

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：32658

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06351

研究課題名（和文）WebGIS型セマンティックモデルによる農業生産性評価モデルの構築

研究課題名（英文）Development of Web GIS Semantic Model for Evaluation of Agricultural Productivity

研究代表者

岡澤 宏 (Okazawa, Hiromu)

東京農業大学・地域環境科学部・教授

研究者番号：30385504

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）：本課題ではスペイン国バスク気候変動研究所が開発したWebGISシステムのプラットフォームであるk.LABに作物生育モデルを組み込み、このGISシステムを活用して任意の場所で作物生育評価が可能なシステムの開発に取り組んだ。作物モデルにはAquaCropの簡易版を用いた。入力パラメータには、植物の生長指標であるCanopy cover (CC)が必要である。そこで、大豆を対象にNDVIを活用してCCを推定する手法を開発した。これにより、AquaCROPに必要なパラメータの一つであるCCを推定することができ、k.LABにおいて作物生育評価を行うことができるようになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでに植物の生育指標には茎長や葉数、葉面積指数が用いられてきた。これらの測定には労力と時間を要する。本課題ではUAV空撮画像から作物生育指数であるCanopy Coverを非破壊で計測できる手法を検討し、マルチスペクトル画像から得られるNDVIによってCCを推定する手法を提案することができたことが学術的な意義となる。また、作物生育の画像診断手法や生育ポテンシャルの評価には開発者が独自に作成したモデルや手法が用いられてきたが、今回はk.LABと呼ばれる既存のプラットフォームを用いることで、誰でも簡単にWebブラウザ上で植生評価ができるシステムの構築が可能となったことが社会的な意義となる。

研究成果の概要（英文）：In this research, a crop growth model was incorporated into k.LAB, a WebGIS system platform developed by the BC3 in Spain, to develop a system that enables crop growth assessment at any location using this GIS system. A simplified version of AquaCrop was used as the crop model. Canopy cover (CC), a plant growth indicator, was required as an input parameter. Therefore, a method was developed to estimate CC using NDVI for soybean. This enabled the estimation of CC, one of the parameters required for AquaCROP, and made it possible to evaluate crop growth in k.LAB.

研究分野：農業農村工学

キーワード：WEB-GIS セマンティックモデル 農業生産評価 作物生育モデル リモートセンシング UAV画像

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

農業従事者の減少が見込まれるなか、農業生産性を飛躍的に発展させるためには機械メーカーや IT ベンダー等と農業者が連携して発展著しいロボット、AI、IoT、ドローン等のスマート農業に活用できる新たな技術を生産現場に積極的に導入していくことが不可欠と提言されている（H31年3月農林水産委員会）。また、世界的な気候変動による災害の多発、人口増加による食料需要の高まりから農業に対するレジリエンスの強化が急務となっている。農業は日々刻々と変化する気象条件や水資源管理、土地利用の変化に迅速に適用してこそレジリエンスを高めることができる。これらに関わるデータは国内外問わずリアルタイムに近い形で公開されており、すみやかにビッグデータを入手することが可能である。また、これらのデータを活用して生産管理や気象災害への対応を講じることができるが、ビッグデータの管理と多数ある評価モデルによる解析には AI を取り入れたセマンティック解析が有効となる。

2000年代に入り、ビッグデータの解析手法として AI の一つであるセマンティック (Semantic) による自動解析技術の研究開発が行われている。Semantic とは、人間の命令に従ってコンピュータがその指示を実行するのではなく、コンピュータ自身が自律的にデータの意味を理解してその理解に基づいた様々な処理を自動的に実行する技術を指す。ビッグデータの管理には旧来の人間主導による解析よりも、人間による判断を残しつつある程度のコンピュータ主導による自動評価手法が有効となる。

