

樹木の三次元ボクセルモデル作成 のための放射計計測

1150069 宋戸 凌

高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

衛星画像シミュレーションに必要な、樹木の三次元モデルに付与する分光反射率・透過率の計測実験を行った。樹木の三次元モデルを作成する場合、季節による太陽高度の変化を考慮するために、異方向性反射特性を把握する必要がある。今回、実験手法を考案し、BRDF計測を行った。本実験により、植物は光源天頂角 θ_s =センサ天頂角 θ_v の時、 θ が大きいほど高い反射率であることが判明した。紙やサンドペーパーにはそのような傾向はなかった。バンドごとに反射率の変化をみると、植物によりそれぞれ異なるとわかった。そして、反射率の変化を関数にすることもできた。植物は線形の相関を示す場合と、ある天頂角まで一定でその天頂角を境に反射率が上がるパターンがみられた。今後は、透過率でも同様の実験を行う必要がある。また、さまざまな天頂角の組み合わせで、反射率を測定しなければならない。最終的には、複雑に入り乱れる葉や枝があるボクセルモデルに、単純な状態での実験データを付与する手法を構築する。

Key Words: 三次元ボクセルモデル, 分光放射計, 異方向性反射率(BRDF)

1. はじめに

衛星画像を用いた土地被覆分類図や植生図の作成は、自然環境のモニタリングへの利用が期待されている。衛星画像を用いた土地被覆分類図の作成において、本研究室では、衛星画像シミュレーションを試みている。衛星画像シミュレーションの入力データである地物の反射率は、重要な要素となる。主に行っている森林エリアのシミュレーションには、樹木の分光反射率が用いられる。そこで、樹木の三次元モデルに葉や幹の分光反射率・透過率を付与し、樹木の反射率を推定することを目指している。それには、季節によって太陽高度が変化することを考慮するために、異方向性反射特性 (Bidirectional Reflectance Distribution Function) を把握する必要がある。

BRDFとは、対象を多方向から放射観測することにより、その反射率の変化を関数で表したものである。他の研究機関では、広大な範囲の草原や森林を対象としてBRDFを測っているが¹⁾²⁾、樹木の葉や幹などの要素ごとにBRDFを計測している例はほとんど見

られない。そこで、本研究目的は、樹木の三次元ボクセルモデル作成に向けて、葉の異方向性反射特性、透過特性を明らかにする。

今回、対象樹種は本学敷地内にある常緑広葉樹のシイ、クス、カシ、針葉樹のヒノキ、その樹皮とササである(図-1.1)。また、比較対象として白紙と、目の粗いサンドペーパー(#60)の計測も行った。



図-1.1 対象植物(左からシイ、クス、カシ、ササ、ヒノキ)

2. 計測機器

本研究では、オーシャンオプティクス社製の「USB4000」という分光放射計を使用した。この分光放射計は、付属のソフトの「OPwave+」を使用することで、分光放射データの取得と反射計測を行うことができる。図-2.1は使用した分光放射計、図-2.2はカメラのレンズ機能となる分光放射計に繋げる光ファイバ、図-2.3は反射係数を求める際に参照データとして使用する標準白版である。表-2.4に、分光放射計のスペックを示す。



図-2.1 分光放射計



図-2.2 標準白版



図-2.3 光ファイバ

表-2.4 分光放射計のスペック

測定波長範囲	200~1,100nm
波長分解能	0.2nm
S/N比	300:1(full signal時)
積分時間	10μsec~65sec
A/D分解能	16bit

3. 異方向性反射特性 (BRDF) 計測

本研究では、ハロゲンランプを光源として用いた。ハロゲンランプは様々な方向に光を発している。しかし、BRDFは光源とセンサの天頂角に依存する関数である。したがって、ハロゲンランプから発した光を平行光に変換する必要がある。平行光に変換する手法には、一般的に凸レンズが用いられる。凸レンズを用いる手法は、光源を凸レンズの焦点距離に置き、かつ点光源である必要がある。しかし、点光源にすると光源自体の光量が少なくなり、計測する際にノイズが多く出てしまう。よって今回は、筒を用いて平行光に近似させる手法とした。ハロゲンランプ以外の光を遮断するため、部屋を暗くし、実験装置を遮光カーテンで囲った。また、光源天頂角 θ_s とセンサ天頂角 θ_v は図-3.1のように、 Φ_t, Φ_v を変化させることで様々なパターンでの計測を可能としている。BRDFは光源と

