

## 植物の成長を時系列で直感的に理解するための3D可視化技術の開発 Development of 3D Visualization Technology for Intuitive Understanding of Plant Growth Over Time

高橋 虹太<sup>†</sup> 和田 直史<sup>†</sup> 松本 拓<sup>†</sup> 竹沢 恵<sup>†</sup> 稲垣 潤<sup>†</sup> 七夕 高也<sup>‡</sup>  
Kota Takahashi Naofumi Wada Taku Matsumoto Megumi Takezawa Jun Inagaki Takanari Tanabata

### 1. はじめに

近年、作物の生育状況や栽培環境を定量的に把握して生産効率や品種改良に結び付ける精密・スマート農業が注目を集めている [1]. この実現には、環境条件ごとに得られる膨大な成長データを網羅的に取得・解析し、作物の生理機能との関係を解明することが欠かせない。デジタル画像を利用する植物フェノタイピングはその有力な手段であり、多視点撮影システムで大量の植物画像を収集して解析に利用する研究が報告されている [2].

一方で、フェノタイピングによって蓄積した大規模画像データを、他分野へ応用しようとする動きも活発になっている。本研究は、時系列で取得した2次元画像群から植物の3次元モデルを再構成し、その成長過程を視覚的に観察できるシステムの構築を目的とする。著者らはこれまで Structure from Motion (SfM) + Multi-View Stereo (MVS) [3, 4] や Neural Radiance Fields (NeRF) [5] による3次元化を検討してきた [6, 7]. 本稿では、新たに Gaussian Splatting [8] を導入して高精細な3次元モデル生成を試みた結果を報告する。また、生成したモデルをVR空間に表示し、日付を切り替えながら成長を連続的に観察できるプロトタイプを実装した。

### 2. 提案システム

#### 2.1. 概要

提案システムを構成する処理の流れを図1に示す。まず、多視点画像を取得し、得られた画像に対して背景除去の前処理を行う。次に、Gaussian Splatting を用いて高精細な3次元モデルを生成し、最後に3次元モデルをVR空間に配置して可視化する。以下、各処理について詳述する。

#### 2.2. 多視点画像の取得

本研究では、先行研究 [2] で開発された多視点画像撮影システム (図2) を用いる。本システムは、自動回転ステージ、4台の一眼レフカメラ、およびLEDライトから構成され、背景には青色の布を使用している。この構成により、影や露出ムラの少ない、均一な照明条件下での撮影が可能となる。撮影画像の解像度は、 $6,000 \times 4,000$  画素であり、5度ごとに回転させながら1回の撮影につき288枚の画像を取得する。

#### 2.3. 画像前処理

画像に含まれる背景色 (青色) が3次元モデルに悪影響を与えるのを防ぐため、前処理として背景除去を行う。具体的には、画像をHSV色空間に変換し、色相、彩度、明度がそれぞれ  $100 \leq H \leq 140$ ,  $S \geq 150$ ,  $V \geq 0$  の範囲を背



図1: 提案システムにおける処理の流れ

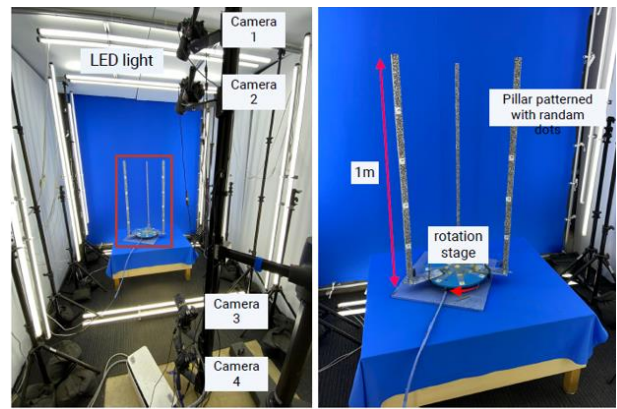


図2: 多視点画像撮影システム [2]

景領域とみなす。背景領域の画素のアルファ値を100 (完全透明) に設定し、それ以外の前景領域のアルファ値を0 (不透明) にすることで背景情報を除去する。

#### 2.4. 3次元モデルの構築

3次元再構成には Gaussian Splatting [8] を使用する。Gaussian Splatting は、多視点画像から高精細な3次元表現を得るためのレンダリング技術であり、視点ごとの画像整合性をもとに処理を行う。まず、画像間の対応点からカメラの位置と姿勢を推定し、対象物の形状を表す疎な3次元点群を生成する。各点には初期の位置と色が与えられる。次に、各点を空間的なガウス分布として定式化し、位置、方向、スケール、輝度を最適化する。最適化は、画像上の再投影誤差を最小化するように行われ、視点の違いをまたいだ整合性が保たれる。この手法により、葉の縁や葉脈といった微細な構造も滑らかかつ高密度に再現でき、植物の複雑な形状を忠実に3次元化することが可能となる。

#### 2.5. 可視化

本システムでは、作成した3次元モデルの可視化方法としてVRを使用する。VRを用いることにより、没入感が得られるだけでなく、至近距離から観察したり (虫の目)、高い位置から俯瞰する (鳥の目) など自由な視点操作が可能となる。また、複数の3次元モデルを時系列でシームレスに表示することにより、植物の成長をより直感的に理解することができる。

