

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18H03357

研究課題名（和文）植物らしさとは何か：ディープラーニングによる革新的な植生自動識別手法の開発と応用

研究課題名（英文）Classifying vegetation using deep learning: clarification of characteristics of vegetation

研究代表者

伊勢 武史（ISE, TAKESHI）

京都大学・フィールド科学教育研究センター・准教授

研究者番号：00518318

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,990,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、植生の非接触観測にディープラーニングを用いることで革新的な進歩をもたらすことを目的として実施された。ディープラーニング技法の開発・改良を実施し、また複数の対象植生の識別実験を行った。その結果、森林植生のタイプやサイズの推定や、外来植物の分布推定などで精度の高い結果を出すことができた。開発されたディープラーニング技法は今後さまざまな応用の可能性を秘めている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって、従来は識別が困難とされていた不定形な植物を画像中で認識することが可能となった。ドライブレコーダーのような手段で撮影された画像からも特定の植物を認識することが可能であることが示されたため、今後は効率的に収集された大量の画像データを自動処理し、人力では不可能な範囲における植物の分布を一律の基準で定量的に推定することにつながる。これは、外来植物の分布の把握や、植物が人の心理に与える文化的生態系サービスの理解など、多様な社会的意義を持つ。

研究成果の概要（英文）：This study was conducted with the goal of making innovative advances in the use of deep learning for non-contact and non-destructive observations of vegetation. Deep learning techniques were developed and refined, and experiments were conducted to identify multiple target vegetation types. As a result, we were able to obtain good results in estimating the type and size of forest vegetation, as well as the distribution of invasive plants. The developed deep learning technique has potential for various applications in the future.

研究分野：植物生態学

キーワード：人工知能 CNN 非接触観測 外来生物 林業 物質循環 生物多様性

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

ディープラーニングが情報科学の世界を席卷している。囲碁の第一人者を圧倒したニュースは記憶に新しいが、それ以外にも、デジタルカメラの顔認識やスマートフォンの音声認識の精度向上が目覚ましいのもディープラーニングの効果である。ディープラーニングは人工知能開発技術の一種であり、人の脳が何かを学習するプロセスとよく似た仕組みをコンピュータ上に再現することが特徴だ。人工知能の一種である機械学習の世界で2010年代に入って特に脚光を浴びており、画像識別の世界大会では圧倒的な強さを誇っている (Krizhevsky et al. 2012)。

一方、画像ビッグデータ関連の科学も進歩している。代表的なものはリモートセンシングだろう。人工衛星や航空機などで取得した画像から地表面についての情報を得ることができる。リモートセンシングには、広範囲・長期間におよび対象物を一定の基準で測定できる (人手による調査につきものの個人差の心配がいない) などのメリットがある。だが、リモートセンシングの進歩はハードウェア頼みなのが現状である。すなわち、可視光の三原色 (赤・緑・青) 以外のさまざまな放射の測定やレーザーの利用など、高価で特殊な機材を開発し運用することが進歩の原動力である (Mulder et al. 2011)。他方、対象物の形状を解析する技術は未熟なため、貴重なデータが「宝の持ちぐされ」になっているのが現状だった。

## 2. 研究の目的

対象物の形状を解析し、これまで眠っていた情報を掘り起こすのがディープラーニングだ。ディープラーニングはソフトウェア面での進歩であるため、高価な人工衛星やセンサーの開発に頼らずに、既存のデータから未知の情報を取得することが可能である。しかしこれまで、植物の識別にディープラーニングを応用するのはむずかしいとされてきた。植物独特の視覚的形狀は、人間・動物・人工物などを認識する手法では判別できなかったからである (Ise et al. 2017)。この「植物らしさ」の認識に正面から挑み、克服することが必要なのだ。

本研究では、従来はむずかしいとされてきた画像を用いた植物の自動識別をディープラーニングにより実現する。誰でも手軽に利用できる可視光情報のみのデジタル画像を用い、植物に普遍的に通用する、タイプごとの「植物らしさ」の自動識別の技術を確立する。そのために、研究代表者が開発し注目を浴びている chopped picture method を用いる。

