

哺乳類の頭骨のレプリカ標本を用いた生物教育とアウトリーチ活動 辻 大和¹

Biology education and outreach activities using replica specimens of mammalian skulls

Yamato TSUJI¹

¹Department of Biological Sciences, Faculty of Science and Engineering, Ishinomaki Senshu University, Ishinomaki 986-8580

Abstract

I made replica specimen of mammal skulls which were collected in Ishinomaki City, northern Japan, for biology education and outreach activities. I used the replica specimen at student experiments in FY2025, in which I asked the students to sketch the replica specimen of sika deer and raccoon dogs, to describe the morphological differences between them, and to consider the factors that caused these differences. I also collected students' opinions about the use of the replicas for the program. I and member of the "skeletal specimen club" together hold several workshops on animal bones, in which we gave the replica specimen as souvenir. I believe that communication through skeletal specimens, including replica, can be a good opportunity to get local people to think about neighboring wildlife, and about human-wildlife conflicts.

Key words: 3D printer, mammal skull, replica, wildlife management, workshop

1. はじめに

中学・高校の現行の学習指導要領では、現生生物に見られる共通性と多様性を、祖先共有や進化の視点で理解させることが求められている⁽¹⁾。いろいろな動物の骨格標本の形態的な特徴の比較は、ヒトをはじめとする他の動物の体の仕組みを知るだけでなく、脊椎動物が祖先を共有しながら進化してきたこと⁽²⁾を学習する上で重要な項目である。小学生を対象に、テーブルに置かれたクマの骨格を自由に並べてもらおうというプログラムを実施したところ、児童はパズル感覚で授業に取り組み、さらに「ヒトとクマの近さを実感した」という感想が多く寄せられたという⁽³⁾。このような、実物の骨格標本を使用した学習は教育効果が高いと思われる。

いっぽう、近年は野生動物と人間とのあつれきが各地で問題となっており、野生動物の科学的な管理についての市民の関心が高まりつつある。たとえば全国的に分布が拡大しているニホンジカ (*Cervus nippon*) は、その採食圧により植生を改

変し、生物多様性を低下させる^(4, 5)。さらに農林業被害、土壌保水力の低下、車との衝突事故も引き起こす⁽⁶⁾。同じく農作物の害獣であるイノシシ (*Sus scrofa*) やニホンザル (*Macaca fuscata*) は、年間数万頭が駆除されている^(7, 8)。クマ類の人里への出没は、時に人身被害を引き起こすことから⁽⁹⁾、他の動物に比べて地域住民の心理に与える影響が大きい。2024年4月のクマ類の「指定管理鳥獣」への追加指定は、国の管理方針の転換の象徴的な出来事といえる。自治体が野生動物管理(個体数管理・生息地管理・被害管理)を遂行するうえで、地域住民の理解は不可欠である。身近にいる野生動物の習性や生態を正しく理解し、遭遇した場合に適切に対処するため、そして行政が主導する個体群管理の意義と必要性を理解するために、研究者によるアウトリーチ活動は重要であり、その際にも標本は良い教材となる。以前、石巻市内で交通事故死した哺乳類から作製した頭骨標本を石巻専修大学(以下本学)の学生に見せたところ、写真ではわからない立体感・重量感・肌

¹石巻専修大学理工学部生物科学科

触りを、多くの学生が確認できた。教材として用いた骨格標本が交通事故で命を落とした動物に由来することに驚いた学生は多く、学生たちに「ロードキルが野生動物の生存にとって深刻な問題である」という認識を持たせることにも成功した⁽¹⁰⁾。

教育やアウトリーチ活動の教材として利用するために、担当者がさまざまな動物種の骨格標本を確保し、地域の需要に応じて利用できる体制を整備しておくことが望ましい^(11, 12)。しかし、費用の問題から骨格標本を数多く準備することは難しく、自前で作製する場合も試料をコンスタントに入手できるとは限らないため、標本の数を一きなり増やすことは難しいのが現状である。

