

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06319

研究課題名(和文) マルチスペクトル画像推定と高精度3次元復元に基づく3-D高精細リモートセンシング

研究課題名(英文) Precise 3-D remote sensing using multi-spectral image estimation and accurate 3-D reconstruction

研究代表者

金澤 靖 (Kanazawa, Yasushi)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：50214432

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、中小規模の農家に対し持続可能な農業を補助することを目的として、安価なドローンで運用可能な高精度3-Dリモートセンシング技術の開発を目指した。この技術の3つの核となる、(1)可視画像からの他シングルバンド画像の推定、(2)糖度や植生指標などの計算、(3)圃場の高精度な3次元計測技術について、それぞれ、深層学習の一つであるGANをベースとしたNIR画像やRチャンネル画像の推定方法、ドローンにおける上空からの可視画像のみを用いた果実の糖度の推定、圃場の形状検出に重要な形状のマッチングと深層学習を用いた単眼カメラでの深度推定技術を提案し、それぞれ有効性を確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本に多い中小規模の農家は、働き手の高齢化だけでなく、慢性的な人手不足の問題があり、本研究で提案している高精細3-Dリモートセンシング技術に対する成果は、このような中小規模の農家に対する持続可能な農業を行える手助けと成り得ると考える。これは、比較的高価な機械の多い農家に対して、安価なドローンを導入するだけで、リモート糖度推定や圃場の状態の把握などを簡単に行えるようになるためである。

研究成果の概要(英文)：We aimed to develop a high-precision 3-D remote sensing technology, which can assist small- and medium-scale farmers to operate their sustainable agriculture. There are three cores for doing this: (1) estimation of other single-band image from visible image, (2) easy computation or estimation of plant condition such as sugar content and vegetation index, (3) 3-D information estimation of farm field. For estimation of NIR and Red-channel image from visible image, we adopt GAN-based method; for easy estimation of sugar content, we use only visible image taken by a drone; for 3-D information of the farm, we proposed the new method that can find the difference between difference scales and ranges and we also proposed accurate depth estimation method from single image. From experiments, we find the effectiveness of our methods. In future work, we aim to establish a high-precision 3-D remote sensing using these methods.

研究分野：コンピュータビジョン, 画像処理

キーワード：高精細3-Dリモートセンシング マルチスペクトル画像推定 圃場3-D計測 糖度推定

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

精密農業とは、農作物の収量や品質の向上を目指すためのアプローチであり、

- 農地や農作物の状況を良く観察する。
- その状況に応じて、圃場の状態をきめ細かく制御する。
- その成果に基づいて、次年度の計画を立てる。

という一連の手順として定義され、これには圃場を観察するためのツールが最も重要な役割を担っている。この観察は、航空機や人工衛星に搭載したマルチスペクトルカメラの画像解析によるリモートセンシングにより実施することができるが、高高度からの計測であるため、圃場毎の状況把握には有効なものの、圃場内の細かな状況には対応できない。また、観測日時や観測頻度も限られるため、大規模な圃場等では導入可能であるが、中小の農家ではコスト面などからも導入は難しい。

近年、ドローンはその制御の高性能化が進み、操縦が容易となっただけでなく、可視画像の撮影だけでなく、マルチスペクトルカメラや LiDAR の搭載も可能となり、きめ細かな観測が可能となった。これにより、必要に応じて随時計測を行うことができたり、高度が低いため高精細なデータが取得できたりなど、利便性が向上した一方で、このようなドローンは比較的高価であり、中小規模の農家においては導入が難しい。従って、中小規模の農家にとって、持続可能な農業を実現することは難しい。

2. 研究の目的

本研究では、通常の可視カメラを搭載した安価なドローンを利用し、撮影した映像や画像を解析することで、高価なマルチスペクトルカメラや LiDAR を搭載したドローンなどを使わずに、同等の情報を得られる技術を構築することで、中小農家に対する精密農業のツールを提供することを目的とした。

