

論 説

国天然記念物に“触れる”：地方博物館における貴重標本のマルチメディア活用

唐沢與希*・松井久美子**

*三笠市立博物館・**九州大学総合研究博物館

Interacting with the inaccessible: utilization of multimedia-based visual contents of Japan's National Monument, the *Taniwhasaurus mikasaensis* (Mosasauridae) holotype for educational workshops at Mikasa City Museum

Tomoki Karasawa* and Kumiko Matsui**

*The Mikasa City Museum, 1-212-1 Ikushunbetsunishiki-cho, Mikasa City, Hokkaido 068-2111, Japan (e-mail: karasawa697@city.mikasa.hokkaido.jp); **The Kyushu University Museum, Kyushu University, 6-10-1 Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka City 812-8581, Japan

Abstract. The holotype of *Taniwhasaurus mikasaensis* (Squamata: Mosasauria) (MCM-M0009) is a partial skull and is registered as a Japan's National Monument (JNM). Even though this specimen is one of the most famous vertebrate fossils in Japan, its JNM status renders it is very difficult to be handled by researchers, let alone museum visitors.

At the same time, “heritage tourism” has attracted attention in museum activities in recent years. Consequently, we have worked on utilization of multimedia data of MCM-M0009 as a new way to introduce this iconic specimen to the public in a much more interactive setting.

Of particular importance to be considered is the production cost of such multimedia data, for one, local museums typically operate on a tight budget. As such, this project was carried out with low-cost, readily available tools. The digital 3D model of MCM-M0009 was first generated using a movie application for a smart phone. With the resultant digital 3D model, a total of two downsized plastic models were then produced by a 3D printer for hands-on. Finally, an AR system was built. Anyone with a smart phone and/or an electronic tablet was able to use this system by connecting to the html site provided.

We assessed an educational effect of the new multimedia components of *Taniwhasaurus mikasaensis* in a workshop in July 2019. Questionnaire results gathered from 11 examinees of hands-on models and AR viewing of *T. mikasaensis* indicated that the new multimedia applications garnered users' interest only in paleontological aspects of the specimen, but also in most advanced imaging technology. Our result hence revealed that incorporation of multimedia technologies in museum activities had unexpected interdisciplinary effects.

Digital 3D data are deemed effective in preventing total losses of important specimens by disasters, for example, the locality of *Utatsusaurus hataii* damaged by 2011 Tohoku earthquake and tsunami.

Key words: 3D print, AR, Japan's National Monument, mosasaur, multimedia

はじめに

我が国においては、後世に残すべき、歴史・芸術・学術上、重要な資料について、文化財保護法および地方自治体が制定する文化財保護条例に則って、指定・選定・登録が行われる。そして、これら法令に則って実施される文化財保護行政の目的について馬渡（2015）は、「文化財を人為的な原因、災害、経年変化等で変形・衰滅させないで後世に伝えること（保護）と、文化財の有する価値・効用を人類の文化的向上発展のために適切に発揮させること（活用）」としている。すなわち、文化財指定

された資料は、保管のみに特化するのではなく、積極的な教育普及活動への活用が求められる。加えて、近年では文化財を観光資産として捉える動きも活発である。特に人文分野においては、「ヘリテージ・ツーリズム」という考え方が普及しつつある（西山, 2001; 安福, 2001; 根岸, 2015）。こうした視点は、今後自然史分野においても人文分野同様に普及していくであろう。

文化財保護法に基づく国の天然記念物は2019年3月1日現在、1030件が指定されている。その中でも「地質鉱物」の区分には256件が指定され、このうち、生物の体化石標本を含む状態で指定されているものは「歌津館

崎の魚竜化石産地および魚竜化石」,「エゾミカサリュウ化石」,「古秩父湾堆積層及び海棲哺乳類化石群」,「勝山恐竜化石群及び産地」の合計4件である。またこの他に,「マチカネワニ化石」が国登録記念物に指定されている [URL1]。国の天然記念物「エゾミカサリュウ化石」は,三笠市立博物館が収蔵する海棲爬虫類の頭骨化石である(標本番号MCM-M0009)。この標本は,1976年6月に,北海道中央部に位置する三笠市の,幾春別川支流の菊田沢より産出したもので,昭和52年文部省告示第150号によって国の天然記念物に指定された。その後,このMCM-M0009はCaldwell *et al.* (2008)によってモササウルス科・ティロサウルス亜科・*Taniwhasaurus*の新種 *Taniwhasaurus mikasaensis*のholotypeとして記載された。Caldwell *et al.* (2008)ではholotype以外にも *Taniwhasaurus mikasaensis*のreferred specimenとして,同じく三笠市立博物館が収蔵するMCM-A600, MCM-A1008, MCM-M10の3標本も記載,図示している。

「エゾミカサリュウ化石」は,発見以来,テレビや書籍等で取り上げられる機会が多かったことから,その知名度は比較的高いものの,その学術的意義についてはあまりよく知られているとは言いがたい。例えば,笹沢 (2009)は,「国指定文化財等データベース」には,2008年4月3日まで,「ティラノザウルス科に属する新属新種のものと思われる」と記載されていたことを指摘している。国の天然記念物として登録されている本標本を「発見当時ティラノザウルス類と思われていた標本」というだけでなく,どのような研究経緯を経て,新属新種として記

