

平成 21 年 6 月 5 日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2006～2008

課題番号：18780114

研究課題名（和文） 樹皮下光合成を考慮した個体の二酸化炭素交換能力の評価

研究課題名（英文） Evaluation of whole tree CO<sub>2</sub> exchange considering bark photosynthesis

研究代表者

飯尾 淳弘 (IIO ATSUHIRO)

静岡大学・農学部・研究員

研究者番号：90422740

研究成果の概要：ブナ成木（80年生）を対象として、樹皮呼吸と樹皮光合成速度の温度と光強度に対する反応特性とその季節変化を枝の直径別に調べた。直径に関わらず、樹皮光合成と呼吸速度は開葉直後の5月に最も高く、冬に向かって低下する傾向を示した。当年枝（その年に伸びた枝）の樹皮光合成による呼吸CO<sub>2</sub>の再吸収率は50～90%に達したが、径級の増加とともに大きく低下し、幹の部分では10～20%であった。また、太い幹の部分では樹液による呼吸CO<sub>2</sub>の持ち去りの影響が大きいことがわかった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	2,000,000	0	2,000,000
2007年度	1,000,000	0	1,000,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	180,000	3,780,000

研究分野：森林生態

科研費の分科・細目：(分科) 林学 (細目) 森林工学

キーワード：ブナ (*Fagus crenata* Blume)、樹皮光合成、樹皮呼吸

## 1. 研究開始当初の背景

森林の光合成量を評価する場合に、葉の光合成のみを考慮することが一般的であるが、多くの樹木では周皮の下に葉緑組織を持っており、樹皮呼吸によって発生したCO<sub>2</sub>を再吸収している（樹皮光合成）。巨大な森林の樹皮表面積は大きく、樹皮光合成によるCO<sub>2</sub>の再固定は森林のCO<sub>2</sub>収支に大きな影響を与える可能性がある。しかしながら、樹皮光合成の環境応答特性や季節変化、径級変化について調べた研究は葉の光合成と比べて少なく、その森林のCO<sub>2</sub>収支における重要性は明らかでない。

## 2. 研究の目的

樹皮光合成の環境応答特性、季節変化、径級変化を調べ、個体レベルのCO<sub>2</sub>収支におけるその重要性を明らかにすることである。

樹冠最上層にある当年枝は、よく光が当たり呼吸活性が高いため、その光合成は個体全体のCO<sub>2</sub>収支において大きな役割を果たすと考えられる。当年枝の環境応答特性と季節変化については特に詳しく調べた。

## 3. 研究の方法

試験地は新潟県苗場山の標高900mにある80年生ブナ2次林である。試験地内には高さ24m幅6m×6mの鉄塔があり、成木5個体

の樹冠にアクセス可能である。鉄塔内にある成木 3 個体を供試木とした。

当年枝のガス交換速度は切り枝の状態、携帯型光合成蒸散測定装置 (LI-6400) で測定した。十分な測定精度を得るために、各測定につき 5~8 本の枝をチャンバーにはさんだ。期間は 2006 年 4 月~2008 年 4 月であり、毎月一回の頻度で測定した。枝を採取して葉を除去した後約 30 分間の暗処理を行い、当年枝の最大量子収率 ( $F_v/F_m$ ) を携帯型クロロフィル蛍光測定装置 (MINI-PAM) で測定した。その後、ガス交換速度の光強度、温度、 $\text{CO}_2$  濃度に対する反応特性を調べた(それぞれ light カーブ、温度カーブ、 $\text{CO}_2$  カーブとする)。Light カーブは光量子束密度 (PPFD)  $0\sim 1000\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  の範囲を 8 段階に分けて測定した。チャンバー内温度と  $\text{CO}_2$  濃度はそれぞれ  $25^\circ\text{C}$  と  $360\text{ppm}$  に制御した。温度カーブは  $10\sim 40^\circ\text{C}$  の範囲を 5 段階に分けて測定した。チャンバー内 PPFD と  $\text{CO}_2$  濃度はそれぞれ  $700\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、 $360\text{ppm}$  である。 $\text{CO}_2$  カーブは  $\text{CO}_2$  濃度  $50\sim 2000\text{ppm}$  を 5~10 段階に分けて測定した。チャンバー内 PPFD と温度はそれぞれ  $700\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、 $25^\circ\text{C}$  に制御した。チャンバー内の湿度はすべての測定において外気に追従させた。