また、農業生産の評価や農地の管理のための気象予測、土壌侵食、洪水予測に代表される様々な物理予測モデルが存在するが、様々なコンピュータ言語 (Python, C, Java, R など) で構築されており、作成した研究者の独自性が強いことからコードが公開されていても使用するには相当の専門知識が必要になる。これらのことから、世界的には「様々な形で公開されているビッグデータを予測・評価モデルによって誰でも (研究者、技術者、政策決定者など) 簡単に使えないか」というニーズが生まれている。この問いに答えるため、スペインのバスク気候変動研究所 (Basque Centre for Climate Change, BC3) が開発した WebGIS 型 Semantic モデルである k.LAB がある (無償公開ツール)。k.LAB は BC3 が中心で進めている AI による生態系サービス評価のための WebGIS 型 Semantic モデルのシステムプラットフォームの名称であり、ARIES (Artificial Intelligence for Ecosystem Services) プロジェクトとして知られている (<http://aries.integratedmodelling.org>)。k.LAB に備わった Global model には、生態系サービスに関連する供給サービス、調整サービス、文化サービス等の一部の解析をグローバルに行うことができ、既に組み込まれている土壌侵食、洪水予測モデルなどの複数のモデルを統合評価することが可能となっている。ARIES は 10 年ほど前から開発が始められ、幾度となく k.LAB の update がされている。そして、2019 年 10 月に大規模な update が行われ、一般公開された。これによりプラットフォームとしての機能性と安定性が向上した最新の Semantic モデルである。今後の目標は、使用できるモデルを増やし、ユーザーを拡大することにある。

2. 研究の目的

k.LAB は k.LAB Explorer (エンドユーザー向け) と k.LAB Modeler (モデル開発者向け) の 2 つの機能が組み込まれている。Explorer はエンドユーザーが任意の地域を設定して既に組み込まれているグローバモデルを適用して地域の調整サービスや供給サービスを評価することができ、専門家以外の政策担当者などのユーザー層を一気に広げるものとなった。例えば、Google map のような画面で当該地域を指定し、「地形」と入力すれば DEM による地形データが表示され、「flood volume」と入力することで年間流出量のラスターデータを表示することができ、誰でも簡単に解析結果が得られるが、これらのプロセスは人間が対象エリアとグリッドサイズを決定するだけで、あとは k.LAB が当該地域の Web 公開データを読み込み、適切な評価モデルを自動判別して自動計算し、その結果が画面上にラスターデータとして表示できる簡便な WebGIS である。さらに k.LAB Modeler では KIM 言語によって独自のモデルを組み込むことができ、管理サーバーにモデルプログラムを保管することでエンドユーザーがこの機能を使うことができる。本研究は、開発者向けの k.LAB Modeler を活用し、農業生産評価モデルを構築することを予定している。

3. 研究の方法

k.LAB には既に生態系サービス評価モデルが組み込まれているが、農業分野への利用拡大には作物生産を評価するための Module を導入する必要がある。本課題では、Aquacrop (FAO) を k.LAB に組み込み、誰でもビッグデータを用いて農業生産性が評価できる WebGIS 型 Semantic モデルを構築することである (図 1)。これは、ただ単に既存モデルを k.LAB に組み込むのではなく、組み込んだモデルと、既存の土壌侵食や洪水調整サービス等の評価との統合評価ができることに利点がある。また、需要地 (人口密度分布や土地利用) などの関連、道路との距離 (コスト計算) をモデル評価に入れることもでき、各種側面からのモデルの統合評価ができるのが k.LAB の特徴であり、これをエンドユーザーが k.LAB Explorer で解析を簡易に使うことを可能にする。

図1の様に、WebGIS型セマンティックモデルのプラットフォーム(k.LAB)は既に公開されており、気象データ、地形等のラスタデータ、流出データを解析できるModuleがk.LABに組み込まれていることから、これらを活用した(図中の破線内)本課題では①新たにk.LABにAquacropを移行する、②日本における農業生産評価モデルの適用性の検討(モデル値と実測値との比較)の2つを検討した(図中の実線内)。

Aquacropは作物の成長を播種からの日単位で表現できるモデルであり、作物の成長(バイオマス量)を積算温度、使用可能水量、灌漑管理、土壌状態、Canopy Cover(CC)との関数として表すシンプルなモデルであり、バイオマス量に作物固有の収量係数を乗じることで収量を推定できる。シンプルで汎用性が高く、世界的に公開されているモデルであるが、日本での実績は極めて少ない。そのため、日本におけるAquacropの適用性について検討した。ただし、使用可能水量の算定にはk.LABで算出できるRunoff water volume(流出水量)を使用した。

