

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H01381

研究課題名（和文）博物館資料の3D形態学：形状認識の定量化、高精度化、および展示公開への活用

研究課題名（英文）3D morphology of museum collection: quantification of shape recognition, improvement of accuracy, and application to exhibitions

研究代表者

佐々木 猛智（Sasaki, Takenori）

東京大学・総合研究博物館・准教授

研究者番号：70313195

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,300,000円

研究成果の概要（和文）：収集し蓄積した博物館標本を学術研究および展示公開事業に活かすことは博物館の重要な課題である。博物館の多くの分野において標本の研究は形の研究に依存している。本研究では動物学、古生物学、考古学の分野を対象に、貝類、哺乳類、土器等の考古遺物を材料として、標本の形態に関する様々な研究事例を論文として公表した。形態形質は2次元のものから3次元のものまで様々な手法を組み合わせで解析した。また、形態進化の研究は分子系統解析と併せて行った。本研究で得られたデータは博物館の展示に使用し、展示手法の研究に用いた。本研究の成果は収蔵標本データベースに追加され、今後の新しい研究にも活用される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

形の比較や分類は社会のあらゆる分野で行われている。収蔵標本を視覚的に分かりやすく見せる手法を研究する、あるいは研究の現場において行われている形に関する分析の事例を分かりやすく提示することは博物館の機能を高めるために重要である。本研究では、博物館の収蔵標本を実際の学術研究に使用し、その過程で蓄積されたデータを用いて展示公開事業を実践することに意義がある。

研究成果の概要（英文）：It is an important task for museums to utilize accumulated specimens for scientific research and exhibition-related programs for the general public. In most research fields relevant to museums, specimen research relies on morphology. In this study, we published various case studies on specimen morphological analyses in zoology, paleontology, and archaeology, primarily using mollusk, mammal, fossil, and archaeological samples. The shape of various samples was characterized and analyzed using a combination of two- and/or three-dimensional methods. The morphological evolution of biological samples was estimated based on molecular phylogenetic analysis. The data obtained in this study were used for museum exhibitions and research on display design techniques. The results of this study were added to the museum collection database and will also be utilized for future research.

研究分野：博物館学

キーワード：博物館学 形態学

1. 研究開始当初の背景

博物館には地球史、生命史、文化史に関係する様々な分野があり、それぞれ異なった形状の標本を扱っている。研究においては、多様な資料を分類し、体系化し、歴史や進化過程の構築に用いることが多い。その際に、形による分類は、伝統的な手法では見た目では曖昧に処理されることも少なくなかった。そこで、計測値による統計処理により定量的な議論が行われるようになり、形態測定学が発達してきた。一方で、近年では3D スキャナー、X線 CT等の機器の導入により3D データがかつてよりも容易に取得できるようになってきた。さらに、近年では多数の2次元の画像から3D 画像を作成するフォトグラメトリの手法が発達してきた。従って、近年では形を扱う研究では、多量の計測データを扱い、形態の視覚化のための新しいハードウェアとソフトウェアが用いられるようになってきている。このような研究の変化に応じて博物館の標本を用いた研究もアップデートする必要がある、より精度を高める必要がある。そして、新しい研究の成果を社会に還元する役割が博物館に期待されている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、形の研究に注目した博物館収蔵標本の一層の有効活用、研究精度の向上、展示公開事業における発信の強化である。そのため、(1)形態データを数値化して、定量的に解析する研究を進める。(2) 2D だけでなく3D データの作成を進め、博物館標本の電子化を推進する。(3)研究の過程で得られたデータを展示に用い、視覚的な効果を高めるために使用する。以上を通じて、博物館における標本活用を高度化することを目指した。

3. 研究の方法

本研究では主に以下のような手法を用いて博物館収蔵標本の形態を研究した。

(1)形態測定：主成分分析は、多数の計測項目に対して、複数の変数の合成（次元圧縮）により、少ない変数に縮約する手法である。寄与率を用いて形態差を最も的確に説明できる形質を評価した。楕円フーリエ解析は輪郭を周期関数と見なしてフーリエ変換を行う手法であり、楕円フーリエ記述子の値を形の比較に用いた。ランドマーク法は標本上に標識点を設定し、標識点間の位置関係を解析する手法であり、多数の相同点を識別しやすい標本に対して使用した。

(2)フォトグラメトリ：少しずつ重複するようあらゆる角度から標本を写真撮影し、得られて多数の2D 画像をソフトウェア上で3D に合成する手法である。色や模様的情報を残したまま3D 化したい場合に使用した。

(3)3D スキャナ：標本にレーザーを照射し、標本表面の3次元位置座標を取得できる装置である。比較的大型の標本に対して、短時間で多数標本の3D 画像を作成する目的で使用した。

