

# 樹木活性度計測システムの開発

依田康宏\*<sup>1</sup> 堀場隆広\*<sup>1</sup> 盛田耕作\*<sup>2</sup>

## Development of a Monitoring System for Trees Vitality

Yasuhiro YODA, Takahiro HORIBA and Kosaku MORITA

Technical Consulting Division, AITEC\*<sup>1</sup>

Research and Development Division, AITEC\*<sup>2</sup>

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 CCD カメラにより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。開発したシステムにより、健康な樹木と不健康な樹木とを比較して計測、画像表示したところ、両者を判別することができた。また、遠距離にある樹木を測定した場合も、近距離にある樹木を測定した場合と同様の結果であり、開発したシステムにより活性度のある樹木の判別ができることを確認できた。

### 1. はじめに

森林樹木の生態の中でも、樹木の活性度は活力又は健康度と言われ、樹形、葉色、葉形、葉の大きさ等から診断される。樹木の活性度を観測することは、樹木が健康に成長しているかを判断する重要な手がかりとなるが、一般に活性度等の森林樹木の生態計測は、専門家により多くの時間をかけ、非定量的、非効率的な方法で行われているのが現状である。

樹木の活性度に対する計測として、葉緑素計による測定や、分光放射計を用いて反射スペクトル特性を計測する方法<sup>1)</sup>等があるが、葉緑素計や分光放射計による計測は、樹葉の一部を計測しているため、樹木全体の活性度は分からない。

本研究では、効率的な計測が行えるように、可視光領域にも感度を持つ近赤外 CCD カメラを使って可視光画像、近赤外画像を入力し、スペクトル特性から画像処理により樹木全体の活性度画像を求めた。

### 2. 樹木活性度評価方法の原理

図 1 は分光放射計 ((株)トプコン SR-2) により測定した健康な葉と不健康な葉の分光反射率を示している<sup>2)</sup>。550nm 付近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り、健康な葉は不健康な葉と比較して反射率が大きい。680nm 付近はクロロフィル a の吸収率のピーク波長であり、健康な葉では反射率が極小となるが、不健康な葉では反射率が小さ

くならないことが分かっている。780nm は可視光領域の上限値波長であり、健康な葉は不健康な葉と比較して反射率が大きい。また、880nm は近赤外領域の波長であり図の範囲外であるが、550nm、780nm と同様に健康な葉は不健康な葉と比較して反射率が大きいことが知られている。

これらの樹木の反射スペクトル特性を利用して、樹木の活性度を評価する。RVI (Ratable Vegetation Index) が近赤外領域を利用した指標として知られており<sup>1)</sup>、活性度を評価するときによく用いられるが、ここでは以下の指標を定義する。

$$GI = \frac{550\text{nm における反射輝度}}{680\text{nm における反射輝度}} \quad (1)$$

$$RI = \frac{780\text{nm における反射輝度}}{680\text{nm における反射輝度}} \quad (2)$$

$$RVI = \frac{880\text{nm における反射輝度}}{680\text{nm における反射輝度}} \quad (3)$$

GI、RI、RVI の何れも、樹木が健康で活性度が大きいほど指標値が大きくなる。

屋外での樹木の活性度を評価する場合、太陽光の強度変化、スペクトル変化の影響を除くように、反射輝度を白色板の反射輝度で除した反射率を用いることが多い。反射率を求めるためには屋外で測定するときにも白色板を同時に撮影しなければならない不便性と、短い測定時間の間に太陽光が大きく変化することは少ないこと等から、本研究

\*1 技術支援部機械電子室 \*2 基盤技術部

では反射輝度を用いて活性度の指標を定義した。ただし、季節や時間帯の違いによる太陽光のスペクトル分布への影響は避けられないので、異なった日、時間に測定したデータによる活性度の定量的比較は困難であると考えられる。

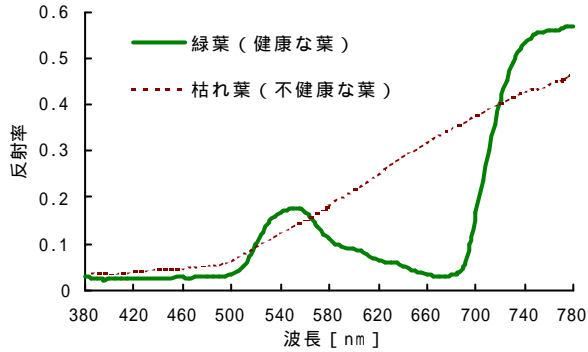


図1 樹葉の分光反射率特性

### 3. 開発システム

#### 3.1 ハードウェア構成

開発した樹木活性度計測システムの構成図を図2に示す。カラーCCDカメラ(以後、カラーカメラと呼ぶ。)は観察用に用い、近赤外 CCD カメラ(以後、近赤外カメラと呼ぶ。)は樹木活性度計測用に用いる。近赤外カメラの前には 550nm、680nm、780nm、880nm の4枚のフィルタを装着した回転板が設けられ、リモートサーバからステッピングモータを回転制御することにより任意のフィルタが選択可能となっている。なお、550nm、680nm、780nm、880nmの各フィルタとして、中心波長がそれぞれ、 $580 \pm 2\text{nm}$ 、 $676 \pm 2\text{nm}$ 、 $780 \pm 2\text{nm}$ 、 $880 \pm 2\text{nm}$ 、半値幅が  $10 \pm 2\text{nm}$  のものを使用している。