モノづくりを改革する新たなツールとして、3Dプリンターが注目を集めている。従来は高スペックの製品が製造業の現場で活用されてきたが、近年は低価格で、かつコストパフォーマンスに優れたモデルが発売されていることもあり、一般家庭にも普及してきた。さらにインターネット上で公開されている無料の3Dデータも充実してきており、それをダウンロードすれば専門的な知識がなくても標本の模型製作ができるなど、一般の人々が3Dプリンターを導入する敷居は低くなっている。この影響か、近年大学や博物館でレプリカ標本を用いた教育普及活動の実践例が増えてきた^(13~16)。本学でも、東日本大震災からの心の復興支援の一環として、津波の被害を受けた石巻市沿岸部の復元立体模型の製作に3Dプリンターを活用した実績がある⁽¹⁷⁾。

このような背景から、私は本学が所蔵する哺乳類の骨格標本をデジタルデータ化し、そのデータを3Dプリンターで印刷したレプリカ標本を教育・啓発活動に活用することを試みた。本論では、レプリカの骨格標本の作成手順を簡単に説明したのち、その活用事例を紹介する。最後に、レプリカを用いた生物教育の今後の展開についての私見を述べたい。

2. レプリカ標本の作成方法

頭骨標本のデジタルデータ化には、ハンディタイプの3Dスキャナ (POP Plus, Revopoint, Shenzhen, China) を使用した。別売の2軸ターナー

ブルにモデル化の対象となる骨 (下面) を置き、時計回りにゆっくり回転させ、3脚に取り付けた3Dスキャナで骨を連続撮影した (図1)。スキャンの途中で頭骨標本を裏返し、スキャン面に漏れないように配慮した。データフレーム数は約2000とした。

3Dデータの処理には、フリーソフトRevo Scan version 5.5.2を用いた。得られた3Dデータに対して1) アイソレーション処理 (ノイズの除去) と2) 穴埋め処理 (隙間の除去) を行った (図2)。標本表面の凹凸を重視し、3Dデータのスムージング処理は行わなかった。完成したデジタルデータは、STL形式で保存した。

レプリカの印刷には、Adventurer 5M Pro (Zhejiang Flashforge 3D Technology Co.,Ltd, China) を用いた (図3)。STL形式のデータは、そのままでは3Dプリンターで出力することができな



図1 三脚にセットした3Dスキャナとターンテーブル



図2 3Dスキャナでデータ化したニホンジカ頭骨

い。そこでスライサーソフト (FlashPrint ver. 5.8.7) を使用して STL 形式のデータを G コード形式に変換し、印刷位置の調整とサポート材の設定をしたうえで印刷を行った。レプリカの素材として、市販の 1.75 mm ポリ乳酸 (PLA) 樹脂のフィラメントを用いた。印刷に要する時間は標本のサイズによるが、タヌキ (*Nyctereutes procyonoides*) の頭蓋骨の実物大のレプリカ (L13 cm × W5 cm × H5 cm) の場合で約 3 時間だった。



図3 3Dプリンタで印刷中のレプリカ頭骨

3. レプリカ標本を用いた生物教育の実践例

3.1 学生実験での活用

理工学部生物科学科 2 年生を対象に実施する『生物学実験』の中で、私は自分の担当回では草食獣であるニホンジカと肉食獣であるタヌキの頭骨をスケッチし、形態的な特徴の違いとその要因を考察する、というプログラムを提供している。一回の受講者数は 30 名を超えるため、本学が所蔵する骨格標本では数が足りず、従来は 1 つの実験台に 1 個の標本を配置 (学生 3 名に対して 1 個の割合) することで対応してきたが、一人一人が標本をじっくり観察できる時間は限られ、受講者の好奇心・探究心に答えることができていなかった。

