

# 大規模点群を用いた樹木の算出と評価

電気通信大学 ○江藤 信輔, 緑川 佳孝, 松本 裕稀, 増田 宏

## 1. 序論

樹木のバイオマスパラメータの情報は、都市環境や森林の樹木育成状況の把握や、樹木の遺伝子と発育の関係の特定などに必要とされている。バイオマスパラメータの計測は手動で行うことが多かったが、近年、地上型レーザスキャナ (TLS) で計測された 3 次元点群を用いた樹木パラメータの自動計測が目目されている。樹木の持つ遺伝子と実際の発育の関係の特定するためには、膨大な数の樹木を計測し、そのバイオマスパラメータと遺伝子との対応関係を解析する必要がある。しかし、樹木は各個体が大きく、個体数も多いことから、従来のような手動手法によるパラメータの計測では多大な時間とコストが必要となる。また、高所の計測には樹木を伐採する必要があり、同一の樹木での成長過程の比較は困難である。樹木の点群計測によって、これらの問題を解決することが期待されている。

我々のこれまでの研究では、森林を計測した大規模点群から、幹と枝を検出する手法について提案した[1]。幹については、高い検出率での形状再構成ができていたが、枝については、葉の影響が無視できず、誤検出する場合が少なくなかった。Leica-Geosystems HDS7000 を用いて計測した点群においては、反射強度から、枝と葉が分離できることがわかっているが、それ以外のレーザスキャナで計測した点群については、検討されていなかった。そこで本研究では、FARO Focus 3D の二つのモデル X330 と S120 を用いて取得した点群データについて、反射強度による葉と枝の分離が可能かどうかについて評価を行う。

## 2. 反射強度による葉と幹枝の分離

### 2.1. 点群の反射強度

TLS で計測された点群では、レーザの反射強度が記録されている。反射強度は、レーザの波長と物体の反射特性に影響される。葉と幹枝は反射特性が異なるため、点群の反射強度を調べることによって、葉と幹枝を分離できる可能性がある。

そこで、本研究では、3種類のレーザスキャナを用いて、葉と幹枝の分離が可能かどうかを調査する。表 1 に各レーザスキャナの波長を示す。HDS7000 と Focus3D X330 はほぼ同等の波長を持つが、S120 はそれより短い波長のレーザを用いている。

本研究では、それぞれのレーザスキャナで計測した生データを PTX形式に変換して用いた。HDS 7000 の計測データは Cyclone, FARO Focus 3D については、Scene を用いて PTX の点群を作成した。しかしながら、Scene を用いて作成された点群では、反射強度として不自然な値が出力された。

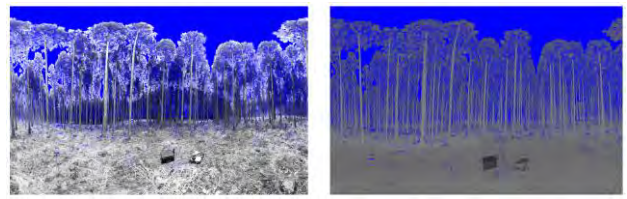
そこで、開発用のライブラリである FARO LS LDK を用いて、PTX 形式の点群を出力するプログラムを実装し、2048 階調の反射強度を出力した。X330 と S120 で計測された点群については、このプログラムを用いて PTX 形式に変換した。図 1 に、FARO Scene と FARO LS LDK のそれぞれから出力された反射強度を示す。この画像は、レーザ光の方位角と仰角を用いて点群データを 2 次元化することで作成した。両者からは明らかに異なる反射

