

樹木繁殖器官の 物質収支

果実の成長と呼吸・光合成のバランス

小川一治 著



海青社

1 主な成育域における樹木や森林

1-1 ① スウェーデン(北方林)／混交林



スウェーデン農科大学(SLU)ビンデルン(Vindeln)実験基地内のヨーロッパトウヒとヨーロッパアカマツの混交林(濃緑色:ヨーロッパトウヒ、淡緑色:ヨーロッパアカマツ) 右下:ヨーロッパアカマツの幹の成長と呼吸との関係の解明のため枝打ち処理をしている様子(Ogawa 2006)

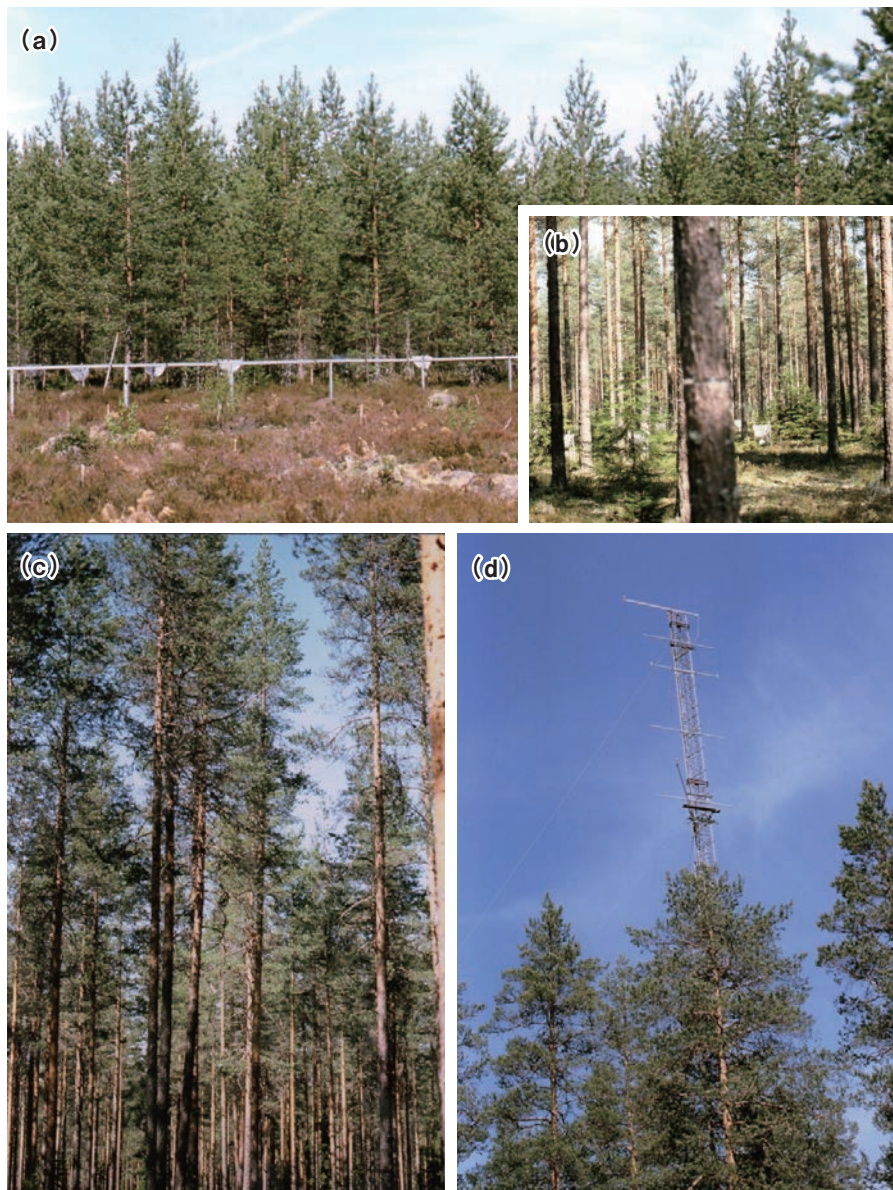
1-1 ② スウェーデン(北方林)／ヨーロッパトウヒ林



スウェーデン農科大学(SLU)フロッカリーデン(Flakaliden)試験地の31年生ヨーロッパトウヒ人工林(Linder and Flower-Ellis 1992; Linder 1995; Bergh *et al.* 1999)

(a)全景 (b)施肥タンク (c)伐倒された地上部
(d)掘り起こされた地下部

1-1 ③ スウェーデン(北方林)／ヨーロッパアカマツ林



スウェーデン農科大学(SLU)ヤーデロース(Jädraås)試験地の120年生ヨーロッパアカマツ人工林 (Flower-Ellis *et al.* 1976; Axelsson and Bräkenhielm 1980; Linder *et al.* 1980)
(a)全景 (b)林床 (c)林内 (d)気象観測タワー

