

ICTを活用したナシ栽培管理における継承技術の開発(1)

誌名	農業食料工学会誌 = Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery and Food Engineers
ISSN	2188224X
著者名	Lee, J. 吉田, 剛 野波, 和好 松村, 一善 谷野, 章 森本, 英嗣
発行元	農業食料工学会
巻/号	83巻4号
掲載ページ	p. 274-281
発行年月	2021年7月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



ICT を活用したナシ栽培管理における継承技術の開発 (第1報)

—3次元レーザースキャナを適用した樹木抽出手法の開発—

LEE Jaehwan*¹・吉田 剛*²・野波和好*¹・松村一善*¹・谷野 章*³・森本英嗣*^{1†}

要 旨

本研究では、ナシ園において3次元レーザースキャナを複数の器械点に設置するための測定治具の試作と点群データ収集ならびに樹木抽出手法を開発して樹の点群データの自動抽出を試みた。樹木抽出手法では、グリッド化、地表の点群除去、反射強度をしきい値としたワイヤ除去、Radius Outlier Removalを適用した微小ノイズ除去の4つのアルゴリズムを開発した。実験においてナシ14本を計測した結果、13,843,644点の点群合成に成功した。さらに樹木抽出手法を適用した結果、地表、ワイヤ、微小ノイズの除去率はそれぞれ100、99.6、87.6%であり、樹木抽出精度は94.5%であった。

[キーワード] 3次元レーザースキャナ, 点群データ, 樹木抽出, 反射強度, Radius Outlier Removal

Development of Pear Cultivation Management Technology Using Information and Communications Technology for the Next Generation of Farmers (Part 1)

—Development of a Tree Extraction Method Applying 3D Laser Scanning—

Jaehwan LEE*¹, Tsuyoshi YOSHIDA*², Kazuyoshi NONAMI*¹, Ichizen MATSUMURA*¹, Akira YANO*³, Eiji MORIMOTO*^{1†}

Abstract

We built a prototype measurement jig for installing 3D laser scanners at multiple points in pear orchard; further we developed methods for collecting point cloud data and “tree extraction,” which enable to identify pear trees in the point cloud. The proposed tree extraction algorithm consists of four steps: Create grid; Remove points that lie on the ground surface; Remove points that lie on trellis wires using reflective intensity threshold; and Remove micro-noise via radius outlier removal. We measured 14 pear trees and successfully integrated 13,843,644 points into point cloud. The result obtained via tree extraction method demonstrate that the removal ratios for ground, wire, and micro-noise components were 100%, 99.6%, and 87.6%, respectively, and the tree extraction accuracy was 94.5%.

[Keywords] 3D laser scanner, point cloud data, tree extraction, reflective intensity, radius outlier removal

I 緒 言

農林業センサスによると果樹栽培における農業就業人口は2010年から2015年の5年間で27,284人減少している(農林水産省, 2011; 農林水産省, 2016)。農業従事者の高齢化により作付面積が2010年の全国13,900haか

ら2019年には11,100haに減少したことも報告されている(農林水産省, 2020)。農家が試行錯誤を重ねながら獲得し蓄積された栽培ノウハウは「体で覚えた」暗黙知により構成されるため初心者が篤農家の暗黙知の栽培技術を簡単に習得することは難しいと言われている(末永, 2009)。

*1 会員, 鳥取大学大学院連合農学研究科(〒680-8550 鳥取県鳥取市湖山町南4丁目101), The United Graduate School of Agricultural Sciences, Tottori University, 4-101 Minami, Koyama-cho, Tottori-shi, Tottori 680-8550, Japan

*2 トプコン株式会社(〒174-8580 東京都板橋区蓮沼町75-1), TOPCON CORPORATION, 75-1, Hasunuma-cho, Itabashi-ku, Tokyo 174-8580, Japan

*3 鳥根大学学術研究院環境システム科学系(690-8504 鳥根県松江市西川津町1060), Institute of Environmental Systems Science, Shimane University, 1060, Nishikawatsu, Matsue, Shimane 690-8504, Japan

† Corresponding author: morimoto@tottori-u.ac.jp

本研究で対象としたニホンナシ (*Pyrus pyrifolia* Nakai) は果樹の中で最も高度な栽培技術を必要とされている (山田, 1983)。そこで著者らはナシ栽培の伝承技術が開発できれば、他の果樹へも横展開できると考えた。

篤農家の暗黙知を技術継承する方法についてミカン栽培において摘果すべき果実の写真を選択して正解と記録する摘果学習システムの開発において学習前後で非破壊選果機にて評価点が9%向上したと報告されているように熟練者の暗黙知をデータベース化することは初心者と技術共有を図り、効果的に作業品質を高める (神成ら, 2015)。

本研究では樹勢評価に資する暗黙知を形式化するために非破壊で計測可能な3次元レーザースキャナから得られる点群データを評価指標として適用した。

点群データを用いた研究として Marinello ら (2017) はワイン用ブドウの木を Kinect センサで得た点群データを解析し、木の体積と葉の数及び葉面積に決定係数 $R^2=0.76$ の関係があると報告している。

