

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 28 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K06316

研究課題名（和文）三次元計測と三次元モデルを用いた植物形状の定量的評価手法の開発

研究課題名（英文）Development of a Method for Quantitative Evaluation of Plant Shape Using 3D Measurement and 3D Models

研究代表者

岡山 毅（Okayama, Tsuyoshi）

茨城大学・農学部・教授

研究者番号：90575226

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、3次元計測技術とコンピュータグラフィックス（CG）を組み合わせ、イチゴの成長や形状を定量的に評価する方法を開発した。深度センサとフォトグラメトリを用いてイチゴの3次元データを収集し、リアルな3次元モデルを構築。深度センサは夜間でも計測可能だが、細かい形状の再現やオクルージョンの問題があり、フォトグラメトリは多角度からの撮影で詳細な形状を捉え、色情報も取得可能。パラメトリックモデルとリギングモデルを用い、実際の植物と合致する形状調整を行い、植物の動的な表現を可能にした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

この研究の学術的意義は、イチゴ植物を対象に、深度カメラとフォトグラメトリ技術を用いて3次元計測を行い、それぞれの手法の計測結果を比較検討し特性を評価した点と、その3次元情報を基に、イチゴ植物の動的3次元モデルを開発したことである。3次元モデルは、植物の成長プロセスやストレス応答を視覚的に理解するための新たなツールとなり得る。社会的意義としては、水ストレスの早期検出技術が農業生産の効率化に寄与し、持続可能な農業の実現を促進する。また、この技術は教育と研究の向上にも貢献し、学术界や産業界における新たなコラボレーションの機会を提供する。

研究成果の概要（英文）：This study developed a method to quantitatively evaluate the growth and morphology of strawberries by combining 3D measurement technology with computer graphics (CG). We collected 3D data of strawberries using depth sensors and photogrammetry and constructed realistic 3D models. While depth sensors can measure even at night, they have issues with fine shape reproduction and data acquisition obstructions caused by occlusions. On the other hand, photogrammetry captures detailed shapes from multiple angles and also gathers color information, enabling the construction of more realistic 3D models. We used parametric and rigging models to adjust the shapes to match actual plants, enabling dynamic representation of the plants.

研究分野：農業環境工学

キーワード：3次元計測 3次元点群 イチゴ 深度センサ パラメトリックモデル フォトグラメトリ

1 研究開始当初の背景

2010年に Kinect (Microsoft 社製) に代表される安価な深度センサ (3次元カメラとも呼ばれる) が発売されて以降、3次元計測のハードルが劇的に低下し、農業分野においても3次元計測の利用例が増えてきた。しかしながら、計測された3次元情報の解析手法については植物や動物が剛体でなく動きがあること、また植物においては基本的に生長に伴い形状の複雑さが増していくなど、困難な要因が多いため十分に整備されているとは言い難い。一方で、ゲームや映画などのエンターテインメント業界で利用されるコンピュータグラフィックス (CG) 技術の進歩が著しく、植物のような複雑な対象でも、本物と見分けがつかないほどの描画が可能になっている。これらの技術を活用すれば、植物の生長や環境応答を動的に表現することが可能と思われる。

2 研究の目的

そこで本研究では、日本の代表的な果実の野菜であるイチゴを対象とし、深度センサとフォトグラメトリ (多数の異なる位置から対象物を2次元画像で撮影し、画像に含まれる情報から3次元モデルを構築する手法) という2種類の代表的な3次元計測手法を検討するとともに、実際に計測した3次元情報とCG技術を用いて、葉の枚数・位置・向き・巻き具合など作物の状態を定量的に評価する手法の開発を行うことを目的とした。

3 研究の方法

3.1 屋内栽培方法

安定した3次元情報を取得するためには光環境は安定していることが望ましいため、屋内栽培実験を行った。栽培人工光を光源 (LED植物育成ライト、MORSEN社、PPFDは植物直上で約 $450 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) を用いた。ワグネルポット (1/5000a、アズワン) を6個用意し、それぞれに育苗培土 (BVB培土、トヨタネ) を充填し、ポットに1株ずつ定植した。ランナーは適宜除去した。明暗周期は12時間/12時間とし、空調機の温度設定を25℃、湿度とCO₂はなりゆきとした。深度センサおよびフォトグラメトリともに同様の環境条件下で計測した。

3.2 深度センサによる3次元計測

深度センサ (RealSense D415、Intel社製) を植物群の斜め上方に設置し、10分ごとにデータを収集した (図1)。



図1 深度データによる3次元計測風景

3.3 フォトグラメトリによる3次元計測

およそ1日おきに、一眼レフカメラ (EOS80D, Canon; EF-S18-135mm F3.5-5.6 IS USM 焦点距離を18mmに固定) を用いて手持ちにて斜め上方から約200枚程度 (6000×4000画素、JPEG形式) の画像を撮影し、写真測量ソフトウェア (Pix4Dmapper, Pix4D, スイス) を用いてイチゴの3次元点群を取得した。カメラの撮影位置とアングルを図2示す。

