

令和 6 年 9 月 7 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14031

研究課題名（和文）「職人技」から「汎用技術」への転換：大型化石を用いた標本自動分類システムの確立

研究課題名（英文）From artisanship to amateur: the challenge to identify large fossils using deep learning

研究代表者

松井 久美子 (Matsui, Kumiko)

九州大学・総合研究博物館・特別研究員 (CPD)

研究者番号：80816207

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究計画は化石生物の種同定の自動化を試みるものである。化石の種同定は古生物学の基本であり、地質年代の決定や古環境・堆積環境の推定のために欠かせない技術である。化石種は形態情報に基づく種記載と同定が行われるが、多くの場合で、それらは定性的指標に基づいて主観的に行われて来た。この作業を正確に行うには、長年の経験を要し、古生物学研究の作業効率を低下させている。そこで、本研究ではまず化石を3Dデジタルデータ化する。そして、得られたデータを、深層学習技術を用いて処理、化石の種分類の自動化を実現する事によって古生物学における同定作業の大幅な簡略化を目指した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現生生物においてはDNA情報を用いる種同定自動化技術は現在盛んに研究されているものの、形態データにディープラーニングといった人工知能技術を用いた例は非常に限られており、かつ大型化石を種レベルで同定しようという試みは少ない。本研究で使用したイノセラムス類化石は複雑な立体形状を持ち、かつ変形しているなど、形態情報が多い分類群であり、分類のために利用できる情報が限定的で深層学習技術を導入するには比較的悪い条件の対象群であった。これまで「職人技」であった形態種の同定技術をこれまでよりも確実に多くの人が同一の基準を持って実施できるような技術へと変換する技術を提供するものである。

研究成果の概要（英文）：This research project attempts to automate the identification of fossil species. Species identification of fossils is fundamental in paleontology and is an essential technique for determining geological ages and estimating paleo and sedimentary environments. Fossil species are identified based on morphological descriptions, but in many cases, these identifications have been made subjectively based on qualitative indicators. Accurate identification requires years of experience and has reduced the efficiency of paleontological research. Therefore, this study first digitizes fossils into 3D digital data. Then, by processing the obtained data using deep learning technologies, the project aims to automate fossil species classification, significantly simplifying the identification process in paleontology.

研究分野：古生物学

キーワード：化石 種同定 軟体動物

1. 研究開始当初の背景

生物の種概念には、主に生物学的種概念(Mayr, 1942)と形態的種概念がある。生物学的種概念では種を交配可能な同一の遺伝子プール内に存在する集団とする一方、形態的種概念では目に見える外部形態で区別できるものを種とみなしている。生物学的種概念は同一の遺伝子プールに存在するグループを種の根拠とみなすため、DNA の塩基配列を利用した DNA コーディング(e.g. Ratnasingham and Hebert, 2007)を用いて、遺伝情報からの定量的な同定を行うことが可能である。遺伝情報ビッグデータを用いることで、従来、生物群ごとに細分化された分類学者の「職人技」とされ、高度な専門知識が必要とされてきた種同定が、多くの人が簡便に行うことができる技術となってきた。現生種においてはこのような取り組みが行われている一方、化石種においてはこのような定量化や自動化の試みがほとんど行われていない。この背景には、化石種は現生種と異なり、遺伝的特徴による定量的な種判別が行えないこと、完全な形で産出することが決して多くはないことから、形質情報のビッグデータを用いた形質データベースのような手法も導入しにくいという問題がある。そのため、種の記載や種や属の同定は未だに化石の分類は形態的種概念に則っている。その上、定性的な特徴の比較で行われており(例えば Matsui et al. 2018)、未だ、各分類群で細分化された「職人技」による同定が行われているのが実情である。したがって、化石種の同定は未だ自動化とは程遠い状況である。

2. 研究の目的

本研究計画は、化石生物の同定技術を従来の「職人技」から脱却させるために、同定の自動化を行うこと、同時に新種探索の技術開発を行うことを目標とする。これらを実現するための第一段階として、本研究では、化石生物同定技術確立のため、ジュラ紀から白亜紀の海洋に汎世界的に生息していた二枚貝、イノセラムス類を材料として使用する。イノセラムス類は日本でも非常に多くの化石が見つかり、地層年代の指標として広く用いられている重要な化石分類群である(e.g. Toshimitsu et al., 1995; Jagt-Yazykova, 2011)。それにも関わらず、国内ではイノセラムス類の分類を専門的に行なっているのは現在 2 人程度(e.g. Takahashi, 2010; 野田ほか, 2012)と決して多くない。また、多くの種に形態的多様性が認められるため(e.g. Noda, 1983; 松田・生形, 1999; Maeda et al., 2010)、時代の指標として非常に重要であるにも関わらず、多くの非専門家にとって、イノセラムス類の同定は非常に難しい。そこで、本研究計画では、深層学習技術を用いてイノセラムス類の同定・分類を行う技術を確立することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究の到達目標は 1. 日本国内から産出するイノセラムス類の教師データの作成, 2. 深層学習を用いた化石種の同定技術の開発の 2 点である.