本報では (1) 3次元レーザースキャナを適用した剪定前後における点群データの取得手法の確立、(2) 樹木抽出に係る点群データの前処理手法を開発目的とした。

II 材料および方法

1. 点群データの取得手法

点群取得には、3次元レーザースキャナ (3D Laser Scanner GLS-2000, TOPCON Positioning) を適用した。測定手法は器械点・後視点法であり、レーザを射出、ターゲットから反射したレーザを検知してその飛行時間から距離を算出するものである (TOF: Time-of-Flight Method)。算出された数値は X, Y, Z 座標と反射強度を持った点群として記録される。

本実験では測定距離が 130m (反射強度 90%)、測定範囲は垂直角 270° 水平角 360° で分解能は 10m 先の点間ピッチが 12.5mm となるように設定した (TOPCON Positioning, 2018)。また 3次元レーザースキャナの特徴

により、対象物の後方は測定されないため、1本の樹木について最低3箇所の器械点が必要である (Gärtner et al., 2006)。本試験では器械点を図1に示すように8点配置した。供試樹木の樹間間隔は最小 2.0m から最大 4.3m であり、構造は 2本仕立て 12本、3本仕立て 2本で合計 14本であった。平棚の地上高は最低 1.4m、最高 1.7m であった。

点群データから差分を正確にとるためには3次元レーザースキャナが同じ地点に設置される必要があるが、三脚による測定では地表の凹凸や地表が膨軟であるため固定が難しい。そこで本研究は図2に示すように土台となる観測用プレートと3次元レーザースキャナを固定するための治具を試作した。計測では観測用プレートを地下 30mm に敷設し、設置高が 100mm の治具をプレートに固定した状態で行った。

点群計測作業は下記の3工程から構成され本研究では器械点を8点設定した。1) 計測領域内にローカルの座標系における原点 (0,0,0) を設定 2) 任意の器械点から原点までの座標計測を行い、ローカル座標を付与 3) 1工程前の器械点にターゲットマーカを設置して任意の器械点からターゲットマーカを座標計測して順にローカル座標を付与する。

点群データ合成は点群処理ソフトウェア (MAGNET Collage, TOPCON Positioning) を用いてローカル座標データを統合することで複数の計測結果を同じ座標系に描画し、csv形式で保存した。

2. 樹木抽出手法

収集した点群データには地表や平棚栽培の棚を構成する鋼線 (以下、ワイヤ)、微小ノイズなどが含まれることから樹木のデータのみを抽出する必要がある。そこで開発した樹木抽出アルゴリズムは (1) 点群データのグリッド化、(2) 地表の点群除去、(3) ワイヤ除去、(4) 微小ノイズ除去の4段階で構成した。

