

卒業論文

リンゴ樹木の三次元点群からの  
果実点群抽出法と検出精度

2025 年 3 月

岩手大学理工学部システム創成工学科  
電気電子通信コース

三浦研究室 田中 悠

## 概要

近年における農業人口は減少の一途を辿っている。本研究室では、マイクロ波計測によって得られる誘電率を使用したリンゴ果実の生育状況の推定や屋外での非破壊によるリンゴ果実の全数評価、三次元点群を利用したリンゴ果実の着果位置推定などを行い、果樹農業における生産性の向上や省力化の実現を目指している。

本研究では、三次元点群として得られたリンゴ樹木のデータに対してリンゴ果実点群のみを抽出するアルゴリズムを提案、実装した。先行研究で懸念されていた検出漏れや誤検出といった推定誤差を減らし、より高精度なリンゴ果実三次元点群を取得することが可能となれば、摘果作業における個体選定の自動化や個体別収穫時期の最適化の実現に繋がる。

提案手法により、リンゴ果実三次元点群の検出漏れを最小で 20.5%, 誤検出を最小で 7.2%, 検出漏れと誤検出の和を最小で 43.2%という結果を達成した。

本論文中の記号・略語・単位の説明

記号	単位	説明
LiDAR		Light Detection and Ranging

## 目次

### 第1章 序論

#### 1.1 研究背景

#### 1.2 研究目的

#### 参考文献

### 第2章 データの取得

#### 2.1 はじめに

#### 2.2 三次元点群の取得

#### 2.3 色範囲の決定

#### 参考文献

### 第3章 測定方法

#### 3.1 はじめに

#### 3.2 適用する点群と計算式

#### 3.3 色範囲による抽出法

#### 3.4 クラスタリングを併用した抽出法

#### 参考文献

### 第4章 測定結果

#### 4.1 はじめに

#### 4.2 色範囲による抽出法結果

#### 4.3 クラスタリングを併用した抽出法結果

### 第5章 結論

#### 5.1 結論

#### 5.2 今後の展望

#### 参考文献

## 謝辞

## 付録

# 第 1 章

## 序論

- 1.1 研究背景
- 1.2 研究目的
- 参考文献

## 1.1 研究背景

リンゴ果実の着果位置推定に関する先行研究においては、果実サイズの推定を行うために RGB 画像や RGB-D センサから得られる色情報を活用して果実に対応する点群を抽出する手法が用いられていた。このような従来法では果実表面の特徴的な赤色や黄色といった色相を基に点群を分類し対象果実を他の物体と分離することを試みている。しかし、自然環境下においては、果実が枝葉の陰に隠れている、照明条件や視点の変化によって果実の色が正しく取得できない場合があるといった状況により果実点群の一部が正確に抽出されずに検出漏れが生じる可能性がある。

加えて、葉や枝などの非果実部位が果実と類似した色を呈しているケースでは誤ってそれらを果実点群として分類してしまう誤検出が発生する。このような検出精度の低下は点群全体の形状を歪める原因となり、特に果実サイズの過小または過大評価といった推定誤差を引き起こす要因となる。また、果実の一部が抽出対象から漏れる場合、体積や直径といった幾何的指標の算出において実際のサイズを大きく下回る結果をもたらすことがある。

以上のように、色情報のみに依存した点群抽出には限界があり、検出漏れや誤検出がサイズ推定の精度に与える影響は無視できず、より高精度な果実抽出法の検討が必要とされている。

## 1.2 研究目的

本研究では、前述のような色情報に基づく果実点群抽出において懸念される誤検出および検出漏れの課題を克服することを目的として、リンゴ樹木から取得された三次元点群データに対して枝や葉、背景などの非果実点群を効果的に除去し、可能な限り果実点群のみを正確に抽出するアルゴリズムの検討を行った。

#### 参考文献

- [1]農林水産省,「スマート農業の展開について」, <https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/>
- [2]田中俊輝,「位置情報を変数とする果実糖度の曲面回帰に関する検討」岩手大学  
卒業論文(2023)



## 第 2 章

### データの取得

- 2.1 はじめに
- 2.2 三次元点群の取得
- 2.3 色範囲の決定
- 参考文献

## 2.1 はじめに

本章では、3D スキャンによるリンゴ樹木の三次元点群の取得方法とそれによって得られた色情報をもとに提案手法に利用可能な色範囲の決定方法について述べる。使用する機材やアプリがどのような方法で三次元点群を取得しているか、データの範囲をどのような理由から決定しているかについて解説する。

## 2.2 三次元点群の取得

2024年に岩手大学農学部附属寒冷フィールドサイエンスセンター滝沢農場の‘はるか’を1樹供試し実測と三次元点群の取得を行った。

農場において、図 2.1 の範囲内の主枝付近を対象に iPhone 15 Pro (Apple, USA)を用いてリンゴ樹木のスキャンを実行した。スキャンには Scaniverse - 3D Scanner (Toolbox AI, Inc)を使用し、LiDAR およびフォトグラメトリの両手法によって三次元点群を取得した。点群の取得は無風時に 0.5m から 1.0m ほどの距離を保ちながらアプリを起動した機材を対象に沿うように向けて行った。取得したスキャンデータはアプリ内の area 処理を施し(図 2.2)、樹木点群の一部(果実 3 個、枝、葉)に対して抽出法を適用した(図 2.3)。

樹木の三次元点群を取得した後、適熟期に収穫されたリンゴ果実（品種：はるか）22 個に対しても同様に点群取得を行った。

iPhone 15 Pro には、背面カメラモジュール内に近赤外線を用いた ToF (Time-of-Flight) 方式の LiDAR センサが搭載されている。ToF 方式 LiDAR とは、パルス状の赤外線レーザーを照射し、物体表面からの反射光が戻ってくるまでの時間を計測することで、対象物までの距離を高精度に算出する技術である。また、iPhone の LiDAR 点群は、RGB カメラの色情報とリアルタイムに統合されることで、RGB-D データとして出力することも可能である。これにより、環境の三次元構造とテクスチャ情報を同時に保持した形で三次元点群の取得が可能である。



