

資 料

デジタルプラネタリウムを利用して非天文領域の
科学イベントを行うための空間表現とその素材作成

吉岡 翼, 竹中 萌美*

富山市科学博物館

939-8084 富山市西中野町一丁目8-31

* 現所属: 名古屋市科学館

470-0008 名古屋市中区栄二丁目17-1

Spatial Presentation and Its Preparation
for Non-Astronomical Science Events
Using Digital Planetarium System

Tasuku Yoshioka and Megumi Takenaka*

Toyama Science Museum,

1-8-31 Nishinakano-machi, Toyama 939-8084, Japan

* Current affiliation: Nagoya City Science Museum,
2-17-1 Sakae, Nagoya 470-0008, Japan

1. はじめに

360度カメラで撮影した映像の投映や三次元データ（以下3Dデータ）のリアルタイムレンダリングに対応したデジタルプラネタリウムシステムは、プラネタリウムにおける空間表現の幅を飛躍的に拡大した。さらにVR技術の進展などを背景に、全天周映像や3Dデータの作成・編集環境も身近なものとなり、デジタルプラネタリウムの特性を生かした素材作成に現場レベルでも取り組める状況が生まれている。

こうした状況はプラネタリウムを天文領域に限らない幅広い用途に活用する道をも広げている（吉岡・竹中, 2021）。近年、360度カメラは家電量販店にも並び、旅先などで撮影した360度映像を気軽に楽しむことができるようになった。こうした映像を映し出せば、即席のバーチャルツアーがプラネタリウムのドームでも実現できる。また、2020年に発売されたApple iPhone 12 ProにはLiDARが搭載され、高精度な3Dデータの作成が日常的な場面でも可能となった。外出先の実空間を気軽に3Dスキャンし、プラネタリウムのドームスクリーン上で再構成して多人数で映像として共有することも可能である。

自然科学におけるコミュニケーションにおいて、地形や生物形態など三次元空間を視覚的に表現することは多く、天文に限らない科学教具として、プラネタリウムの

ような映像表現の場は有用なものである。プラネタリウムは総合博物館など天文以外の幅広い領域を扱う施設に併設されていることも多く、持ち合わせている多様なリソースと組み合わせた新たな展開も期待できる。しかし、プラネタリウム用に配給される映像番組を除けば、デジタルプラネタリウムの映像技術を非天文領域の科学イベントに活用している事例はまだ限られている。

富山市科学博物館のプラネタリウムでは、360度カメラで撮影した映像や3Dデータを使ったイベントを実施してきた。本稿ではこれまでの取り組みに触れながら、非天文領域におけるプラネタリウムの活用を念頭に、素材作成や演出についての基礎的な知見をまとめた。プラネタリウムの新しい活用を目指すプラネタリアンやドーム映像を活用した科学イベントに関心のあるコミュニケーターの参考になれば幸いである。

2. ドーム映像の特性

半球のドーム全体を覆う映像は全天周映像（ドーム映像）、全球を覆う映像は全天球映像と呼ばれ、総称して360度映像などとされることもある。これらの映像の特徴は、360度どこを見ても映像に囲まれ、高い没入感があるという点である。視野の広範囲に広がる映像は迫力があり高い臨場感が得られる。一方、製作者にとっては注目してほしい限られた視野を切り取って提示するという従来の映像表現とは異なるアプローチが必要となる。また、没入型映像は映像酔いもしやすく、動きの激しい場面は避けなければならない。

360度映像の視聴環境にはヘッドマウントディスプレイ（HMD）もあるが、ドームスクリーンは多人数で実空間ごと映像を共有するため、会場における一体感を演出することが可能であり、対面イベントとして展開しやすい。一方、HMDでは利用者それぞれが自由に視点移動や対象の操作をすることができるが、ドームスクリーンでは投映担当者など誰かが代表して行う必要があり、映像のインタラクティブ性には劣る。

