

# 葉面積指数推定に向けた 樹木のボクセルモデル作成手法

1180026 大月 佑太

高知工科大学 システム工学群 建築都市デザイン専攻

地球温暖化対策を考える上で、樹木の炭素固定量を把握しておくことは重要である。炭素固定量の推定に必要なパラメータである葉面積指数を推定する手法の構築が求められている。本研究では、ボクセルモデルを用いて森林の葉面積指数推定やバイオマス量推定、林床部での日射量推定を行ってきた。これらの推定を行うためには、三次元点群データを葉と幹に分類する手法が必要である。兼子<sup>1)</sup>は、三次元点群データのRGB値を用いたユークリッド距離での分類手法を使用し、藤原<sup>2)</sup>は、地上型LiDARで取得した三次元点群データの反射強度を用いた分類手法を使用してきた。しかし、三次元点群データ取得時の天候や対象樹木の大きさ、計測手法の違いなどにより、これらの分類手法が使用できない場合がある。そこで本研究では、三次元点群データの分類方法の見直しを行い、葉面積指数推定に向けたボクセルモデル作成手法の構築を行った。また、三次元データ取得方法別の違いを考察し、葉面積指数推定に適した三次元データ取得方法の選択を行った。結果、SfMから得られた三次元点群データを使用し、ボクセル内の点群形状から求めた平面誤差を用いて分類を行うことで、葉面積指数推定が可能であると考えられた。

**Key Words:** ボクセルモデル, 葉面積指数, LAI, SfM, 地上型LiDAR

## 1. はじめに

地球温暖化対策を考える上で、樹木の炭素固定量を把握しておくことは重要である。炭素固定量の推定に必要なパラメータである葉面積指数を推定する手法の構築が求められている。

本研究ではボクセルモデルを用いた森林の葉面積指数推定やバイオマス量推定、林床部での日射量推定を行ってきた。これらの推定を行うためには、三次元点群データを葉と幹に分類する手法が必要である。兼子<sup>1)</sup>は、三次元点群データのRGB値を用いたユークリッド距離での分類手法を使用し、藤原<sup>2)</sup>は、地上型LiDARで取得した三次元点群データの反射強度を用いた分類手法を使用してきた。しかし、三次元点群データ取得時の天候や対象樹木の大きさ、計測手法の違いなどにより、これらの分類手法が使用できない場合がある。

そこで本研究では、三次元点群データの分類方法の見直しを行い、葉面積指数推定に向けたボクセルモデル作成手法の構築を行った。また、三次元データ取得方法別の違いを考察し、葉面積指数推定に適した三次元データ取得方法の選択を行った。

## 2. 地上型LiDARを用いたボクセルモデル作成手法の構築

### (1) 使用機材

三次元点群データ取得に使用した地上型LiDARは、TOPCON社製の「GLS-1500」である。表-1に仕様を示す。

表-1 地上型LiDAR仕様

有効計測距離	500m
計測視野	70° × 360°
測距精度	±4mm(150m内)
計測密度	最大1mm(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	1,535nm(近赤外域)

## (2) 三次元点群データ取得

森林内部での計測が困難なため、対象樹木を切り出し、データ取得が可能な場所へ移動し、計測を行った。地上型 LiDAR を用いて、三か所から対象樹木の三次元点群データを取得した。データ内の基準点を使用し幾何補正を行い、三か所から取得したデータの結合を行った。結合したデータを図-1 に、結合したデータの幾何補正の精度を表-2 に示す。



図-1 対象樹木の三次元点群モデル

表-2 幾何補正の精度

基準点	基準点の平均誤差 (m)		
	X	Y	Z
1	0.001	0.004	0.000
2	0.000	0.006	0.000
3	0.002	0.003	0.000

## (3) ボクセル化

ボクセルとは、三次元点群データを三次元空間で微小立方体に区切り、その微小立方体それぞれに、微小立方体内部の点群情報から属性データを付与したデータモデルである(図-2)。

