

令和 6 年 6 月 3 日現在

機関番号：82111

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K15631

研究課題名（和文）Deep learningとドローンを用いた空間的圃場診断技術の開発

研究課題名（英文）Development of spatial field monitoring methods using aerial drones and deep learning

研究代表者

森下 瑞貴（Morishita, Mizuki）

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業環境研究部門・研究員

研究者番号：90845637

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）：本課題では、圃場内の土壌特性の空間分布をドローン空撮画像から推定するための技術開発を試みた。主たる成果として「ドローン空撮画像および機械学習を用いた土壌空間推定のための土壌分析データの拡張方法」および「ドローン空撮による土壌診断地点選定技術」を考案・公知化した。これらの成果は、第41回日本土壌肥料学会奨励賞をはじめ、受賞3件、研究論文2報、特許出願1件などの成果につながった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地力ムラや生育ムラに応じた的確な圃場管理のため、空撮画像を活用した面的な圃場診断技術が注目されている。特に、高い地上分解能が特徴のドローン画像は、人工知能（AI）と組み合わせることで圃場管理の省力化や適正施肥による低コスト化等への貢献が期待されている。本課題では、これを実現するためのデータの収集・処理方法に焦点を当て、ドローンとAI技術を用いた土壌特性の空間分布を推定するための技術開発に取り組み、その成果を技術論文等として発表した。

研究成果の概要（英文）：In this project, we attempted to develop a methods for estimating the spatial distribution of soil properties in a field using aerial drone images. As principal achievements, we proposed “an data augmentation method of ground truth data for soil spatial estimation using aerial drone images with machine learning algorithms” and “a technique for selecting the soil sampling points by aerial drone images. These achievements have resulted in three awards, two research papers, and one patent application, including the 41st Japanese Society of Soil Science and Plant Nutrition Progress Awards.

研究分野：土壌地理学

キーワード：土壌診断 UAV 機械学習 地理情報システム リモートセンシング 深層学習

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。

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

- (1) 圃場内の土壌特性および肥沃度は、土地履歴に応じて空間的に不均質である。そのため、生産現場においては、土壌特性の空間分布を正確に把握し、それを圃場管理に反映させることが必要不可欠である。しかしながら、土壌診断には多大な労力と費用がかかり、広範囲にわたる土壌特性の把握は農業従事者にとって大きな負担となっている。このため、農業現場では土壌特性の空間分布を正確かつ低コストで把握するための技術が強く求められている。
- (2) 以上の背景のもと、空撮画像を活用した面的な圃場診断技術が注目されている。特に、高い地上分解能が特徴のドローン画像は、人工知能 (AI) を駆動するためのビッグデータとしての活用も期待されている。ドローンを活用した AI 駆動型の圃場診断は圃場管理の省力化や適正施肥による低コスト化に貢献するため、農業従事者の減少が進む現代において極めて重要な技術となる。しかしながら、同技術の開発においては、作物の生育状態や土壌肥沃度に関するグラウンドトゥルース (地上で取得される実測値) の数が不足している点が課題である。一般に、AI 学習器の構築には数千から数万点以上の学習データが理想的とされているが、実地調査や試料分析にかかる労力を考慮すると、この規模のグラウンドトゥルースデータを通常の調査で取得することは困難である。

2. 研究の目的

- (1) 本研究課題では、機械学習、深層学習と UAV (ドローン) 画像を用いて土壌特性を予測するために、低コストで圃場診断情報を空間的に捕捉する技術の開発を試みた。具体的には、以下の二つのアプローチからデータ不足の問題を解消し、ドローンと AI 技術を効果的に活用した空間的な土壌診断技術の開発を目指した：

機械学習を用いた土壌空間推定のための土壌分析データの拡張方法の考案。
携帯型の電磁誘導探査装置を用いた圃場内数千点の土壌情報の取得・活用

- (2) さらに、上記の研究を進める過程で「グラウンドトゥルースを圃場内の“どこで”採取するか」が重要であり、それが現行の土壌診断における分析結果の信頼性に影響を与えている可能性が明らかになった。そこで、本課題では当初予定していた上記調査に加え、ドローン空撮による土壌診断地点選定技術の開発も試みた。