(1) 点群データのグリッド化

Kwak ら (2014) はデジタル建築モデルを作成するため、不規則な点群データの境界から、全ての建築を含む

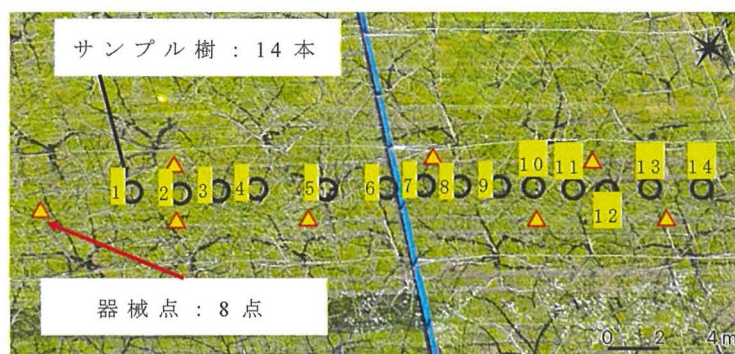


図1 サンプル樹と器械点の配置

Fig. 1 Arrangement of sample trees and occupied points

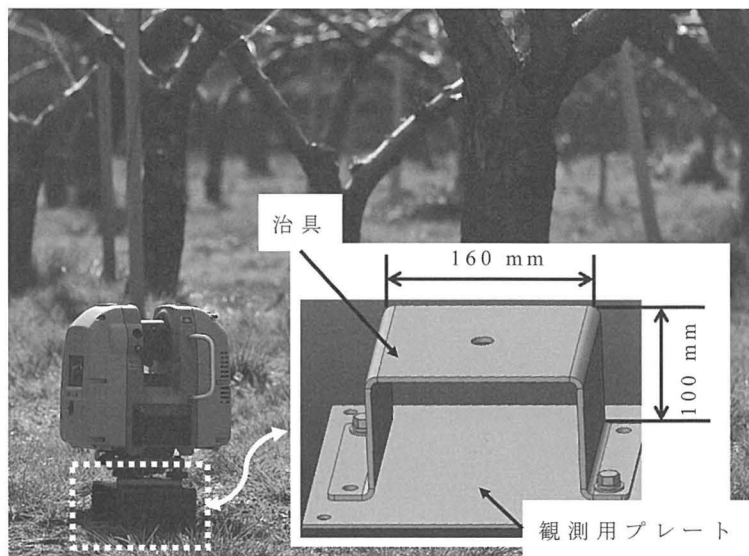


図 2 定点観測のための 3次元計測装置の設置用治具

Fig. 2 Installation jig of a 3D laser scanner for stationary measurement

境界を生成するため Minimum Bounding Rectangle (MBR) を適用して最小面積の長方形を作成した (Chaudhuri et al., 2007)。本研究では樹木抽出アルゴリズムで参照する点数を削減して計算量を軽減するため、点群処理前に MBR を適用した。

点群データから XY 座標を取り込んで XY 平面で任意のメッシュで区切り、グリッドごとに点群処理 (以下、グリッド化) を行った。X 軸方向の終端座標を α (X の最小値, Y の最小値) と Y 軸方向の終端座標を β (X の最大値, Y の最大値) から MBR の境界を定義した。

図 3 に示すようにグリッド化アルゴリズムは変数を a = 「X の最小値から X の最大値まで k ずつ増えるリスト」、 b = 「Y の最小値から Y の最大値まで k ずつ増えるリスト」、 k = 「生成するグリッドサイズ (m)」、 p = 「点 (X, Y) 座標のリスト」と定義し、本研究では $k=2$ m を適用した。さらに α を原点にする MBR 内に $k \times k$ サイズのグリッドを β まで生成した。最後に各グリッドの MBR [α, β] 範囲から ($\alpha < p < \beta$) を満足した点を区切り保存した。

(2) 地表除去アルゴリズム

点群データには斜面や起伏を含む地表部の要素が多く含まれ、地面情報をトリミングする際に高さにしきい値として一意に除去することは難しい。そこで本研究では図 4 に示す地表除去アルゴリズムを開発した。園全体をメッシュサイズ 2×2 m でグリッド化し、各グリッド内の点群における Z 座標の最小値 (Z_{\min}) を探索する。実験ほ場では 2×2 m 内に 0.5m 以上の地面の凹凸がなく、かつ抽出対象である主枝・徒長枝なども存在しないことから Z_{\min} に 0.5m を加算した高さをしきい値としてグリッド内の地表成分の除去を行った。

(3) ワイヤ除去アルゴリズム

反射強度はレーザー光の強さを示す値であり、材料の反射特性、入射角、被写体までの距離によって異なる。しかしレーザー光の反射は異なる物体であっても同様な反射強度を持つ場合があり、物体の分離は難しいと報告されている (Kim et al., 2011; Song et al., 2002)。本研究では人工物として園内に存在するワイヤを反射強度から識別できるかどうか評価するために、ワイヤの点群を抽出し反射強度の分布 (256 段階) を求めた。開発したアルゴリズムは図 5 に示すように、まず計測データからワイヤ (鋼線, 直径 3.2mm) の点群サンプルを取得して反射強度を変数 i と設定し、 i の頻度分布を求め、ワイヤ点群の判断領域になる i の最小値 (i_{\min}) と最大値 (i_{\max}) を決定した。最後に収集した点群データのうち i_{\min} , i_{\max} 間の反射強度を持つ点群を除去することでワイヤ除去処理とした。

(4) 微小ノイズ除去アルゴリズム

図 6 に示すように Radius Outlier Removal (ROR) のアルゴリズムは点群データから微小ノイズをフィルタリングする手法である。ROR は球の中心点の座標をリスト e に、リスト f は点 e から検索される点と定義した。さらに式 (1) を用いて点 e と f 間の距離 d を求め、球体内部に存在する点をカウントした。 d が検索半径 r 以下となる点の数がしきい値 n 以下の場合、微小ノイズと判断して点群を除去した (Rusu et al., 2011; Ruchay et al., 2019; Raunonen et al., 2013)。

$$d = \sqrt{(x_e - x_f)^2 + (y_e - y_f)^2 + (z_e - z_f)^2} \quad (1)$$

樹冠部の直径は最小 2cm 以上であり、剪定枝の直径は平均 1.4cm であったので実測データを基に r を 1.5cm と設定した。しきい値 n の設定については r の領域

