USA (14-18 December 2015).

K. Kawahara, N. Matsuo, S. Sakai, M. Nakagawa. The depth of water uptake and flowering frequency of dipterocarp trees. Frontier in Tropical Forest Research: Progress in Joint Projects between the Forest Department Sarawak and the Japan Research Consortium for Tropical Forests in Sarawak, Imperial Hotel, Kuching,

Malaysia (21-22 September 2015).

川原和真・中川弥智子・松尾奈緒子・青木万実・小杉緑子・酒井章子. 湿潤熱帯林におけるフタバガキ科樹木の吸水深度と開花. 第62回日本生態学会大会, 鹿児島大学(鹿児島市), 2015年3月18~22日

M. Nakagawa, M. Hori, R. Dan, H. Kurokawa. Interspecific relationships of wood traits between stem and root in Bornean tropical trees. The 6th symposium on physiological processes in roots of woody plants, Nagoya University, Nagoya, 9-11 September 2014.

K. Kawahara. The relationship between flowering frequency and depth of water uptake by trees in Bornean tropical forest. The 6th symposium on physiological processes in roots of woody plants, Nagoya University, Nagoya, 9-11 September 2014.

[その他](計2件)

K. Kawahara, N. Matsuo, S. Sakai, M. Nakagawa (2016) Depth of water uptake and flowering frequency of dipterocarp trees. In Proceedings of the symposium "Frontier in Tropical Forest Research: Progress in Joint Projects between the Forest Department Sarawak and the Japan Research Consortium for Tropical Forests in Sarawak"

6. 研究組織

(1)研究代表者

中川 弥智子 (NAKAGAWA, Michiko)
名古屋大学・大学院生命農学研究科・准教授
研究者番号: 70447837

(2)研究分担者

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

(3)研究協力者

川原 和真 (KAWAHARA, Kazuma)