3. 研究の方法

- (1) 茨城県内の 1ha の圃場において、格子状に数十点の土壌試料を採取し、粒径組成、全炭素量、全窒素量、pH(H₂O)、電気伝導度について分析値を得た。同一圃場でドローンによる空撮を行い、マルチスペクトル画像、熱赤外画像、DSM (Digital Surface Model) 画像を取得した。土壌分析値 (グラウンドトゥルース) と空撮画像を組み合わせた機械学習用のデータセットを構築するために、地上調査または試料分析から取得した土壌特性が一定範囲内で均質であると仮定し、データ拡張を実施した (図 1)。この拡張処理により得られたデータセットに対してランダムフォレストによる非線形回帰モデルを作成し、圃場全体の各土壌特性の空間推定を行った。
- (2) 茨城県内の隣接する複数の圃場 (計 3ha 程度) で、携帯型の電磁誘導探査装置 (EM38-MK2) を用い、10 観測/秒の頻度で圃場内の「見かけの電気伝導度」を観測した。同圃場においてもドローンによる空撮を行い、3.(1)と同様の手法で画像を取得した。電磁誘導探査装置で得られた地表面の情報をグラウンドトゥルースとして用い、空撮画像との関係を学習したモデルを作成した。この学習には、ランダムフォレストによる非線形回帰モデルと多層ニューラルネットワークによる非線形回帰モデルを構築し、両者の精度を比較した。
- (3) 3.(1)で収集したグラウンドトゥルースデータと空撮画像を用いて、土壌診断地点の選定における事前情報として空撮画像の利用可能性を検証した。具体的には、空撮で得られた画像を用いて圃場内の全ピクセルに対して教師なし学習 (非階層的クラスタリング) を実施し、各クラスターの分布域における土壌診断値の傾向を比較した。

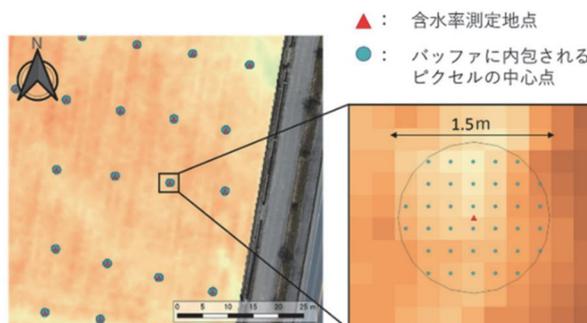


図1 円バッファを用いたグラウンドトゥルースの拡張 (森下・石塚 2020)

4. 研究成果

(1) 3.(1)で考案したデータ拡張処理を行った結果、圃場内の数十点で取得した土壌診断値とドローン空撮画像の関係についての非線形予測による空間推定が可能になった(図2)。データ拡張処理におけるバッファサイズ(図1)は1.5mの際に最も高い予測性能が得られた。データ拡張処理を実施しない場合は、学習データ不足により機械学習を用いた非線形予測は困難であった。図3は、データ拡張を適用した場合の非線形予測(図中赤)とデータ拡張を適用せずに行った場合の線形予測(図中青)の実測値と推定値の関係を示している。この結果からも、データ拡張処理により土壌特性の空間的な不均質性が高精度で図示されたと推察される。