プラネタリウム施設の中には、専用の眼鏡をかけるなどして両眼視差による3D映像を提供していることもあるが、どの位置からどの場所を見ても正しく立体的に見えるようにすることは技術的に難しい。しかし、演出の工夫をすれば裸眼によるドーム映像であっても、一般的な平面スクリーンに比べ、より奥行きのある映像体験が得られる。

プラネタリウムで見る星空は本来数mから数十m先のドームスクリーンに映っているはずだが、暗い映像の中ではスクリーンまでの距離が分からず、なんとなく遠い映像に感じられる。さらに、宇宙空間を移動するような

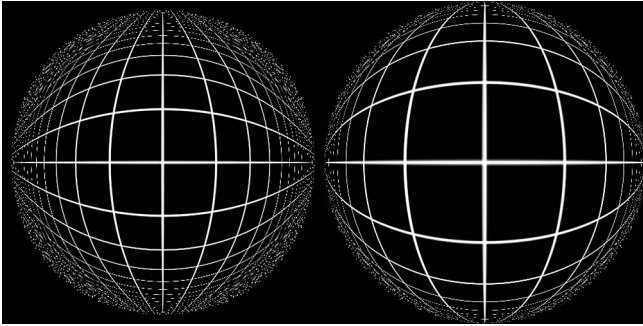


図1 直行する格子を等距離射影（左）と正射影（右）で表した図形。Cube2DMを使用して作成。

演出，あるいは見慣れた物体や遠近感が適切に再現された図形が映し出されると，途端に奥行きを持った映像に感じられる。図1左のような単純な図形パターンでもドームに投映すると，スクリーンの形状は意識されず，遠方まで広がる平らな面に格子が浮かんでいるように見える。

一方で，明るい映像が映し出されてスクリーンのパネルが見えてくると，立体感は損なわれる。また，明るい映像は不必要な散乱光（迷光）となってドーム全体を明るく照らし，映像のコントラストも下げてしまう。明るい映像は不必要に入れないことが望ましいが，コントラストをあげる，あるいは視野後方の映像を暗くするという操作でコントラストの低減はある程度軽減される。

ドームスクリーンの映像を裸眼で見る限り，輻輳や両眼視差によるような近距離の奥行き感を得られないため，映像内の被写体はどうしても遠くにあるように感じられる。そのため，小さな昆虫を手元に近づけて見せるような演出は不可能であり，遠くにある巨大な昆虫として見せるしかない。これは逆に，映像を見ている自分自身が小さくなったような感覚を与える。

プラネタリウムで投映する映像は，上記のような特性を十分に配慮して作成する必要があるほか，HMD向けの映像と異なり，投映環境の物理的な配置も撮影時から考慮する必要がある。プラネタリウムのドームは水平に設置されていることもあれば，傾斜していることもあり，座席も同一方向を向いたものがあれば，中央を取り囲むように配置されたものもある。また，ドームの大きさやプロジェクタの性能も，映像を見た時の印象に影響を与える。さらに座席の位置によっても見え方は大きく変わり，ドーム中央付近が最も歪みなく見ることができる。実際どのように見えるか投映するまで分からないこともあるので，それぞれの設備に合わせて試投映を繰り返しながら検討することが望ましい。

また，観覧者は座席に座って斜め上を見るので，前方の仰角30～50度の場所が視野の中心となる。スクリーンのこの場所はスイートスポットと呼ばれ，注目させたい

被写体はこの場所に置かれることが多い（像の歪みが少ない座席側の場所をスイートスポットと呼ぶこともある）。

3. 全天周実写映像

全天周や全天球の実写映像は，実写VRなどとも呼ばれ，解説書も流通しているほかインターネット上にも多くの情報がある。ドーム映像向けとしては高幣（2016）による技術的な解説があるほか，プラネタリウムにおける多目的利用についての事例報告もあるので参考にされたい（尾久土，2019；竹中，2019，2020；吉住・尾久土，2015）。