そこで私は令和 7 年度に、1) 石巻市内で交通事故死したタヌキ (標本所蔵番号: ISU-NP-004) と 2) 石巻市内で自然死したニホンジカ (標本所蔵番号: ISU-CN-005) の頭蓋骨と下顎骨のレプリカ標本を作成し、『生物学実験』での活用を試みた (交通事故死体からの頭骨標本の作成法は、本誌に報告済み⁽¹⁰⁾)。

3D プリンターでそれぞれのレプリカ標本 (タヌキは実物大のレプリカ、シカは 1/2 の縮小レプリカ) を 35 個ずつ印刷し、受講者に一個ずつ配布したうえで、例年通りのスケッチを実施した (図 4)。スケッチならびにレポート提出の際にレプリカ標本を使用することについての意見を自由記述してもらった。

レプリカ標本を使用する長所として ①破損や劣化のリスクがないこと、②匂いがないこと、③学生に一個ずつ配布できるためより多くの人が観



図4 『生物学実験』でレプリカ標本のスケッチを行う学生

察できること、④死体から標本を作製する時間や手間を節約できること、⑤貴重な標本の場合実物は触ることができないが、レプリカなら手で触れることができること、⑥関節部分を動かすことで骨の動きを確認できること、⑦目的に応じて標本のサイズを変えられること、などの意見が寄せられた。

これに対して、レプリカの短所として①陰影や凹凸が分かりにくいこと、②実物と材質が異なり重量や手触りが違うため、観察力の醸成には役立たないこと、③レプリカの印刷精度が低い場合、学生に形態に関して誤った知識を与える危険があること、④破損のリスクが低い分、乱暴に扱われること、⑤レプリカの印刷に時間がかかること、⑥レプリカ作成のための初期投資がかさむ、などの意見が寄せられた。

見た目の形状はほぼ完全に再現できており、全受講生に学習の機会を公平に提供できるという意味ではレプリカの利用は有益である。ただ、実物を使ったスケッチの場合、立体感・重量感・肌触りを多くの学生が確認できる⁽¹⁰⁾のに対し、レプリカ標本では、実物よりも軽く、材質も異なるため、触感を通じた学習効果は薄いという問題も見出された。いくつかの実験台に実物の頭骨も置いておき、必要に応じて学生が実物・レプリカ双方を手にとれる方式にするなど、標本提供の方法には改善の余地があると考えている。

3.2 レプリカ標本のアウトリーチ活動への活用

令和7年度に、レプリカ標本を用いた3件のア

ウトリーチ活動を行った。

3.2.1 石巻こども未来スクール

本学は地域連携事業として、石巻市内の小学生を対象とした教育活動を実施している。私は令和7年度の講師を務めることになったため、学生サークル「骨格標本愛好会」(以下愛好会)に声をかけて『動物の骨を見てみよう』と題するワークショップを共同で行うことにした(実施:2025年6月28日、於:イオンモール石巻2F催事場)。

今回実施したプログラムは、小学生とその保護者を対象に、石巻市内で回収された動物の骨格標本を展示し、体のしくみや動きについて解説する、というものである。当日は、500名近くの参加者があった。会場を通りかかった親子連れは、ツキノワグマやニホンジカの等身大の骨格標本に興味津々で集まり、実際に骨に触れてみたり、重さや大きさの違いを感じたりしながら、動物についての理解を深めていたようである(図5)。児童らは、愛好会が企画・制作したクイズに意欲的に取り組み、楽しみながら回答していた(図6)。クイズに参加した児童への記念品として、3Dプリンターで制作したレプリカ(3-1で3Dデータ化した標本をタヌキは2/5サイズ、シカは1/5サイズで縮小印刷したもの)(図7)をプレゼントした。レプリカのリアルな造形に、児童らは大喜びしており、この試みは大変好評だった。参加した児童からは「クイズはちょっと難しかったけど、面白かった」「骨を見てクマって本当に大きいんだなっ



図5 ワークショップで標本を眺める来場者(撮影:千葉隆太郎氏)