これを実現するためには、次のような技術の開発が重要となる。

- 可視画像からの近赤外画像等の推定技術。
- それらの推定した不可視画像を用いた圃場の状態の高精細な計測技術。
- これらの結果を可視化するための圃場の高精度な 3 次元計測技術。

本研究では、これらの技術を開発し、高精度かつ高精細な 3-D リモートセンシングを実現することで、中小農家に対して持続可能な農業技術を提供する。

3. 研究の方法

(1) 可視画像からの近赤外画像等の推定

ここでは、GAN (Generative Adversarial Network) の一つである pix2pix[1] の技術を応用して、可視画像から近赤外画像を推定する。この pix2pix は、画像間の変換を学習するモデルであり、ペアとなる 2 枚の画像 A と B を与え、画像 A から画像 B を生成する generator ネットワークと、生成された B' と元の画像 B とを同じかどうか識別するための discriminator ネットワークからなり、高精度な画像の変換を行うことができる。ここでは、柿圃場を対象として、ドローンに搭載したマルチスペクトルカメラを用い、可視カメラ画像から近赤外画像と RedEdge 画像を生成するように学習させる。

同様に、上空の映像から、柿の果実を検出するために、一般の可視カメラ画像からマルチスペクトルカメラ画像における Red チャンネルの画像を推定することを考える。これは、可視カメラにおける赤の画像とマルチスペクトルカメラの Red チャンネル画像とは、観測波長範囲が異なるためであり、より正確に柿の果実を検出するために、必要な技術となる。これも pix2pix を応用する。

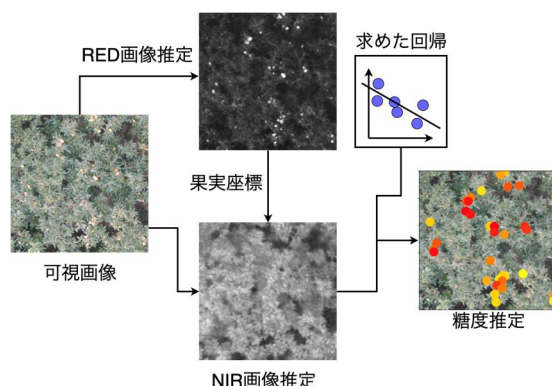


図 1 糖度推定の原理

(2) 推定近赤外画像を用いた糖度推定

果実に含まれるショ糖は近赤外の波長を吸収する性質が知られており、分光分析による果実の糖度推定などに利用されている。分光分析では、ある範囲の近赤外の反射分布を元に糖度測定を行っているが、マルチスペクトルカメラは特定の波長単独の画像しか計測できない。そこで、マルチスペクトルカメラの近赤外チャンネルで観測できる波長と、実際に測定した糖度との相関を求め、その相関を元に糖度を推定する。また、実際に計測した近赤外画像の代わりに、推定した近赤外波長を用いることで、可視カメラ画像のみから糖度を推定することが可能となる。更に、近赤外画像や RedEdge 画像は、NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) や NDRE (Normalized Difference RedEdge) のような植生指数と呼ぶ植物の状態を表す指標を計算可能であり、これも推定した近赤外画像や RedEdge 画像を用いることで、可視画像のみからこれらの指標が計算できる。推定した近赤外画像を用いた糖度推定法の流れを図 1 に示す。

(3) 可視画像による高精度な 3 次元計測技術

ドローンで地上を撮影した映像からの 3 次元計測技術は、土地の測量や土砂災害の状況把握など様々な用途に応用されており、GNSS 情報を用いることで高精度に計測可能であり、市販のソフトウェアが利用できる。この計測結果を用いて、計測時点での植生指標や推定糖度を 3 次元的に重畳することで、圃場の個々の木における正確かつ細かな状態を把握できる。また、異なる観測日間の形状を比較することで、その経時変化も把握可能となる。