図 2.1 岩手大学農学部附属寒冷フィールドサイエンスセンター滝沢農場で撮影した  
‘はるか’1 樹

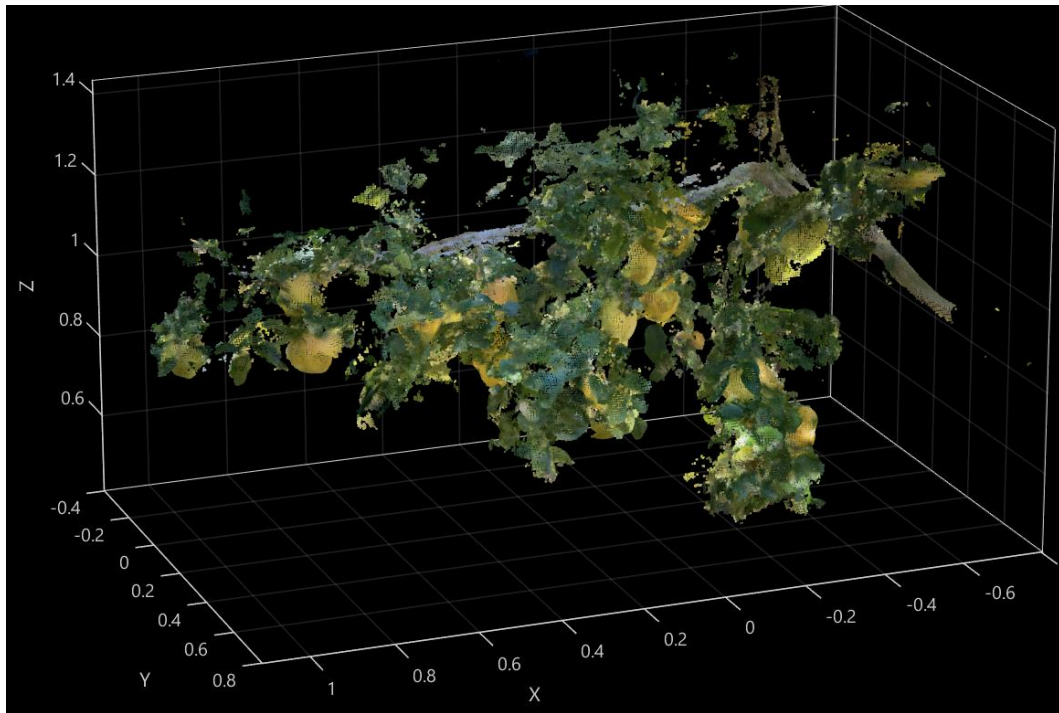


図 2.2 図 2.1 の範囲内のリンゴ果樹点群

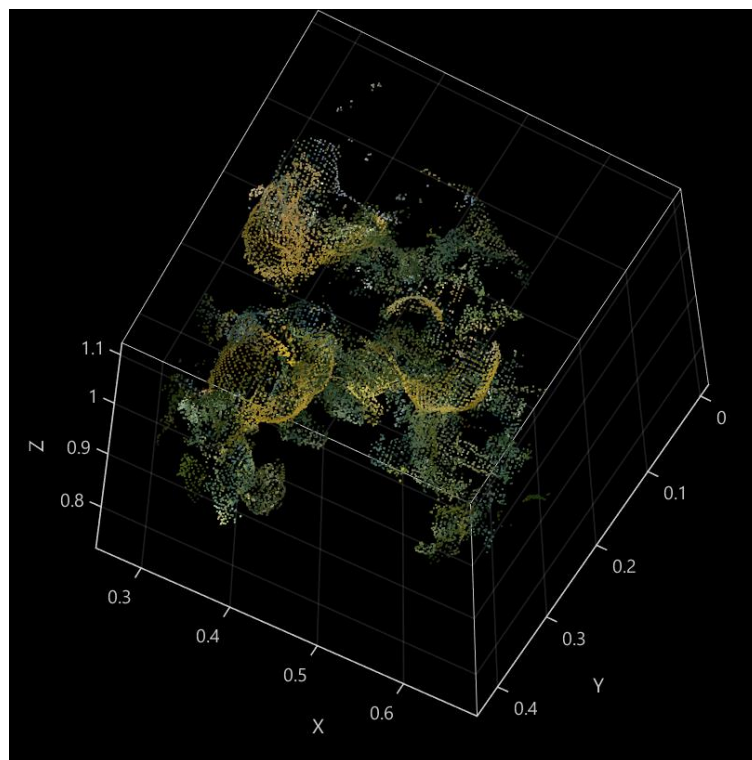


図 2.3 リンゴ果実，枝，葉が含まれたターゲット点群



### 2.3 色範囲の決定

2.2 におけるリンゴ果実 22 個から取得された点群データ(以下「サンプル」)には、RGB 色情報および形状情報が含まれており、これらを解析に用いた。点群に含まれる色情報のうち出現頻度が低い色を除外する目的で、図 2.4 に示すように全サンプル点群における各 RGB 値の出現割合を算出し、全点数の 10%未満にしか現れない色に対応する点を除去した。図 2.5 は除去後のサンプルの一例である。

この処理後の 22 サンプルの RGB 値に対し、値の分布範囲が最も広い色チャネルの組み合わせ(W)、次に広い組み合わせ(W1)、最も狭い組み合わせ(N)、その次に狭い組み合わせ(N1)の 4 種類の色空間範囲を定義し、それぞれを 22 サンプルの元データに適用することで、色の出現頻度が低い点群を除去した。図 2.6 はサンプルにおける R 色情報の色空間範囲の一例である。図 2.7 はサンプルの一つに W 色範囲と N 色範囲を適用した図である。

