

樹木リモート画像計測技術の開発

依田康宏^{*1}、山本昌治^{*1}、浅井 徹^{*1}、松永重信^{*2}

Development of Remote Image Sensing Technique for Evaluating Tree Vitality

Yasuhiro YODA, Masaharu YAMAMOTO, Tohru ASAI and Shigenobu MATSUNAGA

Technical Consulting Division, AITEC^{*1} Innovation Plaza Tokai, JST^{*2}

樹木の活性度を CCD カメラにより測定し、樹木全体の活性度分布の画像表示が可能なりリモート画像センシングシステムを開発した。システムの開発に当たり、CCD カメラ、フィルタの感度を考慮した補正を行い、ダイナミックレンジを広げて活性度を算出する方法を検討した。本システムを用いて、年間を通して桜の木を計測したところ、桜の開花、緑葉、紅葉、落葉等の活性度の違いによる季節変化が測定できた。また、システムを携帯可能な構成とし、愛知県産業技術研究所（刈谷市）内で測定したところ、常緑樹と落葉樹の活性度の相違が確認できた。

1. はじめに

植物の活性度を観測することは、農作物や森林樹木が健康に成長しているかを管理するための手がかりとなり、活性度を診断する方法としては、葉緑素計による葉緑素計値（SPAD 値）の測定¹⁾や、衛星画像を利用した植生調査における正規化植生指標（NDVI 値）の測定²⁾、分光放射計を用いた樹木活性度指標（RVI 値）の測定³⁾等が知られている。

前報⁴⁾では地上から樹木の活性度を CCD カメラとフィルタにより観測して活性度の分布画像を表示するシステムを開発し、健康な鉢植えの樹木と不健康な鉢植えの樹木とを比較して、活性度の相違が見られることを確認した。

本報では、システムを携帯可能な構成とし、屋外での特定樹木の季節を通じた測定や、樹木間での活性度の比較をした。また、測定精度を上げるため、CCD カメラ、フィルタの感度を考慮した補正をし、影等の光量の差があるときの測定もダイナミックレンジを広げて活性度を算出する方法を用いて検討した。

2. 測定方法

2.1 システム構成および測定方法

システムは、前報で報告した近赤外白黒 CCD カメラ（以後、近赤外カメラと呼ぶ。）を用いたものに加えて、携帯可能なカラー CCD カメラ（以後、カラーカメラと呼ぶ。）を用いたものを新たに開発した。

今回開発したシステムは、**図 1** に示すようにカラーカ

メラ、ノートパソコン、ノートパソコン用ビデオキャプチャカードから構成され、カラーカメラの前面にはフィルタホルダを設け、手動で 680nm、780nm、880nm のフィルタが取り替え可能である。フィルタの波長は、前報と同様に、活性度を評価するために必要なものを選択しており、680nm、780nm、880nm のフィルタとしては、中心波長がそれぞれ、 $676 \pm 2\text{nm}$ 、 $780 \pm 2\text{nm}$ 、 $880 \pm 2\text{nm}$ 、半値幅が $10 \pm 2\text{nm}$ のものを使用した。

カラーカメラによる樹木の測定では、680nm、780nm、880nm のフィルタを手動で交換し、それぞれの画像データを保存した。測定時には、カラーカメラの位置、ズーム、焦点、絞り、ホワイトバランスは自動とせず、一定とした。この保存した画像データをもとに以降の補正、活性度評価を行った。

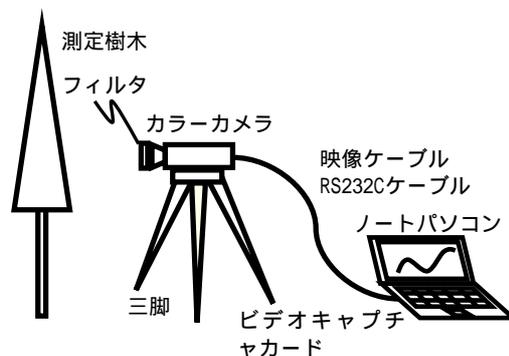


図 1 システムの構成図

2.2 カメラ、フィルタの感度補正

今回開発したシステムは前報で報告したシステムと構成が違いため、基本性能を確かめるための測定を行った。**図2**はシャッター速度とパソコン上の画像データの輝度値との関係を示した図であり、光源として200Wの白色電球3個を使用し、近赤外カメラとカラーカメラのシャッター速度を変化させてアクリル製白色板を測定した。

