

雑報

自然史系博物館資料の3Dデジタル標本化
—現生クジラ類耳周骨・鼓室胞データベース作成を通して—

木村敏之

群馬県立自然史博物館: 〒370-2345 群馬県富岡市上黒岩1674-1
(kimura@gmnh.pref.gunma.jp)

キーワード: デジタル化, 3D デジタル標本, 3D スキャン, 自然史系博物館標本, クジラ類, 耳周骨, 鼓室胞

3D digitization of the natural history museum specimens: A case study of building
the 3D digital database of the periotic and tympanic bulla of modern cetaceans

KIMURA Toshiyuki

Gunma Museum of Natural History: 1674-1 Kamikuroiwa, Tomioka, Gunma 370-2345, Japan
(kimura@gmnh.pref.gunma.jp)

Key Words: Digitization, 3D digital specimen, 3D scan, natural history museum specimen, Cetacea, periotic, tympanic bulla

博物館法の改正(令和4年法律第24号)に伴い博物館の事業として資料のデジタル・アーカイブ化が明示されるなど、博物館にとってデジタル標本への取り組みはこれまで以上に本質的となっている。また近年では博物館収蔵資料に基づいたデジタル標本について様々な取り組みが行われている(例えばHollinger et al., 2013; Rogers, 2016; Ellwood et al., 2018; 吉田, 2019; Flemming et al., 2020; Hedrick et al., 2020; 齊藤ほか, 2020; Ziegler et al., 2020; 新村・木村, 2020; Butcher et al., 2021; 倉島・森, 2021)。特にその中でも3Dスキャンなどにより当該標本の立体的な情報を備えたデジタルデータ(以下、3Dデジタル標本)は、疑似的に実物標本と同様に標本を観察することができ、展示など一般への普及的な用途から標本の学術的な利用の面まで多くのこれまでになかった新たな活用の可能性が考えられる。このような3Dデジタル標本は実物標本の新たな利用形態を追加することで実物標本の活用機会を増加させ、実物標本が潜在的持っている「価値」を効果的に引き出し、高めることができる効果的なツールといえる(木村, 2018)。

ここでは自然史系博物館資料を対象とした3Dデジタル標本について扱う。3Dデジタル標本の持つ優位性として複製や移動、管理が容易である点が指摘できる。例えば標本のレプリカを作成するためにはそれ相応の技術とコスト、そして制作するための時間が必要である。これに対して3Dデジタル標本では近年の技術的な発展は著しく、収蔵標本の3Dデジタル標本化は技術やコスト、作業効率など様々な意

味で容易になってきた(例えばHereld and Ferrier, 2019; Medina et al., 2020)。さらにレプリカ製作にあたって実物標本と物理的に接触をする必要がない点も大きな優位性として指摘できる。同様にデジタル標本の複製は単に電子データの複製を行うのみであるため瞬時に完了し、コストや技術も不要である。

またデジタル標本(2D/3D)は標本の利用にともなう破損などのリスクを著しく低減することに貢献できる。例えば観察や展示などのために実物標本の物理的な取り扱い際には、いかに慎重な配慮のもとに作業を行ったとしても破損のリスクは避けられないとともに、適切に標本を扱ったとしても標本へのわずかなダメージ蓄積のリスクも避けることはできない。これは特に模式標本のような唯一無二ともいえる存在の標本や容易には別個体の標本を得ることが困難である標本においては、いったん破損など標本にダメージを受けてしまうと、取り返しのつかないことから深刻な問題である。このような避けることのできないリスクへの対応として、デジタル標本は有効な対応策の一つなりうる。具体的には、デジタル標本で可能な範囲での利用・観察の場合であれば、実物標本ではなくデジタル標本を用いることで実物標本の毀損の可能性を実質的にゼロにして標本を利用・観察することができる(木村, 2018)。

同様に収蔵標本の普及事業への活用という面でもデジタル標本の果たしうる役割は大きい。例えば、標本を普及事業で活用する場合には、標本の取り扱いに伴う標本への影

響を避けることができない。したがって実際に収蔵されている標本を普及事業で積極的に扱う際にはある程度の制限をせざるを得ない。この点でも実物標本とともにデジタル標本を活用することで収蔵標本の安全性を担保したうえで、より多くの方々への標本の利用促進に資することができる。また、研究者ではない一般の方にとって模式標本に代表されるような容易に別個体を得ることができない標本に触れる機会は非常に限られる。このような実物標本ではアクセスを制限せざるを得ない標本についてもデジタル標本を活用することで積極的に多くの方に標本に接する機会を提供できる。

