

# 金峯神社周辺のボクセルモデル構築

藤原 匠<sup>1</sup> 赤塚 慎<sup>2\*</sup> 高木 方隆<sup>2</sup>

(受領日：2017年5月8日)

<sup>1</sup> 高知工科大学大学院工学研究科社会システム工学コース  
〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185

<sup>2</sup> 高知工科大学システム工学群  
〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185

\* E-mail: akatsuka.shin@kochi-tech.ac.jp

**要約：**高知県香美市土佐山田町中後入地区にある金峯神社周辺の森林のボクセルモデルを構築した。ボクセルモデルとは、三次元空間の微小立方体で区切り、それぞれの微小立方体に属性値を付与したデータモデルである。森林のボクセルモデルは、森林の表面形状、内部構造、地盤形状を表現することができ、森林バイオマスの推定や林床部の日射量推定への利用が期待できる。本研究では、回転翼型無人航空機で上空から撮影した画像及び地上においてデジタルカメラで撮影した画像から SfM (Structure from Motion) により得られた点群データと、地上型 LiDAR (Light Detection And Ranging) による計測から得られた点群データとを統合し、ボクセルモデルを作成した。今回はボクセルサイズを 10 cm とし、ボクセルの中心位置の座標、各ボクセルに含まれる点群データの RGB の平均値、ボクセル内の点群数を各ボクセルの属性データとして付与した。今後は、作成した森林のボクセルモデルを用いて、金峯神社周辺の日射環境のシミュレーションを行い、さらに植物の自生環境の解析に繋げていく予定である。

## 1. はじめに

本稿では、高知県香美市土佐山田町中後入地区にある金峯神社周辺の森林のボクセルモデル構築について報告する。ボクセルモデルとは、三次元空間の微小立方体で区切り、それぞれの微小立方体に属性値を付与したデータモデルである。点群データはデータ量が膨大かつ、一つ一つの点の配置がバラバラで不均質であるため扱いにくいデータであるが、ボクセル化することにより、点群データを均質にし、かつデータ量を大幅に削減できるため、ボクセル化はデータ量が膨大な三次元計測データの処理に非常に有効である<sup>1)</sup>。

森林のボクセル化では、ボクセル内の点群の座標の平均値及び色の平均値、葉の点群数、幹の点群数等を各ボクセルの属性データとして付与することができ、森林の表面形状、内部構造、地盤形状を表現することができる(図1)。そして、森林のボクセルモデルから、森林バイオマスの推定<sup>1,2)</sup>や林床

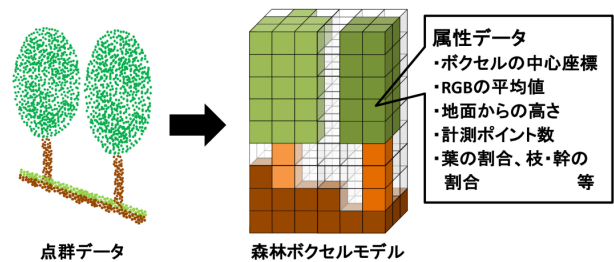


図1. ボクセルモデルの概要

部の日射量推定<sup>3,4)</sup>への利用が期待できる。

そこで、本研究は回転翼型の無人航空機 (UAV: Unmanned Aerial Vehicle) で上空から撮影した画像及び地上で撮影した画像から SfM (Structure from Motion) により得られた点群データと、地上型 LiDAR (Light Detection And Ranging) による計測から得られた点群データとを統合し、ボクセルモデルを作成した。