これらの処理は、果実の表皮色の分布から大きく外れると推測される色範囲を統計的に同定し、計測環境に由来する外乱や異物による影響を最小化することを目的としている。

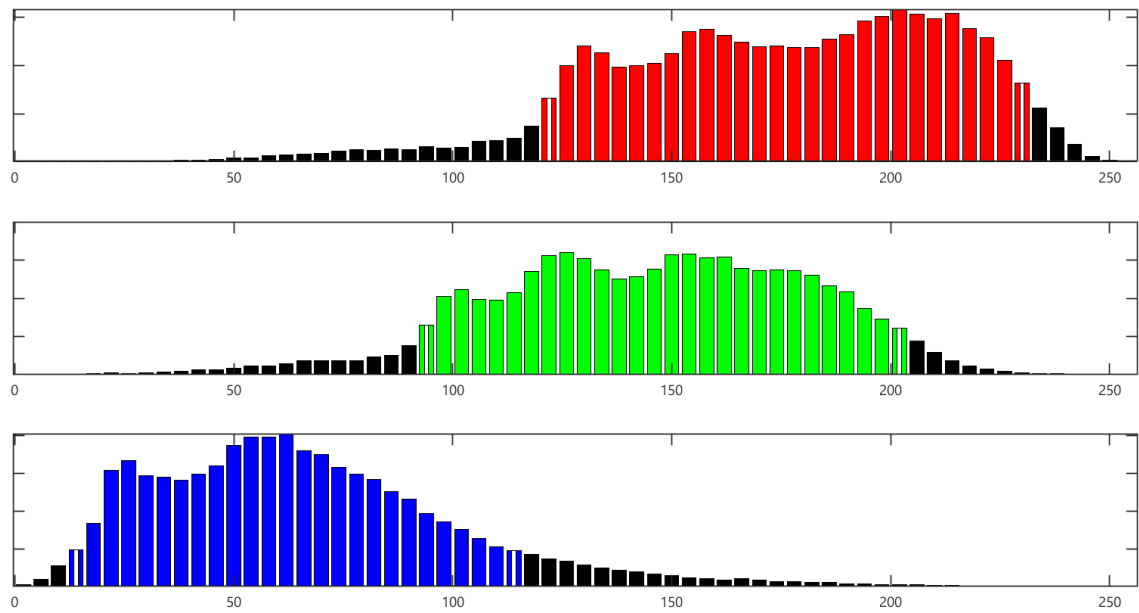


図 2.4 全点群の内 90%を占める点群の色範囲

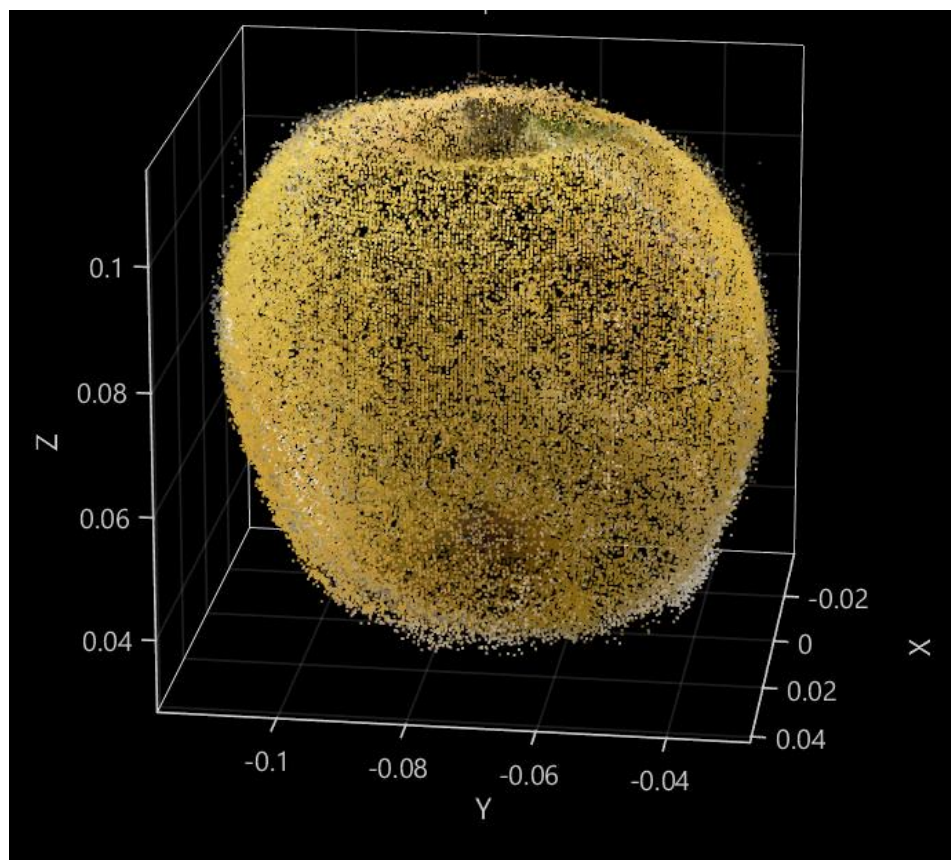


図 2.5 低頻度の色範囲を含む点を除去したサンプルの一例

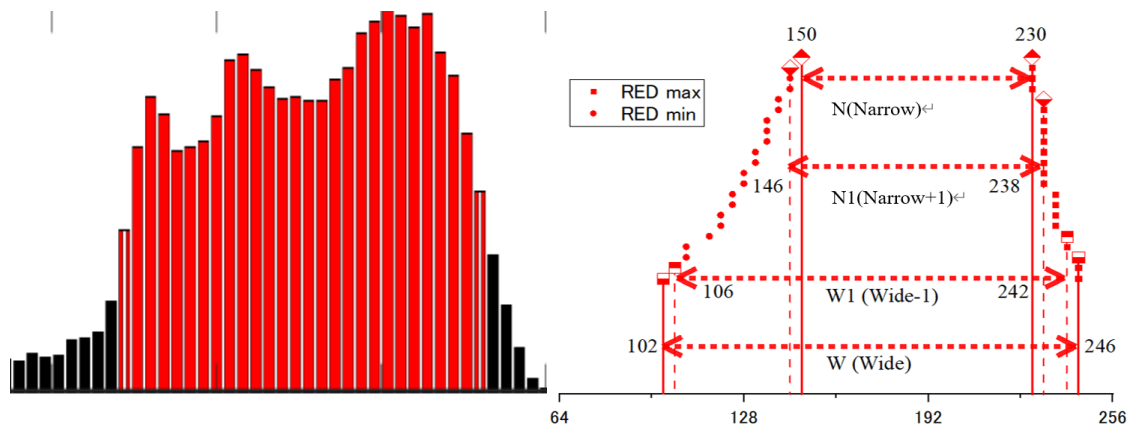
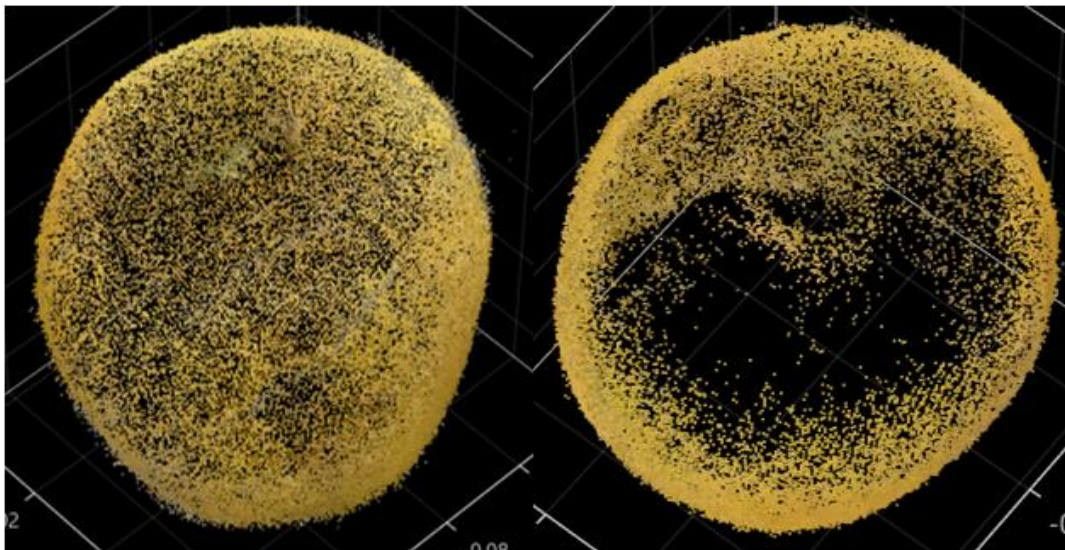