横軸のシャッター速度は光量に比例するため、**図2**は入射光量に対して画像輝度値がどれくらいの大きさに反応するかを示している。近赤外カメラは 値=1.0、カラーカメラは 値=0.45 であるため、それぞれ画像輝度値は光量の1乗、0.45乗に比例する項を仮定し、画像輝度値= \cdot 光量 + (近赤外カメラ) 画像輝度値= \cdot 光量^{0.45} + (カラーカメラ)の式に最小2乗法により近似した結果、以下の結果を得た。

$$(\text{近赤外カメラ画像輝度値}) = \cdot (\text{光量}) + 26.0 \quad (1)$$

$$(\text{カラーカメラ画像輝度値}) = \cdot (\text{光量})^{0.45} - 68.7 \quad (2)$$

また、フィルタをカメラの前に置き、同様に白色板を測定した。**図3**はカラーカメラのフィルタを通したデータを示し、近赤外カメラ、カラーカメラそれぞれ(1)、(2)式に近似してフィルタごとの の値を求めた(**表1**)。ここで、 はフィルタの透過率とカメラの分光感度との積に対応した値と考えられる。

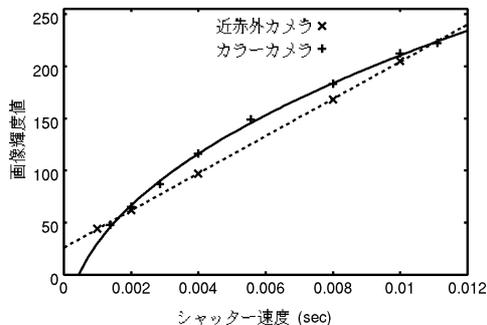


図2 シャッター速度と画像輝度値の関係

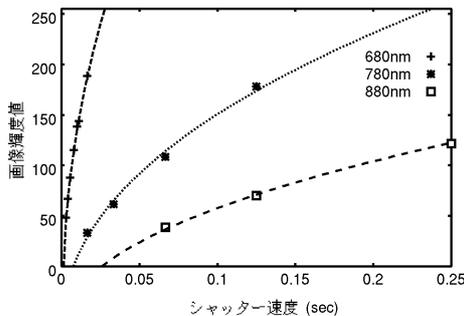


図3 フィルタ追加時のシャッター速度と画像輝度値の関係(カラーカメラ)

表1 フィルタを入れたときの係数

	近赤外カメラ 係数 (比)	カラーカメラ 係数 (比)
680nm	1.0	1.0
780nm	1.07	0.38
880nm	0.50	0.21

2.3 活性度評価方法

樹木の活性度の指標値は、前報と同じようにクロロフィルの分光反射率特性を利用した以下の値を用いた。RI、RVI 共に樹木が健康で活性度が大きいほど値が大きくなる⁴⁾。

$$RI = \frac{780\text{nm における反射輝度}}{680\text{nm における反射輝度}} \quad (3)$$

$$RVI = \frac{880\text{nm における反射輝度}}{680\text{nm における反射輝度}} \quad (4)$$

RI、RVI を算出する際に、前報では反射輝度として画像輝度値をそのまま用いていたが、本報では(1)、(2)式および**表1**を利用し、画像輝度値を補正した光量を反射輝度として用いているため、RI、RVI は前報より測定条件の影響によるバラツキが少ない値となっている。

また、画像輝度値は8ビット(0~255)の値をとるが、カメラに対し光量が飽和して白くなっているデータや、光量が少なく暗すぎるデータを選避するため、測定したデータは $50 < \text{画像輝度値} < 230$ のデータを使用した。

2.4 ダイナミックレンジを広げた測定方法

樹木を測定するときに、絞りやシャッター速度等のカメラの条件を変更してしまうと、正しくRI、RVI が求められないため、ある樹木を測定している間は、フィルタを交換しても条件を一定にして測定を行う。しかし、全てのフィルタで適切な光量になるように、同一条件で測定するのは難しい。

例えば、**写真1**は条件一定(シャッター速度=1/250秒)で680nmと780nmのフィルタを入れて測定した近赤外カメラの画像データであるが、樹木の部分に注目すると、680nmの画像は暗く、780nmの画像は明るい。更に、影があると、影の当たっていない部分と当たっている部分とで明るさの差が大きくなってしまふ。

そこで、シャッター速度を変えて複数の画像を測定し、画素ごとに適切な光量のデータだけを利用して、活性度画像を合成する方法を検討した。適切な光量の範囲は、 $50 < \text{画像輝度値} < 230$ とし、同じ画素位置で適切な光量のデータが複数ある場合には、今回は画像輝度値の高いデータを利用した。