標本を適切・安全に収蔵していくことは博物館にとって根幹ともなる使命の一つである。上記のような点でデジタル標本は標本の安全な収蔵管理についての寄与も非常に大きいといえる。標本の安全な収蔵と利用促進という、実物標本のみでは背反することに対してデジタル標本は効果的な対応策となる(木村, 2018)。

ところで、近年では多くの博物館において収蔵スペースの不足が深刻な問題となっている。自然史系博物館の収蔵庫は単に標本を収蔵するだけの場ではない。収蔵標本を活用するうえでは収蔵されている標本を取り出して観察するなど、収蔵されている標本を取り扱う作業を行うスペースが必須である。したがって、単に標本の配架密度を増加させたり収蔵棚の間などの通路スペースを収蔵場所として使用して安易に“収蔵スペース”を捻出することは、標本へのアクセスや観察など標本の取り扱いを著しく困難にし、標本の利用や安全な管理に支障を生み出すことから博物館における収蔵庫不足への対策として本来は本末転倒である。

このような問題に対してデジタル標本は、必ずしも理想的ではなくあくまでも非常手段的な意味ではあるが活用することができる。これは前述のように、デジタル標本で可能な場合は実物標本ではなくデジタル標本で対応し、収蔵庫内での実物標本へのアクセスをデジタル標本で肩代わりすることで実物標本へのアクセスが制限されるような収蔵方法であってもある程度標本の活用しやすさを担保することができるという点による。

以上のようにデジタル標本を活用することで、実物標本の博物館収蔵資料としての「価値」を増すことができ、それらの標本をそれまで以上に「使える標本」とすることが可能となるであろう。本稿では上記のような自然史系博物館資料の3Dデジタル標本の活用に関する取り組みのパイロットケースとして製作した現生クジラ類の骨格標本(鼓室胞・耳周骨)データベース(以下、本データベース)について、その概要を示すとともに製作の過程で得られた

課題について述べる。

現生クジラ類耳周骨・鼓室胞データベースについて

自然史系資料の分類学的研究を行う上では比較標本の検討は不可欠である。しかしその一方で、比較対象となる幅広い分類群にわたる標本を収蔵する機関は限られ、さらにそれらの実物標本に実際に物理的にアクセスするためにはそれ相応の手順や時間的なコストが必要となるなど標本の利用・研究を進める上で障壁となる面も多い。このような側面への3Dデジタル標本の貢献の可能性をはかる上でパイロットケースとして現生クジラ類耳周骨・鼓室胞データベースを製作した。パイロットケースとして選択した理由は、クジラ類化石は最も多く産出する哺乳類化石の1つであるとともに、特にその中でも耳周骨及び鼓室胞は緻密な骨質であることから化石として保存されやすい点が指摘できる。また、耳周骨・鼓室胞についてはこれまで多くの研究が行われており、系統的な情報を反映した多くの形態的特徴を備えることが知られている。したがって耳周骨・鼓室胞はクジラ類の進化を議論する上で重要な部位であるといえる点もパイロットケースとして採用した理由である。

本プロジェクトでは博物館に収蔵されている現生クジラ類標本の鼓室胞および耳周骨について3Dデジタル標本化した。表1に今回のデータベースに含まれる種及びそれぞれの標本の収蔵機関・標本番号を示す。本データベースに含まれる3Dデジタル標本化したクジラ類は合計78種(ヒゲクジラ類13種、ハクジラ類65種)である。現生クジラ類は93種(ヒゲクジラ類15種、ハクジラ類78種)からなり(Committee on Taxonomy, 2022)、したがって本データベースでは種レベルでは現生クジラ類の約84%についてカバーしている。なお表1に示した種は、頭蓋より分離した鼓室胞・耳周骨が利用できた種のみを示しており、鼓室胞・耳周骨が頭蓋から分離されていない種については今回のデータベースには含まれていない。そのため本プロジェクト全体では表1に記されている以外の機関に収蔵されている標本についても3Dスキャンを実施している。

3Dデジタル標本化については、群馬県立自然史博物館第4次情報システムで導入された3Dスキャナ(Artec社ArtecSpider)を用いた。得られたスキャンデータは3Dスキャナの処理ソフトウェアArtesStudio13を用いてグローバル位置合わせ、外れ値除去、シャープメッシュ化、メッシュ単純化の一般的なプロトコルによりデジタル標本化を行った。また一部の標本については南オーストラリア健康・医療研究所(South Australian Health and Medical Research Institution)の医療用CTスキャナ(SIEMENS社SOMATOM Force)を用い、

Table 1. List of specimens included in the database, http://www.gmnh.jp/research_3d/3d_pdbdb/. Abbreviations : GMNH, Gunma Museum of Natural History, Gumma, Japan; SAMA, The South Australian Museum, Adelaide, Australia; USNM, National Museum of Natural History, Smithsonian Institution, Washington, DC, USA.