今回は、対象樹木の葉の大きさを考慮し、ボクセルサイズは 2cm としてボクセル化を行った

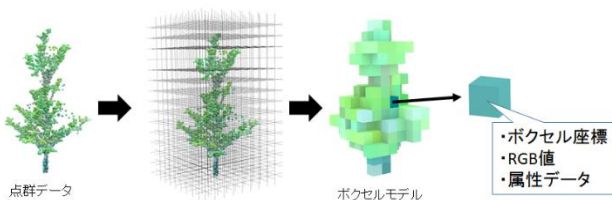


図-2 ボクセル化の流れ

## (4) 属性データ付与

本研究では、まず兼子<sup>1)</sup>と藤原<sup>2)</sup>が使用した分類手法を用いて属性データの付与を試みた。しかし、兼子<sup>1)</sup>が使用した、三次元点群データの RGB 値を用

いたユークリッド距離での分類手法では、RGB 値が日照条件により大きく変化し、分類精度が不安定であった。また、藤原<sup>2)</sup>が使用した、三次元点群データの反射強度を用いた分類手法では、対象樹木によって、反射強度の分布傾向が異なっているため使用できなかった。そこで、本研究では、新たに二つの分類方法を用いてボクセルに属性データの付与を行った。

### a) HSV 値を用いた葉と幹の分類

取得した三次元データの RGB 値を分類に用いるのではなく RGB 値を HSV 値に変換し分類を行った。HSV 値に変換することにより、H(色相)、S(彩度)、V(明度)の3つの成分からなる色空間にすることができる。H(色相)を用いることにより、三次元点群データ取得時の日照などの影響による色の明暗を考慮した分類を行うことができた。変換式は次に示す。

$$\begin{cases} H = 60 \times \left( \frac{B - G}{\max - \min} \right) & *_{\max=R} \\ H = 60 \times \left( 2 + \frac{R - B}{\max - \min} \right) & *_{\max=G} \quad \dots (a) \\ H = 60 \times \left( 4 + \frac{G - R}{\max - \min} \right) & *_{\max=B} \end{cases}$$

$$S = 255 \times \frac{\max - \min}{\max} \quad \dots (b)$$

$$V = \max \quad \dots (c)$$

\**max*は RGB の最大値、*min*は RGB の最小値

\**max* がゼロであれば H,S 共にゼロ

変換後、葉と幹の分類を行った。分類に使用した H(色相)ヒストグラムを図-3 に示す。ヒストグラムから、葉と幹の領域境界を指定し、三次元点群データに葉と幹の属性値を付与する。領域境界の決定には点群データ編集可能ソフト「CloudCompare」を用いて領域境界の決定を行った。

ボクセルの属性データ付与は、ボクセル内点群の葉と幹の属性値をカウント、数が多い方の属性値をボクセルの属性として判断し、属性データとして付与した。図-4 に分類結果を示す。