この研究は多彩な応用の可能性を秘めている。本研究では Google Earth などの無償 (もしくは安価)・低解像度のビッグデータを用い、竹林の拡大状況の調査など身近で深刻な環境問題へ応用することで、ディープラーニング技術の有用性を実証する。

## 3. 研究の方法

研究代表者が開発した chopped picture method をはじめとするディープラーニングによる画像解析をさまざまな植生識別に応用し、そのパフォーマンスを評価し改善するための研究を行った。具体的には、(1) 森林の樹木のタイプ・サイズ・面積・個体数などを推定する研究、(2) 里域における外来植物の分布を検出する研究、(3) 人間目線で撮影された画像中の植物を検出する研究である。コロナ禍ではあったが、フィールドワークを複数回実施し、検出対象となる植物の画像取得を行った。対象物への距離や撮影フォーマットなどの試行錯誤を行い、検出パフォーマンスの向上を図った。

また、本研究で開発・改良が行われたディープラーニング技術は、他分野の学術研究への応用も進んだ。全球の気候や植生タイプについてのビッグデータ解析を画像分析で行う研究、海岸の漂着ごみの検出と定量化を行う研究、シベリアの北方林におけるサーモカルスト現象を検出する研究など、多様な成果につながったことは特筆すべきである。

## 4. 研究成果

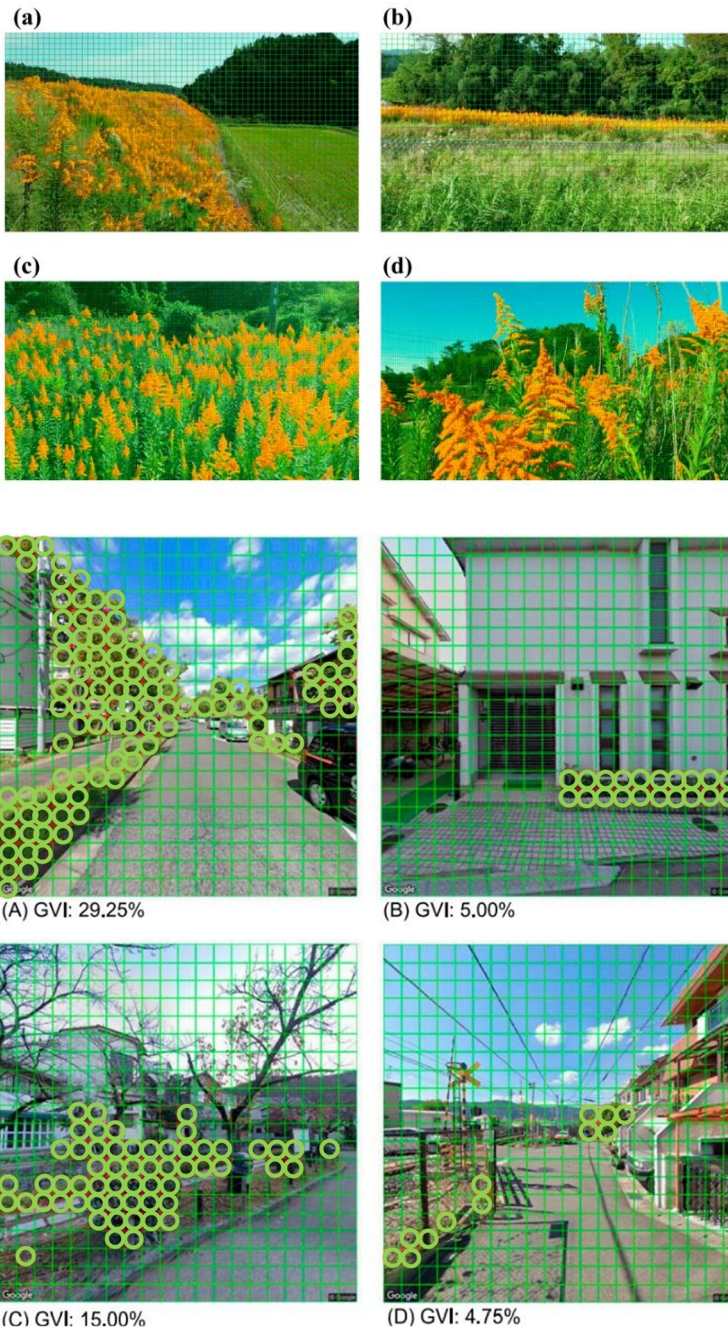
日本国内で分布を広げる外来植物セイタカアワダチソウの検出のために chopped picture method を活用した (Takaya et al. 2022, 次ページの図)。自動車の車窓から撮影した動画から毎秒ごとの静止画を切り出し、画像に映り込んだセイタカアワダチソウの花序を識別する AI モデルの構築に成功した。その結果、撮影者からの距離が近い場合、あるいは遠い場合でも、高精度での識別が可能であることが確かめられた。本技術の応用としては、市民ボランティアの協力を得て、ドライブレコーダーに移り込んだセイタカアワダチソウを自動検出することで、広範囲における当該植物の分布を自動的に検出し、電子マップ上にプロットすることが可能になる。従来は目視によって検出されていた外来植物の分布が AI によって自動化されることで、適切な個体数管理が可能となる。セイタカアワダチソウだけでなく、オオキンケイギクなどドライブレコーダーに映るサイズの花をつける外来植物の検出に有効であることが期待できる。