3.1. ファイルフォーマット

全天周映像はドームマスター形式と呼ばれる標準的なフォーマットが用いられ，動画の場合は静止画の連番画像として扱われる。ドームマスター形式の実写映像は，視野角180度の円周魚眼レンズを用いて撮影した映像を正方形に切り出すことで作成される。魚眼レンズの射影方式にはいくつかの種類があり，ドームマスター形式では等距離射影（図1左）が用いられる。視野中央がより拡大される正射影（図1右）の映像をそのまま投映すると，天頂が引き伸ばされて低くひずんだように見える。ただし，正射影の魚眼レンズは多くなく，等立体角射影など他の主だった射影方式であれば違和感は少ない。射影方式は撮影後にソフト的に変換することも可能であるが，レンズの選定時は気にしておいたほうが良い。なお，超魚眼などと称される180度以上の視野角を持つレンズもあるので，広視野の映像効果や事後の処理を前提により広く撮影することもできる。

カメラの解像度は長辺が3840（約4000）ピクセルなら4Kカメラと呼ばれるが，円周魚眼のイメージサークルはセンサー内に収まるので短辺の解像度以上にはならない。4Kカメラの映像を全天周映像に換算するとおおむね2Kの映像となる。なお，投映システム側も4Kや8Kのものが主流となっているが，4K（3840×3840）の全天周映像でも視力換算で0.3，8K（7680×7680）でも0.7しかない。

全天球の映像にはエキレクタングラー形式が用いられる。全天球カメラの映像は，撮影後に視野を決めて全天周映像に変換することもできるが，複数のレンズを通して撮影した像をソフト的に結合（スティッチング）しているため，境界部分に像の破綻が生じることがある。

3.2. 構図

全天周映像はズームが使えないので被写体に近づくなとして大きく映るような構図にすることが多い。また，

真上に向けたカメラで撮影した広い景色を映すと、ほとんど空や天井だけの映像になってしまう。そのため、ドーム映像ではスイートスポット付近に注目させたい被写体が来るようにカメラを傾けて撮影することが多い。一方で、このような操作は注目すべき場所を固定してしまうため、視線の移動を促しにくい。通常のプラネタリウムで星空から星座や星を探させるように、進行役と観覧者間のインタラクションを求める場面では、注目させたい場所が定まりにくい構図もまた有用である。

カメラを傾斜させるほかで地上付近を見せる操作としては、視野角180度以上の像を用いる方法もある。また、被写体の重なりや遠近で動きのある映像は奥行きが感じられやすいので、遠望するカットでもあえて近くの被写体を入れることがある。

3.3. 水中撮影

撮影機材に防水性能や水中ハウジングがあれば水中撮影も可能である(図2A, E)。宙を舞う被写体は幻想的で美しい映像を与えてくれるが、水中撮影では空気中とは屈折率が異なるため、超魚眼と呼ばれるレンズの多くでも視野角が180度より狭くなる。特に全天球カメラではスティッチングの破綻が目立つので、カメラの向きは事前に考慮しておく必要がある。また、水槽撮影で照明を使う場合には、水面からの光が直線的に入射しないことや水面での全反射などにも注意を払いたい。

3.4. 小動物

望遠レンズやマクロレンズで撮影するような小さな被写体、特に動き回る小動物を全天周映像に収めるのは難しい。図2B, Cは屋外のハトを撮影した映像だが、ハトがカメラから少し離れるだけで景色に紛れてしまう。環境を含めた現地での撮影にこだわるのであれば、被写体が想定される大きさに映るような空間をあらかじめ用意し、その中で撮影するとよい。半球ないし円筒の背景と、場合によってはレンズから距離を取るための透明な半球カバーを用意し、間の空間に被写体を入れて撮影する(図2D, E)。その際、複数個体がドーム全体に映れば視線移動も促しやすい。

3.5. 狭い空間

全体が映像で取り囲まれる閉鎖空間の映像は視覚的な情報量が多く、特に普段入り込めないような狭所であれば、映像として目新しい印象を与え、見ているだけで楽しめる。ウニの殻(図2F)のように、球状の内部空間を映した映像は座席位置による歪みも気になりにくく、ドームスクリーンとの相性が良い。一方で、狭い空間は照明

