

B-18

葉-気温差を指標とした樹木の生育状況のリモートセンシング技術の開発

和歌山大学大学院システム工学研究科	○小倉 和
和歌山大学システム工学部	中島敦司
和歌山林業林業試験場	法眼利幸
和歌山大学システム工学部	谷川寛樹
同上	藤垣元治
同上	中尾史郎
同上	山田宏之
同上	養父志乃夫
同上	平田健正

1. はじめに

林業経営や公園管理などにおいて、樹木個体および林分の生育状況を診断する場面は少なくない。しかし、従来は「目視による生育状況の診断」が多く、評価者の主観に頼るところが大きいといった問題があった。さらに、診断の対象となる林分や公園緑地が広大であれば、多大な時間と労力が必要となるため、樹木の生育状況を客観的かつ簡易に診断する技術の開発が求められてきた。

樹木の生育状況を判定する指標となりうる生理現象は幾つか挙げられるが、その中でも、樹木葉の光合成速度は現在の生育状況を最もすみやかに反映する(森本ら, 1991)。したがって、光合成速度を指標とすれば、生育状況を最も正確に判定できると考えられる。しかし、光合成の計測のためには、特別の装置が必要であるため、簡易に光合成の状況を予測できる技術の開発が求められている。

このような視点から、既に、熱画像を用いた葉温の計測から蒸散速度や光合成速度を判定する研究が行われている(大政ら, 1990; 森本ら, 1991)。葉温から光合成速度を推測できるならば、簡易かつ安価に判定できると考えられる。しかし、葉温は、葉からの蒸散の他に気温、湿度、放射、気流などの熱環境状態の影響を受けるため、葉温のみによる生育状況の判定は安定的な指標とは言い難い(大政ら, 1990)。したがって、熱環境要因が一定でない条件下では、葉温のみの計測による判定結果は必ずしも正確であるとは言い難い。一方、井上ら(1987)はトウモロコシ(*Zeamays*)やダイズ(*Glycine max*)を例として、キャノピー温度と気温の計測結果から、蒸散速度および光合成速度の推定が可能であることを報告している。また、青木ら(1991)は、水耕栽培のターサイ(*Brassica campestris*)を対象として、気温から葉温を引いた温度差である葉-気温差と蒸散速度の間に正の相関が認められることを報告している。一般的に、至適温度内であれば、蒸散速度の上昇に伴って光合成速度も上がることが知られているため、ターサイでは葉-気温差と光合成速度の間にも正の相関が認められたと考えられる。このことは、樹木を含む他の植物に対しても適用できる可能性がある。また、ここで報告された葉-気温差を指標とすれば、少なくとも計測時の気温の違いによる影響を取り除くことができ、より精密な判定ができると考えられる。そこで本研究では、樹木において葉-気温差と光合成速度の関係を調べ、葉-気温差が森林の生育状況判定指標となりうる可能性を検討した。

現在、和歌山県では、特産品であるウメ(*Prunus mume*)や同属のヤマザクラ(*Prunus jamasakra*)の大量枯死が問題となっている。また奈良県の吉野山では、広範囲のヤマザクラ林の衰退が問題となっている(天野, 2001)。さらに、サクラは日本の国花であり日本各地で自生、植樹されており、多くの地域で確認できるシンボルツリーのひとつである。このため、ヤマザクラを植樹、育成している公園も少なくない。以上のことから、和歌山県での事情だけでなく、ヤマザクラについて生育状況の診断を必要とする場面は今後増える可能性もあり、本研究では供試植物としてヤマザクラを用いた。

2. 材料および方法

実験は2001年5月11日、5月31日、6月7日、7月9日、8月2日、8月10日、9月2日に和歌山大学構内に自生するヤマザクラを供試植物として行った。供試植物としたヤマザクラには、樹高4 m、樹冠幅4 m、胸高直径20cmで、葉緑素のSPAD値が40程度の濃い緑色の葉を付けており、良好な生育をしていると判断された成木を選定した。実験方法は、まず供試個体の枝の一部に環状剥皮を施し、強制的に衰弱させる部分を用意した。そしてポロメーター（CIRAS-1、小糸工業社製）を用いて、健康な枝および衰弱させた枝のそれぞれに着生している個葉の葉温、光合成速度を以下の手法によって測定した。まず、健康な枝、衰弱させた枝のそれぞれから分枝した樹冠に位置する枝を、葉が10枚前後ついた状態で採取し、現地ですみやかに水挿しした。次に、ポロメーターの測定部であるキュベットに葉を挟み、個葉の表面葉温、光合成速度を2秒間隔で測定した。キュベットの設定値は、光強度1000PAR、CO₂濃度380ppm一定とし、測定温度（キュベット内の気温）条件については20℃、25℃、30℃、35℃と段階的に変化させ、各温度帯での光合成速度の変化を調べた。なお、各時期の枝のサンプリングは同一の個体からとした。

