

## ヘリコプタおよび地上観測データを用いた植生の画素成分解析

小村 良太郎, 久保 守, 村本 健一郎

金沢大学大学院自然科学研究科

〒 920-8667 金沢市小立野 2-40-20  
076-234-4890

muramoto@t.kanazawa-u.ac.jp

あらまし

広域のあるいは長期的に森林などの植生を調査するために、航空機や人工衛星からマルチスペクトルセンサを用いたリモートセンシングモニタリングが行われている。しかしマルチスペクトルセンサのみでは観測が難しい森林のスペクトル反射の空間的な違いが存在する。本研究では森林のスペクトル反射を測定すると共にビデオカメラでの撮影を行い、スペクトル反射の空間的な違いを求め、解析を行った。

キーワード リモートセンシング, ヘリコプタ, 画像データ, 植生, スペクトル, マッピング

## Analysis of Pixel Value Component in Forest Areas by Observation from Helicopter and Ground

Ryotaro KOMURA, Mamoru KUBO, Ken-ichiro MURAMOTO

Graduate School of Natural Science and Technology,  
Kanazawa University  
2-40-20, Kodatsuno, Kanazawa 920-8667, Japan  
+81-76-234-4890  
muramoto@t.kanazawa-u.ac.jp

Abstract

Remote sensing using a multispectrum sensor mounted on the satellite and airplane is useful to observe a vegetation in the forest areas. In forest area, there are many kind of vegetation, and it has various and complex reflection in spatial and spectrum domain. Therefore it is difficult to analyze a spatial distribution of spectrum by satellite and airplane sensor. In this study, we measured spectrum data and took a photograph using video camera synchronously. Information of spatial distribution of spectrum was analyzed by image processing.

key words remote sensing, helicopter, vegetation, spectrum, mapping, image data

## 1. はじめに

現在、広域のあるいは長期的に森林などの植生を調査するために航空機や人工衛星等を用いたリモートセンシングモニタリングが有効である。リモートセンシングではその目的や対象に応じてさまざまなセンサが用いられる。植生の状態について調査を行う場合、一般に光学的なセンサを用いる場合が多い。波長の異なるマルチスペクトルセンサによって観測することにより植生活性度の違いを推定することが可能であるからである。Landsatに搭載されるTMセンサは7つの波長を捕らえることができる。得られるデータは30mの空間解像度を有しており、センサはその領域内の何の値を反映しているのかを把握することが重要である。これを知るためにはセンサがとらえている領域内の詳細な情報が必要である。

本研究ではLandsatに搭載されているTMセンサと同様のマルチスペクトルセンサであるスペクトロメータと、スペクトロメータがとらえている領域の特定を行うためのビデオカメラを用いてヘリコプタにより上空から森林の観測を行う手法を考案した。またほぼ同時期に現地に存在する樹木の葉を採集し、葉のスペクトル特性の計測を行った。これらヘリコプタからのスペクトル、画像データ、個々の葉のスペクトルデータをそれぞれ解析し、スペクトルセンサの値と観測領域の画像成分との比較を行った。

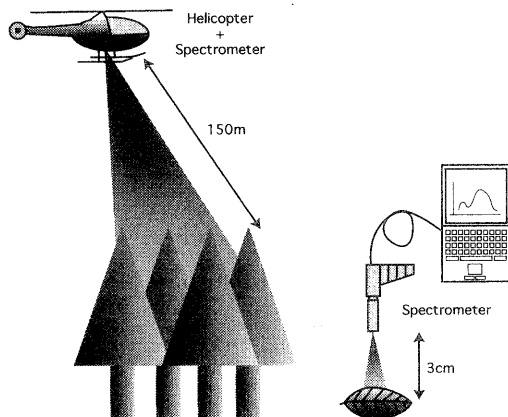


図1. 観測概要図

## 2. 観測方法・データ

図1に観測方法の概略図を示す。

### 2.1. ヘリコプタによる観測

ヘリコプタによる観測は2000年9月28日に、6名搭乗可能なヘリコプタを借り上げ、金沢大学角間キャンパス内の観測領域でホバリングを行った状態で窓を開放し、斜め下を撮影する形で観測を行った。撮影のターゲットとなる領域と撮影機器との距離は150mとした。距離はレーザー距離計(Bushnell社製YARADAGE PRO 1000)を用いて測定を行った。ヘリコプタからの観測に用いた機器はスペクトロメータとデジタルビデオカメラである。観測はスペクトロメータとビデオカメラを用いて連続的かつ同時に撮影箇所を移動させながら行った。