【ステップ I: 化石デジタル形態データの収集と構築】

教師データとして用いるイノセラムス化石のデジタルデータ収集は 3D スキャナー, CT スキャンで得られる 3 次元データとそこから二次的に構築する化石の仮想的な, 2 種類の形式で行う. 博物館等でのデータ収集に加え, 野外調査によってイノセラムス化石の採集を行う.

【ステップ II: 化石種の完全自動識別による同定技術の開発】

1. 2D データを用いた同定技術の開発

ステップ I で収集した化石の 2D データを, 詳細画像識別法を用いて精度の高い完全自動の同定システムを構築する. 類似した物体を写した画像は一般物体認識法に比べて著しく低い画像識別精度しか得られない(Deng et al., 2010). そのため, 本研究ではイノセラムス化石に特徴抽出の前処理として, 画像から標的とする物体領域のみの抽出や, 物体の各部位を検出してその位置の違いを吸収し, 学習させる手法を組み合わせ, 化石標本の 2D データ識別に最も有効的な手法を編み出す. また, 化石は標本数を数多く得られにくいことからデータを拡張する AutoAugment (Cubuk, 2018) 等の手法を用いて標本数の少なさを補う.

2. 3D データを用いた同定技術の開発

ステップ I で収集した化石の 3D データを, ポイントクラウドやボクセル等の 3D データへ変

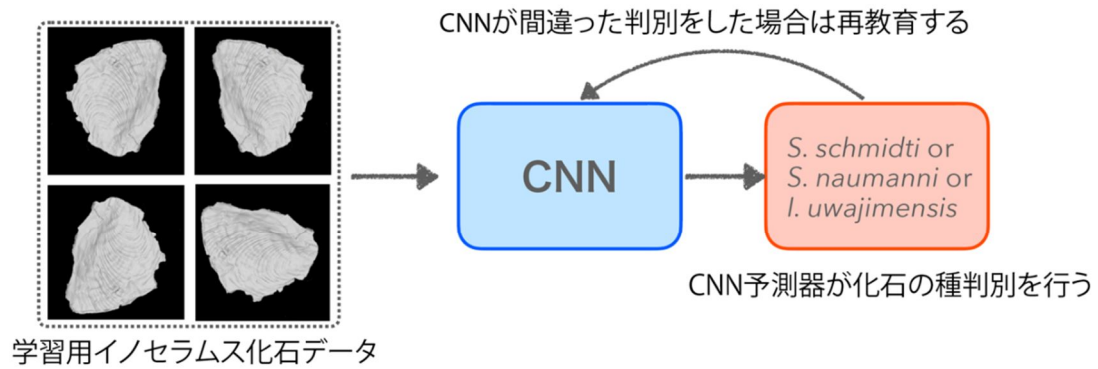
換し, 2D データ同様精度の高い完全自動識別を実現させる(e.g. Qi et al., 2017). もし, 3D データを用いた識別法で高精度な認識しか実現されない場合には, ステップ I の作業に追加して, CT スキャンを用いた 3D 断層画像の収集を行い, CT データを用いた自動分類(e.g. 加納 ほか, 2016; Zhou et al., 2015)についても同時に行う. これらの結果を比較, 検討し, 化石標本の 3D データに最も有効的な手法を編み出す.

2D, 3D で開発した自動分類法を比較し, 化石標本への適応範囲について検討し, 他分類群への応用のための基盤構築の構築を行う.

4. 研究成果

イノセラムス類 2 属 3 種 (*Inoceramus uwajimensis*, *Sphenoceras schmidti*, *Sphenoceras naumani*) 98 標本を用い, この標本群の 3D データから二次的に構築し

たい画像データを使用し、畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を用いた画像認識実験を行なった。その結果、分類精度の高い結果(精度 $84.5 \pm 2.0\%$)を得ることが出来た。これらの結果を基礎として今後すでに取得しているデータを元に手法の改良と、より簡便に利用できるシステムの開発を進行していく予定である。