3. 結果および考察

各時期に記録されたデータを総合し、測定温度別に、葉温および葉-気温差と光合成速度のそれぞれの相関を調べた。結果を表1に示す。葉温との相関係数が正となっているのは、葉温が上がると光合成速度が下がることを示し、葉-気温差との相関係数が負である場合は、葉温が下がると光合成速度が上がることを示している。これより、どの温度域でも葉-気温差と光合成速度との間には有意な正の相関が認められ、その上、葉温と光合成速度の相関に比べ、葉-気温差と光合成速度の相関がより強いことから、光合成速度の推定においては葉-気温差を指標とする方が葉温を指標とするよりも有効であると判断された。

一方、ヤマザクラにおける樹木葉の光合成速度は、生物季節現象などの生理現象や周囲の環境の影響により、年間を通して必ずしも一定の値を示すわけではない。図1に、本実験において各時期に記録されたチャンパー温度域別の最大光合成速度の経時変化を示す。これによると、どの温度域においても5月31日には8 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$.前後の高い値を示したのに対し、8月には2 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$.前後の低い値を示した。この最大光合成速度の各時期間の差は、葉温と光合成速度および葉-気温差と光合成速度のそれぞれの相関に何らかの影響を及ぼす可能性がある。

つまり、計測する時期により、葉温と光合成速度および葉-気温差と光合成速度のそれぞれの相関係数は、測定時期によって近似しないと考えられた。

そこで、測定時期別に葉温と光合成速度および葉-気温差と光合成速度のそれぞれの相関を調べた。それぞれの相関係数の経時変化を図2、葉-気温差と光合成速度の相関係数の数値を表2に示す。これによ

表1 ヤマザクラにおける各チャンパー温度での葉温と光合成速度の相関係数および葉-気温差と光合成速度の相関係数（2001年5月から9月）

温度域	葉温との相関	葉-気温差との相関
20 $\pm$ 1℃	$r = -0.45$ ($P < 0.01$)	$r = 0.65$ ($P < 0.01$)
25 $\pm$ 1℃	$r = -0.48$ ($P < 0.01$)	$r = 0.52$ ($P < 0.01$)
30 $\pm$ 1℃	$r = -0.31$ ($P < 0.01$)	$r = 0.47$ ($P < 0.01$)
35 $\pm$ 1℃	$r = -0.05$ ($n.s.$)	$r = 0.35$ ($P < 0.01$)

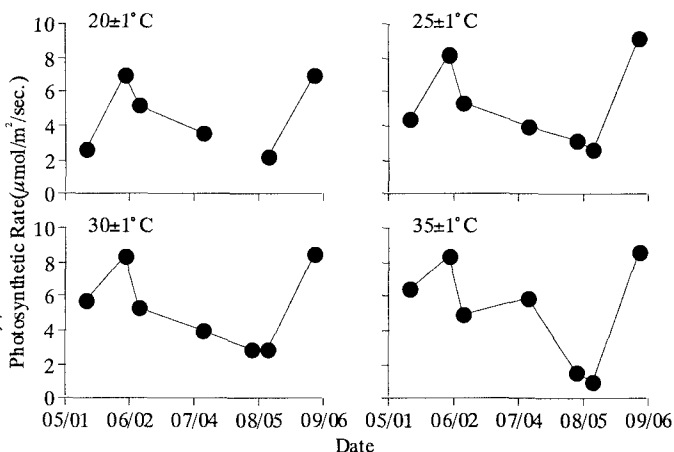


図1 各チャンパー温度域での最大光合成速度の経時変化（2001年度）

ると、葉温、葉-気温差共に光合成速度との間の相関係数は時期により異なることが分かった。さらに、時期別にみても、表1と同様の結果が認められた。中でも、葉-気温差と光合成速度の相関係数は、測定温度20℃の6月7日では $r=0.96$ ($P<0.01$)、25℃では5月31日と6月7日に $r=0.84$ ($P<0.01$)、30℃では5月11日に $r=0.73$ ($P<0.01$)となり、それぞれ強い相関が認められた。

