

令和 3 年 6 月 16 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H03828

研究課題名(和文) 木部内二酸化炭素の固定による個体成長への貢献：物質生産の再評価

研究課題名(英文) Contribution of internal CO<sub>2</sub> fixation on tree growth

研究代表者

榎本 正明 (naramoto, masaaki)

静岡大学・農学部・准教授

研究者番号：10507635

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,600,000円

研究成果の概要(和文)：ブナ科13種の当年生枝は葉と比較して低いものの光合成能力を有していた。ブナについて1年生を含む枝の光利用効率の測定からも、葉と同程度の量子収率が確認され、若齢の非同化器官での光合成機能が明らかとなった。一方、ブナの幹におけるCO<sub>2</sub>放出速度の日変化では、樹体温度だけでなく、樹液流による溶存CO<sub>2</sub>輸送の影響が示唆されたが、樹皮下の光合成による影響は小さいと推測された。しかしながら、幹表面におけるクロロフィル蛍光測定からは効率は高いものの光利用が確認された。熱帯季節林の31種を対象とした幹CO<sub>2</sub>放出速度の測定では、幹表面の形態的特性が幹CO<sub>2</sub>放出を制限する要因のひとつであることが推察された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生態系の炭素循環メカニズムを明らかにする上で、非同化器官におけるCO<sub>2</sub>動態は重要な意味を持つ。葉における光合成機能と比較して、情報の少ない非同化器官を対象としたCO<sub>2</sub>動態に関連する本研究は、個体の成長や生態系の炭素循環を理解するための貴重なデータとなる。幹CO<sub>2</sub>動態に関する、樹皮の形態的特性の影響、幹表面を対象としたクロロフィル蛍光測定は、樹木の持つ生理生態的機能のメカニズム解明に貢献できる。

研究成果の概要(英文)：The characteristics of gas exchanges were measured for current year shoots of 13 Fagaceae species. These current year twigs had photosynthetic capacities, though the photosynthetic rate of twigs were lower than that of leaves. And the light utilization efficiencies of twigs were almost same to that of leaves for *Fagus crenata*. These results shows that young twigs have photosynthetic capacities. On the other hand, the contribution of photosynthesis beneath barks on stem CO<sub>2</sub> fluxes might be a little from the measurements of daily courses of stem CO<sub>2</sub> fluxes for *Fagus crenata*. However, the light utilization on the stem surfaces were observed by chlorophyll fluorescence measurements.

The stem CO<sub>2</sub> fluxes were measured for 31 tree species grown at tropical seasonal forests, Thailand. The stem morphological characteristics of each species are different. The morphological characteristics of stem surfaces might be one of limiting factors on stem CO<sub>2</sub> fluxes.

研究分野：森林科学

キーワード：幹呼吸 光合成 樹液流

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

樹体内は大気と比較して極めて高い二酸化炭素環境にある。これは、細胞の呼吸による二酸化炭素の供給に加え、幹表面における大気へのガス拡散の大きな抵抗と、樹液に溶解した二酸化炭素の下方から上方への移動による。樹体内に存在する二酸化炭素は、どこへ行くのか？樹木の成長および生理的応答にどのように影響するのか？本研究は、個体全体での二酸化炭素収支における放出・吸収・輸送メカニズム解明を大きな目的とし、特に樹体内の二酸化炭素を基質とする樹皮下および葉における炭素固定に注目する。さらに、樹皮からの二酸化炭素放出の抑制・樹体内二酸化炭素の増加が光合成および成長に与える効果を検証する。

### 2. 研究の目的

(1) 同化器官の葉だけでなく、非同化器官にもクロロフィルが存在し光合成を行うことが報告されている。ブナ科 13 種の当年生枝を対象に、葉および枝における CO<sub>2</sub> 吸収特性について比較する。

(2) 多種を対象とした光合成特性に関する報告は見られるものの、幹呼吸に関する情報は限定的である。一般的に樹体内部 CO<sub>2</sub> 濃度は大気 CO<sub>2</sub> 濃度比べて高く、大気への CO<sub>2</sub> 放出には樹体内部および樹皮での拡散抵抗が大きいと考えられる。また、樹皮の外観は種によって異なり、その構造的な違いが CO<sub>2</sub> 拡散に影響しているとも考えられる。タイの熱帯季節林を対象に、乾燥常緑樹林 (DEF) に生育する 31 種の幹呼吸速度を比較するほか、各種の幹表面の形態特性について整理する。