図 2.6

(a) R 色情報における色の頻度のヒストグラム

(b) R における 4 つの色範囲



(a)

(b)

図 2.7 低頻度色除去後のサンプル

((a) W 適用サンプル(b) N 適用サンプル)



#### 参考文献

- [1]Apple Inc., “iPhone 15 Pro – Technical Specifications,” 2023. [Online]. Available: <https://www.apple.com/iphone-15-pro/specs/>

## 第 3 章

### 測定方法

- 3.1 はじめに
- 3.2 適用する点群と計算式
- 3.3 色範囲による抽出法
- 3.4 クラスタリングを併用した抽出法
- 参考文献

### 3.1 はじめに

本章では，従来法の色範囲のみによる点群抽出法と，本研究で提案したクラスタリングを併用した点群抽出法について述べる．基本となる点群の決定方法や抽出法の違いによる点群の特徴などの可視化，三次元点群に対するクラスタリングの説明と理論について解説する．

### 3.2 適用する点群と計算式

誤検出や検出漏れの割合には以下の式を用いた．ここで，今回抽出を行う樹木の一部範囲において，図 3.1 のように色や点群形状から果実点群であると判断された計 3 つの果実点群数 5858 個を「理想的な果実点群」とした．また，色範囲による低頻度色除去とクラスタリングを施すことで最終的に果実として抽出された点群を「検出した点群」とした．

$$\text{誤検出} = 1 - \frac{\text{理想的な果実点群と合致した点群}}{\text{検出した点群}}$$

$$\text{検出漏れ} = 1 - \frac{\text{理想的な果実点群と合致した点群}}{\text{理想的な果実点群}}$$

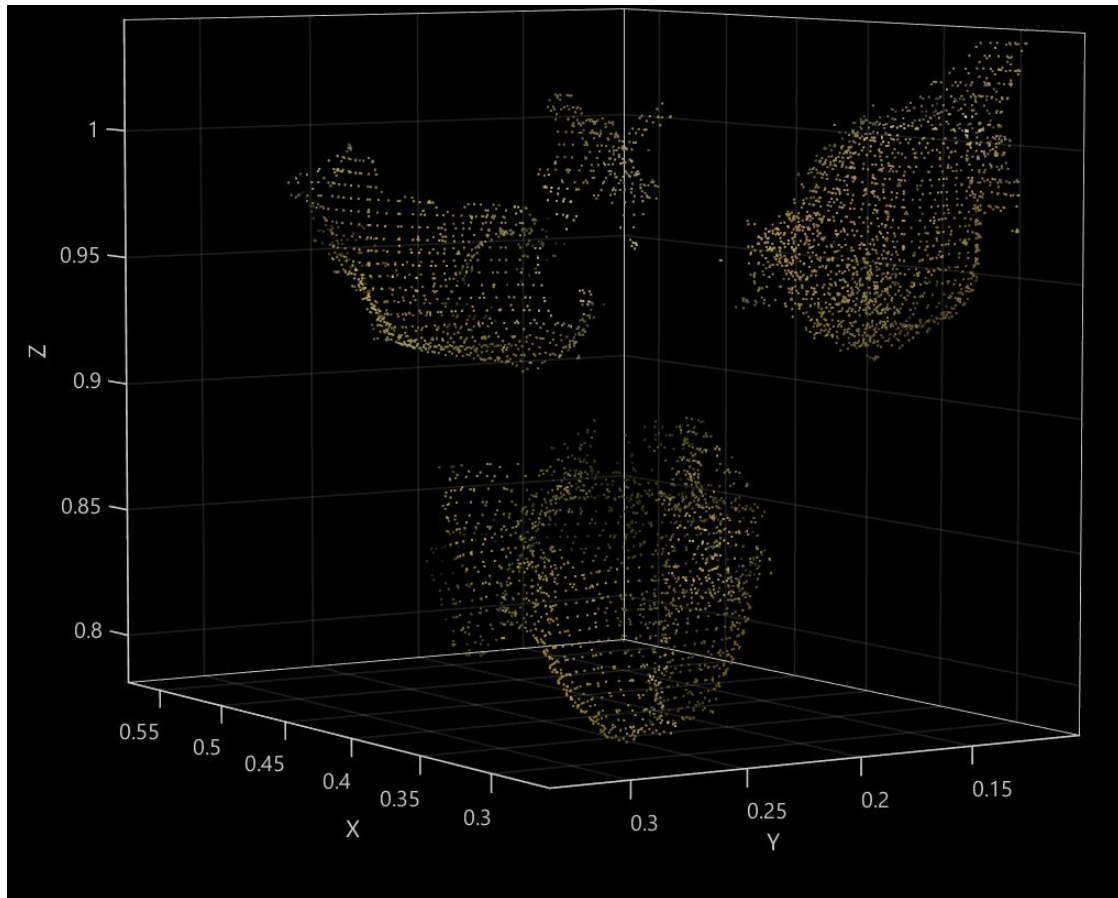


図 3.1 果実点群であると判断された 3 つの点群

### 3.3 色範囲による抽出法

2.3 で得られた色範囲を用いてリンゴ果実点群抽出を行った。図 3.2 は樹木点群の一部に色範囲 W を，図 3.3 は色範囲 N をそれぞれ適用したものである。