また、chopped picture methodによって、人の視野を占める緑の割合を定量化することが可能になった。Google Street Viewの画像を大量に自動取得し、その画像中の植物を占める割合 Green View Index (GVI)を可視化した (Kameoka et al. 2022, 下図)。京都市内において Google Street View データを大量取得することで、人手による調査では困難なビッグデータを効率的に得ることができ、またそれを均質な評価手法で解析できたことが成果である。これにより、従来は漠然とした概念であった文化的生態系サービスを定量的に評価できる可能性がひらけた。これは、単なる緑色の物体ではなく、「植物らしさ」を検出することが可能な本技術の利点が効果的に活用された例といえる。

本研究で開発・実証された植物検出技術を今後応用することで、下図のような新たな学術領域の開拓を視野に入れている。自然と共存する持続可能な社会の実現のためには、自然が人のウェルネスにもたらす影響を適切に把握することが不可欠である。これは、データサイエンスの視点から自然が持つ心理的・精神的効果を解明し、そのエビデンスにもとづいてウェルビーイング向上のための施策を提言することを目的としている。

この遠大な目標を達成するには、学際的な思考が不可欠である。従来型の研究の延長で、かぎられた数のアンケートや主観的で定性的な調査をしているだけでは発展性がない。この提案は、情報科学技術に由来するイノベーションにもとづき、従来は不可能だった大量のデータ取得を機械学習 (深層学習による画像認識 (CNN)・表情認識 (DFER)) で実現させる。さらに、大量の説明変数 (自然) と目的変数 (心理) の関係性を網羅的に探索し特徴抽出を行うため、データサイエンス手法を採り入れる。

これまで定量的な評価がむずかしかった自然体験にまつわるデータを情報科学技術で取得することが可能になれば、エビデンスにもとづくウェルビーイングの向上を図れるとともに、自然を保護し共生する機運を醸成することができる。これは未来社会の持続可能性達成のために重要な役割を果たす。本研究がうちたてる新領域には、多くの研究者の参画が期待される。新領域の中心コンセプトは、情報技術を活用した定量データ・ビッグデータの取得であるため、さまざまな地域・テーマにおける研究実施が期待される。



### 新領域「自然とウェルネスの定量評価」

従来のデータを比較統合し、拡張する

#### データサイエンス

新しい手法とデータ

自動取得 (画像・センサー)  
自動処理 (機械学習)  
可視化 (GIS)