載されるに至ったか,そしてどのような点からモササウルス類とわかったのか,どのような点が既知のモササウルス類と異なったのかなどの教育普及を図ることは重要である。その一方で,このように天然記念物に指定された資料は,その保護・保管・現状変更等について,法的に厳密な取り扱いが求められるため,標本管理者・研究者以外で来客者がその標本に触れることは現実的には不可能である。このような,実物標本を直接触れられない資料を,一般に教育普及に資するにあたって,従来は石膏・プラスチックなどを使ったレプリカが用いられていたが,近年では,発展の著しい映像技術を用いる方法も普及している。特に,デジタル写真から3Dモデルを構築する手法は,無料で利用可能なソフトウェアなどもあり,比較的安価に実施できることから,博物館や学校教育において近年急速に活用の方が広がっている(例えば,Kondo *et al.*, 2009; 宮田, 2011; 近藤, 2012; 沖見・松原, 2013; 渡辺ほか, 2013; 原ほか, 2015)。

本論では,国指定天然記念物である「エゾミカサリュウ化石 (MCM-M0009)」の3Dモデルを作成し,それを元に縮小3Dプリントレプリカとスマートフォンを用いてエゾミカサリュウを体験できるXR技術を用いたWebアプリケーションを実装し,アウトリーチに活用することによって,その教育効果を検討した。

XR技術

XRは拡張現実技術 (VR, AR, MRなど)を表す包括的な用語である [URL2]。VR・AR・MRはそれぞれ,以

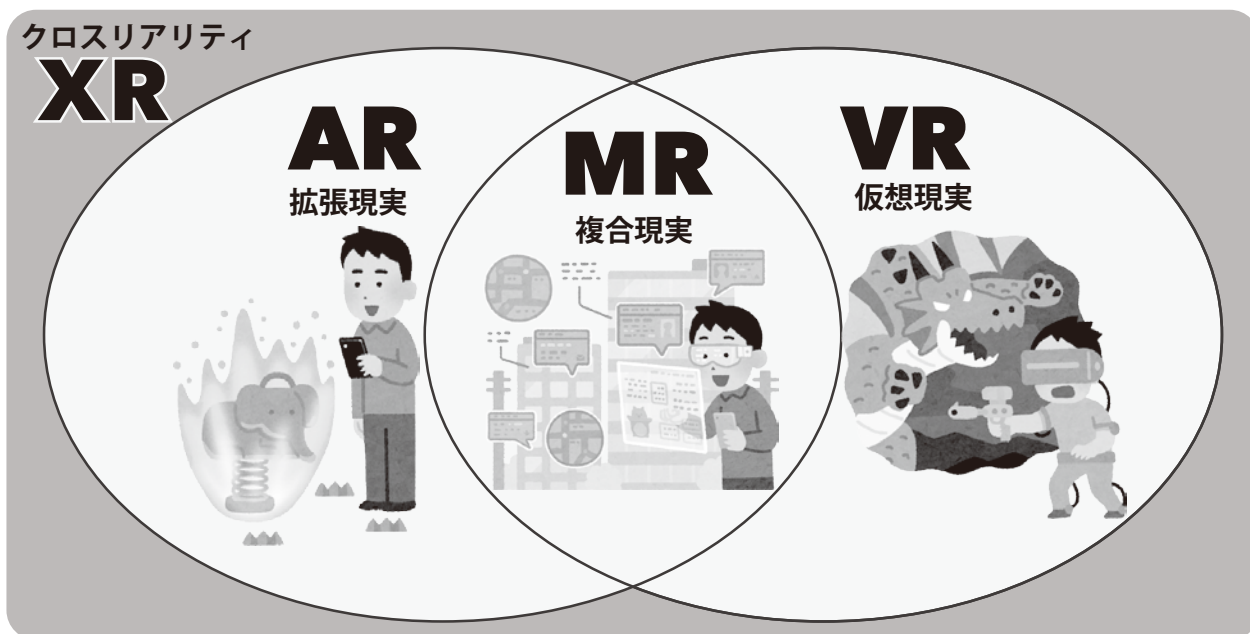


図1. マルチメディアの概念図.
Fig. 1. Conceptual diagram of multimedia contents.

下のように定義される（図1）。

1. VR (Virtual Reality)

VRは、「あるものに別のものをオーバーラップさせる」ことがもっとも重要な点である。また、そのために、以下のような条件を備えたものがVRとして一般的である。1) コンピュータで生成されたステレオ画像が、ユーザーの周囲に展開し、現実世界の環境を取って代わる。2) 映像コンテンツは、体感者視点で展開するものである。3) 仮想環境との応答が、リアルタイムに行われる。

2. AR (Augmented Reality)

ARとは、現実世界の「上」にデジタルコンテンツを付加するものであり、ユーザーは現実世界のものとデジタルコンテンツの双方に接することができる。ARを体感するためには、大抵、デジタルカメラやスマートフォンなどの機器を用いる必要がある。Mann *et al.* (2018) も、VRが現実世界を「ブロック」してデジタルコンテンツを体感させるのに対し、ARは現実世界の「上」にデジタルコンテンツを付加させることで、双方を同時に体感できる点が異なることを強調している。

3. MR (Mixed Reality)

VRなどの技術を用いて、ユーザーの現実世界の環境とデジタルコンテンツをシームレスに混合させ、双方を両立もしくは相互に関係させたものをMRと呼称する。ただし [URL2] によれば、MRという用語は、商業的な場面において広く用いられてきたとしている。