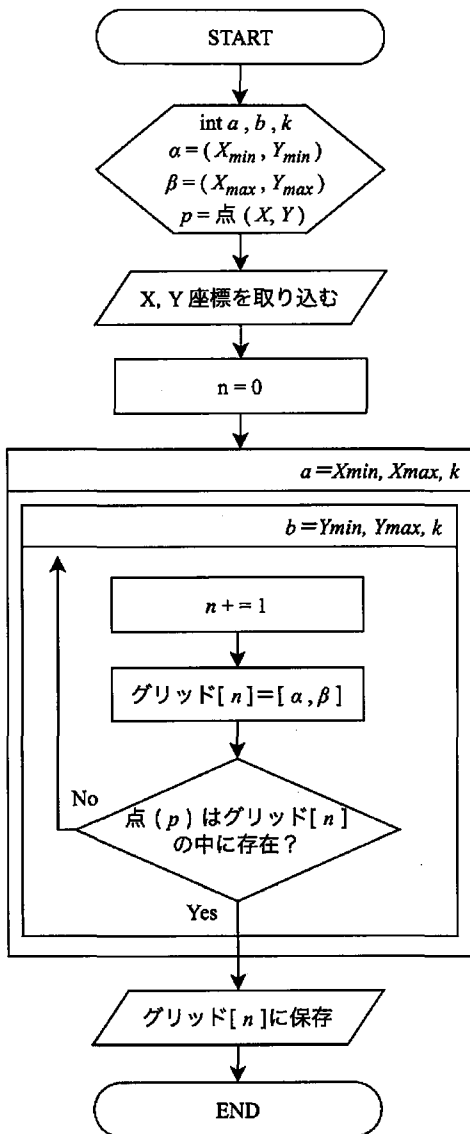


図3 グリッド化アルゴリズム
Fig. 3 Algorithm of create grid

内に存在する点が2点以下のとき微小ノイズと判断できるように $n = 2$ とした。

3. 供試ほ場

供試ほ場（観光農園橋本園，鳥取県：35° 32' 23.5" N 134° 14' 35.1" E, 30a）の14本の樹木を供試材料として点群データの計測に適用した。樹の大小による点群データのバラツキを評価する指標として幹の直径を適用し，各々を計測した結果，図7に示すように9cmから32cmのバラツキを有していた。

III 結果と考察

1. 点群データの取得手法

3.7aの試験区について点群データを収集した結果，図8に示すような合計13,843,644点のデータ取得と器械点毎のデータ合成に成功した。また作業時間は10分/器械