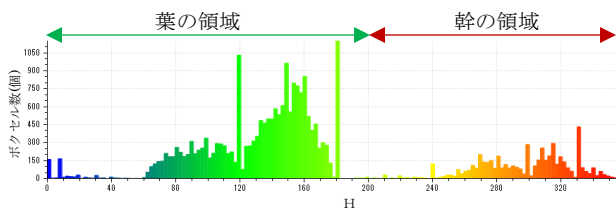


図-3 H(色相)ヒストグラム

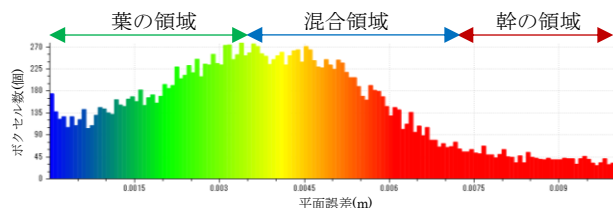


図-7 平面誤差ヒストグラム

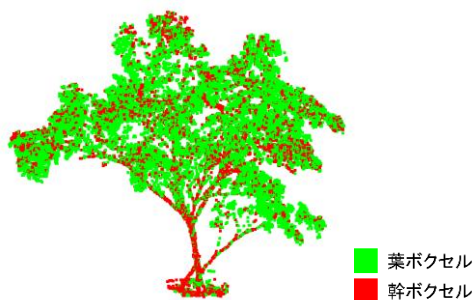


図-4 HSV 値を用いた 2 分類ボクセルモデル図

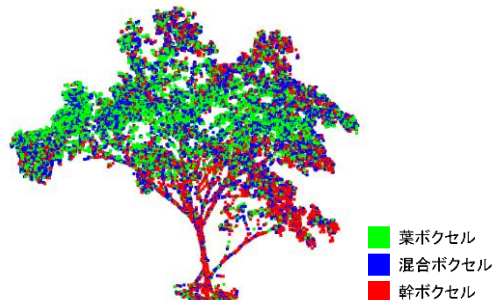


図-8 平面性を用いた 3 分類ボクセルモデル図

### b) 平面性を用いた 3 分類

ボクセル内の点群形状は、葉と幹によって異なっており、葉に近いと点群の形状は平面性を有しており、幹に近いと点群の形状は平面性をなしていない(図-5, 6)。このことから、ボクセル内点群の平面性を評価し、分類を行う。

評価は、点が三点以上存在しているボクセルのみで行う。ボクセル内全ての点群データから、最小二乗法により空間平面の式を作成し、法線ベクトル(a, b, c)を求め、求めた法線ベクトル(a, b, c)を使用し平均二乗誤差を求める<sup>3)</sup>。その値を平面誤差とし分類を行った。図-7に平面誤差ヒストグラムを示す。

求めた平面誤差を Python の scikit-learn の機能を用いてクラスタリングを行い 3 つに分類、分類結果を、葉だけのボクセル、幹だけのボクセル、葉と幹の混合ボクセルの 3 つであるとし、属性データとした。図-8に分類結果を示す。

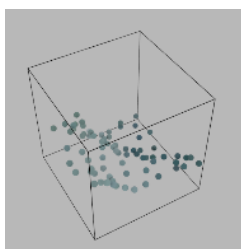


図-5 葉点群形状

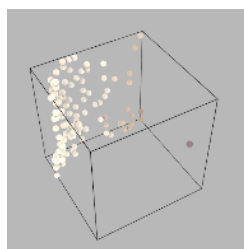


図-6 幹点群形状

### c) 二つの手法の考察

HSV 値を用いた葉と幹の分類結果を見ると、日照による色の明暗に関係なく、葉と幹に分類できた。

一方、平面性を用いた 3 分類の結果を見ると、葉と幹をうまく分類しているとは言い難い箇所がみられた。原因として考えられるのは、データ結合時のズレである。地上型 LiDAR を用いた場合、数か所からの測定が必要であり、全ての計測を終えるまでに数時間かかってしまう。そのため、計測時の天候などの影響から、結合した三次元点群データにズレが生じてしまう。その結果、葉が平面性を失い分類時に影響したと考えられる。基準点の幾何補正の精度が良い分、対象物の少しのずれで分類に大きく影響する形となった。

そこで、撮影時間も短く天候に応じて撮影のタイミングを調整できる SfM を用いることにより、ズレのない、葉面積指数推定に適した三次元点群データを取得することができると考えた。

## 3. SfM を用いたボクセルモデル作成と比較 葉面積指数算出

### (1) 使用機材

三次元点群データ取得のための SfM 用カメラは、PENTAX 社製の「k-30」、レンズは PENTAX 社製の「smc PENTAX FAJ Zoom」を使用した。

## (2) 三次元点群データの取得

焦点距離を 18 mm で撮影し、対象樹木全体が撮影できるようにした。対象樹木の周りを一歩ずつ進みながら対象樹木を撮影した。およそ 2 周程度、約 250 枚の写真を撮影し、三次元点群データの再現度の向上を図った。