研究対象値は北海道帯広のダイズ畑であり、研究期間中にUAVを用いて圃場内の画像を取得した。

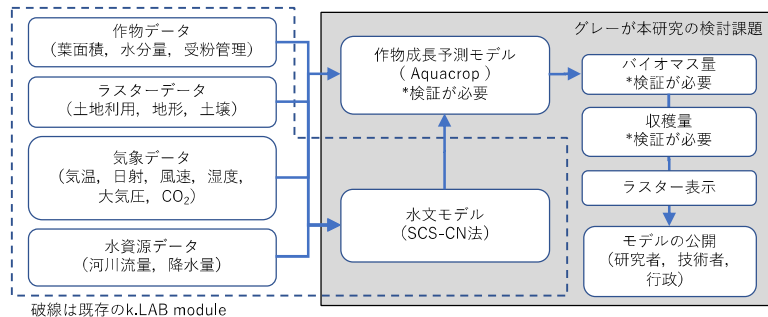


図1 研究フロー図

4. 研究成果

作物の成育指標であるCanopy Cover(CC)はUAVを用いることで比較的簡便に計測できるパラメーターであり、AquaCropのような作物成育モデルに広く用いられている。CCは上空から見たときに単位面積当たりに被覆する植物体の面積であらわされる。そのため、UAVで作成したオルソ画像から緑色部分を抽出することで計測することができる。すなわち、CCは0の場合は地上に植生がない状態を表し、1は、地上部全体が緑で覆われている状態となる。また、作物が収穫時期になると葉が枯れはじめることから、CCは減少する(Steduto, 2009)。CCを正確かつ効率的に推定することで、灌漑用水のスケジューリングや配分を改善することができる(Bausch, 1995)。

一方、過去30年間、作物の成育指標には、健康状態、成長レベル、水や栄養素のストレスなど、植生の状態を追跡・監視するために広く使用されてきた(Silleo et al., 2006)。これまでの研究では可視および近赤外反射率データから算出される様々なスペクトルがCCの値に線形に関係することが示されている(Purevdor, 1998)。健康な植生のキャノピーは、電磁スペクトルの特定の部分と非常に明確な相互作用を持っているとされている。また、可視領域ではクロロフィルは主に光合成に使用するため、エネルギーの強い吸収を引き起こす。この光の吸収は可視光線の赤と青にピークがあり、緑はクロロフィルによって反射されるため、多くの葉は緑色をしている。この赤色領域と近赤外領域の反射率の強いコントラストを利用して、農業リモートセンシング分野で広く利用されている植生指数にNDVI(正規化植生指数)がある(Silleo et al., 2006)。NOAA AVHRR、Terra MODIS、Landsat TMなど、可視域と近赤外域のデータを取得するマルチスペクトル衛星センサーから得られる高解像度衛星データは、NDVIなどの植生指数の算出に用いられ、より良い作物管理、栽培ストレスのモニタリング、収穫量の推定に利用されている。さらに、ここ10年ほどの間に従来のリモートセンシングの研究手法やデータ解析技術には、無人航空機(UAV)によって撮影された空間的・時間的解像度の高い航空画像の処理に使われるようになった。このように、リモートセンシングと精密農業の急速な発展により、様々な解像度を持つ航空画像が提供されている。

しかし、リモートセンシングデータは同じ植生種の同じ位置でも異なる値を示すことがあるため、UAVで取得したNDVIを用いてCCを推定し、UAVベースのNDVIが衛星ベースのNDVIと同じ線形回帰関係を持つことを示した研究はわずかである。本研究では、CCのモニタリングにおけるUAVベースのNDVIと衛星センサーのNDVIの互換性を探るため、北海道のダイズ圃場において様々な空間分解能のリモートセンシングNDVIデータを用いたCC推定の可能性について検討した。小型UAVによるNDVIと植生被覆率を、0.5mから10mの五種類の地上解像度において比較し、異なる地上解像度におけるNDVIと植生被覆率の関係を検討した。