1-2① マレーシア(熱帯域)／ドリアン



マレーシア農科大学 (UPM) 構内のドリアン試験地
ドリアンの試料木の樹高は 8 m、胸高幹直径は
25.0~34.1 cm であった。

1-2② マレーシア(熱帯域)／ジャックフルーツ

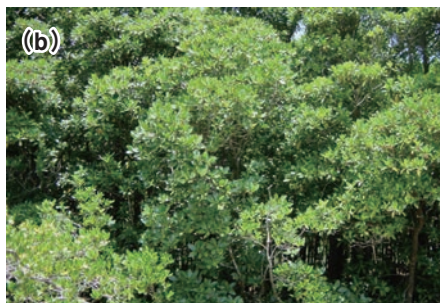


マレーシア農科大学 (UPM) 構内のジャックフルーツ試験地 ジャックフルーツもドリアンと同様に
果実などの繁殖器官は幹から直接開花および結実
する幹生花である。

1-3 沖縄本島(亜熱帯域)／マングローブ林



(a)



(b)



(c)

沖縄本島におけるマングローブ(樹種:メヒルギ
(*Kandelia candel*))林(Khan et al. 2004)

(a)遠景 (b)近景 (c)干潮時の林内の様子

1-4 ① 日本の本州(温帯域)／ヒノキ林



名古屋大学構内の試験地に1 m 間隔で
植栽された4年生ヒノキ幼齢林 平均
の苗高 1.11 ± 0.21 m、生枝下高 $2.66 \pm$
 2.26 cm、苗高の1/10の高さでの幹直径
 1.47 ± 0.29 cm、生枝下高幹直径 $1.66 \pm$
 0.34 cm、葉面積指数 0.55 ha ha^{-1} (Ogawa
et al. 1988)



段戸国有林内(愛知県新城市)の58年生ヒノキ人工林 (a)全景 (b)伐倒している様子 (c)伐倒後の林冠の様子。樹高 16.1~20.1 m、胸高幹直径 16.6~29.3 cm (Hagihara *et al.* 1993) (写真提供:名古屋大学造林学研究室)

1-4 ② 日本の本州(温帯域)／クスノキ



名古屋大学構内に植栽されたクスノキ試料木 左：樹高 11.0 m、胸高幹直径 29.3 cm (Ogawa and Takano 1997; 磯村 1997; 奥山 1997) 右：樹高 11.5 m、胸高幹直径 44.6 cm (伊藤 2002; Imai and Ogawa 2009; 山内 2013) (右／撮影：今井俊輔氏)

1-4 ③ 日本の本州(温帯域)／アオキ



名古屋大学構内の二次林の林床に生育するアオキ試料木 (今井 2008、樹高 1.73~1.88 m、地際幹直径 2.4~2.8 cm) (撮影：今井俊輔氏)

2 花芽、花、果実や球果の繁殖器官 (序章および 1 章参照)

2-1 ① スウェーデン(北方林)／ヨーロッパトウヒ



ヨーロッパトウヒ (a) 上部に球果を付けたヨーロッパトウヒ (b) 緑色の球果 (c) 紫色の球果 (Koppel *et al.* 1987) (b・c/写真提供: スネ・リンダー教授)

2-1 ② スウェーデン(北方林)／ヨーロッパアカマツ



ヨーロッパアカマツの球果 (Linder and Troeng 1981) (写真提供: スネ・リンダー教授)

2-2① マレーシア(熱帯域)／ドリアン



マレーシア農科大学 (UPM) 構内の試験地に生育するドリアンの繁殖器官 (a)花芽 (b)花 (c)果実 (e.g. Ogawa *et al.* 1995a, 2005a, b)

2-2② マレーシア(熱帯域)／ジャックフルーツ



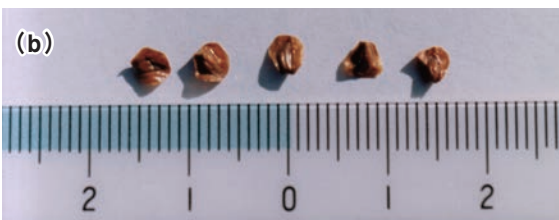
マレーシア農科大学 (UPM) 構内の試験地に生育するジャックフルーツの繁殖器官 (上)成長初期の果実 (下)成長後期の果実

2-3 沖縄本島(亜熱帯域) / マングローブ



沖縄本島に生育するマングローブ(樹種: メヒルギ)の母樹から垂れ下がるメヒルギの種子(胎生種子)
(Khan *et al.* 2004)

2-4 ① 日本の本州(温帯域) / ヒノキ



(a) 名古屋大学構内の試験地に植栽された4年生ヒノキ幼齢木の球果 平均直径 $0.66 \pm 0.12 \sim 0.78 \pm 0.08$ cm、平均乾重 $0.065 \pm 0.029 \sim 0.094 \pm 0.026$ g、平均生重 $0.247 \sim 0.343$ g、乾重/生重比 $0.26 \sim 0.28$ (Ogawa *et al.* 1988)

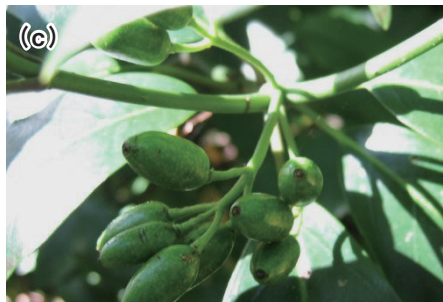
(b) ヒノキの種子 1つの種子の平均乾重は 3.12 ± 0.92 mg ($n=200$) (小川 1988)