これらカラーカメラ、近赤外カメラは電動雲台上に設けられており、リモートサーバから電動雲台のパン、チルトの制御をすることにより、カラーカメラ、近赤外カメラを任意の方向に向けて回転することができる。

樹木活性度計測システムの入出力信号のブロック図を図3に示す。制御ボードからステッピングモータのドライバに制御信号を送信することにより、ステッピングモータを回転できる。また、制御ボードから近赤外カメラに接続された制御回路に制御信号を送信することにより、近赤外カメラのズーム、フォーカス、アイリスが制御できる。近赤外カメラからのビデオ信号はビデオケーブルを介してモノクロ画像処理ボードに入力され、リモートサーバ上に表示される。

同様に、カラーカメラからのビデオ信号はビデオケーブルを介してカラー画像処理ボードに入力され、リモートサーバ上に表示される。また、カラーカメラは、RS-232Cポ

ート1からバイナリ形式のコマンドを送信することによりズーム、フォーカス、アイリスが制御できる。電動雲台は、RS-232Cポート2からアスキー形式のコマンドを電動雲台のドライバに送信することによりパン、チルトが制御できる。

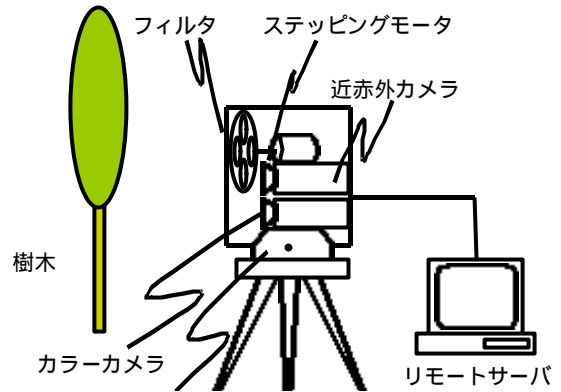


図2 樹木活性度計測システムの構成図

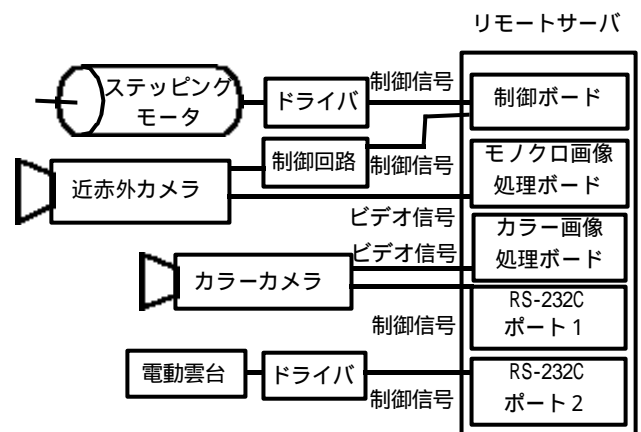


図3 樹木活性度計測システムのブロック図

#### 3.2 ソフトウェア構成

ソフトウェアは、OSとしてLinux(Red Hat Linux 6.2J)をインストールしたりリモートサーバ上でJava言語(Java2 SDK 1.4)により開発した。また、画像処理ボード、制御ボードの処理はC言語で記述し、Javaのネイティブメソッド呼び出し用ライブラリであるJNI(Java Native Interface)を利用してC言語で記述した処理を呼び出している。RS-232Cによる通信は、RS-232C用Java拡張ライブラリであるCommunication APIを利用している。

写真1に近赤外カメラの画像表示、制御を行う画面を示す。近赤外カメラの画像データを表示する画面では、画面上のボタンを押すことにより、電動雲台が上下左右方向に動き、フィルタを装着した回転板が回転する。また、画面上からズーム、フォーカス、アイリスが制御でき、この画面に表示された各フィルタを介した近赤外カメラの画像は保存可能である。

樹木活性度の演算を行う画面では、各フィルタを介して撮影した各スペクトル画像（以後、マルチスペクトル画像と呼ぶ。）を基に、画像間の対応する画素ごとに（1）～（3）式の輝度の演算を行い、GI、RI、RVI 三種類の樹木活性度の分布画像（以後、活性度画像と呼ぶ。）を求め表示する。



