

# 樹冠形状モデルを用いた 衛星画像シミュレーションとその活用

1110305 池澤 勇太

高知工科大学工学部社会システム工学科

現在本研究室では、衛星画像を使った植生図の作成を行っている。衛星画像の値から指標を算出し、その指標を用いることで、常緑樹、落葉樹、笹竹類、草地、裸地、水域の6項目に分類している。しかし、今後行いたいと考えている四国における二酸化炭素の固定量算出のためには、現在の分類項目のうち常緑樹においては、針葉樹と広葉樹との分類が必要である。そこで、針葉樹と広葉樹の樹冠形状の違いに着目し、その違いを使って、針葉樹と広葉樹の分類が出来ないかと考えた。常緑樹の針葉樹と広葉樹の代表的な樹冠形状のモデル化を行い、そのモデルを使って、衛星画像シミュレーションを行った。そして、シミュレーション結果と実際の衛星画像の値を比較して、実際の衛星画像を常緑樹の針葉樹と広葉樹に分類した。分類結果を検証した結果、検証エリアでは、正解率が針葉樹は98.4%、広葉樹が84.8%と良好な結果を得た。

**Key Words :** 衛星画像、シミュレーション、樹冠形状モデル、AVNIR2、土地被覆分類図

## 1. はじめに

現在の植生図は、環境省がH19年に作成したものが最新である。この植生図は現地調査と航空写真を元に作成されている。しかし、この植生図の作成対象範囲は、航空写真の撮影が最近行われた地域であり、四国ではわずかな地域に限定されている。

そこで、本研究室では、陸域観測技術衛星ALOS(日本名だいち)に搭載されている高性能可視近赤放射計2型(AVNIR2)センサーで観測された衛星画像を用いて植生図の作成を行っている。現在本研究室で、作成されている植生図は、衛星画像の値から、正規化植生指標、正規化土壌指標、正規化水域指標を算出し、その指標を使って、常緑樹、落葉樹、笹竹類、草地、裸地、水域の6項目に分類している<sup>3)</sup>。図1.1に、作成された植生図を示す。

将来的には、四国における二酸化炭素の固定量算出を行いたいと思っている。そのため、現在の分類項目のうち常緑樹においては、針葉樹と広葉樹との分類が必要である。しかし、現在の衛星画像のみの分類手法では、これ以上の分類が難しい状況にある。たとえば、現在の手法は、ミクセル(Mixed pixel)を考慮していない。ミクセルとは、衛星画像の1ピクセルを構成する要素が複数あるピクセルのことである。たとえば、森林の衛星画像を取得した際、その画像の1ピクセルを構成する要素は、樹木自体以外に、樹木が作る影や、地形によって出来た影など、色々な要素で構成されている。図1.2にそのイメージ図を示す。そして衛星画像の取得したデータは、1ピクセルの範囲のすべてが混じりあったデータになる。したがって、現在以上の詳細な分類を行うのであれば、ミクセルを考慮しなければならない。

本研究では、森林における衛星画像を構成する主要要素である樹木と影が、衛星画像に与える影響をシミュレーションすることで、森林におけるミクセルを考慮した分類を試みる。特に今回は、森林における針葉樹と広葉樹の樹冠形状の違いによる影と陰影の出来方をシミュレーションし、

その結果を用いて、樹種分類を試みる。

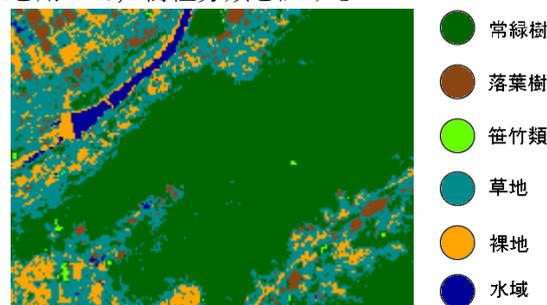


図1.1 植生図

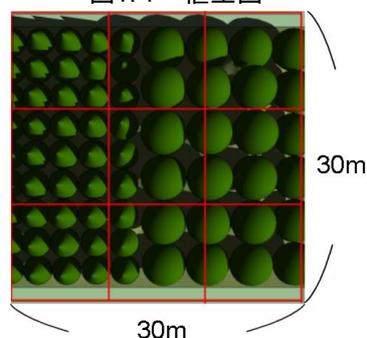


図1.2 ミクセルの状況

本研究の目的は、まず、森林における常緑樹の各樹種の代表的な樹冠形状モデルを作成し、その樹冠形状モデルを使って、森林における衛星画像をシミュレートする。次に、そのシミュレーションの結果と実際に取得された衛星画像を比較することで、常緑樹における針葉樹と広葉樹の分類を行う。