2-4 ② 日本の本州(温帯域) / クスノキ



名古屋大学構内構内に植栽されたクスノキの繁殖器官(Ogawa and Takano 1997; Imai and Ogawa 2009) (a)花芽と花 (b)果実 (c)成熟した黒紫色の果実。この成熟したクスノキの果実の内部は一部緑色でクロロフィルを含み($0.068 \text{ mg g d.wt}^{-1}$), 光合成をしている(Ogawa and Takano 1997) (撮影: 今井俊輔氏)

2-4 ③ 日本の本州(温帯域) / アオキ



名古屋大学構内の二次林の林床に生育する低木アオキの繁殖器官 (a)花芽 (b)花 (c)果実 (d)成熟期の果実(今井 2008) (撮影: 今井俊輔氏)

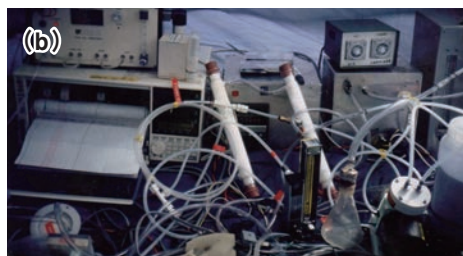
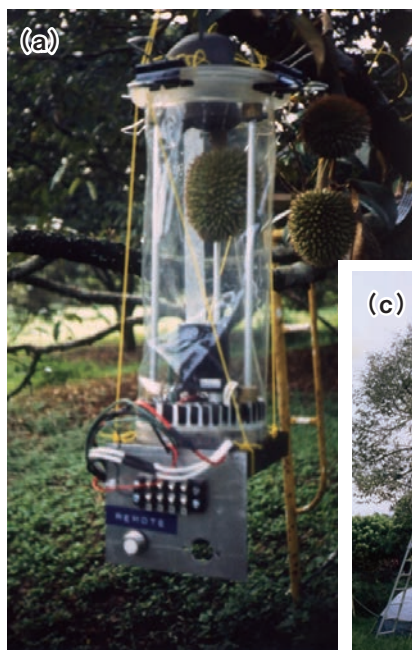
3 CO₂ ガス交換測定(2章参照)

3-1 切断法



ヒノキ球果を用いた切断法
(a)給水管に球果を挿し同化箱にセットした様子 (b)同化箱を水槽に浸し、上部から照射し、光合成を測定している様子(Ogawa *et al.* 1988)

3-2① インタクト法／繁殖器官



ドリアンの果実を用いたインタクト法によるCO₂ ガス交換測定
(a)同化箱 (b)テント内の測定装置 (c)測定の全景 (Furukawa *et al.* 1996)



LI-6400 によるクスノキの果実の光合成測定(インタクト法) チェンバーには数個のクスノキ果実がセットされた(Imai and Ogawa 2009) (撮影: 今井俊輔氏)

3-2② インタクト法/シュート



ヨーロッパアカマツ(Linder *et al.* 1980)
(写真提供: スネ・リンダー教授)



ドリアン：果実で使用した同化箱がシュートにも用いられた(Furukawa *et al.* 1996)

3-2③ インタクト法／幹



スウェーデン農科大学(SLU)ビンデルン(Vindeln)実験基地内での携帯用測定装置ADCを用いたヨーロッパアカマツの幹の呼吸測定(Ogawa 2006)および光合成によるCO₂再固定速度測定(Tarvainen *et al.* 2018) (撮影：トーマス・ルンドマーク教授)

樹木繁殖器官の 物質収支

果実の成長と呼吸・光合成のバランス

目次

□ 絵	
1 主な成育域における樹木や森林	ii
1-1 ① スウェーデン(北方林)／混交林.....	ii
1-1 ② スウェーデン(北方林)／ヨーロッパトウヒ林.....	iii
1-1 ③ スウェーデン(北方林)／ヨーロッパアカマツ林.....	iv
1-2 ① マレーシア(熱帯域)／ドリアン.....	v
1-2 ② マレーシア(熱帯域)／ジャックフルーツ.....	v
1-3 沖縄本島(亜熱帯域)／マングローブ林.....	vi
1-4 ① 日本の本州(温帯域)／ヒノキ林.....	vi
1-4 ② 日本の本州(温帯域)／クスノキ.....	viii
1-4 ③ 日本の本州(温帯域)／アオキ.....	viii
2 花芽、花、果実や球果の繁殖器官(序章および1章参照)	ix
2-1 ① スウェーデン(北方林)／ヨーロッパトウヒ.....	ix
2-1 ② スウェーデン(北方林)／ヨーロッパアカマツ.....	ix
2-2 ① マレーシア(熱帯域)／ドリアン.....	x
2-2 ② マレーシア(熱帯域)／ジャックフルーツ.....	x
2-3 沖縄本島(亜熱帯域)／マングローブ.....	xi
2-4 ① 日本の本州(温帯域)／ヒノキ.....	xi
2-4 ② 日本の本州(温帯域)／クスノキ.....	xii
2-4 ③ 日本の本州(温帯域)／アオキ.....	xii
3 CO₂ ガス交換測定(2章参照)	xiii
3-1 切断法.....	xiii
3-2 ① インタクト法／繁殖器官.....	xiii
3-2 ② インタクト法／シュート.....	xiv
3-2 ③ インタクト法／幹.....	xv

