

# 衛星画像解析のための 地上型 LiDAR による 樹木の三次元ボクセルモデル作成

1130141 久松 由衣

高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

現在本研究室では、地上分解能 0.5m の衛星画像を用いた衛星画像シミュレーションにより、地上分解能 10m の解析を行っている。しかし、地上分解能 0.5m の衛星画像でも、一画素中に複数の要素が存在するミクセル (mixed pixel) が問題となる。そこで、より詳細なモデルから地上分解能 0.5m の衛星画像の解析が求められている。本研究では、地上型 LiDAR を用いた樹木の三次元ボクセルモデルの作成手法を構築した。ボクセルとは、三次元空間を微小立方体で区切り、その微小立方体それぞれに属性データを付与したデータモデルである。作成したモデルに計測時の太陽の位置を代入し、樹木の反射照度シミュレーションも行った。目視で見る限り、光源の位置に合わせてシミュレート出来ている傾向が見られた。今後は、適切なグリッドサイズを検討し、葉の反射率を考慮していく必要がある。最終的に、樹木全体の分光反射率を推定し、推定された反射率を高分解能衛星画像と比較することで検証を行う。

**Key Words : 衛星画像, 地上型 LiDAR, ボクセル, 反射照度**

## 1. はじめに

現在、植生モニタリングのため、一般的に地上分解能が 10m から 30m の衛星画像が使用されている。しかし、そのような画像を使用すると、図 1.1 のように、一画素中に複数の要素が存在するミクセル (mixed pixel) が問題となる。本研究では、地上分解能 0.5m の衛星画像を用いた衛星画像シミュレーションにより、地上分解能 10m の衛星画像の解析を行っている。しかし、地上分解能 0.5m の衛星画像にもミクセルの問題は存在する。そこで、より詳細な地物のモデルから地上分解能 0.5m の衛星画像の解析を行うことが求められている。

本研究の目的は、地上型 LiDAR を用いて樹木一本の詳細な三次元ボクセルモデルを作成し、樹木一本の太陽光の反射係数を求めることである。

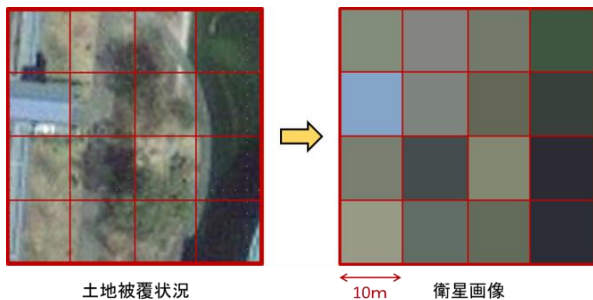


図 1.1 ミクセル

本研究では、本大学内のクヌギを対象樹木とする。図 1.2 に計測した樹木を示す。



図 1.2 対象樹木クヌギ

## 2. 使用機材

本研究で使用した LiDAR は、TOPCON 社製の GLS-1500 である。LiDAR の外観を図 2.1 に、仕様を表 2.1 に示す。

LiDAR (Light Detection And Ranging) は、計測対象物にレーザー光を照射し、その散乱光を計測することにより、計測対象物までの斜距離、水平角、鉛直角を一定の間隔で広範囲にわたって取得する測量機器のことである。取得データは、計測対象物の面形状を三次元座標の点群データとしたものである。なお、本論文では、GLS-1500 により取得したデータを LiDAR データと呼ぶ。



図 2.1 GLS-1500

表 2.1 GLS-1500 の仕様

項目	GLS-1500
有効計測距離	500m
計測視野	70°×360°
測距精度	±4 mm (150m内)
計測密度	最大 1 mm (20m内)
最大測点数	100,000,000 点
計測原理	Time of Flight 法
レーザー波長	1535 nm (近赤外域)

### 3. 三次元ボクセルモデル作成

#### 3.1 ボクセルとは

ボクセルとは、三次元空間を微小立方体で区切り、その微小立方体それぞれに属性データを付与したデータモデルである。ボクセルモデルのメリットは、物体の表面だけではなく、内部の形状も忠実に表現することができることである。図 3.1 にボクセルイメージ図を示す。