## 2. 対象地域・使用したデータ

### 2.1 対象地域

本研究での対象地域は、AVNIR2により観測された高知市、南国市、香美市が含まれる東西約70km、南北約80kmの範囲とする。図2.1に対象範囲を赤枠で示す。



図2.1 対象範囲

### 2.2 使用した衛星画像

本研究で使用した衛星画像は、陸域観測技術衛星ALOS(日本名だいち)に搭載されている高性能可視近赤放射計2型(AVNIR2)センサーで2009年11月23日に取得されたものを使用している。AVNIR2センサーは、観測幅70kmで、1pixelあたり、10m×10mの分解能でデータを取得している。また、AVNIR2センサーは、近赤外域を含む4つの観測波長域のデータを取得している。今回の研究では、観測波長域が、近赤外のband4、可視光の赤のband3、可視光の緑のband2のデータを使用した。可視光の青のband1は、波長が短いために大気の影響を受けやすい。そのため今回の研究では、使用しなかった。

## 3. シミュレーション画像の作成手法

### 3.1 シミュレーション画像作成の流れ

森林のシミュレーション画像を作成するには、まず、樹冠形状モデルを、地形のデータである数値標高モデルと合わせることで、**数値表層モデル**という森林の形状を含んだ標高モデルを作成する。次に、その森林に出来る陰影と影をシミュレートすることで、シミュレーション画像を作成する。このシミュレーションには、光源となる太陽の位置と樹木の分光反射特性であるスペクトルデータが必要となる。シミュレーション画像作成の流れを、図3.1に示す。

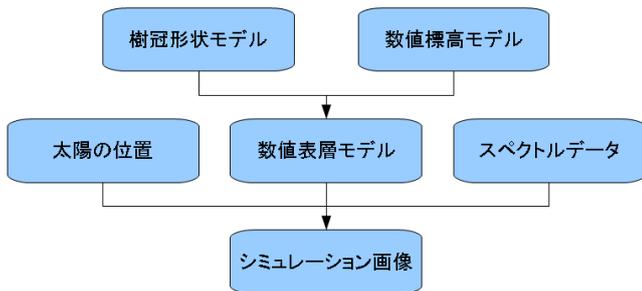


図3.1 画像作成のフローチャート

### 3.2 樹冠のモデル化

本研究では、針葉樹と広葉樹の代表的な樹種の樹冠形状モデルを作成した。樹冠形状モデルを作成するにあたり、針葉樹は、代表的な樹種の一つであるスギの樹冠形状を参考に、円錐状のモデルとした。広葉樹は、代表的な樹種の一つであるクスノキの樹冠形状を参考に、半球状のモデルとした。図3.2に、樹冠形状モデルのイメージ図を示す。樹冠形状モデルの大きさを決める際には、高分解能のアメリカの商業用衛星GeoEye-1の画像から、針葉樹と広葉樹別

に、複数の直径を計測し、その平均からモデルの大きさを決定した。表3.2.1にモデル化した樹冠形状モデルの形状と大きさを示す。樹冠の反射特性は、本研究室で2010年4月より作成している樹種のスペクトルライブラリから、シミュレーションする衛星画像の取得された時期に一番近い計測日である11月19日のデータを取得し、使用した。スペクトルデータは、AVNIR2センサーのband4、band3、band2の観測波長帯に合わせて取得した。表3.2.2に今回の研究で、使用したスペクトルデータを示す。



図3.2 樹冠形状モデルのイメージ図

表3.2.1 樹冠形状モデルの形状と大きさ

	形状	直径	高さ
針葉樹	円錐	4m	4m
広葉樹	半球	6m	3m

表3.2.2 使用したスペクトルデータ

	計測日	band1	band2	band3	band4
針葉樹	11月19日	0.14547	0.14079	0.08290	0.63085
広葉樹	11月19日	0.11956	0.11898	0.08497	0.67649