図6 ワークショップで小学生にクイズを出す骨格標本愛好会の学生



図7 左から順に、タヌキ頭骨の実物標本、実物大のレプリカ標本、2/5サイズのミニチュアレプリカ標本。縮小印刷しても、標本の外見は実物に忠実に複製されている。



図8 牡鹿半島ビジターセンターで開催した夏休み自由研究企画「ホネからみる動物の暮らし」の様子（撮影：佐藤慶治氏）

て思った」「大学生がやさしく教えてくれてうれしかった」などの感想が寄せられた。

3.2.2 牡鹿半島ビジターセンターの夏休みイベント

夏休み期間中、愛好会と合同で小学生とその保護者向けに、自由研究企画『ホネからみる動物の暮らし』を開催した（実施日：2025年8月3日、於：牡鹿半島ビジターセンター）。提供したプログラムは、動物の骨格に関する講義、ならびに愛好会のメンバーによる骨格標本の解説で、これらを通じて石巻地域の動物がどんな生活をしているかを学んでもらうことを目指した（図8）。参加者（児童、一般参加者、児童の保護者を合わせて20名程度）からは活発な質問が出た。

【参加者の感想】（原文ママ）

- ・石巻で暮らしている動物たちの本物の骨を見られておもしろかった。
- ・骨の動きや歯のカタチを見て勉強になった。
- ・いろいろな生き物を知れたので面白かったです。
- ・今までのことで、すこししかしらなかったことでも
- ・今日のことで動物のことがたくさん知れた。
- ・本物の骨をさわってびっくりようになった。動物のことをたくさん知れてとてもうれしかったです。
- ・まんぞくした。

- ・市内に発見する生き物を知ることができた。
- ・クジラの体の中について詳しく知ることができた。歯の形を知ることによって生物のくらしがわかった。
- ・楽しかったです。ありがとうございます。

イベント参加者には、記念品としてタヌキの頭骨の実物大のレプリカ標本をプレゼントした。その大きさと造形のリアルさが、参加者から受けていたようである。同様のイベントを2025年11月にも開催する予定である。

3.2.3 オープンキャンパス

同年6月と8月に開催された本学のオープンキャンパスで、来場した高校生に研究内容や大学生活についての紹介を行った際に、記念品として、3.2.1で用いたミニチュアのアクリル頭骨標本を渡した。愛好会の活動も紹介した。来場した高校生は、大学ならではのユニークな活動に興味深そうに耳を傾けていた。

4. 今後の展望

本報告では、レプリカ頭骨標本の作製ならびにその活用事例を紹介した。本学における生物教育では、形態学的な特徴を学ぶ良い教材となることが分った。3Dプリンターを使ってレプリカ資料を作成し、より多くの来場者に触覚を伴う学習の提供を試みた報告⁽⁶⁾によれば、3Dプリンターを用いて製作したハンズオン資料は健常者だけでな

く、視覚障がい者に対しても、自然科学に対する関心を高めることができたという。博物館の資料は標本の状態の維持が優先されているため直接触れる機会が少なく「見る」という視覚が資料利用の重要な要素だったが、3Dプリンターを用いた資料作成を行うことで、視覚だけでなく触覚も取り入れてより実感を伴った学びが展開できる、とも述べている。3Dスキャナと3Dプリンターは安価で精度の高い教材を作成できる有用なツールであり、今後生物学をはじめとするさまざまな分野で活用すべきである。また、デジタルデータは外部の博物館やインターネット等で公開されている場合もあり（ただしクリエイティブ・コモンズ(CC)ライセンスで保護されている場合が多いので、使用に際しては利用条件を確認する必要がある）、これらの既存データも有効活用するべきだろう。