Odontoceti	Periotic	Tympanic bulla
Delphinidae		
<i>Cephalorhynchus commersoni</i> (Lacépède, 1804). Commerson's dolphin	USNM550049	USNM550049
<i>Cephalorhynchus eurypus</i> (Gray, 1846). Chilean dolphin	USNM395374*	USNM395374*
<i>Cephalorhynchus heavisidii</i> (Gray, 1828). Heaviside's dolphin	USNM550067	USNM550067
<i>Cephalorhynchus hectori</i> (Van Benedén, 1881). Hector's dolphin	USNM571649	USNM571649
<i>Delphinus delphis</i> Linnaeus, 1758. Common dolphin, saddleback dolphin	SAMA-M18049	SAMA-M18049
<i>Feresa attenuata</i> Gray, 1874. Pygmy killer whale	USNM504917	USNM504917
<i>Gladiocetops macrorhynchus</i> Gray, 1846. Short-finned pilot whale	USNM500215	USNM500215
<i>Gladiocetops melas</i> (Trall, 1809). Long-finned pilot whale	USNM571255	USNM571255
<i>Grampus griseus</i> (G. Cuvier, 1812). Risso's dolphin, grampus	USNM24224	USNM24224
<i>Lagenodelphis hosei</i> Fraser, 1956. Fraser's dolphin	USNM571619	USNM571619
<i>Lagenorhynchus acutus</i> (Gray, 1828). Atlantic white-sided dolphin	USNM14279	USNM14279
<i>Lagenorhynchus albigrostris</i> (Gray, 1846). White-beaked dolphin	USNM504659	USNM504659
<i>Lagenorhynchus australis</i> (Peale, 1848). Peale's dolphin	USNM395347	USNM395347
<i>Lagenorhynchus cruegeri</i> (Quoy and Gaimard, 1824). Hourglass dolphin	SAMA-M15715	SAMA-M15715*
<i>Lagenorhynchus obliquidens</i> Gill, 1865. Pacific white-sided dolphin	USNM270980	USNM270980
<i>Lagenorhynchus obscurus</i> (Gray, 1828). Dusky dolphin	USNM21167	USNM50297
<i>Lissodelphis borealis</i> (Peale, 1848). Northern right-whale dolphin	USNM550917	USNM550917
<i>Lissodelphis peronii</i> (Lacépède, 1804). Southern right-whale dolphin	SAMA-M23161	SAMA-M23161
<i>Orcaella brevirostris</i> (Owen in Gray, 1866). Irrawaddy dolphin, pesut	USNM199743	USNM199743
<i>Orcaella heinsolmi</i> Beasley, Robertson and Arnold, 2005. Australian snubfin dolphin	SAMA-M26581	SAMA-M26581
<i>Orcinus orca</i> (Linnaeus, 1758). Killer whale, orca	USNM219326	USNM219326
<i>Pseudorca crassidens</i> (Owen, 1846). False killer whale	GMNH-VM-477	GMNH-VM-477
<i>Stenella brauneri</i> (Gervais and Deville in Gervais, 1853). Tucuxi	USNM253476	USNM571461
<i>Sousa chinensis</i> (Osbeck, 1765). Indo-Pacific humpback dolphin	USNM258859	USNM258859*
<i>Sousa sahulensis</i> Jefferson and Rosenbaum, 2014. Australian humpback dolphin, Sahul dolphin	SAMA-M26583	SAMA-M26583
<i>Stenella attenuata</i> (Gray, 1846). Pantropical spotted dolphin	USNM487132	USNM487132
<i>Stenella clymene</i> (Gray, 1850). Clymene dolphin	USNM550506	USNM550506
<i>Stenella coeruleoalba</i> (Meyen, 1833). Striped dolphin	USNM550443	USNM550443
<i>Stenella frontalis</i> (G. Cuvier, 1829). Atlantic spotted dolphin	USNM571012	USNM571012
<i>Stenella longirostris</i> (Gray, 1828). Spinner dolphin	USNM504792	USNM504792
<i>Steno bredanensis</i> (G. Cuvier in Lesson, 1828). Rough-toothed dolphin	USNM49628	USNM49628
<i>Tursiops aduncus</i> (Ehrenberg, 1833). Indo-Pacific bottlenose dolphin	SAMA-M15998	SAMA-M15998
<i>Tursiops truncatus</i> (Montagu, 1821). Common bottlenose dolphin	USNM504334	USNM504334
Phocoenidae		
<i>Neophocaena asiaeorientalis</i> (Pilleri and Ghr., 1972). Narrow-ridged finless porpoise	GMNH-VM-1369	GMNH-VM-1369
<i>Phocoena ditropica</i> Lahille, 1912. Spectacled porpoise	SAMA-M18940	SAMA-M18940
<i>Phocoena phocaena</i> (Linnaeus, 1758). Harbor porpoise	USNM36591	USNM36591
<i>Phocoena spinipinnis</i> Burmeister, 1865. Burmeister's porpoise	USNM504335	USNM504335
<i>Phocoenoides dalli</i> (True, 1885). Dall's porpoise, Dall porpoise	USNM251757	USNM251757
Monodontiidae		
<i>Delphinapterus leucas</i> (Pallas, 1776). Beluga, white whale	USNM7536	USNM7536
