

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 元年 6 月 20 日現在

機関番号：13601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K16043

研究課題名（和文）植物の構造と数値を結ぶベクタデータクラウドの構築

研究課題名（英文）Construction of vector data cloud connecting plant structure and numerical information

研究代表者

小林 一樹 (Kobayashi, Kazuki)

信州大学・学術研究院工学系・准教授

研究者番号：00434895

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、農園モニタリングシステムからの収集画像を用いて、深層学習による果実外形の数値情報の自動抽出を実現した。具体的には、移動型農園モニタリングシステムからの収集画像を用いて、草丈の数値情報の自動抽出を行う技術や、深層学習を用いて農園モニタリング画像から果樹の果実の場所を特定するとともに、その形状情報を自動的に抽出するシステムを開発した。一般に、深層学習では訓練データの収集に多く労力を要するが、自動的にアノテーション付き訓練画像を生成する技術を開発し、訓練データを生成するのに必要な時間と労力を大幅に削減した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した手法で数値化された植物構造情報を抽出することにより、作物の成長予測シミュレーションや予測モデルの構築に活用できる。単視点画像であっても数値化された植物情報を抽出する技術も開発したため、過去の農園画像に対しても利用が可能である。また、観察データから重要な遺伝子の働きを特定するフェノミクス研究において、遺伝子型と表現型との対応付けの効率化に貢献できる。

研究成果の概要（英文）：In this research, we developed the automatic extraction of the numerical information such as fruit shape information by using deep learning with collected field images from monitoring systems. We developed a monorail typed mobile field monitoring system to reconstruct 3D data of the field and to extract plant height numerical information. We also developed a deep learning training technology to automatically extract the positions and their shape information of fruits from a field monitoring image. Although deep learning generally requires a lot of time and effort to collect training data, our technology significantly reduces the time and effort by automatically generating annotated artificial field images.

研究分野：スマート農業

キーワード：農園モニタリング フィールドモニタリング 農業情報 深層学習 訓練データ拡張 植物3次元構造復元 スマート農業

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

近年、ICTを活用した農業であるスマートアグリが注目されている。スマートアグリでは、温度や湿度などの環境情報や灌水量、施肥量などを数値化して記録することで、生産の安定化と経営の効率化を進めている。最近では、オランダの栽培施設がメディアで取り上げられているが、日本は農村の通信インフラ提供と農園モニタリングを同時に行うフィールドサーバの大きさがけであり、センサネットワークプラットフォームとして発展を続けている。生産の安定化と経営の効率化には、その時々での適切な判断と意思決定が重要である。これには過去データが有効であり、植物生長や市場価格の予測モデルの構築や傾向分析に活用できる。農園モニタリングを通して数値化できる対象が拡大すれば、発展を続ける計算機の力を農業に適用し、勘やその場の流れでなされてきた意思決定から脱却できる。

植物の生長は環境に応答的であるため、従来は主に温度や湿度などの環境情報のモニタリングが行われてきたが、環境に対する植物生体情報の記録が不十分である問題がある。なぜなら、近年は気候変動が激しく、想定外の環境下における植物の生長や形態変化、収量などに与える影響を分析して意思決定に反映させる必要があるからである。申請者は、これまでにモニタリング画像から作物の成長率を可視化する取り組みを実施したが、そのような数値化には人間による判断が必要で負担が大きい問題がある。植物や森林の三次元データを取得する研究もあるが、その構造と数値とが紐付いていない問題もある。もし、植物の茎、葉、果実、花などの部位ごとに区分けされたパーツと、生長や環境変化に伴うそれらの大きさや重量などの数値変化が構造的に扱えれば、高精度な予測モデルの構築や分析につながる。したがって、生産の安定化と経営の効率化にとって重要な過去データとして、構造化された植物の環境応答をどのように蓄積し活用するかが次世代営農を実現する上での課題である。

2. 研究の目的

本研究では、作物のリアルな状態に合わせた農園管理や意思決定といった次世代営農の確立を目指し、部位ごとの成長率や形態変化といった植物自体の環境応答を構造化して詳細に記録し、利活用を促進するベクタデータクラウドを構築することが目的である。