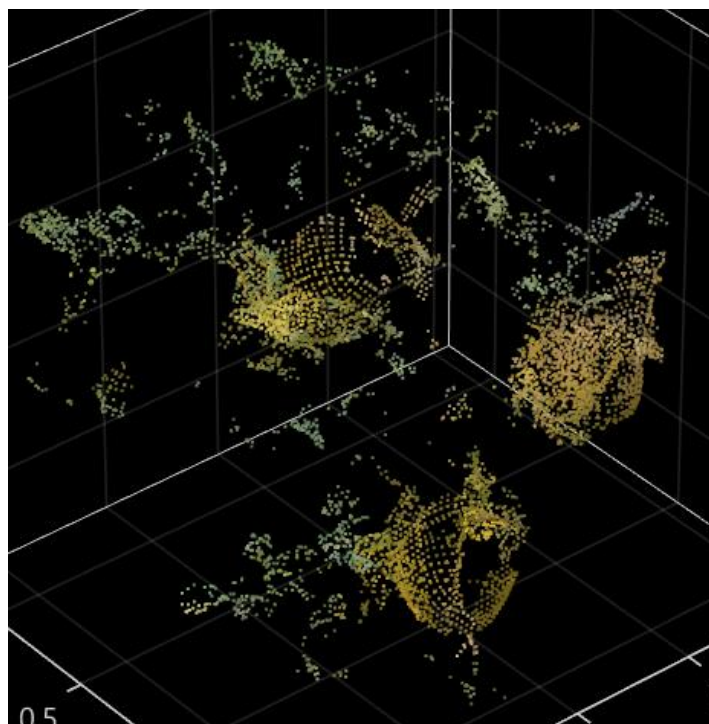


図 3.2 色範囲 W を適用した色範囲のみ抽出点群

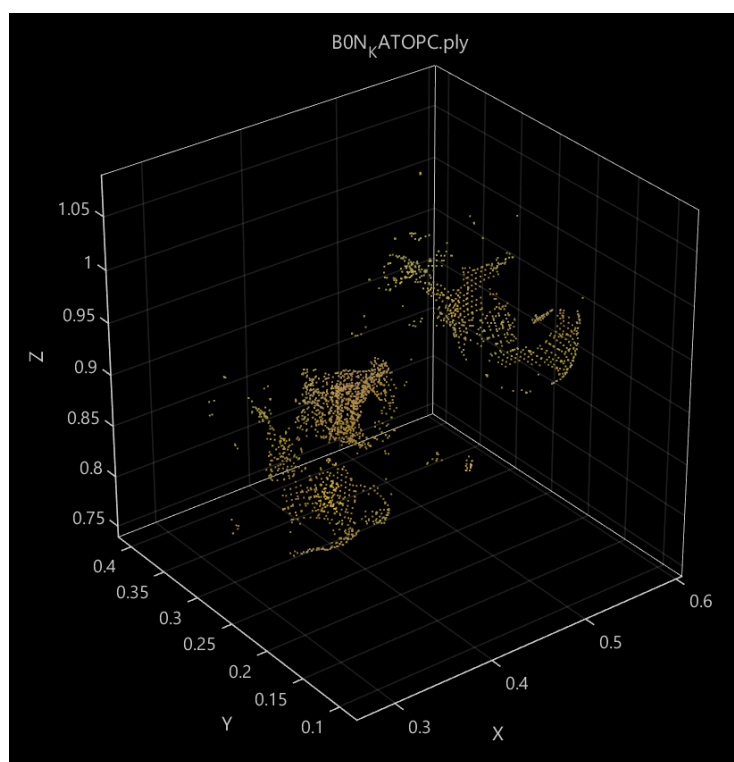


図 3.3 色範囲 N を適用した色範囲のみ抽出点群

### 3.4 クラスタリングを併用した抽出法

3.3 において取得された三次元点群から個々の果実に対応する領域を分離・抽出するためにクラスタリング処理を適用した。点群には複数の果実が含まれておりそのままでは個々の果実に対する色情報や形状の解析が困難である。したがって、空間的に分離された点群構造を識別するクラスタリングを行うことにより、各果実を個別のデータとして取り出す必要がある。

クラスタリングには MATLAB の Computer Vision Toolbox に含まれる `pcsegdist` 関数を使用した。この関数は、ユークリッド距離に基づいて隣接点をクラスタとしてまとめる距離閾値ベースのリージョン Growing 型クラスタリング手法に分類される。具体的には、各点から指定したしきい値以内に存在する点を探索し、距離的に連続した点群を一つのクラスタとみなして構築する。この処理を点群全体に対して適用することで空間的に密な構造をもつクラスタが順次形成される。

`pcsegdist` によるクラスタリングは、三次元点群を解析可能な構造単位へと分割する前処理として本手法における重要な役割を果たしている。

`pcsegdist` では、クラスタの結合距離(`minDistance`)および最小点数(`MinNumPoints`)といったパラメータを設定可能であり、これにより小さなノイズクラスタを排除し物理的に分離された果実のみを抽出することができる。

本研究では `minDistance` について、色範囲 W, W1 においては 0.01 m の範囲で、色範囲 N, N1 においては 0.03m の範囲で設定し、また `MinNumPoints` について、W, W1 においては 1200 個、N, N1 においては 450 個で設定し、各クラスタが個別の果実を表すようパラメータを調整した。