### 2.2. スペクトロメータ

スペクトロメータ(分光光度器)は電磁波の強度を波長の関数として測定する装置である。観測に用いたスペクトロメータはASD社製FieldSpec UV/VNIRを用いた。測定可能な波長は350 - 1050 nmの範囲であり、512のチャンネルで各波長の強度を計測している。スペクトルの分解能は1.4 nm以内である。観測においては視野角が1°となるレンズを装着した。これによりスペクトロメータが捉える地上の観測領域(距離150m)は半径1.3mの範囲となる。また観測地点近くの駐車場に白色のシートを設置し、このシートの反射スペクトルを標準とした。データを取得する間隔を34 msとし連続して測定を行った。データはスペクトロメータに接続されたPCのハードディスクに保存した。

### 2.3. ビデオカメラ

ビデオカメラはSONY社製DCR-PC100を用いた。スペクトロメータとは事前に時間合わせとターゲットとの中心軸合わせを行った。また撮影は、明るさの調整をマニュアル操作で行い、ズームを光学10倍とし、カセットテープに記録した。また観測領域全体の画

像を得るためにカメラ内メモリに観測領域をすべて含む静止画像を記録した。カセットテープに記録されたデータは後に IEEE1394 を通して PC に AVI 形式で読み込み、各フレーム毎に画像を抜き出し保存した。カセットテープに記録された映像の各フレームの解像度は 720x480 pixel、メモリに記録された画像の解像度は 1152x864 pixel である。

### 2.4. 葉の採集

2000年9月29日に観測領域における主な植生の葉の採集を行った。採取した葉は変質しないようにクーラーボックスに保存した。採取した植物種は計14種である。図2に植生の種類とその分布図[1]を示す。

### 2.5. 葉のスペクトル測定

葉の採集を行った後、同日中に屋内暗室において採集した葉のスペクトル測定を行った。安定した光を得るために 250 W のハロゲンランプを光源として用いた。スペクトロメータにはヘリコプタ観測時と同じく視野角 1° のを持つレンズを装着し、ターゲットとスペクトロメータの距離を 3 cm とし、各植生毎に 5 枚の葉を選別し各葉を 5 回ずつ測定を行った。スペクトロメータの観測時間もまたヘリコプタの観測と同じ 34 ms とした。また標準スペクトルとして、ASD 社の標準白色板のスペクトルを用いた。

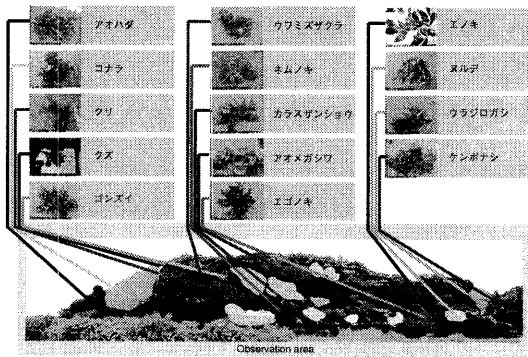


図2. 植生分布図

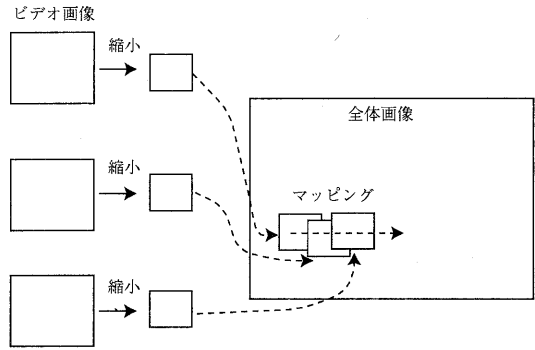


図3. フレームのマッピング

## 3. 解析方法

### 3.1. ビデオ画像マッピング

スペクトロメータが捉えている地点を特定するためにビデオテープに記録された各フレームを利用して特定し、マッピングを行った。マッピングは全体を撮影した静止画像にビデオテープの各フレームの画像を縮小しマッピングする形で行った。図3にマッピングの概要を示す。

