光合成特性からみた緑地帯の数種樹木の 活力度診断について

柴 田 昌 三*
小 橋 澄 治*
森 本 幸 裕**

A Study on the Photosynthesis of Several Tree Species Planted
in a Green Belt as an Index for Tree Vitality

Syozo SHIBATA
Sumiji KOBASHI
Yukihiro MORIMOTO

摘要：緑地帯に植栽された樹木の活力度を知る一手段として葉の光合成量を測定した。対象となったのは植栽後6年を経た常緑樹林で、アラカシ、スダジイ、タブノキ、ヤマモモについて、各々生育状態の異なる個体を2～3本ずつ選んで測定した。その結果、各種とも生育の良否によって光合成量の経時変化あるいは葉温との関係等が大きく異なることが示された。また、測定した各枝葉の葉緑素量も測定し、光合成量との関係を検討した。

はじめに

樹木葉の光合成量の測定は、樹木の生理的特性を解明する手がかりの1つとして比較的古くから行われており、光合成量と光強度、気温等の関係が解明されてきている¹⁾²⁾。一方野外での測定が比較的困難なことから、造園の分野では光合成量から樹木の生育状態を把握することはあまり行われていなかった。しかしながら、多くの緑化事業のなかで樹林が多数造成されている現在において、植栽された樹木の活力度診断の一手法として光合成量を測定することは、今後必要になると考えられる。

近年まで光合成量の測定には比較的大がかりな設備が必要であった。これらの設備の多くには連続測定が可能であるという長所はあるが、測定方法が開放系であるため測定機器内を流れる空気の設定に長時間を要する、測定機器が大きいため野外における測定に適さず供試植物はポットに植栽されたものあるいは切り取ってきた枝葉を使用しなければならない等の難点があった。しかし、最近になってようやくこれらの欠点を解決するような携帯式の光合成測定機器が市販されるようになり、筆者らはこれを利用する機会を得ることができた。今回の報告は、この機器を用いて緑地帯に植栽された数種の樹木の光合成量を夏期に現地において直接測定したデータに関する報告である。

1. 調査地の概況

今回の調査地は福井県大飯郡高浜町の(株)関西電力高浜発電所構内の盛土斜面(海岸沿い、北北東向き)で、

植栽後6年を経た樹林である。植栽密度2本/m²、アラカシ、スダジイを中心にタブノキ、ヤマモモ、クスノキ、シラカシ等の常緑樹を主とした樹林で、カエデ、ケヤキ、クリの落葉樹もわずかに混ざっている。測定時の調査では樹高3～4m、地際直径5～8mmに成長しており、スダジイと落葉樹の成長が比較的優れていた。

2. 調査方法

1) 調査樹種

今回の調査では、植栽本数の多い常緑樹の中から、自然的な常緑広葉樹林の主要構成樹種である、アラカシ(*Quercus glauca*)、スダジイ(*Castanopsis cuspidata* var. *Sieboldii*)、タブノキ(*Machilus Thunbergii*)およびヤマモモ(*Myrica rubra*)の4種について測定した。このうち、特に本数の多いアラカシとスダジイについては、生育状態のよい樹木(以下良好木)、劣る樹木(不良木)、中庸の樹木(中庸木)を各種1本ずつ、タブノキについては良好木と不良木、ヤマモモについては良好木を1本ずつ選んだ。各個体とも樹高は良好木が4m前後、中庸木および不良木が2～3mである。なお、生育状態の判定は、当年生枝の伸長状況、葉色等から行った。すなわち、各種とも良好木では当年生枝の伸長量が大きく(数10cm)緑の濃い葉をつけ、不良木では当年生枝が数cmしかなく葉の緑も薄かった。なお、葉緑素量について、Table 2に示した通りの差が認められた。

2) 測定方法

*京都大学農学部

**京都芸術短期大学

今回の測定に用いた機器は、米国 LICOR 社製の携帯式光合成測定機 (LI-6200) で、葉を挟み込むチャンパー、CO₂アナライザーおよびコンピュータの3つの部分からなる。野外での測定を目的として開発されたものであり、簡便かつ短時間で測定を行う必要から測定方法は葉を測定機器内に閉じ込める閉鎖型となっている。また、葉を閉じ込めるチャンパーの容量が小さいため、測定機器内の空気の安定に要する時間が、数10秒と短い。一方、閉鎖型であるため連続測定が不可能であるという欠点も持っている。しかし、現地で多くのサンプルを次々と測定していく能力は充分に利用価値の高さを示すものである。本機器は光量子、温度センサーを備えており CO₂アナライザーの結果と併せて、蒸散量、光合成量、気孔コンダクタンス、細胞間隙 CO₂濃度、気孔抵抗を算出し、記憶する。本報告では、これらの測定項目の中から特に光合成量、蒸散量および葉温を中心に分析を進めていく。なお、光合成の測定において波長等の光の性質に関する問題は重要なテーマであるが、このことについて取り上げると問題が複雑になるため、本報告では光に関してはその量についてのみ取り上げ、検討を加えるものとする。