### 3.3 数値表層モデルの作成

本研究では、森林の衛星画像のシミュレーションを行う。そのさいに、地形の及ぼす影響もシミュレートしなければならない。したがって、樹冠形状モデルとその樹冠形状モデルが作り出す森林の地形を平坦な地形のほかにも、斜面方位を八方位の8種、傾斜を5度刻みで20度までの4種用意し、森林の地形を計33種用意した。用意した地形上に、針葉樹、広葉樹別に樹冠モデルを等間隔に配置していき、あらゆる地形に対応した針葉樹林と広葉樹林の2種類の数値表層モデルを作成した。シミュレーションのために用意した数値表層モデルは、1m×1mメッシュで、60m×60mの範囲を地形のタイプと樹冠モデル毎に用意をした。シミュレーションは、1m×1mメッシュごとに行う。つまり、一つの**数値表層モデル**につき、3600点のシミュレートを行い60m×60mの範囲の森林のシミュレーション画像を作成することになる。数値表層モデル作成のイメージ図を図3.3に示す。

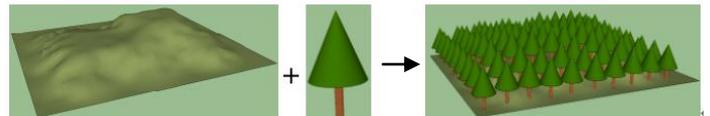


図3.3 数値表層モデル作成のイメージ図

### 3.4 シェーディング

シェーディングとは、光源の光が物体に当たったときの陰影を表現することである。光源の位置と輝度、光源の光が当たる対象物の面の向きと反射特性、そして観測する視点を決めれば、シェーディングモデルを使って、物体の陰

影を計算する事が出来る。本研究では、シェーディングを行う事で、森林に出来る陰影をシミュレートした。以下にシェーディングの計算方法を示す。

物体の陰影を求めることは、その物体の明るさを求めることである。物体の明るさ $L$ を求めるには、光源の散乱輝度を $L_d$ 、光源の反射輝度を $L_r$ 、周囲の散乱輝度を $L_c$ とすると、式3.4.1で表すことが出来る。

$$L = L_d + L_r + L_c \quad (\text{式3.4.1})$$

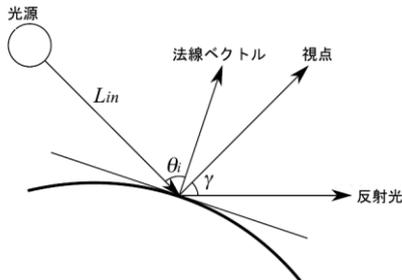


図3.4 光源・視点・対象物の位置関係図

光源と対象物そして、視点の位置関係が図3.4のように示される場合、 $L_d$ 、 $L_r$ 、 $L_c$ は、光源から入射する輝度を $L_{in}$ とすると、式3.4.2~式3.4.4で表すことが出来る。

$$L_d = R_d L_{in} \cos \theta_i \quad R_d: \text{拡散反射係数 (0~1)} \quad (\text{式3.4.2})$$

$$L_r = L_{in} \omega(\theta_i) \cos \gamma \quad \omega(\theta_i): \text{反射率} \\ \gamma: \text{反射光と視点との角度} \quad (\text{式3.4.3})$$

$$L_c = L_a R_d \quad L_a: \text{周囲環境の強さ} \quad (\text{式3.4.4})$$

今回のシミュレーションでは、 $L_{in}$ の値は傾向を算出することが出来ればいいので、1として計算している。AVNIR2センサーのデータが取得されたときの太陽の位置を光源の位置とした。拡散反射係数と反射率には、スペクトルライブラリから取得した針葉樹と広葉樹のスペクトルデータを使用して計算を行った。シェーディングは、各band毎に計算している。今回のシミュレーションでは、環境光の影響は考慮しないので、周囲環境強さを0として計算している。そして、人工衛星から観測した画像をシミュレーションするので、視点は、天頂方向として計算している。

### 3.5 影の計算

光源からの光を遮られることで、発生する影もシミュレートした。影の計算方法としては、シミュレートする地点と光源となる太陽の位置を直線の式で結び、シミュレートする地点から太陽まで線を伸ばしていき、その間に、遮るものがないかを、数値表層モデルから算出した。遮られた場合は、影として判断され、その地点の明るさは、最小値である-1となる。影の計算のイメージ図を図3.5に示す。

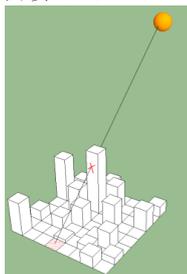


図3.5 直線の式を使った影の計算

### 3.6 シミュレーション結果

森林のシミュレーションは、1m×1mのメッシュで、行っている。これを実際の人工衛星画像と比較するためには、シミュレーションを行った衛星画像の分解能に合わせる必要がある。今回の研究では、AVNIR2センサーの衛星画像が対象なので、AVNIR2センサーの10m×10mの分解能に合わせて、シミュレーション画像を平均化させた。図3.6に、ある地形の10m×10mの領域におけるシミュレーション結果を示す。 $L_{in} = 1$ としたので、最大値は1となり最小値が-1となる。これを平均化したものがAVNIR2の1ピクセルに対応する。