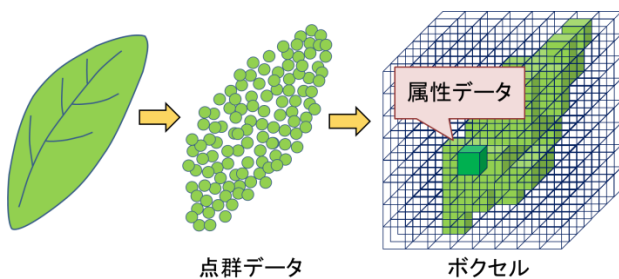


図 3.1 ボクセルイメージ図

#### 3.2 三次元ボクセルモデル作成の流れ

本研究では、LiDAR で計測可能な距離や、死角となる部分を考慮し、対象樹木を三方向から計測し、3つの LiDAR データを取得する。そして、3つの LiDAR データを結合することにより、樹木一本のデータとする。その際、各データの座標を統一させるために、幾何補正を行う必要がある。さらに本研究では、

LiDAR データから樹木の表面データを抽出する。その後、結合した樹木一本のデータをボクセル化する。対象樹木であるクヌギの葉の大きさは、長さ 10 cm から 15 cm であり、ボクセル化を行う際、5 cm でも十分に葉の形状を考慮出来ると考え、本研究ではグリッドサイズを 5 cm とした。図 3.2 に樹木の三次元ボクセルモデル作成の流れを示す。

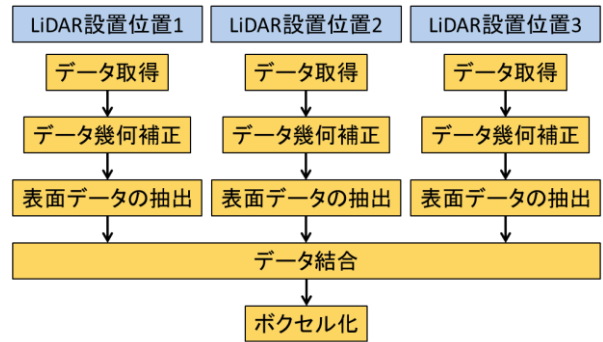


図 3.2 樹木の三次元ボクセルモデル作成の流れ

#### 3.3 LiDAR データ取得

2012年9月12日に計測を行い、LiDAR データを取得した。各 LiDAR 設置位置から見える位置に反射板を4枚設置する。反射板は、幾何補正に用いる。図 3.3 に計測イメージ図を示し、表 3.1 に取得した LiDAR データの点群データ数を示す。

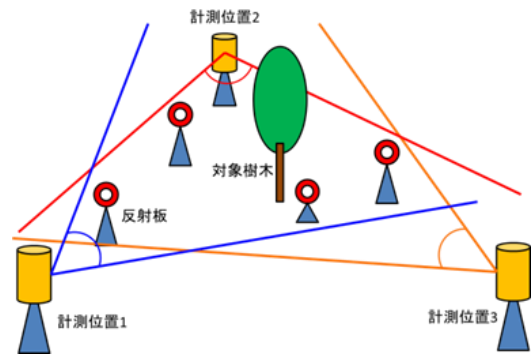


図 3.3 計測イメージ図

表 3.1 LiDAR データの点群データ数

LiDAR 設置位置	LiDAR データ数 (点)	ファイルサイズ (KB)
1	3,542,498	118,026
2	6,313,591	213,975
3	5,108,181	168,955

最も密度の高い箇所では、5 cm の立方体内に点群データが 125 点存在していた。

### 3.4 LiDAR データの結合

はじめに、三方向から計測した各 LiDAR データの座標を統一させるために、LiDAR 付属のソフトウェア Scan Master を用いて、タイポイント法により幾何補正を行う。タイポイント法は、4 カ所に設置した反射板の座標を統一させることにより行う。表 3.2 に各 LiDAR データの幾何補正の精度を示す。各タイポイントの平均誤差は、ボクセルサイズの 1/10 以下であれば、精度にさほど問題はないと考える。

表 3.2 幾何補正の精度

反射板	タイポイントの平均誤差 (m)		
	X	Y	Z
1	0.002	0.002	0.000
2	0.001	0.001	0.000
3	0.005	0.004	0.001
4	0.003	0.001	0.001