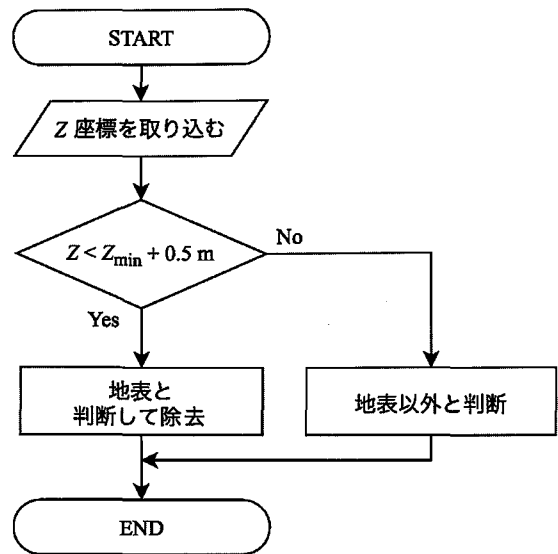


図4 地表除去アルゴリズム
Fig. 4 Algorithm of ground removal

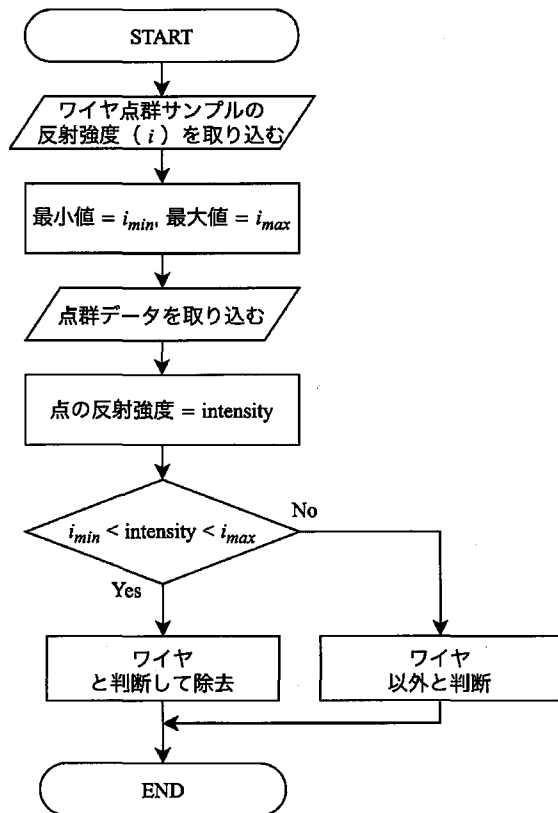


図5 ワイヤ除去アルゴリズム
Fig. 5 Algorithm of wire removal

点と3脚での測量に比べて3倍程度効率化された。

2. 樹木抽出アルゴリズムの処理結果

(1) グリッド化アルゴリズムの適用結果

実験区の点群データは図9に示すように点 α (0,0) か

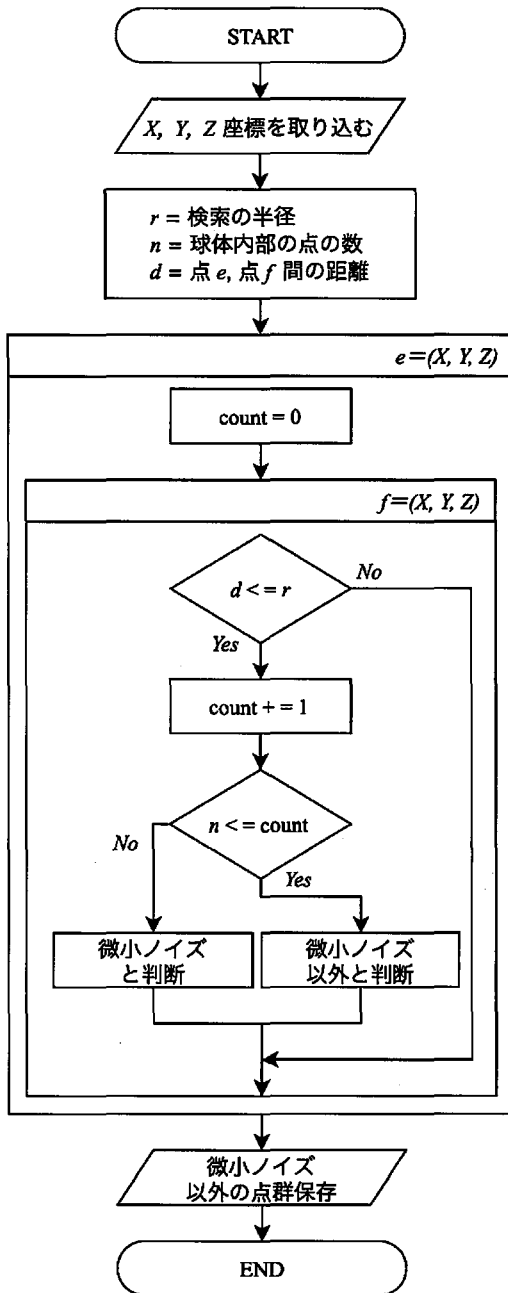


図 6 微小ノイズ点除去アルゴリズム
Fig. 6 Algorithm of micro-noise removal algorithm

ら β (42,10) を範囲として MBR を生成すると、 $2\text{m} \times 2\text{m}$ のグリッド総数が 105 個となり、そのうち点群データが存在したグリッドは 79 個となった。

(2) 地表除去アルゴリズムの適用結果

目視による地表の点群が 8,571,845 点であったのに対して地表除去アルゴリズムで判定した点群は 104% に当たる 8,679,394 点であった。100% を超えた理由は Z 軸の最小値から 0.5m 上部を地表と判定したナシの根元の点群が含まれたためと考えられる (図 10)。

(3) ワイヤ除去アルゴリズムの適用結果

ワイヤの点群の反射強度を分析した結果、図 11 に示

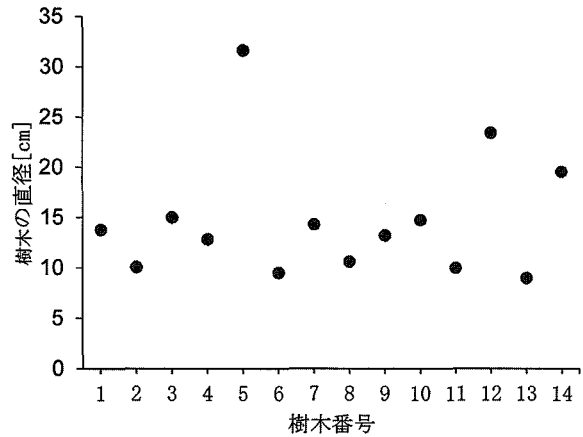


図 7 試験区におけるサンプル樹の直径のバラツキ
Fig. 7 Variability of sample tree diameter in the test site

す分布を示し、ワイヤ全体の 561,348 点数のうち 99% に相当する反射強度 50 をしきい値とした。

しきい値に基づいてワイヤ除去アルゴリズムを適用した結果、ワイヤ 320,010 点が存在したのに対し、318,798 点 (99.6%) が除去された (図 12)。

(4) ROR を適用した微小ノイズ除去結果

ROR フィルタリング適用した結果、ワイヤを除去した点群に微小ノイズ 87,076 点が存在したのに対し、76,322 点 (87.6%) が除去された (図 13 (a))。除去できなかった微小ノイズについて検討した結果、枝と枝の距離が近い領域に存在する点群が除去されにくいことが明らかとなった (図 13 (b))。しかしながら残った微小クラスタの存在が枝の長さ推定等への影響はないと考えられる。

