

ボクセルモデルを用いた佐岡実験フィールド における森林の3次元構造の把握

1190089 須内 洸介

高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

森林内の3次元構造を把握することは、森林生態系の維持や管理を行う上で重要となる。本研究では、3次元点群データを用いてボクセル化を行い、樹木の葉面積指数推定や林床部での日射量の推定などを行ってきた。その際、3次元点群データから葉を抽出する手法が必要となる。これまで様々な抽出手法^{1) 2) 3)}が用いられてきたが、日照条件の違いなどで抽出手法が変更されているため、日照条件に左右されないロバスト性の高い抽出手法が必要である。また、これらの研究は単木を対象としているため、多種多様な樹種が植生している森林のボクセルモデルの作成には至っていない。そこで本研究では、地上型LiDARで取得される反射強度と法線ベクトルの物理量から、一定のアルゴリズムで葉、地面、樹木位置の抽出を行い、ボクセルモデルを構築した。6地点において日射条件が異なっても、同一手法で葉の抽出が可能であった。さらに、作成したボクセルモデルから森林の3次元構造を数値化する手法構築を行った。その結果、地盤高と葉面積から、任意高さまでの葉面積指数算出や樹木位置の推定が可能になった。

Key Words: ボクセルモデル, 葉面積指数, 地上型LiDAR

1. はじめに

森林内の3次元構造を把握することは、森林生態系の維持や管理を行う上で重要となる。本研究では、3次元点群データからボクセル化を行い、樹木の葉面積指数推定、バイオマス量の算出や林床部での日射量の推定などを行ってきた。その際、3次元点群データから葉を抽出する手法が必要となる。大月¹⁾は、単木を対象に点群の平面性から葉を抽出する手法を構築した。また、兼子²⁾はRGB値による抽出手法、藤原³⁾は反射強度を用いた抽出手法を用いていた。しかし、日照条件や樹種によって抽出精度が左右されている。そこで、日照条件や樹種などに左右されないロバスト性の高い抽出手法が必要である。また、これらの研究は単木を対象としているため、多種多様な樹種が植生している森林のボクセルモデルの作成には至っていない。

そこで本研究では、地上型LiDARで取得される反射強度と法線ベクトルの物理量から、一定のアルゴリズムで葉、地面、樹木位置の抽出を行い、ボクセルモデルを作成した。作成したボクセルモデルを用いて森林の3次元構造を数値化する手法の構築を行った。

2. 対象地区

本研究では、高知県香美市佐岡地区の金峯神社周辺の一部範囲を対象地区とした。対象地区の面積は、縦50m横70mの約350m²である。対象地区を図-1に示す。

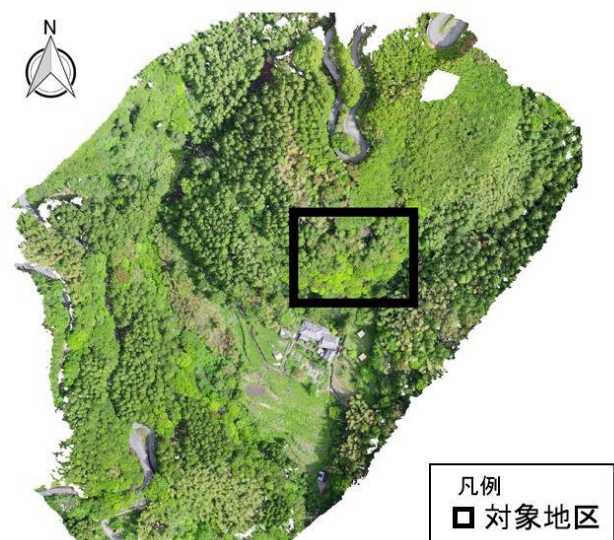


図-1 対象地区

3. 点群データ取得

3.1 使用機材

TOPCON 社製の地上型 LiDAR を使用し、森林内の 3 次元点群データを取得した。本研究で使用した地上型 LiDAR の仕様は表-1 に示す。取得可能な属性は XYZ 座標, RGB 値, 反射強度, 法線ベクトルである。

