

ボクセルモデルを用いた 林床での日射量推定

1170138 藤原 匠

高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

植物の自生環境の解析には、様々な土地被覆状態での日射量データが必要となる。日射量は直達光と散乱光からなり、特に直達光の遮蔽状況は植物の成長に影響を与える。森林内の林床部での日射量データは、戸田・中村¹⁾らによる全天球写真を用いた日射量推定手法が考案されている。しかしこの手法は、撮影地点での日射量データしか取得できない。そこで、ボクセルモデルを用いれば、属性値に遮蔽物や透過率を与えることができるため、任意の位置での日射量を推定できると考えた。本研究では一本の樹木を対象に、ボクセルモデルを作成し、ボクセルモデルから作成した仮想全天球画像を用いて日射量を推定する手法を構築した。シミュレーション結果の検証は、点群取得日から時間が経過していたこともあり十分行っていないが、推定結果と植生の状況には、植物の成長量予測に利用できる可能性があると考えられた。

Key Words : ボクセルモデル, 仮想全天球画像, 日射量推定

1. はじめに

植物の自生環境の解析には、様々な土地被覆状態での日射量データが必要となる。日射量は直達光と散乱光からなり、特に直達光の遮蔽状況は植物の成長に影響を与える。森林内の林床部での日射量データは、戸田・中村¹⁾らによる全天球写真による日射量推定手法が考案されている。全天球写真から天空率を求め、写真上での太陽位置から直達光の遮光の有無を判別し日射量を算出する手法である。しかしこの手法では、観測地点での日射量データしか取得できない。そこでボクセルモデルを用いれば、属性に遮蔽物や葉の透過率を与えることができるため、容易に任意の位置での日射量推定が可能となると考えた。本研究では一本の樹木を対象に、ボクセルモデルを作成し、そのボクセルモデルを用いた日射量推定が可能であるかの検討を行った。

2. 対象樹木

本研究では、高知工科大学のキャンパスグリーン内にあるヤマモモ(常緑広葉樹)を対象とした(図-1)。樹冠直径は約9mである。

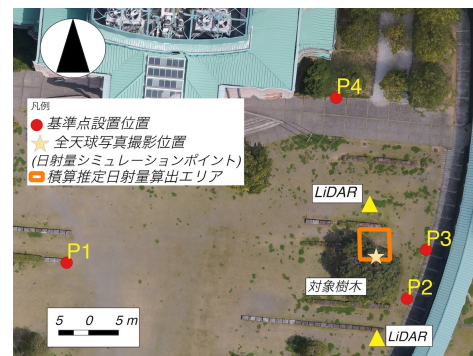


図-1 対象樹木位置

3. 点群データ取得

(1) 使用機材

樹木の表面形状データを取得するためにLiDARを使用した。本研究で使用したLiDARの仕様は表-2に示す。取得できる属性はXYZ座標、RGB値、反射強度、法線ベクトルである。

表-2 GLS-1500 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) |

(2) 基準点測量

LiDAR 計測によって得られる点群の座標は独自の座標系である。そこで座標系を平面直角座標IV系に変換させるために、測量実習の授業で使用している基準点(図-1)を使用した。z座標は、2014年10月9日に UAV を用いて作成した点群により取得した。幾何変換精度を表-3に示す。

表-3 幾何変換精度

| | X(m) | Y(m) | Z(m) |
|------|-------|-------|-------|
| RMSE | 0.002 | 0.003 | 0.024 |

(3) 観測手法

LiDAR は、図-1のように樹木から10m程度離れた位置に設置し、南北二方向から計測することで、樹木全体の点群を取得した。なお、高度角、水平角ともに0.05度間隔で点群の取得を行った。点群密度は樹木中心で1点/cm²である。

4. ボクセル化

(1) 点群の分類

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を与えたデータモデルである。属性には、地表に存在する物体の複雑な情報を保存することができるため、自然環境を表現するのに適したモデルである。

今回ボクセルモデルの属性に葉か幹(枝も含む)の情報を与えるため、点群の分類を行った。点群には反射強度が属性値として与えられており、幹の反射強度は葉よりも5倍程度大きかった。そこで反射強度により点群の分類を行った。まず、葉と幹それぞれの点群を20点取得し、教師データとした。次に教師データから葉と幹の平均の反射強度を求め、すべての点群に対しどちらに近いのかを計算し、葉か幹かを分類した。