測定は、1988年8月30日に終日行った。測定日は正午すぎに約40分間曇った以外は快晴であり、午前6時30分頃より日没まで日光を遮るものはなかった。測定に際して、1回につき連続して3回の測定を行うようにコンピュータの設定を行い、以下の分析ではその平均値を各測定の値とした。測定回数は、スダジイ、ヤマモモ良好木が13回、アラカシ中庸木が10回、タブノキ不良木が9回、その他の5本が11回である。各個体とも測定は1時間から1時間半に1回行った。その測定時間は個体によって異なっているが、おおよその測定時間は経時変化に関する図によって示されている。測定葉には各個体とも陽光の最もよく当たる1年生枝の葉を1枚選び、毎回その葉について測定した。また、同日に光合成量の測定を行った枝の葉について葉緑素量の測定 (ミノルタ, SPAD-501使用) を行った。なお、調査を行った夏は降水量が比較的多く、特に土壌の乾燥が厳しいということはない。

3. 結果および考察

1) 測定値の経時変化

i) 光量子量と相対湿度 (Fig. 1); 光量子量の変化には、直射日光の有無の影響が顕著に現れる。良好木では日が陰った正午すぎを除いて明かに太陽高度に比例した変化を示した。これに対して不良木では北向斜面であるため直射日光が入りにくく、上空の状態の影響をほとんど受けない変化となった。相対湿度は、不良木でやや高い傾向はあるものの全体に個体による差はほとんど認め

Fig.1, Change of relative humidity (○) and quantum (●) of *Myrica rubra* with superior growth (—) and *Machilus Thunbergii* with inferior growth (-----)

Fig.2, Change of air temperature (----) and leaf temperature (—) in chamber of *Myrica rubra* with superior growth (○) and *Machilus Thunbergii* with inferior growth (●)

られなかった。

ii) 気温と葉温 (Fig. 2); 気温および葉温の1日の変化には種による違いはみられなかった。各種とも良好木、中庸木では日の出および日没時には葉温と等しいかあるいはそれ以下であるのに対して、日中は2~3℃葉温の方が高かった。一方、不良木では終日気温と葉温の差が明確に現れなかった。

iii) 光合成量 (Table 1, Fig. 3, 4); Fig. 3 および 4 の光合成の経時変化についての図から各個体について光合成が正の部分の面積を計測し、1日の純光合成総量として Table 1 に示した。各種とも良好木で1日の純光合成総量が最も多く、アラカシ、タブノキ、ヤマモモでは午前中の比較的早い時間に1日で最も多い光合成量を示した。一方、スダジイは光合成量が早朝に非常に低い負の値に低下し、その後午前8時頃から正の値となった。日中は各種とも10 CO₂ μmol/m²·s 程度の値を維持し、日没直前の数10 μmol/m²·s の光量子量で急激に負の値に減少した。不良木はアラカシ、タブノキでは、全体に光合成量が少なく、良好木のような午前中のピークも現れなかった。日中は良好木のほぼ50%程度の

Table 1. Net photosynthesis of a day

	(CO ₂ mol/m ²)		
	Tree with Superior Growth	Tree with Inferior Growth	Tree with Medium Growth
<i>Qu. glauca</i>	0.321	0.131	0.193
<i>Ca. cuspidata</i> v. <i>S</i>	0.346	0.030	0.301
<i>Ma. Thunbergii</i>	0.404	0.157	—
<i>My. rubra</i>	0.374	—	—

Fig. 3. Change of photosynthetic rate and transpiration rate of *Castanopsis cuspidata* var. *Sieboldii* with superior growth (—○), inferior growth (----△) and medium growth (----□) in a day

Fig. 4. Change of photosynthetic rate and transpiration rate of *Machilus Thunbergii* with superior growth (—○) and inferior growth (----△) in a day