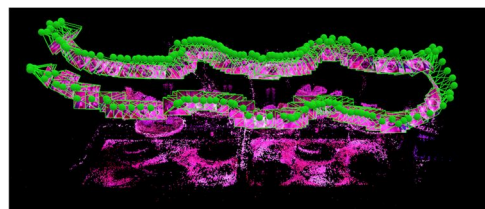


図2 イチゴ群落の写真200枚を角度を変えながら撮影。

3.4 3次元モデルの構築

3.4.1 パラメトリックモデル

パラメトリックモデルとは、パラメータを調整することによって形状を定量的に調整可能なモデルのことを指す。植物は環境条件に対応して生長を制御するが、基本的には決められた法則によって生長する。たとえばイチゴの場合は、葉は通常3枚の小葉および葉柄からなり、2/5の葉序で冠部に着生する。このように遺伝的に決定される法則を基本としながら、実測された3次元情報と合致するように、そのパラメータを調整することで、植物の状態を定量的に評価することが可能なモデルを目指す。

3.4.2 リギングモデル

リギングモデルとは、メッシュモデルにリグと呼ばれる骨組みを入れるものである。計測した点群をメッシュモデル化し、メッシュモデルにリグを挿入してリギングモデルにするこ

とでよりリアルな表現が可能である。

4 研究成果

4.1 3次元情報の取得

4.1.1 深度センサによる3次元計測

深度センサによる得られた3次元点群例を図3に示す。今回計測に用いたD415の3次元計測手法は、2つのカメラを用いたステレオビジョンに加えて、赤外線ドットパターンを補助的に用いるため、テクスチャが取得できない夜間においてもやや点の数が減少するものの、3次元計測が可能であった。ただしD415を用いた場合、得られる点群データに含まれる点の数はセンサ素子のピクセル数から $1280 \times 720 = 921,600$ 個となり、植物群落のような複雑な形状を表現する場合、この点数では十分とは言えない。また、波状のノイズもあり、それが細かい形状の再現の障害となっていた。さらに1方向からの撮影の場合は、オクルージョン(後ろの物体が手前の物体に隠されてしまうこと)により、データを取得ができていない部位も多い。対象をワンショットで動的に撮影できるという利点は大きいですが、植物の詳細な状態を計測する場合には課題が残る。



図3 深度センサにより得られた点群例。明期(左)、暗期(右)

4.1.2 フォトグラメトリによる3次元計測

フォトグラメトリによる点群例を図4に示す。深度センサを用いて得られた点群と比較し、植物の詳細な部分まで計測できている。また、様々な角度から撮影された多数のカラー画像を用いるので、オクルージョンで計測できない部分も少ない。カラー画像をもとに3次元計測を行うので、夜間に点群を取得できない。また、現時点では人の手によって周囲から撮影するため、自動化もしくはは短期間で撮影をするためには、レールを設置してカメラを移動させたり、多数のカメラを用いる必要がある。なお、フォトグラメトリにより得られた点群のほうがイチゴ植物の形状を詳細に表現できているため、モデル構築の基礎データとしては、フォトグラメトリにより得られた点群を用いる。

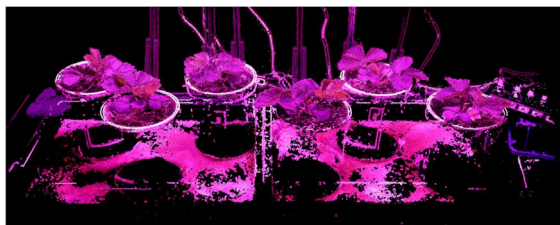


図4 フォトグラメトリにより得られた点群例。

4.2 3次元モデルについて

4.2.1 パラメトリックモデル

パラメトリックモデルとして1枚の葉の作成方法を図5に示す。主脈の長さ、葉脈の長さの設定、主脈と葉脈の角度の設定、葉の巻きを設定などのパラメータを設定しながら、形状を決定できる。同様に3枚の葉を作成し小葉とした(図6)。パラメータを調整することにより、図7のようにしおれによる葉の巻きなどを動的に表現可能である。

