

令和 3 年 6 月 16 日現在

機関番号：21401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K05910

研究課題名（和文）大規模ほ場における作物群落内部のイメージングと可視化技術の研究

研究課題名（英文）Study on imaging and visualization technology for an inside of a plant community in a large-scale field

研究代表者

山本 聡史（Yamamoto, Satoshi）

秋田県立大学・生物資源科学部・准教授

研究者番号：20391526

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：ドローンを補完するフィールドセンシング技術を確立するため、大規模ほ場の作物群落に分け入って、内部の画像を撮影した。効率良く情報を得るため、全方位カメラを用いて収穫間近のイネ、トウモロコシ、ダイズの作物群落を撮影した。さらに、大規模ほ場の任意の場所で撮影するため、RTK-GNSSを搭載したドローンや自律走行車両にステーを取りつけ、その先端に全方位カメラを装着し撮影した。その結果、揺れの影響などが明らかになるとともに、ドローンでの撮影が困難で、かつ、生産者が見ることができないような群落内部の様子を撮影できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ドローンを用いた生育情報のモニタリング技術が普及しつつあるが、ほ場全体をカバーするためには、ドローンの飛行時間の制約により、一定以上の高度から空撮する必要がある。このため、作物に近づいて撮影することはほとんどなく、ほ場中央の作物の詳細な生育情報を把握することが難しかった。本研究の成果により、RTK-GNSSの高精度な位置情報に基づき、ほ場の任意の場所の全方位画像を得ることができることから、ドローンを補完する生育モニタリングの基盤技術の確立に寄与できた。

研究成果の概要（英文）：Aiming for plant-growth-monitoring which complements UAV in a large-scale field, we brought omnidirectional camera into plant community of rice, maize and soybean to capture images of inside of the plant community. Furthermore, the omnidirectional camera was put on the UAV and UGV to obtain the growth information at anywhere in the field. We confirmed that the rare and valuable inner images of plant community could be monitored effectively using the omnidirectional camera and some unmanned vehicles.

研究分野：農業機械

キーワード：作物群落 全方位カメラ 生育情報 ドローン 自律走行車両

1. 研究開始当初の背景

ドローンは「空飛ぶカメラ」として爆発的な勢いで普及している。土木分野では、施工する区域の地形を正確に把握するため、ドローンで撮影した複数の画像を解析し、施工区域の三次元モデルを構築するソフトウェアが活用されている。こうした技術が農業分野にも浸透し、生育モニタリングの新たなツールとして、フィールド調査を行う研究者や先進的な生産者を中心に普及が進んでいる。これまでの精密農業では局所的なデータサンプリングが主流であったが、ドローンによりほ場すべての作物を一株ずつ個別に管理することも可能となっている。

これまで、イチゴの植物工場において詳細な生育モニタリングを行う研究が実施され、栽培ベッドを水平方向に循環させる移動栽培装置を想定し、デジタルカメラと三次元センサにより通過する栽培ベッドを撮影し、画像処理により草丈、全幅、果実径を推定する手法が明らかになった (Yamamoto et al., 2015、坪田ら 2015)。また安価なキネクトセンサを用いて農産物の三次元モデル化手法を構築し、効率的な品種改良手法 (High Throughput Plant Phenotyping) につながる基盤技術が研究された (Yamamoto et al., 2018)。さらにドローンを用いて水稲、大豆等のフィールドセンシングを行い、三次元モデル化する技術が研究された (山本ら 2017)。

ドローンはこれまでの精密農業を劇的に変革すると考えられるが、取得できるデータは上方から見える部分に限られる。一方、直立した作物に対して真上から観察するよりも水平方向から側面を観察した方がより多くの情報が得られることは容易に推測される。しかし、ほ場全体の作物を個別に管理するドローンと同様のきめ細かいレベルで側面から作物群落を撮影するイメージング手法は確立されていない。さらに、位置情報に基づき作物群落内部の色情報や赤外線サーモグラフィで計測した温度分布をポイントクラウド化し、CT スキャンのように高さに応じた断面図としてわかりやすく可視化する技術は実現されていない。