従来のデータ

- 社会調査
- アンケート
- インタビュー
- 質的データ

主観的・定性的  
なので説得力に  
欠ける・・・

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 14件）

1. 著者名 Takaya Kosuke, Sasaki Yu, Ise Takeshi	4. 巻 72
2. 論文標題 Automatic detection of alien plant species in action camera images using the chopped picture method and the potential of citizen science	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Breeding Science	6. 最初と最後の頁 96 ~ 106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1270/jsbbs.21062	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 Kameoka Taishin, Uchida Atsuhiko, Sasaki Yu, Ise Takeshi	4. 巻 72
2. 論文標題 Assessing streetscape greenery with deep neural network using Google Street View	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Breeding Science	6. 最初と最後の頁 107 ~ 114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1270/jsbbs.21073	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 Onishi Masanori, Watanabe Shuntaro, Nakashima Tadashi, Ise Takeshi	4. 巻 14
2. 論文標題 Practicality and Robustness of Tree Species Identification Using UAV RGB Image and Deep Learning in Temperate Forest in Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 1710 ~ 1710
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs14071710	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 Ise Takeshi, Oba Yurika	4. 巻 3
2. 論文標題 VARENN: graphical representation of periodic data and application to climate studies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 npj Climate and Atmospheric Science	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) 10.1038/s41612-020-0129-x	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 渡部俊太郎、伊勢武史	4. 巻 1
2. 論文標題 マクロ生物学分野における画像認識・識別技術の利用	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 画像ラボ	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) なし	査読の有無 無
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 Onishi Masanori、Ise Takeshi	4. 巻 11
2. 論文標題 Explainable identification and mapping of trees using UAV RGB image and deep learning	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	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) 10.1038/s41598-020-79653-9	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 -