(3) ブナの幹における CO<sub>2</sub> 放出を異なる高さで比較する。幹表面からの CO<sub>2</sub> 放出は単純な生物学的呼吸ではなく、樹液に溶解した CO<sub>2</sub> の移動、幹内部への CO<sub>2</sub> 貯留、幹表面付近での光合成による CO<sub>2</sub> 吸収などの影響を受けることが考えられる。幹における CO<sub>2</sub> 動態メカニズムを明らかにするため、種々の影響要因を同時に測定し、その貢献について解析する。

(4) 非同化器官における光合成機能について CO<sub>2</sub> 交換測定とは異なる方法で評価するため、クロロフィル蛍光測定を非同化器官の表面に対して適用し、ブナの枝・幹を対象に異なる高さで大量子収率の測定を試みる。

### 3. 研究の方法

(1) 静岡県浜松市の静岡大学農学部天竜フィールド、および静岡県静岡市の静岡大学農学部圃場に生育するブナ科 13 種 (常緑 9 種、落葉 4 種) を対象に、陽樹冠からシュートを採取し、切り枝法で葉と当年枝のガス交換特性を測定した。ガス交換測定には携帯型光合成蒸散測定装置 (LI-6400, Licor) を用い、測定後各器官におけるクロロフィル量を分析した。生育期 (8~10 月) に全 13 種の測定を行い、冬期 (12 月、落葉期) に常緑 3 種と落葉 3 種の測定を行った。ガス交換の測定温度は、生育期を 27 °C、冬期・落葉期を 15 °C とした。

表 1. 測定対象種と生育地

マテバシ <i>Lithocarpus edulis</i>	天	スダジイ <i>Castanopsis sieboldii</i>	天
ウバメガシ <i>Quercus phillyraeoides</i>	天	イチイガシ <i>Quercus gilva</i>	天
アラカシ <i>Quercus glauca</i>	天	ブナ <i>Fagus crenata</i>	静
ウラジロガシ <i>Quercus salicina</i>	天	クヌギ <i>Quercus acutissima</i>	静
シラカシ <i>Quercus myrsinaefolia</i>	天	コナラ <i>Quercus serrata</i>	静
アカガシ <i>Quercus acuta</i>	天	カシワ <i>Quercus dentate</i>	天
ツクバネガシ <i>Quercus sessilifolia</i>	天		

常緑種、落葉種

天、静は採取地の天竜フィールドおよび静岡大学圃場

・太字は冬期・落葉期の測定対象種

(2) タイのサケラート環境研究ステーション (14° 29'N, 101° 55'E) にある乾燥常緑樹林 (DEF) において、31 種の幹呼吸速度の測定を行った。各種 1~5 個体において幹呼吸速度の測定を行った。種ごとに幹表面の写真を撮影し、皮目の大きさ、溝 (裂け目) の大きさ、溝の多少、樹皮のはがれやすさから、樹皮の形態 (凹凸) を 4 段階に区分した。幹呼吸速度の測定には、赤外線分析計 (LI-820, LICOR) と、ポンプ (EAP-01, Asone) およびチェンバー (面積 63.6cm<sup>2</sup>, 体積 700cm<sup>3</sup>) を組み合わせた閉鎖系測定システムを用いた。幹表面 (高さ 1.3m) に接触面を加工した塩ビ管を粘土で取り付け閉鎖系となるように隙間を埋めた。幹呼吸測定時には、同時に幹表面の温度を非接触型温度計で測定したほか、測定部位の直径を計測した。

(3) 新潟県苗場山の標高 900m、および静岡県静岡市の静岡大学農学部圃場に生育するブナを対象に、異なる高さで幹からの CO<sub>2</sub> 放出を測定した。測定には、透明アクリルチャンパーを用い、閉鎖系測定システムとマルチ通気システムを用いて自動観測を行った。測定待機中のチャンパーには通気を行った。幹からの CO<sub>2</sub> 放出測定のほか、樹液流速を樹液流センサー (TDP30, Dynamax) を用いて測定し、各測定箇所においては樹体温度、幹表面の光量子束密度、木部 CO<sub>2</sub> 濃度を測定した。木部 CO<sub>2</sub> 濃度は、幹内に設置した CO<sub>2</sub> プローブ (GMM221, Vaisala) によって測定した。