写真1 近赤外カメラ画像表示・制御用の画面

## 4. 測定結果および考察

### 4.1 鉢植えの測定

樹木活性度計測システムの基本性能を確認するために、緑色の濃い樹葉のある健康なシラカシの鉢植えと、やや黄色がかった樹葉のある不健康なシラカシの鉢植えとを比較して測定した。比較のために、葉緑素計（ミノルタ（株）SPAD-502）により10枚の葉をそれぞれ測定し平均したところ、健康な鉢植え、不健康な鉢植えの葉緑素計値はそれぞれ38.1、27.5であった。葉緑素計値は値が大きいほど活性度が大きいとされる。

写真2は測定したマルチスペクトル画像を示しており、測定時には、左側に健康な鉢植え、右側に不健康な鉢植えを配置した。近赤外カメラのアイリスはマルチスペクトル画像を撮影するときは一定とする必要があるが、近赤外領域における近赤外カメラの感度及びレンズの透過率が低いため、880nmのフィルタを通した画像は全体として暗い。

図4は算出したGI、RI、RVIの活性度画像を示している。それぞれ、GI=0~3、RI=0~3、RVI=0~2の範囲を20段階に分けて、GI、RI、RVIの各指標値の大きさを濃淡で表示している。GI、RI、RVIの何れの活性度画像も、不健康な鉢植えと比較して健康な鉢植えの樹木の部分の指標値が高く表示され、活性度の違いが識別可能である。特にRIの活性度画像については、健康な鉢植えが背景や不健康な鉢植えからはっきりと区別されて表示されることが分かる。

また、写真の左側が屋外であり、左側から日光が差し込んでいたが、鉢植えを左右入れ替えて同じように測定しても健康な鉢植えのGI、RI、RVIの各指標値が大きい結果が得られた。このことから、太陽光の照度の違いによる活性度画像への影響は見られないことが確認できた。

また、活性度を評価する方法としては、近赤外光領域を

利用したRVIを用いることが多いが、今回の結果から、可視光領域だけを用いたRIでも活性度の違いが判別できることを確認できた。

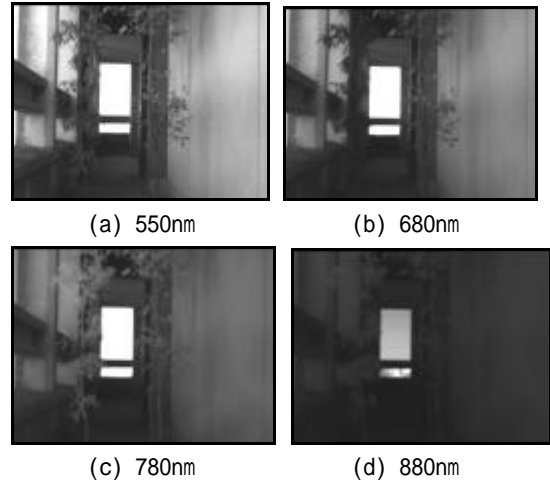


写真2 シラカシの鉢植えのマルチスペクトル画像

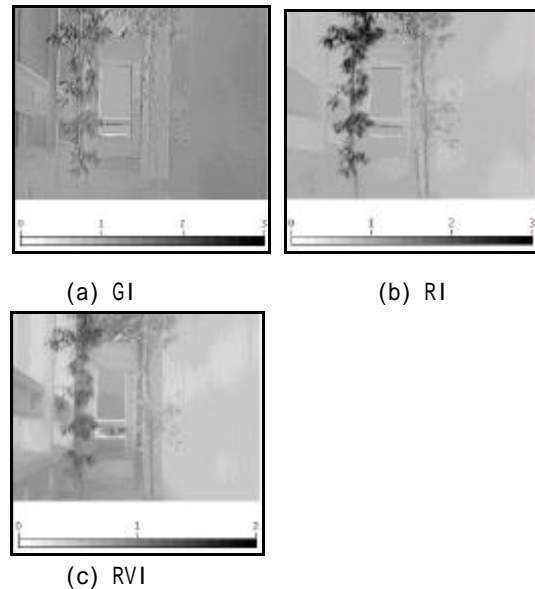


図4 活性度画像による樹木の比較

### 4.2 屋外での樹木の測定

次に、屋外での樹木の活性度評価を試みた。図5は算出したGI、RI、RVIの活性度画像およびそのヒストグラムであり、画像の上方に空、建物、道路、下方に樹林が広がっている。GI、RI、RVIの何れの活性度画像も樹林の部分の指標値が高く表示され、背景と明瞭に区別される。今回測定した樹林は活性度のあるものであったため背景と区別できたが、不活性な樹林では活性度の指標値が低いため、背景と区別できないと考えられる。近距離で測定した鉢植えの測定と同様に、遠距離にある樹林の活性度のあるものを判別できることが分かり、活性度画像は距離の影響を受けないことが確認できた。