図 3.4 は図 3.2 に、図 3.5 は図 3.3 に上記の設定を適用しクラスタリングを行ったものである。



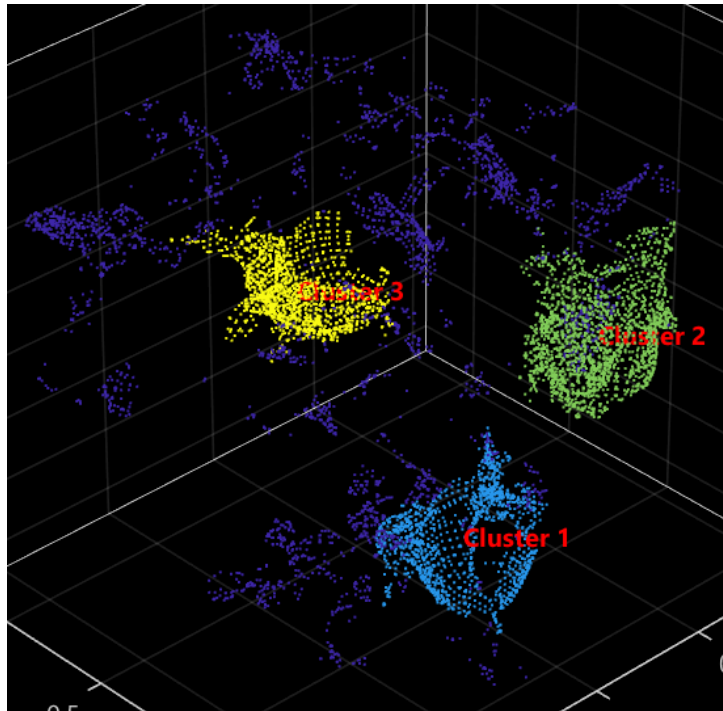


図 3.4 色範囲 W を適用した色範囲+クラスタリング抽出点群

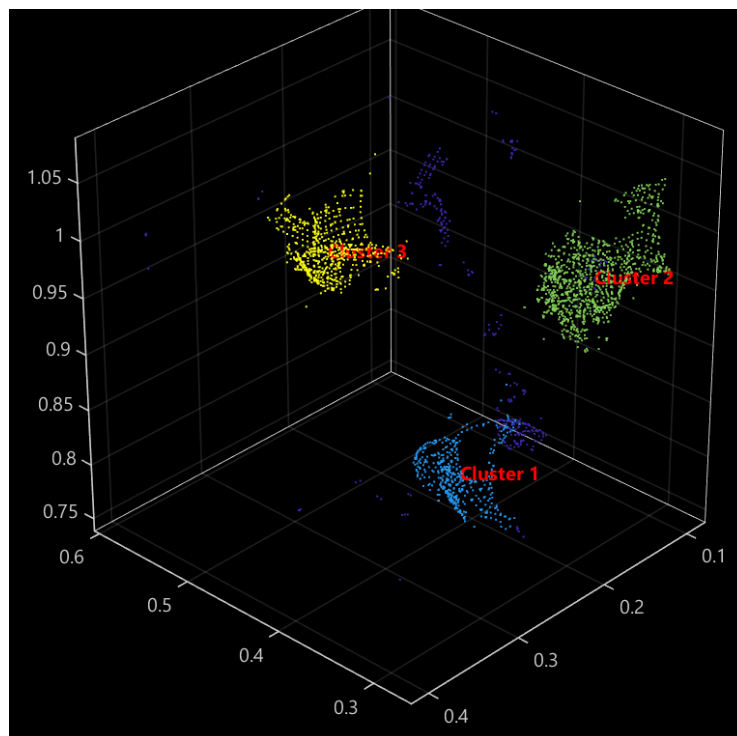


図 3.5 色範囲 N を適用した色範囲+クラスタリング抽出点群

#### 参考文献

- [1] pcsegdist ユークリッド距離に基づいて点群をクラスタにセグメント化する  
<https://jp.mathworks.com/help/vision/ref/pcsegdist.html>

## 第 4 章

### 測定結果

#### 4.1 はじめに

#### 4.2 色範囲による抽出法結果

#### 4.3 クラスタリングを併用した抽出法結果

#### 参考文献

#### 4.1 はじめに

本章では，測定方法で定めた従来法と提案法によって検出された三次元点群にどれだけ検出漏れと誤検出が生じているかを述べる．色範囲ごとの違いやクラスタリングを行った事による効果などを解説する．

#### 4.2 色範囲による抽出法結果

表 4.1 に、色範囲のみによって行った点群抽出の結果を示す。広い色範囲 W, W1 において誤検出がそれぞれ 41.1%と 37.9%を記録した。狭い色範囲 N, N1 においては 9.2%と 11.7%を記録した。色範囲を広くすることによって、果実点群以外も検出されていることが分かる。

検出漏れについては、誤検出とは反対に点群数が少なくなったために W, W1 ではそれぞれ 20.5%と 23.2%であったが、N,N1 では 60.8%と 56.7%と倍以上の値となった。

表 4.1 色範囲による抽出結果

	W	W1	N1	N
検出した点群数	7908	7250	2877	2533
合致した点群数	4660	4499	2539	2299
誤検出	41.1%	37.9%	11.7%	9.2%
検出漏れ	20.5%	23.2%	56.7%	60.8%

#### 4.3 クラスタリングを併用した抽出法結果

表 4.2 に色範囲にクラスタリングを併用して行った点群抽出の結果を示す．N，N1 においては誤検出が微減，検出漏れが微増という結果となった．W，W1 においては 4.2 と比較して誤検出の割合に顕著に違いが出た．W において，クラスタリングを併用することで誤検出が 41.1%から 14.5%まで減少した．

クラスタリングを用いて誤検出が減った理由として，点群の位置や位置関係に重みをつけることで，色は近いが位置が果実点群ではない可能性が高い点群を除外できたからだと考える．

表 4.2 色範囲とクラスタリングによる抽出結果

	W	W1	N1	N
検出した点群数	4882	4632	2446	2229
合致した点群数	4174	4030	2249	2068
誤検出	14.5%	13.0%	8.1%	7.2%
検出漏れ	28.7%	31.2%	61.6%	64.7%



## 第 5 章

### 結論

- 5.1 結論
- 5.2 今後の展望

### 5.1 結論

本研究ではリンゴ樹木から取得した三次元点群に対して，リンゴ果実点群だけを高精度に抽出するための抽出法を提案し，検討を行った．サンプルのリンゴ果実点群から得られた色情報に加え，クラスタリングによる樹上果実点群のグループ分けを用いることで，誤検出と検出漏れの和を 43.25%まで抑制することが確認された．特に，色情報 W における誤検出率を 41.07%から 14.50%に減少させたことから，誤検出に対するクラスタリング処理の効果は大きいと考えられる．

## 5.2 今後の展望

今後の展望として，点群抽出の範囲を樹木全体に適用する，クラスタリングによって分割した果実点群に対して更に球フィッティングを行い抽出精度のさらなる向上を目指すといったことが挙げられる．

## 謝辞

本研究を進めるにあたり，日頃から御指導，御調達を賜りました岩手大学理工学部システム創成工学科電気電子通信コース准教授三浦健司先生に敬意と感謝の意を表します．

本研究室におきましては，研究活動を進める上で御協力頂いた大学院生の田中俊輝氏，継枝裕介氏，斎藤瑞季氏，同期の石山夕暉氏，加藤龍聖氏，平柳賢耀氏，八木沢翼氏に心より感謝申し上げます．

最後に，皆様方の御活躍と御健康を祈り謝辞とさせていただきます．

## 付録

卒業論文発表会 発表原稿  
卒業論文発表会 発表スライド

## 1. はじめに

リンゴ果実のサイズ推定の先行論文において色情報を用いた果実点群の抽出が行われているが、一部の果実点群が抽出されない検出漏れ、ならびに枝、葉の点群が含まれる誤検出の影響によるサイズ推定誤差が懸念されている。本研究では、誤検出と検出漏れの両者の抑制を目的に、リンゴ樹木から取得した三次元点群（以下「点群」とする）から枝や葉、背景といった点群を除去しつつ可能な限りリンゴ果実点群のみを抽出するアルゴリズムについて検討した。

## 2. 測定方法

リンゴ樹木の点群取得には iPhone15 Pro を用いた。点群取得アプリとして Scaniverse を用いた。目的とするリンゴ樹木に対してソフトを起動した機材を向け、機材に搭載されている LiDAR センサおよびカメラで対象から座標情報と色情報を含めた点群を取得した。取得した樹木点群の一部（果実 3 個、枝、葉）に対して抽出法を適用した。