2. 研究の目的

本研究では、大規模ほ場の作物群落に分け入って、作物側面の画像とカメラの位置姿勢情報を取得するマシンビジョンを構築し、ほ場全体の作物群落のポイントクラウドを生成して、CT スキャンのようにわかりやすく可視化することを目指す。本研究によって、ドローンを補完するフィールドセンシング技術を確認し、生育モニタリングや High Throughput Plant Phenotyping の高精度化につながる基盤技術を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 全方位カメラによる群落内部の撮影

イネとトウモロコシを対象に、作物群落内部の撮影を試みた。ドローンで撮影できないような繁茂状態の内部を撮影するため、イネは収穫 1 週間前の生育段階であり、トウモロコシは子実が熟した状態の 9 月下旬に、秋田県立大学生物資源科学部フィールド教育研究センター (秋田県大潟村内) にて調査を実施した。一般的なカメラでは視野角が制限されるので、土壌表面から作物群落上部までカバーする全方位カメラ (リコー THETA V) を用いた。全方位カメラを自撮り棒の先端に固定し、撮影者がなるべく写らないように離れながらイネ (条間 30cm) とトウモロコシ (条間 80cm) の群落内で画像 (5376×2688 画素) と動画 (3840×1920 画素、フレームレート 29.97fps) を取得した。

(2) ドローンや自律走行車両への全方位カメラの搭載

当初、生育管理作業の作業機にカメラを設置して生育情報を取得することを計画したが、ピンポイントでモニタしたい部分を撮影するには複数のカメラを搭載するなどコスト面で不利になることから、大規模ほ場の任意の位置を撮影できるドローンや自律走行車両への搭載を検討した。

全方位カメラをドローン (DJI 社 Matrice 600Pro) に取り付けてイネの群落内部の撮影を試みた。ドローンに RTK-GNSS 受信機を搭載し、繰り返し同じ場所の群落の経時変化を観測できるようにした。ドローンのジンバルに長さ 1 m のステーを取り付け、ステー先端に 360°カメラを搭載した。また、図 1 のようにソーラーパネルによりエネルギーを自給する自律走行ロボットに全方位カメラを取り付けて、2020 年 8 月下旬にダイズの群落内部を 100m 以上走行しながら動画を撮影した。

(3) RTK-GNSS を搭載したドローンによるほ場の 3D モデル構築

群落内部のデータを蓄積する一方で、その測定地点周辺を概観するには、ドローンを用いた正確な 3D モデルの構築が必要であるが、従来のドローンを用いたほ場の三次元モデル構築において、多数のマーカーをほ場に配置しないと三次元モデルに歪みが生じるとい



図 1 自律走行ロボットでのダイズ群落内部の撮影

問題があった。そこで、RTK-GNSSを用いた空撮技術により、2.4 ha のタマネギほ場において、ほ場周辺にマーカーを 3 か所程度設置するだけで高精度な三次元モデルを生成できるかどうかを調査した。

4. 研究成果

(1) 全方位カメラによる群落内部の撮影

イネの群落内(図2)では条間が狭く、作物とカメラが接触することがあったが、カメラ正面の近距離に位置する葉や茎、カメラ下方の土壌表面、イネの株元や雑草を鮮明に撮影でき、イネ群落内の作物の色情報を取得できる見込みが得られた。群落内が暗いため、カメラ上方にあるイネの穂や葉の一部が白飛びになり、イネのように群落の密度が高い作物では照明が必要と考えられた。また、倒伏部分では作物を引き起こしながら撮影したため、ポイントクラウドの位置情報と色情報の処理に工夫が必要と考えられた。