ただし、シャッター速度の条件を変更すると、そのままではRI、RVIを算出する値としては用いることができない。反射輝度は単位時間当りの値なので、(3)、(4)式の反射輝度として、光量をシャッター速度で割った値を用いてRI、RVIを計算した。

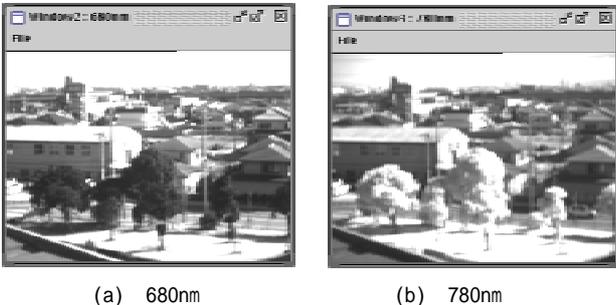


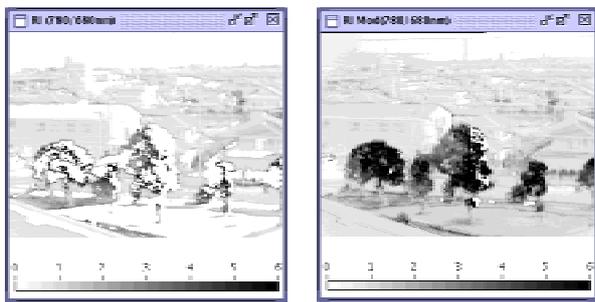
写真1 条件一定の測定画像例

3. 測定結果および考察

3.1 ダイナミックレンジを広げた測定

図4は写真1の1/250秒のデータのみを用いて活性度画像(RI)を算出したものと、1/100、1/250、1/500秒の複数のデータを用いて算出したものである。50<画像輝度値<230のデータがないものは濃度0の白表示としているため、特に図4(a)では樹木の部分が評価できていない。

50<画像輝度値<230以外のデータを用いて算出すれば、図4(a)でもある程度の値が算出されるが、光量が飽和しているデータ等を使用することになり、実際の値と異なってしまう。それと比較し、図4(b)では樹木の大部分の活性度が評価できており、影等があってもダイナミックレンジの広がった測定ができ有用であると考えられる。



(a) 条件一定で算出 (b) シャッター速度を変えて算出

図4 活性度画像(RI)例

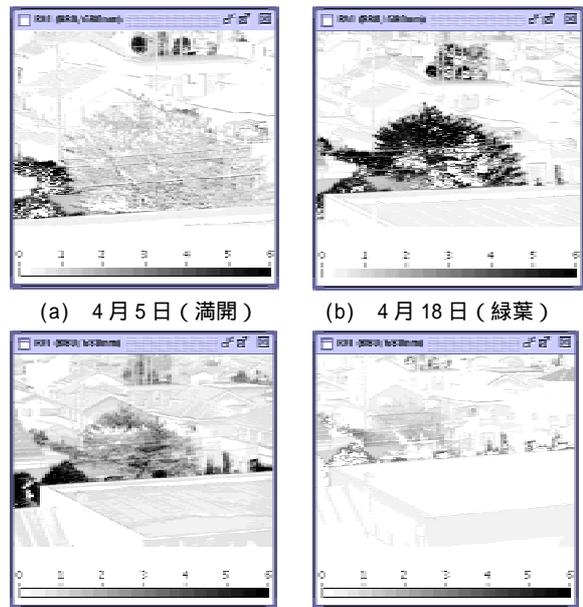
ダイナミックレンジを広げた測定は有用であることを確認したが、以降のデータでは年間を通じて測定し、シャッター速度を変えて測定していないものもあるため、シャッター速度一定のデータを用いて考察した。

3.2 桜の測定

近赤外カメラを用いたシステムを使用して、年間を通して桜の木の測定をした。図5は桜のRVIの活性度画像を濃淡表示したものであり、図6は適当な指定範囲のRVI(平均)の季節変化を示す。680nm、880nmの元画像が50<輝度値<230の範囲外であるときは、その部分の活性度画像を濃度0の白表示としている。

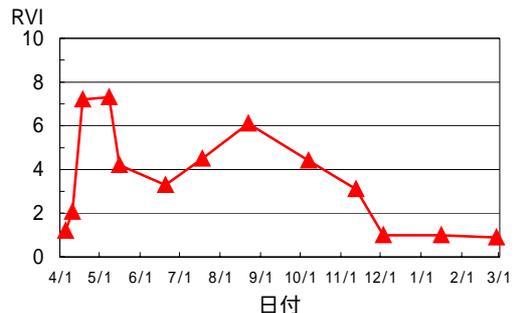
桜が満開のとき(2002年4月5日)には画像中の濃度は低くRVIは低い。花が散って葉が出てくるとRVIが徐々に高くなる。若葉だけのとき(4月18日)は葉が濃い緑色になり、RVIが高くなった。その後RVIは高く、紅葉したとき(11月12日)はRVIが低くなった。落葉したとき(12月3日)にはRVIが最も低くなり、背景との区別がつかなくなった。