図 2. 金峯神社周辺の様子

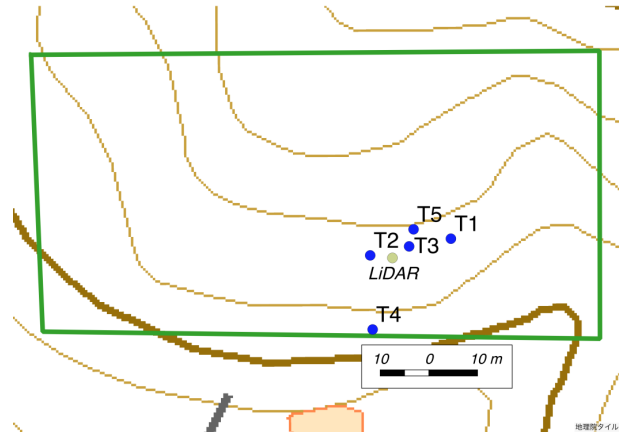


図 4. ボクセル化の対象エリア

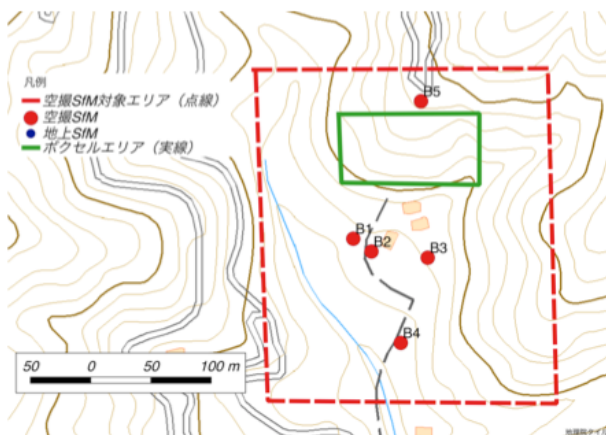


図 3. UAV 観測の対象エリア

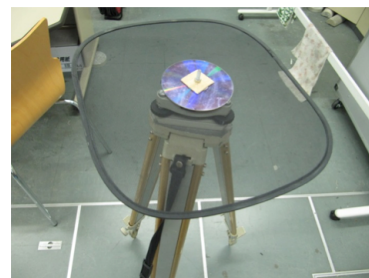


図 5. 対空標識

た。基準点 B1~B5 に対しては GPS 測量を行い、基準点 T1~T5 に対してはトータルステーションによるトラバース測量を行なった。

## 2. 対象地区

本研究での対象地域は高知県香美市土佐山田町中後入地区金峯神社周辺とした(図 2)。回転翼型 UAV による観測範囲を図 3 に、ボクセルモデル作成範囲を図 4 に示す。金峯神社周辺にはスギやシイ・カシなどの樹木が生い茂っていた。

## 3. データ取得

### 3.1 基準点測量

UAV で上空から撮影した画像から SfM (空撮 SfM) により得られる点群データ、地上で撮影した画像から SfM (地上 SfM) により得られる点群データ、LiDAR 計測によって得られる点群データの座標 ( $u_i, v_i, w_i$ ) はそれぞれ独自の座標系である。そこで基準点測量によって得られた基準点データを用いて三次元アフィン変換を行い、座標系を平面直角座標 IV 系の XYZ 座標に統一させた。図 3、4 に基準点位置を示す。基準点 B1~B5 は空撮 SfM データの幾何変換に使用し、基準点 T1~T5 は地上 SfM データと LiDAR 計測データそれぞれの幾何変換に使用し

### 3.2 空撮 SfM

回転翼型 UAV で上空から撮影した画像から SfM により林冠部の点群データを取得した。ジーウイング社製の回転翼型 UAV である Boomerang を用いた。Boomerang には焦点距離 28 mm のレンズを付けたデジタルカメラ SONY $\alpha$ 7 を搭載して撮影を行った。撮影される画像同士のオーバーラップ率が 90% 以上、サイドラップ率が 75% 以上となるように、UAV の航路、対地高度、速度、撮影間隔を設定した。空撮 SfM の幾何変換には図 3 に示した基準点 B1~B5 を用いるため、各基準点には図 5 に示す対空標識を設置した。撮影された画像を Agisoft 社製の SfM ソフトウェアである PhotoScan に読み込み樹冠部の三次元点群データを作成した。SfM は、カメラの視点を変えながら撮影した複数枚の画像から、そのシーンのカメラの位置と三次元点群データを同時に復元する手法である。作成された点群データは XYZ 座標、RGB 値を属性データとして持っている。SfM によって出力された点群データを図 6 に示す。次に、SfM によって得られた点群データに対して B1~B5



図 6. 空撮 SfM により得られた点群データ

表 1. 空撮 SfM により得られた点群データの幾何変換精度

	RMSE <sub>x</sub> (m)	RMSE <sub>y</sub> (m)	RMSE <sub>z</sub> (m)
空撮 SfM	0.002	0.009	0.006

の基準点データを用いて幾何変換を行った。幾何変換時の平均二乗誤差を表 1 に示す。

### 3.3 LiDAR 計測

林内の三次元モデルを作成するため地上型 LiDAR 計測により点群データを取得した。使用した地上型 LiDAR は TOPCON 社製の GLS-1500 である。地上型 LiDAR は図 4 に示した位置に設置し、計測範囲は水平方向 360°、鉛直方向 ±35°、計測間隔は方位角、高度角ともに 0.05° 間隔で計測を行った。LiDAR の詳細を表 2 に示す。また、取得したデータモデルを図 7 に示す。