(4)X線 CT：時間はかかるが高精細で3D データを取得したい場合に使用した。撮影ではX線の透過に関するパラメータとして、管電圧(kV)、管電流(A)、管電力(W)、ターゲット電流、焦点径、検出器ピニングモード、試料ステージ位置設定、明暗校正、積算レート(撮影速度)、プロジェクション数(撮影枚数)等の設定を調整した。必要に応じて造影剤を使用した。

(5)放射光 CT：SPring-8のCT装置を用いて標本の撮影実験を行った。

4. 研究成果

本研究では主に、動物学、古生物学、考古学分野における標本の研究を行った。動物学(佐々木研究室、遠藤研究室、野下研究室)では貝類、哺乳類、古生物学(佐々木研究室、佐藤研究室)では貝類、アンモナイト類、哺乳類、考古学(西秋研究室、鶴見研究室、野下研究室)では西アジア、アンデス、日本各地から産出した土器や壺など、様々な材質の標本が研究材料である。土器の研究例については、野下(2022)が手法を分かりやすく解説している。

貝類の研究では、貝殻の形態の比較に形態測定的手法を用いた。多数個体の標本を計測し、統計的有意性を検証し、分類形質の有効性を検証した。例えば、翼足類(Shimizu et al., 2021)やアオガイ類(Teruya et al., 2022)の研究では、分子データを得た個体を計測し、系統樹と比較することで、形態形質と遺伝距離の関係を検討した。

二枚貝類の研究では、貝殻の2次元での外形の比較には楕円フーリエ解析が有効であった。ランドマーク法は相同点間で相対的な位置関係に最も差の大きい場所を検出することによって異なる種間での形態の違いを検証することが可能であった。

貝殻を構成する結晶の研究も3次元形態形質の例である。貝殻は複数の殻層からなっており、個々の層が多数の結晶からできている(Sato et al., 2020など)。結晶の配列の方向性や大きさなども重要な特徴であるが、これらを数値化して比較することは今後の課題である。

フォトグラメトリを用いた研究では、イモガイ類を3D化し、模様を定量化する研究を行った。この研究で作成したデータから動画を作成し貝類の展示に使用した。

3D スキャナは博物館標本のデータベース用データの作成に使用し、化石標本、哺乳類標本を多数スキャンした。このデータは今後出版しデータベース上に追加される予定である。

CT装置を用いた3Dデータ化では、化石標本、哺乳類標本を中心に撮影を行った。博物館に収

蔵されているタイプ標本を撮影し、分類の精度を高める研究に使用した。

SPring-8のCT装置を用いた研究(佐々木研究室、上杉研究室)では、位相コントラストX線イメージングにより、貝殻付きの軟体動物標本を撮影し、内部の動物体のコントラストを向上させる実験を行い、鰓や歯舌など従来のマイクロCTでは見えなかった殻内の動物体の特徴が観察できた。

博物館の展示は、研究期間中に新型コロナウイルスによる問題が生じたため大規模な特別展を行うことができなかったが、以下のような展示を行い、本研究の成果を活用した。

(1)小石川分館特別展示「ボトルビルダーズ 古代アンデス、壺中のラビリンス」2020年9月24日～2020年11月29日

(2)スクールモバイルミュージアム「生きている骨」2020年9月8日～11月7日

(3)スクールモバイルミュージアム「鶏玩考」2021年11月8日～2022年3月31日

(4)スクールモバイルミュージアム「貝の不思議」2021年6月1日～10月2日

(5)スクールモバイルミュージアム「東大地質図コレクション」2022年11月29日～2023年3月31日

(6)榎葉町×東京大学総合研究博物館連携ミュージアム「大地とまちのタイムライン」2023年4月22日開館

(7)スクールモバイルミュージアム「バイオミネラル」2023年準備中

上記の展示会場では、3D映像、X線CT画像、3Dプリンタによるレプリカを展示し、分類の結果を展示内容に反映させた。また、各展示に関する一般向けの講演会を開催しており、その中で本研究の成果を活用した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計27件（うち査読付論文 24件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 26件）