(2) ボクセルモデル作成

本研究では、各ボクセルの大きさは2cmとした。各ボクセルには中心座標位置、葉か幹かの属性を与えた。各ボクセル内には平均で2点の点群が存在する。葉か幹かの属性は、分類された点群の数が多い項目をそのボクセルの属性とした。同数の点群の場合は、葉と細い枝が混在するボクセルと考えられたが、葉の面積の方が大きいと考え、葉の属性を与えた。作成したボクセルモデルを図-4に示す。

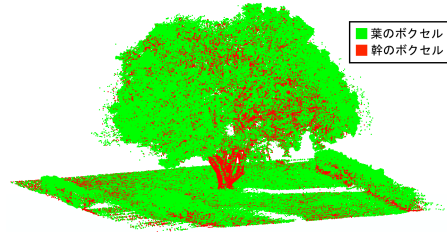


図-4 作成したボクセルモデル

5. 日射量シミュレーション

(1) 仮想全天球画像作成

全天球写真とは、デジタルカメラに円周魚眼レンズを装着し天空の全域を円形の画像1枚に投影した画像である²⁾。今回、ボクセルモデル上で任意の視点を選び、Pythonプログラムによって全天球写真と同じ投影画像(以下、仮想全天球画像と呼ぶ)を作成することを試みた。作成する仮想全天球画像は、円周魚眼レンズによって撮影した写真と同じ等立体角投影とした。図-5の仮想全天球画像の投影面は、中心からの距離が図-6に示す方向ベクトルの高度角、偏角が図-6に示す方向ベクトルの水平角に対応する極座標形式となっている。そこで、各ピクセルの座標に対応する視点からの方向ベクトルを用いて、視点から天空までに存在する葉と幹それぞれのボクセルの総数を属性として与える。

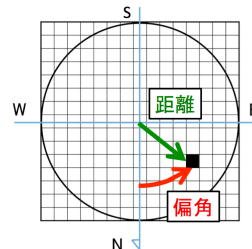


図-5 画像投影面

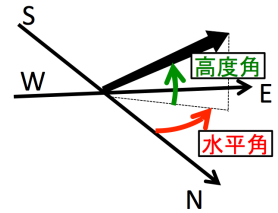


図-6 視点からの方向ベクトル

各ピクセルに属性値として与える葉と幹それぞれのボクセルの総数は、視点からの方向ベクトルを中心に円柱を発生させ、円柱内に存在する葉と幹それぞれのボクセルの個数とした。ボクセルの大きさが2cmであるため円柱の半径も2cmとした。円柱を表す式は次に示す。

$$\left| (\vec{p} - \vec{p}_0) \times \vec{v} \right| \leq r \quad (a)$$

$\vec{p} = (x, y, z)$: 各ボクセルの中心座標

$\vec{p}_0 = (x_0, y_0, z_0)$: 視点の座標

$\vec{v} = (a, b, c)$: 視線の方向ベクトル

r : 半径

視点から天空までに存在する葉と幹それぞれのボクセルの総数を属性として与えた仮想全天球画像は、幹を赤で、葉を緑で表現し、ボクセル数で色の濃さを表現した(図-7)．実際に撮影した全天球写真を図-8に示す．2枚の画像を比較すると作成した仮想全天球画像は、太い幹だけでなく細い枝の形状まで表現できた．

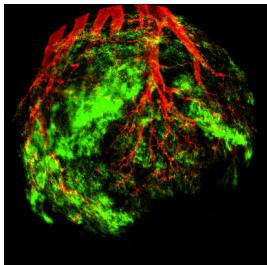


図-7 仮想全天球画像



図-8 全天球写真

(2) 太陽の輝度と視線上の葉のボクセル数の関係

現地において、視点の位置に天体望遠鏡(表-9)を設置し、太陽と葉が重なるときの太陽の写真を撮影した．その写真における輝度値と、照度計を用いた直達光の値の変化の相関を求めたところ、相関係数が0.93と非常に高い結果となった(図-10)．そこで葉によるボクセルの遮蔽率を求めるのに太陽写真の輝度値が利用できると考えた．葉のボクセルの遮蔽率算出手法は、まず太陽を撮影した時刻における仮想全天球画像上の太陽の中心位置を求めた．次に、太陽の視直径を考慮した周囲のピクセルを全て太陽ピクセルとした．最後に全太陽ピクセルにある葉のボクセルの総和と写真の輝度値との関係求めた．