<i>Monodon monoceros</i> Linnaeus, 1758. Narwhal	USNM267950	USNM267950
Iniidae		
<i>Inia geoffrensis</i> (Blainville, 1817). Amazon river dolphin	USNM396166	USNM396166
Pontoporiidae		
<i>Pontoporia blainvilliei</i> (Gervais and d'Orbigny, 1844). Franciscana, toninha.	USNM482761	USNM482761
Platanistidae		
<i>Platanista gangetica</i> (Lebeck, 1801). South Asian river dolphin, Indian river dolphin	USNM172409	USNM172409
Physeteridae		
<i>Physeter macrocephalus</i> Linnaeus, 1758. Sperm whale, cachalot	USNM395398	USNM49488
Kogiidae		
<i>Kogia breviceps</i> (Blainville, 1838). Pygmy sperm whale	USNM504314	USNM504314
<i>Kogia sima</i> (Owen, 1866). Dwarf sperm whale	USNM550482	USNM550482
Ziphiidae		
<i>Beardius arnuxii</i> Duvernoy, 1851. Arnoux's beaked whale	USNM21511	USNM21511
<i>Beardius bairdi</i> Stejneger, 1883. Baird's beaked whale	USNM49725	USNM49725
<i>Hyperoodon ampalutatus</i> (Forster, 1770). Northern bottlenose whale	USNM14449	USNM14449
<i>Hyperoodon planifrons</i> Flower, 1882. Southern bottlenose whale	SAMA-M12796	SAMA-M12796
<i>Mesoplodon bidens</i> (Sowerby, 1804). Sowerby's beaked whale	USNM504146	USNM504146
<i>Mesoplodon carlhubbsi</i> Moore, 1963. Hubbs' beaked whale	USNM504128	USNM504128
<i>Mesoplodon densirostris</i> (Blainville, 1817). Blainville's beaked whale	USNM484996	USNM484996
<i>Mesoplodon europaeus</i> (Gervais, 1855). Gervais' beaked whale	USNM306302	USNM23346
<i>Mesoplodon ginkgodens</i> Nishiwaki and Kamiya, 1958. Ginkgo-toothed beaked whale	USNM298237	USNM298237
<i>Mesoplodon grayi</i> von Haast, 1876. Gray's beaked whale	USNM49580	SAMA-M13975
<i>Mesoplodon hotaila</i> Deraniyagala, 1963. Deraniyagala's beaked whale	USNM593426	USNM593426
<i>Mesoplodon layardii</i> (Gray, 1865). Strap-toothed beaked whale, Layard's beaked whale	USNM50150	USNM50150
<i>Mesoplodon minor</i> True, 1913. True's beaked whale	USNM504764	USNM504764
<i>Mesoplodon perrini</i> Dalebout, Mead, Baker, and van Helden, 2002. Perrin's beaked whale	USNM504259	USNM504259
<i>Mesoplodon peruvianus</i> Reyes, Mead and Van Waerebeek, 1991. Pygmy beaked whale	USNM572998	USNM572998
<i>Mesoplodon stejnegeri</i> True, 1885. Stejneger's beaked whale	USNM143132	USNM504330
<i>Tasmacetus shepherdi</i> Oliver, 1937. Shepherd's beaked whale, Tasman beaked whale	USNM484878	USNM484878
<i>Ziphius cavirostris</i> G. Cuvier, 1823. Cuvier's beaked whale, goose-beaked whale	USNM530291	USNM530291
Mysticeti		
Balaenidae		
<i>Balaena mysticetus</i> Linnaeus, 1758. Bowhead whale, Greenland whale	USNM291101	USNM15695
<i>Eubalaena australis</i> (Desmoullins, 1822). Southern right whale	USNM25992	USNM484901
<i>Eubalaena glacialis</i> (Müller, 1776). North Atlantic right whale	USNM23077	USNM23077
<i>Eubalaena japonica</i> (Lacépède, 1818). North Pacific right whale	USNM16435	USNM16435
Neobalaenidae		
<i>Caperea marginata</i> (Gray, 1846). Pygmy right whale	SAMA-M6110	SAMA-M13636
Eschrichtiidae		
<i>Eschrichtius robustus</i> (Liljeborg, 1861). Gray whale	USNM13803	USNM13803
Balaenopteridae		
<i>Balaenoptera acutorostrata</i> Lacépède, 1804. Common minke whale	USNM20931	USNM20931
<i>Balaenoptera bonaerensis</i> Burmeister, 1867. Antarctic minke whale	USNM504953	USNM504953
<i>Balaenoptera borealis</i> Lesson, 1828. Sei whale	USNM504699	USNM504244
<i>Balaenoptera edeni</i> Anderson, 1879. Bryde's whale	USNM239307	USNM239307
<i>Balaenoptera musculus</i> (Linnaeus, 1758). Blue whale	USNM239280	USNM259329
<i>Balaenoptera physalus</i> (Linnaeus, 1758). Fin whale	USNM16039	USNM550121
<i>Megaptera novaeangliae</i> (Borowski, 1781). Humpback whale	USNM16252	USNM16252