(4) 静岡県静岡市の静岡大学農学部圃場に生育するブナを対象に、異なる高さで光利用効率の測定を行った。最大量子収率の測定には、携帯型クロロフィル蛍光測定器 (Mini-PAM, WALZ) を用いた。当年枝および 1 年枝の測定には、リーフクリップ (2030-B) を使用したが、幹部 (高さ 1.5 ~ 7.5m) では形態的に使用することができないため、標準クリップにファイバーを取り付けてリーフクリップと平行に並べて測定を行った。測定は落葉期の 12 月と着葉期の 8 月に行った。高さ 1.3, 3.5, 5.5, 7.5, 9.5, 10.0m (樹高 10.4m) で実施し、9.5, 10.0m では当年枝と 1 年枝を対象とした。

#### 4. 研究成果

(1) ブナ科 13 種の測定から常緑 3 種において、葉の光合成速度および暗呼吸速度は冬季にかけて低下した (図 1.)。特に光合成の低下は大きい。一方、当年枝では常緑 3 種において光合成速度、暗呼吸速度が冬季にかけて低下したのに対して、落葉 3 種においては光合成速度・暗呼吸速度ともに増加した。常緑 3 種では、葉・当年枝ともに冬季にかけてクロロフィル量が低下したのに対して、落葉 3 種の当年枝ではクロロフィル量が増加した。このとき、当年枝ではクロロフィル a/b 比の増加も確認された。

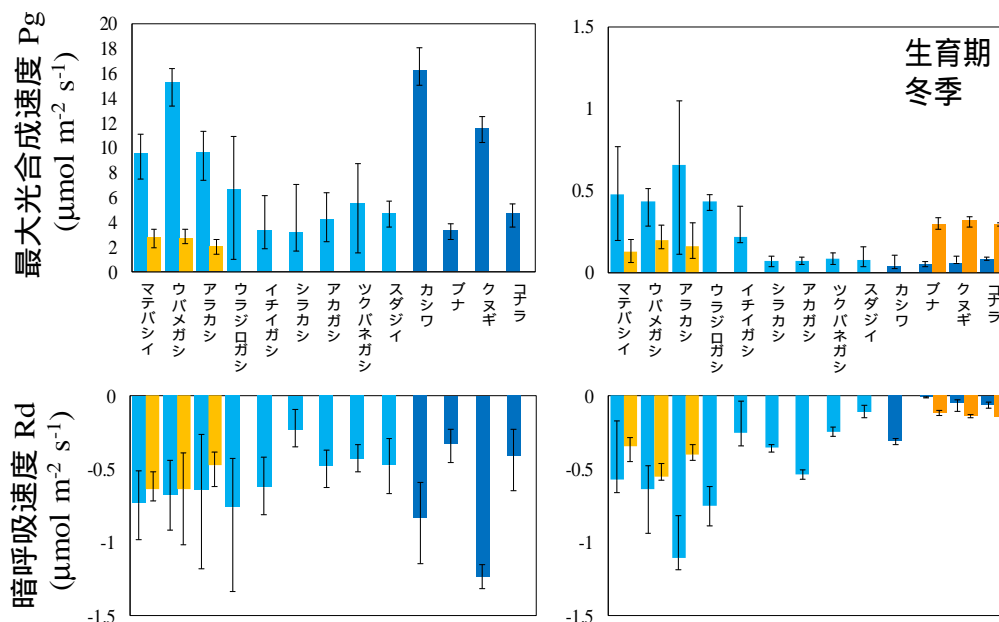


図 1. 葉 (左図) および当年枝 (右図) における CO<sub>2</sub> 交換速度

(2) 熱帯季節林に生育する 31 種の幹呼吸速度は、0.43 ~ 8.01  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  であり、*Ormosia sumatrana* で最大値を示した (図 2.)。測定時の樹体表面温度は 23~29 の範囲にあり、幹呼吸速度は同一種内でも最大で 7 倍を超える違いが見られ、個体間の差は大きい。個体間の差は *Spondias bipinnata* で最大の 7.39 倍のほか、*Hopea ferrea* で 6.11 倍、*Dialium cochinchinense* で 5.64 倍と高くなった。幹表面の形態的特性については、区分間で幹呼吸速度の最小値に大きな違いは見られないが、樹皮が剥がれやすく凹凸のある幹を持つ種で幹呼吸速度が増加する傾向が確認された。幹表面の形態的特性が、幹呼吸を制限する要因のひとつであると考えられる。