表-1 地上型 LiDAR 仕様

項目	GLS-1500
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	1535nm(近赤外域)

3.2 地上型 LiDAR 設置位置

地上型 LiDAR の設置位置を図-2 に示す。P1 地点から P6 地点までの計 6 点で計測を行った。なお高度角, 水平角ともに 0.1° 間隔の精度で点群を取得し, 幾何補正には反射板を使用した。今回使用するデータは, 地上型 LiDAR からの距離が 20m 以内の点群のみとした。点群間隔は計測位置からの距離に依存するため, 最大の点群間隔は 3.5cm である。



図-2 対象地区における地上型 LiDAR 設置位置

4. 葉の抽出

4.1 点群の画像化

本研究では, まず兼子²⁾, 藤原³⁾の用いた分類手法を参考に葉の抽出を試みた。兼子²⁾は RGB 値を用いた抽出手法を使用していたが, 日照条件により計測精度が変動するという不安定さがあった。藤原³⁾は反射強度を用いた葉と幹の抽出手法を使用していたが, 対象とする樹木によって値の分布傾向が異なっていたため, 反射強度のみでは抽出精度が不十分であった。そこで本研究では, 反射強度に地上型 LiDAR から各点群への方向ベクトルと法線ベクトルの内積, 法線ベクトルの z 成分(Nz)を加えた 3 つの物理量による葉の抽出を行った。

まず, 各計測位置で取得した点群データの XYZ 座標から高度角と水平角を算出し, 画像化を行った。3 次元点群を画像化することで空間解析, 処理の高速化が見込める。画像に変換する際, RGB 値の R に反射強度, G に内積, B に Nz を付与した。図-3 に P1 地点で取得した点群を点群画像化したものを示す。



図-3 P1 地点で取得した点群画像

4.2 物理量による葉の抽出

点群画像からサンプリングを行い, 反射強度, 内積, Nz の閾値を決定した。反射強度は 200 以上の値が幹, 150 未満の値が葉となるが, 150 以上, 200 未満の間では葉と幹が混在していることが確認できた。また, 幹の形状は丸いため, 点群の法線ベクトルが計測位置の方向に向いている部分が存在する。そのため, 幹の内積の値が高くなる傾向が見られた。ただ, 葉の中にも内積の値が高いものが存在している場合があったため, その場合は Nz を用いて再度抽出を行った。葉は光合成を行うにあたって面を上向きにしているため, 地上型 LiDAR から樹木の葉を計測すると, 葉の底面の点群が作られ, Nz の値が低くなると考えられる。葉の抽出フローを図-4 に示す。

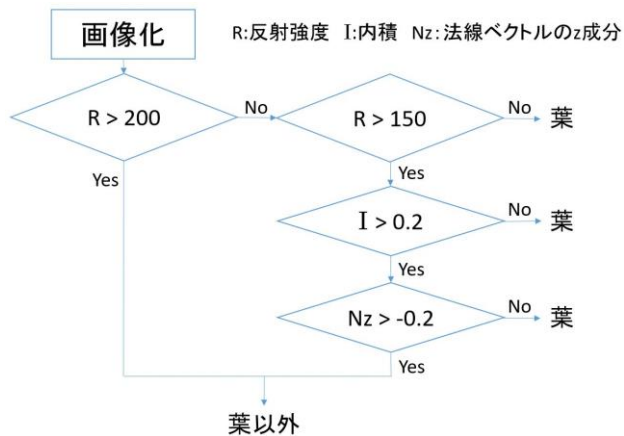


図-4 物理量による葉の抽出フロー

先のフローで葉以外であると判断された点群には、なお葉が存在していた。そこで葉と葉以外の二値化画像を作成し、空間分布を用いた葉の抽出を行った。葉以外の pixel を中心に、その周囲に 1 点以下の点群が存在している場合、その点群を葉として抽出を行った。

4.3 葉の抽出結果

P1 地点における葉の抽出結果を図-5 に示す。本手法を P5 地点に適用し、精度検証を行った。精度検証は葉の抽出前の点群画像から目視で 800pixel を検証地点として設け、葉、葉以外、分類不能の 3 分類に分けて抽出結果と比較し行った。その結果、精度は 96.3% となった。表-2 に検証結果を示す。日射条件が異なっても、同一手法で葉の抽出が可能であった。

