ステレオ画像処理を用いたユズ果実収量予測方法の検討

1275112　松本正弘　【 画像情報工学研究室 】

A Study on Yuzu Fruit Yield Prediction Using Stereo Image Processing

1275112　MATSUMOTO, Masahiro　【 Image Processing and Informatics Lab. 】

1　はじめに

ユズは高知県を代表する農作物のひとつであり，令和 3 年度における全国の生産量のうち約 51%を高知県が占めている [1]．生産した農作物の売り上げを最大化することを初めとして，農業では収穫量の予測を行う収量予測が重要視されている．しかし現場では収穫量の予測やそれに必要な果実サイズなどの調査は，目視を基本とする人間の感覚に頼るところが多く，調査のために膨大な時間と労力を要する．加えて日本では少子高齢化によって農業従事者の高齢化や人口減も問題視されている．そのため高精度かつ低コストで収量予測を行える手法の開発が求められている [2]．

我々は収穫重量の予測に必要となる果実サイズを推定する技術として，リンゴのサイズ推定にも利用されたステレオ画像処理に注目した [4]．また，農業では着果数の計数を初めとした計測の省力化のために以前から深層学習による画像内の果実検出が複数研究されている．ユズ果実においては，光環境の変化が激しい影響により検出精度が大きく変化する昼間のカラー画像よりも明るさを固定できる夜間の赤外モノクロ画像の方が果実検出精度が良いことが最近の研究で明らかとなっている [5]．

そこで本研究では，ステレオ画像処理をはじめとした画像処理技術を用いて画像内のユズ果実サイズから果実ごとに重量を推定してユズ一樹の収穫重量を推定する手法を提案し，その精度について検証を行った．

2　提案手法

本研究の手法の流れを図 1 に示す．まずステレオカメラキャリブレーションを済ませたステレオカメラでユズ樹木を撮影し，その後歪み補正を行ったステレオの左右画像に対してそれぞれ深層学習による果実検出を行う．

画像から検出した左右それぞれの座標を用いて果実とカメラの距離を計算するには検出した果実の同一判定が必要になるが，樹木画像内の果実は数十個あるため手動で対応させると非常に手間がかかる．そこでエピポーラ拘束式と呼ばれる，2 つの画像とある物体が幾何学的な位置関係にある時に計算結果が 0 となる定義 [3] を用いて，左右画像の検出果実の同一判定を行った．

同一となった果実の座標を用いて対象の果実とカメラの距離を計算して，得られた距離とカメラの焦点距離等により画像内の果実サイズを推定する．検出した各果実のサイズを推定した後に，事前に果実サイズと果実重量の回帰分析により得られた回帰式を用いることで果実の重量を推定し最後に推定した果実重を足し合わせることで，画像内の果実重量を推定した．

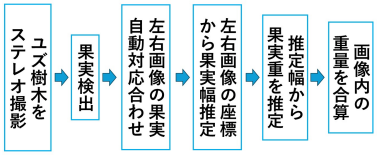

図 1　本研究の提案手法の流れ

最後に推定した果実重を足し合わせることで，画像内の果実重量を推定した．さらに複数方向から撮影した結果を平均することで対象樹木の一方向画像の代表値とし，そこから樹木全体の収穫重量の推定を目指した．本研究では樹木の周囲 4 方向からの撮影及び推定を行い，その平均重量と実収穫重量の回帰分析を行い手法の精度を検証した．

3　検証内容

本研究はユズの収穫期にある 10 月から 12 月の期間に撮影した画像及び収穫した樹木毎の果実重量を用いて精度の検証を行った．撮影機材は The Imaging Source 社のモノクロ撮影カメラ DMK33UX183 を専用の治具に平行に二つ取りつけてステレオカメラとし，windows10 搭載のラップトップ PC に接続して撮影を行った．撮影時間はどちらの圃場も夜間の 18 時から 21 時までの間で，撮影対象樹木を波長 850nm の赤外ライトで照らして撮影した．図 2 はステレオ画像の例である．

収穫重量を推定する樹木は，2024 年 10 月 31 日に撮影した高知大学物部 CP のユズ樹木 5 本と同年 12 月 19 日に撮影した高知県北川村久府付の圃場内ユズ 7 本を対象とした．収穫日は，物部 CP は撮影日の約 2 週間後で北川村久府付は撮影日の翌日であり，樹木毎の果実を全収穫して収穫重量を計測した．撮影方向数は基本的に樹木に対して 90 度ずつを基準に 4 方向からステレオ撮

図 2　ステレオ画像例

影をしているが，北川村久府付の樹木 7 本のうち 4 本は 8 方向から撮影している．そのためこの樹木に対しては 90 度ずつ 4 方向の推定収量平均を一つのデータとしたため，該当樹木は 2 つのデータとして扱った．