光合成量であったが、日没時の光合成量の低下は良好木よりも少ない光量子量で始まり、低下の度合もなだらかであった。スタジイ不良木は、日中はほとんどみかけの光合成は行われず、日の出および日没時に10 μmol/m²・s程度の光量子量で一時的に日中の良好木と同程度の光合成量を記録した。中庸木はアラカシでは良好木と不良木の中間的な動き、スタジイは良好木に比較的に類似した動きを示し、1日の純光合成総量についても同様であった。各個体とも全体に日の出および日没時の光合成量にはバラつきが大きかった。

iv) 蒸散量 (Fig. 3, 4); 蒸散量は、良好木では各種とも温度あるいは光量子量の動きとほぼ同じであり、温度、光量子量の増減と同様に蒸散量が変化することが示された。不良木では、スタジイ、タブノキでは全体に日中の蒸散量が良好木よりも少なく、温度あるいは光量子量の影響は顕著には現れなかった。中庸木では、アラカシ、スタジイともに日中に良好木を上まわる蒸散量の認められる時間があった。

v) 細胞間隙CO₂濃度とチャンパー内CO₂濃度; 細胞間隙CO₂濃度とチャンパー内CO₂濃度の間にはそれほど高い相関は認められなかったが、概していえば、日中は細胞間隙CO₂濃度の方が低いのにに対して、日の出および日没前後の時間帯には逆になった。

2) 各測定値の関係

i) 各測定値の相関関係; 測定によって得られた値の間の相関関係(危険率0.1%以下のもの)をみると以下のようになった。

環境条件に関する測定値である、光量子量、相対湿度、気温および葉温の間には、当然、各個体において高い相関関係が認められた。また、これらの測定値と、蒸散量および気孔抵抗に関する測定値の間にも高い相関が認められ、葉の水の収支と各環境条件の間の密接な関係が示された。光合成量に関しては、各個体について高い相関が認められたのは、細胞間隙CO₂濃度のみであった。種別にみると、タブノキの良好木と不良木、スタジイ中庸木、アラカシ不良木で、環境条件に関する各測定値とも相関が高かった。

ii) 光合成量、光量子量および葉温の関係 (Fig. 5, 6)

Fig.5, Reference among photosynthesis rate, quantum and leaf temperature of *Castanopsis cuspidata* var. *Sieboldii* with superior growth (—), inferior growth (----) and medium growth (---) ○~▲: early morning, ▲~●: morning, ●~■: afternoon, ■~△: evening

；過去の報告から光強度、葉温と光合成量の間には通常密接な関係があるといわれている¹⁾。今回の調査結果から、この3測定値の関係を時間の経過を考慮に入れて分析すると以下ようになる。

光量子量と葉温の間には各個体とも比較的確な比例関係が認められる。両値とも午後2時頃最大値を示し、日の出および日没時に最小となる。しかし、日没時の葉温は日の出時に比べて光量子量の値ほど下がることはない。光合成量と光量子量および葉温との間にはタブノキで正の高い相関関係が認められるのに対して、他の3種では認められない。

アラカシでは光量子量と葉温の間には生育状態の違い

Fig.6, Reference among photosynthesis rate, quantum and leaf temperature of *Machilus Thunbergii* with superior growth (—) and inferior growth (----) ○~▲: early morning, ▲~●: morning, ●~■: afternoon, ■~△: evening

による差がそれほど顕著に現れない。このため、各図ともに3個体を示す折れ線が重複する部分が多くなっている。光合成量の他の2測定値の関係は、早朝の立ち上がりややや異なるものの以後は光合成量の違いに応じて平行した変化を示している。

スダジイは、光量子量と葉温の関係では中庸木と不良木が比較的類似した動きであるが、光合成量が軸となる図では生育状態の違いによって図上の分布域が異なる。すなわち光合成量と葉温の関係では日中の葉温が2~5℃異なるにもかかわらず良好木と中庸木の光合成量の動きが類似しているのに対して、葉温変化がほぼ同じである中庸木と不良木では光合成量の変化がまったく異なる。光合成量と光量子量の関係は3個体とも異なる動きを示

Table 2. Mean value of quantity of chlorophyll of each branch of measured tree (each value is SPAD value, measured with MINOLTA, SPAD-501)

	Tree with Superior Growth	Tree with Inferior Growth	Tree with Medium Growth
<i>Qu. glauca</i>	49, 1±2, 0	19, 9±1, 5	31, 7±2, 1
<i>Ca. cuspidata</i> v. <i>S</i>	52, 8±2, 5	23, 9±3, 3	33, 0±2, 7
<i>Ma. Thunbergii</i>	46, 3±1, 7	32, 7±1, 1	—
<i>My. rubra</i>	44, 3±2, 1	—	—

した。特に不良木では葉温が低くかつ光量子量が非常に少ないわずかの時間帯（日の出直後と日没直前）でのみ多くの光合成が行われていた。

タブノキは3測定値の相関が顕著に高く、各図とも良好木および不良木の折れ線は相似した形となっている。光合成量が最大となる葉温あるいは光量子量は比較的大きな値であると思われる。

ヤマモモは良好木のみしか測定が行えなかったが、比較的低い葉温（27℃前後）および光量子量（700 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 程度）で最大の光合成量を示した。