博物館での映像技術を用いた展示・研究・保存は以前より、祭祀などの無形文化財を取り扱う人文分野におい

ては積極的に行われている（丹羽・曾我, 2013; 隅田・曾我, 2016 など）。特にARに関しては、原ほか（2015）が、国の史跡に指定されている芝山古墳群において、遺跡の発掘当時の状況や、その遺跡から発掘された埴輪などの遺物を表示するARの導入を試みており、そこでは、それぞれの手法のメリット・デメリットを検討した上で、見学者個人のスマートフォンやタブレットを用いて、マーカー型・マーカーレス型2種類のARを試験的に運用している。古生物学分野を含む自然科学分野でも、浅井（2007）や浅井ほか（2012）の国立科学博物館におけるARを用いた月面探索システムの例や、近藤ほか（2006）および近藤・有田（2009）によって報告されている国立科学博物館のMRを用いた恐竜常設展示室の事例があげられる。国外の事例では、スミソニアン国立自然史博物館（ワシントンD.C., 米国）が常設展示室や過去の展示室のWebVRを用いたVirtual Tourのコンテンツを作成している [URL3]。国外では、これら大型博物館だけではなく、比較的小型の博物館でもこのようなICT技術の積極導入が行われている。The Alf Museum（カリフォルニア, 米国）では展示解説にスマートフォンをかざすと展示解説動画が流れたり、解説板をスペイン語、中国語へ翻訳することができるアプリケーションを提供しており、これらは多様な博物館来館者と博物館の垣根を低くしている（Santos and Lepore, 2017; [URL4]）。

手法

本論では、大きく特別な技術を用いず、技術外注も行っていない。特別な機材や高額なPCを用意せず高額の外注を行わずとも小規模館がXR技術を可能な限り安価で簡単に導入できる良い事例となることを目指した。

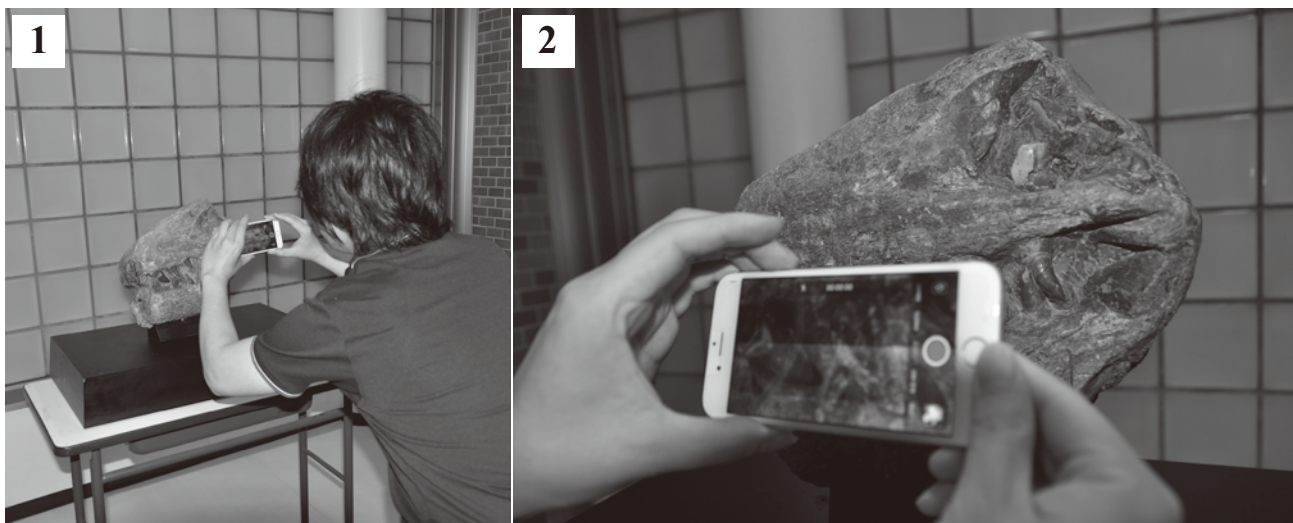


図2. 「エゾミカサリュウ化石」の3Dデータ取得の様子。

Fig. 2. Acquiring 3D data of the holotype of *Taniwhasaurus mikasaensis* with a smart phone.

1. 3Dモデル作成方法

「エゾミカサリュウ化石」の3Dモデルの作成には、フォトグラメトリーを用いた。まず、標本の全周を、iPhone 6を用いて動画で撮影した(図2)。標本は展示台に乗せた状態で静置し、その周囲を螺旋状に周回しながら、下部から上部に向かって撮影した。この時、カメラのレンズは標本から20~30 cm程度の距離を保ち、歯列などの、入り組んだ形状の部分については、なるべく標本表面に対して垂直な向きになるように撮影した。撮影は3回実施し、いずれも1~2分間程度、約260 MB程度の.mp4ファイルとして保存した。この動画から、300枚の静止画を抽出した。

この静止画から、Agisoft Metashape Standard Edition v1.5.4 [URL5] を用いて、頭骨の3Dモデルを作成した。頭部の背側、腹側の動画からそれぞれ均等な間隔で300画像を切り出し、頭骨の両側面を作成した。これら600枚の画像のうち599枚を用いてエゾミカサリュウ頭骨全体のポイントクラウドを作成し、そこからメッシュとテクスチャーファイルを作成した。3Dモデルは、OBJファ

イル、MTLファイル、PNGファイルで保存し、無料ソフトウェア(e.g. Meshlab; Cignoni *et al.*, 2008)でもカラーテクスチャの入った状態で標本の詳細まで観察ができるようにした。これらの3Dデータは約20 MBとなり、MorphoMuseumで公開される(Matsui and Karasawa, in press)。