序 章.....	5
第 1 章 成 長.....	10
1.1. 形 態.....	10
1.2. 果実重と果実直径、果实体積との関係.....	11
1.3. 直径成長と重量成長.....	14
1.4. 繁殖が母樹の成長に及ぼす影響.....	15
第 2 章 光合成・呼吸の測定.....	19
2.1. 測定法.....	19
2.2. 光合成・呼吸の定義.....	20
2.3. CO ₂ 再固定率の定義.....	22
2.4. クロロフィル含量.....	23
第 3 章 光合成・呼吸の日変化と季節変化.....	25
3.1. 光合成・呼吸の日変化.....	25
3.2. 光合成・呼吸の季節変化.....	25
3.3. CO ₂ 再固定率の日変化と季節変化.....	28
第 4 章 光合成の光反応と温度反応.....	30
4.1. 光—光合成反応.....	30
4.2. 温度—光合成反応.....	31
4.3. CO ₂ 再固定率と光強度.....	32
4.4. CO ₂ 再固定率と温度.....	33
第 5 章 呼吸の温度反応.....	35
5.1. 温度—呼吸反応.....	35
5.2. 温度係数 Q_{10}	36
第 6 章 呼吸のサイズ依存性.....	38

第7章 転流量	39
7.1. コンパートメントモデルによる転流量の推定法.....	39
7.2. 転流量の季節変化.....	40
7.3. 果実と葉における転流関係.....	41
7.4. 転流量、成長量、光合成量と呼吸量の量的バランス.....	43
7.5. 2つの気候帯における転流量の違い.....	47
第8章 転流と果軸サイズ	50
8.1. 果実重の成長速度と果軸断面積との関係.....	50
8.2. 果実への転流速度と果軸断面積との関係.....	51
8.3. 負の果実重の成長速度.....	52
第9章 成長曲線の誘導	53
9.1. 成長モデルの開発.....	53
9.2. ベルタランフィ式の誘導.....	54
9.3. 母樹の成長曲線の誘導.....	55
おわりに.....	57
引用文献.....	59
索 引.....	67

序 章

森林樹木の繁殖に関する生態学的側面を取り扱った書物はよく目にする。しかし、繁殖器官の成長過程に着目し、生理生態学的側面から光合成・呼吸をとらえ、物質収支の観点からその成長過程について論じた書籍は希で、目新しい。この本により、繁殖器官の物質収支を考慮することで、母樹である樹木の成長や物質生産をより深く理解することができるように思われる。

繁殖とは、生物が自分の子を作り育てる行為で、その過程で、生物は自分の遺伝子をできるだけ多く次世代に残そうと努力している(菊沢 1995)。植物は動物とは違い固着性であり、みずから動き回って餌をとることはできない。葉による光合成により、物質を生産し、母樹である樹体の成長を促し、繁殖を行っている。寿命の長い樹木にとっては、繁殖は生涯何度もおこり、重要なイベントといえる。また、母樹にとって繁殖は物質収支の観点からは大きな負担となる。繁殖によりどれだけの光合成産物が余分に投資されたかを知るには光合成・呼吸測定による生理生態学側面の研究が不可欠である。

本書は、著者の大学院時代の後半に始まった樹木の繁殖器官の光合成・呼吸の測定からの研究結果の紹介である。この当時、後に著者が客員研究員として研究留学するスウェーデン農科大学(略称SLU、英名Swedish University of Agricultural Sciences)のスネ・リンダー(Sune Linder)教授(現・名誉教授)のグループが発表したヨーロッパアカマツの球果の光合成・呼吸の論文において葉とは違う二酸化炭素(CO_2)の収支バランスの不思議さに興味を持ち、著者もまた日本でヒノキの球果について同様の測定を行い、学会で発表し、論文にしたのが始まりである。

その後、大学に職を得、学部生や大学院生らとともにいくつかの樹木について今日まで測定、研究を実施し、繁殖器官に関する一連の研究を進展させてきた。この中で、新しい発見は繁殖がどの程度葉の光合成生産で補われているか、その負担を定量的に明らかにしたことである。なお、30年弱の年月が経

第1章 成 長

1.1. 形 態

繁殖器官である果実や球果などは丸いものや細長いものなどその形は様々である(口絵ix~xii)。また、同じ樹種の中でも大きさは様々で大小の差がある。このような形態の違いは種間や種内でどのような共通の特徴があるのであろうか。

図1-1は数種の樹木について果実や球果の短径 D_S と長径 D_L との関係を両対数軸上に示したものである。両者の間には下式で示される直線で近似され、相対成長関係が成立する。