本検討では収穫されたリンゴ果実（品種：はるか）22 個に対しても同様に点群取得を行った。サンプルの果実から取得した点群（以下「サンプル」とする）から色情報や形状の情報を取得した。取得したサンプルの色情報のうち低頻度の色を除外するため、図 1 に示すように全点群の 10%以下の点数の RGB 値の点を除外した。全 22 サンプルの低頻度色除外後の RGB 値において、値の範囲が最も広くなる組み合わせ（W）、W の値の次に範囲が広くなる組み合わせ（W1）、値の範囲が最も狭くなる組み合わせ（N）、N の次に狭くなる組み合わせ（N1）の 4 つの色情報範囲をもとの 22 サンプルに適用し、低頻度色の点を除去した。図 2 には今回の検討で得られた R（赤）の色範囲を示す。図 3 にはサンプルに対して、(a)W および(b)N の色範囲を適用した点群を示す。

上述の色範囲を用いてリンゴ果実点群抽出を行った。図 4(a)は樹木点群の一部に色範囲 W を適用したものである。

最後に、色範囲を適用した樹木点群に対してユークリッド距離に基づいたクラスタリングを行い、それらに対してリンゴ果実点群抽出を行った。なお、色範囲 W、W1 については最低点数 1200 個およびクラスタ間距離 0.01m の条件で、N、N1 については最低点数 450 個およびクラスタ間距離 0.03m の条件でクラスタリングを行った。図 4(b)は色範囲 W の樹木点群にクラスタリングを行った結果を示す。

誤検出や検出漏れの割合（%）には以下の式を用いた。ここで、今回抽出を行う樹木の一部範囲において、色や点群形状から果実点群であると判断された計 3 つの果実点群数 5858 個を「理想的な果実点群」とした。また、色範囲による低頻度色除去とクラスタリングを施すことで最終的に果実として抽出された点群を「検出した点群」とした。

$$\text{誤検出} = 1 - \frac{\text{理想的な果実点群と合致した点群}}{\text{検出した点群}}$$

$$\text{検出漏れ} = 1 - \frac{\text{理想的な果実点群と合致した点群}}{\text{理想的な果実点群}}$$

## 3. 測定結果

表 1 と表 2 には色範囲のみによる果実点群抽出、ならびに色範囲とクラスタリングを組み合わせた点群抽出を行った結果をそれぞれ示す。色範囲 W では点群数が増えるため誤検出 40%程度、検出漏れ 20%程度であった。色範囲 N では点群数が減るため検出漏れ 60%程度、誤検出 10%程度であった。また、それらの和は 60%~70%程度となった。一方、クラスタリングを組み合わせると、色範囲 W において 8%程度検出漏れが増加するものの、25%程度の誤検出の減少が認められ、結果として誤検出と検出漏れの和は約 44%であった。色範囲 N において誤検出と検出漏れの和が増加した。

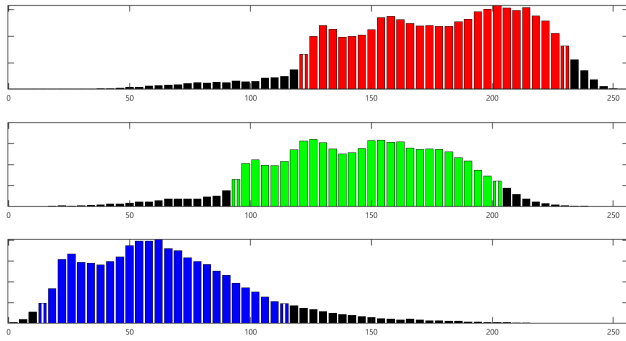


図 1 全点群の内 90%を占める点群の色範囲

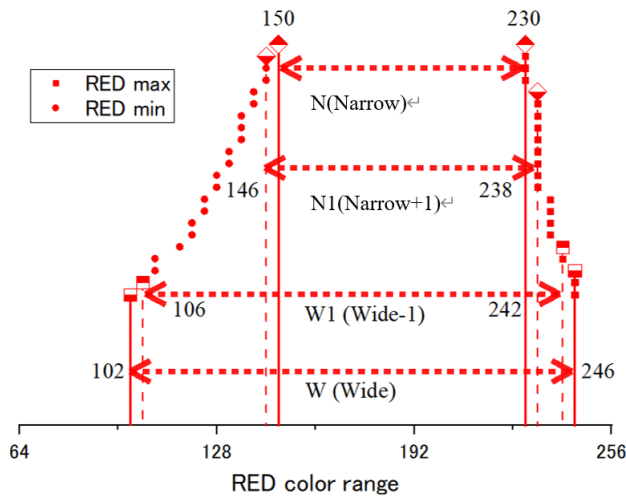


図 2 R における 4 つの色範囲

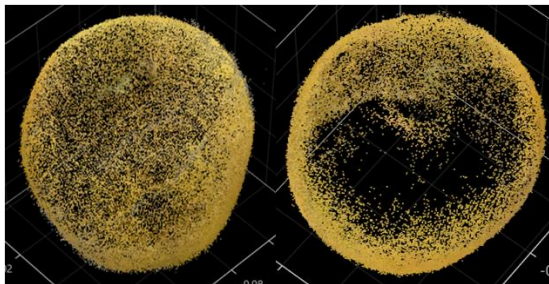


図 3 低頻度色除去後のサンプル  
((a) W 適用サンプル(b) N 適用サンプル)

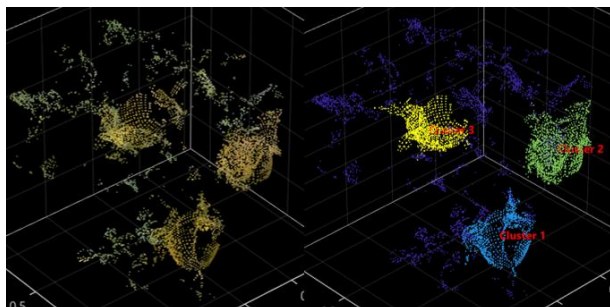


図 4 (a)色範囲 W (b)色範囲+クラスタ

表 1 色範囲による抽出結果

	W	W1	N1	N
検出した点群数	7908	7250	2877	2533
合致した点群数	4660	4499	2539	2299
誤検出	41.07%	37.94%	11.75%	9.24%
検出漏れ	20.45%	23.20%	56.66%	60.75%

表 2 色範囲とクラスタリングによる抽出結果

	W	W1	N1	N
検出した点群数	4882	4632	2446	2229
合致した点群数	4174	4030	2249	2068
誤検出	14.50%	13.00%	8.05%	7.22%
検出漏れ	28.75%	31.21%	61.61%	64.70%

