

SfM と LiDAR を用いた 三次元ボクセルモデルの構築

1160083 杉野 佑樹

高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

LiDAR (Light Detection And Ranging) や、SfM (Structure from Motion), UAV (Unmanned Air Vehicle) を使用し、衛星画像シミュレーション、バイオマス量の算出や、林床部での日射量の推定などは、高精度の三次元モデルが必要となる。しかし LiDAR や SfM の点群データは膨大で、点群密度は空間的に不均質である。そこで、地上型 LiDAR, SfM, UAV を用いた森林の三次元ボクセルモデルの作成手法を構築した。本研究では1部を除き、ボクセル構築を自動化することができた。対象地域は、高知大演習林のヒノキ林と鏡野公園内楠木林で、作成した 10cm ボクセルは誤差 1cm 未満の位置精度で構築することができた。現在は今回構築したボクセルを使い、バイオマス量の算出や、日射量推定のシミュレーションを行っている。今後は、その結果をさらにボクセルモデルへフィードバックさせていく必要がある。

Key Words : LiDAR, SfM, UAV, ボクセル

1. はじめに

現在、国土情報処理工学研究室では、LiDAR (Light Detection And Ranging) や、SfM (Structure from Motion) を使用し、衛星画像シミュレーション、バイオマス量の算出、林床部での日射量推定などを行っている。これらの成果を得るためには高精度の三次元モデルが必要になる。LiDAR 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、広範囲にわたって点群データを取得することができる。SfM は動画や静止画からカメラ撮影位置を推定し、三次元形状を復元する要素技術の1つで、LiDAR と同様に、点群データを取得できる。LiDAR や SfM の点群データは膨大で、点群密度は空間的に不均質である。そこで本研究では、ボクセルを用いた三次元モデルを提案する。ボクセル化を行うことでデータ量が少なく、均質なデータにすることができる。

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が付与されたデータモデルである。一般的なボクセルは、医療や科学データの可視化や解析に使われることが多い。

大政¹⁾らは、植物を対象としたボクセルモデルの作成を試みている。このボクセルは、幹や枝の内部まで充填されたボクセルモデル(ソリッドボクセル)を構築し、材積の推定など森林構造の解析に役立て

ている。

本研究室では、久松²⁾が、樹木1本のボクセルモデルを作成した。このボクセルは1辺が 5cm の細かいボクセルサイズで、属性データとして葉の情報などを付与させ、反射照度シミュレーションを行った。

本研究では、広範囲の自然環境の状況をモデル化することを上位目標とする。細かいボクセルであれば、分子レベルでの属性付与も可能であるが、自然環境の解析には向かない。10cm~1m のボクセルであれば、用途に応じて様々な属性データを付与することができる。例えばボクセル内の空間を構成している物質の割合が表現できれば、空間分解能を必要以上に細かくしなくとも、自然環境評価の解析精度に大きな影響を与えないと考えられる。図-1 にボクセルイメージ図を示す。

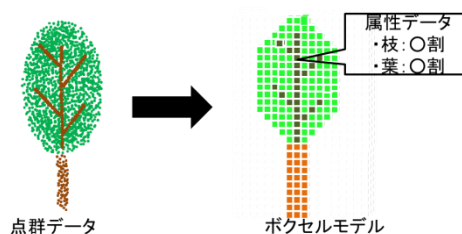


図-1 ボクセルイメージ

本研究の目的は、LiDAR, UAV(Unmanned Air Vehicle), SfM 等の測量技術を用いて取得した点群データを統合させ、点群の分類を行い、本研究室で行っている解析に必要な属性データをボクセルに付与させたボクセルモデルを構築する。

対象地域は、高知大学演習林のヒノキ林と鏡野公園内楠木林で、図-2に対象地域の位置を示す。



図-2 対象地域位置図

2. 使用機材(点群データ取得)

本研究で使用した地上型 LiDAR は、TOPCON 社製の GLS-1500 である。有効計測距離 500m, 測距精度 ± 4 mm (150m内), 計測密度最大 1 mm (20m内) を使用し、点群データを取得した。LiDAR で取得できるデータは XYZ 座標, RGB 値, 反射強度, 法線ベクトルを取得することができる。

地上からの SfM で使用したデジタルカメラは、PENTAX k-30 である。レンズ名は smc PENTAX-FA J Zoom, 焦点距離は 18mm~35mm である。

上空からの SfM で使用した UAV は、ジーウイング社製の Boomerang である。飛行時間約 12 分, 翼は回転翼である。搭載させたカメラは、SONY $\alpha 7$ を、レンズは SMC PENTAX 焦点距離 55mm である。それぞれの外観を図-3 に示す。

それぞれのカメラによって得られた画像は、Photo Scan という SfM ソフトウェアによって点群データを取得した。属性データは、XYZ 座標, RGB 値である。