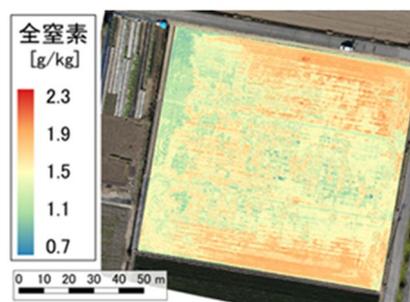


図2 全窒素含量の分布推定図

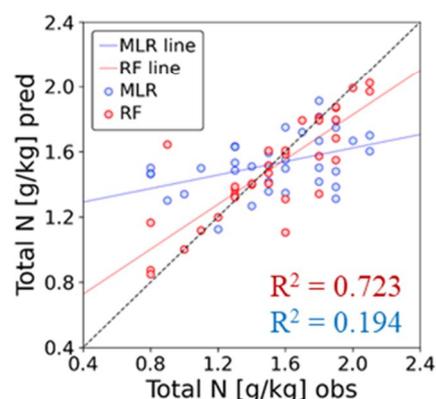


図3 全窒素量の実測値(obs)と推定値(pred)の関係

(森下・石塚 2021)

(2) EM38-MK2 で収集したグラウンドトゥルスデータと空撮画像の関係について学習を行った結果、テストデータに対する推定値と実測値の決定係数を比較すると、ランダムフォレストによる推定で $R^2 = 0.73$ 、ニューラルネットワークによる推定で $R^2 = 0.67$ という結果が得られた。外れ値を除外して再解析した結果は、前者が $R^2 = 0.83$ 、後者が 0.78 となった。以上のことから、今回収集したデータに対しては多層ニューラルネットワークを用いた深層学習よりもツリーベースの機械学習アルゴリズムの方が高い性能を発揮した。今回用いた空撮画像は赤、緑、青、近赤外、Rededge、DSM、熱赤外の7種であり、さらに多くの特徴量を用意できた場合はニューラルネットワークの精度が向上する可能性もある

(3) 3.(3)の処理によって得られた圃場内区分図と土壌理化学性の分布傾向は非常によく対応しており、ドローン空撮画像の教師なし分類によって得られる圃場内区分図は土壌診断におけるサンプリング地点選定の補助情報として有効であることが示唆された(図4)。この結果は、土壌診断におけるサンプリングの補助情報としてドローン空撮画像を活用する上で有意義な知見である。

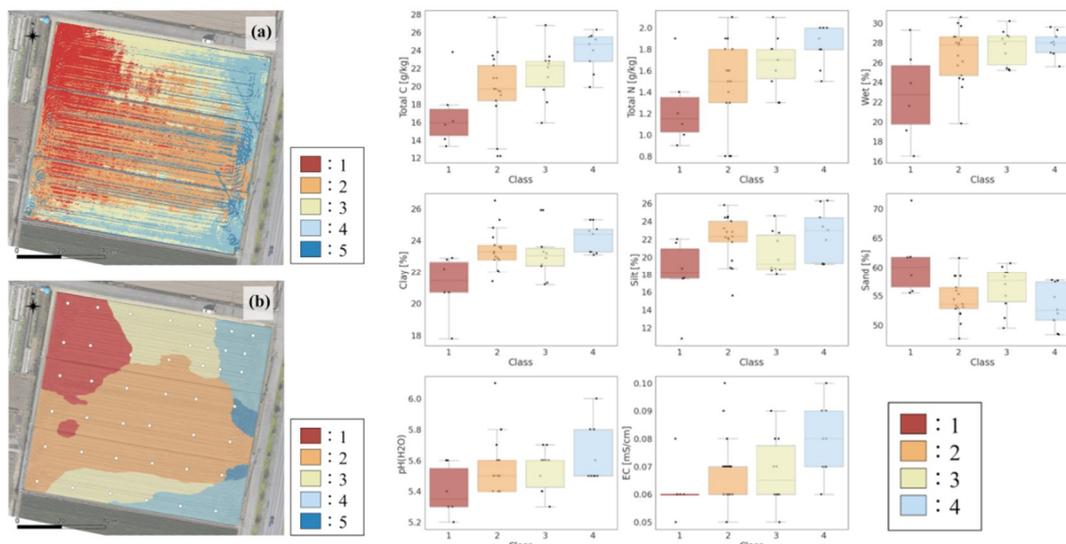


図4 圃場内ピクセルのクラスリング結果(図中左)と各クラスターにおける土壌試料分析値(図中右)(森下・石塚 2023)