図-11は、視点から全太陽ピクセルへの円柱を横切るボクセルにおいて、葉のボクセル数を横軸に、縦軸は太陽写真から得られた輝度値を散布図に描いたものである．撮影期間は2016年12月28日から2017年1月3日まで行い、最も良好な気象条件のもとで撮影することのできた2017年1月3日のデータを用いた．図-11から、葉のボクセル数と輝度値との相関はないと推測された．葉はそれぞれが太陽光を求め、多重に重なり合うことは少ないため、このような結果になったと考えられる．そこで、葉による遮蔽率は、平均の輝度値を太陽の輝度値で割ることで求め、60.3%の一定値とした．

表-9 使用した天体望遠鏡

| | |
|----------|-----------------|
| 本体 | SONY α 7 |
| 有効画素数 | 2430万画素 |
| レンズ名 | BORG 60ED |
| 焦点距離 | 350mm |
| 口径 | 60mm |
| テレコンバーター | 1.4倍 |
| フィルター | 露出倍数10万倍 |

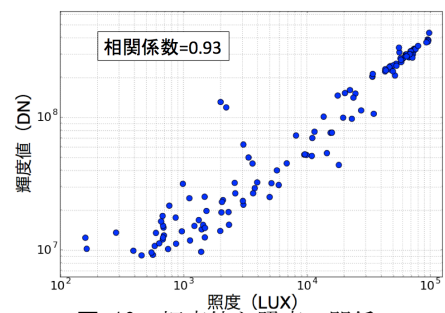


図-10 輝度値と照度の関係

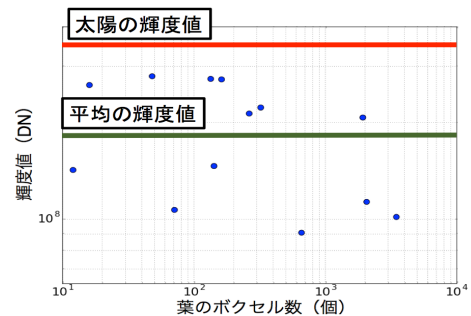


図-11 輝度値と葉のボクセル数との関係

(3) 仮想全天球画像における、各ピクセルでの直達光遮蔽率

仮想全天球画像の各ピクセルにおける視線方向の円柱は、ほぼ垂直に 3×3 のボクセルと交差していることを考慮すると、円柱を交差する葉のボクセルの数が9個以上の時は、その円柱を葉が完全に覆っていると仮定できる．従って、葉のボクセルは9個以上あれば遮蔽率は60.3%とし、それ以下は割合で求めた．図-12に遮蔽率を算出するフローを示す．なお、各ピクセルに幹のボクセルが1つでも存在すれば遮蔽率は100%とした．

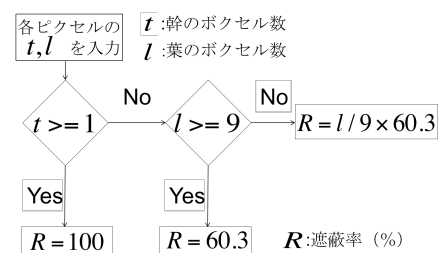


図-12 遮蔽率フロー

(4) 日射量推定式

日射量推定手法について説明する．まず、日射量を求めたい時刻の地球外スペクトルを SMARTS_295 ソフトウェアにより算出する．次に遮蔽物が存在しない場合の直達光(S_1)と散乱光(S_2)を Bouguer の式を用いて求める．最後に式(b)を用いて日射量(W)を求めた．

$$W = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{a_1} r_i}{a_1}\right) S_1 + \sum_{j=1}^{a_2} \left(1 - \frac{s_2}{a_2} r_j\right) \quad (b)$$

S_1 : 直達光 S_2 : 散乱光

a_1 : 太陽のピクセル数 a_2 : 総ピクセル数

r : 各ピクセルの遮蔽率

W : 日射量 (w/m^2)

6. 結果

構築した日射量推定式を用いて任意の地点での日射量をシミュレーションする。

(1) 全天球写真撮影位置での日射量シミュレーション

照度計を用いて2017年1月10日8時30分から16時30分まで1秒間隔で観測を行いシミュレーション結果との比較を試みた。日射量は10分間隔でシミュレートした。結果を図-13に示す。

