

分光放射計による樹木活性度の評価

倉橋洋一*1 堀場隆広*1 盛田耕作*1

Evaluation of Trees Vitality Using a Spectroradiometer

Yoichi KURAHASHI, Takahiro HORIBA and Kosaku MORITA

ハンディタイプの葉緑素計と可視光領域が測定可能な分光放射計を用いて樹葉を測定し、葉緑素計の値と反射スペクトル特性から次のことが分った。黄葉から落葉に至る過程の鉢植えコナラ及び状態が異なる4本のシラカシ樹葉の測定結果から、葉緑素計の値の違いと反射スペクトル特性に活性度が理由と思われる同様の違いが見られ、反射スペクトル特性を表す指標値から活力の程度の違いを捉えることができ、樹木の活性度が客観的に推定可能である。

1. はじめに

自然環境の計測では、人と自然の共生において重要と思われる里山の機能が注目されている。しかし、里山をはじめとする森林樹木の生態の計測は、多くの人手に頼り、しかも多くの時間をかけ非効率的な方法で計測が行われてきたため里山の状況把握が大幅に遅れている。森林の樹木の計測は、近年の環境に対する認識が高まってきたこともあり様々な研究がなされてきた。例えば航空機のMSSデータから樹木の活力度評価をしたり¹⁾、大気汚染と樹木の活力度の関係について²⁾、また森林衰弱の評価方法について³⁾、或いは葉緑素計の有効性に関する調査⁴⁾などの報告がある。そこで本研究では葉緑素計の値を一つの客観的な指標として、可視光領域の反射スペクトル特性によって樹木の活性度の評価を試みた。樹木の活性度は、活力又は健康度と言われ、樹形、葉色、葉形、葉の大きさなどから診断される。

2. 測定方法

樹木に光及び水分ストレスを与えたときの樹木活性度について以下の方法で調べた。

2.1 測定機器及び測定樹木

分光放射輝度の測定には分光放射計(株)フコ SR-2)を使用した。この分光放射計は可視光の範囲(波長: 380nm~780nm)において測定可能であり、測定波長間隔は視野角が0.2°のとき5または10nm、視野角が2°のときには1,5または10nmの選択となる。また、今

回使用した葉緑素計(ミルワ株)SPAD-502)は、簡易型ハンディタイプで葉を挟むだけで測定でき、数値をデジタル表示するようになっている。

分光反射率の測定対象樹木には里山を代表する樹種であるコナラとシラカシ(写真1)を選択した。コナラはブナ科の落葉樹であり、シラカシはブナ科の常緑樹でどちらももどぐりの実がなる木として知られている。これらの樹葉の測定は屋内で実験を行うため、鉢植えのもで行った。また、水分ストレスに強い観葉植物であるカボック(鉢植え)を選択し、葉緑素計による測定のみを使用した。



写真1 測定に用いた鉢植えのシラカシ
(左からA, B, C, D)

2.2 分光反射率の測定

樹葉の分光放射輝度の測定は、黒板に軽く止めた状態の枝についたままの葉に電球の光を照らし、分光放射計をほぼ正面に設置して葉からの反射光の分光放射輝度を測定した。葉とほぼ同じ位置に並べて白色板を

