

## 熱帯雨林樹木の繁殖への対応は貯蓄型か自転車操業型か？

### ～種子に含まれる炭素放射性同位体を調べて分かったフタバガキ科樹木の繁殖戦略～

このたび高知大学、国際農林水産業研究センター、香港浸会大学、京都大学、岡山大学、総合地球環境学研究所、マレーシアサラワク森林局の国際共同チームは、東南アジア熱帯雨林で優占するフタバガキ科の樹木18種について、種子生産に対する貯蔵炭水化物資源の貢献度が低いことを発見しました。東南アジアの低地熱帯雨林では、2-10年に1度、様々な樹木が同調的に開花・結実する一斉開花・結実現象がみられます。特に優占樹種であるフタバガキ科の多くの樹木が一斉開花の年のみ繁殖し、その年には大量に結実します。これまで、樹木はこのような大量開花・結実のために、長い時間をかけて炭水化物を樹体内に貯蔵し、それを利用して繁殖を行っていると考えられていました。しかし、不定期に起こるこの繁殖現象に対して、多くの樹種の貯蔵資源を調査することは困難なため、上記の仮説は証明されていませんでした。本研究は、マレーシア・ボルネオ島のランビル国立公園で起こった一斉開花に参加したフタバガキ科18種を対象として、種子に含まれる放射性炭素同位体（※1）を分析し、種子の炭水化物が光合成によっていつ作られたかを特定しました。その結果、意外なことにもどの樹種も長い期間をかけて蓄積したものではなく、主に繁殖が起きた年の光合成で作られた炭水化物を利用していることが明らかになりました。つまり、フタバガキ科樹木は数年に1度の種子生産に対して「貯蓄型」ではなく、比較的新しい資源を使い極端に言えば、宵越しの銭は持たないと言えるような「自転車操業型」の対応で、大量の種子生産に対応していることが分かったのです。今後は、種子生産に対する窒素やリンなど他の栄養素の貢献度が分かれば、一斉開花の発生時期や種子生産量の予測が可能になり、東南アジア熱帯雨林の適切な保全・管理技術の確立につながることを期待されます。本研究結果は、国際誌「Oecologia」に3月14日付で掲載されました。

### 記

- 掲載誌 : Oecologia  
DOI : <https://doi.org/10.1007/s00442-024-05527-w>  
題名 : No evidence of carbon storage usage for seed production in 18 dipterocarp masting species in a tropical rain forest  
熱帯雨林のフタバガキ科18種の種子生産に対して貯蔵炭素の利用の証拠なし  
著者 : Shuichi Igarashi<sup>1</sup> · Shohei Yoshida<sup>1</sup> · Tanaka Kenzo<sup>2</sup> · Shoko Sakai<sup>3,6</sup> · Hidetoshi Nagamasu<sup>4</sup> · Fujio Hyodo<sup>5</sup> · Ichiro Tayasu<sup>6</sup> · Mohizah Mohamad<sup>7</sup> · Tomoaki Ichie<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>高知大学, <sup>2</sup>国際農林水産業研究センター, <sup>3</sup>香港浸会大学, <sup>4</sup>京都大学, <sup>5</sup>岡山大学, <sup>6</sup>総合地球環境学研究所, <sup>7</sup>マレーシアサラワク森林局  
責任者 : 五十嵐秀一、市栄智明(高知大学)

## 【研究の背景】

東南アジアの低地熱帯雨林では、2-10年に1度の不定期に、フタバガキ科を中心とした多くの樹種が同調的に開花・結実する一斉開花・結実現象が起こります。特に、この地域の優占種であるフタバガキ科の樹木の多くは、一斉開花の年のみ繁殖し、その年に大量の種子をつけることが知られてきました。さらに、我々の観察では同じフタバガキ科の樹種でも、一斉開花に高頻度に参加する樹種と、まれにしか参加しない樹種がありました。これまで、種子生産量に年変動のある樹種は、大量生産に必要な炭水化物を樹体内に蓄積するのに長い時間が必要で、そのために繁殖の間隔も長くなると考えられてきました。つまり、一斉開花に高頻度に参加する樹種は比較的新しい炭水化物を、参加頻度の低い樹種は長期間にわたり蓄積した古い炭水化物を使って種子生産を行っていると考えられます。一方で、調査を行ったマレーシアのボルネオ島は明瞭な乾季を持たず、通年で高温・多雨な環境のため、樹木は1年を通して活発な光合成生産が可能であり、常に炭水化物資源を獲得できます。そのため、上記の仮説に反してこの地域の一斉開花に参加する樹木は、種子生産のためにわざわざ長期にわたって炭水化物を貯蔵する必要がない可能性もあります。

フタバガキ科を含めた熱帯雨林の巨大高木は、樹高50-60mにまで成長します。そのため、花や種子が生産される巨大高木の樹冠部へのアクセスは困難であり、また一斉開花が不定期に起こることもあり、長期間に渡ってフタバガキ科の巨大高木の資源量を追跡した研究はほとんどなく、大量の種子生産に対する炭水化物資源の投資戦略は未解明のままです。

