

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K15946

研究課題名（和文）作物3D形態ベンチマークデータセットの構築による植物フェノタイピング研究の加速

研究課題名（英文）3D morphological benchmark datasets for accelerating plant phenotyping studies

研究代表者

野下 浩司（Noshita, Koji）

九州大学・理学研究院・助教

研究者番号：10758494

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：植物地上部の3次元形態データセットの作成に取り組んだ。複数台のデジタルカメラによる写真測量スタジオを利用した多視点画像の取得、得られた多視点画像に対するアノテーションデータの作成、多視点画像を利用した3次元再構築、再構築された点群データの解析による表現型値の推定、従来計測が困難であった性質の評価手法の開発を実施した。その結果、特にダイズの主に葉に関連した形質について植物3次元形態データセットを作成できた。また、新たな数理モデルベースの計測手法やモデルの開発に活用し、その有用性を示すことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

植物地上部の3次元形態データセットの作成に取り組んだ。これにより、新規に開発する計測方法の評価や機械学習モデルの訓練データとしての活用が見込める。また、従来計測が困難であった性質の評価手法の開発にもつながった。すなわち、詳細な計測データ、アノテーションデータ、形質データを組み合わせたデータセットを作成することで、新規に提案される計測手法の有用性を検証できる基盤の構築や新しい手法の開発の支援をおこなうことが可能になると考えられる。

研究成果の概要（英文）：I worked on the creation of a 3D morphological dataset of plant structure. I acquired multi-view images by using a photogrammetry studio with multiple digital cameras, created annotation data for the obtained multi-view images, reconstructed the 3D images using the multi-view images, estimated phenotypic values by analyzing the reconstructed point cloud data, and developed a method for properties that have been difficult to quantify. As a result, we created a 3D plant morphological dataset, especially for traits related mainly to leaves of soybean. In addition, we were able to demonstrate the value of the dataset in the development of a novel mathematical model-based measurement method and a model.

研究分野：数理生物学，形態測定学，農業情報学

キーワード：植物フェノタイピング 数理モデル 形態測定学 画像解析

1. 研究開始当初の背景

世界の食料需要の増加、気候変動による農作地環境・栽培条件の変化、さらには我が国においては農業就業人口の低下および高齢化といった食糧問題の深刻化が叫ばれている。従来型の高収量品種の作出や手間暇をかけた高品質作物の栽培管理だけでなく、各栽培地の環境に適した品種の高速デザイン、環境と作物のモニタリングシステムによる病害虫の早期検出や精密施肥、及びこれらプロセスの自動化が必須であり、多様性をもった農作物生産技術とそれを支援する情報技術が求められている。次世代シーケンサーの普及によりゲノムや遺伝子発現データは高速・大量に取得可能となった。これに加え表現型データを高効率に取得できれば遺伝情報と表現型情報の関連の解明、ひいては効率的な育種プログラムの実現や最適な栽培管理方法の提案に繋がることが期待される。しかし、表現型データの収集は未だ労働集約的でスループットは低い。この問題を解決しようと、各種センサーの開発や画像解析、ロボティクスを利用して植物の表現型データを効率的に収集・解析することを目指す「植物フェノタイピング」への取り組みが世界的に活発になっている。こうしたなかで植物表現型データにおける「“真の値”とは何か」という課題がある。例えば、「既存手法で推定された草丈」と「提案手法で推定された草丈」のいずれがより正確か(“真の”草丈に近い)は自明でなく、マニュアルでの計測結果との比較に終始している場合が多い。これは植物フェノタイピングにおけるベンチマークデータセットといえるものが殆ど存在せず、提案手法の精度検証が困難なためと考えられる。現在、深層学習の分野で起こっているブレイクスルーが ImageNet などの膨大なデータセットを背景としている状況と逆行している。特に、人の生活圏を対象として学習したネットワークは農作物生産現場には適さない可能性が高く、深層学習の成功の恩恵を限定的にしか受けられないことを意味する。農作物生産現場を対象としたデータセットの構築が急がれる。申請者は、植物表現型データの中でも特に真値データの蓄積が進んでいない 3 次元形態データにフォーカスし、ベンチマークデータセットの構築に取り組むことで、植物フェノタイピングの検証基盤を整備し、作物表現型データの収集を加速することができると考えた。

2. 研究の目的

植物 3 次元形態ベンチマークデータセットを構築することで、植物フェノタイピングの検証基盤を整備し、作物表現型データの収集を加速することを目的とした。そのために写真測量技術を用いた経時的な 3 次元形態情報の取得と破壊調査による真値データの収集、画像解析による前処理と人の目によるアノテーションデータの作成を通して「植物フェノタイピング用のベンチマークデータセットの構築」と「植物フェノタイピング手法の訓練データ及び精度評価基盤の検証」に取り組んだ。特に、植物表現型データの中でも特に真値データの蓄積が進んでいない 3 次元形態データにフォーカスした。

