

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：51303  
研究種目：基盤研究(C) (一般)  
研究期間：2020～2022  
課題番号：20K06330  
研究課題名(和文) 収穫作業者育成支援を目的とした深層学習によるトマトの適時収穫支援に関する研究  
  
研究課題名(英文) Research on Timely Harvesting Support for Tomatoes Using Deep Learning for Harvesting Worker Training Support  
  
研究代表者  
奥村 俊昭 (Okumura, Toshiaki)  
  
仙台高等専門学校・総合工学科・教授  
  
研究者番号：90331967  
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を用いたトマトの着色度判別に関する画像認識処理を研究した。トマトは成熟過程に応じて緑色から赤色まで10段階の着色度合いが農協で定められており、本研究では18層に及び深いCNNモデルを構築した。10段階の着色度合いのうち2段階ごとにまとめた5クラス分類では87%と目標値に達成する分類精度を得ることができた。

#### 研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、画像から着色度合いを判断して作業者にリアルタイムに提示する技術を研究開発した。トマトのサイズや形状、向き、色づき具合、葉や枝に囲まれている状況、天候、照度や光源の向きなど撮影時の条件が一定ではない画像を用いて、人間でも容易に判断できない着色度合いの微妙な違いを認識する本研究は画像認識や人工知能の分野において学術的に大変有意義である。また、農業ICT化の1つとしても野菜収穫のタイミングを支援することは、経験の浅い従業員や外国人研修生に対して最適な収穫時期を見分けるノウハウを的確に教えることができるようになり、導入研修の期間短縮が期待できる。

研究成果の概要(英文)：We studied an image recognition process for tomato coloring degree discrimination using a convolutional neural network (CNN). Tomatoes have 10 levels of coloring from green to red depending on the ripening process. In this study, we constructed an 18-layer CNN model. The classification accuracy was 87% in the 5-class classification, which was organized into 2 levels out of 10 levels of coloration. We could get the classification accuracy to reach the target value.

研究分野：画像認識

キーワード：画像認識 深層学習 農業ICT 農作物収穫支援

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

近年、機械学習やディープラーニングなど人工知能の研究が盛んに行われており、画像処理・画像認識と人工知能を組み合わせた様々な分野への応用研究や実証事例は枚挙にいとまがない。他方、農業の分野においては「就業人口は減少傾向に歯止めがかからず、後継者難が続き高齢化が進展、担い手が不足している」という現状と課題があり、農業の ICT 化によるメリットの 1 つに「暗黙知・ノウハウ等の見える化・知財化」が挙げられている。

トマトを大規模に生産している或る農業企業では、1日に4,000玉～15,000玉を収穫し、選別、箱詰め、出荷を行っている。トマトは成熟過程に応じて緑色から赤色まで10段階の着色度合い(図1)が農協で定められており、市場に出回る品質を安定させるために、その日に出荷する着色度合いを農協から指示され、それに合わせて農園で収穫している。その多くは図1の～であるが、収穫前の枝にぶら下がっている状態でその違いを見分けるには十分な経験が必要である。収穫作業や選別作業には20人程度のパートタイム従業員や外国人研修生を雇用しているが慢性的な人材不足に陥っており、現場では作業の効率化とICT化が望まれている。経験不足の従業員は低効率のみならず、収穫のタイミングを逃す、あるいは早過ぎるということが多い。収益を上げるには高価値(上位等級)のタイミングでトマトを収穫し安定した品質で出荷できることが望まれ、収穫や選別作業での熟練者のノウハウ移転が収益増の重要な課題となっている。

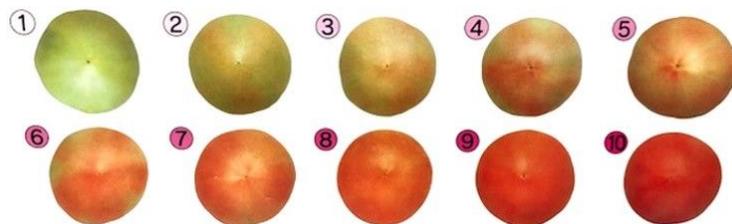


図1 トマトの着色度合い(JA全農みやぎ)



図2 収穫前のトマト

### 2. 研究の目的

本研究では、画像から着色度合いを判断して作業者にリアルタイムに提示する技術を研究開発する。トマトのサイズや形状、向き、色づき具合、葉や枝に囲まれている状況、天候、照度や光源の向きなど撮影時の条件が一定ではない画像(図2)を用いて、人間でも容易に判断できない着色度合いの微妙な違いを認識する本申請研究は画像認識や人工知能の分野において学術的に大変有意義である。また、農業ICT化の1つとしても野菜収穫のタイミングを支援することは、経験の浅い従業員や外国人研修生に対して最適な収穫時期を見分けるノウハウを的確に教えることができるようになり、導入研修の期間短縮が期待できる。さらに地域産業の活性化にもつながる一方、同様の悩みを抱える各地の生産者への波及効果も高い。画像認識のための識別器作成には、多くの学習サンプルデータ収集と最適な特徴軸の選択が重要な要素となる。多くの観測軸の中から熟練者のノウハウを反映させることができる最適な特徴軸を選択する研究が大きなポイントになる。本研究では、収穫前のトマトの画像を用いて着色度合いを学習(ディープラーニング)させ、収穫時期を画像から推測して収穫に適しているか否かをリアルタイムに提示する。この画像認識システムは品質安定化を目的として収穫のタイミングという熟練者のノウハウの移転を行うもので、国内の実証事例からみても獨創性があると言える。また、大規模農業経営のみならず一般家庭菜園や他の野菜品種まで応用の範囲が広がることが期待でき、社会的波及効果も高い。

### 3. 研究の方法

収穫作業時に1つ1つのトマトを観測し、本日収穫したら良いか翌日以降に収穫したら良いか、あるいは本日収穫して追熟後に出荷するのが良いかを判断し、出荷品質安定のための支援システムである。熟練者は1つ1つのトマトの状態を瞬時に判断し、その日に収穫するに相応しいものを収穫している。また、収穫と同時に余分な脇芽を取り除く摘芯や、間引きをする摘果作業も行って生産物の高価値化に繋げている。

研究の初期段階として多くのサンプル画像収集が必要である。多数の画像を基に識別器を作成する学習を行う。入出力装置のウェアラブル化を前提とし、収穫作業への影響を最小限に抑える。実証実験は生産農家の協力の下、ノウハウ伝授や作業者育成支援の観点から有用性の評価を行う。

**1. サンプル画像収集:** 熟練者が収穫したトマトを着色度合いや等級別に選別し、多方向から撮影する。収穫前の枝にぶら下がっている様々な状態のトマトをウェアラブルカメラで多数撮影する。熟練者がトマトのどの部分を注意して見ているか、その判断基準についてもインタビュー

調査する。

**2. 画像認識 (学習):** インタビュー調査を基に、サンプル画像に教師ラベルを付け、学習に最適な特徴軸の導出を研究する。ディープラーニングを用いて識別器を作成する。

**3. ウェアラブル化:** 収穫作業は両手を使って行うのが基本である。両手を塞ぐことのないように、入出力装置には眼鏡レンズに映像を間接表示するスマートグラスを用いる。

画像の入力方法として2つのアプローチを比較検討する。1つは、スマートグラスに内蔵されているカメラを用いて対象画像を取得する方法である。撮影対象のトマトは、収穫前で茎にぶら下がった状態であり様々な方向を向いている。撮影環境は自然光下で照度は一定ではなく、葉などの影も存在する。

作業時にスムーズに行動できるように入出力装置のコントローラをポータブル化すると共に、画像認識については別 PC にて無線通信で行うことを構想している(図 3)。

**4. 実証実験:** 経験の浅い作業者がこれまで通りに収穫を行った場合と、これらのシステムを用いた場合、熟練者が収穫を行った場合を比較することで有用性の評価を行う。また、生産物高価値化と作業効率化の観点からも検証を行う。



図 3 システム構想図

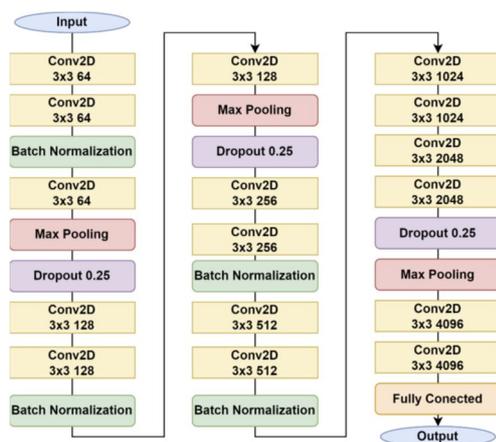


図 4 CNN ネットワーク構成

#### 4. 研究成果

本研究では図 4 に示す 18 層からなる深い CNN (畳込みニューラルネットワーク) モデルを構築した。CNN は層が深くなると過学習や勾配消失といった問題が起きやすくなる。ニューラルネットワークの学習には誤差逆伝播法が用いられており、勾配が消失してしまうと学習が進まなくなり分類精度が向上しないため、以下のような手法を用いた。Dropout 層ではニューロンの 25% をランダムに非活性化することで計算量の減少と過学習の抑制を行う。また畳み込み層の数、フィルタ数のどちらも大きいいため 計算量が膨大になり学習が進まなくなる。この問題の解決のために Batch Normalization を適用した。CNN では入力データをミニバッチという小さな集合に分け、それぞれに対して学習を行う。Batch Normalization はミニバッチ毎の平均分散を求め各層へのインプットを正規化する。これにより各層へのインプットが偏る内部共変量シフト Internal Covariate Shift を解消することができ、学習率を高く設定することで学習時間を短縮や分類精度の向上が期待できる。プーリング層では最大値プーリングをフィルタサイズ 3x3、ストライド幅を 2 に設定し適用した。最大値プーリングにより代表的な特徴のみをとらえつつダウンサンプリングすることで抽象度の上った特徴マップを生成する。プーリング層による抽象化を繰り返すことで特徴マップの階層化を行い、広範囲の特徴を効率的に抽象化できる。

本研究では 5 段階及び 10 段階での着色度分類を行った。5 段階での分類の際には、出荷規格表(図 1)における 2 カテゴリーを 1 つにまとめ分類を行った。どちらの分類においても Epoch 数は 500、バッチ数は 32 に定し、最適化アルゴリズムには Adadelta を使用した。学習用 PC には Intel(R)Core(TM) i9 10900X CPU@3 70GHz が搭載されており、GPU には NVIDIA GeForce RTX 2080 Ti を 2 基使用している。5 クラス分類における正解率の推移のグラフを図 5 に、損失の推移のグラフを図 6 に、10 クラス分類における正解率の推移のグラフを図 7 に、損失の推移のグラフを図 8 にそれぞれ示す。損失の算出には交差エントロピー誤差を用いており、誤分類したカテゴリが実際の教師ラベルと離れているほど損失が大きくなる。また、青色のプロットは学習用データに対する成果率と損失、オレンジ色のプロットは学習に使用しない検証用データに対する正解率と損失をそれぞれ表しており、検証用データに対する結果を評価に用いる 5 段階での **分類精度は 87%** と比較的高い数値であったのに対し、10 段階での分類精度は 69% と低い数値となった。5 クラス分類では 2 つ以上離れたカテゴリへの誤分類はされず、10 クラス分類では 3 つ以上離れたカテゴリへの誤分類はなかった。各カテゴリの分類精度は、出荷規格表における 2 ~ 4 のカテゴリは分類精度が特に低く、1 や 10 などのカテゴリはほとんど誤分類されなかった。

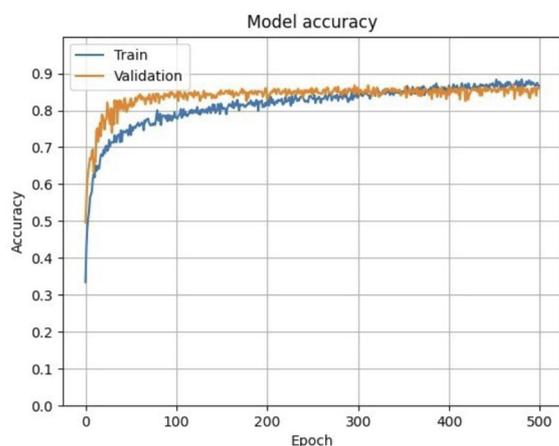


図5 5クラス分類における正解率

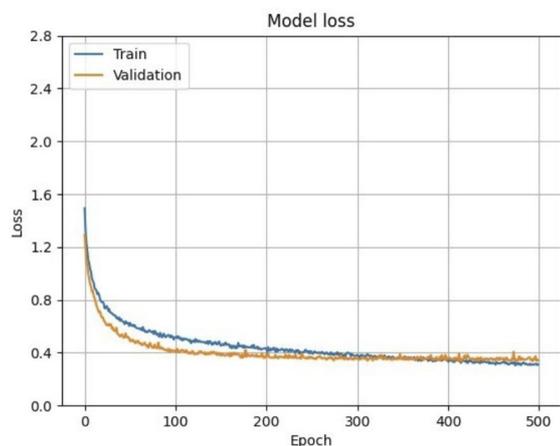


図6 5クラス分類における損失

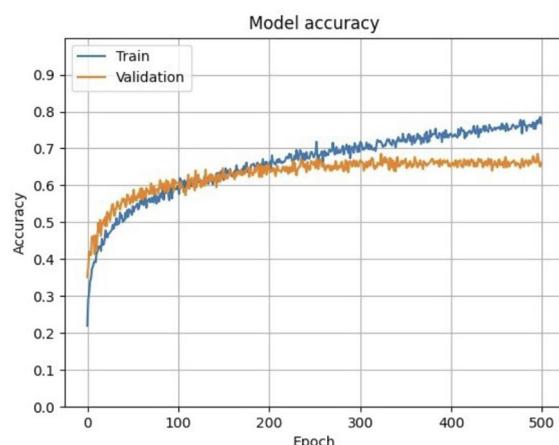


図7 10クラス分類における正解率

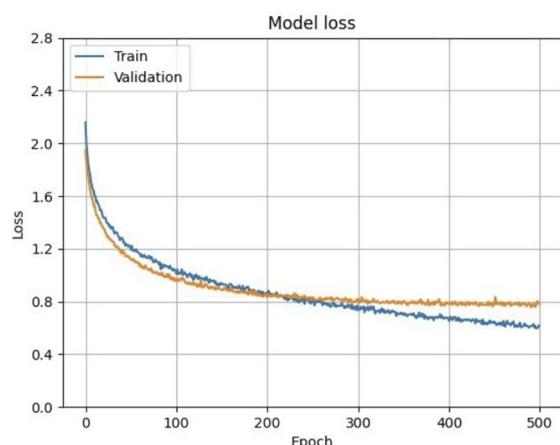


図8 10クラス分類における損失

離れたカテゴリへの誤分類がされなかったことから大まかな着色度の特徴をとらえていると考えられるが、緑色から赤みがかっていく過程や桃熟期のカテゴリの分類精度が低いことから赤みの濃さや全体の色味の割合などの細かな特徴までは捉えられていないと考えられる。これらのカテゴリのトマトは分類モデルの出力が周辺カテゴリに分散しており、結果として損失が大きくなっていることも確認できた。また、使用しているトマト画像は撮影環境をあえて一定ではないものを取り入れているため、光の当たり具合や撮影箇所によって誤分類されているデータも確認できた。これらの画像に対して Data Augmentation を行い、明度を変化させた画像をデータセットに加えて学習を行ったが分類精度は向上しなかったため、学習前のデータに対する前処理手法の検討を行う必要があると考えられる。また ResNet 50 を用いたファインチューニングによる学習を行ったが分類精度は 75% と低く、Epoch 100 を超えたあたりで損失が大きくなっていることが確認できた。ResNet 50 は物体認識などのタスクでは有効であるが、本研究のような着色度を特徴量とする学習には向いていないと考えられる。

なお、研究当初予定していた構築した CNN モデルを実装したトマト農園での実証評価実験には至らなかった。Covid-19 の影響により予定していたデータ収集や実証実験が行えなかったことが原因である。

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 井上多雲、奥村俊昭、矢島邦昭
2. 発表標題 CNNによるトマト着色度判別に関する研究
3. 学会等名 第27回高専シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀野泰輔、矢島邦昭、奥村俊昭
2. 発表標題 深層学習を用いたトマトの向き推定
3. 学会等名 令和4年東北地区若手研究者発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井上多雲、奥村俊昭、矢島邦昭
2. 発表標題 トマト着色度画像認識に関する研究
3. 学会等名 第26回高専シンポジウム
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	矢島 邦昭  (Yajima Kuniaki)  (90259804)	仙台高等専門学校・総合工学科・教授    (51303)	

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
---------	---------