まず目視により最初のフレーム画像と全体画像が重なる地点を特定し最初のマッピングを行った。次のフレームからは直前のフレームの位置情報を元にし新たに全体画像との最適な重ね合わせの位置の探索を行った。最適な重ね合わせ位置の特定に用いた要素は画像同士の相関である。対象とする画像の大きさ (TxT) とした場合、画像  $f(x,y)$  と画像  $g(x,y)$  との相関係数は以下の式[2]で求めることができる。

$$r = \frac{\sigma_{fg}}{\sigma_f \sigma_g} \tag{1}$$

ただし、

$$\sigma_{fg} = \frac{1}{T^2} \int_0^T \int_0^T f(x,y)g(x,y) dx dy - \left[ \int_0^T \int_0^T f(x,y) dx dy \right] \cdot \left[ \int_0^T \int_0^T g(x,y) dx dy \right]$$

$$\sigma_f = \left[ \frac{1}{T^2} \int_0^T \int_0^T \{f(x,y)\}^2 dx dy - \left\{ \frac{1}{T^2} \int_0^T \int_0^T f(x,y) dx dy \right\}^2 \right]^{1/2}$$

$$\sigma_g = \left[ \frac{1}{T^2} \int_0^T \int_0^T \{g(x,y)\}^2 dx dy - \left\{ \frac{1}{T^2} \int_0^T \int_0^T g(x,y) dx dy \right\}^2 \right]^{1/2}$$

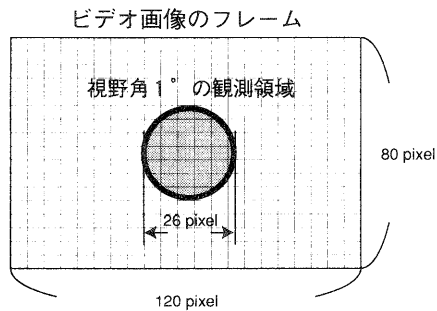


図4. フレームと観測領域

フレーム間の最大移動距離を上下左右に対して27 pixelとした。また各フレームの画像サイズを全体画像のスケールに合うサイズに縮小を行った。全体画像(1152 x 864 pixel)とフレーム画像(720 x 480 pixel)を合わせた際のフレーム画像のサイズは120 x 80 pixelであった。

### 3.2. スペクトロメータの観測領域の特定

ビデオ画像マッピングを実行した後、スペクトロメータが測定している領域の特定を行った。観測の際のビデオカメラのズームの倍率は10倍でありその際のスペクトロメータが1°の視野角で観測を行う領域はファインダの縦幅の約1/3であり、フレーム画像の縦幅が80 pixelであることよりフレームの中心より半径13 pixelの円状の領域とした。(図4)

### 3.3. 観測領域の画素要素

スペクトロメータによる観測は詳細な反射スペクトルの計測が可能であるが、観測領域の平均的なスペクトルを記録するため、観測領域に含まれる画素的な要素を知ることはできない。一方、画像においては光のスペクトル反射の観測には不十分であるが、観測対象の細かな空間的情報を記録することが可能である。本研究ではスペクトロメータでは記録できない画像情報を得るために、ビデオカメラで観測した画像から画素要素を算出した。観測領域の画素要素として、観測領域内に含まれる画素の輝度値の平均値と標準偏差を用いた。光の3原色において光合成と関連する赤成分[3][4]であると考えられるので画像の赤