2. 3Dプリントモデル作成方法

1. で作成した3Dモデルから九州大学総合研究博物館所有のAfinia H480 3D Printerを用いて縮小サイズの「エゾミカサリュウ化石」を作製した(図3)。積層は0.2 mmでAfinia ABS Premium Filament樹脂を用いて行った。表面は可能な限り標本として綺麗になるようにQualityはHighで出力した。3Dプリントモデルの前後方向の長さはそれぞれ、20.5 mm・45.9 mm(図3A)・82.9 mm(図3B)である。ただし、もっとも小さなモデルに関しては、管理上の問題から、ハンズオンでは使用しなかったため、図3にはハンズオン会場で使用したもののみを図示した。

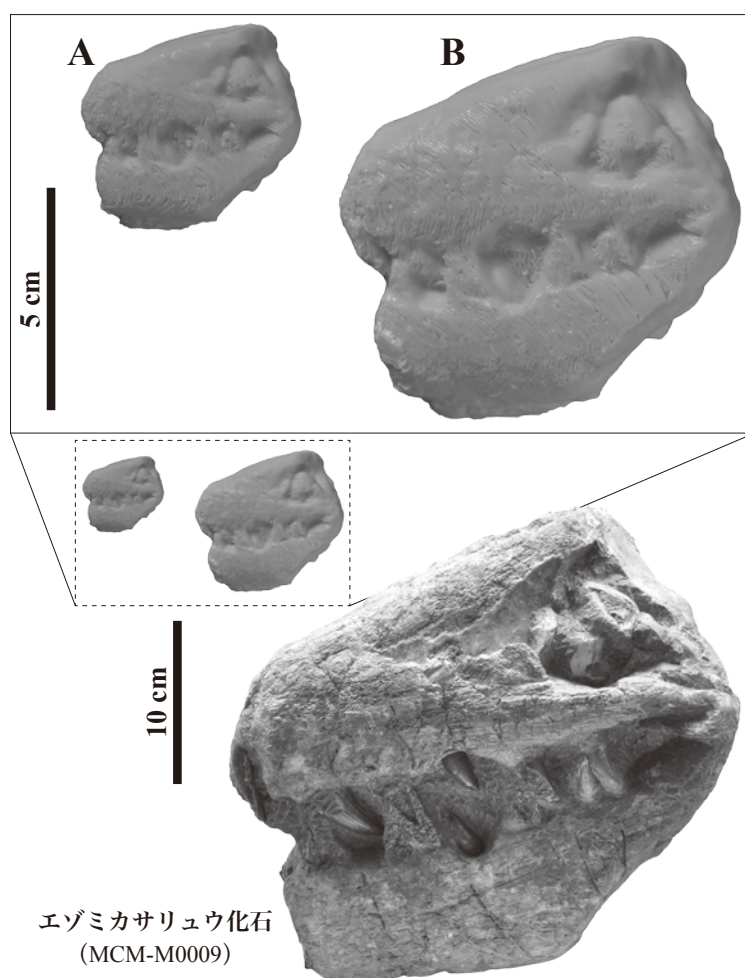


図3. 「エゾミカサリュウ化石」および、その縮小3Dプリントモデル (A, B).
Fig. 3. A, B: Downsized 3D printed models of the holotype of *Taniwhasaurus mikasaensis*.

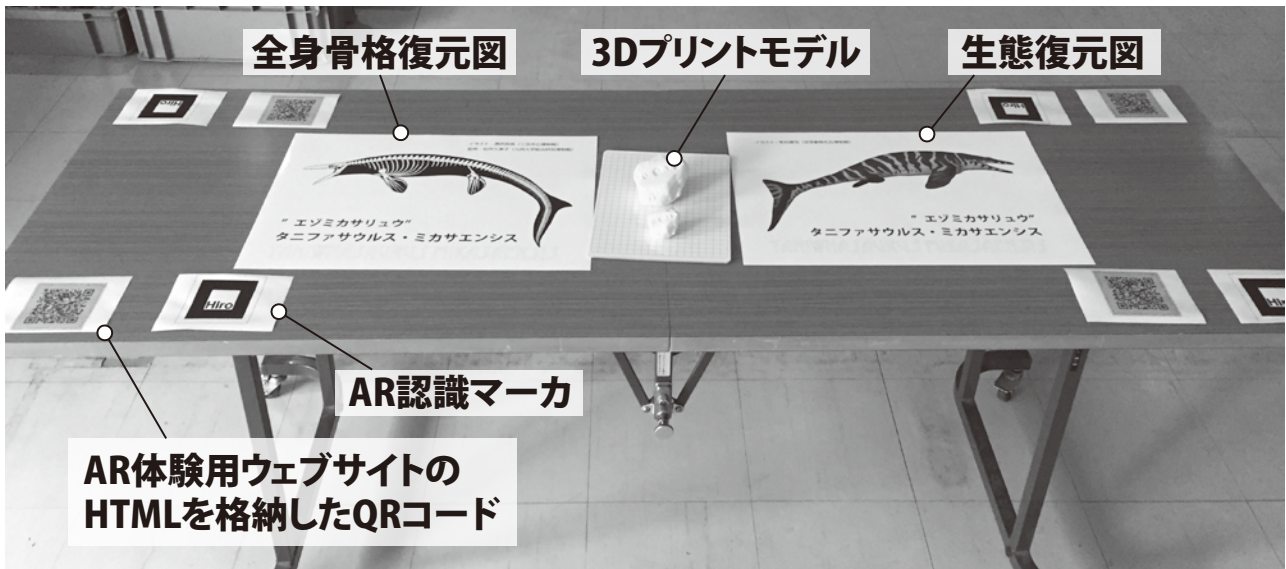


図4. 2019年7月13日に三笠市立博物館内で実施した、三笠市役所商工観光課ジオパーク推進係主催「第2回ジオカフェ」における、「エゾミカサリウ化石」ハンズオンコーナー。

Fig. 4. Hands-on corner of *Taniwhasaurus mikasaensis* in “Geo-Cafe” at July 13th 2019.