<sup>†</sup> 北海道科学大学大学院 工学研究科 情報工学専攻

<sup>‡</sup> 公立千歳科学技術大学 理工学研究科 理工学専攻

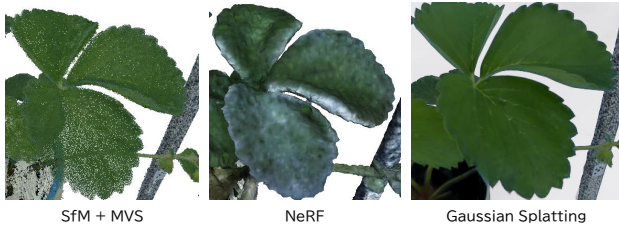


図 3: 各再構成手法による 3 次元モデルの比較

本研究では VR 開発ツールとして Unity を使用し、VR デバイスには Meta Quest3 を使用する。また、Gaussian Splatting で作成したモデルを Unity 上に設置し、VR で表示させるために公開されているツール\*を使用した。

### 3. 実験

#### 3.1. 実験条件

対象植物としてイチゴ苗を用いた。撮影期間は、2023 年 11 月 13 日～2024 年 6 月 20 日であり、2.2 節の撮影システムで撮影された 131 日分の多視点画像を使用した。Gaussian Splatting のイテレーション回数は 30,000、球面調和関数の次数は 3 とした。また、Gaussian Splatting に入力するカメラパラメータと疎な点群は、COLMAP† を用いて作成した。処理時間は、COLMAP による前処理に約 60 分、Gaussian Splatting による再構成処理に約 60 分の計約 120 分を要した。実験に使用した PC の OS は Windows 11 Pro 64bit、CPU は Intel Core i7-13700F、GPU は NVIDIA RTX3060、メモリは 64GB である。なお、使用した 131 日分のうち、Gaussian Splatting による再構成が成功したのは 72 日分であった。

#### 3.2. 3 次元モデルの品質評価

##### 3.2.1. 3 次元再構成手法による品質比較

ここでは、文献 [2] の SfM+MVS を用いて作成した点群データ、および文献 [6] の NeRF (Instant-NGP[9]) を用いて作成したメッシュデータとの品質比較を行った。図 3 に比較結果を示す。図 3 より、SfM+MVS (左) および NeRF (中央) の結果に比べて、Gaussian Splatting (右) の品質が高いことがわかる。特に、葉のエッジや陰影、葉脈などの微細な構造が明瞭に表現されており、実際の植物の見た目に近いテクスチャが再現できている。

##### 3.2.2. レンダリング設定による品質比較

Gaussian Splatting で作成したモデルを Unity 上に表示する際、レンダリング品質の設定が可能である。ここでは、レンダリング設定を Low Quality および High Quality に設定し、品質を比較した。結果を、図 4 に示す。図 4 より、High Quality は Low Quality に比べて葉脈や鉢のテクスチャの視認性がわずかに向上するものの、その差はわずかであり、Low Quality でも十分な品質が得られていることがわかる。また、レンダリング後のファイルサイズは、High Quality が約 245MB であるのに対し、Low Quality が約 20MB であった。したがって、本システムでは、表示負荷やメモリ消費量を考慮し、Low Quality 設定を採用した。

\*<https://github.com/graphdeco-inria/gaussian-splatting>

†<https://colmap.github.io/>



図 4: Gaussian Splatting におけるレンダリング品質の比較

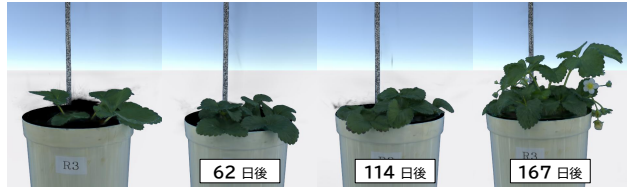


図 5: VR 空間に表示した植物 3 次元モデルの例

#### 3.3. VR による可視化実験

再構成に成功した 72 日分のモデルの中から、約 2 週間間隔で 18 日分を選定し、VR 空間での時系列可視化に使用した。本システムでは、ユーザーが VR 空間内を自由に移動しながら、任意の日付のモデルを切り替えて観察できる (図 5)。これにより、植物の成長過程を視覚的かつ連続的に把握することが可能となった。一方で、モデル間に位置やスケールのずれが生じることで、表示の連続性が損なわれる問題が確認された。今後は、高精度な 3 次元位置合わせや、モデル間差分に基づく補正技術の導入を検討する必要がある。

### 4. おわりに

本研究では、多視点画像から Gaussian Splatting により高精度な 3 次元植物モデルを構築し、VR 空間で時系列に可視化するシステムを開発した。今後は、モデル間の位置整合性の向上や、ユーザ評価に基づくインタラクション設計を通じて、実用性の高い可視化環境の実現を目指す。

#### 参考文献

- [1] 井尻, 他: “コンピュータビジョン最前線 Spring 2023 「イマドキノ植物と CV」,” 共立出版, (2023)
- [2] T. Tanabata et al.: “Development of a Semi-Automatic 3D Modeling System for Phenotyping Morphological Traits in Plants,” *IECON2018*, (2018)
- [3] Schönberger et al.: “Structure-from-Motion Revisited,” *CVPR*, (2016)
- [4] Seitz et al.: “A Comparison and Evaluation of Multi-View Stereo Reconstruction Algorithms,” *CVPR*, (2006)
- [5] Mildenhall et al.: “NeRF: Representing Scenes as Neural Radiance Fields for View Synthesis,” *ECCV*, (2020)
- [6] 高橋, 他: “没入型植物成長観察システムのための 3 次元点群データ XR 可視化手法の検討,” 令和 6 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, (2024)
- [7] 高橋, 他: “NeRF を用いた植物の 3 次元再構成における画像前処理の影響評価,” 令和 6 年度 IEICE 北海道支部学生会インターネットシンポジウム, (2025)
- [8] Kerbl et al.: “3D Gaussian Splatting for Real-Time Radiance Field Rendering,” *SIGGRAPH*, (2023)
- [9] Müller et al.: “Instant Neural Graphics Primitives with a Multiresolution Hash Encoding,” *SIGGRAPH*, (2022)