本学の学生から寄せられた意見にもあった「ハンズオン学習」において、レプリカは理想的なモデルと言える。実物との手触りや重量感の違いという問題点は、レプリカと同時に実物も展示することである程度はカバーできると考えられる。今後デジタルデータをより充実させて、学生の満足度を高めるためのツールとしたい。いっぽう地域の人々にとって、レプリカ標本は地元の動物の暮らしを知るための呼び水となる。石巻市では、増加したシカの影響に拠る植生の劣化や交通事故が深刻な問題となっており^(6, 18)、科学的なシカの管理には、地域住民の支持が欠かせない。標本を通じたコミュニケーションの中で、地域が抱える野

生動物とのあつれきに話題を転じ「ヒトと野生動物が共存できる街づくり」のために管理が必要であることを知ってもらうことが、地域の知の拠点としての本学の役割だと考えている。

生物教育におけるレプリカ標本の活用法として、国内外の大学や研究機関が所蔵する骨格標本のデジタルデータの共有も指摘しておきたい。各機関は、それぞれの地域に根差した研究活動を行っており、その過程で地域固有の動物の試資料を収集している。その中には骨格標本も含まれており、それをデジタル化して保管しておけば、需要に応じて別の研究機関で利用することができる。いろいろな地域の骨格標本の比較により、形態学的な研究に活用できると期待される。

2025年2月から3月にかけて、著者はインドネシアに調査のために渡航した。最初の目的地である西スマトラ州・パダンのアンダラス大学理工学部で、骨格標本の活用についてのセミナーを行い、本学で実施している交通事故死体を活用した生物教育について紹介した(図9)。先方からは3Dプリンターの導入についての質問があり、今後情報交換していくことで合意した。いっぽう二番目の目的地である西ジャワ州・ボゴールのIPB大学では、同大の研究者と標本の3Dデータを活用した形態学的研究について意見交換を行った。

アンダラス大学、IPB大学、そして西ジャワ州・パガンダラン自然保護区で、それぞれの機関から許可を得て、彼らが所蔵する骨格標本を3Dスキャンし、デジタルデータを作成した(図10)。帰国後、本学でこれらの標本のレプリカを作製した。作成したレプリカ標本は現在、本学の標本収蔵室に展示中である。アンダラス大学やIPB大学からは、保有する骨格標本をスキャンする条件として、本学が所蔵する日本産の野生動物の3Dデータの提供を求められた。今後、本学の所蔵データを提供することにより、あるいは3Dプリンターを提供して現地でのレプリカの生産できる体制を整備することにより、生物教育という共通のテーマにおいて本学とインドネシアの大学が連携できると期待される。

今後、国内の他大学との間でもこのような連携体制を整備して、野生動物の骨格標本のデジタルデータを相互に融通できるようなシステムを構築



図9 アンダラスダラス大学でのセミナーの様子

したい。

5. 謝辞

国土交通省 東北地方整備局 南三陸沿岸国道事務所 三陸維持管理出張所のスタッフには、骨格標本作製の素材をご寄贈いただいた。アンダラス大学理学部生物学科の Henny Herwina 教授と Rizaldi 准教授、同大学資料室の Wilson Novarino 教授、IPB 大学理学部の Kanthi Arum Widayati 准教授、パガンダラン自然保護区の Bambang Prayitno 氏には、所蔵する標本のスキャンを許可していただいた。本研究室の所属学生並びに本学骨格標本愛好会には、骨格標本の作製ならびにアウトリーチ活動にご協力いただいた。本学事務課の尾形孝輔氏、石崎純子氏、千葉隆太郎氏、牡鹿半島ビジターセンターの佐藤慶治氏には、各種イベントの企画・運営にご尽力いただいた。本稿で紹介した活動の実施と機材の導入に関しては、令和2-3年度共創研究センタープロジェクト経費(課題名:石巻圏内における野生動物のロードキルの現状調査)、令和5-6年度共創研究センター



図10 アンダラス大学が所蔵するマレーバク (*Tapirus indicus*) の頭骨標本

プロジェクト経費(課題名:石巻市におけるニホンジカと車の接触事故の発生要因の解明)、令和3-6年度本学個人研究費(研究題目:石巻市の野生動物の基礎調査)、ならびに令和3-4年度本学自主活動支援制度(B)の助成を受けた。以上の個人・組織にこの場を借りて感謝申し上げる。