3. XR作成方法

本論で用いた技術はXRの中でもARである。ARは来館者の多くが持つスマートフォンだけで実行が可能である。そこで、スマートフォンで実行可能な非常に簡易なAR WebアプリケーションAR.jsを用いて作成した。Webアプリケーション公開のために、まず、GitHub内にアカウントを作成し、GitHub Pagesを用いて「エゾミカサリウ」の3Dデータが飛び出すWebアプリケーションのhtmlを作成した。AR.jsは60 fps以上のカメラを持つスマートフォンであれば安定的に動くことが確認されているが、それよりも性能が劣る13fspのLumia 950においても動作が確認されており、大抵のスマートフォンで利用できることが期待された。

3Dモデルの活用事例

会場

2019年7月13日に、三笠市立博物館において、三笠市役所商工観光課ジオパーク推進係の主催で、「第2回ジオカフェ」を実施した。この会場で、AR Webアプリケーションと3Dプリントモデルを用意し、ハンズオン標本として活用した（図4）。

三笠市立博物館2階講演室を会場とし、その一角に「エゾミカサリウ」コーナーを設営した。そのテーブル上には、AR体験用のhtmlを格納したQRコードとARを表示するためのマーカーを複数設置した。また、大小2点の「エゾミカサリウ化石」の3Dプリントモデルを置き、来場者が自由に触れることができたようにした。さらに、「エゾミカサリウ化石」の写真と、*Taniwhasaurus*

本日はイベントにご参加いただき、ありがとうございました。
本日のイベントで活用した3Dプリント模型や、AR（拡張現実）は、九州大学総合研究博物館との協力によって実施いたしました。今後も、こうした技術を活用した、より親しみやすい博物館展示をつくる上で、今回のイベントにご参加いただいた皆様のご意見をお伺いしたいと考えております。
つきましては、以下のご質問に、○をつけてお答えください。

ご年齢 _____ お住まい _____
三笠市内 ・ 北海道内（三笠市外） ・ 北海道外

Q1. 3Dプリンターについて、今まで知っていましたか _____ はい ・ いいえ

Q1-2. 「はい」と答えた方にお聞きします。
今まで、3Dプリンターを使ったことがありますか _____ はい ・ いいえ

Q2. AR（拡張現実）について、今まで知っていましたか _____ はい ・ いいえ

Q2-2. 「はい」と答えた方にお聞きします。
今まで、AR（拡張現実）を使ったことがありますか _____ はい ・ いいえ

Q3. 博物館には、ふだんからよく来ますか _____ はい ・ いいえ

Q4. 今日、イベントに参加するまで、「エゾミカサリウ」について知っていましたか _____ はい ・ いいえ

Q5. 今日、イベントに参加して、「エゾミカサリウ」について、関心や理解が深まったと思いますか _____ はい ・ いいえ

Q6. 3DプリントやAR（拡張現実）を活用した展示やイベントがあれば、より博物館に行きたいと思いませんか _____ はい ・ いいえ

ご意見・ご感想があれば、ご自由にご記入ください

ご協力ありがとうございました。

図5. 「エゾミカサリウ化石」の3Dデジタルデータをハンズオン体験した来場者へのアンケート用紙。

Fig. 5. Questionnaire for subjects of hands-on with 3D digital data of *Taniwhasaurus mikasaensis*.

表1. アンケートの回答結果
Table 1. Questionnaire results.

年齢	10代以下	20代	30代	40代	50代以上
	2	2	1	5	1
住まい	三笠市内	北海道内（三笠市外）	北海道外		
	3	9	0		
回答	はい	いいえ	無回答・その他		
Q1：参加前に3Dプリンタを知っていたか	9	2			
Q1-2：3Dプリンタを使ったことがあるか	0	9			
Q2：参加前にARを知っていたか	7	4			
Q2-2：ARを使ったことがあるか	3	4			
Q3：博物館にはよく来るか	6	3	2		
Q4：参加前にエゾミカサリユウ化石を知っていたか	6	5			
Q5：参加後にエゾミカサリユウの興味は高まったか	6	5			
Q6：今後もこのようなイベントに参加したいか	11	0			

いずれも人数

*mikasaensis*の骨格復元図（唐沢作）と生態復元図（新村龍也博士提供）を掲載し、実物化石と3Dプリントモデルの比較ができるようにした。また、*T. mikasaensis*がどのような動物であり、実際に化石として産出した部位がどこであるかがわかりやすくなるように展示した。

この会場には、未就学児から高齢者まで、約30名が来場した。来場者に対してはまず、著者（唐沢）が *Taniwasaurus mikasaensis* に関する簡単な説明を口頭で行った。この際、*T. mikasaensis*の古生物学的な知見のみならず、ARおよび3Dプリントモデルを作成した「エゾミカサリユウ化石」が国指定天然記念物であり、原標本は来館者が容易に触れられるものではないことについて言及した。