今回は測定回数が少ないため明確には言えないが、アラカシの中庸木と不良木、スダジイの良好木と中庸木は日中光飽和点に達していると思われる。一方、スダジイ不良木の動きはかなり特異であった。各種の良好木についてみると光飽和点はタブノキ、スダジイ、アラカシ、ヤマモモの順に低くなると思われた。

iii) 葉緑素量との比較 (Table 2) ; 葉緑素量の測定値を見ると生育状態の違いに応じて葉緑素量が変化していることがわかる。すなわち、光合成量ともある程度の相関があるようである。しかし、アラカシとスダジイの各3個体の葉緑素量の比率がほぼ同じであるにもかかわらず、前述のように各生育状態の樹木の光合成量の状態はこの両種でかなり異なることからみて、樹木一般について光合成能力と葉緑素量を結び付けて考えるためには今後さらに測定資料を増やす必要があると考えられる。

3) 総括

以上のように、光合成量を中心にいくつかの測定値の経時変化あるいは相関関係について分析を加えた。一般に植物の光合成の季節変化をみた時、その活動が最も旺盛であるのは夏期であるとされている²⁾。今回の報告は1回の測定によるものであるため、光合成が最盛期にあるとされるこの時期を選び、樹木の活力度診断に結び付けようとしたものである。また、測定を行った夏は水分条件に関して比較的恵まれており、土壤の乾燥状態はそ

れほど厳しいものではなかった。

分析の結果、種あるいは生育状態の違いに応じてそれらの動きに差が出ることが示された。今回の測定結果のうち、光合成量の経時変化は大きく、なだらかな1山型になるスダジイ良好木、他の中庸木と不良木、午前中にピークを持つ良好木、凹型になるスダジイ不良木の3つにわけられる。従来、最適温度を越える温度条件下では光合成量が低下することが報告されている²⁾ことからみて、第1の型は中庸木、不良木が中心であり量的には少ないが各葉が能力にあった光合成を行っているものと思われる。一方、水分不足による午後の光合成量の低下あるいは他の要因による光合成の日中低下もまたよく認められる現象である¹⁾²⁾。第2の型は高温あるいは水分不足等の要因が働いているものと思われる。また、これらの良好木の葉は光合成能力が優れていることから、葉内での光合成産物の蓄積、すなわち source と sink の関係¹⁾から、午前中に必要な光合成を終えてしまうことも考えられる。第3の型であるスダジイ不良木の経時変化は、最適温度を越えた葉の光合成量の変化³⁾⁴⁾の非常に極端な形と考えられるが、慢性的な生育不良、活力度の低下により、光合成能力の低下、最適温度の狭小化が起こっているものと思われる。一方、タブノキを除く3樹種では光合成量の変化と相関の高い測定値が少なかったことから、植栽後の生育条件の影響からくる各個体の前歴、すなわち活力度が要因として働いている可能性が示された。

今回の報告は夏に行った1回の調査に基づくものであり、測定回数が少ないことから充分な統計的処理のできるものではなかった。しかし光合成量は種および生育状態によって大きく異なるものであることが示されたことから、今後光合成量の季節変化、水ポテンシャル等環境圧との関係あるいは簡便に測定できる葉緑素量との関係等、研究を進めて行くならば、光合成測定は樹木活力の診断の指針として充分に利用性の高いものになると思われる。

参 考 文 献

- 1) 佐藤大七郎・堤利夫 (編) (1978) : 樹木—形態と機能 : 文英堂, 115—130
- 2) 畑野健一・佐々木恵彦 (1987) : 樹木の生長と環境 : 養賢堂, 262—281
- 3) Gates, D.M. (1965) : Heat Transfer in Plants : Sci. Ame. 213 (6), 76—84
- 4) 近藤純正 (1982) : 大気境界層の科学—大気と地球表面の対話 : 東京堂出版, 152—182

Summary : Net photosynthesis rate of four evergreen broad-leaved tree species (*Quercus glauca*, *Castanopsis cuspidata* var. *Sieboldii*, *Machilus Thunbergii* and *Myrica rubra*) of some growth status, which are planted six years ago as reclamation work of Takahama power station, Fukui Prefecture, was measured with a portable photosynthesis analyzer (LI-6200 of LI-COR Inc.) in summer fine day. The results are as follows : (1) The change of photosynthesis rate of a day was classified into three types, which were that formed smooth mount shape, that had a peak in morning and that sank in mid-day. (2) According to the condition of growth, leaf temperature and quantum, each species showed interesting responses in photosynthesis activity. (3) It considered that these differences were referred to high temperature, lack of moisture, condition of growth and the relation between source and sink in plants.