## 【研究内容】

本研究はマレーシア・ボルネオ島のランビル国立公園で行いました(写真1)。フタバガキ科を中心とした多くの樹種の繁殖状況を10年以上かけて観察し、その中から代表的なフタバガキ科の樹木18種について、種子に含まれる炭素の固定年代を特定しました。これら18種は、1993年から2003年の10年間で、繁殖頻度が1-6回と樹種ごとに大きく異なっていました。1990年代の一斉開花時に、林床や樹冠から採取された各樹種1-3個の種子について、放射性炭素同位体( $^{14}\text{C}$ )分析をおこない、その種子に含まれる $^{14}\text{C}$ 濃度を測定しました(写真2)。大気中には本来極微量の $^{14}\text{C}$ が含まれますが、冷戦時代の気候核実験によってその濃度は1950年代に急激に増加しました。しかし、1963年に気候核実験が禁止され、その後生物圏への吸収(植物の光合成)や海洋などへの溶け込みを通して、大気から年々減少しています(図1)。樹木は大気中の $^{12}\text{C}$ だけでなく $^{14}\text{C}$ も取り込んで光合成を行い、呼吸や成長、繁殖、貯蔵などに配分します。そのため、種子に含まれる $^{14}\text{C}$ から算出した炭素の固定年代と、その種子の採種年を照合すれば、種子に使われた炭素資源がどの程度の期間蓄積されたものかを年単位で特定することが可能です。



写真1. ランビル国立公園の低地熱帯雨林

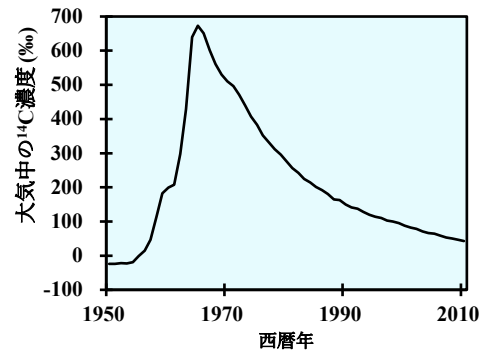


図1. 1950年以降の大気中の<sup>14</sup>C濃度の変化

分析の結果、フタバガキ科18種の種子は繁殖頻度に関係なく、種子成熟前約1年以内の炭水化物資源を用いて形成されていました(図2)。つまり、種子生産量の年変動が大きいフタバガキ科樹木は、主に一斉開花の前年か当年の光合成によって得られた炭水化物を利用して種子を生産していることが明らかになりました。当初の仮説とは異なり、フタバガキ科樹木は一斉開花の参加頻度に関係なく、貯蓄型ではなく自転車操業型のような戦略で種子生産を行っていることが分かりました。一斉開花の年には、フタバガキ科樹木の直径成長は普段に比べて低下することが報告されています。つまり、フタバガキ科樹木は炭水化物資源を成長から繁殖に回すことで、自転車操業型の資源利用を可能にしていると考えられます。一方で、著者らのこれまでの研究により、フタバガキ科樹木の繁殖には、熱帯雨林の土壤に不足しがちな栄養素であるリンの樹体内への蓄積が重要であるという結果もあります。今後はさらに多くの樹種で様々な栄養素の蓄積と繁殖の関係を明らかにしていくことで、一斉開花への参加を制限する要因が明らかになる可能性があります。



写真2. 様々なフタバガキ科樹木の種子

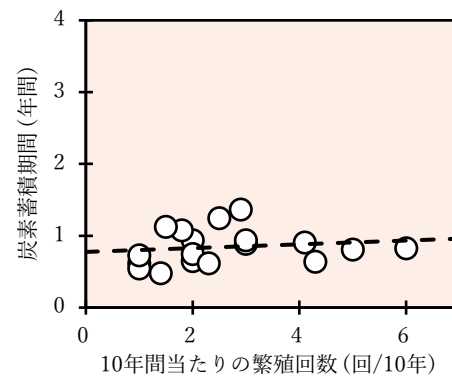


図2. 繁殖頻度と炭素蓄積期間の関係、破線は両者に有意な関係性がないことを示す

### 【展望】

この数十年で急激に劣化・消失の進んだ東南アジアの熱帯雨林を再生させるために、フタバガ

キ科の樹種等を用いた植林が積極的におこなわれています。しかし、植林に必要な苗木を計画的に生産する上で、フタバガキ科樹木の不定期な結実が障壁となっています。本研究で明らかになったフタバガキ科樹木の繁殖に対する炭水化物の利用戦略に加え、他の栄養素の動態、また一斉開花を引き起こす合図となる気象要因の観測から、今後より正確にフタバガキ科樹木の種子生産のタイミング、ひいては種子生産量まで予測できる可能性があります。東南アジア熱帯雨林の樹木が魅せるこの不思議な現象の解明は、熱帯雨林の原生林の保全・保護、その修復・再生につながるため、SDGsの目標15「陸の豊かさを守ろう」の達成に貢献します。

#### 〈注釈〉

※1:放射性炭素同位体 ( $^{14}\text{C}$ )

大気中には安定同位体である $^{12}\text{C}$ が約99%、同じく安定同位体である $^{13}\text{C}$ が約1%、そして放射性同位体である $^{14}\text{C}$ が極微量含まれている。植物は $^{12}\text{C}$ と同時に、 $^{13}\text{C}$ や $^{14}\text{C}$ も取り込んで光合成を行っている。

#### 〈関連情報〉

本研究は、日本学術振興会科学研究費助成事業科研費(23657022、24405032、17H04623、26251042)の支援によって行われました。

#### 〈研究内容に関する問い合わせ先〉

高知大学教育研究部自然科学系農学部門・教授 市栄 智明

TEL: 088-864-5149

E-mail: ichie[at]kochi-u.ac.jp

#### 〈報道・取材に関する問い合わせ先〉

高知大学 総務部物部総務課総務係

TEL: 088-864-5114

E-mail: km03[at]kochi-u.ac.jp

国際農林水産業研究センター 情報広報室

TEL: 029-838-6708

E-mail: koho-jircas [at] ml.affrc.go.jp