具体的には、これまで数値化や構造化が困難であった植物の形状とサイズとの対応がとれたデータを自動的にベクタデータとして抽出し、蓄積するシステムを開発する。

3. 研究の方法

本研究の核は、植物の形状と数値情報とを対応付けてデータを蓄積するシステムの構築と、そのデータに容易にアクセスする機能の開発である。植物の形状抽出には、レーザレンジファインダや多視点画像から3次元構造を復元することで、背景と植物との分離を行い、検出した植物領域に対して植物の形状を計測する。また、深層学習を用いることで、単視点画像であっても植物の構造情報を抽出する技術を開発する。単視点画像においては、果樹の果実形状を対象とし、自動的に果実形状抽出して記録を行う。さらに、これらの機能を利用者が容易に利用できるように、Webサービスとして運用するサービス基盤モジュールを開発する。

以下に具体的な方法について述べる。

(1) 多視点画像からの3次元構造情報抽出手法の開発

農園内を撮影した多視点画像から3次元構造を復元(Structure from Motion)し、植物の構造情報抽出する手法を開発する。農園の多視点画像を効率的に収集するための移動型農園モニタリングシステムを開発し、多数の可視光カメラ画像を自動的に収集する。具体的にはモノレール上を移動しながら広範囲の植物多視点画像を収集できるようにする。

(2) 単視点画像からの果実形状自動抽出技術の開発

移動型農園モニタリングシステムを用いなくても、単視点画像から植物の構造情報を収集するための深層学習を用いた手法を開発する。一般に、深層学習では訓練データの収集やアノテーション付けに人間の判断が必要であり、多くの労力と時間とを要する。ここでは、アノテーション付与された訓練画像を自動的に生成する技術を開発する。具体的には、農園を模倣した画像を、果実、葉などのパーツ画像を組み合わせることで、そのパーツの種類と位置情報とのメタ情報を付与した合成農園画像を生成する。これを深層学習のための畳込みニューラルネットワークへ訓練データとして与える。

(3) Webサービス基盤モジュールの開発

他のシステムやプログラミング環境から抽出した数値情報にアクセスするための仕組みを開発する。具体的にはWebアプリケーションとして公開し、大量のデータ集合の中から効率的に必要なデータだけを取得できるようにする。このようなサービス基盤を構築することで、ある植物の特定の部位の長さだけの時系列データを取得したり、地域平均や年平均、最大最小といったデータを植物の構造でフィルタリングし、成長曲線として可視化するといった二次利用が促進される。