撮影後、SfM ソフトウェア「Agisoft PhotoScan」を使用し三次元点群データを取得した。取得した三次元点群データは縮尺のみを変換し、使用した。

## (3) 検証のための葉面積の取得

SfM 用の撮影終了後に検証用の実測値となる葉の採取を行った。その際、幹を軸とした四象限ごとに採取を行った(図-9)。

その後、取得した葉を象限別にスキャナで読み込み、画像としてデータ化した。その後画像処理を行い、葉面積や葉の枚数などを求めた。図-10 に画像処理の手順を示す。

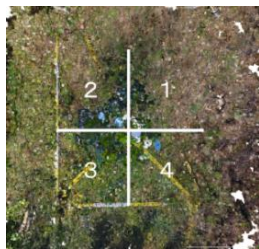


図-9 象限別葉の採取

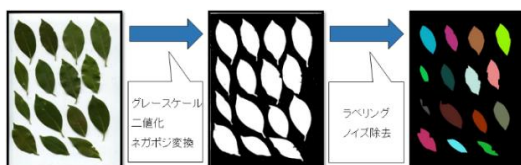


図-10 画像処理の手順

## (4) 手法別比較

SfM で取得した三次元点群データを前述したボクセルモデルの作成手法を元に、属性データを付与した形で作成する。その後、象限別にスキャニングした葉面積の実測値との比較を行い検証していく。

実測値との比較には、ボクセル化後の葉と判断されたボクセルを使用し、象限ごとの葉ボクセルの個数割合を算出した。平面性を用いた方法で、葉と幹の混合と判断されたボクセルは、個数の重みを葉と判断されたボクセルの半分として与えることで葉ボクセルとして換算し、象限ごとの葉ボクセルの個数割合を算出した。また、葉ボクセル一個につき 2cm

ボクセルの一面である 4cm<sup>2</sup>、葉幹混合ボクセルに 2cm<sup>2</sup>の葉面積を与えた場合の樹木全体の葉面積算出も行った。手法別の割合、葉面積算出結果を表-3 に示す。

表-3 手法別割合、葉面積算出結果

象限	実測値 葉面積 割合 (%)	三次元データ値			
		HSV 値を用いた 葉のボクセル		平面性を用いた 葉のボクセル	
		個数割合 (%)	実測値 との差	個数割合 (%)	実測値 との差
1	44.02	42.05	1.97	43.57	0.45
2	30.81	29.20	1.61	30.32	0.49
3	17.61	14.37	3.24	13.42	4.19
4	7.56	14.38	6.82	12.69	5.13
平均差			3.41		2.57
標準偏差			2.06		2.12
葉面積(cm <sup>2</sup> )	84,937		154,256		92,816

## (5) 算出結果

個数割合の算出結果から、手法別での大きな違いは見られなかったが、平面誤差を用いたボクセル個数割合の方が実測値に近い傾向になった。葉面積の算出結果からは、ボクセルに付与する葉面積の値は、手法別で検討する必要があると感じられた。

実測値の第三象限と四象限の割合が三次元データ値と割合が大きく異なっていた。これは、樹頂点が第三象限と第四象限の中間点にあった為、採取時の樹頂点付近の葉を誤分類したと考えられる。

## 4. 考察

本研究では、三次元点群データの分類方法の見直しを行い、葉面積指数推定に向けたボクセルモデル作成手法の構築を行った。その結果、SfM から得られた三次元点群データを使用し、ボクセル内の点群形状から求めた平面誤差を用いて分類を行うことで、葉面積指数推定が可能であると考えられた。実際に葉面積指数を推定するには、ボクセルに付与する葉面積の値を再検討する必要があると考えられる。その際、対象樹木の樹種、樹齢、樹高による違いなども考慮し検討していく必要がある。

## 参考文献

- 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, 2016 年度修士論文
- 2) 藤原匠:ボクセルモデルを用いた林床での日射量推定, 2016 年度学士論文
- 3) 高木方隆:国土を測る技術の基礎, pp. 50-52