$$D_S = g_1 D_L^{h_1} \quad (1.1)$$

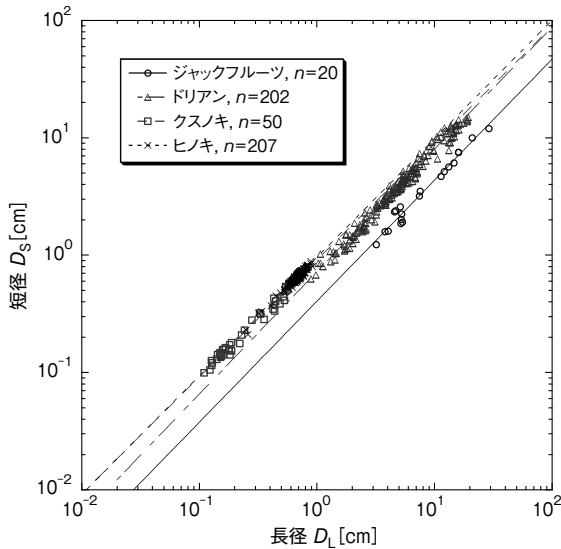


図1-1. 果実や球果の短径 D_S と長径 D_L との関係
 図中の回帰直線は(1.1)式を示す。

このプレビューでは表示されないページがあります。

第2章 光合成・呼吸の測定

2.1. 測定法

繁殖器官においても、光合成速度は二酸化炭素(CO₂)の吸収量から、また、呼吸速度はCO₂の放出量から測定できる。測定方法には、繁殖器官など植物体を同化箱(チェンバー)に入れ空気を流して測定する通気法と、空気を流さず密閉して測定する密閉法に分かれる。繁殖器官においては通気法が用いられるのが一般的であるため、ここでは通気法について述べる。

通気法では同化箱の入り口と出口のCO₂濃度を測定し、その差と空気の流量からCO₂交換速度を求め、光合成・呼吸速度を算定する。CO₂濃度の測定には赤外線ガス分析計による方法が精度が高い。また、温度測定が不可欠である。

なお、通気法は同化箱内の植物試料の入れ方により、切断法とインタクト法の2つに大別される(牛島ほか1981)。

(1) 切断法

CO₂交換測定装置が大型で実験室内に設置してあるため持ち運びができないため、測定試料を母樹から切断し、実験室内に持ち運び同化箱に詰める方法である。この際、植物体試料への水分供給が止まると蒸発散作用によって植物体の水分含量が低下するので、小さな水差しに試料を挿し、水分を補強する。

繁殖器官の光合成・呼吸速度はかなり低いので、同化箱内には数十個の試料を重ねないように入れる必要がある(口絵xiii)。

(2) インタクト法

近年開発された携帯用の小型のCO₂交換測定装置により、切断せず自然状態のまま繁殖器官などの植物体の光合成・呼吸の測定をする方法である(口絵

このプレビューでは表示されないページがあります。

第3章 光合成・呼吸の日変化と季節変化

3.1. 光合成・呼吸の日変化

ドリアンの果実の純呼吸速度は気温の高くなる日中に高くなる(図3-1)。また、暗呼吸速度も夜間よりも日中に高くなる日変化を示す(Ogawa *et al.* 1995a)。

暗呼吸速度と純呼吸速度との差がドリアンの果実の総光合成速度(またはCO₂の再固定速度)であるが、その総光合成速度も気温、光強度が高くなる日中に高くなる。このような繁殖器官での光合成はドリアンの果実だけでなく花芽においても確認されている(Ogawa *et al.* 2005b)。

クスノキの花序においても4月では顕著に光合成をしていることが観察されている(図2-4a参照)。花による光合成は幾つか報告がされており(Bazzaz *et al.* 1979; Werk and Ehleringer 1983; Williams *et al.* 1985; Clement *et al.* 1997)、草本植物のアサギフユボタン(*Helleborus viridis*)の緑色の萼片は春先の光合成産物の主たる源である(Aschan *et al.* 2005)。クスノキにおいても、葉柄、花托、花弁を含む花序の大部分は緑色で、光合成を行い、呼吸による炭素消費を補っていると推察される。5月下旬には、黄白色の花が大部分を占め、花序は光合成によるCO₂再固定は低くなる。これは、花序の暗呼吸速度の増大が大きく影響していると考えられる(図2-1a参照)。

3.2. 光合成・呼吸の季節変化

クスノキの果実の光合成・呼吸速度の季節変化は乾重ベース、表面積ベース、個体ベースというように単位の違いにより異なる(図3-2)。

乾重ベース(図3-2a)では光合成・呼吸速度は成長開始後、急激に減少した。これは成長開始時の植物体の成長速度に比例する成長呼吸の増大によるも

このプレビューでは表示されないページがあります。

第4章 光合成の光反応と温度反応

4.1. 光—光合成反応

比較的小さいサイズの繁殖器官であるヒノキの球果やクスノキの果実の総光合成速度 p は人工光源の光強度 PAR を変化させることにより、光—光合成曲線が得られ、葉と同様に光合成をしていることがわかる(図4-1)。その光—光合成曲線は下式の直角双曲線式で近似することができる。

$$p = \frac{bPAR}{1+aI} \quad (4.1)$$

ただし、上式において a 、 b は係数である。

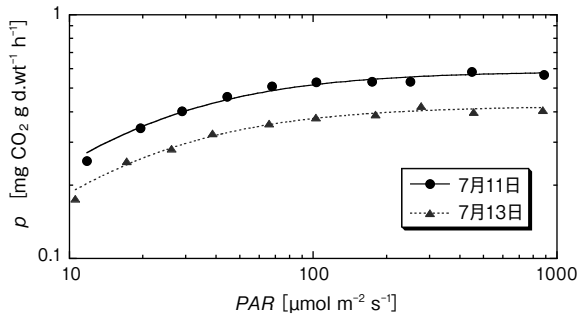


図4-1. ヒノキの球果における総光合成速度 p と光強度 PAR との関係(Ogawa *et al.* 1988)
図中の回帰曲線は(4.1)式を示す。

また、繁殖器官のサイズが大きいドリアンの果実を野外においてインタクト法により同化箱で覆い、日の出から日没までの日中にかけて連続測定した場合も、人工光源と同様に光—光合成反応が見られ、その関係は(4.1)式の直角双曲線式で近似することができる(図4-2)。