この作業を繰り返し、テストデータを用いたイノセラムス化石の種同定正確度→84.5%

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Matsui Kumiko, Valenzuela-Toro Ana M., Pyenson Nicholas D.	4. 巻 12
2. 論文標題 New data from the first discovered paleoparadoxiid (Desmostylia) specimen shed light into the morphological variation of the genus Neoparadoxia	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 14246
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-18295-5	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 該当する
1. 著者名 Matsui Kumiko, Kimura Yuri	4. 巻 10
2. 論文標題 Museum Exhibitions of Fossil Specimens Into Commercial Products: Unexpected Outflow of 3D Models due to Unwritten Image Policies	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Earth Science	6. 最初と最後の頁 874736
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/feart.2022.874736	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 Kumiko Matsui	4. 巻 38
2. 論文標題 A new program of the hands-on research activity workshop using mammalian teeth.	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Bulletin of the Hobetsu Museum	6. 最初と最後の頁 1-10
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 Kumiko Matsui, Ana M. Valenzuela-Toro, Nicholas D. Pyenson	4. 巻 10.21203/rs.3.rs-1094164/
2. 論文標題 New data from the first discovered paleoparadoxiid (Desmostylia) specimen shed light into the morphological variation of the genus Neoparadoxia	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Research Square	6. 最初と最後の頁 v2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21203/rs.3.rs-1094164/v2	査読の有無 無
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 Matsui Kumiko, Kimura Yuri	4. 巻 12
2. 論文標題 A “Mammalian-like” Pycnodont Fish: Independent Acquisition of Thecodont Implantation, True Vertical Replacement, and Carnassial Dentitions in Carnivorous Mammals and a Peculiar Group of Pycnodont Fish	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Life	6. 最初と最後の頁 250 ~ 250
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/life12020250	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 Soichiro Kawabe, Yusuke Ando, Shigenori Kawano, Kumiko Matsui	4. 巻 19
2. 論文標題 New record of a rostrum of waterbird (Aves, Suliformes) from the Oligocene of Ashiya Group in Ainoshima Island, Kyushu, Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Bulletin of the Kitakyushu Museum of Natural History	6. 最初と最後の頁 35-39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.34522/knh.19.0_35	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 Matsui Kumiko, Kimura Yuri	4. 巻 -
2. 論文標題 Museum exhibitions of fossils into commercial products: Unexpected outflow of 3D models due to unwritten image policies into commercial products	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 EarthArXiv	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) 10.31223/X5ZW5Z	査読の有無 無
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 Matsui Kumiko, Kimura Yuri	4. 巻 -
2. 論文標題 Independent Acquisition of Carnassial Teeth in Fishes and Mammals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Research Square	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) 10.21203/rs.3.rs-1094239/v1	査読の有無 無
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12件(うち招待講演 0件/うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Kumiko Matsui, Yuri Kimura
2. 発表標題 “Outbreak”: Walking with a smartphone or camera sets a new risk for the museums
3. 学会等名 GSA Connects 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoki Karasawa, Kumiko Matsui, Akihiro Misaki, Shigehiro Uchida
2. 発表標題 The same Pathological deformation patterns were recognized in Japanese ammonoids from different age and different taxa
3. 学会等名 GSA Connects 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kumiko Matsui, Nicholas D. Pyenson, Takanobu Tsuihiji, Hiroshi Sawamura, Tatsuro Ando
2. 発表標題 Fossil Baleen whales (Mysticeti) show that cerebrum size achieved modern size before baleen evolved
3. 学会等名 GSA Connects 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kumiko Matsui, Yuri Kimura
2. 発表標題 Museums at risk by leaving 3D image policies unwritten
3. 学会等名 AVICOM in ICOM 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 Tomoki Karasawa, Akihiro Misaki, Kumiko Matsui
2 . 発表標題 A specimen of Menabites (Collignoniceratidae, Ammonitida) with pathological deformations found from the Campanian Toyajo Formation, Wakayama Prefecture, Japan.
3 . 学会等名 The 172nd Regular Meeting, the Palaeontological Society of Japan.
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 Yuichi Fukushima, Sachiko Agematsu, Kumiko Matsui, Kaneyoshi Fujiwara, Teruyuki Maruoka
2 . 発表標題 Reexamination of Neostrachanognathus feeding organ reconstruction based on natural conodont assemblages from Olenekian (Late Early Triassic) whetstone-type siliceous claystone in the Itsuki area, Kumamoto Prefecture, Japan
3 . 学会等名 The 129th Annual Meeting of the Geological Society of Japan
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Kumiko Matsui, Nicholas D. Pyenson, Kohta Shimazoe, Tomoyuki Ohashi
2 . 発表標題 Mammalian fossils from Senjo-jiki, Wakamatsu, Kitakyushu, Japan.
3 . 学会等名 The 2022 Annual Meeting, the Palaeontological Society of Japan
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Kimura Yuri, Kumiko Matsui
2 . 発表標題 Walking with a smartphone makes new risks: unwritten photo policies in museums cause an unexpected outbreak.
3 . 学会等名 The 2022 Annual Meeting, the Palaeontological Society of Japan
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 Kumiko Matsui
2. 発表標題 Are internal structures preserved in vertebrates' fossils useful for finite element analyses?; a pilot analysis using multiple preservation fossils
3. 学会等名 MECHANICAL FINDER User Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kumiko Matsui, Yuri Kimura.
2. 発表標題 Mammalian-like tooth replacement in a Pycnodont fish jaw.
3. 学会等名 The Society of Vertebrate Paleontology 81st Annual Meeting Virtual 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kumiko Matsui, Tohru Kobayashi
2. 発表標題 The digital cranial endocast of <i>Dusisiren dewana</i> : the implication for paleoecological changes of hydrodamalinae
3. 学会等名 The 9th SECAD. Online (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松井久美子, Nicholas D. Pyenson
2. 発表標題 "Newly" discovered desmostylians from Unalaska, Alaska, USA.
3. 学会等名 The 171st Regular Meeting, the Palaeontological Society of Japan
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
--	---------------------------	-----------------------	----

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