強度が出力されている。FARO Scene の出力では、反射強度画像にハイライトが現れていることから、カラー画像から擬似的に反射強度を算出していると推測される。

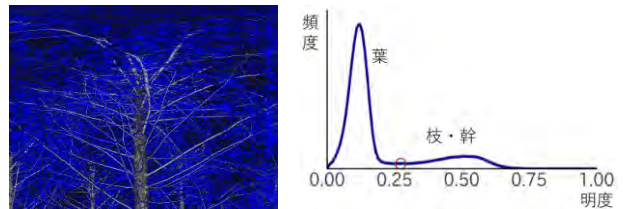
### 2.2. 反射強度の分布

HDS7000 で計測した点群データの反射強度を図 2 に示す。図 2(a) の反射強度画像では、見やすくするために、画像処理によりコントラストを強調している。この画像から、葉の部分は暗く、幹枝の部分は明るく表示されていることがわかる。図 2(b) は、明暗値のヒストグラムである。葉と幹枝に関して、二つのピークが現れている。この場合には、明度 0.25 付近で、葉と幹枝が分離できることがわかる。

図 3 に、FARO Focus 3D X330 により計測した点群データの反射強度を示す。この場合も、葉の部分が暗い反射強度画像が生成され、ヒストグラムでは二つのピークが現れている。二つの山はオーバーラップしているため、葉と幹枝を完全に分離することはできないが、明度の低い点群を除去することで多くの葉の除去が

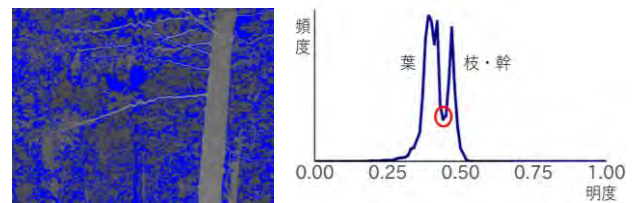


(a) FARO Scene 出力 (b) FARO LS SDK 出力  
図 1. 反射強度画像 (Focus 3D X330)



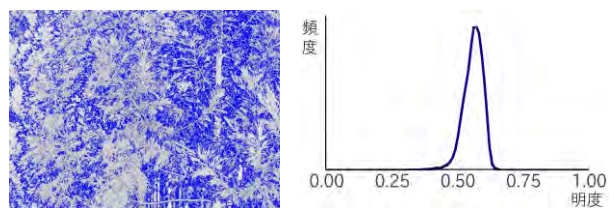
(a) 反射強度画像 (b) 明暗値のヒストグラム

図 2. 反射強度の分布 (HDS7000)



(a) 反射強度画像 (b) 明暗値のヒストグラム

図 3. 反射強度の分布 (X330)



(a) 反射強度画像 (b) 明暗値のヒストグラム

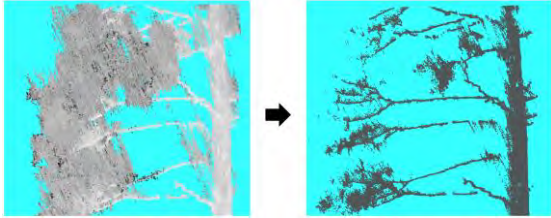
図 4. 反射強度の分布 (S120)

表 1. レーザスキャナのレーザ波長

	HDS7000	Focus3D X330	Focus3D S120
波長	1500nm	1550nm	905nm



(a) HDS 7000 の点群



(b) Focus 3D X330 の点群

図 5. 反射強度による点群からの葉の除去

可能である。

図 4 に FARO Focus 3D S120 により計測した点群データの反射強度を示す。この場合には、反射強度画像からは、葉と幹枝で明暗値に明確な違いは現れなかった。また、ヒストグラムにおいても、ピークは一つだけであり、明暗値による葉と幹枝の分離は困難であることがわかる。

以上の評価実験により、杉の葉は 1500 nm 付近の波長のレーザー光を吸収するが、900 nm 付近のレーザー光は反射すると考えられる。また、波長帯域がほぼ同じであっても、レーザーキャナの種類が違えば反射強度は異なる値となるため、葉と幹枝を分離するための閾値は、機種に応じて設定することが必要である。

### 2.3. 反射強度の閾値

葉と幹枝を分離するための閾値を考える。枝を検出するために葉を除去する場合、できる限り枝を保存する閾値が必要である。ここでは、幹と枝がほぼ同じ反射強度分布を持つものと仮定し、比較的容易に検出できる幹の反射強度から閾値を算出する。