#### 4. 結論

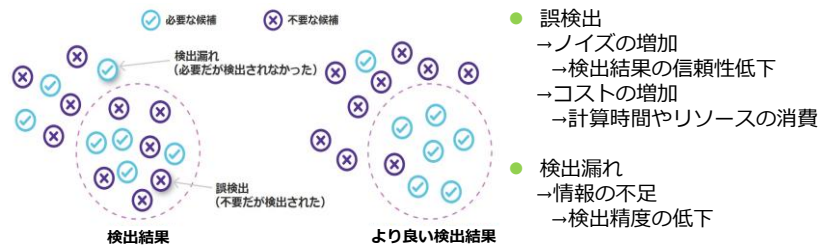
本研究ではリンゴ樹木から取得した三次元点群に対して、リンゴ果実点群だけを高精度に抽出するための抽出法を提案し、検討を行った。サンプルのリンゴ果実点群から得られた色情報に加え、クラスタリングによる樹上果実点群のグループ分けを用いることで、誤検出と検出漏れの和を 43.25%まで抑制することが確認された。特に、色情報 W における誤検出率を 41.07%から 14.50%に減少させたことから、誤検出に対するクラスタリング処理の効果は大きいと考えられる。

## リンゴ樹木の三次元点群からの果実点群抽出法と検出精度

田中 悠 (s0521043)  
三浦研究室

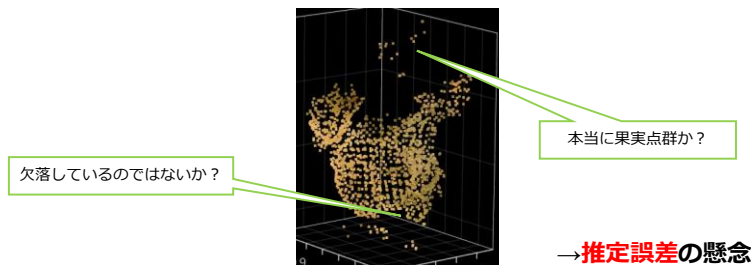
Feb. 28, 2025 卒業論文発表

### はじめに



### 研究背景

先行研究で行われたリンゴ果実のサイズ推定  
→ 色情報を用いて抽出した果実点群



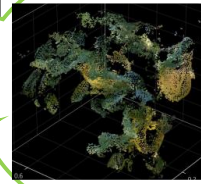
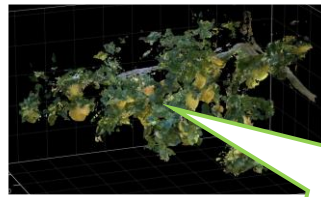
### 目的

リンゴ果実点群抽出における  
サイズ推定誤差を減らすアルゴリズムの検討

- 色情報による果実点群抽出の精度
- 他の抽出法の提案



## 測定方法 計測機器及びソフト、計測対象



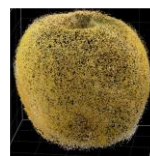
検出範囲



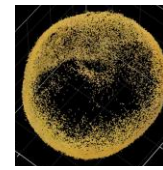
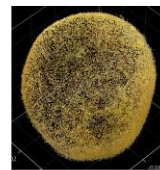
Feb. 28, 2025 卒業論文発表

4

## 測定方法 サンプル取得と色範囲の適用

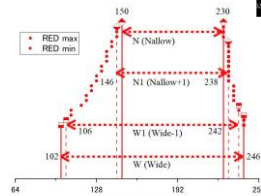
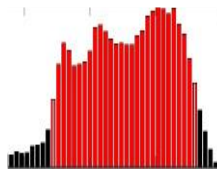


色範囲適用



Wide

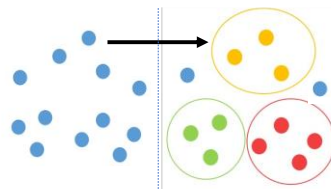
Narrow



Feb. 28, 2025 卒業論文発表

5

## 測定方法 クラスタリング実装

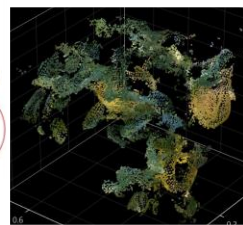


クラスタ間距離

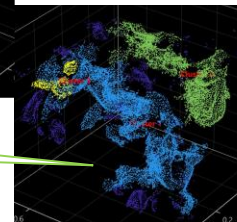
クラスタ点数

W, W1 0.01 m  
N, N1 0.03 m

W, W1 1200個  
N, N1 450個



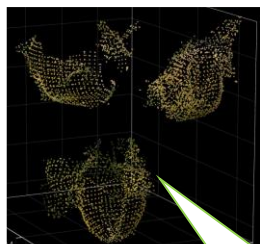
クラスタリング実装後



Feb. 28, 2025 卒業論文発表

6

## 測定方法 検出誤差算出式



$$\text{誤検出} = 1 - \frac{\text{理想的な果実点群と合致した点群}}{\text{検出した点群}}$$

$$\text{検出漏れ} = 1 - \frac{\text{理想的な果実点群と合致した点群}}{\text{理想的な点群}}$$

理想的な点群 点群数 : 5858個

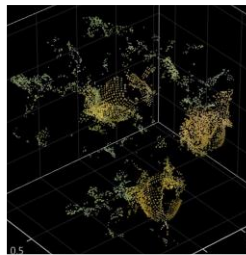


Feb. 28, 2025 卒業論文発表

7

## 測定結果 色範囲

### 色範囲のみによるリンゴ果実点群抽出

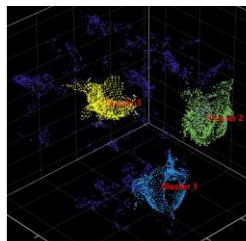


	W	W1	N1	N
検出した点群数	7908	7250	2877	2533
合致した点群数	4660	4499	2539	2299
誤検出	41.1%	37.9%	11.7%	9.2%
検出漏れ	20.5%	23.2%	56.7%	60.8%

点群が多いほど誤検出が大きい  
点群が少ないほど検出漏れが大きい

## 測定結果 色範囲+クラスタリング

### 色範囲+クラスタリングを用いたリンゴ果実点群抽出



	W	W1	N1	N
検出した点群数	4882	4632	2446	2229
合致した点群数	4174	4030	2249	2068
誤検出	14.5%	13.0%	8.1%	7.2%
検出漏れ	28.7%	31.2%	61.6%	64.7%

Wにおける誤検出 41.1%→14.5%

## まとめ

- ◆ 色範囲のみによる点群抽出  
→ W, W1では誤検出, N, N1では検出漏れが顕著
- ◆ 色範囲+クラスタリング  
→ 果実の色に似た葉や枝の点群除去が可能に  
→ 誤検出においてW, W1で色範囲のみによる抽出より減少

N, N1 誤検出 56.7% 検出漏れ 7.2%  
W, W1 誤検出 14.5% 検出漏れ 28.8%

約65.2%改善