その後、来場者には、ARの体験を行ってもらった。ARの閲覧には、来場者自身のスマートフォンもしくは、会場に用意したタブレット端末を用いた。

結果

AR体験を行った来場者約30名には、任意でアンケートに回答してもらった（図5）。アンケートの有効回答者数は11名で、その結果を表1に示す。

考察

教育的効果

「ジオカフェ」での「エゾミカサリユウ」ARと3Dプリントモデルのハンズオン標本に対する、来場者の関心は非常に高かった。第一に、ハンズオン体験を通じて、「普段触れないものが触れる」という点が、来場者に高く評価されているように感じた。小さな子供などにとっては、

学術的な「エゾミカサリユウ」やモササウルス類の説明をするよりも、普段はガラスケースの中にあるものが、ミニチュアモデルとして手元に置けることや自身（の家族）のスマートフォン上で表示されていることに興味を持って見受けられた。

また古生物にもともと関心を持っている来場者からは、特に発見までの経緯や、産出した部位についての質問が出され、それに対しては、3Dプリントモデルを全身骨格の復元図と照らし合わせて解説することができた。例えば「エゾミカサリユウ化石」は、吻部と眼窩より後方が大きく欠損している。化石の不完全性について十分な知識のない来場者にとっては、細長いモササウルス類の頭骨と「エゾミカサリユウ化石」がどう一致するのか、わかりづらいこともあるようである。しかし、3Dプリントモデルを手を持ちながら、この頭骨がノジュール中に保存されていたこと、それが転石として川を流れ下る過程で磨耗し、頭骨の前後が欠損したことなどを説明すると、非常に納得したように解説を聞く様子が見受けられた。

ARと3Dプリントモデルという2種類のハンズオン標本を用いたことで、様々な説明手法が選択できるようになったというのも、大きな発見であった。3Dプリントモデルは単一の成型色であるのに対し、ARは実際の標本のテクスチャが貼られているので、実物に極めて近い色で観察することができ、化石と母岩や、骨と歯の違いなどが非常にわかりやすく、骨の部位を説明するのに極めて有用であった。しかし、ARはあくまでもスマートフォンやタブレットの画面上で観察するものなので、頭骨における鼻孔や眼窩の位置関係などを説明するには、3Dプリントモデルの方が有用であった。複数のメディアで教材を用意することで、適切な使い分け・同時利用をしながら、より深い解説ができるようになることがわかった。

来場者の興味・関心がどこに向けられていたかは、「エゾミカサリユウ」の3Dデジタルデータ（ARおよび3Dプリントモデル）を体感した来場者によるアンケートの回答からも推察できる（表1）。このアンケート結果からは、ARおよび3Dプリンタという技術そのものに関しては、広く認知されているものの、実際にその技術を手にしたことはない、という傾向が明らかとなった。実際に3Dプリントモデルを手にとった来場者は、モササウルス類化石や国の天然記念物であるという点に加えて、3Dプリンタで作製したミニチュアモデルであるという点に興味・関心を持っている様子が伺えた。特に成人の来場者からは、3Dデータの取得方法についての質問もあり、単なる古生物学のアウトリーチという枠組みを越えて、広く先端の科学技術に触れる機会としても有用であった。

また、このアンケート結果からは、もともと来場者の中での「エゾミカサリユウ」の知名度が非常に高いことがわかった（表1）。これは、「エゾミカサリユウ」が国指定天然記念物であり、多くの一般向けの図鑑や書籍に掲載

載されていることや、来場者のほとんどは、すでに常設展を見た後に、「ジオカフェ」にやってきており、少なくとも1回は実際に「エゾミカサリユウ」の展示を見ていることによると思われる。この知名度の高さが、ハンズオン展示を実施する上で、「エゾミカサリユウとは何か」といった基本的な説明を省いて、スムーズに詳細な解説に移行できた理由であると考えられる。こうしたハンズオン展示では、ハンズオンの前後で、実際の標本や、その展示状況を見てもらうことも重要であると思われる。

その一方で、来場者個人のデバイスを利用する方式は、確実な動作が保証されない。このアウトリーチの中でも、デバイスがマーカーを読み込まない、エゾミカサリユウの画像が不意に消える、といったトラブルを起こす事例が見られた。来場者個々人が持つデバイスのOS、バージョン、カメラ性能、CPU性能がそれぞれ異なるため、すべての機器に対して同様に動作させるためには、事前に十分な試験運用を行うか、貸出機を用意する必要があることがわかった。

博物館における3Dデータの活用

「エゾミカサリユウ化石」の3Dデジタルデータとそのプリントモデルを用いたアウトリーチ活動を実施して感じた点としては、解説のしやすさが挙げられる。

実物の「エゾミカサリユウ化石」は、重量が約20 kgあり、天然記念物指定標本であることを差し引いたとしても、解説員が手に持って、標本の細かな部位や構造の説明をすることは困難である。また、三笠市立博物館の常設展では、「エゾミカサリユウ化石」は左側面が観察できる向きで固定されており、それ以外の面、特に右側面を一般来館者が観察することはまず不可能である（一般に普及している図鑑等でも、掲載されているのは大抵、左側面のみである）。水棲適応による形態的変化の一つである、外鼻孔の頭頂部への移動についての説明や、海外から産出した *Taniwhasaurus* に見られる頭頂部の隆起など、常設展で見ることができ向きの方向からの解説などは、実物標本を用いて行うことができない。そのため、「エゾミカサリユウ化石」のような動かすことにリスクの大きな標本においては3Dデジタルデータや3Dプリントモデルなどが大いに活用できる場面であった。