*1 機械電子部

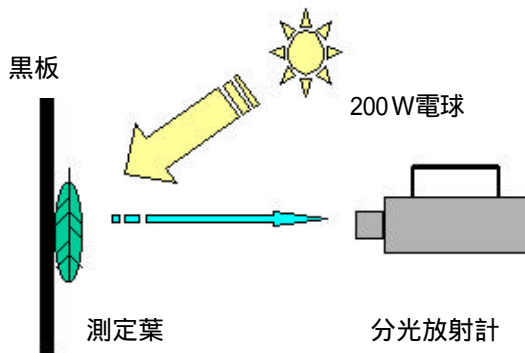


図1 分光放射計による分光放射輝度の測定

置き、白色板の分光放射輝度を測定した(図1)。視野角は2°、波長間隔は10nmとした。

分光反射率は次式で求めた。

$$\text{葉の分光反射率} = \frac{\text{葉の分光放射輝度}}{\text{白色板の分光放射輝度}}$$

また、白色板として標準白色板(BaSO₄)に近い反射特性を示したアクリル製白色板を使用した。白色板を用いることにより光の強さの影響を除くことができる。

2.3 葉緑素計での測定

葉緑素計による測定は、分光放射輝度を測定する付近の葉脈を避けた4ポイントを測り、その平均をもってその葉の葉緑素計値とした。

2.4 評価方法

葉緑素計で樹葉を測定した結果得られる葉緑素計値は、絶対値ではなく相対値である⁴⁾ので異種樹木間で比較することはせず、あくまで同種樹木間で比較するにとどめた。

反射スペクトル特性を評価するにあたり3つの波長、550nm、680nm、780nmを選択した。選択した理由は次のとおりである。550nmは光合成を行うクロロフィルaの含有量によって反射率が変化することが知られている波長である。680nmはクロロフィルaの吸収率のピーク波長である。クロロフィルaは可視光の広い範囲で光を吸収し(図2)、440nmと680nmに吸収ピークがある。780nmは測定上限であり、近赤外線領域の近傍波長として選んだ。

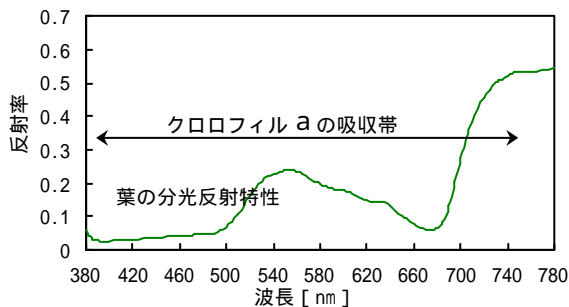


図2 光合成色素の光吸収波長範囲

これらの3波長における反射率から、次の二つの指標RI及びGIを定義する。

$$RI = \frac{780\text{nmにおける反射率}}{680\text{nmにおける反射率}}$$

$$GI = \frac{550\text{nmにおける反射率}}{680\text{nmにおける反射率}}$$

一般には

$$RVI = \frac{800\sim 900\text{nmにおける反射率}}{680\text{nmにおける反射率}}$$

としてRVI (Ratable Vegetation Index) という指標が知られている。この二つの指標で反射スペクトル特性を表現し、樹木の活性度の評価を試みた。

3. 測定結果

3.1 葉緑素計値の測定結果

水の供給を停止するという方法で鉢植えのカボックに水分ストレスを数ヶ月与え続けた。ストレスを与え前の葉緑素計値は55以上あったが、1ヶ月後に約50に、4ヶ月後には45までゆっくり低下した。また同様にしてコナラにも水分ストレスを与えたところ、数日のうちに葉緑素計値が上昇し、葉の色艶はなくなり、10日ほどで落葉に至った。一般にカボックは体内に水分を貯蔵しており水分ストレスに対して強く、逆に鉢植えのコナラは弱い。弱いストレスを与えた場合には葉緑素計値は下降し、落葉に至るような場合には上昇を示すものと考えられる。

3.2 コナラ、シラカシの測定結果

冬の初めに黄葉しているコナラの樹葉の分光反射率(図3)を測定した。木にはまだ緑色を呈している葉、部分的に黄色くなってきた葉、全体が黄色に染まった葉、全体が茶色で落葉直前の葉が同時期に枝について

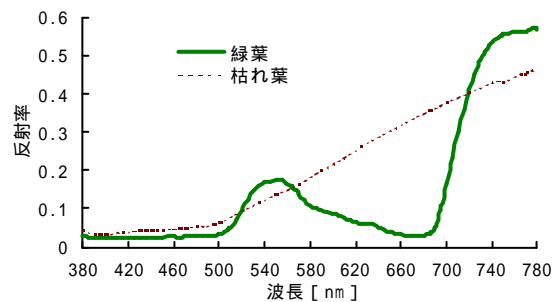


図3 コナラの分光反射率

いて、その中から5枚の葉を選び分光放射計と葉緑素計の両方で測定した。最も緑色が濃い葉の葉緑素計値は29.7を示し、黄色を呈するに従い値は低下していき黄色に染まりきった葉は2.3、全体が茶に覆われると7.8に上昇している。その葉緑素計値の違いに対して

反射スペクトル特性は、波長が400nm～700nmのところの反射率が盛り上がるようにして増していき、枯れていると思われる葉緑素計値が7.8の茶色の葉では波長740nm以上において反射率は下がり、400nm～780nmでなだらかで単調な増加を示した。