左図の(a)は教師なし分類結果、(b)は(a)をスムージング処理したもの。

- (4) 上記の研究は、圃場スケールにおける土壌特性の空間推定において有益な知見を提示した。グラウンドトゥルースの拡張方法については、土壌情報に限らず地上で得られる農地情報と空撮画像の関係をモデル化する際に有用であると期待される。また、教師なし学習を用いた診断地点の選定技術は、農業従事者または調査者の経験に依存しない的確な圃場診断を可能にし、令和2年に閣議決定された食糧・農業・農村基本計画が掲げる「データに基づく土づくりの推進」にも貢献すると期待される。以上の成果は、論文2件、特許出願1件として公知化され、学会等で高く評価されたことで第41回日本土壌肥料学会奨励賞、農環研若手研究者奨励賞、日本土壌肥料学会若手口頭発表賞を受賞した。

<引用文献>

- 森下瑞貴・石塚直樹 2020 . UAV 観測によるダイズ圃場の土壌含水率分布推定 グラウンドトゥルースデータの拡張による機械学習の適用 . システム農学, 36, 55-61 .
- 森下瑞貴・石塚直樹 2021 . UAV 観測と機械学習による土壌特性の空間分布推定 データ拡張手法の土壌理化学性指標への適用 . システム農学, 37, 21-28 .
- 森下瑞貴・石塚直樹 2023 . ドローン空撮画像の教師なし分類による圃場内土壌区分図の作成 . 土肥誌, 94, 254-262 .

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 森下 瑞貴、石塚 直樹	4. 巻 94
2. 論文標題 ドローン空撮画像の教師なし分類による圃場内土壌区分図の作成	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本土壌肥科学雑誌	6. 最初と最後の頁 254 ~ 262
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20710/dojo.94.4_254	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 森下瑞貴, 石塚直樹	4. 巻 37
2. 論文標題 UAV 観測と機械学習による土壌特性の空間分布推定 データ拡張手法の土壌理化学性指標への適用	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 システム農学	6. 最初と最後の頁 21, 28
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 森下瑞貴
2. 発表標題 土壌の空間評価・生成分類に関するデータ集約型研究（第41回日本土壌肥科学会奨励賞 受賞）
3. 学会等名 日本土壌肥科学会2023年度大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森下瑞貴
2. 発表標題 土壌の空間評価および生成分類のための農地情報利用に関する研究（農環研若手研究者奨励賞 受賞）
3. 学会等名 農研機構 農業環境研究部門
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Mizuki Morishita, Naoki Ishitsuka
2. 発表標題 Areal Estimation of Soil Properties Using UAV Images: Implementation of Machine Learning with Data Augmentation
3. 学会等名 22ND WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森下瑞貴、石塚直樹
2. 発表標題 ドローン空撮画像を用いた土壌調査地点選定技術の開発 - 教師無し学習による圃場内土壌特性の類型化 - (若手口頭発表賞 受賞)
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2022年度大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森下瑞貴、石塚直樹
2. 発表標題 ドローン空撮による土壌特性分布の高精度推定 - グラウンドトゥルスデータの拡張による非線形予測 -
3. 学会等名 システム農学会2022年度大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森下瑞貴、石塚直樹
2. 発表標題 ドローン空撮と機械学習による土壌特性の空間分布推定
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2020年度岡山大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 空撮画像による土壌診断地点の選定方法	発明者 森下瑞貴	権利者 農研機構
産業財産権の種類、番号 特許、特開2023-140607	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

ドローン空撮画像と機械学習による圃場内の土壌理化学性分布の把握方法 https://www.naro.go.jp/project/results/5th_laboratory/niaes/2021/niaes21_s10.html 広報誌「NARO」 No.32 https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/laboratory/naro/quarterly-newsletter/162447.html
--

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