個々の果実重量を推定するための，個別の果実径と果実重の回帰式は高知大より提供されたデータを利用した．本手法によるステレオ画像内の果実重推定の例を図 3 に示す．

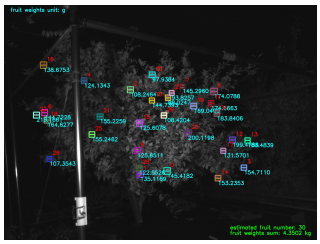

図 3　ステレオ果実重推定の出力例

4　結果及び考察

提案手法による推定果実重の 4 方向の平均と実収穫重量の回帰分析の結果を図 4 に示す．全農地のデータと高知大物部 CP のみ，北川村久府付のみ，の 3 種類でそれぞれ回帰分析を行った結果，決定係数 R^2 が 0.49, 0.92, 0.66 となり，回帰式にも違いがみられた．全農地データによる回帰分析の決定係数が低下したことや農地ごとの回帰式に明確な違いが見られた原因として，摘果の有無による果実重の変化があると考えられる．

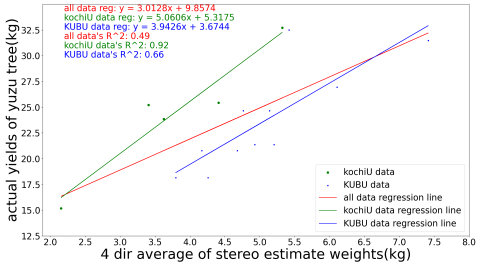

図 4　推定重量の 4 方向平均と実収穫重量の回帰分析

物部 CP のユズは高知大学により個々の果実単位で計測管理されており適切な摘果も行われていたのだが，久府付は農地所有者の事情により摘果等の必要な管理が夏以降なされていなかった．そのため，久府付の果実は着果数自体は多くても個々の果実があまり成長せず個々の果実サイズと重量が物部 CP よりも全体的に小さくなったと思われる．久府付は個々の果実サイズと重量を計測できなかったが，物部 CP の果実は計測データがあったため本手法により推定された果実サイズと重量を比較しても精度に大きな問題が見られなかったことや，図 5 に示した農地ごとの全ての推定果実重量の箱ひげ図を比較して物部 CP より久府付の方が低い分布が見られることも含めると，農地ごとで回帰式に差が生じ全体データの決定係数も低下している原因として捉えることが出来る．

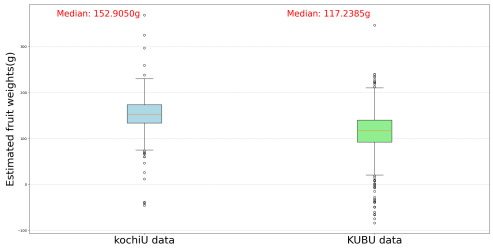

図 5　農地ごとの全推定果実重の箱ひげ図

5　まとめ

本研究では，ステレオ画像処理と深層学習を用いて推定した果実サイズから個々の果実重を推定する手法の提案を行い，4 方向の推定果実重量の平均値と実際の果実収穫重量について回帰分析を行い精度の検証を行った．全農地データの決定係数は 0.49 だが高知大物部 CP と北川村久府付のそれぞれの決定係数は 0.92 と 0.66 であり，回帰式にも差が生じた．本手法における個々の果実重量の推定精度は高かったが，各農地での推定果実重の分布を比較すると久府付の果実の方が全体的に軽めの推定分布が見られたことから，摘果時期における摘果の有無や摘果数・方法等が農地ごとに差が出る原因と考えられる．今後はオクルージョンへの対処や果実検出精度の向上といった個々の果実サイズ推定のさらなる精度向上を目指したうえで，農地ごとの摘果の違いによる収穫重量の差も調査していきたい．

参考文献

[1] 農林水産省: 特産果樹生産出荷実態調査-種類別栽培状況 (全国)-かんきつ類の果樹, https://www.e-stat.go.jp/stat-search

[2] グリーンフォーカス 令和 6 年 12 月号: 高知農業ネット, “ユズにおける出荷量予測方法の開発”, https://www.nogyo.tosa.pref.kochi.lg.jp/info/green_dtl.php?ID=10072

[3] 松阪義幸 発行, “ディジタル画像処理 改定第二版”, 公益財団法人 画像情報教育振興協会 (CG-ARTS)

[4] Omeed Mirbad et al. “On-tree apple fruit size estimation using stereo vision with deep learning-based occlusion handling”, Biosystems Engineering, Vol227, pp27-42, February 2023.

[5] Yang Yijiu et al. “Immature Yuzu Citrus Detection in Infrared Images using YOLOv4-large”, Proc. of SICE Annual Conference, pp.604–607, 2022.