

SfM による点群データを用いた樹木根系調査手法の有効性

東京農業大学地域環境科学部 ○佐藤貴紀, 小番柚輝, 橋 隆一
東京農業大学大学院地域環境科学研究科 大野千星 織

1. はじめに

樹木根系は大雨や地震による土砂災害の防止機能を持つが、その定量評価は困難である。掛谷ら (2016) は樹木根系の掘り取り調査を行い、斜面に生育している樹木根系の分布やその材積を測定しているが、その作業は根の折損を避けるために慎重に行う必要があり、さらに、現地において根の太さや長さの計測をすべて手作業で行うため、膨大な人員と時間が必要である。

そこで近年、SfM による点群データを用いた樹木根系の迅速な測定が試みられている。例えば Okamoto *et al.* (2022) は樹木根系の模型を用いた実測と SfM による材積の比較を行い、Montagnoli *et al.* (2024) は掘り取った樹木根系を室内へ運び、そこで SfM による測定を行っている。しかし、現地で掘り取った樹木根系を対象とした実測と SfM との比較は行われていない。現地での SfM を用いた樹木根系の測定は、移動の労力や根の折損を回避し、計測精度も向上すると考えられる。

そこで本研究は、樹木根系の掘り取り後の手作業による実測と SfM を同一現場で行い、その精度を検証すること、測定に要する時間や作業負担の観点から、測定の効率化に資する知見を得ることを目的とする。

2. 調査概要

2.1 調査地および対象木

本研究は東京農業大学奥多摩演習林内にある 50 年生のヒノキ人工林の斜面に生育する 1 本のヒノキを対象とした。立木密度は 1,000 本 ha⁻¹ であり、樹高は 20 m、DBH は 25.3 cm である。調査木は北西向き斜面に生育しており、傾斜は 30°, 土層厚はおおよそ 1~2 m である。

2.2 手作業による樹木根系の実測

調査木を伐採後、可能な限り樹木根系の折損が無いように手作業で掘り取った。掘り取った後、樹木根系の測定は掛谷ら (2016) に従って以下の通り行った。根株を中心とした半径 50 cm 間隔の同心円を描き、それぞれの円と交わる樹木根系の直径から断面積を算出した。そして、隣り合った同心円間に存在する樹木根系の長さを計測した。この作業は 4 名で行った。以上より同心

円間の総樹木根長と、同心円内に存在する樹木根系の総材積を算出した (図 1)。また、方向ごとの樹木根長と材積を検討するために、斜面に向かって斜面上、斜面下、そして右側を等高線 1、左側を等高線 2 として 4 区分した (図 2 右)。

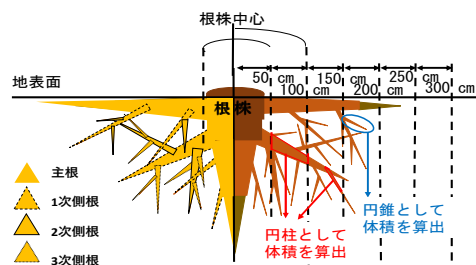


図 1 樹木根系の測定方法

2.3 SfM による樹木根系の点群データ取得および測定

樹木根系を測定した後、同じ調査木を対象として露出した樹木根系 (図 2 左) の写真撮影を行った。写真撮影にはデジタルカメラ (Canon PowerShot G9X Mark II) を用いた。写真撮影の前に 3 mm 以下の細根は除去し、樹木根系の下にブルーシートを敷いて撮影を行った。写真撮影は図 2 (右) のように 4 区分に分けて行った。上記の作業は 3~4 名で行った。次に Metashape (Agisoft, Version 2.2.3) を用いて点群データを作製した。総撮影枚数は 2,075 枚、点群データ作成に用いられた枚数は 1,856 枚である。作製した点群データにはノイズ等の不要な点群が存在するため、Cloud Compare (Version 2.14. beta) を用いて不要な点群を除去した。

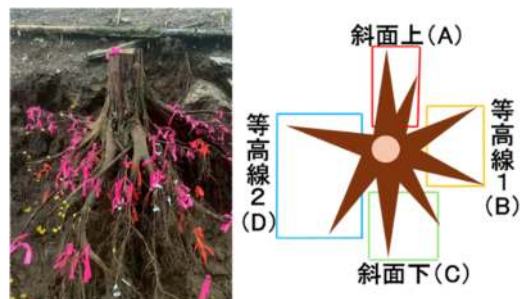


図 2 掘り取った樹木根系 (左) と撮影区分 (右)