1. 著者名 Nakano, T., Sasaki, T., Kosuge, T. and Chan, B. K.K.	4. 巻 80: 68
2. 論文標題 A new species of the intertidal limpet <i>Eoacmaea</i> (Patellogastropoda: Eoacmaeidae) from Yonaguni Island, Japan and Taiwan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Zoological Studies	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.6620/ZS.2021.60-68	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 Setiamarga, D. H. E., Hirota, K., Yoshida, M., Takeda, Y., Kito, K., Shimizu, K., Isowa, Y., Ikeo, K., Sasaki, T. and Endo, K.	4. 巻 12:1925
2. 論文標題 Hydrophilic shell matrix proteins of <i>Nautilus pompilius</i> and the identification of a core set of conchiferan domains	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Genes	6. 最初と最後の頁 1-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/genes12121925	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 Shimizu, K., Noshita, K., Kimoto, K. & Sasaki, T.	4. 巻 51: 22
2. 論文標題 Phylogeography and shell morphology of the pelagic snail <i>Limacina helicina</i> in the Okhotsk Sea and western North Pacific	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Marine Biodiversity	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12526-021-01166-z	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 Teruya, S., Setiamarga, D. H. E., Nakano, T., and Sasaki, T.	4. 巻 1087
2. 論文標題 Molecular phylogeny of <i>Nipponacmea</i> (Patellogastropoda: Lottiidae) from Japan: Reevaluation of species taxonomy and morphological diagnosis.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ZooKeys	6. 最初と最後の頁 163-198
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3897/zookeys.1087.78193	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 Nishiaki Yoshihiro, Aripdjanov Otabek	4. 巻 596
2. 論文標題 A new look at the Middle Paleolithic lithic industry of the Teshik-Tash Cave, Uzbekistan, West Central Asia	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Quaternary International	6. 最初と最後の頁 22 ~ 37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.quaint.2020.11.035	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 Nguyen Son Truong, O'Shea Thomas J., Gore Jeffery A., Nguyen Khoi Vu, Hoang Thanh Trung, Motokawa Masaharu, Dang Phuong Huy, Le Minh Duc, Nguyen Tham Thi, Oshida Tatsuo, Endo Hideki, Tran Tuan Anh, Bui Hai Tuan, Ly Tu Ngoc, Vu Duong Thuy, Chu Hang Thi, Vuong Tu Tan	4. 巻 46
2. 論文標題 Bats (Chiroptera) of Bidoup Nui Ba National Park, Dalat Plateau, Vietnam	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Mammal Study	6. 最初と最後の頁 53 ~ 68
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3106/ms2020-0024	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 Nojiri Taro, Wilson Laura A.B., Lopez-Aguirre Camilo, Tu Vuong Tan, Kuratani Shigeru, Ito Kai, Higashiyama Hiroki, Son Nguyen Truong, Fukui Dai, Sadier Alexa, Sears Karen E., Endo Hideki, Kamihori Satoshi, Koyabu Daisuke	4. 巻 31
2. 論文標題 Embryonic evidence uncovers convergent origins of laryngeal echolocation in bats	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Current Biology	6. 最初と最後の頁 1353 ~ 1365.e3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cub.2020.12.043	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 Yamada Eisuke, Hongo Hitomi, Endo Hideki	4. 巻 132
2. 論文標題 Analyzing historic human-suid relationships through dental microwear texture and geometric morphometric analyses of archaeological suid teeth in the Ryukyu Islands	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Archaeological Science	6. 最初と最後の頁 105419 ~ 105419
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jas.2021.105419	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 AMAIKE Hayato, SASAKI Motoki, TSUZUKI Nao, KAYANO Mitsunori, OISHI Motoharu, YAMADA Kazutaka, ENDO Hideki, ANEZAKI Tomoko, MATSUMOTO Naoya, NAKASHITA Rumiko, KUROE Misako, TARU Hajime, BANDO Gen, IKETANI Yuko, NAKAMURA Ryohei, SATO Nobutaka, FUKUI Daisuke, KITAMURA Nobuo	4. 巻 83
2. 論文標題 Mobility of the forearm skeleton in the Asiatic black (Ursus thibetanus), brown (U. arctos) and polar (U. maritimus) bears	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Veterinary Medical Science	6. 最初と最後の頁 1284 ~ 1289
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1292/jvms.21-0198	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 ENDO Hideki, NGUYEN Truong Son, NGUYEN Dinh Duy, SASAKI Motoki, KIMURA Junpei, OSHIDA Tatsuo, YAGO Masaya, LY Ngoc Tu, NGUYEN Thi Tham, MOTOKAWA Masaharu	4. 巻 83
2. 論文標題 Zoogeographical barriers causing discontinuous osteometrical variations in the northern treeshrew skulls	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Veterinary Medical Science	6. 最初と最後の頁 1534 ~ 1544
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1292/jvms.21-0322	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 Kodera Ryo, Uekusa Yasuhiro, Ito Kai, Kuroda Noriyuki, Kodera Haruto, Endo Hideki	4. 巻 38
2. 論文標題 An anatomical study of the subpulpal wall of abnormal multirooted teeth in the narrow ridged finless porpoise (Neophocaena asiaeorientalis)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Marine Mammal Science	6. 最初と最後の頁 557 ~ 570
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/mms.12884	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 Endo Hideki, Tsunekawa Naoki, Kudo Kohei, Oshida Tatsuo, Motokawa Masaharu, Sonoe Mitsuru, Wanghonga Sawai, Tirawattanawanich Chanin, Phimpachanhvongsod Viengsavanh, Sasaki Takeshi, Yonezawa Takahiro, Akishinomiya Fumihito	4. 巻 1
2. 論文標題 Comparative morphological study of skeletal muscle weight among the red jungle fowl (Gallus gallus) and various fowl breeds (Gallus domesticus)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution	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) 10.1002/jez.b.23111	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 Duong Vu Thuy, Son Nguyen Truong, Hai Bui Tuan, Tu Ly Ngoc, Phuong Dang Huy, Tuan Tran Anh, Motokawa Masaharu, Endo Hideki, Oshida Tatsuo	4. 巻 43
2. 論文標題 Biogeographical variation on craniomandibular morphology in pallas's squirrel <i>Callosciurus erythraeus</i>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Academia Journal of Biology	6. 最初と最後の頁 25 ~ 43
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15625/2615-9023/16301	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 Aotsuka Keiichi, Isaji Shinji, Endo Hideki	4. 巻 26
2. 論文標題 An Avian Sternum (Aves: Procellariidae) from the Pleistocene Ichijiku Formation in Chiba, Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Paleontological Research	6. 最初と最後の頁 74 ~ 86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2517/PR200007	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 Aotsuka Keiichi, Endo Hideki	4. 巻 21
2. 論文標題 A Fossil Humerus of Pliocene Alcidae (Aves: Charadriiformes) from the Fukagawa Group in Hokkaido, Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Ornithological Science	6. 最初と最後の頁 79 ~ 92
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2326/osj.21.79	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 Noshita Koji, Murata Hidekazu, Kirie Shiryu	4. 巻 72
2. 論文標題 Model-based plant phenomics on morphological traits using morphometric descriptors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Breeding Science	6. 最初と最後の頁 19 ~ 30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1270/jsbbs.21078	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 野下 浩司・金田 明大・田村 光平・中川 朋美・中尾 央	4. 巻 3
2. 論文標題 遠賀川式土器の形態に関する数理的考察 田村 遺跡、矢野遺跡、綾羅木郷遺跡を中心に .	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 奈文研論叢	6. 最初と最後の頁 65～82
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 -