-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	0.2
-1.0	0.1	0.3	0.4	-1.0	-1.0	-1.0	0.1	0.3	0.2
-1.0	0.3	0.5	0.6	-1.0	-1.0	-1.0	0.3	0.5	0.2
-1.0	0.4	0.6	0.6	0.6	-1.0	-1.0	0.4	0.6	0.2
-1.0	0.4	0.6	0.6	0.6	-1.0	-1.0	0.4	0.6	0.2
-1.0	0.2	0.2	0.2	-1.0	-1.0	-1.0	0.2	0.2	0.2
-1.0	-1.0	-1.0	0.2	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	0.2
-1.0	0.1	0.3	0.4	0.3	-1.0	-1.0	0.1	0.3	0.2
-1.0	0.3	0.5	0.6	0.6	0.2	-1.0	0.3	0.5	0.2
0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

図3.6 10m×10mの領域のシミュレーション結果

## 4. シミュレーション画像を用いた分類

### 4.1 分類の流れ

回帰式を用いて、シミュレーション画像を、衛星と同じ単位に変換し、その画像と衛星画像を比較することで、分類を行う。図4.1にシミュレーション画像を用いた分類の流れを示す。

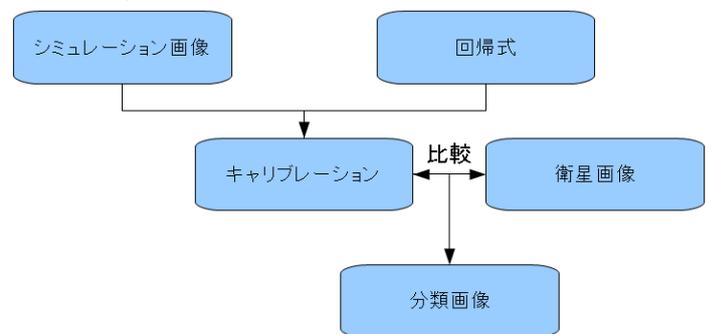


図4.1 分類のフローチャート

### 4.2 キャリブレーション

実際の衛星画像の値と、シミュレーションで、算出された値は、同じ単位で表されていない。そこで、シミュレーションの値と、実際の衛星画像の値とを回帰分析し、シミュレーションの値を実際の衛星画像の値へ変換する。まず、実際の衛星画像から、針葉樹林と広葉樹林と見られるポイントを複数選び、そのポイントの衛星画像の値と、その地点の標高データを取得する。標高データは、国土地理院が発行している10mメッシュの標高データの値を使用した。標高データから、数値表層モデルを作り、作った数値表層モデルをシミュレートして、その値と実際の衛星画像の値を元に、相関係数と回帰直線を求めた。図4.2に、針葉樹のband4の値と、AVNIR2センサーの値を使って、描いた散

布図と回帰直線を示す。表4.2に今回求めた針葉樹と広葉樹の各bandの相関係数を示す。相関係数は、針葉樹のband2が若干低いですが、それ以外は0.6から0.8の強い相関を得たので、キャリブレーションに用いた。これによって、回帰式を用いて、シミュレーションの値を衛星画像の値へと変換することとした。

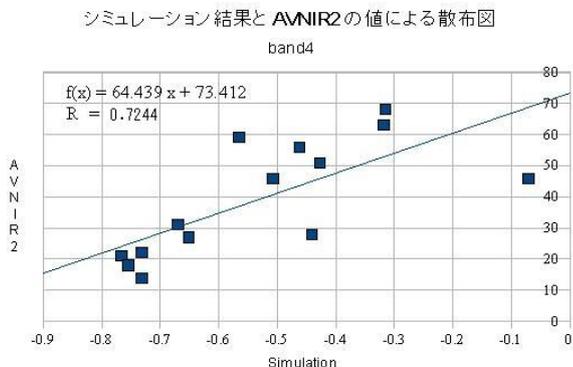


図4.2 散布図と回帰直線

表4.2 各bandの相関係数

	band2	band3	band4
針葉樹	0.49152	0.74719	0.72444
広葉樹	0.79962	0.60992	0.83066

### 4.3 分類手法

針葉樹と広葉樹のシミュレーションした値と実際の衛星画像の値を、band毎に比べて、分類を行った。まず、国土地理院の標高データから、対象地域の標高データを抜き出し、そのデータを使って、斜面の方位と傾斜を算出し、その斜面と傾斜の情報から、針葉樹林と広葉樹林のシミュレーション結果を算出し、bandごとに実際の衛星画像の値と比較を行い、針葉樹林か広葉樹林のどちらにより近いかで分類を行った。今回の分類では、衛星画像の常緑樹に分類された範囲においてのみ、針葉樹と広葉樹に分類した。