CCとNDVIの算出式を次に示す。

$$CC = \frac{Vegetation}{Vegetation + Soil + Mulch\ film} \quad (1)$$

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (2)$$

図 2a,b は、ダイズ畑のオリジナル解像度における NDVI と植生被覆の空間分布を示している。NDVI は、植生に覆われた部分で高く、土やマルチフィルムに覆われた部分で低くなる傾向があることがわかる。これは、植生の表面は赤色領域の反射率が低く、近赤外領域の反射率が高いのに対し、土壌やプラスチックマルチフィルムは両領域でほぼ同じ反射率であるためである。さらに、マルチフィルムは土壌よりも NDVI が低くなっているが、これは PCANOPY COVER 素材が相対的に赤の反射率が高く、その一方で近赤の反射率が土壌よりも低いからである (Corradini, 2019)。他のグリッドサイズ (0.5m、1.0m、2.5m、5.0m、10m) の NDVI の空間分布は同じ傾向を示した。NDVI 値は、元の解像度では -0.47 から 0.68、0.5m グリッドサイズでは -0.37 から 0.61、1.0m グリッドサイズでは -0.29 から 0.40、2.5m グリッドサイズでは -0.25 から 0.24、5.0m グリッドサイズでは -0.10 から 0.13、10m グリッドサイズの場合は -0.05 から 0.08 と変動していることがわかった。垂直成長パターンの作物や森林とは異なり、ダイズの NDVI 値の最大値は 0.7 未満であった。これはダイズの樹高が低く、樹冠が広く広がり水平に鍛えられているため、樹冠内の LAI が比較的低いためである。CC 値は、元の解像度では 0.00 から 1.00、0.5m グリッドサイズでは 0.00 から 1.00、1.0m グリッドサイズでは 0.00 から 0.74、2.5m グリッドサイズでは 0.03 から 0.53、5.0m グリッドでは 0.14 から 0.42、10m グリッドでは 0.19 から 0.35 と変動している。NDVI と CC の値の範囲はグリッドサイズが大きくなるにつれて減少していることがわかる。

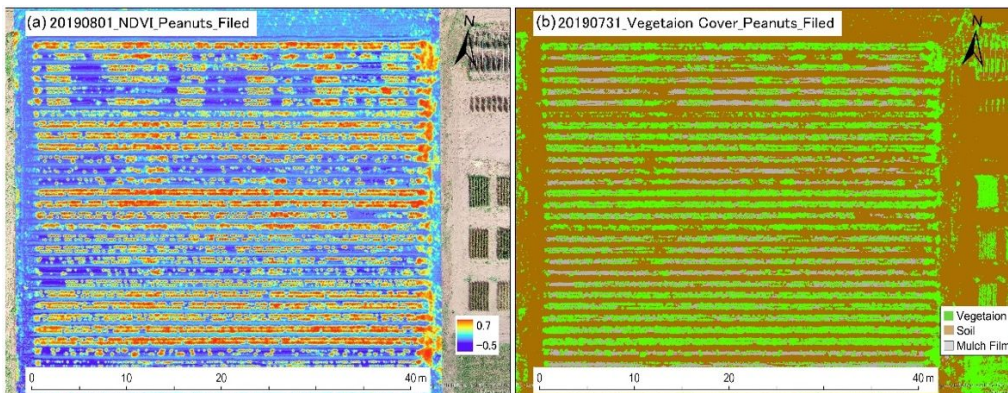


図 2 NDVI と CC の画像

図 3 に、異なるグリッドサイズによる NDVI と CC の相関図を示す。NDVI と CC の間には強い相関関係がみられ、0.5m では R^2 が 0.88、1.0m では 0.92、2.5m では 0.94、5.0m では 0.89、10m では 0.93 であり、いずれも有意性が認められた。回帰式では、傾き (a) の値が、それぞれ 1.16、1.11、1.09、1.08 を示し、グリッドサイズの増加に伴って傾きが減少する傾向を示した。切片 (b) はいずれも 0.25 であり、安定した値を示した。