光合成速度が光飽和に達する光飽和点はヒノキの球果(口絵xi)で400~500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、クスノキの果実(口絵xii)で200~400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、アオキ

このプレビューでは表示されないページがあります。

第7章 転流量

7.1. コンパートメントモデルによる転流量の推定法

果実などの繁殖器官におけるCO₂ガス交換特性の一つとしてCO₂再固定率がある。このCO₂再固定率が示すように繁殖器官においては100%を超えることはなく、呼吸によるCO₂の放出が光合成によるCO₂の吸収を上回る(第4章参照)。このことより、繁殖器官の成長は葉などの他器官からの光合成産物の移動である転流(Leopold 1964; Leopold and Kriedemann 1975)によって補われていることが分かる。

Hozumi and Kurachi(1991)は落葉樹であるカラマツの葉の展開時における物質の移動の量的バランスを転流量推定のためのコンパートメントモデルを提唱し、算出した。この葉におけるコンパートメントモデルを繁殖器官においても適用し、転流量の算出が試みられている(Ogawa *et al.* 1996; Ogawa and Takano 1997; Ogawa 2002, 2004; Imai and Ogawa 2009)。

ここでは、繁殖器官として重量成長の活発な果実や球果を取り扱うこととする。果実に入ってくる光合成産物の転流量 ΔT_{rin} と果実から出ていく光合成産物の転流量 ΔT_{rout} との差である純転流量 ΔTr (net translocation, Hozumi and Kurachi 1991)は、果実が落下するまでの他器官から果実へ移動する炭素流動モデル(図7-1)から推定される。このコンパートメントモデルでは、ある時間



図7-1. 果実における転流量推定のためのコンパートメントモデル(Ogawa 2009)

Δw : 成長量。 ΔT_{rin} : 果実へ入る転流量。 ΔT_{rout} : 果実から出る転流量。 Δp : 光合成によるCO₂再固定量(総光合成量)。 Δr : 暗呼吸量。 ΔD : 枯死量。 ΔG : 被食量。

このプレビューでは表示されないページがあります。

第8章 転流と果軸サイズ

8.1. 果実重の成長速度と果軸断面積との関係

ドリアンの果実の平均重量 w と果実を支える果軸の平均断面積 s との間には下式のような相対成長関係が成立する(図8-1)。

$$w = 55.86s^{2.820} \quad (8.1)$$

相対成長係数はほぼ3で、果実重は果軸断面積の3乗に比例していることがわかる。

また、果実の成長は果軸を通る光合成産物の移動である転流によって引き起こされていると考えられるので、果実の成長速度と果軸断面積は密接な関係にあることが推察される(Ogawa *et al.* 2007)。

その点をデータに基づいて調べてみると、平均の果実重の成長速度 dw/dt と平均の果軸断面積 s との間には下式のような比例関係が成立する(図8-2)。

$$\frac{dw}{dt} = cs \quad (8.2)$$

比例定数 c は $14.57 \text{ g d.wt cm}^{-2} \text{ fruit}^{-1} \text{ week}^{-1}$ となる。果実の活発な成長後、成長速度 dw/dt は急激に減少し、最終的に負の値を示す。

(8.2)式より、単位果軸断面積あたりの成長速度 $(dw/dt)/s$ と果軸断面積 s との関係、

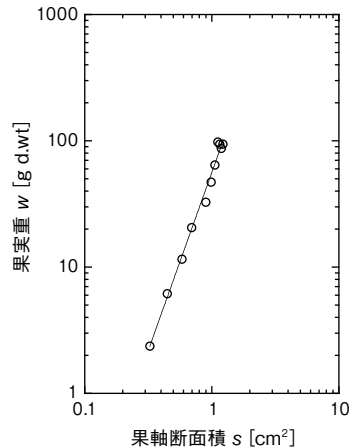


図8-1. ドリアンの果実における果実乾重 w と果軸断面積 s との関係(Ogawa *et al.* 2007) 図中の回帰直線は(8.1)式を示す。

このプレビューでは表示されないページがあります。

おわりに

著者の大学院時代の指導教官であった故・穂積和夫先生(名古屋大学名誉教授)から紹介された*Forest Science*誌に掲載されたヨーロッパアカマツの球果の呼吸と光合成についての論文(Linder and Troeng 1981)を何度も読み直していたことを思い出す。穂積先生は球果の成長曲線がシグモイド型のきれいな曲線であったことから著者にその論文を紹介したことを随分時間がたってから言われた。当の著者は論文中の球果の光合成によるCO₂再固定(photosynthetic CO₂ refixation)が不思議な現象に思え、その論文を読んでいた。1981年に京都の国際会議場で開催されたユフロ(国際森林研究機関連合)の国際学会でスネ・リンダー教授と会い、その光合成の現象について尋ねたところ、親切に返答してもらい感激した次第である。

