

# 樹木形質値算出のための高精度な点群レジストレーション

電気通信大学 ○川崎 春菜, 増田 宏

## 1. 序論

林業において樹木の育成状況を詳細に把握し、森林資源の管理を行うには樹木に関する多くのバイオマスパラメータを調査する必要がある。樹幹直径や樹高などのパラメータ計測は材木の等級分けを行うなど、木材の価値を調べるのに重要なデータとなる。しかし、森林内の膨大な樹木に対して、手作業で定期的な計測を行い、成長過程を記録するには多大な労力を要する。そこでレーザスキャナを用いて森林内部における3次元点群データを非破壊的に収集し、形状処理によって樹木のパラメータを算出する手法が注目されている。

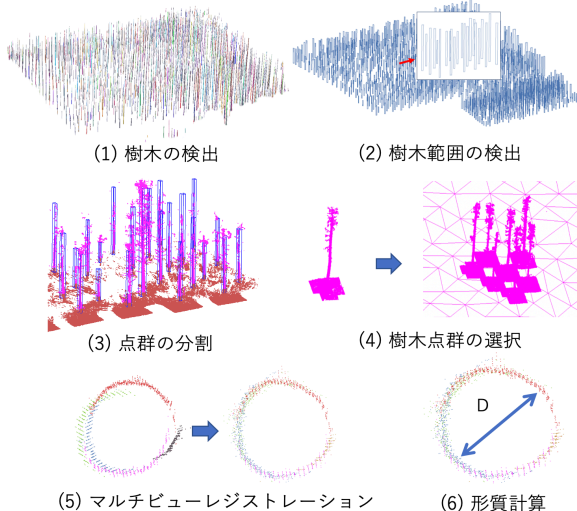
我々はこれまでの研究で森林の大規模点群から幹を検出する手法を開発した[1]。この研究では、森林内の約千本の樹木を自動検出し、その胸高直径を算出した。しかし、広域の点群を正確に位置合わせすることは困難であり、算出される胸高直径が不正確になるという問題があった。また、多数の位置で計測した点群の位置合わせを行うマルチビューレジストレーションにおいては、点群の組み合わせ方や適用順序も形質算出の精度に影響する。

本研究ではこの問題を解決するために、樹木ごとにレジストレーションの範囲や組み合わせ方と変えることによって、正確なマルチビューレジストレーションを行なう。また、提案手法の有効性を検証するために、手動計測での胸高直径と位置合わせ前後での算出値を比較することで精度検証を行う。

## 2. 手法の概要

本研究では、森林を37箇所計測した約36億点の点群を例題として用いる。提案手法の概要を図1に示す。まず、文献[1]に示した手法を用いて、(1)森林の点群から幹検出を行う。次に、樹木範囲を求めるために、検出した全ての幹それぞれに関して、(2)bounding boxとなる矩形領域を算出する。それに基づいて、(3)樹木の点群を分割する。ここでは、37箇所計測した個々の点群に対して、矩形領域内に含まれる点群を求め、樹木番号をつけたファイルに格納する。

点群レジストレーションにおいては、(4)注目樹木に関して、その周囲の樹木を選択し、それらの点群ファイルを読み込む。そして、(5)読み込んだ点群を用いてマルチビューレジストレーションを行い、(6)その樹木の形質を算出する。

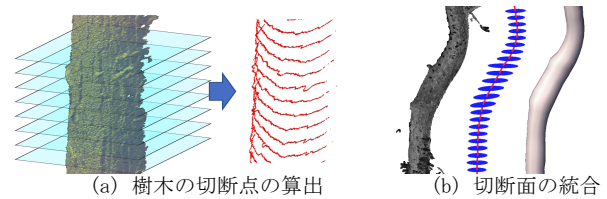


## 3. レジストレーション手法

### 3.1. 樹木検出

樹木検出の手法を図2に示す。この手法では、初めに幹検出に不必要な地面点群を除去する。次に隣接点をエッジで接続したワイヤフレームモデルを作成し、モデルを等間隔な水平面で切断して切断点を取得する。最後に切断点の集合から垂直に並んだ円もしくは楕円を幹として抽出する。