本研究では、まずこの経時変化を検出することを目的とする。市販のソフトを用いた復元は一般にオフラインで処理され、その処理には多くの時間が掛かる。そこで本研究では、橋本らの開発した平面状形状を対象としたリアルタイム計測技術[2]を用いる。このとき、コントローラから出力される映像を用いるため、GNSS 情報が利用できず、そのスケールが不定となるため、スケールの異なる形状間での比較が重要となる。ここでは、平面状形状であることを利用し、その平面からの高さ情報を用いてスケールを合わせ、対応関係を見つけることを考える。

また圃場の 3 次元的な情報を計測するためには、上空からの映像だけでは死角となる部分も多く、地上で形状計測も必要となる。このとき、移動方法が制限されることから、安定した精度のよい復元が難しく、深層学習を用いた単眼深度推定技術が重要な役割を果たす。そこで、本研究ではコンパクトかつ精度の良い単眼深度推定を行う。そのネットワークの構造を図 2 に示す。

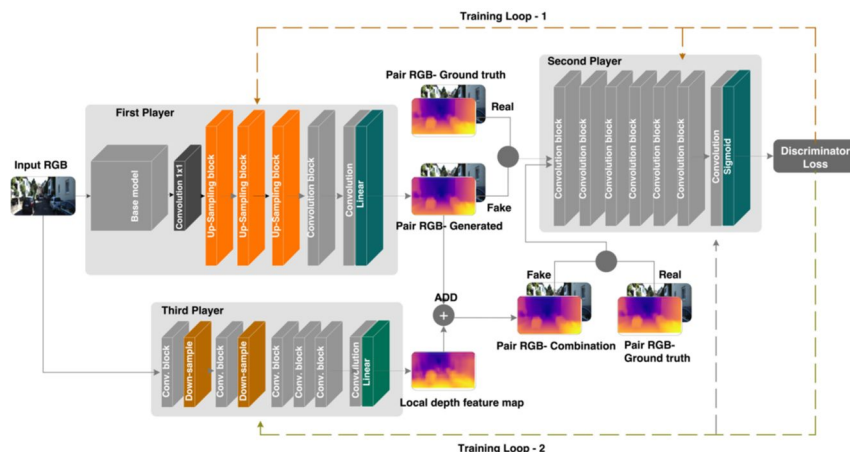


図 2 単眼深度推定のネットワーク構造

4. 研究成果

(1) 深層学習を用いた可視画像からのシングルバンド画像推定

図 3 に、深層学習を用いた可視画像からのシングルバンド画像 (NIR および R 画像) 推定の例を示す。見てわかる通り、ほぼ正しい画像が推定できていることがわかる。

(2) 可視画像からの糖度推定

図 4 に可視画像から推定した近赤外画像を用いた糖度の推定結果を示す。左の図は、元のマルチスペクトルカメラの近赤外波長 (790[nm]) と糖度の関係を示し、この回帰式を用いて、推定した近赤外波長から糖度を推定した結果を右の図に示す。オレンジの色の濃いものほど、糖度が高いことを示している。また、推定した R チャンネルの画像を用い、果実部分も自動的に抽出している。

(3) 形状変化検出のための点群の位置合わせと単眼深度推定

図 5 にドローンで撮影した点群から復元した形状を用い、その一部を切り取ってサイズを変

えた点群と元の点群との位置合わせの例を示す。赤い点群が元の大きな点群、緑の点群が切り取った点群の初期位置、青い点群が位置合わせを行った結果であり、従来法は位置が正しくないだけでなく、スケールも合っていないのに対し、提案法では正しいスケール推定と正しい位置に合わせられていることが分かる。

図6に深層学習を用いた単眼深度推定の例を示す。同図(a)が入力画像、(b)は真値、(c)はEigenらの手法、(d)は提案法であり、Eigenらの手法に比べて精度よく推定できていることが分かる。