その後、名古屋大学構内の実験林に植栽したヒノキ幼齢木に球果が付着した。萩原秋男先生(当時名古屋大学助教授)の勧めもあり、夏場の成長が活発な時期にヒノキ球果を採取し、同化箱に詰め込んで、光合成測定を行った。この実際の測定により、繁殖器官の光合成・呼吸によるガス交換特性が明瞭に認識することができた。

学位取得後のスウェーデン農科大学(SLU)では、海外の研究者と初めての共同研究を経験した。そこでは、繁殖器官のCO₂交換特性に関する実験は行うことができなかったが、ヨーロッパアカマツの幹の呼吸測定をとおして、最先端の測定装置に触れることができ、その方面の知識も深まった。また、研究結果が国際誌*Scandinavian Journal of Forest Research*に論文として発表できたことは喜ばしい。

帰国後、初めての指導生となった鷹野宜則君とクスノキを材料として果実の光合成・呼吸について半年ほどの全成育期間を通じて実験を行った。この実験によりクスノキの果実がどの程度母樹から転流により光合成産物が供給されているかを知ることができた。

その後、マレーシア・日本共同プロジェクトにおいて、マレーシア農科大学

(UPM)でドリアンの繁殖器官の光合成や呼吸に関するCO₂ガス交換測定の実験を行う機会に恵まれた。測定装置は国立環境研究所(NIES)の古川昭雄博士(後に奈良女子大学教授)の尽力により、インタクト法による昼夜連続測定を実施することが可能となった。ただ、熱帯特有の雷をともなったにわか雨(スコール)による停電や電圧の低下を防ぐため、電圧安定器(スタビライザー)などを用意するなど大変な面もあった。また、ドリアンのほかにジャックフルーツも成長の測定を実施する樹種に追加された。

日本でも、今井俊輔君が4年の学部生の時に、再びクスノキを材料とし、繁殖器官と葉の光合成・呼吸を測ることにより、繁殖器官と葉の転流による光合成産物の量的バランスを明らかにした。その研究は、大学院で、学内の二次林の林床に生育するアオキを材料とした繁殖器官の物質収支の解明へと発展していった。また、学部4年生の磯村信行君、奥山慶君、伊藤綾美さん、山内綾花さんらの卒業論文研究を通じて多くの新しい発見を得ることができた。

このように本書を作成するにあたり、多くの方々の恩恵に与った。大学院時代からの指導では、故・穂積和夫名古屋大学教授、只木良也名古屋大学教授、萩原秋男琉球大学教授、スウェーデン農科大学ではスネ・リンダー教授、トーマス・ルンドマーク(Tomas Lundmark)教授、アンデッシュ・エリクソン(Anders Ericsson)教授、ビヨン・サンドバーグ(Björn Sundberg)教授、ジャーミー・フラワーエリス(Jeremy Flower-Ellis)教授、マレーシア・日本共同プロジェクトでは故・古川昭雄奈良女子大学教授、ムハammad・アワング(Muhamad Awang) マレーシア農科大学教授、アーマッド・マモウ・アブドラ(Ahmad Makmom Abdullah)同大学准教授で、ここに感謝する。リンダー教授からは貴重な写真を提供していただいた。また、本書の作成の機会を与えて下さり、辛抱強く編集の労を執って下さった海青社の編集部の方々に心から感謝する。

2021年3月

小川一治

引用文献

- Addicott, F.T.: *Abscission*. University of California Press, Berkeley, 1982
- Amthor, J.S.: *Respiration and crop productivity*. Springer, New York, 1989
- Aschan, G. *et al.*: Photosynthetic performance of vegetative and reproductive structures of green hellebore (*L. agg.*). *Photosynthetica* 43: 55-64, 2005
- Avila, E. *et al.*: Contribution of stem CO₂ fixation to whole-plant carbon balance in non-succulent species. *Photosynthetica* 52: 3-15, 2014
- Axelsson, B. and Bråkenhielm S.: Investigation sites of SWECON—biological and physiological features. In: Persson T. (ed), *Structure and function of northern coniferous forests – an ecosystem study*, *Ecol. Bull.* (Stockholm) 32: 307-313, 1980
- Bazzaz, F.A. *et al.*: Contribution to reproductive effort by photosynthesis of flowers and fruits. *Nature* 279: 554-555, 1979
- Bergh, J. *et al.*: The effect of water and nutrient availability on the productivity of Norway spruce in northern and southern Sweden. *For. Ecol. Manage* 119: 51-62, 1999
- von Bertalanffy L.: Problems of organic growth. *Nature* 163: 156-158, 1949
- Berveiller, D. *et al.*: Interspecific variability of stem photosynthesis among tree species. *Tree Physiol.* 27: 53-61, 2007
- Birkhold *et al.*: Carbon and nitrogen economy of developing rabbiteye blueberry fruit. *J Am. Soc. Hortic. Sci.* 117: 139-145, 1992
- Blake, M.M. and Lenz, F.: Fruit photosynthesis. *Plant Cell Environ.* 12: 31-46, 1989
- Boysen Jensen, P.: *Die Stoffproduktion der Pflanzen*. Gustav Fischer Verlag, Jena, 1932. (「植物の物質生産」, 門司正三・野本宣夫訳, 東海大学出版会, 東京, pp 21-134, 1982).
- Cannell, M.G.R.: *Attributes of trees as crop plants*. Cannell M.G.R., Jackson J.E. (eds). Institute of Terrestrial Ecology, Huntingdon, pp. 160-193, 1985
- Cipollini, M.L. and Levey, D.J.: Why some fruits are green when they are ripe: carbon balance in fleshy fruits. *Oecologia* 88: 371-377, 1991
- Clement, C. *et al.*: Characteristics of the photosynthetic apparatus and CO₂-fixation in the flower bud of *Lilium*. I. Corolla. *Int. J. Plant Sci.* 158: 794-800, 1997
- Coombe, B.G.: The development of fleshy fruits. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 27: 507-528, 1976
- Damesin, C.: Respiration and photosynthesis characteristics of current-year stems of