反射スペクトル特性の違いを2つの指標RIとGIで表すと緑色を呈し葉緑素計値が高い葉は右上に位置し、葉色の変化、葉緑素計値が低くなるにつれて左下へと移行するのがわかる(図4)。

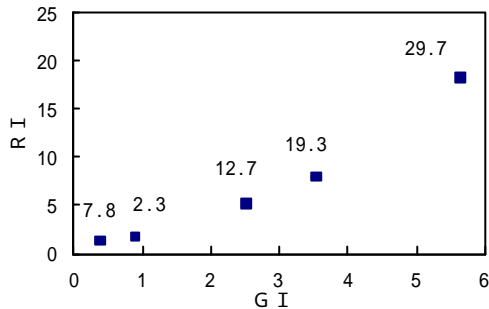


図4 コナラのRIとGI
(グラフ中の数値は葉緑素計の値)

また、同じコナラの植木を用いて黄葉～落葉過程における分光反射率と葉緑素計値の変化を追ってみた。黄葉期にまだ緑色を呈している葉を選び、その葉が落葉するまでの3日間測定した(図5)。この経時的変化でも任意の葉を選んで測定した場合とほぼ同じ結果が得られた。

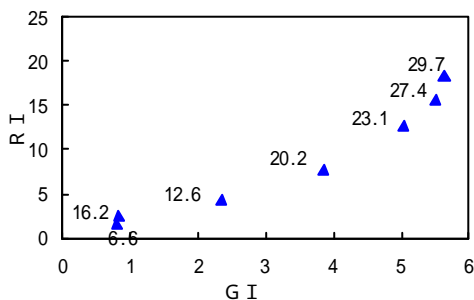


図5 黄葉～落葉におけるコナラのRIとGIの経時変化
(グラフ中の数値は葉緑素計の値)

シラカシについてはA, B, C, Dの各4本についておこなった。測定したのは1月中旬で、それぞれの木につき10枚前後の葉を任意に選び、分光反射率と葉緑素計値の測定をした。その結果得られた反射スペクトル特性を表現する二つの指標RIとGIをプロットし図6に示した。またそのときの葉緑素計値を表1に示した。

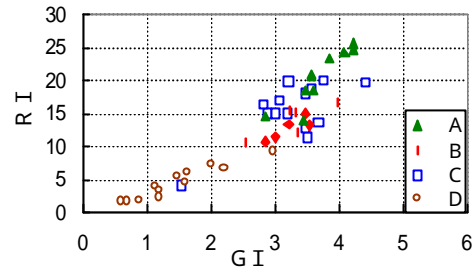


図6 シラカシA～DのRIとGI

表1 シラカシA～Dの測定樹葉の葉緑素計値

	範囲	平均値
A	35.1～46.1	43.1
B	32.7～38.9	35.8
C	26.8～45.7	37.5
D	26.6～54.0	39.2

AとCは見た目にはほとんど違いは見られなかった。BはA, Cよりも全体的に若干葉が小さくて緑色が薄く、Dにおいては枯れかけ、あるいは枯れた葉があった。4本の中で葉緑素計値の平均値が最も高かったAは図6上一番右上に、順にC, Bとプロットされ、枯れかけていたDは最も左下に位置している。これら4本のシラカシの中ではA, C, B, Dの順に活性度が良いとみることができる。Dの葉緑素計値の範囲と平均値が高いのは枯死葉による高い値のためであり、反射スペクトル特性にははっきりと違いが表れている。

更にこの測定結果から良い状態にあると思われるシラカシAとCを選び、以下に記述したように異なる条件下に置き、どのような変化が表われるのかを実験した。

シラカシA：水を十分に与え屋外に置き、できるだけ良い状態を保った

シラカシC：屋内に置き、光と水分のストレスを与え意図的に状態を悪くしていった

測定方法はシラカシAとCそれぞれから任意に3枚葉を選びそれらの樹葉について葉緑素計値と分光反射率測定をした。葉緑素計値の結果を図7に示す。シラカシAの葉緑素計値は45前後から2ヶ月かけてゆっくり5程度低下した。この変化は季節的なものと思われる。見た目の葉の色も僅かに薄くなっていった。これに対してシラカシCのそれはAとは逆に僅かに上昇し、ある時から急上昇し、高値を示したままであった。急上昇した時期は樹葉ごとに異なるにしても、変化のしかたは同じとみることができる。葉の色は、値が急上昇を示した時には既に艶は全くなく、乾燥した緑色であった。シラカシCはこの後枯れていった。