今後はこれらの成果を統合し、高精細 3D リモートセンシングを実用化することを目標とする。

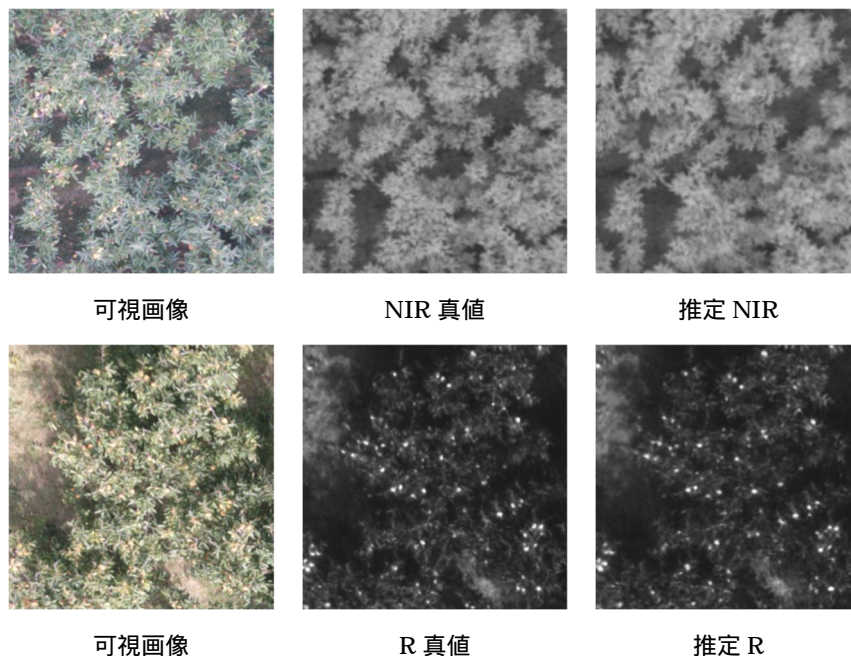
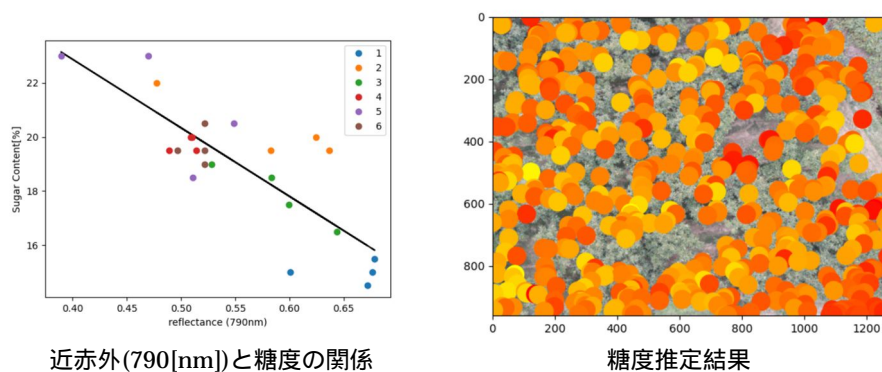


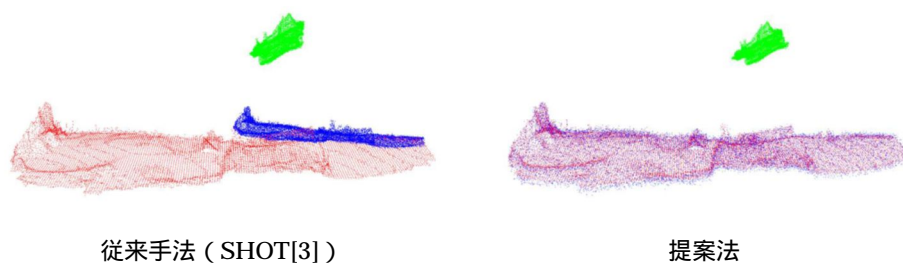
図3 推定画像例



近赤外(790[nm])と糖度の関係

糖度推定結果

図4 糖度推定例



従来手法 (SHOT[3])