また点群データから検出されたすべての樹木に対して、ナンバリングを行い、樹木番号を付与しておく。



### 3.2. 樹木範囲の検出

次に得られた幹点群から  $x, y, z$  座標の最大と最小を求め、bounding box となる矩形領域を算出する。

また、矩形領域の中心位置を水平面上に投影し、図3に示すように、三角形分割を行って、樹木の隣接関係のグラフを取得する。グラフのノードには、樹木番号が保持されている。

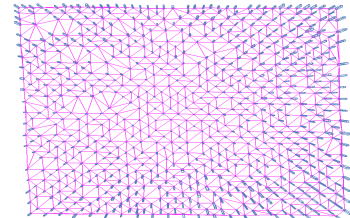


図3 三角形分割による樹木の隣接関係の算出

### 3.3. 点群の分割

樹木ごとに算出された矩形領域を用いて、37箇所計測された点群ファイルのそれぞれを分割する。個々の樹木は、矩形領域にオフセットを与え、その内部に含まれる点群として抽出する。ここでは、幹部分に25cm、地面領域に100cmのオフセットを与えた。また幹として抽出された点の個数が閾値より大きいとき、樹木点群として、計測箇所番号と樹木番号を付けたファイル名で格納する。ここでは、計測箇所  $i$  から抽出された樹木番号  $j$  の点群を  $T_j^{(i)}$  と書くものとする。

### 3.4. 樹木点群の選択

レジストレーションは樹木ごとに行う。まず、対象となる樹木を選択する。単一の樹木のみによるレジストレーションでは、 $Z$ 軸周りの回転の自由度が精度よく算出できないため、周囲の樹木の点群も用いる。ここでは、樹木位置の隣接関係グラフを用いて、自分自身を含めた周囲の樹木番号の集合  $\Lambda_t$  を求める。選択された樹木の例を図4に示す。

次に、点群ファイルの選択を行う。図5の計測位置のシーケンスを用いて、注目樹木から一定の距離内(20m以内)で計測した点

群ファイルの添字集合  $\Lambda_p$  を求める。レジストレーションの対象となる点群は、 $P_i = \{T_j^{(i)}\} (i \in \Lambda_p, j \in \Lambda_t)$  として算出される。

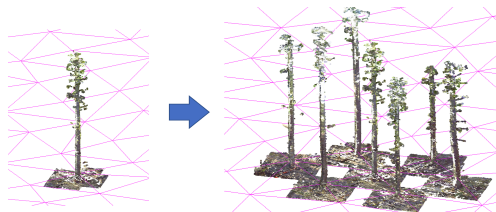


図4 周囲の樹木を選択

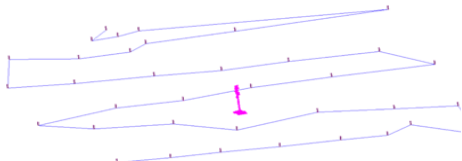


図5 計測位置のシーケンス

### 3.5. 点群のマルチビューレジストレーション

点群集合  $\{P_i\} (i \in \Lambda_p)$  に対してマルチビューレジストレーションを行う。初期の位置合わせは、計測時に設置したターゲットを用いて行なった。またここでは注目樹木の樹木番号を  $t$  とする。手順は、以下の通りである。

- (1) 点群  $P_i$  の中から、樹木  $t$  の点を最も多く含む点群をターゲット点群  $P_{target}$  とする。
- (2) 点群  $P_i$  のスキヤナ位置が樹木  $t$  を中心に反時計回りに並ぶようにソートする。
- (3)  $P_{target}$  と隣接する点群をソース点群  $P_{source}$  として選択する。ただし近傍点の数が一定以下(1400点)の場合、樹木  $t$  を中心に  $P_{target}$  と  $P_{source}$  のスキヤナ位置のなす角度  $\theta$  が一定(130度)以下のものは(6)の処理を行う。
- (4) ICP アルゴリズムを用いて  $P_{target}$  と  $P_{source}$  のレジストレーションを行い、変換行列を算出する。
- (5) 変換された  $P_{source}$  を  $P_{target}$  に追加する。
- (6) 未処理の点群に対して、(3)以下の処理を繰り返す。