ガス交換速度の測定後にチャンバーにはさんだ部分の長さ、直径を測定し、その表面積と体積を計算した。さらにそれを窒素含有量 (N) とクロロフィル含有量 (Chl) のサンプルに分け、N 用のサンプルは  $80^\circ\text{C}$  で 3 日間乾燥させた後に絶乾重量を測定し、NC アナライザーで N を測定した。Chl 用サンプルは生重量を測定した後に液体窒素で凍らせ、アセトン抽出法でクロロフィルを抽出し、吸光度計で Chl を測定した。また、残ったサンプルについてはその周皮をはがし、MINI-PAM の内蔵ハロゲンランプとリーフクリップ付属の光センサーを利用して、周皮の光透過率 (LTP) を測定した。

当年以外の非同化組織については、直径 3cm、6cm、20cm の枝や幹に透明のチャンバーを設置し、自作の樹皮呼吸測定装置 (赤外線分析計、5ch) で枝の  $\text{CO}_2$  交換速度 ( $\Delta\text{CO}_2$ ) の日変化を測定した。チャンバー内に熱電対とフォトダイオードを設置し、樹皮表面温度 ( $T_{\text{bark}}$ ) と樹皮表面 PPFD ( $\text{PPFD}_{\text{bark}}$ ) を測定した。測定間隔は 1 分であり 2007 年 6 月~11 月まで毎月 1 回の頻度で測定した。樹皮光合成と呼吸を分離するために、定期的に暗処理を行った。

樹皮光合成は暗処理時の呼吸速度と照射時の呼吸速度の差であると定義した。

#### 4. 研究成果

図 1 に当年枝の表面積あたりの樹皮光合成速度 ( $P_g$ ) と呼吸速度 ( $R$ ) の環境応答特性と

その季節変化を示す。また、図 2 に当年枝の形態的、生化学的特性を示す。樹皮光合成の Light カーブは葉と同じように飽和型の曲線関係を示した。光飽和時の光合成速度 ( $P_{\text{gmax}}$ ) は開葉直後の 5 月に最も高く、冬に向かって低下する傾向を示した。10 月以降では  $F_v/F_m$  が大きく低下していることから、冬季の  $P_{\text{gmax}}$  の低下には光阻害の関与が考えられる。樹冠最上層の枝であるにも関わらず、その光合成の光飽和点は  $100\sim 200\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  程度であり、同じ場所にある葉の  $1/6\sim 1/3$  程度であった。Chla/b は最も高い 5 月で 2.7 であり、これは相対 PPFD が 5% の暗い環境に生育する陰葉とほぼ同じ値である。5 月の LTP は約 70% という比較的高い値を示したが、枝の成熟とともに急激に低下し、6 月以降は 25~35% で推移した。当年枝の葉緑組織は髓の部分まであり、その光環境は 5 月であっても 5% 以下という暗い環境下にある。樹冠最上部の枝であってもその葉緑組織は非常に暗い環境下であり、葉の葉肉組織と比べて極めて陰葉的な性質であることがわかった。

$T_{\text{bark}}$  の増加に対して  $P_{\text{gmax}}$ 、 $R$  は指数関数的に増加する傾向を示した。この傾向は季節を通して見られ、 $P_{\text{gmax}}$  と  $R$  の関係をプロットすると温度、季節に関わらず傾きが約 0.7 の強い正の相関があった。温度や季節に関わらず呼吸  $\text{CO}_2$  の約 7 割が樹皮光合成によって再固定されることがわかった。