センサの方位角によっても変化することが知られている。今回は光源、対象物が存在する鉛直面上かつ、前方散乱方向にセンサを置くことで方位角は一定に保った。この実験では、光源天頂角 θ_s とセンサ天頂角 θ_v が一致する方向で計測を行った。

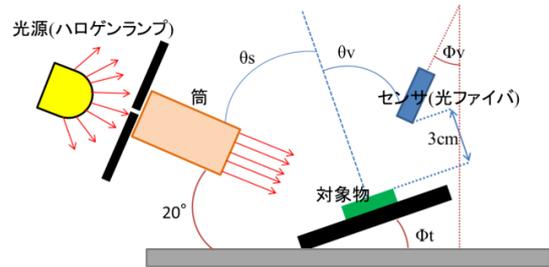


図-3.1 BRDF 計測装置

分光放射計の反射特性計測は、リファレンスデータ、ダークデータの2種類が必要である。リファレンスデータとは、反射係数を計算するときの参照データである。このデータは、標準白版を用いて放射照度を取得する。ダークデータとは、センサ固有のノイズデータである。外部からの放射が全くないときのデータを取得することで、ノイズのみのデータを取得することができる。リファレンスデータ、ダークデータ取得後、対象物に平行光をあて計測を行う。天頂角 $\theta=30^\circ$ 時の対象物の反射率を図-3.2に示す。

図-3.2より植物の葉は、種類が異なってもグラフの形はさほど変化していないことが分かる。また、白紙は100%に近い値をとり、ヒノキの幹とサンドペーパーは色が近いことから、グラフの形も似ていると考えられる。葉と幹は共に、近赤外において高い反射率を示している。また、クスとサンドペーパーの天頂角ごとの反射率を図-3.3に示す。

図-3.3より植物の葉は光源、センサの天頂角 θ が大きい方が、反射率も高くなる傾向がみられる。また、サンドペーパーはほとんど変化していない。そこで、得られた実験データから、550nm(Green)、650nm(Red)、850nm(NIR)での反射率を抜き出し、波長ごとに $\sin\theta$ による反射率の変化を図-3.4に示す。ここで $\sin\theta$ を用いたのは、フレネルの式において、反射率 R は、 $R=f(\sin\theta)$ で表現されているからである。Blue域の波長はノイズが多く、実験データとしてふさわしくない