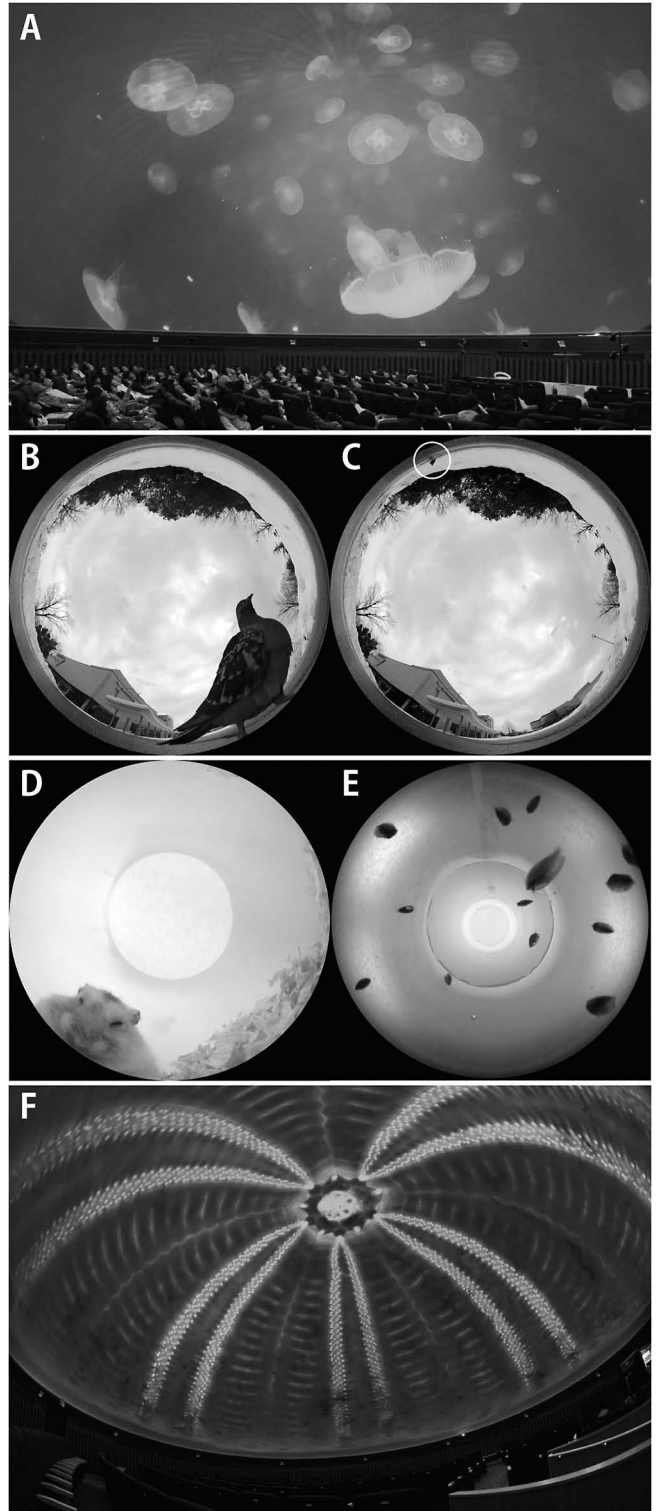


図2 さまざまな全天周実写映像。A 水槽内で撮影したクラゲ(協力:鶴岡市立加茂水族館); B-C 屋外のカワラバト(Cはハトがカメラから数m離れて白丸の位置にいる); D-E 円筒形の容器に入れて撮影したハムスター(D)とカイエビ(E); F 殻の内部から撮影したヨーロッパオオウニ。

し難く、レンズを入れることさえ困難である。市販の魚眼レンズや360度カメラで撮影できる空間サイズは10 cm程度が下限となる。

4. 3Dデータとリアルタイムレンダリング

デジタルプラネタリウムでは天体の空間的な配置や地形などが3Dデータからリアルタイムレンダリングされるだけでなく、重ねて表示させる画像やテキストも3Dオブジェクトとして定義される。さらに投映システムのライブラリなどとして様々な3Dデータが収録されていることもある。非天文領域のデータも収録されていることはあるが、点数も限られているので独自のデータを準備するところから始める必要がある。