枝の  $\text{CO}_2$  カーブは葉と大きく異なり、皮層の細胞間隙内  $\text{CO}_2$  濃度 ( $C_{\text{cort}}$ ; 葉の  $C_i$  と同じように皮層コンダクタンスと  $R$  から Ficks 則で計算される) の増加に伴って  $P_{\text{gmax}}$  は直線的に増加した。この傾向は季節を通して観察され、その傾きは 5 月に高く夏に低い傾向を示した。周皮はガスコンダクタンスが非常に低いので枝内に呼吸  $\text{CO}_2$  が蓄積しやすい。そのため  $P_{\text{gmax}}$  は  $C_{\text{cort}}$  に依存しないと考えられてきた。しかし、実際には  $\text{CO}_2$  濃度に依存することがこの研究によって明らかになった。また、葉緑組織の性質が陰葉的であるにも関わらず、高  $\text{CO}_2$  濃度でも  $P_{\text{gmax}}$  が飽和しないことから、細胞間隙から細胞内までのガス拡散コンダクタンス ( $g_i$ ) が非常に低い (葉の約  $1/20\sim 1/80$ ) ことが考えられた。

枝の  $\text{CO}_2$  カーブのもうひとつの特徴は、 $C_{\text{cort}}$  が 0 ppm であっても  $P_{\text{gmax}}$  が 0 にならないことである。形成層より内側の組織には間隙が少なく  $g_i$  が非常に低いため、呼吸  $\text{CO}_2$  が蓄積しやすい。そのため  $C_{\text{cort}}$  が 0 ppm になっても光合成を維持できると考えられる。枝内の外側の葉緑組織は十分な光を利用できるが  $\text{CO}_2$  不足であり、逆に内側の組織は十分な  $\text{CO}_2$  があるが光不足である可能性が高い。枝の葉緑組織にはこのようなジレンマがあると考えられる。