提案法

図5 形状変化検出のための点群の位置合わせ例

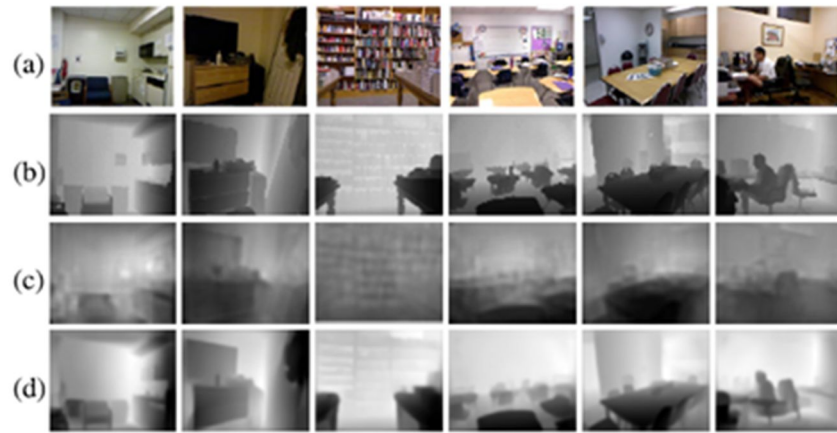


図 6 単眼深度推定例

< 引用文献 >

- [1] P. Isola et al., Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks, Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2017 IEEE Conference on, 2017.
- [2] 橋本ら, ドローン映像からの 3 次元復元のリアルタイム化のためのキーフレーム選択と形状復元, 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会(CVIM), 2017-CVIM-211(9), 2018.
- [3] D. Eigen et al., Depth map prediction from a single image using a multi-scale deep network,” in Proc. 27th Int. Conf. Neural Inf. Process. Syst., vol. 2, 2014, pp. 2366–2374.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2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 HENDRA Andi, KANAZAWA Yasushi	4. 巻 E104.D
2. 論文標題 Smaller Residual Network for Single Image Depth Estimation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 1992 ~ 2001
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1587/transinf.2021EDP7076	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hendra Andi, Kanazawa Yasushi	4. 巻 11
2. 論文標題 TP-GAN: Simple Adversarial Network With Additional Player for Dense Depth Image Estimation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 44176 ~ 44191
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2023.3272292	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6件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Andi Hendra, Yasushi Kanazawa
2. 発表標題 Accuracy Improvement of Depth Estimation from Single Image by Using 3rd Player in GAN
3. 学会等名 The 7th IIEEJ International Conference on Image Electronics and Visual Computing (IEVC2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大関 克弥, 金澤 靖
2. 発表標題 UAV搭載マルチスペクトルカメラによる柿園場における相対糖度のリモート推定
3. 学会等名 電子情報通信学会パターン認識とメディア理解研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasushi Kanazawa
2. 発表標題 3D reconstruction and pattern recognition methods for the search activity of missing persons and lost items by tsunami
3. 学会等名 ICSIttech 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 永田 青鳥, 金澤 靖
2. 発表標題 支配的平面を用いたスケールの異なる点群での位置合わせ
3. 学会等名 動的画像処理実利用化ワークショップ(DIA2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小出 佑, 芦田 和毅, 金澤 靖
2. 発表標題 果実の近赤外波長域における反射光の特性を用いたウェアラブルな糖度系開発
3. 学会等名 情報処理学会第85回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 徳重 海都, 金澤 靖, 園田 潤, 木本 智幸
2. 発表標題 地中レーダ画像の補間を用いた地中物体認識
3. 学会等名 人工知能学会全国大会
4. 発表年 2022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	小林 健一 (Kobayashi Kenichi) (80707513)	一関工業高等専門学校・その他部局等・講師 (51201)	
研究 分担者	佐藤 建 (Tatsuru Sato) (70647643)	一関工業高等専門学校・その他部局等・特命助教 (51201)	

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