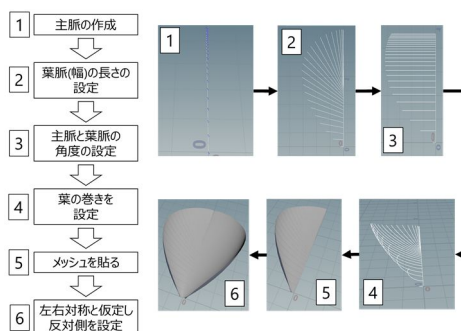


図5 葉の作成手順

4.2.2 リギングモデル

ゼロから生成するパラメトリックは形状の自由度が高いものの、現実に近い形状に近づけるためには、パラメータの設定が膨大になるという問題がある。そこで、フォトグラメトリにより取得されたリアルな形状のメッシュモデルを活用した。このメッシュモデルにリグを装入し、ウェイト(リグに対してどれだけメッシュが追従するかを決定する係数)を設定することで葉の巻きなどの動きを表現可能である(図8)。

4.3 まとめ

この研究では、3次元計測技術とコンピュータグラフィックス(CG)を組み合わせ、イチゴの成長や形状を定量的に評価する手法の開発を試みた。具体的には、Intel社製のRealSense D415深度センサとフォトグラメトリを使用し、イチゴの3次元データを収集し、これを基に3次元モデルを構築している。深度センサはステレオビジョンと赤外線ドットパターン

を利用し、夜間でも 3 次元計測が可能であるが、細かい形状の再現やオクルージョンによるデータ取得不足の問題がある。一方、フォトグラメトリは多角度からの撮影により詳細な形状を捉えることができ、色情報も取得できるため、よりリアルな 3 次元モデル構築が可能である。研究では、パラメトリックモデルとリギングモデルを用いて、実際の植物と合致するように形状を調整し、植物の動的な表現を可能にしている。開発したいずれの 3 次元モデルも、植物の成長プロセスやストレス応答を視覚的に理解するための新たなツールとなり得る。社会的意義としては、水ストレスの早期検出技術が農業生産の効率化に寄与し、持続可能な農業の実現を促進する。また、この技術は教育と研究の向上にも貢献し、学术界や産業界における新たなコラボレーションの機会を提供する。

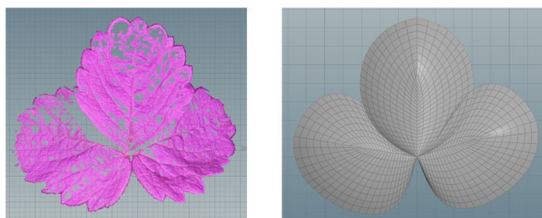


図 7 3次元計測した小葉（左）とCGで作成した小葉（右）

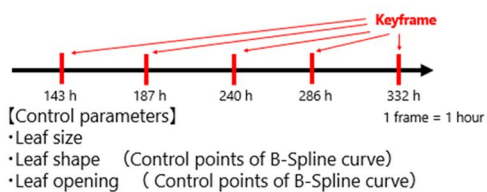
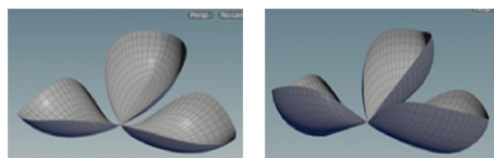


図 6 3次元モデルの動的表現

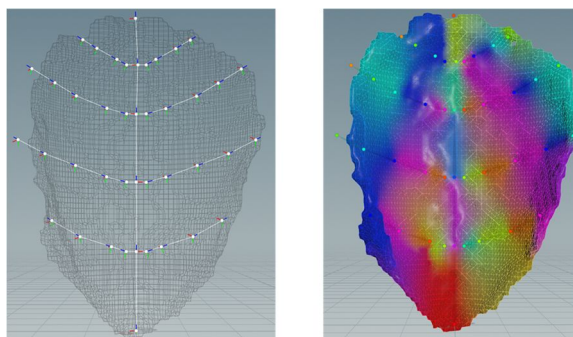


図 8 計測した葉に設定したスケルトンとスケルトンに対するウェイト

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

| |
|--------------------------------|
| 1. 発表者名 岡山毅・望月佑哉 |
| 2. 発表標題 点群から推定するイチゴ成長モデルの提案 |
| 3. 学会等名 第80回農業食料工学会年次大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--------------------------------|
| 1. 発表者名 岡山 毅・望月佑哉 |
| 2. 発表標題 点群から推定するイチゴ成長モデルの提案 |
| 3. 学会等名 第79回農業食料工学会年次大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名 岡山 毅・古谷駿介・西脇淳子・望月佑哉 |
| 2. 発表標題 深度センサを用いたイチゴの水ストレス応答計測 |
| 3. 学会等名 日本農作業学会2021年度春季大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|---|------------------------------------|----|
| 研究分担者 | 望月 佑哉 (Mochizuki Yuya) (30805007) | 茨城大学・農学部・講師 (12101) | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|