### 4.4 分類結果

図4.4に2009年度に本研究の箭野が作成した植生図の常緑樹の分類項目に、今回の分類結果を重ね合わせた図を示す。図4.4を見る限りでは、北斜面は針葉樹が多く、南斜面は広葉樹が多いという傾向が見られる。図4.4の範囲をアメリカの商業衛星GeoEye-1の画像で目視した結果、似たような傾向が見られた。

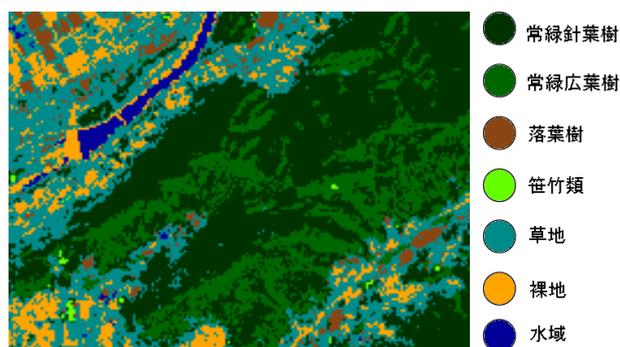


図4.4 分類結果

## 5. 検証

分類結果の検証を行った。検証方法は、アメリカの商業衛星GeoEye-1の画像から、50m×50mの範囲が針葉樹だけの針葉樹林と広葉樹だけの広葉樹林を選び、その地点を検証用エリアとして、どの程度分類が出来ているのかを検証した。針葉樹と広葉樹それぞれ5点ずつ検証点を用意した。図5.1と図5.2に針葉樹の検証点1と検証点2のGeoEye-1画像を示す。図5.3と図5.4に広葉樹の検証点6と検証点7のGeoEye-1画像と分類結果を示す。分類結果は○×で、正解か否かを示している。表5.1に検証結果を示す。

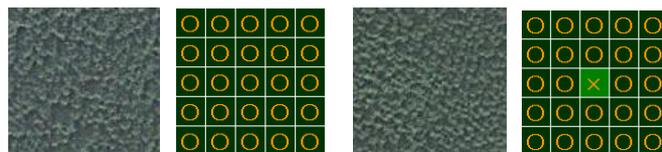


図5.1 検証点1

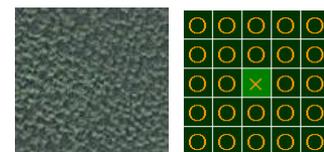


図5.2 検証点2



図5.3 検証点6



図5.4 検証点7

表5.1 検証結果の正解率(%)

	検証点1	検証点2	検証点3	検証点4	検証点5	平均
針葉樹	100	96	96	100	100	98.4
	検証点6	検証点7	検証点8	検証点9	検証点10	平均
広葉樹	80	84	88	84	88	84.8

検証の結果、正解率は、針葉樹が98.4%と非常に高い結果となった。広葉樹は84.8%と、針葉樹より若干低い結果となった。

## 6. 考察

今回の研究では、針葉樹、広葉樹の代表的な樹冠形状をモデル化し、そのモデルを使って、森林における衛星画像のシミュレーションを行った。そして、そのシミュレーション結果を用いて、針葉樹と広葉樹の分類も行った。分類結果は、検証エリアでは、針葉樹98.4%、広葉樹84.8%と極めて単純なモデルを利用したが、良好な結果を得た。また、畑や水田などの地物も、対応する数値表層モデルを作りシミュレーションを行う事で、分類できるかもしれない。

## 7. 参考文献

- 1) 高木方隆, 国土を計る技術の基礎
- 2) 田村秀行, コンピュータ画像処理
- 3) 箭野伸弥 高木方隆, 二時期AVNIR2画像を用いた植生図作成アルゴリズムの開発, 高知工科大学 高木研究室, 2009年度
- 4) 大淵雄一 高木方隆, 放射計による植物の分光反射測定手法の確立, 高知工科大学 高木研究室, 2009年度