1. 著者名 Akagi Takashi、Onishi Masanori、Masuda Kanae、Kuroki Ryohei、Baba Kohei、Takeshita Kouki、Suzuki Tetsuya、Niikawa Takeshi、Uchida Seiichi、Ise Takeshi	4. 巻 61
2. 論文標題 Explainable Deep Learning Reproduces a 'Professional Eye' on the Diagnosis of Internal Disorders in Persimmon Fruit	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plant and Cell Physiology	6. 最初と最後の頁 1967 ~ 1973
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pcp/pcaa111	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 Watanabe Shuntaro、Sumi Kazuaki、Ise Takeshi	4. 巻 20
2. 論文標題 Identifying the vegetation type in Google Earth images using a convolutional neural network: a case study for Japanese bamboo forests	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 BMC Ecology	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) 10.1186/s12898-020-00331-5	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 渡部 俊太郎、大西 信徳、皆川 まり、伊勢 武史	4. 巻 -
2. 論文標題 深層学習による画像認識技術の生態学への応用 - 植物種と植生の識別を中心に-	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 保全生態学研究	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) 10.18960/hozen.1822	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 Ise Takeshi, Ikeda Shigeki, Watanabe Shuntaro, Ichii Kazuhito	4. 巻 6
2. 論文標題 Regional-Scale Data Assimilation of a Terrestrial Ecosystem Model: Leaf Phenology Parameters Are Dependent on Local Climatic Conditions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Frontiers in Environmental Science	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) 10.3389/fenvs.2018.00095	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 Ise Takeshi, Oba Yurika	4. 巻 6
2. 論文標題 Forecasting Climatic Trends Using Neural Networks: An Experimental Study Using Global Historical Data	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Robotics and AI	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) 10.3389/frobt.2019.00032	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 Ise Takeshi, Oba Yurika	4. 巻 3
2. 論文標題 VARENN: graphical representation of periodic data and application to climate studies	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 npj Climate and Atmospheric Science	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) 10.1038/s41612-020-0129-x	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 Takaya Kosuke, Shibata Atsuki, Mizuno Yuji, Ise Takeshi	4. 巻 4
2. 論文標題 Unmanned aerial vehicles and deep learning for assessment of anthropogenic marine debris on beaches on an island in a semi-enclosed sea in Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Environmental Research Communications	6. 最初と最後の頁 015003 ~ 015003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2515-7620/ac473b	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 Sato Hisashi, Ise Takeshi	4. 巻 15
2. 論文標題 Predicting global terrestrial biomes with the LeNet convolutional neural network	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geoscientific Model Development	6. 最初と最後の頁 3121 ~ 3132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/gmd-15-3121-2022	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 Onishi Masanori, Watanabe Shuntaro, Nakashima Tadashi, Ise Takeshi	4. 巻 14
2. 論文標題 Practicality and Robustness of Tree Species Identification Using UAV RGB Image and Deep Learning in Temperate Forest in Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 1710 ~ 1710
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs14071710	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 UCHIDA Atsuhiko, ISE Takeshi, MINOURA Yukihiro, HITOKOTO Hidefumi, TAKEMURA Kosuke, UCHIDA Yukiko	4. 巻 64
2. 論文標題 CORRESPONDENCE BETWEEN FEELINGS TOWARDS NEIGHBORS AND APPEARANCE OF NEIGHBORHOOD: ANALYSIS BY COMBINING A MAIL SURVEY AND GOOGLE STREET VIEW	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 PSYCHOLOGIA	6. 最初と最後の頁 112 ~ 135
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2117/psysoc.2021-B023	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15件(うち招待講演 0件/うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Takaya K, Ise T
2. 発表標題 Using deep learning to reveal the distribution of thermokarst
3. 学会等名 第12回極域科学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ise T
2. 発表標題 Toward high-throughput forest inventory with deep learning
3. 学会等名 iLEAPS Japan 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takaya K, Ise T
2. 発表標題 Automatic detection of thermokarst in satellite images using deep learning
3. 学会等名 iLEAPS Japan 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊勢武史
2. 発表標題 ディープラーニングで実現するシチズンサイエンス
3. 学会等名 日本生態学会第69回全国大会
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 大西信徳, 伊勢武史
2. 発表標題 ドローンとディープラーニングを用いた単木単位での樹種・材積推定GISシステムの開発
3. 学会等名 日本生態学会第69回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Oba Y, Ise T
2. 発表標題 Heterogeneity of land-sea connectivity across Japan
3. 学会等名 日本生態学会第69回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高屋浩介, 田口勇輝, 伊勢武史
2. 発表標題 ディープラーニングを用いたオオサンショウウオの個体識別
3. 学会等名 日本生態学会第69回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高屋浩介, 家島輝, 芝田篤紀, 伊勢武史
2. 発表標題 ディープラーニングを用いたセイタカアワダチソウの自動識別
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊勢武史
2. 発表標題 シチズンサイエンスによる環境データ取得と社会発信
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大西 信徳、竹重 龍一、青柳 亮太、今井 伸夫、伊勢 武史、北山 兼弘
2. 発表標題 ドローンとディープラーニングを用いたポルネオでの指標樹種識別と森林健全度評価
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊勢武史
2. 発表標題 自然を知り環境を守るための新技術・新発想
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shuntaro Watanabe, Shigeki Ikeda, Kazuhito Ichii, Takeshi Ise
2. 発表標題 Estimating the species level leaf phenology patterns of broad leaved deciduous tree using data assimilation.
3. 学会等名 日本生態学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡部俊太郎、伊勢武史
2. 発表標題 畳み込みニューラルネットワークによる衛星写真中の植生識別
3. 学会等名 種生物学会シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shuntaro Watanabe
2. 発表標題 Forecasting the species specific leaf out phenology in Japan archipelago. Data assimilation approach
3. 学会等名 マクロ生物学百花繚乱2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡部 俊太郎、角 和暁、伊勢 武史
2. 発表標題 畳み込みニューラルネットワークによる航空写真中の植生識別とその応用
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 伊勢 武史	4. 発行年 2022年
2. 出版社 筑摩書房	5. 総ページ数 176
3. 書名 2050年の地球を予測する	

1. 著者名 伊勢 武史、巖佐 庸	4. 発行年 2020年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 140
3. 書名 生態学は環境問題を解決できるか？	

1. 著者名 門脇 浩明、立木 佑弥	4. 発行年 2019年
2. 出版社 京都大学学術出版会	5. 総ページ数 446
3. 書名 遺伝子・多様性・循環の科学	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 物体分類システム、学習システム、学習データ生成装置、学習済モデル、学習方法、およびコンピュータプログラム	発明者 大西 信徳, 伊勢 武史	権利者 京都大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-228120	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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	佐藤 永  (Sato Hisashi)  (50392965)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(北極環境変動総合研究センター)・研究員   (82706)	
研究分担者	渡部 俊太郎  (Watanabe Shuntaro)  (00782335)	京都大学・フィールド科学教育研究センター・研究員   (14301)	

#### 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
---------	---------