地上型 LiDAR デジタルカメラ UAV

図-3 使用機材外観

3. 点群データの取得と統合

ここでは、高知大演習林ヒノキ林での観測状況を例に解説する。

(1) データ取得と結合の流れ

LiDAR と UAV を用いてデータを取得することで森林全体の観測を行う。それぞれのデータを統合させるために幾何変換を行う必要がある。幾何変換用基準点データは、トータルステーションから取得したローカル座標データを使用する。その後、統合データを絶対座標(平面直角座標IV系)にするために GPS で取得した絶対座標データを使用する。

基準点測量で使用したトータルステーションは SOKIA の SET4110R である。測角部精度は $5''$ 測距精度は $\pm (5+3\text{ppm} \times D)$ mm である。

GPS 観測は、平面直角座標IV系の XYZ 座標取得に、TOPCON 社製の GR-2000GGD を用いる。測位精度は $\pm (3\text{mm}+1\text{ppm} \times D)$ m. s. e である。それぞれの外観を図-4 に示す。

図-5 にデータ取得と結合の流れを示す。



トータルステーション

GPS

図-4 基準点測量使用機器

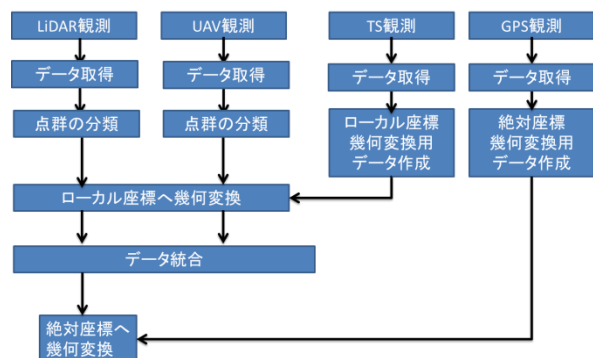


図-5 データ取得と結合の流れ

(2) 点群データ取得状況

2015年10月9,10日,12月7日に LiDAR, UAV 観測を行った。図-6 に計測状況の位置図を示す。

LiDAR は 1 台を 5 回に分けて設置し、基準点を基準点測量用に 9 カ所、GPS は 2 カ所設置した。

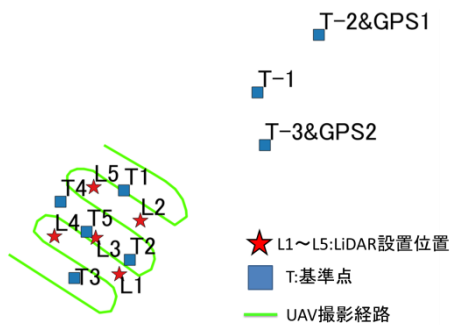


図-6 位置図

(3) 点群データの統合

計測で得た点群データの座標は、T1～T5 のローカル座標の基準点データを用いて、三次元アフィン変換を行い、座標系を統一させた。次式に三次元アフィン変換の式を示す。

$$\begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_0 & p_1 & p_2 \\ p_4 & p_5 & p_6 \\ p_8 & p_9 & p_{10} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_i \\ v_i \\ w_i \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} p_3 \\ p_7 \\ p_{11} \end{pmatrix} \quad (a)$$

p_j : 変換係数

u_i, v_i, w_i : 変換前の座標

x_i, y_i, z_i : 変換後の座標

表-7 に基準点周りのローカル座標への幾何変換精度を示す。その結果 1cm 未満の誤差に収めることができた。なお UAV のデータは、林床部の基準点周りの写真が暗く、見えにくかったため、SfM で必要な基準点の座標値が取得されてなかった。そこで撮影した写真と取得した三次元モデルを見比べながら、目視で座標を取得し、変換を行った。

表-7 ローカル座標への幾何変換精度

ヒノキ林	X(m)	Y(m)	Z(m)
L1	0.000	0.001	0.000
L2	0.000	0.001	0.000
L3	0.001	0.002	0.000
L4	0.001	0.004	0.003
L5	0.001	0.002	0.002
UAV	0.007	0.004	0.001

座標系を統一させたあとに、データを統合させた。統合後の点群数は 14, 161, 089 点となった。

次に統合したデータを、他の GIS データと連携することができるように、絶対座標に変換した。GPS から得たデータを使用し、絶対座標の基準点データを作成した。この変換についても三次元アフィン変

換を使用し、座標系を絶対座標に統一させた。誤差は最大で 1.3cm となった。この誤差は、GPS 観測の精度に大きく依存している。以降この絶対座標に変換された統合データを点群統合データと呼ぶ。

4. ボクセル化

(1) ボクセルモデル作成

はじめに、点群統合データを Z 軸方向に分割し、その後 X 軸 Y 軸に格子状になるようにグリッドデータを作成し、属性データを付与させた。今回のボクセルの属性データは、以下に示すバイオマス量算出や日射量推定のシミュレーションに必要なデータとした。

1. ボクセルの中心の XYZ 座標
2. グリッド内の点群の RGB 値の平均値
3. グリッド内の全点群を 1 とした時の、葉の点群、枝・幹の点群の割合
4. 地盤高情報
5. グリッド内の計測点群数