6. 文献

- (1) 山野井貴浩, 小川博久, 川島紀子 (2022) 理化授業後の中学生の進化についての認識調査-脊椎動物の祖先共有の認識に注目して-. 理科教育学研究 63: 215-223.
- (2) 辻野亮 (2020) 哺乳類の全身骨格組み立てパズル. 奈良教育大学自然環境教育センター紀要 21: 19-26.
- (3) 三上周治 (2012) 「クマの全身骨格並べ」の有効性-誰にでも出来て効果大,でも誰もやらないのはなぜ-. 奈良教育大学自然環境教育センター紀要 13: 14-22.
- (4) 藤木大介 (2012) 兵庫県本州部の落葉広葉樹林におけるニホンジカによる下層植生の衰退状況:2006年から2010年にかけての変化. 兵庫ワイルドライフモノグラフ 4: 17-31.
- (5) 植田睦之, 葉山政治, 申田卓弥 (2019) ニホンジカの下層植生摂食の影響が宿主を通して托卵鳥へ. Bird Research 15: S11-S16.
- (6) Takahashi Y., Suzuki F., Tsuji Y. (2023) Spatio-temporal patterns of vertebrate roadkills in a sub-urban area in northern Japan. Mammal Research 68: 85-92.
- (7) 農林水産省 (2025) 全国の野生鳥獣による農作物被害状況について (令和5年度) https://www.maff.go.jp/j/seisan/tyozyu/higai/hogai_zyoukyou/index.html
- (8) 環境省 (2019) 狩猟及び許可捕獲等による主な鳥獣の捕獲数 <https://www.env.go.jp/nature/choju/docs/docs4/index.html>
- (9) 日本クマネットワーク (2023) 街に出るクマ-アーバンベアとどう付き合うか-報告書. https://www.japanbear.org/wp/wp-content/uploads/2023/03/2023_kikinhoukokusho.pdf
- (10) 辻大和, 高橋夢湖, 鈴木風磨 (2023) 動物の交通事故死体から作製した骨格標本を用いた生物学教育. 石巻専修大学研究紀要 34: 83-91.
- (11) 辻大和, 高橋堯大, 猿渡あさひ, 伊藤友仁, 鈴木聡

哺乳類の頭骨のレプリカ標本を用いた生物教育とアウトリーチ活動

- (2024) 生物学教育用の全身骨格標本の作製法. 石巻専修大学研究紀要 35: 61-72.
- (12) 辻大和, 浅見真生, 鈴木聡, 藏元武蔵 (2024) 生物学教育用のニホンザル (*Macaca fuscata*) 交連骨格標本の作製マニュアル. 霊長類研究
- (13) 吉田雅則 (2019) フォトグラメトリーにより作成した骨格標本レプリカの展示と活用事例 - 「動物のからだ展」を通して -. 神戸芸術工科大学紀要「芸術工学 2019」 1-13.
- (14) 兼子尚知, 鷲野光, 岩下智洋 (2016) 3D プリンタによる地質標本の模型製作. 地質調査研究報告 67: 133-135.
- (15) 相田裕介 (2020) 3D プリンタで製作した模型を用いた教育普及活動の実践. 茨城県自然博物館研究報告 23: 83-89.
- (16) 内山智枝子, 山野井貴浩, 武村政春 (2018) 3D プリンターを利用した人類頭骨のミニレプリカ教材の開発とその教育効果の検討. 白鷗大学教育学部論集 12: 141-158.
- (17) 益満環, 高橋智 (2013) 3D プリンタ活用による石巻沿岸部の復元立体模型の製作に関する研究. 石巻専修大学研究紀要 24: 139-143.
- (18) 下山祐樹 (2012) 牝鹿半島におけるニホンジカの採食の影響を受けた二次林の種組成. 植生学会誌 29: 111-117.