レジストレーションにおいては、注目樹木に最もよくフィットするように、注目樹木の点群に対しては、重みを大きくする。ここでは、重みを3倍とした。また、点群  $P_i$  のうちレジストレーションを1回も行わなかった樹木は位置合わせ不能とした。

### 4. 手法の評価

提案手法の効果を確認するために例題の区画内の樹木 633 本の樹木(図6)に用いてレジストレーションを行なった。本手法を適用することで、多くの樹木において、図7のように当初、ずれていた点群が妥当な位置に移動していることが確認できた。

一方で、96本の樹木は、共通部分が少なく、上記の手順では、位置合わせ不能と判定された。これらには、図8に示すように、注目樹木に対して十分な個数の点群が得られなかった場合(Scan2)や、Scan1とScan14のように、計測位置が樹幹の反対側に位置し、角度差が180度に近い場合が該当した。

図9に、位置合わせができた537本の樹木に本手法を適用した時の胸高直径と手動計測値の比較を示す。この結果から、ほとんどの樹木で位置合わせ後に誤差の大きい樹木が手動計測値に近づいていることがわかる。また、表1に、平均誤差とRMSEを示す。いずれも、位置合わせ後に、精度が向上していることがわかる。

### 5. 結言

本研究では、点群から検出した樹木ごとにレジストレーションを補正することで、樹幹の胸高直径を正確に計算する手法を提案

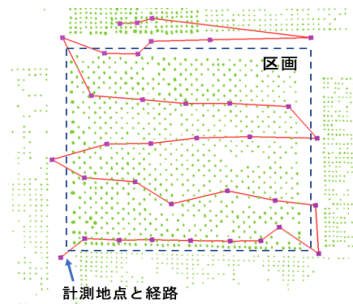


図6 例題森林の区画

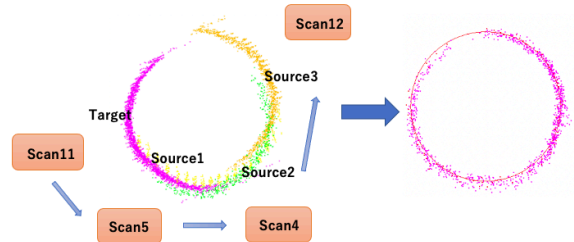


図8 位置合わせできた樹木例(82番樹木)

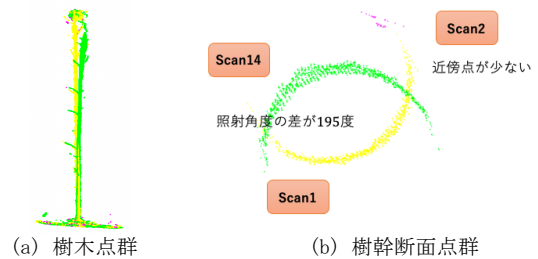


図7 位置合わせ不能の樹木例(9番樹木)

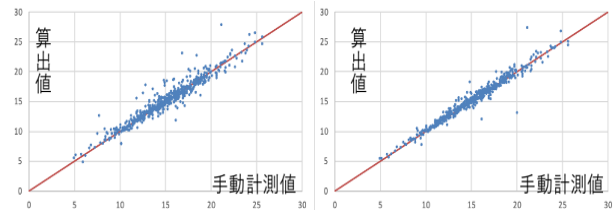


図9 レジストレーション結果

表1 位置合わせ前後での誤差

	位置合わせ前	位置合わせ後
平均誤差	6.6mm	4.7mm
RMSE	10.4mm	7.42mm

した。評価実験では、提案手法によって、レジストレーションの精度が向上することを確認した。

本研究では、胸高直径の評価を行なったが、いくつかの樹幹については詳細な輪郭データが得られているので、その再現性の評価も行う予定である。また、本手法は、選択する近傍樹木の個数や重みの与え方によって結果が変わってくる可能性があるため、その検証が必要である。さらに、位置合わせ不能な樹木においては、周辺の樹木から妥当な位置合わせが行える可能性があるため、その手法についても検討する予定である。

### 参考文献

- [1] H. Masuda, Y. Hiraoka, K. Saito, S. Eto, M. Matsushita, M. Takahashi, Efficient Calculation Method for Tree Stem Traits from Large-Scale Point Clouds of Forest Stands, Remote Sensing, 13(13), 2476, 2021.