図-8 にボクセル化イメージ図を示す。

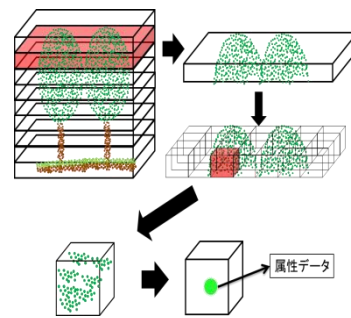


図-8 ボクセル作成イメージ

本研究ではボクセルの大きさを、10cm の大きさのグリッドの大きさとした。これは幾何変換時の精度や、木の中心座標の誤差検証を行った際に、誤差が収まる最小の大きさだと判断した。高知大演習林ヒノキ林では 10cm の立方体の中に平均で、6 点の点群が存在した。

(2) 点群の分類

本研究で取得した点群データは X, Y, Z 座標と RGB のデータが入っている。本研究では点群の分類は、RGB 値を使用した。その分類手法はユークリッド距離³⁾を使用した。ユークリッド距離は、統計量の平均値のみを用いて分類することに利用する。各分類項目の教師データの RGB の平均値と各点群の RGB の

値を比較し、その差を距離とし、最も近い距離の分類項目に割り当てる手法である。

本研究で分類した項目は、葉と枝・幹である。はじめに、LiDAR, UAV で得た点群データから、目視で確実に枝、幹の点群と葉の点群だけを取得した(約 5000 点)。これが教師データとなる。教師データの RGB の平均値を計算し、教師データをもとに全ての点群の RGB との距離を次式により求め、点群を分類した。

$$D^2=(r_i - r_\mu)^2+(g_i - g_\mu)^2+(b_i - b_\mu)^2 \quad (b)$$

D: 距離

r_i, g_i, b_i : 点群の RGB 値

r_μ, g_μ, b_μ : 教師データの RGB 平均値

ボクセルの属性データはそのボクセル内に含まれている全点群に対して、葉の点群、枝・幹の点群の割合を付与させた。

(3) 地盤高情報の付与

各ボクセルの属性データに地面からの高さの情報を付与させるために、点群統合データから DEM (Digital Elevation Model) を作成した。

DEM の作成には、まず Python プログラムを用いて、点群統合データをボクセルと同じ空間のグリッドで区切り、そのグリッド内の最小の点を地面と判断し、データを抽出した。その抽出されたデータを GIS ソフトである QGIS により、ボクセルモデルと同じ領域のグリッド型の DEM を作成した。この DEM データをもとに、地盤高の算出を行った。対象ボクセルの DEM からの高さが 0m またはマイナスである場合、地面と判断されるので、その場合ボクセルの属性データの葉の点群と枝・幹の点群の割合の数値は 0 とし、そのボクセルは地面のみのデータと扱う。

5. 結果

ボクセル化後の点群数は 2,614,752 点となった。ボクセル化前と、ボクセル化後のデータの比較を行うと、点群数は約 1/6 となった。精度検証では、トータルステーションで計測した木の中心座標と、ボクセルモデルの木の胸高直径の位置を QGIS 上で重ね合わせ、位置の精度検証を行った。木の位置の平均二乗誤差は X 座標で 0.009m, Y 座標で 0.006m という結果となり、誤差 1cm 未満のボクセルモデルを構築することができた。図-9 に高知大学演習林ヒノキ林のボクセルモデルを示す。

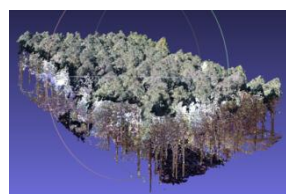


図 9 高知大学演習林ヒノキ林ボクセルモデル

一方鏡野公園楠木林においても同様に計測とボクセル化を行った。20cm のボクセルサイズにしたことによりボクセル内に平均で 41 点の点群データが存在した。図 10 に楠木林のボクセルモデルを示す。



図 10 鏡野公園楠木林

6. 考察

本研究では、LiDAR, SfM, UAV を用いた森林のボクセル化の手法を構築した。教師データを取得する事以外は、自動化させることができた。

UAV の幾何変換では多くの時間を費やしたので、今後、スムーズに幾何変換が行えるように、UAV 観測時に基準点周りに、懐中電灯などの明かりを置き、SfM 解析時に、基準点の位置が分かるように、撮影を行う必要がある。

現在本研究室では構築したボクセルモデルを使用し、バイオマス量の算出や、林床部での日射量の推定の研究を行っている。その結果をさらにボクセルモデルへフィードバックさせていく必要がある。

謝辞: 本研究に携わってくださった、高知大学農学部 松岡教授に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 細井文樹・大政謙次, 3次元リモートセンシングによる森林構造の計測と解析
- 2) 久松由衣, 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, 高知工科大学, 高木研究室, 2012 年度
- 3) 高木方隆, 国土を測る技術の基礎