*Tympanoperiotic complex



Peponocephala electra_GMNH-VM-477_pe
3D Model



Gunma Museum of Natural History PREMIUM



Figure 1. Example of 3D model uploaded on Sketchfab.

得られたCT画像は画像処理ソフトウェアOsirixを用いて3Dデジタル標本化した。

データベース製作にあたっては、データベースを構成する3Dデジタル標本のデータはデジタルデータのオンラインプラットフォームであるSketchfabを利用し、群馬県立自然史博物館の公式アカウントによりデータのアップロードを行った(図1)。その上でそれらのアップロードデータを利用する形でデータベースの利用者インターフェイスとなるhtmlを製作した(http://www.gmnh.pref.gunma.jp/research_3d/3d_pbdb/)。

それぞれの3Dデジタル標本は、標本のスケール感を一見して得られることを目的に直径1cmの球をスケールとして3Dデジタル標本とともに配置した。スケールを球形とすることで様々な角度から3Dデジタル標本を扱った際にもスケールの把握が容易である点を意図している。

なお耳周骨・鼓室胞は左右1対からなり、実物標本では基本的に左をスキャンした。ただし、3Dデジタル標本の特長・優位性としてソフトウェアにより簡単に左右対称に変換することが可能であるため、スキャン時の標本の利用可能性により右側の骨を用いている場合もある。また標本のメタデータとしてそれぞれの標本の収蔵番号を必須情報とし、3Dデジタル標本を実物標本と結び付けている。これは標本の所蔵機関の明示という目的にとどまらず、仮に将来的に当該分類群の見直しなどがあった場合にも3Dデジタル標本自体の資料的な価値を担保するためである。

3Dデジタル標本データベース製作を通しての課題

木村(2018)では自然史系博物館資料の3Dデジタル標本化に関連した一般的な課題を示している。博物館標本は適切な管理のもとに次代へと引き継がれていくものである。したがってそれら標本に付随する存在としてのデジタ

ル標本も同様に非常に長いスパンにわたっての活用が期待される。このような点でデジタル標本のデータの永続的な利用をどの程度担保できるかという点は大きな課題である。このことは処理済みのデジタル標本データについては汎用フォーマットで保存することである程度の対応は可能となる。しかし、特に3Dデジタル標本化では技術的な進歩が速く、3Dデジタル標本化で最も根本的な情報である実物標本から得られた生データについても長期間にわたって有効に活用できるかどうかという点は無視することができない。具体的には、3Dスキャナを用いたスキャン作業によって得られた生データは通常そのスキャナに付随する処理ソフトウェア特有のフォーマットによって保存される。したがって仮に利用しているソフトウェア会社が開発を止めた場合、最終的な3Dデジタル標本自体は汎用フォーマットのデジタルデータとして保存されとしても、最もデータの基礎となる3Dスキャンなどデータ取得時の生データの利用には著しい支障が生まれ、最悪の場合利用できなくなる危険性をはらんでいる。