4.1. 3Dデータの準備

実物から3Dデータを取得する方法を以下で述べるが、独自のものでなくてもよければ、Sketchfabなどの共有サイトで公開されているファイルをダウンロードすれば、ライセンスの範囲内で使うことができる。また、CADや3Dモデラーなどを利用してコンピュータ上で一から作成することもできる。3Dデータはファイル形式に様々なものがあり、プラネタリウムシステムによっても対応している形式は異なるので、事前に投映可能な形式を確認しておく必要がある。3Dデータはファイルサイズが大きくなりがちなので、システムに読み込ませてストレスなく表示できるサイズがどの程度かも事前に把握しておくことスムーズに準備できる。

4.1.1. X線CT

X線CTは内部空間を含む3Dデータ化によく用いられている技術である。よく知られている医療用のCTのほか、工業製品の非破壊検査などにも用いられている。また、マイクロメートルからサブマイクロメートルスケールの分解能を持つCTは研究用途でも広く用いられている。装置は高額だが、公設試験研究機関や大学などで利用できる場合がある。

CTで得られるデータはボクセルで表されるが、投映用の3Dオブジェクトにはポリゴンデータが用いられるので変換が必要となる。変換には断層画像として出力したものを3D SlicerやMolcerなどのCTデータのビューアに取り込み、STLなどとして出力する。出力したファイルは必要に応じて、不要な部位の除去やリメッシュを行う。データの編集環境はさまざまあるが、MeshLabやBlenderなどのフリーソフトが利用できる。また、形状しか得られないCTデータに色の情報はないので、必要であればBlenderなど3DCG作成用のソフトでマテリア