作成した点群データを用いて樹木根長と材積を算出するために、本研究では樹木の定量的構造モデルを構

築する解析ツールである Tree QSM を用いた。Tree QSM は単木構造を前提として幹や枝を円筒の集合体としてモデル化し、材積や枝の直径、長さを算出することができる。Tree QSM は上述の通り単木構造を前提としているため、本研究では樹木根系に適応させるために点群の密度を調整し、さらに上下反転させる処理を行った。

3. 結果と考察

3.1 実測および SfM による樹木根長と材積の比較

表 1 は実測と SfM による樹木根長とその誤差を示している。SfM による樹木根長は実測に比べておよそ 20～40%程度短かった。これは、SfM による解像度の限界となるような細い根が多く存在していたためであると考えられた。

表 2 は実測と SfM による樹木根系の材積とその誤差を示している。最も誤差が大きかったのは等高線 1 の 13.3%であったが、全体の誤差は 0.2%であり、樹木根長と比べて精度が高かった。これは、細い根は材積にはあまり寄与しないために、SfM による材積の測定におよぼす影響が小さかったためであると考えられる。したがって、SfM による材積の測定は、細根を除去したとしても、実測とほぼ同様であることが分かった。

表 1 実測と SfM による樹木根長の比較

	実測 (cm)	SfM (cm)	誤差 (%)
斜面上	2,112.4	1,728.7	-18.2
等高線1	1,872.0	1,463.7	-21.8
斜面下	3,901.4	2,165.2	-44.5
等高線2	2,557.1	2,003.9	-21.6
合計	10,442.9	7,361.5	-29.5

表 2 実測と SfM による材積の比較

	実測 (cm ³)	SfM (cm ³)	誤差 (%)
斜面上	9,833.4	10,519.3	7.0
等高線1	8,355.3	7,244.3	-13.3
斜面下	5,768.0	6,274.8	8.8
等高線2	6,575.6	6,565.2	-0.2
合計	30,532.3	30,603.6	0.2

3.2 2つの手法における計測に用いた時間の比較

表 3 は実測と SfM による各作業時間をまとめたものである。実測と SfM による総作業時間はそれぞれ 3,840 分と 2,825 分であった。実測においては屋外での樹木根系の各種測定 (3,600 分)、SfM においては高密度データの作成 (1,570 分) に最も時間がかかった。以上より、SfM は実測に比べておよそ 1,000 分の時間短縮となることが分かった。高密度データの作成には使用する PC の性能に依存する。本研究では一般的なノート PC を使

用していたため、より高性能な PC を使用することでこの時間はさらに短縮できる可能性がある。さらに SfM の屋外作業は写真撮影と細根除去だけで、そのほかの多くは室内作業であるため、屋外作業が中心の実測に比べて作業効率も高いこともわかった。

表 3 実測と SfM における作業別時間

作業区分	詳細な作業項目	実測 (分)	SfM (分)
屋外作業	撮影時間	-	330
	各根の直径・長さの計測	3,600	-
	計測データ入力・測定	240	-
	測定困難な細根の除去	-	462
点群形成 (Metashape)	荒い点群データの作成	-	80
	高密度点群データの作成	-	1,570
点群処理 (Cloud Compare)	余分な点群の除去・点群調整	-	295
	データ変換	-	24
点群解析 (Tree QSM)	点群計測	-	40
	誤差計算	-	24
合計		3,840	2,825

4. まとめ

50 年生のヒノキ 1 本を対象として掘り取った樹木根系を手作業で測定するとともに、SfM による点群データの取得と測定を行い比較した。その結果、SfM によって測定される樹木根系は、根長では実測に比べ 20～40%ほど短くなったものの、材積では実測とほぼ同様の結果が得られた。作業時間においては、とくに屋外での作業時間が大幅に短縮できたこと、高性能 PC の使用でさらなる時間短縮が見込めることから、SfM による樹木根系の測定は、現地における実測に比べて作業効率が飛躍的に向上する可能性が認められた。

引用文献

- 1) 掛谷亮太・龍澤英紀・小坂泉・園原和夏・石垣逸朗・阿部和詩 (2016) スギ林分の間伐が根系成長と表層崩壊防止機能に与える影響。日本緑化工学会誌, 42(2): 299-307
- 2) Montagnoli A, Hudak AT, Raunonen P, Lasserre B, Terzaghi M, Silva CA, Bright BC, Vierling LA, de Vasconcellos BN, Chiatante D, Dumroese RK (2024) Terrestrial laser scanning and low magnetic field digitization yield similar architectural coarse root traits for 32-year-old *Pinus ponderosa* trees. *Plant Methods*, 20(1): 1-13
- 3) Okamoto Y, Ikeno H, Hirano Y, Tanikawa T, Yamase K, Toda C, Dannoura M, Ohashi M (2022) 3D reconstruction using Structure-from-Motion: a new technique for morphological measurement of tree root systems. *Plant and Soil*, 477: 829-841