め無視する。また、表-3.5 にプロットした点の回帰式と相関係数の一覧を示す。一般的に $R^2 \geq 0.7$ で高い相関関係だといえる。

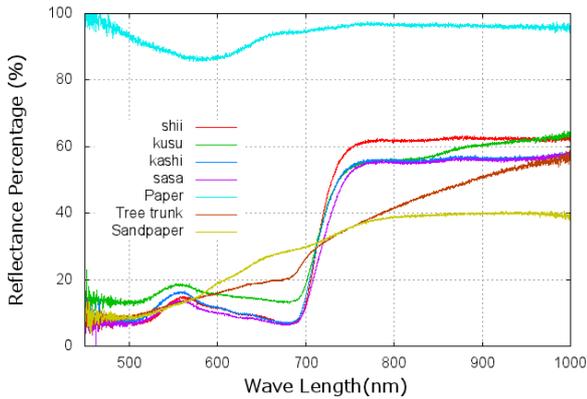


図-3.2 天頂角: $\theta_s = \theta_v = 30^\circ$ 時の対象物の分光反射特性

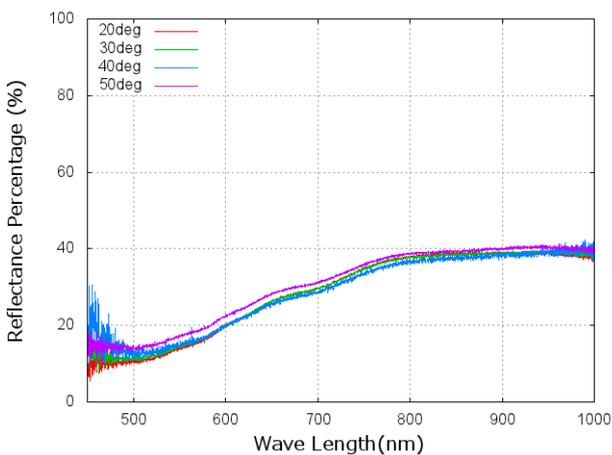
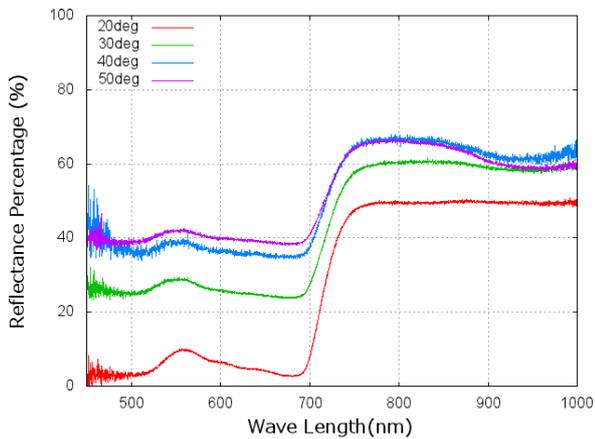


図-3.3 対象樹木の天頂角別分光反射特性 ($\theta_s = \theta_v$)
 クスの天頂角別反射率(上)
 サンドペーパーの天頂角別反射率(下)

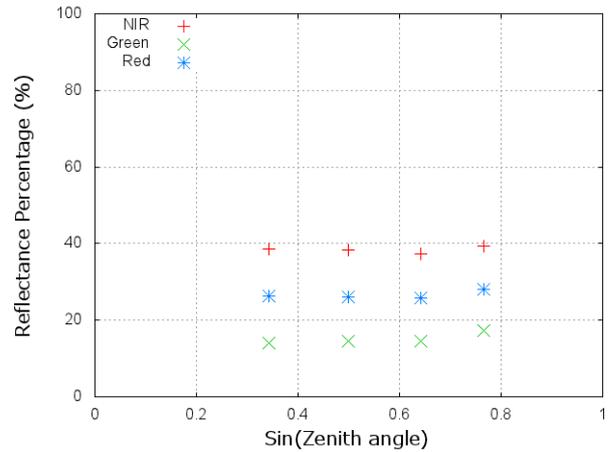
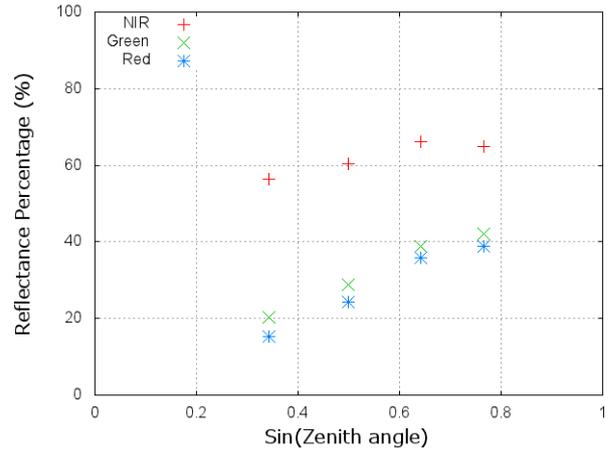


図-3.4 波長別天頂角による反射率の変化
 クスのバンド別 BRDF(上)
 サンドペーパーのバンド別の BRDF(下)

表-3.5 対象物別、各バンドの回帰式・相関係数

	波長	回帰式	相関係数(R^2)
シイ	Green(550nm)	$y=81.166x-19.625$	0.686
	Red(650nm)	$y=84.387x-25.727$	0.708
	NIR(850nm)	$y=69.595x+24.794$	0.585
クス	Green(550nm)	$y=53.675x+2.279$	0.980
	Red(650nm)	$y=58.278x-4.228$	0.974
	NIR(850nm)	$y=23.033x+49.02$	0.857
カシ	Green(550nm)	$y=77.232x-17.706$	0.636
	Red(650nm)	$y=81.154x-25.981$	0.675
	NIR(850nm)	$y=56.958x+27.728$	0.464
ササ	Green(550nm)	$y=25.787x+2.302$	0.948
	Red(650nm)	$y=29.017x-3.953$	0.983
	NIR(850nm)	$y=10.465x+43.284$	0.555
幹	Green(550nm)	$y=19.895x+4.315$	0.558
	Red(650nm)	$y=18.283x+11.515$	0.497
	NIR(850nm)	$y=-3.741x+52.723$	0.021
紙	Green(550nm)	$y=-4.225x+87.732$	0.030
	Red(650nm)	$y=-4.183x+84.499$	0.026
	NIR(850nm)	$y=-4.600x+92.996$	0.041
サンドペーパー	Green(550nm)	$y=3.089x+24.772$	0.327
	Red(650nm)	$y=6.956x+11.211$	0.683
	NIR(850nm)	$y=0.462x+38.12$	0.010