手法[1] を用いて幹を検出した後、幹の部分の点群から、反射強度の平均  $\mu$  と標準偏差  $\sigma$  を算出する。ここでは、閾値の値を  $\mu - 2\sigma$  とする。反射強度が正規分布に従うと仮定すると、幹枝の反射強度の 97.7% がこの閾値以上となるため、大半の幹枝上の点群が保持されると考えられる。

反射強度を用いて、葉を除去した点群を図 5 に示す。左側は元の点群、右側が閾値以下の点群を除去したものである。いずれの場合も、幹枝の点群は保持され、葉の多くが除去された点群が得られている。

### 3. 枝のモデル化

枝の検出においては、図 6 に示すように、幹の周囲の点群を円筒座標に変換する。円筒座標は、幹の軸を  $z$  軸として定義される。円筒座標に変換することによって、幹から直接出ている 1 次枝は  $r$  軸方向に伸びる。そこで、図 7 に示すように空間を  $r$  軸方向に一定幅で分割し、各領域において点が垂直方向に連続する箇所を求める。このような箇所が連続する領域に現れたら、それらを接続する。十分長く連続する点群が得られたら、それらを枝として抽出する。枝の中心軸が得られたら、その周囲の点までの距離を求めて、枝の半径を算出する。

FARO Focus 3D X330 を用いて計測した点群データにおいて、葉点群の除去の前後について円筒座標展開を行った。その結果を図 8、図 9 に示す。これらの結果から、反射強度を用いて葉点群

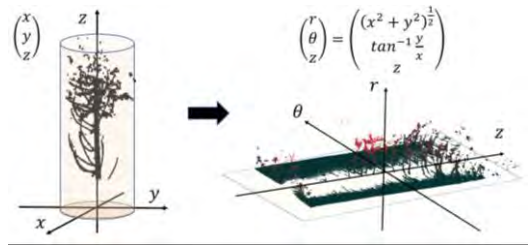


図 6. 円筒座標への変換

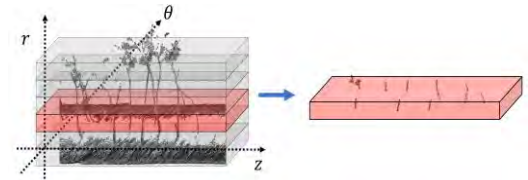
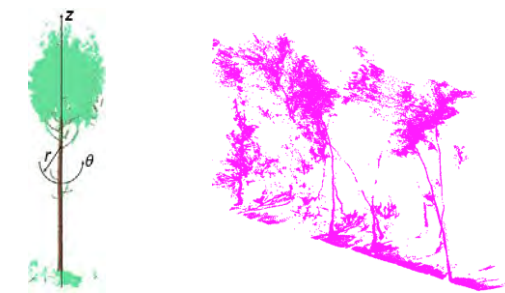


図 7. 枝の検出



(a) 全体モデル

(b) 円筒座標展開

図 8. 葉点群除去前



(a) 全体モデル

(b) 円筒座標展開

図 9. 葉点群除去後

のみをノイズとして取り除くことができていることがわかる。この円筒座標展開された点群から幹周辺の点群を取り除くことで枝モデルを推定することが可能である。

### 4. 結言

本稿では、3 種類のレーザーキャナを用いて得られた樹木の点群データの反射強度を調査し、葉と幹枝の分離ができるかどうかを検討した。その結果、レーザーの波長が 1500 nm 付近のときは分離ができたのに対し、これより波長が 900nm 付近では分離できないという結果が得られた。

今後は、点群から葉を除去することによる、枝の検出の精度向上について考察する。また、近接した枝の結合や、オクルージョンなどで単一の枝が分離する問題についても検討を行う予定である。

### 参考文献

[1] 齋藤 和人, 増田 宏: 三次元計測点群に基づく樹木の形状再構成 第 3 報, 精密工学会秋季講演会 2016