次に、図 4 に示した T1、T2、T3、T5 の基準点データを用いて幾何変換を行った。幾何変換時の平均二乗誤差を表 3 に示す。

### 3.4 地上 SfM

林内の点群データは LiDAR により取得するが、LiDAR のみでは計測できない部分が発生する。そこで地上からデジタルカメラ PENTAX k-30 で林内を撮影した画像から SfM によって点群データを作成することにより、LiDAR データ計測できない部分を補うこととした。その際、写真のオーバーラップが 60% 以上となるように撮影を行った。3.2 と同様に写真を PhotoScan に読み込ませ、出力されたモデルを図 8 に示す。

次に、図 4 に示した T1~T4 の基準点データを用いて幾何変換を行った。幾何変換時の平均二乗誤差

表 2. 地上型 LiDAR の仕様

計測距離範囲	500 m
計測精度	±4 mm
レーザー波長	1535 nm (近赤外域)
最大視野	70° × 360°
計測方法	Time of flight 法



図 7. 地上型 LiDAR により得られた点群データ

表 3. 地上型 LiDAR により得られた点群データの幾何変換精度

	RMSE <sub>x</sub> (m)	RMSE <sub>y</sub> (m)	RMSE <sub>z</sub> (m)
地上型 LiDAR	0.017	0.001	0.001

を表 4 に示す。

## 4. ボクセルモデルの作成

基準点を用いた幾何変換により平面直角座標 IV 系に統一された空撮 SfM による点群データ、地上 LiDAR による点群データ、地上 SfM による点群データを統合しボクセル化を行った。

本研究のボクセルの大きさはそれぞれの手法で得た点群の幾何変換精度が最大でも 17 mm であったため誤差が収まるように 10 cm とした。属性情報にはボクセルの中心位置の座標、ボクセル内の点群の RGB の平均値、ボクセル内の点群数を付与した。ボクセル化のイメージを図 9 で示す。ボクセル内の点群の RGB の平均値を属性値として付与する場合、まず統合した点群データをボクセルに一旦格納し、各ボクセル内に含まれる点群データの RGB の平均値を計算する。その後、格納していた点群データを消去し、RGB の平均値のみを各ボクセルに属性情報として付与させる。

今回はボクセルの中心位置の座標、ボクセル内の点群の RGB の平均値、ボクセル内の点群数のみを

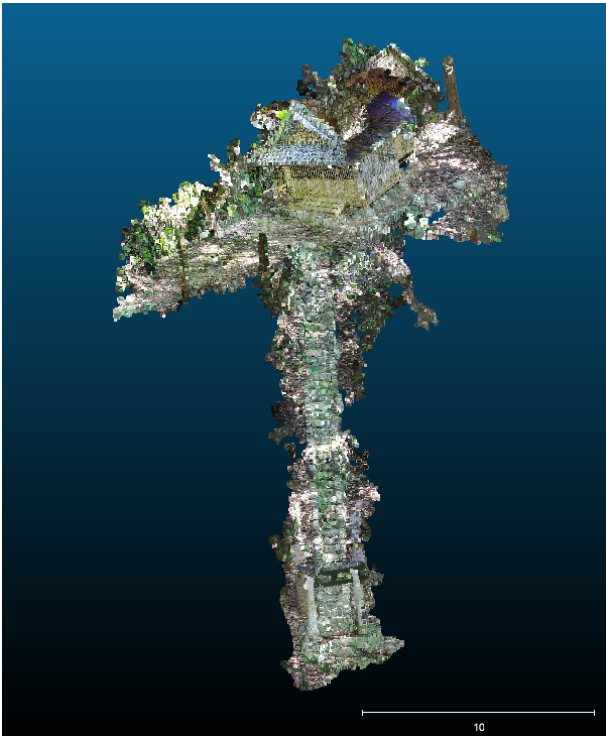


図 8. 地上 SfM により得られた点群データ

表 4. 地上 SfM により得られた点群データの幾何変換精度

	RMSE <sub>x</sub> (m)	RMSE <sub>y</sub> (m)	RMSE <sub>z</sub> (m)
地上型 LiDAR	0.002	0.001	0.003

属性情報として付与したが、各ボクセルに含まれる葉と幹の点群数を用いて、各ボクセルに葉面積及び幹材積を属性値として付与すれば、森林のボクセルモデルから容易に森林のバイオマス量を推定することが可能になる<sup>1)</sup>。また、各ボクセルに含まれる葉と幹の点群数を用いて、各ボクセルを葉ボクセルまたは幹ボクセルに分類し、葉ボクセルと幹ボクセルのそれぞれに太陽光の透過率を属性値として付与できれば、森林のボクセルモデルから林床部での日射量を推定することが可能になる<sup>4)</sup>。