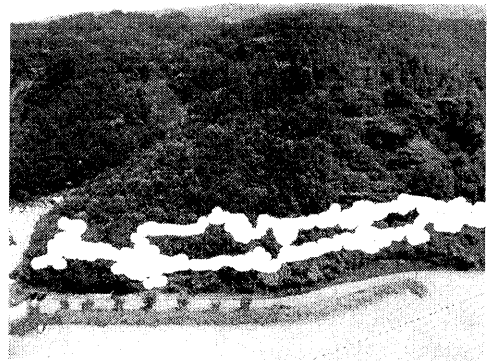


図5. 特定された観測領域

色成分について求めた。

### 3.4. ヘリコプタ搭載のスペクトロメータによる観測データ

ヘリコプタよりスペクトロメータを用いて観測したデータは光源は太陽光であるが大気の吸収によってスペクトルに偏りが生じるため地上に設置した白色のシートのスペクトルを基準として正規化を行った。正規化はスペクトルデータの各チャンネルに対して最低値である2100 Raw DN(digital number)を0とし、白色のシートの反射スペクトルを1とした。画像データとの比較を行うために、スペクトルのうち、赤の領域(波長:450-520 nm)で平均を求め赤色光の値とした。また植生のスペクトル反射が大きい近赤外光の領域(波長:760-900 nm)においても平均値を算出し近赤外光の値とした。これら赤色光(VIS)と近赤外光(NIR)より正規化植生指数(NDVI)[5]の算出を行った。NDVIは以下の式で求められる。

$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS} \quad (2)$$

NDVIは植生の活性の度合いを調べる指数として考案され、リモートセンシングでは広く用いられている。NDVI値は-1~1の値をとり、雲や水ではNDVI値は負の値になり、植生が増すにつれて大きな値を示す。

本研究では可視光のカメラを用いたため赤色光を重点的に解析を行った。

### 3.5. 地上のスペクトルメータによる観測データ

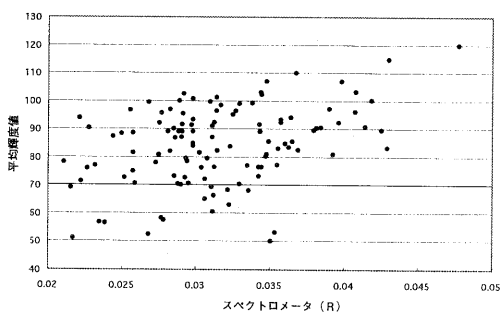
暗室において測定されたスペクトルメータのデータについても赤色光, 近赤外光, 正規化植生指数の各値の算出した。

## 4. 解析結果

### 4.1. ヘリコプタより観測された領域

ヘリコプタ搭載のスペクトルメータによって観測された領域を図5に示す。マッピングを行ったフレーム数は1190フレーム(約40s)である。マッピングされた画像と撮影されたビデオの画像を目視により確認を行った結果、

a 平均



b 標準偏差

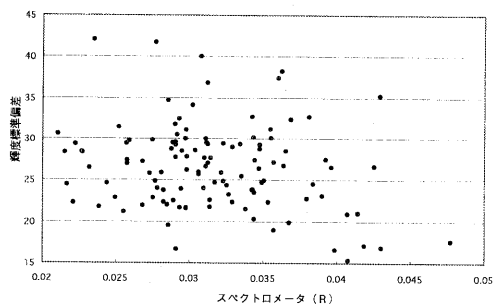


図6. スペクトルメータと画素成分

位置, 動き共にほぼ撮影された通りにマッピングされていた。撮影時刻とスペクトルメータデータ取得時刻を同期させることによってスペクトルメータの観測領域の特定を行った。

### 4.2. スペクトルメータと画素成分

スペクトルメータと観測領域の画素成分の比較を行った。図6に結果を示す。図6aはヘリコプタより測定を行ったスペクトルデータの赤色光成分とその観測領域に含まれる赤色画像の平均輝度値の比較を行ったグラフである。また, 図6bはスペクトルメータの赤色光成分は図6aと同様であるが, 画像成分として観測領域に含まれる赤色画像の輝度値の標準偏差を算出し比較を行ったグラフである。

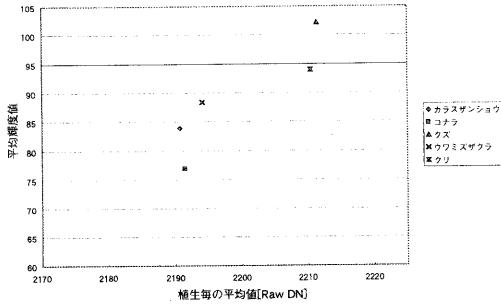
図6aにおいては輝度の平均値とスペクトルメータより得られた赤色光成分には正の相関が見られる(相関係数0.40)。これは同一の観測地点におけるビデオ画像とスペクトルメータの赤色光成分の比較であることから妥当な傾向である。図6bにおいてスペクトルメータの赤色光成分の値とは無関係に観測範囲の赤成分の標準偏差が分布している。これはスペクトルメータの値が同じでも観測範囲には不均一な成分が存在しており, この不均一な成分がスペクトル成分には反映されていないことを示している。不均一な成分は植生において考えられるのは, 各葉の反射特性, 枝の正常状況, 樹幹の形状等である。