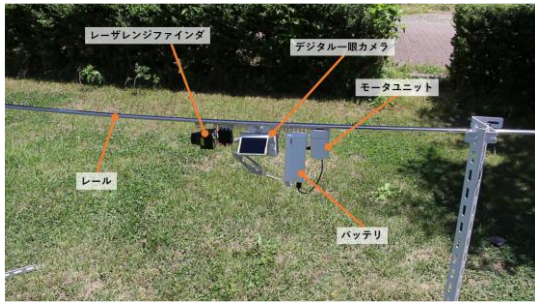


図1 移動型農園モニタリングシステム

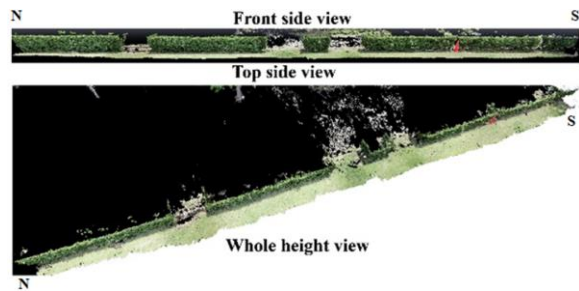


図2 多視点カメラ画像からの三次元空間画像

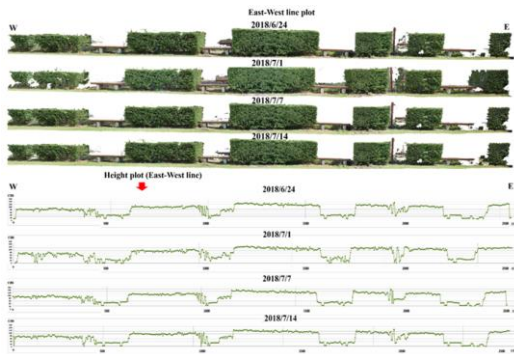


図3 草丈の経時変化データ

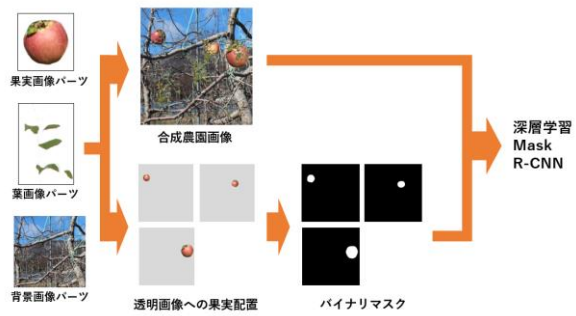


図4 深層学習による果実外形抽出のための自動学習手順

4. 研究成果

(1) 多視点画像からの3次元構造情報抽出手法

図1に開発した移動型農園モニタリングシステムを示す。移動型農園モニタリングシステムは、レーザレンジファインダ、デジタル一眼カメラ、バッテリー、モータユニットから構成され、市販のカーテンレールを改造して構築した安価なレール上を移動して対象の植物を多視点から撮影して記録する。図2にカメラ画像から合成した三次元空間画像例を示す。この画像は、観測データから連続する約30メートル領域を切り出したものであり、実験では全長60メートルのレール上を機器が移動して収集した多視点画像から、3次元構造を復元して正面と上空からの視点で表示したものである。

図3に植物の草丈情報を抽出した結果を示す。移動型モニタリングシステムを定期的に動作させて観測を行い、広範囲に分布する植物の多視点画像を収集した。この多視点画像から3次元構造を復元し、草丈の情報を抽出した。開発した手法により、広範囲の植物の数値化された情報を抽出し、その時間変化が把握できることを確認した。

(2) 単視点画像からの果実形状自動抽出手法

図4に単視点画像から深層学習により果実形状を推定するための自動訓練データ生成手順を示す。深層学習では、訓練データとして入力画像に対応したアノテーション（正解情報）が必要である。提案手法では、任意の農園画像に対して、果実の外形を正解としてアノテーション付ける。通常は人間が手作業にて果実の外形を描くことで学習に必要な大量のデータを生成する必要がある。それに対し、提案手法では果実画像パーツ、葉画像パーツ、背景画像パーツに分割し、これらの画像サイズや輝度、明暗、配置位置、配置個数をランダムに組み合わせて擬似的な農園画像を人工的に生成する。特に、果実画像パーツについては、あらかじめ外形情報が付与されているため、果実の上に葉や、他の果実画像が重ねられたとしても、元の果実外形情報が保持される。この外形情報は、図のバイナリマスク（白黒の画像）として扱われ、この外形情報が正解データとして、合成された農園画像が入力画像として深層学習に渡され畳み込みニューラルネットワークの訓練が実行される。図5に自動的に生成された合成農園画像の例を示す。

本研究では、訓練用のデータとして3000枚の合成画像を使用した。実際に農園モニタリングシステムで定点観測した未訓練の画像を入力して果実外形情報を推定したところ、表1に示す結果を得た。既存の学習済みモデル(COCOモデル)と比較して高い推定精度が示された。図6に両条件での推定結果を示す。画像中の緑色の線が正解であるのに対し、赤色の線が両条件で推定された果実外形である。図に示されているように、提案手法では果実部分が他の果実や葉で隠れていても、正解の外形に近い外形が抽出されていることが確認された。



図5 自動生成した農園画像例

表1 果実外形の推定結果

	COCO	提案手法
AP	0.215	0.367
AP ^{IoU=50}	0.432	0.769
AP ^{IoU=75}	0.195	0.315
AR ^{max=100}	0.384	0.492