このようなデータの永続性という面ではメーカー製の3Dスキャナではなくフォトグラメトリによるのであれば生データは撮影画像データであることから汎用性が高く、そのためにデータ利用の永続性も高いという優位性がある(木村, 2018)。ただし実際の現場での3Dデジタル標本化作業では作業効率の面から現状では3Dスキャナの有効性は大きい。特に収蔵資料のような多くの標本のデジタル化を行う場合には、このような作業効率面での優位性は鍵となる要因の1つである。また近年ではソフトウェアの改良などにより大きな改善があるものの、精度という面でもレーザー型スキャナなどの優位性は無視できない。そのためあらかじめ博物館資料としての長期間の利用に耐えうる「質」を想定したうえで3Dデジタル標本を汎用形式のデータとして保存し、後になってわざわざ元データに依存する状況の発生可能性をできるだけ低減させることが現実的な対応方策の一つであると考えられる。これに関連して例えば自然史系博物館資料、あるいはもう少し狭くそれぞれの資料分野ごとに上記のようなデジタル標本の標本製法についての指針を規定することができれば、デジタル標本化に伴う懸念事項を減らすことが出来るため、各館での収蔵資料のデジタル標本化を促進することにつながるだろう。

別の視点としてデジタル標本の取り扱いについても整理が必要である。前述のようにデジタル標本は従来の標本利用に全く新しい利用形態を付加する存在である。その優位性としてデジタル標本は複製が容易であることやデータ形式によっては3Dデジタル標本を3D出力することも容易で

ある点が指摘できる。しかしその反面で、3Dデジタル標本はそれまで想定されていなかった標本の利用を可能とし、標本の利用に関して従来の規定では対応しきれない状況を生み出している。例えば3Dデジタル標本を公開することで、実物標本を収蔵する機関が把握することができない状態でデジタル標本の複製や3D出力などを含めた利用が可能となりうる。またフォトグラメトリにより容易に展示標本を3Dデジタル標本化することが可能になり、標本の収蔵機関が認知しないままに来館者によって製作された展示標本の3Dデジタル標本が存在するという問題も指摘されている (Matsui and Kimura, 2022)。なお、後者の点については点についてはMatsui and Kimura (2022) において来館者を対象とした撮影 (潜在的にフォトグラメトリによる3Dデジタル標本化を含む) について各館での指針を含めて議論されている事に加え、本稿で主対象としている事象と問題の性格が異なるためここでは特に述べない。

そこで、現在の動向を把握するため各国の自然史系博物館においてデジタル標本に関して研究目的での利用における指針の内容や策定状況について3Dスキャンを実施した各館での資料担当者への聞き取りを実施するとともに、3Dスキャンを行った館以外にも今回パイロットケースとして扱ったクジラ類標本 (現生/化石) を担当する職員に対して聞き取りを行った。回答を得た機関は次の通りである: 米国立スミソニアン自然史博物館, サンディエゴ自然史博物館, フランス国立自然史博物館, ベルリン自然史博物館, ウクライナ国立学士院, ベルギー王立自然史博物館, ニューゼaland国立博物館, 南オーストラリア博物館。なお、今回の調査の過程では資料担当者に直接聞き取り調査を行い、その過程で現場の生の声として所属館でオンライン化されていない資料担当者としての見解や館HPなどで一般には公開されていない資料を含む情報の提供をいただいた。そのため以下では館名の明示は意図的に避けている場合がある。

3Dデジタル標本の取扱いに関する指針策定については、スミソニアン協会のように詳細な指針を策定している例もあるが、多くの館では検討中あるいは特に3Dデジタル標本を想定していない従来の指針に基づいて対応している状態である。このため実際の対応としてはそれぞれの資料担当者による個別の事例としての判断による場合も多いという現状が確認された。今回のプロジェクトでも (本データベースには収録されていない標本も含め) 各館の収蔵標本の3Dスキャンを行うに際してスキャンしたデータや公開時の3Dデジタル標本の取り扱いについては既存の指針によるのではなく個別に調整を行った事例が大半である。著

者の所属する群馬県立自然史博物館においても関連する指針は3Dデジタル標本を想定する以前のものであり、3Dデジタル標本を明確に視野に入れた取扱いに関する指針ではない。そのため例えば本データベースに収録される3Dデジタル標本の公開時の設定 (CC BY-NC 4.0) については、あくまで今回のみを対象として個別に行った。現在では学術的な標本観察に伴って3Dデータの取得が行われる事もごく一般的となり、各館あるいは資料担当者レベルでは新たな指針の策定の必要性は強く認識されているものの、実際には現状に対して指針策定が追い付いていない現状が明らかとなった。