次に、幾何補正した LiDAR データから、表面データを抽出する。LiDAR には、レーザー光を照射するスポットサイズがある。GLS-1500 のスポットサイズは、100m 先で直径が約 16 mm であり、1m から 40m 先では、直径が 6 mm 以下となっている。取得した LiDAR データには、スポットサイズ内の、一番手前にある物体にレーザー光が当たって返ってくる反射光（ファーストパルス）によるデータと、一番奥にある物体にレーザー光が当たって返ってくる反射光（ラストパルス）によるデータが含まれていた。本研究では、表面の形状が重要であり、内部のデータは重要ではないので、水平角と高度角が共に 0.03° 毎に、ファーストパルスのデータを抽出する。図 3.4 に表面データの抽出イメージ図を示す。これにより、膨大だった LiDAR データのデータ数も減少した。表 3.3 に、抽出した表面データの詳細を示す。なお、本論文中では抽出したデータを表面データと呼ぶ。

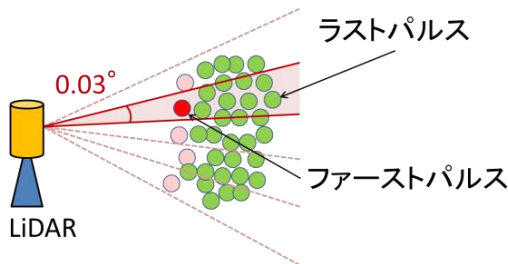


図 3.4 表面データ抽出イメージ図

表 3.3 抽出した表面データの詳細

LiDAR 設置位置	データ数 (点)	ファイルサイズ (KB)	データ割合 (%)
1	105,319	4,391	2.9
2	319,199	13,563	5.0
3	168,430	6,999	3.3

そして、各表面データを結合し、樹木一本のデータとして冗長性をなくした。結合方法は、各計測位置の midpoint と対象樹木を境とする。結合後のデータ数は、231,456 点となり、ファイルサイズは 10,151KB となった。なお、本論文中では、結合したデータを結合データと呼ぶ。

### 3.5 ボクセル化

本研究では、まず結合データを Z 軸方向 5 cm 毎に分割した。次に、分割した結合データを X 軸と Y 軸が 5 cm の格子状となるように、グリッドデータを作成する。その際、グリッド内に含まれる結合データが、葉であるかどうかを判定するために、一つのグリッドをグリッドの中心を基準に、X-Y 軸上で 4 つの象限に分ける。その 4 つの象限の内、3 つの象限以上に結合データが存在していれば、そのグリッド内に存在する全ての結合データから、最小二乗法により面の式を作成し、その面における法線ベクトル  $(a, b, c)$  を求める。ボクセル化後のデータ数は、8,925 点となり、ファイルサイズは 518KB となった。式 3.1 に最小二乗法による面の式を示し、図 3.5 にボクセル化イメージ図を示す。樹木一本のグリッドサイズは 3.55m × 4.50m × 6.25m である。

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum x_i^2 & \sum x_i y_i & \sum x_i z_i \\ \sum x_i y_i & \sum y_i^2 & \sum y_i z_i \\ \sum x_i z_i & \sum y_i z_i & \sum z_i^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum x_i \\ \sum y_i \\ \sum z_i \end{bmatrix} \quad (\text{式 3.1})$$

$a, b, c$  : 法線ベクトル

$x, y, z$  : 結合データの三次元座標

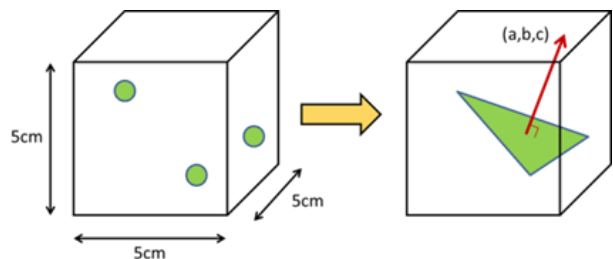


図 3.5 ボクセル化イメージ図

## 4. ボクセルモデルを用いた樹木の反射照度シミュレーション

### 4.1 Shading 効果

シェーディング (Shading) とは、対象物に対する光の当たり具合により、対象物に濃淡付けを施すことである。光源の輝度と位置、対象物の面の向きと反射特性、そして視点の位置を決めれば、シェーディングモデルを用いて濃淡を計算することが出来る。