各回帰式の差の有意性を検証するため、CC を従属変数、NDVI と地上分解能を説明変数として Excel データ解析アドオン XLSTAT (Ver2020.5.1, Addinsoft) を用いて ANCOVA を実施した。その結果を表 2 に示す。どのグリッドサイズでも p 値は 1.000 に近く、グリッドサイズは NDVI と CC の関係に大きな影響を与えないことがわかった。したがって、5 種類のグリッドサイズの回帰式に若干の違いがあるものの、地上分解能の違いによりダイズの NDVI 値は CC と同じ関係を保つと考えられる。

以上の結果から、AquaCrop モデルの入力パラメーターである CC は UAV や衛星画像の NDVI と強い関係を持ち、NDVI から CC を推定する場合、画像のグリッドサイズに依存せずに変換することができることがわかった。そして、この手法がグローバルモデルである k.LAB 上の AquaCrop モデルに適用することができることがわかった。

これらの結果を踏まえて、k.LAB に AquaCrop のベースモデルを構築することができた。このモデルは日本のダイズに限られることから、今後は多くの作物と地域で検証を進め、グローバルに展開できるモデルにする必要があるが、この手法を開発できたことは、広域的な作物育成ポテンシャルを評価する上で重要な成果となったと考えられる。

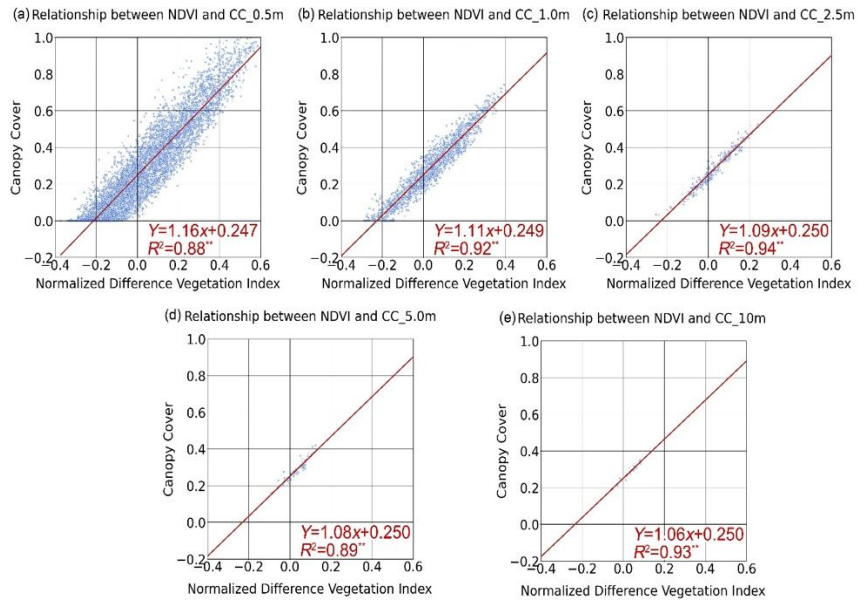


Figure 5.5 Relationship between NDVI and CC

図3 グリッドサイズの違いとNDVIとCCの相関図

表1 ANCOVAの結果

Factor	Regression coefficient	Standard deviation	t	Pr > t
Intercept	0.248	1.981	12.507	<0.0001
NDVI	1.16	0.469	246.767	<0.0001
Ground Resolution 0.5m	-0.003	1.983	-0.001	0.999
Ground Resolution 1m	-0.003	1.991	-0.002	0.999
Ground Resolution 3m	0.043	2.074	0.021	0.983
Ground Resolution 5m	-0.006	2.218	-0.003	0.998
Ground Resolution 10m	0.000	0.000		