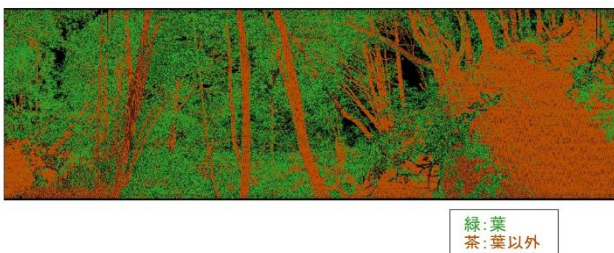


図-5 P1 地点での葉の抽出結果

表-2 検証結果

		抽出結果			Producer's accuracy(%)
		葉	葉以外	合計	
検証点	葉	270	16	286	94.4
	葉以外	9	390	399	97.7
	合計	279	406	685	
User's accuracy(%)		96.8	96.1		96.3

	葉	葉以外	分類不能	合計
個数	286	399	115	800

5. ボクセルモデル作成

5.1 ボクセル化

ボクセルとは、3次元空間を微小立方体に区切り、その微小立方体それぞれに属性を与えたデータモデルである。点群データを均質にし、データ量を軽減させることができ、用途に応じた様々な属性を付与することが可能である。

本研究では兼子²⁾の使用していた小ボクセルと大ボクセルの概念を取り入れ、1辺が 5cm の小ボクセルと 1 辺が 10cm の大ボクセルを使用した。小ボクセルを 5cm としたのは最大の点群間隔である 3.5cm であってもボクセルを均質に配置するためである。ボクセル化の概念を図-6 に示す。

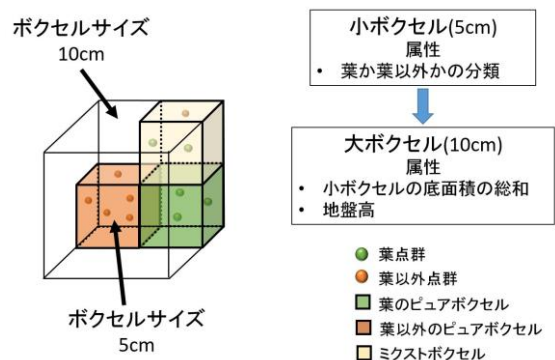


図-6 ボクセル化の概念

5.2 葉面積の属性付与

今回は小ボクセル内の点群が 3 点以上のボクセルのみを対象とした。この時、小ボクセルを葉点群のみ入ったピュアボクセル、葉以外の点群のみ入ったピュアボクセル、さらに両方が混在しているミクストボクセルの 3 種類に分けた。その後、大ボクセルに小ボクセルを格納し、大ボクセルに葉面積を付与した。葉面積の算出には式 (a) を用いた。葉点群のみのピュアボクセルには、底面積である 25cm² を乗じた。ミクストボクセルにはその半分の 12.5cm² を乗じた。

$$Leaf\ Area = A \times Pv + B \times Mv \quad (a)$$

Leaf Area : 大ボクセルに付与する葉面積 (cm²)

A : 25.0 (cm²)

B : 12.5 (cm²)

Pv : 葉点群のピュアボクセルの個数

Mv : ミクストボクセルの個数

5.3 地盤高の属性付与

地盤高はボクセルの z 座標から標高を引くことで求めた。標高データは、まず点群データを 1m グリッドで区切り、グリッドごとに最低点を抽出した。次に 3 角形分割補間により 10cm グリッドで内挿補間した。これらの処理は、地理情報システムの編集ソフトである「QGIS」を用いた。