このプレビューでは表示されないページがあります。

索引

樹種名

Acer platanoides 44 → ノルウェーカエデ
Acer rubrum 44 → アメリカハナノキ
Acer saccharum 44 → サトウカエデ
Alnus hirsuta 43 → ケヤマハンノキ
Alnus japonica 24 → ハンノキ
Artocarpus heterophyllus 11 → ジャックフルーツ
Aucuba japonica 31 → アオキ
Betula pendula 44 → ヨーロッパシラカンバ
Betula platyphylla 24 → シラカンバ
Carya ovata 44 → シヤグバークヒッコリー
Celtis occidentalis 44 → アメリカエノキ
Cercis canadensis 44 → アメリカハナズオウ
Chamaecyparis obtusa 11 → ヒノキ
Cinnamomum camphora 11, 44 → クスノキ
Durio zibethinus 11 → ドリアン
Helleborus viridis 25 → アサギフユボタン
Kandelia candel vi → マングローブ
Larix kaempferi 33 → カラマツ
Liquidambar styraciflua 44 → モミジバフウ
Liriodendron tulipifera 44 → ユリノキ
Magnolia stellata 44 → シデコブシ
Olea europaea 24 → オリーブ
Picea abies 16, 44 → ヨーロッパトウヒ
Pinus contorta 44 → コントルトマツ
Pinus sylvestris 24, 44 → ヨーロッパアカマツ
Platanus occidentalis 44 → アメリカスズカケノキ
Populus tremuloides 24 → カロリナポプラ
Prunus serotina 44 → ブラックチェリー
Quercus macrocarpa 44 → バーオーク
Quercus serrata 33 → コナラ
Tilia platyphyllos 44 → ナツボダイジュ

Ulmus americana 44 → アメリカニレ
Vaccinium ashei 44 → ラビットアイブルーベリー
 アオキ viii, xii, 7, 30, 33
 アサギフユボタン 25
 アベマキ 33
 アメリカエノキ 44
 アメリカスズカケノキ 44
 アメリカニレ 44
 アメリカハナズオウ 44
 アメリカハナノキ 44
 オリーブ 24
 カラマツ 33, 39
 カロリナポプラ 24
 クスノキ viii, xii, xiv, 7, 8, 11, 12, 13, 21, 23,
 29, 35, 41, 42, 44, 47, 54
 ケヤマハンノキ 43
 コナラ 33
 コントルトマツ 44
 サトウカエデ 44
 シデコブシ 44
 シヤグバークヒッコリー 44
 ジャックフルーツ v, x, 7, 11
 シラカンバ 24
 ドリアン v, x, xiii, xv, 7, 11, 12, 14, 15, 16,
 17, 22, 26, 31, 32, 33, 34, 35, 47, 53, 54,
 55
 ナツボダイジュ 44
 ノルウェーカエデ 44
 バーオーク 44
 ハンノキ 24
 ヒノキ vi, vii, xi, xiii, 7, 11, 12, 15, 16, 30, 32,
 34
 ブラックチェリー 44

このプレビューでは表示されないページがあります。

● 著者紹介

小川一治(おがわ かずはる)

1958年岐阜県生まれ。1981年名古屋大学農学部林学科卒。同大学院修了、農学博士。スウェーデン農科大学(SLU)生態環境学科客員研究員、名古屋大学農学部助手、同大学大学院生命農学研究科助教を経て、2016年より同研究科講師。専門は森林生態学、森林生態生理学。主な著書に*Recent Research Developments in Environmental Biology* (Research Signpost, 分担)、*New Research on Forest Ecology* (Nova Science, 分担)がある。

Growth and Carbon Balance in Reproductive Organs of Woody Plant Species by Kazuharu OGAWA

じゅもくはんしょくきかんのぶつしゅうし

樹木繁殖器官の物質収支



本書web

発行日：2021年7月20日 初版第1刷

定 価：カバーに表示してあります

著 者：小 川 一 治

発 行 者：宮 内 久



海青社
Kaiseisha Press

〒520-0112 大津市日吉台2丁目16-4
Tel. (077) 577-2677 Fax (077) 577-2688
<http://www.kaiseisha-press.ne.jp>
郵便振替 01090-1-17991

© K. Ogawa, 2021.

ISBN978-4-86099-393-1 C3061 Printed in JAPAN. 印刷製本：亜細亜印刷株式会社
落丁・乱丁の場合は弊社までご連絡ください。送料弊社負担にてお取り替えいたします。

本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。
本書を代行業者等の第三者に依頼してスキャンやデジタル化することはたとえ個人や家庭内の利用でも著作権法違反です。

* 本書中で撮影者/提供者が明記されている写真以外は、著者が撮影したものです。