図-3.4,表-3.5より,クスとササにおいては,ササの近赤外域を除き $\sin\theta$ と反射率に線形の相関関係がみられた.また,シイとカシは,天頂角 40° でいったん下がりが, 50° で最大の反射率,もしくは, 40° までほとんど一定でそこから高い反射率をとると見ることが出来る.

4. 透過率計測

分光放射計による透過率の計測方法は,リファレンスデータ,ダークデータの取得を行う.その後,センサを鉛直上向きに固定し,葉を透過してきた光以外の光を遮断するために筒をかぶせる.筒の上部,センサの真上に直径1cmの穴をあけ,その上に葉を置き,葉を透過してきた光を計測する(図-4.1).

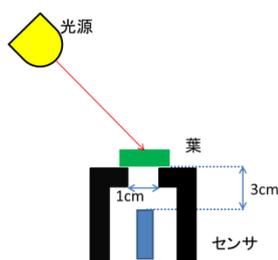


図-4.1 透過率計測装置

筒の内部には透過光の散乱を防止するために,光を吸収する植毛紙を用いた.図-4.2に同じ条件で計測した反射率とともに実験結果を示す.

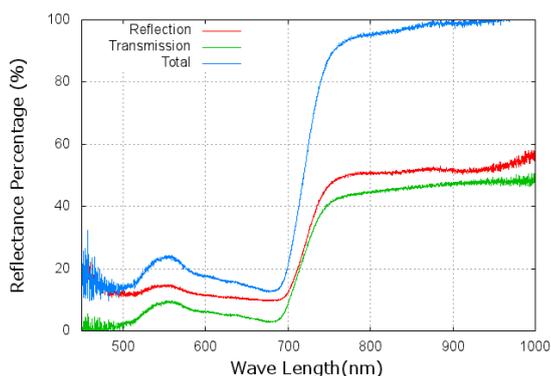


図-4.2 クスの反射率・透過率

図-4.2より,透過率は,反射率に近い形のグラフで反射率よりも低い値であった.反射率と透過率の合計の値が近赤外域でほぼ100%であることから,葉は

近赤外の光はほとんど吸収せず,可視光の波長帯の光を吸収していることが分かる.

5. 考察

今回,実験手法を考案し,BRDF 計測を行った.本実験により,植物は光源天頂角 θ_s =センサ天頂角 θ_v の時, θ が大きいほど高い反射率であることが判明した.紙や,サンドペーパーにはそのような傾向はなかった.バンドごとに反射率の変化をみると,植物によりそれぞれ異なるとわかった.そして,反射率の変化を関数にすることもできた.実験手法の確立が出来た.

今後,BRDF のように,透過率においても多方向から放射計測を行い異方向性透過特性(Bidirectional Transmittance Distribution Function)を求める必要がある.また,今回は最も反射率が高くなるであろう,光源の天頂角とセンサの天頂角が一致する方向のみでの計測であった.ボクセルモデルを作成する際,実際の人工衛星と太陽の位置を考慮し,光源とセンサの天頂角の組み合わせを変える必要がある.そして,複雑に入り乱れる葉や枝があるボクセルモデルに,単純な状態での実験データを付与する手法を構築する.具体的には,1つのボクセルに複数枚の葉があるとき,葉の向きをどのように仮定するか.また,ボクセル間におけるの反射光・透過光の行き来の処理などである.

参考文献

- 1) 泉岳樹:多方向放射観測の元づく葉面積指数の季節変化のモニタリング,首都大学東京,2007年
- 2) 陳路他:ヘリコプターによる反射率観測データを用いた広葉樹林と草地における BRDF の影響評価,奈良女子大学,2006年
- 3) オーシャンフォトニクス社:OPwave+ 各種測定手順マニュアル
- 4) 土居永典:衛星画像解析のための葉の分光反射特性,高知工科大学,2013年