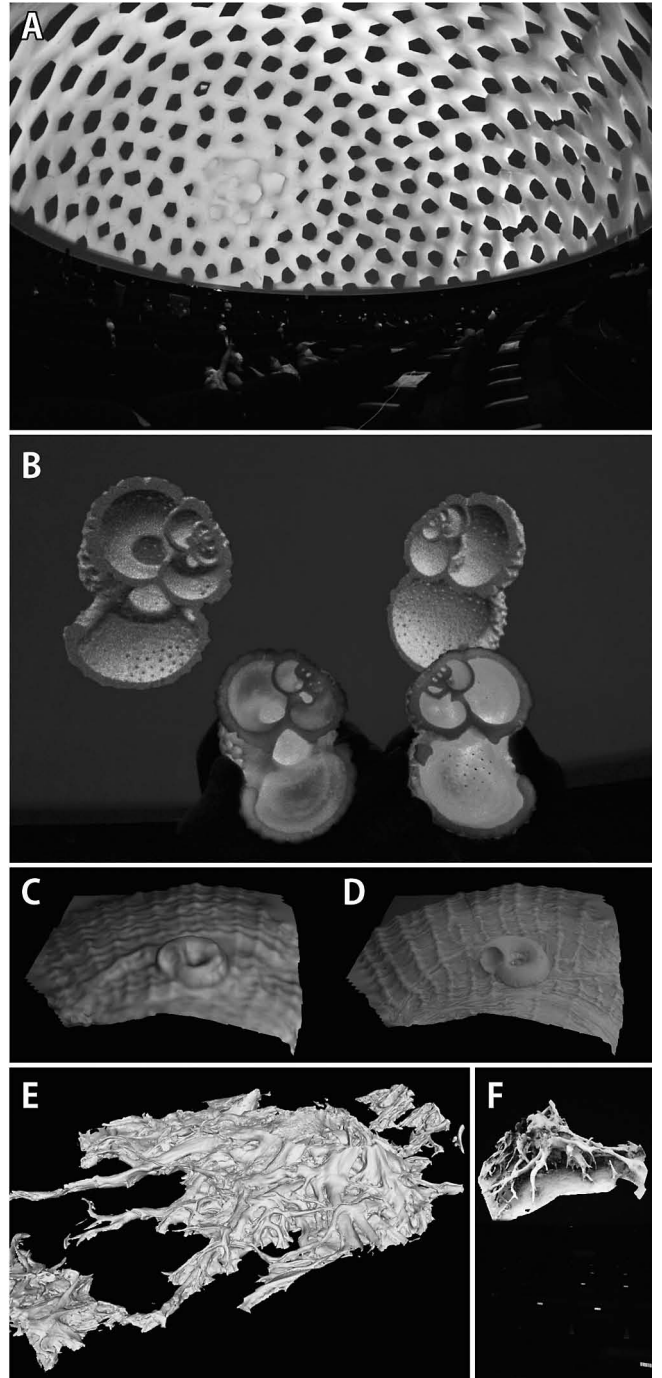


図3 3Dデータと投映例。A 放散虫の骨格内部に入った様子 (CTによるデータ)。B 有孔虫の切った断面 (背景) と蓄光素材で作成した同形の模型 (CTによるデータ)。C-D 走査型電子顕微鏡の画像から作成した3Dデータ (試料は腕足類に付着した730 μm のウズマキゴカイ)。Cはテクスチャなし、Dはテクスチャあり。E 約5000枚の画像から作成した魚津埋没林の樹根の3Dデータ (中央の樹根は左右約10 m; テクスチャなし)。F 50枚の画像から作成した樹根データの投映。AとBの3Dデータは岸本直子氏 (摂南大学) 提供。Fの3Dデータは佐藤真樹氏 (魚津埋没林博物館) 提供の画像による。

ルやテクスチャを設定する。

CTデータは内部空間が得られるのが長所であるが（図3 A, B）、閉じた空間は投映システムでアンビエント（環境光）の設定などの調節をしないと真っ暗になってしまう場合がある。また、変換の過程で矛盾を含むファイルが生成されることもある。矛盾を含むファイルは特定の環境では正常に見えても、別の環境では正しく表示しないことがあるので注意が必要である。

4.1.2. フォトグラメトリー

フォトグラメトリーは複数の写真に写った被写体の特徴点から空間を再構築するもので、光学的な三次元形状の取得法としては最も敷居が低く応用性が高いものである。この他にも業務用3Dスキャナーや顔認証でよく使われている構造化光や、自動運転技術に導入されていることで知られるLiDARなどが身近になってはいるが、フォトグラメトリーは汎用的なデバイスのみで完結するという利点がある。また、フォトグラメトリー用のソフトウェアも無償ないし安価に利用できるものが多数ある。

CTと異なりテクスチャも同時に得られるので、多少粗いデータであっても最終的な映像はより精細に感じられる。走査型電子顕微鏡の画像を用いたマイクロフォトグラメトリーでは、凹凸が陰影のテクスチャとなり、マイクロフォーカスX線CTを凌駕するレンダリング像を得ることもできる（図3 D）。リアルタイムレンダリング時のシステムへの負荷低減のためにも、細かい凹凸はテクスチャで表現することが望ましい。また、地形や建築物などの大きな被写体でもデータ化することができるが、写真撮影時に回り込まなければならないような複雑な形や日中で撮影者の影が映り込むような場合は正確なモデルの作成が難しい。

フォトグラメトリーは高画質な写真で撮影枚数を多くすればより精度の高いデータが得られるが、相応のコンピュータ性能が求められる。図3 Eは10 mほどの樹根を約5000枚の画像から作成した高精細な3Dデータだが、生成されたファイルは1 GBを超えるサイズとなった。筆者らの投映環境では50枚から作成したデータでさえリメッシュしなければなかった（図3 F）。

4.2. 3Dデータの投映

空間的に正確なレンダリング像は、実際に立体物が浮かんでいるかのような印象を与え、視点の移動やオブジェクトの回転に伴うことで立体感はより強く感じられる。特に、内部空間を持つ対象に入り込んでいくようなシーンを投映すると迫力のあまり歓声上がるなどして、会場に一体感が生まれやすい。また、解説に合わせてオブ