こうした取り組みはこれまででも、従来型の型取りレプリカや、標本写真等を用いて行われてきた。しかし、型取りレプリカは、精巧なものを作製しようとすればコストがかかり、地方博物館などでは、複数個を用意することが難しい。また標本写真の場合には、どうしても立体感を得づらく、来館者が細かな構造を理解するのは難しい。それに対し、3Dプリントモデルは、形状の正確性を維持しながら、サイズを変更することが容易であり、来館者が自由に手にとって観察することのできる標本を作製することができる。また、ARを用いた疑似観察体験で

は、標本ではなく、カメラを構えた観察者自身が、カメラの向きや立ち位置を変えることで、標本のどこを見ているのかを、より直感的に理解しやすくなるものと思われる。

3Dデジタルデータを活用した博物館の展示・教育の効果に関しては、有田（2015）が、その有用性や現状での問題点をまとめている。また、宇仁（2013）は「21世紀の展示室のあり方」のひとつとして、「インターネットに接続したタブレットやスマートフォンで解説すること」を挙げている。すなわち、標本を陳列するだけでは解説が不足する一方、図版や情報機器をあまり大規模に配置することは、展示の品位や美しさを損なう上に、展示室内に設置する解説には、文章や映像の長さや分量に限界がある。そこで、来館者が必要に応じて解説を呼び出せるタブレットやスマートフォンを活用し、展示解説や博物館オリジナルの番組をウェブサイト上に公開し、そのウェブサイトのブックマークアーカイブを来館者に提供する方法を提案している。

本論で取り上げた、「エゾミカサリユウ化石」3Dデジタルデータの活用は、その実践の一つとして、有意な経験であったと言える。特に、地方博物館にとっては、来館者数の増減が行政上重要な観点である。来館者を増加させるためには、展示内装の刷新や、新たな展示標本の導入などが検討されることが多いであろうが、予算規模の小さな地方博物館にとっては、物理的な展示設備・展示標本を大幅に拡張することは難しい。そこで、すでに所蔵している標本を、デジタルデータとして新たな展示へと活用することは、大規模なハードウェアの調達が必要であり、低コストで博物館標本の新たな活用ができる方法として有用である。本論では、スマートフォンに搭載されたデジタルカメラでも、十分化石の形状や表面の観察に耐えられる程度の3Dデジタルデータを構築できることを示した。積層ピッチについては、0.2 mmで教育普及活動用としては十分であった。

本論で用いた、「エゾミカサリユウ化石」の3Dデジタルデータをハンズオン展示に活用する際に必要とされるコストは、実質的に3Dプリンタのフィラメント代のみである。今回のハンズオン会場で使用した3Dプリントモデル2点（図3）は、重量がそれぞれ50 gと15 gである。フィラメントの販売価格から重量単価を算出すると、約500円と約150円程度である。一方、これらの3Dプリントの製作を外注すると、数千円の費用を要する。本論では、来館者を呼ぶ起爆剤として行われる新たな展示や教育イベントを、地方博物館でも低リスクで導入可能かつ低コストで実施できることを示した。

西ほか（2015）は、東日本大震災とその後の標本レスキューの経験から、自然史標本の3Dデータのアーカイブ化が、展示教育のみならず、災害による標本の破損・紛失と、その修復・復元においても重要な役割を果たす

としている。事実、その東日本大震災では、「エゾミカサリウ化石」と同じく国指定天然記念物となっている *Utatsusaurus hataii* の type locality (天然記念物名称「歌津館崎の魚竜化石産地及び魚竜化石」) は、その被害こそ大きくなかったものの、津波による影響を少なからず受けた (永広ほか, 2012; 根本ほか, 2013; 佐々木ほか, 2013; 松本・河原, 2013 など)。本論で用いた手法は、安価で十分な解像度の3Dモデルを作製できるため、このような貴重標本の維持・管理においても大きな役割を果たし得ると考えられ、今後の普及と更なる開発が望まれる。