3. 樹木抽出アルゴリズムの精度評価

アルゴリズムの精度評価は取得した点群データをオープンソースの点群処理ソフトウェアである Cloud Compare 2.11.1-Anoia (Girardeau-Montaut et al., 2005) を用いて、目視で樹木抽出した点数と開発したアルゴリズムを適用した点数を比較した。

供試した 14 本のナシにおいて目視での点群数は 3,139,749 点であったのに対し、樹木抽出アルゴリズムは 3,306,239 点と抽出精度は 94.5% となった。樹毎の誤差を比較した場合、枝の外周部など反射強度の低い点群を除去する場合や点密度の高い支柱等の構造物を抽出したことが原因で -14%~198% となったが、構造物は年次変化を起さにくいことから剪定前後の計測による点群の差分をとることにより解消できると考えられる (図 14)。

今後の課題としては微小クラスタによる判定精度を高めるために ROR に加えてアルゴリズムの改良が必要である。

IV 結 言

本研究では、ナシ園の 3 次元点群データ収集方法を確

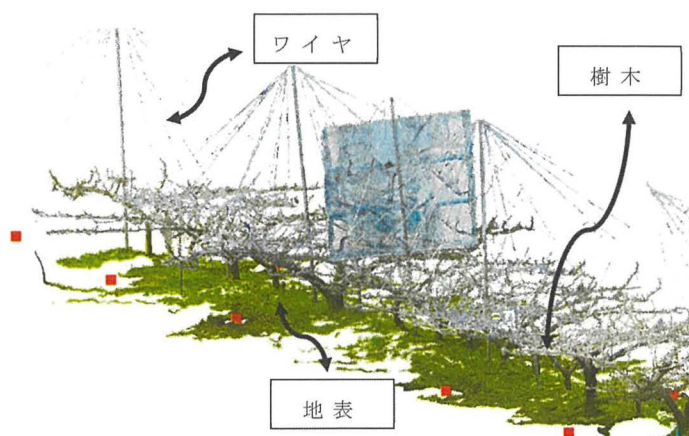


図 8 試験区における取得した点群データ
Fig. 8 Collected point cloud data in the test site

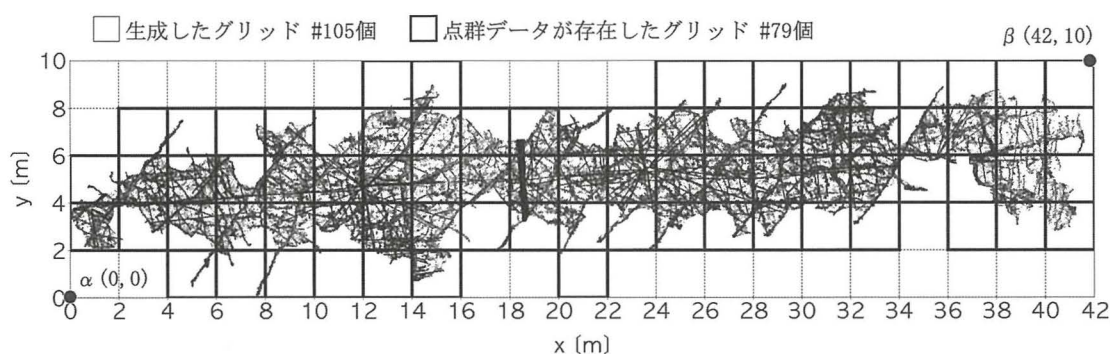


図 9 グリッド化の結果
Fig. 9 Result of create grid

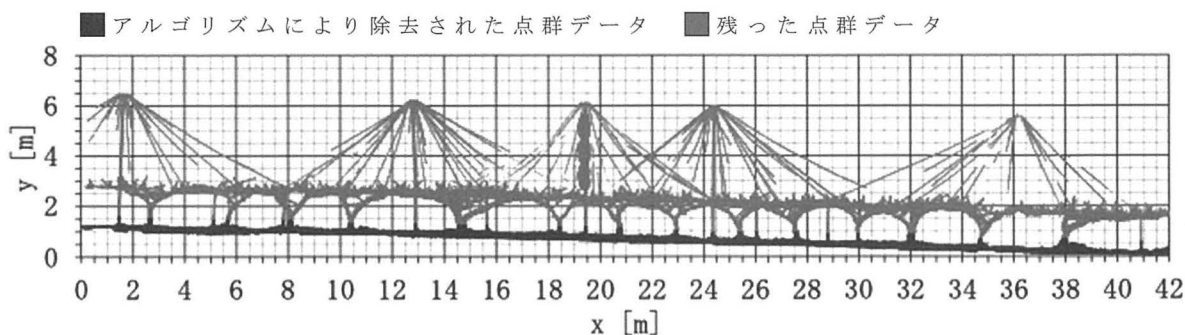


図 10 地表除去結果
Fig. 10 Result of ground removal

立、熟練者の栽培ノウハウを可視化するため、樹木抽出アルゴリズムを開発してデータ処理を行った。実験により以下の結果が得られた。

- 1) 3次元レーザースキャナ計測において器械点の座標を固定する治具を試作し、14本の樹に対して点群収集を行った結果、生成した点群数は13,843,644点となった。
- 2) 樹木抽出アルゴリズムを開発し点群データに適用