トウモロコシ(図3)では子実、茎、葉、土壌表面が鮮明に撮影できたが、撮影している作物列に隣接する作物もあわせて写っているので、画像処理では対象作物列だけを抽出する必要があると推察された。

(2) ドローンや自律走行車両への全方位カメラの搭載

ドローンでは、ジンバルのモータのトルクが不足し、強風でドローンが大きく動いた場合、カメラが揺れることがあった。予め飛行経路を入力し、60a のほ場 10 か所でカメラを地上高 0.5m まで降下させ、群落内部の様子を動画で撮影した(図4)。撮影時期が 9 月下旬でイネが収穫直前であり、群落内部から葉や穂の近接画像が得られた。撮影時は晴天で全方位カメラに青空が大きく写り、ほ場の土壌表面は暗く撮影されて有用な情報は得られなかったが、夜間に照明を搭載して撮影することにより、土壌表面の撮影も可能と考えられた。

条間 72cm でダイズ群落トンネルを形成している状況の下、葉や茎と干渉しながらの撮影(図5)となり、カメラを取り付けたステーが大きく揺れる見づらい動画となった。葉がレンズに大きく重なる状況が頻繁に発生し、群落に影響を与えない非接触の画像とは言い難いものの、カメラと作物の干渉が比較的緩やかな場所では、ダイズ条間に形成されるトンネルを地面から見上げるような画像の中に、ダイズの未熟な子実を含めた多様な情報が確認された。全方位カメラなので、水平を見るとダイズの一部褐変した葉や倒伏した茎、未熟な子実が観察でき、上空を見ると葉の繁茂状態がわかった。下方を見ると中耕培土により土寄せした様子やほ場表面の土塊の状況、雑草などが観察された。今後、カメラの取付方法を改善すると、より見やすい画像となり、普段見ることのない群落内部の画像を生産者が観察できると考えられた。さらに、人工知能により作物群落内部の 360°近接画像を解析することにより、ドローンによる生育モニタリングを補完するような病虫害や収穫時期、収量の予測につながる見込みが得られた。



図2 イネ群落内部



図3 トウモロコシ群落内部



図4 ドローンによるイネ群落内部
(a) 上方、(b) 水平方向、(c) 下方



図5 自律走行ロボットで撮影したダイズ群落内部 (a) 横方向、(b) 前方

(3) RTK-GNSS を搭載したドローンによるほ場の 3D モデル構築

2.4ha のタマネギほ場の上空 30m から 400 枚程度の画像を撮影し、解析ソフト (Agisoft 社 Metashape) によりほ場の 3D モデルを構築し、さらにオルソ画像を生成した (図 6)。RTK-GNSS により位置情報が正確なので、同じシーズンに何回か撮影し、そのデータ同士を比較することができた。