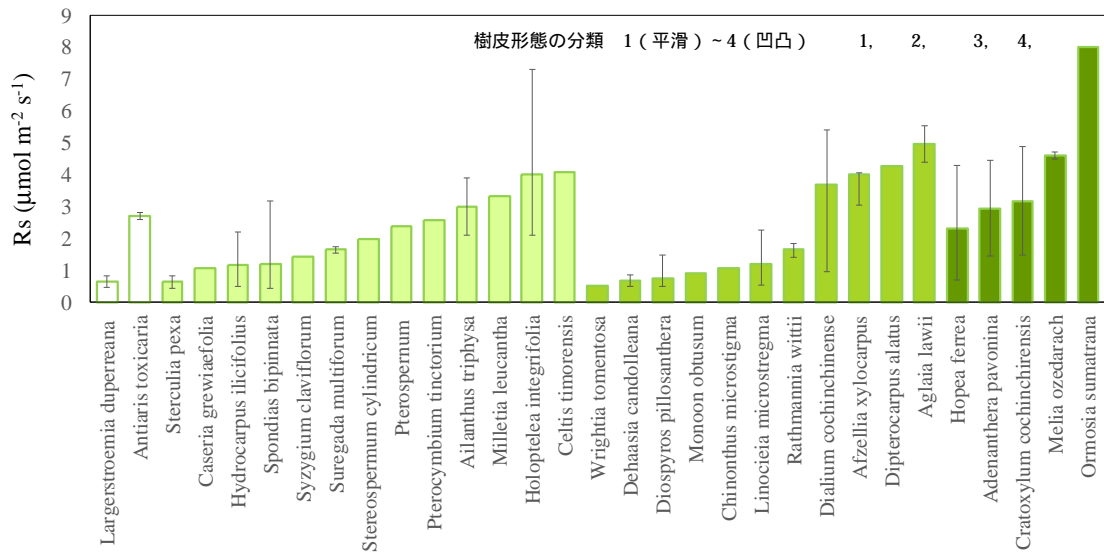


図2. タイ・サケラートの熱帯季節林 31 種における幹呼吸速度

(3) ブナを対象とした幹 CO<sub>2</sub> 放出速度の測定では、幹の高さによって CO<sub>2</sub> 放出速度の日変化は異なる。相対的に高い位置の幹では、日中の温度上昇に伴って CO<sub>2</sub> 放出速度は増加するが、低い位置では日中の CO<sub>2</sub> 放出速度の増加がない、もしくは低下する変化を示した (図 3.)。幹における CO<sub>2</sub> 放出速度は種々要因の影響を受けており、単純に温度のみで説明することはできない。モデル解析の結果では樹液流による CO<sub>2</sub> 放出への負の影響の重要性が推測されたが、樹皮下の光合成による影響は小さいと予想された。比較的高い位置の幹において測定された一部の結果では、幹表面に高い光量子束密度の日射を受けたとき、CO<sub>2</sub> 放出速度の低下が見られた。樹皮下の光合成の影響については、周皮の光透過性等を考慮したさらなる実験・調査を要する。