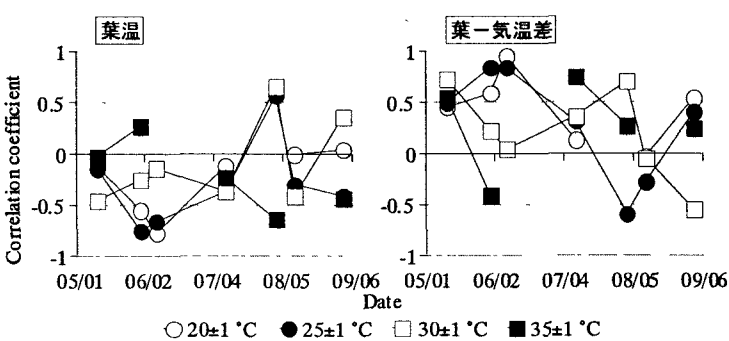


図2 葉温と光合成速度の相関件数および葉-気温差と光合成速度の相関係数のそれぞれの経時変化 (2001年度)

表2 時期別、チャンパー温度別の葉-気温差と光合成速度の相関係数 (2001年)
※それぞれの温度はチャンパー温度を示す。

Date	20±1°C*	25±1°C	30±1°C	35±1°C
May. 11	$r = 0.46$ ($P<0.01$)	$r = 0.51$ ($P<0.01$)	$r = 0.73$ ($P<0.01$)	$r = 0.55$ ($P<0.01$)
May. 31	$r = 0.59$ ($P<0.01$)	$r = 0.84$ ($P<0.01$)	$r = 0.23$ ($P<0.05$)	$r = -0.42$ ($P<0.01$)
Jun. 7	$r = 0.96$ ($P<0.01$)	$r = 0.84$ ($P<0.01$)	$r = 0.04$ (<i>n.s.</i>)	
Jul. 9	$r = 0.14$ ($P<0.05$)	$r = 0.32$ ($P<0.01$)	$r = 0.37$ ($P<0.01$)	$r = 0.75$ ($P<0.05$)
Aug. 2		$r = -0.60$ ($P<0.01$)	$r = 0.70$ ($P<0.01$)	$r = 0.28$ (<i>n.s.</i>)
Aug. 10	$r = -0.02$ (<i>n.s.</i>)	$r = -0.27$ ($P<0.01$)	$r = -0.05$ (<i>n.s.</i>)	
Sep. 2	$r = 0.55$ ($P<0.01$)	$r = 0.40$ ($P<0.01$)	$r = -0.54$ ($P<0.01$)	$r = 0.25$ ($P<0.05$)

4. おわりに

本研究の結果から、ヤマザクラにおいては葉-気温差による生育状況診断の有効性が示され、またその計測は初夏に行うことがより効果的であると考えられた。なお、2001年度の和歌山市の5月上旬から6月下旬までの日平均気温は、18.9℃から27.1℃の範囲にあり、実測する場合でも温度、時期共に本研究の結果は適合していると考えられる。また、必ずしも相関係数は高くならなかったが、これは葉気温差が光合成速度に直接作用しているのではなく、蒸散速度や湿度、酵素の活性などの影響を介して作用しているためと考えられる。つまり、植物の生理現象から見ても、葉-気温差と光合成速度は共に温度という共通のファクターを持ち、それぞれの間には有意な相関が認められる。

現在、樹木の生育状況診断技術の一つとして、NDVI (正規化植生指数) などを用いて、緑地や植物個体を撮影した画像からクロロフィル量や含水量などを評価するリモートセンシング技術が開発されている。しかし評価に対しては、使用する画像データの信頼性や、季節、天候の違いの影響、対象種による特性、画像と植物生理現象との関係についてなどの検証が不足しており、未だ多くの問題を含んでいる (大政ら, 1990; 古海ら, 1998; 沖ら, 1998; 小黒ら, 1998; 木村ら, 2000)。それに対し、葉-気温差と光合成速度との相関が認められた本研究の結果から、植物の生理現象を理論に組み込んだセンシング技術の開発の可能性が示された。さらに、実際に生育状況診断を行う場合、葉-気温差を指標とすれば、診断の対象となる林分の中の衰弱している個体や群落を効率的に抽出することが可能で、実用にも十分堪えるものと考えられる。

今後、他の樹種についても葉-気温差を指標とした生育状況診断を検討し、さらに既存のリモートセンシング技術と併用することで、より正確な生育状況診断技術の開発が期待できる。