謝辞

小西卓哉博士と荻野慎譜博士には、本論を改善する上で、大変有意義なご意見をいただいたことに、深く感謝申し上げる。

文献

- 有田寛之, 2015. 博物館資料に関する三次元デジタルデータの活用について. 日本教育情報学会年会論文集, **31**, 126-129.
- 浅井紀久夫, 2012. 月面を探索してみよう: 博物館でのマルチメディア利用. 映像情報メディア学会誌: 映像情報メディア, **66**, 650-655.
- 浅井紀久夫・近藤智嗣・小林秀明・水木 玲・有田寛之, 2007. 拡張現実感を利用した月面探索システム~科学博物館でのデモ展示とその評価~. 電子情報通信学会技術研究報告, **107**, 63-68.
- Caldwell, M. W., Konishi, T., Obata, I. and Muramoto, K., 2008. A new species of *Taniwhasaurus* (Mosasauridae, Tylosaurinae) from the Upper Santonian-Lower Campanian (Upper Cretaceous) of Hokkaido, Japan. *Journal of Vertebrate Paleontology*, **28**, 339-348.
- Cignoni, P., Callieri, M., Corsini, M., Dellepiane, M., Ganovelli, F. and Ranzuglia, G., 2008. Meshlab: an open-source mesh processing tool. *Eurographics Italian chapter conference*, **2008**, 129-136.
- 永広昌之・佐々木 理・根本 潤・鹿納晴尚, 2012. 東日本大震災で被災した南三陸地域の自然史標本と「歌津魚竜館化石標本レスキュー事業」. 日本地質学会News, 2012-3, 3-5.
- 原 利充・鈴木徳彦・根本彩恵・齋藤康之・奥住淳, 2015. ARによる古墳の遺物と発掘調査状況の表示と雰囲気にあった楽曲生成. 映像情報メディア学会技術報告, **39**, 13-16.
- 近藤智嗣, 2012. 没入型複合現実感展示におけるガイド機能の評価. 日本バーチャリアリティ学会論文誌, **17**, 381-391.
- 近藤智嗣・有田寛之, 2009. 博物館教育におけるICT活用. メディア教育研究, **6**, S34-S43.
- 近藤智嗣・芝崎順司・有田寛之・真鍋 真・稲葉利江子, 2006. ミクストリアリティによる博物館展示システムの提案. 日本教育工学会論文誌, **30**, 45-48.
- Kondo, T., Manade, M., Arita-Kikutani, H. and Mishima, Y., 2009. Practical uses of mixed exhibition at the National Museum of Nature and Science in Tokyo. Joint Virtual Reality Conference of EGVE-ICAT-EuroVR, Poster program. 27-28.
- Mann, S., Havens, J. C., Iorio, J., Yuan, Y. and Furness, T., 2018. All reality: Values, taxonomy, and continuum, for Virtual, Augmented, eXtended/MiXed (X), Mediated (X,Y), and Multimediated Reality/Intelligence. arXiv preprint arXiv, 1804.08386.
- Matsui, K. and Karasawa, T., in press. 3D models related to the publication: Touching an untouchable: utilization of 3D distal data of Japan's National Monument "*Taniwhasaurus mikasaensis* (Mosasauridae)" for educational workshops in Mikasa City Museum. *MorphoMuseum*. doi: 10.18563/journal.m3.106.
- 松本幸英・河原康浩, 2013. 東日本大震災の津波により被災した化石レプリカの修復経験から得られたこと. 化石, (93), 107-116.
- 馬渡峻輔, 2015. 自然史標本の新しい価値~新しい自然史博物館を~. タクサ 日本動物学会誌, **38**, 3-9.
- 宮田公佳, 2011. Augmented Realityとプロジェクタ・カメラシステムを用いた博物館展示ガイドプロトタイプの検討. 画像電子学会誌, **40**, 851-859.
- 根本 潤・佐々木 理・永広昌之・鹿納晴尚, 2013. 東日本大震災における宮城県内の博物館の被害状況. 化石, (93), 1-4.
- 西 弘嗣・佐々木 理・鹿納晴尚, 2015. 自然史標本の新しい研究技術と自然史博物館構想. タクサ 日本動物分類学誌, **38**, 10-11.
- 西山徳明, 2001. 自律的観光とヘリテージ・ツーリズム. 国立民族学博物館調査報告, **21**, 21-36.
- 丹羽勇介・曾我麻佐子, 2013. 練供養のジェスチャ認識と仮想試着による展示支援コンテンツの試作. 映像情報メディア学会技術報告, **37**, 41-42.
- 根岸 洋, 2015. 秋田県内におけるヘリテージ・ツーリズムの可能性. 国際教養大学アジア地域研究連携機構研究紀要, **1**, 51-61.
- 沖見圭洋・松原行宏, 2013. 拡張現実型マーカを用いた滑車配置実験のための学習支援システム. 日本教育工学会論文誌, **37**, 107-116.
- 佐々木 理・永広昌之・根本 潤・鹿納晴尚・望月 直, 2013. 宮城県自然史標本レスキュー活動報告: 被災地のミュージアム活動復興に向けて. 化石, (93), 75-82.
- 笹沢敦一, 2009. ニッポンの恐竜. 222p, 集英社, 東京.
- Santos, G. and Lepore, T., 2017. Utilizing augmented reality for inclusive exhibit design. Abstracts with programs of the 77th Annual meeting of the Society of Vertebrate Paleontology, Calgary, Canada, 189.
- 隅田圭祐・曾我麻佐子, 2016. VR技術を用いた練り供養の行列シミュレーションシステム. 映像情報メディア学会技術報告, **40**, 63-64.
- 宇仁義和, 2013. 自然史博物館の展示類型と21世紀型の展示. 博物館学雑誌, **38**, 75-90.
- 安福恵美子, 2001. ヘリテージ・ツーリズムのダイナミックス: 相互作用の場としてのヘリテージ. 国立民族学博物館調査報告, **21**, 143-152.
- 渡辺友美・吉富友恭・萱場祐一, 2013. 魚類の生態への気づきを促す映像展示システムの開発と評価. 日本教育工学会論文誌, **37**, 189-192.
- [URL1] 文化庁, 文化遺産オンライン, <https://bunka.nii.ac.jp>.
- [URL2] Unity Technologies, Unity User Manual, <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>.
- [URL3] National Museum of Natural History, National Museum of Natural History-Virtual Trip, <https://naturalhistory.si.edu/visit/virtual-tour>.
- [URL4] Frederick, A., Augmenting reality to make science more inclusive, <http://www.sicb.org/students/2018/frederick.php>.
- [URL5] Agisoft LLC, Agisoft Metashape, <https://www.agisoft.com>.
- 唐沢與希は、3Dデータ構築のためのエゾミカサリウ化石撮影を実施し、また3DプリントモデルとARを用いて、三笠市立博物館内でワークショップを開催して、来場者へのアンケートを行い、その集計を行った。松井久美子は、エゾミカサリウ化石の動画から3Dデータを作成し、3Dプリントモデルと、ARウェブアプリケーションの実装を行った。

(2019年9月29日受付, 2020年5月9日受理)