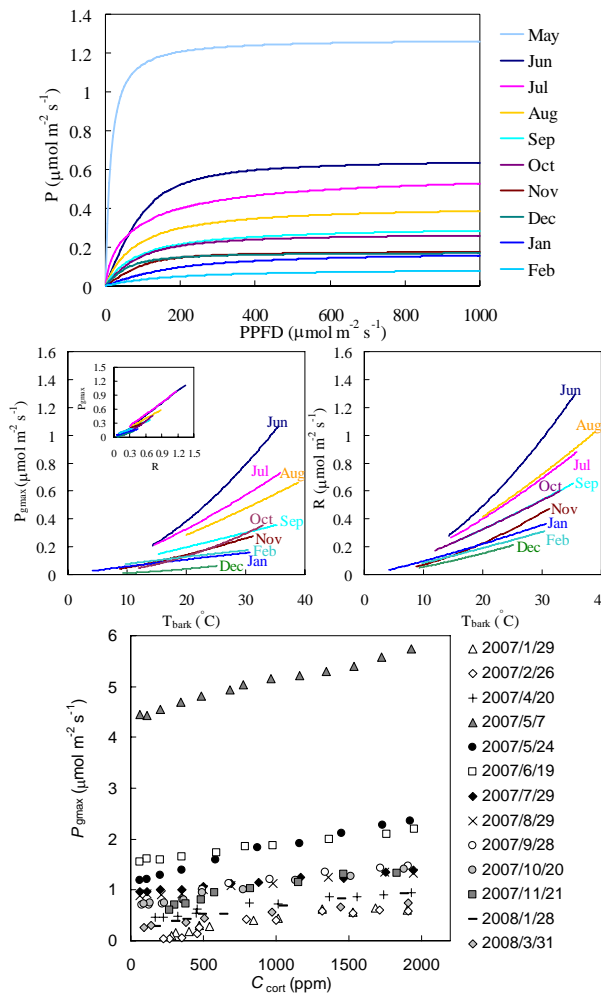


図 1：当年枝の樹皮光合成と呼吸速度の環境応答特性とその季節変化（上から Light カーブ、温度カーブ、CO<sub>2</sub> カーブ）

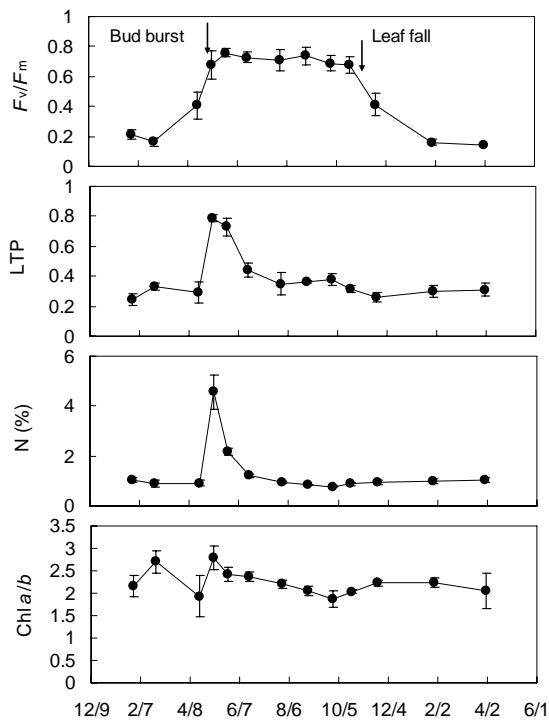


図 2：当年枝の最大量子収率、周皮の光透過率、窒素含有量、クロロフィル a、b 比の季節変化

当年枝の樹皮呼吸と樹皮光合成の Light カーブと温度カーブ、樹冠最上層の PPFD と温度より、5 月～11 月までの日積算  $R$  と  $P_g$  の季節変化を予測した (図 3)。 $R$  は  $P_g$  よりも常に大きく 5 月から 11 月に向かってゆっくりと低下する傾向を示した。 $P_g/R$  は最大で 0.6 であり、8 月以降に急激に低下した。5 月から 11 月までの  $R$  と  $P_g$  の積算値はそれぞれ 6.55、2.87 mol m<sup>-2</sup> であり、樹皮光合成によって呼吸で排出される CO<sub>2</sub> の約 44% を吸収していることがわかった。

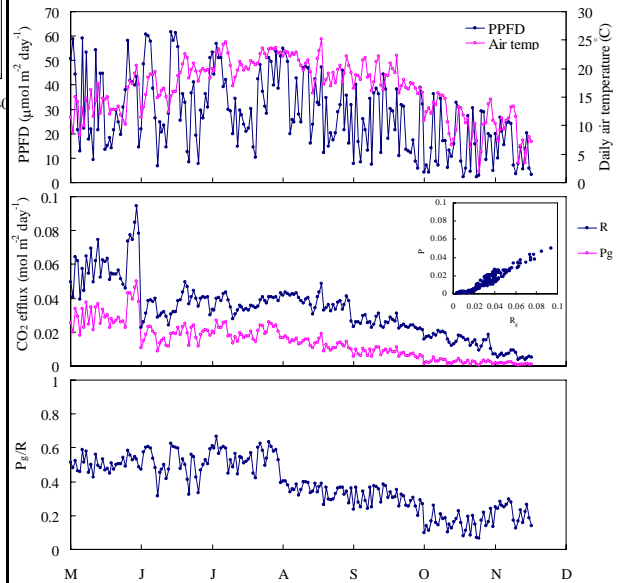


図 3：日積算樹皮光合成速度と呼吸速度の季節変化（上から順に、樹冠最上層の PPFD と気温、呼吸速度と光合成速度、樹皮光合成による CO<sub>2</sub> の最固定率）

10 月の快晴時に測定された直径 3cm の枝の  $\Delta$ CO<sub>2</sub> の日変化を図 3 に示す。夜明けとともに気温と  $T_{bark}$  が上昇したが、PPFD<sub>bark</sub> も上昇したために  $\Delta$ CO<sub>2</sub> は急激に低下した。呼吸と光合成を分離するためにチャンバーの暗処理を行ったところ、樹皮光合成の抑制により  $\Delta$ CO<sub>2</sub> は急激に上昇した。しかしながら、日中では  $T_{bark}$  が夜間よりも 10°C 以上も高いにも関わらず、 $\Delta$ CO<sub>2</sub> は夜間とほぼ同じ値を示した。 $\Delta$ CO<sub>2</sub> が上昇しないのは樹液による呼吸 CO<sub>2</sub> の持ち去りの影響である可能性が高い。また、直径が大きくなるに従って  $\Delta$ CO<sub>2</sub> と  $T_{bark}$  の日変化にタイムラグが現れ、直径 20cm の幹では  $\Delta$ CO<sub>2</sub> に約 1 時間の遅れが見られた (データ非表示)。太い幹では樹液流は気象要因の日変化よりも遅れて変化することがよく知られている。径級が大きくなると、 $\Delta$ CO<sub>2</sub> おける樹液流の影響が大きくなるといえる。その一方で