AP : 10 個の IoU のしきい値 {0.50, 0.55, ..., 0.95} で求めた予測領域の正解率の平均値

AP^{IoU=x} : IoU しきい値 = x% のときの予測領域の正解率

AR^{max=100} : 10 個の IoU のしきい値 {0.50, 0.55, ..., 0.95} で求めた正解領域の網羅率の平均値

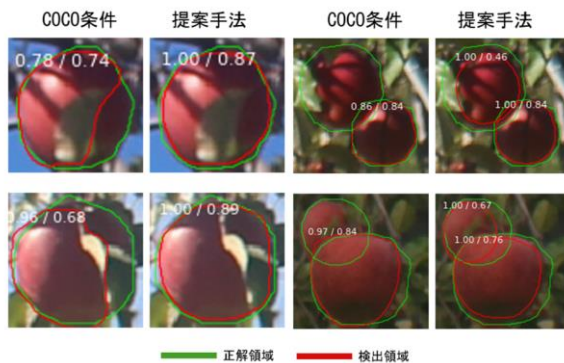


図6 推定された果実外形情報



図7 リンゴ果実径の統計情報を表示する

Web アプリケーション

(3) Web サービス基盤モジュール

リンゴ果実を推定した領域および、その大きさを他のシステムから参照できるサービス基盤モジュールを開発し、この機能を利用して統計情報と推定領域結果を表示する Web アプリケーションを開発した。図7に開発した Web アプリケーションを示す。Web アプリケーションのトップページでは、対象物の全期間における果実径(ピクセル値)の統計情報(1日ごと)を表示し、どれか1つをクリックすると、その日の果実径のヒストグラムと認識結果の画像を表示する。果実径の認識は2次元カメラ画像上で行われるため、遠い場所に位置する果実は相対的に小さな値として抽出される。そこで、この大きさのヒストグラムを求めることで、利用者が代表値を選出しやすくしている。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

- [1] 源野広和, 小林一樹, 大量高精細画像からの果実生育情報の抽出, 農業情報研究, Vol. 26, No. 4, pp.100-114 2017, 査読あり, <https://doi.org/10.3173/air.26.100>

[学会発表] (計21件)

- [1] 高井 亮磨, 小林 一樹, 隠れた果実領域抽出のための深層学習訓練データの自動生成, 日本知能情報ファジィ学会 第5回人間共生システムデザインコンテスト(HSS-DC) &