それぞれの館の収蔵標本より取得された3Dデジタル標本の権利については、実物標本を所蔵する館に帰属するとする館が多い (例えばベルギー王立自然史博物館)。これはたとえ外部の者が3Dデータを取得する場合でも同様で、これに同意することが標本の3Dデータ取得を実施する前提条件とされている。またそこで得られた3Dデジタル標本については、申請を行った個人使用 (研究利用) に限り、再配布は許可されていない例が多い。3Dデジタル標本の公開についても多くの館では3Dデータの取得を行った館外の者自身が独自にレポジトリに登録したり、デジタル標本を複製・再配布することに制限をかけている。なおスミソニアン協会では同協会によりデジタル化された収蔵標本のデジタル標本についてはCC 0 (Creative Commons zero) を利用してパブリックドメイン化を行っている (Smithsonian Institution, 2011, 2019, 2022)。

取得したデジタル標本の研究目的以外の利用については、規定がある館ではいずれも商用利用は制限されている。ただし資料担当者/研究者との直接のやり取りの中では収蔵標本に基づいたデジタル標本は標本と同様に公共のものであり、したがってクリエイティブコモンズライセンスの基に公開されることが望ましいという意見が多く得られた。一方、前述のようにスミソニアン協会では、あくまで同協会が取得したデジタル標本を対象としているが、公開されたデジタル標本はパブリックドメイン化されて商用利用も可能な状態である。

収蔵標本は活用されてこそ意味のあるものである。そしてデジタル標本は実物の収蔵資料に新たな利用形態を追加する存在であり、標本についてより多くの利用機会を創出できる点が本来的な意義である。そのためにも、デジタル標本が「標本」として備えるべきメタデータの整理という面から、デジタル標本の帰属などの権利的な面に至るまで3Dデジタル標本を取り巻く事項について、コンセンサスが醸成されることがより一層重要となる。

現在は博物館にとって3Dデジタル標本という新しい標本の利用形態が出現し、それを博物館の新たな標本カテゴリの一つとして本格的に向き合い始めた黎明期ともいえる。今後各館で取り組みが行われるあるいは現在行われている3Dデジタル標本をも想定した指針の策定が進めば、改めてそれらを総合的に俯瞰して検討・議論を行うことで、デジタル標本のもつ可能性を最大限に活用し、実物の収蔵標本がより一層「使える標本」となることにつながるであろう。またパイロットケースとして製作したクジラ類耳周骨・鼓室胞データベースの公開により、クジラ類の研究の進展のみならず、3Dデジタル標本の活用や普及への一助となることが期待される。

謝辞

本データベース製作を進めるにあたり米国立スミソニアン自然史博物館のM. R. McGowen氏、J. J. Ososky氏及び南オーストラリア博物館のC. Kemper氏、D. Stemmer氏、塘郁子氏、アデレード大学のK. Armstrong氏には標本の3Dスキャンをはじめとした利用についてご便宜を図っていただくとともに、デジタル標本にかかる調査にご協力をいただいた。南オーストラリア健康・医療研究所にはCTスキャナを利用させていただいた。スミソニアン協会Digitization Program OfficeのVincent Rossi氏には同協会におけるデジタル標本化プロジェクトについてご教示を頂いた。米国立スミソニアン自然史博物館古生物部門デジタル化担当者のHolly Little氏には同館における標本デジタル化プロジェクトについてご教示いただいた。一般社団法人路上博物館の森健人氏には査読を通して多くの有益なご助言を頂いた。以下の方々には各館でのデジタル標本についての調査に御協力をいただくとともに貴重なご意見を頂いた：T. A. Demere氏（サンディエゴ自然史博物館）、G. Billet氏（フランス国立自然史博物館）、O. Hampe氏（ベルリン自然史博物館）、P. Gol'din氏（ウクライナ国立学士院）、A. Folie氏（ベルギー王立自然史博物館）、F. G. Marx氏（ニュージーランド国立博物館）、Erich M. G. Fitzgerald氏（ヴィクトリア博物館）。次の方々には本データベースには収録していないが本プロジェクトを遂行するすうえで収蔵標本のスキャンを行わせていただくうえでご便宜を図っていただくとともに、示唆に富むご教示をいただいた：久保信隆氏、出羽尚子氏（以上、かごしま水族館）、澤村寛氏、安藤達郎氏、新村龍也氏（以上、足寄動物化石館）、N. D. Pyenson氏、D. J. Bohaska氏（以上、米国立スミソニアン自然史博物館）、S. J. Godfrey氏（カルバート海洋博物館）、B. J. MacFadden氏、R. C. Hulbert氏（以上、フロリダ自然史博