幹の  $PPFD_{bark}$  の日平均値は  $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  程度であり、暗処理による  $\Delta\text{CO}_2$  の上昇はほとんど見られなかった。径級が大きくなるに従って樹皮光合成は小さくなるのがわかった。

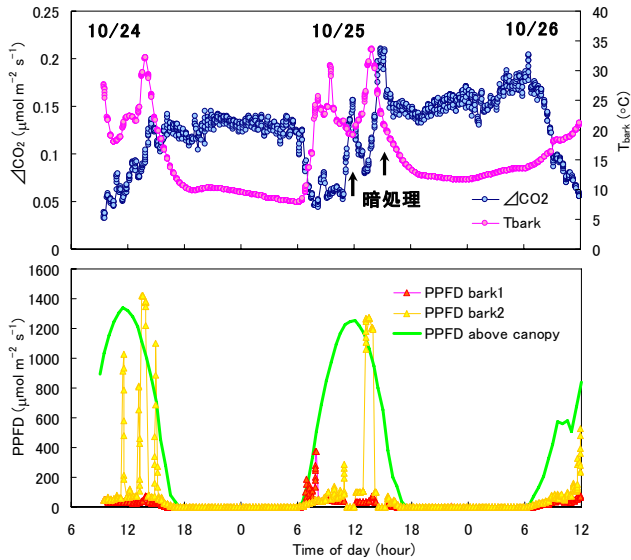


図3: 直径 3cm 枝の  $\text{CO}_2$  交換速度と樹皮表面環境の日変化

図4に直径と  $R$ ,  $P_g$  の関係を示す。 $R$  は7月から8月の間に大きく低下した。これは肥大成長の鈍化に伴って成長呼吸が低下したためであると考えられる。7月以外の月では、 $R$  と  $P_g$ ,  $P/R$  は直径の増加とともに低下する傾向を示した。

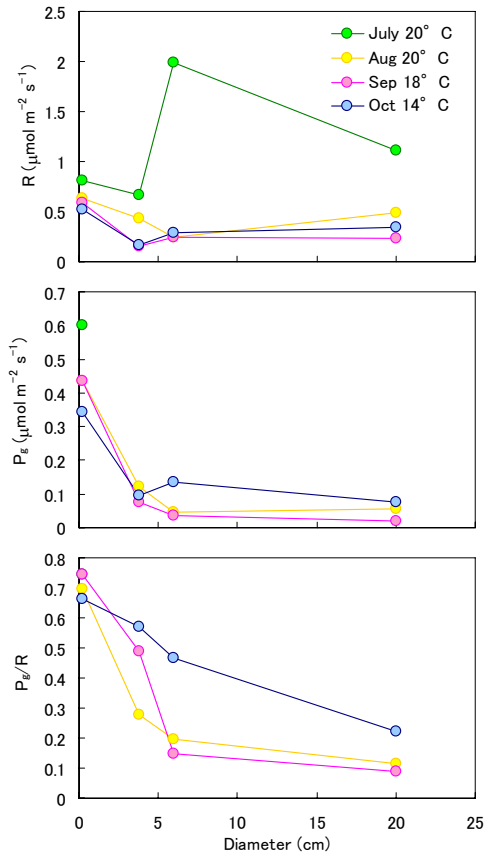


図4: 非同化部直径と樹皮呼吸速度、光合成、 $\text{CO}_2$  の再固定率の関係

## 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)

[学会発表] (計 3 件)

① 飯尾淳弘、ブナ当年枝の光合成速度と外気  $\text{CO}_2$  濃度の関係、第 120 回日本森林学会、2009 年 3 月 27 日、京都大学

② 飯尾淳弘、苗場山ブナ当年枝の樹皮呼吸速度と樹皮光合成速度の季節および径級変化、第 119 回日本森林学会、2008 年 3 月 27 日、東京農工大学

③ 飯尾淳弘、苗場山ブナ当年枝の樹皮呼吸速度と樹皮光合成速度の季節変化、第 54 回日本生態学会、2007 年 3 月 20 日、愛媛大学

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

飯尾 淳弘 (IIO ATSUHIRO)  
静岡大学・農学部・研究員  
研究者番号：90422740

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし