

農業技術伝承のための圃場画像を用いた 農業従事者の負担の少ない農作業記録方法の検討

村上 惇¹ 中村 嘉隆² 稲村 浩² 高橋 修²

概要: 日本における近年の農業就業人口は減少傾向にある。また農業従事者の高齢化が進み、新規就農者の育成が緊急の課題となっている。しかし、現状では熟練の農業従事者は経験や勘をもとに得たノウハウなどを頼りに農作業を行っているため、具体的な指標が少なく農業技術の伝承が難しい。熟練の農業従事者の農作業判断を圃場に設置したセンサから得るデータ等を用いて指標化することは農業技術の伝承に役立つことが期待される。しかし、圃場センサデータの変動のみを用いて農作業の判断基準を設定するには不十分であるため、現状では熟練農業従事者が記録した農作業履歴も用いた指標化が必要である。一方、農作業の記録は農業従事者への負担となるため、現状では十分な精度で行われていない。このため、農業従事者への負担の少ない方法で農作業を記録することが課題となる。本研究は圃場画像を比較することで圃場状態や農業従事者の行動を推定し作業記録を行う方法の検討を行う。

A study of farm work recording method using farm field images for supporting tradition of agricultural techniques

JUN MURAKAMI¹ YOSHITAKA NAKAMURA² HIROSHI INAMURA² OSAMU TAKAHASHI²

1. はじめに

農林水産省の統計によると、日本における近年の農業就業人口は減少傾向にある。また平成 29 年の農業就業者の平均年齢は 66.7 歳であり、約 6 割が 65 歳以上となっている [1] など、高齢化が進んでいる。これに伴い新規就農者の育成が緊急の課題となっている。一方、安定した収穫を得るためには、長年の農業経営継続による経験や勘によって得られたノウハウが必要であるため、新規就農者には就農初期における多額の初期投資に見合った収穫を得るのが困難であり、これが農業後継者不足の大きな原因となっている。この問題を解決するためには、熟練の農業従事者のノウハウを後継者である新規就農者に効率よく伝承することが重要になる。しかし、現状では具体的な指標が少なく、

技術の伝承が難しい。農業におけるノウハウの要素の一つとして作業に到るまでの判断がある。熟練の農業従事者は農業知識のみによって行うべき作業を判断し決定しているわけではなく、作物や環境の状態を把握し行うべき農作業を判断している [2]。これらは経験により習熟化が見込まれる。新規就農者が独立して農業を始める際、最初に直面する問題は「どの農作業をするべきか」の判断である。このため新規就農者の就農当初における作業判断の支援は重要である。

一方、近年 ICT を用いた農場環境の管理、作業記録の補助など、農業と ICT との連携が注目されている。現在行われている農業 ICT に関する研究は、農作業そのものを各種センシングによって支援し、収穫の向上や安定化を図るのが主流であり、新規就農者へのノウハウ伝承を主眼に置いたものは少ない。圃場に設置したセンサから得るデータ等を用いて熟練農業従事者の農作業判断を指標化することは農業技術の伝承に役立つことが期待される。しかし、現状では圃場センサデータの変動のみを用いて農作業の判断

¹ 公立はこだて未来大学大学院 システム情報科学研究科
Graduate School of Systems Information Science, Future University Hakodate

² 公立はこだて未来大学 システム情報科学部
School of Systems Information Science, Future University Hakodate

基準を設定するには不十分であるため、熟練農業従事者が記録した農作業履歴も用いた指標化が必要となる。農作業の記録は農業従事者の負担となるため、他者がわかるレベルの十分な内容を持たせた記録を残しているところは少ない。このため、農業従事者への負担の少ない方法で農作業を記録することが課題となる。

そこで本研究では、圃場画像を比較することで圃場状態や農業従事者の行動を推定し、作業記録を自動的に行う方法の検討を行う。

2. 関連研究

2.1 スマートウォッチを用いた農作業記録システム

吉田ら [3] はスマートウォッチの位置情報と作業予定を用いて作業開始/終了時刻を自動的に記録するシステムを提案している。まず、使用者は事前にクライアント PC を使用して Web アプリケーション上に「作業員」、「作業場所」、「作業内容」、「作業開始/終了予定時刻」の項目を入力することで作業予定を作成する。作業予定の情報はホスト PC 上に仮想化されたサーバのデータベースに保存され、携帯端末やスマートウォッチなどのユーザ端末に通知される。通知を受け取った作業員は農作業実施時にユーザ端末を操作することで作業開始/終了時刻、作業状態を記録することができる。しかし、事前に作業予定を作成しなくてはならず、それをもとに作業の記録を行うため、予定外の作業を行う場合は別途入力を行う必要があるなど、農業従事者の負担が増加する問題がある。

2.2 スマートグラスを用いた農作業記録システム

稲田ら [4] は視点映像を用いた農作業の自動識別システムを提案している。スマートグラスを着用した農業従事者の視点映像を取得し、分割した視点映像における各フレームの Higher-order Local Auto Correlation (HLAC) と COLOR-HLAC を求める。全映像における各フレームの HLAC と COLOR-HLAC に対して k-means 法を適用することで最も類似度の高い農作業を実際に行った農作業として推定する。この手法では、スマートグラスにカメラを固定しているため、頭の動きに連動してカメラが動き、作業員が眼球運動のみによって手元を確認した場合、作業を判別できない場合がある。また、現状ではスマートグラスのバッテリー駆動時間は短いため、一日の全ての農作業を記録するための充電やデータの移動など農業従事者へ負担が増加する問題がある。

2.3 本研究の位置づけ

スマートウォッチやスマートグラスを用いた農作業記録は作業記録そのものの負担は減少するものの、作業記録の準備のためにかえって農業従事者の負担が増加する問題がある。この問題に対し、農業従事者への負担の少ない記録

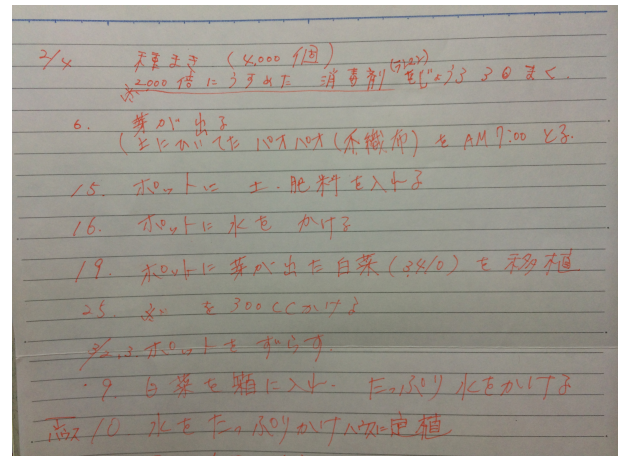


図 1 農業従事者による手書きの作業日誌

Fig. 1 Handwritten working diary by farmers

方法の検討を行う。

3. 農作業記録手法

本研究で農作業を記録する手法を決めるにあたって比較した農作業記録手法について述べる。

3.1 紙ノートを用いた記録

農業従事者が農作業を紙ノートに手書きで日誌形式で記入する方法について述べる。農業従事者は一日に広大な農地で複数の農作業を行うため全てを記録するには時間を要してしまう。図 1 は農業従事者が実際に作業日誌に記録していた作業内容である。日誌から取得できる情報は日付と作業内容のみである。農業従事者は作業をしながら記録を行うため、十分な内容をもつ記録を手書きで残すことは難しい。また、一日に複数の作業を複数の作物に対して行うことも多いため、記録漏れや記憶の欠如により全ての作業を記録することができないという問題もある。

3.2 PC/タブレットを用いた記録

農業従事者が農作業を PC/タブレットを使用して記録する方法について述べる。PC/タブレットを用いて農作業の記録を行った場合、手書きによる記録法で課題となっていた記録漏れと農業従事者への負担を改善することができる。図 2 は実際に農業従事者が入力したデータである。「作業日」、「作業開始/終了日時」、「天気」、「作業内容」、「作業の理由」、「気づいたこと」などを記録できる。作業内容は作物ごとに決まっているため、記述式ではなく選択式にすることで入力の負担を軽減している。しかし、現在の農業の中心的な年齢層は高齢者であり PC/タブレットの扱いに不慣れであるため、かえって負担となってしまう問題がある。また、農業従事者の記憶を元に入力しているため、紙ノートの場合と同様、正確な作業開始/終了時刻が不明であることが多い。

| | | |
|----------|--------------|-----------------------------|
| 日付 | 8月 1日(金) | |
| 天気 | はれ | |
| 気温 | | |
| 湿度 | | |
| 作業時間 | 時 分～ 時 分 | |
| 作業内容 | 詳しい作業内容(あれば) | その作業した理由 |
| | 水をかける | |
| | 通路灌水 | 。 |
| | 蜂をいれる | |
| | 追肥 | タイミン2号・ぞうさん 900cc あればはじめのため |
| | 支柱をたてる | |
| | わき芽摘み | |
| | 摘心 | |
| | 整枝と誘引 | |
| | 収穫 | |
| | その他 | |
| 葉の色 | | |
| 葉の形 | | |
| 気づいたことメモ | | |

図 2 PC 入力による作業記録

Fig. 2 Farm work recording using PC

表 1 ボイスレコーダによる作業記録

Table 1 Farm work recording using voice recorder

| 日付 | 時間 | 作業内容 |
|------|-------|---|
| 10/3 | 6:23 | わきのナイロン半分開ける。トマトの様子を見る。葉っぱの先枯れが少し目立つようになってきた。 |
| 10/3 | 9:09 | 液肥開始, 26 分取量。水 500cc に対し多段光合成細菌 300cc。 |
| 10/3 | 15:58 | わきのナイロン 10cm だけ開け, あと閉める。トマトの収穫は 1 箱ちよつきり。 |
| 10/3 | 16:30 | 枯れている葉っぱをとる。昨日, 暗くて見落とした赤いトマトを収穫, 半箱弱 |
| 10/3 | 17:30 | 5cm くらい開け, 全部閉める。 |

3.3 ボイスレコーダを用いた記録

農業従事者が農作業をボイスレコーダを使用して記録する方法について述べる。ボイスレコーダでの記録は少ない操作で行うことが可能である。表 1 は実際にボイスレコーダで録音したデータを書き起こしたものである。1 日の作業内容が複数記載されており、作業を行った理由も述べているため記録を詳細に行うことが可能である。作業前に記録を行うため、農業従事者の記憶が鮮明なうちに記録することが可能である。しかし、録音した音声の中には移動時に服が擦れることなどによって発生する雑音が入っているものが存在する。このような場合の音声データは雑音が原因で発話内容を正確に書き起こすことが困難である。記録を行うための操作は簡易になったものの、記録を行うために作業内容を発話し続ける必要があるため紙ノート、PC/タブレットを用いて記録するよりも農作業時の身体的負担が大きいものとなっている。また、記録のために作業を遅らせる必要があるため業務に支障をきたしてしまう問題もある。

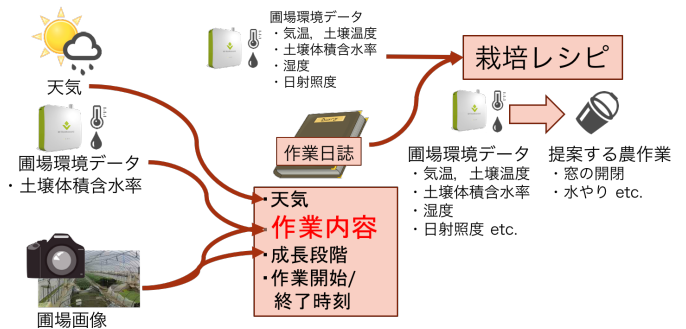


図 3 システム構成図

Fig. 3 System overview

3.4 カメラを用いた記録

カメラを用いて農作業を記録する方法について述べる。カメラの撮影可能範囲内であれば農業従事者の作業を全て記録可能である。カメラを用いることで植物の成長過程も同時に記録することが可能になる。また、ボイスレコーダと異なり、記録のために作業を遅らせる必要もなく、作業に専念することが可能なため農業従事者への負担は少ない。

3.5 農作業記録手法の比較

紙ノート、PC/タブレットを用いた記録は農業従事者への負担が大きいいためか、記録内容は少なく、記録漏れの作業も多く見られた。ボイスレコーダは記録内容は詳細だが、農業従事者への農作業時の身体的負担が大きい。本研究では農業従事者への負担が少なく、記録漏れのないカメラで農作業の記録を行う手法の検討を行う。

4. 提案システム

本研究では、農業従事者への負担の少ない農作業記録手法を提案する。ビニールハウス栽培を対象に農作業記録を行う。本章では、システム概要について説明する。

4.1 システム概要

システム構成図を図 3 に示す。本システムではセンサを用いて圃場画像データ、圃場環境データを収集するデータ収集システム、圃場画像を用いて農作業を予測し作業日誌を作成する農作業記録システム、収集した圃場環境データと作業日誌を用いて栽培レシピを作成するシステムから構成される。作業日誌の項目は「天気」、「成長段階」「作業内容」、「作業開始/終了時刻」とする。本システムは新規就農者に栽培レシピを提示することで農作業判断の習熟化を支援することが最終目的である。

4.2 データ収集システム

データ収集システムでは圃場に設置したセンサを用いて圃場環境データと圃場画像を収集する。提案システムでは圃場環境データの収集には e-kakashi[5]、圃場画像の収集

には C7815WIP[6] を用いている。

4.2.1 圃場環境データ

植物の生活環境の中で植物の成長に及ぼす外的要因は水、温度、光、大気成分、塩、物理的刺激、微生物、昆虫である [7]。中でも成長に大きく関わっているのが水、温度、光である。そこで、提案システムでは土壌体積含水率、湿度、気温、土壌温度、日射照度を収集する。

4.2.2 圃場画像

農業従事者の行動、圃場での植物の状態を記録する。画像を記録する方法として固定カメラを用いる方法とウェアラブルカメラを用いる方法がある。固定カメラは電源を確保することができれば長期的に撮影を行うことが可能である。また、一度設置を行えば稼働したままで良い。ウェアラブルカメラは身体に装着することでハンズフリーでの撮影を行うことが可能だが、バッテリー駆動時間が短いため、全ての農作業を記録することが困難である。作業従事中に絶えず装着しておく必要や、カメラを充電する手間があるなど、農業従事者へ負担も少なくない。提案システムでは農業従事者への負担が少ない固定カメラを用いて圃場画像の記録を行う。C7815WIP では撮影した画像を同一ネットワークであれば web ページで閲覧することが可能である。圃場に Raspberry Pi[8] を設置し、画像のスクリーンショットを撮影しクラウドサーバ上にアップロードする。カメラは圃場を見渡すことが可能な位置に設置し、撮影間隔は 10 秒とした。

4.3 農作業記録システム

農作業記録システムでは収集した圃場画像を元に作業日誌を作成する。農作業は作業者がビニールハウス内で行う作業、作業者がビニールハウス外で行うがビニールハウス内に視覚的変化が生じる作業、作業者がビニールハウス外で行うためビニールハウス内に視覚的変化が生じない作業に分類することができる。提案システムでは作業者がビニールハウスで行う作業、作業者がビニールハウス外で作業を行うがビニールハウス内に視覚的変化が生じる作業について作業の記録を行う。

4.4 栽培レシピ作成システム

熟練の農業従事者の作業日誌と圃場環境データを用いて栽培レシピを作成する。栽培レシピは農業経験の少ない人の代わりに天気、圃場環境データ、成長段階から圃場の状態を予測し、行うべき農作業を提示する。例をあげると定植後の湿度が 70% 以上なら窓開けの作業を提示するものである。

5. 圃場画像による作業記録

本章では、農作業を記録する手法について説明する。ビニールハウスでのミニトマト栽培では灌水、葉面散布、わ

き芽取り、摘葉、誘引、窓の開閉、収穫などの農作業が行われている。これらの農作業の判定を行うために、窓の開閉判定、人物検出、作業者の作業推定を行う。

5.1 窓の開閉判定

ビニールハウス栽培では、気温と湿度を調整するために窓の開閉を行う。気温と湿度の調整は高温による成長不良や高湿度による病気を防ぐために行われる。栽培方法や地域、季節による作業基準は異なる。窓の開閉が行われたタイミングと圃場環境データを比較することで圃場に適した作業基準を定めることができると考えられる。圃場画像内の窓の状態を判定することで窓の開閉のタイミングを記録する。画像内の物体の状態変化を判定する方法としてフレーム間差分法、背景差分法、畳み込みニューラルネットワーク (Convolutinal Neural Network: CNN) がある。フレーム間差分法は画像間の差分を計算し差分の大きい領域を移動体として検出する。画像内での差分の小さいものの検出をすることが困難であるため、動作の小さい作業の検出には不向きである。また、画像内に複数の動体が存在するとき全てを抽出することが困難であるため、植物の動きや作業者の動きによって判定精度が下がると考えられる。背景差分法はあらかじめ用意した背景画像と検出をしたい画像との比較によって移動体を検出する。天候の変化などの環境の変化や植物の揺れなど背景物体の変動に反応してしまうため、背景画像を更新することが必要であるため、環境の変化や植物の揺れが生じやすい圃場での動体検出には不向きである。CNN は畳み込み層とプーリング層から構成されるニューラルネットワークである。入力画像が与えられた時に畳み込みとプーリングにより画像の特徴を抽出し、全結合層に抽出した特徴を与えることで識別を行う。圃場での輝度を考慮して学習を行うことが可能なため、輝度の変化の激しい圃場画像での窓の状態判別に有効であると考えられる。提案システムでは CNN を用いて窓の開閉判定を行う。

5.2 人物検出・物体検出

一部の農作業を除いて農作業をする時に農業従事者は圃場で作業を行う。圃場画像から作業者を検出することで、作業開始/終了時刻を予測することが可能になる。また、作業者が使用している道具を検出することで農作業識別の基準にすることができると推測できる。人物検出、物体検出を高速で行える Single Shot MultiBox Detector(SSD) を用いて行う [9]。SSD は CNN を用いて画像中の物体をアスペクト比に関係なく検出する手法である。図 4 は人物を検出した時の画像である。SSD により検出した物体を四角い枠で囲い、検出した物体に対してラベルづけを行う。

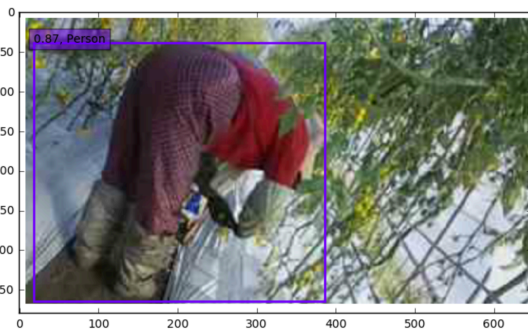


図 4 SSD による人物検出

Fig. 4 People detection by SSD

5.3 作業者の作業推定

作業者の検出された時刻, 使用している道具, 圃場環境データ, 作物の成長段階をもとに作業分類モデルを作成する. 作成した分類モデルをもとに農作業の推定を行う.

6. 実験

本章では 5.1 節の窓の開閉判定に関する評価実験を行う.

6.1 観測対象

本研究では, ビニールハウスでのミニトマト栽培を対象に実験を行った. カメラはビニールハウス全体を見渡せるように配置し 10 秒間隔で撮影を行った. ミニトマトの観測期間は 2017 年 5 月 22 日から 11 月 6 日までである.

6.2 窓の開閉判定の精度の検証

1 日分の開閉画像で学習を行った場合 (検証 1) と 9 日分の開閉画像で学習を行なった場合 (検証 2) の学習精度の比較, 評価を行う. 検証 1 の訓練データとして窓の開閉を初めて行った 9 月 29 日の「窓が開いている画像」1560 枚と「窓が閉じている画像」1087 枚を使用した. 検証 2 の訓練データとして 9 月 29 日, 10 月 1 日から 10 月 8 日までの 9 日間の「窓が開いている画像」880 枚と「窓が閉じている画像」880 枚を使用した. テストデータとして 9 月 30 日の「窓が開いている画像」445 枚, 「窓が閉じている画像」445 枚をテストデータとして使用した. 学習はいずれも 50 回行った. 本実験の学習には TensorFlow[10] を使用した. TensorFlow は Google がオープンフレームワークとして公開している深層フレームワークである. ネットワークの構造は, 入力側から畳み込み層-活性化関数 (ReLU)-プーリング層の 3 層を 3 連結し, 全結合層-活性化関数 (ReLU)-全結合層を連結させシグモイド関数と呼ばれる活性化関数で終了する構造である. 全結合層にて Dropout[11] を行う. Dropout は学習の更新時に層の中のノードのうちいくつかを無効にして学習を行うことで学習の汎化性能を上げ, 過学習を避ける.

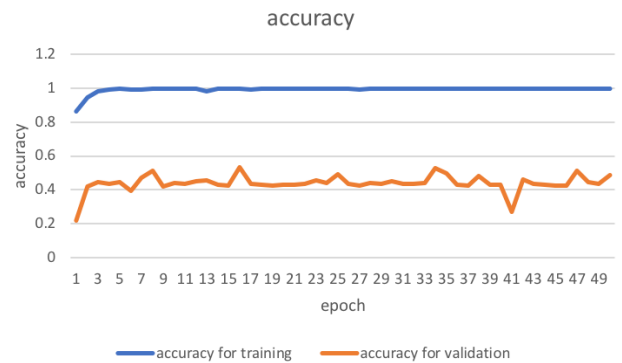


図 5 検証 1 の学習精度

Fig. 5 Accuracy of verification 1

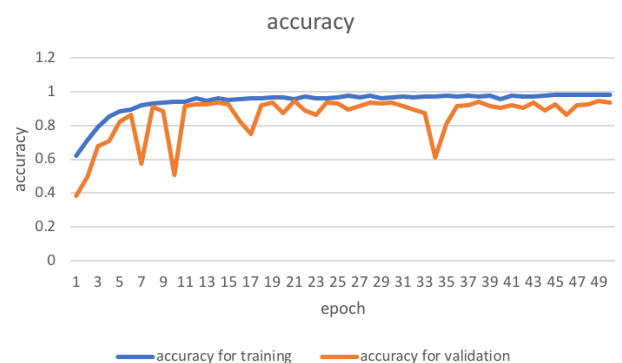


図 6 検証 2 の学習精度

Fig. 6 Accuracy of verification 2

7. 実験結果・考察

本章では実験結果及び考察について述べる.

7.1 学習精度

検証 1 での学習精度を図 5 に示す. グラフの縦軸が学習精度を表している. グラフの横軸は学習回数を表している. 訓練データに対する学習精度は 0.9~1.0 となっているが, テストデータに対する学習精度は 0.4 前後となっている.

検証 2 での学習精度を図 6 に示す. グラフの縦軸が学習精度を表している. グラフの横軸は学習回数を表している. テストデータに対する学習精度は 0.9 前後である.

検証 1 よりも検証 2 の方がテストデータにおいて高い学習精度を得るといった結果が得られた.

7.2 考察

検証 1 は訓練データに対する学習精度は高いがテストデータに対する学習精度は低くなっている. 未知のデータに対する適応性が低いと考えられる. 検証 1 での損失を図 7 に示す. グラフの縦軸が学習精度を表している. グラフの横軸は学習回数を表している. 検証 1 では訓練データに対する損失は学習を重ねるごとに減少しているがテストデータに対する損失は大きく上昇している. これは訓練

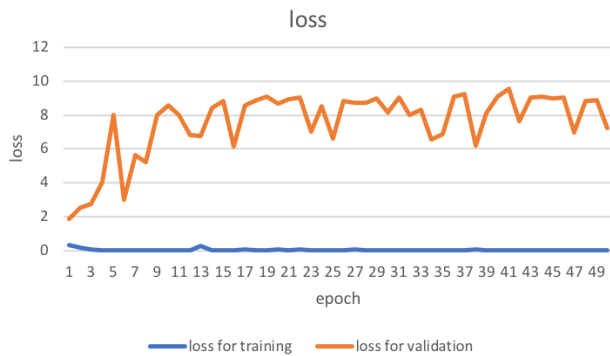


図 7 検証 1 の損失

Fig. 7 Loss of verification 1

データの画像が1日分の画像データであったため類似度の高い画像を学習してしまい、過学習を起こしてしまったためであると考えられる。実験結果より多期間に渡るデータを訓練データとして用いることで汎化性能の高い学習を行うことができる。汎化性能の高い学習結果を用いることで窓の開閉の記録を自動的に行うことが可能であると考えられる。

8. おわりに

本稿では、農業従事者への負担の少ない農作業日誌の作成を目的に、圃場画像を用いた作業の記録方法を検討した。圃場画像に対してCNNを用いることで窓の開閉を判定する方法、SSDを用いることで人物、物体を検出する方法、検出した物体や圃場環境データ、作物の成長段階をもとに作業の推定を行う方法の検討を行った。窓の開閉判定にCNNを用いる方法の評価、検証を行った。訓練データに使用するデータの期間が短いと学習時に過学習を起こし判定精度が低くなるという結果が得られた。今後はCNNで学習した結果をもとに窓開け判定の精度の評価、SSDを用いた人物検出精度の評価、作業推定方法を検討する必要がある。

参考文献

- [1] 農林水産省：農業労働力に関する統計 (online), 入手先 (<http://www.maff.go.jp/j/tokei/sihyo/data/08.html>) (2018/1/25).
- [2] 神成淳司：農業 ICT の最新動向, 会誌「情報処理」, Vol.58, No.9, pp.818-822, 2017.
- [3] 吉田崇洋, 田口大悟, 井口信和：位置情報に基づくウェアラブルデバイス向け農作業支援システムにおける農作業記録作成機能の開発, 2016 情処関西支大, Vol.2016, pp.1-5, 2016.
- [4] 稲田脩二, 梶原祐輔, 島川博光：視点映像を用いた農作業識別のための一考察, 電学論 C, Vol.135, pp.1149-1150, 2015.
- [5] PS ソリューションズ株式会社：e-kakashi(online), 入手先 (<https://www.e-kakashi.com/>) (2018/1/25).
- [6] VStarcam：C7815WIP(online), 入手先 (<http://www.eye4.so/product/c7815wip.html>) (2018/1/25).
- [7] 増田芳雄, 山本良一, 櫻井直樹：絵とき植物生理学入門,

オーム社, 2008.

- [8] Raspberry Pi Foundation：Raspberry Pi(online), 入手先 (<https://www.raspberrypi.org/>) (2018/1/25)
- [9] Liu, W. Anguelov, D. Erhan, D., et al: SSD:Single Shot MultiBox Detector, arXiv:1512.02325, 2015.
- [10] TensorFlow:TensorFlow(online), 入手先 (<https://www.tensorflow.org/>) (2018/1/25)
- [11] Srivastava, N., Hinton, G., Krizhevsky, A., et al: Dropout: A simple way to prevent neural networks from overfitting, Journal of Machine Learning Research, Vol.15, pp.1929-1958, 2014.