RI、RVIの活性度画像のヒストグラムには2つのピークがあるが、横軸の値の小さなピークが背景等によるもの、横軸の値の大きなピークが樹林によるものである。GIのヒストグラムには1つのピークしかなく、背景等の他の部分からの樹林の区別がはっきりしていないことが分かる。

また、図6は桜の木のRIの活性度画像であり、画像の中央が桜である。指標値RIは樹葉のクロロフィルに反応するため、桜が満開のとき(2002年4月5日)はRIの値は低いが、花が半分散って葉が半分程度あるとき(2002年4月10日)にはRIの値が徐々に高くなる。若葉だけのとき(2002年4月18日)はRIの値が高くなり、葉が濃い緑色のとき(2002年7月18日)とほぼ同じである。このことから、活性度の指標値は、花が咲く等すれば樹葉が少なくなるので値が小さくなるものの、全て樹葉になれば、若葉のときでも濃い緑色のときでも、指標値の値はほぼ変わらないことが確認できた。

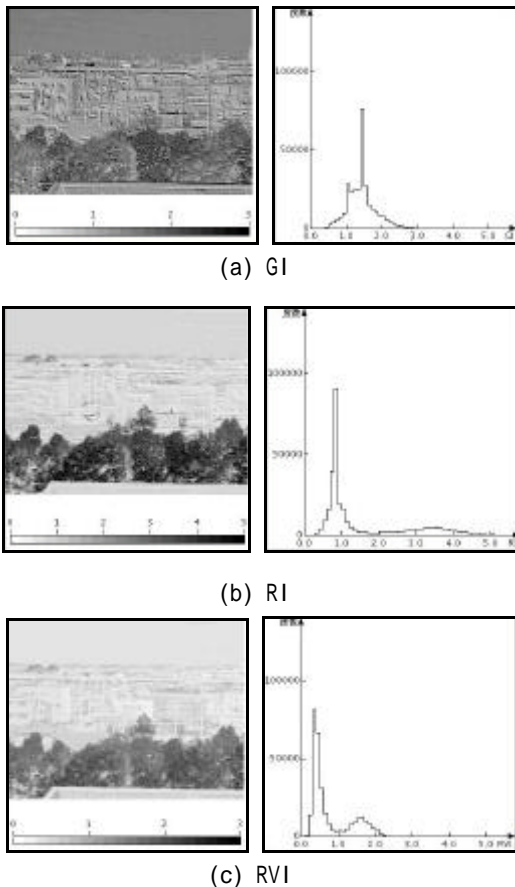


図5 屋外の活性度画像とヒストグラム

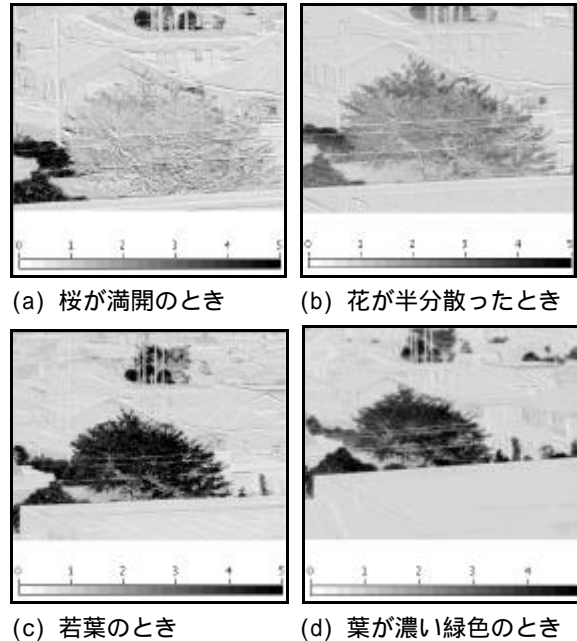


図6 桜の木の活性度画像(RI)

## 5. 結び

本研究では、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。

活性度画像を指標値の大きさに応じて表示したところ、樹葉の部分が背景と明瞭に区別され、更に、健康な樹木と不健康な樹木とを比較して表示すると、活性度の違いに基づく相違が見られた。遠距離にある樹木を測定した場合も、近距離にある樹木を測定した場合と同様の結果であり、開発したシステムにより樹木の活性度画像を表示し、活性度のある樹木の判別が可能であることを確認できた。

また、可視光領域だけでも活性度の判別が可能であることを確認できたため、今後は近赤外カメラの代わりにカラーカメラのみで活性度を評価するシステムの構築を検討する。更に、様々な種類の樹木の観測、長期的な観測を行うことにより、多くのデータを収集、解析し、このシステムの活性度評価機能の向上を図る予定である。

## 文献

- 1) 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)
- 2) 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)