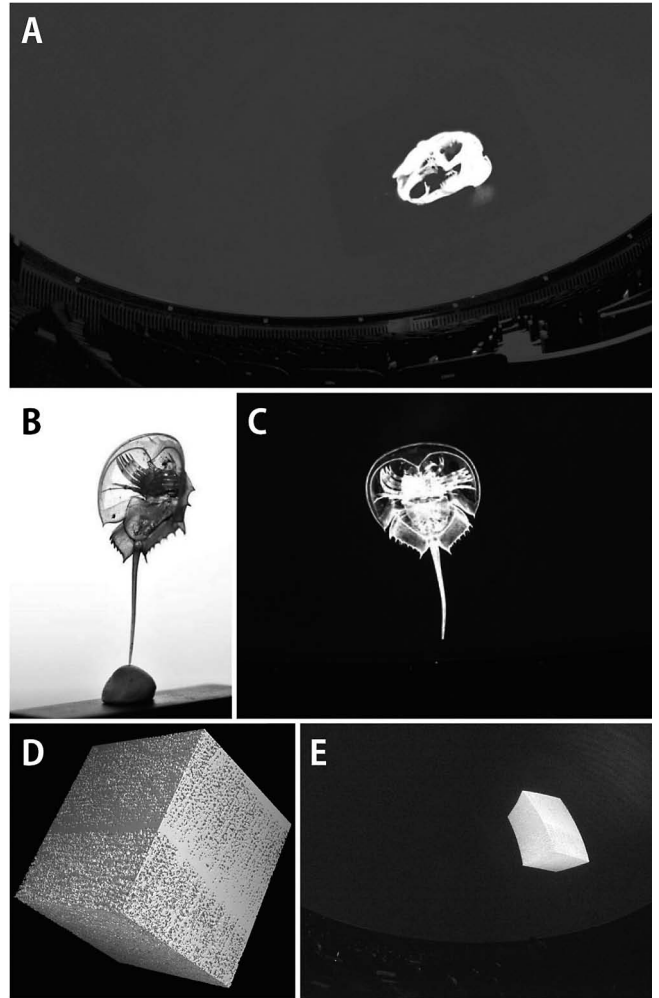


図4 別設プロジェクタによる3Dレンダリングの疑似的表現。A 回転台に乗せて撮影したウサギの頭骨。B-C カブトガニ（幼生）。Bは撮影時，Cは投映の様子。D-E スギ材（魚津埋没林）のCTデータ。平面スクリーン用にレンダリングした画像（D）をドームに投映（E）。

ジェクトを動かすことができ、会場の反応を見ながら映像を動かすなど、双方向性のある運用が行いやすい。スクリプトを組めば、滑らかに視点を移動しながら、あるいはオブジェクトを動かしながら、様々な視点から見ることもできる。また、動く関節や断面を開いて見せるといった表現も、事前に複数のデータに分割しておけば可能である（図3 B）。なお、オブジェクトに近づいた際や内部空間に入る場面では迫力のある映像にはなるが、全天が明るくなるため、コントラストや立体感が低下しやすい。

3DデータがあればプリレンダリングしたCGを全天周映像として作成することもできるが、作り込みには手間がかかる。筆者らはリアルタイムレンダリングでは表しきれない質感を表現したい場合などに限り、BlenderやAdobe After Effectsを用いて作成している。

5. 疑似3D表現

黒い背景で被写体を回転台などにおいて動かしながら撮影した実写の動画を投映すると、3Dデータのレンダリング像と似た表現が可能となる(図4A)。プラネタリウムには全天周用の投映装置とは別に矩形の映像を映すための別設プロジェクタが用意されていることが多く、光学式投影機しかない施設でも可能な演出である。図4Cはカプトガニの脱皮殻を白背景で撮影して白黒反転させた動画を投映したのだが、X線で撮影されたような描写となり、細部の形態もよく表現されている。

この方法は、プラネタリウムシステムで3Dデータの扱いが難しい場合にも利用できる。図4DはCTで撮影した材のデータだが、ファイルサイズが大きくなり、プラネタリウムシステムによるレンダリングが不可能であったことや、密な構造により内部に入るといった演出が想定されなかったため、別設プロジェクタから投映してイベントに用いた(図4E)。曲面に投映する前提でレンダリングされていないので歪みはあるが、材の構造を理解する上では十分な表現であった。