## 5. おわりに

本研究では回転翼型 UAV で上空から撮影した画像及び地上においてデジタルカメラで撮影した画像から SfM により得られる点群データと、地上型 LiDAR による計測から得られた点群データとを統合し、金峯神社周辺の森林のボクセルモデルを構築した。今後は、作成した森林のボクセルモデルを用いて、金峯神社周辺の日射環境のシミュレーションを行い、さらに植物の自生環境の解析に繋げていく予定である。

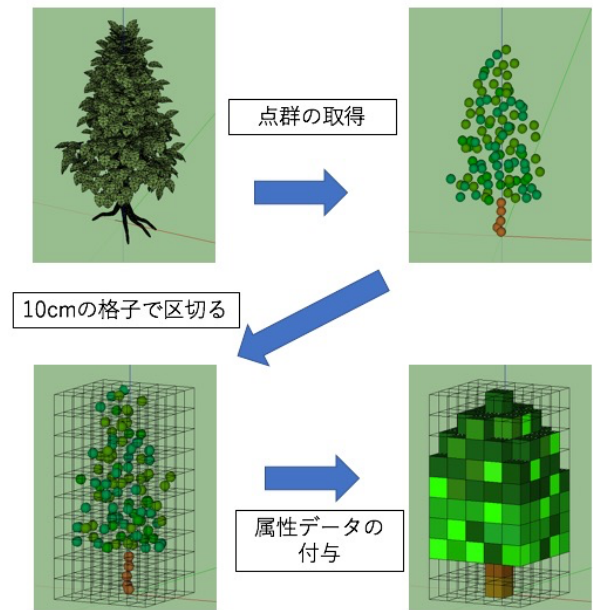


図 9. ボクセル化のイメージ

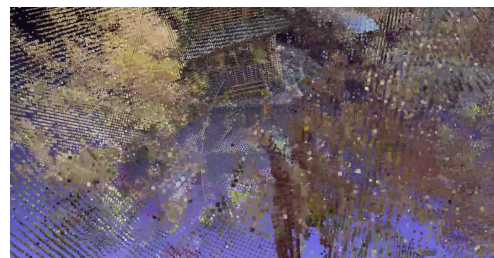


図 10. 金峯神社周辺のボクセルモデル

## 文献

- 1) 兼子瞭介, “ボクセルモデルによる森林構造の表現手法の構築”, 高知工科大学 2016 年度修士論文, 2017.
- 2) 兼子瞭介, 高木方隆, “三次元ボクセルモデルを用いたバイオマス量の推定”, 日本写真測量学会平成 28 年度秋季学術講演会論文集, pp. 39-42, 2016.
- 3) 藤原匠, 高木方隆, “ボクセルモデルを用いた林床部における日射量推定”, 日本写真測量学会平成 28 年度秋季学術講演会論文集, pp. 43-46, 2016.
- 4) 藤原匠, “ボクセルモデルを用いた林床での日射量推定”, 高知工科大学 2016 年度学士論文, 2017.

# Voxel Modeling around Kanamine Shrine

Takumi Fujiwara<sup>1</sup> Shin Akatsuka<sup>2\*</sup> Masataka Takagi<sup>2</sup>

(Received: May 8th, 2017)

<sup>1</sup> Infrastructure Systems Engineering Course, Graduate School of Engineering,  
Kochi University of Technology  
185 Miyanokuchi, Tosayamada, Kami City, Kochi 782–8502, JAPAN

<sup>2</sup> School of Systems Engineering, Kochi University of Technology  
185 Miyanokuchi, Tosayamada, Kami City, Kochi 782–8502, JAPAN

\* E-mail: akatsuka.shin@kochi-tech.ac.jp

**Abstract:** We built a voxel model of the forest around Kanamine Shrine located in the Nakagonyu district in Kami City, Kochi Prefecture. A voxel model means it is a 3-dimensional grid model. Various attribute data can be stored in each voxel. The voxel model of the forest can express the surface shape, internal structure and ground shape of the forest, and it is expected to be used for the estimation of forest biomass and the estimation of solar radiation in the forest floor. In this study, point cloud data obtained by SfM (Structure from Motion) from both images taken from the sky with a rotary wing unmanned aerial vehicle and images taken with a digital camera on the ground, as well as the point cloud data obtained from measurement by ground-based LiDAR (Light Detection And Ranging) were combined to create the voxel model. The voxel size was set to 10 cm. The coordinates of the center position of the voxel, the average value of RGB of the point cloud data included in each voxel, and the number of points in the voxel were given as attribute data of each voxel. In the future, we will simulate solar radiation around Kanamine Shrine using the voxel model and it will lead to the analysis of the native environment of vegetation.