1. 著者名 野下 浩司・金田 明大・田村 光平・中川 朋美・中尾 央	4. 巻 27
2. 論文標題 遠賀川式土器を例とした三次元モデルと二次元 実測図データの比較	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 情報考古学	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 -

1. 著者名 Sano Katsuhiko, Beyene Yonas, Katoh Shigehiro, Koyabu Daisuke, Endo Hideki, Sasaki Tomohiko, Asfaw Berhane, Suwa Gen	4. 巻 117
2. 論文標題 A 1.4-million-year-old bone handaxe from Konso, Ethiopia, shows advanced tool technology in the early Acheulean	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 18393～18400
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.2006370117	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 Zhao Dan, Kong Ling-feng, Sasaki Takenori, Li Qi	4. 巻 37
2. 論文標題 Molecular Species Delimitation of the Genus Reishia (Mollusca: Gastropoda) along the Coasts of China and Korea	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Zoological Science	6. 最初と最後の頁 382～382
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2108/zs190153	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 Kei, Kano Yasunori, Setiamarga Davin H. E., Watanabe Hiromi K., Sasaki Takenori	4. 巻 49
2. 論文標題 Molecular phylogeny of protobranch bivalves and systematic implications of their shell microstructure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Zoologica Scripta	6. 最初と最後の頁 458 ~ 472
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/zsc.12419	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13件(うち招待講演 3件/うち国際学会 0件)

〔図書〕 計4件

1. 著者名 Y. Nishiaki, F. Guliyev and S. Kadowaki	4. 発行年 2021年
2. 出版社 ex oriente	5. 総ページ数 236
3. 書名 Hac Elamxanl Tepe-The Archaeological Investigations of an Early Neolithic Settlement in West Azerbaijan	

〔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	鶴見 英成 (Tsurumi Eisei) (00529068)	放送大学・教養学部・准教授 (32508)	
研究分担者	野下 浩司 (Noshita Koji) (10758494)	九州大学・理学研究院・助教 (17102)	
研究分担者	遠藤 秀紀 (Endo Hideki) (30249908)	東京大学・総合研究博物館・教授 (12601)	

6. 研究組織（つづき）

	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 圭 (Sato Kei) (40780036)	金沢大学・GS教育系・講師 (13301)	
研究分担者	西秋 良宏 (Nishiaki Yoshihiro) (70256197)	東京大学・総合研究博物館・教授 (12601)	
研究分担者	上杉 健太郎 (Uesugi Kentaro) (80344399)	公益財団法人高輝度光科学研究センター・分光推進室・主席 研究員 (84502)	

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