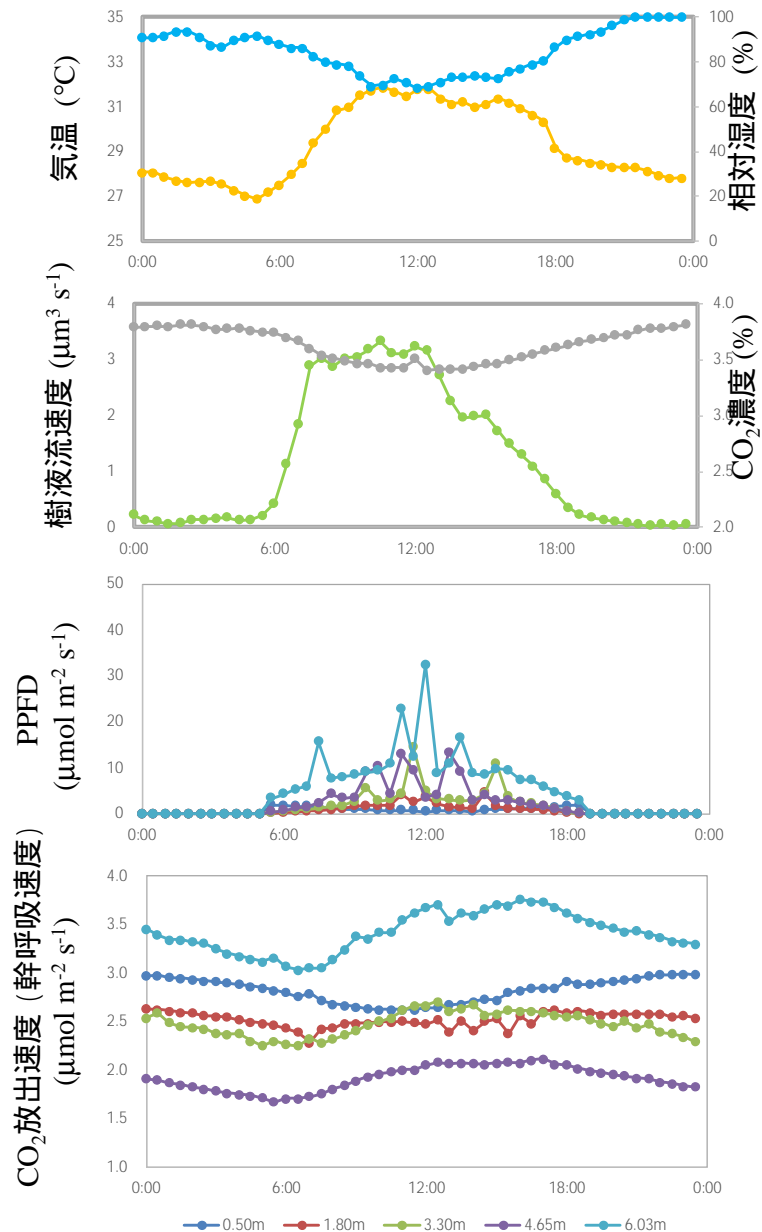


図3. 環境要因と CO<sub>2</sub> 放出速度の日変化 (8月14日)

(4) ブナの非同化器官を対象としたクロロフィル蛍光測定の結果から、幹および枝の表面付近における光化学反応(光利用)が確認され、枝では葉と同程度の量子収率を示した。幹表面における最大量子収率( $F_v/F_m$ )は、季節によって変化し、着葉期は平均値 0.5 程度を示した(図 4.)。幹では枝と比較して  $F_v/F_m$  が低く、高さでの違いは見られなかった。落葉期には当年枝や幹の低い位置で  $F_v/F_m$  が低下する一方で、1 年枝や幹の高い位置では相対的に高い値となる傾向が見られた。

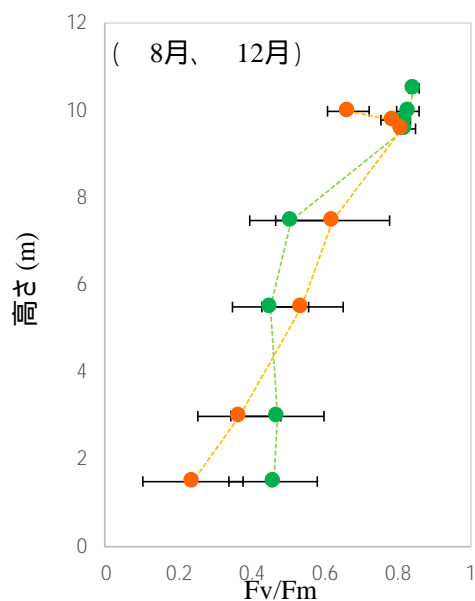


図 4. 非同化器官における最大量子収率 ( $F_v/F_m$ ) の垂直分布

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 片淵幸菜・水永博己・楢本正明
2. 発表標題 ガス交換とクロロフィル蛍光測定からみたブナ幹における光利用効率の評価
3. 学会等名 第9回中部森林学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 楢本正明・片淵幸奈
2. 発表標題 ブナの幹における光利用効率とガス交換
3. 学会等名 第131回日本森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 楢本正明・高野翼・菅原悠希・DokrakMarod・水永博己
2. 発表標題 タイ・サケラートのDEFに生育する31種の幹呼吸
3. 学会等名 第29回日本熱帯生態学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 楢本正明
2. 発表標題 落葉期のブナにおける非同化器官の光利用効率
3. 学会等名 第130回日本森林学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 檀本正明・蓮田和也・坂田史帆・水永博己
2. 発表標題 非同化器官におけるCO2吸収機能
3. 学会等名 第129回日本森林学会大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	水永 博己 (mizunaga hiromi)  (20291552)	静岡大学・農学部・教授  (13801)	
研究分担者	飯尾 淳弘 (iio atsuhiro)  (90422740)	静岡大学・農学部・准教授  (13801)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------