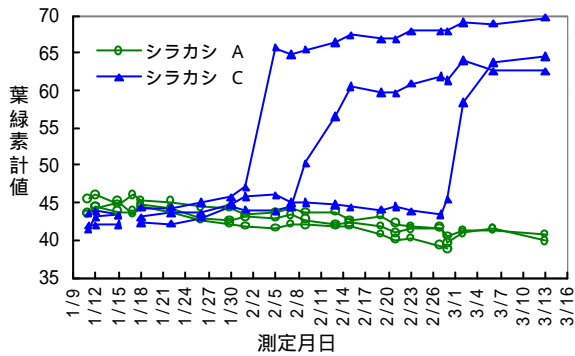


図7 シラカシA及びCの葉緑素計値の経時変化

また、分光反射率の測定からRIとGIをプロットした結果を図8に示す。シラカシAは多少の動きはあるものの1.4 RI, 3 GIの高い範囲にあり、その動きの中に特定の方向性は見られない。それに対しシラカシCは実験開始の頃はRI = 1.5, GI = 3付近にあったが、しばらくすると3枚とも二つの指標値は急に低下していった。低下した時期は葉緑素計値の急上昇の時期と1枚は同じで他の2枚は分光反射率の方が数日早かった。変化の時期は違うが3枚ともRI = 4, GI = 1.5 近傍に収束した。このときの樹葉は乾燥した状態でまだ緑色を呈しており、茶色に枯れてはいない。図8に見られる経時変化は図6の結果とかなり類似しており、シラカシに固有の変化であると考えられる。

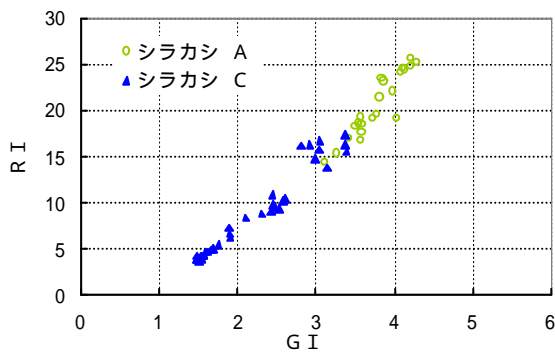


図8 シラカシA及びCのRI, GIの経時変化

これらのコナラとシラカシの結果から非接触による計測である樹葉の反射スペクトル特性によって樹木の活力の程度が推定できることが分った。

4. 考察

樹葉の測定からその樹木の活力を推定する場合においては図6からもわかるように、一本の木にもいろいろな葉が存在しており、状態が変化していく時にも同様ではなくばらつきをもって変化していくため、複数ヶ所を測定し、そのプロット範囲から樹木の活力を判断するのが適切である。

今回は反射スペクトル特性を評価する指標として550nm, 680nm, 780nmの三つの波長を選択したが、反射率の変化は小さいがクロロフィルaの吸収ピーク波長である440nmの有効性も考えられる。

枯死あるいは枯死直前の葉の葉緑素計値が上昇を示した理由として、今回使用した葉緑素計は波長650nm付近と940nmの光の透過率を計測し、その差をもとに算出しているが、940nmでの吸収率は変わらないとしていることが考えられる。コナラ、シラカシ以外の樹葉でも試してみたところ、枯れた葉は正常な葉より明らかに高い値を示していた。

5. 結び

水分ストレスを与えられた鉢植え樹木は、葉緑素計値と反射スペクトル特性が変化し、スペクトル特性により定量的にその変化を捉えることができ、活性度を客観的に推定できることが分かった。この方法は、森林樹木にも適用できると考えられる。

今回の測定時期は測定機器の都合により冬季のみとなった。他の季節のデータも採り、季節による反射スペクトル特性の違いも今後測定していく必要がある。また、測定条件は限られるが、屋外樹木を遠方から測定した場合と屋内樹葉の近接測定との定量的な測定値の違いについても検討する必要がある。

参考文献

- 1) 力丸 厚: 森林航測, 129, 3(1961)
- 2) 本城尚正: 京都府立大学学術報告農学偏, 28, 109(1976)
- 3) 森脇康文, 古川郁夫: 鳥取大学農学部演習林研究報告, 24, 55(1996)
- 4) 小橋澄治, 小林達明, 増田拓朗: 緑化工技術, 11(2), 3(1985)