引用・参考文献

1. Corradini, F., Bartholomeus, H., Lwanga, E.H., Gertsen, H. and Geissen, V., 2019. Predicting soil microplastic concentration using vis-NIR spectroscopy. *Science of the Total Environment*, 650, pp.922-932.
2. Bausch, W.C., 1995. Remote sensing of crop coefficients for improving the irrigation scheduling of corn.
3. Eskandari, S., Reza Jaafari, M., Oliva, P., Ghorbanzadeh, O. and Blaschke, T., 2020. Mapping Land Cover and Tree Canopy Cover in Zagros Forests of Iran: Application of Sentinel-2, Google Earth, and Field Data. *Remote Sensing*, 12(12), p.1912.
4. Hirata, Y., 2009. Uses of high spatial resolution satellite data to forest monitoring. *Journal of the Japanese Forest Society*, 91(2), pp.136-146.
5. Mulla, D.J., 2013. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems engineering*, 114(4), pp.358-371.
6. Purevdorj, T.S., Tateishi, R., Ishiyama, T. and Honda, Y., 1998. Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices. *International journal of remote sensing*, 19(18), pp.3519-3535.
7. Recanatesi, F., Giuliani, C. and Ripa, M.N., 2018. Monitoring Mediterranean Oak decline in a peri-urban protected area using the NDVI and Sentinel-2 images: The case study of Castelporziano State Natural Reserve. *Sustainability*, 10(9), p.3308.
8. Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D. and Fereres, E., 2009. AquaCrop—The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy Journal*, 101(3), pp.426-437.
9. Trout, T.J., Johnson, L.F. and Gartung, J., 2008. Remote sensing of canopy cover in horticultural crops. *HortScience*, 43(2), pp.333-337.
10. Xu, R., Li, C. and Paterson, A.H., 2019. Multispectral imaging and unmanned aerial systems for cotton plant phenotyping. *PloS one*, 14(2), p.e0205083.
11. Zhao, D., Huang, L., Li, J. and Qi, J., 2007. A comparative analysis of broadband and narrowband derived vegetation indices in predicting LAI and CCD of a cotton canopy. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 62(1), pp.25-33.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 KE ZHANG, HIROMU OKAZAWA, YURI YAMAZAKI, KIICHIRO HAYASHI, OSAMU TSUJI	4. 巻 12
2. 論文標題 Relationship between NDVI and Canopy Cover Sensed by Small UAV under Different Ground Resolution	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Environmental and Rural Development	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.32115/ijerd.12.2_122	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 Zhang, Ke, Hiromu Okazawa,*, Kiichiro Hayashi, Tamano Hayashi, Lameck Fiwa, Sarvesh Maskey	4. 巻 9505
2. 論文標題 Optimization of Ground Control Point Distribution for Un-manned Aerial Vehicle Photogrammetry for Inaccessible Fields	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sustainability	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/su14159505	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 該当する

1. 著者名 Zhang, Ke, Sarvesh Maskey, Hiromu Okazawa, Kiichiro Hayashi, Tamano Hayashi, Ayako Sekiyama, Sawahiko Shimada, and Lameck Fiwa	4. 巻 14603
2. 論文標題 Assessment of Three Automated Identification Methods for Ground Object Based on UAV Imagery	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sustainability	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/su142114603	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 該当する

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Ke Zhang, Hiromu Okazawa, Yuri Yamazaki, Kiichiro Hayashi, Masahiro Akimoto, Osamu Tsuji
2. 発表標題 Estimating Biomass of Pasture Grass using Digital Surface Models and Point Cloud Data derived from UAV-Based RGB Imaging
3. 学会等名 ICMaSS2021（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ke Zang , Hiromu Okazawa, Yuri Yamazaki, Ayako Sekiyama, Kiichiro Hayashi, Tsuji Osamu
2. 発表標題 Comparison of Crop Surface Models and 3D Point Clouds by UAV Imagery on Estimating Plant Height and Biomass Volume of Pasture Grass,
3. 学会等名 The 13th International Conference on Environmental and Rural Development (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ke Zhang, Hiromu Okazawa, Yuri Yamazaki, Kiichiro Hayashi and Osamu Tsuji
2. 発表標題 Relationship between NDVI and Canopy Cover Sensed by Small UAV under Different Ground Resolution
3. 学会等名 The 12th International Conference on Environmental and Rural Development (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小型UAV空撮画像によるDSMデータを用いた作物の草高推定 生育形態が異なる作物の草高推定式の比較検討
2. 発表標題 張可 辻修 山崎由理 星山賢一 岡澤宏
3. 学会等名 2020年度(第69回)農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2020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	林 希一郎 (Hayashi Kiichiro) (80432219)	名古屋大学・未来材料・システム研究所・教授 (13901)	

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1件

国際研究集会 Analysis of Regional Environmental Analysis using WebGIS AI Model	開催年 2022年～2022年
---	--------------------

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