- 第 26 回 HSS 研究会, 2019
- [2] Takaharu Kameoka, Atsushi Hashimoto, Kazuki Kobayashi, Keiichiro Kagawa, Masayuki Hirafuji, Jun Tanida, Multiband imaging and optical spectroscopic sensing for digital agriculture, In Proc. of the 4th International Workshop on Image Sensors and Imaging Systems, 2018
 - [3] 高井亮磨, 小林一樹, 深層学習による隠れた果実領域抽出のための訓練データ拡張, 日本知能情報ファジィ学会 合同シンポジウム 2018 第 27 回北信越支部シンポジウム & 第 25 回人間共生システム研究会, S1-2, pp.3-4, 2018
 - [4] Fumiya Shimobayashi, Kazuki Kobayashi, Keiichiro Kagawa, Wei Guo, Masayuki Hirafuji, Jun Tanida, FS-TOMBO: An Agricultural Field Monitoring System with a Small and Lightweight Multispectral Camera, Proc. of AFITA/WCCA2018 (Asia-Pacific Federation for Information Technology in Agriculture / World Congress on Computers in Agriculture), pp.346-348, 2018
 - [5] 下林史弥, 小林一樹, 香川景一郎, 郭威, 平藤雅之, 谷田純, 複眼カメラ TOMBO を用いたフィールドモニタリング, 第 32 回人工知能学会全国大会, 2G2-OS-10b-04, 2018
 - [6] 小林一樹, 小形真平, 青木善貴, 中川博之, サイバーフィジカル統合型モデルを用いたフィールドモニタリングシステムの開発, 農業情報学会 2018 年度年次大会, pp132-133, 2018
 - [7] 小形真平, 小林一樹, 青木善貴, 中川博之, TORTE による IoT システムモデリングの実践 ~農園画像モニタリングシステムを事例として~, ウィンターワークショップ 2018・イン・宮島 論文集, pp.72-73, 2018
 - [8] Narayan Sharma, Kazuki Kobayashi, A curtain rail based outdoor scanning system for crop monitoring, 平成 29 年度電子情報通信学会 信州大学 Student Branch 論文発表会, 2017
 - [9] 中村俊輝, 小林一樹, 農園画像を用いた深層学習によるリンゴ果実の生育情報抽出, 2017 年度 農業情報学会・電子情報通信学会 知的環境とセンサネットワーク研究会連催 合同研究会, 農業×情報通信ワークショップ 2017, pp.72-73, 2017
 - [10] 下林史弥, 小林一樹, ベアメタル型マイクロコントローラによるフィールドモニタリングシステム運用の効率化, 2017 年度 農業情報学会・電子情報通信学会 知的環境とセンサネットワーク研究会連催 合同研究会, 農業×情報通信ワークショップ 2017, pp.100-101, 2017
 - [11] シャルマ ナラヤン, 小林一樹, A Monorail Based Real-time Crop Scanner Using Camera and Laser Rangefinder, 2017 年度 農業情報学会・電子情報通信学会 知的環境とセンサネットワーク研究会連催 合同研究会, 農業×情報通信ワークショップ 2017, pp.151-152, 2017
 - [12] 下林史弥, 小林一樹, ベアメタル型マイクロコントローラを用いたロバストフィールドモニタリング, 電子情報通信学会 信越支部大会, 8C-4, pp.125, 2017
 - [13] Narayan Sharma, Kazuki Kobayashi, Monorail Based Plant Scanner for Field Monitoring, 電子情報通信学会 信越支部大会, 8C-3A, pp.124, 2017
 - [14] 中村俊輝, 小林一樹, 深層学習におけるリンゴ果実サイズ特定のための訓練画像生成手法, 電子情報通信学会 信越支部大会, 6A-4, pp.84, 2017
 - [15] 小林一樹, アグリガジェットによる植物情報収集, 2017 年度農業食料工学会関東支部・信州大学食農産業イノベーション研究センター (CAFI) 合同シンポジウム「農・食・工の融合ー信州からの発信」, 2017
 - [16] 小林一樹, 野口遥平, クラウドセットアップ可能なフィールドモニタリングシステムの開発, 農業情報学会 2017 年度年次大会, pp.97-98, 2017
 - [17] 野口遥平, 小林一樹, [ポスター講演] クラウド型マルチデバイスフィールドモニタリングシステムの開発, 電子情報通信学会技術研究報告, 2016
 - [18] Kazuki Kobayashi, Multifunctional High Definition Web Image Viewer for Visualizing Plant Growth Data, In Proc. of WCCA/AFITA2016, SS6, pp.21-24, 2016.06
 - [19] Tokihiro Fukatsu, Gen Endo, Kazuki Kobayashi, Field Experiments with a Mobile Robotic Field Server for Smart Agriculture, In Proc. of WCCA/AFITA2016, OS6-2, pp.1-4, 2016
 - [20] 小林一樹, SNS と連動するコンテンツ生成型高精細農園画像ビューアの開発, 農業情報学会 2016 年度年次大会, p.106, 2016
 - [21] 小林一樹, コネクティブアプリケーションによるアグリガジェットの開発, 農業情報学会 2016 年度年次大会, pp.5-8, 2016

[図書] (計 1 件)

- [1] 小林一樹, 農業情報学会編, 農林統計出版, 新スマート農業, 2019, 500 頁, pp.334-335

〔産業財産権〕

○出願状況（計4件）

- [1] 名称：農作物の生育評価・作業提案方法および農作物の生育評価・作業提案システム、ならびに地域農業活性システム
発明者：源野広和，小林一樹
権利者：キッセイコムテック株式会社，信州大学
種類：特許
番号：特願 2019-061873
出願年：2019
国内外の別：国内
- [2] 名称：栽培支援方法、栽培支援プログラム、栽培支援装置、および栽培支援システム
発明者：小林一樹，源野広和
権利者：信州大学，キッセイコムテック株式会社
種類：特許
番号：特願 2018-081637
出願年：2018
国内外の別：国内
- [3] 名称：植物の生育状態評価方法、植物生育状態評価プログラム、植物生育状態評価装置ならびに植物モニタリングシステム
発明者：小林一樹，源野広和
権利者：信州大学，キッセイコムテック株式会社
種類：特許
番号：特願 2017-58688
出願年：2017
国内外の別：国内
- [4] 名称：耕地管理支援システム
発明者：小林一樹，山崎研一
権利者：信州大学，アスザック株式会社
種類：特許
番号：特願 2017-062912
出願年：2017
国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.cs.shinshu-u.ac.jp/~kby>

6. 研究組織

(1) 研究協力者

研究協力者氏名：源野 広和

ローマ字氏名：Hirokazu Genno

※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、研究者個人に帰属されます。