6. ボクセルモデルによる森林の 3 次元構造

6.1 樹木位置の推定

樹木位置の推定には、胸高位置 (1.2m) の大ボクセルのみ使用した。まず、樹高位置のボクセルを画像化した。次に縦 3pixel、横 3pixel の 9pixel 内で中央の 1pixel のみに値がある場合は、ノイズとする処理を行った。そして、ラベリング処理を行い、1 つのラベルが 2pixel 以下のものをノイズとした。最後に残ったラベルで重心を算出することで樹木位置とした。樹木位置推定の流れを図-7 に示す。精度検証には小松⁴⁾らが測量し、作成した樹木位置との比較を行った。精度は 60.7% であった。対象地区全体における樹木位置を図-8 に示す。

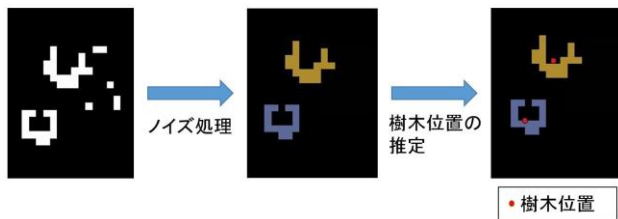


図-7 樹木位置推定の流れ

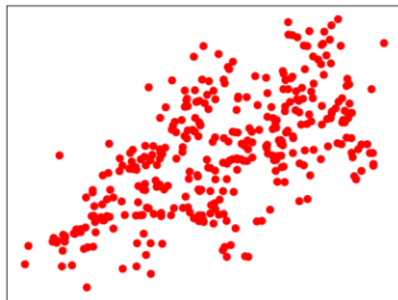


図-8 対象地区全体における樹木位置

6.2 葉面積指数推定

葉面積指数とは、地表の 1m×1m の面積に対してその上方に存在する全ての葉の総面積のことである。大ボクセルの葉面積の属性を使用して、葉面積指数の推定を行った。また、地盤高から、ボクセルを 0～

1.2m, 1.2～2.4m, 2.4m 以上の 3 段階に区切り、高さごとの葉面積指数算出を行った。推定結果を図-9 に示す。

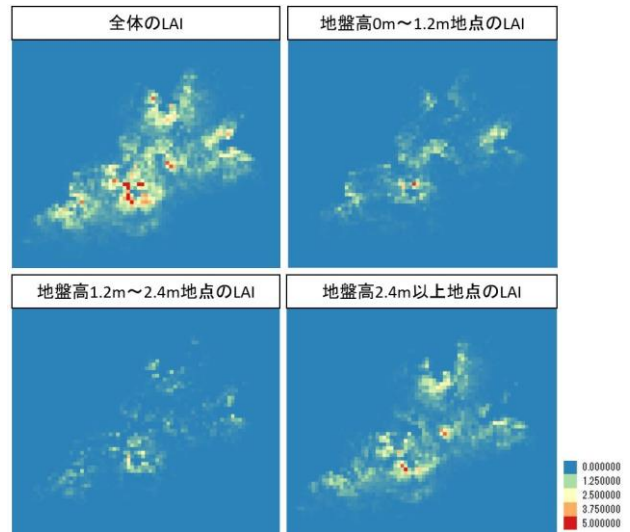


図-9 各高さの葉面積指数 (LAI)

7. 考察

本研究では、地上型 LiDAR で取得した 3 次元点群データの反射強度と法線ベクトルの物理量から、葉の点群を抽出する手法構築を行った。今回研究で用いた点群データは P1～P6 の計 6 地点で取得し、同一手法で日照条件や取得日時の異なる点群データでも葉を抽出することが可能となった。

葉の抽出結果をもとにボクセルモデルを構築することで、葉面積指数の算出が可能となった。また、標高データからボクセルモデルの z 座標を引くことで地盤高を算出し、樹木位置の推定や各高さの葉面積指数を算出することも可能となった。

今後は、算出した葉面積指数や樹木位置の正確さを検証する必要がある。

8. 参考文献

- 1) 大月佑太：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, 2017 年度学士論文
- 2) 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
- 3) 藤原匠, 赤塚慎, 高木方隆：ボクセルモデルを用いた林床での PAR 推定手法, 写真測量とリモートセンシング VOL57, No1, 2018
- 4) 片山諒辰, 小柏尚己, 小松博英, 西村凌介, 大内雅博：金峯神社周辺地盤の安定性評価, 2017 年度高知工科大学紀要論文