対象物の明るさ  $L$  を求めるには、光源の散乱輝度  $L_d$ 、光源の反射輝度  $L_r$ 、周囲の散乱輝度  $L_c$  とすると、式 4.1 で表すことが出来る。

$$L = L_d + L_r + L_c \quad (\text{式 4.1})$$

光源と視点、対象物の位置関係が図 4.1 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 4.2 から式 4.4 で表すことが出来る。

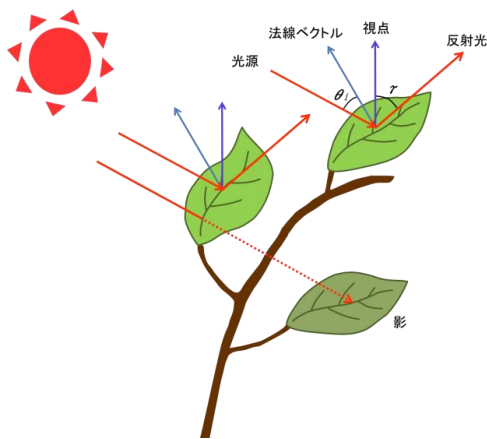


図 4.1 光源・視点・対象物の位置関係図

$$L_d = R_d L_{in} \cos \theta_i \quad (\text{式 4.2})$$

$$L_r = L_{in} \omega(\theta_i) \cos \gamma \quad (\text{式 4.3})$$

$$L_c = L_a R_d \quad (\text{式 4.4})$$

$R_d$  : 拡散反射係数 (0~1)

$\omega(\theta_i)$  : 反射率,  $\gamma$  : 反射光と視点との角度

$L_a$  : 周囲環境の強さ

本研究では、濃淡の傾向を算出するだけでよいので、 $L_{in}$  の値は 1 とする。光源の位置は LiDAR データを取得した 2012 年 9 月 12 日の南中高度とする。本研究では、環境光の影響は考慮しないので、周囲環境の強さを 0 とし、拡散反射係数も 0 としている。また、視点は LiDAR の設置位置としている。 $\omega(\theta_i)$  は無視したが、後に葉の RGB の値を利用することとした。

### 4.2 Shadow 効果

本研究では、光源からの光を物体に遮られることにより発生する影もシミュレートする。結合データの各点から光源方向の直線の式を求め、点から光源までの間に遮る点がないかを判定した。遮る点がある場合は影と判断し、その点の明るさを  $L-1$  とした。

### 4.3 分光反射係数

目視により、LiDAR データから最も光が反射している明るい葉の RGB と、最も暗い葉の RGB を用いて、リニアストレッチを行う。

## 5. 結果

作成したモデルに、計測時の太陽の位置を代入し、表面データと並べたものを図 5.1 に示す。目視で見える限り、光が当たっている点は明るくなり、影と思われる点は暗くなっており、光源の位置に合わせて色の濃淡が付いている傾向が見られる。

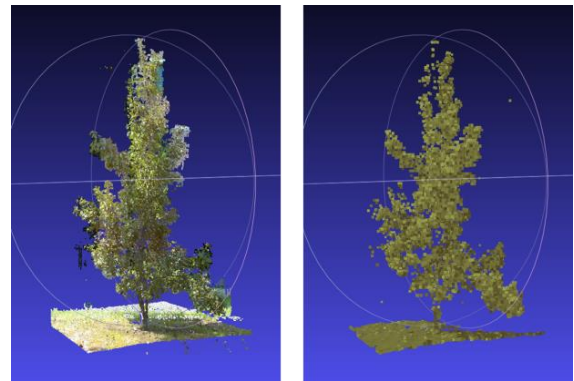


図 5.1 表面データ (左) と作成モデル (右)

## 6. 考察

本研究では、地上型 LiDAR を用いた樹木一本のボクセル化の手法を構築した。今後、適切なグリッドサイズを検討し、葉の反射率を考慮していく必要がある。最終的に、樹木全体の分光反射率を推定し、推定された反射率を高分解能衛星画像と比較することで検証を行う。

## 参考文献

- 1) 高木方隆, 国土を測る技術の基礎
- 2) 池澤勇太, 森林における樹冠モデルを用いた衛星画像シミュレーションとその活用, 高知工科大学 高木研究室, 2011 年度