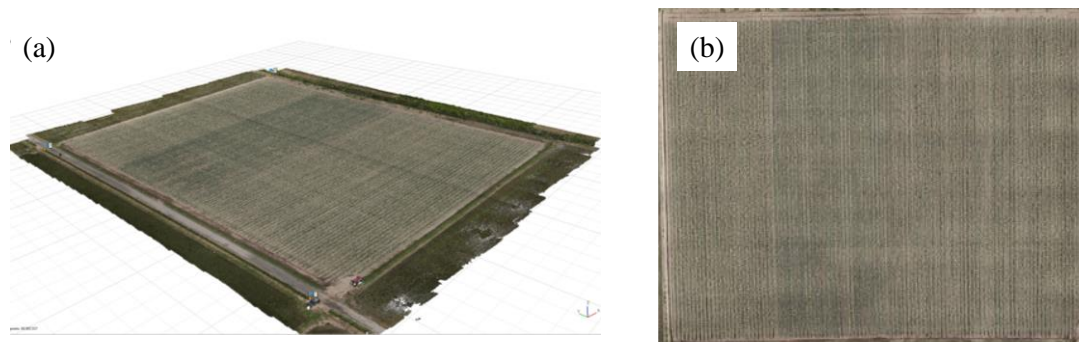


図 6 大規模タマネギほ場 (a) 3D モデル、(b) オルソ画像

RTK-GNSS を備えたドローンにより必要最小限の標定点数でタマネギほ場の三次元モデルとオルソ画像を生成できることを確認したが、ほ場に基準局を都度設置するので手間がかかっていた。そこで、大学の建物屋上に基準局を設置し、Ntrip 方式による RTK 補正情報を取得可能なマルチスペクトルドローンにより、一層簡易に高精度かつ多様な生育データを取得する見込みが得られた (図 7)。こうした技術と群落内部の情報を組み合わせることにより、より高精度な生育モニタリングが可能になると推察された。

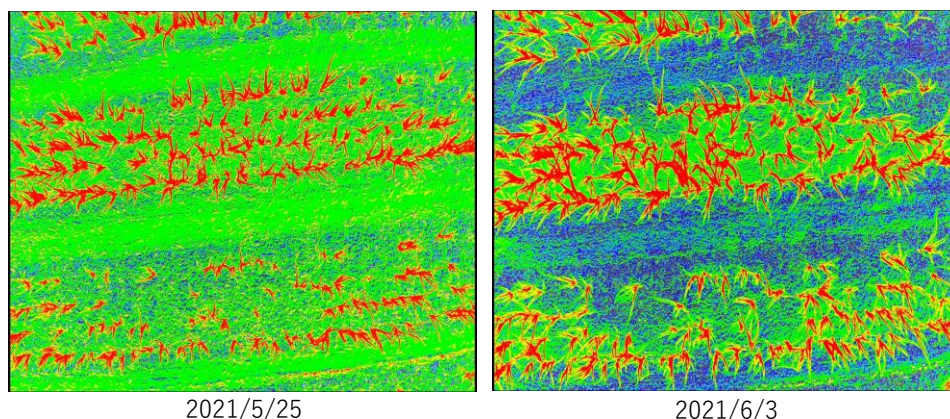


図 7 大規模タマネギほ場上空 5m から定点撮影した NDVI 画像

<引用文献>

- 1) Yamamoto, S., Hayashi, S., Tsubota, S., 2015. Growth Measurement of a Community of Strawberries Using Three-Dimensional Sensor. *Environmental Control in Biology*. 53 (2), pp49-53.
- 2) 坪田将吾, 山本聡史, 手島司, 林茂彦, 2015. イチゴの循環式移動栽培における果実計数手法の開発, *植物環境工学* 27(3) 152-161
- 3) Yamamoto, S., Karkee, M., Kobayashi, Y., Nakayama, N., Tsubota, S., Nguyen Thi Thanh, L., Konya T., 2018. 3D reconstruction of apple fruits using consumer-grade RGB-depth sensor. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 11(4): 159-168.
- 4) 山本聡史, 露崎浩, 矢治幸夫, 北川巖, 2017, ドローンによる作物群落の情報収集・解析手法に関する研究, 2017 年農業食料工学会東北支部大会研究発表会講演要旨集, 19-20.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 YAMAMOTO Satoshi, MADOKORO Hirokazu, NISHIMURA Yo, YAJI Yukio	4. 巻 13
2. 論文標題 Onion Bulb Counting in a Large-scale Field Using a Drone with Real-Time Kinematic Global Navigation Satellite System	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Engineering in Agriculture, Environment and Food	6. 最初と最後の頁 9~14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.37221/eaef.13.1_9	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1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Yamamoto. S., Madokoro, H., Nishimura, Y., Yaji, Y.
2. 発表標題 Onion Bulb Counting in a Large-scale Field Using a Drone with RTKGNSS
3. 学会等名 2019 International Joint Conference on JSAM, SASJ and CIGR VI Technical Symposium joining FWFNWG and FSWG Workshops（国際学会）
4. 発表年 2019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
---------	---------