このように、桜の開花、緑葉、紅葉、落葉等の特徴のある時期には、作成したシステムにより、活性度の違いによる季節変化が測定できた。ただし、4月中旬から10月までの緑葉のときにRVIの変動が大きい。太陽光強度、スペクトルの変動等も含めたシステムによる測定誤差の影響が考えられる。



(a) 4月5日(満開) (b) 4月18日(緑葉)
(c) 11月12日(紅葉) (d) 12月3日(落葉)

図5 桜の活性度画像(RVI)



3.3 産業技術研究所内での測定

次に、産業技術研究所（刈谷市）内で樹木の活性度評価を試みた。図7はカラーカメラにより測定した樹木の活性度画像（RI）を示している。丸い線の部分が落葉樹のラクウショウ、長方形の線の部分が常緑樹のクスノキである。680nm、780nmの元画像が50<輝度値<230の範囲外であるときは、その部分の活性度画像を濃度0の白表示としている。

2002年10月22日ではラクウショウ、クスノキ共に画像中の濃度は高くRIが高いが、11月6日はラクウショウが黄葉してRIが低くなった。また、ラクウショウが落葉したとき（12月3日）にはラクウショウのRIが最も低くなった。常緑樹のクスノキは期間を通してRIが高かった。

また、図8に落葉樹のラクウショウ、クヌギ、常緑樹のクスノキ、シラカシの活性度画像の適当な範囲のRI（平均）の季節変化を示す。落葉樹のラクウショウ、クヌギは11月の初旬には黄葉し、RIも次第に低くなっていくが、常緑樹のクスノキ、シラカシはグラフの期間を通して高い値を保っている。なお、クヌギの12月以降のデータは落葉し樹葉がないので省略してある。



(a) 10月22日

(b) 11月6日

(c) 12月3日

図7 常緑樹と落葉樹の活性度画像(RI)

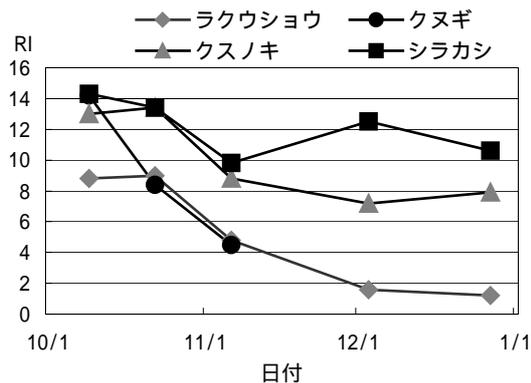


図8 常緑樹、落葉樹のRI値の季節変化

4. 結び

本研究では、遠隔地の樹木の活性度を効率的に計測するために樹葉の反射光スペクトル特性を利用して光学的に測定するリモート画像センシングシステムを開発した。システムの開発に当たり、カメラ、フィルタの感度を考慮した補正を行い、ダイナミックレンジを広げて活性度を算出する方法を検討し、この方法が活性度の評価の向上に有用であることを確認した。

また、開発したシステムにより、年間を通して桜の木を計測したところ、桜の開花、緑葉、紅葉、落葉等の活性度の違いによる季節変化が測定できた。更に、システムを携帯可能な構成とし、愛知県産業技術研究所内でクスノキのような常緑樹とラクウショウのような落葉樹とを測定したところ、緑葉のときは同じであったものが、黄葉すると活性度の相違のあることが確認できた。

ただ、今回のシステムの測定では緑葉のとき等、活性度指標値が高いときの値に不確定さが見られた。また、活性度指標値は葉面積等の他の要因からも影響を受けると考えられるので、他の要因からどのような影響があるかを検討する必要がある。

文献

- 1) 小橋澄治, 小林達明, 増田拓郎: 緑化工技術, 11(2), 3(1985)
- 2) 竹内和彦, 恒川篤史: 環境資源と情報システム, P80(1994), 古今書院
- 3) 倉橋洋一, 堀場隆広, 盛田耕作: 愛知県工業技術センター報告, 37, 4(2001)
- 4) 依田康宏, 堀場隆広, 盛田耕作: 愛知県産業技術研究所研究報告, 1, 21(2002)