### 4.3. 葉のスペクトルと画素成分

スペクトルメータでは観測不可能な観測範囲に含まれる不均一成分の調査を行うために, 植生の種ごとに地上で採集を行った葉のスペクトルメータデータの成分とヘリコプタの観測範囲の画素成分の比較を行った。観測範囲に含まれ, 植生の種類が判別可能であったのは, カラスザンショウ, コナラ, クズ, ウワミズザクラ, クリの5種類であった。

観測範囲の画素値の平均と葉のスペクトルメータ成分の平均値との比較を行った結果を図7aに示す。グラフより画素値の平均とスペクトルメータの平均値には正の相関が見られ

a 平均



b 標準偏差

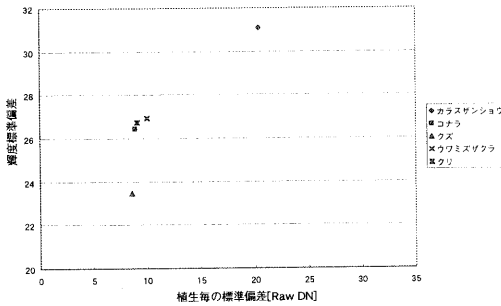


図7. 葉のスペクトルと画素成分

る(相関係数 0.89)。これはヘリコプタより観測を行ったスペクトロメータのデータの場合と同様に妥当な傾向である。一方、各植生種毎に複数の葉の赤色光スペクトル成分を求め、その標準偏差を算出し、また同種が存在する観測範囲の赤色画像に含まれる画素の値の標準偏差との比較を行った結果を図7bに示す。この図においては画素の標準偏差と各葉のスペクトルの標準偏差に正の相関がある。これは葉の反射のばらつきがヘリコプタからの画素のばらつきに反映されていると考えられ、ヘリコプタから観測を行った際スペクトロメータでは観測が不可能であった不均一成分の一つが撮影範囲に含まれる葉のスペクトルの違いであることが推察される。

5. まとめ

本研究ではヘリコプタにスペクトロメータとビデオカメラを搭載して植生の観測を行い、スペクトルとそのスペクトルを観測した領域の画像の画素成分との関連の解析を行った。画素の赤色輝度値の大きさとスペクトルの値はほぼ同じ傾向を示した。一方画素の分布を知るために観測領域の画素値の標準偏差を求めた。画素の平均値には見られない傾向があり、特に葉のスペクトルの標準偏差と画素輝度値の標準偏差は同じ傾向を示した。今後は可視光のカメラだけではなく近赤外画像を撮影できる機材を用いて観測を行い、更に画像とスペクトルの関係の解析を行う予定である。

謝辞 本研究はEMEAプロジェクト班により観測されたデータを解析したものであり、班員の金沢大学 鎌田直人助教授、川西琢也助教授、藤田政之教授に謝意を表す。尚、本研究の一部は科学研究補助金(10450158, 11691147)により行われたものである。

文献

- [1]Ken-ichiro MURAMOTO, Naoto KAMATA, Takuya KAWANISHI, Mamoru KUBO and Ryotaro KOMURA, "Comparison of Vegetation Measured from Three Different Distances," IGARSS 2000 Proceedings, I, (2000).
- [2]高木幹雄, 下田陽久, "画像解析ハンドブック," 東京大学出版会, (1991).
- [3]Walter Larcher, "ÖKOPHYSIOLOGIE DER PFLANZEN", Eugen Ulmer GmbH & Co., (1994), 佐伯敏郎 監約, "植物生態生理学," シュプリンガー・フェアラーク東京, (1999).
- [4]Hans Mohr and Peter Schopfer, "PFLANZENPHYSIOLOGIE," Springer-Verlag, (1992), 網野真一, 駒峰 穆, "植物生理学," シュプリンガー・フェアラーク東京, (1998).
- [5]日本リモートセンシング研究会, "リモートセンシング用語辞典," 共立出版株式会社, (1989).