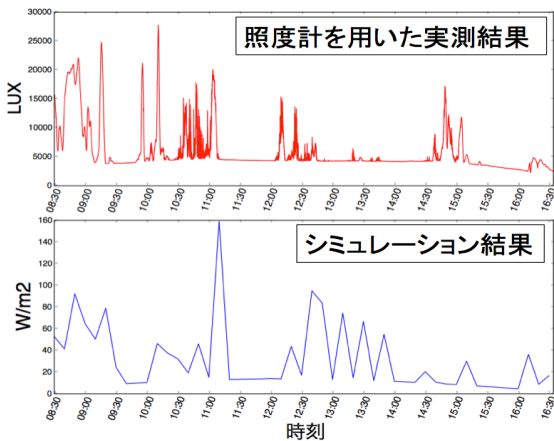


図-13 実測値との比較(2017年1月10日)

照度計は視感度補正⁵⁾がされているため直接比較するのは難しいが、波長がピークになる時刻や大きさが異なる結果となった。誤差の原因には、構築した日射量推定式の精度の他にも、検証日が、点群を取得した2016年11月22日から1か月以上が経過しており、同じ条件での検証が行えていないことが挙げられる。

(2) 対象樹木周辺での年間積算推定日射量

対象樹木北側5m×5mの範囲での年間積算日射量を算出し、植生状況と比較した。実際の気象条件を考慮するために、気象庁が公開している年間の月別平年値の雲量から快晴の日数を求め、年間積算推定日射量を式(c)を用いて算出した。

$$W = \sum_{i=1}^{12} D_i \times W_i \quad (c)$$

D_i : i 月の快晴日数

W_i : i 月15日の推定日射量 (w/m^2)

W : 快晴日の年間積算推定日射量 (w/m^2)

年間積算推定日射量は、放射量が多くなるに従い階調も上がるグレースケールで表現した(図-14)。最大で25日、最小で10日分の年間の日照時間となった。樹木周辺での土地被覆の状況を図-15に示す。

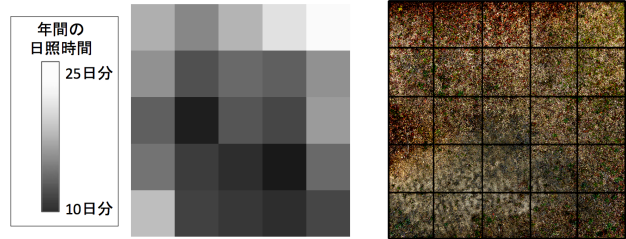


図-14 年間積算推定日射量画像

図-15 土地被覆の状況

図-14と図-15を比較すると、日射量の少ない部分と芝生の少ない部分が一致している箇所が多い。樹木周辺は人の通りも少ないことから、土地被覆の状況は日射量の影響によるものと考えられる。従って、年間積算推定日射量の結果には、植物の成長量予測に利用できる可能性があると考えられる。

7. 考察

本研究では、まずLiDARを用いて対象樹木から点群を取得し、反射強度を用いて葉か幹かに分類し、それらを属性とするボクセルモデルを作成した。次にボクセルモデル上の任意の位置から仮想全天球画像を作成し、仮想全天球画像の各ピクセルに対して日射量の遮蔽率を与えることで、ボクセルモデルを用いた任意の位置での日射量をシミュレートする手法を構築した。実測値との比較では、点群データ取得時の検証となっていないため誤差は大きいですが、年間積算推定日射量からは、対象樹木周辺での植生の土地被覆状況と関係性が認められた。

今後は、森林内の林床部での日射量推定を行い、植物の自生環境の解析につなげていきたい。

参考文献

- 1) 戸田健太郎, 中村彰宏: 全天写真を用いた日射量推定プログラムの開発, 2001年度
- 2) 斎藤武史: 全天空写真の勧め-森林総合研究所
- 3) 押尾晴樹, 浅輪貴史, 他2名: マルチリターン航空機LiDARデータと植生放射伝達モデルによる都市緑化樹木の日射遮蔽効果の計量化, 2015年度
- 4) 居島修, 鈴木健司, 辰巳弘: 気象庁におけるエアロゾルの光学的厚さのトレーサビリティについて, 2014年度
- 5) 戸沢均: 計測と制御, 第43巻, 第2号, 2004年度
- 6) 高木方隆: 国土を測る技術の基礎