3. 研究の方法

本研究では、異なる形態的特徴をもつ植物を対象に非破壊・経時的な 3 次元形態データの収集、破壊調査による形質値のデータ収集、アノテーションデータ作成を行った。

写真測量技術を用い同一シーンを撮影した 2 次元画像の集合から 3 次元点群データを再構築できる。本研究では複数台のデジタルカメラを用いた同期撮影により高精度の 3 次元点群データを取得した。加えて、破壊調査による真値データの収集を行った。さらに、非破壊・破壊調査で得た画像データに対しピクセルベースのアノテーションを行った。ラベルの付与を手動・半自動で行い、訓練データ・検証用データとして整備した。こうして得られたデータを訓練データとして学習し領域分割の自動化に利用した。特に、セマンティックセグメンテーションやインスタンスセグメンテーションなどの領域分割タスクへの利用を行った。

4. 研究成果

植物フェノタイピングのためのベンチマークデータセット作成に向けて、アノテーションデータの作成、深層学習を利用した画像解析の適用、3 次元形態データの収集を実施できた。主にダイズを対象に、多視点画像の撮影を行い、3 次元形態データを収集した。得られた多視点画像に対して各小葉等をインスタンスとしてアノテーションを行い、400 枚以上のインスタンスセグメンテーション用ラベル、100 枚以上のセマンティックセグメンテーション用ラベルの作成を行った。

アノテーションデータを用いて、Mask R-CNN による小葉のインスタンスセグメンテーションが可能となった。この結果を踏まえ、3 次元空間中での葉の輪郭形状解析のための計測手法の開発へ進み、理想的な撮影条件下では 3 次元輪郭を多視点画像から再構築できることを明らかにした。作成したデータセットに基づき新規手法の開発をおこなうことができた。

植物体地上部の 3 次元形態データを取得した際の葉のサイズ、角度、形状データ及びそれらの時空間的な分布の解析方法の開発を行い、得られた時系列 3 次元形態データから抽出された葉

のサイズ,角度,形状データ及びそれらの時空間的な分布を統合的に扱うためのモデル化方法を提案した.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 大倉 史生, 野下 浩司, 木下 俊則, 戸田 陽介.	4. 巻 10
2. 論文標題 深層学習の利活用による植物表現型解析技術の展望	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 植物科学の最前線	6. 最初と最後の頁 99-107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24480/bsj-review.10b7.00160	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Guo Wei, Fukano Yuya, Noshita Koji, Ninomiya Seishi	4. 巻 10
2. 論文標題 Field based individual plant phenotyping of herbaceous species by unmanned aerial vehicle	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ecology and Evolution	6. 最初と最後の頁 12318 ~ 12326
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ece3.6861	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Kirie Shiryu, Iwasaki Hideo, Noshita Koji, Iwata Hiroyoshi	4. 巻 15
2. 論文標題 A theoretical morphological model for quantitative description of the three-dimensional floral morphology in water lily (Nymphaea)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0239781
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0239781	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Yamauchi Takaki, Noshita Koji, Tsutsumi Nobuhiro	4. 巻 71
2. 論文標題 Climate-smart crops: key root anatomical traits that confer flooding tolerance	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Breeding Science	6. 最初と最後の頁 51 ~ 61
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1270/jsbbs.20119	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 大倉 史生、水谷 未耶、野下 浩司、戸田 陽介	4. 巻 11
2. 論文標題 植物科学の「人工知能」との関わり方を考える	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 植物科学の最前線	6. 最初と最後の頁 185 ~ 206
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24480/bsj-review.11c2.00191	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計7件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Toda, Y., Noshita, K., Fujita, M., Nakamichi, N., Okura, F., Kinoshita, T., Shinozaki, K.
2. 発表標題 A unified framework for image-based plant phenotyping under controlled growth environment: From image acquisition to phenotype interpretation.
3. 学会等名 IPPS2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野下 浩司
2. 発表標題 植物形態の計測とモデル化
3. 学会等名 2019年度日本数理生物学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野下 浩司
2. 発表標題 植物フェノタイピング向け仮想データセットの生成と解析
3. 学会等名 定量生物学の会 北海道キャラバン 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Noshita, K.
2. 発表標題 Quantitative Representation of Plant Style as Spatial Pattern of Foliage for Morphometrics on ill-defined Homology
3. 学会等名 Phenome2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野下 浩司
2. 発表標題 葉群の空間パターンとしての草姿・草型の定量的表現：相同性が自明でない場合の形態測定学に向けて
3. 学会等名 第16回 生物数学の理論とその応用 ～生命現象の定量的理解に向けて～
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Noshita, K., Guo, W.
2. 発表標題 Outline-based morphometrics and geometric analysis for leaf shapes in a three- dimensional space
3. 学会等名 IPPS2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野下 浩司
2. 発表標題 3次元空間における植物葉面再構築と輪郭形状解析
3. 学会等名 日本生態学会第68回全国大会
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
--	---------------------------	-----------------------	----

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