した結果、地表、ワイヤ、RORを適用した微小ノイズはそれぞれ100、99.6、87.6%除去され、樹木抽出精度は94.5%であった。

今後は、剪定前後の点群データの差分による徒長枝量の推定・樹勢の強弱判定、さらにGISソフトウェアと連携した生育マップ生成、評価を行う必要があると考えられる。

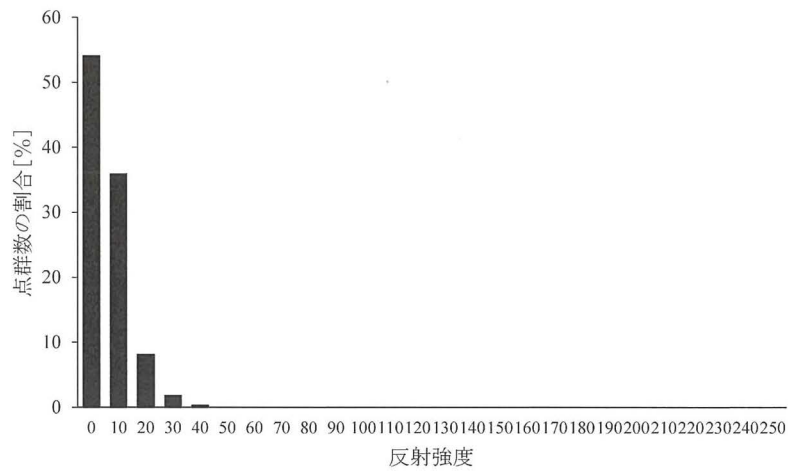


図 11 ワイヤ点群データの反射強度分布

Fig. 11 Histogram of reflective intensity of wire point cloud data

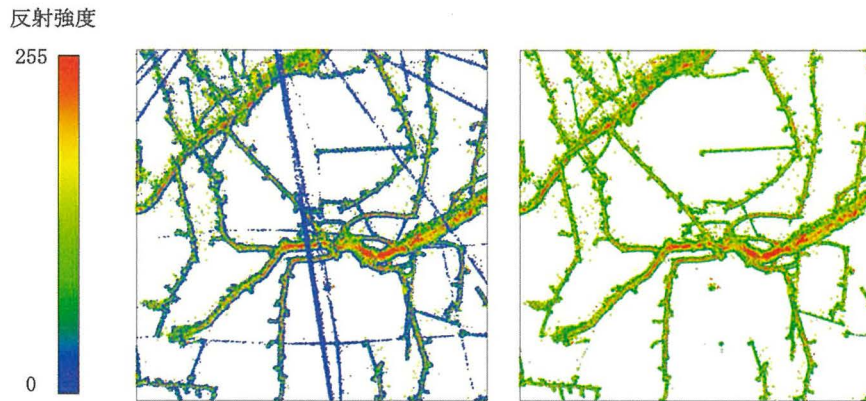


図 12 ワイヤの除去結果：除去前（左），除去後（右）

Fig. 12 Result of wire removal: Original (Left), Wire removed (Right)

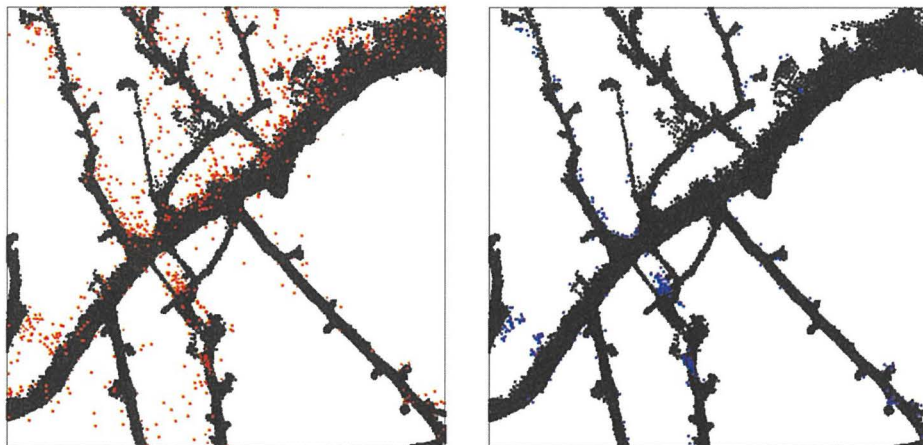


図 13 微小ノイズ除去結果：除去された点（赤），除去されなかった点（青）

Fig. 13 Result of micro-noise removal: Removed points (Red), Not removed points (Blue)