6. 立体模型の併用

立体物の表現において3Dプリンタによる模型がしばしば用いられる。個々の観客が被写体を自由に操作できないプラネタリウムにおいても、立体模型を併用することで、映像では見えない被写体の裏側などを自由に触って確かめることができる(図3B)。プラネタリウムの暗闇で視覚的に形を把握するためには模型を蓄光素材で作成するなどの工夫が必要であるが、実際に模型を手にとってみると、触覚だけを頼りに形や手触りを楽しむこともでき、視覚に頼らない運用も可能と思われる。

7. プラネタリウムの非天文領域での活用

筆者らはプラネタリウムシステムを使って360度カメラの映像や3Dデータを投映し、非天文領域の科学イベントをこれまでにいくつか実施してきた。以前からスライド映像を中心とした講演会などもプラネタリウムで行っているが、一方的な情報提示に陥りやすく、リクライニングする座席と暗い環境も相まって、演出上飽きやすいものであった。視線の移動を促すような全天周の実写映像や3Dデータをリアルタイムレンダリングにより投映することで、対話的で躍動感のある進行が生じやすくなり、空間を共有しているという一体感も会場に生まれた。こうした活用の仕方は、全天に再現した星空の映像を動かしながら解説するという、プラネタリウム本来の使い方と共通するものでもある。プラネタリウムをプラネタリウムの的に使うことで、ドーム空間としての特性をうまく

引き出せたと捉えられる。多目的な利用において、長い歴史のあるプラネタリウムにおける表現や演出には学ぶ点が多いと考えられる。

これまでに筆者らが企画したイベントは、導入から10年以上が経過した古いシステムで実施しており、利用できるデータや表現には制約があり、これまで天文教具としての利用では直面しなかった不便さを感じる場面もあった。デジタル環境は技術的な進歩が著しく、最新のシステムではより快適なものとなっている。今後さらに手軽に実践できる環境が普及していくことが期待される。

最後に、筆者らはプラネタリウムの多目的な活用を目指してはいるが、これは汎用的なドームシアターにプラネタリウムが置き換えられることを期待するものではない。天文教具としての豊富な経験から学び、「プラネタリウムにできること」がより広く追及され実践されていくことで、プラネタリウムの持つ魅力はさらに高まるものと考えている。

8. 謝辞

魚津埋没林博物館における撮影では同館の石須秀知氏および佐藤真樹氏にご協力いただいた。マイクロフォトグラメトリーではフォッサマグナミュージアムの小河原孝彦氏に協力いただいた。また、本活動に関連する費用の一部は一般財団法人乃村文化財団の助成金を活用した。以上の個人団体にはここに記して感謝申し上げる。

9. 引用文献

- 尾久土正己, 2019. プラネタリウムの新しい利用に向けて. 映像情報メディア学会誌, 73(3): 475-480.
- 高幣俊之, 2016. 360度映像制作ガイド: ドームおよびVRヘッドセット向け映像制作の手引き. [https:// www.orihalcon.co.jp/technologies/documents/how_to_make_immersive_movies.html](https://www.orihalcon.co.jp/technologies/documents/how_to_make_immersive_movies.html) [2022. 2. 15閲覧]
- 竹中萌美, 2019. クラゲタリウム: クラゲの水中全天周映像の制作. 日本プラネタリウム協議会会誌, (17): 91-93.
- 竹中萌美, 2020. デジタルプラネタリウムを活用したオリジナル番組づくり. とやまと自然, 42(4): 1-8.
- 吉岡 翼・竹中萌美, 2021. デジタルプラネタリウムを活用した非天文領域のサイエンスコミュニケーション. 日本サイエンスコミュニケーション協会誌, 11(1): 32-33.
- 吉住千亜紀・尾久土正己, 2015. 飯田市の文化資源を活用した全天周映像番組. 観光学, 13: 21-26.