物館）。記してお礼申し上げる。本プロジェクトはJSPSP科研費JP18K01110の助成を受けたものです。

引用文献

- Butcher, K. R., Power, M. J., Larson, M., Orr, M. P., Velásquez-Franco, S., Hudson, M. A., and Bailey, V. J. (2021) : Museum Leadership for Engaging, Equitable Education : The Transformative Potential of Digitized Collections for Authentic Learning Experiences. *Curator : The Museum Journal*, 64 (2) : 383-402.
- Ellwood, E. R., Kimberly, P., Guralnick, R., Flemons, P., Love, K. et al. (2018) : Worldwide Engagement for Digitizing Biocollections (WeDigBio) : The Biocollections Community's Citizen-Science Space on the Calendar. *BioScience*, 68 (2) : 112-124.
- Flemming, A., Phillips, M., Shea, E. K., Bolton, A., Lincoln, C., Green, K., Mast, A., and Cubeta, M. A. (2020) : Using Digital Natural History Collections in K-12 STEM Education. *Journal of Museum Education*, 45 (4) : 450-461.
- Hedrick, B. P., Heberling, J. M., Meineke, E. K., Turner, K. G., Grassa, C. J., Park, D. S., Kennedy, J., Clarke, J. A., Cook, J. A., Blackburn, D. C., Edwards, S. V., and Davis, C. C. (2020) : Digitization and the Future of Natural History Collections. *BioScience*, 70 (3) : 243-251.
- Hereld, M., and Ferrier, N. (2019) : LightningBug ONE : An experiment in high-throughput digitization of pinned insects. *Biodiversity Information Science and Standards*, 3 : e37228.
- Hollinger, R. E., John Jr, E., Jacobs, H., Moran-Collins, L., Thome, C., Zastrow, J., Metallo, A., Waibel, G., and Rossi, V. (2013) : Tlingit-Smithsonian collaborations with 3D digitization of cultural objects. *Museum Anthropology Review*, 7 (1-2) : 201-253.
- 木村敏之 (2018) : 自然史系博物館資料のデジタル化とその活用について : スミソニアン国立自然史博物館・フロリダ自然史博物館での事例調査. *博物館研究*, 53 (11) : 28-31.
- 倉島 治・森 健人 (2021) : 3Dモデルによる博物館リソース可搬性の向上. *写真測量とリモートセンシング*, 60 (3) : 111-117.
- Matsui, K., and Kimura, Y. (2022) : Museum exhibitions of fossil specimens into commercial products : Unexpected outflow of 3D models due to unwritten image policies. *Frontiers in Earth Science*, 10 : 874736. doi : 10.3389/feart.2022.874736
- Medina, J. J., Maley, J. M., Sannapareddy, S., Medina, N. N., Gilman, C. M., and McCormack, J. E. (2020) : A rapid and cost-effective pipeline for digitization of museum specimens with 3D photogrammetry. *PLoS One*, 15 (8) : e0236417.
- Rogers, N. (2016) : Museum drawers go digital. *Science*, 352 : 762-765.
- 齊藤有里加・堀井 洋・堀井美里・棚橋沙由理・高木康博 (2020) : 大学博物館における学術資料のデジタル化と活用 : 蚕織錦絵コレクションのIIIF対応による国際的発信. *デジタルアーカイブ学会誌*, 4 (2) : 158-161.
- 新村龍也・木村敏之 (2020) : 自然史系博物館資料におけるデジタル3D標本とその活用. *群馬県立自然史博物館研究報告*, (24) : 81-86.
- Smithsonian Institution (2011) : Digitization and digital asset management policy. Smithsonian Directive 610. <https://www.si.edu/sites/default/files/about/sd610.pdf> (Retrieved 2022-12-1)
- Smithsonian Institution (2019) : Digital asset access and use. Smithsonian Directive 609. <https://www.si.edu/content/pdf/about/sd/sd609.pdf> (Retrieved 2022-12-1)
- Smithsonian Institution (2022) : Collections management. Smithsonian Directive 600. <https://www.si.edu/content/pdf/about/sd/SD600.pdf> (Retrieved 2022-12-1)
- 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」*. https://kobe-du.repo.nii.ac.jp/?action=repository_uri&item_id=269&file_id=48&file_no=1 (閲覧日 2022-12-1)
- Ziegler, M. J., Perez, V. J., Pirlo, J., Narducci, R. E., Moran, S. M. et al. (2020) : Applications of 3D paleontological data at the Florida Museum of Natural History. *Frontiers in Earth Science* : 8 : 600696. doi : 10.3389/feart.2020.600696