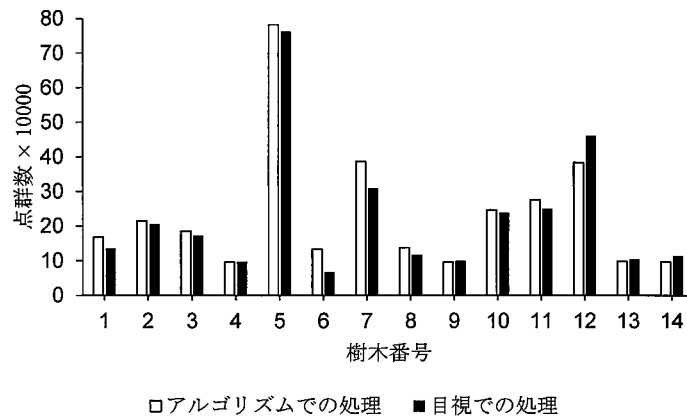


図 14 試験区における樹木抽出アルゴリズムの精度評価

Fig. 14 Accuracy evaluation of tree extraction algorithm in the test site

References

- Chaudhuri, D., Samal, A., 2007. A simple method for fitting of bounding rectangle to closed regions. *Pattern Recognition*, 40 (7), 1981-1989.
- Gärtner, H., Denier, C., 2006. Application of a 3D Laser scanning device to acquire the structure of whole root systems-A pilot study. *TRACE-Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology*, 4, 288-294.
- Girardeau-Montaut, D., Roux, M., Marc, R., Thibault, G., 2005. Change detection on points cloud data acquired with a ground laser scanner. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36 (part 3), W19.
- Kim, S., Hinckley, T., Briggs, D., 2011. Classifying individual tree genera using stepwise cluster analysis based on height and intensity metrics derived from airborne laser scanner data. *Remote sensing of environment*, 115 (12), 3329-3342.
- Kwak, E., Habib, A., 2014. Automatic representation and reconstruction of DBM from LiDAR data using Recursive Minimum Bounding Rectangle. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 93, 171-191.
- 神成淳司, 久寿居大, 工藤正博, 小野雄太郎, 沼野なぎさ, 神谷俊之, 島津秀雄. 2015. AI (Agri-Informatics) に基づく学習支援システムの研究開発 (<特集>人工知能と農業). *人工知能*, 30 (2), 174-181.
- Marinello, F., Pezzuolo, A., Meggio, F., Martínez-Casasnovas, J., Yezeqyan, T., Sartori, L., 2017. Application of the kinect sensor for three dimensional characterization of vine canopy. In: *Advances in Animal Biosciences: Precision Agriculture (ECPA) 2017*, 525-529.
- 農林水産省. 2011. 農林業経営体調査報告書—農林業経営体分類編一. <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00500209&tstat=000001032920&cycle=0&tclass1=000001038546&tclass2=000001045941&tclass3=000001046444&tclass4val=0>. Accessed Oct. 30, 2020.
- 農林水産省. 2016. 農林業経営体調査報告書—農林業経営体分類編一. <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00500209&tstat=000001032920&cycle=7&tclass1=000001077437&tclass2=000001077396&tclass3=000001089555&tclass4val=0>. Accessed Oct. 30, 2020.
- 農林水産省. 2020. 令和元年産日本なし, ぶどうの結果樹面積, 収穫量及び出荷量. https://www.maff.go.jp/j/tokei/kekka_gaiyou/sakumotu/sakkyou_kajyu/nasi_budou/r1/index.html. Accessed Oct. 30, 2020.
- Raunonen, P., Kaasalainen, M., Åkerblom, M., Kaasalainen, S., Kaartinen, H., Vastaranta, M., Lewis, P., 2013. Fast automatic precision tree models from terrestrial laser scanner data. *Remote Sensing*, 5 (2), 491-520.
- Ruchay, A.N., Dorofeev, K.A., Kalschikov, V.V., 2019. Accuracy analysis of 3D object reconstruction using point cloud filtering algorithms. *Proceedings of the 5th Information Technology and Nanotechnology*.
- Rusu, R.B., Cousins, S., 2011. 3d is here: Point cloud library (pcl). In *2011 IEEE international conference on robotics and automation*, 1-4.
- Song, J.H., Han, S.H., Yu, K.Y., Kim, Y.I., 2002. Assessing the possibility of land-cover classification using lidar intensity data. *International archives of photogrammetry remote sensing and spatial information sciences*, 34 (3/B), 259-262.
- TOPCON Positioning, 2018. GLS-2000 カタログ. https://www.topcon.co.jp/positioning/products/pdf/GLS-2000_J.pdf, Accessed Oct. 30, 2020.
- 末永 聡. 2009. 農林水産業とナレッジマネジメント. *農業経営研究*, 46 (4), 8-16.
- 山田 稔. 1983. ナシ作技術の展開と経営発展に関する研究. *千葉大学園芸学部学術報告*, 32, 81-91.
- (受付: 2020年12月28日・受理: 2021年5月1日・質問期限: 2021年9月30日)